

**ELEKTRONİK VE ELEKTRİKSİZ ATEŞLEME
SİSTEMLERİNİN PATLATMA VERİMLİLİĞİ VE
ÇEVRESEL ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**COMPARISON OF BLASTING EFFICIENCY AND
ENVIRONMENTAL EFFECTS OF ELECTRONIC AND
NON-ELECTRIC IGNITION SYSTEMS**

ORÇUN NESİP KIRMIZI

PROF. DR. GÜZİN GÜLSEV UYAR AKSOY

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

ÖZET

ELEKTRONİK VE ELEKTRİKSİZ ATEŞLEME SİSTEMLERİNİN PATLATMA VERİMLİLİĞİ VE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Orçun Nesip KIRMIZI

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Güzin Gülsev UYAR AKSOY

Ağustos 2021, 54 sayfa

Literatürde ve dünyada 30 yıllık yeri olan ve halen 5. nesli kullanılan elektronik ateşleme sistemleri ülkemizde halen özel uygulamalar dışında kullanım alanı bulamamıştır. Bunun sebepleri arasında ülkemiz maden mühendislerinin bu konuya yeteri kadar eğilim göstermemeleri, birim fiyatların görece çok daha yüksek olması, konu üzerine yeterli çalışmanın yapılmış olmaması, yeterli Türkçe kaynak bulunmaması ve insanların elektronik ateşleme sistemi ile yapabileceklerinin farkında olmaması sayılabilir. Elektronik ateşleme sistemlerinde gecikmeler piroteknik gecikme elemanı yerine kullanılan yonga ile 1 ms aralıklarla programlanabilmektedir. Piroteknik gecikme elemanı kullanılan sistemlerde yaşanan %10'luk gecikme sapmaları elektronik ateşleme sistemlerinde 0,1 ms'lere kadar düşmektedir. Bu durum mühendisin tasarımını yaparken esneklik kazanmasına ve tasarladığı gecikmeleri birebir uygulamasına olanak sağlamaktadır. Buna bağlı olarak da elektronik ateşleme sistemleri patlatma verimliliği ve patlatmanın çevresel etkileri konusunda birçok fayda sağlamaktadır. Elektronik ateşleme sistemlerinin avantajlarının ön plana çıkarılması ve Türkiye'de kullanımının

artması için önyak olunması hedeflenerek bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında Türkiye’de bulunan 2 farklı polimetallik madende elektronik ateşleme sistemi kullanılarak 3 adet patlatma gerçekleştirilmiş ve veriler kayıt altına alınmıştır. Bu veriler elektriksiz ateşleme sistemi kullanılarak yapılan patlatmalar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda elektronik ateşleme sisteminin patlatmanın çevresel etkilerine ve patlatma verimine olumlu katkıları açıkça ortaya çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ateşleme, Elektronik Ateşleme Sistemi, Elektronik Kapsül, Patlatma, Patlatma Kaynaklı Titreşimler, Piroteknik, Sismik Dalgalar

ABSTRACT

COMPARISON OF BLASTING EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL EFFECTS OF ELECTRONIC AND NON-ELECTRIC IGNITION SYSTEMS

Orçun Nesip KIRMIZI

Master of Science, Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Güzin Gülsev UYAR AKSOY

August 2021, 54 pages

Electronic ignition systems, which have a place in the literature and the world for 30 years and are currently used the 5th generation, still have not found any area of use other than special applications in our country. Among the reasons for this are that our country's mining engineers do not show enough inclination to this subject, the unit prices are relatively higher, there is not enough work on the subject, there are not enough Turkish resources and people are not aware of what they can do with the electronic ignition system. Delays in electronic ignition systems can be programmed at 1 ms intervals with the microchip used instead of the pyrotechnic delay element. 10% delay deviations experienced in systems using pyrotechnic delay elements decrease up to 0.1 ms in electronic ignition systems. This allows the engineer to gain flexibility while designing and to apply the designed delays exactly. Accordingly, electronic ignition systems provide many benefits in terms of blasting efficiency and environmental effects of blasting. This study was carried out with the aim of highlighting the advantages of electronic ignition systems and leading to increased use in Turkey. Within the scope of

the study, 3 blasts were carried out using electronic ignition system in 2 different polymetallic mines in Turkey and the data were recorded. These data were compared with the detonations using the non-electrical ignition system. As a result of the comparison, the positive contributions of the electronic ignition system to the environmental effects of blasting and blasting efficiency are clearly evident.

Keywords: Blast, Blast Induced Vibration, Ignition, Electronic Capsule, Electronic Ignition System, Pyrotechnics, Seismic Waves

TEŞEKKÜR

Lisans eğitimim ile başlayıp tamamlamış olduğum lisansüstü eğitimim boyunca engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yalnızca akademik olarak değil profesyonel hayatta da yaşamıma yön veren, kaybolduğum anlarda yolumu bulmamı sağlayan ışığiyla her zaman yanımda olduğunu hissettiren değerli hocam Prof. Dr. Güzin Gülsev UYAR AKSOY'a,

Tezin saha uygulamasını yapabilmem için imkân sağlayan firmaya ve uygulama sırasında yardımlarını esirgemeyen firma çalışanlarına,

Patlayıcı sektörü ve elektronik ateşleme sistemleri hakkında bilgi ve tecrübe sahibi olmamı sağlayan, teknik olarak beni sürekli besleyen ve gelişimime çok büyük katkı sağlayan Kapeks firmasına,

Şu an olduğum insan olmamda çok büyük katkıları olan, hayatım boyunca aldığım her kararda arkamda duran ve hiçbir karşılık beklemeden, her koşulda bana destek veren, bu hayatta hiçbir şeye asla değişmeyeceğim aileme,

Lisansüstü eğitimim boyunca bana yardımlarını esirgemeyen, benim önceliklerimi kendi önceliklerinin üstünde tutan, tez yazım aşamasında ellerinden gelen katkıları sağlayan arkadaşlarıma,

Sonsuz Teşekkürler...

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Ateşleme Sistemleri	3
2.2. Patlatma Kaynaklı Titreşimler	8
2.3. Geçmişten Bugüne Elektronik Ateşleme Sistemlerinin Uygulamaları.....	9
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	15
3.1. Ocak A	15
3.1.1. Saha Jeolojisi	15
3.1.2. Elektronik Ateşleme Sistemi ile Gerçekleştirilen Patlatma.....	18
3.2. Ocak B	26
3.2.1. Saha Jeolojisi	27
3.2.2. Elektronik Ateşleme Sistemi ile Gerçekleştirilen İlk Patlatma	29
3.2.3. Elektronik Ateşleme Sistemi ile Gerçekleştirilen İkinci Patlatma	35
4. TARTIŞMA	43
4.1. Ocak A	43
4.2. Ocak B	44
4.2.1. Pasa Patlatması	44
4.2.2. Cevher Patlatması.....	46

5. SONUÇ.....	48
6. KAYNAKLAR	50
EKLER.....	53
EK 1 - Tez Çalışması Orijinallik Raporu	53
ÖZGEÇMİŞ.....	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Elektronik kapsül bileşenleri [5, 9, 13, 14].....	4
Şekil 2.2. Elektronik kapsül devresi [9, 13, 14].....	4
Şekil 2.3. Programlama ünitesi	5
Şekil 2.4. Patlatma sürücüsü	6
Şekil 2.5. Patlatma kumandası.....	6
Şekil 3.1. Bölgenin tektonik zon haritası [28]	16
Şekil 3.2. Biga yarımadasının genelleştirilmiş dikme kesiti [28].....	17
Şekil 3.3. Sismografların yerleştirilmesi.....	18
Şekil 3.4. Sismografların ve grup deliklerinin yerleşimi	19
Şekil 3.5. "Davey Tronic" elektronik ateşleme sistemi ile saha uygulaması.....	19
Şekil 3.6. Deliklere uygulanan elektrik kapsül düzeni	20
Şekil 3.7. Deliklere uygulanan elektronik kapsül gecikmeleri	21
Şekil 3.8. Burden – Relief (yük hafifletmesi) ekran görüntüsü	21
Şekil 3.9. O-pit Blast simülasyonu ile deliklerin patlama sırası.....	22
Şekil 3.10. Sismograf ölçümlerinin zamana bağlı en yüksek parçacık hızı grafiği.....	24
Şekil 3.11. Elektronik ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen patlatma anı.....	25
Şekil 3.12. Elektronik ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen patlatma sonrası	25
Şekil 3.13. Elektronik patlatma sonrası gerilme çatlakları	26
Şekil 3.14. Ocak B şematik enine kesit [30].....	27
Şekil 3.15. Det-Ex elektronik ateşleme sistemi ile saha uygulaması.....	29
Şekil 3.16. Sismografların yerleştirilmesi.....	30
Şekil 3.17. Deliklerin sırası.....	31
Şekil 3.18. Deliklere uygulanan elektronik kapsül gecikmeleri	31
Şekil 3.19. Pilot ve grup patlatmasının ve sismografların yerleşimi	32

Şekil 3.20. Elektronik ateşleme sistemi ile yapılan patlatma anı ve sonrası	34
Şekil 3.21. Patlatma sonrası gerilme çatlakları.....	35
Şekil 3.22. Sismografların yerleştirilmesi ve patlatma grubu.....	36
Şekil 3.23. Deliklerin sırası.....	37
Şekil 3.24. Deliklere uygulanan elektronik kapsül gecikmeleri	37
Şekil 3.25. Patlatma delikleri ve sismografların yerleşim	38
Şekil 3.26. Patlatma anı ve sonrası	41
Şekil 3.27. Patlatma sonrası gerilme çatlakları ve parçalanmış kaya malzemesi.....	42

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Patlatma kaynaklı titreşimlerin sınır değerleri.....	9
Çizelge 3.1. Ocak A, elektronik ile yapılan patlatmanın bilgileri ve delik geometrisi...	20
Çizelge 3.2. Elektronik ateşleme sistemi ile yapılan pilot ve grup patlatmalarından kaydedilen titreşim ve frekans değerleri	22
Çizelge 3.3. Elektriksiz ateşleme sistemi ile yapılan pilot ve grup patlatmalarından kaydedilen titreşim ve frekans değerleri	23
Çizelge 3.4. Kaya kütlelerinin jeoteknik parametreleri [30]	28
Çizelge 3.5. Ocak B’de elektronik ateşleme sistemi ile yapılan ilk patlatmanın bilgileri ve delik geometrisi	30
Çizelge 3.6. Elektronik ateşleme sistemi ile yapılan pilot ve grup patlatmalarından kaydedilen titreşim ve frekans değerleri	33
Çizelge 3.7. Elektriksiz ateşleme sistemi ile yapılan pilot ve grup patlatmalarından kaydedilen titreşim ve frekans değerleri	33
Çizelge 3.8. Ocak B elektronik ateşleme sistemi ile yapılan patlatmanın bilgileri ve delik geometrisi.....	36
Çizelge 3.9. Elektronik patlatmalarından kaydedilen titreşim değerleri.....	39
Çizelge 3.10. Elektriksiz ateşleme sistemi ile yapılan pilot ve grup patlatmalarından kaydedilen titreşim ve frekans değerleri	40

SİMGELER VE KISALTMALAR

mm	Milimetre
m	Metre
ms	Milisaniye
sn	Saniye
kg	Kilogram
Hz	Hertz
T	(Transverse) Enine Dalga
V	(Vertical) Dikey Dalga
L	(Longitudinal) Boyuna Dalga
PPV	(Peak Particle Velocity) Tepe Parçacık Hızı
PVS	(Peak Vector Sum) Tepe Vektör Toplamı
γ	Kaya Kütlesinin Birim Hacim Ağırlığı
σ_c	Kaya Malzemesinin Tek Eksenli Basma Dayanımı
mi	Hoek - Brown Parametresi
GSI	Jeolojik Dayanım İndeksi
Em	Kaya Kütlesinin Elastisite Modülü
ν	Poisson Oranı
cm	Kaya Kütlesinin Eşdeğer Kohezyonu
ϕ_m	Kaya Kütlesinin Eşdeğer İçsel Sürtünme Açısı

1. GİRİŞ

Patlatma uygulamalarında kullanılan ateşleme sistemleri, yıllar içerisinde iş güvenliği, patlatmaların çevresel etkileri ve patlatma verimliliği açısından sürekli bir gelişim halinde olmuştur. Karabarutun icadından sonra insanlar bu piroteknik malzemeyi güvenli bir şekilde ateşleme arayışlarına girmişler ve ateşleme sistemleri, 1831 yılında William Bickford'un emniyetli fitili icat etmesi ile tarihteki yerini almıştır. 1850'lerde nitrogliserin ve 1860'larda dinamitin kullanımı ile birlikte emniyetli fitilin tek başına bu patlayıcıları ateşlemek için yeterli olmadığı fark edilmiş ve emniyetli fitil – kapsül birlikteliği (adi kapsül) fikri doğmuştur. Alfred Nobel 1867 yılında cıva fulminat patlatma başlığını bulmuş ve bu sayede nitrogliserin, dinamit gibi patlayıcılar çok daha güvenli ve verimli bir şekilde ateşlenmeye başlamıştır. Nobel'in bu temel düşüncesi günümüzde kullanılan sivil amaçlı kapsüllerin geliştirilmesinde ana unsur olmuştur. 1870 yılında gecikmesiz elektrikli kapsül icat edilirken kapsüllere gecikme elemanı eklenmesi 70 yıla yakın sürmüştü ve 1940'lara doğru gecikmeli elektrikli kapsül icat edilmiştir. Teknolojinin gelişim ivmesi ve gecikmeli elektrikli kapsülün icadı ile ateşleme sistemlerinde gelişmeler hız kazanmıştır. Aynı şekilde patlatma tekniğinde yaşanan gelişim sonucunda da patlatmada kullanılan ateşleme sisteminin patlatmaya etkisi üzerinde durulmaya başlanmış ve gecikme, sarsıntı, emniyet gibi ihtiyaçlar doğmuştur. Bu ihtiyaçların karşılanması amacıyla 1970'lerde elektriksiz ateşleme sistemleri ve artık gelişen teknolojinin de etkisi ile çok uzun bir bekleyiş olmadan, 1980'lerde elektronik ateşleme sistemleri geliştirilmiştir. Ateşleme sistemleri halen gelişimini devam ettirmektedir [1].

Elektriksiz ateşleme sistemlerinde gecikme elemanı olarak piroteknik malzeme kullanılmaktadır. Üretici firmalar belirli gecikme aralıklarına denk gelecek miktarda piroteknik gecikme elemanı kullanarak elektriksiz kapsüllerin üretimini gerçekleştirmektedir. Elektriksiz kapsüllerde bu piroteknik gecikme elemanından kaynaklı olarak %10'lara kadar çıkan gecikme sapmaları meydana gelmektedir. Bu sapmalar patlatma performansı ve çevresel etkiler açısından olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Elektronik kapsüllerde ise piroteknik gecikme elemanı yerine yonga kullanılmaktadır. Bu sistem sayesinde gecikme değerleri kullanıcı tarafından 1 milisaniye aralıklarla 30.000 milisaniyeye kadar programlanabilmektedir. Elektronik ateşleme

sistemlerinde gecikme sapmaları % 0,005 olmaktadır. Bu sayede, patlatma tasarımı yapan ve uygulayan kişiler patlatmaları gerçek anlamda kontrol ederek piroteknik gecikme elemanından kaynaklanan problemlerin önüne geçmektedir. Elektriksiz ateşleme sistemleri ile yapılan patlatmalarda parçalanma, cevher pasa ayrımı, titreşim kontrolü, hava şoku kontrolü, şev kontrolü gibi uygulamaların gerçekleştirilmesi, kullanılan sistemin kusurlarından dolayı mükemmel olamamaktadır. Elektronik ateşleme sisteminde kullanıcı daha esnek ve daha kontrollü patlatma gerçekleştirerek patlatma performansını arttırabilecek, çevresel etkileri kontrolü altına alabilecektir [1].

Gerçekleştirilen çalışmada birbirine benzer koşullarda elektronik ve elektriksiz ateşleme sistemi kullanılarak patlatmalar gerçekleştirilmiştir. 2 farklı sahada, 3 elektriksiz, 3 elektronik ateşleme sistemi kullanılarak 6 farklı patlatma yapılmıştır. Yapılan patlatmalarda belirli mesafelere yerleştirilen sismograflar ile patlatma kaynaklı titreşim verileri toplanmıştır. Bu veriler SeisBlast ve Blastware yazılımları ile incelenerek titreşim ve frekans değerlerinin karşılaştırması yapılmıştır.

Tez çalışması kapsamında elektriksiz ve elektronik ateşleme sistemleri kullanılarak gerçekleştirilen patlatmalar, verim, iş güvenliği ve çevreye olan etkiler açısından karşılaştırılmıştır. Küresel ölçekte 30 yılı aşkın süredir kullanılmakta olan elektronik kapsüller, ülkemizde özel uygulamalar dışında halen yaygın bir kullanım alanı elde edememiştir. Bunun başlıca sebeplerinden biri bu konu ile ilgili yeterli çalışma yapılmamış olmasıdır. Bu tez çalışmasında asıl amaç elektronik ateşleme sistemlerinin avantajlarını ortaya koyarak işletmelerin elektronik ateşleme sistemlerini kullanmasını yaygınlaştırmak ve ülkemizi madencilik alanında küresel teknoloji seviyesine çıkarmak için konuya ışık tutmaktır.

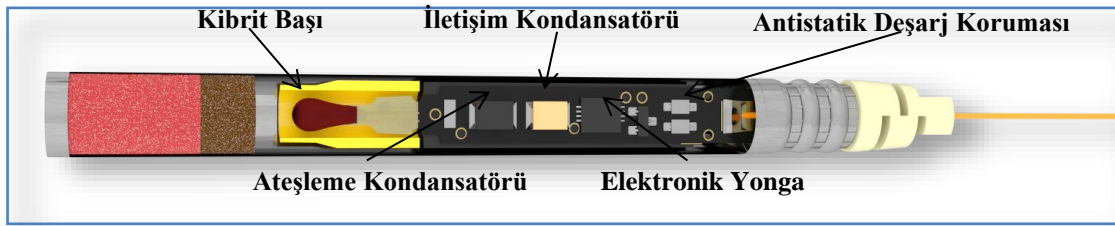
2. GENEL BİLGİLER

2.1. Ateşleme Sistemleri

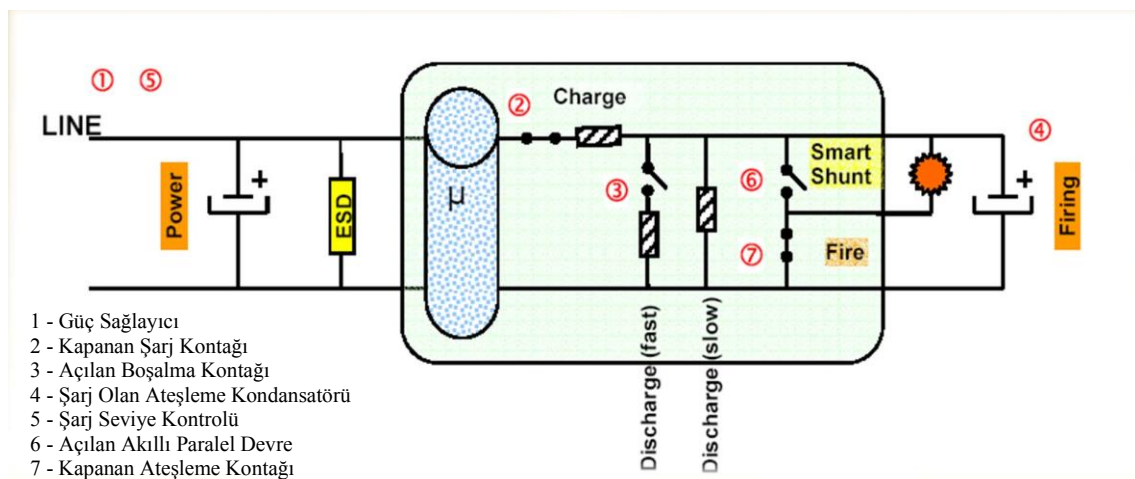
Karabarutun icadı ile patlatma uygulamaları başlamıştır. William Bickford'un 1831 yılında karabarutu kullanarak geliştirdiği emniyetli fitil ile ateşleme sistemleri tarihteki yerini almıştır [2-4]. Yıllar içerisinde geliştirilen patlayıcı maddeler, patlatma teknikleri ve buna bağlı doğan ihtiyaçlar ile ateşleme sistemlerinin de gelişimi şart olmuştur. Gecikmeli elektrikli kapsüllerin icadından sonra birçok ihtiyaç ve avantajından dolayı elektriksiz kapsül icat edilmiş ve dünyada yaygın bir kullanım alanı oluşturmuştur. Patlatma biliminin ilerlemesi ve ekstra ihtiyaçların doğması ile piroteknik gecikme elemanı kullanılarak üretilen kapsüllerin, mühendisin patlatma kontrolünü ele almasında ciddi bir sıkıntı oluşturduğu ve ihtiyaç duyulan patlatma tasarımının yapılmasına olanak sağlamadığı ortaya çıkmıştır. Piroteknik gecikme elemanı kullanılarak üretilen kapsüllerin hem belli milisaniyelerde üretilmesi hem de bu kapsüllere tayin edilmiş gecikmelerin gerçekte %10'lara varan sapmalar ile yanmaları ciddi problemler ortaya çıkarmaktadır [5, 6]. Bu sebeple 1980'lerde piroteknik gecikme elemanı yerine kullanılan yonga ile gecikmelerin 1 milisaniye hassasiyet ile tayin edildiği, 0,1 milisaniye sapması olan elektronik ateşleme sistemleri icat edilmiştir. Yaklaşık 30 yıldır kullanılan elektronik ateşleme sistemlerinde günümüzde 5. nesil elektronik ateşleme sistemleri geliştirilmektedir. Bu ateşleme sistemlerinin en önemli özelliği kapsüllerinde bulunan yongaya gecikmelerin tanımlanması; kesin ve doğru zamanda patlatmaların gerçekleştirilebilmesidir. Patlatma tasarımında 1 ms aralıklarla gecikmelerin tanımlanabilmesi, mühendise büyük esneklik verirken; 0,1 ms hassasiyetle patlamaları yapılan tasarımın en uygun şekilde gerçekleştirilmesi sağlanabilmektedir [1, 2, 5, 7-12]. Elektriksiz ateşleme sistemlerinde şok tüp içerisinde yer alan patlayıcı, bir şok ile harekete geçerek bu şoku bağlantı sırasına göre bütün kapsüllere iletmesi ile patlatma gerçekleştirilirken; elektronik ateşleme sistemlerinde her bir kapsül içerisinde bulunan yongalara elektriksiz akım ile gönderilen kodlar her bir kapsülü ayrı ayrı etkileşime geçirmekte ve patlatmayı gerçekleştirmektedir.

Elektronik ateşleme sistemlerinde haberleşme ve gecikmeler algoritmik bir kod ile gerçekleştirilmektedir [5, 7]. Ateşlemenin başlaması için gereken enerji, veri hattı yardımıyla gönderilen algoritmik kod ile ateşleme kapasitöründe depolanır. Kapsül yongasına

programlanan gecikme süresi kadar beklemenin ardından kapasitörde depolanan enerji kibrit başına aktarılarak ana şarjı infilak ettirir [5, 13, 14]. Güvenlik amacıyla bazı firmaların ürettiği kapsüllerde 2 adet kapasitör bulunur ve ilk kapasitör kapsül ile iletişim için kullanılırken ikinci kapasitör ateşleme için kullanılmaktadır (Şekil 2.1). Bu durumda dışarıdan gelen herhangi bir enerjiye karşı ateşleme kapasitörüne herhangi bir enerji depolanmadığı için yalnızca iletişim kapasitörü zarar görerek infilak gerçekleşmeyecektir. Ayrıca, güvenlik önlemi olarak dirençler veya geçici gerilim bastırma diyotları gibi elektronik kapsül devresi üzerine yerleştirilen pasif bileşenler ile harici enerji kaynaklarına karşı koruma sağlanır. Bazı firmalar bu güvenlik önlemlerine ek olarak "akıllı şönt" denilen bir mekanizmayı elektronik kapsül devrelerine eklemiştir (Şekil 2.2). Bu ek güvenlik önlemleri aynı zamanda patlatma sahasında karşılaşılabilecek elektrostatik deşarj, elektromanyetik etkileşim, yıldırım gibi olumsuz etkenlere karşı elektronik kapsüllere kesin önlem olmasa da duyarlılık kazandırmaktadır [9, 13, 14].



Şekil 2.1. Elektronik kapsül bileşenleri [5, 9, 13, 14]



Şekil 2.2. Elektronik kapsül devresi [9, 13, 14]

Hâlihazırda dünyanın birçok yerinde ticarileşmiş elektronik ateşleme sistemleri kullanılmaktadır. Bu ateşleme sistemleri saha uygulamalarında, yapılan inceleme çalışmalarında ve yayınlarda belgelenmektedir. Bu ateşleme sistemlerinin genel mantığı aynı olsa da bazı firmalar ekstra güvenlik önlemleri ya da aksesuarlar ile kullanılabilirliğini artırmaktadır. Dünya çapında Davey Bickford, Dyno Nobel, Austin Powder ve Orica'nın elektronik ateşleme sistemleri iyi bilinen ve en çok kullanılan sistemlerdir. Türkiye'de de ilk yerli elektronik ateşleme sistemi geliştirme çalışmaları Kırlıoğlu Patlayıcı Maddeler tarafından tamamlanmış olup DetEX adı ile ürün 2020 yılından itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Bu tez çalışmasındaki üç örnek patlatma çalışmasından ikisinde bu yerli ürün kullanılmıştır. Diğerinde ise Davey Bickford ateşleme sistemi kullanılmıştır. Bütün bu firmaların ürünleri tüm patlatma uygulamaları için gerekli olan programlanabilirlik ve temel doğruluk işlevlerini yerine getirmektedir. Her firmanın ürettiği sisteme özel elektronik ve fiziksel ekipmanları, protokolleri ve yazılımları bulunmaktadır [11].

Elektronik ateşleme sistemi elemanları genel olarak aşağıda gösterildiği gibidir.

- 1- Programlama Ünitesi (Şekil 2.3): Kapsüllerin programlanmasına (gecikme tayini), kapsül-hat testi yapılmasına ve cihazların birbirine tanıtılması için veri aktarımını sağlamaktadır.



Şekil 2.3. Programlama ünitesi

- 2- Patlatma Sürücüsü (Şekil 2.4): Elektronik kapsüllere gerekli olan ateşleme enerjisini ve kapsüller ile uzaktan iletişimi sağlamaktadır.



Şekil 2.4. Patlatma sürücüsü

- 3- Patlatma Kumandası (Şekil 2.5): Patlatma öncesi testleri gerçekleştirerek, patlatma komutunun verilmesini sağlamaktadır.



Şekil 2.5. Patlatma kumandası

Elektronik ateşleme sistemlerinin tüm firmaların ürünleri için genel çalışma süreci:

- 1- Patlatma kullanılan her bir kapsül içinde bulunan yongaya bir kimlik veya adres atama,
- 2- Test ve iletişim kontrolleri,
- 3- Her yongaya bir ateşleme süresi atama,
- 4- Yongaya enerji verilmesi,
- 5- Yongaya ateşleme komutunun gönderilmesi.

Bu adımlar günümüzde kullanılan tüm sistemler için geçerlidir [11].

Elektronik ateşleme sisteminin avantajları [12]:

- 1- Yalnızca delik içinde kapsül kullanıldığı, yüzeyde yüzey gecikme kapsülü gibi bir kapsül kullanılmadığı için hava şoku görece daha az olmaktadır.
- 2- Patlatmanın 2 kilometre uzaktan ateşlenmesi mümkün olduğu için ateşleyicinin ateşleme esnasında saha hâkimiyetini arttırmaktadır.
- 3- Kapsüllerde arıza olup olmadığı, hatta eksik veya fazla kapsül bağlanıp bağlanmadığı, herhangi bir elektrik kaçağı olup olmadığı patlatma öncesinde test edilebilmektedir. Bu sayede patlatmada atım kesmesi nedeniyle oluşacak durumlar ortadan kaldırılmaktadır.
- 4- Kapsüllere 1 milisaniye aralıklarla 0-30000 milisaniye aralığında gecikme tayin edilebilmektedir. Bu gecikmeler neredeyse sapma olmadan, tayin edilen sürede patlamakta, böylece birim zamanda patlayan patlayıcı miktarının kontrolü patlatma tasarımını yapan kişide olmaktadır. Ayrıca patlatma kaynaklı titreşimlerin en alt düzeye indirilebilmesi için uygun gecikmeler tayin edilerek sarsıntı probleminin önüne geçilebilmektedir.
- 5- Harici elektriksel tehlikelere karşı fazladan güvenlik önlemi alınarak üretilen elektronik kapsüller, olası bir yüksek akım maruziyeti durumunda devreyi keserek kontrolsüz patlamaların önüne geçmektedir.

2.2. Patlatma Kaynaklı Titreşimler

Patlatma sonucunda oluşan patlayıcı enerjisinin bir kısmı kayacı kırmaya, ötelemeye harcanırken bir kısmı da yer sarsıntısı, titreşim oluşturmaktadır. Patlatma kaynaklı titreşimlerin ölçümü sismograflar ile gerçekleştirilmektedir. Sismograflar ile ölçüm alınamayan durumlarda ise bu titreşimlerin tahmini için PPV – SD (en yüksek parçacık hızı – ölçekli mesafe) kuramı kullanılmaktadır. 1960'lı yıllardan beri kullanılan en yüksek parçacık hızı – ölçekli mesafe kuramı ile gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarı kısıtlanmaktadır. Bu kuram geçmiş yıllarda patlatma kaynaklı titreşimi kontrol altına almak için uygun bir yöntem olarak kullanılmış olsa da günümüz koşullarında, özellikle de elektronik ateşleme sisteminin kullanımı ile patlayıcı miktarını limitlemeden, uygun gecikmeler tayin edilerek sismik dalgaların soğurulması ve titreşimlerin en alt düzeye indirgenmesi mümkün olmaktadır [15].

Patlatma kaynaklı titreşimler taşıdıkları enerji düzeyinde hasara neden olmaktadır. Titreşimlerin enerji düzeyleri; parçacık yer değiştirmesi (mm), parçacık hızı (mm/s), parçacık ivmesi (mm/s^2) ve dalga frekansı (Hz) parametreleri ile ölçülmeye çalışılmaktadır. Patlatmalardan kaynaklanan yer titreşimleri kısa süreli (gelip-geçici) ve düzensiz yer hareketleridir. Zemindeki bir parçacığın hareket hızına parçacık hızı (titreşim hızı) denir. Parçacık hızı sıfırdan başlar, en yüksek değerine ulaşır ve giderek sönümlenir. Şu halde yer titreşimi incelemelerinde en önemli özelliklerden biri en yüksek parçacık hızıdır. Çünkü en yüksek hız değeri ne kadar büyük ise yapı ya da zemin de o denli yüksek şiddette sarsılır. Frekans (f), zemindeki bir parçacığın 1 saniyede kaç kez (devir/saniye) titreştiğini gösterir, Hertz (Hz) birimi ile ifade edilir. Yer titreşiminin frekansı da en az parçacık hızı kadar önemlidir. Yapılar genellikle düşük frekanslı oldukları için patlatma kaynaklı oluşan titreşimlerin frekans değerlerinin yüksek olması, yapılar ile rezonansa girmesinin önüne geçerek yapı hasarlarını indirgemektedir. [16]

Ülkeler kendi yapı özelliklerini temel alarak hasar oluşmasının önüne geçilmesi için titreşim hızı limit değerlerini belirten yönetmelikler çıkarmışlardır. Bu yönetmeliklerde ana unsur PPV – Hz ilişkisine bağlı çizilmiş sınırlardır. Ülkemizde bu konuda Avrupa Birliği tarafından yayınlanmış bulunan, 25/6/2002 tarih, 2002/49/EC sayılı Çevresel Gürültünün Yönetimi ve Değerlendirilmesi Direktifine paralel olarak hazırlanmış olan bir

yönetmelik, 01 Temmuz 2005 tarihinde 25862 sayılı Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Türk yönetmeliği “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği” (ÇGDYY) başlığını taşımakta olup, ülkemizde ilk kez titreşim konusunda bir düzenleme içermektedir. 04.06.2010 tarih ve 27601 sayılı Resmi Gazetede yayınlanmış ve halen yürürlükte olan ÇGDYY Madde 25’te çevresel titreşim esas ve kriterleri belirtilmiştir. Bu kriterlere göre sınır değerler Çizelge 2.1’de yer almaktadır.

Çizelge 2.1. Patlatma kaynaklı titreşimlerin sınır değerleri [17]

Sismik Dalga Hâkim Frekansı, Hz	Bina Zemininde İzin Verilen Yer Titreşim Hızı, mm/s
1,0	5,00
1,5	6,95
2,0	9,35
2,5	11,60
3,0	13,86
3,5	16,40
4 - 10	19,00
12,0	24,10
14,0	26,00
16,0	29,85
18,0	32,35
20,0	35,05
25,0	42,90
30 - 100	50,00

2.3. Geçmişten Bugüne Elektronik Ateşleme Sistemlerinin Uygulamaları

Dünyada 30 yıldan fazla süredir elektronik kapsüller kullanıldığı için bu konuda çalışmalar literatürde mevcuttur [2, 5, 7-9, 11, 18-27]. Bu çalışmalar ya güncelliğini yitirmiş ya da özel uygulamalar üzerine olmuştur. Ülkemizde elektronik ateşleme sistemlerinin yaygınlaşabilmesi için sağlayacağı faydaların ve elektriksiz sistemlere göre üstünlüklerinin iyi anlaşılabilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla her iki sistemin karşılaştırmalı olarak iyi çalışması gerekmektedir. Ülkemiz patlayıcı sektörünün büyüklüğü düşünüldüğünde, bu sektörde yapılacak en ufak bir katma değer hem patlayıcı madde üreticilerine hem de patlayıcı kullanılan işletmelere önemli bir fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

1998 yılında yayınlanan bir çalışmada [18] piroteknik gecikme elemanı bulunan kapsüllerde 10 ms'ye varan sapmaların olduğu, elektronik kapsüllerde piroteknik gecikme elemanının yerine yonga kullanıldığı ve 1 ms hassasiyetle gecikme tayini yapılarak 1-100 ms arası gecikmelerin programlanabilir olduğu belirtilmektedir. Yine aynı çalışmada elektronik kapsüller ile elektriksiz kapsüllerin bir arada kullanıldığı sistem şu şekilde anlatılmaktadır: 1995 yılında Norveç'te yapımı gerçekleştirilen Neset Tüneli açımı patlatmalarında kullanılan uygulamada elektronik ve elektriksiz kapsüller bir arada kullanılmaktadır. Orta çekme, taban ve tarama deliklerinde elektriksiz kapsüller kullanılırken çevre deliklerinde elektronik kapsüller kullanılmıştır. Gerçekleştirilen patlatma tasarımında 5,1 metre delik boyu, 45 milimetre delik çapı, 4 adet çektirme deliği olacak şekilde 74 adet delik delinmiştir. Gerçekleştirilen patlatma sonucunda kaydedilen ilerleme 4,95 metre (%97 verim) olmuştur. Bu patlatmaya göre elektronik kapsül kullanılarak aşağıda belirtilen yararların sağlanabileceği sonucuna varılmıştır;

- Fazla pasanın önlenmesi ve istenilen profilin elde edilebilmesi,
- Ankraj, püskürtme beton gibi ihtiyaçların azaltılması,
- Patlatma kaynaklı titreşimlerin kontrol edilebilmesi

Yukarıda belirtilen çalışmada elektriksiz ateşleme sistemi ile yapılan çalışmanın kaydı alınmadığı için bu faydaların sağlanmasında elektronik kapsül kullanımının etkisi net bir şekilde ölçülememektedir. Ayrıca yapılan çalışmada kullanılan sistem ile 1 ms aralıklarla 1-100 ms arası gecikmelerin programlanabilir olduğundan bahsedilmesine rağmen günümüz teknolojisinde 1-30000 ms arası gecikmeler programlanabilmektedir [19].

Can Dovan'ın 2018'de yaptığı çalışmada [20] patlatma kaynaklı titreşim sorunu yaşanan bölgede sarsıntı değerleri incelenmiştir. Patlatma kaynaklı titreşimler InstanTEL marka titreşim ölçüm cihazı ile kayıt altına alınmıştır. Öncelikle 25/500 ms gecikmelere sahip çift başlıklı elektriksiz kapsüller ile 30 adet patlatma deliği, beşerli gruplar halinde 6 farklı ateşleme ile patlatılmış ve patlatma sonuçları kayıt altına alınmıştır. Daha sonra 47 adet elektronik kapsül tek bir atımda patlatılmış ve kayıtlar alınmıştır. Sarsıntı analizleri karşılaştırıldığında elektriksiz kapsüllerin kullanıldığı 5 deliklik patlatmadan çıkan sarsıntı değerlerinin elektronik ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen 47 deliklik

patlatmadan çıkan sarsıntı değerlerinden yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Söz konusu değerler elektronik ateşleme sisteminin kullanıldığı patlatmada 0,473 mm/sn iken elektriksiz ateşleme sisteminin kullanıldığı patlatmada 0,528 mm/sn olarak ölçülmüştür. Bu durumun sebebinin de elektriksiz kapsüllerde meydana gelen gecikme sapmalarından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Kara vd. 2013 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada [9] elektronik ateşleme sisteminin güvenlik ve verim açısından faydalarına değinmiş ve durum çalışmaları ile bu faydaları ortaya çıkarmışlardır. Fakat bu çalışmada da elektriksiz ateşleme sisteminin elektronik ateşleme sistemi ile uygulamalı bir karşılaştırması yapılmamış olup yalnızca elektronik ateşleme sistemi uygulaması hakkında bilgi verilmektedir.

Birch vd. 2008 yılında yaptıkları çalışmada [21] elektronik kapsül kullanarak patlatma kaynaklı sarsıntıları en az düzeye indirmeyi etmeyi amaçlamışlardır. Elektriksiz ve elektronik ateşleme sistemleri kullanarak yapılan patlatmaların sarsıntı kayıtları alınmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Daha sonra optimizasyon çalışması yaparak tekrar patlatmalar gerçekleştirilmiş ve elektronik ateşleme sistemi kullanarak yaptıkları patlatma ile sarsıntı değerini düşürmüşlerdir.

Cardu vd. 2013 yılında yayınladıkları çalışmada elektronik kapsül ve elektriksiz kapsülün yapıları ve özellikleri hakkında bilgi vermiş ve 1997-2004 yılları arasında diğer araştırmacıların yer altı ve açık işletmelerde gerçekleştirdikleri patlatmalar ile elde ettikleri verilerin karşılaştırmasını yapmışlardır. Bunun neticesinde elektronik ateşleme sistemlerinin faydalarını belirtmişlerdir [22].

Bartley, Martin Limestone firmasının Weaverland sahasında 1999 yılında gerçekleştirilen üretim patlatmalarında; 3 patlatmada elektriksiz ateşleme sistemi kullanılarak, 6 patlatmada ise elektronik ateşleme sistemi kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın amacı, elektronik ve elektriksiz ateşleme sistemlerini karşılaştırılarak, elektronik ateşleme sisteminin kırıcı verimliliğini arttırdığını, kaya parçalanmasını iyileştirdiğini, kırma maliyetini azalttığını, titreşim hızlarını düşürdüğünü ve ekskavatör kazı verimini

arttırdığını ortaya çıkarmaktır. Yapılan çalışmalar neticesinde elektronik ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen patlatmalarda, kaya parçalanmasında %32'lik artış, kazı süresinde %25 azalma, birincil kırma maliyetlerinde %6-10 azalma gözlenmiştir. Elektronik ateşleme sistemlerinin titreşim üzerine faydasını gösteren net bir sonuca ulaşamamış olup, frekans değişiklikleri gözlenmiştir. Sonuç olarak yapılan çalışma, patlatma tasarımı optimizasyonu yapılmadan, yalnızca ateşleme sistemi değiştirilerek patlatma verimliliğinin artışı net bir şekilde ortaya koymaktadır [23].

Yurttaş vd. [12] 2015 yılında elektronik ateşleme sistemlerinin tanıtımını yapmak, avantaj ve dezavantajlarını anlatmak için İstanbul'da temel kazı patlatmalarında elektronik ateşleme sistemi kullanarak patlatmalar gerçekleştirmiş ve elektriksiz ateşleme sistemi ile yapılan patlatmalar ile karşılaştırma yapmıştır. Elektriksiz ateşleme sistemi ile 28 adet 4,5 metre boyunda delik, delikler arası mesafe 2,5 metre, sıralar arası mesafe 2,5 metre olacak şekilde; elektronik ateşleme sistemi ile 30 adet 4,5 metre boyunda delik, delikler arası mesafe 2,5 metre, sıralar arası mesafe 3,0 metre olacak şekilde tasarlanarak patlatmalar gerçekleştirilmiştir. Toplam şarj miktarı elektriksiz ateşleme sistemi patlatmasında 165 kg iken elektronik ateşleme sistemi patlatmasında 200 kg olmaktadır. Elektriksiz kapsüller ile yapılan patlatmada sıralar arası 42 ms gecikme, delikler arası 17 ms gecikme verilmiştir. Elektronik kapsüller ile yapılan patlatmada deliklere 9 ms aralıklarla gecikmeler tayin edilmiştir. Patlatma sonucunda elde edilen verilere göre dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, toplam patlayıcı şarjı artırılırken titreşim ve hava şokunda düşüş gözlenmiştir. Özellikle hava şokunda gerçekleşen düşüş patlatma kaynaklı çevresel şikâyetleri de azaltmıştır.

Atlıhan vd. [8] şehir içinde yapılan temel kazı çalışmalarında elektronik ve elektriksiz ateşleme sistemi ile patlatmalar yapılmış ve patlatma kaynaklı hava şokunun insan algısı üzerine etkilerini araştırmak amacıyla patlatma bölgesindeki insanlarla anket çalışması gerçekleştirmiştir. 3 elektronik ateşleme sistemi, 2 elektriksiz ateşleme sistemi kullanılarak gerçekleştirilen 5 patlatma için 68 adet anket doldurulmuştur. Anket verilerine göre elektronik ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen patlatmalarda gürültü rahatsızlığının elektriksiz ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen patlatmalara oranla %20

daha az olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu sonuç da elektronik ateşleme sistemini gürültü kontrolü açısından daha cazip kılmaktadır.

Güney Afrika'nın Durban şehrinde yer alan Coedmore kuvarsit ve kum ocağı, en yakın yerleşim birimi olan Clairwood'a 100 metre, ulusal bir otoyola ise 800 metre mesafede yer almaktadır. McFerren [24] patlatma kaynaklı çevresel etkilerin kontrol altına alınması ve komşuluk ilişkilerinin iyileştirilmesi için elektronik ateşleme sistemi ile denemeler yapmıştır. 5 yıl süren veri toplama aşamasında 156 patlatma elektriksiz ateşleme sistemi kullanılarak, 167 patlatma elektronik ateşleme sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiş ve birçok veri toplanarak analizler yapılmıştır. Patlatma kaynaklı titreşim verileri incelendiğinde elektronik ateşleme sistemi ile yapılan patlatmalarda minimum PPV (peak particle velocity-en yüksek titreşim hızı) değerinin %84, ortalama PPV değerinin %52, maksimum PPV değerinin %84 düştüğü gözlenmiştir. Frekanslar artarak yapılara hasar verme riskini düşürmektedir. Hava şoku verilerinde %3'lük bir düşüş gözlenmiştir.

Gana'da yer alan, açık ocak altın işletmesi olan Damang madeni saha jeolojisinden dolayı kaya parçalanmasının zor olduğu bir madendir. McFerren [24] yapmış olduğu çalışmada parçalanmayı iyileştirerek kırıcı ve yükleme verimini arttırmayı hedeflemiştir. Patlatmalarda delik sayısının fazla olmasından dolayı atım kesmesi ihtimalinin arttığı, gecikme konusunda problemler yaşanabildiği görülmüştür. Bu nedenlerle daha güvenilir ve uygun bir ateşleme sistemi ihtiyacı doğarak elektronik ateşleme sistemleri denenmiştir. Elektronik kapsül gecikmelerinin programlanabilir olması, ürün teslim süresi problemini ortadan kaldırmaya yetmektedir. Yapılan karşılaştırma sonucunda elektronik ateşleme sistemi kullanılarak gerçekleştirilen patlatmalarda profillitte %11, kumtaşında %21 ve doleritte %22'lik yükleyici verimliliği artmış, kırıcı verimliliğinde ise %10 artış gözlenmiştir.

Türkiye'de bir açık ocak altın madeninde kurulumu gerçekleştirilen proses tesisi için temel kazı patlatmalarında kullanılan elektronik ateşleme sistemi sayesinde patlatma kaynaklı sarsıntılar artırılmadan delik boylarında artış gerçekleştirilmiştir. Bu durum kazı hızını artırarak projedeki kazı işinin termin tarihinden 1 ay önce bitmesini sağlamıştır [25].

İlik vd. [7] bir yeraltı madeninde elektronik ateşleme sistemi ile gerçekleştirdiği galeri patlatmaları sonucunda elektriksiz ateşleme sistemi ile yapılan patlatmalara oranla doğrusal ilerleme miktarının %17,7 arttığını, fazla kazının ise %18,3 azaldığını saptamıştır.

Kara ve İlik [26] bir altın madeninde yaptıkları çalışmada elektriksiz ateşleme sistemi yerine aynı gecikmeler ile elektronik ateşleme sistemi kullanarak patlatmalar gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda patlatma kaynaklı sarsıntıları %50 den fazla azaltarak delik sayısında artışa gitmiş ve delik boylarını 2 katına çıkarmayı başarmışlardır.

Sarathy [27] çalışmasında elektronik ateşleme sistemlerinin uygulamalarından bahsetmektedir. Kuhar'ın elektronik ateşleme sistemleri ile kayaç parçalanmasını arttırdığını, blok kaya kütlelerini azalttığını, taş savrulmasını azalttığını, kazı hızını artırarak kırıcı çalışma enerjisini düşürdüğünü ve maliyetlere olumlu bir etki yarattığını belirtmektedir. Flanagan'ın yaptığı çalışma sonucunda [27] yer sarsıntılarının %21 azaldığını ve ayna sarsıntılarının %41 azaldığını belirtmektedir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında, dünyada 30 yıldan beri uygulanmakta olan ve cevher seyrelmesini önlemek, şev duraylılığını sağlamak, istenilen parça boyutunu elde etmek, titreşim ve hava şoku problemlerini en aza indirmek konularında oldukça başarılı patlatmalar tasarlanıp uygulanabilmesine olanak sağlayan elektronik ateşleme sisteminin sahada uygulamasını görmek ve sonuçları elektriksiz ateşleme sistemi ile yapılan benzer patlatmayla karşılaştırmak amaçlanmıştır.

Bu amacı gerçekleştirmek için, Ocak A ve Ocak B olarak adlandırılan iki farklı polimetallik sahada, elektronik ve elektriksiz patlatmalar gerçekleştirilmiştir. Elektronik ateşleme sistemi kullanılarak Ocak A'da 13.04.2021 tarihinde 1 patlatma, Ocak B'de 14.04.2021 tarihinde 2 patlatma gerçekleştirilmiştir. Bu patlatma sonuçları, 20.01.2021 tarihinde Ocak A ve 14.01.2021 tarihinde Ocak B'de aynı delik düzeninde ve aynı koşullarda elektriksiz ateşleme ile yapılan patlatma sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

3.1. Ocak A

Bu bölümde "Ocak A" sahasının jeolojik bilgilerine, sahada 13.04.2021 tarihinde elektronik ateşleme sistemi kullanılarak gerçekleştirilen ve 20.01.2020 tarihinde elektriksiz ateşleme sistemi kullanılarak gerçekleştirilen patlatmalara ve bu patlatmalardan elde edilen verilerin karşılaştırmalarına yer verilmiştir.

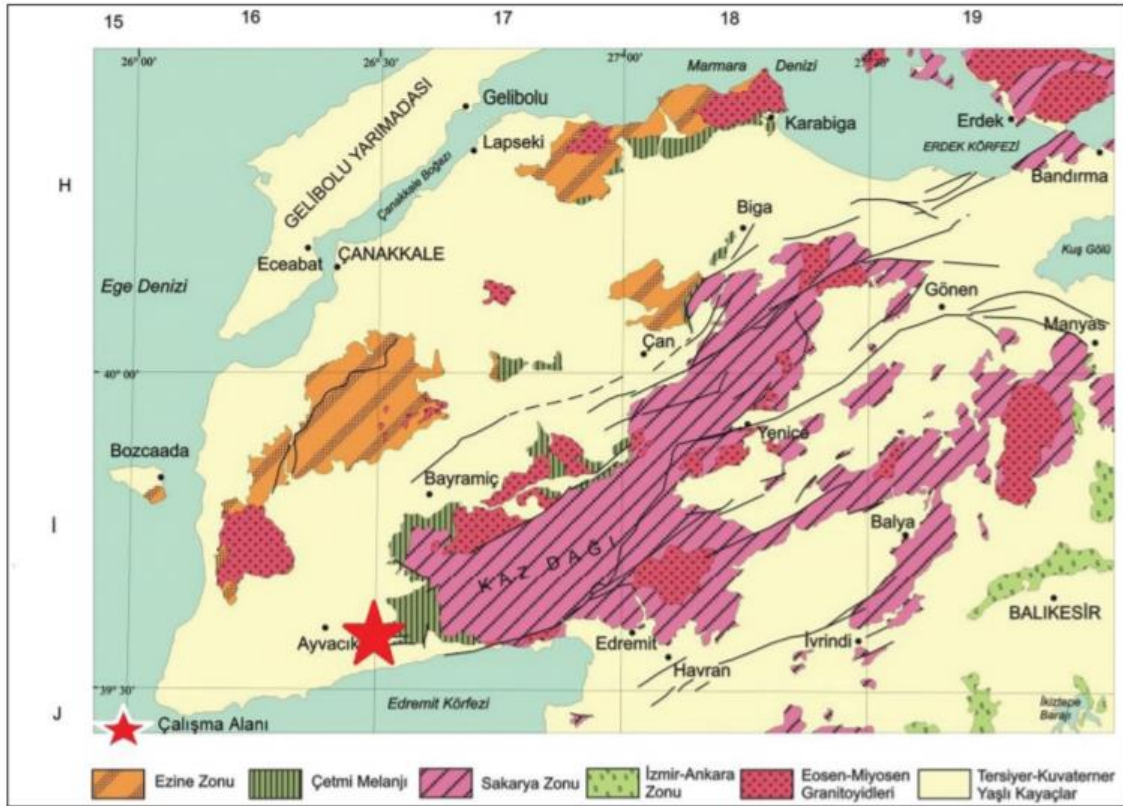
3.1.1. Saha Jeolojisi

Bölgenin tektonik zon haritası Şekil xx'te görülmektedir. Biga Yarımadasında Tersiyer öncesinde oluşan kaya toplulukları kireçtaşı (Jura), ofiyolitik melanj (Üst Kretase), Karakaya formasyonu (Triyas), Kazdağı metamorfikleri (Paleozoyik) ile temsil olunmaktadır (Şekil 3.2). Andezitik lav (Orta Eosen yaşlı) ve piroklastiklerden meydana gelen Beyçayır ve Edincik volkanitleri ile başlayan Tersiyer kayaları, bölgede geniş alanlar kaplamaktadır. Temel kayalarının üzerinde yer alan Beyçayır ve Edincik volkanitlerinin üzerine egemen olarak Şahinli formasyonu gelir. Şahinli formasyonu üzerinde fluviyal çökeller ve delta düzlüğünü temsil edilen Fıçıltepe Formasyonu uyumsuz olarak bulunmaktadır. Şahinli ve Fıçıltepe formasyonlarının üzerine nummulitli kireçtaşından oluşan Soğucak formasyonu gelmektedir [28].

Üst Eosen’de derinleşmeye başlayan zonda denizel turbiditik kayalardan oluşan Ceylan formasyonu ve bununla birlikte Dededağ volkanitleri oluşmuştur. Dededağ volkanitleri Korudere ignimbirit, Kazmalı tuf ve Hacıbekirler olmak üzere üç üyeye ayrılmıştır [28].

Çanakkale’nin Bayramiç, Çan ve Balıklıçeşme ilçeleri arasında geniş yayılım sergileyen ignimbiritler egemen kaya türünü oluşturmaktadır. Denizsel piroklastik akıntılar ile oluşan ignimbiritler kıltaşı, resifal kireçtaşı ve kumtaşından oluşan Beybaşı formasyonu, bazaltik lav ve piroklastiklerden oluşan Erdağ volkaniti ile üzerlenmektedir [28].

Eosen yaşlı volkanik tortullar üzerine önce Oligosen, sonra Miyosen yaşlı bazaltik, andezitik, dasitik ve riyolitik volkanitler ile bazı bölgelerde gösel çökeller uyumsuz olarak oluşmuştur. Çalışma alanı ve çevresinde gözlenen formasyon bazaltik bileşimli lav, piroklastik, volkaniklastik ve bazaltik dayklardan oluşan Bilaller Üyesi Şahinli Formasyonudur [28].



Şekil 3.1. Bölgenin tektonik zon haritası [28]

3.1.2. Elektronik Ateşleme Sistemi ile Gerçekleştirilen Patlatma

Elektronik ateşleme sistemi kullanılarak 200 delikli grup patlatması ve grup deliklerine referans, delik davranışını gözlemleyebilmek amacıyla 1 adet pilot deliği patlatması gerçekleştirilmiştir. Titreşim verilerini toplamak amacıyla da sismograflar yerleştirilmiştir (Şekil 3.3). Sismografların ve patlatma deliklerinin yerleşimi Şekil 3.4'te görülmektedir. Pilot delik patlatmasının amacı sismik dalgaların yayılma mekanizmasını daha temiz veriler ile incelemektir. Grup patlatmasından elde edilen verilerin karmaşıklığının olmadığı, temiz bir şekilde dalga formunun görülebilmesi için yapılmaktadır.



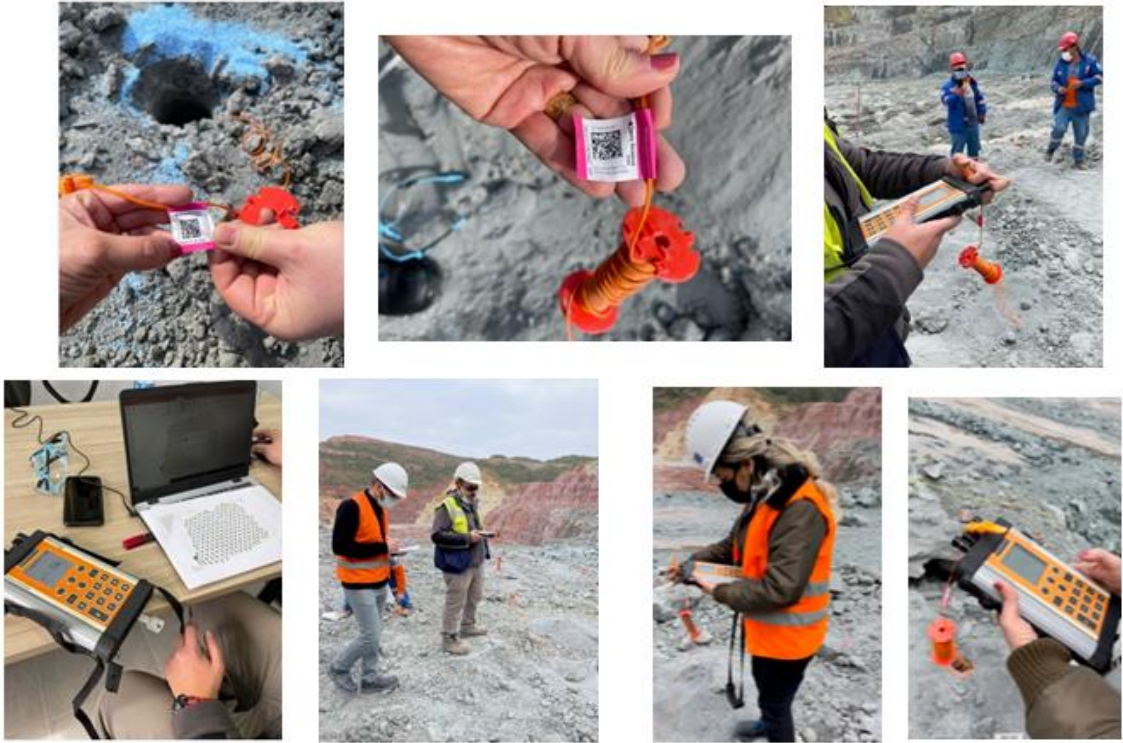
Şekil 3.3. Sismografların yerleştirilmesi

Yerleştirilen 5 adet sismograf ile pilot ve grup patlatmasından kaynaklı sismik dalgalar kayıt altına alınmıştır. Elde edilen veriler ile elektronik ateşleme sistemi kullanılarak yapılan patlatma sonucunda ortaya çıkan sismik dalgaların analizi yapılmış ve daha önce elektriksiz ateşleme sistemi ile yapılan patlatmadan alınan verilerle karşılaştırılmıştır.

Grup patlatması Kapeks firması tarafından, "Davey Tronic" elektronik ateşleme sistemi ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.5). Patlatma bilgileri ve patlatmaya dair delik geometrisi Çizelge 3.1.'de verilmektedir.



Şekil 3.4. Sismografların ve grup deliklerinin yerleşimi

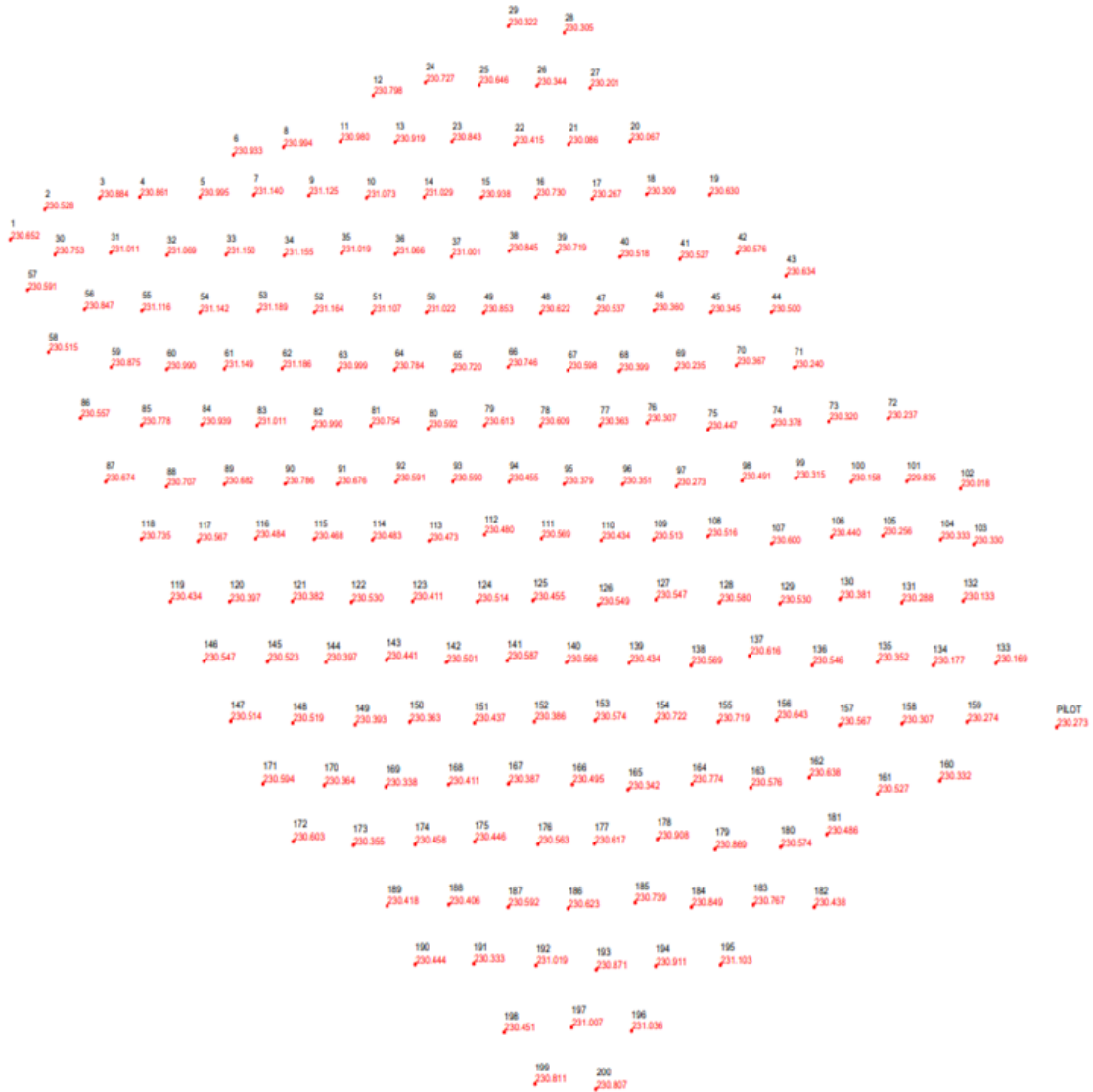


Şekil 3.5. "Davey Tronic" elektronik ateşleme sistemi ile saha uygulaması

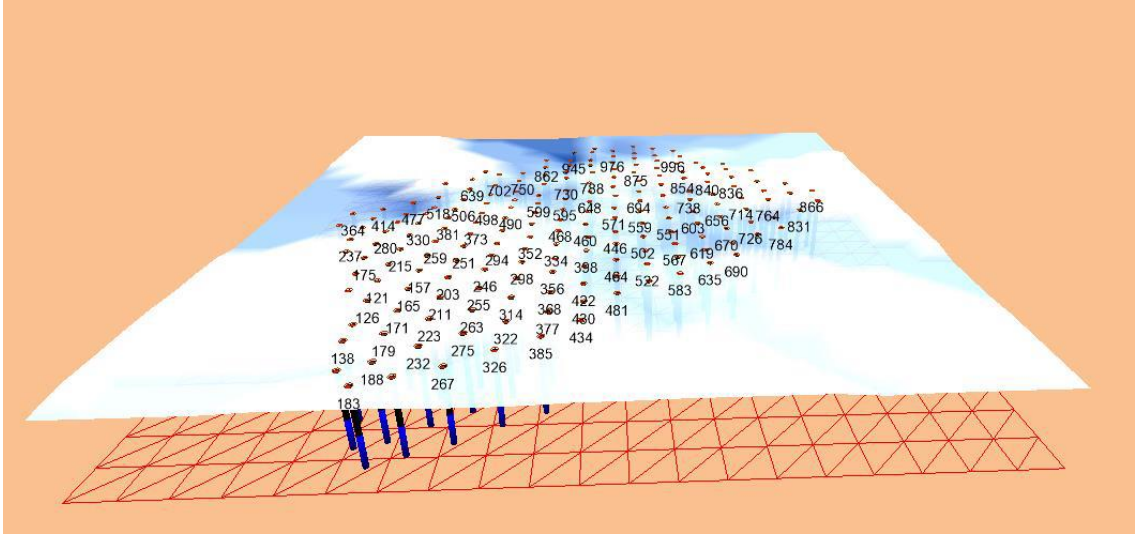
Çizelge 3.1. Ocak A, elektronik ile yapılan patlatmanın bilgileri ve delik geometrisi

Patlatma Adı	Delik Çapı, mm	Ortalama Delik Boyu, m	Patlatma Geometrisi	Patlayıcı Miktarı, kg	Ateşleme Elemanı	Delik sayısı
Grup	102	5,92	Yük Mesafesi - 2,5 m Delikler Arası Mesafe - 3 m	ANFO - 18 kg Kapsüle Duyarlı 0,5 kg	Elektronik Kapsül	200
Pilot	102	5,30	-	ANFO - 18 kg Kapsüle Duyarlı 0,5 kg	Elektriksiz Kapsül	1

Deliklere uygulanan gecikme düzeni Şekil 3.6, gecikme tasarımı Şekil 3.7’de gösterilmektedir.

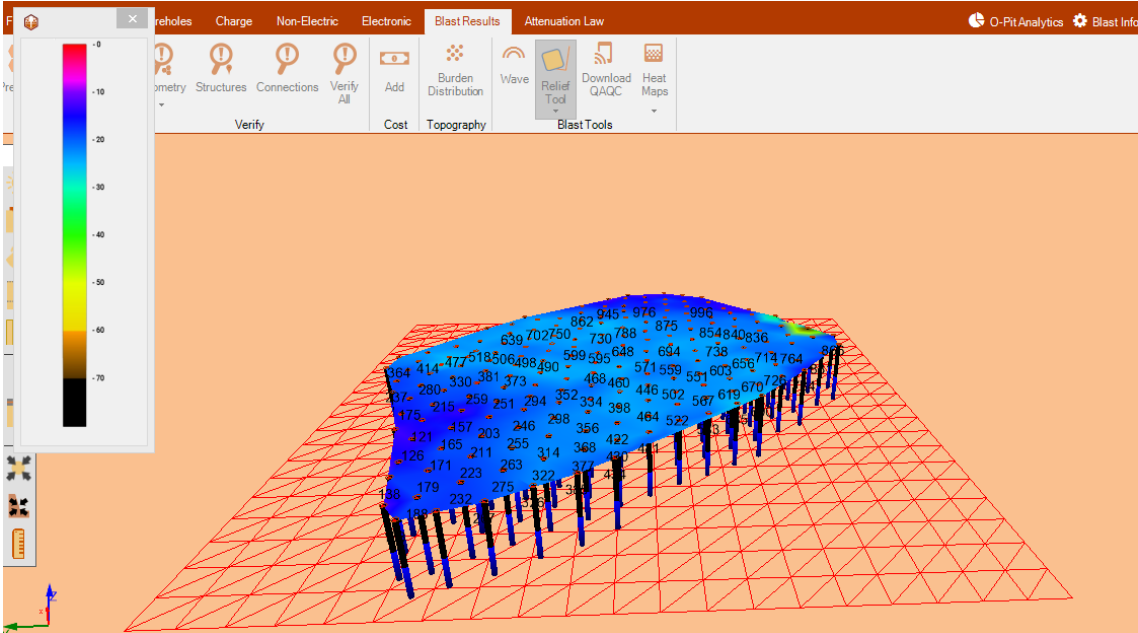


Şekil 3.6. Deliklere uygulanan elektrik kapsül düzeni



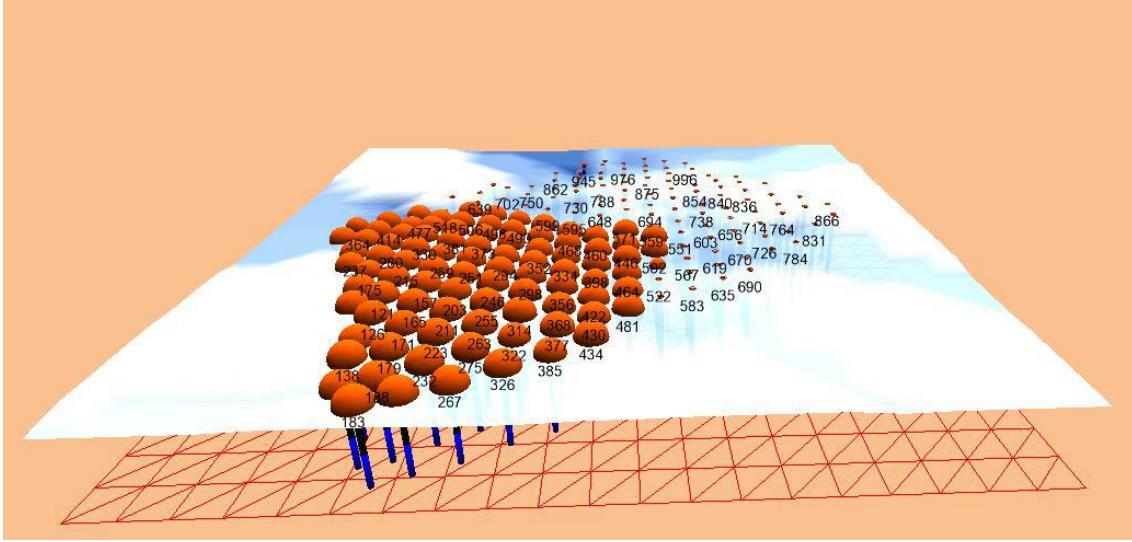
Şekil 3.7. Deliklere uygulanan elektronik kapsül gecikmeleri

Gerçekleştirilen patlatmada amaç patlatma kaynaklı sismik dalgaların şevlere etkisinin ve yığının hareketinin en alt düzeye indirgenmesidir. Gecikme tasarımı yapılırken bu durum göz önünde bulundurularak burden – relief (yük hafifletmesi, ms/m) 20 ms/m olacak şekilde gecikmeler verilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Burden – Relief (yük hafifletmesi) ekran görüntüsü

Tasarlanan gecikmelere göre O-Pit Blast programında deliklerin patlama sırası Şekil 3.9’da gösterilmektedir. Grup ve pilot patlatmasından kaynaklanan sismik dalgaların yerleştirilen sismograflar ile ölçülen parçacık hızı ve frekans değerleri Çizelge 3.2’de gösterilmektedir.



Şekil 3.9. O-pit Blast simülasyonu ile deliklerin patlama sırası

Çizelge 3.2. Elektronik ateşleme sistemi ile yapılan pilot ve grup patlatmalarından kaydedilen titreşim ve frekans değerleri

Sismograf	Patlatma	Ölçüm Mesafe m	T mm/s	V mm/s	L mm/s	PVS mm/s	Frekans Hz
13368	Pilot	5	151.100	170.100	139.600	190.400	2
	Grup	10	44.830	78.360	81.530	93.700	33
14465	Pilot	50	8.890	44.830	19.810	48.420	68
	Grup	60	22.990	60.070	33.780	61.300	51
12269	Pilot	25	27.430	29.210	26.030	34.110	30
	Grup	35	36.960	22.350	39.620	40.590	33
12270	Pilot	75	4.826	6.604	5.461	8.683	25
	Grup	85	8.890	10.030	7.112	10.510	46
micro	Pilot	107	3.271	3.176	3.673	4.310	29
	Grup	75	7.716	7.409	7.015	8.505	39

Ocak A’da elektronik ateşleme sistemi kullanılarak yapılan bu patlama ile hemen hemen aynı koşulların sağlandığı fakat elektriksiz ateşleme sistemi kullanılarak gerçekleştirilen patlatmanın sismik ölçümleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 3.3’te elektriksiz ateşleme

sistemi kullanılarak gerçekleştirilen patlatmadan alınan sismik kayıtlar verilmiştir. Elektriksiz ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen patlatmanın gecikme tasarımı yapılırken delikler arası gecikme 25 milisaniye, sıralar arası gecikme 42 milisaniye verilmiştir.

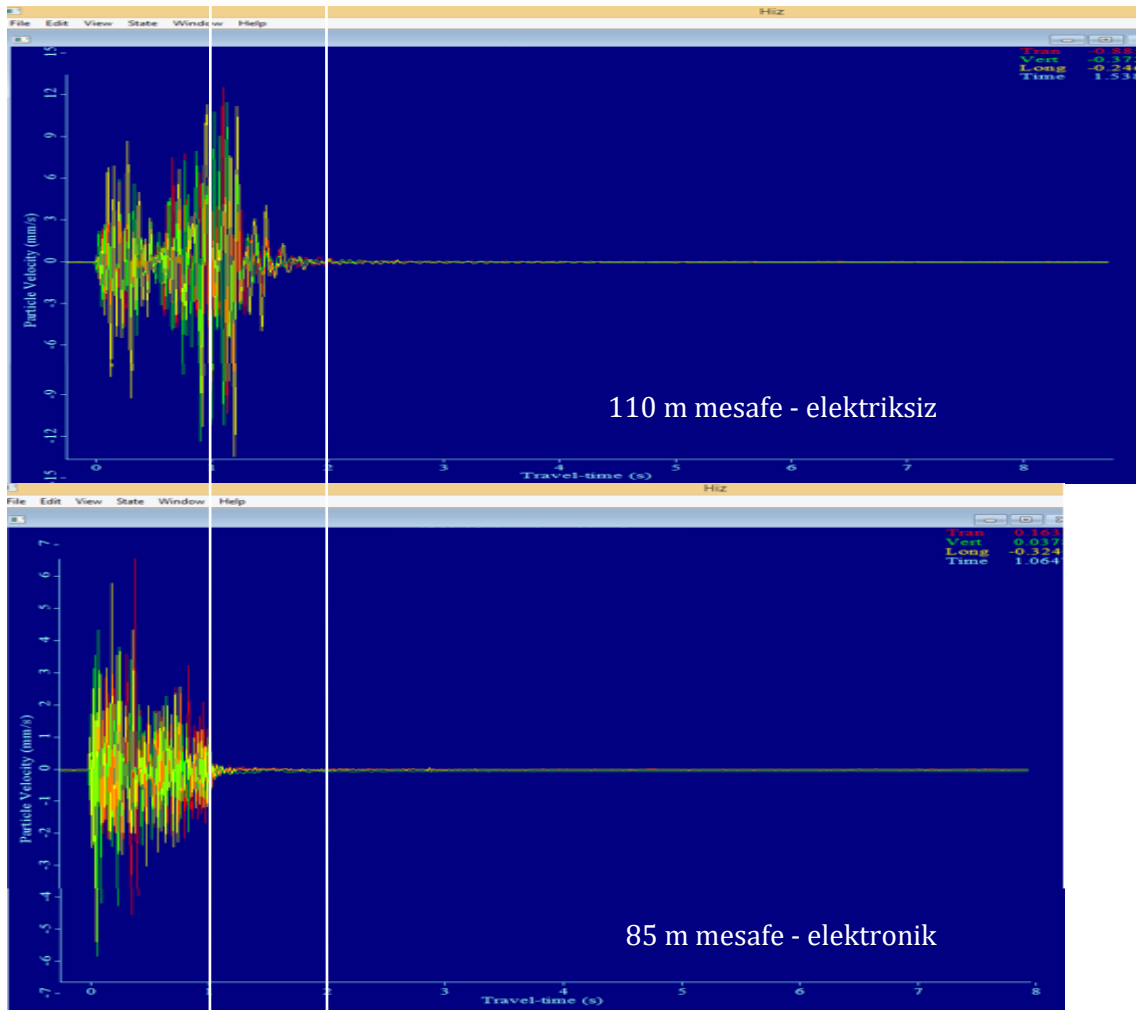
Çizelge 3.3. Elektriksiz ateşleme sistemi ile yapılan pilot ve grup patlatmalarından kaydedilen titreşim ve frekans değerleri

Sismograf	Patlatma	Ölçüm Mesafesi m	T mm/s	V mm/s	L mm/s	PVS mm/s	Frekans Hz
13368	Pilot Grup	100	1,016	0,762	1,143	1,150	8,5
		180	10,290	7,493	8,128	11,200	10
14465	Pilot Grup	253	2,032	3,302	4,445	4,783	19
		166	3,810	5,050	4,953	6,458	26
micro	Pilot Grup	171	1,734	1,332	5,052	5,293	16
		110	14,49	15,98	14,90	19,16	18

Çizelge 3.2’de gösterilen elektronik ateşleme sistemi uygulamasında, patlatmaya 85 metre mesafeye yerleştirilen 12270 isimli sismograf kayıtlarına göre vektörel toplamda en yüksek titreşim hızının 10.5 mm/s ve frekans değerinin 46 Hz olduğu görünmektedir. Çizelge 3.3’te, aynı koşullarda elektriksiz ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen patlatmada, patlatmaya 110 metre mesafeye yerleştirilen micro isimli sismograf kayıtlarına göre vektörel toplamda en yüksek titreşim hızının 19.16 mm/s, frekans değerinin 18 Hz olduğu görünmektedir. Elektriksiz ateşleme sistemi kullanılarak gerçekleştirilen patlatmadan kaynaklı sismik dalganın sismografin daha uzak mesafeden ölçüm yapmasına rağmen elektronik ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen patlatmadan kaynaklı sismik dalgaya göre %82,48 daha fazla titreşim gözlenmektedir.

Patlatmalar frekans açısından incelendiğinde ise, elektronik ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen patlatmalarda, literatürde de denildiği gibi [9, 22, 29] daha yüksek frekanslı sismik dalgalar oluşmaktadır. Yüksek frekanslı dalgalar hızlı soğuruldukları için titreşime neden olarak zarar verme özelliklerini yitirmektedirler. Bu nedenle, şev duraylılığına tehdit oluşturmadan hızlıca soğurulma yöneliminde olmaları istenilen bir özelliktir. Yapılar açısından değerlendirildiğinde de yüksek frekanslı dalgalar, her zaman düşük frekanslı dalgalara tercih edilirler. Çünkü düşük frekanslı dalgalar yapıların doğal frekansı ile uyumlandıkları takdirde yapıları rezonansa sokarak daha büyük titreşime ve

dolayısıyla hasara neden olurlar. Patlatma kaynaklı sismik dalgaların yarattığı titreşim süresi çok önemlidir. Düşük genlikli olup da uzun süreli titreşime neden olan sismik dalgaların şevlere ve yapılara çok daha büyük zarar verdiği bilinmektedir. Elektronik ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen uygulamalarda, gecikmelerin 1-15000 ms gibi çok geniş bir aralıkta seçilebilmesi ve bu sürelerdeki sapmaların 0,1 ms gibi çok düşük olması, patlatmanın belirlenen zamanda tam olarak gerçekleşmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla patlamanın tamamlanma süresini ve sismik dalgaların yaratacağı titreşim süresini tam olarak ayarlanabilmektedir. Bu elektronik ateşleme sistemi uygulamasında patlatma kaynaklı titreşimlerin 1 saniyeyi geçmemesi hedeflenmiş ve bu kapsamda yapılan modelleme neticesinde belirlenen gecikmeler uygulanmıştır. Şekil 3.10'da görüldüğü gibi titreşim süresi 1 saniye sürmüştür. Elektriksiz ateşleme sistemi patlatmasında ise 2 saniye hedeflenirken titreşimlerin tam olarak 2 saniyede bitmediği gözlenmektedir.



Şekil 3.10. Sismograf ölçümlerinin zamana bağlı en yüksek parçacık hızı grafiği

Bu çalışmada burden relief (yük hafifletmesi) 20 ms/m olacak şekilde (Şekil 3.8) ve patlamanın 1 saniye içinde bitmesi hedeflenerek gecikmeler verilmiştir (Şekil 3.7). Bu gecikme tasarımı patlatmanın şok enerjisinin yüksek olmasına sebep olmuştur. Aynı sahada, aynı delik sayısı ve patlayıcı miktarı ile elektriksiz ateşleme sistemi kullanılarak yapılan patlatmanın şok enerjisinin düşük olduğu görülmektedir. Elektronik ateşleme sistemi kullanılarak gerçekleştirilen patlatmanın patlatma anı Şekil 3.11’de, sonrasındaki görüntü Şekil 3.12’de vermektedir.



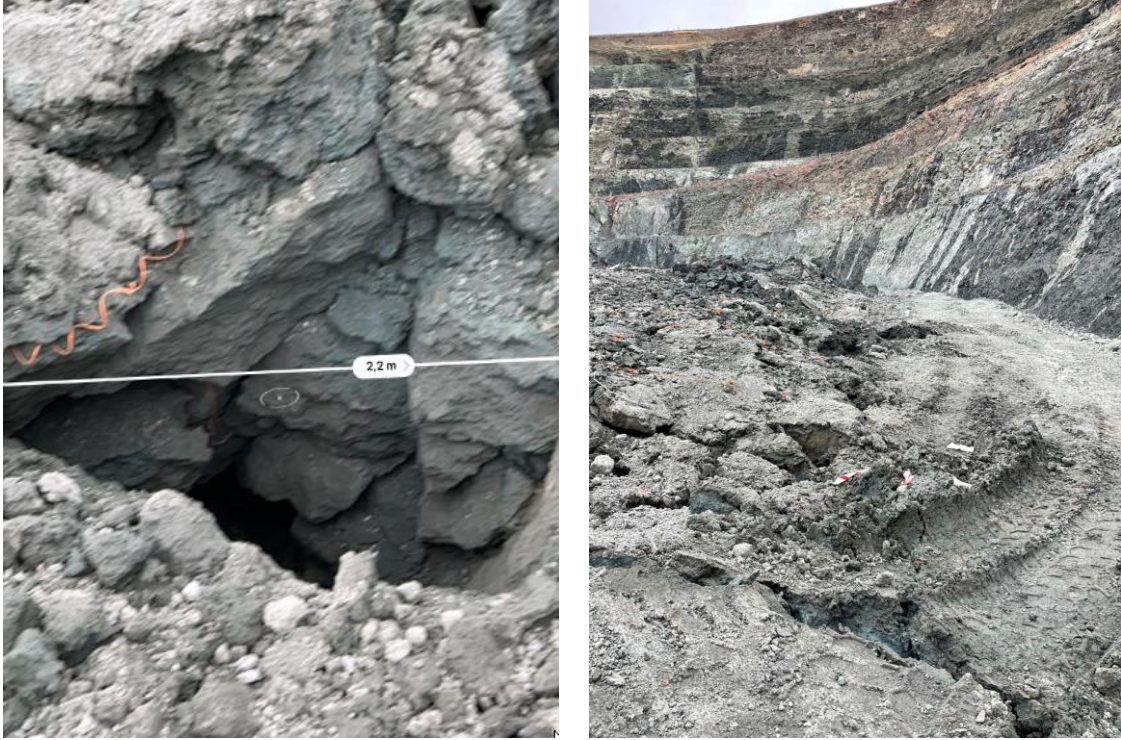
Şekil 3.11. Elektronik ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen patlatma anı



Şekil 3.12. Elektronik ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen patlatma sonrası

Patlatma sonrasında geriye doğru kırma ve gerilme çatlaklarının fazla olmadığı, hatta Şekil 3.13'te görüldüğü gibi grubun arka sırasındaki delikten geriye doğru 2,2 m ile kırmanın sonlandığı belirlenmiştir. Bu da nihai şevlere yaklaşıldığında fazla kırma ve gerilme çatlakları yaratarak şevin örselenmesinin önüne geçileceği anlamına gelmektedir ki bu durum yapısal süreksizlik içeren ocaklarda şev stabilitesi ve kama tipi kaymayı önlemek için çok büyük önem arz etmektedir.

Elektriksiz ateşleme sistemi kullanılarak gerçekleştirilen patlatmalarda bu kadar düzgün kesme yapılmadığı, geriye doğru kırma ve gerilme çatlaklarının düzensiz ve fazla miktarda olduğu gözlenmiştir.



Şekil 3.13. Elektronik patlatma sonrası gerilme çatlakları

3.2. Ocak B

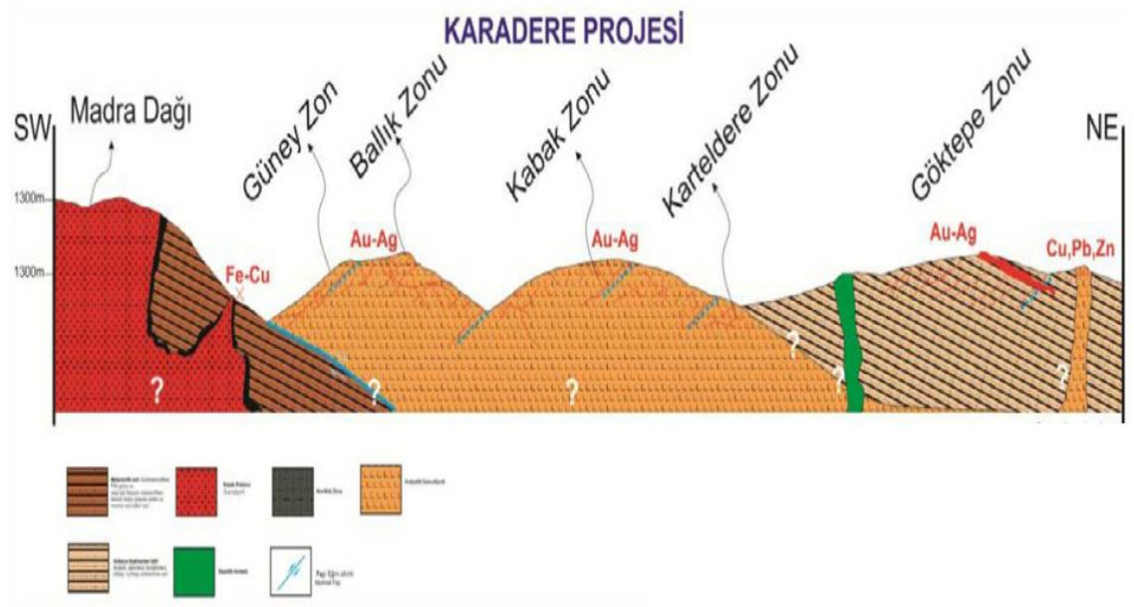
Bu bölümde “Ocak B” sahasının jeolojik bilgileri, sahada 14.04.2021 tarihinde gerçekleştirilen elektronik ve 14.01.2021 tarihinde gerçekleştirilen elektriksiz ateşleme sistemi uygulamalarına ve karşılaştırmalarına yer verilmiştir.

3.2.1. Saha Jeolojisi

Yapılan çalışmalar sonucunda çalışma alanı kuzeyden güneye olacak şekilde Gökdere Zonu, Karteldere Zonu, Kabak Zonu, Ballık Zonu ve Güney Zonu olmak üzere 5 temel birime ayrılmıştır.

Göktepe Zonu dışında kalan zonlar andezitik subvolkaniklere dâhil olmaktadır. Sahanın Kuzey kesimlerde andezitik volkanoklastik seri geniş bir alanda yayılım göstermektedir. Bu andezitik volkanoklastik seri andezitik lav breş, andezitik lav ve tüflerin oluşturduğu volkano sedimenter seridir.

K-KD kesimlerde domlar şeklinde bazaltik andezitler bulunmaktadır. Permo-Triyas metamorfik seri, saha tabanında, güney kesimlerine yayılmıştır. Bu metamorfik seri, üst kesimlerinde epiklastiklerden başlayıp aşağılara doğru serizit, kalk ve kuvars şistlerinden oluşmaktadır. Oligosen-Miyosen yaşlı granodivorit metamorfik seri içerisine sokulum yapmaktadır (Şekil 3.14) [30].



Şekil 3.14. Ocak B şematik enine kesit [30]

Sahanın jeolojik modeline göre nihai şevlerin oluşturulacağı jeolojik birimlerin neredeyse hepsi Volkanik ve Metamorfik kaya kütlelerinden oluşmaktadır. Sahanın güneyinde bulunan zon tabanında metamorfik, kuzey kesimlerinde volkano sedimanterler bulunmaktadır.

Sahanın kalan kısımlarında volkanikler bulunmaktadır. Bu sebeple sahanın jeolojik birimleri, ayrışmış andezit (PA_W), ayrışmamış andezit (PA), bazaltik andezit (VOL_SDM) ve metamorfik (MET) olmak üzere 4 jeoteknik gruba ayrılmıştır.

Pasa patlatması PA_W, cevher patlatması ise VOL_SDM jeolojik birimlerinde gerçekleştirilmiştir.

Patlatma yapılan kaya kütlelerine ait jeoteknik parametreler Çizelge 3.4'te verilmektedir.

Çizelge 3.4. Kaya kütlelerinin jeoteknik parametreleri [30]

Jeoteknik Birim	γ (kN/m ³)	σ_{ci} (MPa)	c_i (MPa)	ϕ_i (°)	GSI	mb	Em (MPa)	v	cm (kPa)	ϕ_m (°)
PA_W	23	27,83	3,85	46,79	43	0,2	355,36	0,24	361	20,22
VOL_SDM	23	53,84	8,72	52,81	48	0,22	780,76	0,19	522	25,42

3.2.2. Elektronik Ateşleme Sistemi ile Gerçekleştirilen İlk Patlatma

Sahada gerçekleştirilen patlatmada Kırılıoğlu firmasının üretimini yaptığı ilk yerli elektronik ateşleme sistemi olan detEX kullanılmıştır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Det-Ex elektronik ateşleme sistemi ile saha uygulaması

Pasa bölgesinde 202 adet grup, 1 adet pilot patlatma deliği olmak üzere 203 adet delikte elektronik kapsül patlatılmıştır. Diğer ocakta olduğu gibi grup patlatmasından herhangi bir deliğin davranışını belirleyebilmemizi sağlayan tek deliklik pilot patlatması uygulaması yapılmıştır. Pilot delik patlatmasının amacı sismik dalgaların yayılma mekanizmasını daha temiz veriler ile incelemektir. Grup patlatmasından elde edilen verilerin karmaşıklığının olmadığı, temiz bir şekilde dalga formunun görülebilmesi için yapılmaktadır. Ocakta patlatma yapılacak pasa bölgesinde heyelan tehlikesi bulunduğu için gecikme tasarımı patlatmadan kaynaklanan sismik dalgaların şevlere olan etkisini en aza indirerek şevlerde oluşacak titreşimi risk oluşturmayacak şekilde yapılmalıdır. Yerleştirilen 5 adet sismograf (Şekil 3.16) ile grup ve pilot patlatmalarından kaynaklanan sismik dalgalar kayıt altına alınmıştır. Alınan kayıtlar ile sismik dalgaların analizi ve daha önce elektriksiz ateşleme sistemi ile aynı bölgede yapılan patlatmadan alınan sismik kayıtların karşılaştırılması yapılabilecektir.



Şekil 3.16. Sismografların yerleştirilmesi

Patlatma bilgileri ve patlatmaya dair delik geometrisi Çizelge 3.5’te verilmektedir.

Çizelge 3.5. Ocak B’de elektronik ateşleme sistemi ile yapılan ilk patlatmanın bilgileri ve delik geometrisi

Patlatma Adı	Delik Çapı mm	Ortalama Delik Boyu m	Patlatma Geometrisi	Patlayıcı Miktarı kg	Ateşleme Elemanı	Delik sayısı
Grup	102	5,40	Yük Mesafesi 2,8 m Delikler Arası Mesafe 3,2 m	ANFO 16,5 kg Kapsüle Duyarlı 0,5 kg	Elektronik Kapsül	202
Pilot	102	5,40	-	ANFO 16,5 kg Kapsüle Duyarlı 0,5 kg	Elektronik Kapsül	1

Patlatma tasarımında orta çekme uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımda aynaya yakın olan deliklere 71 ms'lik gecikmeler ile bir hat çekilmiş ve geriye doğru sıralanan hatlar üzerine 13 ms'lik gecikmeler uygulanmıştır. Ateşleme gerçekleştirildikten 71 ms sonra ilk delik patlarken son deliğin patlaması 2253 ms sonra gerçekleşmektedir. Patlatmanın süresi 2182 ms olmaktadır. Yerleştirilen sismografların yerleri ile grup ve pilot patlatma deliklerinin yerleri Şekil 3.19'da gösterilmektedir. Elektronik ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen patlatma sonucunda ortaya çıkan patlama enerjisi ile ilgili analiz yapabilmek ve bunları elektriksiz ateşleme sistemi ile aynı koşullarda gerçekleştirilen patlatma sonuçları ile karşılaştırmak için sismograflar yakın mesafelere yerleştirilmiştir.



Şekil 3.19. Pilot ve grup patlatmasının ve sismografların yerleşimi

Elektronik ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen grup ve pilot patlatmasından kaynaklanan sismik dalgaların yerleştirilen sismograflar ile ölçülen parçacık hızı ve frekans değerleri Çizelge 3.6’da gösterilmektedir.

Çizelge 3.6. Elektronik ateşleme sistemi ile yapılan pilot ve grup patlatmalarından kaydedilen titreşim ve frekans değerleri

Sismograf	Patlatma	Ölçüm Mesafe, m	T mm/s	V mm/s	L mm/s	PVS mm/s	Frekans Hz
12270	Pilot Grup	6	5.461	27.050	19.050	27.700	60
		6	53.470	64.200	53.210	67.700	38
13368	Pilot Grup	25	5.588	5.461	6.858	8.592	45
		35	20.570	24.640	21.460	27.770	32
12269	Pilot Grup	128	-	-	-	-	-
		112	3.302	3.810	5.588	6.085	13
14465	Pilot Grup	123	-	-	-	-	-
		126	5.715	4.953	9.144	9.219	14
micro	Pilot Grup	431	-	-	-	-	-
		425	1.340	1.537	1.554	1.925	14

Elektronik ateşleme sisteminin uygulandığı Ocak B’de, aynı koşullarda elektriksiz ateşleme sistemi kullanılarak yapılan ve sismik ölçümleri alınan patlatmayla, elektronik ateşleme sistemi uygulamasının yapıldığı patlatma karşılaştırılmıştır. Çizelge 3.7’de elektriksiz ateşleme sistemi kullanılan patlatmadan alınan sismik ölçüm değerleri verilmektedir. Delik sayısı, elektronik ateşleme sistemi uygulamasındaki ile aynıdır. Elektriksiz ateşleme sistemi kullanılan patlatmada delikler arası gecikme 42 ms, sıralar arası gecikme 67 ms verilmiştir. Sıralar arası mesafe 3,5 metre, delikler arası mesafe 3 metre bırakılarak delik tasarımı uygulanmıştır.

Çizelge 3.7. Elektriksiz ateşleme sistemi ile yapılan pilot ve grup patlatmalarından kaydedilen titreşim ve frekans değerleri

Sismograf	Patlatma	Ölçüm Mesafe, m	T mm/s	V mm/s	L mm/s	PVS mm/s	Frekans Hz
14465	Grup	6	55,12	64,54	57,28	83,79	10
micro	Grup	30	15,68	22,09	36,04	38,32	15

Çizelge 3.6’da gösterilen elektronik ateşleme sistemi uygulamasında, patlatmadan 6 m uzağa yerleştirilen 12270 isimli sismografta, vektörel toplamda en yüksek titreşim hızı 67,7 mm/s, frekans değeri 38 Hz ölçülmüştür. Çizelge 3.7’de aynı koşullarda elektriksiz

ateşleme sistemi ile yapılan patlatmada, patlatmaya 6 m uzağa yerleştirilen 14465 isimli sismografa vektörel toplamda en yüksek titreşim hızı 83,79 mm/s, frekans değeri 10 Hz ölçülmüştür. Elektriksiz ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen patlatmada, patlatmadan kaynaklı sismik dalga aynı mesafede %23,50 daha fazla titreşime sebebiyet vermiştir.

Çizelge 3.6'da gösterilen elektronik ateşleme sistemi uygulamasında, patlatmadan 35 m uzağa yerleştirilen 13638 isimli sismografa, vektörel toplamda en yüksek titreşim hızı 27,7 mm/s, frekans değeri 32 Hz ölçülmüştür. Çizelge 3.7'de, aynı koşullarda elektriksiz ateşleme sistemi ile yapılan patlatmada, patlatmaya 30 m uzağa yerleştirilen micro isimli sismografa vektörel toplamda en yüksek titreşim hızı 38,32 mm/s, frekans değeri 15 Hz ölçülmüştür. Elektriksiz ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen patlatmada, patlatmadan kaynaklı sismik dalga aynı mesafede %35,71 daha fazla titreşime sebebiyet vermiştir. Bu çalışmada burden relief (yük hafifletmesi) 40 ms/m olacak şekilde ve patlamanın 2,5 saniye içinde bitmesi ve titreşimlerin olabilecek en düşük seviyede olması hedeflenerek gecikmeler verilmiştir. Bu amaca hizmet eden gecikmeler (Şekil 3.18) şok enerjisinin düşük olmasına, patlatma enerjisinin kırmadan ziyade ötelemeye harcanmasına yol açmıştır (Şekil 3.20). Aynı sahada, aynı delik sayısı ve patlayıcı miktarı ile elektriksiz ateşleme sistemi kullanılarak yapılan patlatmanın şok enerjisi yüksek olmuştur.



Şekil 3.20. Elektronik ateşleme sistemi ile yapılan patlatma anı ve sonrası

Patlatma sonrasında geriye doğru kırma ve gerilme çatlaklarının fazla olmadığı, hatta Şekil 3.21’de görüldüğü gibi grubun arka sırasındaki delikten geriye doğru 2,67 m ile kırmanın sonlandığı belirlenmiştir. Bu da nihai şevlere yaklaşıldığında fazla kırma ve gerilme çatlakları yaratarak şevin örselenmesinin önüne geçileceği anlamına gelmektedir ki bu durum yapısal süreksizlik içeren ocaklarda şev stabilitesi ve kama tipi kaymayı önlemek için çok büyük önem arz etmektedir.



Şekil 3.21. Patlatma sonrası gerilme çatlakları

3.2.3. Elektronik Ateşleme Sistemi ile Gerçekleştirilen İkinci Patlatma

Cevher bölgesinde 199 adet grup, 1 adet pilot patlatma deliği olmak üzere 200 adet delikte elektronik kapsül kullanılarak patlatma yapılmıştır. Grup patlatmasından herhangi bir deliğin davranışını belirleyebilmemizi sağlayan tek deliklik pilot patlatma uygulaması yapılmıştır. Pilot delik patlatmasının amacı sismik dalgaların yayılma mekanizmasını daha temiz veriler ile incelemektir. Grup patlatmasından elde edilen verilerin karmaşıklığının olmadığı, temiz bir şekilde dalga formunun görülebilmesi için yapılmaktadır. Ocakta patlatma yapılacak pasa bölgesinde heyelan tehlikesi bulunduğu için gecikme tasarımı patlatmadan kaynaklanan sismik dalgaların şevlere olan etkisini en aza indirerek şevlerde oluşacak titreşimi risk oluşturmayacak şekilde yapılmalıdır.

Yerleştirilen 5 adet sismograf (Şekil 3.22) ile grup ve pilot patlatmalarından kaynaklanan sismik dalgalar kayıt altına alınmıştır. Alınan kayıtlar ile sismik dalgaların analizi ve daha önce elektriksiz ateşleme sistemi ile aynı bölgede yapılan patlatmadan alınan sismik kayıtların karşılaştırılması yapılabilecektir.



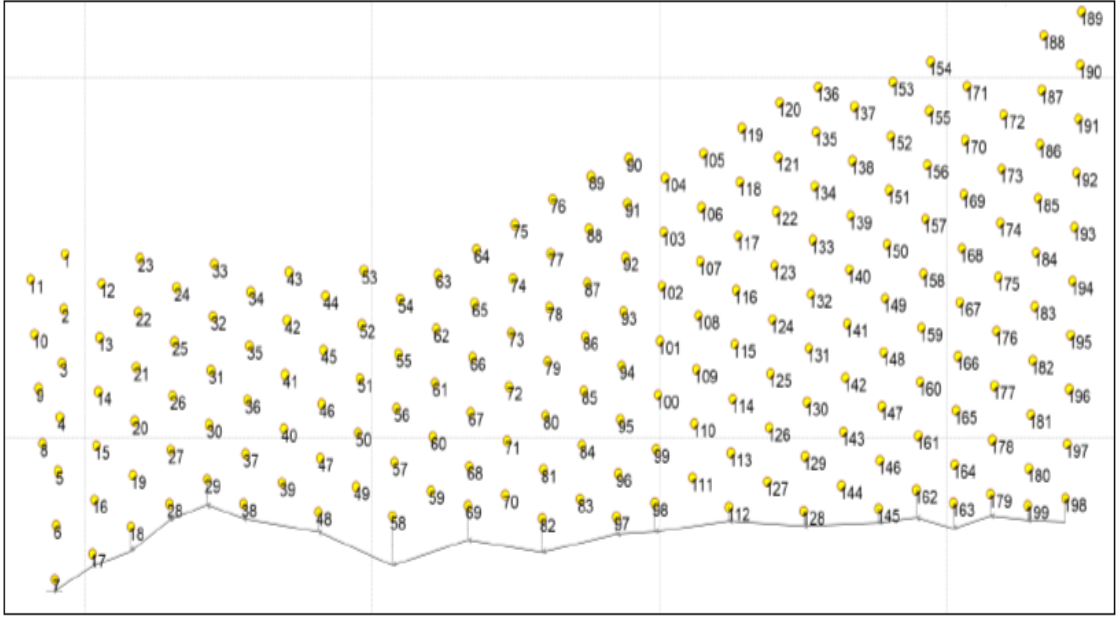
Şekil 3.22. Sismografların yerleştirilmesi ve patlatma grubu

Patlatma bilgileri ve patlatmaya dair delik geometrisi Çizelge 3.8’de verilmektedir.

Çizelge 3.8. Ocak B elektronik ateşleme sistemi ile yapılan patlatmanın bilgileri ve delik geometrisi

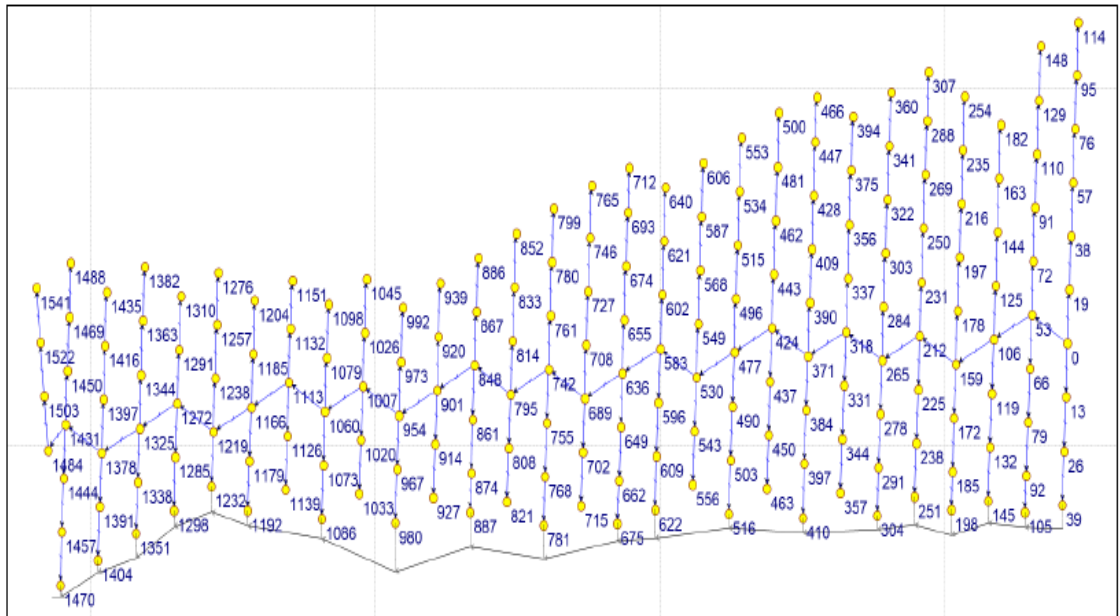
Patlatma Adı	Delik Çapı mm	Ortalama Delik Boyu m	Patlatma Geometrisi	Patlayıcı Miktarı kg	Ateşleme Elemanı	Delik sayısı
Grup	102	5,0	Yük Mesafesi 2,6 m Delikler Arası Mesafe 3,0 m	ANFO 14,5 kg Kapsüle Duyarlı 0,5 kg	Elektronik Kapsül	199
Pilot	102	5,00	-	ANFO 14,5 kg Kapsüle Duyarlı 0,5 kg	Elektronik Kapsül	1

Elektronik ateşleme sistemi ile yapılan patlatmanın deliklerin sırası Şekil 3.23’te yer almaktadır.



Şekil 3.23. Deliklerin sırası

Deliklere uygulanan elektronik kapsül gecikmeleri ve gecikmelerin takip ettikleri hat Şekil 3.24'te görülmektedir.



Şekil 3.24. Deliklere uygulanan elektronik kapsül gecikmeleri

Patlatma tasarımı orta çekme uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımda orta sırada yer alan deliklere 53 ms'lik gecikme artışı ile bir hat çekilmiş, aynaya doğru sıralanan hatlar üzerine 13 ms'lik ve geriye doğru sıralanan hatlar üzerine 19 ms'lik artışlar ile gecikmeler uygulanmıştır.

Ateşleme gerçekleştirildiği gibi, 0 ms gecikme tayin edilen ilk delik patlarken son deliğin patlaması 1541 ms sonra gerçekleşmektedir. Patlatmanın süresi 1541 ms olmaktadır. Yerleştirilen sismografların yerleri ile grup ve pilot patlatma deliklerinin yerleri Şekil 3.25'te gösterilmektedir. Elektronik ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen patlatma sonucunda ortaya çıkan patlama enerjisi ile ilgili analiz yapabilmek ve bunları elektriksiz ateşleme sistemi ile aynı koşullarda gerçekleştirilen patlatma sonuçları ile karşılaştırmak için sismograflar yakın mesafelere yerleştirilmiştir.



Şekil 3.25. Patlatma delikleri ve sismografların yerleşim

Grup ve pilot patlatmasından kaynaklanan sismik dalgaların yerleştirilen sismograflar ile ölçülen parçacık hızı ve frekans değerleri Çizelge 3.9’da gösterilmektedir.

Çizelge 3.9. Elektronik patlatmalarından kaydedilen titreşim değerleri

Sismograf	Patlatma	Ölçüm Mesafe, m	T mm/s	V mm/s	L mm/s	PVS mm/s	Frekans Hz
12270	Pilot	5	32.510	28.830	85.850	86.180	22
	Grup	10	52.070	60.830	125.100	125.600	21
13368	Pilot	35	9.398	5.969	13.330	14.820	24
	Grup	45	29.840	30.350	30.070	31.720	20
12269	Pilot	55	0.635	1.016	1.778	1.934	22
	Grup	60	2.794	3.429	4.572	4.808	22
micro	Pilot	72	1.025	0.567	1.135	1.445	23
	Grup	36	12.860	13.560	18.470	22.750	23
14465	Pilot	242	-	-	-	-	-
	Grup	157	1.553	1.495	2.413	2.534	20

Elektronik ateşleme sisteminin uygulandığı Ocak B’de, aynı koşullarda elektriksiz ateşleme sistemi kullanılarak yapılan ve sismik ölçümleri alınan patlatmayla, elektronik ateşleme sistemi uygulamasının yapıldığı patlatma karşılaştırılmıştır. Çizelge 3.10’da elektriksiz ateşleme sistemi kullanılan patlatmadan alınan sismik ölçüm değerleri verilmektedir. Delik sayısı, elektronik ateşleme sistemi uygulamasındaki ile aynıdır. Elektriksiz ateşleme sistemi kullanılan patlatmada delikler arası gecikme 42 ms, sıralar arası gecikme 67 ms verilmiştir.

Çizelge 3.10. Elektriksiz ateşleme sistemi ile yapılan pilot ve grup patlatmalarından kaydedilen titreşim ve frekans değerleri

	Patlatma	Ölçüm Mesafe, m	T mm/s	V mm/s	L mm/s	PVS mm/s	Frekans Hz
12269	Grup-cevher	20	18,80	17,02	30,35	34,49	11
14465	Grup-cevher	30	14,48	38,32	72,01	75,76	11
12270	Grup-cevher	50	18,54	15,87	21,21	29,20	10
micro	Grup-cevher	60	21,10	6,526	35,27	38,98	5

Çizelge 3.9’da gösterilen elektronik ateşleme sistemi uygulamasında, patlatmadan 45 m uzağa yerleştirilen 13638 isimli sismografta, vektörel toplamda en yüksek titreşim hızı 31,72 mm/s, frekans değeri 20 Hz ölçülmüştür.

Çizelge 3.10’da, aynı koşullarda elektriksiz ateşleme sistemi ile yapılan patlatmada, patlatmaya 50 m uzağa yerleştirilen 12270 isimli sismografta vektörel toplamda en yüksek titreşim hızı 29,20 mm/s, frekans değeri 10 Hz ölçülmüştür. Elektriksiz ateşleme sistemi kullanılarak gerçekleştirilen patlatmada, patlatmadan kaynaklı sismik dalga aynı mesafede hemen hemen aynı titreşim değerlerini vermiştir. Ancak elektronik ateşleme sistemi kullanılan patlatmanın yüksek frekans değerine sahip sismik dalga oluşturduğu gözlenmektedir.

Çizelge 3.9’da gösterilen elektronik ateşleme sistemi uygulamasında, patlatmadan 60 m uzağa yerleştirilen 12269 isimli sismografta, vektörel toplamda en yüksek titreşim hızı 4,808 mm/s, frekans değeri 12 Hz ölçülmüştür. Çizelge 3.10’da, aynı koşullarda elektriksiz ateşleme sistemi ile yapılan patlatmada, patlatmaya 60 m uzağa yerleştirilen micro isimli sismografta vektörel toplamda en yüksek titreşim hızı 38,98 mm/s, frekans değeri 5 Hz ölçülmüştür. Elektriksiz ateşleme sistemi kullanılarak gerçekleştirilen patlatmada, patlatmadan kaynaklı sismik dalga aynı mesafede 9 kattan daha fazla titreşime sebebiyet vermiştir.

Şekil 3.26 elektronik ateşleme sistemi kullanılarak gerçekleştirilen patlatmanın patlatma anı ve sonrasındaki görüntüyü vermektedir.



Şekil 3.26. Patlatma anı ve sonrası

Patlatma sonrasında geriye doğru kırma ve gerilme çatlaklarının fazla olmadığı ve yerinde parçalanmanın da iyi olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.27). Bu da nihai şevlere yaklaşıldığında fazla kırma ve gerilme çatlakları yaratarak şevin örselenmesinin önüne geçileceği anlamına gelmektedir ki bu durum yapısal süreksizlik içeren ocaklarda şev stabilitesi ve kama tipi kaymayı önlemek için çok büyük önem arz etmektedir.



Şekil 3.27. Patlatma sonrası gerilme çatlakları ve parçalanmış kaya malzemesi

4. TARTIŞMA

Sunulan tez çalışmasında 2 farklı polimetalik sahada aynı koşullarda elektronik ve elektriksiz ateşleme sistemleri kullanılarak patlatmalar yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ocak A ve Ocak B’de yapılan çalışmaların değerlendirilmesi bu bölümde verilmiştir.

4.1. Ocak A

Elektronik ateşleme sistemlerinde kullanılan kapsüllerde tanımlanan gecikmeler yok denilebilecek kadar düşük sapmalarla patladıkları için patlatmanın süresi kesin bir şekilde ayarlanarak patlatma kaynaklı titreşimlerin süresi kontrol edilebilmiştir. Ocak A’da yapılan patlatmada şev duraylılığına önem verildiği için patlatma süresi 1 saniye olacak şekilde tasarım yapılmış ve ölçüm sonuçlarında da görüldüğü gibi patlatma gerçekten 1 saniyede bitmiştir. Elektriksiz ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen patlatmada firmaların üretimlerine göre kapsüllere tanımladıkları gecikmelerin kullanılmasından dolayı elektriksiz ateşleme sistemi ile aynı patlatma 2 saniyede gerçekleştirilebilmektedir. Ölçüm sonuçlarına göre elektriksiz kapsüllerde kullanılan piroteknik gecikme elemanlarının sapmalarından dolayı 2 saniyede bitmesi hedeflenen patlatma süresi tam olarak 2 saniyede bitmemiştir.

Patlatma kaynaklı enerjinin yönlendirilmesi açısından yapılan tasarıma göre patlatma enerjisinin kullanılmak istendiği şekilde, kırmada ya da ötelemede, tasarıma uygun şekilde kullanılmasının mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

Elektronik ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen patlatmada sistemin yapısı gereği delikler arası gecikme yüzey kapsülü ile değil delik içine yerleştirilen kapsüle atanan gecikmeler ile sağlanmaktadır. Bu nedenle yüzeyde patlayan ekstra bir kapsül ya da şok tüp bulunmadığı için hava şoku ve gürültü değerleri elektriksiz ateşleme sistemlerine göre ciddi oranda azalmaktadır.

Elektronik ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen patlatmada, patlatma sonrası geriye doğru fazla kırma, gerilme çatlaklarının 2,2 metre olduğu gözlenmiştir. Bu durum nihai şevlere

yaklaşıldığında patlatmadan kaynaklı şevin örselenmesinin önüne geçerek şev duraylılığına katkı sağlamaktadır. Gerçekleştirilecek olan delgi planına göre sonraki patlatmanın deliklerine vereceği zararı en alt düzeye indirgemektir.

Elektronik ateşleme sistemi ile yapılan patlatmadan kaynaklı sismik dalgaların oluşturduğu titreşim, elektriksiz ateşleme sistemi ile yapılan patlatmadan kaynaklı sismik dalgaların oluşturduğu titreşime oranla %82,48 daha düşük olmuştur. Bu durum elektronik ateşleme sistemi ile titreşimlerin kontrol altına alınabileceğini göstermektedir.

Elektronik ateşleme sistemi ile yapılan patlatmadan kaynaklı sismik dalga frekansı 46 Hz ölçülürken, elektriksiz ateşleme sistemi ile yapılan patlatmadan kaynaklı sismik dalga frekansı 18 Hz ölçülmüştür. Bu şekilde bakıldığında frekans değeri ne kadar yüksek olursa, dalgalar bu doğrultuda hızlı soğrulma eğiliminde olacaklarından dolayı çevreye zararı çok daha az olacaktır. Bu sebeple yüksek frekanslı titreşimler istenen bir özellik olup şevlere zarar vermeden soğurulacakları için şev duraylılığına katkı sağlamaktadır. Ayrıca düşük frekanslı dalgalar yapıların doğal frekansı ile uyumlanırlar ise rezonansa girerek yapılara hasarlar verirler. Yüksek frekanslı dalgaların yapıların doğal frekansı ile uyumlanma durumları çok daha az olduğu için yapılar ile rezonansa girme durumunu da ortadan kaldırarak sismik dalgaların yapılara vereceği hasarı en alt düzeye indirgemektir.

4.2. Ocak B

Ocak B’de gerçekleştirilen pasa ve cevher patlatmalarından elde edilen sonuçlar aşağıda yer almaktadır.

4.2.1. Pasa Patlatması

Pasada yapılan patlatmanın olduğu bölgede daha önce heyelan yaşandığı ve bölgenin heyelan riski taşıdığı bilindiği için, burada yapılan elektronik ateşleme sistemi uygulamasında titreşimlerin şevlere olumsuz etki yaratmaması amaçlanmıştır. Bu sebeple gecikme süreleri bu amaca uygun bir şekilde tam olarak verilebilmiştir. Ocak B’de yapılan pasa patlatmasında patlatma süresi 2,5 saniye ve titreşim hızı minimum düzeyde

olacak şekilde tasarım yapılmış ve ölçüm sonuçlarında da görüldüğü gibi patlatma gerçekten 2,5 saniyede bitmiştir. Titreşim hızları da şevlerde herhangi bir duraysızlığa sebebiyet vermeyecek düzeyde kalmıştır.

Elektronik ateşleme sisteminin kullanımı ile patlatma kaynaklı enerjinin yönlendirilmesi de yapılabildiği için, Ocak B pasa patlatmasında enerji kırmadan ziyade öteleme için kullanılmak istenilmiştir. Bu çerçevede hazırlanan patlatma tasarımına uygun şekilde yapılan patlatma sonucunda amaçlanan öteleme gerçekleştirilmiştir.

Elektronik ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen pasa patlatmasında sistemin yapısı gereği delikler arası gecikme yüzey kapsülü ile değil delik içine yerleştirilen kapsüle atanan gecikmeler ile sağlanmaktadır. Bu nedenle yüzeyde patlayan ekstra bir kapsül ya da şok tüp bulunmadığı için hava şoku ve gürültü değerleri elektriksiz ateşleme sistemlerine göre ciddi oranda azalmaktadır.

Elektronik ateşleme sistemi ile yapılan pasa patlatmasından kaynaklı sismik dalgaların oluşturduğu titreşim, elektriksiz ateşleme sistemi ile yapılan patlatmadan kaynaklı sismik dalgaların oluşturduğu titreşime oranla farklı mesafelere yerleştirilen sismograflardan alınan ölçümlere göre % 23,50 ve % 35,71 daha düşük olmuştur. Bu durum elektronik ateşleme sistemi ile titreşimlerin kontrol altına alınabileceğini göstermektedir.

Elektronik ateşleme sistemi ile yapılan pasa patlatmasından kaynaklı sismik dalga frekansı 38 Hz ölçülürken, elektriksiz ateşleme sistemi ile yapılan patlatmadan kaynaklı sismik dalga frekansı 10 Hz ölçülmüştür. Bu şekilde bakıldığında frekans değeri ne kadar yüksek olursa, dalgalar bu doğrultuda hızlı soğrulma eğiliminde olacaklarından dolayı çevreye zararı çok daha az olacaktır. Bu sebeple yüksek frekanslı titreşimler istenen bir özellik olup şevlere zarar vermeden soğurulacakları için şev duraylılığına katkı sağlamaktadır. Ayrıca düşük frekanslı dalgalar yapıların doğal frekansı ile uyumlanırlar ise rezonansa girerek yapılara hasarlar verirler. Yüksek frekanslı dalgalar yapıların doğal frekansı ile uyumlanma durumları çok daha az olduğu için yapılar ile rezonansa girme

durumunu da ortadan kaldırarak sismik dalgaların yapılara vereceği hasarı en alt düzeye indirmektedir.

4.2.2. Cevher Patlatması

Ocak B’de yapılan cevher patlatmasında amaç cevher-pasa kirlenmesini önlemek olduğu için bu amaca hizmet edecek gecikme süreleri verilmiştir. Patlatma süresi 1541 milisaniye olacak şekilde tasarım yapılmış ve ölçüm sonuçlarında da görüldüğü gibi patlatma gerçekten 1541 milisaniyede bitmiştir.

Elektronik ateşleme sisteminin kullanımı ile patlatma kaynaklı enerjinin yönlendirilmesi yapılabilmektedir. Bu amaca uygun yapılan tasarıma göre patlatma enerjisi Ocak B’deki cevher patlatmasında cevherin kirlenmesi önleyecek şekilde kırmaya yönlendirilebilmiştir.

Elektronik ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen cevher patlatmasında sistemin yapısı gereği delikler arası gecikme yüzey kapsülü ile değil, delik içine yerleştirilen kapsüle atanan gecikmeler ile sağlanmaktadır. Bu nedenle yüzeyde patlayan ekstra bir kapsül ya da şok tüp bulunmadığı için hava şoku ve gürültü değerleri elektriksiz ateşleme sistemlerine göre ciddi oranda azalmaktadır.

Elektronik ateşleme sistemi ile yapılan cevher patlatmasından kaynaklı sismik dalgaların oluşturduğu titreşim, elektriksiz ateşleme sistemi ile yapılan patlatmadan kaynaklı sismik dalgaların oluşturduğu titreşime oranla 60 metre mesafeye yerleştirilen sismograflardan alınan ölçümlere göre 9 kattan daha fazla düşük olmuştur. Bu durum elektronik ateşleme sistemi ile titreşimlerin kontrol altına alınabileceğini göstermektedir.

Elektronik ateşleme sistemi ile yapılan pasa patlatmasından kaynaklı sismik dalga frekansı 12 Hz ölçülürken, elektriksiz ateşleme sistemi ile yapılan patlatmadan kaynaklı sismik dalga frekansı 5 Hz ölçülmüştür. Bu şekilde bakıldığında frekans değeri ne kadar yüksek olursa, dalgalar bu doğrultuda hızlı soğrulma eğiliminde olacaklarından dolayı

çevreye zararı çok daha az olacaktır. Bu sebeple yüksek frekanslı titreşimler istenen bir özellik olup şevlere zarar vermeden söğürülacakları için şev duraylılığına katkı sağlamaktadır. Ayrıca düşük frekanslı dalgalar yapıların doğal frekansı ile uyumlanırlar ise rezonansa girerek yapılara hasarlar verirler. Yüksek frekanslı dalgalar yapıların doğal frekansı ile uyumlanma durumları çok daha az olduğu için yapılar ile rezonansa girme durumunu da ortadan kaldırarak sismik dalgaların yapılara vereceği hasarı en alt düzeye indirmektedir.

5. SONUÇ

Gerçekleştirilen tez çalışmasında, Dünya’da 30 yıldan beri kullanılmakta olan elektronik ateşleme sistemleri araştırılmış; şu anda Türkiye’de en yaygın şekilde kullanılan elektriksiz ateşleme sistemlerine göre karşılaştırmalı bir şekilde uygulamalar yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuçlar genel olarak yorumlandığında elektronik ateşleme sistemlerinin aşağıdaki konularda elektriksiz ateşleme sistemlerine göre üstünlüğü uygulamalı bir şekilde görülebilmektedir:

- Cevher pasa ayırımının yapılması,
- Patlayıcı enerjisinin kontrolü ile kırma, öteleme yapılabilmesi,
- Patlatmanın hava şokunda azalma sağlanması ile halk kabulü,
- Fazla kırma, fazla kazı, gerilme çatlaklarında azalma,
- Titreşim, frekans kontrolü,
- Taş savrulmasının azalması

Bütün bunlara ek olarak homojen ve uygun tane boyutu dağılımı ile kazı ve yükleme hızında artış sağlanması, kırıcı veriminin artması konularında da iyileşme olacağı açıktır.

Elektronik ateşleme sistemleri ile gerçekleştirilen patlatmalarda hava şokunda azalma sağlanması ve titreşim kontrolü özellikleri sayesinde şehir içi patlatmalarında bölge halkının patlatmalardan kaynaklı rahatsızlıklarının azalması ve yapılara verilmesi muhtemel hasarların önüne geçilmesi sağlanmaktadır.

Elektronik ateşleme sistemi ile yapılan patlatmalarda ateşleme öncesinde kapsüllerde arıza olup olmadığı, hatta eksik veya fazla kapsül bağlanıp bağlanmadığı, herhangi bir elektrik kaçağı olup olmadığı çift taraflı iletişim sayesinde test edilebildiği için atım kesmesinin önüne geçerek iş güvenliği açısından avantajını ortaya çıkarmaktadır.

Elektronik kapsüllerin fiyatlarından dolayı patlatma maliyetleri artsa bile toplam maliyetlerde düşüş gözlenmesi beklenmektedir. Toplam maliyetler üzerine bir çalışma

yapılması birim fiyatının yüksek olmasından dolayı insanların elektronik ateşleme sistemlerine karşı önyargılı yaklaşımının önüne geçebilecektir. Fakat maliyet konusu bu tez çalışması kapsamında ele alınmamıştır.

Elektronik ateşleme sistemi her ne kadar avantajlı olsa da patlatmanın yalnızca bir parçasını oluşturmaktadır. Bir patlatmanın istenilen sonucu vermesi için delik tasarımının, deliklerin delinmesinin, doldurulmasının, uygun malzeme ile uygun şekilde sıkılanmasının, uygun patlayıcı seçilmesinin, gecikme tasarımının doğru olması gerekmektedir. Bu kapsamda incelendiği zaman yukarıda bahsedilen her şey kontrol edilebilir parametrelerdir. Kontrol edilemeyen tek aşama piroteknik gecikme elemanı kullanılarak üretilen kapsüllerde meydana gelen sapmalar olduğu için elektronik ateşleme sistemi ile bu sapmalar ortadan kaldırılmış ve kontrol edilemeyen tek aşama kontrol altına alınmıştır. Bu durum elektronik ateşleme sistemlerinin kullanılması ile tek başına ciddi olumlu etkiler sağlasa bile gerçek anlamda verim alabilmek için diğer kontrol edilebilen parametrelerin tam anlamıyla doğru bir şekilde uygulanması gerekir.

Ülkemizde henüz elektronik ateşleme sistemlerine ihtiyaç duyulmamasının asıl sebebi mühendislerin kontrolünde olan parametrelerin yeteri kadar düzgün uygulanmıyor olmasıdır. Kontrol edilebilen parametreler sorunsuz uygulandığı takdirde kontrol edemediğimiz parametre ön plana çıkarak patlatma verimliliğinin ve patlatmanın çevresel etkilerinin iyileştirilmesi için elektronik ateşleme sistemleri ihtiyaç haline gelecektir.

6. KAYNAKLAR

- [1] G.G. Uyar Aksoy, Patlatma Dersi Ders Notları, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara (2019).
- [2] H. Agrawal, A.K. Mishra, Evolution of Digital Detonators as an Intelligent Tool For Control Blasting in Indian Mines, *Annales de Chimie - Science des Matériaux*. 41 (2017) 157–171. <https://doi.org/10.3166/ACSM.41.157-171>.
- [3] Davey Bickford Enaex, Our History - two centuries of know-how, <https://www.daveybickfordenaex.com/era/english/home/#sectionhistory1> (Erişim tarihi: **11 Nisan 2021**).
- [4] Davies W.J., Mining Explosives, with notes on Low Density Dynamites, *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 33 (1933) 210–218. https://doi.org/10.10520/AJA0038223X_5055.
- [5] Ö. Düzgün, Ö. Görkem İlik, Elektriksiz ile Elektronik Ateşleme Sistemlerinde Belirlenen Gecikme Sürelerinin Doğruluklarının İrdelenmesi, 9.Uluslararası Delme Patlatma Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Ankara, (2017) 135–143.
- [6] J.M. Hoffman Ph.D, Overlapping Timing Analysis for a Single Blast Hole, *International Society of Explosives Engineers*. (2015).
- [7] Ö. Görkem İlik, Ö. Düzgün, B. Gençlik, Bir Yeraltı Maden İşletmesinin Galeri Patlatmalarında Elektronik Ateşleme Sistemi Kullanılarak İyileştirilmesi, 4. Uluslararası Yeraltı Kazıları Sempozyumu, İstanbul, (2018) 216–221.
- [8] U. Atlıhan, Ü.Özer, A.Karadoğan, M.Çallıoğlu ve O.Özkul, Şehir İçi Patlatmalı Temel Kazılarında Farklı Ateşleme Sistemleri Kullanımının İnsan Algısı Üzerindeki Etkileri, 9.Uluslararası Delme Patlatma Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Ankara, (2017) 135–143.
- [9] S. Kara, W.R. Adamson, W.J. Reisz, R. Trousselle, The Latest Generation of The Electronic System Enhanced Safety and Productivity, *Procedia Engineering* 83 (2014) 432–440. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.09.052>.
- [10] A. Koekemoer, D.S. Africa, Rapid Advances in Electronic Initiating Systems, Construction, *International Society of Explosives Engineers*. (2011).
- [11] T. Barkley, The Fundamentals of a Good Electronic Initiation System Program, *International Society of Explosives Engineers*. (2011).
- [12] M. Yurtaş, O. Özkul, U.Atıhan ve O.Bayındır, “Ulus Taşımacılık Meeting Point Projesinde Uygulanan Patlatmalı Temel Kazısında Elektronik Kapsül Kullanımının Hava Şoku(ses), Sarsıntı ve Verimlilik Açısından İncelenmesi”, 8. Delme Patlatma Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İstanbul, (2015) 187-196.
- [13] Ö.G. İlik, Daveytronic Ateşleme Sistemi, Şirket İçi Eğitim, Kapeks Üretim Patlayıcı Maddeler Tic. Ltd. Şti., Ankara, (2018).

- [14] Ö.G. İlik, Ateşleme Sistemlerinin Patlatma ve Kazı Çalışmalarındaki Önemi, Şirket İçi Eğitim, Kapeks Üretim Patlayıcı Maddeler Tic. Ltd. Şti., Ankara, (2019).
- [15] G.G. Uyar Aksoy, O. Aksoy, "Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Tahmininde Sismik Kalite Faktörü Kullanımı", MT Bilimsel Yer Altı Kaynakları Dergisi, 18, (2020) 133-146.
- [16] K. Küçük, C. Aksoy, Şehir İçi Tünel İnşaatlarındaki Kazılarda Patlatma Tasarımı ve Titreşim Modellemesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi. 19 (2017) 1035-1052. doi:10.21205/deufmd.2017195789.
- [17] T.C. ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI ÇED İZİN VE DENETİM GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, Patlatma Tasarımları ve Patlatma Kaynaklı Çevresel Etkiler Kılavuzu, (2018).
- [18] C. Kuzu, Mikro-İşlemci Destek. Zaman Sıralı Patlatma Uygulamaları. Bilimsel Madencilik Dergisi, 37 (1998) 41–51.
- [19] Orca Mining Services, Electronic Blasting Systems – i-kon II - Enhancements. https://www.orcaminingservices.com/ru/en/page/products_and_services/electronic_blasting_systems/i-kon_ii/enhancements (Erişim tarihi: 11 Nisan 2021).
- [20] C. Dovan, ve S. Ural. Kontrollü Basamak Patlatmalarından Kaynaklanabilecek İş Sağlığı ve Güvenliği Risklerinin Değerlendirilmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, (2018).
- [21] W. Birch, T. White, S. Hosein, Electronic Detonators: a Step Forward in Blast Vibration Control, 15th Extractive Industry Geology Conference. Cardiff, (2010).
- [22] Cardu, Marilena, vd. A Review of the Benefits of Electronic Detonators. Revista Escola de Minas, 66, (2013) 375-382. doi:10.1590/S0370-44672013000300016.
- [23] D.A. Bartley, R. McClure, B. Wingfield, Field Applications and Quantification of Electronic Detonator Technology, Proceedings of the Annual Conference on Explosives and Blasting Technique II. International Society of Explosives Engineers (2001) 155–166.
- [24] W. Mcferren, P. Moodley, Electronic Detonator Success : An African Story, , Proceedings of the Annual Conference on Explosives and Blasting Technique, International Society of Explosives Engineers;1999 2 (2004) 1–12.
- [25] Ü.Kılıç, M.Derya, V.Alabaş, Bir Açık Ocak Altın Madeni Proses Tesisi Temel Kazılarında Gerçekleştirilen Kontrollü Patlatma, Türkiye 25.Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı, Antalya, (2017) 240-250.
- [26] S. Kara, Digital Blasting System Daveytronic, Şirket İçi Eğitim Notları, Kapeks Üretim Patlayıcı Maddeler Tic. Ltd. Şti., Ankara, (2016).
- [27] M.O. Sarathy, True Bottom Hole Initiation And Use Of Precision Electronic Delay Detonators e-DET and e-DET ft: Tools For Optimum Bench Blasting, J Journal of Mines, Metals and Fuels. 62 (2014) 305–313.

- [28] M. Dönmez, A.E. Akçay, C. Genç, Ş. Acar, Biga Yarımadasında Orta-Üst Eosen Volkanizması ve Denizel İgnimbiritler, MTA Dergisi, 131 (2005) 49-61.
- [29] A.K. Mishra, Y.K. Nigam, D.R. Singh Controlled Blasting In A Limestone Mine Using Electronic Detonators: A Case Study. J Geol Soc India 89, (2017) 87–90. <https://doi.org/10.1007/s12594-017-0563-5>.
- [30] O. Aksoy, Ocak B Jeoteknik Değerlendirme Raporu, İzmir, (2019).