

Patlatma Etkilerinin Optimizasyonu: Örnek Çalışmalar

Optimization of Blasting Effects: Case Studies

G. Gülsev UYAR AKSOY¹, C. Okay AKSOY^{2*}, H. Eray YAMAN³

¹ Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

³ Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksek Okulu, Madencilik Tek. Prog. İzmir

*Sorumlu yazar: okay.aksoy@deu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4328-4862

Özet

Patlatma kaynaklı oluşan dalgaların yayılım mekanizmasının iyi anlaşılması, oluşan dalga tiplerinin ve nasıl söndürüleceğinin iyi bilinmesi ve günümüz teknolojisinin geldiği noktadaki en uygun patlayıcı ve patlatma aksesuarlarının yerinde kullanımı ile optimum verim ve güvenli, minimum çevresel sorunlar yaratan kontrollü patlatmalar yapılabilir. Başka bir deyişle, patlatmaların olumsuz etkilerinden korunması gerekli olan özel projelerde, bilime ve tekniğe uygun patlatma tasarımları ile hem cevher kirlenmesi engellenmekte, hem de patlatma kaynaklı oluşan dalgalar kontrol altına alınabilmekte ve dolayısıyla çevreye olumsuz etkileri giderilebilmektedir. Ancak, bu tip özel projelerde, 1960'lı yılların başlarında ortaya çıkan, dünyada ve ülkemizde “kolay ve alışlagelmiş olduğu için” hala geniş uygulama alanı bulan “parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisine bağlı türetilen istatistik formüller yardımıyla mesafeye göre patlayıcı miktarını azaltma” yöntemi işe yaramamaktadır. Bu yöntem hem optimum parçalanma ve cevher kirlenmesini engelleyecek kontrollü patlatmalara yol gösterememekte, hem de çevresel sorunlara çare bulamamaktadır. Bu yöntem yerine, probleme özel çözümler üretilerek, herhangi bir olumsuzluğa sebep vermeden patlatmalar yapılabilir. Bu çalışmada, çalışma sahasına özel bir çözüm üretilmesi planlanmış ve ona uygun bir yol izlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Delme-patlatma, parçacık hızı, sismik dalga

Abstract

With a good understanding of the propagation mechanism of the waves caused by blasting, knowing the wave types well and how to damping them and the use of the most appropriate explosive and blasting accessories at the point where today's technology has come, controlled blasting can be made with optimum efficiency and safety, creating minimum environmental problems. In other words, in special projects that need to be protected from the negative effects of blasting, ore contamination can be prevented, the waves caused by blasting can be controlled, and thus the negative effects on the environment can be eliminated with blasting designs in accordance with science and technique. However, in such special projects, the method of “reducing the amount of explosives according to the distance with the help of the statistical formulas derived from the particle velocity-scale distance relationship” that emerged in the early 1960s and still found wide application in the world and in our contry because it was “easy and customary” does not work. This method does not lead the controlled blasting that will prevent optimum fragmentation and ore contamination, and it also fails to remedy environmental problems. Instead of this method, blasting can be made by producing special slutions to the problem without causing any negative effects. In this study, it was planned to produce a special solution for the study area and a suitable path was followed.

Keywords: Drilling-balsting, particle velocity, seismic wave

1.Giriş

Kazı amaçlı yapılan patlatma faaliyetlerinin bilime ve tekniğe uygun yapılmaması durumunda patlatma kaynaklı titreşimler, hava şoku, taş fırlaması gibi çevreye olumsuzluk verebilecek etkenler oluşabilir. Bu olumsuz durumları kısaca incelemek gerekirse;

1.1. Taş fırlaması

Taş fırlaması, patlatma deliklerinde yeterli miktarda sıkılama mesafesi bırakılmadığı durumlarda görülür ve çok uzak mesafelere gidebilen bu taşlar, patlatma bölgesi yakınlarındaki insanlar, yapılar ve araçlar için tehlike oluşturabilir. Bu sebeple, uygulanan delik çapı ve boylarına göre önceden hesaplanan sıkılama mesafelerine dikkat etmek çok önemlidir. Bu sahada yapılacak patlatmalarda, tehlike yaratacak taş fırlamasına rastlanılmaması için deliklerde bırakılan sıkılama boyuna ve sıkılama malzemesine dikkat edilmelidir. Sıkılama boyunun, en az yük mesafesi (delik-ayna mesafesi) kadar olması önemlidir. Sıkılama malzemesi olarak da, alışlagelmiş bir şekilde uygulanan delik içinden çıkan malzemeyi kullanmak yerine kırmataş kullanılmasına dikkat edilmelidir.

1.2. Patlatma kaynaklı sismik dalgalar

Kazı amaçlı yapılan açık işletme patlatmalarında, patlatma ile birlikte cisim ve yüzey dalgaları ortaya çıkar. P-S türü cisim dalgaları jeolojik birimlerin içlerini katederek gelirken, yüzey dalgaları yer yüzeyinde ilerler. Cisim dalgaları düşük genlikli, yüksek frekanslı ve hızlı iken, yüzey dalgaları yüksek genlikli, düşük frekanslı ve yavaşlardır. Yüzey dalgalarının düşük frekanslı ve yavaş olmaları, oluşan dalga boylarının zemin ve yapı ile rezonansa girme riskini arttırarak zemin büyütmesine neden olacaktır. Bu istenmeyen bir durumdur. Açık işletmelerde derinlikler sığ olduğu için (basamak boyları genelde 5-15 m olduğu için) düşük frekanslı (uzun dalga boylu) dalgalar ürer. Delik derinliklerinin sığ olması, daha çok miktarda yüzey dalgalarının üremesine neden olur. Yüzey dalgaları en tahripkar ve büyük genlikli dalgalardır. Patlatma kaynaklı üreyen yüzey dalgalarının frekansı yapıların doğal frekanslarına yakın olduğu için, yapıları rezonansa getirerek daha çok titreşime maruz kalmalarına sebep olabilirler. Ayrıca, patlatma işleminde titreşim süresi de oldukça önemlidir; düşük genlikli fakat uzun süreli titreşimler, yüksek genlikli ama kısa süren titreşimlerden daha tahripkar olabilirler.

Yüzey dalgaları dispersif özellik göstermektedir (hızın frekans bağımlılığı). Patlatma noktasından yola çıkan sıkışık bir yüzey dalgası paketi, kat edilen mesafe ile birlikte giderek genişlemektedir. Bu genişleme sonucu: a) paket içerisinde gizli düşük frekanslı (uzun dalga boylu) dalgalar kendilerini göstermeye başlarlar. Bu durum tehlikeli ve istenmeyen bir durumdur. b) yüzey dalga katarının uzaması, zemin ve varsa yapıların titreşim sürecini arttıracığı için özellikle yapı mafsallarının hızla yorulmasına neden olacaktır. Şevlerde ise uzun süreli yorulmalara sebep olur. Bir sistem (yapı-zemin) rezonansa girerse, sistem içerisinde duraklı dalgalar oluşur ve sistem büyük genliklerle, uzun süre titreşir. Dolayısıyla zemin veya yapının uzun süre büyük genliklerle titreşmesi, yapılara daha çok zarar verecektir (Uyar Aksoy, 2005; Uyar Aksoy ve Ecevitoglu, 2008; Uyar Aksoy 2010; Cardu ve ark., 2015; Uyar Aksoy ve Aksoy, 2018).

Patlatma ile çevreye verilen olumsuzlukların en önemlisi yer titreşimleridir. Yer titreşimleri depreme benzer etkiler yapmaktadır. Dolayısı ile oluşan yapı hasarları benzerlik göstermektedirler. Patlatma ile oluşan titreşimler, taşıdıkları enerji düzeyinde hasara neden olmaktadır. Titreşimlerin enerji düzeyleri şu parametrelerle ölçülmeye çalışılmaktadır; parçacık yer değiştirmesi (mm), parçacık hızı (mm/s), parçacık ivmesi (mm/s^2) ve dalga frekansı (Hz). Yer titreşimlerinin frekans özellikleri başlıca iki unsurdan etkilenirler. Bunlar jeoloji ve gecikmeli ateşlemelerde

gecikme aralığıdır (Dowding, 1985). Sürekli şikayetlerin çoğunda, parçacık hızı Amerikan standartlarına göre hasar verme eşik değeri olan 12.5 mm/s (Siskind, ve ark., 1980) değerinin çok altında olduğu ve hiçbir hasarın meydana gelmediği durumlarda dahi ciddi titreşim hissedildiği yönündeki his ve endişeler, tamamen düşük frekans özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Çünkü düşük frekanslı dalgaları insanlar kolayca hissedebilirler. Frekans yüksek olduğunda ise insanların bunları algılaması çok zordur ve bu nedenle fazla endişeye kapılmazlar. Ayrıca 10 Hz değerinin altındaki frekanslar zeminde büyük yer değişimleri ve yüksek düzeyli birim deformasyonlar yarattığı için hasar olasılığını da artırır. Binalara verilen hasarda, sarsıntıların taşıdığı enerji düzeyinin yanı sıra binaların yapım tekniği, boyutları ve üzerine oturdukları zemin özellikleri de etkin olmaktadır (Siskind, ve ark., 1980). Bu nedenlerle sarsıntıya bağlı hasar etütlerinde çok kapsamlı çalışmak gerekmektedir.

1.3. Hava şoku

Patlatma sonucu, kaya çatlaklarından dış atmosfere hızla ve erken boşalan reaksiyon ürünü gazlar önemli düzeyde gürültü oluştururlar. Önlemlerin alınmadığı koşullarda gürültü düzeyi yüksek boyutlara ulaşarak hava şoku dalgalarına dönüşür. Şok dalgaları çoğunlukla insanlarda psikolojik rahatsızlıklara neden olmakta, patlamanın kendilerine zarar vereceği endişesi yaratmaktadır. Atmosferde yol alarak binalara ulaşan şok dalgaları cam ve gevrek çerçevelerin titreşimlerine yol açmaktadır. Zaman zaman hava şok dalgaları şiddetli olabilmekte ve yapılarda hasara yol açabilmektedir. En belirgin hasar cam kırılmasıdır. Hava şokunun yayılmasında, sıcaklık, nem oranı, havanın bulutlu oluşu, rüzgâr yönü ve şiddeti gibi atmosferik koşullar da etkin olabilmektedir. Hava şokları patlatmadan kaynaklanan hava basınç dalgaları olarak tanımlanmaktadır. Yüksek frekanslı basınç dalgaları duyulabilmektedir. Düşük frekanslı olanlar ise etki ettiği yapılarda tıkırtılar oluşturduğunda duyulabilmektedir. Hava şoku düzeyi patlatma, arazi ve hava koşullarına bağlı olmaktadır. Patlatmadan kaynaklanan hava şokları yapılarda kırık ve çatlaklara, pencerelerde kırılmalara ve insanların rahatsız olmasına neden olabilmektedir. Hava şoklarının insanları rahatsız etmesi, insanların yapı içerisinde ve yapı dışında olmalarına göre farklılık gösterebilmektedir. Bu farklılık hava şoklarının binaya ulaşması sonrasında binanın yapısal özellikleri nedeniyle çıkardığı seslerden kaynaklanmaktadır. Ses, basınç ya da desibel (dB) olmak üzere iki farklı birim ile ifade edilebilmektedir. Hava şoku, basınç ya da ses ölçerler kullanılarak ölçülebilmektedir. İnsan kulağıyla duyulabilen yaygın aralıklı genlikler ve frekanslardan dolayı akustik mühendisleri sesi desibel terimi ile ifade etmektedir. Hava şoku dalgasının yayılması, sıcaklık, rüzgâr ve yükseklik gibi atmosferik ve topografik koşullara bağlıdır. Belirli bir uzaklıktaki bulut kapallığı bile bazen basınç dalgasının yere yeniden yansımaya neden olur. ABD’de (USBM ve OSM kuralları) yapılan yasal düzenlemelerle 140 desibele karşılık gelen hava şoku düzeyi hasar başlangıç ve gürültü üst sınırı olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında, daha önce birçok kez denemesi yapılmış ve başarılı sonuçlar alınmış olan ve baş yazar tarafından geliştirilen yöntem ile tasarımı gerçekleştirilen patlatma paterni ve sonuçları incelenmiştir.

2. Örnek 1 Patlatma Çalışması ve Analiz Değerlendirmeleri

Çalışma alanında 1 adet pilot ve 1 adet grup patlatması yapılmış; patlatma kaynaklı oluşan sismik dalgalar Instantel Minimate ve Instantel Micromate markalı 3 adet sismografla kaydedilmiştir. Şekil 1’de patlatma yeri ve sismografların konumunu verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanındaki pilot ve grup patlatma ve sismograf konumları

Şekil 1’de görüleceği üzere 200 delikli grup patlatmasının yanı sıra, 1 adet pilot patlatma yapılmıştır. Bu patlatmanın amacı, grup patlatmalarından oluşacak karmaşık, kompleks yapıdaki sismik dalgaların yayılım mekanizmasını incelerken, grubu temsil edecek bir pilot patlatma daha yaparak bu patlatmadan kaynaklı temiz ve sakin bir dalga biçiminin yayılma mekanizmasını ve dalga özelliklerini de inceleyebilmektir. Şekilde görüleceği üzere, “13638”, “14465” ve “micro” adlı sismograflarla 3 lokasyonda sismik ölçüm alınmıştır. Şekil 2, patlatma yapılacak basamak-taki delme, şarjlama gibi hazırlıkları göstermektedir.



Şekil 2. Patlatma yapılacak alandaki delme-şarjlama çalışmaları

Çalışma esnasında uygulanan genel delme-patlatma düzeni ise Tablo 1’de verilmiştir. Bir delikten çıkan sismik dalgaların yayılım mekanizmasını inceleyebilmek için, grup patlatmasına yakın bir yerde tek delik (pilot) patlatması yapılmıştır. Grup ve pilot patlatmalarından yayılan sismik dalgalar Şekil 1’de verilen yerlere yerleştirilen sismograflarla (14465, 13638 ve micromate) kaydedilmişlerdir. Tablo 2, grup patlatması ve pilot patlatmalardan kaynaklanan sismik dalgaların sismografların bulunduğu yerde yarattıkları titreşimleri ve frekansları göstermektedir. Şekil 3, sismografların yerleştirilmelerine dair fotoğrafları göstermektedir.

Tablo 1. Grup ve pilot patlatma verileri

Patlatma	Grup-patlatma	Pilot patlatma
Delik çapı, mm:	102	102
Delik sayısı	200	1
Delik boyu, m:	1.12-5.51	5
Yük mesafesi,m:	2.5	2.5
Delikler arası mesafe, m:	3	-
Sıklama, m:	2.5	2.5
Patlayıcı, kg:	ANFO: 5 m deliklerde 17 kg Yemleme dinamit:0.5kg 2.5 m den kısa deliklerde sadece yemleme dinamiti	ANFO: 17 kg Yemleme dinamit:0.5kg
Ateşleme sistemi	Nonel elektriksiz kapsül	Nonel elektriksiz kapsül
Gecikme elemanları, ms	Yüzey gecikmesi: 25ms delikler arası, 42ms sıralar arası Delik içi gecikme:500ms	

Tablo 2. Patlatma kaynaklı titreşim ve frekanslar

Sismograf	Patlatma	Ölçüm Mesafe,m	T mm/s	V mm/s	L mm/s	PVS mm/s	Frekans Hz
13638	Pilot	100	1.016	0.762	1.143	1.150	8.5
	Grup	180	10.29	7.493	8.128	11.20	10
Micro	Pilot	171	1.734	1.332	5.052	5.293	16
	Grup	110	14.49	15.98	14.90	19.16	18
14465	Pilot	253	2.032	3.302	4.445	4.783	19
	Grup	166	3.810	5.050	4.953	6.458	26

-(T: transversal, yanal bileşen; V: vertical, dikey bileşen; L: Longitudinal, boyuna bileşen; PVS: Peak vector sum, vektörel toplam)

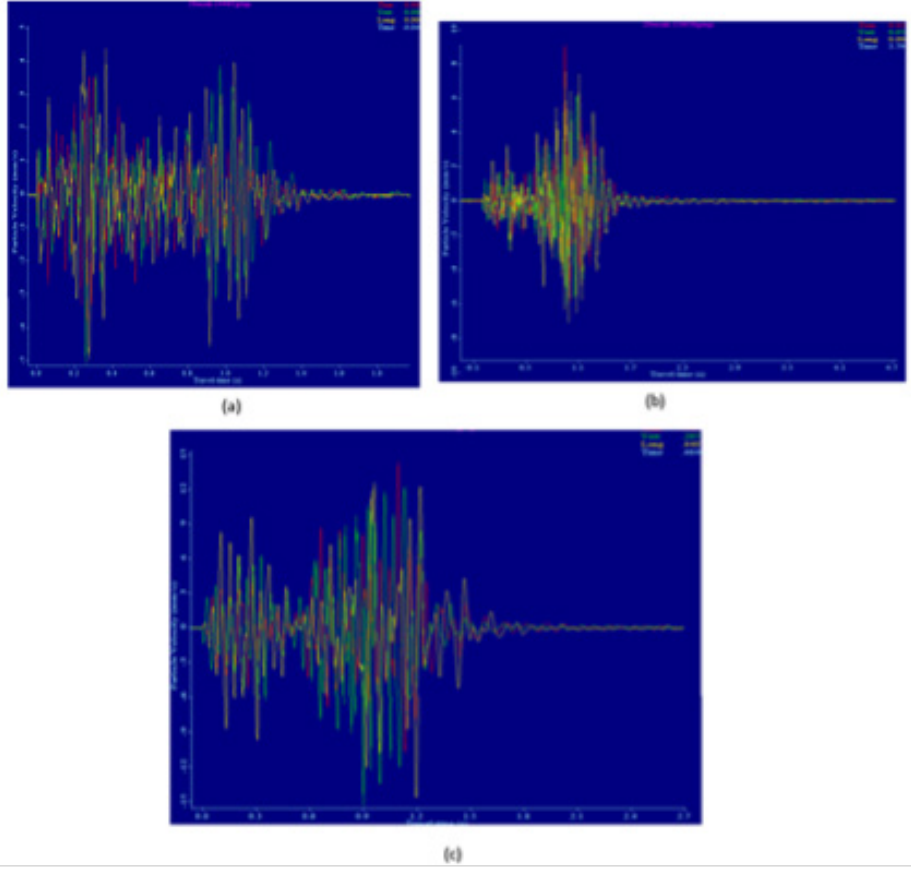
Tablo 3’te verilen titreşim hızlarının vektörel toplam (PVS) değerleri, ölçüm mesafeleri ile beraber Şekil 4’te sismografların üzerinde gösterilmiştir. Şekil 4’te Micromate adlı sismografin, önceden çalışma bölgesinde yapılan sismik yansıma etüdü için atılan profil hattı üzerine yerleştirildiği görülebilir. Profil üzerinde yeralan sismik çalışma ile bölgede süreksizlikler ve ezilme zonlarının varlığı belirlenmiştir. Bu süreksizlikler ve ezilme zonları patlatma ile ortaya çıkan sismik dalgaların yayılma mekanizmasını değiştirmektedir. Şekil 5. (a), (b) ve (c), sırasıyla sismograf 14465’den, sismograf 13638’den ve sismograf Micromate’den alınan sismik dalgaları göstermektedir.



Şekil 3. Titreşim verilerini alacak sismografların yerleştirilmesi, (a) Sismograf-14465, (b) Sismograf Micromate, (c) Sismograf 13638



Şekil 4. Sismografların konumları ve patlatma grubuna olan mesafeleri



Şekil 5. (a), (b) ve (c), sırasıyla sismograf 14465'den, sismograf 13638'den ve sismograf Micromate'den alınan sismik dalgaların zamana bağlı gösterimi

Sismograf 13638 ve micromate, grup patlatmasına sırasıyla 180 ve 110 m uzaklıktadır. Sismograf 14465 ise grup patlatmasına 166 m uzaklıktadır. Ancak, sismograf 14465 her ne kadar sismograf 13638'den patlatmaya daha yakın olsa da (166 m), vektörel toplamda patlatmaya 180 m uzaklıkta olan sismograf 13638'den çok daha düşük (6.458 mm/s) titreşim hızı kaydetmiştir. Sismograf 13638'in kaydettiği titreşim hızı 11.20 mm/s'dir. Şekil 4'te sismik dalgalara bakıldığında da Sismograf 13638'in kaydettiği dalganın daha uzun sürdüğü ve özellikle 1.1 saniye civarında büyük genlikli yüzey dalgalarının etkili olduğu anlaşılabilir. Sismograf micromate, grup patlatmasına en yakın sismograf olduğu için (110 m), büyük titreşim hızı kaydetmesi normaldir (19.16 mm/s). Süreksizlik ve ezilme zonları, grup patlatmasından yayılan sismik dalgaların sismograf 14465'e kadar giderken soğrulmasına neden olmuştur. Grup patlatmasına en uzak sismograf olan 13638'de, sismograf 14465'e göre neredeyse 2 kat daha fazla titreşim etkisi ve yüzey dalgası oluşumu gözlenmesi dikkate alınarak, grup ateşlemelerinde ateşleme yönünü bu bilgi dâhilinde vermekte fayda vardır.

3. Örnek 2 Patlatma Çalışması ve Analiz Değerlendirmeleri

Örnek Çalışma 1'de tarihinde yapılan 200 delikli grup patlatmasında delikler arası 25 ms, sıralar arası 42 ms gecikme kullanılmıştır. Örnek çalışma 2'de, yine aynı ocakta bir grup patlatması yapılmış, ancak, grupta delikler arası 42 ms, sıralar arası 67 ms gecikme uygulanmıştır. Daha önce O-pitblast yazılımı ile yapılan modellemelerde halihazırda kullanılan gecikme sürelerinin deliklerde çakışma yarattığı; önerilen gecikme sürelerinin (42-67 ms) herhangi bir çakışmaya sebep vermediği görüldüğü için, Örnek 2 Patlatma çalışmasında bu gecikme süreleri denenmek istenmiştir. Ayrıca pilot patlatmalar yaptırılmış ve bir deney düzeneği içerisinde kaydedilmiş-

lerdir. Deneylerdeki amaç, yemleme dinamitin delik boyuna göre infilakı devam ettirme yeterliliğinin; enerji bölüşümünün (parçalanma enerjisi/sismik enerji) ve ortamın sismik dalgaları soğurma özelliğinin belirlenmesidir. Şekil 6, grup patlatması, deneye ait pilot delikler ve sismografların (14465, 13638, 12269, 12270) yerlerini göstermektedir. Şekil 7 ise pilot patlatma deney düzenini göstermektedir.

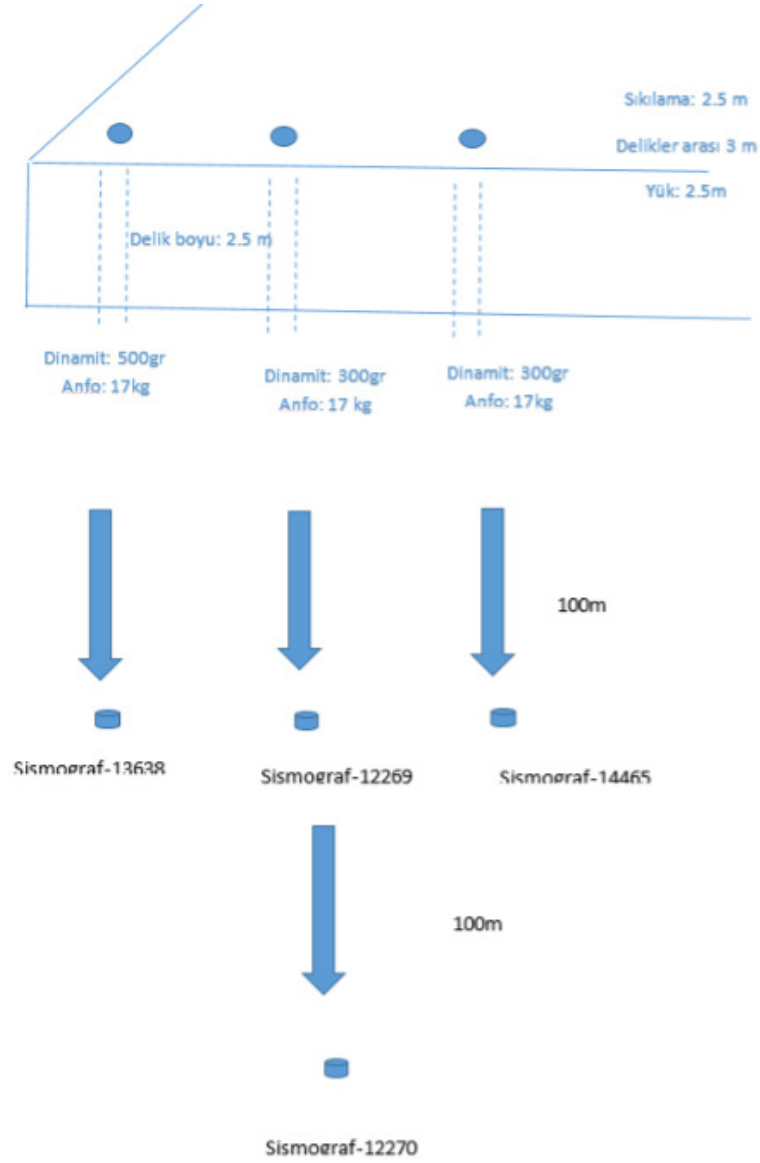


Şekil 6. Grup patlatması, deneye ait pilot delikler ve sismografların (14465, 13638, 12269, 12270) yerleri

Pasa üretimi için yapılan grup patlatma paterni aşağıdaki gibidir:

Delik sayısı	: Toplam delik sayısı 301 adettir. 170 tanesi sulu deliktir.
Delik Çapı	: 102 mm
Delik Boyu	: 5 m
Delikler arası mesafeler	: (2,5 m x 3,0 m)
Gecikmeler	: 42 ms (delikler arası) , 67 ms (sıralar arası)
Delik başına kullanılan patlayıcı	: 17 kg ANFO veya Emülsiyon, 500 gr yemleme.

Toplamda 220 kg ANFO ve 2900 kg Emülsiyon kullanılmıştır.



Şekil 7. Pilot patlatmalar ve deney düzeneği

Patlatmalar şu sırada gerçekleşmiştir: Patlatma-1-500gr yemleme dinamiti ile doldurulan pilot delik, Patlatma-2-300 gr yemleme dinamiti ile doldurulan pilot delik (ortadaki), Patlatma-3- 300 gr yemleme dinamiti ile doldurulan pilot delik (kenardaki), Patlatma-4-Grup patlatması. Patlatmalardan ortaya çıkan sismik dalgaların yarattığı titreşim hızları Tablo 3'te verilmiştir. Burada T, V, L ve PVS sırasıyla sismik dalgaların yanıl (transversal), boyuna (longitudinal), düşey (vertical) ve vektörel toplam (PVS) bileşenlerini göstermektedir.

Tablo 3. 18 Mart 2020 patlatmalarından kaynaklanan titreşim ve frekans değerleri

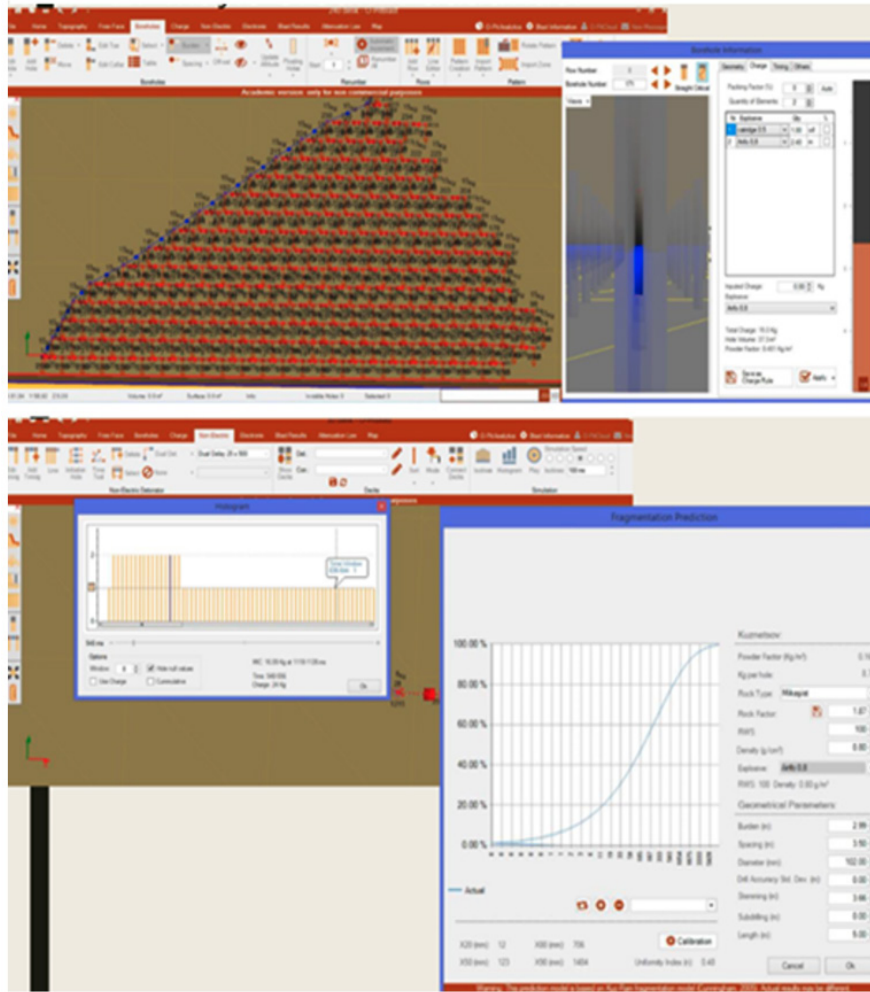
Sismograf	Patlatma	Ölçüm Mesafe,m	T mm/s	V mm/s	L mm/s	PVS mm/s	Frekans Hz
14465	Pilot	100	1-1.905	1-2.032	1-2.540	1-2.902	12.5
			2-1.270	2-1.524	2-1.778	2-1.879	10.75
			3-1.397	3-1.397	3-2.032	3-2.071	11.35
	Grup	100	7.747	4.953	9.144	12.07	11.5
13638	Pilot	100	1-2.540	1-1.524	1-2.540	1-3.415	10
			2-1.778	2-1.016	2-1.651	2-2.275	10.5
			3-1.778	3-1.016	3-1.778	3-2.293	11
	Grup	100	10.41	5.334	9.906	11.17	9
12269	Pilot	100	1-1.270	1-3.175	1-3.937	1-4.376	16
			2-1.016	2-2.159	2-2.540	2-2.843	
			3-1.143	3-2.259	3-2.794	3-3.069	
	Grup	100	8.890	8.509	9.398	11	18
12270	Pilot	200	1-0.381	1-0.508	1-0.635	1-0.730	11
			2-kayıt yok	2-kayıt yok	2-kayıt yok	2-kayıt yok	
			3-kayıt yok	3-kayıt yok	3-kayıt yok	3-kayıt yok	
	Grup	200	1.270	1.651	1.651	2.338	9

Tablo 3, sismograflarda kaydedilen en yüksek tanecik hızlarını göstermektedir. Örnek 1 Patlatmasında yapılan ve yaklaşık patlatma grubuna aynı mesafelerde kaydedilen sismik dalgaları, Örnek 2 Patlatmasında grup patlatmasından kaynaklanırla karşılaştırılabilmek için sadece en yüksek tanecik hız değerlerine değil, tüm dalga biçimine bakmak gerekmektedir. Bu sebeple, her iki örnek grup patlatmalarından kaynaklanan sismik dalgaların yakın mesafede (100 m) kaydedilen zamana bağlı değişen genlikleri karşılaştırmalı verilmiştir. Ancak önce her iki grup patlatmalarındaki gecikme sürelerinde neden farklılık olduğuna açıklamak gerekmektedir.

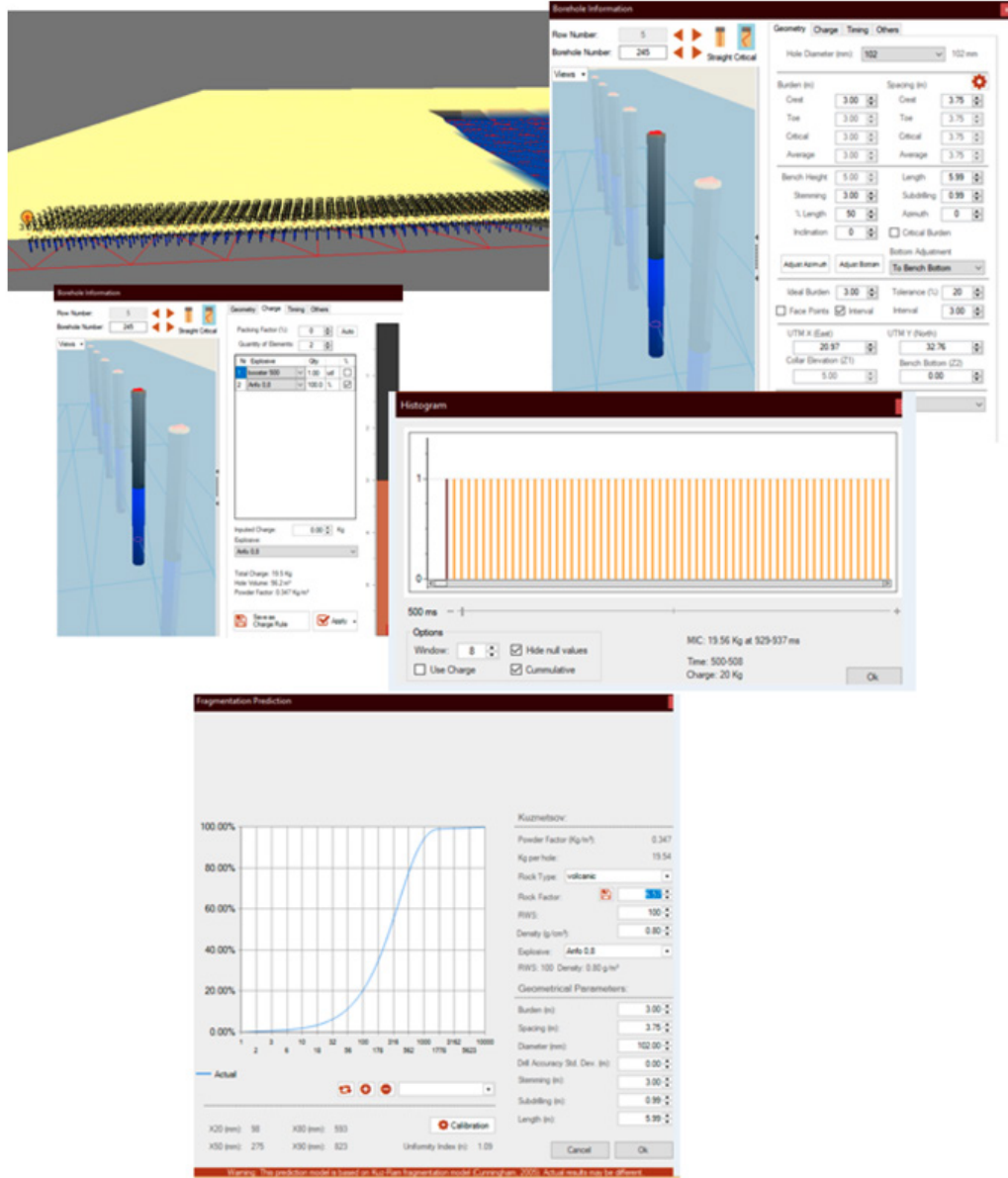
Hatırlanacağı üzere Örnek 1 grup patlatması, 200 delikle gerçekleşmiş ve delikler arası-sıralar arası verilen gecikme süreleri 25 ms-42 ms olmuştur. Bu gecikme süreleri ile yapılan patlatmalarda, deliklerde çakışma olduğu, yani birkaç deliğin aynı anda patladığı, bu sebeple aynı anda devreye giren patlayıcı madde miktarının sanıldığı gibi 17 kg olmadığı bilgisine O-pitblast modellemesi ile bu çalışmalardan daha önce, yapılan patern değerlendirme çalışmasında erişilmiştir. Şekil 8'de bu patlatma için yapılan O-pitblast modellemesi verilmiştir. Şekil 8 (üst) grup patlatmada deliklerin konumu ve bir deliğin dolduruluşunu göstermektedir. Dikkat edileceği üzere Total Charge=15 kg'dir. Diğer deyişle, aynı anda patlayan sadece bir delik, 15 kg patlayıcı olacak şekilde planlanmıştır. Ancak Şekil 8 (alt)'a bakılırsa, MIC değerinin (aynı anda patlayan patlayıcı miktarı) 44 kg olduğundan anlaşılacağı üzere aynı anda birden fazla delik patlamaktadır. Bu durum histogramdan da anlaşılabilir. Bu modelleme, delikler ve sıralar arası 25-42 ms gecikme verildiğinde, bazı deliklerin aynı anda patlayacağını ve dolayısı ile aynı anda 15 kg değil 44 kg patlayıcı devreye gireceğini göstermektedir. Bu durum, grup içinde harmoniyi bozacağından bazı bölgelerin fazla, bazı bölgelerin daha az parçalanmasına sebebiyet verebileceğinden, hem parçalanma performansını etkilemekte, hem de fazla sismik enerjinin yayılmasına sebebiyet vermektedir. Bu sebeple, 42-67 ms gecikme sürelerinin bu çakışmaya sebep

olmadığı modellenerek tespit edildiği için, 18 Mart çalışmasında sahada uygulanmak istenmiştir. O-pitblast modelleme sonuçlarından anlaşılacağı üzere delikler arası 42 ms, sıralar arası 67 ms gecikme süresi deliklerde çakışmaya sebebiyet vermemektedir (Şekil 9).

Şekil 9'da, Örnek 2 grup patlatması, delikler arası 42 ms, sıralar arası 67 ms gecikme verilen durumu göstermektedir. Histogramdan görüleceği üzere delikler arasında herhangi bir çakışma olmamıştır; MIC değeri 19.5 kg görünmektedir (yani bu gecikme tasarımı ile 19.5 kg patlayıcı devreye girmekte, birkaç delik aynı anda patlamamaktadır. Yapılan tasarımda delik geometrisi genişlediği için deliklere konan patlayıcı miktarı 17 kg değil, 19.5kg olmuştur). Parçalanma grafiği (Fragmentation Prediction) daha önceki patlatmalara göre daha iyi sonuç vermiştir.

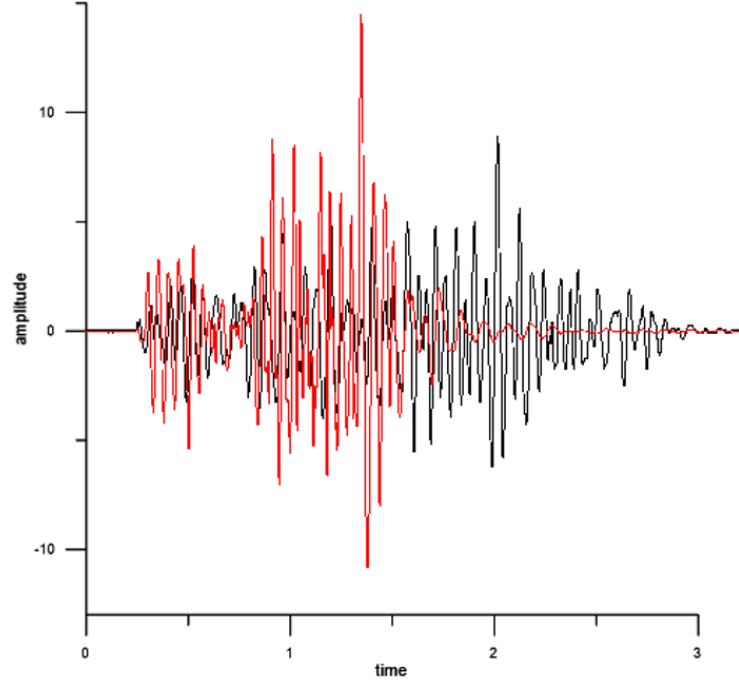


Şekil 8. 17 Mayıs 2019 pasa grup patlatması (deliker arası 25 ms, sıralar arası 42 ms gecikme verilen durum)



Şekil 9. Örnek 2 grup patlatması (deliker arası 42 ms, sıralar arası 67 ms gecikme verilen durum)

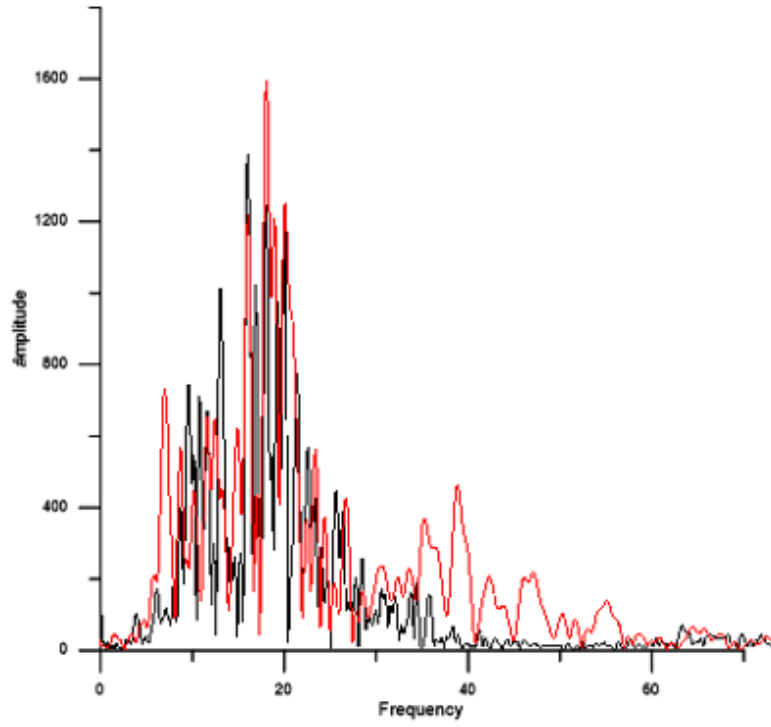
Şekil 10'da Örnek 1 ve Örnek 2 grup patlatmalarından kaynaklanan sismik dalgaların yakın mesafede (100 m) kaydedilen zamana bağlı değişen genlikleri, karşılaştırmalı verilmiştir.



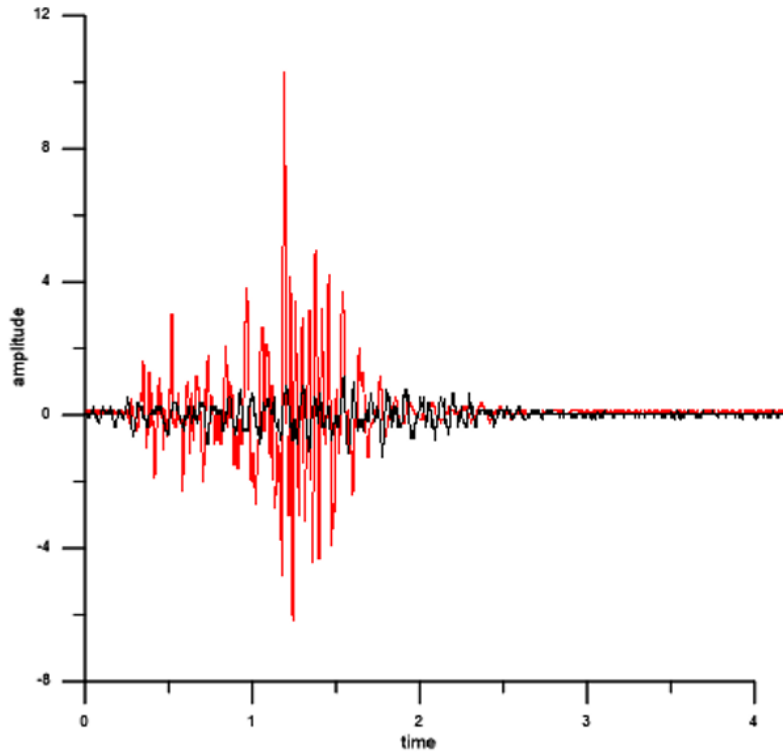
Şekil 10. Örnek 1 ve Örnek 2 grup patlatmalarından kaynaklanan sismik dalgaların yakın mesafede (100 m) kaydedilen zamana bağlı değişen genlikleri. Kırmızı-Örnek 1 grup patlatması; siyah-Örnek 2 grup patlatması

Şekil 10'daki Kırmızı dalga formu, Örnek 1 grup patlatmasına ait; siyah dalga formu ise Örnek 2 grup patlatmasına aittir. Kırmızı dalga formunda genliklerin yüksekliği hemen dikkat çekmektedir. Siyah dalga formunda genlikler daha düşük ancak, süre uzundur. Bunun sebebi ise siyah dalga formunu yaratan Örnek 2 grup patlatmasında 300 delik; kırmızıda ise 200 delik olmasıdır. 100 delik daha fazla patlayınca, titreşim süresi uzamıştır.

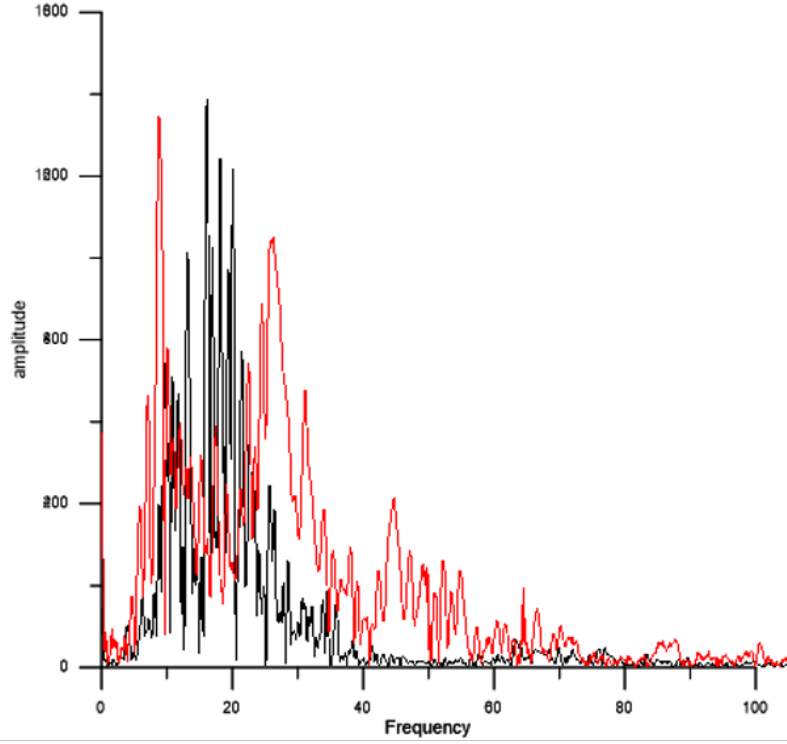
Şekil 11, Örnek 1 ve Örnek 1 grup patlatmalarından kaynaklanan sismik dalgaların yakın mesafede (100 m) kaydedilen frekansa bağlı değişen genlikleri karşılaştırmalı verilmiştir. Zaman grafiğinde olduğu gibi, frekans grafiğinde de, hakim frekansların yoğun olduğu 10-20 Hz aralığında kırmızı genlikler siyahlara göre daha yüksektir. Şekil 12 ve Şekil 13, sırasıyla, Örnek 1 ve Örnek 2 grup patlatmalarından kaynaklanan sismik dalgaların uzak mesafede (200 m) kaydedilen zamana ve frekansa bağlı değişen genliklerini karşılaştırmalı göstermektedir. 200 m uzaklıktaki sismik dalgadaki sönümlenme, delikler arası 42ms ve sıralar arası 67 ms gecikme sürelerinde çok daha fazla olmuştur.



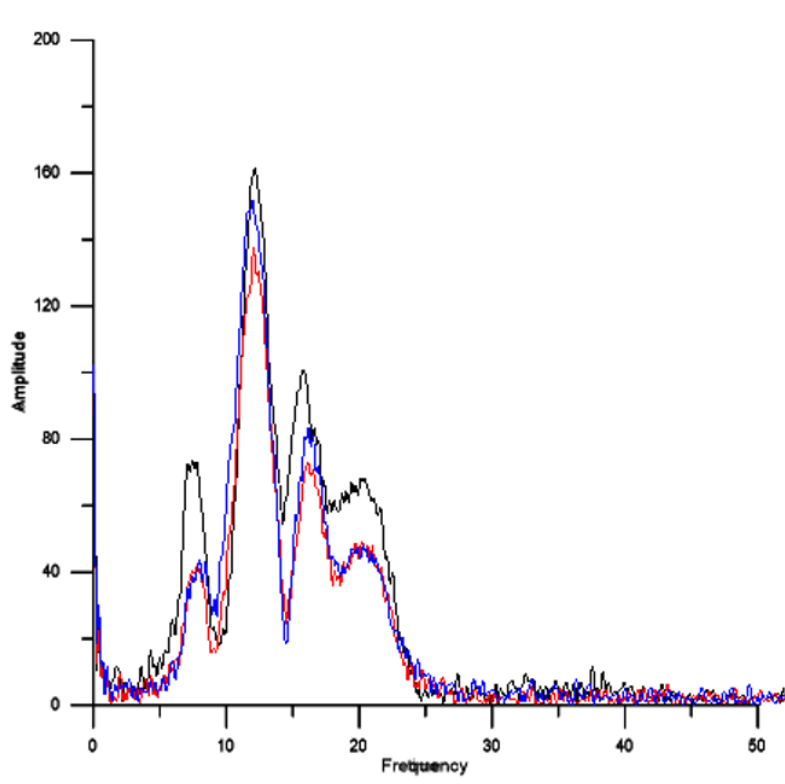
Şekil 11. Örnek 1 ve Örnek 2 grup patlatmalarından kaynaklanan sismik dalgaların yakın mesafede (100 m) kaydedilen frekansa bağlı değişen genlikleri. Kırmızı- Örnek 1 grup patlatması; siyah- Örnek 1 grup patlatması



Şekil 12. Örnek 1 ve Örnek 2 grup patlatmalarından kaynaklanan sismik dalgaların uzak mesafede (200 m) kaydedilen zamana bağlı değişen genlikleri. Kırmızı- Örnek 2 grup patlatması; siyah- Örnek 2 grup patlatması



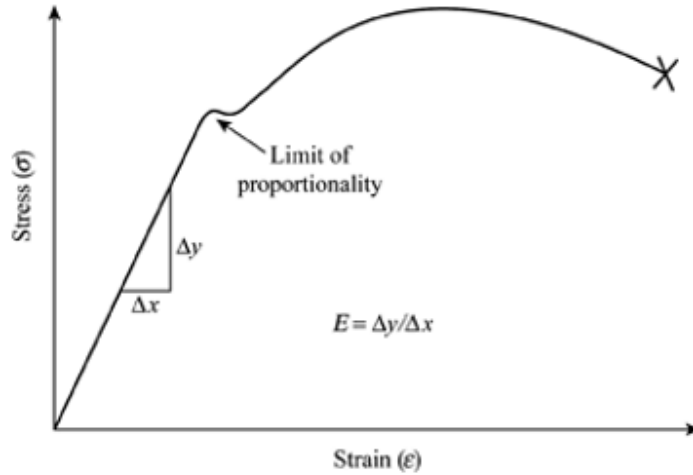
Şekil 13. Örnek 1 ve Örnek 2 grup patlatmalarından kaynaklanan sismik dalgaların yakın mesafede (200 m) kaydedilen frekansa bağlı değişen genlikleri. Kırmızı- Örnek 1 grup patlatması; siyah- Örnek 2 grup patlatması



Şekil 14. Siyah eğri: Patlatma-1-500 gr yemleme dinamiti; Mavi eğri: Patlatma-2-300 gr yemleme dinamiti; Kırmızı eğri: Patlatma-3-300 gr yemleme dinamiti

3.1. Yemleme Dinamitlerinin Karşılaştırılması

Şekil 7'deki deney düzeneği ile 500 gr ve 300 gr yemleme dinamitlerin infilak etkisi sismik dalgaların analiz edilmesi ile karşılaştırılmaya çalışılmıştır. Şekil 14. Patlatma 1, 2 ve 3'ün genlik frekans eğrilerini göstermektedir. Yemleme dinamitlerinin karşılaştırılması için Hooke kanununu hatırlayalım; Hook kanunu, bir maddenin bozunumunun, bozunuma sebep olan kuvvetle yaklaşık doğru orantılı olduğunu açıklayan kanundur. Bu kanuna uyan maddelere lineer elastik maddeler denir. Elastik malzemelerde, gerilim ve gerinim arasındaki ilişkinin doğrusallığını gösterir. Bu kanuna göre, patlayıcı miktarını arttırmak, ortaya çıkan enerjiyi arttırmak anlamına gelir. Ancak, Şekil 15'de görüleceği üzere, Hook'a göre, gerilim/gerinim eğrisi bir süre doğrusal gider, sonra yamulmaya başlar. Yani bu noktada malzeme davranış değiştirir. Kayada da bu durum söz konusudur. 500gr yemleme dinamiti kullanılıncaya, ortaya çıkan patlayıcı enerjisi kayayı kırmada beklenildiği üzere, 300 gr'a göre daha fazla kullanılıyor; genlikler hakim frekanslarda daha yüksek (siyah eğri). Bu durum, daha fazla titreşime neden olur diye düşünülmemelidir çünkü Şekil 15'deki hook eğrisinin yamulmaya başladığı yerdir: 500 gr dinamitle kaya kırılıncaya artık yenilme başlamış ve plastik enerji artmıştır. Yani, elastik enerji yayılımı azdır. 300 gr yemleme dinamiti de Şekil 14'te görüldüğü üzere iyi iş yapmaktadır ancak; Patlatma-3'te yine 300 gr yemleme dinamiti kullanılmış fakat genliğin daha düşük olduğu farkedilmiştir (kırmızı eğri) Bunun sebebi, 2. Patlatma nedeni ile 3. Patlatmanın bakir ortamının bozulması ve bu yüzden patlayıcı-kaya etkileşiminin patlatma-2'dekinden daha az olmasıdır. Bu da, 300 delikli bir grup patlatmasında, birbirinden ms gecikmelerle önce patlayarak bir bir sonrakinin bakir ortamını bozan deliklerde 300gr yemleme dinamitinin bir delikten sonrakine ne kadar etkisini azalttığını göstermektedir. Elbette ki 500gr yemlemede de bu durum olacaktır ancak 500 gr yemleme dinamiti Hook kanununa göre 300 gr'lığa göre daha fazla plastik enerji ile kayayı kıracağı için, delikler arasında bakir ortamın bozulmasından kaynaklı etki azalımı tolere edilebilecektir.



Şekil 15. Hook eğrisi

4.Sonuçlar

Şev duraylılığı analizleri ve sürdürülebilir madencilik faaliyetlerini bir piramid olarak düşünürsek, bütüncül şev stabilitesi analizinde patlatmaların kontrollü hale getirilmesi ve patlatma kaynaklı sismik dalgaların sürekli izlenmesi bu piramidin önemli bir parçasıdır. Çalışma sahasındaki patlatmalar, verimli ve güvenli bir şekilde yapılarak dekapaj ve üretim faaliyetlerinin aksamaması ve aynı zamanda kontrollü yapılarak şev duraylılığına olumsuz yönde etkilememesi için izlenmelidir. İzleme çalışmaları sırasında patlatma kaynaklı sismik dalgaların yaratacağı titreşimler hakkında yorum yapabilmek için, ortamda yayılan sismik dalgaların yayılma mekanizmasını iyi bilmek gereklidir.

- Sahada hali hazırda uygulanan delik geometrisi ve patlatma paterni ile hazırlanarak patlatılan gruplardan sismik kayıtlar alınmış ve uygulanan paternin sonuçları O-pitblast yazılımı ile incelenmiştir. O dönemde, yemleme miktarı 250 gr iken, yeni yapılacak patlatma çalışması için 500 gr'a çıkarılmıştır. Bunun nedeni, delik tabanında iyi kırılmayan bölgeler ve yer yer büyük blokların çıktığı bilgisini yerinde görmemizdir. Örnek 2 tarihindeki çalışmamızda yemleme dinamiklerinin miktarlarının yeterliliği ile ilgili bir deney yapılmış ve 500 gr yemleme dinamitinin gerçekten de 5 m yüksekliğindeki basamakta açılacak deliklerde infilakın devamlılığı için en iyi sonucu verdiği belirlenmiştir.
- Örnek 1 çalışma bölgesinde 1 adet pilot ve 1 adet grup patlatması yapılmış; patlatma kaynaklı oluşan sismik dalgalar Instanetel Minimate ve Instanetel Micromate markalı 3 adet sismografla kaydedilmiştir. 200 delikli grup patlatmasının yanı sıra, 1 adet pilot patlatma yapılmıştır. Bu patlatmanın amacı, grup patlatmalarından oluşacak karmaşık, kompleks yapıdaki sismik dalgaların yayılım mekanizmasını incelerken, grubu temsil edecek bir pilot patlatma daha yaparak bu patlatmadan kaynaklı temiz ve sakin bir dalga biçiminin yayılma mekanizmasını ve dalga özelliklerini de inceleyebilmektir. İlgili bölümdeki şekillere bakılırsa, Micromate adlı sismografin, sismik yansıma etüdü için atılan profil hattı üzerine yerleştirildiği görülebilir. Profil üzerinde yer alan, sismik çalışma ile belirlenen süreksizlikler ve ezilme zonlarının varlığı, patlatma ile ortaya çıkan sismik dalgaların yayılma mekanizmasını değiştirmektedir. Süreksizlik ve ezilme zonları, grup patlatmasından yayılan sismik dalgaların, sismik hattın grup patlatmasına göre diğer tarafında yer alan sismograf 14465'e kadar giderken soğrulmasına neden olmuştur. Grup patlatmasına en uzak sismograf olan 13638'de , sismograf 14465'e göre neredeyse 2 kat daha fazla titreşim etkisi ve yüzey dalgası oluşumu gözlenmesi dikkate alınarak, grup ateşlemeleminde ateşleme yönünü bu bilgi dahilinde vermekte fayda vardır.
- Örnek 1 çalışmasında yapılan 200 delikli grup patlatmasında, delikler arası 25 ms, sıralar arası 42 ms gecikme kullanılmıştır. Örnek 2 çalışmasında, yine ocakda bir grup patlatması yapılmış, ancak, grupta delikler arası 42 ms, sıralar arası 67 ms gecikme uygulanmıştır. Daha önce O-pitblast yazılımı ile yapılan modellemelerde halihazırda kullanılan gecikme sürelerinin deliklerde çakışma yarattığı; belirlenen gecikme sürelerinin (42-67 ms) herhangi bir çakışmaya sebep vermediği görüldüğü için, Örnek 2 uygulamasında bu gecikme süreleri denenmek istenmiştir. Çalışmada, Örnek 1 ve Örnek 2 grup patlatmalarından kaynaklanan sismik dalgaların uzak mesafede (200 m) kaydedilen zamana ve frekansa bağlı değişen genlikleri karşılaştırmalı gösterilmiştir. 200 m uzaklıktaki sismik dalgalarındaki sönümlenme, delikler arası 42 ms ve sıralar arası 67 ms gecikme sürelerinde çok daha fazla olmuştur (Bkz. Şekil 12).

Refefanslar

Cardu, M., Mucci, A., Uyar Aksoy G.G., 2015. Investigating the effects of bench geometry and delay times on the blast induced vibrations in an open-pit quarry. GEAM, Vol. 144. 45-56.

Dowding, C.H., 1985, Blast Vibration Monitoring and Control, Prentice-Hall, 297 pages.

Siskind, D.E., Stagg, M.S., Kopp, J.W., Dowding, C.H., 1980. Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration from Surface Mine Blasting. RI 8507, Bureau of Mines, 74 pages.

Uyar Aksoy, G.G., 2005. Application of stockwell transform to blasting induced ground vibration. International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, Vol.19, No.2, pp.100-107.

Uyar Aksoy,G.G, Aksoy, C.O., 2015. Patlatma kaynaklı titreşim analizlerinde en yüksek parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisini esas alan yaklaşımının olumsuzlukları. VIII. Delme-Patlatma Sempozyumu

Uyar Aksoy, G.G., 2017. Delme-Patlatma. Temel Madencilik Bilgileri, Kitap Bölümü, Bölüm 3, sayfa138-247.

Uyar Aksoy, G.G., 2017. Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Çevreye Olan Etkilerinin En Aza İndirilmesi Çalışmalarında Kullanılan Hasar Kriter Tabloları Üzerine Bir Yorum. Uluslararası Madencilik ve Çevre Sempozyumu, ISME 2017.

Uyar Aksoy, G.G., Babayigit E., 2016. Guided wave formation in coal mines and associated effects to buildings. Structural Engineering and Mechanics, An International Journal, Vol. 60 No.5, 923-937.

Uyar Aksoy G.G., Ecevitoğlu, B., 2008. Waveform analysis in mitigation of blast-induced vibrations. Journal of Applied Geophysics, 66:25-30.