



Ariyet Ocağında Kontrollü Patlatmalarla İlgili Bir Çalışma **A Study on Controlled Blasting at a Quarry**

Vehbi Özacar ^{1*} 

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi Torbalı Meslek Yüksekokulu, İzmir, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar / Corresponding Author*: vehbi.ozacar@deu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 10.12.2018

Kabul Tarihi / Accepted: 22.05.2019

DOI:10.21205/deufmd.2019216319

Araştırma Makalesi/Research Article

Atıf şekli/How to cite: ÖZACAR, V. (2019). Ariyet Ocağında Kontrollü Patlatmalarla İlgili Bir Çalışma. DEUFMD, 21(63), 911-925.

Öz

Patlatma kaynaklı çevresel sorunların içinde, titreşimler çevre sakinlerini oldukça endişelendirmektedir. Bina üst yapılarına verilen zararın patlatmadan kaynaklandığı iddia edilmektedir ve bazen bina sahibi, patlatma işlemlerini gerçekleştiren şirkete karşı dava açmaktadır. Patlatma kaynaklı titreşim problemi geçmişte kapsamlı bir şekilde araştırılmış ve devam eden araştırmalara konu olmaya devam etmektedir. Bu makale, bir otoyol projesi kapsamında faaliyet gösteren taş ocağında yapılacak patlatmaların yüzeyden 9-10 m derindeki karstik kireçtaşlarındaki akifer tabakasına ve yeraltı sularına herhangi bir olumsuz etki etmemesi için gerekli çalışmaları içermektedir. Bu amaçla, titreşim ölçümü ve analizi yapılmış ve hedef bölgedeki patlatma kaynaklı yer titreşimlerini en aza indirgeyen yeni bir metodoloji uygulanmıştır. Patlatmanın neden olduğu zemin titreşiminin analizinde tepe partikül hızı ve baskın frekanslar dikkate alınmıştır. Metodoloji, hedef bölgedeki yüzey dalgalarının tahribatlı etkileşimini sağlamak için patlatma deliği gruplamaları arasında en uygun zaman gecikmelerini kullanmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Delme ve patlatma, Patlatma kaynaklı zemin titreşimi, Tepe parçacık hızı, Baskın frekanslar*

Abstract

From all of the environmental problems, blast-induced vibrations often cause concern to surrounding residents. It is often claimed that damage to building superstructures is due to blasting, and sometimes the building owner files a lawsuit against the company that perform blasting operations. The blast-vibration problem has been thoroughly investigated in the past and continues to be the subject of ongoing research. This study contains necessary work to ensure that detonations to be made in the quarry operating within highway project do not adversely affect to the karstic limestones at the depth of 9-10 m from the surface and groundwater. For this purpose, the vibration measurement and analysis have been carried out and a new methodology in minimizing the blast induced ground vibrations at the target location, was also applied. Peak particle velocity and dominant frequencies were taken into consideration in analyzing the blast-induced ground vibration. The methodology aims to employ the most suitable time delays among blast-hole groups to render destructive interference of surface waves at the target location.

Keywords: *Drilling and blasting, Blast-induced ground vibration, Peak particle velocity, Dominant frequencies*

1. Giriş

İnsanların ulaşım, enerji üretimi, yeraltı depolama, kanalizasyon vb. gibi farklı ihtiyaçlarını karşılamak için tünellerin inşası gerekmektedir. Bu tünellerin inşasında, önde gelen kazı metodu, değişen jeoteknik koşulları karşılama kapasitesi sayesinde delme ve patlatmadır. Ayrıca, delme-patlatma prosedürleri kolay ve ekonomiktir. Ancak madencilik ve inşaat endüstrileri için ciddi bir sorun olan patlatma kaynaklı zemin titreşimleri araştırmacılar tarafından araştırılmaktadır [1 - 5]. Önemli bir mühendislik teknolojisi olan patlatmanın askeriye, madencilik, demiryolu, otoyol, liman, havalimanı, tünel inşaatı ve diğer alanlarda kullanımı giderek artmaktadır [6-7]. Kazı yönteminin seçimi ilk yatırım ve proje maliyetleri üzerindeki doğrudan etkileri nedeniyle çok önemli bir karardır [8-9]. Delme ve patlatma operasyonlarında üç önemli konu vardır; verimlilik, iş güvenliği ve çevre [10]. Verimlilik, düzgün veya uygun büyüklükte malzeme ve uygun yer değiştirme ile verimli ve etkili parçalanma anlamına gelir. Güvenlik hususları, maden işçilerinin güvenliğini ve sağlığını etkileyebileceğinden patlayıcı taşıma ve patlatma prosedürlerini içerir. Çevresel problemler, çevre sakinlerini etkileyebilecek yer titreşimi, aşırı hava basıncı, gürültü, taş fırlaması, toz ve dumanları içerir. Tüm çevresel sorunlarla birlikte, özellikle patlatma kaynaklı titreşimler çoğu zaman çevre sakinlerini endişelendirmektedir. Bina sahiplerinin, bina üst yapılarındaki (örneğin duvarlardaki çatlaklar) hasarın patlatmadan kaynaklandığını iddia ederek patlatma işlemlerini gerçekleştiren şirketlere karşı dava açmaları sıklıkla görülmektedir. Patlatma kaynaklı titreşim problemi geçmişte ayrıntılı olarak araştırılmış ve günümüzde de araştırmalara konu olmaya devam etmektedir [11-15].

Patlatmadan kaynaklanan yer titreşimleri, yeryüzünde yayılan akustik dalgalar [16]. Dört tür zemin titreşim dalgası vardır: sıkıştırma veya P dalgaları, enine (kesme) veya S dalgaları, Rayleigh dalgaları ve Love dalgaları. P ve S dalgalarına aynı zamanda cisim dalgaları da denir. Rayleigh ve Love dalgaları yüzey dalgalarıdır. Cisim dalgaları, elastik bir katı maddenin gövdesi boyunca yayılabilir. P-dalgaları, dalga hareketi yönünde sıkıştırılmalı ve dilatasyonel tek eksenli gerilmelerle yayılır. Basınç dalgasının geçişi ile ilişkili parçacık hareketi, dalga yayılımı yönünde sabit bir nokta etrafında salınımı içerir. Kesme dalgaları, S-

dalgaları, dalga hareketinin yönüne dik bir yönde bir saf kesme gerilmesi ile yayılır. Yüzey dalgaları, katının sınırı boyunca yayılabilir. Rayleigh dalgaları, serbest bir yüzey boyunca veya iki farklı katı ortam arasındaki sınır boyunca yayılır. Love dalgaları, serbest yüzeye paralel ve dalga hareketinin yönüne dik olarak ilişkili osilatör parçacık hareketine sahip kutuplanmış kesme dalgalarıdır. Cisim dalgaları düşük genliğe, yüksek frekansa ve yüksek hıza sahipken, diğer taraftan yüzey dalgaları yüksek genliğe, düşük frekansa ve düşük hıza sahiptir. Yüzey dalgalarının bu düşük frekans ve düşük hız özellikleri, zemin ve yapı arasında rezonansa neden olan ve titreşim genliklerinin çoğalmasına neden olan tehlikeli dalga uzunluğunu oluşturur [17]. Bu sebepten dolayı, yüzey dalgaları, yer titreşimi minimizasyon çalışmalarında cisim dalgalarından daha önemlidir.

Yüzey dalgaları dağınık dalgalar [18]. Dalga şekilleri, farklı hızlarda hareket eden farklı frekans bileşenlerinin bir sonucu olarak yayılma sırasında aşamalı olarak değişmektedir. Patlama noktasından kaynaklanan bir sıkıştırılmış yüzey dalgası paketi, kat edilen mesafe ile genişler. Bu yüzey dalgası paketinin bir sonucu olarak:

- Pakette gizli düşük frekans (uzun dalga boyu) dalgaları görünür hale gelir. Bu durum tehlikeli ve istenmeyen bir durumdur.
- Yüzey dalgasının genişlemesi, hem zeminde hem de binada titreşim süresini uzatır, böylece özellikle binalardaki bağlantı noktaları yorulur [18-19].

Patlatma kaynaklı titreşimler depremlerin neden olduğu yer titreşimlerinden sismik kaynak, mevcut enerji miktarı ve kat edilen mesafeler açısından farklılık göstermektedir [20]. Patlamanın neden olduğu yüzey titreşimlerinin baskın frekansı 5-200 Hz aralığındayken, depremin neden olduğu yer titreşimlerinin baskın frekansı genellikle 0.1-2 Hz aralığındadır [21]. Patlatma titreşimlerinin incelenmesi, konut yapılarına verilen zararın en aza indirmek için güvenli patlatma prensiplerinin sağlanmasında esas teşkil etmektedir [22]. Patlatma sismik dalga yoğunluğu titreşim hızı, hızlanma, yer değiştirme, frekans, vd. ile değerlendirilebilir. Halihazırda, yapılara potansiyel olarak zarar verebileceği düşünülen tek yönlü titreşimlerin en yaygın olarak kabul edilen ölçümü,

dalgaların belirli bir yeri geçtikçe tek bir toprak parçacığının hareket ettiği veya titreştiği hız olarak tanımlanan maksimum parçacık hızıdır (PPV). Bugün PPV açısından ev ve bina üzerindeki patlatma kaynaklı titreşimlerin tepkisini değerlendirmek için sismografları kullanmak standart ve gerekli bir uygulama olarak kabul görmektedir. PPV çevresel değerlendirmenin anahtarıdır ve yakın mesafede gecikme başına maksimum patlayıcı miktarına ve uzak alanda toplam patlayıcı miktarına güçlü bir şekilde bağlıdır [23]. Patlatma titreşimlerinin incelenmesi (özellikle de maksimum partikül hızı) konut yapılarına verilen zararı en aza indirmek açısından güvenli patlatma için kılavuzların sağlanmasında çok önemlidir [22,24]. Patlatma titreşimlerinin özellikleri, toplam patlatılan patlayıcıların miktarına, patlama tasarımında kullanılan gecikme aralıklarına ve hakim jeolojik koşullara önemli derecede bağlıdır. Delikler ve sıralar arasında optimize edilmiş gecikme sayesinde daha iyi parçalanma ve daha düşük titreşim seviyeleri sağlanabilir [25-26]. Delik başına düşen patlayıcı miktarı ve gecikme zamanlamasının uygun kombinasyonu, sıralı patlamalardaki [27] sıralar arasında kaya kütlelerinin genişlemesi (şişmesi) için yeterli alana izin vermektedir. Kaya kütlesi hareketindeki herhangi bir daralma, parçacık hızını artırır ve patlatma verimliliğini azaltır [28].

Patlama titreşiminin sismik davranışını etkileyen faktörler vardır. Titreşim minimizasyon çalışmalarında, bu faktörler ciddi bir şekilde dikkate alınmalıdır. Bunlar:

- Patlayıcı-kaya etkileşimi: Patlatılmış kayaçların parçalanma ve deformasyon özellikleri. Bu etkileşim, parçalanma için ne kadar enerjinin kullanıldığını ve ne kadarının elastik dalga olarak harcadığını belirler.
- Güdümlü dalgalar: Bazı kaya birimleri kanal gibi davranırlar, böylece patlama dalgalarını atış noktasından çok az enerji düşüşüyle uzak mesafelere gönderirler.
- Patlatma parametreleri: Delik sayısı, delik başına düşen patlayıcı miktarı, patlayıcı tipi, delik derinliği, delik tasarımı, gecikme, serbest yüzey.
- Patlatma noktası ve hedef arasındaki mesafesi: Sismik dalganın emilimi ve dağılımı, patlatma ile hedef (ölçüm noktası) arasındaki mesafeye bağlıdır.

- Jeolojinin etkisi: Sismik dalgaların hareket ettiği birimlerin elastik özellikleri, jeolojik yapı (temel kaya derinliği, fay, yatak, tektonik vb.)

Bu makale, bir otoyol projesi kapsamında faaliyet gösteren taş ocağında yapılacak patlatmaların yüzeyden 9-10 m derindeki karstik kireçtaşlarına ve yeraltı sularına herhangi bir olumsuz etki etmemesi için gerekli Ar-Ge çalışmasını ve kontrollü patlatma tasarımlarının ve bu tasarımlarla yapılacak patlatmaların karstik kireçtaşlarını nasıl bir plastik ve elastik (sismik titreşimler) enerji etkisi ile etkileyeceğini gösteren modellemeleri içermektedir. Bu kapsamda, sahada pilot patlatmalar yapılmış ve yukarıda belirtilen amaca hizmet eden en uygun gecikme aralıkları, modelleme sonuçlarına göre belirlenmiştir.

Sahada yapılan patlatma ölçüm çalışmaları ve ölçümlerden alınan verilerin modellenmesi çalışmalarında G. G. Uyar ve B. Ecevitöğlü'nün geliştirdiği "Patlatma kaynaklı titreşimlerin en aza indirilmesini sağlayan yöntem" (29) kullanılmıştır.

2. Patlatma Kaynaklı Sismik Dalgaların Özellikleri

Patlatma ile yapılan kaya kazısı çalışmalarının çevreye olan en önemli etkisi, patlatma kaynaklı oluşan sismik dalgaların yapılar üzerinde yarattığı titreşimlerdir.

Kaya kazısı amaçlı yapılan patlatmaların sismik dalga üretme özellikleri aşağıdaki maddelerde sıralanmıştır:

- Çoklu nokta kaynak vardır (patlatma delikleri).
- Amaç kayacı parçalamaktır.
- Patlayıcı tipi, miktarı, ateşleme sistemi ve gecikme elemanlarının seçimi kullanıcıya bağlıdır.
- Derinlikler sığdır (Basamak boyları genelde 20 metreyi geçmez).
- Düşük frekanslı (uzun dalga boyulu) dalgalar ürer. Bu durum zeminle ve yapıyla olan rezonansı arttırmaktadır.
- 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.

Kaya kazısı amaçlı patlatmaların sismik dalga özelliklerini etkileyen faktörler:

- Patlayıcı-Kayaç Etkileşimi: Patlama sonucu kayacın parçalanma ve deforme olma özelliği, patlama ile ortaya çıkan enerjinin ne kadarının sismik dalga yayılımında kullanılacağını belirler.
- Patlatmanın yapıldığı kaya biriminin patlama ile ortaya çıkan sismik enerjiyi öteleme özelliği (Örnek: Kömür tabakası gibi altında ve üstünde daha yüksek sismik hıza sahip birim olan formasyonlarda, patlatma sonucu oluşan sismik dalgalar bu arada kalmış formasyon içinde hapsolarak, yönlendirilmiş dalgalar oluştururlar. Bu durum yönlendirilmiş dalgaların çok uzak mesafelere taşınmasına neden olur).
- Patlatma parametreleri:
 - Delik sayısı
 - Deliklerdeki patlayıcı miktarı ve tipi
 - Deliklerin derinliği
 - Delik tasarımı
 - Gecikme
 - Ayna etkisi
- Patlatma yapılan yer ile titreşimlerin minimize edilmesi istenen yer arasındaki uzaklık. Sismik dalgaların soğurulması ve yüzey dalgalarının dispersiyonu kat edilen uzaklığa bağlıdır.
- Jeolojinin etkisi: Kat edilen jeolojik birimlerin elastik özellikleri (hız, yoğunluk, soğurganlık, vb.) ve jeolojik yapı (temel kaya derinliği, ortamın fay durumu, tabakalanma sistemi, tektonizma vb.).
- Hedefin (titreşimlerden etkilenecek yer) jeolojik özellikleri: Kayaçların fiziksel özellikleri ve yeraltı yapısının durumu.

Kaya kazısı amaçlı patlatmalardan kaynaklı oluşan sismik dalga fazları: Patlatma ile birlikte cisim ve yüzey dalgaları ortaya çıkar. P-S türü cisim dalgaları jeolojik birimlerin içlerini kat ederek gelirken, yüzey dalgaları yer yüzeyinde ilerler. Cisim dalgaları düşük genlikli, yüksek frekanslı ve hızlı iken, yüzey dalgaları yüksek genlikli, düşük frekanslı ve yavaştır. Yüzey dalgalarının düşük frekanslı ve yavaş olmaları, oluşan dalga boylarının zemin ve yapı ile rezonansa girme riskini artırarak zemin büyütmesine neden olacaktır. Bu istenmeyen bir durumdur.

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 boyu) dalgalar kendilerini göstermeye başlarlar. Bu durum tehlikeli ve istenmeyen bir durumdur. b) yüzey dalga katarının uzaması, zemin ve binaların titreşim sürecini arttıracığı için özellikle yapı mafsallarının hızla yorulmasına neden olacaktır. 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 [30-31].

2.1. Patlatma kaynaklı yer titreşimleri ile ilgili standartlar

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/s²) ve dalga frekansı (Hz).

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 özelliklerinden biri en yüksek parçacık hızıdır. Çünkü en yüksek hız değeri ne kadar büyükse yapı ya da zemin de o denli yüksek şiddette sarsılır. Frekans (f) ise, zemindeki bir parçacığın 1 saniyede kaç kez (devir/saniye) titreştiğini gösterir. Frekans, Hertz (Hz) birimi ile ifade edilir. Yer titreşiminin frekansı da en az parçacık hızı kadar önemlidir.

Türk yönetmeliği uyarınca bu makalede "titreşim hızı" ve "sismik dalga frekansı" dikkate alınmıştır. Bu parametrelere ek olarak titreşime maruz kalma süresi de göz önünde bulundurulmuştur.

Yer titreşimlerinin frekans özellikleri başlıca iki unsurdan etkilenirler. Bunlar jeoloji ve

gecikmeli ateşlemelerde gecikme aralığıdır [32]. Sürekli şikayetlerin çoğunda, parçacık hızı Amerikan standartlarına göre hasar verme eşik değeri olan 12.5 mm / s [22] 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 oturdıkları zemin özellikleri de etkin olmaktadır [22]. Bu nedenlerle sarsıntıya bağlı hasar etütlerinde çok kapsamlı çalışmak gerekmektedir.

2.2. Hasar sınıflandırması

2.2.1. ABD Madencilik Dairesi sınıflandırması

ABD Madencilik Dairesi'nin geliştirdiği sınıflamada "Eşik Hasar", "Hafif Hasar" ve "Esaslı Hasar" olmak üzere üç hasar sınıfı tanımlanır [22]. Boya ve sıvada kılcal çatlakların olduğu "eşik hasar" sadece görünüm bozucu niteliktedir. Sıva düşmesi, çatlakların 3 mm' ye kadar genişlemesi şeklinde görülen "hafif hasar" göreceli olarak daha fazla rahatsız edici olmasına rağmen yapıların dayanımını ve yapı elemanlarının yük taşıma kabiliyetlerini etkilemez. Duvarlarda geniş çatlaklar, duvar ve bacalardan taş, tuğla düşmesi sonucu yapıda kalıcı deformasyonlar oluşturan ve yapıyı zayıflatan tek hasar türü ise "esaslı hasar" sınıfıdır.

Tablo 1'de yapılarda hasar yaratmayacak emniyetli sarsıntı düzeyleri yapı türlerine göre verilmiştir [33]. Tablo 1'de verilen sınır değerler ABD'deki yerinde ölçüm ve gözlemlerde eşik hasar olduğu gözlenen düzeylerden daha düşük seçilmiştir. Bu değerler yüzeysel çatlak oluşum olasılığının en fazla %5 olabileceğini kabul eder. Diğer bir deyişle yüzeysel çatlak oluşmamasını %95 oranında garanti eder.

Tablo 1. Emniyetli yer sarsıntısı düzeyleri [33].

Yapı Türü	Yer sarsıntısı en yüksek parçacık hızı (mm/s)	
	Düşük frekans (<40 Hz)	Yüksek frekans (>40 Hz)
Modern Evler	19.0	50.8
Eski Yapılar (Ahşap Elemanlı)	12.7	50.8

2.2.2. Türk hasar sınıflandırma kriterleri

Batılı ülkelerde, hasar oluşmaması için zeminde izin verilen titreşim hızı sınır değerleri, ilgili ülke tüzüklerinde verilmektedir. Ülkemizde ise 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 Resmî Gazetede yayınlanarak yürürlüğe konulmuş bulunmaktadır.

Türk yönetmeliği, Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği (34) başlığını taşımakta olup, ülkemizde ilk kez titreşim konusunda bir düzenleme içermektedir. ÇGDYY Madde 29'da çevresel titreşim esas ve kriterleri belirtilmiş olup, söz konusu Madde 29 aşağıda aynen verilmiştir:

"Yerleşim alanlarında çevresel kaynaklar için titreşim kriterleri

Madde 29- Çeşitli titreşim kaynaklarının neden olacağı çevresel titreşimin kontrol altına alınmasına ilişkin esaslar aşağıda belirtilmiştir:

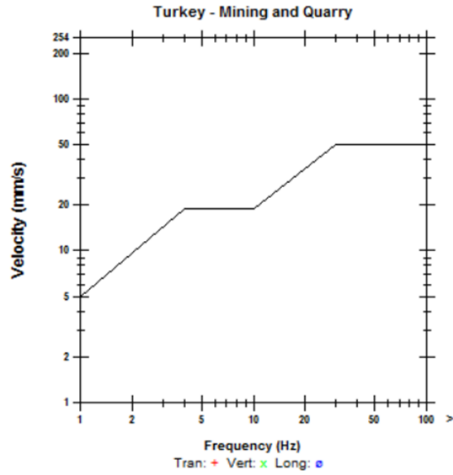
a) Maden ve taş ocakları ile benzer faaliyette bulunan alanlardaki patlatmaların çevredeki yapılara zarar vermemesi için, en yakındaki yapının dışında, zeminde ölçülecek titreşim düzeyi Tablo 2'de verilen değeri geçemez. Ölçümler üç yönde yapılır ve bunlardan en yüksek olanı alınır. Titreşimler 1/3 oktav bantlarında tepe değeri olarak ölçülür.

Tablo 2. ÇGDYY Madde 29'da Tablo-9: Maden ve Taş Ocakları ile Benzeri Alanlarda Patlama Nedeniyle Oluşacak Titreşimlerin En Yakın Yapının Dışında Yaratacağı Zemin Titreşimlerinin İzin Verilen En Yüksek Değerleri.

Titreşim frekansı (Hz)	İzin verilen en yüksek titreşim hızı (tepe değeri-mm7s)
1	5
4-10	19
30-100	50

(1 Hz - 4 Hz arasında 5mm/s'den 19mm/s'ye; 10Hz - 30Hz arasında 19mm/s'den 50mm/s'ye logaritmik çizilen grafikte doğrusal olarak yükselmektedir).

Şekil 2, Türk hasar sınıflandırma grafiklerinden, Madencilik ve Taş Ocakları Sektörüne uygun olan grafiği göstermektedir.



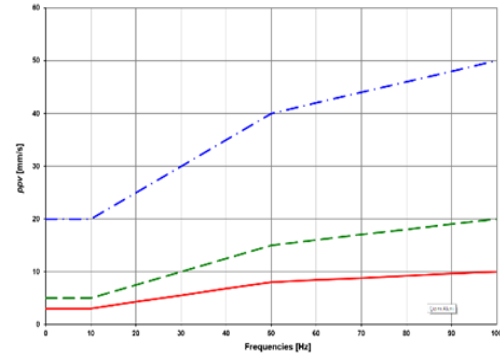
Şekil 2. Türk hasar sınıflandırma grafiği (Madencilik ve Taş Ocakları sektörüne özel)

Şekil 2'den görüleceği üzere, patlatma kaynaklı oluşan titreşimin frekansına bağlı olarak izin verilen sınır parçacık hızı değerleri değişmektedir. Düşük frekanslarda izin verilen parçacık hızları düşük değerde iken, frekanslar yükseldikçe, izin verilen parçacık hızları da yükselmektedir. Türk Hasar sınıflandırma grafiği, ABD Hasar sınıflandırma grafiklerine çok benzemektedir. Ancak, ülkemizdeki maden

ve taş ocakları çevresinde yer alan yerleşim yerlerindeki yapıların durumu ABD ile karşılaştırıldığında çok zayıf olduğu için, bu çalışmada güvenli tarafta kalmak adına, daha hassas olan Alman DIN4150 hasar kriter normları da dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır.

2.2.3. Alman 4150 Normu

Hasar sınıflandırma kriterleri arasında Alman DIN4150 (35) normu en hassas olanıdır. Alman DIN normu, patlatma kaynaklı titreşimlerin, yapılara hasar vermemesi için izin verilen limit değerlerini, parçacık hızı-frekansa göre 3 farklı renkte oluşturduğu eğrilerin altında kalacak şekilde göstermektedir. Kırmızı çizgi, tarihi eserler sınıfındaki yapılar için izin verilebilecek genliklerin altında kalması gereken eğriyi; yeşil, betonarme yapılar için, mavi ise çok sağlam endüstriyel ve sanayi yapılar için izin verilebilecek genliklerin altında kalması gereken eğriyi göstermektedir. Şekil 3'den de görüleceği üzere, frekans arttıkça izin verilen genlik değerleri yükselmektedir. Tablo 3 Alman DIN 4150 normuna göre, yapı tiplerine ve frekansa göre izin verilen parçacık hızlarını göstermektedir.



Şekil 3.Alman DIN4150 Hasar Kriteri

Tablo 3. Alman DIN 4150 normunda yapı tiplerine ve frekansa göre izin verilen titreşim hızları

Sını	Yapı Tipi	Titreşim hızları (ppv) referans değerleri			
		Yapılara gelen titreşimlerin frekans değerleri			
		1-10 Hz	10-50 Hz	50-100 Hz *	Tüm frekanslar
1	Ticari ve endüstriyel, sanayi yapıları	20	20 - 40	40 - 50	40
2	Yerleşim yerlerindeki oturan binalar	5	5 - 15	15 - 20	15
3	Tarihi eser gibi özel koruma altına alınması gereken hassas yapılar	3	3 - 8	8 - 10	8

* 100 Hz'den yüksek frekanslar, 100 Hz için izin verilen en düşük değere adapte edilebilir.

Bu çalışmada, ABD Maden Dairesi (22) ölçütleri, Türk Yönetmeliği (34) ve Alman DIN4150 normu birlikte değerlendirilmiştir [35].

3. Patlatma Kaynaklı Dalgalar ve Yarattığı Titreşimlerin İncelenmesinde Kullanılan Yöntemler

Patlatma titreşimlerinin en aza indirilmesinde kullanılan klasik yöntem, parçacık hızı-ölçekli mesafe arasındaki ilişkiden kurulan yöntem olup;

- Sismografla patlatma kaynaklı en yüksek parçacık hızlarını ölçmek,
- Patlatma bölgesi ve hedef istasyon arasındaki arazi katsayılarını belirlemek (bunun için en az 30 patlatma kaydına ihtiyaç vardır),
- Titreşim dalgalarının yayılma kuralını içeren ampirik formül bulma (en az 30 patlatma verisinden Parçacık Hızı-Ölçekli Mesafe grafikleri oluşturarak), bu formül kullanılarak yapılan patlatmalar için mesafeye bağlı olarak bir seferde güvenle atışlenebilecek en yüksek patlayıcı madde

miktarlarının saptanması esasına dayanmaktadır.

Klasik yöntem, patlayıcı miktarında azaltma, patlatma tasarımlarını değiştirme gibi işletmenin faaliyetlerini yavaşlatacak ve patlatma performansını düşürecek ve ek maliyet getirecek çözümler sunmakta, bu çözümler görgül yaklaşımlarla elde edildiğinden başarı oranı düşük olmaktadır.

Etkin frekanstaki en yüksek tanecik hızını esas alan bu değerlendirmede, bu frekanslar civarındaki daha düşük genlikli fakat uzun sürdüğü için daha fazla hasar verebilecek titreşim dalgaları göz ardı edilmektedir. Bu durum, bu yöntem ile elde edilen ampirik formüllerin güvenilirliğini düşürmektedir.

Yöntemin kritik noktası olan görgül yaklaşımların geliştirilebilmesi için daha önce de söylendiği gibi en az 30 patlatma kaydı almak gerekmektedir (36). Süreksizliklerin bol olduğu, yapısal değişimlerin sıkça rastlandığı yerlerde ise güvenilir bir görgül yaklaşım elde etmek için 30 değil, yüzlerce kayda ihtiyaç olabilmektedir. Ayrıca jeolojik yapı değiştiği zaman, görgül bağıntı geçerliliğini yitirecek ve yeniden 30-100 arası veri toplayarak yeni bağıntı gerekecektir. Değerlendirmeler, yalnızca en büyük parçacık hızına (PPV) dayandırılmaktadır; dalga biçimi, frekans içeriği ve titreşim süreci dikkate alınmamaktadır.

Tüm bu olumsuzlukları göz önüne alarak, patlatma kaynaklı titreşimleri en aza indirebilmek için alışlagelmiş "Hasar sınırlarının altında kalabilmek için gecikme başına düşen en büyük patlayıcı miktarını belirleme" yöntemi yerine, G.G.Uyar ve B. Ecevitoğlu'nun geliştirdiği "Patlatma kaynaklı titreşimlerin en aza indirilmesini sağlayan yöntem" (29) kullanılmıştır.

Yöntemin özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yöntem patlatma kaynaklı yüzey dalgalarının bastırılması prensibine dayandığı için, sadece sismik dalga ile ilgilenir ve sismik dalgaların birbirleriyle yıkıcı girişimlerini sağlayacak en uygun gecikmelerin verilmesini hedefler.
- Yöntemin en can alıcı noktası, pilot patlatmaya ait sismik sinyalin kullanılarak grup patlatmaya ait sismik sinyalin modellenmesidir.

- Pilot sinyal, ilerlediği hat boyunca tüm etkileri (patlatmayla ilgili özellikler, jeolojideki karmaşa vb.) üzerinde barındırdığı için, grup patlatmanın modellenmesinde herhangi bir varsayıma ve jeolojik modellemeye gereksinim duyulmaz.
- Yöntem iki sismik sinyal kullanılır:
 - Pilot-patlatma sinyali: grup patlatma içindeki her deliği temsil eden bir yada birkaç delikten oluşan pilot patlatma kaydı
 - Grup patlatma modellenen sinyal: pilot patlatma sinyallerinin doğrusal olarak toplanmasıyla elde edilen Grup patlatma sinyali (linear super position theory)

Pilot patlatma sinyalleri kullanılarak grup patlatma titreşimlerinin modellenmesi, metodoloji kapsamında geliştirilen SeisBlast Software ile yapılmıştır.

Yöntemin uygulanışı;

- Yöntemin temelini pilot atış oluşturmaktadır.
- Yöntemin uygulanmasında, önce bir pilot patlatması gerçekleştirir.
- Pilot deliğin ileride yapılacak grup patlatmasındaki her bir deliği temsil edecek şekilde doldurulmasına dikkat edilir.
- Alışıl gelmiş yaklaşımdan farklı olarak yeni yöntemde sadece sismik dalga ile ilgilenildiğinden, patlatma deliklerinin düzenine, patlayıcı miktarlarına karışılmaz, işletmedeki patlatma yetkilisinin talimatları doğrultusunda grup deliklerinin doldurulmasına izin verilir.
- Patlatma delikleri doldurulur, gecikmelerin verilmesi için Yazılım Paketinin sonucu beklenir.
- Bu aşamada yazılım paketi ile pilot atış sinyali incelenir, patlayıcı deliklerinin nasıl gruplanacağı ve hangi gecikmelerin verileceği, bu inceleme sonucu bulunur.
- Yazılım ile pilot atıştan modellenen ve dalgaların birbirlerini söndürebilmeleri için en uygun gecikmelerin verildiği, modellenen grup patlatması, aynı gecikmelerin uygulandığı gerçek grup patlatması verisi ile karşılaştırılır.

Bir bölge için sürekli aynı pilot verisini kullanarak, grup atışlarına ait sismik dalga biçimlerini tahmin etmek ve buna bağlı olarak

grup gecikmelerini tasarlamak yanlıtıcı olabilir. Pilot atışın yarattığı sinyal, patlatma noktası ile hedef arasındaki uzaklık, pilot atış parametrelerindeki değişimler (patlayıcı miktarı, delik derinliği, patlayıcı özellikleri, patlayıcı-kaya etkileşimi) ve jeolojideki önemli değişimlere (kömür, kaya gibi) göre farklılık gösterir. Dolayısı ile bu parametrelerden birinin dahi değişmesi yeni bir pilot patlatmayı gerektirir. Değerlendirmeler, elde edilen yeni pilot sinyal kullanılarak yapılır.

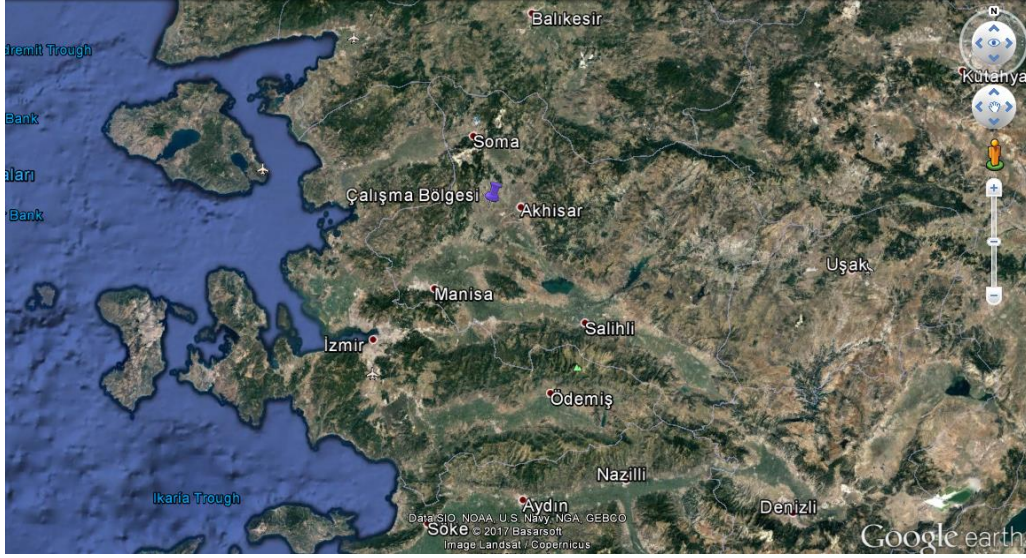
Patlatma sahasına kurulan yakın ve uzak saha istasyonlarından elde edilen veriler yazılım ile analiz edilir. Analiz yazılımı filtre, hız ve gecikme olmak üzere üç programdan oluşmaktadır. Filtre programı, bant-geçiş filtresini sismik verilere uygular. Hız programı sismik faz hızlarını, özellikle yüzey dalgalarının yaklaşık hızlarını sağlar. Sismik yüzey dalgaları, patlatma kaynaklı titreşimlerin ana kaynağıdır. Patlayıcı deliklerin lokal dağılımından dolayı zaman gecikmelerinin yayılım süresine etkisini hesaplamak için yaklaşık yüzey dalgası hızlarına ihtiyaç vardır.

Gecikme yazılımdaki ana programdır. Filtre ve hız programları, gecikme programı için sismik veri hazırlar. Öncelikle, DC ve yüksek frekanslı gürültüleri gidermek için verilere bir filtre uygulanır. Sonra, hız programı kullanılarak yakın ve uzak saha kayıtlarından yüzey dalga hızı hesaplanır. Hesaplanan yüzey dalgası hızı, gecikme programının giriş parametrelerinden biri olacaktır. Gecikme programı ayrı ayrı deliklerin geometrisini göstermektedir. Kullanıcı, patlatma deliklerini kolayca gruplandırabilir ve bu program ile her bir gruba uygun zaman gecikmeleri atayabilir. Gecikme programının teorisi, Doğrusal Süperpozisyon Prensibi'ne dayanmaktadır. Pilot patlatma sinyalinin aldıktan sonra, grup patlatmadaki her bir patlatma deliğinin sismik sinyalleri, pilot sinyal ile aynı gibi simüle edilir. Aslında pilot sinyal olan her patlatma deliğinden gelen sinyallerin doğrusal üst üste binmesinin grup patlatma sinyalinin temsil ettiği varsayıdır. Gecikme programı kullanılarak, patlatma delikleri arasındaki zaman gecikmelerini kolayca ayarlanabilir. Bu ayar yapılırken, ana dalga uzunlukları arasında yıkıcı girişimlere neden olacak uygun zaman gecikmeleri uygulanması amaçlanır. Patlatmaya bağlı sismik bir sinyal, farklı dalga formları içerir. Her şeyden önce, ana dalga boylarının dahil olması gerektiği açıktır, böylece bunlardan birinin zirvesi diğer ana dalga boylarının çukurunu

karşılmalıdır. Uygulamada, ikiden fazla patlatma deliği grubu (her grup, veri analizi ile belirlenen farklı sayıda patlatma deliklerine sahip olabilir), yüzey dalgalarının çeşitli dalga boylarını bastırmak için tasarlanmalıdır. Bununla birlikte, madencilik için temel amacı kayaları uygun şekilde parçalamaktır. Bu nedenle, vibrasyon minimizasyonu problemi göz önüne alınarak delikler tasarlanırken, kullanıcı madencilik amaçlarına uygun olarak

kayaların uygun parçalanmasını da göz önünde bulundurmalıdır.

Çalışma bölgesi Manisa'nın Akhisar ilçesine bağlı Dereköy mevkiisinde bulunmaktadır. Bölge Akhisar'a yaklaşık 13 kilometre, Soma'ya 30 kilometre, Manisa'ya yaklaşık 40 kilometre ve İzmir'e yaklaşık 70 kilometre uzaklıktadır. Çalışma sahasının Google Earth görüntüsü Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 4. Çalışma sahasının Google Earth görüntüsü

4. Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Ölçülmesi ve En Aza İndirilmesi İçin Gerçekleştirilen Saha Çalışmaları

Makalenin bu bölümünde, patlatma kaynaklı titreşim ölçümlerinin verilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi bölümüne geçmeden önce, patlatma kaynaklı oluşan, yer içinde ve yapılarla titreşime neden olan sismik dalgalar hakkında bilgi verilmiştir.

4.1. Saha çalışması: patlatma kaynaklı titreşim ölçümleri ve değerlendirmeleri

Çalışma bölgesinde yapılan grup patlatmasının ve kullanılan sismografların bulunduğu lokasyonlar Tablo 4'de verilmiştir. Koordinatlar WGS 84 formatında alınmıştır.

Tablo 4. Cihazlar ve grup lokasyonları

Ölçüm Noktaları	X	Y	Z
Grup	4307669	559088	177
12270	4307601	558965	180
12269	4307573	558917	163

Patlatma kaynaklı oluşan sismik dalgaların hedef olarak belirlen yerlerde yaratacağı titreşimlerin izin verilen sınır değerlerin altında olacak şekilde en aza indirilmeleri konusunda yapılan çalışmalar, Bölüm 3.2'de anlatılan yeni yöntem temelli olmuştur. Pilot patlatmalar yapılarak, patlatma ile hedef bölgeler arasında patlatma kaynaklı sismik dalgaların yayılımı, davranışı incelenmiş ve bu sinyaller kullanılarak grup patlatmalar modellenmiştir.

Çalışmalar iki aşamada yürütülmüştür. 4 Nisan 2017'de yapılan ilk aşamada, pilot patlatma yapılarak 3 adet sismografla, belirlenen

lokasyonlardan titreşim ölçümü alınmıştır. Daha sonra, bu pilot veriler kullanılarak, grup patlatmalar modellenmiş, hedef noktalarda titreşimleri en aza indirecek en uygun gruplamalar ve gecikme süreleri belirlenmiştir. 12 Temmuz 2017'de yapılan ikinci aşamada ise,

modelleme ile bulunan gecikme ve grup parametreleri, gerçek grup patlatmasına uygulanarak model sonuçları karşılaştırılmıştır. Şekil 5, grup patlatma yapılan yer ve ölçüm istasyonlarının yerlerini göstermektedir.



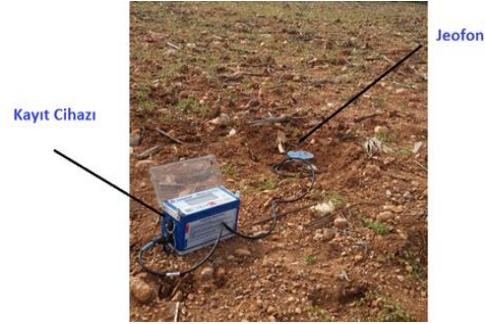
Şekil 5. Grup patlatma yapılan yer ve ölçüm istasyonlarının yerleri

12 Temmuz 2017 tarihinde, 4 adet 12 delikli grup patlatması yapılmıştır. 4 Nisan'daki pilot patlatmadan elde edilen sismik sinyal kullanılarak, grup patlatma modellemesi yapılmıştır. 12 Temmuz'da, bu modellemesi yapılan grup patlatma gerçekleştirilmiştir. 4 Nisan tarihindeki pilot patlatmadan modellenen grup patlatmasında, titreşimleri en aza indirecek yüzey gecikmeleri, delikler arası 25ms ve sıralar arası 42ms olarak belirlenmiştir. 12 Temmuz tarihindeki grup patlatmasında, bu gecikmeler uygulanmıştır.

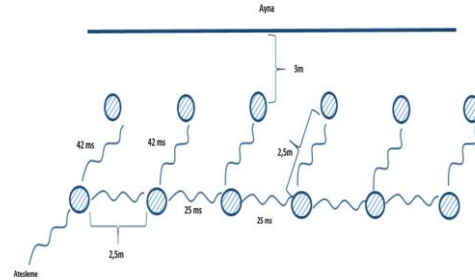
Tablo 5 grup patlatma paterni ve ölçüm istasyonlarından elde edilen titreşim değerlerini göstermektedir.

Bu çalışmada, titreşimleri kaydetmek için Instantel marka sismograf ve Blastware adlı software kullanılmıştır. 3 bileşenli jeofon, kayıtçı ve mikrofondan oluşan sismografin jeofonunun doğal rezonans frekansı 1 Hz'dir. Bu cihazların doğal frekansı çok önemlidir çünkü piyasada sıkça kullanılan ve 4Hz'lik jeofona sahip titreşim ölçerler, patlatmanın en çok zarar veren 1-4 Hz arasındaki sinyallerini ölçmemektedir. Şekil 6'da, sismograf görülmektedir. Jeofon ile ölçülen parçacık hızı verileri, kayıtçı ile kaydedilir ve sismograftan, bilgisayara aktarılır ve analize hazır hale getirilir.

Şekil 7'de 12 delikli 4 adet grup patlatmasının paterni verilmiştir.



Şekil 6. Sismograf: Kayıtçı, jeofon ve mikrofon



Şekil 7. Grup patlatma paterni

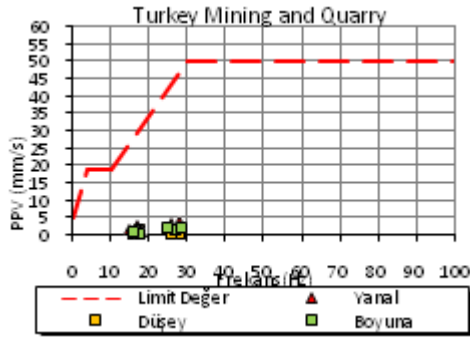
Tablo 5 incelendiğinde, 12 delikli 4 grup patlatmasından kaynaklanan sismik dalgaların patlatma noktasından yaklaşık 150 ve 200 m uzağa yerleştirilen sismograflardan ölçülen parçacık hızlarının 1-3.8 mm/s arasında olduğu görülebilir. Önceki çalışmada pilot patlatma ile alınan sismik sinyallerin modellenmesi ile bulunan en uygun gecikme aralıklarının uygulanması ile, patlatma sonucunda, patlatmaya yakın mesafelerde dahi hedeflenen

parçacık hızlarına ulaşılmıştır. Titreşim hızlarının değerlendirilmesi için önceki bölümde anlatılan hasar değerlendirme kriterlerinden Türk ve Alman Standartları kullanılmıştır. Türk standartları, Amerikan Standartlarının uyarlanması olduğu için, veriler ayrıca Amerikan standartlarına göre değerlendirilmemiştir. Türk standardı, 1-10 Hz frekans aralığında 20 mm/s titreşim hızlarına izin vermektedir.

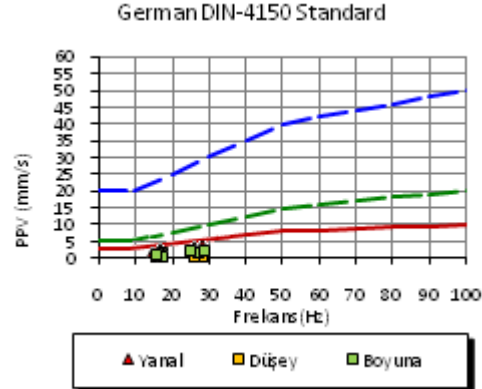
Tablo 5. Ölçüm istasyonlarından elde edilen titreşim değerleri

Tarih	Pat#	D (mm)	H (m)	Cihaz	Q(kg)	Delik adedi	R (m)	Titreşim Yanal	Genlik Düşey	mm/s Boyuna	PVS	Ort. Hakim Frek. Hz
12.07.2017	Pat#1	89	6	12269	15kg Emulsiyon 0.5kg dinamit	12	200	1.016	1.016	1.143	1.709	18.25
12.07.2017	Pat#1	89	6	12270	15kg Emulsiyon 0.5kg dinamit	12	150	2.794	1.524	2.413	3.646	28.69
12.07.2017	Pat#2	89	6	12269	15kg Emulsiyon 0.5kg dinamit	12	203	1.397	1.143	1.397	1.926	18.50
12.07.2017	Pat#2	89	6	12270	15kg Emulsiyon 0.5kg dinamit	12	153	2.54	2.159	2.794	3.072	29.38
12.07.2017	Pat#3	89	6	12269	15kg Emulsiyon 0.5kg dinamit	12	206	1.143	0.889	1.016	1.497	16.25
12.07.2017	Pat#3	89	6	12270	15kg Emulsiyon 0.5kg dinamit	12	156	3.556	1.651	2.032	3.797	29.13
12.07.2017	Pat#4	89	6	12269	15kg Emulsiyon 0.5kg dinamit	12	209	2.032	1.561	1.270	2.338	18.25
12.07.2017	Pat#4	89	6	12270	15kg Emulsiyon 0.5kg dinamit	12	159	2.667	1.397	2.413	2.924	26.13

Oysa ki bu değerler yüksektir ve bu değerlere kadar izin verilen titreşim hızlarının yaratılacağı patlatmalarda yüksek miktarlarda patlayıcı kullanımına izin verilebilir. Ama, bu miktarlar, şok etkisini arttırarak karstik kireçtaşlarına ve yeraltı sularına zarar verebilir. Bu sebeple, yüksek miktarda titreşime, dolaylı olarak yüksek miktarda patlayıcıya izin veren Türk standardına göre veriler Şekil 8'deki gibi gösterilmekle beraber, hedeflenen ve geçilmemesi istenen parçacık hızları Şekil 9'da gösterilen Alman Standartlarına göre belirlenmiştir. Verilerin Şekil 8'deki Türk standartlarına göre, hasar verme eğrisinin çok altında olması normaldir. Çünkü, pilot patlatma ile elde edilen sismik dalgalar kullanılarak modelleme yapılırken, hedeflenen ve altında kalınması istenen parçacık hızı, Alman standardındaki 1-10 Hz aralığında izin verilen 3 mm/s, 10-30 Hz aralığında 5 mm/s'dir. Modelleme sonuçlarına göre bu değerleri veren gecikme aralıkları 25ms-42ms'dir. Veriler, Alman standardına göre de, Şekil 9'daki gibi, en hassas eğri olan (kırmızı eğri: tarihi yapılar) dahi hasar vermeyecek eşik değer eğrisi) kırmızı eğrinin altındadır.



Şekil 8. Pilot ve grup patlatmalardan kaydedilen titreşimlerin Türk standardına göre değerlendirildiği grafik.



Şekil 9. Pilot ve grup patlatmalardan kaydedilen titreşimlerin Alman standardına göre değerlendirildiği grafik.

Türk ve Alman standartlarına göre, pilot ve grup patlatmadan kaynaklanan dalgaların sismograflardan ölçülen titreşim hızlarının frekansa bağlı olarak durumunu gösteren Şekil 8 ve 9'a göre, titreşim hızları, endüstriyel-inşaat yapılarına göre değerlendirildiğinde, izin verilen limit değerler altında kalmaktadır.

5. Tartışma ve Sonuçlar

- Sahada karstik kireçtaşları ve yeraltı suyuna zarar vermemek için, sadece gevşetme patlatması yapılmıştır. Bu nedenle delik boyları, 6 m tutulmuş; her delikte 15kg emulsiyon patlayıcı, 0.5 kg yemleme dinamiti kullanılmıştır. Böylelikle kireçtaşları ve yeraltı sularına hasar vermeden madencilik faaliyetinin yapılabilmesi sağlanmıştır.
- Nisan ayında sahada yapılan pilot patlatmalardan kaynaklı sismik dalgaların, Uyar ve Ecevitoglu (29) tarafından geliştirilen yöntemle modellenmesi ile bulunan ve titreşimi en aza indirerek, optimum patlatma enerjisinin kayayı gevşetmede kullanılmasını sağlayacak gecikme elemanları (25 ms delikler arası, 42 ms sıralar arası yüzey gecikmesi), Temmuz ayı çalışmasında kullanılarak, modelleme ve gerçek patlatma sonuçları karşılaştırılmıştır. Gecikme elemanlarının gecikme aralıkları modelde denendiği için ve pilot patlatmaların getirdiği ek maliyetlerden dolayı, farklı gecikme aralıklarının kullanıldığı pilot patlatmalar gerçekleştirilmemiştir.

- Patlatma kaynaklı titreşimler, patlatmalardan 150 ve 200 m uzağa yerleştirilen iki adet sismografla kaydedilmiş olup; her iki cihazdan alınan titreşim hızları, Türk ve Alman standartlarına göre değerlendirilmiş olup, izin verilen eşik değerlerin çok altındadır.
- Türk standardı, 1-10 Hz frekans aralığında 20 mm/s titreşim hızlarına izin vermektedir. Oysa ki bu değerler yüksektir ve bu değerlere kadar izin verilen titreşim hızlarının yaratılacağı patlatmalarda yüksek miktarlarda patlayıcı kullanımına izin verilebilir. Ama, bu miktarlar, şok etkisini artırarak karstik kireçtaşlarına ve yeraltı sularına zarar verebilir. Bu sebeple, veriler, yüksek miktarda titreşime, dolaylı olarak yüksek miktarda patlayıcıya izin veren Türk standardına göre değil, hedeflenen ve geçilmemesi istenen parçacık hızları Alman Standartlarına göre belirlenmiştir. Yine de, raporda bulunması açısından, Şekil 8'de Türk standartlarına göre de veriler değerlendirilmiştir. Verilerin Şekil 8'deki Türk standartlarına göre, hasar verme eğrisinin çok altında olması normaldir. Çünkü, pilot patlatma ile elde edilen sismik dalgalar kullanılarak modelleme yapılırken, hedeflenen ve altında kalınması istenen parçacık hızı, Alman standardındaki 1-10 Hz aralığında izin verilen 3 mm/s, 10-30 Hz aralığında 5 mm/s'dir. Modelleme sonuçlarına göre bu değerleri veren gecikme aralıkları 25 ms-42 ms'dir. Veriler, Alman standardına göre de, Şekil 9'daki gibi, en hassas eğri olan (kırmızı eğri: tarihi yapıları dahi hasar vermeyecek eşik değer eğrisi) kırmızı eğrinin altındadır.
- 4 adet grup patlatmasının Tablo 5'de verilen en yüksek vektörel toplam (PVS) değerleri karşılaştırıldığında:
 - 1. Grup patlatmada, sismik dalgalar 150 m den 200 m mesafeye ilerleyince (sismografların bulunduğu yerler), vektörel toplamda parçacık hızlarını 3.646 mm/s'den 1.709'a düşürerek 2.13 kat söğürmüşlardır.
 - 2. Grup patlatmada, sismik dalgalar 150 m den 200 m mesafeye ilerleyince (sismografların bulunduğu yerler), vektörel toplamda parçacık hızlarını 3.072 mm/s'den 1.926'ya düşürerek 1.59 kat söğürmüşlardır.
 - 3. Grup patlatmada, sismik dalgalar 150 m den 200 m mesafeye ilerleyince (sismografların bulunduğu yerler), vektörel toplamda parçacık hızlarını 3.797 mm/s'den 1.497'ye düşürerek 2.53 kat söğürmüşlardır.
 - 4. Grup patlatmada, sismik dalgalar 150 m den 200 m mesafeye ilerleyince (sismografların bulunduğu yerler), vektörel toplamda parçacık hızlarını 2.924 mm/s'den 2.338'e düşürerek 1.25 kat söğürmüşlardır.
- 4 adet grup patlatmasının Ek'de verilen olay raporlarında dalga formlarına bakıldığında, her üç bileşende de (yanal, düşey, boyuna) titreşim sürelerinin, hedeflendiği gibi 1 saniyenin altında olduğu görülebilir.
- 4 Nisan 2017 tarihli pilot patlatmalar sonucu yapılan modellemelerde 50,100 ve 150 metrelik mesafelerde 25 ve 42ms'lik gecikmeler iyi sonuçlar vermişti. 12 Temmuz 2017 tarihli yapılan grup patlatmalarında 150 ve 200 metrelik mesafelerde parçacık hızları 3mm/s civarında gerçekleşmiştir. Ayrıca her iki cihaz arasındaki mesafelere göre de dalga söğürülmesinin da yüksek oluşu görülmüştür. Yani dalga bu mesafelerden daha uzak mesafelere taşınmadan söñümlenmektedir.
- Cihazları pilot patlatma sırasındaki konumlarından daha uzağa koyulmasının sebebi şudur; Patlayıcıyı delik başına 15kg ile sınırlı tuttuğumuz ve yüzey gecikmelerini 200 metre mesafede dalgayı söñümlendirecek şekilde seçtiğimiz için modelde görüldüğü gibi gerçek patlatmada da bu mesafelerde parçacık hızı 1mm/s civarlarına düşmüştür. Uzağa koyulduğu zaman cihazların kayıt alamayacağını zaten modellemede görmüştük. İki cihaz arasındaki söğürülme miktarları da, daha uzak mesafelerde kayıt alınamayacağını göstermektedir.
- Özetlemek gerekirse, Nisan ayında yapılan pilot patlatmalardan oluşturulan modellemelerin sonuçlarıyla, gerçek patlatma sonuçları uyumlu olup; en muhafazakar ve koruyucu olan Alman standartlarına göre dahi izin verilen eşik değerlerin altında titreşim hızları kaydedilmiştir. Böylelikle patlatma enerjisinin kayayı gevşetmede kullanılması, sismik enerji olarak

harcanmaması sağlanmıştır. Kireçtaşları ve yeraltı suyu zarar vermemek için derin delik ve fazla patlayıcı kullanılmadığı için, patlayıcı enerjisini bu şekilde optimum kullanmak hedeflenmiş ve uygulanan yöntemin dezavantajı olarak kabul edilebilecek olan fazladan yapılan pilot patlatma ile hedefe ulaşılmıştır.

Kaynaklar

- [1] Shi, Y., Li, Z. X. and Hao, H. (2009), "Bond slip modelling and its effect on numerical analysis of blast-induced responses of RC columns", *Structural Engineering and Mechanics*, 32, (2), 251-267.
- [2] Hacıfendioglu, K., Banerjee, S., Soyuluk, K. and Koksall, O. (2015), "Multi-point response spectrum analysis of a historical bridge to blast ground motion", *Structural Engineering and Mechanics*, 53, (5), 897-919.
- [3] Oncu, M. E., Yon, B., Akkoyun, O. and Taskiran, T. (2015), "Investigation of blast-induced ground vibration effects on rural buildings", *Structural Engineering and Mechanics*, 54, (3), 545-560.
- [4] Nam, J.W., Kim, H. J., Yi, N. H., Kim, I. S., Jay Kim, J. H. and Choi, H. J. (2009), "Blast analysis of concrete arch structures for FRP retrofitting design", *Computers and Concrete*, 6, (4), 305-318.
- [5] Toy, A. T. and Sevim, B., (2017) "Numerically and empirically determination of blasting response of a RC retaining wall under TNT explosive", *Advances in Concrete Construction*, 5, (5), 493-512.
- [6] Ak, H., Iphar, M., Yavuz, M. and Konuk, A. (2009), "Evaluation of ground vibration effect of blasting operations in a magnesite mine", *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, 29(4), 669-676.
- [7] Dindarloo, S.R. (2015), "Prediction of blast-induced ground vibrations via genetic programming", *Int. J. Min. Sci. Technol.*, 25(6), 1011-1015.
- [8] Aksoy, C.O. (2014), "Proposed chart for the selection of impact hammer", *Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 68, Pages 120-127.
- [9] Kucuk, K., Genis, M., Onargan, T., Aksoy, C.O., Guney, A. and Altındağ, R. (2009), "Chemical injection to prevent building damage induced by ground water drainage from shallow tunnels", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46, Issue 7, October 2009, Pages 1136-1143.
- [10] Cardu, M., Mucci, A. and Uyar, G.G.U. (2015), "Investigating the effects of bench geometry and delay times on the blast induced vibrations in an open-pit quarry", *Geoingegneria Ambientale e Mineraria*, 144 (1), pp. 45-56.
- [11] Kalantari, B. (2011), "Strength evaluation of air cured, cement treated peat with blast furnace slag", *Geomechanics and Engineering*, 3 (3), 207-218.
- [12] Li, X., Wang, E., Li, Z., Bie, X., Chen, L., Feng, J. and Li, N. (2016), "Blasting wave pattern recognition based on Hilbert-Huang transform", *Geomechanics and Engineering*, 11 (5), 607-624.
- [13] Zhang, Z.C., Liu, H.L., Pak, R.Y.S. and Chen, Y.M. (2014), "Computational modeling of buried blast-induced ground motion and ground subsidence", *Geomechanics and Engineering*, 7 (6), 613-631.
- [14] Jeon, S., Kim, T.H., and You, K.H. (2015), "Characteristics of crater formation due to explosives blasting in rock mass", *Geomechanics and Engineering*, 9 (3), 329-344.
- [15] Han, Y. and Liu, H. (2016), "Failure of circular tunnel in saturated soil subjected to internal blast loading", *Geomechanics and Engineering*, 11 (3), 421-438.
- [16] Siskind, D.E. (2000), "Vibrations from blasting, International Society of Explosives Engineers", 120.
- [17] Kearey P. and Brooks M. (1991), "An introduction to geophysical exploration", Blackwell Scientific Publications.
- [18] Aldas, G.G.U., Ecevitoglu, B., Can A., Unucok B. and Sagol O. (2006), "Technical report: Minimisation of blast-induced ground vibration at TKİ GELİ Lignite Mine, Muğla Turkey, (in Turkish).
- [19] Uyar, G.G.U. and Babayigit, E., (2016), "Guided wave formation in coal mines and associated effects to buildings", *Structural Engineering and Mechanics*, 60 (6), pp. 923-937.
- [20] Oriard, L.L. (1989), The scale of effects in evaluating vibration damage program potential, in *Proceedings of 15th Conference on Explosive and Blasting Techniques*, pp. 161 - 176.
- [21] Scott, A., Cicker, A., Djordjevic, N., Higgins, M., La Rosa, D., Sarma, K.S. and Wedmaier, R. (1996), *Open Pit Blast Design: Analysis and Optimization*, Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre, The University of Queensland, Australia.
- [22] 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.
- [23] Blair, D.P. (1990), Some problems associated with standard charge weight vibration scaling laws. 3rd International Symposium on fragmentation by blasting, Brisbane, pp. 149-158.
- [24] Dowding, C.H. (1996), *Construction Vibrations*, pp. 1 - 610, (Prentice Hall: New York).
- [25] Singh, P.K., Vogt, W., Singh, R.B. and Singh, D.P. (1996), Blasting side effects: investigations in an opencast coal mine in India. *Int. J. Surf. Mining, Reclam. Environ.*, 10, 155 - 159.
- [26] Singh, P.K., Sirveiya, K.N., Babu, K.N., Roy, M.P. and Singh, C.V. (2006), Evolution of effective charge weight per delay for prediction of ground vibrations generated from blasting in a limestone mine. *Int. J. Mining, Reclam. Environ.*, 20, 4 - 19.
- [27] Zhang, J. (2000), *Explosives and Blasting Technique*, R. Holmberg (Ed.), Balkema, Rotterdam, pp. 335-341.

- [28] Venkatesh, H.S. (2005), "Influence of total charge in a blast on the intensity of ground vibrations-field experiment and computer simulation", *Fragblast*, 9 (3) (2005), pp. 127-138.
- [29] Aldas, G.G.U. and Ecevitoglu, B. (2007), "Methodology for minimising blast-induced ground vibration" TPE. 2007/03459
- [30] Aldas, G.G.U., 2005, "Application of the Stockwell Transform to Blasting Induced Ground Vibration", *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, Vol.19, No.2, pp.100-107.
- [31] Aldas, G.G.U., 2010, "Investigation of blast design parameters from the point of seismic signals", *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, Vol. 24. Issue 1, pp.80-90.
- [32] Dowding, C.H. (1985), "Blast Vibration Monitoring and Control", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.
- [33] Siskind, D.E., Crum, S.V., Plis, M.N., 1993, *Blast Vibrations and Other Potential Causes of Damage in Homes Near a Large Surface Coal Mine in Indiana*, RI 9455, Bureau of Mines, 62 pages.
- [34] ÇGYDD, 2005, "2002/49/EC sayılı Çevresel Gürültünün Yönetimi ve Değerlendirilmesi Direktifine paralel olarak hazırlanmış olan bir yönetmelik".
- [35] DIN 4150-3. Structural vibration-Effects of vibration on structures. <http://webstore.ansi.org/>; 1999.
- [36] Konya C., 1990, *Surface Blast Design*. Prentice Hall, 303 pages.