

## OTAŞ OCAKLARINDA PATLATMADAN KAYNAKLANAN YER SARSINTISININ ÖLÇÜLMESİ VE ANALİZİ

### EVALUATION AND MEASUREMENT OF GROUND VIBRATION PRODUCED FROM BLASTING IN QUARRIES

**DOÇ.DI-. Ali KAHRİMAN", Arş.Grv. A.Kadir KARADOĞAN\*,  
Savaş GÖRGÜN\* Yrd.Doç.Dr.Güngör TUNCER\***

#### ÖZET:

Yerleşim yerleri yakınındaki patlatma çalışmalarının sebep olduğu, rahatsızlık derecesine varan çevresel sorunların artmasıyla, büyük bir dikkat gerektiren emniyetli patlatma tasarımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle; özellikle büyük patlatmalarda, belirli bir mesafede, gecikme başına düşen maksimum patlayıcı miktarının sınırı, çevresel problemlerin elimine edilmesi için büyük önem taşımaktadır. Başka bir deyişle, yer sarsıntısının unsurlarının önceden tespit edilmesinin, çevresel şikayetlerin azaltılmasında katkısı önemli olacaktır. Emniyetli yaklaşımlarla, yer sarsıntısının parçacık hızı ve diğer bileşenlerinin tahmini, patlatma tasarımcıları için önemli kolaylıklar sağlayacaktır. Patlatmanın sebep olduğu çevresel problemlerin azaltılabilmesi için günümüze kadar yürütülen ^oğun çalışmalara rağmen, henüz güvenilir bir genel formül saptanamamıştır. Bu yüzden deneysel çalışmalar, her bir sahaya özgün olarak, bu problemlerin azaltılabilmesi için gereklidir. Bu bildiri kapsamında, öncelikle konuyla ilgili yaklaşım ve kriterler gözden geçirilmiş ve parçacık hızı seviyesini tespit etmek için, 35 atım olayı gerçekleştirilen örnek bir sahada yapılan patlatma titreşim ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir.

#### ABSTARCT:

With the general trend toward larger blasts in mining, ground vibration and air blast problems and complaints have significantly increased. With increasing environmental constraints on the levels of disturbance induced by blasting operations upon nearby residents, there is an increasing need to be able to design cautious blasting with greater precision. Therefore, determination of maximum amount of explosive per delay for a certain distance especially in large blasts is of great importance for the elimination of these environmental problems. In another word, prediction of ground vibration components is of great importance for the minimisation of the environmental complaints. Estimating of particle velocity and other components of ground vibration with reliable approaches will give important facilities to tile blasters. Although many studies had been earned out to isolate environmental problems induced by blasting, a general reliable formula has not been established yet. The complexity of ground motion, blasting and test site factors restricts the establishment of general criteria. So experimental study is still necessary for each site to minimise environmental issues. Within the scope of this study, firstly previous aproaches and criteria are investigated. Then, as a case study, in order to predict peak particle velocity level for a selected site that 35 blast events realized, ground vibration measurement results are analysed.

<sup>1</sup> Bu Çalışma, İstanbul Üniversitesi Araştırma Fonu Tarafından Desteklenmiştir. Proje No. 1056/031297

\* İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Avcılar-İstanbul

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde taş ocakçılığı başta olmak üzere, madencilik, boru hattı, şehir alt yapı İmalatları, otoyol, metro-tünel, baraj ve hidroelektrik santraller gibi patlatmanın kaçınılmaz olduğu çeşitli sektörlerin gelişmesine ve artışına paralel olarak, patlatma sonucu oluşan yersarsıntısı ve hava şokundan kaynaklanan çevresel problemlerle sıkça karşılaşmakta ve sorunun en aza indirilmesi için çözüm yolları aranmaktadır.

Taş ocakçılığında ekonomik ve emniyetli bir patlatma, aynı zamanda bu tür sorunların da önlenmesini veya enazından tehlike sınırlarının altına indirilmesini dikkate almalıdır. Bu nedenle, iyi bir patlatmadan beklenen en önemli unsurlardan biri de atımın, çevresel etkiler açısından emniyetli olmasıdır. Bu tür çevresel duyarlılıklar dikkate alındığında, patlatma kaynağından belirli uzaklıkta bulunan bir yerleşim biriminin yada tesisin; patlatma sonucu oluşacak gürültü ve yersarsıntısından etkilenmemesi için; patlatma tasarımında yanıt aranacak önemli konulardan biri de; herhangi bir gecikme aralığında kullanılabilen en fazla patlayıcı miktarını önceden belirleyebilmek ve kontrollü atımlar gerçekleştirebilmektir.

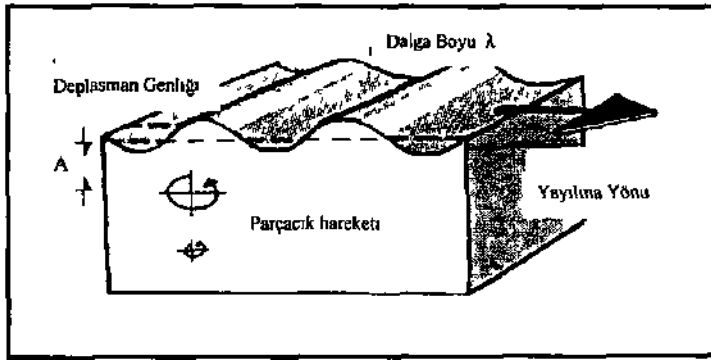
Günümüzde konuyla ilgili olarak çok değişik hasar kriterleri geliştirilmiş olmasına rağmen, titreşim hasarlarını; inşaatların doğa! yerleşmesinden, uygun olmayan konstrüksiyon ve alt yapı yaşlanmasından kaynaklanan hasarlardan tamamıyla ayırmak çok güçtür. Kabul görmüş yada yasallaşmış hasar kriterleri ne olursa olsun, patlatmalı kazı çalışmaları sonucu ortaya çıkan hava şoku ve yersarsıntısından kaynaklanan bütün şikayetleri ortadan kaldırmak yada en aza indirmek; halen patlatma dünyasının gündemini işgal eden bir sorun olmayı sürdürmektedir. Bu nedenle bu konuların çözümüne yönelik olarak konuyla ilgili bazı standartların oluşturulması amacıyla çeşitli sistematik araştırma programları yürürlüğe konulmuştur. Bu yöndeki çabalar, ilgili taraflarca (Patlayıcı madde Üreticileri, kullanıcıları, hükümetler ve araştırmacılar) yapılmakta olan deneysel çalışmalarla yoğun bir şekilde sürdürmektedirler. Ülkemizde ise maalesef bu konuda yönetmelik ve saptanmış limitler bulunmamaktadır. Ülkemizdeki mühendisler ancak diğer ülkelerdeki limitleri kullanarak yorum yapmaya çalışmaktadırlar.

## 2. YER SARSINTISININ OLUŞUMU VE GENEL KAREKTERİSTİKLERİ

Patlatmalı kazı işlemlerinde, patlatmanın asıl amacı, kayayı kırarak gevşetmek veya ötelemektir. Çoğu patlatmanın, bu amacı oldukça etkin bir şekilde gerçekleştirmesi tartışılabilir. Ancak detonasyon sürecinde kayaya uygulanan enerjinin bir kısmı, sismik dalgalar ve hava şoku şeklinde verimsiz 'artık' enerjiye dönüşür. Bu enerji, patlatma kaynağından uzaklaşarak İhmal edilebilir bir düzeyde tamamen sönünceye kadar uzun bir mesafe katedebilir. Bu zaman sürecinde, kaya yapılarında ve binalarda önemli hasarlara ve yerleşim yeri sakinlerinin ise, tedirgin olmasına neden olabilir<sup>6</sup>.

Patlatmadan kaynaklanan çevresel etkiler; patlatma sırasında ortaya çıkan enerjinin parçalama ve/veya öteleme işlemlerinden arta kalan kısmının kaya içerisinde veya atmosferdeki hareketlerinden meydana gelmektedir. Bu durum dikkate alındığında çevresel etkilerden arındırılmış veya en aza indirilmiş bir patlatma tasarımı aynı zamanda patlayıcı enerjisinin de en iyi şekilde kullanılması anlamına gelmektedir. Kötü yada verimsiz bir patlatma sonucunda ortaya çıkabilecek sorunlar; yetersiz parçalanma, patlatılan kayanın gerisinde oluşan çatlaklar, tımak oluşumu, patarların çıkması, kaya fırlaması, istenmeyen düzeyde yersarsıntısı ve hava şoku olarak özetlenebilir<sup>7,8,9</sup>.

Patlatmadan kaynaklanan sismik dalgalar; basınç, makaslama ve yüzey olmak üzere üç temel kategoriye ayrılmaktadır. Bu üç temel kategori kendi arasında gövde dalgaları ve yüzey dalgaları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Gövde dalgaları, kaya yada toprağın içerisinde hareket ederken, yüzey dalgaları yüzey boyunca hareket etmektedir. Kaya patlatmasında en önemli yüzey dalgası; uzun mesafelerde çok daha düşük hız ve frekanslar göstermesiyle farklılık arzeden Rayleigh dalgasıdır. Bu dalganın hızı malzemelerin elastik özelliklerinin fonksiyonu olarak ifade edilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Reyleigh dalgası

Patlayıcılar, kısa mesafelerde öncelikli olarak gövde dalgalarını oluşturmaktadır. Gövde dalgaları küresel hareketlerle başka bir kaya tabakası, toprak veya yüzey tabakasına rastlayıncaya kadar ilerlemektedir. Bu kesişmede ise makaslama ve yüzey dalgaları oluşmaktadır. Düşük mesafelere bu üç dalga tipi de aynı anda gelmekte ve dalga tanımlaması zorlaşmaktadır. Uzun mesafelerde ise daha yavaş olan kesme ve yüzey dalgaları, basınç dalgalarından rahatlıkla ayırt edilebilmektedir. Bu üç dalga tipi, içinden geçtikleri kaya parçacıkları yada toprağa göre değişik özellikler göstermektedir.

### 3. PATLATMADAN KAYNAKLANAN YAPISAL HASAR KRİTERLERİ

Patlatmalı kazılar sonucunda, yer sarsıntılarının meydana gelişi ve yayılımı patlatma mühendislerinin uzun zamandır ilgisini çekmektedir. Çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen patlatma hasar kriterleri günümüze kadar değişik başarı dereceleriyle uygulanagelmiştir. Geliştirilen bu hasar kriterleri, içinde kullandıkları parametreler açısından benzerlik arzeden ve yaygın kabul görmüş, başvuru ve mukayese kaynağı olarak kullanılan normlardan en önemli iki tanesi; Birleşik Devletler Madencilik Bürosu'nun USBM Normu ve Alman Din 4150 Normu'dur. <sup>5, 6,9,10, 11</sup>

#### 3.1. Birleşik Devletler Madencilik Bürosu'nun (USBM) Patlatma Hasar Tahmini

USBM, açık ocak patlatmalarından kaynaklanan yer sarsıntısının yapılara olan etkisi ve zararlarıyla ilgili 1980'de Siskind ve arkadaşlarına 219 üretim atımının 79 evdeki etkisini belirlemeye yönelik bir çalışma yaptırarak sonuçlarını yayınlamıştır. USBM RI 8507 olarak adlandırılan raporda belirtilen sonuçlar aşağıda özet olarak verilmektedir.

- Parçacık hızı halen en iyi yer titreşimini tanımlama ve titreşime karşı tepki özellikleri iyi bilinen bir yapı grubu için tahribat potansiyelini açıklayabilecek en pratik kontrol aracıdır.

- Patlatmacı, bütün atımları titreşim cihazı ile izleme yükümlülüğünü almamak için, muhafazakar bir yaklaşımla, ölçekli uzaklığın kareköklü uygulamasını seçer (R/VW). *Ba* tip ölçekli uzaklıkta titreşim seviyeleri 0.08-0 15 inç/sn (2-3.8 mm/sn) civarında olmaktadır.
- Düşük frekanslı (<40 Hz) patlatmalarda zarar verme potansiyeli, yüksek frekanslı (≥40 Hz) patlatmalardan daha fazladır.
- Bina inşaat tipleri, minimum beklenen zarar seviyesine etki eden bir faktördür. Alçı panellerden oluşan iç duvarlar, eski tahta kalas üzeri sıva kaplamalı duvarlara göre titreşim zararına karşı daha dayanıklıdır.
- \* Pratik olarak düşük frekanslı yer titreşimleri yaratan patlatmalar için emniyet sınırı; modern alçı pano duvarlı evler için 0.75 inç/sn (19 mm/sn), *tahta* kalas üzeri sıva duvarlı evler için 0.50 inç/sn (12.7 mm/sn) dir. 40 Hz üzeri frekanslarda tüm evler için emniyetli parçacık hızı, maksimum 2.0 inç/sn (51 mm/sn) olarak tavsiye edilir.
- Bütün evlerde; zamanla çeşitli çevresel basınçlardan, havadaki sıcaklık ve nem değişimlerinden, taban yerleşimlerinden doğan oturmalarından, yerdeki nem değişimlerinden, rüzgardan ve hatta ağaç köklerinin su emmesinden dolayı çatlaklar oluşur. Bunların sonucu olarak çatlak meydana geldiği (herhangi bir nedenden dolayı, örneğin kapıyı hızlı çarpmak) durumlarda; mutlak bir minimum titreşim limit değeri olmayabilir.

ABD Açık Ocak Madencilik Bürosu (OSM), yer sarsıntısı ve hava şokunu kontrol altına almak için patlayıcı maddelerin nasıl kullanılması gerektiği konusundaki en önemli raporunu 8 Mart 1983 tarihinde yayınlamıştır. Bu rapordaki kurallar patlatma etkinliklerinin kontrolü konusundaki yegane kurallar olup tüm dünyada oldukça yaygın bir kabul görmüş ve uygulanmaktadır. OSM kuralları; patlatma sorumlusuna, aşağıdaki üç metottan birim kullanmasını tavsiye etmektedir.

### 1. Metod : Patlatmalı Kazıda Herhangi Bir Titreşim Ölçer Cihazının Kullanılmadığı Durumlarda Parçacık Hızının Sınırlandırılması Kriteri

Patlatma sorumlusu; atımı, Çizelge 1'de gösterilen patlatma noktası ile ölçüm noktası arasındaki uzaklığa bağlı Ölçekli mesafe dizayn faktörlerine uygun düzenlemelidir. Ölçekli mesafe faktörleri, uzaklıkla değişerek, maksimum parçacık hızlarının limitlerini değiştirmektedir. Bu metotta, Çizelge 1'deki OSM ölçekli mesafe faktörleri uygulandığı sürece, sismik kayıt almaya ihtiyaç duyulmamaktadır.

Çizelge 1. Uzaklığa Bağlı Müsaade Edilen Ölçekli Mesafe Faktörleri (OSM.1983)

Patlatma Noktasından Uzaklık		Sismik İzleme Yapılmadan Kullanılacak Ölçekli Mesafe Faktörü (SD)
Ft	M	
0 - 300	0 - 90	50
301 - 5000	91 - 1500	55
>5001	>1500	65

### 2. Metod : Titreşim Ölçer Cihazı Kullanılması Durumunda Ölçekli Mesafe Eşitliği Kriteri

Her patlatmanın, maksimum parçacık hızını izleyebilecek kapasitede bir sismograf tarafından izlenmesi gerekmektedir. Maksimum parçacık hızı Çizelge 2'de gösterilen

seviyelerin altında kaldığı müddetçe operatör kurallara uymaktadır. Her gecikme için patlayıcı madde miktarını hesaplamada izin verilen değerler; çok sıkı bir biçimde ölçekli mesafe faktörüyle sınırlanmış İmam ıştır. Böylelikle operatör daha büyük atımlar tasarlayabilir, daha büyük çapta delik açabilir ve daha büyük basamak veya daha geniş delik paterni kullanabilir. Eğer patlatma sonucunda aşağıda belirtilen uzaklıklar için öngörülen titreşim seviyesi aşılsa, OSM'nin öngördüğü ceza uygulanır.

Patlatma noktasının en yakın yapıya mesafesi arttıkça, izin verilen hız artmaktadır. Bu durum uzak mesafelerde parçacık hızından daha çok baskın olan düşük frekansların zarar verme potansiyeline sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 2. Patlatmada Noktasından Belirli Uzaklıklarda Maksimum Parçacık Hızları (OSM, 1983)

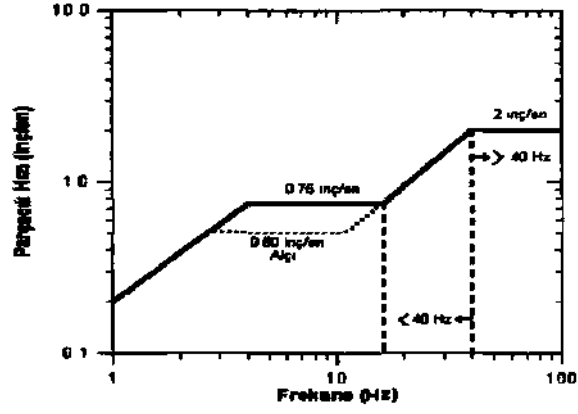
Uzaklık		Maksimum Parçacık Hızı	
Ft	M	inç/sn	mm/sn
0 – 300	0 – 90	1.25	31.75
301 – 5000	91 – 1500	1.00	25.40
>5001	>1500	0.75	19.05

### 3. Metot: Frekans Esaslı Patlatma Seviyesi Grafiği Kriteri

Patlatma sorumlusunun frekansla birlikte değişen parçacık hızı seviyelerini (Şekil 2) kullanmasına izin verilir. Bu metotta, patlatmadan kaynaklanan yer titreşimi dalga frekanslarının analizinin ve her atımın parçacık hızı ölçümlerinin yapılması gerekmektedir.

Baskın frekansları bulmak için, dalga şekli analiz edilmekte ve bu frekanslara gelen parçacık hızları belirlenmektedir. Bir çok durumda, her bir frekansın şiddetini analiz etmek için elektronik cihazlara ve yetenekli bir sismolog tarafından yapılması gereken sayısal analizlere ihtiyaç bulunmaktadır. Bu metot, patlatmalardan dolayı kaynaklanan meskun binalara ve hatta insanlara yönelik potansiyel zararları değerlendirmede en iyi yöntemi temsil etmektedir.

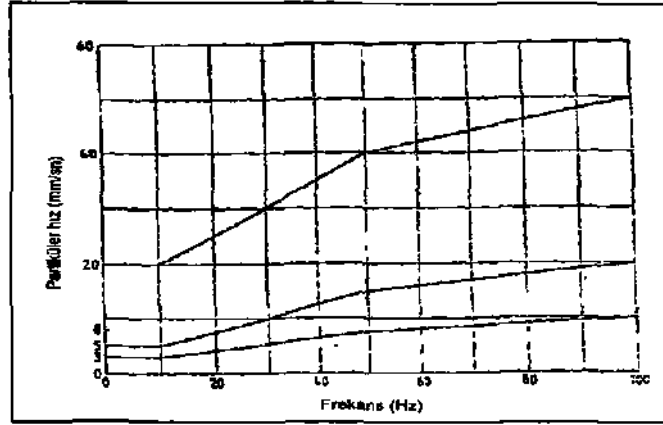
OSM kurallarındaki bu yöntem, USBM tarafından tavsiye edilen metottan farklıdır. Şekil 2'deki grafik çizgisinin herhangi bir yerinde; altında kalan, belirli bir baskın frekansa karşılık gelen herhangi bir parçacık hızı emniyetli kabul edilmektedir. Grafik çizgisinin herhangi bir kesiminin yukarısında kalan değerler, bina tahribatı ve insanlara zarar verme riskini artırmaktadır. Grafiğin yorumundan da anlaşılacağı gibi, titreşim frekansı arttıkça belirli değerlerdeki bir parçacık hızının hasar riski önemli ölçüde azalmaktadır.



Şekil 2. USBM'nin alternatif kriter analizi

### 3.2. DİN 4150 Alman Normu

DİN 4150 Alman Normu'nda frekansa bağlı olarak değişen parçacık hızı değerleri yapı türüne göre Şekil 3'de verilmektedir. Bu norm, grafiksel bazda incelendiğinde, en alttaki çizgi kerpiç, eski yıpranmış tarihi eserler gibi sağlam olmayan yapılar, ortadaki kinkli çizgi yığma tuğla, beton gibi nispeten dayanıklı yapılar, üstteki kinkli çizgi ise betonarme çelik konstrüksiyon gibi dayanıklı yapılar için titreşim frekansına göre parçacık hızı (partiküler hız) sınırlarını belirlemektedir.



Şekil 3. DİN 4150 Alman normu

### 3.3. Ölçekli Mesafe Kavramı

Yer sarsıntısı tahminlerinde, birçok ampirik ilişkiden yararlanılmıştır. Bu ilişkilerden en çok güvenilenleri; Ölçekli mesafe ve parçacık hızım esas alanlardır. Ölçekli mesafe; kavram olarak, yer hareketlerinin değişik uzaklıklardaki patlatma seviyelerinin miktarları ile ilişkilidir. Kayada meydana gelen dalga hareketlerini yaratan toplam enerji bir seferde ateşlenen patlayıcı madde miktarına bağlı olarak değişmektedir. Ölçekli mesafe, sismik

gelişimi ve hava şoku enerjisini etkileyen gecikme başına şarj miktarı ve patlatma ile ölçüm noktası arasındaki mesafenin kombinasyonlarından türetilmekte ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir.

$$SD = R/W \cdot 0.5$$

Burada; SD: Ölçekli mesafe, R: Uzaklık (m), W: Gecikme basma düşen en fazla şarj miktarı (kg) dir.

### 3.4. Maksimum Parçacık Hızı Tahmini

Patlatmadan kaynaklanan yersarsıntılarının önceden tahmin edilmesi, yersarsıntılarının önlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Birçok kişi ve kuruluş bu amaçla çeşitli araştırmalar yapmış ve ölçekli mesafeye bağlı maksimum parçacık hızı tahmininin en iyi olduğu sonucuna varmışlardır. Maksimum parçacık hızının tahminine yönelik yapılan çalışma sonuçları aşağıda verilmektedir.

$$PPV = K \cdot SD^{\beta}$$

Burada; PPV: Maksimum Parçacık Hızı, SD: Ölçekli Mesafe, K ve  $\beta$  : Saha sabitleri

Çalışma sahasının sabitleri, ölçülen maksimum parçacık hızı ve ölçekli mesafe değerlerinin (en az 30 atım ile) ilişkilendirilmesi sonucunda belirlenmektedir. Bulunan bu değerler, kontrollü patlatma tasarım ve uygulamalarında, titreşim ölçüm aletinin olmadığı durumlarda; bazı pratik tabloların hazırlanması suretiyle uygulayıcılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

### 3.5. Frekansın önemi

Yersarsıntılarının frekans özellikleri başlıca iki unsurdan etkilenirler Bunlar jeoloji (kaya türleri) ve gecikmeli ateşlemelerde gecikme aralığıdır. 10 Hz değerinin altındaki frekanslar zeminde büyük yerdeğişimler ve yüksek düzeyli birim deformasyonlar yarattığı için hasar olasılığını da artırır.

Binalarda hasar olasılığı, zeminde patlatmanın oluşturduğu uyarıcı dalganın frekansı ile sözkonusu binanın doğal (özyapısal) frekansının birbirleri ile olan ilişkisine bağlıdır. Patlatmalarda en kritik durum zemindeki uyarıcı dalganın frekansının, bir veya iki katlı binalarda genellikle 5-10 Hz arasında değişen bina özyapısal frekansına eşit veya ondan büyük olduğunda oluşur. Bu durumda bina rezonansa girer ve zemindeki uyarıcı (yersarsımsı) dalga geçip gittiği halde bina sarsılmaya devam eder. işte insanların hissedip, endişeye kapılmalarına neden olan da budur. Bina rezonans halindeyken, parçacık hızı, sınır değer olduğunca altında ise binada hasar oluşmaz ama kişiler rahatsız olur. Fakat bina rezonans halindeyken parçacık hızı da yeterli büyüklükte (genlikte) ise binada hasar oluşur<sup>3,4</sup>.

## 4.HAVA ŞOKU VE GÜRÜLTÜ

Patlatmadan kaynaklanan çevresel problemlerinden biri de hava şokudur. Hava şokları, patlatmadan kaynaklanan hava basınç dalgaları olarak tanımlanmaktadır. Yüksek frekanslı basınç dalgaları duyulabilmektedir. Düşük frekanslı olanlar ise etki ettiği yapılarda tıktırlar oluşturduğunda duyulabilmektedir- Hava şoku düzeyi patlatma, arazi ve hava koşullarına bağlı olmaktadır. Patlatmadan kaynaklanan hava şokları yapılarda kırık ve çatlaklara, pence-

relerde kırılmalara ve insanların rahatsız olmasına neden olabilmektedir. Patlatmadan kaynaklanan hava şoklarına neden olan önemli etkenler; gereğinden fazla şarj edilmiş delikler, zayıf sıkılama, açıktaki infilaklı fitil, uygun olmayan dilim kalınlığı, kayadaki çatlaklardan gaz kaçağı olarak ifade edilebilir. Ses (gürültü veya hava şoku), basınç (pascal) yada desibel (dB) olmak üzere iki farklı birim ile ifade edilebilmektedir. ABD'de (USBM ve OSM kuralları) yapılan yasal düzenlemelerle 140 desibele karşılık gelen hava şoku düzeyi hasar başlangıç ve gürültü üst sınırı olarak belirlenmiştir. Hava şoku etkisinin uzaklıkla azaldığı bilinmektedir. Bu azalma faktörü Ölçekli mesafe kavramı ( $SD = R/Q^{0.333}$ ) ile ifade edilmektedir.<sup>1X\*</sup>

## 5. PATLATMADAN KAYNAKLANAN YERSARSINTISINI AZALTMAK İÇİN ALINABİLECEK ÖNLEMLER

Patlatma ile oluşan sarsıntılar taşıdıkları enerji düzeyi oranında hasara neden olurlar. Çevreye verilen hasarlarda, tek başına sarsıntıların taşıdıkları enerji düzeyi sorumlu olmamaktadır. Bu olayda çevre binaların yapım tekniği, boyutları kadar Üzerinde oturdukları zemin özellikleri de etkin olabilmektedir. Bu nedenler ile sarsıntıya bağlı hasar etüdlerinde Çok kapsamlı çalışmak gerekir. Hasar etüdlерinde, batılı ülkelerde saptanmış limitler bulunmaktadır. Ülkemizde ise malesef bu konuda yönetmelik ve saptanmış limitler bulunmamaktadır. Ülkemizdeki mühendisler ancak diğer ülkelerdeki limitleri kullanarak yorum yapmaya çalışmaktadırlar. Bu bilgiler ışığında yersarsıntısını azaltmak için;<sup>4,6</sup>

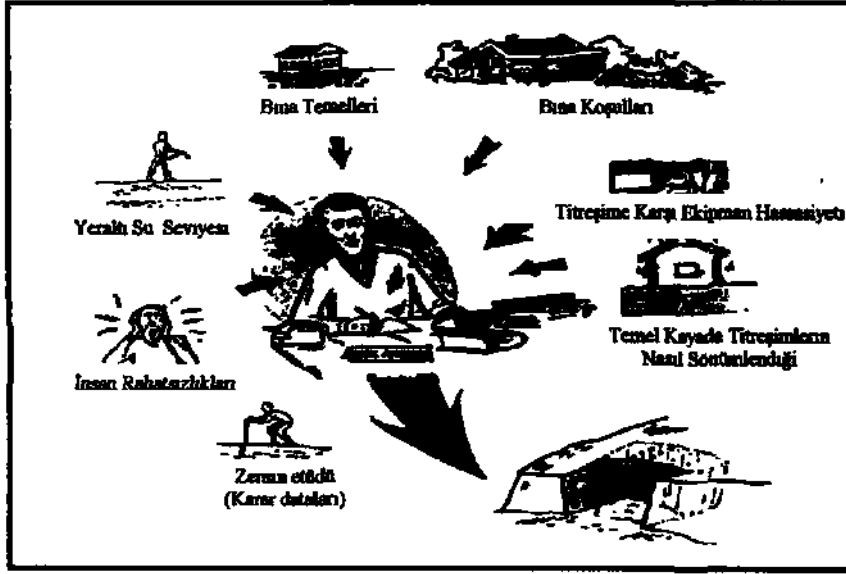
- Basamak patlatmasında uygun gecikme aralıklı ateşleme sistemleri kullanılır.
- Her gecikme aralığında atılacak patlayıcı miktarına kısıt getirilerek, sarsıntı düzeyi denetlenir.
- Patlatma noktası ile yapılar arasındaki zemin etüd edilerek, amplifikasyon ve polarizasyon ile sürpriz yapılabilecek jeolojik bulguların olup olmadığı araştırılır.
- Arazi katsayıları tespit edilerek, uygun ölçekli mesafeler tayin edilir.
- Çevredeki yapılar incelenir ve bu yapılar hasar vermemek için ilk dört maddedeki bulgular kullanılarak uygun patlatma tasarımı yapılır ve önerilir.

### 5.1. Patlatma Çalışmalarının Planlanması

Taş ocaklarında patlatmalı kazıların gerekli olduğu çoğu çalışmaları yakınında, kabul edilebilir maksimum titreşim limitinin olacağı duyarlılığa sahip yapılar vardır. Alıcı yada müteahhit çevreye hasar vermeden patlatılabilecek maksimum şarj miktarına karar vermek zorundadırlar. Eğer bu maksimum çalışma şarjı azalır, fiyat oldukça düşeceği için, patlatma İşinin ekonomisi bu kararlardan çok etkilenir. Büyük miktarlarda yapılan şarj, hasar hakları ve mahkeme itirazları dahil, çevre binalardaki hasarlarla sonuçlanabilir.

Patlatma çalışmalarını optimize etmede; İlk olarak, çevresel titreşimin ne boyutta onaylanacağı ve ikincisi olarak da titreşim limitlerini geçmeden belirli mesafelerde ne kadar çok şarjın patlatılabildiğini açıklamak için risk analizlerini sürdürmek gereklidir. Patlatma çalışmaları başlamadan önce risk analizleri, patlatma çalışmalarının etkilenebildiği faktörlerin tetkiki dikkatli yapılabilir. Doğru kararın ihtimali, piyasada fazlaca yapılan danışmanlık gibi artabilecektir. Bu kararlar aşağıdaki listenin içinde olan bazı noktaların temelini oluşturabilir. Risk analizlerinin bu elemanları Şekil 4'de tanımlanmıştır.

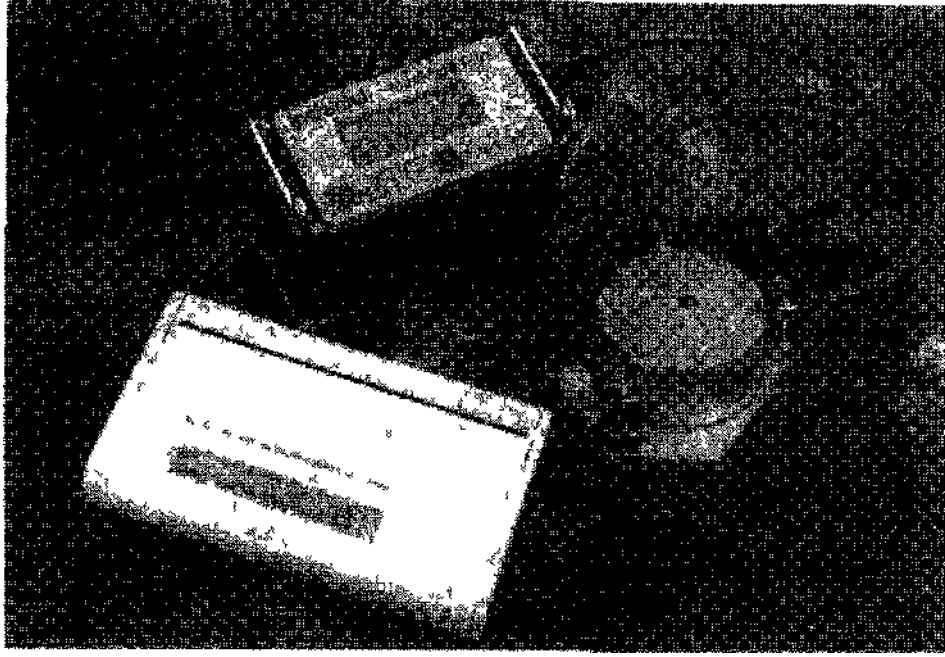




Şekil 4. Risk Analizleri

## 6. YERSARSINTISI VE HAVA ŞOKU İZLEME SİSTEMLERİ

Çevresel sorunların belirlenmesi ve çözümü için öncelikle, patlatmadan kaynaklanan çevresel problemlerin başında gelen yersarsıntısı ve hava şokunun hassas bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir. Günümüzde patlatmadan kaynaklanan yersarsıntısı ve hava şoku ölçümleri için değişik firmalar tarafından geliştirilen birçok izleme sistemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu izleme sistemleri birbirlerine göre çok farklılık göstermese de kullanımındaki kolaylıkları ve patlatma sonrasında elde edilen verilerin değerlendirilmesinde kullandıktan bilgisayar programları yönünden aralarında bazı farklılıklar bulunmaktadır<sup>3,6</sup>. Yersarsıntısı ve hava şoku izleme sistemlerinin genelinde aranan teknik özelliklerin daha iyi anlaşılabilmesi için İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne ait Instante I firmasının ürettiği Minimate Plus titreşim izleme sistemi Şekil 5'de görülmektedir. Titreşim ve hava şoku izleme cihazı, üç adet algılayıcı (boyuna, enine ve düşey), mikrofon, yazıcı, şarj, kontrol ve hafıza, bilgisayar bağlantı sistemi, muhafaza ve taşıma Ünitelerinden oluşmaktadır. Cihazın kayıtları; zaman esaslı olarak her bir olay için hava şoku, genlik, frekans, ivme ve parçacık hızı bileşenlerini (boyuna, enine, düşey, bileşke ve maksimum) içermektedir. Ayrıca kaydedilen olayların ayrıntılı analizi için elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarabilmektedir. Cihaz tek olay veya sürekli kayıt yapabilmektedir.



Şekil 5 Instantel Minimate Plus model titreşim ölçüm cihazı

## 7. ÖRNEK ÇALIŞMA

Bu tür çalışmalara örnek olarak, TOSB - AYDINER İNŞAAT AŞ tarafından yürütülmekte olan izmit İli Gebze İlçesi Şekerpınar köyü hudutları dahilinde bulunan, Taşıt Araçları Yan Sanayi Organize Sanayi Bölgesi Alt Yapı inşaatı'nın birinci aşaması olan altere granit bileşimli örtü tabakasının patlatma' ı harfiyatı sırasında ortaya çıkan, yersarsıntısı ve hava şoku değerleri

ölçülmüş ve bu unsurların çevrede bulunan tesislerde hasara neden olabilecek seviyelerde olup olmayacağı araştırılm ıştır. Elde edilen ölçüm sonuçları bilgisayar destekli data değerlendirme Ünitesine aktarılarak hasar normları içindeki yerleri belirlenmeye çalışılmıştır.

### 7.1. Titreşim Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Bu çalışma kapsamında; toplam 35 adet basamaklı atım yapılmış ve bu atımlardan oluşan yersarsıntısı ölçüm sonuçları Çizelge 3'de sunulmuştur. Parçacık hız bileşenleri (boyuna, enine, düşey,bileşke ve maksimum), oluşum frekansları dikkate alınarak daha önce bahsedilen uluslararası genel kabul görmüş normlarla mukayesesi yapılmıştır. Bu çalışmaya ek olarak parçacık hızı tahmini için gecikme başına düşen en fazla patlayıcı miktarı ve atım yerleri İle ölçüm istasyonu arasındaki uzaklıklar dikkate alınarak türetilen ölçekli mesafe (Çizelge 3) ile parçacık hızı arasındaki ilişki İncelenmiştir.

**Çizelge 3. Basamak Atımlarının Titreşim Sonuçları ve Yapılan Ölçümler**

İtim No	Parçacık Hm PPV (mm/sn)	Frekans f (Hz)	Hava Şoku (Gürültü) (dB)	Uzaklık R (m)	Gecikme Başına Toplam Şarj Q(ks)	Ölçekli Mesafe SD
1	14	73	143	97	4.2	43.33
2	1.02	17	134	96	8.5	32.92
3	4.06	22	129	95	67.8	11.53
4	2.67	23	129	94	41.2	14.64
5	6.3S	16	146	92	87.3	9.84
6	4.44	21	135	55	78	6.3
7	2.54	15	126	100	40	15.8
8	3.56	15	133	85	84	9.3
9	1.65	43	128	170	55.3	22
10	1.14	64	112	165	48.7	24.3
11	3.05	12	145	65	43.7	10
12	5.08	12	126	190	66.2	23.4
13	1.52	11	124	175	37.2	29.1
14	98.4	32	141	21	34	3.5
15	13.3	>100	130	120	174.3	9.09
16	3.68	43	133	110	33.87	18.9
17	4.44	30	118	110	47.15	16.0
18	4.57	26	119	70	41	10.9
19	1.40	9	115	115	30.2	21.0
20	4.06	12	123	85	51	11.9
21	4.83	22	123	90	50.24	12.70
22	3.81	13	130	125	88.1	13.31
23	1.4	21	117	160	45.14	23.81
24	2.29	28	131	120	41.1	18.72
25	3.43	16	122	120	49.7	17.0
26	2.92	13	130	90	45.8	13.30
27	2.29	14	116	100	20.14	22.3
28	2.16	20	125	90	22.4	19.0
29	3.94	>100	132	125	40.1	19.74
30	1.52	85	110	120	30.3	21.80
31	4.83	73	145	80	56	10.7
32	2.41	64	123	90	38.7	14.46
33	1.40	12	137	90	17.3	21.63
34	3.94	18	124	140	59.1	18.21
35	5.46	26	128	100	34	17.1

Bölgede yapılan patlatma işleminde patlayıcı madde olarak ANFO (%94.5Amonyum nitrat+%5.5 Mazot) ve EMUÜTE, yemlemede jelatinit dinamit kullanılmıştır. Ateşleme ise gecikmeli kapsüllerle yapılmıştır. Gecikme başına maksimum şarjın belirlenmesinde; yemlemede kullanılan jelatinit dinamitin ağırlıkça kudreti göz önüne alınmış ve ANFO'y<sup>a</sup> dahil edilmiş olup, atım yeri ile ölçüm istasyonu arasındaki mesafe ise topoğrafik aletlerle yapılan ölçümler ile bulunmuştur.

Çizelge 3'deki ilişkiler yorumlandığında; mafsimun parçacık hızları ile Ölçekli mesafeler arasındaki ilişkiler sonucunda oldukça anlamlı sayılabilecek bir korelasyon katsayısı ile sonuçlanmış olan bu regresyon ifadesi, arazideki testlerle de teyit edilmiş ve işletmede titreşim ölçer kullanılmadığı durumlarda; herhangi bir atımdaki gecikme başına kullanılan belirli miktardaki bir patlayıcı maddenin yaratacağı titreşimin hızının belirli bir uzaklıktaki değerinin ne olacağını tahmin etmede çok önemli bir yaklaşım olarak kullanılabilir. Ancak, kısıtlı verilerle elde edilen bu yaklaşımın daha fazla veri ile güncelleştirilmesi gözden uzak tutulmamalıdır.

$$PPV = 146 \times SD^{-1.39} \quad (r = 0.81)$$

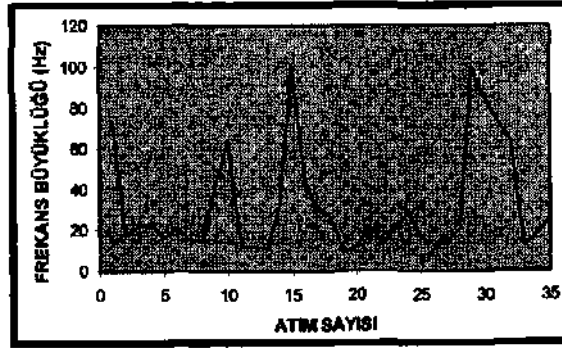
Buna göre, çalışılan saha sabitleri sırasıyla  $K = 146$  ve  $\beta = -1.39$  olarak bulunmuştur. Arazide yapılan sonraki test atımlarının ölçüm sonuçları, yukarıdaki eşitlikle yapılan tahmin değerlerini önemli ölçüde teyit etmiştir.

### 7.2. Atımların Hasar Kriterlerine Göre Değerlendirilmesi

Öte yandan, sözkonusu sahada yapılan atımların ölçülen parçacık hızı ve frekans değerleri çevreye verebilecekleri hasar riski açısından USBM ve DİN 4150 Alman Normu'na göre irdelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucu, kaydedilen değerlerin, yıpranmış binalar için verilen hasar başlangıç sınırının bile altında olduğu belirlenmiştir. Bu veriler ışığında, bu çalışma esnasında yapılan atımların, herhangi bir hasar riski taşımadığı saptanmıştır. Zemindeki, titreşim parametrelerinin tesis yada binalardaki temellere aktarılmasında önemli kayıplara uğradığı gözönünde tutulduğunda, esasen atım noktasına, bina ve tesislere göre çok daha yakın olarak seçilen ölçme istasyonlarında kaydedilen bu değerlerin hasar yaratma riskinin hiç olamayacağı açıktır.

### 7.3. Frekansa Bağlı Değerlendirme

Şekil 6 Maki grafikte, kaydedilen atımlarda ortaya çıkan maksimum parçacık hızlarına karşılık gelen frekans değerlerinin dağılımı görülmektedir. Bu grafikten de görüleceği üzere titreşimler, oldukça yüksek frekanslı olarak sonuçlanmıştır. Yüksek frekanslı bir titreşimin, düşük frekanslı bir titreşime göre (belli bir hız için) çok daha az hasar riski taşıyacağı bilinmektedir. Atımlarda ölçülen frekansların oldukça yüksek olması da bu yönde önemli bir hasar minimizasyon göstergesi olmaktadır.



Şekil 6. Kaydedilen maksimum parçacık hızlarına karşılık gelen frekansların dağılımı

#### 7.4. Hava Şoku Ölçümlerine Bağlı Değerlendirme

Kazı sahasında yapılan atımlar sırasında Instante! Minimate Plus cihazı mikrofonu zemine yerleştirilerek hava şoku değerleri (çok yakın kurulan istasyonlarda ölçülen birkaçı hariç), 110 - 140 dB arasında kaydedilmiştir. Çizelge 3'de büyüklükleri gösterilen bu değerler, atımların, seçilen ölçüm istasyonlarına göre çok daha uzakta bulunan çevredeki tesis ve yapılarda herhangi bir hasar yaratmayacağı gibi, cam kırılmaları, sestem rahatsız olma gibi durumların da meydana gelmeyeceği anlaşılmıştır.

### 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Modern dünyanın ihtiyacı olan büyük inşaat yapılarının İnşaatı ve endüstrinin ihtiyacı olan maden kaynaklarının çıkarılması ve insanlığın hizmetine sunulması sırasında geçmişte olduğu gibi günümüzde hatta gelecekte de patlatmalı kazı çalışmalarının kaçınılmaz olduğu bilinmelidir. Bu yüzden; patlamadan kaynaklanan çevre etkilerinin belirlenmesine yönelik yersasıntısı ve gürültü ölçümleri büyük önem taşımaktadır.

Gelişmiş ülkelerde bu tür çevresel problemlerin çözümüne dönük araştırma programları uzun süreden beri sürdürüldüğü ve muhtelif standartlar ve kriterle oluşturulduğu dikkate alındığında; ülkemizin bu konuda oldukça yetersiz ve geri kalmış olduğu görülmektedir. Bu nedenle, benzer çalışmaların yaygınlaştırılarak, ülkemiz koşullarına uygun standart ve kriterleri elde edebilmek için üniversite ile patlatmalı kazı çalışmalarını yürüten gerek özel sektör gerekse devlet kuruluşları arasında ciddi ilişkiler kurulmalıdır.

Bu yönde yapılan çalışmalara bir Örnek olarak seçilen TOSB - AYDINER İNŞAAT A.Ş. araştırma sahasında, kısmi olarak elde edilen ölçüm sonuçları, günümüzde yaygın kabul görmüş olan bazı kriterler ile analiz edilmiş ve patlatmalı kazı çalışmaları sırasında, izlenen patemlerdeki atımların meydana getirdiği titreşim ve hava şokunun, ölçü alınan noktalar itibariyle bölge civarındaki tesisler başta olmak üzere, çevredeki yapılarda etkili olamayacağı belirlenmiştir.

Öte yandan gerek bilimsel katkılar oluşturmak, gerekse çalışılan sahada titreşim ölçer kullanılmadığı durumlarda titreşim hızı tahmini ve buna dayalı kontrollü atım planlaması yada hasar riski tahmini için; mevcut parçacık hızı ve ölçekli mesafe veri çiftleri kullanılmak suretiyle ayrıntılı istatistiksel analizler de yapılmıştır. Bu şekildeki regresyon analizleri sonucunda elde edilen anlamlı eşitlikler ve saha sabitleri bu çalışmaları yönlendirmek ve değerlendirmek bakımından güvenilirlik arzedecektir.

#### KAYNAKLAR

1. Kahrıman, A., Ceylanoğlu, A., Demirci, A. "Sivas-UIaş Yöresi Sölestit Açık İşletmesinde Basamak Patlatmasından Kaynaklanan Yersarsıntısı Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirilmesi" II. Delme Patlatma Senpozyumu, 16-18 Ocak 1996, Ankara, S. 89
2. Kahrıman, A., Kesimal, A. "Prediction and Measurements of Environmental Problems Produced From Blasting", Second International Symposium On Mine Environmental Engineering, 1998 London - England, P. 231.
3. Kahrıman, A. "Tuzla-Dragos Tünelleri Projesi L2-K Şaftları Arasındaki Tünel Kazısında Patlatmadan Kaynaklanan Titreşim Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirilmesi" Mart 1998, İstanbul.

4. Bilgin, A. " TKİ Çan Linyit İşletmesi'nde Patlatmaların Yol Açtığı Çevre Sorunlarının Giderilmesi için Araştırma Projesi", Ocak 1998, Ankara.
  5. Erkoç, Ö. "Patlatmayla ile Çevreye Verilen Sarsıntıda Frekansın Önemi ve Değerlendirilmesi" Barutsan Dergisi, Sayı 2, Aralık 1995.
  6. Karınman, A., Tuncer, G., Görgün, S., Karadoğan A.K. Patlatmalı Kazılardan Kaynaklanan Titreşimlerin Kentsel Yerleşim Alanlarına Etkileri ve Alınacak Önlemler, Jeoloji ve Kentleşme Sempozyumu, 19-20 Kasım 1998, İstanbul.
  7. Singh, P.K., Vogt, W., Pal Roy, P., Singh, D.P. "Prediction and Control of Ground Vibration in a Dolomite Quarry in India". Braunkohle Surface Mining, n. 4 July/August 1996, pp. 391-398
  8. Felice, J.J. "Applications of Modeling to Reduce Vibration and Air Blast Levels" Fourth International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, Vienna, Austria, 5-8 July 1993.
  9. Johnston, G.J., Durucan, Ş. "The Numerical Prediction, Analysis and Modeling of Ground Vibration Induced by Blasting" Third International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, Istanbul, Turkey, 18-20 October 1994.
  10. Langefors, U., Kihlström, B. "The Modern Technique of Rock Blasting" Third Edition, Stockholm, Sweden, 1978.
- U. USBM Bulletin, OSM Bulletin, USA, 1983.