

2 Madencilik ve çevre

Deprem Bölgesi Oları Ülkemizde Patlatma İle Yaratılan Sarsıntı Şikayetlerine Bir Bakış

Ö.Y.Erkoç

Gempa A.Ş., İstanbul, Turkey

G.G.U.Aldaş&M.O.Özkazanç

Barutsan A.Ş., Elmadağ, Ankara, Turkey

ÖZET: Patlatma ile çevreye verilen sarsıntılar üzerine yapılan tartışmalar ülkemizde uzun zamandan beri süregelmektedir. Son zamanlarda sarsıntıların uygun cihazlar ile yapılması ve değerlendirilmesine karşın şikayetçi halkın tepkisi yata sınırlanmıştır. Şikayetçi halkın süren tepkisi yöredeki mülki yetkilileri gereksiz aşırı önlemler almaya yöneltmektedir. Alman önlemler tekniğinin önerdiklerinden değişik olmakta, bir yandan patlatma yapan kuruluş, diğer yandan ülkemiz parasal kayıplara uğramaktadır. Konuyu, ülkemize büyük felaket getiren, 17 Ağustos Marmara, ve 12 Kasım Düzce depremleri nedeni ile güncellenen deprem verileri ışığında incelemenin yararlı olacağı düşünülmüştür.

ABSTRACT: Discussions on blasting induced ground vibrations have become chronic for a long period in our country. Despite proper the monitoring and evaluation of the ground vibrations, complaints from the inhabitants have not been settled down. The complaints rising from the inhabitants force the administrative authorities to encounter exaggerated rules. Due to this practice, both the companies, carrying on blasting and our country are losing money. This paper aims to discuss the subject with the help of data from Earthquake Engineering, which is quite popular nowadays due to August 17\ Marmara and November 12th, Düzce Earthquakes.

1 GİRİŞ

Uzun bir süreden beri ülkemizde uygulanan kaya patlatma teknikleri, gerek madencilik sektörünün ve gerekse inşaat sektörünün vazgeçilmez bir işlemidir. 1980 yılından sonra ülkemizde çağdaş ürün ve tekniklerin kullanılması giderek yaygınlaşmıştır. Paralelinde üniversitemizde bilimsel olarak ele alınan patlatma teknikleri giderek daha doğru uygulanmaya başlamıştır. Sonucunda çok yaygın olan galeri patlatmaları iyice azalmış, büyük bir yüzde ile basamak patlatmalarına dönülmüştür. Basamak patlatmalarında çağdaş ürünlerin yanı sıra gecikmeli ateşleme sistemlerinin kullanılması da artmıştır.

Basamak patlatması, çağdaş ürünler ve gecikmeli ateşleme sistemlerinin devreye girmesi bir yandan kullanıcıların verimini artırırken, diğer yandan çevre etkileşmesini de en az düzeye indirmesi gerekmektedir. Bununla beraber patlayıcı madde kullanıcıları üzerine hala baskıların, ve mülki idarecilerin bilinçsiz yönlendirmelerinin sürmekte olduğu görülmektedir.

Değişik yerlerde defalarca bildirildiği üzere halkın patlatma sarsıntılarına yönelik şikayetleri üç ana başlık altında toplanabilmektedir. Bunlar ;

- Gerçek hasara bağlı olanlar.
- Bilgisizlik ve endişeye bağlı olanlar.
- Çıkar sağlamaya yönelik, kötü amaçlı olanlar.

Gözlemlerimiz göstermektedir ki gerçek hasara bağlı şikayetler çok az bir yüzdede olmaktadır. Ağırlıklı olarak bilgisizlik ve endişeye dayalı şikayetler çoğunluğu oluşturmaktadır. En rahatsız edeni ise çıkar sağlamaya yönelik şikayetlerdir.

Şikayetleri incelemek üzere bir bölgeye gidildiğinde, halkın öne sürmeleri şöyle kategorilendirilebilir;

- Siz ölçüm için geldiniz, bunlar daha az patlayıcı kullanıyorlar.
- Sarsıntılar aynı deprem şiddetinde olmaktadır.
- Sarsıntı nedeni ile evde LPG tüpleri, masa üzerindeki eşyalar devrilmekte, duvardaki aynalar kırılmaktadır.
- Siz Avrupa, Amerika standardına göre ölçüm ve değerlendirme yapıyorsunuz, oysa ki bizim evlerimizin standardı düşük.

Görülüyor ki sarsıntılar sürekli olarak deprem sarsıntıları ile kıyaslanmaktadır. O zaman konuyu 17 Ağustos Marmara, ve 12 Kasım Düzce depreminin güncelleştirdiği deprem verileri ışığında incelemekte yarar olacaktır.

2 DEPREMİN BÜYÜKLÜK VE ŞİDDETİ

Afet İşleri Genel Müdürlüğünün web sayfasından elde ettiğimiz bilgilere göre, depremin büyüklük (magnitüde) ve şiddeti avrı ayrı parametrelerdir(AİGM).

Büyüklük ilk olarak Prof. Richter tarafından 1930 lu yıllarda, "deprem merkezinden 100 km uzaklıkta ve sert zemine yerleştirilmiş özel bir sismografla kaydedilmiş zemin hareketinin mikron cinsinden ölçülen maksimum genişliğinin 10 tabanına göre logaritması" olarak tanımlanmıştır. Büyüklük, deprem sırasında açığa çıkan enerjinin bir ölçüsü olarak gündeme gelmiştir. Günümüzde üzerine çok sayıda yorum ve değişik bağlantılar getirilen büyüklük tek başına depremin bir kıyaslama parametresi olmamaktadır. Ancak şiddet ile birlikte değerlendirildiğinde fikir verebilmektedir.

Şiddet, herhangi bir derinlikte olan depremin, yeryüzünde hissedildiği bir noktadaki etkisinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Depremin şiddeti, depremlerin gözlenen etkileri sonucunda ve uzun yılların vermiş olduğu deneyimlere dayanılarak hazırlanmış olan "Şiddet Cetvelleri" ne göre değerlendirilmektedir. Diğer bir deyişle "Deprem Şiddet Cetvelleri" depremin etkisinde kalan canlı ve cansız her şeyin depreme karşı gösterdiği tepkiyi değerlendirmektedir. Önceden hazırlanmış olan bu cetveller, her şiddet derecesindeki depremlerin insanlar, yapılar ve arazi üzerinde meydana getireceği etkileri belirlemektedir.

Depremlerin şiddet ve büyüklükleri arasında bir takım ampirik bağlantılar çıkartılmıştır. Bu bağlantılardan şiddet ve büyüklük değerleri arasındaki dönüşümleri aşağıdaki gibi verilebilmektedir.

Çizelge 1. Şiddet ve büyüklük karşılaştırması.

Şiddet	IV	V	VI	VII	VI- II	IX	X	XI	XII
Richter	4	4.5	5.1	5.6	6.2	6.6	7.3	7.8	8.4
Büyüklük									

Bugün kullanılan başlıca şiddet cetvelleri, MM (değiştirilmiş Mercalli Cetveli) ve MSK (Medvedev-Sponheur-Karnik) şiddet cetvelleridir. Her iki cetvelde XII şiddet derecesini kapsamaktadır.

3 DEPREM ŞİDDET CETVELİ VE HASAR KRİTERİ

Deprem şiddet cetveli ve hasar kriterini incelemeye başlamadan bazı tanımlamaları yapmakta yarar bulunmaktadır. Afet İşleri Genel Müdürlüğü web sayfasında konutlar üç tipe ayrılmaktadır(AİGM, Gürbüz, 2001);

A Tipi : Kırsal konutlar, kerpiç yapılar, kireç ya da çamur harçlı moloz taş yapılar

B Tipi : Tuğla yapılar, yarım kagir yapılar, kesme taş yapılar, beton briket ve hafif prefabrikte yapılar.

C Tipi : Betonarme yapılar, iyi yapılmış ahşap yapılar.

Yapılardaki hasar ise beş gruba ayrılmıştır;

Hafif hasar : İnce siva çatlaklarının meydana gelmesi, ve küçük siva parçalarının dökülmesiyle tanımlanır.

Orta hasar : Duvarlarda küçük çatlakların meydana gelmesi, oldukça büyük siva parçalarının dökülmesi, kiremitlerin kayması, bacalarda çatlakların oluşması ve bazı baca parçalarının düşmesiyle tanımlanır.

Ağır hasar : Duvarlarda büyük çatlakların meydana gelmesi, ve bacaların yıkılmasıyla tanımlanır.

Yıkıntı : Duvarların yarılması, binaların bazı kısımlarının yıkılması, ve derzlerde ayrılmış kısımlarının bağlantısını kaybetmesi ile tanımlanır.

Fazla Yıkıntı : Yapıların tüm olarak yıkılmasıyla tanımlanır.

Tanımlamalardan sonra MSK şiddet cetvelini inceleyerek ;

I-Duyulmayan

(a) : Titreşimler insanlar tarafından hissedilmeyip, yalnız sismograflarla kaydedilirler.

II- Çok hafif

(a) : Sarsıntılar yapıların en üst katlarında, dinlenmede bulunan az kişi tarafından hissedilir

III- Hafif

(a) : Deprem ev içerisinde az kişi, dışarıda ise sadece uygun şartlar altındaki kişiler tarafından hissedilir. Sarsıntı, yoldan geçen hafif bir kamyonetin meydana getirdiği sallantı gibidir. Dikkatli kişiler, üst katlarda daha belirli olan asılmış eşyalardaki hafif sallantıyı izleyebilirler.

IV- Orta şiddetli

(a) : Deprem ev içerisinde çok, dışarıda ise az kişi tarafından hissedilir. Sarsıntı, yoldan geçen ağır yüklü bir kamyonun oluşturduğu sallantı gibidir. Kapı, pencere ve mutfak eşyaları vs. titrer, asılı eşyalar biraz sallanır. Ağzı açık kapılarda olan sıvılar biraz dökülür. Araç içerisindeki kişiler sallantıyı hissetmezler.

V- Şiddetli

(a) : Deprem, yapı içerisinde herkes, dışarıda ise çok kişi tarafından hissedilir. Uyumakta olan çok kişi uyanır, az sayıda dışarı kaçan olur. Hayvanlar huysuzlaşmaya başlar. Yapılar baştan aşağı titrerler, asılmış eşyalar ve duvarlara asılmış resimler önemli derecede sarsılır. Sarkaçlı saatler durur. Az miktarda sabit olmayan eşyalar yerle-

rini değiştirebilirler, yada devrilebilirler. Açık kapı ve pencereler şiddetle itilip kapanırlar, iyi kilitlenmemiş kapalı kapılar açılabilir. İyice dolu, ağzı açık kaplardaki sıvılar dökülür. Sarsıntı yapı içerisinde ağır bir eşyanın düşmesi gibi hissedilir.

(b) : A Tipi yapılarda hafif hasar olabilir.

(c) : Bazen kaynak sularının debisi değişebilir.

Buradan da görüldüğü gibi A Tipi olarak başlan tanımladığımız en düşük standarttaki yapılarda hafif hasar ancak MSK Şiddet cetvelinde V Dereceden sonra başlamaktadır. Çizelge 1. deki karşılaştırmadan da V Şiddet derecesinin Richter büyüklük ölçeğinde 4.5 karşılığı olduğu görülmektedir.

4 PATLATMA SARSINTILARININ RICHTER BÜYÜKLÜĞÜNÜN HESAPLANMASI

Buraya kadar olan kısımda deprem sarsıntılarının büyüklük ve şiddetinin değişik yapı türlerinde meydana getirdikleri etki ve hasar oldukça kapsamlı bir şekilde açıklanmış oldu. Bu noktadan sonra kişilerin sarsıntılar üzerine olan şikayetlerini aynı tanımlar içerisine getirebilirsek, şikayetlerin veya endişelerin doğru olup olmadığını daha değişik bir bakış açısından görmüş olabileceğiz. Bunu yapabilmek için patlatma sarsıntılarının Richter ölçeğinde büyüklüğünü hesaplayabilmemiz gerekmektedir.

Çizelge.2. Barutsan A.Ş tarafından Gaziantep Çevre yolu inşaatında yapılan patlatmalarda kayıt edilen en yüksek değerler.

Patlatma No	1	2
Tarih	14.11.2000	14.11.2000
Bölge	Antep Çevre Yolu	Antep Çevre Yolu
Uzaklık(m)	110	120
Patlayıcı(kg)	189	189
Ölçekli uzaklık(SD)	8.001	8.729
Ölçülen değerler		
Kesmesine Hız,mm/s	9.78	10.0
Kesmesine Deplasman,mm	0.100	0.0933
Kesmesine Frekans,Hız	11.375	19.312
Diklemesine Hız,mm/s	11.4	23.9
Diklemesine Deplasman,mm	0.108	0.311
Diklemesine Frekans,Hız	21.875	7.125
Uzunlamasına Hız,mm/s	15.2	25.0
Uzunlamasına Deplasman,mm	0.151	0.166
Uzunlamasına Frekans,Hız	7.125	3.93
Vektörel Hız,mm/s	15.5	25.0
Vektörel Deplasman,mm	0.210	0.364

Bir deprem kaydının büyüklüğünün hesaplanması oldukça karmaşık bir işlemdir. Örnek vermek gerekirse ;

Yüzey dalgalarının büyüklüğünü hesaplamak için

$$M_s = \log(A/T) + 1.66 \log D + 3.3 \quad (1)$$

bağıntısı kullanılmaktadır(USGS(a), USGS(b)). Burada A = zemin deplasman genliğinin dikey bileşenin mikron cinsinden değeridir. Bağıntının uygulanabilmesi için $18 < T < 22$ periyot alanı içinde olunması sınırlaması vardır. T= saniye cinsinden periyottur. D= deprem merkezi ile kayıt istasyonu arasındaki uzaklığın geosentrik derece cinsinden değeridir. Yine burada $20^\circ < D < 160^\circ$ sınırlandırması vardır.

Basınç türü gövde dalgalarının büyüklüğünü hesaplamak için ise :

$$M_b = \log(A/T) + Q(D, h) \quad (2)$$

bağıntısı kullanılmaktadır. Burada yine A = mikron cinsinden deplasman, T = saniye cinsinden periyottur. Q ise D ile h'nin (km cinsinden derinlik) bir fonksiyonudur. Bu bağıntıda da $0.1 < T < 3.0$ saniye ve $D > 5''$ sınırlandırmaları bulunmaktadır.

Başlangıçta 1935 yılında Richter tarafından önerilen bağıntı ise :

$$M_L = \log A - \log A_0 \quad (3)$$

şeklinde, ve yerel büyüklük olarak isimlendirilmektedir. Buradaki tek sınırlandırma $\log A_0$ değerinin uzaklığına 600 km olması durumunda standart bir değer olmasıdır.

Bağıntılardan anlaşıldığı üzere sınırlandırmalar nedeni ile patlatma sarsıntılarının büyüklüklerini hesap edebilmek, doğru değerler elde etme açısından olası değildir. Yinede yukarıda verilen büyüklük-şiddet karşılaştırmasını yapabilmek amacı ile lokal büyüklük bağıntısı $\log A_0$ düzeltme değeri olmadan kullanılacaktır.

Çizelge. 3. Gaziantep çevre yolunda kayıt edilen en yüksek sarsıntı değerlerine göre büyüklük hesabı.

Patlatma No	1	2
Hesaplanan Değerler		
Kesmesine Büyüklük,ML	2.0	1.97
Diklemesine Büyüklük,ML	2.03	2.49
Uzunlamasına Büyüklük,ML	2.18	2.22
Vektörel Büyüklük,ML	2.32	2.56

Görüldüğü gibi Barutsan A.Ş. tarafından bugüne kadar yapılan kayıtlar içerisinde en yüksek sarsıntı değerleri, büyüklük olarak çok düşük depremler oluşturmaktadır.

Burada yapılan büyüklük hesaplamalarının doğru olduğu tartışılmalıdır, işin doğrusu sarsıntı çıktılarının konunun uzmanlarınca değerlendirilmesidir. Temelde deprem dalgaları ile, patlatma sarsıntıları birbirlerinden çok farklı karakterdedir. Bununla beraber kesin olan nokta, patlatma sarsıntılarının her zaman için deprem sarsıntıları kadar etkili ve yıkıcı

olmadığıdır. Burada yapılmak istenen, her zaman için sarsıntı dalgalarını depreme benzeten şikayetçilerin gerçekte ne kadar haklı olduklarını ortaya koymaktır.

5 DEPREM BÖLGELERİ VE YAPI STANDARTLARI

Patlatmaya dayalı şikayetler tartışılırken gözden uzak tutulan parametre ise Deprem Bölgelerine Göre Yapı Standartlarıdır. Ülkemizin tamamı deprem kuşağı üzerindedir, ve ancak çok küçük bir kısmı 4. Dereceden ve tehlikesiz bölgedir. Bu durumda şöyle bir mantık sıralaması yapmak olasıdır ;

-Tüm yapılar buldukları deprem bölgesi standartlarına göre yapılmalıdır.

-Uygun standartta inşaa edilen yapılar yukarıda da hesapladığımız gibi çok düşük büyüklük ve şiddetteki patlatma sarsıntılarında hasar görebilirler mi ?

-Yapıların standardı düşük ve patlatma sarsıntılarında hasar görebiliyor ise, orta şiddetli veya şiddetli bir depremde olabilecek can ve mal kayıplarından kim sorumlu olacaktır ?

-Şikayet üzerine hasarlı bir yapı incelendiğinde, hasardan patlatmalar mı sorumlu, yoksa yakın zamanda olmuş bir orta şiddetli deprem mi ?

Örnek vermek gerekirse 1. Dereceden deprem bölgesi olan Hereke yöresindeki taş ocaklarında, mülki idareciler, halkın şikayetine bağlı olarak önlemler almışlardır. Aldıkları önlemler kapsamında, delikler, gecikmeli ateşleme sistemi kullanılıp kullanılmadığına bakılmaksızın birer ikişer patlatılmaktadır. Yukarıdaki mantık sıralamasına göre alman önlemler yanlış mıdır ? Yanlış önlemler ile kuruluşlar parasal kayıplara uğramaktadır, sorumlusu kimdir ? Daha bilimsel önlemler alınarak ve yöre halkı eğitilerek hem güvenli hem de verimli patlatmalar yapılabilir mi ?

6 SONUÇ

Bu güne kadar bilimsel olarak yapılan sarsıntı ölçüm değerlerinin, deprem mühendisliği verileri ile karşılaştırıldığında şikayete neden olan sarsıntıların büyüklük ve şiddet olarak hasar düzeyinin altında olduğu görülmüştür.

Halkın çoğunlukla bilgisizliğe dayalı endişeden kaynaklanan şikayetleri mülki amirler tarafından genelde yanlış önlemler ile giderilmeye çalışılmaktadır. Böylesine uygulamalar patlayıcı madde kullanan kuruluşlar kadar ülkemizin de parasal kayıplara uğramasına neden olmaktadır. Kaldı ki sorunu bilimsel yöntemler ile çözmek, gerek kullanıcı kuruluşların ve gerekse ülkemizin parasal kayıplara uğramasını önlemek olasıdır.

Bunu yaparken yöre halkının eğitilmesi, gerçekte şikayet ettikleri sarsıntı düzeylerinin deprem mühendisliği verilerine göre psikolojik rahatsızlıktan öteye zararı olmayacağı anlatılmalıdır.

Bu bildiri tüm şikayetlerin doğru olmadığı, patlatma ile hasar verilmediği iddiasında değildir. Yakın zamana kadar uygulanan galeri patlatmalarının önemli hasarlara neden oldukları bilinmektedir. Bu nedenle gözden kaçırılmaması gereken önemli noktalardan bir tanesi de, aynı eğitimin kullanıcılara da verilmesi ve uygun patlatma tekniği uygulamalarının denetim altında tutulması gerektiğidir. Böylelikle gerçek hasarlarında önüne geçilmiş olacaktır.

Diğer bir önerimizde yasal değişiklikler ile, sarsıntı şikayetlerinin bilimsel olarak incelenmesinden sonra, kötü amaçlı şikayetçilere de yaptırım uygulanmasının sağlanmasıdır.

KAYNAKLAR

Afet İşleri Genel Müdürlüğü (AİGM), Deprem ile ilgili Teknik Bilgiler.

Gürbüz, C, 2001, Boğaziçi Üniversitesi, Kişisel Görüşme.

USGS(a), National Earthquake Information Center. Magnitude / Intensity Comparison

USGS(b), National Earthquake Information Center. Magnitude Definitions Used by the NEIC.

Patlayıcı Madde Kullanarak Su Deposu Yıkımı

O.Y.Erkoç

Gempa A.Ş., İstanbul, Turkey

M.Z.Sunu

Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Turkey

G.G.U.Aldaş&M.O.Özkazanç

Barutsan A.Ş., Elmadağ, Ankara, Türkiye'

ÖZET: Patlayıcı madde kullanarak bina yıkımı batı ülkelerinde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Genel olarak, yıkım işleminin kısa bir süre içerisinde tamamlanmasının gerekli olduğu, işçiliğin yüksek olduğu, veya teknik olarak başka olanak bulunmadığı koşullarda patlatma yapı yıkımları yapılmaktadır. Unutulması gereken nokta, bu tekniğin bilgi ve deneyime bağlı olduğudur. İnanılanın aksine ucuz bir yöntem değildir. Barutsan A.Ş. olanak bulunduğu anda deneyim kazanmak ve bilgilerini kontrol edebilmek amacı ile patlatma yıkım işlerine girişmektedir.

ABSTRACT: Demolition of the structures by using explosives is a widely applied technique used in western countries. Generally, this technique is applied when a fast demolition is required, or when the labor cost is too high, or no other technique is suitable. The point to keep in mind is that, the application of this technique requires a considerable experience and know-how. It is not a cheap application, as it is believed. Barutsan A.Ş. considers possible applications of demolition by blasting, for the sake of developing the experience and knowledge.

1 GİRİŞ

Patlayıcı madde kullanımı ile yapıların yıkılması ilk olarak ülkemiz kamuoyuna televizyonlar aracılığı ile girmiştir. Çarpıcı bir etkisi olan yıkılma görüntüleri, hemen herkesi derinden etkilemiş ve halk arasında hemen her düzeyde konuşulur olmuştur.

Görüntülere bakıldığında çok basit gibi görünen bu yıkım yöntemi, ilk başlarda bir kısım teknik elemanı da yanıltmıştır. Bilgi ve donanım eksikliğine karşın değişik denemelerde bulunulmuştur. Ne yazık ki bu denemelerin bazıları ölümlü kazalar ile sonuçlanmıştır.

İlk deneme teşebbüsü Erzincan depreminden sonra, ağır hasarlı yapıları yıkmak için yapılmıştır. Kamuoyuna fazla yansımayan bu denemede askeri istihkam yöntemleri kullanılmaya çalışılmış ama sonuç alınamamıştır. Söylenti şeklinde gelen duyumlara göre çevreye önemli derecede hasar verilmiştir.

Yine söylenti şeklinde gelen duyumlara göre birkaç deneme daha yapılmış ve sonuç alınamamıştır. Bilimsel olarak ilk deneme teşebbüsü Barutsan tarafından, uzun bir kaynak araştırmasından sonra kendi fabrika sahası içinde yapılmıştır. İlk olarak ekonomik ömrünü doldurmuş olan Oleum Binası yıkılmıştır. Daha sonra yine ekonomik

ömrünü doldurmuş olan Asit Binası (Teksifhane) yıkılmıştır. Bu iki deneme de başarılı olmuştur. Asit Binasının yıkımı video kamera ile görüntülenmiştir.

Bu uygulamalardan kazanılan güven ile bu kez Trabzon'da bir bina yıkımına kalkışılmış ama bu kez başarısız olunmuştur. Yıkımı amaçlanan bina bir heyelan bölgesinde inşaa edilmiş, ama heyalanın giderek etkinleşmesi nedeni ile belediye tarafından mahkeme kararı ile yıkım kararı alınmıştır. Bu yıkım çalışmasında yine o günkü bilgiler dahilinde geçerli olan bilimsel teknik uygulanmıştır. Ne var ki yapının askıda kalması, yıkımın başarısız olması, uygulanan teknikte bazı eksiklerin olduğunu işaret etmiştir. Bu başarısızlık konunun daha ciddi olarak incelenmesine neden olmuştur. Eksikliklerin, kullanılan özgül şarjda ve binaya yeteri devinim dinamiğinin verilmemesinde olduğu kanısına varılmıştır. Bu konular üzerinde laboratuvar ölçeğinde deneyler yapılmıştır.

Patlayıcı madde kullanımı ile bina yıkımı konusunda Barutsan A.Ş. yi rahatsız eden nokta, bu işi para kazanma yolu olarak gören bazı kişilerin bilgi için değişik şekillerde başvurmasıdır. Bir kamu kuruluşu olarak elinde bulunan bilgileri kamu oyuna sunan Barutsan A.Ş., eksik donanım ve bilgi ile yıkım işine soyunulmasının sorumluluğunu paylaşmak istememekte ve ketum davranmaktadır.

2 YIKIM TEKNİĞİ

Yıkım tekniği basit olarak, yapıların taşıyıcı elemanlarına hücum etmek, ve yapıyı yerçekimi ile hareketlendirirken, torsiyon vermek yolu ile devinim dinamiğini arttırmak şeklinde tanımlanabilir.

Yapıların taşıyıcı elemanları değişik karakterde olabilmektedir. Eski yapılarda taşıyıcı eleman olarak taş duvarlar, tuğla duvarlar bulunmaktadır. Çağdaş yapılarda ise taşıyıcı eleman olarak yerinde dökülen betonarme, yahut prefabrike betonarme elemanlar kullanılmaktadır. Bir kısım sanayi yapılarında ise çelik elemanlar yer alabilmektedir.

Yapının inşaatından sonra, "çalışma" denilen olay gerçekleşmekte, bazı perde elemanları da taşıyıcı özellik gösterebilmektedir. Özellikle betonarme iskeleti bulunan eski yapılarda bu konu dikkat edilmesi gereken bir noktadır.

Bir yıkım söz konusu olduğunda yapılması gereken işler şöyle sıralanmaktadır ;

- 1) Öncelikle yıkım işinin hem kendi hem de çevre güvenliği en ufak ayrıntısına kadar incelenmelidir.
- 2) Yapının projesi sağlanmalı, taşıyıcı elemanlar proje üzerinden değerlendirilmelidir. Mevcut derzler ve bitişme yüzeyleri incelendikten sonra, komşu yapılar ile bağlantı olup olmadığı etüd edilmelidir.
- 3) Taşıyıcı elemanlar kesildikten sonra, bir kısım taşıma görevi üstlenip yıkım dinamiğini bozabilecek perde elemanları, patlatma öncesi konvansiyonel yöntemler ile yıkılmalıdır. Bunu yaparken eski yapılarda bunların zaten taşıma görevi üstlenip üstlenmediği araştırılmalıdır.
- 4) Yapının kaç katının kesileceği, geri kalanların verilen devinim dinamiği ile kırılıp kırılmayacağı etüt edilmelidir.
- 5) Genelde yapılar başka yapılara zarar vermemek amacı ile bir yöne yıkılmak istenmektedir. Bunu sağlayabilmek için yeterli gecikme aralıklarında gecikmeli ateşleme sistemleri kullanılmalıdır.
- 6) Yönlendirme gerekmeyen yerlerde bile, devinim dinamiğini sağlamak ve gerekli torsiyonu vermek amacı ile gecikme patterni planlanmalıdır.
- 7) Taşıyıcı elemanların karakterine göre özgül şarj saptanmalı, ve delik patemi belirlenmelidir.
- 8) Çevrede taş savrulmasından etkilenen yapılar karşı gerekli örtme işlemleri planlanmalıdır.
- 9) Meskun alanda çalışılıyor ise, ve iklimsel koşullar iyi değilse, elektriksiz ateşleme sistemleri seçilmelidir.

Ancak bunlar yapıldıktan sonra yapının yıkım işine başlanmalıdır. Sıralanan işler incelendiğinde

bunların sadece patlayıcı madde uzmanlarınca yapılamayacağı, inşaat mühendisliği, ve makine mühendisliği disiplinlerinden de yararlanılması gerektiği anlaşılmaktadır.

3 ÖRNEK YIKIM

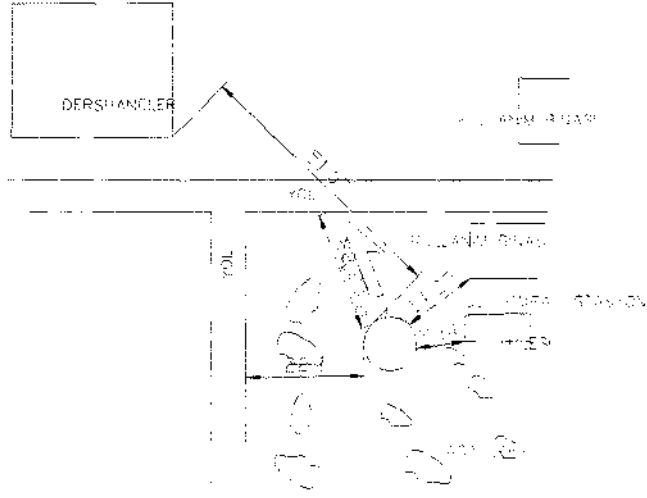
Bildirinin başında patlayıcı madde ile yıkımın bilgi ve deneyim gerektirdiği belirtilmişti. Bugüne kadar olan çalışmalarını yeterli görmeyen Barutsan A.Ş., her yıkım talebine olumlu yanıt vermemektedir. Yıldız Teknik Üniversitesi Rektörlüğü'nden gelen bir talep üzerine, bu Üniversitenin yeni yerleşkesi olan eski Davutpaşa Kışlasına gidilmiş, yıkımı arzu edilen su kulesi incelenmiştir.

Su kulesinin yalın bir betonarme yapı olduğu, taşıyıcı elemanların dışında sürpriz yaratabilecek perde elemanlarının olmadığı, ve henüz meskun bir alanda olmadığı anlaşılmıştır. Barutsan için bir deneyim ve bilgi arttırma aracı olması bakımından, patlayıcı kullanımı ile yıkımına karar verilmiştir. Rektörlük ile yapılan bir anlaşma ile yıkım işinin maliyet değerleri üzerinden yapılması üstlenilmiştir.

Kule henüz meskun bir alanda olmamakla beraber, sakınılması gereken çok sayıda eleman olduğu görülmüştür. Su Kulesi civarında çok sayıda ağaç bulunmaktadır ve bunların olabildiğince sakınılması arzu edilmektedir. Ayrıca parke taş döşenmiş yolların da hasar görmemesi gerekmektedir. Bu durumda kuleyi etrafa hasar vermeden yıkabilmek için sadece Şekil 1. de gösterilen ok yönü kalmaktadır.

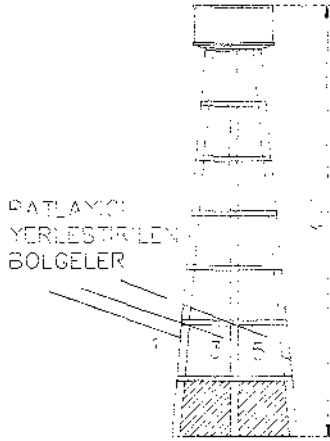
Bunu yaparken, gecikme düzenin yanlış seçimi yahut istendiği gibi işlev görmemesi durumunda, 9 m ve 14 m uzaklıktaki yapılara hasar verileceği gözden uzak tutulmamalıdır. Ayrıca, 50 m civarında bir uzaklıkta bulunan dersane binasının ve diğer kullanım binasının da taş savrulması ve hava şokundan sakınılması gerekmektedir.

Taş savrulması ve hava şoku, taşıyıcı kolonlara konulan özgül şarj ile kontrol altına alınmaktadır. Özgül şarj değerleri henüz deneme aşamasında olduğu ve yapı malzemesinin türüne göre değiştiği için burada verilmemektedir. Ek önlem olarak yatay tabyelere de patlayıcı yerleştirilmiştir. Taş savrulması ve hava şokuna karşı ayrıca gerekli sağlamlıkta örtü kullanılması da kaçınılmazdır. Bu yıkımda hurda konveyör bantları kullanılmıştır.



Şekil 1. Yıkım planlanan su kulesinin cüre ilişkisini gösteren kroki (mesafelem'dir).

Su Kulesini yıkabilmek için sadece iki katının ke-silmesinin yeterli olacağı kanısına varılmıştır. Yıkım hem arzu edilen yöne yapmak, hem de torsiyon vererek devrimin dinamiğini arttırmak amacı ile milisaniye gecikmeli kapsüller ile gecikme verilmiştir. Bunlar Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Yıkımı gerçekleştirilen su kulesinin boyutları, patlayıcı yerleştirilen bölgeler ve gecikme düzeni

Başlangıçta gecikme aralığı olarak 30 milisaniye düşünülmüş, 1, 2, 3 numaralı kapsüllerin kullanımı planlanmıştır. Böylelikle kuleye gerekli torsiyonun verileceği, ve istenen yönde devrilmenin olacağı düşünülmüştür. Daha sonra Lise Fizik bilgisi ile yapılan bir hesaplamada, serbest düşme formülleri kullanılmıştır ;

Düşme süresini hesap edebilmek için,Düşme hızı bağıntısından ; $v = \sqrt{1} g t^2$, düşme süresi t çekilerek $t = (2 v / g) "$ şekline getirilmiştir. Bu bağıntıda kullanmak üzere düşme hızı ;

Kinetik enerji = Potansiyel Enerji eşitliğinden hareketle

$$\frac{1}{2} m v^2 = m g h,$$

$$\frac{1}{2} v^2 = g h,$$

$$v = (2 g h)^{1/2}$$

$$v = (2 \times 9.81 \times 3.2)^{1/2} \text{ (Kat yüksekliği = 3.2 m)}$$

$$v = 7.9 \text{ m/san.}$$

olarak bulunmuştur. Bu değer yukarıdaki bağıntıya konularak düşme süresi ;

$$T = (2 \times 7.9 / 9.81)^{1/2}$$

$$T = 1.27 \text{ san} \Rightarrow 1270 \text{ ms hesaplanmıştır.}$$

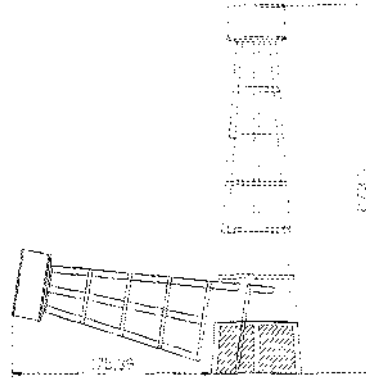
1270 ms gibi bir düşme süresinde 30 ms gibi bir gecikme aralığının yapıya torsiyon vermek için yeterli olmayacağı anlaşılmıştır. Gerekli torsiyon vermeden sağlanan bir düşmede, patlayıcı yerleştirilmeyen kolonların direnç verebileceği, ve devrilme sağlanmadan kule'nin askıda kalabileceği endişesi doğmuştur.

Gerekli gecikme aralığı verildiği durumda yıkılmanın Şekil 3. de ki gibi olacağı varsayılmıştır. Bu kez, kule yıkıldığında en azından 18 m, savrunutulanıyla beraber 20-25 m civarında bir uzaklığı etkileyeceği anlaşılmıştır. Bu uzaklıkta yeni inşaa edilmiş parke yollar bulunmaktadır ve zarar görmesi arzu edilmemektedir. Gecikme paterni

tekrar gözden geçirilmiş, bir yandan kuleye yıkım için gerekli torsiyonu verirken, bir yandan da etkileme uzaklığını azaltması amaçlanmıştır. Etkileme uzaklığını azaltmanın tek yolu, düşme hareketinin olabildiğince düşey eksende tutulmasıdır. Böylesine hareketlenmede, bu kez betonarme kolonların direnç göstermesi, ve kulenin hasar görmüş şekilde ayakta kalma olasılığı gündeme gelmiştir. Sonuçta tüm verilerin ışığı altında, arzu edilen kısa etkileme uzaklığını ve kulenin torsiyona uğrayarak yıkılma garantisi verecek gecikme aralığının 60 ms olduğu kararlaştırılmıştır. Delikler Kapsül San. A.Ş. üretimi; 1, 3, 5 numaralı ms gecikmeli kapsüller ile doldurulmuştur.

Kolonlara gerekli patlayıcı şarj yapıldıktan sonra çevre binaları koruyabilmek amacı ile ağır konveyör bant kullanılarak örtme işlemi yapılmıştır.

Patlatmayı belgelemek, daha sonra analizlerde bulunmak amacı ile yıkım işi hem konvansiyonel video kamera ile görüntülenmiş, hem de hızlı kamera ile kayıt alınmıştır.



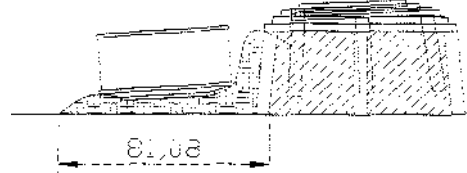
Şekil 3. Gerekli gecikme aralığı verildiğinde kulenin olası yıkılma şekli.

4 YAKINMA

Burada üzülecek belirtmek isteriz ki ülkemizdeki mevzuat böylesine çalışmalar için uygun değildir. Hele bu mevzuatın uygulayıcısı olan Emniyet Müdürlüğü'nün ilgili birimleri, yardımcı olmak bir yana, neredeyse zorluk çıkarmışlardır. Bir yanda ülkemizin önde gelen bir üniversitesi, diğer yandan MKE Barutsan A.Ş. olmasına karşın patlatma için izin alınması 4 ay sürmüştür. Üniversitenin konu üzerinde deneyimi olan bir doçenti, diğer yandan Barutsan'ın deneyimli mühendisleri ve ehliyetli ateşçileri var iken, kendi bildikleri bir ateşçinin sorumluluk almasında ısrarcı olmuşlardır. Sonuçta patlatma sırasında gönderilen ekip ise bölge



Şekil 4. Kulenin patlayıcı şarj edilen katlarının oturması, patlayıcı şarj edilmeyen 4. Kat aralığındaki kolonların alt tabeye betonuna saplanması.



Şekil 5. Kulamı, son aşamada 5, 6, ve 7 nci katlarındaki kolonların düşme dinamiği ve torsiyon yardımı ile parçalanması ve su deposunun yakın bir yere oturması.

karakolundan gelmiş, olayın tam ne olduğunu bilmeden patlatmayı izlemişler ve Barutsan elemanlarınca tarif edilen bir tutanağı imzalayarak gitmişlerdir. Marmara depreminden sonra gündeme gelen bu teknik üzerine çok sayıda kişi ve kuruluş konuşmuş; sonunda da bazı yabancı firmalar birkaç uygulama yapabilmişlerdir. Sorulmak istenen soru şudur: Bir üniversite ve bir kamu kuruluşunun yapmak istediği basit bir yıkım işinde böylesine zorluklar ile karşılaşılırsa nasıl deneyim ve bilgi sahibi olunacaktır? Söz konusu teknik ülkemizde hiç mi gerekmeyecektir? Gerek duyulduğunda hep dışarıdan uzman mı getirilecektir?

5 SONUÇ

Yıldız Teknik Üniversitesi, Davutpaşa yerleşkesi içinde bulunan su kulesi patlayıcı madde kullanılarak yıkılmıştır. Üniversite açısından bu yöntemin kullanılmasında amaç, çok yüksek olan bu yapıda konvensiyonel tekniğin kullanılmasının çok zaman alıcı ve ek önlemlerin alınmasına bağlı olarak yüksek maliyetli olmasıdır. Barutsan açısından ise amaç, deneyim kazanılması ve bilgilerin kontrol edilmesidir.

Patlatma izni alınmasında yaşanan zorluklara rağmen, yıkım işi başarı ile gerçekleştirilmiştir. Bu yıkım için toplam 4.5 kg jelatinit dinamit, 75 adet kapsül kullanılmıştır.

Yıkım sırasında kulenin devinimi, önceden yapılan analizlere uyumlu olarak gerçekleşmiş, sadece beklenenin aksine, su deposu etkilenmeden sağlam kalmıştır.

Kulenin hızlı kamera ile alınan yıkım kayıtları halen Barutsan mühendislerince analiz edilmekte ve bilgi üretilmeye çalışılmaktadır.

Açık Ocak Basamak Patlatmalarından Kaynaklanan Yer Sarsıntısı Hızının Tahmini: Çan Linyit İşletmesi'nde Örnek Bir Çalışma

A.Kahriman, S. Görgün, A. Karadoğan & G. Tuncer
İstanbul Üniversitesi, Müh. Fak. Maden Müh. Böl. 34850, Avcılar. İSTANBUL

ÖZET: Açık ocaklarda yapılan patlatma faaliyetleri sırasında ortaya çıkan başlıca rahatsızlıklar yer sarsıntısı, hava şoku ve fırlayan kaya gibi çevresel etkilerdir. Bu tür rahatsızlıklar bazı koşullar altında çevre yapılar üzerinde hasara neden olabildikleri gibi, patlatmalı kazı çalışmalarının yürütüldüğü alanların yakınında yaşayan sakinlerle de sürekli anlaşmazlıkların kaynağı olabiliyorlar. Bu nedenle; bu tür olumsuz etkileri en aza indirecek ve üretim hedeflerini aksatmayacak kontrollü bir patlatma modelinin ortaya konulması için, patlatma sonucu oluşacak yer sarsıntısının tahminine yönelik çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Bu bildiriye; konuya örnek teşkil edebilecek TKİ Çan Linyitleri İşletmesi açık ocağında yapılan basamak patlatması sonucu oluşan yer sarsıntısı ölçüm sonuçları sunulmaktadır. Bu kapsamda çalışılan saha için parçacık hızının tahminine yönelik olarak, uzun bir periyotta, ocakta yapılan basamak patlatmaları izlenmiş ve yer sarsıntısı unsurları ölçülmüştür. Değerlendirme sonunda, bu saha için parçacık hızının tahminine yönelik olarak %95 güvenilirlik aralığında iyi korelasyonlu bir ampirik ilişki elde edilmiş ve önerilmiştir.

ABSTRACT: The principal disturbances created by blasting in open pit mines are vibrations, air blast and fly rock. All of them can, under some circumstances, cause damage to structures nearby and, apart from this, be the source of permanent conflict with the inhabitants who live close to the operation. Therefore, prediction of ground vibration components is of great importance for the minimisation of the environmental complaints. This paper presents the result of ground vibration measurements induced by bench blasting realized at the TKT Can Open Pit Lignite Mine. Within the scope of this study in order to predict peak particle velocity level for this site, ground vibration components were measured for blasting events during bench blast operations over a long period. At the end of evaluation an empirical relationship with reasonable correlation at 95 % confidence interval was established and suggested for this site.

1 GİRİŞ

Günümüzde madencilik faaliyetlerinin neden olduğu çevresel etkilerden dolayı ortaya çıkan rahatsızlıklar nedeniyle, zaman içinde toplum ve madencilik sektörü arasındaki ilişkilerde çeşitli sıkıntılar yaşanmaktadır. Bu sıkıntılar bazen dostça olmayan tartışmaları gündeme getirmekte, bazen de toplum baskısı ile adli mercilerin madencilik faaliyetlerini durdurmasına kadar değişik sonuçlar doğurmaktadır. Bu yüzden günümüz madencilik sektörü bu tür gerçek, psikolojik ya da çıkar amaçlı şikayetleri ortadan kaldırmak ve sorunlara bilimsel yaklaşımlarla çözüm bulmak durumundadır. Ancak, bu tür yaklaşımlar madencilik sektörünün çevreye olan ilgisini ve saygısını kanıtlayabilecek, kalıcı ve gerçekçi çözümlerin ortaya konulmasını sağlayabilecektir.

Açık ocak madenciliğinin ilk ve en önemli işlemlerinden biri olan patlatmadan kaynaklanan çevresel rahatsızlıklar da, son yıllarda artan üretim talebine ve şehirleşmeye paralel olarak artışlar görülmektedir. Patlatma kaynaklı çevresel sorunların en önemlilerinden biri de yer sarsıntısıdır. Dolayısıyla bu tür çevresel etkilerin ortadan kaldırılması yada en aza indirilmesi için yer sarsıntısının tahmini büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle; günümüzde patlatma kaynaklı yer sarsıntısı bir çok deneysel araştırma programının, teknik ve bilimsel raporun konusu olmak durumundadır (Kahriman vd. 1998b).

Patlatma bölgesinin yakınındaki kritik kaya kütleleri ve yapılar üzerindeki patlatma etkilerinin denetlenmesi ve kontrolü iki temel unsura bağlıdır. Bunlardan birincisi; patlatma tasarımlarında, yer sarsıntısı ve hava şokundan kaynaklanan rahatsızlıkları en aza indirmek için gecikme başına

patlatılacak patlayıcı madde miktarının azaltılması. İkincisi; her bir kaya hacmi için patlatılacak patlayıcı madde miktarının (özümlü şarjın) ve atım paterninin uygun parçalanmayı sağlamak amacıyla tasarlanmasıdır.

Uygun parçalanmanın sağlanması ve rahatsızlıkların en aza indirilmesi gibi iki temel hedefe ulaşmak ancak en uygun bir tasarımla mümkündür. Bu en uygun tasarım, kaya parçalanması ve patlatma tasarımı arasındaki etkileşimin, yapının patlatma etkisine karşı göstereceği tepkinin ve kaya kütle yapısının iyi anlaşılması sayesinde mümkün olabilmektedir.

Patlatma kaynaklı sarsıntıların tahminine yönelik olarak geçmişten günümüze çeşitli tahmin yöntemleri değişik başarı dereceleriyle uygulanmıştır. Bu yöntemler arasında halen geçerliliğini koruyan ve sarsıntı frekansını da dikkate alan parçacık hızı tahmin yöntemi yaygın bir kullanıma sahiptir (Kahrıman vd. 1996).

2 YER SARSINTISI ÖZELLİKLERİNİ ETKİLEYEN DEĞİŞKENLER

Yer sarsıntısı özelliklerini etkileyen değişkenler, patlatma sonuçlarını etkileyen değişkenlerle benzerlik gösterirler. Bu değişkenler genel olarak, kontrol edilebilir ve kontrol edilemez değişkenler olmak üzere iki grupta sınıflandırılırlar.

Patlatmak kazı çalışmasının yürütüldüğü sahanın jeolojisi ve kaya jeomekaniği, yer sarsıntılarının oluşumu ve yayılımı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Türdeşlik gösteren masif bir kaya kütlelerinde yapılan patlatma sonucu oluşan yer sarsıntıları bütün yönlerde yayılırlarken, karmaşık jeolojik yapılara sahip sahalarda yapılan patlatmalardan kaynaklanan yer sarsıntılarının yayılımı yönle değişebilmekte ve farklı yayılım kuralları vermektedir (Jimeno 1995).

Titreşimler kayalık bir tabakada zemin örtüsüyle yayıldığında genellikle titreşimlerin frekansı ve büyüklüğü zemin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Zemin genellikle kayalardan daha az bir elastik modüle sahiptir. Bu nedenle, dalga yayılım hızı bu tür malzemelerde azalmaktadır. Aynı zamanda titreşimin frekansı da azalmakta ancak deplasman, örtü tabakasının kahnlaşmasıyla artmaktadır. Dalgaların yayıldığı ortam, enerjinin büyük bir bölümü partiküller arasındaki sürtünmenin yenilmesinde ve yer değiştirmelerinde kullanıldığı bir zemin örtü tabakası arz ediyorsa titreşimlerin büyüklüğü mesafenin artmasıyla hızla azalmaktadır.

Patlatmak kazı çalışmalarının yürütüldüğü bölgelere yakın noktalarda titreşim özellikleri patlatma tasarım parametreleri ve tasarım geometrisinden etkilenirken, patlatma bölgesine daha uzak mesafelerde tasarım faktörleri daha az önem arz etmektedir. Bu mesafelerde kaya ve zemin

örtüsünün iletim ortamı dalga özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda; kömür ocaklarında yapılan patlatmalardan kaynaklanan titreşim frekanslarının taş ocaklarında ve inşaat kazılan sırasında yapılan patlatmalardan kaynaklanan titreşim frekanslarından daha düşük olduğu ve kömür ocaklarında oluşan titreşimlerin frekans değerlerinin büyük bir bölümü 10 Hz den daha düşük bir frekansa sahip olduğu belirlenmiştir (Dowding 1985).

Yapılarda hasar olasılığı, zeminde patlatmanın oluşturduğu uyarıcı dalganın frekansı ile söz konusu 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 (yer sarsıntısı) dalga geçip gittiği halde bina sarsılmaya devam eder. İşte insanların hissedip, endişeye kapılmalarına neden olan da budur (Bilgin vd. 1999).

Bu nedenle, özellikle kömür ocaklarında yapılan patlatma çalışmaları sırasında oluşan düşük frekanslı titreşimler (4-12 Hz arasındaki frekans değerleri) binaları rezonansa sokabilmekte bunun sonucunda, hasara neden olan yüksek gerilme değerlerine ve yer değiştirmelere sebep olabilmektedir.

3 YER SARSINTILARININ OLUŞUM KARAKTERİSTİKLERİ

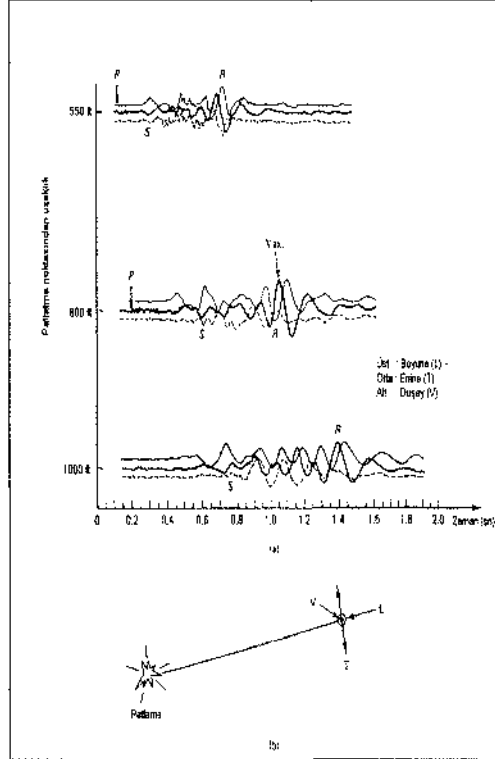
Patlatmadan kaynaklanan dalgalar Şekil 1.a'da gösterildiği gibi, basınç (P), makaslama (S) ve yüzey (R) olmak üzere üç temel gruba ayrılmaktadır. Titreşim hareketini tam olarak açıklayabilmek için, Şekil 1 b'de gösterildiği gibi, birbirine dik üç eksenlerdeki bileşenlerinin ölçülmesi gerekmektedir. Şekil 1b'de ifade edildiği üzere, boyuna bileşen (L) genellikle, yatay yönde ışınal olarak oluşur. Diğer iki dalga bileşenleri ise, ışınal yöne dik olarak ortaya çıkarlar.

Bu üç temel grup 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. En önemli yüzey dalgası Şekil 1.a'da R ile gösterilen Rayleigh dalgasıdır.

Gövde dalgaları ise yine kendi arasında basınç (çekme ve basma) dalgası (P) ve bükülme veya makaslama dalgası (S) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Patlayıcının infilakı sonucu kısa mesafelerde öncelikli olarak gövde dalgaları oluşmaktadır. 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 keme ve yüzey dalgaları, basınç dalgalarından rahatlıkla ayırt edilebilmektedir (Dowding 1985).

Bu üç dalga tipi içinden geçtikleri kaya parçacıkları yada toprağa göre değişik özellikler göstermektedir. Bunun sonucunda, yüzeydeki yapılar yada kaya her dalga tipine göre farklı bir biçimde şekil değişikliğine uğramaktadır. Boyuna dalgalar, yayıldıkları doğrultuyla aynı yönde parçacık hareketi meydana getirmektedir. Diğer taraftan makaslama dalgaları yayılım yönüne dik yönde hareket oluşturmaktadır. En karmaşık özellik gösteren Rayleigh dalgaları ise yayılma yönüne paralel ve düşey yönde hareketler oluşturmaktadır.



Şekil 1. Uzaklığa ve zamana bağlı olarak patlatma titreşimlerinin genel formu (Dowding, 1985)

Yapılan araştırmalarda, dalgaların farklı tipleriyle taşınan enerjinin dağılımına bakıldığında Rayleigh dalgalarının toplam enerjinin %70 gibi büyük bir kısmını taşıdığı sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan bir başka araştırmada ise baskın dalganın bu türünün patlatma bölgesinden birkaç yüz metre ötede bir yer hareketini doğuracağı ve patlatmalı kazı faaliyetlerinin sürdürüldüğü bölgeden 500m'den

daha uzakta bile bulunan yapılar üzerinde hasar verme riskinin yüksek olabileceği saptanmıştır (Jimeno 1985).

4 YER SARSINTISI TAHMİNİNDE KULLANILAN YAKLAŞIMLAR

Çeşitli araştırmacılar, yapmış oldukları literatür çalışmalarında; tipik patlatmaların, geometrik ve jeolojik şartlardaki değişimler nedeniyle, en iyi yer sarsıntısını tahmin şeklinin, gerçek atımların gözlenmesi sonucu elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Yapılan çalışmalar neticesinde, patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tahminine yönelik olarak bir çok ampirik yaklaşım ortaya konulmuş ve bu yaklaşımlar değişik başarı dereceleriyle uygulamada kullanılmıştır (Kahrman vd. 1998)."

Günümüzde bu yaklaşımlardan en çok ölçekli mesafe ve sarsıntı hızını esas alanlara güvenilmektedir. Parçacık hızını ölçekli mesafeye bağlı olarak tahmin edilmesini esas alan bu tür yaklaşımlarda kullanılan ölçekli mesafe kavramı; sismik gelişimi ve hava şoku enerjisini etkileyen gecikme başına şarj miktarı ve patlatma ile ölçüm noktası arasındaki mesafenin kombinasyonlarından istatistiksel çalışmalar sonucu türetilmektedir.

Günümüzde ölçekli mesafenin belirlenmesinde bir çok ampirik bağıntı kullanılmasına rağmen en sık kullanılan ve silindirik şarj kullanımını esas alan formül aşağıda verilmiştir:

$$SD = R \cdot W^{0.5} \quad (D)$$

Burada; SD, Ölçekli mesafe; R, Patlatma noktasından uzaklık (m); W, Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg).

Parçacık hızını, ölçekli mesafeye bağlı olarak tahmin etmeyi esas alan yaklaşımlar, yer sarsıntısı ölçüm aletlerinin gelişmesi ve kullanılmaya başlanmasıyla ortaya atılmıştır. Patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarının önceden tahmin edilmesi, yer sarsıntılarının önlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Birçok kişi ve kuruluş bu amaçla çeşitli araştırmalar yapmış ve ölçekli mesafeye bağlı maksimum parçacık hızı tahmininin en iyisi olduğu sonucuna varmışlardır. Maksimum parçacık hızı tahminine yönelik olarak yapılan istatistik çalışmaları sonucu geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan ampirik ilişki aşağıda verilmiştir:

$$PPV = K \cdot SD \cdot \beta \quad (2)$$

Burada; PPV: Maksimum parçacık hızı (mm/sn)

SD: Ölçekli Mesafe, (R/W^{1/2})

K: Yer İletim Katsayısı

β: Jeolojik Sabit

4.1 Yaklaşımlarda kullanılan istatistiksel yöntemler

Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının kontrolüne yönelik olarak yapılacak çalışmalarda, parçacık hızının ölçüldüğü yerdeki ölçekli mesafeye karşılık gelen parçacık hızı tahmini için; saha spesifik hız yaklaşımını veren azalan bir eğri denkleminin bulunması için, sahadan sağlanan titreşim veri çiftlerinin istatistiksel analizi gereklidir. Bu tür çalışmalarda çoğunlukla kullanılan istatistiksel analiz teknikleri en küçük kareler metodu üzerine kurulmakta ve basit korelasyon katsayısı saptamaları, regresyon denkleminin uyum iyiliği (goodness of fit) için ayrıntılı F testi gibi analizleri içermektedir (İnal vd. 1983). Yapılan bu tür istatistiksel değerlendirmelerle elde edilen, yer sarsıntılarının tahmininde kullanılan parçacık hızı tahmin modelinin doğruluğu, standart hata tahminleri, ayarlı (r^2) ve değişkenlik katsayısının belirlenmesi ile ortaya konulmaktadır. Bu tür istatistiksel çalışmalarda; katsayının saptanması ve standart hatanın hesaplanması regresyon analizindeki uyum iyiliği değerinin belirlenmesi için kullanılan en yaygın yöntemlerdir. Bu yöntemler bir çok araştırmacının çalışmasında da yer almaktadır.

Yukarıda değinilen parçacık hızı tahmin denkleminde yer alan saha sabitleri, ölçülen en yüksek parçacık hızı ve ölçekli mesafe değerlerinin ilişkilendirilmesi sonucunda belirlenmektedir. Bu ilişkinin saptanması için yapılan istatistiksel değerlendirmenin güvenilirliği için en az 30 hatta daha fazla veriye ihtiyaç duyulmaktadır. İstatistiksel açıdan yeterli veri çiftiyle yapılan bir değerlendirme sonucu elde edilen parçacık hızı tahmin denkleminin (Denklemler 2) güvenilirliğinin sağlam olması için tahmin denkleminin %95 güven aralığına uyum göstermesi ve karalılık katsayısının (f) değerinin 0.7 den büyük olması gereklidir.

Ayrıca güven aralığının doğruluğunun ortaya konulmasında kullanılan standart sapma değerinin mümkün olduğu kadar sıfır değerine yakın olması önemli bir göstergedir. Yer sarsıntısı tahminlerinin ortaya konulmasında kullanılan istatistiksel değerlendirmelerde kullanılan bütün regresyon modellerinde dikkat edilmesi gereken en önemli husus, uyum iyiliği değerinin (r^2) 0.7'den daha düşük bir değere sahip olması durumudur. Eğer yapılan regresyon analizi sonucunda 0.7'den daha düşük bir r^2 değeri elde edilmiş ise bu durum sahadan sağlanan veri çiftleri arasında tutarsızlığın yada problemin var olduğunu işaretidir (Costa e Silva vd. 1996). Yer sarsıntısı tahminine yönelik olarak yapılacak istatistiksel değerlendirmelerde böyle bir durumla karşılaşıldığında sahadan sağlanan veriler tekrar gözden geçirilmeli ve daha dikkatli olarak ilave atımlar izlenmelidir.

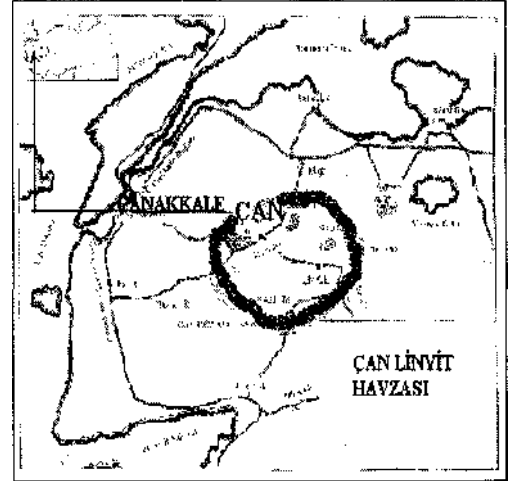
Böylelikle herhangi bir saha için sağlanan veri çiftlerinin kullanıldığı ve yukarıda değinilen kaideleri sağlayan güvenilirlik düzeyi yüksek olan

istatistiksel değerlendirmeler sonucu ortaya konulan parçacık hızı tahmin denklemleri ile kontrollü patlatma tasarımı ve uygulamalarında, titreşim ölçüm aletinin olmadığı durumlarda; bazı pratik tabloların hazırlanması suretiyle uygulayıcılara büyük kolaylıklar sağlanabilir.

5 ÖRNEK BİR ÇALIŞMA; T.K.İ. ÇAN LİNYİT OCAĞI

5.1 Çalışma sahası

Bu çalışma kapsamında yapılan araştırmalar, TÜBİTAK destekli bir araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Çalışmaların yürütüldüğü TKİ Çan linyit açık ocağı, Çomaklı, Kalkın, Çarpılar, Mancılık ve Etili sahaları ile birlikte Çan Linyit Havzası'nı oluşturmaktadır. Havza'da en büyük rezerve sahip olanı TKİ sahasıdır. Havza'nın konumu ve linyit sahalarının yerleri şematik olarak Şekil 2'de gösterilmiştir. TKİ Sahası, Çan ilçe merkezinin bitişiğinde, Çanakkale il merkezine 79 km uzaklıktadır.



Şekil 2. Çan linyit sahası genel görünümü

Yapılan muhtelif fizibilite projelerine göre havzanın işletilebilir rezerv miktarı 79.000.000 ton olarak hesaplanmıştır.

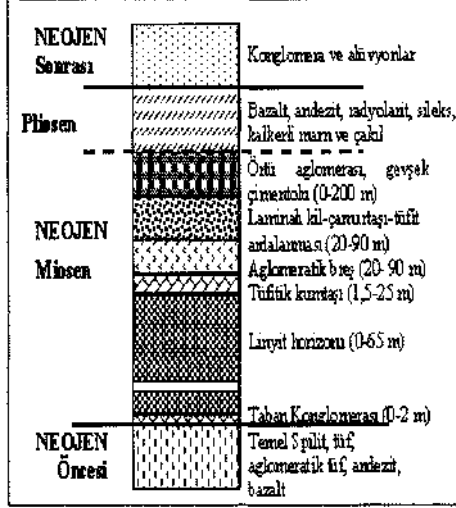
TKİ Çan Kömür Havzasında dönüşümlü olarak, Çan 1, Çan 3 ve Çan 5 ocaklarında (Panolarında) çalışılmıştır. Halen Çan 2 ocağında kömür üretimi, Çan 1 ocağında ise dekapaj faaliyetleri yürütülmektedir.

Dekapajda 15,3 m³ kepçe kapasiteli elektrikli ekskavatörler ve 85 tonluk ağır kamyonlarla kademeli olarak çalışılmaktadır. Dekapaj kademelerinin doğrultusu Kocabaş Çayı akış yönüne paralel (E-W), pano ilerleme yönü ise kuzeye doğrudur. Bu suretle oluşturulan geniş cephe mevcut

heyalanları artırıcı etki yapmaktadır (İpekoğlu vd. 2000).

5.2 Çalışma sahasının jeolojisi ve kayaç özellikleri

Çalışmaların yapıldığı TKİ çan linyit açık ocağındaki stratigrafik diziliş üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar, Neojen öncesi, Neojen ve Neojen sonrası devrelerine ait formasyonlardır. Formasyonların genel durumu ve özellikleri Şekil 3 'de verilmiştir.



Şekil 3. Çan linyit havzasına ait stratigrafik kesit.

Sahada tabakaların genel eğim derecesi 0°-20° arasında değişmektedir. 30°'nin üzerinde eğim değerleri genellikle fay zonuna yakınlık gibi anormal durumlarda ortaya çıkmaktadır.

5.2 TKİ Çan linyit açık ocağında yer sarsıntısı tahminine yönelik olarak yapılan çalışmalar

Bu çalışma kapsamında, Çan ilçesi yerleşim alanına oldukça yakın olan T.K.İ. Çan Linyitleri İşletmesinde, termik santral esaslı değerlendirme durumunda daha fazla artacak olan çevresel duyarlılıklar dikkate alınarak, patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarının tahminine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda; çalışılan saha için parçacık hızının tahminine yönelik olarak, işletmenin kendi imkanlarıyla ve müteahhit firma aracılığıyla yapılan basamak patlatmaları izlenmiş ve yer sarsıntısı unsurları ölçülmüştür.

Çalışma kapsamında, titreşim ölçümlerine esas olacak söz konusu atımlarda, uygulanan patlatma geometrisi ve patlayıcı şarjı; işletme ve müteahhit firma yetkililerince sistematik olarak uygulanacak şekilde (herhangi bir müdahalede bulunulmadan)

gözlemlenmiş ve ölçümler bu şekildeki çalışmalar sırasında gerçekleştirilmiştir.

Bu amaçla; gecikme başına düşen patlayıcı madde miktarı, her bir delik için planlanan patlayıcı maddenin kontrollü bir şekilde şarj edilmesiyle belirlenmiştir. Atımlarda; esas patlayıcı olarak delik içi su varlığına göre Anfo veya Emulite, yemlemede ise jelatinit dinamit ve Emulite 100 kullanılmıştır. Ateşleme ise işletme tarafından yapılan atımlarda NONEL kapsüller kullanılarak, müteahhit firma tarafından yapılan atımlarda gecikmeli elektrikli kapsüller kullanılarak yapılmıştır. Gecikme başına şarjın belirlenmesinde; yemlemede kullanılan dinamitin ağırlıkça kudreti göz önüne alınarak ANFO' ya dahil edilmiştir. İzlenen atımlar için genellikle uygulanan tasarım değişkenleri Çizelge 1 'de verilmiştir.

Çizelge 1. Atımlarda uygulanan patlatma tasarım değişkenleri

Delik Çapı (D), (mm)	171
Delik Eğimi (a), (°)	90
Delik Uzunluğu (H), (m)	7-8
Basamak Yüksekliği (K), (m)	5-6
Dilim Kalınlığı (B), (m)	3-5
Delikler Arası Mesafe (S), (m)	5
Sıkılma Boyu (H _s), (m)	2*5

Atım kaynağı ve ölçme istasyonu arasındaki uzaklık topoğrafik ölçü aletleriyle ölçülmüştür. Ölçüm istasyonu olarak; keyfi arazi noktaları, "Ölçekli Mesafe" kavramı içinde seçilmiştir. Bazen de çevredeki binaların oturduğu zemin noktaları (özellikle bu çalışmaya başlanmadan önce rahatsız olduktan ifade edilen işletme yönetim binası zemini), genel istasyon noktalarına göre çok daha uzak olmalarına karşın, tercih edilmiştir.

Bu çalışmada, ölçekli mesafe değişkenleri (Her gecikme için toplam şarj, istasyon ile atım yeri arasındaki uzaklık) dikkatlice kaydedilirken, yer sarsıntısı unsurları da 54 olay için iki farklı cihazla (Instante! Minimate ve White Mini Seis) ölçülmüştür.

5.3 Ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi

Araştırma projesi kapsamında sürdürülen çalışmalar sonucu bu sahada yürütülen faaliyetlerin herhangi bir aşamasındaki (geçmiş veya gelecekteki) herhangi bir atımdan kaynaklanacak maksimum parçacık hızı tahmini için, gecikme başına düşen en fazla patlayıcı madde şarjları ve kaynak-ölçüm istasyonu arasındaki uzaklıklar dikkate alınarak türetilen ölçekli mesafe parametresiyle parçacık hızı arasındaki ilişki, istatistiksel açıdan yeterli sayıda veri çifti ile ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Ölçekli mesafe ve parçacık hızı ile ilgili olan bu gözleme ve istatistiksel hesaplamalara dayalı formül, titreşim-ölçüm cihazlarının kullanıldığı sahada bizzat bulunan sonuçlardan geliştirilmiştir. Bu

formül, parçacık hızının sönümlenme oranında bölgenin kaya karakteristiklerinin etkisini hesaba katan K ve β saha sabitlerini içermektedir. Bu iki sabit, parçacık hızını tahmin edebilmek amacıyla, her patlatma sahası için belirlenmelidir.

TKİ Çan Linyitleri İşletmesi açık ocağında izlenen 54 basamak atımına ait ölçüm sonuçları; her bir olay için parçacık hızı, uzaklık, gecikme başına düşen en fazla patlayıcı madde miktarı ve ölçekli mesafeyi içerecek şekilde Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Yer sarsıntısı ölçüm sonuçları

Olay No	Enine	Parçacık Hızı		En Yüksek parçacık hızı	Frekans f (Hz)	Toplam Şarj W, (kg)	Gecikme Başına Toplam Şarj W, (kg)	Mesafe R (m)	Ölçekli Mesafe SD
		Düşey	Boyuna						
1	10.2	15.9	20.4	20.4	4,3	1818	101	166	16.3
7	4.19	3.81	5.46	5.46	4.7	2400	100	120	12
13	1.14	3.05	1.52	3.05	3	935	90	780	82.2
19	7.11	12.6	8.25	12.6	11	894	110	110	10.4
25	4.57	5.08	7.62	7.62	8.3	945	110	150	14.3
31	23.87	24.8	69	69	56.8	300	70	55	6.57
37	0.88	1.14	1.14	1.14	8.2	600	150	350	40.8
43	11.17	12,19	23.3	23.3	39.3	900	80	45	5.03
49	1.64	1.90	2.73	2.73	4	800	200	500	35.3
<i>14</i>	<i>0.88</i>	<i>1.02</i>	<i>1.02</i>	<i>1.02</i>	<i>4.9</i>	<i>300</i>	<i>75</i>	<i>500</i>	<i>57.7</i>

Daha sonra sahadan sağlanan yeterli sayıda parçacık hızı ve ölçekli mesafe veri çifti arasında kullanışlı bir ilişki saptayarak, sahada yapılacak kontrollü patlatma tasarımlarında gerekli olacak saha sabitleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla; atımlardan elde edilen Çizelge 2'de yer alan (54 atım olayı) tüm veri çiftleri değerlendirme ünitesine aktarılmış ve 10V. SPSS istatistiksel analiz programı kullanılarak istatistiksel analize tabi tutulmuşlardır.

Bu değerlendirmede; maksimum parçacık hızı (PPV) ve ölçekli mesafe (SD) değerleri arasındaki ilişkinin ortaya konulması amacıyla, regresyon analizi yapılmıştır. Bu analiz sırasında; doğrusal, üssel, exponansiyel ve logaritmik fonksiyon yaklaşımları kullanılmıştır. Aynı analizler, parçacık hızının diğer unsurları olan enine (T), düşey (V), boyuna (L) hızları için de yapılmıştır. Tüm analizlerde, üssel fonksiyon yaklaşımı en yüksek korelasyon katsayısı ile sonuçlanmıştır. Uygulamalı, yoğun bir araştırma sonucu, sedimentler oiuşumlu bir jeolojik yapıdaki kaya birimlerinden oluşan bu saha için parçacık hızı ve ölçekli mesafe arasında elde edilen bu ilişkinin, literatürle de uyum içinde olduğu görülmüştür.

Sahada izlenen atımlardan sağlanan parçacık hızı bileşenleri (PPV, PVT, PVV, PVL) ve ölçekli mesafe veri çiftleri arasındaki ilişkinin ortaya konulması amacıyla SPSS istatistiksel değerlendirme programı kullanılarak yapılan regresyon analizi ile belirlenen ve literatüre de uygunluk arz eden eşitlikler Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Bütün atımlar için parçacık hızı bileşenlerinin eşitlikleri

Saha Sabitleri	Parçacık Hızı (mm/sn)			
	Enine, PVT	Düşey, PVV	Boyuna, PVL	En yüksek, PPV
K	100.44	145.51	213.16	191.29
β	-1.092	-1.132	-1.228	-1.130
r	0.85	0.78	0.85	0.85

Çizelge 3'den de anlaşılacağı gibi; çalışılan saha için uzun süreli bir uygulama sonucu belirlenen ve literatüre de uygunluk arz eden en yüksek parçacık hızı tahmin denklemi aşağıdaki şekilde olmuştur.

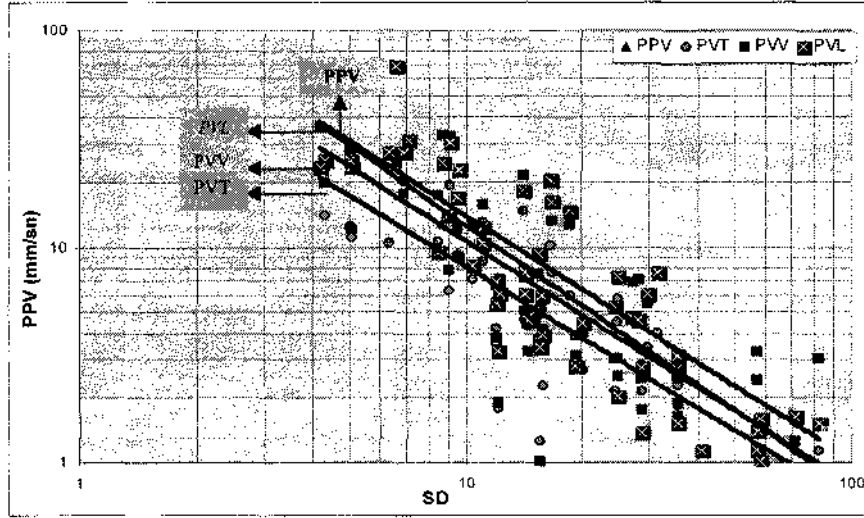
$$PPV = 191 (R/VW) - U3 \quad (r=0,85) \quad (3)$$

Bu saha için elde edilen en yüksek parçacık hızı tahmin denkleminde K ve β faktörleri sırasıyla 191 ve 1.13 olarak saptanmıştır.

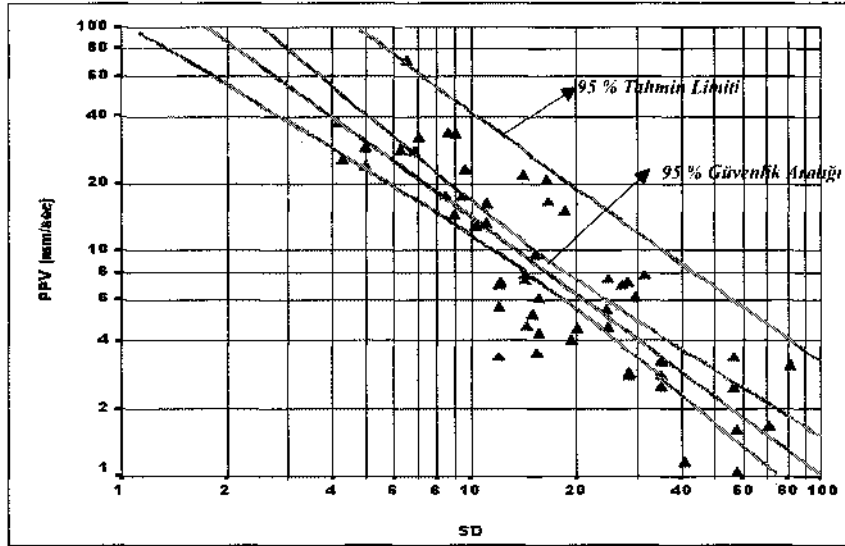
Parçacık hızı bileşenleri ve maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe arasındaki logaritmik ilişkilerin grafik gösterimi ise, noktaların dağılımını da ifade edecek biçimde Şekil 4'de gösterilmiştir.

Ayrıca V.10 SPSS programı ile yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda elde edilen regresyon ve korelasyon sonuçları çizelge 4'de verilmiştir.

Diğer taraftan istatistiksel değerlendirmelerde %50 ve %95 tahmin limitlerin de belirlenen en yüksek parçacık hızına karşılık gelen ölçekli mesafe ilişkisi de Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Parçacık hızı bileşenleri ve ölçekli mesafe arasındaki ilişki.



Şekil 5. En yüksek parçacık hızı ve ölçekli mesafe arasındaki ilişki (%50 ve %95 tahmin limitine göre).

Çizelge 4. SPSS istatistiksel değerlendirme programı basit regresyon analizi çıktısı.

Regresyon İstatistikleri						
Çoklu R	R Kare	Ayarlı R Kare	Standart Hata	Gözlem Sayısı		
0.844	0.712	0.706	0.233	54		
Varyans Analizi (ANOVA)						
	DF	Karelerin Özeti	Ortalama Kare	F	Anlamlılık F	
Regresyon	1	7.011	7.011	128.83	1.094	
Fark	52	2.829	0.054			
Toplam	53	9.8412				
Denklemdaki Değişkenler						
Paremetreler	Katsayılar	Standart	t Stat	P-Değeri	% 95 Güven Aralığı	
		l	f		Lower	Upper
Kesişim	2.281	0.126	18.07	4.48	2.028	2.534
X Değişkeni	-1.134	0.099	11.35	1.09	-1.334	-0.933

Çizelge 4'de görüldüğü gibi sahadan sağlanan 54 veri çiftinin tamamı istatistiksel hesaplamalarda kullanılmıştır. Daha önce belirtildiği gibi bir istatistiksel değerlendirmenin güvenilirliğinin sağlam olması için tahmin denkleminin %95 güven aralığına uyum göstermesi (Şekil 5) ve kararlılık katsayısının (r) değerinin 0.7 den büyük olması gereklidir. Bu çalışmada da yapılan lineer regresyonla hesaplanan PPV değişkeninin %71.2 sini gösteren r^2 değeri 0.712 olarak belirlenmiştir. Hesaplamalarda kesişim katsayısı, log-log aralığındaki skalaya transfer edilerek yapılan lineer regresyon analizi ile belirlenmiştir. Bu değerlendirme sonucunda Şekil 4 ile uyum içinde olan 191.29 (k: yer iletim katsayısı) katsayısına eşit olan $10^{2.281}$ katsayısı bulunmuştur. Ayrıca bu değerlendirmede sonunda regresyon ifadelerinde kritik eğim değeri olarak adlandırılan jeolojik sabit (β faktörü) -1.134 olarak saptanmıştır.

Bütün bu yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda, bu saha için gelecekte yapılacak atımlar sonucu oluşacak en yüksek parçacık hızı değerlerinin büyüklüğünün kestirimi %95 tahmin limitinin altında kalacak şekilde yapılabileceği ortaya konulmuştur (Kahriman vd. 2000 b).

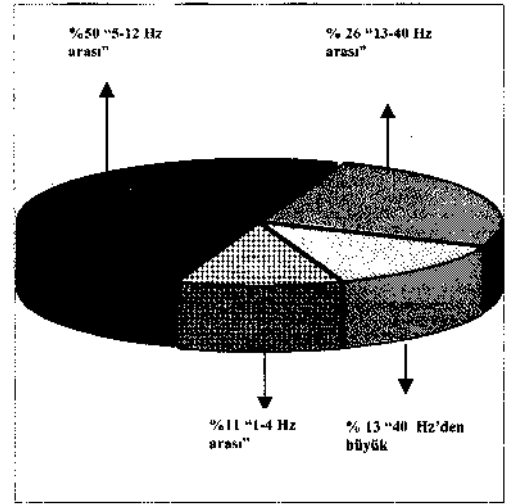
Yapılan bu istatistiksel değerlendirmeler sonucunda %95 tahmin aralığında belirlenen bu ilişki yerinde yapılan ölçümlerle test edilmiş ve hesaplanan PPV değerleri ile ölçülen değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür (Çizelge 5).

Çizelge 5. Hesaplanan ve ölçülen parçacık hızları

Olay No	Ölçekli Mesafe (SD)	En Yüksek Parçacık Hızı (PPV) (mm/s)	Hesaplanan	Ölçülen
1	35.0	3.43	3.77	
4	48.0	2.40	2.64	
3	68.4	1.61	1.77	
2	15.8	8.40	9.24	

Çizelge 5'de görülebileceği gibi yerinde ölçülmüş değerler ile formülle tahmin edilmiş değerler arasındaki standart sapma %10'nu geçmemiştir.

Bu durum, bu sahadaki saptanan formülün kullanılmasıyla, güvenilir patlatma tasarımlarının yapılmasını mümkün olabileceğini ispatlamıştır. Bununla birlikte, sahadaki daha fazla atım izlenmeli, daha fazla veri elde edilmeli ve bu regresyon modeli güncelleştirilmelidir.



Şekil 6. İzlenen atımlarda oluşan maksimum parçacık hızına karşılık gelen frekansların dağılımı

Ayrıca bu çalışmada sahadaki yapılan basamak atımları sırasında kaydedilen olaylarda ortaya çıkan maksimum parçacık hızlarına karşılık gelen frekans değerlerinin dağılımlarında incelenmiştir (Şekil 6).

Şekil 6'da görüleceği üzere titreşimler, oldukça düşük frekanslı olarak sonuçlanmıştır. Daha öncede bahsedildiği gibi düşük frekanslı bir titreşimin, yüksek frekanslı bir titreşime göre (belli bir hız için) çok daha fazla hasar riski taşıyacağı bilinmektedir.

Atımlarda ölçülen frekansların oldukça düşük olması da bu yönde önemli bir hasar vernie riskinin göstergesi olmaktadır (Kahriman vd. 2001).

6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Gelişmiş ülkelerde patlatma kaynaklı çevresel problemlerin çözümüne dönük araştırma programları uzun süreden beri sürdürüldüğü ve muhtelif standart ve kriterler oluşturulduğu dikkate alındığında; ülkemizin bu konuda çok yetersiz ve gecikmiş olduğu görülmektedir. Bu nedenle, benzer titreşim ölçüm çalışmalarının yaygınlaştırılarak, ülkemiz koşullarına uygun standart ve kriterlerin oluşturulmasına dönük verilerin sağlanması, konu ile ilgili kuruluşlar için ekonomiklik ve emniyetlilik açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu araştırma kapsamında Çan ilçesi yerleşim alanına oldukça yakın olan bu sahada, termik santral esaslı değerlendirme durumunda daha fazla artacak olan çevresel duyarlıklar dikkate alınarak, patlatmadan kaynaklanan titreşim değişkenlerinin tahminine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Değerlendirmeler sonunda, bu saha için parçacık hızının tahminine yönelik olarak %95 güvenilirlik aralığında iyi korelasyonlu bir ampirik ilişki elde edilmiş ve önerilmiştir.

Ancak, sadece parçacık hızı büyüklüğünün tahmininde kullanılan bu ampirik ilişkinin çeşitli etkiler nedeniyle düzensiz sonuçlar verebileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu yüzden elde edilen bu ampirik yaklaşım eşitliğini desteklemek için daha fazla olay, farklı yönlerde izlenmeli ve regresyon analizleri daha fazla ölçüm sonuçları göz önünde tutularak güncelleştirilmelidir. Bunlara ilaveten ocağın ilerlemesine ve zamana bağlı olarak da tekrar gözden geçirilmelidir.

Ayrıca yapılan titreşim ölçümleri sonucunda, sedimenter oluşumlu bir jeolojik yapıdaki kaya birimlerinden oluşan bu sahada, literatüre ve beklentilere uygun olarak, titreşim frekansları oldukça düşük çıkmıştır.

Patlatma titreşim ölçümleri sonucunda düşük gerçekleştiği anlaşılan bu frekans değerleri, ocağa yakın bölgelerde bulunan ve genelde ciddi bir mühendislik çalışmasının inşaa sırasında uygulanmadığı, kat sayılarının 1 ile 3 kat arasında değiştiği çevredeki yapıların öz yapısal frekanslarıyla uyumunu arttıracak ve rezonans sonucu beklenmeyen sonuçlara neden olabilecektir.

Bu nedenle işletme faaliyetleri sırasında yapılacak her türlü patlatma çalışmalarının, kontrollü atım ilkelerine uygun gerçekleştirilmesi, tüm atım verilerinin usulüne uygun hazırlanacak formlara kaydedilmesi ve tüm atımların titreşim ölçerler vasıtasıyla kayıtlarının alınması hayati derecede önem taşımaktadır.

TEŞEKKÜR

T.K.İ. Genel Müdürlüğü ve Çan Linyit İşletmesi Bölge Müdürlüğü'ne her türlü yardımlarından dolayı teşekkür ederiz.

Ayrıca bu çalışma için maddi destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumuna (Proje no: YDABCAG-199Y027) teşekkürü bir borç biliriz

KAYNAKLAR

- Bilgin, H.A. Esen, S. Kılıç, M. 1998. TKİ Çan Linyit İşletmesinde patlatmaların yolaçtığı çevre sorunlarının giderilmesi için araştırma, ODTÜ, *Nihai Rapor*, 19 -21, Ankara
- Costa e Silva, V. Ayderes da Silva, L. A. 1996. Practical ways to reduce environmental rock blasting problems. Environmental Issues and waste management in energy and mineral production. *Proc. SWEMP*. 1: 291-297, Cagliari, Italy
- Dowding, C. H. 1985. *Blast Vibration Monitoring and Control*. Prentice-Hall, Inc.
- İnal, C. Esensoy, Ö. Sözer, T. 1983 İstatistik Terimleri Sözlüğü. Türk Dil Kurumu. Ankara, S. 163
- İpekoğlu, B. Kahrıman, A. Kesimal, A. Görgün, S. Karadoğan, A. 2000. Çan Linyit Sahasının termik santralde değerlendirilebilirliği ve en uygun üretim koşullarının araştırılması, *Tühiakprojesi*. Proje no: YDABCAG - 648.
- Jimeno, C.L. & Jimeno, E. L. 1995, *Drilling and Blasting of Rock*, A. A. Balkema, Brookfield., Netherlands.
- Kahrıman, A. Ceylanoğlu, A. Demirci, A. 1996 Sivas-UIaş yöresi sölestit açık işletmesinde basamak patlatmasından kaynaklanan yer sarsıntısı ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi, 2. *Delme ve Patlatma Sempozyumu*. S. 89-96. Ankara.
- Kahrıman, A. Kesimal, A. Tuncer, G. 1998a, Prediction and measurement of environmental problems produced from blasting, *Second International Symposium on Mine Environmental Engineering*, p. 231-239
- Kahrıman, A. Görgün, S. Karadoğan, A. 1998b, Patlatmalı kazılardan kaynaklanan titreşimlerin kentsel alanlar üzerine olan etkileri ve alınacak önlemler, *Jeoloji ve Kentleşme Sempozyumu*, İstanbul.
- Kahrıman, A. Görgün, S. Karadoğan, A. 1999, TKİ Çan Linyit Açık Ocağında patlatmadan kaynaklanan yersarsıntısı ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi. //, *Mühendislik Haftası Yerbilimleri Sempozyumu*. İsparta,
- Kahrıman, A. Tuncer, G. Görgün, S. Karadoğan, A. 2000a, Estimation particle velocity on the basis of blast event measurement. *Proceedings of the 26th Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*. ISEE, VI: 107-115. Anaheim, California, U.S.A.
- Kahrıman, A., Görgün S., Karadoğan A. & Tuncer G., 2000b, Estimation particle velocity on the basis of blast event measurement for an infrastructure excavation located nearby Istanbul, *World Conference on Explosives and Blasting Technique*, Munich, Bavaria, Germany.
- Kahrıman, A., Görgün S., Karadoğan A. & Tuncer G., 2001, Attenuation of ground vibration induced by blasting at Çan Open-Pit Mine in Turkey, *The Twenty-Seventh Annual Conference on Explosive and Blasting Technique*. 28 -31 January, ISEE, Orlando, Florida, U.S.A.

Belirli Bir Kaya Kütlelerinde Oluşturulan Yer Sarsıntılarının Ölçümü ve Değerlendirilmesi

A. Ceylanoğlu & E. Arpaz
Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

ÖZET: Patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarının ölçümü ve tahmini çevresel sorunları en aza indirmede ve patlatma verimliliğinin artırılmasında büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında, belirli bir kaya biriminde (jips) değişik şarj (dinamit) miktarları kullanılarak oluşturulan yer sarsıntısı ve hava şoku farklı yön ve mesafelerde ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları, ölçüm yönü dikkate alınarak literatürdeki 11 değişik tepe parçacık hızı tahmin yöntemine göre değerlendirilmiştir. Regresyon analizi sonuçları, parçacık hızı tahmininde yalnız patlayıcı madde miktarının ve mesafenin (ölçekli mesafe) değil aynı zamanda ölçüm yönünün de dikkate alınması gerektiğini göstermiştir.

ABSTRACT: The measurement and prediction of ground vibrations induced by blasting has a great importance to minimize environmental problems and to increase blasting efficiency. Within the scope of this study, ground vibration and air blast produced by using different amounts of explosive (dynamite) in a certain rock unit (gypsum) were measured at different distances and directions. The measurement results were evaluated according to 11 different peak particle velocity estimation methods in the literature considering the measurement direction. The regression analysis results showed not only the amount of charge and distance (scaled distance) but also the direction of measurement should be taken into consideration during the estimation of particle velocity.

1 GİRİŞ

Patlatma kaynaklı yer titreşimleri bir noktadan başlayarak küresel olarak yayılmakta ve bu yayılma sırasında geçtikleri ortamın özelliklerine bağlı olarak kırılmaya/yansımaya uğramakta ve nihayetinde sönümlenmektedir. Bu durumda, değişik yönlerde farklı özellikler gösteren kaya ortamlarında yer titreşimlerinin yayılımının da düzenli olması beklenmemelidir. Özellikle patlatma kaynaklı çevresel etkilerin yoğun olduğu bölgelerde değişik yön ve mesafelerde yer sarsıntılarının izlenmesi patlatma kaynaklı çevresel sorunların giderilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

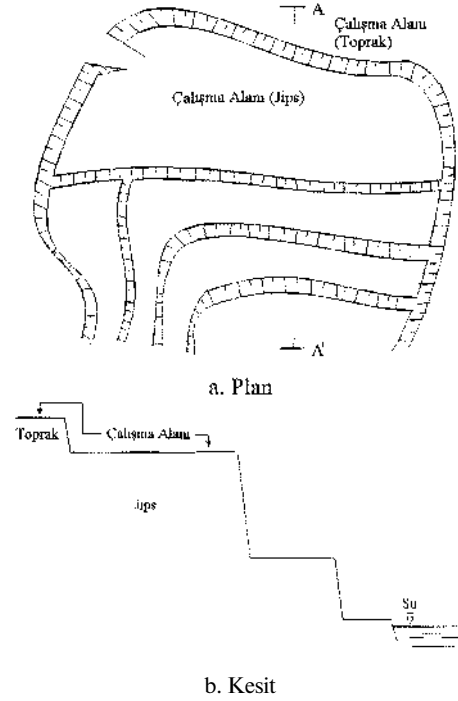
Kangal Kömür Açık İşletmesi'nde, atımların yapıldığı basamaklar dikkate alınarak yer sarsıntılarının tahminine yönelik daha iyi korelasyonlu ilişkiler elde edilmiştir (Ceylanoğlu & Arpaz 2000).

Bu araştırma kapsamında patlatma kaynaklı yer titreşimlerinin yöne bağlı değişimini belirlemek amacıyla belirli bir kaya biriminde değişik şarj miktarları kullanılarak yer sarsıntılarının oluşturulmuştur. Bu sarsıntılar farklı yön ve mesafelerde ölçülmüş ve sonuçları ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmiştir.

2 ÇALIŞILAN KAYA BİRİMİ VE BAZI ÖZELLİKLERİ

Yapılan araştırma sonucunda, gerek işletme koşullarının uygunluğu, işletmeye ve basamağa kolay ulaşılabilir olması gerekse basamak üstünün planlanan ölçümlerin yapılabileceği bir boyutta ve özellikte olması (basamaktaki kaya birimi yapısının aynadan gözlemlenebilmesi ve basamak üstünün çalışmaya elverişli genişlikte ve düzlükte olması) nedeniyle Barit Maden T.A.Ş.'ne ait sölestit açık

ocağının 1380-1396 kotları arasında yer alan jips basamağının üzeri (Şekil 1) çalışma alanı olarak seçilmiştir. Söz konusu kaya biriminin bazı malzeme ve kütle özellikleri belirlenmiş ve Çizelge 1'de verilmiştir. Ayrıca çalışma alanının hemen üstünde bulunan 4 m yüksekliğindeki basamak (toprak) üzerinde de sismik ve yer sarsıntısı ölçümleri yapılmıştır (Arpaz 2000).



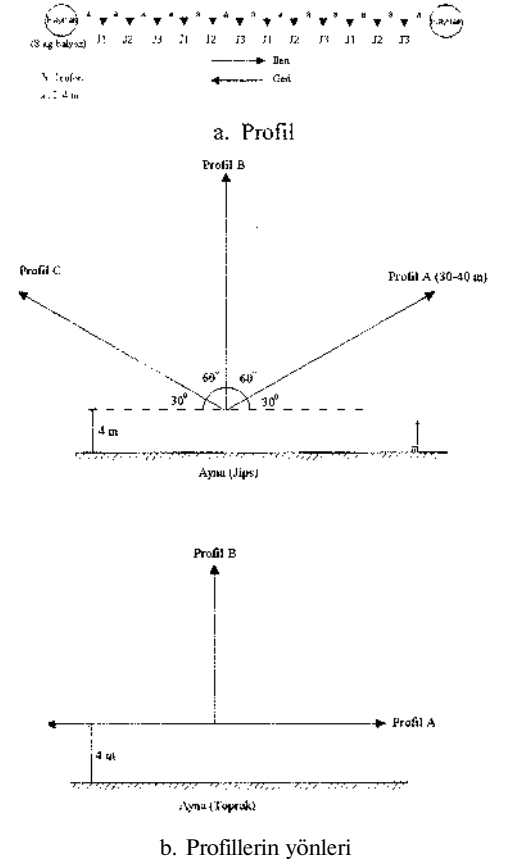
Şekil 1. Yer sarsıntısı ve hava şoku ölçümlerinin gerçekleştirildiği jips basamağı.

Çizelge 1. Çalışılan kaya biriminin bazı malzeme ve kütle özellikleri.

Çalışılan Birim	Jeoteknik Tanım	Schmidt	Nokta
		Çekici Sertliği	Yükleme Dayanımı (UM)) (MPa)
Toprak	Kahverengi, tümüyle ayrılmış Açık gri, ekSm yüzeyleri kahverengimsi, $\alpha^?$ derecede ayrılmış, basamağın üst kısımlarında hava ile temastan kahverengimsi orta derecede ayrılmış bir zotu mevcut. Aynada iki eklem seli gözlenmekle, aynaya dik olan 1. eklem seti: $60-70^\circ$, paralel olan 2. eklem seti: 15° eğimde, ortalama eklem aralığı: 4.4 m, devamlılığı 80 cm, az pürüzlü.	18.89 ± 1.32	1.50 ± 0.47

3 SİSMİK ÖLÇÜM SONUÇLARI

Öncelikle, çalışma alanı olarak seçilen basamaklarda (jips ve toprak) yer sarsıntısı ölçümleri alınacak yönlere (Jips basamağında 3 ve üst basamakta (toprak) iki değişik yönde) Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne ait üç kanallı Abem Miniloc sismograf kullanılarak sismik hızı (P-dalga) belirleme ölçümleri yapılmıştır (Şekil 2). Söz konusu profiller (ileri ve geri) boyunca 2-4 m aralıklarla jeofonlar (3 adet) yerleştirilmiş ve 8 kg balyoz kullanılarak sağlanan sismik dalganın jeofonlara ilk ulaşım süreleri sismografla kaydedilmiştir. Bu şekilde herbir profilin ileri ve geri yönleri için yeterli sayıda (en az 12) varış süresi ve mesafeden oluşan veri çiftleri elde edilmiştir. Bu veri çiftleri ile yol-zaman (x-t) grafikleri çizilerek herbir profilin ileri ve geri yönleri için sismik hız belirlenmiştir (Çizelge 2).



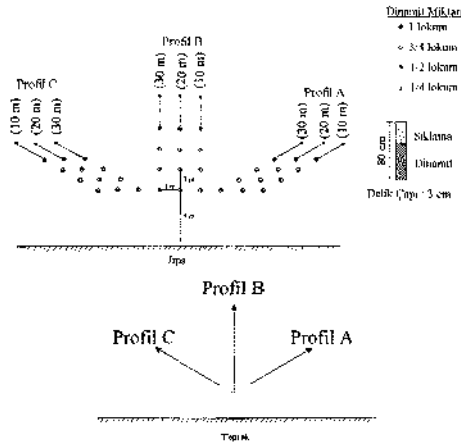
Şekil 2. Sismik hız (P-dalga) ölçümü.

4 YER SARSINTISI VE HAVA ŞOKU ÖLÇÜM SONUÇLARI

Sismik ölçüm alınan profiller boyunca dört değişik dinamit miktarı (1/4, 1/2, 3/4 ve 1 lokum) kullanılarak toplam 39 atım yapılmıştır (Şekil 3). Atımlarda çukur oluşması ve çevresinin bozulması nedeniyle Şekil 3'de gösterildiği gibi atım yönü

Çizelge 2. Profillerin sismik hızları.

Basamak	Profil	Sismik Hız (m/sn)
Jips	Profil A	İleri 1705
		Geri 2355
		Ortalama 2030
	Profil B	İleri 2025
		Geri 1932
		Ortalama 1799
Profil C	İleri 1709	
	Geri 2046	
	Ortalama 1873	
Toprak	Profil A	İleri 452
		Geri 352
		Ortalama 402
	Profil B	İleri 361
		Geri 405
		Ortalama 383



Şekil 3. Yer sarsıntısı ve hava şoku ölçümü.

dikkate alınarak atımlar, ileri-geri ve sağa-sola kaydırılarak farklı noktalarda yapılmıştır. Üç değişik yönün her birinde dört farklı dinamit miktarı ve herbir dinamit miktarı için üç değişik mesafede alınan yer sarsıntısı ve hava şoku ölçüm sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. Yer sarsıntısı ve hava şoku ölçümleri Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne ait InstanTel firmasının

ürettiği DS-677 titreşim ölçer cihazı (Blastnat kullanılarak yapılmıştır).

5 OLCUM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarının önceden tahminine yönelik birçok kişi ve kuruluş çeşitli araştırmalar yapmış ve maksimum parçacık hızının ölçekli mesafeye bağlı tahmini literatürün çoğunda kabul görmüştür. Maksimum parçacık hızının tahminine yönelik yapılan bazı çalışmaların sonuçları (Gupta vd. 1988) kronolojik olarak aşağıda verilmektedir,

i. Ambraseys ve Hendron (1968)

$$PPV = K*(R/W)^{Mf}$$

ii. Nicholls, Johnson ve Duvall (1971)

$$PPV = K*(R/W^{0.5})^p$$

iii. Langefors ve Kihlström (1973)

$$PPV = K*[(W/R^{15})^{0.5}]^b$$

iv. Hindistan Standartları Enst.(1973)

$$PPV = K*[(W^{0.67}/R)]^p$$

v. Davies ve Ark., (1964), Attewell

vd., (1965), Shoop ve Daemen (1983), Birch ve Chaffer (1983)

$$PPV = K*R^{\alpha}*W^{\beta}$$

vi. Ghosh ve Daemen (1983)

$$PPV = K*(R/W^{0.5})^{\beta}*e^{-\alpha R}$$

vii. Ghosh ve Daemen (1983)

$$PPV = K*(R/W^{0.33})^{\beta}*e^{-\alpha R}$$

viii. Gupta vd. (1987)

$$PPV = K*[(W/R^{1.5})^{0.5}]^{\beta}*e^{-\alpha R}$$

ix. Gupta vd. (1987)

$$PPV = K*(W^{0.67}/R)^{\beta}*e^{-\alpha R}$$

x. Gupta vd. (1988)

$$PPV = K*(R/W^{0.5})^{\beta}*e^{-\alpha(R/W)}$$

xi. CMSR (Roy, P.P., 1991)

$$PPV = n + K*(R/W^{0.5})^{-1}$$

xii. Bilgin vd. (1998)

$$PPV = K*(R/W^{0.5})^{\alpha}*B^{\beta}$$

Burada;

PPV: Mak. parçacık hızı (mm/sn)

B: Dilim kalınlığı (m)

R : Patlatma noktasından uzaklık (m)

W: Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg)

K, β, α, n: Saha sabitleri

$e^{-\alpha R}$: İnelastik seyrelme faktörü

$e^{-\alpha(R/W)}$: İnelastik sönme faktörü

Belirli bir kaya biriminde ($j'P'$) dinamit kullanılarak gerçekleştirilen 36 adet atıma ait yer sarsıntısı ölçüm sonuçlarının tümü ve her bir profil

için yukarıda verilen parçacık hızı tahmin yöntemlerine göre ayrı ayrı regresyon analizi yapılmıştır. Bu analizler sonucunda elde edilen maksimum parçacık hızı (PPV) ilişkileri Çizelge 4'de sunulmuştur. Bu regresyon analizlerinde profiller bazında elde edilen ilişkiler daha yüksek

korelasyon katsayıları ile sonuçlanmıştır. Maksimum parçacık hızı ilişkisinin korelasyon katsayısı tüm atımlar dikkate alındığında 0.76 iken, ölçüm profili

Çizelge 3. Yer sarsıntısı ve hava şoku ölçüm sonuçlar

Ölçüm No	Profil	Dinamit Miktarı (Lokum Adet)	Ölçüm Mesafesi (R) (m)	Ölçekli Mesafe (R.W ^{1/5})	Parçacık Hızı ve Frekansı								Hava Şoku ve Frekansı			
					Enine (PPVT)		Düsey (PPVV)		Boyuna (PPVL)		Bilçske (PVS)		Maksimum (PPV)		Hz	dbI
					mm/sn	Hz	mm/sn	Hz	mm/sn	Hz	mm/sn	mm/sn	mm/sn	mm/sn		
JİPS																
1		1/4	10	1.474	0.51	2	2.41	N/A	10.03	N/A	10.03	10.03	N/A	112.6	N/A	
2		1/4	20	2.949	0.7	N/A	0.6	N/A	1.86	N/A	2.03	1.86	N/A	108	73	
3		1/4	30	4.423	0.56	N/A	0.41	N/A	0.65	N/A	0.71	0.65	N/A	119.8	51	
4		1/2	10	1.043	38.86	N/A	1.02	N/A	2.41	N/A	38.89	38.86	N/A	118.1	73	
5		1/2	20	2.085	8.89	N/A	0.64	N/A	1.02	N/A	8.92	8.89	N/A	116	7	
6		1/2	30	3.128	6.22	N/A	0.64	N/A	0.89	N/A	6.24	6.22	N/A	136.5	N/A	
7	A	3/4	10	0.851	14.73	N/A	2.16	N/A	3.05	N/A	14.8	14.73	N/A	121.4	51	
8		3/4	20	1.703	8.51	N/A	0.51	N/A	1.52	N/A	8.6	8.51	N/A	123.7	6	
9		3/4	30	2.554	14.22	N/A	0.64	N/A	1.91	N/A	14.24	14.22	N/A	119.4	73	
10		1	10	0.737	26.16	N/A	2.41	N/A	4.57	N/A	26.43	26.16	N/A	124.1	51	
11		1	20	1.474	28.19	N/A	1.52	N/A	3.3	N/A	28.23	28.19	N/A	117.5	64	
12		1	30	2.212	6.1	N/A	0.51	N/A	1.52	N/A	6.11	6.1	N/A	140.7	N/A	
13		1/4	10	1.474	5.46	N/A	1.14	85	3.18	N/A	5.68	5.46	N/A	113.6	30	
14		1/4	20	2.949	3.18	N/A	0.64	N/A	0.89	N/A	3.19	3.18	N/A	108.8	11	
15		1/4	30	4.423	1.91	N/A	0.25	N/A	0.38	N/A	1.92	1.91	N/A	109.6	51	
16		1/2	10	1.043	19.18	N/A	1.91	85	2.16	N/A	19.26	19.18	N/A	119.6	73	
17		1/2	20	2.085	23.5	N/A	2.29	N/A	3.81	N/A	23.56	23.5	N/A	115.6	73	
18		1/2	30	3.128	2.41	N/A	0.64	N/A	0.58	N/A	2.41	2.41	N/A	107.1	N/A	
19	B	3/4	10	0.851	15.37	N/A	3.43	N/A	5.97	N/A	15.51	15.37	N/A	122.2	64	
20		3/4	20	1.703	26.04	N/A	0.89	N/A	3.18	N/A	26.04	26.04	N/A	120	N/A	
21		3/4	30	2.554	15.88	N/A	1.4	N/A	1.4	N/A	15.89	15.88	N/A	110.9	73	
22		1	10	0.737	260	N/A	10.67	N/A	4.57	N/A	260	260	N/A	126	51	
23		1	20	1.474	30.61	N/A	2.41	N/A	6.86	N/A	30.7	30.61	N/A	120	73	
24		1	30	2.212	12.57	N/A	1.4	N/A	1.65	N/A	12.64	12.57	N/A	114.4	73	
25		1/4	10	1.474	45.34	N/A	4.83	N/A	11.43	N/A	45.48	45.34	N/A	142	N/A	
26		1/4	20	2.949	0.51	N/A	0.38	N/A	1.4	N/A	1.48	1.4	N/A	109.6	57	
27		1/4	30	4.423	0.19	N/A	0.19	85	0.65	N/A	0.65	0.65	N/A	106.1	51	
28		1/2	10	1.043	0.64	N/A	0.13	N/A	0.13	N/A	0.64	0.64	N/A	112.6	5	
29		1/2	20	2.085	4.06	N/A	1.4	N/A	2.16	N/A	4.24	4.06	N/A	114.4	73	
30	C	1/2	30	3.128	3.81	N/A	0.51	N/A	0.76	N/A	3.84	3.81	N/A	106.1	64	
31		3/4	10	0.851	52.71	N/A	3.05	N/A	17.27	N/A	54.91	52.71	N/A	122	73	
32		3/4	20	1.703	31.37	N/A	1.78	N/A	3.18	N/A	31.48	31.37	N/A	116	73	
33		3/4	30	2.554	12.7	N/A	0.64	N/A	1.78	N/A	12.73	12.7	N/A	116	85	
34		1	10	0.737	49.66	N/A	8.76	3	14.61	N/A	50.26	49.66	N/A	142	N/A	
35		1	20	1.474	25.91	N/A	2.92	N/A	3.56	N/A	26.1	25.91	N/A	134.3	85	
36		1	30	2.212	4.19	N/A	0.25	N/A	0.64	N/A	4.21	4.19	N/A	142	N/A	
TOPRAK																
37	A	1/4	10	1.474	18.42	37	2.54	43	2.79	39	18.43	18.42	37	139.2	64.0	
38	B	1/4	10	1.474	11.30	34	2.16	37	2.41	47	11.53	11.3	34	126.8	73.0	
39	C	1/4	10	1.474	18.67	27	4.70	39	4.57	52	18.70	18.67	27	142.0	N/A	

* W : 1 Lokum 184 gr alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4. Literatürdeki parçacık hızı tahminlerine göre

Metot No	Maksimum Parçacık Hızı (PPV) İlişkileri	Korelasyon Katsayısı, r
Tüm Atımlar		
1	$PPV=109.75(R/W^0.333)^{-1.79}$	0.64
2	$PPV=27.77(RAV^0.5)^{-1.81}$	0.69
3	$PPV=6.99((W/R^3/2)^0.5)^2.31$	0.73
4	$PPV=6.99(W/R^2/3)^1.73$	0.73
5	$PPV=0.34R^1-1.36W^1.58$	0.75
6	$PPV=10.11(RAV^0.5)^{-2.92}e^{0.0834}R$	0.74
7	$PPV=128.61(RAV^0.333)^{-4.04}e^{0.1447}R$	0.72
8	$PPV=2.48((W/R^3/2)^0.5)^3.02e^{0.047}R$	0.75
9	$PPV=2.48(W^2/3/R)^2.26e^{0.047}R$	0.75
10	$PPV=38.61(W^2/3/R)^{-0.49}e^{-4.8699}(RAV)$	0.76
11	$PPV=67.01(RAV^0.5)^{-1} + -20.097$	0.54
A Profili Atımları		
1	$PPV=91.56(RAV^0.333)^{-1.73}$	0.76
2	$PPV=24.09(RAV^0.5)^{-1.72}$	0.81
3	$PPV=6.52((W/R^3/2)^0.5)^2.17$	0.84
4	$PPV=6.52(W/R^2/3)^1.63$	0.84
5	$PPV=0.79R^1-1.37W^1.38$	0.86
6	$PPV=10.3(RAV^0.5)^{-2.65}e^{0.0701}R$	0.85
7	$PPV=105.51(RAV^0.333)^{-3.73}e^{0.1294}R$	0.84
8	$PPV=2.95((W/R^3/2)^0.5)^2.71e^{0.036}R$	0.86
9	$PPV=2.95(W^2/3/R)^2.03e^{0.036}R$	0.86
10	$PPV=35.83(W^2/3/R)^{-0.15}e^{-5.7864}(R/W)$	0.92
11	$PPV=22.69(RAV^0.5)^{-1} + -0.748$	0.69
B Profili Atımları		
1	$PPV=161.49(RAV^0.333)^{-1.86}$	0.70
2	$PPV=39.78(RAV^0.5)^{-1.9}$	0.77
3	$PPV=9.26((W/R^3/2)^0.5)^2.47$	0.82
4	$PPV=9.26(W/R^2/3)^1.85$	0.82
5	$PPV=0.12R^1-1.32W^1.84$	0.87
6	$PPV=10.99(RAV^0.5)^{-3.32}e^{0.1061}R$	0.84
7	$PPV=195.11(RAV^0.333)^{-4.53}e^{0.1725}R$	0.81
8	$PPV=2.18((W/R^3/2)^0.5)^3.45e^{0.0656}R$	0.86
9	$PPV=2.18(W^2/3/R)^2.59e^{0.0656}R$	0.86
10	$PPV=51.47(W^2/3/R)^{-0.88}e^{-0.8083}(RAV)$	0.81
11	$PPV=135.83(RAV^0.5)^{-1} + -51.833$	0.68
C Profili Atımları		
1	$PPV=89.4(R/W^0.333)^{-1.8}$	0.55
2	$PPV=22.35(R/W^0.5)^{-1.8}$	0.59
3	$PPV=5.66((W/R^3/2)^0.5)^2.29$	0.62
4	$PPV=5.66(W/R^2/3)^1.72$	0.62
5	$PPV=0.41R^1-1.4W^1.51$	0.63
6	$PPV=9.12(RAV^0.5)^{-2.79}e^{0.074}R$	0.62
7	$PPV=103.34(RAV^0.333)^{-3.85}e^{0.1322}R$	0.61
8	$PPV=2.38((W/R^3/2)^0.5)^2.88e^{0.0393}R$	0.63
9	$PPV=2.38(W^2/3/R)^2.16e^{0.0393}R$	0.63
10	$PPV=31.38(W^2/3/R)^{-0.45}e^{-5.015}(IVW)$	0.65
11	$PPV=42.52(RAV^0.5)^{-1} + -7.709$	0.75

R: Ölçüm mesafesi, m; W: Dinamit miktarı, g

dikkate alınarak yapılan analizlerde A, B ve C profillerinde sırasıyla 0.92, 0.87 ve 0.75 olarak sonuçlanmıştır.

Patlayıcı madde miktarı dikkate alınarak titreşim unsurlarının mesafeye bağlı değişimlerini belirlemek amacıyla titreşim unsurlarının eşdeğer haritaları çizilmiştir. Bu haritalar incelendiğinde titreşim unsurlarının bazı yönlerde daha kısa mesafelerde sönümlenirken bazı yönlerde ise enerjilerini daha uzak noktalara taşıyabildikleri görülmüştür. Diğer yandan, hızlı ve yavaş sönümlenme yönleri şarj miktarına bağlı olarak da değişmiştir. Bu durum, enerji miktarının kaya ortamının davranışını değiştirdiği şeklinde açıklanabilir. Örnek olarak Şekil 4'de maksimum parçacık hızı değerlerinin değişik şarj miktarlarındaki eş değer haritaları verilmiştir.

Üst basamakta (toprak) üç değişik yönde (aynı dinamik miktar ve aynı mesafe) ölçülen maksimum parçacık hızlarının değerleri jipse göre birbirlerine daha yakın sonuçlanmıştır. Bu durumun toprağın jipse göre daha homojen olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Yer sarsıntısı ölçümleri ile aynı anda gerçekleştirilen hava şoku ölçümleri (Çizelge 3) literatürdeki parçacık hızı tahmin yöntemlerine göre ayrı ayrı değerlendirilmiş ancak kabul edilebilir korelasyon katsayıları elde edilememiştir. Dinamik miktar ve ölçüm mesafesi dikkate alınarak gerek tüm veriler gerekse herbir profil için çoklu regresyon analizleri yapılmıştır (Çizelge 5). Çizelge 5'den de görülebileceği gibi, hava ortamının homojen olması nedeniyle korelasyon katsayıları hem oldukça yüksek hem de birbirlerine çok yakın değerlerdedir.

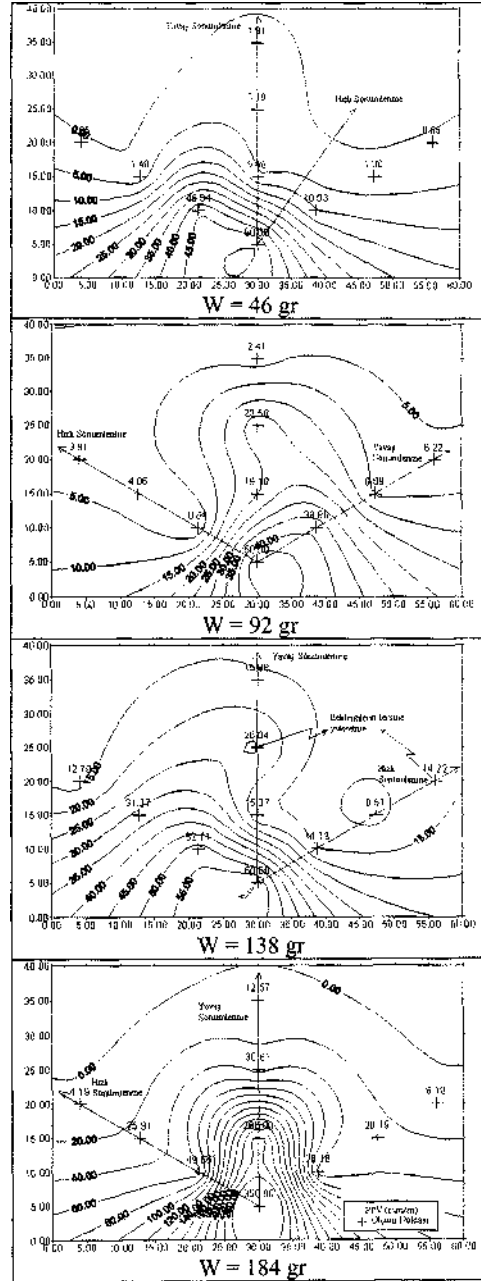
Çizelge 5. Hava şoku ölçümlerinin çoklu regresyon analizi sonuçları.

Kullanılan Veriler	Hava Şoku, N (db)	Korelasyon katsayısı, r
Tüm veriler	$N = 813.899 * (1/R) + 0.524 * W$	0.96
A Profili	$N = 738.963 * (1/R) + 0.568 * W$	0.95
B Profili	$N = 844.538 * (1/R) + 0.476 * W$	0.96
C Profili	$N = 858.195 * (1/R) + 0.528 * W$	0.97

R : Ölçüm mesafesi, m ; W : Dinamit miktarı, gr

6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yer sarsıntısı düzeylerinin yöne bağlı değişimlerini açık bir şekilde ortaya koyabilmek amacıyla belirli bir kaya biriminde (jips) dinamik kaynaklı yer sarsıntıları oluşturulmuştur. Bu sarsıntılar farklı yön



Şekil 4. Maksimum parçacık hızı (PPV) değerlerinin değişik şarj miktarlarındaki eşdeğer haritaları.

ve mesafelerde ölçülmüş ve parçacık hızı değerlerinin yöne bağlı olarak değiştiği ve farklı sönümlenme karakteri gösterdiği görülmüştür.

Üst basamakta (toprak) üç değişik yönde (aynı dinamit miktarı ve aynı mesafe) ölçülen maksimum parçacık hızlarının değerleri jipse göre birbirlerine daha yakın sonuçlanmıştır. Bu durumun toprağın jipse göre daha homojen olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca hava ortamının homojen olması nedeniyle tüm veriler ve profillerde, parçacık hızı ilişkilerine göre hem daha yüksek hemde birbirlerine çok yakın korelasyonlu hava şoku tahmini ilişkileri elde edilmiştir.

Bu sonuçlar ve kaya kütlelerinin heterojen olduğu dikkate alındığında, bir yönde alınan veya farklı yönlerde alınarak bir arada değerlendirilen yer sarsıntısı ölçümlerine göre parçacık hızı tahminlerinin yanıltıcı olabileceği söylenebilir. Bu nedenle, özellikle kritik durumlarda değişik yönler için parçacık hızı ilişkilerinin belirlenmesi hem daha uygun hem de daha güvenilir olacaktır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu araştırmayı desteklemeleri nedeniyle Cumhuriyet Üniversitesi Araştırma Fonuna ve Barit Maden T.A.Ş. yetkililerine teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Arpaz, E. 2000. Türkiye'deki bazı açık işletmelerde patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin izlenmesi ve değerlendirilmesi, *C. Ü. Fen Bil. Enst. Doktora Tezi*, 230 s., Sivas.
- Attewell, P.B., Farmer, I.W., Haslam, D. 1965. Prediction of ground vibration parameters from major quarry blasts, *Mining and Minerals Eng.*, December, pp. 621-626.
- Bilgin, A., Esen, S., Kılıç, M. 1998. TKİ Çan Linyit İşletmesi'nde patlatmaların yol açtığı çevre sorunlarının giderilmesi için araştırma, Nihai Rapor, *Tüt Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Birch, W.J., Chaffer, R. 1983. Prediction of ground vibration from blasting on opencast sites, *Trans. Inst. Min. Metall. (Sec. A: Mining Industry)*, April.
- Ceylanoğlu, A., Arpaz, E. 2000. Divriği Demir ve Kangal Kömür Açık İşletmelerinde patlatma kaynaklı yer sarsıntısı ve hava şoku ölçümlerinin sonuçları, *4. Delme ve Patlatma Sempozyumu*, (18-19 Nisan): 135-145, Ankara.
- Davies, B., Farmer, I.W., Attewell, P.B. 1964. Ground vibration from shallow sub-surface blasts, *The Engineering* 217, pp. 553-559, London.
- Ghosh, A., Daemen, U.K. 1983. A simple new blast vibration predictor (Based on Wave Propagation Laws), *24th U.S. Symp. on Rock Mechanics*, June, pp. 151-161.
- Gupta R.N., Roy, P., Singh, B. 1988. On a blast induced blast vibration predictor for efficient blasting, *Proceedings of the 22nd International Conference on Safety in Mines*, 1015-1021, Beijing, China.

- Gupta, R.N., Roy, P.P., Bagachi, A., Singh, B. 1987. Dynamic effects in various rock mass and their predictions, *J. Mines, Met. Fuels*, pp. 455-462.
- I.S.I. 1973. Criteria for safety and design of structures subjected to underground blast, *Indian Standart*, ISI Bulletin No: IS-6922.
- Langefors, U., Khilström, B. 1973. Rock blasting, *John Wiley and Sons*, New York.
- Nicholls, H.R., Johnson, C.F., Duvall, W.I. 1971. Blasting vibrations and their effects on structures, *United States-Department of Interior*, USBM, Bulletin 656.
- Roy, P.P. 1991. Vibration control in an opencast mine based on improved blast vibration predictors. *Mining Science and Technolgy*; 12(1991): pp. 157-165.
- Shoop, S.A., Daemen, J.J.K. 1983. Site-specific predictions of ground vibrations induced by blasting, *AIME Spring Meeting*, March, Atlanta.

