

## TUZLA-DRAGOS TÜNELİ KAZISINDA PATLATMADAN KAYNAKLANAN YERSARSINTISI ÖLÇÜM SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

### THE RESULTS AND EVALUATION OF GROUND VIBRATION MEASUREMENT RESULTS INDUCED BY BLASTING DURING TUZLA - DRAGOS TUNNEL EXCAVATION

Ali KAHRİMAN, Savaş GÖRGÜN, Abdulkadir KARADOĞAN, Güngör TUNCER  
İ. Ü. Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, 34850 Avcılar - İSTANBUL

**ÖZ:** Patlatma, çoğunlukla sert kaya yapılarında tünellerin kazılması için kullanılan çok etkili ve bu nedenle çok yaygın bir metoddur. Özellikle İstanbul gibi nüfus yoğunluğunun fazla olduğu şehirlerde, yer altı alanlarının kullanımının artmasıyla, mevcut olan yapıların yakınındaki patlatmalar ve tünel kazıları çok yaygın hale gelmiştir. O halde; patlatmadan kaynaklanan titreşimler ve hava şokları önemli hasarlara neden olabilecektir.

Bir patlayıcı şarjının detonasyonu ile ortaya çıkan yersarsıntısı, patlatma bölgesinin yakınındaki yapılar üzerindeki hasarların önlenmesi ve titreşimin kontrolünün önemli olduğu durumlarda büyük önem taşır. Bu yüzden yersarsıntısı bir çok deneysel araştırma programının, teknik ve bilimsel raporun konusu olmak durumundadır. Patlatmadan kaynaklanan titreşim bileşenlerinin tahmin edilmesi çevresel şikayetleri önlemede büyük önem taşımaktadır. Bu bildiride, Tuzla-Dragos tünellerinde gerçekleştirilen patlatmalı kazı çalışmaları sırasında izlenen atımların yersarsıntısı ölçüm sonuçları (3 olay) sunulmaktadır. Parçacık hızı bileşenleri (boyuna, enine, düşey, bileşke ve maksimum) ve gürültü ölçüm sonuçları, ölçekli mesafe gözönüne alınarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Patlatma, Yersarsıntısı ve Havaşoku, Tünel Kazısı, Çevresel Etkiler.

**ABSTRACT:** Blasting is usually the most effective and thus the most commonly used method to excavate tunnels in hard rock. Due to the increasing use of underground space, especially in densely populated cities like Istanbul, the blasting close to existing structures above or tunnel excavations has become more common. Then blasting vibrations and air blast waves can cause considerable damage. The ground motion produced by detonation of an explosive charge is of great importance as regards vibration control and prevention of damages of nearby either above ground or buried structures. It has, therefore, been subject of many experimental research programs, and technical and scientific reports.

Prediction of ground vibration components has a great importance to minimize the environmental complaints. In this paper, the results of ground vibration measurements (3 events) carried out in Tuzla-Dragos tunnels blasting have been presented. The particle velocity components (longitudinal, transversal, vertical, sum and peak) and the noise measurement results were evaluated considering the scaled distance.

**Key Words:** Blasting, Ground Vibration and Air Blast, Tunnel Excavation, Environmental Effects

### GİRİŞ

Patlatmanın kaçınılmaz olduğu madencilik, inşaat, taş ocakçılığı, tünel, boru hattı gibi çeşitli sektörlerde; yersarsıntısı ve hava şokundan kaynaklanan çevre problemleri ile sıkça karşılaşmakta ve tartışılmaktadır. Bu nedenle, patlatma tasarımında yalnızca parçalanma derecesi, eş dağılımlılık, maliyet gibi teknik ve ekonomik unsurlar değil, aynı zamanda sözkonusu problemler-

rin elimine edilmesi de dikkate alınmalıdır. Patlatmadan kaynaklanan titreşim bileşenlerinin tahmin edilmesi çevresel şikayetleri önlemede büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda, patlatmalı kazılardan sorumlu teknik elemanların karşılaştıkları sorunlardan biri de yer-sarsıntısı ve hava şokları nedeniyle, çevrede yaşayan kişi yada kuruluşların haklı veya haksız şikayetleridir. Nüfus artışı ve şehirleşmeye paralel olarak bu tür gerçek yada psikolojik rahatsızlıklar giderek yoğunlaşmaktadır. Dolay-

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Araştırma Fonu Tarafından Desteklenmiştir. Proje No: 1056/031297

sıyla ekonomik ve emniyetli bir patlatma, aynı zamanda bu tür sorunları da elimine etmek durumundadır. Bu nedenle, iyi bir patlatmadan beklenen en önemli unsurlardan biri de atımın çevresel etkiler açısından emniyetli olmasıdır. Patlatmadan kaynaklanan çevresel problemler, gelişmiş ülkelerde; ülkemize göre çok önceleri yaşanmıştır. Bu nedenle bu konuların çözümü ve konuyla ilgili bazı standartların oluşturulması amacıyla çeşitli sistematik araştırma programları yürürlüğe konulmuştur. Bu programların sonucunda "Kontrollü Patlatma Tekniğinin İlkeleri" ortaya konulmuştur. Günümüzde patlayıcı madde üreticileri ve tüketicileri; patlatma sonucu oluşan yersarsıntıları ve hava şokunun etkilerini belirlemek ve gerekli önlemleri alabilmek için deneysel çalışmaları sürdürmektedirler. Bu konularda çeşitli yasal hükümler geliştirilmeye çalışılmaktadır.

### Araştırmanın Amacı ve Uygulanan Yöntem

Çalışmanın amacı; STFA – GÜNGEN Ortak Girişimi tarafından yürütülmekte olan Tuzla-Dragos Tüneli İnşaatı Projesi kapsamında, L<sub>2</sub>-K şaftları arasında açılmakta olan tünelin kazısı sırasında, patlatmadan kaynaklanan titreşim ve havaşoku gibi çevresel problemlerin ölçülerek, bu unsurların, çevrede bulunan yapılarda (arıtma tesisi v.s) hasarlara neden olabilecek seviyelerde olup olamayacağını belirlenmesidir.

L<sub>2</sub>-K şaftları arasında açılan tünellerdeki patlatmalı kazıda durum tesbiti amacıyla, öncelikle tünel kazıları genel olarak gözlemlenmiş, uygulanan patlatmalı kazı modeli incelenmiş, gerçekleştirilen 3 adet atıma eşlik edilerek gerekli ölçümler yapılmıştır. Patlatmadan kaynaklanan titreşimler, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Maden İşletme Anabilim Dalı Patlatma Laboratuvarında mevcut olan Instantel Minimate Plus Model titreşim ölçer cihazı ve ekipmanı ile ölçülmüştür.

Tünellerde uygulanan patlatma paterni, delik düzeni ve patlayıcı şarjı; şantiye yetkililerince sistematik olarak uygulanagelen şekliyle (herhangi bir müdahalede bulunulmadan) gözlemlenmiş ve ölçümler bu şekildeki çalışmalara spontane olarak uygulanmıştır. Titreşim ölçümlerine esas olacak sözkonusu atımlarda, sadece gerekli kantitatif ölçüm ve gözlemler yapılmıştır. Daha sonra elde edilen ölçüm sonuçları bilgisayar destekli data değerlendirme ünitesine aktarılarak yorumlanmıştır. Titreşim ölçer cihazı ile elde edilen kayıtlar; uluslararası standartlarla karşılaştırılarak hasar normları içindeki yeri belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışma kapsamında, STFA – GÜNGEN Ortak Girişimi tarafından açılmakta olan L<sub>2</sub>-K şaftları arasındaki tünel kazısında patlatma çalışmaları gerçekleştiril-

rilirken çevreye olası hasar düzeyini belirlemek amacıyla, aynı zamanda titreşim ve hava şoku ölçümleri de yapılmıştır. Şekil 3'deki planda açılan Şaft ve Tünel güzergahı ile birlikte, ölçü alınan istasyon ve atım yapılan noktalar gösterilmiştir.

Çalışma kapsamında, öncelikle tünel ilerlemesi ile ilgili gözlem ve incelemeler yapılmıştır. İncelemeler sonucunda yapılan tesbitler aşağıda özetlenmiştir.

Kazı yapılan kaya biriminin esas olarak siltaşı olduğu anlaşılmıştır. Tünel kazı kesiti yaklaşık 22 m2 dir. Yeni Avusturya Yöntemi'ne uygun olarak açılmakta olan tünel kazısı, kesitin alt ve üst kısımlarında iki kademe gerçekleştirilmektedir. Kesitin üst yarısında oluşturulan birinci kademe kazısı, alt kademede oluşturulan ikinci kademenin yaklaşık 2.5 m önünde ilerletilmektedir. Tünel ilerlemesinde, delikler, sehpalı martoperferatörlerle 32 mm çapında, ortalama 160 cm uzunlukta delinmektedir. Patlayıcı madde olarak, jelatinit dinamit ve gecikmeli elektrikli kapsül (30 ms aralıklı), sıkılama malzemesi olarak da nemli dinamit ambalaj kağıdı kullanılmaktadır. Her iki kademedeki atımlar, gecikmeli kapsüller kullanılmak suretiyle aynı anda yapılmaktadır.

Çalışma kapsamında, Minimate Plus Model titreşim ölçer ekipmanı ile, rutin olarak yürütülen tünel atımları kaydedilmiştir. Bu işlem sırasında izlenen yöntem aşağıda belirtilmiştir.

Çalışma Kapsamında; 3 farklı atıma eşlik edilmiş, şarj paternleri ve miktarları hassasiyetle belirlenmiştir. Bu atımların çevresel etki derecelerini ölçmek amacıyla, atım kaynağına muhtelif uzaklıklardaki istasyon noktaları seçilmiştir. Bu istasyon noktalarından biri, Şekil 5'de gösterildiği gibi, arıtma tesisi olarak belirlenmiştir.

Atımlarda, ölçekli mesafenin belirlenmesi amacıyla gerekli veriler hassas bir şekilde alınmıştır. Bu amaçla patlatma protokolleri ve gecikme paternleri her bir atım için değerlendirilmiştir.

Herbir gecikme başına düşen patlayıcı madde miktarı, her bir delik için planlanan patlayıcı maddenin kontrollü bir şekilde şarj edilmesiyle belirlenmiştir.

Atım kaynağı ile yersarsıntısı ve hava şoku kayıt istasyonu arasındaki mesafe ise topoğrafik ölçümlerle bulunmuştur.

Kayıt cihazı, oluşacak titreşim ve hava şoku değerlerini hassas bir şekilde kaydetmek ve çeşitli normlara göre mukayese edecek tarzda set edilmiş ve konumlandırılmıştır.

Kaydedilen bilgiler bilgisayar ortamında değerlendirilerek yorumlanmıştır.

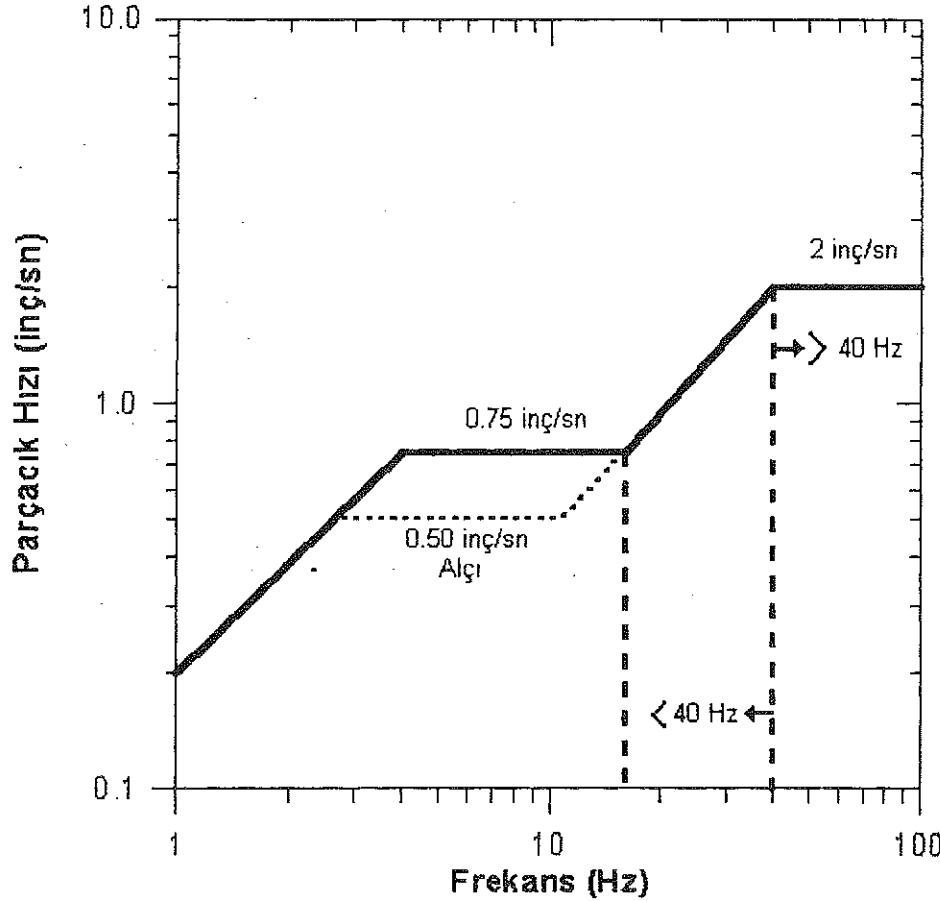
## TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE GÖZÖNÜNDE TUTULAN ULUSLARARASI NORMLAR

Çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen patlatma hasar kriterleri günümüze kadar değişik başarı dereceleriyle uygulanagelmıştır. Bu araştırmaların çerçevesi iki ana başlık altında ifade edilebilir.

- Patlatma sonucu oluşan titreşim ve hava şokunun tanımlanması, ölçümü ve ilgili parametrelerin analizi.
- Çeşitli yapılar için hasar kriterlerinin belirlenip, bu kriterlerin patlatma sonrasındaki parametrelerle eşleştirilerek uygun patlatma tasarımının yapılması.

## ABD Madencilik Bürosu'nun (USBM) Patlatma Hasar Tahmini

USBM tarafından hem yapılarda ölçülmüş titreşim katlamalarını, hem de tahribat özelliklerini kullanan, alternatif olarak tavsiye edilen patlatma seviyesi kriterleri geliştirilmiştir. "Alternatif Kriter Analizi" olarak adlandırılan bu metot, daha düzgün bir kriter setidir (Şekil 1). Fakat hem hareketi hem de hızı içine alan daha sıkı bir ölçüme ihtiyaç gösterir. Bu sistem; 40 Hz altında en iyi tahribat kriterinin, frekansın bir fonksiyonu olarak maksimum parçacık hızı olduğunu göstermektedir. Instanetel Minimate Plus Model titreşim kayıt cihazı çıktısında da bu norm mevcuttur. Cihaz; atım sırasında ölçülen parçacık hızı ve frekans değerlerini adı geçen norma işlemektedir.

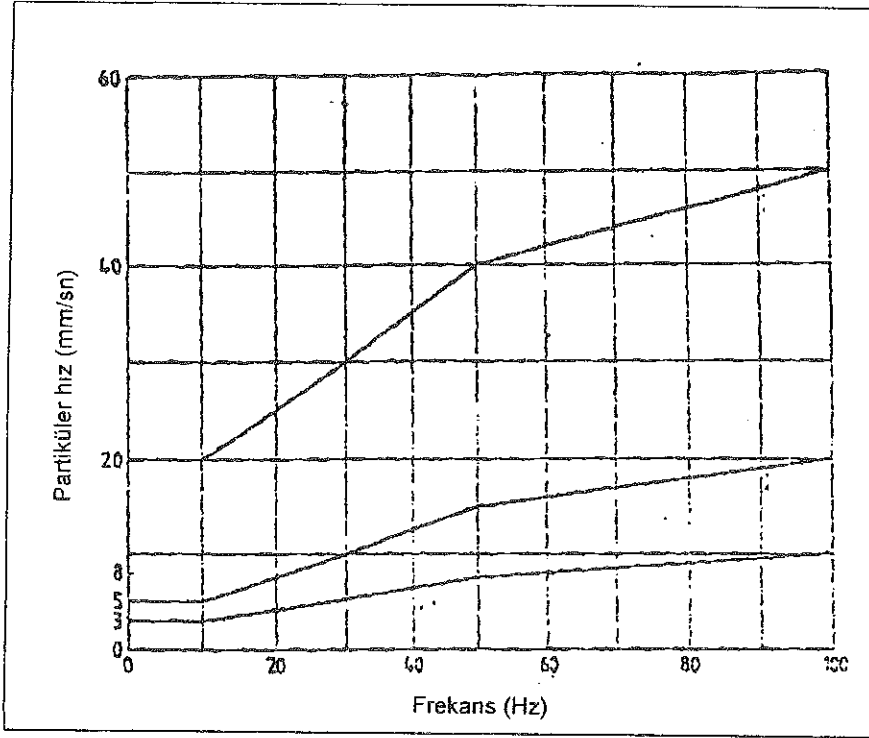


Şekil 1. Amerika Madencilik Bürosu tarafından önerilen hasar kriteri.  
Figure 1. US Bureau of Mines criteria for damage and recommendations.

Geliştirilen bu kriterler arasında, kullandıkları parametreler açısından benzerlik arzeden ve yaygın kabul görebilen uygulamada başvuru ve mukayese kaynağı olarak kullanılan normlardan en önemli iki tanesi ABD Madencilik Bürosu'nun hasar kriteri ve Alman DIN 4150 normudur.

## Din 4150 Alman Normu

DIN 4150 Alman Normu'nda şekil 2'de en alttaki kırıklı çizgi kerpiç, eski yıpranmış tarihi eserler gibi sağlam olmayan yapılar; ortadaki kırıklı çizgi yığma tuğla, beton gibi nisbeten dayanıklı yapılar; üstteki ki-



Şekil 2. DIN 4150 Alman Normu'na göre Frekans ve Partikül (parçacık) hızı arasındaki ilişki.

Figure 2. Relationship between frequency and peak particle velocity according to DIN 4150 German norm.

rıklı çizgi ise betonarme, çelik konstrüksiyon gibi çok dayanıklı yapılar için titreşim frekansına göre parçacık hızı (partikül hız) sınırlarını belirlemektedir.

Şekil 2' de DIN 4150 Alman Normu'nda frekan- sa bağlı olarak değişen parçacık hızı sınır değerleri verilmiştir. Instanetel Minimate Plus Model titreşim kayıt cihazı çıktısında da bu norm mevcuttur. Cihaz; atım sı- rasında ölçülen parçacık hızı dereğini adı geçen norma işlemektedir.

### Ölçekli Mesafe Kavramı

Çeşitli araştırmacılar, yapmış oldukları literatür çalışmalarında; tipik patlatmaların, geometrik ve jeolo- jik şartlardaki değişimler nedeniyle, en iyi yersarsıntısı- nı tahmin şeklinin, gerçek atımların gözlenmesi sonucu elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Öne sürülen çeşitli ampirik ilişkilerden en çok ölçekli mesafe ve sarsıntı hı- zını esas alanlara güvenilmektedir. Ölçekli mesafe kav- ramı olarak, yer hareketlerinin değişik uzaklıklardaki patlatma seviyelerinin miktarları ile ilişkilidir. Ölçek, uzaklığa bağlı olarak kullanılan birimsiz bir faktördür. Ölçekli mesafe, uzaklık ve sismik dalgaların temelini et- kileyen veya hava şoklarındaki enerjiyi yaratan patlayı- cı madde miktarı kullanılarak ortaya konulmuş bir kav- ramdır. Kayada meydana gelen dalga hareketlerini yara-

tan toplam enerji bir seferde ateşlenen patlayıcı madde miktarına bağlı olarak değişmektedir. Patlatma kayna- ğından itibaren oluşan dalgalar ileriye doğru yayılırken, basınç dalgası etkisinde kalan kaya hacmi artmaktadır. Ölçekli mesafe, sismik gelişimi ve hava şoku enerjisini etkileyen gecikme başına şarj miktarı ve patlatma ile öl- çüm noktası arasındaki mesafenin kombinasyonlarından türetilmektedir.

Parçacık hızını, ölçekli mesafeye bağlı olarak tahmin etmeyi esas alan yaklaşımlar, yersarsıntısı ölçüm aletlerinin gelişmesi ve kullanılmaya başlanmasıyla or- taya atılmıştır. Literatürde ölçekli mesafenin belirlenme- sinde en sık kullanılan formül aşağıda verilmektedir.

$$SD = R / W^{0.5} \Rightarrow SD = R / W^{0.5}$$

Burada;

SD : Ölçekli mesafe

R : Patlatma noktasından uzaklık (m)

W : Gecikme başına maksimum patlayıcı madde mikta- rı (kg)

Kazı çalışmalarında kullanılan şarj şeklinin genel olarak silindirik olması nedeniyle (şarj boyu-delik çapı oranı  $\geq 6$  ise silindirik,  $< 6$  ise küresel şarj olarak kabul edilmektedir), kolon şarjından oluşan dalgalar bu silin-

dirin genişleyen biçimiyle ilerler. Bu basınç silindirisinin hacminin, yarıçapının karesiyle değiştiği kabul görmüş bir yaklaşımdır. Buradan hareketle ve yapılan araştırmalar sonucu ölçekli mesafe için;  $SD = R / W^{0.5}$  şeklindeki ampirik ilişki geniş bir kabul görmüştür.  $SD = R / W^{0.33}$  ilişkisi de yine birçok araştırmacının kullandığı bir formüldür.

### 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 iyisi olduğu sonucuna varmışlardır. Maksimum parçacık hızı tahminine yönelik geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan ampirik ilişki aşağıda verilmiştir.

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

Burada;

PPV : Maksimum parçacık hızı (mm/sn)

SD : Ölçekli Mesafe

K,  $\beta$ : Saha sabitleri

Çalışma sahasının sabitleri, ölçülen maksimum parçacık hızı ve ölçekli mesafe değerlerinin (en az 30

nokta yada atımla) ilişkilendirilmesi sonucunda belirlenmektedir.

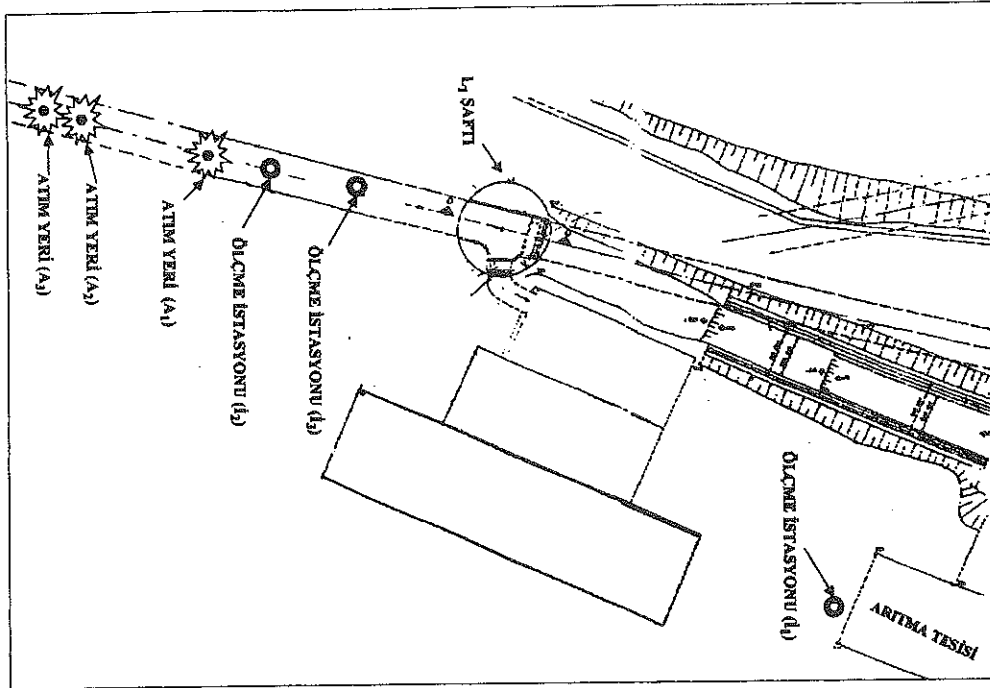
Bulunan bu değerler, kontrollü patlatma tasarımı ve uygulamalarında, titreşim ölçüm aletinin olmadığı durumlarda; bazı pratik tabloların hazırlanması suretiyle uygulayıcılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

### TİTREŞİM ÖLÇÜMÜ YAPILAN ATIMLAR VE PATERNLERİ

Patlatmalı kazı ile ilerleme sağlanan tünel ilerlemede, ölçülen atım yerleri ve kayıt istasyonlarının konumu Şekil 3'deki planda verilmiştir. Plandan da anlaşılacağı üzere 3 farklı atım için kayıt alınmıştır.

#### Atım Paternleri

Gerçekleştirilen tünel atımlarının (A1, A2, A3) ve ölçüm istasyonlarının konumu, Şekil 3 ve Çizelge 1'de verilmiştir. İzlenen  $I_1$ k atım için; ölçüm istasyonu olarak, çevrede etkilenme olasılığı en fazla olabilecek 109 m uzaklıktaki arıtma tesisi yakınındaki  $I_1$  noktası seçilmiştir. İkinci atım için; Ölçüm istasyonu olarak, farklı uzaklık ve şarj miktarları olan atım sonuçları arasında korelasyon kurmak amacıyla 24 m uzaklıktaki  $I_2$  noktası seçilmiştir. Üçüncü atım için; ölçüm istasyonu olarak, 35.5 m uzaklıktaki L1 Şaftı yakınındaki  $I_3$  noktası seçilmiştir.



Şekil 3. Çalışma alanının plan görünüşü.

Figure 3. Test site layout.

Çizelge 1. Atımların Konumu.

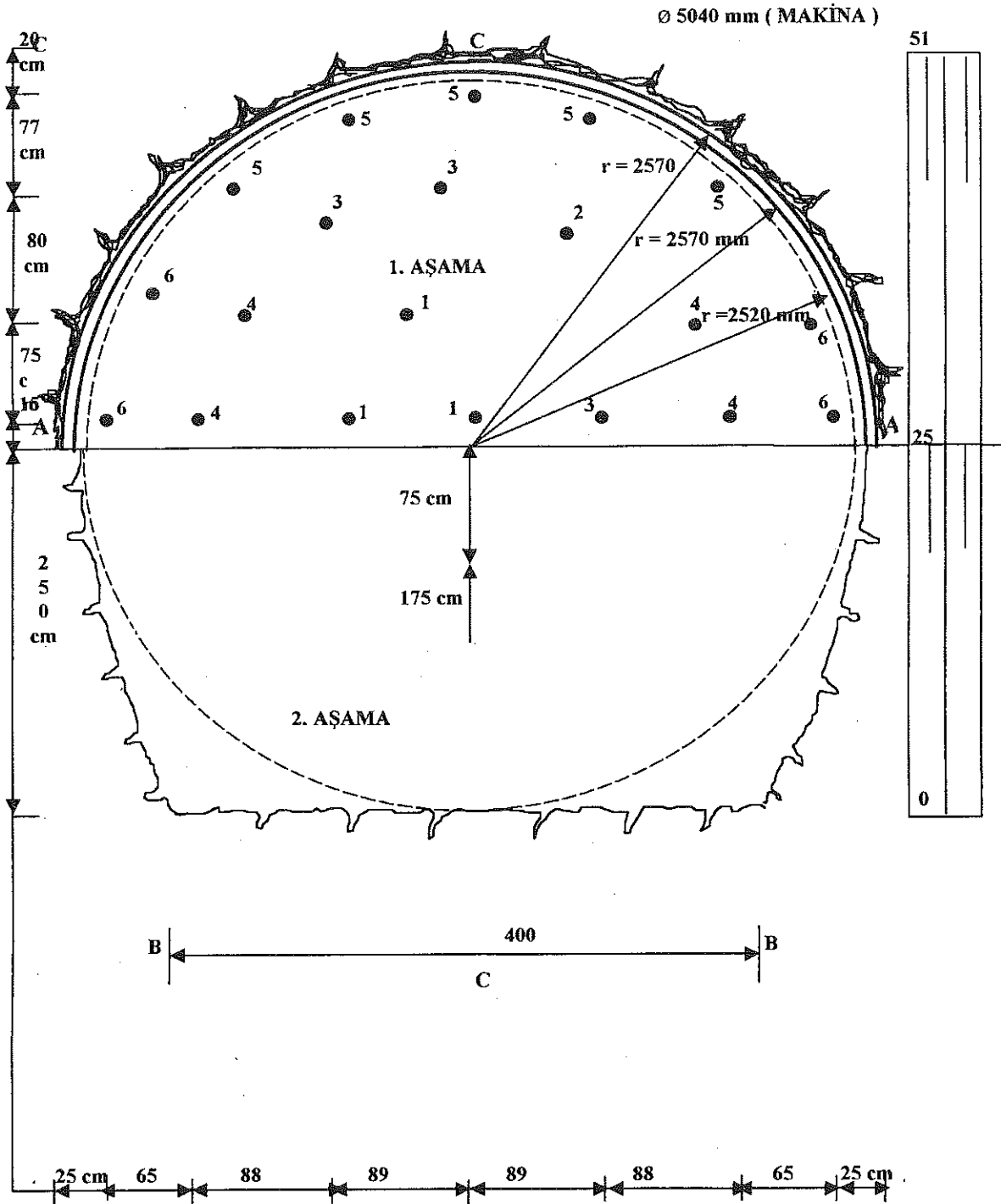
Table 1. Relationship between peak particle velocity and scaled distance.

I'nolu Atım						
Lokasyon	Nokta No	Koordinat		Kot (m)	Mesafe (m)	
		Y	X		Eğik	Yatay
Atım Yeri	A <sub>1</sub>	441019	4521580	-6.1	111.1	109.7
Ölçme istasyonu	İ <sub>1</sub>	440953	4521493	+11.35		
II'nolu Atım						
Lokasyon	Nokta No	Koordinat		Kot (m)	Mesafe (m)	
		Y	X		Eğik	Yatay
Atım Yeri	A <sub>2</sub>	441022	4521594	-6.18	34.48	24
Ölçme istasyonu	İ <sub>2</sub>	441017	4521571	+18.48		
III'nolu Atım						
Lokasyon	Nokta No	Koordinat		Kot (m)	Mesafe (m)	
		Y	X		Eğik	Yatay
Atım Yeri	A <sub>3</sub>	441023	4521598	-3.61	38.63	35.55
Ölçme istasyonu	İ <sub>3</sub>	441015	4521563	+11.50		

Çizelge 2. İzlenen Üç Atım Olayı İçin Uygulanan Patern Verileri

Table 2. Applied blasting parameters of monitored shots.

I'nolu Atım				
Kapsül No	Delik sayısı	Kapsül Adedi	Kartuş Adedi	Patlayıcı Madde Miktarı (kg)
1	1	1	4	0.6
2	2	2	9	1.35
3	3	3	14	2.1
4	2	2	10	1.5
6	4	4	16	2.4
7	2	2	6	0.9
8	3	3	9	1.35
9	4	4	12	1.8
11	3	3	6	0.9
12	8	8	22	3.3
<b>Toplam delik sayısı</b>	<b>32</b>			
II'nolu Atım				
Kapsül No	Delik sayısı	Kapsül Adedi	Kartuş Adedi	Patlayıcı Madde Miktarı (kg)
1	2	2	14	2.1
2	2	2	14	2.1
3	1	1	7	1.05
4	2	2	14	2.1
<b>Toplam delik sayısı</b>	<b>7</b>			
III'nolu Atım				
Kapsül No	Delik sayısı	Kapsül Adedi	Kartuş Adedi	Patlayıcı Madde Miktarı (kg)
1	3	3	15	2.25
2	1	1	5	0.75
3	3	3	12	1.8
4	4	4	13	1.95
5	5	5	10	1.5
6	4	4	14	2.1
<b>Toplam delik sayısı</b>	<b>20</b>			



Şekil 4. Tünel patlatmasında uygulanan örnek bir atım paterni.  
Figure 4. Data for prediction of peak particle velocity.

Tünel ilerlemesinde uygulanan patlatma paternleri ve ateşleme düzenleri, Şekil 4'de ve çizelge 2'de verilmiştir. Atımların planlanmasına herhangi bir müdahalede bulunulmamış, rutin bir şekilde uygulanagelen şekilde olmasına özen gösterilmiştir.

### ÖLÇÜM SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Konumu ve paterni, daha önce detaylı olarak açıklanan bu atımlar sonucunda, kayaç içi titreşimlerin oluşturduğu parçacık hızı, deplasman, ivme ve frekans değerleri, Instantel Minimate Plus Model kayıt cihazı ile tesbit edilmiştir. Atımdaki kayıt alımlarında, parçacık hızının enine, boyuna ve dikey bileşenlerini ölçen ve

bunların bileşkesi olan hız değerlerini veren 3 jeofon ve hava şokunu ölçen mikrofon ölçüm istasyonuna yerleştirilmiştir.

Instantel Minimate Plus kayıt cihazı çıktısında çeşitli normlar arasında, USBM ve DİN 4150 normları da mevcuttur. Cihaz ve data değerlendirme ünitesi, istendiğinde, atım sırasında ölçülen paçacık hızı ve frekans değerlerini adı geçen normlara işlemektedir. Tünel ilerlemesinde titreşim ve hava şoku ölçümü yapılan her üç atımda, cihazın kaydettiği değerler; çevredeki tesis ve yapılarla etki derecelerini tahmin ve mukayese etmek amacıyla, hem USBM hemde Alman DİN 4150 Norm'larına göre değerlendirilmiştir.

Çizelge 3. Gerçekleştirilen Atımlarla İlgili Kayıt Değerleri.

Table 3. Record data according to applied shots.

I'nolu Atım			
Tarih: 04.02.1998 Saat: 18.00.00	Enine	Boyuna	Düşey
Parçacık hızı (mm/sn)	0.730	0.873	0.952
ZC Frekans (Hz)	57	47	51
İvme (g)	0.0249	0.0282	0.0282
Deplasman (mm)	0.00291	0.00328	0.00285
Bileşke Parçacık Hızı (mm/sn)	1.01		
Maksimum Parçacık Hızı (mm/sn)	0.95		
Hava Şoku (dB)	133		
II'nolu Atım			
Tarih: 17.02.1998 Saat: 15.53.14	Enine	Boyuna	Düşey
Parçacık hızı (mm/sn)	0.873	0.746	0.397
ZC Frekans (Hz)	>100	73	>100
İvme (g)	0.0696	0.0481	0.0298
Deplasman (mm)	0.00336	0.00160	0.00613
Bileşke Parçacık Hızı (mm/sn)	0.910		
Maksimum Parçacık Hızı (mm/sn)	0.87		
Hava Şoku (dB)	102		
III'nolu Atım			
Tarih: 17.02.1998 Saat: 17.04.18	Enine	Boyuna	Düşey
Parçacık hızı (mm/sn)	1.95	3.22	4.03
ZC Frekans (Hz)	39	73	64
İvme (g)	0.103	0.171	0.288
Deplasman (mm)	0.0187	0.0608	0.00819
Bileşke Parçacık Hızı (mm/sn)	4.15		
Maksimum Parçacık Hızı (mm/sn)	4.03		
Hava Şoku (dB)	138		



### Titreşim Ölçüm Sonuçları

Atımlar izlenmesi sırasında alınan bu kayıtlardaki ölçülen parçacık hızı, deplasman, ivme ve frekans değerleri toplu olarak Çizelge 3'de yer almaktadır. Yapılan

3 atımın izlenmesi sırasında ölçülen bu titreşim değerlerinin her iki norma ait grafikler üzerindeki yerinin incelenmesinden, yıpranmış tarihi binalara dahi etki etmeyecek seviyede olduğu kayıt çıktılarından anlaşılmaktadır.

### ATIM SONUÇLARININ İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Patlatmalı tünel kazısı sırasında, kaydedilmiş bulunan 3 farklı atımdaki parçacık hızı ile mesafe ve şarj miktarlarından türetilen ölçekli mesafe (Çizelge 4) arasında literatüre uygun bir ilişki kurmak amacıyla, yapılan basit regresyon analizi sonucunda düşük korelasyon katsayılı (0.5) aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir.

$$PPV = 15 SD^{-0.66}$$

Burada, düşük korelasyonun nedeni istatistiksel olarak kullanılan veri çiftlerinin azlığıdır. Daha fazla ölçüm esaslı veri ile yapılacak regresyon analizi sonucunda daha yüksek korelasyonlu olarak yukarıda verilen fonksiyonun revize edilmesi mümkün olacaktır. Bu takdirde geliştirilen bu fonksiyon kullanılarak, benzer tünel atımlarındaki muhtemel titreşim değerleri, ölçme ekipmanına gerek olmadan belirli güvenilirlikte tahmin edilebilecektir. Böylelikle de çevre yapı ve tesislere zarar vermeyecek kontrollü atımlar planlanabilecek ve rahatlıkla uygulanabilecektir.

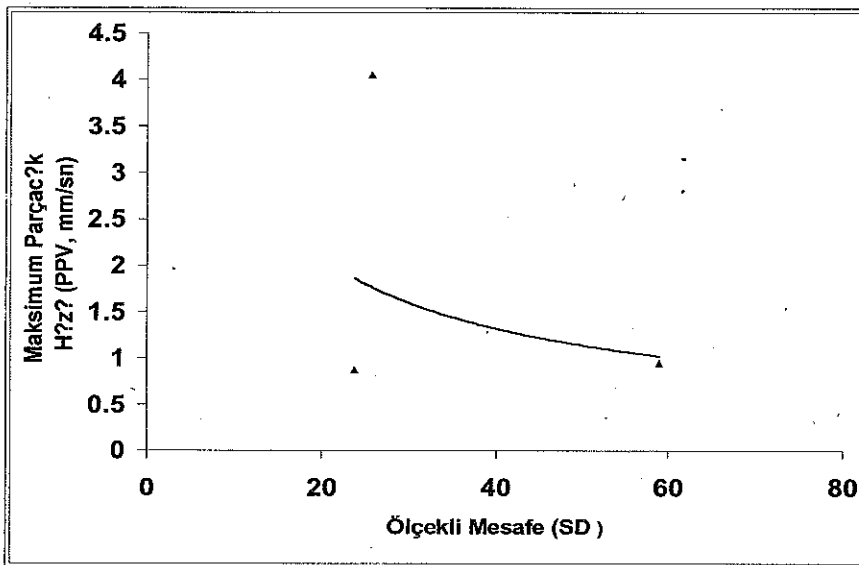
### SONUÇ VE ÖNERİLER

STFA-GÜNGEN Ortak Girişimi tarafından gerçekleştirilmekte olan Tuzla - Dragos L2-K shaftı arasındaki tünelde patlatmalı kazı sırasında Instantel Minimate Plus cihazı ile alınan 3 ayrı titreşim ve hava şoku kayıtlarından elde edilen veriler ışığında bu parçacık hızla-

Çizelge 4. Parçacık Hızı Tahminine Dönük Veriler.

Table 4. Data for prediction of peak particle velocity.

Atım No	Atım Yeri	Ölçüm İstasyonu	Mesafe ( R,m )	Max. Şarj (Qmax, kg )	Ölçekli Mesafe (SD=R√Q )	Max Parçacık Hızı ( PPV, mm/ sn )
1	A <sub>1</sub>	İ <sub>1</sub>	109.7	3.3	60.38	0.95
2	A <sub>2</sub>	İ <sub>2</sub>	24	2.1	16.56	0.87
3	A <sub>3</sub>	İ <sub>3</sub>	35.5	2.25	23.66	4.03



Şekil 5. Parçacık hızı ve ölçekli mesafe ilişkisi.

Figure 5. Relationship between peak particle velocity and scaled distance.

rının; USBM ve Alman DIN 4150 normlarına göre yapılan mukayesede, çevredeki bina ve tesislerde (arıtma tesisi başta olmak üzere) herhangi bir hasar yaratabilecek seviyelerde olmadığı anlaşılmıştır. İzlenen atımlardan elde edilen data çiftleri (Ölçekli Mesafe Ve Parçacık Hızı) kullanılarak yapılan basit regresyon analizi sonucunda elde edilen düşük korelasyonlu ilişki daha fazla atımın izlenmesiyle yüksek korelasyonlu bir ilişkiye dönüşürülebilecektir.

Elde edilecek daha yüksek korelasyonlu ilişki kullanılarak bu ve benzer tünel atımlarında oluşabilecek muhtemel titreşim değerleri ölçme ekipmanları olmadan belirli güvenilirlikte tahmin edilebilecek ve bu sayede çevresel etkileri en aza indirilebilen güvenilir patlatma tasarımları geliştirilebilecektir.

Tünel kazısı sırasında sistematik bir şekilde yürütüldüğü anlaşılan bu tür patlatma paternlerinin kontrol amaçlı ölçümlerle desteklenerek devam ettirilmesinde herhangi bir sakınca bulunmamaktadır.

Gelişmiş ülkelerde bu tür 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 çalışmaların yaygınlaştırılarak, ülkemiz koşullarına uygun standart ve kriterlerin oluşturulmasına dönük verilerin sağlanması konu ile ilgili kuruluşlar için gerek ekonomiklik gerekse emniyetlilik açısından büyük önem arz etmektedir.

## SUMMARY

Vibration is simply waves generated by the detonation of an explosive charge. These waves are classified as body waves which travel through the rock and surface waves that travel over the surface but do not penetrate into the rock mass. Wave parameters are the properties used to describe the wave motion such as amplitude, period crest, trough and frequency.

Ground vibrations and air blasts are integral part of rock blasting and unavoidable. Depending on level of the stresses produced from wave motion, they cause damage to buildings structures in the nearby residents by causing dynamic stresses that exceed the strength of building material or rock material. So ground vibration effects induced by blasting on building structures and human beings need to be predicted, monitored and controlled. In another word, in blast design, not only the technical and economical aspects, such as blok size, uniformity and cost, but also the elimination of environmental

problems resulting from ground vibration should be taken into consideration by blasting engineer.

In Another word, prediction of ground vibration components is of great importance for the minimization of the environmental complaints. Estimating of particle velocity and other components of ground vibration with reliable approaches will give important facilities to the blasting engineers. Although many studies had been carried out to isolate environmental problems induced by blasting, a general reliable formula has not established yet. The complexities of ground motion, blasting and test site factors restrict the establishment of general criteria. So experimental of study is still necessary for each site to minimize environmental issues.

This study included ground vibration measurements and recording scaled distance parameters. The test site is located at Dragos-Istanbul. The encountered rock unit is shalestone, which occupies a major portion of area. Together with surface installation of tunnel, there are also a few structure and refinement around test site. Because of the existence of residential area, cautious blasting is necessary.

In order to predict peak particle velocity for this site, ground vibration components were measured for three blast events during tunnel excavation. In blasting operations, gelanite dynamite and electrical detonators were used as explosives.

In this study, while the parameters of scaled distance were recorded carefully, the ground vibration components were measured by means Mini Mate Plus for three blast events.

When statistical analysis techniques are applied to blast vibration data pairs, peak particle velocity versus the scaled distance at which that velocity was measured, a specific velocity attenuation equation can be established.

In order to establish a useful relationship between peak particle velocity and scaled distance, simple regression analysis was done using data pairs.

## DEĞİNİLEN BELGELER

**Felice, J.J., 1993,** "Applications of Modelling to Reduce Vibration and Airblast Levels", 4. International Symp. on Rock Fragmentation by Blasting, 5-8 July, Vienna, Austria.

**Gustafsson, R., 1973,** "Swedish Blasting Technique", Gothenburg, Sweden.

**Instantel Inc., 1993,** "Blastmate Series II User Manual", Canada.

- Kahriman, A.**, 1995, "Sivas Ulaş Yöresi Sölestit Cevheri ve Yankayaçları için Optimum Patlatma Koşullarının Araştırılması ve Kayaç Özellikleri ile İlişkilendirilmesi" Doktora Tezi, C.Ü., Sivas, 278 s.
- Kahriman, A., Ceylanoğlu, A., Demirci, A.**, "Sivas-Ulaş Yöresi Sölestit Açık İşletmesinde Basamak Patlatmasından Kaynaklanan Yersarsıntısı Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirilmesi" II. Delme ve Patlatma Sempozyumu, 16-18 Ocak 1996, Ankara, s. 89.
- Langefors, U., Kihlström, B.**, 1978, "The Modern Technique of Rock Blasting, Third Edition", Stockholm, Sweden.
- Olofsson, S.O.**, 1988, "Applied Explosives Tech. for Construction and Mining", Sweden.
- OSM, Bülteni**, 1983, USA.
- Singh, S.P.**, 1993, "Prediction and Determination of Explosive Induced Damage", 4. International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, 5-8 July, Vienna, Austria.
- USBM Bülteni**, 1980, USA .

**Makalenin geliş tarihi** : 24.11.1999  
**Makalenin yayına kabul tarihi** : 28.02.2000  
**Received** : November 24, 1999  
**Accepted** : February 28, 2000