



## PATLATMADAN KAYNAKLANAN TİTREŞİMLERİN YÖNSEL DEĞİŞİMİNİN ARAŞTIRILMASI

(INVESTIGATION OF DIRECTIONAL CHANGE OF VIBRATION CAUSED BY BLASTING)

Doğan KARAKUŞ\*

### ÖZET/ABSTRACT

Açık işletmelerde yapılan basamak patlatmaları üretim faaliyetlerini kolaylaştırması ve maliyetleri olumlu etkilemesinin yanında çevresel etki açısından değerlendirildiğinde olumsuz bir takım etkileri de bulunmaktadır. Bunların başında patlatmadan kaynaklanan titreşimler gelmektedir. Yapılan çalışmalarda yayılma mekanizması ve karakteristiği belirlenen titreşimlerin değerlendirilmesinde ve tahmin edilmesinde patlayıcı miktarı, mesafe-bileşke partikül hızı ilişkisi kullanılmaktadır. Ancak tahmin modellerinde bu ana değişkenlerin yanında arazi katsayıları olarak adlandırılan K ve  $\beta$  bulunmaktadır. Bu katsayılar deneysel çalışmalar ile tespit edilebilmekte ve çoğu zaman yorumsal farklılıkları içerebilmektedir. Bu çalışmada da riskli bölge olarak tespit edilen bir Katı Atık Depolama Tesisinin işletme binalarına komşu maden işletmesinde yapılan patlatmaların çevresel etkileri tespit edilmiştir. Maden işletmesinin farklı bölgelerinde (Güney Bölgesi, Kuzey Bölgesi) yapılan patlatmalardan farklı yönsel yayılma modelleri oluşturularak arazi katsayılarındaki fark ortaya konulmuştur.

*Bench blasting performed at open pit mines which have positive effect on production activities and production costs have also some negative environmental effects. Blast vibration is at the beginning of these negative effects. In the previous studies, explosive quantity and distance- resultant particle velocity relation is used for determining and evaluation of spread properties and characteristics of blast vibration. But also the site coefficients K and  $\beta$  are determined. These coefficients can be determined by only experimental study and have subjective evaluation. In this study, environmental effects of blasting on a Solid Waste Landfill facilities which is established at near a quarry is examined. Consequently the different site coefficients are observed at the different region of mining area (North region, South region).*

### ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Basamak Patlatması, Yer Titreşimi, Çevresel Etki  
*Bench Blasting, Ground Vibration, Environmental Effect*

---

\* Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Müh. Bölümü İzmir/TURKİYE

## 1. GİRİŞ

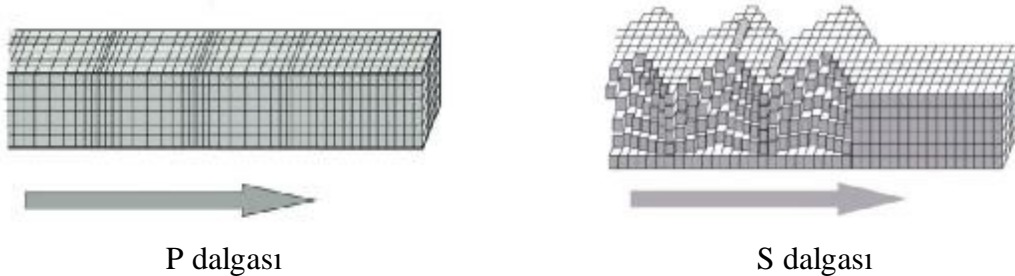
Maden işletmelerinde ekonomik cevherin veya örtü kayaçların yerinden sökülmesinde sivil patlayıcılar kaçınılmaz olarak kullanılmakla birlikte patlayıcı teknolojisi gereği bir takım çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu sorunların başında patlatmalar sonucu oluşan titreşimler gelmektedir. Özellikle son yıllarda artan şehirleşme sonucu önceleri yerleşim birimlerine uzak olan küçük ve orta ölçekli kalker ocaklarının büyük kısmı yerleşim birimleri ile sınır komşusu haline gelmiştir. Bu durum kalker ocaklarının diğer maden işletmelerine oranla daha fazla çevresel baskı altında kalmasına neden olmuş ve dolayısıyla çevresel etkiyi azaltacak tedbirler için bütçe ayırma zorunluluğunu doğurmuştur. Diğer taraftan patlatmalar sonucu oluşan titreşimlerin yayılma özelliklerinin karakterize edilmesi, modellenmesi ve tahmin edilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmış ve farklı bilimsel metotlar ile sonuç elde edilmeye çalışılmıştır. Konuyla ilgili çok sayıda araştırma yapılmasının nedeni patlatma tekniği değişkenlerinin fazla olması ve aynı zamanda oluşan titreşim dalgalarının yayılma özelliklerinin ortam koşullarının da değişken olarak modelleme aşamasında düşünülmesi gerekliliğidir.

Oluşan vibrasyonun yayılma özelliklerinin belirlenmesi çok değişkenli ve zor bir işlemdir. Bu çalışmada titreşimin yönel değerlendirilmesi yapılmış patlatmadan kaynaklanan titreşimin arazi yapısına göre farklı yayılma katsayıları değerlendirilmiştir.

## 2. PATLATMA KAYNAKLI YER SARSINTILARININ GENEL ÖZELLİKLERİ

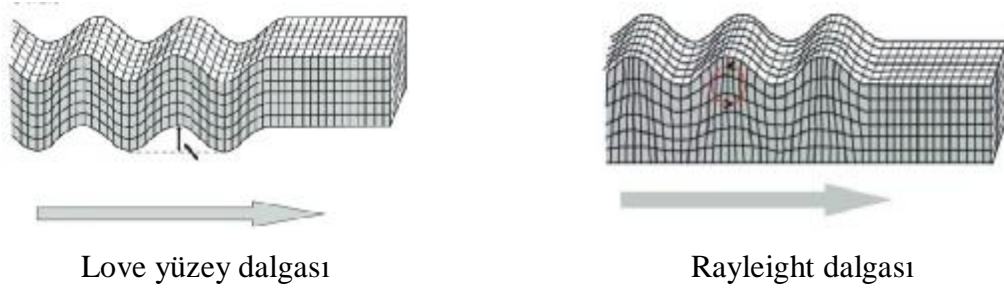
Patlayıcılar, patlatma anında kayaya çok yüksek ısı, basınç ve gaz ürünleri verirler. Patlatmadan oluşan gazlar hızla genişleyerek yakın çevredeki kayanın mukavemetini aşan yüksek basınç oluşturur ve kayaç kütesinde ufalama bölgesiyle birlikte radyal çatlaklar meydana gelir. Yüksek sıcaklık ve basınçtaki gazlar oluşan radyal çatlaklara girer ve serbest yüzeye ulaşmaya kadar devam eder. Çatlak sistemlerinin serbest yüzeye ulaşmasıyla birlikte genişleyen basınçlı gaz boşalır ve kayayı iter. Patlayıcılar sahip olduğu enerjinin büyük kısmını kayayı parçalamak için kullanırken, geriye kalan kısmı elastik dalgalar halinde her yöne yayılarak vibrasyona neden olur (Duvall vd., 1959).

Vibrasyona neden olan bu şok dalgası yüzey içinde sismik dalgalar şeklinde yayılır. Sismik dalgalar, enerjileri tükeninceye kadar yayılmaya devam ederler ve elastik olarak yayılırlar. Enerji sönümlenmesinin iki nedeni vardır. Birincisi kaya yapısının gerek fiziksel gerekse jeolojik olarak gösterdiği direnç, ikincisi ise geometrik olarak sismik dalganın kaynağından uzaklaştıkça daha geniş bir alana yayılmasıdır. Formasyonun derinliklerine yayılan dalga türleri P ve S dalgası olarak sınıflandırılır ve gövde dalgaları ismi verilir (Şekil1) (Erkoç, 1998).



Şekil 1. Patlatmalar sonucu oluşan gövde dalgaları ve hareket formu

Kayaç yapısında bulunan çok sayıdaki katmanlar, süreksizlikler yansıma ve kırılma odakları oluşturarak yüzey dalgaları olarak isimlendirilen sismik dalgaların oluşmasına neden olur. Jeolojik yapıya bağlı olarak oluşan yüzey dalgaları çok çeşitli olmasına rağmen, temel olarak iki yüzey dalgası tarif edilmektedir. Geriye bastırılmış eliptik şekilde hareket veren Rayleigh dalgasının uzunlamasına ve düşey ekseninde bileşenleri bulunur. Yanlamasına polarize olabilen Love dalgalarının sadece uzunlamasına ve yanlamasına ekseninde bileşenleri vardır ve tavanda, tabanda iyi yansıma koşulları olan katmanlarda oluşmaktadır (Erkoç, 1998). Şekil 2’de yüzey dalgalarının şekilleri verilmiştir.



Şekil 2. Patlatmalar sonucu oluşan yüzey dalgaları ve hareket formu

### 2.1. Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Ölçümü

Bir kaynaktan yayılan sismik dalganın elemanları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Karakuş, 2000)

- Dalga yayılma hızı (m/sn)
- Kütle Hızı (partikül hızı) (mm/sn)
- İvme ( $\text{mm/sn}^2$ )
- Frekans (Hz)
- Deplasman (mm)

Dalga hızı kayaçların fiziksel ve jeolojik özellikleri gibi değişmez bir elemandır ve hasar kriterlerinin belirlenmesinde kullanılmaz. Yer sarsıntısının ölçümü amacıyla üretici firmalar tarafından sarsıntı ölçer cihazlar geliştirilmiştir. Bu cihazlar yer sarsıntısının bir noktada meydana getirdiği hareketi dalga formunda kayıt edebilmekte ve yukarıda verilen elemanların sayısal değerlerini tespit edebilmektedir. Uzun yıllar boyu yapılan çalışmalar sonucunda hasar kriterinin belirlenmesinde kullanılacak en etkili elemanın partikül hızı ve frekans olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ölçüm cihazları ile patlatmalar sonucu oluşan yer sarsıntısının uzunlamasına, yanlamasına ve dikey olmak üzere üç ayrı ekseninde partikül hızı, frekansı, ivmesi, deplasman ve zaman aralığı ölçülebilmektedir. Ayrıca üç ayrı eksenindeki dalga formu kayıt edilebilmektedir. Genel olarak patlatmalar sonucu oluşan titreşimlerin aralık değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

### 2.2. Yer Sarsıntısı Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Bir patlatmadan alınan titreşim kaydı oluşan bütün dalga formlarını içerebilmektedir. Bu dalga formlarının birbirinden ayrılması, filtre edilmesi oldukça zor ve uzmanlık gerektiren bir konudur. Bir patlatmadan sonra kayıt noktasına yüksek hızları nedeniyle P ve S dalgaları ulaşır. Daha sonra P ve S dalgalarının oluşturduğu Love veya Rayleigh dalgaları oluşur (Erkoç, 1998).

Çizelge 1: Patlatma Sonucu Oluşan Titreşimlerin Genel Değerleri (Dowding, 1988)

	En Düşük	En Yüksek
Deplasman (mm)	$10^{-4}$	10
Partikül Hızı (mm/sn)	$10^{-4}$	$10^3$
Partikül İvmesi ( $\text{mm/sn}^2$ )	10	$10^5$
Kayıt Süresi (sn)	0.5	2
Frekans (Hz)	0.5	200
Dalga boyu (m)	30	1500

Üretici firmalar tarafından imal edilen cihazlar kütle hızı ölçerlerdir ve çıktılarda verilen ivme, deplasman değerleri kütle hızının matematiksel olarak çevrilmesinden elde edilir. Bir yaklaşım olarak herhangi bir ekseninde maksimum partikül hızının olduğu anda diğer eksenlerdeki partikül hızları değerleri kullanılarak bileşke partikül hızı bulunmaktadır (Erkoç, 1998).

### 2.3 Yer Sarsıntılarının Etki Mesafeleri

Bir patlatmada yer sarsıntısı aşağıdaki parametrelere bağlı olarak değişir (Onur,2006).

- Aynı anda gecikme başına patlayan patlayıcı madde miktarı.
- Patlatma bölgesinden olan uzaklık.
- Patlatma dizaynı (Gecikmeli kapsül ve orta çekme. delik eğimi vs.).
- Kaya karakteristiği.
- Bölgeyi çevreleyen yapının jeolojisi.
- Patlatmanın yönü ile incelecek bölgenin konumu

Gecikme başına patlayıcı miktarı, patlatma noktasından olan mesafe ve ölçülen bileşke partikül hızı değişimi titreşim etki mesafelerinin belirlenmesinde en yaygın olarak kullanılan metod olmuştur. İki ana değişken olan anlık patlayıcı miktarı ve mesafenin tek değişken olarak ifade edilebilmesi için birbirlerine oranı ölçekli mesafe olarak adlandırılır. Ölçekli mesafe ile ilgili, çeşitli araştıma grupları oransal değişiminin farklı notasyonları araştırılmış en yüksek regrasyon katsayıları elde edilme çalışmaları yapılmıştır. Farklı araştıma grupları tarafından titreşimlerin etki mesafelerinin belirlenmesi ve tahmin edilmesi için önerilen eşitlikler Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge 2’de görüldüğü gibi bütün tahmin modellerinde arazi sabitleri olarak isimlendirilen K ve  $\beta$  bulunmaktadır. Bu katsayılar değişken arazi şartları, jeojolik koşullar, patlatma parametreleri gibi yukarıda sayılan ve anlık patlayıcı miktarı, mesafe haricinde titreşim yayılma karakteristiğinde etkili olan diğer değişkenleri içermektedir.

Eşitliklerde kullanılan değişkenler

V : Bileşke Partikül hızı (mm/sn)

R : Titreşim ölçüm mesafesi (m)

$Q_{\max}$  : Gecikme başına en fazla patlayıcı miktarı

K : Arazi katsayısı

$\beta$  : Arazi sönümlenme katsayısı

dır. Bu çalışmada patlatma kaynaklı titreşimlerin yönsel değişimi incelenmesi amaçlanmıştır. Farklı eşitliklerin titreşim yayılma modelini karakterize etmesi ve korelasyon katsayıları değişimi titreşimlerin yönsel değişiminin değerlendirilmesinde hatalara neden olabilir. Bu nedenle patlatma sonucu oluşan titreşimlerin değerlendirilmesinde en yaygın olarak kullanılan USBM (Duvall and Fogelson, 1962) eşitliği baz alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.

**Çizelge 2.** Araştırmacılar Tarafından Önerilen Farklı Titreşim Tahmin Modelleri (Khandelwal and Singh 2006)

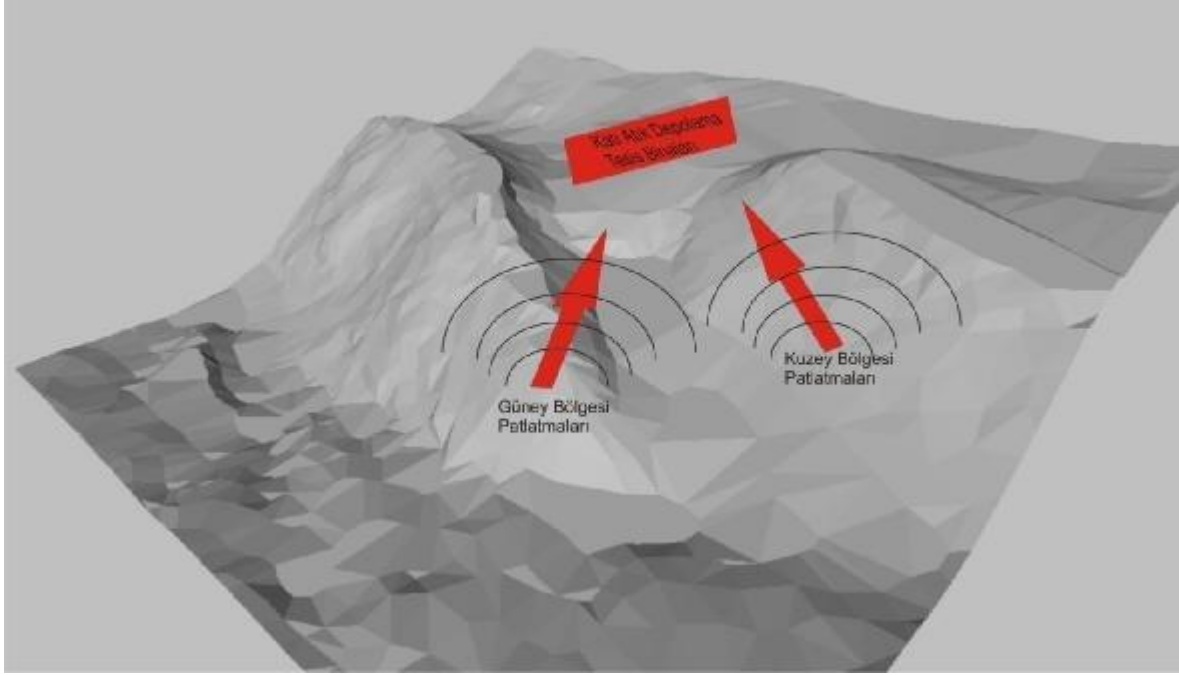
Önerilen Çalışma	Eşitlik
USBM (Duvall and Fogelson, 1962)	$V = K \left( \frac{R}{\sqrt{Q_{Max}}} \right)^{-b} \quad (1)$
Ambraseys-Hendron (1968)	$V = K \left( \frac{R}{\sqrt{Q_{Max}^{1/3}}} \right)^{-b} \quad (2)$
Longefors-Kihlstorm (1978)	$V = K \left( \sqrt{\frac{Q_{Max}}{R^{2/3}}} \right)^b \quad (3)$
Indian Standard Predictor (1973)	$V = K \left( \frac{Q_{Max}}{R^{2/3}} \right)^b \quad (4)$

### 3. ARAŞTIRMA METODU

Araştırmada Aydın ili Kuşadası ilçesinin doğusunda yer alan Yaylaköy Akçaavlu mevkiinde bulunan kalker ocağında patlatma sonrası oluşan titreşimler değerlendirilmiştir. İşletme sahasında Menderes masifinin örtü kayaları içinde yer alan, tipik renk ve litolojik özellikleriyle belirginleşen rekristalize kireçtaşı ardalı bulunaktadır. Delme-patlatma metoduyla ekonomik olarak kazılması mümkün olan bu rekristalize kireçtaşları yer yer gri, koyu gri, kalsit çatlak dolgularının etkin olduğu yerlerde beyaza yakın renklindedir. İşletmenin, işletme izni sınırlarının kuzey batısında, Belediyeler Hizmet Birliği organizasyonluğunda yürütülen Katı Atık Düzenli Depolama tesisleri bulunmaktadır. İşletme izin sınırları ile Katı Atık Düzenli Depolama tesisi tel örgü sınırı birbirlerine komşudurlar. Patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin etkisinin incelendiği bu araştırmada tel örgü sınırı baz alınmış ve sonuçlar tel örgü hattına göre değerlendirilmiştir.

Arazi özellikleri değişken olan bölgede yapılan patlatmaların aynı bölgeye olan titreşim karakterizasyonunun ortaya konulması ve değişiminin incelenmesi araştırmanın temelini oluşturmaktadır. Bu nedenle metot olarak sabit bir bölge seçilmiş ve bu bölgeye göre farklı konumlanmış patlatmalardan yöne bağlı titreşim ölçümleri alınarak analiz edilmiştir. Titreşim ölçümlerinin analiz aşamasında USBM tarafından önerilen ve Eşitlik 1'de verilen model kullanılmıştır.

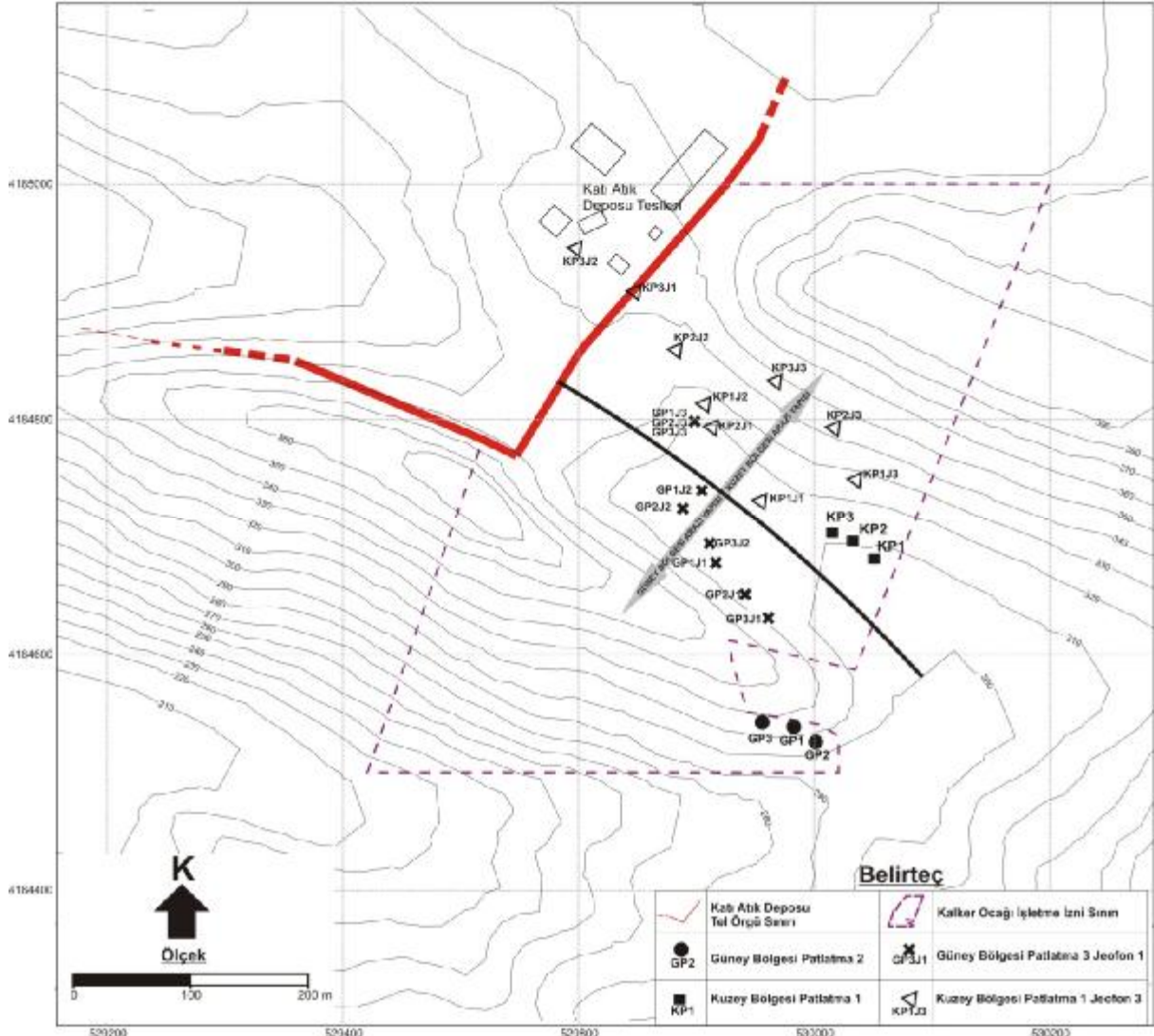
İncelenen bölge bir vadi ile ikiye ayrılmaktadır. Vadi sonunda Katı Atık Depolama tesisi idari ve işletme yapıları konumlanmış durumda olup yapılan patlatmaların bu tesislere olan etkisi araştırılmış farklı arazi ve sönümlenme katsayıları elde edilerek yorumlanmıştır. Şekil 3'de bölgenin üç boyutlu ölçeşiz animasyon görüntüsü verilmiştir. Titreşim Ölçümlerinde Blastmate firmasına ait 8 kanallı ve 4 kanallı iki adet titreşim ölçer cihazı kullanılmıştır. 8 kanallı titreşim ölçer cihazda iki adet jeofon ve 4 kanallı titreşim ölçer cihazında bir adet jeofon olmak üzere toplam üç jeofon ile titreşim kaydı alınmıştır. Cihazlar üç eksende sarsıntı kaydını yapabilen bir jeofon, ses düzeyini ölçmek için kullanılan bir mikrofon ve kanalların kontrolünü sağlayan, ölçümleri hafızaya alan bir ana üniteden oluşmaktadır. Cihazın jeofonu içinde üç ayrı eksen; Enine (Transverse), Düşey (Vertical), boyuna (Longitudinal) kayıt almayı sağlayan sensörler bulunmaktadır. Kayıtlar cihazın ana ünitesindeki hafızaya alınmakta ve daha sonra bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. 8 kanallı titreşim ölçer cihaza iki jeofon ve iki mikrofonun takılabildiği tek ana ünitesi mevcuttur.



Şekil 3. Bölgenin 3 boyutlu animasyon görüntüsü

#### 4. ARAZİ ÇALIŞMASI

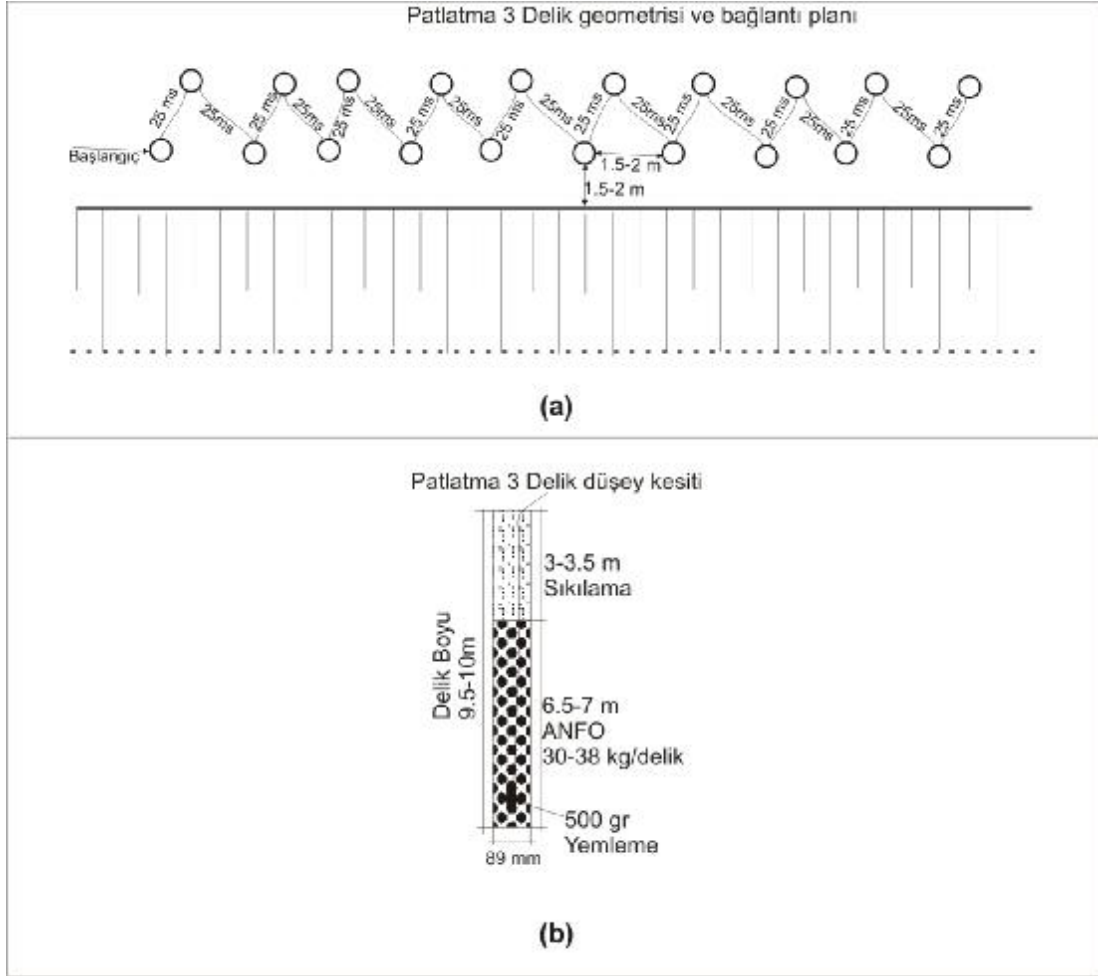
Patlatmalar sonucu oluşan titreşimler arazinin topoğrafik yapısına göre farklı yayılım özellikleri göstermektedir. Özellikle hasar kriterlerinde etkili olan yüzey dalgaları, vadi, tepe gibi ani eğim değişikliklerinde farklı yayılma karakterizasyonu gösterebilmektedirler. Arazi yüzeyi değişiminin titreşimin yayılmasındaki farkının ortaya konulması amacıyla bir Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi sınırına komşu kalker işletmesinde yapılan patlatmalar burada değerlendirilmiştir. Bölgenin haritası, patlatma noktaları ve titreşim ölçüm istasyon noktaları Şekil 4’de verilmiştir. Şekil 4’de görüldüğü gibi Katı Atık Tesisi tel örgü sınırı baz alındığında araziye vadi sınırı boyunca güney ve kuzey olarak ayırmak mümkündür. Bunun nedeni güney ve kuzey bölgesinin farklı yüzey özelliklerine sahip olması ve incelenen bölgeye göre patlatma konumlarından dolayı titreşimlerin farklı yayılma özelliklerine sahip olmasıdır.



Şekil 4. Katı Atık Depolama tesisi, patlatma noktaları titreşim ölçüm istasyonları haritası

#### 4.1. Güney Bölgesi Titreşim Ölçümleri

Katı Atık Tesisi Güney Bölgesi arazi yapısı Kuzeye göre daha dik ve ani yükseklik değişimlerine sahiptir. Bu bölgede oluşturulan basamaklarda yapılan 3 adet Güney Bölgesi araştırma patlatmasından (GP1,GP2,GP3) 3 jeofon kullanılarak titreşim ölçümleri alınmıştır. Ölçümlerde metot olarak patlatma bölgesi ile katı atık düzenli depolama bölgesi arasında bir hat oluşturulmuş, arazide titreşimin yayılma eğilimi ve Katı Atık Depolama tesislerine etkisi ortaya konulması amaçlanmıştır. Bölgede yapılan patlatmalarda gecikme elemanı olarak elektriksiz şok kapsül teknolojisi kullanılmaktadır. 89 mm çapında delinen delikler yaklaşık %70 oranında patlayıcı madde ile doldurularak elektriksiz şok kapsülleri ile birbirinden bağımsız olarak ateşlenebilmekte, ortama bağımsız şok dalgaları vermektedir. Örnek olarak Güney Bölgesi Patlatma 3 (GP3) plan görüntüsü patlatma deliği düşey kesiti Şekil 5’de ve bu patlatmaya ait teknik detaylar Çizelge 3’de verilmiştir. Güney bölgesinde yapılan 3 patlatmaya ait titreşim ölçüm sonuçları ve elde edilen veriler toplu olarak Çizelge 4’de verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi bölgenin güneyinde yapılan patlatmalardan Patlatma 1 ve Patlatma 2’de 212 m den sonraki jeofonlara herhangi bir titreşim kaydı ulaşmamıştır.



**Şekil 5.** Güney bölgesi patlatma 3 plan görüntüsü, (a) Delik geometrisi ve bağlantı planı, (b) delik düşey kesiti

**Çizelge 3.** Güney Bölgesi Patlatma 3 Teknik Verileri

Delik Sayısı	20 adet
Delik Çapı	89 mm
Delik Boyu	9.5 - 10 m
Delikler Arası Mesafe	1.5 - 2 m
Dilim Kalınlığı	1.5 - 2 m
Sıkılama Boyu	3 - 3.5 m
Şarj Kolonu Yüksekliği	6.5 - 7 m
Gecikme Sistemi	NONEL (delik içi 25 ms yüzey 500 ms)
Yemleme	0.5 kg/delik
Patlayıcı Madde Miktarı (ANFO)	30 - 38 kg/delik
Gecikme Başına Maksimum Patlayıcı Miktarı	38.5 kg
Ölçüm noktasının Patlama Noktasından Uzaklığı (Jeofon 1)	88.9 m
Ölçüm noktasının Patlama Noktasından Uzaklığı (Jeofon 2)	158.1 m
Ölçüm noktasının Patlama Noktasından Uzaklığı (Jeofon 3)	261.4 m
Ölçülen Bileşke Partikül Hızı (Jeofon 1)	15.0 mm/sn
Ölçülen Bileşke Partikül Hızı (Jeofon 2)	2.47 mm/sn
Ölçülen Bileşke Partikül Hızı (Jeofon 3)	0.88 mm/sn



#### 4.2. Kuzey Bölgesi Titreşim Ölçümleri

Patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin yönsel değişimin değerlendirilmesi ve risk alanı olarak tanımlanan Katı Atık Depolama Tesis binalarının patlatmadan kaynaklanan titreşimler sonucu maruz kalacakları titreşimlerin karakterize edilmesi sadece arazinin Güney Bölgesinde yapılan patlatmalar ile ifade edilemeyeceği doğaldır. Bu nedenle arazinin Güney Bölgesine modellemesine göre belirsiz olan Kuzey Bölgesinde de 3 adet araştırma patlatması organize edilmiştir (KP1,KP2,KP3). Bu bölge Güney Bölgesine oranla daha az eğime sahiptir. Ancak vadi boyunca güney kuzey olarak ayrılan arazinin Katı Atık Depolama tesisleri tarafında kalması nedeniyle patlatma kaynaklı titreşimler açısından daha risklidir. Bu bölgede yapılan ölçümlerde de 3 adet jeofon kullanılmış ve Katı Atık Depolama Tesis binaları ile Kuzey Bölgesi patlatma lokasyonu arasında bir hat oluşturularak hat boyunca farklı patlayıcı miktarları ve farklı mesafelerde titreşim ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Patlatma teknolojisi açısından değerlendirildiğinde bu bölgede yapılan patlatmalarda da aynı delik çapı, aynı ateşleme sistemi ve aynı delik paterni uygulanmıştır. Elde edilen titreşim ölçüm sonuçları toplu olarak Çizelge 4’de verilmiştir.

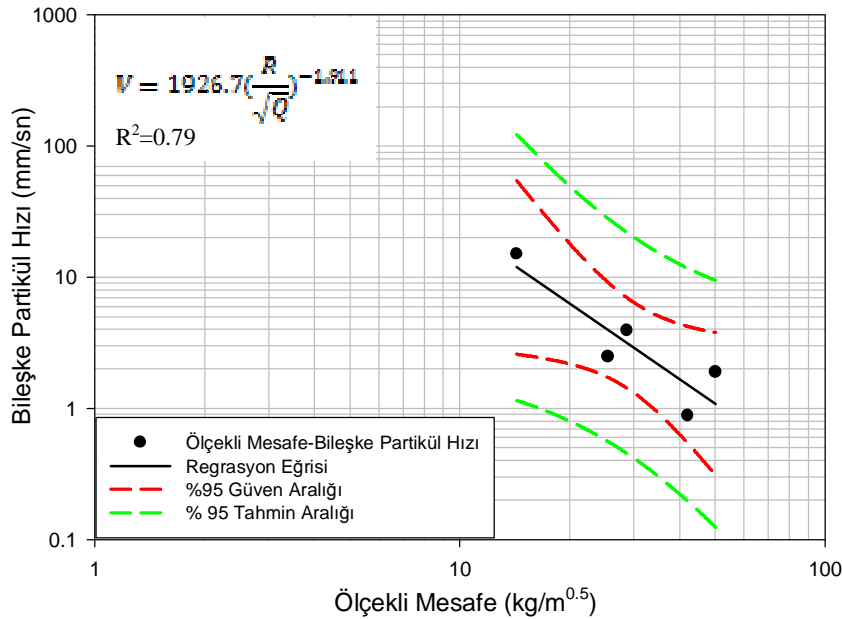
Çizelge 4. Bileşke Partikül Hızı, Patlayıcı Miktarı ve Ölçüm Noktaları Mesafeleri

Bölge	PatlatmaNo	Jeofon No	Mesafe (m)	Gecikme Başına Düşen Patlayıcı Miktarı (kg)	Ölçekli Mesafe (m/kg <sup>0.5</sup> )	Bileşke Partikül Hız (mm/sn)
<b>GÜNEY BÖLGESİ</b>	Güney Patlatma 1 (GP1)	Jeofon 1	150.8	9.0	50,2	1.89
		Jeofon 2	212.4	9.0	70,8	KA*
		Jeofon 3	267.4	9.0	89,1	KA*
	Güney Patlatma 2 (GP2)	Jeofon 1	133.1	21.5	28,7	3.92
		Jeofon 2	223.6	21.5	48,2	KA*
		Jeofon 3	285.4	21.5	61,6	KA*
	Güney Patlatma 3 (GP3)	Jeofon 1	88.9	38.5	14,3	15.0
		Jeofon 2	158.2	38.5	25,5	2.47
		Jeofon 3	261.4	38.5	42,1	0.881
<b>KUZUY BÖLGESİ</b>	Kuzey Patlatma 1 (KP1)	Jeofon 1	111.8	40	17.7	13.1
		Jeofon 2	196.8	40	31.1	3.81
		Jeofon 3	73.5	40	11.6	16.7
	Kuzey Patlatma 2 (KP2)	Jeofon 1	154.5	40	24.4	7.57
		Jeofon 2	220.0	40	34.8	1.10
		Jeofon 3	97.2	40	15.4	9.78
	Kuzey Patlatma 3 (KP3)	Jeofon 1	269.8	42	41.6	0.618
		Jeofon 2	331.1	42	51.1	0.414
		Jeofon 3	146.0	42	22.5	8.02

KA\* : Kayıt alınmadı

### 4.3. Titreşim Ölçümlerinin Yönel Değerlendirmesi

Titreşimin yayılma eğiliminin belirlenmesi ölçekli mesafe bileşke partikül hızı grafiğine en uygun üstel fonksiyon yaklaşımı yapılarak gerçekleştirilmektedir. Bu durumda titreşime neden olan patlayıcı miktarı ve titreşim kaynağından olan mesafe ana değişken olmak üzere diğer etken parametreler fonksiyonların katsayısı ile ifade edilmek zorunda kalmaktadır. Arazi ve sönümlenme katsayı olarak tariflenen bu katsayılar özünde titreşim ölçümünde elde edilen değerler ile üretilen üstel yakınsama fonksiyonun katsayı değerleridir. Diğer taraftan titreşimin yayılma karakterizasyonunu belirleyen patlayıcı miktarı ve mesafe titreşim hızı ile doğrusal bir ilişki gösterse de bazı jeolojik ve fiziksel koşullarda patlayıcı miktarı ve mesafe etkileşiminden bağımsız titreşimin sönümlendiği veya beklenmeyen artışlara neden olduğu gözlemlenir. Örneğin ana kütle içinde yüzeyden gözlenemeyen sınırlayıcı bir süreksizlik titreşim yayılmasını beklenmeyen bir şekilde sonlandırabilir veya yine ana kütle içerisinde titreşimin farklı hızlarda yayılmasına neden olan yapı farklılıkları titreşim hızının beklenmeyen bir şekilde artmasına neden olabilir. Titreşim yayılma hızının artması veya azalmasına neden olan bu tür yapılarda üstel yaklaşım fonksiyonunun katsayıları önem kazanmakla birlikte belirsizlikleri de beraberinde getirmektedir. Titreşimlerin yönel değişimlerinin değerlendirilmesi de bu katsayı değerlerinin değişmesiyle ifade edilebilir. Yapılan çalışmada Güney Bölgesi patlatma sonucu oluşan titreşim değerleri ölçekli mesafe bileşke partikül hızı grafiği Şekil 6'da verilmiştir.

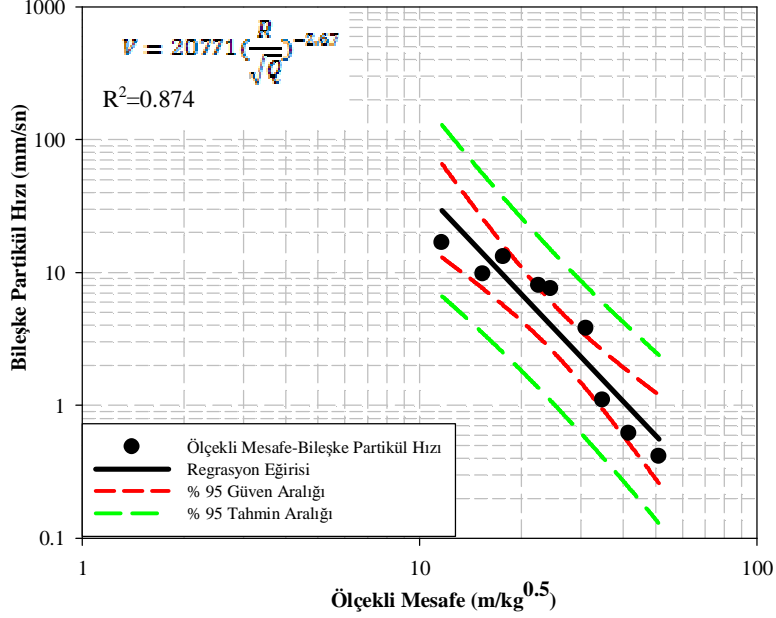


Şekil 6. Güney Bölgesi titreşim ölçümleri bileşke partikül hızı-ölçekli mesafe ilişkisi

Grafikte görüldüğü gibi sönümlenme katsayısı  $K = 1926.7$ ;  $b = 1.911$  olarak % 79 regresyon katsayısı ile belirlenmiştir. Bu katsayıların değerleri içerisinde patlatma geometrisi, patlatma paterni, ateşleme sistemi, gecikme elemanlarının durumu, patlatma sırası değişkenlerini içerdiği gibi aynı zamanda titreşimin yayıldığı ortamdaki jeolojik yapı, süreksizlik durumu özellikleri değişimlerini de içermektedir.

Patlatma teknolojisi açısından değerlendirildiğinde aynı koşullarda gerçekleştirilen kuzey bölgesi patlatmalarından elde edilen titreşim ölçüm sonuçları ile oluşturulan bileşke partikül hızı-ölçekli mesafe ilişkisi Şekil 7' de verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi kuzey bölgesi arazi

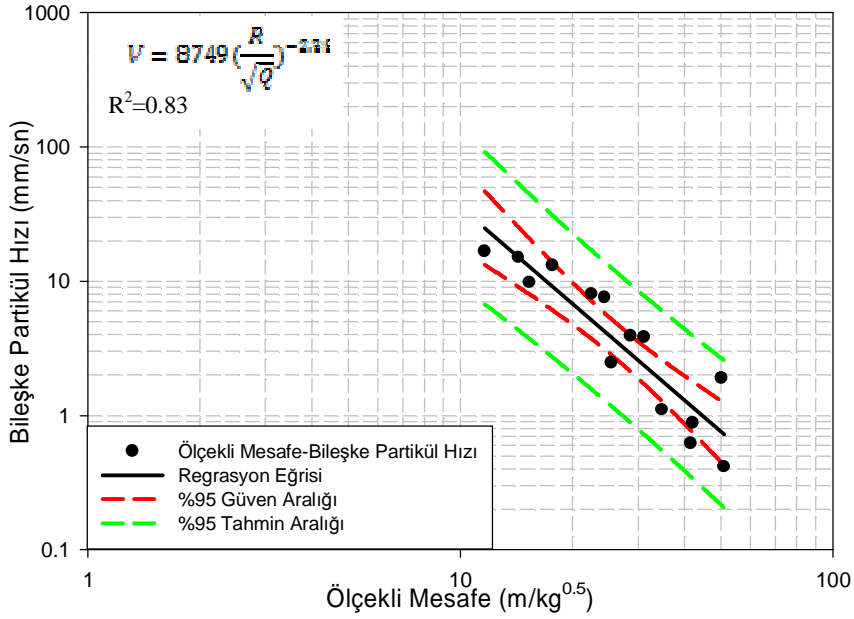
ve sönümlenme katsayıları  $K = 20771$ ;  $b = 2.67$  olarak % 87 regresyon katsayısı ile belirlenmiştir.



Şekil 7. Kuzey Bölgesi titreşim ölçümleri bileşke partikül hızı-ölçekli mesafe ilişkisi

Güney Bölgesi ve Kuzey Bölgesi patlatma titreşim katsayıları değerlendirildiğinde, aynı koşullarda gerçekleştirilen basamak patlatmaları incelenen Katı Atık Depolama tesisleri tel örgü sınırına göre farklı titreşim yayılma özellikleri göstermektedir. Bu fark iki bölgenin farklı jeoteknik süreksizlik özelliklere sahip olmasından ve/veya patlatmanın yönsel değişiminden kaynaklanabilir. Sahanın arazi yapısının bir vadi ile ikiye ayrılması ve vadinin iki tarafında yapılan patlatmaların riskli bölgeye göre farklı katsayılar bulunması titreşimin yönsel değişimini ifade edebilir.

Araştırmada metot olarak patlatma yapılan bölgeler ile riskli bölge arasında en kısa doğrusal hat üzerinde oluşturulan istasyon noktalarında titreşim ölçümleri yapılmıştır. Patlatma bölgesi ile riskli bölge arasında yönsel değişim olacağı gözetilmeksizin analiz yapılması durumunda titreşim ölçümlerinin hepsinin değerlendirilmesi gerekir. Buna göre incelenen bölgede yapılan patlatmaların hepsi yönsel değişim farkı olmadan değerlendirildiğinde elde edilen bileşke partikül hızı-ölçekli mesafe ilişkisi Şekil 8'de verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi patlatmaların hepsi değerlendirildiğine yaklaşıtırılan üstel fonksiyona göre arazi ve sönümlenme katsayıları sırasıyla  $K = 8749$ ;  $b = 2.89$  olarak % 83 regresyon katsayısı ile belirlenmiştir.



Şekil 8. Titreşim ölçümleri bileşke partikül hızı-ölçekli mesafe ilişkisi

Bu modeller kullanılarak riskli bölge olarak tariflenen Katı Atık Depolama Tesisi tel örgü sınırına işletme izni içinde yapılacak patlatmaların ne kadar mesafe yaklaşabileceği tespit edilebilir. İşletmede yapılacak standart patlatmaların teknik detayları aşağıda verilmiştir.

Basamak Yüksekliği	: 10 m
Delik Çapı	: 89 mm
Delik Boyu	: 11 m
Sıkılama Oranı	: %30
Ateşleme Sistemi	: Şok tüp (NONEL kapsül)

Yukarıda verilen teknik verilere göre yapılan hesaplamalar ile gecikme başına en fazla 43 kg patlayıcı madde kullanılacaktır. Bu patlayıcı madde miktarı kullanılarak ve hasar limit değeri olarak Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nin 25. maddesi a bendinde maden ve taşocaklarında yapılan patlatmalardan kaynaklanan titreşimler için verilen 4-10 Haz frekans değeri için 19 mm/sn sınır değeri kabul edildiğinde titreşim tahmin modeli aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$19 \text{ mm/sn} = K \left( \frac{R}{\sqrt{43}} \right)^{-b} \quad (5)$$

Bu eşitlikte arazi ve sönümlenme katsayısının bölgesel farklılıkları nedeniyle riskli bölge titreşim etki mesafeleri farklı değerlerde belirlenecektir. Titreşim tahmin modelinde kullanılan arazi ve sönümlenme katsayıları ile belirlenen titreşim risk mesafesi değerleri Çizelge 5'da verilmiştir.

Çizelge 5. Titreşim Tahmin Modeli Katsayıları Bölgesel Değerleri

Bölge	Arazi katsayısı (K)	Sönümlenme katsayısı (b)	Regresyon Katsayısı (R <sup>2</sup> )	Titreşim Tahmin Modeli	43 kg Patlayıcı ve 19 mm/sn limit değeri risk mesafesi (m)
Güney Bölgesi	1926.7	-1.911	0.79	$V = 1926.7 \left( \frac{R}{\sqrt{Q}} \right)^{-1.911}$	73.5
Kuzey Bölgesi	20771	-2.67	0.87	$V = 20771 \left( \frac{R}{\sqrt{Q}} \right)^{-2.67}$	90.1
Tüm Bölge	8749	-2.39	0.83	$V = 8749 \left( \frac{R}{\sqrt{Q}} \right)^{-2.39}$	85.3

Çizelge 5’da görüldüğü gibi farklı arazi ve sönümlenme katsayıları ile farklı etki mesafeleri bulunmaktadır. Titreşim etki mesafesi açısından değerlendirildiğinde patlama yapılan bölge baz alınarak risk analizleri yapılmalı ve patlama sonucu oluşan titreşimlerin değerlendirilmesinde patlatma ve incelenen bölgenin yönüne bağlı detay çalışmalar yapılarak arazinin fiziksel yapısından kaynaklanan katsayı farklılıkları ortaya konulmalıdır.

#### 4. SONUÇLAR

Patlatma kaynaklı titreşimlerin arazi topoğrafik yapısına bağlı olarak farklı yönlerde farklı yayılma karakterizasyonu gösterdiğinin belirlenmesi amacıyla bu araştırma yapılmıştır. Arazi çalışması kapsamında bir vadi ile ayrılan ve belirli eğimlerle yükselen iki farklı yükseltide yapılan patlatmanın riskli bölge olarak tariflenen ve Katı Atık Depolama tesisi idari yapılarının bulunduğu bölgeye etkisi incelenmiştir. Kuzey ve güney bölgesi olarak adlandırılan bölgede üçer adet günümüz patlatma tekniğine uygun araştırma patlatması yapılmış ve titreşim ölçer cihazlar ile farklı mesafelerden partikül hızları ölçülerek titreşimlerin yönsel değişimleri incelenmiştir. Ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde USBM tarafından önerilen ölçekli mesafe-bileşke partikül hızı ilişkisi ve modeli kullanılmıştır. Buna göre;

1. Elde edilen sonuçlara göre farklı bölgelerde yapılan patlatmaların tahmin edilmesinde kullanılan ve deneysel verilerle tespit edilen arazi ve sönümlenme katsayıları arasında arazi topografyasına bağlı değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Bu değişikliğinin ana nedeni topografyanın fiziksel yapısı olmakla birlikte arazi yüzeyinden gözlenemeyen ve yine katsayılar içinde değerlendirilen farklı jeolojik yapılar olabildiği de göz önünde bulundurulmalıdır.
2. Riskli bölgelerin patlatma kaynaklı titreşim etkisinin değerlendirilmesinde mutlaka yöne bağlı değişkenler göz önünde bulundurulmalı riskli bölge ile patlatma bölgesi/leri arasında doğrusal bir hat oluşturulmalıdır. Ancak bu şekilde titreşim tahmin metotları ile doğru değerlendirme yapılabilir.
3. Bu çalışmada ortaya konan yöne bağlı değişimin varlığı yapılacak ileriki çalışmalarda yeterli sayıda titreşim ölçümleri yapılarak katsayılar içinde yönsel değişim katsayısı olarak yer alabilir.

**KAYNAKLAR**

- Ambraseys NR, Hendron AJ. (1968) “*Dynamic behaviour of rock masses. Rock mechanics in engineering. practices*”. London: Wiley;. p. 203–7
- Dowding, C.H., (1985) Blast Vibration Monitoring and Control , USA; p.297
- Duvall WI, Petkof B. (1959) “*Spherical propagation of explosion of generated strain pulses in rocks*”, USBM, RI-5483,. p. 21–2.
- Duvall WI, Fogleson DE. (1962) “*Review of criteria for estimating damage to residences from blasting vibration*”, USBM-I 5968
- Erkoç, Ö.Y, (1998) “*Patlama İle Çevreye Verilen Sarsıntılar ve Hasar Kriteri Üzerine Bir Tartışma*”, 3. Delme ve Patlatma Sempozyumu, p. 129-139
- “*Indian Standard Institute. Criteria for safety and design of structures subjected to underground blast*”. ISI Bull 1973;IS-6922
- Langefors U, Kihlstrom B, Westerberg H. 1978 “*Ground vibrations in blasting. Water Power*”
- Karakuş D. (2000) “*Patlatmadan Kaynaklanan Yer Sarsıntılarının Binalar Üzerindeki Etkisinin Araştırılması*”, DEU Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- Khandelwal M., Singh T.N., (2007), “*Evaluation of blast-induced ground vibration predictors*” Soil Dynamics and Earthquake Engineering 27, 116–125
- Onur A.H., Konak G., Karakuş D., (2006)“*Madencilik ve Sanayii Faaliyetleri Sonucu Oluşan Titreşimlerin Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetim Yönetmeliğine Göre Değerlendirilmesi, Örnek Uygulama*”, Doğu Karadeniz Bölgesi Maden Kaynaklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu, p. 157-165