



FARKLI KAYAÇLAR ÜZERİNDE OLUŞTURULAN YAPAY TİTREŞİM DALGA HAREKETLERİNİN İNCELENMESİ

Bilgehan KEKEÇ, Mehmet Kemal GÖKAY

¹Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya, kekec@selcuk.edu.tr , mkgokay@yahoo.com

Geliş Tarihi: 05.01.2010

Kabul Tarihi: 25.03.2010

ÖZET

Titreşim dalgaları kendisini oluşturan kaynaklardan çok uzaklara taşınabilme özelliğine sahiptir. Bunun sonucu olarak önemli çevresel etkilere neden olabilmektedirler. Dalga yayılım mekanizmasının iyi bilinmesi ilgili titreşim kaynağının çevresel etkilerini etkisiz hale getirilmesinde büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada; maden işletmelerinde, tünel ve yol yapım çalışmalarında yaygın olarak kullanılan patlatma faaliyetleri sonucunda oluşan titreşim hareketleri özel tasarlanmış bir düzenele simule edilmiş ve dalga yayılım mekanizması belirlenmiştir. Yapay olarak oluşturulan aynı titreşim dalgaları, farklı mühendislik özelliklerine sahip dokuz değişik kayaca uygulanmıştır. Oluşturulan titreşim dalgası hareketlerini enine, boyuna ve düşey (transverse, longitudinal, vertical) yönde izlemek ve kayıt etmek için arazi tipi patlatma sismografi kullanılmıştır. Kullanılan kayac türlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri ISRM-1981 standartlarına göre belirlenmiş ve elde edilen titreşim değerleri ile istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Kaya mekaniği, Açık ocak patlatmaları, Titreşim hareketleri.*

INVESTIGATION OF THE ARTIFICIAL VIBRATION WAVE MOTION FORMED ON THE DIFFERENT ROCKS

ABSTRACT

Vibration waves can expand far away from its resource. As a result of this, it causes important environmental effects. It is so important that wave propagation mechanisms should be well presented for neutralisation of its environmental effects. In this study, vibration motion occurred from mining operation, tunneling and road construction have been simulated with specially designed laboratory apparatus. It is then used to investigate wave propagation mechanism. This apparatus provided similar vibration waves artificially to test specimens which were prepared from 9 different rock types. Vibration monitoring seismograph were used in this study for recording waves form (transverse, longitudinal, vertical). Physical and mechanical properties of the tested rocks were determined according to ISRM'1981 standards. The relation between vibration values and physico-mechanical properties of the rocks were then described by using statistical correlation analysis.

Keywords: *Rock mechanics, Surface mine blasting, Vibration motion.*

1.GİRİŞ

Masif kayacın parçalanması ve satışa hazır hale getirilmesi için yapılan patlatma faaliyetleri, madencilik ve benzeri kazı faaliyetlerinin ana unsurlarından biridir. Son yıllarda şehirleşmenin ve nüfusun artması nedeniyle eskiden şehir dışında bulunan birçok madencilik faaliyeti günümüzde şehir içlerinde yer almaktadır. Önceki devirlerde kurulan medeniyetlerin bıraktığı tarihsel ve kültürel bölgelere yakın madencilik çalışmalarının zorlukları, günümüzde şehir içinde veya çok yakınında bulunan maden ocaklarında da yaşanmaya başlamıştır. Çevresel etkilerin hissedilebildiği uzaklıklarda yerleşen insanlar, gürültü kirliliği ve patlatma kaynaklı sismik hareketlerden dolayı maden işletmesini sık sık şikâyet edebilmekte ve işletme çalışmaları bundan zarar görebilmektedir.

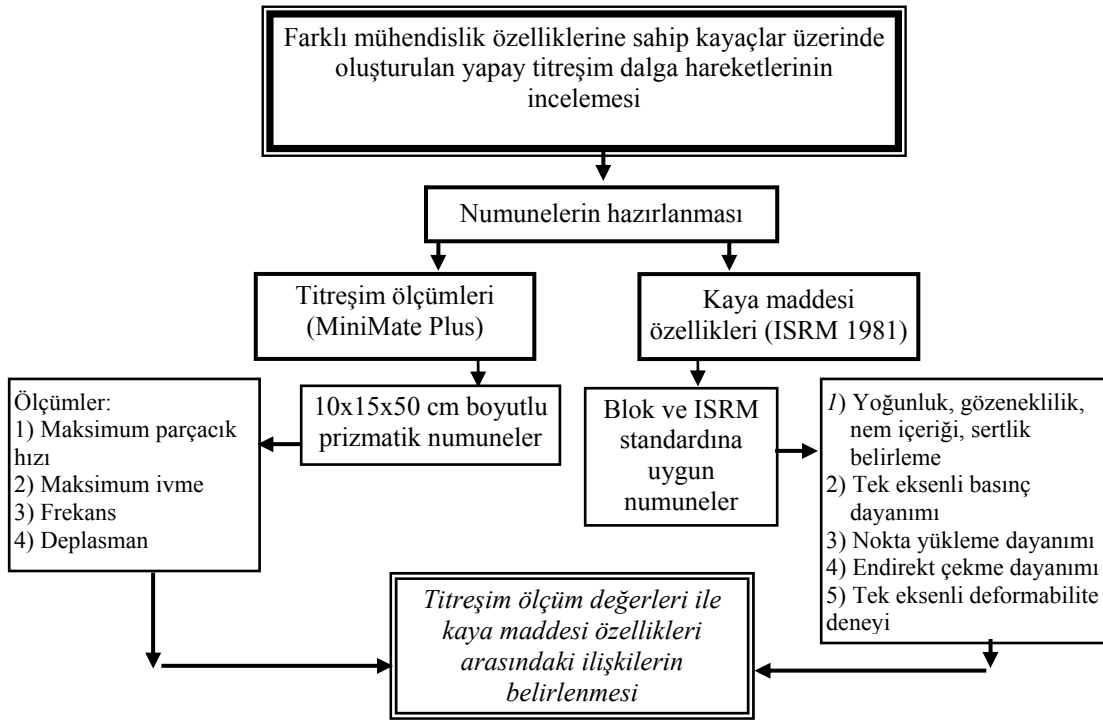
Dolayısıyla, madencilik ve benzeri kazıların çevreye zarar vermeden gerçekleştirilmesi önemli bir mühendislik problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Maden ve yapısal projelerde kontrollü olarak yapılan patlatma faaliyetleri, ilgili maden veya yapı şirketinin yararına olacağı gibi patlatmanın olumsuz etkilerini de en aza indirecektir. Madencilik, tünel inşaatı, baraj inşaatı ve otoyol inşaatları sırasında kullanılması kaçınılmaz ise patlatmalar; çevresel etkiler (yersarsıntılar, hava şoku, kaya savrulması ve toz oluşumudur) oluşturmaması açısından üzerinde önemle durulması gereken bir konudur. Patlatmalar sonucu ortaya çıkan etkilerden en önemlisi ise tıpkı deprem dalgaları gibi hareket eden yersarsıntısı dalgalarıdır. Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarını kontrol etmek ve optimum şartları belirlemek için dalga yayılım mekanizması, kaya özellikleri ve jeolojinin etkisini bilmek önemlidir. Kayanın dayanım özellikleri, elastik özellikleri, yeraltı suyu, nem içeriği ve kayacın geçirgenliği, ilgili kayaç içinde ilerleyecek titreşim dalgaları üzerinde oldukça etkilidir. Bunun yanında yersarsıntılarının ilerlemesi kaya kütle litolojisi ile güçlü bir ilişki içindedir. Farklı jeolojik yapılar titreşim dalgalarının yayılmasına etki eden farklı karakterlere sahiptirler [1].

Bohlohi [2] patlatma tasarımı için kaya kütlesi ve kaya maddesi özelliklerini vurgulayan araştırmacılar arasındadır. Howkins [3] sismik hızın kaya içindeki süreksizliklerinden önemli ölçüde etkilendiğini savunurken, Cook [4], kaya kütleleri içerisinde birçok süreksizlik ve kırıklar olduğunu belirterek, kaya kütlesi özelliklerinin kaya içindeki süreksizliklerden büyük ölçüde etkilendiğini anlatmıştır. Ayrıca süreksizliklerin; sadece kaya kütle özelliklerini değil aynı zamanda kayacın sismik tepkilerini de etkilediğini söylemiştir.

Aldaş [1], Bollinger'in [5] daha önce vurguladığı konuya dikkat çekerek; kayaçların dayanım, yoğunluk ve porozite özelliklerinin, kayaçlardaki şok dalgası yayılma hızını önemli ölçüde etkilediğini belirtmiştir. Bollinger'in vurguladığına göre patlatma sonucu oluşan titreşimler yumuşak kayaç ve zeminlerde, dayanıklı kayaçlara göre daha şiddetli olmaktadır. Blair ve Spathis, [6] deneysel ve teorik olarak dalga yayılımlarında kaya özelliklerinin etkilerini araştırırken sonraki yıllarda, Olofsson [7] yersarsıntı karakteristiklerini etkileyen zemin özelliklerini; dalgaların ilerleme hızını belirleyen zeminin elastik sabitleri (elastise ve makaslama modülü), zeminin tipi, yeraltı su seviyesi, nem, topoğrafya ve zeminin karakteristiği olarak açıklamıştır.

Wu ve ark. [8] baraj, tünel inşaatı, köprüler ve binalar üzerinde zarara yol açabilen titreşim ve yer şoklarının kaya kütlelerindeki yayılımının dikkat edilmesi gereken önemli bir tasarım parametresi olduğunu belirtmişlerdir. Bu araştırmacılar yapmış oldukları çalışmada, patlatma kaynaklı yer sarsıntı dalgalarının yayılımı ile kaya kütlesi arasındaki etkileşimi tartışarak bu konudaki arazi ölçüm sonuçlarını sunmuşlardır.

Daha önce yapılan bu araştırmalardan yola çıkarak, kayaçlar içinde ilerleyen titreşim dalga hızlarının laboratuvar ortamında daha belirgin olarak gözlemlenmesi bu makale kapsamında anlatılacak çalışmanın özünü oluşturmaktadır. Burada farklı mühendislik özelliklerine sahip üç farklı kayaç türünün (tüf, traverten ve bazalt), 9 farklı test numune çeşidi üzerinde yapay olarak oluşturulan titreşim dalgaları incelenmiştir. Bu testler sırasında izlenen işlemler-akış şeması Şekil 1'de verildiği gibidir. Deneyler sırasında oluşturulan titreşim dalgası hareketleri Instantel Minimate Plus patlatma sismografları yardımıyla ölçülmüş ve kayıt edilmiştir. Titreşim dalgası yayılma hızının kayaç mukavemet değerlerine göre değişim gösterip göstermediğini anlayabilmek için, testler için seçilen kayaç numunelerini fiziksel ve mekanik özellikleri ISRM-1981 [9] standartlarında belirtilen numune hazırlama ve test işlem basamaklarına göre belirlenmiştir.



Şekil 1. Çalışmanın genel basamakları.

2. NUMUNE HAZIRLIĞI VE DENEYLER

Bu çalışmada; içlerinde yapay titreşim dalgalarının oluşturulması amacıyla, farklı mühendislik özelliklerine sahip tuf, traverten ve bazalt kayaçlarından 9 farklı test örneği hazırlanmıştır. İşletildikleri madenlerden Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği laboratuvarlarına özenle getirilen kayaç numuneleri, fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla ISRM-1981 test standartlarına uygun boyutlarda kesilerek (Şekil 2) deneylere hazır hale getirilmiştir.



Şekil 2. Araştırmada kullanılan test numunelerinden "sarı tuf" ün görünümü.

Yapay titreşim dalgalarının geçişini izlemek amacıyla hazırlanan test numuneleri daha büyük boyutta hazırlanmıştır. Bu araştırma ilk kez denendiği için test numuneleri konusunda herhangi bir standart uygulama mevcut değildir. Titreşim dalgalarının oluşturulmasına elverişli bir kısmı ve ölçümlerin yapılabileceği bir uzantısı olması açısından, ilgili numuneler plakalar halinde blok kesme makinesi (Şekil 2) yardımıyla hazırlanmıştır. Bu numunelerin boyutları 10x15x50 cm'dir. Mukavemet değerlerinin anlaşılması amacıyla yapılan kaya mekaniği deneyleri; tek eksenli basınç (UCS), nokta yükleme, yüzey sertliği, yoğunluk deneyleri standartlara uygun olarak S.Ü. Maden Müh. laboratuvarlarında gerçekleştirilmiş (Şekil 3) ve deneyler sonucunda elde edilen değerler Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Fiziksel ve Mekanik testler sonucunda elde edilen değerler.

Numune Adı	σ_c (MPa)	$I_{s(50)}$ (MPa)	σ_t (MPa)	S E (%)	ϕ_g (gr/cm ³)	S	P (%)
Bazalt	83,200	5,150	7,520	1,0620	2,929	59,200	10,806
Gri tuf -1	41,150	2,740	5,960	11,460	2,365	58,700	24,355
Gri tuf-2	39,720	2,480	4,270	10,092	2,365	54,500	23,048
Gödenne Trv.	65,720	4,710	6,720	0,984	2,570	56,300	5,784
Sarı tuf	5,810	0,640	2,000	28,795	2,410	35,500	46,375
Siyah tuf	18,000	1,530	2,510	26,072	2,295	40,100	41,076
Karaman Trv.	54,900	3,670	6,210	0,850	2,684	53,100	12,414
Pembe tuf	24,570	1,850	7,680	16,903	2,452	52,300	31,516
Göksu Trv.	33,930	2,970	4,520	3,096	2,590	48,500	18,216

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı, σ_t : Endirekt çekme dayanımı, $I_{s(50)}$: Nokta yükleme dayanımı, SE: Su emme, ϕ_g : Mineral tane yoğunluğu, S: Sertlik, P: Toplam porozite



Şekil 3. Laboratuvar deneylerinin yapılışı.

Mekanik özellikleri belirlenen kayaçlardan hazırlanan plaka şeklindeki titreşim test numuneleri; üzerlerine verilen titreşimi belirli bir uzaklığa aktarma özelliklerinin araştırılması için özel olarak titreşim testine tabi tutulmuştur. Üç farklı kayaç türünden hazırlanan plakaların her biri ayrı titreşim testinden geçirilerek elde edilen veriler kaydedilmiştir. Bu araştırma sırasında numunelere verilecek titreşim şiddetinin aynı şiddette olduğundan emin olmak amacıyla özel bir düzenek tasarlanmıştır (Şekil 4a). Bu düzeneğin hazırlanması ve ilk ön testlerinin yapılmasından sonra asıl araştırma deneylerine geçilmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen yapay titreşim düzeneğinden elde edilen darbeler, ayarlandığı enerji seviyesine göre hep aynı değerde gerçekleşmektedir. Tasarlanan titreşim sağlayıcı düzenek farklı kayaç yüzeylerine konumlandırılabilen pratik ve taşınabilir bir ekipmandır.



a)



b)

Şekil 4. a) Laboratuvar ölççeğinde özel olarak tasarlanan yapay titreşim oluşturma düzeneği, **b)** Instantel Minimate Plus ölçüm cihazı ve parçaları.

Bu düzenek paslanmaz bir boru içine yerleştirilen 68 gr ağırlığındaki çelik küresel bilyayı, farklı seviye ayırmaçlarıyla düzeneğin farklı enerji seviyelerinde tutabilmektedir. Bu ayırmaçlar yerlerinden çekildiği zaman çelik bilya, boru düzeneği içinden istenilen kayaç yüzeyine düşmektedir. Aynı enerji seviyesinin kayaç üzerinde yaratacağı darbe titreşim enerjisi her zaman aynı olacaktır. Tasarımı yapılan bu düzenekte 5 farklı enerji seviyesi (numune yüzeyinden yüksekliğine göre: 10, 20, 30, 40 ve 50 cm'lik enerji seviyeleri) bulunmaktadır. Bu ekipmanın kayaç numunesi üzerine darbe vurmasıyla birlikte kayaç içindeki mineral tanelerinde titreşim oluşacağı ve bu taneler yer değiştirme özelliklerinin de farklı kayaçlar için farklı farklı olacağı açıktır. Sözü edilen titreşim değerlerinin her numune için aynı uzaklık ve darbe enerjisi için incelenmesi kayaçların titreşim iletme özellikleri konusunda değerler sağlaması açısından önemli bulunmuş ve elde edilen deneysel veriler test numunelerinin mukavemet değerleriyle karşılaştırılarak tartışılmıştır. Titreşim yayılımı özellikleri için yapılacak deneylerde, geliştirilmesi yapılan yapay titreşim düzenek darbelerinin ilgili numuneler içinde oluşturduğu titreşim değerleri; frekans, deformasyon ve ivme değerleri olarak ölçülmüştür. Bu ölçme işlemi; patlayıcı maddelerin patlatılması sonucu ortaya çıkan titreşimlerin ölçümünde kullanılan Instantel Minimate Plus cihazıyla yapılmıştır (Şekil 4b). Bu cihazın özellikleri Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 2. Instantel minimate plus özellikleri.

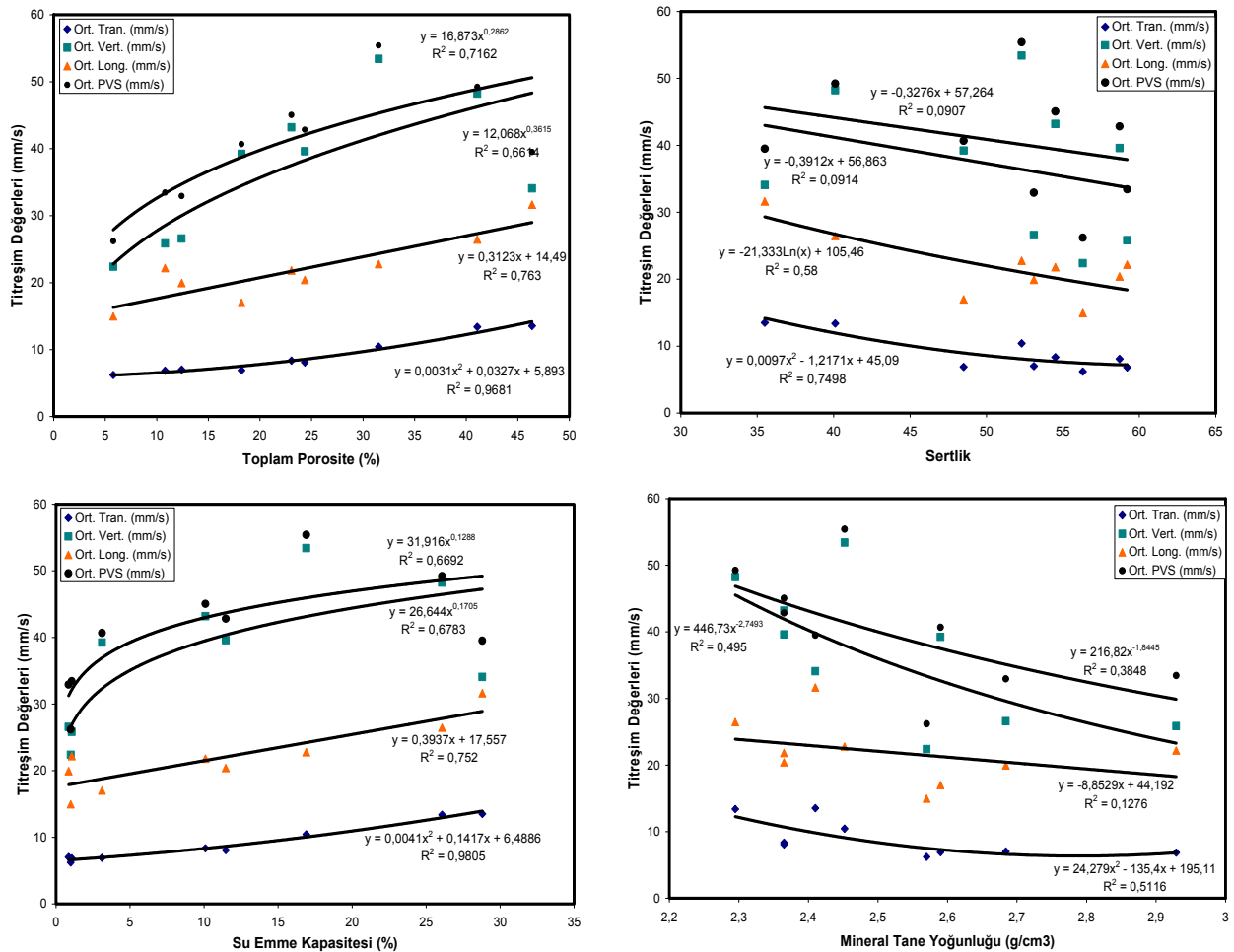
Özellikler	Sınırlılıklar
Kayıt türü	Elle, tek atımlık veya sürekli kayıt.
Sismik tetikleme	0,125 to 254 mm/s
Resolution	0,0159 mm/s
Frekans aralığı	2 to 250 Hz
Hassasiyet	±5 % or 0.5 mm/s
Akustik (ses) tetikleycileri (L)	100 to 148 dB
Batarya	Şarjlı pil (6 volt)
Ağırlık	1,4 kg
Boyutlar	81x91x160 mm

Test numunelerinin belirli bir noktasına, önceden seçilen potansiyel enerji seviyesiyle vuruş yapılabilmesi için tasarlanan deney düzeneği, farklı kayaçlarda yapılan titreşim deneylerinin ana unsurudur. Darbenin yapıldığı sabit nokta ile Instantel ölçüm cihazının numune içinde oluşturulan titreşimi ölçmek amacıyla yerleştirildiği temas noktası arasındaki mesafe (35cm) hassas olarak ölçülerek her defasında kaydedilmektedir. Bu mesafenin bu araştırmada kullanılan bütün kayaç örneklerinde eşit olacak şekilde ayarlanmasının karşılaştırmaların doğru olarak yapılabilmesi için önemi büyüktür. Her numune için; yapay düzeneğin 5 farklı enerji seviyesinden darbeler oluşturularak kayıtlar alınmıştır. Bu kayıtlar sırasında her enerji seviyesinden ortalama değer hesaplanabilmesi için 10 adet titreşim değeri, Instantel Minimate Plus patlatma sismografi ile ölçülmüştür. Bu

yapılmıştır. Burada korelasyon katsayısı 0,70 ve üzeri (0,70-1,00) olan grafiksel ilişkiler; “mümkün” olarak; 0,50 civarında (0,50-0,699) korelasyon değerine sahip olan ilişkiler ise “muhtemel” olarak adlandırılmıştır.

Laboratuvar titreşim deneyleri; titreşimi oluşturan küresel ağırlığın 5 farklı enerji seviyesinden bırakılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonunda, bütün kayaç örnekleri için 3. enerji seviyesinden (30 cm yükseklik) daha üst seviyedeki enerji seviyelerinden elde edilen titreşim değerleri sabitleşmeye veya azalan bir artış değeri göstermeye başlamıştır. Bu sebeple ilişki grafikleri oluşturulurken 30 cm yükseklikten bırakılan küresel ağırlığın yol açtığı titreşim değerlerinin ortalamaları, ilgili kayaca ait “tanımlayıcı titreşim değeri” olarak kabul edilmiştir.

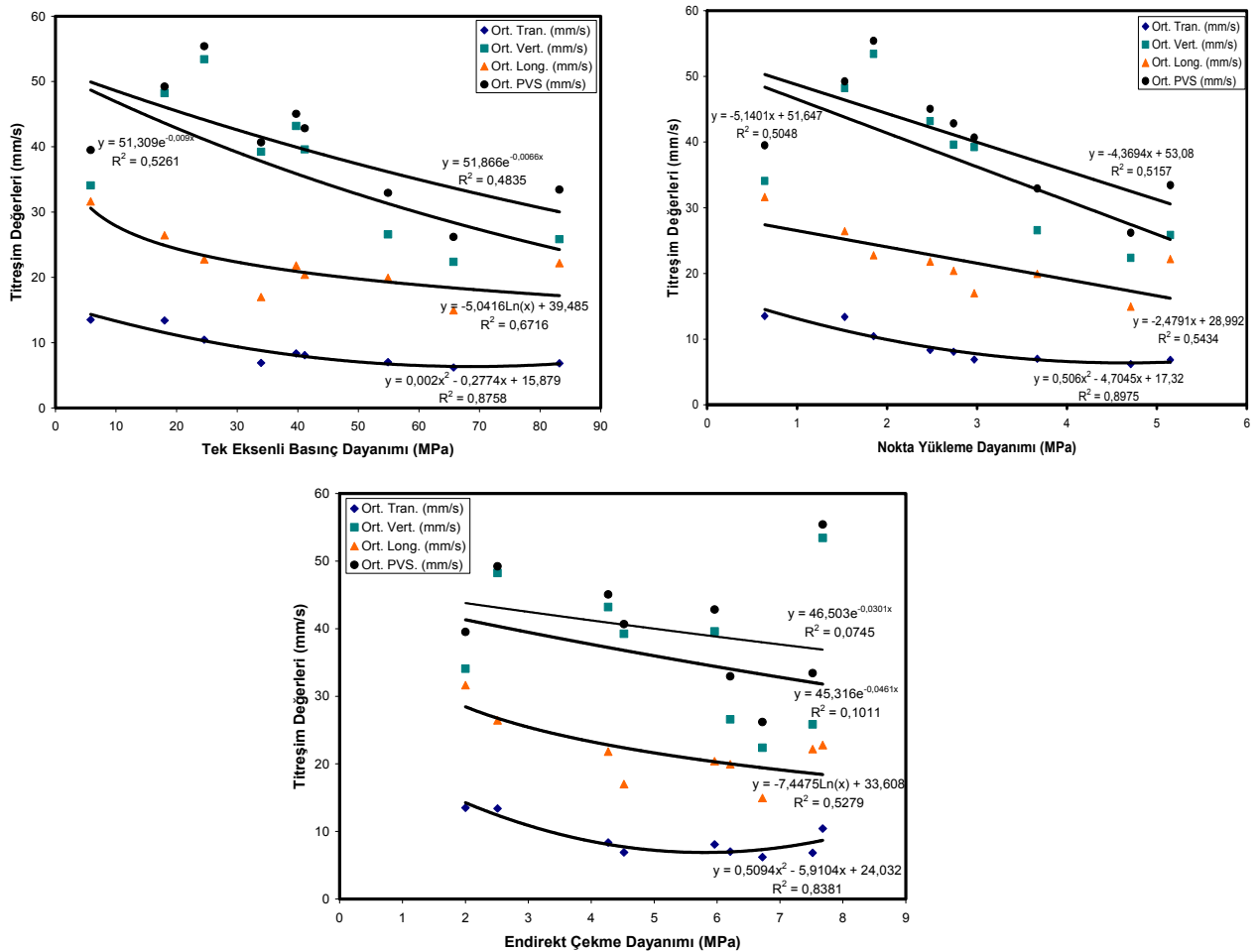
Deney sonuçları karşılaştırılırken öncelikle, kaya mekaniği deneylerinin birinci grubunda yer alan numunelerin malzeme özellik testleri (toplam porozite, sertlik, su emme kapasitesi, mineral tane yoğunluğu) ile yapay titreşim düzeneğinin 30 cm enerji seviyesinden elde edilen titreşim değerleri karşılaştırılmıştır. Deneyler sırasında numune içinde tespit edilen enine ve boyuna (transverse ve longitudinal) parçacık hareketleriyle toplam porozite, sertlik ve su emme kapasiteleri arasında oldukça “mümkün” bir ilişkinin varlığı söz konusudur. Bunun yanında kayaç içi parçacık hareketleriyle kayaç örneklerinin mineral tane yoğunlukları arasında kuvvetli bir ilişkinin varlığı tespit edilememiştir.



Şekil 6. Deney numunelerinin özellikleri ve titreşim değerleri arasındaki ilişkiler.

Bir diğer parçacık hareket türü olan düşey (vertical) titreşim hızıyla deney numunelerinin fiziksel özellikleri irdelendiğinde; toplam porozite ve su emme kapasitesi özelliğinin düşey titreşim parametresi üzerinde etkili olduğu (mümkün) görülmüştür. Titreşim deneyleri sırasında ölçülen farklı parçacık hareketlerinin (enine, boyuna ve düşey) bileşkesi olan ve “maksimum parçacık hız bileşkesi” olarak tabir edilen değerle, numunelerin toplam porozite ve su emme kapasitesi arasında da “mümkün” bir ilişkinin izine rastlanılmıştır. Bu incelemelerde kayaç sertliği ve mineral tane yoğunluğu titreşim değerleriyle bir ilişki oluşturacak sonuçlar vermemiştir.

Numuneler üzerinde yapılan ikinci grup testler; ISRM-1981 standartlarına uygun olarak yapılan kaya mekaniği testleridir. Bu testlerin (tek eksenli basınç dayanımı, nokta yükleme dayanımı, endirekt çekme dayanımı) sonuçlarıyla titreşim hızı değerleri karşılaştırılarak elde edilen grafikler Şekil 7’de görülmektedir.



Şekil 7. Deney numunelerinin mekanik özellikleri ve titreşim değerleri arasındaki ilişkiler.

Deney numunelerinden elde edilen korelasyon eşitlikleri değerlendirildiğinde; tek eksenli basınç dayanımı ve nokta yükleme dayanımının, endirekt çekme dayanımına göre daha güçlü bir korelasyon katsayısına sahip olduğu belirlenmiştir. Genel olarak bakıldığında, deney numunelerinin mekanik özellikleri ile titreşim hızı değerleri arasında ki “muhtemel” ve “mümkün” ilişkiler ters orantılıdır.

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Madencilik, tünel, baraj, yol yapımı gibi faaliyetlerin en önemli unsurlarından olan kazı işlemini, verimli ve ekonomik kılan yöntemlerden bir tanesi “Delme-Patlatma” yöntemidir. Ancak özellikle patlatma faaliyetleri sonucu çeşitli enerji türleri açığa çıkmaktadır. Bu enerjilerin bir kısmı patlatma faaliyetinin asıl amacını (parçalama) yerine getirirken, enerjinin bir bölümü istenmeyen çevresel etkilere dönüşmektedir. Bunlar hava şoku ve titreşim hareketleridir. Titreşim yayılım mekanizmasının mevcut kayaç birimleri içindeki hareket karakteristiğinin belirlenmesi, bu etkiye karşı önlem alma durumlarında maden mühendislerine yardımcı olacaktır. Bu amaca yönelik olarak yapılan bu laboratuvar çalışmasından aşağıdaki değerlendirmelere ulaşılmıştır;

Kayaç içinde oluşan titreşimden dolayı kayaç parçacıklarının enine ve boyuna titreşim hareketleri ile kayaç örneklerinin; toplam porozite, sertlik ve su emme kapasitesi değerleri arasında pozitif bir ilişki vardır. Üzerinde deney yapılan kayaç numunelerinin mineral tane yoğunluğuyla enine ve boyuna titreşim hızları arasında ise herhangi bir ilişkiye rastlanılmamıştır.

Düşey titreşim hareket hızı ve bütün titreşim (enine, boyuna ve düşey) değerlerinin bileşkesi olan ve “maksimum parçacık hızı bileşkesi” olarak isimlendirilen değerler ile numunelerin malzeme özellik değerleri irdelendiğinde, toplam porozite ve su emme kapasitesi özelliğinin bu titreşim parametreleri üzerinde etkenliğinin “mümkün” olduğu düşünülmektedir. Ancak sertlik ve mineral tane yoğunluğu etken bir parametre olarak izlenmemiştir.

Kullanılan kayaç numunelerinin titreşim değerleriyle; tek eksenli basınç dayanımı ve nokta yükleme dayanımı arasındaki korelasyon katsayıları, titreşim değerleriyle indirekt çekme dayanımı arasında oluşan korelasyon katsayılarından daha güçlüdür.

Genel olarak bakıldığında, üzerinde deney yapılan kayaç numunelerinden elde edilen titreşim hızlarıyla, numunelerden elde edilen mekanik mukavemet değerleri arasında ters orantılı bir ilişkinin varlığından bahsetmek “mümkün” ve “muhtemeldir”.

KAYNAKÇA

- [1] G. G. Aldaş, Effect of some rock mass properties on blasting induced ground vibration wave characteristics at Orhaneli surface coal mine, PhD Thesis, METU, p. 113, 2002
- [2] B. Bohloli, Effect of the geological parameters on rock blasting using the Hopkinson Split Bar, Int. J. Rock. Min. Sci. v. 34, pn. 32,1997
- [3] L.V. Howkins, The reciprocal method of routine shallow seismic refraction investigations, Geophysics, 26,809-819, 1961
- [4] N. G. W. Cook, Natural joints in rock: mechanical, hydraulic and seismic behaviour and properties under normal stress. Int. J. Rock. Min. Sci. Geomech. 29, pp. 198–223, 1992
- [5] G.A. Bollinger, Blast Vibration Analysis, Southern Illinois University Press p:132, 1971
- [6] D. P. Blair, and A. T. Spathis, Attenuation of explosion generated pulse on rock masses, J. Geophys. Res. 87, pp. 3885-3892, 1982
- [7] O.S. Olofsson, Applied explosives technology for construction and mining, Sweden, p.303, 1990
- [8] Y.K, Wu, H. Hao, Y.X. Zhou, K. Chong, Propagation characteristics of blast-induced shock waves in a jointed rock mass, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, pp. 407-412, 1998
- [9] ISRM Rock Characterization Testing and Monitoring, Suggesting Methods, Oxford, 1981