

KAYALAR İÇİNDE SİSMİK P-DALGASININ KIRIK YOĞUNLUĞU İLE DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

Examination of Variation of Seismic P-Velocity with the Joint Density in Rocks

Cengiz KURTULUŞ¹, Kenan YAZAN², Maral ÜÇKARDEŞ¹ ve O. Kaptan TURAN¹

ÖZET

Sismik hızlar büyük ölçüde kayaç türü, yoğunluk, dane büyüklük ve şekli, porozite, sıcaklık, su içeriği vs. gibi parametrelerden etkilenir. Bunların dışında kayaçlar içinde bulunan kırık sistem ve yoğunluğunun da sismik hızlar üzerindeki etkileri bilinmektedir. Bu çalışmada iki farklı tipteki prizmatik kaya örnekleri içinde farklı mesafelerde oluşturulan yapay eklem dizilerinde ultrasonik puls hızı (UPH) ölçülmüş ve eklem sayıları ile (UPH) hızları arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak incelenmiş ve sonuçlar literatürdeki değerlerle karşılaştırılmıştır

ABSTRACT

The seismic velocities are greatly affected by rock type, density, grain size and shape, porosity, temperature and water content etc. In addition to these parameters, it is known the effect of joint system and density on ultrasonic pulse velocity (UPV) was measured on the artificial joints created in different distances in two different rock types and the relationship between joint rock density and UPV was investigated statistically and the results were assessed with the results found in literature.

GİRİŞ

Sismik teknikler laboratuarda ve arazide, kayaçların dinamik parametrelerini saptamak amacı ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Sismik yöntemler yeraltı madenciliğinde galeriler etrafında kırık bölgelerini oluşturan stresin yeniden yayılımını tespit etmek için kullanılmaktadır. Bu teknik açık ocak madenciliğinde patlama deliği görüntüsünü saptamada, mermer ocaklarının blok verimliliğini arttırmada ve kırılma modellerinin belirlenmesinde de sıklıkla uygulanmaktadır. Şimdiye kadar kırıkların sismik hızlar üzerindeki etkileri birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (İda et al., 1967; Gupta 1973; Wang et al., 1975; Lockner et al., 1977; Crampin 1978; Soga et al., 1978; Bumford and Nunn 1979; Idziak 1988, 1992; Idziak and Kleczek 2006a) kırık oryantasyonunu belirlemek için deneysel çalışmalar yapmışlardır. Oda (1988, 1993) kırık dizilerinin geometrisini tanımlayan kırık tensöründen kırılmış kayanın elastic modülünü hesaplamıştır. Nur and Simmons (1967), King et al., (1995), Sayers and Kachanov (1995), Sayers (2002), Gueguen (2003) kırıklı kayaların anizotropik karakterizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Kahraman (2001) altı farklı kaya türünde (ikisi granit, üçü traverten, biri mermer) sismik hız ölçümünü üç yapay ekleme uygulamış ve Vp değerlerinin yapay eklem sayısı arttıkça azaldığını belirtmiştir.

¹ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Müh. Bl. Umuttepe Yerleşkesi İZMİT-KOCAELİ.
e-mail: cengizk@kocaeli.edu.tr, maral.uckardes1@kocaeli.edu.tr, olgucankaptan.turan1@kocaeli.edu.tr

² University of Arkansas e-mail: kyazan@uark.edu

Çalışma Alanının Jeolojisi

Akveren formasyonu

Batı ve Orta Karadeniz’ de geniş yayılım sunan kireçtaşları düzeylerine Akveren formasyonu tanımlaması ilk defa Ketin ve Gümüş(1963) tarafından kullanılmıştır. Aynı birimi Altınlı(1968) Şemsettin kireçtaşı olarak ayırtlamış. MTA (1999) Akveren formasyonu adlamasını kullanmıştır. Bu çalışmada da Akveren formasyonu adlaması benimsenmiştir. Birim litolojik özelliklerine bağlı olarak engebeli bir topografya oluşturur. Kireçtaşı düzeylerinin zenginliği alanlarda sert bir morfoloji sunar (Şekil 1). Akveren formasyonu, killi kireçtaşı, marn, kireçtaşı ve kısmen karbonatlı kumtaşı düzeylerinden oluşur. Egemen litoloji killi kireçtaşıdır. İnce ve orta tabakalanma yaygındır. Kireçtaşı yüzeyleri yer yer masif veya kalın tabakalanma sunar. Beyaz, kirli beyaz veya krem tipik rengidir. Yer yer kalsit damar veya kalsit dolgu görülmektedir. Altta Peksimet formasyonu ile üstte ise Korucu Formasyonu ile konkordanslıdır. Yer yer dereceli geçiş ve üst düzeyleri izlenir. Bölgede 200-250 m kalınlık sunar. İnceleme alanında kalınlığı 150-200m dolayındadır. Birimin şelf ortamı çökeldir. Killi kireçtaşı ve mikritik kireçtaşı düzeyleri yanında kumtaşı ve marn düzeyleri türbiditik akıntılarının ve hareketli bir deniz tabanının tipik işaretidir. Birimde önceki araştırmalarda ayrıntılı peleontolojik incelemeler yapılmıştır (Altınlı 1968, Çakır 1999). Bu araştırmalarda elde edilen fosil bulgular Akveren formasyonunun Kampaniyen- Alt Lütasiyen (Üst Kretase- Eosen) zaman aralığında çökeldiğini işaret eder. Birim içinde açılan araştırma sondajlarında karot yüzdesi ve RQD değerleri orta ve iyidir. Bu değerler ve arazi gözlemleri birimin genelde iyi mühendislik özellikleri sunduğunu gösterir. Yüzeylerde ayrışma zonu kalınlığı en fazla 1.00 m dolayındadır.

Peksimet Formasyonu

Peksimet formasyonu adlaması ilk defa Çakır 1999 tarafından kullanılmıştır. Ali Kahya beldesi kuzeyindeki Peksimet tepe birim için tipik mevkiidir. Önceki çalışmalarda Peksimet formasyonu Üst Kretase yaşlı Akveren ve Şemsettin formasyonu alt düzeyi olarak tanımlanmıştır. Üst Kretase istifinin tabanını oluşturan karbonat çimentolu kumtaşı düzeyi peksimet formasyonu olarak ayırtlanmıştır. Batıya doğru incelerken aşınma veya çökmezlik etkisiyle Akveren formasyonu altında kaybolur. Akveren formasyonu altında devamlılığı olmayan ince düzeyler hainde yer yer izlenir. Birim Kumtaşı, Çakıltası, Kireçtaşı ve Marn litolojilerinden oluşmakla birlikte kumtaşı egemen litolojidir. Çakıltası genelde tabanda izlenir ve kalınlığı fazla değildir. Üste doğru orta kum boyutundaki tanelerden oluşan kumtaşı hâkimdir. Çakıl ve kum boyutundaki kırıntılar karbonat çimento ile tutturulmuştur. Daha üst düzeylerinde kireçtaşı ve marn ara düzeyleri izlenir. Açık sarı, kirli beyaz ve turuncu tipik rengidir. Tabakalanma az belirgindir. Peksimet formasyonu İzmit formasyonu üzerinde diskordan olarak yer alır. Aradaki bu ilişki Alikahya belediyesinde Peksimet tepesinin güneye bakan yamacının eteğinde tipik olarak izlenir. Üstten Akveren formasyonu ile konkordanslıdır. Konkordan ilişki yer yer dereceli geçişler halinde izlenir. İnceleme alanında Ankara-İstanbul otoyolu ile eski İstanbul yolunun kesiştiği kesimde bu ilişkiler belirgin olarak izlenir. Kalınlığı 100m dolayındadır. Üst kretase istifinin tabanını oluşturan Peksimet formasyonundaki kireçtaşı arayüzeylerinden derlenen fosiller birimin Kampaniyen-Measrihtiyen yaşında olduğunu belirtir (Çakır 1999).



Şekil 1. Yer bulduru haritası

Figure 1. Location map of the investigation area

Laboratuar Çalışması

Ultrasonik Puls Hızı Ölçümü

Ultrasonik puls hızı DT Qust 120 t test cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Bu cihazın 54 KHz frekansında alıcı ve verici transducerleri bulunmaktadır. Bu transducerlerin yüzeylerine gres yağı sürülerek kaya yüzeyleri ile temasın iyice kuvvetlenmesi sağlanır. İki transducer örnek yüzeylerine birbirleriyle aynı doğrultuda olacak şekilde bastırılarak ölçüler alınır. Bu çalışmada her ölçüm için on tekrarlı ölçüm alınmış ve bunların ortalaması nihai ölçüm olarak kabul edilmiştir. (Şekil-2).



Şekil 2. Ultrasonik puls hızı ölçümü

Figure 2. Ultrasonic pulse velocity measurement

Laboratuvar çalışması

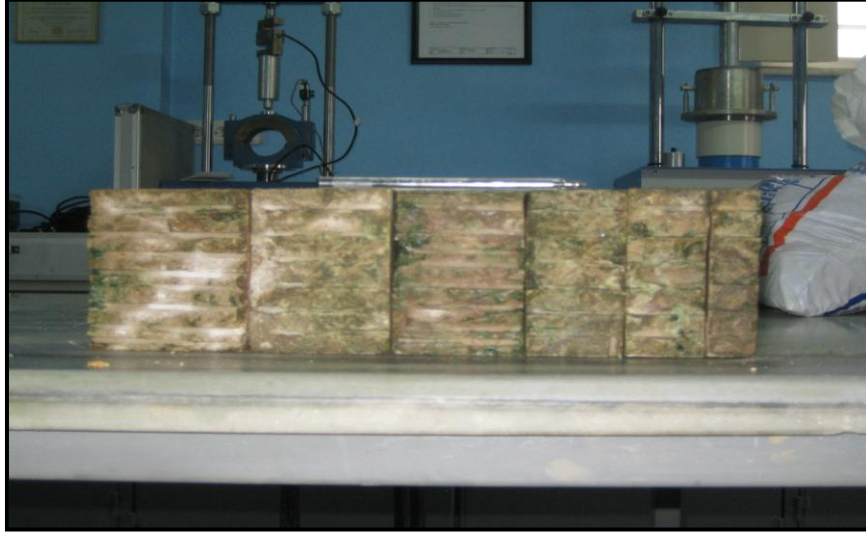
Bu çalışmada boyutları 10x10x35 cm olan biri kireçtaşı diğeri kumtaşı olan prizmatik blok kullanılmıştır. Bu blokların yoğunluğu, efektif poroziteleri, Schmidt sertliği laboratuvar ortamında hesaplanmış ve Çizelge 1’de verilmiştir.(ISRM 1981)

Çizelge 1. Kaya örneklerinin fiziksel özellikleri

Table 1. Physical properties of rocks samples

Kaya Özelliği	Yoğunluk (g/cm ³)	Efektif Porozite (%)	Schmidt Sertliği
Kireçtaşı	2.94	1.4	46-53
Kumtaşı	2.59		

Her iki örneğin ultrasonik puls hızları ölçülmüştür. Daha sonra bloklardan önce 1 cm kalınlığında blok parçaları kesilmiştir. Bu blok parçalar ana bloğa sıkıştırılarak yeniden UPH ölçülmüştür. Blok parçası ile ana bloğun temas yüzeyleri arasına gres yağı sürülerek iyi bir kuplaj sağlanmıştır. Daha sonra bloklardan 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm ve 6 cm kalınlıklarda birbirine paralel bloklar kesilmiş ve her blok ana bloğa yerleştirilerek UPH ölçümü tekrarlanmıştır. (Şekil 3).



Şekil 3. 1,2,3,4,5, ve 6, cm kalınlıklarda kesilmiş prizmatik kumtaşı blok

Figure 3. Prismatic sandstone block cut with 1, 2,3,4,5 and 6 cm of thicknesses

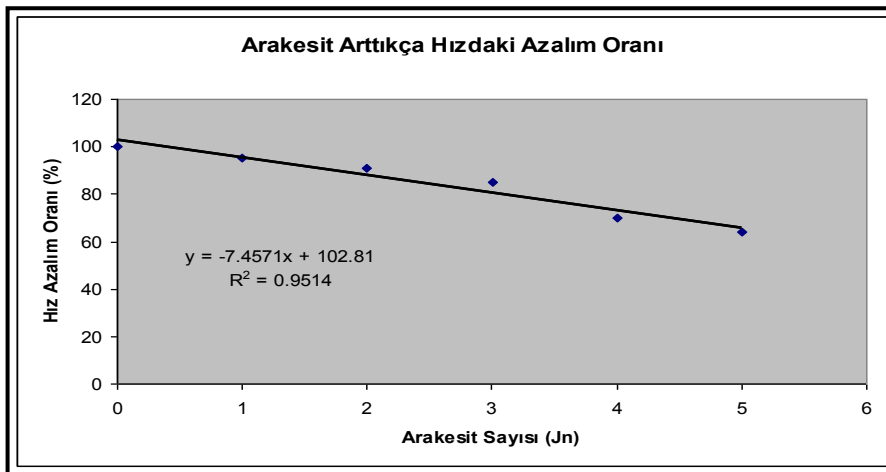
Çizelge 1’de her bir kaya örneği için UPH ve eklem sayısı ilişkisi verilmektedir. Çizelgeden görüleceği gibi her bir kaya örneği için eklem sayıları ile ultrasonik puls hızları arasında doğrusal bir ters ilişkinin olduğu gözlemlenmektedir. Eklem sayısı arttığında ultrasonik puls hızı düşmektedir.

Çizelge 2. Ultrasonik puls hızının eklem sayıları ile değişim ve azalım oranları
Table 2. Reduction and variation ratio of ultrasonic pulse velocity with the number of joints

Eklem no.	Eklem sayısı (Jn)	P dalgası hızı (km/s)	Eklem sayısının artmasıyla hızın yüzde olarak değişimi
1	0	6.172	100
	1	5.921	95
	2	5.759	91
	3	5.639	85
	4	4.045	70
	5	3.6717	61
2	0	4.8899	100
	1	4.5326	93
	2	3.0263	62
	3	2.5258	52
	4	1.5682	32
	5	1.240	25
	6	6.964	14

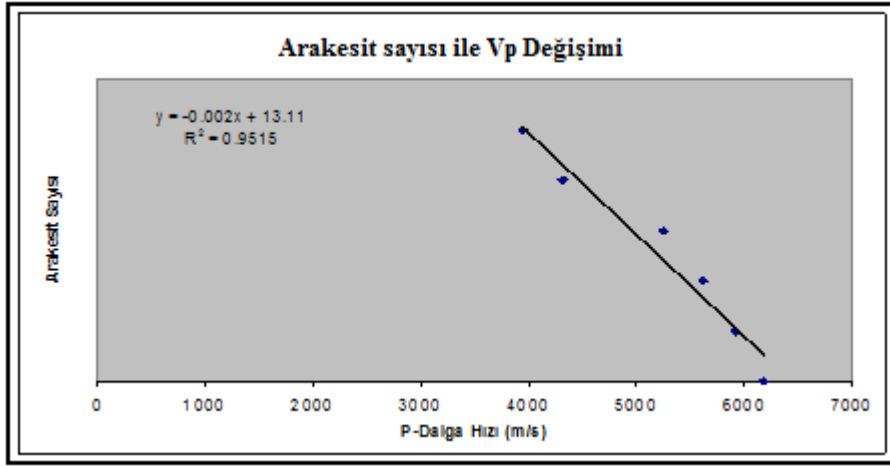
İstatistiksel Analiz

Her iki kaya tipi için ultrasonik puls hızları eklem sayıları ile en küçük kareler yöntemi kullanılarak ilişkilendirilmiş ve ilişki katsayıları hesaplanmıştır. (Şekil 4-7).



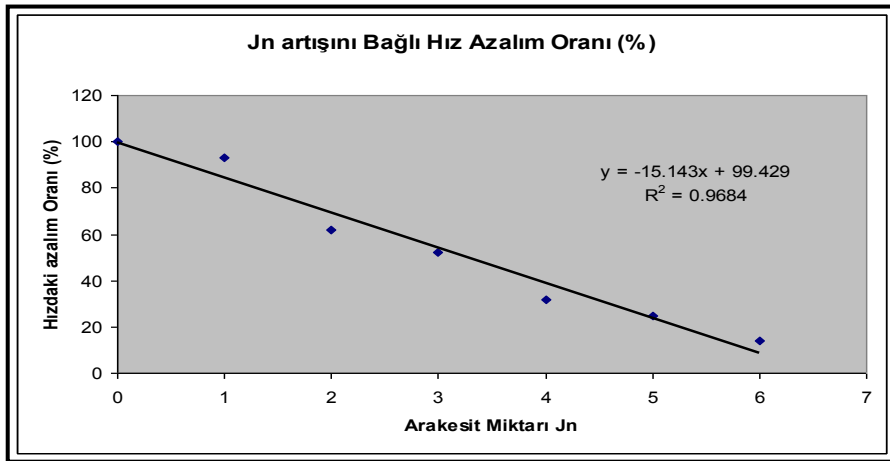
Şekil 4. Peksimet formasyonundan alınan kumtaşı örneği için eklem sayısı ile ultrasonik puls hızının yüzde azalımı

Figure 4. Reduction percentage of ultrasonic pulse velocity with the number of joints for a sample from Peksimet formation



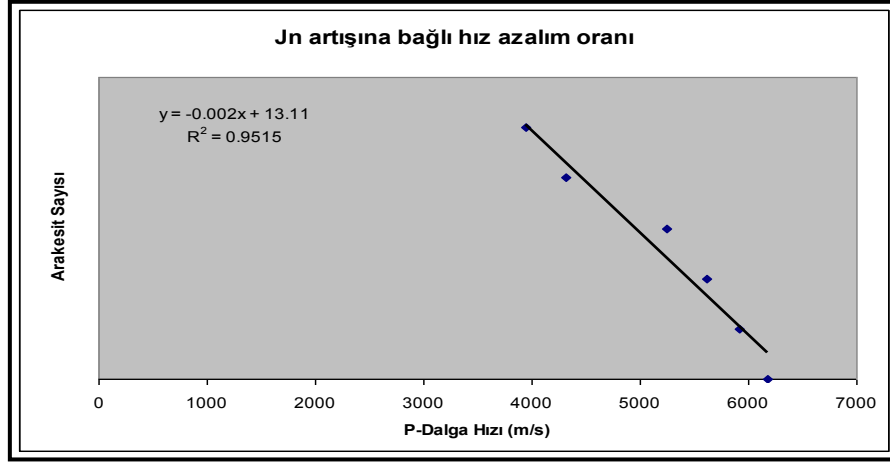
Şekil 5. Peksimet formasyonundan alınan kumtaşı örneğinde hızın eklem sayısına göre azalım grafiği

Figure 5. Reduction graphic of velocity with the number of joints for a sample from Peksimet formation



Şekil 6. Akveren kireçtaşından alınan örnek için eklem sayısı ile ultrasonik puls hızının yüzde azalımı

Figure 6. Reduction percentage of ultrasonic pulse velocity with the number of joints for a sample from Akveren limestone



Şekil 7. Akveren formasyonundan alınan kireçtaşı örneğinde hızın eklem sayısına göre azalım grafiği

Figure 7. Reduction graphic of velocity with the number of joints for a sample from Akveren formation

Şekillerde görüldüğü gibi her bir kaya çeşidi için ultrasonik puls hızı ile eklem sayıları arasında doğrusal ters bir ilişki vardır. UPH eklem sayıları ile azalmaktadır. Regresyon bağıntıları ve ilişki katsayıları Çizelge 3'de verilmektedir.

Çizelge 3. Her bir kaya çeşidi için regresyon bağıntıları ve korelasyon katsayısı

Table 3. Regression correlation equations and correlation coefficients for each rock sample

Örnek no.	Denklem	İlişki katsayısı
Kireçtaşı	$UPV = -15.143J_n + 99.429$	$r^2 = 0.9684$
Kumtaşı	$UPV = -7.4571J_n + 102.81$	$r^2 = 0.9514$

SONUÇ

Kayalar içinde hareket eden sismik hızlar, çatlak ve eklemler sistemleri ile önemli ölçüde etkilenmektedir. Eklemlerin sismik hızlar üzerindeki etkilerinin araştırılması için biri kireçtaşı diğeri kumtaşı olan iki prizmatik blok üzerinde yapay olarak eklemler oluşturulmuş ve oluşturulan eklemlerin sayıları ile ultrasonik puls hızındaki azalmalar incelenmiştir. İnceleme sonuçları ultrasonik puls hızının eklem yoğunluğu ile önemli ölçüde azaldığını ortaya koymuştur. Bulunan sonuçların kahraman (2001) ve Altındağ ve Güney (2005) sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

ALTINDAĞ, R., GÜNEY A., 2005. Evaluation of the relationships between P-wave velocity (V_p) and joint density. The 19th International Mining Congress and Fair of Turkey, IMCET 2005 Izmit Turkey, June 09.12.2005

- ALTINLI, İ.E., 1968. Geological studies of İzmit- Hereke- Kurucadağ section *M.T.A. Bulletin* **71** 1-26 (in Turkish) Ankara.
- BAMFORD, D. and NUNN, K.R. 1979. In situ seismic measurement of crack anisotropy in the carboniferous limestone of North-West England. *Geophys. Prospec.*, 27 (1), 322–338.
- CRAMPIN, S., 1978. Seismic-wave propagation through a cracked solid: Polarization as a possible dilatancy diagnostic, *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 53, 467-496.
- ÇAKIR, Ş., 2000. Geology of Demirciler-Sadıklar- Gündoğdu- Tütünçiftlik (Kocaeli) Area (Unpublished Ph.D. Thesis) Kocaeli University Natural Sciences Institute **173** İzmit.
- GUEGUEN, Y. and SCHUBNEL, A., 2003. Elastic wave velocities and permeability of cracked rocks, *Tectonophysics*, 370, 163–176.
- GUPTA, N. I., 1973. Seismic velocities in rock subjected to axial loading up to shear fracture, *J. Geophys. Res.*, 78, 6936-6942.
- IDZIAK, A., 1988. Seismic wave velocities in fractured sedimentary carbonate rocks, *Acta Geophysica Polonica*, vol. XXXVI, no.2, 101–114.
- IDZIAK, A., 1992. Seismic wave velocity anisotropy and its relation to crack orientation of rock masses. Katowice: Silesian Univ. Publishing, (in Polish with English abstract).
- IDZIAK, A. and STAN-KLECZEK, I.: 2006a. Geomechanical properties of fractured carbonate rock mass determined by geophysical methods, in: A.V. Cotthem et al (eds), *Multiphysics Coupling and Long Term Behaviour in Rock Mechanics*, Taylor & Francis, London.
- IIDA, K., SUGINO T, FURUHASHI H. and KUMAZAWA M., 1967. Elastic dilatational wave velocity in crystalline schists from Sanbagava metamorphic terrain, Shikoku, Japan, *J. Earth Sci., Nagoya Univ.*, 15, 112-147.
- KAHRAMAN S., 2001. A correlation between P-wave velocity, number of joints and schmidt hammer rebound number, *Int. J. Rock Mech. of Min Sei*, 38, 729-773
- KETİN, İ. ve Gümüş, A., 1963. Sinop-Ayancık arasında III. Bölgeye dahil sahaların jeolojisi. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Arşiv No. 288, Ankara (yayımlanmamış).
- KING, M., CHAUDHRY, N. & SHAKEEL, A., 1995. Experimental ultrasonic velocities and permeability for sandstones with aligned cracks, *Int. J. Rock Mech. Mining Sci.*, 32, 155–163.
- LOCKNER, D., WALSH J.B., and BYERLEE, J. D., 1977. Changes in seismic velocity and attenuation during deformation of granite, *J. Geophys. Res.*, 82, 5374-5378.
- NUR, A. and SIMMONS, G., 1969. Stress-induced velocity anisotropy in rock: an experimental study, *J. geophys. Res.*, 74, 6667–6674.
- ODA, M., 1993. Elastic stress and strain in jointed rock masses by means of crack tensor analysis, *Rock Mech. Rock Engng.*, 26, 2, 89-112.

SAYERS, C., 2002. Stress-dependent elastic anisotropy of sandstones, *Geophys. Prospect.*, 50, 85–95.

SAYERS, C. and KACHANOV, M., 1995. Microcrack-induced elastic wave anisotropy of brittle rocks, *J. geophys. Res.*, 100, 4149–4156.

SOGA, N., MIZUTANI, H. and SPETZLER, H. and MARTIN, R. J., 1978. The effect of dilatancy on velocity anisotropy in Westerly granite, *J. Geophys. Res.*, 83, 4451-4458.

WANG, C., LIN, W. and WENK, H.R., 1975. The effects of water and pressure on velocities of elastic waves in a foliated rock, *J. Geophys. Res.*, 80, 1065-1069.