

Metamorfik kayaların elastik anizotropisi ile deformasyon tarihçesi arasındaki ilişkiler⁽¹⁾

The relationship between the deformation history and the elastic anisotropy of metamorphic rocks²

ERDOĞAN YÜZER *Maden Fakültesi İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul*

ÖZ: Bu yazıda, laboratuvar ölçüsündeki deneysel kaya mekaniği uygulaması ile kayaların deformasyon tarihçesinin saptanabileceği üzerinde durulmuştur. 200 mm çaplı yönlü mermer küre örnek üzerinde 145 çap doğrultusunda ölçülen (V) hızları ile stereografik hız dağılım diyagramı veya mermerinelastik anizotropisi elde edilmiştir.

Diğer yönden, aynı mermerden alınan ince kesitlerdeki 225 kalsit kristalinin optik ekseni ölçülmüş ve bunlarla, C eksenlerinin stereografik diyagramı çizilmiştir. İki diyagramda elde edilen bakışlılık eksenlerinin karşılaştırılması ve makroskopik arazi verileri ile, kalsit kristallerine yönelim kazandıran en son gerilme sisteminin elastik anizotropi yolu ile kısa zamanda bulunabileceği saptanmıştır.

(1) Bu yazı Türkiye Jeoloji Kurumu 30. Bilimsel Kurultayında bildiri olarak sunulmuştur.

(2) A summary of the article follows the Turkish text.

ABSTRACT: The emphasis in this article was given to the application of experimental rock mechanics, with laboratory measurements, to establish the rock deformation history. The stereographic p-wave velocity distribution or the elastic anisotropy of a marble sphere, 200 mm in diameter, was obtained with measurements of V_p velocities at 145 varying diameters directions.

The optical axes of 225 calcite crystals was measured on thin sections taken from the same marble sample and thus stereographic orientation diagram of C-axes was drawn. By comparing the symmetry axes in these two diagrams and macroscopic field data, the latest stress pattern producing the directions of calcite crystals were established easily by determining the elastic anisotropy.

GİRİŞ

Hayaların elastik parametrelerinin ölçülmesi ya da elastik anizotropilerinin öğrenilmesi ile yer kabuğu yapısının incelenmesi jeofizikte uzun yıllardan bu yana uygulanmaktadır. Son yıllarda laboratuvarlarda yapılan benzer ölçülerle de yapısal jeolojinin önemli sorunlarının çözülmesine çalışılmaktadır.

Çeşitli köklerdeki kayaların oluşlarından sonra biçim ve şekil değiştirmelerini doğuran gerilmelerin doğrultu yön ve büyüklüklerinin bulunması, başka bir deyişle "Gerilme Sistemi" nin ortaya çıkarılması sadece bilimsel değil, ekonomik amaca yönelik çalışmaları da kolaylaştırmaktadır. Kayalara etkileyen gerilmelerin bir kısmı şekil değişiklikleri doğurarak onlara çeşitli süreksizlikler kazandırmakta, bir kısmı da potansiyel halde kalarak, yerçekimi gerilme bileşenlerine eklenmekte ve kaya mekaniğinde "Doğal Gerilme" olarak isimlendirilen gerilmeleri oluşturmaktadır. Çeşitli köklerdeki gerilmeler, kayalara şekil değişikliğine bağlı olarak anizotropik özellikler kazandırmaktadır. Bu nedenle kayaların özellikleri çeşitli doğrultularda ölçülebilir derecede değişmektedir. Arazi ve laboratuvar deneyleri sırasında ölçülen bu farklı özelliklerle şekil değişikliği, ya da deformasyona neden olan gerilme bileşenlerinin doğrultuları ve oransal büyüklükleri saptanabilmektedir. Ancak gerilmelerin kayada doğurduğu deformasyon daha sonra etkileyen gerilme sistemi ile bozulduğu, ya da maskelendiği için, bu tür çalışmalarla en son etkili olan gerilme sistemi ortaya çıkarılmaktadır. Kayaların yapısal ve anizotropik özellikleri arasındaki ilişkiler ve bunların yorumlanmasına ait çalışmalar daha önce Friedmann (1964), Brace (1965), Mc Williams (1966) ve Babuska (1968) tarafından yapılmıştır, önceki çalışmalarda, özellikle kristalleri arasında farkedilir bir yönelim bulunan gnays, şist ve mermer gibi metamorfik kayaların anizotropik davranışı ile deformasyon tarihçesi arasındaki ilişki

üzerinde durulmuştur.

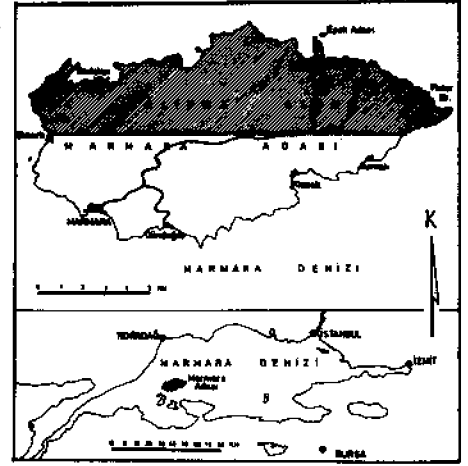
Bu yazıda, yapısal ve mekanik özellikleri 1970'den bu yana yaptığımız arazi ve laboratuvar çalışmaları ile oldukça iyi öğrenilen Marmara Adası mermerleri (şekil 1) üzerinde yapılan deneysel kaya mekaniği çalışmaları ve jeolojik yorumu üzerinde durulmuştur.

DEFORMASYON TARİHÇESİ SAPTAMA YÖNTEMLERİ

Kayaların jeolojik zamanlar boyunca kazandığı şekil ve biçim değişikliğini doğuran gerilmelerin ortaya çıkarılması başka bir deyişle "Deformasyon Tarihçesi" nin aydınlatılması amacı ile yapılan çalışmalar "Doku Analizi Yöntemleri" olarak bilinmektedir. Doku analizi yöntemleri incelenen yapı elemanının büyüklüğüne göre "Makroskopik" ve "Mikroskopik" yöntemler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Bu incelemede önemli olan, incelenen elemanın büyüklüğü değil, dağılışı, özellikle oransal yöneldir.

Makroskopik yöntemlerde, yapısal anizotropi elemanı olarak tabakalanma, yapraklanma, eklem, fay v.b. süreksizlikler ile kıvrım eksen düzlemleri gibi dolaylı olarak çıkarılan elemanlar ve gerilmelerle deformasyona uğramış çakıl, fosil v.b. gereç elemanları kullanılmaktadır. Bu elemanların diziliş düzeni, boyut ve açılarında görülen değişikliklerin değerlendirilmesi ile sonuca gidilmektedir.

Mikroskopik yöntemlerde ise, kayaların plâstik deformasyonu sırasında kazanılan dokuyu doğuran gerilmeler araştırılmaktadır. Petrotektomatik çalışmaları olarak da bilinen bu yöntemler uygulanırken anizotropi elemanı olarak, kristal sınırları, kristallografik ve optik eksenler, dilinim ve ikizlenme düzlemleri ile benzeri yüzeysel ve doğrusal belirtiler seçilmektedir. Makroskopik ve mikroskopik doku analizi yöntemlerinin uygulanmasında "Deformasyon Elipsi" veya "Deformasyon Elipsoidi" nin çıkarılması ana amaçtır.



Şekil 1: Çalışılan bölgenin buldu haritası.

Figure 1: Location map of the studied area.

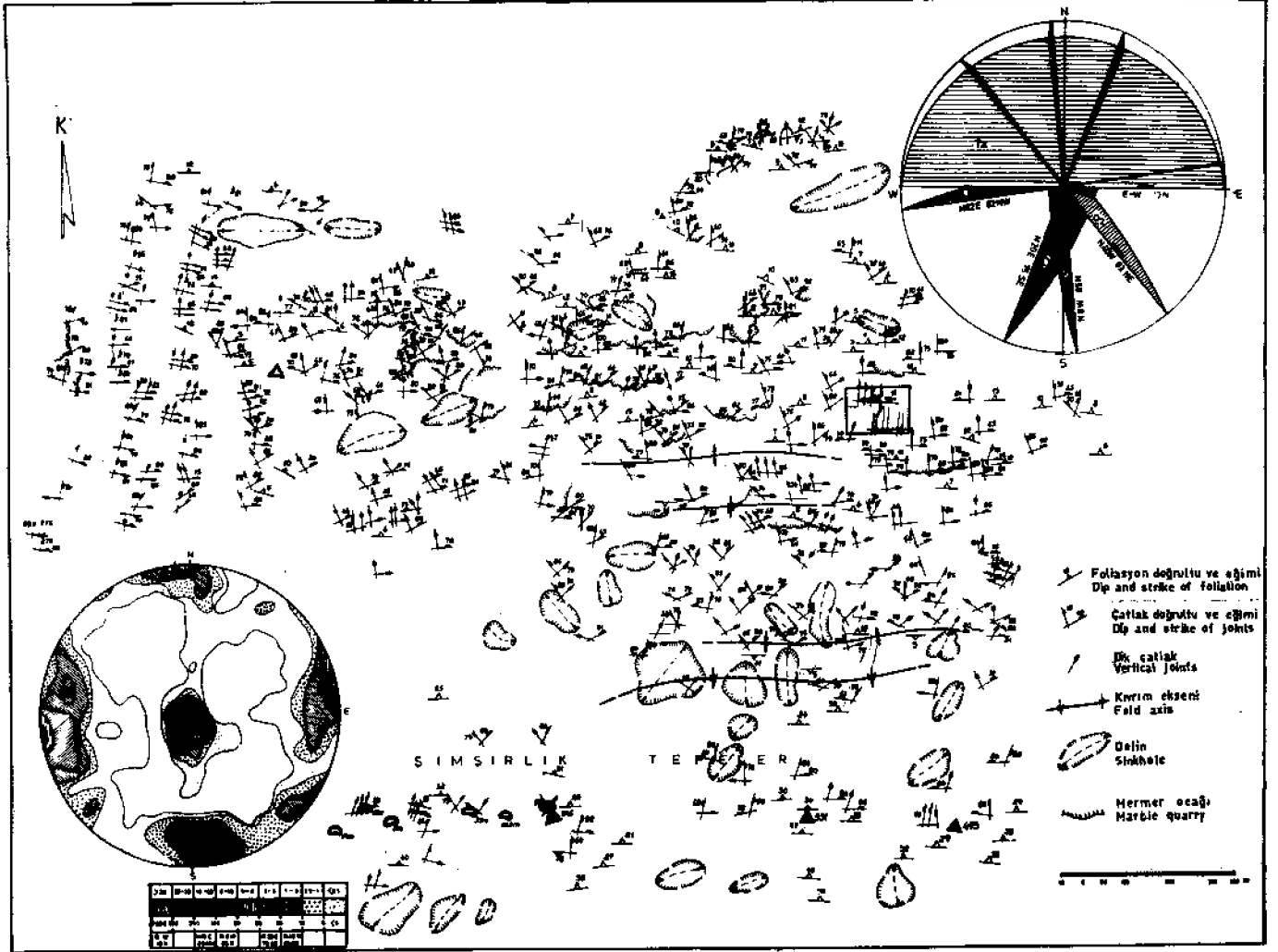
Deneysel kaya mekaniğinin gelişmesi ile aynı amaca yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Kayaların mekanik ve elastik anizotropilerinden hareket ederek, bunları doğuran gerilme sistemi çıkarılmaya çalışılmaktadır.

MARMARA ADASI MERMERLERİ ÜZERİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Türkiye'nin bugünkü blok taş üretiminin %75'nin sağlandığı Marmara Adası mermerleri çeşitli yönlerden incelenirken, mekanik özelliklerinde doğrultuya göre önemli değişiklikler saptanmış ve daha sonra bu değişiklikleri doğuran nedenler üzerinde ayrıntılı çalışmalar yapılmıştır (Yüzer, 1971 ve 1975).

Arazi Çalışmaları

Marmara Adasının kuzeyinde, mermerlerin yer aldığı alanda yapılan ayrıntılı arazi çalışması ile şekil 2'de görülen harita hazırlanmıştır. Bu harita alanı içinde ölçülen çatlaklar özelliklerine ve dağılımlarına göre türümsel olarak sınıflandırılmıştır. D-B doğrultusunda uzanan boyuna (gerilme) çatlaklar (L), K-G doğrultusunda uzanan enine (gerilme) çatlakları (T) ve KD-GB, KB-GD doğrultularında uzanan oblik (kesme)

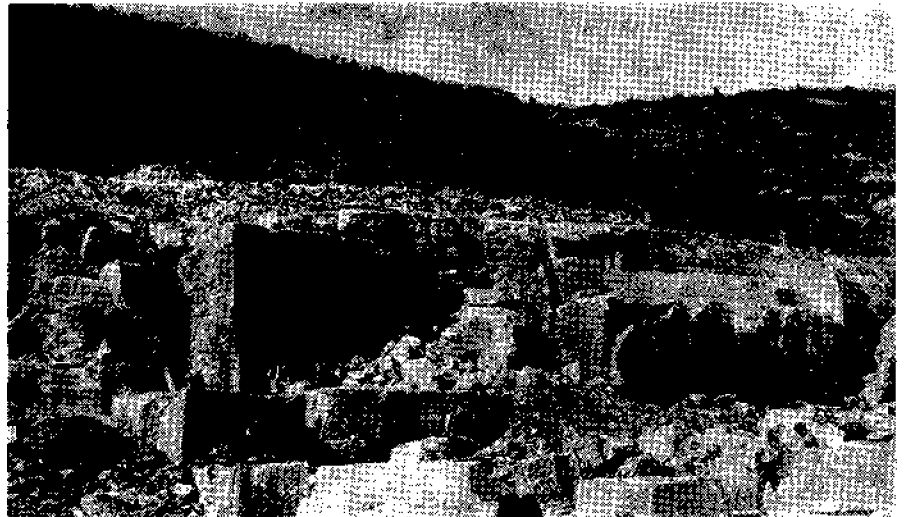


Şekil 2: Marmara Adası kuzeyindeki mermerlerin ayrıntılı yapı haritası ve çatlak diyagramları
 Figure 2: Detailed structural map and joint diagrams of marbles at the northern part of Marmara Island.

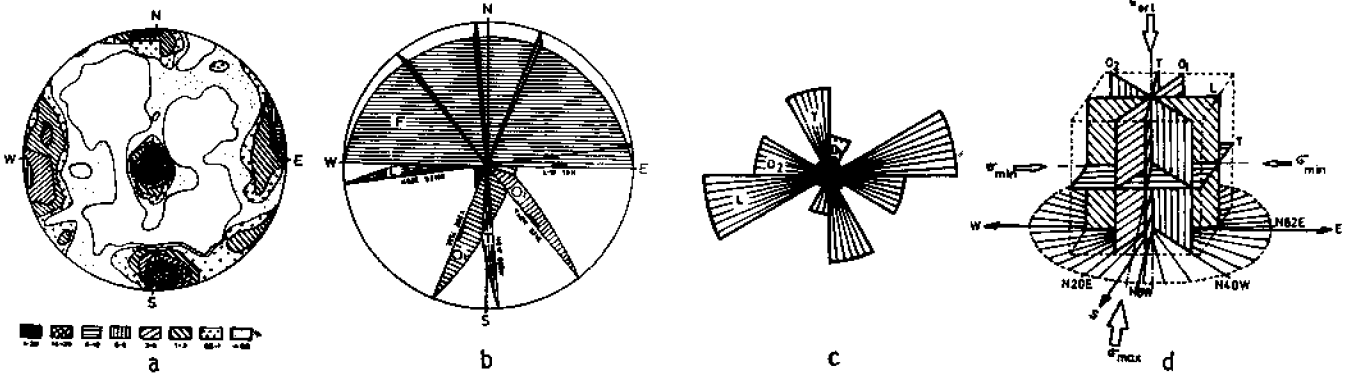
çatlaklar (Q_1 ve Q_2), şekil 3 ve şekil 4 üzerinde görülmektedir. Arazideki gözlemlere göre hazırlanan stereografik ve blok diyagramları yardımı ile bu çatlakları doğuran gerilme sistemi ortaya çıkarılmıştır. Buna göre Marmara mermerlerinde ölçülen makroskopik çatlakları oluşturan en büyük gerilmenin (σ_1), N 8 W, en küçük gerilmenin (σ_3)'de N 82 E doğrultularında etki ettiği saptanmıştır. Ayrıca, laboratuvar çalışmalarında kullanılmak üzere 30 x 30 x 30 cm boyutunda küp örnekler süreksizlik doğrultuları yerinde işaretlenerek çıkarılmıştır (şekil 5).

Laboratuvar Çalışmaları

Araziden getirilen yönlü mermer bloklarından, foliasyon düzlemine dik ve paralel doğrultuda dairesel dilim* silindir ve 12 gen prizma şeklinde deney örnekleri alınmıştır (şekil 6). Bu örnekler



Şekil 3: Marmara Adasındaki mermer ocağında D-B ve K-G doğrultusunda belirgin olarak görülen gerilme çatlakları.
 Figure 3: Apparent tension cracks in E-W and N-S directions, in a marble quarry, in Marmara Island.



Şekil 4: a) Mermerlerde ölçülen çatlaklarla hazırlanan kontur diyagramı.
 b) Kontur diyagramdaki egemen doğrultuları temsil eden çatlakların stereografik izdüşüm diyagramı.
 c) Arazide ölçülen çatlakların türümsel sınıflandırılması.
 JL: Boyuna çatlak (Gerilme çatlığı) T: Enine çatlak (Gerilme çatlığı) O_1 ve O_2 : oblik çatlaklar (Kesme çatlakları)
 d) Çatlakların şematik blok diyagramı ve bunları doğuran gerilme sistemi Q_{max} ; $N 8 W$ - $K 82 E$ min*

Figure 4: a) Contour diagram prepared from the joints measured on marbles.
 b) Stereographic projection of dominant joints.
 c) Genetic classification of joints measured in the field.
 L: Longitudinal joint (Tension joint), T: Transversal joint (Tension joint), O and O_2 : oblique joints (shear joints)
 d) Block diagram of joints and stress directions Q_{max} ; $N 8 W$, Q_{min} N82E

üzerinde mermerlerin izotropik davranışının sayısal olarak belirtilmesini amaçlayan seri deneyler yapılmıştır. 1 cm kalınlığındaki dairesel dilim örneklerin merkezlerinden küresel başlıklı

yükleyicilerle basınç gerilmeleri altında kırılması ile oluşan çatlak örnekleri düzenli olarak incelenmiş, çatlakların genellikle kristal sınırların izlediği saptanmıştır (şekil 7). Bu durum, sağlam ve kırılmış mermer örneklerinin yapıştırılmasından sonra hazırlanan ince kesitlerin karşılaştırmalı incelenmesinden açıkça anlaşılmış, böylelikle kalsit kristallerinin sınırlarının, mekanik anizotropiyi

doğuran en önemli mikro süreksizlik kaynağı olduğu öğrenilmiştir (şekil 8).

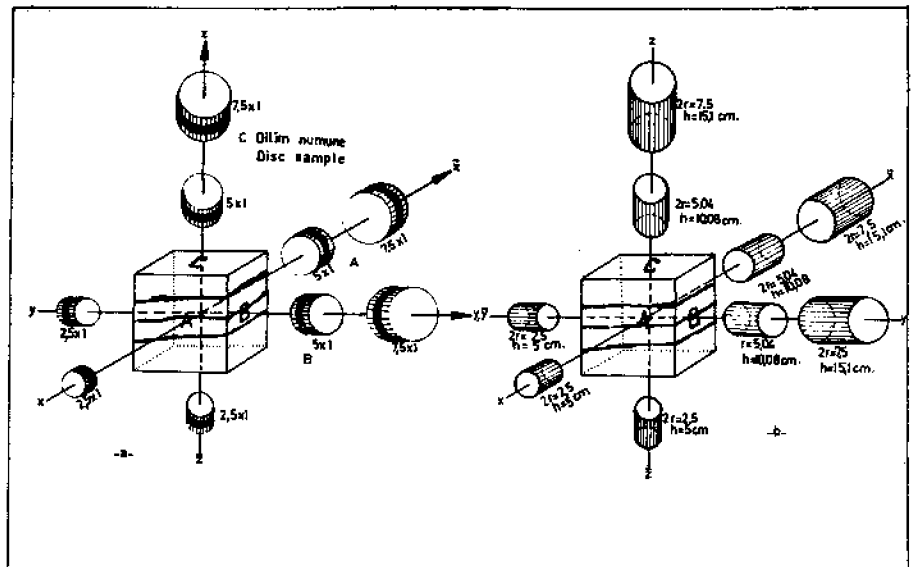
Elastik Anizotropinin Saptanması

Kristal sınırlarının elastik özellikler üzerindeki etkisini bulmak için, önce silindirik örnekler üzerinde birbirine dik üç doğrultuda, sonra aynı düzlem içinde aralarında 30° olan 6 doğrultuda P dalgası hız ölçümü yapılmıştır (şekil



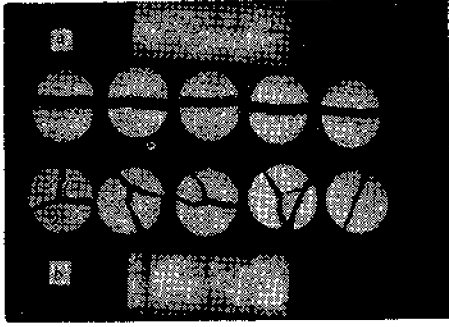
Şekil 5: X laboratuvar çalışması için alınan yönlü örneğin arazide işaretlenmesi.

Figure 5: Marking of oriented sample in the field, which is taken for laboratory studies.



Şekil 6: Yönlü arazi örneğinden laboratuvarında, çeşitli deney örneklerinin hazırlanması ve işaretlenmesi.

Figure 6: Preparation and marking of different test specimens from oriented field sample.



Şekil 7: Öairesel dilim örneklerin merkezlerinden küre başlıklı yükleyicilerle kırılması ile kristallerin anizotropik dizilişine göre gelişen kırıklar.

a) Foliasyona paralel düzlemdeki çatlaklar, b) Foliasyona dik düzlemdeki çatlakla?

Figure 7: Point load developed cracks on circular disc. Crack orientations are parallel to anisotropic crystal fabric.

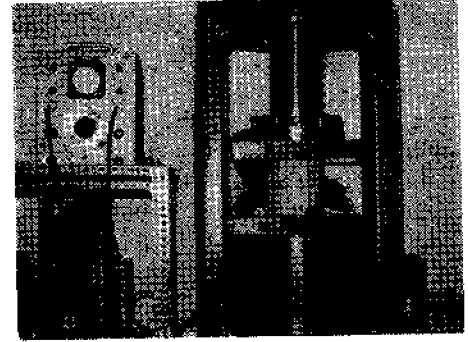
a) Cracks which are developed on the plane parallel to foliation.
b) Cracks which are developed on the plane perpendicular to foliation.

9). Bu ölçüler için 50 Hz. frekansında ultrases oluşturan kuvars kristalli dinamik oskilatör kullanılmıştır. Zaman aralığı 5-1000 μ s. olan bu aletin ölçme duyarlılığı $\approx 1/S$ dir.

Metamorfizma sırasında etkili olan gerilmelere bağlı olarak gelişen kristal sınırlarının yönelimi nedeni ile hız değerleri çeşitli doğrultularda farklı bulunmuştur. Şekil 10'da foliasyona para-

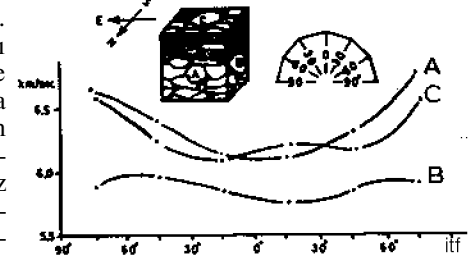
lel ve dik doğrultudaki düzlemler içinde (A, B, C), 6 doğrultuda P dalgası hızının dağılımı görülmektedir. A, C düzlemleri içinde 6.5 km/san.'den fazla, B düzlemi içinde ise 6 km/san, dolayında hız değerleri ölçülmüştür. Böylelikle kristal yönelimi ile, hız değerleri arasındaki uyum açık şekilde anlaşılmıştır. 12 gen örnekler üzerinde yapılan ölçülerle hız değişimi 30° aralıklarla ölçülebildiği için, kristal yöneliminin de ancak 30° içinde saptanabileceği doğaldır.

Daha duyarlı sonuç alabilmek için daha sık aralarla ölçü yapmak gerekmiştir. Bu amaçla yönlü mermer bloktan tornada 200 mm çapında bir küre hazırlanmıştır. Mermer kürede 15° aralıklı 12 boylam ve 12 enlem dairesinin kesişmesi ile alt ve üst yarıkürelerde elde edilen karşılıklı 145 nokta arasında, merkezden geçen doğrultularda P dalgası hızı ölçümü yapılmıştır (şekil 11). Laboratuvarımızda geliştirilen ayarlı bir örnek tutucusuna yerleştirilen küre örnek yatay ve dikey doğrultularda 15°lik aralıklarla döndürülerek istenilen doğrultu boyunca hız değerleri kısa zaman içinde bulunmuştur. Bulunan hız değerleri stereografik projeksiyon yöntemi ile ekvator düzlemi üzerine izdüşürülmüştür. 6.68 km/san.'lik maksimum, 6.15 km/san.'lik minimum hız değerleri arasından 0.10 km/san, ara ile eş hız eğrileri geçirilerek mermer küre içinde P dalgası hız dağılımı diyagramı saptanmıştır. P dalgası hızı katı cisimlerin elastik özelliklerini yansıttığı için,



Şekil 9: Ultra sonik yöntemle 12 gen örnekte karşılıklı 6 doğrultuda p-dalgası hızının ölçülmesi.

Figure 9: p-wave velocity measurement on 12-sided polyhedron along 6 mutual directions.



Şekil 10: Foliasyona dik ve paralel doğrultuda hazırlanan üç 12 gen örnekte ölçülen değerlere göre hazırlanan hız dağılım diyagramı.

Figure 10: Velocity diagram drawn with data obtained from p-wave velocity measurements on 12-sided polyhedrons prepared parallel and perpendicular to foliation.

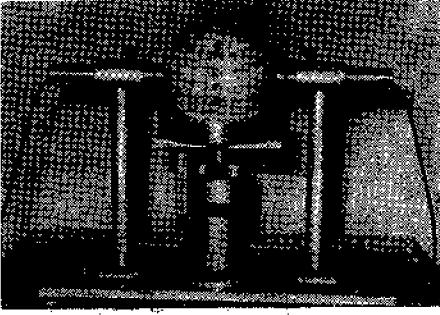


Şekil 8: a) Marmara Adası mermerlerinin mikroskopta görünüşü ((x 8)

b) Kırılmış örneklerde yapıştırıldıktan sonra hazırlanan ince kesitlerin mikroskopta görünüşü. Kırığın, genellikle kristal sınırı ve dilinim düzlemlerini izlemesi görülmektedir (x 8)

Figure 8: a) Thin section of Marmara Island Marble.

b) Thin section of Marmara Island marble taken from cracked and fixed specimen. In general, cracks develop along crystal boundaries and cleavage planes.



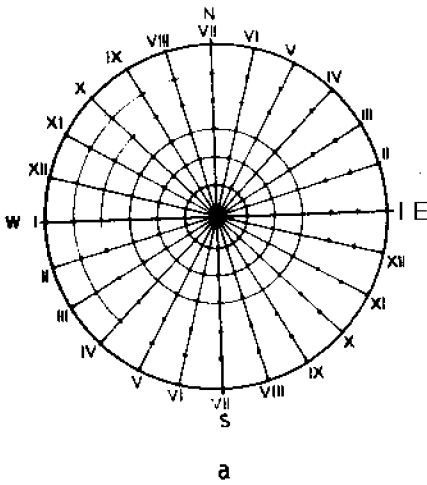
Şekil 11: Özel olarak geliştirilen ölçü sistemi ile, küresel mermer örnekte p dalgası hızı ölçümü.

Figure 11: p-wave velocity measurement on spherical marble specimen, by means of, specially designed measuring device.

elde edilen diyagram "Elastik Anizotropi Diyagramı" olarak isimlendirilmiştir (şekil 12). Bu diyagram üzerinde P dalgası hızının arazide örnek üzerinde işaretlenen doğrultulara göre N 85 E doğrultusunda maksimum, N 5 W doğrultusunda ise minimum değerler aldığı saptanmıştır. Foliasyon düzlemi içinde hızın maksimum olduğu bir kuşağın belirlenmiş olduğu diyagram üzerinde görülmektedir.

ÇEŞİTLİ YÖNTEMLERLE ELDE EDİLEN SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Kristallerin optik anizotropisi üzerinde yapılan kuramsal ve deneysel ça-



Şekil 12: a) Küresel mermer örneklerde hız ölçümü noktalarının stereografik diyagram üzerinde gösterilişi.

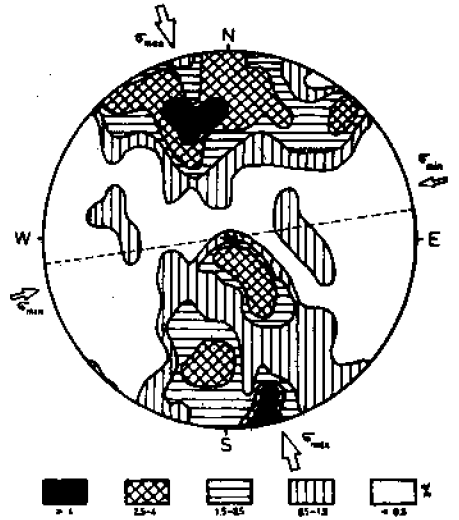
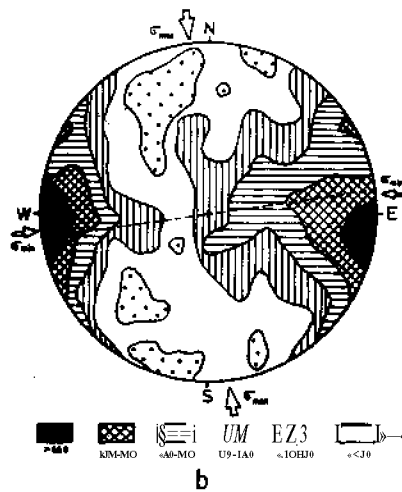
b) Ölçülen hız değerlerine göre hazırlanan elastik anizotropi diyagramı kesik çizgi foliasyon düzleminin doğrultusunu göstermektedir. Eş hız eğrileri 0.1 km./san. aralıdır.

Figure 12: a) Plot of measuring points on marble sphere specimen on stereographic diagram, b) Elastic anisotropy diagram prepared according to p-wave velocity values. Dotted line refers to foliation plane. Isoline intervals are 0.1 km/sec

lışmalarda, anizotropiyi doğuran yönelim ile en son gerilme sistemi arasındaki ilişki üzerinde oldukça yoğun çalışmalar yapılmıştır (Brace, 1965; Friedman 1964, Kamb, 1959). Bu çalışmalarda genellikle metamorf kayalar içindeki kalsit, kuvars, mika gibi minerallerin optik eksen (C eksen) konumları ölçülmektedir, izotrop özellikli kayalar için hazırlanan diyagramlarda optik eksen kutupları değişik doğrultularda dağılırken, anizotrop kayalarda bu doğrultuların dağılımında bir yığılma görülmektedir (Babuska, 1968; Mc Donald, 1960).

Bu çalışmalarda stereografik diyagram üzerine izdüşürülen optik eksen kutuplarının, doğrusal sıkışma doğrultusuna paralel doğrultuda yığıldıkları bulunmuştur. Böylelikle optik eksen ölçümleri ile gerilme doğrultularının dolaylı olarak bulunması yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde doğru bir yönelim analizi için 1000'in üzerinde, çoğun 2000-3000 mineralde optik eksen ölçümünün yapılması önerilmektedir. İncelenen minerale göre Universal tablalı mikroskopta bir optik eksen konumunun 15-30 dak. arasında ölçülebildiği göz önüne alınır, bu yöntemin uzun zaman alan yorucu bir çalışmayı gerektirdiği kolayca anlaşılabilir.

Marmara Adası mermerinden birbirine dik 3 doğrultuda hazırlanan 3 ince kesit üzerinde seçilen 225 kalsit kristalinde optik eksen ölçümü yapılmış ve elde edilen sonuçlara dayanarak bir ste-

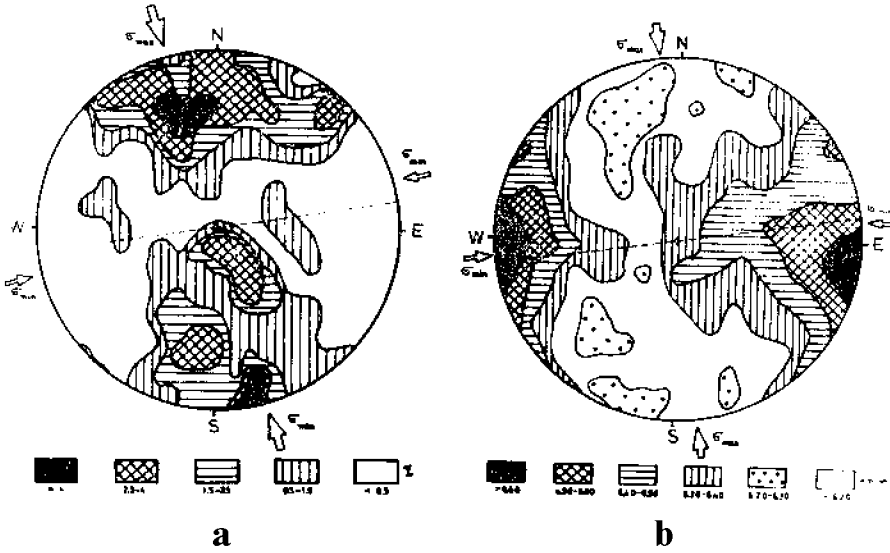


Şekil 13: Mermerlerde 3 doğrultuda alınan ince kesitlerin U tablalı mikroskopta incelenmesi ile bulunan optik eksen (C) doğrultularına göre hazırlanan yönelim diyagramı.

Figure 13: Orientation diagram of C-axes. Measurements have been made with universal stage on three mutually perpendicular thin sections.

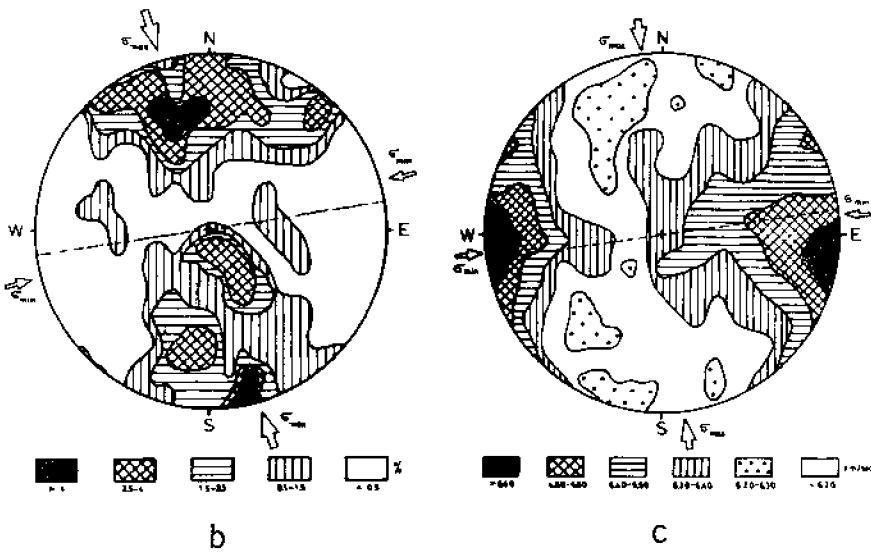
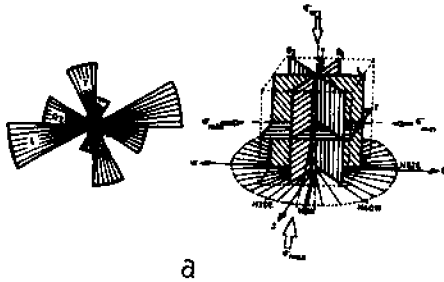
reografik yönelim diyagramı çizilmiştir (şekil 13). Yukarıda verilen bölümlere göre bu diyagram yorumlandığında, kalsit kristallerinin yönelimini doğuran en son etkiyen maksimum basınç gerilmesinin yaklaşık olarak N 15 W doğrultusunda olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 12 ve şekil 13 yanyana incelendiğinde (şekil 14), bu iki stereografik diyagram üzerinde görülen bakışlı dağılım arasında yaklaşık olarak 90° lik bir açı farkının bulunduğu görülmektedir. Bu sonuca göre, elastik anizotropi diyagramının, 90°lik bir döndürme ile optik eksen yönelim diyagramı yerine kullanılabilmesi, böylelikle elastik anizotropi diyagramında hız minimum olduğu doğrultu ile en büyük gerilme doğrultusunun bulunabileceği sonucuna varılmıştır. Şekil 15'de arazideki gözlemlerle elde edilen makroskopik verilere göre bulunan gerilme doğrultuları ile, petrotekonik analiz ve elastik ve anizotropi diyagramlarından elde edilen gerilme doğrultuları toplu olarak görülmektedir. Elastik anizotropinin sayısal olarak belirlenmesi ile saptanan gerilme doğrultularının diğer iki yöntemle elde edilenlerle çok iyi bir uyum halinde olduğu bu şekillerin karşılaştırmalı incelenmesinden açıkça anlaşılmaktadır.



Sekil 14: Optik eksen yönelim diyagramı (a) ve elastik anizotropi (b) diyagramlarındaki bakışımılığa göre saptanan gerilme (σ_1 ve σ_2) doğrultuları.

Figure 14: Stress directions (σ_1 and σ_2) determined according to symmetry on C-axes orientation diagram (a) and elastic anisotropy diagram (b).



Sekil 15: Marmara mermerlerinde makroskopik (a) mikroskopik (b) ve deneysel ölçüler (c) ile bulunan gerilme doğrultularının uygunluğu.

Figure 15: Correlation of stress directions determined by means of field observations (a), microscopic (b) and experimental measurements (c), made on Marmara marbles.

SONUÇ

Kayaların içindeki kristal sınırı şeklindeki mikrosürekisizliklerden hareket ederek geliştirilen elastik anizotropi ölçme yönteminin, metamorfik kayaların dokusunu kazandıran en son gerilme sistemini aydınlatmada başarı ile kullanılabileceği Marmara mermerleri üzerinde yapılan deneysel kaya mekaniği çalışması ile saptanmıştır. Bu yöntemin doku analizinde kullanılan ve çok uzun zaman alan diğer yöntemle aynı sonucu verdiği örneklerle ortaya konmuştur.

KATKI BELİRTME

Yazar, kalsit kristallerinin optik eksen konumlarını U-tablı mikroskopta sabırla ölçen Dr. İhsan SEYMEN'e değerli yardımları için teşekkürü görev sayar.

SUMMAEY

The elastic anisotropy, which is one of the essential physical parameters of rocks, determined mainly by in-situ seismic measurements has been used for many years for the assessment of the properties of the earth's crust and mantle.

in the last ten years, with the advance in experimental rock mechanics, the similar data obtained by laboratory measurements have been used for solving various structural geology problems.

Brace (1965), Mc Williams (1966), Babuska (1968) and others have shown in their research that, in metamorphic rocks, where there is an apparent preferred orientation between the minerals, there is a relationship between the elastic anisotropy and the macro and micro structural properties. This has enabled a different approach towards the establishment of determining the deformation history of rocks, which is being done by macroscopic and petroetetic methods applied in structural geology.

The assessment of the deformation history of rocks, which is being done by macroscopic and petroetetic methods applied in structural geology.

The assessment of the deformation history of rocks facilitates the solution

of some geological problems of great scientific and practical importance.

Here the relationship between the elastic anisotropy and the micro and macro structural properties of Marmara Island marbles is emphasized. The structural, physical and mechanical properties of these marbles have been determined thoroughly by our investigations since 1970.

The elastic anisotropy of these marbles was determined by measuring the p-wave velocities (V_p) at different directions, using a quartz crystal dynamic oscillator on oriented 12-sided polyhedrons, cylindrical and spherical samples.

p-wave velocities have been measured in 3 mutually perpendicular directions on cylinders and in 6 directions on 12-sided polyhedrons. By means of measuring the p-wave velocities, elastic anisotropy of the marble has been figured out. Due to the difficulty of obtaining the elastic anisotropy with measurements in a few directions, an oriented spherical sample in 200 mm. diameter was prepared. The velocities of ultrasonic waves were measured easily on this sample in 145 different diameter directions, by using a simple measuring device which was developed in the laboratory, of the Faculty of Mines, Istanbul Technical University.

The values of the velocities obtained were projected on a stereographic equal area projection and 0.10 km/sec. isolines were drawn between 6.15 km./sec. minimum and 6.68 km./sec. maximum ve-

locity values. Thus a velocity contour diagram, in other words, an "Elastic Anisotropy Diagram" was obtained.

At the same time, on thin sections from 3 mutual perpendicular planes of 225 calcite crystals the optical axis measurements were made, their orientations assessed and a "C-Axis Orientation Diagram" was prepared.

Comparing these two diagrams and the maximum and minimum distribution of the poles of the C axes of calcite, have shown that there is a close relationship between the p-wave velocity and these directions.

At the direction where the pole distribution showed a maximum, the p-wave velocity was minimum. Similarly the maximum velocity direction fell within the foliation plane and minimum accumulation of the poles. They formed an angle of around 10°.

Friedmann (1964) and other investigators have shown that, in metamorphic rocks that are usually affected by uniaxial stress, the optical axes of the calcite crystals are parallel to the maximum stress directions.

In relevance with the above-mentioned relationship, assessment of the maximum and minimum distribution directions of the p-wave velocities on oriented marble samples has demonstrated the minimum and maximum stress directions and in accordance, the latest deformation history of marbles has been established. It has been observed that the experimentally found stress directions have met in accordance with the

field macroscopic observations between 10° -15° limits.

As a result, this investigation has established that the application of experimental rock mechanics for measurement of elastic anisotropy axes is a much shorter and reliable way of determining the stress history, for use in structural geology, than the C-axis measurement technique.

Yayıma verildiği tarih: Temmuz, 1976

DEĞİNİLEN BELGELER

- Babuska, V., 1968, Elastic anisotropy of igneous and metamorphic rocks: *Studia Geoph. Geol.*, 12, 291-302.
- Brace, W. F., 1965, Relation of elastic properties of rocks to fabric: *J. Geophys. Res.*, 70, 5657-5665.
- Friedman, M., 1964, Petrofabric techniques for the determination of Principal Stress directions in rocks, *State of Stress in the earth's crust*: Elsevier, New York, 451-553.
- Kamb, B. W., 1959, Theory of preferred crystal orientation developed by crystallization under stress: *Jour. Geol.*, 67, 153-170.
- Mc Donald, G. J. F., 1960, Orientation of anisotropic minerals in a stress field: *Geol. Soc. America Mem.* 79, 1-8.
- Mc Williams, J. R., 1966, Microstructural techniques in the study of physical properties of rock: *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci.*, 6, 1-12.
- Yüzer, E., 1971, Marmara Adası Mermerlerinin mühendislik jeolojisi ve anizotropik özelliklerinin araştırılması: Tez. İ. T. Ü. Maden Fakültesi, yayımlanmamış.
- Yüzer, E., 1975, Taşlardaki mikrostrüktür süreksizliklerinin 2 ve 3 boyuttaki mekanik anizotropiye etkisi: İ. T. Ü. Araş. İsl. Müt. Hey. Proje No: 41, yayımlanmamış.