

## Kayaçlarda ayrışma ve alterasyon değişimine sayısal bir yaklaşım

Erkan BOZKURTOĞLU\*, Mahir VARDAR, Fikret SUNER

İTÜ Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

### Özet

Kayaçlar iç ve dış etmenler ile sürekli bir değişimin altında kaldıkları süreç içinde bünyelerini (maddelerini) etkileyen oluşumlara; fiziksel, kimyasal, mineralojik, petrografik, mekanik ve elastik özelliklerindeki farklı değişimler ile tepki verirler. Bu çalışmada kayaçların bünyesinde ayrışma ve alterasyona bağlı gelişen değişim, her  $P_i(x_i, y_i)$  koordinatında noktasal ve formasyon bütününde genel (alansal) tanımlanmıştır. Araştırma, ayrışma ve alterasyon etkisinde kaldığı bilinen Çanakkale ili Tuzla jeotermal sahasındaki  $70 \text{ km}^2$  lik alanda görülen kayaçlar üzerinde yapılmıştır. Çalışmada inceleme alanındaki jeolojik ve mühendislik özellikleri belirlemiş, kayaçların bünyelerindeki değişim için fiziksel ve maddesel özelliklerinden yararlanılmıştır. Maddesel (bünyesel) özelliklerin sayısal değerleri, yönlü kayaç örneklerden hazırlanan yönlü ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntülerinin ilgili yazılımlar ile bilgisayarda sayısallaştırılması ile elde edilmiştir. Bu şekilde elde edilen sayısal görüntü değerleri, kayacın alınmış olduğu  $P_i(x_i, y_i)$  koordinatındaki maddesi (bünyesi) nin sayısal değeridir ve bu, kayacın oluşumundan günümüze kadar geçirdiği tüm olayların sayısal ifadesi olarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Noktasal kayaç değişimi, Genel kayaç değişimi, Fiziksel özellik, Sayısal görüntü değeri.

### A Numerical approach to changes in rock properties by weathering and alteration

#### Abstract

The rock occurrences in different places in the world exhibit weathering-alteration processes occurred by external and internal conditions. These factors affect rocks by changing their physical, chemical, mineralogical, petrographical, mechanical and elastic properties. In this study, the numerical definition of these changes on rock body have been tried to be obtained. As the fact of that, the numerical definitions of these changes on the rock body under the control of the internal and external factors which will be more efficient than those of the verbal ones. In this study was applied in Tuzla geothermal area of  $70 \text{ km}^2$  placed in Çanakkale. And the results were obtained by using physical properties which were taken from rock samples picked up from the investigation area and image analysis data which were taken from thin section of the rock specimens. The image analysis data which exhibits the rock specimens' conditions represents the all phenomena that rock has them. At the end of this study, the numerical values' changes on the rock specimens which changes between the zero and one were determined by using their physical parameters at every  $P_i(x_i, y_i)$  coordinate. Moreover, the area identification of the rock changes at every target zone or formation was determined by using the physical properties and the image analysis values. The rock alteration values' changes between the zero and one shows that the sequence of light and heavy changes of the rock specimens.

**Keywords:** Rock alteration value, physical parameter, numerical image value.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Erkan BOZKURTOĞLU. erkan@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 62 16.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Maden Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Çanakkale-Tuzla yöresi volkanik kayaçlarında süreksizliklerin ayrışma - alterasyon olaylarına etkisinin araştırılması" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 29.12.2003 tarihinde dergiye ulaşmış, 07.04.2004 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.08.2005 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Giriş

Kayaçların oluşumlarından günümüze kadar etkisi altında kaldıkları ayrışma ve alterasyon sonucu arazideki durumlarının tanımlanıp sınıflandırılması için çeşitli araştırmacılar (Hamrol, 1961; Dearman ve İrfan, 1978; Lee, 1987; Tuğrul, 1995) farklı yöntemler önermiş ve sınıflamalar yapmışlardır. Araştırmacılar önerdikleri sınıflamalarında; kayaçların fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri ile kayacın oluşumundan sonraki değişim değerinin belirteci olan fiziksel ve kimyasal özelliklerini sıkça kullanmışlardır.

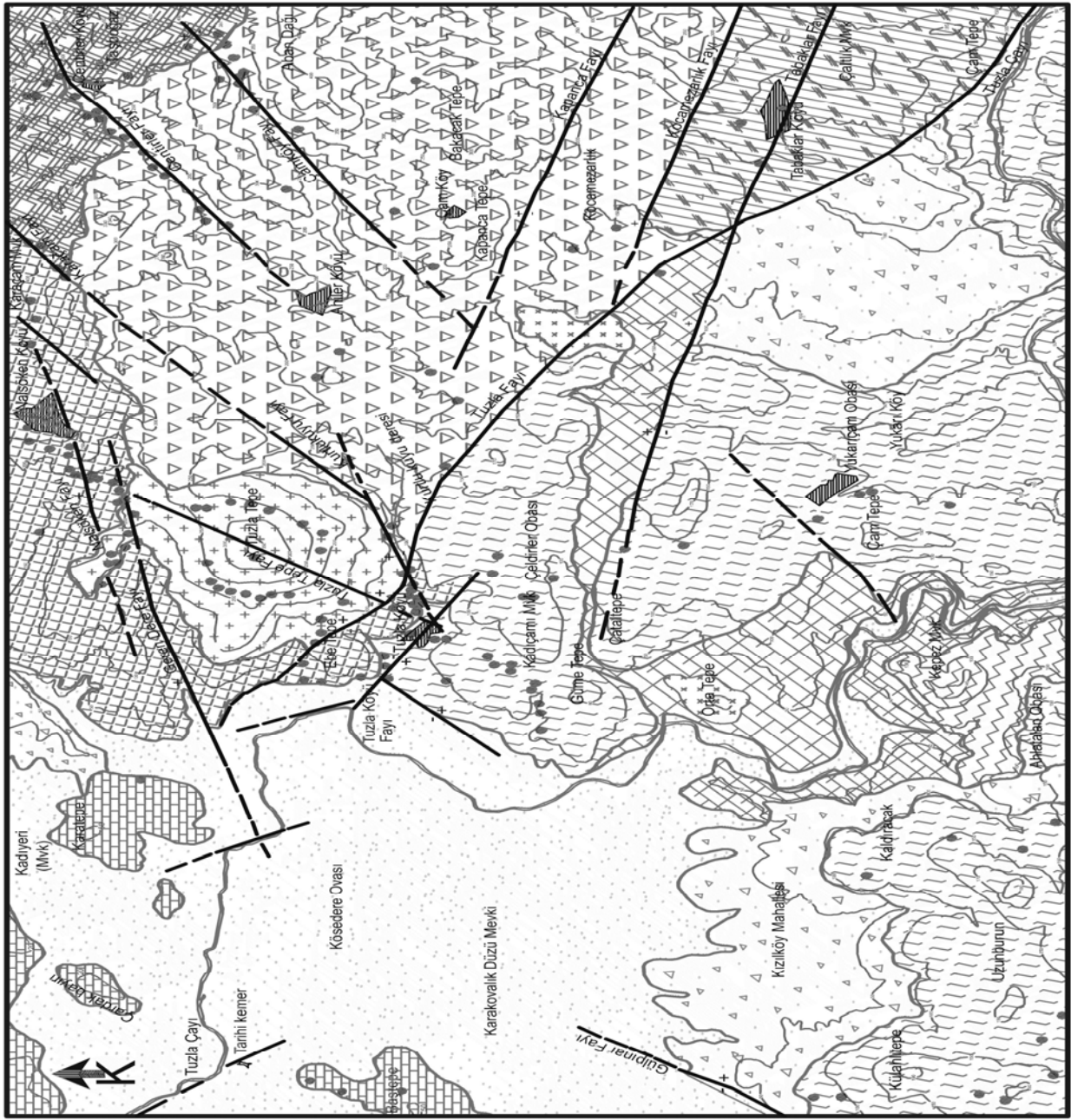
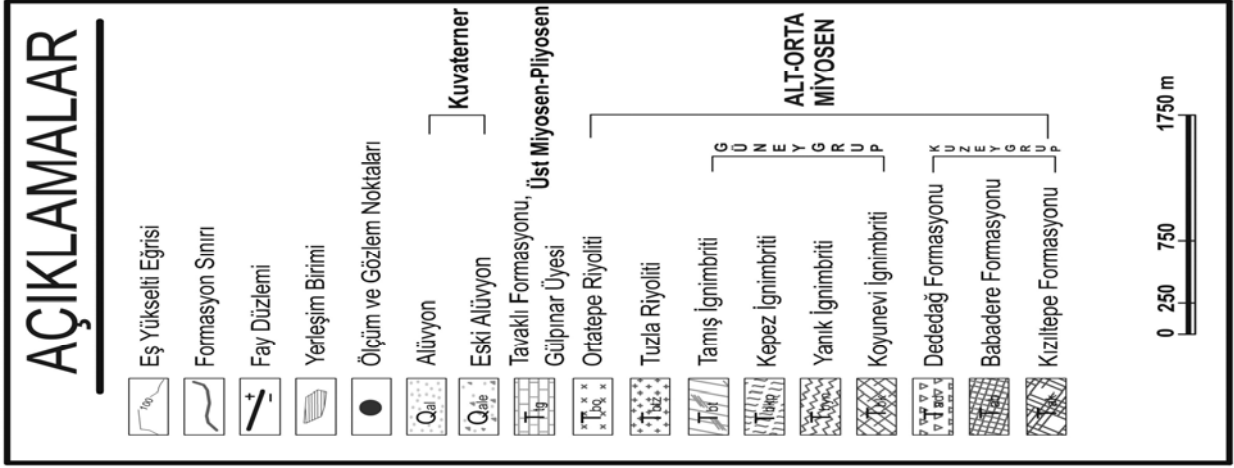
Bu çalışmada; inceleme alanındaki kayaçların mühendislik özellikleri belirlenip, ayrışma ve alterasyon ile bünyelerindeki değişimlere sayısal yaklaşım yapılmıştır. Noktasal kayaç değişimi ( $KDD_n$ ) kayaçların dane birim hacim ağırlık değerleri ile tanımlanmıştır. Alansal (genel) kayaç değişimi ise dane birim hacim ağırlık, kuru birim hacim ağırlık, doygun birim hacim ağırlık, porozite, boşluk oranı, ağırlıkça su emme değerleri ile maddesel özelliklere ait sayısal görüntü değerleri ile tanımlanmıştır. Çalışma sahası olarak, ayrışma ve alterasyon varlığı bilinen Çanakkale ili Tuzla jeotermal sahasında Kösedere ovası, Uzunburun, Çam tepe ve Centirler köyü arasında kalan 70 km<sup>2</sup> lik bir alan çalışılmıştır. İnceleme alanının jeolojik ve mühendislik özellikleri araştırılıp bölgede kayaç değişiminde etkili olmuş fay sistemleri belirlenmiştir. Fay sistemlerinin kayaç değişimindeki etkisi fiziko-mekanik deneylerle araştırılmıştır. Çalışma ile önerilen “Noktasal kayaç değişim değeri” ile kayaçların her bir noktasının değişimi, “Alansal veya genel kayaç değişimi” ile de belirli bir alandaki veya hedef bölgelerdeki kayaç değişimine sayısal yaklaşım yapılmıştır.

## Jeolojik-mühendislik özelliği

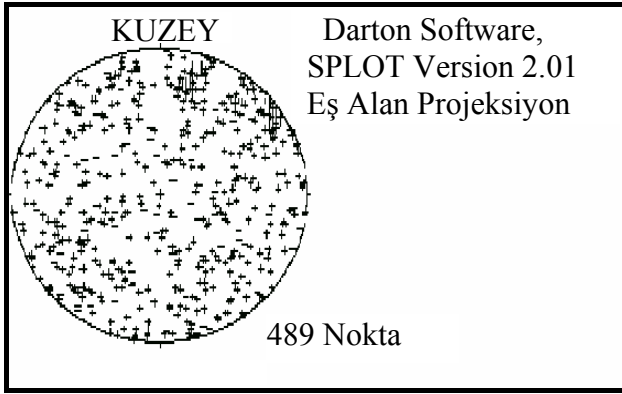
İnceleme alanının kuzeyindeki Ayvacık ile güneyindeki Balabanlı volkanik toplulukları, Kestanbol granitik kütleleri ile hemen hemen aynı süreçte gelişmiş, farklı litolojik türlerdir (Karacık, 1995). Bu iki volkanik topluluk arazide sıcak su kaynaklarının gelişimine de olanak sağlamış Tuzla fayı ile yan yana gelmiştir. Asidik-nötr karakterde olan ve Biga yarım adasında granitik faaliyetin üzerinde gelişmiş volkanik topluluğun

kuzey grubu inceleme alanında felsik bileşimli lavlardan oluşan Kızıltepe formasyonu ile başlayıp benzer bileşimli lav akıntılarında oluşan Babadere ve Dededağ formasyonlarını içerir. Güney grubu oluşturan ve Tuzla fayının düşen bloğu olan Balabanlı volkanik topluluğu asit ve ortaç bileşimli piroklastik birimlerdir. Bölgede volkanik topluluğa ait kayaçların arasında, yarım adada yer yer volkanizmanın durup sedimentasyonun geliştiği dönemdeki su ortamlarının karakteristiği olan kırıntılı çökel seviyeleri de bulunur. İnceleme alanında bu iki kayaç grubu üzerinde riyolitik-riyodasitik lav akıntıları olan ve dom şeklinde gelişmiş Tuzla ile Ortatepe formasyonu yer alır. Volkanik kayalar; stratigrafik dizilimleri, litolojileri ve bölgesel dağılımları ile birlikte değerlendirildiklerinde, bölgedeki volkanizmanın aynı kökenli olması olasıdır (Karacık, 1995). Topoğrafik yüksek kesimlerinin lav-lahar akıntılarında oluşan kuzey grup (Ayvacık volkanikleri), alçak kesimlerinin ise ignimbrit akıntılarının yoğun olarak izlendiği güney grup (Balabanlı volkanikleri) kayaçları olan çalışma alanında, çökel istif Tavaklı formasyonunun kırıntılı ve karbonatlı seviyesi olan Gülpınar üyesi ile eski ve güncel alüvyondur (Şekil 1).

İnceleme alanının mühendislik amaçlı ölçümleri; çatlak sistemlerinin tüm arazi genelinde oldukça homojen dağıldığını, başlıca K60-70D, 70-80GD; K70-80B, 60-70GB; K20-30B, 70-80GB ve K40-50B, 65-85GB yönelimlerinde daha fazla yoğunlaştıklarını göstermiştir (Şekil 2). Arazide, çatlak özellikleri ölçülmüş ve çatlak sıklığı ile açıklığı belirlenip kayaçlar sınıflandırılmıştır (Tablo 1). Kayaçlar; Deere (1963) çatlak sıklığı sınıflamasında seyrek-çok sık çatlaklı kayacı, ISRM (1981) çatlak açıklığı sınıflamasında tortul kayaç sıkı-kısmen çatlaklı, volkanik kayaçlar sıkı-çok geniş çatlaklı kayacı yansıtır. İnceleme alanında genel yayılımı oluşturan volkanik birimde minimum ve maksimum çatlak aralıklı ölçümleri sonucu oluşacak en küçük hacim 1x4x10 cm<sup>3</sup> ve en büyük hacim 5x50x200 cm<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. İnceleme alanında kayaçların maksimum çatlak sıklıkları fayların yakınında artmakta, faylardan uzaklaştıkça azalmaktadır.



Şekil 1. İnceleme alanının jeolojik haritası



Şekil 2. inceleme alanında ölçülen çatlak düzlemlerine ait kontur diyagramı

Tablo 1. Tuzla jeotermal sahasındaki kayaçlarda gelişmiş çatlak açıklık ve sıklığı

Formasyon	Çatlak Sıklığı (Deere, 1963)	Çatlak Açıklığı (ISRM, 1981)
Tavaklı	Çok sık çatlaklı	Sıkı-kısmen açık
Tuzla	Orta-aşırı sık çatlaklı	Sıkı-açık
Tamış	Sık çatlaklı	Sıkı
Kepez	Seyrek-çok sık çatlaklı	Sıkı-kısmen geniş
Dededağ	Seyrek-çok sık çatlaklı	Sıkı-çok geniş
Babadere	Orta-çok sık çatlaklı	Sıkı-kısmen geniş
Kızıltepe	Seyrek-çok sık çatlaklı	Sıkı-çok geniş

Çalışma alanında kayaçlar ayrışma ve alterasyon ile değişim geçirmiştir. Kayaçlardaki değişim fiziksel ve mekanik deneyler ile denetlenmiş ve bu özelliklerin arazi genelindeki dağılımları belirlenmiştir. Kayaçların fiziksel özellikleri TS 699 standartına, tek eksenli basınç direnci TS 2030 standartına, nokta yük direnci ASTM D 5731-95 standartına uygun yapılan deneyler ile belirlenmiştir. Kayaçların fiziksel özelliklerinden dane birim hacim ağırlık ( $\gamma_s$ ), kuru birim hacim ağırlık ( $\gamma_k$ ), doymun birim hacim ağırlık ( $\gamma_d$ ) Tablo 2a, porozite (n), boşluk oranı (e), ağırlıkça su emme ( $S_a$ ) Tablo 2b ile dane ve kuru birim hacim ağırlık değerlerinin dağılımları Şekil 3 ve 4 ile verilmiştir. Tuzla fayı ile yan yana gelen Ayvacık ve Balabanlı volkanik birimlerinde (Şekil 2) birim hacim ağırlık değeri dağılımları farklı davranış sergiler.

Tablo 2a. Tuzla jeotermal sahasındaki kayaçların birim hacim ağırlık değerleri

Formasyon	$\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_k$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )
Tavaklı	2.50	1.60	1.65
Tuzla	2.42-2.84	1.50-1.99	1.51-2.19
Tamış	2.50	1.71-1.75	1.76-1.88
Kepez	2.36-2.54	1.42-2.26	1.64-2.84
Dededağ	2.39-2.50	1.33-1.82	1.38-1.95
Babadere	2.34-2.86	1.44-2.25	1.6-2.31
Kızıltepe	2.34-2.86	1.47-1.69	1.63-1.87

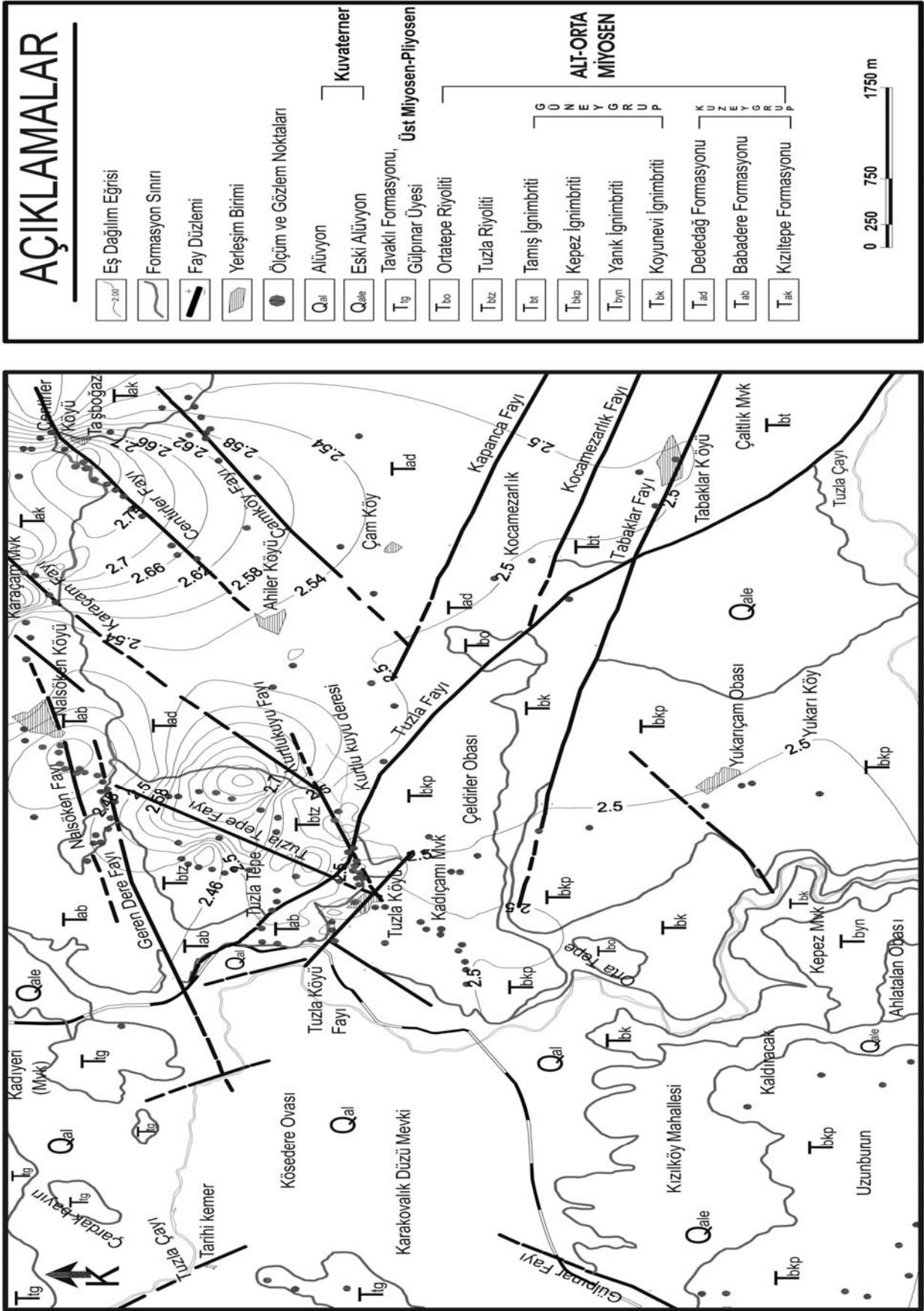
Tablo 2b. Tuzla jeotermal sahasındaki kayaçların porozite, boşluk oranı, ağırlıkça su emme değerleri

Formasyon	n (%)	e (%)	$S_a$ (%)
Tavaklı	4.58	4.81	2,86
Tuzla	0.63-39.45	0.64-65.83	0.42-23.69
Tamış	5.47-13.69	5.79-15.87	3.20-7.84
Kepez	4.36-64.81	4.56-185.37	2.56-33.88
Dededağ	0.41-26.49	0.41-36.07	0.25-15.71
Babadere	0.41-26.38	0.41-35.88	0.25-15.08
Kızıltepe	4.77-29.20	5.03-41.25	2.93-19.85

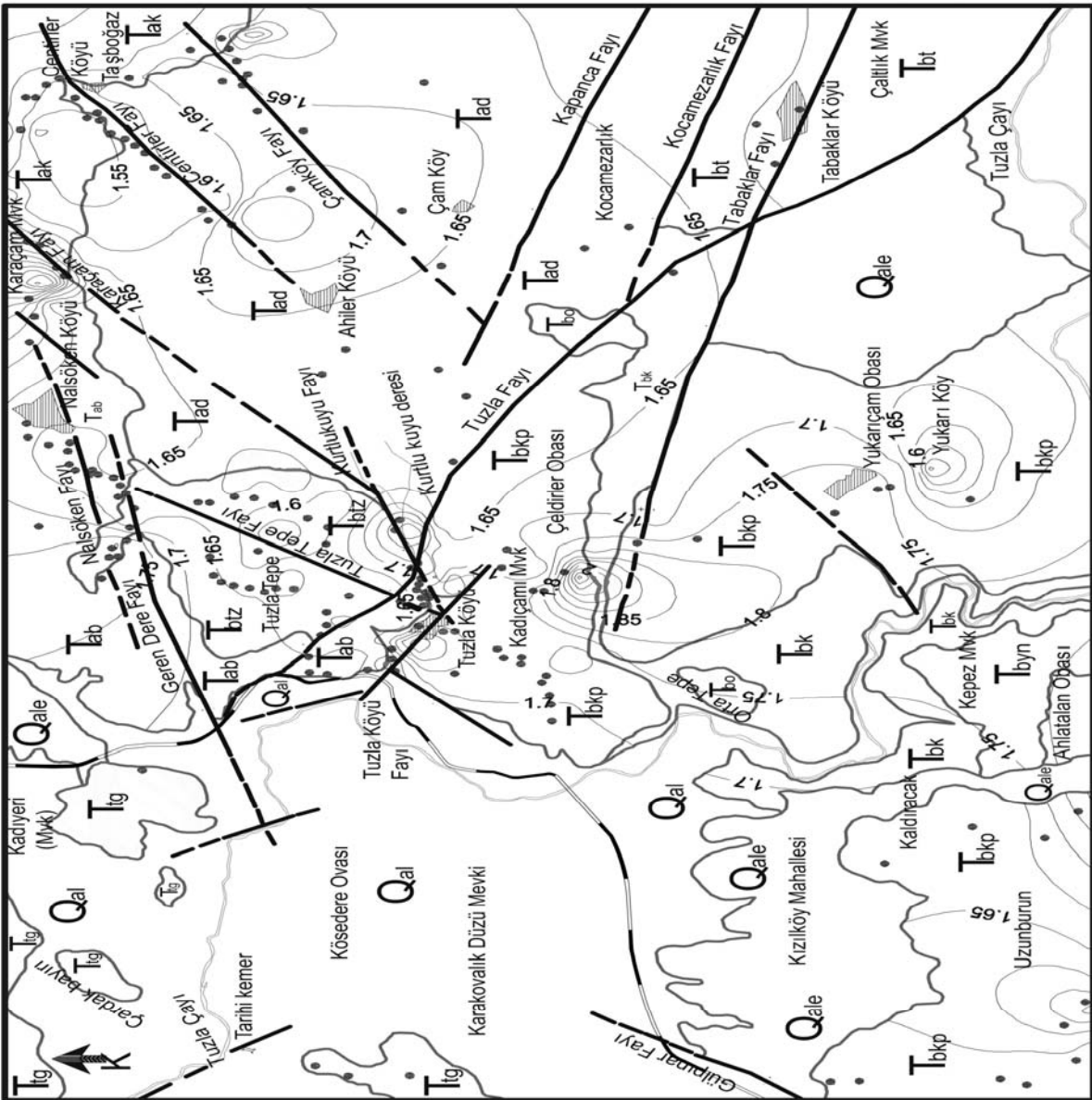
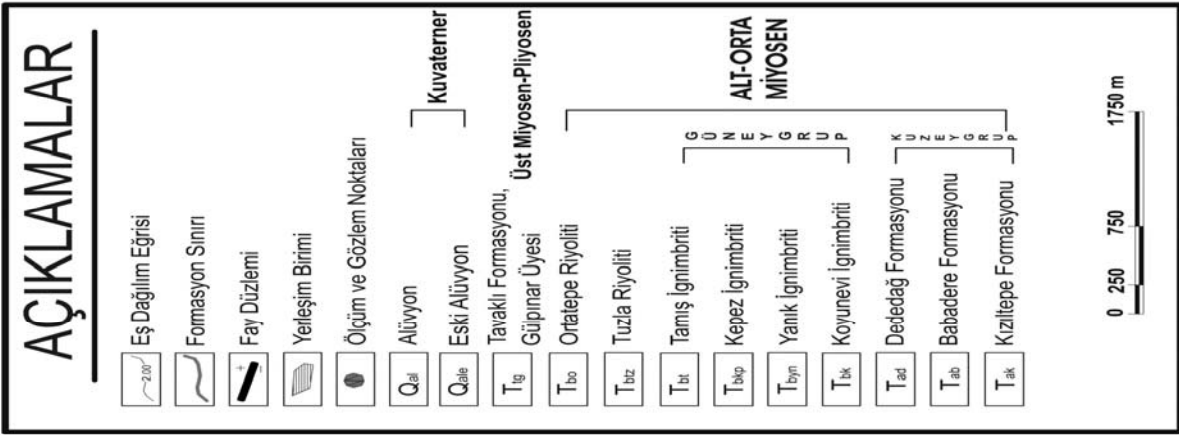
Ayvacık volkanik grubu Kızıltepe ve Babadere formasyonundaki kayaçların birim hacim ağırlık dağılımları KD-GB gidişli fayların kontrolünde değişim sunar. Ayvacık grubuna ait Dededağ formasyonu kayaçları ile Balabanlı volkanik grubu kayaçlarının birim hacim ağırlık dağılımları ise daha homojendir. İnceleme alanında kayaçların Moos-Quervain (1948) porozite sınıflaması Tablo 3'te verilmiştir. Kayaçların porozite sınıflamasındaki farklılıkları ayrışma ve alterasyon ile kayaç değişiminin tipik sonucudur.

Tablo 3. Tuzla jeotermal sahasındaki kayaçların porozite değerlerine göre sınıflandırılması (Moos-Quervain, 1948).

Formasyon	Kaya Sınıfı
Tavaklı	Oldukça boşluklu
Tuzla	Çok kompakt-Çok fazla boşluklu
Tamış	Oldukça boşluklu-Çok boşluklu
Kepez	Orta boşluklu-Çok fazla boşluklu
Dededağ	Çok kompakt-Çok fazla boşluklu
Babadere	Çok kompakt-Çok fazla boşluklu
Kızıltepe	Orta boşluklu-Çok fazla boşluklu



Şekil 3. İnceleme alanındaki kayaçların dane birim hacim ağırlık (γs) dağılımı



Şekil 4. İnceleme alanındaki kayaların kuru birim hacim ağırlık (%) dağılımı

Kayaçların tek eksenli basınç direnci değerleri<sub>b</sub>) ile tanjant elastisite modülü ( $E_{\text{tanjant}}$ ) değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Tuzla jeotermal sahasındaki kayaçların tek eksenli basınç direnç değerleri ve elastik özellikleri

Formasyon	$\sigma_b$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$E_{\text{tanjant}}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Tavaklı	24.45*	-
Tuzla	255.00-421.03*	-
Tamış	89.77	1.28x10 <sup>4</sup>
Kepez	58.00-310.73	5.76x10 <sup>3</sup> -3.43x10 <sup>4</sup>
Dededağ	127.06-488.88	1.77x10 <sup>4</sup> -5.43x10 <sup>4</sup>
Babadere	165.73-556.55	3.29x10 <sup>4</sup> -6.32x10 <sup>4</sup>
Kızıltepe	162.96-575.89	6.44x10 <sup>3</sup> -5.59x10 <sup>4</sup>

\*Nokta yük değerlerinden elde edilmiştir

Kayaçların tek eksenli basınç direnci değerleri, Deere ve Miller (1966) tarafından önerilen sınıflamada; tortul birim çok düşük dirençli, Ayvacic volkanik grubu kayaçları çok düşük-orta dirençli, Balabanlı volkanik grubu kayaçları çok düşük ve düşük dirençli, Tuzla riyolitik domu düşük dirençli kayaç sınıfındadır. İnceleme alanındaki kayaçların nokta yük direnci dağılımları Şekil 5 ile verilmiştir. Nokta yük değerlerinin dağılım yönelimleri KD-GB gidişli faylar ile uyushmaktadır. Ayvacic volkanik grubu Dededağ formasyonu ile Balabanlı volkanik grubu kayaçları, nokta yük direnci açısından arazi genelinde geniş bir kesimde homojenlik sunar. Biga yarım adasının bu iki farklı tür volkanik grubu kayaçlarının nokta yük direnci dağılımlarındaki benzerlik, Tuzla jeotermal sahasında dolaşımdaki sıcak akışkanın bu kesimlere ulaşmadığı veya buralarda etkin olmadığını gösterir.

### Noktasal ve alansal (genel) kayaç değişim değeri

Kayaçların oluşumları sırasındaki ilkel hallerinin bozulması olarak tanımlanabilen kayaç değişimi ayrışma ve alterasyon ile gerçekleşir. Mağmatik, metamorfik veya tortul kayaçlardaki esas minerallerin, süperjen (derine inen sular) etki ile değişen koşullar altında duraysızlaşması, daha duraylı ikincil minerallere dönüşmesi veya ortadan kalkması olarak tanımlanan ayrışma (weath-

ering), genellikle yeniden oluşan boşluklukla da ilişkilidir. Alterasyon ise daha geniş bir anlama sahiptir ve ortaya çıkan ürün ile tariflenir. Hem süperjen hem de hipojen (yer içinden kaynaklanan sular) olayları kapsar (Delvigne, 1998). Ayrışma ve/veya alterasyonla kayaçların fiziksel, mekanik, elastik, petrografik, mineralojik özellikleri değişir. Çalışmada; kayaçların fiziksel özelliklerinden dane birim hacim ağırlık değeri ile, kayacın  $P_i(x_i, y_i)$  koordinatındaki noktasal kayaç değişimi ( $KDD_n$ ), bu değerlerden hareketle hesaplanacak noktasal kayaç değişim oranı ( $KDO_n$ ) tariflenmiştir. Kayaçların dane birim hacim ağırlık değeri piknometre ile ( $\gamma_{s(d)}$ ) bulunur. Fakat fiziksel özelliklerden kuru birim hacim ağırlık, porozite ve boşluk oranı değerleri kullanılarak doğal ortam birim prizmasından;

$$\gamma_k = (1 - n)\gamma_s \quad (1)$$

$$\gamma_k = \frac{\gamma_s}{1 + e} \quad (2)$$

eşitlikleri ile de hesaplanabilir. Gerek (1) ve (2) eşitliklerinden formüsel ( $\gamma_{s(f)}$ ) olarak gerekse piknometre ile deneysel ( $\gamma_{s(d)}$ ) olarak bulunacak dane birim hacim ağırlık değerleri, değişimi az olmuş bir kayaçta birbirine yakın çıkacaktır. Çalışmada; deneysel ve formüsel dane birim hacim değerleri oranındaki farklılık kayaçların değişiminin göstergesi kabul edilmiş ve  $P_i(x_i, y_i)$  koordinatlarındaki kayacın noktasal değişiminin değeri ( $KDD_n$ ) eşitlik (3) ve (4) ile verildiği şekliyle tanımlanmıştır.

1. Deneysel dane birim hacim değeri ( $\gamma_{s(d)}$ ) > Formüsel dane birim hacim değeri ( $\gamma_{s(f)}$ ) ise;

$$KDD_n = \frac{\gamma_{s(f)}}{\gamma_{s(d)}} \quad (3)$$

2. Deneysel dane birim hacim değeri ( $\gamma_{s(d)}$ ) < Formüsel dane birim hacim değeri ( $\gamma_{s(f)}$ ) ise;

$$KDD_n = \left| 1 + \left[ 1 - \frac{\gamma_{s(f)}}{\gamma_{s(d)}} \right] \right| \quad (4)$$





Eşitlik (3) ve (4) ile verilen tanımlamada noktasal kayaç değişim değeri ( $KDD_n$ ) 0 ile 1 arasında değerler alır. Noktasal kayaç değişim değerinin sıfıra yaklaşan değerleri; kayacın bulunduğu  $P_i(x_i, y_i)$  koordinatında aşırı derecede değişim geçirdiğini, bire yaklaşan değerleri ise kayaç değişiminin az veya çok az olduğunu gösterir.

Çalışmada, kayaçların noktasal kayaç değişim değerleri kullanılarak, noktasal kayaç değişim oranı için de yaklaşım yapılmıştır. Noktasal kayaç değişim oranı ( $KDO_n$ ) için önerilen bağıntı eşitlik (5) ile verilmiştir.

$$KDO_n = \left[ \frac{1 - KDD_n}{1 - (1 - KDD_n)} \right] \times 100 \quad (5)$$

Bu tanımlamada paydaki terimle, kayaç malzemenin bünyesinde değişimle giden kısım, noktasal kayaç değişim değeri demek olan paydadaki terimle ise kayaç malzemenin bünyesinde değişim sonrası kalan kısım verilmektedir. Kayaçların noktasal değişim oranının belirlenmesi için önerilen (5) eşitliğinde, kayacın noktasal değişim değerinin 0.5 ten küçük ( $KDD_n < 0.5$ ) olması durumunda fiziksel tanım bulunmamaktadır.

Kayaçların  $P_i(x_i, y_i)$  koordinatlarındaki noktasal kayaç değişim değerleri ile noktasal kayaç değişim oranlarının dağılımları Şekil 6 ve 7 ile verilmiştir. İnceleme alanı kayaçlarında yukarıda önerilen (3), (4) ve (5) eşitlikleri ile belirlenmiş bu değerlerinin dağılımları ile faylar arasında yakın ilişki vardır. Kayaçlar KD-GB uzanımlı Tuzla Tepe, Karaçam, Centirler, Çamköy fayları boyunca çok kısa mesafelerde büyük değişimler geçirmiştir. Tuzla jeotermal sisteminde KD-GB uzanımlı Tuzla Tepe fayı ile KB-GD uzanımlı Tuzla fayının kesişim noktasından boşalan ana sıcak su kaynağı ile sıcak akışkanın diğer boşalım yerlerinin bulunduğu Kurtlu Kuyu Vadisi'nde kayaçların  $P_i(x_i, y_i)$  koordinatlarındaki noktasal değişim değerleri ile oranlarındaki sık değişimler Şekil (6) ve (7) de görülmektedir.

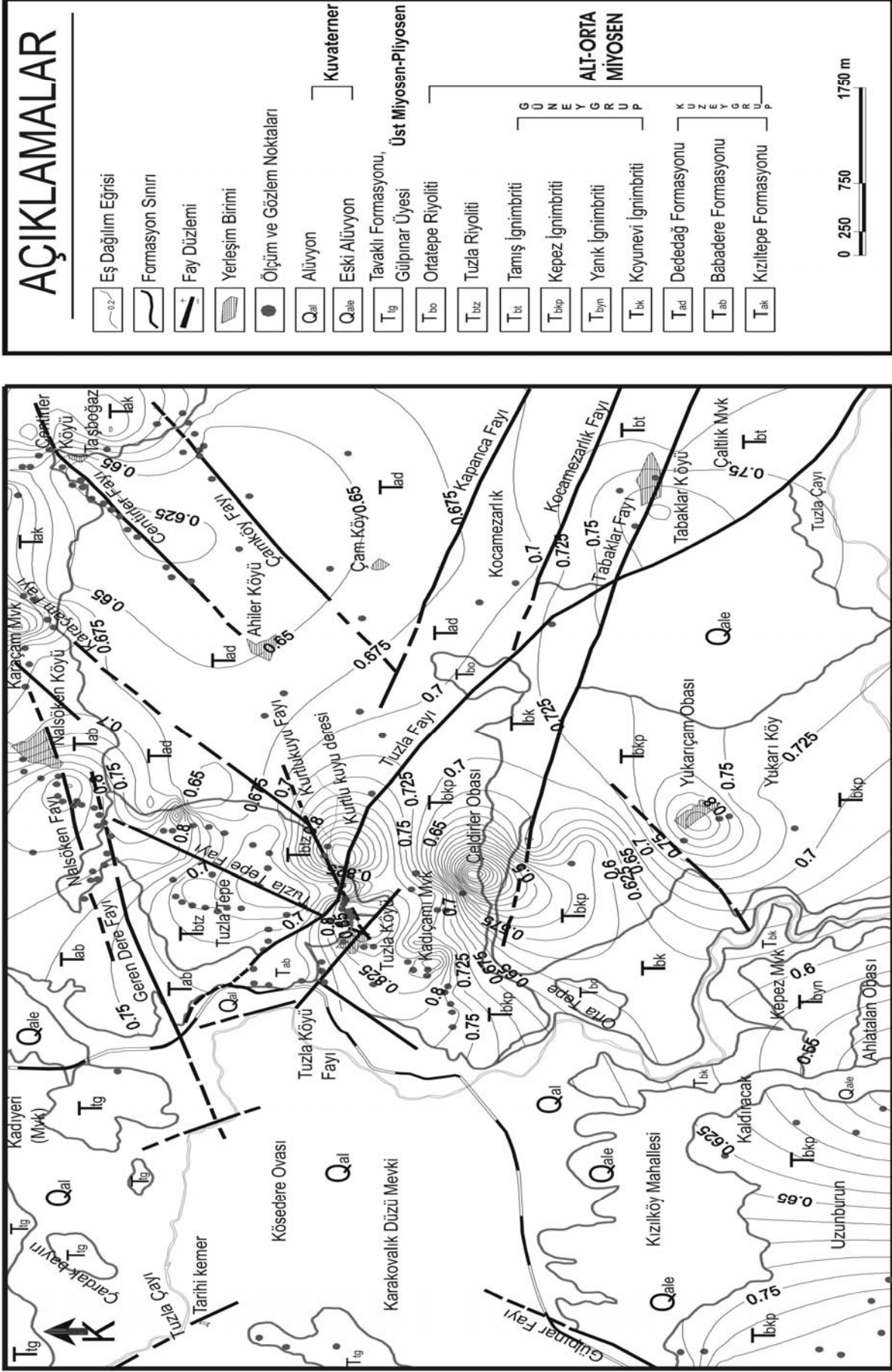
Şekil (6) ve (7) de Çeldirler obası ile Yukarıçam obası arasında fiziksel özelliklerin dağılımları

ile kayaç değişim değerleri dağılımlarındaki çizgisellik, izi arazi çalışmaları sırasında belirlenememiş bir tektonik hattın işareti olabilir.

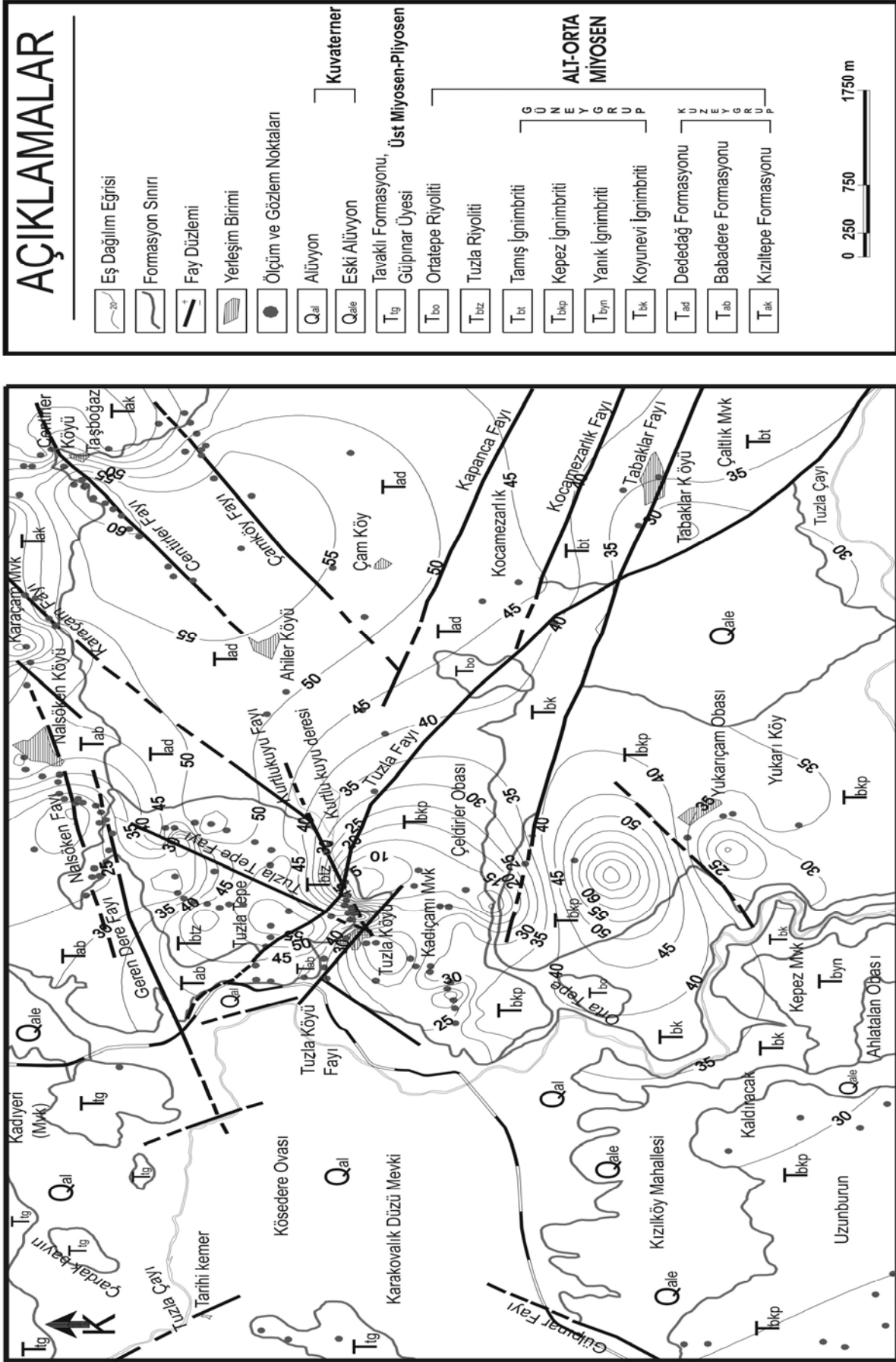
Kayaçların  $P_i(x_i, y_i)$  koordinatlarındaki noktasal değişim değerleri ile bu değerlerin yüzde ifadesi, kayaçlarda değişim dağılımının belirlenmesi ve sözel tanımlamasının yapılması için yeterli olacaktır. Fakat arazide kayaçların alansal (genel) değişiminin yorumlanması ve hedef bölgelerin birbirleri ile karşılaştırılması amaçlandığında yetersiz kalacaktır. Kayaçların alansal değişiminin sayısal ifade edilmesi farklı formasyonların veya aynı formasyon içinde farklı hedef bölgelerin birbirleri ile sayısal ilişkilendirilmesine olanak verecektir. Çalışmada; kayaçların alansal değişimi için  $P_i(x_i, y_i)$  koordinatlarında kayacın bünyesi (maddesi) nin sayısal değeri ile değişimden en çok etkilenen özelliği olan fiziksel özellikleri birlikte değerlendirilmiştir. Kayaçların bünyesine ait sayısal değerler (SGD), yönlü ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntülerinin görüntü analiz yöntemi ile değerlendirilmesiyle elde edilmiştir. Bu değerler, kayaçların oluşumlarından bu güne geçirdiği olaylar ile kazandığı özelliklerin tümüne ait sayısal ifadedir. Dolayısıyla kayacın fiziksel özelliklerine ait değerleri de içerir. Sayısal görüntü değerlerinin fiziksel özellikleri de içermesi nedeniyle bu değerler fiziksel özelliklere ait sayısal değerlere bölünerek "n" adet yeni alt veri kümeleri oluşturulmuştur. Bu veri kümeleri, kayaç bünyesine ait sayısal görüntü değerleri (SGD) içersinde fiziksel özelliklere ait değerlerin etkisinin giderildiği ham veri alt değer kümeleridir. Fiziksel özellikler ise birbirleri ile kesişen kümelerle ilişkilidir (Şekil 8).

Çalışmada kayaçların alansal değişimi; Ayvacık grubu volkanik kayaçlarından Kızıltepe, Babadere ve Dededağ formasyonları, Balabanlı grubu volkanik kayaçlarından Kepez formasyonu ve Tuzla riyolitik domu (Şekil 1) genelinde incelenmiştir.

Alansal (genel) kayaç değişim değeri ( $KDD_g$ ) nin belirlenmesinde aşağıda maddelerle açıklanan adımlar izlenir.

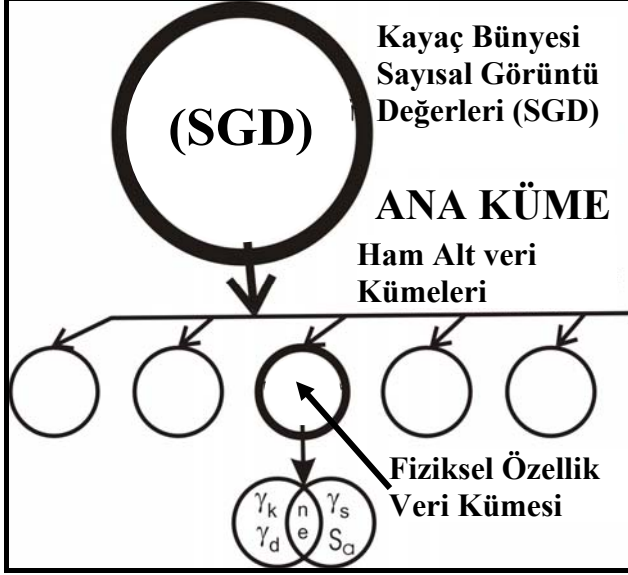


Şekil 6. İnceleme alanındaki kayaların noktasal kayma değişim değeri ( $KDD_n$ ) dağılımı



Şekil 7. İnceleme alanındaki kayaçların noktasal kayaç değişim oramı (KDO<sub>n</sub>) dağılımı

1. Kayacın  $P_i(x_i, y_i)$  koordinatındaki sayısal görüntü değerleri (SGD) fiziksel ( $\gamma_k, \gamma_d, n, e, S_a, \gamma_s$ ) değerlerine bölünür ( $SGD/\gamma_k, SGD/\gamma_d, SGD/n, SGD/e, SGD/S_a, SGD/\gamma_s$ ) ve görüntünün değerleri (SGD) ile oluşan ana veri kümesinin fiziksel özelliklerine ait ham verilerden oluşma alt veri kümeleri oluşturulur (Şekil 8).



Şekil 8. Alansal (genel) kayaç değişiminin belirlenmesinde veri kümesi ilişkisi

2. Fiziksel özelliklere ait ham verilerden oluşan alt veri kümeleri arasındaki ikili ilişkiler ( $SGD/\gamma_k-SGD/\gamma_d, SGD/\gamma_k-SGD/n, SGD/\gamma_k-SGD/e, SGD/\gamma_k-SGD/S_a, SGD/\gamma_k-SGD/\gamma_s, SGD/\gamma_d-SGD/n, SGD/\gamma_d-SGD/e, SGD/\gamma_d-SGD/S_a, SGD/\gamma_d-SGD/\gamma_s, SGD/n-SGD/e, SGD/n-SGD/S_a, SGD/n-SGD/\gamma_s, SGD/e-SGD/S_a, SGD/e-SGD/\gamma_s, SGD/S_a-SGD/\gamma_s$ ) uygun fonksiyonlar ile tanımlanır.

3. Ham veri kümeleri birbirleri ile kesişen kümeler olduğundan, iki kümenin kesişen ve kesişmeyen elemanlarını (Şekil 8) temsil edecek iki ayrı fonksiyon tanımlanır. Bunun için; ilişkilendirilen herhangi iki kümedeki elemanların maksimum ve minimum değerleri arasından geçen en yüksek dereceden fonksiyon diğer kümeler arasında araştırılır. Tanımlanacak ikinci fonksiyon ise ilgili veri kümesinin en küçük ve en büyük elemanları arasından geçen uygun fonksiyondur. Böylece iki fonksiyon ile tanımlanan kesişen iki veri kümesinin elemanları

arasındaki en büyük korelasyon katsayısı ( $R_m^2$ ) ile uygun korelasyon katsayısı ( $R_u^2$ ) belirlenir.

4. Korelasyon katsayısı değerlerinin ortalaması formasyon genelindeki eğilimi yansıtabacaktır. Fakat, kesişen veri kümelerinin uygun ve en büyük kuvvetten fonksiyonlarla tanımı, bu iki fonksiyonun korelasyon değerinin de birbiri ile ilişkilendirilmesini gerektirir. Kayaç değişim katsayısı (KDK) olarak tanımlanmış bu ilişki aşağıda (6) eşitliği ile verilmiştir.

$$KDK = \sqrt[n]{\frac{R_{u_1}^2}{R_{m_1}^2} \times \frac{R_{u_2}^2}{R_{m_2}^2} \times \dots \times \frac{R_{u_n}^2}{R_{m_n}^2}} \quad (6)$$

5. İkili veri kümelerinin en küçük ve en büyük sayısal değerleri arasından geçen uygun fonksiyonun korelasyon katsayısı değerleri ( $R_u^2$ ) o iki kümenin bir biri ile uygunluğunu gösteren ortak elemanıdır. Kümelerin ortak elemanları arasındaki korelasyonların ilişkisi Kİ aşağıda (7) eşitliği ile verilmiştir.

$$Kİ = \sqrt[n]{R_1^2 \times R_2^2 \times R_3^2 \times \dots \times R_n^2} \quad (7)$$

Yukarıda tanımlanan (6) ve (7) eşitliklerinden formasyon genelinde veya formasyon içinde belli hedef bölgeler genelinde, alansal kayaç değişim değeri  $KDD_g$ ;

$$KDD_g = KDK \times Kİ \quad (8)$$

(8) eşitliği ile hesaplanır. Alansal kayaç değişim değerleri de 0 ile 1 arasında değişir ve sıfıra yaklaşan değerler değişimin aşırılığını, bire yaklaşan değerler ise azlığını gösterir. Yukarıda verilen tanımlamalar doğrultusunda, inceleme alanında kayaçların formasyon genelinde (Şekil 1) değişiminin sayısal değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 5 de verilmiştir.

İnceleme alanında arazi genelindeki kayaç değişimi çoktan aza doğru; Kızıltepe, Tuzla, Kepez, Babadere ve Dededağ formasyonu şeklinde sıralanmaktadır. Alansal (genel) kayaç değişimi sonuçlarından, Kepez ile Babadere for-

masyonunun birbirine yakın oranda değişim geçirmiş olduğu görülmektedir.

Tablo 5. Tuzla jeotermal sahasındaki kayaçların formasyonu genelinde değişim değeri

Formasyon	KDK	Kİ	KDD <sub>g</sub>
Tuzla	0.5633	0.3494	<b>0.1968</b>
Kepez	0.8863	0.2990	<b>0.2650</b>
Dededağ	0.5819	0.5629	<b>0.3276</b>
Babadere	0.5184	0.5201	<b>0.2696</b>
Kızıltepe	0.3297	0.0988	<b>0.0309</b>

## Sonuçlar

İnceleme alanının büyük kesimini oluşturan ve kuzeyinde bulunan Ayvacık ile güneyinde bulunan Balabanlı volkanik toplulukları, Kestanbol granitik kütlesi ile hemen hemen aynı zamanda gelişmiş farklı stratigrafik düzeylerde yer alırlar. Biga yarım adasında granitik faaliyetin üzerinde gelişmiş asidik-nötr karakterdeki volkanik topluluğun kuzey grubu felsik bileşimli lavlardan, güney grubu ise asid-ortaç bileşimli piroklastik birimlerden oluşur. Volkaniklerin üstünde riyolitik-riyodasitik lav akıntıları bulunur. Bu kayaçlar etkisi altında kaldıkları etmenlerle değişime uğramışlardır. Kayaçların bünyelerinde gelişen farklılaşmalar ile değişim oranları fiziksel özelliklerden dane birim hacim ağırlık değerleri ile bulunabilir. (3), (4) ve (5) eşitlikleri kullanılarak elde edilecek kayaç değişiminin sayısal değeri sadece  $P_i(x_i, y_i)$  koordinatına aittir. Çalışılan bir arazide kayaçların noktasal değişiminin belirlenmesi sözel tanımlamalar için yeterli olabilir. Fakat kayaçların bir arada buldukları belli bir zon (hedef bölge) veya formasyonda, kayaç değişiminin sayısal ifadelerle tanımlanıp bir birleri ile karşılaştırılmasında yetersiz kalacaktır. Kayaçlardaki değişimi belli bir zon veya formasyon genelinde sayısal ifade edebilmek için arazide benzer şartlarda alınmış yönlü kayaç numulerden yönlü ince kesitler hazırlanır. Bu ince kesitlerin görüntüleri üzerinde kamera bulunan bir polarizan mikroskop ile aynı şartlar altında alınıp bilgisayar ortamına aktarılır. Bilgisayar ortamına aktarılan renkli görüntüler ilgili programlarda siyah beyaz dosya formatına çevrilerek bu dosyaların sayısal görüntü değeri

leri (SGD) bulunur. Bulunan bu değerler kayacın alınmış olduğu  $P_i(x_i, y_i)$  koordinatındaki bünyesine ait sayısal değerdir ve kayacın oluşumundan günümüze geçirmiş olduğu bütün olayların sayısal ifadesidir. Ayrışma ve alterasyon ile kayaç değişiminde değişimden etkilenen başlıca özelliklerden biri olan kayacın fiziksel özelliklerine ait deney sonuçları ile sayısal görüntü değerleri birlikte değerlendirilerek detayları yukarıda açıklanan adımlar izlenir. Bu adımlarla elde edilecek korelasyon katsayılarının (6) ve (7) nolu eşitliklerdeki değerleri hesaplanıp (8) nolu eşitlik ile kayaçların alansal (genel) değişiminin sayısal ifadesi belirlenir. Tablo 5 ile verilen sayısal değerler, yukarıda verilen yaklaşım içerisinde 0.04-0.33 arasında değişmektedir. Bu değerler inceleme alanında kayaçların ayrışma ve alterasyon sonucu aşırı değişim geçirmiş olduğunu göstermektedir. Alansal kayaç değişim verileri ile inceleme alanında arazi genelinde kayaç değişiminin çoktan aza doğru; Kızıltepe, Tuzla, Kepez, Babadere ve Dededağ formasyonu şeklinde gelişmiş olduğu belirlenmiştir.

## Kaynaklar

- ASTM D 5731-95, (1995). Standart test method for determination of the point load strength index of rock.
- Dearman, W.R. ve İrfan, T.Y., (1978). Assessment of the degree of weathering in granit using petrographic and physical index tests, International Symposium on Deterioration and Protection of Stone Monuments, Unesco, Paris, Paper. 2.3.
- Deere, D.U., (1963). Technical description of rock cores for engineering purpose, *Rock Mech. and Eng. Geol.* **1**, 16-22.
- Deere, D.U. and Miller, R.P., (1966). Engineering classification and index properties for intact rock, Air Force Weapons Lab. Tech. Report, **AFWL-TR-65-116**, Univ. of Illinois, Urbana.
- Delvigne, J.E., (1998). Atlas of micromorphology of mineral alteration and weathering, GAC, Canada.
- Hamrol, A., (1961). A quantitative classification of the weathering weatherability of rocks, Proceedings of the fifth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, **2**, 771-774.
- ISRM, Commission on Testing Methods., (1981). Rock characterization testing & monitoring,

- International Society for Rock Mechanics, ed. E. T. Brown, Pergemon Press.
- Karacık, Z., (1995). Ezine-Ayvacık (Çanakkale) dolayında genç volkanizma plütönizma ilişkileri, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Lee, S.G., (1987). Weathering and geotechnical characterization of Korean granites, *PhD Thesis*, Imperial College, Univ. of London.
- Moos, A.V. and Quervain, F.De., (1948). *Technische Gesteinkunde*, Verlag Birkhauser, Basel.
- TS-2030, (1975). Kayaçların elastisite modülünün ve poisson oranının tek eksenli basma deneyi ile tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS-699, (1982). Tabii yapı taşları muayene ve deney metotları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Tuğrul, A., (1995). Niksar yöresindeki bazaltların mühendislik özelliklerine ayrışmanın etkileri, *Doktora Tezi*, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.