



DEÜ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
FEN ve MÜHENDİSLİK DERGİSİ
Cilt: 7 Sayı: 2 s. 57-73 Mayıs 2005



ZİGANA TÜNELİ–GÜRGENAĞAÇ (TRABZON) ARASINDA YER ALAN KAYA BİRİMLERİNİN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

(ENGINEERING GEOLOGICAL ASSESSMENT OF THE ROCK UNITS PLACED BETWEEN ZİGANA TUNNEL AND GÜRGENAĞAÇ (TRABZON))

Mehmet Yalçın KOCA*, Ahmet Turan ARSLAN, Fikret TARHAN*****

ÖZET/ABSTRACT

Bu çalışma, Zigana Tüneli Gürgenagaç, Hamsiköy, Dikkaya, Güzelyaylaköy (Trabzon) yerleşim birimleri ve devlet karayolu çevresinde ileride yapılacak olan yapılaşmalar için bölgede yüzeleyen kaya birimlerinin kaya kütle özelliklerini araştırmayı ve mühendislik uygulamaları açısından bir görüşü oluşturmayı amaçlar. Yerleşim birimleri ve yakın civarında yüzeleyen mevcut kaya birimleri alttan üste doğru sırasıyla Jura yaşlı Berdiga Formasyonu'na ait sipilitik bazaltlar ve kalın katmanlı kireçtaşları, Üst Kretase yaşlı Hamsiköy Formasyonu'na ait andezitik tüfler ve Tersiyer yaşlı Dikkaya Formasyonu'na ait dasitlerdir. İnceleme alanındaki kaya birimlerinin fiziko-mekanik özellikleri ve kaya süreksizliklerinin jeoteknik araştırması sonucunda Jeomekanik Kaya Kütle Sınıflaması (RMR) için veriler elde edilmiştir. Bu çalışmada RMR sisteminin tercih edilme nedeni, RMR değerinin kayaçların taşıma gücünün hesaplanmasında da kolaylıkla kullanılabilir olmasıdır. RMR sistemine göre dasitler, bazaltlar ve andezitik tüfler “iyi kaya”, kalın katmanlı kireçtaşı birimi ise “çok iyi kaya” olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca kaya kütlelerinin tek eksenli sıkışma dayanımları ve deformabiliteleri kütlelerin düşey gerilmeler altındaki dayanımını anlamak için belirlenmiştir. Gerilme koşulları altında kaya kütlelerinin davranışının belirlenmesi için Hoek vd. tarafından önerilen eşitlikler ve “RockLab-1” adlı bilgisayar programı bu çalışmada kullanılmıştır (Hoek vd., 2002). Kaya kütlelerinin deformabilite sınıflamasına göre, bazalt, dasit ve andezitik tüfler “orta”, kireçtaşı birimi ise “çok düşük” deformabiliteye sahip kaya olarak sınıflandırılmıştır.

This study aims to determine and evaluate the rock mass characterisation of the rocks exposed in the settlement areas Hamsiköy, Dikkaya, Gürgenagaç, Güzelyaylaköy and Zigana Tunnel for buildings construction in future and from the point of the engineering works. Rock units settlements areas their surrounding are exposed in Güzelyayla spilitic basalts of Jurassic aged, thick bedded limestone's of Jurassic aged with Berdiga Formation andesitic tuffs of Upper Cretaceous aged with Hamsiköy Formation, and dacites of Tertiary aged with Dikkaya Formation from base to the top respectively. At the end of the geotechnical investigation of the rock discontinuities and the physomechanical properties of the rock units in the study area, data for the geomechanic rock mass classification (RMR) are obtained. The cause of the RMR system preferred in this study, RMR values is to be useable in the calculation of bearing capacity of rocks. According to the RMR system, basalts, dacites and andesitic tuffs are classified as “good rocks” and thick bedded limestone is classified as “very good rock”. Additionally, uniaxial compressive strength and deformability of the rock masses were determined to know the strength against to the vertical stresses. For determining to the behaviour of the rock masses under the stress conditions, the equations suggested by Hoek et. al. and RockLab-1 software were used in this study. According to the classification of deformability of the rock masses, basalts, dacite, and andesitic tuffs were classified as “medium”, limestone unit was classified as “the rock with very low deformability” (Hoek et al., 2002).

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Kaya kütle özellikleri, Taşıma gücü, Deformabilite
Rock mass properties, Bearing capacity, Deformability

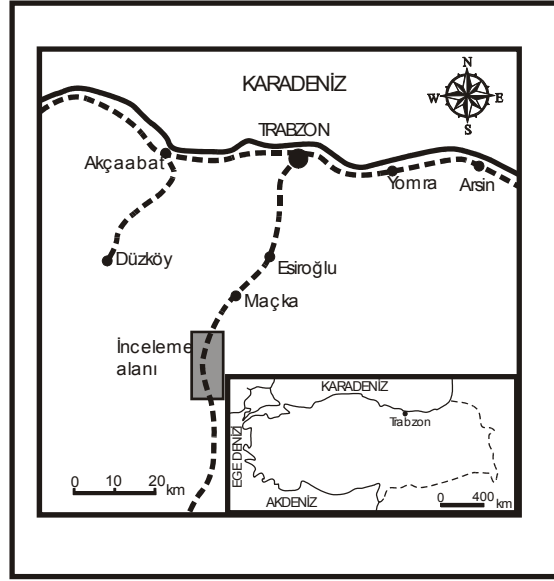
* Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak., Jeoloji Müh. Böl., Tınaztepe, Buca, İZMİR

** Dokuz Eylül Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi, Tınaztepe, Buca, İZMİR

*** Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Müh. Böl., TRABZON

1. GİRİŞ

Çalışma alanı, 1/25.000 ölçekli Trabzon-G 42-C2 paftası içerisinde Gürgenağaç, Başar, Hamsiköy ve Zigana tünelinin kuzey tarafını da içine alan 51 km² lik bir alanı kapsamaktadır. (Şekil 1). Bu çalışmada, Zigana tüneli–Gürgenağaç (Trabzon) arasında yer alan yerleşim birimlerinin mühendislik jeolojisi incelemesi ve bahsedilen alanda yer alan kaya birimlerinin malzeme ve kütle özelliklerinin belirlenmesi ve inşaat uygulamaları açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 1. İnceleme alanının yerbulduru haritası

Çalışma kapsamında Gürgenağaç, Başar, Hamsiköy ve Zigana tünelinin kuzey tarafını da içine alan 51 km² lik bir alanın 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır (Şekil 3). Yerleşim birimleri ve yakınındaki kaya kütlelerinde yer alan süreksizliklerin mühendislik parametreleri, kaya şevleri ve kaya mostralalarında yapılan temel jeoteknik parametreleri belirlemeye yönelik çalışmalarla belirlenmiştir. Laboratuvar çalışmaları kapsamında karot örnekleri üzerinde indeks ve bazı mühendislik deneyleri yapılarak kayaların malzeme ve kütle sınıflamaları yapılmıştır. Üç eksenli sıkışma dayanımı deney verileri, süreksizlik parametreleri, kaya kütle sınıflaması değerleri, güncel literatürde çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen eşitlikler ve bilgisayar programları kullanılarak kaya kütlelerinin tek eksenli basınç ve çekme dayanımları ile deformasyon özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca, temel kayaların yapılacak inşaat uygulamaları sonucunda etkisinde kalacakları en büyük basınç gerilmelerini güvenli bir şekilde taşıyıp taşıyamayacaklarını tahmin edebilmek için izin verilebilir taşıma güçleri hesaplanmıştır.

İnceleme alanında yüzeyleyen kaya birimlerine ait karot örnekleri üzerinde bir seri laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda kuru ve suya doymun birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, porozite, ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri ayrıca kuru ve suya doymun şartlarda boyuna dalga hızları ve dinamik elastisite modülleri belirlenmiştir. Elde edilen verilerle ilgili olarak üç değişken seçilerek (örneğin, porozite, boyuna dalga hızı ve birim hacim ağırlık gibi), değişkenler arasındaki ilişkiler “çoklu regresyon yöntemi” uygulanarak incelenmiştir. Üç adet değişkenden ikisi bağımsız ve biri bağımlı değişkendir ($y = mu + nv$ olarak, “u” ve “v” bağımsız değişkendir) (Drapher ve Smith, 1966). Çoklu regresyon yöntemi istatistikte çok uygulanan bir yöntem olup “y” nin belirlenmesinde “u” ve “v” bağımsız değişkenlerinin hangisinin daha etkili olduğu da saptanabilmektedir.

Kaya kütle sınıflamasında kullanılmak üzere kaya süreksizliklerinin özellikleri, arazi çalışmaları sırasında belirlenmiştir. Bazalt, andezitik tüf ve kireçtaşlarına ait süreksizlikler ilgili ölçüm ve gözlemler ISRM'e göre yapılmıştır (ISRM, 1981). Bu ölçümler, süreksizlik ara uzaklığı, süreksizlik açıklığı, devamlılık ve süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülükleridir. Yapılan ölçüm ve gözlemlerin ışığında; süreksizlik ara uzaklıkları bazalt ve dasitlerde “geniş – orta aralıklı”, andezitik tüf ve kireçtaşlarında “geniş aralıklı” olarak belirlenmiştir. Süreksizliklerin devamlılıkları dasit, kireçtaşı ve andezitik tüflerde “orta”, bazaltlarda ise “yüksek” (> 10 m) olarak sınıflandırılmıştır (Çizelge 2). Süreksizlik açıklıkları ISRM ve Anon'a göre bazalt ve kireçtaşları “çok dar–dar”, andezitik tüf ve dasitler “dar” olarak sınıflandırılmıştır (ISRM, 1981; Anon, 1979). Süreksizlik yüzey pürüzlülüğü, dasit ve andezitik tüflerde “hafif pürüzlü (SR)” bazaltlarda “düz-hafif pürüzlü (S-SR)” ve kireçtaşlarında “pürüzlü (R)” olarak sınıflandırılmıştır (Çizelge 2). Süreksizlik yüzey pürüzlülüğü sınıflamaları ISRM ve Barton'e göre yapılmıştır (ISRM, 1981; Barton, 1978).

Bu çalışmada, kaya kütesine ait kaya kütle parametreleri hesaplanırken (m_b , s , a) jeolojik dayanım indeksi değeri (GSI) kullanılmıştır. Yeraltısuyunun etkili olmadığı ortamlarda $RMR=GSI$ olarak alınmıştır (Hoek vd., 1995).

2. JEOLOJİ

İnceleme alanı, Ketin tarafından tanımlanan Türkiye Tektonik Birlikleri'nden Pontid Tektonik Birliği'nin Doğu Pontid Kuzey Zonu kesiminde yer almaktadır (Ketin, 1966). Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeolojik açıdan ilginç özelliklere sahip olması nedeni ile bölgede günümüze dek birçok jeolojik araştırma yapılmıştır. Çalışma alanı ve yakın yöresinde yapılan bazı önemli jeolojik çalışmalar; Erguvanlı, Gattinger vd., Özsayar, Taslı, Korkmaz vd., Gedik vd., Ayaz vd., Yılmaz ve Korkmaz, Köprübaşı vd.'dir (Erguvanlı, 1950; Gattinger vd., 1962; Özsayar, 1981; Taslı, 1984; Korkmaz vd., 1993; Gedik vd., 1995; Ayaz vd., 1996; Yılmaz ve Korkmaz, 1999; Köprübaşı vd., 2000). Erguvanlı vd., Tahran ve Koca ise bölgede mühendislik jeolojisine yönelik çalışmalar yapmışlardır (Erguvanlı vd., 1980; Tahran, 1982; Koca, 1988).

Çalışma alanındaki birimlerin yayılım ve konumları, kaya türü özellikleri, yaşları, mineralojik ve petrografik özellikleri ayrıntılı bir şekilde belirlenmeye çalışılmıştır. İnceleme alanı ve yakın çevresinde yaşlıdan gence doğru sırasıyla kaya birimleri; Güzelyayla spiliti, Berdiga formasyonu, Hamsiköy formasyonu, Dikkaya dasiti, traverten, yamaç molozu ve alüvyonlar yer almaktadır. İnceleme alanı ve yakın çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti Şekil 2, jeoloji haritası Şekil 3, K-G ve KB-GD yönünde alınan enine kesitleri ise Şekil 4'te sunulmuştur. Bu formasyonların genel özellikleri aşağıda kısaca verilmiştir.

2.1. Güzelyayla Spiliti (Lgs)

Bu formasyon, inceleme alanının güney sınırında, Hamsiköy deresinin güney kesiminde yüzeylenmektedir (Şekil 3). Metabazalt, metaandezit ve bunların piroklastikleri ile spilitik bazalt türü kayalar topluluğundan oluşan Güzelyayla spiliti genelde mor ve yer yer koyu gri renklidir. Genelde birbirine dik (D-B, K-G) iki doğrultuda çatlak takımı içeren Güzelyayla spiliti yüzeyde ve çatlaklar boyunca yüksek derecede ayrılmış olup elle kolayca ezilebilmektedir. Güzelyayla spilitini oluşturan doku türü genelde mikrolitik porfiriktir. Ana mineraller plajiyoklas ve piroksendir. Gerek plajiyoklaslar, gerekse piroksenler ayrılmış olup, serisit, klorit, kalsit ve kile dönüşmüştür. Ayrıca, boşluklarda kalsit ve zeolit, bazı çatlaklarda da kuvars ikincil mineral olarak izlenir. İnceleme alanında kalınlığı saptamayan Güzelyayla

spilitinin önceki çalışmalara göre Üst Liyas-Dogger yaşında olabileceği söylenebilir (Taslı, 1984).

ZAMAN	DEVİR	ASDEVİR	FORMASYON	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA			
MESOZOYİK	SENOZOYİK	KUVATERNER		10		ALUVYON			
				25		YAMAÇ MOLOZU			
				20		TRAVERTEN			
	KRETASE	TERSİYER	ÜST EÖSEN SONU	DİKKAYA DASITI	> 1000		KUVARSLI MİKRODİYORIT		
							BİYOMİKRİTİK KİREÇTAŞI		
		ÜST KRETASE	HAMSİKÖY FORMASYONU	KIRANOBA ÜYESİ	> 800		ANDEZİTİK, BAZALTİK LAV TÜF, AGLOMERA		
						ÇAMLIBEL ÜYESİ	375		KİLLİ KİREÇTAŞI, KUMTAŞI, BAZALTİK TÜF, SPİLİTİK BAZALT
								BERDİGA FORMASYONU	475
							DOLOMİT		
							SPİLİTLEŞMİŞ BAZALT		
JURA	ALT KRE.								
	Dogge-Malm								
	LİYAS	GÜZELYAYLA SPİLİTİ		>175					

(ÖLÇEKSİZ)

Şekil 2. İnceleme alanına ait stratigrafik dikme kesit

2.2. Berdiga Formasyonu (Dbf)

Güzelyayla spiliti üzerine uyumlu olarak gelen Berdiga Formasyonu, Güzelyayla köy dolaylarında geniş yayılım gösterir ve Hamsiköy Dere vadisi yamaçlarında şerit şeklinde güneye doğru uzanır (Şekil 2 ve Şekil 3). Kireçtaşı fasiyesinde gelişmiş olan Berdiga Formasyonu'nun alt kısımları dolomitik olup üst kısımları çört bantları içerir. Orta ve kalın tabakalı olan kireçtaşlarında tabakalar yaklaşık D-B doğrultusundadır. Hamsiköy Deresi'nin sağ yakasında K, KB'ya, sol yakasında ise G, GD'ya 10–15 dereceler arasında eğimli olup bir antiklinal oluştururlar (Şekil 3). Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşının bol miktarda milliolidae, textularidae, gastropoda ayrıca echinid plaka ve dikenleri, mollusca kavkuları içerdiği belirlenmiştir. Kireçtaşları biyo-sparit, yer yer de biyo-mikritik özelliktedir. Kireçtaşlarında karakteristik fosile rastlanmamıştır. Önceki çalışmalar gözönüne alınarak Berdiga Formasyonu'nun Malm–Alt Kretase yaşında olduğu söylenebilir (Taslı, 1984).

2.3. Hamsiköy Formasyonu (ÜKhf)

Çalışma alanında en geniş yayılıma sahip olan ve kendi içerisinde Çamlıbel üyesi ve Kıranoba üyesi olmak üzere iki üyeye ayrılarak incelenen Hamsiköy Formasyonu, Berdiga Formasyonu üzerinde, uyumsuz olarak volkanotortul seri ile başlar (Şekil 2). Volkanotortul seriyi lav, tüf ve aglomeralar oluşturur. Lavlar andezit ve bazalt türündedir. Volkanotortul seri yer yer çagla yeşili, gri, kahverengi ve siyaha yakın renklerde görülür. Volkanotortul seriyi oluşturan kayalar yüzeyde çatlaklara bağlı olarak yüksek derecede ayrılmış ve çoğu yerde kile dönüşmüştür. Kayaları oluşturan minerallerden plajiyoklas ve piroksenlerin ayrılarak serisit, klorit, kalsit ve kile dönüştüğü izlenmiştir. Volkanotortul serinin üst kısımları açık yeşil killi kireçtaşı, tüfit, kumtaşı ve bunlar arasında killi seviyeler ile boşluklu bazalt türü kayalardan oluşmuştur. Killi kireçtaşları ince taneli ve sıkıdır. Kumtaşlarında kuvars taneleri belirgindir. Tabakalı olan bu fasiyeste tabaka doğrultuları genelde D-B, eğimleri ise 7-15 dereceler arasında KB'ya doğrudur (Şekil 3). Kumtaşı, tüfit ve boşluklu bazaltdan yapılan ince kesitlerde, plajiyoklas, amfibol ve piroksenlerin serisit, klorit kalsit ve kile dönüştüğü izlenmektedir. Kireçtaşlarında karakteristik fosile rastlanmamıştır. Bölgede yapılan çalışmalar dikkate alınarak formasyonun yaşı Üst Kretase olarak kabul edilmiştir (Taslı, 1984).

2.4. Dikkaya Dasiti (Tdd)

İnceleme alanında Zigana tüneline başlayıp doğuya doğru geniş yayılım gösteren Dikkaya dasiti, mor, kahverengi ve gri renklerde görülür. Dasitlerin içinde ve çatlak yüzeylerinde iri pirit kristalleri görülür. Çalışma alanı dışında yer yer dasitlerin tabanında kırmızı renkli, bol Globotruncana fosili içeren kireçtaşı seviyeleri görülür. Dasitler mikrogronü-porfirik dokudadır. Dikkaya dasitinin alt seviyelerindeki kırmızı renkli kireçtaşları gözönüne alındığında birimin yaşının Üst Kretase'nin üstü ya da Tersiyer olacağı söylenebilir.

2.5. Travertenler

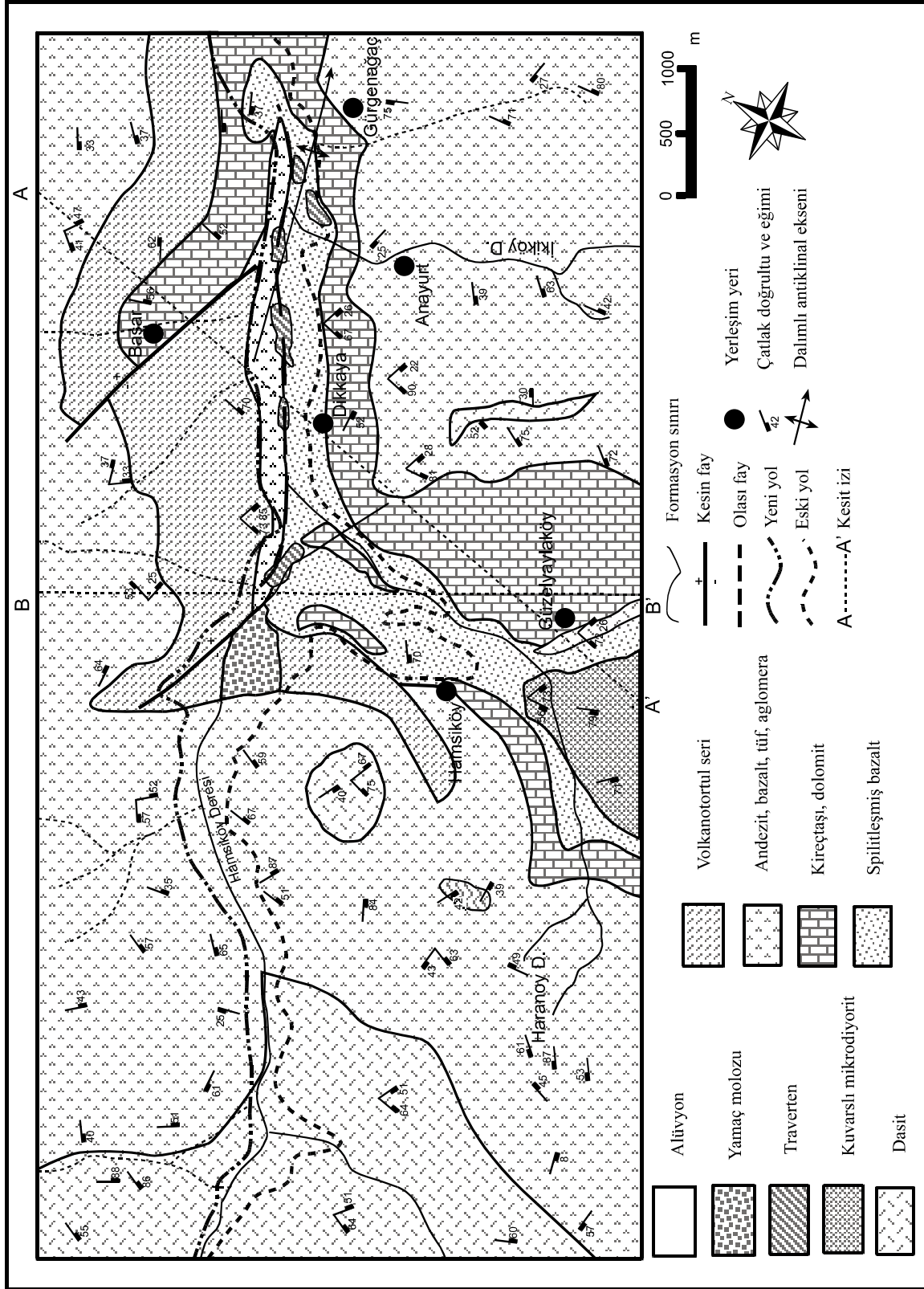
İnceleme alanının doğusunda Hamsiköy deresi boyunca sıralanmış halde görülür (Şekil3). Kalınlıkları 20-25 m. arasında değişmektedir. Traverten oluşumu halen günümüzde de devam etmektedir. Renkleri açık kırmızı ve kirli sarıdır. Hamsiköy deresi boyunca gelişmiş fayla ilgili oldukları düşünülmektedir.

2.6. Alüvyonlar

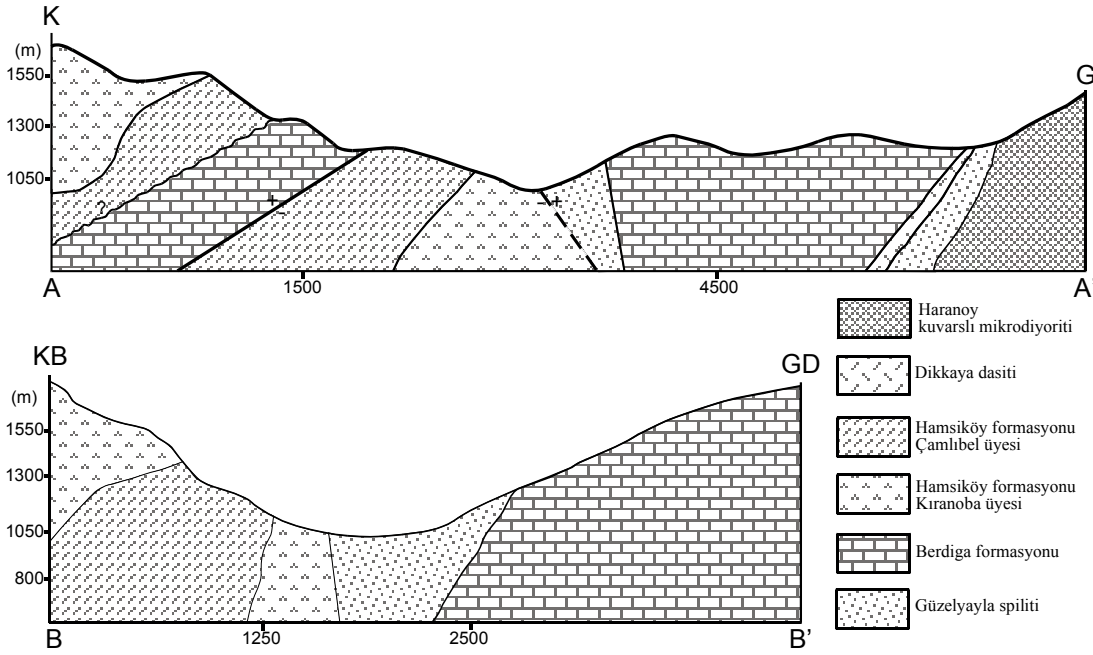
İnceleme alanında Hamsiköy deresi yatağı içerisinde görülen alüvyonlar, dasit, bazalt, kireçtaşı ve tüflerin blok, çakıl, kum ve az miktarda silt kil boyutundaki elemanlarından oluşmuştur (Şekil 3). Kalınlıkları inceleme alanı içerisinde 1-10 m arasında değişmektedir.

2.7. Yamaç Molozları

İnceleme alanında Hamsiköy deresi yamaçlarında, özellikle az eğimli olan yerlerde görülür (Şekil 3). Yamaç molozunu oluşturan elemanlar köşeli olup, bloktan kil boyutuna kadar değişmektedir. Bileşenler dasit, bazalt, kireçtaşı tüf ve tüfit kökenlidir. Kalınlıkları inceleme alanı içerisinde 1-20 m arasında değişmektedir.



Şekil 3. İnceleme alanının jeolojisi haritası (Koca, 1988)



Şekil 4. İnceleme alanında K-G ve KB-GD yönlerinde alınmış jeoloji kesitleri

3. KAYALARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanında yer alan kaya birimlerinin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi çalışmaları kapsamında; süreksizliklerin arazide temel jeoteknik parametreleri ölçülmüş, laboratuarda kaya malzemelerinin indeks ve mekanik özellikleri belirlenmiş ve kaya birimlerinin kütle sınıflamaları yapılmıştır.

3.1. Süreksizliklerin Jeoteknik Parametreleri

Kayaların kütle davranışlarını önemli ölçüde etkilemeleri ve kaya kütle sınıflamalarında kullanılmaları nedeniyle, çalışma alanındaki kaya birimlerinde bulunan süreksizliklerin yönelim ve takım sayısı, aralıkları, devamlılıkları, açıklıkları, yüzey pürüzlülükleri, dolgu malzemesinin cinsi, su durumu, RQD (%) ve eklem yüzeyi dayanımından oluşan dokuz parametresi ISRM'e göre belirlenmiştir (ISRM, 1981) (Çizelge 1).

Çizelge 1. Çalışma alanında yer alan kayalara ait süreksizliklerin jeoteknik parametreleri

Parametre	Kaya Birimleri			
	Bazalt	Andezitik Tüf	Dasit	Kireçtaşı
Yönelim ve takım sayısı	3	3	3	3
Süreksizlik ara uzaklığı (cm)	5-40	30	5-65	28-32
Devamlılık (m)	11	8	7	7
Süreksizlik açıklığı (mm)	1-10	1-20	1-20	4
Yüzey pürüzlülüğü	düz-hafif pürüzlü	hafif pürüzlü	hafif pürüzlü	pürüzlü
Dolgu malzemesinin cinsi	kalsit+zeolit	kalsit+kil	Kalsit+silt	Kalsit+aragonit
Su durumu	nemli	nemli	nemli	nemli
RQD (%)	66	72	68	89
Eklem yüzey dayanımı (MPa)	55	58	50	60

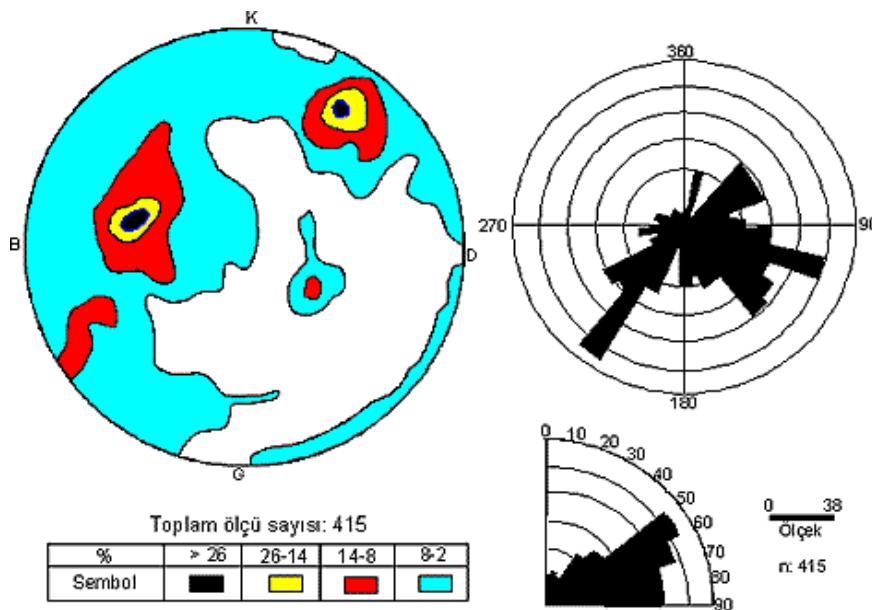
Çalışma alanındaki kayaçların süreksizlik parametreleri kaya yüzlekleri üzerinde ISRM (1981) tarafından önerilen “hat etüdü yöntemi” kullanılarak belirlenmiştir (ISRM, 1981). Kaya kütleleri üzerindeki süreksizlik parametreleri 4–30 m uzunlukta değişen hatlar boyunca şev yamaçlarında ve tipik kaya mostralarında gerçekleştirilmiştir. Süreksizliklerin eklem yüzeyi dayanımı parametresini belirlemek için süreksizlik yüzeyleri üzerinde Schmidt çekici deneyleri yapılmıştır. Schmidt testi Atkinson vd. tarafından belirtildiği şekilde yapılmıştır (Atkinson vd., 1978). Schmidt çekici uygulaması kaya yüzeyinde en az 3 mm aralıklarla 20 ayrı noktadan okuma yapılması ve en yüksek 10 değer alınması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Schmidt çekici geri tepme sayısına bağlı olarak kaya cinsleri Çizelge 2’de görüldüğü gibi tanımlanmıştır.

Çizelge 2. Schmidt çekici deneyleri sonucunda elde edilen veriler ve İstatistiksel değerlendirme sonuçları

Kaya adı	En az	En çok	Ortalama	Standart sapma
Bazalt	38	46	42.40	2.63
Andezitik tüf	34	44	38.40	3.10
Dasit	36	46	40.40	3.38
Kireçtaşı	38	52	43.10	4.36

Bazalt, andezitik tüf, dasit ve kireçtaşları üzerinde yapılan Schmidt çekici deneylerinden elde edilen geri tepme sayılarının istatistiksel değerlendirmesi sonucunda ISRM tarafından önerilen tanımlamaya göre, bazaltlar, andezitik tüfler, dasitler “sert”, kireçtaşları “çok sert” kaya olarak tanımlanmışlardır (ISRM, 1981). Süreksizlik ölçümlerinden elde edilen parametreler Çizelge 1’de özetlenmiştir. Parametrelerin tanımlanmasında en çok rastlanan değerler kullanılmıştır.

Çalışma alanı içindeki birimlerde gelişen süreksizlik düzlemlerinden alınan 415 adet çatlak ölçüsü kontur diyagramları üzerinde değerlendirilmiş ve kontur diyagramı analizi sonucunda kayaç kütlelerinde gelişen süreksizliklerin, üç eklem takımı ve gelişigüzel yönlerde gelişmiş kırık ve çatlaklardan oluştuğu belirlenmiştir. Takım oluşturan eklem yönelimleri K5D/ 45GD, K32B/ 87GB ve K55B/ 78GB dır (Şekil 5).



Şekil 5. Zigana tüneli – Gürgenağaç arasındaki 51 km²'lik araziye ait 415 çatlak ölçüsünden yapılan a) kontur diyagramı, b) eğim yönü ve eğim açısına göre yapılmış gül diyagramları

3.2. İndeks Özellikler

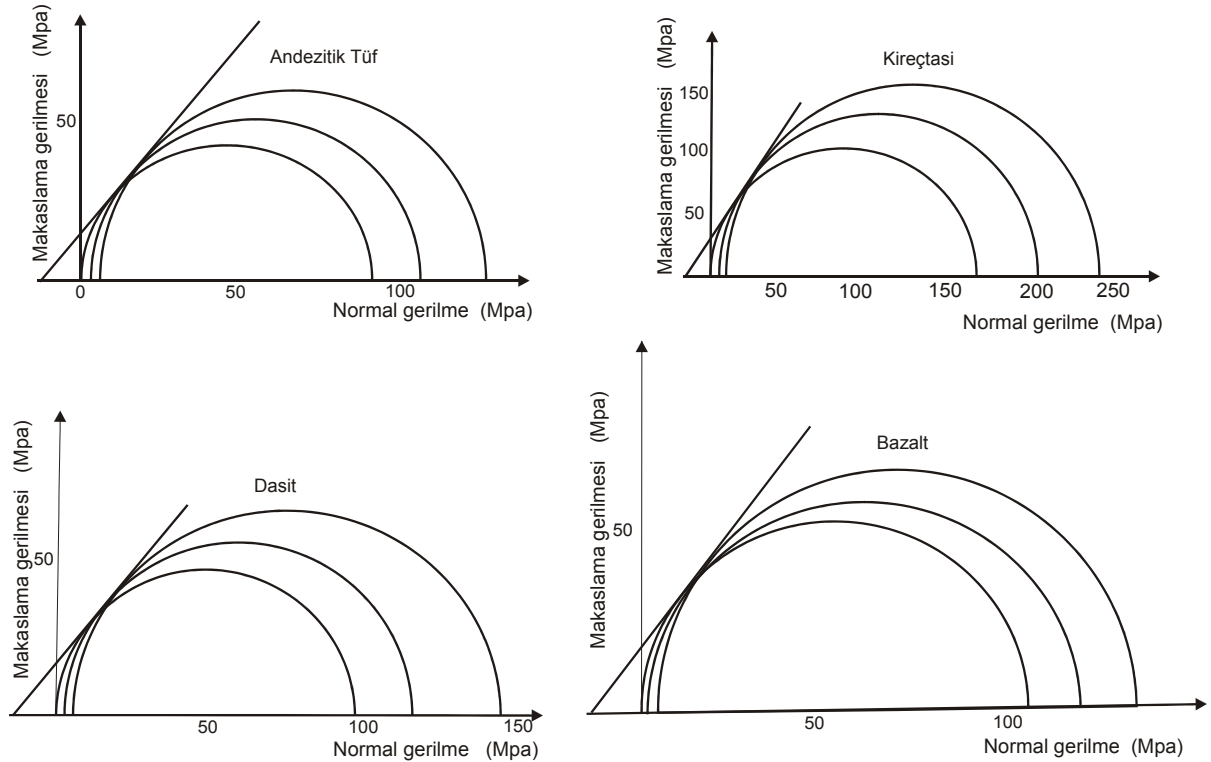
Kayaçların mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkiledikleri için inceleme alanında yüzeyleyen kayaçların birim hacim ağırlık, porozite, özgül ağırlık, ağırlıkça ve hacimce su emme özellikleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar toplu olarak Çizelge 3’te sunulmuştur.

Anon tarafından önerilen sınıflamaya göre kuru birim hacim ağırlıklar açısından dasitler “orta”, bazaltlar ve andezitik tüfler “yüksek”, kireçtaşlarının “çok yüksek” birim hacim ağırlık değerlerine, porozite açısından ise bazalt, kireçtaşı ve andezitik tüflerin “orta”, dasitlerin “yüksek” porozite değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir (Anon, 1979) (Çizelge 3).

Çizelge 3. İnceleme alanı kayaçlarına ait bazı indeks özellikler

Parametre	Dasit (n=13)			Bazalt (n=13)			Kireçtaşı (n=13)			And. Tuf. (n=13)		
	min	max	ort	min	max	ort	min	max	ort	min	max	ort
Kuru birim hacim ağırlık (γ_k) (kN/m ³)	23.54	24.13	23.94	26.09	26.49	26.29	27.17	27.47	27.27	25.90	26.00	26.00
Doygun birim hacim ağırlık (γ_d) (kN/m ³)	24.23	24.62	24.43	26.39	26.71	26.59	27.27	27.57	27.37	26.19	26.39	26.29
Özgül Ağırlık (Gs)	-	-	2.69	-	-	2.73	-	-	2.82	-	-	2.76
Görünür porozite (n) (%)	8.51	10.91	9.49	1.00	2.52	1.65	0.86	1.95	1.31	3.83	4.51	4.12
Ağırlıkça su emme (S _A) (%)	2.15	3.03	2.33	0.97	1.11	1.05	0.33	0.66	0.43	1.13	1.39	1.27
Hacimce su emme (S _V) (%)	5.28	7.25	5.66	2.63	2.97	2.82	0.91	1.82	1.20	3.00	3.67	3.37

n: Örnek sayısı



Şekil 6. Kaya birimleri için üç eksenli deneylerden elde edilen Mohr–Coulomb diyagramları

3.3. Mekanik Özellikler

Kayaçların üç eksenli ve tek eksenli basınç dayanımları, her bir kaya birimi için araziden alınan 50x50x30 cm boyutlu bloklardan standartlara uygun olarak, her birim için hazırlanan 13 adet karot örneği üzerinde yapılan deneylerle belirlenmiş ve elde edilen toplu sonuçlar Çizelge 4'te sunulmuştur. Üç eksenli deneyler ASTM'ye göre, tek eksenli basınç dayanımı testleri ise ASTM'a göre yapılmıştır (ASTM, 1980b; ASTM,1980a). Deneyler Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat mühendisliği Bölümü Kaya-Zemin mekaniği laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımları ISRM'e göre tanımlanmış olup dasit, bazalt, andezitik tuf ve kireçtaşları "yüksek" dayanıma sahip kayaçlar olarak sınıflandırılmıştır ($\sigma_c > 60$ MPa) (ISRM, 1981).

Kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımları ISRM'e göre tanımlanmış olup dasit, bazalt, andezitik tuf ve kireçtaşları "yüksek" dayanıma sahip kayaçlar olarak sınıflandırılmıştır ($\sigma_c > 60$ MPa) (ISRM, 1981). Kaya birimlerinden elde olunan silindirik karot örnekleri (Nx) üzerinde üç eksenli deneyler her defasında yanal gerilmeler artırılarak (2.5, 5.0 ve 7.5 MPa) gerçekleştirilmiştir. Sağlam karot örnekleri üzerinde gerçekleştirilen deneylerin sonucunda Mohr diyagramı her bir kaya birimi için elde edilmiş, bu diyagram üzerinde içsel sürtünme açısı ve kohezyon değeri her kaya birimi için ayrı ayrı belirlenmiştir (Şekil 6). Ayrıca içsel sürtünme açısı (θ) ve kohezyon (c) değerleri toplu olarak Çizelge 4'te sunulmuştur.

Çizelge 4. İnceleme alanı kayaçlarına ait mekanik özellikler

Parametre	Dasit			Bazalt			Kireçtaşı			And. Tuf		
	min	max	ort	min	max	ort	min	max	ort	min	Max	ort
Tek eksenli basınç dayanımı (σ) (MPa)	66	92	82	88	156	137	160	190	171	92	142	113
Kohezyon (c) (MPa)	-	-	19	-	-	20	-	-	26	-	-	18
İçsel sürtünme açısı (θ) (°)	-	-	46	-	-	48	-	-	50	-	-	46

Dasit, bazalt ve andezitik tuf ve kireçtaşlarında boyu çapının iki katı olan ($L=2D$) karot örnekleri üzerinde DIGI EG-C12 ultrasonik alet kullanılarak ultrasonik dalgaların örnek içinden geçiş zamanları ölçülmüştür. Her bir birime ait 13 örnek olmak üzere toplam 52 örnekte okuma yapılmıştır. Çizelge 5 incelendiğinde, boyuna dalga hızının dasitlerde hem kuru hem de suya doygun şartlarda ve andezitik tüflerde sadece kuru durumda, I.A.E.G. Anon'un sınıflamasına göre "düşük", bazaltların kuru ve doygun şartlarda, andezitik tüflerin ise sadece doygun şartlarda "orta", kireçtaşlarının kuru şartlarda "yüksek", doygun şartlarda ise "çok yüksek" dalga hızına sahip oldukları belirlenmiştir (Anon, 1979) (Çizelge 5). Sonik dalga hızları dikkate alınarak, İrfan ve Dearman ve İliev tarafından önerilen ayrışma derecesine göre yapılan sınıflamaya göre dasit, bazalt, andezitik tüfler "orta", kireçtaşları ise "az ayrılmış" kaya olarak tanımlanmışlardır (İrfan ve Dearman, 1978a; İliev, 1967). İncelenen alanda kaya birimleri yaygın olarak bahsedilen ayrışma derecelerinde gözlenir. Dere yatakları (özellikle Hamsiköy dere ve Haranoy deresi) ve fay zonları boyunca mevcut kaya birimleri bahsedilen ayrışma derecelerinden farklılıklar sunarlar.

İnceleme alanı içerisindeki birimlerden alınan karot örnekleri üzerinde elastik dalganın örnekleri katetme zamanları ölçülmüş ve Youash tarafından önerilen eşitlik ($E_d = D.W.f^2$, silindirik örnek için $D: sn^2/inç^2$, f: Boyuna titreşim frekansı devir/sn, E_d : Dinamik elastisite modülü $lb/inç^2$) kullanılarak az ayrılmış dasit, bazalt, andezitik tuf ve kireçtaşlarına ait kuru ve doygun koşullardaki boyuna dalga hızları hesaplanarak, kuru ve doygun koşullardaki

dinamik elastisite modülü değerleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar toplu olarak Çizelge 5'te sunulmuştur (Youash, 1970).

Çizelge 5. İnceleme alanı kayaların a ait bazı elastik parametreler

Parametre	Dasit			Bazalt			Kireçtaşı			And. Tuf		
	min	max	ort	min	max	ort	Min	max	ort	min	max	Ort
Boyuna dalga hızı (Vp) (m/sn) (kuru)	3242	3619	3397	3509	3931	3746	4373	5200	4732	3120	3468	3287
Boyuna dalga hızı (Vp) (m/sn) (doygun)	3242	3671	3468	3653	5225	3973	4373	5242	4934	3629	4016	3794
Dinamik elastisite modülü (E _d) (MPa x 10 ⁴) (kuru)	2.59	3.26	2.85	3.35	4.21	3.82	5.38	7.65	6.33	2.60	3.23	2.90
Dinamik elastisite modülü (E _d) (MPa x 10 ⁴) (doygun)	2.66	3.40	3.04	3.65	7.48	4.38	5.40	7.81	6.91	3.57	4.38	3.91

Çizelge 6. SPSS-10 bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilen “çoklu regresyon analizleri”

Kaya Tipi	Eşitlik	Korelasyon katsayısı (r)
Dasit (n=13)	$n = 4.061 + 0.96S_V$	0.683
	$n = 4.153 + 2.297S_A$	0.724
	$n = 10.722 + 37.489S_A - 5.63S_V$	0.984
	$n = 95.774 - 35.428\gamma_k$	0.992
	$n = 126,18 - 46.85\gamma_d$	0,970
	$n = 98.43 - 3.60\gamma_d - 32.83\gamma_k$	0.992
	$\gamma_k = 2.371 + 0.478S_V - 1.136S_A$	0.983
	$\gamma_k = 2.573 - 2 \times 10^{-2}S_V$	0.617
	$\gamma_k = 2.572 - 6 \times 10^{-2}S_A$	0.660
	$\sigma_c = 185.77 - 11.32n$	0.859
	$E_d = 4.84 \times 10^5 - 2 \times 10^4 n$	0.724
$E_d = -1 \times 10^6 + 7.2 \times 10^5 \gamma_k$	0.745	
Bazalt (n=13)	$n = -6.35 + 7.63S_A$	0.661
	$n = -1.66 + 66.97S_A - 23.77S_V$	0.886
	$n = 103.68 - 38.01\gamma_k$	0.985
	$n = 104.82 - 38\gamma_d$	0.985
	$\gamma_k = 2.76 + 0.64S_V - 1.80S_A$	0.660
	$\gamma_k = 2.89 - 0.197S_A$	0.660
	$\sigma_c = 313.21 - 116.47n$	0.762
Andezitik Tuf (n=13)	$n = 104.74 - 38.03\gamma_k$	0.865
	$n = 84.17 - 29.86\gamma_d$	0.859
	$n = 116.28 - 18.32\gamma_d - 23.83\gamma_k$	0.960
	$n = 3.79 - 12.29S_V + 32.79S_A$	0.840
	$\gamma_k = 2.65 + 0.26S_V - 0.69S_A$	0.767
Kireçtaşı (n=13)	$n = 0.20 + 0.93S_V$	0.629
	$n = 0.20 + 2.58S_A$	0.637
	$n = 89.07 - 31.53\gamma_k$	0.798
	$n = 114.70 - 40.58\gamma_d$	0.917
	$n = 0.27 - 4.86S_V + 15.88S_A$	0.655
	$n = 115.70 - 35.88\gamma_d - 5.07\gamma_k$	0.920
	$\gamma_k = 2.80 + 0.24S_V - 0.70S_A$	0.603
$\sigma_c = 217.05 - 30.21n$	0.853	

Çalışma kapsamında yol güzergahında yer alan kaya birimlerinden alınan 13 adet kaya örneği üzerinde yapılan porozite, kuru birim hacim ağırlık, doymuş birim hacim ağırlık, tek eksenli basınç dayanımı, boyuna dalga hızı, dinamik elasti site modülü değerleri arasındaki ilişkileri elde etmek için SPSS-10 bilgisayar programı kullanılarak regresyon analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar toplu olarak Çizelge 6’da sunulmuştur. Çizelge 6’daki regresyon analizi sonuçlarına göre; porozite, ağırlıkça ve hacimce su emme (S_A, S_V) arasındaki kireçtaşı hariç ($r=0.63$) iyi bir ilişkinin varlığı belirgindir ($r>0.84$). Diğer kaya birimlerinde kuru, doymuş birim hacim ağırlığı ve porozite arasındaki çoklu regresyon analizi sonucuna göre; dasitlerde, andezitik tüflerde ve kireçtaşlarında regresyon katsayısı $r>0.90$ olarak belirlenmiş olup iyi bir ilişkinin varlığından söz edilebilir (Çizelge 6).

4. YERLEŞİM ALANLARI VE YAKIN CİVARINDA YÜZEYLENEN KAYA BİRİMLERİNİN KÜTLE SINIFLAMALARI

İnceleme alanında yer alan kayaların kütle sınıflamaları, tüneller, büyük yeraltı açıklıkları, maden işletmeleri, şevler, yapı temel inşaatlarında genel değerlendirme ve kaya kütlelerinin taşıma güçlerinin belirlenmesinde kullanılabilir özellikte olması nedeni ile bu çalışma Bieniawski tarafından önerilen RMR Kaya Kütle Sınıflama Sistemi’ne göre yapılmıştır (Bieniawski, 1989). Çalışma alanında yüzeylenen kayaların kütle sınıflaması yapılırken süreksizlik aralıkları en çok rastlanan süreksizlik aralığı baz alınıp değerlendirilmiştir. Eklem yönelimine göre düzeltme ise, eklemlerin güzergah boyunca doğrultu ve eğimlerinin şev ve temel yapısı üzerindeki etkisi göz önüne alınarak “uygun” olarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanında temel kayası ve şevlerini oluşturan kayalar Bieniawski’nin Kaya Kütle Sınıflama Sistemi’ne göre değerlendirilmiş olup, kaya kütle puanı değeri bazaltlar için ortalama 66, dasitler için ortalama 68, andezitik tüfler için ortalama 72, kireçtaşları için ise ortalama 89 olarak belirlenmiştir (Bieniawski, 1989). Bu değerlere göre bahsedilen alanda kaya temel ve şevlerini oluşturan kaya birimlerinden bazaltlar, dasitler ve andezitik tüfler “iyi kaya”, kireçtaşları ise “çok iyi kaya” olarak tanımlanmışlardır.

5. KAYA KÜTLE DAYANIMI VE TAŞIMA GÜCÜ

Bu çalışmada, Gürgenağaç, Hamsiköy, Dikkaya, Güzelyaylaköy (Trabzon) yerleşim birimleri yakın civarında yer alan ve gelişmekte olan kasabalarda, inşa edilebilecek çok katlı yapılar, yapılması planlanan organize sanayi bölgeleri, fabrika, silo ve benzeri yapılar için temel oluşturacak kaya zeminlerin kaya kütle dayanımı ve taşıma gücünün belirlenmesi amaçlanmıştır. Kayaların düşey yüklere karşı koyabilme kapasitelerini tahmin etmek amacıyla tek eksenli kaya kütle sıkışma dayanımları ve kaya kütle deformabilite özellikleri belirlenmiştir. Kaya kütlelerinin tek eksenli basınç dayanımları ve kaya kütle deformabilite özelliklerinin belirlenmesinde Hoek vd., tarafından önerilen eşitlikler ve Roclab 1.isimli bilgisayar programı kullanılmış olup, elde edilen sonuçlar Çizelge 7’de sunulmuştur (Hoek vd., 2002).

Kaya kütlelerinin dayanım parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan sağlam kayanın tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_{ci}) ve Hoek–Brown kaya malzemesi sabiti (m_i) parametreleri üç eksenli sıkışma dayanımı deneyleri sonucunda belirlenen asal gerilme (σ_1 ve σ_3) değerleri Hoek vd., tarafından önerilen eşitliklerde yerine konularak elde edilmiştir (Hoek vd., 2002). Ayrıca, Hoek vd., tarafından önerilen Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) değeri bu çalışmada RMR puanına eşit olarak alınmıştır (Hoek vd., 1995).

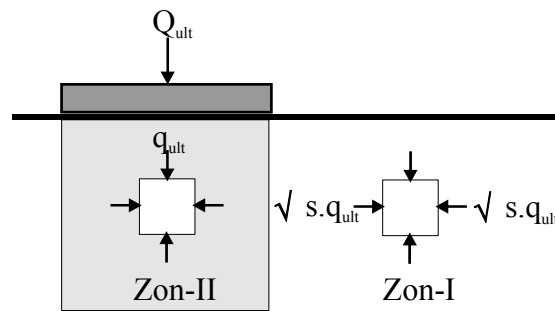
Çizelge 7’de görüldüğü gibi bazaltların tek eksenli kaya kütleleri basınç dayanımının 21.44 MPa, dasitlerin 22.30 MPa, andezitik tüflerin 24,55 MPa, kireçtaşlarının ise 116.61 MPa

düzeyinde olduğu belirlenmiştir. Bazaltların, dasitlerin, andezitik tüflerin kaya kütle basınç dayanımlarının kireçtaşlarına göre daha düşük çıkmasının nedeni, bu kayaçların kireçtaşlarına göre daha yoğun eklemelenmeye ve daha düşük tek eksenli sağlam kaya basınç dayanımlarına sahip olmalarıdır.

Çizelge 7. İnceleme alanında yer alan kaya birimlerinin tipik kaya kütle özellikleri

Parametreler	Bazalt	Dasit	Andezitik tüf	Kireçtaşı
Sağlam kaya dayanımı σ_{ci} (MPa)	101.31	67.00	72.60	180,31
Hoek – Brown sabiti (m_i) (kaya malzemesine ait)	15,187	27	27.844	28.097
Hoek – Brown sabiti (m_b) (kaya kütlelerine ait)	2.345	5.883	5.978	16.641
Hoek – Brown sabiti (s)	0.0072	0.0140	0.0173	0.2307
Örselenme faktörü (D)	0.7	0.5	0.7	0.7
GSI (Jeolojik dayanım İndeksi) (GSI = RMR alınmıştır)	66	68	72	89
İçsel sürtünme açısı (ϕ) (°)	33.3	41.2	41.3	49.5
Kohezyon (c) (MPa)	5.78	5.07	5.55	21.50
Deformasyon Modülü Em (GPa) (kaya kütlelerine ait)	16.33	17.30	19.65	61.80
Kaya kütle sıkışma dayanımı σ_{cm} (Mpa)	21.44	22.30	24.55	116.61
Kaya kütle çekilme dayanımı σ_{tm} (Mpa)	-0.31	-0.16	-0.21	-2.50

Uzun dönemde inceleme alanında yapılaşmanın hızlanacağı gözönüne alınarak mevcut kaya birimlerinin etkisinde kalacakları en büyük basınç gerilmelerini güvenli bir şekilde taşıyıp taşıyamayacağını tahmin edebilmek için, temel kayalarının emniyetli taşıma güçleri belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 7. Hoek ve Brown'e göre kayalarda taşıma gücü için alt sınır çözümü (Hoek ve Brown, 1980)

Şekil 7'de görüldüğü üzere yatay gerilme kaya kütlelerinin tek eksenli basınç dayanımına eşit olduğunda Zon-I olarak tanımlanan bölgede düşey gerilmenin sıfır olduğu kabul edilir (Hoek ve Brown, 1980). Bu durumda Hoek-Brown yenilme kriteri (Eşitlik 1) Eşitlik 2'ye dönüşmektedir.

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m_b \sigma_3 + s)^a \quad (1)$$

$$\sigma_{ci}$$

m_b , s ve a : kaya kütlesine ait sabitlerdir.

$\sigma_3 = \sqrt{s} \times \sigma_{ci}$ olduğu ve Eşitlik 1'de yerine konulduğunda;

$$q_{ult} \text{ (Nihai taşıma gücü)} = \sigma_{ci} [\sqrt{s} + (m\sqrt{s} + s)^a] \quad (2)$$

(σ_{ci} : Sağlam kayanın tek eksenli sıkışma değeridir) elde edilmektedir.

Çizelge 7'de her bir kaya birimi için kaya kütle sabitleri ve σ_{ci} , σ_{cm} değerleri sunulmuştur. Bu değerler kullanılarak ilk aşamada nihai taşıma gücü (q_{ult}) değerleri bulunmuş ve güvenlik faktörü 3 alınarak emniyetli taşıma gücü değerleri elde edilmiştir (Çizelge 8). Hesaplamalarda kaya birimlerinin tek eksenli basınç dayanımları olarak güvenli tarafta kalınmak istenmesinden dolayı kaya kütlesine ait olan değerlerin kullanılması tercih edilmiştir.

Çizelge 8. İnceleme alanında yer alan kaya birimlerinin emniyetli taşıma gücü değerleri

Taşıma güçleri	Bazalt	Dasit	Andezitik tüf	Kireçtaşı
Nihai taşıma gücü (MPa)	11.55	21.41	25.20	390.0
İzin verilebilir taşıma gücü (MPa)	3.85	7.13	8.40	130.0

Kaya birimlerine ait emniyetli taşıma gücü değerleri dikkate alındığında, taşıma gücü açısından sorun yaratabilecek temel kayasının olmadığı sonucu elde edilmektedir. Ancak temel çukurlarının açımı sırasında süreksizliklerin eğim yönlerinin ve/veya kesişen süreksizliklerin arakesitlerinin dalım yönünün temel çukuruna doğru olması kaya kaymaları açısından sorun oluşturabilecektir.

6. KAYA KÜTLE DEFORMABİLİTESİ

İnşaat uygulamalarında, inşaatların tamamlanması ile temel kayaçları üzerinde önemli ölçüde yükleme yapılabilmektedir. Yükleme etkisi altında temel kayaçlarının göstereceği kütle deformabilitesi kayalar üzerine yapılan yapıların duraylılığı açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında inşaat sonrası kaya temelinde meydana gelebilecek düşey yöndeki birim deformasyonları tahmin edebilmek için kaya kütlelerinin deformasyon modülleri Hoek ve Brown ve Serafim ve Pereira tarafından önerilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır (Hoek ve Brown, 1997; Serafim ve Pereira, 1983).

Yapılan hesaplamalar sonucunda deformasyon modülleri bazaltlar için 16.32 GPa, dasitler için 17.30 GPa, andezitik tüfler için 19.65 GPa ve kireçtaşları için ise 70.80 GPa olarak hesaplanmıştır. Bu değerler baz alınarak I.A.E.G.'a göre bazalt, dasit ve andezitik tüfler "orta" deformabiliteli" ($E_m=15-30$ GPa), kireçtaşları "çok düşük deformabilite"li" kayaçlar ($E_m > 60$ GPa) olarak tanımlanmışlardır (Anon 1979).

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışma kapsamında yapılan arazi gözlemleri ve büro çalışmalarından saptanan verilerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Yerleşim birimleri ve yakın civarında yüzeyleyen kaya birimleri alttan üste doğru, Jura yaşlı Berdiga Formasyonu'na ait sipilitik bazaltlar ve kalın katmanlı kireçtaşları, Üst Kretase yaşlı Hamsiköy Formasyonu'na ait andezitik tüfler ve Tersiyer yaşlı Dikkaya Formasyonu'na ait dasitlerdir.

2. Kayaç kütleleri içerisinde yer alan süreksizliklerin jeoteknik incelenmesi sonucunda süreksizlik ara uzaklıkları bazalt ve dasitlerde “geniş-orta aralıklı”, andezitik tüf ve kireçtaşlarında “geniş aralıklı”, devamlılıkları dasit, kireçtaşı ve andezitik tüflerde “orta”, bazaltlarda ise “yüksek” (> 10 m), açıklıkları bazalt ve kireçtaşları “çok dar – dar”, andezitik tüf ve dasitler “dar”, yüzey pürüzlülüğü, dasit ve andezitik tüflerde “hafif pürüzlü (SR)” bazaltlarda “düz-hafif pürüzlü (S-SR)” ve kireçtaşlarında “pürüzlü (R)” olarak sınıflandırılmıştır.
3. Çalışma alanında yüzeyleyen kayalardan dasitler “orta”, bazaltlar ve andezitik tüfler “yüksek”, kireçtaşları “çok yüksek” birim hacim ağırlık değerlerine sahip oldukları, porozite açısından ise bazalt, kireçtaşı ve andezitik tüfler “orta”, dasitler ise “yüksek” poroziteli kayalar olarak sınıflandırılmıştır.
4. Çalışma alanında yüzeyleyen kayaların tek eksenli basınç dayanımları dikkate alındığında ISRM (1981)’e göre, dasit, bazalt, andezitik tüf ve kireçtaşları “yüksek” dayanım grubunda yer almaktadır.
5. Bieniawski’nin RMR Kaya Kütle Sınıflama Sistemi’ne göre bazaltlar, dasitler ve andezitik tüfler “iyi kaya”, kireçtaşları ise “çok iyi kaya” olarak tanımlanmışlardır (Bieniawski, 1989). Bazaltların tek eksenli kaya kütleli basınç dayanımı ortalama 21.44 MPa, dasitlerin 22.30 MPa, andezitik tüflerin 24,55 MPa, kireçtaşlarının ise 116.61 MPa düzeyinde olduğu belirlenmiştir.
6. Kaya kütlelerinin izin verilebilir taşıma güçleri bazaltlar için 3.85 MPa, dasitler için 7.13 MPa, Andezitik tüfler için 8.40 MPa, kireçtaşları için 130 MPa olarak hesaplanmıştır. Kaya kütleli deformasyon modülleri Hoek-Brown (2002) tarafından önerilen eşitlik kullanılarak bazaltlar için 16.32 GPa, dasitler için 17.30 GPa, andezitik tüfler için 19.65 GPa ve kireçtaşları için ise 70.80 GPa olarak hesaplanmıştır (Hoek ve Brown, 2002). IAEG’a göre yerleşim birimleri ve yakın civarında yer alan kayalardan bazalt, dasit ve andezitik tüfler “orta” deformabiliteli” kireçtaşları “çok düşük deformabiliteli” kayalar olarak tanımlanmışlardır (Anon, 1979). Ayrıca materyal boyutta karot örnekleri üzerinde dinamik elastisite modülü ölçümleri kuru ve suya doygun şartlarda gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçların kütleyle ait sabitler ve GSI (jeolojik dayanım indeksi) değerleri kullanılarak hesaplanmış deformasyon modülü değerlerinden (kireçtaşı hariç diğerlerinde) % 100 oranında daha büyük olduğu belirlenmiştir (Çizelge 9).

Çizelge 9. Dinamik elastisite modülü ve kütleyle ait deformasyon modülleri

Dinamik elastisite modülü (GPa)	Dasit	Bazalt	Kireçtaşı	Andezitik tüf
E_d (kuru)	28.50	38.20	63.30	29.00
E_d (doygun)	30.40	43.80	69.10	39.10
E_m (kütleyle ait)	17.30	16.33	61.80	19.65

KAYNAKLAR

- ASTM (1980a): “Standard Method of Test for Unconfined Compressive Strength of Rock Core Specimens”, Annual Book of ASTM Standards, Designation 2939-79, Part 19, 440-443.
- ASTM (1980b): “Standard Method of Test for Triaxial Compressive Strength of Undrained Rock Core Specimens without Pore Pressure Measurements”, Annual Book of ASTM Standards, Designation 2664-67.

- Anon (1979): "Classification of Rocks and Soils for Engineering Geological Mapping", Part 1, Rock and Soil Materials, Report of the Commission of Engineering Geological Mapping, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 19, pp. 364-371.
- Atkinson R.H., Bamford W.H., Broch E., Deere D.U., Franklin J.A., Nieble C., Rummel F., Tarkoy P.S., Van D.H. (1978): "Suggested Methods for Determining Hardness and Abrasiveness of Rocks", ISRM Commission Standardization of Laboratory and Field Tests, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abst., 15, 91-97.
- Ayaz F., Korkmaz S., Yılmaz C. (1996): "Yay-İçi Havzalardaki Resifal Karbonat Birikimlerine Bir Örnek: Şahinkaya Kireçtaşı (Üst Kretase), Düzköy-Trabzon", 30.Yıl Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s. 610-623, KTÜ, Trabzon.
- Barton N. (1978): "Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses", ISRM Commission on Standardization of Laboratory and field Tests, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Astr., 15, 319-368.
- Bieniawski Z.T. (1989): "Engineering Rock Mass Classification", Mc Graw Hill, 237 p.
- Draher N.R., Smith H. (1966): "Applied Regression Analysis", John Wiley and Sons. Inc., 220 p.
- Erguvanlı K., Tarhan F. (1980): "Doğu Karadeniz Kıyı Şeridindeki Kitle Hareketlerinin Mühendislik Jeolojisi Açısından Değerlendirilmesi", KTÜ Yerbilimleri Dergisi, 100.Yıl Özel Sayı, Trabzon.
- Erguvanlı K. (1950): "Trabzon-Gümüşhane Bölgesinin Jeolojik Etüdü Hakkında Rapor", MTA, Rapor No. 2273, Ankara.
- Gattinger T.E., Erentöz C., Ketin İ. (1962): "1:500.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Trabzon Paftası", MTA, Ankara.
- Gedik İ., Kırmacı Z., Çapkinoğlu Ş., Özer E., Eren M. (1995): "The Geologic Development of the Eastern Pontides", Jeoloji Mühendisliği 30.Yıl Sempozyumu, 16-20 Ekim 1995, Trabzon, Bildiri Özleri.
- Hoek E., Brown E.T. (1980): "Underground Excavation in Rock", Institution of Mining and Metallurgy, London.
- Hoek E., Kaiser P.K., Bawden W.F. (1995): "Support of Underground Excavations in Hard Rock", Rotterdam, Balkema.
- Hoek E., Brown E.T. (1997): "Practical Estimates of Rock Mass Strength", Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 34, No. 8, pp. 1165-1186.
- Hoek E., Carranza-Torres C.T., Corkum B. (2002): "Hoek-Brown Failure Criterion-2002 Edition", Proc. North American Rock Mechanics Society Meeting in Toronto in July 2002.
- ISRM (1981): "Rock Characterization Testing and Monitoring (Editor: E.T. Brown, ISRM Suggested Methods)", Pergamon Press, Oxford, England, 211 p.
- İrfan T.Y., Dearman W.R. (1978a): "Engineering Classification and Index Properties of Weathered Granite", Bull. Inst. Ass. Eng. Geol., 17, 79-90.
- Ketin İ. (1966): "Anadolunun Tektonik Birlikleri", MTA Dergisi, No: 66, 20-25.
- Koca M.Y. (1988): "Açılmakta Olan Zigana Tüneli-Gürgenagaç Arası Yol Şevlerinin Duraylılık Analizi", Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 204 sayfa, Trabzon.
- Korkmaz S., Sadıklar M.B., Van A., Tüysüz N., Ercan T. (1993): "Üst Kretase Yaşlı Saraf Tepe (Trabzon) Bazaninin Jeokimyasal Özellikleri ve Jeotektonik Anlamı", Türkiye Jeoloji Bülteni, 36/ 1, s. 37-43.
- Köprübaşı N., Şen C., Kaygusuz A. (2000): "Doğu Pontid Adayayı Granitoidlerinin Karşılaştırılmalı Petrografik ve Kimyasal Özellikleri", Uygulamalı Yerbilimleri 1, 111-120.

- Özsayar T., Pelin S., Gedikođlu A. (1981): “Doğu Pontidlerde Kretase”, KTÜ Yerbilimleri Dergisi, s. 65-114.
- Serafım J.L., Pereira J.P. (1983): “Considerations of the Geomechanics Classification of Bieniawski”, Proc. Int. Symp. Eng. Geol. Underground Construction LNEC, Lisbon, V.1, II.33-II.42.
- Taşlı K. (1984): “Hamsiköy (Trabzon) Yöresinin Jeolojisi”, KTÜ Dergisi, Cilt 3, Sayı 1-2, Trabzon.
- Yılmaz C., Korkmaz S. (1999): “Basin Development in the Eastern Pontides”, Jurassic to Cretaceous, Zbl. Geol. Palaent., Teil I, H. 10-12, 1485-1494.
- Youash Y.Y. (1970): “Dynamic Physical Properties of Rock”, Proc. 2nd Cong. Int. Soc. Rock Mech., Part-1, Theory and Procedure, 171-183, Belgrade.