

## Deriner baraj yerindeki granodiyoritlerin kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerinin sismik kırılma yöntemiyle belirlenmesi (Artvin)

### Determination of engineering properties of granodiorites at Deriner dam site by using seismic refraction method (Artvin)

Hamit ÇAKICI\* 

<sup>1</sup>Mimarlık ve Şehircilik Planlama Bölümü, Pasinler Meslek Yüksek Okulu, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye.  
hamitcakici@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 05.05.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 07.09.2017

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2017.99076

Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Sürekli içeren kaya kütlelerinin dayanım özelliklerinin belirlenmesinde, jeolojik çalışmaların yanında jeofizik yöntemlerin uygulanmasında çok daha doğru ve güvenilir sonuçların elde edilmesini sağlar. Bu çalışmada Deriner (Artvin) Baraj yerinde sağ ve sol sahilde jeolojik yapı dikkate alınarak 20 farklı noktada belirlenen profillerde kayaların elastik parametrelerinin ve kaya kalitelerinin belirlenmesi amacıyla arazide sismik kırılma ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerden çalışma alanındaki hâkim kayaç türü granodiyorit kayalarının içinde yayılan elastik dalgaların (P – ve S – dalgaları) hesaplanmış ve bu hızlar kullanılarak yoğunluk ( $\rho$ ), poisson oranı ( $\nu$ ), kesme modülü ( $G$ ), bulk modülü ( $k$ ) ve elastisite modülü ( $E_{SKY}$ ) hesaplanmıştır. Baraj yerinde kaya kütlelerinin serbest basınç dayanımı ( $q_u$ ) enine dalga hızına ( $V_s$ ) bağlı olarak belirlenmiş olup, sismik ölçümlerin yapıldığı profillerden elde edilen boyuna dalga hızlarından ( $V_p$ ) yararlanılarak kaya kütlelerinin sökülebilirliğinin sınıflaması yapılmıştır. Deriner baraj yerinde yüzeylenen granodiyorit kaya kalitesi özelliği (RQD), 20 farklı yerde doğrudan yüzeylenmiş granodiyorit yüzeyinde belirlenen ölçüm hatlarında yapılan çatlak sayısı ölçümlerinden yararlanarak hesaplanmıştır. Çalışma alanına ait hız dağılım haritaları yapılmış ve baraj yerinde bulunan granodiyorit kaya kütlelerinin RQD değerleri ile sismik kırılma yönteminden elde edilen  $V_s$  (m/s),  $G$  (MPa) ve  $E_{SKY}$  (MPa) değerleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Araştırmada, önce bu özelliklere ait serpilme diyagramları çizilmiş ve belirtilen özellikler arasında doğrusal ilişkilerin olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Deriner barajı, Elastisite modülü ( $E_{SKY}$ ), Kesme modülü ( $G$ ), RQD, Sismik hız,  $t - testi$

#### Abstract

Application of geophysical methods besides geological studies in determining the resistance properties of rock mass including discontinuous provides much more accurate and reliable results. In this study, seismic refraction measurements were done in order to obtain the elastic parameters and quality of rocks at 20 different stations with determined profiles at the Deriner (Artvin) Dam site on both the right and left side. The density ( $\rho$ ), the Poisson's ratio ( $\nu$ ) the shear modulus ( $G$ ), the bulk modulus ( $k$ ) and the modulus of elasticity ( $E_{SKY}$ ) were calculated by using the propagation velocities of elastic waves (P and S waves) within the granodiorite which is dominant rock in the area. The free compressive strength ( $q_u$ ) of the rock mass at the dam site has been calculated using the shear wave velocity ( $V_s$ ), and the rippability of the rock mass was classified by using the longitudinal wave velocities ( $V_p$ ) obtained in the profiles where seismic measurements were done. The rock quality designation (RQD) features of granodiorite outcropped at the Deriner dam site was calculated by utilizing the crack number technique directly on the surface on granodiorite in seismic measurement profile at 20 different stations. The maps of the velocity distributions of the study area obtained in these measurements are given. The relationship between the percentage distribution of the RQD values of the granodiorite rock mass at the dam site and the  $V_s$  (m/s),  $G$  (MPa) and  $E_{SKY}$  (MPa) values obtained from the seismic refraction method are investigated. In the study, firstly, the scatter diagrams of these properties were plotted and linear relationships were found between the specified properties.

**Keywords:** Deriner dam, Elasticity modulus ( $E_{SKY}$ ), Shear modulus ( $G$ ), Seismic velocity, RQD,  $t - test$

## 1 Giriş

Bir kaya kütle için mevcut olan bilgi miktarı, mühendislik özelliklerinin dolaylı bir değerlendirmesini sağlayabilen jeofizik tekniklerle artırılabilir. Özellikle, sismik hızların ve ilişkili elastik parametre değerlerinin bir mühendislik projesinde temeli oluşturacak bir zemin için ne ifade ettiğinin ve önemini ilgili proje mühendisi dilinde anlaşılır olarak ifade edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, son yıllarda zeminlerin salt olarak fiziksel özellikleri yanında zeminlerin mühendislik özelliklerinden olan litolojik, fiziksel ve jeomekanik özelliklerinin açıklanmasına yönelik jeoteknik ve jeofizik inceleme ve uygulamaların artmakta olduğu görülmektedir [1]. Dinamik elastik modül, sıkışma ve kesme dalga hızlarından türetilmiş olduğundan dolayı, kaya kütlelerinin sismik özelliklerinin ölçülmesi özel öneme sahiptir. Kaya kütle karakterizasyonu, yapının tasarımında dikkate alınması gereken parametrelerin değerlendirilmesi için, zemin koşullarının kapsamlı geoteknik,

jeofizik ve mühendislik jeolojisi araştırmasını gerekli kılar [2]. Bunun yanında, kaya malzemesinin mühendislik davranışı, sadece gerilme durumu ve gerilmelerin gelişimine bağlı olmayıp aynı zamanda ayrışma kökenli değişimlere de bağlıdır ve ayrışma kayaçta fiziksel değişimlerle ve mineralojik dolayısıyla kimyasal değişimlere yol açmaktadır [3].

Elastik dalgaların yayılım hızlarının incelenmesiyle toprak ve kaya zemin özelliklerinin belirlenmesi değişik şekillerde gerçekleştirilir. Arazide en kesin ölçüm sondaj kuyuları arasında yapılandır [4]. Ancak, jeofizik incelemelerde pratik ve yaygın olarak kullanılan, yüzeyde darbe ya da patlatma ile oluşturulmuş titreşimlerin değişik tabakalardan geçiş esnasında dalgaların kırılma zamanının ölçülmesine dayanan, sismik kırılma yöntemidir. Ses dalgalarının homojen elastik ortamdaki hareketi teorisinden yararlanarak geliştirilmiş olan bu yöntem, uygulama ve teknolojik açıdan jeofizik yöntemler arasında en gelişmişlerinden olup, kaya kütle özelliklerini araştırmak için en güçlü jeofiziksel yöntemlerden biridir [5].

Yöntem kaya kütlelerinin jeomekanik özelliklerinin incelenmesinde, jeoteknik ve çevresel uygulamalarda özellikle 40m'den daha sığ derinliklerin hızlı, ekonomik ve detaylı araştırılması için 1990 yıllardan beri yaygın ve etkin olarak kullanılmaktadır. Sismik kırılma yöntemi sayesinde yeraltı yapılarına ait sıkışma (P-dalga hızı) ve keme (S-dalga hızı) dalga hızları belirlenmeye çalışılır. Sismik hızlar Poisson oranı ve diğer elastik parametreler gibi ana mekanik özelliklere bağlı olarak değiştiğinden kaya ve toprak kütlelerinin özelliklerinin tanımlanmasında son derece kullanışlıdır ve özellikle sondaj çalışmalarının çok zor olduğu masif kayalar hakkında sismik hızlar sayesinde önemli bilgiler elde edilir [6]. Bu kapsamda, yöntem güncel olarak, köprü, tünel, baraj, metro, nükleer santraller ve diğer önemli devasa tesisler gibi yapıların inşasından önce kaya kalitesinin belirlenmesinde ve zayıf kayanın varlığının araştırılmasında en uygun yöntemdir [7]-[13].

Kayaçların jeofiziksel özelliklerini deneysel olarak mekanik davranışlarıyla ilişkilendirmek için birçok ilişkiler geliştirilmiştir [14],[15]. Sjörgen ve diğ. [5], çatlak sayısı ve kaya kalitesi tanımlama (Rock Quality Designation-RQD) gibi bazı kaya mekanik parametrelerini, sıkışma dalgası hızı değerlerinden türetmiş ve ortalama bir regresyon eğrisini sondaj log örnekleri üzerinde kapsamlı bir çalışması ile farklı kaya türleri için elde etmiştir. Böylece, jeomekanik ve jeofiziksel parametreler arasındaki ilişkiler, herhangi bir mühendislik çalışmasından önce kaya kütlelerinin mekanik davranışı hakkında önemli bilgiler edilmiş olur [16]. Öyle ki zemin ve kaya yoğunluklarının sismik hızlar kullanılarak hesaplanması çok parametrelili ilişkilerin kurulmasında çok yararlı ön bilgiler sağlar [17].

Bu çalışma Artvin Deriner Baraj sahasında yer alan kayaların kaya kalitelerinin ve elastik özelliklerinin sismik kırılma sayesinde belirlenmesi, kaya kalitesi ile sismik elastik parametreler arasında ilişkilerin geliştirilmesi ve elde edilen parametrelerin haritalanması amacı ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile çalışma alanının jeolojik formasyonları arasında iyi bir uyum olduğunu göstermiştir.

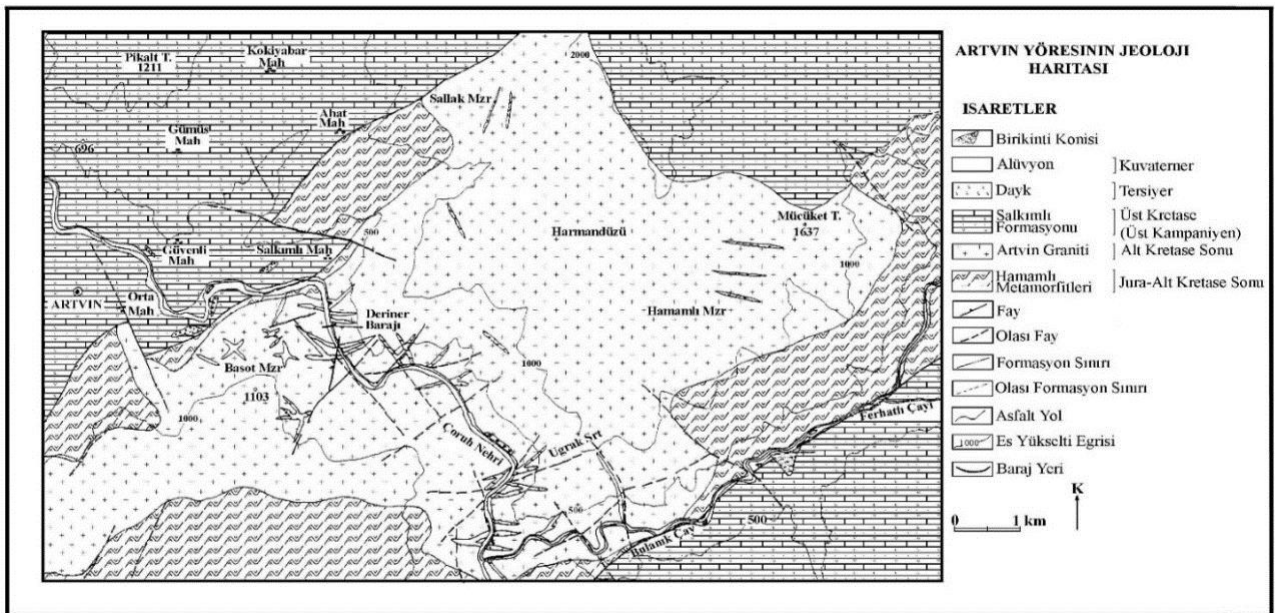
## 2 Jeolojik ve tektonik özellikler

Artvin yöresinde, genel jeolojik, maden yatakları ve mühendislik jeolojisi amaçlı birçok araştırma yapılmıştır. Artvin İli ve yakın çevresinin jeoloji haritasında yaşlıdan gence doğru Hamamlı Metamorfileri, Artvin Graniti, Salkımlı Formasyonu, Alüvyon ayrırtlanmış ve Artvin ili ve yakın çevresinin jeoloji haritası [18] Şekil 1'de verilmiştir.

Hamamlı Metamorfileri Artvin İl merkezinin güneyinde kuzey ve kuzeydoğusunda yüzeylenir. Birim kloritist, serisitist, biyotitist, muskovit-gnays, meta kumtaşı, mermer, killiştir, fillit, metalav, yer yer skarn ve siyah renkli bol kalsit damarlı kristalize kireçtaşı gibi kayaç türlerinden oluşmuştur. Hamamlı Metamorfileri "Yusufeli Formasyonu" [19], "Metamorfik Seri" [20], "Hamurkesen Formasyonu" [21] ile denestirilebilir özelliktedir. Hamamlı Metamorfileri [22]'e göre Alt Kretase'den yaşlı, [23]'e göre Paleozoyik, [24]'e göre Paleozoyik, [25]'e göre Üst Jura-Alt Kretase, [19]'e göre Liyas, [18]'ye göre Jura-Alt Kretase, [20]'a göre Jura, [21]'ye göre Liyas yaşlıdır.

Salkımlı formasyonu, Salkımlı ve Sokran köylerini birleştiren hattın kuzeyi ile Bulanık Çay'ın güneyinde yüzeylenir (Şekil 1). Salkımlı Formasyonu, dasit, andezit, bazalt ve bunların piroklastitleri ile bazen gri, bazen bordo renkli marn ve kireçtaşlarının ardalanmasından oluşmuştur. Formasyonun kalınlığı Hanlar Mahallesi güneybatısında 1300 m olarak ölçülmüştür [18]. Salkımlı Formasyonu Doğu Pontid Kuzey Zonunda "Berta Formasyonu" [19],[26] ve "Kızılkaya Formasyonu" [21] ile denestirilebilir özelliktedir. Salkımlı Formasyonuna Üst Kretase [19], Üst Kanpaniyen [18], Turoniyen-Santoniyen [21] yaşları verilmiştir.

Alüvyonlar; Eski ve yeni alüvyonlar olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Eski Alüvyonlar, Kırlar Sırtı güneyi ve Şehitlik Köyü güneyinde yaygın olarak bulunan eski alüvyonlar kil, silt, kum, çakıl ve blok boyutlu malzemenin karışımından oluşmuşlardır. Yeni Alüvyonlar, Çoruh Nehri ile sulu yan dere yataklarında yüzeylenirler. Alüvyon; granodiyorit, kireçtaşı, granit ve bazalt iri blok, blok ve çakıllardan oluşmuştur. Alüvyon içerisinde silt ve kil boyutlu malzeme az miktarda bulunur.



Şekil 1: Artvin ve yakın çevresinin jeoloji haritası [18].

Artvin yöresinde D-B doğrultusunda uzanan Artvin Graniti orta ve iri kristalli olup, koyu yeşilimsi ve açık pembemsi renklerde görülür. Genelde çatlaklı bir yapıda olup, derinlere inildikçe çatlaklar kapanmaktadır. Çatlak açıklıkları kil, ikincil kalsit ve kuvarsla doldurulmuştur. Çatlak yüzeyleri genelde dalgalanmalıdır. Çoğu yerde granit dokanakları kayma izli ezilmeli ve bol pirit kristallidir. Artvin Graniti yer yer aplit, yer yer de daha genç bazik daykılarla kesilmiştir. Artvin Granitine İkozidere Mağmatitleri, [19],[26], Gümüşhane Graniti [21] isimleri ve Üst Eosen-Oligosen [19],[26], Alt Kretase sonu [18], Jura, [20], Paleozoyik [21] yaşları verilmiştir.

Çalışma alanı olan Deriner Baraj yeri ve yakın çevresi Kuzey Anadolu (Pontid) kuşağının doğusunda bulunmaktadır. Yaygın volkanik kayaların bulunduğu bu kuşakta tortul seriler volkanitlere eşlik ederek volkanik-tortul karmaşığını oluşturur.

### 3 İnceleme alanında yapılan çalışmalar

#### 3.1 Çalışma alanı

##### 3.1.1 Çalışma alanının konumu

Çalışma alanı Karadeniz Bölgesinin Doğu Karadeniz bölümünde yer alan Artvin İli'nin 3 km kuzey doğusunda bulunan Deriner (Artvin) Baraj yeri ve yakın çevresini kapsamaktadır (Şekil 2). Çalışma alanının sağ sahili 488°900-489°400 enlem ve 4°559.400-4°560.330 boylamları, sol sahili ise 488°600-489°200 enlem ile 4°559.400-4°560.200 boylamları arasındadır. Çalışma alanına ulaşım Artvin-Erzurum, Artvin-Hopa ve Artvin-Ardahan karayolu ile sağlanır.

##### 3.1.2 Deriner baraj karakteristikleri

Artvin'de Çoruh Nehri üzerinde yapımına 1988 yılında başlanan, 249 m gövde yüksekliği (Talvegten) ve kret uzunluğu 720 m (kret kotu 397 m) ile Türkiye'nin en yüksek, dünyanın ise 6'ncı yüksek gövdeli barajı olan Deriner barajı ve

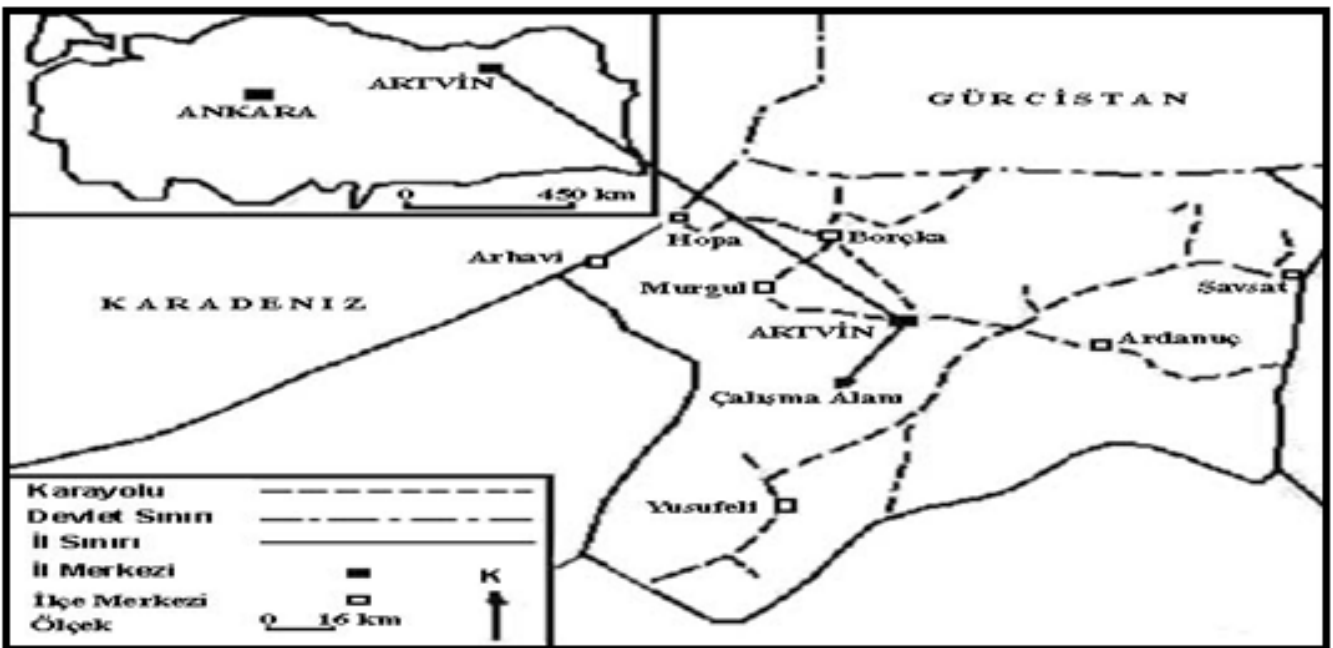
hidroelektrik santrali 2 milyar metreküp su tutulduktan sonra 2012 yılında hizmete açılmıştır. Baraj çift eğrilikli beton kemer olup, kurulu gücü 670 MW'dir. Deriner barajı yılda 2 milyar 118 milyon Kilowatt saat elektrik üretmektedir.

#### 3.2 Jeofizik çalışmalar

Çalışma alanında bulunan birimlerin petrofiziksel özelliklerini ortaya koymak için jeofizik yöntemlerden, sismik kırılma yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan bu yöntem sayesinde  $V_p$  ve  $V_s$  dalga hızları belirlenmiştir.

Sismik ölçümlerde 12 kanallı Geometrics marka araştırma sismografi, 12 adet 14 Hz li düşey (P) ve yatay (S) bileşenli alıcılar kullanılmıştır. P dalgalarını (boyuna dalga) üretmek için enerji kaynağı olarak zemin üzerine yerleştirilmiş çelik levhaya balyozla vurulmuştur. S dalgalarını (enine) üretebilmek için ise 25x10x150 cm boyutlarındaki bir kalas, alıcıların (jeofon) serim doğrultusuna dik ve ortalayacak şekilde 15-20 cm gömülmüş ve balyozla kalasa yan yüzeylerinden vurulmuştur. Baraj sahasının 20 farklı yerinde belirlenen profillerde karşılıklı atışlar (vuruşlar) yapılmıştır. P dalgalarını kaydedebilmek için düşey bileşen alıcılar (jeofonlar), S dalgalarını kaydedebilmek için ise yatay bileşen alıcılar (jeofonlar) kullanılmıştır.

Profil uzunlukları sahanın şartlarına bağlı olarak 24 m (alıcı aralığı 2 m) veya 39 m (alıcı aralığı 3 m) olarak alınmış olup 8-13 m'lik derinliğe kadar sismik hızlar elde edilebilmiştir. Profillerde kırılma dalgaları varış zamanları okunarak zaman-uzaklık grafikleri oluşturulmuştur. Elde edilen grafikler değerlendirilerek elastik dalgalarının (P ve S dalgaları) granodiyorit içerisindeki yayılma hızları ve daha sonra bu hızlar kullanılarak yoğunluk ( $\rho$ ), poisson oranı ( $\nu$ ), kesme modülü ( $G$ ), bulk modülü ( $k$ ) ve elastisite modülü ( $E_{SKY}$ ) hesaplanmıştır.



Şekil 2: Çalışma alanının yer buldurur haritası [27].



### 3.2.1 Sismik kırılma yöntemi ile yapılan çalışmalar

Sismik kırılma yöntemi yeryüzünde veya çok sığ derinliklerde yapay olarak meydana getirilen sismik dalgaların yer içerisinde akustik empedans farklılığı olan arayüzelerde kritik kırılarak (hızın derinlikle artması zorunludur) arayüzey boyunca yayıldıktan sonra, yine kritik kırılarak yeryüzündeki algılayıcılara gelmeleri için geçen zamandan faydalanarak yeraltındaki tabakalı ortamların hız ve kalınlık bilgilerini elde etmede güvenilir en yaygın kullanılan bir yöntemdir. Sismik dalga üretmek için patlayıcılar, ağırlık düşürme, balyoz gibi kaynaklar kullanılır. Bunlardan balyoz kaynağı mühendislik amaçlı çalışmalarda sıklıkla tercih edilir (Şekil 3).



Şekil 3: Deriner baraj yerinde yapılan sismik kırılma ölçü alımı.

Bir kaynak ile üretilen sismik dalgalar kaynaktan belirli uzaklıklarda bir düzen içinde yerleştirilen alıcılarda kaydedilir. Sismik kırılma yöntemi mühendislik çalışmalarında temel kayanın derinliğinin ve fiziksel özelliklerinin saptanmasında geniş ölçüde kullanılır. Böylece kaya kütleline ait, yoğunluk, poisson oranı, kesme modülü, bulk modülü, elastisite modülü, kaya kütleli niteliği ve serbest basınç dayanımı gibi parametreler aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanabilir [27].

Yoğunluk	$\rho = 0.31 \cdot V_p^{0.25}$ (g/cm <sup>3</sup> )	[28]	(1)
Poisson Oranı	$\nu = \{0.5 (V_p/V_s)^2 - 1\} / \{(V_p/V_s)^2 - 1\}$	[29],[30]	(2)
Makaslama Modülü	$G = \rho \cdot V_s^2$	[31]	(3)
Bulk Modülü	$k = E / (3(1-2\nu))$	[31]	(4)
Elastisite Modülü	$E_m = 2 G(1+\nu)$	[31]	(5)
Kaya Niteliği	$Q = 10^{V_p - 3.5}$	[32]	(6)
Serbest basınç dayanımı	$q_u = 10^{2.4 \log(V_s) - 5.13}$	[32]	(7)

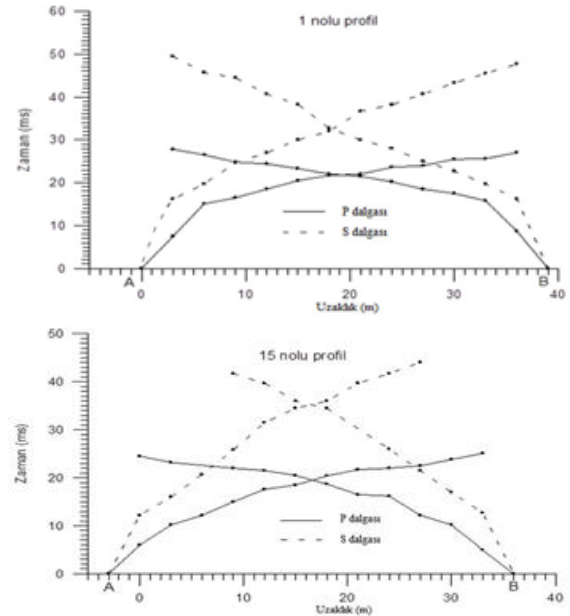
Bu bağıntılarda;

$V_p$	: Boyuna dalga hızı (m/s),
$V_s$	: Enine dalga hızı (m/s),
$G$	: Makaslama Modülü (MPa),
$E_m$	: Elastisite Modülü (MPa),
$\rho$	: Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> ),
$k$	: Bulk modülü (MPa),
$q_u$	: Serbest basınç dayanımı (kg/cm <sup>2</sup> ) dir.

Deriner baraj yerinde granodiyorit kaya kütleline ait mühendislik parametrelerinin sismik kırılma yöntemiyle belirlenmesi sonucunda 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 No.lu formüllerden elde edilen değerler ile sismik ölçümlerin yapıldığı profillerin koordinatları Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde  $V_p$  değerleri 2192 m/s ile 3061 m/s arasında,  $V_s$  değerleri ise

1045 m/s ile 1708 m/s arasında elde edilmiştir. Makaslama modülünün ( $G$ ) 2424 (MPa) ile 6531 (MPa), elastisite modülü ( $E_{SKV}$ ) nin ise 6820 (Mpa) ile 15801 (Mpa ) arasında değiştiği tespit edilmiştir. Burada, granodiyorit yoğunluk değerlerinin düşük, poisson oranının ise en az ve en çok değerinin logaritmik olarak değiştiği görülmektedir.

Baraj yerinde seçilen profillerde, kırılma dalgaları varış zamanları okunarak zaman-uzaklık grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 4). Elde edilen grafikler değerlendirilerek elastik dalgalarının (P ve S dalgaları) granodiyorit içerisindeki yayılma hızları hesaplanmıştır. Deriner baraj yerinde sismik ölçümlerin yapıldığı profillerin yerleri Şekil 5'te verilmiştir. Baraj yerindeki granodiyorit kaya kütleline ait sükübelirliğinin belirlenmesinde, boyuna dalga hızlarından ( $V_p$ ) yararlanılmıştır (Tablo 1). Böylece [33] tarafından boyuna dalga hızları ( $V_p$ ) kullanılarak yapılan sükübelirlik sınıflamasına göre, 14, 17, 19 ve 20 No.lu profillerdeki granodiyorit "Çok Zor", diğer profillerde ise "Son Derece Zor" sükübelirli kaya sınıfında yer aldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4: 1 ve 15 No.lu profillere ait zaman-uzaklık grafiği [27]. P-dalgası ve S-dalgası ilk varışları sırasıyla sürekli ve kesikli çizgilerle gösterilmiştir.

### 3.3 Mühendislik jeofiziği çalışmaları

#### 3.3.1 Kaya kalitesi özelliği

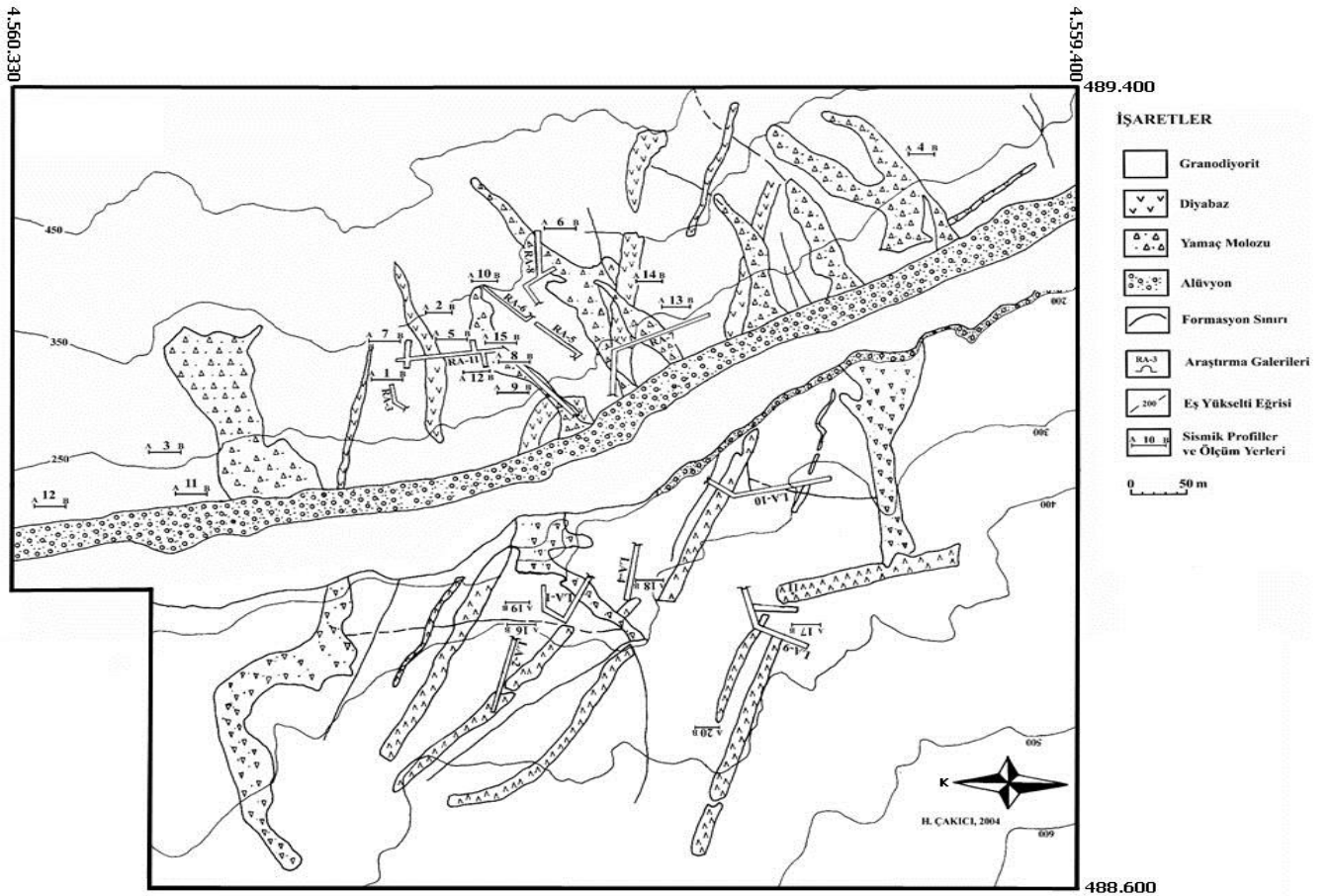
Deriner baraj yerinde yüzeylenen granodiyorit'in RQD değerleri, 20 ayrı istasyonda yüzeylemelerde oluşturulan ölçüm hatlarında yapılan ölçümlerden yararlanarak hesaplanmıştır. Ölçümler, granodiyorit yüzeylemelerinde 20-30 m'lik şerit metre çekilerek gerçekleştirilmiştir. Bu ölçüm hattını kesen çatlaklar sayılarak ortalama çatlak sayısı ( $\lambda$ ) belirlenmiş ve [34] tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik kullanılarak kaya kalitesi özelliği (RQD) hesaplanmıştır.

$$\text{Eşitlikte; } RQD = 100 \times e^{-(0.1\lambda)} (0.1\lambda + 1) \quad (8)$$

ROD	: Kaya kalitesi özelliği,
$\lambda$	: 1 m uzunluktaki ölçüm hattını kesen ortalama çatlak sayısıdır.

Tablo 1: Deriner (Artvin) baraj yerinde sismik kırılma yöntemiyle elde edilen parametreler [27].

Profil No	X <sub>o</sub>	Y <sub>o</sub>	V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	ρ (g/cm <sup>3</sup> )	ν	G (MPa)	ESKY (Mpa)	K (MPa)	RQD (%)
1	489,109	4.560,008	2632	1045	2,22	0,406	2425	6820	12149	73
2	489,154	4.559,970	2429	1399	2.17	0,252	4259	10664	7161	77
3	489,030	4.560,220	3061	1603	2.30	0,110	5925	15536	13705	89
4	489,325	4.559,578	2525	1645	2.19	0,131	5946	13454	6082	83
5	488,133	4.559,955	2721	1708	2.23	0,175	6532	15348	7868	85
6	489,265	4.559,882	2419	1640	2.17	0,075	5847	12568	4925	87
7	489,119	4.559,990	2609	1579	2.21	0,211	5524	13379	7716	85
8	489,130	4.559,921	2857	1538	2.26	0,296	5361	13896	11351	85
9	489,088	4.559,899	2840	1681	2.26	0,230	6395	15736	9726	86
10	489,179	4.559,939	2503	1169	2.19	0,361	2996	8153	9742	75
11	489,979	4.560,193	2619	1551	2.21	0,230	5335	13123	8098	86
12	488,974	4.560,306	2857	1370	2.26	0,351	4254	11491	12828	77
13	489,156	4.559,761	2632	1282	2.22	0,344	3649	9813	10516	75
14	488,199	4.559,810	2326	1268	2.15	0,289	3461	8921	7032	79
15	489,150	4.559,910	2940	1186	2.28	0,403	3211	9008	15450	82
16	488,855	4.559,899	2666	1855	2.22	0,031	7665	15802	5612	90
17	488,787	4.559,817	2192	1209	2.12	0,281	3100	7946	6058	74
18	488,898	4.559,809	2465	1225	2.18	0,336	3278	8759	8902	72
19	488,864	4.559,657	2376	1486	2.16	0,179	4779	11267	5846	79
20	488,774	4.559,765	2336	1626	2.15	0,030	5698	11739	4163	78



Şekil 5: Deriner (Artvin) baraj yerinde sismik ölçümlerin yapıldığı profiller [27].

Baraj yerinde yüzeylenen granodiyorit (Şekil 6) hesaplanan RQD değerlerinin [35] tarafından verilen kaya kalitesi sınıflamasına göre dağılımları Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 2 incelendiğinde RQD değerlerinin 1, 17 ve 18 No.lu istasyonlarda "orta", 16 No.lu istasyonda "çok iyi" diğer istasyonlarda ise "iyi" kaliteli kaya sınıfında olduğu görülmektedir.



Şekil 6: Baraj yerinde granodiyorit ve diyabaz dayklarının görünümü.

### 3.3.2 Litolojik Özellikler

#### 3.3.2.1 Granodiyorit

Çalışma alanında görülen granodiyorit iri ve orta kristalli olup içerdiği mineral türüne bağlı olarak koyu yeşil ve pembemsi görülür. Çatlak açıklıkları kalsit, kil ve kuvarsla doldurulmuştur. Yaygın ayrışma türü serizitleşme ve killeşmedir [27].

#### 3.3.2.2 Diyabaz

Çalışma alanı içerisinde granodiyoriti kesen diyabazlar, ince taneli olup siyah veya koyu renklidirler. Çoğu kez çatlaklı olup, çatlak araları çoğu zaman koyu renkli kil ile dolguludur. Çatlak yüzlerinde bazen pirit kristalleri saçılmış halde bulunur [27].

#### 3.3.2.3 Yamaç molozu

Çalışma alanında yamaçların bulunduğu alanda granodiyorit ve diyabaz malzemesinden oluşmuşlardır. Köşeli ve yassı olup kil, silt, kum ve çakıllardan oluşmuşlardır [27]. Baraj yerinde açılan araştırma kuyularında yamaç molozunun kalınlığının 0.5-14 m arasında olduğu belirlenmiştir [26].

### 3.3.3 Baraj yeri kaya kütesinin süreksizlik özellikleri

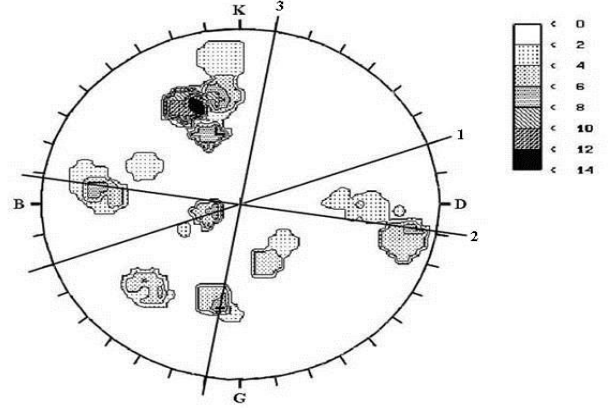
#### 3.3.3.1 Çatlaklar

Granodiyoritte gelişen çatlak sistemlerinin konumlarını belirlemek amacıyla 20-30 m uzunluğunda, farklı güzergahlar boyunca çatlak yüzeylerinden 1205 adet doğrultu ve eğim ölçüsü alınmıştır. Ölçümlerin çoğunluğunun hangi doğrultularda ve eğimlerde konumlandıklarını görmek için bu ölçülerden kontur diyagramı hazırlanmıştır. Hazırlanan diyagramda çatlak doğrultu ve eğimlerinin üç alanda toplandığı görülmektedir. Diyagram incelendiğinde birinci derecede gelişen çatlak sisteminin doğrultusu  $K70^{\circ}D$ , eğim ise  $52^{\circ}GD$  olduğu görülmektedir. İkinci derecede gelişen çatlak sisteminin doğrultu ve eğim derecesi  $K82^{\circ}B/53^{\circ}KD$  dur. Üçüncü derecede gelişen ise  $K10^{\circ}D/72^{\circ}GD$  dur (Şekil 7). En fazla yüzdeye karşılık gelen değer 14 değeridir. Şekil 7 incelendiğinde, bölgeye etki eden deformasyon kuvvetlerinin GB-KD yönlü olduğu görülür. Çatlakların çoğunluğu koyu yeşil, kahverengi ve siyah renkli killerle, bazıları ise kalsit, kuvars ve jips ile dolmuştur.

#### 3.3.3.2 Çatlak ara uzaklığı

Baraj yerinde granodiyorit yüzeylemelerinde yapılan çalışmalarda çatlak ara uzaklığı değerlerinin [36]'ya göre

genellikle orta ve dar aralıklı olduğu, hakim çatlak ara uzaklığının 10-30 cm arasında olduğu görülmüştür [27].



Şekil 7: Deriner (Artvin) baraj yerinde granodiyorit'ten alınan 1205 çatlak ölçüsüne göre hazırlanan kontur diyagramı (Alt Yarıküre)[27].

#### 3.3.3.3 Çatlak açıklığı

Granodiyorit yüzeylemelerinde hakim çatlak açıklığı değerlerinin 0-8 mm arasında olduğu tespit edilmiştir [27].

#### 3.3.3.4 Süreksizlik dolguları

Baraj yerinde granodiyoritin içerdiği süreksizliklerin dolgularının kil, kuvars ve jips le dolgulu olduğu, [37]'e göre de granodiyoritin "sert ve 5 mm den küçük" ile "sert ve 5 mm'den büyük" dolgu içerdiği görülmüştür [27].

#### 3.3.3.5 Pürüzlülük

Pürüzlülük, açık arazide pürüzlülük tarağı adı verilen özel olarak geliştirilmiş bir alet yardımıyla ölçülmüştür. Ölçülen pürüzlülük şekilleri [38] tarafından önerilen standart pürüzlülük profilleriyle karşılaştırılarak, her süreksizlik yüzeyi için JRC (Joint Roughness Coefficient) değerleri bulunmuştur. Elde edilen bu pürüzlülük (JRC) değerlerinin sınıflamasına göre [37] "pürüzlü" sınıfına girdiği görülmüştür [27].

#### 3.3.3.6 Bozunma

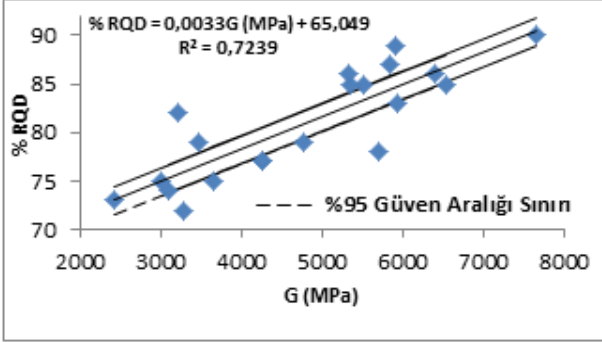
Granodiyoritin bozunma durumu, arazide 20 farklı ölçüm yerinde yapılan çalışmalarla belirlenmiş ve [36] tarafından verilen sınıflama esas alınarak değerlendirilmiştir. Buna göre granodiyoritin, "az bozunmuş" ve "orta derecede bozunmuş" sınıfına girdiği belirlenmiştir [27].

### 3.4 Granodiyorit kaya kütesinin farklı yöntemlerle belirlenen mühendislik özellikleri arasındaki ilişkiler

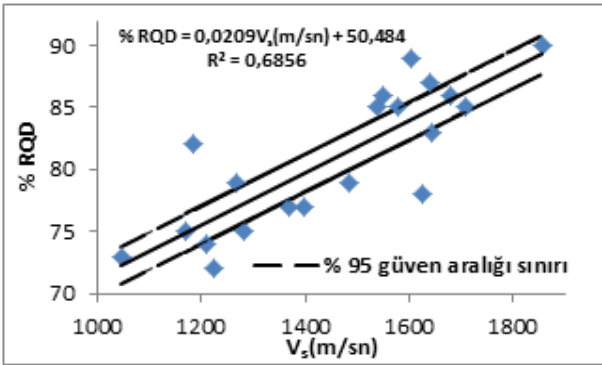
Yapılan çalışmada iki gruba ait ortalamalar arasındaki farkın anlamlı olup olmadığı ile ilgili hipotezleri test etmek için F testi, istatistiksel anlamlılığın varlığının ve varsa da var olan farklılığın düzeyinin belirlenmesi için P testi ve bir gruptaki ortalamanın diğer gruptaki ortalamadan önemli derecede farklı olup olmadığını belirlemek içinde t testi yapılmıştır. Baraj yerinde bulunan granodiyorit kaya kütesinin RQD değerlerinin yüzde dağılımı ile sismik kırılma yönteminden elde edilen Vs (m/sn), G (MPa) ve ESKY (Mpa) değerleri arasındaki ilişkiler Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterilen veriler kullanılarak incelenmiştir. Araştırmada, önce bu özelliklere ait serpilme diyagramları çizilmiş ve belirtilen özellikler arasında doğrusal ilişkilerin bulunduğu görülmüştür. Daha sonra iki özellik arasındaki doğrusal regresyon denklemi en küçük kareler



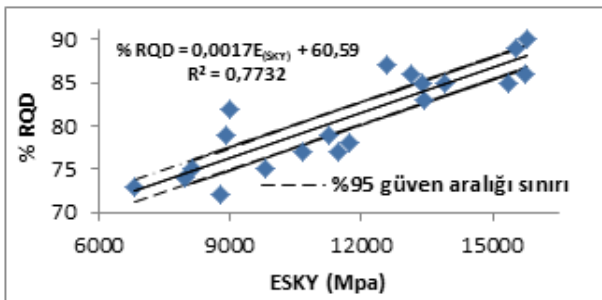
yöntemiyle elde edilmiş ve doğrusal regresyon denkleminin anlamlılığı belirli anlamlılık düzeyinde değişinti analizi ile test edilmiştir. Araştırılan özellikler arasındaki ilişkilerin derecesi ise ilişki katsayısı hesaplanarak belirlenmiş ve ilişki katsayısının anlamlı olup olmadığı belirli anlamlılık düzeyinde t-testi [39] ile sınanmıştır. Ayrıca, yine belirli anlamlılık düzeyinde doğrusal regresyon doğruları etrafında güven aralıkları hesaplanmıştır (Şekil 8-10).



Şekil 8: % RQD-G(MPa) arasındaki doğrusal regresyon denklemi ve güven sınırları.



Şekil 9: % RQD-Vs (m/sn) arasındaki doğrusal regresyon denklemi ve güven sınırları



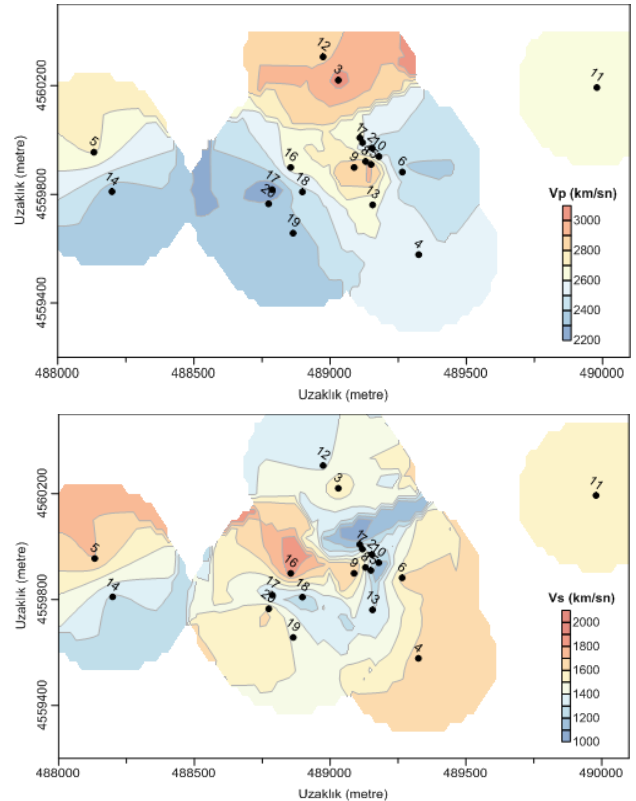
Şekil 10: % RQD-ESKY (Mpa) arasındaki doğrusal regresyon denklemi ve güven sınırları.

G (MPa) değişkeni bağımsız ve % RQD değişkeni bağımlı değişken olarak alındığında, elde edilen doğrusal regresyon modeli Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde doğrusal regresyon modelinin anlamlı olup olmadığını test etmek amacıyla yapılan değişinti analizi sonucunda F değeri (doğrusal regresyon denkleminin anlamlılığı) 47.195 ve P (anlamlılık) değeri 0.000 olarak tespit edilmiştir. Bu durumda doğrusal regresyon modelinin %5 önem seviyesinde anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

V<sub>s</sub> (m/s) değişkeni bağımsız ve % RQD değişkeni bağımlı değişken olarak alındığında, elde edilen doğrusal regresyon modeli Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde doğrusal regresyon modelinin anlamlı olup olmadığını test etmek amacıyla yapılan varyans analizi sonucunda F değeri 39.249 ve P değeri 0,000 olarak bulunmuştur. Bu durumda doğrusal regresyon modelinin %5 önem seviyesinde anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

ESKY(Mpa) değişkeni bağımsız ve % RQD değişkeni bağımlı değişken olarak alındığında, elde edilen doğrusal regresyon modeli Tablo 5'te verilmiştir. Tablo 5 incelendiğinde doğrusal regresyon modelinin anlamlı olup olmadığını test etmek amacıyla yapılan değişinti analizi sonucunda F değeri 61.365 ve P değeri 0.000 olarak bulunmuştur. Bu durumda doğrusal regresyon modelinin %5 önem seviyesinde anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

Deriner baraj yeri sahasında sismik kırılma cihazı kullanılarak elde edilen sismik ölçümlerden bulunan sismik hız dağılımı anomali haritaları Şekil 11'de verilmiştir. Kayaç kalitesine yönelik pratik ve daha belirgin bilgi sunan bu anomali haritası incelendiğinde 5., 12., 3. ve 11. profilin bulunduğu alanlarda V<sub>p</sub>=2600 m/s ve V<sub>s</sub>=1600 m/s üzeri olduğu görülmüştür. 14., 17., 20. 18., ve de 6. profillerin olduğu alanlar bu değerlerin altında düşük hız değerlerine sahiptir. Çalışma alanında 6. ve 4. profillerdeki hız değerleri ile 12. ve 3. profil hız değerleri ters ilişki vermiştir. Yani yüzeysel olarak çatlak verilerinden elde edilen RQD verileri her ne kadar kayaç verilerini yansıtsa da, sismik verilerden elde edilen profillerdeki ortalama hız dağılımı, granodiyoritin petrofizik özelliklerini gösterdiğinin delili sayılmaktadır.



Şekil 11: Deriner (Artvin) baraj yeri sahasına ait sismik ölçümlerin yapıldığı profillerden elde edilen sismik hız dağılımı haritaları.

Tablo 2: Deriner baraj yerinde yüzeylenen granodiyorit' ten elde edilen RQD değerlerinin % dağılımı [27].

RQD[35]		Ölçüm Yeri (İstasyon) Numarası																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Kaya Kalitesi	RQD %	RQD değerlerin % dağılımı																			
Çok Kötü	<25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kötü	25-50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Orta	50-75	73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74	72	-	-
İyi	75-90	-	77	89	83	85	87	85	85	86	75	86	77	75	79	82	-	-	-	79	78
Çok İyi	90-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	-	-	-	-

Tablo 3: Regresyon modelleri için elde edilen istatistiksel sonuçlar.

% RQD - G (MPa)		t değeri	P değeri	F değeri	P değeri
Sabit katsayı	a	65,049	27,128	0,000	
Regresyon katsayısı	b	0,0033	6,870	0,000	47,195

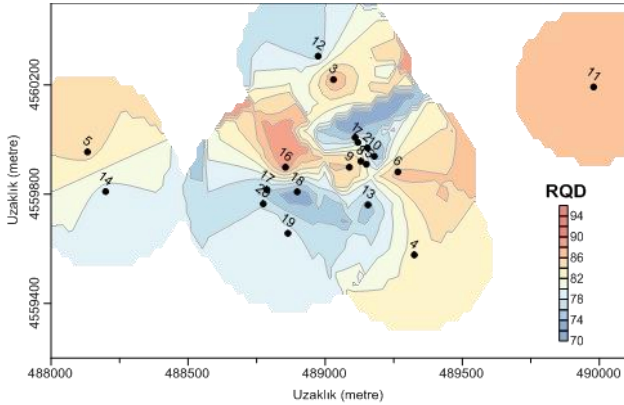
Tablo 4: Regresyon modelleri için elde edilen istatistiksel sonuçlar.

% RQD - $V_s$ (m/sn)		t değeri	P değeri	F değeri	P değeri
Sabit katsayı	a	50,484	10,302	0,000	
Regresyon katsayısı	b	0,0209	6,265	0,000	39,249

Tablo 5: Regresyon modelleri için elde edilen istatistiksel sonuçlar.

% RQD - $E_{SKY}$ ( Mpa )		t değeri	P değeri	F değeri	P değeri
Sabit katsayı	a	60.59	22,794	0,000	61,365
Regresyon katsayısı	b	0,0017	7,834	0,000	

Deriner baraj yerinde yüzeylenen granodiyorit RQD değerleri, 20 ayrı istasyonda yüzeylenmelerde oluşturulan ölçüm hatlarında yapılan ölçümlerden yararlanarak hesaplanmıştır (Şekil 12). Elde edilen üç harita incelendiğinde RQD dağılım haritası ile  $V_s$  dağılım haritasının çok benzer olduğu görülmektedir. Burada kayaç kalite faktörüyle kayaç yanal süreksizlik değişiminin duyarlılığı ortaya konulmuştur.



Şekil 12: Deriner (Artvin) baraj yerinde yüzeylenen granodiyorit'in RQD değerleri dağılımı haritası.

#### 4 Sonuçlar

Bu çalışmada Deriner (Artvin) baraj yerinde yüzeylenen granodiyorit kaya kütlelerinin dayanım özellikleri bir jeofizik yöntem olan sismik kırılma yöntemi ile araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1 Deriner (Artvin) baraj yerinde granodiyorit kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri sismik kırılma yöntemi kullanılarak her istasyon için ayrı ayrı elde edilmiş ve granodiyorit; yoğunluğunun ( $\rho$ ) 2.15-2.30 g/cm<sup>3</sup> aralığında olduğu görülmüştür. Orta derecede bozunmuş olan granodiyorit kaya kütlelerinde minerallerin daha çok kile dönüşmüş olması ve içerisinde kuvars bulundurulması yoğunluk değerlerinin biraz düşük olmasına sebebiyet vermiş olabilir,
- 2 Poisson oranının ( $\nu$ ) 0.030-0.406 arasında değiştiği görülmüştür. Kaya kütleleri orta derecede ayrılmış olmasına rağmen, kaya kütleleri içerisinde az ayrılmadan yüksek dereceye kadar ayrılmış, farklı oranlarda kaya malzemesi bulunmaktadır. Ayrıca süreksizlik sıklığı RQD (%) değiştiği için  $V_p$  ve  $V_s$  dalgalarının hız değişim aralıklarında nispeten büyük olması, poisson oranlarının değişim aralığının geniş olmasına neden olmuştur,
- 3 Kesme modülünün (G) 2424,74-7665,04 MPa; elastisite modülünün ( $E_{SKY}$ ) 6820.46-15801.51 MPa; bulk modülünün (k) 4924,16-15449,61 MPa; serbest basınç direncinin ( $q_u$ ) 12.88-51.76 MPa arasında değiştiği ve sökülebilirlik açısından "çok zor ve son derece zor sökülebilir kaya", sınıflarında yer aldığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar baraj yeri uygunluğu açısından incelendiğinde, baraj yerinin uygun olduğu sonucunu desteklemiştir,
- 4 Granodiyorit kaya kütlelerinin farklı yöntemlerle belirlenen mühendislik özellikleri arasındaki ilişkiler regresyon analizi ile araştırılmış Sismik kırılma yöntemi verilerinden elde edilen (G;  $V_s$ ;  $E_{SKY}$ ) mühendislik özellikleri ile % RQD verileri kullanılarak belirlenen mühendislik özellikleri arasında, 0.05 anlamlılık düzeyinde, anlamlı doğrusal ilişkilerin bulunduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sismik hız değerleri ile RQD



değerlerin birbirini desteklediği görülmektedir. Bu da benzer alanlarda kaya ve zemin dayanımının belirlenmesinde birden çok disiplinin birlikte çalışmasının önemini ortaya koymuştur.

## 5 Teşekkür

Bu makalede Jeo. Yük. Müh Hamit ÇAKICI tarafından hazırlanan doktora çalışması kapsamında araziden toplanan sismik kırılma verileri kullanılmıştır. Arazi çalışmaları sırasında her türlü döküman yardımında bulunan Elektrik İşleri Etüd İdaresine, Dolsar Mühendislik AŞ'ye Trabzon DSİ Bölge Müdürlüğüne ve Artvin DSİ Bölge Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

## 6 Kaynaklar

- [1] Keçeli A. "Sismik yöntem ile zemin taşıma kapasitesi ve oturmasının saptanması". *Uygulamalı Yer Bilimleri*, 9(1), 23-41, 2010.
- [2] Hoek E, Bray JW. *Rock Slope Engineering. Institution of Mining and Metallurgy*. 3<sup>rd</sup> Ed. London, Britain, 1981.
- [3] Ceryan, Ş, Tüdeş Ş, Ceryan N, Aydın A. "Kürtün granodiyoritindeki ayrılmış kaya malzemesinin sınıflandırılmasında ve mühendislik özelliklerinin tahmin edilmesinde elastik dalga hızının kullanılması". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(2), 213-222, 2007
- [4] Önalp A. *İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi*. 1 Baskı. Trabzon, Türkiye, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 1982.
- [5] Sjörger B, Ofsthus A, Sandberg J. "Seismic classification of rock mass quality". *Geophysical Prospecting*, 27, 409-42, 1979
- [6] Rao VV, Raju JS, Rao BSP, Rao PK. "Bedrock investigation by seismic refraction method-a case study". *Journal of Indian Geophysical Union*, 8(3), 223-228, 2004
- [7] Klimis NS, Papazachos CB, Efreimidis Ch. F. "Determination of the behavior of sedimentary rock mass: comparison of measured static and dynamic properties". *9<sup>th</sup> International Congress on Rock Mechanics*, Paris, France, 25-28 August 1999.
- [8] Savvaidis AS, Tsokas GN, Soupios P, Vargemezis G, Manakou M, Tsourlos P, Fikos I. "Geophysical prospecting in the krousovitis dam (N. Greece) by Seismic and Resistivity geophysical methods". *Journal of Balkan Geophysical Society (BGS)*, 2(4), 128-139. 1999.
- [9] Venkateswara VR, Srinivasa R, Prakasa RBS, Koteswara RP. "Bed rock investigation by seismic refraction method-A case study". *Journal of Indian Geophysical Union*, 8(3), 223-228. 2004.
- [10] Soupios PM, Papazachos CB, Vargemezis G, Fikos I. "Application of seismic methods for geotechnical site characterization". *International Workshop in Geoenvironment and Geotechnics*, Milos Island, Greece, 12-14 September 2005.
- [11] Othman AA. "Construted geotechnical characteristics of foundation beds by seismic measurements". *Journal of Geophysics and Engineering*, 2, 126-138, 2005.
- [12] Soupios P, Papazachos CB, Vargemezis G, Savvaidis A. "In situ geophysical investigation to evaluate dynamic soil properties at the ilarionas dam". *2<sup>nd</sup> International Conference on Advances in Mineral Resources Management and Environmental Geotechnology (AMIREG 2006)*, Hania, Greece. 25-27 September 2006, 2006.
- [13] Abd El-Aal AK, Mohamed AA. "Near-surface seismic refraction applied to exploring subsurface clay layer at a new mining area in southeast Cairo". *Arabian Journal of Geosciences*, 3, 105-112, 2010.
- [14] Knill JL. "The application of seismic methods in the prediction of grout take in rock". *In Proceedings of the Conference on In situ Investigation in Soils and Rocks, London, Britain*, 13-15 May, 1969.
- [15] McCann D.M, Culshaw M.G, Northmore KJ. "Rock mass assessments from seismic measurements, in Field Testing in Engineering Geology". *Engineering Geology Special Publication*, 6, 257-66, 1990.
- [16] Bieniawski, ZT. *Engineering Rock Mass Classification*, Chichester, Britain, Wiley, 1989.
- [17] Uyanık O, Çathıoğlu B. "Sismik hızlardan yoğunluğun belirlenmesi". *Jeofizik*, 17(1-2), 3-15, 2015.
- [18] Tarhan F. Artvin Granitinin Mühendislik Jeolojisi ve Baraj Yeri Olma Açısından İrdelenmesi. Doçentlik Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 1982.
- [19] Ertunç A. "Çoruh Havzası Olası Baraj Yerleri, Göl Alanları ve Tünel Güzergâhlarının Mühendislik Jeolojisi İncelemesi". E.İ.E. Yayını, Ankara, Türkiye, 1980.
- [20] Maden Tetkik Arama. "Artvin Bölgesel Jeolojik Harita Yapımı Ön Raporu". Trabzon, Türkiye, Bölge Arşiv no:380, Ek rapor:3-40448/1-3, 1982.
- [21] Güven İH. "Artvin İl'i 1/100.000 Jeoloji Haritası". Ankara, Türkiye, 1998.
- [22] Ketin İ. "Artvin Bölgesinin Jeolojik Etüdü Hakkında Memuar". Ankara, Türkiye, 1951, 1949.
- [23] Kraeff A. "Sırya ile ardanuç arasındaki bölgenin jeolojisi hakkında". *Maden Tetkik ve Arama*. 60, 37-43, 1963.
- [24] Gattinger TE. "Trabzon, Rize, Gümüşhane, Erzurum, Artvin ve Kars Vilayetlerinin Bulunduğu Sahadaki Doğu pontid'lerde yapılan jeolojik ve revizyon çalışmaları hakkında rapor". Ankara, Türkiye, 2380, 1956
- [25] Özsayar T, Pelin S, Gedikoğlu A, Çapkınoğlu Ş, Eren AA. "Ardanuç (Artvin) yöresinin jeolojisi". *Karadeniz Üniversitesi Yer Bilimleri Dergisi*, 2(1-2), 21-37, 1982.
- [26] Elektrik İşleri Etüd İdaresi. "Deriner Barajı ve Hidroelektrik Santrali Proje Raporu" Cilt 1, Dolsar Mühendislik Ltd. Şti, Ankara, Türkiye, 1991.
- [27] Çakıcı H. "Deriner (Artvin) Baraj Yeri Kaya Kütleli Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması". Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2005
- [28] Gardner GHF, LW. Gardner LW AR. Gregory A.R. "Formation velocity and density-the diagnostic basics for stratigraphic traps". *Geophysics*, 39, 770-780, 1974.
- [29] Keçeli A. "Sismik yöntemle elde edilen mühendislik parametreleri üzerine". *Jeofizik*, 9(10), 177-180, 1990.
- [30] Keçeli A. "Sismik yöntemlerle müsaade edilebilir dinamik zemin taşıma kapasitesi ve oturmasının saptanması". *Jeofizik*, 4, 83-92, 1990.
- [31] Derringh E. *Computational Engineering Geology*. 1<sup>st</sup> Ed. New Jersey, USA, Prentice Hall, 1998.
- [32] Ercan A. *Kıran (Afet) Bölgelerinde Yer araştırma Yöntemleri Bilgiler ve Kurallar*. 1 Baskı. İstanbul, Türkiye, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Yayını, 2001.
- [33] Bilgin N. İnşaat ve Maden Mühendisleri için Uygulamalı Kazı Mekaniği. İstanbul, Türkiye, Birsan Yayınevi, 1989.
- [34] Priest SD, Hudson JA. "Discontinuity spacing in rock". *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 13, 135-148, 1976.
- [35] Deere DU. "Technical description of rock cores for fengineering purpose". *Rock Mechanics and Engineering Geology*, 1, 16-22, 1963.

- [36] ISRM. "Rock Characterization Testing and Monitoring". ISRM Suggested Methods, E.T. Brown, Pergamon Press, New York, USA, 1981.
- [37] Bieniawski ZT, *Engineering Rock Mass Classification of Jointed Rock Masses*. Newyork, USA, Wiley, 1989.
- [38] Barton N, Choubey V. "The shear strength of rock joints in theory and practice". *Rock Mechanics*, 10, 1-54. 1977.
- [39] Akdeniz F. *Olasılık ve İstatistik*. 5. Baskı, Adana, Türkiye, Baki Kitabevi, 2002.