

## GÜMÜŞHANE YÖRESİNDE YÜZEYLENEN MAGMATİK KÖKENLİ BAZI KAYALARIN JEOMEKANİK ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ARAŞTIRILMASI

*Fatih ALKAN* \*  
*Serhat DAĞ* \*\*

Alınma:23.03.2018; düzeltme:03.06.2018; kabul:13.06.2018

**Öz:** Bu çalışmada, Gümüşhane il merkezinde yüzeylenen andezit ve monzogranit bileşimindeki magmatik kökenli kayaların jeomekanik özellikleri belirlenmiş ve aralarındaki görgül ilişkiler araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, andezit ve monzogranitlerin özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme, hacimce su emme ve gözeneklilik değerleri belirlenmiştir. Her iki kaya türü için kuru ve doymuş koşullarda P ve S dalga hızı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu değerlere bağlı olarak dinamik elastik parametreler saptanmıştır. Mekanik özelliklerden tek eksenli basınç dayanımı, nokta yükü dayanım indeksi ve dolaylı çekilme dayanımı ile statik elastik parametrelerden elastisite modülü ve poisson oranı değerleri belirlenmiştir. Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda, en yüksek korelasyon katsayısı andezitlerde r: 0,90 ve monzogranitlerde r: 0,94 değeri ile P ve S dalga hızı ölçümlerine ait verilerden elde edilmiştir. En düşük korelasyon katsayısı değeri ise monzogranitlerde Kuvars/Alkali Feldispat oranı ile gözeneklilik arasında tespit edilmiştir. Yapılan analizler neticesinde istatistiksel olarak anlamlı bulunan ve yüksek korelasyon katsayısına sahip ilişkilerin çalışma açısından önemli olduğu ve ilgili parametrelerin dolaylı tahminlerinde kullanılabilir nitelikte olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Andezit, Monzogranit, Jeomekanik Özellik, Petrografik Özellik, İstatistiksel Analiz

### **Investigation of the Relations Between Geomechanical Properties of Some Rocks of Magmatic Origins Outcrop in Gümüşhane Region**

**Abstract:** In this study, the geomechanical properties of magmatic origin rocks of andesite and monzogranite composition in Gümüşhane province were determined and empirical relations between these properties were investigated. As a result of experimental studies, specific gravity, unit volume weight, water absorption by weight, water absorption by volume and porosity values of andesite and monzogranites were determined. For both rocks types, P and S wave velocity measurements were carried out under dry and saturated conditions. Depending on these values, dynamic elastic parameters were confirmed. Mechanical properties such as uniaxial compressive strength, point load index, indirect tensile strength and elastic parameters such as modulus of elasticity and Poisson's ratio values were determined. As a result of the statistical assessments, the highest correlation coefficient values which are 0,90 in andesites and 0,94 in monzogranites were obtained from the data of the P and S wave velocity measurements. The lowest correlation coefficient values were determined between Quartz/Alkaline Feldspar ratio and porosity in monzogranites. It is seen that the relations which are statistically significant and have a high correlation coefficient are important for the study and that they can be used in the indirect estimation of the related parameters.

**Keywords:** Andesite, Monzogranite, Geomechanical Property, Petrographical Property, Statistical Analysis

\* Fatih ALKAN, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

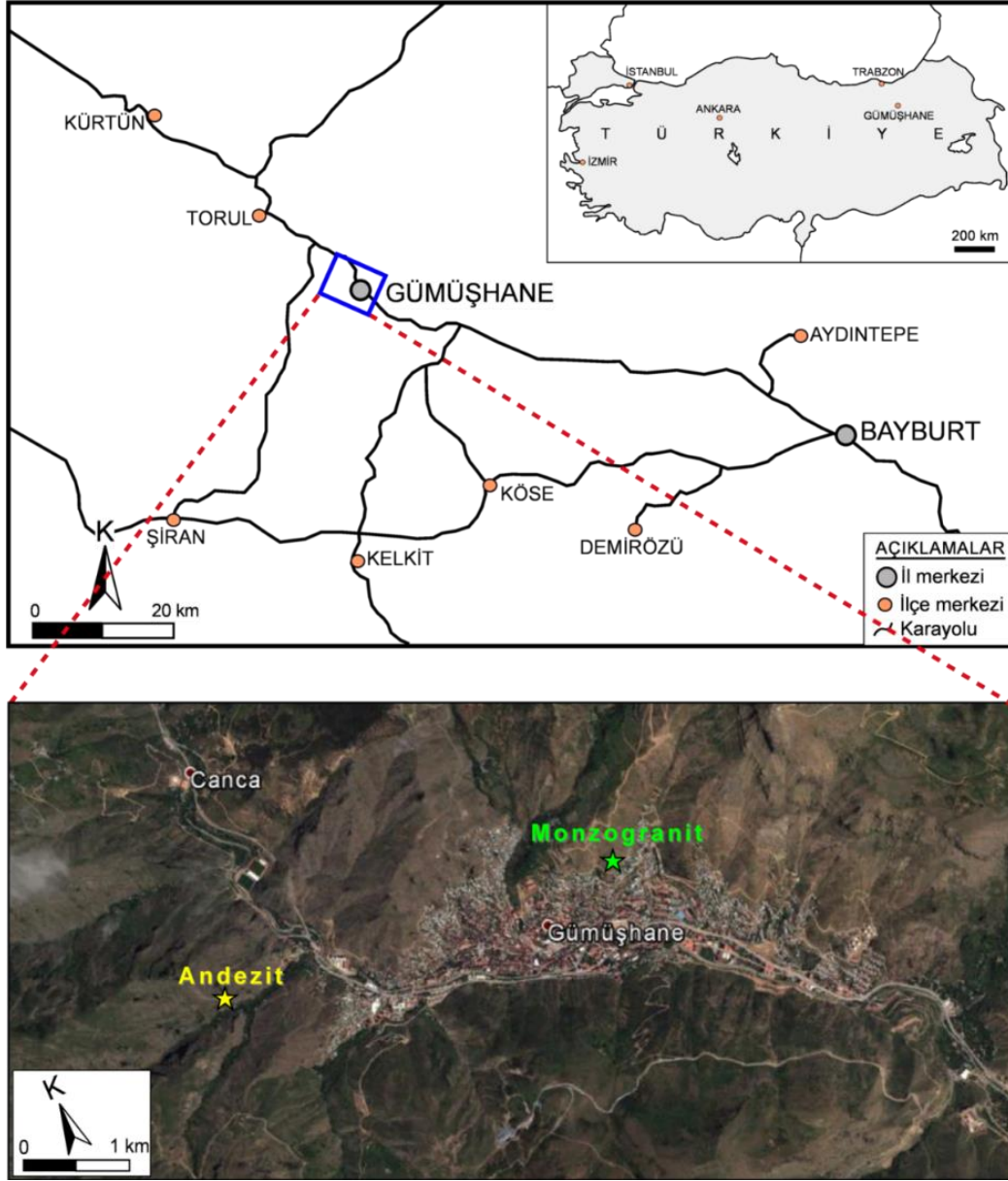
\*\* Dr. Serhat DAĞ, Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29000, Bağlarbaşı-Gümüşhane

İletişim Yazarı: Serhat DAĞ ([serhatdag@gumushane.edu.tr](mailto:serhatdag@gumushane.edu.tr))

## 1. GİRİŞ

Kaya ortamında gerçekleştirilen mühendislik jeolojisi çalışmalarında kayaların oluşum kökeninden daha ziyade dayanım, deformasyon, fiziksel ve dokusal özellikleri ön plana çıkmaktadır. Kaya malzemesinin dayanımı kaya kütle sınıflamalarında ve dolayısıyla tünel, temel, şev ve barajların tasarımında temel girdi parametresi olarak kullanılmaktadır. Yoğun süreksizlik içeren kaya kütleleri ile ince tabakalardan oluşmuş tortul kayalardan çoğu zaman standartlara uygun boyut ve kalitede deney numunelerinin alınması mümkün olmamaktadır. Bu tür kaya kütlelerinden özellikle dayanım ve elastik parametreleri belirlemek için gerekli boyutlarda örnek alınmamaktadır. Ancak bu parametreler mühendislik tasarımları için vazgeçilmez olan kaya kütle sınıflamaları ve kaya kütle kazılabilirliği için gerekli parametreler olup bu parametrelerin daha kolay belirlenebilen fiziksel, mekanik ve petrografik özelliklerden dolayı olarak belirlenmesi hususu günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından ele alınmış önemli bir konu olmuştur. Özellikle son yirmi yıllık süreçte pratik uygulamalar için kayanın dayanım ve elastik özelliklerinin fiziko-mekanik özellikler kullanılarak dolaylı tahminine yönelik bir çok çalışma mevcuttur (Tuğrul ve Zarif, 1999; Başarır ve diğ., 2004; Singh ve Sharma, 2008; Jianhong ve diğ., 2008; Ocak, 2008; Ersoy ve diğ., 2009; Moradian ve Behnia, 2009; Kanık, 2010; Tomasic ve diğ., 2011; Alemdağ ve Gürocak, 2011; Altuğ, 2012; Babacan ve diğ., 2012; Karakul ve Ulusay, 2012, 2013; Karaman ve Kesimal, 2012; Gürocak ve diğ., 2012; Dağ ve diğ., 2015; Dağ, 2016; Dağ ve Soysal, 2017; Dağ ve Alkan 2017). Bu çalışmalardan Tuğrul ve Zarif (1999) magmatik kökenli kaya numunelerinin petrografik ve mühendislik özelliklerini belirleyerek bu özellikler arasındaki ilişkileri istatistiksel anlamda basit regresyon analizleri yardımıyla araştırmıştır. Granit, tonalit, granodiyorit, kuvars diyorit, monzogranit, kuvars monzodiyorit gibi farklı bileşimdeki kayalarda kuvars bolluğuna bağlı olarak kuvars/alkali feldispat oranının artması ile kuru birim hacim ağırlığı değerinin yükseldiği ve toplam gözenekliliğin ise azaldığını belirlemiştir. Başarır ve diğ. (2004) Ankara Dasiti olarak adlandırılan volkanik kayalarda nokta yükleme, Schmidt çekici ve ultrasonik hız deneyleri yardımıyla tek eksenli basınç dayanımının tahminine yönelik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Singh ve Sarma (2008) magmatik, tortul ve metamorfik kökenli kaya numunelerinin tek eksenli basınç dayanımı, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ve ultrasonik dalga hızı değerlerini belirlemiştir. Yapılan istatistiksel değerlendirmeler neticesinde duraylılık indeksi ve dayanım değerlerinin dalga hızı değerleri yardımıyla belirlenebileceğini ifade etmiştir. Tomasic ve diğ. (2011) ignimbirit örneklerinde yaptığı deneylerde boşluk oranının fazla ve daneler arası kaynaşmanın az olması nedeniyle suyun hareketinin kolay ve su emme süresinin kısa olduğunu, tersi özelliklere sahip örneklerde ise bu sürenin daha uzun olduğunu belirlemiştir. Alemdağ ve Gürocak (2011) farklı bozunma derecesine sahip bazaltlarda, bozunma derecesi ile fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikler arasındaki ilişkileri incelemiştir. Dağ ve Soysal (2017) anizotropiye bağlı olarak kumtaşlarının bazı fiziko-mekanik özelliklerinde meydana gelebilecek değişimleri araştırmış ve birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme ve hacimce su emme gibi fiziksel özelliklerinin dar bir aralıkta değişim gösterdiğini belirlemiştir. Dayanım özelliğinin ise anizotropiden etkilendiği, laminalanma düzlemlerine dik olan örneklerde en yüksek dayanım değeri belirlenirken, laminalanma düzlemleri ile 30° lik açı yapan örneklerin ise en düşük dayanıma sahip olduğu saptanmıştır. Literatürdeki bu tür çalışmalara ilişkin örnekleri artırmak mümkündür.

Bu çalışmanın temel amacı Gümüşhane il merkezinde yüzeylenen bazı magmatik kayaların bir takım jeomekanik ve petrografik özelliklerini belirlemek ve bunlar arasındaki ilişkileri istatistiksel olarak araştırmaktır. Bu amaçla, Eski Gümüşhane yöresinde yüzeylenen andezit türü ve Gümüşhane il merkezinde yüzeylenen monzogranit türü magmatik kayalardan blok örnekler derlenmiş (Şekil 1) ve hazırlanan örnekler üzerinde çalışmanın amacına uygun olan laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1:

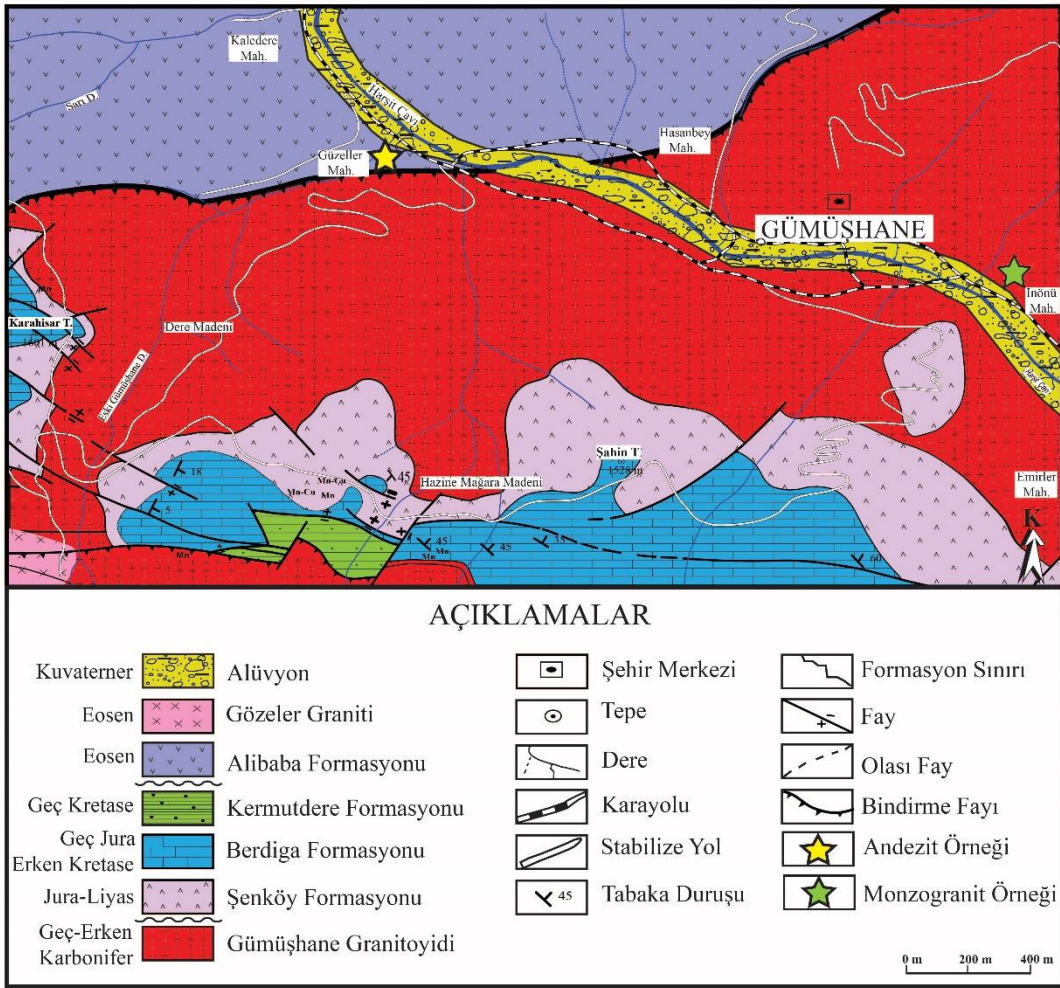
Çalışma alanını ve örnek alım lokasyonlarını gösteren yer bulduru haritası

## 2. ÇALIŞMA ALANI VE ÇEVRESİNİN JEOLJİSİ

Gümüşhane il merkezi ve yakın çevresi Doğu Pontid Tektonik Birliği'nin Güney Zonu'nda yer almaktadır (Ketin 1966). Bölgede Paleozoyik'ten Eosen'e kadar değişen farklı yaş ve litolojide birimler yüzeylenmektedir.

Gümüşhane yöresinin en yaşlı temel kayacını oluşturan metamorfitler Erken-Geç Karbonifer yaşlı Gümüşhane Granitoyidi tarafından kesilmektedir (Topuz ve diğ. 2010). İri daneli ortozlarıyla tipik olan birim genel olarak pembe renkli olup, geçirdiği tektonik olaylara bağlı olarak 5 ana eklem seti ve gelişigüzel eklemler içermektedir (Gürocağ ve diğ. 2017). Çalışma kapsamında kullanılan mozogranitler bu birimden örneklenmiştir. Bu asidik magmatik sokulum kayaları, volkano-tortul istiften oluşmuş Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu tarafından uyumsuz olarak üstlenmektedir (Kandemir 2004). Bu istifin üzerine ise uyumlu

olarak Geç Jura'dan itibaren geniş bir yüzeyleme alanına sahip bol fosilli dolomit ve dolomitik kireçtaşlarından oluşan Berdiga Formasyonu gelmektedir (Pelin 1977). Doğu Pontidlerin Güney Zonu türbiditik karakterli bir istif özelliği göstermektedir. Konglomera, kumtaşı, kireçtaşı ve marn ardalanmasından oluşan Geç Kretase yaşlı tortul istif uyumlu olarak Berdiga Formasyonu üzerine gelmektedir. Birim ilk defa Tokel (1972) tarafından Kermutdere Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Uyumsuz olarak Kermutdere Formasyonu üzerine oturan Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu ise andezit, bazalt ve bunların piroklastitlerinden oluşmaktadır. Formasyon koyu gri rengi ile arazide diğer birimlerden kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Deneylerde kullanılan andezit örnekleri bu formasyondan derlenmiştir. Tüm bu birimleri kesen ve dar bir alanda yüzeylenen granitik kayalar ise bölgedeki Eosen yaşlı granitik sokulumları oluşturmaktadır. Yöredeki en genç birimleri ise Kuvaterner yaşlı alüvyon, taraça ve travertenler oluşturmaktadır. Çalışma alanı ve çevresine ait jeoloji haritası ise Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2:

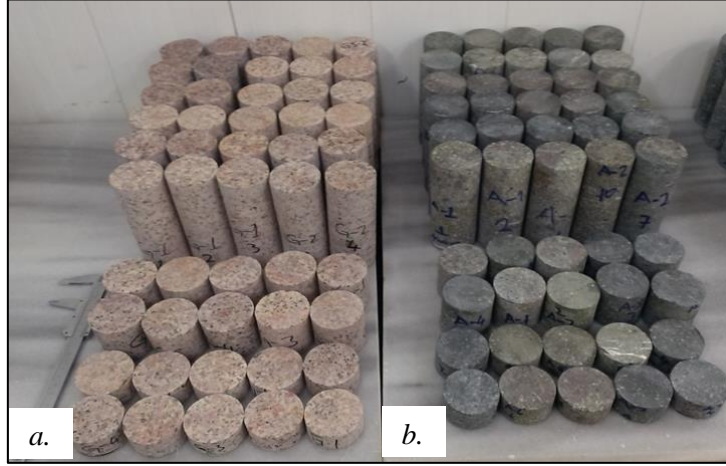
Çalışma alanı ve çevresine ait jeoloji haritası (Güven, 1993'ten değiştirilmiştir)

### 3. MATERYAL METOT

Andezit ve monzogranitlerin dokusal özelliklerini ve mineralojik bileşimlerini belirlemek için her bir birime ait 30 adet örnekten ince kesitler hazırlanmış ve minerallerin bolluk oranını saptamak amacıyla nokta sayacı kullanılarak modal analizler yapılmıştır.

Laboratuvar çalışmalarında kullanılmak üzere örnek alım lokasyonlarından taze veya az bozunmuş özellikteki blok örneklerinin alınmasına dikkat edilmiştir. Bölgede detaylı bir arazi

çalışması gerçekleştirilerek boyutları 20x30x40 cm olacak şekilde andezit ve monzogranit bileşimli kaya bloklarından 30 adet örnekleme yapılmıştır. Daha sonra bu bloklardan ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemlere göre laboratuvarında uygun boyutlarda karotlar alınarak deneye hazır hale getirilmiştir (Şekil 3).



**Şekil 3:**  
*Deneysel çalışmalar için hazırlanan monzogranit (a) ve andezit (b) örnekleri*

Kaya malzemesinin fiziksel özelliklerini belirlemek için ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemler esas alınmıştır. Kayaların kuru ve doymuş kütlelerinden yararlanarak birim hacim ağırlıkları, ağırlıkça su emme, hacimce su emme ve gözeneklilik gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Bunun haricinde kaya malzemelerinin özgül ağırlıklarını saptamak için her bir bloğu temsil edecek şekilde birer set (3 adet) piknometre deneyi yapılmıştır.

Kaya malzemelerinin dayanım özelliklerini tespit etmek için ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemler dikkate alınmıştır. Nokta yükleme deneyinde çap/boy oranı 1/1-1,4 olan karot örnekleri kullanılarak çapsal yükleme gerçekleştirilmiştir. Tek eksenli basınç deneyinde boy/çap oranı (L/D) 2,5-3 olan NX çaplı (54 mm) örnekler kullanılmıştır. Çekilme dayanımının dolaylı olarak belirlenmesinde ise çapı kalınlığının yaklaşık 2 katı olan örnekler hazırlanmış ve dolaylı çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Hem kuru hem de doymuş örneklerde ultrasonik hız deneyleri yapılarak boyuna dalga hızı ( $V_p$ ) ve enine dalga hızı ( $V_s$ ) belirlenmiş ve bu veriler yardımıyla dinamik elastisite modülü ve poisson oranı değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca, kuru örneklerde tek eksenli basınç deneyleri esnasında eksenel ve çapsal deformasyonlar ölçülerek statik elastisite modülü ve poisson oranı değerleri belirlenmiştir.

#### **4. BULGULAR**

Mineralojik ve petrografik tayinler sonucunda kaya örnekleri andezit ve monzogranit olarak adlandırılmıştır. Genel olarak andezitlerin porfirik dokulu olduğu ve plajiyoklas, amfibol, piroksen yer yer de opak minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir. Volkanik kayaları oluşturan minerallerin dane boylarının küçük, hamur malzemesinin fazla olması ve hamuru oluşturan minerallerin saptanamaması nedeni ile andezit örnekleri üzerinde modal analiz gerçekleştirilememiştir. Mikroskobik olarak daneli, mirmekitik ve yazı dokusu gösteren monzogranitler ise fenokristaller tarafından yenmiş kuvars, zonlu yapıda plajiyoklas ve iri daneli ortoklaslar içermektedir. Modal analiz sonuçlarına göre monzogranitlerde %30-37,30 kuvars, %30-36,60 ortoklas, %18,20-25 plajiyoklas, %6-12 mafik mineral yüzdesi tespit edilmiştir.

Magmatik kayaların özgül ağırlık ( $G_s$ ), birim hacim ağırlık ( $\gamma$ ), ağırlıkça su emme ( $A_w$ ), hacimce su emme ( $A_v$ ), gözeneklilik ( $n$ ) ve ultrasonik dalga hızı ( $V_p$ ,  $V_s$ ) değerleri yapılan deneysel çalışmalar ve ölçümler sonucunda elde edilmiştir. Ultrasonik dalga hızı ölçümleri kuru ve doymuş örnekler üzerinde ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Fiziksel özelliklere ilişkin elde edilen sonuçlar Tablo 1’de özet olarak sunulmuştur.

Çalışma kapsamında dayanım ve elastisite modülü deneyleri gerçekleştirilirken ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemler esas alınmıştır. Dayanım özelliklerini belirlemeye yönelik yapılan çalışmalar sonucunda andezitlerde tek eksenli basınç dayanımının ( $\sigma_{ci}$ ) 54,08-214,36 MPa, nokta yükü dayanım indeksinin ( $I_{s(50)}$ ) 2,14-6,70 MPa ve çekilme dayanımının ( $\sigma_t$ ) 4,39-17,89 MPa arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Monzogranitlerde ise tek eksenli basınç dayanımının ( $\sigma_{ci}$ ) 24,60-140,15 MPa, nokta yükü dayanım indeksinin ( $I_{s(50)}$ ) 1,82-5,55 MPa ve çekilme dayanımının ( $\sigma_t$ ) 4,15-9,45 MPa arasında değiştiği saptanmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalara göre andezitlere ait kuru ve doymuş dinamik elastisite modülü ( $E_{dk}$ ,  $E_{dd}$ ) ve statik elastisite modülü ( $E_s$ ) değeri sırasıyla 29,94-59,81 GPa, 31,59-68,66 GPa ve 19,80-53,16 GPa arasında değişim göstermektedir. Monzogranitlere ait kuru ve doymuş dinamik elastisite modülü ( $E_{dk}$ ,  $E_{dd}$ ) değerlerinin 19,63-56,47 GPa, 31,27-68,66 GPa arasında, statik elastisite modülü ( $E_s$ ) değerinin ise 22,22-76,92 GPa arasında değiştiği saptanmıştır. Ayrıca, andezitlere ait dinamik ( $\nu_{dk}$ ,  $\nu_{dd}$ ) ve statik poisson oranı ( $\nu_s$ ) değeri sırasıyla 0,18-0,33, 0,21-0,35 ve 0,11-0,46 arasında değişmektedir. Monzogranitlere ait dinamik ( $\nu_{dk}$ ,  $\nu_{dd}$ ) ve statik poisson oranı ( $\nu_s$ ) değerinin ise sırasıyla 0,15-0,33, 0,20-0,38 ve 0,03-0,50 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Andezit ve monzogranitlere ait fiziksel, mekanik ve elastik özellikler Tablo 1’de özet olarak sunulmuştur.

## 5. İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRMELER

Kaya mekaniğine yönelik çalışmalar yapılırken kaya özelliklerinin doğru ve pratik bir şekilde belirlenmesi arzu edilen bir durumdur. Bu nedenle deneysel olarak belirlenmesi kısmen daha zor ve zaman alıcı özelliklerin (tek eksenli basınç dayanımı, statik elastisite modülü ve poisson oranı) elde edilmesinde alternatif olarak daha kolay ve daha kısa sürede gerçekleştirilebilen ölçüm ve deney yöntemlerinden yararlanılmaktadır. İstatistiksel değerlendirmelerin önemli amaçlarından birini de bu durum oluşturmuştur. Örneğin; deney numunelerine hasar vermeden, ölçüm yapılarak belirlenebilen dinamik elastisite modülü değeri, elde edilmesi daha zor, daha maliyetli ve zaman alıcı olan statik elastisite modülünün dolaylı tahmininde kullanılabilir mi? İstatistiksel olarak karşılaştırılan parametreler bu sorularımıza da cevap arayacak şekilde değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada verilerin değerlendirilmesi için istatistik yöntemlerden basit regresyon analizi kullanılmıştır. Basit regresyon analizi ile değişkenler arasındaki olası ilişkiler araştırılmış ve korelasyon katsayısı ( $r$ ) değerleri belirlenmiştir. Değerlendirme sürecinde elde edilen korelasyon katsayılarının anlamlı olup olmadıkları da test edilmiştir. Bunun için verilere hem t-testi uygulanmış hem de belirlenen korelasyon katsayıları Pearson’un kritik  $r$  değerleri ile karşılaştırılmıştır. t testi ile korelasyon katsayısının anlamlılığı 0,95 anlamlılık düzeyinde ve n-2 serbestlik derecesinde (1) nolu eşitlik kullanılarak test edilmiştir. Burada “n” örnek sayısını ifade etmektedir.

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (1)$$

**Tablo 1. Andezit ve Monzogranitlere ait Fiziksel, Mekanik ve Elastik Özellikler**

	Fiziksel, Mekanik, Elastik Özellik	Örnek Sayısı	En Küçük	En Büyük	Ortalama	± Standart Sapma
ANDEZİT	Özgül ağırlık ( $G_s$ )	34	2,65	2,73	2,70	0,027
	Kuru birim hacim ağırlık ( $\gamma_k$ , kN/m <sup>3</sup> )	34	24,25	25,66	25,13	0,311
	Doygun birim hacim ağırlık ( $\gamma_d$ , kN/m <sup>3</sup> )	34	24,52	26,05	25,45	0,312
	Ağırlıkça su emme ( $A_w$ , %)	34	0,78	1,86	1,28	0,337
	Hacimce su emme ( $A_v$ , %)	34	2,02	4,77	3,28	0,855
	Gözeneklilik (n, %)	34	3,61	6,37	4,08	0,705
	Kuru P dalga hızı ( $V_{pk}$ , m/sn)	34	3669	5328	4838,41	459,94
	Kuru S dalga hızı ( $V_{sk}$ , m/sn)	34	2205	3011	2739,74	218,51
	Kuru dinamik elastisite modülü ( $E_{dk}$ , GPa)	34	29,94	59,81	48,82	7,89
	Kuru dinamik poisson oranı ( $v_{dk}$ )	34	0,18	0,33	0,26	0,031
	Doygun P dalga hızı ( $V_{pd}$ , m/sn)	34	3691	5451	4928,79	376,16
	Doygun S dalga hızı ( $V_{sd}$ , m/sn)	34	2171	3310	2716,15	331,21
	Doygun dinamik elastisite modülü ( $E_{dd}$ , GPa)	34	31,59	68,66	49,37	10,51
	Doygun dinamik poisson oranı ( $v_{dd}$ )	34	0,21	0,35	0,28	0,041
	Tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_{ci}$ , MPa)	34	54,09	214,36	117,63	42,03
	Statik poisson oranı ( $v_s$ )	12	0,11	0,46	0,23	0,10
	Statik elastisite modülü ( $E_s$ , GPa)	19	19,80	53,16	37,33	10,39
	Nokta yükleme dayanım indeksi ( $I_{s(50)}$ , MPa)	10	2,14	6,70	4,33	1,59
Dolaylı çekilme dayanımı ( $\sigma_t$ , MPa)	10	4,39	17,89	10,57	5,23	
MONZOGRANİT	Özgül ağırlık ( $G_s$ )	33	2,65	2,75	2,69	0,017
	Kuru birim hacim ağırlık ( $\gamma_k$ , kN/m <sup>3</sup> )	33	25,32	25,88	25,66	0,177
	Doygun birim hacim ağırlık ( $\gamma_d$ , kN/m <sup>3</sup> )	33	25,55	26,02	25,80	0,133
	Ağırlıkça su emme ( $A_w$ , %)	33	0,24	0,96	0,56	0,219
	Hacimce su emme ( $A_v$ , %)	33	0,63	2,50	1,45	0,569
	Gözeneklilik (n, %)	33	1,14	4,96	2,74	1,041
	Kuru P dalga hızı ( $V_{pk}$ , m/sn)	33	2857	5251	4064,58	682,93
	Kuru S dalga hızı ( $V_{sk}$ , m/sn)	33	1793	2904	2423,67	360,16
	Kuru dinamik elastisite modülü ( $E_{dk}$ , GPa)	33	19,63	56,47	38,30	11,37
	Kuru dinamik poisson oranı ( $v_{dk}$ )	33	0,15	0,33	0,22	0,047
	Doygun P dalga hızı ( $V_{pd}$ , m/sn)	33	3850	5812	4929,19	574,47
	Doygun S dalga hızı ( $V_{sd}$ , m/sn)	33	2151	3115	2660,88	302,78
	Doygun dinamik elastisite modülü ( $E_{dd}$ , GPa)	33	31,27	66,31	48,55	10,73
	Doygun dinamik poisson oranı ( $v_{dd}$ )	33	0,20	0,38	0,29	0,042
	Tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_{ci}$ , MPa)	33	24,60	140,15	71,80	26,02
	Statik poisson oranı ( $v_s$ )	23	0,03	0,50	0,19	0,15
	Statik elastisite modülü ( $E_s$ , GPa)	23	22,22	76,92	52,09	15,76
	Nokta yükleme dayanım indeksi ( $I_{s(50)}$ , MPa)	10	1,82	5,55	3,38	1,24
Dolaylı çekilme dayanımı ( $\sigma_t$ , MPa)	10	4,15	9,45	6,60	1,52	

t testi ile anlamlılığın belirlenmesinde 1 nolu eşitlikten belirlenen t değeri ( $t_{hesap}$ ) ile standart tablolardan elde edilen t değeri ( $t_{tablo}$ ) karşılaştırılmıştır. Bu durumda korelasyon katsayısının anlamlı olabilmesi için 1 nolu eşitlikten hesaplanan t değerinin tablodan belirlenen t değerinden büyük olması gerekmektedir. Diğer yöntemde ise, değişkenlere ilişkin korelasyon katsayısı değeri (r), Pearson korelasyon katsayısına ait kritik r değeri ile karşılaştırılmıştır. Bu durumda ise ilişkinin anlamlı olabilmesi için değişkenlere ait korelasyon katsayısı değerinin kritik r değerinden büyük olması gerekmektedir (Tüysüz ve Yaylalı 2005; Alemdağ ve Gürocak 2011).

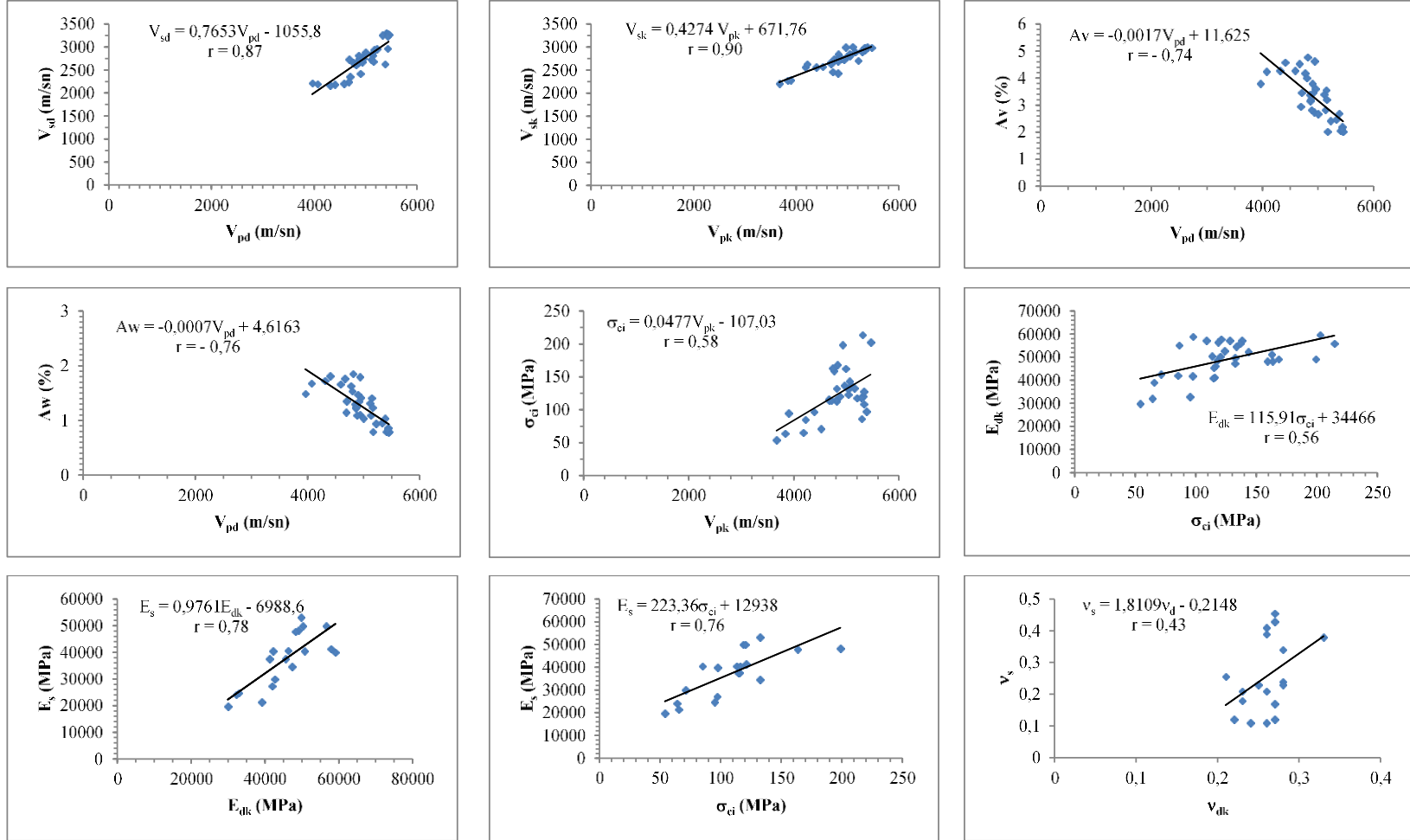
Çalışma kapsamında gerçekleştirilen istatistiksel çalışmalara ilişkin değerlendirmeler Tablo 2’de sunulmuştur. Ayrıca ilgili grafikler ise andezit ve monzogranitler için ayrı ayrı olacak şekilde Şekil 4 ve 5’te verilmiştir.

**Tablo 2. Korelasyon Katsayısı Değerleri ve Anlamlılıklarına İlişkin Değerlendirmeler**

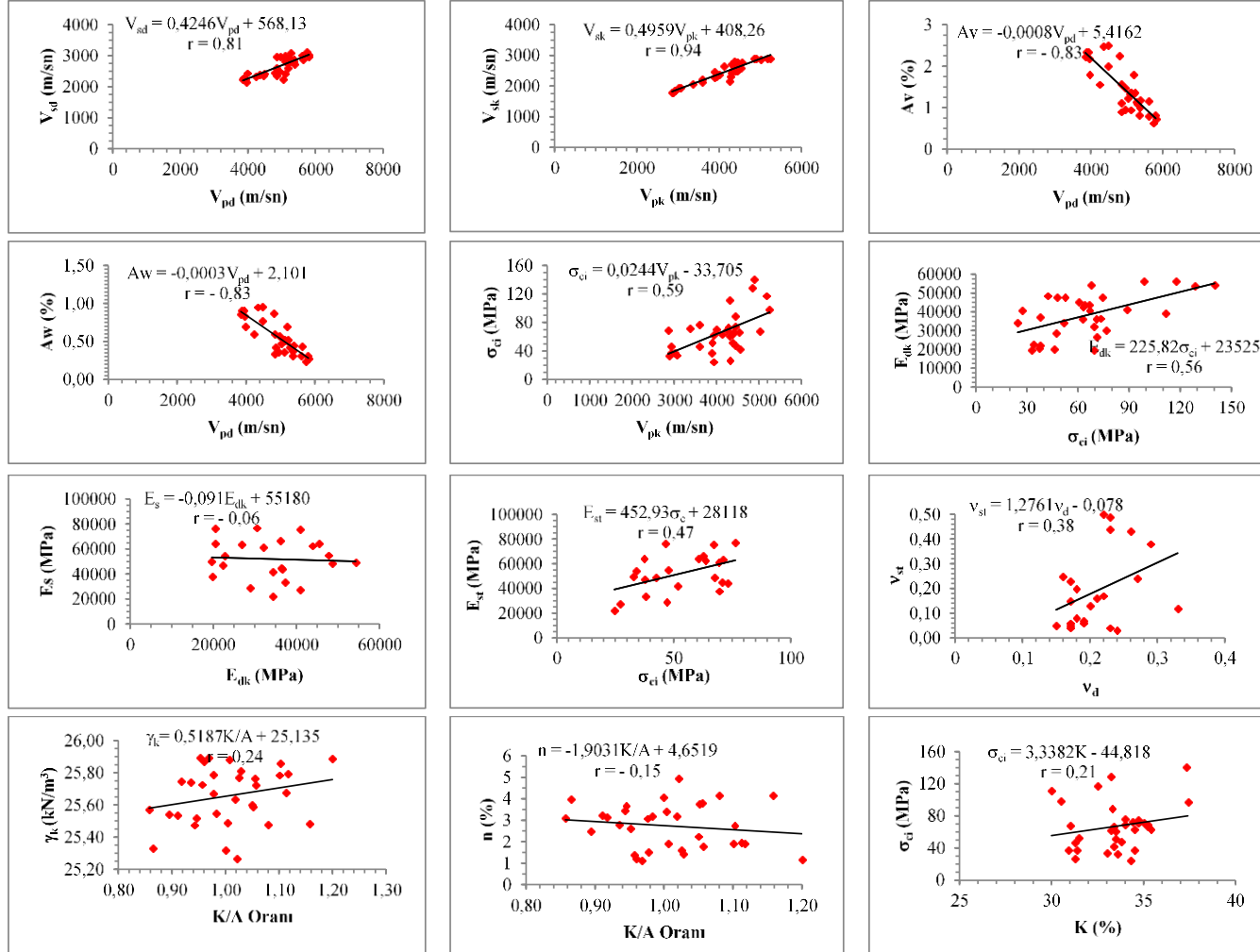
	Eşitlik	Örnek Sayısı	Korelasyon katsayısı, r	Pearson kritik r	$t_{hesap}$	$t_{tablo}$
ANDEZİT	$V_{sd} = 0,7653 V_{pd} - 1055,8$	34	0,87	0,340	9,98	2,032
	$V_{sk} = 0,4274 V_{pk} + 671,76$	34	0,90	0,340	11,68	2,032
	$A_v = -0,0017 V_{pd} + 11,625$	34	-0,74	0,340	6,22	2,032
	$A_w = -0,0007 V_{pd} + 4,6163$	34	-0,76	0,340	6,61	2,032
	$\sigma_{ci} = 0,0477 V_{pk} - 107,03$	34	0,58	0,340	4,03	2,032
	$E_{dk} = 115,91 \sigma_{ci} + 34466$	34	0,56	0,340	3,82	2,032
	$E_s = 0,9761 E_{dk} - 6988,6$	19	0,78	0,456	5,14	2,09
	$E_s = 223,36 \sigma_{ci} + 12938$	19	0,76	0,456	4,82	2,09
	$v_s = 1,8109 v_{dk} - 0,2148$	12	0,43	0,576	1,51	2,09
	MONZOGRANİT	$V_{sd} = 0,4246 V_{pd} + 568,13$	33	0,81	0,345	7,69
$V_{sk} = 0,4959 V_{pk} + 408,26$		33	0,94	0,345	15,34	2,034
$A_v = -0,0008 V_{pd} + 5,4162$		33	-0,83	0,345	8,29	2,034
$A_w = -0,0003 V_{pd} + 2,101$		33	-0,83	0,345	8,29	2,034
$\sigma_{ci} = 0,0244 V_{pk} - 33,705$		33	0,59	0,345	4,07	2,034
$E_{dk} = 225,82 \sigma_{ci} + 23525$		33	0,56	0,345	3,76	2,034
$E_s = -0,091 E_{dk} + 55180$		23	-0,06	0,415	0,28	2,07
$E_s = 452,93 \sigma_{ci} + 28118$		23	0,47	0,415	2,44	2,07
$v_s = 1,2761 v_{dk} - 0,078$		23	0,38	0,415	1,88	2,07
$\gamma_k = 0,5187 K/A + 25,135$		33	0,24	0,345	1,38	2,034
$n = -1,9031 K/A + 4,6519$		33	-0,15	0,345	0,84	2,034
$\sigma_{ci} = 3,3382 K - 44,818$		33	0,21	0,345	1,20	2,034

*V<sub>sd</sub>: doygun S dalga hızı, V<sub>pd</sub>: doygun P dalga hızı, V<sub>sk</sub>: kuru S dalga hızı, V<sub>pk</sub>: kuru P dalga hızı, A<sub>v</sub>: hacimce su emme, A<sub>w</sub>: ağırlıkça su emme,  $\sigma_{ci}$ : tek eksenli basınç dayanımı, E<sub>dk</sub>: kuru dinamik elastisite modülü, E<sub>s</sub>: statik elastisite modülü, v<sub>dk</sub>: kuru dinamik poisson oranı, v<sub>s</sub>: statik poisson oranı,  $\gamma_k$ : kuru birim hacim ağırlık, n: gözeneklilik, K/A: kuvars alkali feldispat oranı, K: kuvars oranı*





**Şekil 4:**  
Andezitlere ait basit regresyon analizlerine ilişkin grafikler



**Şekil 5:**  
Monzogranitlere ait basit regresyon analizlerine ilişkin grafikler

Yapılan analizler neticesinde istatistiksel olarak anlamlı bulunan ve yüksek korelasyon katsayısı değerine sahip ilişkiler çalışma açısından önemli olarak değerlendirilmiştir. Örneğin uygulamada P dalga hızı ölçümleri S dalga hızı ölçümlerine göre daha kolay ve pratik şekilde gerçekleştirilmektedir. Aynı zamanda S dalga hızı ölçümlerinden her zaman sonuç almak mümkün olmayabilmektedir. Bu durumda çalışmadan elde edilen korelasyon katsayısı değerleri her iki kaya türü için de P dalga hızı ölçümlerinden hareketle S dalga hızı değerlerinin kestirimi için yeterlidir. Benzer bir ilişki andezitlerde tek eksenli basınç dayanımı ile statik elastisite modülü arasında da geçerlidir. İstatistiksel değerlendirmeler neticesinde aralarında kuvvetli pozitif ilişki elde edilmesi nedeniyle belirlenmesi zaman alıcı ve zor olan statik elastisite modülü, tek eksenli basınç dayanımı değerinden hareketle tahmin edilebilir niteliktedir.

## 6. TARTIŞMA

Çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneyler sonucunda andezit ve monzogranitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişim aralıkları daha önceki bölümlerde verilmişti. Burada kısaca belirtecek olursak; bu çalışmada andezitlerin birim hacim ağırlığı ( $\gamma$ ), 24,25-25,45 kN/m<sup>3</sup>, gözeneklilik değeri (%n) 3,61-6,37 arasında değişmektedir. Luis ve Mercedes (2011), aynı kaya türünde birim hacim ağırlık değeri için 22,0-23,5 kN/m<sup>3</sup> ve gözeneklilik için ise %10-15 aralığında değişim gösterdiğinden bahsetmektedir. Yine bu çalışmada monzogranitlerin birim hacim ağırlığı ( $\gamma$ ), 25,32-25,80 kN/m<sup>3</sup>, gözeneklilik değeri (%n) %1,14-4,96 arasında değişmektedir (Tablo 1). Luis ve Mercedes (2011), granitlerde birim hacim ağırlık değeri için 26-27 kN/m<sup>3</sup> ve gözeneklilik için ise %0,5-1,5 değerlerinden bahsetmektedir. Andezit örneklerini fiziksel özellikler açısından karşılaştırdığımız zaman birim hacim ağırlıklarının daha yüksek, gözeneklilik değerlerinin ise daha düşük olduğunu görmekteyiz. Monzogranitlerde ise birim hacim ağırlık değerlerinin Luis ve Mercedes (2011) tarafından belirtilen değerlere yakın olduğu, gözeneklilik değerlerinin ise bazı farklılıklar sunduğu gözlemlenmiştir. Bu durum kaya ortamının heterojen olması ve litolojik olarak aynı birim olsa bile ayrışma derecelerindeki farklılıklardan kaynaklanması ile açıklanabilir. Aynı yazarlar tarafından P dalga hızı değerleri sadece granitler için belirtilmiş olup 4500-6000 m/sn arasında değişim gösterdiği belirtilmiştir. Bu çalışmada monzogranitlerde kuru ve doymuş ölçümler birlikte değerlendirildiğinde P dalga hızı değerleri 2857-5812 m/sn arasında değişmektedir. Bu çalışmada kullanılan monzogranitlerde ayrışma derecesi ve geçirmiş olduğu tektonik olaylara bağlı olarak çatlaklı yapılar içermeleri gibi nedenlerden dolayı daha düşük P dalga hızı değerleri ölçüldüğü düşünülmektedir.

Çalışmada tek eksenli sıkışma dayanımı ( $\sigma_{ci}$ ) değerinin andezitlerde 54,09-214,36 MPa, monzogranitlerde ise 24,60-140,15 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. Luis ve Mercedes (2011)'in, Rahn (1986) ve daha önce yapılmış olan araştırmalara dayanarak hazırlamış olduğu taze kaya malzemelerine ait basınç dayanımı değerlerinde andezitler 100-500 MPa, granitler ise 50-300 MPa arasında değişen sıkışma dayanımı değerlerine sahiptir. Aynı araştırmacılar tarafından çekilme dayanımına ilişkin olarak andezitler için ortalama çekilme dayanımı değeri 7 MPa, granitler için ise 7-25 MPa arasında bir değişim aralığı verilmiştir. Bu çalışmada ise andezitlerin çekilme dayanımlarının 4,4-17,9 MPa, monzogranitlerin ise 4-9,45 MPa arasında değiştiği tespit edilmiştir. Fiziksel özelliklerdeki farklılıkların nedenlerine benzer durumlar dolayısıyla dayanım değerleri de farklılıklar sunmaktadır.

Yine çalışma kapsamında statik elastisite modülü ( $E_s$ ), statik poisson oranı ( $\nu_s$ ), dinamik elastisite modülü ( $E_{dk}$ ,  $E_{dd}$ ) ve dinamik poisson oranı ( $\nu_{dk}$ ,  $\nu_{dd}$ ) değerleri belirlenmiştir. Andezitlerde bu değerler sıra ile 19,80-53,16 GPa, 29,94-68,66 GPa ve statik poisson oranı 0,11-0,46, dinamik poisson oranı ise 0,18-0,35 arasında değişim göstermektedir (Tablo 1). Rahn (1986), Johnson ve De Graff (1988), Goodman (1989) ve Duncan (1999) tarafından yapılan çalışmalardan derlenerek Luis ve Mercedes (2011), tarafından oluşturulan literatür bilgilerinde ise statik elastisite modülü 30-40 GPa, dinamik elastisite modülü belirlenmemiş olup, poisson oranı ise 0,23-0,32 olarak verilmiştir. Çalışmada monzogranitlerde statik elastisite modülü ( $E_s$ )

22,22-76,92 GPa, dinamik elastisite modülü ise 19,63-66,31 GPa arasında, dinamik poisson oranı 0,15-0,38, statik poisson oranı ise 0,03-0,5 arasında geniş bir aralıkta değişim göstermiştir (Tablo 1). Literatür çalışmalarında ise granitler için bu değerlerin sıra ile 17-77 GPa, 10-84 GPa ve 0,1-0,4 arasında değişim gösterdiği yukarıda bahsedilen araştırmacılar tarafından verilmektedir. Değerler dikkate alındığında benzer oldukları düşünülmektedir.

Karşılaştırmalara ilişkin literatür çalışmaları bunlarla sınırlı olmayıp istenildiği durumda daha fazla sayıda çalışma ile karşılaştırma yapmak mümkün olabilmektedir. Bununla birlikte deneysel çalışmalar genel olarak konuya ilişkin literatür ile karşılaştırıldığında kısaca şunları söylemek mümkündür. Kaya ortamları heterojen, anizotrop özelliktedir. Bu nedenle hem farklı kaya grupları için hem de aynı kaya türleri için fiziksel ve dayanım özelliklerine ilişkin değerler farklı alanlar için değişiklikler gösterebilmektedir. Bu durum kayanın oluşumu koşulları, çevre unsurları, birçok kaya faktörü gibi karmaşık ve adeta iç içe geçmiş nedenler zincirine bağlıdır.

## 7. SONUÇLAR

Gümüşhane il merkezinde yüzeylenen andezit ve monzogranit bileşimindeki magmatik kökenli kayaların jeomekanik özelliklerinin belirlenmesi ve aralarındaki olası görgül ilişkilerin araştırılmasını amaçlayan çalışmada ulaşılan sonuçları şu şekilde özetlemek mümkündür;

Çalışmada ISRM tarafından önerilen yöntemlere göre uygun olarak hazırlanan örnekler üzerinde laboratuvar koşullarında fiziko-mekanik ve elastik özellikleri belirlemeye yönelik bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler istatistiksel yöntemlerden basit regresyon analizi kullanılarak değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre en yüksek korelasyon katsayıları andezitlerde  $r: 0,90$ , monzogranitlerde  $r: 0,94$  değerleri ile kuru örneklerde P ve S dalga hızı ölçümleri arasında tespit edilmiştir. Bu değerlere göre hem andezit hem de monzogranit örneklerinde kuru koşullar için P ve S dalga hızı değerleri arasında çok kuvvetli pozitif ilişki mevcuttur.

Andezit örneklerinde doymuş P dalga hızı ölçüm değerleri ile S dalga hızı değerleri arasında kuvvetli pozitif ( $r: 0,87$ ), P dalga hızı ile ağırlıkça su emme ( $r: -0,76$ ) ve hacimce su emme ( $r: -0,74$ ) değerleri arasında ise kuvvetli negatif ilişkiler tespit edilmiştir. Ayrıca yine andezit örneklerinde tek eksenli basınç dayanımı ile statik elastisite modülü arasında ( $r: 0,76$ ), kuru koşullar için dinamik elastisite modülü ile statik elastisite modülü değerleri arasında ( $r: 0,78$ ) kuvvetli pozitif ilişkiler belirlenmiştir.

Doymuş monzogranit örneklerinde P ve S dalga hızı değerleri arasında ( $r: 0,81$ ) çok kuvvetli pozitif ilişkiler belirlenirken, yine doymuş P dalga hızı değerleri ile ağırlıkça su emme ( $r: -0,83$ ) ve hacimce su emme değerleri arasında ise ( $r: -0,83$ ) çok kuvvetli negatif ilişkiler tespit edilmiştir.

Bununla birlikte korelasyon katsayılarının anlamlılıklarına ilişkin değerlendirmeler neticesinde andezitlerde dinamik poisson oranı ile statik poisson oranı, monzogranitlerde ise dinamik elastisite modülü ile statik elastisite modülü ve dinamik poisson oranı ile statik poisson oranı arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak anlamsızdır. Ayrıca monzogranitlerde Kuvars/Alkali Feldispat oranı ile kuru birim hacim ağırlık, Kuvars/Alkali Feldispat oranı ile gözeneklilik ve kuvars oranı ile tek eksenli basınç dayanımı değerleri arasındaki ilişkiler de istatistiksel olarak anlamsızdır. Bunların haricinde incelenen parametrelere ilişkin değerlendirmeler ise istatistiksel olarak anlamlıdır.

Sonuç olarak yapılan değerlendirmelere göre korelasyon katsayısı değerleri yüksek olan ve istatistiksel olarak anlamlı bulunan ilişkiler çalışma açısından önemli olup, ilgili parametrelerin dolaylı tahminlerinde kullanılabilir niteliktedir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (GÜBAP) Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir. Proje No: 15.F5114.02.03. Ayrıca yazarlar

çalışmanın inceleme aşamasını yürüten dergi editörleri ile yapıcı eleştiri ve katkılarından dolayı hakemlere teşekkür ederler.

#### KAYNAKLAR

1. Alemdağ, S. ve Gürocak, Z. (2011) Üst Kretase yaşlı bazaltlarda (Trabzon/Türkiye) birleşik ayrışma indeksi (UAI) ile fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikler arasındaki ilişkiler, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 23(1), 1-10.
2. Altuğ, M. (2012) Sıcaklığın yapı malzemesi olarak kullanılan kayalar üzerindeki etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde
3. Babacan, A.E., Ersoy, H. ve Gelişli, K. (2012) Kayaların fiziksel, mekanik ve elastik özelliklerinin ultrasonik hız tekniği ve zaman-frekans analiziyle belirlenmesi: Bej kireçtaşları (KD Türkiye) üzerine örnek bir çalışma, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 36(1), 63-73.
4. Başarır, H., Kumral, M. ve Özsan, A. (2004) Kayaların tek eksenli basınç dayanımının basit deney yöntemleriyle tahmini, *Kayamek'2004-VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu*, Sivas, 111-117.
5. Dağ, S., Alemdağ, S. ve Alkan, F. (2015) Kayalarda gözeneklilik ile dayanım özellikleri arasında görgül ilişkilerin araştırılması, *MÜHJEO'2015 Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu*, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 286-293.
6. Dağ, S. (2016) Comparison of the apparent porosity and porosity values on different rock types (Gümüşhane-Türkiye). *International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS)*, Saraybosna, 3, page 705-712.
7. Dağ, S. ve Soysal Z. (2017) The effect of anisotropy on some rock properties in sandstones. *2<sup>nd</sup> International Symposium on Multidisciplinary Studies*, Rome, Page 109.
8. Dağ, S. ve Alkan F. (2017) Evaluation on the indirect estimation of rock strength in granites; example from Gümüşhane (NE/TÜRKİYE). *2<sup>nd</sup> International Symposium on Multidisciplinary Studies*, Rome, Page 110.
9. Duncan, C.W. (1999) Foundations on Rock. 2nd ed. E & F.N.Spon.
10. Ersoy, H., Özdemir, A. ve Yalçınalp, B. (2009) Geology and geotechnical properties of Kalecik (Gümüşhane) travertines. *Proceedings of The 21<sup>st</sup> International Mining Congress and Exhibition of Turkey*, Antalya, 639-648.
11. Goodman, R.E. (1989) Introduction to Rock Mechanics. John Wiley & Sons.
12. Gürocak, Z., Solanki, P., Alemdağ, S. ve Zaman, M. (2012) New considerations for empirical estimation of tensile strength of rocks. *Engineering Geology*, 145-146,1-8. doi:10.1016/j.enggeo.2012.06.005.
13. Gürocak, Z., Alemdağ, S., Bostancı, H.T., and Gökçeoğlu, C. (2017) Discontinuity controlled slope failure zoning for a granitoid complex: A fuzzy approach. *Rock Mechanics and Engineering*, Volume 5: Surface and Underground Projects, CRC Press Taylor & Francis Group, eBook ISBN: 978-1-317-48188-1, Pages 1–25.
14. Güven, İ.H. (1993) Doğu pontidlerin jeolojisi ve 1/250.000 ölçekli komplikasyonu, MTA, Ankara.
15. ISRM (2007) The complete isrm suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006. R. Ulusay and J.A. Hudson (Eds.), Suggested methods prepared by the commission on testing methods, international society for rock mechanics, compilation arranged by the ISRM Turkish National Group, Kozan Ofset, Ankara, Turkey, 628 P.

16. Johnson, R.B. ve De Graff, J.V. (1998) Principles of Engineering Geology. John Wiley & Sons.
17. Jianhong, Y., Wu, F. Q. ve Sun, J. Z. (2009) Estimation of the tensile elastic modulus using brazilian disc by applying diametrically opposed concentrated loads, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 46, 568–576. doi:10.1016/j.ijrmms.2008.08.004
18. Kandemir, R. (2004) Gümüşhane ve yakın yörelerindeki erken-orta jura yaşlı şenköy formasyonu'nun çökel özellikleri ve birikim koşulları, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Trabzon.
19. Kanık, D. (2010) Karbonat kayaların tek eksenli basınç dayanımlarının basit indeks deneyler kullanılarak tahmini, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
20. Karakul, H. ve Ulusay, R. (2012) Kayaların dayanım özelliklerinin farklı doyunluk koşullarında P-dalga hızından kestirimi ve P-dalga hızının fiziksel özelliklere olan duyarlılığı, *Yerbilimleri Dergisi*, 33(3), 239-268.
21. Karaman, K. ve Kesimal, A. (2012) Kayaların tek eksenli basınç dayanımı tahmininde nokta yükü deney yöntemleri ve porozitenin değerlendirilmesi, *Madencilik*, 51(4), 3-14.
22. Ketin, İ. (1966) Türkiye'nin tektonik birlikleri, *MTA Dergisi*, 66, 20-34.
23. Luis I. Gonzalez de V. ve Mercedes, F. (2011) Geological Engineering, CRC Press, London.
24. Moradian, Z. A. ve Behnia, M. (2009) Predicting the uniaxial compressive strength and static Young's modulus of intact sedimentary rocks using the ultrasonic test, *International Journal of Geomechanics*, 9(1), 14-19. doi:/10.1061/(ASCE)1532-3641(2009)9:1(14)
25. Ocak, İ. (2008) Tek eksenli basınç dayanımı kullanılarak kaya malzemesinin elastisite modülünün tahmini, *İstanbul Yer Bilimleri Dergisi*, 21(2), 91-97.
26. Pelin, S. (1977) Alucra (Giresun) güneydoğu yöresinin petrol olanakları bakımından jeolojik incelenmesi, *KTÜ Yayını*, No:87, Trabzon.
27. Rahn, P.h. (1986) Engineering Geology, An Environmental Approach, Elsevier.
28. Singh, T.N. ve Sharma, P.K. (2008) A correlation between P-wave velocity, impact strength index, slake durability index and uniaxial compressive strength, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67(1), 17-22. doi:10.1007/s10064-007-0109-y
29. Tokel, S. (1972) Stratigraphical and volcanic history of the Gümüşhane region, N.E. Turkey, *University College*, London.
30. Topuz, G., Altherr, R., Wolfgang, S., Schwarz, W.H., Zack, T., Hasanözbek, A., Mathias, B., Satır, M. ve Şen, C. (2010) Carboniferous high-potassium I-type granitoid magmatism in the Eastern Pontides: The Gümüşhane pluton (NE Turkey), *Lithos*, 116(1-2), 92-110. doi:10.1016/j.lithos.2010.01.003
31. Tomašić, I., Lukić D., Peček N. ve Kršinić A. (2011) Dynamics of capillary water absorption in natural stone, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70(4), 673–680. doi: 10.1007/s10064-011-0355-x
32. Tuğrul, A. ve Zarif, I.H. (1999) Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey, *Engineering Geology* 51, 303-317. doi: 10.1016/S0013-7952(98)00071-4
33. Tüysüz, N. ve Yaylalı, G. (2005) *Jeostatistik Kavramlar ve Bilgisayarlı Uygulamalar*, 1. Baskı, K.T.Ü. Yayınları, Trabzon.