



Şistlerin dayanım anizotropisinde sıcaklık ve pH'nın etkisi

The effect of temperature and pH on the strength anisotropy of schists

Mehmet Özdemir^{1,*}, Sunay Beyhan², Kaan Erarslan³

^{1,2,3}Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 43100, Kütahya, Türkiye

Öz

Madencilik çalışmaları proje süreçlerinde kayaç dayanımı önemli bir parametredir. Sedimanter ve metamorfik kayaçlar gibi dayanım anizotropisi açısından yönelimlere göre farklı dayanım özellikleri gösteren kayaçlarda dayanım değerleri dağılımı önem arz etmektedir. Bunun birlikte farklı sıcaklıklarda ve pH'larda çalışmalar yapılabilmektedir. Yaz, kış, asidik ve bazik ortamlarda dayanım değerleri değişebilmektedir. Bu çalışmada Türkiye Kastamonu ili Hanönü ilçesindeki bakır madeninden şist numuneleri alınmıştır. Yeşil şist ve mika şist gibi metamorfik kayaçların dayanım anizotropisinin yanında farklı sıcaklık (5°C ve 35°C) ve pH'larda (2, 7 ve 12) dayanım değerlerinin değişimi incelenmiştir. Genel olarak her iki kayaç için 15°-45° derecelerde minimum dayanımlar, 60°-90° dereceler arasında ise maksimum sonuçlar elde edilmiştir. Genellikle her iki kayaç 5°C'de maksimum dayanım dağılımı göstermiştir. Mika şist için pH parametresinde maksimum dayanım pH12'de, diğer pH'larda yakın dağılım, yeşil şist için ise tüm pH değerlerinde benzer dağılım elde edilmiştir. Mika şist için derece, sıcaklık ve pH parametreleri, yeşil şist için ise derece ve sıcaklık parametreleri dayanımda etkili olmuştur. Kayaçlarda farklı parametrelerin değişiminin dayanıma etkisinin incelenmesi proje ve işletme süreçlerinde katkı sağlayacaktır.

Anahtar kelimeler: Anisotropy, Mika şist, pH, Sıcaklık, Yeşil şist

1 Giriş

Yeraltı ve yerüstü mühendislik yapılarının duraylılığında kayacın dayanım anizotropisi önemli bir parametredir. Bu parametre özellikle sedimanter ve metamorfik kayaçlarda daha çok önem taşımaktadır. Foliasyon, şistozite, klivaj ve tabakalı yapılarından dolayı dayanım anizotropisi oluşmaktadır [1,2]. Şist, fillit, gnays, kayrak taşı, şeyl ve benzeri metamorfik ve sedimanter kayaçlarda bu durum çoğunlukla gözlemlenmektedir [3-5].

Dayanım anizotropisinin belirlenmesine yönelik çalışmalarda genellikle yükleme eksenine göre 0° ile 90° arasındaki farklı derecelerde alınmış karot numunelerinden yararlanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda genellikle maksimum dayanımlar 90°'de, 30° ile 45° arasında ise minimum dayanımlar elde edilmektedir [6]. Bu değerler kayaç türlerine göre değişebilmektedir.

Abstract

Rock strength is an important parameter in mining project processes. The distribution of strength values is important in rocks showing different strength properties according to orientations in terms of strength anisotropy, such as sedimentary and metamorphic rocks. The studies can be carried out at different temperatures and pHs. Strength values may change in summer, winter, acidic and basic conditions. In this study, schist samples were taken from the copper mine in the Hanönü district of Kastamonu, Türkiye. Besides the strength anisotropy of metamorphic rocks such as green schist and mica schist, the variation of strength values at different temperatures (5°C and 35°C) and pH (2, 7 and 12) was investigated. In general, minimum strengths at 15°-45° and maximum results between 60°-90° degrees were obtained for both rocks. Generally, both rocks showed maximum strength distribution at 5°C. Maximum strength was obtained at pH12 for mica schist, close distribution at other pH values, and similar distribution at all pH values for green schist. The degree, temperature, and pH parameters affected the strength of mica schist, while the degree and temperature parameters were effective in the strength of green schist. Examination of the effect of the change of different parameters on the strength of the rocks will contribute to the project and operation processes.

Keywords: Anisotropy, Mica schist, pH, Temperature, Green schist

Nasseri vd. [7] tarafından Himalaya klorit şist ve kuvars mika şiste uygulanan dayanım testi deneylerinde 90°'de maksimum, 30°-45° arasında ise minimum dayanımlar elde edilmiştir. Bu sonuçların dağılımında tabakalardaki şistozite düzlemleri ve mineralizasyonun etkili olduğu ifade edilmiştir. Zhang vd. [8] kuvars-mika şiste uyguladıkları tek ve üç eksenli dayanım testlerinde şistoziteye paralel yönde daha çabuk çatlakların oluştuğu ve bu durumun bu kısımlardaki mineral birikiminden kaynaklandığını dile getirmişlerdir. Song vd. [9] 0°, 15°, 30°, 45°, 60° ve 90°'deki kömür numunelerine yaptıkları deneylerde 0° için maksimum, 45°'de minimum dayanımlar gözlemlenmişlerdir. 0°'de 45°'ye kıyasla daha az süreksizlik düzlemlerinin olması bu durumun sebebi olarak belirtilmiştir. Togashi vd. [10] farklı derecelerdeki (0°, 15°, 30° ve 90°) tüf numunelerinin deformasyon davranışı belirlemişlerdir. Tek ve üç eksenli dayanım testlerindeki deformasyon

değerlerinin tabakalanmaya dik ve paralel yönde farklı olduğu ifade edilmiştir. Bunun sebebi olarak asal birim deformasyonların tabakalanma yönünde daha fazla oluşmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Li vd. [11] asidik ortamda bulunan kumtaşlarında farklı sıcaklık (25°C, 50°C ve 75°C) ve kırılma dayanımlarında (5, 10 ve 15 MPa) hasar karakterini tespit etmeye çalışmışlardır. Düşük sıcaklıklarda (25°C) tek eksenli sıkışma dayanımı değerlerinin ve Young Modüllerinin daha düşük değerlerde olduğu saptanmıştır. Zhao vd. [12] termal enerji deposunda kullanılacak granitin farklı sıcaklıklarda mekanik davranışını araştırmışlardır. Buna göre; 600°C'de minimum dayanım, 100°C'de ise maksimum dayanımlar elde edilmiştir. Li vd. [13] granit kayacının jeotermal işlemlerde kullanılabilirliğini 20°C-600°C değerleri arasında test etmişlerdir. Düşük derecelerde (20°C) daha yüksek dayanım ve Elastisite Modülü değerleri, yüksek sıcaklıklarda ise daha düşük dayanım ve Elastisite Modülü değerleri olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun farklı sıcaklıklardaki numunelerde kristal yapının ve mikro çatlak yapısı gelişiminin farklı şekilde gelişmesinden kaynaklandığı şeklinde ifade edilmiştir. Hu vd. [14] granit kayacının 20°C-600°C arasındaki çekme dayanımını, P dalga hızını ve bu değerlerin birbiriyle olan ilişkilerini tespit etmeye çalışmışlardır. Sıcaklık artışı ile buharlaşma etkisi sonucunda gözenek artışının daha fazla olduğunu ve mikro çatlak gelişiminin daha yüksek oranda olmasını P dalga hızının azalması ile tespit etmişlerdir. Yüksek sıcaklıklarda P dalga hızı ve çekme dayanımı değerlerinde bu sebeplerle düşüşler oluşmuştur. Wang vd. [15] şeyl kayacına benzer ve farklı oranda mineraller ile oluşturulmuş kayaca benzer numuneler ile 20°C, 30°C, 40°C, 50°C ve 60°C ve 0, 1, 3, 5 ve 7 MPa yanıl basınçlarda yaptıkları dayanım deneylerinde benzer şekilde yüksek sıcaklıklarda (50°C ve 60°C) dayanımlarda düşüşler oluşmuştur. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ile mikro çatlakların durumu incelenmiştir. Yüksek derecelerde ve farklı yanıl basınçlarda mikro çatlak gelişiminin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Pan vd. [16] Çin'in Macheng bölgesinden alınan granit kayalarına özel fırında 25, 150, 300, 450 ve 600°C'lerde ısıtıl işlem uygulayarak dayanım dağılımını incelemişlerdir. Düşük sıcaklıklardan (25°C) yüksek sıcaklıklara (600°C) doğru dayanımlarda önemli ölçüde azalmalar olduğu gözlemlenmiştir. Isıl işlem artışı ile porozite artışının fazla olmasından dolayı dayanımda düşüşler meydana gelmiştir. Zhang vd. [17] Çin, Amerika ve Almanya'dan alınan kumtaşlarına fırınlarda 20, 200, 400, 800°C'ler elde edilerek dayanım davranışlarını incelemişlerdir. Genel olarak yüksek ısılardaki kumtaşları dayanımının düşük ısılarla kıyasla daha düşük olduğu belirtilmiştir. Bu düşüşlerin sebepleri olarak sıcaklık artışının kuvars ve kil minerallerini değiştirdiği ve porozitenin ve mikroçatlak oluşumunun sıcaklıkla artışı şeklinde ifade edilmiştir. Literatürdeki farklı araştırmacıların yaptıkları çalışmalarda [18-20] yüksek sıcaklıklarda gözenek ve mikro çatlak oluşumunun fazla olması dayanım düşüşlerine neden olduğu ifade edilmiştir.

Liu vd. [21] çimento, kuvars, alçıtaşı ve su ile oluşturdukları kayaç benzeri numuneleri pH2 ve pH4 şartlarında 60 ve 90 dakika bekleterek tek eksenli sıkışma

dayanım deneyleri uygulamışlardır. pH4'deki değerler pH2'ye göre daha yüksek olmuştur. pH2'deki yüksek asidik oranın kaya benzeri numunede daha fazla boşluk ve mikro çatlak oluşturduğu düşünülmektedir. Guo vd. [22] pH2, 7 ve 12 koşullarında bekletilen kumtaşı kayaçlarına yaptıkları üç eksenli sıkışma deneylerinde maksimum kesme dayanımı sonuçlarının benzer aralıklarda (4-11 MPa) olduğunu saptamışlardır. Singh vd. [23] mermer numunelerini pH1, 2, 4, 6, 7, 8, 10 ve 12 şartlarında 15 saat bekleterek çekme dayanımı, kesme dayanımı, nokta yük indeksi, tek eksenli sıkışma dayanımı ve P dalga hızı deneyleri uygulamışlardır. pH7 koşullarındaki dayanım değerlerinin asidik ve alkali koşullardaki sonuçlara kıyasla daha yüksek çıktığı belirtilmiştir. Mermerin bünyesindeki CaCO₃'tan dolayı asidik koşullarda reaksiyonlar oluşmakta ve boşlukları yaratmaktadır. Bu boşlukların dayanım değerlerini önemli ölçüde düşürdüğü ifade edilmektedir. Alkali koşullarda ise pH7 koşullarına göre daha düşük sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir. Ngo vd. [24] Vietnam'ın güneydoğu kısmı Binh Duong şehrindeki maden sahasından elde ettikleri uçucu kül ve alkali aktivatör solüsyonu zeminini pH4 ve pH6 koşullarında bekleterek uyguladıkları dayanım deneylerinde pH6 koşullarında daha düşük dayanımlar elde etmişlerdir. Dayanım değerlerinin Sodyum Hidroksit (NaOH) ve Sodyum Sülfid (Na₂SiO₃) çözeltilerindeki kür zamanlarına göre değiştiği vurgulanmıştır. Liu vd. [25] Çin'in Yunnan bölgesinden elde ettikleri dolomit örneklerine farklı pH'larda (1, 3, 5 ve 7) 21 güne kadar bekleterek uyguladıkları dayanım deneylerinde asidik koşullarda (pH 1 ve 3) daha düşük dayanımlarda sonuçlar oluşturmuşlardır. Karbonat içeren dolomit kayacı için asidik koşullarda çözünme reaksiyonlarının daha fazla mikro çatlakları artırarak dayanımı düşürdüğü ifade edilmiştir.

Literatürde farklı sıcaklık ve pH'larda şist numunelerinin dayanımlarına yönelik çalışmalar kısıtlı sayıdadır. Bu çalışma ile farklı yönelim açıları, sıcaklık ve pH'lardaki yeşil şist ve mika şist numunelerinin dayanımları incelenerek proje ve araştırma sürecindeki çalışmalara katkı sunulacaktır. Sıcaklık ve pH aralıkları laboratuvar koşullarına göre oluşturulmuştur. Bu amaçla; Kastamonu İli Hanönü ilçesinde bulunan bakır madeninden 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° yönelime sahip yeşil şist ve mika şist numuneleri alınmıştır. Bu numunelere kuru ortam, 5°C ve 35°C ile pH2, pH7 ve pH12 koşullarında dayanım deneyleri uygulanarak mekanik davranışları belirlenmiştir.

2 Materyal ve metod

2.1 Materyal

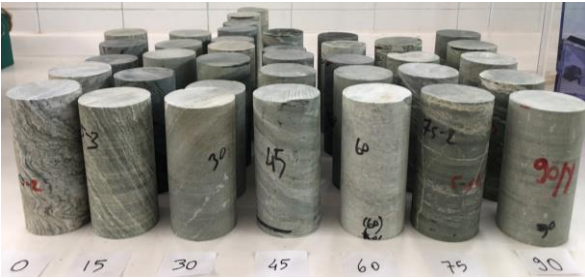
Yeşil şist ve mika şist numuneleri Kastamonu ili Hanönü ilçesinde bulunan bir bakır madeninden elde edilmiştir. Hanönü batısında Taşköprü ilçesi, doğusunda ise Sinop ili bulunmaktadır (kırmızı bölge). Türkiye'nin Kuzey kısmında yer almaktadır (Şekil 1).

Yeşil şist ve mika şist numuneleri 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°'de ve HQ (63.5 cm) çapta alınarak deneylere hazır hale getirilmiştir (Şekil 2). Dereceler yüklenme eksenine göre seçilmiştir. Yüklenme eksenine ve tabakalanma konumları arasında kalan açı (β) dayanım anizotropisinde anizotropik açı olarak kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 1. Hanönü ilçesi yer bulduru haritası

Yeşil şist ve mika şist numunelerinde karot boy (L)/çap (D) oranı ISRM [26] ve Tuncay ve Hasançebi [27] önerileri doğrultusunda 2-2.5 arasında seçilmiştir.

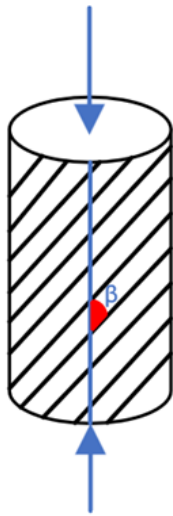


(a)



(b)

Şekil 2. Yeşil şist numuneleri (a) mika şist numuneleri (b)



Şekil 3. Anizotropik açı

Yeşil şist ve mika şistin fiziksel özelliklerinin belirlenmesine yönelik yürütülen deneysel çalışmalarda Tablo 1'de verilen değerler elde edilmiştir.

Tablo 1. Yeşil şist ve mika şistin fiziksel özellikleri [28]

Numune Türü	Kuru Yoğunluk (gr/cm ³)	Doğgun Yoğunluk (gr/cm ³)	Ağırlıkça Su Emme (%)	Gözeneklilik (%)	Boşluk Oranı
Yeşil Şist	2.79	2.80	0.18	0.537	0.0054
Mika Şist	2.70	2.74	1.20	3.223	0.0336

Fiziksel özellik sonuçları incelendiğinde mika şist numunesinin gözeneklilik ve ağırlıkça su emme oranının yeşil şistten daha fazla olduğu görülmektedir (Tablo 1). Söz konusu bölgede daha önce yapılan bir çalışmada mika şist P ve S dalga hızının yeşil şistten düşük olduğu saptanmıştır [29]. Bu durumun, mika şistteki kırık, çatlak vb. jeolojik bozuklukların daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) incelemesinde ise mika şistte poroz ve fabrik yapının daha fazla oranda olduğu tespit edilmiştir. Bu durum su emme oranının fazla olmasına ve dayanımın azalmasına etkili olduğu belirtilmiştir [28]. Mika şist biriminin önemli bir fay zonu (Ekinveren) içerisinde yer almasından dolayı kırık ve çatlak yapısının fazla olduğu ve bu durumda kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerini etkilediği belirtilmektedir [30–32].

2.2 Metot

Dayanım deneylerinde 300 tonluk hidrolik pres kullanılmıştır (Şekil 4). Yükleme hızı olarak ISRM [26] yöntemlerinde tek eksenli sıkışma deneyleri için önerilen 0.5-1.0 MPa/sn değerleri uygulanmıştır. Deneysel çalışmada numuneler farklı sıcaklık ve pH değerlerinde koşullandırılmıştır. Buna göre; 5°C ve 35°C sıcaklık ile pH2, pH7 ve pH12 şartlarında deneysel çalışmalar yürütülmüştür.



Şekil 4. Tek eksenli sıkışma dayanımı test düzeni

Numunelerin 5°C ve 35°C'de elde edilebilmesinde 5°C için iklimlendirme cihazı, 35°C sıcaklığın sağlanabilmesi için ise su banyosu kullanılmıştır. İklimlendirme ve su banyosu cihazlarında sıvı ortamı olarak saf su kullanılmıştır. Numuneler değişmez kütleye gelinceye kadar saf su ortamında belirtilen sıcaklık değerlerinde bekletilmiştir. Bekleme süresi içerisinde cihazlardaki su seviyeleri kısa aralıklarla kontrol edilmiştir.

İklimlendirme cihazında-10.0°C+60.0°C arasında sıcaklık değerleri elde edilebilmektedir. Zamanlayıcı ve sıcaklık alarm aralığı özellikleri ile deneylerde kolaylık sağlanmıştır (Şekil 5). ±0,1°C hassasiyetinde cihaz çalışabilmektedir.



Şekil 5. İklimlendirme cihazı

Mika şist ve yeşil şist numunelerini 35°C sıcaklığa ulaştırabilmek için su banyosu kullanılmıştır. Su banyosu $\pm 0,1^\circ\text{C}$ doğruluğunda, 22 litre kapasiteli ve 20°C-99°C arasında sıcaklık sağlayabilen bir cihazdır. Sıcaklığın doğruluğunu kontrol edebilmek için termometre kullanılmıştır (Şekil 6). 35°C'de buharlaşma fazla olabileceği için sürekli gözlemler yapılmıştır. Saf su seviyesinin azaldığı koşullarda takviye sıvı kullanılmıştır.



Şekil 6. Su banyosu

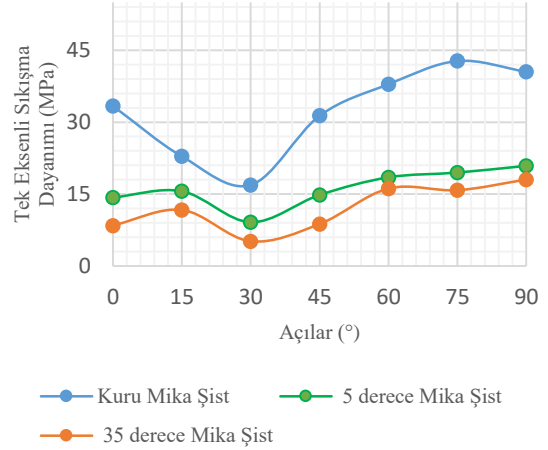
Numune pH2 ve pH12 koşullarının sağlanabilmesi sırasıyla seyreltilmiş Hidroklorik Asit (HCl) ve Sodyum Hidroksit (NaOH) çözeltileri kullanılmıştır. pH7 sıvı koşullarının sağlanabilmesi için ise saf su kullanılmıştır. pH değerlerinin sürekli sabit kalabilmesi için pH metre ile kontroller yapılmıştır. Artan veya azalan pH değerleri için seyreltilmiş Hidroklorik Asit (HCl) ve Sodyum Hidroksit (NaOH) çözeltileri kullanılarak pH değeri 2 ve 12 değerlerinde sabit tutulmaya çalışılmıştır (Şekil 7).



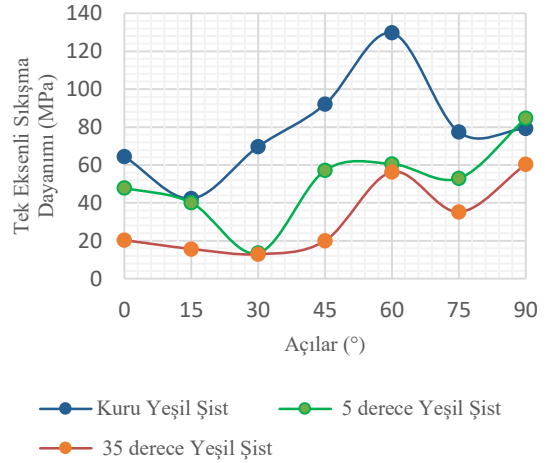
Şekil 7. Sıvı koşullarında pH kontrolü

3 Bulgular ve tartışma

Mika şist ve yeşil şist numuneleri için kuru ortam, 5°C ve 35°C ve pH2, pH7 ve pH12 şartlarında tek eksenli sıkışma dayanım deneyleri uygulanmıştır. Kuru ortam, 5°C ve 35°C şartlarında elde edilen sonuçlar Şekil 8 ve Şekil 9'da sunulmuştur. Ayrıca numunelerin kuru ortam ve pH7 koşullarındaki değerleri için daha önce yapılan çalışmalarda sonuçlardan yararlanılmıştır [28].



Şekil 8. Farklı sıcaklıklarda mika şist dayanımları



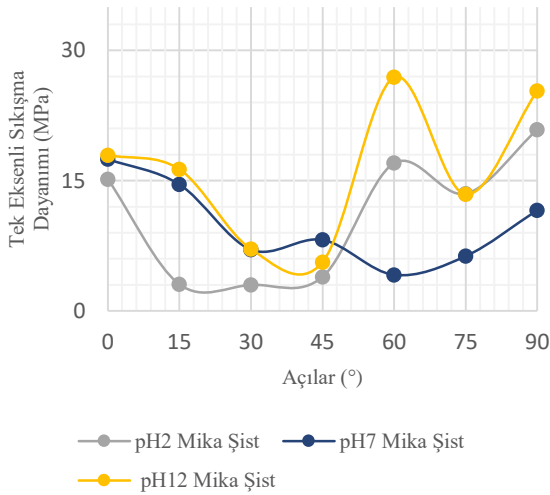
Şekil 9. Farklı sıcaklıklarda yeşil şist dayanımları

Yapılan çalışmalarda en yüksek tek eksenli basınç dayanımı genel olarak kuru numunelerde elde edilmiştir. Farklı su sıcaklıklarında koşullandırılmış numunelerde ise en yüksek dayanım 5°C'de koşullandırılmış numunelerde görülmüştür. 5°C'de genel olarak yüksek dayanımların elde edilmesinde buharlaşma ile gözenek ve mikro çatlak oluşumunun daha az oranda olması etkili olmuştur. Sıcaklığın dayanıma etkisi ile ilgili yapılan çalışmalarda, yüksek sıcaklıkların kayalarındaki kristal yapıyı değiştirdiği, gözenekleri ve mikro çatlakları artırdığı belirtilmektedir [13,14,16]. Ayrıca kayaç türüne bağlı olarak sıcaklık artışı ile minerallerdeki değişimin de dayanım düşüşlerinde etkili

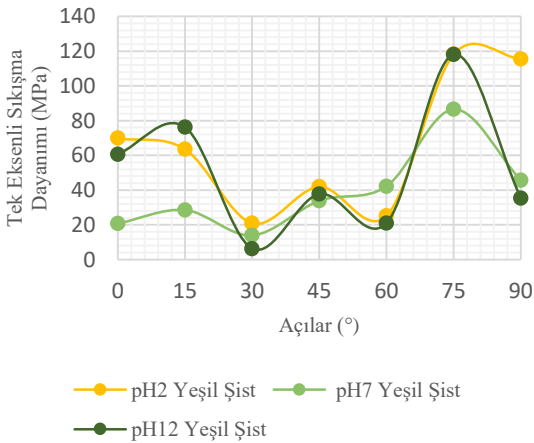
olduğu vurgulanmıştır [17]. Kayaçlardaki minerallerinde deneylerden önce ve sonra araştırılmasında fayda vardır. Dayanımın kuru numunelere kıyasla koşullandırılmış numunelerde düşük çıkmasında suyun etkisinin de göz ardı edilmemesi gerekir. Su taneler arasındaki bağı zayıflatmakta ve dayanımın düşmesine neden olmaktadır. Su ile sıcaklıkta dayanımın azalmasında etkili olmuştur. Bu durum Şekil 8 ve Şekil 9'daki sonuçlarda görülmektedir.

Sıcaklık dışında diğer parametre olan anizotropik derecelerde ise her iki kayaç dayanım anizotropisi için yaklaşık olarak 15°-45° derecelerde minimum, 60°-90° dereceler arasında ise maksimum dayanım sonuçları elde edilmiştir. Literatürde belirtilen dereceler bazında (30°-45° minimum, 90° maksimum dayanım değerleri) dayanım dağılımlarına benzer sonuçlar elde edilmiştir [33,34].

pH değerleri (2, 7 ve 12) farklı sıvı ortamlarında koşullandırılmış numunelerde elde edilen tek eksenli basınç dayanımı sonuçları Şekil 10 ve Şekil 11'de sunulmuştur. pH2 değeri için seyreltilmiş Hidroklorik Asit (HCl), pH12 değeri için seyreltilmiş Sülfirik Asit (H₂SO₄) çözeltileri ve pH7 ortamı için ise saf su kullanılmıştır.



Şekil 10. Farklı pH'larda mika şist dayanımları



Şekil 11. Farklı pH'larda yeşil şist dayanımları

Farklı pH değerlerinde koşullandırılmış numunelere uygulanan tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçlarına göre; genel olarak mika şist numunesinde en yüksek dayanımlar pH12'de görülmüştür. Diğer pH değerlerinde ise birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Yeşil şist için tüm pH değerlerinde birbirine yakın sonuçlar oluşmuştur. Asidik ortamın kayaç ile tepkimeye girerek gözenek yapısını değiştirdiği ve bu durumun da dayanımı düşürdüğü ifade edilmektedir [21,23]. Yapılan çalışmada bu durum mika şist numunesinin pH2'de elde edilen deney sonuçlarında görülmektedir (Şekil 10). Ancak araştırmalarda kayaç ve zemin türüne ve bünyelerindeki minerallere bağlı olarak asidik ve bazik koşullarda minimum ve maksimum dayanımlar değişkenlik göstermektedir [24,25]. Her iki kayaç için anizotropik derecelerde yaklaşık olarak 15°-45° derecelerde minimum, 60°-90° dereceler arasında ise maksimum dayanım sonuçları oluşmuştur. pH parametresinde sıcaklık parametresindeki anizotropik derecelere benzer dayanım sonuçları dağılımı elde edilmiştir.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada Kastamonu Hanönü ilçesi bakır madeninden alınan 0°, 15°, 30°, 45°, 60° ve 90°deki mika şist ve yeşil şist numunelerine kuru, 5°C ve 35°C, pH2, pH7 ve pH12 ortamlarında dayanım deneyleri uygulanmış ve dayanım anizotropisine göre dereceler bazında sonuçlar irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

1) Yeşil şist ve mika şist numunelerinde anizotropik dereceler için bütün koşullarda (pH ve sıcaklıklar) genel olarak 15°-45° derecelerde minimum, 60°-90° dereceler arasında ise maksimum dayanım sonuçları elde edilmiştir.

2) Her iki numune için kuru ortam hariç 5°C'de maksimum dayanım sonuçları oluşmuştur. Yüksek sıcaklık, dayanımın azalmasına neden olmuştur.

3) pH2, pH7 ve pH12 koşullarındaki şist numuneleri için, pH çoğunlukla mika şist numunesini etkilemiştir. Mika şist için, pH2 koşulunda ve 15° yönelim açısında en düşük, pH12 koşulunda ve 60° yönelim açısında ise en yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir. Yeşil şistte ise tüm pH değerlerinde sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, pH farklılıklarının yeşil şist numunesi üzerinde etkisinin az olduğu sonucuna varılmıştır. Mika şistte yapılacak çalışmaların farklı pH koşullarına göre değerlendirilmesi uygun olacaktır.

4) Dayanım anizotropisi gösteren sedimanter ve metamorfik kayaçlarda pH ve sıcaklık koşullarının da araştırılması mühendislik projelerine katkıda bulunacaktır.

5) Yeşil şist ve mika şist numunelerine dereceler bazında sık aralıkta (0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°) dayanımlar elde edilirken, sıcaklık (5°C ve 35°C) ve pH (pH2, 7 ve 12) parametreleri için laboratuvardaki koşullara göre daha az aralıkta veriler elde edilmiştir. Araştırmacılar bu aralıkları artırarak çalışmalarını daha detaylı hale getirebilir.

6) Yeşil şist ve mika şist numunelerine tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri uygulanarak değişik parametrelerde dayanım dağılımı incelenmiştir. Numunelere benzer veya farklı parametrelerde laboratuvar koşullarına göre üç eksenli sıkışma deneyleri uygulanarak kayaçların kesme dayanımları dağılımı incelenebilir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %7

Kaynaklar

- [1] K. Ullemeyer, S. Siegesmund, P. N. J. Rasolofosaon and J. H. Behrmann, Experimental and texture-derived P-wave anisotropy of principal rocks from the TRANSALP traverse: An aid for the interpretation of seismic field data, *Tectonophysics*, 414 (1–4), 97–116, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.10.024>.
- [2] R. Ajalloeian and G. R. Lashkaripour, Strength anisotropies in mudrocks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 59 (3), 195–199, 2000. <https://doi.org/10.1007/s100640000055>.
- [3] T. Ramamurthy, G. V. Rao and J. Singh, Engineering behaviour of phyllites, *Engineering Geology*, 33 (3), 209–225. 1993. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(93\)90059-L](https://doi.org/10.1016/0013-7952(93)90059-L).
- [4] A. Ghazvinian, R. Geranmayeh Vaneghi and M. R. Hadei, Behavior and failure mechanism of angoran schists under uniaxial compression loading. *ISRM Int. Symp. EUROCK 2012*, 28-30 May 2012, pp. 1–10, Stockholm, Sweden, 2012.
- [5] J. W. Cho, H. Kim, S. Jeon, and K. B. Min, Deformation and strength anisotropy of Asan gneiss, Boryeong shale, and Yeoncheon schist, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 50, 158–169. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2011.12.004>.
- [6] H. Saroglou and G. Tsiambaos, A modified Hoek–Brown failure criterion for anisotropic intact rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 45 (2), 223–234. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2007.05.004>.
- [7] M. H. B. Nasser, K. S. Rao and T. Ramamurthy, Anisotropic strength and deformational behaviour of Himalayan schists, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 40 (1), 3–23, 2003. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(02\)00103-X](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(02)00103-X).
- [8] X. P. Zhang, L. N. Y. Wong, S. J. Wang and G. Y. Han, Engineering properties of quartz mica schist, *Engineering Geology*, 121 (3–4), 135–149, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.04.020>.
- [9] H. Song, Y. Jiang, D. Elsworth, Y. Zhao, J. Wang and B. Liu, Scale effects and strength anisotropy in coal, *International Journal of Coal Geology*, 195 (March), 37–46, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2018.05.006>.
- [10] Y. Togashi, M. Kikumoto, K. Tani, K. Hosoda and K. Ogawa, Detection of deformation anisotropy of tuff by a single triaxial test on a single specimen, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 108 (November 2017), 23–36, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2018.04.054>.
- [11] S. Li, R. Huo, F. Yoshiaki, D. Ren and Z. Song, Effect of acid-temperature-pressure on the damage characteristics of sandstone, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 122, 104079, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2019.104079>.
- [12] G. Zhao, Y. Hu and P. Jin, Exploratory Experimental Study on the Mechanical Properties of Granite Subjected to Cyclic Temperature and Uniaxial Stress, *Energies*, 13 (8), 1–17, 2020. <https://doi.org/10.3390/en13082061>.
- [13] C. Li, Y. Hu, T. Meng, P. Jin, Z. Zhao and C. Zhang, Experimental study of the influence of temperature and cooling method on mechanical properties of granite: Implication for geothermal mining, *Energy Science and Engineering*, 8(5), 1716–1728, 2020. <https://doi.org/10.1002/ese3.627>.
- [14] Y. Hu, Y. Hu, G. Zhao, P. Jin, Z. Zhao and C. Li, Experimental Investigation of the Relationships Among P-Wave Velocity, Tensile Strength, and Mode-I Fracture Toughness of Granite After High-Temperature Treatment, *Natural Resources Research*, 31(2), 801–816, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11053-022-10020-3>.
- [15] H. Wang, Y. Wang and X. Fu, Experimental study on coupling influence of temperature and confining pressure to deformation and strength characteristics of rock-like material with pre-existing crack, *Materials*, 14 (24), 1–15, 2021. <https://doi.org/10.3390/ma14247572>.
- [16] J. Pan, Z. Feng, Y. Zhang, X. Xi, S. Miao and M. Cai, Experimental study on evaluation of porosity, thermal conductivity, UCS, and elastic modulus of granite after thermal and chemical treatments by using P-wave velocity, *Geoenergy Science and Engineering*, 230, 212184, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2023.212184>.
- [17] J. Zhang, Y. Shen, G. Yang, H. Zhang, Y. Wang, X. Hou, Q. Sun and G. Li, Inconsistency of changes in uniaxial compressive strength and P-wave velocity of sandstone after temperature treatments, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 13, 143-153, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2020.05.008>.
- [18] V. Vishal, S. P. Pradhan and T. N. Singh, Tensile Strength of Rock Under Elevated Temperatures, *Geotechnical and Geological Engineering*, 29 (6), 1127–1133, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10706-011-9440-y>.
- [19] W. Hongwei, G. Qiang, C. Lizhuang, W. Yongyan and L. Jianguang, Investigation of the Effect of Fissure Angle and Temperature on the Strength and Deformation of Rock-like Material. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, pp. 1–7, 2020.
- [20] A. Moslehy, K. A. Alshibli and T. J. Truster, Influence of Temperature and Crystal Orientation on Compressive Strength of Rock Salt Using a Newly Developed High-Pressure Thermal Cell, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 55 (1), 91–108, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00603-021-02655-0>.
- [21] Y. Liu, W. Liu and C. Wang, Study on mechanical properties and constitutive model of rock-like materials under acid corrosion, *Authorea*, 13 (March), 1–11,

2023. <https://doi.org/10.22541/au.167845653.36883128/v1>.
- [22] B. Guo, T. Cheng, J. Sun, S. Tian, Y. Chen and Y. Niu, Evolution of Peak Shear Strength of Rock Fractures Under Conditions of Repetitive Dry and Wet Cycling, *Frontiers in Earth Science*, 10 (July), 1–17, 2022. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.848440>.
- [23] T. N. Singh, P. K. Sharma and M. Khandelwal, Effect of pH on the physico-mechanical properties of marble, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 66 (1), 81–87, 2007. <https://doi.org/10.1007/s10064-006-0047-0>.
- [24] T. P. Ngo, Q. B. Bui, V. T. A. Phan and H. B. Tran, Durability of geopolymer stabilised compacted earth exposed to wetting–drying cycles at different conditions of pH and salt, 329, 127168, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127168>.
- [25] W. Liu, P. Liu, H. Xu, B. Gong and F. Ji, Study on the Microstructure Evolution and Strength Damage Mechanism of Dolomite under Dissolution Condition, 14, 1-14, 11447, 2022. <https://doi.org/10.3390/su141811447>
- [26] ISRM The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006. Kozan Ofset, Ankara, 2007.
- [27] E. Tuncay and N. Hasancebi, The effect of length to diameter ratio of test specimens on the uniaxial compressive strength of rock, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68 (4), 491–497, 2009. <https://doi.org/10.1007/s10064-009-0227-9>.
- [28] M. Özdemir, Anizotropik Davranış Gösteren Metamorfik Kaya Kütlelerinde Şev Stabilitesi Analizleri. Doktor Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitimi Enstitüsü, Kütahya, 2021.
- [29] M. Özdemir, S. Beyhan and K. Eraslan, The Effect of Anisotropy On The Dynamic Properties Of Schist Rocks, *Journal of Scientific Reports-A*, 49 (June 2022), 92–104, E-ISSN: 2687-6167, 2022.
- [30] H. Yıldız, K. Günay, Ş. Şahin, S. F. Niğdeli and M. Y. İçli, Hanönü (Kastamonu) bakır sahası (AR: 201300022) buluculuk talebine esas maden jeolojisi ve rezerv raporu. Ankara, 2014.
- [31] O. Çimen, M. C. Göncüoğlu and K. Sayıt, Geochemistry of the metavolcanic rocks from the Çangaldağ complex in the central pontides: Implications for the middle jurassic arc-back-arc system in the neotethyan intra-pontide ocean, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 25 (6), 491–512, 2016. <https://doi.org/10.3906/yer-1603-11>.
- [32] M. F. Uğuz and M. Sevin, 1:100.000 Scale Geological Maps of Turkey No:76 Kastamonu E32 Map Sheet. Ankara, 2007.
- [33] C. Saroglou, S. Qi, S. Guo and F. Wu, ARMR, a new classification system for the rating of anisotropic rock masses, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, (August), 2018. <https://doi.org/10.1007/s10064-018-1369-4>.
- [34] C. Saroglou and N. Bar, The ARMR classification system and the modified Hoek-Brown failure criterion compared to directional shear strength models for anisotropic rock masses, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 64 (1), 14–19, 2020. <https://doi.org/10.3311/PPci.14767>.

