



## NUMUNE GEOMETRİSİ VE YÜKLEME HIZI KOŞULLARININ KAYA MALZEMELERİ DOLAYLI ÇEKME DAYANIMI DEĞERLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Eren KÖMÜRLÜ\*

Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Giresun, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Dolaylı Çekme Dayanımı,  
Brezilyan Testi,  
Kaya Mekaniği Deneyleri,  
Numune Geometrisi,  
Yükleme Hızı.*

### Öz

Bu çalışmada, aynı çap ve farklı boy/çap oranlarına sahip kaya malzemesi numuneleri deformasyon kontrollü ve yük kontrollü olarak farklı yükleme hızı koşullarında test edilmiştir. 5 farklı kaya malzemesi ve toplam 90 adet dolaylı çekme dayanımı (Brezilyan) testi numunelerinden elde edilen sonuçlara göre, yük kontrollü bir yükleme hızı (kN/s) seçimi koşulunda boy/çap oranı artışı ile hesaplanan dayanım değerlerinde belirgin ölçüde azalma olduğu görülmüştür. Numune geometrisi etkisinin minimize edilmesi, farklı boy/çap oranlarına sahip numunelerden benzer dayanım değerlerinin elde edilmesi için deformasyon kontrollü yükleme hızı (mm/dakika) seçilerek dolaylı çekme dayanımı testlerinin gerçekleştirilmesi önerilmiştir.

## SPECIMEN GEOMETRY AND LOADING RATE CONDITION EFFECT ON INDIRECT TENSILE STRENGTH VALUES OF ROCK MATERIALS

### Keywords

*Indirect Tensile Strength,  
Brazilian Test,  
Rock Mechanics Experiments,  
Specimen Geometry,  
Loading Rate.*

### Abstract

In this study, rock core specimens with same diameter and different length to diameter ratios were tested under deformation controlled and load controlled various loading rate conditions. According to the results obtained from 5 different types of rock material and 90 specimens tested in this study, measured indirect tensile strength values were found to significantly increase with a decrease in the ratio of length to diameter under load controlled loading rate (kN/s) condition. To minimize the effect of geometry of the specimens and obtain similar results from specimens with different length to diameter ratios, the indirect tensile strength (Brazilian) test was suggested to carry out under the condition of deformation controlled loading rate (mm/min) selection.

### Alıntı / Cite

Kömürlü, E., (2020). Numune Geometrisi Ve Yüklem Hızı Koşullarının Kaya Malzemeleri Dolaylı Çekme Dayanımı Değerleri Üzerindeki Etkileri, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(1), 139-145.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Kömürlü, 0000-0002-2123-7678

### Makale Süreci / Article Process

|   |            |
|---|------------|
| <b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b> | 10.08.2018 |
| <b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>  | 09.04.2019 |
| <b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>     | 09.08.2019 |
| <b>Yayın Tarihi / Published Date</b>    | 20.03.2020 |

## 1. Giriş (Introduction)

Kaya malzemelerinin çekme dayanımı değerlerinin belirlenmesi için birçok doğrudan ve dolaylı test yöntemi mevcuttur. Bu yöntemler arasında en yaygın kullanılanı pratik olması sebebi ile Brezilyan çekme (yarmada çekme dayanımı) testidir. Deney Brezilyalı Profesör Fernando L.L.B. Carneiro tarafından geliştirilmiştir. Önemli bir beton danışmanı olan Profesör Carneiro danışmanlık yaptığı bir çalışmada eski bir kilisenin beton silindirler üzerinde yürütülerek taşınması esnasında yüklenen silindirlerin düşey yönde çatladığını görünce Brezilyan çekme testinin geliştirilmesi için önemli bir bulguya ulaşmıştır.

\* İlgili yazar / Corresponding author: ekomurlu@giresun.edu.tr, +90-454-310-1740

Profesör Carneiro silindirik beton numunelerinin çapsal sıkışma nedeni ile oluşan çekme gerilmeleri altında test edilmesine yönelik geliştirdiği deneysel yöntemini ilk kez 1943 yılında paylaşmıştır (Carneiro, 1943; Fairbairn ve Ulm, 2002). Carneiro (1943) tarafından deney yönteminin yayınlanmasından 2 ay sonra Japonya'lı bilim adamı Tsunei Akazawa, bağımsız olarak geliştirmiş olduğu aynı yöntem ile yarmada çekme dayanımı deneyini doktora tezi olarak sunmuştur (Akazawa, 1943).

Bir beton deneyi olarak bulunmuş olsa da, Brezilyan çekme testi pratikliği sebebi ile kaya numunelerine yönelik yaygınlaşmış ve detaylandırılmıştır. Kaya malzemesi numunelerinin Brezilyan çekme testi ile dolaylı çekme dayanımı değerlerinin belirlenmesi için çeşitli yönetsel detaylar ilgili standartlar ve ISRM (Uluslararası Kaya Mekaniği ve Kaya Mühendisliği Birliği) önerilerinde belirtilmiştir (ISRM, 2007; ISRM, 1978; ASTM D3967-16, 2016).

Deney sonucunu etkileyen önemli parametrelerden biri yükleme hızıdır. Yükleme hızı birim zamanda yük artışına bağlı (yük kontrollü) veya birim zamanda platenin düşey yönde deplasmanına bağlı (deformasyon kontrollü) olarak sırası ile kN/saniye veya mm/dakika gibi farklı birimlerde tercih edilebilmektedir. Birimi farketmeksizin, yükleme hızı değerindeki artış ile ölçülen dolaylı çekme dayanımı değerlerinde de artış yaşanmaktadır (Li vd., 2007; Yu vd., 2017; Gong ve Zhao, 2014).

Numune boy/çap oranı Brezilyan deneyi sonuçlarını önemli ölçüde etkilemekte olan bir diğer önemli parametredir. Bu oranın artışı ölçülen çekme dayanımı değerlerinde azalmaya neden olmaktadır (Kömürlü ve Kesimal, 2015; Kömürlü ve Kesimal, 2012; Aliha, 2014; Yu vd., 2006).

Bu çalışmada, farklı boy/çap oranlarına sahip numuneler yük ve deformasyon kontrollü yükleme hızları tercih edilerek test edilmiş ve numune geometrisinin dayanım değerleri üzerindeki etkilerinin farklı yükleme koşulları altında nasıl değiştiği incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada, Artvin ilinden alınan 5 farklı kaya malzemesinin dolaylı çekme dayanımı değerleri belirlenmiştir. Şekil 1'de görüldüğü gibi NX (54.7 mm) çapında elmas uçlu karotiyer bıçak kullanılarak alınan karotlar farklı boy/çap oranlarında kesilmiştir. Deformasyon kontrollü ve yük kontrollü yükleme koşulları için üçer farklı boy/çap oranlarında (0,3, 0,6, 0,9) numuneler hazırlanmıştır. Yük kontrollü yükleme koşullarında ISRM (2007) önerilerine uygun olarak yükleme hızı 0,2 kN/saniye olarak seçilmiştir.

Deformasyon kontrollü yükleme koşulunda test edilen numuneler ise 0,2 mm/dakika yükleme hızı altında test edilmiştir. Dolaylı çekme dayanımı testleri ISRM (2007) tarafından önerilen 8.1 cm yay çapında geometriye ve çelik malzeme özelliklerine sahip, 5.5 cm numune boyu doğrultusunda temas uzunluğu limiti olan çene kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Dolaylı çekme dayanımı değerleri ISRM(2007) tarafından önerilen Eşitlik 1'de görülen bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$\sigma_{tB}=0,637F/(Dt) \quad (1)$$

Eşitlik 1'deki  $\sigma_{tB}$  dolaylı çekme dayanımı (MPa), F kırılma yükü (kN), D numune çapı (cm), t numune boyudur (cm). Deformasyon ve yük kontrollü hız tercihi koşullarında yükleme yapabilmek için testlerde iki farklı cihaz kullanılmıştır. Deformasyon kontrollü testlerde 5 ton kapasiteli elektrik motorlu bir cihaz, yük kontrollü hızın seçildiği testlerde ise 30 ton kapasiteli bir hidrolik pres kullanılmıştır. Deformasyon kontrollü testlerde deplasman ölçümü için LVDT kullanılmıştır. Numunelerin boyları hassas olarak dijital verniyeli kumpas ile ölçülerek her boy/çap oranı grubu içerisindeki üç milimetreyi geçmeyen boy farkları dayanım değerleri hesaplanırken dikkate alınmıştır.

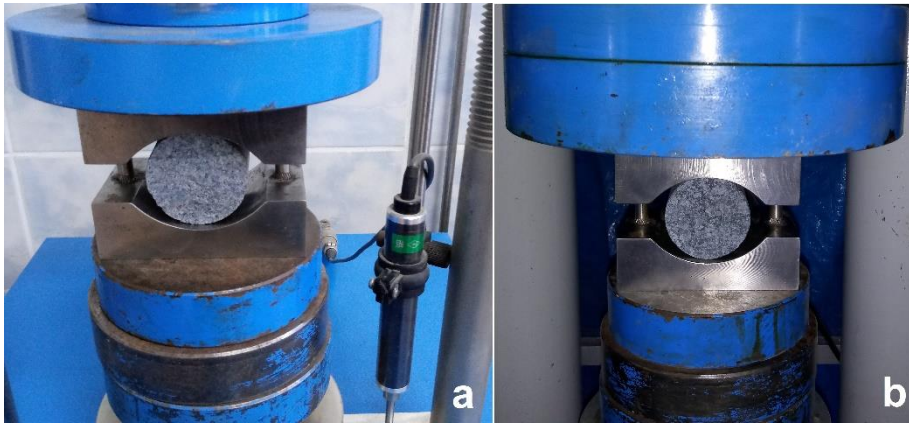
Farklı yükleme hızı birimi tercih edilirken kullanılan farklı cihazlardan elde edilen çekme dayanımı değerleri birbirleri ile kıyaslanmamıştır. Bu çalışmada, numune geometrisinin değişmesi sonucunda ölçülen dayanım değerleri ilgili yükleme hızı birimi koşulu içerisinde değerlendirilmiştir.

## 3. Bulgular (Results)

Dolaylı çekme dayanımı (Brezilyan) testlerinden elde edilen sonuçlar Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir. Farklı yükleme koşulları altında boy/çap oranı ve hesaplanan dayanım değerleri arasındaki ilişki grafiksel olarak Şekil 3-7'de görülmektedir. Ayrıca, Tablo 3'te farklı yükleme hızı koşullarında boy/çap oranına bağlı değişen dayanım değerleri arasındaki oranlar verilmiştir.



Şekil 1. Numune hazırlama: Karot alma (a), karot kesme (b)(Specimen preparation: coring (a), core cutting (b))



Şekil 2. Deformasyon kontrollü (a) ve yük kontrollü (b) hız koşullarına sahip dolaylı çekme dayanımı testleri (indirect tension tests with deformation controlled (a) and load controlled (b) rate conditions)

**Tablo 1.** Yük kontrollü testlere göre hesaplanan dolaylı çekme dayanımı ( $\sigma_{tB}$ ) değerleri (Indirect tensile strength ( $\sigma_{tB}$ ) values calculated in accordance with the tests with load controlled rate) (N.S.= Numune sayısı/ Number of specimen, S.D.= Standart sapma/ Standard deviation)

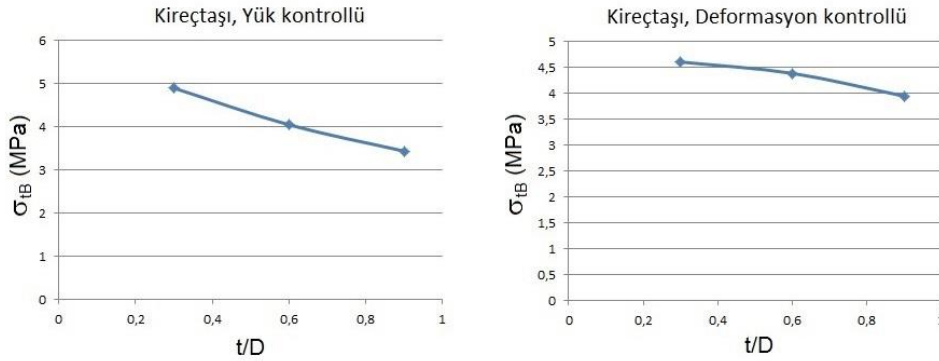
| Malzeme   | t/D: 0,3            |     |            | t/D:0,6             |     |            | t/D:0,9             |     |            |
|-----------|---------------------|-----|------------|---------------------|-----|------------|---------------------|-----|------------|
|           | $\sigma_{tB}$ (MPa) | N.S | S.D. (MPa) | $\sigma_{tB}$ (MPa) | N.S | S.D. (MPa) | $\sigma_{tB}$ (MPa) | N.S | S.D. (MPa) |
| Kireçtaşı | 4,89                | 3   | 0,16       | 4,05                | 3   | 0,14       | 3,44                | 3   | 0,15       |
| Bazalt    | 5,70                | 3   | 0,23       | 4,82                | 3   | 0,19       | 3,56                | 3   | 0,13       |
| Granit    | 7,61                | 3   | 0,28       | 6,44                | 3   | 0,31       | 5,13                | 3   | 0,24       |
| Silttaşı  | 3,46                | 3   | 0,12       | 2,65                | 3   | 0,12       | 2,07                | 3   | 0,09       |
| Dasit     | 6,56                | 3   | 0,20       | 5,77                | 3   | 0,26       | 4,68                | 3   | 0,21       |

**Tablo 2.** Deformasyon kontrollü testlere göre hesaplanan dolaylı çekme dayanımı ( $\sigma_{tB}$ ) değerleri (Indirect tensile strength ( $\sigma_{tB}$ ) values calculated in accordance with the tests with deformation controlled rate)

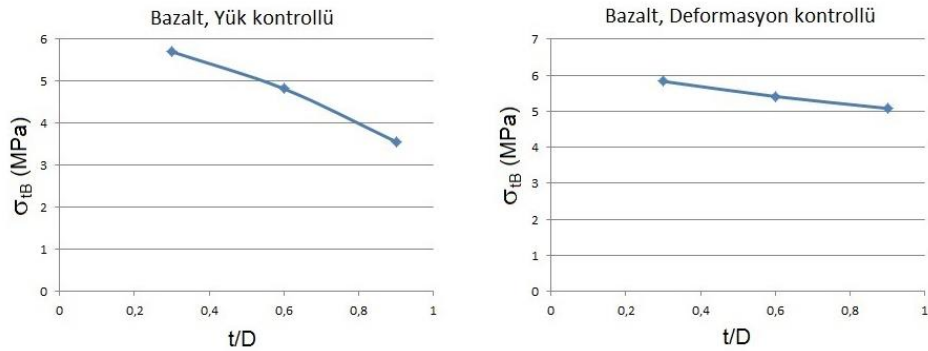
| Malzeme   | t/D: 0,3            |     |            | t/D:0,6             |     |            | t/D:0,9             |     |            |
|-----------|---------------------|-----|------------|---------------------|-----|------------|---------------------|-----|------------|
|           | $\sigma_{tB}$ (MPa) | N.S | S.D. (MPa) | $\sigma_{tB}$ (MPa) | N.S | S.D. (MPa) | $\sigma_{tB}$ (MPa) | N.S | S.D. (MPa) |
| Kireçtaşı | 4,61                | 3   | 0,19       | 4,39                | 3   | 0,20       | 3,95                | 3   | 0,16       |
| Bazalt    | 5,83                | 3   | 0,22       | 5,41                | 3   | 0,17       | 5,08                | 3   | 0,19       |
| Granit    | 7,16                | 3   | 0,27       | 6,57                | 3   | 0,23       | 6,38                | 3   | 0,25       |
| Silttaşı  | 3,23                | 3   | 0,14       | 2,90                | 3   | 0,11       | 2,46                | 3   | 0,10       |
| Dasit     | 4,85                | 3   | 0,18       | 4,42                | 3   | 0,14       | 4,11                | 3   | 0,17       |

**Tablo 3.** Boy/çap oranına bağlı dayanım değerlerindeki düşüş oranları ( $\sigma_{tB3}$ ,  $\sigma_{tB6}$ ,  $\sigma_{tB9}$  sırası ile boy/çap oranı 0,3, 0,6 ve 0,9 durumunda ölçülen dolaylı çekme dayanımı değerleridir) (Ratios of the decrease in the strength values depending on the length to diameter ratio ( $\sigma_{tB3}$ ,  $\sigma_{tB6}$ ,  $\sigma_{tB9}$  are strength values for the length/diameter ratios of 0.3, 0.6 and 0.9, respectively))

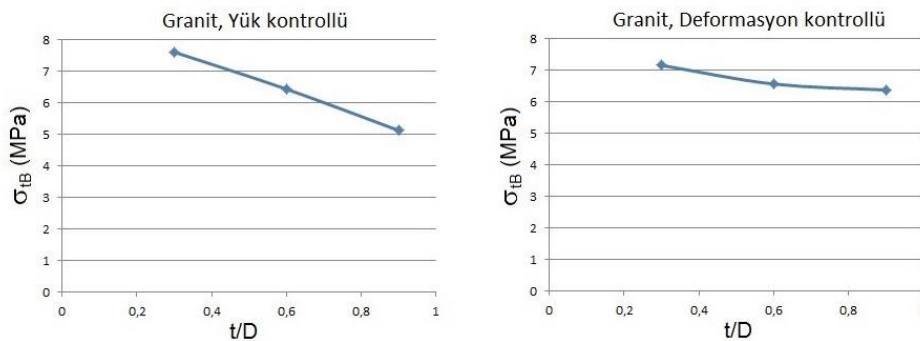
| Malzeme   | Yük Kontrollü testler       |                             | Deformasyon kontrollü testler |                             |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
|           | $\sigma_{tB6}/\sigma_{tB3}$ | $\sigma_{tB9}/\sigma_{tB3}$ | $\sigma_{tB6}/\sigma_{tB3}$   | $\sigma_{tB9}/\sigma_{tB3}$ |
| Kireçtaşı | 0,83                        | 0,70                        | 0,95                          | 0,86                        |
| Bazalt    | 0,85                        | 0,62                        | 0,93                          | 0,87                        |
| Granit    | 0,85                        | 0,67                        | 0,92                          | 0,89                        |
| Silttaşı  | 0,77                        | 0,60                        | 0,90                          | 0,76                        |
| Dasit     | 0,88                        | 0,71                        | 0,91                          | 0,85                        |



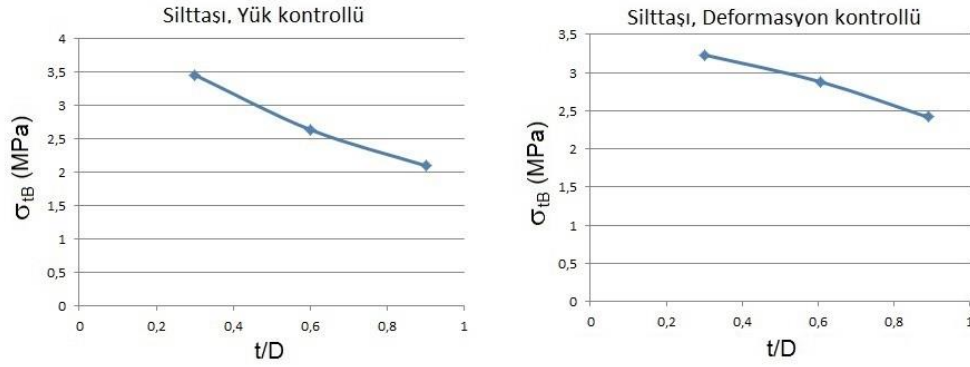
**Şekil 3.** Kireçtaşı numunelerinden elde edilen dolaylı çekme dayanımı ve boy/çap oranı ilişkisi (Relation between length to diameter ratio and indirect tensile strength values of limestone specimens)



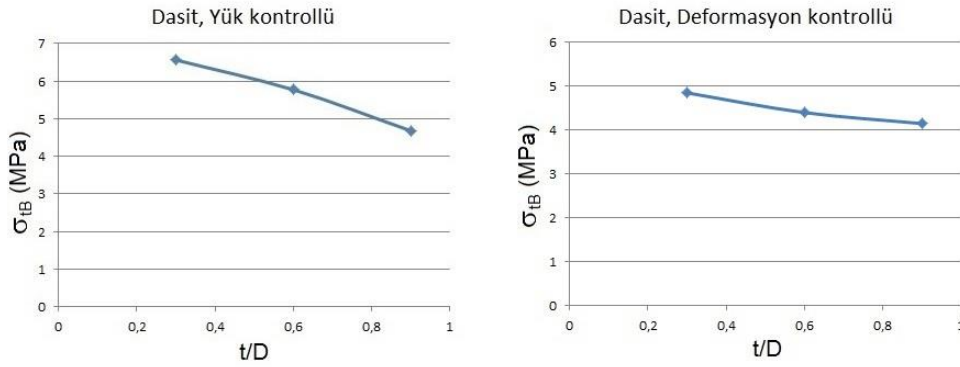
**Şekil 4.** Bazalt numunelerinden elde edilen dolaylı çekme dayanımı ve boy/çap oranı ilişkisi (Relation between length to diameter ratio and indirect tensile strength values of basalt specimens)



**Şekil 5.** Granit numunelerinden elde edilen dolaylı çekme dayanımı ve boy/çap oranı ilişkisi (Relation between length to diameter ratio and indirect tensile strength values of granite specimens)



Şekil 6. Silttaşı numunelerinden elde edilen dolaylı çekme dayanımı ve boy/çap oranı ilişkisi (Relation between length to diameter ratio and indirect tensile strength values of siltstone specimens)



Şekil 7. Dasit numunelerinden elde edilen dolaylı çekme dayanımı ve boy/çap oranı ilişkisi (Relation between length to diameter ratio and indirect tensile strength values of dacite specimens)

#### 4. Tartışma ve Sonuç (Discussions and Conclusion)

Elde edilen sonuçlara göre, boy/çap oranındaki artışa bağlı olarak ölçülen dolaylı çekme dayanımı değerlerindeki azalma oranı kaya malzemesine bağlı olan bir değişkendir ve bu konuda kaya malzemeleri için genel bir oran ifade etmek doğru olmayacaktır.

Brezilyan testinde numune üç eksenli gerilme dağılımına maruz kalarak kırılmaktadır. Bu durum, Brezilyan testinin doğrudan tek eksenli çekme dayanımı değerlerini temsil edememesi açısından dikkate alınmalıdır. Maksimum çekme gerilmelerinin olduğu numunenin dairesel kesit merkezine düşey yönde sıkışma gerilmesi, yatay çap doğrultusunda çekme gerilmesi (yarmayı sağlayan major çekme gerilmesi), numune boyu (kalınlığı) doğrultusunda ve yatay yönde yine çekme gerilmesi etkimektedir. Farklı doğrultularda ve büyüklüklerde gerilmeler altında dayanım değerlerinin kaya malzemesinin kendi mekanik özelliklerine bağlı değişmesi boy/çap oranındaki artış ile ölçülen dayanımlardaki farklı oranlarda azalma için açıklayıcı bir nedendir (Xu vd., 2016; Jianhong, vd. 2009; Ye vd., 2012).

Farklı araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen numerik analizlerde dairesel kesit merkezinde oluşan çekme gerilme değerleri numune boyu doğrultusunda dış yüzeylerde maksimum değerlerine ulaşmaktadır. Numune boyunun artışı ile aynı yük/boy oranı (F/t) için numune içerisinde oluşan maksimum çekme gerilmesi değerleri artmaktadır (Yu vd., 2006; Huafeng vd., 2012; Kömürlü vd., 2016). Bu sebeple, boy arttıkça dayanım değerlerine ulaşılması ve numunenin yenilmesi için yük değerleri daha düşük oranda artarak Eşitlik 1'e göre hesaplanan dolaylı çekme dayanımı değerleri azalmaktadır. Geometrinin numune içerisindeki gerilme dağılımlarına olan etkilerinin yanı sıra, numune boyu artışı ile mikro süreksizliklerin oransal artışı ölçülen dayanım değerlerindeki azalma açısından önemlidir.

Diğer önemli bir faktör ise kaya malzemesinin deformasyon özelliklerine bağlı olarak yükleme esnasında çene ile temas açısının numuneye göre değişiklik göstermesidir. Standart çene kullanımı koşulunda NX boyutunda karotiyer ile hazırlanan farklı kaya malzemesi numuneleri için temas açısı genellikle 80 ve 30o arasında değişmektedir. Temas açısındaki farklılıklar kaya numuneleri içerisindeki gerilme dağılımlarını önemli ölçüde etkilemektedir (Kourkoulis vd., 2013; Erarslan vd., 2012; Markides ve Kourkoulis, 2016; Markides vd., 2010). Ayrıca, düşey gerilmelerden kaynaklı yanal gerilme oluşumu için belirleyici olan Poisson oranı disk numuneleri

içerisindeki gerilme dağılımlarını etkileyen, farklı kaya malzemeleri için değişen gerilme dağılımlarına sebebiyet veren bir diğer parametredir (Lin vd., 2016).

ISRM önerilerinde yer aldığı gibi yük kontrollü yükleme hızı seçimi durumunda, boy/çap oranı arttıkça dayanım değerlerinde önemli oranda azalma olduğunun görülmüş olması önceki diğer çalışmalar ile paraleldir (Kömürlü ve Kesimal, 2015; Kömürlü ve Kesimal, 2012; Aliha, 2014; Guinea vd., 2000). Sabit yük altında numune boyu arttıkça kontak bölgesinde gerilme değerleri ve birim temas uzunluğu başına yük değerleri (kN/cm) azalmaktadır. Yükleme esnasında gerilme artışı değerlerindeki düşüş ölçülen dayanım değerlerinde de düşüşe sebep olmaktadır. Yük kontrollü hız koşullarında numune boyunun artması ile gerilme ve birim uzunluk başına yük değerlerindeki artış hızının azalması ölçülen dayanım değerlerindeki düşüşe neden olmaktadır (Kömürlü ve Kesimal, 2017; Markides ve Kourkoulis, 2013; Fabjan vd., 2015).

Yük kontrollü bir hız tercih edildiğinde numune üzerindeki toplam yük değerlerindeki artış hızı sabittir. Buna karşın, deformasyon kontrollü bir yükleme hızı tercihinde numune boyu uzaması ile platenin birim zamanda deplasmanını koruyabilmesi için yük değerlerinde artış hızı yükselmektedir. Aynı geometri ve boyuta sahip numuneler için yükleme hızı artışı ile kırılma yükü ve ölçülen dayanım değerlerinde artış olmaktadır (Kömürlü, 2018; Kömürlü, 2019; Gong vd., 2019; Kohmura ve Inada, 2006). Bu durum boy/çap oranındaki artış ile geometri değişimi etkisinin minimize edilmesi için deformasyon kontrollü yükleme hızı kullanımına avantaj sağlamaktadır. Numune boyu ve kırılma yükleri birlikte incelendiğinde, deformasyon kontrollü testlerde numune boyu artışı ile ölçülen dayanım değerlerinde düşük seviyelerde azalma olduğu görülmüştür. Boy/çap oranının artışı ile yükleme hızı birimi seçimine bağlı olmaksızın dolaylı çekme dayanımı değerlerinde azalma olduğu, ancak yükleme hızının deformasyon kontrollü tercih edilmesi durumunda geometrik özelliklerin elde edilen sonuçlar üzerindeki etkilerinin önemli ölçüde giderilmiş olduğu görülmüştür. Kısaca, farklı geometrilere sahip karot numunelerinden benzer dolaylı çekme dayanımı değerleri elde etmek ve boy/çap oranının deney sonuçları üzerindeki etkilerini minimize edebilmek için testlerde deformasyon kontrollü yükleme hızı tercih edilmesi önerilmiştir.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

### Kaynakça (References)

- Akazawa, T., 1943. New test method for evaluating internal stress due to compression of concrete (the splitting tension test) (part 1). *Journal of Japan Society of Civil Engineering*, 29, 777-787.
- Aliha, M.R.M., 2014. Indirect tensile test assessments for rock materials using 3-D disc-type specimens. *Arabian Journal of Geosciences*, 7 (11), 4757-4766.
- ASTM D3967-16, 2016. Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Carneiro, F.L.L.B., 1943. A new method to determine the tensile strength of concrete. *Proceedings of the 5th meeting of the Brazilian Association for Technical Rules*, September 1943, 126-129.
- Erarslan, N., Liang, Z.Z., Williams, D.J., 2012. Experimental and Numerical Studies on Determination of Indirect Tensile Strength of Rocks. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 45(5), 739-751.
- Fabjan, T., Ivars D.M., Vukadin, V., 2015. Numerical simulation of intact rock behaviour via the continuum and Voronoi tessellation models – a sensitivity analysis. *Acta Geotechnica Slovenica*, 12, 5-23.
- Fairbairn, E.M.R., Ulm, J.F., 2002. A Tribute to Fernando L. L. B. Carneiro (1913 - 2001) Engineer and Scientist who invented the Brazilian Test. *Materials and Structures*, 35, 195-196.
- Gong, F.Q., Zhao, G.F., 2014. Dynamic Indirect Tensile Strength of Sandstone under Different Loading Rates. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 47, 2271-2278.
- Gong, F., Zhang, L., Wang, S., 2019. Loading Rate Effect of Rock Material with the Direct Tensile and Three Brazilian Disc Tests. *Advances in Civil Engineering*, vol. 2019, Article ID 6260351, 8 pages
- Guinea, G.V., Elices, M., Planas, J., 2000. Assessment of the tensile strength through size effect curves. *Engineering Fracture Mechanics*, 65, 189-207.
- Huafeng, D., Jianlin, L., Min, Z., Ruihong, W., Xianfan, Y., Qian, L., 2012. Research on effect of disc thickness-to-diameter ratio on splitting tensile strength of rock. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 31, 792-798
- ISRM, 1978. International society for rock mechanics suggested methods for determining tensile strength of rock materials. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 15, 99-103.
- ISRM, 2007. The blue book - the complete ISRM suggested methods for rock characterisation, testing and monitoring: 1974-2006 (Ulusay R, Hudson JA in eds). ISRM & Turkish National Group of ISRM, Ankara
- Jianhong, Y., Wu, F.Q., Sun, J.Z., 2009. Estimation of the tensile elastic modulus using Brazilian disc by applying diametrically opposed concentrated loads. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46, 568-576.
- Kohmura, Y., Inada, Y., 2006. The Effect of the Loading Rate on Stress-Strain Characteristics of Tuff. *Journal of the Society of Materials Science Japan*, 55, 323-328.

- Komurlu, E., 2018. Loading Rate Conditions and Specimen Size Effect on Strength and Deformability of Rock Materials under Uniaxial Compression. *International Journal of Geo-Engineering*, 9, Paper no: 17, 1-11.
- Komurlu, E., 2019. An Experimental Study on Determination of Crack Propagation Energy of Rock Materials under Dynamic (Impact) and Static Loading Conditions. *Hittite Journal of Science and Engineering*, 6, 1-6.
- Komurlu, E., Kesimal, A., 2012. Jaw Effects on Indirect Tensile Strength Test Disc Failure Mechanism. 7th Asian Rock Mechanics Symposium, October, Seoul, 624-637.
- Komurlu, E., Kesimal, A., 2015. Evaluation of Indirect Tensile Strength of Rocks using Different Types of Jaws. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 48, 1723-1730.
- Komurlu, E., Kesimal, A., Demir, S., 2016. An Experimental and Numerical Study on Determination of Indirect (Splitting) Tensile Strength of Rocks under Various Load Apparatus. *Canadian Geotechnical Journal*, 53, 360-372.
- Kömürlü, E., Kesimal, A., 2017. Darbe Etkisi Altında Granit Türü Farklı Kaya Malzemelerinin Çatlak İlerleme Enerjisinin Belirlenmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma. *Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve Geoteknik Sempozyumu 2017*, Ekim, Adana, 231-238.
- Kourkoulis, S.K., Markides, C.F., Chatzistergos, P.E., 2013. The standardized Brazilian disc test as a contact problem. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 57, 132-141.
- Li, X., Marasteanu, M.O., Williams R.C., 2007. The Effect of Loading Level and Rate in the Indirect Tensile Test. *Proceedings of the 2007 Mid-Continent Transportation Research Symposium*, Ames, Iowa,
- Lin, H., Xiong, W., Yan, Q., 2016. Three-Dimensional Effect of Tensile Strength in the Standard Brazilian Test Considering Contact Length. *Geotechnical Testing Journal*, 39 (1), 137-143.
- Markides, C.F., Kourkoulis, S.K., 2013. Naturally Accepted Boundary Conditions for the Brazilian Disc Test and the Corresponding Stress Field. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 46, 959-980.
- Markides, C.F., Kourkoulis, S.K., 2016. The influence of jaw's curvature on the results of the Brazilian disc test. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 8, 127-146.
- Markides, C.F., Pazis, D.N., Kourkoulis, S.K., 2010. Closed Full-Field Solutions for Stresses and Displacements in the Brazilian Disc under Distributed Radial Load. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 47 (2), 227-237.
- Xu, X., Wu, S., Gao, Y., Xu M., 2016. Effects of Micro-structure and Micro-parameters on Brazilian Tensile Strength Using Flat-Joint Model. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 49 (9), 3575-3595.
- Ye, J.H., Wu, F.Q., Zhang, Y., Ji, H.G., 2012. Estimation of the bi-modulus of materials through deformation measurement in a Brazilian disk test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 52, 122-131.
- Yu, M., Wei, C., Niu, L., 2017. The Coupled Effect of Loading Rate and Grain Size on Tensile Strength of Sandstones under Dynamic Disturbance. *Shock and Vibration*, Cilt. 2017, Article ID 6989043, 13 pages.
- Yu, Y., Yin, J., Zhong, Z., 2006. Shape effects in the Brazilian tensile strength test and a 3D FEM correction. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43, 623-627