

MERMER VE TRAVERTENİN TEK EKSENLİ BASINÇ DAYANIMININ BELİRLENMESİNDE BOYUT VE ŞEKİL ETKİSİ

Hüseyin YAVUZ¹, Dursun SARI¹, Mustafa VAROL¹

¹ SDÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İSPARTA

¹ Özerdemler Madencilik San. Tic. A.Ş., Kütahya

ÖZET

Bu çalışmada, iki doğal yapıtaşından farklı boyutlarda kübik şekilli numuneler hazırlanıp test edilerek numune boyutunun tek eksenli basınç dayanımına etkisi araştırılmıştır. Her bir yapıtaşının basınç dayanımı, NX standardında (54 mm çaplı) silindirik numuneler hazırlanıp test edilerek ayrıca belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda, numune boyutundaki artış ile yapıtaşlarının basınç dayanımının önemli ölçüde azaldığı belirlenmiştir. Deneylemlerden elde edilen verilerin istatistiksel analizi sonucunda tek eksenli basınç dayanımının boyut ile değişimini gösteren eşitlikler geliştirilmiştir. Ayrıca kübik şekilli numuneler ile NX standardındaki silindirik numunelerin basınç dayanımları karşılaştırılarak numune şeklinin tek eksenli basınç dayanımına etkisi incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Tek Eksenli Basınç Dayanımı, Boyut Etkisi, Şekil Etkisi, Mermer, Traverten

ABSTRACT

In this study, by preparing cubic shaped samples of different size from two natural building stones, the effect of sample size on the uniaxial compressive strength was investigated. Compressive strength of each stone was also determined by means of NX core sized (54 mm in diameter) cylindrical samples. As a result of this investigation, it was found that the compressive strength of building stones reduces significantly from small to large sizes. Equations showing the relationship between the size and the uniaxial compressive strength of samples were derived from the statistical analysis of experimental results. The effect of sample shape on uniaxial compressive strength was also investigated by comparing the data for cubic and NX core size samples.

Key Words: Uniaxial Compressive Strength, Size Effect, Shape Effect, Marble, Travertine

1. GİRİŞ

Minerallerin kayaç içerisindeki dağılımı her kısımda aynı değil yani heterojen bir dağılımdır. Aynı kayadan alınan aynı boyut ve şekildeki numunelerin basınç dayanımının farklılık arz etmesi kayanın heterojen yapıda olmasından kaynaklanmaktadır [1]. Kayanın heterojenliği, kaya içerisindeki farklı mineral bileşenlerinin artması, mineral bileşenleri arasındaki karakteristiklerin değişiminin büyük farklılık göstermesi, bileşenlerin boyutları arasındaki farkın büyük olması ve minerallerin hacim içinde çok düzensiz bir dağılım göstermesi ile artmaktadır. Doğada mevcut kayaların mineral bileşenlerinin arasında veya içinde küçük ölçekte fissürlerden başlayıp büyük ölçeklerde çatlak ve faylara kadar uzanan süreksizlikler mevcuttur. Heterojen ve anizotropik olan doğal yapıtaşlarının dayanım değerleri ölçüğe bağlı olarak farklılık arz edecektir. Bu nedenlerden dolayı, doğal yapıtaşlarının mekanik özelliklerinden olan tek eksenli basınç dayanım değerleri de numune boyut ve şekline bağlı olarak değişecektir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Daha önceki araştırmacıların büyük çoğunluğu numune boyutlarındaki artış ile kaya ve kömürün tek eksenli basınç dayanımının önemli ölçüde azaldığını ispatlamışlardır [2,3,4,5,6]. Weibull'un önerdiği en zayıf hat kavramı (Weakest link concept) bir numunenin dayanımının en kritik bir çatlak tarafından tayin edileceğini varsaymaktadır [4]. Basınç dayanımı ile numune boyutu arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmiştir.

$$m \log \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2} \right) = \log \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \quad (1)$$

Eşitlikte r_j : numunenin basınç dayanımı, V : numunenin hacmi ve m : malzeme sabitidir. Lundborg çap/yükseklik oranı 1 olan silindirik şekilli granit numunelerinin basınç dayanımındaki değişimi incelemiş ve sonuç olarak çapın 19 mm den 58 mm ye artırılmasıyla basınç dayanımındaki azalmanın %25 olduğunu belirlemiştir [5]. Bieniawski kübik blok şeklinde ve boyutları 6 mm den 1500 mm ye kadar değişen kömür numuneleri üzerinde gerçekleştirdiği testler sonucunda numunelerin basınç dayanımının artan numune boyutu ile önemli ölçüde azaldığını ancak 900 mm den büyük boyutlarda dikkate değer değişimin olmadığını belirlemiştir [3]. Eşitlik 1'deki m sabiti Lundborg'un testleri için 12 Bieniawski'nin testleri için 2.5 olduğunda en iyi korelasyon sağlanmaktadır. Kaczynski kübik ve boyutları 10 mm den 63 mm ye kadar değişen kumtaşı, basalt ve granit numunelerini test etmiş ve basınç dayanımının artan numune boyutu ile önemli ölçüde azaldığını belirlemiştir [6]. Hustrulid kömür numunelerinin basınç dayanımının artan numune boyutu ile azaldığını belirlemiş ve bu değişim

$$\sigma = KD^{-1} \quad (2)$$

eşitliği ile ifade etmiştir [7]. Eşitlikte (T : numunenin basınç dayanımı, D : kübik numunenin kenar uzunluğu, K ve A : malzeme sabitleridir (örneğin kömür için $A=0.5$ olarak önerilmiştir). Hoek ve Brown sekiz araştırmacının farklı kayalar üzerindeki basınç testlerinde elde ettiği verileri değerlendirmiştir [2]. Test edilen numuneler silindirik şekilli ve çapları 10 ile 200 mm arasında değişmektedir. Hoek & Brown her bir numunenin basınç dayanımı değerini 50 mm çapındaki numunenin basınç dayanımı değerine oranlayarak.

basınç dayanımı İle numune çapı arasındaki değişimi gösteren aşağıdaki eşitliği Önermişlerdir.

$$\sigma_D = \sigma_{50} (50/D)^{0.18} \quad (3)$$

Eşitlikte D: numunenin çapı σ_D : D mm çaplı numunenin basınç dayanımı, σ_{50} : 50 mm çapındaki numunenin basınç dayanımıdır

Önceki araştırmaların sonuçları göstermektedir ki numune boyutunun artması ile numunenin basınç dayanımında Önemli derecede azalma olmaktadır. Son yıllarda artan önem arz eden doğal yapıtaşı endüstrisinde, laboratuvarlarda sürdürülen tek eksenli basınç dayanımı testlerinin sonuçlarının güvenilirliği basınç dayanımının boyut etkisi dikkate alınarak belirlenmesiyle artacaktır. Herhangi bir yerde rapor edilmiş basınç dayanımı değeri eğer numuneler standart boyutlarda değilse numune boyut ve şeklinin belirtilmesiyle anlam kazanacaktır Bu makalede, doğal yapıtaşı basınç dayanımı testlerinde numune boyutlarının ve şeklinin numune basınç dayanımına olan etkisinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

3. BOYUT ETKİSİ

Numune boyutunun doğal yapıtaşlarının tek eksenli basınç dayanımlarına etkisini incelemek amacıyla Aydın-Karacasu beyaz mermeri ve Balıkesir-Dursunbey kırmızı travertenini seçilmiştir. Kırmızı traverten ve beyaz mermerden ortalama kenar uzunlukları 25, 50, 75, 100 mm olan kübik blok şeklinde numuneler hazırlanmıştır. Mermerin ortalama birim hacim ağırlığı 2.71 gr/cm³ travertenin ortalama birim hacim ağırlığı İse 2.32 gr/cm³ olarak belirlenmiştir. Numuneler 60 ton, 150 ton veya 300 ton olmak üzere üç kademede yük uygulama kapasitesine sahip pres ile test edilmişlerdir

Yapıtaşlarının her bir boyutundan en az 9 olmak üzere mermer için 47, traverten için 74 kübik bloklar şeklinde hazırlanmış numuneler test edilmiştir. Küp numunelerin basınç dayanımlarındaki boyuta bağlı değişimin İncelendiği değerlendirme ve regresyon analizlerinde küp blokların bir kenarının uzunluğu 'D' esas olarak alınmıştır. Mermer ve travertenin her bir boyutundaki numune sayısı, ortalama basınç dayanımları, standart sapma ve değişim katsayısı değerleri Tablo 1'de ayrıntılı olarak verilmektedir Diğer araştırmacıların bulduğu sonuçlara benzer olarak numune boyutlarının artması İle numunenin basınç dayanımının ihmal edilemeyecek derecede azaldığı gözlenmiştir. Beyaz mermerde bu azalma, 25 mm kenar uzunluğuna sahip küp blokların ortalama basınç dayanımları baz alınarak alındığında, 50 mm kenar uzunluğuna sahip numune için %12, 75 mm kenar uzunluğuna sahip numune için %32. ve 100 mm kenar uzunluğuna sahip numune için %43 olarak bulunmuştur. Traverten numunelerinin basınç dayanımındaki azalma ise aynı boyutlar için sırasıyla %16, %29 ve %42 olarak Ölçülmüştür. Bulunan bu sonuçlar Lundborg'un silindirik granit numunelerde çapın 19 mm den 58 mm ye artırılmasıyla basınç dayanımındaki %25 azalmanın olduğu deney sonuçlarını destekler niteliktedir. Her iki yapıtaşında, boyut artışı ile basınç dayanımındaki azalma yüzde olarak tamamen aynı olmamasına rağmen birbirine yakın değerlerdedir. Sayılan i=1 den n'e kadar olan numunelerin ortalama basınç dayanımı etrafındaki standart sapmaları,

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \sigma_b)^2}{n-1}} \quad (4)$$

eşitliği ile hesaplanmış olup eşitlikte r_{j_i} : i' inci numunenin basınç dayanımı, G_n : numunelerin ortalama basınç dayanımıdır. Test edilen traverten numunesi sayısı daha fazla olmasına rağmen basınç dayanımlarının aritmetik ortalama etrafındaki standart sapma değerleri mermere kıyasla daha fazladır. Mermer ve travertene ait farklı boyutlardaki numunelerin basınç dayanımı verileri ortalamalarının farklı olması sebebiyle değişim katsayıları karşılaştırma amacıyla,

$$\%DK = \frac{100SD}{\sigma_b} \quad (5)$$

eşitliği ile hesaplanmış olup sonuçlar tablo 1'de verilmektedir. Genel olarak traverten numunelerinin değişim katsayıları mermer numunelere kıyasla yüksektir. Bu durum belki travertenin oluşumu ile ilgili olarak mermere kıyasla daha gözenekli olması ile açıklanabilir.

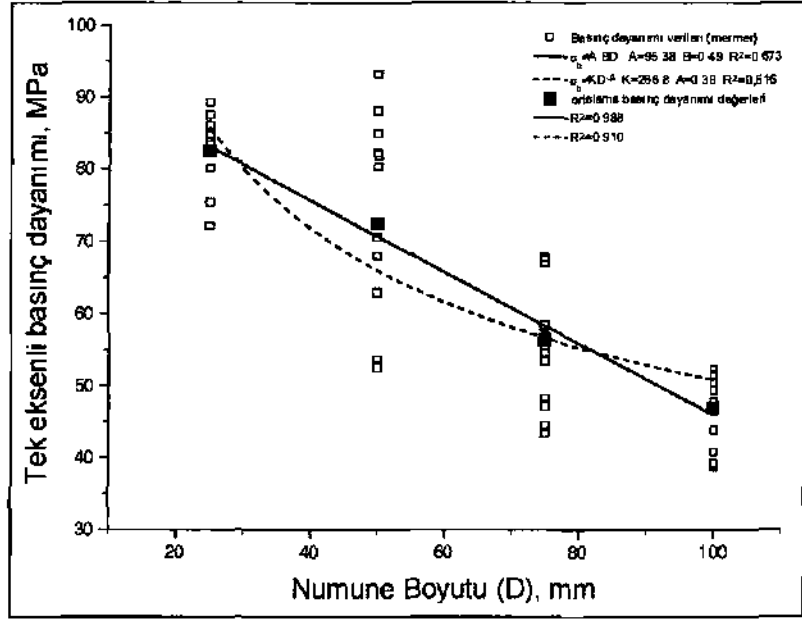
Tablo 1. Mermer ve travertenin numune boyutuna bağlı basınç dayanımı değerleri.

Mermer				
Numune boyutu (D), mm	Numune sayısı	Basınç dayanımı (Ob), MPa	Standart sapma (SD), MPa	Değişim katsayısı (DK), %
100x100x100	12	46.89	5.10	10.89
75 x 75 x 75	14	56.24	8.69	15.46
50 x 50 x 50	12	72.52	14.50	19.99
25 x 25 x 25	9	82.40	5.62	6.82
Traverten				
Numune boyutu (D), mm	Numune sayısı	Basınç dayanımı (o _c), MPa	Standart sapma (SD), MPa	Değişim katsayısı (DK), %
100x100x100	18	63.08	10.99	17.42
75 x 75 x 75	20	76.72	9.28	12.09
50 x 50 x 50	19	91.73	14.16	15.44
25 x 25 x 25	17	108.6	17.95	16.96

Numune Boyutuna bağlı olarak mermerin basınç dayanımındaki değişim Şekil 1'de görülmektedir. Tüm boyutların üst ve alt limit değerlerinden geçen iki doğru arasında, numunelerin basınç dayanımları değişmektedir. Sadece üst sınırdan geçebilecek doğruların dışında kalan kenar uzunluğu 50 mm olan küp blokların bir kısmının maksimum basınç dayanımıdır. Numune basınç dayanımındaki boyuta bağlı değişimi ifade edecek en iyi regresyon araştırılmıştır. Öncelikle kömür küp bloklarının basınç dayanımının boyutla değişimini en iyi ifade eden 2 eşitliğinin verilere korelasyonu araştırılmıştır. Bu üstel fonksiyonun sabitleri olan K ve A değerleri en iyi korelasyon katsayısı (R^2) 0.616 ile sırasıyla 288.8 ve 0.38'dir. Verilerin ortalama basınç dayanımlarına göre ise R^2 0.616 olarak bulunmuş olup düşük bir değerdir. Verilere en iyi korelasyonu sağlayan aşağıda verilen doğru denklemidir.

$$\sigma_b = A - BD \quad (6)$$

Eşitlikte A: doğal yapıtaşının maksimum basınç dayanımı, B: malzeme özelliğine bağlı olarak değişen katsayı ve D: Numunenin kenar uzunluğudur. Mermer dayanım verilerine en iyi regresyonu $R^2=0.673$ ile veren A ve B değerleri sırasıyla 95.38 ve 0.49 olarak bulunmuştur. Doğrusal fonksiyon, üstel fonksiyona göre ortalama basınç dayanımı verilerine $R^2=0.988$ ile en iyi regresyonu sağlamaktadır.



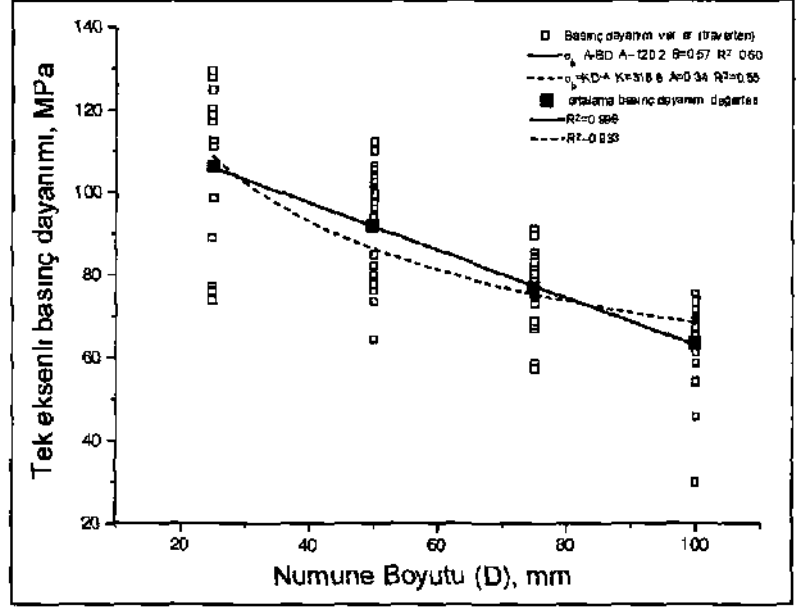
Şekil 1. Mermerin basınç dayanımı ile numune boyutu arasındaki ilişki.

Travertenin basınç dayanımının test edilen numunelerin boyutuna bağlı olarak değişimi Şekil 2'de verilmektedir. Mermerde olduğu gibi traverten için de doğrusal regresyon ile numune boyutuna bağlı basınç dayanımı verilerine en iyi korelasyon sağlanmaktadır. Mermer için 0.49 olan B değeri (doğrunun eğimi) traverten için 0.57 olarak bulunmuştur. Numune boyutunun travertenin tek eksenli basınç dayanımına mermere göre daha fazla etkilediği yani artan numune boyutu ile travertenin basınç dayanımının mermere göre daha fazla azaldığı söylenebilir.

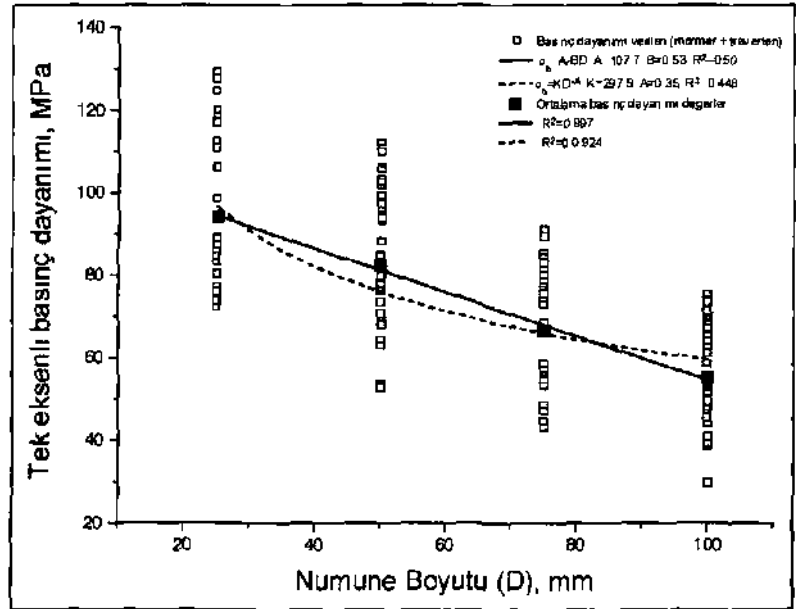
Traverten ve mermer numunelerinin hepsinin boyuta bağlı basınç dayanımı verilerinden en iyi korelasyonu sağlayacak regresyon doğrusunun katsayılarını bulmak amacıyla tüm veriler 6 eşitliğine uyarlanmış ve istatistiksel analiz sonucunda ortalama basınç dayanımlarından geçen ve en iyi korelasyonu ($R^2=0.997$) veren doğrunun denklemi

$$\sigma_b = 107.7 - 0.53D \quad (7)$$

olarak bulunmuştur.



Şekil 2 Travertenin basınç dayanımı ile numune boyutu arasındaki ilişki

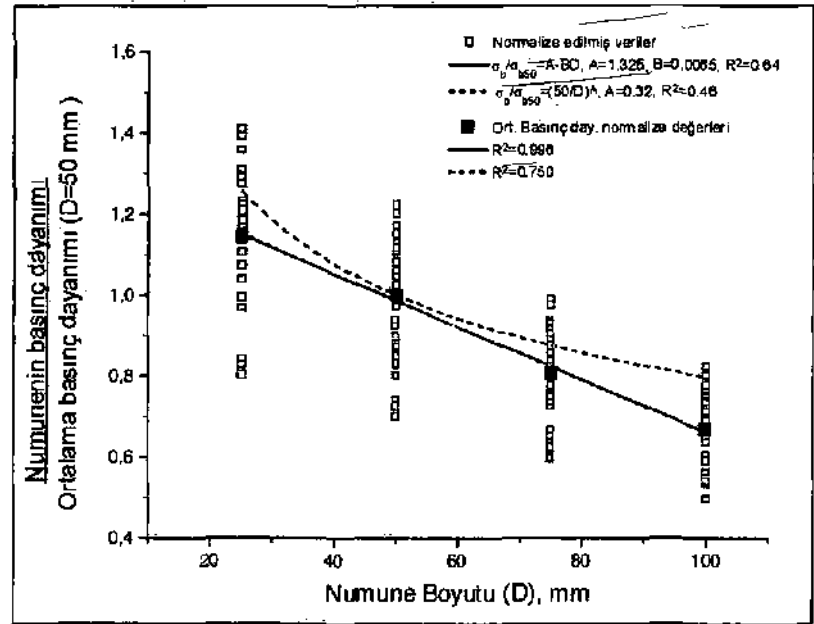


Şekil 3. Tüm numunelerin basınç dayanımı ile numune boyutu arasındaki ilişki

Bu testlerin sonuçlarını genelleştirmek ve herhangi bir doğal yapıtaşının kenar uzunluğu 25 mm ile 100 mm arasında değişen herhangi bir boyutta elde edilen basınç dayanımı değerinden 50 mm kenar uzunluğu olan kübik numunenin basınç dayanımını tahmin edebilmek amacıyla tüm boyutlarda ölçülen basınç dayanım değerleri 50 mm çapındaki numunelerin ortalama basınç dayanımı değerine bölünerek normalize edilmiştir. Hoek ve Brown tarafından önerilen eşitlik 3'tin tüm verilere regresyonu doğru denkleminde daha düşük korelasyon değeri vermektedir (Şekil 4). Ortalama değerler için regresyon doğrusunun korelasyon katsayısı $R^2=0.996$ olup bulunan bu eşitlik aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\sigma_{b50} = \frac{\sigma_b}{(1.325 - 0.0065D)} \quad (8)$$

Bu eşitlikte σ_{b50} : kenar uzunluğu 50 mm olan kübik numunelerin basınç dayanımı (MPa), σ_b : kenar uzunluğu 25 ile 100 mm arasında herhangi bir değer alan numunenin basınç dayanımı (MPa), D: kübik numunenin kenar uzunluğudur (mm).



Şekil 4. Numune Basınç dayanımı/ortalama basınç dayanımı (D=50 mm) oranı ile numune boyutu arasındaki ilişki.

4. ŞEKİL ETKİSİ

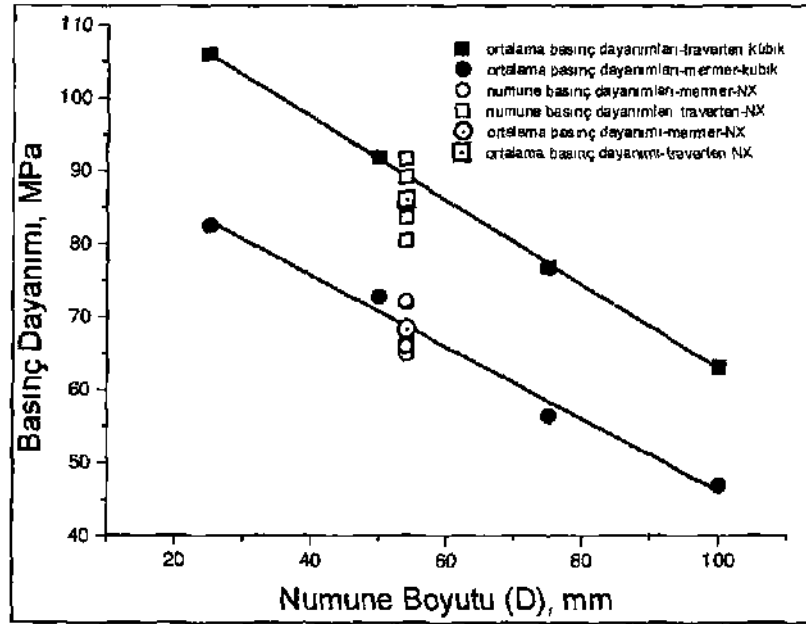
Numune şeklinin basınç dayanımı üzerindeki etkisini belirlemek ve silindirik bir doğal yapıtaşı numunesinin basınç dayanımına karşılık gelen kübik blok kenar uzunluğunu tahmin etmek için aynı mermer ve travertenden NX standardında 54 mm çaplı, ortalama boyları

\ 16 mm olan 5'er numune alınarak test edilmiştir. Numunelerin ortalama basınç dayanımları ve ortalamadan sapma değerleri Tablo 2'de verilmektedir. Silindirik şekilli numunelerin standart sapma ve değişim katsayısı değerleri kübik şekilli numunelere göre daha düşüktür.

Tablo 2. NX standardındaki mermer ve traverten numunelerinin ortalama basınç dayanımı değerleri.

Beyaz Mermer				
Numune çapı (D), mm	Numune sayısı	Basınç dayanımı (σ_b), MPa	Standart sapma (SD), MPa	Değişim katsayısı (DK), %
54	5	68.15	3.48	5.11
Traverten				
Numune çapı (D), mm	Numune sayısı	Basınç dayanımı (σ_b), MPa	Standart sapma (SD), MPa	Değişim katsayısı (DK), %
54	5	85.88	4.46	5.19

NX standardındaki mermer ve traverten numunelerinin basınç dayanımları, ortalama basınç dayanımları, küp şekilli mermer ve traverten numunelerinin basınç dayanımlarının ortalamaları ile şekil 5'te karşılaştırmalı olarak verilmektedir. NX standardı 54 mm çapındaki mermer numunesinin basınç dayanımı hemen hemen aynı kenar uzunluğuna sahip kübik numunenin basınç dayanımına eşittir. NX standardı 54 mm çapındaki traverten numunesinin basınç dayanımı ise 58 mm kenar uzunluğuna sahip kübik numunenin basınç dayanımına eşittir. Bieniawski'nin (1968) bir küp numunenin kenar uzunluğuna eşit çapa sahip silindirik numunenin basınç dayanımlarının eşit olduğunu kabul etmesini bu sonuç benzer şekilde desteklemektedir.



Şekil 5. NX standart ve kübik numunelerin basınç dayanımlarının karşılaştırılması

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yapıtaşlarının tek eksenli basınç dayanımının belirlenmesinde numune boyutunun etkisi araştırılmış ve 25 ile 100 mm arasında değişen kenar uzunluğuna sahip kübik blokların basınç dayanımlarının artan boyut ile önemli derecede azaldığı belirlenmiştir. Basınç dayanımı ile numune boyutu arasındaki ilişkiyi gösteren eşitlikler deney sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi sonucu ortaya konmuştur. NX standardındaki 54 mm çaplı silindirik numunelerin basınç dayanımı, aynı kenar uzunluğuna sahip kübik numunelerin basınç dayanımına çok yakın olup pratik olarak eşit kabul edilebilir

6. KAYNAKLAR

1. Cünha, A. P., Scale Effects in Rock Engineering- An Overview of the Loen Workshop and Other Recent Papers Concerning Scale Effects. Proc Ofthe Second Int. Workshop on Scale Effects In Rock Masses., 3-12, (1993).
1. Hoek, E. and Brown, E. T., Underground Excavations in Rock. Inst. Min. Metall. London. (1980),
3. Bieniawski, Z. T., The Effect of the Specimen Size On Compressive Strength of Coal. Int. J. Rock Mechanics. (5), 325-335, (1968).
4. Swain, R., Strength-Size Effect in Brittle Model Tests Simulating Underground Rock Fracture. Mining Engineer. (127), 211-214, (1968)
5. Lundborg, N. The strength- Size Relation of Granite. Int. J. Rock Mechanics. (4), 269-272,(1967)
6. Kaczynski, R. R. Scale Effect During Compressive Strength Tests. Proc. Int. Congress of IAEG. 371-373, (1986).
7. Hustrulid, W A., A Review of Coal Pillar Strength Formulas. Rock Mechanics. (8), 115-145,(1976).

