

Article Arrival Date

09.08.2025

Article Published Date

20.12.2025

**Farklı Numune Geometrileri Arasında Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tahmini İçin
Makine Öğrenmesine Dayalı Dönüşüm Modeli Geliştirilmesi**

Development of a Machine Learning-Based Conversion Model for Uniaxial Compressive
Strength Prediction Between Different Specimen Geometries

**Murat Işık¹, Mehmet Ali YALÇINKAYA², Deniz AKBAY³, Murat SERT⁴, Gökhan
EKİNCİOĞLU⁵**

¹Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği
Bölümü, Kırşehir, Orcid: [0000-0003-3200-1609](#).

²Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği
Bölümü, Kırşehir, Orcid: [0000-0002-7320-5643](#).

³Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çan Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve Maden
Çıkarma Bölümü, Çan, Çanakkale, Orcid: [0000-0002-7794-5278](#).

⁴Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mermer ve Doğaltaş Teknolojileri Uygulama ve Araştırma
Merkezi, Afyonkarahisar, Orcid: [0000-0001-6595-1681](#).

⁵ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Kaman Meslek Yüksek Okulu, Madencilik ve Maden
Çıkarma Bölümü, Kaman, Kırşehir, Orcid: [0000-0001-9377-6817](#).

295

Özet

Tek eksenli basınç dayanımı (TBD), mühendislik yapılarının tasarımı ve inşası, yeraltı kazıları, şev stabilitesi gibi projelerde kaya mühendisliği için en önemli tasarım parametrelerinden biridir. TBD testi için gerekli olan numunelerin bazı ulusal ve uluslararası standartlarda önerildiği şekilde hazırlanması gerekmektedir. Özellikle kaya yapısı zayıf ve kırılgan olduğunda istenilen boyutlarda ve sayıda numune temin edebilmek mümkün olmamaktadır. Böyle durumlarda, farklı standartlarda önerilmiş alternatif numune boyutları ve geometrileri tercih edilebilmektedir. Numune şekli ve boyutunun TBD üzerindeki etkisi literatürde uzun süredir araştırılmakta olup, bu etki büyük ölçüde anlaşılmıştır. Ancak farklı geometrilere sahip numunelerden elde edilen TBD değerleri arasındaki ilişkinin literatürde ortaya konmadığı görülmektedir. Özellikle kaya örnekleri üzerinde yapılan karşılaştırmalı çalışmaların olmadığı fark edilmiştir. Literatürde önerilen bazı dönüşüm denklemlerinin, silindirik ve kübik numuneler arasındaki dayanım geçişini de yeterli doğrulukla tahmin edemediği belirlenmiştir. Bu çalışmada, kübik numunelerden elde edilen TBD değerlerinden silindirik numunelere ait değerlerin tahmin edilmesi amacıyla çeşitli makine öğrenmesi (ML) temelli regresyon algoritmaları uygulanmıştır. Doğrusal regresyon, ağaç tabanlı modeller, ansambl öğrenme yöntemleri, çekirdek tabanlı algoritmalar ve dayanıklı regresyon teknikleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Modellerin performansı, 5 katlı çapraz doğrulama yöntemi ile belirlenmiş ve başarı ölçütleri olarak R^2 , MAE, MAPE ve RMSE kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, özellikle Huber Regressor ve SVR gibi modellerin yüksek doğrulukla tahmin sağladığını göstermekte; klasik dönüşüm katsayılarına kıyasla daha dar hata aralıkları ve güçlü genelleme yeteneği sunduklarını ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, makine öğrenmesi tabanlı

modellerin, beton ve kaya gibi heterojen malzemelerde farklı numune geometrileri arasında TBD dönüşümünü sağlamak için etkin bir araç olabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Tek eksenli basınç dayanımı, numune geometrisi, silindir-küp, beton, makine öğrenmesi

Abstract

Uniaxial compressive strength (UCS) is one of the most critical design parameters in rock engineering applications, including the design and construction of engineering structures, underground excavations, and slope stability. Specimens required for UCS testing must be prepared in accordance with various national and international standards. However, when the rock structure is weak or brittle, obtaining the required number and size of specimens may not be feasible. In such cases, alternative specimen geometries and sizes recommended by different standards are often adopted. Although the influence of specimen shape and size on UCS has been extensively studied in the literature and is relatively well understood, the relationship between UCS values obtained from different geometries remains largely unexplored. Notably, there is a lack of comparative studies focusing specifically on rock samples. Furthermore, some transformation equations proposed in the literature have proven inadequate in accurately estimating the strength conversion between cylindrical and cubic specimens. In this study, various machine learning (ML)-based regression algorithms were applied to predict UCS values for cylindrical specimens using UCS values obtained from cubic specimens. A comparative evaluation was conducted using linear regression, tree-based models, ensemble learning methods, kernel-based algorithms, and robust regression techniques. Model performances were assessed through 5-fold cross-validation using R^2 , MAE, MAPE, and RMSE as evaluation metrics. The findings reveal that models such as the Huber Regressor and Support Vector Regression (SVR) provided highly accurate predictions, with narrower error margins and stronger generalization capacity compared to classical transformation coefficients. These results suggest that ML-based models offer an effective and reliable approach offering a robust alternative to conventional transformation equations, especially in engineering contexts where direct experimental testing is limited or impractical.

Keywords: Uniaxial compressive strength, specimen geometry, cylinder-cube, concrete, machine learning

1. GİRİŞ

Tek eksenli basınç dayanımı, kayaç ve beton gibi yapı malzemelerinin tanımlanmasında ve yeraltı ile yerüstü yapılarının tasarımında kullanılan en temel mekanik parametredir. Bu nedenle kayacın ve betonun basınç dayanımının doğru bir şekilde belirlenmesi ve değerlendirilmesi teknik olarak çok önemlidir. Kayacın ve betonun tek eksenli basınç dayanımı ulusal ve uluslararası standartlar tarafından önerilen deney yöntemlerinde belirtilen farklı boyutlardaki silindirik ve kübik şekillerdeki test numuneleri kullanılarak belirlenmektedir. Kayacın veya betonun tek eksenli basınç dayanımının numune şekli, boyutu ve sınır koşulları gibi test parametrelerine karşı son derece duyarlı olduğu görülmüştür (Van Vliet ve Van Mier, 1996; Bazant ve Planas 1997; Viso vd., 2008; Zabihi ve Eren, 2014; Li vd., 2018). Literatürde kayaçların tek eksenli basınç dayanımı üzerinde numune şekli etkisine ilişkin bir çalışma henüz bulunmamakla birlikte, beton ile ilgili numune şeklinin betonun basınç dayanımına etkilerini inceleyen az sayıda çalışmanın olduğu görülmüştür.

Felekoğlu ve Türkel (2005) farklı boyutlarda küp ve silindir formdaki beton test örneklerinin

basınç dayanımı değerlerini iki farklı dayanım sınıfı için incelemiş ve bu boyutlar arasında geçiş katsayıları önermişlerdir.

Dehestani vd. (2014) farklı karışım oranına sahip küp ve silindir numuneler üzerinde gerçekleştirdikleri deneyler sonucunda uzunluk/çap oranı azaldıkça numune boyutunun etkisinin daha büyük bir faktör haline geldiğini, uzunluk/çap oranı 2.0 veya yanal boyutu 100 mm olan numuneler için elde edilen sonuçların beton karışım oranından bağımsız olduğu sonucuna varmışlardır. Numunelerin kesit şeklinin basınç dayanımı üzerinde çok az etkisi olduğunu ortaya koymuşlar ve numune geometrisine dayalı basınç dayanımını tahmin etmek için korelasyon analizleri yaparak tahmin modelleri önermişlerdir.

Sudin ve Ramli (2014) çalışmalarında numune boyutu ve şeklinin betonun eksenel basınç dayanımı üzerindeki etkisini incelemişler, hazırladıkları küp, prizma ve silindir gibi kare ve dairesel kesitlere sahip çeşitli boyut ve şekillerde numuneler üzerinde yaptıkları deneylerle betonun 7 ve 28 günlük basınç dayanımı davranışlarını incelemişlerdir.

Nalon vd. (2017) numunelerin şekli ve boyutunun betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisinin karşılaştırmalı analizlerini sundukları bir çalışma yapmışlardır. Kübik numunelerin basınç dayanımı 10x20 cm'lik silindirlerin basınç dayanımından daha yüksek, 5x10 cm'lik silindirlerin basınç dayanımından ise daha düşük olduğunu belirlemişlerdir.

Li vd. (2018) çeşitli uzunluk/çap oranlarına sahip 50 mm boyutunda küpler ve 50 mm çapında silindirler üzerinde deneyler gerçekleştirmişler ve farklı şekil ve boyutlardaki numunelerden elde edilen betonun statik ve dinamik basınç dayanımlarını ilişkilendiren ampirik bağıntılar önermişlerdir. Numune şekli ve boyutunun statik ve dinamik testler altında elde edilen basınç dayanımı değerleri üzerindeki etkilerini açıkça göstermişlerdir.

Mardani-Aghabaglou vd. (2021) numune boyutu ve şeklinin betonun dayanımı üzerindeki etkisini değerlendirmek için 10×10×10 cm ve 15×15×15 cm kübik ve 10×20 cm ile 15×30 cm boyutlarında silindirik numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirmişler ve numunelerin boyutundaki azalmanın daha yüksek mukavemetle sonuçlandığını görmüşlerdir.

Rincon vd. (2022) küp ve silindir beton numuneler üzerinde yaptıkları deneyler sonucunda küp numunelerden elde edilen basınç dayanımı değerlerinin silindirik numunelerden elde edilen basınç dayanımı değerlerine göre %35 ile %50 oranında daha yüksek olduğunu görmüşlerdir.

Judd vd. (2023) küp numuneler, silindir numuneler üzerinde ASTM C109'a göre basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirmişler ve betonun basınç dayanımının numune boyutuna güçlü bir şekilde bağlı olduğunu görmüşlerdir.

Bing ve Yuan (2023) yaptıkları çalışma ile farklı şekil ve boyuta sahip test numuneleri arasındaki basınç dayanımını hesaplayabilmek için eşitlikler önermişlerdir.

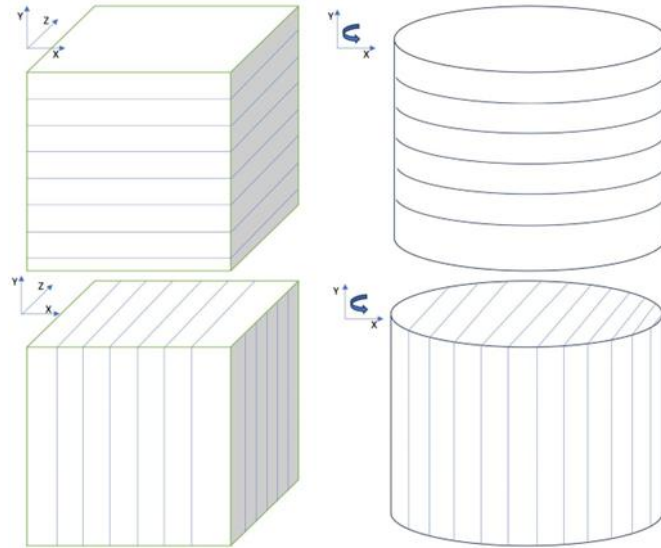
De La Rosa ve Ruiz (2025) silindirik ve kübik beton numunelerin basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi, numune şekli, boyutu, beton tipi ve döküm yönünün etkisine odaklanarak araştırmışlardır. Yapılan önceki çalışmalardan elde edilen deneysel verileri analiz ederek, silindir ve küp arasındaki dönüşüm faktörünü hesaplamak için beton numunelerin boyut ve geometrik etkilerini hesaba katan yenilikçi bir Kırılma Mekanikliği tabanlı bir model önermişlerdir.

Bu çalışma kapsamında, beton numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiş deneysel araştırmalardan elde edilen veriler kullanılarak, silindirik ve kübik numuneler arasında TBD dönüşümünü sağlayabilecek bir model önerilmiştir. Söz konusu modelin gelecekte kayaç numuneleri üzerinde yapılacak deneylerle daha fazla doğrulanması ve geliştirilmesi hedeflenmektedir. Böylece, homojen beton örneklerine kıyasla daha heterojen yapıya sahip kayaçlar için daha güvenilir tahmin modellerinin geliştirilmesi mümkün olacaktır.

Literatürde önerilen dönüşüm katsayıları genellikle sabit oranlara dayanmaktadır. Ancak bu katsayılar, farklı numune geometrilerine sahip malzemelerdeki dayanım farklarını her zaman yeterli doğrulukla temsil edememektedir. Bu nedenle, bu çalışmada silindirik ve kübik numuneler arasında tek eksenli basınç dayanımı geçişini daha güvenilir şekilde tahmin edebilmek amacıyla makine öğrenmesi (ML) temelli regresyon modelleri uygulanmıştır. Böylece hem doğrusal hem de doğrusal olmayan ilişkiler modellenenmiş; farklı algoritmaların başarı düzeyleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu yaklaşım, sadece beton numuneleri için değil, gelecekte kayalar gibi heterojen ve zorlayıcı mühendislik malzemeleri için de dönüşüm modelleri geliştirmeye olanak tanıyacak niteliktedir.

2. YÖNTEM

Tek eksenli basınç dayanımının (TBD) belirlenmesi için önerilen standartlarda iki tip numune geometrisi yer almaktadır (Şekil 1). Her bir standardın kabul ettiği numune L/D (boy/çap) oranı ve geometrisi, ölçülen basınç dayanımı değerlerinde %5–%20 arasında değişen sistematik sapmalara yol açabilmektedir (Dirige ve Archibald, 2006; Al-Rkaby ve Alafandi, 2015). Bu nedenle, çalışma kapsamında literatürde iki farklı geometriye sahip beton numuneler üzerinde belirlenen basınç dayanımları esas alınarak dönüşüm modelleri önerilmiştir.



Şekil 1. TBD belirlenmesi için önerilen numune geometrileri.

2.1. Doğal taşların tek eksenli basınç dayanımı tayini için kullanılan metotlar

Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı testlerinde en sık başvurulanan metotlar ve bu metotlarda kullanılan numune adet ve ebatlarını özetleyen bilgiler Tablo 1’de verilmiştir. Farklı numune geometrilerinin tek eksenli basınç dayanımı sonuçları üzerindeki sistematik etkilerinin belirlenmesi ve bu etkileri optimize edecek dönüştürme faktörlerinin geliştirilmesi bu çalışmanın ana odak noktasını oluşturmaktadır. Literatürde en yaygın olarak başvurulanan standartların her biri, test numunelerinin şekli, boyutları ve adet gereksinimleri açısından farklılıklar göstermektedir (ASTM C170/C170M, 2019; EN 1926:2006; ISRM, 2007; GB/T 9966.1-2020; ASTM D7012, 2019).

Tablo 1

Kayaçların tek eksenli basınç dayanımı tayini için kullanılan standartlar

Standart Adı	Numune Şekli	Numune Ebatları	Adet
ASTM C170/C170M	Küp veya silindir	Çap/yan ≥ 50 mm; yükseklik = çap (0,9 – 1,1:1)	≥ 5 (numune)
TS EN 1926:2006	Küp	50 $\pm$ 5 mm veya 70 $\pm$ 5 mm kenar uzunluğu	≥ 10 (numune)
ISRM Suggested Method (1977/2007)	Silindir	Çap ≈ 50 mm; L/D = 2,5 – 3:1	≥ 5 (numune)
GB/T 9966.1-2020	Küp	50 $\times$ 50 $\times$ 50 mm	≥ 5 (numune)
ASTM D7012	Silindir	Çap ≥ 47 mm; L/D = 2,0 – 2,5	≥ 5 (numune)

2.2. Betonların tek eksenli basınç dayanımı tayini için kullanılan standartlar

Betonların tek eksenli basınç dayanımı testlerinde en sık başvurulanan metotlar ve bu metotlarda kullanılan numune adet ve ebatlarını özetleyen bilgiler Tablo 2’de verilmiştir. Numune geometrisi (özellikle yükseklik/çap oranı ve şekil) ile sonlu yüzey koşulları (örneğin makine düz yatak yüzeyi etkileşimi), betonun tek eksenli basınç dayanımı ölçümlerinde %10–%20 arasında sistematik sapmalara yol açtığı literatürde yaygın biçimde raporlanmıştır (Walz, 1957; De Larrard vd., 1994; Riedel ve Leutbecher, 2017; Talaat vd., 2021). Ayrıca beton için farklı geometriler arasındaki dayanım farklarını düzeltmek üzere 0,80–0,90 aralığında dönüştürme faktörleri önerilmiştir (Reddy vd., 2019).

299

Tablo 2

Betonun tek eksenli basınç dayanımı tayini için kullanılan standartlar

Standart Adı	Numune Şekli	Numune Ebatları	Adet
ASTM C39/C39M	Silindir	150 $\times$ 300 mm (6" $\times$ 12") veya 100 $\times$ 200 mm (4" $\times$ 8")	3 (numune)
TS EN 12390-3	Küp	150 $\times$ 150 $\times$ 150 mm	≥ 3 (numune)
JIS A 1108	Silindir	100 $\times$ 200 mm	≥ 3 (numune)
IS 516 (1959; Rev. 2004)	Küp	150 $\times$ 150 $\times$ 150 mm	≥ 3 (numune)
CSA A23.2-9C / A23.2-14C	Silindir	150 $\times$ 300 mm veya 100 $\times$ 200 mm	≥ 3 (numune)

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma kapsamında literatürde hem kübik hem de silindirik beton numuneleri üzerinde basınç dayanımı testleri gerçekleştirilmiş deneysel araştırmalardan elde edilen ham veriler literatürdeki çalışmalardan derlenmiştir (Tablo 3). Kübik ve silindirik beton numunelerden elde edilen basınç dayanımı değerleri arasındaki ilişkileri geliştirmek için basit regresyon analizleri yapılmıştır.

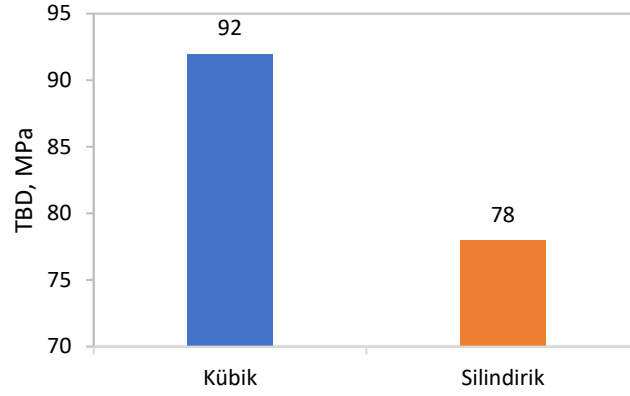
Tablo 3

Çalışmada kullanılan verilerin derlendiği çalışmalar

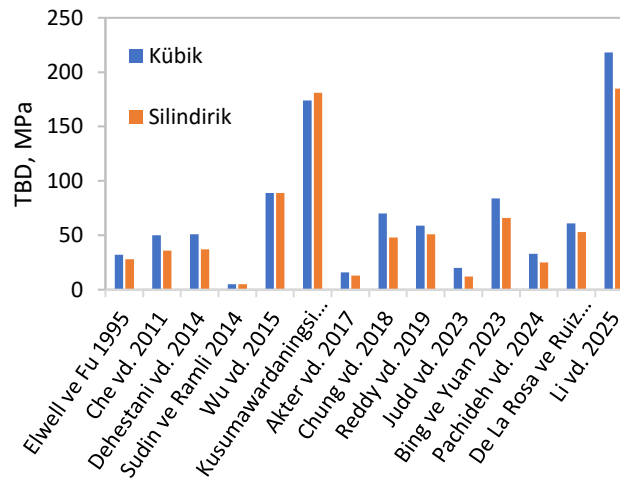
Referans	Veri ×2	adedi
Elwell ve Fu, 1995	13	
Che et al., 2011	4	
Dehestani vd., 2014	3	
Sudin ve Ramli, 2014	2	
Wu et al. 2015	8	
Kusumawardaningsih vd., 2015	3	
Akter vd., 2017	9	
Chung et al. 2018	6	
Reddy vd. 2019	16	
Judd vd., 2023	12	
Bing ve Yuan, 2023	15	
Pachideh vd., 2024	16	
De La Rosa ve Ruiz, 2025	23	
Li vd., 2025	40	

4. BULGULAR

Çalışma kapsamında toplamda her iki numune şekli için 2×170 adet veri analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen TBD değerleri Şekil 2-3'te verilmiştir. TBD değerlerinin kübik numuneler kullanılarak belirlenen TBD değerlerinin daha yüksek olduğu Şekil 2'de açıkça görülmektedir. Şekil 3'e bakıldığında Şekil 2'ye benzer bir tablonun olduğu, iki farklı numune geometrisinden elde edilen TBD değerleri arasında ortalama %21'lik (%4-%40) bir fark olduğu, Sudin ve Ramli (2014) ile Wu vd. (2015) yaptıkları çalışmalarda iki farklı numune geometrisi için elde edilen değerlerin ihmal edilecek düzeyde birbirine yakın olduğu, sadece Kusumawardaningsih vd. (2015) yaptıkları çalışmada silindirik numunelerden elde ettikleri TBD değerlerinin kübik numunelerden elde ettikleri değerlerden %4 oranında daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Tüm veriler için ortalama TBD.



Şekil 3. Referanslar için ortalama TBD.

Bu çalışmada, kübik numunelerden elde edilen tek eksenli basınç dayanımı (TBD) değerlerinden silindirik numunelere ait TBD değerlerini tahmin edebilmek amacıyla çeşitli regresyon algoritmaları uygulanmıştır. Regresyon modellerinin başarımlarını değerlendirmek üzere 5 katlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmış ve her bir model için belirleme katsayısı (R^2), Ortalama Mutlak Hata (MAE), Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) ve Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) hesaplanmıştır.

Her bir regresyon algoritması, genişletilmiş hiperparametre aralıklarında GridSearchCV yöntemiyle optimize edilmiş ve elde edilen en iyi parametre kombinasyonları doğrultusunda başarımları raporlanmıştır. Değerlendirmeye alınan modeller arasında doğrusal regresyon yaklaşımlarının yanı sıra, ağaç tabanlı yöntemler, ansambl modeller, çekirdek tabanlı algoritmalar ve dayanıklı regresyon teknikleri yer almıştır.

Modellerin her biri için elde edilen en iyi sonuçlar ve karşılık gelen hiperparametre kombinasyonları Tablo 4'te sunulmaktadır.

Tablo 4

Modellerin 5 katlı çapraz doğrulama sonuçlarına göre başarı metrikleri

Model	Best Params	R2 (5-fold CV)	MAE (5-fold CV)	MAPE (5-fold CV)	RMSE (5-fold CV)
Huber Regressor	{'model__epsilon': 1.25, 'model__max_iter': 50}	0.9840093106192892	4.967203329465774	9.66032382207248	8.057223061354936
SVR	{'model__C': 5, 'model__epsilon': 0.01, 'model__gamma': 'scale', 'model__kernel': 'linear'}	0.9839539399094377	4.952537881241082	9.59342740391487	8.070166312822094
Elastic Net	{'model__alpha': 0.01, 'model__l1_ratio': 0.9, 'model__max_iter': 1000}	0.9838043589762886	5.204688920090105	10.374157096095308	8.13626965589234
Lasso	{'model__alpha': 0.1, 'model__max_iter': 1000}	0.9838042972952795	5.2051701274453235	10.397141124550458	8.136329563809243
Ridge	{'model__alpha': 0.1, 'model__solver': 'auto'}	0.9838040357720832	5.204088590427477	10.347262967705223	8.136343066795543
Bayesian Ridge	{'model__alpha_1': 1e-07, 'model__lambda_1': 1e-05}	0.9838030642711081	5.203061039104695	10.305534541942885	8.136638404236626
Linear Regression	{}	0.9838025817757478	5.202969497848181	10.297414104588807	8.136748566239559
KNN	{'model__n_neighbors': 7, 'model__p': 1, 'model__weights': 'distance'}	0.9836898778938391	5.064717768447889	11.816153344629706	8.098387453688495
Extra Trees	{'model__max_depth': 5, 'model__min_samples_split': 2, 'model__n_estimators': 200}	0.9834436053874278	5.902143139537905	15.300353091276964	8.304974200442626
Random	{'model__max_depth': 10,	0.98241485735	5.52418335784	12.2865944243	8.3995311336

Forest	'model__min_samples_leaf': 2, 'model__min_samples_split': 2, 'model__n_estimators': 100}	49237	3135	66205	51061
Gradient Boosting	{'model__learning_rate': 0.1, 'model__max_depth': 3, 'model__n_estimators': 100}	0.97896756575 74343	5.31967676715 71354	12.62872117761 3786	8.8496701446 74871
Decision Tree	{'model__max_depth': None, 'model__min_samples_leaf': 2, 'model__min_samples_split': 2}	0.97782717733 25491	5.99254901960 7843	13.5662006408 96037	9.3223738579 68874
Gaussian Process	{'model__alpha': 0.01, 'model__kernel': RationalQuadratic(alpha=1, length_scale=1)}	0.97510982612 16523	6.56541271252 1109	25.5125183992 29652	10.468359843 849399
Ada Boost	{'model__learning_rate': 0.01, 'model__n_estimators': 100}	0.97509471546 72351	7.39509186968 8909	20.2858582403 0182	10.305130894 078875

R²: Belirleme katsayısı, MAE: Ortalama mutlak hata, MAPE: Ortalama mutlak yüzde hata, RMSE: Kök ortalama kare hata

4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada uygulanan regresyon modelleri karşılaştırıldığında, elde edilen yüksek R² değerleri tüm modellerin veri seti üzerinde başarılı bir tahmin performansı sergilediğini ortaya koymaktadır. Özellikle Huber Regressor modelinin %98,4 R² ile en yüksek başarıya ulaşması, bu algoritmanın hem doğrusal yapıyı iyi modellemesi hem de uç değerlere karşı dayanıklı olmasıyla açıklanabilir. Literatürde de Huber tipi dayanıklı regresyonların, homojen yapıları ama lokal sapmalar içerebilecek mühendislik verilerinde etkili olduğu vurgulanmaktadır (Jiang et al., 2021).

Support Vector Regression (SVR) modeli de benzer bir başarı göstererek ikinci sırada yer almıştır. SVR'nin kernel tabanlı yapısı, doğrusal olmayan ilişki olasılıklarını da hesaba kattığı için yüksek genelleme kapasitesine sahiptir (Smola & Schölkopf, 2004). Bununla birlikte, Lasso, Ridge ve ElasticNet gibi doğrusal modellerin de %98'in üzerinde R² değerlerine ulaşması, küp ve silindir dayanımı arasındaki ilişkinin büyük oranda doğrusal olduğunu desteklemektedir. Bu durum, veri setinde karmaşık ve doğrusal olmayan yapıların sınırlı olduğunu ve doğrusal modellerin bu bağlamda yeterli performans gösterebildiğini ortaya koymaktadır.

Ansambl yöntemlerinden Random Forest, Gradient Boosting ve AdaBoost gibi modeller, her

ne kadar istikrarlı sonuçlar sunsalar da doğrusal modellere göre biraz daha düşük başarı metrikleri elde etmiştir. Bunun nedeni, bu modellerin genellikle daha büyük ve karmaşık veri kümelerinde avantaj sağlaması; bu çalışmada ise tek değişkenli ve yüksek korelasyon içeren bir yapıyla karşılaşmaları olabilir. Ayrıca, Gaussian Process Regressor gibi teorik olarak güçlü ancak küçük veri kümelerinde aşırı uyum (overfitting) riski taşıyan modellerin bazı katmanlarda düşük performans sergilemesi, bu algoritmaların bu tür veri setleri için dikkatli kullanılmasını gerektirmektedir (Rasmussen & Williams, 2006).

Bu bulgular, literatürde daha önce önerilen dönüşüm denklemleriyle elde edilen hata paylarına kıyasla (örneğin, %13–%40 arasında bildirilen farklar; Rincon et al., 2022), makine öğrenimi tabanlı modellerin daha dar hata aralıklarında ve yüksek doğrulukla dönüşüm sağlayabileceğini göstermektedir.

Bu durum, gelecekte kayaçlar gibi daha heterojen malzemelerde de benzer yaklaşımların, güvenilir dönüşüm modelleri geliştirmede kullanılabileceğine işaret etmektedir. Bunun için eş zamanlı olarak hazırlanmış farklı geometriye sahip beton ve kaya (farklı jeolojik köken, farklı mineralojik bileşim, farklı kristal şekli vs. sahip kaya türleri) numuneleri üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçları birlikte değerlendirilmelidir.

Bu durum, gelecekte kayaçlar gibi heterojen yapıya sahip malzemeler üzerinde de benzer yaklaşımların kullanılabileceğini ve bu sayede güvenilir dönüşüm modellerinin geliştirilebileceğini göstermektedir. Ancak böyle bir modelin oluşturulabilmesi için, farklı geometrilere sahip beton ve kaya numuneleri üzerinde eş zamanlı olarak gerçekleştirilen deneysel verilerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda kullanılacak kaya numuneleri, farklı jeolojik kökenlere, mineralojik bileşimlere ve kristal morfolojilerine sahip olmalıdır.

5. KAYNAKLAR

Akter, T., Vahid, Md. F. And Siddique, A.B., 2017. Strength variation of concrete between cylindrical and cubical specimen due to various proportion of ingredients. Sonargaon University Journal, 2(2), 56-64.

Al-Rkaby, A.H. and Alafandi, Z.M., 2015. Size effect on the unconfined compressive strength and Modulus of elasticity of limestone rock. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 20(12), 1393-1401.

ASTM C170/C170M, “Standard Test Method for Compressive Strength of Dimension Stone”, American Society for Testing and Materials, USA, 2019

ASTM C39/C39M, “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”, American Society for Testing and Materials, USA, 2021

ASTM D7012, “Standard Test Methods for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures, USA, 2019

Bazant, Z.P., and Planas, J., 1998. Fracture Size Effect in Concrete and Other Quasibrittle Materials, CRC Press, Routledge, New York, 1st edn, 640 pp.

Bing, H. and Yuan, H., 2023. Experimental research on compressive strength-size effect and mechanical properties of cement-based grout. Construction and Building Materials, 373, 130882. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.130882>

Che, Y., Ban, S.L., Cui, J.Y., Chen, G. and Song, Y.P., 2011. Effect of Specimen Shape and Size on Compressive Strength of Concrete. Advanced Materials Research, 163–167, 1375–1379. <https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMR.163-167.1375>

Chung, K. L., Ghannam, M. and Zhang, C., 2018. Effect of Specimen Shapes on Compressive Strength of Engineered Cementitious Composites (ECCs) with Different Values of Water-to-Binder Ratio and PVA Fiber. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43(4), 1825–1837. <https://doi.org/10.1007/S13369-017-2776-8>/METRICS

CSA A23.2-9C / A23.2-14C “Accelerating the Curing of Concrete Cylinders and Determining Their Compressive Strength”, Canada, 2014

De La Rosa, Á., and Ruiz, G., 2025. A new approach to the study of the size and the geometry effect on compressive strength in concrete. *Results in Engineering*, 25, 104261. <https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2025.104261>

De Larrard, F., Belloc, A., Renwez, S. and Boulay, C., 1994. Is the cube test suitable for high performance concrete?. *Materials and Structures*, 27, 580-583.

Dehestani, M., Nikbin, I.M., and Asadollahi, S., 2014. Effects of specimen shape and size on the compressive strength of self-consolidating concrete (SCC). *Construction and Building Materials*, 66, 685–691. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2014.06.008>

Dirige, A.P. and Archibald, J., 2006. The effects of geometry on the uniaxial compressive strength properties of intact rock core specimens. *Golden Rocks 2006*, The 41st U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS), 17-21 June 2006, Golden, Colorado, D.P. Yale (ed.), American Rock Mechanics Association, paper no. 06-1016.

Elwell, D.J. and Gongkang Fu, G., 1995. Compression testing of concrete: Cylinders vs. cubes. *Transportation research and development bureau, Special Report 119*.

Felekoğlu, B., and Türkel, S. 2005. Effects of Specimen Type and Dimensions on Compressive Strength of Concrete. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18(4), 639–645.

GB/T 9966.1 “Test methods for natural stone - Part 1: Determination of dry, wet and after freezing compressive strength” England, 2020

Huber, P.J., 1964. Robust estimation of a location parameter. *The Annals of Mathematical Statistics*, 35(1), 73–101.

IS 516: Part 1 : Sec 1, “Hardened concrete methods of test part 1 testing of strength of hardened concrete section 1 compressive, flexural and split tensile strength (First Revision)”, India, 2021

ISRM, “International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering” Portugal, 2007

JIS A 1108, “Method of test for compressive strength of concrete”, Japan, 2018

Jiang, Y., Wu, L. and Li, H., 2021. Robust regression methods for structural engineering applications. *Engineering Structures*, 243, 112671.

Judd, J., Fonseca, F., Day, B., Reynolds, M. and Moffett, T., 2023. Effect of size and water content on the compressive strength of mortar. *Construction and Building Materials*, 368, 130505. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.130505>

Kusumawardaningsiha, Y., Fehling, E. and Ismail, M. 2015. UHPC compressive strength test specimens: Cylinder or cube? *Procedia Engineering*, 125, 1076-1080.

Li, M., Hao, H., Shi, Y. and Hao, Y. 2018. Specimen shape and size effects on the concrete compressive strength under static and dynamic tests. *Construction and Building Materials*, 161, 84–93.

Li, Y., Zhang, C., Mao, J., Liu, J., Wang, J., Cao, S. and Cao, X., 2025. Optimizing steel fiber content and holding time for enhanced mechanical properties of UHPC prepared via prepressure technology. *Construction and Building Materials*, 467, 140099.

<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2025.140099>

Mardani-Aghabaglou, A., Bayqra, S.H., Nobakhtjoo, A., Mardani-Aghabaglou, A., Bayqra, S.H. and Nobakhtjoo, A., 2021. Specimen size and shape effects on strength of concrete in the absence and presence of steel fibers. *Revista de La Construcción*, 20(1), 128–144. <https://doi.org/10.7764/RDLC.20.1.128>

Nalon, G.H., Martins, R.O.G., De Cássia Silva Sant’ana Alvarenga, R., De Lima, G.E.S., Pedroti, L.G. and Dos Santos, W.J., 2017. Effect of specimens’ shape and size on the determination of compressive strength and deformability of cement-lime mortars. *Materials Research*, 20, 819–825. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2016-1006>

Pachideh, G., Gholhaki, M., Aljenabi, A. and Rezaifar, O., 2024. Compressive strength ratios of concretes containing pozzolans under elevated temperatures. *Heliyon*, 10(5), e26932. <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2024.E26932>

Rasmussen, C. E. and Williams, C.K.I., 2006. *Gaussian Processes for Machine Learning*. MIT Press.

Reddy, V.S., Rao, M.S. and Shrihari, S., 2019. Strength conversion factors for concrete based on specimen geometry, aggregate size and direction of loading *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(2), 2125-2130.

Riedel, P. and Leutbecher, T., 2017. Effect of specimen size on the compressive strength of ultra-high performance concrete. *AFGC-ACI-fib-RILEM Int. Symposium on Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete, UHPFRC 2017 – 2-4 October, 2017, Montpellier, France*, 251-260.

Rincon, A., Torres, M. and Lopez, D., 2022. Comparative analysis of compressive strength in cube and cylinder concrete specimens. *Construction and Building Materials*, 328, 127052.

Smola, A.J. and Schölkopf, B., 2004. A tutorial on support vector regression. *Statistics and Computing*, 14(3), 199–222.

Sudin, M.A.S. and Ramli, M., 2014. Effect of specimen shape and size on the compressive strength of foamed concrete. *MATEC Web of Conferences*, 10. <https://doi.org/10.1051/MATECCONF/20141002003>

Talaat, A., Emad, A., Tarek, A., Masbouba, M., Essam, A. and Kohail, M., 2021. Factors affecting the results of concrete compression testing: A review. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), 205-221.

TS EN 12390-3, “Testing hardened concrete - Part 3: Compressive strength of test specimens”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2019

TS EN 1926, “Natural stone test methods - Determination of uniaxial compressive strength”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2006

Van Vliet, M.R.A. and Van Mier, J.G.M., 1996. Experimental investigation of concrete fracture under uniaxial compression, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 1(1), 115–127.

Viso, J.R.D., Carmona, J.R. and Ruiz, G., 2008. Shape and size effects on the compressive strength of high-strength concrete, *Cement and Concrete Research*, 38(3), 386–395.

Walz, K., 1957. *Gestaltfestigkeit von Betonkörpern*. Schriftenreihe Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 122, Ernst & Sohn, Berlin.

Wu, B., Zhang, S. and Yang, Y., 2015. Compressive behaviors of cubes and cylinders made of

normal-strength demolished concrete blocks and high-strength fresh concrete. *Construction and Building Materials*, 78, 342–353. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2015.01.027>

Zabihi, N. and Eren, Ö., 2014. Compressive strength conversion factors of concrete as affected by specimen shape and size, *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 7(20), 4251–4257.