

KANDIRA TAŞININ DAYANIM-SUDA DAĞILMAYA KARŞI DURAYLILIK İLİŞKİSİ, KOCAELİ-TÜRKİYE

Strength and Slake Durability Relation of Kandıra Stone, Kocaeli-Turkiye.

ERKAN BOZKURTOĞLU¹, ERTAN MERT²

ÖZET

Fiziksel ve mekanik özellikleri ile ilişkili olan kayaçların suda dağılmaya karşı duyarlılığı; kayacın kayaç değişim değeri (KDD) ile tanımlanabilmektedir, ISRM tarafından önerilen suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değeri ASTM tarafından belirlenen standarttaki deney yöntemiyle belirlenmektedir. Bu çalışmada Kandıra taşı olarak da bilinen karbonat çimentolu kumtaşı – mikritik kireçtaşının suda dağılmaya karşı duraylılığı ile kayaç değişim değeri (KDD), kayaç değişim oranı, fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Örneklerin fiziksel değerleri belirlenip suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyi 6 grup kayaç örneği için 13 çevrim şeklinde yapılmıştır. Her çevrim için tüm örneklerin suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değeri hesaplanmıştır. Numunelere ait basınç dayanımı değerleri 13 çevrim sonrası her örneğe uygulanan nokta yükleme deneyleri ile belirlenmiştir. Örneklerin kayaç değişim değerleri suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyinin 13 çevrimi sonucunda tambur haznesinde birikmiş olan ayrılmış kayaç parçacıkları kullanılarak hesaplanmıştır. Kayaç değişim oranı ise kayaç değişim değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Verilerin değerlendirilmesi sonucunda suda dağılmaya karşı duraylılık davranışının üstel fonksiyon, fiziksel özellikleriyle ilişkisinin doğrusal fonksiyonlar ile tanımlı olduğu görülmüştür. Örneklerin suda aşınma davranışı ile mekanik özellikleri arasındaki ilişki de üstel fonksiyon ile tanımlıdır. Çalışmada, orta – yüksek porozite değerlerine sahip Kandıra taşının aşınma davranışının 13 çevrim sonunda suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyi ile temsil edileceği ve ortalama aşınma davranışının %2.99 – %7.04 ($I_d = \%97.01 - \%92.96$) arasında olacağı belirlenmiştir. KDD 0.99787 – 0.98292 arasında değişmektedir. KDD değerleri, suda aşınmaya karşı duraylılık davranışı ve nokta yük değerleri birlikte değerlendirildiğinde KDD = 0.8708 değerinde kayacın taşıma dayanımının pratikte sıfır olacağı (0.001 MPa) ve KDD = 0.7428 değerinde kayacın suda dağılmaya karşı duraylılık davranışının tamamen değişip farklı özellikler sergileyeceği, bu durumdaki kayacın ilk halinden %29.246 oranında değişmiş olacağı belirlenmiştir.

ABSTRACT

Slake durability is related with physical, mechanical and rock change value (RCV) of rock. Slake durability index value is defined by the test standards given with ISRM and ASTM. In this study the relationship between slake durability and rock change value, rock change ratio, physical and mechanical values are investigated for carbonate cemented sandstone – micritic limestone known as Kandıra stone. After determining the physical properties of samples the slake durability test was performed on 6 group for 13 cycles and slake durability index values were calculated for all samples. Erosion values of the samples were calculated from slake durability index values and mechanical values were gathered by point load test for samples after the 13th cycle of slake durability test. The rock change values were calculated for 6 groups using the eroded sediments left in the drum after the 13th cycle of slake durability test. The rock change ratio was calculated using the rock change value. Evaluations of the datum show that the slake durability attitude of Kandıra stone is defined by a power function and the relationship between the slake durability attitude and physical properties of samples are defined by linear functions. Moreover, the relationships between slake durability index values and mechanical values of samples are also defined by a power function. It is seen that the best suitable slake durability test cycle for Kandıra stone, which contains medium to very high porosity values, is 13 and the mean erosion value exhibits a range between 2.99% – 7.04% (where $I_d = 97.01\% - 92.96\%$). The rock change values of Kandıra stone (for 6 groups) change between 0.99787 – 0.98292. The evaluation between rock change value, slake durability attitude and point load values shows that the strength of the rock will be practically zero (0.001 MPa) for RCV = 0.8708 and the rock will be fully changed according to the slake durability attitude and exhibit different properties for RCV = 0.7428 where the rock will be changed 29.246 percent by the original state.

¹Istanbul Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü (erkan@itu.edu.tr)

²Kocaeli Üniversitesi, Ömer İsmet Uzunyol Meslek Yüksek Okulu (mert@kocaeli.edu.tr)

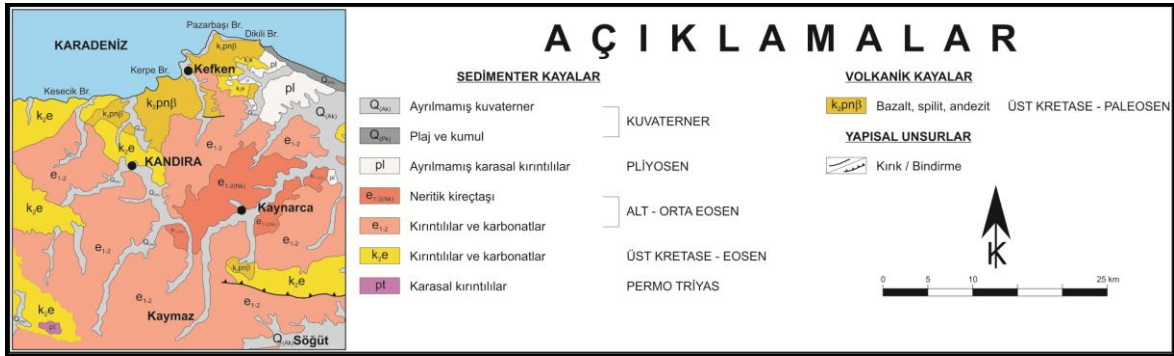
GİRİŞ

Yapı malzemesi olarak kullanılan kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin kayacı ayrıştırıcı etmenlere dayanımlı olması gerekir. Kayaçların ayrışması fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ilişkili olup kayaç ayrıştıkça fizikomekanik özellikleri zayıflarken kayaç değişim değerleri de 1'den 0'ra azalan değerler alır. Literatürde kayaçların ayrışması ile ilgili yapılmış pek çok farklı çalışmalar vardır. Kireçtaşı, traverten, karbonat çimentolu kumtaşları vb. ekonomik değere sahip kayaçlarda bozunmaya karşı duyarlılık, kayacın yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği açısından önemlidir. Bu çalışmada, Kandıra taşı olarak da bilinen karbonat çimentolu kumtaşı – mikritik kireçtaşının önemli bir kayaç ayrıştırıcı etmen olan su etkisi ile ayrışması durumunda fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişim ilişkisi araştırılmıştır. Kayacın atmosfer etkisi altında bozunmasında son derece etkili bir öge olan meteorik sular kayacın boşluklarında (çatlak ve daneler arası boşluklar) mevsimsel etkiler ile donma çözünmeye bağlı yıpratmalar oluşturabildiği gibi, yağışlara bağlı olarak kayaç yüzeyinin ıslanması, suyun kayaç içine işlemesi ve bu yüzeylerin rüzgar etkisi ile yoğrulması nedeniyle de kayacın fizikomekanik özelliklerinin su etkisi ile değişmesine neden olur. Bu çalışmada, Kandıra taşının su etkisi ile ayrışması kayacın suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı ile irdelenmiştir. Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı ile kayaç değişim değeri, kayaç değişim oranı, fiziksel ve mekanik özellikleri arasında anlamlı ilişkiler elde edilmiştir. Böylece, Kandıra taşına ait herhangi bir örneğe ait fiziksel özelliklerin belirlenmesiyle örneğin temsil ettiği alanda yayılım sunan kayacın aşınma davranışı, buradan hareketle nokta yük dayanımı, aşınma değeri ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değeri kolay ve güvenilir şekilde hesaplanacaktır. Çalışmada, karbonat çimentolu kumtaşı ve mikritik kireçtaşı örneklerin ilkin fiziksel özellikleri belirlenmiş (TS 699, ISRM, 1979) ve kayacın su ile etkileşimini belirlemek için “suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyi” (slake durability test) (ASTM, 1990; ISRM, 1979 ve 1981) 6 grup örnekte 13 çevrim şeklinde uygulanmıştır. Deney sonucunda Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık davranışına ait bünye denkleminin üstel olduğu görülmüştür. Kayacın mekanik özellikleri, 13 çevrim sonundaki kayaç örnekler üzerinde yapılan nokta yük deneyi (ISRM, 1985) ile belirlenmiştir. Deneyler, Kandıra taşının fiziksel özellikleri ile suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı arasında doğrusal ilişki, mekanik özelliği ile suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı arasında üstel ilişki olduğunu göstermiştir. Kayaç değişim değeri (KDD) Bozkurtoğlu (2003) ve Bozkurtoğlu vd. (2005 ve 2006) tarafından önerilmiştir. Bu yaklaşımda taze kayanın değeri 1, tamamen değişmiş kayacın değeri 0'dır. Kayacı ayrıştırıcı etmenler ile kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerinin zayıflaması sonucu kayaç değişim değerleri 1'den küçük değerler alır. KDD değerleri suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyinin uygulanmış olduğu 6 grup kayaç örneklerin suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyi düzeneğine ait tamburlarında birikmiş ayrık kayaç malzemesi ile hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler her bir grubun kayaç değişimine ait ortalama değerleridir. Kayaç değişim değerleri ile kayacın fiziksel, mekanik özelliklerine ait ortalama değerleri, kayacın suda dağılmaya karşı duraylılık davranışına ait ortalama değerleri arasındaki ilişkiler kayacın KDD = 0.7428 değerinde suda dağılmaya karşı duraylılık davranışının tamamen değişik özelliklerde olacağını ve bu durumdaki kayacın deneye tabi tutulduğu durumuna göre %29.246 oranında değişmiş olacağını göstermiştir. Kandıra taşı %14.82 oranında değiştiğinde ise yaklaşık 0.001 MPa civarındaki yükleri taşıyabilecek ve bu durumda KDD = 0.8708 olacaktır.

İNCELEME ALANININ JEOLOSİ

Çalışma alanı Karadeniz Levhacığında, Kocaeli Yarımadasının orta kuzey bölümünde bulunur. Yarımadanın doğu ve batısında daha yaşlı kayaçlar yaygın olarak yüzeylerken orta kesiminde Üst Kretase ve Tersiyer gibi daha genç kayaçlar bulunmaktadır. Bu bölgede geniş alanlarda mostra veren kayaçlar Üst Kretase Kireçtaşları ve Paleosen – Eosen Fliş kayaçlarıdır. Kandıra ve çevresinde yayılım sunan en yaşlı kayaçlar Permo Triyas yaşlı karasal kırıntılılardır. Bu kayaçları

Üst Kretase – Alt Eosen aralığında gelişmiş ve geniş alanlara yayımlı kireçtaşları yüzeyler. Üst Kretase kireçtaşları Şemsettin kireçtaşları (Altınlı İ.E, 1968) veya Akveren formasyonu (Görmüş S, 1982) olarak isimlendirilmiştir. Killi kireçtaşı, kumtaşı, silttaşı çakıltaşı ve volkanitlerden oluşmuş birim, orta – kalın tabakalaşma sunar. Bu birim üzerinde geniş bir alanda yayılmış Alt – Orta Eosen yaşlı marn ve fliş karakterde kayaçlar Kandıra – İzmit – Adapazarı arasında geniş bir araziye yayımlı bulunur. Kandıra ve çevresinde Üst Kretase – Tersiyer aralığında andezitik volkanizma devam etmiş ve bazalt, spilit, andezit kayaçlar yayılım sunmuştur. Bölgenin en genç birimi Kuvaterner yaşlı alüvyon olup dere yataklarına paralel olarak uzanan dar şeritler şeklinde gevşek kum, kil ve silt yığılımlarından oluşur (Şekil 1).



Şekil 1. Kandıra ve çevresinin jeolojik haritası (MTA, 1:500.000).

Figure 1. Geological map around the Kandıra (MTA, 1:500.000).

Karbonat çimentolu kumtaşı – mikritik kireçtaşından oluşan Kandıra taşı taneleri hafif yönlendirmeler içeren ince taneli, beyaz – bej renklidir. %10'luk HCl (seyreltik asit) ile muamele edildiğinde hızlı reaksiyon göstermektedir. Eş taneli, yarı mikritik – yarı kristalli dokusal özellik sunan kayacın mikritik tanelerinin oranı yaklaşık %50'dir. Öz şekilli, dilinimli ve iç içe görülen mikritik kesim bol oranda demir oksit (hematit, limonit) içerirse de genellikle berraktır ve bazen ikizlenme de gösterir. Kayaçta kristalen kalsit yaklaşık %40 ve opak mineraller ise yaklaşık %4 – 5 oranındadır. Gri – siyah renkli opak mineraller düzgün kristalli veya korrode şekildedir. Çok az oranda merceksel veya globüler fosil kavkuları içeren kayaçta %1 – 2 oranında gri – beyaz renkli tali kuvars mineralleri de bulunur.

ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Kandıra taşının dayanım – suda dağılmaya karşı duraylılık ilişkisinin araştırıldığı bu çalışmada suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyi 6 grup ve 13 çevrim şeklinde yapılmıştır. Suda dağılmaya karşı duraylılık deneyi öncesi, grupları oluşturan kayaç örneklerin her birine ait fiziksel özellikler belirlenmiş, 13 çevrim sonucunda suda dağılmaya karşı duraylılık deneyi bitirilerek tüm çevrimler için her bir kayaç örneğinin suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerden kayaç örneklerin her çevrimine ait aşınma değerlerine geçilmiştir. Kayaç örneklerin mekanik değerleri 13 çevrim sonucu her bir örnekte gerçekleştirilen nokta yükleme deneyi ile belirlenmiştir. Kandıra taşına ait kayaç değişim değerleri her bir grubun suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyinin 13 çevrimi sonucunda tambur haznesinde birikmiş olan ayrılmış kayaç parçacıkları kullanılarak hesaplanmıştır. Kandıra taşının suda dağılmaya karşı davranışı (ayrışması) ile kayacın dayanım ilişkisi kurulmuştur. Bu amaçla, suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyine tabi tutulan 6 gruptaki her bir kayaç örneğinin (88 adet) suda dağılmaya karşı duraylılık davranışları belirlenmiş ve suda dağılmaya karşı duraylılık deneyi çevrim sayısı ile fiziksel özellikler ve nokta yük dayanım değerleri ilişkilendirilmiştir. Sonuçta Kandıra taşına ait herhangi bir örneğin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi durumunda kayaç

örneğin aşınma davranışı, buradan hareketle nokta yük dayanımı, aşınma değeri ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değerinin kolay ve güvenilir şekilde hesaplanabileceği eşitlikler önerilmiştir.

FİZİKSEL ÖZELLİKLER

Kayaçların, özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, porozite, boşluk oranı, su emme, geçirimsizlik, sertlik, elastik dalga hızını iletme özellikleri onların mekanik davranışları dolayısıyla teknolojik özellikleri üzerinde önemli ölçüde etkilidir. Bu değerler kayaçların ayrışma derecesi ve kayaç değişim değerlerinin tanımlanmasında da kullanılan sayısal büyüklüklerdir. Bu amaçla, Kandıra taşının kuru birim hacim ağırlık (γ_k), doymun birim hacim ağırlık (γ_d), su içeriği (w), porozite (n) ve boşluk oranı (e), değerleri 88 adet kayaç örnek için TS 699 standardı izlenerek belirlenmiştir. Kandıra taşına ait dane birim hacim ağırlık (γ_s) değerleri suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyine tabi tutulan her bir grubun 13. çevrim sonucunda deney düzeneği tamburunun haznesinde birikmiş olan ayrışmış kayaç parçacıkları ve tozları kullanılarak TS 699 standardına uygun şekilde hesaplanmıştır. Karbonat çimentolu kumtaşı – mikritik kireçtaşı birlikteliğinden oluşan Kandıra taşının fiziksel özelliklerine ait deney sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kandıra taşının fiziksel özellik değerleri.

Table 1. Physical property values of Kandıra Stone.

| Değerler | Kuru Birim Hacim Ağırlık γ_k (kN/m ³) | Doymun Birim Hacim Ağırlık γ_d (kN/m ³) | Dane Birim Hacim Ağırlık γ_s (kN/m ³) | Su İçeriği w (%) | Porozite n (%) | Boşluk Oranı e (%) |
|----------|--|--|--|--------------------|------------------|----------------------|
| Minimum | 21.43 | 22.87 | 25.40 | 2.37 | 5.81 | 6.17 |
| Ortalama | 23.14 | 24.16 | 25.71 | 4.27 | 10.07 | 11.23 |
| Maksimum | 24.74 | 25.38 | 26.09 | 6.88 | 15.20 | 17.92 |

Kayaçların gözeneklilik özelliği, su – kayaç ilişkisinde önemli bir etkidir. Kayaç malzemesi ve kültesi olarak teknolojik özelliklerini önemli ölçüde etkileyen gözeneklilik Moos-Quervain (1948) ve Anon (1979) tarafından sınıflandırılma ölçütü olarak önerilmiştir (Çizelge 2).

Tablo 2. Kayaçların porozite değerlerine göre sınıflandırılması.

Table 2. Classification of rocks by porosity.

| Moos-Quervain, 1948 Sınıflaması | | Anon, 1979 Sınıflaması | |
|---------------------------------|--------------------|------------------------|------------|
| Porozite (%) | Kayaç Sınıfı | Porozite (%) | Tanımlama |
| < 1 | Çok kompakt | > 30 | Çok yüksek |
| 1 – 2,5 | Az boşluklu | 30 – 15 | Yüksek |
| 2,5 – 5 | Orta boşluklu | 15 – 5 | Orta |
| 5 – 10 | Oldukça boşluklu | 5 – 1 | Düşük |
| 10 – 20 | Çok boşluklu | < 1 | Çok düşük |
| > 20 | Çok fazla boşluklu | | |

Kandıra taşı Moos-Quervain (1948) sınıflamasına göre “Oldukça boşluklu – Çok boşluklu” kayaç sınıfında yer almaktadır. Kayaç Anon (1979) sınıflamasına göre Orta – Yüksek porozite değerine sahip kayaç grubundadır.

Kayaçların kuru birim hacim ağırlık değerlerine göre sınıflanması Anon (1979) tarafından aşağıda Çizelge 3 ile verilen şekliyle yapılmıştır.

Tablo 3. Kayaçların kuru birim hacim ağırlık göre sınıflaması (Anon, 1979).**Table 3.** Classification of rocks by dry unit weight (Anon, 1979).

| Sınıf | γ_k (kN/m ³) | Tanımlama |
|-------|---------------------------------|------------|
| 1 | < 17.65 | Çok düşük |
| 2 | 17.65 – 21.57 | Düşük |
| 3 | 21.57 – 25 | Orta |
| 4 | 25 – 26.97 | Yüksek |
| 5 | > 26.97 | Çok yüksek |

Kandıra taşı kuru birim hacim ağırlık değerlerine göre Anon (1979) sınıflanmasında düşük – orta kuru birim hacim ağırlık değerlerine sahip kayaç grubundadır.

MEKANİK ÖZELLİKLER

Kayaçların çeşitli kuvvetlerin etkisinde kırılmaya, ezilmeye, kaymaya karşı gösterdikleri dayanım dane ve minerallerinin içyapılarına, oluşum şartlarına, dizilişlerine, etkisi altında kaldıkları gerilme koşullarına, deformasyonlara, ayrışma ve alterasyon gelişimine, zaman ve benzeri faktörlere bağlıdır. Kayaçların dayanım özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan deney yöntemlerinden birisi nokta yük deneyidir. Bu çalışmada Kandıra taşının dayanım özelliği ISRM (1985) standardına göre nokta yük deneyi ile belirlenmiştir. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyinin 13. çevrimi sonunda 88 adet kayaç örneğinin nokta yükleme dayanım değerleri ($I_{s(50)}$) 1.174 – 11.50 MPa arasında değişmektedir. Ortalama nokta yük dayanımı 3.091 MPa'dır. Kayaçlar nokta yük dayanımlarına göre Franklin ve Broch (1972) ile Bieniawski (1975) tarafından önerilen şekilde sınıflandırılmışlardır (Çizelge 4).

Tablo 4. Kayaçların nokta yük dayanımlarına göre sınıflandırılması.**Table 4.** Point load strength classification of rocks.

| Franklin ve Broch (1972) | | | Bieniawski (1975) | |
|--------------------------|------------------------|------------------------------------|----------------------|------------------------|
| Kayaç Sınıfı | Nokta Yük Dayanımı MPa | Eş Tek Eksenli Basınç Dayanımı MPa | Kayaç Sınıfı | Nokta Yük Dayanımı MPa |
| Oldukça yüksek dayanımlı | > 10 | > 160 | - | |
| Çok yüksek dayanımlı | 3 – 10 | 50 – 160 | Çok yüksek dayanımlı | > 7.845 |
| Yüksek dayanımlı | 1 – 3 | 15 – 60 | Yüksek dayanımlı | 7.845 – 3.923 |
| Orta dayanımlı | 0.3 – 1 | 5 – 16 | Orta dayanımlı | 3.923 – 1.961 |
| Düşük dayanımlı | 0.1 – 0.3 | 1.6 – 5 | Düşük dayanımlı | 1.961 – 0.981 |
| Çok düşük dayanımlı | 0.03 – 0.1 | 0.5 – 1.6 | Çok düşük dayanımlı | < 0.981 |
| Oldukça düşük dayanımlı | < 0.03 | < 0.5 | - | |

Kandıra taşı nokta yük dayanım değerlerine göre Franklin ve Broch (1972) sınıflamasında “Yüksek – Oldukça yüksek dayanımlı” kayaç sınıfındadır. Kayacın olası basınç dayanım değerleri en az 15 MPa sınırında olup kayaç 160 MPa'dan daha dayanımlı olabilir. Kayacın Bieniawski (1975) tarafından önerilmiş olan nokta yük dayanım değerlerine göre yapılmış sınıflamaya göre yeri “Düşük – Çok yüksek dayanımlı” kayaç sınıfıdır. Kayaç nokta yük dayanım değerlerinin ortalama

değerine ($I_{s(50)ort}$) göre Franklin ve Broch (1972) sınıflamasında “Çok yüksek dayanımlı”, Bieniawski (1975) sınıflamasında “Orta dayanımlı” kayaç sınıfındadır.

KAYAÇ DEĞİŞİM DEĞERLERİ

Kayaçlar; günlenme ve alterasyon olaylarının tek başına veya beraber etkisi ile sürekli değişim eğilimindedir. Jeolojik süreç içinde kayaçlar, oluştukları ilk andaki fiziksel niteliklerini kaybederler yani ilksel fiziksel özellikleri değişime uğrar. Kayaçların fiziksel özelliklerinden olan kuru birim hacim ağırlık, porozite ve dane birim hacim ağırlık değerleri kullanılarak jeolojik süreç içerisindeki değişimi “Noktasal Kayaç Değişim Değeri” yaklaşımı ile sayısal olarak belirlenebilir (Bozkurtoğlu, 2003; Bozkurtoğlu vd 2005, 2006). Bu yaklaşımda Noktasal kayaç değişim değeri (KDD_n) 0 ile 1 arasında değişen değerler alır ve 1 taze kayacı, 0 ise ayrışma, alterasyon veya her 2 etki sonucu tamamen değişmiş kayacı gösterir. Noktasal kayaç değişim değerinin belirlenmesi için kayacın fiziksel özellik deneyleri yapılır ve kuru birim hacim ağırlık değeri ile porozite değeri hesaplanır. Bu değerler yardımıyla kayacın dane birim hacim ağırlık değeri hesaplanır ($\gamma_{s(f)}$). Dane birim hacim ağırlık değeri piknometre kullanarak deneysel olarak da ($\gamma_{s(d)}$) ayrıca belirlenir. Analitik yöntemle hesaplanmış dane birim hacim değeri ile piknometre kullanılarak hesaplanmış dane birim hacim ağırlık değerleri ilişkisinden KDD_n değeri aşağıda açıklandığı şekilde hesaplanır.

1. Deneysel dane birim hacim değeri ($\gamma_{s(d)}$) > Analitik dane birim hacim değeri ($\gamma_{s(f)}$) ise;

$$KDD_n = \gamma_{s(f)}/\gamma_{s(d)} \quad (1)$$

2. Deneysel dane birim hacim değeri ($\gamma_{s(d)}$) < Analitik dane birim hacim değeri ($\gamma_{s(f)}$) ise;

$$KDD_n = |1 + [1 - (\gamma_{s(f)}/\gamma_{s(d)})]| \quad (2)$$

Bu eşitliklerde deneysel dane birim hacim değeri piknometre deneyi ile belirlenen değer, analitik dane birim hacim değeri ise aşağıda verilen ve kayacın dane birim hacim ağırlığı, kuru birim hacim ağırlığı ile porozite değerleri arasındaki ilişkiyi tanımlayan (3) eşitliği kullanılarak belirlenen değerdir.

$$\gamma_k = (1 - n)\gamma_s \quad (3)$$

Noktasal Kayaç Değişim Oranı (KDO_n) Bozkurtoğlu (2003) ve Bozkurtoğlu vd. (2005, 2006) tarafından (4) ile verilen eşitlik ile tanımlanmıştır.

$$KDO_n = [(1 - KDD_n)/(1 - (1 - KDD_n))] * 100 \quad (4)$$

Kayaçların noktasal değişim oranının belirlenmesi için önerilmiş olan (4) eşitliğinde, kayacın noktasal değişim değerinin 0.5 ten küçük ($KDD_n < 0.5$) olması durumunda fiziksel tanım bulunmamaktadır. Eşitliklerde;

KDD_n : noktasal kayaç değişim değeri ((x,y) koordinatı için hesaplanabilir),

KDO_n : noktasal kayaç değişim oranı ((x,y) koordinatı için hesaplanabilir),

$\gamma_{s(f)}$: kayacın kuru birim hacim ağırlık ve porozite değeri ile hesaplanmış dane birim hacim ağırlık değeri,

$\gamma_{s(d)}$: kayacın piknometre ile belirlenmiş dane birim hacim ağırlık değeri,

γ_k : kayacın kuru birim hacim ağırlık değeri,

γ_s : kayacın piknometre ile belirlenmiş dane birim hacim ağırlık değeri ($\gamma_s = \gamma_{s(d)}$),

n : kayacın porozite değeri dir.

Kandıra taşının kayaç değişim ve kayaç değişim oranı değerleri, suda dağılmaya karşı duraylılık özelliği araştırılan 88 adet örneğin oluşturduğu 6 adet deney grubunun her birine ait suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyinin 13 çevrimi sonucunda tambur haznesinde birikmiş olan ayrılmış kayaç parçacıkları kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler her bir grubun ortalama değerlerini yansıtır ve 6 grubun ortalama değerleri ile Kandıra taşının kayaç değişim ve kayaç değişim oranına ait ortalama değerlerinin aralığı belirlenebilir. Kandıra taşının ortalama kayaç değişim değerleri 0.98292 – 0.99787 arasındadır ve bu değerlerin ortalaması 0.99008 dir. Kandıra taşının ortalama kayaç değişim oranı değerleri %0.00306 – %1.73741 arasındadır ve bu değerlerin ortalaması %0.42940 dir. Bu değerler Kandıra taşının taze olduğunu ve ilk kez atmosfer etkisine maruz kaldığı zaman diliminden günümüze çeşitli etmenlerce çok az etkilenmiş olduğunu göstermektedir.

KANDIRA TAŞININ SUDA DAĞILMAYA KARŞI DURAYLILIK İLİŞKİSİ

Suda dağılmaya karşı duraylılık deneyi Chandra (1970) ile Franklin ve Chandra (1972) tarafından önerilmiştir. ISRM (1981) tarafından kayaçların su ile ayrışma reaksiyonunun belirlenmesi amacıyla uygulanabilirliği önerilen deney, ASTM (1990) tarafından standartlaştırılmıştır.

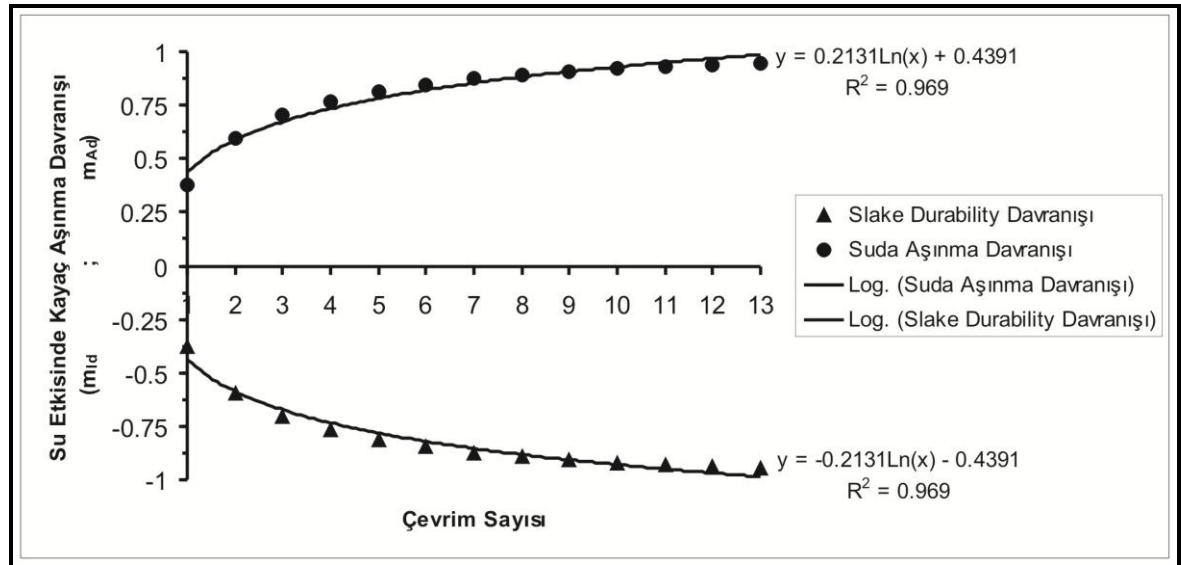
Suda dağılmaya karşı dayanım testi özellikle çamurtaşı, marn, ignimbrit, zayıf çimentolu çakıl taşı ve silt taşları için önemli bir mühendislik parametresidir. Franklin ve Chandra (1972), kayaçların suda dağılma duraylılık dayanım indeksinin belirlenmesi için standart sayıda uygulanan birbirini izleyen ıslanma ve kuruma aşamasının, kayaçların fiziksel aşınma ve dayanımlarındaki azalmanın değerlendirilmesinde önemli olduğunu belirtmiştir. Morgenstern ve Eigenbrod (1974) çok sayıda kuru ve ıslak çevrim deneyinden killi materyalin su içeriğini hesaplayarak suda dağılma duraylılık değerini önermiştir. Wood ve Deo (1975) toprak dolgu barajlar için killi malzemenin su içerisinde 24 saatlik çevrimine dayalı niceliksel bir test önermiş ve Lutton (1977) bu öneriyi “jar slake test I_j” olarak tanımlamıştır. Taylor (1988) çamur taşlarının dayanıklılığını, tek eksenli basınç dayanımı ve üç çevrim sonrası suda dayanım indeksi yardımı ile ayırt etmiştir. Dhakal vd (2001) killi kırıntılı kayaçların suda dağılmaya karşı dayanımlarının kayacın oluşumundan sonra maruz kaldığı alterasyon olayları ile kontrol edildiğini belirtmiştir. Ünal (1996), Suda dağılmaya karşı dayanım testini M-RMR kayaç kültesi sınıflama sisteminde kullanarak kayaç ortamdaki tasarım uygulamalarında da kullanılmasını sağlamıştır. Bell (1997), tek eksenli basınç dayanımı ile karşılaştırmalı yapılan suda dağılmaya karşı dayanım testinin kayaç duraylılığın belirlenmesinde daha güvenilir bir yol gibi görüldüğünü belirtmiştir. Suda dağılmaya karşı duraylılığı yüksek kayaçlar için iki çevrimden daha fazla tercihan 4 çevrim sonrası elde edilen I_d değerlerinin esas alınması önerilmiştir (Gamble 1971; Ulusay vd., 1995; Gökçeoğlu vd., 2000). Suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değeri yakın zamanlarda granitik kayaların ayrışma özelliklerinin belirlenmesi için de kullanılmaya başlanmıştır (Zhao vd 1994, Lee ve Freitas 1998).

Kandıra taşının dayanım – suda dağılmaya karşı duraylılık ilişkisinin belirlenmesini amaçlayan bu çalışmada kayaç örnekler üzerinde suda dağılmaya karşı duraylılık deneyi, 13 çevrim şeklinde uygulanmış, kayaç dayanımı için 13 çevrime tabi tutulan her bir örneğin nokta yük dayanım değerleri belirlenmiştir. Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık deneyinde çevrim sayısının 13 ile sınırlandırılması, 6 grup içinde yer alan her bir kayaç örneğin suda dağılmaya karşı duraylılık davranış eğilimi ile suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değerleri ve bu değerlerden hareketle hesaplanmış aşınma değerleri arasındaki korelasyon değerlerinin (Çizelge 5) grafiksel ilişkisine göre belirlenmiştir. Bu ilişki aşağıda Şekil 2 ile verilmiştir. Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık davranış eğilimi ile suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değerleri arasında 0.9844 korelasyon katsayısı ile aşağıda verilen (5) numaralı logaritmik eşitlik tanımlıdır ve bu ilişki Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık deneyine ait en uygun çevrim sayısının 13 olduğunu ifade etmektedir.

Tablo 5. Suda dağılmaya karşı duraylılık davranış eğilimi ile suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değerleri ve bu değerlerden hareketle hesaplanmış aşınma değerleri arasındaki korelasyon ilişkisi.

Table 5. A correlation between the slake durability attitudes and slake durability index values with erosion values gathering from slake durability values.

| Çevrim Sayısı | Suda dağılmaya karşı duraylılık davranış eğilimi ile suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değerleri arasındaki korelasyon değerleri | Suda dağılmaya karşı duraylılık davranış eğilimi ile suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değerleri ile hesaplanmış aşınma değerleri arasındaki korelasyon değerleri |
|---------------|---|--|
| 1 | -0.37882 | 0.378821 |
| 2 | -0.59595 | 0.595948 |
| 3 | -0.70183 | 0.701832 |
| 4 | -0.76881 | 0.768813 |
| 5 | -0.81171 | 0.811707 |
| 6 | -0.84358 | 0.843581 |
| 7 | -0.87167 | 0.871674 |
| 8 | -0.89166 | 0.891656 |
| 9 | -0.90792 | 0.907921 |
| 10 | -0.92203 | 0.922029 |
| 11 | -0.93202 | 0.93202 |
| 12 | -0.9402 | 0.940196 |
| 13 | -0.94685 | 0.946845 |



Şekil 2. Suda dağılmaya karşı duraylılık davranış eğilimi ile suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değerleri arasındaki korelasyon değerlerinin fiziksel ilişkisi.

Figure 2. A graphical relationship between the slake durability attitudes and correlation values of slake durability index values.

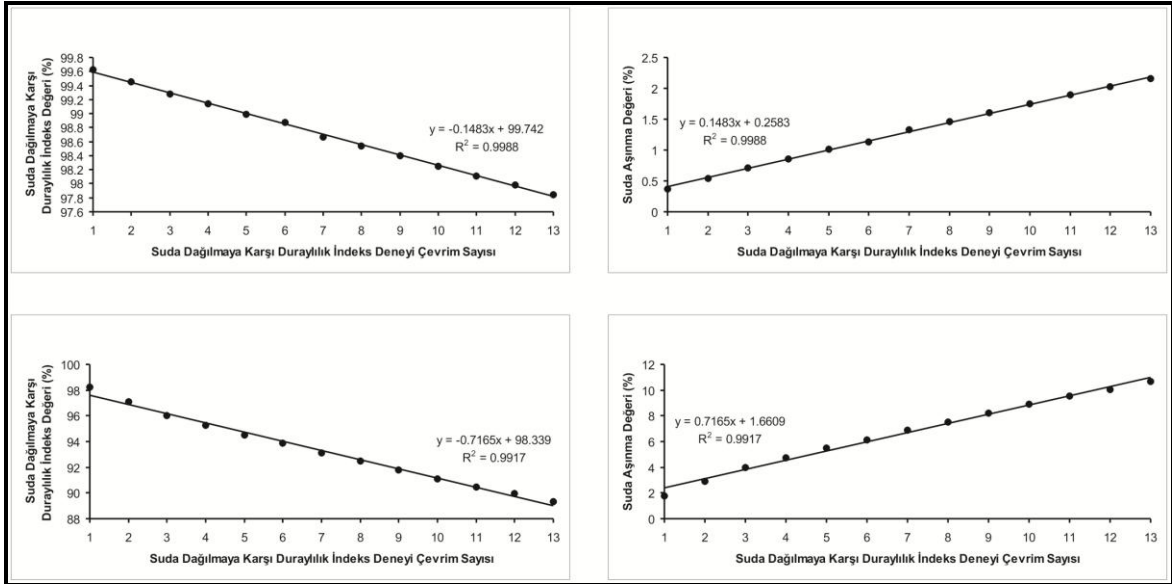
Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı (SDKDD) ve bu davranışının suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyinde temsil edilecek çevrim sayısını ifade eden 0.9844 korelasyon katsayısı ile tanımlı logaritmik denklem (5) nolu eşitliktir.

$$\text{SDKDD} = -0.2131 \ln(\text{Suda dağılmaya karşı duraylılık deneyi çevrim sayısı}) - 0.4391 \quad (5)$$

Benzer şekilde kayacın suda aşınma davranışı (SAD) da 0.9844 korelasyon katsayısı ile aşağıda verilen logaritmik denklem ile belirlenir.

$$\text{SAD} = 0.2131 \ln(\text{Suda dağılmaya karşı duraylılık deneyi çevrim sayısı}) + 0.4391 \quad (6)$$

Eşitlik (5) te SDKDD terimi kayacın suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı, eşitlik (6) da SAD terimi kayacın suda aşınma davranışı olup logaritmik denklemler, kayaç örneklerin suda dağılmaya karşı duraylılık ve aşınma davranışı eğiliminin matematiksel ifadesidir. Yukarıda verilmiş olan (5) ve (6) numaralı logaritmik denklemler ile kayaç su etkisinde aşınırken, aşınma davranış değerinin 1'e eşit veya yakın olacağı çevrim sayısı değeri irdelenmiştir. Yapılan hesaplamalar 13. çevrim sonucunda kayacın su etkisi ile aşınma davranış değerinin (\pm)0.98569 olduğunu, 14. çevrim de ise bu değer (\pm)1.00148 olacağını göstermiştir. 14. çevrim ile kayacın su etkisi ile aşınma değerinin 1'i aşıyor olması nedeniyle suda dağılmaya karşı duraylılık deneyi 13. çevrim sonunda bitirilmiştir. Yukarıda Şekil 2 ile verilen grafikte Y eksenini kayaç örneklerin suda dağılmaya karşı duraylılık deneyinde her bir kayaç örneğinin 1'den 13 çevrime hesaplanmış olan suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değerleri ve bu değerlerden hareketle hesaplanmış aşınma değerleri arasında belirlenmiş grafiksel ilişkinin matematiksel ifadesine ait denklemlerin eğim değerleridir. Bu denklemlerde negatif eğim değerleri örneklerin suda dağılmaya karşı duraylılık davranış indeks değerlerini, pozitif eğim değerleri örneklerin aşınma değerlerini göstermektedir. Eğimin küçük değerleri; kayaç örneğinin dayanımlı olduğunu ve suda dağılmaya karşı duraylılık davranış indeks değerlerinin yüksek olduğu veya kayacın aşınma değerlerinin düşük olduğu, eğimin büyük değerleri; kayaç örneğinin dayanımsız olduğu ve suda dağılmaya karşı duraylılık davranış indeks değerlerinin düşük olduğu veya kayacın aşınma değerlerinin yüksek olduğu anlamındadır (Şekil 3).



Şekil 3. Kayaç örneklerin suda dağılmaya karşı duraylılık davranış eğilimi.

Figure 3. Slake durability attributed of rock samples.

Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık indisi değerleri 6 grup örnek için deneyin 1. çevrim sonucuna göre %96.18 – %99.74 ve deneyin 2. çevrim sonucuna göre %95.84 – %99.58 arasında değişir. Bu değerlerin geometrik ortalaması 1. çevrim için %99.21 ve 2. çevrim için %98.79 dur.

Kayaçların suda dağılmaya karşı duraylılık indisi değerlerinin 1. ve 2. çevrim sonuçlarına göre değerlendirilmesi aşağıda Çizelge 6 ile verilmiştir.

Tablo 6. 1 ve 2 çevrim değerlerine göre suda dağılmaya karşı duraylılık indisi sınıflaması.
Table 6. Single cycle and two cycle slake durability classification.

| 1. çevrim değerlerine göre suda dağılmaya karşı duraylılık indisi sınıflaması (Aufmuth, 1974). | | 2. çevrim değerlerine göre suda dağılmaya karşı duraylılık indisi sınıflaması (ISRM, 1979). | |
|--|-------------------|---|-------------|
| Suda dağılmaya karşı duraylılık indisi, (I_{d1} , %) | Tanımlama | Suda dağılmaya karşı duraylılık indisi, (I_{d2} , %) | Tanımlama |
| 0 – 25 | Çok düşük | 0 – 30 | Çok düşük |
| 25 – 50 | Düşük | 30 – 60 | Düşük |
| 50 – 75 | Orta | 60 – 85 | Orta |
| 75 – 90 | Yüksek | 85 – 95 | Orta yüksek |
| 90 – 95 | Çok yüksek | 95 – 98 | Yüksek |
| 95 – 100 | Son derece yüksek | 98 – 100 | Çok yüksek |

Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık indisi değerleri %0 – %10 değer aralığından büyük olduğu için Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değeri ISRM 1979'a göre çok yüksek sınıfındadır. Aumurf (1974) suda dağılmaya karşı duraylılık indisi değerlerinden hareketle hesaplanacak aşınma kaybı değerlerine (AKD) göre kayacın aşınma sınıflamasını aşağıda Çizelge 7 ile verilen şekliyle önermiştir.

Tablo 7. 1. çevrim suda dağılmaya karşı duraylılık indisi değerlerine göre kayacın ayrışma sınıflaması.

Table 7. Rock weatherability classification based on single cycle slake durability.

| Kategori | Aşınma Kaybı Değerleri (%) | Tanımlama |
|----------|----------------------------|---|
| A | AKD < 1 | Suda dağılmaya karşı duraylılık indisi yüksek |
| B | 1 < AKD < 3.5 | Suda dağılmaya karşı duraylılık indisi orta |
| C | AKD > 3.5 | Suda dağılmaya karşı duraylılık indisi düşük |

Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık indisi değerlerinden hareketle hesaplanmış aşınma kaybı değerleri 6 grup örnek için deneyin 1. çevrim sonucuna göre %0.26 – %3.82 ve deneyin 2. çevrim sonucuna göre %0.42 – %4.16 arasında değişir. Bu değerlerin geometrik ortalaması 1. çevrim için %0.68 ve 2. çevrim için %1.09 dur. Kandıra taşı, 1. çevrim aşınma kaybı değerlerine göre; suda dağılmaya karşı duraylılık indisi düşükten yükseğe değişirse de 88 adet kayaç örneğin ortalama değeri Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık indisi değerinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık davranışını belirleyebilmek için bu çalışmada farklı bir yöntem uygulanmıştır. Suda dağılmaya karşı duraylılık indisi deneyine tabi tutulan 6 gruptaki her bir örneğin (88 adet) suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyi çevrim sayısı ile suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değeri arasındaki ilişki Şekil 3 ile verildiği şekilde belirlenmiştir. Her bir örnek için grafiksel olarak belirlenmiş olan ilişkilerin matematiksel ifadesi araştırılmış ve tüm örneklerin 1. çevrimden deney bitimi olan 13. çevrim bitimine kadar doğrusal denklemler ile ifade edilebilecek bir şekilde aşındığı görülmüştür. Kandıra taşına ait 88 örneğin her birine ait doğrusal denklemler (Şekil 3) ile kayaç örneklerin %100 aşınması için gereken çevrim sayısı

hesaplanmıştır. Bu denklemlerin eğim değerleri, Şekil 2 ile verilen grafiksel ilişkide Y eksenini oluşturan kayacın suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı (su etkisinde kayaç aşınma davranışı) eğilim değerleridir. Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı eğilim değerleri, suda dağılmaya karşı duraylılık deneyinde tamamen aşınması için gerekli çevrim sayıları, 1 – 13 çevrim sonucu hesaplanmış olan suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değerleri ve aşınma değerlerine ait minimum, ortalama ve maksimum değerler Çizelge 8 ile verilmiştir.

Tablo 8. Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı, tamamen aşınması için gerekli suda dağılmaya karşı duraylılık deneyi çevrim sayısı, suda dağılmaya karşı duraylılık deneyi indeks değerleri ve aşınma değerleri (minimum, ortalama, maksimum).

Table 8. The slake durability attributed, the slake durability test cycle number of rock samples for completely eroded, slake durability index values and erosion values (minimum, average, maximum).

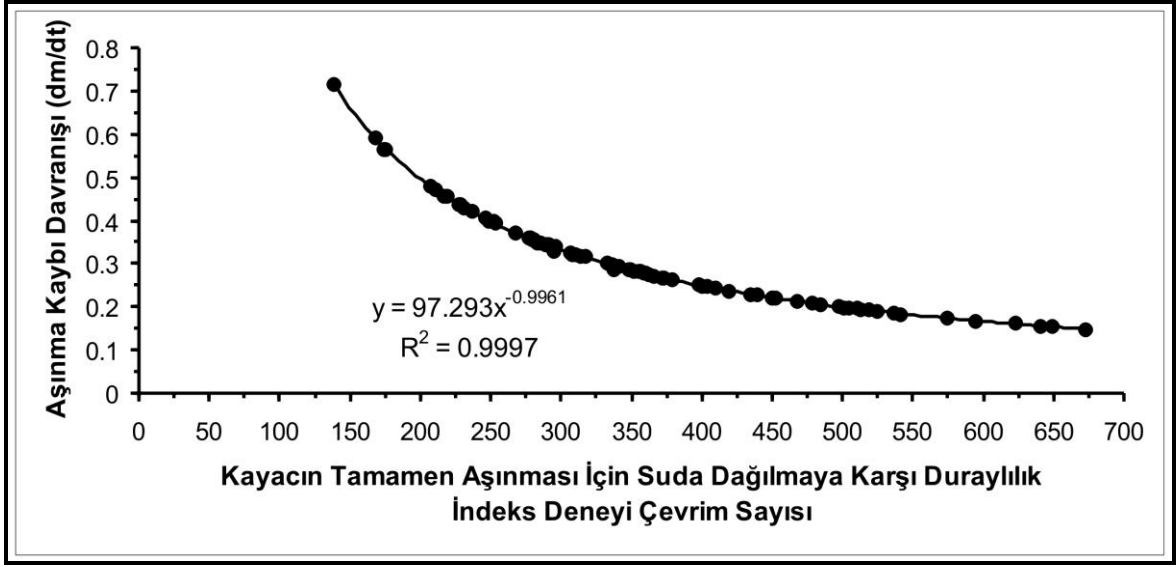
| Değerler | Suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı | Tamamen aşınması için gerekli çevrim sayısı | Suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değerleri (%) | Aşınma kaybı değerleri (%) |
|----------|---|---|--|----------------------------|
| Minimum | 0.148 | 138 | 89.336 | 0.260 |
| Ortalama | 0.295 | 337 | 97.195 | 2.805 |
| Maksimum | 0.717 | 673 | 99.740 | 10.664 |

Çizelge 8 ile verilen değerler birbiri ile ilişkilidir. Suda dağılmaya karşı duraylılık davranışına ait minimum değer kayacın tamamen aşınması için gerekli maksimum çevrim sayısının karşılığıdır. Benzer şekilde suda dağılmaya karşı duraylılık davranışına ait maksimum değer kayacın tamamen aşınması için gerekli minimum çevrim sayısının karşılığıdır. Benzer ilişki suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değerleri ile aşınma kaybı değerleri arasında da vardır. Diğer bir ifade ile Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı eğilimi 0.148 olan örneğin tamamen aşınması için gerekli olan suda aşınmaya karşı duraylılık indeks deneyi çevrim sayısı 673, suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değeri %99.74 ve aşınma kaybı değeri %0.26 dır. Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı, kayaç örneklerin tamamen aşınması için Şekil 3 ile verilmiş olan 88 adet kayaç örneğe ait grafiksel ilişkiler ile hesaplanmış olan gerekli çevrim sayıları ile bu grafiksel ilişkilerden belirlenmiş olan kayacın suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı eğiliminin ifadesi olan sayısal değerlerin (Şekil 3 ile çizilmiş olan grafiksel ilişkide doğrusal eğilim denklemlerinin eğimleri) ilişkilendirilip (Çizelge 8 ile verilen 2 ve 3 numaralı sütunlar) bünye denkleminin elde edilmesi ile belirlenmiştir (Şekil 4).

Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı (KTSDD) aşağıda (7) no ile verilen üstel denklemle (bünye denklemi) $r = 0.9999$ korelasyon katsayısı ile matematiksel olarak ifade edilebilir.

$$KTSDD = 97.293(\text{Suda dağılmaya karşı duraylılık deneyi çevrim sayısı})^{-0.9961} \quad (7)$$

Şekil 4 ile verilen grafiksel ilişkide Y değer eksenini oluşturan sayılar 1'e yaklaştıkça kayaç örnek daha küçük çevrim sayılarında aşınmakta ve teorik olarak aşınma kaybı davranışının 1 olması durumunda kayaç ilk çevrimde aşınıp dağılarak kendisini oluşturan malzemesi suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyi tamburuna çökecektir. Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyinde tamamen aşınması için gerekli çevrim sayısı 138 – 673 arasında değişmektedir (Çizelge 8). Suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyine tabi tutulan 88 adet kayaç örnek ile belirlenmiş olan bu değerlerin istatistiksel değerlendirmesi Çizelge 9 ile verilmiştir.



Şekil 4. Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı.
Figure 4. The slake durability attributed of Kandira stone.

Tablo 9. Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyinde tamamen aşınması için gerekli çevrim sayılarının istatistiksel değerlendirmesi.

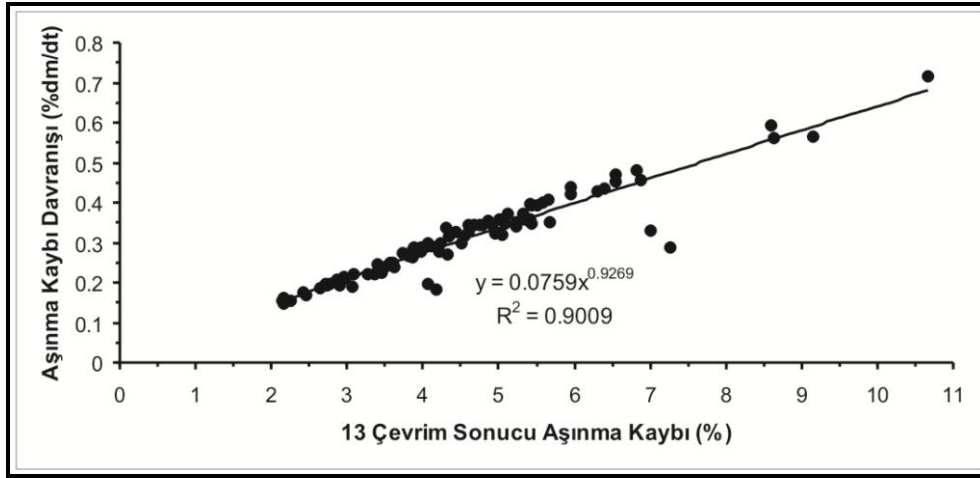
Table 9. The statistical evaluation of slake durability test cycle number of Kandıra stone for completely eroded.

| Medyan | Geometrik Ortalama | Aritmetik Ortalama | Standart Sapma |
|--------|--------------------|--------------------|----------------|
| 334 | 337.4428 | 356.1932 | 119.4533 |

Kandıra taşının suda aşınmaya karşı duraylılık davranışı Çizelge 9 ile verilen istatistiksel değerlendirmeye göre hesaplanmıştır. Hesaplamalar yapılırken kayacın Şekil 4 ile verilen bünye denklemi ve Şekil 5 ile verilen ve 13. çevrim sonundaki aşınma kayıpları ile kayacın suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı (Şekil 3 ile çizilmiş olan grafiksel ilişkide doğrusal eğilim denklemlerinin eğimleri) birlikte değerlendirilmiştir. Kandıra taşının 13 çevrim sonrası suda aşınmaya karşı duraylılık indeks değerlerinden hareketle hesaplanmış aşınma kaybı değerleri ile aşınma kaybı davranışı arasında Şekil 5 ile belirlenen grafiksel ilişki, Kandıra taşının aşınma kaybı davranışı (KTAKD) nın da suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı gibi üstel bir denklemle $r = 0.9492$ korelasyon katsayısı ile hesaplanabileceğini göstermiştir. Kandıra taşının aşınma kaybı davranışı (KTAKD);

$$KTAKD = 0.0759(\text{Suda dağılmaya karşı duraylılık deneyi 13. çevrim aşınma kaybı})^{0.9269} \quad (8)$$

şeklinde verilen (8) nolu eşitlik ile ifade edilebilir. Kayacın suda dağılmaya karşı duraylılık davranışının bünye denklemi olan, Şekil 4 ile belirlenip (7) nolu eşitlikle verilen matematiksel ilişki ile kayacın suda dağılmaya karşı davranış eğilimi hesaplanmıştır. (7) nolu eşitlik ile bulunan değer, Şekil 5 ile belirlenen ve (8) nolu eşitlik ile verilen matematiksel bağıntıda kullanılarak hesaplanması istenilen çevrim sayısı için Kandıra taşının aşınma kaybı değeri belirlenmiştir. Kayacın aşınma kaybı değerinden hareketle de suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değeri hesaplanmıştır.



Şekil 5. Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık deneyinde 13 çevrim sonunda aşınma kaybı davranışı.

Figure 5. The eroded attributed of Kandıra stone by slake durability test in 13th cycle.

Çizelge 9 ile verilen sayısal değerlerin Kandıra taşının genel karakteristik değerleri olacağı kabullenmesi ile yapılmış olan hesaplamalara ait sonuçlar Çizelge 10 ile verilmiştir.

Tablo 10. Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık ve aşınma değerleri.

Table 10. The slake durability and erosion values of Kandıra stone.

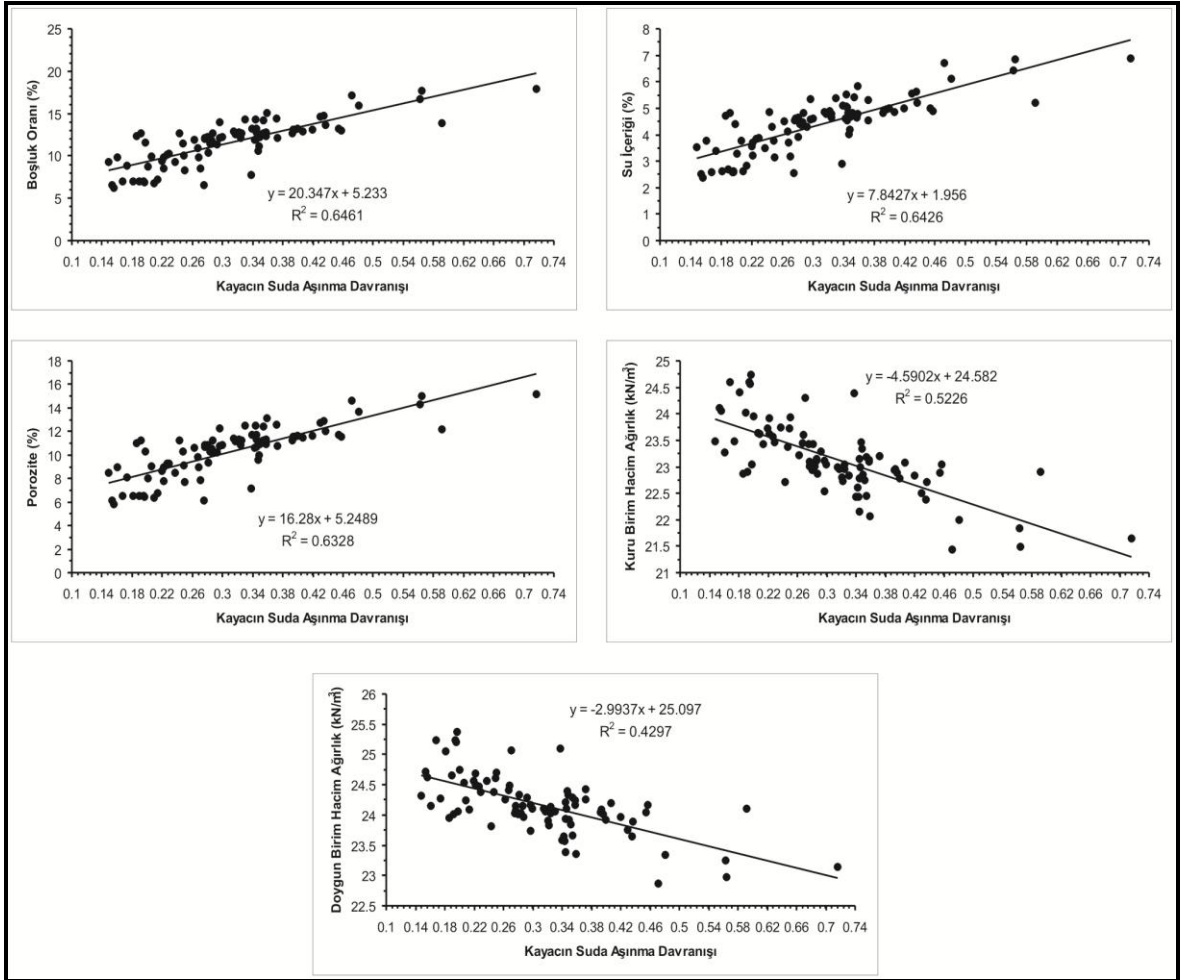
| Değer | Aşınma Kaybı Davranışı | Aşınma Kaybı (A _d , %) | Suda Dağılma Duraylılık İndeks Değerleri (I _d , %) |
|------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|---|
| Medyan (334) | 0.297974 | 4.372972 | 95.62703 |
| Geometrik Ortalama (337.4428) | 0.294945 | 4.325044 | 95.67496 |
| Aritmetik Ortalama (356.1932) | 0.279478 | 4.08086 | 95.91914 |
| Medyan + Standart Sapma (453.4533) | 0.21974 | 3.148307 | 96.85169 |
| Geo. Ort. + Std. Sapma (456.8961) | 0.218091 | 3.12282 | 96.87718 |
| Art. Ort. + Std. Sapma (475.6465) | 0.209526 | 2.990723 | 97.00928 |
| Medyan - Standart Sapma (214.5467) | 0.463077 | 7.036431 | 92.96357 |
| Geo. Ort. - Std. Sapma (217.9895) | 0.455791 | 6.917076 | 93.08292 |
| Art. Ort. - Std. Sapma (236.7398) | 0.419827 | 6.33011 | 93.66989 |

Çizelge 10 Kandıra taşının genel suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değerlerinin (I_d) %97.01 – %92.96 ve aşınma kaybı değerlerinin (A_d) de %2.99 – %7.04 arasında değişim sunduğunu göstermektedir. Suda dağılmaya karşı duraylılık deneyine 6 grup şeklinde tabi tutulan Kandıra

taşının 1. çevrim sonucu suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değerlerinin ortalama değeri %99.21 ve 2. çevrim sonucu suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değerlerinin ortalama değeri %98.79 dur. Eğer kayaç literatürde kabul görmüş şekli ile değerlendirilecek olursa kayacın aşınma kaybı değerleri %0.79 veya %1.21 olarak kabul edilecektir. Oysa çalışma, Kandıra taşının aşınma kaybı değerinin bu değerden 2.47 ile 8.91 kat daha fazla olacağını göstermektedir. Burada unutulmaması gereken bir husus ise taşın aşınma kaybı değerinin %10.67 değerine kadar çıkabileceğidir (Çizelge 8).

Kandıra Taşının Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık – Fiziksel Özellikleri İlişkisi

Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı ile fiziksel özellikleri arasında korelasyon katsayısı değerleri (r) 0.8038 – 0.6555 arasında değişen doğrusal bağıntılar vardır. Belirlenen ilişkiler Şekil 6 ve Çizelge 11 ile verilmiştir.



Şekil 6. Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık (aşınma) davranışıyla fiziksel özellikleri arasındaki ilişki.

Figure 6. The relationship between the slake durability (erosion) and physical properties of Kandıra stone.

Tablo 11. Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık (aşınma) davranışıyla fiziksel özellikleri arasındaki matematiksel ilişkiler.

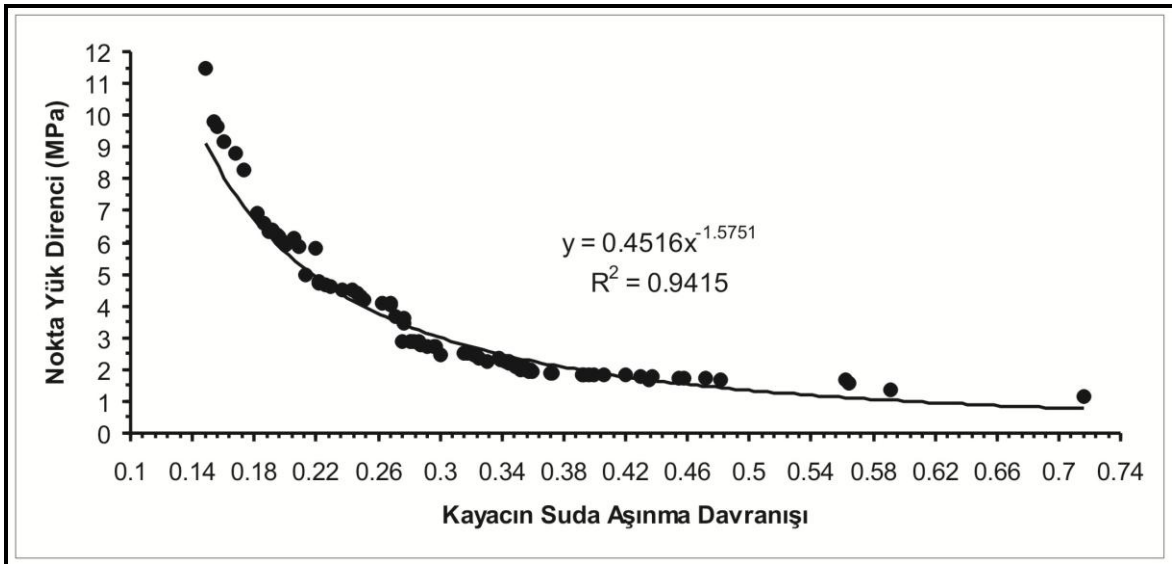
Table 11. The relationship between the slake durability (erosion) and physical properties of Kandıra stone.

| Araştırılan İlişki | Matematiksel İlişki | Korelasyon Değeri | Geçerlilik Ölçütleri |
|---|---------------------------------------|-------------------|--|
| Suda Aşınma Davranışı (SAD) – Boşluk Oranı (e) | $e = 20.347SAD + 5.233$ (9) | 0.8038 | $e \leq \% 25.58$ |
| Suda Aşınma Davranışı (SAD) – Su İçeriği (w) | $w = 7.8427SAD + 1.956$ (10) | 0.8016 | $w \leq \% 9.7987$ |
| Suda Aşınma Davranışı (SAD) – Porozite (n) | $n = 16.28SAD + 5.2489$ (11) | 0.7955 | $n \leq \% 21.5289$ |
| Suda Aşınma Davranışı (SAD) – Kuru Birim Hacim Ağırlık (γ_k) | $\gamma_k = -4.5902SAD + 24.582$ (12) | 0.7229 | $\gamma_k \leq 19.9918 \text{ kN/m}^3$ |
| Suda Aşınma Davranışı (SAD) – Doygun Birim Hacim Ağırlık (γ_d) | $\gamma_d = -2.9937SAD + 25.097$ (13) | 0.6555 | $\gamma_d \leq 22.1033 \text{ kN/m}^3$ |

Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı sırasıyla kayacın boşluk oranı, su içeriği, porozitesi, kuru birim hacim ağırlığı ve doymun birim hacim ağırlığı tarafından etkilenmektedir. Kandıra taşının suda aşınma davranışı ile fiziksel özellikleri arasındaki matematiksel ilişkiler Çizelge 11 de (9), (10), (11), (12) ve (13) nolu eşitlikler ile ifade edilmiştir.

Kandıra Taşının Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık – Mekanik Özelliği İlişkisi

Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı ile nokta yük dayanımı ($I_{s(50)}$) ile belirlenmiş olan mekanik özelliği arasında korelasyon katsayısı $r = 0.9703$ olan üstel bir ilişki vardır. Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılığı ile mekanik özelliği arasındaki ilişki Şekil 7 ile verilmiştir.



Şekil 7. Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık (aşınma) davranışıyla mekanik özelliği arasındaki ilişki.

Figure 7. The relationship between the slake durability (erosion) and mechanical property of Kandıra stone.

Şekil 7 ile verilen ilişkide X ekseninde Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı eğilimi olup 88 adet kayaç örneğinin Şekil 3 ile çizilmiş olan grafiksel ilişkideki gibi doğrusal eğilim denklemlerinin eğim değerleridir. Y ekseninde ise Kandıra taşının nokta yük dayanım değerleri ($I_{s(50)}$) ile belirlenmiş mekanik özelliğine ait değerlerdir. Şekil 7 ile gösterildiği gibi Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı ile mekanik özelliği arasında anlamlı bir ilişki söz konusudur. Bu ilişki aynı zamanda Kandıra taşına ait sağlam kayaç kesimlerin su etkisi ile aşınmaya karşı dayanımının yüksek olduğuna, zayıf kayaç kesimlerinin ise su etkisi ile aşınmaya karşı dayanımının düşük olduğuna ait grafiksel bir göstergedir. Bu ilişkinin ortaya konulması Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı eğilimine ait sayısal veriler ile araştırıldığı için Kandıra taşının mekanik değerleri için nokta yük dayanım değerleri verilerinin kullanılması aşırıdır. Diğer bir ifade ile Kandıra taşının tek eksenli basınç dayanımı değerleri ile benzer ilişkinin araştırılması, suda aşınmaya karşı duraylılık indeksi deneyi kapsamında anlamlıdır.

Kandıra taşının nokta yük dayanımı (KTNYD) ile suda dağılmaya karşı duraylılık (aşınma) davranışı arasında $r = 0.9703$ korelasyon ile aşağıda verilen üstel denklem ilişkisi geçerlidir.

$$KTNYD = 0.4516(\text{Suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı})^{-1.5751} \quad (14)$$

Kandıra Taşının Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık – Kayaç Değişim – Dayanım İlişkisi

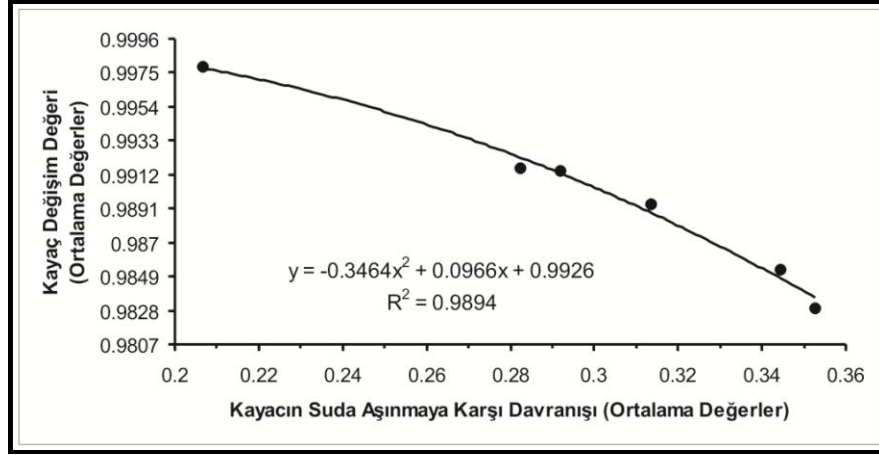
Kandıra taşının kayaç değişim ve kayaç değişim oranı değerleri suda dağılmaya karşı duraylılık özelliği araştırılan 88 adet örneğin oluşturduğu 6 adet deney grubunun her birine ait suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinin 13 çevrimi sonucunda tambur haznesinde birikmiş olan ayrılmış kayaç parçacıkları kullanılarak hesaplanmıştır. Kayaç değişim ve kayaç değişim oranı değerleri ile Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık ilişkisi ve nokta yük dayanımı ($I_{s(50)}$) ile olan ilişkisi 6 adet deney grubuna ait bahsedilen özelliklerin ortalama değerleri ile araştırılmıştır. Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı, kayaç değişim ve kayaç değişim oranı değerleri, nokta yük dayanımı değerlerine ait 6 grubun her birine ait ortalama değerler Çizelge 12 ile verilmiştir.

Tablo 12. Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı, kayaç değişim ve kayaç değişim oranı değerleri, nokta yük dayanımı değerlerine ait ortalama değerler.

Table 12. The average values of slake durability, rock change and rock change ratio, and point load of Kandıra stone.

| Deney Grubu | Suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı | Kayaç Değişim Değeri | Kayaç Değişim Oranı (%) | Nokta Yük Dayanımı, $I_{s(50)}$ MPa |
|-------------|---|----------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 0.206615 | 0.99787 | 0.003065 | 5.592 |
| 2 | 0.344329 | 0.98534 | 1.487307 | 2.216 |
| 3 | 0.352813 | 0.98292 | 1.737406 | 2.243 |
| 4 | 0.292058 | 0.99141 | 0.865978 | 3.108 |
| 5 | 0.313562 | 0.98935 | 1.076975 | 2.864 |
| 6 | 0.282405 | 0.99158 | 0.848779 | 3.584 |

Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık (aşınma) davranışı ile kayaç değişim değerleri arasındaki ilişki Şekil 8 ile verilmiştir.



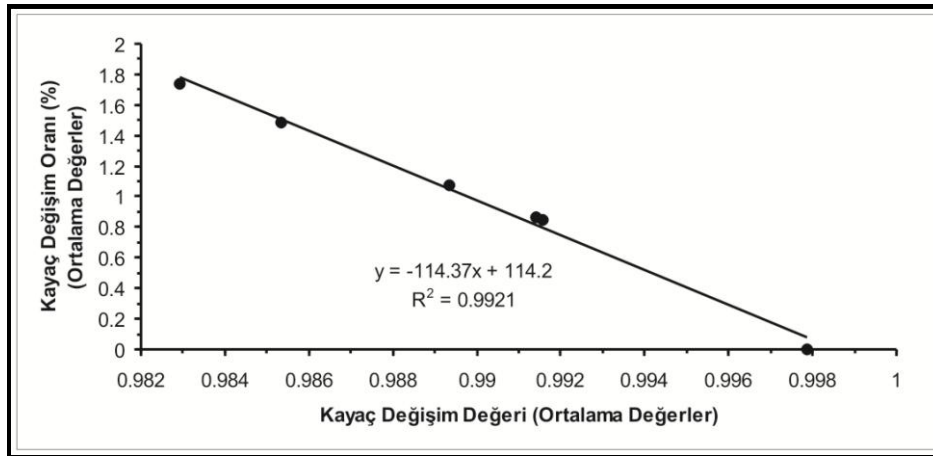
Şekil 8. Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık (aşınma) davranışı ile kayaç değişim değerleri arasındaki ilişki.

Figure 8. The relationship between slake durability (erosion) and rock change value of Kandıra stone.

Şekil 8 ile verilen grafiksel ilişki Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık (aşınma) davranışı (KTSD) ile kayaç değişim değerleri (KDD) arasında $r = 0.9947$ korelasyon katsayısı ile polinom denklemle ifade edilen bir ilişkinin varlığını göstermektedir. Bu ilişki aşağıda eşitlik (15) ile verilmiştir.

$$KDD = -0.3464KTSD^2 + 0.0966KTSD + 0.9926 \quad (15)$$

Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılığının tamamen yok olması diğer bir deyişle suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinin 1. çevriminde kayacın tamamen dağılması için, Kandıra taşının eşitlik (15) ile tanımlanmış olan suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı ile kayaç değişim değerleri arasındaki matematiksel ilişkinin $KTSD = 1$ için çözülmesi gerekir. Bu durumda $KDD = 0.7428$ değerinde Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık davranışının tamamen farklı olacağı ve deneyin 1. çevrimi sonunda kayaç örneğin tamamen aşınacağı (dağılacağı) anlaşılmaktadır. Kandıra taşının kayaç değişim değerleri ile kayaç değişim oranı değerleri arasındaki ilişki Şekil 9 ile verilmiştir.



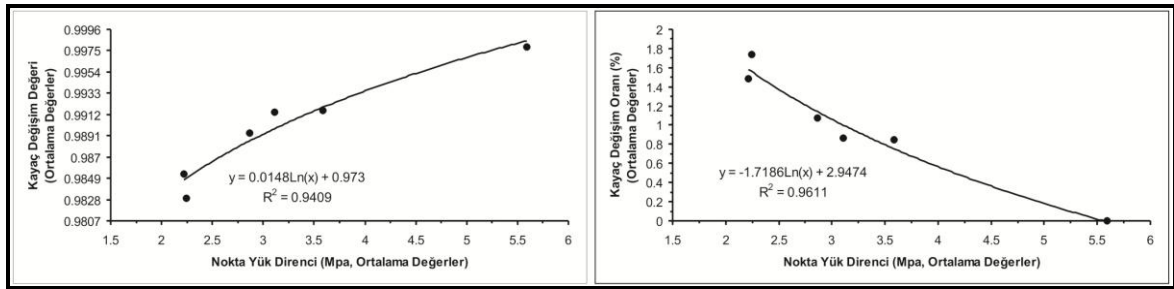
Şekil 9. Kandıra taşının kayaç değişim ve kayaç değişim oranı değerleri arasındaki ilişki.

Figure 9. The relationship between rock change and rock change ratio values of Kandıra stone.

Kandıra taşının kayaç değişim (KTKDD) ve kayaç değişim oranı (KTKDO) değerleri arasında $r = 0.9960$ korelasyon katsayısı ile doğrusal bir ilişki vardır. Bu ilişki aşağıda eşitlik (16) ile verilmiştir.

$$\text{KTKDO} = -114.37\text{KTKDD} + 114.2 \quad (16)$$

Kandıra taşı kayaç değişim değerinin (KTKDD) 0.7428 değerine ulaşması durumunda kayacın suda dağılmaya karşı duraylılık özelliği kalmayacak ve kayaç suda dağılmaya karşı duraylılık deneyinin birinci çevriminde tamamen dağılacaktır. Kayacın bu duruma gelmesi için bu çalışmaya tabi tutulan kayaç örneklerin mevcut durumunun fiziksel, mineralojik, mekanik ve kimyası arasındaki ilişkiyel dengeye ait değişim oranının %29.246 olması yeterlidir. Bu değer eşitlik (16) ile elde edilmiştir. Kandıra taşının fiziksel, mineralojik, mekanik ve kimyası arasındaki ilişkiyel dengeye ait değişim oranının %100 olması gerekir. Bu durumda KDD, 0.1242 olacaktır. Kayacın fiziksel, mineralojik, mekanik ve kimyası arasındaki ilişkiyel dengeye ait değişim oranının %50 değişmesi, KDD = 0.5613 değerinde gerçekleşecektir. Kandıra taşının kayaç değişim ve kayaç değişim oranı değerlerinin nokta yük değerleri ile ilişkisi Şekil 10 ile verilmiştir.



Şekil 10. Kandıra taşının kayaç değişim ve kayaç değişim oranı değerleri ile nokta yük değerleri ilişkisi (ortalama değerler).

Figure 10. The relationship between rock change, rock change ratio values and point load values (mean values).

Kandıra taşının kayaç değişim değerleri (KTKDD) ile nokta yük değerleri arasında $r = 0.97$ korelasyon ile aşağıda eşitlik (17) ile verilen logaritmik denklem ilişkisi geçerlidir.

$$\text{KTKDD} = 0.0148\ln(\text{Nokta yük dayanımı}) + 0.973 \quad (17)$$

Kandıra taşının kayaç değişim oranı (KTKDO) değerleri ile nokta yük değerleri arasında $r = 0.9804$ korelasyon ile aşağıda eşitlik (18) ile verilen üstel denklem ilişkisi geçerlidir.

$$\text{KTKDO} = -1.7186\ln(\text{Nokta yük dayanımı}) + 2.9474 \quad (18)$$

Eşitlik (17) ile Kandıra taşının pratik anlamda yük taşıyamayacağı durumdaki kayaç değişim değeri nokta yük değerinin 0.001 MPa alınması ile 0.8708 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda kayacın fiziksel, mineralojik, mekanik ve kimyası arasındaki ilişkiyel dengeye ait değişim oranının eşitlik (18) ile %14.82 olarak hesaplanacaktır.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Kayaçların suda dağılmaya karşı duraylılık davranışı ile fizikomekanik özellikler ve kayaç değişiminin etkileşiminin araştırıldığı bu çalışmada Kandıra taşının suda dağılmaya karşı duraylılık davranışının 13 çevrim deney ile belirlenmesi gerektiği anlaşılmıştır. Standart olarak 2 çevrim sonrası elde edilen sayısal değerler kayacın suda dağılmaya karşı ortalama duraylılık davranışından 2.47 ile 8.91 kat büyük olmaktadır. Bu çalışma ile kayaçların suda dağılmaya karşı duraylılık davranışının fiziksel ve mekanik özellikleri ile ilişkisi de araştırılmış ve Kandıra taşının fiziksel özellikleri ile ilişkili olan suda aşınma değerlerinin belirlendiği eşitlikler 0.66 – 0.80 korelasyon doğruluğu ile önerilmiştir (Çizelge 11). Benzer şekilde kayacın aşınma davranışı ile nokta yük dayanımı arasında ise 0.97 korelasyon doğruluğu ile üstel bir ilişki önerilmiştir. Böylece ilgili eşitlikler ile yapılacak hesaplamalar ile Kandıra taşının sadece fiziksel özellik değerlerinden hareketle kayacın aşınma davranışı, buradan hareketle nokta yük dayanımı, aşınma değeri ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeks değeri kolaylıkla güvenilir şekilde hesaplanabilecektir. Çalışmada Kandıra taşının kayaç değişim değeri ve kayaç değişim oranı da araştırılmıştır. Sonuçta Kandıra taşının 0.98292 – 0.99997 arasında değişen ve ortalaması 0.99008 olan kayaç değişim değeri ile taze olduğu ve ilk kez atmosfer etkisine maruz kaldığı zaman diliminden günümüze çeşitli etmenlerce çok az etkilenmiş olduğu belirlenmiştir. Kandıra taşının kayaç değişim oranı değerleri %0.00306 – %1.73741 arasındadır ve bu değerlerin ortalaması da %0.42940 dır. Bu değerler (KDD ve KDO) Kandıra taşının fiziksel, mineralojik, mekanik ve kimyası arasındaki ilişki dengenin sağlamlığının da bir göstergesidir.

KAYNAKLAR

ALTINLI, İ.E., 1968. İzmit-Hereke-Kurucadağ alanının jeoloji incelemesi, MTA Dergisi, Sayı 71, s. 1-26, Ankara.

ANON., 1979. Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. Part I – rock and soil materials. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol. 19, 364–371.

ASTM., 1990. Standard test method for slake durability of shales and similar weak rocks (D4644). Annual book of ASTM Standards. 4.08, 863-865.

BELL, F.G., ENTWISLE, D.C., CULSHAW, M.G., 1997. A geotechnical-towards establishing relationships between the mineralogical survey of some British Coal Measures mudstones, with and physical properties of coal measures rocks. Int. J. Rock particular emphasis on durability. Eng. Geol. 46, 115–129.

BIENIAWSKI, Z.T., 1975. The point load test in geotechnical practice. Engineering Geology, 9, 1-11.

BOZKURTOĞLU, E., 2003. Çanakkale-Tuzla yöresi volkanik kayaçlarında süreksizliklerin ayrışma-alterasyon olaylarına etkisinin araştırılması. PhD Thesis. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.

BOZKURTOĞLU, E., VARDAR, M., and SUNER, F., 2005. Kayaçlarda ayrışma ve alterasyon değişimine sayısal bir yaklaşım. İTÜ dergisi/d Mühendislik, 4-2, 53-66.

BOZKURTOĞLU, E., VARDAR, M., SUNER, F., and ZAMBAK, C., 2006. A new numerical approach to weathering and alteration in rock using a pilot area in the Tuzla geothermal area, Turkey. Eng. Geol. 87, 33-47.

CHANDRA, R., 1970. Slake durability test for rocks. Unpublished M.S. thesis, Department of Mining, Imperial Collage, England.

DHAKAL, G., YONEDA, T., KATO, M., and KANEDO, K., 2001. Slake durability and mineralogical properties of some pyroclastic and sedimentary rocks. *Engineering Geology*, 65, 31-45.

GAMBLE, J.C., 1971. Durability-Plasticity Classification of Shales other Argillaceous Rocks, Ph. D. Thesis, University of İllinois, USA.

GÖRMÜŞ, S., 1982. Yığılca (Bolu NW) Yöresinin Stratigrafisi, H.Ü. Yerbilimleri Fak. Yayınları, Yayın No: 9, 91-110, Ankara.

FRANKLIN, J.A., and BROCH, E., 1972. The point load strength test. *International Journal of rock mechanics and mining science* . 9, 669-97.

FRANKLIN, J.A., and CHANDRA, A. 1972. The slake durability test. *International Journal of rock mechanics and mining science* . 9, 325-41.

ISRM., 1979. Commission on Standardization of Laboratory and Field tests, suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake durability index properties. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 16, 141-156.

ISRM., 1981. in : BROWN, E.T. (ed), 1981. *Rock Characterization testing and monitoring. ISRM Suggested Methods.* Pergamon, Oxford.

ISRM., 1985. Suggested method for determining point load strength. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, 22-2, 51-60

LEE, S, G., FREITAS, M. H., 1988. Quantitative definition of highly weathered granite using the slake durability test. *Technical note, Geotechnique* 38-4, 635–640.

LUTTON, R. J., 1977. Slaking indexes for design. Design and construction of compacted shale embankments, 3; Report No: FHWA – RD – 77 – 1, US Army Eng. Waterw. Exp. Sta., Vicksburg, Miss.

MOOS, A.V., DE QUERVAIN, F., 1948. *Technische Gesteinkunde.* Verlag Birkhauser, Basel.

MORGENSTERN, N.R AND EIGENBROD, K.D. 1974. Classification of argillaceous shales and rocks. *Proceedings American Society Civil Engineers, Journal of Geotechnical Engineering Division*, 100, 1137-56

TAYLOR, R.K., 1988. Coal Measures Mudrocks: composition classification and weathering processes. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 21, 85-100.,

TS 699., 1987. Tabii Yapı Taşları – Muayene ve Deneysel Metotları, ICS 91.100.01;91.100.15. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

ULUSAY, R., ARIKAN, F., YOLERİ, M.F., and ÇAĞLAYAN, D., 1995. Engineering geological characterization of coal mine waste material and an evaluation in the context of back-analysis of spoil pile instabilities in a strip mine, SW Turkey. *Engineering Geology*, 40, 77-1001.

ÜNAL, E., 1996. Modified rock mass classification: M-RMR System. Milestones in Rock Engineering, The Bieniawski Jubilee Collection. A.A. Balkema, Rotterdam.

WOOD, L.E., DEO, P. 1975. A suggested system for classifying shale materials for embankments. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol. 12: 39-55

ZHAO, J., BROMS, B. B., ZHOU, Y., and CHOA, V., 1994. A study of the weathering of the Bukit Timah Granite, Part A: Review, Field Observations and Geophysical Survey, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 49.