

## ÇATALCA (İSTANBUL) CİVARINDAKİ TARİHİ KÜFEKİ TAŞININ OLUŞUMUNDA FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİN ETKİLERİ

**Mustafa KUMRAL<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0001-7827-8721)**  
**Gökhan ŞANS<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0001-9105-0641)**  
**Cihan YALÇIN<sup>2</sup> (ORCID: 0000-0002-0510-2992)\***  
**Mustafa KAYA<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0003-0694-9754)**  
**Murat BUDAKOĞLU<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0003-1533-2457)**

<sup>1</sup>*Istanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye*

<sup>2</sup>*Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Burdur İl Müdürlüğü, Burdur, Türkiye*

**Geliş / Received:** 25.04.2018

**Kabul / Accepted:** 24.05.2018

### ÖZ

Osmanlı Devleti'nden bu yana "Küfeki Taşı" olarak bilinen ve CaCO<sub>3</sub> bileşimli fosilli kireçtaşı, ocaktan ilk çıkarıldığında ve sonrasındaki depolama sürecinde yumuşak, kolay şekil verilebilir niteliktedir. Küfeki Taşı zamanla, malzeme ve mukavemet özellikleri açısından, dayanım artışı ve uzun süreli kullanım faydaları sağlamaktadır. Kompense dokusu, porozitesi, hava ile teması, zamanla permeabilitesinin düşmesi taşın rutubet almayan bir özelliğe kavuşmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada İstanbul'un batı yakasında Bakırköy formasyonu içerisinde yer alan fosilli kireçtaşlarının gününün etkisi ile dayanımının uzun süreli kullanım konforu niteliklerine ulaştığı belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Küfeki Taşı, Bakırköy formasyonu, malzeme ve mukavemet, günlenme

## THE EFFECTS OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES ON THE FORMATION OF HISTORICAL KUFEKI STONE IN CATALCA (ISTANBUL)

### ABSTRACT

The fossiliferous limestone, which is known as the "Küfeki Stone" since the Ottoman Empire and is composed of CaCO<sub>3</sub>, is soft and easy to shape during the first extraction and subsequent storage of the quarry. In time, the Küfeki Stone provides strength enhancement and long-time use in terms of material and strength properties. Compensated texture, porosity, weathering, and decreasing permeability over time cause the stone to attain a non-damping property. In this study, it was determined that fossiliferous limestones which located in the Bakırköy formation on the western part of Istanbul have long-term comfort properties due to the effect of weathering.

**Keywords:** Küfeki Stone, Bakırköy formation, materials and strength, weathering

\*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: 0 535 773 05 73; e-mail / e-posta: cihanyalcinjeo@gmail.com

## ÇATALCA (İSTANBUL) CİVARINDAKİ TARİHİ KÜFEKİ TAŞININ OLUŞUMUNDA FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİN ETKİLERİ

### 1. GİRİŞ

Küfeki Taşı, kayıtlara göre 2000-2500 yıl gibi uzun bir zaman aralığındaki eserlerde dayanıklı bir şekilde kalan tek taş türüdür (Şekil 1). Yüzyıllardan beri İstanbul ve Trakya'nın yapı taşı gereksinimini karşılayan; "lümaşelli kalker", "maktrali kalker" ya da "Bakırköy taşı" adlarıyla da bilinir. Deniz kabuklarının ve yoğun olarak da istiridye kabuklarının yer aldığı bir kalker çeşididir.

Kimyasal bileşimindeki karbonat oranı yüksek olduğu için, asitle reaksiyonunda hızlı bir köpürme izlenir. Bol kavkı fosilli, poroz, kalsit özellikli bir dokusu vardır. Açık bej ve beyaz, ince taneli kumlu kompakt bir kayadır. Ocaktan çıktığında her türlü işleme uygun olması ve kolay işlenmesi; hava ile temastan sonra ise bünyesine karbondioksit alarak ikincil bir hidrasyonla sertliğinin artması, dayanıklılık ve güç kazanması öne çıkan özellikleridir. Özellikle Osmanlı dönemine ait el işlemlerine uygun ve tarihi eser restorasyonunda en çok kullanılan taş çeşididir.

Ocaktan çıktıktan sonra atmosferdeki karbondioksit gazı ile tepkimesi sonucunda sertleşir. Bu yaklaşımın bulguları ile ilgili deneysel bir çalışmayı Arıoğlu ve Arıoğlu (1993) [1] gerçekleştirmiştir. Yıllar geçtikçe mukavemeti daha da artar. Küfeki taşının çekme, basınç, kesme mukavemetleri zaman etkisi ile artarken porozitesi azalır su, gaz emisyonları ve harici tesirlere karşı dayanımı artmaktadır.

Küfeki Taşı yapı malzemesi olarak Bizans ve Osmanlı dönemlerinde çok sayıda önemli mimari eserde temel yapı taşı olarak kullanılmıştır (Surlar, Su Kemerleri, Topkapı Sarayı, Süleymaniye). Mimar Sinan'ın eserlerinde kullandığı Küfeki Taşı'nın kullanım yerleri ve incelikleri, bugüne kadar sağlam bir şekilde ayakta kalan eserlerinde görülmektedir.



Şekil 1. Antik ocakların çalışma alanındaki görünümü

Küfeki Taşı, İstanbul'un Trakya yakasında Davutpaşa ile Küçükçekmece arasında Üst Miyosen yaşlı Bakırköy formasyonuna ait birimlerden çıkarılmaktadır. Bulunduğu önemli ocaklar Bakırköy, Zeytinburnu, Sefaköy (Yeşilköy, Şirinevler, Merter, Haznedar çiftliği) ve Küçükçekmece'de yer almaktadır (Şekil 2). Bu ocaklar yataya yakın tabaka konumları ile vadi yamaçlarında mostra veren lokasyonlarda işletilmiştir.

### 2. MATERYAL VE METOT

Kaplama taşı olarak kullanılacak doğal yapı gereçlerinin literatürde kullanım standartlarına göre barındırmaları gereken fiziko-mekanik ve malzeme özelliklerinin sınır değerlerini tanımlayan TS 1910 [2], TS 2513 [3], mermer ve kalsiyum karbonat bileşimli kayaların sahip olmaları gereken sınır değerlerini tanımlayan, Türk Standartları'nda istenilen değerler TS 11137 [4] ve ASTM (C97, C170, C99, C241) [5-8] standartlarına göre

M. KUMRAL, G. ŞANS, C.YALÇIN, M. KAYA, M. BUDAKOĞLU

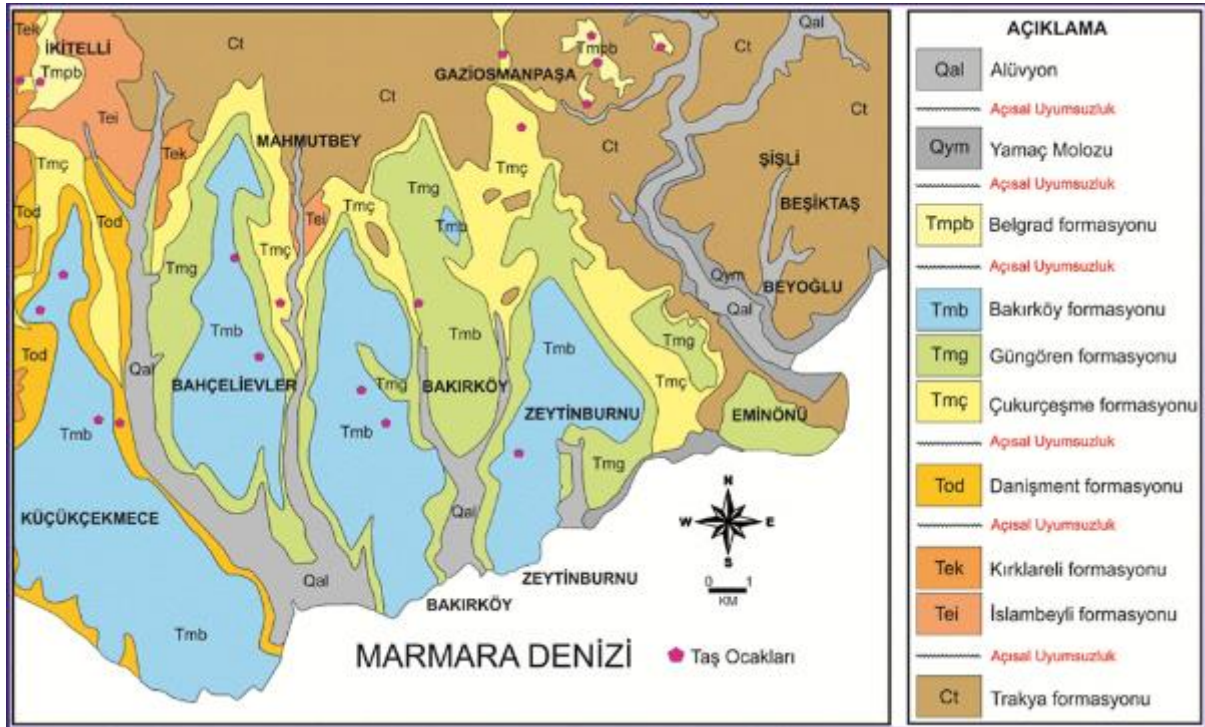
değerlendirmeler yapılmıştır. Kireçtaşı örneğine ait numunelerin, yapı taşı niteliğinde kullanımına yönelik sertlik, fiziksel (indeks), mekanik ve malzeme özelliklerine ait ayrı değerlendirmeler yapılmıştır.

Küfeki Taşı gibi zamana bağlı davranışı olumlu yönde mukavemet alan bu yapı malzemesinin, günlenme niteliği değerlendirilmiştir. Bu kapsamda 30 günlük bekleme süresinin Küfeki Taşının malzeme ve dayanım özellikleri üzerindeki etkileri daha önceki çalışmalardan elde edilerek, bu çalışmadan elde edilen verilerle farkları kıyaslanmış ve yorumlanmıştır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Stratigrafi

Çalışmaya konu örneklerin çıkartıldığı açık işletme ve civarının stratigrafik istifi Palezozyik-Tersiyer yaşlı kayaç gruplarıdır (Şekil 2). Bölgenin temeli sedimanter kayaçlardan oluşan Alt Karbonifer yaşlı Trakya formasyonudur [9-12]. Bu temel üzerine açısız uyumsuzlukla Orta-Üst Eosen yaşlı İslambeyli formasyonu [13] ile Kırklareli formasyonu [13-14] gelir. Genel olarak bol fosilli kumlu kireçtaşlarından oluşan bu birimlerde yer yer marn, kiltası ve volkanit kırıntılarında oluşan seviyeler de görülür. Eosen yaşlı birim üzerine ise ilk kez Boer [15] tarafından adlandırılan kiltası, killi kireçtaşı, siltası, fosilli kumtaşı, marn ve kumlu kil seviyelerinden oluşan Erken Oligosen yaşlı [16] Danişment formasyonu açısız uyumsuzlukla gelir. Miyosen dönemine ait Çukurçeşme [17], Güngören [17-18] ve Bakırköy [18] formasyonları ise Danişment formasyonunu açısız uyumsuzlukla örter. Miyosen dönemine ait bu istif tabandan tavana doğru killi kumtaşı, çakıltası, kiltası, marn ve maktralı kireçtaşlarıdır. Bol fosil içeren bu birimler üzerine ise çakıl ve kumtaşları ile temsil edilen Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Belgrad formasyonu açısız uyumsuzlukla gelir [19-20]. Geniş alanlarda ise bu birimleri Kuvaterner yaşlı yamaç molozu ve alüvyonlar açısız uyumsuzlukla örter.



Şekil 2. İnceleme alanının 1/100.000 ölçekli Jeoloji Haritası (MTA, 2002'den yeniden düzenleyerek alınmıştır [21-22])

#### 3.2. Bakırköy Formasyonunun Jeolojik Özellikleri

Bakırköy formasyonu inceleme alanında Küçükçekmece, Bakırköy, Bahçelievler ve Zeytinburnu civarında geniş alanlarda mostra vermektedir (Şekil 2). Birim, kirlili beyaz renkli kiltası seviyeli Maktra'lı kireçtaşları ile



### ÇATALCA (İSTANBUL) CİVARINDAKİ TARİHİ KÜFEKİ TAŞININ OLUŞUMUNDA FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİN ETKİLERİ

marnlardan oluşmaktadır [18]. Kireçtaşları, kil ve kum seviyeleri içermekte ve alt seviyelere doğru karbonat oranı azalmaktadır [23].

Güncel sondajlarda Bakırköy formasyonunu oluşturan marn ve kireçtaşlarının kalınlığının yer yer 50 m kalınlığa ulaştığı belirtilmiştir [24]. Nazik [25] tarafından yapılan çalışmada fosil kayıtlarına göre Bakırköy formasyonu Ponsiyen olarak ifade edilmiştir.

Bakırköy formasyonunu oluşturan litolojilerden marnlar “Çok Zayıf Kaya”, kireçtaşları “Zayıf ya da Orta Sağlam Kaya” ve boşluksuz ve kil içermeyen bazı birimler ise “Sağlam Kaya” olarak tanımlanmıştır [26].

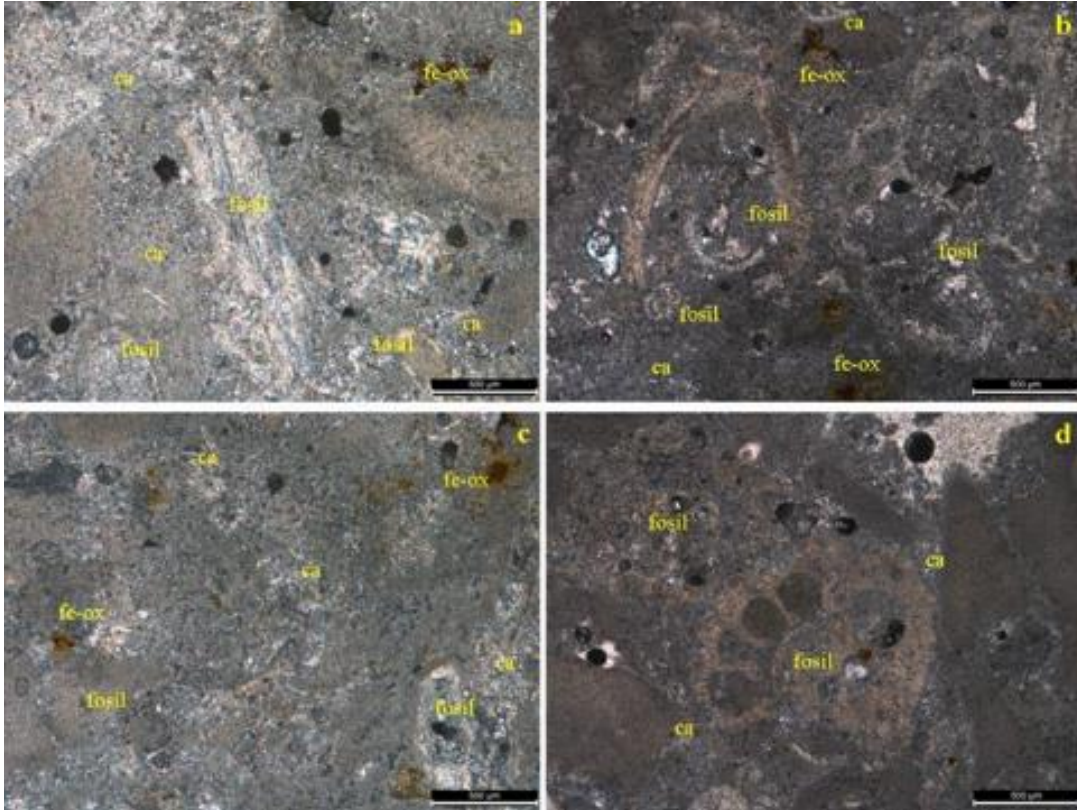
### 3.3. Mineraloji ve Petrografi

İnceleme alanından derlenen kireçtaşları bej-grimsi renkli, ince-orta taneli, ayrışma gözlenmeyen, çatlaklı ve boşluklu resif önü fasiyesinde gelişmiş kırıntılı kireçtaşlarıdır. Kireçtaşlarında sertlik 3-3.5 Mohs olup, orta sertlikte kayaç grubuna girmektedir. İnce kesit tayinine göre, yer yer gözlenen killeşmeler erime boşluklarının kontaklarında ve bazen de fosil kavkılarının ayrışmaya yatkın kesimlerinde gelişmiş kırmızımsı kahve ve koyu gri renkli olarak bulunmaktadır.

Nummulites, mollusk, bryozoer, mercan, ekinid plağı parçaları, Actinocyclus sp., Discocyclus (grup sella), Asterigerina sp., çeşitli bentik foraminifer parçaları ve algler görülmektedir. Şekilleri oval, yuvarlak, iğnemsî, yıldız şeklinde sparikalsit çimento içinde dağılmış biçimdedir. Boyutları ise 0.5-3 mm arasında değişmektedir.

Mikroskop incelemelerine göre ise kayaçların eş taneli mikritik dokulu olduğu, büyük oranda mikritik kalsit, kavkı, çok az rekristalize ikincil kalsit, nadiren kuvars ve demir oksit ve opak minerallerden oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 3) (Tablo 1). Birincil kalsit % 75, Kavkı, silikat mineralleri, demir oksitler ve boşluk %20 ve ikincil kalsit ise % 5 oranındadır.

Bu verilere göre Folk [27]' a göre kayaç biyomikrit ve seyrek biomikrit, Dunham [28]' a göre ise vaketaşı olarak tanımlanmıştır.



**Şekil 3.** Küfeki taşının polarizan mikroskop görüntüleri, ca: kalsit, fe-ox: demir-oksit, fosil: fosil ve kavkıları

**Tablo 1.** Mineral bileşimi ve modal oranları

Bileşen	Modal Oran (%)
Kalsit (birincil)	75-80
Rekristalize kalsit (ikincil)	4-6
Kavki, silikat mineralleri, demir oksitler ve boşluk	15-20

### 3.4. Jeokimya

Analizi yapılan 5 adet kayaç örneğinin ortalama kimyasal analiz sonuçları Tablo 2 de verilmiştir. Bu kayaçlar günümüzde çimentoda hammadde olarak kullanılmaktadır.

**Tablo 2.** Kayaçın jeokimyasal analiz sonuçları (Bu analiz sonucu birbirine yakın değerlerde çıkan 5 ayrı numunenin ortalama değeridir)

SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	LOI (%)
12,91	1,31	0,51	51,20	0,48	0,10	0,28	31,5

### 3.5. Fiziksel (İndeks) Özellikler

Küfeki taşı Mohs sertlik ölçeğinde 2-3 aralığında yumuşak doğal yapı malzemelerine karşılık gelmektedir. Schmidt çekici RL değeri üç örnek üzerinde yapılmış ve ortalama 15.7 değeri elde edilmiştir. Bu değer kaya sertliği sınıflandırılması (Brown, 1981) [29] na göre az yumuşak (Schmidt sertlik değeri 10-20 arası) sınıfta kalmaktadır. Örnek üzerinde 10 adet Cerchar sertlik (aşınma) deneyi gerçekleştirilmiş ve CAI indeksi 0.33 değeri elde edilmiştir. Numune CAI sınıflamasına göre aşırı düşük özellikte ve orta sertlikte kayaç sınıfındadır.

Tablo 3’de kayaçın fiziksel (indeks) özelliklerine yönelik deney sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlar ilgili standart kapsamında kaplama taşı kullanımına uygunluk ölçütleri ile birlikte karşılaştırılmıştır. TS 11137 [4], kireçtaşlarının yapı, zemin kaplama, dekorasyon süs ve duvar kaplama amaçlı olarak kullanımlarında birim hacim ağırlık değerini en az 2.16 g/cm<sup>3</sup> olarak önermiştir. ASTM’ de birim hacim kütle için yoğunluk sınıflandırmasına göre; kireçtaşları (C 568) [30]; düşük yoğunlukta 1760 kg/m<sup>3</sup> (1.76 g/cm<sup>3</sup>), orta yoğunlukta 2160 kg/m<sup>3</sup> (2.16 g/cm<sup>3</sup>), yüksek yoğunlukta 2560 kg/m<sup>3</sup> (2.56 g/cm<sup>3</sup>) olarak sınıflandırılmaktadır. TS 11137 [4] değerlendirmesine göre kaplama taşı olarak kullanılacak doğal yapı taşlarında, kireçtaşı için, ağırlıkça su emme en fazla % 4 olarak belirlenmiştir. Bu ölçütlere göre Küfeki Taşının birim hacim ağırlığı ve ağırlıkça su emme değerleri kaplama amaçlı kullanım için düşük kalmaktadır.

Küfeki Taşı iklimatik özelliği olan bir doğal yapı malzemesidir. Yaz aylarında sıcağı, kış aylarında soğuşu absorbe eder. Mimar Sinan’ın özellikle İstanbul’ daki eserlerinde kullandığı bu taşın, günlenme ile mekanik büyüklükleri artarken yapısındaki boşluklar azalmakta dış etkenlere karşı dayanıklılığı artmaktadır.

**Tablo 3.** Küfeki taşı örneğinin fiziksel özelliklerine ait değerler

Yoğunluk g/cm <sup>3</sup>	Özgül ağırlık g/cm <sup>3</sup>	Birim hacim ağırlığı g/cm <sup>3</sup>	Gözeneklilik %	Doluluk oranı %	Hacimce su emme %	Ağırlıkça su emme %
1.68	2.6	1.87	25.86	64.66	25.83	15.33

### 3.6. Günlenme Öncesi Mekanik Özellikler

Küfeki Taşı yerindeki (In-Situ) koşullarda yumuşaktır. Bu yüzden işlenmesi çok kolaydır. Daha sonra havadaki karbondioksit gazını alarak sertleşir. Bu sertleşme yıllar geçtikçe daha da artar ve ömrü 2 bin 500 yıla kadar ulaşır. Küfeki Taşı’nın çekme, basınç, kesme mukavemetleri geçen süre içinde artarken yapısındaki birincil gözenekler azalmakta ve su, gaz emisyonları ve çevre etmenlere karşı dayanımı artmaktadır. Bünyesinde su bulunur; bu suyun bir bölümü buharlaşırken bir bölümü de dış çeperlerden içeriye doğru zamanla gelişen karbonatlaşmanın sonucunda oluşan katman içinde kapanım yapar [1].

**ÇATALCA (İSTANBUL) CİVARINDAKİ TARİHİ KÜFEKİ TAŞININ OLUŞUMUNDA FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİN ETKİLERİ**

Bünyesinde suyun varlığı dinamik yükler altında yapının taşıma gücüne önemli ilave katkı getirmektedir. Sismik yüklere de dayanıklı olan malzeme, üç eksenli gerilme altında sünek davranış gösterir. Günlenme öncesi Küfeki taşının mekanik özelliklerine ait deneysel bulgular Tablo 4 ile sunulmaktadır.

**Tablo 4.** Günlenme öncesi Küfeki Taşı örneğinin mekanik özelliklerine ait değerler

Hidrolik Press	Stiff Press			Nokta Yük Dayanımı (Is(50)) MPa
Tek Eksenli Basınç Dayanımı MPa	Basınç Dayanımı MPa	Elastisite Modülü MPa	Poisson Oranı	
8.292	5.58	770.11	0.12	0.63

Döşeme ve zemin gibi yük taşıyıcı mekanlarda kullanılan kireçtaşlarının basınç dayanımı değeri 509.68 kg/cm<sup>2</sup> den (~50 MPa), dekorasyon ve süs eşyası yapımında kullanılan kireçtaşları için ise basınç dayanımı değeri 305,81 kg cm<sup>2</sup> (~30 MPa) den az olmamalıdır. TS 11137 [4] ile kireçtaşlarının taşıyıcı olarak kullanımlarda önerilen değer 49 MPa, kaplama kullanımı için önerilen değer ise 29.4 MPa'dır. ASTM C 568 [30] de ise kireçtaşlarının basınç dayanım değerlerinin düşük yoğunlukta 12 MPa, orta yoğunlukta 28 MPa, yüksek yoğunlukta 55 MPa olması istenmektedir.

Küfeki Taşı numunelerinden 5 örnek üzerinde gerçekleştirilen tek eksenli basınç deneylerinden Hidrolik Pres ile elde edilen dayanım 8,292 MPa'dır.

Kireçtaşlarının Donma-çözünme çevrimli deneylere ait sonuçları Tablo 5 de sunulmuştur. Numunelerin donma-çözümüne sonrası basınç dayanımı ortalaması 10.68 MPa'dır. 12-periyodluk donma-çözülme sonrası kütle kaybı % 0.94 dür. Bu kıstasa göre numune yapı gereci olarak kullanım açısından donma çözünme sonucu % 2 kütle kaybı sınırının altında kalmaktadır.

**Tablo 5.** On iki çevrimlik donma çözülme deneyi kütle kaybı değerleri ve basınç dayanımları

Donma çözülme 12 periyod sonrası	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4	Deney 5	Ortalama
Kütle kaybı %	1,39	0,73	1,42	0,54	0,60	0,94
Basınç dayanımı MPa	6,35	14,53	6,63	13,15	12,76	10,68

**4. GÜNLENME ÖNCESİ YAPI GEREKİ AMAÇLI KULLANIMA YÖNELİK MALZEME DAYANIM ÖZELLİKLERİ**

Küfeki Taşı olarak bilinen örneğin doğal yapıtaşı olarak kullanımına yönelik yürütülen deneylerin sonuçları Tablo 7 ile sunulmuştur.

Kireçtaşlarının doğal yapıtaşı olarak kullanımı için normal atmosfer şartlarında kaynar suda su emme kapasiteleri kütlece % 4' den fazla olmamalıdır. Günlenme öncesi Küfeki Taşının kaynar suda su emme % si (10.06) ve ağırlıkça su emme değeri (% 15.33) doğal yapıtaşı olarak kullanımlarının uygun olmadığını göstermektedir.

TS 11137 [4] de kireçtaşının yapı ve zemin kaplama taşı olarak kullanımında sürtünmeden dolayı aşınan miktarın döşeme ve zemin gibi yük taşıyıcı mekanlarda kullanılanlarda en çok 10 cm<sup>3</sup> / 50 cm<sup>2</sup> olması istenmektedir. Bu değer dekorasyon süs ve duvar kaplamaları için en fazla 15 cm<sup>3</sup> / 50 cm<sup>2</sup> istenmektedir. Küfeki Taşının günlenme öncesi oldukça yüksek (42.13) böhme değeri, doğal yapıtaşı olarak kullanıma uygun olmadıklarına işaret eder.

Küfeki Taşı, ISRM 2007 [31] suda dağılmaya karşı dayanım sınıflamasına göre Orta-Yüksek sınıftadır. C 568 [30] sınıflandırması eğilme dayanımının düşük 2.9 MPa, orta 3.4 MPa ve yüksek 6.9 MPa değerlerinde olmasını önerir. TS 11137 [21] kireçtaşlarının eğilme dayanımlarının en az 2.94 MPa olmasını ve istenilen değer eşliğinin ise 6.9 (~ 7) MPa olmasını önerir. Küfeki Taşına ait eğilme dayanım değeri 2.46 MPa dır. Bu kriter açısından da günlenme öncesi Küfeki Taşı özellikleri istenilen kullanım kriterlerini sağlamamaktadır.

**Tablo 7.** Küfeki Taşı örneğinin malzeme özelliklerine ait değerler

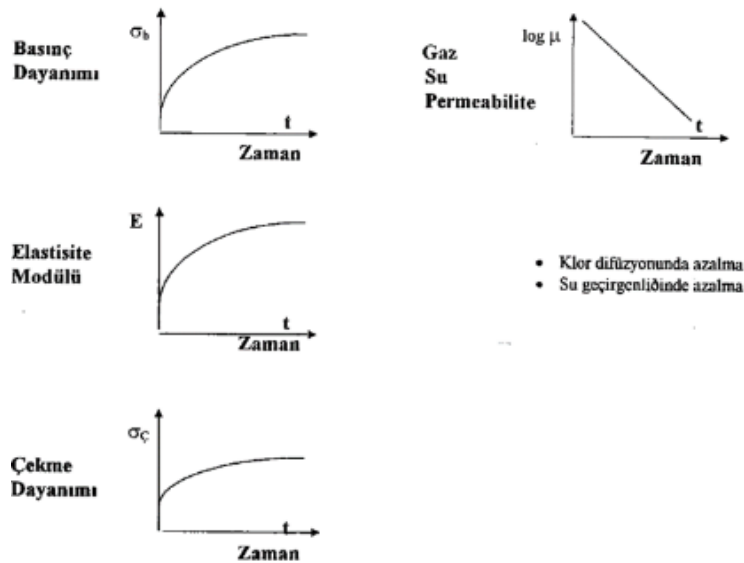
Yük altında eğilme MPa	Kaynar suda su emme %	Öğütülmüş numunenin darbe dayanımı %	Böhme (cm <sup>3</sup> /50cm <sup>2</sup> )	Brazilian çekme MPa	Los Angeles % LA	Suda dağılmaya karşı dayanıklılık %
2.46	10.06	36.5	42.13	0.54	68.5	90.45

## 5. GÜNLENME KAVRAMI

Küfeki Taşı' nın sunulan fiziko-mekanik ve malzeme özelliklerinin zamanla değişimlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için aşağıdaki yaklaşımlar öne çıkartılmıştır.

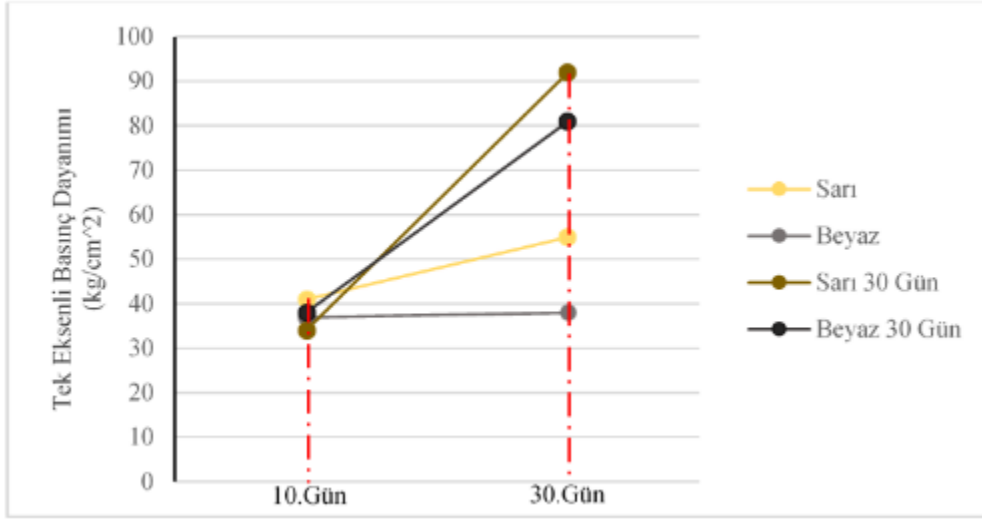
Ocakta hafif, kolay kesilebilir ve mukavemeti düşük olan taşın belli bir zaman sonra çekme-basınç dayanımları, elastisite modülü artmakta buna karşı gaz ve su diffüzyonu, permeabilitesi azalmaktadır (Şekil 5). Arıoğlu ve Arıoğlu (1993)'ün [1] çalışmaları bu mukavemet artışının ve porozitenin azalmasının hava içindeki "CO<sub>2</sub>" konsantrasyonunun sudaki "CO<sub>2</sub>" konsantrasyon değerinden daha büyük olması ile yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Arıoğlu ve Arıoğlu (1993) [1] Küfeki Taşı üzerinde yaptıkları deneysel araştırmalarında t (zaman) = 3 gün' e ait basınç dayanımının  $\sigma_b = 211$  (kg/cm<sup>2</sup>) ve 28 günlük kür sonucunda (20°C)  $\sigma_b = 329$  (kg/cm<sup>2</sup>) olduğunu ortaya koymuşlardır. 28 günlük kür sonucunda basınç dayanımında % 56 oranında artış gerçekleşmiştir. Uluslararası kayaç sınıflandırması esas alındığında (ISRM 2015) [32], Mimar Sinan'ın İstanbul'daki eserlerinde çokca kullandığı "Küfeki Taşı" t 28 gün  $\sigma_b = 325$  (kg/cm<sup>2</sup>) tek eksenli basınç dayanımı ile "R3 – Orta Sağlam (250-500 kg/cm<sup>2</sup>) taş grubu içinde yer almaktadır. Ocakta hafif, kolay kesilebilir ve mukavemeti düşük olan taşın belli bir zaman sonra çekme-basınç dayanımları, elastisite modülü artmakta buna karşı gaz ve su diffüzyonu, permeabilitesi azalmaktadır (Şekil 4) [1]. Araştırmacılar bu mukavemet artışı ve porozite azalmasının havadaki CO<sub>2</sub> nin kimyasal bileşimi CaCO<sub>3</sub> olan taşla tepkimeye girerek taşın gözeneklerini karbonatlaşma ürünleri ile doldurması ve sonuçta taşın "komposite oranı" nın artmasıyla açıklamışlardır. Ayrıca "yüzey sertlik" ve "ultra ses hız" büyüklüklerinin de zamanla artmasının ileri sürülen kimyasal reaksiyonu desteklediği şeklinde yorumlamışlardır.

**Şekil 4.** Küfeki Taşının zamana bağlı değişen fizikomekanik özellikleri (Arıoğlu ve Arıoğlu, 1993) [1]

## ÇATALCA (İSTANBUL) CİVARINDAKİ TARİHİ KÜFEKİ TAŞININ OLUŞUMUNDA FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİN ETKİLERİ

Küfeki Taşı'nın fizikomekanik özelliklerinin günlenme sonucunda daha iyi yönde gelişimine İTÜ 2006 [33] raporunda da değinilmiştir. Bu deneysel çalışma 2006 yılında söz konusu Küfeki Taşı örneği ile aynı ocaktan çıkartılan örnek grupları üzerinde yürütülmüştür. Raporda günlememiş Küfeki Taşı örneklerinin donma çözülme sonrası tek eksenli basınç dayanımı sarı ton grup için 34 kg/cm<sup>2</sup> beyaz ton grup için 27 kg/cm<sup>2</sup> olarak verilir iken 30 gün bekleme (günlenme süresi) sonrası sarı ton grup için 38 kg/cm<sup>2</sup> beyaz ton grup için 81 kg/cm<sup>2</sup> olarak verilmiştir. Bu bilgiler ile bir kestirim yapılır ise günlenme süresi sonrasında Küfeki Taşının dayanımı ~% 50 oranında artmıştır (Şekil 5). Aynı raporda Sarı ton Küfeki Taşı grubunun günleme öncesi donma-çözünme deneyinden elde edilen ortalama ağırlık kayıpları % 0.36 olup bu değer 30 gün bekletilmiş örnekler için % 0.16 olarak elde edilmiştir. Beklememiş beyaz ton grup için donma-çözünme sonrası ağırlık kaybı ortalama % 0.38 olup, 30 gün bekletildiklerinde ise % 0.89 dur.



Şekil 5. Sarı ve Beyaz tonlu örneklerde birincil ve donma çözülme sonrasındaki tek eksenli basınç dayanım değerleri ve 30 günlük bekleme sonrasındaki değişimleri (İTÜ, 2006) [33]

## 6. SONUÇLAR

Küfeki Taşı olarak nitelenen örnek ilk çıkarıldığında ve depolama sürecinde yumuşak, kolay şekil verilebilir özellikte gözlenmekte ancak zamanla sertleşmekte ve betona göre dayanımı çok daha uzun süreli olmaktadır.

Kimyasal yapısı (CaCO<sub>3</sub>), kompanse dokusu ve porozitesine bağlı olarak hava ile temasta zaman etkisi ile permeabilitesinin düşmesi sonucu rutubet almayan bir özelliğe kavuşmaktadır.

Ağırlığı diğer taşlara oranla azdır. Dolayısıyla ocaktan çıkarma ve nakliye kolaylığı ekonomiklik ve zaman tasarrufu sağlar. Ocaktan çıktığında yumuşak olması ve kolay şekil alması nedeniyle yüksek üretim hızına sahiptir. İstenilen boyutta işlenebilir. Modüler eleman oluşturmada kolaylık sağlar. Harçla kimyasal üniformluk göstermesi, adaransı (kenetlenmeyi) yerinde sağladığı 2000-2500 yıllık eserlerde güncel olarak görülmektedir. Sadece dış cephe malzemesi olarak değil, kolay işlenmesi nedeniyle kesme taş ve yoğun bezemeli düzeye kadar değişik ve zengin bir kullanım alanı bulmuştur.

İç ve dış mekanlarda, duvarlarda, döşeme ve duvar kaplamalarında, kemerlerde, sütunlarda, şöminelerde, bahçe düzenlemesinde, rölyeflerde estetik, sanat ve zarafet gerektiren eserlerde de kullanılmıştır. Küfeki Taşı günümüzde de eski eserlerin restorasyonlarında ve yeni binalarda, köşk, villa ve yalılarda, bahçe duvarları, yürüyüş yolları, kamelyalar ve benzeri yerlerde kullanılmaktadır. Aynı zamanda kireçtaşı litolojisinde olduğundan çimentoda hammadde olarak da kullanılmaktadır.

Bu çalışma Küfeki Taşı malzeme özelliklerinin zaman ve hava ile temasın bir fonksiyonu olarak değiştiğini ortaya koymuştur. Günlenme etkisi Küfeki Taşının doğal yapıtaşı olarak kullanımında gözönünde bulundurulması gereken oldukça önemli bir özelliktir. Bununla birlikte elde edilen fizikomekanik veriler Küfeki Taşının zemin ve dış mekan kaplaması olarak kullanımının uygun olmadığını ancak iç ve dış mekanda duvar döşemesi olarak kullanımının mümkün olduğunu göstermiştir.



**KAYNAKLAR**

- [1] ARIOĞLU, N., E. ARIOĞLU, “Mimar Sinan’ın Seçtiği Taş: Küfeki ve Çekme Dayanımı”, 1021-1034 pp, 1993.
- [2] T.S.E., “Kaplama Olarak Kullanılan Doğal Taşlar”, TS 1910 UDK, 1977.
- [3] TS 2513, “Doğal Yapı Taşları”, TSE, Ankara, 1977.
- [4] TS 11137, “Kireçtaşı Yapı ve Kaplama Taşı Olarak Kullanılan”, TSE, Ankara, 1993.
- [5] ASTM C 97, “Standard Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone”, Annual Book of ASTM Standards, 1996.
- [6] ASTM C 170, “Standard Test Method for Compressive Strength of Dimension Stone”, Annual Book of ASTM Standards, 1990.
- [7] ASTM C 99, “Standard Test Method for Modulus of Rupture of Dimension Stone”, Annual Book of ASTM Standards, 1987.
- [8] ASTM C 241, “Standard Test Method for Abrasion Resistance of Stone Subjected to Foot Traffic”, Annual Book of ASTM Standards, 1990.
- [9] ABDÜSSELAMOĞLU, Ş., “Kocaeli Yarımadası’nın Jeolojisi”, MTA, Derleme No: 3249, 1963.
- [10] BAYKAL, A.F., KAYA, O., “İstanbul Bölgesinde Bulunan Karbonifer’in Genel Stratigrafisi”, MTA Dergisi Cilt 61, 1-11, 1963.
- [11] KAYA, O., “Karbon bei İstanbul”, N. Jb. Geol. Pale. Mh. H-3, 160-173, Stuttgart, 1969.
- [12] KAYA, O., “İstanbul’un Karbonifer Stratigrafisi”, TJK Bül. 14 (2), 143-201, 1971.
- [13] KESKİN, C., “Pınarhisar Resif Karmaşığının Mikrofasies İncelemesi”, Rev. Fac. Scien. Univ.d’İst. Seri: B 31(3-4), 109-146, 1966.
- [14] KESKİN, C., “Pınarhisar Alanının Jeolojisi”, Türkiye Jeoloji Kur. Bülteni. C, 14/1, 31-84, Ankara, 1971.
- [15] BOER, N.P., de “Report on Geological Reconnaissance in Turkish Thrace”, G.A. Report no: Ç 25373, Petrol Dairesi, The Hague, February, 1954.
- [16] ŞAFAK Ü., “Yedikule-İstanbul Bölgesi Tersiyer (Paleojen-Neojen) Çökellerinin Ostrakod Faunası ve Ortamsal Özellikleri”, Maden Tetkik Arama Dergisi, 152:39-61, 2016.
- [17] SAYAR, C., “The Geology of the Golden Horn (Haliç) and Surrounding Region”, Bosphorus University, National Symposium on the Golden Horn, 355-374, 1976.
- [18] ARIÇ, C., “Haliç ve Küçükçekmece Gölü Bölgesinin Jeolojisi”, Doktora Tezi, İTÜ Maden Fakültesi Yayınları, 1955.
- [19] EROSKAY, S, O., “Kocaeli Yarımadası Güneyindeki Kireçtaşlarının Hidrojeolojisi ve Karst Parametrelerinin Analizi”, Doktora Tezi, İÜ Yer Bilimleri, TÜBİTAK-TBAG-124 Projesi, (Yayımlanmamış), 1978.
- [20] UMUT, M., İMİK, M., KURT, Z., “Edirne İli-Kırklareli İli-Lüleburgaz (Kırklareli İli) Uzunköprü (Edirne İli) Civarının Jeolojisi”, MTA, Derleme No: 7604, 1984.
- [21] SAYAR, M. VE ERGUVANLI, K. “Türkiye Mermerleri ve İnşaat Taşları”, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayını, İstanbul, 1962.
- [22] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, “1/100.000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları”, No: 65, İstanbul F21-G21 Paftaları, 2002.
- [23] MERİÇ, E.; OKTAY, Y.F.; SAKINÇ, M., “Ayamama (Bakırköy-İstanbul Kuvaterner İstifinin Sedimenter Jeolojisi ve Paleokolojisi”, C.Ü. Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A-Yerbilimleri 8 (1), 93-100, 1991.
- [24] OYO International Corporation, “Production of Microzonation Report and Maps –European Side (South): Final Report”, 400 sayfa, İstanbul, 2007.
- [25] NAZİK, A., “Bakırköy Formasyonu’nun (Küçükçekmece-İstanbul) Ostrakod Faunasına Göre Yaşı ve Oluşum Ortamı Hakkında Yeni Görüşler”, İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi 11, 87-101, 1998.
- [26] ISRM, “Rock Characterization, Testing and Monitoring”, International Society for Rock Mechanics, Pergamon, Oxford, 1981.
- [27] FOLK, R. L., “Spectral Subdivision of Limestone Types in Classification of Carbonate Rocks”, W.E. ham. (ed), AAPG Bull., 1, 62-82, 1962.
- [28] DUNHAM, R.J., “Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Textures”, Classification of Carbonate Rocks in W.R. ham. (ed), AAPG, Memoirs, 1, 108-121, 1962.
- [29] BROWN, E. T., “Suggested Methods of Rock Characterization Testing and Monitoring”, International Society for Rock Mechanics, Portugal, 53, 1981.
- [30] ASTM C 568, “Standard Specification for Limestone Dimension Stone”, Annual Book of ASTM Standards, 1990.
- [31] ISRM (International Society for Rock Mechanics), “The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006”, R. Ulusay and J.A. Hudson (eds.),

*ÇATALCA (İSTANBUL) CİVARINDAKİ TARİHİ KÜFEKİ TAŞININ OLUŞUMUNDA FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİN ETKİLERİ*

- Suggested Methods Prepared by the Commission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics, Compilation Arranged by the ISRM Turkish National Group, Kozan Ofset, Ankara, Turkey, 628 p, 2007.
- [32] ISRM, “Suggested Method for Determining the Abrasivity of Rock by the Cerchar Abrasivity Test”, ISRM Suggested Method for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014, R. Ulusay [ed.], Springer, USA, pp.101-106. TS 699, 1987. “Tabii Yapı Taşları Muayene Deney Metotları”, TSE, Ankara, 2015.
- [33] İTÜ, “Silivri Civarından Alınan Taş Örneklerinin Petrografik Analizi ve Fiziko-Mekanik Özellikleri”, İTÜ Maden Fakültesi, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı. İstanbul. (Yayınlanmamış), 2006.