



İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MADEN FAKÜLTESİ
Jeoloji Mühendisliği Bölümü

TEPE MADENCİLİK SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ.

Silivri İlçesi civarından Alınan Küfeki Taşı'nın Mineralojik, Petrografik ve Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

(İTÜ Döner Sermaye İşletmesi Yönetmeliği' ne göre hazırlanmıştır.)

EKİM - 2017
İSTANBUL



İTÜ Ayazağa Yerleşkesi
Maden Fakültesi, 34469 Maslak, İSTANBUL
Tel : 0(212) 285 62 53
Faks: 0(212) 285 62 51

jeoloji@itu.edu.tr
www.jeoloji.itu.edu.tr

Doğal Yapı Taşı Örneğinin Kaplama Taşı Kullanım Amaçlı Değerlendirmesi

1. Giriş

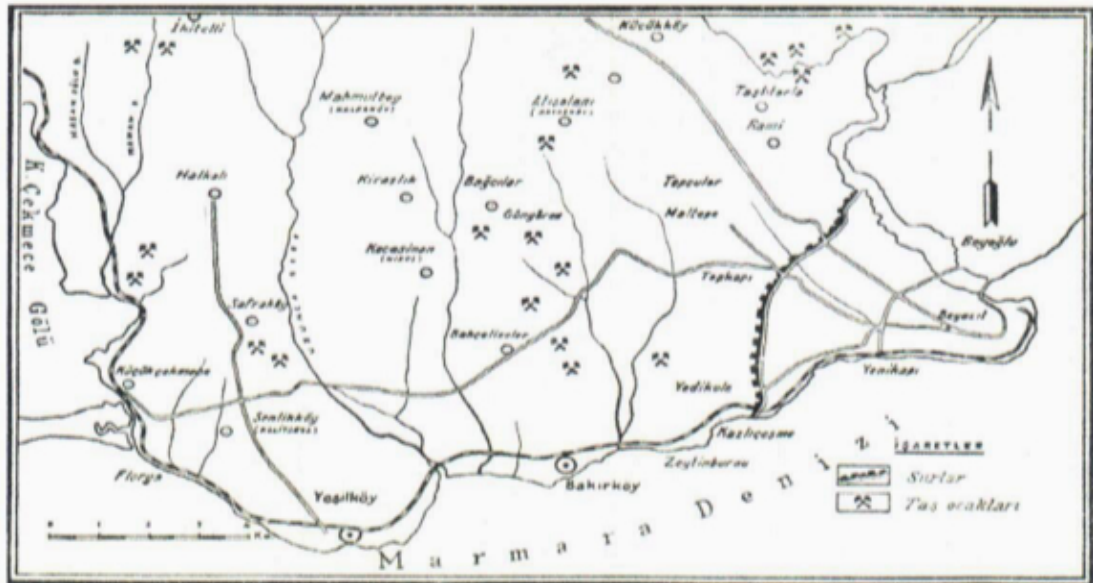
Küfeki taşı, kayıtlara göre Doğu Roma döneminden beri kullanılmıştır. Bakırköy ve İstanbul taşı olarak da bilinen küfeki taşı 2000-2500 yıl gibi uzun bir zaman diliminde eserlerde *dayanıklı bir şekilde kalan tek taş türüdür*.

Küfeki veya Köfeki "hafif ve süngersi taş-koupholithos" ponza taşı veya talk anlamına gelen eski Yunanca Kufaki tanımından gelmektedir. Kouphos "kof, hafif" sözcüğünden türemiştir.

Küfeki taşı, yüzyıllardan beri İstanbul ve Trakya'nın yapı taşı gereksinimini karşılayan; "lümaşelli kalker", "maktralı kalker" ya da "**Bakırköy taşı**" adlarıyla da bilinen deniz kabuklarının yoğun olarak da istiridye kabuklarının bütünü 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 kayadır. Ocaktan çıktığı anda her türlü işleme uygun olması ve kolay işlenmesi; hava ile temastan sonra ise bünyesine karbondioksit alarak *ikincil bir hidrasyonla sertliğinin artması, dayanıklılık ve güç kazanmasıdır*. Su içinde bulunduğu durumlarda da özellikleri değişmez. *El işlemlerine uygun ve tarihi eser restorasyonunda en çok kullanılan taş çeşitidir*.

Bakırköy kalker, Maktralı kalker gibi isimler de alan küfeki taşı, İstanbul'un Trakya yakasında Davutpaşa ile Küçükçekmece arasında Üst Miyosen'e ait tabakalarda çıkarılmakta olan bol makro fosilli kireçtaşıdır. Önemli ocaklar Bakırköy, Zeytinburnu, Sefaköy (Yeşilköy, Şirinevler, Merter, Haznedar çiftliği) ve Küçükçekmece'de yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Bakırköy ve Civarında Küfeki Taşı Ocaklarının Bulunduğu Yerler (Sayar ve Erguvanlı, 1962).

Kireçtaşı örneğine ait numunelerin, kaplama taşı kullanımına yönelik sertlik, fiziksel (indeks), mekanik ve malzeme özellikleri ayrı başlıklar altında sınıflandırılmış ve değerlendirmeler sunulmuştur. küfeki taşı gibi zamana bağlı davranışı olumlu yönde mukavemet alan özel malzemenin, günlenme kavramı değerlendirilmiştir.

Küfeki taşı üzerinde önceki çalışmalar ve daha önceden İTÜ tarafından, aynı ocaktan çıkan benzer örnekler üzerinde yapılan, 30 günlük bekleme süresinin malzeme ve dayanım

üzerindeki farkları kıyaslanmış ve yorumlanmıştır. Sonuç ve öneriler ile örnek bu kapsamda değerlendirilip kullanım alanları önerilmiştir.

Kaplama taşı olarak kullanılacak doğal yapı gereçlerinin literatürde **kullanım standartları açısından** değerlendirmesi incelenmiştir. Buna göre, kaplama olarak kullanılan doğal kayaçların barındırmaları gereken fiziko-mekanik ve malzeme özelliklerinin sınır değerlerini tanımlayan TS 1910, kayaçların **doğal yapı taşı** olarak kullanılabilmesi için sahip olmaları gereken fiziko-mekanik özelliklerinin sınır değerlerini tanımlayan TS 2513, mermer ve kalsiyum karbonat bileşimli kayaçların doğal yapı taşı olarak kullanılabilmesi için sahip olmaları gereken fiziksel ve mekanik özelliklerinin sınır değerlerini tanımlayan TS 10449, tortul kökenli doğal taşlara ait Türk Standartları'nda istenilen değerler TS 11137 ve kayaların doğal yapı taşı olarak kullanılabilmesi için sahip olmaları gereken fiziksel ve mekanik özelliklerinin sınır değerlerini tanımlayan ASTM (C97, C170, C99, C241) standartlarına göre değerlendirmeler yapılmıştır.

Aşağıda sunulan bölümlerde taş a ait İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü Doğal Taş Deneyleri 2017 başlıklı çizelgede sıra numarası "Sr" kısaltması ve deneyin gerçekleştirildiği ilgili standartın numarası ile birlikte verilen deneyler ayrı başlıklar ile sunulmuştur.

Ayrıca taşın doğal kaplama taşı olarak, günlenme sonrasında dayanımda yüksek orandaki artış da göz önünde tutularak, kullanıma yönelik değerlendirmesi verilmiştir.

2. Mineralojik-Petrografik Tanımlama (Sr 1-TS EN 12407)

Kayaç numunesi resif önü fasiyesinde gelişmiş kırıntılı **kireçtaşıdır**. İnce kesit tayinine göre, kayaçtaki killeşmeler erimeler sırasında genellikle boşluk kenarlarında ve bazen de fosil kavkılarının ayrışmaya uygun kesimlerinde gelişmiş ve Fe-oksitli kırmızımsı kahve, koyu gri renkli olarak görülmektedir. Kayacın bazı kesimleri % 8-10 kuvars kırıntıları içermektedir. Kayaçta az orandaki erime boşlukları dışında herhangi bir çatlak ve çatlak dolgu izlenmez.

Nummulites, mollusk, bryozoer, mercan, ekinid plağı parçaları, Actinocyclus sp., Discocyclus (grup sella), Asterigerina sp., çeşitli bentik foraminifer parçaları ve sarı algler görülmektedir. Şekilleri oval, yuvarlak, iğnemsî, yıldız şeklinde sparikalsit çimento içinde dağılmış biçimde izlenir. Boyutları ise 0,5-3 mm arasında değişmektedir.

Kayacın genel özellikleri:

- ❖ Organik tortul kayaçtır. Kalker, silis ve kavkılı fosil (istiridy ve midye) çökeltilerinden oluşmuştur.
- ❖ Açık bej, açık sarı ve gri, ince taneli ve kumlu görünümde, fosilli, boşluklu ve kristalli, kompakt bir taştır.
- ❖ Ocaktan çıkmadan önce yumuşaktır. Bu yüzden işlenmesi çok kolaydır. Daha sonra havadaki karbondioksit gazını alarak sertleşir. Bu sertleşme uzun bir süre devam eder. Yıllar geçtikçe betona nispetle mukavemeti daha da artar.
- ❖ Küfeki taşının çekme, basınç, kesme mukavemetleri zaman etkisi ile artarken porozitesi azalmakta ve su, gaz emisyonları, ve harici tesirlere karşı dayanımı artmaktadır.
- ❖ Bizans ve Osmanlı dönemlerinde çok sayıda önemli mimari eserde temel yapı taşı olarak kullanılmıştır. (Surlar, Su Kemerleri, Topkapı Sarayı, Süleymaniye). İstanbul estetiğini oluşturan taş yapıların temel yapı malzemesi olarak kullanılmıştır.
- ❖ Mimar Sinan, küfeki taşı üzerinde özel araştırmalar yapmış ve kolay işlenme, estetik ve mukavemet gibi özellikleri sebebiyle bu taşı eserlerinde kullanmıştır. Mimar Sinan'ın eserlerinde kullandığı küfeki taşının kullanım yerleri ve inceliklerini, bugüne kadar sağlam bir şekilde ayakta kalan eserlerinde görülmektedir.

3. Kimyasal Analiz (SR2 TS 699)

Çizelge 1: Kayacın jeokimyasal analiz sonuçları (S8 Tiger Bruker XRF cihazı ile yapılmıştır).

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	LOI (%)
13,02	1,35	0,53	51,85	0,5	0,10	0,3	31,8

4. Sertlik Tayini (Mohs- Schmidt- Cerchar) (Sr 3-TS699; Sr 18,19,21,22-ISRMM 2007; West 1999; ASTM 2012)

Çizelge 2: Doğal taşların sertlik özelliğine göre sınıflaması.

YUMUŞAK TAŞLAR S= 3,5-4		SERT TAŞLAR S= 6-7	
ACIK RENKLI	KOYU RENKLI	ACIK RENKLI	KOYU RENKLI
Mermerler	Renkli mermerler	Granit	Diyabaz
Metamorfik kalker	Renkli metamorfik kayalar	Siyenit	Gabro
Şistler	Yeşil şistler	Kuvars	Serpantin- Ultrabazik
Diğerleri	Diğerleri	Diyorit	

S: Mohs sertlik değeri

Çizelge 3: Numuneye ait Mohs sertlik ölçüm değerleri.

Mohs sertliği	Deney
	2-3

Çizelge 2 ile verilen sınıflama değerlerine göre, Çizelge 3 ile sunulan örneğe ait sertlik yumuşak doğal yapı malzemelerine girmektedir. Mohs sertlik ölçeğindeki tuz (Jips) ve kalsit sertliği karşılığıdır.

Küfeki taşının İTÜ'de yapılan kimyasal analizlerinde kireç, alçı, toz deterjan, pudranın yapımında da hammadde olarak kullanılabilceği tespit edilmiştir. Esas olarak kalker olduğundan ve bazı çıkan madenlerde kireç taşı özelliği taşıdığından günümüzde çimentoda hammadde olarak da kullanılmaktadır.

Çizelge 4: Schmidt çekici deney ve ortalama RL değerleri.

Schmidt çekici	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Ortalama
RL	16,7	14,8	15,6	15,7

Schmidt çekicine göre kaya sertliğinin sınıflandırılması (Brown, 1981) na göre az yumuşak (Schmidt sertlik değeri 10-20 arası) sınıfta kalmaktadır (Çizelge 4).

Kayaçların Cerchar sertlik (aşınma) indeks değerleri ile dayanım özellikleri çizelge 5 ve 6 ile sunulmuştur.

Çizelge 5: Cerchar sertlik değerlerine ait tanımlama
(Cerchar 1991; Sofretu & Schwenzfeier'den 2005).

Cerchar Sertlik Değeri	Tanımlama
0 -20	Yumuşak kayaç
21 - 40	Orta sertlikte kayaç
41-80	Sert kayaç
81-120	Çok sert kayaç
> 120	Oldukça sert kayaç

Çizelge 6: Cerchar aşınma indeks sınıflaması (ISRM 2015).

CAI Değeri	Sınıfı
0.1 – 0.4	Aşırı düşük
0.5 – 0.9	Çok düşük
1.0 – 1.9	Düşük
2.0 – 2.9	Orta aşındırıcı
3.0 – 3.9	Yüksek
4.0 – 4.9	Çok Yüksek
≥ 5	Aşırı yüksek

Örnek üzerinde 10 adet Cerchar deneyi uygulanmış 0,33 ortalama değerine ulaşılmıştır. CAI sınıflamasına göre aşırı düşük özellikte (Çizelge 6) ve orta sertlikte kayaç sınıfındadır (Çizelge 5). Taşın sertlik değerleri hem ocaktan çıkarma işlemi hem de kolayca işlenebilir olma özelliği açısından verimli olduğunu göstermektedir.

5. Fiziksel Özellikler

Bu başlık kapsamında taşın fiziksel (indeks) özelliklerine yönelik deney sonuçları verilmiş ve ilgili standart kapsamında kaplama taşı kullanımına uygunluk ölçütleri ile birlikte karşılaştırılmıştır (Çizelge 7). Ancak küfeki taşının “ 2. Mineralojik-Petrografik Tanımlama” bölümünde de belirtilen zamana bağlı dayanım artışına yönelik özelliği taşın fiziksel özelliklerinin de olumlu yönde değiştiğini “Bölüm 7. Günlenme Kavramı” çerçevesinde değerlendirilmelidir.

Çizelge 7: Doğal yapı taşı örneğinin fiziksel özelliklerine ait değerler.

	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4	Deney 5	Deney 6	Ortalama
Su emme %	15	15	15	15	15	17	15,33
Yoğunluk g/cm ³	1,68	1,68	1,68	1,68	1,69	1,69	1,68
Birim hacim kütlesi kN/m ³	16,48	16,48	16,48	16,48	16,58	16,58	16,51
Birim hacim ağırlığı g/cm ³	1,87	1,87	1,87	1,89	1,86	1,85	1,87
Gözeneklilik %	25,82	25,17	25,67	24,48	25,93	28,11	25,86
Hacimce su emme %	26	26	24	25	28	26	25,83
Özgül ağırlık g/cm ³	2,60	2,61	2,61	2,59	2,61	2,60	2,60
Doluluk oranı %	64,61	64,36	64,36	64,86	64,75	65	64,66

5.1. Birim Hacim Ağırlığı ve Yoğunluk (Sr 4- TS EN 1936)

TS 11137, kireçtaşlarında yapı ve kaplama taşı olarak döşeme ve zemin kaplama; dekorasyon süs ve duvar kaplama amaçlı olarak birim hacim ağırlık değerini en az 2.16 g/cm³ önermiştir. Kaplama taşı olarak kullanılacak doğal yapı malzemesinin birim hacim ağırlığı ise en az 2,16 g/cm³ olarak istenmektedir.

Rapora konu örneğin birim hacim ağırlığı 1,87 g/cm³ (1870 kg/m³) dür.

Literatürde geçen küfeki benzeri örnekler ile karşılaştırılması açısından bakılırsa, Vize küfeki taşı kuru birim hacim ağırlığı 2.24 g/cm³ (2240 kg/m³); doygun birim hacim ağırlığı 2.36 g/cm³ (2360 kg/m³) olarak bilinmektedir. Sazlıbosna küfeki taşının kuru birim hacim ağırlığı 2.31 g/cm³ (2310 kg/m³); doygun birim hacim ağırlığı 2.41 g/cm³ (2410 kg/m³) dür. Kefken küfeki taşının kuru birim hacim ağırlığı 2.11 g/cm³ (2110 kg/m³); doygun birim hacim ağırlığı ise 2.27 g/cm³ (2270 kg/m³) dür.

Rapora konu örneğin alındığı ocaktan çıkarılan taş üzerinde önceden hazırlanan İTÜ raporuna göre kuru birim hacim ağırlık değerleri ortalama olarak sarı tonlu örnekler için 1,83 g/cm³ (1830 kg/m³); beyaz tonlu örnekler için ise 1,91 g/cm³ (1910 kg/m³) dür. Aynı örneklerin suya doygun birim hacim ağırlık ortalamaları sarı tonlu örnekler için 2,09 g/cm³ (2090 kg/m³) beyaz tonlu örnekler için 2,14 g/cm³ (2140 kg/m³) dür.

ASTM'de birim hacim kütle için yoğunluk sınıflandırmasına göre; kireçtaşları (C 568); düşük yoğunlukta 1.76 g/cm^3 (1760 kg/m^3), orta yoğunlukta 2.16 g/cm^3 (2160 kg/m^3) ve yüksek yoğunlukta 2560 kg/m^3 (2.56 g/cm^3) olarak sınıflandırılmaktadır.

Rapora konu örneğin yoğunluğu $1,68 \text{ g/cm}^3$ (1680 kg/m^3) dür.

5.2. Atmosfer Basıncında Su Emme (Ağırlıkça) (Sr 5-TS EN 13755)

TS 11137 değerlendirmesine göre kaplama taşı olarak kullanılacak doğal yapı taşlarında, kireçtaşı için, ağırlıkça su emme en fazla % 4 olarak belirlenmiştir. Rapora konu örneğin su emme ortalaması % 15,33 dür.

Bakırköy kireçtaşı (Hazinedar) su emme oranı % 0.78 dir (Sayar, 1955). Literatürde örneğe benzer nitelikte küfeki taş örneklerinin fiziksel (indeks) özellikleri incelendiğinde (Vize, Sazlıbosna, Kefken ve Soğucak küfeki) ağırlıkça su emme değerleri ortalama % 5,6 dir.

Örneğin alındığı ocaktan çıkarılan taş üzerinde önceden yapılan İTÜ raporuna göre ise sarı tonlu örneklerin ağırlıkça su emme değerleri ortalama % 13,94; beyaz tonlu örneklerin ise ortalama % 12,07 dir.

5.3. Gözeneklilik (Sr 6-TS EN 1936)

TSE 11444, gözeneklilik değerlerini kullanım amaçlı olarak % 2 den az olmasını önermektedir. Küfeki taşı klimatik özelliği olan bir doğal yapı malzemesidir. Yaz aylarında sıcağı, kış aylarında soğuğu absorbe eder. Küfeki taşının 1986 yılında Moskova Üniversitesi'nde yapılan bir araştırmada nükleer dalgaları geçirmediği de tespit edilmiştir. Bu doğal yapı malzemesinin zaman içindeki kimyasal (CaCO_3), fiziksel (poroz yapı) ve mekanik değerlerinin iyi yönde değiştiği bilinmektedir. Mimar Sinan'ın özellikle İstanbul'daki eserlerinde kullandığı bu taşın, aynen beton gibi, ocaktan çıkarıldıktan kullanıldığı süreye kadar geçen zaman içinde havadaki karbondioksit ile tepkimeye girmesi ile *karbonatlaşma* sonucunda tüm mekanik büyüklüklerinde belirgin ölçüde arttığı görülmektedir. Günlenme ile taşın bünyesindeki mekanik büyüklükler artarken *yapısındaki boşluklar azalmakta dış etkenlere karşı dayanıklılığı artmaktadır.*

6. Mekanik Özellikler

Küfeki taşı, kalker, silis ve kavkı fosilinden (istiridye ve midye) oluşmuş organik tortul bir kayadır. Açık bej, açık sarı, gri tonlarda, ince taneli ve kumlu görünümde, fosilli, boşluklu ve kristalli bir taştır. Yerli yerinde (In-Situ) koşullarda yumuşaktır. Bu yüzden işlenmesi çok kolaydır. **Daha sonra havadaki karbondioksit gazını alarak sertleşir.** Bu sertleşme uzun süre devam eder. Yıllar geçtikçe betona nispetle mukavemeti daha da artar ve ömrü 2 bin 500 yıla kadar ulaşır. **Küfeki taşının çekme, basınç, kesme mukavemetleri geçen süre içinde artarken birincil yapısındaki 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 kalınlıkta karbonatlaşmanın* sonucunda oluşan katman içinde hapsolmektedir. ***Bünyesinde suyun varlığı dinamik yükler altında yapının taşıma gücüne önemli ilave katkı getirmektedir. Depreme de dayanıklı olan küfeki taşı, üç eksenli gerilme altında (deprenm yüklemesi) etkin bir sünek davranış gösterir.***

Taşın mekanik özelliklerine ait deneysel bulgular bu bölümde sunulmaktadır. Zaman etkisi ile örneğe ait mekanik dayanım parametrelerinin daha yüksek değerlere ulaşacağı da göz önünde bulundurularak değerlendirme yapılmalıdır.

7



Handwritten signature in blue ink.

6.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

6.1.1. (Sr 7-TS EN 1926)

Hidrolik Pres ve Stiff Testing Pres ile elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur (Çizelge 8).

Çizelge 8: Ele marka pres ile elde edilen tek eksenli basınç dayanımı değerleri.

Basınç dayanımı MPa	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4	Deney 5	Ortalama
	5,94	9,64	10,11	7,29	8,48	8,292

Döşeme ve zemin gibi yük taşıyıcı mekanlarda kullanılan kireçtaşlarının basınç dayanımı değeri $509,68 \text{ kg/cm}^2$ den ($\sim 50 \text{ MPa}$), dekorasyon ve süs eşyası yapımında kullanılan kireçtaşları için ise basınç dayanımı değeri $305,81 \text{ kg cm}^2$ ($\sim 30 \text{ MPa}$) den az olmamalıdır. TS 11137 ile kireçtaşları için taşıyıcı olarak kullanımlarda önerilen değer 49 MPa , kaplama kullanımı için önerilen değer ise $29,4 \text{ MPa}$ dır. ASTM C 568 ise en az 12 MPa en çok 55 MPa sınır değerleri içinde ortalama 28 MPa değerini sunmaktadır.

6.1.2. (SR-13 TS EV 14580)

Çizelge 9: Stiff testing ile elde edilen basınç dayanımı, elastisite modülü ve poisson oranı değerleri ve ortalamaları.

	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Ortalama
Basınç dayanımı MPa	4,5	6,85	5,40	5,58
Elastisite modülü MPa	600,57	1225,86	483,89	770,11
Poisson oranı	0,12	0,13	0,10	0,12

Sedimanter kayaçlarda, ASTM kireçtaşı (C 568) basınç dayanım değerlerinin sınıflandırmalara göre; düşük yoğunlukta 12 MPa , orta yoğunlukta 28 MPa , yüksek yoğunlukta 55 MPa olarak istenmektedir. TSE'de kireçtaşının (TS 11137) basınç değerleri taşıma ve kaplama özellikleri dikkate alınarak, taşımada kullanılacaklar için 49 MPa , kaplama olarak kullanılacaklarda ise $29,4 \text{ MPa}$ değerindedir. Bakırköy kireçtaşı (Hazinedar) için yapı taşı olarak kullanıma uygun tek eksenli basınç dayanımı değeri 307 kg/cm^2 ($30,11 \text{ MPa}$) olarak ifade edilmiştir (Çizelge 9) (Sayar, 1955).

6.2. Don Sonrası Basınç Dayanımı (Sr 8-TS 699)

Çizelge 10: 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

Kireçtaşının donma neticesinde kütle azalma değeri en fazla % 2 olmalıdır. Bu açıdan örnek istenilen koşulu sağlamaktadır. Bakırköy kireçtaşı için don sonrası basınç dayanımı 2 kg/cm^2 (0.2 MPa) olarak verilmiştir (Sayar, 1955). Bu kıstasa göre numune yeter koşulu sağlamaktadır; Numunelerin don sonrası basınç dayanımı ortalaması 10.68 MPa dır (Çizelge 10).

6.3. Yük Altında Eğilme Dayanımı (Sr 9-TS EN 12372)

Çizelge 11: Eğilme deney sonuçları.

Yük altında eğilme MPa	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4	Deney 5	Ortalama
	1,88	1,65	2,81	2,66	3,3	2,46

Kireçtaşı (C 568) sınıflandırmasında eğilme dayanımı düşük 2,9 MPa, orta 3,4 MPa ve yüksek 6,9 MPa değerlerini almıştır. TSE tortul kayaçlardaki eğilme dayanımları kireçtaşı (TS 11137) 2,94 MPa olarak belirlenmiş (Çizelge 11) ve TSE 2513 standardı referans alınmıştır. Eğilmeye karşı dayanımda istenilen değer eşiği ise 6.9 (~ 7) MPa dır.

6.4. Kaynar Suda Su Emme (Sr 11-TS 699)

Çizelge 12: Kaynar suda su emme deney sonuçları ve ortalama yüzdesi.

Kaynar suda su emme %	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4	Deney 5	Ortalama
	10	9,8	10,4	9,6	10,5	10,06

Normal atmosfer şartlarında kaynar suda su emme kapasiteleri kütlece % 4' den fazla olmamalıdır. Örneğin kaynar suda su emme % si (10,06) (Çizelge 12) ağırlıkça su emme değeri (% 15,33) ile karşılaştırıldığında fazla bir düşüş görülmemektedir.

Aynı ocaktan daha önceden çıkarılan ve İTÜ tarafından malzeme özellikleri raporlanan örneklerle ait kaynar suda su emme % leri sarı tonlu grup için % 16,98; beyaz tonlu grup için % 13,44 dür. Yine bu gruplarda da fazla bir düşüş görülmediği tespit edilmiştir (İTÜ, 2006).

6.5. Darbe Dayanımı (Sr 12-TS 699)

Örneğin kırmataş malzemesi olarak kullanılmasına yönelik yapılan darbe dayanım değerleri aşağıda sunulmuştur (Çizelge 13).

9
E



Çizelge 13: Öğütülmüş numuneye ait darbe dayanım yüzde değerleri ve ortalaması.

Öğütülmüş numunenin darbe dayanımı %	Deney 1	Deney 2	Ortalama
	36,7	36,3	36,5

Genelde kırmataş kullanımı için uygulanan bu ölçme yöntemi sonuçları örneğin zayıf sınıfta olduğunu göstermektedir (> % 35).

6.6. Aşınma Direnci (Böhme) (Sr 14-TS EN 14157)

Çizelge 14: Böhme aşınma değerleri ve ortalaması.

Böhme (cm ³ /50cm ²)	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Ortalama
	42,45	40,95	43,0	42,13

Böhme aşınma kaybı 50 cm² (7,1 cm x 7,1 cm) taban alanına sahip numunenin deney sonundaki toplam hacim kaybı olarak ifade edilir.

TS 11137 ile belirtilen kireçtaşı yapı ve kaplama taşları için sürtünmeden dolayı aşınan miktar; döşeme ve zemin gibi yük taşıyıcı mekanlarda kullanılanlarda en çok 10 cm³ / 50 cm² olmalıdır. Bu değer dekorasyon süs ve duvar kaplamaları için en fazla 15 cm³ / 50 cm² istenmektedir.

Literatürde Vize Soğucak küfeki Böhme aşınma dayanımı 61.07 cm³/50cm², Sazlıbosna Böhme 15.52 cm³/50 cm² olarak belirtilmiştir (Çizelge 14).

Örneğin alındığı aynı ocaktaki benzer nitelikli kayalarda yapılan İTÜ değerlendirmesinde Böhme aşınma sarı tonlu grup için 9.8 cm³ / 50 cm² beyaz tonlu grup için 11.07 cm³ / 50 cm² dir. 30 gün bekletilmiş örneklerde bu değerler sarı tonlu grup için 37.19 cm³ / 50 cm² beyaz tonlu grup için 26.46 cm³ / 50 cm² olarak belirtilmiştir.

6.7. Çekme Direnci (Dolaylı çekme-Brazilian) (Sr 15-ISRM 2007 veya TS 7654)

Çizelge 15: En direkt çekme dayanımı (Brazilian) deney sonuçları ve ortalaması.

Brazilian çekme MPa	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4	Deney 5	Ortalama
	0,59	0,61	0,44	0,49	0,56	0,54

Çekme mukavemeti için Soğucak küfeki taşı için literatürde verilen değer 77 kg/cm² (~ 7,5 MPa) dir (Çizelge 15).

6.8. Los Angeles Parçalanma Direnci Tayini (Sr 16-TS EN 1097-2)

Örneğin kırmataş malzemesi olarak kullanılmasına yönelik yapılan aşınma dayanım değerleri aşağıda sunulmuştur (Çizelge 16).

Çizelge 16: Los Angeles dayanım değerleri ve ortalaması.

Los Angeles LA	Deney 1	Deney 2	Ortalama
%	69	68	68,5

6.9. Suda Dağılmaya Karşı Dayanıklılık (Sr 17-TS 699)

Çizelge 17: Suda dağılma (slake durability index) dayanım değerleri ve ortalaması.

Slake durability index (suda dağılmaya karşı dayanıklılık)	Deney 1	Deney 2	Ortalama
%	89,6	91,3	90,45

ISRM 2007 suda dağılmaya karşı dayanım sınıflamasına göre Orta-Yüksek sınıftadır (Çizelge 17).

6.10. Nokta Yük Dayanımı (Sr 20-ISRM 2007)

Çizelge 18: Düzeltilmemiş nokta yük dayanımı indisi değerleri ($I_{s(50)}$).

Nokta yük	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4	Deney 5	Deney 6	Deney 7	Deney 8	Ortalama
MPa	0,32	0,49	1,18	0,6	0,54	0,62	0,63	0,65	0,63

7. Günlenme Kavramı

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

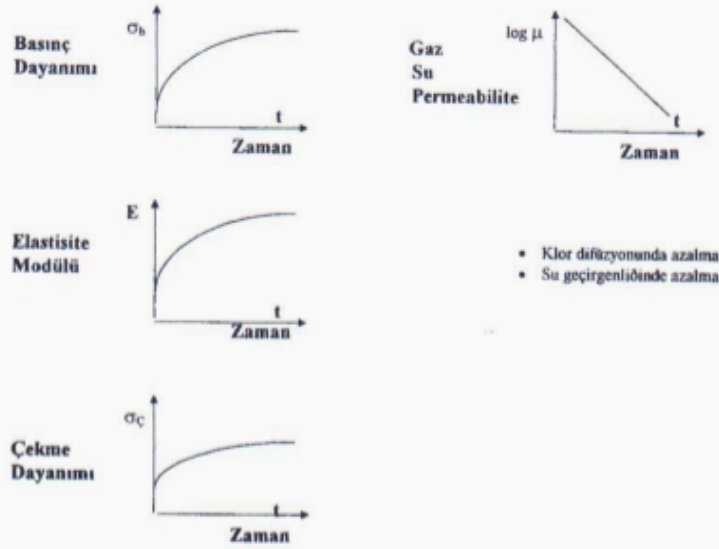
Ocakta hafif, kolay kesilebilir ve mukavemeti düşük olan taşın belli bir zaman sonra çekme-basınç dayanımları, elastisite modülü artmakta buna karşı gaz ve su diffüzyonu, permeabilitesi azalmaktadır (Şekil 2). Arıoğlu vd. nin çalışmaları bu mukavemet artışının ve porozitenin azalmasının hava içindeki "CO₂" konsantrasyonunun sudaki "CO₂" konsantrasyon değerinden daha büyük olması ile yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu durumda dayanımın zamanla artması, havadaki CO₂ nin kimyasal bileşimi CaCO₃ olan taşla tepkimeye girerek taşın gözeneklerini karbonatlaşma ürünleri ile doldurması ve sonuçta taşın "komposite oranı" nın artmasıyla açıklanabilir. Ayrıca "yüzey sertlik" ve "ultra ses hız" büyüklükleri de zamanla artmaktadır. Bu artış ileri sürülen kimyasal reaksiyonu tamamen destekler niteliktedir.

Arıoğlu vd. deneysel araştırmalarında t = 3 gün' e ait basınç dayanımının $\sigma_b = 211$ (kg/cm²) den, 28 günlük kür sonucunda (20°C) $\sigma_b = 329$ (kg/cm²) ye artmasını ortaya koymuşlardır (% 56 oranında artış).

Uluslararası kayaç sınıflandırması esas alındığında, Mimar Sinan' ın İstanbul' daki eserlerinde çokca kullandığı "Küfeki taşı" t ≥ 28 gün $\sigma_b = 325$ (kg/cm²) tek eksenli basınç

dayanımı ile “R₃ – Orta Sağlam (250-500 kg/cm²) (ISRM 1981) taş grubu içinde yer almaktadır.



Şekil 2. Küfeki taşının zamana bağlı değişen fizikomekanik özellikleri (Arıoğlu vd.).

Örneğin tek eksenli basınç dayanımı ~57-85 kg/cm² aralığındadır. Numunelerin donma çözünme sonrası tek eksenli basınç dayanımı ortalaması ise ~108 kg/cm² dir. Donma çözünme sonrası kütle kaybı % 0,94 dir (Çizelge 13).

Bu noktada, bir kıyaslama ile yoruma gidebilmek için, örnek ile aynı ocaktan çıkartılmış benzer nitelikteki örneklerin İTÜ tarafından değerlendirilen 2006 tarihli rapora göre tek eksenli basınç dayanımı sarı ton grup için 41 kg/cm² beyaz ton grup için 37 kg/cm²; 30 günlük bekleme sonrası sarı ton grup için 55 kg/cm² beyaz ton grup için 92 kg/cm² olarak verilmiştir. Anılan İTÜ 2006 raporuna göre yine donma çözünme sonrası tek eksenli basınç dayanımı sarı ton grup için 34 kg/cm² beyaz ton grup için 27 kg/cm² olarak verilmiştir. 30 gün bekleme (günlenme süresi) sonrası sarı ton grup için 38 kg/cm² beyaz ton grup için 81 kg/cm² olarak verilmiştir. **Bu bilgiler ile incelenen örnek için bir kestirim yapılır ise günlenme süresi sonrasında taşın dayanımı ~% 50 artmıştır.**

8. Sonuç ve Öneriler

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 (CaCO₃), 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 masif taş ve yoğun bezemeli düzeye kadar değişik ve zengin bir kullanım alanı bulmuştur.

İç ve dış mekanlarda, duvarlarda masif taş özelliğinde, 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 kalker litolojisinde olduğundan kireçtaşı özelliği taşıdığından çimentoda hammadde olarak da kullanılmaktadır.

Bu değerlendirme raporu kapsamında incelenen küfeki taşı örneğine ait sunulan bilgiler özellikle malzeme özelliklerinin zamanın ve hava ile temasın sonucundaki değişiminin de dikkate alınarak kullanılmalıdır. Tek eksenli basınç dayanımı ve Böhme aşınma değeri zemin ve dış mekan kaplaması olarak uygulanması açısından bu açıdan değerlendirilmelidir. Su emme oranı göz önünde tutularak suyun fazla kullanıldığı bölgelerde zemin kaplama taşı olarak kullanılması açısından yine zaman fonksiyonu açısından incelenmelidir. İç ve dış mekanda duvar döşemesi olarak da kullanımı mümkündür.

Bilgi ve görüşlerinize saygılarımızla sunarız.

2 ekim 2017

Prof.Dr. Ömer Işık ECE

Doç.Dr. Mustafa KUMRAL

Yrd.Doç.Dr. Erkan BOZKURTOĞLU

Yük.Müh. Gökhan ŞANS

İMZA TASDİK OLUNUR
Rapor içeriğinin sorumluluğu
İmza Sahiplerine aittir.



JAL

ORJİNAL KOPYA

KAYNAKLAR

- Arioğlu, N., E. Arioğlu.** Mimar Sinan' in Seçtiği Taş: Küfeki ve Çekme Dayanımı. 1021-1034 pp.
- ASTM, 2010.** Standard test method for laboratory determination of abrasiveness of rock using the CERCHAR method, D7625-10.
- ASTM C 99, 1987.** Standard Test Method for Modulus of Rupture of Dimension Stone, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 97, 1996.** Standard Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 170, 1990.** Standard Test Method for Compressive Strength of Dimension Stone, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 241, 1990.** Standard Test Method for Abrasion Resistance of Stone Subjected to Foot Traffic, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 568, 1990.** "Standard Specification for Limestone Dimension Stone", Annual Book of ASTM Standards.
- Brown, E. T., 1981.** Suggested Methods of Rock Characterization Testing and Monitoring, International Society for Rock Mechanics, Portugal, 53.
- ISRM, 1981.** Rock Characterization, Testing and Monitoring, International Society for Rock Mechanics, Pergamon, Oxford.
- ISRM, 1985.** Suggested method for determining point load strength. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, 22:51-60.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 2007.** The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006. R. Ulusay and J.A. Hudson (eds.), 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.
- ISRM, 2015.** Suggested method for determining the abrasivity of rock by the Cerchar abrasivity test. e ISRM Suggested Method for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014, R. Ulusay [edt], Springer, USA, pp.101-106.
- TS 699, 1987.** "Tabii Yapı Taşları Muayene Deney Metotları", TSE, Ankara.
- İTÜ, 2006.** Silivri Civarından Alınan Taş Örneklerinin Petrografik Analizi ve Fiziko-Mekanik Özellikleri. İstanbul.
- Sayar, M. ve K. Erguvanlı, 1962.** *Türkiye Mermerleri ve İnşaat Taşları*, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayını, İstanbul.
- TS 2513, 1977.** "Doğal Yapı Taşları", TSE, Ankara
- T.S.E., 1977.** Kaplama Olarak Kullanılan Doğal Taşlar, TS 1910 UDK 691.215, Ankara.
- TS 11137, 1993.** "Kireçtaşı Yapı ve Kaplama Taşı olarak Kullanılan", TSE, Ankara.
- TS EN 1341.** Dış zemin döşemeleri için tabii kaplama taşları.