



# Tarihi eserlerde doğal yapıtaşı olarak kullanılan Lefke taşının (Osmaneli/Bilecik) jeolojik ve mühendislik özellikleri

**H. Haluk SELİM**

*İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mücevherat Müh. Bl. Küçükyalı Yerleşkesi İSTANBUL  
hselim@ticaret.edu.tr ORCID: 0000-0001-8704-4935, Tel: (507) 452 3852*

**Ahmet KARAKAŞ\***

*Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Müh. Bl. Umuttepe Yerleşkesi İZMİT – KOCAELİ  
akarakas@kocaeli.edu.tr ORCID: 0000-0002-4672-2063, Tel: (262) 303 3145*

**Özkan CORUK**

*Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Müh. Bl. Umuttepe Yerleşkesi İZMİT – KOCAELİ  
ocoruk@kocaeli.edu.tr ORCID: 0000-0001-5072-200X, Tel: (262) 303 3143*

*Geliş: 01.02.2019, Revizyon: 08.04.2019, Kabul Tarihi: 28.05.2019*

## Öz

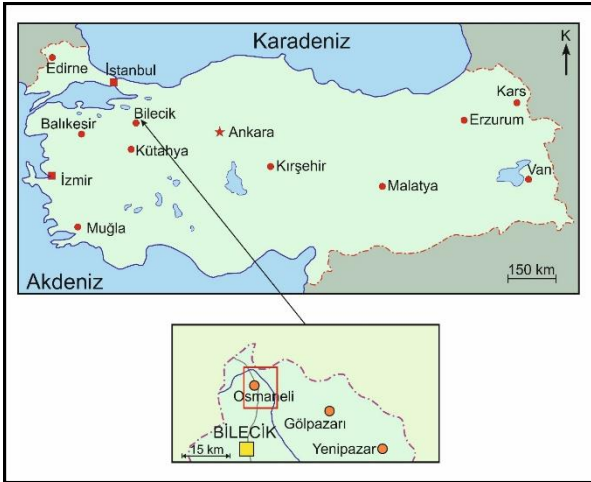
*Lefke taşı bir kumtaşı çeşidi olup yapı taşı olarak İstanbul Haydarpaşa tren garı, Eskişehir Hükümet Konağı, Bebek ve Bostancı camileri ile Osmaneli ilçe merkezi ve civarında bulunan cami, medrese, kilise ve evlerde yaygın olarak kullanılmıştır. Fakat yapıtaşı olarak kullanılması açısından bilimsel olarak literatüre geçmiş bir çalışma mevcut değildir. Bu eksikliği gidermek ve Lefke taşının yapıtaşı özelliklerini belirlemek amacıyla jeolojik, fiziksel ve mekanik özelliklerin araştırıldığı bir çalışma yapılmıştır. Lefke taşının yapıtaşı olarak değerlendirilmesi amacıyla arazi ve laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları ile Lefke taşının jeolojik özellikleri ve laboratuvar çalışmaları ile fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Arazi çalışmaları mostra başı çalışmalar ile numune alma işlemlerini kapsarken, laboratuvar çalışmaları ise Lefke taşının fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla standartlara (TSE, ASTM) uygun olarak ilgili deneylerin yapılmasını kapsamıştır. Arazi gözlemleri ve laboratuvar deneylerinden elde edilen fiziksel ve mekanik özelliklere ait değerler yardımıyla Lefke kumtaşının yapıtaşı olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Lefke taşı, yapıtaşı, kumtaşı, Osmaneli, mekanik özellikler

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Doğal yapı taşları yaygın olarak kaplama amaçlı yapıların dış yüzeyleri, yer döşemeleri, bordür ve kenar süsü veya bloktaş şeklinde kullanılırlar. Kireçtaşı, traverten, kumtaşı, granit, diyabaz, bazalt, mermer ve arduvaz yapı taşı olarak kullanılan yaygın litolojilerdir. Bu çalışma Lefke taşının yapıtaşı özelliklerini belirleme amaçlı araştırmaları içermektedir. Söz konusu Lefke taşı güney Marmara bölgesinde Bilecik ili Osmaneli ilçesinin güneyinde ve güneydoğusunda yer alır (Şekil 1). Geçmiş yıllarda Anadolu'nun birçok tarihi şehirlerinde, Selçuklu ve Osmanlı mimarisinde kumtaşı, kireçtaşı, mermer ve tüfler büyük bir ustalıkla işlenerek cami, medrese, kilise ve han gibi yapıların iç ve dış mekânları kaplanmış ve süslenmiştir (Erdem, 1981; Çelik, 2003; Kumsar vd., 2003; Kaya vd., 2008). Cumhuriyet döneminde de Ankara ve İstanbul gibi büyük şehirlerde büyük binaların doğal taşlar ile yapılmasıyla taş işçiliğinde önemli gelişmeler kaydedilmiştir.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

Osmaneli ilçe merkezinde Osmanlı dönemine ait sivil mimarlık örnekleri halen mevcuttur. Daha sonra yapılmış yapılar ahşap yapı tekniği ile yapılmıştır. Her biri zarif görünümlü motifli süslemelerle bezenmiştir. İlin sahip olduğu tarihi-kültürel değerlerin birçoğu Türk Sanat tarihinin ilk dönem Osmanlı mimarlık eserlerinin bulunduğu çağa aittir. Camiler

genellikle taş temelden, kare plan üzerine kubbeli, bir kısmı tamamen taştan sade sade bir mimari ile yapılmıştır (Şekil 2). Yine kubbeli özellikte yapılmış hamamlar ise soğuktan sığağa doğru ilerleyen bölümler halindedir. Türbelerin inşasında kesme taşlar kullanıldığı gibi tuğla da kullanılmış ve üzeri kubbe ile örtülmüştür. Kesme taş ve tuğlanın da kullanılarak yapıldığı kervansaraylar ise dikdörtgen plana sahip ve kapı üzerleri kemerlidir. Ayrıca; köprüler taştan yapılmış, çeşmeler neo-klasik yapıda, surlar Roma ve Bizans dönemine ait özellikte, kilise antik ve Bizans sanatları karışımı bir mimari üslupta yapılmıştır.



Şekil 2. Osmaneli'nde Lefke taşı kullanılarak 1542 yılında yapılmış olan Osmanlı dönemine ait Rüstempaşa Camii

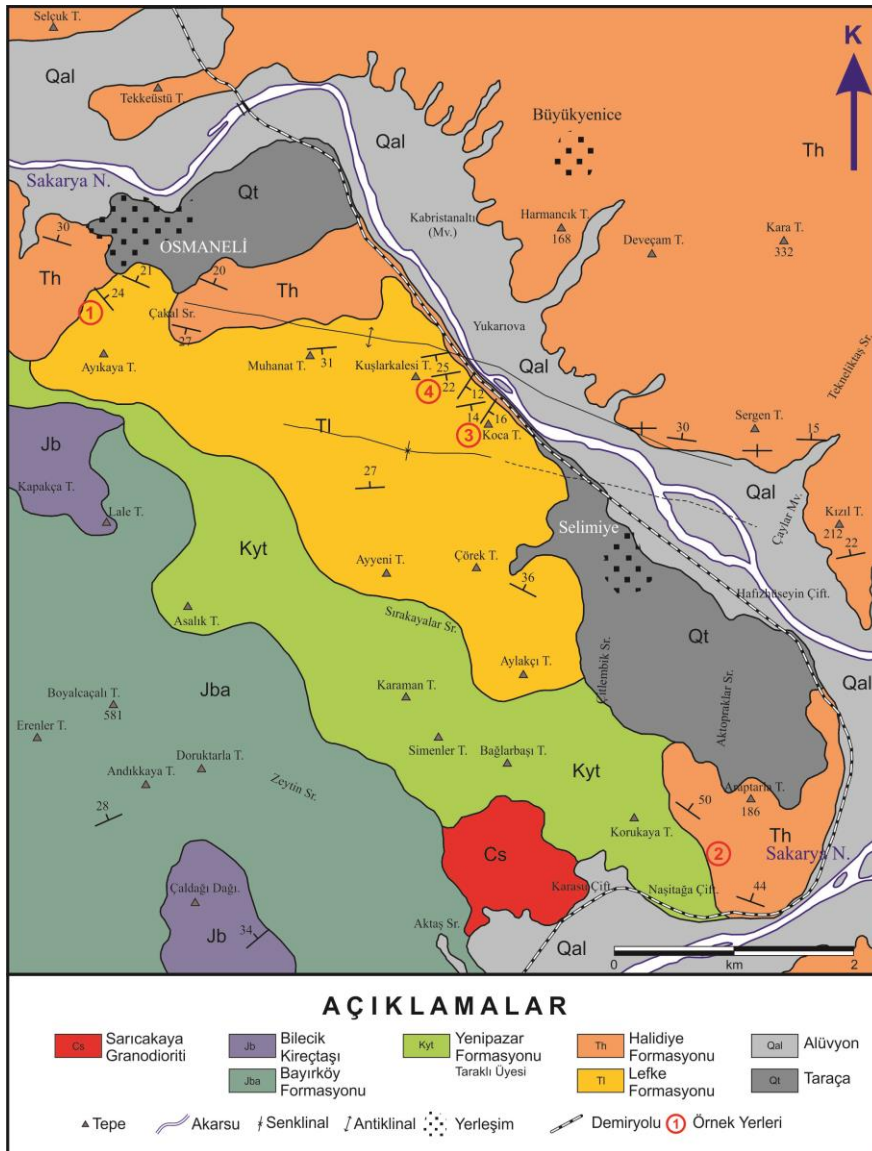
Bu çalışmanın konusu olan Lefke taşı bir kumtaşı çeşidi olup yapı taşı olarak İstanbul Haydarpaşa tren garı, Eskişehir Hükümet Konağı, Bebek ve Bostancı camileri (Erdem, 1981) ile Osmaneli ilçe merkezi ve civarında bulunan cami, medrese, kilise ve evlerde yaygın olarak kullanılmıştır. Fakat yapıtaşı olarak kullanılması açısından bilimsel olarak

literatüre geçmiş bir çalışma mevcut değildir. Bu eksikliği gidermek ve Lefke taşının özelliklerini belirlemek amacıyla Lefke taşının yapıtaşı özellikleri araştırılmıştır.

### Bölgesel jeoloji

İnceleme alanını kapsayan bölgede farklı köken ve yaşlara sahip formasyon ve birimler izlenir. Bölgenin en yaşlı kayalarını Sakarya Zonu temel birimlerini oluşturan Sarıcakaya Granitoidi oluşturur (Göncüoğlu vd., 1996). Bu temel birim üzerine Liyas yaşlı, transgresif istife sahip Bayırköy Formasyonu uyumsuz olarak gelmektedir. Bayırköy Formasyonu üzerine Orta Jura-Alt Kratese yaşlı, karbonat platformu şeklinde çökelmiş Bilecik kireçtaşı

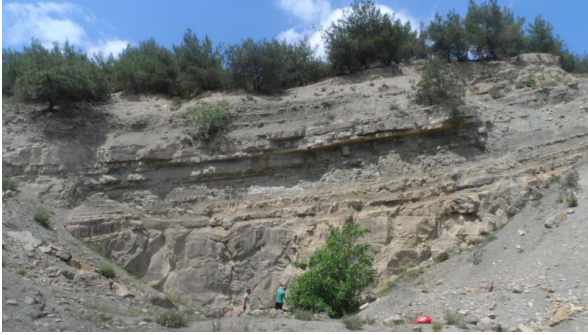
gelmektedir (Granit ve Tintant, 1960). Bu formasyonların üzerine kumtaşı ağırlıklı Üst Kratese-Paleosen yaşlı, yamaç-havza tipinde ve üste doğru sığ ortamda çökelen Yenipazar formasyonuna ait Taraklı üyesi yer almaktadır (Saner, 1980). Taraklı üyesi üzerine göl ortamında çökelmiş kumtaşları olan Paleosen yaşlı “Lefke Formasyonu” uyumsuz olarak gelmektedir. Üste doğru Alt-Orta Eosen yaşlı ve türbiditik özellikte olan Halidiye Formasyonu çok düşük açılı uyumsuzluk olarak çökelmiştir (Saner, 1977). Bölgenin en genç birimleri ise taraça ve alüvyondur. İnceleme alanının jeolojik haritası Şekil 3 ile verilmiştir.



Şekil 3. İnceleme alanının jeolojik haritası

### Lefke Taşının Jeolojik Özellikleri

Lefke taşı, bölgedeki bej, sarımsı veya yeşilimsi orta ve ince tabakalı şeyl, marn, kiltası ve çamurtaşları ile ardalanmalı Paleosen görsel çökellerinin orta tabakalıdan masife değişen kalınlıklardaki kumtaşı düzeyleridir. İstif Kuşlarkalesi mevkiinde en tipik kesitini vermektedir (Şekil 4). Formasyon alttan itibaren masif olarak başlar, üste doğru yeşil renkli ince tabakalı şeyl, marn, kiltası, ince-orta tabakalı killi kireçtaşı, kumtaşı ağırlıklı ve yeşilimsi beyaz-gri renklerde bitümlü şeyllerden oluşur. İstif daha sonra kalın-orta-ince tabakalı ve genellikle açık gri ve açık sarı renklerde kumtaşı ile devam etmektedir. Birim içerisinde nadir olarak ince seviyeler halinde kömür ve yer yer jips de bulunmaktadır. Lefke Formasyonu yaklaşık 20-300 m kalınlığa sahiptir. Altta Taraklı üyesi ile uyumsuz, üstteki Halidiye Formasyonu ile de uyumludur ancak bazı noktalarda açılmal farklılıklar gözlenmektedir. Göl ortamında çökelmiş formasyonun yaşı Duru vd. (2002) çalışmasına göre Paleosen olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4. Kuşlarkalesi mevkiinde Lefke Formasyonunun tipik kesiti

### Materyal ve metot

#### Materyal

Bu çalışma kapsamında Lefke taşının mühendislik özelliklerin belirlenmesi amacıyla laboratuvarda deneylerde kullanılmak üzere standartlara uygun numuneler hazırlanmıştır. Arazi çalışmaları esnasında arazide farklı lokasyonlarda Lefke

Formasyonu kumtaşı mostralarından sökülen blok boyutlu kaya malzemeleri Osmaneli ilçe merkezinde yer alan yerel bir mermer atölyesinde deneyler için gerekli geometrik boyut ve şekillerde kestirilerek laboratuvar deneylerinde kullanılacak hale getirilmiştir. Numuneler küp (50×50×50 mm), dikdörtgenler prizması (50×50×300 mm) ve levha (100×70×20 mm) şeklinde kesilerek hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler Afyon Kocatepe Üniversitesi Akredite Doğaltaş Analiz Laboratuvarına (AKÜ-DAL) fiziksel ve mekanik deneylerin yapılması için teslim edilmiştir. TURKAK tarafından akredite edilmiş AKÜ-DAL laboratuvarında deneyler standartlara (TSE, ASTM) uygun olarak yapılmıştır.

#### Metot

Lefke taşının fiziksel ve mekanik özellikleri ve yapı taşı olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi amacıyla yapılan işlemler arazi ve laboratuvar kısımlarından oluşmaktadır. İlk etapta yürütülen arazi çalışmaları jeolojik ve stratigrafik çalışmalar yanında numune alma işlerini kapsamıştır. Alınan örneklerden, fiziksel ve mekanik deneyler için kullanılacak gerekli numuneler mermer atölyesinde hazırlanmıştır. Lefke taşının fiziksel ve mekanik özelliklerini ortaya koyabilmek amacıyla laboratuvar çalışmaları yürütülmüştür. Afyon Kocatepe Üniversitesi Akredite Doğal Taş Laboratuvarında (AKÜ-DAL); Lefke taşının fiziksel (görünür ve özgül ağırlık, toplam ve açık gözeneklilik, ağırlıkça su emme) ve mekanik özellikleri (tek eksenli sıkışma dayanımı, eğilme dayanımı tayini, Knoop sertlik tayini, aşınma direnci tayini) test edilmiş ve bu çalışmada yorumlanmıştır. Lefke taşının fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla fiziko-mekanik deneyler TS EN 1936 (2010), ASTM D5550-06 (2006), TS EN 13755 (2009), TS EN 12371 (2003), TS EN 1926 (2000), TS EN 13161 (2009), TS EN 14205 (2004), TS EN 14157 (2017), ASTM D5731-16 (2016) ve ASTM D5873-14 (2014) standartlarına göre yapılmıştır. Arazi ve

laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar mühendislik jeolojisi kapsamında kayalar için geliştirilmiş sınıflamalar ile değerlendirilerek kayaç sınıfları belirlenmiştir.

## Bulgular

Lefke taşının yapı taşı olarak değerlendirilmesi amacıyla arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen bulgular değerlendirilmiştir. Arazi çalışmaları ile Lefke taşının jeolojik özellikleri ile ilgili bulgular elde edilirken laboratuvar çalışmaları ile fiziksel ve mekanik özellikleri ile ilgili bulgular elde edilmiştir. Arazi çalışmaları, mostra başı çalışmalar ve numune alma işlemlerinden oluşurken, laboratuvar çalışmaları Lefke taşının fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla standartlara (TSE, ASTM) uygun olarak ilgili deneylerin yapılmasını kapsamaktadır. Kumtaşının yapıtaşı olarak kullanılabilirliği arazi gözlemleri, tarihi yapılardaki yapıtaşı performansı, fiziksel ve mekanik özelliklerine ait laboratuvar deney sonuçları ile değerlendirilmiştir. Deneylerde kullanılan örnek sayıları ve deney yöntemleri standartlara dayalı olup sonuçlar birimi temsil edicidir.

### Fiziksel (İndeks) Özellikler

Kayacın fiziksel özellikleri ölçülebilen, gözlenebilen ve dış görünüşü ile ilgili özelliklere denir. Bu çalışmada kumtaşlarının fiziksel özelliklerden görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik, özgül ağırlık, atmosfer basıncında su emme gibi parametreler tayin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar kumtaşların fiziksel durumlarını ortaya koymaktadır. TS EN 1936 (2010) standardına göre yapılmış deney sonuçlarına göre görünür yoğunluk (B) ortalama 2,38 g/cm<sup>3</sup>'tür. Açık gözeneklilik ortalaması %7,07 olarak hesaplanmıştır. Toplam gözeneklilik ortalaması ise %11,26 olarak hesaplanmıştır. ASTM D-5550-06 (2006) standardına göre yapılan deneyde elde edilen sonuçlara göre özgül ağırlık ortalama 2,68 g/cm<sup>3</sup>'tür. Fiziksel özellik kategorisinde

belirlenen diğer bir özellik TS EN 13755 (2009) standardına göre yapılan atmosfer basıncında su emme tayinidir. Su emme deneyinde kayaç numuneleri 24 saat su içinde bekletilerek suyun kayacın boşluklarına ne kadar nüfuz ettiği belirlenir. Atmosfer basıncında su emme tayini deney sonuçları ortalaması %2,93 olarak hesaplanmıştır. Hacimce su emme (Sh) Eşitlik 1 (Onaran, 2014) kullanılarak %6,97 hesaplanmıştır.

$$Sh = S \times B \quad (1)$$

Sa: Ağırlıkça su emme (%)

B: Görünür yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>)

TS EN 12371 (2003) standardına göre yapılmış deney sonuçlarından kütle kaybı ortalama %0,12 olarak ortaya çıkmıştır. Tablo 1 Lefke taşının fiziksel özelliklerinin ortalama değerlerini göstermektedir. Anon (1979) sınıflamasına göre görünür yoğunluk açısından orta yoğunluk sınıfına girmektedir. Yine toplam gözeneklilik açısından da Anon (1979) sınıflamasına göre orta gözenekli sınıfa girmektedir.

Yukarıda belirlenen fiziksel özelliklerden hacimce su emme (Sh) ve porozite (p) değerleri yardımıyla kayaların dona dayanıklılık özellikleri görgül bir yöntemle belirlenebilir. Suyu doyma oranı (S) olarak belirtilen bu özellik Eşitlik 2 yardımıyla yaklaşık olarak %61,9 olarak hesaplanır.

$$S = Sh/p \quad (2)$$

Sh: hacimce su emme (%)

p: kayacın porozitesi (%)

Bu değerlerin <%80 olması durumunda taş dona dayanıklı kabul edilmektedir (Onaran, 2014). Kayacın doluluk oranı (komposite, k) toplam hacmi 1 kabul edilen kayacın, toplam porozitesinin (p) toplam hacimden çıkarılması ile elde edilir. Eşitlik 3 ile komposite yaklaşık %88,74 olarak hesaplanır.

$$k = 1 - p \quad (3)$$

### Mekanik Özellikler

Lefke taşının mekanik özellikleri laboratuvar ortamında belirlenmiştir. Kumtaşlarının tek eksenli sıkışma dayanımı, sabit moment altında eğilme dayanımı, aşınma direnci ve Knoop sertlik değerleri ilgili standartlara göre laboratuvarında tayin edilmiştir. Tablo 2 Lefke taşının mekanik özelliklerinin ortalama değerlerini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar kumtaşların mekanik durumlarını ortaya koymaktadır. Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri 50×50×50 mm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Taşların tek eksenli sıkışma dayanımına göre sınıflandırması genelde silindir numuneler üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre değerlendirilmektedir. Küp numuneler üzerinde yapılan deney sonuçlarının, silindir numuneler ait deney sonuçlarına dönüşümünde ise genelde beton numuneler üzerindeki deney sonuçlarına göre regresyon analizleri yapılmıştır. Bu konuda Day (1996), Monday ve Dhir (1984) Sangha ve Dhir (1972) ve BS1881standartında farklı görgül regresyon veya dönüşüm bağıntıları

verilmiştir. Bu bağıntılarla ilgili olarak Arıoğlu vd (1996) tarafından hazırlanan kaynakta yüksek dayanımlı betonlarda 90 günlük kür sonrası küp-silindir numuneler arasındaki tek eksenli sıkışma dayanım ilişkisindeki regresyon katsayısı 0.88 ile 0.99 aralığında önerilmiştir. Lefke taşından hazırlanan küp numunelerin tek eksenli basınç dayanımı ortalama 94 MPa olarak belirlenmiştir. Bu değer silindir numune olarak karşılığı yukarıdaki bağıntıya göre 85 MPa dolayındadır. Bu değer Deer ve Miller (1966) sınıflamasında orta dayanımlı kaya sınıfını ifade etmektedir. Kumtaşının eğilme dayanımı ortalama 11,45 MPa olup TS 11145 (1993) konglomera için belirlenen eğilme dayanımı sınır değerinden (7 MPa) yaklaşık %63,6 daha yüksektir. Knoop sertlik (HK) katsayısı 353 olup Mohs sertlik skalasındaki karşılığı orta sertliği gösteren 4,5-5'tir. Geniş disk aşındırma (WWA, Capon yöntemi) deneyleri sonucunda ortalama aşınma değeri 18,43 mm elde edildiğinden Çobanoğlu ve Çelik (2017) sınıflamasına göre orta aşınabilir kaya grubuna girmektedir.

**Tablo 1.** Lefke taşının fiziksel özellikleri

Deneyler	İlgili Standart	Numune Sayısı	Ortalama	Standart Sapma	Anon (1979) Sınıflamasına Göre
Görünür Yoğunluk (B), (g/cm <sup>3</sup> )	TS EN 1936	6	2,38	0,051	
Özgül Ağırlık, (g/cm <sup>3</sup> )	ASTM D 5500-06	5	2,68	0,009	Orta (2,2 - 2,55)
Ağırlıkça Su Emme (Sa), (%)	TS EN 13755	6	2,93	0,56	
Hacimce Su Emme (Sh), (%)	Sh=SaxB	-	6,97	-	
Açık Gözeneklilik	TS EN 1936	6	7,07	2,42	
Toplam Gözeneklilik	TS EN 1936	6	11,26	1,91	Orta (%5- %15)
Don Sonrası Kütle Kaybı	TS EN 12371	10	0,12	-	

**Tablo 2.** Lefke taşının mekanik özellikleri

Deneyler	İlgili Standart	Numune Sayısı	Ortalama	Standart Sapma	Tanımı	Sınıflama Adı
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (MPa)	TS EN 1926	10	94 (Küp) 85 (Karot)	21	Orta Dayanımlı Kaya (56-112 MPa)	Deer ve Miller (1966)
Eğilme Dayanımı (MPa)	TS EN 13161	10	11,45	5,85	$\geq 7$ MPa	TS 11145 (1993) Konglomera Yapı Taşı Özellikleri
Knoop Sertlik (HK), [Mohs]	TS EN 14205	40 Ölçüm	353 (4,5-5)	40,76	Orta Sertlikte	Mohs Sertlik Skalasına Göre
Aşınma Dayanımı (Mm), WWA	TS EN 14157	6	18,43	3,85	Orta Aşınabilir Kaya	Çobanoğlu ve Çelik (2017)

### Yapıtaşı Olarak Kullanılabilirliği

Kumtaşları geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılmakta olan yapıtaşı malzemelerdir. Yapıtaşı olarak kullanılabilirlik özellikleri için standartlarda belirlenen sınır değerler olması yanında binalar ve yapılarda uzun süreli kullanımları da önem arz eder. Ülkemizde kumtaşlarının yapıtaşı olarak özellikleri ve kullanımlarını değerlendiren çeşitli araştırmalar mevcuttur (Kılıç, 2017; Kılıç ve Gültekin, 2017; Kılıç ve Gültekin, 2011; Özkan ve Yaşar, 2007). Ülkemiz yanında özellikle Amerika, Kanada, İngiltere ve Avustralya gibi ülkelerde yaygın bir şekilde kumtaşlarının yapıtaşı olarak kullanılması üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Hockman ve Kessler, 1957; Crocq, 2010; McCabe vd., 2011; Cooper ve Kramer, 2014). Lefke taşının yapı taşı olarak kullanılabilirliği için gözlemsel ve ASTM C616 (2015) ile Quick (2002) tarafından önerilmiş sayısal değerlendirmelerden yararlanılmıştır. Gözlemsel olarak Lefke taşının arazide ki durumu yanında bina ve yapılarda kullanımı göz önünde bulundurulmuştur. Arazide mostralardaki sağlam, ayrışmadan fazla etkilenmemiş hali bina ve yapılarda da kendini göstermektedir. Sayısal

değerlendirme şemalarından ilki ASTM C616 (2015) kuvars içerikli yapı taşları için standart özellikler standardıdır. Bu standartta silis içeriğine göre kayaçlar kumtaşı ( $\text{SiO}_2 \leq \%60$ ), kuvarsitik kumtaşı ( $\text{SiO}_2 \leq \%90$ ) ve kuvarsit ( $\text{SiO}_2 > \%95$ ) olarak sınıflandırılmaktadır. Her bir sınıfa ait fiziksel ve mekanik özelliklerin minimum veya maksimum değerleri Tablo 3'te verilmektedir. Lefke kumtaşı kimyasal analizlerine göre  $\text{SiO}_2$  içeriği ortalama %48 civarı olup ASTM C616 (2015) standardına göre I. grup sınıflamaya (kumtaşı) girmektedir. Bu sınıflama için belirlenmiş olan minimum ve maksimum değerleri, Lefke kumtaşı gereğinden fazla bir şekilde sağladığı görülmektedir (Tablo 3).

İkinci sayısal değerlendirme şeması Quick (2002) çalışmasında yapıtaşı olarak kullanılan kumtaşlarının en belirgin özelliklerinin değişim aralıklarıdır. Lefke kumtaşının fiziksel ve mekanik özelliklerinin sayısal değerlerinin Quick (2002)'de verdiği sayısal değişim aralıklarına göre değerlendirmenin sonucu Şekil 5'te verilmektedir. Bu değerlendirme şemasına göre Lefke kumtaşının fiziksel ve mekanik özelliklerinin sayısal değerleri yapıtaşı olarak kullanılan

kumtaşları için verilen değişim aralıkları içinde kaldığı görülmektedir (Şekil 5).

Lefke taşının ülkemizde yapı taşı olarak değerlendirilebileceği alanların başında inşaat sektörü ve restorasyon işleri gelmektedir. İnşaat sektörü ülkemizde çok dinamik ve gelişen bir yapıya sahip olduğundan doğal yapı taşlarının inşaat sektöründe kullanımları sürekliliğini korumaktadır. İnşaat sektöründe kamu ve özel binalarda kaplama taşı, yer taşı, bordür taşı veya doğal yapı taşı kullanımı söz konusu iken tarihi yapı ve binalarda ise yüzeyde uygulanmış doğal yapıtaşlarının aşınan, eskiyen ve yıpranan kısımlılarının değişimi söz konusu olmaktadır. 2017 yılında başlayıp halen devam eden Haydarpaşa tren garı restorasyonu için kullanılan Lefke taşı buna güzel bir örnektir.

### Ekonomik potansiyel

Doğal yapı taşları ekonomik olarak önemli jeolojik malzemedir. Bu malzemelerin fiziksel, mekanik, kimyasal ve teknolojik özelliklerinin uygun olması yanında görsel

olarak da uygun olması gerekmektedir. Ayrıca sağlık açısından da herhangi bir olumsuz unsur içermemelidir. Çimentosu ve taneleri silisli olan kumtaşları görünüş ve renk özelliklerinin de uygun olmasıyla en uygun doğal yapı taşı potansiyeline sahiptirler. Bu özellikleri bünyesinde barındıran ve çalışma konusu olan “Lefke Taşı” bu anlamda uygun bir doğal yapı taşı olmaktadır. Bu taşın yaklaşık 100 sene önce Haydarpaşa Tren Garı binasında kaplama taşı olarak kullanılması bu taşın yapıtaşı olarak kullanılmasında referans bir uygulama olmuştur. Bu binada dış cephe olarak sergilediği performans taşın farklı yapılarda da doğal taş olarak kullanılmasını cazibeli hale getirmektedir. Bu nedenle Lefke taşının bir ekonomik değeri ortaya çıkmaktadır. Söz konusu ekonomik değer bölgede yer alan jeolojik malzemenin toplam rezervi ile alakalıdır.

**Tablo 3.** Lefke taşı özelliklerinin ASTM C616 (2015) standardına göre değerlendirilmesi.

Parametre	Test Şartı	Sınıflama		Lefke Kumtaşı
Ağırlıkça su emme, maks., (%)	8	I	Kumtaşı SiO <sub>2</sub> ≤60	2,93
	3	II	Kuarsitik Kumtaşı SiO <sub>2</sub> ≤%90	-
	1	III	Kuarsit SiO <sub>2</sub> > %95	-
Görünür yoğunluk, min., (kg/m <sup>3</sup> )	2000	I	Kumtaşı	2380
Tek eksenli sıkışma dayanımı, min., (MPa)	28	I	Kumtaşı	94

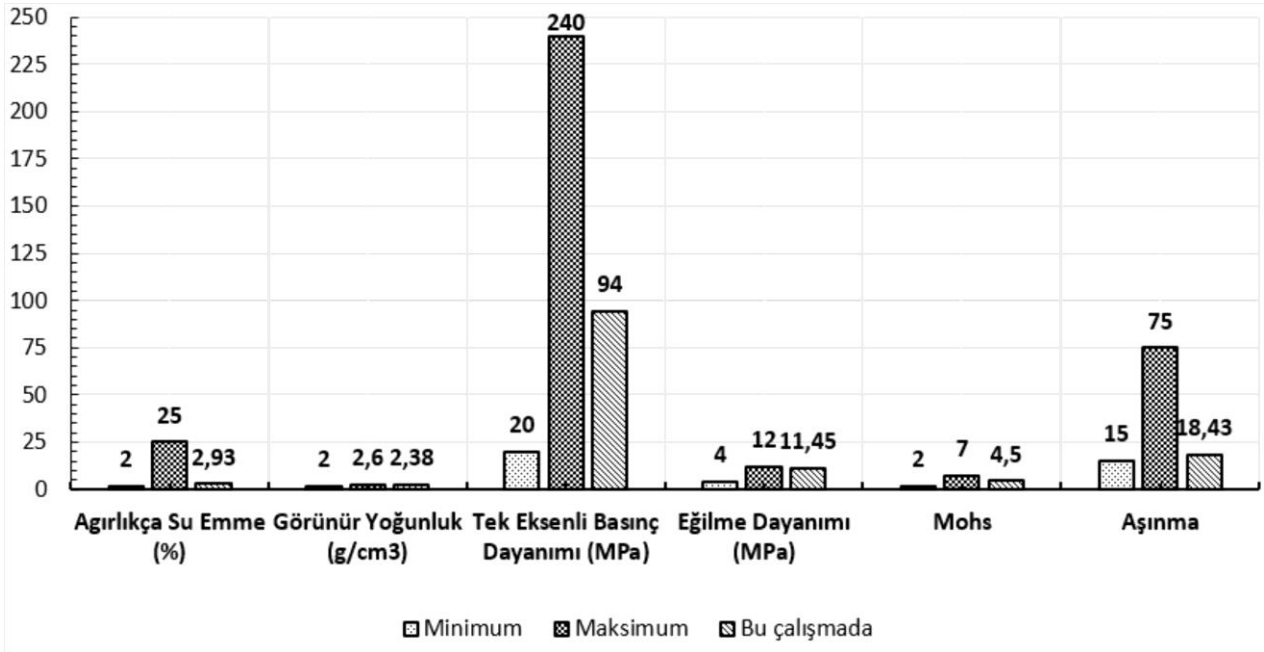


Eğilme dayanımı, min., (MPa)	2,4	I	Kumtaşı	11,45
Aşınma dayanımı, min., (Ha)	2	I	Kumtaşı	18,43

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına bağlı Maden İşleri Genel Müdürlüğü'nün 2018 yılında yayınladığı istatistik verilere göre, 2016 ve 2017 yıllarında İstanbul Maden İhracatçıları Birliği (İMİB) maden ihracat değerleri verisinde yurtdışına satışı yapılan madenler içinde en yüksek rakama sahip doğal yapı taşlarının olduğu görülmektedir (Tablo 4). 2017 ihracat tutarı yaklaşık 2 milyar dolar ile maden ihracatının yaklaşık %47'sini doğal taşlar oluşturmaktadır. Doğal yapı taşlarının yurtdışı satışı yanında yurtiçi üretim ve satışları da ülke ekonomisinde önemli yer tutmaktadır. Yurtdışı ve yurtiçi

üretimi yapılan doğal yapı taşların en büyük kullanım alanı inşaat sektörüdür. Günümüzde doğal yapı taşları zemin döşemelerinde (%40), iç ve dış kaplamada (%27), anıt yapılarında ve mezarlıkta (%13), süs eşyası yapımında (%8) ve diğer alanlarda (%12) kullanılmaktadır (Ekincioglu vd., 2014).

Buna göre doğal yapı taşlarının inşaat sektöründe kullanım alanlarının önemli bir payının olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla, bu çalışmada ortaya konulan Lefke taşının jeolojik, fiziksel ve mekanik özellikleri inşaat sektörüne doğal yapıtaşı kullanımında yol gösterici bir çalışma olacaktır.



Şekil 5. Yapıtaşı olarak kullanılan kumtaşlarının en belirgin özelliklerinin değişim aralıkları Quick (2002) ve Lefke taşının değerleri

**Tablo 4.** Yıllara göre maden grubu ihracat tutarları (<http://www.migem.gov.tr/Istatistik.aspx>)

Mal Grubu	2016 İhracat Tutarı (\$)	2017 İhracat Tutarı (\$)
Endüstriyel Mineraller	758800227	874877173
Metalik Cevherler	932236730	1400026746
Doğal Taşlar	1805525185	2048092463
Mineral Yakıtlar	6839076	12085872
Toplam	3503401220	4335082256

### Muhtemel Rezerv

Taş ocağı alanının seçimi yapılırken, en önemli nokta, istenilen kalitede taş miktarının bulunmasıdır. Rezerv tahmini yeni potansiyel ocakların belirlenmesinde yardımcı olabilir. Toplam rezerv aşağıdaki formüle göre hesaplanabilir:

$$\text{Toplam Rezerv (ton)} = \text{Alan (m}^2\text{)} \times \text{Kalınlık (m)} \times \text{Görünür Yoğunluk (ton/m}^3\text{)}$$

Lefke Formasyonu içinde yer alan Lefke taşının tahmini rezervi alan, kalınlık ve

yoğunluk değerlerinin çarpılması yöntemiyle hesaplanmıştır. Bu çalışmada saha çalışmalarıyla jeoloji haritası hazırlanarak birimin yayılımı (alanı) ve birim kalınlığı ölçülü stratigrafik kesitlerle belirlenmiştir. Laboratuvarda TS EN 1936 (2010) standardına göre elde edilen ortalama görünür yoğunluk değeri rezerv hesabında kullanılmıştır. Bu verilere göre Lefke taşının muhtemel rezerv değeri  $2677,5 \times 10^6$  ton olarak bulunmuştur (Tablo 5).

**Tablo 5.** Lefke taşının arazi ve laboratuvar verilerine göre hesaplanan muhtemel rezervi

Kayaç Adı	Alanı (m <sup>2</sup> )	Ölçülebilen Kalınlık (m)	Görünür Yoğunluk (ton/m <sup>3</sup> )	Toplam Rezerv (ton)
Lefke Taşı	$75 \times 10^6$	15	2,38	$2677,5 \times 10^6$

### Sonuçlar ve öneriler

Lefke taşının fiziksel ve mekanik özellikleri yapıtaşı olarak kullanılmasının belirlenmesi amacıyla ortaya konmuştur. Gözlemsel ve iki şematik sayısal değerlendirme yöntemleriyle Lefke taşının yapıtaşı özellikleri değerlendirilmiştir. Gözlemsel olarak arazideki sağlam görünümü ve duruşu, eski yapılarıdaki kullanımı ve estetik görünümü öne çıkmıştır. Şematik sayısal değerlendirmenin ilki, ASTM C616 (2015) standardındaki kumtaşı için fiziksel ve mekanik özelliklerin sınır değerleri fazlasıyla

sağlaması olmuştur. İkinci sayısal şematik değerlendirme Quick (2002)'e göre Lefke kumtaşının fiziksel ve mekanik değerlerinin yaygın yapıtaşı olarak kullanılan kumtaşlarının minimum ve maksimum değerleri arasına düşmesi ile sağlamıştır. Ayrıca, Lefke taşının Şekil 5. Yapıtaşı olarak kullanılan kumtaşlarının en belirgin özelliklerinin değişim aralıkları Quick (2002) ve Lefke taşının değerleri hesaplanmış suya doyma oranı ( $S = \%62,5$ )  $\%80$ 'den düşük olduğundan dona dayanıklı olduğu kabul edilmektedir. Gözlemsel değerlendirmelerin olumlu olması, iki şematik sayısal değerlendirmenin sağlanmış olması ve görgül

olarak donda dayanıklı olduğunun kabul edilmesi gibi değerlendirmeler ile Lefke kumtaşının yapıtaşı olarak kullanımının uygun olduğu sonucuna varılmaktadır.

Literatür araştırmaları sonucu Lefke taşı ile ilgili ayrıntılı jeolojik, mineralojik, mühendislik çalışmalarının kısıtlı veya hiç olmadığı görülmüştür. Bu anlamda bu çalışma Lefke taşının, jeolojik, mineralojik, fiziksel ve mekanik özelliklerini ortaya koyan bir çalışma niteliğindedir. Ayrıca, bu çalışmanın Lefke taşının yapı taşı olarak kullanılabilirliği ile ilgili ilk çalışma olmasından dolayı literatürde referans bir çalışma olarak yerini alacaktır. Doğal yapı taşı sektörü için bu çalışma unutulmaya yüz tutmuş olan Lefke taşı için bir farkındalık oluşturacaktır. Bu çalışma ile ortaya konulan Lefke taşının jeolojik, fiziksel ve mekanik özellikleri yardımıyla açılması düşünülen ocak işletmesinin en uygun lokasyonu, taş kesme makinalarının seçimi, nakliye özellikleri, malzeme özellikleri, rezerv bilgisi ve üretilecek doğal yapıtaşlarının kullanım alanlarına uygunluğunun belirlenmesi gibi etkilerle endüstriye katkısı söz konusu olacaktır.

Lefke taşının farkındalığını arttırmak için daha çok araştırmalar yapıp bu araştırmaların literatürde yerini alması sağlanmalıdır. Bu konularda yapılacak ortak projelerin belediyeler, ticaret odaları, üniversiteler tarafından desteklenmesi proje sonuç çıktılarının çeşitliliğini arttıracaktır. Yerel belediye tarafından düzenlenecek üniversite destekli bir çalıştay veya tasarım atölyesi ulusal bazda taşın tanıtımına olumlu katkılar sağlayacaktır. Daha detaylı rezerv tespiti için belli noktalarda sondaj ve jeofizik ölçümler yapılması yerinde olacaktır. Detaylı rezerv tespitinden sonra bu çalışmanın sonuçlarından da yararlanılarak uygun bir lokasyonda açılacak olan bir taş ocağının yerel ekonomiye katkısı yeniden sağlanmalıdır.

## Teşekkür

Yazarlar İstanbul Ticaret Üniversitesi YAPKO birimine sağladığı finansal destek ve arazi çalışmaları esnasında lojistik destek veren Osmaneli Belediyesi'ne ve makalenin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Jeo. Y. Müh. K. Ömer TAŞ'a teşekkür eder.

## Kaynaklar

- Anon. (1979). Classification of Rocks and Soils for Engineering Geological Mapping. Part 1-Rock and Soil Materials. Bull. Int. Ass. Eng. Geo. 19, 364-371.
- Arıoğlu, E., Arıoğlu, N., Girgin, C. (1999). Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonlarda Numune Şekil-Boyut Etkisi, Hazır Beton Dergisi, Sayı:31, 40-50.
- ASTM C616/C616M-15. (2015). Standard Specification for Quartz-Based Dimension Stone, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D5550-06. (2006). Standard Test Method for Specific Gravity of Soil Solids by Gas Pycnometer, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- BS 1881 (1983). Testing Concrete, Method for Determination of the Compressive Strength of Concrete Cores.
- Cooper, B., Kramer, S. (2014). Sydney Sandstone: Heritage Stone from Australia, EGU General Assembly Conference Abstracts, 16, 16465.
- Crocq, C. S. (2010). Building Stone in Alberta; Energy Resources Conservation Board, ERCB/AGS Open File Report 2010-01, 52 p.
- Çelik, M. Y. (2003). Dekoratif Doğal Yapı Taşlarının Kullanım Alanları ve Çeşitleri. Madencilik, 42 (1), 3-15.
- Çobanoğlu, İ., Çelik, S. B. (2017). Assessments on The Usability of Wide

- Wheel (Capon) Test as Reference Abrasion Test Method for Building Stones. *Construction and Building Materials*, 151, 319–330.
- Day, K.W. (1996). *Concrete Mix Design Quality Control and Specification*, Spon, England.
- Deere, D. U., Miller, R. P. (1966). *Engineering Classifications and Index Properties of Intact Rock*. Technical Report No: AFWL-TR 65-116, University of Illinois, 300 p.
- Duru, M., Gedik, İ. Aksay, A. (2002). 1:100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No:37 Adapazarı H-24 Paftası. MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Ekincioglu, G., Başbüyük, Z., Ekdur, E., Ballı, F. ve Kanbir, E. S. (2014). *Kırşehir Doğal Taş Sektör Analizi ve Yatırım İmkânları Raporu*, Ahiler Kalkınma Ajansı, Kırşehir, 102 sayfa.
- Erdem, P. N. (1981). *Mühendislik Jeolojisi*. İDMM Akademisi Yayınları, 156, İstanbul, 467 sayfa.
- Göncüoğlu, M. C., Turhan, N., Şentürk, K., Uysal, Ş., Özcan, A. ve Işık, A. (1996). Orta Sakarya’da Nallihan-Sarıcakaya arasındaki yapısal birliklerin jeolojik özellikleri. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No:10094*, Ankara, 173 sayfa.
- Granit, Y., Tintant, H. (1960). *Observation Préliminaires Sur Le Jurassique De La Région De Bilecik (Turquie)*. C. R. Acad. Sci. Paris, 251, 1801-1803.
- Hockman, A. and Kessler, D. W. (1957). A study of the properties of the U.S. Capitol sandstone, National Bureau of Standards Report 4998, Gaithersburg, MD, 29 p.
- Kaya, A. C., Yapıcı, N., Anıl, M. (2008). *Midyat Taşının Kaplama ve Yapı Taşı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. *Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19 (3), 94-104.
- Kılıç, İ. (2017). Yapı Malzemesi Olarak Yenimuhacir Kumtaşının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6 (3), 1-11.
- Kılıç, İ., Gültekin, A. H. (2011). The Physical Properties of Edirne (Keşan) Region Sandstones as Building Stone. 6<sup>th</sup> International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), Fırat University, 16-18 May 2011, Elâzığ / TURKEY, 228 – 232.
- Kılıç İ., Gültekin, A. H. (2017). Tarihi Edirne Gar Binasında Kullanılan Kumtaşlarında Görülen Bozulma Nedenleri, *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, 3, 56-67.
- Kumsar, H., Çelik, B. S. Aydan, Ö. and Ulusay, R. (2003). Aphrodisias: Anatolian Antique City of Building and Sculptural Stones. *Proceedings of the International Symposium on Industrial Minerals and Building Stones*, 15-18 September 2003, İstanbul, E. Yüzer, H. Ergin and A. Tuğrul (eds.), 301-309.
- McCabe S., Smith B., Adamson C., Mullan D., McAllister D. (2011). The ‘Greening’ of Natural Stone Buildings: Quartz Sandstone Performance as a Secondary Indicator of Climate Change in the British Isles? *Atmospheric and Climate Sciences*, 1 (4), 165-171.
- Monday, J. G. L., Dhir R. K. (1984) “Assessment of In-Situ Concrete Quality by Core Testing” In *Situ/Nondestructive Testing of Concrete* (Editor: V. M. Malhotra) ACI Publication, SP-82.
- Onaran, K. (2014). *Malzeme Bilimi*, 13. Baskı, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 383 sayfa.

- Özkan, S., Yaşar, E. (2007). Salbaş (Adana) Kumtaşlarının Fiziko-Mekanik ve Petrografik Özelliklerinin İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16 (2), 112-120.
- Quick, G. W. (2002). CSIRO Selective Guide to The Specification of Dimension Stone. *Discovering Stone Magazine*, 1, 8-21.
- Saner, S. (1977). Geyve-Osmaneli-Gölpazarı-Taraklı Alanının Jeolojisi; Eski Çökeltme Alanları ve Çökeltmenin Evrimi. MTA Raporu, No: 6306 (İstanbul Üniversitesi Tatbiki Jeoloji Kürsüsü, Doktora Tezi).
- Saner, S. (1980). Mudurnu-Göynük Havzasının Jura ve Sonrası Çökeltim Nitelikleriyle Paleocoğrafik Yorumlaması. *T.J.K Bülteni*, 23, 39-52.
- Sangha C. M., Dhir, R. K., (1972). Strength and Complete Stress-Strain Relationship for Concrete Tested in Uniaxial Compression Under Different Test Conditions, *Material and Structures, RILEM*, Vol. 5, No. 30.
- TS 11145. (1993). Konglomera-Yapı ve Kaplama Taşı Olarak Kullanılan, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 10 sayfa.
- TS EN 1926. (2000). Doğal Taş Deney Metotları-Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 10 sayfa.
- TS EN 1936. (2010). Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 10 sayfa.
- TS EN 12371. (2003). Dona Dayanım Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 12 sayfa.
- TS EN 13161. (2009). Sabit Moment Altında Eğilme Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 17 sayfa.
- TS EN 13755. (2009). Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 10 sayfa.
- TS EN 14157. (2017). Doğal Taşlar- Deney Yöntemleri-Aşınma Direncinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 19 sayfa.
- TS EN 14205. (2004). Doğal Taş Deney Metotları- Knoop Sertliğinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 11 sayfa.

## **Geological and Engineering Properties of Lefke Stone (Osmaneli /Bilecik) used as Natural Building Stone in Old Structures**

### **Extended abstract**

*Lefke stone is a kind of sandstone and it was widely used in the mosque, madrasa, churches and houses in the center of and around the Osmaneli district along with Istanbul Haydarpaşa train station, Eskişehir government mansion, Bebek and Bostancı mosques as building stone. However, there is no scientific literature about Lefke stone to be used as a building stone. A study investigating geological, physical and mechanical properties was carried out to fill this gap and to determine the building stone properties of the Lefke stone. The study area is in the southern part of Osmaneli (Bilecik) county in the Marmara Region. The sandstones outcropped near Osmaneli and named as Lefke stone have the characteristics of natural building stone. Lefke Stone is yellowish or greenish with massive, thick-medium-thin bedding and alternates with shale, marl, claystone and mudstone lithologies. The main properties affecting the strength of rocks are physical, mechanical, durability and mineralogical properties. It is very important to determine and relate these properties for*

*rocks to be used as building materials and in engineering projects. In this study, the geological features and building stone properties of the sandstone rocks outcropped in the southern part of the Osmaneli county of Bilecik province were investigated. Field and laboratory studies were carried out in order to evaluate Lefke stone as a building stone. The geological characteristics of the Lefke stone with field studies and its physical and mechanical properties with laboratory studies have been determined. While the field trips consisted of outcrop studies and taking samples, laboratory studies included the relevant tests in accordance with the standards (TSE, ASTM) to determine the physical and mechanical properties of the Lefke stone. The building stone properties of the Lefke Stone yielded an average apparent density of 2.38 g/cm<sup>3</sup>, a specific gravity of 2.68 g/cm<sup>3</sup>, a total porosity of 11.26%, a water absorption of 2.93% by weight, a uniaxial compressive strength of 94 MPa, a flexure strength of 11.45 MPa, a Mohs hardness of 4.5-5. The usability of Lefke sandstone as a building stone was assessed according to field observations and the help of values of physical and mechanical properties obtained from laboratory tests.*

**Keywords:** *Lefke Stone, Building stone, Sandstone, Osmaneli, Physical and Mechanical properties*