



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

Şanlıurfa'da Bulunan Harran Kalesi'nin Taşlarında Meydana Gelen Bozunmaların Tespiti

Determination of Deteriorations of The Stones of The Harran Castle in Sanliurfa

Yazar(lar) (Author(s)): Fatma Şebnem KULOĞLU YÜKSEL¹, Niyazi GÜVEN²

¹ ORCID ID: 0000-0002-2581-4823

² ORCID ID: 0000-0003-0712-6864

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Kuloğlu Yüksel F.Ş., Güven N., "Şanlıurfa'da Bulunan Harran Kalesi'nin Taşlarında Meydana Gelen Bozunmaların Tespiti", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(3): 247-259, (2020).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>



Şanlıurfa'da Bulunan Harran Kalesi'nin Taşlarında Meydana Gelen Bozunmaların Tespiti

Fatma Şebnem KULOĞLU YÜKSEL¹, Niyazi GÜVEN^{2,*}

¹Harran Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 63300, Haliliye/ŞANLIURFA

²Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 63300, Haliliye/ŞANLIURFA

Öz

Şanlıurfa'da bulunan Harran Kalesi, Şanlıurfa'daki tarihi eserlerin en önemlilerinden biridir. Kale-Saray kompleksi yapı 3 katlı ve 150 odası bulunan, 130x90 metre kare boyutlarında dikdörtgenimsi bir yapıdır. Yapının içinde aynı zamanda tam teşekküllü bir hamam da bulunmaktadır. Harran Kalesi hem heybetli mimarisiyle hem de zengin tarihiyle görenleri kendine hayran bırakan bir kaledir. Bu çalışmada Harran Kalesi'nden taş örnekleri alınmış ve bu örnekler fiziksel, kimyasal ve mekanik deneyler uygulanmıştır. Bu uygulamaların sonuçları doğrultusunda kale taşlarında meydana gelen bozunmalar tespit edilmiş, şu an yapılmakta olan ve gelecekte yapılacak olan koruma ve restorasyon çalışmalarına önerilerde bulunulmuştur.

Makale Bilgisi

Başvuru: 06/08/2020

Yayın: 25/12/2020

Anahtar Kelimeler

Harran Kalesi
Doğal Taşlar
Taş Bozunmaları

Keywords

Harran Castle
Natural Stones
Stone Weathering

Determination of Deteriorations of The Stones of The Harran Castle in Sanliurfa

Abstract

Harran Castle is one of the most important historical monuments in Sanliurfa. The Castle-Palace complex is a rectangular building with 3 floors and 150 rooms, measuring 130x90 square meters. There is also a full-fledged hammam in the building. Harran Castle is a castle that fascinates those who see it with its imposing architecture and rich history. In this study, stone samples were taken from Harran Castle and physical, chemical and mechanical experiments were applied to these samples. In line with the results of these applications, the deterioration in the castle stones has been identified, and suggestions have been made for the conservation and restoration works that are currently being done and will be done in the future.

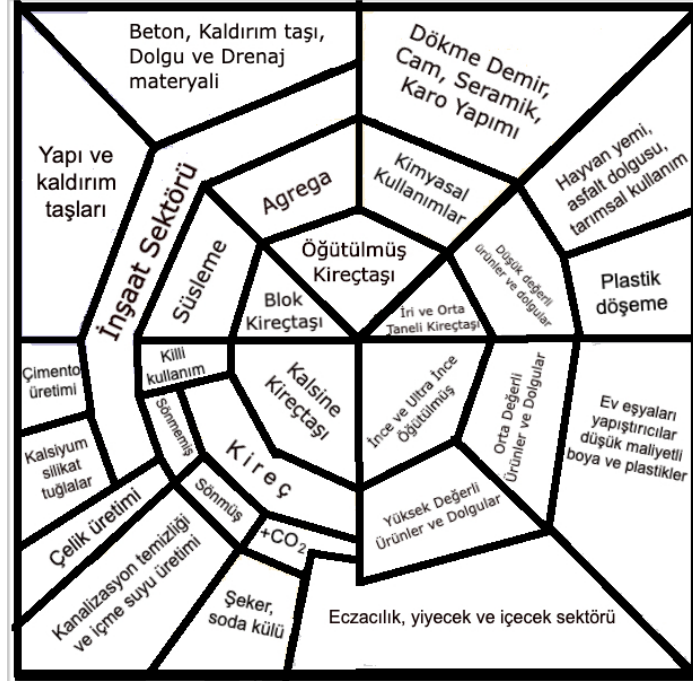
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Şanlıurfa'da çok sayıda tarihi eser bulunmaktadır. Bu eserlerin en önemlilerinden biri Harran'da bulunan Harran Kalesi'dir. Harran Kalesi son yıllarda yapılan yenilemeler ve arkeolojik kazılar sayesinde Şanlıurfa'nın en turistik yerlerinden biri olmaya adaydır. Harran kalesi Harran'ın en iyi muhafaza edilmiş yapıdır. Evliya Çelebi de bu yapıyı görmüş, ve yapıdan çok etkilenmiştir. 17'nci yy. da defterine 'Çöl içinde gayet sağlam bir kale, sanki ustanın elinden yeni çıkmış gibi duruyor' diye not almıştır. Harran kalesi Şanlıurfa ilinin güneydoğusunda bulunan kale-saray tarihi yapıdır. Kalenin yaşı, farklı tarihi dönemlerde üzerine eklemeler yapıldığı için tam olarak bilinmemekle birlikte kalenin en eski kalıntılarının Hitit dönemine ait karakteristikleri taşıdığı görülmüştür. Bu da M.Ö. 14. yy. ortalarına denk gelmektedir. Ancak kalenin son halini 8. yy. da aldığı tahmin edilmektedir [1]. Kale-Saray kompleksi yapı 3 katlı ve 150 odası bulunan, 130x90 metre kare boyutlarında dikdörtgenimsi bir yapıdır. Kalenin neredeyse tamamı kireçtaştan yapılmış olmasına rağmen bazı odalarda tuğla ve bazalt kullanıldığına da rastlanmıştır. Dikdörtgene yakın bir şekli ve biri yıkık olmak üzere 4 adet çokgen şekilli kuleleri vardır. Uzun kenarı kuzeydoğu-güneybatı ekseninde uzanmaktadır. Dört tarafında da bir dönem hendekler olduğu tahmin edilmektedir. Kale hendek dibinden en yüksek siperine kadar 30 metre yüksekliğindedir. Kalenin savunma

* Niyazi GÜVEN, e-mail: niyaziguven63@hotmail.com

duvarları yer yer 3 m kalınlığa ulaşabilmektedir [2]. Kalede kullanılmış taşların kalenin yaklaşık 18 km güneydoğusunda bulunan ve eskiden beri taş ocağı olarak kullanılmış, Bazda mağaralarından getirildiği düşünülmektedir.

Kalede kullanılan taşlar doğal taşların sedimenter taşlar sınıfına giren kireçtaşıdır. Kireçtaşı Urfa ve çevresinde bol miktarda bulunan bir doğaltaştır. Kireçtaşı insanlık tarihi boyunca birçok yapının temel taşı olarak kullanılmıştır. Yapılarda tercih edilmesinin sebebi ise kolay şekil verilmesi, dayanıklı olması, kolay temin edilmesi ve estetik bir duruşunun olmasıdır. Şekil 1’de kireçtaşının çeşitli alanlardaki kullanımları görülebilmektedir.



Şekil 1. Kireçtaşının kullanıldığı alanlar [3]

Ancak hiç bir malzeme mükemmel değildir ve her malzeme gibi doğaltaşlar da zamanla dayanıklılıklarını kaybetmeye ve bozunmaya başlar. Doğaltaşlarda görülen bu bozunmalar fiziksel, kimyasal veya biyolojik olabilmektedir [4]. Fiziksel bozunmalar doğal taşların mineral yapılarında bir değişiklik meydana gelmeden ufalanma yoluyla kütle kaybına uğramaları olarak tanımlanabilir. Bu tür bozunmalar genel olarak taşların dış yüzeylerinden etkimeye başlayıp içe doğru ilerler ve zamanla taşı tamamen ufalayıp taş döngüsüne tekrar katar. Fiziksel bozunmalar kimyasal ve biyolojik bozunmalara da zemin hazırlar. Fiziksel bozunmaların en sık görüldüğü bölgeler arasında don etkilerine maruz kalan yerler gösterilebilir. Taşları bu tür bozunmalardan korunmak için yapılması gereken en önemli şey taşı sudan korumaktır [5].

Kimyasal bozunmalar taşı oluşturan minerallerin yapısının çeşitli kimyasal tepkimeler sonucu bozunmasıdır. Bu bozunma türünde taş su, çeşitli gazlar ve atıklara maruz kaldığında taşı oluşturan minerallerin içindeki bileşikler bu kirleticilerle tepkimeye girer ve taş zamanla dayanım kaybına uğrar. Fiziksel bozunmayla çatlamış kayaların içine giren su ve ya karbonik asit gibi aşındırıcılar taşlardaki mineralleri çözerek çatlakların ve kusurların daha da büyümesine sebep olur. Kimi zaman da suyun taşın içindeki mineralleri pas gibi başka bileşiklere dönüştürüp bu bileşiklerin oluşumu sırasında meydana gelen hacim artışının taştaki çatlakları daha da büyüttüğü görülür [6].

Biyolojik bozunmalar ise canlı organizmaların sebep olduğu bozunmalardır ki bunlar fiziksel ve kimyasal da olabilmektedir. Bu tür bozunmaya sebep olan en yaygın canlılar bitkiler ve mantarlardır. Bitkilerin köklerinin taşları yarması ve mantarların alglerle liken denen simbiyotik bir yaşam biçimi oluşturması sebebiyle ortaya çıkardıkları asidik bileşenlerin taşları çözmesi bunlara örnek olarak verilebilir [7].



Şekil 2. Harran Kalesi taşlarındaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozunmalar [3]

2. MATERYAL ve METOT (MATERIAL and METHODS)

Bu çalışmada Harran Kalesi'nin taşlarından örnekler alınıp standartlara uygun boyutlarda kestirilerek bu örneklerle çeşitli deneyler uygulanmıştır. Bu deneyler sonucunda Harran Kalesi'nin taşlarında meydana gelen bozunmaların ve dayanım ve dayanıklılık kayıplarının öğrenilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda taşlara kılcal yolla su emme deneyi, atmosfer basıncı altında su emme deneyi, tek eksenli basınç deneyi, ultrases geçiş hızı deneyi, donma-çözünme dayanıklılığı deneyi, gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini deneyi, XRF analizi ve spektrofotometre ile renk analizi uygulanmıştır [3].

2.1 Kılcal Yolla Su Emme Deneyi

Bu deney için 50 mm'lik 24 adet küp numune kestirilmiş ve deney TS EN 1925'te belirtildiği gibi uygulanmıştır [8]. Numuneler ilk olarak etüve yerleştirilmiş ve 70 °C de 24 saat bekletilmiştir. 24 saat sonunda etüvden alınan numuneler 2 saat soğumaya bırakıldıktan sonra tartılmış ve bu değer etüv kurusu ağırlık şeklinde yazılmıştır. 24 saat oda sıcaklığında bekletildikten sonra tekrar tartılmış ve bu değer ise oda nemi ağırlığı şeklinde yazılmıştır.

Deney işlemi için önce numunelerin sadece tabanlarından su aldıklarından emin olmak için numunelerin kenarlarına 5 mm kalınlığında silikon sürülmüştür. Daha sonra silikonlu numunelerin kuruması beklenecek ağırlıkları ölçülmüştür. Numuneler deney kabının içine yerleştirilmiş daha sonra kaba numune tabanını 3 mm geçecek kadar saf su koyulmuştur ve kronometre başlatılmıştır. 1., 3., 5., 10., 15., 30. ve 60. dakikalarda numuneler sudan çıkarılıp standartta belirtildiği şekilde tartılmış ve elde edilen değerler yazılmıştır. Bulunan bu değerlerden silikonlu ağırlıklar çıkarılarak kılcal yolla emilen su miktarı bulunmuştur.

Korelasyon katsayısı (C_1 ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0.5}$)) denklem (2.1)' de gösterildiği şekilde bulunmuştur.

$$C_1 = \frac{m_i - m_d}{A \sqrt{t_i}} \quad (2.1)$$

Eşitlikte m_i , deney numunesinin deneydeki su emmiş kütlesi (g), m_d , kuru deney numunesinin kütlesi (g), A , suya batırılmış yüzeyin alanı (m^2), t_i , deney başlangıcından ardaşık m_i kütlelerinin ölçüldüğü süreler (s)' dir.

2.2 Atmosfer Basıncı Altında Su Emme Deneyi

Bu deney için 50 mm'lik 24 adet küp numune kestirilmiş ve deney TS EN 13755'te belirtildiği gibi uygulanmıştır [9]. Numuneler ilk olarak etüve yerleştirilmiş ve 70 °C de 24 saat bekletilmiştir. 24 saat sonunda etüvden alınan numuneler 2 saat soğumaya bırakıldıktan sonra tartılmış ve bu değer etüv kuru ağırlık şeklinde yazılmıştır. 24 saat oda sıcaklığında bekletildikten sonra tekrar tartılmış ve bu değer ise oda nemi ağırlığı şeklinde yazılmıştır.

Deney işlemi için numuneler deney kaplarına yerleştirilmiş ve üzerlerini 3 mm aşacak kadar su ilave edilmiştir. Numune ağırlıkları 24 saat aralıklarla sabit kütleye ulaşınca kadar 48., 72., ve 96. saatlerde ölçülmüş ve elde edilen veriler yazılmıştır.

Deney sonucunda elde edilen atmosfer basıncındaki su emme değerleri (A_b (%)) denklem (2.2) ile aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$A_b = \frac{m_s - m_d}{m_d} \times 100 \quad (2)$$

Eşitlikte m_s , doymuş deney numunesinin kütlesi (sabit kütleye ulaşınca kadar suya daldırıldıktan sonra) (g), m_d , kuru deney numunesinin kütlesi (g)'dir.

2.3 Ultrases Hızı Tayini

Ultrases hızı tayini deneyi 300 mm x 75 mm x 50 mm'lik dikdörtgen prizma şeklinde 8 adet numune kullanılarak TS EN 14579'da belirtildiği şekilde yapılmıştır [10]. Numuneler ilk olarak etüve yerleştirilmiş ve 70 °C de 24 saat bekletilmiştir. 24 saat sonunda etüvden alınan numuneler 2 saat soğumaya bırakıldıktan sonra tartılmış ve bu değer etüv kuru ağırlık şeklinde yazılmıştır. 24 saat oda sıcaklığında bekletildikten sonra tekrar tartılmış ve bu değer ise oda nemi ağırlığı şeklinde yazılmıştır.

İlk olarak deney aletinin ekranında ses hızının ilerleyeceği mesafe olan 75 mm girilmiş daha sonra aletin transdüserlerine boşluksuz temas sağlanabilmesi için jel sürülmüştür. Jel sürülmüş transdüserler numune üzerinde birbirlerine paralel yüzeylerde tam karşı karşıya gelecek şekilde tutulmuş ve cihaz başlatılmıştır. Vuru hızı sabitleninceye kadar transdüserler bastırılmaya devam edilmiştir. Vuru hızı sabitlenince transdüserler bırakılıp cihazda okunan veri kaydedilmiştir. Bir sonraki numune için işlem aynen tekrarlanmadan önce transdüserlerin yüzeyindeki jel her seferinde silinip yeniden sürülmüştür.

Vuru hızı (V (km/s)) denklem (2.3)' de gösterildiği gibi bulunmuştur.

$$V = \frac{L}{T} \quad (2.3)$$

Eşitlikte L , mesafe (mm), T , vurunun mesafeyi baştan sona kat etmek için harcadığı süre (μ s)'dir.

2.4 Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Tek eksenli basınç dayanımı deneyi 50 mm'lik 16 adet küp numune kullanılarak TS EN 1926'da belirtildiği gibi yapılmıştır [11]. Deneyde maksimum basınç gücü 280 bar olan UTC-5231 eksenel basınç cihazı kullanılmıştır. Numuneler ilk olarak etüve yerleştirilmiş ve 70 °C de 24 saat bekletilmiştir. 24 saat sonunda etüvden alınan numuneler 2 saat soğumaya bırakıldıktan sonra tartılmış ve bu değer etüv kuru ağırlık şeklinde yazılmıştır. 24 saat oda sıcaklığında bekletildikten sonra tekrar tartılmış ve bu değer ise oda nemi ağırlığı şeklinde yazılmıştır.

Deney için önce cihazın yükleme hızı 1 MPa/s olarak uygulanmış, gelen yükün daha tekdüze bir şekilde yayılmasını sağlamak için numune alt ve üstüne uzunluğu ve genişliği 55 mm olan kare şeklinde kalınlığı 3mm olan esnek plastik parçalar yerleştirilmiştir. Deney numuneleri cihaza konularak kırılmış ve elde edilen veriler yazılmıştır.

Veriler deney cihazından kN olarak okunmuş ve taban alanının metre kareye çevrilmiş değeriyle bölünüp gerekli dönüşümler yapılarak denklem (2.4)' deki gibi tek eksenli basınç dayanımı (R (MPa)) bulunmuştur.

$$R = \frac{F}{A} \quad (2.4)$$

Eşitlikte F, kırılma yükü (N), A, deney öncesi numunenin en kesit alanı (mm²)'dir.

2.5 Donma - Çözünme Dayanıklılığı Tayini

Donma-çözünme dayanıklılığı tayini için 50 mm'lik 22 adet küp numune kullanılarak TS EN 12371'de belirtildiği gibi yapılmıştır [12]. Numuneler ilk olarak etüve yerleştirilmiş ve 70 °C de 24 saat bekletilmiştir. 24 saat sonunda etüvden alınan numuneler 2 saat soğumaya bırakıldıktan sonra tartılmış ve bu değer etüv kuru su ağırlık olarak (M_{d0}) yazılmıştır. 24 saat oda sıcaklığında bekletildikten sonra tekrar tartılmış ve bu değer ise oda nemi ağırlığı olarak yazılmıştır. Daha sonra numuneler 24 saat suya daldırılmış bir şekilde bekletilmiş ve bu süre sonunda ölçülen ağırlık değeri doygun kütle (M_{s0}) olarak yazılmıştır.

Arşimet terazisi yardımıyla numunelerin su içerisindeki görünür kütlesi (M_{h0}) ölçülmüş bu değerler not alınmıştır. Numunelerin başlangıç görünür hacimleri (V_{b0} (mL)) denklem (2.5)' de gösterildiği gibi bulunmuştur.

$$V_{b0} = M_{s0} - M_{h0} \quad (2.5)$$

Eşitlikte M_{s0}, döngüler öncesi doygun kütle (g), M_{h0}, döngüler öncesi görünür kütle (g)'dir.

Daha sonra donma-çözünme cihazı standartta verilen ölçülere göre ayarlanmış, numuneler cihaza yerleştirilmiş ve deney işlemi başlatılmıştır. Deney 86. döngüde sonlanmış ve numunelerin doygun kütle (M_{s_n}) ve görünür kütle (M_{h_n}) değerleri bulunmuştur. Bu değerler kullanılarak denklem (2.6) yardımıyla 86. döngü sonrası görünür hacim (V_{b_n} (mL)) bulunmuştur.

$$V_{b_n} = M_{s_n} - M_{h_n} \quad (2.6)$$

Eşitlikte M_{s_n}, döngüler sonrası doygun kütle (g), M_{h_n}, döngüler sonrası görünür kütle (g)'dir.

Döngüler sonrası görünür hacimdeki yüzde değişim ΔV_b, denklem (2.7) ile bulunmuştur.

$$\Delta V_b = \frac{(V_{b_0} - V_{b_n}) \times 100}{V_{b_0}} \quad (2.7)$$

2.6 Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini

Bu deney için 6 adet 50x50x50 mm'lik küp numune Afyon Kocatepe Üniversitesi Akredite Doğaltaş Analiz Laboratuvarı'na gönderilmiştir. Deney TS EN 1936'ya göre yapılmıştır [13]. Standartta deneyin yapılışı şu şekildedir;

Açık gözeneklilik ve görünür yoğunluk için önce numunelerin etüv kuru su ağırlıkları belirlenir (m_d). Daha sonra numuneler basıncı ayarlanabilen ve içerisine su akışı sağlanabilen bir kaba konulur (vakumlu piknometre gibi) ve kabın basıncı 15 ± 5 mm Hg' ye düşürülür. Bu şekilde 2 ± 0.2 saat bekletilir. Bekletildikten sonra kaba yavaşça 20 ± 5 °C'de saf su eklenir. Bu süreçte basınç sabit tutulur. Bütün numuneler suya daldıktan sonra basınç atmosfer seviyesine yükseltilir ve numuneler su altında 24 ± 2 saat kadar bekletilir. Sonra her bir numunenin sudaki ağırlığı (m_h) ve doygun ağırlığı (m_s) ölçülerek bu değerler not edilir.

Açık gözeneklilik (p₀ (%)), görünür yoğunluk (ρ_b (kg/m³)) sırasıyla denklem (2.8) ve (2.9) yardımıyla aşağıdaki şekilde bulunur.

$$p_0 = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} \times 100 \quad (2.8)$$

Eşitlikte m_s, doygun kütle (g), m_d, kuru kütle (g), m_h, sudaki kütle (g)'dir.

$$\rho_b = \frac{m_d}{m_s - m_h} \times \rho_{rh} \quad (2.9)$$

Eşitlikte ρ_{rh} : Suyun yoğunluğu (998 kg/m³ alınır)'dur.

Gerçek yoğunluk ve toplam gözeneklilik için ise her numune ayrı ayrı 0.063 mm gözenekli elekten geçebilecek inceliğe kadar öğütülür. Öğütülmüş numuneler sabit bir kütleye ulaşmaya kadar kurutulur ve her numunedan ± 0.01 g hassasiyette yaklaşık 10 g ağırlığında bir kütle (m_e) ayrılır. Piknometreye yaklaşık yarısına gelecek kadar saf su doldurulur. Daha sonra öğütülmüş numunenin tartılmış kütlesi piknometrenin kütlesine eklenir ve katı maddeyi dağıtmak için sıvı karıştırılır. Daha fazla hava kabarcığı yükselmeyene kadar piknometrenin basıncı 15 ± 5 mm Hg' ye düşürülür, daha sonra neredeyse en üste kadar saf su eklenir ve katı madde dibe çökene, su berraklaşana kadar beklenir. Ardından, piknometre saf suyla dikkatlice hafifçe taşana kadar doldurulur, su çıkışına bir filtre takılarak toz numunenin çıkışı engellenir ve taşan su yavaşça silinir. Piknometre ± 0.01 g (m_1) hassasiyetle tartılır. Piknometre boşaltılır ve yıkanır, sadece saf su ile doldurulur ve ± 0.01 g (m_2) hassasiyetle tartılır. Her tartmadan önce, ortam hava sıcaklığının (20 ± 5) ° C olduğundan emin olunur.

Elde edilen verilerle gerçek yoğunluk (ρ_r (kg/m^3)) ve toplam gözeneklilik (p (%)) değerleri sırasıyla denklem (2.10) ve (2.11) yardımıyla aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\rho_r = \frac{m_e}{m_2 + m_e - m_1} \times \rho_{rh} \quad (2.10)$$

Eşitlikte m_e , öğütülmüş ve kurutulmuş numunenin kütlesi (g), m_1 , su ve öğütülmüş numuneye dolu piknometrenin kütlesi (g), m_2 , sadece suyla dolu piknometrenin kütlesi (g)'dir.

$$p = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_r}\right) \times 100 \quad (2.11)$$

Eşitlikte ρ_b , görünür yoğunluk (kg/m^3), ρ_r , gerçek yoğunluk (kg/m^3)'dur.

2.7 XRF Analizi

X-ışını floresans (XRF) spektrometresi, taşların ve çeşitli malzemelerin, diğer yöntemlerle kıyaslandığında daha zararsız bir şekilde kimyasal analizlerinin yapılmasına olanak sağlayan bir X-ışını cihazıdır. Elektron mikroskopunda olduğu gibi dalga boyu dağıtıcı spektroskopik prensipler üzerinden işlem görür. Bu sayede malzemelerin içindeki belirli element ve minerallerin yüzde oranları belirlenmektedir.

Bununla birlikte, XRF cihazı genellikle elektron mikroskopunda yapılabilen (2-5 mikron) küçük nokta boyutlarında analizleri yapamaz, bu nedenle genellikle jeolojik malzemelerin daha büyük kısımlarının toplu analizleri için kullanılmaktadır. Diğer yöntemlere nispeten daha kolay ve düşük numune hazırlama maliyeti, X-ışını spektrometrelerinin güvenilirliği ve kullanım kolaylığı, çeşitli malzemelerdeki temel ve yan elementlerin analizi için bu yöntemi en yaygın kullanılan yöntemlerden biri haline getirmektedir [14].

2.8 Spektrofotometre İle Renk Analizi

Spektrofotometre, belirli bir bölgedeki her ışık dalga boyunda elektromanyetik enerjinin yoğunluğunu ölçen bir cihazdır. Spektrofotometre bir ışık kaynağı, ışığı bileşen dalga boylarına ayırmak için bir monokromatör ve ışığın her dalga boyundaki yoğunluğunu ölçen bir dizi detektörden oluşmaktadır. Spektrofotometre, dalga boyuna göre ışığın yoğunluğunu ölçmeye yarayan optik bir araçtır. Numunedan toplanan elektromanyetik enerji, cihaza cihaz açıklığından girer ve holografik ızgara ile bileşen dalga boylarına ayrılır. Başka bir deyişle, ızgara her rengi beyaz ışıktan ayırarak ışığı detektörlere odaklar, burada her bir dalga boyunun (veya görünür bölgede her bir rengin) yoğunluğu, detektörlerin bir pikseli ile ölçülür. Detektörler daha sonra bir bilgisayara okutulur ve sonuç, her bir ışık dalga boyunun yoğunluğunu gösteren bir spektrum olarak gösterilir [15].

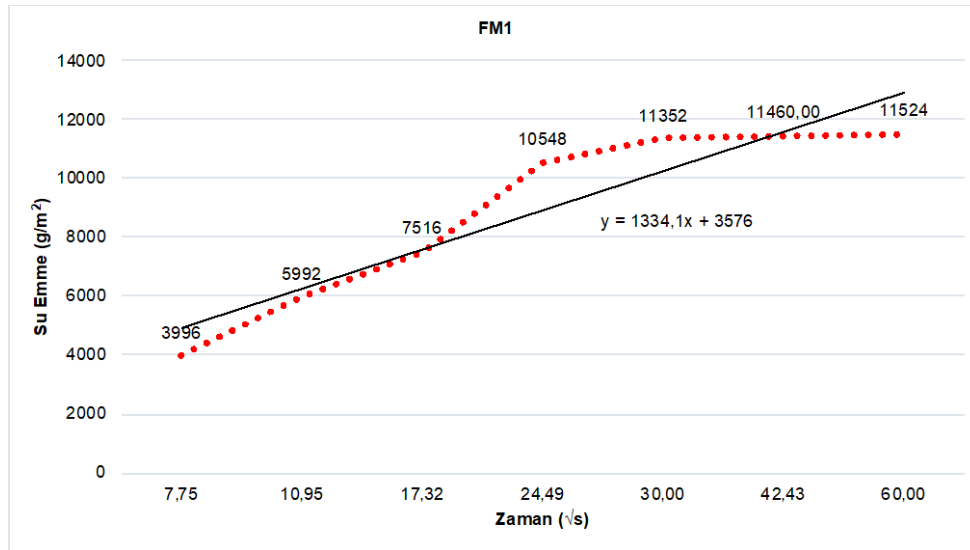
3. BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

TS EN 1925'e göre yapılan kılcallık deneyi sonucunda numunelerin kılcal yolla su emme katsayıları Tablo 1'de verilmiştir. Kılcallık, yüzey veya ara yüzey kuvvetlerinin sonucudur. Bir cam bardağa su konulduğunda suyun bardak kenarlarına yapıştığı gözlenebilir. Bunun sebebi cam molekülleri ve su molekülleri arasındaki çekimdir. Yerçekimi suyun bir boruda ne kadar yükselebileceğine etki eder ve moleküler çekim kuvvetlerini dengeleyici bir kuvvet olarak görev yapar. Su çapı dar olan bir boruda geniş olana göre daha çok yükselir [16].

Tablo 1. Numunelerin Su Emme Katsayıları

Numuneler	C_1 (g/m ² .s ^{0,5})	Numuneler	C_1 (g/m ² .s ^{0,5})
FM1	192,07	FM3-2	159,87
FM2	168,20	FM4-2	196,40
FM4-1	173,53	FM6-2	183,00
FM5-1	182,33	Ortalama	179,29
FM7-1	178,93		

Şekil 3'de FM1 numunesi için su emme – zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 3. FM1 numunesi için su emme - zaman grafiği.

Tablo 1'de görüldüğü üzere su emme katsayıları ortalama 179.29 gr/m².s^{0,5}'dir. Bu değer Ünal ve Altunok (2019) yaptıkları çalışmada önerdikleri sınıflandırma sistemine göre çok yüksek geçirimli kaya anlamına gelmektedir [17].

Atmosfer basıncı altında su emme deneyi sonucunda numunelerin su emme yüzdeleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Atmosfer basıncında su emme değerleri

Numuneler	Ab (%)	Numuneler	Ab (%)
FM1	12,08	FM2-2	8,09
FM2	10,00	FM3-2	8,99
FM4	7,64	FM4-2	11,61
FM5	9,93	FM5-2	8,17
FM6	8,88	FM6-2	10,76
FM7	8,50	FM7-2	9,15
FM6-1	8,89	FM8-2	8,82
FM1-2	9,38	Ortalama	9,39

Görüldüğü üzere ortalama değer % 9.39'dur. Turğut ve ark. (2006) Urfa kireçtaşı ile ilgili yaptıkları çalışmada ağırlıkça su emme oranı ortalama % 7.08 bulmuşlardır [18]. Görüldüğü üzere bu değer numunelerimizin ortalama değerinin altındadır.

Ünal ve Altunok (2019) yaptıkları çalışmada taşların su emme değerleri ve gözeneklilikleri arasında doğru orantı tespit etmişlerdir. Tablo 1'de görülebildiği üzere bu çalışmada kullanılan taşların gözenekliliği fazla olan taşlar olduğu görülmektedir. Gözenekliliği yüksek olan bu taşların su emme değerlerinin de yüksek çıkması beklenen bir durumdur.

Ultras hızı tayini deneyi sonuçları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Ultras hızı tayini deneyi sonuçları

Numuneler	V (km/s)	Numuneler	V (km/s)
UE1	2,28	UE6	2,72
UE2	2,45	UE7	2,26
UE3	2,14	UE8	2,05
UE4	2,09	Ortalama	2,26
UE5	2,10		

Deneyler sonucunda ultras hızı ortalama değeri 2.26 km/s çıkmıştır. Turğut ve ark. (2006) Urfa kireçtaşı ile ilgili yaptığı çalışmada bu değeri ortalama 3.63 km/s elde etmişlerdir. Görüldüğü üzere bu değer numunelerimizin ortalama değerinin üzerinde çıkmıştır.

Ultras hızı deneyinin çalışma prensibi sesin katı madde içinde bir noktadan diğerine ne kadar hızlı gittiğinin ölçülmesi üzerinedir. Bu prensip basit olduğu kadar bize numune hakkında faydalı bilgiler de sunmaktadır. Bilindiği üzere ses dalgaları katı cisimler içerisinde havaya göre 13 kat daha hızlı yayılmaktadır. Bunun sebebi katı moleküllerinin havadaki moleküllere göre birbirlerine çok daha yakın duruyor olmalarıdır. Yani bir cismin molekülleri arasındaki sıklık ne denli fazla ise bu cismin ultras hızı değeri o denli yüksek çıkacaktır. Ultras hızının düşük çıkması demek moleküller arası boşluk ve kusurlara işaret etmektedir. Bu da zayıf fiziksel ve mekanik özellikler demektir.

Tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçları Tablo 4'de verildiği gibidir.

Tablo 4. Tek eksenli basınç deneyi sonuçları

Numuneler	R (MPa)	Numuneler	R (MPa)
FM1	5,07	FM2-2	5,67
FM2	6,38	FM3-2	5,85
FM3	7,23	FM4-2	4,33
FM4	8,72	FM5-2	7,19
FM5	5,29	FM6-2	4,04
FM6	6,07	FM7-2	5,13
FM7	5,96	FM8-2	7,51
FM8	5,73	Ortalama	5,92
FM1-2	4,60		

Tek eksenli basınç dayanımı değerleri ortalaması 5.92 MPa çıkmaktadır. Turğut ve ark. (2006) Urfa kireçtaşı ile ilgili yaptığı çalışmada tek eksenli basınç dayanımı değerleri ortalaması 23.26 MPa çıkmaktadır. Görüldüğü üzere bu değer numunelerimizin ortalama değerinin yaklaşık olarak 4 katı kadardır.

Doğal taşların basınç dayanımı, taşı oluşturan minerallerin sertliğine ve yumuşaklığına, sert ve yumuşak minerallerin taş içerisindeki oranlarına, minerallerin büyüklüğü ve şekline, taşın gözenekliliğine ve yoğunluğuna bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir [19]. Bu çalışmada kullanılan taşların gözenekliliğinin fazla olması, taşa yüklenen stresin mineral tabakaları arasında paylaşılırken kusurlu bir bölgeye denk gelme şansını artırabilmektedir. Böyle bir durumda stres geçebileceği en kolay yoldan geçerek taşı kısa sürede parçalayabilmekte ve basınç dayanımı düşük çıkabilmektedir.

Donma – çözünme dayanıklılığı deneyi sonuçları doğrultusunda ΔVb değerleri bulunmuş, bu değerler Tablo 5’de gösterilmiştir.

Tablo 5. $\Delta Vb(\%)$ değerleri

Numuneler	$\Delta Vb(\%)$	Numuneler	$\Delta Vb(\%)$
D1	0,98	D13	0,52
D2	0,61	D14	7,76
D3	0,34	D15	2,42
D4	2,67	D16	0,56
D5	3,08	D17	3,40
D6	4,49	D18	0,61
D7	0,11	D19	5,37
D8	2,65	D20	2,46
D9	0,32	D21	2,77
D10	5,02	D22	4,06
D11	1,04	Ortalama	2,35
D12	0,47		

Döngüler sonrası hacimdeki yüzde değişim ortalama % 2.25 olmaktadır. Turğut ve ark. (2006) Urfa kireçtaşı ile ilgili yaptığı çalışmada bu oran kütlece % 0.05 bulunmuştur. Yani çalışmamızdaki numunelerimizde daha fazla kütle kaybı olmuş anlamına gelmektedir. Bu da taşlarda istenmeyen bir durum

olmakla birlikte taşın fiziksel ve mekanik özelliklerinde zayıflığa işaret edebilmektedir. Böyle bir farkın bulunmasının sebebi bu çalışmadaki taşlarda zamana bağlı oluşan kusurların olması ve Turğut ve ark.'nın (2006) farklı taş ocaklarından ve güncel taşlarla deney yapmaları olabilir.

Afyon Kocatepe Üniversitesi Akredite Doğaltaş Analiz Laboratuvarları'nda yapılan gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik deneyleri sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik değerleri

Test No (Test Number)	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6
Numune Boyutu (mm) (Sample Dimensions)	50x50x50	50x50x50	50x50x50	50x50x50	50x50x50	50x50x50
Gerçek Yoğunluk (kg/m ³) (Real Density)	2736	2734	2735	2735	2736	2736
Görünür Yoğunluk (kg/m ³) (Apparent Density)	1964	1937	2016	2001	1947	2030
Toplam Gözeneklilik (%) (Total Porosity)	28,18	29,20	26,30	26,84	28,84	25,79
Açık Gözeneklilik (%) (Open Porosity)	19,06	18,60	16,87	17,35	19,03	15,76
	Gerçek Yoğunluk (kg/m ³)** (Real Density)	Görünür Yoğunluk (kg/m ³) (Apparent Density)	Toplam Gözeneklilik (%)** (Total Porosity)	Açık Gözeneklilik (%) (Open Porosity)		
Ortalama Değerler (Average Values)	2736	1982	27,5	17,8		
Standart Sapma (±) (Standard Deviation)	1	39	1,4	1,3		

Tablodan da anlaşılabilir olduğu üzere tarihi kireç taşımızın toplam gözenekliliği % 27,5'dir. Bu da Ağan ve ark. (2013)'nin bazda mağaralarından aldıkları taşlara uyguladıkları deneyler sonucu elde ettikleri ortalama değer olan % 25,4'den de büyük bir değerdir [20]. Turğut ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada Urfa taşının gözenekliliğini ortalama % 14,5 bulmuşlardır.

Laboratuvardan alınan XRF analizi sonuçları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. XRF analizi sonuçları

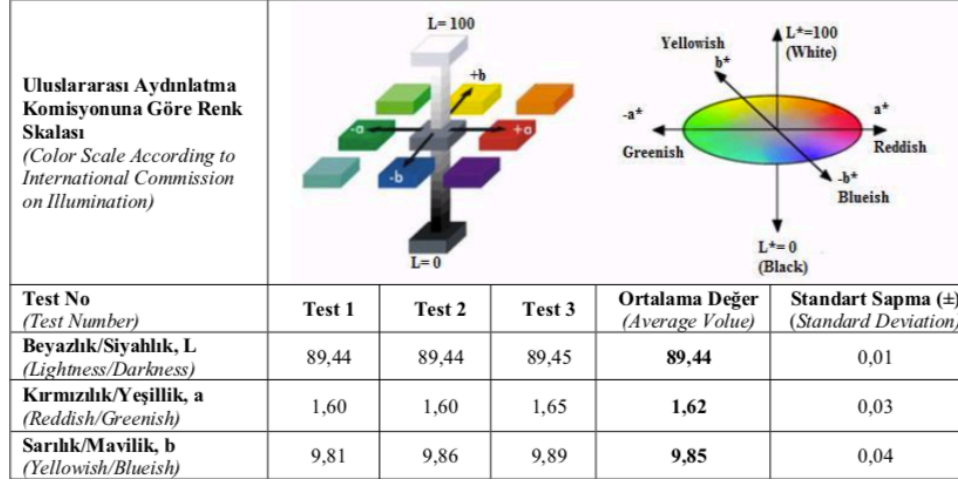
İçerik (Content)	Birim (Unit)	Değer (Value)
SiO ₂	%	0,3185
Al ₂ O ₃	%	0,1053
Fe ₂ O ₃	%	0,0725
CaO	%	55,3813
MgO	%	0,1356
P ₂ O ₅	%	0,0582
K ₂ O	%	0,0235
SO ₃	%	0,0545
SrO	%	0,0218
Na ₂ O	%	0,0177
Cr ₂ O ₃	%	0,0137
Cl	%	0,0065
A.Z. (LOI)	%	43,7908

A.Z.: Ateş Zayıyatı; LOI: Loss of Ignition

Yukarıdaki sonuçlar incelendiğinde numunenin % 55,38 kalsiyum oksitten oluşan kireçtaşı olduğu açıkça gözükmektedir. Turğut ve ark. (2006) Urfa kireçtaşı ile ilgili yaptıkları çalışmada Urfa'nın farklı bölgelerindeki taş ocaklarından aldıkları numuneleri XRF analizine de tabi tutmuşlardır. Bunun sonucunda

taşlarda ortalama % 54.50 oranında kalsiyum oksit olduğu tespit edilmiştir. Bu da bizim çalışmamızdaki değerlerle uyumaktadır.

Laboratuvardan alınan Spektrofotometre renk analizi sonuçları Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Spektrofotometre analizi sonuçları

Şekilden de anlaşılacağı gibi numunemiz karakteristik kireçtaşı gibi hafif sarımsı bir beyaz renktedir. Tabii ki kireçtaşlarında doğa şartlarına maruz kalan kısımlar her zaman bu rengini koruyamaz fakat testler kireçtaşının toz haline getirilmesinden sonra yapıldığı için sonucun böyle çıkması beklenen bir durumdur.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada Şanlıurfa'nın Harran ilçesinde bulunan Harran Kalesi'nin taşlarından örnek numuneler alınıp bu taşlarda meydana gelen bozunmaların tespiti amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda kaleden alınan taşlar bir taş ocağında uygun boyutlarda kestirilmiştir. Kestirilen numuneler fiziksel, mekanik ve kimyasal deneylere tabi tutulmuştur. Fiziksel deneyler kapsamında kılcal yolla su emme deneyi, atmosfer basıncında su emme deneyi, ses hızı ilerlemesi deneyi ve donma – çözünme dayanıklılığı deneyi yapılmıştır. Mekanik deney kapsamında taşlar tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuştur. Kimyasal analizle taşın mineral bileşimlerine bakılmış, Spektrofotometre ile renk tayini yapılmıştır. Tüm bu deneylerin sonuçları daha önce bu bölgedeki taşlarla ilgili yapılmış çalışmalarla kıyaslanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Kılcal yolla su emme sonucuna baktığımızda deney sonucunda çıkan ortalama $179.29 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{s}^{0.5}$ değerinin, Ünal ve Altunok'un (2019) yaptıkları çalışmada çeşitli taşlar üzerinden önerdikleri sınıflandırma sistemine göre çok geçirimli taş sınıfına girdiğini söyleyebiliriz.

Atmosfer basıncı altında su emme deneyi sonucuna baktığımızda bu deney sonucunda çıkan ortalama su emme değeri % 9.39 çıkmaktadır. Bu değer büyüklüğü taşın kimyasal bozunmalara karşı zayıf olabileceğini göstermektedir.

Ultras ses hızı tayini deneyi sonucunda ortalama ses hızı ilerlemesi 2.26 km/s çıkmıştır. Turğut ve ark. (2006)'nın yaptıkları çalışmada bu değer ortalama 3.63 km/s 'dir. Bu da kale taşlarının çok boşluklu olduğunu, mekanik özelliklerinin zayıf olabileceğini göstermektedir.

Tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonucunda ortalama basınç dayanımı 5.92 MPa 'dır. Turğut ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada bu değeri ortalama 23.26 MPa bulmuşlardır. Bu değer ve bu çalışmadaki taşların dayanıklılıkları arasındaki farkın bu denli fazla olmasının sebebi bu çalışmada çalışılan taşın tarihi taş olması ve yapının farklı yerlerinden taş örnekleri alınması ihtimalinin olmamasından da kaynaklanıyor olabilir. Ayrıca doğal taşlarda basınç dayanımı farklılıklarında boyut etkisinin de önemli bir rol oynadığı da unutulmamalıdır.

Donma – çözünme dayanıklılığı deneyi sonucunda ortalama hacim kaybı % 2.35 bulunmuştur. Turğut ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada bu değeri ortalama %0.05 bulmuşlardır. Bunun sebebi olarak da yine taşın gözenekliliğinin fazla olması ve tarihi bir taş olması gösterilebilir. Yine burada bu çalışmadaki taşlarda zamana bağlı oluşan kusurların etkisi de önemli bir rol oynamaktadır.

Yoğunluk ve gözeneklilik deneyleri sonucunda gerçek yoğunluk 2736 kg/m³, toplam gözeneklilik ise % 27.5 çıkmıştır. Ağan ve ark. (2013) Şanlıurfa’da bulunan Bazda mağaralarından aldıkları taşlara uyguladıkları deneyler sonucu elde ettikleri ortalama gözeneklilik değerini % 25.4 bulmuşlardır. Bu fark doğal taşlar için gözardı edilebilir bir farktır. Turğut ve ark. (2006) ise yaptıkları çalışmada Urfa taşının gözenekliliğini ortalama % 14.5 bulmuşlardır. Burada dikkat çeken Bazda mağaralarından alınan taşlardaki gözeneklilik değerinin Urfa taşının gözenekliliğine kıyasla bu çalışmadaki taşların gözeneklilik değerlerine daha yakın oluşudur. Bunun sebebi Harran Kalesi’nin Bazda mağaralarından çıkarılan taşlarla yapılmış olduğunun düşünülmesidir. Fakat mağaradaki taşlar kaledekilere göre daha korunaklı bir durumdadır.

XRF analizi sonucunda % 55.38 oranında CaO içeren taşın kireçtaşı olduğu görülmektedir. Gelecekte yapılacak restorasyon ve koruma çalışmalarında bu bilgi üzerinden hareket edilmelidir.

Spektrofotometre ile renk analizi sonucunda hafif sarımsı beyaz renkte bir taş olduğu ortaya çıkmıştır. Bu da yine kireçtaşının karakteristik özelliklerinden biridir. Kireçtaşının bu karakteristik renginin siyaha dönmesi taş kanserine işaret edebilmektedir.

Sonuçlar göz önüne alındığında Harran Kalesi taşlarının uzun yıllar boyunca maruz kaldığı fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozunmanın etkisiyle fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyiden iyiye zayıfladığı görülmektedir. Kale taşlarının durumunun tam olarak tespiti için kalenin farklı noktalarındaki taşlardan numune alınıp bunlara fiziksel ve mekanik deneyler uygulanması faydalı olacaktır. Zaten zayıflamış olan kale duvarlarına restorasyon veya koruma çalışmaları sırasında ek yük bindirebilecek uygulamalardan kaçınılmalı, tahribatsız yöntemler tercih edilmelidir. Kale taşlarının temizlenmesinde son yıllarda giderek yaygınlaşan biyolojik temizleme yöntemleri kullanılması faydalı olacaktır. Ancak tüm koruma ve temizleme yöntemlerinde olduğu gibi bu yöntemin de avantajları ve dezavantajları vardır. Bunlar iyice araştırılmalı ve kale için en faydalı koruma yöntemleri bulunarak kalenin daha fazla bozunmaya maruz kalması önlenmelidir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Yazarlar olarak, bu makalenin hazırlanmasında bize yardımcı olan Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü hocalarına teşekkür ederiz.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları arasında herhangi bir çıkar çatışması olmamıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] URL-1. , <https://ekitap.ktb.gov.tr/TR-80698/harran-ve-harrandaki-mimari-eserler.html> .Erişim Tarihi: 17.06.2020, .
- [2] LLOYD, S. ve BRICE, W. ; 1951. Harran. Anatolian Studies, 1: 77-111.
- [3] Güven, N. 2020. Şanlıurfa’da Bulunan Harran Kalesi’nin Taşlarında Meydana Gelen Bozunmaların Tespiti, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 70s.
- [4] ÖCAL, A. D. ve DAL, M. ; 2012. DOĞAL TAŞLARDAKİ BOZUNMALAR, Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi, Kırklareli, 128.

- [5] URL-2. , <https://sciencing.com/physical-chemical-weathering-6468611.html> Erişim Tarihi: 02.03.2020.
- [6] URL-3. , <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zwd2mp3/revision/2> Erişim Tarihi: 02.03.2020, .
- [7] URL-4. , <https://passel2.unl.edu/view/lesson/edd25385ca3d/4> Erişim Tarihi: 03.03.2020, .
- [8] TS EN 1925. , Doğal taşlar- Deney metotları- Kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının tayini, Ankara, 2000, : Türk Standartları Enstitüsü.
- [9] TS EN 13755. , Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Atmosfer basıncında su emme tayini, Ankara, 2009, : Türk Standartları Enstitüsü.
- [10] TS EN 14579. , Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Ses hızı ilerlemesinin tayini, Ankara, 2006, : Türk Standartları Enstitüsü.
- [11] TS EN 1926. , Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Tek eksenli basınç dayanımı tayini, Ankara, 2007, : Türk Standartları Enstitüsü.
- [12] TS EN 12371. , Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Dona dayanım tayini, Ankara, 2010, : Türk Standartları Enstitüsü.
- [13] TS EN 1936. , Doğal Taşlar-Deney Metotları-Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini, Ankara, 2007, : Türk Standartları Enstitüsü.
- [14] URL-5. , https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/XRF.html Erişim Tarihi: 25.06.2020,.
- [15] URL-6. , <http://www.microspectra.com/support/learn/what-is-a-spectrophotometer> Erişim Tarihi: 25.06.2020, .
- [16] URL-7. , <https://www.britannica.com/science/capillarity> Erişim Tarihi: 30.06.2020, .
- [17] ÜNAL, M. ve ALTUNOK, E. ; 2019. Determination of Water Absorption Properties of Natural Building Stones and Their Relation to Porosity. E-journal of New World Sciences Academy, 14(1): 39–45.
- [18] Turğut, P., Yeşilnacar, M. İ. ve Bulut, H. 2006. YAPI MALZEMESİ OLARAK URFA TAŞI'NIN MEKANİK, FİZİKSEL VE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN TESPİTİ, Şanlıurfa.
- [19] URL-8. , <https://www.aboutcivil.org/factors-strength-hardness-stones> Erişim Tarihi: 30.06.2020, .
- [20] AĞAN, C., YEŞİLNACAR, M. İ., GENİŞ, M., KULAKSIZ, S., ULUSAY, R., AYDAN, Ö. ve YÜCEL, M. D. ; 2013. A preliminary geoenvironmental assessment of Bazda antique underground quarries in Şanlıurfa, Turkey. Rock Mechanics for Resources, Energy and Environment. Eurock 2013- The 2013 ISRM International Symposium, 23-26 September, Wrocław, 93–98.