

## TEK VE ÇOK KATMANLI TAŞ DUVARLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ

### EXPERIMENTAL DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF SINGLE AND MULTI LAYER STONE WALLS

Ahmad Javid ZIA<sup>1</sup>, Abdulkerim İLGÜN<sup>2</sup>, Hüsnü CAN<sup>3</sup>, Abdullah MÜSEVİTOĞLU<sup>4</sup>

#### ÖZET

Günümüzdeki yapı stokunun önemli bir kısmını yığma binalar teşkil eder. Bu yapılarda taşın kullanımı oldukça yaygındır. Buna ilaveten doğal taş sektörü her ülkenin önemli gelir kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Ama günümüzdeki gelişen modern yapı malzemelerden dolayı taş, inşaat sektöründe sadece kaplama görevini üstlenmektedir. Yazarlar, doğal taşları inşaat sektöründe yeniden yaygınlaştırılması için doğal taştan yapılacak özel ve kamu binalar için yeni duvar sistemi önerilmişlerdir. Önerilen duvar sistemi çok eskiden beri kullanılan çok katmanlı duvar sistemlerinde esinlenerek yapılmıştır. Bu duvar, araları boş bırakılmış iki katmandan oluşmaktadır. Duvarın bütünselliğini sağlama amacı ile taşlar birbiriyle kenet ve zıvanalarla bağlanmaktadır. Bu çalışmada önerilen duvarın mekanik özellikleri mikro ebatlı numuneler kullanılarak deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler kapsamında duvarların basınç dayanımı, elastisite modülü ve başlangıç kayma dayanımı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kayma dayanımı, Basınç dayanımı, Doğal taş, Bağlantı elemanları.

#### ABSTRACT

An important part of today's building stock consists of masonry buildings. The use of stone in these structures is quite common. In addition, the natural stone sector is one of the most important sources of income for countries. However, due to the developing modern building materials, stone is used only in exterior facades in the construction sector. The authors proposed a new wall system for private and public buildings made of natural cut stone to redistribute natural stones in the construction sector. The proposed wall system is inspired by multi-leaf wall systems that have been used for a long time. This wall consists of two leaf with blank layer inside. In order to ensure the integrity of the wall, the stones are connected to each other with clamps and mortises. In this study, the mechanical properties of the proposed wall were investigated experimentally using micro-sized specimens. The compressive strength, modulus of elasticity and initial shear strength of the walls were determined within the scope of the experiments.

Keywords: Shear strength, Compressive strength, Natural stone, Clamps and mortises.

#### GİRİŞ

Yığma yapılar günümüzdeki yapı stokunun önemli bir kısmını teşkil etmektedir. Bu yapıların en eskisi 8000 yıllık bir tarihe sahiptir. İnsanların göçebe hayatı bırakıp yerleşke hayatına başlaması ile birlikte bu yapıların gelişimi başlamıştır. Gün gittikçe yığma yapıların inşaatında yeni malzemeler ve yeni teknikler kullanılmaya başlanmıştır (Como, 2012). Bunun sonucunda daha büyük, ihtişamlı, kullanışlı ve dış etkilere karşı dayanıklı binaların inşaatı gerçekleştirilmiştir.

<sup>1</sup> Arş. Gör., KTO Karatay Üni., Konya, javid.zia@karatay.edu.tr

<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi, KTO Karatay Üni., Konya, kerim.ilgun@karatay.edu.tr

<sup>3</sup> Prof. Dr., KTO Karatay Üni., Konya, husnu.can@karatay.edu.tr

<sup>4</sup> Arş. Gör., KTO Karatay Üni., Konya, abduallah.musevitoglu @karatay.edu.tr

Sanayi devriminden sonra inşaat sektöründe yeni malzemelerin girişi ile birlikte çok eskiden beri kullanılan doğal taş gibi geleneksel yapı malzemeleri önemini yitirmeye başlamış ve bu malzemeler taşıyıcı duvar yapımı olarak kullanılmayıp, kaplama görevini almaya başlamıştır. Bunun sebebi ise yeni gelen malzemelerin ekonomik açıdan daha uygun olmaları ve buna ilaveten yapım teknolojilerine uygun olmalarıdır. Buna rağmen kesme doğal taş sektörü her ülkenin ekonomisine büyük katkılar sağlamakta ve ülkeler bu sektörü geliştirmek ve uluslararası piyasalarda yerini almak için çok çaba harcamaktadır.

Bu sebepten dolayı yazarlar bu çalışmada, günümüzdeki doğal taşın inşaat sektöründe yeniden yerini taşıyıcı olarak alabilmesi için yeni bir duvar modeli önermişlerdir. Yazarlar önerilen duvarı, son derece modern özel binalar ve kamu hizmetine sunulan yöre mimarisini temsil eden yeni binalarda kullanılmak üzere geliştirmiştir.

Önerilen duvar tipinde her sıradaki taş komşu taşlarla kenet vasıtası ile ve bir üst sıradaki taşla zıvana yardımı ile bağlanmıştır. Deneyde kullanılan numuneler tek ve çift katmanlı olarak hazırlanmıştır. Duvarlarda kullanılan bireysel doğal kesme taşlar 10x10x20 cm ve 10x10x10 cm (genişliği x yüksekliği x uzunluğu) ebadında seçilmiştir. Çift katmanlı duvarlarda ise iki tek katman arasında 5 cm boşluk bırakılmış ve duvarın bütünselliğini sağlamam amacı ile iki katman kenetler ile bağlanmıştır.

Önerilen duvar tipi literatürdeki çok katmanlı duvar olarak bilinen sistem üzerinde bir değişiklikten ibarettir. Tarihi yapılara bakıldığında doğal taştan oluşan taşıyıcı duvarların kalınlığını belirleyen faktörler üst yapıdan gelen düşey ve eğik yüklerin yansıra yatay yüklerdir (Mahrebel, 2006). Doğal taşın basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük olduğundan tarih boyunca insanoğlu taşıyıcı sistemin mümkün mertebe çekme gerilmelerine maruz kalmamaları ya da en aza indirebilmesi için farklı duvar sistemlerini geliştirilmiştir. Çok katmanlı duvar sistemi bu gelişimler sonucunda meydana gelmiş olup Türkiye'deki birçok tarihi yapıda bulunmaktadır. Bu sistem Roma döneminde geliştirilmiş ve bu tekniğe opus adı verilmiştir (Dipasquale vd., 2016; Doğu, 2010). Bu tip duvarlar özellikle Roma, Bizans ve Osmanlı imparatorluk dönemlerinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Bu tekniğin kullanıldığı tarihi yapıların sayısı ülkemizde oldukça fazladır (Doğu, 2010).

Bu çalışma kapsamında önerilen duvarın mekanik özelliklerini deneysel olarak belirlemek için mikro ebatlı deney numuneler üzerinde uygun deneylerin gerçekleştirilmiştir.

## DENEYSEL ÇALIŞMA

Duvarların mekanik özelliklerini belirleyebilmek için mikro ebatlı numuneler üzerinde basınç ve başlangıç kayma deneyi gerçekleştirilmiştir. Basınç deneyinde duvarların basınç dayanımına ilaveten duvarların elastisite modülü de belirlenmiştir.

### Duvarlarda Kullanılan Bireysel Elemanlar

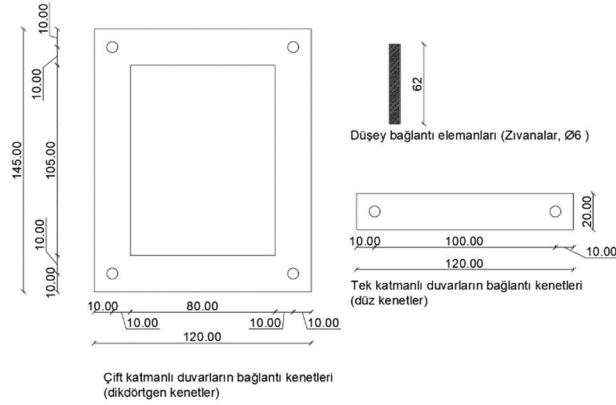
Duvarlar, doğal taş, harç ve bağlantı elemanları olmak üzere üç bireysel elemandan oluşmaktadır. Doğal kesme taş olarak Akdeniz bölgesinden elde edilen Limra taşı seçilmiştir. KTO Karatay Üniversitesi Mekanik Laboratuvarında yapılan basınç dayanım deneylerinde taşların basınç dayanımı 94.7 MPa, eğilme dayanımı 10.9 MPa olarak belirlenmiştir.

Duvarlarda kullanılan kireç harcı için geleneksel kireç harç karışım oranları kullanılmıştır. Bu oranlar daha önce yapılan akademik çalışmaların birçoğunda konu olmuştur (Mavi, 2000; Ekşi Akbulut, 2006; Dündar, 2013; Çizer vd., 2004). Kireç harcı için 3:1 (kum, kireç) oranı seçilmiştir. Kum olarak belirlenen agrega içerisinde dere kumu (siya kum), beyaz kum ve taş tozu yer almaktadır. Agrega birleşenlerin oranları ise sırası ile 3:2:1 (siya kum, beyaz kum, taş tozu) şeklinde belirlenmiştir.

Duvarlarda bağlantı elemanı olarak St-37 çeliğinden imal edilmiş kenet ve zıvanalar kullanılmıştır. Zıvanaların görevi alt ve üst sıradaki taşların birbirine bağlanmasıdır. Zıvanalar 6 mm çapında ve 62 mm boyunda hazırlanmıştır. Kenetler ise aynı sıradaki taşları komşu taşlarla bağlama görevini üstlenmekte ve şekil 1'de verilen 2 mm kalınlığına sahip çelik levhalardan oluşmaktadır.

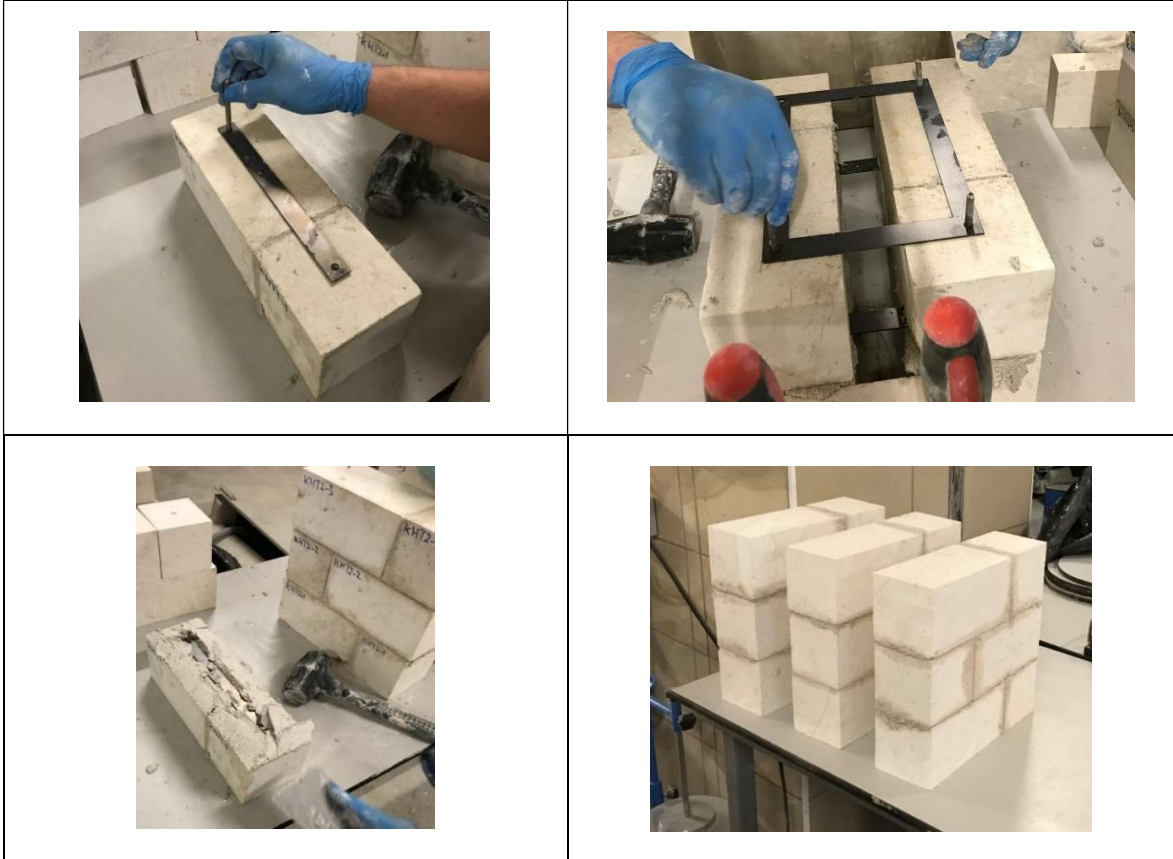
## Basınç Dayanımı

Yığma yapılarda duvarların basınç dayanımının belirlenmesi önemli unsurlardan biridir. Bunun sebebi ise her ne kadar duvarda kullanılan bireysel elemanların mekanik özellikleri bilinse de duvar içinde birlikte çalıştıklarında nasıl bir davranış gösterecekleri kestirilemeyebilir. Bu davranışı deneysel olarak gözlemlemek için duvarların basınç dayanımları TS EN 1052-1 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.



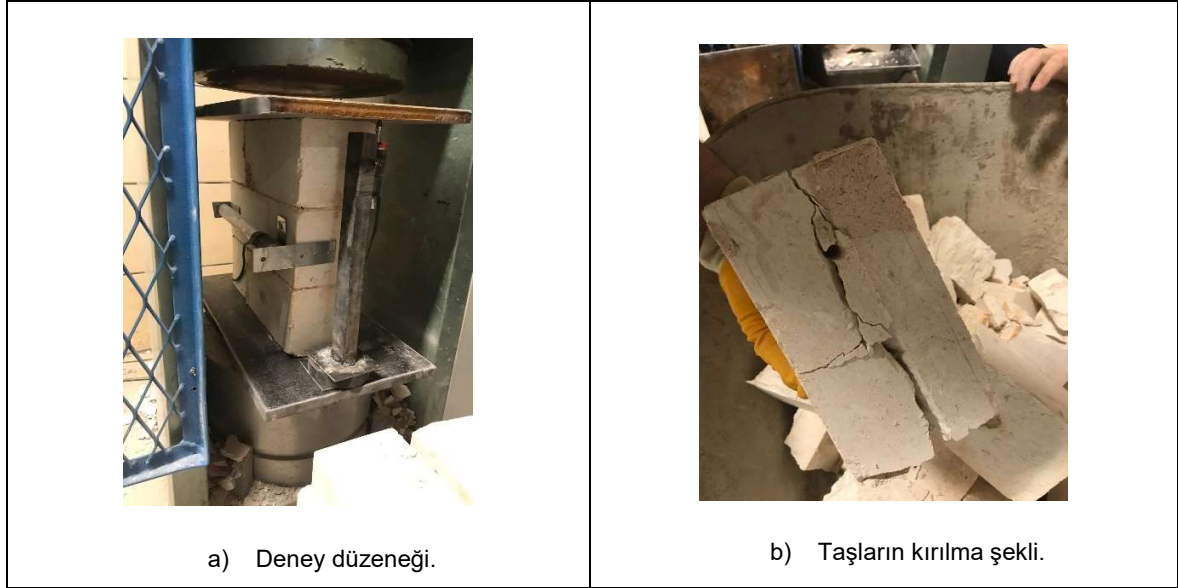
Şekil 1. Yatay ve düşeyde bağlantı elemanları (ölçüler mm dir).

Numune ebatları laboratuvarın kısıtlı imkanlarından dolayı standardın aynısı olmayıp bazı akademik çalışmalarda (Vasconcelos ve Lourenço, 2009; Porco vd., 2013) olduğu gibi imkanlara uygun bir ebat seçilmiştir. Deney numuneleri tek ve çift katmanlı olarak imal edilmiştir. 6 adet 10x30x30 cm tek katmanlı ve 3 adet 25x30x30 cm çift katmanlı deney numunesi üretilmiştir. 6 numuneden 3 tanesi kenetli 3 tanesi kenetsiz olarak imal edilmiştir. Şekil 2’de deney numunelerinin imalatı gösterilmiştir.



Şekil 2. Tek ve çift katmanlı duvarların imalatı (basınç deneyleri için)

Toplamda 9 adet deney numunesinin basınç dayanımı şekil 4.a.'da gösterilen deney düzeneğinde elde edilmiştir. Deney için kullanılan pres 2000 KN kapasiteye sahip olup iki LVDT yardımı ile numunelerin düşeyde ve yatayda şekil değiştirmeleri ölçülmüştür. Deney numuneleri üretilirken kullanılan harçtan numune alınmış ve deney gününde harcın dayanımı da belirlenmiştir.



Şekil 4. Basınç deneyleri

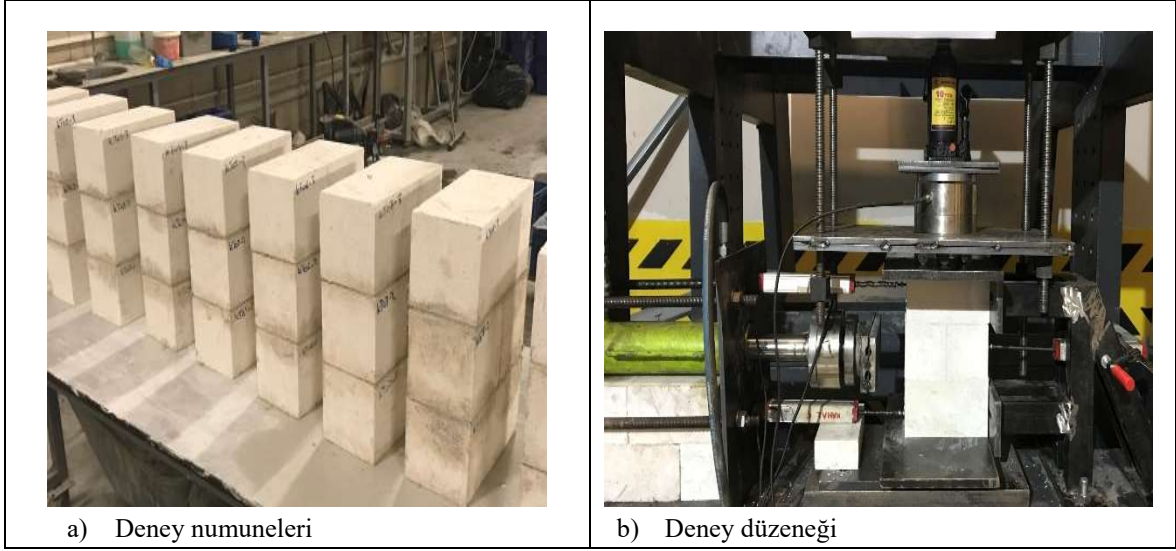
Şekil 4.b'de basınç deneyine tabi tutulmuş bir taşın kırılma şekli verilmiştir. Kırılmalar genellikle kenetlerin altlarında meydana gelmiştir. Basınç deney sonucunda elde edilen veriler tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Mikro Taş duvar numunelerin basınç dayanımları

Numune Kodu	Kenet Durumu	Katman Sayısı	Maksimum Gerilme $\sigma_{maks}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Ortalama $\sigma_{maks}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Yükseklik doğrultusunda boy değişimi (mm)	$\epsilon_z$	Ortalama $\epsilon_z$	Ortalama Elastisite Modülü E (MPa)	Duvarda Kullanılan Harcın Mekanik Özellikleri	
									Basınç Dayanımı $\sigma_{maks}$ (MPa)	Ortalama $\sigma_{maks}$ (MPa)
SWLM-01	Kenetsiz	Tek katman	39.29	39.55	-1.07	0.003567	0.004013	9855	3.54	3.22
SWLM-02			43.11		-1.64	0.005377			2.49	
SWLM-03			36.24		-0.95	0.003094			3.63	
SWMLM-01	Kenetli	Tek katman	31.04	36.92	-0.72	0.002384	0.003624	10185	1.56	1.46
SWMLM-02			43.07		-1.64	0.005395			1.39	
SWMLM-03			36.64		-0.95	0.003094			1.42	
DWMLM-01	Kenetli	Çift Katman	24.21	25.54	-1.89	0.006197	0.004486	5693	1.56	1.46
DWMLM-02			28.57		-0.96	0.003097			1.39	
DWMLM-03			23.84		-1.27	0.004164			1.42	

### Başlangıç Kayma Dayanımı

Önerilen duvarların kayma dayanımı mikro ebatlı numuneler için sıkça kullanılan triplet yöntemi kullanılarak bulunmuştur. Bu deney için TS EN 1052-3 standardı referans alınmış ve deney numunesi standarda uygun olarak 10x30x20 cm (genişlik x yükseklik x uzunlu) olarak imal edilmiştir. Standardın 7.1. maddesine göre her deney için 9 adet numune üretilmiş ve standardın belirttiği üç farklı düşey yük altında kayma deneyine tabi tutulmuştur. Basınç deneyinde olduğu gibi bu deney için de tek ve çift katmanlı duvar numuneler imal edilmiştir. Böylece tek katmanlı, çift katmanlı, kenetli, kenetsiz, harçlı ve harçsız olmak üzere toplamda 36 adet deney numunesi üretilmiştir. Deney numunesi şekil 3.a ve deney düzeneği şekil 3.b'de verilmiştir. Şekil 3.b'de gösterildiği gibi deney numunesindeki üç taşın hareketleri üç farklı LVDT ile kayıt edilmiştir.



Şekil 3. Başlangıç kayma deney numune ve deney düzeneği

Başlangıç kayma deneyinden elde edilen sonuçlar tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Mikro Taş duvar numunelerin başlangıç kayma dayanımları

Kenet Durumu	Katman Sayısı	Harç Durumu	Düşey Gerilme (MPa)	Max Yatay Yük (N)	Max Ortalama Yatay Yük (N)	Yatay Yük Artışı (%)	Max Kayma Gerilmesi (MPa)	Max Ortalama Kayma Gerilmesi (MPa)
Kenetsiz	Tek Katman	Harçsız	0.2	8089	7898	Referans	0.218	0.208
				7185			0.182	
				8421			0.224	
			0.6	27935	27027	Referans	0.753	0.708
				27659			0.713	
				25487			0.657	
		1	41262	43249	Referans	1.091	1.142	
			44252			1.167		
			44234			1.168		
Kenetsiz	Tek Katman	Kireç Harçlı	0.2	9357	8522	7.90	0.233	0.214
				8700			0.218	
				7510			0.19	
			0.6	22705	21172	-21.66	0.567	0.527
				20157			0.501	
				20654			0.514	
			1	29232	31664	-26.79	0.724	0.785
				32559			0.807	
				33201			0.824	
Kenetli	Tek Katman	Kireç Harçlı	0.2	42377	48137	509	1.103	1.284
				48892			1.295	
				53143			1.454	
			0.6	55837	57625	113	1.415	1.495
				59135			1.508	
				57902			1.562	
			1	61065	62808	45	1.523	1.573
				59768			1.491	
				67591			1.706	
Kenetli	Çift Katman	Kireç Harçlı	0.2	81688	79870	837	2.097	2.028
				71389			1.795	
				86533			2.193	
			0.6	100149	104711	395	2.557	2.675
				104629			2.75	
				109354			2.717	
			1	111499	119643	278	3.17	3.152
				121173			3.084	
				126257			3.203	

## SONUÇ

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde; duvar için önerilen kenet sistemin avantajlarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Özellikle kenetler duvarın basınç dayanımını düşürmektedir. Bunun sebebi ise taş sıraları arasında kullanılan kenet üzerinde çizgisel yük oluşarak basınç alanın küçültmesi olarak düşünülmektedir. Tek katmanlı kenetli duvarların basınç dayanımı incelendiğinde tek katmanlı kenetsiz duvarlara göre yaklaşık %7 oranında düşüş sergilemektedir. Çift katmanlı duvarlarda ise bu düşüş %35 seviyelerindedir.

Duvarların kayma dayanımı incelendiğinde kenet sistemin avantajlarını gözlemleyebiliriz. Duvar numunelerinde harçsız olarak sadece taşların kullanılması, harçlı durumdan daha yüksek kayma dayanımı sunmaktadır. Bu sebepten dolayı bu çalışmada başlangıç kayma dayanımı için duvarların harçsız hali referans alınmıştır. Bu referanslara göre duvarda harç kullanıldığında özellikle yüksek düşey yük düzeylerinde kayma gerilmeleri yaklaşık %24 oranında düşmektedir. Ama kenetli durumda duvarların başlangıç kayma dayanımlar tek katmanlı duvar ve düşük düşey yük düzeylerinde 6 kat, yüksek düşey yük düzeyinde ise 1.5 kat fazla olmaktadır. Bu karşılaştırmayı tek katmanlı harçsız duvarlar ile çift katmanlı kenetli duvarlar arasında gerçekleştirildiğinde iyileşme oranı düşük düşey yük düzeyinde 10 kat, yüksek düşey yük düzeyinde 2.7 kat civarındadır.

Konu ile ilgili diğer deneylerin yapılmasına devam edilmektedir.

## Teşekkür

Çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için katkılarından dolayı Arıbaş Metal firmasına teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- Çizer, Ö., Böke, H. ve İpekoğlu, B. (2004). Bazi Osmanlı Dönemi Hamam Yapılarının Kubbe Ve Duvarlarında Kullanılan Kireç Harçların Özellikleri. 2. *Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi Ve Sergisi [2nd National Congress And Exhibition On Building Materials]*, Date: 2004/10/06 - 2004/10/08, Location: İstanbul İçinde (Ss. 1–13). İstanbul: Tmmob Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi; İstanbul, Turkey.
- Como, M. (2012). *Statics Of Historic Masonry Constructions*, 2nd Ed., Springer Series In Solid And Structural Mechanics 5, Rome-Italy.
- Dipasquale, L., Rovero, L. and Fratini, F. (2016). Ancient Stone Masonry Constructions. K. A. Harries Ve B. Sharma (Ed.), *Nonconventional And Vernacular Construction Materials* (Ss. 301–332). Woodhead Publishing. Doi:10.1016/B978-0-08-100038-0.00011-1
- Doğu, E. (2010). Çift Cidarlı Moloz Dolgulu Tarihi Taş Duvarların Yatay Yükler Altındaki Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Dündar, B. (2013). Farklı Duvar ve Harç Malzemeleri İle Üretilen Duvarların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi.
- Ekşi Akbulut, D. (2006). Tarihi Yapıların Onarımında Kullanılacak Harçların Seçimine Yönelik Bir Öneri, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Mahrebel, H. A. (2006). Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım ve Güçlendirme Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Mavi, Ö. (2000). Kireç Harç ve Sivaların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Porco, F., Porco, G., Uva, G. and Sangirardi, M. (2013). Experimental Characterization Of “Non-Engineered” Masonry Systems In A Highly Seismic Prone Area. *Construction And Building Materials*, 48, 406–416. Doi:10.1016/J.Conbuildmat.2013.07.028
- Vasconcelos, G. Ve Lourenço, P. B. (2009). Experimental Characterization Of Stone Masonry In Shear And Compression. *Construction And Building Materials*, 23(11), 3337–3345. Doi:10.1016/J.Conbuildmat.2009.06.045
- TS EN 1052-1. 2000. “Kâgir- Deneysel metotları -Bölüm 1: Basınç dayanımı tayini” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara