



# Batma Derinliği Ve Çapları Farklı Olan Zıvanaların Deneysel Olarak İncelenmesi

Hayrullah Tosunbayraktar<sup>1\*</sup>, Ali Ural<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-0034-0684),  
[hayrullahtosunbayraktar@gmail.com](mailto:hayrullahtosunbayraktar@gmail.com)

<sup>2</sup> Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8674-6169), [uralali@gmail.com](mailto:uralali@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 21 Mart 2022 ve Kabul Tarihi 15 Haziran 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1090979)

**ATIF/REFERENCE:** Tosunbayraktar, H. & Ural, A. (2022). Batma Derinliği Ve Çapları Farklı Olan Zıvanaların Deneysel Olarak İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 65-75.

## Öz

Barınma insanoğlunun temel ihtiyaçlarından biridir. Yiğma yapılar eski zamanlardan beri bu ihtiyacımızı karşılamıştır. Yiğma yapılar diğer yapı türleri arasında önemli bir yere sahiptir. Ayrıca birçok kırsal kesimde de yapımı devam etmektedir. Tarihi yapıları korumak bizim en önemli görevlerimiz arasında bulunduğundan bu tür yiğma yapıların onarım ve güçlendirme şekli ve yöntemlerini bilmemiz, en doğrusunu o yapıya uygulayabilmemiz gerekmektedir. Yiğma yapıların onarım ve güçlendirilmesinde metal bağlantı elemanları (kenet ve zıvana) kullanılmaktadır.

Günümüzde bu metal bağlantı elemanlarının yapılara olumlu katkısının olacağı bilinse de en etkili biçimde nasıl kullanılacağı bilinmemektedir. Bu çalışma, tarihi yapılarda düşey yiğma birimleri birleştiren metal bağlantı elemanı olan zıvanaların en etkin bir şekilde kullanımını bulmayı amaçlayan deneysel çalışmaları sunmaktadır. Deneysel çalışmadaki değişkenler, zıvana çapı ve zıvananın taşa batma derinliğidir. Deneysel çalışmadaki ankraj (çekme) deneyleri ile hangi değişkenler kullanılarak daha olumlu sonuçların elde edileceği tespit edilmeye çalışılmıştır. Yüzyıllardır kullanılmış ve hâlâ kullanılmaya devam edilen bağlantı elemanlarının en etkili kullanımını bulmayı amaçlayan bu deneysel çalışmanın konusunda ilk olması heyecan vericidir. Ayrıca bu çalışmanın konusu dolayısıyla sonraki çalışmalara örnek olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Ankraj deneyi, Metal bağlantı elemanları, Tarihi yapılar, Yiğma yapılar, Zıvana.

## Experimental Investigation of Tenons with Different Penetration Depths and Diameters

### Abstract

Shelter is one of the basic needs of human beings. Masonry structures have met this need since ancient times. Masonry structures have an important place among other building types. It is also under construction in many rural areas. Since protecting historical structures is among our most important duties, we need to know the repair and strengthening methods and methods of such masonry structures, and to be able to apply the best to that structure. Metal fasteners (clamp and tenon) are used in the repair and reinforcement of masonry structures.

Although it is known that these metal fasteners will contribute positively to the structures, it is not known how to use them in the most effective way. This study presents experimental studies aiming to find the most effective use of tenons, which are metal fasteners connecting vertical masonry units in historical buildings. Variables in the experimental study were the tenon diameter and the tenon penetration depth into the stone. With the anchoring (tensile) experiments in the experimental study, it was tried to determine which variables would be used to achieve more positive results. It is exciting that this experimental study, which aims to find the most effective use of fasteners that have been used for centuries and still continues to be used, is the first of its kind. In addition, due to the subject of this study, it is thought that it will be an example for future studies.

**Keywords:** Anchor test, Metal connection element, Historical structures, Masonry constructions, Dowel.

\* Sorumlu Yazar: [hayrullahtosunbayraktar@gmail.com](mailto:hayrullahtosunbayraktar@gmail.com)

## 1. Giriş

İnsanoğlu barınma ihtiyacını karşılayabilmek için tarih boyunca çeşitli yapılar inşa etmiştir. Bu yapılardan bazıları günümüze kadar gelebilmiş, bazıları ise çeşitli nedenler ile hasar görmüş veya yıkılmıştır. Tarihi yapılar en önemli kültür miraslarımızdandır. Bu yapıları gelecek nesillere aktarmak bizim görevimizdir. Tarihi yapıların büyük bir kısmı yığma yapı tekniği ile inşa edilmiştir. Ayrıca yığma yapılar günümüzde özellikle kırsal kesimlerde de yoğun olarak kullanım göstermektedir. Bu yüzden yığma yapılar yapı türleri arasında önemli bir yere sahiptir.

Yığma sistemli yapılarda esas taşıyıcı eleman duvarlardır. Duvarlarda yığma birim olarak genellikle taş ve tuğla kullanılmıştır. Bu yığma birimlerini birleştirmek için de harç kullanılmıştır. Fakat bu taşıyıcı duvarlarda kullanılan taş ve harçlar düşük çekme dayanımına ve sünekliğe sahiptir. Ayrıca ülkemizde kırsal kesimlerde kullanılan ve hâlen yeni yapılan bu tür yapılar genellikle mühendislik hizmeti almadan yapıldığından dolayı özellikle deprem gibi doğal afetlerde çok hasar alabilmektedir. Bu yüzden yığma yapıların davranışlarını, onarım ve güçlendirme yöntemlerini bilip bunu doğru bir şekilde ve yapının aslını kaybetmeyecek şekilde restorasyon çalışmalarında uygulamamız gerekmektedir.

Yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesinde en çok kullanılan yöntemlerden biri de metal bağlantı elemanlarıdır. Metal bağlantı elemanları günümüzde, neredeyse sadece yığma yapıların restorasyon çalışmalarında kullanılsa da, bu metal bağlantı elemanları birçok tarihi yapının yapım aşamasında kullanılmıştır. Metal bağlantı elemanları kenet ve zıvanalardır. Kenetler yatay yığma birimleri birleştirirken, zıvanalar düşey yığma birimleri birleştirmektedir. Bu metal bağlantı elemanları yığma birimleri birleştirmenin yanı sıra yapıya bütünlük katmıştır. Ayrıca önceleri ahşaptan yapılmış olan bağlantı elemanları teknolojinin ilerlemesi ile birlikte demirden yapılmış, böylece yapının sünekliği de artırılmıştır. Bu bağlantı elemanları alt alta veya üst üste taşlara açılan deliklere tespit edilerek şekliyle uygulanmıştır. Tarihi yapılarda kullanılan bu metal bağlantı elemanları incelendiğinde, delikteki bağlantı elemanları ile taş arasında kurşun kullanıldığı görülmüştür. Bu eritilmiş kurşun metali, metal bağlantı elemanın korozyona uğrayıp şişmesini ve taşın dağılmasını engellemektedir. Ayrıca kullanılan kurşun metali tarihi yapılara süneklik de katmıştır. Metal bağlantı elemanları günümüze ulaşan birçok tarihi yapıda (han, hamam, köprü, camide) kullanılmıştır. Belki de bu yapılar bu metal bağlantı elemanları kullanıldığı için günümüze kadar gelebilmiştir. Özellikle Osmanlı, Selçuklu ve Roma dönemlerinde yapılmış birçok yapıda bu metal bağlantı elemanlarını görebiliriz. Birçok tarihi yapıda kullanılmış olan metal bağlantı elemanlarına ait görseller Şekil 1'de gösterilmiştir.



(a)



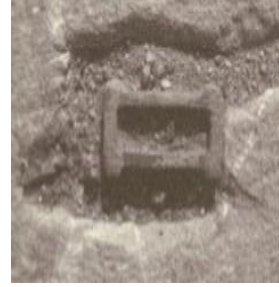
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 1. Metal bağlantı elemanlarının örnekleri, a) Taşköprü temelinde kullanılan demir kenetler (Sert, 2007), b) Aspendos köprüsünde kullanılan demir kenetler (Sert, 2007), c) Cami minaresinde kullanılan kenet örnekleri (Kuşüzümü, 2010), d) Aksaray Çanlı Kilise 'de kullanılmış metal kenetler (Uslu, 2013), e) Bodrum antik tiyatrosunda uygulanmış zıvana örneği (Bingöl, 2008), f) Magnesia artemis tapınağında kullanılan zıvana örneği (Demirtaş, 2006)

Figure 1. Examples of metal fasteners, a) Iron clamps used in Taşköprü foundation (Sert, 2007), b) Iron clamps used in Aspendos bridge (Sert, 2007), c) Examples of clamps used in mosque minaret (Kuşüzümü, 2010), d) Metal clamps used in Aksaray Çanlı Church (Uslu, 2013), e) Example of mortise used in Bodrum antique theater (Bingöl, 2008), f) Example of mortise used in the temple of Magnesia artemis (Demirtaş, 2006)

Yığma yapılar hakkında günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır. Fakat metal bağlantı elemanları hakkında yapılmış çalışma sayısı sınırlı düzeydedir.

Papadopoulos (2006), Apollo Epikourios Tapınağında kullanılan metal bağlantı elemanları üzerine çalışmıştır. Taş blokların taşıma kapasitelerini, kenet alanlarını dikkate alarak 3 boyutlu analizler ile hesaplamıştır. Toumbakari (2008), Atina'da bulunmakta olan Parthenon Tapınağındaki bir duvar üzerine çalışma yapmıştır. Duvarlarda taşları birbirine bağlamak için kullanılan kenetler bulunmaktadır. Duvarın davranışına bu kenetlerin etkilerini araştırmıştır. Kourkoulis ve Pasiou (2009), Parthenon Tapınağındaki mermer bloklar, harçlar ve metal bağlantı elemanları üzerine çalışmışlardır. Yığma yapıdaki elemanların düzgün davranış gösterebilmesi için kenet sistemlerinin doğru yerleştirilmesi gerektiğini söylemiş, sonlu elemanlar metodu kullanarak kenet malzemesinin mekanik özelliklerini belirlemeye çalışmışlardır. Ural (2009), doktora çalışması ile yığma yapılar ile ilgili çok önemli çalışmalar yapıp bu konu ile ilgili sonrasında yapılmış ve yapılabilecek birçok çalışmaya ışık tutmuştur. Yığma yapılarla ilgili hesaplama ve modelleme bilgi karmaşıklığı olduğu için bu soruna çözüm bulmak istemiştir. Ayrıca taşıyıcı duvarlarının davranışlarını nelerin etkilediğini araştırmıştır. 1 tane deprem hesabı programı ve 2 tane sonlu elemanlar programı geliştirmiştir. Doktora çalışmasının son bölümünde geliştirdiği sonlu elemanlar programı ile ilgili bilgiler vermiştir. Uslu (2013), yığma yapıların duvarlarında kayma gerilmeleri olduğu için kayma dayanımlarının artırılması çok önemli bir konudur. Bu yüzden metal bağlantı elemanları kullanılarak ve bunların kullanılmadığı referans duvar numunesi üzerinde deneysel çalışmalar yapmıştır. Deneysel çalışmalar ile yer değiştirmeler ve kırılma şekilleri tespit edilmiştir. Metal bağlantı elemanlarının (kenet ve zivana) kullanıldığı numunelerin dayanımının referans numuneye göre daha fazla çıktığı gözlenmiştir. Koçak (2013), yığma yapıların kayma dayanımını arttırmak için kullanılan metal bağlantı elemanlarıyla ilgili deneysel bir çalışma yapmıştır. Geliştirdiği 3 farklı metal bağlantı elemanlarını taş yığma duvarlar üzerine uygulayarak 10 farklı deney numunesi üretmiştir. Deneyinin sonunda, geliştirdiği yeni bağlantı elemanları ile yığma yapıların kayma dayanımı ve sünekliğinin arttığı gözlenmiştir. Ural (2017), deneysel çalışmasında Selçuklu ve Osmanlı yapılarında sıklıkla kullanılan düşey metal bağlantı elemanı olan zivanaların, yığma duvarların kayma (kesme) davranışına etkisini araştırmıştır. 2 tanesi zivanasız olmak üzere toplam 12 tane yığma duvar numunesi örülmüş ve duvarlarda kayma testi uygulanmıştır. Deneydeki değişken zivana demirlerinin çapı olmuştur. Tüm zivanalı numunelerin kayma dayanımı zivanasız numunelerden daha fazla çıkmıştır. Tanrıverdi vd. (2020), deneysel çalışmalarında metal bağlantı elemanı olan kenetlerin yığma taş blokların davranışına etkisini araştırmışlardır. Deneydeki değişken kenetlerin taşa batma derinliğidir. Batma derinliği 1 cm ile 7 cm arasında değişmektedir. Batma derinliği 3 cm'den küçük olduğu durumlarda sınırlı meydana gelmiştir. Maksimum taşınan yük ise batma derinliği 6 cm olan deney numunesinde meydana gelmiştir. Çelik vd. (2020), çalışmalarında kenetlerin batma noktasının taşın kenarına olan uzaklığının kayma dayanımına etkisini araştırmışlardır. Sonlu elemanlar modelini esas alan LUSAS yazılımından faydalanılmıştır. Çalışma sonucunda batma mesafesi 20 mm olan modelde kayma ve çekme gerilmeleri, batma mesafeleri 40 mm, 60 mm, 80 mm ve 100 mm olan diğer numunelere göre oldukça az çıkmıştır. Ayrıca yapılan analiz sonucunda 200x100x100 mm<sup>3</sup> boyutundaki taşlar için kenet batma mesafesinin 40 mm'den az olmaması gerektiği kanısına varılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Yapılan deneysel çalışma Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma zivanaların sınırlamasını temsil eden ankraj testlerinden oluşmaktadır. Deneydeki değişkenler zivana çapı ve batma derinliğidir. Her bir deneyden üçer adet numune hazırlanarak toplam 27 adet ankraj deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneysel çalışmadaki amaç zivanalardan hangi koşullarda en olumlu sonucun alınacağını bulmaktır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen grafikler ve sayısal değerler karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

### 2.1. Malzeme Çalışmaları ve Özellikleri

Deneysel çalışmalarda yığma birim olarak Aksaray merkeze bağlı Sevinçli Kasabasından temin edilen ve yörede yoğun olarak kullanılan volkanik kökenli tuf taşı kullanılmıştır. Taşlar taş ocağından 200x300x600 mm<sup>3</sup> ebatlarında temin edilmiş ve deneylerde bu ebatlarıyla kullanılmıştır. Kullanılan taşın basınç dayanım testleri ve eğilme çekme dayanım testleri yine Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Tuf taşın basınç dayanım testi TS EN 772-1+A1 (2015)'e uygun olarak, yaklaşık 50x50x50 mm<sup>3</sup> ebatlarındaki taşlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Tablo 1'de deneylerde kullanılan taşın basınç dayanımı sonuçları toplu olarak verilmektedir.

Tablo 1. Yığma birimlere ait basınç dayanımı sonuçları (Uslu, 2013)

Table 1. Compressive strength results of masonry units (Uslu, 2013)

Numune No	Enkesit Boyutları (mm)		Kırılma Yüğü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
	a	b		
A1	52	51	12650	4,77
A2	50	50	10850	4,34
A3	50	50	8570	3,43
A4	50	48	9970	4,15
A5	52	50	11450	4,40
A6	51	53	8450	3,13
Ortalama				4,04
Standart Sapma				0,63

Kullanılan taşın eğilme çekme dayanımının tayini amacıyla TS EN 772-6 (2004)'e uygun olarak hazırlanan yaklaşık 40x40x160 mm<sup>3</sup> (B1-B6 numuneleri) ve 50x100x150 mm<sup>3</sup> (C1-C6 numuneleri) boyutlarındaki toplam 12 adet numune deneye tabi tutulmuştur. Yükleme hızı, sabit ve darbe tesiri olmadan kırılmanın 30-90 saniye arasında gerçekleşmesi amacıyla ayarlanmıştır.

Tablo 2’de deneylerde kullanılan tuf taşının eğilmede çekme dayanımı sonuçları toplu olarak verilmektedir. Deney numunelerinde kullanılmak üzere seçilen tuf taşlarının iki farklı boyutta yapılan testler sonucunda ortalama olarak eğilmede çekme dayanımı 0,65 MPa olarak elde edilmiştir.

Tablo 2. Yiğma birimlere ait eğilmede çekme deneyleri sonuçları (Uslu, 2013)

Table 2. Results of bending tensile tests of masonry units (Uslu, 2013)

Numune No	Çekme Dayanımı (MPa)
B1	0,77
B2	0,62
B3	0,88
B4	0,72
B5	0,68
B6	0,59
C1	0,69
C2	0,79
C3	0,53
C4	0,57
C5	0,51
C6	0,50
Ortalama	0,65
Standart sapma	0,12

Deneyde kullanılan yiğma birimlere ait fiziksel deney sonuçları Tablo 3’te gösterilmiştir.

Tablo 3. Deneyde kullanılan tuf taşına ait fiziksel deney sonuçları (Koçak, 2013)

Table 3. Physical test results of the tuff stone used in the experiment (Koçak, 2013)

Test Türü	Sonuç
Sertlik (Mohs)	3
Sertlik (Dijital Schmidt Çekici Sertliği)	35 (33-37)
Birim Hacim Ağırlığı – Kuru (g/cm <sup>3</sup> )	1,97
Birim Hacim Ağırlığı – Doygun (g/cm <sup>3</sup> )	1,52
Porozite (%)	22,78
Ağırlıkça Su Emme (%)	15,00
Nemlilik (%)	1,15
Renk	Gri
Doluluk Oranı (%)	76
Ultrasonik Hız (µs)	60,0
Ultrasonik Hız (km/s)	5,40
pH (100 mL suda)	8,87
Suda Çözünen Toplam Tuz (µS – 25 mL suda)	590
Suda Çözünen Toplam Tuz (% - 25 mL suda)	0,58
Basınç Direnci (kgf/cm <sup>2</sup> )	550
Darbe Direnci (kgcm/cm <sup>3</sup> )	23
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kgcm/cm <sup>3</sup> )	127

Bu deneysel çalışmada, zıvanaları temsil eden, farklı çaplardaki tij demirleri kullanılmıştır. Zıvanaların çekme dayanımını belirlemek için TS EN ISO 6892-1 (2020)’e uygun olarak çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Çekme testleri sonucunda zıvanaların çekme dayanımları yaklaşık olarak 290 MPa olarak bulunmuştur.

Deney numuneleri hazırlanırken kurşun kullanılmıştır. Kurşun kullanılmakta olan en eski metallere biridir. Doğada yer alan doğal madenler arasında en ağır özelliklere sahip olan kurşun, mavi ve gri renklerinin yer aldığı ve kolay şekil verilebilen bir maddedir. Korozyon direnci çok yüksektir. Tek başına kullanıldığı gibi katkı maddeleri ile daha dayanıklı şekilde kullanım imkanı sunmaktadır. Ayrıca ekonomik ve uzun ömürlü olması sebebiyle eski çağlarda pek çok alanda kurşundan yararlanılmıştır.

Deneyde kurşun, taşları matkap ile delip ortasına zıvana yerleştirdikten sonra zıvanayla taşın arasında kalan boşluğu doldurmak için kullanılmıştır. Zaten tarihi yapılarda kullanılan metal bağlantı elemanları incelendiğinde birçoğunda kurşun kullanıldığı gözlemlenmiştir. Deneyde kullanacağımız kurşun, balık malzemeleri satan yerlerden 50’şer gram hâlinde temin edilmiştir. Kurşun zehirli bir madde olduğu için buharını solumak insan sağlığı için zararlıdır. Bu yüzden kurşunu piknik tüpünde eritme sırasında gerekli önlemler alınıp maske kullanılmıştır. Ayrıca kurşun patlaması oluşmaması için kurşunun su ile temasından kaçınılmıştır. Deneyde dolgu malzemesi olarak kullanılan kurşunun fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. Deneyde kullanılan kurşuna ait fiziksel ve mekanik özellikler (URL-1)

Table 4. Physical and mechanical properties of lead used in the experiment (URL-1)

Fiziksel Özellikleri	Değerleri
Kompozisyon %	Pb:99,9
Özgül Ağırlığı (Kg/Dm <sup>3</sup> )	11,35
Ergime Sıcaklığı (°C)	326
Isı İletkenliği 25°C Tavlanmış (Kcal/Sa/Cm/°C)	29,2
Genleşme Katsayısı (20-200 °C)(°C) x 10 <sup>-6</sup>	29,3
Isınma Isısı (20 °C),(Kcal/Kg/°C)	0,031
Mekanik Özellikleri	Değerleri
Gerilmeye Elastik Modül (Kg/Cm <sup>2</sup> )x10 <sup>3</sup>	140
Çekme Dayanıklılığı 24°C (Kg/Cm <sup>2</sup> )	170
Akma Dayanıklılığı 24°C (Kg/Cm <sup>2</sup> )	115
Uzama (5.Cm.De)%	57
Dayanıklılık Sınırı (10 <sup>7</sup> Hz) (Kg/Cm <sup>2</sup> )	50
Kayma Dayanıklılığı (Yılda %0,1) (Kg/Cm <sup>2</sup> )	21

Deneyde kullanılan malzemelere ait görseller Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Deneyde kullanılan malzemelere ait görseller  
Figure 2. Images of the materials used in the experiment

## 2.2. Numunelerin Hazırlanması

Deneylerde doğru karşılaştırma yapabilmek ve hata payını en aza indirebilmek amacıyla aynı deney yöntemi ve deney düzenekleri kullanılmaya özen gösterilmiştir.

200×300×600 mm<sup>3</sup> ebatlarındaki bu taşlara matkap yardımıyla, her bir taşa homojen olarak dağılmış, 16 mm çapında, 9 adet delik, belirlenen batma derinliğinde açılmıştır. Taşları belirlediğimiz çap ve derinlikte deldikten sonra zıvanaları yerleştirme ve etrafını geçmiştten beri bu amaç için birçok defa kullanılan eritilmiş kurşunla doldurma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kurşun malzemesinin donması ve dayanım gösterebilmesi için deneye geçmeden bir miktar beklenmesi gerekmektedir.

Batma derinliği 3, 5 ve 9 cm olacak şekilde taşlar delinmiştir. Delik çapı tüm deneylerde 16 mm'dir. Zıvana (tij) çapı olarak 8, 10 ve 12 mm çapında nervürlü demirler kullanılmıştır. Her bir taştaki 9 delikten 3'üne 8 mm'lik, 3'üne 10 mm'lik ve diğer 3'üne de 12 mm'lik zıvana yerleştirilmiştir. Zıvanaların etrafını doldurduğumuz malzeme olarak ise kurşun kullanılmıştır. Kurşunun kuruma süresi 5 dakika olarak belirlenmiş ve teste geçmek için bu kuruma süresi kadar beklenmiştir. Test için hazırlanan ve kuruması için beklenen numunelere ait görseller Şekil 3'de verilmiştir. Daha sonra zıvanalara ankraj testi uygulanmıştır. Böylece hangi çapta, hangi batma derinliğindeki zıvanayla daha fazla dayanım elde edileceği belirlenmeye çalışılmıştır.





gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğine ve ankraj testlerine ait görseller Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Test için hazırlanan ve kuruması için beklenen numuneler

Figure 3. Samples prepared for testing and waiting to dry

### 2.3. Deney Düzeneği ve Yapılan Deneyler

Deney numunelerindeki zıvanaların etrafındaki dolgu malzemesinin kuruyup, dayanımını aldıktan sonra, test aşamasına geçilebilmesi için deney düzeneğinin kurulması gerekmektedir. Deney numunesi düz bir zeminde duracak şekilde konup, deney düzeneği numunenin üzerine yerleştirilmiştir. Deney düzeneğinde, yükü hidrolik pompa ile verip, yük hücresi (Load – Cell) yardımıyla ölçmekteyiz. Deney düzeneğinde 10 ton kapasiteli yük hücresi kullanılmıştır. Yük hücresi, uygulanan yük durumunda basınca maruz kalmakta ve çıkış ucundan belirli bir gerilme verecek şekilde çalışmaktadır. Yer değiştirme ölçümleri de Linear Variable Differential Transformer (LVDT) yardımı ile ölçülmüştür. LVDT, merkez milinin ileri geri hareketi sonucu belirli bir gerilim üretmektedir. LVDT ile 0,01 mm hassasiyette okuma yapmak mümkündür. Yük hücresinden ve LVDT dönüştürücünden alınan değerler kurulan düzenek yardımı ile bilgisayara aktarılmaktadır. Deney düzeneğinde yükleme hızı kuvvet kontrollü olarak





Şekil 4. Deney düzeneğine ve ankraj testlerine ait görseller  
Figure 4. Visuals of the experimental setup and anchor tests

Deneyde kullanacağımız numunelere vereceğimiz isimlerdeki K harfi kurşunu, K harfinden sonra gelen 8, 10 veya 12 rakamı zıvana çapını, zıvana çapından sonra gelen 3,5 veya 9 rakamı ise batma derinliğini temsil etmektedir. (-) işaretinden sonraki rakam ise o deneye ait üç numuneden kaçınıcı numune olduğunu göstermektedir. Deneyde kullandığımız bu numunelere ait isim ve veriler Tablo 5'te verilmiştir.

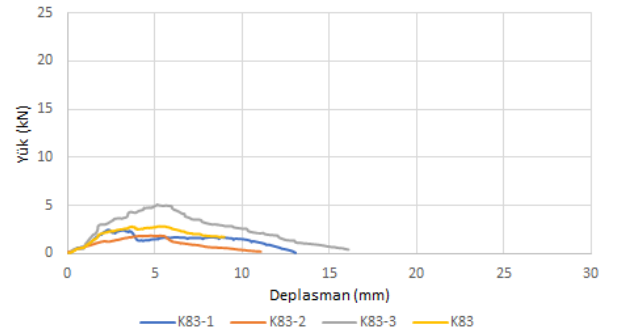
Tablo 5. Deneyde kullandığımız numunelere ait isim ve veriler  
Table 5. Names and data of the samples we used in the experiment

Deney İsimleri	Taş Cinsi	Dolgu Malzemesi	Delik Çapı (mm)	Batma Derinliği (cm)	Zıvana Çapı (mm)
K83 K103 K123	Tüf Taşı	Kurşun	16	3	8-10-12
K85 K105 K125	Tüf Taşı	Kurşun	16	5	8-10-12
K89 K109 K129	Tüf Taşı	Kurşun	16	9	8-10-12

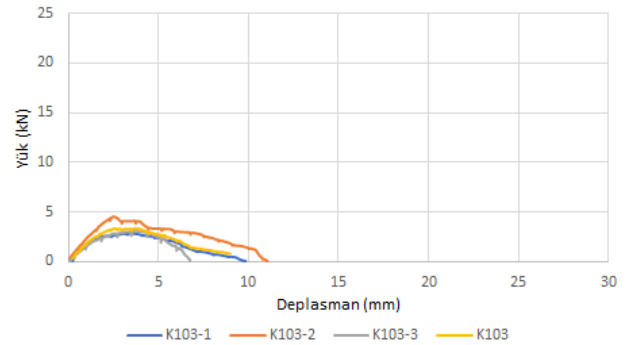
### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Yapılan deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar bu bölümde resimler, grafikler ve sayısal veriler üzerinden açıklanıp yorumlanmıştır. Aynı şartlar altında testleri gerçekleştirilen numunelerin yük - deplasman grafikleri gösterilmiştir. Hata payını azaltabilmek adına aynı özellikte üçer tane numune hazırlanmış ve teste tabi tutulmuştur. Grafikteki X eksen deplasmanı, Y eksen yük değerlerini göstermektedir. Kurşun ile hazırlanmış bu numunelerin grafiklerinde, grafik eksenleri yükte 25 kN'da, deplasman miktarı ise 30 mm'de sabitlenmiştir.

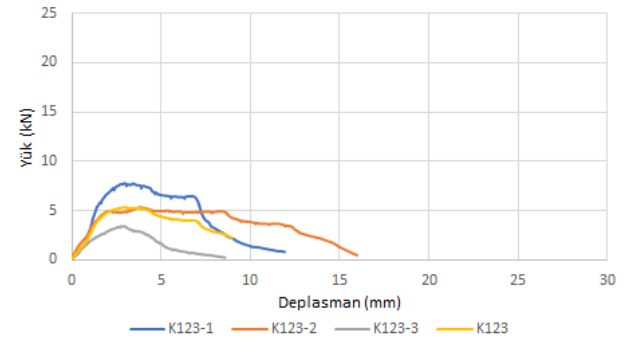
8, 10 ve 12 mm çapındaki zıvanalar ile hazırlanan 3,5 ve 9 cm batma derinliğindeki ve her birinden üçer adet hazırlanmış numunelerin deney sonu grafikleri Şekil 5'te gösterilmiştir.



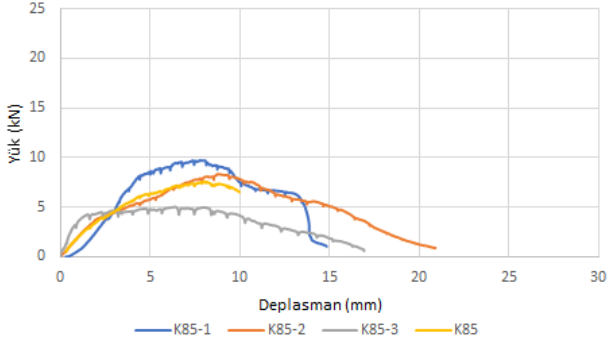
(a)



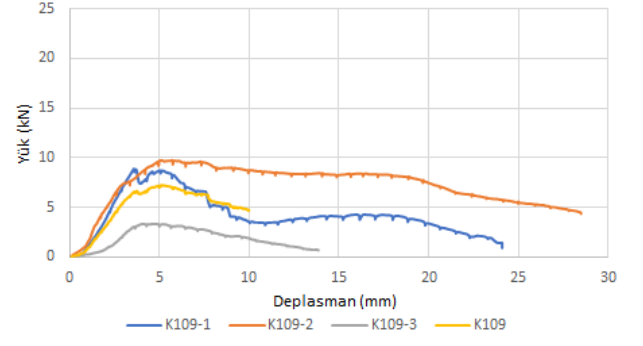
(b)



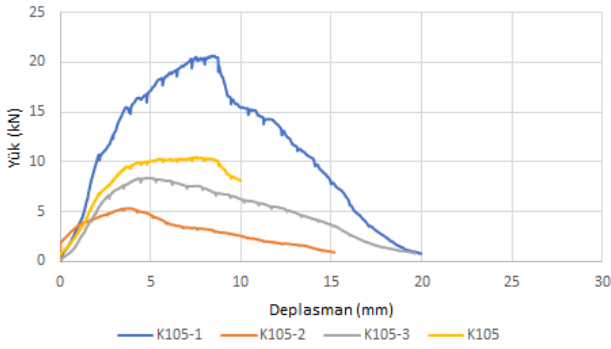
(c)



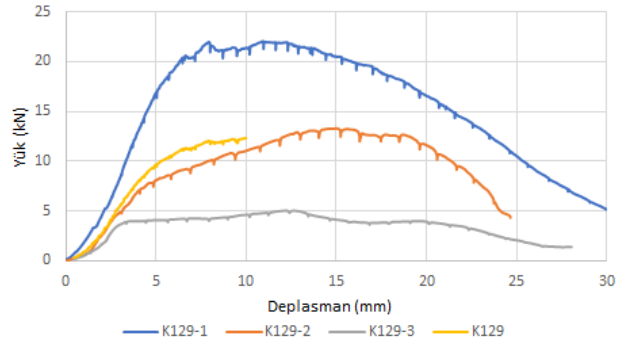
(d)



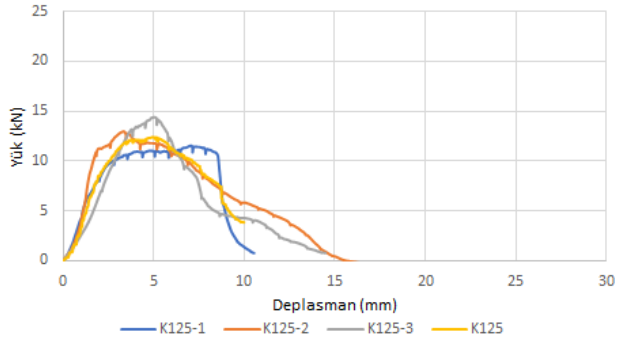
(h)



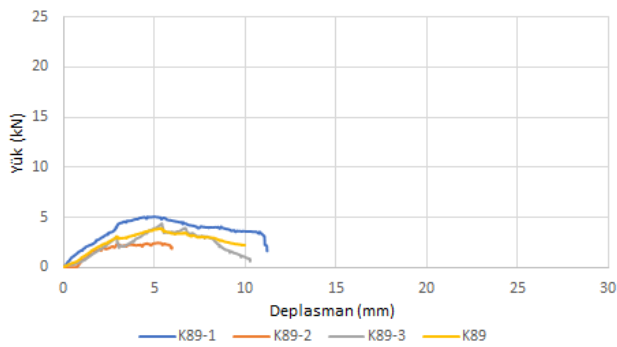
(e)



(i)



(f)



(g)

Şekil 5. Yapılan deneylere ait yük - deplasman grafikleri

Figure 5. Load – displacement graphs of the experiments carried out

27 adet numuneye ait yük - deplasman grafiği ayrı ayrı çizilmiş ve Şekil 5'te gösterilmiştir.

(Şekil 5a)'da 3 cm batma derinliğinde ve 8 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan numunelerin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikte hazırlanan üç numunenin de davranışları benzerlik göstermiş, taşıdıkları maksimum yükler birbirine oldukça yakın çıkmıştır. K83-1, K83-2 ve K83-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla maksimum 2,48 kN, 1,86 kN ve 5,11 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında en düşük maksimum yük taşıyan numuneler bu gruptaki numunelerdir. Ayrıca bu gruptaki numunelerdeki zıvanalarda sıyrılmalar gözlenmiştir. Bu numunelerin taşıyan ortalama maksimum yükü 3,15 kN'dur.

(Şekil 5b)'de 3 cm batma derinliğinde ve 10 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan numunelerin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin de davranışları fazla miktarda benzerlik göstermiş, taşıdıkları maksimum yükler birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. K103-1, K103-2 ve K103-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla 2,85 kN, 4,55 kN ve 3,09 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında en düşük maksimum yük taşıyan numuneler arasındalardır. Ayrıca bu gruptaki numunelerdeki zıvanalarda az da olsa sıyrılmalar gözlenmiştir. Bu numunelerin taşıyan ortalama maksimum yükü 3,50 kN'dur.



(Şekil 5c)'de 3 cm batma derinliğinde ve 12 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan numunelerin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin de davranışları benzerlik göstermiş, taşıdıkları maksimum yükler birbirlerine yakın çıkmıştır. K123-1, K123-2 ve K123-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla maksimum 7,78 kN, 5,35 kN ve 3,41 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında en düşük maksimum yük taşıyan numuneler arasındadır. Ayrıca bu gruptaki numunelerden sadece birinde sıyrılma olduğu gözlenmiştir. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 5,51 kN'dur.

(Şekil 5d)'de 5 cm batma derinliğinde ve 8 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan numunelerin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin de davranışları az da olsa benzerlik göstermiş, taşıdıkları maksimum yükler birbirlerine yakın çıkmıştır. K85-1, K85-2 ve K85-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla maksimum 9,73 kN, 8,32 kN ve 5,01 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında K83 numunelerinden daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Genel olarak da 3 cm batma derinliğindeki numunelerden de daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Ayrıca bu gruptaki numunelerde sıyrılma görülmemiştir. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 7,69 kN'dur.

(Şekil 5e)'de 5 cm batma derinliğinde ve 10 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan numunelerin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin davranışı ve taşıdıkları maksimum yükler birbirinden farklı çıkmıştır. K105-1, K105-2 ve K105-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla 20,66 kN, 5,33 kN ve 8,38 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında K103 numunelerinden daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Genel olarak da 3 cm batma derinliğindeki numunelerden de daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Ayrıca bu gruptaki numunelerde sıyrılma görülmemiştir. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 11,46 kN'dur.

(Şekil 5f)'de 5 cm batma derinliğinde ve 12 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan numunelerin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin davranışları benzerlik göstermiş, taşıdıkları maksimum yükler birbirlerine yakın çıkmıştır. K125-1, K125-2 ve K125-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla maksimum 11,54 kN, 12,95 kN ve 14,40 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında K123 numunelerinden daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Genel olarak da 3 cm batma derinliğindeki numunelerden de daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Bu gruptaki numuneler taşıdıkları maksimum yüklerin ortalaması bakımından, en yüksek yük taşıyan K129 numunelerinden sonra gelerek ikinci grup olmuşlardır. Ayrıca bu gruptaki numunelerde sıyrılma görülmemiştir. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 12,96 kN'dur.

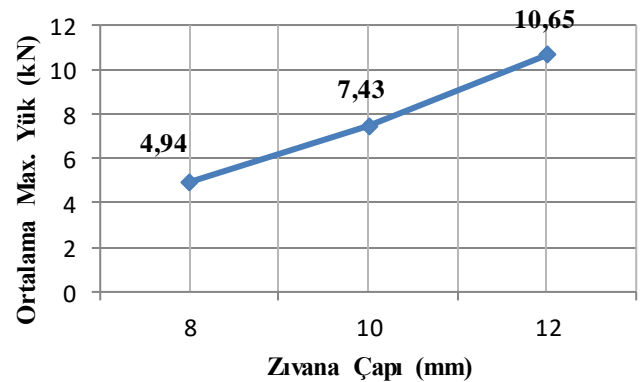
(Şekil 5g)'de 9 cm batma derinliğinde ve 8 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan numunelerin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin davranışları benzerlik göstermiş, taşıdıkları maksimum yükler birbirlerine yakın çıkmıştır. K89-1, K89-2 ve K89-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla maksimum 5,09 kN, 2,46 kN ve 4,39 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında K83 numunelerinden daha fazla, K85 numunelerinden daha az maksimum yük taşımışlardır. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 3,98 kN'dur.

(Şekil 5h)'da 9 cm batma derinliğinde ve 10 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan numunelerin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin taşıdıkları yükler farklılık gösterse de bu numuneler benzer olarak sünek davranış göstermişlerdir. K109-1, K109-2 ve K109-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla maksimum 8,89 kN, 9,76 kN ve 3,32 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında K103 numunelerinden daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Bu gruptaki numuneler en sünek davranış gösteren numuneler arasındadır. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 7,32 kN'dur.

(Şekil 5i)'da 9 cm batma derinliğinde ve 12 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan numunelerin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin taşıdıkları yükler farklılık gösterse de bu numuneler benzer olarak sünek davranış göstermişlerdir. K129-1, K129-2 ve K129-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla maksimum 22,06 kN, 13,31 kN ve 5,03 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında K123 numunelerinden daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Bu gruptaki numunelerin taşıdıkları maksimum yüklerin ortalaması diğer tüm gruplardan daha fazla çıkmıştır. Ayrıca en fazla maksimum yükü taşıyan numune, bu gruptaki numune olan K129-1 numunesi olmuştur. Bu gruptaki numuneler en sünek davranış gösteren numunelerdir. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 13,47 kN'dur.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesinde ve düşey bağlantı elemanı olarak kullanılan zıvanaların yük taşıma kapasiteleri araştırılmıştır. Farklı çap ve farklı batma derinliğindeki zıvanaların taş bloklara eritilmiş kurşunla sabitlenmesinden sonra ankraj testleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneysel çalışmadaki değişkenler zıvana çapı ve zıvananın taş batma derinliği olup, zıvana çapı 8, 10, 12 mm, batma derinlikleri de 3, 5 ve 9 cm değerlerini alacak şekilde numuneler hazırlanmıştır. Her numunedeki delik çapı aynı olup 16 mm'dir. Her bir numuneden üçer adet olmak üzere toplamda 27 adet numune hazırlanıp ankraj testi gerçekleştirilmiştir. Deney numunelerinin, zıvana çapı ile ortalama maksimum yük değerleri arasındaki ilişki Şekil 6'da gösterilmiştir.

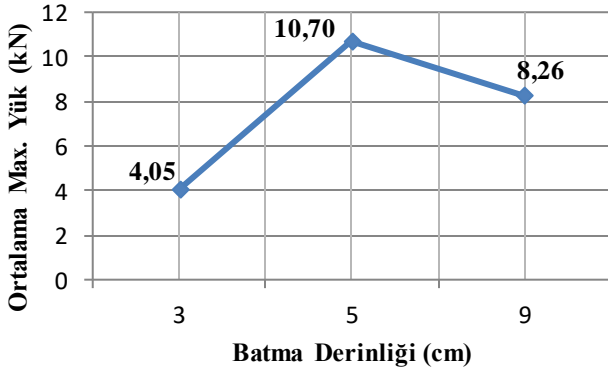


Şekil 6. Deney numunelerine ait ortalama maksimum yük - zıvana çapı grafiği

Figure 6. Average maximum load - tendon diameter graph of the test samples

Şekil 6'da farklı batma derinliğindeki numunelerle hazırlanan 8, 10 ve 12 mm çapındaki zıvanaların taşıdığı ortalama maksimum yük değerleri gösterilmiştir. Buna göre 8, 10, 12 mm çapındaki zıvanalar ortalama olarak sırasıyla 4,94 kN, 7,43 kN, 10,65 kN maksimum yük taşımışlardır. Zıvana çapı arttıkça taşınan ortalama maksimum yük değeri de artmıştır. Ancak bundan daha fazla çaptaki zıvanalarda bu doğrusallığın bozulacağı, taşınan maksimum yükün artmayacağı, artsa bile sınırlı düzeyde olacağı tahmin edilmektedir.

Deney numunelerinin, batma derinliği ile ortalama maksimum yük değerleri arasındaki ilişki Şekil 7'de gösterilmiştir.



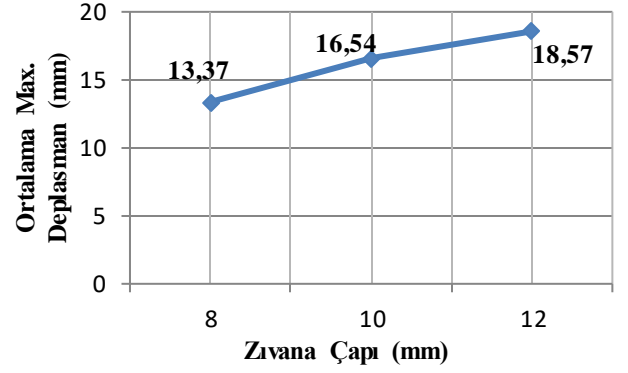
Şekil 7. Deney numunelerine ait ortalama maksimum yük - batma derinliği grafiği

Figure 7. Average maximum load - submergence depth graph of the test samples

Şekil 7'de farklı zıvana çapındaki numunelerle hazırlanan 3, 5 ve 9 cm batma derinliğindeki zıvanaların taşıdığı ortalama maksimum yük değerleri gösterilmiştir. Buna göre 3, 5 ve 9 cm batma derinliğindeki zıvanalar ortalama olarak sırasıyla 4,05 kN, 10,70 kN, 8,26 kN maksimum yük taşımışlardır.

Genel olarak en fazla maksimum yükü 5 cm batma derinliğindeki zıvanalar taşırken, en düşük maksimum yükü 3 cm batma derinliğindeki zıvanalar taşımıştır. En az ortalama maksimum yükü 3 cm batma derinliğindeki zıvanalar taşımıştır. Çünkü bu numunelerin bazılarında deney esnasında sınırlı olmuştur. 9 cm batma derinliğindeki numuneler, 5 cm batma derinliğindeki numunelerden ortalama olarak daha az maksimum yük taşımışlardır. Bunun nedeni ise 9 cm batma derinliğindeki numunelerde delik açma aşamasında taşı daha fazla hacim kaybına uğratıp, dayanımının azaltılmasıdır.

Deney numunelerinin, zıvana çapı ile ortalama maksimum deplasman miktarları arasındaki ilişki Şekil 8'de gösterilmiştir.

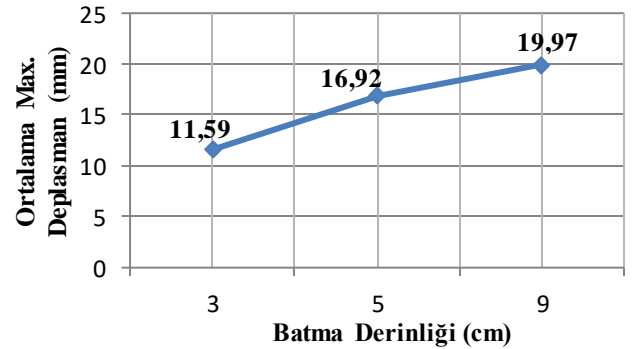


Şekil 8. Deney numunelerine ait ortalama maksimum deplasman - zıvana çapı grafiği

Figure 8. Average maximum displacement - tenon diameter graph of the test samples

Şekil 8'de farklı batma derinliğindeki numunelerle hazırlanan 8, 10 ve 12 mm çapındaki zıvanaların yaptığı ortalama maksimum deplasman miktarları gösterilmiştir. Buna göre 8, 10, 12 mm çapındaki zıvanalar ortalama olarak sırasıyla 13,37 mm, 16,54 mm, 18,57 mm maksimum deplasman yapmışlardır. Çalışma kapsamında ankraj deneyleri gerçekleştirilen numunelere göre zıvana çapı arttıkça yaptıkları ortalama maksimum deplasman miktarı da artmıştır. Ayrıca numunelerin yaptıkları maksimum deplasman miktarı numunelerin sünekliliğini de gösterdiğinden dolayı zıvana çapı arttıkça numunelerin sünekliliği de artmıştır.

Deney numunelerinin, batma derinliği ile yaptıkları ortalama maksimum deplasman miktarları arasındaki ilişki Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Deney numunelerine ait ortalama maksimum deplasman - batma derinliği grafiği

Figure 9. Average maximum displacement - submergence depth graph of the test samples

Şekil 9'da farklı zıvana çapındaki numunelerle hazırlanan 3, 5 ve 9 cm batma derinliğindeki zıvanaların yaptığı ortalama maksimum deplasman miktarları gösterilmiştir. Buna göre 3, 5, 9 cm batma derinliğindeki zıvanalar ortalama olarak sırasıyla 11,59 mm, 16,92 mm, 19,97 mm maksimum deplasman yapmışlardır. Çalışma kapsamında ankraj deneyleri gerçekleştirilen numunelere göre batma derinliği arttıkça yaptıkları ortalama maksimum deplasman miktarı da artmıştır.

Ayrıca numunelerin yaptıkları maksimum deplasman miktarı numunelerin sünekliliğini de gösterdiğinden dolayı batma derinliği arttıkça numunelerin sünekliliği de artmıştır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar maddeler hâlinde aşağıda sıralanmıştır.

- Yiğma yapıların yapım aşamasında ve tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde zıvana kullanılmalıdır. Zıvana yapıya bütünlük, dayanım ve süneklik katmaktadır.
- Zıvanaların etrafına dolgu malzemesi olarak eritilmiş kurşun kullanılmalıdır. Kurşun metali yapıya süneklik kattığı gibi, zıvanaların taşa sabitlenmesini ve zıvananın korozyona uğramasını sağlamaktadır.
- Zıvana çapı arttıkça taşın maksimum yük değeri de artmaktadır. Ancak çok büyük çaptaki zıvana da çok büyük çapta delik açılmasını gerektireceği için, taşı kesit kaybına uğratıp dayanımını azaltacağı unutulmamalıdır. 8 mm çapındaki zıvanalar ile hazırlanan numunelerin bazılarında sıyrılmalar olmuştur. En düşük taşın maksimum yük değeri 8 mm çapındaki zıvanalar ile hazırlanmış numunelere aittir. Kullanılan çaplar arasında en fazla ortalama maksimum yük değerini 12 mm çapındaki zıvanalar taşımıştır.
- Batma derinliği arttıkça taşın maksimum yük değeri belirli bir yere kadar artmakta, daha sonra ise azalmaktadır. Çünkü açılan deliğin büyüklüğüne göre taşa zarar vermiş, hacim kaybına uğratmış, dayanımını azaltmış oluyoruz. 3 cm batma derinliğindeki numunelerin birçoğunda sıyrılmalar gözlenmiştir. Bu batma derinliğindeki numunelerden özellikle düşük çaptaki numuneler neredeyse hiç yük taşıyamamışlardır. Kullanılan batma derinlikleri arasında en fazla ortalama maksimum yük değerini 5 cm batma değerindeki numuneler taşımışlardır.
- Çalışma kapsamında ankraj deneyleri gerçekleştirilen numunelere göre zıvana çapı arttıkça yaptıkları ortalama maksimum deplasman miktarı da artmıştır. Ayrıca numunelerin yaptıkları maksimum deplasman miktarı numunelerin sünekliliğini de gösterdiğinden dolayı zıvana çapı arttıkça numunelerin sünekliliği de artmıştır.
- Çalışma kapsamında ankraj deneyleri gerçekleştirilen numunelere göre batma derinliği arttıkça yaptıkları ortalama maksimum deplasman miktarı da artmıştır. Ayrıca numunelerin yaptıkları maksimum deplasman miktarı numunelerin sünekliliğini de gösterdiğinden dolayı batma derinliği arttıkça numunelerin sünekliliği de artmıştır.
- Bu deneysel çalışmanın daha da kapsamlı hâle getirilebilmesi mümkündür. Zıvana demirlerinin yiğma birimler üzerindeki konumu ve adedi araştırılmalıdır. Ayrıca zıvananın taşıdığı maksimum yükü ve sünekliliğini birlikte arttıracak dolgu malzemeleri üzerinde çalışmalar yapılabilir.

- Elde bulunan imkanlar ile aynı özelliklere sahip numunelerden üçer adet hazırlanıp teste tabi tutulmuştur. İleriki çalışmalar ile bu sayı daha da artırılıp hata payı daha da aza indirilebilir.

## Kaynakça

- Bingöl, O. (2008). Arkeolojik Mimaride Taş, Homer Kitabevi, İstanbul.
- Çelik, T., Tanrıverdi, Ş., Ural, A. & Fırat, F.K. (2020). Kenet batma mesafesinin kayma dayanımına etkisinin sonlu elemanlar metoduyla modellenmesi. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 12(2), 63-68.
- Demirtaş, M.B. (2006). Magnesia Artemis Tapınağı'nın teknik ve işçilik özellikleri. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Koçak, Y. (2013). Yiğma duvarlarda kayma dayanımının artırılması amacı ile farklı bağlantı elemanı uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Aksaray.
- Kourkoulis, S.K. & Pasiou E.D. (2009). Epistyles connected with "I" connectors under pure shear. Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics, 2(2), 81- 99.
- Kuşüzümü, K.H. (2010). İstanbul minareleri, restorasyon konservasyon arkeoloji ve sanat yılı, Vakıflar Genel Müdürlüğü, 1, 57-66.
- Papadopoulos, K.A. (2006). The restoration study of the connections between the stone blocks in the steps of the temple of Apollo Epikourios. Proceedings of Structural Analysis of Historical Construction, Eds with D' Ayala & Fodde, 1389-1396.
- Sert, H. (2007). Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu-1, 321-329. Ankara.
- Tanrıverdi, Ş., Çelik, T., Ural, A. & Fırat, F.K. (2020). Batma derinliği farklı olan kenetlerin yiğma duvarların davranışına etkisinin araştırılması. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 12(2), 56-62.
- Toumbakari, E.E. (2008). The Athens Parthenon: Analysis and interpretation of the structural failures in the ortho state of the northern wall. Proceedings of the Structural Analysis of Historical Construction, Eds with D' Ayala & Fodde, 673-681.
- TS EN 772-1+A1. (2015). Kagir birimler-deney yöntemleri-bölüm 1: Basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 772-6. (2004). Kagir birimler-deney metotları-bölüm 6: Beton kagir birimlerin eğilmede çekme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 6892-1. (2020). Metalik malzemeler-çekme deneyi-bölüm 1: Ortam sıcaklığında deney metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Ural, A. (2009). Yiğma yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Ural, A. (2017). Zıvana demirlerinin yiğma yiğma duvarların kayma davranışına etkisinin incelenmesi. Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu, Trabzon.
- URL-1 <https://www.pinarmetal.com/pic/pdf/kursun.pdf>
- Uslu, S. (2013). Tarihi yiğma yapılarında kullanılan metal bağlantı elemanlarının deneysel metotlarla incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Aksaray.