



T.C.

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN ZIVANALARIN FARKLI
DOLGU MALZEMELERİ YARDIMIYLA DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hayrullah TOSUNBAYRAKTAR

DANIŞMAN

Prof. Dr. Ali URAL

AKSARAY, 2022

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 192303406 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, Hayrullah TOSUNBAYRAKTAR tarafından hazırlanan **“TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN ZIVANALARIN FARKLI DOLGU MALZEMELERİ YARDIMIYLA DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ”** adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ali URAL

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Üye: Prof. Dr. Mehmet Emin KARA

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Üye: Doç. Dr. Özer SEVİM

Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Tez Savunma Tarihi: 24/06/2022

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Mehmet Ali HINIS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden olduğuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Hayrullah TOSUNBAYRAKTAR

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde bana her konuda destek olan danışman hocam Prof. Dr. Ali URAL'a,

Tez çalışmamda bana yol gösteren Prof. Dr. Mehmet Emin KARA'ya, Doç. Dr. Fatih Kürşat FIRAT'a, deneysel çalışmalarımda yardımcı olan Öğr. Gör. Yakup BÖLÜKBAŐ, Arş. Gör. Őukran TANRIVERDİ ve Arş. Gör. Tülin ÇELİK hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca, bana maddi ve manevi her türlü desteği gösteren babam İbrahim TOSUNBAYRAKTAR'a annem Mediha TOSUNBAYRAKTAR'a kardeşim Ravza TOSUNBAYRAKTAR'a ve bütün çalışmalarım boyunca yanımda olan arkadaşlarıma tüm kalbimle teşekkür ederim.

Hayrullah TOSUNBAYRAKTAR
AKSARAY, 2022

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	6
2. KAYNAK ÖZETLERİ	9
2.1 Yığma Yapılarla İlgili Çalışmalar	9
2.2 Metal Bağlantı Elemanlarıyla İlgili Çalışmalar.....	16
3. YIĞMA YAPILARDA KULLANILAN MALZEMELER	18
3.1 Doğal Taşlar	18
3.1.1 Mermer	19
3.1.2 Granit	20
3.1.3 Kalker	20
3.1.4 Bazalt	21
3.1.5 Arduvaz.....	21
3.1.6 Kumtaşı.....	22
3.1.7 Andezit.....	23
3.1.8 Diyabaz	23
3.2 Yapay Taşlar.....	24
3.2.1 Tuğla	25
3.2.2 Briket	25
3.2.3 Kerpiç	26
3.2.4 Gazbeton	27
3.2.5 Kireç kumtaşı blokları	28
3.3 Ahşap.....	28
3.4 Harç	29
3.5 Horasan Harcı.....	30
4. METAL BAĞLANTI ELEMANLARI (KENET VE ZIVANALAR).....	32
4.1 Kenetler	33
4.2 Zıvanalar.....	37
5. MALZEME VE YÖNTEM	40
5.1 Malzeme Özellikleri	42
5.1.1 Tüf taşı	42
5.1.2 Zivana	50
5.1.3 Kurşun.....	51
5.1.4 Epoksi	53
5.2 Deney Düzenine Oluşturulması	55
5.3 Yapılan Deneyler.....	57
5.3.1 Kurşun deneyleri.....	60
5.3.2 Epoksi deneyleri	66
6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	71
6.1 Kurşun Numunelerine Ait Sonuçlar	71

6.2 Epoksi Numunelerine Ait Sonuçlar.....	81
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	93
KAYNAKLAR	96
ÖZGEÇMİŞ.....	102



YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN ZIVANALARIN FARKLI DOLGU MALZEMELERİ YARDIMIYLA DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Hayrullah TOSUNBAYRAKTAR

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Ali URAL

ÖZET

Barınma insanlığının temel ihtiyaçlarından biridir. Yığma yapılar eski zamanlardan beri bu ihtiyacımızı karşılamıştır. Yığma yapılar 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 yığma yapıların onarım ve güçlendirme şekli ve yöntemlerini bilmemiz, en doğrusunu o yapıya uygulayabilmemiz gerekmektedir. Yığma 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 yığma birimleri birleştiren metal bağlantı elemanı olan zıvanaların en etkin bir şekilde kullanımını bulmayı amaçlayan deneysel çalışmaları sunmaktadır. Deneysel çalışmadaki değişkenler, zıvana çapı, zıvananın taşa batma derinliği ve dolgu malzemesidir. Deneysel çalışmadaki ankraj (çekme) deneyleri ile hangi değişkenler kullanılarak daha olumlu sonuçların elde edileceği tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışma neticesinde, yığma yapılarda zıvana dolgu malzemesi olarak kurşunun kullanılmaya devam edilmesi tavsiye edilmiştir.

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

Haziran, 2022; 102 sayfa

M.Sc. THESIS

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DOWELS USED IN HISTORICAL BUILDINGS WITHS THE HELP OF DIFFERENT FILLING MATERIALS

Hayrullah TOSUNBAYRAKTAR

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Ali URAL

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 the 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 form and methods of such masonry structures, and to be able to apply the best to that structure. Metal fasteners (clamp and dowel) 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. The variables in the experimental study were the tenon diameter, the mortise depth of the tenon into the stone, and the filling material. With the anchorage (tensile) experiments in the experimental study, it was tried to determine which variables would be used to obtain more positive results. As a result of the study, it was recommended to continue using lead as a dowel filling material in masonry structures.

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

June, 2022; 102 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Geçmişte barınma amacıyla kullanılan mağaralar.....	1
Şekil 1.2. Günümüz teknolojileriyle yapılmış modern yapılar	1
Şekil 1.3. Yığma yapı tekniği ile yapılmış tarihi yapılar	3
Şekil 1.4. Depremde bir kısmı yıkılmış bir yığma yapı.....	5
Şekil 1.5. Türkiye deprem tehlike haritası	6
Şekil 3.1. Mermer bloklarından bir görüntü	20
Şekil 3.2. Granit taşından bir kesit.....	20
Şekil 3.3. Farklı boyutlarda parçalanmış kalker taşları.....	21
Şekil 3.4. Örneklerini yansıtan bazalt taşları	21
Şekil 3.5. Zemine döşenmiş arduvaz taşları.....	22
Şekil 3.6. Bir kumtaşı örneği	22
Şekil 3.7. Andezit taşı örneği.....	23
Şekil 3.8. Diyabaz taşları	23
Şekil 3.9. Farklı şekillerde ve boyutlarda tuğla örnekleri	25
Şekil 3.10. Briket görselleri	26
Şekil 3.11. Kerpiçten yapılmış bir duvar parçası	27
Şekil 3.12. Gazbeton (Ytong) örnekleri	27
Şekil 3.13. Kireç kumtaşı blokları	28
Şekil 3.14. Yığma yapılarda kullanılabilen ahşap malzemesi	28
Şekil 3.15. Yığma prizmanın gerilme - şekil değiştirme eğrisi	29
Şekil 3.16. Horasan harcına ait bir örnek.....	31
Şekil 4.1. Kenet ve zıvanalar	32
Şekil 4.2. Kırılmaç kuyruğu kenet	33
Şekil 4.3. Knidos Yuvarlak Tapınağı'ndaki kırılmaç kuyruğu kenet	33
Şekil 4.4. Kırılmaç kuyruğu yuvada U tipi kenet uygulaması	33
Şekil 4.5. U tipi kenet demiri	34
Şekil 4.6. Magnesia Artemis Tapınağı, U tipi kenet örneği.....	34
Şekil 4.7. Yığma yapılarda kullanılan farklı kenet tipleri.....	34
Şekil 4.8. Taşköprü ve Aspendos Köprüsü'nün temellerinde kullanılan demir kenetler	35
Şekil 4.9. Kırık taşların onarımında kullanılan kenet uygulaması.....	35
Şekil 4.10. Edirnekapı Mihrimah Sultan Cami minaresinde kullanılan kenet örnekleri	36
Şekil 4.11. Parthenon Tapınağı'nda kullanılan zıvana örneği	37
Şekil 4.12. Yatay kurşun akıtma kanalı	38
Şekil 4.13. Çeşitli zıvana yuvaları örnekleri.....	38
Şekil 4.14. Zıvana yuvasına kurşun akıtılması	39
Şekil 5.1. Taşlara deliklerin açılma işlemi.....	40
Şekil 5.2. Taş ocağından getirilen tüf taşları	42
Şekil 5.3. Yığma birimlerin basınç dayanım testleri.....	46
Şekil 5.4. Yığma birimlerin eğilmede çekme dayanımı testleri (B1-B6 numuneleri)	48
Şekil 5.5. Yığma birimlerin eğilmede çekme dayanımı testleri (C1-C6 numuneleri)	49
Şekil 5.6. 8, 10 ve 12 mm çaplarındaki tij demirleri.....	50
Şekil 5.7. Deneyde eriterek kullanacağımız kurşun malzemesi	51
Şekil 5.8. Deneyde kullanılan epoksi.....	53
Şekil 5.9. Deney düzeneğine ait fotoğraflar.....	55
Şekil 5.9 (devam). Deney düzeneğine ait fotoğraflar.....	56

Şekil 5.10. Taşların ıslatılması işlemi	58
Şekil 5.11. Açılan deliklerin kurutulma işlemi	58
Şekil 5.12. Sabit matkap yardımıyla deliklerin açılması	59
Şekil 5.13. Kompresör yardımıyla delikteki tozları temizleme işlemi	59
Şekil 5.14. Kurşunun eritilmesi ve deliklere doldurulması.....	60
Şekil 5.15. Kurşunun deney için katılaşması	61
Şekil 5.16. Kurşun numunelerinin hazırlanması	62
Şekil 5.16 (devam). Kurşun numunelerinin hazırlanması.....	63
Şekil 5.17. Kurşunla hazırlanan numunelere ait deney görselleri	64
Şekil 5.18. Kurşunla hazırlanan numunelerin deney sonu görüntüleri.....	65
Şekil 5.19. Deneyde kullanılan epoksi	66
Şekil 5.20. Epoksi reçinesinin deney için donması....	67
Şekil 5.21. Epoksi reçinesi numunelerinin hazırlanması	67
Şekil 5.21 (devam). Epoksi reçinesi numunelerinin hazırlanması	68
Şekil 5.22. Epoksi reçinesiyle hazırlanan numunelere ait deney görselleri.....	69
Şekil 5.23. Epoksi reçinesiyle hazırlanan numunelerin deney sonu görüntüleri.....	70
Şekil 6.1. K83 numunelerine ait yük - deplasman grafiği	71
Şekil 6.2. K103 numunelerine ait yük - deplasman grafiği	72
Şekil 6.3. K123 numunelerine ait yük - deplasman grafiği	73
Şekil 6.4. K85 numunelerine ait yük - deplasman grafiği	73
Şekil 6.5. K105 numunelerine ait yük - deplasman grafiği	74
Şekil 6.6. K125 numunelerine ait yük - deplasman grafiği	75
Şekil 6.7. K89 numunelerine ait yük - deplasman grafiği	76
Şekil 6.8. K109 numunelerine ait yük - deplasman grafiği	76
Şekil 6.9. K129 numunelerine ait yük - deplasman grafiği	77
Şekil 6.10. Kurşun numunelerine ait ortalama maksimum yük - zıvana çapı grafiği.....	78
Şekil 6.11. Kurşun numunelerine ait ortalama maksimum yük - batma derinliği grafiği	79
Şekil 6.12. Kurşun numunelerine ait ortalama maksimum deplasman - zıvana çapı grafiği	80
Şekil 6.13. Kurşun numunelerine ait ortalama maksimum deplasman - batma derinliği grafiği.....	81
Şekil 6.14. E83 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.....	82
Şekil 6.15. E103 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.....	83
Şekil 6.16. E123 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.....	84
Şekil 6.17. E85 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.....	84
Şekil 6.18. E105 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.....	85
Şekil 6.19. E125 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.....	86
Şekil 6.20. E89 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.....	87
Şekil 6.21. E109 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.....	87
Şekil 6.22. E129 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.....	88
Şekil 6.23. Epoksi numunelerine ait ortalama maksimum yük - zıvana çapı grafiği	89
Şekil 6.24. Epoksi numunelerine ait ortalama maksimum yük - batma derinliği grafiği	90
Şekil 6.25. Epoksi numunelerine ait ortalama maksimum deplasman - zıvana çapı grafiği	91
Şekil 6.26. Epoksi numunelerine ait ortalama maksimum deplasman - batma derinliği grafiği.....	92

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Türkiye’ye ait bina sayımı sonuçları	6
Çizelge 3.1. Türkiye’de doğal taşların bölgelere göre dağılımı.....	19
Çizelge 3.2. Doğal yapı taşlarının ortalama fiziksel özellikleri.....	24
Çizelge 3.3. Horasan harçlarında kullanılan malzemeler ve oranları	31
Çizelge 3.4. Pusat’ın harç numunelerinin karışım oranları.....	31
Çizelge 5.1. Tüf taşının fiziksel deney sonuçları	43
Çizelge 5.2. Tüf taşının jeokimyasal analiz sonuçları – temel elementler.....	44
Çizelge 5.3. Tüf taşının jeokimyasal analiz sonuçları – eser elementler	44
Çizelge 5.3 (devam). Tüf taşının jeokimyasal analiz sonuçları – eser elementler	45
Çizelge 5.4. Tüf taşı numunelerine ait basınç dayanımı sonuçları	47
Çizelge 5.5. Taş numunelerine ait eğilmede çekme dayanımı sonuçları	50
Çizelge 5.6. Deneyde kullanılan kurşuna ait fiziksel ve mekanik özellikler	52
Çizelge 5.7. Epoksi reçinesi özellikleri.....	54
Çizelge 5.8. Deneyde kullanılan numuneler	57

SİMGELER VE KISALTMALAR

DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DİE	Devlet İstatistik Enstitüsü
FRP	Fiber Reinforced Polymer
GFRP	Glass Fiber Reinforced Polymer
LVDT	Liner Variable Differential Transformer
RYTEİE	Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu



1. GİRİŞ

İnsanoğlunun varlığından bu yana şüphesiz ki barınma ihtiyacı, tüm canlılar için en temel gereksinimlerden birisidir. Bu gereksinim ilk çağlardan günümüze kadar farklı yapı türleri ile karşılanmıştır. Zaman içinde yapım tarihindeki imkânlarla göre yapılar inşa edilmiş ve teknolojinin ilerlemesi ile yapılar günümüzdeki son hâlini almıştır. Teknoloji ile yapıların ne kadar değiştiğini, geçmişte vahşi hayvanlardan korunmak amacı ile kullanılan mağara ve barınakları (Şekil 1.1), günümüzde sırf birkaç fazla adım atmamız için düşünülmüş akıllı evler ve gökdelenler (Şekil 1.2) ile karşılaştırdığımızda görmekteyiz.



Şekil 1.1. Geçmişte barınma amacıyla kullanılan mağaralar (URL-1).



Şekil 1.2. Günümüz teknolojileriyle yapılmış modern yapılar (URL-2).

İlk çağlarda insanlar, mağara ve barınaklarda yaşayarak vahşi hayvanlardan, iklimden dolayı oluşabilecek olumsuz koşullardan ve doğal afetlere karşı korunmuş, barınma gereksinimlerini bu şekilde karşılamışlardır. İlk başlarda barınma ihtiyacını karşılamak için doğal mağaralar kullanılmış, daha sonraları insanlar kayaları oyarak kendileri mağara ve barınak yapmışlardır. Teknolojinin ilerlemesiyle farklı alet ve makineler ortaya çıkmış, insanlar doğal taş ve harçlarla yığma yapı şeklinde yapılar yapmışlardır. Tarihte yapılan yapıların neredeyse tamamı yığma yapı şeklindedir. İnsanoğlu yığma yapıları sadece barınma amaçlı değil, ibadet, ulaşım vb. amaçlı da yapmış ve kullanmışlardır. Örneğin akarsuları geçmek için taş köprüler yapılmıştır. Yığma yapı türünde inşa edilen bu taş köprüler farklı uygarlıklar tarafından inşa edilmiş, bu yapıların en gelişmiş örnekleri Romalılar tarafından yapılmıştır. Ayrıca Osmanlı döneminde ibadet amaçlı yapılan birçok cami yine yığma yapı şeklinde inşa edilmiştir. Zamana meydan okumuş yapıları ile tanınan, yaptığı eserleri ve camileri günümüze kadar ulaşmış Mimar Sinan'ın birçok eseri yine yığma yapı tekniği ile yapılmıştır.

Günümüze kadar ulaşmış tarihi yapıların birçoğu, neredeyse tamamı yığma yapı şeklinde inşa edilmiştir. Osmanlı, Roma ve Yunan medeniyetlerinde yapılar günümüze kadar ulaşmış yığma yapılar türünün en önemli örneklerindedir. Osmanlı camileri, medreseleri, hamamları, Yunan Tapınakları, Dünya'nın yedi harikası arasında bulunan Mısır Piramitleri yığma yapıların en görkemli örnekleridir.

Ayrıca yığma yapı tekniği ile yapılmış eski Yunan yapılarının dayanıklılığını Tomlinson'un "Eğer 1687'de Venediklilerin kuşatması sırasında Parthenon'a atılan top mermisi olmasaydı, bu tapınak günümüzde varlığını bir harabe yerine bir yapı olarak sürdürecekti." sözü ile anlayabiliriz (Tomlinson, 2012).

Yığma yapı niteliğindeki yapılar Şekil 1.3'te gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Yığma yapı tekniği ile yapılmış tarihi yapılar (URL-3).

Kargir yapı, taşıyıcı duvarları kargir duvar tarifine uyan ve döşemeleri betonarme veya betonarme gibi yatay bütünlük (rijitlik) sağlayan başka döşeme tipi olan yapıdır. Yarım kargir yapı ise döşemeleri yığma yapı tanımının dışında olan taşıyıcı duvarları kargir duvar tarifini sağlayan yapılardır (TS 2510, 1977). Bu tanımlarda adı geçen kargir duvar, tuğla, beton, briket, kireç kumtaşı, gazbeton vb. yapay taşların veya doğal taşların, harç kullanılarak örülmesi yolu ile oluşturulan yapı elemanıdır.

Yığma yapılardaki ana taşıyıcı elemanlar duvarlardır. Bu duvarlar hem yapının bölümlerini ayırır hem de yapıya etkiyen yükleri taşır. Yığma yapılar bir iskelet sistemine sahip değildir.

Yığma yapılarda yük aktarımı, duvarı oluşturan her bir elemanın kendine gelen yükü sonraki elemana ileterek, yükün zemine aktarılması ile olur. Yığma yapılar, ekonomik, kolay ve hızlı bir şekilde inşa edilebilmekte; yangına karşı dayanıklılığı, ses ile ısı yalıtımının iyi olması gibi nedenlerle tercih edilmektedirler.

Ayrıca deprem davranışı bakımından da yığma yapıların betonarme yapılara göre bazı olumlu yönleri vardır. Örneğin yığma yapıyı oluşturan duvarlar yatay yükler altında perde duvar gibi davranmaktadır. Ayrıca taşıyıcı sisteminde mafsallı oluşturacak kritik noktaları olmadığından, iç kuvvetler yapıda düzgün dağılım göstermektedir.

Yığma yapıların olumlu özelliklerinin yanında olumsuz özellikleri de vardır.

Yığma yapılar genellikle basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük, kırılma ve elastiklikleri düşük malzemeler ile yapıldıklarından dolayı yeterli süneklik düzeyine sahip değildirler. Bu yüzden kayma ve çekme gerilmelerini karşılayamazlar. Bundan dolayıdır ki yığma yapılarda sorun genellikle düşey yükleri taşımakta değil yatay yükleri taşımakta karşımıza çıkmaktadır. Duvarların süneklik düzeyi düşük olduğu için deprem yükünü taşıyamaz, deprem sırasında gevrek davranış gösterirler ve hasar alırlar. Bu hasarlar kısmi ya da tamamen göçmeye kadar varabilir.

Ülkemiz aktif deprem kuşağındadır ve sık sık depremlere maruz kalmaktadır. Son karşılaştığımız depremlere yakından bakılırsa hasar gören veya yıkılan yapıların büyük bir bölümü yığma yapılardır. Bunun en önemli nedenlerinden biri yığma yapıların sünek davranış gösterememesidir.

Yığma yapıların genellikle yapılacak yerdeki mevcut malzemeler ile, mühendislik bilgisi olmadan, inşaat masraflarının ve işçilik maliyetlerinin azaltılmaya çalışılarak inşa edilmesi yine yığma yapıların olumsuz davranış sergilemesine neden olmaktadır.

Aslında yukarıda eksiklikleri belirtilen hususlara dikkat edilerek bile yığma yapıların davranışları olumlu yönde artırılabilir, mal ve can kayıplarının önüne geçilebilir.

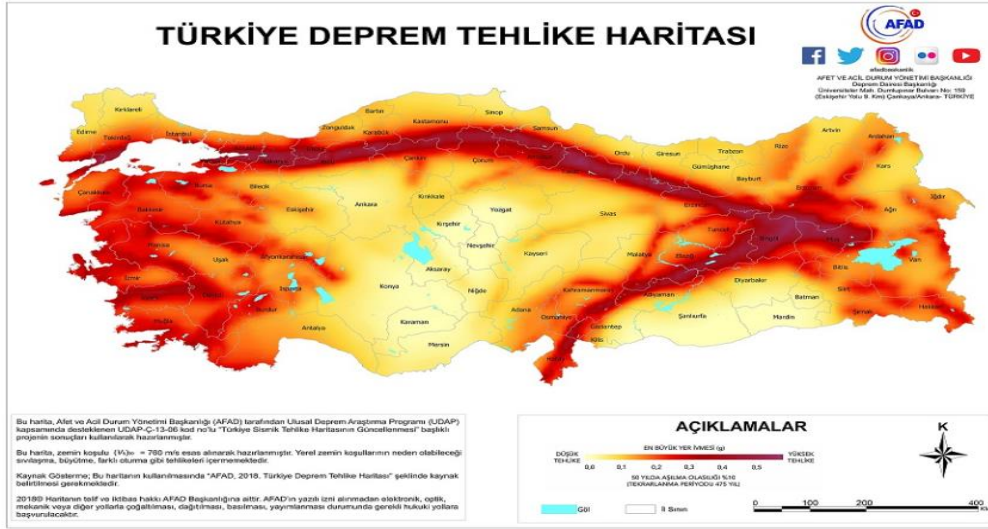
Depremde hasar almış yığma bir yapı Şekil 1.4'te gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Depremde bir kısmı yıkılmış bir yığma yapı (URL-4).

Bilindiği üzere yığma yapılar yapılaşma sürecinde önemli bir yer tutmuştur. Geçmişten günümüze kadar ulaşılmış tarihi yapıları korumak bizim en önemli görevlerimizden biridir. Günümüze ulaşılmış tarihi yapıların da birçoğu yığma yapı olduğu için yığma yapının yapım tekniği, malzeme özellikleri, onarım ve güçlendirme, hasar biçimleri, kritik noktalar, boyutlandırma ve deprem davranışı gibi konularını bilmemiz gerekmektedir. Özellikle ülkemiz için düşünülürse deprem davranışının iyi bilinmesi gerekmektedir. Çünkü ülkemiz aktif deprem kuşağında yer almaktadır. Türkiye'nin yüzölçümünün %92'si deprem bölgeleri içerisindedir ve nüfusumuzun %98,8'i bu bölgelerde yaşamaktadır (Birinci ve Haciefendioğlu, 2015).

Türkiye'nin deprem tehlike haritası gösterilmiştir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Türkiye deprem tehlike haritası (URL-5).

Ayrıca deprem önceden bir belirtisi olmadan meydana geldiğinden dolayı diğer doğal afetlerden ayrılır ve önemini bir kez daha gözler önüne serer.

Yığma yapılar, yapı stoğu içerisinde önemli bir yere sahiptir. DİE'nün (Devlet İstatistik Enstitüsü), yeni adıyla TÜİK'nun (Türkiye İstatistik Kurumu) 2000 yılında yaptığı bina sayımının sonuçları Çizelge 1.1'de görülmektedir.

Çizelge 1.1. Türkiye'ye ait bina sayımı sonuçları (DİE, 2000).

Taşıyıcı Sistem	Bina Sayısı	%
İskelet (Çerçeve)	3.792.092	%48,38
Yığma	4.001.954	%51,05
Tünel Kalıp	6.378	%0,08
Prefabrik	23.311	%0,3
Bilinmeyen	14.940	%0,19
Toplam	7.838.675	%100

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Betonarme yapım tekniğinin ortaya çıkmasıyla yığma yapıların yapımı gitgide azalsa da günümüzde kırsal kesimlerde yapılmasıyla, gecekonduların yapılmasıyla ve tarihi yapıların şimdiye kadar ulaşmasıyla günümüzde, çevremizde, yığma yapılara bir hayli fazla miktarda rastlamaktayız.

Görüldüğü gibi ülkemizdeki yapıların önemli bir miktarını yığma yapılar oluşturmaktadır. Tarihi yapılar, bizim en önemli kültür miraslarımızdan biri olduğu için, bizim de bu yapıları yine gelecek nesillere güvenle aktarabilmemiz gerekmektedir. Bu yüzden yığma yapıların özelliklerini iyi bilmemiz, onarım ve güçlendirme yöntemlerini yapıya özünü kaybetmeden, doğru bir şekilde uygulamamız gerekmektedir.

Yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesinde en çok kullanılan yöntemlerden biri de metal bağlantı elemanlarıdır. Metal bağlantı elemanları günümüzde sadece neredeyse 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 sünekliğini de arttırmıştır. Bu bağlantı elemanları üst üste taşlara açılan deliklere tespit edilmek 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 taşa zarar vermesini engellemektedir. Ayrıca kullanılan kurşun, tarihi yapılara süneklik de katmıştır. Metal bağlantı elemanları günümüze ulaşan birçok tarihi yapıda (han, hamam, köprü, cami vb.) 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.

Yığma yapılar tarih boyunca bütün dünyada kullanılmıştır. Bundan dolayı ülkemizde olduğu gibi diğer ülkelerin de tarihi yapılarının birçoğu yine yığma yapı türündendir. Bu yüzden yığma yapılar hakkında ulusal ve uluslararası birçok çalışma yapılmıştır. Fakat yığma yapılarda kullanılan metal bağlantı elemanları hakkında yapılmış çalışma sayısı sınırlı düzeydedir.

Bu nedenlerden dolayı bu önemli konu hakkında bir çalışma yapılmak istenmiş ve bu tez çalışması hazırlanmıştır. Bu çalışmada tarihi yapılarda sıkça kullanılan ve üzerinde neredeyse hiç deneysel çalışma yapılmamış zıvanaların, yığma birimler üzerinde çeşitli uygulamaları görülmek istenmiştir. Deneysel çalışmadaki değişkenler zıvana çapı, batma derinliği ve dolgu malzemesidir. Deneysel çalışmalar ile hangi uygulamanın daha iyi sonuç vereceğini bulmak amaçlanmıştır.

Ayrıca kenet ve zıvanaların kullanımı ve boyutlandırılmasıyla ilgili literatür ve yönetmeliklerde herhangi bir bilgi mevcut değildir. Bu çalışmanın böyle önemli bir konu üzerine olması ve gelecek çalışmalara ışık tutabilecek olması heyecan ve umut vericidir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Yığma Yapılarla İlgili Çalışmalar

Ulusal ve uluslararası literatürde yığma yapılarla ilgili pek çok çalışma yapılmıştır.

Çöğürçü (2007) epoksi reçineli FRP (Fiber Reinforced Polymer) uygulamasının etkisini araştırmak için deneysel ve analitik çalışma yapmıştır. 2 adet duvar üretmiştir. Birinci duvar düzlem dışı tersinir yüklere maruz bırakılmış, sonucunda sünek davranış gösterememiş ve gevrek biçimde kırılmıştır. İkinci duvarda ise yatay derzlerine epoksili FRP uygulanmış ve aynı şartlar altında deney uygulanmıştır. İkinci numunenin kırılmaya karşı %25 daha fazla dayanıklı olduğu gözlenmiştir.

Döndüren (2008) normal harç ve sikalatex adı verilen katkı maddesi ile hazırlanan harç ile yığma duvarların davranışlarını karşılaştırmıştır. En iyi katkı malzemesi miktarını belirlemek için 6 adet duvar numunesi üzerinde deney yapılmış ve hangi miktarda daha iyi sonuç verildiği bulunmuştur. Daha sonra referans duvar ve en iyi sonucun verildiği katkı maddesi miktarı ile hazırlanmış harçla yapılmış model duvar üzerinde deney yapılmıştır. Her iki modele de düzlem dışı tekrarlanır yük uygulanmıştır. Deney sonucunda model duvarın dayanımı fazla, süneklik ve enerji tüketme kapasitesinin daha az olduğu gözlenmiştir.

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 modellemede 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.

Öztaş (2009) çalışmasında mevcut bir yığma yapıyı ele almıştır. Bu yığma binanın özellikleri verilmiş ve analizi yapılmıştır. Sonrasında bu yapıya betonarme güçlendirme perdeleri eklenerek ikinci bir analiz yapılmıştır. Son olarak da GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) ile güçlendirilerek üçüncü bir analiz yapılmıştır. Bu üç analiz sonucu yer değiştirmeler ve momentler açısından karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırma sonucunda betonarme perdeli sistemin X doğrultusundaki yer değiştirmesinde 4 kat, GFRP ile güçlendirilmiş sistemin X doğrultusundaki yer değiştirmesinde 1,5 kat düşüş olmuştur. Ayrıca betonarme perdelerle güçlendirilmiş sistem yığma duvarların moment kapasitesini olumlu yönde etkilerken, GFRP ile güçlendirilmiş sistem bu kadar olumlu etkileyememiştir.

Türker (2010) çalışmasında tarihi yığma yapılar hakkında bilgi vermiş, yapısal davranışını araştırmış ve bunun için Excel formatında bilgisayar programı geliştirmiştir. İstanbul Üniversitesi Eczacılık Fakültesi binasının deprem analizlerini bu program ile yapmıştır. Aynı zamanda çalışmasında SAP2000 programını da kullanmıştır. Binanın tüm duvarlarının basınç dayanımlarının, basınç emniyet gerilmesini aşıp aşmadığını, kayma gerilmelerinin kayma emniyet gerilmesini aşıp aşmadığını tespit etmiştir.

Karakuş (2012) çalışmasında yapısal sistemi zarar görmüş tarihi yapıların onarım ve güçlendirme yöntemlerinin araştırılmasını ve bu konuda çalışanlara yardımcı olmayı amaçlamıştır. Tarihi yığma yapıların hangi kısımlarında hangi hasarların oluşabileceği ve bu hasarlara uygulanabilecek güçlendirme yöntemleri tablo hâlinde çalışmanın sonuç bölümünde verilmiştir.

Tuğrulleçi (2014) çalışmasında gergi çubuklarının kemer davranışına etkisini araştırmıştır. 6 tane tuğla kemer üzerinde deneysel çalışma yapmıştır. Bu kemerlerden 1 tanesi gergisiz, geriye kalan 5 tanesinde ise gergi çubuğu kullanılmıştır. Deneylerinin yapıldığı numunelerin nümerik hesapları da yapılmış ve deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Demirkan (2014) çalışmasında yığma yapılardaki bazı parametreleri değiştirerek bu parametrelerin yapının davranışına etkilerini araştırmıştır. İzotrop veya anizotrop modellemenin, kullanılan malzemenin ve derz kalınlığının sonuca etkisini araştırmış, sonuçları yorumlamıştır. Farklı derz aralıklarının elastisite modülüne etkisini ve taban kesme kuvvetine etkisini hesaplamıştır. Taşıyıcı duvarın izotrop veya anizotrop olarak modellenmesinin duvar mekanik özelliklerine ve yapı analizi sonucu bulunan değerlere fazla etkisinin bulunmadığını tespit etmiştir.

Çakıroğlu (2014) deneysel çalışmasında iki seri hâlinde ve her seride iki duvar olmak üzere dört adet tuğla duvar örmüştür. Birinci seri, yalın numune olarak yani güçlendirme uygulanmamış yığma duvarlardır. İkinci seri ise elik hasır üzerine polipropilen lifli kuru karışım püskürtme beton uygulamasıyla güçlendirilmiş yığma duvarlardır. Bu duvarların tersinir düzlem dışı yük etkisindeki davranışları araştırılmış ve karşılaştırma yapılmıştır. Bu yöntem ile güçlendirilmiş duvarların, yalın duvarlara göre taşıma gücü ve enerji tüketme kapasiteleri daha yüksek çıkmıştır. Bu metot ile güçlendirmenin uygulanabilir olduğunu tespit etmiştir.

Koç (2015) tarihi taş kemerlerin FRP kullanılarak güçlendirilmesi üzerine çalışma yapmıştır. Güçlendirme uygulanmamış referans taş kemer numunesi ve 6 tane farklı Şekillerde güçlendirilmiş olan numuneler üzerine deneysel çalışmalar yapmıştır. Güçlendirme ile beraber taş kemerlerin kapasitelerinin arttığı gözlenmiştir.

Başkan (2015) alışmasında deprem yükleri etkisindeki az katlı yığma yapıların davranışını araştırmak istemiştir. Bunun için DBYBHY'de (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik) (2007) tarif edilen analiz yöntemi ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Çalışma dört farklı plan türüne sahip 1, 2 ve 3 katlı olmak üzere 24 yığma yapı modeliyle yapılmıştır. İki çeşit yaklaşım ile sonlu eleman modelleri oluşturulmuştur. Bir yaklaşımda çubuk elemanlar ile modelleme yapılırken, diğer yaklaşımda kabuk elemanlar kullanılmıştır. Farklı kat sayıları ve plan türlerine göre, analiz yöntemleriyle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Arpacı (2016) alışmasında tarihi yapıların onarımında kullanılan kireç esaslı enjeksiyon şerbetlerinin özelliklerinin belirlenmesini ve bu malzemelerle onarılmış, tuğladan yapılmış yığma test duvarlarının enjeksiyon öncesi ve sonrası performanslarının değerlendirilmesini amaçlamıştır. Enjeksiyon şerbetiyle onarım yapmak amacıyla hidrolik kireç esaslı harç ve harman tuğlasından yapılmış 2 adet, hava kireci esaslı harç ve harman tuğlasından yapılmış 2 adet yığma duvarlar üretilmiştir. Bu duvarlara yanal yük verilmiş ve duvarların yer değiştirmesi tespit edilmiştir. Hasar gören duvarlar enjeksiyon şerbeti ile onarılmış ve tekrar yüklemeye maruz bırakılmıştır. Duvarların enjeksiyon uygulandıktan önceki ve sonraki yük-yer değiştirme değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuçta duvarlarda %33-%97 arasında yük artışı gözlemlenmiştir. Ayrıca görsel olarak da değerlendirme yapabilmek için duvarların çatlak haritaları çıkarılmıştır.

Kayırga (2017) doktora çalışması deneysel ve analitik çalışma olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Çalışmasındaki amaç yığma yapıların deprem davranışının belirlenmesidir. Deneysel çalışma, malzeme deneyleri ve yapı deneyleri olarak iki aşamalı gerçekleştirilmiştir. Malzeme deneyleri olarak blok, harç ve duvar parçası deneyleri yapılmıştır. Yapı deneyleri kapsamında $3 \times 3 \times 3$ m³ boyutlarında, farklı duvar boşluklarına sahip üç yığma yapı modeli tersinir yatay yük etkisine maruz bırakılmıştır. Yük ve deplasman değerleri kayıt altına alınmıştır. Deneysel çalışmalarda olduğu gibi analitik çalışmalar da malzeme ve yapı analizi olarak iki aşamalı yapılmıştır. Analiz çalışmalarında makro modelleme tekniğini kullanmıştır. Deneysel ve analitik çalışmalardan çıkan sonuçları yorumlamış ve önerilerde bulunmuştur.

Işık (2017) doktora çalışmasında Diyarbakır Suriçi Bölgesinde bulunan geleneksel yığma yapıların özelliklerini araştırmış, bu yapıların taşıyıcı sistem hasarlarını ve nedenlerini tespit etmeye çalışmıştır. Bu tarihi yapılar üzerinde ölçümler yapmış, taşıyıcı sistem hasarlarına yönelik olarak güçlendirme ve tamamlayıcı müdahale önerilerinde bulunmuştur. Seçilen bu yapılara yönelik güçlendirme öneri şeması hazırlanmıştır. Böylece sunulan bu önerilerin, başka bölgelerdeki çalışmalara rehber olmasını hedeflemiştir.

Alas (2017) Sivas'da bulunan Kangal Termik Santrali'nin bacalarında fazla miktarda uçucu kül birikmektedir. Bu uçucu kül, herhangi bir uçucu kül sınıfına girmemiştir. Fakat bağlayıcı özelliğe sahiptir. Yapısında fazla miktarda kireç ve sülfat içerdiğinden betonda katkı malzemesi olarak da kullanılamamaktadır. Bunda dolayı bu çalışmada bu uçucu küllerden yığma yapı blokları üretilmiştir. Üretilen bloklar üzerinde deneyler yapılmış ve bu malzemeler ile blok üretilip kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Güner (2018) tez çalışmasında dolu harman tuğlalarıyla inşa edilmiş ardışık kemerli tonoz yığma sistemin yapısal davranışını deneysel olarak incelemek istemiştir. Aynı zamanda bu sistemin nümerik analizleri bilgisayar ortamında üç boyutlu sonlu elemanlarla modellenerek yapılmıştır. Deneysel sonuçlar ile nümerik analiz sonuçları karşılaştırılmış ve benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir.

Erkul (2018) tez çalışmasında yapımı 100 yılı aşmış Bayburt ilinde bulunan geleneksel bir yığma yapıyı ele almıştır. Bu yapıyı StatiCad-Yığma programı ile DBYBHY (2007) kapsamında performans analizini yapmış ve sonucunda göçme durumu olduğunu belirlemiştir. Yine aynı yapının RYTEİE'a (Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar) (2013) göre risk analizini yapmış ve sonucunda riskli bina olduğunu belirlemiştir. Çıkan sonuçlardan dolayı çeşitli güçlendirme önerilerinde bulunmuştur.

Kızılpınar (2018) çalışmasında yakın fay etkisi ile ilgili bilgi verdikten sonra, tarihi yığma yapıların yakın fay etkisi altındaki davranışlarının araştırılması amacıyla üç farklı tarihi yığma yapı seçmiştir. Bunlar deprem kaynağına yakın bölgelerde bulunan: Manisa'daki İvazpaşa Cami, Çorum'daki Koyunbaba Köprüsü ve İstanbul'daki Valpreda Apartmanı'dır. Bu yapıların bilgisayar ortamında sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş, beş farklı deprem kaydı etki ettirilmiş ve daha sonrada yakın fay etkili deprem kayıtları etki ettirilmiştir. Oluşan deplasman ve kuvvet değerleri karşılaştırılmıştır. Yakın fay etkisinin tarihi yapıları nasıl etkilediği belirlenmeye çalışılmıştır.

Kıpçak (2018) yaptığı deneysel çalışmada harman tuğlası ile yapılmış her birinden üç adet olmak üzere yedi tipte, toplam 21 adet yığma duvar inşa etmiştir. Bu duvarlar harç kullanılmadan yapılmıştır. Deneyin amacı eğilme masası yardımı ile yan duvarı boşluklu yığma yapıların düzlem dışı davranışlarını tespit etmektir. Yan duvarlarında pencere ve kapı boşluklarının oluşmasıyla ana duvarın nasıl davranış göstereceğini belirlemek istemiştir.

Zıada (2019) çalışmasında mevcut bir yığma yapının sonlu elemanlar metodu ile analizi yapılmıştır. Aynı yapının duvarları tek yönlü, ince bir GFRP tabakası ile güçlendirilerek aynı metotla tekrar analizi yapılmıştır. İki durum içinde dinamik parametreler karşılaştırılmıştır. GFRP ile güçlendirme sonucunda yapının rijitliğinde önemli bir artış olduğunu tespit etmiştir.

İlbasan (2019) çalışmasında mevcut bir yığma yapıyı ele almıştır. SAP2000’de analizi yapılmış ve DBYBHY (2007)’e göre değerlendirme sonucunda yapının riskli yapı olduğu görüşüne varılmıştır. Daha sonra mantolamayla yapılan güçlendirme ile analizi yapılmıştır. Güçlendirme sonucunda yapının dayanımı artmış, yer değiştirmesi azalmıştır. Böylece yapı riskli yapı olarak değil, daha güvenli bir yapı olarak karşımıza çıkmıştır.

Yıldızoğlu (2019) çalışmasında yığma yapıların özellikleri, modellenme ve analiz yöntemleri hakkında bilgi vermiştir. Yığma yapım tekniği ile inşa edilmiş Bayburt Lisesi ele alınmış ve SAP2000 programında modellenmesi yapılarak analizleri gerçekleştirilmiştir. Modal analiz, davranış spektrum analizi ve zaman tanım aralığı analizi gerçekleştirilmiştir. SAP2000 programı ile yapılan analizlerde DBYBHY (2007)’e göre olası bir depremde yapıda hasar olmayacağı, fakat zaman tanım aralığı analizi sonucunda yapının hasar alabileceği sonucu çıkmıştır. Bunun için güçlendirme yapılmasının gerekebileceğini önermiştir.

Küçükbaşak (2019) çalışması deneysel ve hesaplama olarak iki aşamadan oluşmaktadır. Burdur İlinde üretilen üç farklı tuğla çeşitinin deneysel çalışması yapılmıştır. Fiziksel ve mekanik deneyler yapmıştır. Weka denklemleri oluşturup bazı dayanım değerleri hesaplanmıştır. Denklemlerdeki korelasyon katsayısı 0,99 ile 1,00 arasında çıkmıştır. Ayrıca weka model denklemleri ile deneysel çalışmalardan elde edilen değerler uyumlu çıkmıştır.

Jaihoon (2019) çalışmasında tarihi yapıların korunması ve gelecek nesillere güvenli bir şekilde aktarılması gerektiğinden bahsetmiştir. Bu yüzden yığma tekniği ile yapılmış Konya’daki Sille Ak Cami ele almıştır. Tarihi Sille Ak Cami’nin TBDY’ne (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği) (2018) göre analitik hesabını yapmış, yapısal analizi de SAP2000 programında yapmıştır. Yapılan analizler sonucunda binanın en çok zorlanan bölümlerinin, duvarların birleşim bölgesi, duvarların döşemeyle birleştiği kısımlar ve kapı, pencere boşluk kenarları olduğunu gözlemlemiştir. Bina için restorasyon yapılması uygun görülmüş ve önerilerde bulunmuştur.

Orulkaya (2019) çalışmasında yığma yapıların güçlendirilmesinde kullanılan püskürtme beton tekniğini araştırmıştır. Örnek bir yığma yapı, deprem yükleri altında analiz edilmiştir. Yetersiz olduğu belirlendikten sonra beş farklı seçenek ile püskürtme beton yöntemiyle güçlendirme yapmıştır. Püskürtme seçeneklerinde püskürtme beton kalınlığı 5 cm olarak belirlenmiştir. Daha sonra güçlendirilmiş şekillerde yeniden analiz yapmış, beş seçenektan hangisinin en iyi sonuç verdiğini belirlemeye çalışmıştır.

Güvenir (2019) çalışmasında donatısız yığma yapıların sismik risk durumunun belirlenmesinde kullanılmak üzere yeni bir tarama yöntemi geliştirmiştir. Yöntem, temel tahmin parametreleri olarak döşeme tipi, kat yüksekliği, kat adedi gibi çeşitli parametreleri kullanmaktadır. Veritabanı 543 tane yığma yapının sismik analiz sonuçlarından çıkan bilgiler ile oluşturulmuştur. Veritabanından seçilen 443 yapı ceza puanlarının belirlenmesi için, 100 tanesi yöntemin test edilmesi için kullanılmıştır. Bu 443 yapı için %93 oranında doğru tahmin yapılırken kalan 100 adet yapıda bu oran %86'dır. Ayrıca çalışmanın ek bölümünde hızlı tarama formu verilmektedir.

Ertekin (2020) çalışmasında yedi katlı yığma bir yapının nümerik analiz yöntemleri ile sismik performansı belirlenmiştir. Sismik performans bakımından yetersiz olduğu belirlendiği için TBDY (2018)'de istenilen koşulları sağlayacak şekilde, çeşitli yöntemler ile güçlendirilmiştir. Nümerik çalışmalar sonlu eleman programları olan ProCinem ve MidasGen yazılımları ile yapılmıştır. Yapının performansının değerlendirilmesi için doğrusal analiz, nonlineer analiz ve kinematik limit analizler yapılmıştır.

Uzdil (2020) çalışmasında yığma yapıların öneminden, günümüze kadar ulaşılmış tarihi yığma yapıların korunması gerektiğinden, yığma yapı hasarları ve yığma yapılarda güçlendirme yöntemlerinden bahsetmiştir. Ayrıca çalışmasında Beyazıt semtinde bulunan İstanbul Üniversitesi Rektörlük Binasını ele almıştır. Sonlu elemanlar programı olan Midas Gen ile doğrusal analizleri, Pro-Cinem programı ile de kinematik limit analiz yapmıştır. Sonuç olarak da adı geçen bina için güçlendirme önerisinde bulunmuştur.

Güneş (2020) deneysel çalışmasında aynı özellikte dokuz adet tuğla duvar örmüştür. Duvarlardan sekiz tanesi plastik kompozit donatılarla farklı parametreler ile güçlendirilmiş, kalan bir duvar örneğine güçlendirme uygulanmamış ve referans numune olmuştur. Bu duvar numuneleri yükleme deneyine tabi tutulmuş, deplasman ve yük değerleri elde edilmiştir. Sonuç olarak yığma yapıları güçlendirmede plastik kompozit donatının olumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Turan (2020) TBDY (2018) ile DBYBHY (2007) arasında yığma yapıların tasarım yaklaşımında değişiklik olmuş, emniyet gerilmesi yönteminden, dayanıma göre tasarım yöntemine geçilmiştir. Bu yüzden çalışmasında bu değişikliklerin donatısız yığma tasarımı üstündeki etkisini araştırmıştır. Bunun için örnek bir yapı DBYBHY (2007) göre tasarlanmış ve TBDY (2018)'e göre değerlendirilmiştir. Neredeyse bütün elemanların yeterli kapasiteye sahip olmadığı görülmüştür.

2.2 Metal Bağlantı Elemanlarıyla İlgili Çalışmalar

Ulusal ve uluslararası literatürde metal bağlantı elemanlarıyla ilgili az da olsa çalışmalar bulunmaktadır.

Papadopoulos (2006) Apollo Epikourius Tapınağı'nda kullanılmış olan metal bağlantı elemanları üzerine çalışmıştır. Taş blokların taşıma kapasitelerini, kenet alanlarını dikkate alarak 3 boyutlu analizler ile hesaplamıştır. Neticesinde yığma yapının dayanıklılığı için yeni kenet bağlantı alanları sorgulanmıştır.

Toumbakari (2008) Atina'da bulunmakta olan Parthenon Tapınağı'ndaki bir duvar üzerine çalışma yapmıştır. Duvarlarda taşları birbirine bağlamak için kullanılan kenetler bulunmaktadır. Duvarın davranışına bu kenetlerin etkilerini araştırmıştır.

Kourkoulis ve Pasiou (2009) Parthenon Tapınağı'ndaki mermer bloklar, harçlar ve metal bağlantı elemanları üzerine çalışmışlardır. Yığma yapıdaki elemanların düzgün davranış gösterebilmesi için kenet sistemlerinin doğru yerleştirilmesi gerektiğini söylemişlerdir. Ayrıca sonlu elemanlar metodu kullanarak kenet malzemesinin mekanik özelliklerini belirlemeye çalışmışlardır.

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 zıvana) 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 zıvanaların, yığma duvarların kayma (kesme) davranışına etkisini araştırmıştır. 2 tanesi zıvanasız olmak üzere toplam 12 tane yığma duvar numunesi örülmüş ve duvarlarda kayma testi uygulanmıştır. Deneydeki değişken zıvana demirlerinin çapı olmuştur. Tüm zıvanalı numunelerin kayma dayanımı zıvanasız numunelerden daha fazla çıkmıştır.

Tanrıverdi vd., (2020) deneysel çalışmalarında metal bağlantı elemanı olan kenetlerin yığma taş blokların davranışına etkisini araştırmışlardır. Deneydeki değişken kenetlerin taş batma derinliğidir. Batma derinliği 1 cm ile 7 cm arasında değişmektedir. Batma derinliği 3 cm'den küçük olduğu durumlarda sıyrılmalar 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 $200 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ boyutundaki taşlar için kenet batma mesafesinin 40 mm'den az olmaması gerektiği kanısına varılmıştır.

3. YIĞMA YAPILARDA KULLANILAN MALZEMELER

Yığma yapılarda yatay ve düşey yüklerin taşınmasında görev alan başlıca elemanlar duvarlardır. Bu yüzden bu duvarı oluşturan malzemelerin özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Yığma duvarlarda yığma birim olarak genel olarak doğal taş, tuğla, beton briket, kireç kumtaşı, gazbeton vb. yapay taşlar kullanılmaktadır.

Bu yığma birimleri de bir arada tutmak için ise yapıştırıcı harç kullanılmaktadır. Harçlar da genel itibariyle kireç, çimento vb. mineral bağlayıcı ile suyun ve gerektiğinde katkı malzemelerinin birleşiminden oluşur.

3.1 Doğal Taşlar

İnsanlar var olduğundan beri dünyada doğal taşlar mevcut ve kullanılmaktadır. Tarihte doğal taşlar sadece bir yapıyı oluşturmak için değil farklı birçok amaç için kullanılmıştır. Örneğin savaş ve av gereçleri yapımında, mezar ve put yapımında, iletişim araçları olarak yazıt ve kitabelerde, boya imal edilmesi ve deri işleme gibi birçok alanda kullanılmıştır. Hâlen de birçok amaç için kullanılmaya devam edilmektedir.

Türkiye hem çeşitlilik hem de rezerv açısından doğal taş konusunda şanslı ülkelerden biridir. Günümüze kadar ulaşılmış tarihi yapıların çoğu doğal taşlar kullanılarak inşa edilmiştir. Dünyanın 7 harikasından 2'si ülkemizde bulunmaktadır. Bunlardan Artemis Tapınağı tamamıyla mermerden yapılmıştır. Ayrıca Halikarnas Mozolesi'de yine doğal taşlardan yapılmıştır.

Görüldüğü gibi doğal taşlar duvar yapımında çok eski zamanlardan beri kullanılmıştır. Yaygın kullanımında kolay bulunabilir oluşu, işlenebilir oluşu ve dayanımının yüksek oluşu etkili olmuştur. Fakat doğal taşların genellikle basınç dayanımı yüksek olmasına rağmen çekme dayanımı düşüktür.

Yapı malzemesi olarak kullanılan doğal taşlar genel olarak mermer, kalker, traverten, granit, bazalt, andezit, diyabaz, kumtaşı, arduvaz, konglomera ve breşlerdir.

Türkiye'de doğal taşların bölgelere göre dağılımı gösterilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Türkiye’de doğal taşların bölgelere göre dağılımı (Anonim, 2006).

BÖLGE	İL	Bölge Oranı (%)
Marmara	Kırklareli, Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Marmara Adası	34
Ege	Afyon, Muğla, İzmir, Denizli, Kütahya, Aydın, Uşak	25
İç Anadolu	Ankara, Eskişehir, Kırşehir, Niğde, Sivas, Kayseri, Konya	17
Akdeniz	Antalya, Adana	13
Karadeniz	Kastamonu, Amasya, Tokat, Çorum	6
Doğu Anadolu	Elazığ, Bingöl	3
Güneydoğu Anadolu	Diyarbakır	2

3.1.1 Mermer

Mermer kelimesi Latince marmor kelimesinden gelmektedir. Marmara ismini taşıyan pek çok alan adını mermerden almaktadır. Marmara Bölgesi hâlâ iyi kalitede ve bol mermer sağlamaktadır.

Roma ve Bizans döneminde kullanılmış olan mermerler, Selçuklu zamanında da cami, medrese ve saray yapımında sık sık kullanılmıştır. Dünyadaki mermer rezervlerinin önemli bir miktarı Türkiye’de bulunmaktadır. Ayrıca, İspanya, İtalya, Pakistan ve Hindistan ve İran’da da mermer yatakları bulunmaktadır.

Mermerlerin gözeneklilik oranları çok düşüktür. Mermerlerin yoğunlukları genel itibarıyla 2,70 gr/cm³ ile 2,75 gr/cm³ arasındadır.

Mermer bloklara ait bir görsel Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Mermer bloklarından bir görüntü (URL-6).

3.1.2 Granit

Magmatik kayalardandır. En önemli yapı malzemelerindendir. Kuvars, feldispat ve mikadan oluşmaktadır. Genellikle gri tonlarındadır. Sert ve dayanıklı olduğundan dolayı tercih edilen bir malzemedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Granit taşından bir kesit (URL-7).

3.1.3 Kalker

İçerisinde %90’dan fazla CaCO_3 bulunan taşlardır. İçeriğindeki MgCO_3 oranı %45’i aşarsa dolomit adını alır. Mermer yerine kullanılabilecek nitelikli kalker ve dolomitik kalkerler Alp kuşağı ve bu kuşağın çevresinde yer alır.

Kalker taşlarına ait bir görsel Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Farklı boyutlarda parçalanmış kalker taşları (URL-8).

3.1.4 Bazalt

Magmatik kökenli olup bazik karakterdedir. Siyah renkli olup oldukça ağır bir taştır. Sert, yoğun ve dayanıklı bir taş olduğundan dolayı bina, köprü yapılarında kullanılmaktadır Ayrıca parke taşı olarak da kullanılmaktadır. Diyarbakır evlerinde ve surlarında kullanılmıştır. Örneklerini yansıtan bazalt taşları Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Örneklerini yansıtan bazalt taşları (URL-9).

3.1.5 Arduvaz

Halk ağzında Kayağan, Kayrak Taşı ve Damtaşı gibi isimlerle de bilinmektedir.

Metamorfik kayaçlar grubundadır. %50 – 68 oranında silis içerir. Oldukça sert, ısıya dayanıklı ve su geçirmez bir yapıdadır. Genellikle koyu renkli olup farklı renklerde bulunmaktadır.

Tarihi dokunun korunması gereken yapılarda ve kemerlerde tercih edilmektedir. Zemine döşenmiş arduvaz taşlarına ait bir görsel Şekil 3.5’te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Zemine döşenmiş arduvaz taşları (URL-10).

3.1.6 Kumtaşı

Çapı 0,1 – 2 mm arasında olan kum tanelerinin doğal çimentoyla birleşmesiyle oluşan taşlara kumtaşı denir. Kalker çimentolu kumtaşları en sağlam olanlarıdır. İyi cila tutarlar ve genellikle parke taşı olarak kullanılırlar (Şekil 3.6).



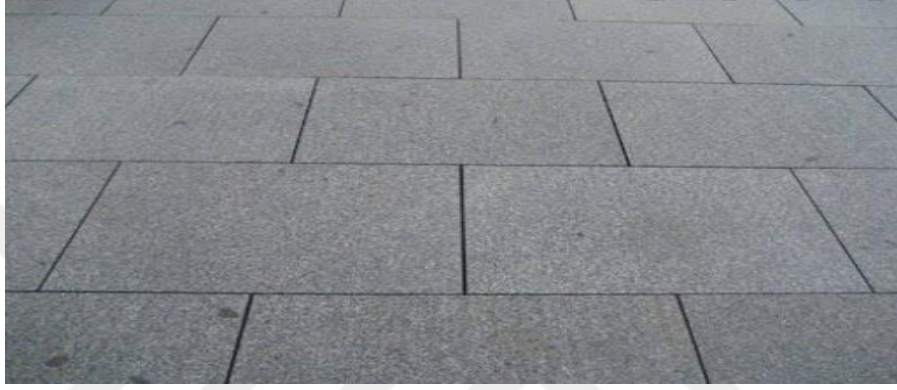
Şekil 3.6. Bir kumtaşı örneği (URL-11).

3.1.7 Andezit

İsmi, And Dağlarında fazla miktarda bulunduğu için buradan gelmektedir.

Volkanik kökenli bir taştır. Silis oranı %54 – 62 civarında olup parke ve döşeme taşı olarak kullanılır. Renkleri değişkenlik göstermektedir.

Ankara taşı olarak da bilinmektedir ve Ankara'nın en çok kullanılan inşaat taşıdır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Andezit taşı örneği (URL-12).

3.1.8 Diyabaz

Magmatik kökenli bir taştır. Sağlam ve dayanıklı bir taş olup işlenmesi zordur. İyi cila kabul ettiğinden dolayı yapılarda tercih edilmektedir. Buna karşılık ülkemizde az miktarda bulunur. Örnekleri Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Diyabaz taşları (URL-13).

Bazı doğal taşların fiziksel özellikleri verilmiştir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Doğal yapı taşlarının ortalama fiziksel özellikleri (Koçak, 2013).

Taşın Cinsi	Basınç Dayanımı (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
Granit	30-70	14-33	4-7	30000-55000
Mermer	25-65	9-45	1-15	25000-70000
Kireç taşı	18-35	6-20	2-6	10000-55000
Kumtaşı	5-30	2-10	2-4	13000-50000
Kuvars	10-30	3-10	3-4	15000-55000
Serpantin	7-30	2-10	6-11	23000-45000
Küfeki Taşı (30 Günlük)	33,2-45,5		3.6	24.000

3.2 Yapay Taşlar

Daha önceden bahsettiğimiz gibi yığma yapılar geçmişten beri kullanılan bir yapı türüdür. Yığma yapılarda ana taşıyıcı eleman duvarlardır. Duvarlar ise yığma birim olan taşlardan meydana gelir. Eskiden insanlar yapacakları yapıları hâliyle, genellikle o bölgede bulunan yerel doğal taşları kullanarak yapmaktaydılar. Teknolojinin gelişmesiyle beraber yığma yapılarda kullanılan taş türleri değişmiş, fabrikalarda üretilen yapay taşlar da kullanılmaya başlanmıştır. Duvarda kullanılan malzeme duvarın, yapının dayanımını ve davranışını büyük ölçüde etkileyeceği için kullanılacak malzemeye özen gösterilmelidir. Kullanılan yığma birim ile dayanım sağlanabileceği gibi ısı ve ses izolasyonu da sağlanabilir. Hafif malzeme kullanılarak binanın yükü büyük oranda azaltılıp yapıya etkiyecek olan deprem kuvveti azaltılabilir, yine malzemeye bağlı olarak ekonomik ve hızlı yapılar inşa edilebilmektedir.

3.2.1 Tuğla

İlk uygarlıklardan beri kullanılır olup en eski yapı malzemelerinden biridir. Kolay üretilir ve kolay bulunduğu için tercih sebebidir. Kil, killi toprak ve balçığın harman edilip, istenirse su, kum, öğütülmüş tuğla ve kiremit tozu, kül gibi malzemeler de katılarak karıştırılıp makinelerle şekillendirilip fırınlarda pişirilmesi ile elde edilir.

Tuğlalar duvarların birleştiği köşe noktalarda birbirlerine geçmeli şekilde yapılırlar.

Tuğlalar da doğal taşlarda olduğu gibi basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı zayıf. Sünek davranıştan yoksun gevrek malzemelerdir.

Tuğlalar farklı boyutlarda, dayanımlarda, delik oran ve şekline göre üretilmektedir (Şekil 3.9). Makine, klinker, cephe, ateş, baca ve dekoratif tuğla gibi farklı çeşitleri vardır.



Şekil 3.9. Farklı şekillerde ve boyutlarda tuğla örnekleri (URL-14).

3.2.2 Briket

Agregaların su ile karıştırılıp, daha sonra kalıplanıp, sıkıştırılması ile üretilmektedirler. Bims briket ve beton briket gibi çeşitleri vardır.

Beton briketler agregaların çimento, su ve gerektiğinde katkı malzemeleri ile karıştırıldıktan sonra kalıplanıp sıkıştırılmasıyla üretilirler.

Beton brikette agrega olarak kum ve çakıl kullanıldığı gibi tuf ve cüruf gibi agregalar da kullanılabilir.

Taşıyıcı duvarda dolu briketlerin kullanılabilceği, boşluklu briketlerin basınç emniyet gerilmelerinin düşük olmasından dolayı kullanılamayacağı belirtilmektedir (TS 2510, 1977).

Briket örnekleri Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Briket görselleri (URL-15).

3.2.3 Kerpiç

Kerpiç çok eski zamanlardan beri kullanılmıştır. Ekonomik ve sıcaktan koruduğu için tercih edilmiştir. Kerpiçten yapılan evlerde rutubet olmadığı için içinde yaşayanlarda da romatizma pek olmaz.

Uygun özellikteki toprağın içine saman, diğer bitkisel lifler vb. katkı maddeleri katılıp su ile yoğurulduktan sonra kalıplara dökülerek şekillendirilir ve mümkünse ilk gölgede daha sonra güneşte kurutularak elde edilir.

DBYBHY (2007)’de kerpiç yapıların tanımı “Temel ve bodrum duvarları doğal taş, taşıyıcı duvarları kesme ya da yerinde dökme kerpiç, tavan ve kat döşemeleri ahşap olan yapılara kerpiç yapılar denir” şeklinde yapılmıştır.

Kerpiçten yapılmış bir duvarın görseli Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



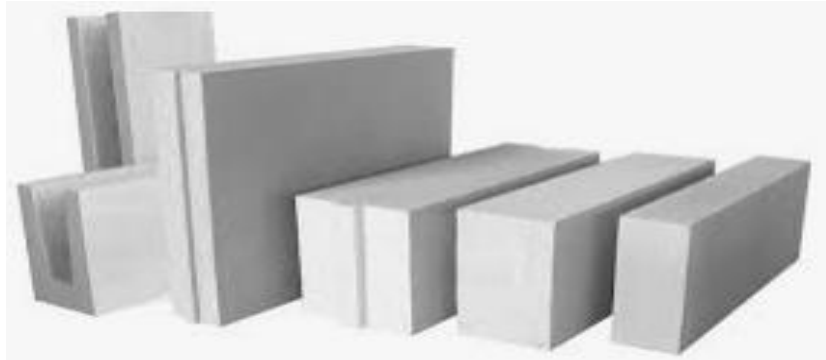
Şekil 3.11. Kerpiçten yapılmış bir duvar parçası (URL-16).

3.2.4 Gazbeton

Diğer adı Ytong’tur. Bu yapı elemanı ilk kez Yxhult’de bulunmuştur. Oradaki beton anlamına gelen betong kelimesi ile birleştirilmesiyle ismini almıştır. İnce öğütülmüş agrega ve inorganik bağlayıcı madde ile karıştırılmasıyla oluşur. İçerisine gözenek oluşturucu madde katılır.

Buhar kürü ile sertleşmesi sağlanır. Gözenekli hafif beton olarak anılır. Yoğunluğu yaklaşık 400 kg/m^3 olup, gözenek oranı yaklaşık %80’dir.

İçerisinde fazla miktarda boşluk bulunduğundan ısı ve ses yalıtımı çok iyidir. Örneği Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Gazbeton (Ytong) örnekleri (URL-17).

3.2.5 Kireç kumtaşı blokları

Kumtaşı ve kirecin karıştırıldıktan sonra, makinelerde sıkıştırılıp şekillendirilmesi ve basınçlı buhar altında sertleştirilmesi ile üretilirler (Şekil 3.13).

Yönetmelikte taşıyıcı duvar yapımında dolu kireç kumtaşları ile deliklerinin alanı toplam alt yüzey alanının %35'inden büyük olmayan kireç kumtaşı blokların kullanılabileceği belirtilmektedir (TS 2510, 1977).



Şekil 3.13. Kireç kumtaşı blokları (URL-18).

3.3 Ahşap

Eğilme, çekme ve basınç dayanımı yüksek, hafif bir yapı malzemesidir.

Hammaddesi kolay bulunan ısı ve ses yalıtımı sağlayabilen, kaplanabilir ve geri dönüşüm özelliğine sahip bir malzemedir. Homojen olmayan yapısı, mekanik aşınmaya karşı, böceklere karşı, suya ve neme karşı dayanıksız bir malzeme olması da bazı olumsuz özellikleridir.

Ahşap, döşeme taşıyıcı sisteminde, hatıl olarak ve gergi çubukları olarak birçok tarihi yığma yapıda kullanılmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Yığma yapılarda kullanılabilen ahşap malzemesi (URL-19).

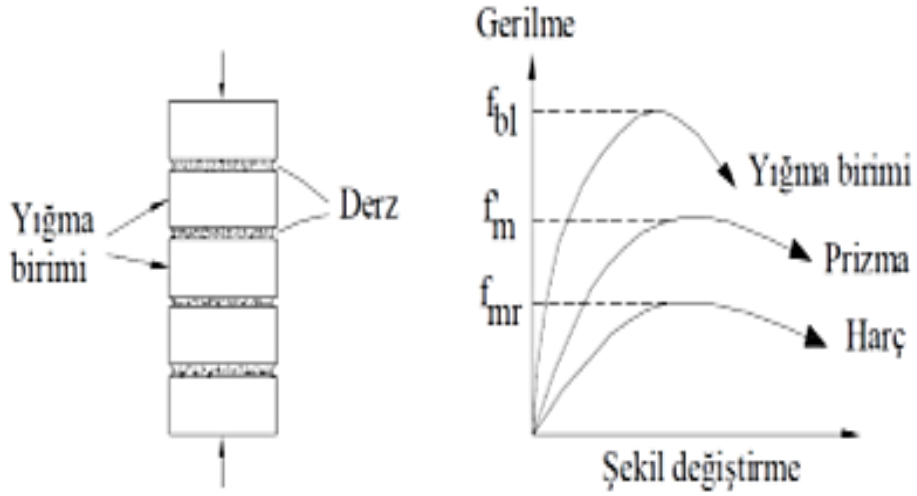
3.4 Harç

Kum, mineral bağlayıcılar (çimento, kireç vb.), su ve gerektiğinde özelliklerini arttırmak için kullanılan kimyasal katkı maddelerinin karıştırılmasıyla elde edilen yapı malzemeleridir.

Yığma yapılar harç kullanılmadan da yapılabileceği gibi harç kullanılarak yığma birimlerin birbirine daha iyi bağlanması sağlanarak da yapılabilir. Yığma duvarların basınç, çekme ve kayma dayanımına harçların etkisi çok fazladır. Yığma duvarlarda kesme (kayma) kırılması genellikle harç ile yığma birim arasındaki aderansın yok olmasıyla meydana gelir. Bu yüzden ki yığma yapılardaki harcın çekme dayanımı ve duvar taşları arasındaki aderans dayanımı çok önemlidir.

Harç aynı zamanda yapıya gelen yüklerin dağılmasına da yardımcı olur.

Genellikle yığma duvarların basınç dayanımı kullanılan harcın basınç dayanımından yüksek, kullanılan taşın basınç dayanımından ise daha düşüktür (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Yığma prizmanın gerilme - şekil değiştirme eğrisi (Yıldırım, 2007).

Kullanılan harcın dayanımının kullanılan taşların dayanımından yüksek olması duvar dayanımını çok fazla arttırmaz. Ama aynı harç dayanımında daha yüksek dayanımında bir taş kullanılırsa duvarın dayanımı daha fazla artar. Tabiki en iyi kullanım hiç şüphesiz dayanımı yüksek yığma birim ile dayanımı yüksek harcın birlikte kullanılmasıdır.

3.5 Horasan Harcı

Tarihi yığma yapılarda Horasan harcı sıklıkla kullanılmıştır. Yapılan araştırmalarda da Osmanlı, Bizans ve Selçuklu yapılarında Horasan harcının kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca Ayasofya, Selimiye, Süleymaniye Camileri gibi önemli yapılarda da horasan harcı kullanılmıştır.

Horasan ismini İran'ın doğusunda yer alan Horasan bölgesinden almaktadır.

Pişirildikten sonra öğütülmüş kile horasan denilir. Horasan harcının içerisinde çimento yoktur. Horasan ve kireç ile yapılan bir malzemedir. İçerisine katılan puzolanik katkı maddeleri sayesinde diğer kireç harçlarından daha fazla dayanıma sahip olmaktadır.

Tarihte yapılan yığma yapılarda duvar taştan yapılırsa harca taşın kırığı ve tozu, duvar tuğladan yapıldığında da onun kırığı ve tozu katılmaktaydı (Uslu, 2013).

Horasan harcı uzun sürede sertleştiğinden dolayı dayanımını da geç alır. Horasan harcı hidrolik harçlar grubunda yer alır. Bu yüzden sudan, nemden ve deniz suyundan etkilenmez. Bu yüzden tarihte birçok hamam, su kuyusu ve su kemerinde kullanılmıştır.

Hafif bir malzemedir. Yoğunluğu düşüktür. Gözenekli bir yapıya sahip olup dayanımı yüksektir.

Kimi kaynaklarda horasan harcında yumurta akı bulunur yazsa da yapılan araştırmalarda eski yığma yapıların harçlarında yumurta akına rastlanmamıştır (Böke vd., 2007).

Horasan harcına ait bir örnek gösterilmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Horasan harcına ait bir örnek (URL-20).

Horasan harcı içerisine konulan malzeme ve miktarlarına göre farklı şekillerde adlandırılmaktadır (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. Horasan harçlarında kullanılan malzemeler ve oranları (Eriç vd.,1990).

Adı	Malzemesi	Oranları
Geleneksel Horasan Harcı	Dinlendirilmiş kireç + Yumurta akı + Horasan pirinci + Su	
	Kireç kaymağı + Yıkanmış kavrulmuş kum + Alçı + Su	1:1:1/2:x
	Kireç + Horasan + Bir miktar dişli kum + Bir miktar meşe külü + Su	2:1:y:z:x
Kum Horasan Harcı	Dövülmüş kireç + Yumurta akı + Kum + Horasan pirinci + Su	
Lökün	Dövme kireç + Üç ayda suda çürütülmüş pamuk + Su	
	Dövme kireç + Zeytinyağı + Ketten elyafı + Su	
	Dövme kireç + Kızgın zeytinyağı + Koyun yünü elyafı + Su	
Horasan sıvası	Kireç + Alçı + Yumurta akı + Tuz	
	Horasan + Perdah kumu + Beyaz çimento + Kireç şerbeti (öneri)	2:1/2:1/2:1/2

Pusat (2002), çalışmasında orijinal horasan harcına yakın bir harç üretmiş ve sonuçlarını paylaşmıştır (Çizelge 3.4).

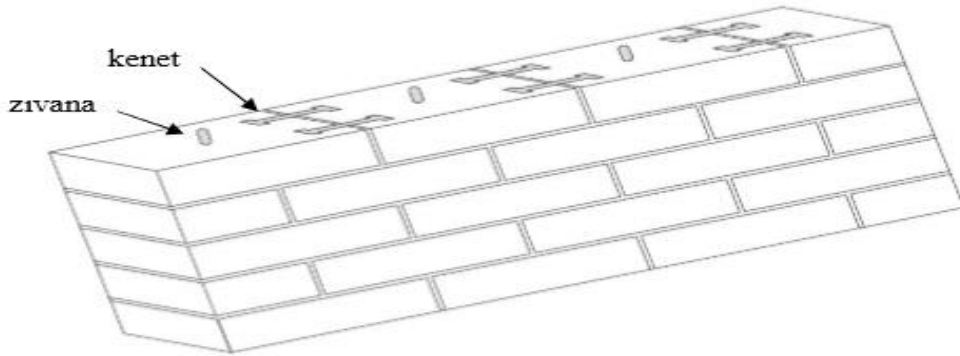
Çizelge 3.4. Pusat'ın harç numunelerinin karışım oranları (Pusat, 2002).

Kireç	Puzolan	Tuğla Kırıntısı	Kum	Su	Eğilme Dayanımı	Basınç Dayanımı	Elastisite Modülü
1	1	3	3	1,87	0,31 MPa	1,10 MPa	1849 MPa

4. METAL BAĞLANTI ELEMANLARI (KENET VE ZIVANALAR)

Yığma yapılar insanoğlunun inşa ettiği en eski yapı türlerindedir. Betonarme ve çelik yapıların icat edilmediği zamanlarda insanlar barınma ihtiyaçlarını etraflarındaki taşları üst üste ve yan yana koyarak yaptıkları yığma yapı türündeki yapılar ile karşıyorlardı. Bu yapıların bazıları çevresel faktörle ile yıkılmış bazıları ise restorasyon işlemleriyle günümüze kadar gelebilmeyi başarmıştır. Yığma yapılar sünek davranıştan yoksun gevrek yapılardır. Bu yüzden deprem olduğu zamanlarda en çok hasar alan yapı türü olarak karşımıza çıkmaktadır. Mühendislik bilgisi olmadan yapıldığında ise oluşan hasar, can ve mal kaybı daha çok olmaktadır. Yığma yapıların ana taşıyıcı elemanı duvarlardır. Duvarlar taş ve harçtan oluşmaktadır. Duvarı oluşturan malzemelerden dolayı bu duvarların basınç dayanımları yüksek çekme ve kesme (kayma) dayanımları ise düşüktür. Bundan dolayı deprem ve şiddetli rüzgâr gibi yatay kuvvetlerin etkisinde kalan yığma yapılar çok çabuk bir şekilde yıkılmaktadır.

Geçmişte yapılan yığma yapılarda taşları birbirine bağlamak için metal bağlantı elemanları (kenet ve zivana) kullanılmıştır. Ayrıca yapıda kullanılan farklı elemanlar da bu bağlantı elemanları ile taşlar ile birleştirilmiştir. Kenetler taşları yatay düzlemde birbirlerine bağlarken, zivanalar taşları düşey doğrultuda birbirlerine bağlamaktadır. Kenet ve zivanalar çoğunlukla demirden yapılmış şekliyle karşımıza çıkmaktadır. Fakat bakır, tunç ve ahşaptan da yapılabilir. Ahşap olanlar çam, sedir ve zeytin ağacından yapılmıştır. Bir duvardaki kenet ve zivanaların konumları gösterilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Kenet ve zivanalar (Koçak, 2013).

4.1 Kenetler

Kenetler genellikle U şeklinde yapılmaktadır. Birbirlerine bağlanmak istenen taşların üst tarafına kenetten daha büyük olmak koşulu ile delik açılır ve U şeklindeki kenetin iki ucu da iki taştaki deliğe yerleştirilir. Delikte kalan boşluk da kurşun ile doldurulur.

Genellikle demirden yapılan kenetler, ahşaptan yapılmış şekli olan kırlangıç kuyruğu kenet şekliyle de Miken ve Mikos uygarlıklarında kullanılmıştır. Kırlangıç kuyruğu kenet örnekleri Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te verilmiştir.

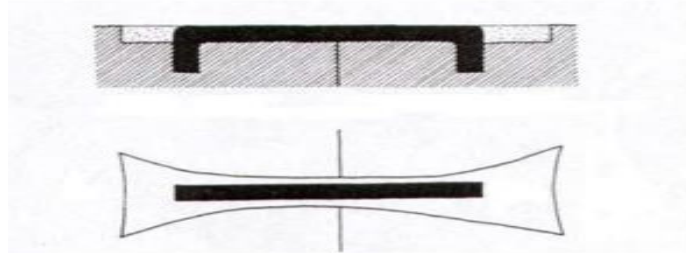


Şekil 4.2. Kırlangıç kuyruğu kenet (Koçak, 2013).



Şekil 4.3. Knidos Yuvarlak Tapınağı'ndaki kırlangıç kuyruğu kenet (URL-21).

Dünyanın yedi harikasından biri olan ve ülkemizde, Aydın'da bulunan Magnesia Artemis Tapınağı'nda taşları yatayda birbirine bağlamak için sadece kırlangıç kuyruğu yuvada U tipi kenet tekniği kullanılmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Kırlangıç kuyruğu yuvada U tipi kenet uygulaması (Demirtaş, 2006).

Kenet şekillerinden en çok kullanılan U tipi kenetler gösterilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. U tipi kenet demiri (Koçak, 2013).

Şekil 4.6'da ise Magnesia Artemis Tapınağı'nda kullanılan U tipi kenet gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Magnesia Artemis Tapınağı, U tipi kenet örneği (Demirtaş, 2006).

Kenetler genellikle U şeklinde olup I, T, Z gibi farklı şekillerde de olabilmektedir (Şekil 4.7).

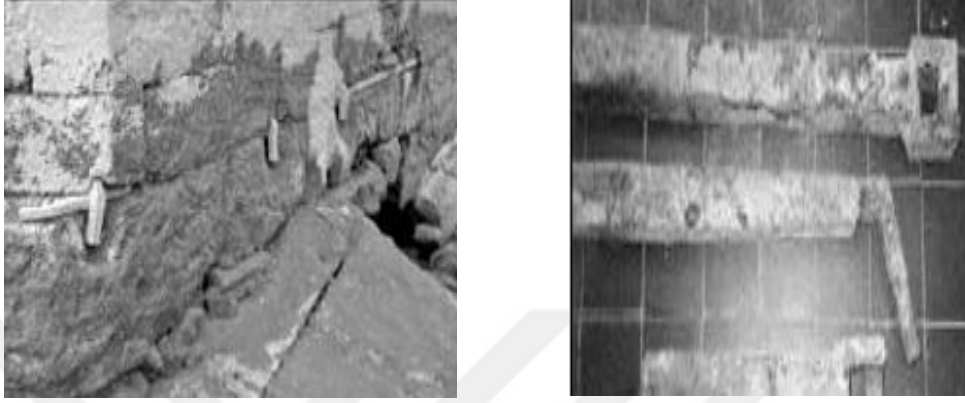


Şekil 4.7. Yığma yapılarda kullanılan farklı kenet tipleri (Uslu, 2013).

Selçuklu, Roma ve Osmanlı zamanlarında yapılmış hamam, cami, köprü, minare ve kervansaray gibi yapılar incelendiğinde bu yapıların sadece taştan yapılmadığı, bahsettiğimiz metal bağlantı elemanlarının da kullanılmış olduğu görülmektedir.

Örneğin bu dönemlerde yapılmış olan köprülerin birçoğunun temellerinde demir kenetlerin kullanılmış olduğu görülmektedir.

Şekil 4.8’de Adana Taşköprü’de ve Antalya’da bulunan Aspendos Köprüsü’nde bulunan kenetler gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Taşköprü ve Aspendos Köprüsü’nün temellerinde kullanılan demir kenetler (Sert, 2007).

Metal bağlantı elemanları sadece yeni yapı inşasında değil eskiden yapılmış yapıların onarım ve güçlendirilmesinde de kullanılabilir. Şekil 4.9’da kırık bir taşın onarılmasında kullanılan bir kenet örneği gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Kırık taşların onarımında kullanılan kenet uygulaması (Koçak, 2013).

Metal bağlantı elemanları yığma yapılara süneklik ve süreklilik sağlamaktadır. Bu yüzden aslına uygun olarak restore edilmek istenen yığma yapılarda ve yeni yapılmaya başlanmış yığma yapılarda kenet ve zivana uygulamaları görülmektedir.

Örneğin İstanbul Fatih’te bulunan Edirnekapı Mihrimah Sultan Cami’nin minaresi metal bağlantı elemanları kullanılarak yeniden inşa edilmiştir (Şekil 4.10).

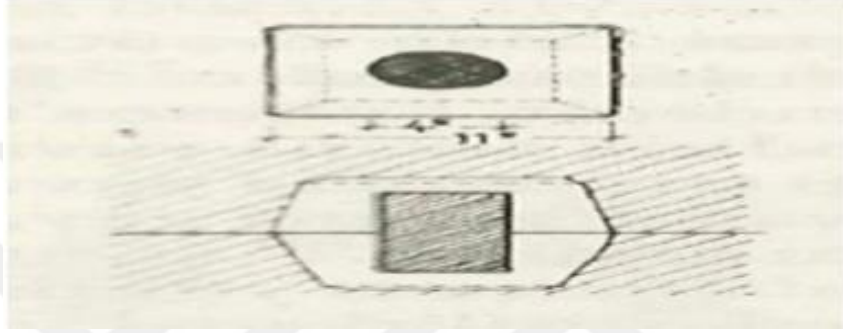


Şekil 4.10. Edirnekapı Mihrimah Sultan Cami minaresinde kullanılan kenet örnekleri (Kuşüzümü, 2010).

Ayrıca İstanbul Esenler’de bulunan Esenler Taş Cami’nin yapımı 2018 yılında tamamlanmıştır. Cumhuriyet tarihinin ilk taş camisi özelliğini taşımaktadır. Camide kolon ve kiriş bulunmamaktadır. Yapımında hiç beton kullanılmamıştır. Cami kurşun ve zıvana sistemi ile yapılmıştır. Yapımında 34 bin adet kenet ve zıvana, 170 ton kurşun kullanılmıştır. Ayrıca bu cami 2300 metreküp küfeki taşından yığma tekniği ile yapılmıştır (URL-22).

4.2 Zıvanalar

Zıvanalar ise duvarlarda üst üste gelen taşları birbirine bağlayan metal bağlantı elemanlarıdır. Kenetlerde olduğu gibi ahşaptan da yapılabilir. Zıvanalar genellikle yatay kuvvetlerin yoğunlukta olduğu yerlerde kullanılmıştır. Zıvanalar da kenetlerde olduğu gibi birçok uygarlıkta kullanılmıştır. Zıvanalar 5. yüzyılda yaygın olarak kullanılmıştır. Şekil 4.11’de Parthenon Tapınağı’nda kullanılmış olan ahşap zıvana örneği gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Parthenon Tapınağı’nda kullanılan zıvana örneği (Bingöl, 2008).

Zıvanalar bağlantı yaptıkları yöne göre ikiye ayrılır. Bunlar, düşey bağlantı elemanı olarak kullanılan zıvanalar ile düşey ve yatay bağlantı elemanı olarak kullanılan zıvanalardır.

Düşey ve yatay bağlantı elemanı olarak kullanılan zıvanalar, alt ve üst sırada bulunan taşları hem yatay hem de düşeyde bağlamasından dolayı, sadece düşey bağlantı elemanı olarak kullanılan zıvanalara göre daha avantajlıdır.

Zıvanalar kare ve dikdörtgenler prizması şeklinde veya silindirik şekilde olabilmektedir.

Zıvanaların taşlara yerleştirilmesi kenetlerde olduğu gibi olmaktadır. İlk önce taşlar delinir. Bu deliklere zıvanalar yerleştirilir ve kalan boşluklar kurşun ile doldurulur. Bu kurşun doldurma işlemi dışarıdan gözükmeyen kurşun akıtma kanalları ile yapılabilir.

Şekil 4.12’de Magnesia Artemis Tapınağı’ndaki yatay kurşun akıtma kanalı gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Yatay kurşun akıtma kanalı (Demirtaş, 2006).

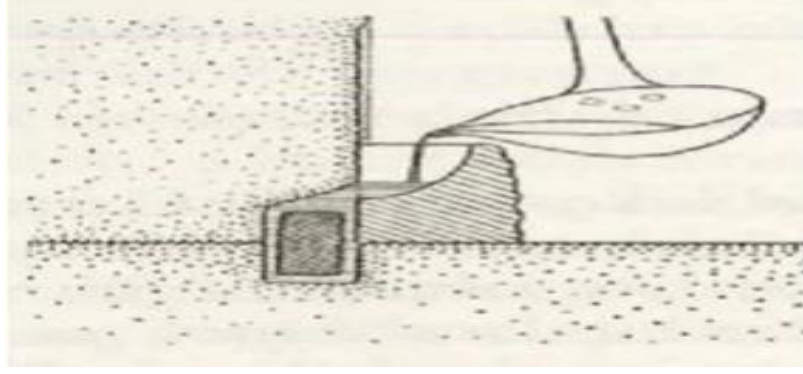
Şekil 4.13’te Magnesia Artemis Tapınağı’nda kullanılan zıvana yuvaları gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Çeşitli zıvana yuvaları örnekleri (Demirtaş, 2006).

Kenet ve zıvanalar genellikle demirden yapıldığı için hava koşullarından etkilenip şişebilir. Hacmi arttığı için taşın parçalanmasına neden olabilmektedir. Bu yüzden tarihte kenet ve zıvana uygulamalarında kurşun kullanılmış, metal bağlantı elemanlarının paslanmasının önüne geçilmiştir. Ayrıca kurşun metali ve metal bağlantı elemanların kullanılmasıyla yapılan bu uygulamalar taşların birbirlerine sağlam şekilde bağlanmasını sağlamanın yanında yapıya esneklik ve süneklik katmış, yapının kesme (kayma) mukavemetini arttırmış, yapıların davranışını olumlu yönde etkilemiştir.

Şekil 4.14'te zıvana yuvasına kurşunun akıtılması gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Zıvana yuvasına kurşun akıtılması (Koçak, 2013).

Metal bağlantı elemanları olan kenet ve zıvanalar eski zamanlarda birçok medeniyet tarafından sıkça kullanılmıştır. Metal bağlantı elemanlarının yığma yapı davranışına büyük miktarda olumlu katkısı olmasına rağmen günümüzde kullanımını azalmış, unutulmaya yüz tutmuştur. Kenet ve zıvanalar ile ilgili herhangi bir standart ve yönetmelik bulunmamaktadır. Bu yüzden kenet ve zıvanaların önemi bilinse de en doğru kullanımı ve hangi kullanımda yapıya en olumlu katkı sağlanacağı tam olarak bilinmemektedir. Literatürde yapılan deneysel çalışmalar az da olsa bulunmaktadır. Bu deneysel çalışmaların sonuçları da kenet ve zıvana uygulamalarının yapıya büyük katkı sağladığı yönündedir.

5. MALZEME VE YÖNTEM

Deneysel çalışmalar Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemesi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneylede doğru karşılaştırma yapabilmek ve hata payını en aza indirebilmek amacıyla aynı deney yöntemi ve deney düzenekleri kullanılmaya özen gösterilmiştir.

Tez çalışması kapsamında, tarihi yığma yapılarda sıklıkla karşımıza çıkan, dikey yığma birimleri birbirine bağlamak için kullanılan, duvarın dayanımını arttırdığını bildiğimiz, metal bağlantı elemanı olan zıvanalar ele alınmıştır. Zıvanalar hakkında daha önceden yapılmış deneysel çalışma sayısı çok azdır. Bu, konunun ve hazırlanan çalışmanın önemini gözler önüne sermektedir.

Deneysel çalışma kapsamında Aksaray yöresinden temin edilen tuf taşı kullanılmıştır. $200 \times 300 \times 600 \text{ mm}^3$ ebatlarındaki bu taşlara matkap yardımıyla, her bir taşa homojen olarak dağılmış, 16 mm çapında, 9 adet delik, belirlenen batma derinliğinde açılmıştır. Delikler sabit matkap yardımıyla standart bir şekilde açılmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Taşlara deliklerin açılma işlemi.

Taşlar belirlenen çap ve derinlikte delindikten sonra zıvanaları yerleştirme ve etrafını yine belirlenen malzeme ile doldurma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu malzemelerin prizini alma ve dayanımını kazanması için o malzemenin özelliklerine göre değişiklik gösteren kuruma süreleri kadar beklenmiştir. Daha sonra zıvanalara çekme (ankraj) testi uygulanmıştır. Böylece, hangi çapta ve hangi batma derinliğindeki zıvana ile, hangi dolgu malzemesi ile daha fazla dayanım elde edileceği belirlenmeye çalışılmıştır.

Deneysel çalışmada değişken olarak zıvana çapı, zıvana batma derinliği ve dolgu malzemesi kullanılmıştır. Zıvana (tij) olarak 8, 10 ve 12 mm çapında nervürlü demirler kullanılmıştır. Batma derinliği 3, 5 ve 9 cm olacak şekilde taşlar delinmiştir. Delik çapı tüm deneylerde 16 mm'dir. Zıvanaların etrafını doldurduğumuz malzeme olarak ise kurşun ve epoksi kullanılmıştır.

Deneysel çalışmada her bir taşa 9 adet delik toplamda 54 adet delik açma işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir taştaki bu 9 delikten 3'üne 8 mm'lik, 3'üne 10 mm'lik ve diğer 3'üne de 12 mm'lik olacak şekilde zıvanalar kullanılmıştır. Yani 8 mm'lik 18 adet, 10 mm'lik 18 adet, 12 mm'lik 18 adet olmak üzere toplam 54 adet de zıvana kullanılmıştır.

Deneyde toplam 2 kg kurşun kullanılmıştır. Epoksi de son kullanma tarihleri dikkate alınarak, zıvanaların etrafını doldurmaya yeterli olacak miktarda temin edilmiştir.

Deneyde duvar örme işlemi bulunmadığından herhangi bir harç kullanılmamıştır.

5.1 Malzeme Özellikleri

5.1.1 Tüf taşı

Deneylede kullanılan taşlar, tüf taşı olarak adlandırılan Aksaray'daki inşaat faaliyetlerinde sıklıkla kullanılan, Aksaray merkeze 15 km mesafede bulunan Sevinçli kasabasındaki taş ocaklarından çıkarılan volkanik kökenli bir taş çeşididir. Taşlar taş ocağından, deneyde kullanılacak olan 200×300×600 mm³ ebatlarında alınıp getirilmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Taş ocağından getirilen tüf taşları.

Denyeyde kullanılan tüf taşının fiziksel ve jeokimyasal analizleri Ankara Üniversitesi Başkent Meslek Yüksek Okulu Malzeme Araştırma ve Koruma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Tüf taşının fiziksel ve jeokimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.1, Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Tüf taşının fiziksel deney sonuçları (Koçak, 2013).

Test Türü	Sonuç
Sertlik (Mohs)	3
Sertlik (Dijital Schmidt Çekici Sertliği)	35 (33 – 37)
Birim Hacim Ağırlığı – Kuru (g/cm^3)	1,97
Birim Hacim Ağırlığı – Doymun (g/cm^3)	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^2)	550
Darbe Direnci (kgcm/cm^3)	23
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kgcm/cm^3)	127

Çizelge 5.2. Tüf taşının jeokimyasal analiz sonuçları – temel elementler (Koçak, 2013).

Formül	Element	Konsantrasyon Yüzdesi (%)
Na ₂ O	Sodyum oksit	2,32
MgO	Magnezyum oksit	0,544
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit	10,05
SiO ₂	Silisyum dioksit	69,30
P ₂ O ₅	Fosfor pentaoksit	0,038
SO ₃	Kükürt trioksit	0,001
Cl	Klorür	0,036
K ₂ O	Potasyum oksit	4,29
CaO	Kalsiyum oksit	1,21
TiO ₂	Titanyum dioksit	0,163
V ₂ O ₅	Vanadyum pentoksit	0,002
Cr ₂ O ₃	Krom III oksit	0,002
MnO	Mangan oksit	0,043
Fe ₂ O ₃	Demir III oksit	1,15
LOI*		10,34
Toplam		99,49

(*) LOI: Loss on Ignition / Fırında 950°C'de Kızdırma Kaybı (Karbonat)

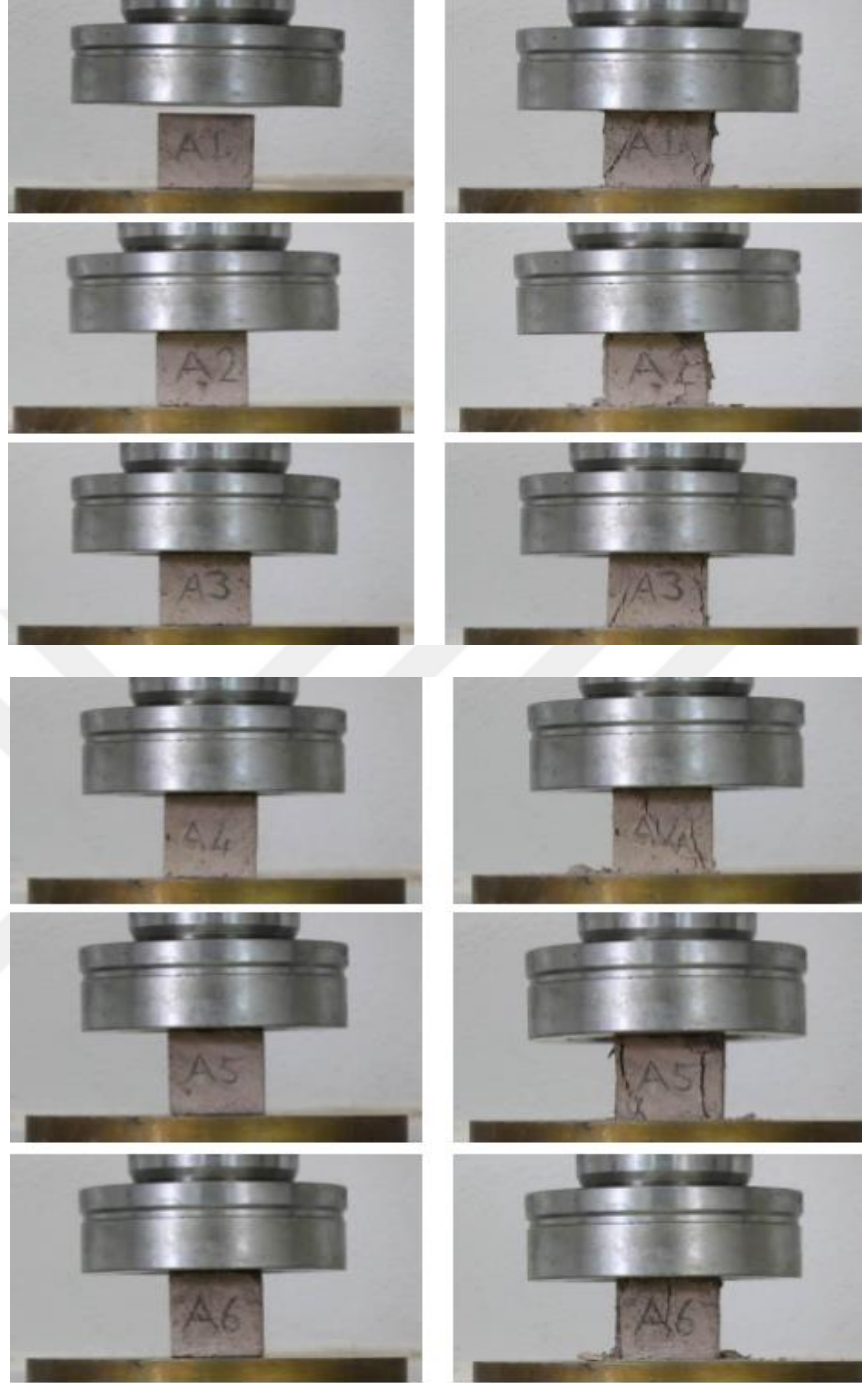
Çizelge 5.3. Tüf taşının jeokimyasal analiz sonuçları – eser elementler (Koçak, 2013).

Formül	Element	Konsantrasyon Miktarı (ppm)
Co	Kobalt	11
Ni	Nikel	3,8
Cu	Bakır	3,9
Zn	Çinko	14
Ga	Galyum	11,3
Ge	Germanyum	1
As	Arsenik	9,8
Se	Selenyum	0,4
Br	Brom	2,9
Rb	Rubidyum	163,9
Sr	Stronsiyum	124
Y	İtriyum	9,5
Zr	Zirkonyum	133,2
Nb	Niyobyum	16,7

Çizelge 5.3 (devam). Tüf taşının jeokimyasal analiz sonuçları – eser elementler.

Mo	Molibden	8,4
Cd	Kadmiyum	0,8
In	İndiyum	0,8
Sn	Kalay	1,5
Sb	Antimon	1,4
Te	Tellür	1,3
I	İyot	2,3
Cs	Seryum	12
Ba	Baryum	656,7
La	Lantan	37,8
Ce	Seryum	46,4
Hf	Hafniyum	7,5
Ta	Tantal	2,8
W	Tungsten	4
Hg	Civa	1
Tl	Talyum	1,5
Pb	Kurşun	22
Bi	Bizmut	0,8
Th	Toryum	32,8
U	Uranyum	7,4

Deneyde kullanılan tüf taşının basınç dayanımını belirlemek amacıyla TS EN 772-1+A1 (2015)'e uygun yöntemler kullanılmıştır. Taşlar 50×50×50 mm³ ebatlarında kesilmiş ve oda sıcaklığında kuruması sağlanmıştır. Basınç dayanım testleri standartta belirtilen şekilde ve 6 adet yığma birim numunesi olacak şekilde Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Yığma birimlerin basınç dayanım testleri (Uslu, 2013).

Ulaşılan maksimum yükün, yük uygulanan alana bölünmesiyle yığma birim numunelerin basınç dayanımları elde edilmiştir. TS EN 772-1+A1 (2015)'e göre yük uygulanan alan ise numunenin şerit şeklinde yataklanan brüt yüzey alanıdır. Sonuç olarak ise tüm numunelerden elde edilen basınç dayanımlarının ortalaması alınarak tuf taşının basınç dayanımı Çizelge 5.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Tüf taşı numunelerine ait basınç dayanımı sonuçları (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

Tüf taşının eğilmede çekme dayanımını belirlemek amacıyla TS EN 772-6 (2004)'e uygun yöntemler kullanılmıştır. 6 tanesi 40×40×160 mm³ (B1-B6 numuneleri) ve 6 tanesi 50×100×150 mm³ (C1-C6 numuneleri) ebatlarında olmak üzere 12 adet numuneye eğilmede çekme testi uygulanmıştır. Yükleme hızı, sabit ve darbe etkisi olmayacak şekilde ayarlanmıştır.

Numunelerin eğilmede çekme dayanımları TS EN 772-6 (2004)'deki bağıntı olan Denklem (5.1) yardımıyla bulunabilmektedir.

$$R_{tf} = PL/bd^2 \quad (5.1)$$

Denklemdaki R_{tf} eğilmede çekme dayanımı (MPa), P prizmanın kırıldığı anda ortasına uygulana kuvvet (N), b numune genişliği (mm), d numune yüksekliği (mm), L mesnet silindirlerinin eksenleri arasındaki mesafedir (mm).

Eğilmede çekme dayanımı testlerine tabi tutulan yığma birim numuneleri Şekil 5.4'te ve Şekil 5.5'te topluca verilmektedir.



Şekil 5.4. Yığma birimlerin eğilmede çekme dayanımı testleri (B1-B6 numuneleri) (Uslu, 2013).



Şekil 5.5. Yığma birimlerin eğilmede çekme dayanımı testleri (C1-C6 numuneleri) (Uslu, 2013).

Tüf taşı numunelerine ait eğilmede çekme dayanımı sonuçları Çizelge 5.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. Taş numunelerine ait eğilmede çekme dayanımı sonuçları (Uslu, 2013).

Numune No	P (N)	L (mm)	b (mm)	d (mm)	R _{tf} (MPa)
B1	490	100	44	38	0,77
B2	490	100	39	45	0,62
B3	560	100	40	40	0,88
B4	570	100	41	44	0,72
B5	500	100	44	41	0,68
B6	450	100	45	41	0,59
C1	3300	100	49	99	0,69
C2	3990	100	54	97	0,79
C3	2500	100	48	99	0,53
C4	2860	100	51	99	0,57
C5	2570	100	51	99	0,51
C6	2450	100	50	99	0,50
Ortalama					0,65
Standart Sapma					0,12

5.1.2 Zıvana

Bu deneysel çalışmada zıvanaları temsil eden 1,2 m uzunluğunda 8, 10, 12 mm çapındaki tijler kullanılmıştır. Bu tijler boyları 40 cm olacak şekilde kesilmiş, çapakları zımpara yardımıyla temizlenmiş ve deney için hazır hâle getirilmiştir (Şekil 5.6). 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.



Şekil 5.6. 8, 10 ve 12 mm çaplarındaki tij demirleri.

5.1.3 Kurşun

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 kullanılan kurşun, balık malzemeleri satan yerlerden 50'şer gram hâlinde temin edilmiştir (Şekil 5.7). 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.



Şekil 5.7. Deneyde eriterek kullanacağımız kurşun malzemesi.

Kurşun kullanılmakta olan en eski metallere biridir. Mısır'da, eski Mısır medeniyetine ait kurşun borular bulunmuş ve kurşun lehimlerin çeşitli alanlarda kullanıldığı saptanmıştır. Doğada yer alan doğal madenler arasında en ağır özelliklere sahip olan kurşun, mavi ve gri renklerinin yer aldığı ve kolay şekil verilebilen bir madendir. Eski dönemlerde dayanıklı bir malzeme olmasından dolayı tesisat borularında kullanılmıştır. Korozyon direnci çok yüksektir. Tek başına kullanıldığı gibi katkı maddeleri ile daha dayanıklı şekilde kullanım imkânı sunmaktadır. Özellikle kalsiyum ile birleştiğinde çok dayanıklı hâle gelmektedir. Kurşun alaşımlarından en çok yaygın olanları antimuan ve kalaydır. Ekonomik ve uzun ömürlü olması sebebiyle eski çağlarda pek çok alanda kurşundan yararlanılmıştır. Deneyde kullanılan kurşuna ait fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Deneyde kullanılan kurşuna ait fiziksel ve mekanik özellikler (URL-23).

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

5.1.4 Epoksi

Deneyde epoksi, taşları matkap ile delip ortasına zıvana yerleştirdikten sonra zıvanayla taşın arasında kalan boşluğu doldurmak için kullanılmıştır. Epoksi bilinen en iyi yapıştırıcılardandır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Deneyde kullanılan epoksi.

Epoksi olarak iki bileşenli epoksi reçinesi Sikadur 330 kullanılmıştır. Kullanılan epoksi malzemesi kolay uygulanabilme, yüksek mekanik özelliklere sahip olması ve birçok yüzeyde iyi aderans sağladığı için tercih edilmiştir.

Epoksi reçinesine ait özellikler Çizelge 5.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Epoksi reçinesi özellikleri (URL-24).

Görünüm/ renk	Reçine A Bileşeni: macun kıvamlı Sertleştirici B Bileşeni: macun kıvamlı A Bileşeni: beyaz renkli B Bileşeni: gri renkli A+B bileşenleri: açık gri renkli
Karışım	A Bileşeni: B Bileşeni=4:1 ağırlıkça
Birim Ağırlık	Reçine karışımı: 1,31 kg/l (+23°C’de)
Viskozite	6000mPas (+23°C’de)
Termal Genleşme Katsayısı	$45 \times 10^6 / ^\circ\text{C}$ (-10°C ile +40°C arasında)
Çekme Dayanımı	30 N/mm ² (+23°C’de 7 günlük)
Elastisite Modülü	Eğilme: 3800 N/mm ² (+23°C’de 7 günlük) Çekme: 4500 N/mm ² (+23°C’de 7 günlük)
Kopma Uzaması	%0,9 (+23°C’de 7 günlük)
Sarfiyat	Genel olarak: 0,7 – 1,5kg/m ²

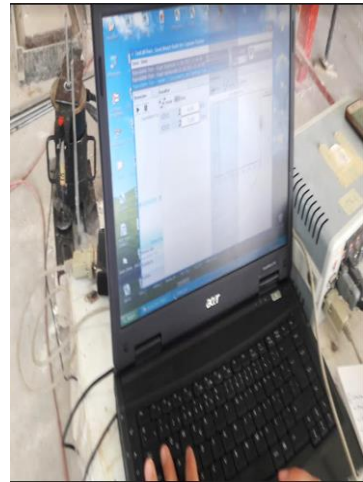
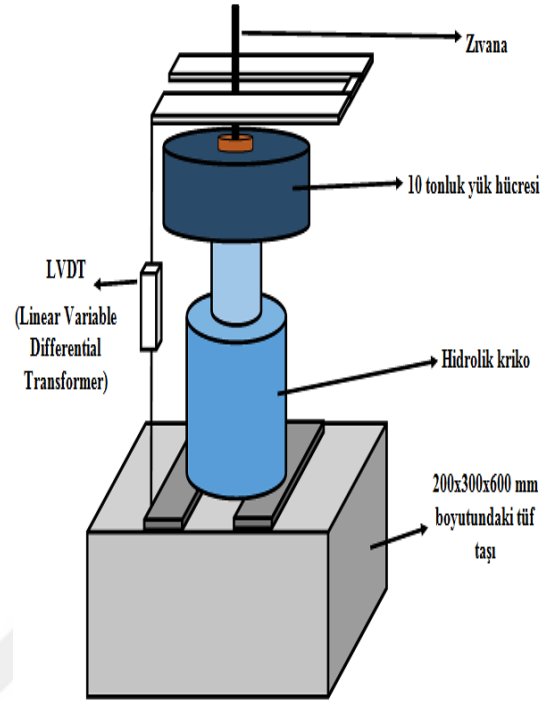
5.2 Deney Düzeneğinin Oluşturulması

Deney numunelerindeki zıvanaların etrafındaki dolgu malzemesinin kuruyup, dayanımını aldıktan sonra, test aşamasına geçilebilmesi için deney düzenine kurulması gerekmektedir. Deney numunesi düz bir zeminde duracak şekilde konup, deney düzeni numunenin üzerine yerleştirilmiştir. Deney düzeninde, yük hidrolik kriko ile verilir, yük hücresi (Load – Cell) yardımıyla ölçülmektedir. Deney düzeninde 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 LVDT (Linear Variable Differential Transformer) 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 düzeninde yükleme hızı kuvvet kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Deney düzenine ait fotoğraflar verilmiştir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Deney düzenine ait fotoğraflar.



Şekil 5.9 (devam). Deney düzeneğine ait fotoğraflar.

5.3 Yapılan Deneyler

Deneyde kullanacağımız numunelere vereceğimiz isimlerdeki K harfi kurşunu, E harfi epoksiyi, K ve E 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 kullanılan bu numunelere ait isim ve veriler Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Deneyde kullanılan numuneler.

Deney İsimleri	Taş Cinsi	Dolgu Malzemesi	Delik Çapı	Batma Derinliği	Zıvana Çapı
K83 K103 K123	Tüf Taşı	Kurşun	16 mm	3 cm	8-10-12 mm
K85 K105 K125	Tüf Taşı	Kurşun	16 mm	5 cm	8-10-12 mm
K89 K109 K129	Tüf Taşı	Kurşun	16 mm	9 cm	8-10-12 mm
E83 E103 E123	Tüf Taşı	Epoksi	16 mm	3 cm	8-10-12 mm
E85 E105 E125	Tüf Taşı	Epoksi	16 mm	5 cm	8-10-12 mm
E89 E109 E129	Tüf Taşı	Epoksi	16 mm	9 cm	8-10-12 mm

Bu deneyleri yapılan taşlara öncelikle batma derinlikleri sırasıyla 3 cm, 5 cm ve 9 cm olacak şekilde matkap yardımıyla delikler açılmıştır. Her bir taşa toplamda 9 adet olmak üzere 16 mm çapındaki matkap ucu ile 16 mm çapında delikler açılmıştır. Delikleri açtığımız numunelerde ilk önce taşlar ıslatılmıştır. Böylece taşa daha kolay bir şekilde delik açılması amaçlanmıştır (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Taşların ıslatılması işlemi.

Kolay delik açılması için ıslatılan taşlara matkap yardımıyla delikler açıldıktan sonra çabuk bir şekilde kuruması, deneyin sonucunun etkilenmemesi ve kurşun deneylerinde kurşun ve suyun temas edip patlamasının önüne geçmek amacıyla delikler sıcak hava tabancası ile kurutulmuştur (Şekil 5.11).



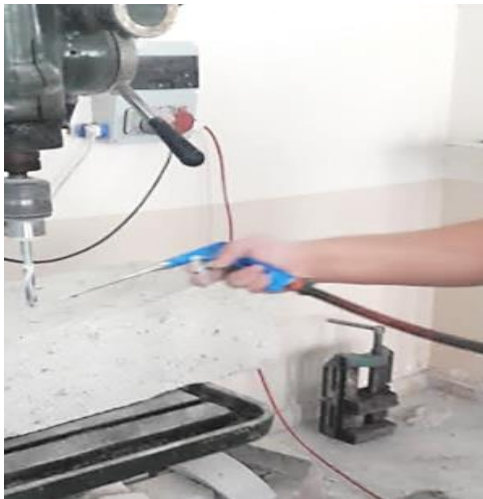
Şekil 5.11. Açılan deliklerin kurutulma işlemi.

Delikler sabit matkap yardımıyla açılmıştır. Böylece hem zamandan tasarruf edilmiş hem de hepsi standart olacak şekilde delikler açılabilmiştir (Şekil 5.12).



Şekil 5.12. Sabit matkap yardımıyla deliklerin açılması.

Ayrıca açılan deliklerin içinde biriken tozları temizlemek ve bu tozların zıvanaların etrafında kullanacağımız dolgu malzemesi ile karışıp deneyin sonucunu etkilememesi için kompresör (hava püskürtme makinesi) yardımıyla delikler temizlenmiştir (Şekil 5.13).



Şekil 5.13. Kompresör yardımıyla delikteki tozları temizleme işlemi.

Her bir taşa açılan 16 mm çapındaki 9 adet delikten 3'üne 8 mm çapında, 3'üne 10 mm çapında, 3'üne 12 mm çapında zıvanalar yerleştirilmiştir. Yerleştirilen zıvanaların etrafına belirlenen dolgu malzemeleri konarak ve dolgu malzemelerinin her biri için belirli olan donma süreleri beklendikten sonra zıvanaların ankraj deneylerine başlanmıştır.

5.3.1 Kurşun deneyleri

Deneysel çalışmalara kurşunun dolgu malzemesi olarak kullanıldığı numuneler ile başlanmıştır. Kurşun zehirli bir malzeme olduğu için kullanımında dikkatli olunması gerekmektedir. Bu çalışmada da kurşun deneyleri sırasında gerekli iş güvenliği tedbirleri alınarak eldiven, maske ve koruyucu gözlük gibi gerekli koruyucu önlemler alınmıştır.

Dolgu malzemesinin kurşun olarak seçildiği numunelerin hazırlanma ve deneye tabi tutulma sırası K83, K103, K123, K85, K105, K125, K89, K109 ve K129'dur. Bu numunelerin kendi aralarındaki farkı zıvana çapı ve batma derinliğidir. Metal bağlantı elemanlarının kullanıldığı birçok tarihi yapıda da dolgu malzemesi olarak kurşunun kullanıldığı gözlenmiştir.

Kurşun oda sıcaklığında katı hâlde bulunduğundan cezvede eritilerek deliklere akıtılmıştır (Şekil 5.14). Eritme için piknik tüpünün kullanılması yeterli olmuştur.



Şekil 5.14. Kurşunun eritilmesi ve deliklere doldurulması.

Kurşun ile hazırlanan numunelerde deneye geçmek amacıyla kurşunun donması için 5 dakika beklenmesi yeterlidir.

Deney için hazır hâle gelen, kurşun ile hazırlanmış bir numune Şekil 5.15'te gösterilmiştir.



Şekil 5.15. Kurşunun deney için katılaşması.

Kurşunun dolgu malzemesi olarak belirlendiği numunelerin deneyleri, epoksi numunelerinde olduğu gibi 16 mm çapında 27 adet delikten ve 9 adet 8 mm'lik, 9 adet 10 mm'lik, 9 adet 12 mm'lik zıvananın ankraj deneyinden oluşmaktadır. Bu deneylerde dolgu malzemesi olarak kurşun kullanılmıştır. Bu deneyler K83, K103, K123, K85, K105, K125, K89, K109 ve K129 numunelerinden oluşmaktadır. Bu numunelerin batma derinlikleri 3 cm, 5 cm, 9 cm'dir. Bu numunelerin hazırlanmasına ait görseller Şekil 5.16'da gösterilmiştir.



Şekil 5.16. Kurşun numunelerinin hazırlanması.



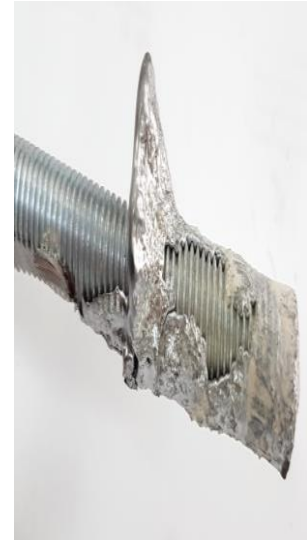
Şekil 5.16 (devam). Kurşun numunelerinin hazırlanması.

Kurşun ile hazırlanan numunelerin ankraj testine tabi tutuldukları ana ait görselleri Şekil 5.17’de gösterilmiştir.



Şekil 5.17. Kurşunla hazırlanan numunelere ait deney görselleri.

Kurşunla hazırlanan numunelerde, zıvana ve taşın deney sonu görüntülerinden birkaçı Şekil 5.18’de gösterilmiştir.



Şekil 5.18. Kurşunla hazırlanan numunelerin deney sonu görüntüleri.

5.3.2 Epoksi deneyleri

Deneyisel çalışmalarda, kurşunun dolgu malzemesi olarak seçildiği numunelerden sonra epoksinin dolgu malzemesi olarak seçildiği numuneleri hazırlamak üzere geçilmiştir.

Dolgu malzemesinin epoksi olarak seçildiği numunelerin hazırlanma ve deneye tabi tutulma sırası E83, E103, E123, E85, E105, E125, E89, E109 ve E129'dur. Bu numunelerin kendi aralarındaki farkı zıvana çapı ve zıvananın taşa batma derinliğidir.

Epoksi olarak, iki bileşenli epoksi reçinesi Sikadur 330 kullanılmıştır. Bu iki bileşen reçine A bileşeni ve sertleştirici B bileşenidir. Bu iki bileşen de macun kıvamındadır. A bileşeni beyaz renkli iken B bileşeni gri renktedir. Epoksi ise 4 birim A bileşeni ile 1 birim B bileşiminin karışımından oluşmaktadır. Epoksinin bileşenleri ve karışımına ait görsel Şekil 5.19'da gösterilmiştir.



Şekil 5.19. Deneyde kullanılan epoksi.

Epoksi ile hazırlanan numunelerde deneye geçmek amacıyla epoksi reçinesinin donması için 24 saat beklenmesi yeterlidir. Deney için hazır hâle gelen epoksi reçinesi ile hazırlanmış bir numune Şekil 5.20’de gösterilmiştir.



Şekil 5.20. Epoksi reçinesinin deney için donması.

Epoksinin dolgu malzemesi olarak belirlendiği numunelerin deneyleri, kurşun numunelerinde olduğu gibi 16 mm çapında 27 adet delikten ve 9 adet 8 mm’lik, 9 adet 10 mm’lik, 9 adet 12 mm’lik zıvananın ankraj deneyinden oluşmaktadır. Bu deneylerde dolgu malzemesi olarak epoksi reçinesi kullanılmıştır. Bu deneyler E83, E103, E123, E85, E105, E125, E89, E109 ve E129 numunelerinden oluşmaktadır. Bu numunelerin batma derinlikleri 3 cm, 5 cm 9 cm’dir. Bu numunelerin hazırlanmasına ait görseller Şekil 5.21’de gösterilmiştir.



Şekil 5.21. Epoksi reçinesi numunelerinin hazırlanması.



Şekil 5.21 (devam). Epoksi reçinesi numunelerinin hazırlanması.

Epoksi reenesi ile hazırlanan numunelerin ankraj testine tabi tutuldukları ana ait görselleri Şekil 5.22’de gösterilmiştir.



Şekil 5.22. Epoksi reenesiyle hazırlanan numunelere ait deney görselleri.

Epoksi reinesiyile hazırlanan numunelerde zıvana ve taşın deney sonu görüntülerinden birkaçı Şekil 5.23'te gösterilmiştir.



Şekil 5.23. Epoksi reinesiyile hazırlanan numunelerin deney sonu görüntüleri.

6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

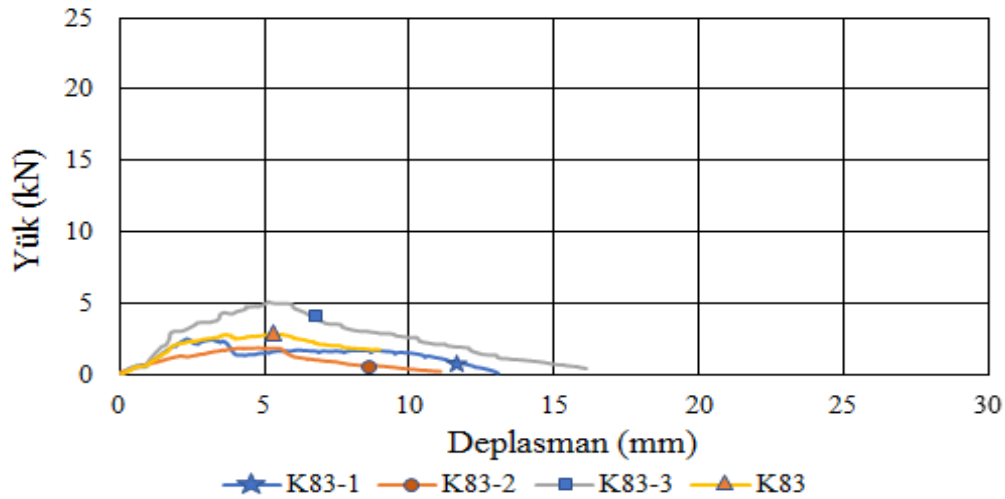
Yapılan deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar bu bölümde resimler, grafikler ve sayısal veriler üzerinden açıklanıp yorumlanmıştır. Aynı şartlar altında testleri gerçekleştirilen numunelerin yük - deplasman grafikleri gösterilmiştir. Hata payını azaltabilmek adına aynı özellikte üçer tane numune hazırlanmış ve teste tabi tutulmuştur.

6.1 Kurşun Numunelerine Ait Sonuçlar

Yük - deplasman grafiklerindeki X eksenini deplasmanı, Y eksenini 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 kurşun numunelerinin deney sonu grafikleri şekillerle gösterilmiştir.

K83 numunelerine ait yük - deplasman grafikleri Şekil 6.1'de gösterilmiştir.

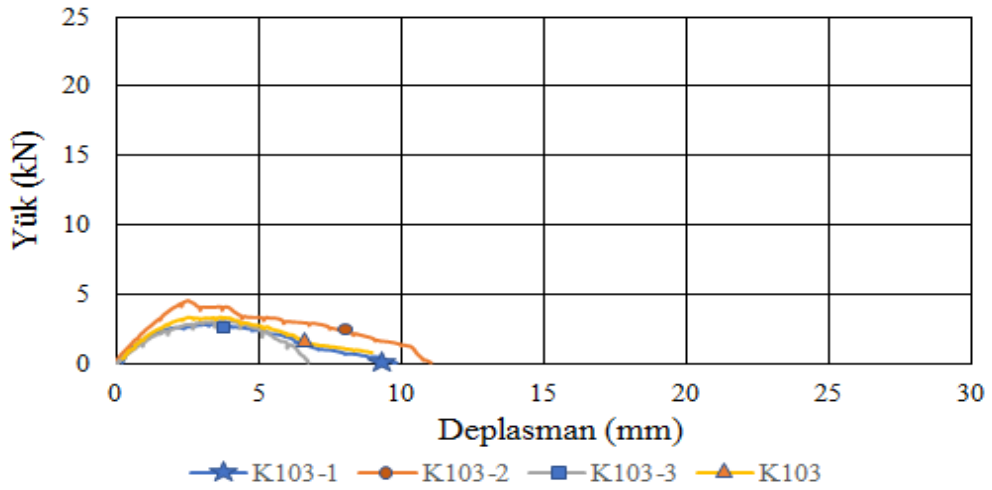


Şekil 6.1. K83 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.

Şekil 6.1'de 3 cm batma derinliğinde ve 8 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan kurşun numunelerinin 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 taşınan ortalama maksimum yükü 3,15 kN'dur.

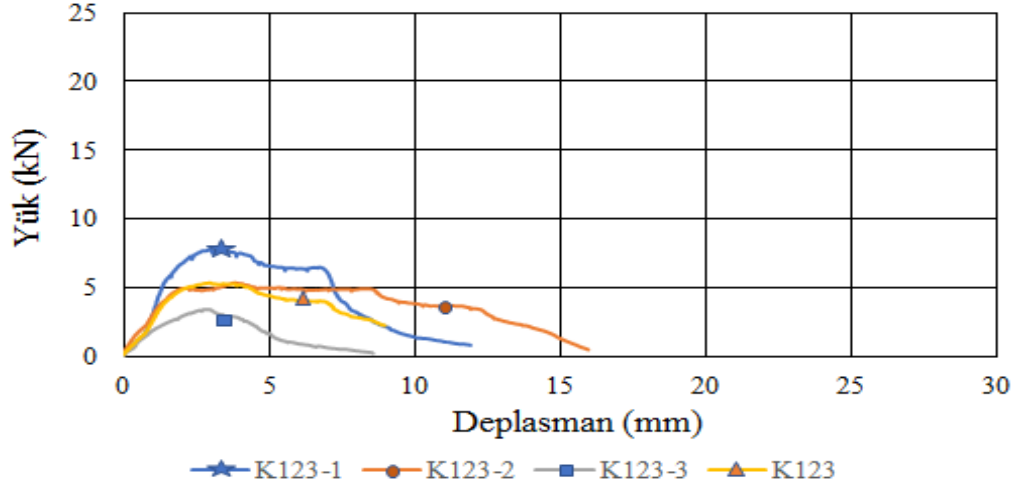
K103 numunelerine ait yük - deplasman grafikleri Şekil 6.2'de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. K103 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.

Şekil 6.2'de 3 cm batma derinliğinde ve 10 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan kurşun numunelerinin 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 taşınan ortalama maksimum yükü 3,50 kN'dur.

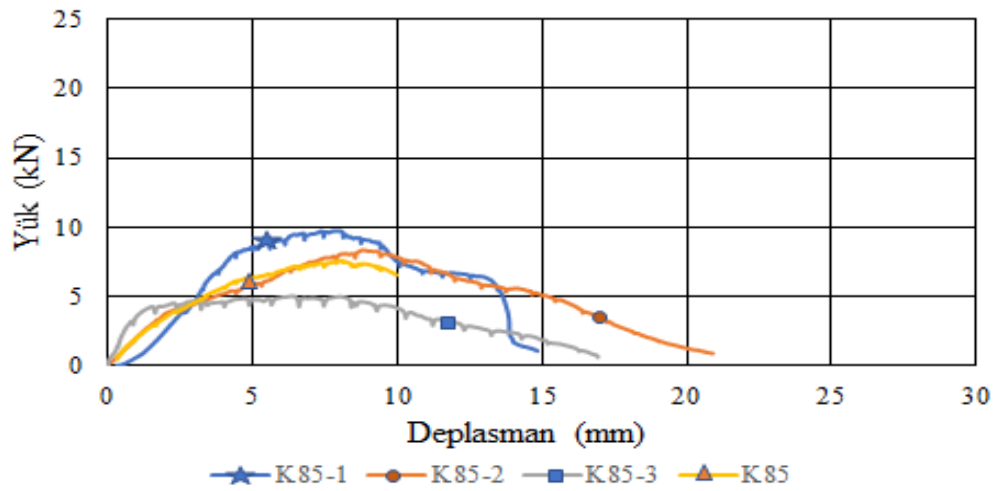
K123 numunelerine ait yük - deplasman grafikleri Şekil 6.3'te gösterilmiştir.



Şekil 6.3. K123 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.

Şekil 6.3'te 3 cm batma derinliğinde ve 12 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan kurşun numunelerinin 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 arasındalardır. Ayrıca bu gruptaki numunelerden sadece birinde sıyrılma olduğu gözlenmiştir. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 5,51 kN'dur.

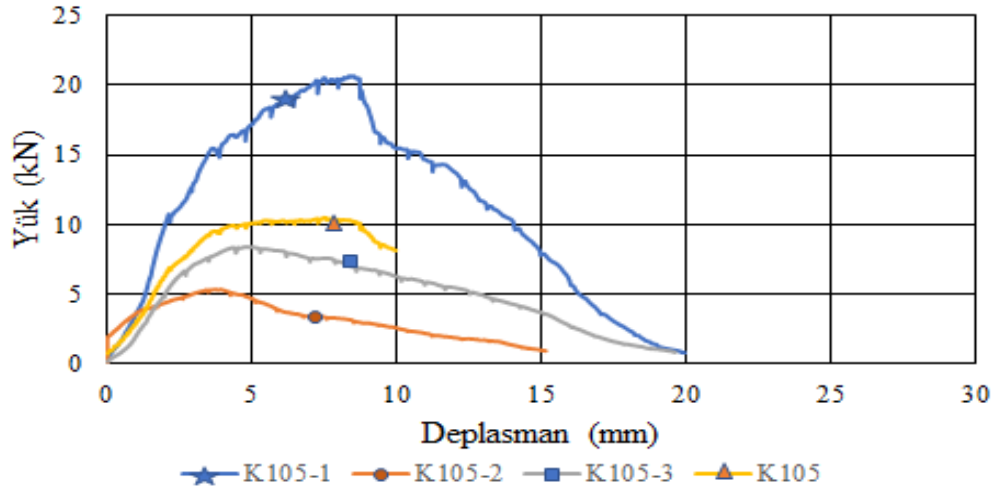
K85 numunelerine ait yük - deplasman grafikleri Şekil 6.4'te gösterilmiştir.



Şekil 6.4. K85 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.

Şekil 6.4'te 5 cm batma derinliğinde ve 8 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan kurşun numunelerinin 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 kurşun numunelerinden de daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Ayrıca bu gruptaki numunelerde sıyrılma görülmemiştir. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 7,69 kN'dur.

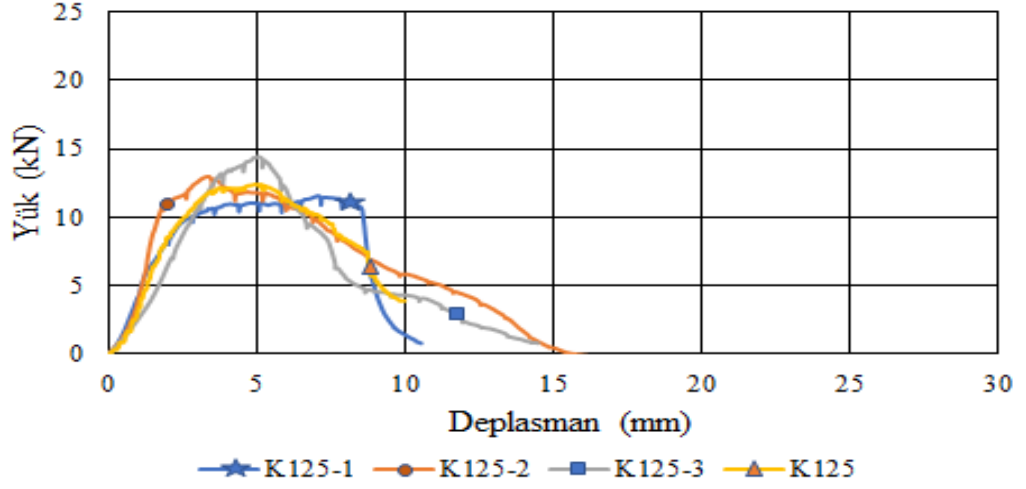
K105 numunelerine ait yük - deplasman grafikleri Şekil 6.5'te gösterilmiştir.



Şekil 6.5. K105 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.

Şekil 6.5'te 5 cm batma derinliğinde ve 10 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan kurşun numunelerinin 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 maksimum 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 kurşun numunelerinden de daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Ayrıca bu gruptaki numunelerde sıyrılma görülmemiştir. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 11,46 kN'dur.

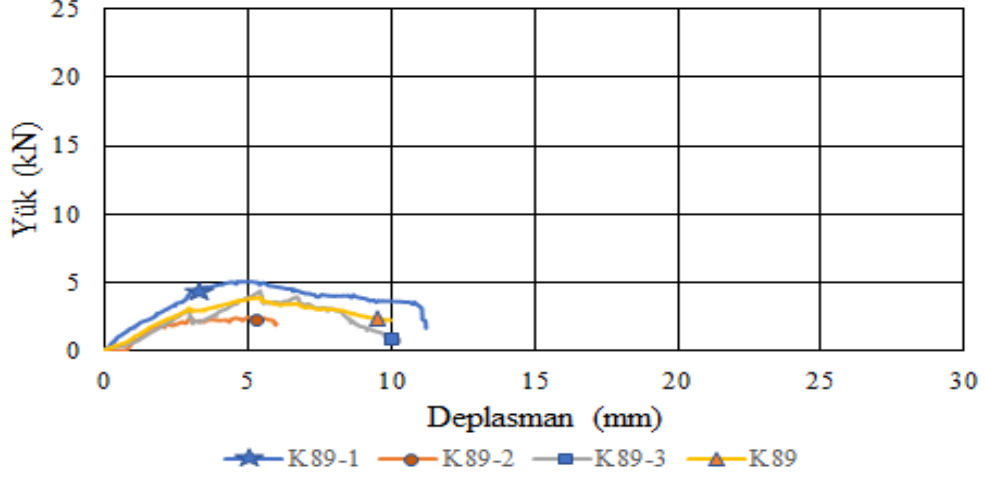
K125 numunelerine ait yük - deplasman grafikleri Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



Şekil 6.6. K125 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.

Şekil 6.6'da 5 cm batma derinliğinde ve 12 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan kurşun numunelerinin 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 kurşun numuneleri olan K129 numunelerinden sonra gelerek ikinci kurşun numunesi grubu olmuşlardır. Ayrıca bu gruptaki numunelerde sıyrılma görülmemiştir. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 12,96 kN'dur.

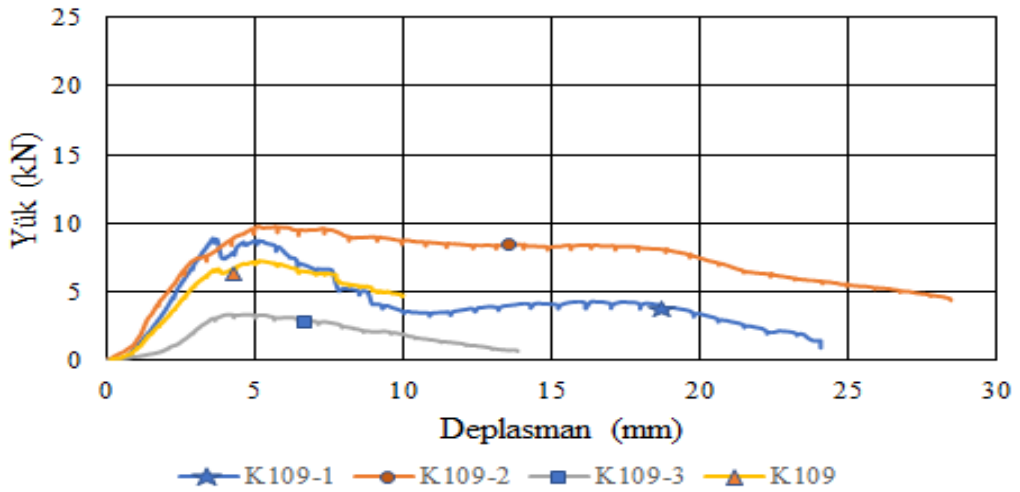
K89 numunelerine ait yük - deplasman grafikleri Şekil 6.7'de gösterilmiştir.



Şekil 6.7. K89 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.

Şekil 6.7’de 9 cm batma derinliğinde ve 8 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan kurşun numunelerinin 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.

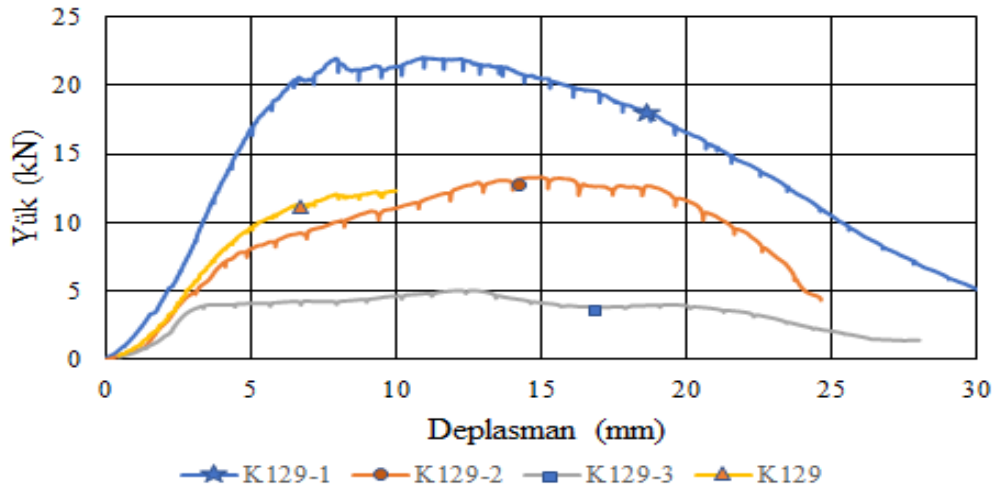
K109 numunelerine ait yük - deplasman grafikleri Şekil 6.8’de gösterilmiştir.



Şekil 6.8. K109 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.

Şekil 6.8'de 9 cm batma derinliğinde ve 10 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan kurşun numunelerinin 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.

K129 numunelerine ait yük - deplasman grafikleri Şekil 6.9'da gösterilmiştir.

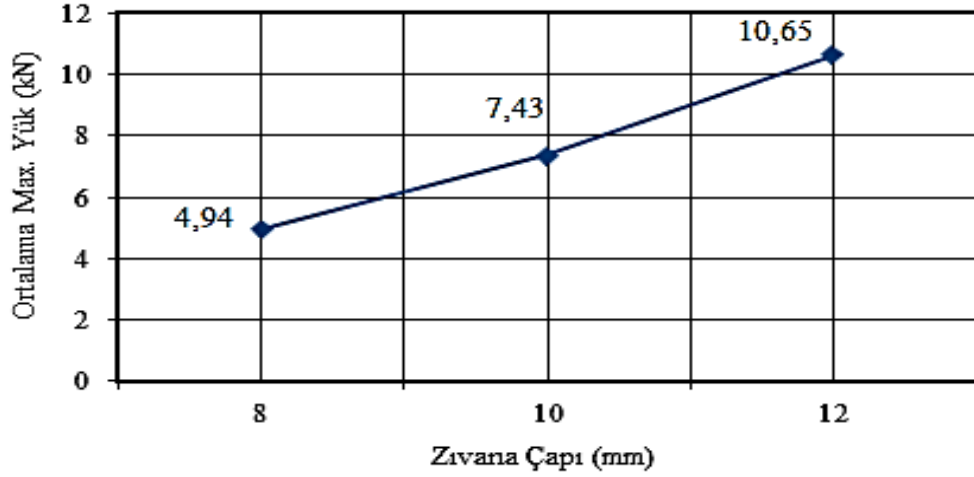


Şekil 6.9. K129 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.

Şekil 6.9'da 9 cm batma derinliğinde ve 12 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan kurşun numunelerinin 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 kurşun numunesi gruplarından 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.

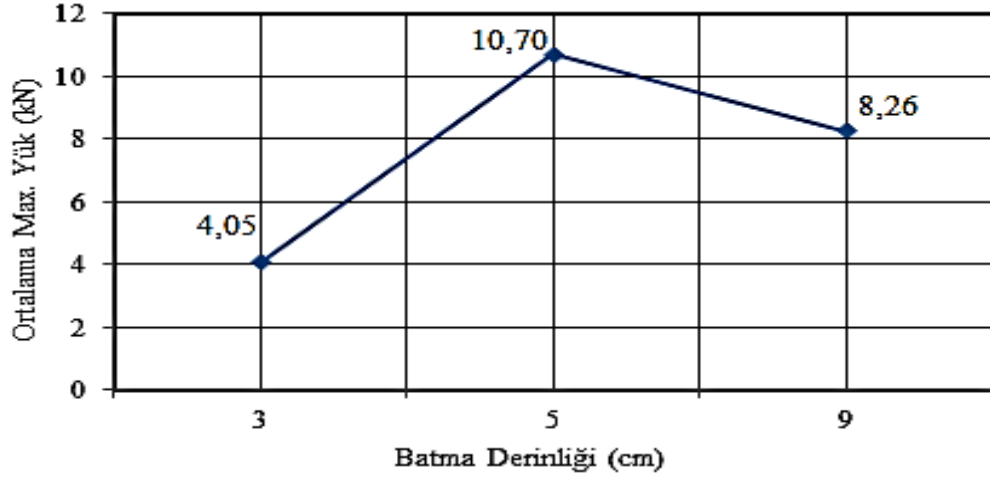
Kurşunla hazırlanan deney numunelerinin, zıvana çapı ile ortalama maksimum yük değerleri arasındaki ilişki Şekil 6.10'da gösterilmiştir.



Şekil 6.10. Kurşun numunelerine ait ortalama maksimum yük - zıvana çapı grafiği.

Şekil 6.10'da farklı batma derinliğindeki kurşun numuneleriyle 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, 7,43kN, 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.

Kurşunla hazırlanan deney numunelerinin, batma derinliği ile ortalama maksimum yük değerleri arasındaki ilişki Şekil 6.11'de gösterilmiştir.

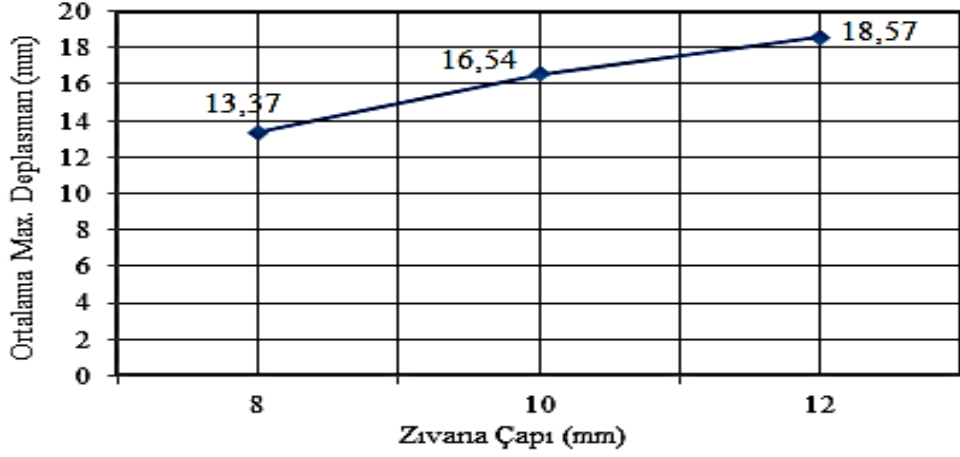


Şekil 6.11. Kurşun numunelerine ait ortalama maksimum yük - batma derinliği grafiği.

Şekil 6.11’de farklı zıvana çapındaki kurşun numuneleriyle 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 sıyrılmalar 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.

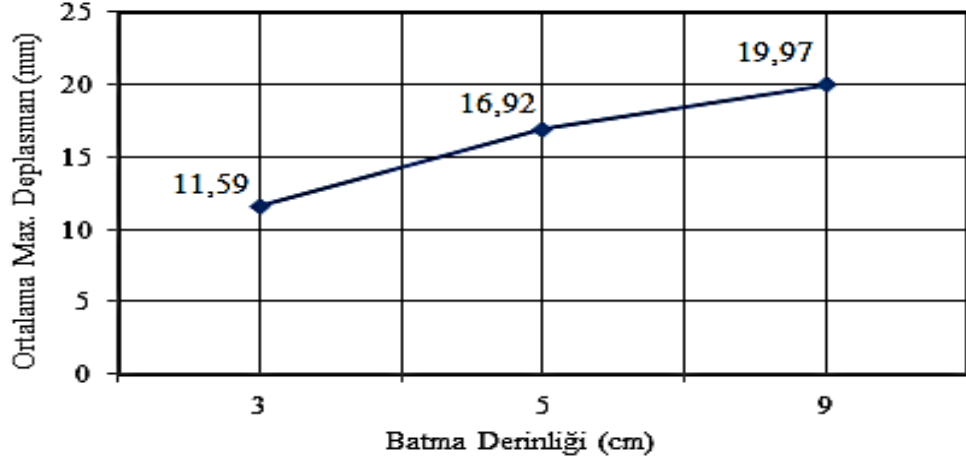
Kurşun numunelerinin, zıvana çapı ile ortalama maksimum deplasman miktarları arasındaki ilişki Şekil 6.12’de gösterilmiştir.



Şekil 6.12. Kurşun numunelerine ait ortalama maksimum deplasman - zıvana çapı grafiği.

Şekil 6.12’de farklı batma derinliğindeki kurşun numuneleriyle 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 kurşun numunelerine göre zıvana çapı arttıkça yaptıkları ortalama maksimum deplasman miktarı da artmıştır. Ayrıca numunelerin yaptıkları maksimum deplasman miktarı numunelerin sünekliğini de gösterdiğinden dolayı zıvana çapı arttıkça numunelerin sünekliği de artmıştır.

Kurşun numunelerinin, batma derinliği ile yaptıkları ortalama maksimum deplasman miktarları arasındaki ilişki Şekil 6.13’te gösterilmiştir.



Şekil 6.13. Kurşun numunelerine ait ortalama maksimum deplasman - batma derinliği grafiği.

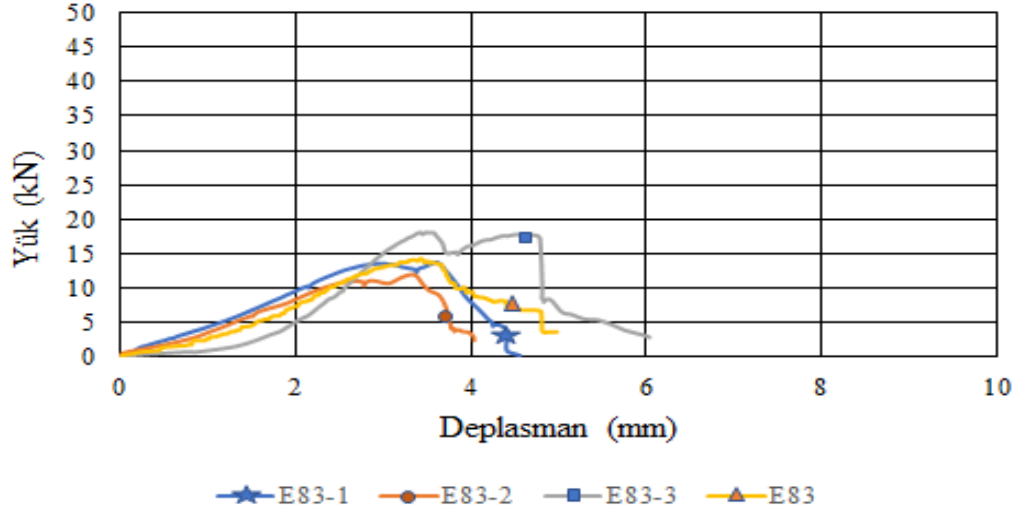
Şekil 6.13'te farklı zıvana çapındaki kurşun numuneleriyle hazırlanan 3, 5 ve 9 cm batma derinliğindeki zıvanaların yaptığı ortalama maksimum deplasman miktarları gösterilmiştir. Buna göre 3, 5, 9 cm batma derinliğindeki zıvanalar ortalama olarak sırasıyla 11,59 mm, 16,92 mm, 19,97 mm maksimum deplasman yapmışlardır. Çalışma kapsamında ankraj deneyleri gerçekleştirilen kurşun numunelerine göre batma derinliği arttıkça yaptıkları ortalama maksimum deplasman miktarı da artmıştır. Ayrıca numunelerin yaptıkları maksimum deplasman miktarı numunelerin sünekliğini de gösterdiğinden dolayı batma derinliği arttıkça numunelerin sünekliği de artmıştır.

6.2 Epoksi Numunelerine Ait Sonuçlar

Yük - deplasman grafiklerindeki X eksenini deplasmanı, Y eksenini yük değerlerini göstermektedir. Epoksi ile hazırlanmış bu numunelerin grafiklerinde, grafik eksenleri yükte 50 kN'da, deplasman miktarı ise 10 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 epoksi numunelerinin deney sonu grafikleri şekiller ile gösterilmiştir.

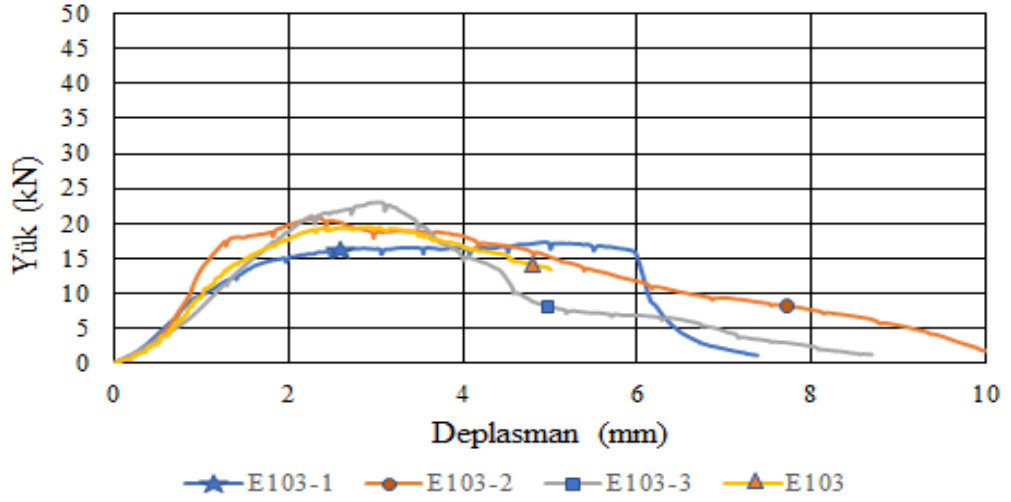
E83 numunelerine ait yük - deplasman grafikleri Şekil 6.14'te gösterilmiştir.



Şekil 6.14. E83 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.

Şekil 6.14'te 3 cm batma derinliğinde ve 8 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan epoksi numunelerinin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikte hazırlanan üç numunenin de davranışları benzerlik göstermiş, taşıdıkları maksimum yükler birbirine yakın çıkmıştır. E83-1, E83-2 ve E83-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla maksimum 13,74 kN, 11,88 kN ve 18,07 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında en düşük maksimum yük taşıyan epoksi numuneleri bu gruptaki numunelerdir. Epoksi numuneleri arasında en düşük maksimum yükü taşıyan E-83-2 numunesi bu gruba ait bir numunedir. Bu gruptaki numuneler epoksi numunelerinin en düşük maksimum yükünü taşıyan numuneler olmasına rağmen, sadece K89 numunelerinden değil bütün kurşun numune gruplarından daha fazla ortalama maksimum yük taşımışlardır. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 14,56 kN'dur.

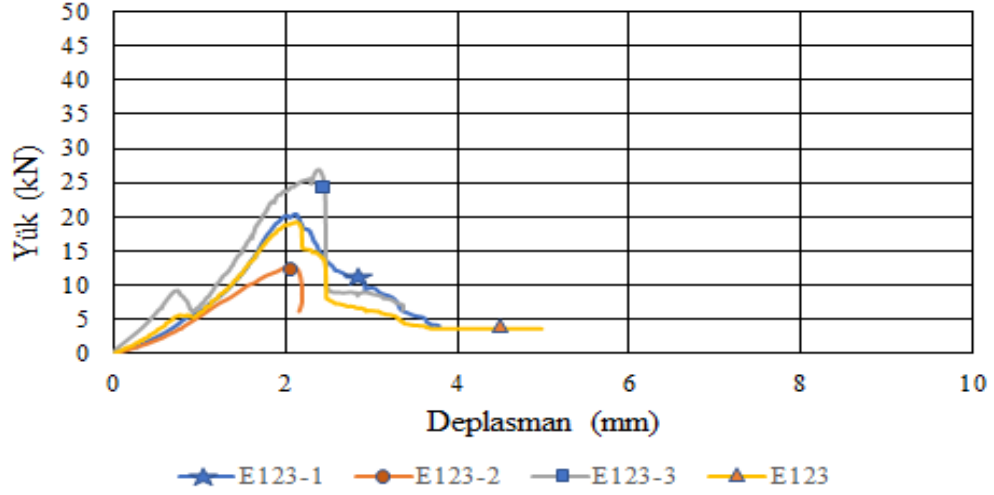
E103 numunelerine ait yük - deplasman grafikleri Şekil 6.15'te gösterilmiştir.



Şekil 6.15. E103 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.

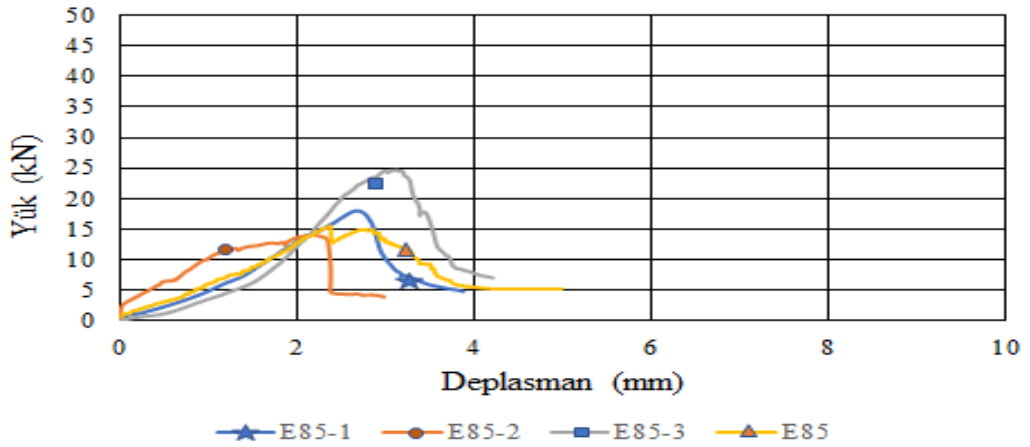
Şekil 6.15'te 3 cm batma derinliğinde ve 10 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan epoksi numunelerinin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin de davranışları kısmen benzerlik göstermiş, taşıdıkları maksimum yükler birbirlerine yakın çıkmıştır. E103-1, E103-2 ve E103-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla 17,31 kN, 20,72 kN ve 23,03 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında en düşük maksimum yük taşıyan epoksi numuneleri arasındalardır. Epoksi numuneleri kurşun numunelerinden çok daha az deplasman yapabilmesine rağmen yaptıkları deplasman bakımından en fazla deplasman yapabilen epoksi numuneleridir. En fazla deplasman yapabilen E103-2 numunesi bu gruba aittir. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 20,35 kN'dur.

E123 numunelerine ait yük - deplasman grafikleri Şekil 6.16'da gösterilmiştir.



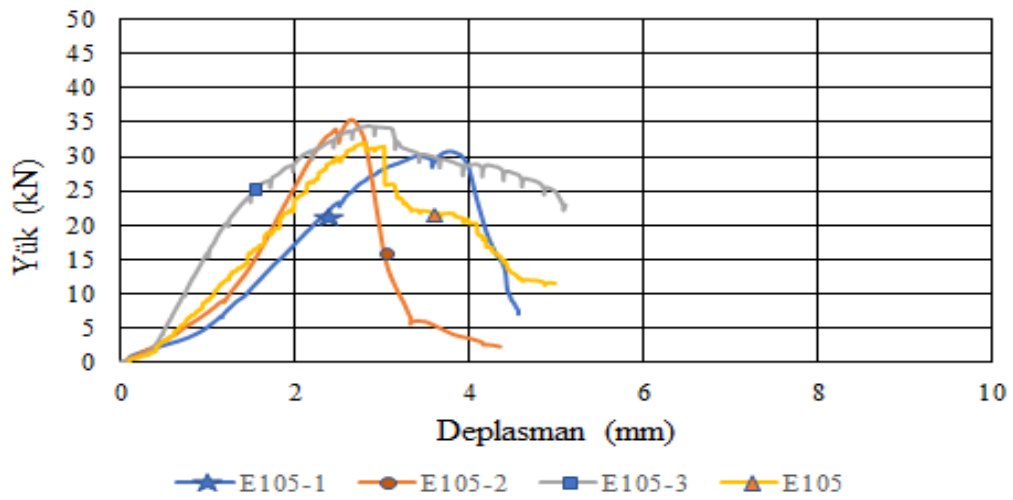
Şekil 6.16. E123 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.

Şekil 6.16'da 3 cm batma derinliğinde ve 12 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan epoksi numunelerinin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin de davranışları az da olsa benzerlik göstermiş, taşıdıkları maksimum yükler birbirlerine kısmen yakın çıkmıştır. E123-1, E123-2 ve E123-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla maksimum 20,38 kN, 12,71 kN ve 26,94 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında en düşük maksimum yük taşıyan epoksi numuneleri arasındalardır. Kurşun numuneleri de dahil olmak üzere en az deplasman yapabilen numuneler bu gruptaki numunelerdir. Bu gruptaki numuneler de diğer tüm epoksi numunelerindeki gibi sıyrılma olayı gözlenmemiştir. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 20,01 kN'dur. E85 numunelerine ait yük - deplasman grafikleri Şekil 6.17'de gösterilmiştir.



Şekil 6.17. E85 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.

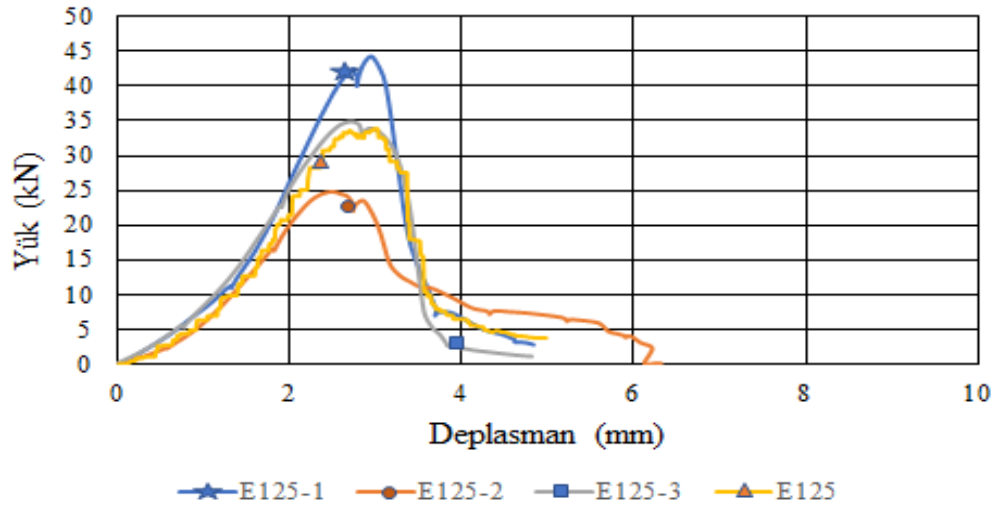
Şekil 6.17’de 5 cm batma derinliğinde ve 8 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan epoksi numunelerinin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin de davranışları benzerlik göstermiş, taşıdıkları maksimum yükler birbirlerine yakın çıkmıştır. E85-1, E85-2 ve E85-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla maksimum 18,01 kN, 14,00 kN ve 24,68 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında E83 numunelerinden daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Bu gruptaki numuneler en az deplasman yapabilen epoksi numunelerindedir. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 18,90 kN’dur. E105 numunelerine ait yük - deplasman grafikleri Şekil 6.18’de gösterilmiştir.



Şekil 6.18. E105 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.

Şekil 6.18’de 5 cm batma derinliğinde ve 10 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan epoksi numunelerin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin davranışları benzerlik göstermiş, taşıdıkları maksimum yükler oldukça yakın çıkmıştır. E105-1, E105-2 ve E105-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla 30,74 kN, 35,31 kN ve 34,51 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında E103 numunelerinden daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Genel olarak da 3 cm batma derinliğindeki epoksi numunelerinden de daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 33,52 kN’dur.

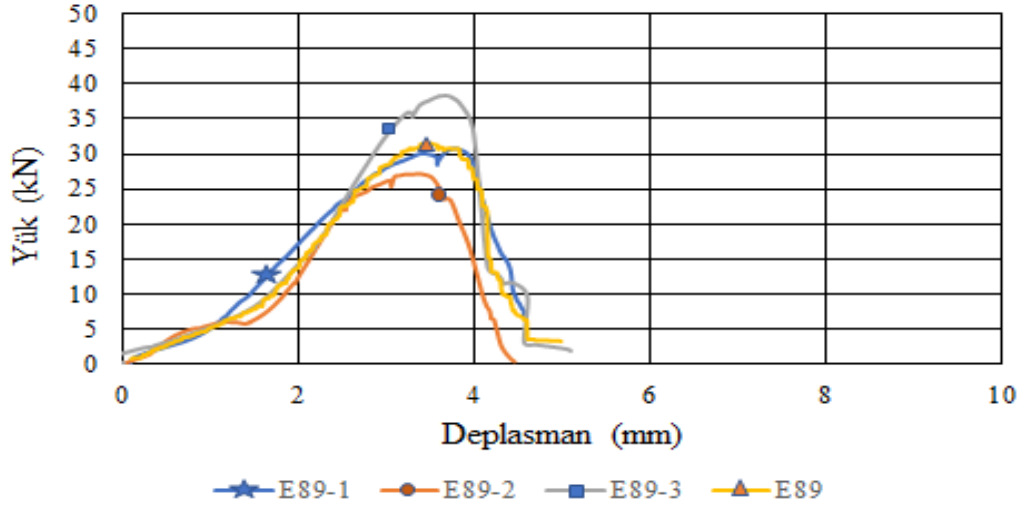
E125 numunelerine ait yük - deplasman grafikleri Şekil 6.19'da gösterilmiştir.



Şekil 6.19. E125 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.

Şekil 6.19'da 5 cm batma derinliğinde ve 12 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan epoksi numunelerin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin davranışları az da olsa benzerlik göstermiş, taşıdıkları maksimum yükler farklılık göstermiştir. E125-1, E125-2 ve E125-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla maksimum 44,13 kN, 24,83 kN ve 4 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında E123 numunelerinden daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Genel olarak da 3 cm batma derinliğindeki epoksi numunelerinden de daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 34,62 kN'dur.

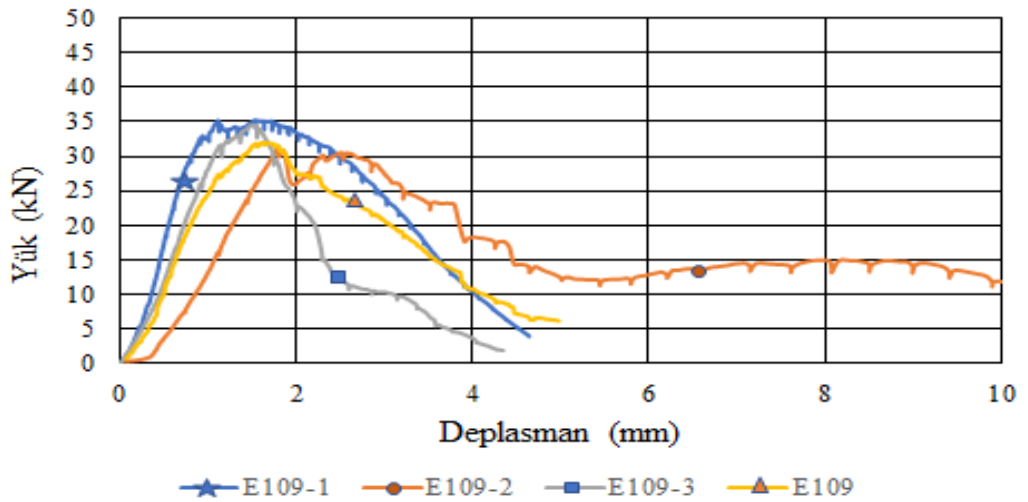
E89 numunelerine ait yük - deplasman grafikleri Şekil 6.20'de gösterilmiştir.



Şekil 6.20. E89 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.

Şekil 6.20’de 9 cm batma derinliğinde ve 8 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan epoksi numunelerinin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin davranışları benzerlik göstermiş, taşıdıkları maksimum yükler birbirlerine yakın çıkmıştır. E89-1, E89-2 ve E89-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla maksimum 30,74 kN, 27,17 kN ve 38,27 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında E83 numuneleri ve E85 numunelerinden daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 32,06 kN’dur.

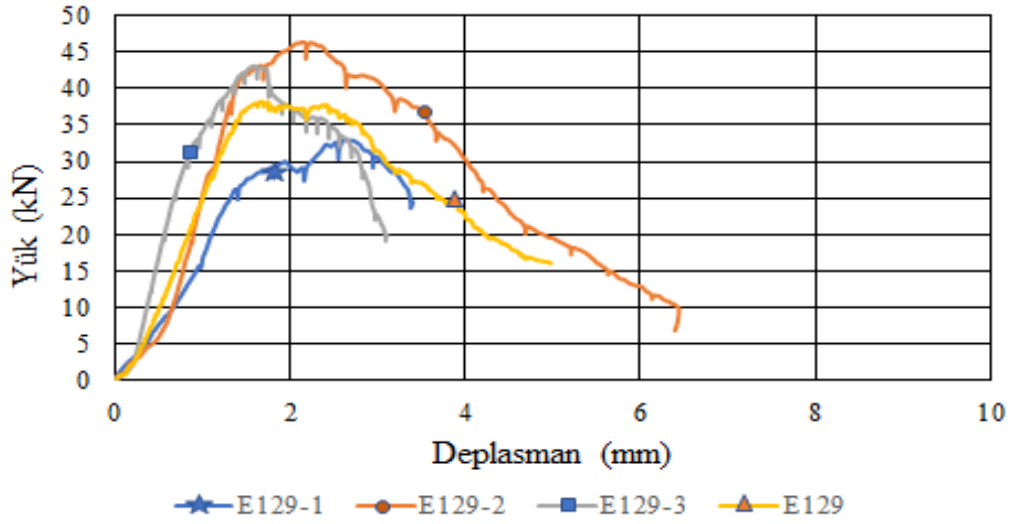
E109 numunelerine ait yük - deplasman grafikleri Şekil 6.21’de gösterilmiştir.



Şekil 6.21. E109 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.

Şekil 6.21’de 9 cm batma derinliğinde ve 10 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan epoksi numunelerinin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin taşıdıkları yükler farklılık gösterse de bu numuneler benzer olarak sünek davranış göstermişlerdir. E109-1, E109-2 ve E109-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla maksimum 35,30 kN, 31,11 kN ve 34,55 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında E103 numunelerinden daha fazla maksimum yük taşımışlardır. Bu gruptaki numuneler en sünek davranış gösteren epoksi numuneleri arasındadır. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 33,65 kN’dur.

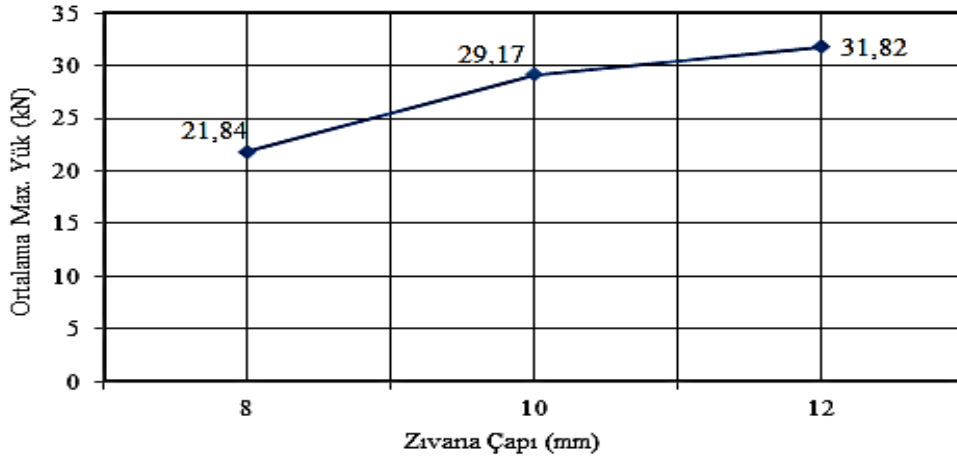
E129 numunelerine ait yük - deplasman grafikleri Şekil 6.22’de gösterilmiştir.



Şekil 6.22. E129 numunelerine ait yük - deplasman grafiği.

Şekil 6.22’de 9 cm batma derinliğinde ve 12 mm çapındaki zıvanalarla hazırlanan epoksi numunelerinin yük - deplasman grafiği gösterilmiştir. Aynı özellikteki üç numunenin davranışları ve taşıdıkları yükler benzerlik göstermiştir. E129-1, E129-2 ve E129-3 olarak isimlendirilen numuneler sırasıyla maksimum 32,93 kN, 46,41 kN ve 43,14 kN yük taşımışlardır. Taşıdıkları yük bakımından karşılaştırıldığında E123 numuneleri ve genel olarak da E125 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 E129-2 numunesi olmuştur. Bu numunelerin taşınan ortalama maksimum yükü 40,83 kN’dur.

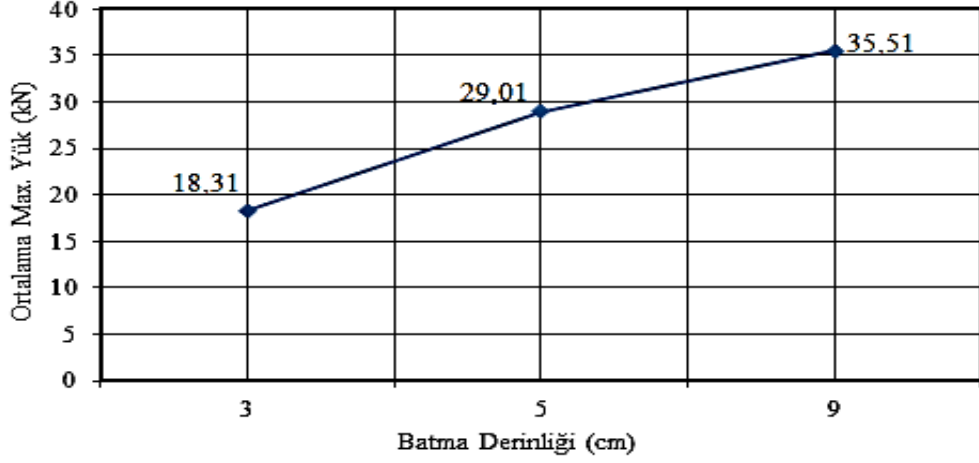
Epoksiyle hazırlanan deney numunelerinin, zıvana çapı ile ortalama maksimum yük değerleri arasındaki ilişki Şekil 6.23'te gösterilmiştir.



Şekil 6.23. Epoksi numunelerine ait ortalama maksimum yük - zıvana çapı grafiği.

Şekil 6.23'te farklı batma derinliğindeki epoksi numuneleriyle 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 21,84 kN, 29,17 kN, 31,82 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.

Epoksiyle hazırlanan deney numunelerinin, batma derinliği ile ortalama maksimum yük değerleri arasındaki ilişki Şekil 6.24'te gösterilmiştir.

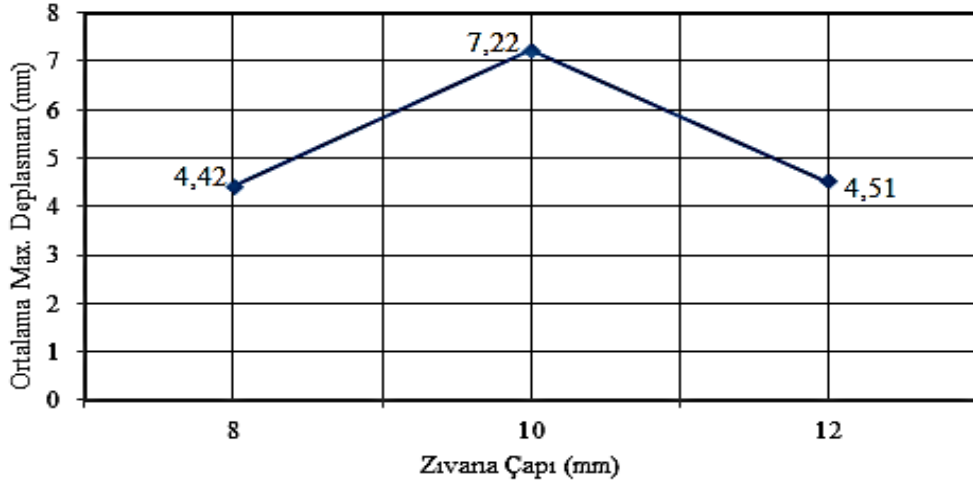


Şekil 6.24. Epoksi numunelerine ait ortalama maksimum yük - batma derinliği grafiği.

Şekil 6.24'te farklı zıvana çapındaki epoksi numuneleriyle 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 18,31 kN, 29,01 kN, 35,51 kN maksimum yük taşımışlardır.

Epoksi numunelerinde batma derinliği arttıkça taşınan ortalama maksimum yük değeri de artmıştır. Ancak bundan daha fazla batma derinliğindeki zıvanalarda bu doğrusallığın bozulacağı, taşınan maksimum yükün artmayacağı, artsa bile sınırlı düzeyde olacağı tahmin edilmektedir. Bunun nedeni ise daha fazla derinlikteki delik açma aşamasında taşı daha fazla hacim kaybına uğratıp, taşın dayanımının azaltılacağı düşünülmesidir.

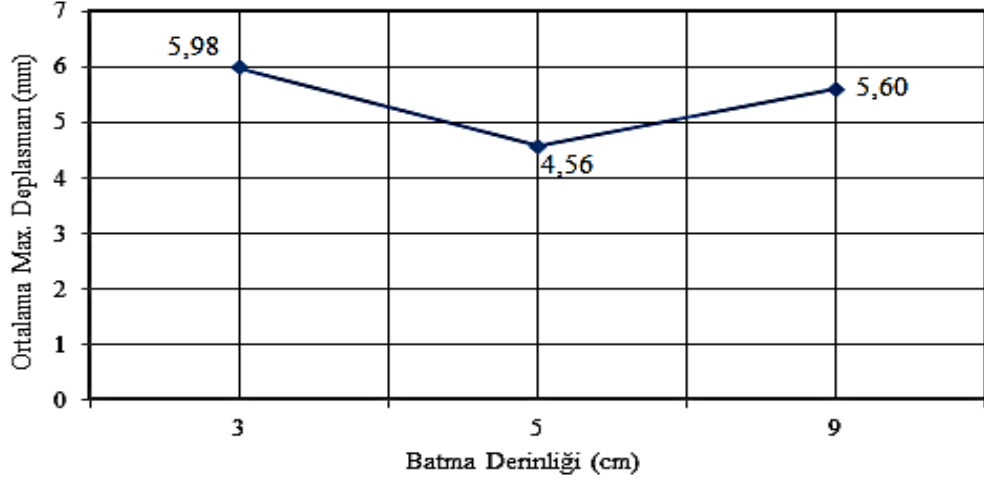
Epoksi numunelerinin, zıvana çapı ile ortalama maksimum deplasman miktarları arasındaki ilişki Şekil 6.25'te gösterilmiştir.



Şekil 6.25. Epoksi numunelerine ait ortalama maksimum deplasman - zıvana çapı grafiği.

Şekil 6.25'te farklı batma derinliğindeki epoksi numuneleriyle 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 4,42 mm, 7,22 mm, 4,51 mm maksimum deplasman yapmışlardır. Çalışma kapsamında ankraj deneyleri gerçekleştirilen epoksi numunelerine göre en fazla ortalama maksimum deplasmanı 10 mm çapındaki epoksi numuneleri yaparken en düşük ortalama maksimum deplasmanı 8 mm çapındaki epoksi numuneleri yapmıştır. Ayrıca numunelerin yaptıkları maksimum deplasman miktarı numunelerin sünekliğini de gösterdiğinden dolayı en sünek epoksi numuneleri 10 mm çapındaki epoksi numuneleri olmuştur.

Epoksi numunelerinin, batma derinliği ile yaptıkları ortalama maksimum deplasman miktarları arasındaki ilişki Şekil 6.26'da gösterilmiştir.



Şekil 6.26. Epoksi numunelerine ait ortalama maksimum deplasman - batma derinliği grafiği.

Şekil 6.26’da farklı zıvana çapındaki epoksi numuneleriyle 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 5,98 mm, 4,56 mm, 5,60 mm maksimum deplasman yapmışlardır. Çalışma kapsamında ankraj deneyleri gerçekleştirilen epoksi numunelerine göre en fazla deplasmanı 3 cm batma derinliğindeki epoksi numuneleri yaparken en az deplasmanı 5 cm batma derinliğindeki epoksi numuneleri yapmıştır. Ayrıca numunelerin yaptıkları maksimum deplasman miktarı numunelerin sünekliğini de gösterdiğinden dolayı en sünek epoksi numuneleri 3 cm batma derinliğindeki numuneler olmuştur.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesinde ve de düşey bağlantı elemanı olarak kullanılan zıvanaların yük taşıma kapasiteleri araştırılmıştır. Farklı çap ve farklı batma derinliğindeki zıvanaların taş bloklara eritilmiş kurşun ve epoksiyle sabitlenmesinden sonra ankraj testleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneysel çalışmadaki değişkenler zıvana çapı, zıvananın taşa batma derinliği ve dolgu malzemesi olup, zıvana çapı 8, 10, 12 mm, batma derinlikleri 3, 5, 9 cm ve dolgu malzemeleri kurşun ve epoksi olacak şekilde numuneler hazırlanmıştır. Her numunedeki delik çapı aynı olup 16 mm'dir. Her bir numuneden üçer adet olmak üzere kurşun numunelerinden toplam 27 adet, epoksi numunelerinden toplam 27 adet, toplamda 54 adet numune hazırlanıp ankraj testleri gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler maddeler hâlinde aşağıda sıralanmıştır.

- Yığma yapıların yapım aşamasında ve tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde zıvana kullanılmalıdır. Zıvana yapıya bütünlük, dayanım ve süneklik katmaktadır.
- Kurşunla hazırlanan numunelerin taşıdıkları ortalama maksimum yük 7,67 kN iken, epoksiyle hazırlanan numunelerin taşıdıkları ortalama maksimum yük 27,61 kN olmuştur.
- Kurşunla hazırlanan numunelerin yaptıkları ortalama maksimum deplasman miktarı 16,16 mm iken, epoksiyle hazırlanan numunelerin yaptıkları ortalama maksimum deplasman miktarı 5,38 mm olmuştur.
- Epoksi numuneleri genel olarak kurşun numunelerinden daha fazla yük taşımış fakat yükte ani düşmeler olmuş ve gevrek davranış göstermişlerdir. Deney sonunda epoksi numunelerindeki taşların, kurşun numunelerindeki taşlardan daha fazla hasar aldığı görülmüştür.
- Kurşun numuneleri genel olarak epoksi numunelerinden daha az yük taşımış ancak yükte ani düşmeler olmamış, numuneler sünek davranış sergilemişlerdir. Deney sonunda kurşun numunelerindeki taşların, epoksi numunelerindeki taşlardan çok daha az hasar aldığı gözlemlenmiştir.

- Yığma yapılarda kullanılan malzemeler genel olarak gevrek malzemeler olduğu için ve yığma yapıların sünek davranış gösterebilmesi için bu yapılarda sünek malzemelerin kullanılması gerekmektedir. Bundan dolayı zıvanaların etrafına dolgu malzemesi olarak eritilmiş kurşun kullanılmalıdır.
- Kurşun metali numunelere süneklik katmıştır. Yığma yapılarda kullanımında da yapıya süneklik katıp, enerji yutma kapasitesini arttırmaktadır. Böylece deprem gibi yatay kuvvetlerin sonucunda daha az can ve mal kaybına rastlanılmaktadır.
- Kurşun ve epoksi malzemeleri ortak olarak zıvanalar ile oldukça iyi aderans sağlamışlardır. Ayrıca deneylerde zıvanalar, akma noktasından daha düşük seviyelerde taşlardan ayrıldığı için deney sonunda zıvana yüzeylerinde büyük deformasyonlar gözlenmemiştir.
- Zıvana çapı arttıkça taşınan 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 kurşun numunelerin bazılarında sıyrılmalar olmuştur. En düşük taşınan 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.
- Kurşun numunelerinde batma derinliği arttıkça taşınan ortalama maksimum yük değeri belirli bir yere kadar artmakta, daha sonra ise azalmaktadır. Çünkü açılan deliğin büyüklüğüne göre taşa zarar verilmiş, hacim kaybına uğratılmış, dayanımı azaltılmış olmaktadır. 3 cm batma derinliğindeki kurşun numunelerinin birçoğunda sıyrılmalar gözlenmiştir. Bu batma derinliğindeki kurşun numunelerinden özellikle düşük çaptaki numuneler neredeyse hiç yük taşıyamamışlardır. Kurşun numunelerinde kullanılan batma derinlikleri arasında en fazla ortalama maksimum yük değerini 5 cm batma değerindeki kurşun numuneleri taşımışlardır.
- Epoksi numunelerinde batma derinliği arttıkça taşınan ortalama maksimum yük değeri de artmaktadır. Epoksi numunelerinde, kullanılan batma derinlikleri arasında en fazla ortalama maksimum yük değerini 9 cm batma değerindeki epoksi numuneleri taşıırken, en düşük ortalama maksimum yük değerini 3 cm batma derinliğindeki epoksi numuneleri taşımışlardır.

- Epoksi numunelerinin hiçbirinde sıyrıılma gözlenmemiştir. En düşük yük taşıyan epoksi numunesi birçok kurşun numunesinden daha fazla yük taşımıştır. Fakat gevrek davranış sergilemeleri bu alanda kullanımda tercih sebebi olmamalarına neden olmaktadır.
- Bu deneysel çalışmanın sonucunda da zıvanaların taşa sabitlenmesinde kurşun malzemesinin kullanılması tavsiye edilmiştir. Bu çalışma, geçmişten günümüze kadar zıvanaların dolgu malzemesinde eritilmiş kurşun kullanılmasının ne kadar doğru bir tercih olduğunu da göstermiştir.
- Bu deneysel çalışmanın daha da kapsamlı hâle getirilebilmesi mümkündür. Zıvana demirlerinin yığma birimler üzerindeki konumu ve adedi araştırılmalıdır. Ayrıca zıvananın taşıdığı maksimum yükü ve sünekliğini birlikte arttıracak dolgu malzemeleri üzerinde çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Alas, M.C., 2017. Normal ve hidrate olmuş uçucu kül atığından yığma yapı blokları üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Anonim, 2006. Türkiye Mermer Doğaltaş ve Makinaları Üreticileri Birliği (TÜMMER), Baskı Matbaacılık, s. 46, Ankara.
- Arpacı, E.Y., 2016. Tarihi yığma yapıların onarımında kullanılan enjeksiyon malzemesinin (grout) performans değerlendirmesi ve 19. yüzyıl tuğla yığma yapılarda örneklenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Başkan, C., 2015. Az katlı yığma yapıların deprem yükleri altında davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bingöl, O., 2008. Arkeolojik mimari'de taş, Homer Kitabevi, İstanbul.
- Birinci, F., Hacıfendioğlu, K., 2015. Nüfus-idari yapı-plan-kentleşme-yapılaşma perspektifinden Türkiye'nin deprem-afet riski analizi ve çözüm önerileri, 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 14-16 Ekim, 2015, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Böke, H., Akkurt, S., İpekoğlu, B. ve Uğurlu, E., 2007. Onarım amaçlı horasan harç ve sıvaların hazırlanması, Mimarlıkta Malzeme Dergisi, 3, 68-72.
- Çakıroğlu, M.G., 2014. Yığma yapıların güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Çelik, T., Tanrıverdi, Ş., Ural, A. ve Fırat, F.K., 2020. Kenet batma mesafesinin kayma dayanımına etkisinin sonlu elemanlar metoduyla modellenmesi, Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 12, 2, 63-68.
- Çöğürçü, M.T., 2007. Yığma yapıların yatay derz güçlendirme yöntemiyle güçlendirilmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- DBYBHY, 2007. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Demirtaş, M.B., 2006. Magnesia Artemis Tapınağı'nın teknik ve işçilik özellikleri, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Demirkan, D.S., 2014. Yığma yapılarda derz kalınlığı ve duvar örme tekniğinin yapıya etkisinin anizotrop bir model üzerinde incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- DİE, 2000. Bina Sayımı, Devlet İstatistik Enstitüsü, Ankara.
- Döndüren, M.S., 2008. Bağlayıcı özelliği artırılan duvar ve sıva harcının düzlem dışı yüklenen tuğla duvarların mekaniksel davranışına etkisi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

- Eriç, M., Ünver, A. ve Ersoy, Y.H., 1990. Horasan harcının günümüzde kullanımını sağlamak amacı ile yapılan bir araştırma, Yapı Dergisi 7.
- Erkul, B., 2018. Tarihi yığma yapıların performans analizi: Geleneksel Bayburt evi örneği, Yüksek Lisans Tezi, Bayburt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bayburt.
- Ertekin, B., 2020. Mevcut bir yığma yapının sismik performansının belirlenmesi ve güçlendirme yöntemi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Güner, Y., 2018. Mevcut tarihi yığma yapıların performans analizi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Güneş, E.R., 2020. Yığma yapıların güçlendirilmesinde plastik kompozit donatı kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- Güvenir, E., 2019. Yığma yapıların bölgesel risk dağılımının belirlenmesi için alternatif hızlı tarama yönteminin geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Işık, N., 2017. Geleneksel yığma yapılarda taşıyıcı sistem hasarları ve nedenlerinin tespiti ile güçlendirme ve tamamlayıcı müdahale önerileri; Diyarbakır Suriçi Örneği, Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- İlbasan, Ş., 2019. Güçlendirilmiş yığma yapının performansının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Jaihoon, E.H., 2019. TBDY 2018'e göre tarihi yığma yapıların analizi ve bir örnek Sille Ak Camii, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Karakuş, F., 2012. Geleneksel yığma yapılarda strüktürel sorunlar ve çözüm yolları, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kayırga, O.M., 2017. Yığma yapıların deprem davranışının analitik ve deneysel olarak belirlenmesi, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Kıpçak, F., 2018. Harman tuğlası ile inşa edilmiş yan duvarları boşluklu yığma yapıların düzlem dışı davranışlarının eğilme masası yardımı ile belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Kızılpınar, Ç., 2018. Tarihi yığma yapıların yakın fay etkisi altındaki davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü, İstanbul.
- Koç, D., 2015. Tarihi yapı taş kemerlerinin FRP ile güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.

- Koçak, Y., 2013. Yığma duvarlarda kayma dayanımının artırılması amacı ile farklı bağlantı elemanı uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Kourkoulis, S.K. ve 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 yıllığı, Vakıflar Genel Müdürlüğü, 1, 57-66.
- Küçükbaşak, Ö.C., 2019. 2007 yılı Deprem Yönetmeliğine göre yığma yapıların mühendislik özelliklerinin yaklaşık değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Orulkaya, H., 2019. Mevcut yığma yapıların deprem yüklerine karşı güçlendirilmesinde püskürtme beton kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Öztaş, V., 2009. Yığma yapıların güçlendirilmesi ve bir yığma yapı örneğinde güçlendirme analizi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- 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, New Delhi.
- Pusat, S.E., 2002. Tarihi yapıların onarımında kullanılacak harç üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sert, H., 2007. Geçmişten günümüze tarihi köprüler, Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu-1, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 321-339.
- Tanrıverdi, Ş., Çelik, T., Ural, A. ve Fırat, F.K., 2020. Batma derinliği farklı olan kenetlerin yığma duvarların davranışa etkisinin araştırılması, Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 12, 2, 56-62.
- TBDY, 2018. Türkiye bina deprem yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- Tomlinson, R.A., 2012. Yunan mimarlığı, Çeviren: Rıfat Akbulut, Homer Kitabevi, İstanbul.
- 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, New Delhi.
- 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.
- TS 2510, Nisan 1977. Kagir Duvarlar Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 27 s.
- Tuğrulelçi, Ş., 2014. Düşey yüklenen tuğla kemerlerdeki gergi çubukların davranışa etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Turan, E., 2020. Örnek bir yapı üzerinden 2018 Türk deprem yönetmeliği donatısız yığma yapı gerekliliklerinin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Türker, B., 2010. Tarihi yığma yapıların yapısal davranışının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ural, A., 2009. Yığma yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Ural, A., 2017. Zıvana demirlerinin yığma duvarların kayma davranışına etkisinin incelenmesi, Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu, Trabzon.
- Uslu, S., 2013. Tarihi yığma yapılarda kullanılan metal bağlantı elemanlarının deneysel metotlarla incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Uzdil, O., 2020. Mevcut tarihi yığma yapıların sismik performansının belirlenmesi ve güçlendirme yöntemi: İstanbul Üniversitesi Rektörlük Binası, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Yıldırım, H., 2007. Yığma yapı elemanları için izotropik hasar modeli geliştirilmesi ve sonlu eleman uygulamaları, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yıldızoğlu, H., 2019. Tarihi yığma yapıların performans analizi: Okul binası örneği, Yüksek Lisans Tezi, Bayburt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bayburt.
- Zıada, M., 2019. GFRP ile güçlendirilmiş yığma yapıların sonlu elemanlar metodu ile analizi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- URL-1 < <https://www.superhaber.tv/antalyada-hangi-magaralar-var-antalya-magaralarina-nasil-gidilir-haber-209041> >, Erişim tarihi: 26.01.2022.
- URL-2 < <https://www.ensonhaber.com/galeri/en-cok-gokdelen-bulunan-50-sehir#2> >, Erişim tarihi: 27.01.2022.

- URL-3 < <https://onedio.com/haber/yillara-meydan-okuyan-10-tarihi-yapi-413507> >, Erişim tarihi: 28.01.2022.
- URL-4 < <https://www.milliyet.com.tr/gundem/koy-goz-gore-gore-yikilmis-6132888> >, Erişim tarihi: 29.01.2022.
- URL-5 < <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi> >, Erişim tarihi: 29.01.2022.
- URL-6 < <https://images.app.goo.gl/DKzg7H3RXvcYiJr36> >, Erişim tarihi: 01.02.2022.
- URL-7 < <https://images.app.goo.gl/q3YWjV44eMdTU2HJA> >, Erişim tarihi: 02.02.2022.
- URL-8 < <https://images.app.goo.gl/PbmoGXaiXyXZugb19> >, Erişim tarihi: 03.02.2022.
- URL-9 < <https://images.app.goo.gl/KR8x1hruShBY4Rkd7> >, Erişim tarihi: 03.02.2022.
- URL-10 < <https://images.app.goo.gl/uQuHU5KaNcdUULG18> >, Erişim tarihi: 03.02.2022.
- URL-11 < <https://images.app.goo.gl/nUpcvqbEx17BVU149> >, Erişim tarihi: 04.02.2022.
- URL-12 < <https://images.app.goo.gl/igr9Ua6E1YfHm3rQ7> >, Erişim tarihi: 04.02.2022.
- URL-13 < <https://images.app.goo.gl/MdxtjGo33a83bjVcA> >, Erişim tarihi: 05.02.2022.
- URL-14 < <https://images.app.goo.gl/c6J5D6ejRhLWorS28> >, Erişim tarihi: 07.02.2022.
- URL-15 < <https://images.app.goo.gl/bHbza78jMF1aT7P18> >, Erişim tarihi: 07.02.2022.
- URL-16 < <https://images.app.goo.gl/1v51wgcd6CGLP9Cb9> >, Erişim tarihi: 07.02.2022.
- URL-17 < <https://images.app.goo.gl/tdAdG3XaghbDZTeN9> >, Erişim tarihi: 08.02.2022.
- URL-18 < <https://images.app.goo.gl/DpxvBSRYSmS3bu6Q9> >, Erişim tarihi: 08.02.2022.
- URL-19 < <https://images.app.goo.gl/pDjtj1yHE4GR1AP16> >, Erişim tarihi: 08.02.2022.

URL-20 < <https://images.app.goo.gl/Jxihde3Z3P2ox5GC9> >, Erişim tarihi:
08.02.2022.

URL-21 < <http://www.datcadetay.com.tr> >, Erişim tarihi: 08.02.2022.

URL-22 < <https://esenler.bel.tr/haberler/genel/tas-camii-acilis-icin-gun-sayiyor/> >,
Erişim tarihi: 08.02.2022.

URL-23 < <https://www.pinarmetal.com/pic/pdf/kursun.pdf> >, Erişim tarihi:
09.02.2022.

URL-24 < https://tur.sika.com/content/dam/dms/tr01/4/sikadur_-330.pdf >, Erişim
tarihi: 09.02.2022.



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Hayrullah Tosunbayraktar

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği - 2018

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği – 2022

MESLEKİ DENEYİM BİLGİLERİ

1) Bahçecioğlu Yapı Denetim – Melikgazi / KAYSERİ (2019 -...)

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayınlanan Makaleler

Tosunbayraktar, H. ve Ural, A., 2022. Batma derinliği ve çapları farklı olan zıvanaların deneysel olarak incelenmesi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 38, 65-75.