



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**YIĞMA DUVARLARDA KAYMA DAYANIMININ ARTIRILMASI
AMACI İLE FARKLI BAĞLANTI ELEMANI UYGULAMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yılmaz KOÇAK

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Turan KARABÖRK

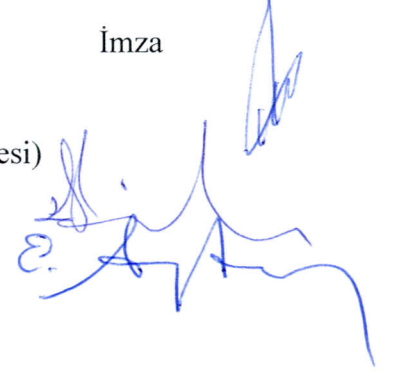
AKSARAY, 2013

T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ KABUL ve ONAY BELGESİ

102303410 numaralı Yılmaz KOÇAK'ın "YIĞMA DUVARLARDA KAYMA DAYANIMININ ARTIRILMASI AMACI İLE FARKLI BAĞLANTI ELEMANI UYGULAMALARI" başlıklı lisansüstü tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.


İmza

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Turan KARABÖRK (Aksaray Üniversitesi)
Üye : Doç. Dr. Mehmet Emin KARA (Aksaray Üniversitesi)
Üye : Yrd. Doç. Dr. Ersin AYDIN (Niğde Üniversitesi)



Tezin Savunulduğu Tarih : 27.05.2013

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun 31/5/2013 tarih ve 2013/20-01 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Doç. Dr. Selçuk REİS
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Tarihi yapılar gelecek kuşaklara aktarabileceğimiz en önemli kültür mirasımızdır. Bu tür yapıların çok büyük kısmı yığma yapıdır ve yığma yapılar dünyada yapı stokunun büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu tür yapılar kayma dayanımlarının düşük olması nedeni ile depremlerde çok fazla hasar görmekte ve yıkılmaktadır.

Günümüzde yapıların dayanımlarının hesap edilerek uygun yöntemler ile güçlendirilmesi yapılmaktadır. Yığma yapıların kayma dayanımlarını arttırmak amacıyla pek çok teknik geliştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada, metal bağlantı elemanları ile taş yığma duvarlar güçlendirilerek, hedeflenen kayma dayanımına ulaştıracak alternatif teknikler araştırılmıştır.

TEŞEKKÜR

Çalıőmamın hazırlanması sırasında yardımlarını ve yorumlarını esirgemeyen, her aşamada yapıcı eleőtirileri ile yüksek lisans tezimin genel çerçevesini belirleyen, bu dönem içerisinde kiőisel ve mesleki geliőimime büyük katkıda bulunan tez danıőmanım Yrd. Doç. Dr. Turan KARABÖRK'e, laboratuvar çalışmalarında bizlere destek olan hocalarım Yrd. Doç. Dr. Ali URAL ile Doç. Dr. Mehmet Emin KARA'ya ve laboratuvar teknik personeli uzman Yakup BÖLÜKBAŐ'a, Ankara Üniversitesi Başkent Meslek Yüksek Okulu Eser Koruma Programından Yrd. Doç. Dr. Ali Akın AKYOL hocama ve ekibine, çevirilerde yardımcı olan iő arkadaşlarıma, eğitim hayatım boyunca, maddi ve manevi açıdan her türlü desteği gösteren eőim Sevilay ZAMUR KOÇAK'a ve biricik kızım Duru KOÇAK'a, anne ve babama tüm kalbimle teşekkür ederim.

MAYIS 2013

Yılmaz KOÇAK
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Özeti.....	1
2. TARİHİ YAPILAR VE YIĞMA YAPI DAVRANIŞI.....	11
2.1. Tarihi Yapı Türleri.....	11
2.2. Yığma Yapı Davranışı.....	12
3. TARİHİ YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEMLER.....	15
3.1. Temeller.....	15
3.2. Taşıyıcı Duvarlar.....	15
3.2.1. Moloz taş duvarlar.....	16
3.2.2. Kaba yonu taş duvarlar.....	18
3.2.3. İnce yonu taş duvarlar.....	19
3.2.4. Kesme taş duvarlar.....	19
3.3. Kolonlar.....	20
3.4. Kemerler.....	20
3.5. Tonozlar.....	21
3.6. Kubbeler.....	22
3.7. Döşemeler.....	23
4.TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN MALZEMELER.....	24
4.1. Doğal Taşlar.....	24
4.2. Kum.....	25
4.3. Kireç.....	26
4.4. Harç.....	26
4.4.1. Horasan harcı.....	26
4.5. Puzolanlar.....	29
4.6. Kerpiç.....	30
4.7. Kâgir Malzeme.....	30

4.8. Harman Tuğlası.....	30
4.9. Ahşap.....	31
5. METAL BAğLANTI ELEMANLARI (KENET ve ZIVANA).....	32
5.1. Kenet.....	32
5.1.1. Şekillerine göre kenetler.....	35
5.1.1.1. Kırlangıç kuyruğu kenetler.....	35
5.1.1.2. U tipi kenetler.....	38
5.1.1.3. Diğer kenet çeşitleri.....	39
5.2. Zıvana.....	41
5.2.1. Düşey bağlantı elemanı olarak kullanılan zıvanalar.....	43
5.2.1.1. Prizmatik şekilli zıvanalar ve yuvaları.....	43
5.2.1.2. Prizmatik şekilli gömleklili zıvanalar veyuvaları	44
5.2.1.3. Silindir şekilli zıvanalar ve yuvaları.....	45
5.2.2. Düşey ve yatay bağlantı elemanı olarak kullanılan zıvanalar ve yuvaları.....	46
5.2.2.1. Birleşen yanları açık zıvanalar ve yuvaları.....	46
5.2.2.2. Bir yanı açık zıvanalar ve yuvaları.....	49
5.3. Arası Dolgulu Duvar Tipinde Kullanılan Kenet ve Zıvana Sistemleri.....	50
5.4. Kurşun Akıtma Kanalları.....	51
5.4.1. Dikey akıtma kanalları.....	51
5.4.2. Yatay akıtma kanalları.....	52
6. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	53
6.1. Deney Elemanlarının Üretilmesi.....	53
6.2. Deney Elemanlarında Kullanılan Malzemenin Özellikleri.....	54
6.2.1. Taş, taş kırığı ve taş tozu.....	54
6.2.2. Kum.....	59
6.2.3. Kireç.....	59
6.2.4. Albaria İntonaco.....	59
6.2.5. Kenet.....	60
6.2.6. Zıvana.....	61
6.2.7. Somun.....	62
6.2.8. Döbel.....	62
6.2.9. Harç.....	62
6.3. Deney Elemanlarında Kullanılan Kenet Tipleri.....	64

6.3.1. Tip I Kenet.....	64
6.3.2. Tip II Kenet.....	65
6.3.3. Tip III Kenet.....	66
6.4. Deney Düzenegi.....	66
6.5. Deneyler.....	68
6.5.1. Model D00.....	70
6.5.2. Model D01.....	73
6.5.3. Model D02.....	74
6.5.4. Model D11.....	76
6.5.5. Model D12.....	77
6.5.6. Model D21.....	77
6.5.7. Model D22.....	79
6.5.8. Model D31.....	80
6.5.9. Model D32.....	82
6.5.10. Model D41.....	83
6.6. Deney Sonuclari.....	84
6.7. Elde Edilen Deney Sonuclarinin Ampirik Denklemlerle Karşılaştırılması.....	93
7. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	95
KAYNAKLAR.....	97
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YIĞMA DUVARLARDA KAYMA DAYANIMININ ARTIRILMASI AMACI İLE FARKLI BAĞLANTI ELEMANI UYGULAMALARI

Yılmaz KOÇAK

T.C.

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Turan KARABÖRK

Dünyada yaygın olarak kullanılan taş yığma yapılar, kayma dayanımlarının düşük olması sebebiyle kolayca yıkılmaktadır. Taş yığma yapıların kayma dayanımlarını arttırmak amacıyla pek çok teknik geliştirilmiştir. Yapılan deney çalışmasının konusu, kayma dayanımlarını arttıracak metal bağlantı elemanları ile taş yığma duvarları güçlendirmektir. Bu amaçla yeni 3 farklı metal bağlantı elemanı (kenet) geliştirilmiştir. Bu metal bağlantı elemanları, yığma taş duvarlara uygulanarak duvarların kayma dayanımı artırılmıştır. 150x630x750 mm boyutlarında 10 farklı deney numunesi üretilerek kayma dayanımları araştırılmıştır. Deneysel olarak elde edilen kayma dayanımları ampirik denklemlerle desteklenmiştir. Çalışmanın sonunda, geliştirilen yeni metal bağlantı elemanlarının yığma yapıların kayma dayanımlarını ve sünekliğini etkili bir şekilde arttırdığı ortaya konmuştur.

2013, 119 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Yığma Taş Yapılar, Kenet, Zıvana, Güçlendirme, Kayma Dayanımı.

ABSTRACT

Master of Science Thesis

AN APPLICATION OF DIFFERENT METAL CONNECTORS DEVELOPED TO IMPROVE THE SHEAR STRENGTH OF STONE MASONRY WALLS

YILMAZ KOÇAK

T.R.

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

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Turan KARABÖRK

The stone masonry structures used widely in the world are easily broken down because of low shear strength capacity. Plenty of techniques have been developed to increase the shear strength of stone masonry constructions. The present experimental study, performed on stone masonry walls strengthened by metal connectors was aimed to investigate the efficiency of an alternative shear reinforcement technique. For this purpose three new metal connector (clamp) types were developed. The shear strength of walls was improved by applying these clamps on stone masonry wall. A total of ten stone masonry walls, each being 650 x 730 x 150 mm in size were structurally tested in induced diagonal compression. Experimentally obtained shear strengths were confirmed by empirical equations. It was suggested that new clamps developed at the end of study increased effectively the shear strengths and ductility of masonry constructions.

2013, 119 Pages

Keywords : Masonry Wall, Clamp, Diagonal Testing, Strengthening, Shear Strength.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. Basınç yükleri altında kırılma mekanizması.....	13
Şekil 2.2. Kayma kırılmasının mekanizması.....	13
Şekil 2.3. Basamak şeklinde diyagonal kırılmanın oluşumu.....	14
Şekil 2.4. Serbest yapısal bir duvarın çökme mekanizması.....	14
Şekil 3.1. Simitli mesnetlenme.....	15
Şekil 3.2. Açık kılıçlı mesnetlenme.....	16
Şekil 3.3. Simitli mesnete kılıçlı bağlantı.....	16
Şekil 3.4. Duvar kuşaklaması.....	16
Şekil 3.5. Yatay derzli moloz taş duvar.....	17
Şekil 3.6. Karışık derzli moloz taş duvar.....	17
Şekil 3.7. Mozaik görünümlü moloz taş duvar.....	17
Şekil 3.8. Yatay derzli kaba yonu taş duvar.....	18
Şekil 3.9. Karışık derzli kaba yonu taş duvar.....	18
Şekil 3.10. Siklop duvar.....	19
Şekil 3.11. İnce yonu taş duvar örgüsü.....	19
Şekil 3.12. Kesme taş duvar.....	19
Şekil 3.13. Kemerin muhtelif kısımlarının isimleri.....	20
Şekil 3.14 Tonoz türleri.....	21
Şekil 3.15 Tonoz türleri (paralel enine, haçvari, çoklu haçvari).....	21
Şekil 4.1. Küfeki taşı kullanılan Topkapı surlarından görünüş.....	25
Şekil 4.2. Tipik kerpiç ebatları.....	30
Şekil 4.3. Harman tuğlası.....	31
Şekil 5.1. Kenet ve zıvanalar.....	32
Şekil 5.2. Taşköprü temelinde kullanılan demir kenetler.....	33
Şekil 5.3. Aspendos Köprüsünde kullanılan demir kenetler.....	34
Şekil 5.4. Kırlangıç Kuyruğu Kenet.....	35
Şekil 5.5. Knidos Yuvarlak Tapınak, kırlangıç kuyruğu kenet.....	35
Şekil 5.6. Kırlangıç kuyruğu yuvada U tipi kenet uygulaması.....	36
Şekil 5.7. Kırlangıç kuyruğu yuvası tip I örneği.....	36
Şekil 5.8. Kırlangıç kuyruğu yuvası tip II örneği.....	37
Şekil 5.9. Kırlangıç kuyruğu yuvası tip III örneği.....	37

Şekil 5.10. Kırılma kuyruğu yuvası tip IV örneği.....	38
Şekil 5.11. U Tipi kenet.....	38
Şekil 5.12. Magnesia Artemis Tapınağı U tipi kenet örneği.....	38
Şekil 5.13. Balık şekilli kenet.....	39
Şekil 5.14. Z Tipi kenet.....	39
Şekil 5.15. I Tipi kenet.....	39
Şekil 5.16. T Tipi kenet.....	40
Şekil 5.17. Venedikte bir köprüde kenet uygulaması.....	40
Şekil 5.18. Kenet Çeşitleri.....	41
Şekil 5.19. Parthenon Tapınağında kullanılan ahşap zıvana.....	42
Şekil 5.20. Zarflı sistem uygulaması.....	42
Şekil 5.21. Dişi ve erkek zıvana sistemi örneği, Bodrum antik tiyatrosu.....	43
Şekil 5.22. Prizmatik zıvana ve yuvasına uygulanması.....	43
Şekil 5.23. Magnesia Artemis tapınağı, prizmatik zıvana yuvası.....	44
Şekil 5.24. (a) Prizmatik gömleklili zıvana, (b) Zıvana Yuvası.....	44
Şekil 5.25. Prizmatik gömleklili zıvana yuvası.....	45
Şekil 5.26. Silindir şekilli zıvana ve zıvana yuvası.....	45
Şekil 5.27. Sütun başlığında silindir şekilli zıvana örneği.....	46
Şekil 5.28. İki, bir yanı açık zıvanalama sistemi.....	46
Şekil 5.29. Alt taşın üzerine açılan kapalı zıvana yuvası örneği.....	47
Şekil 5.30. Üst taşların altına açılan kapalı zıvana yuvası örneği.....	47
Şekil 5.31. İki, bir yanı açık zıvana örneği.....	48
Şekil 5.32. İki, bir yanı açık zıvana yuvası.....	48
Şekil 5.33. Bir yanı açık zıvana yuvası ve içinde zıvanası (kesit ve plan).....	49
Şekil 5.34. Tek taraflı, bir yanı açık zıvana yuvasına kurşun akıtılması.....	49
Şekil 5.35. Magnesia Artemis sunağında perçinlenmiş U tipi kenet..	50
Şekil 5.36. Arası taş dolgulu duvar tipinde kullanılan kenet ve zıvana örneği.....	50
Şekil 5.37. Dikey akıtma kanalı.....	51
Şekil 5.38. Magnesia Artemis tapınağında dikey akıtma kanalı örneği.....	52
Şekil 5.39. Magnesia Artemis tapınağında yatay akıtma kanalı örneği.....	52
Şekil 6.1. Örne işleme tamamlanmış duvar numunesi.....	53
Şekil 6.2. Aksaray ili Sevinçli Kasabasından alınan doğal taş numunesi.....	54

Şekil 6.3. Taş kırığı.....	58
Şekil 6.4. Taş tozu.....	58
Şekil 6.5. Taşlara zıvana yuvası açılması işlemi.....	59
Şekil 6.6. Uygun ebatta kestirilen sac örneği.....	61
Şekil 6.7. 6 mm çapında tij.....	61
Şekil 6.8. Altıköşe somun teknik resmi.....	62
Şekil 6.9. Harç malzemesinin karılması.....	63
Şekil 6.10. Tip I kenet.....	64
Şekil 6.11. Tip I kenet.....	64
Şekil 6.12. Tip II kenet.....	65
Şekil 6.13. Tip II kenet.....	65
Şekil 6.14. Tip III kenet.....	66
Şekil 6.15. Tip III kenet.....	66
Şekil 6.16. Şematik deney düzeneği.....	67
Şekil 6.17. Deney düzeneğine ait resim.....	68
Şekil 6.18. Duvar altına hazırlanan platform.....	70
Şekil 6.19. Doğal taşların suya doygun hale getirilmesi.....	71
Şekil 6.20. Harç yüksekliğinin ayarlanması işlemi.....	71
Şekil 6.21. Duvarın örülmesi işlemi ait resim.....	72
Şekil 6.22. Bitmiş duvar numunesine ait resim.....	72
Şekil 6.23. Model D00'a ait teknik resim.....	72
Şekil 6.24. Model D01'e ait teknik resim.....	73
Şekil 6.25. Doğal taşın zıvanalara yerleştirilmesi işlemine ait resim.....	74
Şekil 6.26. Model D01'e ait teknik resim.....	74
Şekil 6.27. Model D02'ye ait teknik resim.....	75
Şekil 6.28. Zıvana yuvalarının açılması işlemi.....	75
Şekil 6.29. Model D02'ye ait teknik resim.....	75
Şekil 6.30. Model D11'e ait teknik resim.....	76
Şekil 6.31. Model D11'de kullanılan tip I kenet resmi.....	76
Şekil 6.32. Model D12'ye ait teknik resim.....	77
Şekil 6.33. Model D21'de kullanılan tip II kenet resmi.....	78
Şekil 6.34. Model D21'e ait teknik resim.....	78
Şekil 6.35. Model D22'ye ait teknik resim.....	79
Şekil 6.36. Model D22'nin örülmesine ait resim.....	80

Şekil 6.37. Model D31’de kullanılan tip III kenet resmi.....	80
Şekil 6.38. Model D31’e ait teknik resim.....	81
Şekil 6.39. Model D31 yapımına ait resim.....	81
Şekil 6.40. Model D31 yapımına ait resim.....	82
Şekil 6.41. Model D32’ye ait teknik resim.....	82
Şekil 6.42. Model D32 yapımına ait resim.....	83
Şekil 6.43. Model D32 yapımına ait resim.....	83
Şekil 6.44. Model D41’e ait teknik resim.....	84
Şekil 6.45. Diyagonal basınç kuvveti etkisindeki modellerin göçme şekilleri (a) Model D00 (b) Model D01 (c) Model D02 (d) Model D11 (e) Model D12 (f) Model D21 (g) Model D22 (h) Model D31 (ı) Model D32 (j) Model D41.....	84
Şekil 6.46. Duvar modeli.....	88
Şekil 6.47. D11 modelinin kayma gerilmesi - kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.....	89
Şekil 6.48. D21 modelinin kayma gerilmesi – kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.....	90
Şekil 6.49. D31 modelinin kayma gerilmesi - kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.....	90
Şekil 6.50. D41 ve D11 modelinin kayma gerilmesi – kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.....	91
Şekil 6.51. D12 modelinin kayma gerilmesi - kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.....	91
Şekil 6.52. D22 modelinin kayma gerilmesi - kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.....	92
Şekil 6.53. D32 modelinin kayma gerilmesi - kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.....	92
Şekil 6.54. Tüm modeller için analitik ve deneysel olarak elde edilen kayma dayanımlarının karşılaştırılması.....	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 4.1. Doğal yapı taşlarının ortalama fiziksel özellikleri.....	24
Çizelge 4.2. Horasan harçlarında kullanılan malzemeler ve oranları	27
Çizelge 4.3. Harç numunelerinin karışım oranları.....	28
Çizelge 4.4. Bizans yapılarında kullanılan harç özellikleri.....	29
Çizelge 4.5. Çok rastlanan tuğlaların ortalama fiziksel özellikleri...	31
Çizelge 6.1. Doğal taşın fiziksel test sonuçları.....	55
Çizelge 6.2. Taşın jeokimyasal analiz sonuçları – temel elementler.	56
Çizelge 6.3. Taşın jeokimyasal analiz sonuçları – eser elementler...	56
Çizelge 6.3. Taşın jeokimyasal analiz sonuçları – eser elementler (devam).....	57
Çizelge 6.4. Albaria İntonaco sıvasının teknik özellikleri.....	60
Çizelge 6.5. Deneyde kullanılan M6 somun özellikleri.....	62
Çizelge 6.6. Harç içindeki malzeme oranları.....	63
Çizelge 6.7. Oluşturan Horasan harcının mekanik özellikleri.....	63
Çizelge 6.8. Test numunelerinin detayları.....	69
Çizelge 6.9. Test numunelerinin sonuçlarını içeren çizelge.....	87

SİMGELER DİZİNİ

Al₂O₃	Alüminyum oksit
A_r	Metal bağlantı alanı
As	Arsenik
B	Duvarın genişliği
Ba	Baryum
Bi	Bizmut
Br	Brom
CaO	Kalsiyum oksit (Sönmemiş kireç)
Ca(OH)₂	Kalsiyum hidroksit (Sönmüş kireç)
CaCO₃	Kalsiyum karbonat (Kireç taşı)
Cd	Kadmiyum
Ce	Seryum
Cl	Klorür
Co	Kobalt
Cr₂O₃	Krom III oksit
Cs	Seryum
Cu	Bakır
d	Duvarın etkili boyu
f_{tk}	Metal bağlantıların karakteristik çekme dayanımı
f_{vko}	Kayma gerilmesi
f'_{vko}	Diagonal basınç testinden elde edilen kayma dayanımı
F	Kayma kuvveti
F_{max}	Maksimum yatay kayma kuvveti
Fe₂O₃	Demir III oksit
g	Yer değiştirme ölçerin başlangıç ölçüm boyuna oranı
G	Kayma modülü
Ga	Galyum
Ge	Germanyum
H	Duvarın yüksekliği
Hf	Hafniyum
Hg	Civa
I	İyot

In	İndiyum
K₂O	Potasyum oksit
l	Duvarın genişliği
La	Lantan
MgO	Magnezyum oksit
MnO	Mangan oksit
Mo	Molibden
Na₂O	Sodyum oksit
Nb	Niyobyum
Ni	Nikel
P	Diyagonal kuvvet
P_{max}	Maksimum diyagonal kuvvet
P₂O₅	Fosfor pentaoksit
Pb	Kurşun
Rb	Rubidyum
Sb	Antimon
Se	Selenyum
SiO₂	Silisyum dioksit
Sn	Kalay
SO₃	Kükürt trioksit
Sr	Stronsiyum
t	Duvarın kalınlığı
Ta	Tantal
Te	Tellür
Th	Toryum
TiO₂	Titanyum dioksit
Tl	Talyum
U	Uranyum
u_x	τ_{max} 'a karşılık gelen yatay deplasmanlar
u_y	τ_{max} 'a karşılık gelen düşey deplasmanlar
V	Kesme kuvveti
V_{Rd}	Yığma duvarın kesme kapasitesi
V₂O₅	Vanadyum pentoksit
W	Tungsten

Y	İtriyum
Zn	Çinko
Zr	Zirkonyum
σ	Basınç gerilmesi
σ_{em}	Basınç emniyet gerilmesi
τ	Kayma gerilmesi
τ_{em}	Kayma emniyet gerilmesi
τ_{max}	Maksimum kayma gerilmesi
δ	Kayma şekil değiştirmesi
δ_u	Kayma şekil değiştirmesi-kayma gerilmesi grafiğinde maksimum kayma şekil değiştirmeden sonraki bölümde $0,85 * \tau_{max}$ 'a karşılık gelen kayma şekil değiştirmeleri
δ_y	τ_{max} 'a karşılık gelen kayma şekil değiştirmeleri
μ	δ_u 'nun δ_y 'ye oranı
α	Duvarın yatay ve düşey eksenleri arasındaki açı
Δv	Deney sonunda düşey ölçüm boyunda meydana gelen değişim
Δh	Deney sonunda yatay ölçüm boyunda meydana gelen değişim
ρ_t	Güçlendirilmiş duvarlarda duvar içindeki donatı (kenet ve zıvana) oranı
μ	Sürtünme katsayısı

KISALTMALAR DİZİNİ

ANSYS	Genel amaçlı bir sonlu elemanlar yazılımıdır
ASTM	American society for testing and materials
AST-T1	Aksaray ili Sevinçli Kasabası 1 numaralı taş numunesi
CFRP	Karbon lifli polimer
DBYBHY	Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
EUROCODE 6	Yığma yapıların tasarımına ait avrupa standardı.
LOI	Loss on ignition (Fırında 950 derecedeki kızdırma kaybı)
LVDT	Linear variation displacement transducer (elektronik yer değiştirme ölçüm aleti)
SEM-EDS	Taramalı elektron mikroskopu
SPSS	Statistical package for the social sciences (istatistiksel analize yönelik bir bilgisayar programı)
TGA	Nem - kül - uçucu madde - sabit karbon analiz cihazı
URM	Donatısız yığma paneller
XRD	X Ray Diffraction (X ışınlarını difraksiyonu ile faz analizi yapan bir cihazı)

1. GİRİŞ

Tarihi eserler en önemli kültür miraslarımızdandır ve geleceğe güvenle devredilmesi için olası depremlere karşı güçlendirilmeleri önemlidir. Tarihi yapılar, zaman içerisinde doğal ve yapay etkenlere maruz kalmış ancak yapımcı ustalığı sayesinde günümüze kadar ayakta kalmayı başarmıştır.

Günümüzde yapıların dayanımlarının hesap edilerek uygun yöntemler ile güçlendirilmesi yapılmakta ve yeni teknikler araştırılmaktadır.

Bu çalışma aşağıda verilen ana başlıkları içermektedir;

- Tarihi yapılar ve yığma yapı davranışı,
- Tarihi yapılarda taşıyıcı sistemleri,
- Tarihi yapılarda kullanılan malzemeler,
- Metal bağlantı elemanları,
- Deneysel çalışma,

1.1. Literatür Özeti

İlki vd. (2000), CFRP (karbon lifli polimer) malzemelerin yapı elemanlarının onarım ve güçlendirilmesi hakkındaki araştırma sonuçlarına göre, uygulanan güçlendirme yöntemi numunelerin yanal yük taşıma kapasitelerini %28 ile %77 arasında değişen değerlerle artırdığını tespit etmişlerdir. Bu artış ilerleyen yükleme adımlarında azalmakla beraber orijinal numunelerin kapasitelerinin üstünde kalmıştır. Bu güçlendirme yöntemi ile basınca maruz beton kesitin dayanım kaybına uğramadan ulaşabileceği şekil değiştirme düzeyi artırılmış, bu ise elemanların sünekliğini artırmıştır. Özellikle yüksek aksenal basınca maruz elemanlarda görülen dayanım kaybı azalmıştır.

Hendry (2001), çağdaş yığma duvarların imalatının incelenmesi, uygulamaların özetle anlatılması ve bu imalatın oluşturulmasının avantajlarını sunmuştur. Kil, beton ve kalsiyum silikat içeren yığma materyaller birim boyutları, biçimleri ve renklerine göre değişik modeller olarak üretilmiştir. Harçlara genellikle çimento, kum ile diğer kireç veya plastikleştirici ilave edilerek işlenebilirliği artırmıştır. Son zamanlarda, boyutlandırma birimlerini doğru olarak kullanmak, ince sıva harçları ve ısısal

özelliklerin geliştiği harçları içeren harçların yeni türleri geliştirilmiştir. Yük taşıyan ve yük taşımayan duvarlar için dizaynın önemi özetlenerek, ekonomikliği ve verimliliği artıracak tanımlamalar yapılmıştır.

Hamilton vd. (2001), tarafından yapılan çalışmada briket yığma duvar düzlem dışı eğilme içinde test edilmiştir. Duvarlar CFRP (karbon lifli polimer) kullanılarak güçlendirilmiş, CFRP derzlere dik yönde düşey olarak uygulanmıştır. Sonuç, eğilme dayanım denklemi sunulmuş ve test sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Denklemlerle test numunelerinin gerçek kapasitesi arasında %20 fark bulunmuştur.

Hamoush vd. (2001), çalışmalarında düzlem dışı statik yüklere maruz güçlendirilmemiş yığma duvarların CFRP (karbon lifli polimer) malzemesi kullanılarak güçlendirilmesini incelemişler. Toplam 15 adet duvar numunesi test edilmiştir. Numune boyutları 1200x1800x200 mm'dir. 12 numune CFRP kullanılarak gerilme yönünde eklenerek montaj yapılmıştır. Diğer 3 adet numune güçlendirme olmaksızın denenmiştir. Dıştan yapılan bu güçlendirme 2 şekilde oluşturulmuştur: 1. şekilde fiber takviye iki katmandan oluşturulmuştur. 2. şekilde ise dikey ve yatay fiber takviye kompoziti şeritler halinde uygulanmıştır. Üç adet duvar numunesinde ise güçlendirme yapılmayarak güçlendirilmiş duvar numunelerinin dayanımı ve davranışları değerlendirilmiştir. Eğer kayma modu kontrol edilebilirse, yığma duvarın eğilme dayanımının yükselebileceği sonucuna varılmıştır.

Valuzzi vd. (2002), tuğla duvar panelleri CFRP (karbon lifli polimer) ile güçlendirilmiş ve alternatif bir kayma donatısı tekniğinin etkinliğini araştırmışlardır. 9 donatısız yığma (URM) paneller ve 24 adet güçlendirilmiş panellere, diyagonal basınç deneyi uygulamıştır. Farklı donatılı yapılandırmalar denenmiştir. Deneysel sonuçlarda, CFRP ile güçlendirilmiş paneller ve donatısız URM paneller arasında, kesme mekanizmaları arasında çok farklılıklar olmadığı ancak çift taraflı yapılandırmalarda daha az gevrek göçme ve belirgin bir kapasite artışı sağlandığı tespit edilmiştir. Farklı takviye yapılandırmaları, performans mukavemeti ve göçme mekanizmaları açısından karşılaştırıldığında, deneysel sonuçlar ile analitik formüllerin kalibrasyonu edilerek kesme dayanımı tahmini yapılabileceğini göstermiştir.

Kaya (2003), hasarlı veya kısmen yıkıma uğramış yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesini incelemişlerdir. Onarım ve güçlendirme tekniklerinde betonarme ve

çeliğin hangi durumlarda ve ne şekilde kullanılabileceği üzerine çalışmalarını yoğunlaştırmışlardır. Az veya çok hasarlı tarihi ve yığma yapıların onarımları ve güçlendirme tekniklerini incelemişlerdir.

Corradi vd. (2003a), İtalya’da yüksek deprem riski taşıyan bölgelerden seçilen toplam 7 adet yığma yapıyı incelemişlerdir. Yığma yapıların mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmanın ilk bölümünde, yapılarda belirlenen dolgu duvarlarda çeşitli deneyler yapmışlardır. Yerinde yapılan bu deneyler; 900x1800 mm² boyutlarında hazırlanan duvarlarda gerçekleştirilen basınç ve kesme-basınç deneyleri ile 1200x1200 mm² boyutlarında hazırlanan duvarlarda gerçekleştirilen diyagonal çekme deneyleridir. Çalışmanın ikinci bölümünde, denenen dolgu duvarlardan alınan karot numuneleri laboratuarda monoton artan basınç yükleri altında denenmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda yerinde ve laboratuarda yapılan deney sonuçları ortak değerlendirilerek bu yapıların kesme dayanımı, şekil değiştirme kapasiteleri, kayma ve elastisite modülleri belirlenmiştir.

Corradi vd. (2003b), güçlendirilmemiş yığma yapılarda gerçekleştirilen önceki çalışmalarının devamı olan bu çalışmada alternatif güçlendirme yöntemleri uygulanmış dolgu duvar davranışını incelemişlerdir. Yerinde yapılan deneyler sonucunda hasar almış duvarlar ile aynı yapılardaki farklı hasarsız duvarları, güçlendirme işlemi uygulandıktan sonra basınç, kesme-basınç ve diyagonal çekme deneyleri ile denemişlerdir. Güçlendirme veya onarım, karbon veya cam lifli polimer kompozit şeritler ile ya da hidrolik harç enjeksiyonuyla yapılmıştır. Deneyler sonucunda, elemanların güçlendirme öncesi ve sonrası performansları karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada, hidrolik harç enjeksiyonu yönteminin onarım amaçlı uygulandığında daha etkili olduğu görülmüştür.

Tan vd. (2004), çalışmalarında 30 adet yığma duvar numunesini üç farklı CFRP (karbon lifli polimer) sistemi kullanarak güçlendirilmişler, güçlendirme işleminde üç farklı ankrajlama sistemi kullanmışlar montaj yapılmış ve ardından deneye tabi tutmuşlardır. Güçlendirilmiş duvar numunelerinin limit taşıma kapasitelerini tahmin etmek için sayısal bir model üzerinde çalışılmış, deneysel sonuçlarla sayısal modeller karşılaştırılmıştır. Deneyler için bir duvar planda 1000x1000x110mm ölçülerinde ve derz kalınlığı 10mm olacak şekilde numuneler hazırlanmıştır. Test sonuçlarına göre, güçlendirilmiş duvar numunelerinin düzlem dışı duvar dayanımlarında önemli artmalar

olduğu gözlenmiştir. Güçlendirilmemiş duvar numunelerinde kırılma, eğilme şeklinde oluşurken, güçlendirilmiş duvarda dört farklı kırılma modu meydana gelmiştir. Bunlar, tuğlalar boyunca kayma kırılması, CFRP ve tuğla duvar arasında bağın zayıflaması, eğilme çatlaklarının oluşması ve CFRP güçlendirme malzemesinde gerilme kırılmalarının oluşması şeklinde gözlemlenmiştir.

Stierwalt vd. (2004), CFRP (karbon lifli polimer) kompozitleriyle güçlendirilmiş yığma duvarların sünme davranışıyla geleneksel donatılı yığma duvarların davranışının karşılaştırılıp incelemiştir. Bu duvarlar dıştan kenetlenmeli CFRP kompozitleriyle güçlendirilmiştir. Elemanlarının merkez hücrelerinde harçla kuşatılmış donatıyla üretilmiştir. CFRP donatılı duvarlardaki sünmeden dolayı uzun süreli sehimler çelikle donatılmış duvarlarınkinden %22-56 daha yüksek olduğu görülmüştür.

Valluzzi vd. (2005), yüklemeye tabi tutulmuş yığma duvar yapıların mekanik davranışını araştırmışlardır. Bu şekilde hasara maruz kalmış yapılarda, uzun zamanın etkisi ile ani çökmeye sebep olabilecek ince çatlaklar oluşmuştur. Yatay derzine çelik çubukların yerleştirilmesi temeline dayanan güçlendirme tekniği teklif edilmektedir. Deneysel testler ve nümerik analizler, çubukların varlığının çatlama olayının kontrolü ve yapının istenen güvenlik şartları içinde tutulmasına müsaade ettiğini göstermiştir. Milan Politeknik tarafından yığma yapı kulelerinde yürütülen iki vaka çalışmasından bahsedilmiştir. Sonuç olarak, iki yığma yapı kilise için uygulanan güçlendirme tekniğini tanımlanmıştır.

Hamid vd. (2005), araştırmalarında CFRP (karbon lifli polimer) lamineleri kullanılarak iyileştirilmiş yığma duvar numunelerinin düzlemsel yükleme altındaki davranışlarını incelemiştir. 42 adet yığma duvar numunesi test edilmiştir. Yatay derzle eksenel kuvvetin açısı 0°, 30°, 45°, 60° ve 90° olacak şekilde deney numuneleri hazırlanmıştır. Numunelerin dayanımının iyileştirilmesi için takviye elemanı olarak cam fiber takviye polimeri kullanılmıştır. CFRP laminelerinin miktarı, duvar kesit alanının %0.2'si olacak şekilde duvar yüzeyine uygulanmıştır. Sonuçta, CFRP ile güçlendirmenin dayanım, kırılma modunun değişimi, duvarın sağlamlığının sürdürülebilmesi üzerine önemli bir etkisi olduğu saptanmıştır. İyileştirilmiş numunelerin basınç dayanımının, iyileştirilmemiş numunelerin basınç dayanımına göre %160-500 daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Zijl vd. (2005), çekmeye karşı güçlendirilmemiş duvar davranışı deneysel olarak araştırmaya çalışmışlardır. Daha sonra yığma duvarın bir yüzeyi CFRP kullanılarak güçlendirilmiştir. CFRP'ler epoksi yerine çimento bazlı yapıştırıcıyla uygulanmıştır. Sonuçta gerilmenin yükselmesiyle tuğla duvarda çatlaklar artmıştır. Bu sayısal incelemelerle de doğrulanmıştır. Bu çalışmada yığma yapı duvarlarında çekmeden dolayı meydana gelen çatlak genişliğinin, azaltılmasına yönelik bir yöntem geliştirilmiştir.

Gabor vd. (2006), çalışmasında kesme kuvvetine maruz kaldıklarında donatısız ve FRP ile güçlendirilmiş taş duvarların davranışını analizini için ticari bir yazılım geliştirmiş, farklı sonlu eleman modelleme yaklaşımları sunmuştur. Bu modeller taş tuğla paneller üzerinde diyagonal basınç testlerinin simülasyonu için kullanılmıştır. Sayısal simülasyonda deneysel sonuçlarla kıyaslanmış ve farklı sonlu eleman modellerinin güvenilirliğini tartışmıştır.

Prota vd. (2006), sünger taşı ile örülmüş 1030x1030x250 mm boyutlarında, 4 adedi güçlendirilmemiş, 8 adedi güçlendirilmiş olmak üzere toplam 12 adet dolgu duvar numunesini diyagonal çekme etkileri altında denemişlerdir. Güçlendirme cam lifli polimerin, çimento esaslı ve cam lifli harç kullanılarak numune yüzeyine ağ şeklinde uygulanmasıyla yapılmıştır. Uygulama numunelerde tek veya çift taraflı ve bir ya da iki kat şeklinde yapılmıştır. Numuneler karşılıklı köşelerine yerleştirilen iki çelik yükleme başlığından diyagonal doğrultuda yüklenerek denenmişlerdir. Deneysel çalışma sonucunda; orijinal numunelerin yükleme doğrultusunda tuğla ile harç ara yüzeyinden ikiye ayrıldıkları, tek taraflı güçlendirilmiş numunelerin düzlem dışı davranış gösterdikleri, güçlendirilmemiş yüzeyde kayma çatlaklarının oluştuğu, güçlendirilmiş yüzeyde ise geniş düşey çatlakların oluştuğu gözlemlenmiştir.

Corradi vd. (2007), CFRP (karbon lifli polimer) malzemeler ile tuğla sütunların güçlendirilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Çok uzun yıllardır sargılama, yığma ve betonarme elemanların güçlendirmesi için etkili bir metot olarak göz önüne alınmıştır. Bu çalışma, CRFP tarafından sargılanan fabrika tuğlası yığma sütunların davranışının bir temel anlayışını sağlamayı hedeflenmiştir. Sıkıştırma deneyleri, CFRP güçlendirme sisteminin etkisine karar vermek için 24 adet kil fabrika tuğlası sütunun üzerinde gerçekleştirilmiştir. Tek yönlü karbon CFRP levhalar ile sarılmış kolonların, sarılma etkisini sağlamak için güçlendirmede kullanılmıştır. Bir epoksi reçine bazlı yapıştırıcı,

CFRP malzemenin yapışmasında kullanılmıştır. Sonuçlar takviye edilmemiş kolonlarla kıyaslandığında nihai yük, sertlik ve süneklikte güçlü artışlar görülmüştür.

Popohn vd. (2008), yatay yüklerin güçlendirilmemiş narin yığma duvarlar üzerine çalışmalar yapılmıştır. Yığma duvarların burkulma davranışı eksenel basınca maruzdur ve düzlem dışı yatay yükler bir deneysel program aracılığı ile incelenmiştir. Kullanılan deneysel veri, iki matematik model, bir sonlu eleman modeli, bir doğrusal model, bir elastik burkulma çözümü doğrulanmıştır. Sonlu eleman modeli, çeşitli yükler ve sınırlı şartlar altında, birleşik malzeme, narin duvarların doğrusal olmayan geometrik analizi, duvarların burkulma sonrası davranışına uygulanabilir. Burkulma çözümleri, deneylerde gözlemlenen düzlem dışı eğilme ve büyük ölçüde doğrusal olmayan kritik yükler altındaki etkileşimi onaylamak için diğer araştırmacılar tarafından önerilmiştir. Deneysel veriler ve matematiksel modeller kullanarak, eğilme burulma gücünün etkisi gösterilmiştir.

Fouchal vd. (2009), tarihi yığma yapılarda ara yüzeylerin mekanik davranışını modellemiştir. Önce malzemelerin ve ara yüzeylerinin özellikleri deneysel olarak belirtmiş ve model geliştirmiştir. Bu model harç ile tam veya delikli tuğla arasındaki ara yüzeyi tanımlamak ve harç içinde meydana gelen hasarı tanımlamak için kullanılabilir. Bu modelin tahmini mekanik davranışı önceden elde edilen deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Bu model daha sonra bazı tarihi yığma yapıları çapraz sıkıştırma testleri ile test edilmiştir.

Senthivel ve Lourenço (2009), çalışmasında deneysel verilere dayanan iki boyutlu non-lineer sonlu eleman analizi yük deplasman zarf diyagramları ile kombine eksenel basınç yanal yüke maruz yığma duvar göçme modları gibi deformasyon özellikleri modellemek için yapılmıştır. Deneysel çalışması, tarihi yığma yapıların temsilcisi olarak kabul edilebilir, üç farklı tip taş duvar işçiliği üzerinde yürütülmüştür. Bu üç tip kuru taş duvar, harçlı taş duvar, düzensiz harçlı taş duvar. Taş duvarlar sekiz düğümlü düzlem gerilme elemanları kullanılarak Gauss entegrasyonu ile modellenmiştir. Çıkan sonuçları sayısal ve deneysel sonuçları karşılaştırmış ve sonuçların uyumlu olduğunu göstermiştir.

Yılmaz (2010), çalışmasında boşluklu tuğlalarla imal edilmiş yığma duvarların karbon lifli polimer (CFRP) malzemesi ile güçlendirme sonrası ve öncesi mekanik özellikleri

iki tez çalışması olarak incelenmiştir. 1/3 ölçekli özel üretim fabrika tuğlaları ile hazırlanan toplam 36 adet duvar numunesi 3 farklı grup oluşturacak şekilde imal edilmiştir. Boyut etkisinin yanı sıra numuneler CFRP malzemesi ile güçlendirilmiş ve güçlendirme etkisi de araştırılmıştır. Boyut etkisinin ve güçlendirme etkisinin numune dayanım, başlangıç rijitliği, deformasyon yeteneği ve enerji yutma özelliği üzerindeki etkisini bulmak için numuneler yük delik yönünde, deliğe dik olacak şekilde ve diyagonal çekme etkileri oluşturacak şekilde verilerek deneye tabi tutulmuştur. Deneysel çalışma sonucunda; boyut artışı ile numunelerin basınç ile kayma dayanımının ve deformasyon yeteneğinin azaldığı, güçlendirmenin ise numune basınç dayanımı, kayma dayanımı, enerji yutma özelliği ve özellikle şekil değiştirme yeteneğini arttırdığı görülmüştür. Bunun yanı sıra daha önce önerilmiş olan analitik yaklaşımlar ve bazı yönetmelikteki kurallar ile numune kapasiteleri hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlar ve deney sonuçlarının birbirinden çok farklı olmadığı görülmüştür.

Aldemir (2010), çalışmasını, yapısal olarak eksiklikleri bulunan depremler sonrası en çok hasar gören yapı tiplerinden olan yığma yapılar üzerinde yapmıştır. Yatay yükler altında zayıf davranış gösteren yığma yapıların daha iyi tasarlanması ya da daha önceden belirlenmiş yük etkilerinin altında nasıl davranacağına değerlendirilmesi için güncel metotların geliştirilmesi gerekmektedir. Araştırmasında tuğla yığma yapıların değerlendirilmesine olanak sağlayan performansa dayalı yeni bir metot geliştirilmesi hedef olarak seçilmiştir. ANSYS'te yapılan sonlu eleman analizlerini ve elde edilen sonuçların SPSS'teki regresyon analizlerini kullanarak yığma yapılarda bulunan dikey elemanların kapasite eğrilerini belirlemek için basitleştirilmiş bir yöntem geliştirilmiştir. Aynı zamanda her bir düşey elemanın performans limitleri de elde edilmiştir. Tüm elemanların etkileri birleştirilerek binanın performans noktaları ve kapasite eğrisi oluşturulmuştur. Son aşamada ise binanın olası bir deprem altındaki performansı TEC2007'deki yöntemler kullanılarak belirlenmiştir. Bu basit yöntemle amaçlanan birçok yığma yapının çok kısa bir zaman içinde incelenebilmesidir. Ayrıca bu değerlendirme komplike sonlu eleman analiz sonuçlarına dayandığı için oldukça güvenilirdir.

Faella vd. (2011), Kompozit malzemeler ile tuğla duvarlar üzerine deneysel araştırma yapılmıştır. CFRP (karbon lifli polimer) kompozitler kullanarak kapalı tuğla sütunların mekanik davranışını incelemiştir. Özellikle de, Salerno ve Salento (İtalya) Üniversitelerinin Laboratuvarlarında gerçekleştirilen çok geniş bir deney programının

anahtar sonuçlarını göstermektedir. Duvarın birkaç türü farklı ölçülere sahip yapay yada doğal briketlerden yapıldı. Toplam 54 kolon numunesi test edilmiştir. Mevcut çalışma basınç testleri boyunca gözlemlenen yapı davranışının anahtar görüşünün yanı sıra test numuneleri ile ilgili mekanik ve geometrik parametreler hakkında tam bilgi elde edilmiştir. Özellikle de, yük seviyeleri ve tekabül eden eksenel gerilmeler açıkça rapor edilmektedir. Sonuç olarak, hem duvar hem de dış sarma için kullanılan çeşitli malzemelerin davranışları arasındaki farklar vurgulanmıştır.

Seim ve Pfeiffer (2011), fiber takviyeli polimerler ile yığma yapıların kısmi art güçlendirmesi üzerine çalışma yapılmıştır. Düzlemde yüklü yığma yapılar, fiber takviyeli polimerler ile güçlendirilebilir. Bu ek kesme veya yatay yükler ile duvarların yanı sıra yatay ve düşey yükler altındaki perde duvarlar için de geçerlidir İlk olarak CFRP ve tekil yükler altında yük transferi ele alındı. Genel olarak 91 yapıştırma testi, geniş bir çeşitlilikte tuğla ve blokların yapıştırma gücü ve 7 tip tuğla bloğunun hatalarını incelemek için gerçekleştirildi. İki farklı tip yapıştırıcı karbon fiberler ve 4 tip camın bileşiminde kullanıldı. Yapışma testlerinin sonuçlarına dayalı, iki farklı duvarda (kil tuğla ve kalsiyum silikat) 24 ankraj testi ve farklı geometrik ve yükleme koşulları altında yapıldı. Tüm test serisinin test sonuçları, kırılma mekaniği ve payanda ve bağ modelinin bir bileşimi ile açıklanacaktır. Kırılma enerjisine dayanan bir mekanik model bağlama kaybı olaylarının açıklanması bir arka plan sağlar. Bu model yapıştırma alanı yatak veya baş bileşimi tarafından ayrılmış birden fazla tuğla ile geometrik yapışmanın yanı sıra tek tuğlanın yapışmanın başarısızlığını tahmin etmek için kullanılır. Elde edilen verilerin hesaplanması ve testler iyi bir ilişki sergilemiştir.

Porto vd. (2011), düzlemde güçlendirilmiş yeni bir yığma sisteminin çevrimsel davranışı üzerine deney çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışma, yatay delikli ünitelerden oluşan devrimsel güçlendirilmiş duvarların periyodik kesme basıncı altında davranışını açıklar. Duvar kenarında düşey delikli birimleri ile üretilmiştir. Deney, güçlendirilmiş yığma duvarları tamamlamada ve yatay delikli ünitelerden yapılmış duvar paneller üzerinde uygulanan yapı sisteminin periyodik davranışı üzerinde bilgi almak için kontrol edilir. Tüm sistem üzerinde yapılan testler, eğilme davranışı ve makaslamayı zorlamak için, iki düşey basınç seviyesi ve iki boy duvar oranı için tekrar edildi. Özellikle, bu mevcut çalışma, (a) mukavemet açısından kesme sıkıştırma testleri sonuçları, yumuşaklık parametreleri, enerji kaybı, viskoz sönüm ve rijitlik bozulması, b) donatının etkisi ve zorlama, (c) eksenel yükler gibi çeşitli parametrelerin ve takviyeli

yığma duvarlarının davranışı üzerine güçlendirme tipi ve düşey donatı olmadan yapılmış duvarların karşılaştırılmasıdır.

Sandoval vd. (2011), yığma duvarların burkulma sayısal modellenmesi ve testi üzerine çalışmalar yapılmış. Yığma duvarların burkulma başarısızlığı üzerine deneysel ve sayısal araştırma sunulmaktadır. Araştırma incelik oranları ve yükleme dışmerkezliliğinden farklı birleşim ile karakterize edilen 1/4 ölçekli yığma duvarların çok sayıda yanıtı üzerindeki laboratuvar deneylerini içerir. Farklı yazarlar tarafından deneysel sonuçlar da dikkate alınmıştır ve mevcut araştırmada elde edilenler ile karşılaştırılmıştır. Buna ek olarak, deneylerin seçiminde ayrıntılı bir sayısal simülasyon iyi bilinen bir mikro-modelleme tekniği kullanılarak yapılmıştır. Sayısal uygulama hem nihai kapasite hem de burkulma başarısızlığına kadar yanal şekil değiştirmeyi tatmin edici tahminler sağlamıştır.

Augenti ve Parisi (2011), taş duvarların kayma davranışı, birçok duvar tipi içinde derinlemesine incelenmiştir. Türkiye, İtalya ve Japonya gibi sismik deprem bölgelerinde mevcut binalarda geniş bir biçimde kullanılan tuf taş duvarların kayma davranışları hakkında hala bilgi eksikliği bulunmaktadır. Tuf taş duvarları harçlarının arakesitlerinin doğrusal olmayan davranışlarını kategorize etmek için bir dizi doğrudan kesme testi uygulanmıştır. Yaptıkları çalışmada, hem deneysel sonuçlar hem de amprik formül sunulmuştur. Klasik kayma mukavemeti ve deformasyon parametreleri kesme çatlak enerjisi ve yerleşim ile birlikte karakterize edilmiştir. Gerilme - şekil değiştirme diyagramı ve sürtünme mukavemet modeli de içeren bir kesme direnç yüzeyi önerilmiştir.

Kalali ve Kabir (2012), polimer takviyeli cam elyaf tarafından güçlendirilmiş yarım ölçek çift Wythe tuğla duvar panelleri üzerinde yapılan deneysel çalışmada, dışarıdan yapıştırılan CFRP kompozitleri kullanılarak bir kayma donatısı tekniğinin etkinliğini araştırmışlardır. Test örnekleri İran'daki geleneksel taş duvarları simüle edebilecek şekilde inşa edilmiştir. Donatısız iki tuğla panel ve beş tane CFRP ile güçlendirilmiş bir dizi örnek diyagonal gerilme testine tabi tutulmuştur. İki donatısız diyagonal gerilme örnekleri sıkıştırılmış, diyagonal boyunca bölünmesi nedeniyle gevrek bir göçme göstermiştir. Anahtar parametre olarak CFRP güçlendirmesi yapılan seçilmiştir. Deneyler sonunda, CFRP donatılı olan duvarda kırılmanın daha az gevrek göçme ve bunun yanında fark edilebilir ölçüde yük taşıma kapasitesinde artış sağlandığını

belirtilmiştir. Farklı donatılandırılmış yapılandırma performansları, mukavemet performans kapasitesi, süneklik, enerji emme, sertlik ve göçme mekanizması açısından karşılaştırılmıştır. Ayrıca çalışmasının sonunda üç delikli taş istinat duvarı deneysel sonuçlarını incelemiştir. Duvarlar sabit düşey yük ve tekerrür eden yayılı yükler altında test edilmiştir.

Petersen vd. (2012), nervürlü paslanmaz çelik donatı çubuklarıyla güçlendirilmiş donatısız yığma levhaların kesme davranışını araştırmak için bir sayısal çalışma yürütülmüştür. Diyagonal gerilmeler altında güçlendirilmiş duvarların davranışının test edilmesi için temsilen, deneysel programda iki boyutlu bir sonlu eleman modeli kullanılmıştır. Test levhaları tek yapraklı modern yığma yapıları ve çift yapraklı tarihi yığma yapıları içermiştir. Mevcut çalışmanın esas amaçları modelin yeteneğini değerlendirmek ve levhaların davranışını daha büyük derinliklerde çalışmaktır. Bu model iyi doğru bir şekilde iyi takviye edilmiş levhaların davranışının simüle edilmesinin yeteneğinin modeliydi. Model, güçlendirme mekanizması üzerinde görünüş (fikir) sağlamıştır: çatlak açılmalarının durdurulması için gerilmelerde düşey güçlendirme ile kesmenin durdurulması- neden olunan çatlak açılması (dilatasyon) bir kayma çatlak boyunca sürtünme artışına (kesme-sürtünme mekanizması) etki eder. Analizler göstermektedir ki kesme-sürtünme mekanizması önemlidir ve daha fazla araştırma gerektirir.

Işıkdag ve Topçu (2013), bu çalışmada, Horasan harçlarında fiziksel ve mekanik özelliklerde iyileştirmeler elde etmek için zemin granül parçaları-ocak cürufu kullanılmıştır. Kırık kiremit parçaları ve kiremit tozu yerine agrega olarak değişik oranlarda zemin granül parçaları-ocak cürufu kullanılmış oldu. Ek olarak bağlayıcı olarak kireç kullanılmıştı. Harçlar üzerine fiziksel ve mekanik testler uygulanmıştır ve mekanik özellikler üzerine donma ve çözülmeye maruz bırakılması sınanmıştır. Mikro yapı, kimyasal karışım ve termal analiz SEM-EDS, XRD ve TGA tarafından araştırılmıştır. Sonuçlar kırık kiremit ve kiremit tozunun düşük puzolan etkisi sebebiyle hidrolik olmamasına dayandırılmıştır. Her nasılsa kontrol numunelerine karşılaştırıldığında, zemin granül parçaları-ocak cürufu içeren numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde, kayda değer iyileşmeler gözlenmiştir.

2. TARİHİ YAPILAR VE YIĞMA YAPI DAVRANIŞI

2.1. Tarihi Yapı Türleri

Fonksiyonel gereksinimler, malzemelerin seçimi, teknik bilgi ve deneyime bağlı olarak tarihi yapılar değişik türlerde olmaktadır. Bu yapılar; kullanılan malzemelere, taşıyıcı sistemlerine, yapıldıkları döneme ve kullanım amacına göre sınıflandırma yapılabilir.

a) Kullanılan malzemelere göre;

Kerpiç,
Taş,
Tuğla,
Çelik,
Kil bloklar,
Ahşap,
Karma.

b) Taşıyıcı sistemlerine göre;

Kerpiç,
Ahşap,
Yığma-kargir,
Çelik,
Karma.

c) Yapıldıkları döneme göre;

Antik mimarlık yapıları,
Barok mimarlık yapıları,
Gotik mimarlık yapıları,
Klasik mimarlık yapıları,
Maniyerist mimarlık yapıları,
Neo-klasik mimarlık yapıları,
Romanesk mimarlık yapıları,

Romantik mimarlık yapıları,
Rokoko mimarlık yapıları,
Rönesans mimarlık yapıları, vb.

d) Kullanım amacına göre;

Kültürel yapılar,
Eğitim yapıları,
Dini yapılar,
Sağlık-sosyal hizmet yapıları,
Ulaşım yapıları,
Ticaret yapıları,
İdari yapılar,
Sivil yapılar,
Savunma yapıları,
Özel yapılar olarak sınıflandırmak mümkündür.

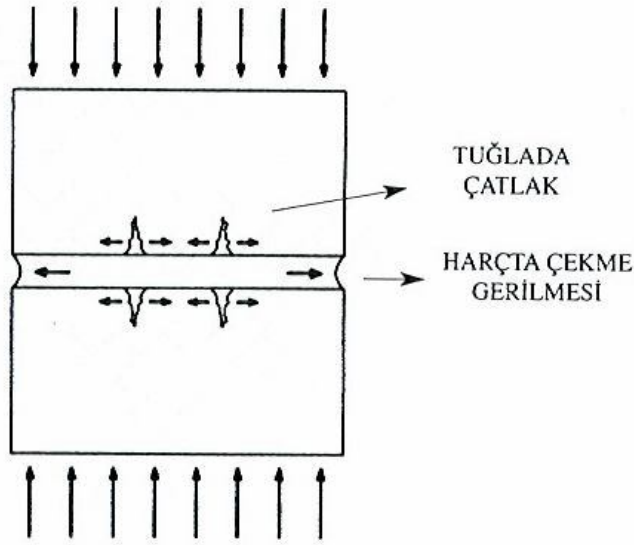
2.2. Yığma Yapı Davranışı

Yığma yapılar diğer yapı sistemlerine göre karmaşık bir yapıya sahiptir. Yığma bir yapının davranışında yapıyı oluşturan malzemelerin yanı sıra bağlayıcı harcın da mekanik ve kimyasal özellikleri belirleyici olmaktadır. Kullanılan her bir yapı malzemesinin davranışı farklı olduğundan yığma yapılar hakkında genel bir kanıya varmak oldukça zordur.

Yığma yapının bir bütün olarak davranmasında taşıyıcı duvarları oluşturan tüm elemanlar, döşeme sistemleri ve bu elemanların birleşimleri önemli bir rol oynamaktadır.

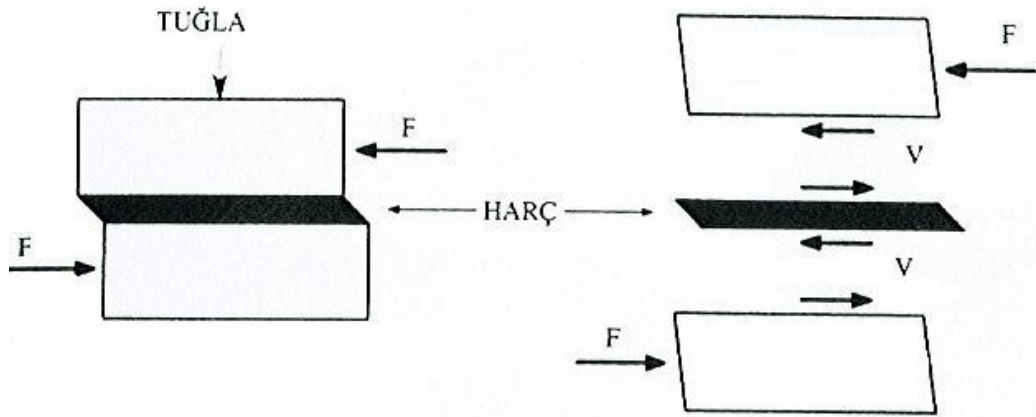
Yığma yapılarda yükler, duvarlar boyunca temele iletilirler. Çatı, döşeme ve duvar yükleri düşey yükler olup çizgisel etkiyen yüklerdir. Bu yükler etkisiyle duvar kesitlerinde (σ) basınç gerilmeleri oluşur. Normal hallerde bu gerilmelerin duvar basınç emniyet gerilmelerini (σ_{em}) geçmemesi gerekir. Duvar kalınlıkları bu esasa göre belirlenir. Ayrıca bu duvar kalınlıklarına göre duvar kesitlerinde deprem kuvvetleri etkisi ile oluşacak kayma gerilmeleri (τ)'nin duvar malzemesi kayma emniyet gerilmesi

(τ_{em})'den küçük olması gerekir. Şekil 2.1.'de yığma yapıda basınç yükleri altında kırılma mekanizması görülmektedir.



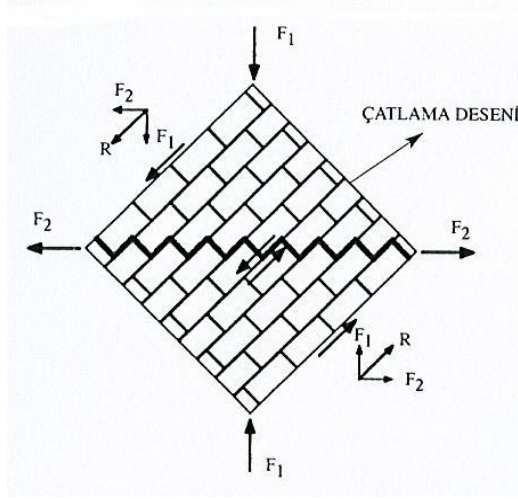
Şekil 2.1. Basınç yükleri altında kırılma mekanizması (Ünay, 2002)

Betonarme yapıların deprem yükleri altında davranışları büyük ölçüde bilinmekle beraber yığma yapıların depremdeki davranışları tam olarak bilinmemektedir. Yığma yapılar, betonarme yapılara göre daha az sünektirler. Takviyeli harçlı, donatılı yığma yapılar betonarme yapılar kadar sünek davranış gösterememektedirler. Yığma yapılarda düşey yükler döşemelerden taşıyıcı duvarlara, duvarlardan da temele aktarılır. Deprem hareketi ile oluşan atalet kuvveti yapıyı etkiler. Yatay atalet kuvveti, rijit diyafram gibi davranan döşemelerden duvarlara aktarılır. Duvarlarda kayma ve eğilme etkisi oluşturur. Şekil 2.2.'de yığma yapının yatay yükler altında davranışı görülmektedir.

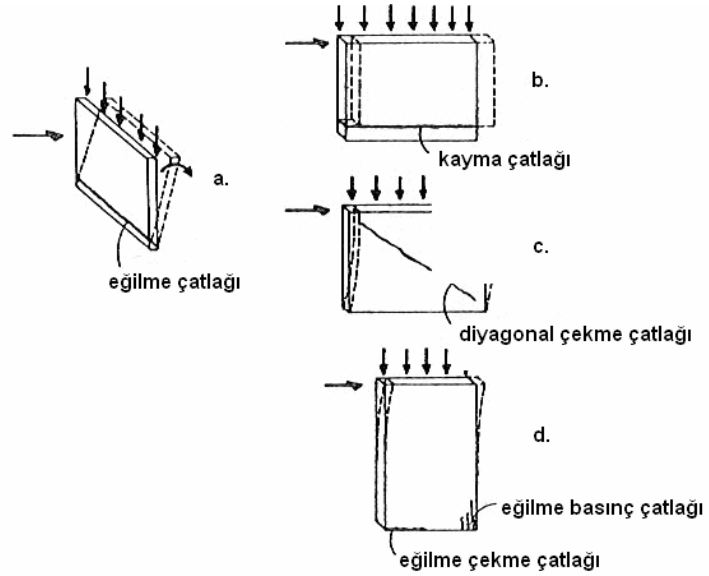


Şekil 2.2. Kayma kırılmasının mekanizması (Ünay, 2002)

Deprem sırasında oluşan yatay yükler etkisindeki yığma yapılarda, kritik bölgelerden başlayarak çatlaklar oluşur ve yapı göçme mekanizmasına ulaşır. Kapı ve pencere boşlukları çevresi, duvar ve döşeme birleşimleri, duvar kesişim ve birleşimleri kritik bölgelerdir. Şekil 2.3.'de yığma yapıda kırılma mekanizması ve Şekil 2.4.'te yığma yapıların göçme mekanizması görülmektedir.



Şekil 2.3. Basamak şeklinde diyagonal kırılmanın oluşumu (Ünay, 2002)



Şekil 2.4. Serbest yapısal bir duvarın çökme mekanizması (Yorulmaz , 1984)

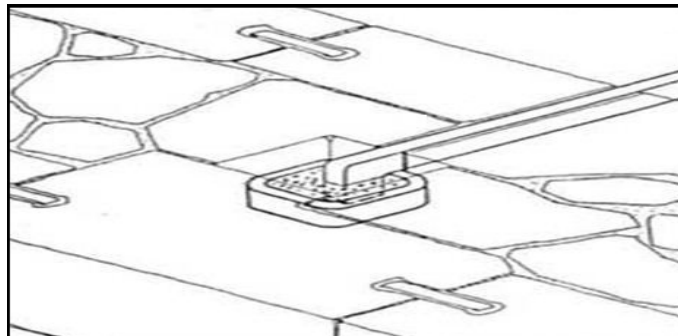
3. TARİHİ YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEMLER

3.1. Temeller

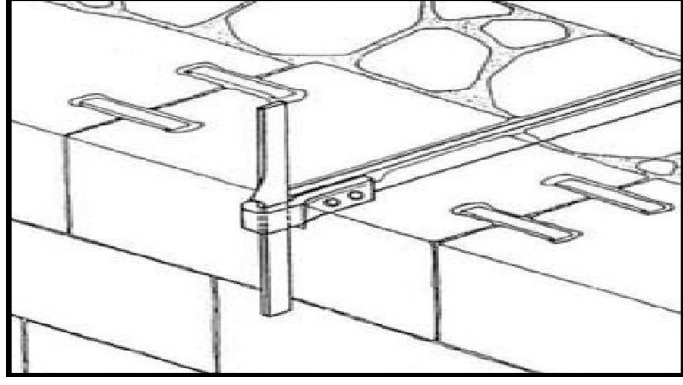
Temeller, yapıya etki eden yüklerin yapı zeminine aktarılmasını sağlayan yapı elemanlarıdır. Tarihi yapılarda genelde iki farklı temel kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi, sağlam zeminlerde kullanılan sığ temellerdir (yüzeysel temel). Bu temeller; ayak ve sütunların altına gelen ayırık temeller gibi veya sürekli duvar altlarına gelen sürekli temellerden oluşur. İkincisi ise genelde dolgu veya yumuşak zeminlerde uygulanan derin temellerdir (ahşap kazıklı temeller). Derin temeller, daha çok su içinde inşaa edilen yapılarda kullanılmış, aynı zamanda bu yapılar zemine çakılan kazıkların oluşturduğu bir temel sistemine oturtulmuştur. Kazık başlarının ahşap bir ızgara ile bağlandığı da görülür. Ahşap kazıkların genellikle su içinde bulunması ve hava ile temas etmemiş olması, bozulma ve çürüme olayını geciktirmiş hatta sıfıra indirmiştir (Çamlıbel, 2000).

3.2. Taşıyıcı Duvarlar

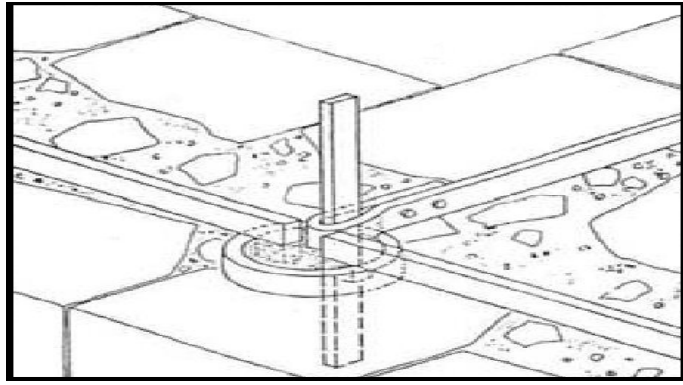
Tarihi yapılarda taşıyıcı duvarlar kesme taş, kaba yonu taş, moloz taş, tuğla ile inşa edilen ve yapıdan gelen yükleri temele ileten sürekli elemanlardır. Duvarın bütünlüğünün sağlanması, gerilmeleri duvar kesitinde düzgün yayılı olarak dağıtmak için, diyafram etkisi yaratmak amacıyla taş ve tuğlalar birbirine harç, kenet, zıvana ve hatıllarla bağlanmıştır. Çatıdan gelen eğik yüklerin karşılanabilmesi amacıyla payandalarla desteklenmiştir. Payandalar taşıyıcı duvarların yatay stabilitesinin zayıfladığı noktalarda duvarın sağlamlığını artırmak ve kubbenin yanal stabilitesini sağlamak amacıyla yapılırlar. Tarihi yapıların duvar örgülerinde karşılaşılan mesnetlenme şekilleri Şekil 3.1., 3.2., 3.3. ve 3.4.'te verilmiştir.



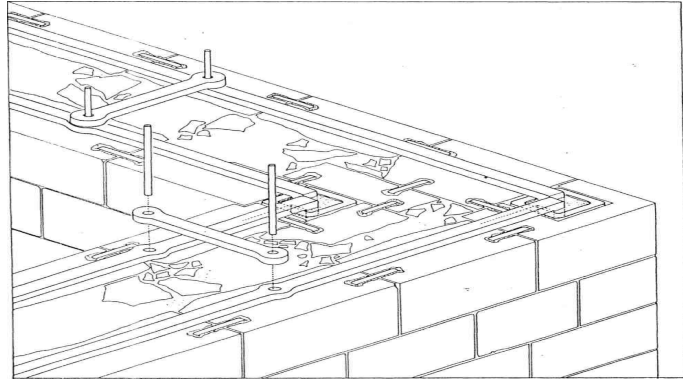
Şekil 3.1. Simitli mesnetlenme (Çamlıbel, 2000)



Şekil 3.2. Açık kılıçlı mesnetlenme (Çamlıbel, 2000)



Şekil 3.3. Simitli mesnete kılıçlı bağlantı (Çamlıbel, 2000)



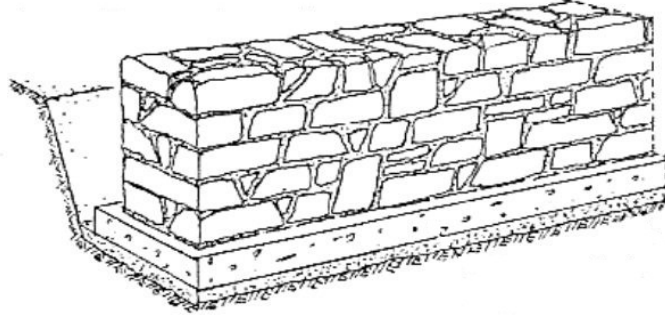
Şekil 3.4. Duvar kuşaklaması (Çamlıbel, 2000)

Taş duvarları, kullanılan malzeme türüne göre sınıflandırmak mümkündür:

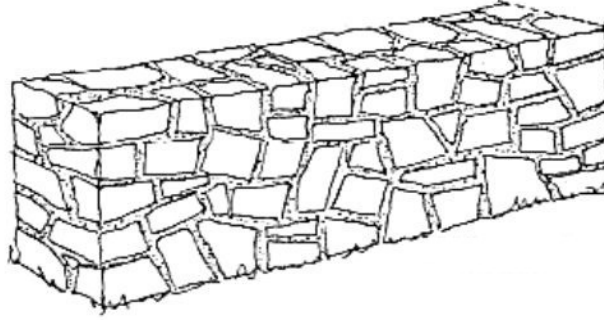
3.2.1. Moloz taş duvarlar

Taş ocağından çıkartılan taşların hiçbir işlem yapılmadan kullanılmasıyla oluşturulan duvar türüdür. Yük taşımayan bahçe ve çevre duvarları istinat duvarları foseptik ve su

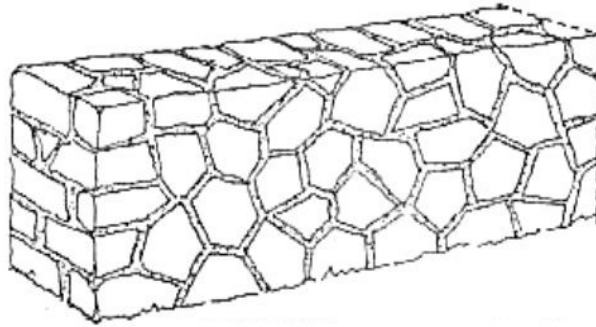
kuyusu duvarları ile ağırlık duvarlarında harçsız moloz taş duvar (kuru duvar) uygulanır. Temel, bodrum ve normal kat duvarlarında, çevre ve istinat duvarlarında harçlı moloz taş duvar uygulanır. Şekil 3.5., 3.6. ve 3.7.'de moloz taş duvar örnekleri verilmiştir.



Şekil 3.5. Yatay derzli moloz taş duvar (Özdemir, 2003)



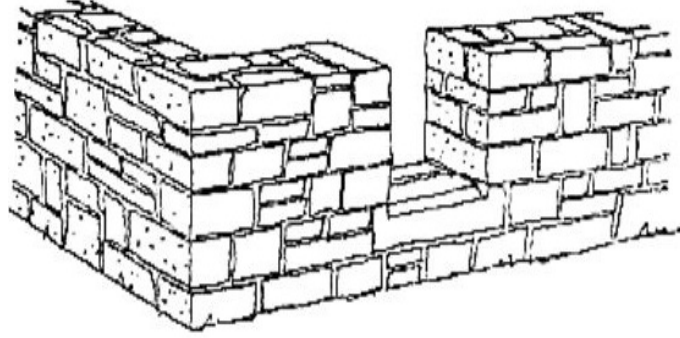
Şekil 3.6. Karışık derzli moloz taş duvar (Özdemir, 2003)



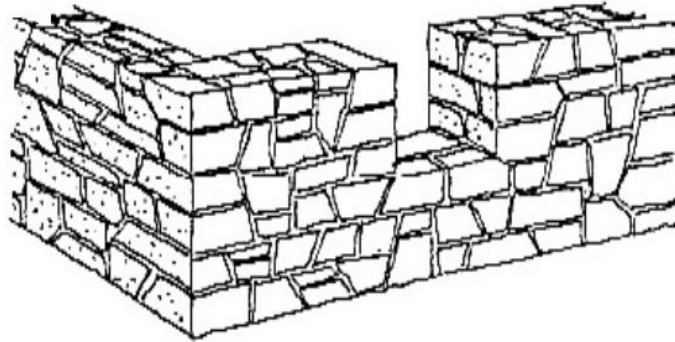
Şekil 3.7. Mozaik görünümlü moloz taş duvar (Özdemir, 2003)

3.2.2. Kaba yonu taş duvarlar

Taşlar gelişi güzel yontularak düzlenen yüzeyler, görünen duvar yüzlerine gelecek şekilde duvarlar teşkil edilir. Her iki duvar yüzeyi bu şekilde teşkil edilerek orta duvar bölgesi sandık taş dolgu yapılmaktadır. Tarihi yapılarda bu tarz taş duvar yapımı birer metre yükseklikler şeklinde örülür. Duvar bir metre örülünce duvar düzleme yüzeyi teşkil edilir. Duvar düzleme yüzeyinde tuğladan iki sıra veya daha fazla tuğla duvar bölgesi oluşturulması gelenektir. Tarihi yapı taşıyıcı duvarlarında, düzleme bölgelerine, ahşap kalas çekme elemanları yerleştirilmektedir. Duvarlarda oluşan çekme kuvvetlerini karşılamak için duvarların bu kısımlarına ahşaptan hatıllar oluşturulmaktadır. Hatıllar yapının bu yükseklikteki tüm duvar bölgelerini kaplamaktadır. Şekil 3.8. ve 3.9.'da kaba yonu taş duvar örnekleri verilmiştir.

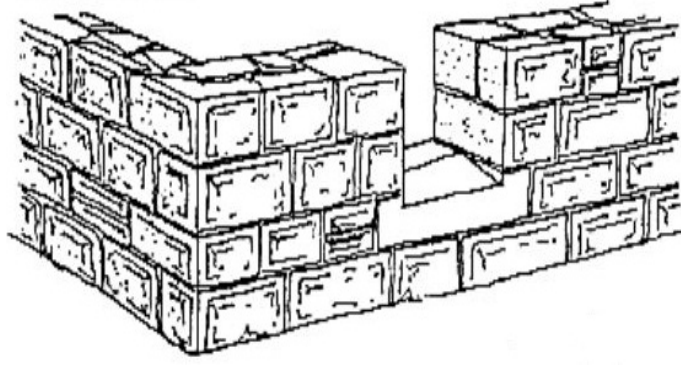


Şekil 3.8. Yatay derzli kaba yonu taş duvar (Özdemir, 2003)



Şekil 3.9. Karışık derzli kaba yonu taş duvar (Özdemir, 2003)

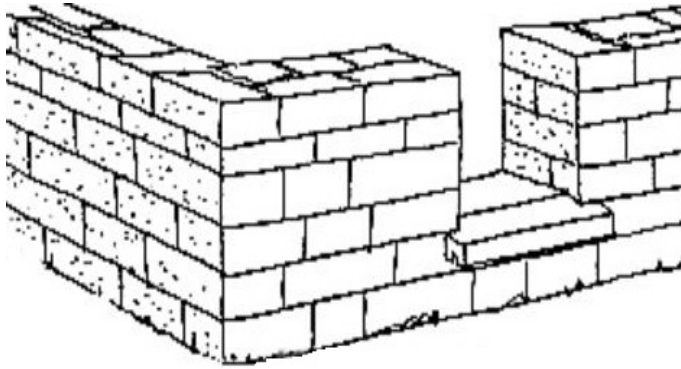
Moloz taş duvarlardaki gibi yatay veya karışık derzli yapılabilen kaba yonu taş duvarların görünen yüzlerindeki çerçeve içleri kabarık bırakılırsa Şekil 3.10.'daki gibi buna "Siklop Duvar" denilir.



Şekil 3.10. Siklop duvar (Özdemir, 2003)

3.2.3. İnce yonu taş duvarlar

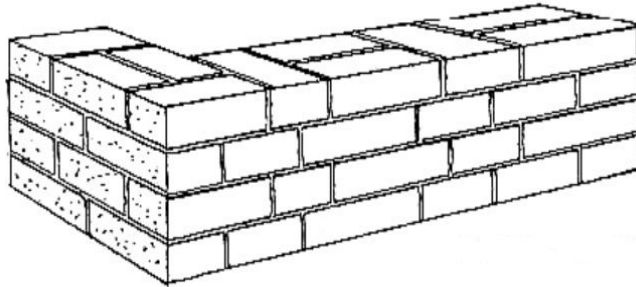
İşçilik ve maliyetinin yüksek olmasının yanı sıra estetik bakımdan güzel görünüş için bina cephelerinde uygulanan duvar türüdür (Şekil 3.11.).



Şekil 3.11. İnce yonu taş duvar örgüsü (Özdemir, 2003)

3.2.4. Kesme taş duvarlar

Bu tip duvarlar işçiliği pahalı, derz kalınlıkları 100 cm'yi geçmeyen, birbirlerine geçmeli ya da metal bağlantı gereçleriyle duvarlardır (Şekil 3.12.).



Şekil 3.12. Kesme taş duvar (Özdemir, 2003)

3.3. Kolonlar (Sütunlar)

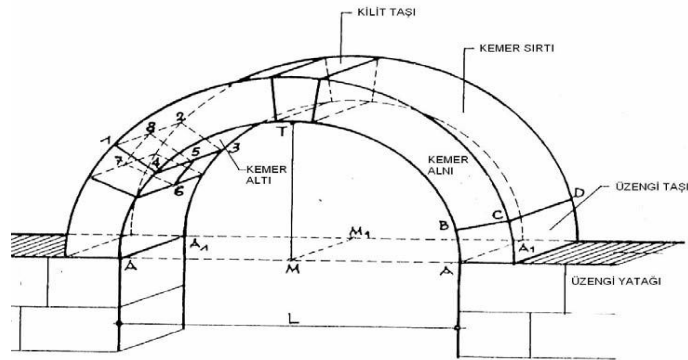
Kolonlar yekpare bir malzeme ya da birkaç blok taştan oluşturulan düşey taşıyıcı elemanlardır. Bloklardan oluşturulan kolonlarda süreklilik, elemanların birleşim yerlerinde demir veya ahşaptan yapılmış zivanalar ile sağlanmaktadır. Üsten gelen yüklerin düşey taşıyıcı kolonlarla birleşme bölgesinde kolon başlıkları ve yükün zemine aktarıldığı yerde kolon tabanı bulunmaktadır.

3.4. Kemerler

Kemerler, iki sütun arasındaki açıklığı geçmek için yapılan eğri eksenli kirişlerdir. Kemerler, taş ya da tuğla ile inşa edilir. Taş kemerler; moloz, kaba yonu, ince yonu veya kesme taştan yapılır, daha küçük açıklıklı olan dekoratif kemerler ise mermerden yapılmıştır (Ulkay, 1978).

Kemerlerin görevi kubbeyi taşımak, yükü duvarlara ya da ana ayaklara güvenle aktarmaktır. Açıklığa göre sehim kazandıkça kemerler, düz, basık, tam, sivri, sepet, kulplu vb. isimlerle tanımlanırlar.

Kemerlerin taşıdığı yükleri ayaklara yönlendirmesi, üzengi seviyesinde büyük yatay mesnet reaksiyonları oluşturur. Bu reaksiyonlar gergi demirleri ile alınır. Bir kemerde, kemer örgü taşı olarak üzengi, kilit taşı ve kemer taşları olmak üzere üç eleman bulunur. Üzengi taşı, kemerin başlama taşıdır. Kilit taşı, kemerin düşey ekseninde bulunan ve kendisi ile üzengi arasındaki taşları kilitleyen taşıdır. Kemer taşları, kilit taşı ile üzengi taşları arasında kemeri oluşturan taşlardır (Şekil 3.13.) (Bayülke, 1992).

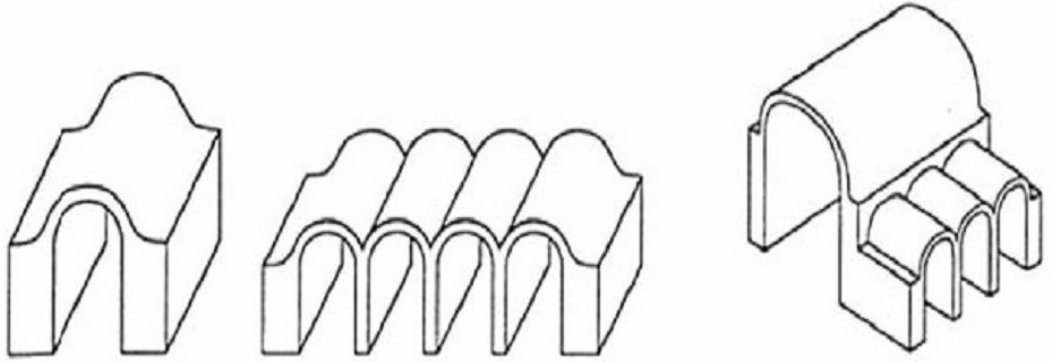


Şekil 3.13. Klasik bir kemer görüntüsü (Bayülke, 1992)

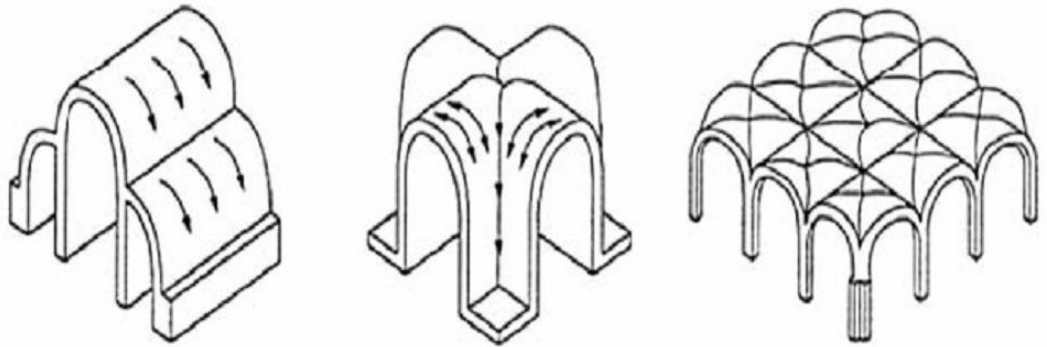
Kemer, kubbe, tonoz gibi yapı elemanlarında ve duvarlarda yükler nedeniyle oluşan yatay itkilerin karşılanmasında gergiler kullanılır. Tarihi eski yapılarda ahşap ve dövme demir gergiler yoğun olarak kullanılmıştır.

3.5. Tonozlar

Tonoz, bir kemerin kendi düzlemine dik doğrultuda ötelenmesi sonucu meydana gelen yapısal bir elemandır. Bir kemer duvar kalınlığı kadar olduğu halde, tonozlar örtülen hacmin uzunluğu kadardır. Dikdörtgen planlı yapıların kapalı bir hacim haline getirilmesinde kullanılır. Tonoz türleri, Şekil 3.14. ve 3.15.'te verilmiştir.



Şekil 3.14. Tonoz türleri (tekli, çoklu, enine) (Drysdale vd., 1994)



Şekil 3.15. Tonoz türleri (paralel enine, haçvari, çoklu haçvari) (Drysdale vd., 1994)

Bir tonozun kesiti, aynı eğrilikteki bir kemerin eşdeğeridir. Bir tonozun eksenine paralel kesitlerinde, basınç gerilmeleri oluşur ve tonoz malzemesi tarafından karşılanır. Açıklığına oranla sehim artan tonozun taşıyıcılığı çöktür. Buna karşın hacim kaybı çok olacağından basık tonozlar tercih edilmiştir.

3.6. Kubbeler

Kubbe bir kemerin simetri ekseni etrafında dönmesiyle elde edilir. Kubbenin yükü, kubbe ayaklarından düşey ayaklara oturan kemerlere iletilir.

Genellikle tarihi yığma kâgir yapılarda kubbeler birer küre parçası olarak yapılmışlardır. Kâgir, çekme etkilerine dayanıklı olmadığından, kubbenin biçimi içinde çekme gerilmeleri meydana gelmeyecek şekilde belirlenmiştir. Bazen kubbe içinde yapılan pencereler vasıtasıyla çekme gerilmelerinin karşılanması kesintiye uğrar. Bu durumda pencerelerin bulunduğu noktalarda kubbede çatlaklar oluşur.

Dairesel planlı yapılarda, kubbeden yüklerin düz duvarlara iletilmesi, daireden kareye geçişin geçit elemanları ile sağlanması mümkündür. Bunlar; pandantif, tromp ve Türk üçgenidir.

Kubbe mesnedine yakın duvar cidarlarında oluşan çekme kuvvetleri, kemerler ile karşılanır. Kemerli strüktür dinamik kayma gerilmeleri tesirinde esnemektedir. Kubbenin ayağındaki kemerli sistem, deprem yüklerinin ana yapıya kubbeden aktarılması için izolatör görevi görmektedir.

Kubbelerin, oturdukları kasnakların rehabilitasyonu mutlaka yapılmalı, kasnağın oturduğu duvarlar kesme kuvvetleri itibari ile güçlendirilmelidir. Basınç gerilmesi altında kalması istenen kubbe duvarları, basıncın azalması ile dağılma sürecine girer. Kararsız yapı kısmı olan kubbe, olası depremlerde büyük hasar görür.

Kubbe yapımı iki türdür. Birincisi, köşe kemerli kubbeler 20 m'ye kadar olan açıklıklarda uygulanan kubbeler, ikincisi ise 50 m ve daha büyük açıklıklarda uygulanan Pandantifli kubbelerdir. Kare tabana oturan kubbe kasnağının açıkta kalan köşe kısımlarının, kubbenin devamı gibi üçgen vari küre parçası ile doldurulmasına pandantif denilmektedir. Poligon oluşturulmuş kubbe kasnağının kare yapıya oturtulurken kasnakla kare taban arasında kalan boşlukları doldurmak için kullanılan geçiş elemanına Türk Üçgeni denir. Çokgen olan kasnağın kare taban köşesine isabet eden parçaların her biri bir üçgenin taban kenarı olacak şekilde, üçgenin tepesi kare taban köşesine gelecek biçimde duvarın örülmesinden oluşur.

3.7. Döşemeler

Döşemeler, binanın iki katını, yapının oturduğu zeminle kapalı hacmi ya da en üst kat ile dış mekanı, ayırma görevi üstlenen yatay taşıyıcı yapı elemanıdır. Döşemeler üzerine gelen yükleri ve kendi zati ağırlığından kaynaklanan yükleri taşıyıcı duvarlara iletirler. Tarihi yapıların döşemeleri genellikle kubbe ve tonoz gibi yapı elemanları ile oluşturulmakla birlikte ahşap, çelik ve kâgir elemanlar kullanılmaktadır. Kâgir duvarlar üzerine oturan ahşap kirişli döşemeler tek doğrultuda çalışır. Döşemeler ahşap döşeme, volta döşeme ve adi volta döşeme olarak sınıflandırılabilir.

4. TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN MALZEMELER

Tarihi yapılarda doğal taş, tuğla, kerpiç, ahşap, kireç, puzolanlar gibi çeşitli malzeme kullanılmıştır. Yığma yapı elemanları genelde basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük malzemelerdir. Bu durumda büyük basınç kuvvetlerine maruz kalabilen bu elemanlar eğilme ve kayma etkisine karşı dayanım gücü düşüktür. Bu elemanlar, bir bağlayıcı (harç ve benzeri) malzeme ile birleştirilmesi sonucu yapıyı oluşturmuştur.

4.1. Doğal taşlar

Ana malzeme biriminin taş olduğu yığma yapı elemanlarda basınç mukavemeti, kayma mukavemeti, çekme mukavemeti ve elastisite modülü değerleri önemlidir. Tarihi yapılarda genellikle kullanılan yapı taşlarının ortalama fiziksel özellikleri Çizelge 4.1.'de gösterilmiştir.

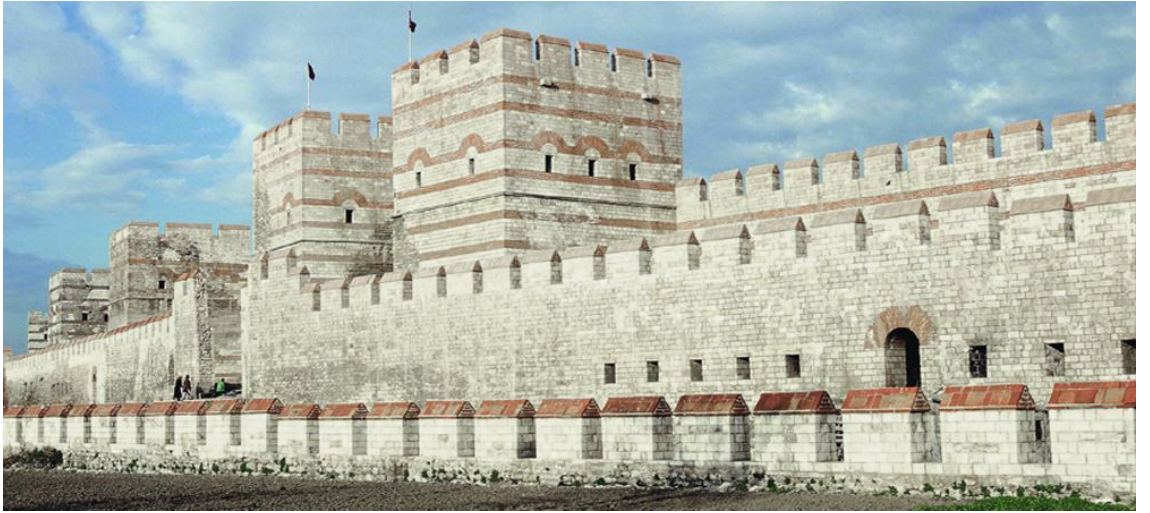
Çizelge 4.1. Doğal yapı taşlarının ortalama fiziksel özellikleri

Taşın Cinsi	Basınç Mukavemeti	Kayma Mukavemeti	Çekme Mukavemeti	Elastisite Modülü
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
Granit	30 - 70	14 – 33	4 – 7	30.000 – 55.000
Mermer	25 - 65	9 – 45	1 – 15	25.000 - 70.000
Kireç Taşı	18 – 35	6 – 20	2 - 6	10.000 - 55.000
Kum Taşı	5 – 30	2 – 10	2 – 4	13.000 – 50.000
Kuvars	10 – 30	3 – 10	3 – 4	15.000 - 55.000
Serpantin	7 – 30	2 – 10	6 – 11	23.000 - 45.000
Küfeki Taşı (30 Günlük)	33.2 – 45.5		3.6	24.000

Tarihi yığma yapılarda kullanılan doğal taş malzeme moloz taş ve kesme taş olarak sınıflandırabilmek mümkündür.

Taşlar arasında küfeki adı verilen taş, yığma yapılar açısından farklı bir öneme sahiptir. Boşluklu yapısı sayesinde birim ağırlığı diğer taşlara göre düşüktür. Bu sayede mukavemetini de artıran bu boşluklar küfekiye diğer taşlardan ayırır. Küfeki, yüksek boşluk oranına sahip bir kireç taşı cinsidir.

Ocaktan çıkarıldığı andaki mekanik ve fiziki özellikleri ile 30 gün sonraki özellikleri arasında farklar vardır. Küfeki, ocaktan çıktığı andan itibaren hızla karbonatlaşır ve boşluk oranı azalırken mukavemeti ve birim hacim ağırlığı da artmaya başlar. Küfeki taşı, Roma ve Bizans döneminde kullanılmaya başlanan, "İstanbul taşı" olarak da bilinen 2000-2500 yıl gibi uzun bir zaman ayakta kalabilen tek taştır. En önemli özelliği topraktan çıktığı anda her türlü işleme uygun olması ve kolay işlenmesi; havayla temastan sonra havadaki karbon dioksiti bünyesine alarak sertlik, dayanıklılık ve güç kazanmasıdır. Bu yüzden ki, Bizanslıların Ayasofya ve Yukarıkapı Surları inşası ile Osmanlı döneminde Süleymaniye Külliyesi'nin yapımından bu yana İstanbul estetiğini oluşturan tüm yapıların içinde ve dışında kullanılmıştır (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1. Küfeki taşı kullanılan Topkapı surlarından görünüş (URL-1.)

4.2. Kum

Doğal agregalardan çakıl ve kumlar derelerden, eski dere yataklarından oluşan ocaklardan, denizlerden ve çöllerden sağlanmaktadır. En iyi malzemeler derelerden elde edilmiştir. Bunlar yıkanmış olduklarından dolayı bünyesinde kil ve silt vb. zararlı maddeleri barındırmayan, temiz ve düzgün tanelerden oluşur. Ocak kumlarında kil (mil) oranı yüksektir. Deniz ve çöl kumları ise tekdüze taneli ve genellikle de ince malzemelerdir.

Tarihi yapıların onarımında silis içermeyen, yıkanmış olduklarından dolayı bünyesinde kil ve silt vb. zararlı maddeleri barındırmayan, temiz ve düzgün tanelerden oluşan dere kumu kullanılmıştır.

4.3. Kireç

Tüm harçlarda kullanılan bağlayıcı özelliğe sahip ve günümüz çimentosunun ana madesi kireçtir. Saf kireç taşı kalkerin 900°C'de pişirilmesi ile elde edilen kalsiyum okside sönmemiş kireç adı verilir. Su ile söndürülmesi neticesinde oluşan kireçe yağlı kireç denmektedir. Kireç harcı, taş ve tuğla gibi tabii malzemelere yapışma özelliğinden dolayı her türlü harcın bağlayıcısı olarak kullanılabilir.

4.4. Harç

Bağlayıcı malzeme, dolgu malzemesi ve suyun belirli oranlarda karışımı ile elde edilen, katılaşma özelliğindeki hamurlardır. Yapıda harç kullanımının temel amacı, yapı elemanlarını meydana getiren yapı birimlerinin birbirleriyle bağlantısını sağlayarak bir bütünlük teşkil etmektir. Ayrıca harç, yapı bileşenlerinin üzerine gelen yüklerin dağıtılmasına yardımcı olur. Bir harçta bulunması gereken temel özellikler, basınç dayanımı, doluluk, geçirimsizlik, hacim sabitliği, aderans, aşınmaya ve dış etkilere karşı dayanıklılıktır.

Tarihte harç malzemesi olarak ilk çamur kullanılmıştır. Çamurun ardından, Romalılarla tarafından kireç harcı kullanılmaya başlanmıştır. Kireç harcından sonra, kum kireç karışımının içine pişmiş kilin veya puzolan denilen volkanik tüfün karıştırılması ile su karşısında sertleşen bir bağlayıcı malzeme elde edilmiştir.

Tarihi yapılarda özellikle Bizans, Selçuklu ve Osmanlı mimarisinde Horasan harcı yaygın olarak kullanılmıştır.

4.4.1. Horasan harcı

Horasan, pişirildikten sonra öğütülmüş kile denir. Horasan harcı, Horasan ve kireçle yapılan harçtır. İçine eklenen puzolanik katkı malzemeleri ile bilinen kireç harçlarından

daha mukavemetli bir harç elde edilir. Horasan harcı geç sertleşen bir malzeme olduğu için dayanımını uzun sürede kazanmaktadır.

Horasan harcı ile ilgili araştırmalarda geleneksel Horasan harcı, kum Horasan harcı, lökün, Horasan sıvası gibi değişik adlarla tanınan, malzeme özellikleri farklı karışımlar saptanmıştır. Farklı Horasan harçlarında kullanılan malzeme ve oranları içeren tablo Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. 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 + Keten 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

Horasan harcı, sağlam bir kütle yapı oluşturmak amacı ile kullanılan bir malzeme olup, hidrolik harçlar grubu içerisinde yer alır. Hidrolik özellikleri nedeniyle Horasan harç ve sıvaları sarnıç, su kuyusu, su kemerleri ve hamam yapılarında kullanılmıştır. Hidrolik harçlarda kullanılan malzeme su ile kimyasal reaksiyona girerek katılaşır. Bu tür harçların suya, özellikle deniz suyuna karşı dirençleri oldukça yüksektir (Akman vd., 1986).

XIV. ve XVI. yy'larda Bursa ve Edirne'de inşa edilmiş bazı hamamlarda kullanılan ve günümüze kadar özelliklerini koruyan Horasan harç ve sıvaları üzerine Böke vd. (2007) yaptığı incelemeler sonucunda, belirlenen özellikler aşağıda verilmiştir:

a. Horasan harç ve sıvalar kireç, tuğla kırıkları ve bazen de ince kumun çok iyi karıştırılmasıyla elde edilmektedir.

b. Harçlar ağırlıkça yaklaşık 1 kireç, 3 tuğla kırığı karıştırılarak hazırlanmaktadır.

c. Sıvalar ağırlıkça % 50'nin üzerinde kireç kullanılarak hazırlanmıştır.

d. Sıvaların hazırlanmasında, harçlardan farklı olarak ince taneli tuğla agregalar kullanılmıştır.

e. Horasan harç ve sıva karışımlarında protein içeren katkı malzemeleri (yumurta akı v.b.) tespit edilememiştir.

f. Horasan harç ve sıvaları, çimento harç ve sıvalarından çok daha gözenekli bir yapı ve daha düşük yoğunluklara sahiptir.

g. İncelenen bütün Horasan harç ve sıvaları hidrolik özelliğe sahiptir.

Pusat, (2002), çalışmasında orijinal horasan harcı özelliklerine yakın bir harç üretmiştir. Bu harcın karışım oranları ve mekanik özellikleri Çizelge 4.3.'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. 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

Pusat, (2002), Selanik'teki Bizans yapılarında kullanılan harçların karışım oranları ile bazı özelliklerini incelemiştir. Harç karışımında kullanılan malzeme oranları Çizelge 4.4.'te verilmiştir. Deney sonuçlarına göre en yüksek eğilme ve basınç dayanımları ile dinamik elastisite modülü değerleri sırasıyla K4, K3 ve K8 harçlarında; en düşük eğilme ve basınç dayanımları ile dinamik elastisite modülü değerleri ise sırasıyla K19, K18 ve

K1 harçlarında elde edilmiştir. Selanik’te bulunan 400 yıllık Osmanlılara ait bir tarihi eserde kullanılan harç üzerinde yapılan tahribatlı ve tahribatsız deneyler sonucunda harcın eğilme ve basınç dayanımları ile dinamik elastisite modülü değerlerini sırasıyla 0.36 MPa, 1.28 MPa ve 1150 MPa olarak belirlemiştir.

Çizelge 4.4. Bizans yapılarında kullanılan harç özellikleri (Pusat, 2002)

Puzolan Katkısı	Harç Tipi	Ağırlığa göre Karışım Oranları						Su (kg)	Yoğunluk kg / dm ³
		Kireç	Puzolan	Kum		Tuğla Kırıntısı			
				Mak boyut (mm)		Mak boyut (mm)			
				2	6	2	6		
Santorin	K1	1	1	6	-	-	-	2.24	1.86
	K2	1	1	3	-	3	-	2.70	1.88
	K3	1	1	3	-	-	3	2.42	1.87
	K4	1	1	-	6	-	-	1.92	1.94
	K5	1	1	-	6	-	-	1.86	1.93
	K6	1	1	3	-	-	3	2.20	1.84
	K7	1	1	-	5	-	1	1.97	1.90
	K8	1	1	-	3	-	3	2.24	1.86
Skydra	K18	1	1	6	-	-	-	2.17	1.94
	K19	1	1	-	6	-	-	1.67	2.02

4.5. Puzolanlar

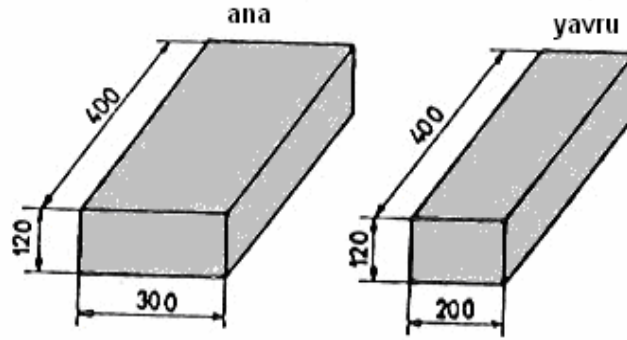
Tek başlarına bağlayıcı olmayıp ancak kireç veya çimento gibi bağlayıcılarla birlikte kullanıldığında bağlayıcılık özelliği gösteren malzemedir. Tarihi yapılarda harç ve sıvaların dayanımlarını artırmak puzolanik özellikte katkı maddelerinin kullanılmıştır. Harçların nemli ortamlarda, suda ve kuruda sertleşmeyi sağlayan asidik yapıdaki puzolanlar, doğal ve yapay olarak ikiye ayrılır.

Doğal puzolanlar genelde volkanik (volkanik küller, tras, killi şist, diatome toprağı, ponza taşı v.b) oluşumlardır. Yapay puzolanlar ise kalsinasyon işlemi ile şist, kil, sünger taşının yakılması, pişmiş toprak malzemelerin toz haline getirilmesi, cüruf, uçucu kül,

silis dumanı gibi endüstri atıklarından ve pirinç kapçığı, buğday sapı gibi tarım atıklarının yakılmasından elde edilen malzemelerdir.

4.6. Kerpiç

Yüksek kil oranına sahip toprağın suyla karıştırılıp içine saman çöpü atılarak kalıplara dökülmesi, önce gölgede daha sonra güneşte kurutulması sonucu oluşturulan tuğlalardır. Kerpiçin yapılması kolay olduğundan tarihi yapılar da sıklıkla kullanıldığı görülmektedir (Şekil 4.2.).



Şekil 4.2. Tipik kerpiç ebatları

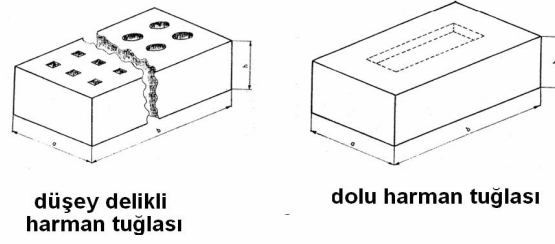
Genelde yük taşıma kapasiteleri düşük olan kerpiç duvarların dayanımı, ahşap hatıl kullanılarak arttırılmıştır. Kerpiç duvarların en zayıf tarafı ise ıslanmışta yumuşaması, dayanımını kaybetmesi ve sonrasında kuruyunca çatlayıp ufalanmasıdır.

4.7. Kâgir malzeme

Doğal taş veya pişmiş toprağın, bağlayıcı bir harçla birlikte kullanılması ile elde edilen malzemeye denir. Kâgir malzeme, heterojen bir malzemedir. Yaklaşık olarak birim ağırlığı 21 kN/m^3 'tür.

4.8. Harman tuğlası

Harman tuğlası killi toprak ve balçığın yoğrulup; su, kum, öğütülmüş tuğla ve kiremit tozu ile karıştırılarak şekillendirildikten sonra kurutulup ocaklarda pişirilmesi ile elde edilir (Şekil 4.3.).



Şekil 4.3. Harman tuğlası

Tuğlanın hammaddesinde kil (kaolin, illit, vs), kuvars, feldspat az miktarda demir ve magnezyum bulunur. Su ile yoğrulan bu karışım 600–900 °C ısıtılınca, kil minerallerin mevcut yapıları bozulur ve amorf alümine silikatlar oluşur. Kil mineralleri farklı puzolonik sıcaklık özelliğine sahiptirler. Tuğlaların puzolanik özellikte olması için pişirme sıcaklığı 700–900 °C arasında olmalı, bünyelerinde puzolanik özellik sağlayacak miktarda kil mineralleri bulunmalıdır. Puzolanik olmayan tuğlaların dayanım değerleri düşüktür.

Tarihi yapılarda, pişirilmiş kilden üretilen tuğlayı oluşturan malzemeler genellikle dere yataklarında yüzeysel olarak biriken kum taşlarından oluşmaktadır. Tuğlaların basınç dayanımı malzeme özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. İyi fırınlanmış tuğla, iyi fırınlanmamış tuğlaya göre üç kata kadar daha fazla dayanıma sahip olabilir. Genel olarak tuğlanın çekme dayanımı, basınç dayanımının %10'una tekabül eder. Kayma dayanımı ise basınç dayanımının %30'una tekabül eder. Çok rastlanan bazı tuğla cinslerinin ortalama fiziksel özellikleri Çizelge 4.5.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Çok rastlanan tuğlaların ortalama fiziksel özellikleri

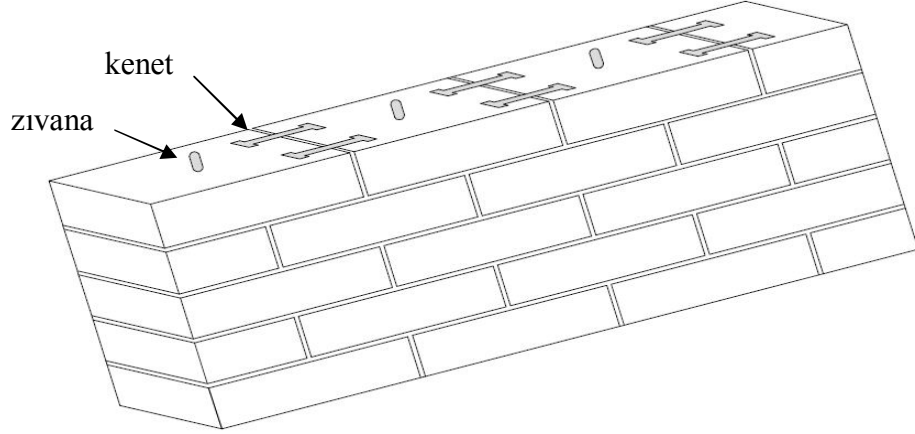
Basınç Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
3 – 10	0.2 – 0.5	1000 - 5000

4.9. Ahşap

Ahşap eğilme, çekme ve basınç gerilmelerine karşı dayanıklı hafif bir malzemedir. Bu özelliklerinden dolayı tarihi yığma yapılarda; döşeme ve tavan taşıyıcı sistemi olarak, duvar içinde hatıl olarak, açıklık gergisi olarak, çıkmalı yapılarda çıkma taşıyıcısı olarak yaygın şekilde kullanılmıştır. Ayrıca saçak ve cumba gibi mimari detaylarda kullanılmıştır.

5. METAL BAĞLANTI ELEMANLARI (KENET ve ZIVANA)

Tarihi yapıyı oluşturan hem dikey hem de yatay ve eğimli sistemlerdeki elemanlarda, sağ ile sol ve alt ile üst yönde yanaşan yüzeylerin birleştirilerek birbirine bağlanmasını sağlayan öğelere kenet ve zıvana denir. Şekil 5.1.'de blokların kaymasını, yerinden hareket etmesini engelleyen bu öğeler, yaptıkları bağlantılarla ayrı ayrı yontulmuş ve birleştirilmiş bloklara, aynı zamanda bir bütünsellik de sağlamaktadırlar.



Şekil 5.1. Kenet ve zıvanalar

5.1. Kenet

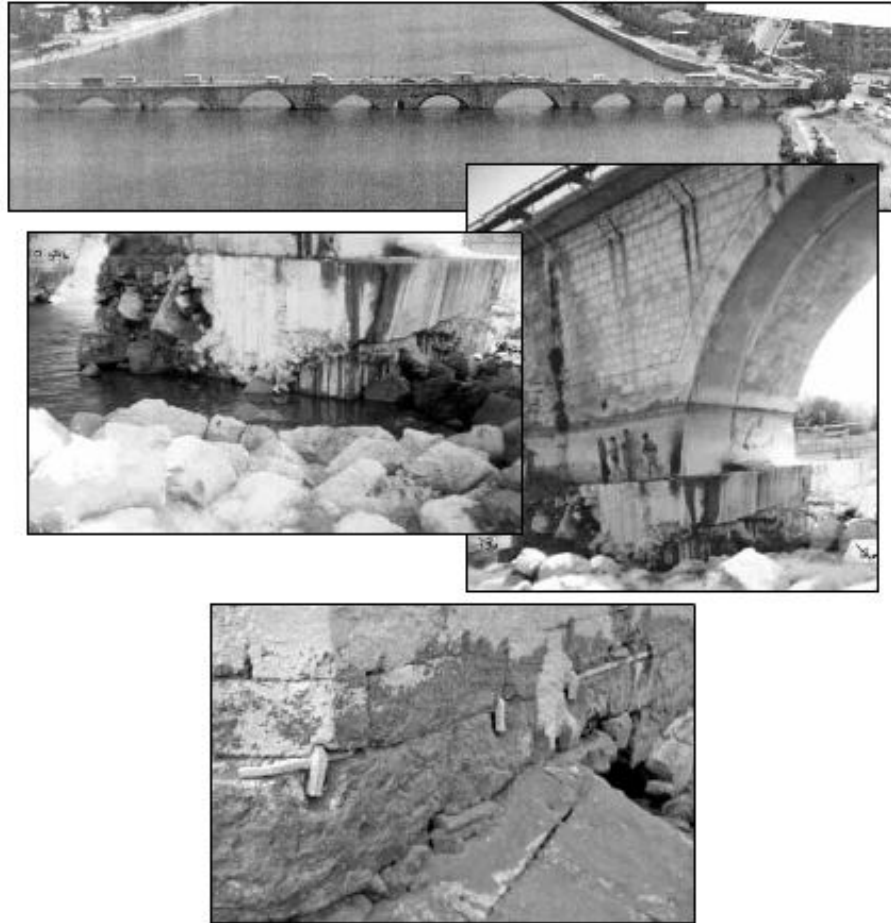
Tarihi yapıyı oluşturan yatay ve eğimli yapı sıralarında, yan yana gelen taş blokların yanaşan kenarlarını üst yüzeyde birbirine bağlayan demir öğelerdir. Taş örgüsünde kullanılan kenet ve zıvanalar rutubet etkisi ile paslanıp korozyona uğrayabilmektedir. Oluşan bu pas, demirin şişerek hacminin artmasına neden olup taşın dağılmasına yol açmaktadır.

Tarihi yapılarda yer alan kenetler taşları taşa bağlamak, taşları kaplama için kullanılan malzemeye bağlamak veya yapı içerisinde yer alan ahşap elemanları taşa bağlamak amacıyla kullanılmıştır. Kenet yapımında hammadde olarak tunç, bakır veya demir kullanılmıştır. Genel olarak U biçiminde yapılmaktadır. Kenet yapımında kullanılan demir çubuk tek defada dövülerek üretildiği gibi, uzun şerit haline getirildikten sonra katlanarak U biçimi verilmesiyle de yapılabilir. Bazı tarihi yapılarda kıvrık uçları aşağıya doğru genişleyen türde de kenetlere rastlamak mümkündür.

Kenetler kesme taş kullanılarak yapılan minarelerde vazgeçilmez bir öğe olarak kullanılmıştır. Ayrıca yığma yapılarda çeşitli örgü tiplerindeki duvarlarda duvar elemanlarının birbirine bağlanması da kullanılmıştır. Kenet kullanılarak yapılan örgü sistemlerinde çekme gerilmelerinin normal kâgir sistemlere oranla daha iyi karşılırlar.

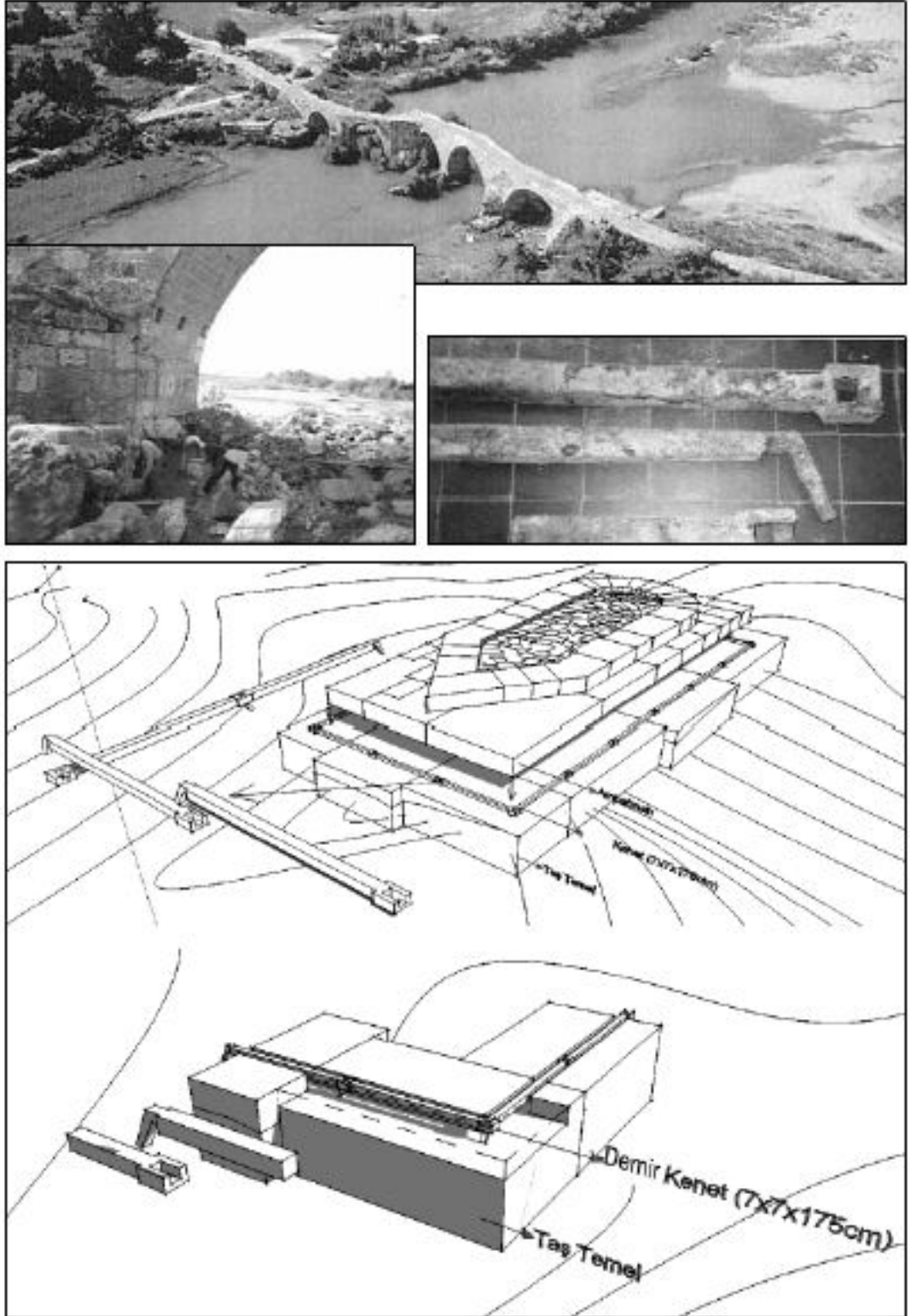
Bazı tarihi yapılarda ahşap elemanların diğer yığma yapı elamanlara bağlanması da kenet kullanılmıştır. Kenet tipi olarak U biçimli kenet kullanılmakla birlikte bu kenedin bir ucu sivriltilerek ahşabın içine girmesi kolaylaştırılmıştır. Ahşap kirişlerin yığma konstrüksiyona bağlanması kenetler kullanılarak kirişlerin duvardan sıyrılması önlenmeye çalışılmıştır.

Roma ve Bizans dönemi köprülerinin birçoğunun temel sistemleri; büyük taş bloklarının birbirine demir kenetlerle bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Buna en iyi örneklerinden bir tanesi Roma döneminde Adana'da yapılan Taşköprü'dür (şekil 5.2.).



şekil 5.2. Taşköprü temelinde kullanılan demir kenetler (Sert, 2007)

Diğer bir örnek Antalya’da bulunan Aspendos Köprüsü (Belkıs), Roma Dönemi temelleri üzerine (2. yy) inşa edilmiş Selçuklu köprüsüdür. Temellerde kullanılmış olan orijinal demir kenet uzunluğu 175 cm’dir (Şekil 5.3.). Onarım esnasında bulunan bu kenetler Antalya müzesinde sergilenmektedir (Sert, 2007).



Şekil 5.3. Aspendos Köprüsünde kullanılan demir kenetler (Sert, 2007)

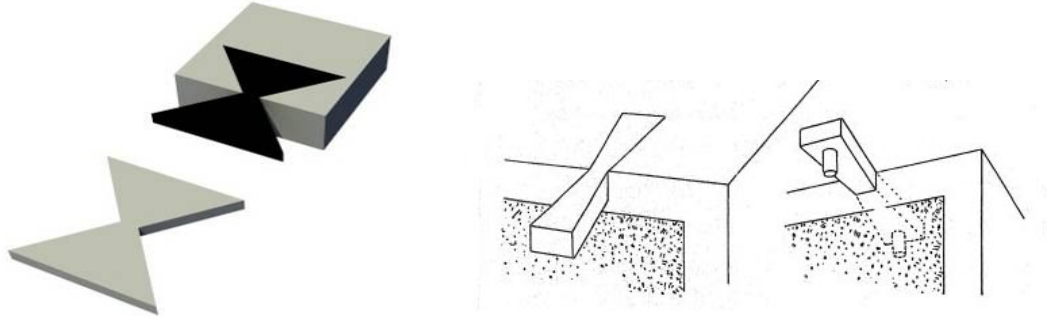
Kenetleri farklı kategorilerde sınıflandırmak mümkündür.

5.1.1. Şekillerine göre kenetler

5.1.1.1. Kırlangıç kuyruğu kenetler

Kenetler demirden yapılmış olduğu bilinmesine rağmen, kırlangıç kuyruğu olarak adlandırılan ahşap kenetler Mısırdaki, Minos ve Miken uygarlıklarında kullanıldığı görülmüştür (Bingöl, 2008).

Kırlangıç kuyruğu kenetlere ait örnekler Şekil 5.4. ve 5.5.'te verilmiştir.

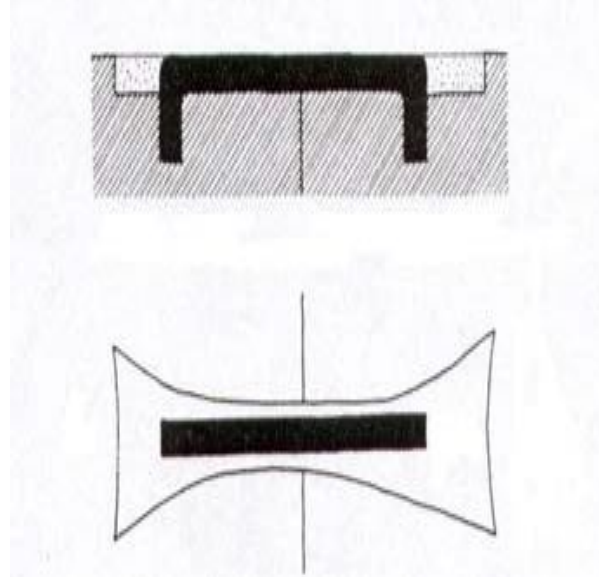


Şekil 5.4. Kırlangıç kuyruğu kenet



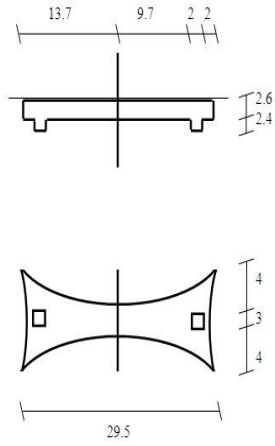
Şekil 5.5. Knidos Yuvarlak Tapınak, kırlangıç kuyruğu kenet (URL-2.)

Magnesia Artemis Tapınağı'nda yan yana birleşen taşların birbirine bağlanmasında sadece, "kırlangıç kuyruğu yuvada -U- tipi kenet" tekniği kullanılmıştır (Bingöl, 2008). Şekil 5.6.'da, Magnesia Artemis Tapınağı'nda, kenetin yuvası kırlangıç kuyruğu şeklinde açılmış, ama içine iki ucu kanca oluşturacak şekilde kıvrılmış "U" tipi kenet yerleştirilmiştir. Ancak kenet yuvalarında "U" tipi kenet kullanılsa da, bu kenetler için açılan kırlangıç kuyruğu yuvaları 4 farklı şekilde yapıldığı tespit edilmiştir.



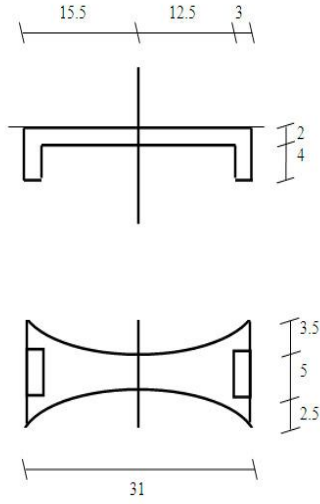
Şekil 5.6. Kırlangıç kuyruğu yuvada U tipi kenet uygulaması (Demirtaş, 2006)

Şekil 5.7.'de, Magnesia Artemis Tapınağı'nda, Kırlangıç kuyruğu kenet yuvasının uzun ve kısa kenarları kavisli yapılmıştır.



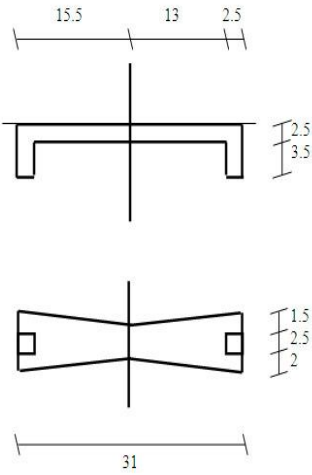
Şekil 5.7. Kırlangıç kuyruğu yuvası tip I örneği (Demirtaş, 2006)

Şekil 5.8.'de, Magnesia Artemis Tapınağı'nda, Kırlangıç kuyruğu kenet yuvasının uzun kenarları kavisli, kısa kenarları ise düz yapılmıştır.



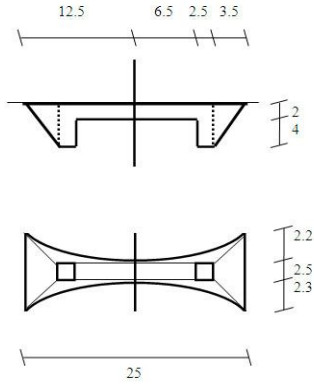
Şekil 5.8. Kırılmaç kuyruğu yuvası tip II örneği (Demirtaş, 2006)

Şekil 5.9.'da, Magnesia Artemis Tapınağı'nda, Kırılmaç kuyruğu kenet yuvasının uzun ve kısa kenarları düz yapılmıştır.



Şekil 5.9. Kırılmaç kuyruğu yuvası tip III örneği (Demirtaş, 2006)

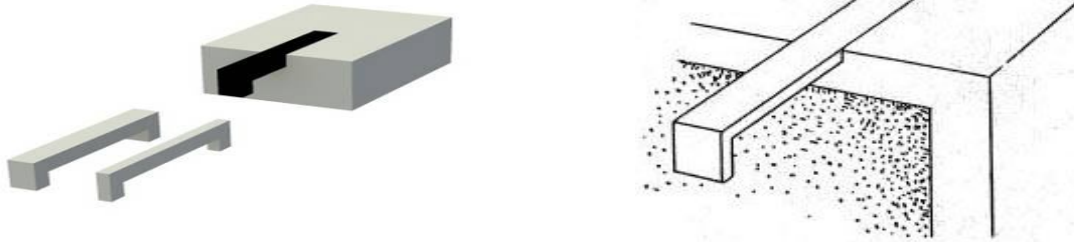
Şekil 5.10.'da, Magnesia Artemis Tapınağı'nda, Kırılmaç kuyruğu kenet yuvasının uzun kenarları kavisli, kısa kenarları düz yapılmış ancak kenarların prizmatik bir görünüme sahiptir.



Şekil 5.10. Kırılmaç kuyruğu yuvası tip IV örneği (Demirtaş, 2006)

5.1.1.2. U tipi kenetler

Şekil 5.11.'de tarihi yapılarda en sık rastlanılan U tipi kenetler gösterilmiştir.



Şekil 5.11. U tipi kenet demiri

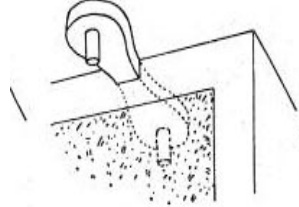
Magnesia Artemis Tapınağında kullanılan U tipi kenet Şekil 5.12.'de görülmektedir.



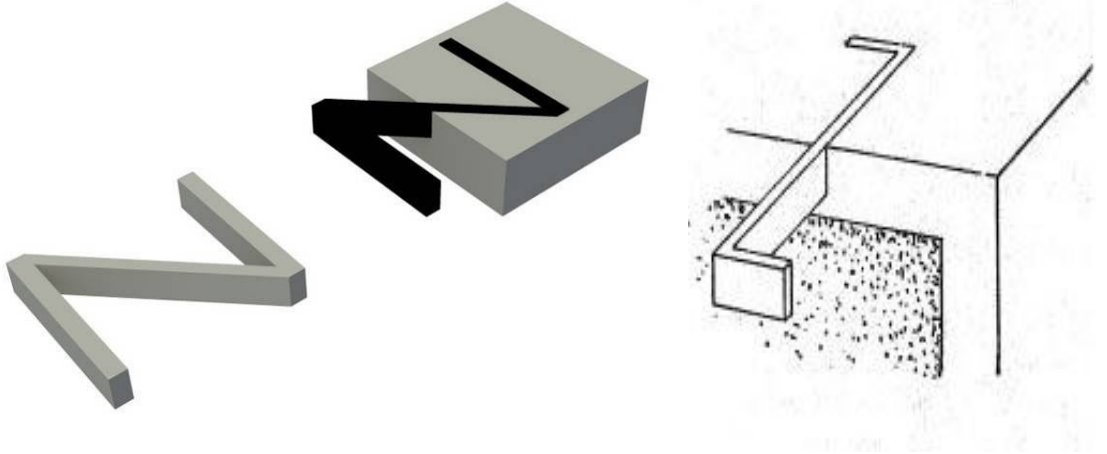
Şekil 5.12. Magnesia Artemis Tapınağı U tipi kenet örneği (Demirtaş, 2006)

5.1.1.3. Diğer kenet çeşitleri

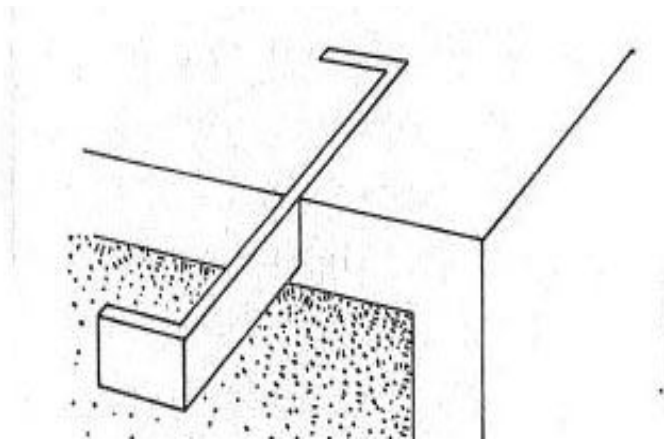
Tarihi yapılarda çeşitli kenet tiplerine rastlanmaktadır. Bunlara ait çizimler Şekil 5.13., 5.14., 5.15. ve 5.16.'da gösterilmiştir.



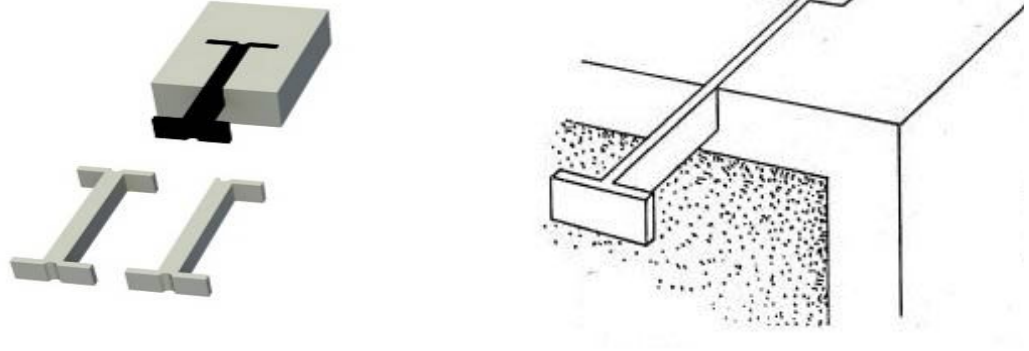
Şekil 5.13. Balık şekilli kenet



Şekil 5.14. "Z" tipi kenet



Şekil 5.15. "T" tipi kenet



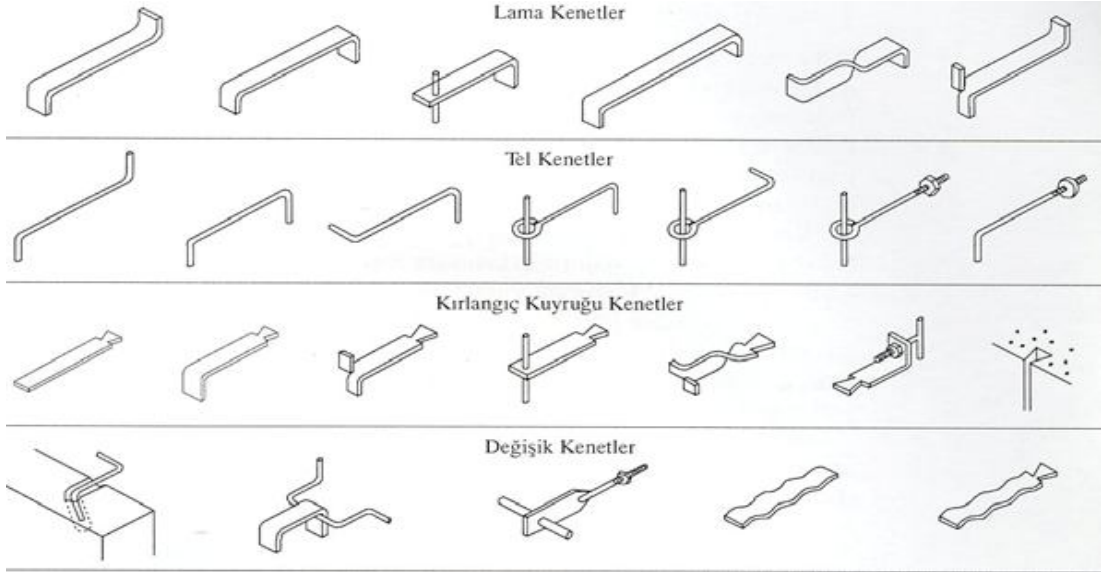
Şekil 5.16. “T” tipi kenet (Çift)

Kırık taşların onarımında kullanılmış güncel kenet uygulaması örneği Şekil 5.17.’de görülmektedir.



Şekil 5.17. Venedik’te bir köprüde kenet uygulaması

İki farklı kenetin birleşmesiyle de oluşan kenetler yapılabilmektedir. Kenetler genellikle lama kesitindeki metallere yapılmakla birlikte, yuvarlak kesitli metallere de üretilebilir. Şekil 5.18.’de, kenet sistemlerinin farklı sınıflandırma örnekleri görülmektedir.



Şekil 5.18. Kenet çeşitleri (Toydemir vd, 2000)

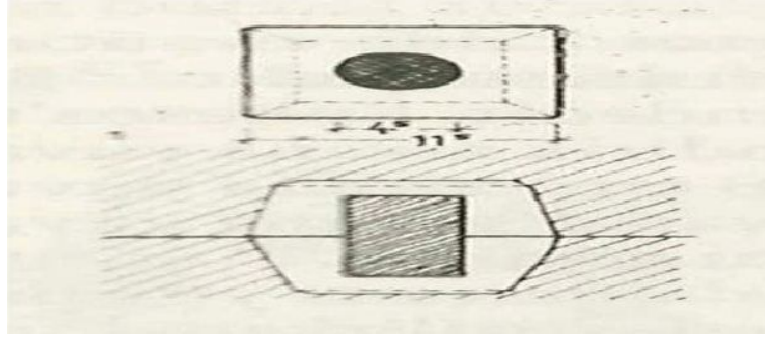
5.2. ZIVANA

Duvarlarda üst üste gelen taşları birbirine bağlamak için kullanılan pimlere zıvana demiri adı verilir. Zıvana demirleri alt üst taşlar arasında çekme elemanı görevini yapmaktadır. Taşlardaki oyuklar zıvana demiri konulduktan sonra kurşunla doldurulmaktadır. Zıvanaların biçimleri değişiklik göstermemekle birlikte kullanım yerlerinde ve boyutlarında farklılıklar bulunmaktadır. Zıvanalar özellikle yatay etkilerin olduğu yerlerde kullanılmıştır. Zıvanalar uçları şişkin ortası ince olabildiği gibi keskin köşeli prizmatik de olabilmektedir. Zıvanalar sütun ve başlıkların bağlanmasında, kemerlerin taşları arasında, minarelerde ve basamak bloklarını bağlamakta kullanılmıştır. Zıvanalar genel olarak düşey bağlantıyı sağlamak amacıyla yapılmıştır, ancak hem yatay hem de düşey bağlantıyı sağlamak için iki biçimde de kullanılabilir.

Zıvanalar, dikdörtgenler ve kare prizması şeklinde ya da silindirik şekilde olan demir bağlantı unsurlarıdır. Birbiri üzerinde yükselen yatay ve eğimli sıralardaki elemanları yanındaki ve altındaki elemanlarla, dikey taşıyıcıları oluşturan sütunlarda da bir tamburu altındaki ve üzerindeki tamburlara bağlayan zıvanalar, yine prizmatik ya da silindirik şekilde açılmış yuvalara uygulanmaktadır.

Zıvanalar, Mısır uygarlığından Hititlere kadar kadar çok yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Boğazköy (Hattuşuş-Çorum)'de, Bayraklı (Smyrna-izmir) Athena Tapınağı ve Efes'teki sütunlarda ahşap zıvanalar yaygın olarak kullanılmıştır.

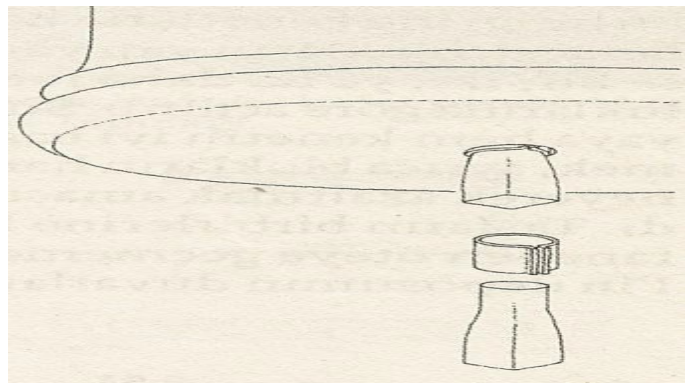
Parthenon Tapınağı (Atina) ahşap zıvana içinde kullanılan bronz zıvana Şekil 5.19.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.19. Parthenon Tapınağında kullanılan ahşap zıvana (Bingöl, 2008)

Ahşap zıvanalar çoğunlukla zeytin, sedir ve çam ağacından yapılmıştır. Zıvanaların kullanımını MÖ 5. yüzyılda yaygınlaştırmıştır.

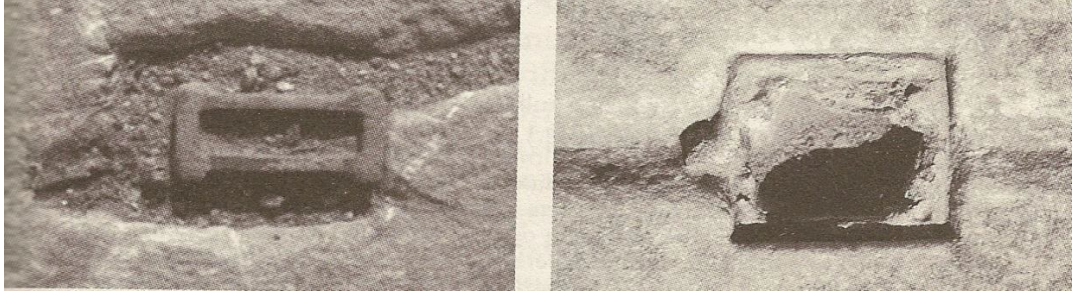
Kuşkusuz, zıvanalar yapıların en önemli detaylarını oluşturmaktadır. Bu bakımdan genel zıvana örneklerinden farklı uygulamalarla karşılaşmıştır. Şekil 5.20.'de görülen Bodrum Antik Tiyatrosunda kullanılan uygulamadır (Bingöl, 2008).



Şekil 5.20. Zarflı sistem uygulaması (Bingöl, 2008)

Zarf olarak adlandırılan iki dişi zıvana, bir erkek zıvanaya birbirlerine bağlıdır. Dikdörtgen prizması şeklindeki erkek zıvana, dişi zıvanalara kurşun dökülerek perçinlenmiştir. Zarf tipi dişi zıvanaların ile erkek zıvanaların boyutlarının tamamen

uyumlu olduğu gör÷lmektedir. Buna başka bir deyişle dişi ve erkek zıvana sistemi olarak tanımlanabilir (Şekil 5.21.) (Bingöl, 2008).



Şekil 5.21. Dişi ve erkek zıvana sistemi örneği, Bodrum antik tiyatrosu (Bingöl, 2008)

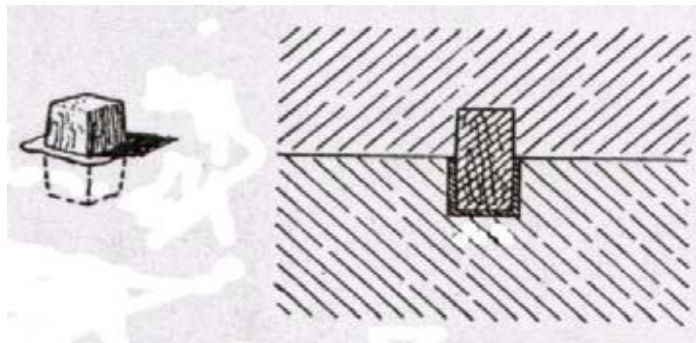
Zıvanalar, bağlantı yaptıkları yöne göre ayırmak mümkündür.

5.2.1. Düşey bağlantı elemanı olarak kullanılan zıvanalar

Düşey bağlantı elemanı olarak kullanılan zıvanaları, şekillerine göre gruplara ayırabiliriz.

5.2.1.1. Prizmatik şekilli zıvanalar ve yuvaları

Üst üste oturan blokların birbirine bağlanmasında kullanılan zıvana türlerindedir. Dikey bağlantı elemanı olarak kare prizması şeklinde açılmış yuvalarda kullanılmışlardır. Bunlara ait örnekler Şekil 5.22. ve 5.23.'de verilmiştir.



Şekil 5.22. Prizmatik zıvana ve yuvasına uygulanması (Demirtaş, 2006)

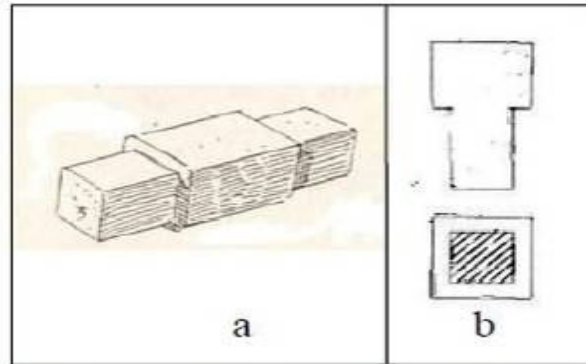


Şekil 5.23. Magnesia Artemis Tapınağı, prizmatik zıvana yuvası (Demirtaş, 2006)

5.2.1.2. Prizmatik şekilli gömlekli zıvanalar ve yuvaları

Üst üste oturan blokların birbirine bağlanmasında kullanılan zıvana türlerindedir. Dikey bağlantı elemanı olarak iç içe geçmiş kare prizması şeklinde açılmış yuvalarda kullanılmışlardır.

Uzunlukları birbirinden farklı olan iç içe geçmiş iki prizmatik zıvana yuvasından oluşmaktadır. Şekil 5.24.'de daha uzun olan küçük yuvaya prizmatik bir zıvana yerleşmekte, kısa olan büyük yuvaya ise bunu saran kurşun gömlek ya da ahşap gömlek konulmaktadır.



Şekil 5.24. (a) Prizmatik gömlekli zıvana, (b) zıvana yuvası (Demirtaş, 2006)

Genelde küçük yuvalar, büyük yuvalara göre daha derin yapılmışlardır. Büyük yuvalar ise derinliği azdır. Zıvana bu küçük ama daha derin olan yuvaya yerleştirildiğinde, büyük yuva zıvananın etrafında bir gömlek ya da zarf gibi ikinci bir yuva oluşturmaktadır. Bu büyük yuvaya da zıvananın gövdesini saran kurşun ya da ahşap gibi koruyucu bir gömlek yerleştirilerek yuvaya kurşun akıtılmadan zıvananın yuvaya

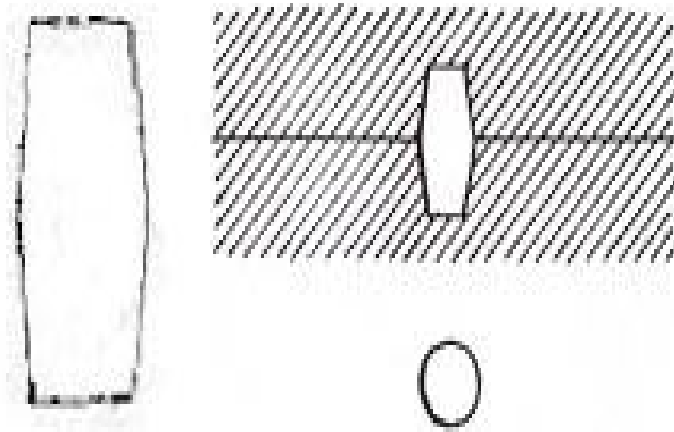
sıkılaştırılması ve korunması gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.25.'de Magnesia Artemis tapınağında kullanılan gömlekli zıvana yuvası gösterilmektedir (Demirtaş, 2006).



Şekil 5.25. Prizmatik gömlekli zıvana yuvası (Demirtaş, 2006)

5.2.1.3. Silindir şekilli zıvanalar ve yuvaları

Üst üste oturan blokların birbirine bağlanmasında kullanılan zıvana türlerindedir. Dikey bağlantı elemanı olarak silindir şeklinde açılmış yuvalarda kullanılmışlardır. Magnesia Artemis tapınağında kullanılan örnekler Şekil 5.26. ve 5.27.'de verilmiştir (Demirtaş, 2006).



Şekil 5.26. Silindir şekilli zıvana ve zıvana yuvası



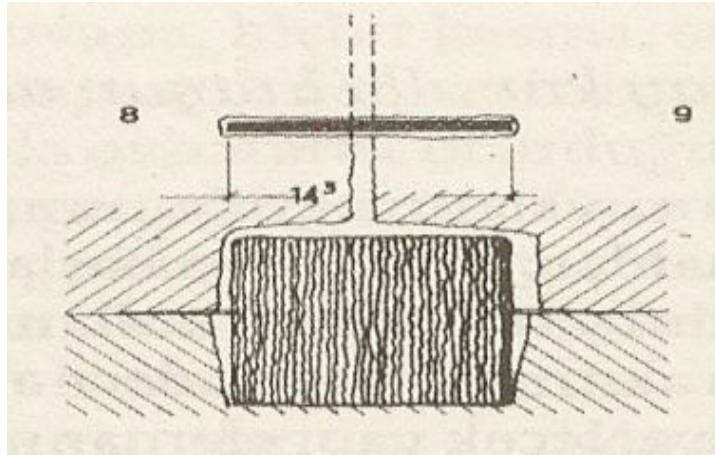
Şekil 5.27. Sütun başlığında silindir şekilli zıvana örneği

5.2.2. Düşey ve yatay bağlantı elemanı olarak kullanılan zıvanalar ve yuvaları

Alt ve üst sıralardaki blok taşların hem düşey hem de yatay olarak birbirlerine bağlanmasında kullanılan zıvanalardır. Alt ile üst sıranın elemanlarını iki ya da üçlü olarak birbirlerine bağlayan zıvana türleridir. Bu nedenle, sadece düşey olarak bağlantı sağlayan prizmatik zıvanalara göre daha avantajlıdır.

5.2.2.1. Birleşen yanları açık zıvanalar ve yuvaları

Şekil 5.28.'de “İki, bir yanı açık zıvanalama sistemi” içerisinde kullanılan zıvanalar ve yuvalarıdır (Bingöl, 2002).



Şekil 5.28. İki, bir yanı açık zıvanalama sistemi

Magnesia Artemis tapınağında Şekil 5.29.'da alt sıradaki taşın üzerine dikdörtgen planlı, prizmatik bir zıvana yuvası açılmış ve Şekil 5.30.'da bu taşın üzerine gelecek olan iki taşın da bu yuvanın tam ortasında birleşecek olan kenarlarına bir yanı açık zıvana yuvası açılmak sureti ile yapılmıştır.

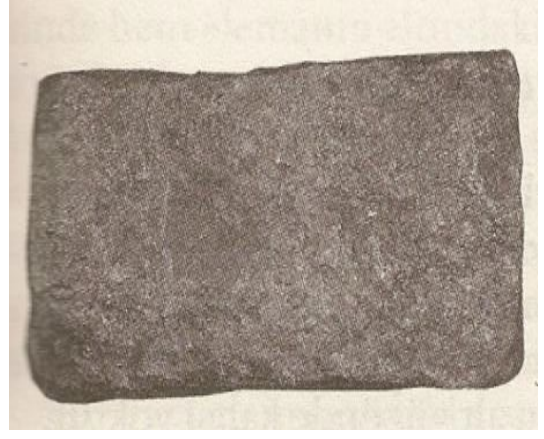


Şekil 5.29. Alt taşın üzerine açılan kapalı zıvana yuvası örneği (Demirtaş, 2006)



Şekil 5.30. Üst taşların altına açılan kapalı zıvana yuvası örneği (Demirtaş, 2006)

Şekil 5.31.'de Magnesia Artemis tapınağında “iki, bir yanı açık zıvanalama sistemi”nde kullanılan zıvana örneği gösterilmektedir (Demirtaş, 2006).



Şekil 5.31. İki, bir yanı açık zıvana örneği

Bu blokları birleştirecek olan zıvana altta bulunan taşın üst yüzeyindeki yuvaya yerleştirilir. Daha sonra üste oturacak taşın alt yüzeyinde bulunan yanları açık zıvana yuvaları bu zıvanaya oturtularak bu üç blok arasında bağlantı sağlanmıştır (Şekil 5.32.).

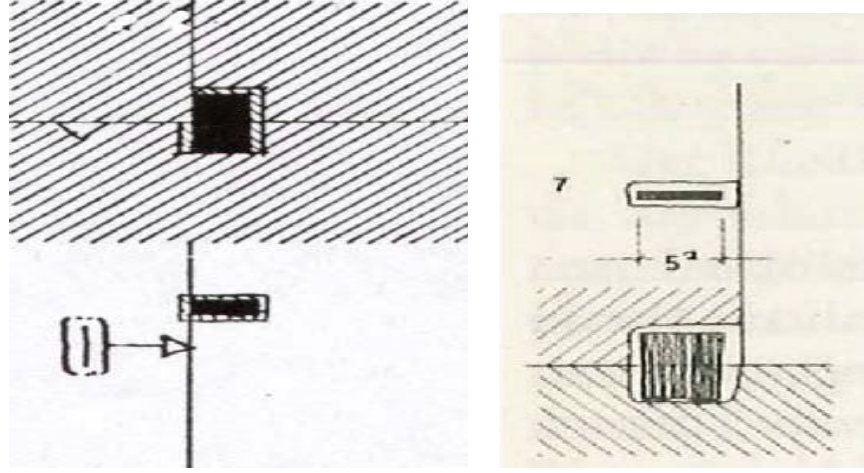


Şekil 5.32. İki, bir yanı açık zıvana yuvası (Demirtaş, 2006)

Aynı sistem alt ve üst sıradaki her elemana uygulanması ile yatay bağlantı sağlayan kenetlerin yanı sıra hem bu bağlantıyı kuvvetlendiren, hem de düşeyde de bağlantı sağlayan bir sistem kullanılmıştır. Böylece üst üste gelen iki blok taştaki birleşen yanlardaki açık zıvana yuvaları birleşip yanaştıkları kenardaki kapalı zıvana yuvasını örtmüş olur. Sonuçta aynı sistemin farklı uygulaması olarak karşımıza çıkan bu durumda sadece düşeyde iki bloğu birbirine bağlayan prizmatik zıvanalar yerine, hem düşey hem de yatayda çapraz bir bağlantı sağlayan bu sistem yapıya daha fazla dayanım kazandırdığı görülmektedir.

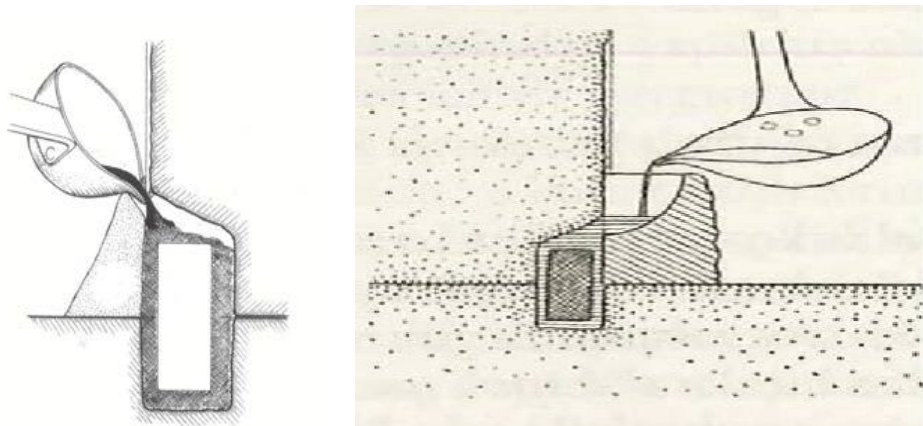
5.2.2.2. Bir yanı açık zıvanalar ve yuvaları

“Bir yanı açık zıvanalama sistemi” içinde kullanılan zıvanalar ve yuvalarıdır. Taşın tek yan kenarına bir yanı açık zıvana yuvası yapılmakta ve bu alttaki taşa açılan kapalı zıvana yuvasına oturtulmaktadır. Burada taşın yanına gelen taşın yan yüzeyinde zıvana yuvası olmadığından düz kenarıyla bu yuvayı kapattığı görülmüştür (Şekil 5.33.) (Bingöl, 2002).



Şekil 5.33. Bir yanı açık zıvana yuvası ve içinde zıvanası (kesit ve plan)

Şekil 5.34. ve 5.35.'de diğer taş henüz yanaştırılmadan önce, zıvana yuvasının açık kenarı kapanmayacak şekilde çamur vb. ile kapatılarak, kurşun bu açık kısımdan yuvaya boşaltılır ve dövülerek perçinlenir. Bu akıtma kanallarının 3. yüzyılda kullanılmaya başlandığı bilinmektedir (Bingöl, 2008).



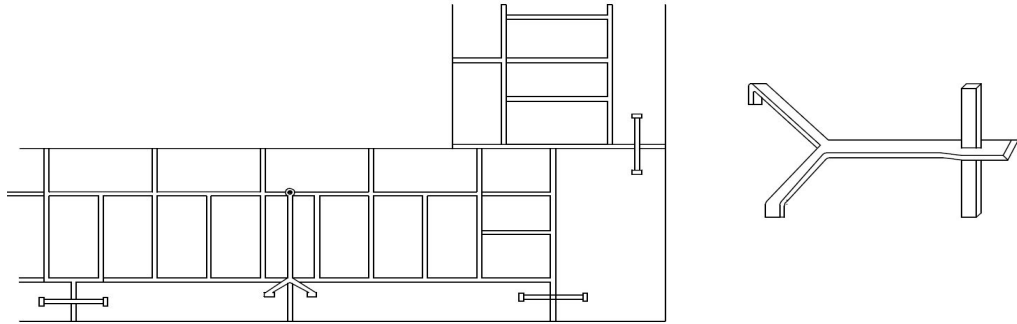
Şekil 5.34. Tek taraflı, bir yanı açık zıvana yuvasına kurşun akıtılması



Şekil 5.35. Magnesia Artemis sunağında perçinlenmiş U tipi kenet (Bingöl, 2008)

5.3. Arası Dolgulu Duvar Tipinde Kullanılan Kenet ve Zıvana Sistemleri

Tarihi yapılardaki moloz taş örgü duvar sistemlerinde birbirine kenetlerle tutturulmuş taşlar, arası taş, moloz taş, harç veya taş karışımı ile doldurulmuştur. Duvar yüksekliği arttıkça, iki taş bloğu arasında cidar basıncı artar ve bu basınç nedeniyle oluşan bloklar arası açılma kenet demiri ile giderilmiştir (Şekil 5.36.).



Şekil 5.36. Arası taş dolgulu duvar tipinde kullanılan kenet ve zıvana örneği

Tarihi yapılardaki yanaşık derzli duvar örgü sistemlerinde taşlar arasında kullanılan harçların bağlayıcılık özelliği fazla olmadığından elemanlar arasında açılmayı önlemek için kenetler kullanılmıştır.

Duvar içine konulan harcın prizini alması uzun zaman aldığından duvar yükseldikçe açılmaların önlenmesi için bazı tarihi yapılarda ara malzeme tabakalar halinde doldurulurdu. Duvar örgülerinde kullanılan kenetler taşlara yerleştirildikten sonra kalan boşluklar kurşunla doldurularak kenetlerin sabitlenmesi sağlanırdı. Kenetlerin sabitlenmesi için kullanılan kurşun miktarı, kenet sayısı, kenet aralıkları yapıdan yapıya değişiklik göstermektedir.

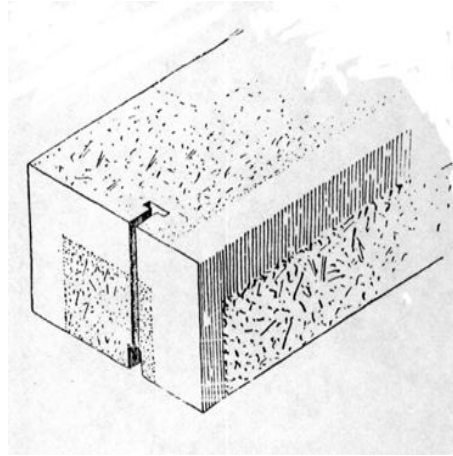
5.4. Kurşun Akıtma Kanalları

Kenet ve zıvana yuvaları, kenet ve zıvanalardan büyük açılmış ve üst sıradaki taşın yerleştirilirken rahat hareket etmesi sağlanmıştır. Ancak kenetlerin taşlara yerleştirilmesinden ve taşların zıvanalara oturtulmasından sonra, kenet ve zıvananın etrafında kalan boşluklar kalmıştır. Bu boşlukları doldurmak ve demir olan kenet ile zıvananın hava koşullarından etkilenmesi, paslanıp şişmesini ve taşa zarar vermesini önlemek amacıyla yuva kurşunla doldurulmuştur. Doldurma işlemi bu iş için açılmış ve dışarıdan görülmeyen akıtma kanalları vasıtasıyla yapılmıştır.

Kurşunla yapılan bu tarz bir tespiti, taşları birbirine kuvvetli bir şekilde bağlamasının yanı sıra; kule, minare ve benzeri yüksek yapılarda, sistemin bütününe belirli bir esneklik sağlamakta, bu ise yapıların yatay yükler karşısında davranışını olumlu etkilemektedir.

5.4.1. Dikey akıtma kanalları

Dikey akıtma kanalları, yaygın olarak kullanılan ve üçlü bir bağlama sistemi olan “iki, bir yanı açık zıvanalama” sisteminde kullanılmışlardır. Şekil 5.37. ve 5.38.’de bunun için birleşen kenar yüz yüze boyunca yaklaşık 1 cm. derinliğinde ve 3 cm genişliğinde dikey kanallar açılmıştır (Demirtaş, 2006).



Şekil 5.37. Dikey akıtma kanalına örnek



Şekil 5.38. Magnesia Artemis Tapınağında dikey akıtma kanalı örneği

Taşlar yerleştirildikten sonra bu kanala üstten kurşun dökülerek kenet ve zıvana yuvalarının boşluğu doldurulmuştur. Kanal birleşen yan yüzeylere açıldığından cephelerden görülmemektedir. Sadece yukarıdan görülebilmektedir. Taşların birleşen iki yüzeyinden sadece bir yüzeyinde akıtma kanalı açılmıştır.

5.4.2. Yatay akıtma kanalları

Taşların üst yüzeylerinde bulunan prizmatik ya da silindir şekilli zıvana yuvalarında, taşların yerleştirilmesinden sonra kalan boşlukları doldurmak ve yuvadaki zıvanayı sıkıştırmak amacıyla taşların üst yüzeyine açılan kanallara yatay akıtma kanalı adı verilir. Bu kanallar, Şekil 5.39.'da zıvana yuvasıyla bağlantılı olarak ve görülmeyecek şekilde yapılmışlardır (Demirtaş, 2006.).



Şekil 5.39. Magnesia Artemis Tapınağında yatay akıtma kanalı örneği

6. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışma, yüksek lisans tez çalışması olarak planlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Deneyler Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında yapılmıştır. Bu araştırma, toplam 10 adet deney numunesini kapsamaktadır. Deney numuneleri D00, D01, D02, D11, D12, D21, D22, D31, D32 ve D41 olarak isimlendirilmiştir. Tüm deney numunelerinin boyutları eşit ve 150x650x730 mm ebatlarındadır.

10 deney elemanından D00 referans elemanıdır. Deney programının diğer 9 deney elemanında kenet ve zıvana kullanılmıştır.

6.1. Deney Elemanlarının Üretilmesi

Harç bakımından özdeş olan 10 adet deney numunesi üretilmiştir (Şekil 6.1.). Deney numunelerinin üretimine duvar örme işlemiyle başlanmıştır. Bunun için 200x150x100 mm boyutlarında ocaktan özel olarak kestirilen taşlar kullanılmıştır. Duvar örme işlemi, ara derzler şaşırtmalı olacak şekilde bir sırada 3½ adet taştan toplam 6 sıra olacak şekilde yapılmıştır. Yatay ve düşey derzlerde uygulanan harç kalınlığı eşit ve 10 mm'dir. Harç, uygulamayı yapan kişinin pratik tecrübesi doğrultusunda ve kolay işlenebilir özellikte üretilmiştir.



Şekil 6.1. Örme işlemi tamamlanmış duvar numunesi

6.2. Deney Elemanlarında Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Deneylelerden elde edilen verilerin sağlıklı karşılaştırılabilmesi için deney elemanlarının üretiminde kullanılan malzemelerin aynı karakteristik özelliklerde olmasına özen gösterilmiştir.

6.2.1. Taş, taş kırığı ve taş tozu

Deney için kullanılan doğal taşlar, volkanik dağ olan Hasan Dağı eteklerinde yer alan, Aksaray ili sınırlarında bulunan Sevinçli Kasabasında bulunan taş ocağından alınmıştır. Bu taşı seçmemizin temel nedeni, Aksaray civarındaki tarihi yapılarda ve restorasyon işlemlerinde bu taşın sıklıkla kullanılmış olmasıdır.

Seçtiğimiz doğal taşın (Şekil 6.2.), Ankara Üniversitesi Başkent Meslek Yüksek Okulu Malzeme Araştırma ve Koruma Laboratuvarında fiziksel ve jeokimyasal analizleri yapılmıştır.



Şekil 6.2. Aksaray ili Sevinçli Kasabasından alınan doğal taş numunesi (AST-T1)

Kullanılan taşın fiziksel test sonuçları Çizelge 6.1.'de ve jeokimyasal analiz sonuçları Çizelge 6.2. ile Çizelge 6.3.'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Doğal taşın fiziksel test sonuçları

Test Türü	Sonuç / Birim
Sertlik (Hardness) (Mohs)	3
Sertlik (Hardness) (Dijital Schmidt Çekici Sertliği)	35 (33-37)
Birim Hacim Ağırlığı - Kuru (Unit Volume Weight - Dry)	1,97 g/cm ³
Birim Hacim Ağırlığı - Doygun (Unit Volume Weight - Saturated)	1,52 g/cm ³
Porozite (Porosity)	% 22,78
Ağırlıkça Su Emme (Water Absorption by Weight)	% 15,00
Nemlilik (Humidity)	% 1,15
Renk (Color)	Gri
Doluluk Oranı (Ratio of Fullness)	% 76
Ultrasonik Hız (Ultrasonic Velocity)	60,0 (μs)
Ultrasonik Hız (Ultrasonic Velocity)	5,40 (km/s)
pH (pH)	8,87 (100 mL suda)
Suda Çözünen Toplam Tuz (Water Soluble Salt Content)	590 μS (25 mL suda)
Suda Çözünen Toplam Tuz (Water Soluble Salt Content)	% 0,58 (25 mL suda)
Basınç Direnci (Compressive Strength)	550 kgf/cm ²
Darbe Direnci (Strength to Blow)	23 kgcm/cm ³
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (Uniaxial Strength)	127 kgcm/cm ³

Çizelge 6.2. Taşın jeokimyasal analiz sonuçları – temel elementler

Element		Konsantrasyon Yüzdesi	AST-T1
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 6.3. Taşın jeokimyasal analiz sonuçları – eser elementler

Element		Konsantrasyon Birimi	AST-T1
Co	Kobalt	ppm	11
Ni	Nikel	ppm	3,8
Cu	Bakır	ppm	3,9
Zn	Çinko	ppm	14
Ga	Galyum	ppm	11,3
Ge	Germanyum	ppm	1
As	Arsenik	ppm	9,8
Se	Selenyum	ppm	0,4
Br	Brom	ppm	2,9

Çizelge 6.3. Taşın jeokimyasal analiz sonuçları – eser elementler (devam)

Rb	Rubidyum	ppm	163,9
Sr	Stronsiyum	ppm	124
Y	İtriyum	ppm	9,5
Zr	Zirkonyum	ppm	133,2
Nb	Niyobyum	ppm	16,7
Mo	Molibden	ppm	8,4
Cd	Kadmiyum	ppm	0,8
In	İndiyum	ppm	0,8
Sn	Kalay	ppm	1,5
Sb	Antimon	ppm	1,4
Te	Tellür	ppm	1,3
I	İyot	ppm	2,3
Cs	Seryum	ppm	12
Ba	Baryum	ppm	656,7
La	Lantan	ppm	37,8
Ce	Seryum	ppm	46,4
Hf	Hafniyum	ppm	7,5
Ta	Tantal	ppm	2,8
W	Tungsten	ppm	4
Hg	Civa	ppm	1
Tl	Talyum	ppm	1,5
Pb	Kurşun	ppm	22
Bi	Bizmut	ppm	0,8
Th	Toryum	ppm	32,8
U	Uranyum	ppm	7,4

Doğal taşlar, balyoz yardımıyla kırılarak taş tozu ve kırığı elde edilmiştir (Şekil 6.3. ve Şekil 6.4.). Öğütülen bu malzeme 4 mm'lik elek ile elenmiş, elek altına geçen toz puzolan malzeme olarak harçta kullanılmıştır.



Şekil 6.3. Taş kırığı



Şekil 6.4. Taş tozu

Deneyimizde kullandığımız doğal taşlar, daha önceden laboratuvar koşullarına göre belirlediğimiz 100x150x200 mm boyutlarında özel sipariş verilerek temin edilmiştir. Bu taşlar üzerinde kenetlere gelecek yerler özenle işaretlenmiştir. İşaretlenen noktalar itinalı bir çalışma sonucunda sabit matkap ile delinmiştir. Bu deliğin çapı kullanılacak kenet ve zıvanalara göre hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucun deliğin çapı 10 mm ve derinliği 20 mm'dir. Taşın işaretlenen yerinden delik açılması Şekil 6.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Taşlara zıvana yuvası açılması işlemi

6.2.2. Kum

İçerisinde silis bulunmayan, yıkanmış olduklarından dolayı bünyesinde kil ve silt vb. zararlı maddeleri barındırmayan, temiz ve düzgün tanelerden oluşan ince dere kumu kullanılmıştır.

6.2.3. Kireç

Harç için kullanılan kireç ardiyelerden satın alınmak suretiyle temin edilmiştir. Bu kireçler yüksek dereceli fırınlarda pişirilir. Daha sonra söndürülerek, öğütülmesi sonucu elde edilir.

6.2.4. Albaria İntonaco

Doğal hidrolik kireç esaslı, tarihi kâgir yapıların sıvanmasında kullanılan, doğal silis agrega ve inorganik lifler içeren, çimento içermeyen sıva malzemesidir. İç ve dış sıva yapılmasında, sıva onarımlarında, doğal taş, tuğla duvar derzlerinin onarımında, yüzey onarımlarında kullanılır. Karışım içinde homojen bir şekilde dağılmış özel inorganik mineral lifler ile rötresiz bir harç elde edilir. Bu sayede geleneksel harçlar ile aynı mekanizmada çalışarak, uygulanan yüzeyde sürekliliği sağlayan bir onarım elde edilir.

Suda çözünen tuzlar içermeyen Albaria Intonaco, sıva ve tarihi yığma yapıların restorasyonu için önerilen bir üründür. Asbest içermez, çevre dostudur. Ürüne ait teknik özellikler Çizelge 6.4.'de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Albaria Intonaco sıvasının teknik özellikleri (URL-3.)

Malzemenin Yapısı	Doğal hidrolik kireç, silis agrega ve inorganik lifler içerir.
Renk	Kırık beyazdan açık kahverengiye doğru
*Basınç Dayanımı (TS EN 196) (7 gün)	> 15 kg/cm ²
Dane Boyutu	0 - 3 mm
Mineral Lifler	Uzunluk: 6 mm
Uygulanacak Zeminin Sıcaklığı	+5°C +30°C
Kullanma Suresi (+20°C)	30 dak.
Tam Kurlenme Suresi (+20°C)	7 gün

* Tipik değerler: +23°C'de, %50 bağıl nem koşullarında 4x4x16 cm harç prizmasında yapılan deneyler sonucu elde edilmiştir.

6.2.5. Kenet

Kenet malzemesi, 3 mm lik sac kullanılarak imal edilmiştir. 3 mm'lik sacın ağırlığı 23,55 kg/m²'dir. Sacın ince olmasından dolayı kenetler kolayca hazırlanmıştır.

Kenet hazırlığında kullanılacak uygun ebatta kestirdiğimiz sac örneği Şekil 6.6.'da verilmiştir.



Şekil 6.6. Uygun ebatta kestirilen sac örneği

Kenet yapımında kullanılacak sac ebatlandıktan sonra zıvana gelecek yerler özenle işaretlenir. Bu işaretlenen yerlerden 8'lik matkap ucu ile delinir. Açılan delikler, zımpara makinesi kullanılarak çapakları temizlenmiş ve uygulamaya hazır hale getirilmiştir.

6.2.6. Zıvana

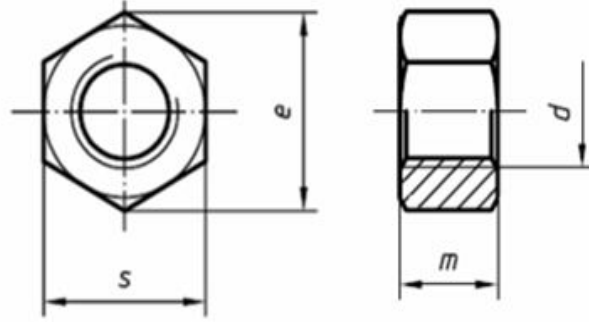
Zıvanaların yapımında 1 metre uzunluğunda 6 mm çapında tijler kullanılmıştır (Şekil 6.7.). Bu tijler 50'şer mm ve 30'ar mm kesilip, zımpara makinesi ile çapakları temizlenmiş ve uygulamaya hazır hale getirilmiştir.



Şekil 6.7. 6 mm çapında tij

6.2.7. Somun

Somun, civata ile beraber kullanılan bir bağlantı elemanıdır. Somun dişleri kullanıldığı ülke standartlarına göre metrik veya inç ölçülerinde olur. Ağırlıklı olarak çelikten yapılırlar. Dayanım sınıflarına göre 6, 8 veya 10 olarak adlandırılırlar. Anahtar ağız tipleri altıköşe veya kare olabildiği gibi farklı kullanım alanları için kelebek, T, kaynak tipi somunlar da bulunur (Şekil 6.8.).



Şekil 6.8. Altı köşe somun teknik resmi

Deneyimizde kullandığımız altı köşe somunun özellikleri Çizelge 6.5.'de verilmiştir.

Çizelge 6.5. Deneyde kullanılan M6 somun özellikleri

Anma çapı Ø	(d) (mm)		Anahtar Ağız (s) (mm)		(e) (mm)	(m) (mm)	
	Min.	Max.			Min.	Min.	Max.
M6	6,00	6,75	9,78	10,00	11,05	4,90	5,20

6.2.8. Dübel

Zıvanaların taşlara sabitlenebilmesi için 8 mm'lik plastik dübeller kullanılmıştır.

6.2.9. Harç

Tarihi yapılarda harç malzemesi olarak genelde horasan harcı kullanılmaktadır. Bu amaçla çalışmamızda horasan harcının mekanik özelliklerine yakın yapay horasan harcı kullanılmıştır.

Model taş duvarların üretilmesinde kullanılan yapay horasan harcı için karışım oranları Çizelge 6.6.'da verilmiştir.

Çizelge 6.6. Harç içindeki malzeme oranları

Malzeme	Miktarı
Taş kırığı	¼ Hacim
Taş tozu	¾ Hacim
Kireç	3 Hacim
İnce kum	3 Hacim
Albaria	1 Hacim

Çizelge 6.6.'daki karışım oranlarına göre harcın karılması işlemi Şekil 6.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 6.9. Harç malzemesinin karılması

Kullanılan harcın mekanik özellikleri Çizelge 6.7.'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.7. Oluşturan Horasan harcının mekanik özellikleri

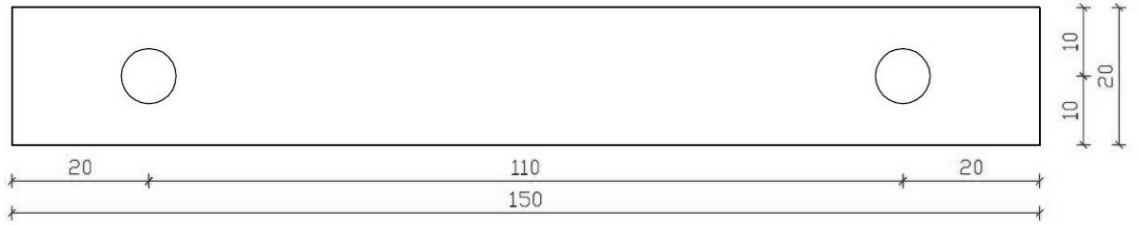
Basınç Dayanımı	Elastisite Modülü	Kayma Modülü
2,39 MPa	1420 MPa	584 MPa

6.3. Deney Elemanlarında Kullanılan Kenet Tipleri

Deney elemanlarında kullanılmak üzere 3 tip kenet üretilmiştir.

6.3.1. Tip I Kenet

Kenet yapımında kullanılan sacın kalınlığı 3 mm'dir. Genişlik 20 mm olup uzunluğu 150 mm seçilmiştir. Bu modelin genişliği 30 mm olarak da seçilerek model üretimi yapılmıştır. Fakat 30 mm genişlik kullanılan model 20 mm genişlik kullanılan modele göre bir iyileştirme sağlayamamıştır. Bu sebeple diğer tüm modellerde 20 mm genişlik seçilmiştir. Zıvana olarak kullanacak tijlerin çapının 6 mm olmasından dolayı sacın üzerine sabit matkap ile 8 mm'lik iki adet delik açılmıştır (Şekil 6.10.).



Şekil 6.10. Tip I kenet

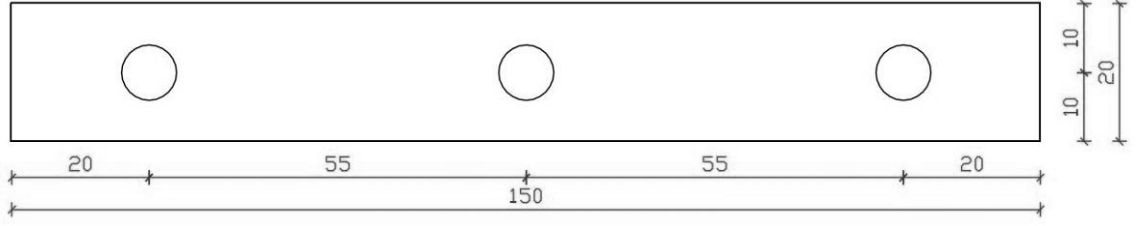
Delikler arası mesafe, 110 mm'dir. Bu mesafe taşın kenarına olan mesafenin 2 katının (2x50 mm) üzerine, 10 mm derz mesafesi eklenerek hesaplanan değerdir. Deliklerin kısa kenara olan mesafeleri eşit ve 20 mm'dir. Deliklerin uzun kenara mesafeleri eşit ve 10 mm'dir. Verilen değerler, merkezleri arasındaki mesafeyi ifade etmektedir. Şekil 6.11.'de hazırlanan tip I kenet gösterilmektedir.



Şekil 6.11. Tip I kenet

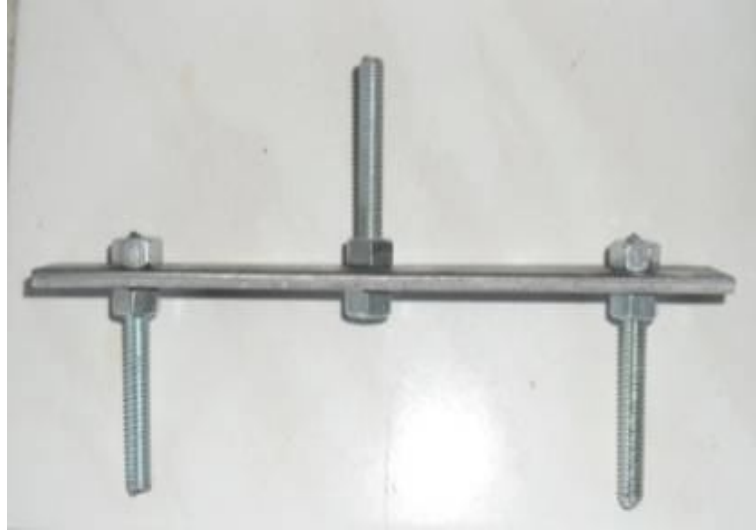
6.3.2. Tip II Kenet

Kenet yapımında kullanılan sacın kalınlığı 3 mm'dir. Genişlik 20 mm olup uzunluğu 150 mm seçilmiştir. Sacın üzerine sabit matkap ile 8 mm'lik üç adet delik açılmıştır (Şekil 6.12.).



Şekil 6.12. Tip II kenet

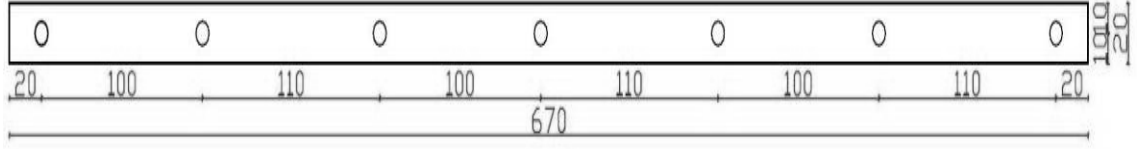
Delikler arası mesafe 55 mm'dir. Bu mesafe taşın kenarına (50 mm) olan mesafe ile 10 mm derz mesafesinin yarısı eklenerek hesaplanan değerdir. Kısa kenara yakın olan 2 deliğin mesafeleri eşit ve 20 mm'dir. Ortadaki deliğin kısa kenarlara olan mesafesi 75 mm uzun kenara mesafeleri eşit ve 10 mm'dir. Verilen değerler merkezleri arasındaki mesafeyi ifade etmektedir. Şekil 6.13.'de hazırlanan tip II kenet gösterilmektedir.



Şekil 6.13. Tip II kenet

6.3.3. Tip III Kenet

Kenet yapımında kullanılan sacın kalınlığı 3 mm'dir. Genişlik 20 mm olup uzunluğu 670 mm seçilmiştir. Sacın üzerine sabit matkap ile 8 mm'lik yedi adet delik açılmıştır. Delikler arası mesafeler, sırası ile 100 mm ve 110 mm'dir (Şekil 6.14.).



Şekil 6.14. Tip III kenet

Bu mesafeler zıvana yerlerine denk gelecek şekilde hesaplanarak bulunan değerlerdir. Aynı taşa gelen zıvanalar arası mesafeler 100 mm olup farklı taşa gelen zıvanalar arası mesafeler 110 mm olarak ayarlanmıştır. Kısa kenara yakın olan 2 deliğin mesafeleri eşit ve 20 mm'dir. Tüm deliklerin uzun kenara mesafeleri eşit ve 10 mm'dir. Verilen değerler, merkezleri arasındaki mesafeyi ifade etmektedir. Şekil 6.15.'de hazırlanan tip III kenet gösterilmektedir.

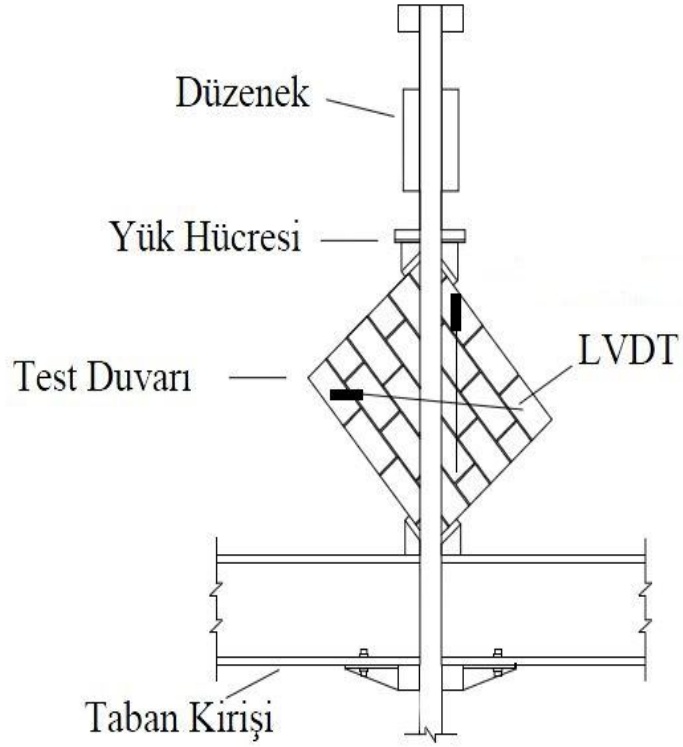


Şekil 6.15. Tip III kenet

6.4. Deney Düzenegi

Deneyisel çalışma Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında bulunan 500 kN kapasiteli deney çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Deney elemanları tek düze yüklemeler altında test edilmiştir. Deney, hem yer değiştirme kontrollü hem de yük kontrollü olarak uygulanmıştır. Yükleme sıfırdan başlayarak artırılmış ve duvar elemanında kırılma gerçekleşinceye kadar devam

edilmiştir. Yük hidrolik kriko ile verilmiş, yükün büyüklüğü yük hücresi (Load-Cell) ile ölçülmüştür. Uygulanan yer değiştirmeye bağlı olarak oluşan yük değeri, yükleme ünitesine bağlı olarak bilgisayar aracılığı ile izlenmiş ve kayıt altına alınmıştır. Numunelerin üzerinde yer alan yer değiştirme ölçerler aracılığı ile alınan ölçümler veri toplayıcı ile kaydedilmiştir. Deney düzeneğini oluşturan elemanlara ait Şekil 6.16. ve 6.17.'de verilmiştir.



Şekil 6.16. Şematik deney düzeneği



Şekil 6.17. Deney düzeneğine ait resim


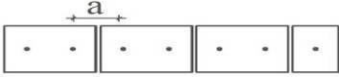

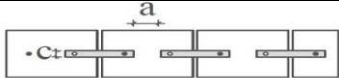
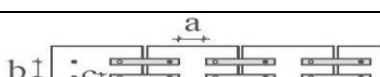
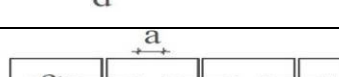
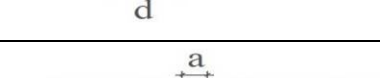

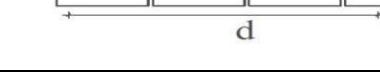
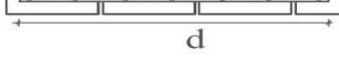
Yer değiştirme ölçümleri için LVDT (elektronik yer değiştirme ölçüm aletleri - linear variation displacement transducer) tipi yerdeğiştirme ölçerler kullanılmıştır. Yer değiştirme ölçerler, hem uzama hem de kısılma verisi alacak şekilde yerleştirilmiştir. Deney numunelerinin belirlenen bölgelerinde oluşan yer değiştirme hareketlerinin ölçülmesi için sistem üzerine toplam 2 adet yer değiştirme ölçer yerleştirilmiştir. Yer değiştirme ölçerlerin 1 tanesi düşey, 1 tanesi de yatay konumludur. LVDT'ler 0.0001 mm'ye kadar olan yer değiştirme değişimlerini ölçebilmektedir. LVDT'ler ile alınan deney verileri veri toplayıcı ile bilgisayara aktarılarak istenilen grafikler oluşturulmuştur.

6.5. Deneyler

Bu bölümde, 10 adet deney numunesi ile ilgili ayrıntılı bilgiler verilecektir. Deneylerde kullanılan harç hepsinde aynıdır. Deney numunelerinin üretiminde, 200x150x100 mm boyutlarında doğal taşlar kullanılmıştır. Duvar örme işlemi, ara derzler şaşırtmalı olacak şekilde bir sırada 3½ adet taştan toplam 6 sıra örülmüştür. Yatay ve düşey derzlerde uygulanan harç kalınlığı eşit ve 10 mm'dir.

Oluşturulan modeller ve özellikleri Çizelge 6.8.'de verilmiştir.

Çizelge 6.8. Test numunelerinin detayları

Duvar detayları	Test serileri	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)
	D00	---	---	---	---
	D01	100	---	---	---
	D02	110	50	---	---
	D11	60	---	20	150
	D12	60	50	20	150
	D21	60	---	20	150
	D22	100	50	20	150
	D31	---	---	20	670
	D32	---	50	20	670
	D41	60	---	30	150

a: Metal bağlantı elemanları arasındaki yatay mesafe b: Metal bağlantı elemanları arasındaki düşey mesafe c: Kenet genişlikleri d: Kenet uzunlukları

Modellerin adlandırılmasında ilk harf “duvar” kelimesinin baş harfi olan “D” harfi ile başlamaktadır. Harften sonraki ilk sayı “0” ise zıvana sistemini, sıfırdan farklı olanlar ise kenet tipini ifade etmektedir. Harften sonra gelen ikinci sayı ise kenet sayısını ifade etmektedir.

6.5.1. Model D00

Model D00, referans elemanı olarak kullanılacak yalın duvar numunesidir. Model D00'da kenet ve zıvana kullanılmamıştır. Bu yalın duvarından elde edilecek değerler referans alınarak, kenet ve zıvana uygulanan modeller ile karşılaştırılmasına esas teşkil edecektir.

Hazırlık aşamasında; ilk önce, deneyde kullanılacak taşlar yere yatay olarak dizilir. Taşlar numaralandırılır. Numaralandırmadaki amaç, duvarı örme aşamasında taşların yerlerinin karışmasını önlemektir. Kullanılacak harç karılır ve hazır hale getirilir. Örme işleminde kullanılacak (2 adet 10x10 mm kalınlığında demir çubuklar, 2 adet kalıp tahtası, el arabası, su, mala, vb.) aletler hazırlanır. Daha sonra öreceğimiz duvarın altına düzgün bir platform hazırlanır (Şekil 6.18.). Bu platform deney numunesini test düzeneğine hasarsız yerleştirilmesine yardımcı olur.



Şekil 6.18. Duvar altına hazırlanan platform

Örme işlemi; ilk sıradaki taşların harcın içindeki suyu emmemesi için el arabasına doldurulan su içinde bekletilir (Şekil 6.19.).



Şekil 6.19. Doğal taşların suya doymun hale getirilmesi

Suyu emen taşlar, numaralarına göre platform üzerine dizilir. İkinci sıradaki taşlar el arabasının içindeki suya bırakılır. Birinci sıradaki taşlar, 10 mm'lik çubuklar yardımıyla, derz aralıkları ayarlanır ve düşey derzler harç ile doldurulur. Yatay derzler, taşların dış tarafına gelecek şekilde konulan 10 mm'lik çubuklar sayesinde harç yüksekliğinin 10 mm olması sağlanır (Şekil 6.20.).



Şekil 6.20. Harç yüksekliğinin ayarlanması işlemi

Böylece ilk sıranın duvar örümü tamamlanır. Aynı şekilde, ikinci sırada kullanılacak taşlar el arabasında çıkarılarak, üçüncü sıradaki taşlar el arabasındaki suyun içine konulur. Bu işlem 6 sıra örülene kadar devam eder (Şekil 6.21. ve 6.22.).

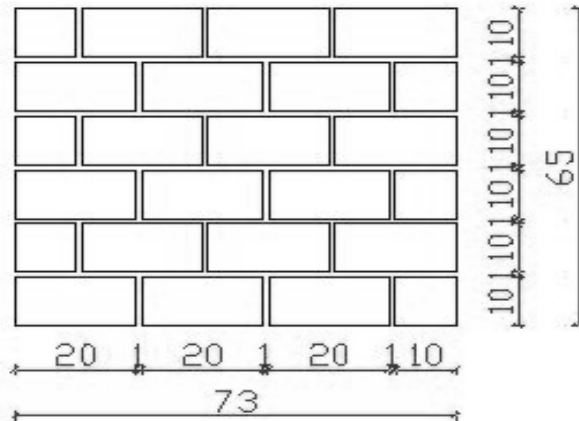


Şekil 6.21. Duvarın örülmesi işlemi ait resim



Şekil 6.22. Bitmiş duvar numunesine ait resim

Örme işlemi sonucunda, 150x650x730 mm boyutlarında bir duvar elde edilir (Şekil 6.23.).

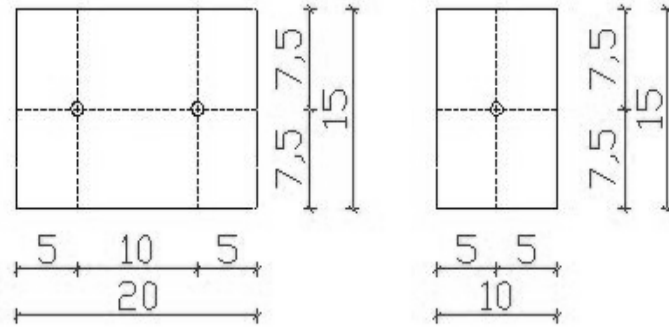


Şekil 6.23. Model D00'a ait teknik resim

Örme işlemi tamamlanan deney numuneleri, deney yapılıncaya kadar (28 ila 30 gün) hasar görmeyecek şekilde muhafaza edilmiştir. Bağlayıcı maddenin hidrasyonunun tamamlanabilmesi için belirli periyotlarla duvar sulanmıştır.

6.5.2. Model D01

Model D01, tek zıvana kullanılarak örülmüş duvar numunesidir (Şekil 6.24.). Model D00'dan farklı olarak zıvana ve zıvana yuvalarının hazırlanması işlemi gerçekleştirilmiştir. Zıvanalar, 6 mm çapındaki tijlerin 50'şer mm olacak şekilde spiral yardımıyla kesilmesi ile elde edilmiştir. Kesme işleminden sonra taşlama makinesi ile çapaklarından temizlenerek toplam 35 adet zıvana hazır hale getirilir. Taşların zıvana gelecek yerleri işaretlenmiştir. Sabit matkap yardımıyla işaretlenen 70 adet zıvana yuvası, 10 mm çapında ve 20 mm derinliğinde açılmıştır.

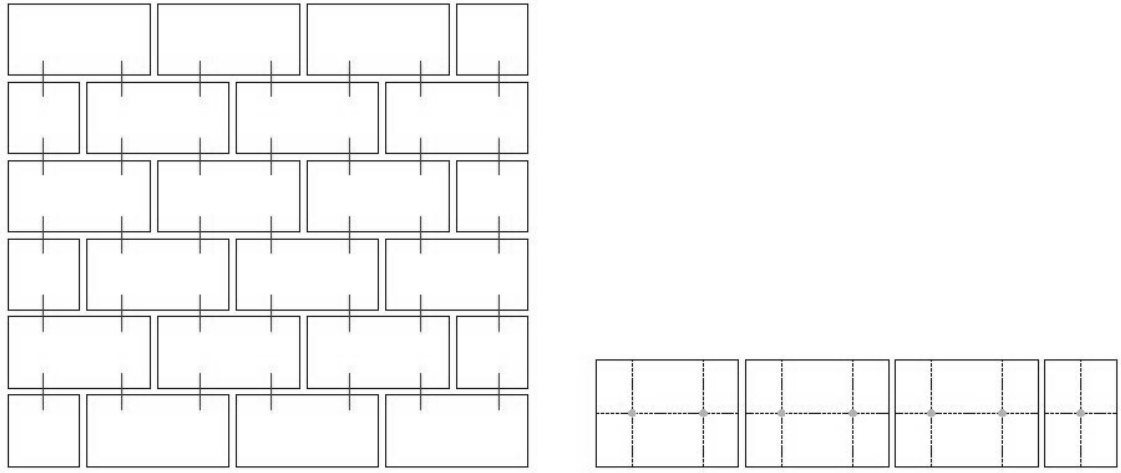


Şekil 6.24. Model D01'a ait teknik resim

Hazırlıkların tamamlanmasının ardından, örme işlemine başlanmıştır. Örme işlemi, referans deneyi olan Model D00'da anlatılan aşamalarla yapılmıştır (Şekil 6.25. ve 6.26.).



Şekil 6.25. Doğal taşın zıvanalara yerleştirilmesi işlemine ait resim

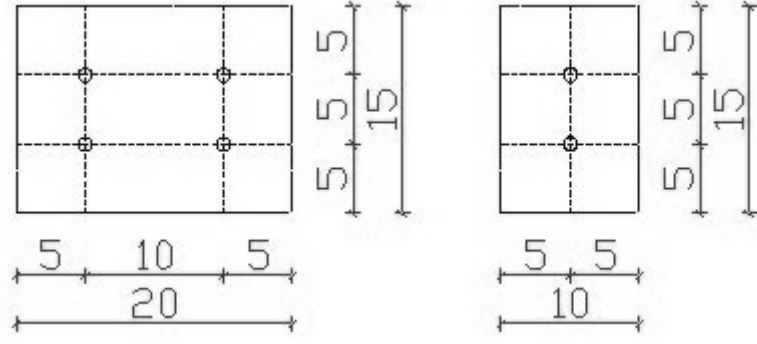


Şekil 6.26. Model D01'a ait teknik resim

6.5.3. Model D02

Model D02, Model D01'in çift zıvanalı halidir (Şekil 6.27.). Hazırlık aşamasında, Model D01'deki gibi zıvana ve zıvana yuvaları hazırlanır. Zıvanalar, 6 mm çapındaki tijlerin 50'şer mm olacak şekilde spiral yardımıyla kesilir. Kesme işleminden sonra taşlama makinesi ile çapaklarından temizlenerek toplam 70 adet zıvana hazır hale getirilir.

Taşların zıvana gelecek yerleri işaretlenmiştir. Sabit matkap yardımıyla işaretlenen 140 adet zıvana yuvası, 10 mm çapında ve 20 mm derinliğinde açılmıştır (Şekil 6.28.).

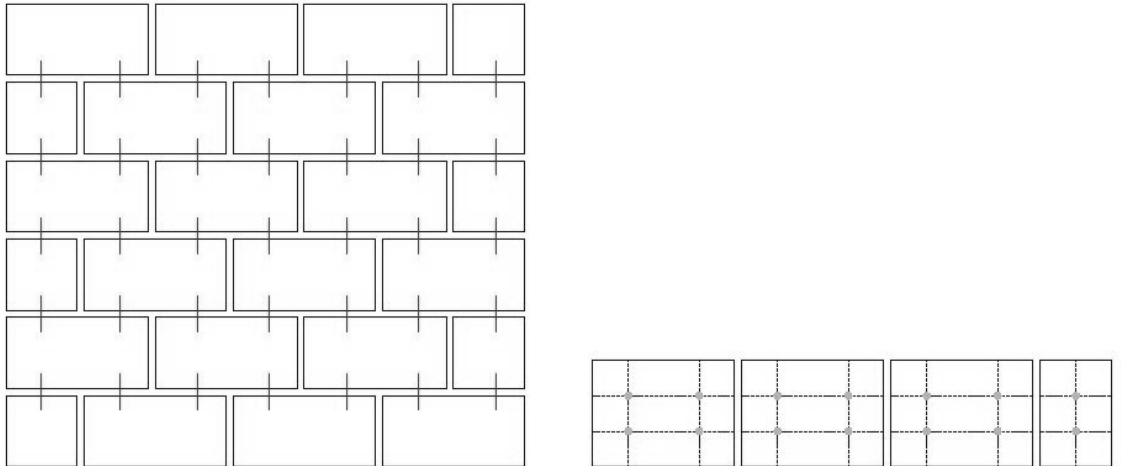


Şekil 6.27. Model D02’ a ait teknik resim



Şekil 6.28. Zıvana yuvalarının açılması işlemi

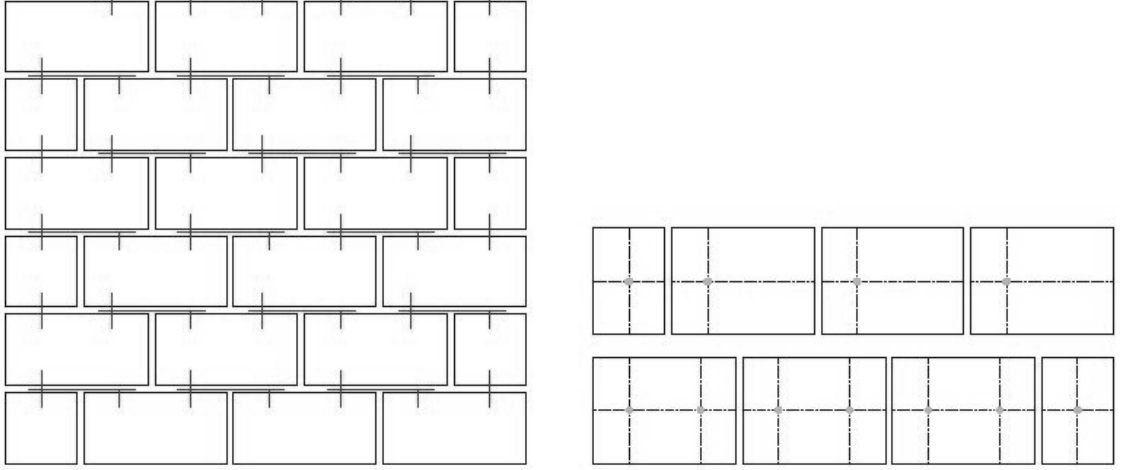
Hazırlıkların tamamlanmasının ardından, örme işlemine başlanmıştır. Örme işlemi, referans deneyi olan Model D00’da anlatılan aşamalarla yapılarak tamamlanmıştır. Model D02’ e ait zıvana yerleşim planı Şekil 6.29.’da verilmiştir.



Şekil 6.29. Model D02’deki zıvana yerleşim planı

6.5.4. Model D11

Model D11, geliştirmiş olduğumuz tip I kenet sistemi kullanılmıştır. Tip I kenet ile tek sıra halinde örülmüştür. Kenet yerleşim planı Şekil 6.30.'da verilmiştir.



Şekil 6.30. Model D11'a ait teknik resim

Hazırlık aşamasında, 2 cm genişliğinde olan tip I kenetler hazırlanmıştır. Model D11 için toplam 18 adet Tip I kenet ve 5 adet zıvana üretilmiştir (Şekil 6.31.).



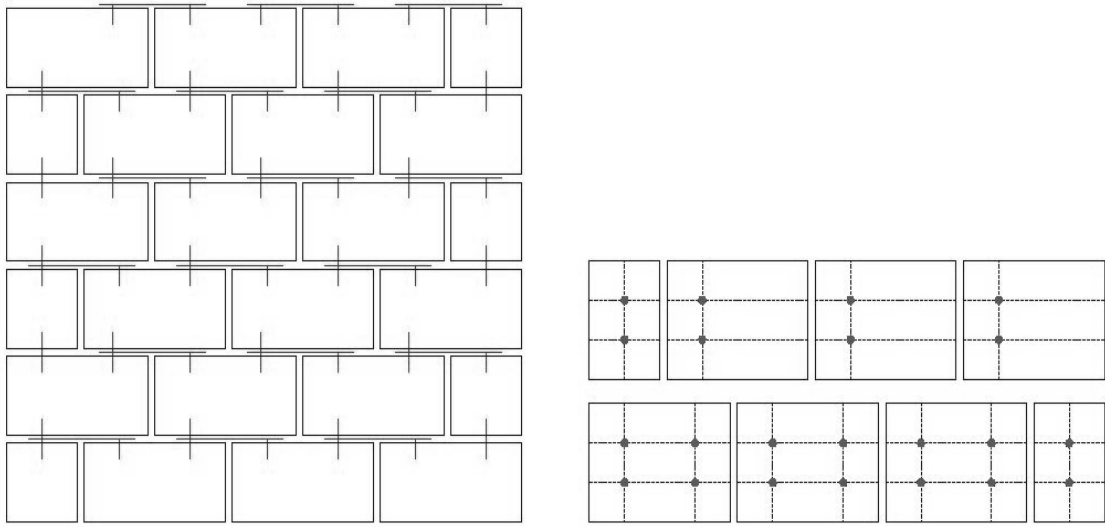
Şekil 6.31. Model D11'de kullanılan tip I kenet resmi

Taşların zıvana gelecek yerleri işaretlenmiştir. Sabit matkap yardımıyla işaretlenen 61 adet zıvana yuvası, 10 mm çapında ve 20 mm derinliğinde açılmıştır.

Hazırlıkların tamamlanmasının ardından, örme işlemine başlanmıştır. Örme işlemi, referans deneyi olan Model D00 ile aynı şekilde gerçekleştirilmiştir.

6.5.5. Model D12

Model D12, geliştirmiş olduğumuz tip I kenet sistemi kullanılmıştır. 2 cm genişliğinde olan Tip I kenet ile çift sıra halinde örülmüştür. Model D12 için toplam 36 adet Tip I kenet ve 10 adet zıvana üretilmiştir. Kenet ve zıvanalara ait yerleşim planı Şekil 6.32.'de verilmiştir.



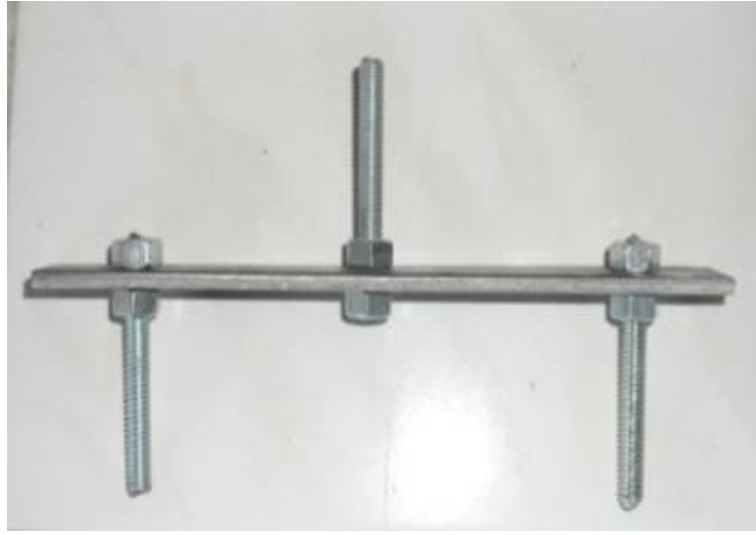
Şekil 6.32. Model D12'ye ait teknik resim

Taşların zıvana gelecek yerleri işaretlenmiştir. Sabit matkap yardımıyla işaretlenen 122 adet zıvana yuvası, 10 mm çapında ve 20 mm derinliğinde açılmıştır.

Hazırlıkların tamamlanmasının ardından, örme işlemine başlanmıştır. Örme işlemi, referans deneyi olan Model D00 ile aynı şekilde gerçekleştirilmiştir.

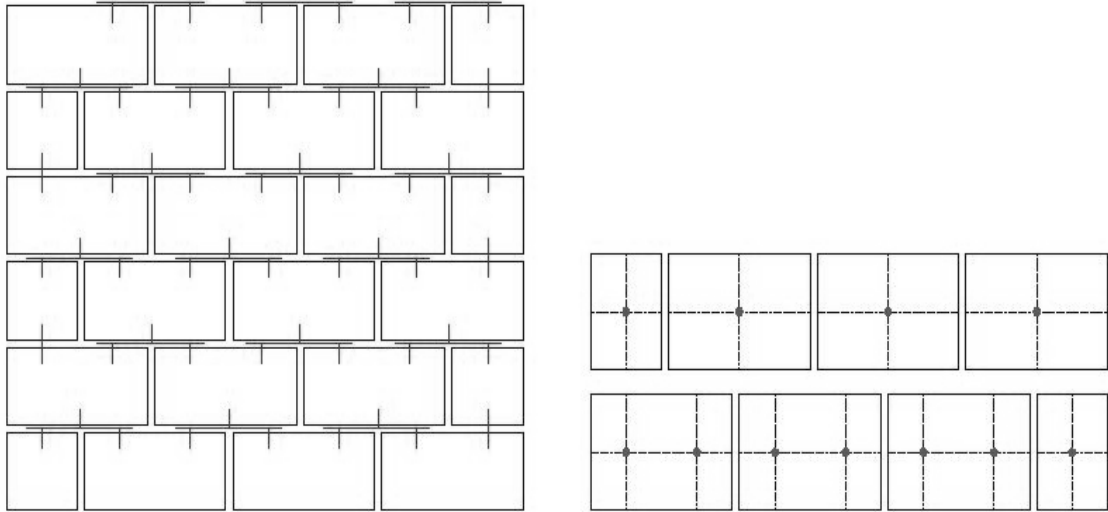
6.5.6. Model D21

Model D21, geliştirmiş olduğumuz Tip II kenet sistemi kullanılmıştır (Şekil 6.33.). Tip II kenet ile tek sıra halinde örülmüştür.



Şekil 6.33. Model D21’de kullanılan tip II kenet resmi

Hazırlık aşamasında 2 cm genişliğinde olan tip II kenetler hazırlanmıştır. Model D21 için toplam 18 adet tip II kenet ve 5 adet zıvana üretilmiştir. Kenet ve zıvana yerleşim planı Şekil 6.34.’de görüldüğü gibidir.



Şekil 6.34. Model D21’e ait teknik resim

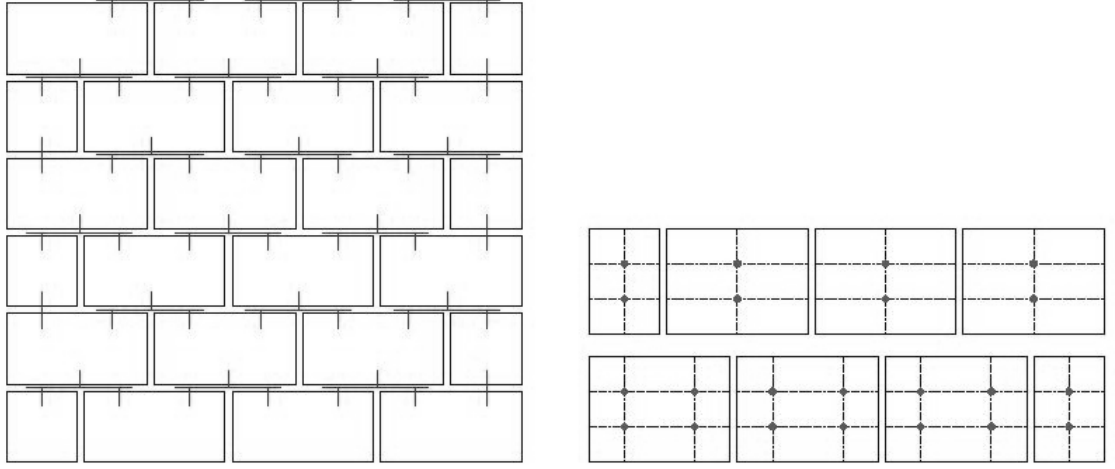
Taşların zıvana gelecek yerleri işaretlenmiştir. Sabit matkap yardımıyla işaretlenen 61 adet zıvana yuvası, 10 mm çapında ve 20 mm derinliğinde açılmıştır.

Hazırlıkların tamamlanmasının ardından, örme işlemine başlanmıştır. Örme işlemi, referans deneyi olan Model D00 ile aynı şekilde gerçekleştirilmiştir.

6.5.7. Model D22

Model D22, geliştirmiş olduğumuz tip II kenet sistemi kullanılmıştır. Tip II kenet ile çift sıra halinde örülmüştür.

Hazırlık aşamasında; 2 cm genişliğinde olan tip II kenetler hazırlanmıştır. Model D22 için toplam 36 adet tip II kenet ve 10 adet zıvana üretilmiştir. Kenet ve zıvana yerleşim planı Şekil 6.35.'de verilmiştir.



Şekil 6.35. Model D22'ye ait teknik resim

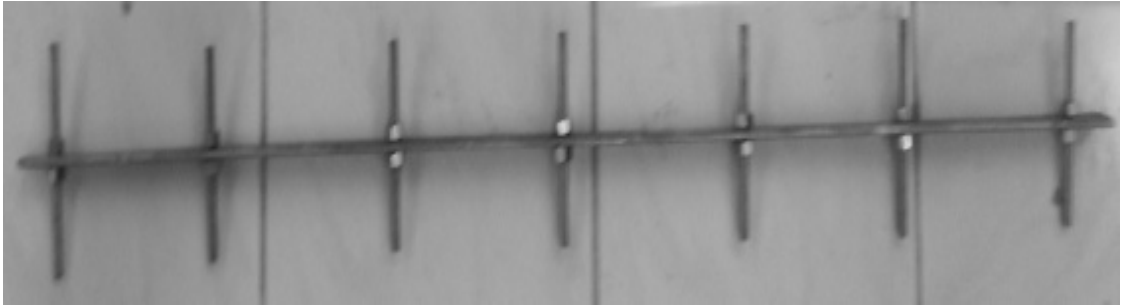
Taşların zıvana gelecek yerleri işaretlenmiştir. Sabit matkap yardımıyla işaretlenen 122 adet zıvana yuvası, 10 mm çapında ve 20 mm derinliğinde açılmıştır. Hazırlıkların tamamlanmasının ardından, örme işlemine başlanmıştır. Örme işlemi, referans deneyi olan Model D00 ile aynı sıra takip edilerek duvar tamamlanmıştır (Şekil 6.36.).



Şekil 6.36. Model D22'nin örülmesine ait resim

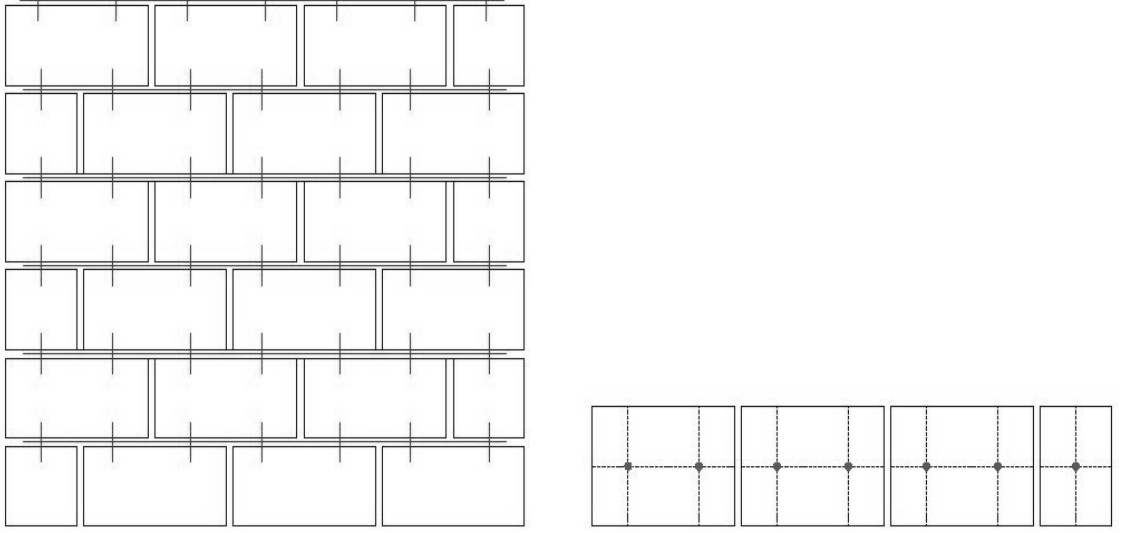
6.5.8. Model D31

Model D31, geliştirmiş olduğumuz tip III kenet sistemi kullanılmıştır (Şekil 6.37.). Tip III kenet ile tek sıra halinde örülmüştür.



Şekil 6.37. Model D31'de kullanılan Tip III kenet resmi

Hazırlık aşamasında; 2 cm genişliğinde olan tip III kenetler hazırlanmıştır. Model D31 için toplam 6 adet tip III kenet üretilmiştir. Taşların zıvana gelecek yerleri işaretlenmiştir (Şekil 6.38.). Sabit matkap yardımıyla işaretlenen 77 adet zıvana yuvası, 10 mm çapında ve 20 mm derinliğinde açılmıştır.



Şekil 6.38. Model D31'e ait teknik resim

Hazırlıkların tamamlanmasının ardından, örme işlemine başlanmıştır. Model D31'e ait yapım aşamaları Şekil 6.39. ve 6.40.'da verilmiştir.



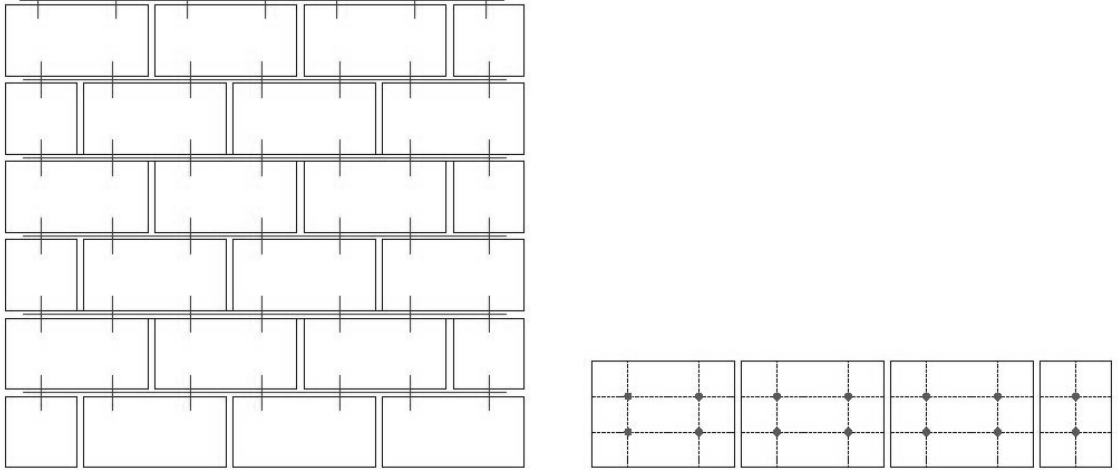
Şekil 6.39. Model D31 yapımına ait resim



Şekil 6.40. Model D31 yapımına ait resim

6.5.9. Model D32

Model D32, geliştirmiş olduğumuz tip III kenet sistemi kullanılmıştır. Tip III kenet ile çift sıra halinde örülmüştür (Şekil 6.41.). Hazırlık aşamasında, 2 cm genişliğinde olan tip III kenetler hazırlanmıştır Model D32 için toplam 12 adet tip III kenet hazırlanmıştır.



Şekil 6.41. Model D32'ye ait teknik resim

Taşların zıvana gelecek yerleri Şekil 6.42.'de gösterilmiştir. Sabit matkap yardımıyla işaretlenen 144 adet zıvana yuvası, 10 mm çapında ve 20 mm derinliğinde açılmıştır. Hazırlıkların tamamlanmasının ardından, örme işlemi Şekil 6.42. ve 6.43.'de gösterildiği gibi gerçekleştirilmiştir.



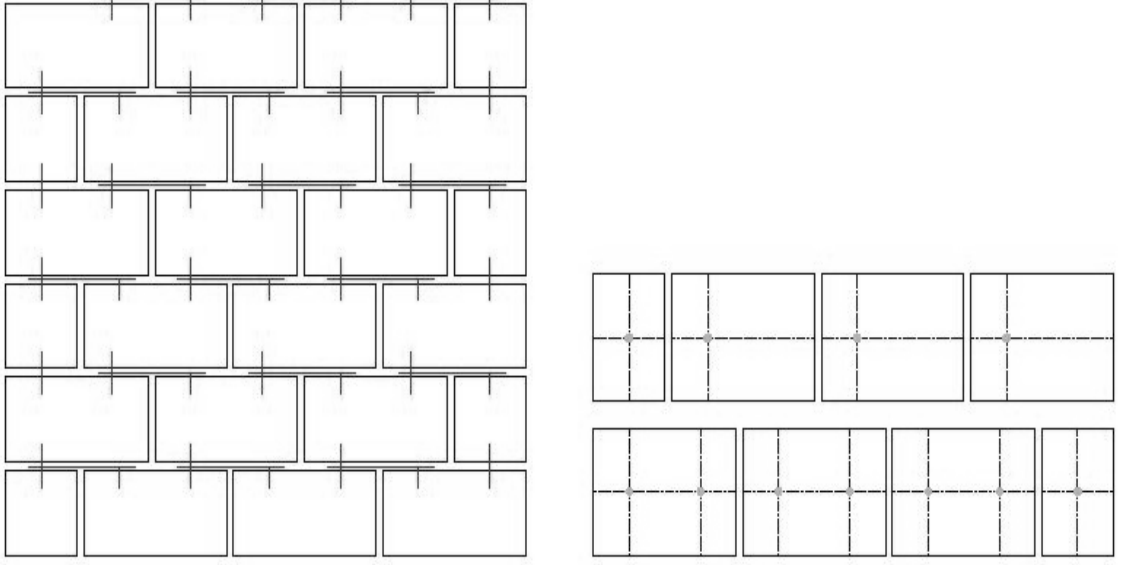
Şekil 6.42. Model D32 yapımına ait resim



Şekil 6.43. Model D32 yapımına ait resim

6.5.10. Model D41

Model D41, geliştirmiş olduğumuz tip I kenet 30 mm genişliğinde kullanılmıştır. Model D41 ile Model D11 arasındaki fark kenet genişliğidir. Model D11’de kenet genişliği 2 cm olup, D41’deki kenet genişliği 3 cm’dir. Hazırlık aşamasında; 3 cm genişliğinde olan tip I kenetlerden hazırlanmıştır. Model D41 için toplam 18 adet kenet ve 5 adet zıvana üretilmiştir. Taşların zıvana gelecek yerleri Şekil 6.44’e göre işaretlenmiştir. Sabit matkap yardımıyla işaretlenen 61 adet zıvana yuvası, 10 mm çapında ve 20 mm derinliğinde açılarak hazırlıklar tamamlanmıştır. Duvar imalatı genel prensiplere göre bitirilmiştir.



Şekil 6.44. Model D41'e ait teknik resim

6.6. Deney Sonuçları

Hazırlanan modeller diyagonal doğrultuda basınç kuvvetine maruz bırakılmıştır. Deneyler sonucunda tüm duvar modelleri için elde edilen kırılma şekilleri Şekil 6.45.'de gösterilmiştir.



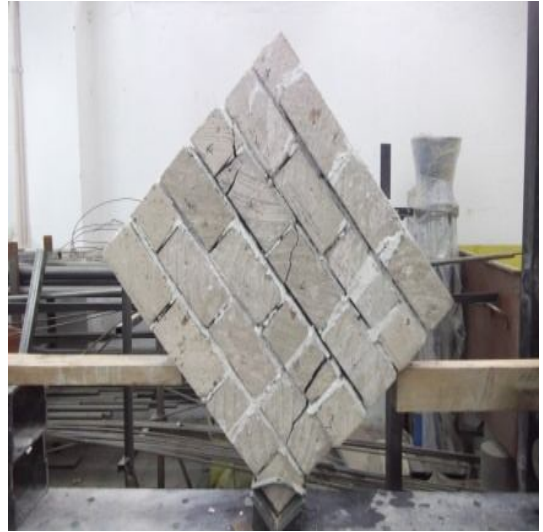
(a) Model D00



(b) Model D01



(c) Model D02



(d) Model D11



(e) Model D12



(f) Model D21



(g) Model D22



(h) Model D31



(i) Model D32



(j) Model D41

Şekil 6.45. Diyagonal basınç kuvveti etkisindeki modellerin göçme şekilleri

Şekil 6.45. incelendiğinde diyagonal doğrultuda kayma çatlaklarının olduğu gözlenmiştir. D00 modelinde, çatlak gelişimi önce harç tabakasında başlamakta daha sonra ise diyagonal doğrultuda harç tabakası boyunca devam etmektedir. Kenet kullanılan modellerde, kenet ve zıvana hem yatay hem de düşey doğrultuda taşların aderansını arttırdığı için kırılma metal bağlantı elemanlarının yuvalarında çıkması veya taşın kırılması ile gerçekleşmektedir. D00 modelinde gerçekleşen kırılma gevrek bir kırılmadır. Duvar sınırlı miktarda elastik yer değiştirme yapmakta ve kırılma ani şekilde oluşmaktadır. Kenet kullanılan modellerde ise elastik yer değiştirme sonra plastik yer değiştirmeler oluşmaktadır. Duvarda çatlak oluşumu gözlendikten sonra da önemli ölçüde yük taşıyabilmekte ve göçme sünek şekilde gerçekleşmektedir.

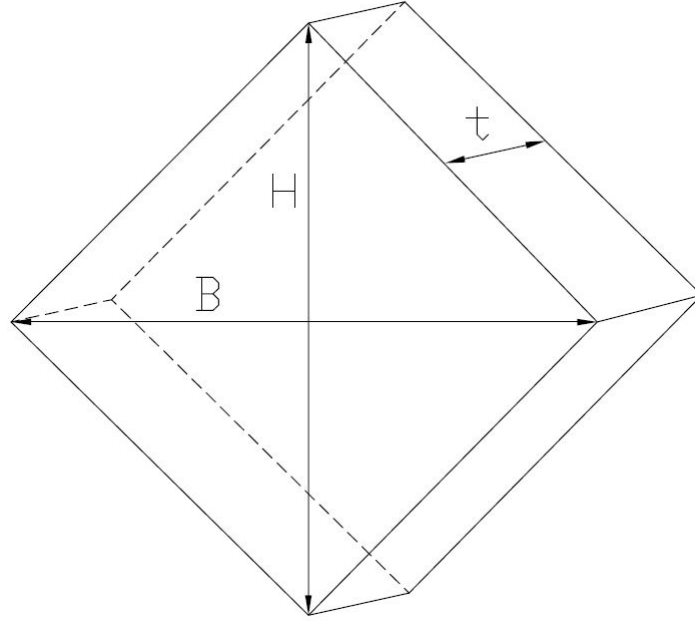
Diyagonal basınç deneyi uygulanan duvar numunelerinde yatay ve düşey yer değiştirmeler LVT yardımıyla ölçülmüştür. Deneylerde yükleme manuel (el ile) olarak yapılmış ve yüklemeye tamamen göçme sağlanıncaya kadar devam edilmiştir. Elde edilen test sonuçları Çizelge 6.9.'da özetlenmiştir.

Çizelge 6.9. Test numunelerinin sonuçlarını içeren çizelge

Test Serileri	P_{max} (kN)	F_{max} (kN)	τ_{max} (N/mm ²)	u_x (mm)	u_y (mm)	δ_u (%)	δ_y (%)	μ	G (N/mm ²)
D00	7.59	5.81	0.05	0.37	0.0001	0.0005	0.0004	1.25	407
D01	10.12	7.75	0.07	0.04	0.0001	0.0018	0.0010	2.80	273
D02	13.76	10.53	0.10	0.13	1.27	0.1736	0.1447	1.20	365
D11	16.88	12.93	0.13	4.07	1.41	0.5934	0.5679	1.04	105
D12	28.72	21.99	0.21	4.89	1.69	0.8510	0.7496	1.14	175
D21	32.46	24.85	0.24	4.15	6.91	1.0496	0.7311	1.44	30
D22	17.98	13.77	0.13	1.73	7.76	1.2990	0.9842	1.32	8
D31	42.41	32.47	0.32	7.84	7.35	0.5484	0.2277	2.41	4
D32	51.96	39.79	0.39	36.12	25.51	8.1925	6.3883	1.28	3
D41	19.48	14.92	0.15	3.63	13.75	2.0085	1.8018	1.12	4

Çizelge 6.9.'da, P_{max} uygulanan maksimum diyagonal kuvvet, F_{max} uygulanan maksimum yatay kayma kuvveti, τ_{max} maksimum kayma gerilmesi, u_x ve u_y τ_{max} 'a karşılık gelen yatay ve düşey deplasmanlar, δ_y τ_{max} 'a karşılık gelen kayma şekil değiştirmeleri, δ_u kayma şekil değiştirmesi-kayma gerilmesi grafiğinde maksimum kayma şekil değiştirmeden sonraki bölümde $0,85* \tau_{max}$ 'a karşılık gelen kayma şekil değiştirmeleri ve μ δ_u 'nun δ_y 'ye oranı olarak tanımlanmıştır. Kayma modülü (G), kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrisinde duvar numunelerinin maksimum kayma dayanımlarının % 5 ile % 33'ü arasındaki eğim olarak tanımlanmıştır.

Kayma gerilmesinin hesaplanmasında kullanılan numune ölçüm yerlerinin neresi olduğu Şekil 6.46.'da açıklanmıştır. Deneysel olarak ölçülen (P) diyagonal kuvveti, denklem (6.1) kullanılarak (τ) kayma gerilmesine dönüştürülmüştür. Kayma şekil değiştirmesi (δ) ise numunede oluşan düşey birim kısalma ile yatay birim uzamanın toplamına bağlı olarak hesaplanmıştır. Burada, t duvarın kalınlığı, B duvarın genişliği, H duvarın yüksekliği, α duvarın yatay ve düşey eksenleri arasındaki açı olarak tanımlanmıştır. (δ) kayma şekil değiştirmesi denklem (6.2) kullanılarak hesaplanmıştır. Bu denklemde, Δv deney sonunda düşey ölçüm boyunda meydana gelen değişim, Δh deney sonunda yatay ölçüm boyunda meydana gelen değişim ve g yer değiştirme ölçerin başlangıç ölçüm boyuna oranı olarak verilmiştir.



Şekil 6.46. Duvar modeline ait B , H ve t yerlerini gösterir şekil

$$\tau = \frac{2P \cos \alpha}{\sqrt{(H^2 + B^2)} \cdot t} \quad (6.1)$$

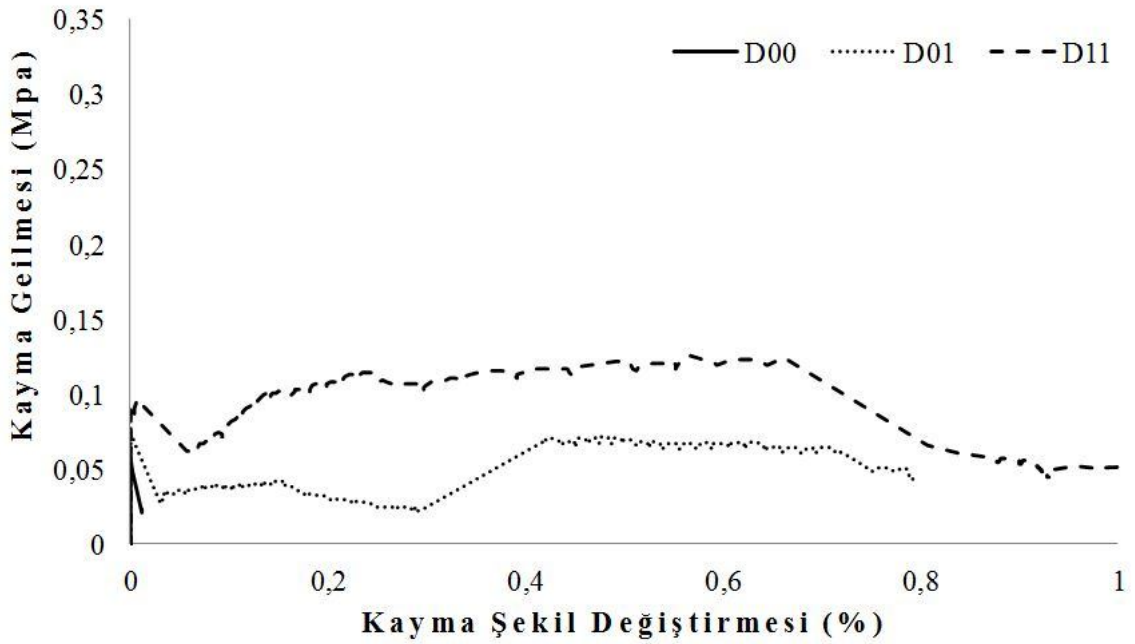
$$\delta = \frac{\Delta v + \Delta h}{2g} (\tan \alpha + \cot \alpha) \quad (6.2)$$

Çizelge 6.9. incelendiğinde, tek kenet kullanılan modellerden D11, D21 ve D31 modellerinde kayma gerilmesi dayanımı D00 modeline göre ortalama %160, %380, %540; D01 modeline göre ise %86, %243, %357 oranlarında arttığı tespit edilmiştir. Çift kenet kullanılan modellerden D12, D22 ve D32 modellerinde kayma gerilmesi dayanımı D00 modeline göre ortalama %320, %160, %680; D02 modeline göre ise %110, %30, %290 oranlarında artmıştır. Kenet kullanılan modellerde kayma şekil değiştirmeleri büyük oranda artmıştır. Ancak, kayma modüllerinde önemli bir değişim gözlenmemiştir. 3 cm gelişliğinde kenet kullanılan D41 modeli 2cm genişliğinde kenet kullanılan D11 modeline göre kayma gerilmesi dayanımını sadece %15 oranında arttırmıştır. Bu sebeple kenet genişliği 2 cm olarak kabul edilmiştir.

Referans duvarı olarak yapılan D00 modeli, doğrusal davranış göstermiş ve maksimum yüke ulaştığında çok küçük yer değiştirmeler yaparak aniden göçmüştür. Kenet kullanılarak güçlendirilen tüm duvar numuneleri büyük yer değiştirmeler yaparak yüksek kayma gerilmesi dayanımlarına ulaşmıştır. Zıvana kullanılan D01 ve D02

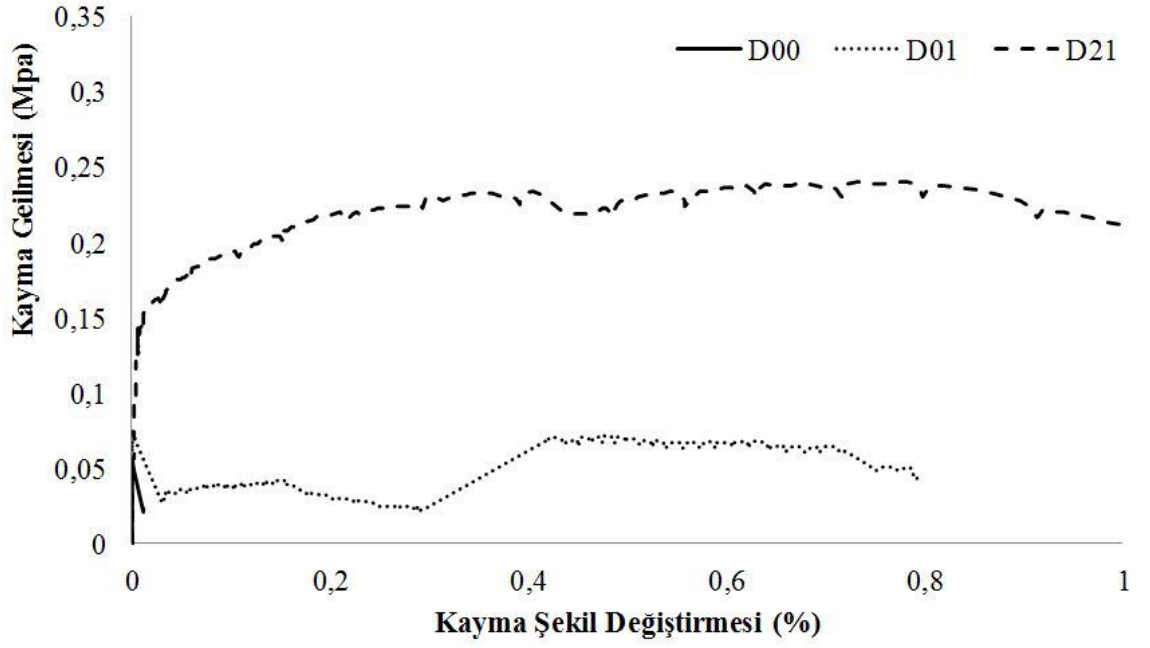
modellerinde ise yer değiştirmeler artmış fakat yüksek kayma gerilmelerine ulaşılmamıştır.

Aşağıdaki şekillerde kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerde D00 referans duvarı ve sadece tek zıvana kullanılan D01 duvarı ile tek kenet kullanılan D11, D21 ve D31 duvar modelleri ile ayrı ayrı karşılaştırılmıştır (şekil 6.47., 6.48. ve 6.49.). şekil 6.50.'de 3cm kenet genişliği kullanılan D41 modeli ile 2cm genişlik kullanılan D11 modelinin karşılaştırılmalı grafiği verilmiştir. şekil 6.51., 6.52. ve 6.53.'de ise D00 referans duvarı ve çift zıvana kullanılan D02 duvarı ile çift kenet kullanılan D12, D22, D32 duvar modelleri karşılaştırılmıştır. Yönetmeliklere göre genelde yığma duvarlarda, %0.5–0.6 seviyelerinde kayma şekil değiştirmeleri oluşmaktadır. Bu sebeple grafiklerde maksimum kayma şekil değiştirmesi olarak %1 seviyesi seğilmiştir.



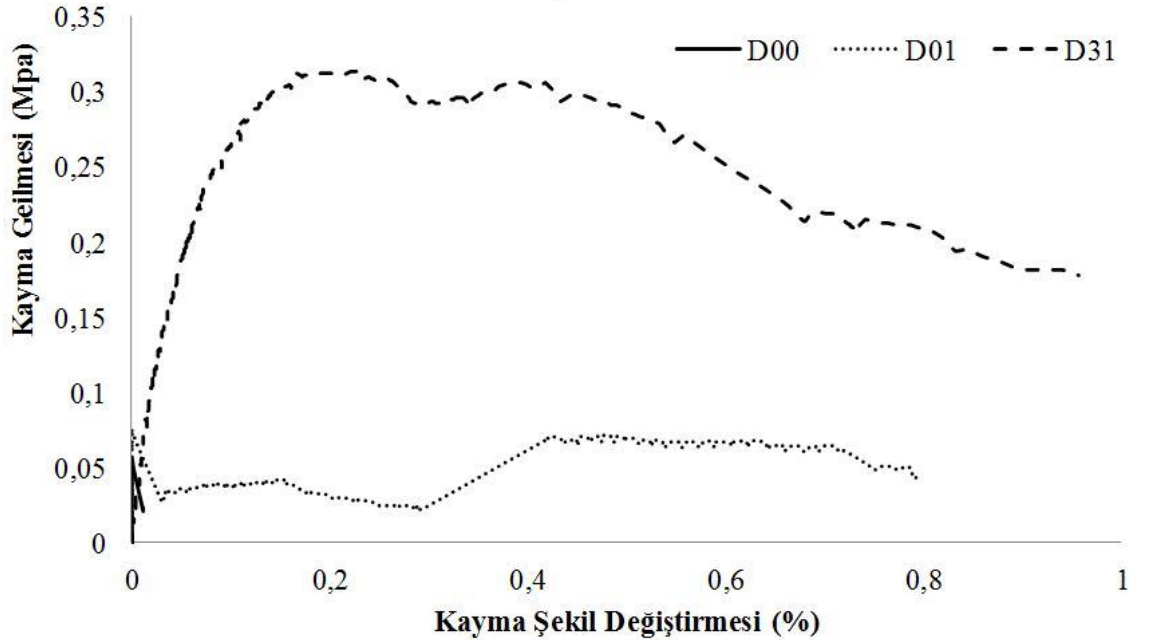
şekil 6.47. D11 modelinin kayma gerilmesi - kayma şekil değiştirmesi ilişkileri

şekil 6.47. incelendiğinde D11 modelinin D00 ve D01 modeline göre daha büyük kayma gerilmesi dayanımlarına ulaştığı gürölmektedir. D00 referans modeli çok sınırlı yer değiştirme yaparak ani olarak kırıldığı gürözenmiştir. D01 modeli ise daha büyük yer değiştirmeler yapabilmiş ancak kayma gerilmesi dayanımı yüksek seviyelere çıkamamıştır.



Şekil 6.48. D21 modelinin kayma gerilmesi - kayma şekil değiştirmesi ilişkileri

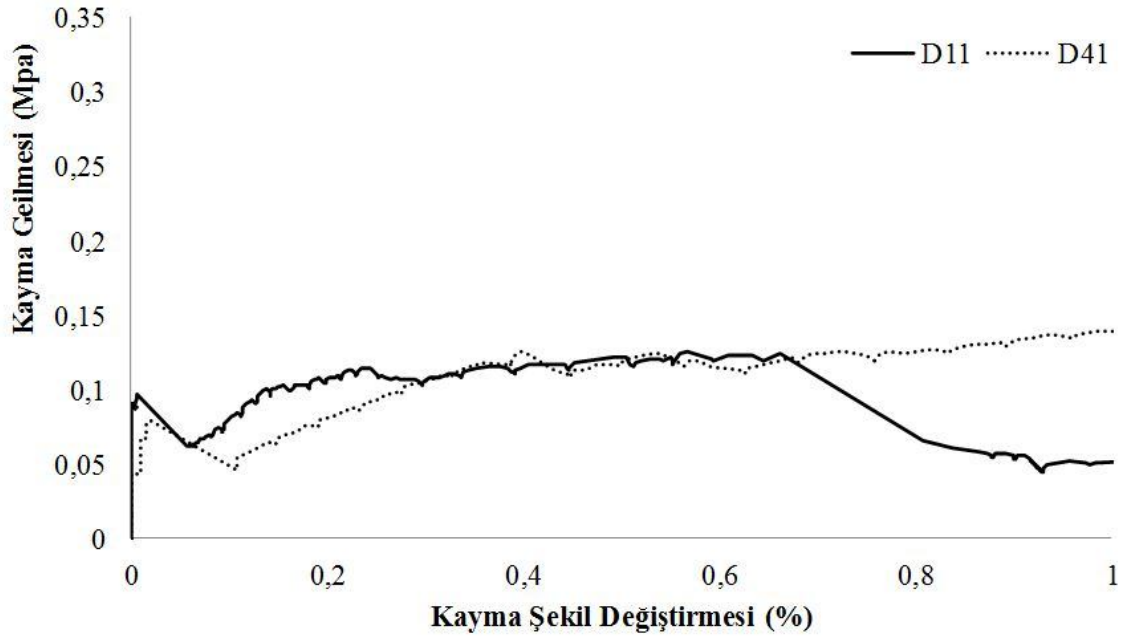
Şekil 6.48. incelendiğinde D21 modeli kayma gerilmesi dayanımını oldukça üst seviyelere çıkardığı görölmektedir. Plastik şekil değiştirme kapasitesi ve enerji sönümlenme özelliğinin üst seviyelerde olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 6.49. D31 modelinin kayma gerilmesi - kayma şekil değiştirmesi ilişkileri

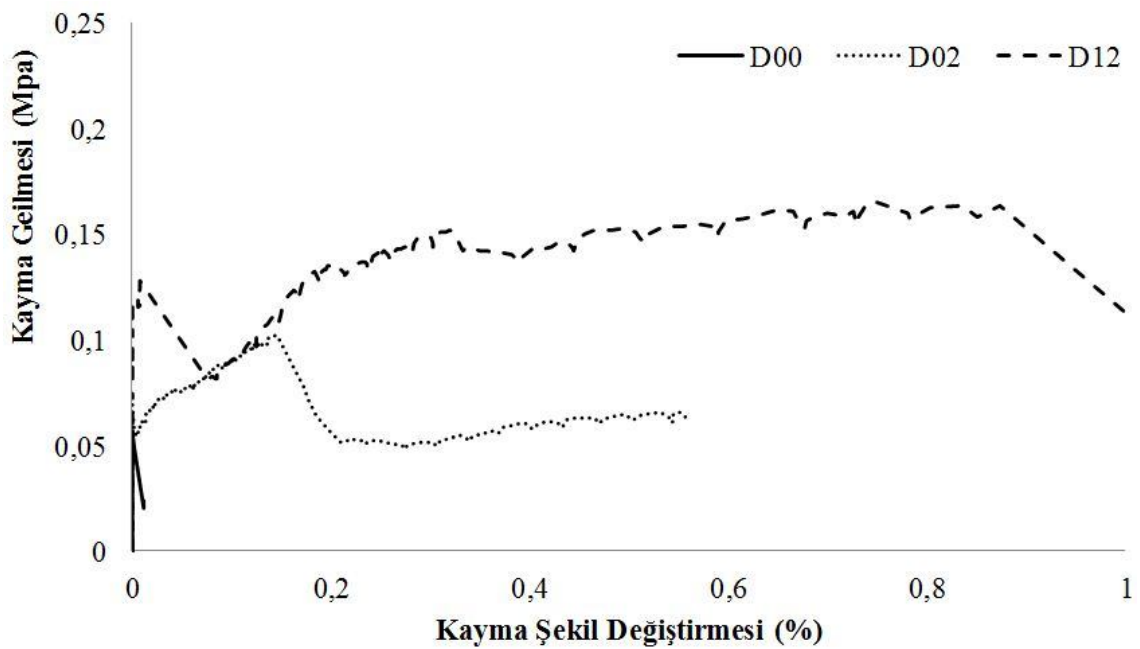
Şekil 6.49.'a göre D31 modeli en yüksek kayma dayanımına ulaşmıştır. Elde edilen kayma gerilmeleri D11 ve D21 modellerine göre daha üst seviyelerdedir. Çünkü model

diğer 2 tipe göre daha komplike çalışmaktadır. Yani, taşlar arasında hem yatay hem de düşey bağlantıyı arttırarak duvarın komple beraber davranmasını sağlamaktadır.



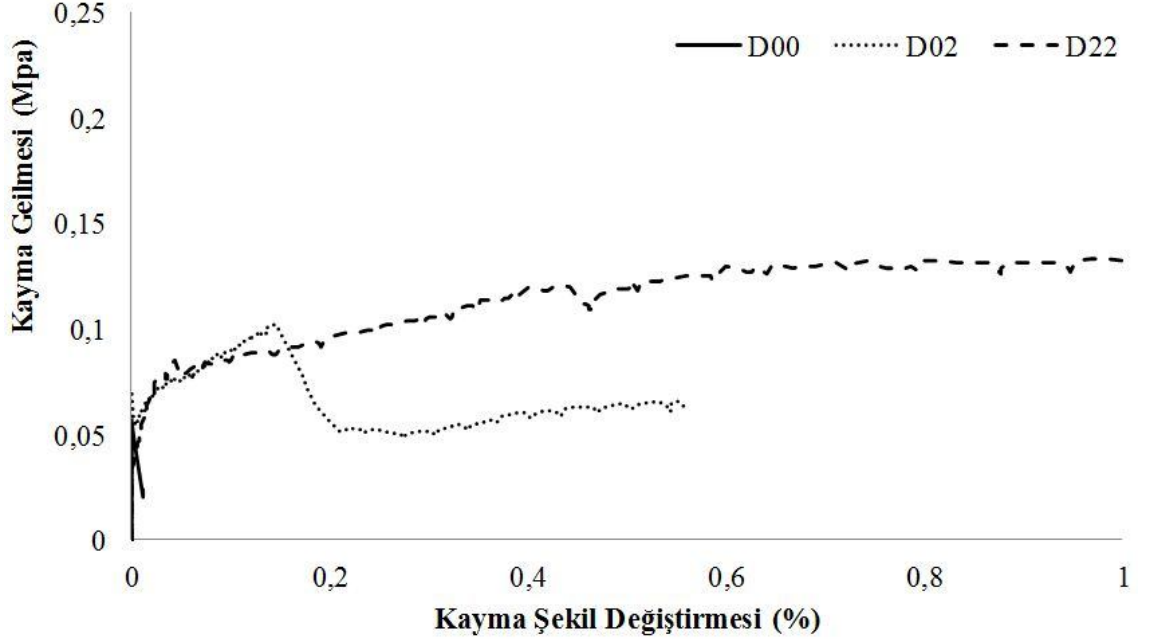
Şekil 6.50. D41 ve D11 modellerinin kayma gerilmesi-kayma şekil değıştirmesi ilişkileri

Şekil 6.50.'de kenet genişliğinin duvar davranışına etkisi araştırılmıştır. Kenet genişliğinin arttırılmasının kayma dayanımını az miktarda arttırdığı görülmüştür. Bu sebeple diğer tüm deneylerde kenet genişliği olarak 2 cm kullanılmıştır.



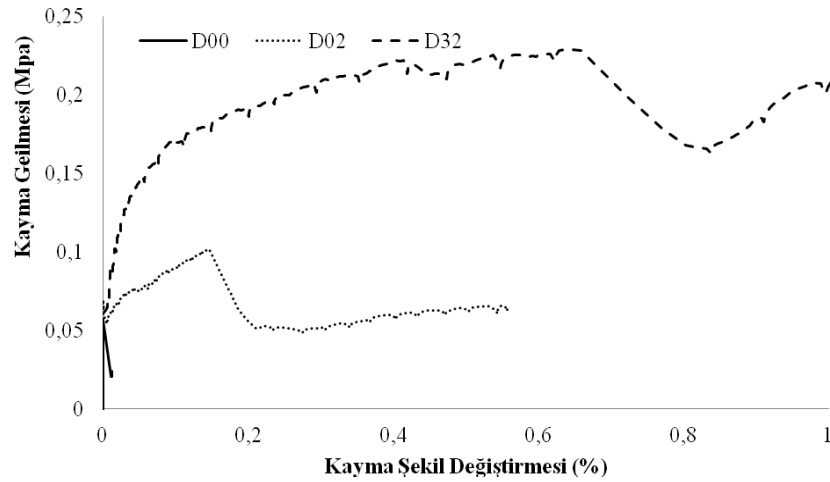
Şekil 6.51. D12 modelinin kayma gerilmesi - kayma şekil değıştirmesi ilişkileri

Şekil 6.51.'de I nolu kenet tipinin çift olarak uygulanması incelenmiştir. Burada, D12 modeli D00 ve D02 modellerine göre kayma gerilmesi dayanımını arttırmıştır



Şekil 6.52. D22 modelinin kayma gerilmesi - kayma şekil değiştirmesi ilişkileri

Şekil 6.52.'de D22 modelinin davranışı incelenmiştir. Burada D00 referans modeli oldukça düşük yer değiştirme ve kayma gerilmesi davranışı göstermiştir. D02 modeli ise %0.17 kayma şekil değiştirmesi seviyelerine kadar D22 modeli ile benzer davranış göstermiştir. Ancak, bu noktadan sonra D22 modeli yüksek gerilmeler taşımaya devam ederken D02 modeli yük taşıma kapasitesini kaybederek göçme gerçekleştirmiştir.



Şekil 6.53. D32 modelinin kayma gerilmesi - kayma şekil değiştirmesi ilişkileri

Şekil 6.53.'de görüldüğü gibi D32 modeli yüksek kayma gerilmesi değerlerine ulaşmıştır. Plastik şekil değiştirme kapasitesi D00 ve D02 modellerine göre oldukça yüksektir. Kullanılan kenet özelliği sayesinde duvarın rijit bir kütle gibi çalışmasına imkân tanımıştır.

6.7. Elde Edilen Deney Sonuçlarının Ampirik Denklemlerle Karşılaştırılması

Yığma taş duvarların analitik olarak modellenmesinde, güçlendirilmiş duvarların kayma dayanımlarının taşın ve metal bağlantı elemanlarının kayma gerilmelerinin toplamı olduğu kabul edilir. Güçlendirilmiş taş yığma yapıların kayma gerilmelerinin analitik olarak hesaplanmasında 2 yöntem yaygın olarak kullanılır. Bunlar, Eurocode 6 (Denklem 6.3) ve Tomazevic ve ark. (Denklem 6.4) tarafında geliştirilen ampirik denklemlerdir.

Bu analitik denklemler plastik gerilme dağılımından elde edilen kabullerin doğrusal etkilerinin süperpozisyonu ilkesine dayanmaktadır.

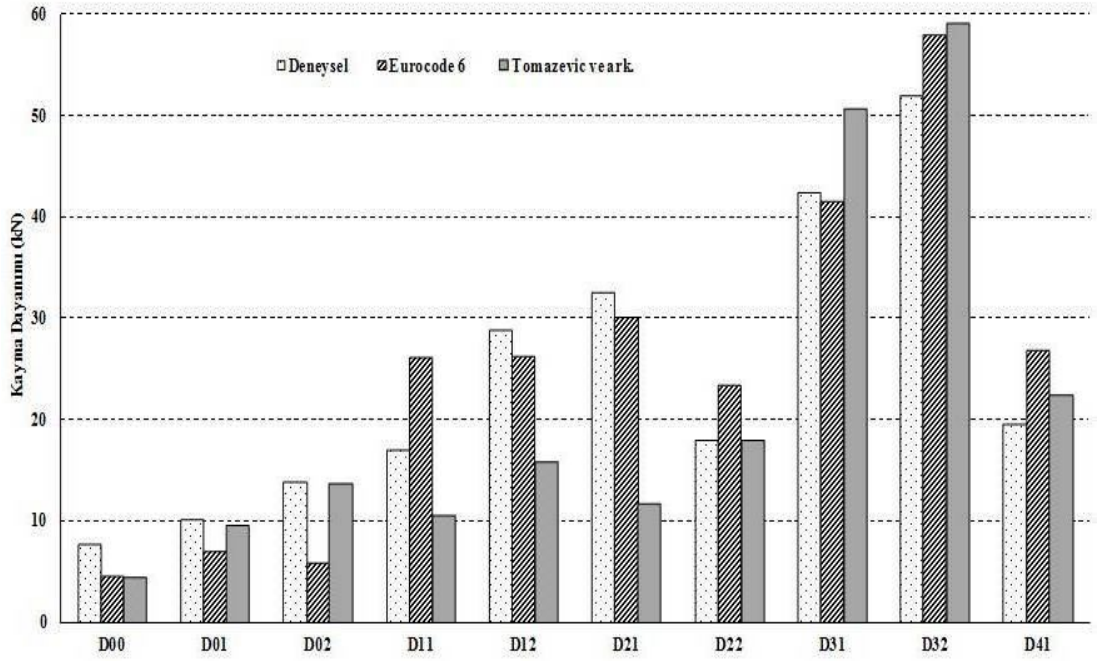
$$V_{Rd} = \left(\frac{0.9tlf'_{vko}}{1.5} + \sqrt{1 + \frac{\sigma}{f'_{vko}}} \right) + 0.4A_r \cdot f_{tk} \quad (6.3)$$

$$V_{Rd} = f_{vk} td + 0.9d\rho_t f_{tk} t \rightarrow f_{vk} = f_{vko} + \mu\sigma \quad (6.4)$$

Bu denklemlerde, V_{Rd} yığma duvarın kesme kapasitesi, t duvar kalınlığı, l duvarın genişliği, $d = 0.8l$ duvarın etkili boyu, σ düşey gerilme, f'_{vko} diyagonal basınç testinden elde edilen kayma dayanımı, ρ_t güçlendirilmiş duvarlarda duvar içindeki donatı (kenet ve zıvana) oranı, A_r metal bağlantı alanı, f_{tk} metal bağlantıların karakteristik çekme dayanımı, f_{vko} kayma gerilmesi, μ sürtünme katsayısı olarak tanımlanmıştır. Eurocode 6'da genelde, yığma yapılarda f_{vko} and μ katsayılarının 0.2 MPa and 0.4 MPa olarak alınabileceği belirtilmiştir.

Deneysel olarak elde edilen kayma dayanımlarının bu iki yöntemle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması Şekil 6.54.'de gösterilmiştir. Burada deneysel olarak elde

edilen sonuçların Eurocode 6 ve Tomazevic tarafında önerilen ampirik denklemlerle büyük oranda uyum gösterdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 6.54. Tüm modeller için analitik ve deneysel olarak elde edilen kayma dayanımlarının karşılaştırılması.

7. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmanın temel amacı, metal bağlantı elemanları ile güçlendirilmiş taş yığma duvarların kayma dayanımını arttırmaktır. Bu amaçla taşların yatay ve düşey olarak bağlanmasını sağlayan farklı metal bağlantı elemanları kullanılmıştır.

Metal bağlantı elemanı olarak kullanılmak üzere geliştirilen üç yeni kenet tipi deneysel olarak taş yığma duvarlarda uygulanmıştır. Bu kenetler taşlara tek ve çift olarak uygulanmıştır. Bu uygulama sayesinde kayma dayanımı artırılmaya çalışılmıştır. On farklı taş duvar modelleri üzerinde diyagonal basınç deneyleri yapılmıştır. Burada temel amaç, geliştirilen kenet modellerinin etkinliğini ortaya koyarak, uygun kenet tipinin belirlenmesidir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

✓ Uygulanan diyagonal basınç testinin ve deney elemanları boyutlarının, çalışmanın amacına uygun olarak seçildiği tespit edilmiştir. Bu şekilde, geliştirilen farklı kenet tiplerinin etkinliğini ortaya koymak mümkün olmuştur.

✓ Elde edilen deneysel sonuçlar, kullanılan ampirik formüllerle genel olarak uyum göstermiştir.

✓ Güçlendirilmiş tüm modeller sünek davranış göstermiş ve plastik şekil değiştirme yaparak yük taşımaya devam etmiştir. Ancak D00 referans modeli sadece elastik şekil değiştirme yapabilmiş ve yüksek dayanımlara ulaşmadan gevrek kırılma gerçekleştirmiştir. Kırılma şekli beklendiği gibi diyagonal doğrultuda ve harç tabakası boyunca gerçekleşmiştir.

✓ Üç farklı kenet tipi kullanılan modellerde göçme sünek şekilde meydana gelmiştir. Kırılma şekli genelde diyagonal doğrultuda gerçekleşmiştir. Göçme taşların kırılması veya kenetlerin yuvalarından çıkması şeklinde oluşmuştur.

✓ Yeni geliştirilen kenet modelleri (D11, D21 ve D31) tek olarak yığma duvarlara uygulandığında kayma dayanımını büyük oranda arttırmış ve yaptığı büyük yer değiştirmeler ile duvarın enerji yutma kapasitesini arttırmıştır.

✓ Yeni geliştirilen kenetler çift olarak yığma duvarlara uygulandığında tek uygulama şekline göre daha büyük kayma dayanımlarına ve şekil değiştirme değerlerine ulaşmıştır.

✓ Yeni geliştirilen kenetlerden D41 modeli 3 cm genişliğinde imal edilmesine rağmen 2 cm genişliğinde imal edilen D11 modeline göre tatmin edici bir iyileştirme sağlayamamıştır.

✓ En büyük kayma dayanımlarına ve yer değiştirme değerlerine D32 modelinde ulaşılmıştır. Bu modelin taş yığma yapılar için en uygun model olduğu söylenebilir.

✓ Geliştirilen bu üç yeni kenet türü yeni yapılacak yığma duvarlarda ve tarihi yapıların restorasyonunda etkili bir şekilde kullanılabilir.

✓ Daha sonra yapılacak çalışmalarda, bu kenet tiplerinin farklı yüklemeler altında etkinlikleri araştırılabilir.

✓ Geliştirilen duvar modellerinin düzlemi dışında devrilme davranışı araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Akman, M.S., Güner, A. ve Aksoy, İ.H., 1986. The history and properties of khorasan mortar and concrete, Turkish and islamic science and technology in the 16th Century, I, 101-112.
- Aldemir A., 2010. Tuğla yığma yapılar için basit bir deprem performansı değerlendirme yöntemi, Yüksek Lisans Tezi, O.D.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Augenti N. ve Parisi F., 2011. Construction and building materials 25, 1642-1620.
- Bayülke, N., 1992. Yığma Yapılar, T.C. İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma, Ankara.
- Berkman, A. F., 1963. Kârgir İnşaat, Cilt-I, İTÜ, İnşaat Fakültesi Yayını, İstanbul.
- Bingöl, O., 2002. Magnesia Ad Maeandrum 2000 yılı kazısı (17.Yıl), 23. Kazı sonuçları toplantısı, 2.Cilt, Ankara.
- Bingöl, O.,2008. Arkeolojik mimari’de taş, Homer Kitabevi, İstanbul.
- Böke, H., Akkurt, S., İpekoğlu, B. ve Uğurlu, E., 2007. Onarım amaçlı horasan harç ve sıvaların hazırlanması, Mimarlıkta Malzeme Dergisi, 3, 68-72.
- Building Code Requirements for Masonry Structures, 1995. ACI 530-95/ASCE 5-95/TMS 402-95, The masonry standards joint committee.
- Corradi, A., Borri, A. ve Vignoli, A., 2003a. Experimental study on the determination of strength of masonry walls, Journal of construction and building materials, 17, 325-337.
- Corradi, A., Borri, A. ve Vignoli, A., 2003b. Strengthening techniques tested on masonry structures struck by the umbria-marche earthquake, Journal of construction and building materials, 16, 229-239.
- Corradi, M., Grazini, A. ve Borri, A., 2007. Composites science and technology 67, 1772–1783.
- Çamlıbel, N., 2000. Yapıların taşıma gücünün iyileştirilmesi, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Demirtaş, M.B., 2006. Magnesia Artemis Tapınağı’nın teknik ve işçilik özellikleri, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Drysdale, G.R., Hamid, A.A. ve Baker, L.R.,1994. Masonry structures, Prentice Hall.
- Eriç, M., Ünver A. ve Ersoy, Y.H., 1990. Horasan harcının günümüzde kullanımını sağlamak amacı ile yapılan bir araştırma, Yapı Dergisi 7.
- Eurocode-6, EN 1996-1-1, 2005. Design of masonry structures, part1-1, General rules for reinforced and unreinforced masonry structures, Brüksel.

- Faella, C., Martinelli, E., Paciello, S., Camorani, G., Aiello M.A., Micelli, F. ve Nigro, E., 2011. *Composites Part B* 42, 692–704.
- Fouchal F., Lebon F. ve Titeux I., 2009. *Construction and building materials* 23, 2428-2441.
- Gabor A., Bennani A., Jacquelin E. ve Lebon F., 2006. *Construction and building materials* 74,277-288.
- Hamid, A. A., El-Akhakhni, W. W., Hakam, Z. H. R. ve Elgaaly, M., 2005. Behavior of composite unreinforced masonry-fiber-reinforced polymer wall assemblages under in-plane loading, *Journal of composites for construction*, 9, 1, 73–83.
- Hamilton ,H.R. ve Dolan, C. W., 2001. Flexural capacity of glass frp strengthened concrete masonry walls, *Journal of composites for construction*, 5, 3, 170-178.
- Hamoush, S. A., McGinley, M. W., Mlakar, P., Scott, D. ve Murray, K., 2001. Out of plane strengthening of masonry walls with reinforced composites, *Journal of composites for construction*, 5, 3, 139-145.
- Hendry A.W., 2001. *Masonry walls, materials and construction*, Construction and building materials.
- Ismail, N., Petersen, R.B., Masia, M.J. ve Ingham, J.M., 2011. Diagonal shear behavior of unreinforced masonry wallets strengthened using twisted steel bars, *Construction and building materials*, 25, 4386–4393.
- İşıladağ B., Topçu İ.B., 2013. *Construction and building materials* 40, 448-454.
- İlki, A. ve Kumbasar, N., 2000. Karbon lif takviyeli polimer kompozitlerin yapı elemanlarının onarım ve güçlendirilmesinde kullanılması, Tubitak, Ankara.
- İsmail, N., Petersen R.B., Masia M.J. ve İngham J.M., 2011. *Construction and building materials* 25, 4386–4393.
- Kalali A. ve Kabir M.Z., 2012. *Construction and building materials* 39,24-37.
- Kaya, E., 2003. Yığma yapıların çelik ve betonarme takviyesi uygulanabilirliği ve yapım hataları, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Özdemir, İ., 2003. Yapı Elemanları Ders Notları, Osmangazi Üniversitesi, Teknoloji Eğitim Uygulama ve Araştırma Merkezi Yayın No:TA97-002-İÖ, Eskişehir.
- Özsayın B., Yılmaz E., İspir M., Özkaynak H., Yüksel E. ve İlki A., 2011. *Construction and building materials* 25, 4017-4024.
- Petersen R.B., İsmail N., Masia M.J. ve İngham J.M., 2012. *Construction and building materials* 33, 14-24.
- Popehn,J.R.B., Schultz, A.E., Lu, M., Stolarski, H.K. ve Ojard,N.J., 2008. *Engineering Structures* 30,2830–2839.

- Porto, F., Mosele, F. ve Modena, C., 2011. Engineering Structures.
- Prota, A., Marcarì, A., Fabbrocina, G., Manfredi G. ve Aldea, C., 2006. Experimental in-plane behavior of tuff masonry strengthened with cementitious matrix-grid composites, Journal of composites for construction, 10, 3, 223-233.
- Pusat, S.E., 2002. Tarihi yapıların onarımında kullanılacak harç üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sandoval, C., Roca, P., Bernat, E. ve Gil, L., 2011. Construction and building materials.
- Satongar Laçinyurt, Ş., 1994. İstanbul şehir surları horasan harçları üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Seim, W. ve Pfeiffer, U., 2011. Construction and Building Materials 25, 3393–3403.
- Senthivel R. ve Lourenço P.B., 2009. Engineering Structures 31, 1930-1943.
- Sert, H., 2007. Tarihi eserlerin güçlendirilmesi ve geleceğe güvenle devredilmesi sempozyumu-1, 321-329.
- Stierwalt, D.D. ve Hamilton, H.R. 2004. Creep of concrete masonry walls strengthened with FRP composites, Construction and building materials.
- Tan, K.H. ve Patoary, M. K. H. 2004. Strengthening of masonry walls against out of plane loads using fiber-reinforced polymer reinforcement, Journal of composites for construction, 9, 1, 79–87.
- TSB Committee E30,1998. Earthquake resistant design: national construction code, Technical standard for buildings, Lima.
- Tomazevic M, Lutman M, Petrovic L., 1993. In plane behavior of reinforced masonry walls subjected to cyclic lateral loads. Report to the ministry of science and technology of Republic of Slovenia, parts 1 and 2. Ljubljana, Slovenia.
- Toydemir N., Gürdal E. ve Tanaçan L., 2000. Yapı elemanı tasarımında malzeme, Literatür Yayınlar:39, İstanbul.
- Ulkay, S., 1978. Yapı Bilgisi, YTÜ, Mimarlık Fakültesi Yayını, İstanbul.
- URL-1, www.barshanmadencilik.com/eski-eser-restarasyon.html , 15 Nisan 2013.
- URL-2, www.datcadetay.com.tr , 18 Kasım 2012.
- URL-3, http://www.basf-yks.com.tr/TR/urunler/yapisistemleri/onarimveguclendirme/albaria_intonaco/Pages/default.aspx , 25 Kasım 2012.
- Ünay, A.İ., 2002. Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı, ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları, Ankara

- Valluzzi, M. R., Binda, L. ve Modena C., 2005. Mechanical behaviour of historic masonry structures strengthened by bed joints structural repointing, *Construction and building materials* 19, 63-73.
- Valluzzi M.R., Tinazzi, D. ve Modena, C., 2002. *Construction and Building Materials* 16, 409-416.
- Yılmaz, E., 2010. Boşluklu tuğla ile örülmüş yığma duvarların LP kompozitler ile güçlendirilmesi ve davranışta boyut etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yorulmaz, M. Convenor, F., Vintzeleou, E., 1984. Design and Construction of Stone and Brick Masonry Buildings, *Building Construction Under Seismic Conditions in The Balkan Region Project, Volume 3, United Nations Development Programme, Viyana.*
- Zijl, G. P. A. G. ve De Vries P. A., 2005. Masonry wall crack control with carbon fiber reinforced polymer, *Journal of composites for construction*, 9, 1, 84–89.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yılmaz KOÇAK
Doğum Yılı : 1977

Eğitim Bilgileri

Lisans : Niğde Üniversitesi
Aksaray Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İletişim Bilgileri

Adres : Çankaya / ANKARA
Telefon : 0 532 594 29 44
E-posta : yilmazkocak1977@gmail.com