

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TARİHİ YIĞMA YAPILARIN TAŞIYICI SİSTEMLERİ, GÜVENLİĞİNİN
İNCELENMESİ, ONARIMI VE GÜÇLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Hayriye Gülçin KARA**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

OCAK 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TARİHİ YIĞMA YAPILARIN TAŞIYICI SİSTEMLERİ, GÜVENLİĞİNİN
İNCELENMESİ, ONARIMI VE GÜÇLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Hayriye Gülçin KARA
(501041058)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Aralık 2008

Tezin Savunulduğu Tarih : 22 Ocak 2009

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Metin AYDOĞAN (İTÜ)
Prof. Dr. Feridun ÇILI (İTÜ)**

OCAK 2009

ÖNSÖZ

Çalışmamın tamamlanması sırasında yardımlarını ve yorumlarını esirgemeyen, her aşamada yapıcı eleştirileri ile tezimin genel çerçevesini belirleyen, bu dönem içerisinde kişisel ve mesleki gelişimime büyük katkıda bulunan tez danışmanım Doç. Dr. Turgut Öztürk'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bana olan güvenlerini ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, eğitim hayatım boyunca aldığım her kararda beni destekleyen sevgili aileme teşekkürlerimi sunuyorum.

Aralık 2008

Hayriye Gülçin Kara

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMALAR	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
SEMBOL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xviii
1. GİRİŞ	1
2. TARİHİ YAPI TÜRLERİ	5
3. YIĞMA YAPI TANIMI VE TARİHİ YIĞMA YAPILARIN TAŞIYICI SİSTEMLERİ	15
3.1 Yığma Yapı Sistemleri	15
3.1.1 Yığma yapı türleri	16
3.1.1.1 Donatısız yığma yapılar	16
3.1.1.2 Çerçeve sistemli yığma yapılar	17
3.1.1.3 Donatılı yığma yapılar	19
3.1.2 Yığma yapı sistemlerinin tasarım ilkeleri	21
3.1.3 Yığma yapı davranışı	23
3.2 Tarihi Yığma Yapıların Taşıyıcı Sistemleri	27
3.2.1 Sütunlar(Kolonlar)	27
3.2.2 Kemerler	28
3.2.3 Kubbeler	31
3.2.4 Küresel bingi (Pendantif)	36
3.2.5 Tonoz bingi (Tromp)	36
3.2.6 Türk üçgeni	37
3.2.7 Duvarlar ve payandalar	38
3.2.8 Gergiler	39
3.2.9 Döşemeler	40
3.2.10 Temeller	43
4. TARİHİ YIĞMA YAPILARDA KULLANILAN MALZEMELER	45
4.1 Doğal taşlar	45
4.2 Harman tuğlası	46
4.3 Kerpiç	48
4.4 Kargir malzeme	49
4.5 Kireç	49
4.6 Su	50
4.7 Agregası	50
4.8 Harç	50
4.8.1 Kireç harcı	50
4.8.2 Horasan harcı	51
4.9 Ahşap malzeme	51
4.10 Demir	52

4.10.1 Kenet demiri.....	52
4.10.2 Zıvana demiri	53
4.10.3 Taşıyıcı unsur olarak demir.....	53
5. TARİHİ YIĞMA YAPILARA ETKİYEN YÜKLER; DEPREM	
ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞI, YAPISAL VE DENEYSEL ANALİZİ	55
5.1 Tarihi yığma yapılara etkiyen yükler ve deprem etkisindeki davranışı	55
5.2 Tarihi Yığma Yapıların DeneySEL Analizi.....	56
5.2.1 Tarihi yapıların deneySEL analizinde kullanılan yöntemler.....	56
5.2.1.1 Sertlik ve ölçümü	56
5.2.1.2 Ultrases ve ölçümü	56
5.2.1.3 Radyoaktif metotlar	58
5.2.1.4 Infrared tomografi yöntemi	58
5.2.1.5 Yerinde basınç deneyi	59
5.2.1.6 Yerinde kayma deneyi	59
5.2.1.7 Laboratuarda yapılan mekanik ve fiziksel deneyler	60
5.2.2 Tarihi yapılarda deneySEL yöntemlerle belirlenen malzeme özellikleri.....	60
5.2.2.1 Basınç dayanımı	61
5.2.2.2 Çekme dayanımı	62
5.2.2.3 Kayma dayanımı	63
5.2.2.4 Elastisite modülü	63
6. TARİHİ YIĞMA YAPILARIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN İRDELENMESİ	
.....	65
6.1 Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi.....	65
6.1.1 Genel Kurallar	65
6.1.1.1 Duvar Gerilmelerinin Hesabı	66
Düşey gerilmelerin hesabı	67
Duvarlarda izin verilen basınç emniyet gerilmesi	67
Düşey gerilmelerin hesabı	68
Kayma gerilmesinin hesabı	69
Elastisite modülü	70
6.1.1.2 Taşıyıcı Duvarlar	70
Taşıyıcı duvar malzemesi	70
Duvar malzemesi dayanımları	71
İzin veriken en küçük taşıyıcı duvar kalınlıkları	71
Taşıyıcı duvarlarda toplam uzunluk sınırı	72
Taşıyıcı Duvarların En Büyük Desteklenmemiş Uzunluğu	73
Taşıyıcı Duvar Boşlukları	73
6.1.1.3 Lentolar ve hatıllar	75
Lentolar	75
Yatay hatıllar	76
Yatay hatıllar	78
6.1.1.4 Döşemeler	79
6.1.1.5 Çatılar	80
6.1.1.6 Taşıyıcı olmayan duvarlar	80
7. TARİHİ YIĞMA YAPILARDA OLUŞAN HASARLAR VE NEDENLERİ.	83
7.1 Tarihi Yığma Yapılarda Oluşan Hasarların Nedenleri.....	83
7.2 Tarihi Yığma Yapılarda Oluşan Hasar Biçimleri.....	84
7.2.1 Zeminden kaynaklanan hasarlar.....	85
7.2.2 Taşıyıcı sistem tasarımından kaynaklanan hasarlar	91
7.2.3 Malzemeden kaynaklanan hasarlar.....	92

7.2.4 Kötü işçilikten kaynaklanan hasarlar.....	92
7.2.5 Hava kirliliği ve trafikten kaynaklanan hasarlar	92
7.2.6 Doğal afetler ve insanların sebep olduğu hasarlar.....	93
8. TARİHİ YIĞMA YAPILARDA KULLANILAN ONARIM VE	
GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ.....	95
8.1 Onarım ve Güçlendirme Tanımı	95
8.2 Onarım ve Güçlendirmede Ana İlkeler	96
8.3 Kullanılan Yöntemler	97
8.3.1 Yapı zemininin güçlendirilmesi	98
8.3.1.1 Enjeksiyon yöntemi	98
Hydrofracture enjeksiyonu	99
Sıkılama enjeksiyonu	99
Geçirimsizlik enjeksiyonu	99
Çatlatma enjeksiyonu	99
8.3.1.2 Jet-Grout yöntemi	99
8.3.1.3 Drenaj yöntemi	100
8.3.2 Yapı temellerinin güçlendirilmesi	100
8.3.3 Üst yapıda onarım ve güçlendirme.....	105
8.3.3.1 Taşıyıcı duvarların güçlendirilmesi	105
Duvar çatlakların onarılması	105
Püskürtme beton uygulaması	109
Duvar birleşimlerinin onarım ve güçlendirilmesi	112
Çelik levhalarla duvarın onarımı ve güçlendirilmesi	115
Gerilme verilerek duvarların onarımı ve güçlendirilmesi	117
Duvarlarda genişleme hasarlarının onarımı ve güçlendirilmesi	119
Duvarlarda enjeksiyon ile onarım	120
8.3.3.2 Döşemelerin onarımı ve güçlendirilmesi	121
8.3.3.3 Sütunların onarımı ve güçlendirilmesi	122
8.3.3.4 Kemerler ve tonozların onarımı ve güçlendirilmesi	123
8.3.3.5 Kubbelerin onarımı ve güçlendirilmesi	123
8.3.4 Yapının tümünün güçlendirilmesi	123
8.3.4.1 Yığma yapının tümüyle bir betonarme çerçeve içine alınması	123
8.3.4.2 Yığma yapının payandalarla desteklenmesi	124
8.3.4.3 Yapı planının simetrik hale getirilmesi	125
8.3.5 Lifli polimer(FRP) ve karbon elyaflarla yapılan onarım ve güçlendirme	125
8.3.6 Sismik izolasyon yöntemi.....	127
8.3.7 Acil müdahaleler	129
8.3.7.1 Yapının askıya alınması	129
8.3.7.2 Yapının desteklenmesi	129
8.3.7.3 Kısmi yıkımlar için güçlendirme ve onarımlar	129
9. ÖRNEK UYGULAMALAR.....	131
9.1 Vefa Anadolu Lisesi Orta Bina	131
9.1.1 Yapının konumu ve genel özellikleri.....	131
9.1.2 Zemin özellikleri	131
9.1.3 Yapının taşıyıcı sistem özellikleri	131
9.1.4 Binaya zaman içerisinde yapılan müdahaleler.....	133
9.1.5 Yapının statik durumu ve taşıyıcı sistem hasarları.....	133
9.1.6 Yapı düşey yüklerinin hesabı.....	134
9.1.6.1 Kütle merkezinin hesabı	134

9.1.6.2 Döşeme alanı	135
9.1.6.3 Döşeme yükleri	135
2. Normal kat tavanı (çatı döşemesi)	135
1. Normal kat tavanı	135
9.1.6.4 Duvar ağırlıkları	137
Duvar alanları (düşeyde)	137
Toplam duvar ağırlıkları	138
9.1.6.5 Toplam kat yükleri	139
9.1.7 Deprem yüklerinin hesabı	139
9.1.8 Mevcut yapının tahkiki	141
9.1.8.1 Toplam taşıyıcı duvar alanları	142
9.1.8.2 Duvar kayma gerilmelerinin tahkiki	143
9.1.9 Güçlendirilmiş yapı sisteminin tahkiki (sayısal hesap)	143
9.1.9.1 Toplam güçlendirme betonu alanları	144
9.1.9.2 Kayma gerilmelerinin tahkiki	144
9.1.9.3 Güçlendirme betonlarından gelen ilave yükler	144
9.1.9.4 Güçlendirilmiş durumda kat ağırlıkları	145
9.1.9.5 Yeni deprem yükleri	145
9.1.9.6 Etkin duvar alanları	146
9.1.9.7 Ortalama kayma gerilmeleri	146
9.2 Üç Katlı Yığma Yapının Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi (2007 DBYYHY'e Göre Tahkik) ve Sayısal Hesap	147
9.2.1 Düşey yüklerin hesabı	147
9.2.2 Deprem yüklerinin hesabı	148
9.2.3 Kayma gerilmelerinin tahkiki	149
9.2.4 Güçlendirilmiş yapı sisteminin tahkiki	149
9.2.5 Güçlendirme betonu alanları	151
9.2.6 Güçlendirme betonlarından gelen ilave yükler	151
9.2.7 Güçlendirilmiş durumda kat ağırlıkları	151
9.2.8 Yeni deprem yükleri	152
9.2.9 Etkin duvar alanları	152
9.2.10 Kayma gerilmelerinin tahkiki	152
9.3 Üç Adet Tarihi Yığma Yapının Deprem Güvenliğinin İrdelenmesi	153
9.3.1 İsmihan Sultan Darülkurra Sıbyan Mektebi binası	153
9.3.1.1 Yapının genel özellikleri	153
9.3.1.2 Yapının mevcut durumunun tahkiki	154
DBYYHY 2007'ye göre tahkikler	154
9.3.1.3 Yük analizi	155
9.3.1.4 Deprem yükleri	155
9.3.1.5 Yapıyla ilgili değerlendirmeler	156
9.3.2 Cafer Paşa Medresesi binası	156
9.3.2.1 Yapının genel özellikleri	156
9.3.2.2 Yapının mevcut durumunun tahkiki	158
DBYYHY 2007'ye göre tahkikler	158
9.3.2.3 Yük analizi	159
9.3.2.4 Deprem yükleri	159
9.3.2.5 Yapıyla ilgili değerlendirmeler	159
9.3.3 Hüsrev Paşa Kütüphanesi binası	160
9.3.3.1 Yapının genel özellikleri	160
9.3.3.2 Yapının mevcut durumunun tahkiki	161

DBYYHY 2007'ye göre tahkikler	161
9.3.3.3 Yük analizi	162
9.3.3.4 Deprem yükleri	162
9.3.3.5 Yapıyla ilgili değerlendirmeler	162
10. SONUÇ VE ÖNERİLER	163
KAYNAKLAR.....	165

KISALTMALAR

DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
ASTM C	: American Society for Testing and Materials
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
XRD	: X ışını kırınım cihazı
FRP	: Lifli Polimer
UDAP	: Ulusal Deprem Araştırma Programı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Mimar Sinan’a ait bazı yapılarda kubbe basıklık oranları.	34
Çizelge 4.1 : Doğal Yapı Taşlarının Ortalama Fiziksel Özellikleri.	46
Çizelge 4.2 : Tuğlaların Ortalama Fiziksel Özellikleri	48
Çizelge 6.1 : Duvar malzemesi ve harç sınıfına bağlı duvar basınç emniyet gerilmesi.	67
Çizelge 6.2 : Yığma Duvarların Basınç Emniyet Gerilmeleri.	68
Çizelge 6.3 : Narinlik oranına göre düşey yük emniyet gerilmelerini azaltma katsayıları	68
Çizelge 6.4 : Duvarların Çatlama Emniyet Gerilmesi (To).	70
Çizelge 6.5 : Taşıyıcı duvarların en küçük kalınlıkları.	72
Çizelge 7.1 : Çatlak Sınıflandırması.	90
Çizelge 8.1 : Epoksi harcının mekanik özellikleri	121
Çizelge 9.1 : Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0).	140
Çizelge 9.2 : Bina Önem Katsayısı (I).	140
Çizelge 9.3 : Mevcut yapıda katlara etkiyen deprem yükleri.	141
Çizelge 9.4 : Güçlendirilmiş yapıda katlara etkiyen deprem yükleri.	145
Çizelge 9.5 : Üç katlı yığma yapı mevcut durumda katlara etkiyen deprem yükleri	149
Çizelge 9.6 : Üç katlı yığma yapı mevcut durumda katlara etkiyen deprem yükleri	152

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Akropolis-İzmir	6
Şekil 2.2 : Val de Grace Kilisesi-Paris	6
Şekil 2.3 : Pisa Kulesi-İtalya.....	6
Şekil 2.4 : Duomo di Milano Katedrali-İtalya	7
Şekil 2.5 : Tempio Malatestiano-Rimini	7
Şekil 2.6 : Villa Farnese-İtalya	7
Şekil 2.6 : Ortaköy Camisi-İstanbul	8
Şekil 2.8 : III.Ahmet Çeşmesi-İstanbul	8
Şekil 2.9 : İzmir Etnoğrafya Müzesi-İzmir	8
Şekil 2.10 : Notre Dame Kilisesi-Paris.....	9
Şekil 2.11 : Selimiye Camii-Edirne.....	9
Şekil 2.12 : Afrodias Stadyum-Aydın.....	9
Şekil 2.13 : Cağaloğlu Hamamı-İstanbul.....	9
Şekil 2.14 : Hamam-Ürgüp	10
Şekil 2.15 : Aspendos-Antalya.....	10
Şekil 2.16 : Roma Tiyatrosu-İtalya	10
Şekil 2.17 : Mağlova Su Kemeri-İstanbul	10
Şekil 2.18 : Alman(Varda) Köprüsü Adana.....	11
Şekil 2.19 : Haydarpaşa Tren Garı-İstanbul	11
Şekil 2.20 : Meriç Köprüsü-Edirne	11
Şekil 2.21 : Çifte Minareli Medere-Erzurum.....	11
Şekil 2.22 : Louvre Müzesi-Paris.....	12
Şekil 2.23 : II.Beyazıd Külliyesi-Edirne.....	12
Şekil 2.24 : Rüstem Paşa Kervansarayı-Edirne	12
Şekil 2.25 : Kervansaray-Malatya	12
Şekil 2.26 : Topkapı Surları-İstanbul	13
Şekil 2.27 : Sivil Yapı Safranbolu.....	13
Şekil 2.28 : Sivil Yapı-Mardin.....	13
Şekil 3.1 : Tipik yığma elemanlar.	16
Şekil 3.2 : Taş-yığma duvarların tipik yapımı.	16
Şekil 3.3 : Taş-yığma yapıda köşelerin ve duvar birleşimlerinin yapımı.	17
Şekil 3.4 : Tuğla-yığma duvarların tipik yapımı.	17
Şekil 3.5 : Betonarme düşey hatılların tipik plan düzenlemesi.....	17
Şekil 3.6 : Betonarme düşey hatılların tipik detayı.	18
Şekil 3.7 : Düşey hatıllar vasıtasıyla sıra derinliği farklı yapısal duvarların birleşimi.	18
Şekil 3.8 : Bağ kirişlerinin yerleşimi.....	18
Şekil 3.9 : Yatay birleşimlerde yığma donatısı.	19
Şekil 3.10 : Yığma yapıda yatay donatılar.....	19
Şekil 3.11 : Yığma yapıda yatay donatıların düşey hatıla ankrajı.....	20
Şekil 3.12 : Boşluklu donatılı yığma birimi.....	20

Şekil 3.13 : Yatay ve düşey donatı yerleştirilmiş çift duvarlı yığma yapı.....	20
Şekil 3.14 : Planda bina düzenlenmesinde genel ilkeler	21
Şekil 3.15 : Planda taşıyıcı duvarların düzenlenmesi.	22
Şekil 3.16 : Düşeyde bina düzenlenmesi.	22
Şekil 3.17 : Karma yapı sistemleri.	22
Şekil 3.18 : Basınç yükleri altında kırılma mekanizması.	22
Şekil 3.19 : Yığma yapı elemanının yatay yükler altında göstermiş olduğu deformasyon ve basınç çizgisinin konumu.	24
Şekil 3.20 : Kayma kırılmasının mekanizması.	25
Şekil 3.21 : Basamak şeklinde diyagonal kırılmanın oluşumu.	25
Şekil 3.22 : Deprem yer hareketi süresince yığma binada oluşan salınımlar	25
Şekil 3.23 : Serbest yapısal bir duvarın çökme mekanizması.....	26
Şekil 3.24 : Yığma bir yapının çökme mekanizması.....	26
Şekil 3.25 : Depreme maruz kalan yığma bir yapıda idealleştirilmiş kuvvet-gerilme durumu.	26
Şekil 3.26 : Sütunlu yapı örneği (Artemis Tapınağı-Efes)	27
Şekil 3.27 : Parçalı sütun örneği (Yerebatan Sarnıcı-İstanbul).....	27
Şekil 3.28 : Sütun ve sütun başlığı (Süleymaniye Camii--İstanbul)	28
Şekil 3.29 : Kemer gösterimi (Süleymaniye Cami Avlusu-İstanbul).....	28
Şekil 3.30 : Kemer şekilleri	29
Şekil 3.31 : Köşe kemerli kubbe	31
Şekil 3.32 : Pandantifli kubbeler	32
Şekil 3.33 : Pandantifli kubbe detayı.....	32
Şekil 3.34 : Kubbede çekme ve basınç bölgeleri	33
Şekil 3.35 : Kubbelerde yük taşıma mekanizması	33
Şekil 3.36 : Tonozların döşeme durumuna getirilmesi.....	36
Şekil 3.37 : Tonoz türleri	37
Şekil 3.38 : Payanda duvar (Kariye Müzesi-İstanbul)	38
Şekil 3.39 : Sıfır derz taş duvar.....	39
Şekil 3.40 : Kemer elemanda açıklık gergisi.	40
Şekil 3.41 : Ahşap döşeme örneği.	41
Şekil 3.42 : Ahşap döşeme örneği detay.....	41
Şekil 3.43 : Volta döşeme detayı.....	42
Şekil 3.44 : Adi volta döşeme detayı.....	42
Şekil 3.45 : Adi volta döşeme örnekleri.	42
Şekil 3.46 : Sürekli temel ve sürekli beton sömel.	43
Şekil 3.47 : Sürekli temel ve sürekli taş sömel.	43
Şekil 4.1 : Harman tuğlası biçimleri.....	47
Şekil 4.2 : Tipik kerpiç blokların boyutları.....	48
Şekil 4.3 : Döşeme altı ahşap kirişler	51
Şekil 4.4 : Kenet demiri	52
Şekil 5.1 : Doğrudan ölçüm	57
Şekil 5.2 : Dolaylı ölçüm	57
Şekil 5.3 : Çatlak derinliğinin tespiti.....	57
Şekil 5.4 : Çatlak genişliğinin tespiti.....	57
Şekil 5.5 : İnfrared Tomografi Yöntemi	58
Şekil 5.6 : Yerinde basınç deneyi.....	59

Şekil 5.7 : Yığma yapı elemanının elastisite modülünü gösteren gerilme-birim deformasyon eğrisi.	64
Şekil 6.1 : Yığma binalarda izin verilen maksimum kat adedi.....	66
Şekil 6.2 : Taşıyıcı duvarlarda toplam uzunluk sınırı	72
Şekil 6.3 : Taşıyıcı duvarların en büyük desteklenmemiş uzunluğu.....	73
Şekil 6.4 : Taşıyıcı duvar boşlukları.....	73
Şekil 6.5 : Birbirini dik olarak kesen duvarların arakesitiyle en yakın pencere ya da kapı boşluğu arasındaki dolu duvar.....	74
Şekil 6.6 : Kapı ve pencere boşlukları için sınır değerler.....	74
Şekil 6.7 : Kerpiç yapılarda kapı ve pencere boşlukları için sınır değerler.....	75
Şekil 6.8 : Lentolar için koşullar.....	75
Şekil 6.9 : Kerpiç duvarlı binalarda lentolar için koşullar.....	76
Şekil 6.10 : Yatay hatıl boyutları	76
Şekil 6.11 : Taş duvarlı yapılarda yatay hatıl donatıları.....	77
Şekil 6.12 : Diğer malzemeden taşıyıcı duvarlarda yatay hatıl donatıları.....	77
Şekil 6.13: Yatay hatıl birleşim ve kesişimlerinde donatı düzenlenmesi.....	77
Şekil 6.14 : Düşey hatıllar.....	78
Şekil 6.15 : Taş duvarlı yapılarda düşey hatıl donatıları.....	79
Şekil 6.16 : Diğer malzemeden yapılarda düşey hatıl donatıları	79
Şekil 6.17 : Yığma yapılarda çatılar	80
Şekil 7.1 : Düzlemi dışına devrilen duvar	85
Şekil 7.2 : Kısmen çöken duvar	85
Şekil 7.3 : Temel oturma çatlakları	87
Şekil 7.4 : Duvarlarda depremden dolayı oluşan eğik çekme çatlakları	88
Şekil 7.5 : İyi bağlanmamış duvarlarda deprem çatlakları	88
Şekil 7.6 : Kerpiç yapıda yetersiz köşe birleşimi sonucu deprem çatlağı	89
Şekil 7.7 : Yığma yapılarda oturma çatlakları 1-2-3 oturan bölümler	89
Şekil 7.8 : Bağ kirişler olmayan ya da döşeme seviyesinde rijit plak bulunmayan bir boşluk üstü dolu duvarda çökme mekanizması.....	89
Şekil 7.9 : Çatlak genişliği-zaman eğrisi	91
Şekil 7.10 : Suyun etkisiyle taş malzemede görülen oyuklanma	92
Şekil 7.11 : Taş malzemede tuzlanma	92
Şekil 8.1 : Çatlatma enjeksiyonu.....	99
Şekil 8.2 : Jet-grout yöntemi.	100
Şekil 8.3 : Temellerin taşıma gücünün artırılmasına ilişkin detaylar.....	102
Şekil 8.4 : Duvarların yükünün yeni takviye sömellere aktarılması-1.	103
Şekil 8.5 : Duvarların yükünün yeni takviye sömellere aktarılması-2.	103
Şekil 8.6 : Yığma yapı temellerinin derine inen beton ayaklarla güçlendirilmesi... ..	104
Şekil 8.7 : Betonarme sistem ile temel takviyesi.(Akaretler sıra evleri).....	104
Şekil 8.8 : Çatlakların doldurulması.	105
Şekil 8.9 : Taş yığma yapılarda duvarlardaki düşey çatlakların onarımı.	106
Şekil 8.10 : Duvarlardaki düşey çatlakların dikişi.	106
Şekil 8.11 : Duvarlardaki çapraz çatlakları kesen, duvara kısmen gömülü betonarme takviye bantları.	107
Şekil 8.12 : Düşey hatıl ya da kolon oluşturulması.	107
Şekil 8.13 : Yatay ve düşey betonarme takviye bantları.	108
Şekil 8.14 : Betonarme takviye bandı detayı.	109
Şekil 8.15 : Püskürtme beton uygulaması örneği.(Akaretler sıra evleri).....	109

Şekil 8.16 : Tek taraflı hasır çelik ve püskürtme beton uygulaması	111
Şekil 8.17 : İki taraflı hasır çelik ve püskürtme beton uygulaması.....	111
Şekil 8.18 : Hasır çelik ve püskürtme beton uygulamasında temele yapılan bağlantı.....	112
Şekil 8.19 : Yığma yapı köşe hasar biçimleri	113
Şekil 8.20 : Kagir duvar köşelerinin donatı ile birbirine bağlanması.....	114
Şekil 8.21 : Yığma yapı köşe hasarı onarımı	114
Şekil 8.22 : Çelik levhalarla duvarların kuşaklanması	115
Şekil 8.23 : Çelik levhalarla güçlendirme.....	115
Şekil 8.24 : Çelik levhalarla duvar köşesininin bağlanması.....	115
Şekil 8.25 : Gergi demirlerinin yapı köşesine bağlantısı.....	116
Şekil 8.26 : Hasarlı duvar bölümünün çelik köşebentlerle çerçeve içine alınması.....	116
Şekil 8.27 : Yığma yapının hasarlı duvarının askıya alınarak yeniden örülmesi.....	117
Şekil 8.28 : Boşluklar arasında kalan duvarların ön gerilmeli donatılarla takviyesi.....	117
Şekil 8.29 : Kagir duvarlara gerilme vererek takviye.....	118
Şekil 8.30 : Kagir duvarlara düşey ön gerilme verilerek takviye.....	119
Şekil 8.31 : Taş yığma duvarlarda “şişme” hasarı onarımı.....	120
Şekil 8.32 : Mevcut ahşap döşemenin üzerine uygulanan ikinci ahşap katman.....	121
Şekil 8.33 : Çelik çaprazlar ile döşemenin rijitleştirilmesi.....	122
Şekil 8.34 : Sütunlarda çatlak onarımı.....	122
Şekil 8.35 : Kubbede çekme çemberi oluşturulması ve çekme çemberi detayı.....	123
Şekil 8.36 : Yığma yapının betonarme çerçeve içine alınması.....	124
Şekil 8.37 : Yığma yapının payanda duvarları ile desteklenmesi.....	124
Şekil 8.38 : Yığma yapının simetrik parçalara ayrılması	125
Şekil 8.39 : Karbon fiber çubuk ve kireç harçla duvar derzinde yapılan güçlendirme uygulaması.....	126
Şekil 8.40 : Yığma yapıda FRP uygulamaları.....	126
Şekil 8.41 : Karbon elyaflar kullanılarak takviye edilen kemer ve tonozlar	127
Şekil 8.42 : Sismik izolasyonlu yapı.....	128
Şekil 8.43 : Sismik izolatör uygulamaları.....	128
Şekil 9.1 : Kat planı.....	133
Şekil 9.2 : Kütle merkezinin hesabı.....	134
Şekil 9.3 : Ahşap döşeme detayı	136
Şekil 9.4 : Volta döşeme detayı.....	136
Şekil 9.5 : Duvar ağırlıkları	138
Şekil 9.6 : Deprem bölgeleri haritası İstanbul	139
Şekil 9.7 : Mevcut yapıda katlara etkiyen fiktif kuvvetler ve kesme kuvvetleri	141
Şekil 9.8 : Güçlendirilmiş yapıda katlara etkiyen fiktif kuvvetler ve kesme kuvvetleri	145
Şekil 9.9 : Üç katlı yığma yapı zemin kat planı	147
Şekil 9.10 : Üç katlı yığma yapıda mevcut durumda katlara etkiyen fiktif kuvvetler ve kesme kuvvetleri	149
Şekil 9.11 : Zemin katta püskürtme beton uygulaması yapılan duvarlar	150
Şekil 9.12 : Birinci normal katta püskürtme beton uygulaması yapılan duvarlar	150
0	
Şekil 9.13 : İkinci normal katta püskürtme beton uygulaması yapılan duvarlar.....	151

Şekil 9.14 : Güçlendirilmiş durumda katlara etkiyen fiktif kuvvetler ve kesme kuvvetleri	152
Şekil 9.15 : İsmihan Sultan Darülkurraı Sıbyan Mektebi planı	153
Şekil 9.16 : İsmihan Sultan Darülkurraı Sıbyan Mektebi 6-6 kesiti	154
Şekil 9.17 : Cafer Paıa Medresesi planı	157
Şekil 9.18 : Cafer Paıa Medresesi A-A, B-B ve C-C kesitleri	157
Şekil 9.19 : Hüsrev Paıa Kütüphanesi planı	160
Şekil 9.20 : Hüsrev Paıa Kütüphanesi 3-3 kesiti	160
Şekil 9.21 : Hüsrev Paıa Kütüphanesi 1-1 kesiti	161

SEMBOL LİSTESİ

γ	: Birim Hacim Ağırlığı
H	: Yapı Yüksekliği
H_i	: İ'inci Katın Zeminden Yüksekliği
ΔF_N	: Binanın N'inci Katına Etkiyen Ek Eşdeğer Deprem Yüğü
Δl	: Boy Değişimi
t	: Ses Geçiş Süresi
V	: Ses Geçiş Hızı
n	: Porozite
w	: Su Muhtevası
E	: Elastisite Modülü
σ	: Duvar Düşey Gerilmesi
τ	: Kayma Gerilmesi
T_A, T_B	: Spektrum Karakteristik Periyotları
$S(T)$	: Spektrum Katsayısı
A_o	: Etkin Yer İvme Katsayısı
I	: Bina Önem Katsayısı
n	: Hareketli Yüğü Katılım Katsayısı
G_i	: Sabit Yüğü
Q_i	: Hareketli Yüğü
W	: Binanın Toplam Ağırlığı
W_i	: İ'inci katın Ağırlığı
V_t	: Eşdeğer Deprem Yüğü
$R_a(T)$	: Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
f_d	: Duvar Basınç Dayanımı
h_s	: Hacimce Su Emme
a_s	: Ağırlıkça Su Emme
β	: Boşluklu Birim Hacim Ağırlığı
V_s	: Duvarın Kesme Kuvveti
f_{em}	: Duvar Basınç Emniyet Gerilmesi
τ_{em}	: Duvar Kayma Emniyet Gerilmesi
τ_o	: Duvar Çatlama Emniyet Gerilmesi
μ	: Sürtünme Katsayısı
l_{dx}	: x eksenini doğrultusundaki duvar boyu
b_{duvar}	: duvar genişliği
A_{dx}	: x eksenini doğrultusundaki duvar alanı
l_{dy}	: y eksenini doğrultusundaki duvar boyu
A_{dy}	: y eksenini doğrultusundaki duvar alanı
τ_x	: x yönünde kayma gerilmesi
τ_y	: y yönünde kayma gerilmesi
b_{beton}	: püskürtme beton genişliği
A'_{dx}	: x eksenini doğrultusunda püskürtme beton alanı
A'_{dy}	: y eksenini doğrultusunda püskürtme beton alanı

n_1	: taşıyıcı duvar ve püskürtme betonun elastisite modüllerioranı
n_2	: taşıyıcı duvar ve püskürtme betonun kayma dayanımları oranı
G_{ek}	: güçlendirme betonlarından gelen ilave yükler
τ'_x	: güçlendirilmiş durumda x yönünde kayma gerilmesi
τ'_y	: güçlendirilmiş durumda y yönünde kayma gerilmesi

TARİHİ YIĞMA YAPILARIN TAŞIYICI SİSTEMLERİ, GÜVENLİĞİNİN İNCELENMESİ, ONARIMI VE GÜÇLENDİRİLMESİ

ÖZET

Tarihi yapılar kültürel mirasın sonraki kuşaklara aktarılmasını sağlamada önemli bir görev üstlenmektedir. Zaman içerisinde doğal ve yapay etkenlere maruz kalan tarihi yapılar hasara uğramış fakat inşa edildikleri dönemdeki yapım ustalığı sayesinde ayakta kalmayı başarmıştır. Bu yapıların mevcut durumlarının incelenmesi, hasarlarının tespiti, onarımı ve güçlendirilmesi için en uygun tekniğin seçilmesi ve gereken müdahalenin zamanında yapılması oldukça önemlidir.

Bu çalışma aşağıdaki konuları içermektedir;

- Tarihi yapıların sınıflandırılması ve tarihi yapı türleri,
- Tarihi yığma yapılarda kullanılan malzemeler ve özellikleri,
- Tarihi yapılarda en çok rastlanılan yığma yapı tekniği
- Yığma yapıların yatay ve düşey yükler altında davranışı,
- Tarihi yığma yapıların taşıyıcı sistemleri ve bu elemanlar arasındaki yük aktarımı,
- Tarihi yığma yapılarda görülen hasar türleri ve hasarların oluşma nedenleri
- 2007 DBYYHY esaslarına göre yığma yapıların tasarım ve yapım kuralları ile deprem güvenliği,
- Malzeme özelliklerinin ve hasar tespitinin belirlenmesinde uygulanan deneysel yöntemler,
- Kullanılan onarım ve güçlendirme teknikleri.
- Sayısal örneklerle konu desteklenmiştir. Ele alınan yığma kâgir 5 adet yapıya ait bilgiler verilmiştir. Mevcut durumlarının tespiti yapılmıştır. Deprem yönetmeliğine göre güvenlikleri belirlenerek güçlendirme ihtiyacı olup olmadığı tespit edilmiştir. Kullanılan güçlendirme yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Güçlendirme yapılması durumunda 2007 DBYYHY göre hesap yapılarak mevcut durum ile güçlendirilmiş durum karşılaştırılmıştır, güçlendirme sonrası hesaplanan değerlerin sınır değerleri aşmadığı gösterilmiştir.
- Çalışmayla ilgili sonuçlar ve değerlendirmeler son bölümde özetlenmiştir.

THE CONSTRUCTION PROPERTIES, SAFETY, REPAIRMENT AND STRENGTHENING OF HISTORICAL MASONRY STRUCTURES

SUMMARY

Historical structures have an important mission in the transmission of the cultural inheritance to the next generations. In course of time, historical structures have some damages by the natural and artificial effects but they did not cave by the craftsmanship of construction techniques of their time. It is very important to observe the current conditions of these structures, determine the damages, select the most appropriate technique to repair and reinforce the structures for intervention on time.

Present study contains the following issues,

- Classification and types of historical buildings,
- The materials used in historical masonry buildings and their properties,
- The techniques of masonry structure,
- Responses of masonry structures under vertical and horizontal loads,
- The construction properties of historical masonry structures and load translation between these properties,
- Types of damages which occur in these structures and the reasons of the damages,
- Design and construction rules and safety of masonry structures according to 2007 Turkish Earthquake Code,
- Experimental methods used in determining the types of damages and characteristics of materials
- Techniques used in repairment and strengthening
- The subject is supported with numerical examples. The information is given about 5 masonry buildings. Current conditions and safety of these structures; whether they necessitate a strengthening technique or not, are determined according to 2007 Turkish Earthquake Code. If the strengthening is used, calculations according to 2007 Turkish Earthquake Code have been done, current condition and strengthened condition have been compared and have been shown that the values which were found after strengthening are under the threshold values,
- The evaluation of the study and the conclusions have been summarized in last chapter.

1. GİRİŞ

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

Çok eski zamanlardan bu yana tarihi yapıların inşasında yığma yapı tekniği kullanılmıştır. Hem düşey hem yatay yükler için tüm taşıyıcı sistemi doğal veya yapay malzemeli taşıyıcı duvarlar ile oluşturulan yapılara yığma yapı denilmektedir. Yığma yapılarda kâgir, doğal taş, tuğla, ahşap gibi elemanların harç ile veya harçsız üst üste konulup örülmesi ile duvarlar oluşturulur. Tarihi yığma yapılarda en çok görülen taşıyıcı elemanlar; kemerler, sütunlar ve ayaklar, duvarlar, tonozlar, kubbeler, temeller ve döşemeler olarak sıralanabilir. Bu elemanlar kullanılarak yapının ana taşıyıcı sistemi oluşturulmaktadır.

Yığma yapılarda kerpiç, doğal taş, tuğla, ahşap gibi değişik malzemeler kullanılmaktadır. Bunların seçiminde malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirleyici olmaktadır. Yığma yapıların dayanımı oluşturuldukları malzemenin dayanımına, taşıyıcı elemanların geometrisine ve yerleştirme şekillerine göre farklılık göstermektedir. Yığma yapılar; özellikle basınçla dayanıklı, çekme dayanımı düşük malzemelerden oluşmaktadır. Bu durumda büyük basınç kuvvetlerine maruz kalabilen bu elemanlar eğilme ve kayma etkisine karşı dayanıksızdır. Bu elemanların bir araya getirilmesi, bir bağlayıcı malzeme kullanılarak birleştirilmesi sonucu oluşan yapıda, elemanların özellikleri ve birlikte davranışı incelenmeli, yığma yapının davranışı bu özelliklere bağlı olarak yorumlanmalıdır.

Tarihi yapılarda gözlenen hasarlar; zemin kaynaklı hasarlar, taşıyıcı sistem tasarımıyla ilgili hasarlar, hatalı malzeme kullanımı ve kötü işçilikten kaynaklanan hasarlar, doğal afetler ve insanların sebep olduğu hasarlar, hava kirliliği ve trafikten oluşan hasarlar olarak tanımlanabilmektedir. Yığma yapıların taşıyıcı duvarlarında meydana gelen hasarlar; duvarlar ve döşemeler arasında oluşan yatay çatlaklar, duvarların birleşim ve kesişim bölgelerinde oluşan düşey çatlaklar, dış duvarların ayrılması, duvarlarda oluşan diyagonal çatlaklar, duvarların kısmi olarak yıkılması ya da bozulması, yapının kısmen veya tamamen göçmesi, temel zeminindeki hareketler sonucu meydana gelen hasarlar olarak özetlenebilmektedir. Ayrıca, sıcaklık değişimi, nem, yağış, donma-çözülme gibi olaylar, çevre kirliliğinin neden olduğu sülfat ve klorür içeren eriyiklerin yıpratıcı etkileri, amaç dışı ve bilinçsiz kullanım ve gelişigüzel onarımlar yapıya ciddi zararlar vermekte yapının ömrünü azaltmaktadır.

Tarihi yapıyı oluşturan malzemelerin genelde basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük olduğundan, deprem kuvvetlerinden veya zemin kaynaklı etkilerden oluşan çekme gerilmelerini, gevrek davranış nedeniyle karşılayamazlar. Tarihi yapılarda basınç gerilmesinin, taş-harç, tuğla-harç arasındaki kayma gerilmesinin, elastisite modülünün ve malzeme kalitesinin belirlenmesi için sertlik, ultrases, flatjack vb. tahribatsız deney yöntemlerinden, bunun yanında radyoaktif metotlar, infrared tomografi, yerinde kayma deneyi ve yapıdan numune alınması gibi metotlardan da yararlanılır.

Yeterli derecede deprem güvenliğine sahip olmayan yığma yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir. Halen yürürlükte olan deprem yönetmeliği yığma yapıların güvenliğinin belirlenmesi ile onarım ve güçlendirilmesi hususunda önemli açılımlar ortaya koymaktadır. Yapının depreme dayanıklı tasarımındaki amaç yapının ömrü içerisinde çok sıklıkta meydana gelme olasılığı bulunan orta şiddetteki depremlerde binada yapısal hasarların oluşmamasıdır. Bölgede beklenen maksimum şiddetteki depremlerde ise yapı kısmen veya tamamen göçmemeli ve bundan dolayı can kaybı oluşmamalıdır. Beklenen hasar sınırlandırılmalıdır.

Yığma yapıların güçlendirilmesinde duvar çatlaklarının onarılması ve duvarların enkesit alanlarının artırılması esastır. Ayrıca duvarların birleşim ve kesişim bölgelerinde elemanların birbirine kenetlenerek bütünleşmesini sağlamak gereklidir. Yapıdaki hasar türüne göre farklılık göstermekle birlikte yığma yapılarda uygulanan güçlendirme yöntemlerini şu şekilde sıralanabilir:

- Yapı zemininin güçlendirilmesi sonucu zeminden kaynaklanan hasarların önlenmesi,
- Yapı temellerinin takviye edilmesi sonucu yapı yüklerinin güvenli olarak zemine aktarılması.
- Duvarın hasar gören kısmının sökülüp, tekrar örülmesi ile yapılan onarım,
- Duvarlarda çelik hasır ile tamir harcı veya püskürtme beton uygulanması sonucu etkin duvar alanlarının artırılarak kesme dayanımının artırılması,
- Taşıyıcı duvarlarda bazı kapı ve pencere boşluklarının küçültülmesi veya tamamen kapatılması sonucu etkin duvar alanlarının artırılarak kesme dayanımının artırılması,
- Yığma yapıyı oluşturan malzemelerin sağlamlaştırılması, bazı elemanların yenileriyle değiştirilmesi sonucu güçlendirme,
- Bağlayıcı olarak kullanılan harcın dayanımının artırılması,
- Duvar birleşim bölgelerinin çelik levhalarla sarılması, tuğla veya taş ile örülmesi veya lifli polimer ile güçlendirilmesi,
- Duvar köşelerinde betonarme kolonlar oluşturulması sonucu güçlendirme,
- Duvarlarda payandaların oluşturulması sonucu yatay etkilere karşı yapı dayanımının artırılması,
- Düşey taşıyıcı elemanlarda gergi uygulanması sonucu elemanların yatayda açılmalarını önlemek,
- Düşey taşıyıcı elemanların çelik çemberlerle sarılması sonucu güçlendirme,
- Yapı temellerinde uygulanan sismik yalıtım ile yapıya etki eden deprem yüklerinin azaltılması,
- Yapıların bir bütün olarak veya kısmen askıya alınması ve desteklenmesi,
- Geçici takviyeler yapılması.

Tarihi yapılar, kullanım amaçları, taşıyıcı sistemi ve kullanılan malzemeleri bakımından dönemlerinin en gözde taşınmazları ve güç simgeleridir. Taşıyıcı sistem ve malzeme seçiminde gösterilen özen sayesinde bugün pek çoğu ayakta ve kullanıma açıktır. Ancak çeşitli etkenler de bu eserlerin yıkılmasına ve yok olmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada; tarihi yapılar, taşıyıcı sistem ve elemanları,

kullanılan malzemeler, malzeme özelliklerinin yerinde belirlenmesi ile ilgili çalışmalar, hasarlar ile ilgili bilgiler verilmiş, bu yapıların deprem yükleri altındaki davranışı ve mevcut güvenliğinin belirlenmesi, gereken durumlarda yapılabilecek onarım ve güçlendirme teknikleri tanıtılmış, uygulamadan örnekler verilmiştir.

2. TARİHİ YAPI TÜRLERİ

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

a) Kullanılan malzemelere göre;

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

b) Taşıyıcı sistemlerine göre;

- Yığma-kargir
- Ahşap
- Kerpiç
- Çelik
- Karma

c) Yapıldıkları döneme göre;

- Antik mimarlık yapıları



Şekil 2.1 : Akropolis-İzmir.

- Klasik mimarlık yapıları,



Şekil 2.2 : Val de Grace Kilisesi-Paris.

- Romanesk mimarlık yapıları,



Şekil 2.3 : Piza Kulesi-İtalya.

- Gotik mimarlık yapıları



Şekil 2.4 : Duomo di Milano Katedrali-İtalya.

- Rönesans mimarlık yapıları



Şekil 2.5 : Tempio Malatestiano-Rimini.

- Maniyerist mimarlık yapıları



Şekil 2.6 : Villa Farnese- İtalya.

- Barok mimarlık yapıları



Şekil 2.7 : Ortaköy Camisi-İstanbul.

- Rokoko mimarlık yapıları



Şekil 2.8 : III. Ahmet Çeşmesi-İstanbul.

- Neo-klasik mimarlık yapıları

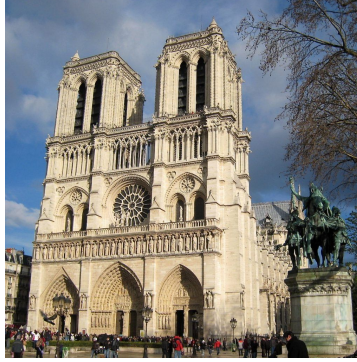


Şekil 2.9 : İzmir Etnoğrafya Müzesi-İzmir.

- Romantik mimarlık yapıları vb.

d) Kullanım amacına göre;

- Dini yapılar



Şekil 2.10 : Notre Dame Kilisesi-Paris.



Şekil 2.11 : Selimiye Camii-Edirne.

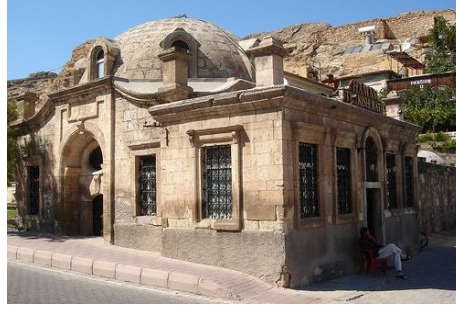
- Sağlık-sosyal hizmet yapıları



Şekil 2.12 : Afrodisias Stadyum-Aydın.



Şekil 2.13 : Cağaloğlu Hamamı-İstanbul.



Şekil 2.14 : Hamam-Ürgüp.

- Kültürel yapılar



Şekil 2.15 : Aspendos-Antalya.



Şekil 2.16 : Roma Tiyatrosu-İtalya.

- Ulaşım yapıları



Şekil 2.17 : Mağlova Su Kemeri-İstanbul.



Şekil 2.18 : Alman(Varda) Köprüsü-Adana.



Şekil 2.19 : Haydarpaşa Tren Garı-İstanbul.



Şekil 2.20 : Meriç Köprüsü-Edirne.

- Eğitim yapıları



Şekil 2.21 : Çifte Minareli Medrese-Erzurum.



Şekil 2.22 : Louvre Müzesi-Paris.



Şekil 2.23 : II. Beyazıd Külliyesi-Edirne.

- Ticaret yapıları



Şekil 2.24 : Rüstem Paşa Kervansarayı-Edirne.



Şekil 2.25 : Kervansaray-Malatya.

- İdari yapılar

- Savunma yapıları



Şekil 2.26 : Topkapı Surları-İstanbul.

- Sivil yapılar



Şekil 2.27 : Sivil Yapı-Safranbolu.



Şekil 2.28 : Sivil Yapı-Mardin.

- Özel yapılar olarak sınıflandırılabilir

3. YIĞMA YAPI TANIMI VE TARİHİ YIĞMA YAPILARIN TAŞIYICI SİSTEMLERİ

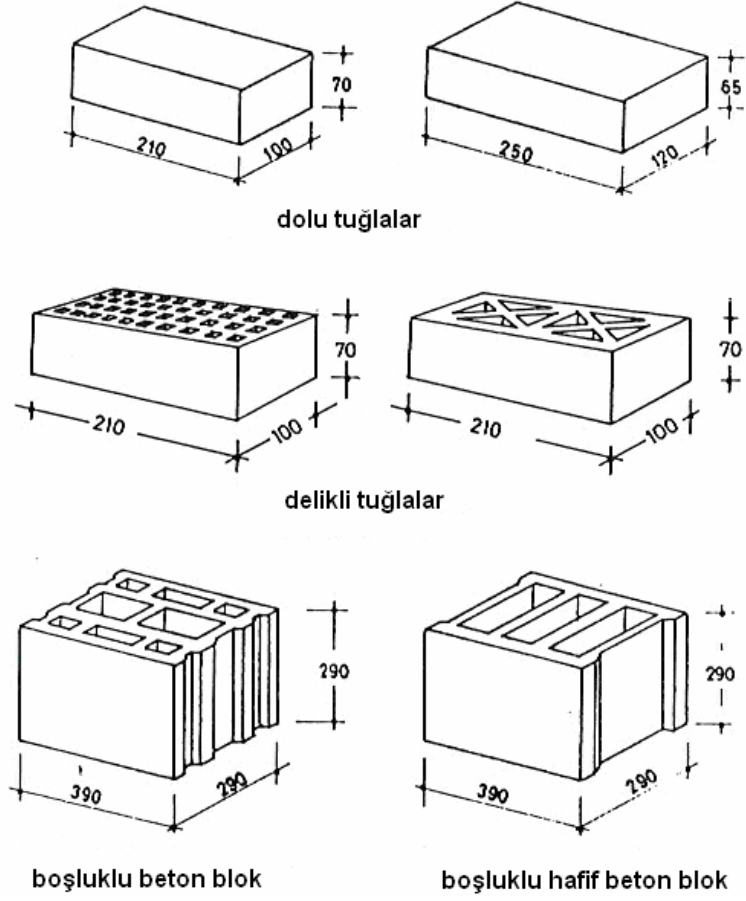
3.1 Yığma Yapı Sistemleri

Taşları veya tuğlaları, taşıyıcı olacak şekilde, üst üste koyup, harçla bağlanarak ve yapı döşemesini de bu duvarlara tahta veya kütüklerle bindirme yoluyla çivi kullanmadan monte edilmiş sistemlere yığma yapı denir. Yığma yapılarda duvarların hem mimari hem de taşıyıcı işlevi vardır. Duvarlar hem hacimleri oluşturur, yapıyı dış etkenlerden korudukları gibi yapının işlevi gereği oluşturulan iç bölmelerini de ayırırlar. Duvarların bu birden çok işlevi kullanım ve yapım açısından yığma yapıların önemli üstünlüğüdür [1].

Türkiye’de yapıların büyük bir oranı, yığma olarak yapılmaktadır. Yığma yapılar bazı açılardan üstün olmalarına karşın, çok ağır olmaları ve deprem gibi dinamik ve yatay yüklere dayanımlarının az olması nedeniyle, genellikle depreme dayanıklı yapı olarak nitelenmezler. Ancak ekonomik koşullar karşısında, Türkiye’de yığma yapı yapımı devam edeceğinden, bu yapıların elden geldiğince depreme dayanıklı yapılması, depremlerdeki davranışlarının bilinmesi ve deprem dayanımlarının arttırılması gerekir [2].

Tuğla yığma yapılar depreme karşı, betonarme yapılara göre çok daha az dayanıklıdır. Kristal ve katmanlı bir yapısı olmayan tuğla ve harçtan oluşan yığma yapı elemanlarının sünek davranması olanak dışıdır. Tuğla duvarlar, gevrek yapı elemanlarıdır. Betonarme gibi donatılı yığma olarak yapılırlarsa, sünek bir nitelikleri olmaktadır. Kalıcı deformasyon yaparak deprem enerjisi tüketme güçleri, betonarme yapılara göre çok azdır [3].

Yığma yapılar kullanılan malzemeye göre kerpiç, taş, tuğla, hafif beton blok, briket ve bunların karışımı olarak sınıflandırılabilir. (Şekil 3.1) Yığma yapılarda kullanılacak birimler genellikle kullanımı kolay, basınç mukavemeti yüksek ve harç ile iyi uyum sağlar nitelikte olmalıdır [4].



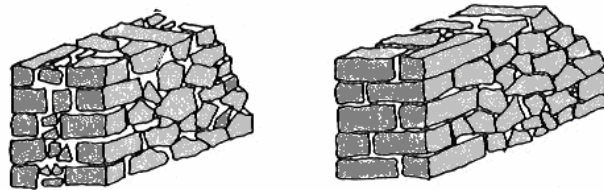
Şekil 3.1 : Tipik yığma elemanlar [5].

3.1.1 Yığma yapı türleri

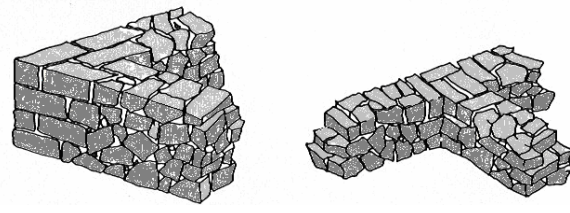
Yığma yapılar kullanılan malzemelere ve yapım şekillerine göre donatısız, donatılı ve çerçeveli yığma yapılar olarak üç gruba ayrılabilir.

3.1.1.1 Donatısız yığma yapılar

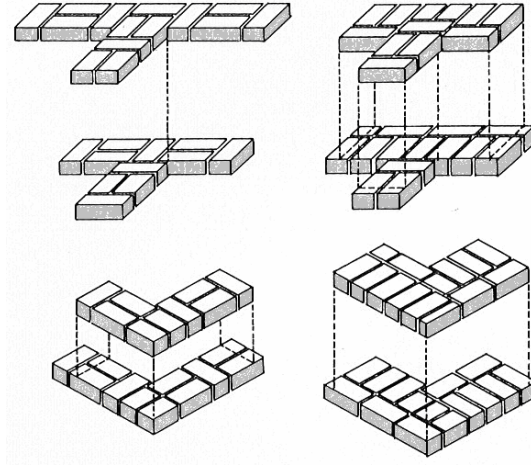
Taş, tuğla, kerpiç gibi malzemelerin, bağlayıcı harç kullanılarak üst üste örülmesiyle oluşturulan yapılardır. Donatı kullanılmadığı için, malzeme özellikleri ve deprem davranışları bakımından diğer yığma yapı çeşitlerine göre daha az dayanımlıdırlar. Donatısız yığma yapılar yüksek bir rijiditeye sahiptirler ve deprem etkisiyle gevrek bir davranış gösterebilirler [6]. (Şekil 3.2, 3.3, 3.4)



Şekil 3.2 : Taş-yığma duvarların tipik yapımı [5].



Şekil 3.3 : Taş-yığma yapıda köşelerin ve duvar birleşimlerinin yapımı [5].

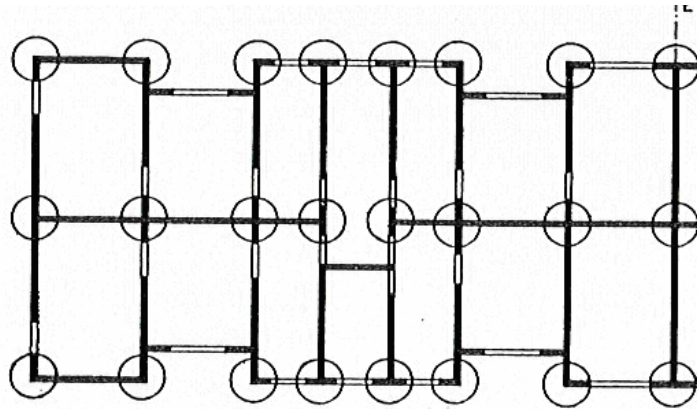


Şekil 3.4 : Tuğla-yığma duvarların tipik yapımı [5].

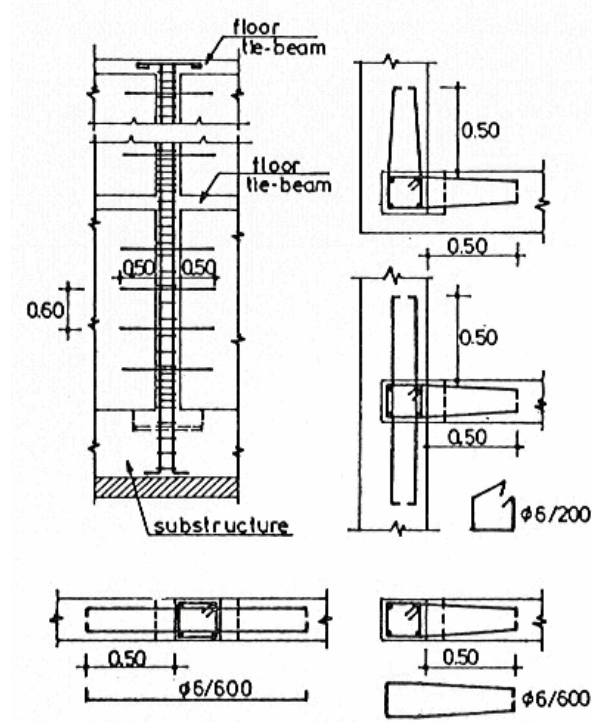
3.1.1.2 Çerçeve sistemli yığma yapılar

Donatısız yığma yapıların düşeyde betonarme kolonlar, yatayda betonarme kirişlerle desteklenmesi sonucu oluşturulan yığma yapı türüdür.

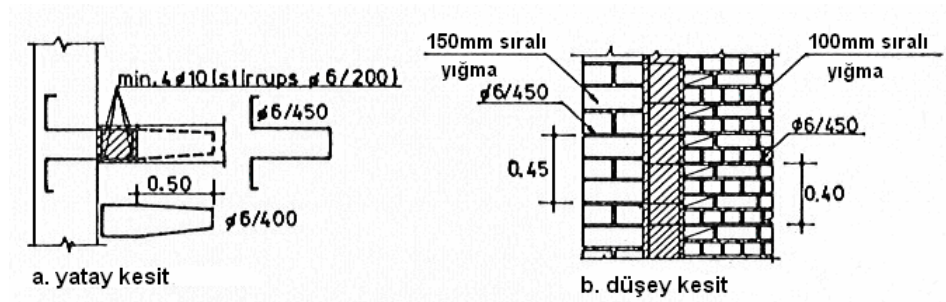
Betonarme düşey hatıllar yük taşıyıcı elemanlar değildir. Yapı köşelerinde ve birleşen duvarların kesişme noktalarına yerleştirilmelidir. Ayrıca kapı ve pencere gibi açıklıkların her iki tarafına ve büyük açıklıklarda duvarlara belli aralıklar ile yerleştirilmelidir [5]. (Şekil 3.5). Betonarme düşey ve yatay hatılların detayları Şekil 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 ‘da gösterilmiştir.



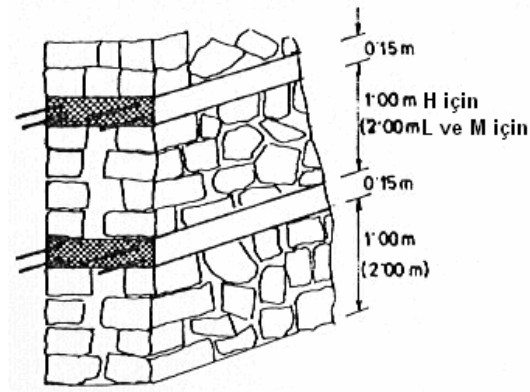
Şekil 3.5 : Betonarme düşey hatılların tipik plan düzenlemesi [5].



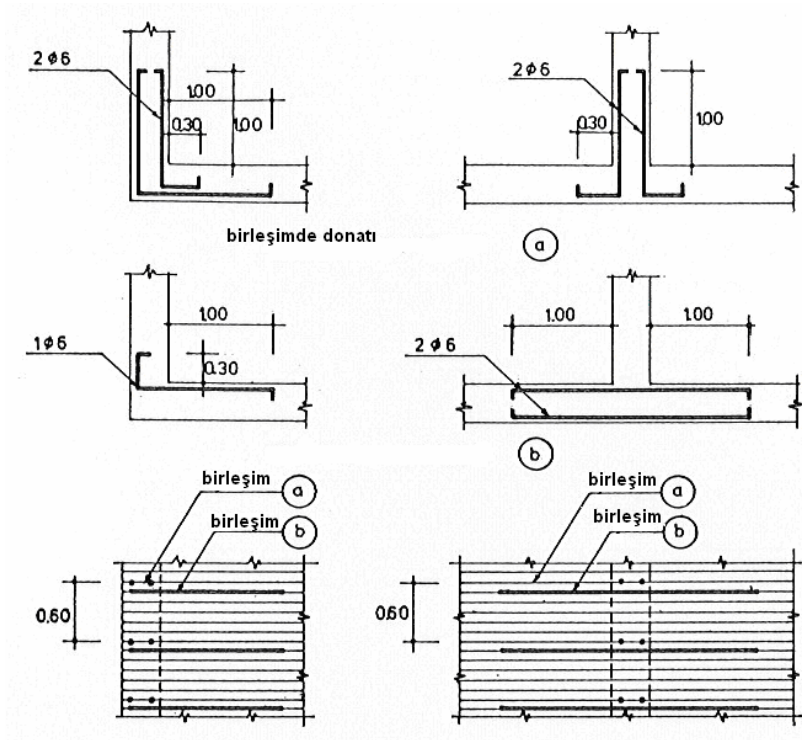
Şekil 3.6 : Betonarme düşey hatılların tipik detayı [5].



Şekil 3.7 : Düşey hatıllar vasıtasıyla sıra derinliği farklı yapısal duvarların birleşimi [5].



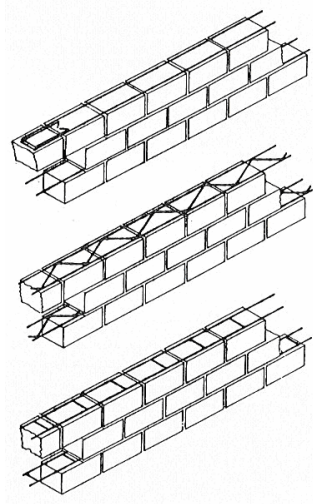
Şekil 3.8 : Bağ kirişlerinin yerleşimi [5].



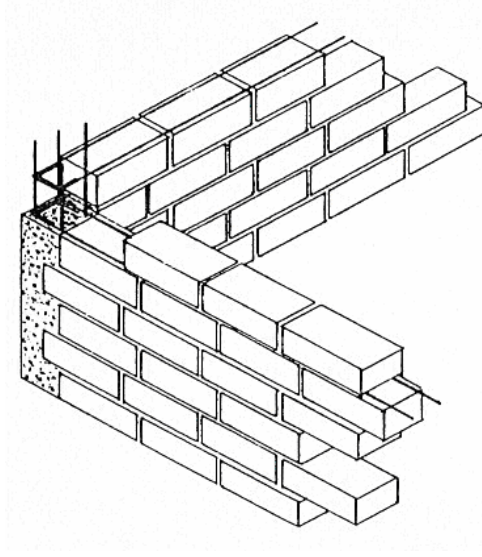
Şekil 3.9 : Yatay birleşimlerde yığma donatısı [5].

3.1.1.3 Donatılı yığma yapılar

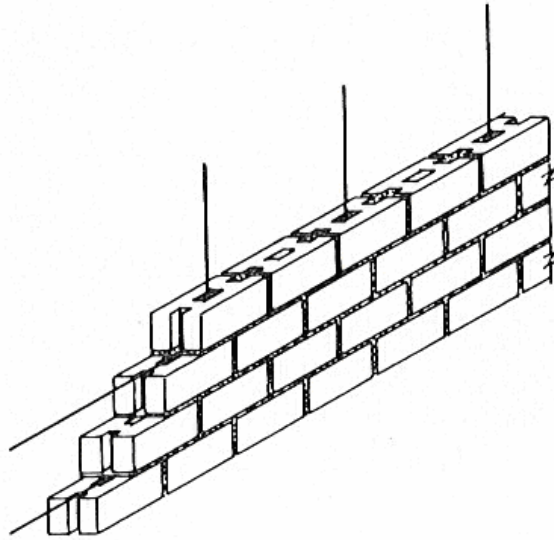
Donatılı yığma yapılar duvar içerisinde yatay olarak yerleştirilen donatıların düşey hatıllar ve yatay hatıllara bağlanması, boşluklu yığma elemanda boşluğun içerisinde düşey donatı ve yatay sıralar arasında yatay donatı kullanılması ya da çift sıralı örülen duvarlar arasında boşluk bırakılarak yatay ve düşey donatılar konulması ardından boşluğun harçla doldurulması sonucu oluşturulan yığma yapı türüdür. Şekil 3.10, 3.11, 3.12, 3.13’de bu tip yığma yapı şekilleri görülmektedir.



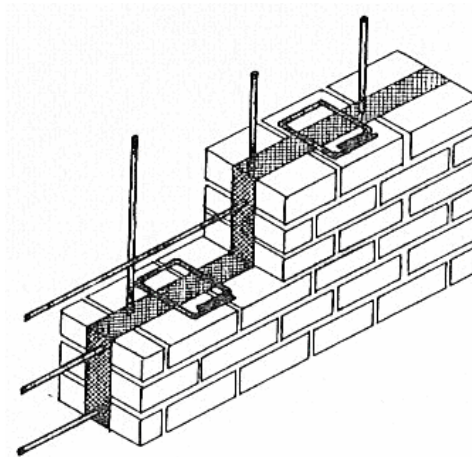
Şekil 3.10 : Yığma yapıda yatay donatılar [5].



Şekil 3.11 : Yığma yapıda yatay donatıların düşey hatıla ankrajı [5].



Şekil 3.12 : Boşluklu donatılı yığma birimi [5].

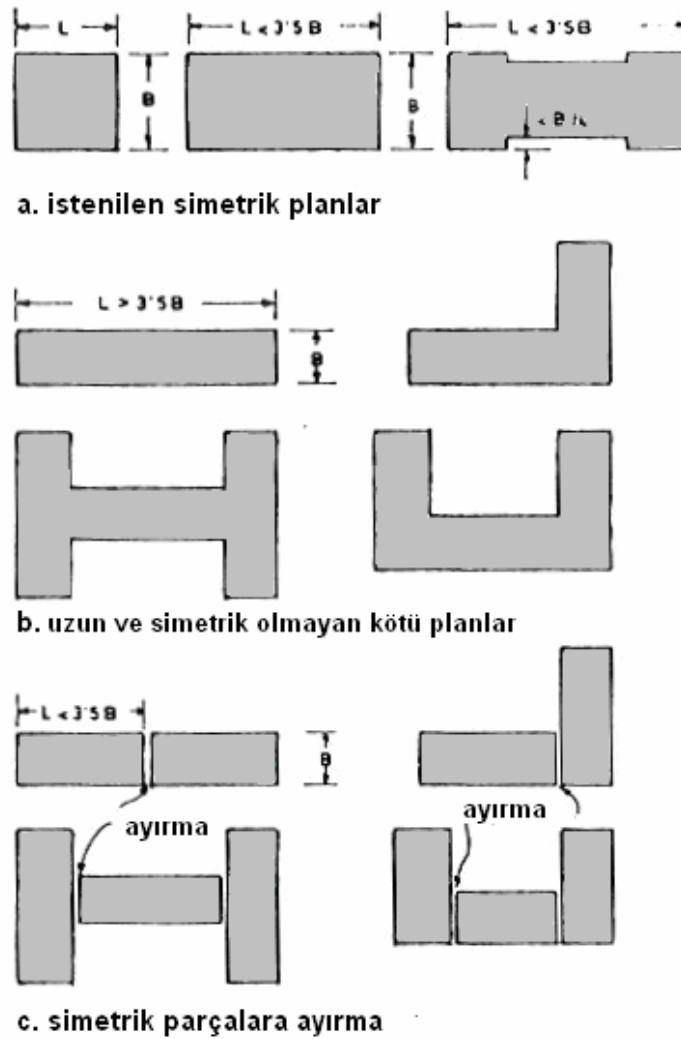


Şekil 3.13 : Yatay ve düşey donatı yerleştirilmiş çift duvarlı yığma yapı [5].

3.1.2 Yığma yapı sistemlerinin tasarım ilkeleri

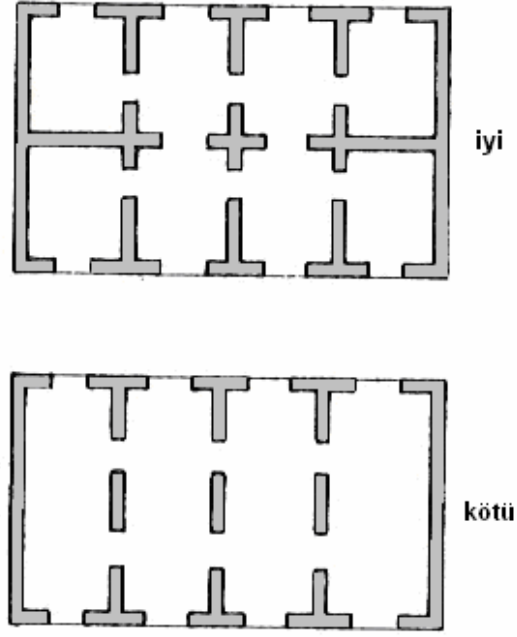
Yığma yapıların depreme dayanaklı tasarlanmasında malzemelerin dayanımı, taşıyıcı sistemin düzenlenmesi, taşıyıcı elemanların birleşimi, işçilik gibi unsurlar belirleyici olmaktadır. Yığma yapıların tasarımında dikkat edilecek tasarım ilkeleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Yapı planları mümkün olduğunca simetrik olmalıdır. Simetrik plana sahip olmayan yapılarda yeterli sayıda dilatasyon bırakılarak yapı simetrik parçalara ayrılabilir. (Şekil 3.14)



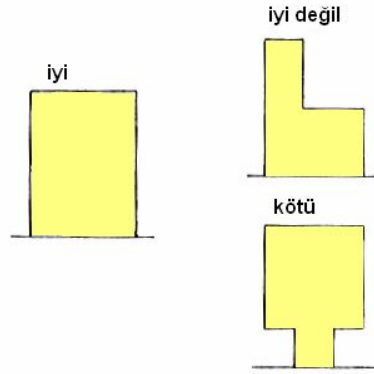
Şekil 3.14 : Planda bina düzenlenmesinde genel ilkeler [5].

- Yapının rijitlik ve kütle merkezinin mümkün olduğunca çakışması gerekmektedir. Taşıyıcı duvarların her iki doğrultuda düzenlenmesi gerekmektedir. Taşıyıcı elemanların planda düzgün dağılımı ile yapıda ilave yüklerin oluşması engellenebilir.(Şekil 3.15)



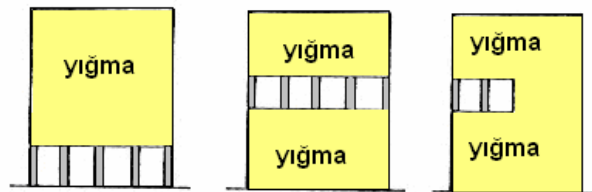
Şekil 3.15 : Planda taşıyıcı duvarların düzenlenmesi [5].

- Taşıyıcı elemanların düşeyde üst üste gelmesi ,rijitliğin yapı yüksekliği boyunca da devam etmesi gerekmektedir. Düşeyde de yapı rijitliğinde ani değişimler meydana gelmemelidir. (Şekil 3.16)



Şekil 3.16 : Düşeyde bina düzenlenmesi [5].

- Karma yapı sistemlerinden kaçınılmalıdır.(Şekil 3.17)



Şekil 3.17 : Karma yapı sistemleri [5].

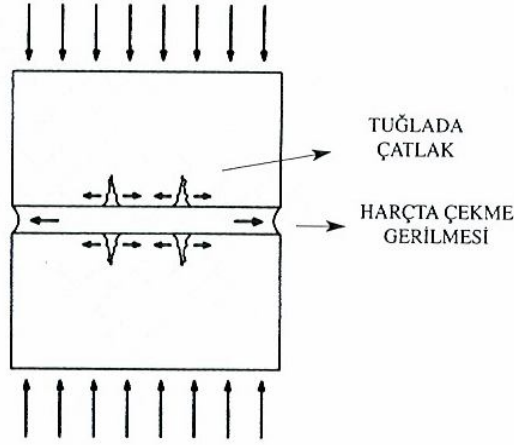
- Düşey taşıyıcı duvarlar ile döşemeler birbirine iyi bağlanmalı, döşeme rijit diyafram özelliği gösterebilmelidir.
- Mesnetlenmemiş duvar boyu yürürlükteki sınır değerleri aşmamalıdır. Herhangi bir taşıyıcı duvar, planda belli aralıklarla düzenlenenen kendisine dik olarak saplanan taşıyıcı duvar ve bölme duvarları ile desteklenmelidir.
- Duvar birleşim ve kesişim bölgelerindeki bağlantının yeterli derecede olması gerekmektedir.
- Duvar içinde bırakılan pencere veya kapı boşluklarının sınır değerleri aşmaması gerekmektedir.
- Duvar birleşim ve kesişimlerinde düşey hatılların ve duvar içerisinde belli aralıklarla yatay hatılların kullanılması olumlu etki oluşturmaktadır.
- Yapı elemanlarının yükleri taşıyabilecek yeterlilikte boyutlandırılması gerekmektedir.

3.1.3 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.

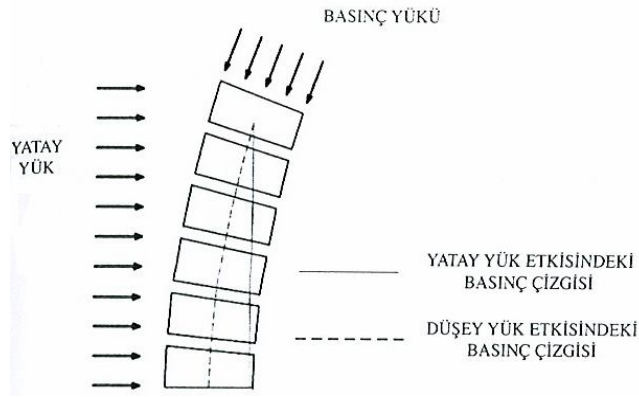
Yığma yapının bir bütün olarak davranmasında taşıyıcı duvarları oluşturan tüm elemanlar, döşeme sistemleri ve bu elemanların birleşimleri önemli bir rol oynamaktadır.

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 [7]. Şekil 3.18'de yığma yapıda basınç yükleri altında kırılma mekanizması görülmektedir.



Şekil 3.18 : Basınç yükleri altında kırılma mekanizması [8].

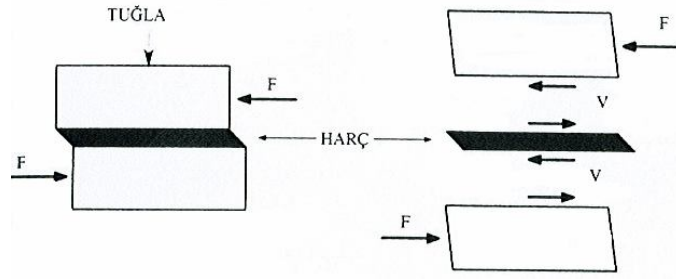
Betonarme yapıların deprem yükleri altında davranışları büyük ölçüde bilinmekle beraber yığma yapıların depremdeki davranışları tam olarak bilinmemektedir. Yığma yapılar, betonarme yapılara göre daha az sünektirler. Takviyeli harçlı, donatılı yığma yapılar betonarme yapılar kadar sünek davranış gösterememektedirler. 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 kesme ve eğilme tesiri yaratır [5]. Şekil 3.19’da yığma yapının yatay yükler altında davranışı görülmektedir.



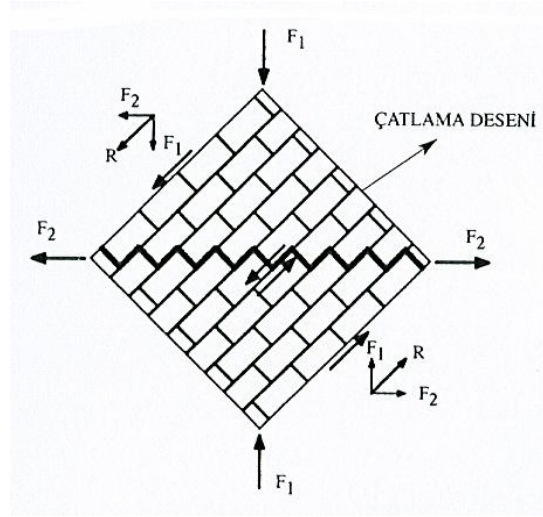
Şekil 3.19 : Yığma yapı elemanının yatay yükler altında göstermiş olduğu deformasyon ve basınç çizgisinin konumu [8].

Deprem sırasında oluşan yatay yükler etkisindeki yığma yapıda, 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.

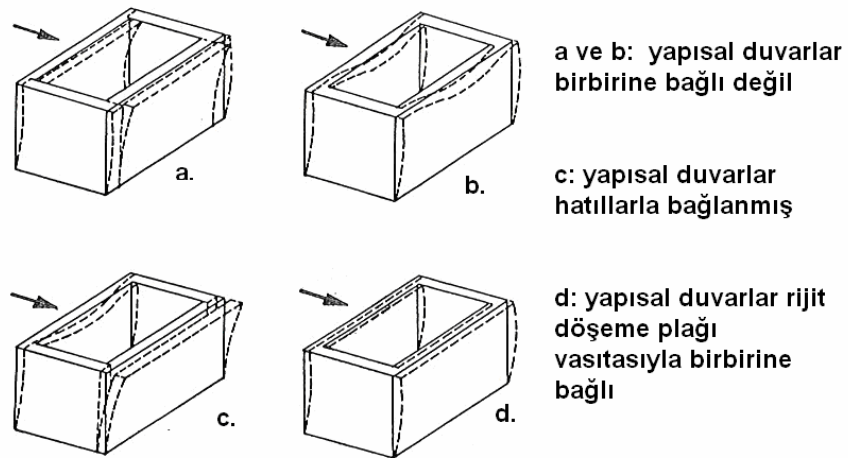
Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’de yığma yapıda kırılma mekanizmaları, Şekil 3.22’de yatay yükler altında yığma yapıda oluşan salınımlar, Şekil 3.23 ve Şekil 3.24’de yığma yapının göçme meknizmaları, Şekil 3.25’de ise yığma yapıda idealleştirilmiş kuvvet gerilme durumu görülmektedir.



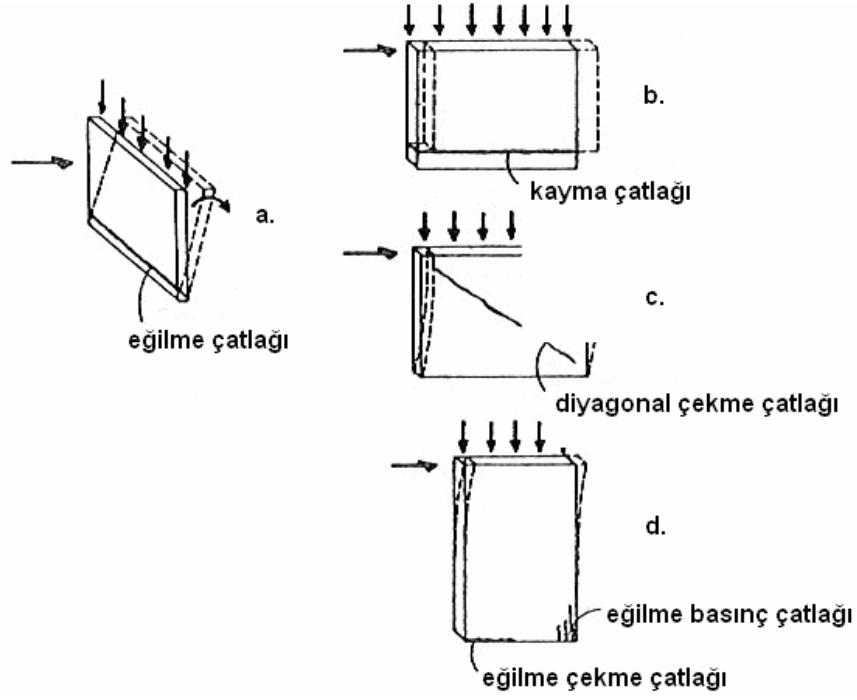
Şekil 3.20 : Kayma kırılmasının mekanizması [8].



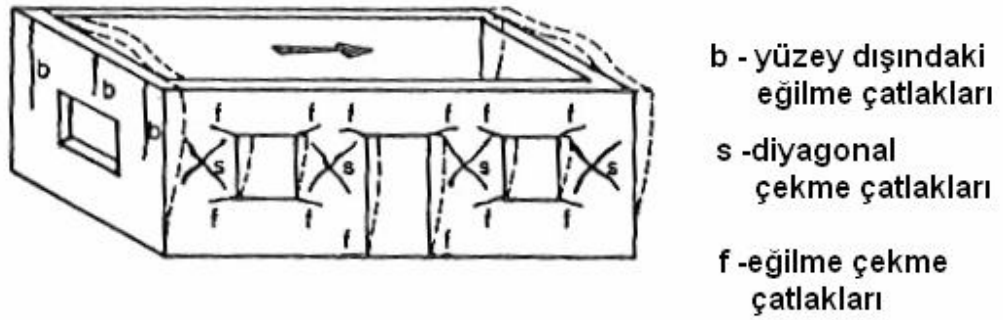
Şekil 3.21 : Basamak şeklinde diyagonal kırılmanın oluşumu [8].



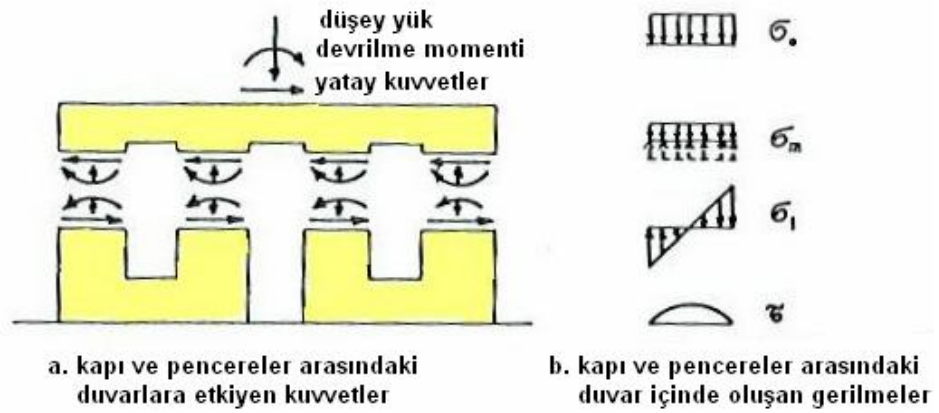
Şekil 3.22 : Deprem yer hareketi süresince yığma binada oluşan salınımlar [5].



Şekil 3.23 : Serbest yapısal bir duvarın çökme mekanizması [5].



Şekil 3.24 : Yığma bir yapının çökme mekanizması [5].



Şekil 3.25 : Depreme maruz kalan yığma bir yapıda idealleştirilmiş kuvvet-gerilme durumu [5].

3.2 Tarihi Yığma Yapıların Taşıyıcı Sistemleri

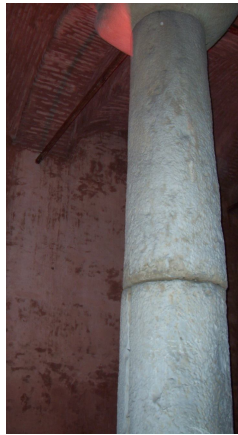
Çok eski zamanlardan bu yana tarihi yapıların inşasında yığma yapı tekniği kullanılmıştır. Kâgir, doğal taş, tuğla, ahşap gibi elemanların harç ile veya harçsız olarak üst üste konulup örülmesi ile duvarlar oluşturulur. Tarihi yığma yapılarda en çok görülen taşıyıcı elemanlar sütunlar; kemerler, kubbeler, tonozlar, duvarlar, temeller ve döşemeler olarak sıralanabilir. Bu elemanlar kullanılarak yapının ana taşıyıcı sistemi oluşturulmaktadır.

3.2.1 Sütunlar(Kolonlar)

Sütunlar yekpare bir malzeme ile ya da birkaç blok taşın üst üste dizilmesi ile oluşturulan düşey taşıyıcı elemanlardır.(Şekil 3.26, 3.27) Sütunları oluşturan elemanların birleşim yerlerinde çelik veya ahşaptan yapılmış bilezik şeklindeki halkalar bulunur. Örtü sisteminden gelen yüklerin düşey taşıyıcı sütunlarla birleşme bölgesinde sütun başlıkları ve yükün zemine aktarıldığı yerde sütun tabanı bulunmaktadır.



Şekil 3.26 : Sütunlu yapı örneği (Artemis Tapınağı-Efes)



Şekil 3.27 : Parçalı sütun örneği (Yerebatan Sarnıcı-İstanbul)

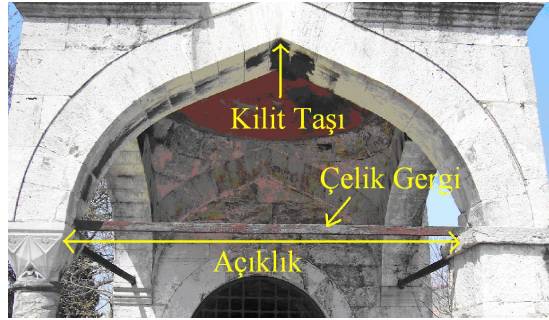
Daha çok kare, çokgen ve daire kesitli olan sütunların taşıdığı kiriş ya da kemer yükünü toplamak için sütun başlığı, yükü altındaki yapı elemanına yaymak için sütun tabanı yapılır [7]. (Şekil 3.28)



Şekil 3.28 : Sütun ve sütun başlığı (Süleymaniye Camii--İstanbul)

3.2.2 Kemerler

Kemerler açıklıkları geçmek için kullanılan eğri eksenli kiriş elemanlardır. Kemerler çekme gerilmelerini oluşturmayacak ve basınç gerilmelerine mukavemet edecek şekilde tasarlanmışlardır. (Şekil 3.29) Kemerler büyük açıklıkların geçilmesinde başarılı olarak kullanılmıştır.

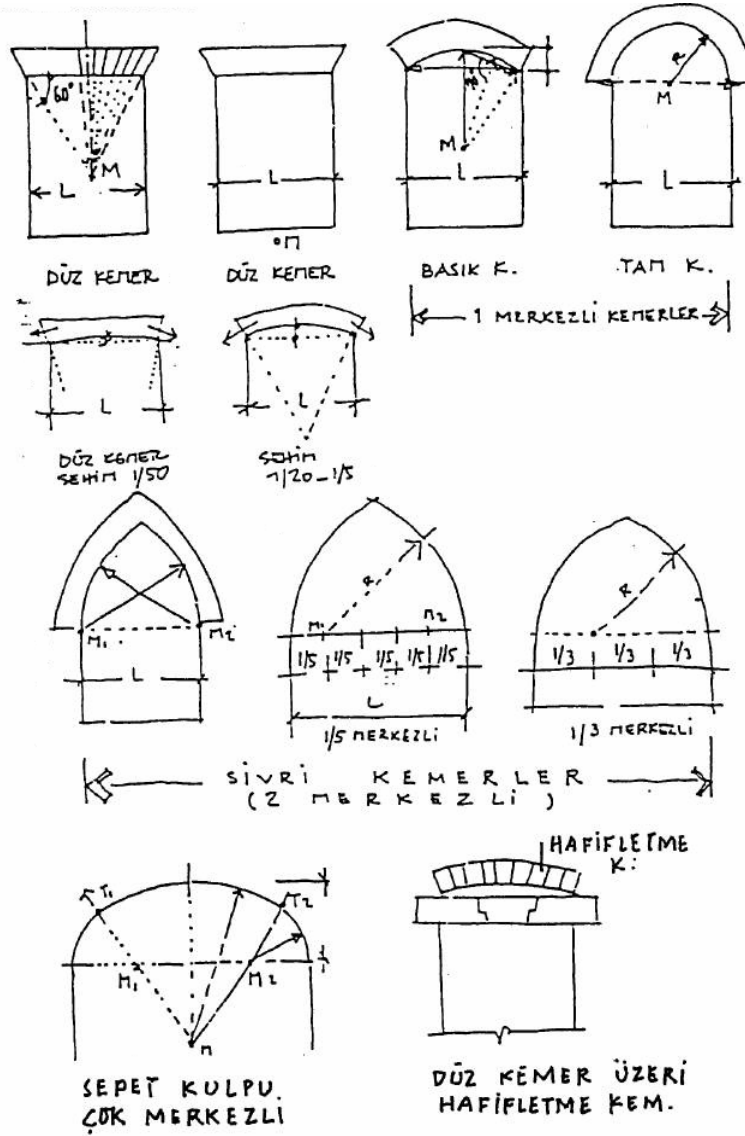


Şekil 3.29 : Kemer gösterimi (Süleymaniye Cami Avlusu--İstanbul)

Şekillerine, yüksekliklerine, malzeme cinsine bağlı olarak taşıma kapasiteleri değişmektedir.

Oluşturuldukları biçimlere göre kemerlerin yük taşıma güçleri, açıklıkları, merkezleri, yükseklikleri farklıdır [9].

Açıklığa göre sehim kazandıkça kemerler, düz, basık, tam, sivri, sepet, kulplu vb. isimlerle tanımlanırlar. (Şekil 3.30) Tuğla kemerler de örgü duvarlar gibidir. Bu tür açıklıklarda düz veya basık kemerler tercih edilir [9].



Şekil 3.30 : Kemer şekilleri [9].

Kemer eğrisinin geometrik şekli (yüksekliği, açıklığı) kemer mesnedinde oluşacak itki kuvveti bakımından önemlidir. Bu itki kuvveti, mesnetlerde düzenlenecek gergilerle ya da duvar sistemiyle alınır. Mesnetlerden birinin yer değiştirmesi ya da hareketi sonucu kemerde deformasyon oluşur. Mesnet itkilerinin karşılanmaması durumunda ise kemer yıkılır.

Kemerlerin ardı ardına dizilmesi sonucu oluşan yapılarda yatay itkilerin karşılanabilmesi için kenar kemerlerin mesnetlerinde yeterli büyüklüğe sahip duvar bulunması gerekmektedir.

Kemerler, üzerlerindeki yükleri mesnetlendirdikleri ayaklar ile zemine aktarırlar. Kemer, yükünü mesnet noktasında yatayla bir (α) açısı teşkil ederek aktarır. Mesnette oluşan bu yük vektörünün bir düşey bir de yatay bileşeni mevcuttur. Bu yatay ve düşey mesnet kuvveti bileşenlerinin değeri, kemer ekseninin mesnet noktasındaki teğetinin eğimine, yani açısına bağlıdır. Mesnette oluşan bu açı ise kemerin basıklığı ile ilgilidir [10].

Açıklığa göre sehimi çok olan sivri kemerlerin itme kuvvetleri düşeye yakındır. Bu açıdan sivri ve tam kemerlerin taşıma güçleri çoktur. Basık kemerlerde itme kuvvetleri yataya yakın olup yapı düşey yükleri ile olan bileşkenin ayak tabanı içinde kalması gerektiğinden yan kuvvetlerin karşılanması zordur ve bu nedenle ayaklar çok kalın olurlar [9].

Kemerin yüksekliği (f) , çapı $(2L)$ olmak üzere, basıklık oranı $(f/2L)$ olarak tanımlanır. $(2L)$ açıklığındaki bir kemerde (α) açısı küçüldükçe (f) değeri azalır ve basıklık oranı azalır. Bu durumda mesnette oluşan düşey yük azalırken yatay yük değeri artar. Bunun tam tersi durumda ise, basıklık oranının artması durumunda mesnette oluşan düşey yük artarken yatay yük değeri azalır. Osmanlı mimarisinde büyük yükler ve açıklıkların olduğu yerlerde sivri kemerler kullanılarak (α) açısı artırılmıştır. Bu şekilde mesnet yüklerinin düşey olarak ayaklar yardımıyla zemine iletilmesi düşünülmüştür. Basık kemerlerin kullanıldığı durumlarda ise oluşan büyük yatay yüklerin, büyük ağırlık kuleleri ile yönü değiştirilmek sureti ile zemine aktarılması sağlanmıştır. Bu durumda plandaki ayak kesitini fazla büyütmek için kemer ayakları yukarı yönde kule olarak uzatılmıştır [10].

Düz kemerler üzerlerine gelen yükler etkisinde güvenceli çalışabilmek için hafifletme kemeri denilen tahfif kemerleriyle birlikte yapılırlar [9].

Üzerine kubbe oturan kemerlerde kubbe mesnet yüklerinin yanal bileşeni kemerlerin üst kenarı boyunca kemer düzlemine dik olarak etkir. Bu etkiler kemer kesitinde eğilme momenti oluşturur. Eğilme etkisinde çekme gerilmelerinin oluşmaması için yanal kuvvetlere karşı gelebilecek kemer genişliği belirlenir. Buna bağlı olarak ayak genişliği konstrüktif nedenlerle kemer genişliğine bağlı olarak büyütülür [10].

Kemerlerin taşıdığı yükleri ayaklara yönlendirmesi, üzengi seviyesinde büyük yatay mesnet reaksiyonları oluşturur. Bu reaksiyonlar çoğu kez gergi demirleri ile alınır. Ancak çekme elemanı olarak demir kullanılması, bazı problemlerin oluşmasına sebep olur. Demir malzeme dış tesirlere maruz kalmakta, zamanla paslanarak işlevini yapamamaktadır. Ayrıca bağlı bulunduğu mesnette korozyon etkisi ile tahribatlar yapmakta, mesnedi parçalamaktadır. Kemerlerin bu bölgelerinin mutlaka rehabilitasyonu gerekmektedir [10].

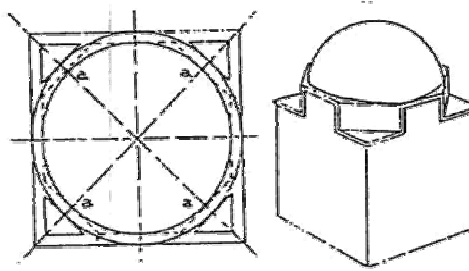
3.2.3 Kubbeler

Kubbe bir kemerin simetri eksenini etrafında dönmesiyle elde edilir. Genel olarak da kemerin statik özelliklerine sahiptir. Kubbe, mesnetlerinde sürekli bir taşıyıcı yüzey elemana gereksinim duyar. Bu nedenle kubbenin, dairesel bir mesnede (tambura) oturması gereklidir. Dairesel planlı yapılarda, kubbeden yüklerin düz duvarlara iletilmesi, daireden kareye geçişin geçit elemanları ile sağlanması mümkündür. Bunlar; pandantif, tromp ve Türk üçgenidir.

Kubbe yapımı iki türdür.[9]

- Köşe kemerli kubbeler

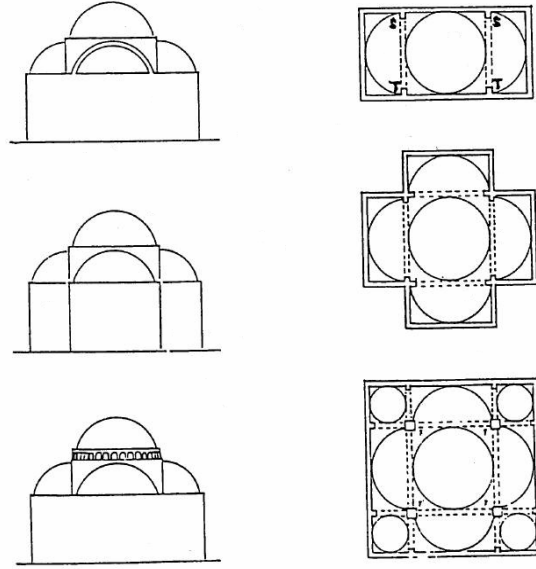
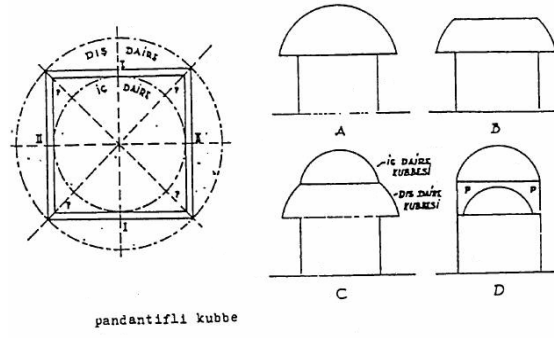
20 m' ye kadar olan açıklıklarda, şekildeki gibi yapırlar. Sistem tekrarında daha büyük hacimler elde olunur. Tabanı daire olan kubbe, sekizgen bir plan üzerine oturtulmaktadır. Kare olan iki planlama sekizgene döndürülür [9]. (Şekil 3.31)



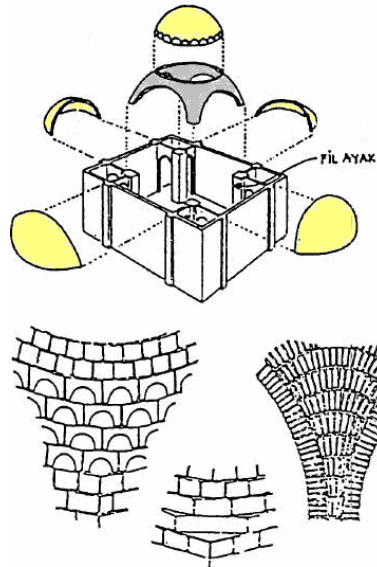
Şekil 3.31 : Köşe kemerli kubbe [9].

- Pandantifli kubbeler

50m ve daha büyük açıklıklarda uygulanan bir sistemdir [9]. (Şekil 3.32, 3.33)



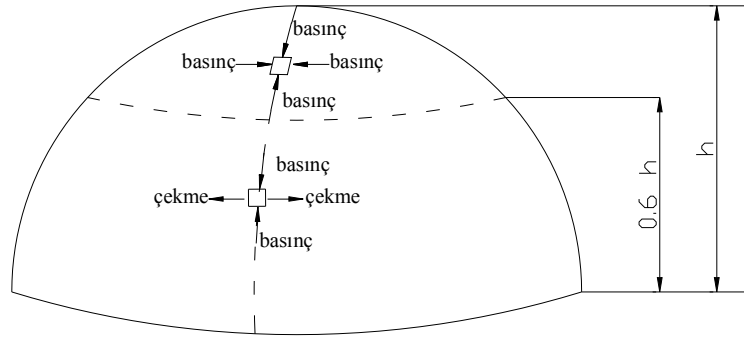
Şekil 3.32 : Pandantifli kubbeler [9].



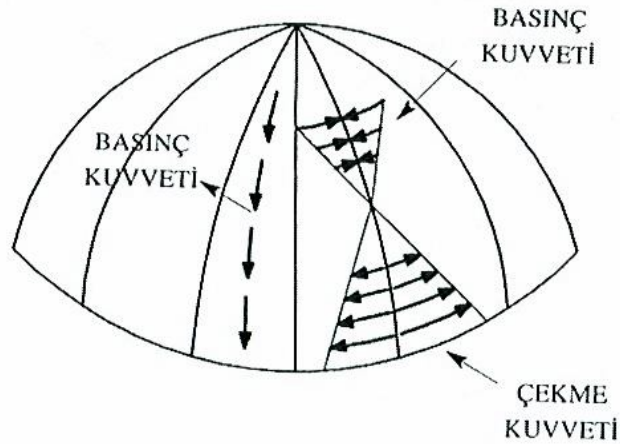
Şekil 3.33 : Pandantifli kubbe detayı [9].

Kubbeler yapım itibari ile çeşitlidir. Tek kesitli ve çift kesitli olarak yapılmaktadır. Statik hesap olarak, kasnak üzerine oturtulan duvardan bir küre parçasıdır. Duvarlar gibi kubbeler de basınç altında mukavemet gösterir. Yapım tekniği kubbe duvarının devamlı basınç altında kalacağı varsayımına dayanmaktadır. Kubbenin oturduğu duvar kısmına kasnak denir. Kasnak duvarın basıncını devamlı kılan önemli bir topuk elemanıdır. Kubbe duvarında devamlı basınç varken, kasnak yatay ekseninde dışa doğru kayma, boyuna doğrultuda devamlı çekme mevcuttur [10].

Genellikle tarihi yığma kâgir yapılarda kubbeler birer küre parçası olarak yapılmışlardır. Kargır, 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 [11]. Şekil 3.34 ve 3.35’de kubbede oluşan yük dağılımı görülmektedir.



Şekil 3.34 : Kubbede çekme ve basınç bölgeleri



Şekil 3.35 : Kubbelerde yük taşıma mekanizması [8].

Kubbenin yükü, kubbe ayaklarından düşey ayaklara oturan kemerlere iletilir. Kubbe ayakları mesnet yüklerinin düşey bileşenlerini kemerlere, yanal bileşenleri ise kemer düzlemlerine dik doğrultuda yerleştirilmiş yarım kubbeler ve payandalara iletir. Yarım kubbeler, kemer ve duvarlarla desteklenerek, yükler temele iletilir. Kemerlere kubbeden iletilen yüklerin kemer düzlemi içinde uyandırdığı itki kuvvetleri, gergilerle alınabildiği gibi, ayakların uzantısı olarak kullanılan ağırlık kütleleri aracılığı ile ayakların çekirdek alanı içine düşürülür [11].

Kubbelerin en önemli sorunu dairesel mesnetlerinde oluşan eğik mesnet kuvvetlerinin desteklenmesidir. Mesnetlerde, kubbeden gelen kuvvet vektörü yatayda kayma gerilmesi oluşturur. Yatay kayma kuvveti kasnak boyunda çekme kuvveti oluşturur. Çekme kuvvetlerinin var oluşu kasnakta sünme problemini doğurur. Kubbe mesnet kuvveti vektörünün düşeyle yaptığı açı ne kadar büyükse, dengeleyici tepki kuvvetini oluşturmak o kadar zordur. Kubbe mesnet kuvveti vektörünün yönünü, düşey ağırlık kuleleri kullanılarak veya mesnetlemeler yaparak, yönlendirilmekte, yapı taşıyıcı planı içine düşürülmektedir [10].

Kubbe yüksekliğinin dairesel çapa oranına basıklık denmektedir. Basıklık ($b=h/2r$)' dir. Basıklık oranı azaldıkça mesnet kuvvet vektörünün düşeyle yaptığı açı artmakta, yatay yük değeri büyümektedir. Basıklık arttıkça kubbe yükü artmakta mesnet kuvvet vektörünün düşeyle yaptığı açısı azalmakta, yatay mesnet yük değeri küçülmektedir. Sinan kubbeleri tarihteki en basık kubbelerdendir. (Çizelge 3.1) Kasnak, kubbe, kubbe mesnet kısmını büyütürken elde edilen kesitte, ortası oyulmuş taşlar dizilmiş, içerisine çepeçevre bronz akıtılarak halka oluşturulmuştur. Bronzun içine demir çekme elemanı yerleştirilerek, çekmeye dayanıklı halka teşkil edilmiştir [10].

Çizelge 3.1 : Mimar Sinan'a ait bazı yapılarda kubbe basıklık oranları [12].

Yapı Adı	Kubbe Basıklığı Kubbenin Kendi Yüksekliği/Kubbe Çapı
Kılıç Ali Paşa	0.300
Selimiye	0.327
Edirnekapi-Mihrimah	0.333
Azapkapi-Sokollu	0.342
Süleymaniye	0.347
Şehzade	0.366
Üsküdar-Mihrimah	0.385
Küçük Ayasofya	0.423

Sinan kubbe kasnağında yapısal değişiklikler yapmıştır. Kubbe cidarlarının duvar örgüsü kasnak üstünde kemerlerle başlamaktadır. Kubbe duvar yüksekliğinin 1/3 kısmı kasnağa dönüşmüştür. Kasnak sıfır derz taş duvar şeklinde örülmektedir. Kasnakta ayrı bir taşıyıcı sistem teşkil edilmiştir [10].

Kubbe cidarı yüksekliğin 1/3'ünden itibaren genişletilerek kemerli yapı ile alt ana kasnağa oturtulmuştur. Yüksekliğin 1/3'ünden itibaren oluşturulan ayak formu kubbe duvarının devamı şeklindedir. Adeta kasnak genişletilmiş ve yükseltilmiştir. Ayak kısmının kubbenin cidar formunda teşkil edilmesi düşey ve yatay yüklerin alt tabakaya intikali için önemlidir. Ayak kısmı kubbenin devamı olmuştur. Ancak yapıdaki kemer sistemi burulma momentinin taşılması içindir. Kubbedeki burulmalar kasnağa yakın duvarlarda, yatay kayma gerilmeleri oluşturur. Kayma gerilmeleri kubbe cidar duvarlarında kalıcı deformasyonlar oluşturur. Kalıcı deformasyonlar, tekrarlı yüklerde dağılmalara sebep olur. Kemer sisteminin esnek yapısı burulmaların tekrarlı tesirlerinde kalıcı deformasyonları önlemek için yapılmıştır [10].

Kubbe yapı itibari ile küresel uzay sistemidir. Ağırlık merkezi uzayda bir noktadır. Kubbeyi taşıyan düşey diyafram çerçeveler kubbenin ağırlık merkezinden geçmez. Yapı deprem titreşimlerinin frekans ve ivme değerleri, başlangıçta kubbe ile aynı olsa da, depremin ikinci periyodundan sonra hemen farklılaşır. Deprem yapı frekans ve ivme değerlerinin kubbede farklılaşması burulmalara sebep olmaktadır. Kubbedeki burulma, kasnağa yakın cidarlarda büyük çekme kuvvetleri oluşturur [10].

Kubbe mesnedine yakın duvar cidarlarında oluşan çekme kuvvetlerini, kemer sistemi ile halletmek dâhiyane bir çözüm olmuştur. Kemerli strüktür dinamik kayma gerilmeleri tesirinde esnemektedir. Kubbenin ayağındaki kemerli sistem, deprem yüklerinin ana yapıya kubbeden aktarılması için izolatör vazifesi görmektedir [10].

Kasnağın açılması kubbe duvarlarındaki stabiliteyi bozmakta ve duvardaki basınç gerilmesini azaltmaktadır. Ön gerilme ile dayanım gösteren kubbeler, ön gerilmenin azalması ile deprem tesirlerinde dağılmaktadır [10].

Kubbelerin, oturdukları kasnakların rehabilitasyonu mutlaka yapılmalı, kasnağın oturduğu duvarlar kesme kuvvetleri itibari ile güçlendirilmelidir [10].

Kubbe basınç duvarlarına mutlaka bir basınç ön gerilmesi verilmelidir. Kubbe duvarlarındaki basınç gerilmeleri, zamanla kasnağın sünerek açılmasından dolayı, azalmaktadır. Basınç gerilmesi altında kalması istenen kubbe duvarları, basıncın azalması ile dağılma sürecine girer. Kararsız yapı kısmı olan kubbe, olası depremlerde büyük hasar görür.

3.2.4 Küresel bingi (Pendantif)

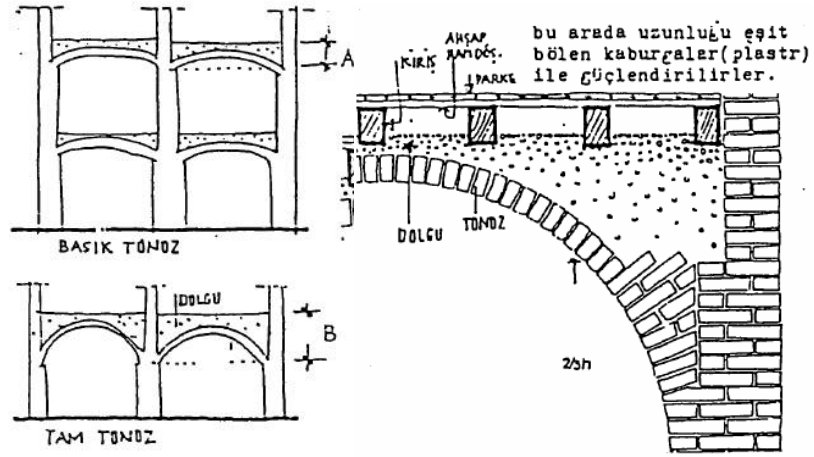
Kare tabana oturan kubbe kasnağının açıkta kalan köşe kısımlarının, kubbenin devamı gibi üçgen vari küre parçası ile doldurulmasına pendantif denilmektedir [10].

3.2.5 Tonoz bingi (Tromp)

Tonoz; bir kemerin kendi düzlemine dik doğrultuda ötelenmesi sonucu meydana gelen yapısal bir elemandır [11].

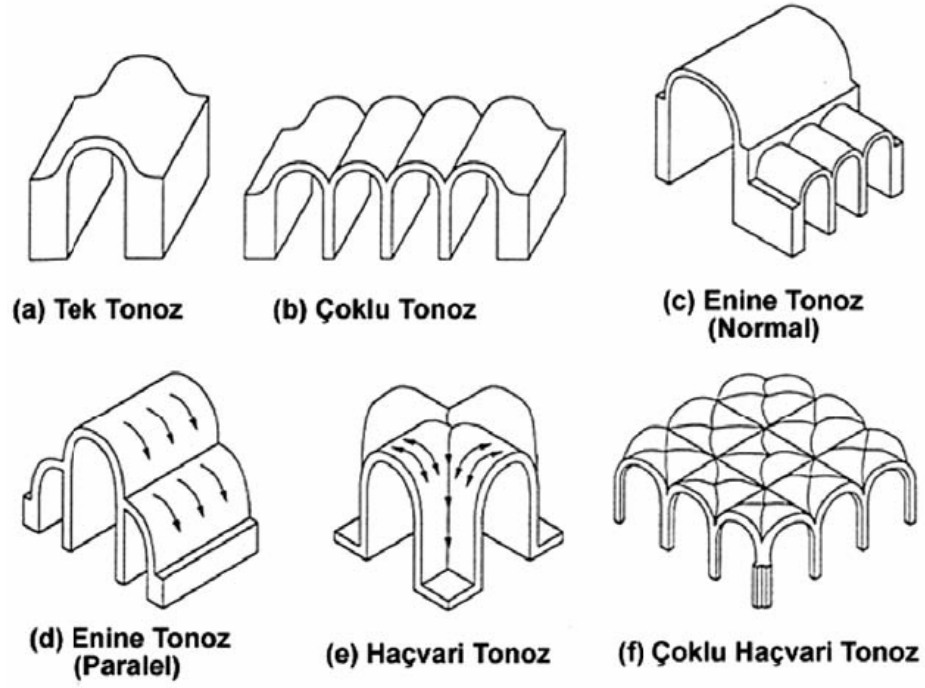
Bir kemer duvar kalınlığı kadar olduğu halde, tonozlar örtülen hacmin uzunluğu kadardır.

Dikdörtgen planlı yapıların kapalı bir hacim haline getirilmesinde kullanılır (Şekil 3.36) [11].



Şekil 3.36 : Tonozların döşeme durumuna getirilmesi [9].

İlkel tonoz, beşik tonoz, çapraz tonoz ve manastır tonozu olmak üzere dört çeşit tonoz vardır. Beşik tonozun ve ilkel tonozun mesnet noktaları sürekli bir taşıyıcı düzlem gerektirir. Çapraz ve haçvari tonoz, sütun ve ayaklar tarafından taşınabilmekte ve çok üniteli bir mekânın mekân örtü birimi olabilmektedir [11]. Tonoz türleri Şekil 3.37'de gösterilmiştir.



Şekil 3.37 : Tonoz türleri [11].

Tonoz kendi ağırlığıyla birlikte üzerindeki kaplama yüklerini de taşır. Bir tonozun yükler etkisindeki çalışma mekanizması, kemerinkine benzer. Bir tonozun kesiti, aynı eğrilikteki bir kemerin eşdeğeridir. Bir tonozun eksenine paralel kesitlerinde, basınç gerilmeleri oluşur ve tonoz malzemesi tarafından karşılanır. Tonoz mesnetlerinde oluşan yatay kuvvetler, kemerlerde olduğu gibi, gergiler, temellere doğru sıkılaştırılmış duvarlar veya payandalarla taşınır [11].

Açıklığına oranla sehim artan tonozun taşıyıcılığı çoktur. Buna karşın hacim kaybı çok olacağından basık tonozlar tercih edilmektedir. Türlü ölçülere sahip tonozlar keşişebilirler [9].

3.2.6 Türk üçgeni

Poligon oluşturulmuş kubbe kasnağının kare yapıya oturtulurken kasnakla kare taban arasında kalan boşlukları doldurmak için kullanılan geçiş elemanıdır. 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 Türk üçgeni oluşur [10].

3.2.7 Duvarlar ve payandalar

Taşıyıcı duvarlar yapıdan gelen yükleri temele ileten elemanlardır. Taşıyıcı duvarlar hem düşey hem de yatay yükleri taşıdığından tarihi yığma yapılarda duvar boyutları oldukça büyük seçilmiştir. Duvarların yükleri karşılayabilmesi için bir bütün halinde çalışması gerekmektedir. Duvarın bütünlüğünü sağlamak için duvar yapımında kullanılan tuğla ve taş malzemeler harç, kenet, hatıl vb. elemanlarla bağlanmışlardır.

Yapıdan gelen yükler sürekli ya da tekildir. İç mekânı aydınlatmak için taşıyıcı duvara açılan pencere ve kapı boşlukları duvarın taşıma gücünü azaltır. Pencerelerin, kapıların açıldıkları düzlem boyunca, duvara gelen yüklerin, pencerenin kenar sağırlıklarına ikinci bir ara taşıyıcı elemanla aktarılması gerekir. Bu ara eleman, hatıl, lento veya kemerdir [11].

Bazı yapılarda duvarın dolu kısımlarının pencere ya da kapılarla zayıflamalarına karşılık, belli aralıklarla pencere aralarına yerleştirilen payandalar yardımıyla duvarların sağlamlığı artırılmıştır. Payandalar belli aralıklarla, duvarın kalınlaştırılması ile yapılır [11].

Payandalar taşıyıcı duvarların yatay stabilitesinin zayıfladığı noktalarda duvarın sağlamlığını artırmak ve kubbenin yanal stabilitesini sağlamak amacıyla yapılırlar. (Şekil 3.38)



Şekil 3.38 : Payanda duvar (Kariye Müzesi-İstanbul)

Tonoz ve kemer mesnetlerinde payandalara gelen kemer itkileri, düzenlenen destek ağırlıkları ile destek kesitlerinin çekirdeklerinin içine düşürülür. Böylelikle kesitler içinde yalnız basınç gerilmelerinin doğması sağlanmış olur [11].

Duvarlar yapım türlerine göre, kaba yönü taş duvarlar ve sıfır derz taş duvarlar olarak sınıflandırılabilir.

Kaba yönü taş duvarlar: Taşlar gelişigüzel 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 [10].

Sıfır derz taş duvar: Mimari estetik veya sürtünmenin azaltılması maksadı ile veya kapiler suların duvar üst katmanlarına çıkmaması için taşlar arasında harç kullanmadan yapılan düzgün örme taş duvarlara sıfır derz taş duvar denilmektedir [10].(Şekil 3.39)



Şekil 3.39 : Sıfır derz taş duvar.

3.2.8 Gergiler

Gergiler kubbe, kemer, tonoz gibi yapı elemanlarında ve duvarlarda yükler nedeniyle oluşan yatay itkilerin karşılanmasını sağlamakta kullanılırlar.

Tarihi eski yapılarda ahşap ve dövme demir gergiler yoğun olarak kullanılmıştır. Genellikle üzengi seviyesinde, tek düzeyde tek ya da çift gergi yanında kilit ile üzengi arasında ikinci bir sıra gergi düzeni oluşturulan yapılar da vardır [13].

Gergiler iki düşey taşıyıcı elamanı birbirine bağlamakta açıklık gergisi olarak ya da duvar içerisinde, bir duvarı kendisine dik konumda bitişen diğer bir duvara bağlamak amacıyla demir öge olarak da kullanılmaktadır.

Açıklık gergileri kemerlerde ve tonozlarda kullanılmıştır. En yaygın olarak kemerlerde görülmektedir. (Şekil 3.40) Tonoz gergileri ise özellikle beşik tonozlarda kullanılmaktadır.



Şekil 3.40 : Kemer elemanda açıklık gergisi.

Gergiler duvar kesitlerinin zayıfladığı durumlarda kullanılmıştır. Açıklık gergilerinin en ilginç örneği Edirnekapı Mihrimah Camisi'nde bulunmaktadır. Adı geçen yapıda mihrap ekseninin iki yanındaki iki ana askı kemeri üzengi katında ikişer bileşik gergi ile denkleştirilmiştir. Bu bileşik gergiler 8-8,5x12-12,5cm kesitinde ve birbirlerine “simitli mesnetleme” diye adlandırılan yöntemle bağlanmış üçer demir öğeden oluşmaktadır [14].

3.2.9 Döşemeler

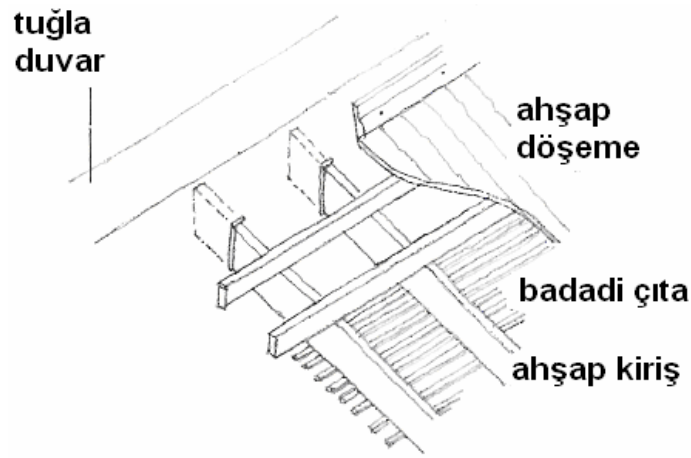
Kapalı veya açık hacimlerin üstünü örtmekte kullanılan, yapının katlarını birbirinden ayıran yapının düşey ve yatay yüklerini taşıyan yapı elemanlarıdır. Döşemeler üzerine gelen yükleri ve kendi zati ağırlığından kaynaklanan yükleri doğrudan taşıyıcı duvarlara ya da önce ahşap, çelik vb. kirişlere daha sonra taşıyıcı duvarlara aktarırlar. Tarihi yapıların döşemeleri genellikle kubbe ve tonoz gibi yapı elemanları ile oluşturulmakla birlikte ahşap, çelik ve kâgir elemanlar da kullanılmaktadır. En alt kat döşemesinin ise genellikle zemin üzerinde ya da temel duvarlarının üstünde düzelenen tabaka ile oluşturulduğu görülmektedir.

Yapı döşemelerinin deprem etkisinde iyi bir davranış sergileyebilmesinde döşemeler ve taşıyıcı duvarlar arasındaki bağlantının iyi yapılmış olması önem kazanmaktadır. Döşemelerde boşluk bırakılması, döşemenin kesintiye uğraması yapının deprem sırasındaki davranışı olumsuz yönde etkilemektedir.

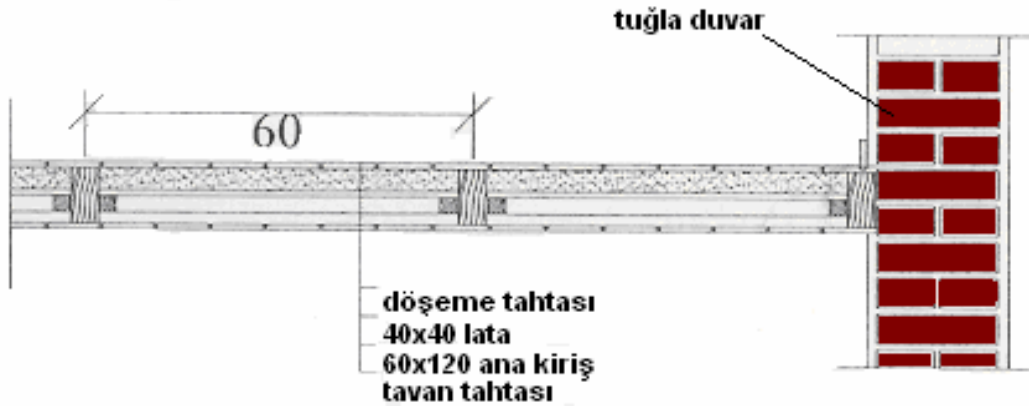
Döşemeler ahşap döşeme, volta döşeme ve adi volta döşeme olarak sınıflandırılabilir.

Ahşap döşemelerde ahşap kirişler tek doğrultuda konularak üzerleri ahşap malzeme ile örtülür. Döşeme altında bulunan ahşap kirişler ortalama 50-60 cm aralıklarla konulur. Açıklıkların büyük olması durumunda kısa açıklık doğrultusunda da araya ahşap kirişler atılır. Bu şekilde ahşap döşemede istenilen mukavemet elde edilmeye çalışılır. (Şekil 3.41, 3.42)

Kâgir duvarlar üzerine oturan ahşap kirişli döşemeler tek doğrultuda çalışır. Ahşap döşeme kirişleri kâgir duvar neminden korunmalı, hizmet süresince düşmemesi için duvara iyi bağlanmalı, herhangi bir nedenle yerinden oynadığında duvarı parçalamayacak şekilde dönebilmesi sağlanmalıdır [15].

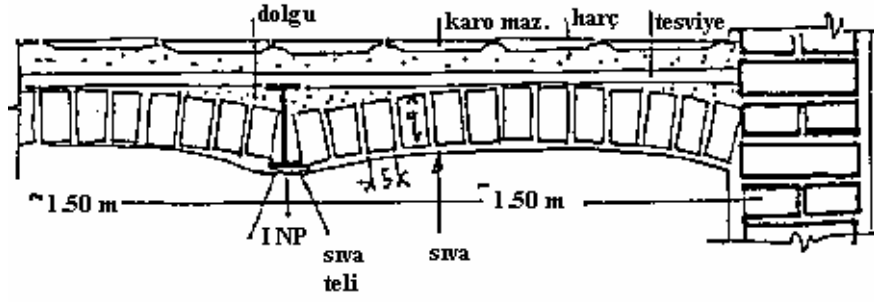


Şekil 3.41 : Ahşap döşeme örneği.

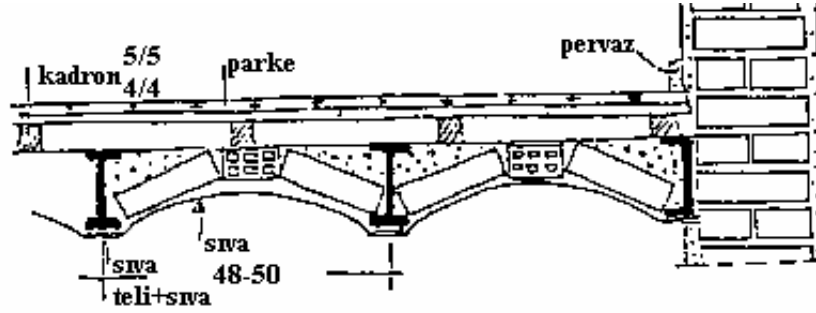


Şekil 3.42 : Ahşap döşeme örneği detay.

Çelik kirişli volta döşemelerde çelik I profillerin arası tonoz şeklinde tuğla örülmesi ile doldurulur, adi volta döşemelerde ise profillerin arasına iki uzunlamasına bir enlemesine tuğla tonoz şeklinde konulur. (Şekil 3.43, 3.44, 3.45)



Şekil 3.43 : Volta döşeme detayı [9].



Şekil 3.44 : Adi volta döşeme detayı [9].

Çelik I profil kirişler arasının tuğla tonozlarla örüldüğü volta döşemeler tek doğrultuda çalışan döşemelerdendir. Düşey döşeme yüklerini, tuğla tonoz kemerleri basınca çalışarak uzun doğrultudaki çelik kirişlere, çelik kirişler de üzerine oturduğu duvarlara ya da kirişlere aktarır. Yatay deprem yükleri altında çelik profiller kayabilir; tuğla kemerler, düzlemine dik ve düzlemi doğrultusundaki eğilme ile zayıflayabilir; çelik kirişlerle tuğla arasında dinamik etkileşim olabilir ve sistem bir diyafram çalışması göstermeyebilir [15].

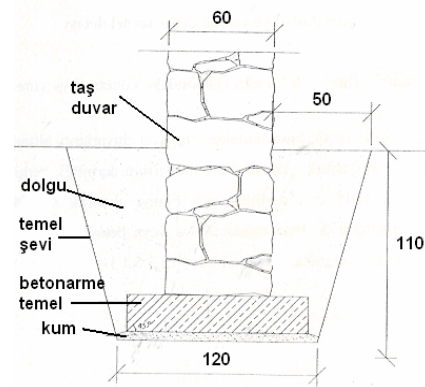
I profil kiriş uçlarını dik kirişlerle bağlamak, ya da I kirişler arasında ızgara oluşturacak şekilde I profiller düzenlemek, geleneksel volta döşemelerin sismik dayanımını artırır [15].



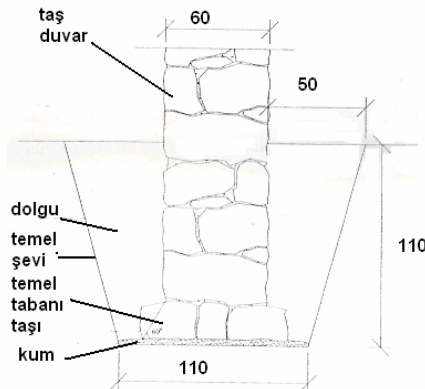
Şekil 3.45 : Adi volta döşeme örnekleri.

3.2.10 Temeller

Yapıya etki eden yüklerin (zati ağırlık, hareketli yükler, deprem, rüzgâr) yapı zeminine aktarılmasını sağlayan elemanlardır. Temeller; yüzeysel temeller ve derin temeller olmak üzere ikiye ayrılır. Yüzeysel temeller yapı zeminin sağlam olması durumunda, derin temeller ise yumuşak zeminlerde yapının ana kaya üzerine oturmasını sağlamak amacıyla yapılmaktadır. Yüzeysel temeller sütun ve ayakların altında tekil temel olarak yapılabileceği gibi taşıyıcı duvarların altında sürekli temel olarak da yapılabilirler. (Şekil 3.46, 3.47) Derin temeller zemine çakılan kazıklar şeklindedir. Ahşap vb malzemeler kullanılarak yapılan derin temeller genellikle zeminin gevşek ve zayıf olduğu yerlerde zemini sağlamlaştırmak için kullanılmıştır. Çakılan bu kazıkların üzerine yine ahşap vb. malzemeden ızgaralar oluşturularak yapı bu ızgaraların üzerine oturtulur. Genellikle su içinde inşa edilen yapılarda kullanılmıştır. Yüzeysel temeller ve derin temellerin dışında tonoz temellere de rastlanmaktadır. Bu tip temeller ise düz ve geniş yüzeylere ihtiyaç duyulması durumunda ya da yapının kademeli olarak inşa edilmesi istendiğinde kullanılmıştır.



Şekil 3.46 : Sürekli temel ve sürekli beton sömel.



Şekil 3.47 : Sürekli sömel ve sürekli taş sömel.

4. TARİHİ YIĞMA YAPILARDA KULLANILAN MALZEMELER

Yığma yapılarda kerpiç, doğal taş, tuğla gibi çeşitli türlerde malzeme kullanılmaktadır. En çok kullanılan malzemeler doğal taş ve tuğladır. Bilinen en eski çağlardan bu yana, doğada bulunan taş çeşitli şekiller verilmiş, bir araya getirilip örülerek yapılar elde edilmiştir. Yapıda kullanılan elemanların seçiminde malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirleyici olmaktadır. Yığma yapı elemanları özellikle basınca dayanıklı çekme dayanımı düşük malzemelerden oluşmaktadır. Bu durumda büyük basınç kuvvetlerine maruz kalabilen bu elemanlar eğilme ve kayma etkisine karşı dayanıksızdır. Bu elemanların bir araya getirilmesi, bir bağlayıcı (harç ve benzeri) malzeme kullanılarak birleştirilmesi sonucu oluşan yapıda, birim elemanların özellikleri, bağlayıcı malzemenin (harcın) özellikleri ve birim elemanların bağlayıcı (harç) ile birlikte davranışı incelenmeli, yığma yapının davranışı bu özelliklere bağlı olarak yorumlanmalıdır.

4.1 Doğal taşlar

Taş bilinen en eski yapı malzemelerinden biridir ve kalıcı olması düşünülen yapıların inşaatlarında özellikle tercih edilmiştir. Taşın tarihi yapılarda yaygın olarak kullanılmasının nedeni, hemen hemen her yerde ve her arazi koşullarında kolaylıkla bulunabilmesidir. Taşın strüktürel dayanıklılığı, jeolojik ve kimyasal özellikleri ile incelenebilir. Taş basınç kuvvetlerine karşı çok dayanıklı, çekme kuvvetlerine karşı ise oldukça zayıftır [8].

Basınç dayanımından dolayı, yalnız basınç kuvveti alan kemerler, tonozlar ve kubbelerde kullanılması uygundur. Basınç yüklerini alan duvarlar ve ayaklar da taş malzemedan yapılmıştır. Bazı taşlar, basınç altında deformasyonu betonunkine yakın veya daha azdır. Betonun elastiklik modülü $E=(14\sim30)\times10^4$ kg/cm² iken, granitin elastiklik modülü $E=(15\sim70)\times10^4$ kg/cm² mertebesinde dir. Elastiklik modülünün bilinmesi ile taşıyıcı elemanın yüklenmesi sonucu yaptığı sehim hesaplanabilir [7].

Ana malzeme biriminin taş olduğu yığma yapı elemanlarının dayanım, dayanıklılık ve diğer özellikleri, taş ve harcın özelliği, taşın işleniş biçimi ve birleşim dokusuna bağlıdır. Tarihi yapılarda genellikle kullanılan yapı taşlarının ortalama fiziksel özellikleri Çizelge 4. 1’de gösterilmiştir [8].

Çizelge 4.1 : Doğal Yapı Taşlarının Ortalama Fiziksel Özellikleri [8].

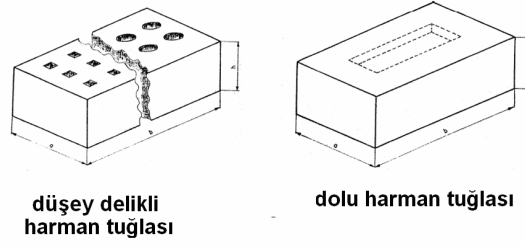
Taşın Cinsi	Basınç Dayanımı (Mpa)	Kayma Dayanımı (Mpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Elastisite Modülü (Mpa)
Granit	30-70	14-33	4-7	30000-55000
Mermer	25-65	9-45	1-15	25000-70000
Kireç Taşı	18-35	6-20	2-6	10000-55000
Kumtaşı	5-30	2-10	2-4	13000-50000
Kuvars	10-30	3-10	3-4	15000-55000
Serpantin	7-30	2-10	6-11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

Taşın ana birim olarak kullanıldığı yığma yapı elemanlarının dayanımı, eğer taş harçtan daha az dayanıma sahip ise, öncelikle harcın dayanımına bağlıdır. Öte yandan, taşın kendi öz kırılma dayanımı, taş kullanılan yığma yapı elemanının gerçek dayanımı üzerinde çok etkili olmaz. Taş yığma yapı elemanlarının dayanımı genel olarak taş ve harç birleşiminin orta davranışına göre belirlenir. Tarihi yapılarda kullanılan taş yığma yapı elemanları çok geniş bir dayanım değeri gösterir. Taş yığma yapı elemanlarının kayma dayanımı genel olarak basınç dayanımının %25’i kadardır [8].

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

4.2 Harman tuğlası

Harman tuğlası kil, killi toprak ve balçığın ayrı ayrı veya birlikte yoğrulup gerektiğinde su, kum, öğütülmüş tuğla ve kiremit tozu ve benzerleri ile karıştırılarak şekillendirildikten sonra kurutulup genellikle harman yerinde ocaklarda pişirilmesi yolu ile elde edilen ve duvar yapımında kullanılan bir malzemedir [16]. (Şekil 4.1)



Şekil 4.1 : Harman tuğlası biçimleri [16].

Tuğlanın hammaddesinde kil (kaolin, illit, vs), kuvars, feldspat az miktarda demir ve magnezyum bulunmaktadır. Su ile yoğrulan bu karışım 600–900 °C ısıtılırsa kil minerallerin mevcut yapıları bozulmakta ve amorf alümine silikatlar oluşmaktadır. Kil mineralleri bünye özelliklerine göre farklı puzolonik sıcaklık özelliğine sahiptirler. Kaolin, kalsiyum, illit, feldspat mineralleri de ısıtılınca sıcaklık derecelerine göre amorf yapıya kavuşmaktadırlar. Tuğlaların puzolanik özellikte olması için pişirme sıcaklığı 700–900 °C arasında olmalı, bünyelerinde puzolanik özellik sağlayacak miktarda kil mineralleri olmalıdır. Her tuğla puzolan özelliğe sahip değildir. Yeni tekniklerle üretilen veya geleneksel ocaklarda pişirilen tuğlaların mutlaka puzolanik özellikte olup olmadığı kontrol edilmeli, puzolan özelliğe sahip olmayan tuğlalar tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılmamalıdır. Puzolanik olmayan tuğlaların yapıları dayanıklı değildir Eski yapı yıkıntılarından çıkartılan yapay taşlar, deneylerle puzolan yapıda iseler onarım veya güçlendirmede kullanılabilir [10].

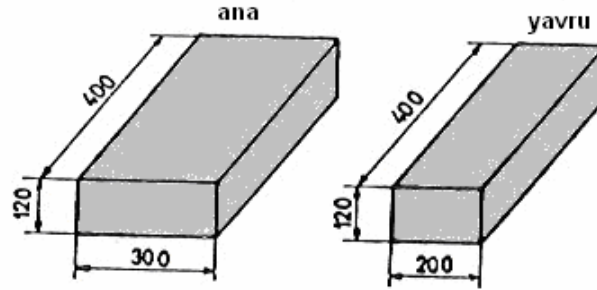
Tarihi yapılarda, pişirilmiş kilden üretilen tuğlayı oluşturan malzemeler genellikle dere yataklarında yüzeysel olarak biriken kum taşlarının kalıntılarından oluşmaktadır. Pişmiş kilden üretilen tuğlalar, görünümleri ve işlevlerine göre sınıflandırılır; fırınlarda yüksek ısı altında pişirilir; fırın teknolojisinin bulunmadığı yerlerde ise güneş ısısından yararlanılarak üretildiği bilinmektedir. Tuğlayı oluşturan malzemenin kalitesi, kullanılan harç ve tuğlanın örülme düzeni; tuğlanın dayanımını belirler. Tuğlanın dayanımı, tuğlayı oluşturan malzemenin kalitesi, kullanılan harç ve tuğlanın örülme desenine bağlıdır. Tuğlaların basınç dayanımı malzeme özelliklerine bağlı olarak 10 MPa dan 30 MPa'ya kadar değişir. İyi fırınlanmış tuğla, iyi fırınlanmamış tuğlaya göre üç kat daha fazla dayanıma sahip olur. Genel olarak tuğlanın çekme dayanımı basınç dayanımının %10'u, kayma dayanımı ise basınç dayanımının %30'u kadardır. Çok rastlanan bazı tuğla cinslerinin ortalama fiziksel özellikleri Çizelge 4. 2'de gösterilmiştir [8].

Çizelge 4.2 : Tuğlaların Ortalama Fiziksel Özellikleri [8].

Basınç Dayanımı(Mpa)	Çekme Dayanımı(Mpa)	Kayma Dayanımı(Mpa)
10-30	2.7-5.0	10-20

4.3 Kerpiç

Büyük kil oranına sahip toprağın suyla karıştırılıp içine saman çöpü vb. malzemeler atılarak kalıplara dökülmesi, önce gölgede daha sonra güneşte kurutulması sonucu oluşturulan çığ tuğladır. Kerpiç kolay elde edilebilir oldu için tarihi yığma yapılarda sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. (Şekil 4.2)



Şekil 4.2 : Tipik kerpiç blokların boyutları [5].

Fazla killi topraklarda işlemeyi kolaylaştırmak ve kısmen de çatlamayı önlemek üzere kerpiç hamuruna karıştırılan kum vb. taş kırıkları, tuğla kırıntıları ve cüruf katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Toprak içinde bitkisel toprak ve turba bulunmamalıdır. İçerisindeki iri taşlar, çakıllar, kökler vb. ayıklanmış olmalıdır. Kerpişte kullanılacak saman ve bitkisel maddeler nemli, çürümüş, harmanın işlenebilme özelliğini bozacak kadar iri ve kalın olmamalıdır [17].

Yerel imkânlarla üretilebilen kerpiç bloklar çamur ile birleştirilerek örülür. Genelde yük taşıma kapasiteleri düşük olan kerpiç duvarların dayanımı ahşap hatıl kullanılarak artırılabilir. Kerpiç duvarların en zayıf taraflarından biri ise ıslandığında yumuşaması ve dayanımını kaybetmesidir. Islanınca gevşeyip dağılır ve sonrasında kuruyunca çatlayıp ufalanır. Bunu gidermek için kerpiç harcına çimento veya kireç ya da her ikisi birden katılabilir. Bu malzemeler kerpici oluşturan kil ve kum tanelerinin birbirine yapışmasını sağlarlar [18].

4.4 Kargir malzeme

Doğal taş veya pişmiş toprağın (tuğlanın), bağlayıcı bir harçla birlikte kullanılması ile elde edilen malzemeye kargir adı verilir. Monolitik taşıyıcı elemanlar (duvar, destekler), kemer, tonoz ve kubbe vb. kargir malzeme ile yapılır. Kargir malzeme, heterojen bir malzemedir. Birim ağırlığı 21~22 kN/m³ arasında değişmektedir. Kargir malzemenin taşıma gücü, yapımında gösterilen özene, yapı taşına, harca, yapım tekniğine, çevre şartlarına ve zamana bağlıdır [7].

4.5 Kireç

Tüm harçlarda kullanılan bağlayıcı kireçtir.

Yağlı kireç; saf kireç taşı kalkerin (kalsiyum karbonat CaCO₃) 900 °C’de pişirilmesi ile elde edilen kalsiyum okside (CaO) sönmemiş kireç denmektedir. Su ile söndürülmesi neticesinde oluşan Ca(OH)₂ de yağlı kireç denmektedir. Kireç harcı taş ve tuğla gibi tabi malzemelere yapışma özelliğinden dolayı her türlü harcın bağlayıcısı olmaktadır.

Su kireci; %20 oranında kil ihtiva eden kalkerin pişirilmesi ile elde edilen malzemelerin su ile söndürülmesi ile oluşan hidratelerin tümüne su kireci denmektedir. Su kirecinin oluşması için pişirilen malzemede en az %10 CaO olması gerekmektedir.

Kirecin kalitesine etkiyen unsurlar şunlardır; kireç taşları büyük parçalar ihtiva etmemeli, gözenekli yapıda olmalıdır. Söndürmede kullanılan su yeteri, saf ve katkısız olmalıdır. Söndürme işlemi düşük sıcaklıklarda ve karıştırılarak yapılmalıdır.

Söndürülmüş kirecin uzun süre hava ile temas etmeden bekletilerek kullanılmasında büyük fayda vardır. Sönmemiş kirecin bekletilmesindeki maksat, bünyesinde sönmemiş kalker kalmamasını önlemektir. Havasız ortamda bekletilen kirecin plastikliği ve su tutma özelliği artmaktadır. Kireç kristallerinin boyutları küçülmekte ve havadaki karbondioksitle reaksiyona girecek yüzey alanı çoğalmaktadır. Yüzey alanı arttığından karbonatlaşma daha kolay olmaktadır [19].

4.6 Su

Kireç harcı hazırlanmasında kullanılan su içilebilir olmalı, yapısında sülfat veya sülfid, klorür iyonları bulunmamalıdır [10].

4.7 Agregalar

Dolgu olarak kullanılan malzemelerin kireçle reaksiyona girenlerine puzolanik agregalar, kireçle reaksiyona girmeyenlere de etkisiz agregalar denilmektedir. Etkisiz agregalara, dere kumu, taş ocağı kırıntıları örnek verilebilir [10].

Puzolanik agregalar kireçle asit-baz reaksiyonuna girebilen silikatlar ve alüminatlardan oluşmaktadır. Harçların nemli ortamlarda, suda, kuruda sertleşmeyi sağlayan asidik yapıdaki puzolanlar, doğal ve yapay olarak ikiye ayrılır [10].

Doğal puzolanlar genelde volkanik (tüf, tras) oluşumlardır. Yapay puzolanlar pişirilmiş (tuğla, kiremit kırıkları, pirinç kabuğu yakılarak elde edilen külleri) malzemelerdir. [10].

4.8 Harç

Topraktan elde edilen tuğlanın ve kerpicingin yapı malzemesi olarak kullanılması harcın doğmasına neden olmuştur. Tarihte harç malzemesi olarak ilk çamur kullanılmıştır. Çamurun ardından, Romalılarla birlikte, 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 elde edilmiştir. Tarihi yığma kargir yapılarda özellikle Selçuklu ve Osmanlı mimarisinde ise horasan harcı adı verilen bağlayıcı kullanılmıştır [20].

Tarihi yığma yapılarda görülen harçlar kireç harcı ve sıvaları, horasan harcı ve sıvaları olarak sınıflandırılabilir.

4.8.1 Kireç harcı

Bağlayıcı madde olarak kireç, dolgu malzemesi olarak da agregaların karıştırılmasıyla kireç harcı ve sıvaları elde edilir.

4.8.2 Horasan harcı

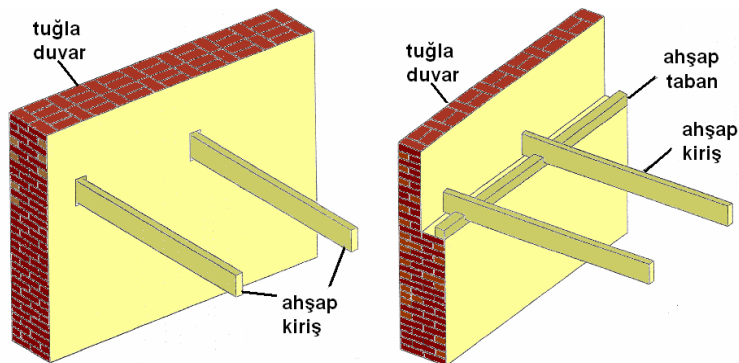
Horasan; pişirildikten sonra öğütülmüş kildir. Horasan harcı, horasan ve kireçle yapılan harca denir. Su ile hidrate olan kireç Ca(OH)_2 zamanla suyunu atar, kristalleşir ve katılaşır. Kirecin bu katılaşması kristalize olayından ileri geldiği için, su ile temasında tekrar yumuşar. Harç mutlaka duvar örüldükten sonra kuru ortamda muhafaza edilmelidir. Kireç, kalsiyum karbonata dönüştükten sonra sertleşme süreci devam eder. Pişmiş kil tozu kimyasal etkinlik kazanmış silistir (SiO_2). Silis zayıf bir asittir. Kuvvetli baz olan kireç, pişmiş kil tozları ile asit-baz reaksiyona girince kalsiyum silikat oluşur. Bu oluşum için rutubetli ortam yeterlidir. Kalsiyum karbonat ve kalsiyum silikat dış etkilere dayanıklı malzemelerdir [21].

Horasan harcı hidrolik kökenli bir harçtır. İçine eklenen puzolanik katkı malzemeleri ile bilinen kireç harçlarından daha mukavemetli bir harcın oluşması sağlanmaktadır. Horasan harcı geç sertleşen bir malzeme olduğu için dayanımını uzun sürede kazanır. Horasan harcının dayanımında içerisine konulan kirecin kalitesi ve katkı malzemelerinin büyüklükleri önemli rol oynamaktadır.

4.9 Ahşap malzeme

Ahşap eğilme, çekme ve basınç gerilmelerine karşı dayanıklı hafif bir malzeme olduğu için çok eski dönemlerden bu yana konut yapımında kullanılmıştır. Tarihi yığma yapılarda; döşeme ve tavan taşıyıcı sistemi olarak, duvar içinde hatıl olarak, açıklık gergisi olarak, çıkmalı yapılarda çıkma taşıyıcısı olarak kullanılmıştır.

Açıklıkların geçilmesinde kullanılan ve kat döşemelerini taşıyan ahşap kirişler, kat döşemesi hizasında taşıyıcı duvarların kalınlığı azaltılarak oluşturulan yüzeye oturtulur ya da taşıyıcı duvarlarda açılan boşluklar içine yerleştirilir [22]. (Şekil 4.3)



Şekil 4.3 : Döşeme altı ahşap kirişler [22].

4.10 Demir

Tarihi yığma yapılarda demirin kullanımına kenet, zivana ve taşıyıcı unsur olarak rastlanmaktadır.

4.10.1 Kenet demiri

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.(Şekil 4.4)



Şekil 4.4 : Kenet demiri [21].

Kenetler kesme taş kullanılarak yapılan minerallerde vazgeçilmez bir öge olarak kullanılmıştır. Ayrıca yığma yapılarda çeşitli örgü tiplerindeki duvarlarda duvar elemanlarının birbirine bağlanmasında da kullanılmıştır.

Kenet kullanılarak yapılan örgü sistemlerinde çekme gerilmelerinin normal kâgir sistemlere oranla daha iyi karşılanmakta olduğu belirtilebilir. Moloz taş örgü sistemlerinde birbirine kenetlerle tutturulmuş taş blokların arası moloz taş, harç veya taş karışımı ile doldurulmakta olduğundan duvarın yapımı sırasında taş blokların arası malzemelerle dolduruldukça ve duvar yükseldikçe taş bloklarda cidar basıncı oluşmakta ve bu basınç nedeniyle oluşan bloklar arası açılma kenet demiri ile

giderilmektedir. Yanaşık derzli örgü sistemlerinde duvar elemanları arasında kullanılan harç yeteri kadar bağlayıcı olmadığından elemanlar arasında açılmayı önlemek için kenet kullanılmıştır. Duvar içine konulan harcın prizini alması uzun zaman aldığından duvar yükseldikçe açılmaların önlenmesi için bazı tarihi yapılarda ara malzeme tabaka tabaka dökülmek suretiyle konulmuştur.

Duvar örgülerinde kullanılan kenetler duvar elemanlarına yerleştirildikten sonra kalan boşluklar kurşunla doldurularak kenetler elemanlara sabitlenir. Kenedin sabitlenmesi için kullanılan kurşun miktarı ve kenetlerin hangi sayıda ve yoğunlukta kullanılacağı kenetlerin çapları ve boyutları yapıdan yapıya değişiklik arz etmektedir.

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

4.10.2 Zıvana demiri

Duvarlarda üst üste gelen taşları birbirine bağlamak için kullanılan pimlere zıvana demiri denir. Zıvana demirleri alt üst taşlar arasında çekme elemanı görevini yapmaktadır. Sıyrılmadan yerinde kalabilmelidir [10].

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 kullanılabilir.

4.10.3 Taşıyıcı unsur olarak demir

Tarihi yığma yapılarda taşıyıcı unsur olarak demir; döşeme sisteminin içerisindeki çelik kirişler olarak, çıkmalı yapılarda konsol taşıyıcısı olarak ve gergi sistemlerinde kullanılmıştır.

5. TARİHİ YIĞMA YAPILARA ETKİYEN YÜKLER; DEPREM ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞI, YAPISAL VE DENEYSEL ANALİZİ

5.1 Tarihi yığma yapılara etkiyen yükler ve deprem etkisindeki davranışı

Yapılara etkiyen yükler yatay ve düşey yükler olarak sınıflandırılabilir. Düşey yükler sabit (ölü yükler) yükler ve hareketli yüklerden (canlı yükler) oluşmaktadır. Sabit yükler yapının ömrü boyunca etki eden ve zamana bağlı olarak değişmeyen yüklerdir. Hareketli yükler yapıya zaman zaman etkiyen ve yer değiştiren yüklerdir.

Tarihi yapıları oluşturan malzemeler taş, tuğla, kerpiç vb. elemanlardan oluştuğu için bu yapılar çok rijit bir özellik göstermektedir. İnşa edildikleri dönemden bu yana karşılaştıkları en büyük problem depremler ve zeminde meydana gelen değişimlerdir. Ağır kütleyle sahip tarihi yığma yapılarda zemin hareketleri sonucu meydana gelen oturmalar yapının hasara uğramasına yol açmış depremler sonucu ise yapılar kısmen veya tamamen yıkılmıştır.

Yığma kâgir yapılar süneklilikleri az, gevrek bir malzeme ile inşa edilir. Kâgir yapıların düşey yüklere ve yatay deprem yüklerine dayanımı; duvar geometrisine, kullanılan malzeme dayanımına, yığma blokların birleştirilme şekline bağlıdır [15].

Kâgir yapıların davranışında duvarı oluşturan blokların basınç dayanımı önemlidir çünkü blokların çekme dayanımı çok küçüktür. Bu nedenle deprem kuvvetleri karşısında duvarın düzlemi doğrultusunda ve düzlemine dik birim ağırlığına gelen eğilme dayanımı çok zayıftır [15].

5.2 Tarihi Yığma Yapıların Deneysel Analizi

Tarihi yapıyı oluşturan malzemelerin genelde basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük olduğundan, deprem kuvvetlerinden veya zemin kaynaklı etkilerden oluşan çekme gerilmelerini, gevrek davranış nedeniyle karşılayamazlar. Tarihi yapılarda basınç gerilmesinin, taş ve tuğla ile harç arasındaki kayma gerilmesinin, elastisite modülünün ve malzeme kalitesinin belirlenmesi için sertlik, ultrases, flatjack vb. tahribatsız deney yöntemlerinden, bunun yanında radyoaktif metotlar, infrared tomografi, yerinde basınç ile kayma deneyi ve yapıdan numune alınması gibi metodlardan da yararlanılır.

5.2.1 Tarihi yapıların deneysel analizinde kullanılan yöntemler

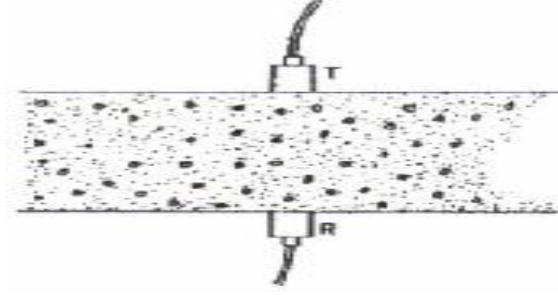
5.2.1.1 Sertlik ve ölçümü

Sertlik bir malzemenin yüzeyine batırılan sert bir cisme karşı gösterdiği dirençtir ve cismin dayanımı ve malzemenin kökeni hakkında bilgi verir. Sertliğin belirlenmesi ile farklı iki numunenin aynı malzemeye ait olup olmadığı anlaşılır. Sertliğin belirlenmesi için çoğunlukla geri sıçramanın ölçülmesi prensibine dayanan N tipi veya P tipi Schmit çekicinden yararlanılır. Bunlardan, N tipinde, bir bilye, P tipinde ise bir pandül, arkasında bulunan yay yardımı ile yüzeye fırlatılır. Bilye veya pandül taş cismin yüzeyine çarptıktan sonra geri sıçrar, geri sıçrama ne kadar büyükse sertlik o kadar yüksektir. Elemanın yüzeyindeki sıva veya kaplama kaldırıldıktan sonra değişik noktalara en az 10 vuruş yapılmalı, maksimum vuruş değeri ile minimum vuruş değeri arasındaki fark 10'dan küçük olmalıdır [23].

5.2.1.2 Ultrases ve ölçümü

Ultrases deney tekniğinde, ses dalgaları cisme boşluk bırakılmaksızın temas ettirilen piezoelektrik transduser ile gönderilir ve aynı özellikteki transduser yardımı ile alınır. Alıcı ve verici probalar arasındaki ses dalgalarının iletim süresi ve hızı zaman ölçer devre ile ölçülür. Cismin yoğunluğu düşük ise ve/veya bünyesinde çatlaklar var ise ses dalgalarının yayılımı ve dolayısıyla ses geçiş hızı düşük olur. Bu deneyin en büyük avantajı, tek bir numunede birçok defa deneyin tekrarlanabilir olması, donma-çözülme, ıslanma, kuruma veya çeşitli agresif solüsyonlarla yapılan deneylerde mukavemet değişiminin tayin edilebilir olmasıdır. Süre ne kadar az ise boşluk o kadar az, malzeme o kadar kalitelidir [23].

Ultras ses aleti ile Şekil 5.1’de görüldüğü gibi karşılıklı yüzeylerde doğrudan veya Şekil 5.2’deki gibi aynı yüzden dolaylı ölçüm yapılarak ses geçiş süresi (t , μs) ölçülür ve ses geçiş hızı (V , km/s) hesaplanır. Ses geçiş hızının yüksek olması, boşlukların az, dolayısıyla dayanımın yüksek olduğu anlamına gelir; ancak bu deney dayanımının belirlenmesi için tek başına yeterli değildir. Diğer ölçümlerle birlikte değerlendirilmelidir [23].

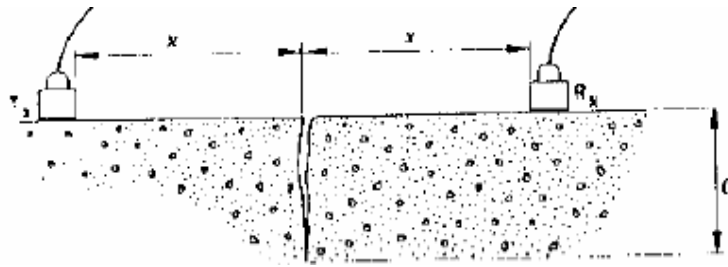


Şekil 5.1 : Doğrudan ölçüm.

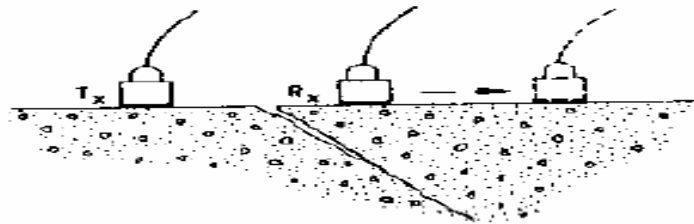


Şekil 5.2 : Dolaylı ölçüm.

Çelik yapılarda çatlak oluşumunu izlemek için incelenecek bölgelere yerleştirilen probalar ile ses geçiş süresi sürekli ölçülerek kayıt edilir. Ultras ses geçişindeki hızlar incelenerek çatlak oluşumu tespit edilir. (Şekil 5.3 , 5.4)



Şekil 5.3 : Çatlak derinliğinin tespiti.



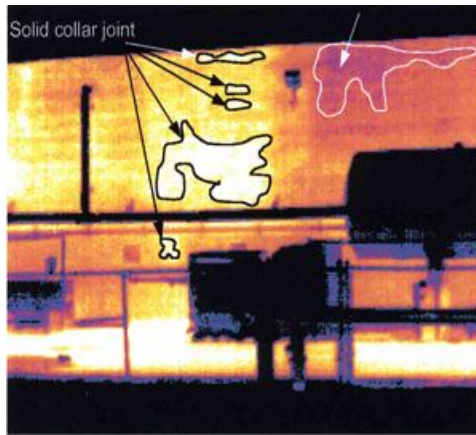
Şekil 5.4 : Çatlak genişliğinin tespiti.

5.2.1.3 Radyoaktif metotlar

Bu metodun deney düzeneği, elektromanyetik radyasyon üreten ve yayan kaynak ile radyasyonun eleman içinden geçmesi için geçen zaman aralığını ölçen bir sensörden oluşmaktadır. Bu teknikte sistem, sensör özel fotoğraf filmi formunda ise radyografi, gelen radyasyonu elektrik dalgalarına çevirir özellikte ise radyometri olarak adlandırılır. Malzemelerin içyapısındaki elementler ile ilgili radyografik araştırmalar için başlangıçta, 1940'ların sonunda, X ışınları kullanılmaya odaklanılmış, ancak 1950'lerde dikkatler gama ışınlarına yönelmiştir. İki ışının radyasyon yayma özelliğindeki temel fark, radyasyonun üretim kaynağı ve yayılım özelliğidir. X ışınları, yüksek voltajlı elektronik aletler ile üretilir, gama ışınları ise, radyoaktif izotopların bölünmesi sonucu açığa çıkan yan ürünlerdir [24].

5.2.1.4 Infrared tomografi yöntemi

Bu yöntemde kızılötesi ışınlar ile yüzey sıcaklığı ölçülerek yüzeye yakın hasarlı bölgelerin belirlenmeye çalışılır. Bu tekniğin esası, yüzeyin sıcaklığına bağlı olarak belirli bir yoğunlukta elektromanyetik radyasyon yaymasına dayanır. Yüzey, yaklaşık oda sıcaklığında iken radyasyon, elektromanyetik spektrumunun (infrared) kızılötesi ışınlar bölgesindedir. Eğer elemanda dışarıdan içeriye veya içeriden dışarıya bir ısı akışı var ise, kusurlu bölgeler çevresindeki malzeme farklı termal iletkenlik gösterdiği için bu durum ısı akışını etkiler, ısı akışı farklılığı nedeni ile yüzey sıcaklığı uniform olmaz. Yüzey sıcaklığı ölçülerek kusurun varlığı anlaşılır ve yeri belirlenir. Pratikte yüzey sıcaklığı, video kamera sistemine benzer şekilde çalışan infrared tarayıcılar yardımı ile ölçülür [24]. (Şekil 5.5)



Şekil 5.5 : Infrared tomografi yöntemi.

5.2.1.5 Yerinde basınç deneyi

Yığma yapılarda, ASTM C 1196-92 (Reapproved 1997)'ye uygun olarak gerçekleştirilen yerinde basınç deneyinde; elemana uygulanan kuvvetin (P, kN) ve kuvvete karşılık gelen boy değişiminin ($\Delta l, mm$) ölçülmesine olanak sağlayan flatjack deney düzeneğinden yararlanılır. Basınç uygulayan bir kompresör ve bir basınç ölçer, basınç kuvvetini yüzeye uygulamaya yarayan plaklar, deplasmanı ölçmeye yarayan komparatör ve komparatörü tespit etmeye yarayan pimlerden oluşmaktadır [25]. (Şekil 5.6)



Şekil 5.6 : Yerinde basınç deneyi.

Deneylerden gerilme ve şekil değiştirmeler, elastisite modülü (E, MPa) ve ölçüm yapılan bölgedeki gerilme seviyesi belirlenir. Bu gerilme seviyesi, şekil değiştirmenin başlangıçtaki değerine ulaştığı gerilme seviyesi olarak kabul edilir [25].

5.2.1.6 Yerinde kayma deneyi

Yığma yapıdaki kayma dayanımının ASTM C 1531-03 (American Society for Testing and Materials)'e uygun olarak belirlendiği deney seti, kuvvet uygulayan kompresör, kuvvetölçer ve deplasmanı tespit eden transducer'den oluşmaktadır. Ölçüm yapılacak bölgenin iki tarafı açılır, bir taraftan yatay kuvvet (P_y, kN) uygulanır, diğer tarafa yerleştirilen transducerin deplasmanı kaydettiği andaki kayma gerilmesi, yapıdaki kayma dayanımı olarak tespit edilir.

5.2.1.7 Laboratuarda yapılan mekanik ve fiziksel deneyler

Taş yapılardan alınan numuneler mekanik deneye hazır hale getirilmek için çap/yükseklik oranı 1/1 olacak şekilde taş kesme aletiyle düzeltilir. Her iki yüzünde birbirine paralel düzgün başlık oluşturacak şekil verilir. Laboratuar ortamında uygun sıcaklık ve nem koşullarında 48 saat bekletildikten sonra numunelerin çapı ve yüksekliği ölçülür ve numuneler tartılır. Her iki yüzüne alçı ve çimento karışımından oluşan karışımdan pürüzsüz bir başlık yapılır. Başlık sertleştikten sonra numuneler tekrar ölçülür. Tek eksenli basınç deneyi yapılır numunelerde basınç altında meydana gelen boy değişimi, yük-boy değişimi ve kırılma yükü belirlenir, basınç mukavemeti hesaplanır.

Tuğla da ise TS 4563 ve TS 705'e uygun olarak hazırlanan numunelere tek eksenli basınç deneyi yapılarak kırılma yükü tespit edilir ve basınç mukavemeti bulunur. Taş, tuğla, harç vb malzemelerden alınan numunelere yapılan fiziksel deneyler ise kılcal su emme, ağırlıkça su emme deneyleridir. Bu deneyler yapılarak, boşluklu birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme ve kılcal su emme katsayıları belirlenir.

5.2.2 Tarihi yapılarda deneysel yöntemlerle belirlenen malzeme özellikleri

Tarihi yapıların malzeme özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan deneysel çalışmalar sırasında kapsamlı bilgi birikimine ihtiyaç duyulmaktadır. Tarihi yapıların deneysel analizinde izlenen adımları şu şekilde sıralamak mümkündür;

Tarihi yapıların taşıyıcı sisteminin oluşturan malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi

- Örnek numunelerin alınması
- Alınan numunelerin laboratuar ortamında analizi ve deney sonuçlarının değerlendirilmesi
- Prototip modellerin deneysel analizi

Bu çalışmalar sırasında kültürel değeri bulunan tarihi yapılarda yapıya zarar vermeyecek şekilde numune alınması oldukça güçtür. Alınan numuneler incelenir ve prototip modellerin deneysel analizleri yapılır. Ancak bütün bu çalışmalarda incelenen modeller yapının sadece bir bölümünü ifade etmekte, yapının bütün olarak davranışı hakkında yeterli derecede bilgi verememektedir.

5.2.2.1 Basınç dayanımı

Yığma yapı elemanları bileşik bir malzeme olarak göz önüne alınır ve her bileşeni doğrusal elastik kırılğan bir malzeme olarak kabul edilir. Geometrik özellikleri, tipi, biçimi, dayanımı, birim elemanın su emme kapasitesi, harcın karışım oranı, nem miktarı, harç kalınlığı ve deformasyon özelliği yığma yapı elemanının basınç dayanımını etkileyen faktörlerdir [8].

Yığma yapı elemanları strüktürel formlarından dolayı genellikle basınç gerilmeleri etkisinde kalırlar. Yığma yapı elemanlarının basınç dayanımı, olası boşlukla göz önüne alınmaksızın, elemana etki eden en büyük basınç kuvvetinin net kesit alanına bölünmesi ile tanımlanır. Basınç dayanımı, genellikle yığma yapı elemanının harç ve birim elemanı ile birlikte hazırlanmış örneğin ya da birim elemanın, laboratuarda test edilmesi sonucunda belirlenir. Tuğla gibi düzenli birim elemanları ile örülmüş elemanların basınç dayanımı, birim elemanın basınç dayanımına çok yakın bir değerdedir. Genellikle taşın birim eleman olarak kullanıldığı daha katı ve masif olan düzensiz elemanlarda ise yığma yapı elemanının basınç dayanımı, birim elemanları bağlayan harcın cinsinden ve kalınlığından daha fazla etkilenir ve birim elemanın basınç dayanımının elemanın genel dayanımındaki etkisini azaltır [8].

Yığma yapı elemanları üzerinde, dünyanın birçok yerinde, çeşitli tiplerde ve özelliklerdeki test örnekleri üzerinde yapılmış deneysel çalışmalar sonucunda sayısız veri elde edilmiştir. Herhangi bir yığma yapı elemanının dayanım özelliklerini belirleyebilmek için, eğer özgün malzeme üzerinde test yapılmadıysa, deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilere göre, malzemenin benzer özellikleri dikkate alınmak kaydıyla deneylere dayalı denklemler kullanılabilir. Bu denklemler birim eleman ile harcın basınç dayanımlarının ortalamasına göre hesaplanabilir [8].

Her ne kadar tarihi yapılarda kullanılan yığma yapı elemanları kendilerine özgü malzeme özellikleri gösteriyorsa da, yapı mühendisliğinin modern şartnamelerinde basınç dayanımı için gösterilen deneysel yaklaşımlar tarihi yapılar için de kullanılabilir. Eurocode Ec6'da yığma yapı elemanlarının karakteristik basınç dayanımı Denklem 5.1'e göre hesaplanmaktadır [8].

$$f_k = K(f'_b)^{\alpha}(f_m)^{\beta} \quad (5.1)$$

f_k : Yığma yapı elemanının karakteristik basınç dayanımını (MPa)

f_m : Harcın ortalama basınç dayanımını (MPa)

f'_b : Birim elemanın (taş ve tuğla) basınç dayanımını (MPa)

K, α, β : Sabit değerleri göstermektedir.

Tuğla veya taşın normalize edilmiş basınç dayanımı f'_b Denklem 5.2'ye göre hesaplanabilir.

$$f'_b = f_b \delta_m \delta_s \quad (5.2)$$

f_b : Birim elemanın basınç dayanımı(MPa)

δ_m :Birim elemanın nem oranını gösteren faktördür.

δ_s : Birim elemanın biçim ve boyutuna bağlı şekil faktörünü göstermektedir.

Yukarıdaki denklemlerde, K, α, β sabit değerleri için sırasıyla çeşitli deneyler sonucunda elde edilen değerler kullanılabilir. Yukarıdaki denklemlerden de anlaşılacağı gibi, yığma yapı elemanının karakteristik basınç dayanımını etkileyen en önemli faktörler elemanın nem içerme oranı, birim elemanın şekil ve boyutudur [8].

5.2.2.2 Çekme dayanımı

Yığma yapı elemanı oldukça kırılgan (gevrek) bir malzemedir ve genellikle ani çekme kırılmalarına karşı büyük risk taşır. Özellikle tarihi yığma yapılarda, çekme gerilmeleri daha çok kubbe, kemer, tonoz ve pendentif gibi eğilmeye yatkın elemanlarda oluşur. Duvar ve sütun gibi elemanlarda da kayma gerilmelerinden dolayı diyagonal çekme gerilmeleri oluşur. Nemden ve ısı değişimlerinden dolayı uzama ve kısalma gibi şekil değiştirmeler de önemli ölçüde çekme gerilmesi oluşmasına neden olur.

Yığma yapı elemanlarında, eğilmeden dolayı oluşan çekme gerilmeleri, eksenel çekme gerilmelerine göre daha fazla önem taşır. Çünkü tarihi yapılarda doğrudan eksenel çekme gerilmeleri etkisinde kalan elemanlara çok ender rastlanmaktadır. Araştırmalar yığma yapı elemanlarında eğilmeden dolayı oluşan çekme gerilmesi dayanımının, malzemenin birim elemanın nem oranı, harcın yoğunluğu ve birim elemanın yüzey dokusu ile doğrudan ilgili olduğunu ortaya çıkarmıştır. Harcın kalınlığı da daha fazla dayanım sağladığından, ince birleşim noktaları malzemenin çekme dayanımı artırmaktadır.[8]

5.2.2.3 Kayma dayanımı

Yığma yapı elemanlarının kayma gerilmesi, harç ve birim elemanın arasındaki birleşim şekline bağlıdır. Birim eleman ve harç arasındaki mekanizma tam anlamıyla anlaşılmamış olsa da, tuğla veya taş ile harcın fiziksel ve kimyasal özelliklerinden etkilenmektedir. Yığma yapı elemanları basınç ve çekme kırılmalarına ek olarak, çoğunlukla kayma kırılmalarının da tehlikesi altındadır. Bu yüzden, taş ve tuğladan oluşan yığma yapı elemanlarının kayma dayanımı birçok deney ile araştırılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda aşağıdaki denklem elde edilmiştir [8].

$$\tau = \tau_0 + \mu f_n \quad (5.3)$$

τ : Kayma dayanımını (Mpa)

τ_0 : Kohezyon değerini

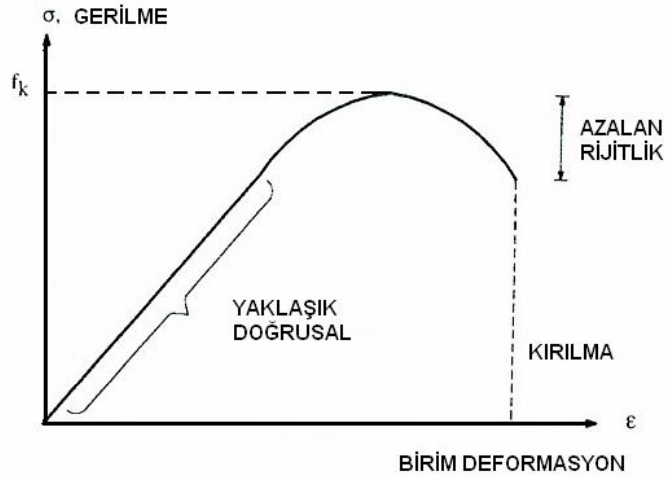
μ : İç sürtünme açısını

f_n : Basınç dayanımını (Mpa) göstermektedir.

Yapılan çeşitli deney sonuçlarına göre τ_0 ve μ değerleri sırasıyla 0.2-0.5 ve 0.2-1.0 olarak belirlenmiştir.

5.2.2.4 Elastisite modülü

Yığma yapı elemanlarının elastisite modülü gerilme-birim deformasyon arasında doğrusal olmayan bir ilişki ile tanımlanır. Gerilme-birim deformasyon (σ - ϵ) eğrisinin şekli betonda olduğu gibi paraboliktir. Ancak Şekil 5.7 'de de gösterildiği gibi, çok küçük gerilme düzeylerinde S şeklindeki eğriyle teğet modülünde artma eğilimi görülmektedir [8].



Şekil 5.7 : Yığma yapı elemanın elastisite modülünü gösteren gerilme-birim deformasyon eğrisi [8].

Gerilme birim deformasyon eğrisinden de görüldüğü gibi, ilk sertleşme bölgesinden sonra, eleman üzerindeki yük arttıkça harcın sıkışmasıyla dayanımının daha da artması ve bunun sonucunda elastisite modülünün de arttığı görülmektedir. Yığma yapı elemanının elastisite modülünü (E_m) etkileyen faktörler öncelikle yığma yapı elemanını oluşturan bileşenler, yani taş veya tuğla birim elemanlarıyla, bağlayıcı malzeme harcın elastisite modülüdür [8].

Yapılan çeşitli araştırmalar ve laboratuvar deneyleri sonucunda yığma yapı elemanının elastisite modülü E_m Denklem 5.4'e göre hesaplanabilir;

$$E_m = 1000 f_k \quad (5.4)$$

f_k = Yığma yapı elemanının karakteristik basınç gerilmesini (Mpa) göstermektedir.

E_m değerinin, gerilme-birim deformasyon diyagramının doğrusal bölümünden elde edildiği kabul edilmektedir.

6. TARİHİ YIĞMA YAPILARIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN İRDELENMESİ

6.1 Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi

Yeterli derecede deprem güvenliğine sahip olmayan yığma yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir. Halen yürürlükte olan deprem yönetmeliği yapıların güvenliğinin belirlenmesi ile onarım ve güçlendirilmesi hususunda önemli açılımlar ortaya koymaktadır. Yapının depreme dayanıklı tasarımıdaki amaç yapının ömrü içerisinde çok sıklıkta meydana gelme olasılığı bulunan orta şiddetteki depremlerde binada yapısal hasarların oluşmamasıdır. Bölgede beklenen maksimum şiddetteki depremlerde yapı kısmen veya tamamen göçmemeli ve bundan dolayı can kaybı oluşmamalıdır. Beklenen hasar sınırlandırılmalıdır.

6.1.1 Genel Kurallar

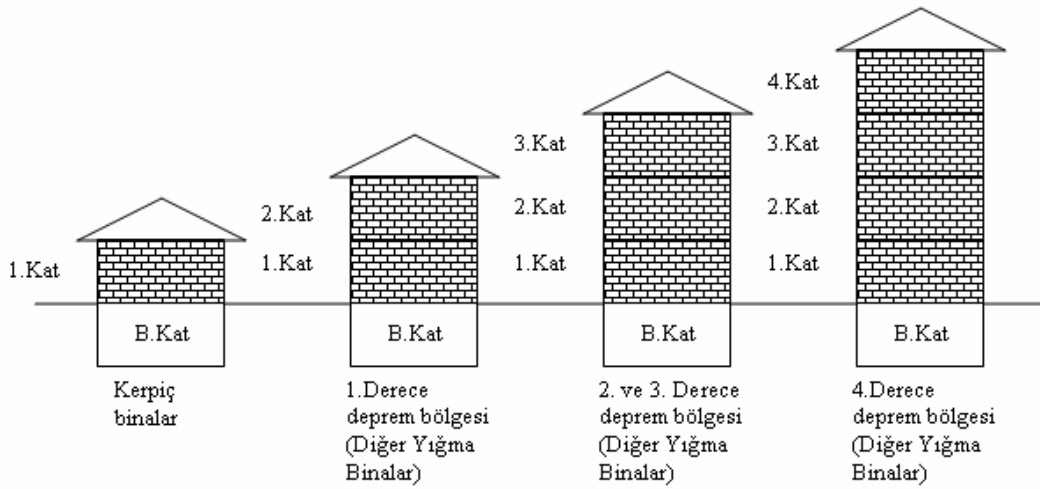
Yığma yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesinde Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 2007 5.Bölüm Yığma Yapılar İçin Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları kullanılacaktır.

Bu bölüm deprem bölgelerinde yapılacak olan, hem düşey hem yatay yükler için tüm taşıyıcı sistemi doğal veya yapay malzemeli taşıyıcı duvarlar ile oluşturulan yığma binaların ve bina türü yapıların boyutlandırılması ve donatılmasını kapsamaktadır. Bu tür yapıların boyutlandırılması ve donatılması bu konuda yürürlükte olan ilgili standart ve yönetmeliklerle birlikte öncelikle bu bölümde belirtilen kurallara göre yapılacaktır.

Deprem Yüklerinin hesabı: DBYYHY Bölüm 2'ye göre $S(T_1) = 2.5$ ve $R_a(T_1) = 2.0$ alınacaktır. Buna göre belirlenen deprem yüklerinin bina duvarlarında oluşturduğu kayma gerilmeleri hesaplanarak izin verilen sınır değerleri aşmaması sağlanmalıdır. Bu tür hesap kerpiç binalarda yapılmayacaktır.

Maksimum kat adedi: Yönetmeliğe göre yığma yapılar için izin verilen maksimum kat adedi deprem bölgelerine ve yığma yapı malzeme cinsine göre farklılık

göstermektedir. 1. Derece deprem bölgesinde en fazla 2 kat, 2. ve 3. derece deprem bölgesinde 3 kat, 4. derece deprem bölgesinde en fazla 4 kata izin verilmektedir. Verilen değerler zemin kat ile üstündeki katların toplamıdır. Temeldeki bina brüt alanının %25'ni geçmeyen çatı katı yapılmasına da izin verilmektedir. Kat alanının bina brüt alanına oranı %25 i geçmesi durumunda yapılan çatı katı da tam kat olarak sayılır. Yönetmelik 1 bodrum katı yapılmasına izin vermektedir. Birden fazla bodrum katı yapılması durumunda izin verilen maksimum kat adedi 1 azaltılacaktır. Kerpiç yığma binaların ise bodrum katı sayılmaksızın en fazla 1 kat yapılmasına izin verilmektedir. (Şekil 6.1)



Şekil 6.1 : Yığma binalarda izin verilen maksimum kat adedi.

Maksimum kat yüksekliği: Yönetmeliğe göre yığma binalarda her bir katın yüksekliği döşeme üstünden döşeme üstüne en çok 3.0 m olabilir. Kerpiç duvarlı yığma binalarda bu değer 2.70 m'dir. Bodrum katı yapılması durumunda ise bu katın yüksekliği en fazla 2.50 m olabilir.

Taşıyıcı sistemin düzenlenmesi: Yığma binaların taşıyıcı duvarlarının planda olabildiğince düzenli ve ana eksenlere göre simetrik ya da simetriğe yakın biçimde olması gerekmektedir. Kısmi bodrum yapılmasından kaçınılmalıdır. Tüm taşıyıcı duvarlar planda kesinlikle üst üste gelmelidir.

6.1.1.1 Duvar Gerilmelerinin Hesabı

DBYYHY 2007'de verilen yöntemle hesaplanacak düşey yükler ve deprem hesap yüklerinin etkisi altında oluşacak basınç ve kayma gerilmelerinin, duvarda kullanılan yığma duvar cinsine göre izin verilen basınç ve kayma gerilmelerini aşmadığı

gösterileceği gerilmelerin aşılması durumunda taşıyıcı dolu duvar alanları artırılacağı ve tekrar hesap yapılacağı belirtilmektedir. Kerpiç duvarlı yığma binalarda gerilme hesabı yapılmamaktadır.

Düşey gerilmelerin hesabı

Duvarların kesme dayanımı duvarlarda var olan düşey gerilmelere de bağlı olduğundan yığma bina duvarlarının düşey yükler altında taşıdıkları gerilmelerin hesaplanması gereklidir.

Duvarlarda oluşan basınç gerilmeleri yığma duvar cinsine göre izin verilen gerilmelerle karşılaştırılacaktır. Bu hesapta duvarlardan ve döşemelerden gelen yükler dikkate alınacaktır. Düşey yükler, kapı ve pencere boşluk en kesitleri düşülmüş en kesit alanına bölünerek gerilmeler hesaplanacaktır. Bulunan değerlerin yığma duvar cinsine göre izin verilen basınç gerilmelerinden büyük olmaması gerekmektedir.

Duvarlarda izin verilen basınç emniyet gerilmesi

Bu gerilme yönetmelikte verilen çeşitli yöntemlerle hesaplanabilir:

a) Duvar yapımında kullanılacak kagir birim ve harcın basınç dayanımına eşit dayanımda yapılmış duvar parçacıklarının deneylerle bulunan basınç dayanımının 0.25'i, duvar basınç emniyet gerilmesi olarak alınır.

b) Duvarlarda kullanılan harç sınıfına ve duvar malzemesinin TS-2510'da verilen ortalama serbest basınç dayanımına bağlı olarak, duvar emniyet gerilmesi Çizelge 6.1'den alınabilir.

Çizelge 6.1 : Duvar malzemesi ve harç sınıfına bağlı duvar basınç emniyet gerilmesi.

Duvar Malzemesi Ortalama Serbest Basınç Dayanımı (MPa)	Duvarda Kullanılan Harç Sınıfı (Mpa)				
	A (15)	B (11)	C (5)	D (2)	E (0.5)
25	1.8	1.4	1.2	1.0	0.8
16	1.4	1.2	1.0	0.8	0.7
11	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6
7	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5
5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4

c) Duvar parçası dayanım deneyi yapılmamışsa duvarda kullanılan bloğun deneysel olarak elde edilen serbest basınç dayanımının 0.50'si f_d duvar basınç dayanımı ve bu dayanımın 0.25'i f_{em} duvar basınç emniyet gerilmesidir.

d) Duvarda kullanılan kagir birimin basınç dayanımı belli değilse veya duvar dayanım deneyi yapılmamış ise duvarda kullanılan kargir birim basınç emniyet gerilmesi Çizelge 6.2'den alınır.

Çizelge 6.2 : Yığma Duvarların Basınç Emniyet Gerilmeleri.

Duvarda Kullanılan Kargir Birim Cinsi ve Harç	Duvar Basınç Emniyet Gerilmesi f_{em} (MPa)
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %35'den az, çimento takviyeli kireç harcı ile)	1.0
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %35- 45 arasında, çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.8
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %45'den fazla, çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.5
Dolu blok tuğla veya harman tuğlası (çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.8
Taş duvar (çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.3
Gazbeton (tutkal ile)	0.6
Dolu beton briket (çimento harcı ile)	0.8

Kargir birimlerin ve duvarda kullanılan harcın basınç dayanımları, ilgili standartlara göre yapılacak deneylerle belirlenmelidir.

Duvar basınç emniyet gerilmeleri duvarların narinlik oranlarına göre Çizelge 6.3 'de verilen miktarlarda azaltılır.

Çizelge 6.3 : Narinlik oranına göre düşey yük emniyet gerilmelerini azaltma katsayıları.

Narinlik Oranı	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Azaltma katsayısı	1.0	0.95	0.89	0.84	0.78	0.73	0.67	0.62	0.56	0.51

Düşey gerilmelerin hesabı

Duvarların kesme dayanımı duvarlarda var olan düşey gerilmelere de bağlı olduğundan yığma bina duvarlarının düşey yükler altında taşıdıkları gerilmelerin hesaplanması gereklidir.

Duvarlarda oluşan basınç gerilmeleri yığma duvar cinsine göre izin verilen gerilmelerle karşılaştırılacaktır. Bu hesapta duvarlarda ve döşemelerden gelen yükler dikkate alınacaktır. Düşey yükler, kapı ve pencere boşluk en kesitleri düşülmüş en kesit alanına bölünerek gerilmeler hesaplanacaktır. Bulunan değerlerin yığma duvar cinsine göre izin verilen basınç gerilmelerinden büyük olmaması gerekmektedir.

Kayma gerilmesinin hesabı

Yönetmelikte deprem hesap yükünün duvarların yatay derzlerine paralel olarak oluşturduğu kayma gerilmelerinin hesabı şu şekilde verilmektedir:

Yığma binanın her duvar eksenindeki kapı veya pencere boşlukları arasında kalan dolu duvar parçalarının görelî kayma rijitliği kA/h ifadesinden hesaplanacaktır. Burada;

A =Dolu duvar parçasının yatay en kesit alanıdır.

h =Dolu duvar parçasının her iki yanındaki boşlukların yüksekliğinin en küçük olanıdır.

Duvarın en kesiti dikdörtgen ise $k = 1.0$, duvarın uç elemanı varsa veya duvarın ucunda duvara dik doğrultuda bir dış ya da payanda duvar varsa $k = 1.2$ alınacaktır.

Bir duvar ekseninin kayma rijitliği, o eksenindeki duvar parçalarının kayma rijitliklerinin toplamıdır. Duvar eksenlerinin kayma rijitliğinden gidilerek binanın kayma rijitlik merkezi hesaplanacaktır.

Yönetmelikte duvarlara gelen kesme kuvveti, kat kesme kuvveti yanında kat burulma momenti de göz önüne alınarak binanın birbirine dik her iki eksenî doğrultusunda hesaplanması istenmektedir.

Duvara gelen deprem kuvveti duvar yatay en kesit alanına bölünerek duvarda oluşan kayma gerilmesi hesaplanacak ve Denklem 6.1'den bulunacak duvar kayma emniyet gerilmesi τ_{em} ile karşılaştırılacaktır.

$$\tau_{em} = \tau_o + \mu \sigma \quad (6.1)$$

Bu denklemde;

τ_{em} = Duvar kayma emniyet gerilmesi (MPa),

τ_o = Duvar çatlama emniyet gerilmesi (MPa),

μ = Sürtünme katsayısı (0.5 olarak alınabilir),

σ =Duvarlardan ve döşemelerden gelen düşey yüklerin duvardaki kapı ve pencere boşluk en kesitleri kadar azaltılmış duvar en kesit alanına bölünmesi sonucu bulunan duvar düşey gerilmesidir (MPa).

Duvarda kullanılan kargir birim cinsine göre duvar çatlama dayanımı τ_0 değeri Çizelge 6. 4’ ten alınacaktır.

Çizelge 6.4 : Duvarların Çatlama Emniyet Gerilmesi (τ_0).

Duvarda Kullanılan Kargir Birim Cinsi ve Harç	Duvar Çatlama Emniyet Gerilmesi τ_0 (MPa)
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %35’den az, çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.25
Düşey delikli blok tuğla (delik oranı %35’den fazla, çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.12
Dolu blok tuğla veya harman tuğlası (çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.15
Taş duvar (çimento takviyeli kireç harcı ile)	0.10
Gazbeton (tutkal ile)	0.15
Dolu beton briket (çimento harcı ile)	0.20

Elastisite modülü

Duvar yapımında kullanılan kargir birimlerin Elastisite Modülü (E_d) Denklem 6.2 ile hesaplanacaktır.

$$E_d = 200f_d \quad (6.2)$$

6.1.1.2 Taşıyıcı Duvarlar

Taşıyıcı duvar malzemesi

DBYYHY 2007’de taşıyıcı duvarda yığma malzemesi olarak Türk Standartlarına uygun doğal taş, dolu tuğla, TS-2510 ve TS EN 771-1’de taşıyıcı duvar malzemesi olarak izin verilen en büyük boşluk oranlarını aşmayan boşluk oranları olan tuğlalar ve blok tuğlalar, gazbeton yapı malzeme ve elemanları, kireç kumtaşı, dolu beton briket, kerpiç ya da benzeri kargir birimlerin kullanılması belirtilmektedir.

Ayrıca yönetmelikte, boşluklu beton briket, hafif agregalı beton kargir birimler, TS-2510 ve TS-705 (TS EN 771-1)’de taşıyıcı duvar malzemesi olarak izin verilen en büyük boşluk oranlarının üzerinde boşluk oranları olan tuğlalar ve blok tuğlalar, TS-4377 (TS EN771-1)’e göre dolgu duvarları için üretilmiş diğer tuğlalar ve benzeri biçim verilmiş blokların hiçbir zaman taşıyıcı duvar malzemesi olarak kullanılamayacağı belirtilmektedir.

Ayrıca doğal taş taşıyıcı duvarların ve beton taşıyıcı duvarların, yığma binaların yalnızca bodrum ve zemin katlarında yapılmasına izin verilmiştir.

Duvar malzemesi dayanımları

Yönetmelikte duvar yapımında kullanılan doğal ve yapay kargir birimlerin ve bunları bağlayan harçların dayanım ve diğer özellikleri tanımlanmıştır.

Taşıyıcı duvarlarda kullanılacak doğal ve yapay kargir birimlerin en düşük basınç dayanımı, brüt basınç alanına göre, en az 5.0 MPa olacaktır. Bodrum katlarda kullanılacak doğal taşların basınç dayanımı en az 10.0 MPa olacaktır. Bodrum katlarda beton duvar yapılması durumunda, kullanılacak en düşük beton kalitesi C16 olacaktır.

Taşıyıcı duvarlarda çimento takviyeli kireç harcı kullanılması durumunda çimento/kireç/kum hacimsel oranı = 1 / 2 / 9 olacaktır. Çimento harcı kullanılması durumunda ise çimento/kum hacimsel oranı = 1 / 4 olacaktır.

Duvarların basınç emniyet gerilmesi (f_{em}) yönetmelikte verilen hesap yöntemlerinden biriyle hesaplanacaktır.

Duvarların kayma emniyet gerilmesi Denklem 6.1'e göre hesaplanacaktır.

Bu koşullar kerpiç için geçerli değildir. Kerpiç sadece kerpiç binalarda kullanılabilir. Bu özellikler şunlardır:

İzin veriken en küçük taşıyıcı duvar kalınlıkları

Taşıyıcı duvarların, sıva kalınlığı sayılmaksızın, en küçük kalınlıkları yığma binanın kat adedine bağlı olarak Çizelge 6. 5'de verilmektedir. Bodrum kat yapılmamış ise zemin kat ve üstündeki katlar için Çizelge 6.5'de verilen en küçük duvar kalınlıkları geçerli olacaktır.

Çatı yapılmışsa çatı katındaki taşıyıcı duvarların en küçük kalınlığı bir alttaki kat için verilen duvar kalınlığı kadar olacaktır.

Bodrum kattaki taşıyıcı duvarların beton olması durumunda bütün deprem bölgelerinde en küçük kalınlık 25 cm olacaktır.

Doğal taş malzemenin yığma yapıların sadece bodrum ve zemin katlarında kullanılmasına izin verilmiştir ve en küçük duvar kalınlığının 50 cm olması gerekmektedir.

İki kattan fazla olan yığma binalarda tuğla ve gazbeton kullanılması durumunda bodrum katında taşıyıcı duvarların en küçük kalınlığı 1.5 tuğla veya gazbeton olacaktır. İki katlı yapılarda ise 1 tuğla olacaktır veya gazbeton olacaktır.

Çizelge 6.5 : Taşıyıcı duvarların en küçük kalınlıkları.

Deprem Bölgesi	İzin Verilen Katlar	Doğal Taş (mm)	Beton (mm)	Tuğla ve Gazbeton	Diğerleri (mm)
1, 2, 3 ve 4	Bodrum Kat	500	250	1	200
	Zemin Kat	500	-	1	200
1, 2, 3 ve 4	Bodrum Kat	500	250	1.5	300
	Zemin Kat	500	-	1	200
	Birinci Kat	-	-	1	200
2, 3 ve 4	Bodrum Kat	500	250	1.5	300
	Zemin Kat	500	-	1	300
	Birinci Kat	-	-	1	200
	İkinci Kat	-	-	1	200
4	Bodrum Kat	500	250	1.5	300
	Zemin Kat	500	-	1.5	300
	Birinci Kat	-	-	1.5	300
	İkinci Kat	-	-	1	200
	Üçüncü Kat	-	-	1	200

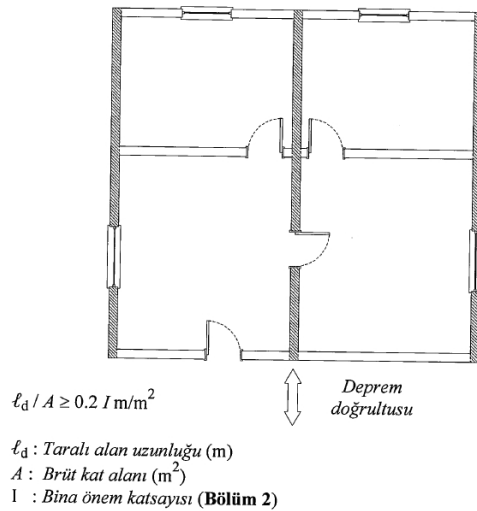
Kerpiç duvarlı binalarda taşıyıcı dış duvarlar en az 1.5, taşıyıcı iç duvarlar en az 1 kerpiç boyu kalınlığında olacaktır. Taşıyıcı duvarlarda kullanılacak kerpiç boyutları, mm olarak;

120mmx300mmx400mm (ana), 120mmx190mmx400mm (kuzu)

120mmx250mmx300mm (ana), 120mmx180mmx300mm (kuzu) olacaktır.

Taşıyıcı duvarlarda toplam uzunluk sınırı

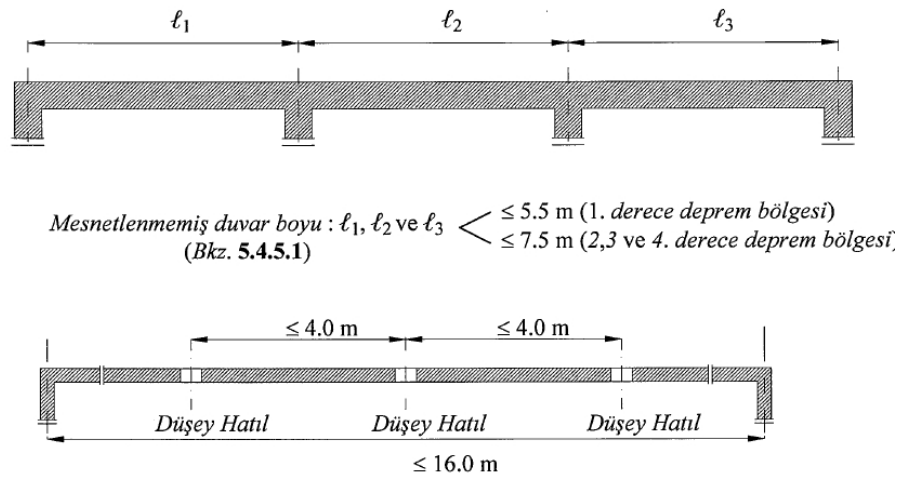
Planda birbirine dik doğrultuların her biri boyunca uzanan taşıyıcı duvarların, pencere ve kapı boşlukları sayılmaksızın toplam uzunluğunun brüt kat alanına (konsol döşeme alanları dışındaki alan) oranı $0.2I \text{ m/m}^2$ 'den daha az olmayacaktır. (Şekil 6.2). Burada I, bina önem katsayısıdır.



Şekil 6.2 : Taşıyıcı duvarlarda toplam uzunluk sınırı.

Taşıyıcı Duvarların En Büyük Desteklenmemiş Uzunluğu

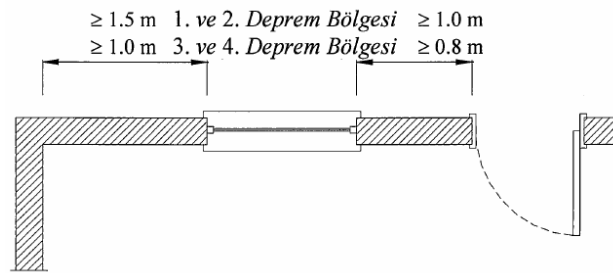
Herhangi bir taşıyıcı duvarın planda kendisine dik olarak saplanan taşıyıcı duvar eksenleri arasında kalan desteklenmemiş uzunluğu birinci derece deprem bölgesinde en çok 5.5 m, diğer deprem bölgelerinde en çok 7.5 m olmalıdır. Kerpiç duvarlı yığma binalarda desteklenmemiş duvar uzunluğu en fazla 4.5 m olmalıdır. Belirtilen en büyük desteklenmemiş duvar boyu koşulunun sağlanamaması durumunda bina köşelerinde ve söz konusu duvarda planda eksenden eksene aralıkları 4.0 m.'yi geçmeyen betonarme düşey hatıllar yapılacaktır. Ancak bu tür düşey hatıllarla desteklenen duvarların toplam uzunluğu 16 m'yi geçemez (Şekil 6. 3).



Şekil 6.3 : Taşıyıcı duvarların en büyük desteklenmemiş uzunluğu.

Taşıyıcı Duvar Boşlukları

Yönetmelikte bina köşesine en yakın pencere ya da kapı ile bina köşesi arasında bırakılacak dolu duvar parçasının plandaki uzunluğunun birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde 1.50 m'den, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde 1.0 m'den az olmaması, kerpiç duvarlı binalarda bütün deprem bölgelerinde bu miktarın 1.0m'den az olmaması öngörülmüştür. (Şekil 6.4).

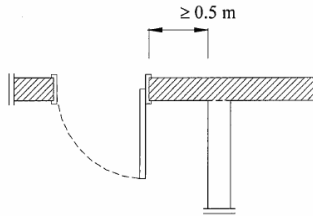


Şekil 6.4 : Taşıyıcı duvar boşlukları.

Bina köşeleri dışında pencere ve kapı boşlukları arasında kalan dolu duvar parçalarının plandaki uzunluğunun birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde 1.0 m'den, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde 0.80 m'den az olmaması belirtilmiştir (Şekil 6. 4). Kerpiç duvarlı binalarda bütün deprem bölgelerinde bu miktarın en az 1.0 m olması öngörülmüştür.

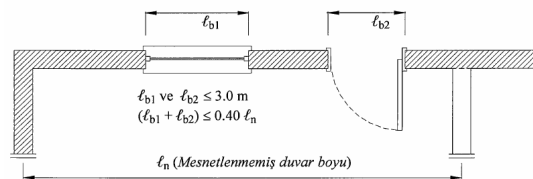
Pencere ve kapı boşluklarının her iki kenarında yönetmelikte belirtilen kurallara uygun şekilde betonarme düşey hatıllar yapılırsa en az dolu duvar parçası uzunluğu koşullarının %20 azaltılmasına izin verilmektedir. Kerpiç duvarlı binalarda pencere ve kapı boşluklarının her iki kenarına ikişer adet 0.10 m×0.10 m kesitinde ahşap dikmeler konulmuş ise iki boşluk arasındaki dolu duvar parçasının 0.80 m olmasına izin verilmektedir. Bu ahşap dikmeler pencere alt ve üst ahşap hatıllarına bağlanmalıdır.

Bina köşeleri dışında, birbirini dik olarak kesen duvarların arakesitine en yakın pencere ya da kapı boşluğu ile duvarların arakesiti arasında bırakılacak dolu duvar parçasının plandaki uzunluğunun, tüm deprem bölgelerinde 0.50 m'den az olmaması gerektiği belirtilmiştir. Şekil 6.5 Boşlukların her iki kenarında yönetmeliğe uygun şekilde kat yüksekliğince betonarme düşey hatıl yapılmış ise dolu duvar parçasının 0.50 m'den az olmasına izin verilmektedir.



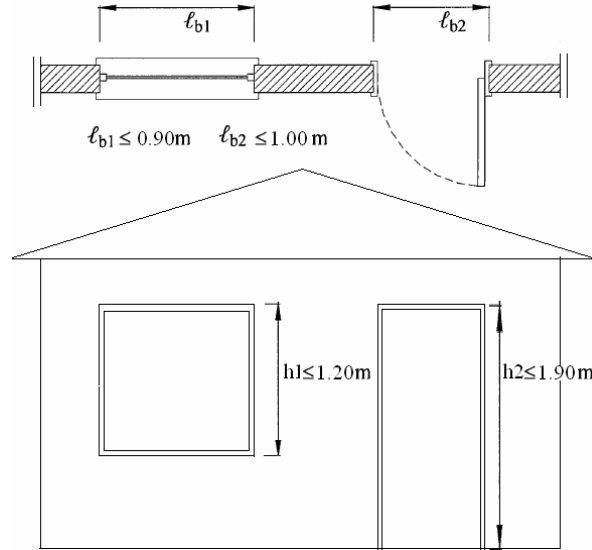
Şekil 6.5 : Birbirini dik olarak kesen duvarların arakesitiyle en yakın pencere ya da kapı boşluğu arasındaki dolu duvar.

Her bir kapı ve pencere boşluğunun plandaki uzunluğunun 3.0m'den daha büyük olmaması ve plandaki uzunlukları toplamının desteklenmemiş duvar uzunluğunun %40'ından fazla olmaması öngörülmüştür. (Şekil 6.6)



Şekil 6.6 : Kapı ve pencere boşlukları için sınır değerler

Kerpiç duvarlı binalarda kapı boşlukları yatayda 1.0 m'den, düşeyde 1.90 m'den büyük olmamalıdır. Pencere boşluklarının yatayda 0.90 m'den, düşeyde 1.20 m'den daha büyük olmamalıdır (Şekil 6.7).



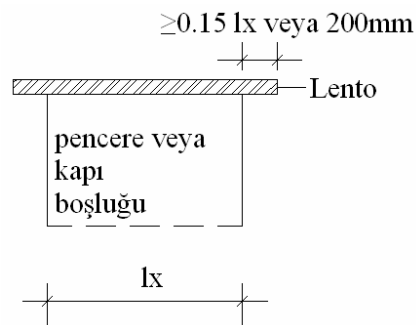
Şekil 6.7 : Kerpiç yapılarda kapı ve pencere boşlukları için sınır değerler.

Pencere ya da kapı boşluklarının her iki kenarında yönetmeliğe uygun şekilde kat yüksekliğince betonarme düşey hatıllar yapılması durumunda her bir kapı ve pencere boşluğunun plandaki uzunluğunun ve en büyük boşluk oranının %20 artırılmasına izin verilmektedir. Bu koşul kerpiç duvarlı binalar için geçerli değildir

6.1.1.3 Lentolar ve hatıllar

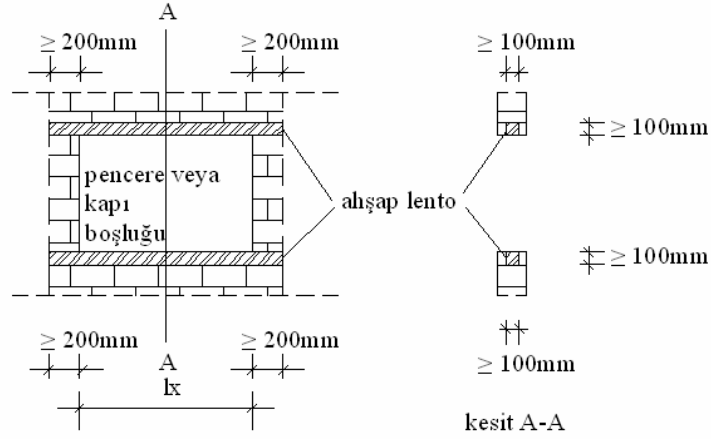
Lentolar

Yönetmelikte pencere ve kapı lentolarının duvarlara oturan uçlarının her birinin uzunluğunun serbest lento açıklığının %15'inden ve 200 mm'den az olmaması öngörülmüştür. Lento en kesit boyutları ile boyuna ve enine donatılar yönetmelikte yatay hatıllar için verilen değerlerden az olmamalıdır. (Şekil 6.8)



Şekil 6.8 : Lentolar için koşullar.

Yönetmelikte kerpiç duvarlı binalarda kapı üst ve pencere üst ve altlarına ahşap lento yapılmasına izin verilmektedir. Ahşap lentoların ikişer adet $100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ kesitinde ahşap kadronla yapılması öngörülmüştür. Ahşap lentoların duvarlara oturan kısımlarının her birinin uzunluğu 200 mm 'den az olmamalıdır (Şekil 6.9).

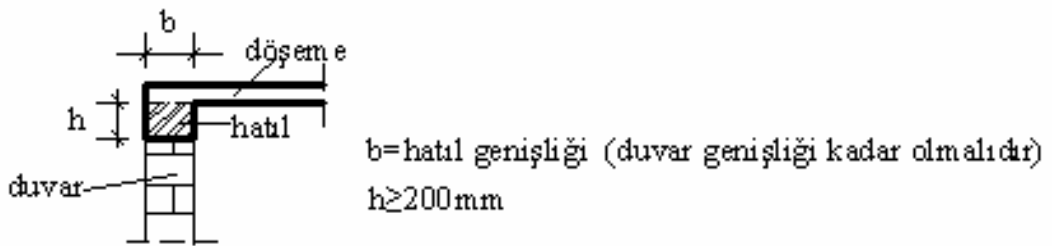


Şekil 6.9 : Kerpiç duvarlı binalarda lentolar için koşullar.

Yatay hatıllar

Yönetmelikte merdiven sahanlıkları da dâhil olmak üzere her bir döşemenin taşıyıcı duvarlara oturduğu yerde betonarme döşeme ile birlikte (monolitik olarak) dökülmüş aşağıdaki koşulları sağlayan betonarme yatay hatıllar yapılması öngörülmüştür.

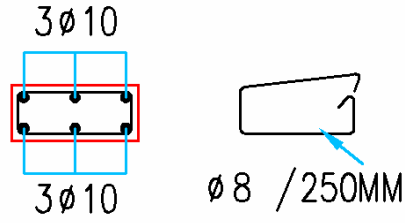
a) Yatay hatıllar taşıyıcı duvar genişliğine eşit genişlikte ve en az 200 mm yükseklikte olmalıdır. (Şekil 6.10).



Şekil 6.10 : Yatay hatıl boyutları.

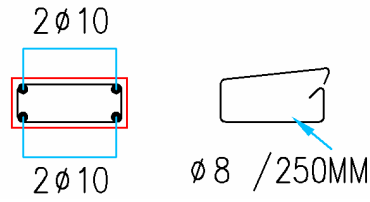
b) Hatılarda beton kalitesi en az C16 olmalıdır. Yatay hatılların içlerinde;

Taş duvarlı yapılarda; en az üçü altta, üçü üstte $6\text{Ø}10$ ile birlikte en çok 250 mm ara ile $\text{Ø}8$ 'lik etriye konulmalıdır. (Şekil 6.11).



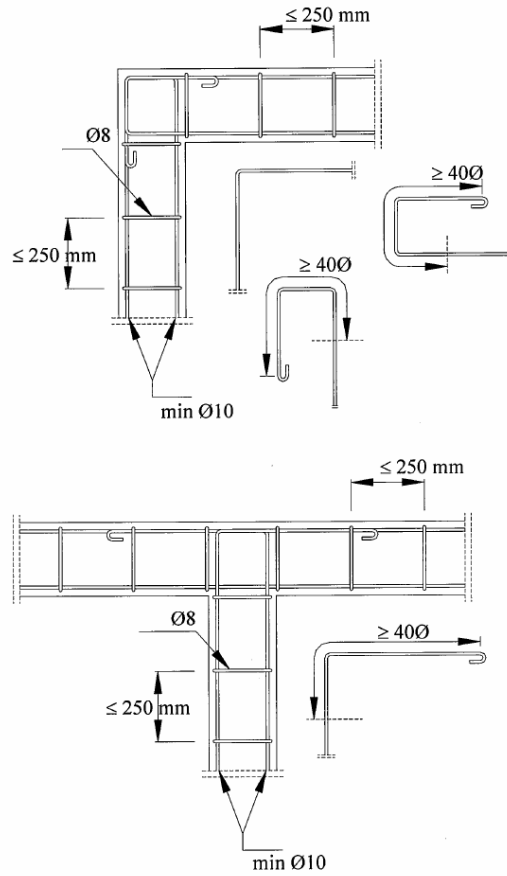
Şekil 6.11 : Taş duvarlı yapılarda yatay hatıl donatıları.

Diğer malzemeden taşıyıcı duvarlarda ise en az 4Ø10 boyuna donatı ile birlikte en çok 250 mm ara ile Ø8'lik etriye konulmalıdır. (Şekil 6.12)



Şekil 6.12 : Diğer malzemeden taşıyıcı duvarlarda yatay hatıl donatıları.

c) Boyuna donatılar köşelerde ve kesişme noktalarında sürekliliği sağlayacak biçimde bindirilecektir. (Şekil 6.13)



Şekil 6.13 : Yatay hatıl birleşim ve kesişimlerinde donatı düzenlemesi.

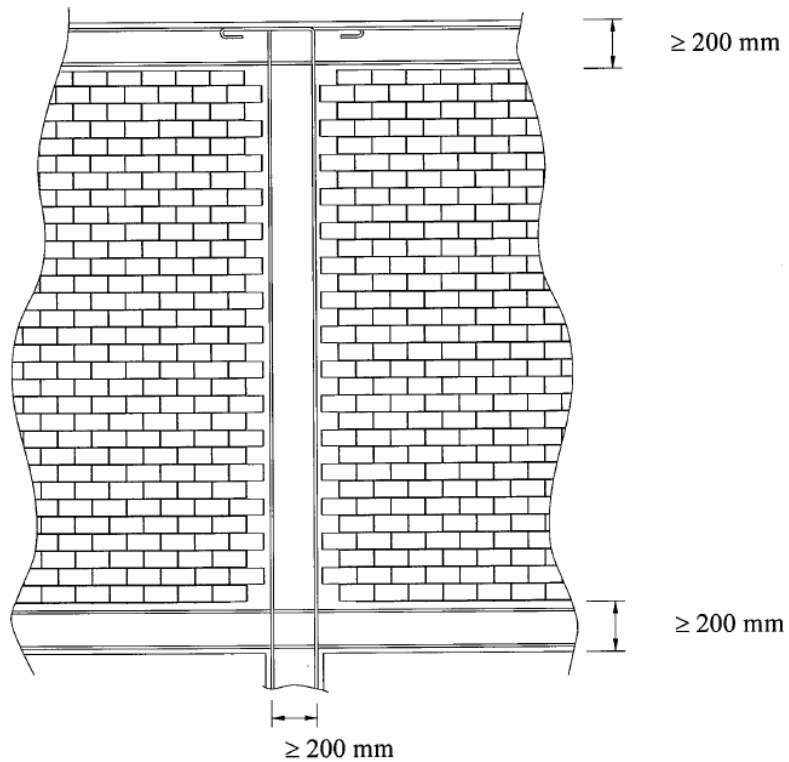
Moloz taş duvarlarda döşeme ve merdiven sahanlıkları dışında düşeyde eksenden eksene aralıkları 1.5 m.'yi geçmeyen ve yönetmelikteki kurallara uyan betonarme hatıl yapılması öngörülmüştür.

Kerpiç yığma duvarlarda ahşap hatıl yapılmasına izin verilmiştir. Ahşap hatıl için, 100 mm×100 mm kesitindeki iki adet kadron, dış yüzleri duvar iç ve dış yüzeyleri ile çakışacak aralıkta konulması öngörülmüştür. Bu kadronların boylamasına doğrultuda 500 mm'de bir 50 mm×100 mm kesitinde dikine kadronlarla çivili olarak birleştirilmesi ve aralarının taş kırıntıları ile doldurulması gerekmektedir.

Yatay hatıllar

Yönetmelikte yığma kargir binaların deprem dayanımlarının artırılması için bina köşelerinde, taşıyıcı duvarların düşey ara kesitlerinde, kapı ve pencere boşluklarının her iki yanında kat yüksekliğince uzanan betonarme düşey hatıllar yapılması uygun görülmüştür.

Düşey hatıllar, her iki yandan gelen taşıyıcı duvarların örülmesinden sonra duvarlara paralel olarak konulacak kalıpların arasındaki bölümün donatılarak betonlanması ile yapılacaktır. (Şekil 6.14)

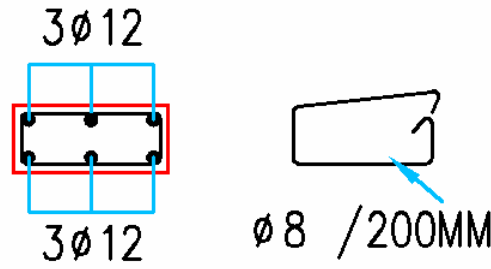


Şekil 6.14 : Düşey hatıllar.

Bina köşelerinde ve taşıyıcı duvarların ara kesitlerinde düşey hatılların en kesit boyutları kesişen duvarların kalınlıklarına eşit olacaktır. Pencere ve kapı boşluklarının her iki yanına yapılacak düşey hatılarda ise hatılın duvara dik en kesit boyutu duvar kalınlığından, diğer en kesit boyutu ise 200 mm 'den az olmayacaktır.

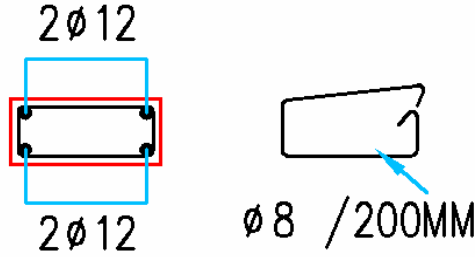
a) Düşey hatılarda beton kalitesi en az C16 olacaktır. İçlerine;

Taş duvarlarda; her iki duvar yüzüne paralel olarak en az üç adet olmak üzere 6Ø12 ile birlikte en çok 200 mm ara ile Ø8 'lik etriye konulacaktır. (Şekil 6.15)



Şekil 6.15 : Taş duvarlı yapılarda düşey hatıl donatıları.

Diğer tür malzemelerden taşıyıcı duvarlarda ise en az 4Ø12 boyuna donatı ile birlikte en çok 200 mm ara ile Ø8'lik etriye konulacaktır. Şekil 6. 16



Şekil 6.16 : Diğer malzemeden taşıyıcı duvarlarda düşey hatıl donatıları.

Boyuna donatılar için temelde ve katlar arasında filiz bırakılacaktır. (Şekil 6.14)

6.1.1.4 Döşemeler

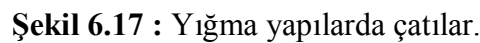
Yönetmelikte yığma kargir binaların kat döşemelerinin TS-500'deki kurallara göre tasarlanmış boyut ve donatıları olan betonarme plak ya da dişli döşemeler olması öngörülmüştür.

Döşemeleri bu tanıma uymayan yığma binaların bütün deprem bölgelerinde, varsa bodrum katı sayılmaksızın en çok iki katlı yapılmasına izin verilmiştir. Bu tür binalarda da döşemelerin oturduğu yatay hatıllar yönetmelikte belirtilen kurallara

Konsol şeklindeki balkonlar, kornişler ve çatı saçakları yalnızca kat döşemelerinin uzantısı olarak yapılacak ve serbest konsol uzunluğu 1.5 m'den çok olmayacaktır. Konsol şeklindeki merdivenlerin konsol uzunluğu ise en çok 1.0 m olacaktır. Bu madde kerpiç duvarlı binalar için geçerli değildir.

Yönetmelikte yığma kargir binaların çatılarının, betonarme teras çatı, ahşap ya da çelik oturtma çatı olarak yapılması öngörülmüştür.

En üst kattaki yatay hatıla oturan çatı kalkan duvarının yüksekliği 2.0 m'den büyük ise düşey ve eğik hatıllar yapılacaktır. (Şekil 6.17).



6.1.1.6 Taşıyıcı olmayan duvarlar

80

bağlanarak örülecektir. Taşıyıcı olmayan duvarların üstü ile tavan döşemesinin altı arasında en az 10 mm boşluk bırakılacak, ancak düzlemine dik deprem yüklerinin etkisi ile duvarın düzlemi dışına devrilmemesi için gerekli önlemler alınacaktır. Bu madde kerpiç duvarlı binalar için geçerli değildir.

Teraslarda yığma duvar malzemesi ile yapılan korkulukların yüksekliği 600 mm'yi geçmeyecektir. Bu tür korkulukların deprem yükleri altında devrilmesinin önlenmesi için gereken tedbirler alınmalıdır.

Yığma duvar malzemesi ile yapılan bahçe duvarlarının yüksekliği, kaldırım düzeyinden başlayarak en çok 1.0m olacaktır.

7. TARİHİ YIĞMA YAPILARDA OLUŞAN HASARLAR VE NEDENLERİ

7.1 Tarihi Yığma Yapılarda Oluşan Hasarların Nedenleri

Yığma yapılarda oluşan hasarların çok çeşitli sebepleri olmakla birlikte en sık rastlanan nedenler şu şekilde sıralanabilir;

- Yığma binaların taşıyıcı sistemleri doğal ve yapay malzemelerden oluşturulduğu için ağırlığı fazladır ve bu nedenle yapıya etki eden sismik yükler de fazla olmaktadır.
- Plandaki düzensizlikler nedeniyle yapının rijitlik ve kütle merkezinin birbirinden uzaklaşması sonucu ilave burulma kuvvetleri yapıya etki etmekte, kritik bölgelerde duvar gerilmeleri aşılmaktadır.
- Taşıyıcı elemanların düşeyde üst üste gelmemesi ve yapı rijitliğinde oluşan ani değişimler nedeniyle yük aktarımının yeterince sağlanamaması kat seviyelerinde ve duvarlarda hasar oluşmasına sebep olmaktadır.
- Düşey taşıyıcı duvarlar ile döşemeler arasındaki bağlantının zayıf olması nedeniyle döşemenin diyafram etkisi gösterememektedir.
- Yığma yapıyı oluşturan malzemenin (taş, tuğla, kerpiç vb.)yeterli mukavemete (eğilme, kayma vb.)sahip olmaması sonucu oluşan gerilmeleri karşılayamamaktadır.
- Mesnetlenmemiş duvar boyunun yürürlükteki yönetmelik sınırlarını aşması sonucu büyük deplasmanlar oluşmaktadır.
- Yığma yapı elemanlarını birbirine bağlamakta kullanılan harcın dayanımının düşük olması kayma etkilerinin yeterli derecede karşılanamamasına neden olmaktadır.
- Yığma yapıların taşıyıcı sistemleri oluşturulurken elemanlar arasındaki, duvar birleşim ve kesişim bölgelerindeki bağlantının yeterli derecede olmaması sebebiyle yatay yük aktarımını olumsuz yönde etkilemektedir.

- Duvar içinde bırakılan pencere veya kapı boşluklarının sınır değerleri aşması, duvarlardaki gerilmelerin boşluklar çevresinde yığılmasına sebep olmakta ve bu bölgelerde hasar oluşturmaktadır.
- Yapının amaç dışı kullanılması ya da yapıya bilinçsizce yapılan eklentiler ve onarımlar sonucu hasarlar oluşabilmektedir. Yapılan restorasyon çalışmaları sırasında taşıyıcı elemanların yerlerinin değiştirilmesi, duvarların tahrip edilmesi, kullanılan yeni malzemelerin yapı sistemine adapte edilememesi sebebiyle yapıda hasarlar meydana gelmektedir.
- Yığma yapıların hasara uğramasında sünekliklerinin az olmasının da etkisi bulunmaktadır. Sünelik yapının göçmeden şekil değiştirebilme kabiliyetidir. Yığma binalar sünekliği az gevrek malzemelerle oluşturuldukları için oluşan etkiler karşısında kırılğan bir davranış sergilemektedirler.
- Yapı zemininde meydana gelen ani değişimler, yapı çevresinde yapılan kazı çalışmaları, depremin neden olduğu sarsıntılar, oturmalar, sıvılaşma, kayma vb. olaylar yapıda ilave yükler oluşmakta ve hasara sebep olmaktadır.
- Hatılların olmaması duvar birleşim ve kesişimlerinde düşey çatlaklar oluşmasına ve duvarın düzlemi dışında eğilmesine sebep olmaktadır.
- Yapıda oluşan kılcal çatlaklar zamanla derinleşerek yapıya ciddi zararlar vermektedir.
- Yapı elemanlarının yükleri taşıyabilecek yeterlilikte boyutlandırılmamış olması yapıda sehimlerin oluşmasına ve zamanla bu sehimlerin artmasına yol açarak kalıcı hasarlara hatta yıkılmalara neden olmaktadır.
- Yeterli kaliteye sahip elemanların ve malzemelerin bir araya getirilmesinde uygun teknik ve işçiliğin kullanılmaması, uygulamada yapılan hatalar,
- Dış koşullar (sıcaklık, hava olayları, yağış, nem, donma-çözülme çevre kirliliği vb. sebepler) ile yapı malzemesinin özelliğini yitirmesi hasarlara sebep olmaktadır.

7.2 Tarihi Yığma Yapılarda Oluşan Hasar Biçimleri

Yığma yapıların taşıyıcı duvarlarında meydana gelen hasarlar;

- Duvarlar ve döşemeler arasında oluşan yatay çatlaklar,

- Duvarların birleşim ve kesişim bölgelerinde oluşan düşey çatlaklar,
- Dış duvarların ayrılması,
- Duvarların düzlemine dik doğrultuda eğilmesi ya da yıkılması, (Şekil 7.1)



Şekil 7.1 : Düzlemi dışına devrilen duvar [26].

- Duvarlarda oluşan diyagonal çatlaklar,
- Duvarların kısmi olarak yıkılması ya da bozulması, (Şekil 7.2)



Şekil 7.2 : Kısmen çöken duvar [26].

- Yapının kısmen veya tamamen göçmesi,
- Kemer ve tonoz mesnetlerindeki hareketi sonucu bu elemanlarda meydana gelen ayrılmalar ve göçmeler.
- Temel zeminindeki hareketler sonucu meydana gelen oturmalar ve hasarlar olarak gözlemlenmektedir.

7.2.1 Zeminden kaynaklanan hasarlar

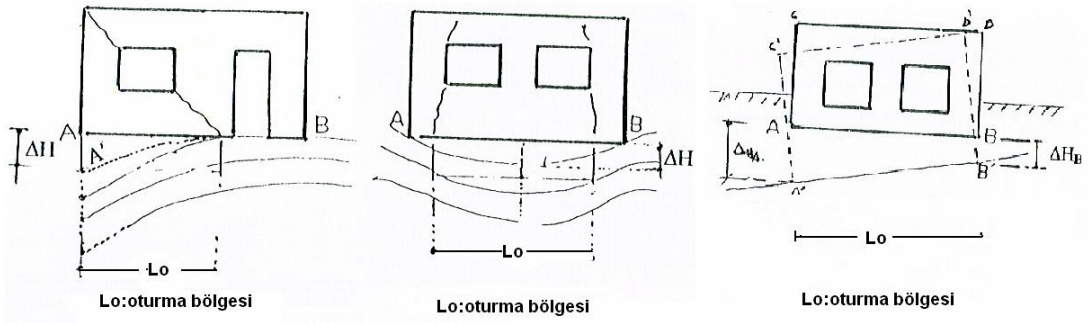
Tarihi yığma yapılarda zeminden kaynaklanan hasarlar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir;

- Yeraltı su seviyesinin değişmesinden dolayı meydana gelen hasarlar,
- Yük sisteminde meydana gelen değişimler sonucu oluşan hasarlar,
- Temel kazıklarının çürümesinden dolayı oluşan hasarlar,
- Yapı çevresindeki kazılardan dolayı oluşan hasarlar
- Drenaj yetersizliğinden dolayı oluşan hasarlar
- Deprem etkisinden dolayı oluşan hasarlar

Yeraltı su seviyesinin değişmesi yapının oturduğu zeminin su muhtevasını değiştirir. Tarihi yapıların civarında yapılacak kazı çalışmaları neticesinde yeraltı suyunun alçalması sonucu boşluk suyu basıncı düşer ve su içinde yüzen zemin danelerinin ağırlıkları artacağından, daha altlardaki zeminlere ilave yükler gelir. Bu ilave yüklerin etkisi ile zemin tabakaları tekrar oturmaya başlar. Bu oturmaların belli değerlere ulaşması sonucu yapıda çatlaklar oluşur. Aynı zamanda, yeraltı su seviyesinin düşmesi sonucu kuruyan zeminlerde rötre oluşur. Rötre sonucu, özellikle aşırı konsolide yağlı kil zeminlerde, aşırı bir hacim küçülmesi olacağından, oturmalar bir evvelki durumdan daha büyük boyutlara ulaşır [27].

Yeraltı su seviyesinin yükselmesi neticesinde zemin içerisindeki boşluklar tamamen su ile dolacağından, zemin doygun hale geçer. Bu durumda zemin yumuşar ve zeminin kayma direncinin azalması ile taşıma gücü de azalır. Bu durumda yine oturmalar başlar ve belli değerlere ulaştıktan sonra yapıda yine çatlaklar meydana gelir [27].

Kohezyonsuz zeminlerde daha çok aşırı yükleme sonucu yapı yüklerinin artması neticesinde veya yapının taşıyıcı sisteminde yapılacak değişiklikler (masif duvarlarda delik veya pencere açma gibi) neticesinde temel zemini farklı biçimde zorlanarak, zeminde göçmeler oluşmakta ve bunun sonucunda yapıda çatlaklar meydana gelmektedir [27]. (Şekil 7.3)



Şekil 7.3 : Temel oturma çatlakları [7].

Dolgu ve yumuşak zeminlerde, genellikle su içinde bulunan zeminlerde, tarihi yapılar zemine çakılan ahşap kazıkların oluşturduğu bir temel sistemine oturtulmuştur. Bazı hallerde kazık başlarının ahşap bir ızgara ile bağlandığı görülür. Ahşap kazıklar genellikle su içinde bulunduğu ve hava ile temas etmediğinden bozulmamıştır. Ancak tarihi yapıların civarında yol yapımı ve benzeri çalışmalar neticesinde yeraltı su seviyesinin düşmesi durumunda hava ile temasa geçen ahşap kazıkların çürümesi sonucu temel oturmaları olmaktadır [27].

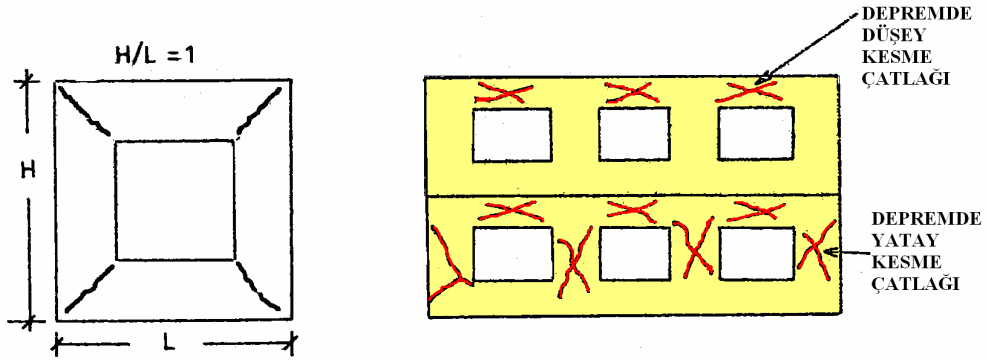
Tünel ve metro kazılarıyla tarihi yapılara yakın yerlerde yapılacak yapı kazıları, heyelan ve kaymaların oluşmasına neden olabilmektedir. Örneğin tarihi yapılar civarında açılan maden ocaklarının oluşturmuş olduğu boşluklar temel zeminin dengesini bozarak tarihi yapıda hasara neden olabilmektedir [27].

Temel seviyesindeki taşıyıcı tabakanın kil ve silt olduğu durumlarda yağmur ve benzeri nedenlerden zeminin ıslanması durumunda, eğer yeterli drenaj yoksa permeabilitenin düşük olması nedeni ile tutulan su temel altındaki kil veya siltli zeminlerdeki ince danelerin taşınmasına ve bütün bunların sonucu olarak zeminde yersel(lokal) göçmelerin meydana gelmesine neden olmaktadır [27].

Tarihi yapılar, genellikle ağır ve rijit yapılardır. Deprem etkilerine karşı rijit cisim davranışı gösterirler. Yatay zemin hareketleri sonucu her bir nokta yaklaşık aynı deplasmanı yapar. Tarihi yapıların titreşim periyotları çok küçük olup $T=0.15-0.45$ sn. arasında değişir. Ağır olmaları sonucu etkileyen deprem kuvvetleri de çok büyük olur. Zemin hakim periyodunun yapının titreşim periyoduna yakın olduğu durumlarda rezonans söz konusu olmaktadır. Özellikle simetrik olmayan ve ağırlık ile rijitlik merkezinin farklı olduğu tarihi yapılarda deprem burulma etkisi oluşturmaktadır.

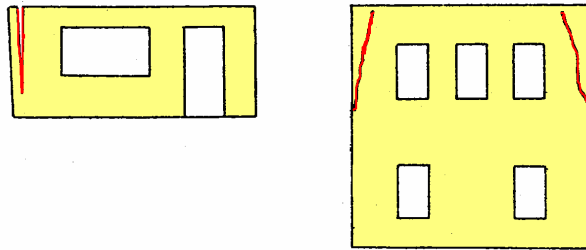
Yığma yapılarda depremten dolayı olan hasar duvarlarda çeşitli biçimlerde oluşan çatlamalar ve kısmen yıkılma şeklinde ele alınabilir. Yapılarda oturma nedeni ile de çatlaklar olabilir. Yığma yapıların duvarları oturmalarına karşı hassastır, en ufak bir farklı oturma duvarlarda derhal çatlaklar şeklinde görülür [28].

Tuğla yığma duvarlar çok gevrek bir malzeme olduklarından küçük şiddetli depremlerde bile yapılarda önemli çatlaklar oluşabilir. Çatlakların yönü, biçimi ve genişliği yığma yapının dış duvarlarındaki pencere ve kapı boşluklarının yerine ve miktarına, duvardaki düşey gerilme ve gelen yatay deprem kuvvetine bağlıdır [28].



Şekil 7.4 : Duvarlarda depremten dolayı oluşan eğik çekme çatlakları [28].

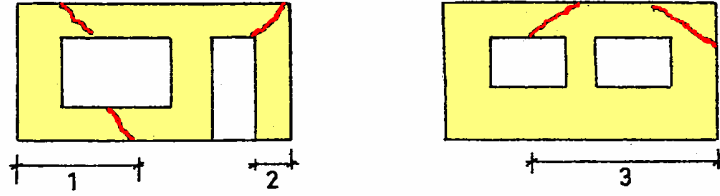
Şekil 7.3, Şekil 7.4, Şekil 7.5, Şekil 7.6, Şekil 7.7’de ve Şekil 7.8’de tuğla yığma yapı duvarlarında depremten sonra olmuş çatlak biçimleri ile temel oturmalarının doğurduğu çatlak biçimleri verilmektedir.[28]



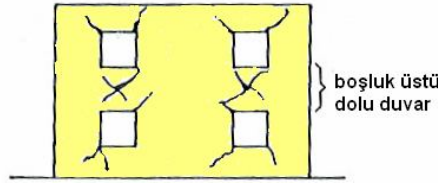
Şekil 7.5 : İyi bağlanmamış duvarlarda deprem çatlakları [28].



Şekil 7.6 : Kerpiç yapıda yetersiz köşe birleşimi sonucu deprem çatlağı [26].



Şekil 7.7 : Yığma yapılarda oturma çatlakları 1-2-3 oturan bölümler [28].



Şekil 7.8 : Bağ kirişler olmayan ya da döşeme seviyesinde rijit plak bulunmayan bir boşluk üstü dolu duvarda çökme mekanizması [5].

Yığma yapılarda depremlerde olan kesme ya da eğik çekme çatlaklarının genişlikleri bakımından sınıflandırılması yapılabilir. İlk aşamada çatlak kılcal olarak yalnızca sıvada olabilir. Daha sonraki aşama duvarın içine kadar işlemiş derin çatlaklardır. Yığma yapılarda daha sonraki hasar aşamaları çatlakların iyice genişleyip yayılması ve duvar malzemesinin ezilip parçalanması, duvardan parçaların ayrılıp dökülmesi vb. şeklinde olur [28].

Yığma bir yapıda duvarlarda olan çatlakların değerlendirilmesinde Kaynak 8 de verilen sınıflandırma da kullanılabilir. Burada çatlağın genişliği ve yapının kullanım amacına göre hasar derecesi verilmektedir. Aslında normal yükler altında oluşan,

özellikle zemin oturmalarından dolayı, çatlaklar için yapılmış bu sınıflama depremlerden dolayı oluşan çatlaklar için de kullanılabilir [28].(Çizelge 7. 1)

Çizelge 7.1 : Çatlak Sınıflandırması [28].

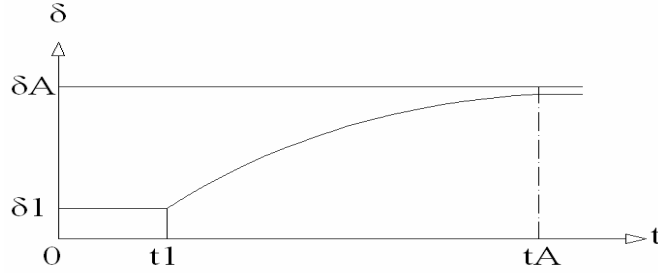
Çatlak Sınıfı (mm)	Konut	İşyeri	Fabrika	Taşıyıcı Sisteme ve Yapının Kullanışına Etkisi
<0.1	Önemsiz			Yok
0.1-0.3	Çok az	Çok az	önemsiz	Yok
0.3-1.0	Az	Az	Çok Az	Estetik açıdan; yapı dış cephe elemanlarının yıpranması hızlanır.
1.0-2.0	Az ile orta	Az ile orta	Çok az	
2.0-5.0	Orta	Orta	Az	Yapının kullanılabilirliği tehlikeye düşer, üst limite doğru yapının güvenliği de riske girebilir.
5.0-15.0	Orta ile ağır	Orta ile ağır	Az	
15.0-25.0	Ağır ile çok ağır	Orta ile ağır	Orta	
>25.0	Çok ağır ile tehlikeli	Ağır ile tehlikeli	Ağır ile tehlikeli	Yapının tehlikeli olma durumunun giderek artması

Kılcal çatlaklar (0.3 mm kadar) genellikle pek göze batmaz. Daha büyük çatlaklar (0.3 mm-1.0 mm) eğer duvar kağıtları altında değilse yine de göze batmayabilir. Bu çatlaklar duvar kağıtlarında kırışıklıklar yaratabilir. 1-2.0 mm boyutundaki çatlaklar tuğla, beton bloklar, pencere denizlik ve hatıllarını çatlatabilir. 2.0 mm' yi aşan çatlaklar oturanları psikolojik bakımdan rahatsız etmeye başlar. 2.0 mm-5.0 mm' lik çatlaklar eğer dış sıvalarda oluşmuş ise yapı içine hava akımı olabilir. Kapı ve pencereler sıkışır ya da kapanmayabilir. 5-15 mm' lik çatlaklar olması halinde pencere camları çatlayıp parçalanabilir. Sıvalar dökülmeye, tuğlalar parçalanmaya başlar. Yığma kagir kemerler yıkılabilir. Borular kopar, kırılır. 2.0 mm aşan çatlaklar yapıda önemli mimari hasarın başlangıcı olarak nitelenebilir. Öte yandan 25 mm' yi aşan çatlaklar ise yapının taşıyıcı sisteminin önemli bir tehlike içinde bulunduğu işaretidir [28].

Bu değerlendirmeden gidilerek yığma yapılarda duvarlarda 2 mm'ye kadar olan çatlakların hasarsız ya da hafif hasarlı bir yapıya karşılık olduğu; 2-25 mm arasındaki çatlakların da yapının kullanım amacını tehlikeye düşürebilecek nitelikte ve orta hasara karşılık olduğu; 25 mm' yi aşan çatlakların da yapıyı ağır hasar bölgesine doğru soktuğu kabul edilebilir [28].

Deprem çatlağı, deprem süresi içinde oluşmuş bir çatlaktır. Bu tür çatlağın genişliğinin büyümesi ancak ikinci bir deprem sonucu olabilir. Çatlak, bir temel oturması sonucunda oluşmuş ise, çatlağın zaman içinde büyüyüp büyümediğinin

kontrol edilmesi gerekir. Killi zeminlerdeki oturmalar genellikle zamana bağılı olan (konsolidasyon) oturmaları olup, uzun zaman gözlenmesi gereken oturmalar. Gözlenen bir çatlak genişliğinin zamana bağılı grafiği çizildiğinde, eğrinin belli bir doğruya asimtot olduğu noktaya tekabül eden çatlak genişliğinin(δA) büyüklüğüne göre yapı güvenliğine ilişkin bir yorum yapmak mümkün olabilir. (Şekil 7.9)



Şekil 7.9 : Çatlak genişliği-zaman eğrisi [7].

Yığma yapıda belli bir duvarın onarılabilmesi için duvarda hem düzlemi içinde hem de dik yönde düşeyden sapmanın belli bir miktarı aşmaması gerekir. Bu miktar $h/50$ olabilir. h : duvar yüksekliğidir. Yığma yapının duvarlarının tek tek hasarının değerlendirilmesinden sonra yapının tüm olarak değerlendirilmesi yapılır. Burada çeşitli derecede hasar görmüş duvarların yapının tüm duvarlarına oranı, hasarlı duvarların taşıyıcı duvarlar arasındaki oranı vb. ölçekler kullanılabilir. Yapının eski ya da yeni oluşu da onarım ya da yenileme kararları üzerinde etkili olabilir [28].

7.2.2 Taşıyıcı sistem tasarımından kaynaklanan hasarlar

Yapı taşıyıcı duvarlarının planda düzensiz yerleştirilmesi sonucu yapıda burulma etkileri oluşmakta ve kritik bölgelerde duvar gerilmeleri aşılmaktadır. Bina yüksekliğince yapı rijitliğinin uniform olmayan şekilde düzenlenmesi sonucu yapı rijitliğinde meydana gelen ani değişimler kat seviyesinde duvarlarda hasarlar oluşmasına sebep olmaktadır. Hatılların olmaması duvar birleşim ve kesişimlerinde düşey çatlaklar oluşmasına ve duvarın düzlemi dışında eğilmesine sebep olmaktadır. Yapı elemanlarının yükleri taşıyabilecek yeterlilikte boyutlandırılmamış olması yapıda sehimlerin oluşmasına ve zamanla bu sehimlerin artmasına neden olur ve kalıcı hasarlar oluşur. Bu kalıcı hasarlar da yıkımlara yol açabilmektedir.

7.2.3 Malzemedan kaynaklanan hasarlar

Yapıda kullanılan tuğla, harç vb malzemelerin düşük kalitede olması yapısal hasarların oluşmasına sebep olmaktadır. Kullanılan malzemelerin mekanik karakteristiklerinin yeterliliği önem taşımaktadır. Duvar elemanlarının kesme göçmesine sebep olan düşük gerilme dayanımının neden olduğu hasarlar özellikle killi kum ve çamur harçlarının kullanıldığı kerpiç ve taş yığma yapılarda açıkça görülmektedir. (Şekil 7.10, 7.11)



Şekil 7.10 : Suyun etkisiyle taş malzemede görülen oyuklanma [Url-1].



Şekil 7.11 : Taş malzemede tuzlanma [Url-1].

7.2.4 Kötü işçilikten kaynaklanan hasarlar

Malzemelerin yeterli kalite olmasının yanı sıra birleşimde uygun teknik ve işçilikle bir araya getirilmiş olması gerekmektedir. Yığma yapı elemanlarının birleşimde yeterli derecede bağlayıcı kullanılmaması, duvar elemanlarının örülmesinde yapılan hatalar hasarlara yol açmaktadır.

7.2.5 Hava kirliliği ve trafikten kaynaklanan hasarlar

Atmosferi kirleten çeşitli gazlar ve eriyikler yapıların dış cephelerine zarar vermekte zamanla yapıların aşınmasına ve özelliklerini yitirmesine sebep olmaktadır.

Taşıtların geişı sırasında oluşan titreşimler ve yapı temellerine yaptıkları etkiler sonucu hasarlar oluşmaktadır.

7.2.6 Doğal afetler ve insanların sebep olduğu hasarlar

Tarihi yapıların hasara uğramasında en büyük doğal etken depremlerdir. Depremlerin oluşturduğu sarsıntılar sonucu zeminde kayma, sıvılaşma ve benzeri olaylar meydana gelmekte ve yapıların hasara uğramasına neden olmaktadır. Ayrıca meydana gelen sel, heyelan, tayfun gibi doğal afetler de yapılara önemli ölçüde zarar vermektedir.

Bakımsızlık, amaç dışı kullanım ve yapının taşıyıcı sistemini etkileyen, bilinçsizce yapılan eklentiler ve onarımlar insanların neden olduğu hasarlardır.

8. TARİHİ YIĞMA YAPILARDA KULLANILAN ONARIM VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ

Tarihi yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesine başlamadan önce yapının rölövesi çıkartılmalı, yapının mevcut durumu, yapıda meydana gelen hasarlar ve bozulmalar tespit edilmelidir. Öncelikle yapının taşıyıcı sisteminin davranışı ve yük dağılımı belirlenmeli, onarım ve güçlendirmede kullanılacak yöntem buna göre belirlenmelidir. Tarihi yığma yapılarda en belirleyici taşıyıcı unsur duvarlar olduğu için tarihi yığma yapıların onarımı ve güçlendirilmesinde duvar çatlaklarının onarılması ve duvarların enkesit alanlarının artırılması esastır. Duvarların birleşim ve kesişim bölgelerinde elemanların birbirine kenetlenerek bütünleşmesini sağlamak gerekmektedir. Ayrıca yapının özgün niteliğini bozmayacak, en uygun onarım ve güçlendirme tekniğinin seçilmesine de özen gösterilmelidir.

8.1 Onarım ve Güçlendirme Tanımı

Yapı sistemlerinde onarım; hasar görmüş yapısal elemanların yapıldıkları andaki mukavemetinin kazandırılması ve yapısal olmayan elemanların tamiri ile yapının hasar görmeden önceki haline kavuşturulmasıdır.

Güçlendirme ise; yapısal elemanların rijitlik ve dayanımının artırılması ya da ileride oluşabilecek depremler için yapının performansının iyileştirilmesidir. Güçlendirmede genellikle dayanım ve duktilite artırılır ya da yeni yapısal elemanlar ilave edilerek yapının taşıma gücü iyileştirilir.

Onarım ile yapıya hasar öncesindeki dayanım ve güvenlik düzeyi yeniden kazandırılır. Güçlendirme ile yapıya hasar öncesinden daha yüksek bir dayanım ve güvenlik kazandırılmaya çalışılır [22].

8.2 Onarım ve Güçlendirmede Ana İlkeler

Yapılarda meydana gelen her türlü hasarın bir ya da birçok nedeni bulunmaktadır. Onarım ve güçlendirmede genel ilke öncelikle yapının hasara uğramasına sebep olan bu faktörleri ortadan kaldırmak ve ardından hasarlı bölgeye müdahalede bulunmaktır. Örneğin yapısal bir duvarda öncelikle çatlağın oluşmasına neden olan etkiler bulunmalı ardından çatlak onarımına geçilmelidir.

Yığma yapıların onarımı ve güçlendirilmesinde çeşitli yöntemler kullanılabilir. Bu tip yapılardaki onarım ve güçlendirmenin ana ilkeleri şu şekilde özetlenebilir [28].

- a)Yapıdaki yüklerin kaldırılması ya da azaltılması,
- b)Yapıda köşelere yakın kapı ve pencere boşluklarının kapatılması ya da küçültülmesi, kitle ve rijitlik merkezini birbirine yaklaştırmak üzere yeni duvarlar eklenmesi,
- c)Onarım yönteminin malzeme ve işçilik açısından hasarlı yapının bulunduğu bölgede uygulanabilir olması,
- d)Onarım sırasında yapının kesinlikle deprem dayanımının öncesine göre daha sağlam bir duruma getirilmesi,
- e)Yapının simetrik olmaması ya da tek katlı bir yapının iki katlı bir yapıya bağlı olması halinde yapının iki ayrı bölüme ayrılarak daha basit iki ayrı yapıya dönüştürülmesi.
- f)Yapıda iç ve dış duvarların kesme ve düşey gerilme taşıma güçlerinin artırılması [28].

8.3 Kullanılan Yöntemler

Yığma yapılar, gevrek yapılar olmaları ve özellikle depremlerde büyük yatay kuvvetlerle zorlanmaları sonucu onarıma gereksinim duyarlar. Onarım yapılabilmek için duvarların düşeyden ayrılmamış ve düşey yüklerden dolayı duvarlarda şişme ve yükseklik azalması olmaması gerekmektedir. Diğer bir deyişle onarılabilecek bir duvarın hasar öncesi boyutları ile hasar sonrası boyutları arasında gözle fark edilebilecek bir değişme olmamalıdır. Düşeyden sapmış (1/100 den çok) ezilmiş ve şişmiş duvarların taşıdığı yapı bölümü askıya alınıp duvarın yeniden örülmesi de düşünülebilir. Bu uygulama yapıda bu düzeyde hasarlı az sayıda duvar varsa yapılabilir. Bütün zemin kat duvarları ezilmiş ve düşeyden uzaklaşmış bir yapının tümünü askıya almak gibi bir onarım ekonomik olmayacağı gibi yapının güvenliğini de garanti altına almayabilir. Yapıların hangi koşullarda ve hangi hasar düzeyinde onarılabileceği bir ölçüde, mühendisin deneyimi, yapının ekonomik değeri, onarımın bedeli gibi faktörlere bağlıdır. Onarıma karar vermek ve onarım yöntemlerini seçmek oldukça güçtür [22].

Yapıdaki hasar türüne göre farklılık göstermekle birlikte tarihi yığma yapılarda uygulanan onarım ve güçlendirme yöntemlerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- Yapı zemininin güçlendirilmesi sonucu zeminden kaynaklanan hasarların önlenmesi,
- Yapı temellerinin takviye edilmesi sonucu yapı yüklerinin güvenli olarak zemine aktarılması.
- Duvarın hasar gören kısmının sökülüp, tekrar örülmesi ile yapılan onarım,
- Duvarlarda çelik hasır ile tamir harcı veya püskürtme beton uygulanması sonucu etkin duvar alanlarının artırılarak kesme dayanımının artırılması,
- Taşıyıcı duvarlarda bazı kapı ve pencere boşluklarının küçültülmesi veya tamamen kapatılması sonucu etkin duvar alanlarının artırılması ve kesme dayanımının artırılması,
- Yığma yapıyı oluşturan malzemelerin sağlamlaştırılması, bazı elemanların yenileriyle değiştirilmesi,
- Bağlayıcı olarak kullanılan harcın dayanımının artırılması,

- Duvar birleşim bölgelerinin çelik levhalarla sarılması, tuğla veya taş ile örülmesi veya lifli polimer ile onarımı ve güçlendirilmesi,
- Duvar köşelerinde betonarme kolonlar oluşturulması,
- Duvarlarda payandaların oluşturulması sonucu yatay etkilere karşı yapı dayanımının artırılması,
- Düşey taşıyıcı elemanlarda gergi uygulanması sonucu elamanların yatayda açılmalarının önlenmesi,
- Düşey taşıyıcı elamanların çelik çemberlerle sarılması,
- Yapı temellerinde uygulanan sismik yalıtım ile yapıya etki eden deprem yüklerinin azaltılması,
- Yapıların bir bütün olarak askıya alınması veya desteklenmesi,
- Geçici takviyeler yapılması.

8.3.1 Yapı zemininin güçlendirilmesi

8.3.1.1 Enjeksiyon yöntemi

Bu yöntem zeminlerin geçirirliğinin azaltılması ve kayma mukavemetinin artırılması esasına dayanır. Enjeksiyon, kumlu çakıllı zeminleri ya da boşluklu ve çatlaklı kayaları doldurup, mühendislik özelliklerini değiştirmek ve sağlamlaştırmak için yeraltına çeşitli maddeleri basınçla vermektir. Bu iyileştirme zeminin gerilme-deformasyon ve dayanım gibi mekanik özelliklerinin, geçirirlilik gibi hidrojeolojik özelliklerinin değiştirilmesiyle uygulanır.

Enjeksiyonlarda genellikle kullanılan maddeler:

- Su içinde erimeyen, asılı kalan, süspansiyon maddeleri (kireç, kil, çimento, uçucu kül)
- Su içine katılan yağlı sütsü emilsüyon maddeleri (bitüm vb.)
- Su içinde önce eriyen ve enjeksiyondan sonra kristalleşen, sertleşen kimyasal maddeler [29].

Dört çeşit enjeksiyon yöntemi vardır.

Hydrofracture enjeksiyonu

Çimento esaslı harçla, 10 kg/cm² kadar bir basınçla zemin parçalanarak yapılır. Zemin içindeki boşluklar doldurulur.

Sıkılama enjeksiyonu

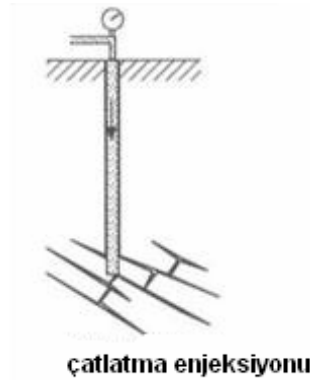
Gevşek zeminleri sıkılaştırmak ve birim hacim ağırlığını artırmak için zemin - çimento harcının 35 kg / cm² lik bir basınçla zemine basılması ile yapılır.

Geçirimsizlik enjeksiyonu

Zeminin hacmi ve yapısı bozulmadan boşluklar doldurularak yapılır. Kullanılan enjeksiyon harcı zemin tane çapına ve permeabilitesine bağlı olarak silikat veya reçine esaslı olarak seçilir.

Çatlatma enjeksiyonu

Diğer enjeksiyon yöntemlerine göre daha yenidir. Zemin kontrollü bir şekilde, kararlı fakat düşük vizkoziteli çimento enjeksiyonu ile yüksek basınçlarda çatlatılır. Bu enjeksiyon yöntemi ile düşük geçirimliliğe sahip ince daneli zeminlerin iyileştirilmesi sağlanmaktadır. Çimento şerbeti başlangıçta yüksek basınçlarda enjekte edilmekte ve zeminin çatlamasıyla beraber oluşan çatlaklar çimento ile doldurulmaktadır. Enjeksiyon sonunda zemin içinde ağaç dallarına benzer bir şekilde sertleşmiş çimento tabakası oluşmaktadır. (Şekil 8.1)



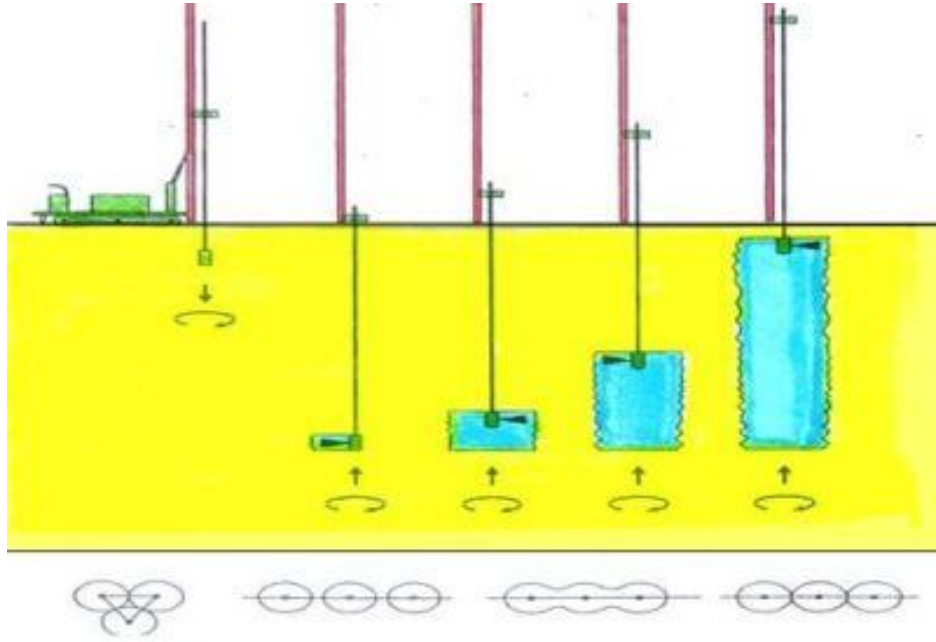
Şekil 8.1 : Çatlatma enjeksiyonu [Url-3].

8.3.1.2 Jet-Grout yöntemi

Jetgrout yönteminde, belirli bir derinliğe kadar su kullanılarak delgi yapılması, delginin sona erdirilmesinin ardından yüksek basınç altında çimento şerbetinin zeminin boşluklarını doldurup ve sıkıştırılması suretiyle bir kolon elde edilir. Yüksek basınç, sevk edilen enjeksiyonun (grout) nozzle'lerden geçerken yüksek bir kinetik

enerji kazanmasını sağlar. Su-çimento karışımının hızı 250m/sn değerlerine ulaşarak, enjeksiyon zemini yırtarak zeminle birleşir ve çimentolu zemin yapısı -soilcrete- oluşur.

Jet grout' un özelliklerini belirleyen parametreler; zemin cinsi, jet enjeksiyon tiji içerisindeki akışkan basıncı, debisi (nozzle çapı), enjeksiyon şerbetinin bileşimi, jet enjeksiyon tijinin çekme hızıdır. (Şekil 8.2)



Şekil 8.2 : Jet-grout yöntemi [Url-2].

8.3.1.3 Drenaj yöntemi

Tarihi yığma yapıların zeminlerinde karşılaşılan en büyük sorunlardan biri yeraltı su seviyesindeki hareketlerdir. Yapı temellerinin zarar görmemesi için yeraltı suyunun mümkün olduğunca temellerden uzaklaştırılması gerekir. Bazı tarihi yapılarda temel çevresinde bırakılan galerilerle suyun sebep olacağı hasarlardan korunmaya çalışılmıştır. Drenaj su sarnıçları ile yapılabildiği gibi deşarjı kolaylaştıracak dolgu malzemeleri ile de yapılabilir. Drenajdan maksat yer altı suyunun temel alt katmanlarından uzak tutulmasıdır [10].

8.3.2 Yapı temellerinin güçlendirilmesi

Eski ve tarihi yapıların yenilenmesi veya bunlara yeni bir işlev kazandırılması için ön görülen değişiklikler, yapı yüklerinin artmasına neden olabilir. Bu durumda temellerin yeni yükleri taşıyabilecek şekilde takviyesi edilmesi gerekmektedir [30].

Yapı temellerinin takviye edilmesinde öncelikle temelin iyileştirilmesini gerektiren nedenler ortaya konulmalı ardından yeterli sayıda deney ve araştırma yapılarak yapı zeminin özellikleri belirlenmelidir. Yapı zeminine uygun bir takviye yöntemi seçilmelidir.

Tarihi yığma yapıların amaçları dışında kullanılması ya da mevcut yapıya eklentiler yapılması durumunda ilave yükler oluşmakta yapı temellerinin bu oluşan yükleri emniyetle taşıyabilmeleri için boyutlarının artırılması ya da yeni temeller yapılması gerekmektedir.

Yapı temellerinde karşılaşılan en büyük problemlerden biri de yapı çevresinde yeterince önlem alınmadan yapılan kazı çalışmalarıdır. Bu durumda yapı temellerinde farklı oturmalar ve kaymalar meydana gelmekte ve yapı temellerin iyileştirilmesi gerekmektedir.

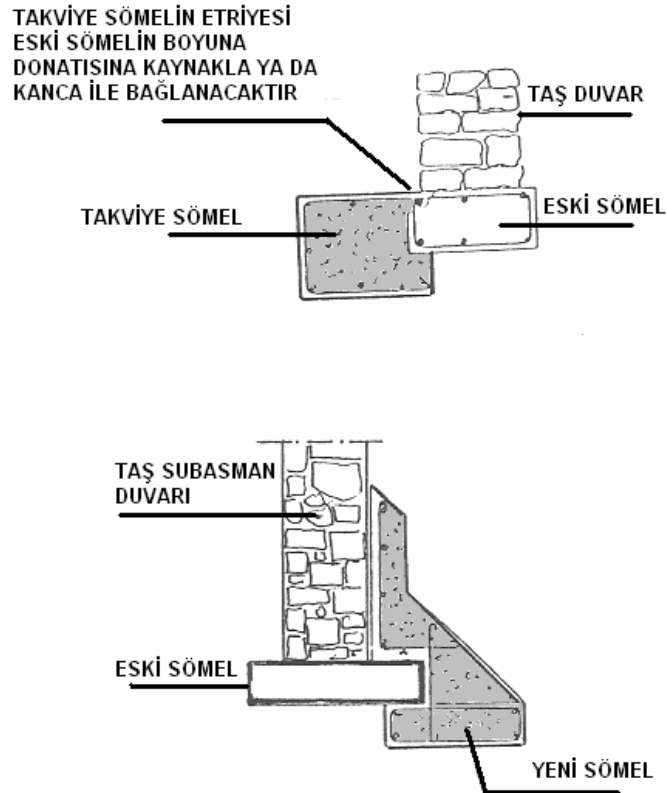
Temellerin yük taşıma gücünü arttırmak ya da zemin gerilmelerini azaltmak amacı ile özel beton kullanılarak temel kesitleri büyütülebilir. Bu yöntem derin olmayan basit temel tiplerinde kolaylıkla uygulanabilir. Uygulama sırasında kalın ve büyük duvarlarda temel kesidinin, yükleri homojen aktaracak şekilde duvar en kesidine göre simetrik olarak duvarın her iki tarafından da belirli ölçülerde genişletilmesine dikkat edilmelidir. Bu şekilde yapıya etkiyen yüklerin homojen bir şekilde zemine iletilmesi sağlanır. Yapının taşıdığı yükler göz önünde bulundurularak yapı için belirlenmiş güvenlik düzeyi altında proje çalışmaları yapılarak temellere yapılacak ekler boyutlandırılmalıdır.

Zeminde sıvılaşma etkisi de aşırı oturmalara neden olur. Bu nedenle temellere herhangi bir müdahalede bulunmadan önce kapsamlı zemin incelemeleri yapılmalıdır. Yer altı su seviyesinin kontrollü bir şekilde uzaklaştırılması, etkin bir drenaj sistemi ile zeminde fazla suyun tahliye edilmesi, temellerde yaraltı suyundan kaynaklanan etkileri kaldıracaktır. Ancak bu işlemler yapılırken binanın farklı oturmalar yapmamasına dikkat edilmelidir.

Sürekli bir smelin takviyesi için temelin altı anolar halinde kazılır. Desteksiz bırakılabilecek uzunluk, usulüne uygun inşa edilmiş tuğla duvarlarda 1.50~2.00 m.yi geçmemelidir. Herhangi bir aşamada desteksiz kalacak uzunluk,yapı uzunluğunun dörtte birinden fazla olmamalıdır. Betonlama, mevcut temelin en az 5-10 cm. altına gelene kadar yapılmalıdır. Mevcut temelin altına inen kuşak perdesinin mevcut temelle bağlantısı epoksili ankrajlarla yapılmalıdır [31].

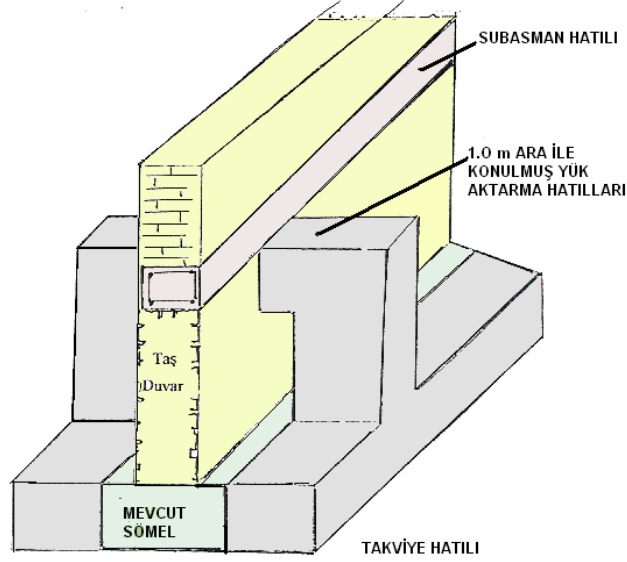
Yığma kargir yapılarda uygulanacak yöntemler; en fazla 4~5 metre derinlikte ve yer altı suyu seviyesinin daha düşük olduğu durumlarda yapının altına planlı bir şekilde kazılarak girilip yeni temel ve/veya değişiklikleri yapmak şeklindedir. Duvar altlarına bir işçinin çalışabileceği dar çukurlar ile ano ano çalışılarak ve 2~3 ano atlayarak yapılır (DIN 4123). Duvar ve smeler önce geçici bir desteğe alınır ve daha sonra yeni temel sistemi inşa edilir. Yapının ve takviyenin nedenlerine göre çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu gruba yatayda delerek veya boru sürerek elde edilen yatay ızgara takviye tipi de dahil edilebilir [31].

Şekil 8.3’de; temelerde eski ve yeni bölümlerin birlikte çalışmasını sağlayabilecek ayrıntılar verilmektedir [7].

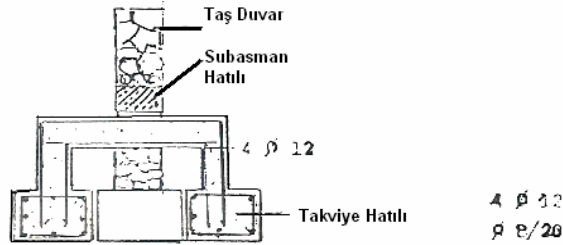


Şekil 8.3 : Temelerin taşıma gücünün artırılmasına ilişkin detaylar [7].

Şekil 8.4’de, tuğla yığma yapıların temel duvarında duvar yükünün, eklenen yeni temellere kısmen de olsa aktarabileceği bir başka güçlendirme ayrıntısı verilmektedir. Subasman duvarının altındaki hatılın hemen altına 1.00 m ara ile konulacak duvara dik yöndeki hatılların duvar yükünün eski temelin her iki yanına yapılmış yeni sömellere aktarılması beklenmektedir [2].



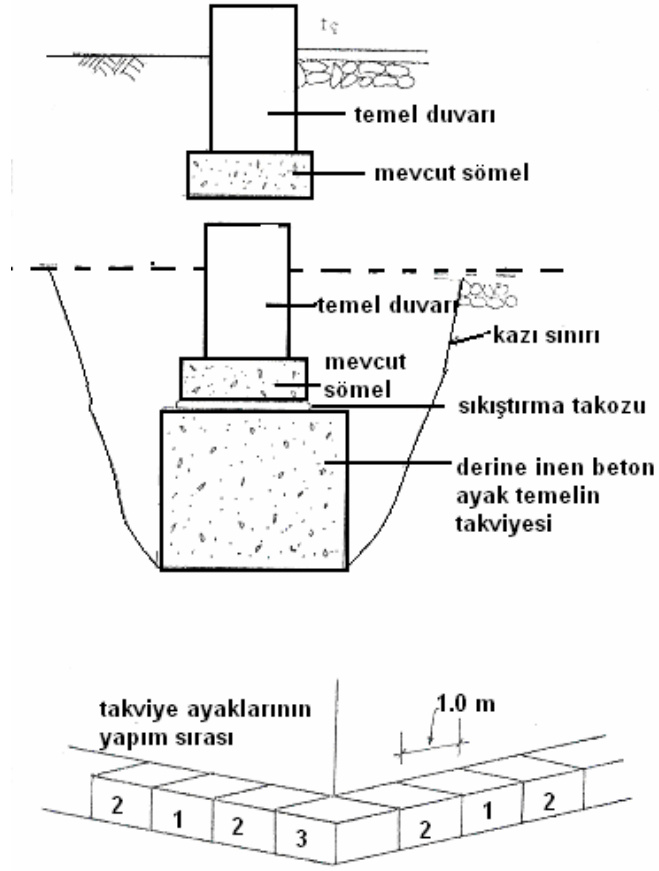
Şekil 8.4 : Duvarların yükünün yeni takviye sömellere aktarılması-1 [7].



Şekil 8.5 : Duvarların yükünün yeni takviye sömellere aktarılması-2 [7].

Temel güçlendirilmesinde kullanılan bir başka yöntem, eski temelin altına temelin yükünü daha derindeki daha sıkı zemine aktaran yeni ayaklar yapılmasıdır. (Şekil 8.6). Yapının temelleri bölüm bölüm açılarak sağlam zemine kadar uzanan bir çukur açılmakta, buraya beton doldurulmakta, yeni beton ile eski sömelin arasındaki küçük boşluk ise ahşap takozlarla sıkılarak eski temelden yeni beton ayağa yük aktarılması sağlanmaktadır. Betonlanacak bölümlerin en çok 1.00 metrelik aralarla, atlaya atlaya yapılması, aradaki kısmın iki yanındaki beton sertleştikten sonra yapılması gerekir. Böylece yapının altında büyük kütlesi olan ve derinlere inen geniş bir beton ayak oluşturulmaktadır. Çoğu zaman bu uygulamanın, yapının oturan bölümünün ya da köşesinin altında yapılması yeterli olmaktadır [7].

Şekil 8.7’de ise betonarme sistemle yapılmış temel takviyesi örnekleri görülmektedir.



Şekil 8.6 : Yığma yapı temellerinin derine inen beton ayaklarla güçlendirilmesi [2].



Şekil 8.7 : Betonarme sistem ile temel takviyesi(Akaretler sıra evleri).

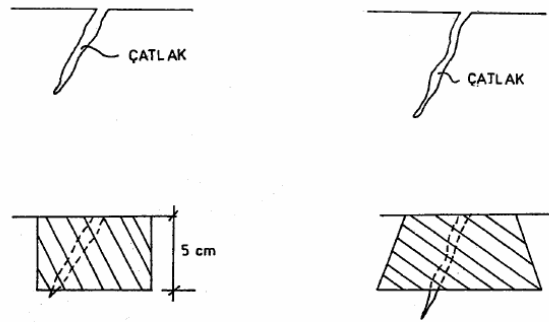
8.3.3 Üst yapıda onarım ve güçlendirme

8.3.3.1 Taşıyıcı duvarların güçlendirilmesi

Tarihi yığma yapılarda taşıyıcı duvarlar basınç ve kayma etkisinde kalmaktadır bu nedenle duvarlarda oluşan basınç ve kayma gerilmelerinin duvar emniyet gerilmelerini aşmaması gerekir. Duvarlarda oluşan bu gerilmeler emniyet gerilmelerini aşıyorsa bu durumda duvarın en kesit alanı artırılır. Duvarı en kesit alanı mevcut duvara benzer özellikte ek duvar oluşturularak, püskürtme beton uygulanarak ya da yeni malzemeler kullanılarak artırılabilir. Duvarların en kesit alanları artırılırken kullanılacak malzemelerin mevcut duvarla uyumlu olmasına ve mevcut duvara ankrajının iyi yapılmasına özen gösterilmelidir.

Duvar çatlakların onarılması

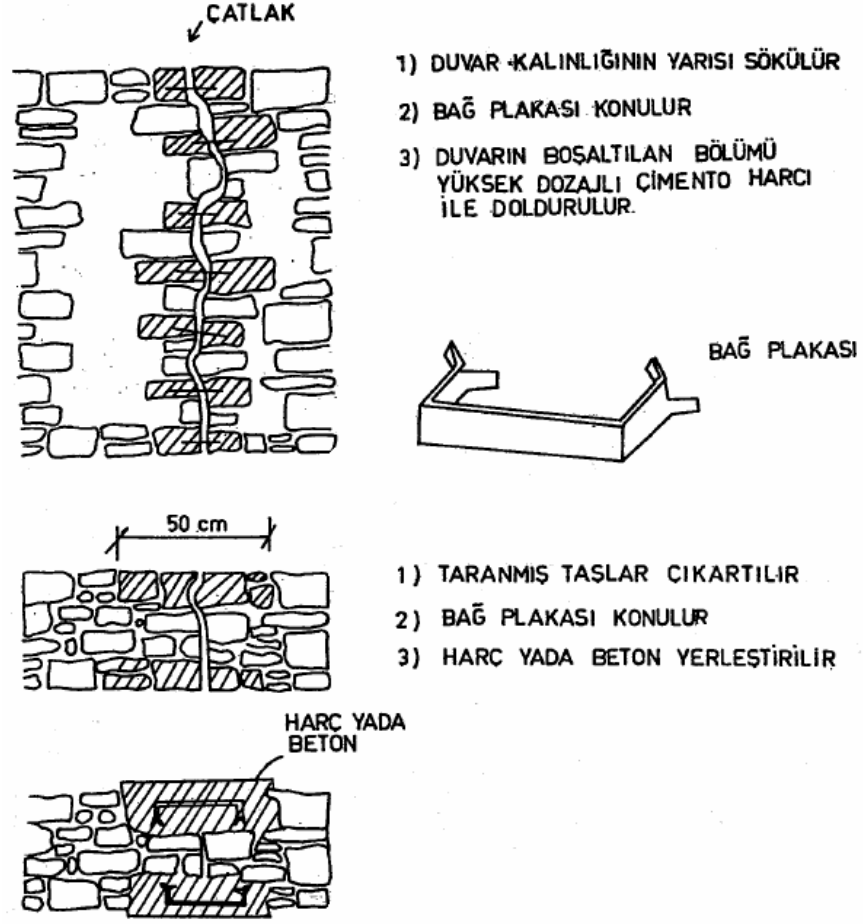
Fazla derine inmeyen küçük çatlaklar çevrelerinde 5-10cm genişletilerek yeniden yüksek dozlu çimento harcı ile doldurulabilirler [28]. (Şekil 8.8)



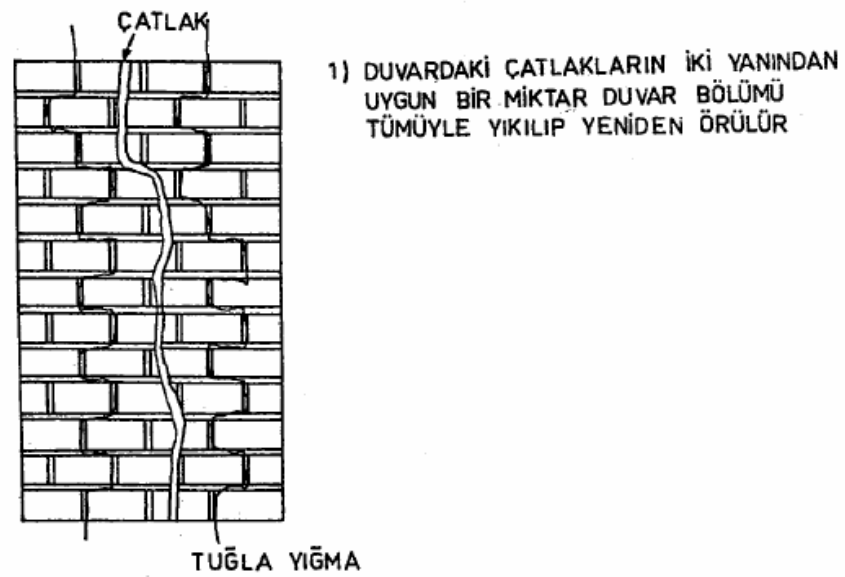
Şekil 8.8 : Çatlakların doldurulması [28].

Tuğla ve taş yığma yapılardaki duvarın her iki tarafında da sürekli olan küçük çatlaklar Şekil 8.9 ve Şekil 8.10’da gösterilen yöntemlerle onarılabilir. Taş duvarda çatlakların çevresindeki yaklaşık 50-60 cm’ lik bir bölgede sıvalar sökülür, çatlağın iki yanında yer alan taşlardan bazıları çıkarılır, buralara özel hazırlanmış bağ plakaları konulur, bu plakalar çatlağın iki yanını tutan dikişler olarak nitelenebilir, duvarda boşaltılan bölümler yüksek dozlu çimento harcı ile doldurulur. Eğer çatlak bir tuğla duvarda ise, duvarda çatlağın her iki yanında yer alan en az bir tuğla boyundaki bölüm sökülür, burası yeniden kuvvetli bir harç ile tekrar örülebilir. Bu işlemin yapılabilmesi için çatlağın düşey ya da düşeye yakın bir doğrultuda olması gerekir. Eğer duvarda bir çapraz ya da eğik çekme çatlağı varsa o zaman daha değişik bir onarım yönteminin uygulanması gerekir. Şekil 8.11’de duvardaki çapraz

çatlakları kesen ve duvara kısmen gömülü olan betonarme takviye bantlarının ayrıntıları verilmektedir [28].



Şekil 8.9 : Taş yığma yapılarda duvarlardaki düşey çatlakların onarımı [28].

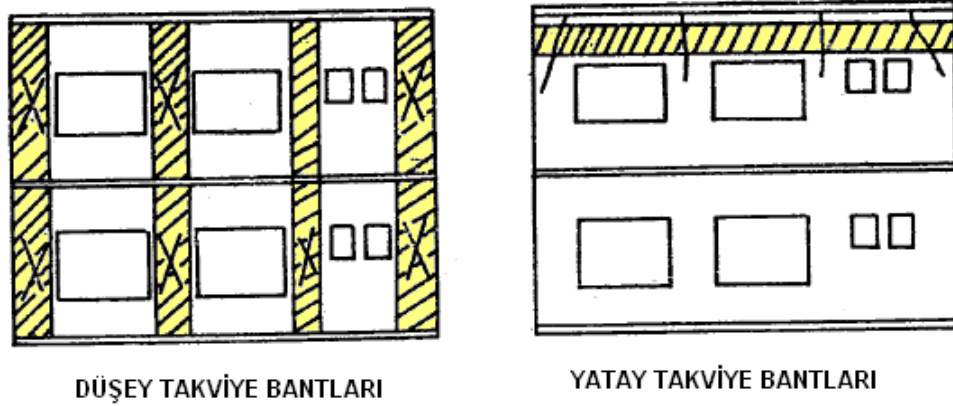


Şekil 8.10 : Duvarlardaki düşey çatlakların dikişi [28].

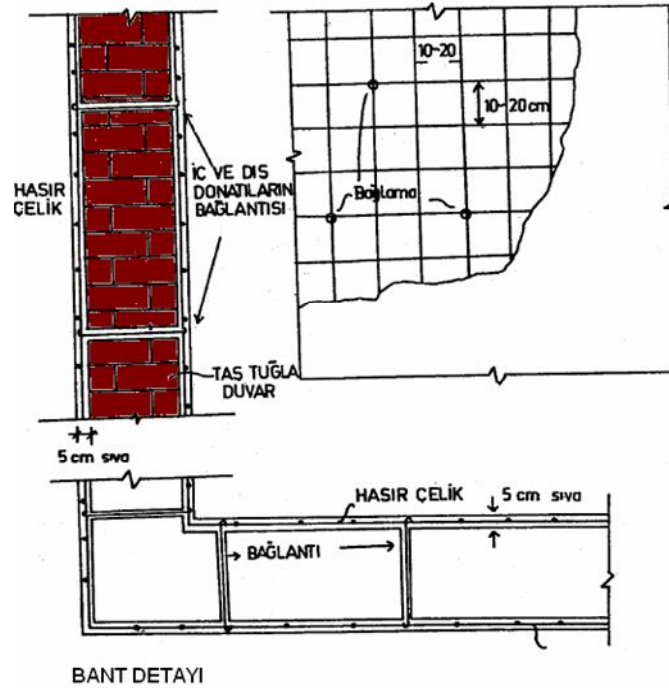
takviye bantları eklenmesi ya da duvarın tümüyle içinden ve dışından üzerinin beton ile örtülü bir donatı hasırı ile kaplanmasıdır [28].

Bu onarım yöntemi önce çatlamış duvarın iç ve dış sıvalarının tümüyle kaldırılmasıyla başlar. Daha sonra duvarın iç ve dış yüzüne hasır çelik, kümes teli, rabitz teli yerleştirilir. Sağlayacakları güç artışı değişik olan bu metal malzemeden hangisinin kullanılacağı istenen güçlendirme derecesine ve duvardaki hasar durumuna bağlıdır. Duvarda belli aralıklarla delikler açılarak iç ve dış yüzeydeki donatının birbirine bağlanması gerekir [28].

Duvara konulan çelik malzemenin duvarın alt ve üst başındaki hatılların donatılarına kaynakla ya da uçlarından kanca yapılarak tutturulması yararlıdır. Duvarın yüzüne konulan hasır çelik, rabitz teli vb'nin üzerine 'Gunit, Shotcrete' vb denilen yöntemle yüksek basınç altında çimento-kum harcı püskürtülmelidir. Bu yöntem ile duvarın yüzeyi en az 5 cm kalınlıkta bir beton sıva ile kaplanmış olmalıdır. Harcın ya da betonun duvara yapışması için beton sıva uygulanmadan önce duvarın basınçlı su ile ıslatılmış olması yararlıdır. Bu işlem sonucu tuğla ya da taşlar arasındaki derzlerin ve diğer paralanmış harcın ve sıvanın bir bölümü döküleceğinden yeniden betonlama sırasında beton bu derz boşluklarına da girecek ve eski duvar ile yeni sıvanın kaynaşması sağlanacaktır. Bu yöntem ile duvarın tümü kaplanacağı gibi belli yerlerinde, özellikle çatlakların olduğu yerlerde, yatay, düşey ya da diyagonal bantlar şeklinde de olabilir [28]. (Şekil 8.13, 8.14)



Şekil 8.13 : Yatay ve düşey betonarme takviye bantları [28].



Şekil 8.14 : Betonarme takviye bandı detayı [28].

Püskürtme beton uygulaması

Yığma kargir yapılarda, çok geniş bir kullanım alanına sahip olan püskürtme beton uygulaması, özellikle kalıp yapmak zor olduğunda veya ekonomik olmadığında, betonun ince bir tabaka olarak uygulanması gerektiğinde yapılır. Püskürtme beton, basınçlı hava ile uygulanan betondur. (Şekil 8.15). İki şekilde uygulanabilir [31].



Şekil 8.15 : Püskürtme beton uygulaması örneği(Akaretler sıra evleri).

Kuru karışım uygulanmasında, püskürtme beton için makinanın karışım odasında, çimento ve agrega uygun ölçülerde bir araya getirilip karıştırıldıktan sonra, seyrek olarak ve basınçlı hava yardımıyla bir hortum içinde püskürtme ucuna iletilir. Püskürtme ucunda (meme ve tabanca) kuru karışıma basınçlı su eklenerek elde

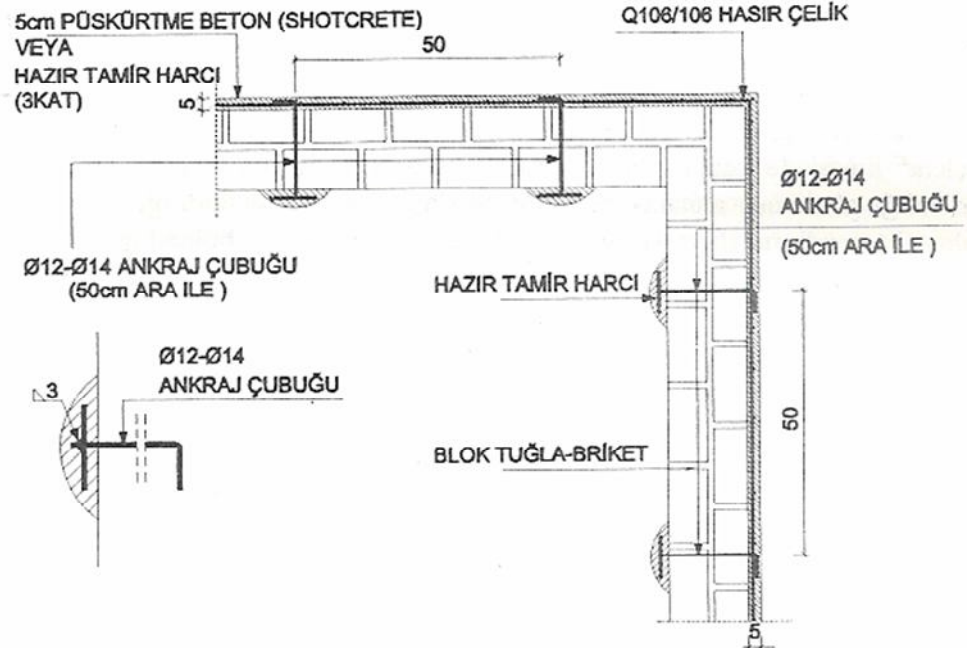
edilen beton, basınçlı hava ile betonlanacak yüzeye yüksek hızla püskürtülür. Bu uygulamada su miktarı istenilen karışımın elde edilmesi için ayarlanabilir ve gerekli olduğunda suya katkı maddeleri eklenebilir [31].

Diğer bir uygulamada ise çimento, agrega ve su beraber karıştırılır. Elde edilen ıslak karışım hortumla ve basınçlı hava ile püskürtme ucuna iletilir [31].

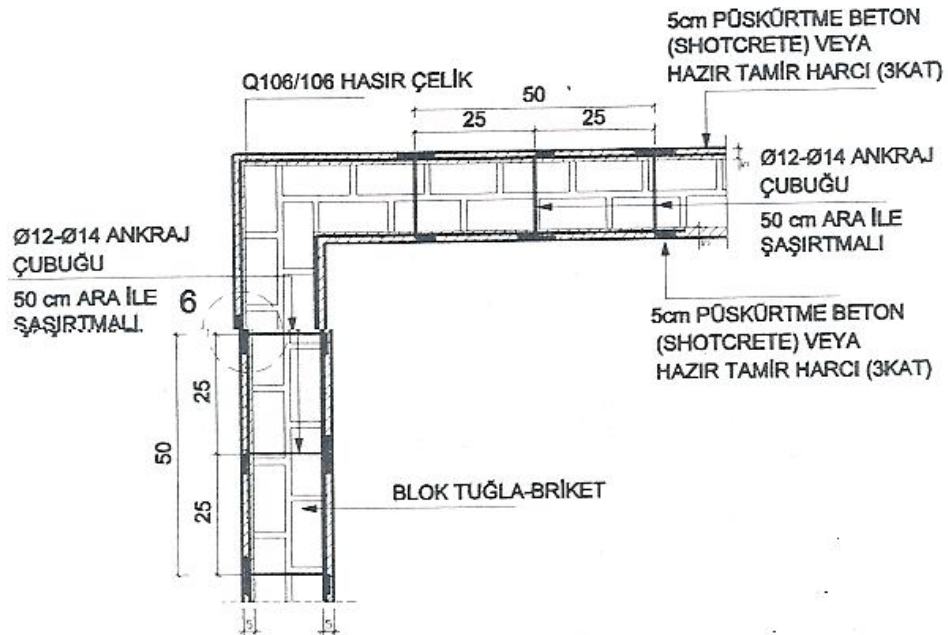
Duvarın güçlendirilmesinde bir yöntem; hasır çelik donatı tek yönlü ya da iki yönlü olarak taşıyıcı duvara uygulanır, üstten Ø 18, Ø 20 gibi çelik ankrajlarla tavan döşemesine tespit edilir. Bu işlemlere binada bir simetri dahilinde başlanır, daha sonra diğer bölümlere geçilir. İç duvar yüzlerinde sıva temizlenip, çimento şerbeti püskürtülerek yüzey hazırlanır. Püskürtme beton uygulanırken yeterli uzaklık bırakmak zor olduğundan bina içlerinde 450 dozlu sıva uygulanabilir. Taşıyıcı duvarların yeniden örülmesi gerektiğinde, kalın duvarlar geçici iksaya alınmadan mevcut duvarlar yıkılmamalıdır. Projesine uygun olarak takviye yapılacak bina köşe bölgeleri işaretlenir, bu bölgeler içindeki sıvalar kaldırılır, derz aralıkları kısmen açılır, yüzey yabancı maddelerden olabildiğince temizlendikten sonra çimento şerbeti püskürtülerek yüzey hazırlığı yapıp gerekli ankraj delikleri açılır. Ankraj delikleri toz ve nemden arındırıldıktan sonra, ankraj çubukları projesine uygun olarak dolu tuğla veya taş duvarlarda epoksi ile yerleştirilir. Duvar yüzeyine ankrajlar (örneğin metrekarede 4 adet) yerleştirilerek hasır çelik monte edilir. Öngörülen yerlere özenle yerleştirilen donatılar aderansı zayıflatacak her türlü kirden arındırılmalı ve temiz olmalıdır. Hasır çeliklerde bindirmeler bir veya bir buçuk göz olacak şekilde yapılır. Hasır donatının mevcut duvarlardan belirli bir uzaklıkta tutulabilmesi için mesafe ayarlayıcılar kullanılmalıdır. Hasır çelikler gevşek olmadan sıkı bir şekilde tespit edilmelidir. Bu işlemler bittikten sonra püskürtme beton uygulaması yapılır. Püskürtme tabancası yüzeye mümkün olduğunca dik ve 1,00 ve 1,50 m uzaklıkta tutulmalıdır. Uzak tutulan tabanca, donatının arkasını yeterli betonla dolduramayacağı için, yüzeyde kesitler meydana getirebilir ve ileride çatlak oluşumuna sebep olabilir. Yakın tutulan tabancada ise yüzeye yapışma tam olarak sağlanamaz ve beton kaybı meydana gelir. Bu uygulamada yüzeye çarparak sıçrayan beton tekrar kullanılmamalıdır. Püskürtme betonun üzerine yaklaşık 2,5 cm kalınlığında sıva yapılarak yüzey düzgünlüğü sağlanmalıdır. Püskürtme beton, tabakalar halinde uygulanmalıdır. Alt tabakanın tamamen donmasını beklemeden ikinci tabakaya geçilmelidir. Yeni tabaka püskürtülmeden önce alt tabakadaki

şüpheli yerler kontrol edilerek iyi kaynamamış kısımlar uzaklaştırılıp yüzey nemlendirilmelidir. Püskürtme beton uygulamalarının çok dikkatli yapılması durumunda dahi, kapı ve pencere doğramaları zarar görebilir. Bu nedenle doğramaların zarar görmemesi için önlem alınmalıdır [31].

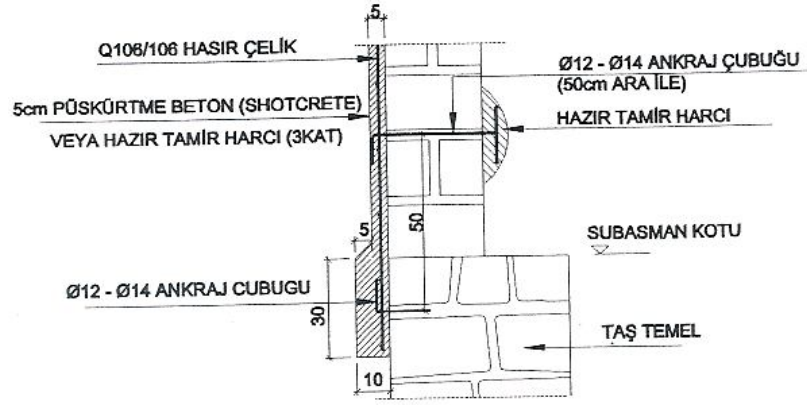
Şekil 8.16, 8.17 ve 8.18’de püskürtme beton uygulamasına ait detaylar görülmektedir.



Şekil 8.16 : Tek taraflı hasır çelik ve püskürtme beton uygulaması [32].



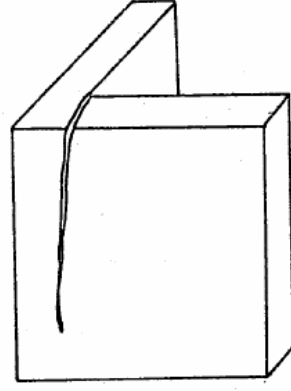
Şekil 8.17 : İki taraflı hasır çelik ve püskürtme beton uygulaması [32].



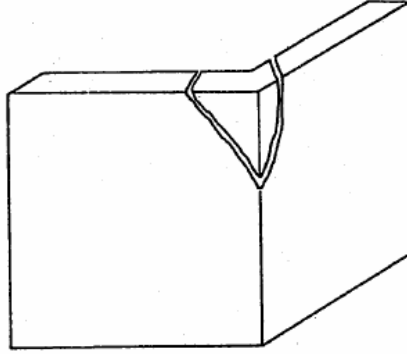
Şekil 8.18 : Hasır çelik ve püskürtme beton uygulamasında temele yapılan bağlantı [32].

Duvar birleşimlerinin onarım ve güçlendirilmesi

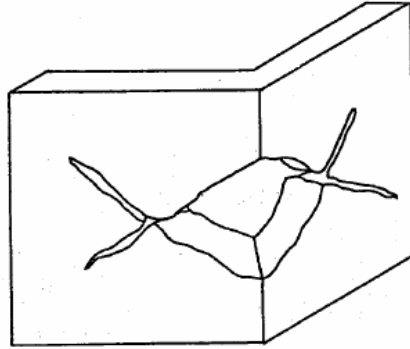
Yığma yapı duvarlarında pek sık rastlanan bir diğer deprem hasarı yapı köşelerinin düşey doğrultuda çatlayarak birbirinden ayrılması, köşenin üst başından bir bölümün parçalanması ya da her iki köşeden gelen çapraz kesme çatlaklarının kesiştiği bölümün tümüyle dökülmesidir. (Şekil 8.19). Bunlardan birincisi duvarların köşede birbirleri ile geçmeli olarak yapılmamış olmasından, ikinci tip hasar yükseklikleri büyük olan duvarların yeterli bir rijitliği olan bir çatı sistemi ile bağlanmamış olmasından, son hasar şekli de kesişen duvarlardaki zorlamanın büyüklüğünden kaynaklanmaktadır. Bu tip hasarların onarımında değişik yöntemler uygulanabilir [28].



a) BİRBİRİNE YETERLİ OLARAK BAĞLANMAMIS YIĞMA DUVAR KÖŞELERİNDE HASAR BİÇİMİ



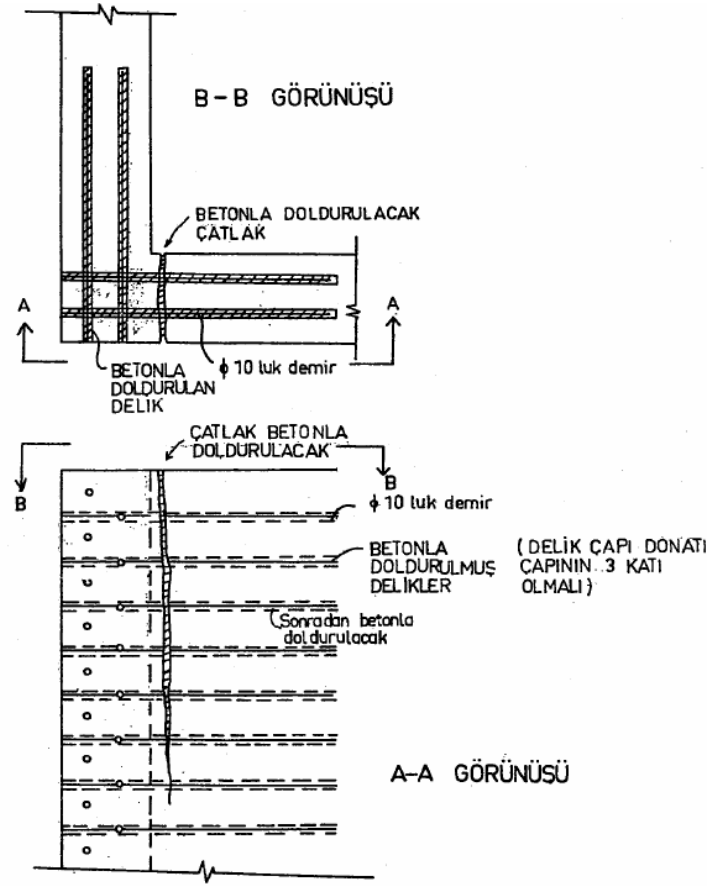
b) YÜKSEK DUVARLARIN YETERSİZ RİJİTLİKTE BİR ÇATI SİSTEMİ İLE BAĞLANMIŞ OLMASI SONUCU OLAN HASAR BİÇİMİ



c) KESİŞEN DUVARLARA DEPREMDE GELEN ZORLAMANIN BÜYÜKLÜĞÜNDEN DOLAYI OLUŞAN HASAR BİÇİMİ

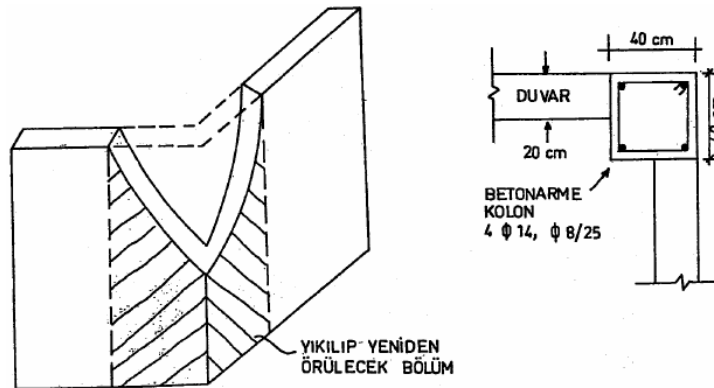
Şekil 8.19 : Yığma yapı köşe hasar biçimleri [28].

Bütün değişik yöntemlerin amacı köşelerde kesişen duvarların birbirine yeniden bağlanmasıdır. Şekil 8.19 a'daki gibi bir köşe hasarında duvarlarda donatıların gireceği delikler açılır buralara her iki duvarı birbirine bağlayıcı kabul edilebilecek donatılar konularak her iki duvar birbirine bir anlamda “dikilmiş” olmaktadır. Bu arada da düşey çatlağın ve donatıların konulduğu deliklerin beton ya da harç ile tam olarak doldurulması uygundur. Bu onarım ile ileride bir başka depremde, birbirinden ayrılmış bir durumda olan köşe duvarlarının, yeniden ayrılması önlenmiş olmaktadır. Şekil 8.20’de bu onarım biçiminin ayrıntısı verilmektedir [28].



Şekil 8.20 : Kagir duvar köşelerinin donatı ile birbirine bağlanması [28].

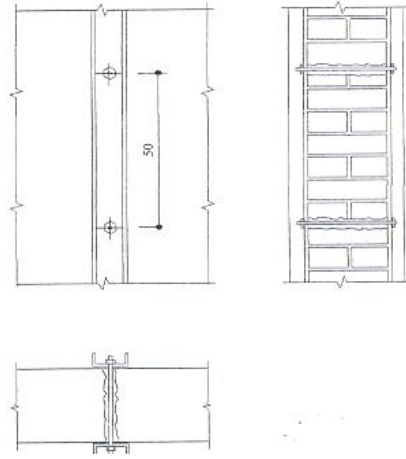
Köşe hasarlarının, özellikle Şekil 8.19 b ve c’de gösterilen biçimlerinin, onarımında, yapının hasarlı köşesi bütünüyle yıkılarak birbirine geçmeli olarak yeniden örülebileceği gibi, buraya bir betonarme kolon da konularak onarım ve takviye yapılabilir. (Şekil 8.21). Bu betonarme kolonun donatısının duvar üst hatlı ve alt kat ya da temel duvarı üst hatlı ile bağlantılı olması gerekir. Kolon duvarın içine gömülü olabileceği gibi köşede dış yapan bir genişlikte de olabilir. Donatısının, minimum betonarme kolon enine ve boyuna donatısı kadar olmasında yarar vardır [28].



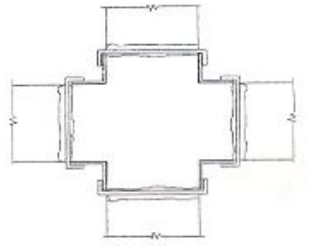
Şekil 8.21 : Yığma yapı köşe hasarı onarımı [28].

Çelik levhalarla duvarların onarımı ve güçlendirilmesi

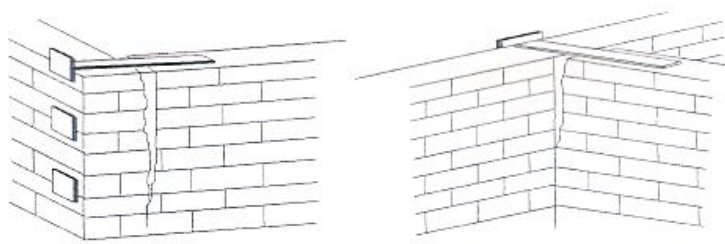
Bu yöntemde duvarlar, çelik levhalarla kuşaklanarak veya duvarın her yüzünde çatıya veya döşeme diyaframlarına monte edilen çelik levhalarla güçlendirilir. (Şekil 8.22, 8.23 ve 8.24)



Şekil 8.22 : Çelik levhalarla duvarların kuşaklanması [7].



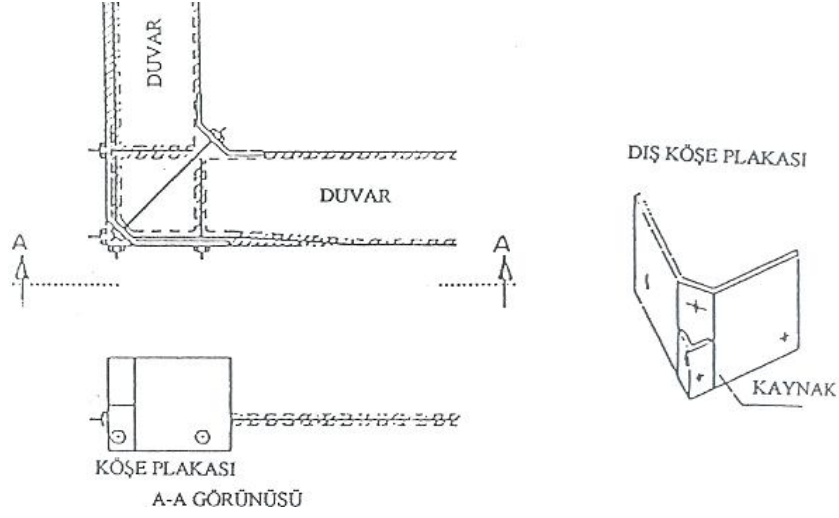
Şekil 8.23 : Çelik levhalarla güçlendirme [7].



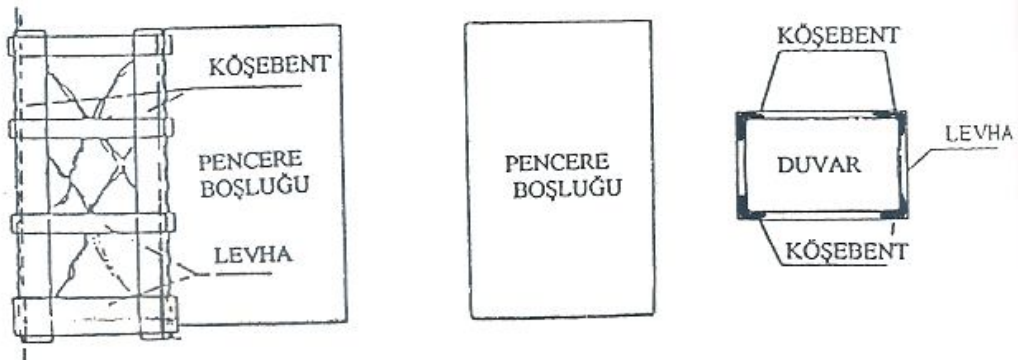
Şekil 8.24 : Çelik levhalarla duvar köşesinin bağlanması [7].

Benzer şekilde, yığma duvarların gergi demirleri ile güçlendirilmesinin etkinliği üzerinde yapılan deneylerde gergi demirlerinin duvarın direncini arttırdığı ve dağılmasını önlediği gözlemlenmiştir. Deneylerden edinilen bir başka sonuç ise, gergi demirinin en etkin olarak konulacağı yerin duvar yüksekliğinin 1/3 aralıklarla bölünerek konulması olduğudur. Böylece eğik çekme çatlakları birkaç adet gergi demiri tarafından kesilerek daha yüksek bir güçlendirme sağlanmaktadır. Gergi

demirleri yapı köşelerine, Şekil 8.25 ve 8.26'da gösterilen biçimdeki levhalarla da ankrajlanabilir [2].

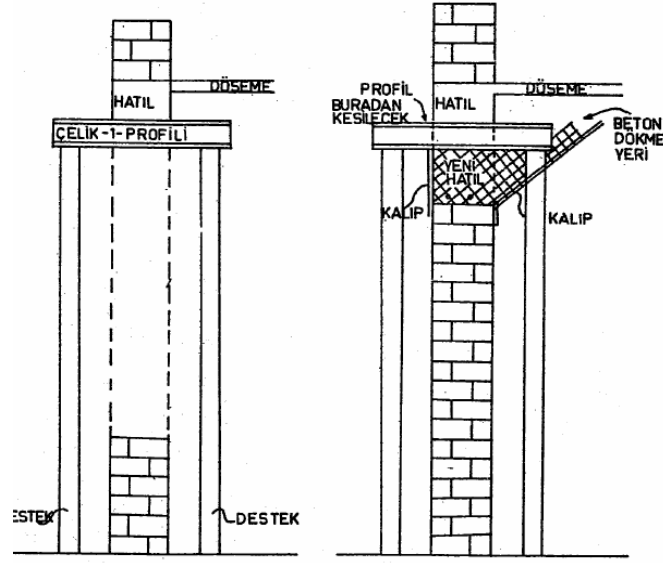


Şekil 8.25 : Gergi demirlerinin yapı köşesine bağlantısı [7].



Şekil 8.26 : Hasarlı duvar bölümünün çelik köşebentlerle çerçeve içine alınması [7].

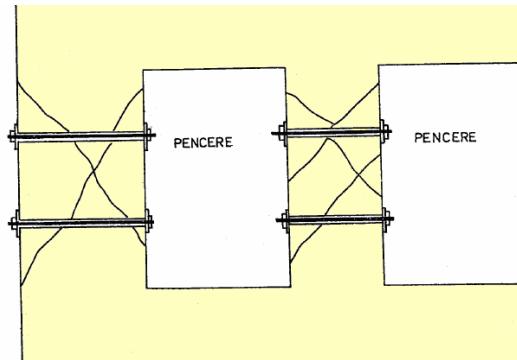
Hasarı çok büyük olan ve tümüyle yeniden örülmesi gereken duvarlar olabilir. Yeniden yapılacak duvara yük aktaran kiriş, döşeme, hatıl vb elemanlar uygun bir yöntemle askıya alınmalıdır. (Şekil 8.27) Duvar sonra yeniden örülür. Ancak eski hatıl ile duvar arasında tam bir kaynaşma sağlanması için duvarın üst başına yeni bir hatıl yapılmalıdır. Bu nedenle eski hatıla 20-25 santim kadar olan bir sırada tuğla örgüsü biter. Şekil 8.27 de gösterildiği gibi kalıp yapılır ve hatıl donatısı konulduktan sonra yandan beton dökülür. Beton prizini aldıktan sonra kalıplar çıkarılır ve ahşap destekler alınır. Duvardan dışarı taşan beton bölüm daha sonra tıraşlanarak düzgün bir duvar cephesi ortaya çıkar. Eski hatılın altına destek olarak konulmuş putrel demirler de uçlarından kesilir [28].



Şekil 8.27 : Yığma yapının hasarlı duvarının askıya alınarak yeniden örülmesi [28].

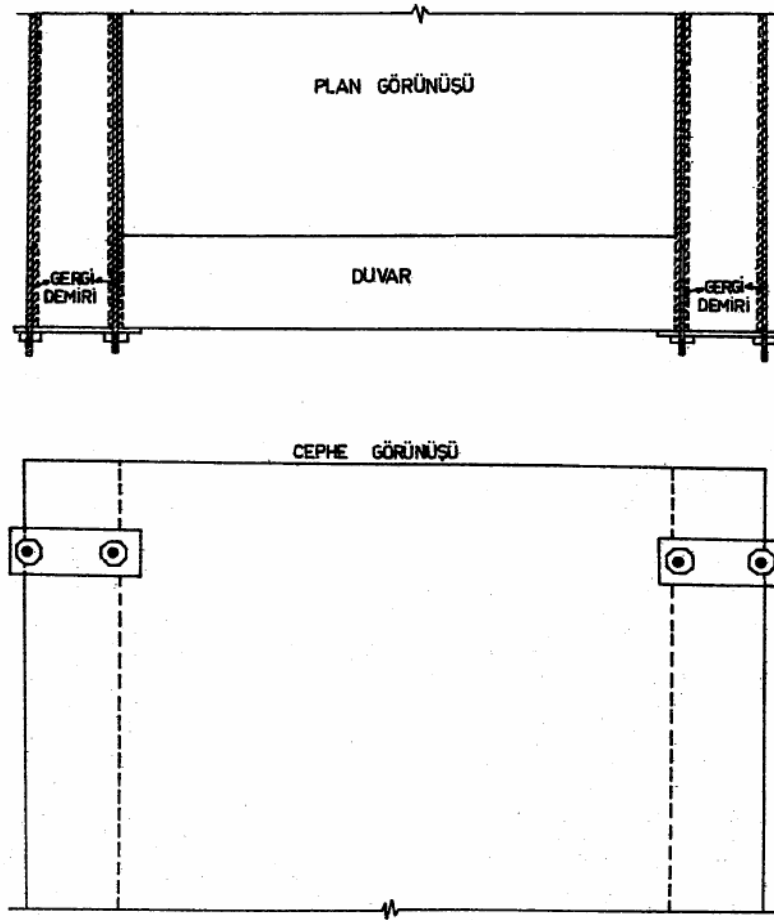
Gerilme verilerek duvarların onarımı ve güçlendirilmesi

Bir diğer duvar güçlendirme yöntemi, yığma yapılarda pencere ve kapı boşlukları arasında oluşan çapraz kesme çatlaklarının duvarda açılacak yatay delikler içine konulacak Ø16'dan küçük olmayan donatılar ve bunların uçlarına konulacak somunlarla sıkılarak öngerilme verilmesi yöntemidir. Böylece duvara bir bütünlük verilerek, donatının sıkılaştırılması ile çatlaklar bir miktar kapatılması sağlanır. (Şekil 8.28). Daha sonra duvardaki çatlağın uygun bir yöntemle doldurulması gerekir. Boşluklar arasındaki çatlamış duvarın onarımı bir başka yöntemle de yapılabilir. Eğer duvarda delik açmak güç ise, duvar çelik korniyerlerden oluşturulacak bir çerçeve içine de alınabilir. Bu uygulama da çatlakların kapatılması mümkün değildir, ancak duvarın düşey yükler altında şişmesi önlenmektedir [28].



Şekil 8.28 : Boşluklar arasında kalan duvarların ön gerilmeli donatılarla akviyesi [28].

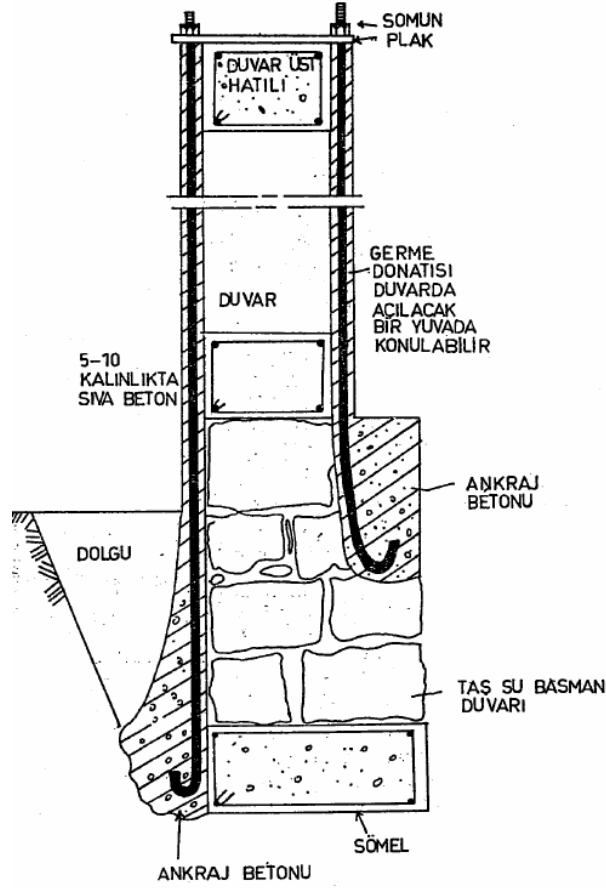
Yığma duvarların takviye ve onarımında kullanılan bir diğer yöntem yapının duvarlarının üst başlarından donatı ile bağlanmasıdır. Gergi demirlerinin uçlarındaki bulonlar mümkün olduğu kadar sıkılarak donatıya bir gerilme verilmektedir. Bu gerilme donatının akma gerilmesinin en çok yarısı kadar olmalıdır. Gergi demiri yerleştirilirken duvarda bu demir için küçük bir yuva açılması ve dik duvarların kesiştiği yerlerin delinmesi gerekmektedir. Duvara konulan bu gergi demirlerinin bir bölümünü taşıyacağı varsayılmaktadır. Özellikle eğik çekme gerilmeleri altında duvar çatladıktan sonra duvarın daha fazla deformasyon yapması bu yüksek dayanımlı gergi donatıları tarafından alınır. Bir bakıma duvara ön gerilme verilmiş olmaktadır [28]. (Şekil 8.29).



Şekil 8.29 : Kargir duvarlara gerilme vererek takviye [28].

Kargir duvarlara yatay gerilme verilebileceği gibi düşey gerilme de verilebilir. (Şekil 8.30) Bu iş için duvarın temelinde donatının ankrajı için yeterli derinlik ve genişlikte çukurlar açılabilir. Bunların içine donatı konulduktan sonra betonlanır, daha sonra bu donatılar duvarın üst başındaki hatılın üstüne konulacak bir ankraj plağının yardımı

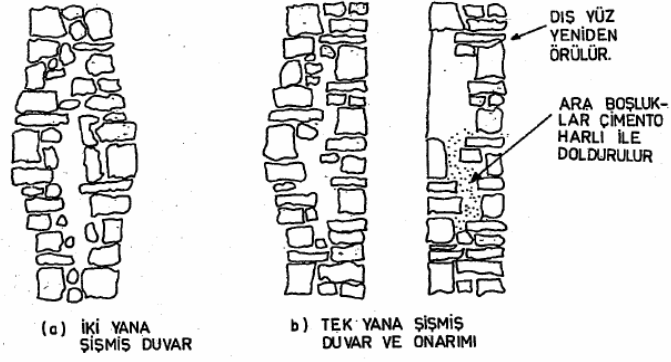
ile temelden gelen donatıların ucunda açılacak dişler ve somun ile duvara düşey gerilme verilebilir. Düşey gerilme ile duvarda açılmış eğik çekme çatlakları kapatılabilir, ya da bir deprem sırasında bu tip çatlakların büyümesi önlenir. Gerilme, ankraj betonunun tam olarak sertleşmesinden sonra verilmelidir. Donatının ankraj betonu için de en az 40 Ø kadar gömülmüş olması gerekir [28].



Şekil 8.30 : Kagir duvarlara düşey ön gerilme verilerek takviye [28].

Duvarlarda genişleme hasarlarının onarımı ve güçlendirilmesi

Duvardaki düşey yüklerden oluşan genişleme, diğer bir deyişle 'şişme' bir yana ya da iki yana doğru olabilir. Eğer her iki yana doğru bir şişme varsa, mevcut duvarın iç ya da dış taraftaki yanı kalıp olarak kullanılarak yıkılan yüz tekrar örülür. Bu arada bağlayıcı taşlar konulmalı ve iç ve dış duvar arasında yüksek çimento dozlu harç ya da beton doldurulmalıdır. Bu işlemler yapılırken bu duvarın taşıdığı yapı bölümünün askıya alınması gereklidir [28]. (Şekil 8.31).



Şekil 8.31 : Taş yığma duvarlarda “şişme” hasarı onarımı [28].

Duvarlarda enjeksiyon ile onarım

Enjeksiyon ile onarım; yapıya özgün mekanik özellikleri kazandırabilmek için, duvar içine uygun fiziko – kimyasal özellikte sıvı malzeme enjekte etmeyi kapsar. Enjeksiyon uygulaması ile duvar içerisinde bulunan boşlukların ve çatlakların doldurularak duvar kesidinin sürekliliğini sağlamak ve tekrar monolitik bir yapı elde etmek amaçlanır. Böylece duvar üzerindeki yükler kesintisiz olarak temellere aktarılır ve olası dökülmeler ve göçmeler engellenmiş olur [33].

Yığma yapı duvarlarında çimento enjeksiyonu özellikle taşıma gücü zayıf olan moloz taş duvarlarda düşük basınçlar altında uygulanır. Bunun için duvarın içine kadar ince borular yerleştirilir. Duvarın iç ve dış yüzeyi 2-3 cm kalınlığında sıva ile kaplanır. Daha sonra altlardaki deliklerden başlayarak düşük basınç altında çimento şerbeti enjeksiyonu yapılır. Herhangi bir borudan çimento pompalama, yandaki borulardan çimento şerbeti taşımaya başlayıncaya kadar sürdürülür. Çimento yedirilmiş delikler kapatılır. Bu işlem her bir sıradaki delik doluncaya kadar sürdürülür. Daha sonra aynı işlemler bir üst sıradaki enjeksiyon deliklerine uygulanır. Delik arasında 30-40 cm kadar aralık olabilir. Bu deliklerin duvardaki taş ya da tuğla ve benzeri malzeme arasındaki derz durumlarına göre yerleştirilmesi gerekir. Deliklere takılacak borular kullanılacak pompanın hortum ucu boyutuna göre seçilir. Çimento enjeksiyonu yöntemi ile çok zayıf ve düşük dirençli moloztaş duvarların direncinin yükseltildiği ve daha sağlam bir duvar oluşturulduğu gözlenmiştir. Yöntem yavaş ve zaman alıcıdır. Çimento pompalama donanımı gerektirmektedir. Kullanılan çimento genleşen ve ilk direnci yüksek çimento olmalıdır [28].

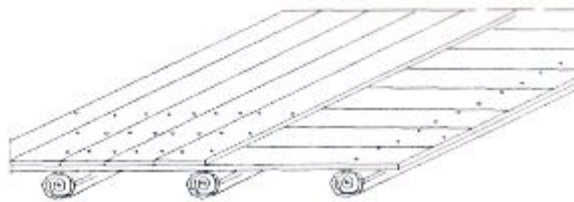
Onarım için kullanılan epoksi reçineleri yapıştırma özellikleri çok iyi olan sentetik reçinelerdir. Bunların çekme gerilmeleri 500-1100 N/m² arasında değişmektedir. Kopma birim uzamaları % 15-50 arasında olabilmektedir. Suya, aside ve alkaliye dirençleri çok iyidir. Zamanla özelliklerini yitirmezler. Çatlağa doldurulmuş epoksi yapıştırıcısı, çatlağın yarattığı süreksizlik ortamını sürekli duruma dönüştürür. Çatlağın her iki yüzünü çatlak boyunca sürekli olarak birbirine bağlar ve gerilme yığılımlarını önler. Sentetik reçineler kimyasal moleküler yapışma sağlar. Epoksi reçinelerinin yüksek ısılara dayanım gücü azdır. Epoksi basınç dayanımı 7000-8000 N/m² ye kadar ulaşabilmektedir. Çekme dayanımı da 3000 N/m² kadar olabilmektedir [28].

Çizelge 8.1 : Epoksi harcının mekanik özellikleri

	Reçine N/m²	Harç N/m²
Basınç Dayanımı	6500	7900
Çekme Dayanımı	3400	2900
Basınç Altında Birim Kısılma	0.047	0.022
Basınç Elastisite Modülü	230000	730000
Çekme Altında Birim Uzama	...	0.039

8.3.3.2 Döşemelerin onarımı ve güçlendirilmesi

Döşemeler yatay yükleri düşey taşıyıcı elemanlara aktaran taşıyıcı sistemlerdir. Tarihi yığma yapıların döşeme sistemlerinde karşılaşılan en büyük problemler döşeme ve düşey taşıyıcılar arasındaki bağlantının yetersizliği ve döşemenin rijit bir davranış sergileyememesidir. Ayrıca döşemelerde kullanılan malzemelerin zamanla özelliklerini kaybetmesi ve yıpranması sonucu taşıma kapasiteleri azalmaktadır. Ahşap döşemelerde bozulan taşıyıcı elemanlar yenileriyle değiştirilerek onarım yapılabileceği gibi, kat döşemelerinin çift doğrultuda çalışabilmesi için ahşap döşemeler üzerine mevcut döşeme tahtalarına dik doğrultuda ikinci bir döşeme tahtası da monte edilebilir. (Şekil 8.32).



Şekil 8.32 : Mevcut ahşap döşemenin üzerine uygulanan ikinci ahşap katman.

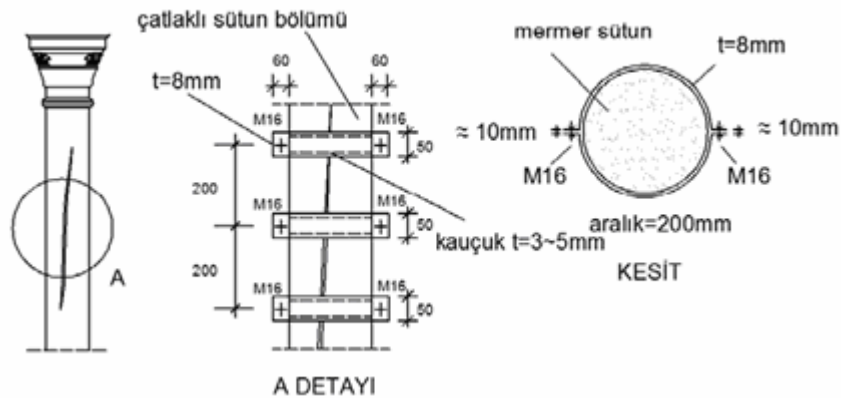
Tarihi yığma yapılarda en çok rastanılan volta döşemeler ve ahşap döşemeler döşeme seviyesinde yapılacak diyagonal çelik hatıllar ya da yatay çelik kafes sistemlerle desteklenebilir. Kat seviyesinde betonarme hatıllar oluşturulması da başka bir onarım ve güçlendirme yöntemidir. Bu teknik sayesinde deprem sırasında kat kütleleriin maruz kalacağı yatay yükler etkisinde döşemelerin daha iyi bir davranış sergilemesi sağlanabilir. (Şekil 8.33).



Şekil 8.33 : Çelik çaprazlar ile döşemenin rijitleştirilmesi [13].

8.3.3.3 Sütunların onarımı ve güçlendirilmesi

Tek başlarına duran sütunların ya da yığma yapıların öngerilme verilerek güçlendirilmesi de mümkün olmakla birlikte uygulama her zaman pek kolay olmamaktadır. Sütunlara çember donatı ile dıştan öngerilme verilmesi de elemanın güvenliğini artıran bir önlemdir. Üzerlerinde kesme çatlakları bulunan sütunlar çoğu zaman geçmişte bu şekilde onarılmış olup günümüzde de onarılmaktadır [13]. (Şekil 8.34).



Şekil 8.34 : Sütunlarda çatlak onarımı [13].

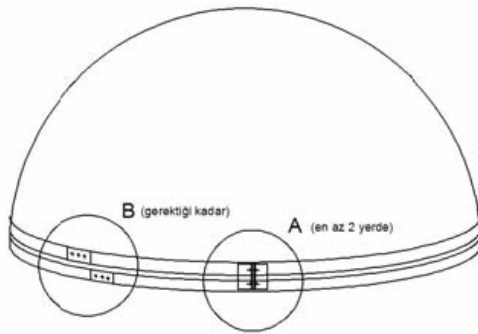
8.3.3.4 Kemerler ve tonozların onarımı ve güçlendirilmesi

Bu tür elemanlarda farklı yüklemelerden çeşitli kesitlerde çatlayarak mafsallı oluşumu mesnetlerde ezilme/parçalanma şeklinde görülen hasarların ana nedeni mesnet kesitlerinin azalması ve bileşik eğilme (Moment+Normal Kuvvet) etkisidir. Güçlendirmede yapılacak iş ezilen, düşen, yerdeğiştiren elemanların yenileri ile değiştirilmesi, çatlakların nispeten daha zayıf bir harçla basınç altında doldurulması, gergilerin gerilme alacak şekilde düzenlenmesi ve mesnet noktalarının sabitlenmesi şeklinde özetlenebilir [13].

Tonoz elemanlarda kemer elemanlardan farklı olarak tonozun mesnetlendiği büyük duvarlarda da yerdeğiştirme meydana gelir, gergi elemanlar kullanılarak bu açılmalar düzeltilir ve tonoz ilk biçimine kavuşturulur.

8.3.3.5 Kubbelerin onarımı ve güçlendirilmesi

Bu tip elemanlarda görülen tipik hasar kubbe eteğinde oluşan çekme gerilmelerinin taşınamaması sonucu oluşan radyal çatlaklardır. Bu tür çatlakların daha da açılmasını önlemek için alınacak en iyi önlem etek civarında bir çekme çemberi oluşturmaktır. Çekme çemberinde kullanılacak çeliğin paslanmaz çelik olması aksi halde zaman içinde korozyon bakımı yapılması ya da çemberin bir beton kesit içine alınması uygun olacaktır. (Şekil 8.35). Henüz hasar oluşmamış kubbe eteklerinde çekme çemberinde FRP de kullanılabilir [13].



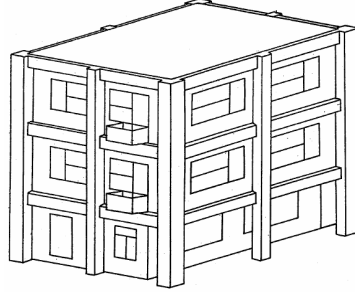
Şekil 8.35 : Kubbeye çekme çemberi oluşturulması ve çekme çemberi detayı [13].

8.3.4 Yapının tümünün güçlendirilmesi

8.3.4.1 Yığma yapının tümüyle bir betonarme çerçeve içine alınması

Bu çerçeve sistemin yapıya depremde gelebilecek yatay kuvvetlerin tamamına yakın bir bölümünü emniyetle taşıyabilecek biçimde boyutlandırılması ve temellerin de bu

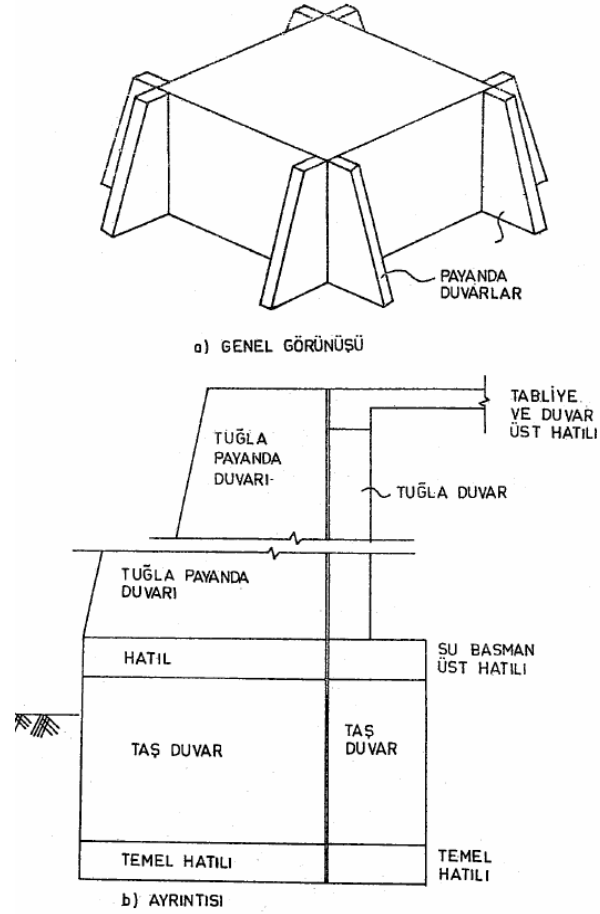
koşula göre boyutlandırılması gereklidir.(Şekil 8.36). Bu yöntemin planda çok büyük boyutlu ve çok katlı yığma yapılara uygulanması pratik olmayabilir. Bir iki katı aşmayan ve plan alanı 100-200 m²'yi geçmeyen yapılarda kullanılabilecek bir takviye yöntemi olarak ele alınması uygun görülmektedir.



Şekil 8.36 : Yığma yapının betonarme çerçeve içine alınması [28].

8.3.4.2 Yığma yapının payandalarla desteklenmesi

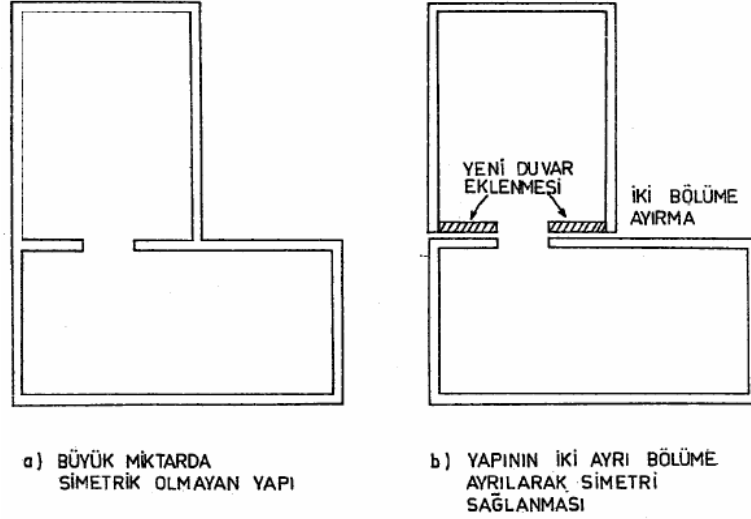
Yığma yapıların güçlendirilmesinde yapıya dıştan çeşitli yerlerinden destek veren payanda duvarlarının yapılması da bir başka güçlendirme yöntemi olarak düşünülebilir. (Şekil 8.37).



Şekil 8.37 : Yığma yapının payanda duvarları ile desteklenmesi [28].

8.3.4.3 Yapı planının simetrik hale getirilmesi

Yapı planının simetrik olmaması durumunda yatay yükler etkisinde yapının daha iyi bir davranış gösterebilmesi için yapı simetrik parçalara ayrılır. (Şekil 8.38)



Şekil 8.38 : Yığma yapının simetrik parçalara ayrılması [28].

8.3.5 Lifli polimer(FRP) ve karbon elyaflarla yapılan onarım ve güçlendirme

FRP (lifli polimer) malzemeler çevresel koşullara karşı oldukça dirençlidir. Korozyona uğramadıkları ve erimedikleri için duvar çatlaklarının dikişinde, onarım ve güçlendirme uygulamalarında tercih edilen malzemelerdir.

FRP çubuklar yapı kesidine açılacak deliklere yerleştirilerek daha sonra aynı noktalara enjeksiyon yapılır. (Şekil 8.39). Bu uygulama ile FRP çubukları yapı kesidi içerisinde bir donatı görevi görerek taşıyıcı eleman kesidinde oluşan çekme gerilmelerini karşılar. FRP esaslı çubuklar ve plakalar da harç içerisine gömülerek hasır yerine kullanılabilir. FRP malzemelerin korozyona uğramaması nedeniyle korozyon koruma sistemlerine de gerek duyulmaz. Bu yöntem tonozların dış kabuklarında da kullanılabilirken diğer durumlarda pek tercih edilmez. Uygulama sonrasında harç üzerinde çökme, çatlak gibi hasarlara rastlanırsa enjeksiyon uygulaması ile müdahale edilebilir. Bu yöntemde duvar derzlerine 2–3 cm derinlikte boşluklar açılarak bu boşluklara özel reçine ya da kireç esaslı harçlar ile FRP karbon çubuklar yerleştirilmektedir. FRP çubuklar ile duvar yüzeyinde oluşan çekme gerilmeleri karşılanırken duvarın sünekliği de bir miktar arttırılmış olmaktadır. FRP çubuklar çelik donatılara göre çok yüksek mekanik dayanımlara sahiptir ve korozyona uğramamaları nedeniyle çok uzun ömürlüdürler. Bu çubuklar çapları 5–12

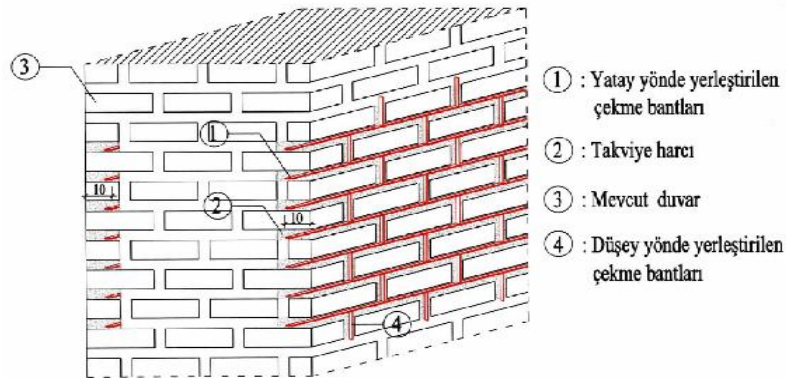
mm arasında değişen dairesel kesitli ya da 1.4 mm – 10 mm ölçülerinde dikdörtgen kesitli olabilmektedir.

Yığma yapı elemanlarının güçlendirilmesinde FRP kumaşların kullanımı oldukça pratik ve etkin bir yöntemdir. Duvarların, kemerlerin, tonozların ve kubbelerin dış yüzeylerinde, uygun yörüngelerde FRP ile sarılarak mevcut yükler altında taşıma kapasitelerinin ve sünekliklerinin artırılması amaçlanır. Ancak bu güçlendirme tekniğinde uygulama detayları çok önemlidir. Özellikle yapıştırma yapılacak alt yüzeylerin doğru hazırlanması gerekmektedir. (Şekil 8.40).

Yığma duvarlarda deprem sonrası olması beklenen çatlaklara dik doğrultuda ince çelik levhalar ya da karbon elyaf levhalar ile güçlendirme yapılabilir.



Şekil 8.39 : Karbon fiber çubuk ve kireç harçla duvar derzinde yapılan güçlendirme uygulaması.



Şekil 8.40 : Yığma yapılarda FRP uygulaması [21].

Karbon lifleri, gerilmeye karşı çelikten 14 kat daha mukavim olmasına karşın, ağırlığı çeliğin beşte biri civarındadır. Karbon lifleri ile tamir metodunun en büyük

avantajı, yapının içerisinde ancak birkaç milimetrelık bir kalınlık eklemesine rağmen klasik metodlarla elde edilecek sağlamlığın fazlasını elde edebilmesidir. Yapı onarımları için kullanılan karbon liflerinin özel bir şekilde örölmesi gerekmektedir. Bu uygulamalar için geliştirilen reçineler özel olarak formüle edilmiştir [34]. (Şekil 8.41).



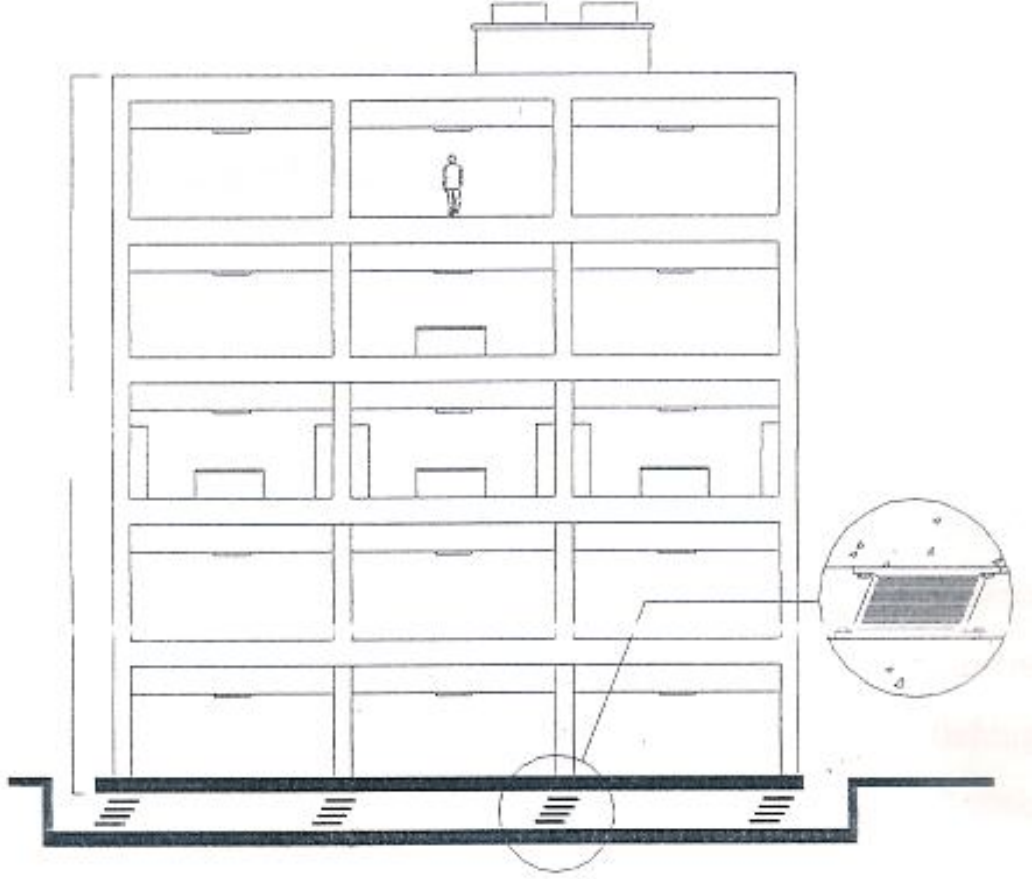
Şekil 8.41: Karbon elyaflar kullanılarak takviye edilen kemer ve tonozlar [35].

8.3.6 Sismik izolasyon yöntemi

Sismik yalıtımın temel ilkesi yapıların kuvvetli yer hareketlerinin özellikleri göz önüne alınarak yapı rijitliklerini bir noktada azaltarak periyotların uzatılması sönüm oranlarının artırılması ve böylece yapılara depremde daha az yük etkimesinin sağlanması şeklinde özetlenebilir [13]. (Şekil 8.42, 8.43).

Sismik izloasyon yönteminde depremde yapıya gelecek yüklerin düzeyi, yapının yetersiz olan deprem dayanımının altına temel yalıtımı yoluyla indirilebilir. Yapının bütün katlarının güçlendirilmesi yerine yalnız temel yalıtımı yapılır. Yapının kullanımı etkilenmez ve mimari özellikleri bozulmaz. Klasik güçlendirme yöntemleri (perde duvar ve kolon eklenmesi ile güçlendirme), yapının değerli ve yeniden yapılamayacak iç kaplamalarının, fresk ve tavan ya da duvar resimlerinin yıkımına

yol açar. Özellikle tarihi yapılarda bu duruma izin verilemez. Taban yalıtımı ile sağlanan deprem yükündeki azalma miktarı yeterli olmayabilir. Ancak taban yalıtımı yapılması ile gereken güçlendirmenin düzeyi azaltılabilir. Bunlara ek olarak, yüksek can güvenliği ve minimum bakım gereksinimi ve şiddetli depremlerden sonra bile hemen kullanım gibi önemli faktörlerin gözardı edilmemesi gerekir [31].



Şekil 8.42 : Sismik izolasyonlu yapı [Url-4].



Şekil 8.43 : Sismik izolatör uygulamaları [Url-5].

8.3.7 Acil müdahaleler

8.3.7.1 Yapının askıya alınması

Bazı hallerde kubbe, tonoz ve kemer gibi elemanların yükleri bir kalıp-iskele sistemine iletilerek bu yüklerin temellere iletilmesi önlenir. Kalıplar, taşıyıcı elemanın formuna uygun olarak yapıldıktan sonra bir iskele sistemine bağlanır. İskeleye mesnet noktalarında verilecek ters yüklerle taşıyıcı sisteme ters sehim verilerek bu şekilde yapı yükleri iskeleye iletilmiş olur [31].

8.3.7.2 Yapının desteklenmesi

Temel takviyesi sırasında temellerde olumsuz durumlar yaratan yanal etkiler geçici çelik ankrajlarla alınır. Genel olarak gergi elemanı olarak betonarme gergi ve kirişler de kullanılır [31].

8.3.7.3 Kısmi yıkımlar için güçlendirme ve onarımlar

Kısmî yıkımlar için güçlendirme, kötü hasar görmüş yapılarda, yıkımın ilerlememesi ve yapının kalan kısımlarının da zarar görmemesi, tarihsel öneme sahip anıtsal değeri olan yapılarda geriye kalan kısımlarının minimum tehlike sınırlarına indirilmesi için uygulanmaktadır [31].

9. ÖRNEK UYGULAMALAR

9.1 Vefa Anadolu Lisesi Orta Bina

9.1.1 Yapının konumu ve genel özellikleri

İncelenen bina İstanbul İli, Eminönü İlçesi, Şehzadebaşı, Dede Efendi Caddesi, No: 5 adresinde bulunan arsada inşa edilmiştir. Vefa Anadolu Lisesi bünyesinde yer alan yapı Orta Bina olarak isimlendirilmektedir. 100 yıldan fazla bir süre önce inşa edilen bina yığma yapı tekniğiyle yapılmış olup bir bloktan oluşmaktadır ve dört tarafından serbest konumdadır. Binanın rölövesi mevcuttur. Yapı planda 26.10 m x 19.25 m'lik alana oturmaktadır. Üç cephesinde içeri doğru girintiler bulunmaktadır. Cepheelerde çıkımlar yapılmamıştır. Binanın üzerinde kiremit kaplamalı ahşap oturtma çatı yer almaktadır.

9.1.2 Zemin özellikleri

Binanın zemini ile ilgili yapılan araştırma sonucu zemin emniyet gerilmesinin 1.00 kgf/cm² alınabileceği, yapının 1.derece deprem bölgesinde olması dolayısıyla $A_0=0.40$ olarak alınacağı, zemin sınıfı Z_2 ye göre karakteristik periyot değerlerinin $T_A= 0.15$ sn ve $T_B=0.40$ sn olarak ve yatak katsayısının ise $K_0=1000$ t/m³ olarak alınmasının uygun olacağı tespit edilmiştir.

9.1.3 Yapının taşıyıcı sistem özellikleri

Binanın rölövesinden taşıyıcı duvar kalınlıklarının zemin katta 50cm ile 60cm, normal katlarda 30 cm ve 50 cm olduğu anlaşılmaktadır. Katlar boyunca taşıyıcı duvarların genelde üst üste geldi görülmektedir.

Katlarda genelde küçük hacimlerin bulunduğu mahallerde ince bölme duvarlar kullanılmıştır. Kat döşemelerine mesnetlenen yarım tuğla kalınlığındaki bu duvarların düşeyde süreklilikleri bulunmamaktadır.

Binanın zemin kat ve birinci normal kat tavanlarında ahşap döşemeler inşa edilmiştir. Büyük açıklıklı hacimlerin bulunduğu binada kısa açıklık doğrultusunda yer alan ve

uzun doğrultudaki yığma duvarlara mesnetlenen ve 40cm aralıklarla düzenlenen, 7 cm x 27 cm kesitli kılıcına duran ahşap kirişler, bunların üzerinde ve altında 3 cm kalınlıklı tahtalar ile tavan ve taban kaplamaları oluşturulmuştur.

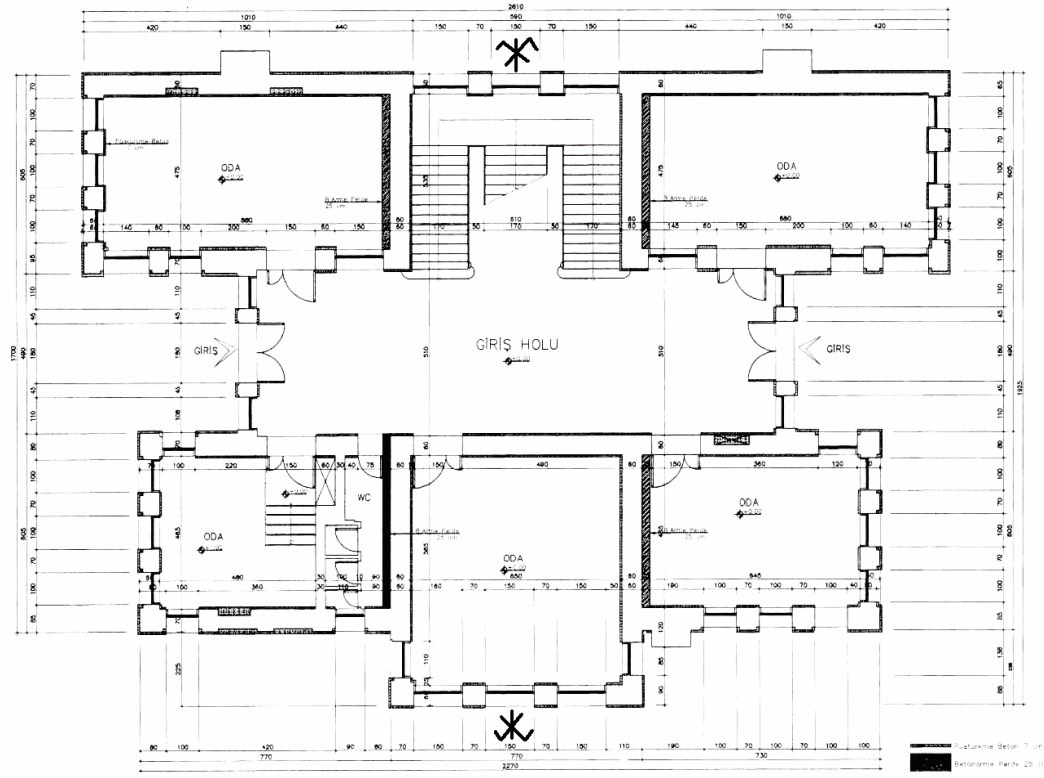
İkinci normal katın tavanındaki ahşap döşemenin sökülüp yerine betonarme plak döşeme inşa edildiği tespit edilmiştir. Çevresindeki taşıyıcı yığma duvarların üzerindeki ve açıklık ortalarındaki eşit aralıklı ikişer adet betonarme kirişlere mesnetlenen plak döşemelerin kalınlıkları genelde 12 cm olarak projelendirilmiştir. Betonarme plak şeklindeki çatı saçakları cephelerin dışına yaklaşık 80 cm kadar taşmaktadır.

Zemin kat ve birinci normal kat tavanında, merdiven kat sahanlığı ve buna birleşen dar uzun alanlarda volta döşeme sistemi uygulanmıştır. Yaklaşık 40 cm aralıklarla düzenlenen çelik I profillerin arasında kemer şeklinde kâgir plak oluşturulmuştur.

İkinci normal kat tavanında, taşıyıcı duvarların üzerinde genişliği duvar kalınlığında olan betonarme hatıllar teşkil edilmiştir. Büyük hacimlerin bulunduğu kısımlarda kısa açıklık doğrultusunda ara kirişler inşa edilmiştir. Kapı ve pencere boşlularının bulunduğu bölgelerde ise kirişler yer almaktadır. Betonarme kirişlerin genelde 35 cmx70 cm kesitli oldukları belirlenmiştir.

Binanın en uzun kenarına komşu olarak merdiven düzenlenmiştir. Ara kat sahanlığına kadar yanlarda iki çıkış ve buradan kat sahanlığına kadar bir çıkış plağı oluşturulmuştur. İkili çıkışlar birer taraflarından kalın duvarlara mesnetlendirilen hazır mozaik kargir basamaklardan oluşmaktadır. Kat ve ara kat sahanlıkları arasında bulunan ve hazır kargir basamaklardan oluşan merdiven plağı, altında iki kenarına yakın düzenlenen 2 adet çelik I profile mesnetlenmektedir. Bu çelik kirişler diğer merdiven kollarının ve sahanlık plaklarının altında teşkil edilmiştir. Çelik profiller taşıyıcı yığma duvarlara mesnetlenmektedir. Basamaklar bağlı oldukları merdiven kovanı duvarları ile ankastreye yakın bir bağlantı durumundadırlar.

Binanın dışında bir cephesinin dibinde yaklaşık 3.20m derinliğinde zemin kazılarak temel durumu araştırılmıştır. Bu derinliğe kadar taş duvar inşa edildiği, alttan 120 cm de ince yığma tuğla duvarlardan örülen yaklaşık 30 cm yükseklikli hatıl ve dış zemin seviyesinde 27 cm yükseklikli taş hatıl belirlenmiştir. Bu temel şeklinin tüm taşıyıcı duvarların altında oluşturulduğu düşünülmektedir.



Şekil 9.1 : Kat planı

9.1.4 Binaya zaman içerisinde yapılan müdahaleler

Bina için daha önce hazırlanan araştırma raporlarında ikinci normal kat tavanında ahşap olan döşemenin betonarmeye dönüştürülmesi nedeniyle kat ağırlığının artmasından dolayı taşıyıcı duvarlarda düşey istikamette önemli çatlaklar meydana geldiği, binanın onarılmasının zorunlu olduğu, onarılmadan kullanılmasının sakıncalı olduğu belirtilmiştir.

9.1.5 Yapının statik durumu ve taşıyıcı sistem hasarları

Yığma olan binanın kat adedi, kat yükseklikleri ve taşıyıcı duvarlardaki kapı ve pencere boşluklarının büyüklükleri ve konumları bakımından, halen yürürlükte olan yeni deprem yönetmeliği esaslarına uygun olmadığı görülmüştür. Yeni deprem yönetmeliği, binanın bulunduğu bölgeyi birinci derece deprem bölgesi olarak belirtmektedir. Buna göre yapının boyutlandırılmasında göz önüne alınacak deprem etkileri artmakta ve kat adedi ile duvar kalınlıkları bakımından sınırlamalar daha katı olmaktadır.

Binanın döşemelerinin ahşap olduğu, ancak ikinci kat tavanında sonradan betonarme plak döşemenin inşa edildiği, bu döşeme sisteminin binaya üstten bir rijitlik

vermekle birlikte yapının yüklerini önemli bir ölçüde artırdığı görülmüştür. Zemin emniyet gerilmesinin oldukça düşük olduğu bu yapıda, betonarme döşemeden gelen yük artışı önem kazanmıştır.

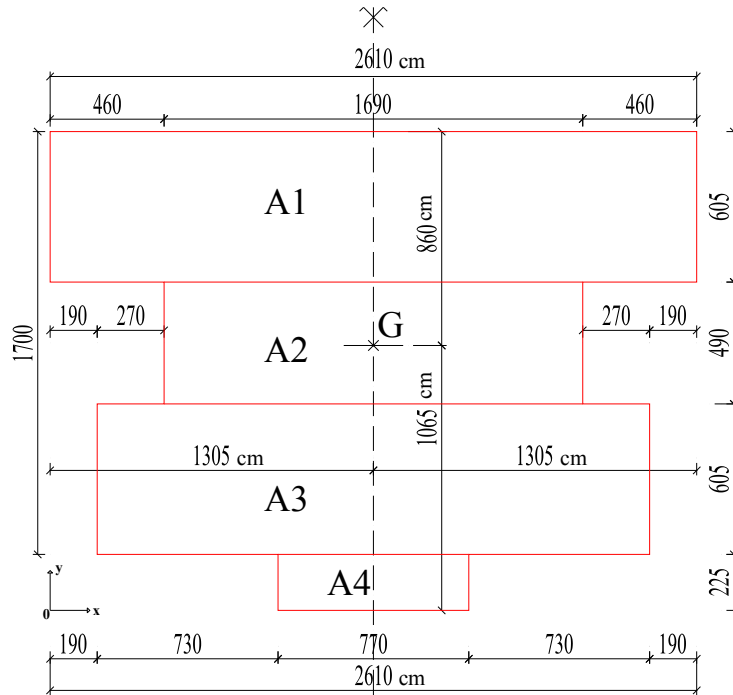
Yapıdaki merdiven sisteminin, muhtemelen, çelik profiller ile güçlendirildiği ve bu durumun olumlu olduğu, sistemin emniyetini artırdığı, merdiven bölgesinde bir hasarın ve kusurun olmadığı tespit edilmiştir.

Normal katta, merdivenin karşısında bulunan iki adet uzun duvarın merdivene yakın kısmının alttaki volta döşemeye mesnetlendiği, merdivene yakın bu kısım ile alttaki taşıyıcı duvara mesnetlenmiş olan arkadaki bölge arasında diyagonal ve düşeye yakın çatlaklar gözlenmiştir. Dış cephede pencere boşluklarının fazla olduğu bazı köşelerde sıva çatlakları görülmüştür. Bunların dışında, deprem nedeniyle veya depremden önce meydana gelen yapısal hasarlar görülmemiştir.

Binanın zemin katındaki bazı boşlukların delikli tuğla ile doldurulduğu ve bu işlemler sırasında tuğla duvar örgü kurallarına uyulmadığı, yeni duvarların mevcut duvar ve hatıl kirişleri ile birleşimlerinin yetersiz olduğu belirlenmiştir.

9.1.6 Yapı düşey yüklerinin hesabı

9.1.6.1 Kütle merkezinin hesabı



Şekil 9.2 : Kütle merkezinin hesabı.

$$A_1=2610 \times 605=1579050 \text{ cm}^2$$

$$A_2=1690 \times 490=828100 \text{ cm}^2$$

$$A_3=2230 \times 605=349150 \text{ cm}^2$$

$$A_4=770 \times 225=173250 \text{ cm}^2$$

$$X_1=1925-302.5=1623 \text{ cm}$$

$$A_1 \times X_1=2.562 \text{ E}+09 \text{ cm}^3$$

$$Y_1=2610/2=1305 \text{ cm}$$

$$A_1 \times Y_1=2060660250 \text{ cm}^3$$

$$X_2=225+605+490/2=1075 \text{ cm}$$

$$A_2 \times X_2=890207500 \text{ cm}^3$$

$$Y_2=2610/2=1305 \text{ cm}$$

$$A_2 \times Y_2=1080670500 \text{ cm}^3$$

$$X_3=225+605/2=527.5 \text{ cm}$$

$$A_3 \times X_3=711676625 \text{ cm}^3$$

$$Y_3=1305 \text{ cm}$$

$$A_2 \times Y_3=1760640750 \text{ cm}^3$$

$$X_4=225/2=112.5 \text{ cm}$$

$$A_4 \times X_4=\text{cm}^3$$

$$Y_4=1305 \text{ cm}$$

$$A_4 \times Y_4=226091250 \text{ cm}^3$$

$$X_G=A_1 \times X_1+A_2 \times X_2+A_3 \times X_3+A_4 \times X_4 / A_1+A_2+A_3+A_4$$

$$=4183383375 / 3929550=1064.596042 \text{ cm}=10.65 \text{ m}$$

$$Y_G=A_1 \times Y_1+A_2 \times Y_2+A_3 \times Y_3+A_4 \times Y_4 / A_1+A_2+A_3+A_4$$

$$=5128062750 / 3929550=1305 \text{ cm}=13.05 \text{ m}$$

9.1.6.2 Döşeme alanı

$$\text{Toplam döşeme alanı } A=A_1+A_2+A_3+A_4=3929550 \text{ cm}^2=392.96 \text{ m}^2 \approx 393 \text{ m}^2$$

9.1.6.3 Döşeme yükleri

2. Normal kat tavanı (çatı döşemesi)

Betonarme döşeme(kirişler dâhil ortalama h=15 cm)

$$0.15 \times 2.50=0.375 \text{ t/m}^2$$

Kiremit örtülü oturtma çatı

$$=0.125 \text{ t/m}^2$$

+

Sabit Yük

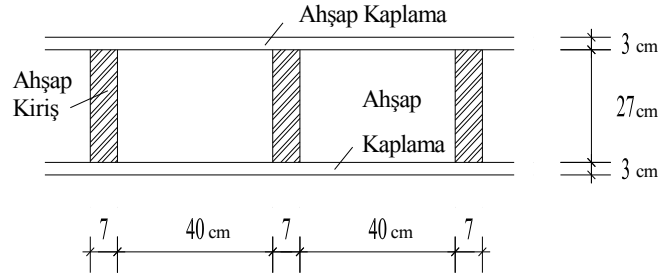
$$g_3=0.500 \text{ t/m}^2$$

Kar Yükü

$$q_3=0.075 \text{ t/m}^2$$

1. Normal kat tavanı

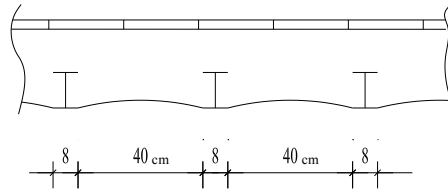
Ahşap döşeme kaplamalı hacimler (sınıflar vb.):



Şekil 9.3 : Ahşap döşeme detayı.

Ahşap kirişler	$3 \times (0.07 \times 0.27) \times 0.800 = 0.045 \text{ t/m}^2$
Ahşap kaplama tahtası (taban ve tavan)	$2 \times 0.03 \times 1.0 \times 1.0 \times 0.800 = 0.048 \text{ t/m}^2$
	+
Sabit Yük	$g_2 = 0.093 \text{ t/m}^2$
Hareketli Yük	$q_2 = 0.350 \text{ t/m}^2$

Volta döşeme olan kısımlar (Koridorlar vb):



Şekil 9.4 : Volta döşeme detayı

15 cm kalınlıklı betonarme döşeme gibi kabul edilecektir.

Sabit Yük g	$= 0.15 \times 2.50 = 0.375 \text{ t/m}^2$
Hareketli Yük q	$= 0.500 \text{ t/m}^2$

Merdivenler:

Sahanlıklar ve eğimli kısımlar, genel olarak ortalama 15cm kalınlıklı yatay betonarme döşeme gibi düşünülecektir.

Sabit Yük g	$= 0.15 \times 2.50 = 0.375 \text{ t/m}^2$
Hareketli Yük q	$= 0.500 \text{ t/m}^2$

Toplam döşeme yükleri

● İkinci Kat Tavanında

Çatı saçakları 80 cm nedeniyle bu döşemenin alanı 72.00 m^2 artmaktadır.

$$G_3\text{döş} = g_3 \times \text{döşeme alanı} = 0.500 \times (393 + 72) = 232.50t$$

$$Q_3\text{döş} = q_3 \times \text{döşeme alanı} = 0.075 \times (393 + 72) = 34.88t$$

Hareketli yük katsayısı $n=0.60$ alınmıştır (okul için)

$$W_3\text{döş} = G_3 + nQ_3 = 232.50t + 0.60 \times 34.88 = 253.43t$$

● Birinci kat ve zemin kat tavanında

$$\text{Koridor alanı} \quad 2 \times (1.70 \times 4.90) + (2.0 \times 7.00) = 30.66m^2$$

$$\text{Merdiven kovası} \quad 6.50 \times 5.50 = 35.75m^2$$

$$G_1\text{döş} = G_2\text{döş} = 0.093 \text{ t/m}^2 \times (393 - 30.66 - 35.75)m^2 + 0.375 \text{ t/m}^2 \times (30.66 + 35.75)m^2$$

$$= 0.093 \text{ t/m}^2 \times 326.59m^2 + 0.375 \text{ t/m}^2 \times 66.41m^2$$

$$= 30.37t + 24.90t = 55.27t$$

$$Q_1\text{döş} = Q_2\text{döş} = 0.350 \text{ t/m}^2 \times (393 - 30.66 - 35.75)m^2 + 0.500 \text{ t/m}^2 \times (30.66 + 35.75)m^2$$

$$= 0.350 \text{ t/m}^2 \times 326.59m^2 + 0.500 \text{ t/m}^2 \times 66.41m^2$$

$$= 114.31t + 33.20t = 147.51t$$

$$W_1\text{döş} = W_2\text{döş} = G + nQ = 55.27t + 0.60 \times 147.51t = 143.78t$$

9.1.6.4 Duvar ağırlıkları

Duvar ağırlıklarının hesabında, her iki yüzde 3cm kalınlıklı sıva $\gamma=2.0 \text{ t/m}^2$ ve harman tuğlası $\gamma=1.6 \text{ t/m}^2$ olarak dikkate alınmıştır.

$$50\text{cm kalınlıklı duvar (sıva dahil)} \quad g = 0.50 \times 1.60 + 0.06 \times 2.0 = 0.92t/m^2$$

$$30\text{cm kalınlıklı duvar (sıva dahil)} \quad g = 0.30 \times 1.60 + 0.06 \times 2.0 = 0.60t/m^2$$

Duvar alanları (düşeyde)

a) Zemin katta:

● 50cm kalınlıklı duvarlar:

$$\text{Duvar boyu } l_d = 26.10 + 2 \times 20.00 + (2 \times 22.70) + (2 \times 7.00) + (2 \times 7.00) + (2 \times 5.00) = 149.50m$$

$$\text{Boşluklar } 40 \text{ adet } 1.00m \times 2.5m \text{ lik alan} = 40 \times 2.50 = 100m^2$$

$$h_d = 5.00m \quad A_d = l_d \times h_d - \text{Boşluk alanı} \rightarrow A_d = 149.50m \times 5.00m - 100m^2 = 647.50m^2$$

b)1. Normal katta

Normal katlarda 97.80m si 50cm'lik, 51.70m si 30cm'lik duvardır

●50cm kalınlıklı duvarlarda:

Duvar boyu $ld_1=26.10+15.00+22.70+17.00+17.00=97.80m$

Boşluklar 36 adet $1.00m \times 2.5m$ 'lik alan = $36 \times 2.50=90m^2$

$hd=5.00m$ $Ad_1=ld_1 \times hd - \text{Boşluk alanı} \rightarrow Ad_1=97.80m \times 5.00m - 90.00m^2 = 399.00m^2$

●30cm kalınlıklı duvarlarda

Duvar boyu $ld_2=51.70m$

Boşluklar 4 adet $1.00m \times 2.5m$ 'lik alan = $4 \times 2.50=10m^2$

$hd=5.00m$ $Ad_2=ld_2 \times hd - \text{Boşluk alanı} \rightarrow Ad_2=51.70 \times 5.00 - 10.00 = 248.50m^2$

c)2. Normal katta

●50cm kalınlıklı duvarlarda:

Duvar boyu $ld_2=97.80m$

Boşluklar 36 adet $1.00m \times 2.5m$ 'lik alan = $36 \times 2.50=90m^2$

$hd=5.00/2 m$ $Ad_1=ld_1 \times hd - \text{Boşluk alanı} \rightarrow Ad_1=97.80 \times 5.00/2 - 90.00 = 154.50m^2$

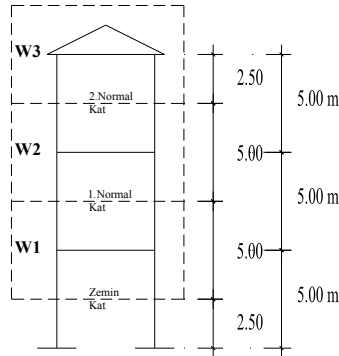
●30cm kalınlıklı duvarlarda:

Duvar boyu $ld_2=51.70m$

Boşluklar 4 adet $1.00m \times 2.5m$ 'lik alan = $4 \times 2.50=10m^2$

$hd=5.00/2 m$ $Ad_2=ld_2 \times hd - \text{Boşluk alanı} \rightarrow Ad_2=51.70 \times 5.00/2 - 10.00 = 119.25m^2$

Toplam duvar ağırlıkları



Şekil 9.5 : Duvar ağırlıkları.

a)Zemin katta

$$G_z\text{duvar}= 647.50\times0.92-51.70\times5.00/2\times(0.92-0.60)=554.34t$$

b)1. Normal katta

$$G_1\text{duvar}= 399.00\times0.92=367.08t \quad G_2\text{duvar}= 248.50\times0.60=149.10t$$

$$\Sigma G=G_1\text{duvar}+ G_2\text{duvar}=367.08t+149.10t=516.18t$$

c)2. Normal katta

$$G_1\text{duvar}= 154.50\times0.92=142.14t \quad G_2\text{duvar}= 119.25\times0.60=71.55t$$

$$\Sigma G=G_1\text{duvar}+ G_2\text{duvar}=142.14t+71.55=213.69t$$

9.1.6.5 Toplam kat yükleri

$$2.\text{Kat} \quad W_3= W_{\text{döş}}+ G_{\text{duvar}}= 253.43t+213.69t= 467.12t$$

$$1.\text{Kat} \quad W_2= W_{\text{döş}}+ G_{\text{duvar}}=143.78t+516.18t= 659.96t$$

$$\text{Zemin Kat} \quad W_1= W_{\text{döş}}+ G_{\text{duvar}}=143.78t+554.34t= 698.12t$$

$$\text{Toplam Yapı Yüğü } W=W_1+W_2+W_3=1825.20t$$

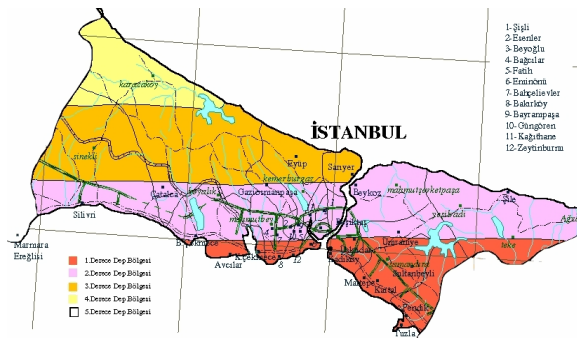
9.1.7 Deprem yüklerinin hesabı

DBYYHY 2007 göre toplam eşdeğer deprem yükü Denklem 9.1'e göre hesaplanacaktır.

$$V_t = W \times A(T) / R_a(T) \geq 0.10 \times A_0 \times I \times W \quad (9.1)$$

Spektral ivme katsayısı $A(T)$ Denklem 9.2 'ye göre hesaplanacaktır.

$$A(T) = A_0 \times I \times S(T) \quad (9.2)$$



Şekil 9.6 : Deprem bölgeleri haritası İstanbul.

Yapı Eminönü ilçesinde bulunduğundan, Şekil 9.6'dan görüleceği üzere birinci derece deprem bölgesinde yer almaktadır.

Birinci derece deprem bölgesi için Çizelge 9. 1'e göre $A_0=0.40$ alınmıştır.

Çizelge 9.1 : Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0).

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Okul türü yapılar için Çizelge 9.2'ye göre $I=1.4$ alınmıştır

Çizelge 9.2 : Bina Önem Katsayısı (I).

<i>Binanın Kullanım Amacı veya Türü</i>	<i>Bina Önem Katsayısı (I)</i>
1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1.4
3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1.2
4. Diğer binalar Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1.0

$S(T)=2.5$, $R_a(T)=2.0$ alınmıştır. (DBYYHY 2007)

$$A(T)=A_0 \times I \times S(T) \rightarrow A(T_1)=0.40 \times 1.4 \times 2.5=1.40$$

$$A(T)/R_a(T)=1.40/2.0=0.7 > 0.10 \times 0.40 \times 1.4=0.056$$

Bölüm 9.1.6.1 e)'de $W=1825.20t$ olarak hesaplanmıştır.

$$V_t=W \times A(T)/R_a(T)$$

$$V_t=1825.20t \times 0.7=1277.64t$$

$$N=3(\text{kat adedi})$$

Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükü Denklem 9.3'egöre hesaplanacaktır.

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (9.3)$$

Binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükünün hesaplanması

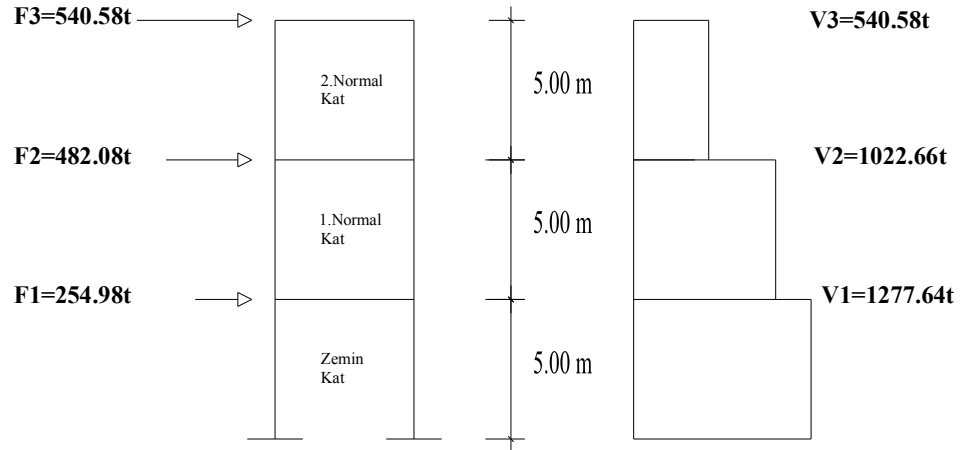
$$\Delta F_N = 0.075 \times N \times V_t = 0.075 \times 3 \times 1277.64t = 28.7469t$$

Katlara etkiyen fiktif kuvvetler Denklem 9.4'e göre hesaplanacaktır.

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) w_i \times H_i / \sum_{j=1}^N w_j \times H_j \quad (9.4)$$

Çizelge 9.3 : mevcut yapıda katlara etkiyen deprem yükleri.

Kat	hi (m)	Hi(m)	wi(t)	wi*Hi(tm)	Fi(t)	Vi(t)
3	5	15	467.12	7006.80	540.58	540.58
2	5	10	659.96	6599.60	482.08	1022.66
1	5	5	698.12	3490.60	254.98	1277.64
$\Sigma =$			1825.20	17097.00	1277.64	



Şekil 9.7 : Mevcut yapıda katlara etkiyen fiktif kuvvetler ve kesme kuvvetleri.

9.1.8 Mevcut yapının tahkiki

Mevcut yapının taşıyıcı duvarlarındaki ortalama kayma gerilmesi tahkik edilecektir. Duvarların kayma gerilmesi için öngörülen taşıma gücü $1.00-2.00 \text{ kgf/cm}^2$ arasında olup burada $\tau_u = 2.00 \text{ kgf/cm}^2 = 20t/m^2$ esas alınmıştır.

Yapının taşıyıcı sistemi üst iki katta aynı olup zemin katta bir miktar farklıdır.

9.1.8.1 Toplam taşıyıcı duvar alanları

a) Zemin katta:

Tüm duvarlar 50 cm kalınlıklıdır

• x eksenini doğrultusunda:

$$\ell_{dx} = (26.10 + 19.60 + 22.70 + 16.20 + 7.70) - (10 \times 1.50 + 15 \times 1.00) = 92.30 - 30 = 62.30 \text{ m}$$

$$b_{duvar} = 50 \text{ cm} \quad A_{dx} = \ell_{dx} \times b_{duvar} \rightarrow A_{dx} = 62.30 \times 0.50 = 31.15 \text{ m}^2$$

• y eksenini doğrultusunda:

$$A_{dy} = \ell_{dy} \times b_{duvar}$$

$$\ell_{dy} = (4 \times 6.05 + 2 \times 5.90 + 2 \times 6.00 + 2 \times 8.00) - (2 \times 1.80 + 18 \times 1.00) = 64 - 21.60 = 42.40 \text{ m}$$

$$b_{duvar} = 50 \text{ cm}, \quad A_{dy} = \ell_{dy} \times b_{duvar} \rightarrow A_{dy} = 42.40 \times 0.50 = 21.20 \text{ m}^2$$

b) Normal katlarda:

• x eksenini doğrultusunda:

50 cm kalınlıklı duvarlar

$$\ell_{dx} = (26.10 + 2 \times 5.10 + 2 \times 3.20 + 16.20 + 7.70) - (6 \times 1.50 + 17 \times 1.00) = 66.60 - 26 = 40.60 \text{ m}$$

$$b_{duvar} = 50 \text{ cm}, \quad A_{dx} = \ell_{dx} \times b_{duvar} \rightarrow A_{dx} = 40.60 \times 0.50 = 20.30 \text{ m}^2$$

30 cm kalınlıklı duvarlar

$$\ell_{dx} = (2 \times 4.50 \text{ m} + 2 \times 4.50 \text{ m}) - (4 \times 1.50 \text{ m}) = 18.00 - 6.00 = 12.00 \text{ m}$$

$$b_{duvar} = 30 \text{ cm} \quad A_{dx} = \ell_{dx} \times b_{duvar} \rightarrow A_{dx} = 12.00 \times 0.30 = 3.60 \text{ m}^2$$

$$\sum A_{dx} = 20.30 \text{ m}^2 + 3.60 \text{ m}^2 = 23.90 \text{ m}^2$$

• y eksenini doğrultusunda:

50 cm kalınlıklı duvarlar

$$\ell_{dy} = (4 \times 6.05 + 2 \times 5.90 + 2 \times 8.00) - (2 \times 1.80 + 18 \times 1.00) = 52.00 - 21.60 = 30.40 \text{ m}$$

$$b_{duvar} = 50 \text{ cm}, \quad A_{dy} = \ell_{dy} \times b_{duvar} \rightarrow A_{dy} = 30.40 \times 0.50 = 15.20 \text{ m}^2$$

30 cm kalınlıklı duvarlar

$$\ell_{dy}=2\times 6.00=12.00 \text{ m}$$

$$b_{duvar}=30\text{cm} \quad A_{dy}=\ell_{dy}\times b_{duvar}\rightarrow A_{dy}=12.00\text{m}\times 0.30\text{m}=3.60 \text{ m}^2$$

$$\sum A_{dy}=15.20 \text{ m}^2+3.60\text{m}^2=18.80 \text{ m}^2$$

9.1.8.2 Duvar kayma gerilmelerinin tahkiki

Ortalama kayma gerilmesi=Kat Kesme Kuvveti/Etkin Duvar Alanı

a)Zemin katta:

$$\text{Kat kesme kuvveti } V_1=1277.64\text{t}, A_{dx}=31.15 \text{ m}^2, A_{dy}=21.20 \text{ m}^2$$

$$\tau_x=1277.64\text{t}/31.15\text{m}^2=41.02 \text{ t/m}^2 > \tau_u=20\text{t/m}^2$$

$$\tau_y=1277.64\text{t}/21.20\text{m}^2=60.27\text{t/m}^2 > \tau_u=20\text{t/m}^2$$

b)1. Normal katta:

$$\text{Kat kesme kuvveti } V_2=1022.66\text{t}, A_{dx}=23.90\text{m}^2, A_{dy}=18.80\text{m}^2$$

$$\tau_x=1022.66\text{t}/23.90\text{m}^2=42.79\text{t/m}^2 > \tau_u=20\text{t/m}^2$$

$$\tau_y=1022.66\text{t}/18.80\text{m}^2=54.40\text{t/m}^2 > \tau_u=20\text{t/m}^2$$

c)2. Normal katta:

$$\text{Kat kesme kuvveti } V_3=540.58\text{t}, A_{dx}=23.90\text{m}^2, A_{dy}=18.80\text{m}^2$$

$$\tau_x=540.58\text{t}/23.90\text{m}^2=22.62\text{t/m}^2 > \tau_u=20\text{t/m}^2$$

$$\tau_y=540.58\text{t}/18.80\text{m}^2=28.75\text{t/m}^2 > \tau_u=20\text{t/m}^2$$

Görüldüğü gibi, mevcut yapı sisteminin taşıyıcı duvarlarında deprem etkilerinden oluşan ortalama kayma gerilmeleri, öngörülen taşıma gücü değerini tüm katlarda aşmaktadır.

Bu nedenle mevcut yapı sisteminin güçlendirilmesi gerekmektedir.

9.1.9 Güçlendirilmiş yapı sisteminin tahkiki (sayısal hesap)

Yapı sisteminin yeterli bir deprem güvenliğine sahip olabilmesi için, tüm taşıyıcı duvarları, her iki yüzünden, hasır donatılı beton ile güçlendirilecektir. Taşıyıcı duvarların her bir yüzüne uygulanacak beton kalınlıkları; zemin kat ile 1.normal katta x doğrultusunda 11cm, y doğrultusunda 16 cm'dir. İkinci normal katta ise x ve y doğrultusunda 8 cm'dir. Ayrıca; y eksenini doğrultusunda merdivenin iki yanındaki

duvarın odalara bakan yüzeyi boyunca ve bu duvarların karşısındaki iki duvarın yine aynı tarafında betonarme perde uygulanacaktır. Bu perdenin kalınlığı; en altta 25 cm, üstte 20 cm'dir.

9.1.9.1 Toplam güçlendirme betonu alanları

$$A'd=\ell d \times b_{\text{beton}}$$

a)Zemin katta:

•x eksenini doğrultusunda: $A'dx=62.30 \times (2 \times 0.11)=13.71 \text{ m}^2$

•y eksenini doğrultusunda: $A'dy=42.40 \times (2 \times 0.16) + [4 \times 4.75 \times (0.25 - 0.16)] = 15.28 \text{ m}^2$

b)1. Normal katta

•x eksenini doğrultusunda: $A'dx=(40.60+12.00) \times (2 \times 0.11)=11.57 \text{ m}^2$

y eksenini doğrultusunda: $A'dy=(30.40+12.00) \times 2 \times 0.16 + [4 \times 4.75 \times (0.20 - 0.16)] = 14.33 \text{ m}^2$

c)2. Normal katta

•x eksenini doğrultusunda: $A'dx=52.60 \times 2 \times 0.08=8.42 \text{ m}^2$

•y eksenini doğrultusunda: $A'dy=42.40 \times (2 \times 0.08) + [4 \times 4.75 \times (0.20 - 0.08)] = 9.06 \text{ m}^2$

9.1.9.2 Kayma gerilmelerinin tahkiki

Donatılı beton ile tuğla duvarın

Elastisite modülleri oranı $n_1=5$

Karakteristik kayma dayanımları oranı $n_2=10.00/2.00=5$ 'dir. Donatılı beton için $\tau_u=10 \text{ kgf/cm}^2=100 \text{ t/m}^2$

Buna göre, tuğla duvar ve donatılı betondan oluşan taşıyıcı duvar sisteminin, tuğla duvara dönüştürülmüş etkin alanı; A_j ;

$A_j=\text{tuğla duvar alanı}+n \times \text{donatılı beton alanı}$

Burada $n=n_1=n_2=5$ 'dir.

9.1.9.3 Güçlendirme betonlarından gelen ilave yükler

a)Zemin katta:

$$G_{ek} = (13.71 \text{ m}^2 + 15.28 \text{ m}^2) \times 5.00 \times 2.50 \text{ t/m}^2 = 362.38 \text{ t}$$

b)1. Normal katta:

$$G_{ek} = (11.57\text{m}^2 + 14.33\text{m}^2) \times 5.00 \times 2.50\text{t/m}^2 = 323.75 \text{ t}$$

c)2. Normal katta:

$$G_{ek} = (8.42\text{m}^2 + 9.06\text{m}^2) \times 5.00 \times 2.50\text{t/m}^2 = 218.50 \text{ t}$$

9.1.9.4 Güçlendirilmiş durumda kat ağırlıkları

2.Kat $W_3 = 467.12 \text{ t} + 218.50 \text{ t} = 685.62 \text{ t}$

1.Kat $W_2 = 659.96 \text{ t} + 323.75 \text{ t} = 983.71 \text{ t}$

Zemin Kat $W_1 = 698.12 \text{ t} + 362.38 \text{ t} = 1060.50 \text{ t}$

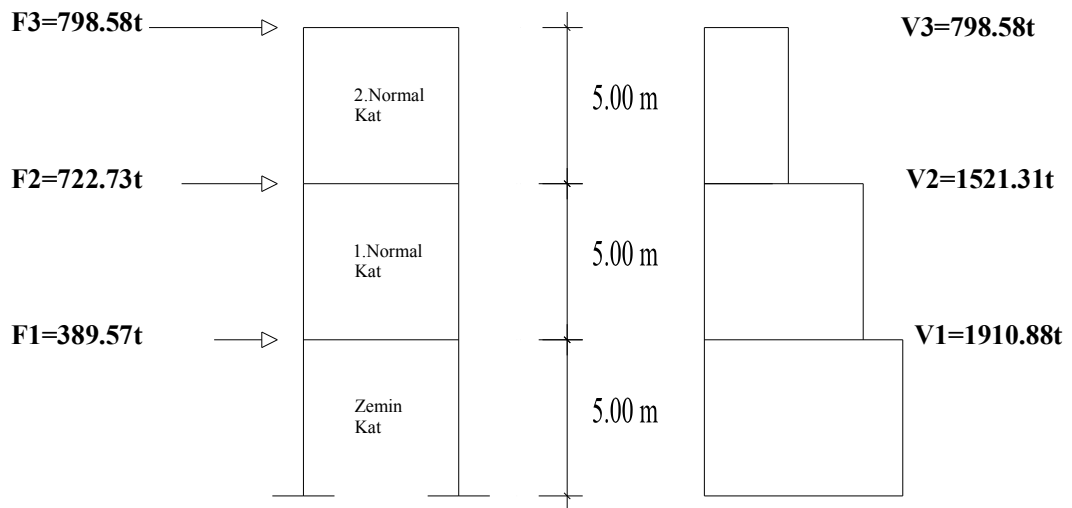
Toplam Yapı Yüğü $W = W_1 + W_2 + W_3 = 2729.83 \text{ t}$

9.1.9.5 Yeni deprem yükleri

Güçlendirilmiş durumda hesaplanan deprem yükleri Çizelge 9.4’de verilmiştir.

Çizelge 9.4 : Güçlendirilmiş yapıda katlara etkiyen deprem yükleri.

Kat	Hi (m)	Hi(m)	wi(t)	wi*Hi(tm)	Fi(t)	Vi(t)
3	5	15	685.62	10284.30	798.58	795.21
2	5	10	983.71	9837.10	722.73	1521.31
1	5	5	1060.50	5302.48	389.57	1910.88
$\Sigma =$			2729.83	25423.88	1910.88	



Şekil 9.8 : Güçlendirilmiş yapıda katlara etkiyen fiktif kuvvetler ve kesme kuvvetleri.

9.1.9.6 Etkin duvar alanları

a)Zemin katta:

•x eksenini doğrultusunda: $Adx=31.15m^2+(5\times 13.71m^2)=99.70 m^2$

•y eksenini doğrultusunda: $Ady=21.20m^2+(5\times 15.28m^2)=97.60 m^2$

b)1. Normal katta

•x eksenini doğrultusunda: $Adx=23.90m^2+(5\times 11.57m^2)=81.75 m^2$

•y eksenini doğrultusunda: $Ady=18.80m^2+(5\times 14.33m^2)=90.45 m^2$

c)2. Normal katta

•x eksenini doğrultusunda: $Adx=23.90m^2+(5\times 8.42m^2)=66.00 m^2$

•y eksenini doğrultusunda: $Ady=18.80m^2+(5\times 9.06m^2)=64.10 m^2$

9.1.9.7 Ortalama kayma gerilmeleri

Ortalama kayma gerilmesi=Kat Kesme Kuvveti/Etkin Duvar Alanı

a)Zemin katta: Kat kesme kuvveti $V_1=1910.88t$, $Adx=99.70m^2$, $Ady=97.60 m^2$,

$$\tau'_x=1910.88t/99.70m^2=19.17 t/m^2 < \tau_u=20 t/m^2$$

$$\tau'_y=1910.88t/97.60m^2=19.58 t/m^2 < \tau_u=20 t/m^2$$

b)1. Normal katta: Kat kesme kuvveti $V_2=1521.31t$, $Adx=81.75m^2$, $Ady=90.45 m^2$

$$\tau'_x=1521.31t/81.75m^2=18.61 t/m^2 < \tau_u=20 t/m^2$$

$$\tau'_y=1521.31t/90.45m^2=16.82 t/m^2 < \tau_u=20 t/m^2$$

c)2. Normal katta: Kat kesme kuvveti $V_3=798.58t$, $Adx=66.00m^2$, $Ady=64.10 m^2$

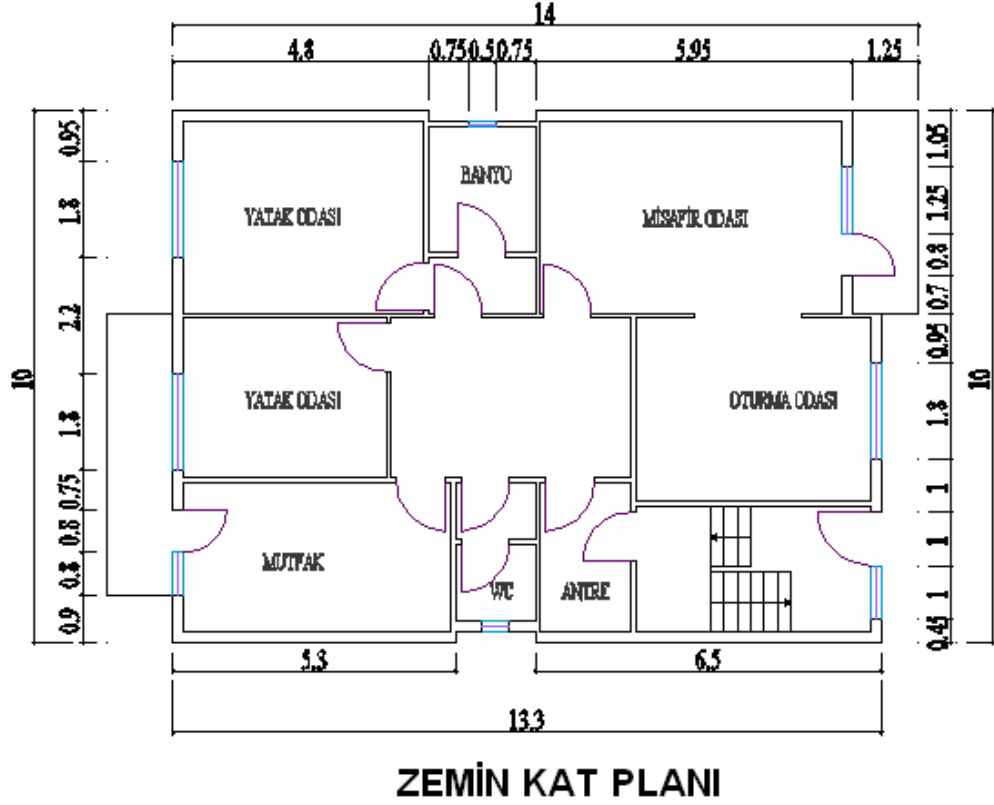
$$\tau'_x=798.58t/66m^2=12.10 t/m^2 < \tau_u=20 t/m^2$$

$$\tau'_y=798.58t/64.10m^2=12.46 t/m^2 < \tau_u=20 t/m^2$$

Güçlendirilmiş yapı sisteminin taşıyıcı duvarlarında deprem etkilerinden oluşan ortalama kayma gerilmelerinin öngörülen taşıma gücü değerini aşmadığı görülmektedir.

9.2 Üç Katlı Yığma Yapının Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi (2007 DBYYHY'e Göre Tahkik) ve Sayısal Hesap

Kaynak [32]'den alınan ve aşağıda kalıp planı verilen yığma yapının DBYYHY 2007'e göre deprem güvenliği değerlendirilecek ve güçlendirme durumu incelenecektir.



Şekil 9.9 : Üç katlı yığma yapı zemin kat planı.

9.2.1 Düşey yüklerin hesabı

Normal Kat Alanı: $10.00 \times 13.20 + 1.00 \times 3.80 + 5.50 \times 1.00 = 141.30 \text{ m}^2$

Kat Hareketli Yükleri: $q_1 = q_2 = q_3 = 5.00 \text{ kN/m}^2$

$G_1 = G_2 = G_3 = 5.00 \text{ kN/m}^2 \times 141.30 \text{ m}^2 = 706.50 \text{ kN}$

Duvar Boyları: $\ell_{dx} = 8.95 \text{ m (dış)}$ $\ell_{dx} = 23.00 \text{ m (iç)}$

$\ell_{dy} = 26.25 \text{ m (dış)}$ $\ell_{dy} = 21.95 \text{ m (iç)}$

Duvar Alanları: $A_{dx} = 8.95 \text{ m} \times 0.25 + 23.00 \times 0.20 = 6.84 \text{ m}^2$

$A_{dy} = 26.25 \text{ m} \times 0.25 + 21.95 \times 0.20 = 10.95 \text{ m}^2$

$$\text{Duvar Ağırlıkları:} \quad G=4.00 \times 2.95(26.25+8.95)+3.40 \times 2.95(23.00+21.95)$$

$$G=866.20\text{kN}$$

$$\text{Toplam Kat Ağırlıkları:} \quad W_1= W_2= W_3=866.20\text{kN}+0.30 \times 706.50\text{kN}=1078.20\text{kN}$$

$$\text{Toplam Yapı Yüğü} \quad \sum W_i=W_1+W_2+W_3=3234.60\text{kN}$$

9.2.2 Deprem yüklerinin hesabı

DBYYHY 2007'ye göre;

Toplam eşdeğer deprem yükü **Denklem 9.1**'den

$$V_t=W \times A(T_1) / R_a(T_1) \geq 0.10 \times A_0 \times I \times W \quad A(T_1)=A_0 \times I \times S(T)$$

$I=1.0$, $S(T)=2.5$, $R_a(T)=2.0$, $A_0=0.40$ alınmıştır.

$$A(T)=A_0 \times I \times S(T) \rightarrow A(T)=0.40 \times 1.0 \times 2.5=1.00$$

$$A(T) / R_a(T_1)=1.00/2.0=0.5 > 0.10 \times 0.40 \times 1.0=0.04$$

Bölüm 9.2.1'de $W=3234.6\text{kN}$ olarak hesaplanmıştır.

$$V_t=W \times A(T) / R_a(T)= 3234.6 \times 0.5=1617.30\text{kN}$$

$$N=3(\text{kat adedi})$$

Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükünün hesaplanması

$$N$$

$$V_t=\Delta F_N+\sum_{i=1} F_i$$

Binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükünün hesaplanması

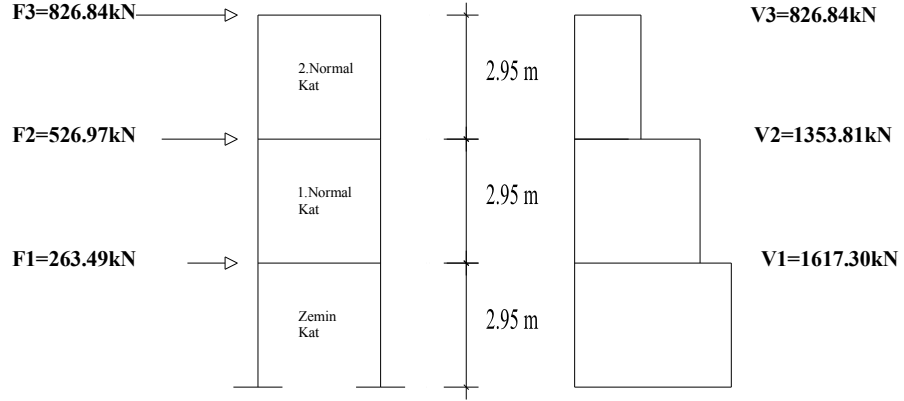
$$\Delta F_N=0.075 \times N \times V_t =0.075 \times 3 \times 1617.30\text{kN} =36.389\text{kN}$$

$$N$$

$$F_i=(V_t- \Delta F_N) w_i \times H_i / \sum_{j=1} w_j \times H_j$$

Çizelge 9.5 : Üç katlı yığma yapı mevcut durumda katlara etkiyen deprem yükleri.

Kat	hi(m)	Hi(m)	wi(kN)	wi×Hi(kNm)	Fi(kN)	Vi(kN)
3	2.95	8.85	1078.20	9542.07	826.84	826.84
2	2.95	5.90	1078.20	6361.38	526.97	1353.81
1	2.95	2.95	1078.20	3180.69	263.49	1617.30
$\Sigma=$			3234.60	19084.14	1617.30	



Şekil 9.10 : Üç katlı yığma yapıda mevcut durumda katlara etkiyen fiktif kuvvetler ve kesme kuvvetleri.

9.2.3 Kayma gerilmelerinin tahkiki

Ortalama kayma gerilmesi=Kat Kesme Kuvveti/Etkin Duvar Alanı

$$\tau_{x3}=826.84\text{kN}/6.84\text{m}^2=120.88\text{kN}/\text{m}^2 \quad \tau_{y3}=826.84\text{kN}/10.95\text{m}^2=75.51\text{kN}/\text{m}^2$$

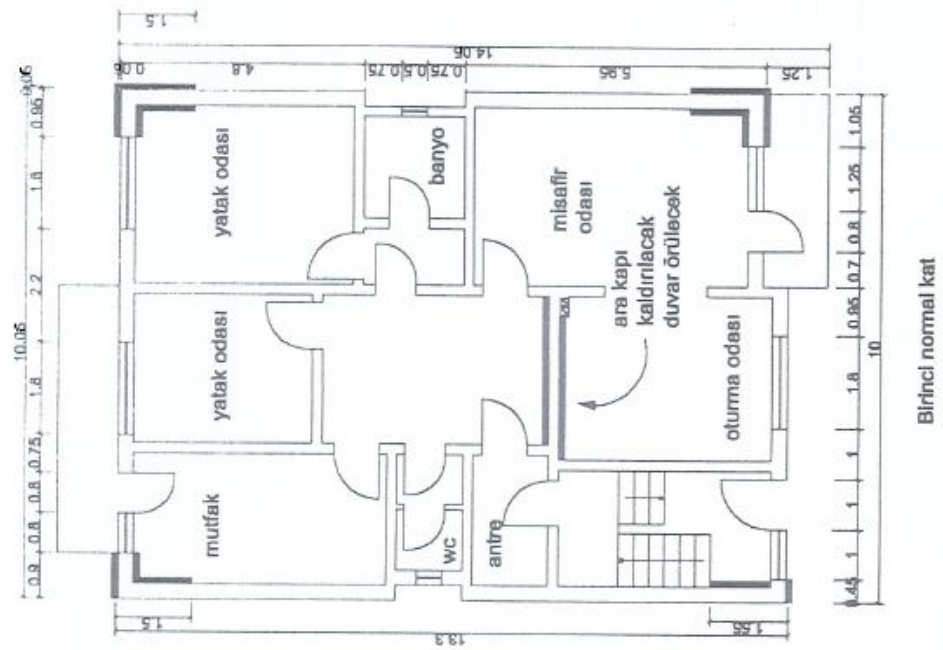
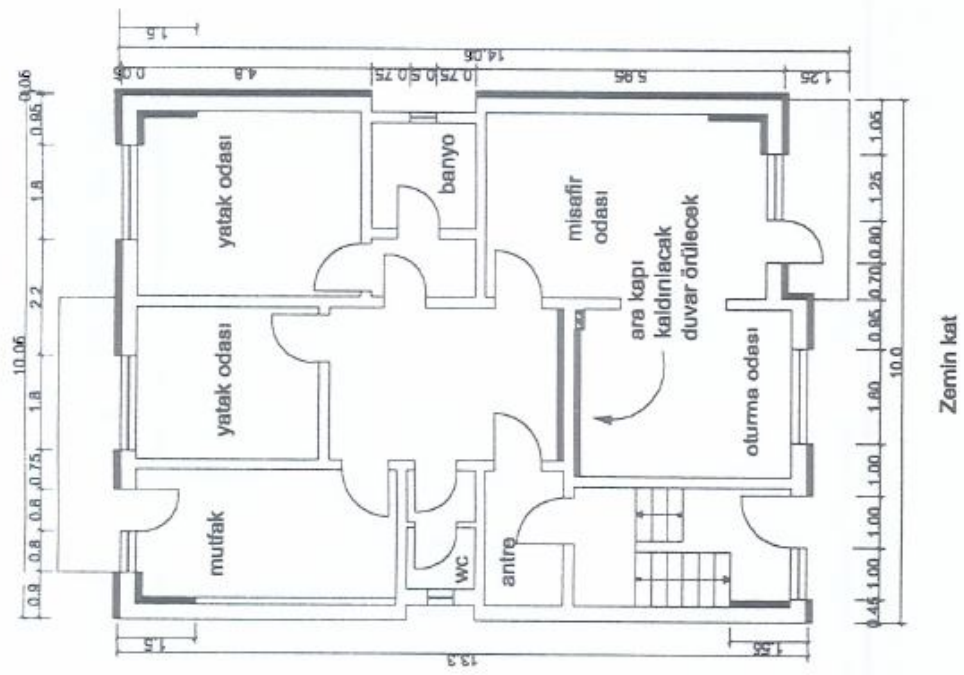
$$\tau_{x2}=1353.81\text{kN}/6.84\text{m}^2=197.93\text{kN}/\text{m}^2 \quad \tau_{y2}=1353.81\text{kN}/10.95\text{m}^2=123.64\text{kN}/\text{m}^2$$

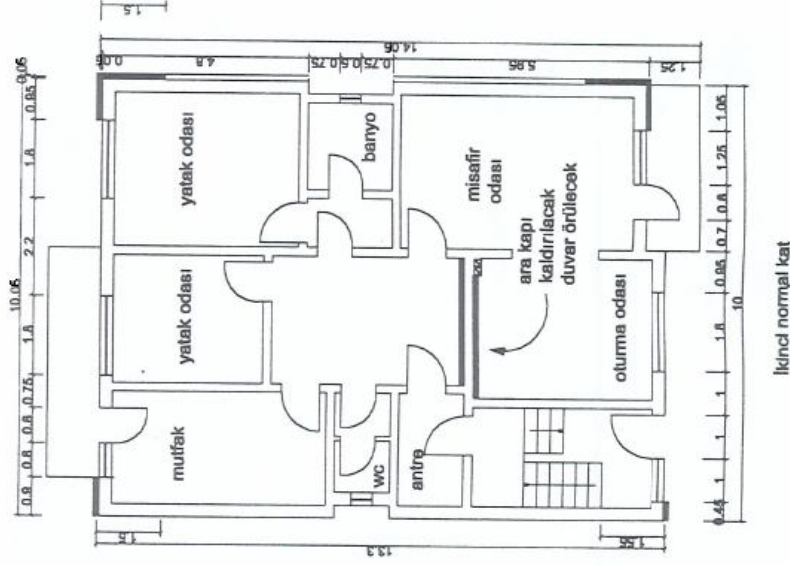
$$\tau_{x1}=1617.30\text{kN}/6.84\text{m}^2=236.45\text{kN}/\text{m}^2 \quad \tau_{y1}=1617.30\text{kN}/10.95\text{m}^2=147.7\text{kN}/\text{m}^2$$

$\tau_{max}=236.45\text{kN}/\text{m}^2 > \tau_{ult}=150.00\text{kN}/\text{m}^2$ olduğu için güçlendirilmesi gerekir.

9.2.4 Güçlendirilmiş yapı sisteminin tahkiki

Yapı sisteminin yeterli bir deprem güvenliğine sahip olabilmesi için, zemin kat, birinci normal kat ve ikinci normal katta planda gösterilen taşıyıcı duvarlar, her iki yüzünden, hasır donatılı beton ile güçlendirilecektir. Taşıyıcı duvarların her bir yüzüne uygulanacak beton kalınlıkları; 6cm'dir. Aynı zamanda bütün katlarda oturma odası ile giriş holü arasında bulunan ara kapı kaldırılarak duvar örülecektir.





Şekil 9.13 : İkinci normal katta püskürtme beton uygulaması yapılan duvarlar [32].

9.2.5 Güçlendirme betonu alanları

$$A'_{x3}=9.10 \times 0.06=0.55 \text{ m}^2 \quad A'_{y3}=3.05 \times 0.06=0.18 \text{ m}^2$$

$$A'_{x2}=10.85 \times 0.06=0.65 \text{ m}^2 \quad A'_{y2}=7.60 \times 0.06=0.46 \text{ m}^2$$

$$A'_{x1}=17.20 \times 0.06=1.03 \text{ m}^2 \quad A'_{y1}=16.20 \times 0.06=0.97 \text{ m}^2$$

9.2.6 Güçlendirme betonlarından gelen ilave yükler

$$G_{x3}=0.55\text{m}^2 \times 2.95\text{m} \times 25\text{kN/m}^3=40.56\text{kN} \quad G_{y3}=0.18\text{m}^2 \times 2.95\text{m} \times 25\text{kN/m}^3=13.28\text{kN}$$

$$G_{x2}=0.65\text{m}^2 \times 2.95\text{m} \times 25\text{kN/m}^3=47.94\text{kN} \quad G_{y2}=0.46\text{m}^2 \times 2.95\text{m} \times 25\text{kN/m}^3=33.93\text{kN}$$

$$G_{x1}=1.03\text{m}^2 \times 2.95\text{m} \times 25\text{kN/m}^3=75.96\text{kN} \quad G_{y1}=0.97\text{m}^2 \times 2.95\text{m} \times 25\text{kN/m}^3=71.54\text{kN}$$

9.2.7 Güçlendirilmiş durumda kat ağırlıkları

$$2.\text{Kat} \quad G_3=866.2\text{kN}+40.56\text{kN}+13.28\text{kN}=920.04 \text{ kN}$$

$$1.\text{Kat} \quad G_2=866.2\text{kN}+47.94\text{kN}+33.93\text{kN}=948.07\text{kN}$$

$$\text{Zemin Kat} \quad G_1=866.2\text{kN}+75.96\text{kN}+71.54\text{kN}=1013.7 \text{ kN}$$

$$W_1=920.04\text{kN}+0.30 \times 706.50\text{kN}=1131.99 \text{ kN}$$

$$W_2=948.07\text{kN}+0.30 \times 706.50\text{kN}=1160.02 \text{ kN}$$

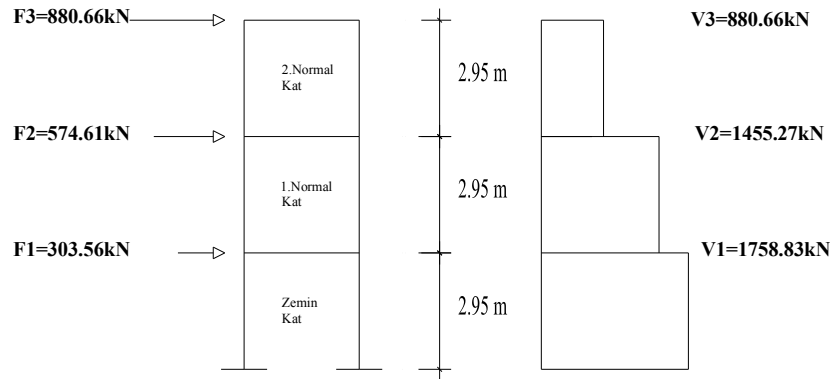
$$W_3=1013.7\text{kN}+0.30 \times 706.50\text{kN}=1225.65 \text{ kN}$$

$$\text{Toplam Yapı Yüğü } W=W_1+W_2+W_3=3517.66 \text{ kN}$$

9.2.8 Yeni deprem yükleri

Çizelge 9.6 : Güçlendirilmiş durumda katlara etkiyen deprem yükleri.

Kat	Hi(m)	Hi(m)	w _i (kN)	w _i ×H _i (kNm)	Fi(kN)	Vi(kN)
3	2.95	8.85	1131.99	10018.11	880.66	880.66
2	2.95	5.90	1160.02	6844.12	574.61	1455.27
1	2.95	2.95	1225.65	3615.67	303.56	1758.83
Σ=			3517.66	20477.90	1758.83	



Şekil 9.14 : Güçlendirilmiş durumda katlara etkiyen fiktif kuvvetler ve kesme kuvvetleri.

9.2.9 Etkin duvar alanları

$$A_{xi}=A_x+(E_{\text{beton}}/E_{\text{duvar}})\times A_{xi}^1 \quad A_{yi}=A_y+(E_{\text{beton}}/E_{\text{duvar}})\times A_{yi}^1$$

$$A_{x3}=6.84\text{m}^2+5\times 0.55\text{m}^2=9.59\text{ m}^2 \quad A_{y3}=10.95\text{m}^2+5\times 0.18\text{m}^2=11.85\text{ m}^2$$

$$A_{x2}=6.84\text{m}^2+5\times 0.65\text{m}^2=10.09\text{ m}^2 \quad A_{y2}=10.95\text{m}^2+5\times 0.46\text{m}^2=13.25\text{ m}^2$$

$$A_{x1}=6.84\text{m}^2+5\times 1.03\text{m}^2=11.99\text{ m}^2 \quad A_{y1}=10.95\text{m}^2+5\times 0.97\text{m}^2=15.80\text{ m}^2$$

9.2.10 Kayma gerilmelerinin tahkiki

Ortalama kayma gerilmesi=Kat Kesme Kuvveti/Etkin Duvar Alanı

$$\tau_{x3}=880.66\text{kN}/9.59\text{m}^2=91.83\text{ kN/m}^2 \quad \tau_{y3}=871.82\text{kN}/11.85\text{m}^2=74.32\text{ kN/m}^2$$

$$\tau_{x2}=1455.27\text{kN}/10.09\text{m}^2=144.23\text{ kN/m}^2 \quad \tau_{y2}=1455.27\text{kN}/13.25\text{m}^2=109.83\text{ kN/m}^2$$

$$\tau_{x1}=1758.83\text{kN}/11.99\text{m}^2=146.69\text{ kN/m}^2 \quad \tau_{y1}=1758.83\text{kN}/15.80\text{m}^2=111.32\text{ kN/m}^2$$

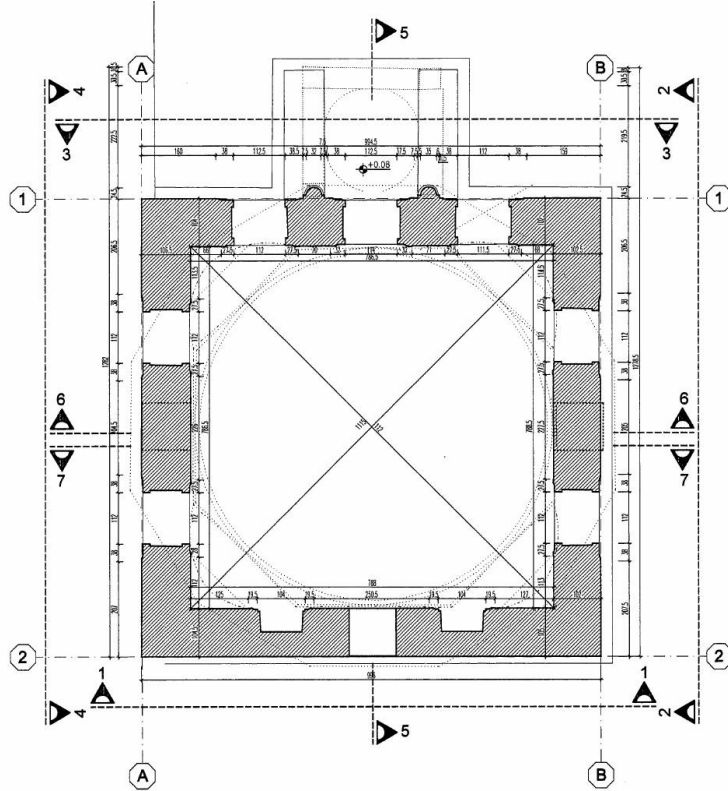
Hesaplanan kayma gerilmeleri $\tau_{ult}=150.00\text{ kN/m}^2$ den küçük olduğu için, öngörülen güçlendirmenin yeterli ve uygun olduğuna karar verilir.

9.3 Üç Adet Tarihi Yığma Yapının Deprem Güvenciliğinin İrdelenmesi

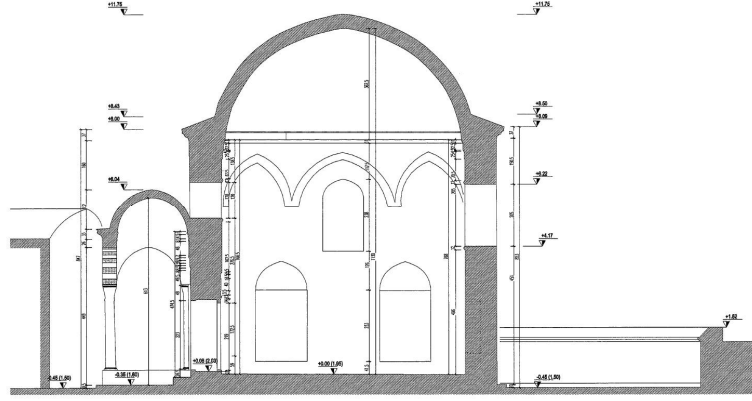
9.3.1 İsmihan Sultan Darülcırrası Sıbyan Mektebi binası

9.3.1.1 Yapının genel özellikleri

Mimar Sinan'a ait olun özellikleri korunan yapı Eyüp Sokollu Külliyesinde yer almaktadır. Orijinal yapı özellikleri bozulmadan korunmuştur. Yapı kare planlı olup tek katlıdır. Duvarlar tuğla ve kalınlıkları 100cm'nin üzerindedir. Ortasında tek kubbe dört köşesinde yarım küçük kubbeler bulunmaktadır. Cepheleri taş kaplıdır. Temel sisteminin ahşap kazıklar üzerine taş dolgu radye olduğu belirlenmiştir. Yapıya orijinal fonksiyonuna uygun kütüphane fonksiyonu verilmiştir. Yapılan incelemelerde temel, duvar, ayak, kemer ve kubbelerde gözle görülebilen bir çatlağa, düşeyde ayrılmaya ve farklı oturmalarına rastlanmamıştır. Taşıyıcı duvar ve harç malzemelerinin kalitesinin oldukça iyi olduğu görülmüştür. Dış cephe kaplamasının bazı noktalarında bozulmalar ve kurşun kaplama olan çatının saçak uçlarında deformasyon yaptığı görülmüştür.



Şekil 9.15 : İsmihan Sultan Darülcırrası Sıbyan Mektebi planı.



Şekil 9.16 : İsmihan Sultan Darülkurraşı Sıbyan Mektebi 6-6 kesiti.

Yapıya ait zemin raporunda zemin sınıfının Z3, zemin emniyet gerilmesinin 10 t/m^2 , etkin yer ivmesi $0.40g$ olarak belirlenmiştir.

9.3.1.2 Yapının mevcut durumunun tahkiki

Yapıda X yönü duvar uzunlukları: 1990 cm , Y yönü duvar uzunlukları: 1990 cm

X yönü duvar alanları toplamı: $1990 \text{ cm} \times 104 \text{ cm} = 206960 \text{ cm}^2$

Y yönü duvar alanları toplamı: $1990 \text{ cm} \times 104 \text{ cm} = 206960 \text{ cm}^2$ 'dir.

Yapının kat alanı: $9.95 \text{ m} \times 9.95 \text{ m} = 99.00 \text{ m}^2$ olarak hesaplanmıştır.

DBYYHY 2007'ye göre tahkikler

- Taşıyıcı duvarların minimum toplam uzunluğu:

$$0.20I = 0.20 \times 1.4 = 0.28$$

X yönü $19.90/99.00 = 0.20 \text{ m/m}^2 < 0.28 \text{ m/m}^2$ (yetersiz)

Y yönü $19.90/99.00 = 0.20 \text{ m/m}^2 < 0.28 \text{ m/m}^2$ (yetersiz)

- Taşıyıcı duvarların en büyük desteklenmemiş uzunluğu:

$7.88 \text{ m} > 5.50 \text{ m}$ (yetersiz)

- Taşıyıcı duvar boşlukları:

Boşlukların bina köşelerine uzaklığı: $90 \text{ cm} < 150 \text{ cm}$

Boşluklar arasındaki mesafe: $100 \text{ cm} = 100 \text{ cm}$

Boşlukların kenarındaki betonarme hatıl durumu: betonarme hatıl bulunmamaktadır

Boşlukların her birinin uzunluğu $114 \text{ cm} < 300 \text{ cm}$ (yeterli)

Boşlukların toplamının duvarlara oranı A ve B aksı:

$$2.24/7.88=0.28<0.40 \text{ (yeterli)}$$

$$1 \text{ ve } 2 \text{ aksı}=3.38/7.88=0.43>0.40 \text{ (yetersiz)}$$

●Kat adedi kontrolü:

Mevcut kat adedi:1, sınır kat adedi:2

Kat adedi yönetmelik sınırını aşmamaktadır

●Kat yüksekliği kontrolü:

Kat yüksekliği:7.90 m, sınır kat yüksekliği=3.00 m

Kat yüksekliği yönetmelik sınırlarını aşmaktadır

●Duvar kalınlığı kontrolü:

Duvar kalınlığı:102.00 cm,

Sınır duvar kalınlığı:50.00 cm

Duvar kalınlığı yönetmeliğe uygundur

9.3.1.3 Yük analizi

Zati yük:1108 kg/m², Hareketli yük:75 kg/m²

Kubbe alanı:85 m²

Toplam zati yük:1108kg/m²×85m²=334616kg=94.18 t

Yapı alanı:9.95m×9.95m×=99.00m²

Toplam hareketli yük:99.00m²×75 kg/m²=7425kg=7.43 t

Duvarlara gelen toplam yük: 94.18t+7.43t=101.61 t

Duvar birim hacim ağırlığı:1.50 t/m³

Duvar ağırlığı:8.90m×7.90m×1m×1.50t/m³×4=422 t olarak hesaplanmıştır

9.3.1.4 Deprem yükleri

●Taban kesme kuvveti:523.61 t,Kat kesme kuvveti:523.61 t

●Burulma momenti: X ve Y eksenlerinde 233.76 tm olarak hesaplanmıştır.

●Duvar kayma gerilmeleri ve eğilme momentleri:

X yönünde:

Kayma gerilmesi; 1No'lu duvarda: 30.86 t/m^2 , 2No'lu duvarda: 29.38 t/m^2

Eğilme momenti; 1No'lu duvarda: 2171.89 tm , 2No'lu duvarda: 2068.26 tm

Y yönünde:

Kayma gerilmesi; A No'lu duvarda: 29.38 t/m^2 , B No'lu duvarda: 30.86 t/m^2

Eğilme momenti; A No'lu duvarda: 2068.26 tm , B No'lu duvarda: 2171.89 tm

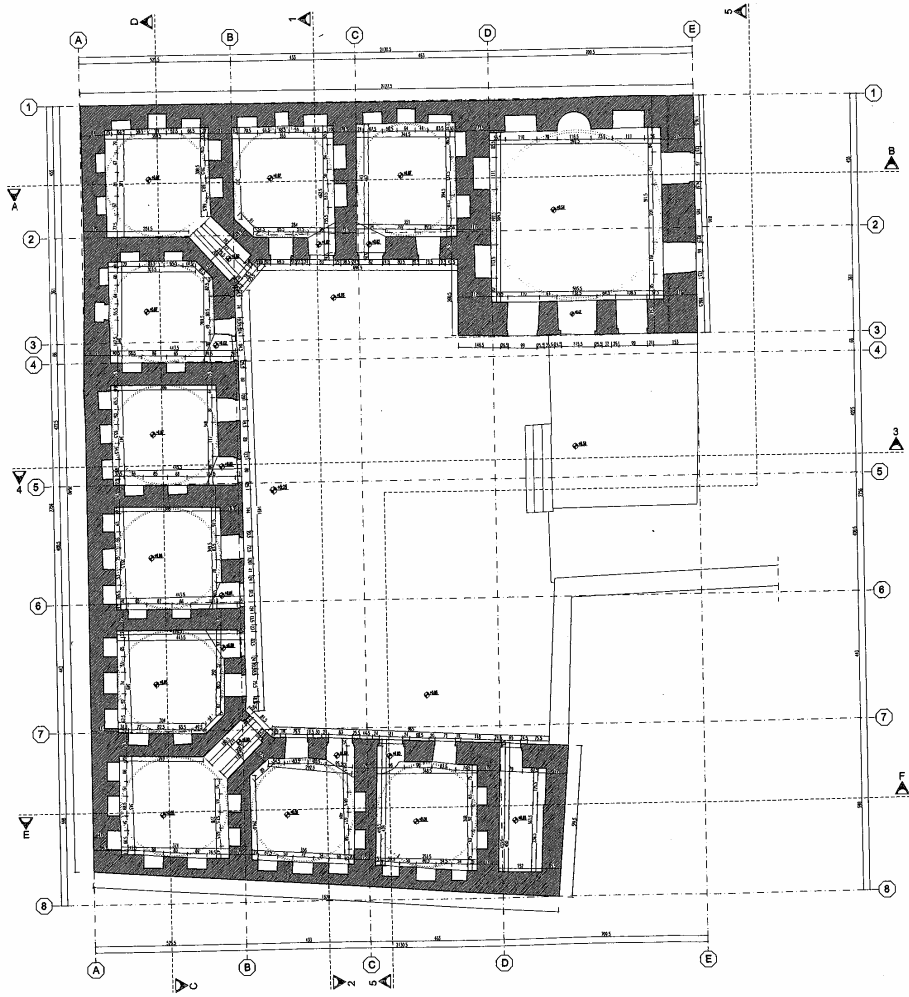
9.3.1.5 Yapıyla ilgili değerlendirmeler

Kütüphane olarak kullanılan yapının deprem güvenliğini irdelemek amacıyla yönetmelikteki ilgili maddeler kontrol edilmiş, kat ağırlıkları, deprem yükleri, duvar alanları, duvar gerilmeleri hesaplanmıştır. Halen yürürlükte olan deprem yönetmeliğine göre, uzunluk ve alan oranlarına bağlı bazı kuralların sağlanmadığı, 7.90m olan kat yüksekliğinin izin verilenden fazla olduğu, duvar uzunlukları ile alan oranları, boşluklar arası mesafeler ve boşlukların kenarlara olan mesafelerinin uygun olmadığı görülmüştür. Yapının ömrü ve performansı göz önüne alınarak, yapının olası bir depremde iyi performans göstereceği, yapıda oluşacak lokal çatlaklar ve hasarların küçük boyutta olacağı, bu nedenle yapının orijinalini bozacak nitelikte güçlendirme yapılmasına gerek olmadığı kanaatine varılmıştır.

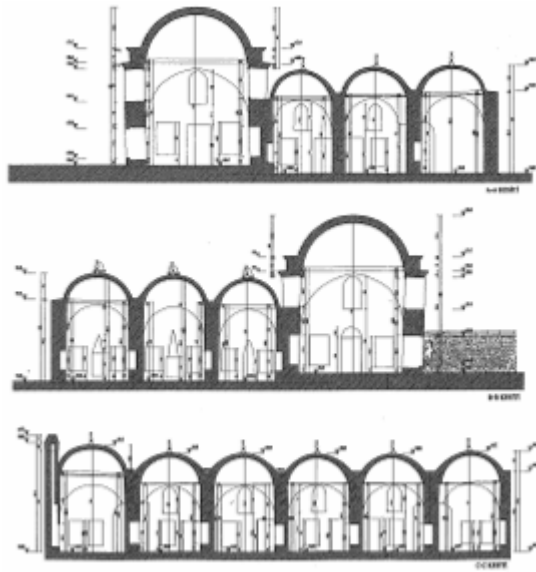
9.3.2 Cafer Paşa Medresesi binası

9.3.2.1 Yapının genel özellikleri

Eyüp'te bulunan yapı, medrese bileşenleri 10 hücre, derslane ve tuvaletten oluşmaktadır (Şekil 9). Hücreler U oluşturacak şekilde yerleştirilmiştir. Orijinal yapı özellikleri bozulmadan korunmuştur. Derslane duvarları 1 veya 2 sıra tuğla ile 1 sıra taştan oluşan almaşık örgülü orijinaldir. Yapının temel sistemi, 1m çaplı ahşap kazıklar ve üzerindeki dolgu şeklinde radye ile teşkil edilmiştir. Yapı, 1970'li yıllarda orijinaline uygun olarak restore edilmiştir. Yapılan incelemelerde temel, duvar, ayak, kemer ve kubbelerde gözle görülebilen bir çatlağa, düşeyde ayrılmaya ve farklı oturmalara rastlanmamıştır. Malzeme kalitesinin iyi olduğu, çatı kaplamasının bazı bölümlerinde hasarlar olduğu görülmüştür.



Şekil 9.17 : Cafer Paşa Medresesi planı.



Şekil 9.18 : Cafer Paşa Medresesi A-A, B-B ve C-C kesitleri.

Zemin raporunda, zemin sınıfı Z3, zemin emniyet gerilmesi 10t/m², etkin yer ivmesi 0.40g olarak belirtilmiştir.

9.3.2.2 Yapının mevcut durumunun tahkiki

Yapıda X yönü duvar uzunlukları:7557cm,Y yönü duvar uzunlukları:5589 cm

X yönü duvar alanları toplamı:56.08m²,Y yönü duvar alanları toplamı:42.15 m²'dir.

Yapının kat alanı:308 m²

DBYYHY 2007'ye göre tahkikler

●Taşıyıcı duvarların minimum toplam uzunluğu: $0.20I=0.20\times1.4=0.28$

X yönü $77.57/308=0.25\text{ m/m}^2<0.28\text{ m/m}^2$ (yetersiz)

Y yönü $59.89/308=0.19\text{ m/m}^2<0.28\text{ m/m}^2$ (yetersiz)

●Taşıyıcı duvarların en büyük desteklenmemiş uzunluğu:

5.95 m>5.50 m(yetersiz)

●Taşıyıcı duvar boşlukları:

Boşlukların bina köşelerine uzaklığı:55 cm<150 cm

Boşluklar arasındaki mesafe: 51.5 cm<100 cm

Boşlukların kenarındaki betonarme hatıl durumu: betonarme hatıl bulunmamaktadır

Boşlukların her birinin uzunluğu:110 cm<300 cm(yeterli)

Boşlukların toplamının duvarlara oranı:

7 aksı: $1.78/3.50=0.51>0.40$ (yetersiz)

A aksı: $1.84/3.48=0.53>0.40$ (yetersiz)

●Kat adedi kontrolü:

Mevcut kat adedi:1, sınır kat adedi:2

Kat adedi yönetmelik sınırını aşmamaktadır

●Kat yüksekliği kontrolü:

Kat yüksekliği:5.00 m, sınır kat yüksekliği=3.00 m

Kat yüksekliği yönetmelik sınırlarını aşmaktadır

- Duvar kalınlığı kontrolü:

Duvar kalınlığı: 59.00 cm,

Sınır duvar kalınlığı: 50.00 cm

Duvar kalınlığı yönetmeliğe uygundur

9.3.2.3 Yük analizi

Zati yük: 608 kg/m^2 , Hareketli yük: 75 kg/m^2

Kubbe alanı 1: 51.8 m^2 , Kubbe alanı 2: 17.0 m^2

Toplam zati yük: $608 \text{ kg/m}^2 \times (51.8 + 17.0 \times 10 + 178) = 243078 \text{ kg} = 243 \text{ t}$

Toplam hareketli yük: $308 \text{ m}^2 \times 75 \text{ kg/m}^2 = 23100 \text{ kg} = 23 \text{ t}$

Duvarlara gelen toplam yük: $243 \text{ t} + 23 \text{ t} = 266 \text{ t}$

Duvar ağırlığı: 736.71 t olarak hesaplanmıştır.

9.3.2.4 Deprem yükleri

- Taban kesme kuvveti: 1002.71 t, Kat kesme kuvveti: 1002.71 t olarak hesaplanmıştır.

- Duvar gerilmeleri ve eğilme momentleri:

X ve Y yönünde elde edilen en büyük kayma gerilmeleri sırasıyla: 35.82 t/m^2 ve 47.28 t/m^2 dir.

X ve Y yönünde elde edilen en büyük eğilme momentleri sırasıyla: 2324.91 tm ve 1157.81 tmdir

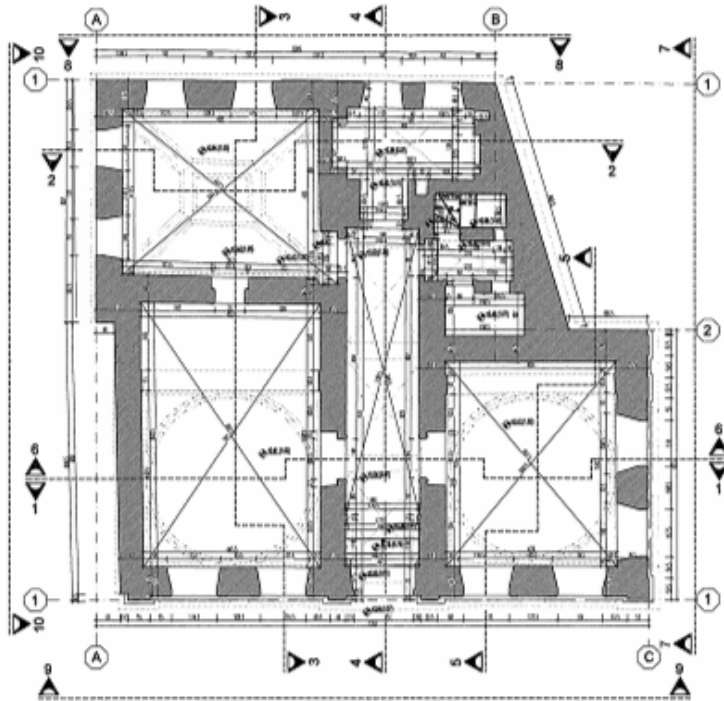
9.3.2.5 Yapıyla ilgili değerlendirmeler

Yapının koşullar göz önüne alınarak yatay ve düşey yükler altında analizi yapılmış ve birinci yapının kine benzer şekilde deprem güvenliği irdelenmiştir. Yapının geçmişte hasara uğradığı ve bu hasarların başarılı bir şekilde onarıldığı, olası bir depremde hasarın U şeklindeki yapının kollarının birleştiği yerde oluşmasının muhtemel olduğu, yapının geometrik şeklini değiştirmenin mümkün olmadığı, olası hasarların yapının toptan veya kısmı göçmelere neden olmayacağı ve deprem sonrası giderileceği kabul edilmiştir.

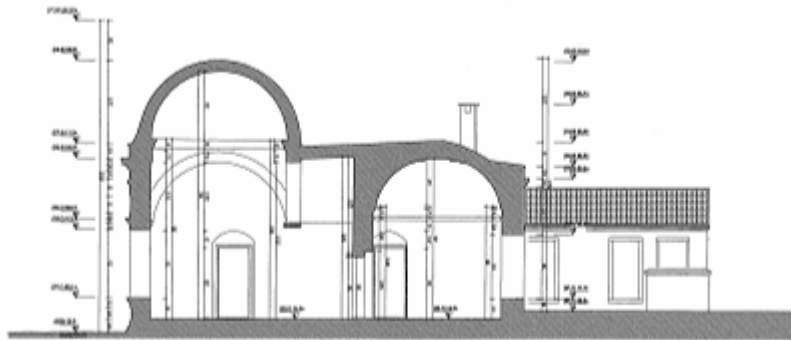
9.3.3 Hüsrev Paşa Kütüphanesi binası

9.3.3.1 Yapının genel özellikleri

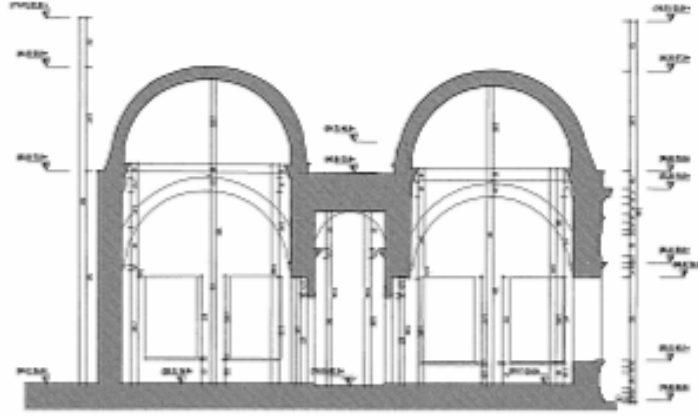
Eyüp'te bulunan, 60-70 cm kalınlığında duvarlara sahip yığma kâgır yapının ön ve yan cepheleri mermer arka cephesi ise taş kaplıdır. Çatısı kurşun kaplı olup, çapraz tonoz ve kubbelerden oluşmaktadır. Yapı planı kareye yakın olup ve burulmaya neden olacak geometrik bir şekle sahip değildir. Yapılan incelemelerde temel, duvar, ayak, kemer ve kubbelerde gözle görülebilen bir çatlağa, düşeyde ayrılmaya ve farklı oturmalara rastlanmamıştır. Taşıyıcı duvar ve harç malzemesinin kalitesinin iyi olduğu görülmüştür.



Şekil 9.19 : Hüsrev Paşa Kütüphanesi planı.



Şekil 9.20 : Hüsrev Paşa Kütüphanesi 3-3 kesiti.



Şekil 9.21 : Hüsrev Paşa Kütüphanesi 1-1 kesiti.

Zemin raporunda, zemin sınıfı Z4, zemin emniyet gerilmesi 10t/m^2 , etkin yer ivmesi $0.40g$ olarak belirtilmiştir.

9.3.3.2 Yapının mevcut durumunun tahkiki

Yapıda X yönü duvar uzunlukları: 2725 cm , Y yönü duvar uzunlukları: 4104 cm

X yönü duvar alanları toplamı: 183874 cm^2 , Y yönü duvar alanları toplamı: 260824 cm^2 dir.

Yapının kat alanı: 157.60 m^2

DBYYHY 2007'ye göre tahkikler

- Taşıyıcı duvarların minimum toplam uzunluğu: $0.20I = 0.20 \times 1.4 = 0.28$

X yönü $27.25/157.60 = 0.17\text{ m/m}^2 < 0.28\text{ m/m}^2$ (yetersiz)

Y yönü $41.04/157.60 = 0.26\text{ m/m}^2 < 0.28\text{ m/m}^2$ (yetersiz)

- Taşıyıcı duvarların en büyük desteklenmemiş uzunluğu:

$6.60\text{ m} > 5.50\text{ m}$ (yetersiz)

- Taşıyıcı duvar boşlukları:

Boşlukların bina köşelerine uzaklığı: $30\text{ cm} < 150\text{ cm}$ (yetersiz)

Boşluklar arasındaki mesafe: $87\text{ cm} < 100\text{ cm}$ (yetersiz)

- Kat adedi kontrolü:

Mevcut kat adedi: 1, sınır kat adedi: 2

Kat adedi yönetmelik sınırını aşmamaktadır

- Kat yüksekliği kontrolü:Kat yüksekliği:5.70 m, sınır kat yüksekliği=3.00 m

Kat yüksekliği yönetmelik sınırlarını aşmaktadır

- Duvar kalınlığı kontrolü:Duvar kalınlığı:60.00 cm,Sınır duvar kalınlığı:50.00 cm

Duvar kalınlığı yönetmeliğe uygundur

9.3.3.3 Yük analizi

Zati yük:858 kg/m², Hareketli yük:75 kg/m²

Kubbe alanı: 35 m²

Toplam zati yük:858kg/m²×(2×35+123)=165594kg=166 t

Toplam hareketli yük:158m²×75 kg/m²=11850kg=11.85 t

Duvarlara gelen toplam yük: 166t+11.85t=177.85 t

Duvar ağırlığı:66.72 t olarak hesaplanmıştır.

9.3.3.4 Deprem yükleri

Taban kesme kuvveti:244.57 t, Kat kesme kuvveti:244.57 t olarak hesaplanmıştır.

Duvar gerilmeleri ve eğilme momentleri:

X ve Y yönünde elde edilen en büyük kayma gerilmeleri sırasıyla: 13.32 t/m² ve 12.31 t/m² dir.

X ve Y yönünde elde edilen en büyük eğilme momentleri sırasıyla: 286.04 tm ve 300.77 tm'dir.

9.3.3.5 Yapıyla ilgili değerlendirmeler

Yapı 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre incelenmiş olup bazı değerlerin yönetmelikte istenilen değerleri sağlamadığı görülmüştür. Bu koşullar göz önüne alınarak yapı yatay ve düşey yükler altında incelenmiş bu kuvvet bileşenleri için duvarlarda oluşan gerilmeler hesaplanmıştır. Sonuç olarak duvarlarda oluşan gerilmelerin emniyet gerilmelerini aşmadığı sonucuna varılmıştır. Yapıda yapılan araştırmalar neticesinde güçlendirilmesine gerek duyulmadığı ancak yapının ömrü boyunca iyi bir performans sergileyebilmesi için gerekli bakımların yapılarak rutubetten ve diğer dış etkenlerden uzak tutulması kanaatine varılmıştır.

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tarihi yapılar, kullanım amaçları, taşıyıcı sistemi ve kullanılan malzemeleri bakımından dönemlerinin en gözde taşınmazları ve güç simgeleridir. Taşıyıcı sistem ve malzeme seçiminde gösterilen özen sayesinde bugün pek çoğu ayakta ve kullanıma açıktır. Ancak çeşitli etkenler bu eserlerin yıkılmasına ve yok olmasına neden olmaktadır. Bu etkenlerin tanımlanması ve ortadan kaldırılması zamanında ve doğru bir teknik müdahale ile mümkün olmaktadır. Bu amaçla, tarihi yapıların taşıyıcı elemanlarının özellikleri bilinmeli, yapı hasarları kayda değer bir şekilde tespit edilmeli, koruma bilinciyle yaklaşılarak bakım ve onarımı yapılmalı, hasarların giderilmesine yönelik çalışmalar yapılmalı, gerekli durumlarda uygun teknik seçilerek güçlendirilmeli ve kültürel miras niteliğindeki bu yapılar gelecek nesillere aktarılmalıdır.

Bu çalışmada, bu amaçla tarihi yapılarda en çok rastlanılan yığma yapı yapım tekniği incelenmiş, tarihi yığma yapıların taşıyıcı sistemleri, kullanılan malzemeler, tanıtılmış, yürürlükteki deprem yönetmeliği koşullarına göre yığma yapı tasarım ilkelerine değinilmiş, yığma yapılarda oluşan hasar türleri ve onarım güçlendirme teknikleri incelenmiştir. Ele alınan örnek yapılarla ilgili tahkikler ve sayısal hesaplar verilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Bayülke, N.**, 2001. Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yığma Yapı Tasarımı, *İzmir İMO*, 3.s., İzmir.
- [2] **Bayülke, N.**, 1992. Yığma Yapılar, Ankara.
- [3] **Bayülke, N.**, 1998a. Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yığma Yapı Tasarımı, *İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayın No: 27, 245s*, İzmir.
- [4] **Orton, A.**, 1993. *Structural Design of Masonry*, Longman, London.
- [5] **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.
- [6] **Paulay, T., Priestley, M.J.N.**, 1992. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, John Wiley and Sons Inc., America
- [7] **Çamlıbel, N.**, 2000. *Yapıların Taşıma Gücünün İyileştirilmesi*, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [8] **Ünay, A.İ.**, 2002. *Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı*, ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları, Ankara.
- [9] **Çelebi, R.**, 2001. *Yapı Bilgisi*, İstanbul Kültür Üniversitesi Yayınları No:12, İstanbul.
- [10] **Bayraktar, A.**, 2006. *Tarihi Yapıların Analitik İncelenmesi Ve Sismik Güçlendirme Metotları*, Beta Yayınları, İstanbul.
- [11] **Çılı, F., Sesigür, H.**, 2007. Tarihi Yapıların Onarımı/Güçlendirilmesi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Seminer Notları.
- [12] **Çamlıbel, N.**, 1998. *Sinan Mimarlığında Yapı Strüktürünün Analitik İncelenmesi*, YTÜ Basım-Yayın Merkezi, İstanbul.
- [13] **Sesigür, H., Çelik, O.C., Çılı, F.**, 2007. Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Bileşenler, Hasar Biçimleri, Onarım ve Güçlendirme, *Yapı Dergisi Şubat 2007 Sayı:3003*.
- [14] **Tanyeli G.**, 1990. Osmanlı Mimarlığında Demirin Strüktürel Kullanımı(15.-18. Yüzyıl), *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [15] **Arun, G.**, 2005. Yığma Kagir Yapı Davranışı, *YDGA 2005 Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı*, ODTÜ, Ankara, 17 Şubat 2005.
- [16] **TS704**, 1979. Harman Tuğlası (Duvarlar İçin)
- [17] **TS2514**, 1977. Kerpiç Bloklar ve Yapım Kuralları.

- [18] **Bayülke, N.**, 1978. *Deprem ve Depreme Dayanıklı Yapılar*, İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Yayınları, Ankara.
- [19] **Mahrebel, H.A.**, 2006. Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri Hasarlar Onarım ve Güçlendirme Teknikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [20] **Kuban, D.**,1998. *Mimarlık Kavramları*, Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, İstanbul.
- [21] **Bayraktar A.**, 2005. Tarihi Yığma Yapıların Depreme Karşı Güçlendirilmesi, *YDGA 2005 Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı*, ODTÜ, Ankara, 17 Şubat 2005.
- [22] **U.Yergün** , Batılılaşma Dönemi Mîmarisinde Yapım Teknolojisindeki Değişim ve Gelişim , *Doktora Tezi* , 2002 , Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
- [23] **Postacıoğlu, B.**, 1981. *Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri-İç Yapı ve Mekanik Özellikler Cilt 1*, İTÜ Matbaası
- [24] **Carino, N.J.**, 1991. Nondestructive Testing Of Concrete: History and Challenges, Concrete Technology Past, Present, and Future, *Proceeding of V.Mohan Malhotra Symposium, sp-144-30 pp 623-678*.
- [25] **Aköz, F.**, 2005. YGDA 2005-Yığma Kagir Yapılarda Hasar Tespiti, ODTÜ, Ankara
- [26] **Baran, B., Erkmen, C., Köksal, T.S.**, 2005. 31 Temmuz 2005 Bala-Ankara Depremi Raporu, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [27] **Namlı, M.**, 2001. Tarihi Yapıların Temel Sistemleri ve Temel Takviyesi Yöntemleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [28] **Bayülke, N.**, 1984. Depremde Hasar Gören Yapıların Onarımı ve Güçlenrilmesi, T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara.
- [29] **Erguvanlı, K.**, 1982. *Mühendislik Jeolojisi*, İTÜ Maden Fak.
- [30] **Toğrol, E.**, 1994. Temel Takviyesi Yöntemlerine yeni bir bakış, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği V. Ulusal Kongresi*, ODTÜ, Ankara, cilt III, 887-917.
- [31] **Saraç, M.**, 2003. Tarihi Yığma Kâgir Yapıların Güçlendirilmesi , *Yüksek Lisans Tezi* , İ.T.Ü. , Fen Bilimleri Enstitüsü
- [32] **Celep, Z., Kumbasar N.**, 2004. *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [33] **BASF – YKS Yapı Kimyasalları** , Tarihi Yapı Onarım ve Güçlendirme Rehberi.
- [34] **Tekno Yapı Kimyasalları A.Ş.**, Teknowrap Serisi Karbon Lifli Yapısal Sağlamlaştırma Ürünleri Teknik Şartnamesi.
- [35] **Peker, İ.**, 2005. Yığma ve Tarihi Yapılarda FRP Malzemeler Kullanılarak Yapılan Güçlendirme Uygulamaları, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 23-25 Mart 2005.

- [36] **DBYYHY**, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Mart, 2007.
- [37] **Pryke J.F.S.**, 1981. Cracked Building, What Constitutes Design Failure Building Defects, Supplement To Chartered Surveyor.
- [38] **Aydoğan, M., Öztürk T.**, 2002. Betonarme Yapılarda Güçlendirme Uygulamaları, *Prof. Dr. Kemal Özden'i Anma Semineri, Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi Alanında Gelişmeler Bildiriler Kitabı*, İstanbul, 10 Mayıs 2002.
- [39] **Türer, A., Vd.**, 2005. *Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Artırılması ve Ard-Germe İle Depreme Karşı Güçlendirilmesi Çalıştayı*, Ankara.
- [40] **Önal, M.M.**, 2002. Hasar Görmüş Dikdörtgen Kesitli Krişlerin Mantolama Yöntemi ile Onarımı Üzerine Deneysel Bir Araştırma, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora Tezi*, Ankara.
- [41] **Bayülke, N.**, 1999. Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayın No: 15
- [42] **Drysdale, G.R., Hamid, A.A., Baker, L.R.**, 1994. Masonry Structures, Prentice Hall.
- [43] **Draysdale, R.G., Hamid, A.A., Baker, L.R., Paulay, T.**, 1994. Masonry Structures Behaviour and Design, Siesmic Design, Brick Institute of America, Prentice Hall, New Jersey.
- Url-1** < <http://www.lentomimarlik.com>>, alındığı tarih 27.12.2007.
- Url-2** < <http://www.temeltas.com.tr>>, alındığı tarih 25.10.2008
- Url-3** < <http://www.insaaim.com>>, alındığı tarih 25.10.2008
- Url-4** < <http://www.arkitera.com>>, alındığı tarih 30.06.2008
- Url-5** < <http://www.sismikhaber.org>>, alındığı tarih 22.09.2008

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Hayriye Gülçin KARA

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul 24.03.1982

Adres: Karadeniz Mahallesi 1179 Sokak No: 21 Gaziosmanpaşa/ İSTANBUL

Lisans Üniversitesi: İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği

Yayın Listesi:

- Öztürk, T., **Kara, H.G.**, 2008: Tarihi Yığma Yapıların Güvenliğinin İncelenmesi Onarım ve Güçlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi 30.Yıl Sempozyumu, 16-17 Ekim 2008, Adana, Türkiye.*