

TARİHİ YAPILAR İÇİN DEPREM RİSKLERİNİN YÖNETİMİ KILAVUZU

Vakılar Genel Müdürlüğü

GİRİŞ

Kültür mirası açısından çok zengin olan ülkemizde tarihi yapılar büyük bir çeşitlenme göstermektedir. Anadolu'nun aktif bir deprem kuşağı üzerinde bulunması nedeniyle, yurdumuzdaki tarihi yapılar depremlerden etkilenmişlerdir. Kimi hasar görüp onarılmış, kimi de tümünden yıkılarak yeniden yapılmıştır.

Depremlere bağlı olarak gelişen hasarların azaltılması, anıtların sürekli bakımlarının yapılması ve izlenmesi ile mümkün olmaktadır. Uzun süren bakımsızlık dönemleri, çevrelerindeki inşaat faaliyeti tarihi eserleri zayıflatmakta, hasara açık duruma getirmektedir. Kültür mirasının depremden korunması sorunu ile karşı karşıya olan birçok ülke, afet öncesinde, sırasında ve sonrasında yapılması gereken çalışmalara eşit ağırlık veren “Bütünleşik risk yönetimi” yaklaşımını benimsemektedir.

Bu kılavuz, tarihi yapılarda deprem tehlikesine karşı gelişebilecek risklerin yönetimi için afet öncesi risk değerlendirme, risk azaltma ve hazırlık, afet sırasında acil müdahale ve afet sonrasında iyileştirme aşamalarını ayrı başlıklar altında ele alan ve her safha için stratejik, taktik ve operasyonel aşamaları bilimsel ve teknik yönden tanımlayan bir rehber olmayı hedeflemektedir.

Depremde hasar gören tarihi yapılara yapılacak ilk müdahale sırasında bu konuda özel olarak yetiştirilmiş uzmanların yer alması ve müdahalelerin zaman yitirilmeden gerçekleştirilebilmesi için yasa ve yönetmeliklerde “acil durum müdahale” süreçlerinin tanımlanması önerilmektedir.

Türkiye’de ilk kez hazırlanan bu kılavuzun, uygulamalarda karşılaşılan sorun ve yeni deneyimlerle gözden geçirilmesi, sürekli olarak güncellenmesi planlanmaktadır. Kılavuzda yer alan konuların bilimsel araştırmaları özendirmesi, yapılacak araştırmalar ve bilimsel katkılarla kapsamın genişlemesi umut edilmektedir.

1. 1. Amaç ve Kapsam

Kılavuzun amacı, tarihi yapıları tehdit eden deprem riskinin yönetimi için deprem öncesinde risk analizi, zarar azaltma, hazırlık, olay sırasında acil müdahale ve olay sonrasında iyileştirme aşamasında yapılacak hasar tespiti, geçici önlem ve kapsamlı müdahale çalışmalarını stratejik ve uygulama düzeylerinde tanımlayacak teknik bir belge oluşturulmasıdır.

Afet öncesinde tarihi yapıların taşıyıcı sistemlerinin depreme karşı güvenlik durumunun belirlenmesi, yapısal sorunlarının ayrıntılı olarak saptanması için yürütülecek inceleme ve araştırmaların tanımlanması, deprem ve düşey yükler altında hesaplama temel ilkelerinin belirlenmesi, buna bağlı olarak elde edilen sonuçlar doğrultusunda, koruma ilkelerine uygun müdahalelerin projelendirilip uygulanması öngörülmektedir. Afet sonrasında ise, kılavuzda tanımlanan geçici acil müdahaleler yardımıyla, hasar gören kültür mirasının desteklenerek ayakta tutulması, onarım hazırlıkları yapılırken göçmenin engellenmesi hedeflenmektedir.

Kılavuz; ülkemizde yaşanan afetlerden yalnız deprem afetine yönelik teknik bilgiler içermektedir. Diğer afetlere yönelik çalışmalar ileride hazırlanacaktır.

Anıtsal ve sivil kültür mirasımızın önemli bir bölümünün taş ve tuğla kullanılarak yapılmış olması ve kargir yapıların depreme karşı hassasiyeti göz önünde bulundurularak, kılavuzda ağırlıklı olarak kargir yapılar ele alınmıştır. Ahşap ve diğer malzemelerle inşa edilmiş tarihi yapılar daha sonra irdelenecektir.

1. 2. Yöntem

Tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesi için alınacak kararların, onların deprem karşısındaki davranışlarının ayrıntılı analizine dayanması ve tarihi yapıların korunması için kabul edilen uluslararası ilkelere uygun olması istenmektedir.

Hazırlanan kılavuz kesin kurallar koymaktan çok, doğru yaklaşımları açıklamayı hedeflemektedir. Çünkü her tarihi yapı kendine özgü tasarım, yapım sistemi, malzeme özellikleri olan, hasarları ayrıntılı incelenerek değerlendirilmesi gereken bir durum sunmaktadır. Karşı karşıya kalabileceği deprem hasarı, bulunduğu yerdeki zemin koşulları, taşıyıcı sisteminin özellikleri irdelenerek belirlenmeli ve ona göre müdahale önerileri geliştirilmelidir. Önerilerin mevcut tarihi yapıya getireceği değişim ve etkiler koruma ilkeleri açısından değerlendirilmeli; kabul edilebilir olup olmadığı tartışılarak gerekirse alternatif çözümler araştırılmalıdır.

Uluslararası koruma kurallarının yer aldığı temel belge 1964 tarihli Venedik Tüzüğü'dür. Koruma mimar ve teknisyenlerinin kaleme aldığı Venedik Tüzüğü'nün altı çizilen temel ilkelerinden biri koruma müdahalelerinin tarihi yapıların belge ve estetik değerlerini gözeten bir yaklaşımla uygulanmasıdır. Geleneksel malzeme ve tekniklerle inşa edilmiş olan tarihi yapıların onarımlarının özenli olması, yapılacak müdahalelerin, plan düzenini, görünümünü, malzeme ve yapım sistemlerini değiştirmemesi istenmektedir.

Venedik Tüzüğü'nde tarihi yapıların araştırılmasında ve koruma müdahalelerinde çağdaş bilim ve tekniklerden yararlanılması uygun görülmektedir. Ancak kullanılan teknikler denenmiş ve uzun erimde tarihi yapıya uygun oldukları belirlenmiş olmalıdır. Zaman, çağdaş malzeme ve tekniklerin davranışının daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla koruma uygulamalarında yeni bulunan ancak tarihi malzeme ve dokularla nasıl etkileştiği iyi bilinmeyen malzeme ve tekniklerin kullanılmasından kaçınılmalıdır. Örneğin çimento ve betonarme birçok tarihi yapının onarımında kullanılmıştır ancak çimentonun tuz içerdiği, betonarmenin geleneksel yapıyla bağdaşmadığı anlaşıldıktan sonra, bu ikilinin tarihi yapı onarımında kullanımından kaçınılmıştır.

Venedik Tüzüğü'nün ardından korumayla ilgili uzmanların 1965'te kurdukları ICOMOS'un (Uluslararası Anıtlar ve Sitler Konseyi) geliştirdiği tüzüklerle tarihi yapıların onarımlarında dikkat edilmesi gereken konular, uyulması gereken ilkeler ayrıntılı olarak tartışılmış ve tanımlanmıştır.

2003 tarihinde kabul edilen “ Mimari Mirasın Analizi, Korunması ve Strüktürel Restorasyon İlkeleri” Tüzüğünde korumanın disiplinlerarası bir alan olduğu vurgulanmış; “sorunun boyut ve türüne bağlı olarak, araştırmanın ilk adımlarından itibaren disiplinlerarası bir ekip alanın incelemesini yapmalı ve çalışma programını hazırlamalıdır” denilmiştir. Aynı tüzükte “Zorunlu olduğu kanıtlanmayan hiçbir müdahale yapılmamalıdır” ve “mümkün olan yerlerde yapılan müdahalenin geriye dönüşe uygun (reversible) olması, böylece yeni bilgiler edinildiğinde yapılan müdahalenin esere zarar vermeden kaldırılarak daha uygun olanlarla yer değiştirmesi arzu edilir” ifadeleriyle yapılacak çalışmaların hassasiyetine dikkat çekilmiştir.

Uluslararası tüzüklerden hareketle 2013 yılında ICOMOS Türkiye, ülkemizdeki koruma yasaları ile uluslararası kuralları bağdaştırmak, temel kavramları tanımlamak üzere “ICOMOS Türkiye Mimari Miras Koruma Bildirgesi”ni yayınlamıştır. Deprem riskinin azaltılması ve deprem hasarı gören tarihi yapıların onarımında ulusal ve uluslararası ilkelerin gözetilmesi, kültür mirasımızın daha az kayıpla geleceğe aktarılmasında başarı için büyük önem taşımaktadır. Bu alanda yol gösterici olan kılavuzun ilgili meslek insanlarına tanıtılarak geniş kitlelere ulaşmasının ve etkin olmasının sağlanması hedeflenmektedir.

GİRİŞ..... ?	
1.1.Amaç ve Kapsam.....8	
1.2.Yöntem9	
2.Temel Tanım ve Kavramlar..... 10	
2.1.Kültür Mirasına İlişkin Temel Tanım ve Kavramlar 10	
Kültür varlığı..... 10	
Sit alanı..... 10	
Anıt..... 11	
Tarihi yapı 11	
Dünya mirası..... 11	
Rölöve 11	
Analitik Rölöve 12	
Restitüsyon..... 12	
Basit onarım..... 12	
Konservasyon 12	
Esaslı Onarım (Restorasyon) 13	
Konsolidasyon 13	
Sağlamlaştırma, güçlendirme..... 13	
Bütünleme (Reintegrasyon) 14	
Yenileme 14	
Yeniden yapım (Rekonstrüksiyon)..... 14	
Taşıma..... 14	
Sürekli bakım 15	
Önleyici koruma 15	
Geri alınabilirlik (Reversibility) 15	
Koruma Alanı 16	
Korumada Uzman Sorumlulukları..... 16	
2.2.Afet Risk Yönetimine İlişkin Temel Tanım ve Kavramlar 16	

Acil Durum..... 16	
Acil Durum Yönetimi..... 17	
Afet..... 17	
Afet Yönetimi Süreci (Afet Döngüsü) 17	
Afet Riski 17	
Afet Risk Analizi 18	
Afet Risk Yönetimi 18	
Bütünleşik Afet Yönetimi 18	
Hasar 18	
Hasar Görebilirlik..... 19	
Risk 19	
Tarihi Yapı Triajı..... 19	
Tarihi Yapı Enkazı Yönetimi 19	
Tehlike 19	
Zarar 19	
Zarar Azaltma 19	
Zarar Görebilirlik 20	
2.3.Yapı Malzemesi ve Yapı Mühendisliği Temel Kavramları	
(İnşaat Terimleri) 20	
Çok Bağlılık (redundancy):..... 20	
Hiperstatiklik derecesi(degree of indeterminacy):..... 20	
Duraylılık (structural stability):..... 20	
3.Araştırma, Bilgi Toplanması..... 21	
3.1.Tarihi Belgelerin İncelenmesi..... 21	
3.2.Alan Çalışması, Analitik Rölöve ve Hasar Tespit Paftalarının	
Hazırlanması..... 21	
3.3.Depremsellik ve Zemin İncelemesi..... 23	
3.4.Alan ve Laboratuvar Deneyleri 25	

3.4.1. Alan deneyleri.....	25	b.1 XRD ve XRF analizi	33
3.4.1.1. Tahribatsız deneyler	25	b.2 Kimyasal titrasyon deneyi.....	33
a. Yüzey sıcaklığı ve neminin ölçümü	26	b.3 Kızdırma kaybı deneyi.....	33
b. Ultrases deneyi.....	26	b.4 DTA ve TGA analizi.....	33
c. Sertlik ölçümü (Darbeli çekiç deneyi).....	27	b.5 Elektrik iletkenliği ve pH ölçümleri	34
d. Manyetik tarama (Magnometri)	27	b.6 Basınç dayanımı deneyi.....	34
e. Termografi yöntemi.....	27	3.4.3. Ahşapta yapılan deneyler	34
f. Radar tarama /Georadar yöntemi	28	3.4.3.1. Mekanik yöntemler:.....	34
3.4.1.2 Az tahribatlı deneyler	28	a. Artım burgusu yöntemi.....	34
a. Yerde gerilme deneyi (Flat-Jack).....	28	b. Resistograf.....	35
b. Yerde kayma deneyi.....	29	c. Ahşap test çekici	35
c. Endoskopi uygulaması	29	3.4.3.2. Optik yöntemler:.....	35
d. Yapıdan numune alınması	30	a. Işık mikroskobu (optik mikroskop).....	35
3.4.2 Laboratuvar Deneyleri.....	30	b. Elektron mikroskobu	35
3.4.2.1 Mekanik deneyler	30	c. Endoskopi	36
a. Doğal taşlarda basınç deneyi.....	30	d. İnfrared (IR) spektroskobu	36
b. Tahribatsız ve az tahribatlı deney sonuçlarının birlikte değerlendirilmesi:	31	3.4.3.3 Akustik yöntemler	36
c. Elastisite modülünün belirlenmesi.....	31	a. Ultrases ölçümü.....	36
d. Tuğlada basınç deneyi	31	b. Ultrasonik tomografi	36
3.4.2.2 Fiziksel deneyler.....	31	3.4.3.4 Termografik yöntemler	37
3.4.2.3. İçyapı analizi	32	3.4.3.5. Elektrikli yöntemler	37
a. SEM incelemesi	32	a. Nem ölçümü.....	37
b. XRay analizi.....	32	b. GPR (yeraltı radarı)	38
c. Petrografik Analiz.....	32	c. Termit tespit radarı (Termatrac radar)	38
3.4.2.4. Kimyasal deneyler.....	32	3.4.3.6 Radyografik yöntemler	38
a. Asit kaybı deneyi.....	32	a. Bilgisayarlı tomografi	38
b. Puzolanik aktivite deneyleri.....	32	b. El tipi XRF cihazı	38
		3.4.3.7 Kimyasal - biyolojik yöntemler.....	38

3.4. İzleme (Kısa Dönem, Uzun Dönem)	41	e. Diğer canlılar	65
3.5.1. Anlık ve periyodik inceleme:	42	f. İnsan kaynaklı bozulmalar	65
3.5.2. Statik izleme sistemleri:	42	4.5.4. Ahşabın korunması	65
3.5.3. Dinamik izleme sistemleri:	42	4.6. Tarihi Yapılarda Kullanılan Metaller	66
4. Tarihi Yapılarda Kullanılan Malzemeler ve Hasarları	44	4.6.1. Demir ve özellikleri	66
4.1. Doğal Taşlar ve Özellikleri	44	4.6.1.1. Dökme demir	66
4.1.1. Doğal taş hasarları	45	4.6.1.2. Dövme demir	67
4.2. Kerpiç ve Özellikleri	50	4.6.1.3. Paslanmaz çelik	67
4.2.1. Kerpiç hasarları	51	4.6.2. Demir ve çelik hasarları	67
4.3. Seramikler	52	4.7. Beton ve Özellikleri	69
4.3.1. Tuğla ve özellikleri	52	4.7.1. Beton Hasarları	70
4.3.2. Tuğla hasarları	52	a. Sertliği düşük suların etkisi	70
4.4. Harçlar ve Özellikleri	53	b. Asitli suların etkisi	71
4.4.1. Bağlayıcılar	53	c. Sülfatlı suların etkisi	71
Organik kökenliler	53	d. Klorürlü suların etkisi	71
İnorganik kökenliler	53	e. Diğer zararlı sular	71
4.4.2. Agregalar	57	4.8. Betonarme	71
4.4.3. Katkılar	57	4.8.1. Betonarme hasarı	72
4.4.4. Harç hasarları	57	5.3.3. Ahşap Yapıda Depreme Karşı Alınmış Geleneksel	
4.4.5. Enjeksiyon şerbeti ve harçları	58	Yöntemler	98
4.5. Ahşap	60	6. Yapısal Modelleme ve Değerlendirme	103
4.5.1. Yapıda kullanılan ağaç türleri	60	6.1. Yapılara Etkiyen Yükler	103
4.5.2. Ahşabın kusurları	61	6.1.1. Sabit Yükler	103
4.5.3. Ahşap hasarları	61	6.1.2. Hareketli Yükler	104
a. Fiziksel nedenli bozulmalar:	62	6.1.3. Deprem etkisi	105
b. Kimyasal nedenli bozulmalar	62	6.1.4. Diğer yükler	107
c. Biyolojik nedenli bozulmalar	63	6.2. Yapının Taşıyıcı Sistemi ve Yüklerin Zemine İletilmesi. 107	
d. Böceklenme	64	6.2.1. Yapısal çok bağlılık (hiperstatiklik derecesi)	108

6.2.2.Yapısal elemanların bağlantıları	108	8.Deprem Odaklı Afet ve Acil Durum Yönetimi.....	174
6.2.3.Döşemelerin Yatay Yük Aktarımı.....	109	8.1.Tarihi Yapılarda Acil Durum Yönetimi	174
6.2.4.Zemin ve temel sistemi	110	8.2.Acil Müdahale Yöntemleri.....	178
6.3.Basit Güvenlik Değerlendirilmesi.....	111	8.2.1.Acil müdahale tasarımında deprem kuvvetinin (talep)	
6.4.Modelleme Teknikleri	113	belirlenmesi.....	179
6.4.1.Basit Duvar Modeli	115	8.2.3.Payanda Sistemleri.....	180
7.Müdahale Yöntemleri.....	146	8.2.3.1.Klasik Payandalar İçin Önerilen Boyutlar	181
7.1. Müdahale Stratejileri	146	8.2.3.2.Uçan payandalara ilişkin önerilen boyutlar.....	190
7.2. Basit Onarım.....	147	8.2.4.Kapı pencere boşluklarının desteklenmesine ilişkin ...	
7.3. Esaslı Onarım	148	önerilen boyutlar.....	200
7.3.1.Zemin ve temele yapılacak müdahaleler	148	8.2.5.Kemer ve tonozların askıya alınmasına ilişkin önerilen	
7.3.2.Duvarlara yönelik müdahaleler	150	boyutlar.....	202
7.3.2.1.Kısmi onarımlar.....	151	8.2.6.Düşey elemanlarda sargılamaya ilişkin önerilen	
7.3.2.2.Harç enjeksiyonu	152	boyutlar	209
7.3.2.3.Donatılı sıva ile mantolama.....	155		
7.3.2.4.Donatı ekleme	156		
7.3.2.5.Yeniden örme.....	156		
7.3.3.Sütun ve Ayaklara Yönelik Müdahaleler	157		
7.3.4.Bağlantılara yönelik müdahaleler	158		
7.3.5.Döşemelere yönelik müdahaleler.....	160		
7.3.6.Kemer, Tonoz ve Kubbelere Yönelik Müdahaleler .	162		
7.3.7.Ahşap Çatıya Yönelik Müdahaleler.....	165		
7.3.8. Minareler ve Kule Tipi Yapılara Yönelik Müdahaleler ..	168		
7.3.9.Yapısal Olmayan Elemanlara Yönelik Müdahaleler	169		
7.3.10.Kerpiç Yapılara Yönelik Müdahaleler	169		
7.4.Söküm ve Taşıma	170		
7.5.Yeniden Yapım.....	170		
7.6.Projelendirme	172		
7.7.Kaynaklar	173		

Temel Tanım ve Kavramlar

2. Temel Tanım ve Kavramlar

2.1. Kültür Mirasına İlişkin Temel Tanım ve Kavramlar

Kültür varlığı

Tarih öncesi ve tarihi devirlere ait bilim, kültür, din ve güzel sanatlarla ilgili bulunan veya tarih öncesi ya da tarihi devirlerde sosyal yaşama konu olmuş bilimsel ve kültürel açıdan özgün değer taşıyan yer üstünde, yer altında veya su altındaki bütün taşınır ve taşınmaz varlıklardır. (2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yasası 3. madde 1. bend (Değişik: 14/7/2004 – 5226/1 md.)

Sit alanı

Tarih öncesinden günümüze kadar gelen çeşitli medeniyetlerin ürünü olup, yaşadıkları devirlerin sosyal, ekonomik, mimari ve benzeri özelliklerini yansıtan kent ve kent kalıntıları, kültür varlıklarının yoğun olarak bulunduğu sosyal yaşama konu olmuş veya önemli tarihi hadiselerin cereyan ettiği yerler ve tespiti yapılmış tabiat özellikleri ile korunması gerekli alanlardır. (2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yasası 3. Madde bend (3) (Değişik: 14/7/2004 – 5226/1 md.).

Sit alanları, “doğal sit”¹, “tarihi sit”² “kentsel sit”³ ve “kentsel arkeolojik sit”⁴ alt başlıkları altında gruplandırılmıştır. Sit alanlarına ilişkin ayrıntılı tanımlar ve bu alanlarda yapılabilecekler, bu alanlara ilişkin denetim koşulları, Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulunun ilke kararları ile düzenlenmiştir.

Anıt

Değişik uygarlıkların bilim ve teknik düzeyi, sanat anlayışı, sosyal yaşamı hakkında somut veri sağlayan tarihi yapılar “kültür varlığı”, “anıt” olarak nitelendirilerek koruma altına alınırlar.

Tarihi yapı

Tarihi kentleri oluşturan, geleneksel malzemelerle (kerpiç, tuğla, ahşap, taş) yapılmış evler, ahşap ve kargir camiler, kaleler, köprüler, medreseler, kervansaraylar, tekkeler ve diğer benzeri yapılar bu kapsamdadır. Koruma ile ilgili yasamıza göre, 19. yüzyıl sonuna kadar yapılmış olan binalar tarihi olarak kabul edilir ve koruma altına alınırlar. 20. yüzyıl mimarlığının seçkin örnekleri de özel tasarımları, dönemin yaşam ve kültürünü yansıtmaları dolayısıyla, tescil edilerek korunmaktadırlar.

1 (19/06/2007-728 ve 12/03/2008-740 sayılı ilke kararı, 23/9/2009-751 sayılı ilke kararı)

2 (16/01/2014-271 sayılı ilke kararı)

3 (04/10/2006-720 sayılı ilke kararı ve 01.11.2007-736 sayılı ilke kararı)

4 (05.11.1999 gün ve 658 sayılı ilke kararı ve 15/04/2015-702 sayılı ilke kararı)

Dünya mirası

Tarih öncesinden 20. yüzyıl mimarlığına kadar geniş bir dönem içinde yapılmış, evrensel değer taşıyan, özgünlüğü ve bütünlüğü korunmuş tarihi yerleşmeler, anıtlar ve doğal alanlar UNESCO tarafından oluşturulan Dünya Mirası Listesi'ne girerek uluslararası koruma kapsamına alınmaktadır. Türkiye'den Hattuşa, İstanbul'un Tarihi Alanları, Divriği Ulu Camii ve Şifahanesi, Selimiye Camii, Safranbolu gibi arkeolojik ve kentsel sitler, önemli anıtlar bu statü altında korunmaktadır. Dünya Mirası varlıklara yapılacak müdahalelerin geri dönüşebilir olması, özgün tasarım özelliklerinin, yapım tekniklerinin, taşıyıcı sistemin en az müdahale ile korunması istenir.

Rölöve

Tarihi yapıların mevcut durumunu gösteren plan, kesit, görünüş çizimleridir.

Basit olarak, çelik metre ile yapılan ölçümden başlayarak, fotogrametri veya 3D- üç boyutlu lazer tarayıcı kullanımıyla gerçekleştirilen çok ayrıntılı belgeleme çalışmaları yapılabilir. Yapının mevcut durumunu gösterir çizimler; 1/50, 1/10, 1/5, 1/2, 1/1 ölçekli olarak hazırlanır.

Analitik Rölöve

Rölöve çizimlerinin üzerine, malzeme, yapım sistemi, yapım tekniği ve kronolojik analiz, zaman içinde yapılmış değişiklikler, hasarlar (çatlaklar, oyuklar, şekil ve yer değiştirmeler) renk veya tarama teknikleriyle işlenerek, incelenen tarihi yapının mevcut durumu hakkında ayrıntılı çözümlemeler, değerlendirmeler içeren çizimler hazırlanır.

Restitüsyon

Sonradan değişikliğe uğramış, kısmen veya tümü yıkılmış binaların ilk yapıldıkları sıradaki durumlarını ve zaman içindeki değişiklikleri dönemsel olarak ifade etmek için hazırlanan plan, kesit, görünüş ve perspektif çizimleridir. Restitüsyon çizimlerinin hazırlanması için yapının kendi üstünde var olan izlere ek olarak, eski fotoğraflardan, çizimlerden, aynı dönem ve bölgede inşa edilmiş benzer yapılardan, yayınlardan ve sözlü kaynaklardan yararlanılır. Verilerin yetersiz olması durumunda, restitüsyon çizimleri ihtiyatla değerlendirilmelidir. Bu amaçla yapılan önerilerin güvenilirlik dereceleri çizimler üzerinde ve raporda belirtilir. Restitüsyonun tanımı ve genel ilkeleri, Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulunun 05/11/1999-660 sayılı ilke kararında, "Yeniden Yapma" başlığı altında açıklanmıştır.

Basit onarım

Kültür varlığı olarak tescilli bir yapının bozularak eksilen mimari öğelerinin, özgün biçimlerine uygun olarak aynı malzeme ile değiştirilmesi, dökülen iç ve dış sıvaların, kaplamaların, renk ve malzeme uyumu sağlanarak, özgün biçimlerine uygun olarak yenilenmesi 660 sayılı ilke kararıyla "basit onarım" olarak tanımlanmıştır. 1. Grup yapılarda

“basit onarım” uygulaması için Koruma Kurulu kararı alınır; 2. Grup yapılarda ise eğer büyükşehir ve ilçe belediyeleri tarafından kurulmuşsa, Koruma Uygulama Denetim Bürosu Müdürlükleri’nden (KUDEB) izin alınır. Uygulama bitiminde Koruma Kuruluna fotoğraflarla desteklenen bir rapor iletilir. Konuya ilişkin genel tanım ve ilkeler; Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulunun 05/11/1999-660 sayılı ilke kararında, “Basit Onarım” başlığı altında açıklanmıştır

Konservasyon

Tarihi yapıların malzeme, bezeme ve taşıyıcı sisteminde zaman içinde oluşan hasarların giderilmesi, malzemelerin temizlenip sağlamlaştırılması, duvar resimlerinin temizlenip çatlaklarının, taşıyıcı duvardan ayrılmış kısımlarının desteklenmesi, mozaiklerin dağılmadan yerlerinde tutulması, küçük dokunuşlarla sunuşun iyileştirilmesi işlemle-ridir. Taşıyıcı sistemin gözden geçirilmesi, gevşemiş, aşınmış kısımlarının sağlamlaştırıcı işlemlerle desteklenmesi bu kapsamdadır. Yasal olarak “Basit Onarım” kapsamında değerlendirilen konservasyon çalışmaları için, Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulunun 05/11/1999 gün 660 sayılı İlke Kararı gereği, ilgili Kuruldan izin alınması gerekmektedir.

Esaslı Onarım (Restorasyon)

Basit onarımı aşan koruma müdahaleleri bu kapsamda değerlendirilmektedir. Bir tarihi yapının hasarlarının giderilmesi, daha uzun süre yaşamasının sağlanması amacıyla, tarihi belge niteliğini zedelememeye özen gösterilerek, geleneksel ve ileri tekniklerden yararlanılarak yapılan müdahalelerdir. Mevzuatta “kapsamlı onarım” olarak da değerlendirilmektedir.

Restorasyon malzemenin, strüktürün, zeminin sağlamlaştırmasından başlayarak, kopmuş kısımların bütünlenmesine, eskimiş, işlevini görmeyen parçaların yenileriyle değiştirilmesine, yok olan bölümlerin veya artık kullanılamaz duruma gelmiş yapıların yeniden yapımına kadar uzanan bir çeşitlenme gösterir. Restorasyonda tercih edilen, tarihi yapıları en az müdahale ile ayakta tutmak, özgün tasarımı, ayrıntıları bozmamaktır.

Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulunun 05/11/1999 gün-660 sayılı ilke kararında esaslı onarım müdahaleleri; *“Yapının rölöveye dayanan restitüsyon ve / veya restorasyon projeleri ile diğer ilgili belgelerin içerikleri ve ölçekleri koruma kurulunca belirlenen müdahalelerdir. [Sağlamlaştırma (Konsolidasyon), Temizleme (Liberasyon), Bütünleme (Reintegrasyon), Yenileme (Renovasyon), Yeniden Yapma (Rekonstrüksiyon), Taşıma (Moving)].* “ biçiminde tanımlanmıştır.

Koruma uygulamasına yönelik projelerin 660 sayılı ilke kararı ekinde verilen **“Rölöve - Restitüsyon - Restorasyon - Proje Hazırlama Esasları”**na göre hazırlanması istenmektedir. Aynı ilke kararında esaslı onarımın temel ilkeleri ve uygulama denetim koşulları ayrıntılı olarak verilmiştir.

Konsolidasyon

Sağlamaştırma anlamına gelen bu terim; ayrılmış, bozulmuş malzemelerin ve zayıf, hasarlı taşıyıcı sistemlerin dayanımını arttırmak için yapılan müdahaleler için kullanılmaktadır. Malzeme sağlamaştırılmasında mikro enjeksiyon, püskürtme, üstten sürme yöntemleriyle malzemenin dayanımı ve dayanıklılığı artırılır, kabuklaşmış kısımların ayrılıp düşmesi engellenir.

Zemin ve taşıyıcı sistemde yapılan sağlamaştırmalarda, zayıf zeminlerin taşıyıcılığının artırılması için çağdaş yöntemler kullanılmaktadır. Temellerin yapım sistemindeki aksaklıklar veya duvar örgüsündeki bozulmalar için kesit genişletme vb. önlemler alınmaktadır. Duvarlardaki çözülmeler, çatlaklar ve boşluklar enjeksiyon yapılarak, kenetler kullanılarak veya yenilenen örgülerle güvence altına alınmaktadır. Zayıf kemerlerin altlarının yeni kemerlerle desteklenmesi; çatlamış, birbirinden ayrılan duvarların gergi ve kuşaklarla bağlanması, kubbelerin çemberlenmesi vb. müdahaleler bu kapsamdadır.

Sağlamaştırma, güçlendirme

Mevcut malzemenin, taşıyıcı sistemin yetersiz olması durumunda, gelecekteki depremlere karşı bir önlem olarak kesit genişletme, kuşaklama, gergilerle bağlama ve benzeri önlemler alınarak, mevcut sistemin desteklenmesi öngörülebilir. Özellikle ilk tasarımdan gelen hasarları olan, çeşitli depremler geçirmiş tarihi yapılarda taşıyıcı sistemi iyi analiz etmek gerektiğinden, tarihi dokuyu çok değiştiren müdahalelerden kaçınılması gerekmektedir. Venedik Tüzüğü'nün 10. maddesinde, *“Geleneksel tekniklerin yetersiz kaldığı yerlerde, koruma ve inşaa için bilimsel verilerle ve deneylerle geçerliliği saptanmış herhangi çağdaş bir teknik kullanılarak anıt sağlamaştırılabilir”* ifadesi mevcuttur.

Bütünleme (Reintegrasyon)

Tarihi yapılar zamanla, deprem etkisiyle bazı öğelerini yitirirler. Devam eden bir kornişin bir parçasının düşmüş olması, revaklı bir avluyu çevreleyen kemerlerden birkaçının yıkılması kapsamlı onarım yapılmasını gerektirir. Yok olan kısımların mevcut kısımlara ya da belgelemeye dayanarak yerine konulmasına “bütünleme” denilmektedir. Bu işlem, tarihi yapının işlevini görmesi veya estetik nedenlerle yapılır. Bütünlemenin kesin, güvenilir verilere göre yapılması; eklenen kısımların kolayca ayırt edilebilir şekilde işlenmesi istenmektedir. Venedik Tüzüğü'nün 12. maddesinde *“Eksik kısımlar tamamlanırken, bütünle uyumlu bir şekilde bağdaştırılmalıdır; fakat bu onarımın, aynı zamanda sanatsal ve tarihi tanıklığı yanlış bir şekilde yansıtmaması için, özgünden ayırdedilebilecek şekilde yapılması gereklidir”* denilmektedir. Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulu'nun 26 sayılı ilke kararında *“.... Aslına ulaşılamadığı takdirde taşınmazın mimari ve sanatsal öneminin doğru bir şekilde algılanabilmesi için malzeme analizleri yapılarak bütünle uyumlu bir şekilde tamamlanabileceğine ancak, tamamlamanın günümüzde yapıldığının anlaşılır olması için gerekli bilgi ve belgelerin oluşturularak arşivlenmesi”* istenmektedir.

Yenileme

Bakımsız kalarak onarılamaz duruma gelmiş dikme, döşeme, çatı vb. ögelerin yeni malzeme kullanılarak değiştirilmesi ile yapının daha uzun süre işlev görmesinin sağlanmasıdır. “Yenileme” terimi, günümüz yaşam standartlarına uymayan konut ve diğer yapıların minimum güncel konfor koşullarını sağlayacak şekilde tesisat vb. donanımına kavuşturulması işlemi için de kullanılmaktadır. Tarihi yapıya ısıtma, aydınlatma, yalıtım, güvenlik sistemi kurulması; mutfak, banyo eklenmesi gibi işlemler bu kapsamdadır. Yenileme uygulamalarında tarihi yapının plan özelliklerinin korunması, iç duvarlara ve taşıyıcı sisteme müdahalelerin sınırlı tutulması tavsiye edilir. Mevzuatta “kapsamlı onarım” içinde değerlendirilmektedir.

Yeniden yapım (Rekonstrüksiyon)

Büyük ölçüde hasar görmüş veya tümüyle yok olmuş bir yapının yeniden yapımıdır. Yeniden yapım, koruma kuramı açısından uygun bulunmayan bir uygulamadır. Çünkü asıl tarihi varlık yok olmuştur; yerine kopyası yapılmaktadır. Yok olan anıt simge değeri taşıyor, çevre için vazgeçilmez bir öneme sahipse toplum onun yeniden yapılmasını isteyecektir. Özellikle kasıtlı olarak yıkılan, toplum için anlamlı, kent silüetinde yeri olan eserlerin yeniden yapımı kabul görebilir. Yeniden yapımın aslına mümkün olduğu kadar benzemesi için özenli çalışılması gerekir. Eski fotoğraflar, rölöveler, filimler, mulajlar ve benzeri verilerden yararlanılır. 660 sayılı ilke kararına göre yeniden yapım uygulamasında, özgün yapım sistemi, yapım tekniği ve malzemeler kullanılmalı, yapısal ayrıntıların tarihi döneme uygun olmasına özen gösterilmelidir. Uygulama, ayrıntılı projelerin ilgili Koruma Bölge Kurulunda onaylanmasından sonra yapılabilir.

Taşıma

Venedik Tüzüğü’nün 7. maddesinde anıtların taşınmasına “Anıtın korunması bunu gerektirdiği, ya da çok önemli ulusal, ya da uluslararası çıkarların bulunduğu durumlar dışında izin verilmemelidir” denilmiştir. Trafiğin artması, yeni ulaşım hatlarının yapılması, enerji, sulama gibi gereksinimlerle şehirler ve kırsal alanlarda bayındırlık etkinlikleri (yol açma, baraj yapımı vb.) yapılmakta; bu projelerin uygulanmasıyla yerinde korunamayacak duruma gelen tarihi yapılar, boyut ve tasarım özelliklerine göre, parça parça veya bütün olarak yeni bir konuma taşınmaktadır. Taşıma öncesinde anıtın belgelenmesi eğer bütün olarak taşınacaksa gerekli sağlamlaştırmanın yapılması gerekir. Taşınan anıtın yeni yerinde, yaşamını sürdürmesi için gerekli önlemler alınır. Taşıma işlemleriyle ilgili projelerin uygulanması için, ilgili Koruma Bölge Kurulunca onaylanması gerekir.

Sürekli bakım

Bir binanın daha uzun süre ayakta kalması, kullanıcılarına daha iyi hizmet verebilmesi sürekli bakımla sağlanabilir. Tarihi binalar bulundukları yer ve doğal etkenlere (yağmur, kar, rüzgâr, deprem), malzemelerinin özelliklerine bağlı

olarak zamanla aşınırlar, kusurlar ortaya çıkar. Sürekli bakım ortaya çıkan hasarların hemen iyileştirilmelerini sağlama yoludur.

Sürekli bakımı sağlamak için iyi bir planlama yapmak; yetişmiş ustalardan oluşan bir ekip oluşturmak gerekir. Kamu kuruluşları (Kültür Bakanlığı, VGM, Belediyeler) korumakla sorumlu oldukları alanlar için iyi nitelikli ekipler oluşturarak sürekli bakımda başarı sağlayabilirler. Eski yapım tekniklerini ve malzemeleri bilen, bir konservasyon laboratuvarıyla desteklenen ekipler sürekli bakım yaparak kültür mirasının yapısal ve estetik bütünlüğünün korunmasını, daha iyi sunulmasını sağlayabilirler.

Önleyici koruma

Önleyici koruma, stratejik planlamanın bir parçasıdır. Önleyici ve düzeltici çalışmaları kapsar; daha masraflı ve kapsamlı onarımlara gerek kalmadan bakım sağlar. Her tarihi yapı özel bir durumdur. Önleyici koruma için çevresel koşullara ve taşıyıcı sisteme ait bilgilere dayanan bir programa ihtiyaç vardır. Aylık, altı aylık, yıllık bakımlarla yağmur suyu ve drenaj sistemlerinin, elektrik vb. tesisatının kontrolü, yıldırıma karşı korunma sağlanır. Beş yılda bir özellikle gözlem altında tutulması gereken taşıyıcı sistem aksaklıklarını değerlendiren ayrıntılı bir rapor hazırlanmalıdır. Önemli tarihi yapılar, koruma alanları için yönetim planı ve ona bağlı olarak bakım-onarım programları yürütülmesi istenir. Sürekli bakım işlerini tanımlamak ve uygulama aşamasında yeterli deneyime sahip ekiplerin işleri yürütmesini temin etmek işin niteliği açısından çok önemlidir.

Geri alınabilirlik (Reversibility)

ICOMOS tüzüklerinde tarihi yapılara müdahalelerin olabildiğince az ve geri alınabilir olması; yapıyı fazla zedeledikten uygulanması tavsiye edilir. Amaç, gelecekte daha uygun bir onarım tekniği söz konusu olduğunda, yapılan müdahalenin kolayca, tarihi yapıya fazla zarar vermeden sökülebilmesidir. ICOMOS'un Mimari Mirasın Analizi, Korunması ve Strüktürel Restorasyon İlkeleri Tüzüğü'nde (2003) *"Dokunun geri dönüşü olmayan bir şekilde değiştirilmesinden kaçınılmalıdır"* denilmiştir. Ahşap yapıların korunması ile ilgili ICOMOS Tüzüğü'nde (1999) *"Teknik olarak olanaklıysa, müdahalelerin geri alınabilir olması; en azından gelecekte onarım gerekli olduğunda bunu engelleyici olmaması"* tavsiye edilmektedir.

Koruma Alanı

Tarihi yapı ve sit alanlarını çevreleyen kentsel dokular veya açık alanlarda yapılacak yeni düzenlemelerin tarihi yapıyı veya siti görsel veya fiziki yönden olumsuz etkilememesi için, duruma göre farklı genişliklerde olan "koruma alanları" Koruma Bölge Kurulları tarafından belirlenir. Bu kararlar kent planlamasına veri oluşturur. Çevre parsellerde yapılacak yeni yapıların denetlenmesi sağlanır.

Korumada Uzman Sorumlulukları

Koruma çalışmalarının disiplinlerarası olduğu tüm dünyada kabul edilmektedir. Koruma alanına katkısı olan disiplinler arkeoloji, sanat ve mimarlık tarihi, mimarlık, malzeme bilimi, mühendislik, kent planlama, peyzaj mimarlığı, hukuk olarak sıralanabilir. Korunacak tarihi yapının veya sit alanının özelliğine göre ekipler kurulur ve çalışmalar yürütülür. Koruma çalışmalarının ilk aşamasında inceleme ve belgeleme yer alır. Değişik tekniklerle yapılan belgeleme çalışmalarında mimar ve mühendisler yer alır. Tarihi yapının rölövesinin veya kentsel sitin haritasının çıkarılması ortak çalışmalar gerektirmektedir. Restorasyonu yapılacak tarihi bir yapının 1/50 ölçekli ayrıntılı rölövesinin (plan, kesit, görünüşler) oluşturulması için koruma eğitimi almış deneyimli mimarlara gerek vardır. Rölövelerin kronolojik analizinin hazırlanması için arkeolog, sanat ve mimarlık tarihçilerinin katkılarına gerek duyulur. Karmaşık tarihi yapıların ilk yapıldığı döneme ait ve onarımlarda aldığı eklerin yapım teknikleri ve malzemeler konusunda birikimli mimarlık tarihçileri tarafından yapılması gerekir. Tarihi yapının malzeme ve taşıyıcı sistem bozulmalarının saptanması ve bozulmalarla ilgili analitik paftanın hazırlanması mimar ve mühendislerce yapılır. Malzeme örnekleri alınarak analiz edilir; konservasyon önerileri geliştirilir.

Yapısal güvenlik durumunun değerlendirilmesi ve sağlamlaştırma önerilerinin geliştirilmesi için deneyimli inşaat mühendislerinin taşıyıcı sistemi ayrıntılı olarak incelemesi ve önerilerini koruma mimarıyla tartışarak olgunlaştırması beklenir. Ekip çalışmasının uyumlu olması için tüm uzmanların konularında deneyimli olmaları ve uluslararası koruma kurallarını bilmeleri istenir.

2.2. Afet Risk Yönetimine İlişkin Temel Tanım ve Kavramlar

Acil Durum

Büyük, fakat genellikle yerel imkânlarla baş edilebilen çapta, ivedilik gerektiren tüm durum ve hâller: 5902 sayılı kanunda, “Toplumsal tamamının veya belli kesimlerinin normal hayat ve faaliyetlerini durduran veya kesintiye uğratan ve acil müdahaleyi gerektiren olaylar ve bu olayların oluşturduğu kriz hâli” olarak tanımlanmıştır.

Acil Durum Yönetimi

Acil durumun meydana gelmesinden hemen sonra başlayarak, etkilenen toplulukların tüm ihtiyaçlarını (enkaz kaldırma, arama ve kurtarma, ilk yardım, tahliye, temel ihtiyaç malzemelerinin temini, kargaşa ve düzensizliğe karşı güvenliğin sağlanmasına yardımcı olma, idari ve teknik hizmet desteği sağlama vb.) zamanında, hızlı ve etkili olarak karşılamayı amaçlayan yönetim süreci.

ADC sürekli olmayıp, acil durum olarak değerlendirilen bir olayın meydana gelmesi ile başlayarak, acil durumu gerektiren nedenler ortadan kalktığında sona eren bir yönetim şeklidir. Afet yönetiminin olaya müdahale ve kısa süreli iyileştirme faaliyetlerini kapsar. Etkin bir acil durum yönetimi; planlı, hazırlıklı ve koordineli olmayı ve olağan yönetimlerden farklı olarak olağan dışı imkân, kaynak ve yetkileri gerektirir.

Afet

İnsanlar için fiziksel, ekonomik, sosyal ve çevresel kayıplar doğuran, normal yaşamı ve insan faaliyetlerini durdurarak veya kesintiye uğratarak toplulukları etkileyen, etkilenen topluluğun yerel imkân ve kaynaklarını kullanarak baş edemeyeceği doğal veya insan kökenli olayların sonuçları. Afet bir olayın kendisi değil doğurduğu sonuçtur. (AS)

Afet Yönetimi Süreci (Afet Döngüsü)

Bir afet olayını izleyen ve bir sonraki afete kadar birbirini takip eden afete müdahale, iyileştirme, yeniden inşa, zarar azaltma ve afete hazırlık aşamalarının tümü.

Afet yönetiminin evreleri olarak da anılırlar. Her evrede yapılan çalışmaların başarısı büyük ölçüde, bir sonraki evredeki çalışmaların başarısını etkilediği için bu döngü iç içe geçmiş zincir halkaları veya daire ile gösterilmektedir.

Afet Riski

Belirli bir tehlikenin, gelecekte belirli bir zaman süresi içinde meydana gelmesi hâlinde, insanlara, insan yerleşmelerine ve doğal çevreye, bunların zarar veya hasar görebilirlikleri ile orantılı olarak oluşturabileceği kayıpların olasılığı.

Riskten veya kayıp olasılığından bahsedebilmek için belirli büyüklükteki tehlike veya olayın varlığı ve bundan etkilenebilecek değerlerin mevcudiyeti ile bu değerlerin tehlike veya olaydan etkilenme oranları veya zarar görebilirliklerinin tahmin edilebilmesi gerekmektedir ve genelde şu formül ile ifade edilmektedir:

$$Risk = Tehlike\ Olasılığı \times Zarar\ Görebilirlik$$

Afet Risk Analizi

Afet riskinin nicel ya da nitel yollarla, matematiksel/nicel olarak;

$$Risk = Tehlike \times Değer\ (etkilenebilecek\ unsurlar) \times Zarar\ Görebilirlik\ (etkilenme\ oranı)$$

şeklinde belirlenmesi ya da hesaplanması ve kabul edilebilir olup olmadığının değerlendirilmesi.

Afet riskinin belirlenebilmesi için öncelikle afete yol açabilecek tehlikelerin neler oldukları; yerleri, büyüklükleri, oluş sıklıkları, tekrarlanma süreleri ve etkileyebilecekleri alanlar belirlenmeli, bu tehlikeden etkilenebilecek nüfus, yapı ve alt yapılar, ekonomik ve sosyal değerler, çevre, v.b. Tüm değerlerin envanterini çıkarmak gerekir. Tehlikenin gerçekleşmesi halinde bu değerlerin uğrayabilecekleri fiziksel, sosyal, ekonomik ve çevresel kayıplar böylece önceden tahmin edilebilir. Tarihi yapılar için gerçekleştirilecek afet risk analizinde riskler, yapının korunma durumunu etkileyebilecek doğa ve insan kaynaklı tehlikeler, tarihi yapının korunmasını gerekli kılan değerler (özgünlük, tarihi belge değeri, mitolojik değeri vb.) ve yapının korunma durumu ile yakın doğal/yapılı çevre ile ilişkilerine bağlı olarak belirlenir.

Afet Risk Yönetimi

Ülke, bölge, kent veya yerleşme birimi ölçeğinde tehlike ve riskin belirlenmesi, analizi, riskin azaltılabilmesi için imkân, kaynak ve önceliklerin belirlenmesi, politika ve stratejik plan ve eylem planlarının hazırlanması ve yaşama geçirilmesi süreci. 5902 sayılı Kanundaki tanım, “Ülke, bölge, kent ölçeğinde ve yerel ölçekte risk türleri ve düzeylerini tespit etme, önleme, azaltma ve paylaşma çalışmaları ile bu alandaki planlama esasları. Afet senaryolarının hazırlanması, uygulama önceliklerinin belirlenmesi ve riskin azaltılabilmesi için genel politika ve stratejik planlarla, uygulama mplanlarının hazırlanması ve hayata geçirilmesi bu süreç kapsamındadır.” Şeklinde dir.

Bütünleşik Afet Yönetimi

Afetlerle baş edebilen, dayanıklı ve dirençli bir toplum oluşturmak için tüm tehlikeleri dikkate alan, afet yönetiminin önleme, zarar azaltma, hazırlık, müdahale ve iyileştirme aşamalarında yapılması gereken çalışmalar ve alınması gereken önlemleri, toplumun tüm güç ve kaynaklarını kullanarak gerçekleştirebilen bir yönetim süreci; entegre afet yönetimi.

Hasar

Yapılar üzerinde doğal ve insan kökenli bir olayın neden olduğu çatlama, kırılma, yıkılma devrilme gibi fiziksel olgulara verilen genel ad. Kısaca, yapıların taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan sistemlerinde zayıflık yaratan hasar ve kayıpların tümü.

Hasar Görebilirlik

Değişik türdeki yapıların farklı büyüklüklerdeki afetler karşısında hasar görebilme eğilimi veya bir yapının var olan bir tehlikeden görebileceği hasarına ilişkin ölçü.

Tarihi yapılar için hasar görebilirlik derecesi, yapının mevcut korunma durumu ve çevre koşullarını değerlendire risk analizine göre belirlenir.

Risk

Bir olayın belirli koşul ve ortamlarda doğurabileceği can, mal, ekonomik ve çevresel gibi değerlerin kaybının gerçekleşme olasılığı.

$$\text{Risk (potansiyel kayıplar)} = \text{Tehlike} \times \text{Hasar görebilirlik}$$

Tarihi Yapı Triaı

Bir afet/olay sırasında çok sayıda tarihi yapıda hasar oluşması durumunda acil müdahale edilecek yapılar ile ilgili önceliğı belirlemek amaçlı yapılan hızlı belirleme çalışması.

Tarihi Yapı Enkazı Yönetimi

Afet sonrasında ağır hasar gören/yıkılan tarihi yapılarda acil müdahale evresinde yapının çevresinde yapıdan veya yapıya gelecek tehlikelere karşı gerekli güvenlik tedbirlerinin alınması, kullanılabilecek yapı elemanlarının ayıklanarak mümkünse yapının yanındda, uygun ortam yok ise geçici bir depolama alanında koruma altına alınması, yıkım çalışmalarının aşamalı söküm şeklinde planlanması ve bu aşamada da kullanılabilecek yapı elemanları, bezem vb. parçaların ayrılması, tüm elde edilen malzemenin onarılarak yeniden kullanılması ile ilgili çalışmalarla afet öncesinde bu çalışmaların nasıl yapılacağına dair planlamaların tümü.

Tehlike

Belirli bir zaman veya coğrafyada ortaya çıkarak yaşamı tehdit eden, toplumun sosyoekonomik düzen ve etkinliklerine, doğal çevreye, doğal, **tarihi ve kültürel kaynaklara** zarar verme potansiyeli olan doğa, teknoloji ya da insandan kaynaklanan fiziki olay ve olgu.

Zarar

Doğa, teknoloji ve insan kaynaklı olayların neden olduğu fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıpların tümü.

Zarar Azaltma

Doğal, teknolojik ve insan kaynaklı tehlikelerle, çevresel bozulmaların afet sonucunu doğurmasını önlemek veya etkilerini azaltmak amacıyla, afet öncesi, sırası ve sonrasında alınması gereken yapısal veya yapısal olmayan önlem ve faaliyetlerin tümü. Bu faaliyetler birçok kurum ve kuruluşla, çok çeşitli disiplinlerin belirli bir hedef doğrultusunda çalışmasını gerektiren uzun vadeli çalışmalardır. Zarar azaltma evresi, pratikte, iyileştirme evresindeki faaliyetlerle birlikte başlar ve yeni bir afet olana kadar devam eder. Bu evrede yürütülen faaliyetler, ülke, bölge ve yerleşme birimi ölçeğinde olmak üzere çok geniş uygulama alanı göstermektedir.

Zarar Görebilirlik

Farklı tür ve büyüklükteki tehlikeler karşısında, insanların ve yaşam çevrelerinin uğrayabileceği fiziksel, toplumsal, ekonomik veya çevresel zarar ve kayıpların ölçüsü. Bazı yayınlarda, *savunmasızlık*, *kırılganlık*, *hassasiyet* gibi terimlerle ifade edilmektedir. Fiziksel, Sosyal ve Ekonomik Zarar Görebilirlik olarak sınıflanmaktadır.

Tarihi yapılar için zarar görebilirlik ölçüsü, koruma-kullanım-kullanıcı durumu/ilişkisi ve yakın çevre verilerine bağlı olarak belirlenir.

2.3. Yapı Malzemesi ve Yapı Mühendisliği Temel Kavramları (İnşaat Terimleri)

Çok Bağlılık (redundancy):

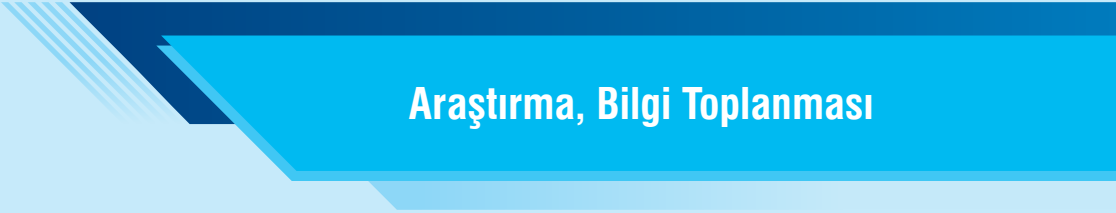
Yapısal sistemin sahip olduğu iç ya da dış bağları ve bu bağların kritik bir dış etki durumunda yükleri göçmeye sebep olmadan güvenli bir şekilde aktarabilecek alternatif kuvvet akış yollarını temsil eder (Bu tanım Bölüm 6.2.1'den alınmıştır).

Hiperstatiklik derecesi(degree of indeterminacy):

Çok bağlılığa sahip olan sistemlerin yapısal çözümlemesini yapmak için denge denklemlerine ek olarak kullanılması gereken süreklilik denklem sayısını (ya da ekstra bilinmeyen sayısını) ifade eder.

Duraylılık (structural stability):

Mühendislik açısından bir sistemin dış etkenlere karşı olan stabilitesini ya da kararlılığını ifade eder.



Araştırma, Bilgi Toplanması

3. Araştırma, Bilgi Toplanması

3.1. Tarihi Belgelerin İncelenmesi

Tarihi yapılara, onları korumak, daha dayanıklı kılmak amacıyla yapılacak müdahaleden önce, onları iyi tanımak, geçirdikleri depremler, onarımlar hakkında tarihi araştırmalar, arşiv kayıtları, yayınları inceleyerek bilgi edinmek gerekir. Geçmiş hasarlar hakkında bilgi toplamak, tarihi yapının düşey yükler ve deprem etkisinde davranışı ve zayıf noktaları hakkında önemli veri sağlayabilir.

Üslupları ve tipolojik özellikleri dolayısıyla mimarlık tarihi yönünden önemli yapılar hakkında tekil araştırmalar ve yayınlara kolayca ulaşılabilir. Bazı binaların ilk yapım ve onarım kitabeleri vardır; bu belgelerden yapım ve onarım tarihleri öğrenilebilir. Yayın, araştırma ve yazıt gibi bilgi kaynakları olmadığında, incelenen yapı için veri derlemek üzere, henüz incelenmemiş tarihi kaynakları araştırmak gerekir.

Selçuklu ve Osmanlı dönemi vakıf yapıları (camiler, medreseler, kervansaraylar, hamamlar ve diğerleri) ile ilgili olarak Vakıflar Genel Müdürlüğü Arşivi'nde yapım ve onarım belgeleri bulunmaktadır. Osmanlı döneminde sultanların ve aile mensuplarının yaptırdıkları eserlerle ilgili kayıtlar, keşif defterleri, yapımda kullanılan malzemeler hakkındaki belgeler Topkapı ve Dolmabahçe Sarayı arşivlerindedir. Osmanlı Dönemi'ne ait birçok tarihi belge ise Başbakanlık Osmanlı Arşivi'nde toplanmıştır. Onarım keşif ve belgeleri, deprem, yangın ve benzeri olaylar sonrasında yapılan müdahalelerin boyut ve niteliğinin anlaşılmasına yardımcı olurlar. Her yapı için bu belgelere ulaşılmasa bile, arşivlerin araştırılması, yaptıran kişi ve ilgili vakıfla bağlantılı bilgiler sağlanması ilk yapım ve daha sonraki müdahaleler hakkında fikir verebilir. Eski haritalar, kadastral belgeler de yıkılan, yok olan eserler, bölümler hakkında veri sağlarlar.

Anıtsal olmayan diğer tarihi eserlerle ilgili bu kadar çok bilgi ve belge bulmak mümkün olmayabilir. Ancak bu eserlerle ilgili olarak; özel aile arşivlerinden, seyyahların kitaplarından ve arşivlerinden ve yapının çevresindeki anıt eserlerle ilgili kaynaklardan yararlanabiliriz. Bu kaynaklardan eserin önceki durumlarını algılamak ve geçirdiği değişimi irdelemek mümkün olacaktır.

Ülkemizdeki ve Akdeniz çevresindeki tarihi depremlerle ilgili araştırmalar ve yayınlar bulunmaktadır. Tarihçilerin, gezginlerin ve gözlemcilerin notlarından, tarihi kayıtlardan yararlanılarak oluşturulan bu derlemeler, incelenen anıtın bulunduğu şehir veya bölgede olan depremler ve verdikleri hasarlar hakkında aydınlatıcı olabilir. Arşiv belgeleri depremlerin etkilediği bölgeler, tarihleri, hangi yapılara hasar verdikleri ve yapılan onarımlar hakkında bilgi içerirler. Farklı tarihlerde yapılan onarımlar, o döneme özgü yapım teknikleri, malzemeler ve müdahale tekniği ile ayırt edilebilir. Tarihi kaynaklardan elde edilen bilgiler, anıtın yapıldığı, onarıldığı dönemle ilgili arkeolog, sanat ve mimarlık tarihçilerinin desteğiyle değerlendirilir. Böylece tarihi yapının bugünkü durumunun hangi dönem onarımlarıyla ortaya çıktığı daha iyi anlaşılabilir.

3.2. Alan Çalışması, Analitik Rölöve ve Hasar Tespit Paftalarının Hazırlanması

Tescilli tarihi yapıların onarımları için ilgili Koruma Bölge Kurulları'na;

1. Rölöve ve rölöve raporu (analiz ve değerlendirmeler, fotoğraf albümü ile birlikte),
2. Restitüsyon önerisi ve restitüsyon raporu,
3. Restorasyon önerisi ve restorasyon raporu,

çizimlerinden ve raporlarından oluşan çalışmalar sunularak izin alınması gerekir.

Bir veya daha fazla mimarın sorumluluğunda hazırlanan restorasyon projesinin ilk aşaması olan “rölöve”, mevcut durumun ölçekli plan, kesit ve görünüş çizimleriyle belgelenmesidir. Maddi ve teknik olanaklara bağlı olarak, rölöve çalışmasında farklı teknikler kullanılabilir. En basit çalışma şekli, tarihi yapının çelik metre, nivo ve mira yardımıyla ölçülmesidir. Ekibin daha donanımlı olması durumunda, optik aletler, fotogrametri veya lazer tarayıcı kullanılarak ölçüm yapılır. Arazi çalışmasının ardından, 1/50 ölçekli kat ve çatı planları, tavan izdüşümleri, enine ve boyuna kesitleri, görünüş çizimleri hazırlanır. Rölöve çizimleri 1/20 ölçekli sistem detayı, 1/10, 1/5 ölçekli ayrıntılar (kapı, pencere, tavan, saçak, vb) ile tamamlanır.

Restorasyon projesini yürüten mimar(lar) tarafından hazırlanan rölöve raporunda anıtın yapım dönemi, üslubu, tipolojik özellikleri, yapım teknikleri, taşıyıcı sistemi, hasarları açıklanır. Rölöve yapılırken yapının malzeme ve yapım teknikleri ayrıntılı olarak incelenir ve rölöve raporunda tarihi yapının mevcut durumunun tanımı yapılır. Bu amaçla her mekan numaralandırılır ve plan özelliklerini, cephe düzenini, mimari öğelerini, taşıyıcı sistemini, malzeme ve yapım tekniklerini kapsayan mimari tanımlaması yapılır. Rölöve raporu iç ve dış görünüş, kapı, pencere, baca, saçak gibi ayrıntı fotoğraflarıyla desteklenir.

Rölöve aşaması kapsamında, yapıda kullanılan malzemeleri, değişik dönem müdahalelerini, hasarları gösteren 1/100 ölçekli analitik paftalar hazırlanır.

Malzemelerle ilgili analitik paftada, yapımda kullanılan değişik malzemeler; kerpiç, tuğla, ahşap, taş, metal, cam, alçı, değişik harç ve sıva türleri plan, kesit ve görünüşler üzerinde lejantla belirtilir.

Bu dönemde yapı ayrıca, koruma konusunda uzman bir inşaat mühendisi tarafından da incelenir. Yapının mevcut durumunu ve yapım tekniklerini hem rölöve almak hem de rapor düzenlemek üzere çalışır.

Dönem analizi: Yapının ilk yapılışına ve sonraki dönemlere ait duvarlar, bezeme katmanları, yenilenen çatı ve diğer öğeler, uygun olmayan ekler, tarihleri belirlenerek, ayrı renk veya tarama teknikleriyle rölöve çizimleri üzerine işlenir. Ülkemizde değişik dönemlerde kullanılan yapım teknikleri ve malzemeler farklıdır. Örneğin 16. yüzyıl tuğlası ile 18. yüzyıl tuğlası farklı boyutlardadır. Taşların boyutları ve işlenişi de dönemlere göre değişir. Dolayısıyla malze-

melerdeki farklı boyut ve işlenişler, değişik dönem müdahalelerine işaret eden veriler olarak değerlendirilmelidir. Birden fazla tarihi dönem onarımı izi bulunan yapılarda, farklı dokuların, dönemlerin analizi için arkeolog ve mimarlık tarihçilerinin katkısı alınır. Ayrıca, kronolojik dönemin tanımlanmasında konusunda uzman mühendislerden de yapıdan gelen izlere göre kütsel ve taşıyıcı sistem üzerindeki olası farklılaşmalara yönelik katkı beklenir.

Hasar analizi: Rölöve çalışması sırasında malzeme ve taşıyıcı sistemdeki hasarların listesi yapılır ve bir lejant hazırlanarak bozulmalar plan, kesit ve diğer paftalar üzerine işlenir. Hasarlar taş, tuğla gibi malzemelerdeki yüzey aşınmaları, kopmalar, kayıplar, oyuklar, şişmeler, oturmalar, eğilmeler, kılcal ve geniş çatlaklar, cephelerde ve çatıda büyümüş ot ve ağaçlar, çiçeklenme, korozyon, kirlenme, derz boşalmaları, sıva dökülmeleri gibi başlıklar altında toplanır. Bu aşamada disiplinlerarası çalışma yapılması önemlidir.

Taşıyıcı sistemin durumunu değerlendiren ve iyileştirme için öneriler içeren rapor, restorasyon projesini hazırlayan ekipte yer alan bir inşaat mühendisi tarafından geliştirilir. İnşaat mühendisi de tarihi yapıyı ve mekanlarını içten ve dıştan inceleyerek, her birinde gördüğü yapısal aksaklıkları, hasarlı bölgeleri, çatlak, çökme ve benzeri bozulmaları 1/50 ölçekli rölöve çizimleri üzerine işaretler. Gözlemlere ek olarak, duvar, döşeme ve örtü yüzeylerinin gerisindeki iç bünye hakkında bilgi edinmek için, hasarsız veya az hasarlı yöntemlerle incelemeler yapılır. Taş, tuğla, harç, sıva gibi malzemelerden örnekler alınarak türleri ve dayanımları araştırılır.

Restorasyon müdahale öneri paftası: Hasarların mühendislik bakış açısından değerlendirilmesinden sonra, tarihi yapının güvenliğini sağlamak üzere yapılması gerekenler için projede çalışan mühendis, mimar, malzeme uzmanı, sanat tarihçisi bir araya gelir ve yapılması gerekenler üzerinde yerinde inceleme yaparak müdahale türlerini, kullanılacak malzemeleri tanımlarlar. Uzmanlarca hazırlanan bu projeler “**Restorasyon Müdahale Projeleri**”dir. Önerilerin özgün yapı ve malzemelerle uyumlu olması önemlidir.

Gerekli disiplinlerden uzmanların tarihi yapıyla ilgili olarak hazırladıkları durum değerlendirme raporları ve öngördükleri onarım önerileri restorasyon projesine işlenir. Taşıyıcı sistem uzmanı mühendisin raporu, onay için Restorasyon Projesi’nin ekinde Koruma Kurulu’na sunulur. Kurul tarafından onaylandığı takdirde uygulamaya konulur.

3.3. Depremsellik ve Zemin İncelemesi

Depremsellik, tektonik hareketlerden kaynaklanan depremlerin bölgesel ve tarihsel olarak dağılımı ve meydana gelme potansiyelidir. Depremsellik kavramına bağlı olarak deprem tehlikesi; depremin kendi özelliklerinden veya yarattığı zemin etkisinden kaynaklanan bir parametrenin belirli bir bölgede hesaplanan değerinin verilen bir zaman aralığında önceden tanımlanmış bir seviyeyi aşma olasılığı olarak ifade edilebilir. Deprem tehlikesini belirlemek amacıyla deterministik ve olasılıksal olmak üzere iki farklı yaklaşım kullanılarak analizler gerçekleştirilebilir:

- **Deterministik yaklaşımda;** tarihsel katalog göz ardı edilerek en büyük etkiyi yaratan senaryo depremi dikkate alınır ve bu depremden elde edilen yer hareketi parametrelerinin değerleri kullanılır.
- **Olasılıksal yaklaşımda ise;** bölgedeki çeşitli sismik kaynakların etkileri ile geçmiş depremlerin hem bölgesel hem de tarihsel dağılımı dikkate alınarak deprem tehlikesi haritaları oluşturulur.

Deprem tehlikesi analizleri sayesinde sismik etkinin yapı tasarımında kullanılan basit parametreler cinsinden ifade edilmesi mümkün olur. Bu bağlamda bölgesel ve olasılıksal deprem tehlikesi analizleri sonucunda ortaya çıkan deprem tehlikesi haritası, Deprem Yönetmelikleri'nde kullanılan Deprem Bölgeleri Haritası şekline uyarlanabilir.

Ülkemizde de depreme dayanıklı yapı tasarımında bu tür araçlar kullanılmaktadır. 1998 yılında yürürlüğe giren ve olasılıksal yöntemler kullanılarak oluşturulan Deprem Bölgeleri Haritası'nda Türkiye, 50 yılda %10 aşılma olasılığına sahip maksimum yer ivmeleri esas alınarak 5 ayrı deprem bölgesine ayrılmıştır. 2016 yeni Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) Taslağı'na göre ise deprem bölgeleri kavramı terkedilmiş, onun yerine Türkiye sınırları içerisinde herhangi bir lokasyonda olasılıksal sismik tehlike hesap yöntemini kullanarak dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için 0.2 saniye ile beraber 1.0 saniye periyotlarında %5 sönüm oranına sahip elastik spektral ivme değerlerinin belirlenmesi esas alınmıştır. Bir başka deyişle, yapının bulunduğu lokasyondaki spektral ivme değerlerinin, AFAD tarafından sağlanan deprem yer hareketi düzeyine bağlı spektral ivme haritaları (bkz. www.deprem.gov.tr) kullanılarak belirlenmesi planlanmıştır.

Bölgesel zemin özelliklerinin tarihi yapıların deprem riski üzerindeki etkisi esasen söz konusu yapıya gelen deprem kuvvetlerinin hesaplanması aşamasında ön plana çıkmaktadır. TBDY Taslağı'nda da görüleceği üzere, yapıya etkien eşdeğer deprem kuvvetinin hesabında, bölgesel zemin sınıflarına bağlı olarak bölgesel zemin etki katsayıları kullanılır (bkz. TBDY Taslağı, Bölüm 2.3). Taslak Yönetmelik'te, özel inceleme gerektiren zemin sınıfları ve özellikleri de yer almaktadır. "TBDY Taslağı'na göre, yapıya gelecek deprem yüklerinin hesaplanmasında esas alınacak bölgesel zemin sınıfları ZA, ZB, ZC, ZD, ZE ve ZF olarak belirlenmiştir. Tüm bölgesel zemin sınıflarının genel tanımları ile üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı, ortalama standart penetrasyon darbe sayısı ile ortalama drenajsız kayma dayanımı değer aralıkları Taslak Yönetmelik Tablo 16.1'de verilmektedir. Zemin sınıfı ZA sert kayayı temsil etmekte olup zemin sınıfı ZE ise gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakalarını temsil etmektedir. Bir başka deyişle zemin sınıfları sertten yumuşağa doğru sıralanmaktadır. Zemin sınıfı ZF ise, "sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler" sınıfı olarak adlandırılmıştır. Taslak Yönetmeliğe göre, ZF sınıfı olarak tanımlanan zeminlerin yüzeyindeki deprem yer hareketini belirlemek üzere sahaya özel zemin davranış analizinin yapılması zorunludur."

Özel zemin koşulları sebebiyle deprem hareketi genliğinin büyümesi etkisi TBDY Taslağı'nda zemin sınıflarına bağlı olarak bölgesel zemin etki katsayıları (F_s , F_1) ile dikkate alınmıştır. Kısa periyod ve 1 saniyelik periyod için ayrı ayrı tanımlanmış olan bu katsayılar spektral ivme değerleri (S_s , S_1) ve zemin sınıflarına (ZA-ZE) göre farklı değerler alır

(bkz. TDBY Taslağı, Tablo 2.1-2.2). Bir sonraki aşamada bu değerler yatay elastik tasarım spektral ivmesinin (S_{ae}) hesaplanmasında kullanılırlar. Tarihi yapıya etkiyen eşdeğer deprem yükü, elastik spektral ivmeden azaltılmış spektral ivme (S_{aR}) ve bu parametreyi kullanarak da taban kesme kuvveti (V_{te}) cinsinden hesaplanabilir (TBDY Taslağı Bölüm 4.7).

Taslak Yönetmeliğe göre, ZD, ZE ve ZF sınıflarına giren kumlu zeminlerde sıvılaşma potansiyelinin bulunup bulunmadığı kontrol edilmelidir. Yönetmelikte bu zemin sınıflarına göre verilen tanımlara uygun zemin koşulları üzerinde yer alan tarihi yapılarda da deprem riski açısından benzer çalışmalar yapılabilir. Bu çalışmalar genellikle arazi ve laboratuvar deneylerine dayanan uygun analiz yöntemlerinin seçilmesiyle yapılır. Deprem etkisi altında zeminin sıvılaşma riskinin değerlendirmesi ile ilgili esaslar TBDY Taslağı Bölüm 16.6'da verilmiştir.

Eğimli arazilerde bulunan tarihi yapılarda şev duraylılığı, kuvvetli bir yer hareketi sırasında kritik bir duruma gelebilir. Bu bağlamda, deprem riskini değerlendirmek açısından bu tür yapıların bulunduğu zemine şev duraylılık analizi yapılabilir. Bu analizin uygulama esasları ve temel bilgiler TDBY Taslağı Bölüm 16.13'te verilmiştir.

Yukarıdaki paragrafta bahsi geçen zemin özelliklerinin belirlenmesi ve incelenen yapıya ait zemin sınıfına karar verilmesi ancak zemin incelemesi sayesinde olur. Tarihi yapının bulunduğu arazide uygulanabilecek zemin incelemesi yöntemleri aşağıda sıralanmıştır:

- Yüzey incelemesi (alanın topografyasının ve yüzeydeki zemin özelliklerinin elde edilmesi, zemin suyunun mevcut durumu, vb.)
- İnceleme çukurları/hendekleri (zemin özelliklerine göre farklı derinliklere ve kesitlere sahip çukurlar açılması)
- Sondaj uygulaması (el burgusu veya motorlu burgu ile sondaj, dönel sondaj, darbeli sondaj, vb.)
- Sonda/arazi deneyleri (statik sonda ile koni penetrasyon deneyi, dinamik sonda ile standart penetrasyon deneyi, presiyometre deneyi, vb.)
- Jeofizik yöntemler (sismik kırılma yöntemi, rezistivite yöntemi, vb.)

Özetle; tarihi bir yapının deprem tehlikesinin belirlenmesi için öncelikle bölgesel zemin özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Bir sonraki aşamada, elde edilmiş olan zemin verileri de kullanılarak yürürlükteki yönetmelik kapsamında yeni yapılar için tanımlanmış olan tasarım spektrumu göz önüne alınıp yapıya etkiyen deprem yükleri hesaplanabilir. Deprem yükleri ile ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm 6.1.3.'te verilmiştir. Ancak şunu da belirtmek gerekir ki; deprem yönetmelikleriyle birlikte sunulan Deprem Tehlikesi Haritası ve tasarım spektrumu, genellikle sıradan ve aykırı bir yapısal/fonksiyonel özelliği olmayan binaların tasarımı veya performans değerlendirmesi için kullanılır. Tarihi yapılar gibi çok değerli ve deprem sırasında hasar görmesi istenmeyen yapılar için yönetmelikten bağımsız olarak daha ayrıntılı, eldeki jeolojik, sismolojik ve zemin ile ilgili verileri detaylı olarak hesaba katan sismik tehlike analizleri yapılabilir.

3.4. Alan ve Laboratuvar Deneyleri

Restorasyon çalışmalarında, özgün malzeme özellikleri; yapıda yapılacak ölçümler ve alınan örneklerde laboratuvarda yapılacak deneyler ile belirlenmelidir. Yeni kullanılacak malzemelerin bu özelliklere sahip olmasına özen gösterilmelidir. ***Aksi halde tarihi yapılara geri dönüşü mümkün olmayan zararlar verilebilir ve yapıların sahip olduğu estetik ve tarihi belge değerleri yok olabilir.***

3.4.1. Alan deneyleri

Yapıda ve çevresinde gözlemsel inceleme yapılır, ölçüm ve inceleme yapılacak elemanlar ve bölgeler rölöve projesine uygun olarak kodlanır, kayıt için hazırlanmış tablolara işlenir. Yapıda tahribatsız ve az tahribatlı deneyler yapılır. Yığma kâgir yapı malzemelerinde yapılan alan ve laboratuvar çalışmaları aşağıda, özellikleri farklı olduğu için ahşap ile ilgili deneyler ayrı başlık altında; bölüm 3.4.3’de verilmiştir.

Bu deneylerin tümünün her yapıda uygulanması gerekmebilir; ihtiyaç olan deneylere, sayısına ve uygulanacağı elemana/bölgeye uzman ekip tarafından karar verilmeli, az tahribatlı deneyler için ilgili *Kültür Varlıkları Koruma Bölge Kurulu’ndan izin alınmalıdır.*

1.1.1.1. Tahribatsız deneyler

Tarihi yapılarda malzeme özelliklerinin araştırılması amacı ile elemanlarda yüzey sıcaklığı ve nemi, yüzey sertliği ve ultrases ölçümü, magnometri, infrared/termografi, georadar/radar tarama, gibi tahribatsız deneyler (NDT Non-destructive Tests) uygulanır. Gerekli görüldüğü durumlarda malzemelerde bu amaç için geliştirilmiş aletten yararlanılarak renk ölçümü de yapılır.

a. Yüzey sıcaklığı ve neminin ölçümü

Tarihi yapılarda görülen pek çok hasarda yapının yer aldığı bölgenin iklim koşulları etkilidir. İklim koşullarının yapı malzemesinde oluşturduğu sıcaklık ve nemin ölçülmesi hasara neden olan sürecin açıklanmasında ve etkin koruma yöntemine karar verilmesinde, sertliğin (darbeli çekiç) ve ultrases ölçümlerinin doğru değerlendirilmesinde yardımcı olmaktadır. Yüzey sıcaklığının ve neminin ölçülmesinde bu amaç için geliştirilmiş aletlerden yararlanılır. (Şekil 3.1.a) Tahribatsız deneylerin yapıldığı dönemde ayrıca ortam sıcaklığı ve bağıl nemi de ölçülür, kaydedilir.

b. Ultrases deneyi

Bu deneyde yüksek frekanslı ses dalgası üreten aletlerden yararlanılır. Ölçüm karşılıklı yüzeylerde *doğrudan* veya aynı yüzden *dolaylı* olarak yapılır. (Şekil 3.1.b) Malzeme boşluklu, yoğunluğu düşük ve/veya bünyesinde çatlaklar var ise ses geçiş hızı düşüktür. Ses geçiş hızı ile malzemelerin homojenliği karşılaştırılabilir, yüzey sertliği ve karot numunelerin, deney sonuçları ile birlikte değerlendirilerek, dayanımı tahmin edilir.

Ultrases ölçümü, elemanlardaki çatlak derinliğinin ve çatlak yönünün araştırılması amacı ile de uygulanır. Yüzeyde gözlenen çatlak bölgelerinde BS1881: Part 203: 1986'ya uygun olarak belirlenen noktalarda, probların yeri değiştirilerek ses geçiş süreleri (t_1 , t_2 , t_3 , ve t_4) ölçülür; gerekli hesaplar yapılır, çatlakın derinliği ve yönü tahmin edilir. Aynı noktalarda enjeksiyon işleminden önce ve sonra tekrarlanan ölçümler karşılaştırılarak çatlak ve boşluklardaki değişim oranları/iyileşme araştırılır.



a) Yüzey nemi ve sıcaklığının ölçümü



b) Ultrases ölçümü

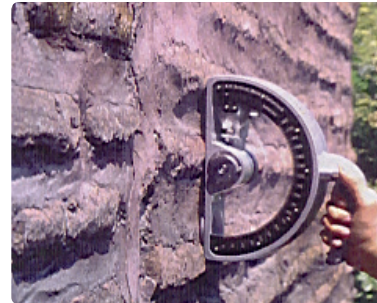
Şekil 3.1 Yüzey nemi- sıcaklığı ve ultrases ölçümü (Özturan, T. vd. 2006)

c. Sertlik ölçümü (Darbeli çekici deneyi)

Sertlik, geri sıçramanın ölçülmesi prensibine dayanan Schmidt çekici ile belirlenir, Bu amaç için geliştirilmiş; N tipi/normal ve P tipi/pandüllü olmak üzere iki tip çekici bulunmaktadır. N tipi, beton, doğal taş gibi dayanımı yüksek olan malzemelerde, P tipi ise harç, tuğla gibi dayanımı düşük olanlarda kullanılmaktadır. (Şekil 3.2.a ve 3.2.b) Sertlik ölçümünde, yüzeydeki sıva veya kaplama kaldırılmalı, deneye hazırlanmış bölgenin değişik noktalarına en az 10 vuruş yapılmalıdır. Bu yöntemden, dayanımın yapı genelinde dağılımını belirlemek için veri elde etmek üzere yararlanılır.



a) Doğal taşlarda yüzey sertliği ölçümü



b) Yığma duvarlarda yüzey sertliği ölçümü

Şekil 3.2 Doğal taşlarda ve yığma duvarlarda yüzey sertliği ölçümü (T. Özturan, vd 2006; G.Özşen, vd. 1998)

Sertlik ölçümü, metallerde mekanik özelliklerin tahminine olanak verdiği halde; doğal taşlarda, harçlarda ve beton-
da basınç dayanımının tahmini için tek başına değil, ultrases ölçümü ve karot basınç dayanımı gibi farklı yöntem-
lerle birlikte uygulanmalıdır.

d. Manyetik tarama (Magnometri)

Yığma yapılarda zincir, çekme çubukları yada birleştirme elemanları gibi çok derinde olmayan/yüzeye yakın metal-
lerin yerlerinin ve boyutlarının tespitinde manyetik esaslı tarama aletlerinden yararlanılır.

e. Termografi yöntemi

Bu tekniğin esası, malzemelerin yüzeyinin sıcaklığına bağlı olarak belirli bir yoğunlukta elektromanyetik radyasyon
yaymasına dayanır. Farklı malzemeler ve malzemelerin kusurlu (hasarlı) bölgeleri, kusurlu olmayanlara göre farklı
termal iletkenlik gösterdiği için bu durum ısı akışını etkiler; yüzey sıcaklığı değişir. Uygulamada, yüzey sıcaklığı, vi-
deo kameraya benzer şekilde çalışan kızılötesi tarayıcılar yardımı ile ölçülür, kaydedilir. Yüzeye yakın bölgelerdeki
farklı malzemelerin, hasarların varlığı ve yeri tahmin edilebilir.

Tamamen tahribatsız tarama yöntemidir; **iki ortam arasında sıcaklık farkı bir başka deyişle ısı akışının olduğu her
an uygulanabilir.** Günümüzde bu yöntem, köprüler gibi önemli yapıların, izlenmesinde de uygulanmaktadır.

f. Radar tarama /Georadar yöntemi

Yapı içindeki büyük boşlukların, farklı malzemelerin, çok cidarlı/tabakalı duvarların ve hasar durumunun tespiti
amacı ile georadar yönteminden yararlanılmaktadır. (Şekil 3.3) Georadar yönteminde, ortam içine elektromanyetik
dalgalardan gönderilir, alıcı ve verici arasında geçen zaman kaydedilir ve hedeflenen bölge taranır. Yapı elemanlarının
gözle görülemeyen ve karot alınamayan bölgelerindeki boşluk ve çatlakların varlığı ve malzemelerin fiziksel özellik-
leri tahmin edilebilir.



Şekil 3.3 Yapı içinde ve dışında jeoradar uygulaması (VGM Arşivi)

3.4.1.2 Az tahribatlı deneyler

İncelenen yapılardaki malzeme özelliklerinin belirlenmesinde tahribatsız deney ve ölçümlerin değerlendirilmesine yardımcı olması için ilgili **Koruma Bölge Kurulu'ndan izin alınması koşulu ile** yerinde basınç deneyi, kayma deneyi, endoskopi, karot numune alınması gibi az tahribatlı (MDT: Medium Destructive Tests) deneyler de yapılabilir. **Bu deneylerin tümünün her yapıda uygulanması gerekmeyebilir; ihtiyaç olanlara, sayısına ve uygulanacağı elemana/bölgeye bu konularda uzman ekip tarafından karar verilmelidir.**

a. Yerinde gerilme deneyi (Flat-Jack)

Yığma yapılarda, yerinde gerilme deneyinde; elemana uygulanan kuvvetin ve kuvvete karşılık gelen boy değişiminin ölçülmesine olanak sağlayan flat-jack deney düzeneğinden yararlanılır. Tekli plak ile elemanın gerilme seviyesi ve şekil değiştirme yeteneği, çift plak ile basınç mukavemeti ve elastisite modülü belirlenebilir. Bu deney düzeneği; basınç uygulayan kompresör ve kuvvetölçer, basınç kuvvetini yüzeye uygulamaya yarayan plaklar(flat), yerdeğiştirmeyi ölçmeye yarayan komparatör ve komparatörü tespit etmeye yarayan pimlerden oluşmaktadır. (Şekil 3.4 a ve b)



Şekil 3.4 Yığma duvarda gerilme deneyi (flat-jack) uygulamasına örnekler (F. Kuran; O. Aydemir)

b. Yerinde kayma deneyi

İncelenen yapı elemanındaki kayma dayanımının belirlendiği deney seti, kuvvet uygulayan kompresör, kuvvetölçer ve yerdeğiştirmeyi tespit eden yerdeğiştirme algılayıcısından (transducer) oluşur. Deneyin uygulanmasında ölçüm

yapılacak bölgenin iki tarafı açılır, bir taraftan yatay kuvvet uygulanır, diğer tarafta yatay yerdeğiştirme ölçülür. (Şekil 3.5.) Ölçülen en büyük yatay kuvvet, elemanın kayma dayanımının belirlenmesinde kullanılır.



Şekil 3.5 Tuğla yığma duvarda kayma deneyi (Yüzer, N. vd. 2015).

c. Endoskopi uygulaması

Endoskopi, yapıda kullanılan taşıyıcı elemanların boyutlarının çok büyük olması, gözle veya karot ile ulaşılamayan bölgelerde kullanılmış malzemelerin neler olduğuna karar verilememesi durumunda uygulanan yöntemlerden biridir.

Bu yöntemde yapıda yaklaşık 1.0 (bir) cm çapında delik açılır, kamera taşıyıcı bir çubuk ile içeriye istenilen derinliğe kadar gönderilen kamera ile görüntü alınır. (Şekil 3.6.) Araştırma yapılan derinlikteki malzemelerin neler olduğuna karar verilir. Endoskopide elde edilen verilerden georadar yönteminin doğrulanmasında yararlanılabilir.



Şekil 3.6 Yapıda endoskopinin uygulanması (O. Aydemir)

d. Yapıdan numune alınması

Tahribatsız deneyler ile korelasyon yapılabilmesi için tahribatsız ölçümlerin uygulandığı bölgelerden ilgili **Koruma Bölge Kurulu'nun** izni ile karot numune alınır. **Karot numuneler, yapının önemi dikkate alınarak mümkün olduğu kadar az sayıda ve görünür olmayan, algıyı bozmayacak noktalardan alınmalıdır.**

Yapıda kullanılmış olan tuğlaların, özellikle de harçların boyutu ve mukavemeti ölçüm yapılması ve karot alınması için yetersiz olabilir; bu durumda, yapının uygun bölgelerinden laboratuvarda deney yapılmak üzere, yeterli sayıda tuğla, taş, harç ve ahşap örnekleri alınır.

3.4.2 Laboratuvar Deneyleri

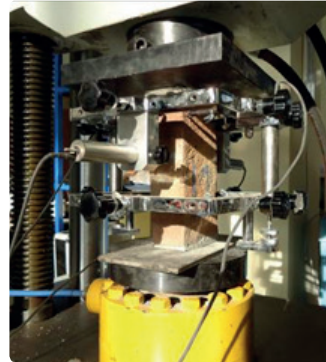
Onarımda kullanılacak malzemelerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin yapıda mevcut özgün malzeme ile uyumunun sağlanması için; yapıdan alınan taş, tuğla, harç ve ahşap numunelerin fiziksel, kimyasal, mekanik, petrografik ve mikroyapısal özellikleri, gerekli deneyler ile belirlenmeli; onarım veya restorasyonda kullanılacak malzemelerin bu özelliklere uygun olmasına özen gösterilmeli, gerekli deneyler ile kontrol edilmelidir.

3.4.2.1 Mekanik deneyler

Laboratuvara getirilen karotların ortama açık yüzeyinden minimum 3cm kalınlığında parça kesilir; yapıda karot alınan bölgeler tekniğine uygun olarak kapatılırken bu parça yüzeye kapak olarak yerleştirilir. **Karot numuneler, mümkün olduğu kadar görünür olmayan, algıyı bozmayacak noktalardan alınmış** olsa da bu sayede karot alınan bölgelerin görsel algılanması önlenir. Karot numuneler deneye hazırlanır, tartılır, çapı ve yüksekliği ölçülür, numune boyutu yeterli ise ultrases ölçümü yapılır (Ulukaya, S., 2016).

a. Doğal taşlarda basınç deneyi

Hazırlanan numunelerde yapılan tek eksenli basınç deneyinde gerilme, düşey ve yanal şekil değiştirmeler ölçülür, kaydedilir (Şekil 3.7 a). Deney sonuçlarından; basınç mukavemeti, elastisite modülü ve Poisson oranı belirlenir. Numune boyutu basınç deneyi için uygun değil ise nokta yükleme deneyi yapılır (Şekil 3.7 b), gerekli bağıntılardan yararlanılarak basınç dayanımı belirlenir. Taş numuneler, sedimanter kayalardan (tabakalı, tortul taşlardan), alınmış ise anizotrop özellik göstereceği için numunenin yükleme yönünün gerçek durumdaki yükleme yönü ile aynı olmasına dikkat edilmelidir.



a) Tek eksenli basınç deneyi



b) Nokta yükleme deneyi

Şekil 3.7 Yığma yapı malzemelerinde basınç dayanımı deneyleri (S. Ulukaya, 2016)

b. Tahribatsız ve az tahribatlı deney sonuçlarının birlikte değerlendirilmesi:

Yapıdan yeterli sayıda karot numune alınmış ise elde edilen basınç deneyi sonuçları ile tahribatsız deney sonuçları [yüzey sertliği (R) ve sesgeçiş hızı (V)] birlikte değerlendirilir, istatistiksel ilişkisi araştırılır; korelasyonu yüksek bağıntı elde edilmeye çalışılır. Bu bağıntı [$f_{teo}=f(V,R)$] yardımı ile tahribatsız ölçüm yapılan ancak karot alınmayan elemanlardaki malzemenin teorik basınç dayanımı (f_{teo}) hesaplanır.

c. Elastisite modülünün belirlenmesi

Basınç deneyi sistemi ve ölçümleri **Şekil 3.7.** a'daki gibi yapıldı ise gerilme-şekil değiştirme (σ - ϵ) eğrisi çizilir; eğrinin eğiminden elastisite modülü hesaplanır. Bu işlem yapılamıyorsa elastisite modülü, bu amaçla geliştirilmiş ampirik bağıntılardan yararlanılarak hesaplanır.

d. Tuğlada basınç deneyi

Tuğla örneklerden, ilgili standartlara uygun olarak numune/numuneler hazırlanır, basınç deneyi yapılır, kırma yükü (P_k) belirlenir, basınç dayanımı (f_b) hesaplanır. Sonuçların verildiği çizelgede tuğlanın günümüzdeki ilgili standartta verilen, olması gereken (nominal) boyutları da belirtilir.

3.4.2.2 Fiziksel deneyler

Malzemelerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için laboratuvarında deneye hazırlanan taş, tuğla, harç ve ahşap numunelerinde gerekli ölçümler, tartımlar yapılır. Bundan sonra taş, tuğla ve harçlarda su emme deneyleri, ahşapta nem oranı tayini deneyleri uygulanır. Deney sonuçlarından boşluklu birim hacim ağırlık/yoğunluk (β , gr/cm³), boşluksuz birim hacim ağırlık/özgül ağırlık (γ , gr/cm³), toplam boşluk oranı/porozite (p, %), doluluk oranı/kompasite (k, %), hacimce su emme/dışa açık boşlukların oranı (hs, %), ağırlıkça su emme (as, %), **kılcal/kapiler su emme (K, cm²/sn) katsayıları belirlenir** (TS 699/T1,2000; Aköz, F.; 2016; Saraylı, M.A. 1978). Harç örneklerindeki agregalar bağlayıcıdan dikkatlice ayrılır, elek analizi yapılarak dane büyüklüğü ve dağılımı/granülometrisi belirlenir.

3.4.2.3. İy yapı analizi

Malzemelerin iç yapısının belirlenmesi amacı ile SEM (Scanning Electron Microscopy), XRay analizi, DTA (Differential Thermal Analyses), TGA (Thermal Gravimetric Analyses) analizi ve petrografik analiz yapılır. **Bu analizlerden hangilerinin gerekli olduğuna bu konuda uzman ekip tarafından karar verilmelidir.**

a. SEM incelemesi

Taramalı elektron mikroskopunun (SEM: Scanning Electron Microscopy) büyütme oranı optik mikroskoba göre çok yüksek olduğu ve istenen bölgede tarama yapılabildiği için bu mikroskop ile malzeme içindeki elementlerin varlığı ve oranı araştırılır.

b. X_{Ray} analizi

Bu deneyde, malzemede bulunan elementler ve bunların kristal veya amorf olduğu ve dolayısı ile malzemenin puzolanik özelliğe sahip olup olmadığı araştırılır.

c. Petrografik Analiz

Bu analiz, doğal taşların türünün, elementlerinin ve jeolojik sınıfının belirlenmesi amacı ile yapılır.

3.4.2.4. Kimyasal deneyler

Malzemenin içyapı özelliklerinin, harç **örneklerinde agrega-bağlayıcı oranının ve puzolanik** aktivitenin belirlenmesi amacı ile aşağıda açıklanmaya çalışılan kimyasal deneyler gerçekleştirilir. ***Bu deneylerin tümünün her yapı için yapılması gerekmeyebilir. Hangilerinin yapılacağına, bu konuda uzman ekip tarafından karar verilmelidir.***

a. Asit kaybı deneyi

Harçtaki agreganın bağlayıcıya oranı asit kaybı deneyleri ile araştırılır. Asit kaybını belirlemek için harç örnekleri ezilerek toz hale getirilir, toz numune tartılır, kroze içine yerleştirilerek 60 dakika süre ile %10'luk HCl **çözeltisi ile karıştırılır**, numuneler filtre edilerek kurutulur ve tartılır, asitte kayıp oranı belirlenir. Bu kayıp, harç içindeki bağlayıcı oranı hakkında fikir verir.

b. Puzolanik aktivite deneyleri

Puzolanlar, inorganik kökenli toz malzemelerdir, kendi başına bağlayıcı değildir; ancak kireç veya çimento ile birlikte kullanıldığında sebest kireci bağlar, suda erimeyen kalsiyumsilikathidrat ($C_m S_n H_q$) oluşturur ve bağlayıcı özellik kazanırlar. Puzolanik aktivite, puzolan malzemenin serbest kireci bağlama özelliğidir; bu özellik, kimyasal, fiziksel ve mekanik deneyler ile araştırılır (Ulukaya, S., 2016).

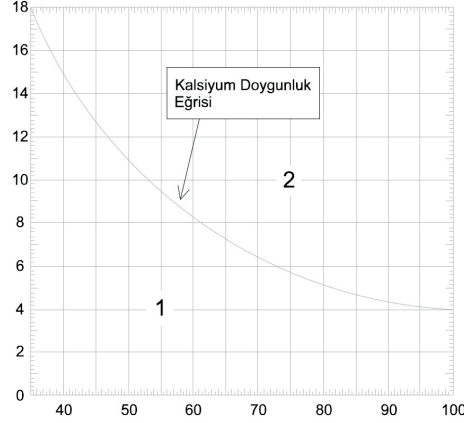
b.1. XRD ve XRF analizi

Malzemenin kimyasal kompozisyonu (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 v.b.) XRF analizi ile belirlenir, XRD analizi ile de desteklenir. Puzolanik özelliği araştırılan malzeme bileşimindeki SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 toplamı %70'den büyük ise diğer özellikleri de sağlamak koşulu ile malzemenin puzolan özellikte olduğu kabul edilir.

b.2. Kimyasal titrasyon deneyi

TS EN 196-5'e (2012) göre uygulanan kimyasal titrasyon deneyleri sonucu derişimleri belirlenen hidroksil (OH-) "x" ekseninde, kalsiyum oksit (CaO) "y" ekseninde olmak üzere standartta verilen grafik (Şekil 3.8) üzerinde işaret-

lenir. Deney sonuçlarından elde edilen ve grafikte işaretlenen nokta kalsiyum iyonu doygunluk derişimi eğrisinin (Kalsiyum Doygunluk Eğrisi) alt bölgesinde kalır ise (grafikteki 1 bölgesi) test edilen malzemenin puzolanik özellikte olduğu kabul edilir.



Şekil 38 Puzolanik özellik için TS EN 196-5'te verilen grafik

b.3. Kızdırma kaybı deneyi

Harcın puzolanik aktivitesinin kızdırma kaybı deneyi ile araştırılması için: Hazırlanan numuneler, 100 °C'den başlamak üzere yaklaşık 1000°C'ye kadar ısıtılır, belirli sıcaklıklarda ağırlık kayıpları belirlenir. Buna göre; 200-600°C sıcaklık aralığındaki ağırlık kaybı, kimyasal bağlı suyun (H₂O) 600-900°C aralığındaki ağırlık kaybı, karbonatlaşmış kirecin kalsinasyonu sonucu karbondioksit (CO₂) çıkışını ifade eder. Karbondioksit ve su kayıp yüzdelerinin birbirine oranlanması (CO₂/H₂O) ile harçların puzolanik özelliği değerlendirilir. Bu oran, 1(bir) ile 10 arasında ise harçların puzolanik özellik gösterdiği, 10 ile 35 arasında ise puzolanik özellik göstermediği kabul edilir.

b.4. DTA ve TGA analizi

Bu analizlerde (DTA: Diferansiyel Termal Analiz , TGA: Termal Gravimetrik Analiz) numune belirli sıcaklıklara kadar ısıtılırken her sıcaklık için ağırlık değişimi sürekli kaydedilir. Ağırlık kaybının en büyük olduğu sıcaklık/sıcaklıklar, numunedeki kimyasal değişikliğin göstergesidir. Bu sıcaklık, bilinen değerler ile karşılaştırılır, hangi bileşenin/molekülün değişim sıcaklığı olduğuna ve malzemenin yapısına karar verilir.

Konu ile ilgili bir çalışmada (Kılıç vd., 2004) horasan harcında ve tuğla matriste yapılan (TGA) analizindeki ağırlıkça (%) azalma sonuçlarına göre; Horasan harcında; 200-600°C'de bağlı suyun uzaklaştığı, 600-900°C'de kalkerdeki CO₂ çıktığı, **Horasan harcı içindeki tuğla matriste ise 100°C'de adsorbe suyun uzaklaştığı, 689°C'de kil minerallerinde hidroksil iyonlarının ısıtmaya bağlı olarak kaybolduğu ve bu sıcaklığın *tuğlanın pişirilme* sıcaklığı hakkında fikir**

verceği belirtilmiştir. Bünyedeki hidroksil iyonlarının ayrılma sıcaklığının kilin kimyasal bileşimine göre farklılık göstereceği dikkate alınmalı, bu **sıcaklık** deneysel olarak belirlenmelidir. **Yapının önemine göre bu özelliklere sahip tuğlaların üretilmesi sağlanmalıdır. Yüksek sıcaklıkta (800°C ve üstü sıcaklıklarda) üretilmiş endüstriyel tuğlaların puzolanik özellikte olamayacağı dikkate alınarak horasan harcı üretiminde kesinlikle kullanılmamalıdır.**

b.5. Elektrik iletkenliği ve pH ölçümleri

Elektrik iletkenliği ölçümüne dayanan puzolanik aktivite deneyi hızlı fakat dolaylı bir yöntemdir. Deneyde, $40 \pm 1^\circ\text{C}$ 'lik referans kireç çözeltisinin elektrik iletkenliği ile aynı karışıma 5 gram deney malzemesi ilave edildikten sonraki elektrik iletkenliği mS/cm (miliSiemens/cm) ölçülür. Çalışmalarda önerilen değerlendirme kriterlerine göre elektrik iletkenliği farkı 0,4 mS/cm'den fazla ise malzeme puzolan olarak kabul edilmektedir. Bu deney, standartlaşmamıştır ancak özellikle puzolanik aktivite çalışmalarında hızlı sonuç alınması amacı ile yaygın olarak uygulanmaktadır. Puzolanik aktivitenin belirlenmesi için elektrik iletkenliği ile birlikte pH ölçümlerinin de eşzamanlı olarak yapılması, **özellikleri test etme bakımından yararlıdır.**

b.6. Basınç dayanımı deneyi

Bu deneyde TS 25 (2015)'e göre malzeme ağırlıkları belirlenen, üretilen ve kür edilen puzolan katkı kireç harcı numunelerinde basınç deneyi yapılır. Harçların basınç dayanımı 4 MPa ve üzerinde ise malzeme puzolan olarak kabul edilir.

3.4.3. Ahşapta yapılan deneyler

Ahşap yapıda artım burgusu, test çekici, resistograf gibi mekanik esaslı, ışık mikroskobu (optik mikroskop),elektron mikroskobu, endoskopi gibi optik esaslı, akustik stres dalgası, ultrasonik dalga, ultrasonik tomografi gibi akustik esaslı, termal kamera, termografik nem ölçer, yeraltı radarı (GPR), termit tespit radarı gibi elektrik esaslı, X-Işınları ve Gama ışınları ile radyografik renk indikatörleri, CO₂ emisyon ölçümleri gibi kimyasal-biyolojik pek çok ölçüm ve deney yöntemlerinden yararlanılır. **Bu deneylerin tümünün her yapıda uygulanması gerekmeyebilir; ihtiyaç olanlara, sayısına ve uygulanacağı elemana/bölgeye uzman ekip tarafından karar verilmelidir.**

3.4.3.1. Mekanik yöntemler:

Artım Burgusu, resistograf, ahşap test çekici gibi mekanik esaslı el aletleri basit ve az masraflı, yarı tahribatlı yöntemlerdir.

a. Artım burgusu yöntemi

Artım burgusu, dikili ağaçlardan yapıdaki ahşaplardan ve masif arkeolojik objelerden numune alınması için kullanılır. El aletleri ile uygulanan, basit ve az masraflı bir yöntemdir. Alınan örneklerle: rutubet miktarı, yoğunluk, meka-

nik özellikler, biyolojik tahribat ve yıllık halka sayısı tespit edilebilir. Ancak tahribat yapması ve sonuçlarının sadece sınırlı bir yere özgü olması gibi sakıncaları vardır.

b. Resistograf

Resistograf, ahşapta 1-3mm çapındaki bir delik hattı boyunca karşılaşılan direnci ölçme yöntemidir; ağaçlarda ve yapılardaki ahşapta yoğunluk ve biyolojik tahribatın araştırılması için uygulanır. Taşınabilir özellikteki bu cihaz bir delici, bir pil, bir yazıcı ve bir bilgisayar hafızasından oluşur (**Şekil 3.9 a**). Delici uç/iğne, 500mm/dakikalık sabit ilerleme hızı ile 1m derinliğe kadar girebilir; delikler kendiliğinden kapanır. Ahşabın içine giren iğnenin karşılaştığı direnç ölçülür, aletin güç tüketimi kaydedilir. Delik çapları ve cihaz motorunun güç tüketimi, delik hattı boyunca ahşabın yoğunluğunun bir ölçüsüdür. Uygulanması kolaydır, masrafı yüksek değildir ancak, kesin olarak ölçülemeyen özelliklerin bulunması ve test noktalarında çürümenin meydana gelmesi gibi sakıncaları vardır.

c. Ahşap test çekici

Ahşap test çekici, 0,5-3 mm çapındaki çelik iğne ya da delici matkap uçları olan alettir (**Şekil 3.9 b**). Uçlar, ahşabın içine belirli bir güçle itilir; girme derinliği cihaz üzerindeki bir göstergeden okunur. Bu derinlik ahşabın dayanımının ya da sertliğinin ölçüsüdür.



a) Resistograf uygulaması



b) Ahşapta test çekici uygulaması

Şekil 3.9 Ahşapta mekanik esaslı el aletlerin uygulanması (N.,P., Seçkin, MSGSÜ, Merlab)

Ahşapta çürüklük ya da böcek zararının olması çelik iğnenin daha derine gitmesine neden olur. Bu yöntemle: yoğunluk, sertlik ve biyolojik tahribat tespiti yapılır. Basittir, yerinde uygulama yapılabilen el aletleri kullanılır, hemen hemen tahribatsız bir yöntemdir.

3.4.3.2. Optik yöntemler:

Optik yöntemlerden ışık mikroskobu, elektron mikroskobu ve endoskopi, yapıdaki ve su içindeki ahşapta meydana gelen biyolojik ve kimyasal tahribatın belirlenmesinde kullanılır.

a. Işık mikroskobu (optik mikroskop)

Ahşabı tahrip eden böcekler, karakteristik delik şekillerinden uzman kişiler tarafından göz ile teşhis edilebilir. Ancak böcek türlerinin kesin olarak belirlenmesi için bir el lensine veya ışık mikroskobuna gerek vardır. El lensi pratiktir ancak detaylı ilceleme için yeterli değildir, optik mikroskopa gerek vardır. Mikroskop incelemesinin hazırlık safhası zaman alır, cihazları pahalı bir laboratuvar yöntemidir.

b. Elektron mikroskobu

Ahşapta mantar gelişmesinin görsel bir belirtisi olmadığı ancak olası mantar zararının tespiti gerektiği durumlarda artım burgusu ile örnek alınır. Bu örneklerin ışık mikroskobu veya elektron mikroskobu ile incelenmesi gerekir. Bu inceleme sadece mantar gelişimi için değil, bakteri zararlarının ve kimyasal tahribat belirlenmesi için de yapılır. Elektron mikroskobu incelemesinin hazırlık safhası zaman alır, pahalı bir laboratuvar yöntemidir. Endoskopi

Endoskopi, ahşap yapı elemanlarında **öteden beri başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Ahşap yapıda/alanda gözle görülemeyen derinlikte mantar ve böcekler tarafından meydana getirilen biyolojik tahribatın araştırılmasında uygulanır. Açılan delikten istenilen derinliğe kadar kamera gönderilir, görüntü alınır. Taşınabilir optik aletler kullanılır;** nispeten basit bir yöntemdir.

d. İnfrared (IR) spektroskopu

Infrared (IR) spektroskopu, özel ve yararlı, tahribatsız optik yöntemlerden biridir, Bu yöntem, daha çok sanatsal ve arkeolojik objelerde ahşabın durumunun araştırılması amacı ile laboratuvarda kullanılır, IR spektroskopu ile yüzeydeki nem miktarı ve tahribat tespit edilir.

3.4.3.3 Akustik yöntemler

Ahşap yapılarda, akustik yöntemlerden ultrases ölçümü, ultrasonik tomografi gibi tahribatsız ölçümler yapılır.

a. Ultrases ölçümü

Alicı ve verici uçlar aracılığıyla malzemenin içinden geçen ultrases dalgalarının uçlar arasındaki mesafeyi katettiği süre ölçülür (Şekil 3.10 a). Ses geçiş süresi, liflere paralel ölçümde en kısa, liflere dik ölçümde en uzundur. Sesin malzeme içindeki yayılma hızı, ahşabın yoğunluğundan ve nemiden, ahşaptaki yapısal detaylardan, çok etkilenir; Sesin yayılma hızı, özellikle çürük ahşapta, biyolojik bozulmaları, budak ve yoğunluk farklarını ortaya çıkarır.

İç çürüklük ve böcek zararı bölgeleri, bir çekiç darbesi ile mekanik olarak elde edilen seslerle de ortaya çıkarılabilir (Şekil 3.10 b).

b. Ultrasonik tomografi

Ultrasonik tomografi (akustik emisyon, sesin yayılma analizi), yerinde ölçme yapılan ve pratik cihazlar ile gerçekleştirilen, tahribatsız bir yöntemdir (Şekil 3.10 c). Bu yöntemle çürüklük, çok erken dönemlerinde tahmin edilebilir. Sürekli kayıt yapıldığı için ahşabın içinde yaşayan ve ahşaba zarar veren böceklerin beslenmeleri ve hareket etmeleri sırasında çıkardıkları akustik sinyalleri de tespit etmek de mümkündür. Bu yöntem yapıda, kültürel objelerde ve genellikle mobilya kurtlarının tespitinde uygulanır.



a) Ultrases ölçümü



b) Mekanik ses üretimi ile ölçüm



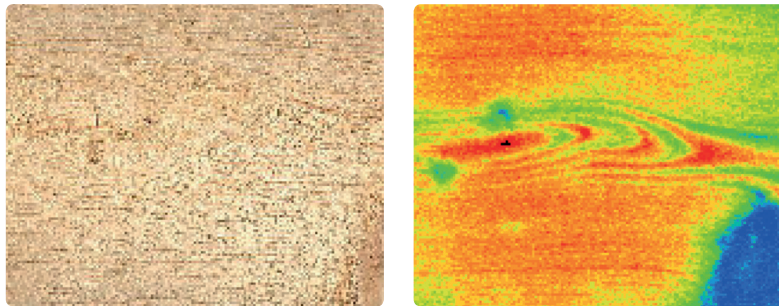
c) Ultrasonik tomografi

Şekil 3.10 Ahşap yapıda akustik yöntemlerin uygulanması (N.P. Seçkin, MSGSÜ, Merlab)

Bunlardan başka bilgisayarlı ultrasonik tomografi ile ahşapta çürüklük, yoğunluk ve nem miktarı test edilir. Alanda uygulanabilir, tahribatsızdır, ancak pahalı ekipmanlar gerektiren, çok yüksek masraflı bir yöntemdir.

3.4.3.4 Termografik yöntemler

Termografik yöntemde (kızılötesi ısı görüntüleme) **ısı ışıınımı (radyasyon) ölçülür. Ölçüm yapılan alanın ısı haritaları üretilir (Şekil 3.11).** Termal kameralar radyasyonu, elektrik sinyallerine çevirerek görünür hale getirir. Budak, çürüklük, böcek zararları ve nem miktarı farkları test edilir. Yapıdaki ahşapta ve kültürel objelerde uygulanır. Tahribatsız, el cihazları ile yerinde ölçme yapılan bir yöntemdir.



Şekil 3.11 Termografiden elde edilen görüntüler (Niemz, P. 2008)

1.1.1.5 Elektrikli yöntemler

Elektrikli yöntemler, ahşabın elektrik direncinin ve iletkenliğinin belirlenmesini kapsar.

a. Nem ölçümü

Nem ölçüm cihazları dikili ağaçlarda, yapılarıdaki ahşapta, enerji direkleri olarak kullanılan ahşapta ve kültürel parçalarda nem ve çürüklük kontrolü için kullanılır (**Şekil 3.12**). Tahribatsız, uygulaması kolay, masrafı düşük, yerinde ölçme yapılan ve el cihazları kullanılarak uygulanabilen bir yöntemdir. Nem, ahşabın fiziksel ve mekanik **özelliklerini**, dayanıklılığını etkileyen en önemli faktördür. Ahşaptaki nem oranı %23'ü aştığında mantar faaliyeti ile birlikte ahşap çürümeye hazırdır. Sıcaklık 20-30 °C, nem oranı %35-50 ise ve ortamda oksijen varsa, bu mantarların gelişmesi için en uygun ortamdır. **Özetle**, nem oranının yüksek olması mantar oluşumuna, düşük olması çatlama ve yarılmalara neden olur. Bu bakımdan kontrolü çok önemlidir.



Şekil 3.12 Ahşapta Nem ölçümü (N. P. Seçkin) GPR (yeraltı radarı)

Bu yöntemde radar, anten üzerinden elektromanyetik enerji dalgaları gönderir. Nesnelerden yansıyan dalgalar anten tarafından algılanır. Sinyalin gönderilme ve alınması arasında geçen süreden derinlik belirlenir. **Ölçüm derinliği ve hassasiyeti antenin frekansına, verici gücüne ve zeminin dielektrik özelliklerine bağlıdır.** Bu yöntem, elektrik iletkenliği düşük malzemelerde uygulanır.

b. Termit tespit radarı (Termatrac radar)

Bu yöntem dışarıdan belli olmayan termit ve böcek tahribatının tespiti için uygulanır. Faaliyet halindeki bozulmayı tespit eder. Sıcaklık ve nem ölçümü de yapar.

3.4.3.6. Radyografik yöntemler

Radyografik yöntemler, X ışınları ya da gama ışınları kullanan en yaygın yöntemlerdir.

c. Bilgisayarlı tomografi

Bu yöntemi ile malzeme yapısı, çürüklük, yoğunluk, nem miktarı test edilir. Tahribatsız fakat pahalı ekipmanları gerektiren çok yüksek masraflı bir yöntemdir. El tipi XRF cihazı

El tipi bu alet ile malzemenin bünyesindeki elementlere ilişkin yerinde tespit yapılabilir, tahribatsız fakat pahalı bir yöntemdir.

3.4.3.7 Kimyasal - biyolojik yöntemler

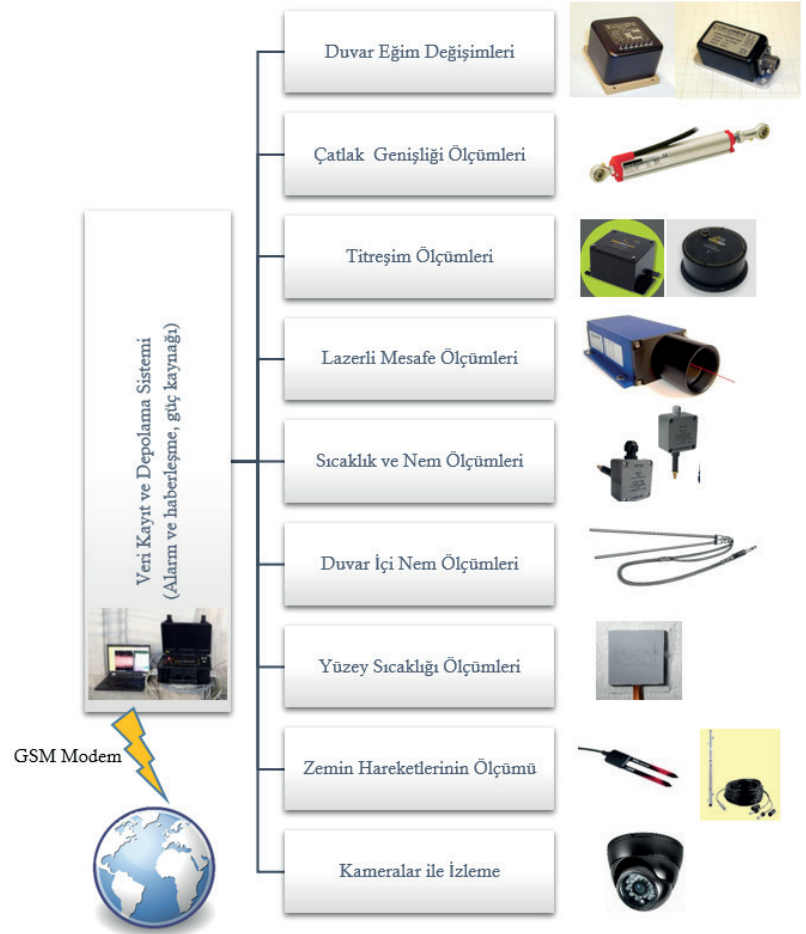
Kimyasal-biyolojik deneylerde renk indikatörlerinin kullanılması, emisyon ölçülmesi ve genetik yöntemlerin uygulanması söz konusudur. Bu yöntemler, laboratuvar ve yapıda uygulanabilir. **Çürüklük başlangıç dönemlerinde ortaya çıkarılır ve çürüklük mantar türleri teşhis edilir; laboratuvar yöntemleridir.** Son yıllarda, kahverengi çürüklüğü meydana çıkarmak için karbondioksit (CO_2) emisyonu ölçülmüştür. Ayrıca, moleküler biyolojik incelemelerden de yararlanılmıştır. Binalardaki aktif çürüklüğü ortaya çıkarmak için ahşaptan ve mantar çürüklüğünden çıkan organik bileşenlerin kokusunu değerlendirmek üzere elektronik koku alıcılar da kullanılmıştır (Seçkin, N.,P.,2010).

KAYNAKLAR (BÖLÜM 3.4)

- Özturan, T., Aköz, F., Yüzer, N.,** (2006). “TC İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İSKİ Genel Müdürlüğü, Bimtaş İle TC Boğaziçi Üniversitesi Ve TC Yıldız Teknik Üniversitesi Arasında İstanbul Fatih Camii Ve Külliyesi Alt Ve Üst Yapı Onarım – Restorasyon Proje Ve Müşavirlik” Projesi Malzeme İncelemeleri raporu.
- Özşen, G., Aköz,F., Yüzer, N., Özkaraman, M.** (1998) “Küçük Ayasofya Camisi Taşıyıcı Sistem ve Malzeme Özelliklerinin Araştırılması” YTÜ Araştırma Fonu (92-B-03-01-01).
- Yüzer, N.,** (2015) “Tarihi Yapıların Tuğla Duvar Özgün Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi ve Yük Altında Davranışının Model Deneylerle Araştırılması” TÜBİTAK 111M568 No.lu Proje, Sonuç Raporu.
- Saraylı,M.A** (1978) Yapı Malzemeleri Bilimi, Tanımlar ve Özellikler, Çözülmüş Örneklerle, Kutulmuş Matbaası, İstanbul.
- TS 699/T1** (2000), Tabii Taşları- Muayene ve Deney Metotları, TSE., Ankara.
- Saydam. T.,** (1973), (çeviri) Akışkanların Gözenekli Ortamdaki Akışı, Çağlayan Basımevi, İstanbul.
- Aköz, F.,** (2016) Yalıtım, Bölüm 3. Yapılarda Su Yalıtımı, TMMOB, Makina Mühendisleri Odası, Yayın No: MMO/664, İstanbul.
- Ulukaya, S.,** (2016), “Tarihi Kireç Harcı Özelliklerine Uygun Yeni Malzemelerin Üretimi ve Sayısal Analiz İçin Malzeme Parametrelerinin Belirlenmesi”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ulukaya, S., Yüzer, N.,** (2016). “Assessment of Pozzolanicity of Clay Bricks Fired at Different Temperatures for Use in Repair Mortar”, ASCE Journal of Materials in Civil Engineering, 28(8).
- TS EN 196-5,** (2012) Çimento Deney Yöntemleri-Bölüm5: Puzolanik çimentolarda puzolanik özellik deneyi, TSE, Ankara.
- TS 25** (2008), Doğal puzolan (tras) – Çimento ve betonda kullanılan- Tarifler, gerekler ve uygunluk kriterleri TSE., Ankara.
- Kılıç, O.D., Böke, H., Akkurt, S. ve İpekoğlu, B.,** (2004). “Tarihi St. Jean Kilisesi’nde Kullanılan Horasan Harçlarının Özellikleri”, 2. Ulusal Malzeme Kongresi ve Sergisi, TMMOB Mimarlar Odası Büyükkent Şubesi, 6-8 Ekim 2004, s: 607–615 İstanbul.
- Seçkin N.,P.,** arşivi (Tıbbi-ye Şahane Hamam Yapısı, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Kültür Varlıkları ve Sanat Eserleri Malzeme Araştırma ve Uygulama Merkezi bünyesinde yapılan Tıbbi-ye Şahane Hamam Yapısında ahşap kirişlerde resistograf ölçümü)
- Niemz, P.,** (2008); Methods of Nondestructive Wood Testing, International Conference on Wood Science for Preservation of Cultural Heritage: Mechanical and Biological Factors, Portugal.
- Seçkin, N.P.,** (2010) “Ahşap Malzeme Sorunlarının Teşhis Yöntemleri”. Restorasyon Konservasyon Çalışmaları, Sayı 4, s.81-87, İBB KUDEB yayını, ISSN:1309-7016, İstanbul.
- Seçkin, N.P.,** (2012) “An assessment on traditional timber structures in Süleymaniye and Zeyrek districts of Historical Peninsula” *ITU A|Z VOL: 9, NO:1, 56-69, 2012-1*

3.4. İzleme (Kısa Dönem, Uzun Dönem)

İzleme, çeşitli parametrelerin ve yapıda meydana gelen değişimlerin belirli bir süre boyunca ve belirli anlarda ölçülmesi, kaydedilmesi ve değerlendirilmesi işlemlerini içerir. Bu amaçla oluşturulacak olan izleme sistemi, tanımlanan ihtiyaç dikkate alınarak yapıya ya da yapının bulunduğu ortama yerleştirilen basit çatlak cetvellerinden oldukça karmaşık elektronik sistemlere dek geniş bir yelpazeyi kapsayabilir. İzleme işlemi, teşhis ve değerlendirme aşamasında yapılabileceği gibi müdahale esnasında ve sonrasında da yapılarak müdahalenin yapıya olası etkileri ve müdahalenin etkinliği konusunda bilgi edinilebilir. İzlemede takibi gerçekleştirilecek parametreler, izleme süresi, örnekleme aralığı ve değerlendirme süreci yapı bazında ve ihtiyaca göre belirlenmelidir. İzleme kapsamında takip edilebilecek parametrelerden bazıları şunlardır: Yerdeğiştirmeler, şekildeğiştirmeler, çatlak açılmaları, eğim değişimleri, dönmeler, titreşimler, sıcaklık ve nem değişimleri, UV düzeyi, zemin hareketleri, su seviyesi değişimi, rüzgâr hızı. İzleme sistemleri genellikle, bu parametreleri izlemek üzere kullanılan algılayıcılardan ve bu algılayıcıların ölçtükleri değişkenleri belirli bir örnekleme aralığıyla aktardıkları veri toplama sisteminden meydana gelirler. (Şekil 3.13) Belirli aralıklarla yapılan fotogrametrik ölçümler de izleme amacıyla kullanılabilirler.



Şekil 3.13. İzleme sistemi kapsamında takibi gerçekleştirilebilecek bazı parametreler

Kullanım amacına uygun olarak üç farklı izleme tipi tanımlanabilir:

3.5.1. Anlık ve periyodik inceleme:

Belirli aralıklarla gerçekleştirilen tahribatsız ölçümler (ultrases, radar, termal kamera ölçümleri, çatlak genişliği ölçümleri ve fotogrametrik tekniklerle yapılan ölçümler) izleme sisteminin bir parçası olarak değerlendirilebilir ve zaman içerisinde farklı anlarda alınan ölçümler takibi istenen parametrenin değişimi hakkında bilgi sağlayabilir.

3.5.2. Statik izleme sistemleri:

Çatlak genişliği, gerilme, deformasyon, dönme, nem, sıcaklık, zemin hareketleri vb. yavaş değişim gösteren değişkenlerin büyük örnekleme aralığı ile (belirli periyotlarla) ölçüldüğü ve kaydedildiği, zamana bağlı değişim göstermeyen manuel ya da otomatik ölçüm sistemleridir.

3.5.3. Dinamik izleme sistemleri:

Yapının dinamik özelliklerinin ve zaman içerisindeki olası değişimlerin (örneğin deprem sonrasında oluşan hasar ile) ivmeölçer, hızölçer gibi algılayıcılarla ölçüldüğü ve küçük örnekleme aralığı ile (örneğin saniyede 200 kez) kaydedildiği izleme sistemleridir.

Yukarıda sıralanan ölçüm sistemlerinde kullanılabilecek bazı cihazlar yapıya yerleştirilmiş halde Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14 İzleme sistemi için kullanılan çeşitli cihazlar

Yapının izlenmesi ile elde edilen sonuçların yapısal analiz modellerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması, bu modellerin güncellenmesi ve geliştirilmesi için kullanılabilir.

İzleme sisteminde kullanılacak tüm bileşenlerin yapıya yerleştirilmeden önce kalibre edilmiş olması ve cihaz seçimi esnasında ortam etkilerine (sıcaklık, nem, statik elektrik vb.) olan uyumluluklarının dikkate alınması ölçümlerin güvenilirliği açısından büyük önem arz etmektedir. Ayrıca, büyük oranda elektronik bileşenlerden oluşan izleme sistemlerinde yıldırım düşmesi, elektrik kesintileri, elektrik hatlarında voltaj dalgalanmaları ve su ile temas gibi olaylarla ilgili olarak önlemler alınması (örneğin paratoner kurulumu, topraklama, kesintisiz güç kaynağı veya jeneratör kullanımı, asgari standartlarda kutulama ve bağlantı elemanları kullanma vb.), bu gibi durumlarda ortaya çıkabilecek veri kayıplarının ve ekonomik kayıpların önlenmesi açısından elzemdir. Toplanan verilerin mümkün olduğunca internet üzerinden paydaşlara aktarılması ve periyodik olarak farklı ortamlarda da yedeklenmesi (örneğin bulut ağları) beklenmedik olaylar karşısında veri güvenliğini arttıracaktır.

İzleme sistemi aynı zamanda bir erken uyarı sistemidir. Yapıda meydana gelen değişimin önceden belirlenmiş bir eşik değeri aşması durumunda yapıya zamanında müdahale edilebilmesi için zaman kazandırabilir. Bu maksatla kullanılacak bir izleme sisteminin aynı zamanda sık aralıklarla veri işleme ve karar verme algoritmalarına sahip olması gerekmektedir. Sisteme tanımlanacak eşik değerler konunun uzmanları tarafından belirlenmeli ve verilen uyarıdan sonra yorumlanmalıdır.

İzleme sisteminin kapsamı ve süresi bir maliyet-fayda analizi sonucunda belirlenmelidir. İzlemenin süresi, takip edilen değişkenin türüne, beklenen etkinin gelişim süresine ve bütçeye bağlıdır. Yavaş ortaya çıkan etkiler için en azından dört mevsim döngüsünü kapsayacak bir izleme süresinin öngörülmesi mevsimsel etkilerin ayıklanabilmesi açısından önemlidir. Farklı tarihlerde yapılan kısa süreli ölçümlerde (örneğin ortam titreşimi ölçümleri) dahi mevsimsel etkilerin (sıcaklık, bağıl nem, yeraltı su seviyesi gibi) ölçüm sonuçlarına yansiyebileceği unutulmamalıdır.

Uygulamada dikkat edilecek noktalar:

- İzleme sisteminde kullanılan algılayıcıların yapıya montajı esnasında sökülebilir ve olabildiğince iz bırakmayan montaj teknikleri kullanılmalıdır.
- Kapsamlı bir izleme sistemindeki toplam kablo uzunluğu birkaç kilometreyi geçebilir. Yapı kullanımının etkilenmemesi, kablo kargaşasının önlenmesi ve kablo ile cihazların zarar görmemesi için kabloların önceden planlanması, olabildiğince ziyaretçilerin dolaştığı mekânlardan uzak tutulması veya kablo kanalları ile muhafaza altına alınması yerinde olacaktır.
- Meraklı ziyaretçilerin oldukça hassas olan algılayıcıları kurcalamasının önlenmesi için de benzer şekilde önlemler alınmalıdır. Bu maksatla algılayıcılar, çalışmasını engellemeyecek şekilde muhafaza kutuları içine alınabilir ve uyarı levhaları asılabilir.



Tarihi Yapılarda Kullanılan Malzemeler ve Hasarları

4. Tarihi Yapılarda Kullanılan Malzemeler ve Hasarları

Tarihi yapılarda, doğal taş, kerpiç, tuğla, harç, ahşap, demir (çelik) ve daha sonraki dönemlerde de beton ve betonarme kullanılmıştır. Kullanılan bu malzemeler ve hasarları aşağıda verilmiştir.

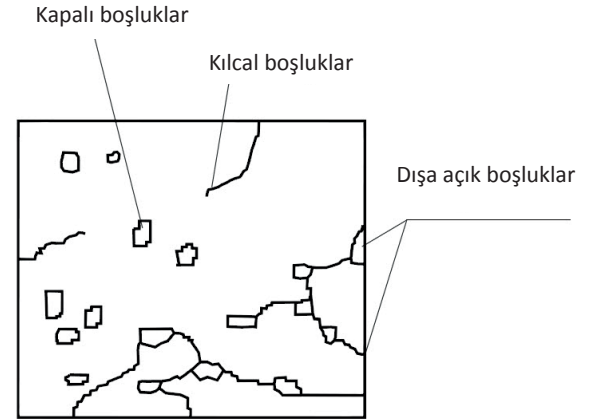
4.1. Doğal Taşlar ve Özellikleri

Taş, mimarların, mühendislerin ve halkın yoğun, sert, kütle halindeki kayalara verdiği isim olup eski çağlardan beri yapı üretiminde en çok kullanılan malzemedir (Eldem, N.P., 1976). Yapıda, masif bir kayanın insan eliyle oyulup şekillendirilmesi, doğada şekillenmesi ya da ocaktan çıkarıldıktan sonra moloz, kaba yonu, ince yonu ya da kesme taş olarak farklı boyutlarda biçimlendirilmesiyle kullanılır.

Doğal taşlar, inorganik kökenli, kristal yapılı, gözenekli ve gevrek malzemelerdir. Hasarların oluşmasında en önemli faktör makro, mezo, mikro boyutlarında dışa açık veya kapalı, birbiri ile ilişkili ve ilişkisiz (su emen veya emmeyen) gözeneklerinin (boşluklarının) olmasıdır. Hasar mekanizmalarının anlaşılabilmesi ve doğru malzeme seçimi için öncelikle boşluk parametrelerinin tanımlanması doğru olacaktır. Bu parametreler, standarda uygun deneyler ile belirlenir (TS 699/ T1,2000; Aköz,F.2016; Saraylı,M.A 1978).

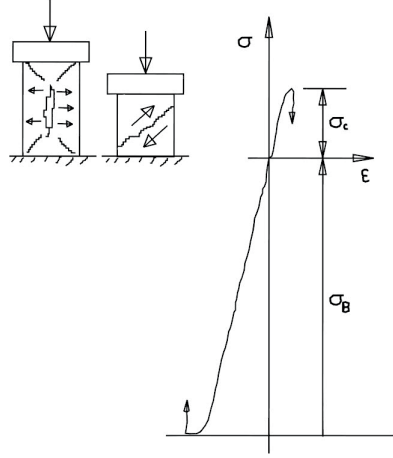
Doğal taş, tuğla, harç ve beton gibi gözenekli malzemelerin fiziksel büyüklükleri ve akışkanlar ile etkileşimi; boşlukların (gözeneklerin) oranına, katı ortam içindeki dağılımına ve boyutuna bağlı olarak değişir. Fiziksel büyüklükler:

- Boşluklu birim hacim ağırlık; yoğunluk (β),
- Boşluksuz (dolu kısmın birim ağırlığı) birim hacim ağırlık; özgül ağırlık (γ),
- Doluluk oranı; kompasite (k),
- Toplam boşlukların oranı; porozite (p),
- Dışa açık boşlukların oranı (zahiri porozite); hacimce su emme (h_s),
- Dışa açık boşlukların toplam boşluklara oranı; doyma derecesi (D_d),
- Kılcal boşluklar ise kapiler su emme (K)
- Birim hacimdeki bir cisimde bulunan boşluk iç yüzeylerinin toplam alanı; özgül yüzey (Σ) ile ifade edilir (Aköz,F.,2016).



Şekil 4.1 Doğal taşlarda boşluklar

Doğal taş, tuğla, harç ve beton gibi gevrek malzemelerin plastik şekil değiştirme yeteneği yok denecek kadar azdır, çekme dayanımı, basınç dayanımından çok küçüktür. Bu nedenle doğrudan çekme deneyi yapmak zordur. Çekme dayanımı eğilme ve/veya yarma deneyleri ile dolaylı olarak belirlenir. Eğilme veya yarma deneyleri yapılamıyor ise basınç deneyi yapılır, basınç dayanımı belirlenir, çekme dayanımı tahmin edilir.



Şekil 4.2 Gevrek malzemelerde gerilme şekil değiştirme ilişkisi (Onaran, K.,2000)

Doğal taşlar oluşumuna göre; magmatik (püskürük) kayalar, tortul (çökelik) kayalar ve başkalaşmış (metamorfik) kayalar olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılır. Taşlar, rengini içindeki madensel tuzlardan ve oksitlerden alır. Mekanik ve fiziksel özellikleri, elde edildiği kayacın oluşumuna, minerallerine, oranına ve kristal yapısına göre çok önemli değişiklik gösterir. Yapıda kullanılan taşların özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir (Eldem, N.P., 1976):

- **Magmatik (püskürük) kayalardan** tüf, bims gibi yüzey kayaları hariç granit, siyenit, diyorit, bazalt, gabro gibi taşların boşluk oranı (porozitesi) düşük, sertliği ve basınç dayanımı yüksektir. Örneğin basınç dayanımı, granitte 150-300 MPa, bazaltta 100-500 MPa'dır.
- **Tortul (çökelik) kayalardan** kum taşlarının (grelerin) basınç dayanımı 20-80 MPa, mükemmel yapı taşı olan kalkerlerin ve dolomitli kalkerlerinki 50-120 MPa'dır. Boşluk oranı yüksek olmasına rağmen ülkemizde yaygın olarak kullanılan travertenlerin basınç dayanımı 20-60 MPa'dır.
- **Başkalaşmış (metamorfik) kayalardan** gnays ve mermerin fiziksel ve mekanik özellikleri başkalaştığı ana kayacın özelliklerine benzer; örneğin mermerin özellikleri tortullardan kalkerlilere, gnaysinki magmatiklerden grani-tin özelliklerine benzer (Eldem, N.P.1976).

4.1.1 Doğal taş hasarları

Doğal taşların hasara uğramasında taşın çıkartıldığı ocak, mineralojik, petrografik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri, yapının, taşın bulunduğu konum, yerüstü ve yeraltı suyunun özellikleri (suyun basıncı, taşıdığı tuzların türü ve konsantrasyonu), atmosfer etkileri, **çevre kirliliği, doğal afetler gibi dış etkenler önemlidir.** Bunlardan atmosfer etkileri, kaçınılması mümkün olmayan doğal olaylardır. Girişimli ve tekrarlı olan bu olaylar, taşlarda fiziko-kimyasal olaylara ve hasarlara yol açar. Atmosfer etkileri ayrıştırılmış olarak dikkate alınırsa; aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Sıcaklık farkı, mevsimlik ve günlük sıcaklık değişimleri nedeni ile taşlarda hacim değişikliği olur. Sıcaklık değişimi, taş içindeki farklı minerallerin değişik genleşme-büzülme göstermesi sonucu doğan gerilmelerin tekrarlanması ile zaman içinde yorulmadan dolayı taşlar dayanıklılığını kaybedip dağılır.

Donma-çözülme, atmosfer etkilerine en iyi örneklerden biridir. Bu olayda gözeneklere giren su donunca hacmi büyür ve katı fazda çekme gerilmelerinin doğmasına neden olur. Gevrek bir malzeme olan doğal taşlarda şekil değiştirme kapasitesi düşük olduğu için taşta zamanla çatlaklar meydana gelir. Tekrarlı donma-çözülme taşlarda yorulma gerilmelerinin doğmasına neden olur; gözenekli ve kaolenleşmiş taşlar, kalker ve kil bağlayıcılı greler (kumtaşları) donma-çözülmeden çok etkilenir.

Yağmur ve yeraltı suları ile killi ve marnlı taşlar şişerek yumuşar ve plastik hale gelir, dayanımını kaybeder.

Nem, en önemli bozulma nedenlerinden biridir. Çünkü zararlı tuzları ve asitleri taş içine taşır ve tespit eder, kimyasal bozulmalara neden olur. Tekrarlı nemlenme-kuruma döngüsü zaman içinde taşta yorulmaya neden olduğu için zararlıdır.

Güneş yanması, taşın yüzeyinde yıldız şeklinde lekeler ve kılcal çatlaklar meydana getirerek taşın parçalanmasına neden olur. Bu olay, camı dokulu bazaltlarda daha çok görülür.

Rüzgâr etkisi ile havadaki toz, kum, kurum parçaları yüzeyde birikir, yağmur ile birlikte taş yüzeyinde aşındırıcı etki yapar.

Çevre kirliliği doğal taşlarda hasara neden olan önemli faktörlerden biridir. Örneğin fosil yakıtlardan ve motorlu araçların egzoz gazlarından gelen karbondioksit (CO_2) ve kükürttrioksit (SO_3) gibi gazlar havanın nemi ile karbonik asit ve sülfirik asite dönüşür. Bunların birçok minerali çözme ve eritme özelliği vardır. Karbonik asit, karbonatların ve silikatların ayrışmasına sebep olur; granitin içinde bulunan ortozun ayrışması ile bu sağlam taşlar bile parçalanıp dağılır (Eldem, N.P., 1976). Bu nedenle çevre kirliliğinin önlenmesi çok önemlidir. Ayrıca bitkilerden gelen nitrat tuzları, fosfat tuzu, çimento veya alçıdan gelen sülfat tuzu ya da denizden gelen klorür tuzlarının taş yüzeyine ulaşması engellenmelidir. Bu amaçla özellikle tarihi yapıların bulunduğu bölgelerde fosil yakıtların kullanılması sınırlandırılmalı, trafik akışı ve hızı düzenlenmeli, yüzeyde kurumayı sağlayan doğal hava akışı (ventilasyon) düzensiz yapılaşma ile engellenmemelidir.

Bu olaylar sonucu taşlarda meydana gelen hasarlar genel olarak aşağıda verilmiştir:



Yüzey kaybı, taşta iç veya dış etkenlerle ortaya çıkan taşın dış kısmında oluşan çeşitli derecelerdeki kayıpların genel adıdır. Yüzey kaybı derinliğine göre; ölçülebilen taş yüzeyinin özgün yüzeyden en fazla 5 cm içeride olduğu (<5 cm) durum ve taş yüzeyinde ölçülen yüzey kaybı derinliğinin 5 cm'den fazla olduğu (> 5 cm) durum olarak iki farklı grupta incelenir [MEB2013].



Parça kopması, taşın bir bölümünün, meydana gelen çeşitli etkiler nedeniyle ana kütlede ayrılmamasıdır [MEB2013]. Parça kopması hasarı genellikle çatlak olan kısımlarda olur. Çatlak onarımında uygulanan yöntemler kullanılır veya parça yerinden alınır. Geri döndürülmesi zor bir hasardır.



Oyuklanma, taneli yapıdaki taşlarda dış etkiler nedeniyle iri tanelerin zayıflayarak yerinden çıkmasıdır [MEB2013].



Çatlak, taşın oluşum sırasında ya da doğal afetler, zemin oturmaları ve titreşim etkileri gibi nedenlerle malzemede oluşan yarıklardır. Kılcal çatlaklar ve derin çatlaklar şeklindedir. Çatlak nedeni araştırılmalı ve çatlak hareketi izlenmelidir.



Kavlanma, taş yüzeyinde kalınlığı 0,5-1 mm'yi geçmeyen ince kabarma ve pul pul dökülmedir. Hasarın olduğu kısımda nem oranının azaltılması için tedbir alınmadır [MEB2013]. Hasarın olduğu kısımlar yapı dışında ise oksidasyon kabuğunun oluşması için müdahale edilmemelidir.



Yapraklanma, taş yüzeyinin tabakalar halinde kabarak yaprak görünümünde, çeşitli kalınlıklarda ve geniş tabakalar halinde ayrılmasıdır [MEB2013]. Hasarın olduğu kısımda nem oranının azaltılması için tedbir alınmalıdır. Hasarın olduğu kısımlar yapı dışında ise oksidasyon kabuğunun oluşması için müdahale edilmemelidir.



Yüzey kirliliği, yüzeylerin yağmur suyu ile yıkanabilen bölümlerinde oluşan ince bir tabaka şeklinde ve gri renkli oluşumdur (Özata, 2015)



Kabuk oluşumu, taş yüzeyinin genellikle yağmur suyunun doğrudan ulaşmadığı kısımlarında hava kirliliği sonucu oluşur. Kalın ve koyu gri-siyah renkli kabuk şeklindedir. Kirliliği oluşturan etkene ve taş özelliklerine göre kabuğun yapısı, yüzeyle ilişkisi, kalınlığı ve rengi değişir. [Küçükkaya, 2004]. Kirlilik devam ettiği sürece kabuk giderek kalınlaşır ve geçirimsiz bir örtü oluşturarak taş yüzeyinin nefes almasını engeller. Kabuk oluşumunu engellemek için egzoz gazları, fosil yakıt dumanlarının malzemeye etkisi en aza indirilmeye çalışılmalıdır [Özata 2015].



Çiçeklenme, su, nem, hava kirliliği, ıslanma-kuruma etkisi, kullanılan kimyasal maddeler sonucu suda çözünebilen tuzların gözenekli kayaların bünyesine girmesiyle oluşur [Küçükkaya, 2004, MEB2013]. Taş gözeneklerine giren su, taşıdığı tuzlarla birlikte özellikle kalsiyumkarbonat esaslı taşın bünyesindeki kireci eritir, kalsiyumhidroksite dönüştürür. Kalsiyumhidroksit su ile yüzeye doğru taşınır ve yüzeye yakın bölgelerde havadaki karbondioksit ile karşılaşınca kalsiyumkarbonata dönüşür. Buharlaşıma sonucu kalsiyumkarbonat ve tuz molekülleri kristalleşir, taş yüzeyinde ve kılcal çatlaklarda birikir. Gözenekli ve iri kristalli olan bu tuzların hacmi artar, taşta çekme gerilmeleri doğurur, gevrek bir malzeme olan taşta kılcal çatlaklar meydana gelir [Küçükkaya, 2004]. Tuzların birikmesi sonucunda taş yüzeyi, beyaz ve pudramsı bir görünüm alır; beyaz lekeler oluşur; çiçeklenme ile birlikte yüzeyde aşınmalar da görülebilir.



Şekerlenme, çiçeklenmede olduğu gibi kalsit kristallerinin yoğun olduğu mermerlerde taşın boşluklu hale gelmesidir [Özata, 2015]. Taş yüzeyinde kesme şeker dokusu oluşur.



Patina, taşın ocaktan çıkarıldıktan sonra yüzeyinde oluşan kahverengi veya turuncu renkli tabakaya denir. Kirlilikle karıştırılmamalıdır. Kirli kabukta sülfür fazla iken patinanın ana maddesi kalsiyum oksalattır. Taş yüzeyinden bu tabakayı kaldırmak yüzeyi tahribata açık hale getirir. **Biyo-lojik hasarlar**, genellikle zayıf asit karakterli bakteriler, kara yosunları, su yosunları, likenler, mantarlar ve yüksek bitkilerle hayvanların oluşturduğu eritme türü hasarlardır.



Renk değişimi, gün ışığı, ultraviyole (UV) ışınları, su, nem ya da mikroorganizma etkisiyle taşı oluşturan minerallerin kimyasal değişime uğraması sonucunda, taşın çeşitli bölgelerinde meydana gelen lekelenme ve renk farklılaşımalarıdır. UV etkisi ile taş renginin açılması daha çok karbonatlı ve feldispatlı kayalarda görülür. Organik madde içeren bazı taşlar güneş ışığıyla oksidasyona uğrayarak renklerini kaybeder, bazen mermerde olduğu gibi oksidasyon sonucu damar şeklinde lekelenmeler oluşabilir. Taş bünyesinde bulunan demir karbonat (FeCO_3) veya magnezyum karbonatın (MgCO_3) hava ile teması sonucu oksidasyonunun artması ile paslanma benzeri lekeler oluşur. Özellikle kalkerli taşlarda kalkerlerin içine işlemiş olan pirit (FeS_2), havanın nemi ve oksijeni ile okside olarak sülfirik asit haline gelir, bu da kalkere etki ederek jipsi meydana getirir. Oluşan jips kalkerin dökülmesine neden olur. Taşların içinde bulunan demir oksit (hematit), su ve nem etkisi ile pas (limonit) haline gelir, hacmi büyür, taşların parçalanmasına sebep olur [Küçükkaya, 2004].



Aşınma, taş yüzeyinde deformasyon, kenarlarda yumuşama, yuvarlaklaşma ve kesitinde incelme meydana gelmesi durumudur [MEB2013]. Fiziksel ve kimyasal aşınma olarak ikiye ayrılır. Isıl genleşme, büzülme ve donma-çözülme ile oluşan gerilmelerin neden olduğu tekrarlı yüklem-boşalmalar ile taşlarda yorulma kırılmaları, su basıncı, tuz oluşumu ve biyolojik etkenlerin neden olduğu hacim artışları ile fiziksel aşınma meydana gelebilir. Su ve çözeltilerin etkisi ile taşın erimesi, çözünmesi, oksitlenme, canlı organizma etkisi, erime oluşturan (karstik) etkenlerden dolayı da kimyasal aşınma meydana gelebilir [Özata, 2015].



Bakteriler, tek hücreli veya hücre kolonileri şeklindedir (mavi yeşil algler). Bu alg türü dışındaki bakteriler klorofil içermediğinden kükürt, metan, azot gibi inorganik kaynaklardan kemosentez yoluyla besin üretir. Taşların üzerinde sülfat, nitrat bakterileri ve heterotrofik bakteriler siyah kabuk, patina, dökülme ve kabarmalara neden olabilir [Küçükkaya, 2004].



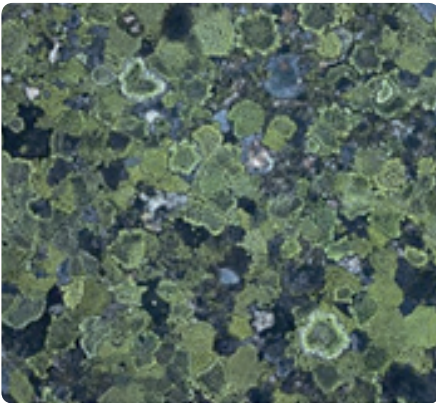
Kara yosunları, klorofilli, çok hücreli, sporla üreyen fotosentetik kara bitkisidir. Binlerce türü vardır. Nemli ortamlarda yaşar [Küçükkaya, 2004].



Su yosunları (algler), tek hücreli veya koloni halindedir. Bu gruptan yeşil algler ve mavi-yeşil algler likenlere gerekli besini üretir [Özata, 2015].



Mantarlar (fungi), bitkilerden farklıdır. Şapkalı türleri hariç renksizdir. Liken bünyesini oluşturur ve sporla üremesini sağlar [Küçükkaya, 2004].



Likenler, yeşil ve mavi-yeşil algler gibi organizmalarla ortak yaşam kurar ve kaya yüzeyinden alg için gerekli su ve minerali sağlar. Likenlerin binlerce türü, dört formu vardır: Bu formlar kabuklu (crustose), yapraklı (foliose), çalı şeklinde (fruticose) ve endolitiktir (endolithic). Likenler, türüne göre taşa 0,3 mm'den 16 mm'ye kadar nüfuz edebilir, çatlaklar oluşturabilir. Nemli ve gölgeli kısımlarında varsa çatlak üzerinde yüksek bitkilerin gelişmesine olanak sağlar [Thomas,S., 2014].

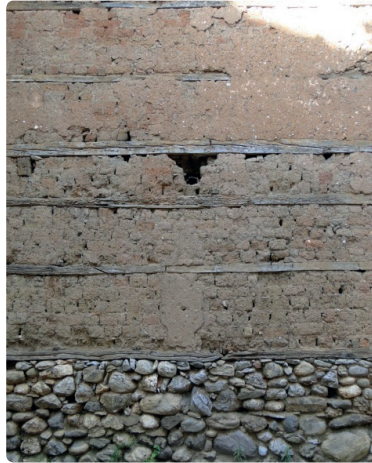
4.2. Kerpiç ve Özellikleri

Kil, önce çamur toprakları (pisse de terra) şeklinde kullanılmış, uzun yıllar sonra biçimlendirilip, başka maddeler de katılıp kurutularak bir yapı taşı olan kerpice dönüştürülmüştür. Arkeolojik buluntularda; yerinde dökülen ve kütsel olarak kurumaya bırakılan bölme duvarları ve hatllar mevcuttur. Ancak kerpicein büzülmesinin (rötresinin) fazla oluşu büyük boyutlu elemanlar üretilmesini engellemiş, büzülmeyi azaltmak amacıyla kil hamuruna saman takviyesi yapılmıştır. Kerpicein yer döşemesi olarak da kullanıldığı Ön Asya’da, kerpice asfalt katılarak dayanıklılığının artırıldığı gözlenmiştir (Akman, M.S.,2003).

Kerpiç hamuru elde etmek için bir ölçü kum, 5 ölçü orta yağlı killi toprak ve bir miktar saman karıştırılır, su katılıp iyice yoğrulur. Kalıplara dökülecek kıvama gelinceye kadar su katmak ve hamuru devamlı yoğurmak gerekir; katılacak su miktarı mevsime göre değişir. Hamur, içinde kuru toprakların kalmadığına ve homojen hale geldiğine emin olununca kullanılır (Enüstün, B., 1947). Hazırlanan kerpiç hamuru (lehm), yapıda yığma olarak kalıp içinde dövülerek, sadece yığılıp belli seviyelerde kürekle şekillendirilerek, dallarla oluşturulmuş duvar üzeri kalın bir tabaka kerpiç hamuru ile sıvanarak ya da kalıplanıp açık havada kurutulmuş bloklar şeklinde kullanılır. Duvar örülürken kerpiç bloklar, kil ile suyun karışımı olan kerpiç harcıyla birleştirilir ve sıvanır.



a) Kerpiç üretimi,



b) Ahşap hatlı kepiç duvar



c) Kerpiç dolgu duvar (Zeynep, A.)

Şekil 4.3 Kerpicein üretimine ve uygulamalarına örnekler

Dayanımı ve dayanıklılığı çok düşük olmasına rağmen pişirilmediği ve enerji gerektirmediği için ekonomiktir, ekolojik özellikleri nedeniyle günümüzde bile kullanılmaktadır. Kerpicein basınç dayanımı 0,5-1,0 MPa iken kerpiç toprağına %10-20 oranında alçı katılarak üretilen alçı katkılı kerpicein/alkerin basınç dayanımı 3,5- 6,0 MPa’a ulaşmaktadır.

Alkerin alçıdan dolayı büzülme çatlağı az, yüzeyleri düzgün, eğilmede çekme dayanımı (0,014-0,016MPa), ısı iletim katsayısı (0,40 W/m²K) normal kerpice göre daha iyidir ve suya karşı dayanıklılığı bir miktar artırılmıştır (Kafesçioğlu, R.,Gürdal, E.,1985).

4.2.1. Kerpiç hasarları

Yukarıda işaret edildiği gibi kerpicing basınç dayanımı düşüktür, dolayısı ile yapıda kullanımı sınırlıdır. Mekanik etkiler dışındaki hasarların en önemli nedeni, kuruma sırasındaki büzülme çatlaklarıdır. Suyun ve nemin bulunduğu ortamlarda kurumuş haldeki kerpiç (kil) suyu emer, yumuşar, tekrar plastik özellik kazanır, şeklini ve mukavemetini, dolayısı ile taşıyıcılık özelliğini yitirir. Bu nedenle kerpiç, su etkisinin olmadığı veya çok az olduğu ortamlarda kullanılır.

4.3. Seramikler

Seramikler, çok eski çağlardan beri insanoğlunun farklı amaçlar için ürettiği ve kullandığı malzemelerdir. Seramik sözcüğü tuğla, kiremit gibi pişmiş toprak ürünlerinden başka cam, porselen, refrakter gibi çok geniş bir malzeme grubunu temsil eder. Tüm seramiklerin hammaddesi kildir; özellikleri kilin bileşimine ve pişirme sıcaklığına göre değişir. Örneğin, tuğla gibi gözenekli seramiklerin pişirme sıcaklığı; 800-1000°C, kiremit, künk gibi sırlı seramiklerinki 1250°C, porselen gibi hemen hemen gözeneksiz seramiklerin pişirme sıcaklığı 1300-1450 °C'dir (Akman, M.S., 1987).

4.3.1. Tuğla ve özellikleri

İnsanlık, mezolitik (cılalı taş devri) devirde kili pişirebildiği halde tuğla yapımında gecikmiş, kerpiçten tuğlaya geçiş yavaş olmuş, çok gelişmiş bir uygarlık düzeyindeki Sümerler kili pişmiş, yani tuğlayı üretebilmişler. Tuğla, killi toprağın çıkarılması, bekletilerek olgunlaştırılması (çürütülmesi), balçığın suyla yoğrulup kalıplanmasından (şekillendirilmesinden) sonra kurutulup, 600~1200°C sıcaklıkta pişirilmesi ile elde edilir. Hamurun plastikliğini azaltmak, kurutma ve pişirme sırasındaki büzülmeyi engellemek ve pişirme sıcaklığını düşürmek amacı ile kile belirli oranlarda öğütülmüş kuvarz kumu, feldispat, talk, pişmiş killerin tozu gibi maddeler katılır. Gevrek ve gözenekli bir malzeme olan tuğlanın kalitesini kilin cinsi, öğütülmüş tozlar gibi katkıların varlığı ve miktarı, pişirme sıcaklığı, üretim biçimi (harman tuğlası, fabrika tuğlası) ve porozitesi etkiler.

Tuğladan beklenen teknik özellikler; yeterli basınç dayanımı, boyutlardaki değişimin az olması, şekil düzgünlüğü ve dış etkilere karşı dayanıklı olmasıdır. (Akman, M.S., 1987). Tuğla boyutu, **dönemine göre değişir. Tuğlanın porozitesi (boşluk hacmi/tuğla hacmi) arttıkça basınç dayanımı azalır. Tarihi yapılarda tuğla, yığma yapılarda, duvar, kubbe, tonoz örülmesinde, taş duvarlarda hatıl olarak, ahşap çatkılı duvarlarda dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır.**

4.3.2. Tuğla hasarları

Tuğlada görülen hasarlar, çoğunlukla doğal taşlardakine benzer. Mekanik etkiler dışında başlıca hasar nedeni, atmosfer etkileri, su ve nemin varlığıdır. Suyun eritme etkisi ile tuğlanın köşelerinde yuvarlanma, hacim değişikliği, donma-çözülme

etkisi ile kabarmalar, yüzeyinde beyaz lekeler, çatlaklar gözlenir. Hasarların başlıca nedeni, boşlukların oranı (porozitesi), boyutu ve su ile etkileşimidir. Doğal taşlar başlığı altında işaret edildiği gibi tuğla da gözenekli ve gevrek bir malzemedir. Gözenekler su emdiği, atmosfer etkileri ile hasara neden olduğu için mekanizmalarının tanımlanmasında sadece boşlukların tümünü temsil eden porozitenin belirlenmesi yeterli değildir. Suya karşı dayanıklılığı etkileyen esas parametre, dışa açık ve birbiriyle ilişkili, su emen boşluklardır; bunlar, hacimce su emme olarak adlandırılır. Boşluk parametrelerinin doğrudan veya dolaylı ölçüm ve deneyler ile belirlenmesi mümkündür. Gözenekli malzemelerin donma-çözölmeye karşı dayanıklılığının araştırılması için doyma derecesi olarak tanımlanan; dışa açık boşlukların toplam boşluk içindeki payı, deneysel verilerden yararlanılarak belirlenir. Suyun donduğu zaman yaklaşık %10'luk hacim artışına neden olduğu da dikkate alınarak doyma derecesinin %80'den küçük olması istenir (Saraylı, M.A., 1978).

4.4. Harçlar ve Özellikleri

Harçlar ve sıvalar, agrega denilen ince daneli malzemelerin matris denilen bir bağlayıcı hamur ile bir araya getirilmesi sonucu elde edilen, plastik şekil verilmeye elverişli kompozit malzemelerdir. Harçlarda agreganın maksimum dane boyutu 4mm; bağlayıcısı ise alçı, kireç, kireç ve puzolan karışımları, su kireci, çimento gibi inorganik kökenli veya hidrokarbonlar, tutkallar gibi organik kökenli bağlayıcılardır. Farklı özellikteki harçlar, taş ve tuğlanın örölmesinde derz malzemesi ve sıva olarak kullanılmıştır. Günümüzde ise yığma duvarların örölmesinden ve sıva olarak kullanılmasından başka akışkanlığı artırılarak tarihi yapıların onarım ve restorasyonunda; enjeksiyon uygulamasında da kullanılmaktadır.



Şekil 4.4 Harç uygulamalarına örnekler (Nabi, Y., 2015, Fevziye, A. , vd., 2009)

4.4.1 Bağlayıcılar

Bağlayıcılar, harç ve sıvalar içinde sürekli (matris) fazı oluşturan, organik veya inorganik kökenli, havada (airobik) veya su içinde (hidrolik) katılaştıran malzemelerdir.

Organik kökenliler

Asfalt bitüm, zift, katran gibi hidrokarbonlar, kazein, albümin gibi tutkallar organik kökenli bağlayıcılara örnek olarak sayılabilir. Organik kökenli bağlayıcılar oda sıcaklığında veya biraz üstündeki sıcaklıklarda plastik özellik kazanırlar. Bilinen en eski bağlayıcı, ön Asya'da kullanılmış olan organik kökenli hidrokarbonlardır.

İnorganik kökenliler

Alçı, kireç, kireç+puzolan karışımları, su kireci ve çimento inorganik kökenli bağlayıcılara örnek olarak sayılabilir. **İnorganik bağlayıcılar, su ile karıştırıldığında plastik özellik kazanan çoğunlukla çok ince taneli toz malzemelerdir.**

Alçı, kireç gibi inorganik kökenliler, asfalt, bitüm, zift, katran, kazein, albümin gibi organik kökenliler havada katılaşan (**airobik**) bağlayıcılardır. Kireç+puzolan karışımları, su kireci ve çimento ise su içinde katılaşan (**hidrolik**) bağlayıcılardır.

Bağlayıcılar yeterli dayanıma sahip olmalı, dağınık fazı (agregaları) homojen olarak birleştirmeli, agrega-bağlayıcı arayüzünde sürekliliği sağlamalı, gelen yükü esas taşıyıcı olan dağınık faza aktarmalı, atmosfer etkilerine karşı dayanıklı olmalıdır. İnorganik bağlayıcılarda bu özellikler bağlayıcının cinsine, pişirme sıcaklığına ve inceliğine bağlı olarak değişir; pişirme sıcaklığı ve incelik arttıkça bağlayıcılık özelliği artar.

a. Alçı

Alçı, çok eski çağlardan beri kullanılan inorganik kökenli, havada katılaşan (**airobik**) bir bağlayıcıdır. Alçıtaşından alçı elde etmek nispeten kolaydır, zira gerekli sıcaklık sadece 190°C'dir. Alçı harcı eski Mısır'ın Sakkara ve Keops piramitlerinin derzlerinde dolgu maddesi gibi kullanılmıştır. Çatalhöyük'te alçıdan duvar kaplama ve süsleme malzemesi olarak yararlanılmıştır. Yine Çatalhöyükte 1x1x0.5 m boyutunda alçıdan üretilmiş bir sandık bulunmuştur. Bu bulgular neolitik ve kalkolitik çağlardaki bazı toplumların alçıyı bildiklerini kanıtlamaktadır. İklimi kuru olan Güneydoğu Anadolu'da, Akdeniz bölgesindeki Asur, Kalde, Fenike, Mısır ve Hititler gibi uygarlıklarda yapıda ve sanatta, harç ve siva olarak çok yaygın kullanılmıştır. Bağlayıcı malzeme olarak ilk kullanım örneklerine Mısır piramitlerinde derz harcı ve duvar sıvası olarak rastlanmaktadır. Ülkemizde Selçuklulardan kalma eserlerde (Akşehir/Konya) alçı kullanıldığı bilinmekte, Erzurum'da alçı sıvalı 200 yıllık evlerin varlığı dikkate alındığında alçının eski tarihlerden beri kullanıldığı anlaşılmaktadır. Geçmişte Siirt'teki yapılarda da yöreye özgü alçı taşının fırınlarda yakılıp öğütülmesiyle elde edilen ve "cas" denilen bir tür kaba alçı kullanılmış, alçının beyazlığı nedeni ile Siirt'e "beyaz kent" denilmiştir. Günümüzde, Siirt'teki tarihi mekânların restorasyonunda yaklaşık 50 yıl aradan sonra yeniden cas kullanılmaya başlanmıştır (Kaynak Linki : <http://www.siirtmanset.com/kultur-sanat/siirtteki-tarihi-yapilar-casla-hayat-buluyorh5425.html>). Siva alçısı, Fransa'da "Paris alçısı (Plaster of Paris, $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$)" veya "Stucco" olarak adlandırılmış, jips kimyasının 1755'de açıklığa kavuşması ve 1870'de alçının priz (katılaşma) süresinin geciktirilmesi ile alçı tüketimi gelişmeye başlamıştır.

Alçı taşı, jips mineralinden oluşan tek mineralli bir tortul taştır. Piyasada, kalıp alçısı, dişçi alçısı ve kartonpiyer alçısı adı ile kristal yapıları farklı alçılar bulunmaktadır. Kalıplık alçılar alfa tipi (α , kristali iğne yapılı), kartonpiyerlik alçılar ise beta tipi (β , kristali pirinç tanesine benzer) alçı olarak anılır. Alçı ve türevleri günümüzde inşaat sektöründe yapı

alçısı, kartonpiyer alçısı, saten perdah alçısı, perlitli sıva alçısı, makine sıva alçısı, derz dolgu alçısı, yapıştırma alçısı, dolu gövdeli alçı duvar bloğu, iki yüzü kartonlu alçı plaka olarak kullanılmaktadır. Alçı, ayrıca kalıp alçısı olarak; tek-sir kalıbı alçısı, porselen kalıbı alçısı, seramik kalıbı alçısı, kiremit kalıbı alçısı, tıpta; dişçi alçısı, ortopedik alçı olarak da kullanılmaktadır.

Yapı alçısı ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), alçı taşının ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 120-160 °C sıcaklıkta pişirilip öğütülmesi ile elde edilir. Alçı taşının daha yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi ile de farklı özelliklere sahip alçı elde edilmektedir. Alçı su ile karşılaşınca, pişirme sırasında çıkan kristal suyunu tekrar bünyesine alarak ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) katlaşır; bu olaya hidrasyon denir. Uygulamada alçının bağlayıcılık özelliği (plastik özellik) kazanması için gerekli olan su miktarı (yoğurma suyu) hidrasyon için gerekli olan sudan fazladır; yoğurma suyu ve katlaşma süresi, laboratuvarında bu amaç için geliştirilmiş alet (Vicat) ile belirlenir.

Hidrasyon sonucu oluşan katlaşmış alçı, dış ortam etkilerine dayanıklı değildir; örneğin, M.Ö. 5. yüzyılda kullanılmaya başlandığı sanılan alçı kalıplar, doğanın etkileri ve alçının suemme özelliğinden dolayı tamamen bozulmuştur. Bu nedenle alçı, çoğunlukla iç ortamda kullanılır (İpekçi, Aydın, C., Aköz, F. 2010). Ancak alçıtaşı 600°C'ın üzerinde pişirilirse elde edilen anhidrit alçı bağlayıcı niteliği yüksek, dış etkenlere dayanıklı bir malzemedir. Günümüzden 3400 yıl kadar önce Mısır firavunu Amenhotep II'nin inşa ettirdiği Karnak Tapınağı taşları anhidrit alçı ile yerleştirilmiş, aynı yıllarda Girit'te yapılan Knossos Sarayı'nda da anhidrit kullanılmıştır (Akman, M.S., 2003).

b. Kireç

Kireç de alçı gibi çok eski çağlardan beri kullanılan inorganik kökenli, havada katlaşan (*airobik*), toz halinde bir bağlayıcıdır. Aşıklı höyüğünde ve Babil yapılarında kerpiç duvarlar kireçle badana edilmiş, ancak kirecin endüstriyel üretimi günümüzden 600 yıl kadar önce düşey fırınların gelişmesi ile mümkün olabilmıştır (Akman, M., S., 2003). Hammaddesi, kalker taşı, tebeşir taşı gibi karbonatlı (CaCO_3) veya kalsiyum karbonat, magnezyum karbonat (CaCO_3 , MgCO_3) gibi dolomitli taşlardır. Kalker veya dolomitli kalker taşının yaklaşık 900-1000°C sıcaklıkta pişirilmesi ile elde edilen toz haldeki maddeye (CaO , MgO) "*sönmemiş kireç*" denir. Kalker taşı ve tebeşir taşı gibi taşlardan elde edilen kireç beyaz, dolomit esaslı taşlardan elde edilen kireç esmer renklidir.

Sönmemiş kireç (CaO), su ile karşılaşınca, hidrate olur; hidrate kirece "*sönmüş kireç*" denir. Söndürme işlemi su buharı ile gerçekleştirilir ise hidrate kireç [Ca(OH)_2] toz halinde, hidrasyon suyundan daha fazlası ile gerçekleştirilir ise [$\text{Ca(OH)}_2 + n\text{H}_2\text{O}$] hamur hale gelir; bağlayıcılık özelliği kazanır.

Söndürülmüş kirecin hava ile temas etmeden bekletilmesi ve daha sonra kullanılması gerektiği, Roma ve onu izleyen dönemlerden bu yana bilinmektedir. Bekletme süresinin en az üç yıl olması gerektiği ileri sürülmüştür çünkü kirecin bekletilme süreci uzadıkça, plastik özelliği ve su tutma kapasitesi artmaktadır. Bu süreçte, kireç (portlandit)

kristallerinin boyutu küçülmekte ve havanın karbondioksiti ile reaksiyona girecek yüzey alanı (dış özgül yüzeyi) artmaktadır. **Özgül yüzeyi artmış sönmüş kirecin** $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ havadan karbondioksit (CO_2) olarak karbonatlaşması (CaCO_3) ve katılaşması daha hızlı gerçekleşmektedir.

Kireç, suya karşı dayanıklı olmadığı için yapı mühendisliği uzun yıllar kireç bağlayıcılı harçların dayanım ve dayanıklılığının artırılmasına çalışmış, su içinde katılaştıran (**hidrolik**) bağlayıcı arayışında olmuş, kirece puzolanik özelliği olan malzemeler katmayı denemiştir.

c. Kireç ve puzolan karışımları

Kireç harcının dayanım ve dayanıklılığının artırılması için; Romalılar, kirece Pozzuoli kasabasının volkan tüfü olan toprağından katmışlar, **“puzolan”** sözcüğü de buradan gelmiştir. Eski Mısır’da ve Önyasya’da kirece tuğla (pişmiş kil) kırıntısı ve/veya tozu katılmış, elde edilen harca **“Horasan”** denilmiş, Osmanlılar bu harcı yaygın olarak kullanmıştır. Kireç puzolan karışımları, su içinde katılaştıran (**hidrolik**) bağlayıcılık özelliği kazanmıştır.

Osmanlılar puzolana puçına adını vermişler, o tarihlerde (1796-1821) Kasımpaşa’da yapılan gemi onarım kuru havuzlarında kirece puçına katılarak üretilen harçlar kullanmışlardır (Akman, M.S.203). Puzolanlar, *“kendi başına bağlayıcı olmayan, kireç veya çimento ile birlikte kullanıldığında bağlayıcı özellik kazanan, yüksek oranda aktif silika (SiO_2), belirli oranda alümina (Al_2O_3) içeren inorganik kökenli toz malzemeler”* olarak tanımlanır. Her silika ve alümina içeren malzeme “puzolan” değildir; bu özellik, standarda uygun kapsamlı deneyler ile araştırılır. Puzolan malzeme içindeki aktif silika (SiO_2) ve alümina (Al_2O_3) *hidrate kireci* $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ bağlar, kalsiyumsilikat hidrat $[\text{CaO}.\text{SiO}_2.n\text{H}_2\text{O}]$ ve kalsiyumalüminat hidrat $[\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.m\text{H}_2\text{O}]$ oluşturur; kirecin suda erimesini önler, harcın dayanımını ve dayanıklılığını artırır. Puzolanik özelliğinin artırılması için; puzolan çok ince öğütülmüş olmalı, harç nemli tutulmalıdır (Postacıoğlu, B., 1986).

Puzolanlar, geçmişte doğadan (volkan tüflerinden) veya kilin pişirilip öğütülmesinden (pişmiş toprak tozu) elde edilmiştir. Günümüzde ise bunlara ilaveten demir-çelik endüstrisinden yüksek fırın cürufu (YFC), termik santral baca gazından uçucu kül (UK), silisyum alaşımları ve ferrokrom tesislerinin baca gazından silis dumanı (SF) gibi endüstri atıklarından ve sürdürülebilir olmasa da pirinç kapçığı, buğday sapı gibi tarım atıklarının yakılmasından (külünden) elde edilmektedir.

d. Su kireci (Hidrolik kireç)

Avrupa’da bağlayıcılar ile ilgili ilk araştırmalar marnlı taşların (killikalkerin) pişirilmesi ile başlamıştır. İngiltere’de John Smeaton Eddystone deniz fenerinin yeniden yapım işini yüklenmiş (1756), kireci farklı puzolanlarla karıştırarak ön deneyler yapmış ve yüksek oranda kil içeren kireçtaşlarının pişirilmesi ile elde edilen kireçlerin (sukireci) en iyisi olduğunu tespit etmiş, bu kireci İtalya’dan getirilen puzolanla karıştırmış, harç üretmiş, deniz feneri yapımında bu harcı kullanmıştır.

Fransız mühendis Vicat, 1818’de su içinde katılaşıp, bugün **hidrolik kireç** (su kireci) adı verilen inorganik kökenli, toz bağlayıcıyı üretmiştir. Killikalkerin ($\text{CaCO}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{AlO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) 1100-1200 °C sıcaklıklarda pişirilip öğütülmesi ile elden sukireci, ağırlıklı olarak sönmemiş kireç (CaO) ve çimentonun ana karma oksiti olan bikalsiyumsilikat ($\text{C}_2\text{S} \cdot 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) karma oksidi oluşur. Hidrolik kireç söndürüldüğünde Ca(OH)_2 sönmüş kireç ve kalsiyumsilikat hidrat ($\text{C-S-H} \cdot 3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) oluşur. Bu hidrate ürün, su içinde katlaşır, suya karşı dayanıklıdır. Bu nedenle su kireci ile üretilen harçların dayanımı ve dayanıklılığı kireç harcından üstündür (Akman, M.S.2003; Postacıoğlu, B.1986).

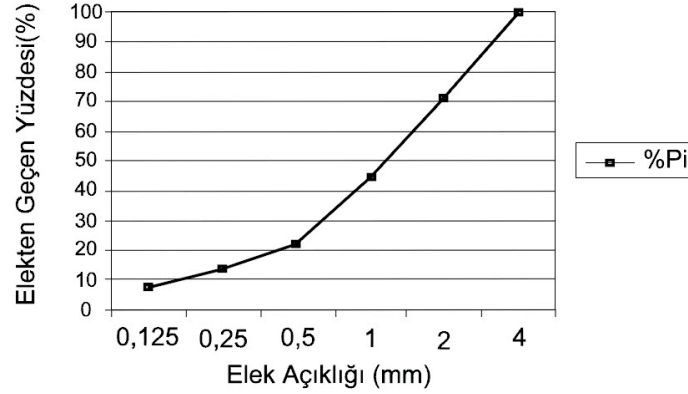
e. Çimento

Nitelikli bağlayıcıya olan ihtiyaç nedeni ile sukirecinin üretiminden sonra da araştırmalar devam etmiş, örneğin İngiltere’de James Parker 1756 yılında “doğal hidrolik çimento” için patent almıştır. Aynı yılda Smeaton ince öğütülmüş kireçtaşını, ince bölümlenmiş kille karıştırıp fırında tüm CO_2 gazı uçana kadar pişirmiş, bu çimentoyla yapılan taşın Portland kasabasındaki doğal taş kadar dayanıklı olduğunu söyleyerek bu çimentoya “Portland” adını koymuş, bu konuda bir de kitap yazmıştır. 1824’de İskoçyalı Joseph Aspdin kil ve kireç karışımlarını fırında daha yüksek sıcaklıklarda pişirmiş, elde ettiği bağlayıcının su kirecinden daha üstün özelliklere sahip olduğunu gözlemlemiş, bu görüşe dayanarak pişirme sıcaklığını artırmış, bugünkü çimento üretim yönteminin esasını belirlemiştir. 1835’de Isaac Charles Johnson pişirme sıcaklığını yükseltmiş, öğütmeye daha önem vermiş ve günümüz Portland çimentosunun mucidi olmuştur. 1870-1890 yılları arasında İngiltere’de Michaelis, Fransa’da Le Chatelier adlı araştırmacılar, teorik ve deneysel çalışmalar yapmış, çimento hidratasyonu ile ilgili olarak bugün de geçerli olan en önemli esasları belirlemişlerdir. Aynı yıllarda Frederic Ransome döner fırını icat etmiş, çimento üretim yönteminde önemli bir aşama sağlanmıştır. Ülkemizde ilk çimento fabrikası 1911’de, Darıca’da kurulmuş, su kireci (hidrolik kireç) ve çimento üretilmiştir (Akman, M.S.2003; Postacıoğlu, B.1986).

Çimento üretiminde, kalker ve kil belirli oranlarda karıştırılıp döner fırında, 1400-1500°C sıcaklıklarda pişirilir, ani olarak soğutulur, elde edilen klinkere %2-5 oranında jips (alçı taşı) katılır, dane boyutu 90μ ’dan çok daha küçük olmak üzere öğütülür. Elde edilen toz çimentonun (CEMI) özellikleri karma bileşenlerin (karma oksitlerin) oranına ve inceliğine bağlı olarak değişir. Klinkere farklı oranlarda puzolan malzemeler ve çok az miktarda (minör) katkı maddeleri katılarak çok sayıda farklı özelliklere sahip çimentolar elde edilir.

4.4.2 Agregalar

Agregalar, harcın dağınık fazını oluşturan mineral kökenli taneli malzemelerdir. Dane boyutu, biçimi ve dağılımı harcın işlenebilmesinde ve dayanımında önemli faktördür. Harçlarda en büyük dane 2mm-4mm (Şekil 4.5) olan silika veya kalker esaslı kum ya da pişmiş toprak kırıntıları kullanılır.



Şekil 4.5 Granülometri eğrisine örnek

4.4.3 Katkılar

Kireç harçlarının özelliklerini iyileştirmek, karbonatlaşmayı hızlandırmak amacı ile yumurta akı, kan, kesik süt (kazein), gübre, arap zambı, hayvan (kan, kemik) tutkalı, bitki suları, incirin sütlü suyu, çavdar hamuru, domuz yağı, idrar, hayvan tüyleri, balmumu, şeker, keten tohumu yağı, mineral tozlar gibi organik ve inorganik maddeler kullanılmıştır. **Günümüzde ise katkı türü ve üretimi çok artmış, ayrı bir sektör haline gelmiş, Katkı Üreticileri Birliği (KÜB) kurulmuştur.**

4.4.4 Harç hasarları

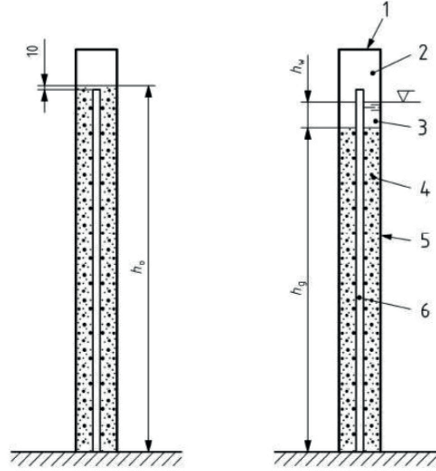
Harçların dayanımına ve dayanıklılığına etki eden faktörler; agreganın cinsi ve doluluğu, bağlayıcının cinsi, suyun bağlayıcıya oranı, bağlayıcının agregaya oranı ve harcın işlenebilirliğidir. Bunlardan en önemlisi de bağlayıcının cinsidir. Yapı mühendisliği yukarıda da işaret edildiği gibi çağlar boyunca su içinde katlaşan, suya dayanıklı, su yapısı inşa etmeye elverişli bağlayıcıyı **üretmeye çalışmıştır. Çünkü, sertliği düşük sular, asitli sular, sülfatlı sular, klorürlü sular harç içindeki** kirece etki eder, hasarlara neden olurlar. Bu suların etkisi ile ilgili açıklamalar Bölüm 4.7.1’de verilmiştir.

4.4.5 Enjeksiyon şerbeti ve harçları

Enjeksiyonun genel amacı; yapının hasar görmesi sonucu meydana gelen farklı boyutlardaki boşlukların ve çatlakların doldurulması, yapının devamlılığının (sürekliliğinin) ve dayanımının artırılması, duvar elemanlarında hatalı birleştirilmiş olan tabakalardaki boşlukların doldurulmasıdır. Özgün malzemeye fiziksel, kimyasal, mekanik ve mineralojik özellikleri bakımından uyumlu olarak seçilen enjeksiyon malzemesinin tasarımında dikkat edilmesi gereken önemli değişkenler; enjekt edilebilirlik, dayanıklılık özellikleri ve yapıdaki çatlak genişliğidir.

Enjekte edilebilirlik, malzemenin üretiminde kullanılan bağlayıcı ve agregaların özelliğine, inceliğine ve su/bağlayıcı oranına ve çatlak genişliğine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle tasarımı yapılacak olan enjeksiyon malzemesinin bileşenlerinin tane boyutları çatlak genişliğine göre seçilmelidir. Çatlak genişliğinin 0,1-0,2 mm altında olduğu durumlarda çok ince malzemelerin kullanılması gerekir. Örneğin, doğal hidrolik kireç ve farklı oranlarda puzolan kullanılarak özgül malzemeye uygun enjeksiyon şerbetlerinin üretildiği, hava kireci ve/veya hidrolik kireç ile ince öğütülmüş kireç taşı tozu ve kuartz tozu ($<350\mu\text{m}$) gibi filler malzemeler veya tuğla tozu ($<75\mu\text{m}$) da kullanılarak yapılan deneysel çalışmalar ve uygulamalar mevcuttur (Oktay, D., Yüzer, N.,2013)

Enjeksiyon şerbetlerinin uygulamadaki en önemli değişkenlerinden biri olan akışkanlık özellikleri, TS EN 445'te (2012) belirtilen koni yöntemi ile araştırılır. Enjeksiyon malzemelerinin bir diğer önemli özelliği olan terleme ve hacim değişimi ölçümleri TS EN 445'te (2012) yer alan fitil göstergeli deney ile yapılır. Bu deney için, içerisine halat yerleştirilmiş 1 metre uzunluğunda şeffaf bir tüpe enjeksiyon malzemesi doldurulur (Şekil 4.6); 1., 2., 3. ve 24. saatte şerbetin ve terleme suyunun yüksekliği kaydedilir, hacim değişimi ve terleme miktarı hesaplanır. TS EN 447'e (2012) göre; şerbetin 3 saat hareketsiz tutulduktan sonraki hacmi, ilk hacminin %0,3'ünü geçmemeli, 24 saat hareketsiz tutulan şerbetin hacim değişimi -% 1 ve +% 5 aralığı içerisinde olmalıdır.



Şekil 4.6 Fitil göstergeli deney (TS EN 445, 2012)

Enjeksiyon malzemelerinin yukarıda açıklanan bu fiziksel özellikleri uygulamada dikkat edilmesi gereken değişkenlerdir. Enjeksiyon malzemelerinin çatlak ve boşluklardan geçebilirlik ve enjekte edilebilirlik özelliklerinin belirlenmesinde EN 1771'te (2004) belirtilen kum kolonu yönteminden yararlanılır. Malzemenin kum kolonu içine enjekte edilebilen miktarına ve süresine bakılarak geçebilirlik özelliği değerlendirilir. Malzeme seçimi yapılırken akışkanlık ve enjekte edilebilirlik özelliklerinin ön deneyler ile belirlenmesi ve uygun malzemelerin seçilmesi gerekir.



a) Akış hunisi b) Marsh hunisi c) Terleme deneyi d) Kum kolonu deneyi

Şekil 4.7 Enjeksiyon yeteneğinin araştırılması için yapılan deneyler (D. Oktay, 2017)

Enjeksiyon malzemelerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için TS EN 1015-11 (2000) numaralı standartta belirtilen 40x40x160 mm boyutlu numunelerde eğilme ve basınç deneyleri yapılır. Malzeme enjekte edildikten sonraki mekanik özelliklerinin incelenmesi için ASTM C943-10 (2010) referans alınarak Ø15/30 cm boyutlu silindir numuneler içerisine tarihi yapılardaki boşluk oranlarına yakın değerlerde boşluk oluşturacak şekilde farklı tane dağılımlarında taş, tuğla, kum ve harç doldurulur ve şerbet enjekte edilir. Mekanik deneyler 28., 90. ve 180. günlerde yapılır, basınç dayanımı ve elastisite modülü belirlenmelidir.

Enjeksiyon malzemelerinin kimyasal özellikleri, sıcaklık değişimindeki su kaybı, ağırlık azalmaları gibi davranışlar, TG/DTA ile yapılan analizlerle, malzemedeki meydana gelebilecek tuz oluşumu basit kimyasal deneyler ve iletkenlik ölçümleriyle, X ışınımı kırınımı (XRD) ile incelenmelidir. Mineralojik bileşenleri, **X ışını kırınımı (XRD)**, **X ışın floresans (XRF)**, **Frouier Transform Infrared Spektroskopisi FTIR**, **yüksek çözünürlüğe sahip geçirimli elektron mikroskobu HR-TEM (EDX)** gibi analizlerle belirlenmeli ve **özgün malzemeye uygunluğu incelenmelidir.**

Dayanıklılık özellikleri için numunelerin donma-çözülme etkisi, sülfat etkisi ve rötre etkisi altındaki davranışları incelenmeli, tarihi yapıların onarım ve güçlendirmesinde kullanılacak olan malzemelerin sadece erken yaş değil, ileri yaş başarımları da değerlendirilmelidir (Yüzer, N., vd. 2015).

4.5. Ahşap

Ahşap, günümüzde olduğu gibi tarihi yapılarda da taşıyıcı sistem (yapı) malzemesi, kapı ve pencere doğraması, döşeme, tavan ve duvarlarda kaplama ve mobilya malzemesi olarak masif halde kullanılmıştır. Günümüzde ise dağınık fazı ahşap, matris fazı polimer yapıştırıcı olan lifli kompozit, lamine kompozit vb olarak da kullanılmaktadır. Ahşap, ağaçtan elde edilen organik kökenli, lifli, heterojen ve anizotrop özellikleri olan bir malzemedir. Ahşabın esas taşıyıcı-

cılığını sağlayan borucukların kimyasal yapısı linyoselüloz, borucukları yapıştıran ve bir arada tutan, jelimsi yapıdaki pektaselülozdur. Ahşabın bileşiminde bir miktar da pektin ve diğer maddeler bulunur. Ağacın gövdesi, boyuna doğrultuda büyüyen ince uzun boru demetleri şeklinde hücrelerden oluşur. Bu hücreler ağacın ekseninden radyal olarak dışa doğru gelişir, bu nedenle enine kesitte iç içe olmuş halkalar görülür, her yıl yeni bir halka eklendiğinden bunlara yaş halkaları denir ve ağacın kalitesini etkileyen önemli bir oluşumdur.

Ahşabın mekanik ve fiziksel özelliklerini doğrudan etkileyen faktörler ağacın cinsi, nem oranı ve kusurlarıdır. Ahşap, higroskopik özelliği nedeni ile atmosfer şartlarından etkilenir, nem alış verişini yapar, nem oranı ve sıcaklık değiştiğinde şişme ve büzülme nedeniyle şekil değiştirir, hacim sabitliğini koruyamaz, çalışan bir malzemedir. Nem oranı, ahşabın hacim değişkenliğinden başka mukavemetini de etkileyen önemli bir faktördür; nem oranı ile mukavemet ters orantılıdır. Nem oranı kuru ahşapta %13-%18, fırında kurutulanlarda ise %8'ler civarındadır; sıfırlanamaz (Akman, M.S., 1987).

Nemin masif ahşaba ve farklı sayıda tabakadan oluşan lamine kompozit malzemeye etkilerinin araştırıldığı kapsamlı deneysel çalışmada, heterojen ve anizotrop bir malzeme olan ahşabın özelliklerinin belirlenmesinde pek çok parametrenin olduğu, lamine kompozitlerde tabaka sayısı, kalınlığı, yapıştırma malzemesi ve yapıştırma tekniği gibi dayanım ve dayanıklılığa etki eden parametrelerin daha da arttığı belirtilmiştir (Karagüler, M., E., Kaya, G., 2017).

4.5.1. Yapıda Kullanılan Ağaç Türleri

Yapıda kullanılan ağaçlar, iğne yapraklılar (yapraklarını dökmeyen-açık tohumlular-kozalaklılar) ve geniş yapraklılar (yapraklarını döken-kapalı tohumlular) olarak sınıflandırılır.

- İğne yapraklılar; çamlar, köknarlar, sedir, ladin ve selviler gibi yumuşak ve reçineli ağaçlardır, inşaat kereste olarak kullanılırlar.
- Geniş yapraklılar genellikle, kapı pencere doğraması, parke ve mobilya işlerinde kullanılan meşe, kayın, gürgen, dişbudak ve ceviz gibi işlenmesi zor, sert ve çok dayanıklı bir malzemedir.

Ahşabın lifleri doğrultusunda (paralel) ve liflerine dik doğrultuda çekme ve basınç dayanımları farklıdır. Emniyet gerilmeleri, eğik kuvvet halinde azaltılmak koşulu ile I. sınıf çam-meşe ve kayın için liflere paralel çekme 10,5-11,0 MPa, liflere paralel basınç 11,0-12,0 MPa, liflere dik basınç 2,0-3,0 MPa'dır. Ahşap, liflere dik doğrultuda çalıştırılmaz, emniyet gerilmesi sıfır kabul edilir. Ahşabın elastisite modülü, çok değişkenlik gösterir; çam sınıfında liflere dik doğrultuda 300 MPa, liflere paralel doğrultuda 10000 MPa, meşe ve kayın gibi geniş yapraklılarda liflere dik doğrultuda 600MPa, liflere paralel doğrultuda 12500 MPa kabul edilebilir (Duman, N., Ökten, S., 1988; TS 647, 1979).

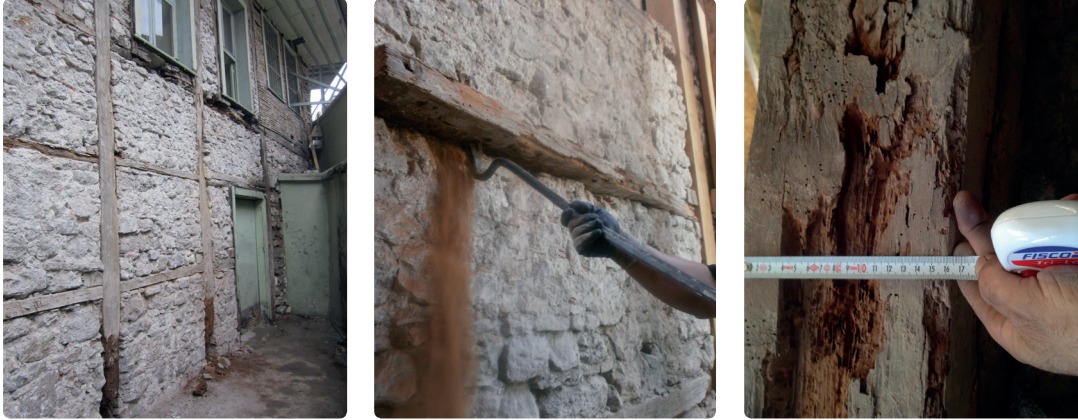
Ahşap elemanların birleşimi, lamba zivana, geçme, çapraz geçme, boğaz geçme, kurtağzı ve kamalı birleşim gibi ahşabın kendisiyle, tutkal, çivi, kama, veya bulonla, metal şerit veya levhalarla yapılır.

4.5.2. Ahşabın kusurları

Ahşapta kusura neden olan faktörler; yaş halkalarının genişliğindeki farklılıklar, yaş halkalarının merkezden kaçık büyümesi, reçine ceplerinin varlığı, dal yerlerinin oluşturduğu budaklar, yaş halkaları arasındaki dairesel çatlaklar, boyuna doğrultudaki çatlaklar, öz odunundaki radyal çatlaklar, burulmuş lifler, gövdede burulma, paralel olmayan lifler olarak sıralanabilir. Ağaçtaki çentik, yara, yarık ve çürükler, tekrarlı donma-çözülme sonucunda meydana gelen çatlaklar, dairesel halkaların birbirinden ayrılmasına neden olur, çatlaklar dıştan içeriye doğru devam eder. Bu nedenlerle yapıda kullanılan ahşap, kusurların varlığına ve sayısına göre (I. sınıf, II. sınıf, III. sınıf) sınıflandırılır.

4.5.3. Ahşap hasarları

Ahşaptaki hasarlar; aşağıda verildiği gibi fiziksel, kimyasal, biyolojik ve insan kaynaklı bozulmalar olarak sıralanabilir. Ahşabın kimyasal bozulmaya karşı diğer yapı malzemelerine oranla direnci fazladır. Ancak yine de korozyon, asit, baz ve alkol ve yangın ahşap malzemede bazı kimyasal bozulmalara neden olur. Nem ve kirli koşullar korozyonu, aşırı asit ve sıcaklık bozulma hızını artırır. Çeşitli alkali çözeltiler ahşabı yumuşatır, alkol ahşabın direncini zayıflatır, malzemenin şişmesine neden olur, yangın ise ısıya bağlı bir kimyasal bozulmanın nedenidir (Seçkin, N.P., 2012a).



Şekil 4.8 Atmosfer olaylarının neden olduğu bozulmalar (O. Aydemir)

a. Fiziksel nedenli bozulmalar:

Yağış, sıcaklık ve nem değişimi, rüzgâr gibi atmosfer olayları ve hava kirliliği ahşapta iklimsel yıpranma, boyutsal değişim, renk değişimi gibi bozulmalara neden olur.

b. Kimyasal nedenli bozulmalar

Kuvvetli asit ve bazlar, UV ışınları, korozyon ve yangın, ahşapta kimyasal bozulmaların nedenleri olarak sıralanabilir.

b.1. Asit ve bazlar

Şehir atmosferine konutların ve fabrikaların bacalarından, otomobillerin egzozlarından, vapur ve tren bacalarından çok miktarda karbondioksit (CO_2) ve kükürttrioksit (SO_3) gibi gazlar karışmaktadır. Duman, toz ve zararlı gazlar rüzgâr etkisi ile yapıların yüzeyinde birikerek kirli bir tabaka meydana getirir. Bu gazların yağmurlu ve sisli havalarda yağmur suyu ve havanın nemi ile birleşmesi sonucu karbonikasit (H_2CO_3), sülfüröz asit (H_2SO_3) ve sülfirikasit (H_2SO_4) meydana gelir. Bunlar her tür yapının özellikle dış yüzeyinde kullanılan her türdeki malzemesine zarar verir. Denize yakın yapılarda klorürler de ahşapta kimyasal kirlenme ve bozulmalara neden olur.

b.2. UV ışınları

UV ışınlarının dalga boyu ışık ışınlamının dalga boyundan çok daha kısadır, moleküller arası boşluklara girebilir. Malzeme içine giren ışınlar malzemenin rengini bozar, rengin açılmasına, malzemenin yapısının bozulmasına, daha az dayanıklı bir yapıya dönüşmesine neden olur. UV ışınları ile gelen alfa parçacıkları özellikle hidrokarbonlar, ahşap ve plastikler gibi polimer malzemelerin atomlarına çarparak, atomik yapıda kimyasal bozulmaya, renk değişimine, gevreklemeye ve boşluk oluşumuna neden olur. Böceklerin ve mikroorganizmaların yerleşmesine uygun hale gelir.

b.3. Korozyon

Metal-ahşap birleşim detaylarında, özellikle bunların birleştiği noktalarda ortamdaki ve ahşabın bünyesindeki nemin, suyun varlığı nedeni ile korozyon meydana gelir. Korozyon ürünü olan metal oksitler (Fe_2O_3) ve hidroksitler ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) hacim artışı ve renk değişimi ile ahşapta bozulmalara ve çatlaklara neden olur.

b.4. Yangın

Ahşap yapıları tehdit eden, ahşabın bozulmasına, hatta tamamen yanarak yok olmasına neden olan en önemli kimyasal bozulma, yangındır. Organik bileşiklerden oluşan ahşabın içinde bulunan karbon (C), hidrojen (H_2), azot (N) ve kükürt (S) gibi element ve bileşikler, yangın anında kimyasal değişime uğrar, malzemenin molekül yapısının bozulmasına yol açar. Malzemede molekül yapısının değişimi genelde kristal suyunun kaybolmasıdır. Yangın sırasında ahşapta; 170°C sıcaklıkta kuruma, 270°C 'de su buharı, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO_2), kükürttrioksit (SO_2) ve kükürttrioksit (SO_3) çıkışı, 250°C - 300°C 'de tutuşma meydana gelir (Seçkin, N.P., 2012a,b)



Şekil 4.9 Yangın görmüş ahşap yapı (Z. Ahunbay)

Buna karşın yangın gören ahşap yapılarda elemanların kesit ölçüleri yeterli ise kesit kaybı olsa bile göçme olmayabilir. Örneğin yapı elemanının dört yüzü tutuşmuş ve bir süre sonra (yarım saat, bir saat sonra) kesit ölçüleri bir miktar azalmış olsa bile yapı elemanının yüzeyinde oluşan kor tabakası, yangının kesitin içine doğru ilerleme hızını düşürür, bir çeşit yalıtım görevi yapar. Kor tabakası kalınlaştıkça içeriye havanın (oksijenin) girmesi engellenir, yanma hızı yavaşlar (Duman, N., Ökten, S., 1988).

c. Biyolojik nedenli bozulmalar

Bakteriler, mantarlar, böcekler, termitler, kuşlar, deniz canlıları ahşapta biyolojik bozulmaların nedenleridir. Mantarlar, nem oranı %23'ü aştığında mantar faaliyetleri ile ahşap çürümeye hazırdır, %35-50 arasındaki nem, 20-30°C sıcaklık ve oksijenin varlığı mantarların gelişmesi için en uygun ortamlardır. Esmer çürüklük mantarı, beyaz çürüklük mantarı, leke mantarı gibi mantar faaliyetleri ile ahşap çürümeye hazırdır.



a) Esmer çürüklük mantarı



b) Beyaz çürüklük mantarı

Şekil 4.10 Mantar hasarlarına örnekler (N. P. Seçkin)

Rutubet ve ağır çürüklük kokusu, ahşap yüzeyinin ıslak ve buruşuk hal alması, renginin değişmesi, ince, pas gibi kırmızı toz (sporlar) oluşması, malzemeye çekiçle vurulduğunda kof bir ses **çıkarması**, **sivri uçlu bir alet batırıldığında aletin malzemeye kolayca girmesi**, **birbirine dik çatlakların meydana gelmesi (çatlaklar boyalı yüzeyde fark edilmez)** ve liflerin kolay kırılması mantar hasarının önemli belirtileridir.

d. Böceklenme

Ahşabın içindeki nem, böceklerin gelişmesi için besin kadar önemlidir, lif doygunluğundaki nem, böceklerin gelişmesi için en uygun nem oranıdır, nemin artması gelişmeyi hızlandırdığı için böcek zararlarının önlenmesinde nem kontrolü çok önemlidir. Böceklerin gelişimi için ayrıca oksijen ve sıcaklık gereklidir, 10°C'nin üzerindeki hava sıcaklığı böceklerin gelişimi için uygun sıcaklıklardır.



Şekil 4.11 Böcek hasarı (N. P. Seçkin)

Böceklerin ahşaba verdiği zarar, yüzeydeki uçma delikleri, ahşap içindeki tüneller, peletler ve tozlar, ölü böcek kalıntıları ve çekiçle vurulduğunda boş ses duyulması ile anlaşılır.

Termitler, genellikle selülozu, bazıları ise, bakteriler yardımıyla lignini tahrip eder. Termitlerin etkisinde ahşabın dış yüzeyi daima sağlam kaldığından, tahribat dışarıdan görülemez ancak kısa sürede ağır tahribata neden olabilirler.

e. Diğer canlılar

Martılar avlarını denize yakın yapıların **çatılarında** yer, bu sırada çatı örtüsünü deler, yapının su almasına neden olur. Güvercinler, camilerin camlarını kırarak içeri girer, minare boşluklarında yuva yaparak içeride büyük miktarda gübre ve çöp toplanmasına yol açar. Kemirgenler de tarihi yapı ve anıtlara zarar verir.

f. İnsan kaynaklı bozulmalar

Hatalı onarımlar, yapıya yeni bir işlev kazandırılmasında farklı malzemelerin kullanılması, yüklerin gereksiz olarak artırılması, yapıların kullanılmayıp terk edilmesi gibi eylem ve uygulamalar Bölüm 5’de belirtildiği gibi insan kaynaklı bozulmaların önemli nedenleridir.

4.5.4. Ahşabın korunması

Ahşabın fiziksel, kimyasal, biyolojik etkilere karşı korunması için kurutulması, koruyucu maddeler şırınga edilmesi (emprenye edilmesi), kurutulmuş ahşabın su geçirimsiz maddelerle kaplanması gibi önlemler alınır (Enüstün, B., 1947; Akman, M.S., 1987).

a. Kurutulması

Ahşapta bozulmaların ana nedeni, bünyesindeki sudur. Bünyesindeki suyun giderilmesi için ahşap açık havada veya fırınlarda kurutulur. Nem oranı, açık havada kurutulanlarda %13-%18, fırında kurutulanlarda ise %8’ler civarındadır; sıfırlanamaz (Akman, M.S., 1987).

Ahşabın bünyesindeki öz suyu mantar, böcek gibi canlıların yaşaması için ortam oluşturduğundan bu suyun bünyeden çıkarılması önemlidir. Bunun için ahşap, kurutulduktan sonra bir kazana yerleştirilir, kazanın içine bir taraftan buhar sevk edilir, saf su, öz suyun yerine geçer. Buhar etkisi ile bünyeden çıkan öz su kazanın diğer musluğundan tahliye edilir, bu işleme saf su çıkıncaya kadar devam edilir (Enüstün, B.,1947).

b. Koruyucu madde uygulamaları

Mantar, böcek, yumuşakçalar gibi biyolojik zararlılara karşı farklı çözümler, bezir yağı gibi maddeler kullanılır. Kreozot halk arasında katran ruhu olarak bilinir, çinko klorür kreozot gibidir, ancak bu malzeme ahşap ıslandığında erir. Bakır sülfat, en çok dış ortamda kullanılacak ahşapta uygulanır. Ahşabın yangına karşı dayanıklılığının artırılması için amonyum tuzları, fosfat, klorhidrat ve bikarbonatlar kullanılır. **Koruyucu malzemenin seçimine, uygulanma yöntemine, ahşabın cinsi ve zarar veren etkene bağlı olarak konunun uzmanı tarafından karar verilir.**

c. Kurutulmuş ahşabın su geçirmez tabaka ile kapatılması

Yüzeyin boyanması ve cilalanması yapıda uygulanan en yaygın yöntemdir. Ahşabın kontrollü yakılarak yüzeyinin karbonlaştırılması işlemi kazık gibi yontulmamış ahşaba uygulanır ve bu işlem ahşabın sertliğini bir miktar artırır.

4.6. Tarihi Yapılarda Kullanılan Metaller

Tarihi yapılarda farklı amaçlar için demir, kurşun, çinko gibi metaller ve bazı alaşımları kullanılmıştır.



Coalbrookdale köprüsü, UK 1779, ilk dökme demir (font) köprü



Mythe Bridge, UK 1826, L= 52m (dökme demir)



White Gates, Galler, UK, 1726, (dövme demir)



1843 St. Genevieve Kütüphanesi, Paris,
(dökme demir)



1860 Oxford Müzesi, UK, (dökme demir)



1858 Ulusal Kütüphane, Paris (dökme ve dövme demir)

Şekil 4.12 Dökme Demir ve Dövme Demir uygulamalarına örnekler

4.6.1. Demir ve özellikleri

Demirin bünyesinde karbon, fosfor, kükürt gibi maddelerin bulunması, sertliği ve mukavemeti artırır, sünekliği azaltır; elastisite modülü ise değişmez; ortalama 210.000 MPa'dır. Demirlerin korozyona karşı dayanıklılığı iyidir, galvanizleme ve emaye işlemleri ile bu özelliği artırılabilir. Demir, tarihi yapılarda demirin işlenmesinden sonra kalıp içine dökülmesiyle **dökme demir** veya dövülerek ya da haddelenerek şekillendirilen levha ya da çubukların birleştirilmesiyle **dövme demir** olarak kullanılmıştır.

4.6.1.1. Dökme demir

Dökme demir, beyaz dökme demir ve kır dökme demir olmak üzere iki türdür. **Beyaz dökme demirde**, ana faz olan demir karbür (Fe_3C) çok sert ve gevrek. Bu nedenle beyaz dökme demir, keserek veya plastik şekil vererek işlenemez. Uygulamada aşınma direncinin mukavemetten daha önemli olduğu öğütme değirmenlerindeki aşındırıcı bilyaların ve kazı makinaları gibi aşınmaya maruz parçaların üretiminde kullanılır. Yapıda, karmaşık şekilli elemanlar, parçalar önce beyaz döküm halinde üretilir, sonra tavlansak **temper döküme dönüştürülür**. **Kır dökme demir**,

üretimi kolay, ergime sıcaklığı düşük (1140°C) bir malzemedir. Kalıbı iyi doldurur, soğuma sırasında büzülmesi azdır, çekme mukavemeti düşük (120 MPa), basınç mukavemeti çok yüksek (720 MPa), gevrek bir malzemedir, keserek kolayca işlenebilir, en ekonomik metal sayılır (Onaran, K.,2000). 18.yy'da köprü yapımında, daha sonraları yapıda genellikle kolonlarda kullanılmıştır [Stuart, S.,at all, 2009].

4.6.1. 2. Dövme demir

Dövme demir, beyaz dökme demirin daha arıtılmış halidir, hemen hemen arı demirdir. 800°C'nin üstünde tavlınır-sa ferrit ve ince parçacıklar halinde grafitte ayrışır. Bu yapıya, dövülmeye uygun **temper dökümü demir** denir. Temper döküm demirin çekme mukavemeti yaklaşık 380 MPa ve kopma uzama oranı %20 düzeyindedir (Onaran, K., 2000). Yarı erimiş halde soğutulup, parçalara ayrıldıktan sonra haddelenerek dövülür, yuvarlak ya da kare enkesitli çubuklar halinde şekil verilebilir. Bu çubukların kümeler şeklinde birkaç kez haddelenmesiyle daha kaliteli demir elde edilir. Ancak bu işlemin çok tekrarlanması, demiri gevrekleştirir. Tarihi yapılardaki gergi demirleri ve kenet gibi elemanlar genelde dövme demirden yapılmıştır. Dövme demirin çekme ve basınç dayanımı eşittir. Belli bir sünekliği olduğu için 1840'lardan itibaren kirişlerde kullanılmıştır (Stuart S., vd, 2009). Dökme ve dövme demirin korozyona karşı dayanıklılığı (dürabilitesi) normal çelikten daha iyidir. Dövme demirin lamine katmanlı oluşu, yüzeyde koruyucu bir pas tabakası oluşturur (Davey, A., Mitchell, D. 2009). Çelik, 1856'dan itibaren Bessemer işlemi ile üretilse de 1890 öncesi yapıda kullanılmamıştır. Çeliğin karbon oranı %0,2-1,7 arasındadır. Çekme ve basınç dayanımı 350-700 MPa arasındadır ve eşittir (TS 648, 1980).

4.6.1.3. Paslanmaz çelik

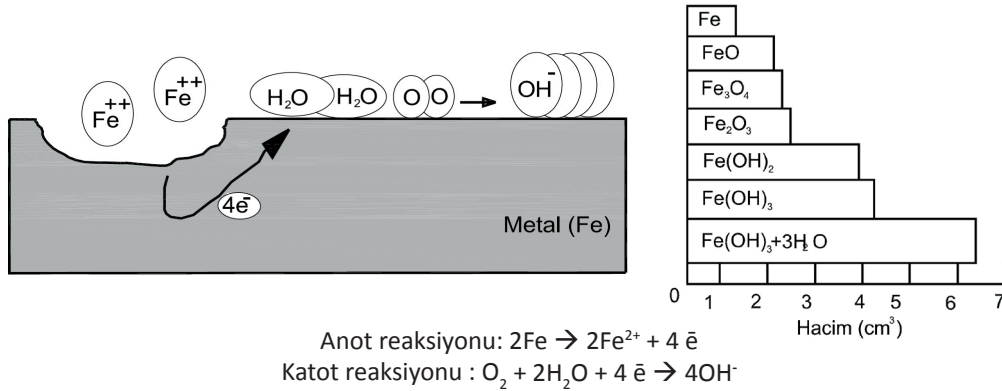
Paslanmaz çelik, %12-18 oranında krom (Cr), %8 oranında nikel (Ni) içerir. Krom, çeliğin yüzeyinde ince, sert ve korozyona karşı dayanıklı kromoksit tabakası oluşturur ve çelik paslanmaz çeliğe dönüşür. Yüzey çizilecek olsa bile çevrenin oksijeni ile kısa sürede tekrar kromoksit tabakası oluşur; çelik pasive olur. Özetle pasivasyon oluşabilmesi için çevrenin oksijenine ihtiyacı vardır, paslanmaz çelik, oksijenin bulunmadığı ortamda paslanmazlık niteliğini kaybeder (Onaran, 2000). Paslanmaz çeliğin bu özelliği dikkate alınarak tarihi yapıların onarım ve restorasyonunda kullanılan paslanmaz çelik elemanların/parçaların epoksi harçları gibi geçirimsiz harçlarla değil, aksine oksijenin geçmesine izin veren normal kireç harçları ile kapatılması doğru olacaktır.

4.6.2. Demir ve çelik hasarları

Mekanik özellikleri diğer malzemelerden çok üstün olan metallerin en önemli sorunları, sıcaklık değişimleri ve yangın **sırasındaki ısıl genleşmeler ve korozyondur.**

Isıl genleşme-büzülme: Mutlak sıfır derecede (0 °K'de) denge konumunda olan atomlar, sıcaklığın değişmesi ile denge konumları etrafında titreşerek birbirinden uzaklaşmak ister, malzemenin özelliklerine ve boyutlarına bağlı olarak artma (genleşme) veya azalma (büzülme) meydana gelir. Metallerin ısı genleşme katsayısı, doğal taş, pişmiş toprak ürünü gibi seramik bünyeli, ahşap, plastikler gibi polimer bünyeli cisimlerin ısı genleşme katsayısından yüksektir. Cisimlerin bu temel fiziksel özelliğinden dolayı ısı genleşme katsayısı farklı malzemeler bir arada kullanıldığında sıcaklık değişimlerinde, özellikle birleşim bölgelerinde ek gerilmeler doğacağı için çatlak ve kırılmalar olacağı açıktır. Bu olaya, ahşap ve çinkonun birarada kullanıldığı ahşap yapılarda atmosferdeki sıcaklık değişimleri ile meydana gelen hasarlar, çelik yapıların yangın etkisine maruz kalması durumunda ısı genleşmeler nedeni ile doğacak gerilmelerin özellikle düğüm noktalarındaki hasarlar, hatta ani yıkılmalar, betonarme yapılarda ısı genleşmeler nedeni ile meydana gelen aderans kayıpları ve hasarlar örnek gösterilebilir.

Korozyon: Doğada altın ve platin dışındaki metallerin tamamı oksitler, karbonatlar, sülfatlar ve silikatlar olarak bileşikler halinde bulunur, enerjileri düşük olduğundan kararlı yapıya sahiptirler. Metalleri bileşiklerinden ayırmak (metal üretimi) zorlu bir süreçtir. Bu süreç, **büyük miktarlarda hammadde, enerji ve insan gücünün harcanması ile gerçekleşir. Metallerin doğadaki asıl durumlarına dönme eğilimi korozyon** olayının gerçek nedenidir. Elektrokimyasal bir olay olan korozyon, metalin su, nem ve havanın oksijeninden etkilenerek kütle kaybına uğramasıdır. Oluşan korozyon ürünlerinin hacmi, metalin hacminden yaklaşık bir ilâ altı(1-6) kat daha büyük olabileceği için tarihi yapılarda özellikle gergi elemanlarının saplandığı sütunlarda ve betonarme yapılarda çatlamlara ve parça atmalarına neden olur.



Şekil 4.13 Demirin atmosferik korozyonu ve korozyon ürünlerindeki hacim artışı (F. Aköz, vd., 2014)



a) Demir yüzeyinde kütle kaybı



b) Demir elemanda noktasal kayıp (A. Davey,, vd 2009)



c) Gergi çubuğunun doğal taş çatlatması (F. Aköz)

Şekil 4.14 Demirde Korozyon hasarına örnekler

1.6. Beton ve Özellikleri

Kireç-puzolan karışımı bağlayıcılarda da değinildiği gibi Romalılar kirece Vezüv volkanı yakınındaki Pozzuoli toprağını katarak bir tür hidrolik bağlayıcı üretmişler, bu bağlayıcı içine kum-çakıl katarak beton elde etmişlerdir. Daha önce Yunanlılar aynı işi kireç ve Thera (Santorini adası) toprağı ile gerçekleştirmişlerdir. Burada amaç, puzolanik reaksiyon sayesinde çimentonun ana taşıyıcıları olan kalsiyumsilikat ve kalsiyumalüminatları elde edebilmek, böylece suda çözülmeyen daha yüksek dayanımlı bir bağlayıcı elde etmektir. Bu puzolanik etki, Ön Asya'da metakaolene dönüşen pişirilmiş kilin (tuğlanın) kirece katılması ile Romalılardan ve Yunanlılardan çok önce sağlanabilmişti. Örneğin Çayönü'nde, İsrail'in Yiftah-El ve Ürdün'ün Eriha (Jericho) bölgelerinde yapılan kazılarda çok yüksek dayanımlı (35 MPa kadar), parlak, iyi sıkışmış yer döşemeleri bulunmuştur. Bu örneklerde yapılan mineralojik analizlerden bunların kireç, puzolanik toprak ve pişmiş kil ile kum-çakıl içerdikleri saptanmıştır. Bu bileşim betondur ve yukarıda da işaret edildiği gibi Roma döneminden önce üretilmiştir [Akman, M. S., 2003].

Anadolu'da iç ve dış yüzeyi doğal taş, orta kısmı beton özelliklerine sahip malzeme ile doldurulmuş ve günümüze kadar ulaşmış yapılar mevcuttur. Özetle geçmişte kirece doğal puzolan veya metakaolene dönüşen kalsine edilmiş kil (tuğla tozu) katılarak elde edilen hidrolik bağlayıcı ve harcından daha iri agregalar kullanılarak üretilmiş, basıç dayanımı yüksek malzemeler beton olarak adlandırılmıştır. Bu malzemenin taşıyıcı nitelik kazanmasında hidrolik bağlayıcıların ve iri agregaların etkisi vardır. Özellikle 20. yy başlarında çimentonun kullanılmaya başlaması ile bu malzemenin fazla alternatifi olmaması, kolay elde edilebilir olması gibi nedenlerle tarihi yapıların bir çoğunda onarımlarda kesme doğal taş yerine betonda üretilmiş bloklar da kullanılmıştır. (Kaynak ?)



Şekil 4.15 * 'in retorasyonunda kemerde beton blok kullanımına örnek (Z. Ahunbay)

Basınç dayanımı ile denetlenen ve gevrek bir malzeme olan beton, günümüzde matris fazı çimento hamuru, dağınık fazı mineral kökenli ince agregası (kum/kırma kum) ve iri agregadan (çakıl/kırma taş) oluşan, gerekli ise katkı maddesi de katılarak üretilen daneli kompozit bir malzemedir. Çok farklı yapıların üretiminde kullanılan betondan işlenebilir olması, yeterli dayanıma sahip olması, dış ortam koşullarına dayanıklı olması gibi üç temel özellik beklenir (Akman, M., S., 1987).

4.7.1. Beton Hasarları

Beton, çok farklı yapıların üretimine olanak veren, üretimi diğer malzemelere ve yapım sistemlerine göre kolay ve ekonomik bir malzemedir. Betonda mekanik etkilerin neden olduğu hasarlardan başka çoğunlukla dış ortamdaki su, özellikle zararlı sular hasara neden olur. Alkali-Agrega Reaktivitesi (AAR) gibi bozulmalar dışında zararlı suların ve/veya havanın oluşturduğu kimyasal nedenlere dayanan hasarlar, ıslanma-kuruma, donma-çözülme, aşınma, oyulma gibi fiziksel faktörlerin etkisi ile daha büyük boyutlara ulaşır. Sertliği düşük sular, magnezyum, sodyum, amonyum, klorür gibi tuzlar içeren sular betonda farklı reaksiyonlara ve hasarlara neden olur, bunlar zararlı sulardır ve etkileri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

a. Sertliği düşük suların etkisi

Suyun sertliği, içinde bulunan CaO miktarına göre değişir ve Alman sertlik derecesi (1 Alman sertlik derecesi: 10mg/l CaO) ile değerlendirilir. Sertliği 2'den düşük sular, kireç harçlarındaki kireci $[Ca(OH)_2]$ **çözer, kütleden uzaklaştırır, çözülme-yıkınma sonucu harçta boşluk oranı artar ve zararlı etkilere daha açık hale gelir; suyun çözme özelliği yüksek ise olay daha da hızlanır** (Akman, M. S., 1992). Bu sular, betonda da benzer etkiyi yapar, başta

çimentonun hidratasyon ürünlerinden serbest kireci $[Ca(OH)_2]$ **çözmesi, kütleden uzaklaştırması bir başka deyişle** betonun yıkanması şeklinde etki eder. Harçlarda olduğu gibi ancak biraz daha yavaş, **çözülme-yıkanma** ile betonda boşluk oranı artar. Bu tip korozyona haliç gibi tatlı su oranı nispeten yüksek olan deniz yapılarında rastlanır.

b. Asitli suların etkisi

Harçlara, doğal taşlara ve betona etki eden asitli sulara en iyi örnek, **çevre kirliliği nedeni ile** atmosferde bulunan karbondioksit (CO_2) ve **kükürtriksit (SO_3)** gibi iki temel kirletici gazlardır. Bunların, havanın **içindeki su** buharı ile tepkimeleri sonucu sırasıyla karbonik asit (H_2CO_3) ve sülfirik asit (H_2SO_4) ortaya çıkar. Karbonik asitli suların **etkisi ile** harçlarda ve betondaki hidrate kireç $[Ca(OH)_2]$, önce bikarbonata sonra tekrar kalsiyumkarbonata dönüşür, suyun bulunduğu ortamda yüzeye taşınır; taşınan kalsiyumkarbonat, suyun buharlaşması sonucu yüzeyde birikerek, beyaz lekeler oluşturur. Bu olaya “**çiçeklenme**” denir. Karbonik asitli sular, puzolanlı harçlara ve sukirecine de etki eder, kalsiyumsilikat hidratın da çözülüp yıkanmasına, taşınmasına neden olur. Asitli suların neden olduğu bu tür hasarlar, sadece harçlarda ve betonda değil, tarihi yapılardaki kalsiyum karbonat esaslı doğal taşlarda da sıklıkla görülmektedir. Bu nedenle tarihi yapılardaki hasarlarda hava kirliliği çok önemli bir faktördür.

c. Sülfatlı suların etkisi

Sülfatlı sular ile harç veya beton boşlukları içine süzülen SO_4^{2-} anyonları serbest kireç $[Ca(OH)_2]$ ile birleşerek alçıtaşına ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) dönüşür. Bu olayda alçı taşı ile birlikte sülfat tuzunun katyonuna bağlı olarak NaOH gibi suda eriyen veya $Mg(OH)_2$ gibi suda erimeyen reaksiyon ürünleri de oluşur. Oluşan kristal yapıları katı cisim, kütlenin ve hacmin artmasına neden olur, çeperlere basınç yapar ve tahribata yol açar. Ancak magnezyum sülfat çözeltisinin hacim artışından başka eritme özelliği de vardır, Mg^{2+} iyonu içeren sular **çimentonun esas öğeleri ile kimyasal tepkimeler sonucunda betonun erimesine-çözülmesine neden olur** (Aköz, F., vd., 1995; Türker, F., vd., 1997)

d. Klorürlü suların etkisi

Klorürler, harçlara ve betona agregalarla, karma suyu, priz hızlandırıcı kimyasal katkıları, deniz suyu veya atmosfer etkisi, yol ve köprülerde kullanılan buz çözücü tuzlar, bazı kaplıca suları, endüstride üretimin bileşenleri veya atıkları ile karışır ve/veya bulaşır. Kireç harçlarında değil ama çimento harçlarında ve betonda karışımına giren veya dışarıdan nüfuz eden klorür iyonlarının tamamı boşluk suyunda serbest halde değildir; bir kısmı çimento hidratasyon ürünleri ile bağlanır, bir kısmı da çimento hidratları tarafından adsorbe edilir. Bağlanmayan veya adsorbe edilmeyen Cl^- iyonları serbest halde kalır, işte bu serbest haldeki klorür iyonları betonarme yapılarda ciddi hasarlara yol açar; özetle klorürler, harçlardan betondan daha çok donatının korozyonuna neden olur (Aköz, F., vd., 1996)

e. Diğer zararlı sular

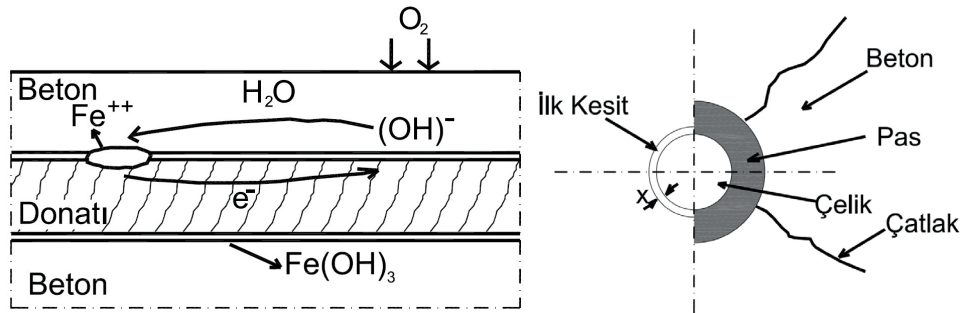
Sülfatlı, karbonik asitli, klorürlü sulardan başka yapının işlevine ve bulunduğu ortamın durumuna göre çeşitli yağlar, nitratlar, ağır metaller gibi zararlı çözeltiler de harçlara, betona ve betonarmeye etki eder, korozyona neden olur; yapının servis ömrünü doğrudan veya dolaylı olarak etkiler.

4.8. Betonarme

Betonarme, yapı üretiminde 19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren kullanılmaya başlanmış olsa da betonun çeliği koruyucu özelliği ve inşaat teknolojisine getirdiği yeni olanaklar nedeni ile günümüzde yapı teknolojisinin esas taşıyıcı malzemesi haline gelmiştir. Erken dönemlerde donatı olarak yuvarlak demir, demir lama ve rabis teli (ferrocement) de kullanılmıştır. Tarihi yapılarda çelik profilin içinin betonla doldurulması sonucunda üretilen elemanlar ferbeton olarak adlandırılmıştır. Beton ile çeliğin birbirine yapışmasının/aderansının iyi, termik genleşme katsayılarının birbirine yakın ve her ikisinin de yük taşıyor olması sayesinde bu iki malzeme kullanılarak monolitik yapı sistemleri üretilabilmektedir. Betonarme elemanlarda beton, basınç gerilmelerini karşıladığı gibi metal donatıyı sıcaklık artışına; dolayısı ile ısı genleşmelere, bazik özelliği ile de korozyona karşı çok iyi korur. Ancak, çeşitli **çevresel etkilerle meydana gelebilecek** donatı korozyonu sonucu beton-çelik arayüzünde aderans kaybı olur; beton ile çelik birlikte çalışamaz hale gelir; yapı güvenliği zaafa uğrar.

4.8.1 Betonarme hasarı

Betonarme yapının taşıyıcı sistemi doğru, kesitleri ve işçiliği yeterli, matris fazını oluşturan betonun **gözenekliliği (porozitesi) düşük**, örtü betonu kalınlığı yeterli ve sürekli ise betonarme elemanın mekanik yüklere ve çevresel etkilere karşı önemli ölçüde dayanıklı olması beklenir. Ancak hava ile temas halinde olan bir betonarme yapıda, beton içindeki su ve O_2 miktarı, donatı korozyonunun oluşmasına neden olabilecek seviyededir. Donatı çeliğinin korozyonu, anotta ve katotta meydana gelen elektro-kimyasal reaksiyonlar ile açıklanabilir (Aköz, F., Çakır, C., 2014).



Şekil 4.15 Donatının korozyonu ve betonarme elemanda hasar oluşumu (N. Yüzer, 1998; C. Andrade, vd., 1993)

Betonun geçirimli olması, ortamda su, oksijen ve Cl^- iyonu bulunması ve karbonatlaşma ile ortamın pH'ının 11'in altına düşmesi gibi nedenlerle donatı yüzeyindeki pasif demiroksit tabakası tahrip olur, donatı korozyonu süreklilik kazanır. Donatı kesitindeki kayıp, mikron mertebesinde olsa bile korozyon ürünündeki hacim artışı nedeni ile başlangıçta aderans dayanımında belirgin artış olur, çevresini saran betonda çekme gerilmeleri doğar, çekme dayanımı ve çekmedeki şekildeğiştirme oranı çok düşük olan betonda başlangıçta kılcal çatlaklar meydana gelir, bu çatlaklar zamanla artar, örtü betonunda çatlama, aderans dayanımında azalma, örtü betonundaki çatlaklarda artış, kapak atma ve tabaka halinde ayrılma gibi hasarlar gözlenir.

Hasarların en aza indirilmesi için betonun basınç dayanımı yüksek, geçirimliliği düşük, örtü betonu kalınlığı yeterli ve sürekli olmalı, tasarım ve uygulamanın en az hata ile gerçekleştirilmesine azami özen gösterilmeli, gerekli bakım-onarım zamanında ve eksiksiz olarak yapılmalıdır.

KAYNAKLAR (BÖLÜM 4)

- Eldem, N.P.** (1976), Mühendislik Jeolojisi, İ.D.M.M. Akademisi Yayınları Sayı:156, Kutulmuş Matbaası.
- TS 699/T1** (2000), Tabii Taşları- Muayene ve Deney Metotları, TSE, Ankara.
- Aköz, F.**, (2016) , Yalıtım, Bölüm 3. Yapılarda Su Yalıtımı, TMMOB, Makina Mühendisleri Odası, Yayın No: MMO/664, İstanbul.
- Saraylı, M.A.**, (1978) Yapı Malzemeleri Bilimi, Tanımlar ve Özellikler, Çözülmüş Örneklerle, Kutulmuş Matbaası, İstanbul.
- Onaran, K.**, (2000), Malzeme Bilimi, 8. Baskı, Bilim Teknik Yayınevi, ISBN: 975 540-017-6.
- MEB2013**, (2013) İnşaat Teknolojisi, Taş Bozulmalarını Teşhis Etme, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara,
- Özata, Ş.**, (2015), Kapadokya Bölgesi Kaya Oyma Yapı Sorunları ve Çözüm Önerileri, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana-bilim Dalı, Yapı Programı, Yüksek Lisans Tezi
- Küçükşıkaya, A.G.**, (2004), Taşların Bozulma Nedenleri Koruma Yöntemleri, 1. Baskı, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Thomas , S.**, (2014), “Materials and Techniques for the Restoration of Monuments Seminar-Lichens and Archaeological Monuments Basılmamış Seminer Notları”, Aristotle University of Thessaloniki, Yunanistan
- Akman, M. S.**, (2003) “Yapı Malzemelerinin Tarihsel Gelişimi” TMH, Türkiye Mühendislik Haberleri, sayı 426-2003/4, s:30-36.
- Enüstün, B.**, (1947), Yapı Malzemesi, Harç, Beton, Bayındırlık Bakanlığı Neşriyatı, seri:6, sayı:19, Çankaya Matbaası, Ankara
- Kafesçioğlu, R.,Gürdal, E.**, (1985), Çağdaş Yapı Malzemesi, Alker, Alçılı Kerpiç, Seyhan Matbaası,
- Akman, M. S.**, (1987) “Yapı Malzemeleri” STANBUL Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Yüzer, N.**, (2015), “Tarihi Yapıların Tuğla Duvar Özgün Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi ve Yük Altında Davranışının Model Deneylerle Araştırılması”, TÜBİTAK 111M568 No.lu Proje, Sonuç Raporu
- Aköz, F. ve Yüzer, N.**, (2009) İstanbul İli Beşiktaş İlçesi Ortaköy Mahallesi 19 Pafta 40 Ada 24 Parselde Bulunan Fehime Sultan Yalısı Ek Yapılarına Ait Malzeme İncelemesi Teknik Raporu.
- Kaynak Linki : <http://www.siirtmanset.com/kultur-sanat/siirtteki-tarihi-yapilar-casla-hayat-buluyor-h5425.html>
- İpekçi, Aydın, C., Aköz, F.**, (2010) Ceramic and Mould Gypsum Properties Used for Forming Ceramics, *Sigma*, Mühendislik ve Fen bilimleri Dergisi, 28, 249-258, PhD Review Paper / Doktora Çalışması Derleme Makalesi.
- Postacioğlu, B.**, (1986), Beton, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton. Cilt 1, Matbaa Teknisyenleri Basımevi.
- Oktay, D. ve Yüzer, N.**, (2013) “Tarihi Yapıların Onarımında Kullanılan Enjeksiyon Yönteminin (Grouting) Değerlendirilmesi”, 4. Tarihi Yapıların Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, 27-29 Kasım 2013, İstanbul, 377-386.
- TS EN 445**, (2012) Şerbet-Öngerilmeli Tendonlar İçin Deney Yöntemleri, TSE, Ankara.
- TS EN 447**, (2012) Şerbet-Öngerilmeli Tendonlar İçin Temel Gerekliler, TSE, Ankara.
- EN 1771**, (2004). Products and systems for the protection and repair of concrete structures - test methods-determination of injectability using the sand column test.
- Oktay, D.**, (2017). Tarihi Kireç Harçlarına Uygun Enjeksiyon Malzemelerinin Üretilmesi ve Model Duvarlarda Uygulanmasının Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

TS EN 1015-11, (2000) Kagir Harcı-Deney Metotları-Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç Ve Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standardı.

Yüzer, N., Oktay, D., Ulukaya, S. ve Gökyiğit-Arpacı, Y., (2015) "Mechanical Behavior of Two-Wythe Brick Masonry Walls Injected with Hydraulic Lime Grout", REHAB 2nd International Conference on Preservation, Maintenance and Rehabilitation of Historical Buildings and Structures, , 22-24 July 2015, Porto, 2: 879-889.

Karagüler, M.,E., Kaya, T.,G., (2017), The Effect of Relative Humidity and Moisture to the Durability of Spruce and Laminated Timber. AZ ITU Journal,14, 103-110.

Duman, N., Ökten, S., (1988) ikinci baskı, "Ahşap Yapı Dersleri" Yapı Endüstri Merkezi/Teknik Yayınları.

TS 647, (1979), Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, TSE, Ankara.

Seçkin, N.P., (2012a) "*İstanbul'un Suriçi* Bölgesindeki Tarihi Yapıların Bozulma Nedenleri" 6.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, Kongre Bildirileri, s.150-159, TMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi, 7-9 Kasım, İstanbul.

Seçkin, N.P., (2012b) "The Identification of Wood Types in Traditional Timber Structures in Süleymaniye and Zeyrek Districts of Historical Peninsula". *ITU A|Z*, 9/1, pp.56-69, ISSN:1302-8324

Stuart S., Moy, J., Howard, W., Clarke J., (2009), "Strengthening wrought-iron structures using CFRP", Proceedings of the Institution of Civil Engineers Structures and Buildings 162, August 2009 Issue SB4, Pages 251–261, doi: 10.1680/stbu.2009.162.4

Davey, A., Mitchell, D., (2009) *Iron, the repair of wrought & cast iron*, Advice Series, Ed: Jacqui Donnelly, Government of Ireland Publication, ISBN 978-1-4064-2189-7

TS648, (1980), **Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları**, TSE, Ankara.

Aköz, F., Çakır, Ö., "Betonarmenin Korozyonu" Hazır Beton Dergisi THBB Yayın Organı Sayı: 124, s 70-85, Yıl:21, Temmuz-Ağustos 2014. "*Beton 2013 Kongresinde sunulmuştur.*"

Akman, M.,S., (1992), Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi, İTÜ, Rektörlüğü, Sayı:1481.

Aköz, F., Türker,F., Koral,S., Yüzer, N., (1995)"Effects of Raised Sodium Sulfate Resistance of Mortars with and without Silica Fume", Cement and Concrete Research, Vol. 25, pp. 1360-1368, 1995.

Türker,F., Aköz,F., Koral,S., Yüzer,N., (1997) "Effects of Magnesium Sulphate Concentration on the Sulphate Resistance of Mortars with and without Silica Fume"; Cement and Concrete Research, Vol.27, No. 2, pp 205-214.

Aköz,F., Yüzer,N., Koral,S., (1996)," Betonarme Çeliğinin Korozyonuna Sodyum Klorür ve Magnezyum Klorürün Etkileri" V.Korozyon Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi, Adana, 6-9 Kasım

Yüzer, N., (1998) "Silis Dumanı Katkılı Betonarme Elemanlara Klorür Etkisinin Hızlandırılmış Korozyon Deneyi ile Araştırılması", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi FBE.

Andrade, C., Alonso, C. ve Molina, F.J., (1993), "Cover Cracking as a Function of Bar Rebar Corrosion : Part I-Experimental Test", Materials and Structures, 26:453-464.

Tarihi Yapılarda Yapım Sistemleri

5. Tarihi Yapılarda Yapım Sistemleri

Tarihi yapılarda yapım sistemleri kaya oyma, yığma, ahşap, demir/çelik, beton ve erken betonarme olarak sınıflandırılabilir.

5.1. Kaya Oyma Yapılar

5.1.1. Kaya oyma yapı tanımı



Masif bir kayanın yerinde, yer üstünde veya yeraltında, insan eliyle oyulup şekillendirilmesiyle oluşturulan, büyü-tülebilir ve çoğaltılabilir özellikte yapılardır. Kaya oyma yapılar mekân yapma amacı ile oyulan yapılar olduğu için doğal yollarla oluşmuş oyuklar ve mağaralar bu yapı grubuna girmez.

Bu yapıların oluşturulmasında bölgede bulunan kayaların kolay şekillendirilebilme özelliği en önemli etkindir. Kaya oyma yapılarda, geleneksel mimaride kullanılan kemer, sütun, ayak, kubbe, tonoz gibi formlar kullanılmıştır.

5.1.2. Kaya oyma yapı hasarları

Kaya oyma yapılarda taş hasarlarına ek olarak (bkz. 4.1.2) hatalı onarım hasarları, vandalizm ve yapılan nitelsiz ekler sayılabilir.



Hatalı onarım hasarları, taşa veya taş ile oluşturulan elemanlara yapılan müdahalelerde çimento kullanımı, taş yüzeylerin boyanması, sıvanması ya da kaplanması ve onarımlarda hatalı malzeme ya da teknik kullanılması ile oluşan

hasarlardır. Çimentonun taş ile birlikte kullanımı, içerdği maddeler ve tuz nedeniyle taşla zarar verir. Çimentolu harç ile temas halinde olan taş yüzeylerinde, zaman içinde ayrışma, tuzlanma, parçalanma gibi bozulmalar oluşmaya başlar. Taş yüzeyini kapatıcı malzemeler kullanılması geçirgenlik ya da nefes alma özelliklerini olumsuz etkiler. Taşların kurumması geciktirdiği ve bünyelerine aldıkları su dışarı atlamadığı için taşta çeşitli bozulmalar meydana gelir. Onarımda kullanılacak malzemenin ya da tekniğin hatalı olması taşta farklı hasarlar ortaya çıkarabilir. Uygun olmayan kimyasal, mekanik ya da sulu temizlik yöntemleri, yanlış taş birleştirme teknikleri gibi onarım hasarları yüzey kaybı, oyuklanma, çatlama, tuzlanma, renk değişimi, çiçeklenme, kavlanma gibi hasarlara yol açabilir [1].

Vandalizm, istemli ve bilinçli olarak kişiye ya da kamu malına zarar verilmesidir. Kaya oyma yapılarda vandalizm genelde fresklerin üzerinin kazınması, tahrip edilmesi ve kaya mekânların çeşitli etkenlerle bilinçli yıkılması şeklinde gerçekleşir.



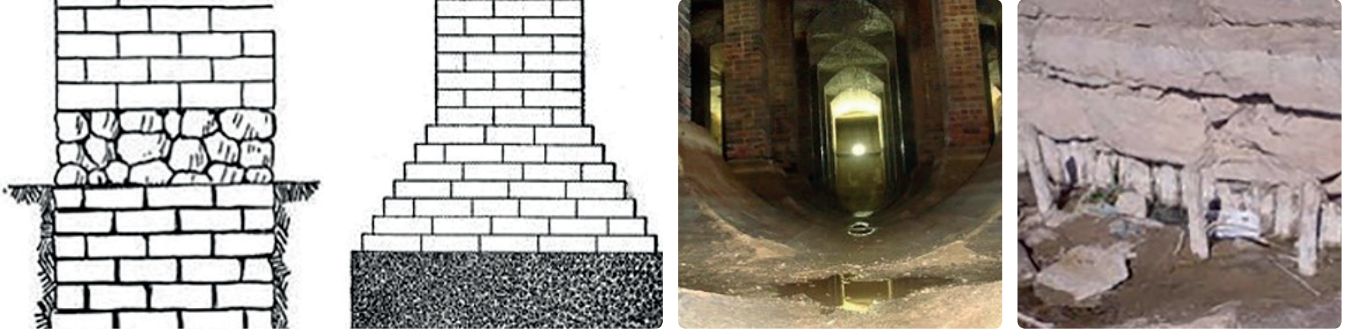
Niteliksiz ekler, taşlara veya taş ile oluşturulan elemanlara yapılan, estetik bütünlüğü yok eden ve bozulmalara neden olan çeşitli eklentilerin genel adıdır. Çimento katkılı malzemenin taş ile birlikte kullanımı taşla zarar verirken, çeliğin koruma önlemi alınmadan taş ile kullanılması korozyonu tetikleyerek taşın ve çeliğin bozulmasına neden olabilir.

5.2. Taş, Tuğla, Kerpiç ve Beton Yığma Yapılar:

Taş, tuğla, kerpiç ve beton blokların üst üste sıralanması ya da kerpiç hamuru ya da ıslak betonun kalıp içinde şekillendirilmesiyle oluşturulur. Taş bloklar moloz taş, kaba ya da ince yonu olarak kuru, harçlı ya da metal kenetlerle; tuğla, kerpiç ve beton bloklar harçla birleştirilir. Yığma yapıların taşıyıcı elemanları temel, sütun, ayak, duvar, döşeme, tonoz ve kubbedir.

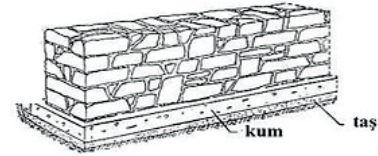
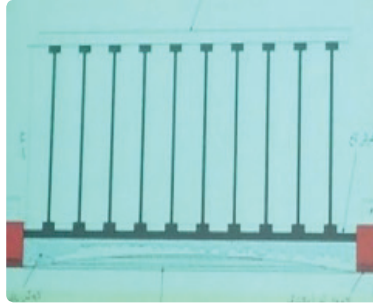
5.2.1. Temeller

Temeller, taş, tuğla ve kerpiç duvarların temel duvarları dolu ya da üç cidarlı taş duvarlardır. Kalın duvar/ayakların temel duvarları, aynı kalınlıkta toprağa iner. İnce duvar/ayakların temelleri toprak içinde basamaklı (ampatmanlı) olarak genişler. Duvar/ayaklar sık düzenlenmiş ise ayaklar ters kemer, duvarlar ters tonoz ile birleştirilir. Zayıf zeminin iyileştirilmesi için ahşap kazıklar kullanılır. Ahşap kazıklar birbirine ahşap ızgara ile bağlanıp kireç harcı ile örtüldükten sonra yapı temelleri bu tabaka üzerinde inşa edilir.



Temeller; a) Kalın duvar b) Ampatmanlı temel, c) Ters tonoz d) Kazık temel

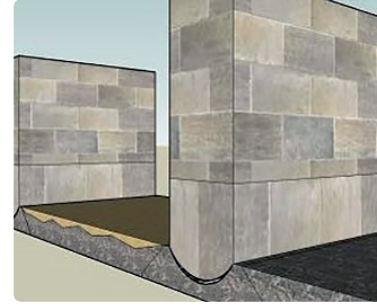
Genellikle temeller sert zemine oturtulmamış, sert zeminin derinliğine göre küçük taşlarla bir yastık tabakaya ya da temel duvarı altında taş ya da ahşap kütüklerle yapılmış esnek bir tabana oturtulmuştur.



Sert zemin derinde ise temel altına kum, çakıl ya da küçük taşlarla bir yastık tabaka serilir. Anadolu'da 1960'lara kadar yapı temelleri 40-50 cm kum üzerine inşa edilmiştir.



Sert zemin yüzeye yakınsa temel duvarı altına iki doğrultuda ahşap kütükler, bir doğrultuda taş diğer doğrultuda ahşap kütükler ya da üç tabaka kerpiç bloklar yerleştirilerek esnek bir taban oluşturulur.



Kaya tabakası yüzeyde ise kaya tekne şeklinde oyularak temel duvarının taşları bu tekneye, araya konan hayvan postu, kömür kırıntıları ya da ağaç dalları üzerine yerleştirilir [Secundus,1601]

5.2.2. Sütun, ayak



Sütun: Tek ya da birkaç blok taşın üst üste, kuru ya da metal zıvanalarla birleştirilmesiyle oluşturulmuş düşey taşıyıcı elemanlardır. En-kesiti bir tek taşıdır.



Ayak: Taş, tuğla ya da kerpiç bloklarla örülmüş düşey taşıyıcı elemanlardır. En-kesiti birçok blokla oluşturulmuş, dikdörtgen ya da daire formlu duvar parçalarıdır.

5.2.3. Duvarlar

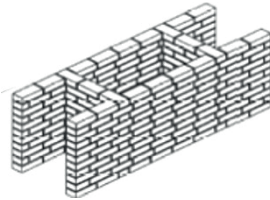
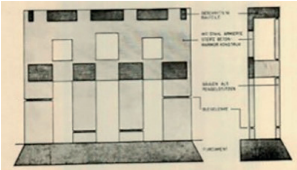
5.2.3.1. Duvarların oluşturulması

Yığma kâgir duvarlar, taş, tuğla, kerpiç ya da beton blokların örülmesiyle ya da kerpiç hamuru ve sıvı betonun kalıp içine dökülmesiyle oluşturulur.

Taş, tuğla ya da kerpiç blokların örülmesiyle oluşturulmuş duvarlar; dolu, çift cidarlı ya da üç cidarlı yapılırlar.



Dolu Duvar: Tüm en-kesiti 1, 2, 3 sıra taş, tuğla ya da kerpiç ile yapılmış duvardır.



Çift cidarlı duvar: Arası boş, iki yüzü taş ya da tuğla duvardır.



Üç cidarlı duvar:

a) İki sıra duvar arası taş, tuğla molozu ile harç dolu duvarlar (sandık duvar)



Üç cidarlı duvar:

b) İki sıra kaplama taş arası taşıyıcı kireç betonu olan duvarlar



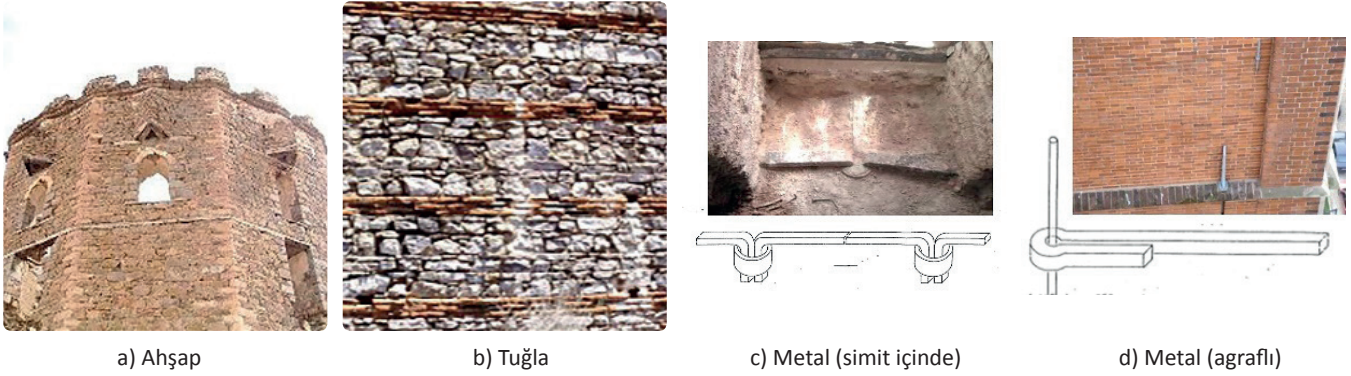
Kerpiç hamuru ve beton yığma duvarlar;

Kerpiç hamurunun kalıp içine dökülüp sıkıştırılmasıyla ya da yığma olarak şekillendirilmesi ile betonun kalıp içine dökülüp sıkıştırılmasıyla (som beton) oluşturulur.

5.2.3.2. Duvarların geleneksel berkitilmesi

Duvar yüksekliğince:

Kalın duvarların iki yüzünün birbirlerine bağlanmasında ya da duvarların sağlamlığını artırmak için ve komşu duvarları birbirine bağlamak için hatıllar kullanılmıştır. Hatıllar ahşap, tuğla ya da metal (demir ya da bakır) lamalar olabilir. Metal çubuklar ya simit içine ankre edilir ya da agraflar şeklinde dışarıdan bağlanır.



Şekil 5.2. Hatlı örnekleri

Duvar uzunluğunca:

Uzun duvarların düzlemlerine dik etkilere karşı güvenliğini sağlamak amacıyla duvarlarda belli aralıklarda kendisine dik duvarlar, duvar ile aynı malzemeden yer yer duvarın kalınlaştırılması ve destek ayakları düzenlenerek yapılmıştır. İşlev gereği uzun duvarlara dik doğrultuda yapılmış duvarlar veya belirli aralıklarla yapılmış kuleler uzun duvarı desteklemektedir.



Duvar; a) Kendine dik duvaralar, b) Duvar kalınlaştırılması ya da c,d) Destek ayakları (fotolar: G.Arun)

Duvar birleşim yerlerinde:

Bazı taş bloklarla oluşturulmuş duvar birleşimleri daha dayanımlı bir taş ile tuğla ve kerpiç duvar birleşimleri ahşap ile berkitilir.



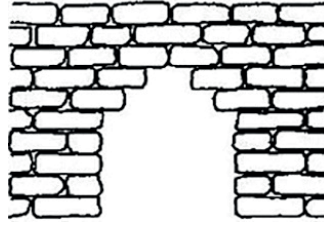
5.2.3.3 Duvarda boşluk oluşturmak

Duvarda boşluk oluşturma lento, bindirmeli kemer ya da kemer ile sağlanmıştır.

Boşluk üzerini doğrusal olması için lento ya da düz kemer kullanılır.

Lento: tek parça ahşap, taş ya da demir profillerin boşluk kenarlarına uygun şekilde oturtulmasıyla

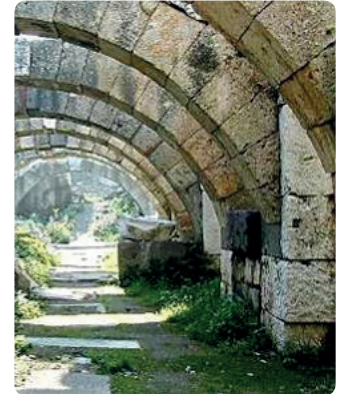
Düz kemer: taş ya da tuğla blokların boşluk kenarlarından 600 yapacak şekilde açılı sıralanmasıyla oluşturulur.



Bindirmeli kemer (taşirtmalı sistem): Taş ya da tuğla blokların yatay olarak boşluk oluşturulacak kısma 1/3 taşırılmasıyla yapılan duvar parçalarıdır

Kemer: Taş ya da tuğla blokların radyal sıralanarak eğriliğin oluşturulduğu yapı elemanlarıdır.

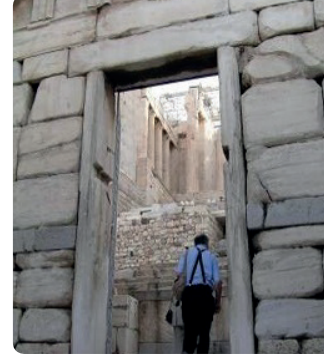
Kemer, eğriliğin basık ya da dik olmasına bağlı olarak mesnetlerine itki verir. Bu itkinin zemine iletilmesi için mesnetlerde yeterli bir duvar parçası, itkinin yönünü değiştirecek daha küçük bir kemer ve ağırlık kuleleri yapılır.



5.2.4. Çatı ve Döşemeler

Yığma kâgir duvarlar arasını örten döşeme ve çatı, ahşap kiriş ve merteklerle, volta döşemeyle, lentolarla ya da tonoz ve kubbelerle yapılmıştır.

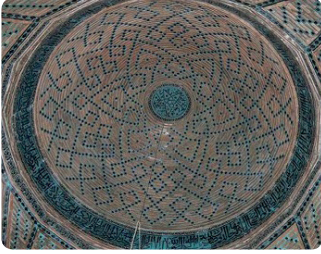
Ahşap kiriş ve mertekler: Tek doğrultuda, 30-50 cm aralıklarla dizilen ahşap kirişler üzerinin ahşap kaplanması ile oluşturulur.



Volta döşeme: Genellikle demir profiller arasının tuğla ya da taş tonozlar örülmesiyle ya da beton bloklar yerleştirilmesiyle yapılır.

Kasetli döşeme: Döşeme yapılacak boş alanın uygun uzunlukta taşlar ile ya da tuğla düz kemerlerle küçültülerek kapatılması ile yapılır.





Tonoz ve kubbeler: Taş, tuğla ya da kerpiç blokların bindirmeli olarak ya da radyal dizilerek oluşturulduğu eğrilikli yüzeylerdir.

Tonoz ve kubbeler: Bindirmeli dizimde tonoz ya da kubbe duvar çalışması yapar. Radyal dizimde ise tonoz ve kubbenin çalışması geometrisine bağlıdır.

Radyal dizimde bünyesinde çekme bulunan yüzeylerde çekme gerilmeleri bu bölgenin duvar malzemesiyle artırılması, bindirmeli örgü sistemine dönülmesi ya da yüzeye dik tonoz/kemerler düzenlenmesi ile bertaraf edilir.

a. Tonoz geometrisi radyal dizimde: Silindirik, tor, konik, konoid, ya da eliptik paraboloid olabilir.

Silindirik yüzey, bir eğrinin bir doğru üzerinde kendine paralel kaydırılması ile oluşturulur. Asal eksenlerinin biri doğru, diğeri daire, elips vb. herhangi bir eğri olabilir. Yüzeydeki asal gerilmeler; eğri eksen üzerinde basınç (kemer çalışması), uzunluğu doğrultusunda üst kısımda basınç, eteklerde çekme (kiriş çalışması) gerilmeleridir.

Tor yüzey, bir eğrinin düzlemi dışında bir eksen etrafında döndürülmesiyle oluşturulur. Yüzeydeki asal gerilmeler; döndürülen eğri üzerinde basınç, dairesel eğri üzerinde tepede basınç, eteklerde çekme gerilmeleridir.

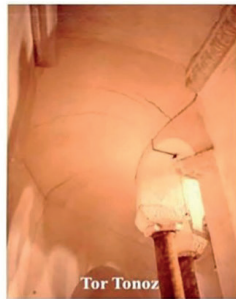
Konik yüzey, eğik konumdaki bir eğrinin düzlemi içinde bir eksen etrafında döndürülmesiyle oluşturulur. Asal eksenlerinden birinin daire diğeri doğru olan konik tonoz gerilmeleri silindirik tonoz ile aynıdır.

Konoid yüzey, bir doğrunun iki farklı eğri (biri doğru, diğeri eğri) üzerinde kaydırılmasıyla oluşturulur. Asal gerilmeleri; eğri üzerinde basınç, diyagonal olarak çekme gerilmeleridir.

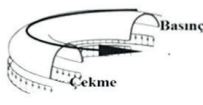
Eliptik paraboloid, yüzey, bir eğrinin kendine paralel, eğrilik merkezi aynı tarafta bir başka eğri üzerinde kaydırılmasıyla oluşturulan bir yüzeydir. Asal gerilmeleri her iki asal eğri doğrultusunda da basınçtır.



Silindirik Tonoz



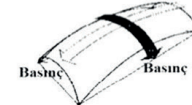
Tor Tonoz



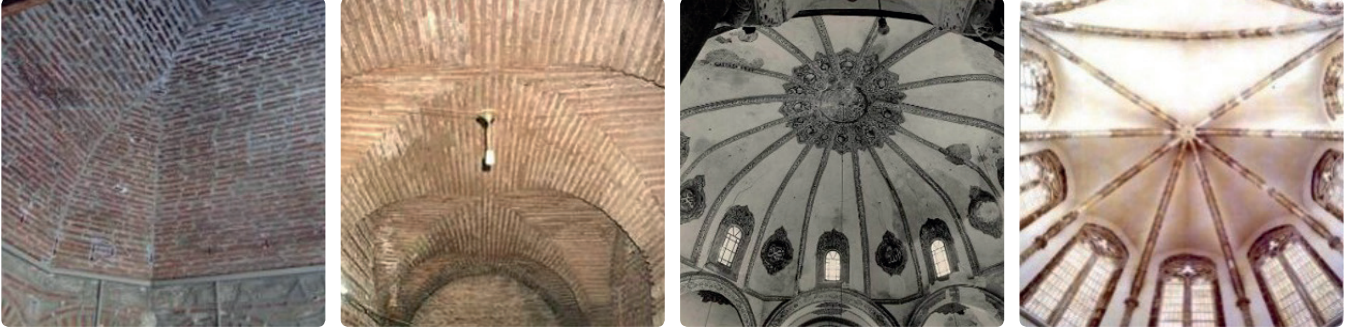
Konoid Tonoz



Eliptik Paraboloid

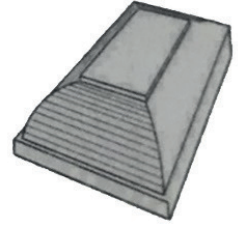


b. Kareye yakın planların tonozlarla örtülmesi: Bu tonozların kesiştirilmesiyle manastır tonozu ya da çapraz tonoz, dönele sıralanmasıyla dilimli tonoz ya da kemerler arasının tonoz ile doldurulmasıyla nervürlü tonoz elde edilir.

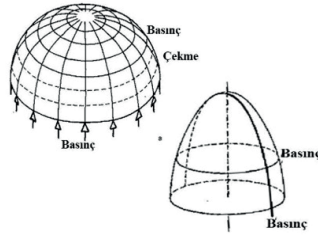


Tonozların kesiştirilmesi: a) Manastır tonozu, b) Çapraz tonoz, c) Dilimli tonoz, d) Nervürlü (kaburgalı) tonoz

Aynalı Tonoz: Manastır tonozun orta kısmı düz kemer döşeme ile kapatılmış şeklindedir. Manastır tonoz kısmı da genellikle bindirmeli yapılıdır.



c. Kubbe; bir daire, parabol ya da elips yayının döndürülmesiyle oluşturulur. Kubbe tabanı dairedir. Radyal dizimde kubbe çalışması, meridyen ve paraleller doğrultusunda farklıdır.

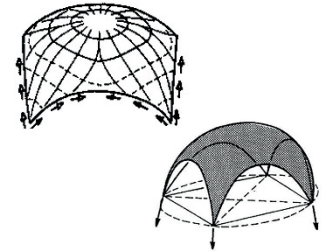


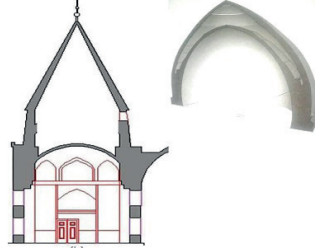
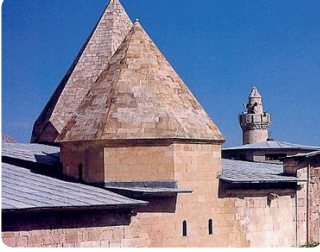
Kübe kubbe; kendi ağırlığı altında meridyen gerilmeleri basınç, paralel (halka) gerilmeleri yataydan ~520 altı çekme, üzeri basınçtır.

Paraboloid kubbenin her iki doğrultudaki gerilmeleri de basınçtır.

Kübe kubbenin düşey düzlemlerle kesilmesiyle yelken tonoz (pandantif kubbe) oluşturulur.

Yelken tonozun halka gerilmeleri eteklerde çekmedir.

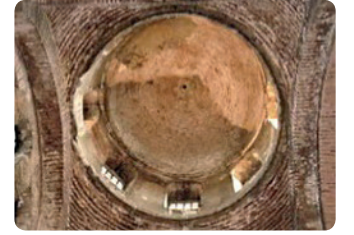
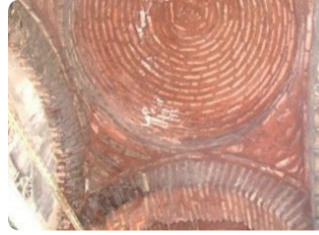




Kubbeler tek cidarlı ya da çift cidarlı yapılır. Her iki cidar radyal dizimde yapılabildiği gibi bindirmeli ya da biri radyal, diğeri bindirmeli yapılabilir.

Geçiş elemanları: Kubbe tabanı daire olduğu için kare planların örtülmesinde geçiş elemanları kullanılır. Bunlar:

Pendantif: Radyal dizimli pendantif kubbenin tepesinin yatay düzlemle kesilmesiyle oluşturulan üçgen parçadır. Radyal dizildiği için küre kubbenin eteklerinde halka gerilmeleri çekmeye çalışır.



Bindirmeli üçgen: Kare plan, köşelerde üçgen şeklinde bindirmeli örülerek kapatılır.

Tromp (tonoz bingi): Kare plandan, kubbe tabanının oturacağı, sekiz kemerli bir ara bölgedir. Köşeleri aşan kemerlerle duvarların arası yarım kubbe veya farklı örtilerle kapatılır. Bu köşe geçişleri tonoz bingi olarak adlandırılır.



Üçgenli kuşak (Türk üçgeni): Kare plan duvarların çeşitli şekillerde bindirmeli olarak örülmesiyle kubbe tabanına uygun bir açıklık oluşturmasıdır.

5.2.5. Yığma Kâgir Yapı Hasarları

Yığma yapıda hasar, çatlak, ezilme, parça kopmaları, ayrılma, düzlem içi-düzlem dışı deformasyonlar ve malzeme bozulması (bkz. malzeme ile ilgili bozulmalar) şeklinde ortaya çıkar. Bu hasarlar yapı sistemindeki, elemanlardaki ya da malzemelerdeki zayıf bölgeleri gösterir. Etkiyen yüklerin neden olduğu gerilmeler, yığma malzeme çekme dayanımını aştığında çatlaklar ortaya çıkar. Bu çatlaklar çekme yörüngelerine dik olarak başlar, sonra farklı yönlere doğru ilerler. Düzlem dışı deformasyonlar duvar şişmesi şeklindedir.

Yapıda hasar oluşturan etkiler; düşey yükler, deprem kuvvetleri, rüzgar yükleri temel oturması, trafik titreşimleri, patlama ve yanlış müdahale gibi doğal ve insandan kaynaklanan etkilerdir. Yapıda oluşan hasarlar ya da kusurlar, yapı elemanının yük taşıma ve şekil değiştirme kapasitesini, kalıcılığını (durabilite) ve görünüşünü etkiler. Rüzgar yükleri, atmosfer etkileri, kimyasal ve biyolojik etkiler, nem ve yangın malzeme zayıflamasına neden olduğu için Bölüm 4’de de ele alınmıştır.

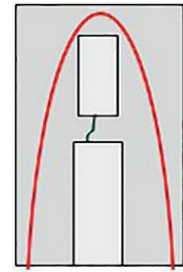
Düşey yükler; düşey yüklerin artması ya da azalması ile yapı elemanında ortaya çıkan hasarlardır. Duvar ya da ayaklara gelen basınç kuvveti malzeme dayanımını aştığında, öncelikle basınç kuvvetine paralel çatlaklar oluşur. Basınç kuvvetinin artmasıyla ezilme ve parça kopma ortaya çıkar.



Moloz dolgulu sandık duvarlarda: İç dolgunun taşıma gücü az ise dolgu malzemesi duvarın dış yüzlerine itki yaparak o bölgenin şişmesine neden olur. Duvarın düzlem dışı yer değiştirmesi yapının yıkılmasına yol açabilir.

Duvar düzlemine dik çekme gerilmeleri, iç çekirdek ile iyi bağlanmamış kalın duvarlarda iç çatlaklar ve ayrılma oluşturur.

Duvar boşluğu üzerinde: Düşey kuvvetlerin artması duvar boşluğu üzerinde kemerlenme (hafifletme kemeri şeklinde çatlaklar) oluşturur. Destek duvarının rijitliğine bağlı olarak hafifletme kemerlerinin yüksekliği artar ve itkileri azalır. Hafifletme kemeri altındaki kısım çatlayabilir, gevşeyebilir ve hatta düşebilir.

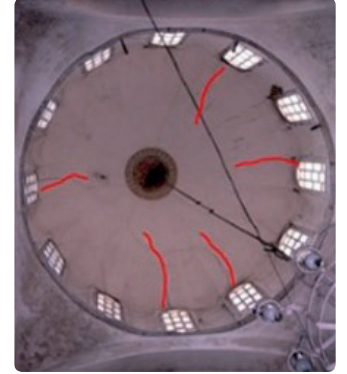




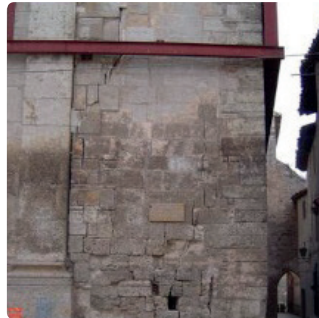
Kemerlerde düşey kuvvetlerin artması, iç halka ve dış halka arasında çatlaklar oluşturabilir. Ayrılan kısımların bağımsız olarak dengede olup olmadığı kontrol edilmelidir.

Bünyesinde çekme gerilmeleri olan tonozlarda, çekme bölgesindeki kalınlaştırma (ağırlık) azaldığında çekme bölgesi aktif hale gelir ve mesnetleri dışa doğru iterek mesnetlere paralel çatlaklar oluşturur.

Bünyesinde çekme gerilmeleri olan kubbelerde, çekme bölgesi aktif hale geldiğinde mesnetlere dik çatlaklar oluşturur. Kubbe çatlakları yüzeyde basınca çalışan kemer ya da kemerler sistemi oluşturuyorsa düşey kuvvetlere güvenli bir şekilde karşı koyar.



Temel oturması; yeraltı su seviyesindeki değişim, alana yalın kazılar ya da yapının yer altı su drenaj sisteminin bozulması nedeniyle oluşur. Temel oturmaları üst yapıda; malzeme ezilmesi, duvar düzlemi doğrultusunda kesme çatlakları, rijit gövde şekline dönme ve yıkıma yol açan denge bozulması oluşturur.



Bölgesel oturmalar, duvar yüzeyinde kemerlenme oluşturarak duvar parçalarının ayrılmasına yol açar.



Oturmalar, kemer mesnetlerinin hareketine neden olur. Kemer taşlarının derinliği yeterli kalınlıkta ise, bu hareket sonucu kemerde oluşacak üç mafsallı hareket uyumu sağlanır. Temel oturmaları sonucu mesnetlerin hareket etmesi, kubbe ve tonozda mesnetlere paralel çatlaklar oluşturur. Mesnetlerde itkinin yok olması kemer, tonoz ya da kubbenin yıkılmasına yol açar.

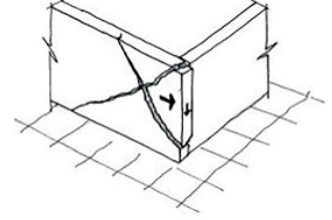
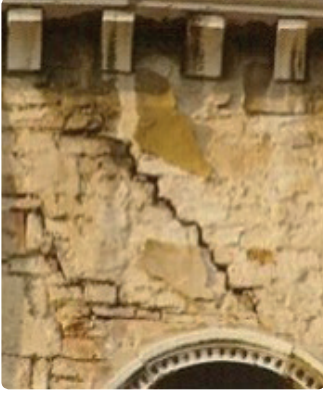
Farklı temel oturmaları, rijit cisim dönmesini ortaya çıkarabilir. Komşu duvarla zayıf bağlantılı ya da duvarlar tonoz ya da döşemeden gelen düzlemi dışında itkiler altındaysa duvar dışı doğru döner. Dönmenin çok oluşu, dengeyi bozar ve devrilmeye yol açar. Trafik titreşimleri, malzemeyi zayıflatır, blokları bağlayan harç ya da kenetlerde yorulmaya yol açarak birleşim yerlerinin açılmasına neden olur. Ayrıca, trafik nedeniyle ortaya çıkan egzoz gazları yüzey kararmasına, taş bloklarda kavlanma ve yapraklanmaya sebep olur.

Deprem Kuvvetleri, yapıda eksenel kuvvet, kesme kuvveti, eğilme ve burulma momentlerinden kaynaklanan hasarlar oluşturabilir.

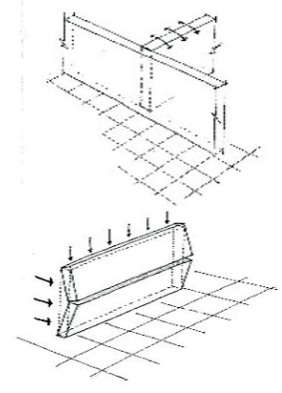


Yatay kuvvetler sütunlarda blokların kaymasına yol açar. Bloklar yeterli kalınlıktaysa, bloklar arasındaki sürtünme, kaymayı önler. Blokların dönmesi yıkılmaya yol açar. Birçok yığma sütunda kullanılan metal kenet ve halkalar blokların kaymasını ve yıkımı önler.

Deprem kuvvetleri duvarlarda düzlem içi ve düzlem dışı etkiler oluşturur. Duvarda hasarlar gerilme yoğunluğu olan bölgelerde oluşur. Kapı ve pencere kenarlarındaki hasarlar duvar düzlemine dik eğilme ya da duvar düzlemi içindeki kayma gerilmeleri nedeniyle ortaya çıkar.



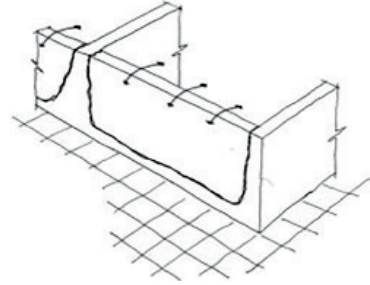
Duvar düzlemi doğrultusundaki gerilmeler eğik kayma çatlaklarını oluşturur. Çatlaklar ortaya çıkarken duvardaki sürtünme, duvar düzlemi içindeki yer değiştirmeleri sınırlar. Çatlaklar oluşurken dinamik karakteristikler değişir; doğal frekans azalır, yer değiştirmeler artar. Rijitliği azalan yapının titreşim periyodu uzar. Tekrarlı yer sarsıntıları sırasında eğik çatlaklar büyür. Duvar yüzeyinde, çatlakların kesişmesiyle bağımsız kırık duvar parçaları oluşur. İnce duvarlarda bu kırık duvar parçaları düzlem dışı etkilerle eğik çatlaklar boyunca kayıp düşer.



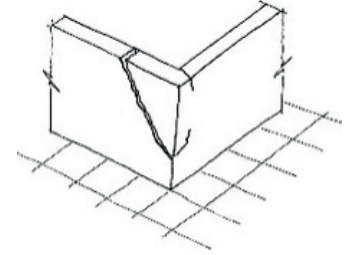
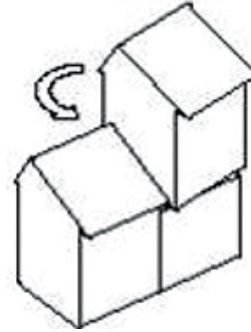
Duvar düzlemine dik kuvvetler, duvarların düzlemi dışında hareketine yol açarak, duvar tabanında yatay; kesişen duvarlar boyunca düşey ya da diyagonal çatlaklar oluşturur.

Duvarın düzlemi dışında yer değiştirmesi; iki ya da üç cidarlı duvarların dış yüzlerinde ayrışma, birbirine iyi bağlanmamış dik duvarlarda ayrılma, herhangi bir yatay bağ elemanı olmayan duvarlarda devrilme ile sonuçlanır.

Duvarın düzlemi dışında yer değiştirmesi, döşeme ve çatıya, iç ve dış komşu duvarlara iyi bağlanmamış duvarlar için tehlike oluşturur.



Taşıyıcı olmayan duvarlar, özellikle kalkan duvarlar, genellikle ilk yıkılır. Duvarın düzlemine dik doğrultudaki yer değiştirmeleri ve devrilmeleri, duvar kalınlığının ve narinlik (yükseklik/ kalınlık) oranının ve duvarın yer değiştirmesini sınırlandıracak yatay ve düşey hatlıların yeterli olmaması nedeniyle oluşur.



Birbirine dik duvar birleşimlerinde oluşan düşey ya da eğik çatlaklar, duvar düzlemine dik ve düzlemi doğrultusundaki kuvvetlerin birlikte etkimesi sonucu ortaya çıkar.



Döşeme/çatı yıkılması, duvarların ayrılması sonucu ortaya çıkar. Volta döşemelerde ahşap ya da çelik kirişlerin yerinden oynamasıyla tonoz ve kirişler arasında dinamik etkileşim oluşur. Zayıflayan tonoz, kirişlerden ayrılıp düşer.

Yanlış müdahale, genellikle yığma yapı elemanlarında deformasyonunun engellenmesi ve yığma yapıda farklı davranış gösteren malzemelerin kullanılması nedeniyle ortaya çıkar. Metal gergilerin çimento harcı ya da epoksi ile birleştirilmesi, duvarların metal ızgara + beton içine alınması yığma yapı elemanlarına hasar verir. Müdahale sırasında geleneksel döşemenin değiştirilerek betonarme yapılması, duvara eksen dışı yük vereceği için duvarın yıkılmasına yol açar. Rijitliği mevcut duvardan fazla olan betonarme döşeme ya da çatı, deprem sırasında çekiçleme ile bağlı olduğu duvarı yıkabilir.



Yanlış müdahale

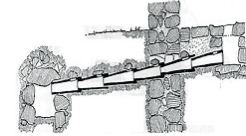
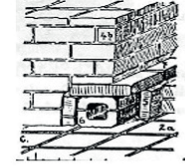
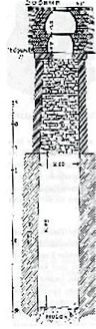
5.2.6. Yığma yapıda hasarları önlemek için alınmış geleneksel yöntemler

Sismik derzler: Yapı geometrisinde, uzun duvarlar, girinti çıkıntılı, yüksekliği ve ağırlığı farklı kısımlar birbirine bağlanmayarak sismik derz oluşturulmuş olabilir. Mevcut eski temel kalıntısı üzerinde yapılan yapının iç duvar temelleri birbirine bağlanmamış olabilir.



Yeraltı suyu kontrol sistemi: Yığma yapılar için sismik olmayan en büyük tehdit su ve nemdir. Zemindeki su, yapı malzemelerinin porozitesi ve zemin karakteristiklerine bağlı olarak temel duvarını ve toprağı aşındırıp dayanımını azaltarak üst yapıda hasar oluşturur. Yeraltı suyu hareketinden kaynaklanan nemin binaya zarar vermemesi için ge-

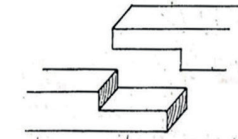
leneksel olarak tasarlanan etkili yeraltı su drenaj sistemi, temel yakınları ya da altında düzenlenen galerilerle bağlı sarnıç ya da kuyulardır. Bina içinde bulunan bu drenaj sisteminin ana bileşenleri binanın toprağa oturan katında, varsa bodrumunda bulunan kuyu ya da sarnıç, suyun bina dışına çıkarılması için galeri ya da kanallar ve bina dışında düzenlenmiş binanın havalandırmasını sağlayan havalandırma bacalarıdır. Kuyuları birbirine bağlayan ya da suyun dışarı atılmasını sağlayan galeri ya da kanalların boyutu, bina büyüklüğüne bağlı olarak 0,3-0,4 m ile 1,0-2,5 m'dir.



Bazı durumlarda yeraltı suyunu binadan uzaklaştıran galeri ve kanallar hemen döşeme altında yer alır. Bu kanallar, binayı kışın sıcak, yazın soğuk tutar.

5.3. Ahşap Yapılar

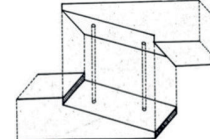
Ahşap yapı işlenmiş ya da işlenmemiş ahşap elemanların üst üste sıralanması ya da çerçeve oluşturacak şekilde birleştirilmesiyle oluşturulur. Ahşap elemanların çerçeve, duvar ya da döşeme oluştururken birleşimi; zıvanalı geçme, lamba zıvana, çapraz geçme, boğaz geçme, kurt boğazı, kamalı birleşim gibi ahşabın kendisiyle ya da çivilerle yapılır.



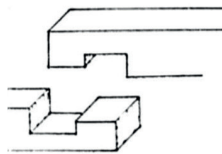
Düz bindirme ek



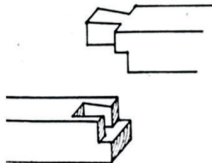
Eğri burunlu bindirme ek



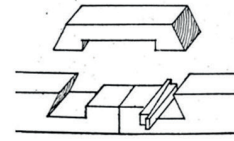
Kurt ağzı ek



Düz kenet ek

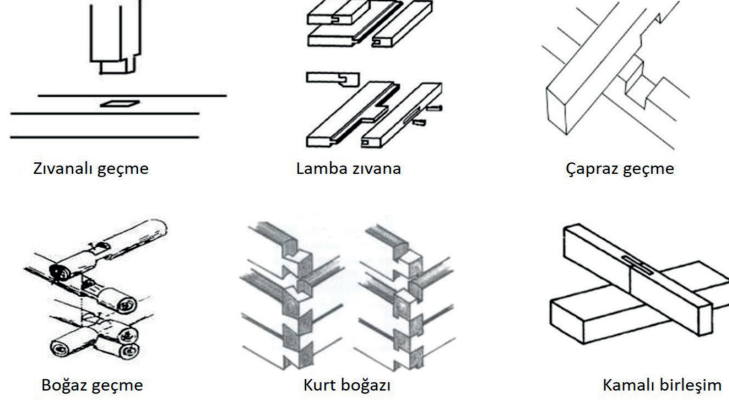


Kırlangıç kuyruğu



Eğri burunlu kamalı ek

Ahşap çubuk boylarını uzatmak için yapılan ekler; düz bindirme, eğri burunlu düz bindirme, kurt ağzı, düz kenet, kırilangıç kuyruğu ve eğri burunlu kamalı ek gibi çeşitli şekillerde yapılır.



5.3.1. Ahşap yapı taşıyıcı sistemi

5.3.1.1. Dikme ve sütunlar



Masif sütunlar: Tek parçadan oluşturulmuş dikme/sütun.

Birleşik sütunlar: Birkaç parça dikmenin takozlarla tutturulması ya da kuşaklarla sarılmasıyla oluşturulur.

Ayrık sütunlar: Ayrık düzenlenmiş birkaç parça dikmenin yatay kuşaklarla ya da kafes örgüyle birleştirilmesiyle oluşturulur.

5.3.1.2. Dış Duvarlar

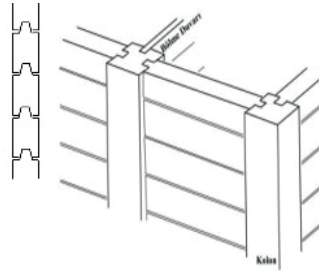
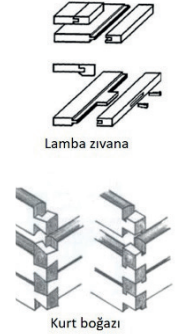
Ahşap yapıların dış duvarları, ahşap çubukların üst üste dizilmesi ya da ahşap çubuklarla çerçeve oluşturarak düzenlenir.

5.3.1.2.A. Yığma Ahşap Duvarlar

Yığma ahşap duvarlar kütük yığma ve blok dolma duvar olarak incelenir.

Kütük yığma duvarlar (çantı): Kütük ya da biçilmiş ahşapların üst üste dizilip duvar birleşim yerlerinin boğaz geçme şeklinde birleştirildiği duvarlardır.

Boğaz geçme birleşimde kapı ve pencere bölgelerinde rijitlik kaybıdır.



Blok dolma duvarlar: 100-200 cm aralıkla yerleştirilmiş dikmelerde açılan yivlerden kütük ya da biçilmiş ahşapların geçirildiği duvarlardır.

Duvarların kesişme noktalarına ana dikmeler, pencere ve kapı boşlukları kenarına da ara dikmeler yerleştirilir.

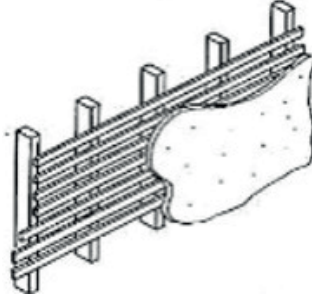
5.3.1.2.B. Ahşap Çerçeveseli Dış Duvarlar

Ahşap çerçeveseli dış duvarlar çerçeve arası boş, ahşap malzemeyle dolgulu ya da yığma kâgir bloklarla dolgudur.

Kaplamalı boş çerçeve duvar: Alt ve üst başlık kirişleri arasında 30-50 cm aralıklarla, yer yer çaprazlanarak düzenlenen dikmelerin iç ve dış yüzü ahşap kaplanır, sık düzenlenmiş çıtalar üzeri sıvanır ya da seyrek düzenlenmiş ahşap arası metal ızgara ile kapatıldıktan sonra sıvanır. Duvarın iki yüzü arası boş bırakılır ya da yonga ve ağaç kabuğu ile doldurulur.

Ahşap kaplamalı

Çerçeve dikmelerinin dış yüzü ahşap kaplanır. İç yüzü ahşap kaplanır ya da bağdadi sıva yapılır.

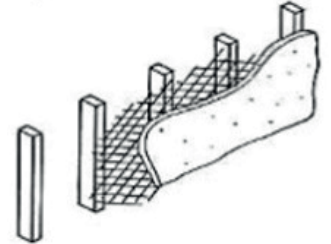


Bağdadi çita üzeri sıvalı

Çerçeve dikmelerin iki yüzü 2-2,5 cm aralıklarla bağdadi çitalarla bağlanır. Duvar iç ve dıştan kireç harcı ile sıvanır.

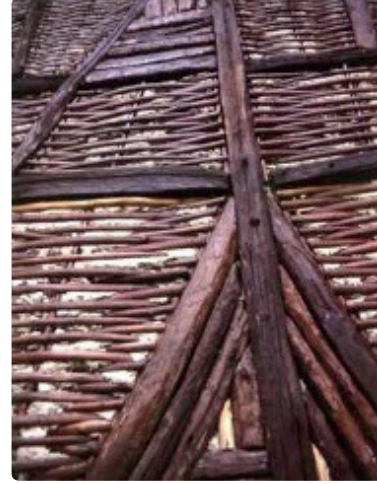
Seyrek ahşap + metal ızgara üzeri sıvalı

Çerçeve dikmelerin iki yüzü 30-50 cm aralıklarla 3-4 cm genişliğinde ahşap ile bağlanır. Duvarın iki yüzündeki bu yatay ve düşey ahşap ızgara arası rabis teli vb. metal ızgara ile kaplandıktan sonra kireç harcı ile sıvanır.



5.3.1.2.B.1. Arası Ahşap Dolgulu Çerçeve Duvar

Dal örgülü çerçeve- çöten



30-60 cm aralıklarla düzenlenmiş dikme aralıkları, düşey doğrultuda dallarla küçültüldükten sonra dallarla sepet gibi örülür. Duvar iç ve dıştan çamur ya da kireç harcı ile sıvanır.

Ahşap dolgulu çerçeve- dizeme

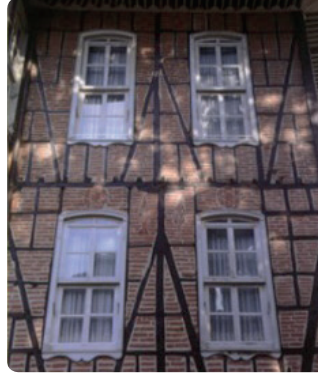


60-100 cm aralıkla, yer yer çaprazlanarak düzenlenmiş dikmeler arası ahşap kütük /biçilmiş tahta ile doldurulduktan sonra duvar iç ve dıştan kireç harcı ile sıvanır.

5.3.1.2.B.2. Arası Taş, Tuğla Ya Da Kerpiç Bloklarla Dolu Çerçeve Duvar (Hımiş)

Çaprazlı çerçeve + yığma blok dolgulu - Çatki

40-60 cm aralıkla, yer yer çaprazlanarak düzenlenmiş dikmeler arası harç ile birleştirilmiş kerpiç, tuğla ya da taş doldurulur. Duvar iç ve dıştan kireç harcı ile sıvanır. Dikme ve çapraz birleşimleri çivi ile yapılır.

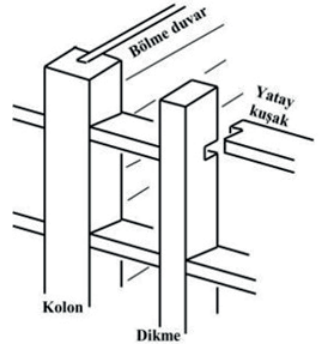


Muska dolma- çerçeve + yığma blok dolgulu

40-60 cm aralıkla düzenlenmiş dikmeler arası tamamen çaprazlandıktan sonra arası harç ile birleştirilmiş kerpiç, tuğla ya da taş ile doldurulur. Duvar içten sıvanır ya da ahşap kaplanır. Dikme çapraz birleşimleri çivi ile yapılır.

Göz dolma- çerçeve + taş blok dolgulu

20-22 cm aralıkla düzenlenmiş dikmeler arası 17-20 cm aralıklarla yatay kuşaklar yapıldıktan sonra arası kireç harcı içinde yerine uygun kesilmiş taş ile doldurulur. Dikmeler ile yatay kuşak birleşimi yastıklı geçme yapılır. Bu sistemde hiç çivi kullanılmaz. Duvar içten sıvanır.



5.3.1.3. Temeller

Ahşap binalar, temel duvarları üzerinde, yığma alt kat duvarları üzerinde ya da dikmeler üzerinde kurulur.



a) Temel duvarı üzerinde, b) Alt kat yığma duvarları üzerinde, c) Dikmeler üzerinde, d) Tek kolon mesnedi

5.3.1.3. 5.3.1.4. İç duvarlar



İç duvarlar; çaprazlı çerçeve üzeri bağdadi sıva ile ya da biçilmiş ahşabın dikmelere geçme olarak birleştirilmesiyle yapılır.

5.3.1.4.a.. Ahşap kirişler/kemerler



Kirişler geçecekleri açıklığa bağlı olarak dolu gövdeli ya da kafes gövdeli yapılmıştır. Kemerler boşluklu ya da kafes gövdelidir.

5.3.1.4.b. Çatı/Döşeme



Ahşap kirişli döşemeler, 30-50 cm aralıklarla dizilen ahşap kirişler üzerinin ahşap kaplanması ile; Çatılar; seyrek düzenlenmiş boşluklu ya da kafes gövdeli düzenlenmiş kirişlerin merteklerle bağlandıktan sonra ahşap kaplanıp kiremit döşenmesiyle oluşturulur.

Ahşap tonoz/kubbeler ahşap kemerin bir eksen etrafında döndürülmesiyle ya da ahşap kütüklerin bindirmeli düzenlenmesiyle yapılır.



Ahşap kemerlerin art arda sıralanmasıyla tonoz, bir eksen etrafında döndürülmesiyle kubbe oluşturulur.

Ahşap kubbe veya tonoz kemerleri içten bağdadi çıtalar ile bağlanıp sıva ya da bez kaplanır.



Ahşap kütüklerin bindirmeli düzenlenmesi: Kütükler birbiri üzerinde kat kat konur. Şekil olarak kırlangıç yuvasına benzediği için kırlangıç kubbe denir. Erzurum civarında bulunur.

5.3.2. Ahşap Yapı Hasarları

Ahşap yapılarda hasar oluşturan nedenler düşey yükler, yangın, deprem yükleri ve bakımsızlık olarak sayılabilir.



Düşey yükler: Ahşabın elastisite modülü göreceli olarak düşüktür. Bu nedenle ağır yükler altında rijitliği yeterli olmayan taşıyıcı sistemin ahşap kirişleri sehim yapabilir.

Deprem yükleri: Ahşabın birim şekil değiştirme kapasitesi düşük olduğu için ahşap yapı elemanları göreceli olarak sünek bir biçimde enerji tüketemez. Yapı elemanlarının birleşim yerlerinin zamanla gevşemesi ahşabın çok büyük yatay ötelemeler yapmasına ve yeniden ilk konuma gelemeyerek yıkılmasına neden olabilir. Deprem sırasında yumuşak zeminin büyük hareketi, taşıyıcı elemanların uygun birleştirilmemeleri, kullanım değişikliği nedeniyle dış ya da ara duvarların kaldırılması ahşap yapı performansında uygun olmayan koşullardır.

Ahşap yapılarda birleşim dayanımı, eleman dayanımından daha zayıftır ve tekrarlı yükler altında çoğunlukla bir doğrultudaki kapasite diğer doğrultudakinden oldukça farklıdır. Deprem sırasında hasarın çoğu, özellikle tek doğrultuda depreme dayanacak şekilde oluşturulmuş, birleşim yerlerinde olur.



Tuğla, kerpiç ya da taş dolgulu hımış binalarda hasar, dolguların düşmesi şeklinde görülür. Bu durum yapı stabilitesini bozmaz.

Ahşap yapı taşıyıcı duvarlarının oluşturulmasında ahşap ile alttaki yığma duvar bağlantısı genellikle zayıftır. Zayıf birleşimler deprem sırasında yapı bütünlüğü açısından sorun oluşturur. Sismik yükler, bölgesel olarak bağlantıların bozulup yapının hasar görmesine yol açabilir.



Bayülke 2001 Ahşap yapı altında bulunan ahşap hatıllı yığma duvarlarda düşey ve diyagonal çatlaklar, zemin kattaki taş/tuğla duvarlarda eğik çatlaklar ve kısmi göçme olabilir. Eğik çatlaklar ilerlediğinde yığma duvarın düzlem dışı hareketine veya ezilmesine sebep olabilir

Ahşap malzemesinde herhangi bir nedenle (nem, mantarlaşma, böceklenme, vb.) bozulma veya çürüme, ahşap sistemin davranışını olumsuz etkileyeceği için bahsedilen hasarlar daha yıkıcı sonuçlar doğurabilir.

Bakımsızlık: Ahşap yapılarda en büyük sorun bakımsızlıktan ve yapının terk edilmesinden kaynaklanmaktadır.



5.3.3. Ahşap Yapıda Depreme Karşı Alınmış Geleneksel Yöntemler

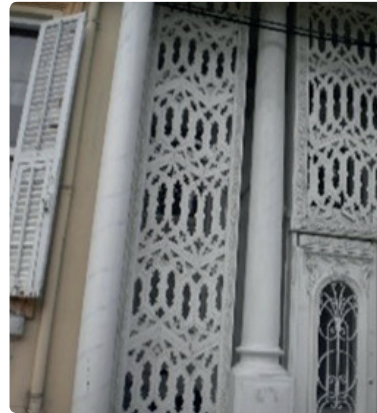
Deprem bölgelerinde çok katlı ahşap yapılarda yüksekliği boyunca hafifletilerek yapı ağırlık merkezi aşağıda tutulmuştur. Örneğin; alt kat yığma, 1. kat yığma dolgu çatkılı, 2. kat bağdadi sıvalı vb. şekildedir.



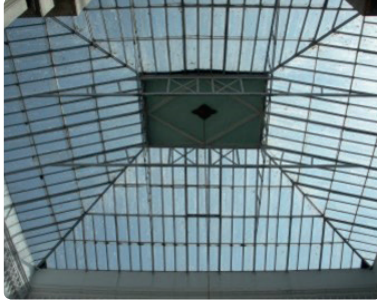
5.4. Demir ve Çelik Yapılar

Ham demirin işlenmesinden sonra kalıp içine dökülmesiyle ya da dövülerek ya da haddelenerek şekillendirilen levha ya da profillerin birleştirilmesiyle oluşturulan yapılardır. Dökme ya da dövme demir yapı elemanlarının oluşturulması ya da birleştirilmesi genellikle perçin ile yapılmıştır. Az da olsa bulonlu birleşimler görülmektedir.

5.4.1. Demir Ve Çelik Yapı Taşıyıcı Sistemi



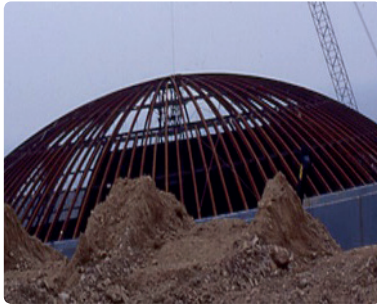
Kolonlar: Basınç dayanımı çekme dayanımından daha fazla olması nedeniyle genellikle dökme olarak yapılmıştır. 1847 yılından itibaren pahalı olmasına rağmen dövme demir olarak da yapılmıştır.



Kirişler/Kemerler: Çekme ve basınç dayanımı eşit olan dövme demir olarak yapılmıştır. Kirişler geçecekleri açıklığa bağlı olarak dolu gövdeli, yapma dolu en-kesitli, kafes gövdeli ya da ard germeli olarak yapılmıştır. Kemerler dolu gövdeli ya da kafes gövdelidir.



Döşemeler: Kirişler üzerinin ahşap, demir levha ya da kagir tonoz kaplanmasıyla oluşturulur.



Tonoz/Kubbe: Demir kemerlerin art arda sıralanması ya da bir eksen etrafında düzenlenmesiyle oluşturulur. Kemerlerin üzeri ahşap, demir levha ya da cam ile örtülür

5.4.2. Demir ve Çelik Yapı Hasarları

Depremlerden hemen sonra yapılan öncül durum tespit çalışmalarında çeşitli binalarda ve altyapıda ağır hasarlar gözlemlenmesine karşın çelik yapılarda önemli hasara rastlanmaz. Bunun nedeni, öncül durum tespitinde hasarlar hemen göze çarpmaz. Her yapıda olduğu gibi, çelik yapılarda da yeterince inceleme yapılabilmesi için yapısal olmayan elemanların ve yangın koruma kaplamalarının kaldırılması gerekebilir. Genelde çelik veya demir yapının göçmemiş olması veya dikkat çeken yapısal bozulmaların görülmemesi, bazı kritik olabilecek yapısal hasarların gözden kaçmasına sebep olur. Depremlerden belli bir süre sonra çeşitli demir ve çelik yapılardaki ayrıntılı hasar bildirimlerinde çok sayıda kiriş/kolon birleşimlerinin elemanlarında plastik şekil değiştirmeler veya kaynaklarında önemli çatlaklar tespit edilmiştir. Binada görülen düşeyden sapma veya bazı hareketli sistemlerdeki aksamalar (vinç, asansör vb), birleşim bölgelerindeki kritik hasarlar sonucunda oluşabilir.

Tek veya çok katlı çelik yapıların tümünde görülebilecek olan moment aktaran birleşimlerdeki gevrek kırılmalar ve çatlaklar tehlikeli sonuçlar doğurabilir. Diğer taraftan çoğunlukla az katlı veya endüstriyel nitelikli yapılarda görülen hasarlar; çaprazların bayrak levhasına birleşimlerinde bulonların kopması, bayrak levhasında ezilme veya yırtılmalar, basınç elemanlarında burkulmalar ve temel ankrajlarının yerlerinden çıkması veya kopması gibi yapı stabilitesini etkileyen hasarlardır. Özellikle endüstriyel yapılara sonradan genişletme amacıyla yapılan uygun olmayan eklemeler mevcut taşıyıcı sisteme bağlandıysa sistemin deformasyon ve davranışını değiştireceğinden hasar olasılığı artar.



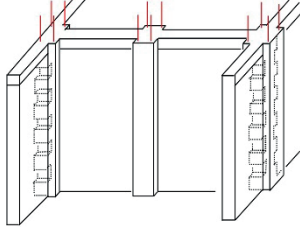
5.5. Erken Betonarme Yapılar

Betonarme, beton ve demir donatının birlikte kullanıldığı yapılardır. Erken betonarme yapılarda kullanılan donatılar yuvarlak demir ve lamalardır. Yatay elemanlarda hasır çelik yerine rabis telinin kullanıldığı beton yapım sistemine “ferrosegment”, düşey elemanlarda masif ya da yapma enkesitli çelik profillerin içinin beton doldurulduğu yapım sistemine “fer beton” denir.

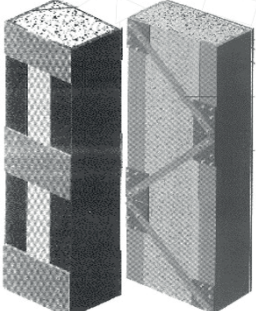
5.5.1. Erken Betonarme Yapı Taşıyıcı Sistemi

Erken betonarme yapılar, kolonlar ve kirişlerle oluşturulmuş çerçeve yapılardır.

Kolonlar: Betonarme ya da fer beton olarak yapılır.

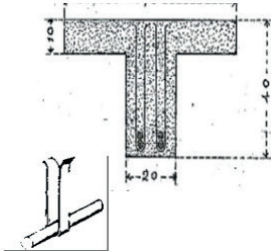
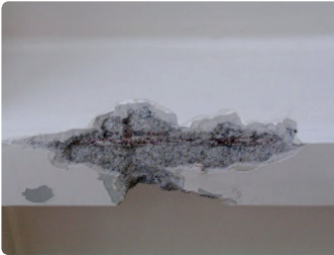


Betonarme Kolonlar: Genellikle 4 donatı ile, beton duvarların yapımından sonra dökülür. Sistem, düşey hatlılı yığma duvar şeklindedir.



Fer beton kolon: Kolon vb. düşey elemanlarda demir profiller içine beton dökülmesiyle oluşturulmuş kompozit sistemdir.

Kirişler:



Kirişler: Genellikle ahşap döşemelerde olduğu gibi sık aralıktır. Kirişlerin enine donatıları (sargı donatıları) üst ve alt donatılara bağlanan zigzag şekilli lamalardır.

Döşemeler:



Döşeme: Çok sık kirişler üzerinde düzenlenen döşeme ferrocement olabilir.

Bu sistemde kısa açıklık geçen döşeme, merdiven, vb. yatay elemanlarda donatı yerine rabis teli (kümes teli) kullanılır.

5.5.2. Erken Betonarme Yapı Hasarları

Erken dönem, betonarme kolonların duvarlar ile birlikte çalıştırıldığı, beton ve çeliğin birlikte kullanıldığı ferbeton ya da ferrocement yapım sistemlerinde depremlerde gözlenen bir hasar kaydedilmemiştir. Daha sonra, çerçeve şeklide yapılan betonarme yapıların depremlerde gözlenen en kritik bölgeler kolon ve kirişin birleşim bölgeleridir.

Kaynaklar:

- Arun, G. 2009, “Early Concrete Heritage in Turkey”, Evolution and Trends in Design, Analysis and Construction of Shell and Spatial Structures konulu IASS2009 Uluslararası Sempozyum Bildiri Kitabı, ed.: Alberto Domingo ve Carlos Lazaro, Universidad Politecnica de Valencia, Spain, ISBN: 978-84-8363-459-2
- Bashbolagh, Soudabeh Pashaei 2016, **İran’daki Kemer, Tono, Kubbeler’in Yapısal Davranışı**, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Programı, Yüksek Lisans Tezi
- Bayülke, N. 2001, “Ahşap Yapılar ve Deprem”, TMH Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı: 414, 2001/4
- Dışkaya, H. 2007 “Damage Assessment of 19th Century Traditional Timber Framed Structures in Istanbul”, From Material to Structure- Mechanical Behavior of Timber Structures, XVI. Uluslararası Sempozyum Bildiri kitabı, ICOMOS IWC, Floransa 11-16 Kasım
- ESTEP 1992, European Convention for Constructional Steelwork, European Steel Education Package slaytları
- Güngör, İ. H. 1961, **Ahşap**, Cilt I-II, Çeltüt Matbaası, İstanbul
- Naumann, R., çeviri: Beral Madra, 1991, **Eski Anadolu Mimarlığı**, 3. Baskı, Türk Tarih Kurumu Basımevi, Ankara, s.58-65
- Özata, Ş. 2015, **Kapadokya Bölgesi Kaya Oyma Yapı Sorunları ve Çözüm Önerileri**, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Programı, Yüksek Lisans Tezi
- Secundus, C. Plinius, 1601, çeviri: Philemon Holland **The Historie of the World. Book 37**
- The Colliery Engineer Co), 1899, **A Treatise on Architecture and Building Construction** Cilt 2: Masonry. Carpentry. Joinery
- Zamankhani, J.S. 2010, İran’ın Deprem Bölgesi Olan «Doğu Azerbaycan» İlindeki Köy Evlerinin Biçimsel ve Yapısal Yönlerden İrdelenmesi ve Islahı Üzerine bir Çalışma, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Programı, Doktora Tezi

Yapısal Modelleme ve Değerlendirme

6. Yapısal Modelleme ve Değerlendirme

6.1. Yapılara Etkiyen Yükler

6.1.1. Sabit Yükler

Tarihi yapıların en önemli yüklerinden biri kendi ağırlıkları ve bunları desteklemek için kullanılan elemanın ağırlıklarıdır. Özellikle yığma yapılarda kalınlık ve kesitlerin büyük olması sebebiyle ağırlık yükleri diğer yüklere göre daha önemlidir. Ağırlık yükleri sistemin inşasından itibaren yüklendiği için genel olarak yapı bu yükleri taşır. Ancak, bu durum yeterli güvenliğin mevcut olduğuna işaret etmez. Sınır durumlarda bu yüklerin artma veya ek olarak gelen yükler yapıda hasarlara sebep olabilir. Özellikle yığma yapılarda payanda gibi eklenen destek elemanların ağırlığı önemli olabilir. Zemin altında olan yapılarda bir tarafta zemin basıncı ve yer altı su seviyesinin durumuna göre su basıncı etkisi de bulunabilir. Yapı uzun yıllar yerinde bulunduğundan dolayı zeminin sükûnetteki yatay basıncının alınması yerinde olacaktır. Temel oturması da yapıda ek bir yükleme meydana getirebilir. Buna karşı duvara müdahale edilmesi gerekebilir.

Duvar birim ağırlıkları için *Tablo 6.1.* ve *Tablo 6.2.*de yol gösterici ortalama değerler verilmiştir. Sabit ve hareketli yükler için TS498 de de bilgiler verilmiştir.

Tablo 6.1. Yığma duvar malzemesinin mekanik özellikleri (*Magenes, Penna, 2009*)

Duvar türü	Basınç dayanımı f_m (MPa)	Kayma dayanımı τ_o (kPa)	Elastisite modülü E (MPa)	Kayma modülü G (MPa)	Birim hacim ağırlığı w (kN/m ³)
Moloz taşlı yığma duvar	0.6~0.90	20~32	690~1050	115~175	19
Kaba yonu taşlı yığma duvar	1.1~1.6	35~51	1020~1440	170~240	20
Kesme taşlı iyi bağlantılı yığma duvar	1.5~2.0	56~74	1500~1980	250~330	21
Yumuşak taşlı (kalker, tuf) yığma duvar	0.8~1.2	28~42	900~1260	150~210	16
Düzgün kesme taşlı, sıvalı yığma duvar	3.0~4.0	78~98	2340~2820	390~470	22
Kireç harçlı tuğla yığma duvar	1.8~2.8	60~92	1800~2400	300~400	18
Çimento harçlı yarı boşluklu tuğla yığma duvar	3.8~5.0	240~320	2800~3600	560~720	15
Boşluk oranı %45'den küçük olan tuğla yığma duvar	4.6~6.0	300~400	3400~4400	680~880	12

<i>Boşluk oranı %45'den küçük düşey derzleri harçsız tuğla yığma duvar</i>	<i>3.0~4.0</i>	<i>100~130</i>	<i>2580~3300</i>	<i>430~550</i>	<i>11</i>
<i>Boşluk oranı %45~65 arasında bulunan beton bloklü yığma duvar</i>	<i>1.5~2.0</i>	<i>95~125</i>	<i>2200~2800</i>	<i>440~560</i>	<i>12</i>
<i>Boşluğu doldurulmuş beton bloklü yığma duvar</i>	<i>3.0~4.4</i>	<i>180~240</i>	<i>2700~3500</i>	<i>540~700</i>	<i>14</i>

Tablo 6.2. Yığma duvar malzemesinin Tablo 6.1.de verilen mekanik parametrelerine harç, duvar işçiliğine ve duvarın enine bağlantılarının özellerine bağlı kullanılabilecek düzeltme katsayıları

<i>Duvar düzeni</i>	<i>İyi bağlayıcı harç</i>	<i>İyi düzenlenen derzli duvar</i>	<i>Enine bağlantılı duvar</i>	<i>Harç enjeksiyonlu duvar</i>	<i>Donatılı sıva ile güçlendirilmiş duvar</i>
<i>Moloz taşlı yığma duvar</i>	<i>1.5</i>	<i>1.3</i>	<i>1.5</i>	<i>2.0</i>	<i>2.0</i>
<i>Kaba yonu taşlı yığma duvar</i>	<i>1.4</i>	<i>1.2</i>	<i>1.5</i>	<i>1.7</i>	<i>2.0</i>
<i>Kesme taşlı iyi bağlantılı yığma duvar</i>	<i>1.3</i>	<i>1.1</i>	<i>1.3</i>	<i>1.5</i>	<i>1.5</i>
<i>Yumuşak taşlı (kalker, tuf) yığma</i>	<i>1.5</i>	<i>-</i>	<i>1.5</i>	<i>1.7</i>	<i>2.0</i>
<i>Düzgün kesme taşlı, sıvalı yığma duvar</i>	<i>1.2</i>	<i>-</i>	<i>1.2</i>	<i>1.2</i>	<i>1.2</i>
<i>Kireç harçlı tuğla yığma duvar</i>	<i>1.3</i>	<i>-</i>	<i>1.3</i>	<i>1.5</i>	<i>1.5</i>
<i>Çimento harçlı yarı boşluklu tuğla yığma duvar</i>	<i>1.3</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>1.3</i>
<i>Boşluk oranı %45'den küçük olan tuğla yığma duvar</i>	<i>1.3</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>1.3</i>
<i>Boşluk oranı %45'den küçük düşey derzleri harçsız tuğla yığma duvar</i>	<i>1.3</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>1.3</i>
<i>Boşluk oranı %45~65 arasında bulunan beton bloklü yığma duvar</i>	<i>1.3</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>1.3</i>
<i>Boşluğu doldurulmuş beton bloklü yığma duvar</i>	<i>1.3</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>1.3</i>

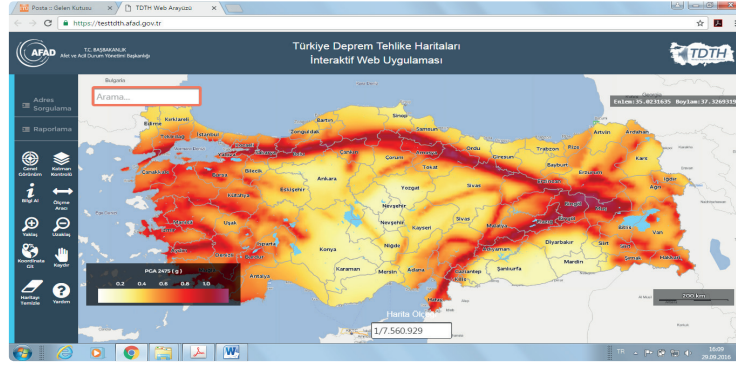
6.1.2. Hareketli Yükler

Günümüz yapılarına kıyasla tarihi yığma yapılarda hareketli yükler genellikle ağırlık yüklerine göre oldukça düşük değerdedir. Bu yükler, ahşap yapılarda göreceli olarak büyük olabilir. Bazı yapılarda geçici veya sürekli olarak yerleştirilen ağır mobilyalar, makine, araç, gereç, asansör gibi yükler değerlendirmede gözönüne alınır. Hareketli yüklerin yapının kullanımına bağlı olarak göz önüne alınması gerekir. Büyük açıklıklı döşemelerde hareketli yükler, sehim ve dayanım (taşıma kapasitesi) kontrolü bakımından önemlidir. Hareketli yüklerin minimum değerleri için TS 498'de verilen bilgiler kullanılabilir.

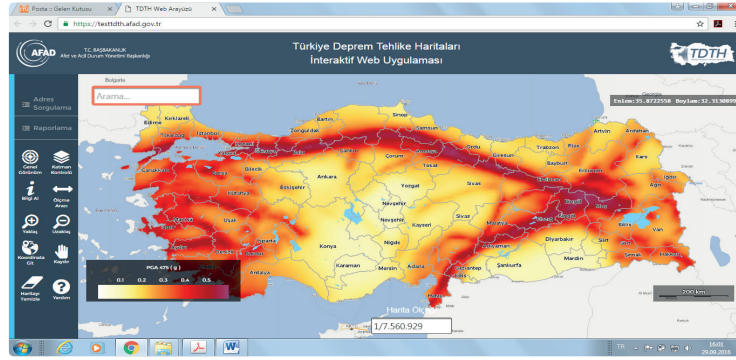
Çatıya etkiyen kar yükleri ve dış yüzeye etkiyen rüzgâr yüklerinin yapının konumuna göre etkili olduğu durumlar mevcuttur. Yığma ve ahşap ve çelik yapılarda dış duvarlara etkiyen rüzgâr yükü tüm yapının taşıyıcı sistem değerlendirmesinde göz önüne alındığı gibi, duvarda meydana getireceği düzlem dışı kesit etkileri bakımından önemli olabilir. Rüzgâr ve kar yükleri, göreceli olarak hafif olan ahşap yapılarda, yığma yapılara göre daha etkili olabilir. Bu yükler, müdahale sırasında yapıyı yağmurdan korumak için yapıya yerleştirilen geçici ahşap ve çelik çatı veya geçici duvarlarda ve bunların yapıya birleşim bölgelerine ve zemine olan mesnetlerinde önemli etkiler meydana getirebilir. Bunun yanında rüzgâr yükleri minare gibi narin ve yüksek elemanlarda etkili olabilir.

6.1.3. Deprem etkisi

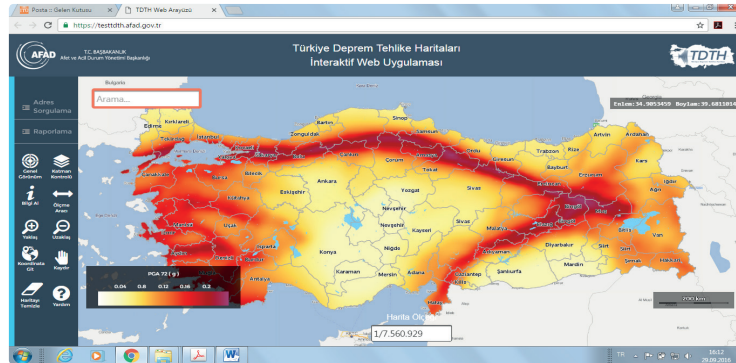
Deprem etkisinin düşey yüklerden en önemli farkı, düşey kuvvetler ile birlikte yatay kuvvetler de ortaya çıkarmasıdır. Yapının yalnızca düşey yükler altında yerinde durması yapının depreme karşı yeterli güvenliğinin olduğunu göstermez. Özellikle yığma yapılarda kütlenin büyük olması sebebiyle depremde büyük etkiler meydana gelir. Genellikle basınç etkisi altında bulunan yığma elemanlarında çekme gerilmeleri ve çatlaklar meydana gelir. Deprem etkisinin diğer bir özelliği, ancak belirli bir olasılıkla değerinin tahmin edilmesidir. Seyrek karşılaşılan gerçekleşme olasılığı düşük olan, aynı zamanda da daha büyük ivme değerleri oluşturan depremlerde yapıların hasar görmesi kaçınılmaz olabilir. Bu sebepten dolayı değerlendirmede sık karşılaşılan ve ivme değeri nispeten küçük olan depremler göz önüne alındığında çok sınırlı hasar kabullenilirken, büyük deprem hareketi durumunda daha büyük hasarlar kabul edilebilmektedir. Şekil 6.1-6.3.te yurdumuzdaki deprem tehlikesini gösteren haritalar verilmiştir. Tarihi yapılardaki deprem etkisini belirlemek için bu haritalar kullanılabilir. Deprem tehlike haritasına paralel olarak hazırlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY) yeni yapılacak binaların tasarımı ve mevcut binaların deprem güvenliğinin değerlendirilmesi konusunda kurallar mevcuttur. Bu yönetmelikle ahşap ve yığma binalar için verilen kurallar, yol gösterici olarak tarihi yapılar için de kullanılabilir. Ancak, bu kuralların, özellikle belirli bir deprem etkisinde öngörülen performans durumlarının tarihi yapılar için aynen kullanılması bazı durumlarda çözümsüzlük getirebilir. Bu belgede deprem etkilerinin aynen alınması önerilirken, tarihi yapılar için performans düzeyleri çeşitlendirilmiştir.



Şekil 6.1. Türkiye deprem tehlikesi haritası, DD1 depremi PGA değişimi (<https://testtdth.afad.gov.tr/>)



Şekil 6.2. Türkiye deprem tehlikesi haritası, DD2 depremi PGA değişimi (<https://testtdth.afad.gov.tr/>)



Şekil 6.3. Türkiye deprem tehlikesi haritası, DD3 depremi PGA değişimi (<https://testtdth.afad.gov.tr/>)

6.1.4. Diğer yükler

Özellikle ahşap yapılarda yangın etkisi önemlidir. Yangın, aydınlatma ve ısıtma sistemlerinden kaynaklanan sorunlar sebebiyle ortaya çıkabilir. Bunun için yapı elemanlarında boya veya kaplama ile gerekli koruma tedbirlerinin alınması önemlidir. Yangın etkisinin yük olarak göz önüne alınması yerine, karşı tedbir alınarak tehlikenin en düşük düzeye indirilmesi önerilir.

6.2. Yapının Taşıyıcı Sistemi ve Yüklerin Zemine İletilmesi

Taşıyıcı sistem, yapıya etki eden düşey ve yatay yüklerin zemine güvenli bir şekilde ve herhangi bir hasara ya da deformasyona neden olmadan aktarılabilmesini sağlamalıdır. Tarihi yapıların taşıyıcı sistemleri karmaşık olabilir; ancak esasen tüm karmaşık sistemler yüklerin çerçeveler, duvarlar ya da her ikisinin kombinasyonu ile taşındığı daha temel sistemlere indirgenebilir. Bu bağlamda yapısal çok bağlılık ve hiperstatiklik, tarihi yapının deprem güvenliğinin belirlenmesi açısından oldukça önemli parametreler olarak ortaya çıkmaktadır (bkz. Bölüm 6.2.1). Yükler ister çerçeve ister duvar elemanları ile taşısın; bu elemanlar arasındaki bağlantılar yeterli olmazsa yapının güvenliği bu durumdan fazlasıyla etkilenecektir. Aynı şekilde, özellikle deprem esnasında yatay yükleri düşey elemanlara aktaran döşeme sistemlerinin de belli ölçütleri sağlaması gerekmektedir (bkz. Bölüm 6.3). Son olarak, tarihi yapılarda yüklerin zemine aktarımı esnasında son etken olan temel yapılarının da detaylı bir şekilde incelenmesi lazımdır (bkz. Bölüm 6.4). Tüm bu konularla ilgili detaylı bilgi aşağıdaki bölümlerde verilmektedir.

6.2.1. Yapısal çok bağlılık (hiperstatiklik derecesi)

Bir yapısal sistem sadece denge denklemleri kullanılarak çözümlenebiliyorsa bu sistem “izostatik” olarak adlandırılır. Ancak, denge denklemleri çözüm için yeterli olmuyorsa ve bunların yanısıra süreklilik denklemlerini de kullanmak gerekiyorsa bu yapısal sistem “hiperstatik” olarak adlandırılır. Yapısal çok bağlılık ise yapısal sistemin sahip olduğu iç ya da dış bağları ve bu bağların kritik bir dış etki durumunda yükleri göçmeye sebep olmadan güvenli bir şekilde aktarabilecek alternatif kuvvet akış yollarını temsil etmektedir.

Tarihi yapıların deprem güvenliği açısından çok bağlılık ve hiperstatiklik kavramları oldukça önemli rol oynamaktadır. Yapısal çok bağlılık ve hiperstatiklik derecesi az olan tarihi yapılarda deprem, patlama, çarpma ya da yangın gibi dış etkiler yapısal sistemin ani bir şekilde göçmesine neden olabilirler. Bu durumda, tarihi yapılarda çok bağlılık ve hiperstatiklik açısından sorunlu olan bölgelerin öncelikle yapıyı tanıma aşamasında tespit edilmesi, daha sonra bu bölgelerle ilgili olarak alternatif yük aktarma mekanizmaları oluşturularak müdahale yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Fazla bağlılığın ya da hiperstatikliğin sorun meydana getirdiği durumlar da mevcut olabilir. Tarihi yapılarda sıcaklık değişimleri veya mesnet çökmeleri gibi etkiler altında meydana gelen hasarlar ve bozulmalar bu duruma tipik ör-

nektirler. Bu tür etkilerin ortaya çıkması durumunda, yapıda söz konusu bölgedeki yerdeğiştirmelere izin veren ya da etkinin kökenine inen (örneğin mesnet çökmesine sebep olan etkiyi ortadan kaldırmak) müdahale yaklaşımları kullanmak yerinde olacaktır.

6.2.2. Yapısal elemanların bağlantıları

Tarihi yapılarda taşıyıcı elemanlar arasındaki bağlantılar, düşey ve yatay yüklerin sorunsuz olarak taşınması ve genel yapı güvenliği açısından oldukça önemlidir. Bundan dolayı, farklı taşıyıcı elemanlar arasındaki bağlantı özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir.

Yığma türü tarihi yapılarda yük aktarımları duvar-duvar ya da döşeme-duvar bağlantıları sayesinde gerçekleşir. Duvar-duvar bağlantılarında bağlantı bölgesindeki örgü tipi önemli bir parametredir. İdeal bir bağlantı detayı olarak köşelerde kenetlenmeyi sağlayan birbirine geçmeli tuğla örgüsü örnek gösterilebilir. Bu durumda duvarın inşasında kullanılmış olan malzeme, harç ve duvarın tabaka sayısı gibi parametreler de önem kazanır. Birleşme noktalarında köşe, çekiç veya haç şeklinde bağlantı detayları olabilir. Buna ek olarak bağlantı bölgelerinde düşey hatlı kullanımı da bağlantı davranışını olumlu olarak etkiler. Deprem esnasında her iki doğrultuda gelen yatay zorlamalar tarihi yığma yapıların köşelerinde birbirine dik olan duvarların kesiştikleri bölgede gerilim birikimi olmasına yol açabilir. Bu tür bir olumsuzluğu bertaraf etmek amacıyla duvarların kesiştikleri köşelerin yuvarlatılması yerinde bir yaklaşım olabilir.

Döşeme-duvar bağlantılarında ise yatay hatlıın mevcudiyeti yük aktarımını olumlu bir şekilde etkiler.

Bazen tarihi yapılarda rijit döşeme olmasına rağmen kat yüksekliği büyük olan veya mesnetlenmemiş uzunluğu fazla olan duvarların döşeme ile birleştiği noktalarda kritik gerilme birikimleri görülebilir. Deprem Yönetmeliği'nde bu kat yüksekliği sınırı 3 m olarak verilmiştir.

Duvar ve döşeme bağlantıları sağlam yığma binalarda deprem etkisi altında “kutu davranışı” gösterirler, bir başka deyişle birbirine dik bağlantılı duvarlar ve üstlerinde yer alan döşeme beraber çalışarak deprem kuvvetlerini karşılarlar. Duvar ve döşeme bağlantılarının yeterli olmadığı yığma binalarda ise duvarlar birbirinden bağımsız olarak çalışıp yapı içerisinde bölgesel hasarlara yol açabilirler. Bu tür durumlarda ahşap döşeme kirişleri yuvalarından çıkabilir ve döşeme hasarı meydana gelebilir ya da yığma duvarlar kendilerine dik doğrultuda bağlantıya sahip olmadığı için narinleşerek düzlem dışında hareket edebilir. Özetle ifade etmek gerekirse, tarihi bir yığma yapıda duvar ve döşeme bağlantıları deprem riski açısından hayati önem taşır ve eğer incelenen bir tarihi yapıda bu yönde bir zayıflık tespit edilirse bu duruma mümkün oldukça etkili bir şekilde müdahale etmek gerekir (Şekil 6.10).

Tarihi yapılar eğer çerçeve sistemlerinden oluşuyorsa, bu durumda yatay ve düşey taşıyıcı elemanların birleşim noktaları, bir başka deyişle düğüm noktaları önem kazanmaktadır. Bu bölgelerde meydana gelmiş olan herhangi

bir çatlama ya da hasar, yapının genelinde yük aktarımını olumsuz şekilde etkileyebilir. Özellikle Bölüm 6.2.1’de bahsedildiği üzere yapının hiperstatiklik derecesi düşükse bu tür sorunlar yapının göçmesine bile neden olabilir. Bundan dolayı, bu tür bir zayıflıkla karşılaşıldığı zaman acil olarak müdahale edilmesi, yapının deprem güvenliği açısından önemlidir.

6.2.3. Döşemelerin Yatay Yük Aktarımı

Döşemeler, deprem etkisi gibi yapıya yatay kuvvet aktarılan durumlarda bu kuvvetleri düşey elemanlara iletirler. Bu durumda yük aktarım özellikleri döşemenin düzlem-içi rijitliğine bağlıdır. Rijit döşemelerde, düzlem içi yer değiştirme olmadığı kabul edilir, böylelikle söz konusu döşemeyle bağlantılı tüm düşey yapısal elemanların aynı ötelenme ve dönme etkilerine maruz kalırlar. Bir başka deyişle, yatay yüklerin aktarımı düşey elemanların rijitlikleri ile orantılı hale gelir. Ancak rijit döşemesi olmayan yapı sistemlerinde, düşey elemanlar için rijitlikleri ile orantılı bir yük dağılımı söz konusu değildir. Bu durumda yatay yükün dağılımı döşemenin düzlem-içi yer değiştirmesinden dolayı karmaşık olabilir, hatta bölgesel olarak değişiklikler gösterebilir. Rijit döşemenin bir başka önemli fonksiyonu, yığma tür yapılarda bağlandığı duvarlarla birlikte Bölüm 6.2.2’de bahsedilen kutu davranışının sergilenmesine olanak tanımasıdır. Döşemesi rijit olmayan yığma yapılarda duvarların düzlem-dışı kapasitesi daha kritik bir hale gelir ve yapının güvenliği sadece duvar-duvar bağlantıları tarafından belirlenir bir hale gelir. Eğer bu bağlantılar da zayıfsa, duvarlar beraber değil, tekil olarak çalışmaya başlar ve söz konusu yapının düşük seviyeli yatay zorlamalarda bile göçme potansiyeli fazla olur.

Tarihi yapılarda modern binalardaki betonarme döşemeler kadar rijit döşemelere rastlamak mümkün değildir. Ancak bu durum tüm tarihi yapılarda rijit diyafram gibi çalışmayan döşemelerin betonarme döşemeler ile değiştirilmesi gerektiği anlamına gelmez. Bu bağlamda özellikle ahşap döşemelerin korunması, gerekiyorsa geleneksel ve modern tekniklerle rijit hale getirilmesi ve döşeme-duvar bağlantılarının iyileştirilmesi önemlidir. Genellikle ahşap kat döşemelerine ve çatı makaslarına sahip olan tarihi yapıların deprem davranışını modellerken ve deprem riskini belirlerken bu durumu göz önüne almak, yapıdaki mevcut yük aktarım sistemini belirlemeye çalışmak, gerçekçi sonuçlar elde etmek açısından zaruridir.

Buna ek olarak tarihi yapılarda mevcut olan çok geniş açıklıklar, döşemelerde bulunan büyük boşluklar veya seviye farkları, yüklerin döşemelerden taşıyıcı elemanlara aktarımı esnasında sorun oluşturabilir. Bu tür durumlar tarihi yapılarda yük aktarımı açısından deprem riskini arttıran durumlardır.

6.2.4. Zemin ve temel sistemi

Tarihi yapılarda inşa edildikleri döneme ve zemin türüne göre genellikle iki tür temele rastlanır: Sert zeminlerde yüzeysel (sığ) temeller ve yumuşak zeminlerde derin (ahşap kazıklı) temeller. Bu temel türleri ayak ve sütunların

altında, tekil veya taşıyıcı duvarların altında sürekli olarak inşa edilmişlerdir. Bunlara ek olarak, bazı tarihi yığma yapılarda sık aralıklarla düzenlenmiş sütun veya ayakların arasında ters kemer ve tonoz şeklinde temeller de mevcuttur. Tarihi yapılarda, çok uzun zamandır ağır üst yapıyı taşımış olan zemin veya temel ile bağlantılı güncel sorunların olması beklenmeyebilir. Ancak zaman içinde temel zeminlerinin durumunu etkileyen bazı değişiklikler (yakın alanda derin kazılar, zeminleri doygun hale getiren yeraltı suyu seviyesindeki olağan dışı değişiklikler, vb.) meydana gelmiş olabilir. Buna ek olarak, söz konusu yapı uzun süredir yük taşıma kapasitesi sınırında çalışıyor olabilir ve en ufak bir dış etkide gevrek ve ani bir göçme mekanizması geliştirebilir. Bu tür durumlarda tarihi yapılarda deprem riskini artırma potansiyeli olan kritik zemin-temel etkileşimleri aşağıda ifade edildiği şekillerde kendini gösterebilir:

- a. Tarihi yapının altında göreceli olarak yumuşak veya gevşek zemin tabakalarının bulunması durumunda sismik hareketin genliklerinin büyümesi ve hasar riskini artması mümkün olabilir.
- b. Eğer tarihi yapı altındaki zemin sıvılaşma potansiyeline sahipse, deprem esnasında sıvılaşma dolayısıyla zemin taşıma gücünü kaybedebilir ve bu durumda tarihi yapının temeli aşırı deplasmanlara maruz kalabilir. Temel ve yapısal sistemin rijitliklerine bağlı olarak, farklı üstyapı veya temel hasarı şekillerinden biri veya birkaçı gerçekleşebilir.
- c. Bir şev veya bir hafriyat alanı yakınında yer alan tarihi yapılarda bir deprem esnasında zeminlerin duraylılığını kaybetmesi sonucunda aşırı zemin deplasmanlarına bağlı yapısal hasar meydana gelebilir.

Yukarıda bahsi geçen üç özel zemin durumu da TBDY Taslağı Bölüm 16'da ele alınmaktadır. TBDY'de yer alan kurallar yeni yapılacak olan binalar için geçerlidir. Tarihi yapılar söz konusu olduğunda bu kuralları harfiyen uygulamak çoğu durumda mümkün değildir.

Yığma yapılar temel hareketlerinden çok fazla etkilenirler. Temelde küçük yer değiştirmeler bile üst yapıda çatlak olarak kendini gösterebilir. Özellikle, tarihi yığma yapının üstünde oturduğu zeminin yumuşak/gevşek bir yapısı varsa temelde ciddi dönme ve oturma hareketi meydana gelmiş olabilir. Benzer şekilde, eğer zemin killi bir yapıya sahipse mevsimsel hacim değişiklikleri üst yapının zorlanmasına yol açmış olabilir.

Bir tarihi yapının deprem riskinin değerlendirilmesi için yapıya etkiyen deprem yüklerinin zemine güvenli bir şekilde aktarılıp aktarılmadığının belirlenmesi önem taşır. Bunun için, tarihi yapının temel sisteminin ve dayanıklılığının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu tespitin yanı sıra söz konusu yapının oturduğu zeminden alınacak yeterli miktardaki numunenin geoteknik özelliklerinin belirlenmesi de gereklidir. Zemin incelemesi ile ilgili genel bilgiler Bölüm 3.3'te verilmiştir. Bütün araştırma ve tespitlerden önce söz konusu binanın uzak ve yakın geçmişine ait belgelerin dikkatlice incelenmesi esastır.

Bu çalışmalar ışığında temel sisteminin şeklinin, boyutlarının ve kullanılmış olan inşa malzemelerinin tespitine yönelik bir tetkik planı hazırlamak mümkündür. Muhtelif incelemeler arasından tahribat vermeyen saha incelemeleri;

örneğin jeofizik ve tomografik testler tercih edilebilir. Bu testler incelenen tarihi yapının temelini ve temel derinliğini açığa çıkaracak kuyuların ve keşif hendeklerinin açılmasından önce veya sonra yapılabilir. Gerekli görüldüğü durumlarda muhtelif yönlerde uzanan kesintisiz karotajlı delme işlemleri (zemin sondajları) yapılarak temel planlarına ve yeraltı yapısına ulaşılabilir. Sondaj delikleri, video incelemeleri ve jeofizik testlerde kullanılabilir. Arkeolojik bir alt katmanın bulunması durumunda, bu katmanın deprem davranışına etkisi olabileceği ve hem temele hem de zemine yapılacak müdahaleleri sınırlayabileceği gerçeği göz önünde tutulmalıdır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, zemin sondajı için (sit alanlarında) koruma kurullarından izin alınması gerekliliğidir.

Tarihi yapıların temellerinde yeraltı suyu seviyesinin yüksekliği nedeniyle oluşmuş bozulmalar genellikle çok sık görülmez. Bunun en büyük nedeni, eski tarihi yapıların bir kısmında inşa edildikleri tarihte açılmış olan kuyular ve bu kuyuları birbirine bağlayan tünellerin mevcudiyetidir. Bu tür yeraltı sistemleri söz konusu tarihi yapının temelini uzun bir süre boyunca doğrudan su ve nem etkisinden korur. Tarihi yapı ile ilgili müdahale kararı alınması durumunda bir anlamda drenaj sağlayan bu sistemin korunması ve müdahaleden olumsuz şekilde etkilenmemesi gereklidir.

Tarihi yapıların ayakta kaldıkları sürece maruz kalabilecekleri en önemli sorunlardan biri de söz konusu yapının çok yakınında herhangi bir amaçla yapılmış olan derin kazılardır. Toprak hacminde ve dolayısıyla zemin gerilmelerinde meydana gelen bu değişim temelde veya üstyapıda beklenmedik hasarlara yol açmış olabilir. Eğer mevcut durumda yapıya ait alanın yakınında bu tür bir etki bulunmuyorsa ancak yapıda beklenmedik hasarlar gözlenmişse, söz konusu yapının uzak ve yakın geçmişine ait belgeleri incelerken bu tür bir etkiye maruz kalıp kalmadığının da araştırılması yerinde olur. Bodrumlu tarihi yapılara uygulanabilecek şekilde, bodrum duvarlarına etkiyen statik ve dinamik zemin basınçlarının hesabı TBDY Taslağı Bölüm 16.11’de verilmiştir. Tamamen zemine gömülü tarihi yapılar (tarihi tüneller, sarnıçlar vs.,) bu taslak yönetmeliğinin kapsamı dışındadır. Bu tip yapıların değerlendirmesi gömülü yapılar hakkında yazılmış dokümanlara dayanarak yapılmalıdır.

6.3. Basit Güvenlik Değerlendirilmesi

Deprem ve patlama gibi birden çok yapıyı etkileyecek özel bir durum oluşması halinde çok sayıdaki tarihi yapının incelenerek, bunlar üzerine yapılacak ayrıntılı değerlendirmede öncelik sıralaması yapılması gerekli olabilir. Öncelik sıralamasının kısa zamanda gözlemsel incelemelere dayanarak yapılması beklenir. Böyle bir değerlendirmenin sonuçlarının ancak belirli bir yaklaşıma sahip olacağı unutulmamalıdır. Olağan şartlarda tarihi yapıların taşıyıcı sistem güvenliğinin değerlendirilmesi için, malzeme parametrelerinin belirlenmesi, modelleme yapılması, yapının ayrıntılı incelenmesi gerekir. Bu işlemler için belirli bir zamana ihtiyaç vardır. Tarihi yapıların taşıyıcı sistemleri çok çeşitlilik gösterdiği için, her yapı türü için geçerli genel gözlem kuralları verilmesi zordur. Aşağıda, taşıyıcı sistem türüne bağlı olarak genel gözlem kuralları verilmiştir. Bu tür güvenlik değerlendirmesi gözleminin uzmanlar tarafından beraberce tartışarak yapılması önerilir.

Gevrek davranış gösteren yığma yapılarda zamanla küçük çatlaklar oluşabilir. Bunlar temel oturmasından, atmosfer şartlarından veya yığma birimlerinin birbiri ile ve sıva ve harç ile uyuşmamasından meydana gelebilir. Bu tür çatlaklar ayrıntılı inceleme gerektirebilir. Ancak, genellikle bu çatlaklar taşıyıcı sistem güvenliğinin yetersiz olduğunu göstermez. Yığma bir yapıda duvardaki derin çatlaklar ve ayrılmalar genellikle güvensizliğe işaret edebilir. Özellikle düşeyden sapan duvarlar yetersiz güvenliğin göstergesi olabilir. Özellikle kesişen duvarların birbirine bağlanmamış olması da diğer bir olumsuzluktur. Kemer ve tonozlarda yanıl açılmayı önlemek için bulunan gergilerin mesnet kolon veya duvarına giren kısımlarında çekme kuvvetinin iletilmesi ile ilgili çatlaklar ve korozyondan kesit azalması yerel de olsa, güvensiz bir duruma diğer bir işarettir. Kemer ve tonozların mesnetlerinde kalın duvarların bulunması durumunda gergilere ihtiyaç olmayabilir. Bu durum bir eksiklik olarak kabul edilmemelidir. Radyal düzenlenmiş kubbeler mesnetlerindeki çekme çemberlerinden dolayı çok dayanıklı elmanlardır. Mesnetlerindeki çekme çemberinin bulunması güvenlik için yeterli olabilir. Kubbe ve tonozlardaki bu elemanların mesnetine inmeyen çatlaklar çoğu zaman endişe gerektirmeyebilir. Yığma yapılarda duvarların düşeyde üst üste gelmesi hem düşey ağırlık yüklerinin ve yatay deprem yüklerinin zemine iletilmesi bakımından önemlidir. Duvarların düşeyde süresiz olması veya ara bir katta bir duvarın kaldırılması olumsuz bir durum olarak görülür. Ahşap döşemelerin bulunduğu yığma yapılarda ahşap döşemenin yığma yapıya oturduğu bölümler, güvenlik için diğer bir hassas noktadır. Bu mesnette yeterli mesnet genişliğinin ve bağlantının bulunması önemlidir. Bu tür mesnette ahşap döşemede meydana gelecek bozulma veya çürüme döşemenin güvenliğini ve rijit diyafram özelliğini bozacağı için duvarların güvenliğini olumsuz etkiler.

Ahşap yapılar, dayanım/ağırlık oranının yüksek olması sebebiyle deprem bölgelerinde kullanılan en etkin yapı türlerinden birisidir. Ancak doğal yapısının atmosfer şartlarına karşı göreceli olarak daha az dayanıklı olması değerlendirmede dikkate alınmalıdır. Ahşap yapılarda, güvenliği doğrudan etkileyen en önemli durum, zamanla ve atmosfer şartlarından taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelen bozulma ve çürümedir. Ahşap taşıyıcı sistemin en kritik noktası birleşim bölgeleridir. Bu bölgelerin ve kaplamaların altındaki ana taşıyıcı elemanların durumlarının incelenmesi için, bazı bölümlerde kaplamaların kaldırılması gerekebilir. Ahşap çatılarda çatı akıntısından dolayı, çatı elemanlarında çürüme meydana gelebilir. Bu sebepten gözlemsel incelemede ahşap çatı incelemesinin unutulmaması gerekir. Diğer bir hassas bölge de, ahşap elemanların kargir temele bağlantısıdır. Bu bölge, zemine yakın olmasından ve kargir ile olan birleşiminden dolayı, nemden ve çevre şartlarından daha kolayca etkilenecek bozulabilir.

Betonarme yapılarda, güvenlik değerlendirilmesi yapılmadan önce taşıyıcı sistemin tanınması önemlidir. Yurdu-muzdaki, 19.yy'ın ikinci yarısından sonra inşa edilen tarihi yapıların önemli bir kısmı yığma ve betonarme karışımı karma sistemli yapılardır. Bu tür binalardaki betonarme çerçeve sistemi ile çerçeve arasında yığma duvar beraber bulunur. Bu tür yapıların, düşey ve yatay hatları bulunan yığma yapı olarak kabul edilerek değerlendirilmesi önerilir.

Çelik yapılarda da betonarmede olduğu gibi, taşıyıcı sistemin tanınması büyük önem taşır, bazı durumlarda mevcut kaplamayı kaldırmak gerekebilir. Çelik yapılar çoğu çatılarda olduğu gibi, kafes sistem şeklinde bulunabildiği gibi, kesiti büyük profillerin oluşturduğu moment aktaran çerçevelerden olabilir. Her iki tür yapıda da, kaynak, bulon veya perçinle elemanların birbirine kuvvet iletecek biçimde oluşturulan birleşim bölgesinde çözülme önemli bir güvenlik kaybıdır. Birleşim bölgesinin kaynakların yırtılması, bulon ve perçinlerin ezilmesi veya deforme olması, elemanlar arası kuvvet iletimini engeller. Genellikle çatılarda kullanılan kafes sistem elemanlarının basınç altında burkulması önemli bir güvenlik kaybıdır. Kafes sistemlerinin düzlem dışı bağlantılarının bozulması, bazı durumlarda bunların düzlem dışı çarpılmalarına sebep olabilir. Kafes sistem veya moment taşıyan çerçeve türünden çelik taşıyıcı sistemler, mevcut yığma veya betonarme elemanlara mesnetlendikleri gibi, doğrudan kendi temellerine de mesnetlenip yüklerini zemine iletirler. Bu mesnetlerin yeterli olup olmaması da güvenlik kaybına sebep olabilir. Çelik yapıların en önemli zayıflıklarından birisi de korozyon sonucu kesit kaybıdır. Özellikle, çelik taşıyıcı sistemlerde mesnetler başta olmak üzere, birleşim bölgelerinin korozyondan etkilenmesi önemli bir güvenlik zayıflığıdır.

6.4. Modelleme Teknikleri

Tarihi yapıların mevcut durumda düşey ve deprem yükleri altındaki taşıyıcı sistem güvenliğinin belirlenmesi; yapıda meydana gelen hasarların yorumlanması ve önerilen onarım ve güçlendirme müdahalesinin yeterliliğinin belirlenmesi için önemli bir adımdır. Bu adımda yapının taşıyıcı sistem modeli oluşturulur ve belirlenen etkiler altında yapısal analiz yapılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilir. Çok çeşitli tür ve özelliklere sahip olan tarihi yapılarda, malzeme ve yapısal özelliklerine bağlı olarak farklı modelleme teknikleri kullanılır. Bu tür yapıların modellenmesinde malzeme ve taşıyıcı sistem elemanları ve bunların birleşimleri için basitleştirici kabuller yapılması gereklidir. Modelin analizinden elde edilen sonuçların yapılan kabullerin uygunluğu oranında, yapının davranışını yansıtacağı unutulmamalıdır. Yapılan basitleştirici kabuller sebebiyle, elde edilen sayısal sonuçların, mutlak doğrulukta olduğu kabul edilmemelidir. Bu değerler sadece yol gösterici olup, deneyimli bir mühendis tarafından değerlendirilmesi faydalı olacaktır. Model türünün ve hassasiyetinin seçilmesinde aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi gerekli olacaktır:

- a. Yapıdaki yükleme durumuna bağlı olarak, farklı modellemeler söz konusu olabilir. Buna örnek olarak düşey ve yatay yükler için farklı modeller yapılması gösterilebilir. Genellikle yapının değişik elemanları seçilerek düşey yük altında bu elemanlar veya alt sistem olarak modellenip, incelenebilir. Buna karşılık yatay yükler altında sistemin bütünü modellenmesi genellikle tercih edilir.

Yapının modellenmesi, türüne bağlı olarak da farklılık gösterir. Yığma türünden olan yapılar için kullanılan tekniğe, ahşap, demir/çelik veya betonarme bir tarihi yapının modellenmesi farklılık gösterir. Bu sebepten model seçiminden önce, yapıda taşıyıcı elemanlar arasında düşey ve yatay yük aktarımının ve bu yüklerin zemine nasıl iletildiğinin belirlenmesi incelenmelidir. Yapıda taşıyıcı sistem elemanlarının ve bağlantılarının belirlenmesi, model seçiminde diğer önemli bir husustur.

- b. Modeller yapılan kabullere bağlı olarak basit ve ayrıntılı olabilirler. Genellikle ayrıntılı modellerde, malzeme ve yapıya ait daha çok parametre kullanıldığı için, daha gerçekçi sonuçların elde edildiği kabul edilebilir. Ancak özellikle malzeme parametrelerin sayısal değerlerindeki belirsizliğe bağlı olarak sonuçlar beklenen hassasiyete sahip olmayabilir. Bu sebepten olabildiğince basit modeller tercih edilmelidir. Bu tür basit modellerin analiz sonuçları anlaşıldıktan sonra basit gerilme, şekil değiştirme ve yerdeğiştirme hesaplanarak sonuçların yaklaşımının kontrol edilmesi mümkündür. Ayrıntılı modellerin analizinden elde edilen çok sayıda sonucun değerlendirilmesi ayrıca ek bir güçlük doğurur. Yapıda öngörülen inceleme kapsamına bağlı olarak önce basit ve daha sonra ayrıntılı model (sonlu eleman) kullanılarak analizin yapılması tercih edilmelidir. Basit modellemekten elde edilen sonuçların ve değerlendirmenin kullanılması ile oluşturulacak ayrıntılı modelin davranışı daha iyi yansıtacağı açıktır.
- c. Modellerin analizden elde edilen sonuçların yaklaşıklığı, kullanılan parametrelerin sayısal değerlerine bağlıdır. Eğer bir yapıda geometri ve malzeme parametreleri yeterli doğrulukta belirlenemiyorsa ayrıntılı modelleme ve kapsamlı analizin geçerliliği ve gerekliliği sorgulanmalıdır. Bu durumda basit modelleme ve analiz tekniği tercih edilmelidir. Ayrıca analizde, kullanılan malzeme parametrelerinin değerleri, belirlenme hassasiyetlerine bağlı olarak tespit edilecek belirli bir aralıkta değiştirilerek analiz çok defa tekrarlanmalı ve elde edilen sonuçlardaki değişim yorumlanmalıdır. Basit modellerin analizinden ortalama değerler elde edilirken, ayrıntılı modelin analizinden elde edilen sonuçlar tarihi yapıda küçük bölgede büyük değişim gösterebilir ve yanıltıcı yorumlamaya sebep olabilir. Örneğin, bir yığma duvarın ayrıntılı modellenmesinden elde edilen gerilme yayılımının kullanılması yerine, bunların belirli bir duvar boyunda ortalamasının alınarak kullanılması yerinde olabilir. Ortalama alınmasında da üç duvar birim uzunluğunun esas alınması önerilmiştir Ortalama alma işlemi, gerilmelerin elastik ötesi davranıştaki durumunu sınırlı da olsa göz önüne almak gibi de kabul edilebilir.

Tarihi yapıların taşıyıcı sistem ve malzeme türleri büyük farklılıklar gösterir. Düşey ve yatay kuvvetlere maruz tarihi yığma yapıların modelleme ve analizi oldukça karmaşıktır. Bu farklı özellikler, model türünün seçiminde etkili olur. Genellikle modellemede gerekli olan çizimler mevcut değildir. Bu sebepten önce taşıyıcı sistemin ve elemanlarının mevcut durumunu yansıtan rölöve çizimlerinin hazırlanması gerekir. Yapının geometrisinin ve taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlarının belirlenmesi zorluklar içerir. Yapıdaki karmaşıklığa bağlı olarak, modellemede en büyük öneme sahip olan, yapısal ve yapısal olmayan elemanların belirlenmesi de genellikle kolay olmayabilir. Bazı durumlarda, yapıda çok kalın taşıyıcı elemanlar bulunabilir. Ancak, bu elemanların iç çekirdeğinin homojen olup olmadığı konusunda bilgi bulunmaz. Yapıda doğal malzemelerin mekanik özellikleri ve işçilik bir noktadan diğerine büyük farklılıklar gösterir. Tarihi yapıların inşaatından sonra çeşitli ve önemli değişiklikler yapılmış olabilir. Bütün bu sebeplerden yapısal modelleme ve analizde uygulanacak özel düzenleme ve kurallar genellikle mevcut değildir.

Her bir yapı kendine özgü olarak kabul edilir. Ancak, bu tür işlemlerde elde edilen deneyimler, mühendis için yol gösterici olur. Aşağıda yaygın kullanılan modellenme teknikleri özetlenmiştir.

Modellemede kullanılan malzeme parametrelerinin bir tür kalibrasyonu, serbest titreşim periyotlarının analizinden elde edilen değerin, deneysel olarak ölçülen değerle karşılaştırılması ile yapılabilir. Serbest titreşim periyodu yapının bütünsel bir dinamik parametresi olduğu için, bu karşılaştırma ancak belirli bir ölçüde faydalı olur. Bazı durumlarda ölçülen titreşim mod şekli de modelin kalibrasyonunda kullanılabilir. Yapıya titreşim mekanik bir darbe ile verilebildiği gibi, çevre etkilerinin yapıda oluşturduğu titreşim ölçümleri de yapılabilir. Bu tür işlemlerde yapıdaki sönüm oranı da belirlenebilir. Ancak, periyot ve sönümün titreşimde meydana gelen hasara bağlı olduğu unutulmamalıdır. Hasarın meydana gelmediği küçük titreşimlerde sönüm küçük ve yapı göreceli olarak rijit olacağı için periyot da küçük olacaktır.

6.4.1. Basit Duvar Modeli

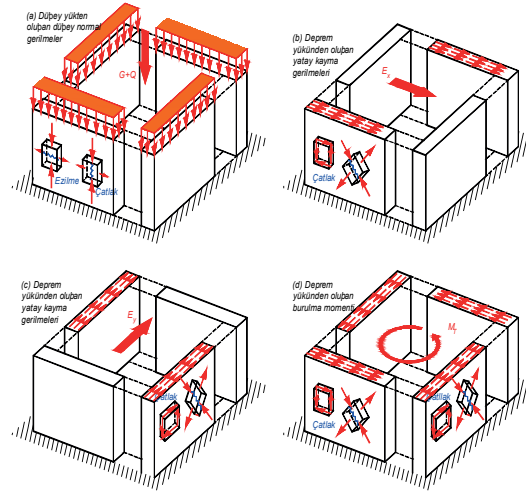
Tarihi yapıların önemli bir bölümünde taşıyıcı sistem elemanlarını, ara kat ya da çatı elemanları, duvarlar ve temeller oluşturur. Bu tür yapılara yığma binalar örnek gösterilebilir. Tarihi yapıların çoğunda olduğu gibi, bu tür yapılarda taşıyıcı olan ve olmayan elemanların ağırlığı, taşınması beklenen yüklere göre oldukça büyüktür. Bunların düşey ağırlığı ve deprem ivmesinden meydana gelen yatay atalet kuvveti, karşılanması gereken en önemli iki yükü oluşturur. Bu tür yapılarda hareketli yükler, yatay olan ahşap, betonarme veya volta döşemeler tarafından karşılanır ve mesnetlik yapan duvarlara iletilir. Düşey yükler döşemede düzlem dışı kesme kuvveti ve eğilme momenti meydana getirirken, deprem yükleri düzlem içi yatay kuvvetler meydana getirir. Bu etkiler duvarlardan temele iletilir. Düşey yükler duvarlarda düzlem içi gerilmeler meydana getirir. Döşemeden iletilen atalet kuvvetleri, duvarlar tarafından genel olarak düzlem içi kuvvetlerle ve küçük bir bölümü düzlem dışı kuvvetlerle temele iletilir. Duvarlarda, yer hareketinin doğrultusuna bağlı olarak, düzlem içi ve düzlem dışı kuvvetler meydana gelir. Düzlem dışı kuvvetler duvarın zayıf doğrultusunda kesme kuvveti ve eğilme momenti meydana getirir. Duvarların düzlem içi rijitliği, düzlem dışı rijitliğine göre oldukça büyüktür. Yatay etkinin, bu etki doğrultusunda bulunan duvarlar tarafından karşılandığı kabul edilir. Ancak düzlem dışı etkiden meydana gelen iç kuvvetler küçük olsa bile, dayanım düşük olduğu için bu doğrultuda hasar oldukça yaygındır (Şekil 6.5).

Basit duvar modelinde duvarlar için her katta tanımlanacak alanlara göre bulunan düşey yüklerin duvarlar tarafından düzlem içi normal gerilme ile karşılandığı kabul edilir. Eğer duvarlar planda olabildiğince düzgün düzenlenmişse, duvarların benzer biçimde zorlandığı kabul edilebilir. Hatta kat ağırlıkları duvar kesit alanına bölünerek yaklaşık düşey gerilmeler elde edilebilir. Ancak duvarların ara mesafeleri (duvarların birbirinden olan mesafeleri) önemli farklılık gösteriyorsa, duvar gerilmeleri farklılıklar gösterir ve ortalama gerilme hesabı uygun olmayabilir (Şekil 6.4).

Basit duvar modelinde deprem etkilerinin ilgili doğrultuda bulunan duvarlarda meydana gelen düzlem içi kesme kuvveti ile karşılandığı kabul edilir (Şekil 6.4). Düşey yüklerle birlikte yapının iki doğrultuda deprem analizi yapılarak, duvarlardaki kesme kuvveti ve dolayısıyla kayma gerilmeleri hesap edilir. Rijit diyaframa sahip yığma yapılarda duvarlara gelen kesme kuvveti düzlem içi rijitliklerine bağlı olarak hesaplanır. Rijit diyaframa sahip olmayan yapılarda ise duvarlara gelen kesme kuvveti taşıdığı eksenel yüke bağlı olarak hesaplanır. Oluşan kayma gerilmesi, duvardaki düşey normal gerilme de göz önüne alınmasıyla hesaplanan duvarın kayma dayanımı ile karşılaştırılarak, duvarın taşıma gücü güvenliği belirlenebilir. Duvar alanlarının kapı ve pencere gibi boşluklar çıkarılarak göz önüne alınması gerekir. Döşemenin rijit diyafram kabulü, döşeme düzlem içi rijitliğinin büyük olması ile mümkün olur. Depremde atalet kuvvetlerinin meydana geldiği döşemelerin rijit diyafram davranışı, kuvvetlerin duvarlara rijitlikleri oranında dağıtılmasını sağlar. Bu durumda modellemede döşemenin düzlem içi iki doğrultuda öteleme ve düşey doğrultu etrafında dönme serbestlik derecesini sahip olduğu kabul edilir. Betonarme döşemeler genellikle rijit diyafram kabulüne uygun düştüğü halde, ahşap kirişli döşemeler ve çatılar bu kabule uygun olmaz. Ancak, ahşap kirişli döşemeler üzerine yatay düzlemde ikinci bir kaplama levhası yapılması durumunda bu elemanların eksenlerine dik doğrultuda ahşap elemanlarla bağlanması, rijit diyafram özelliği için önemli bir işlemdir. Döşemelerde her durumda elastik davranış kabul edilerek, rijit diyafram kabulünün geçerliliği kontrol edilebilir ve düzlem içi gerilmelerin dağılımı bulunabilir. Döşemelerde rijit diyafram kabulünün yerinde de sağlanması, yapının taşıyıcı sistem güvenliğini yükseltmek için önemli bir adımdır.

Duvarların kesme kuvveti rijitliği esas alınarak kat için rijitlik merkezi tanımlanır. Duvarlara mesnetlenen döşemede meydana gelen atalet kuvvetinin rijitlik merkezine çok yakın olması durumunda deprem kuvveti bu doğrultudaki duvarlar tarafından karşılanır. Buna karşılık rijitlik merkezi ve kütle merkezi farklılık gösterirse, deprem kuvvetinin rijitlik merkezine iletilmesinde ortaya çıkan burulma momenti hesaplanır. Burulma momenti deprem etkisine paralel olmayan duvarlarda da kesme kuvveti meydana getirir. Ayrıca burulma momenti deprem doğrultusundaki duvarların bir bölümünde kesme kuvvetini arttırırken, diğer bölümünde azaltır. Bu açıklamalardan, planda duvarları dengeli dağıtılmış yapıların deprem güvenliğinin göreceli olarak daha yüksek olduğu anlaşılar. Rijit diyafram bulunmadığında duvarlar ise tekil davranış gösterir.

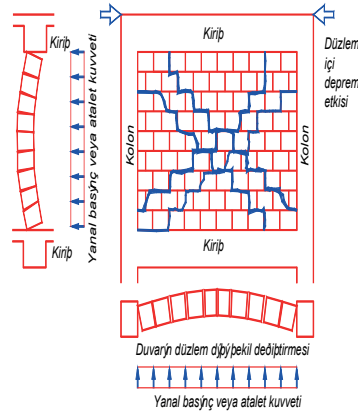
Bu modellemede duvarların kesme kuvveti etkisinde olduğu kabul edildiği için, kat yükseklikleri ve yapı toplam yüksekliği düşük olması beklenir. Yapının yüksekliğinin artmasıyla duvarlarda kesme kuvvetinin etkisi yanında, düzlem içi eğilme momenti de etkili olur. Ayrıca, pencere boşlukları arasında kalan duvar bölümlerinde de narinlik sebebiyle eğilme momentinin etkili olduğu bölümler bulunur. Bu durumda duvarların düzlem içi kesme rijitliklerinin yanında eğilme rijitlikleri de modele dahil edilir.



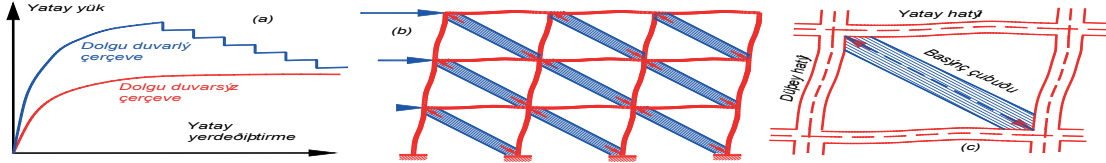
Şekil 6.4. Yığma duvarlı yapılarda duvarlarda meydana gelen normal kuvvetler ve kesme kuvvetleri

6.4.2. Çapraz Çubuk Modeli

Yığma duvarların modellenmesinde en çok kullanılan yöntemlerden biri yığma duvarın eşdeğer çapraz çubuk kabulü ile tanımlanmasıdır. Bu model ile yığma yapının doğrusal veya doğrusal olmayan analizi yapılabilir. Bu tür modelle, yığma duvarın (i) basınç ezilmesi ve (ii) çekme ile büyük çatlakların oluşması yoluyla, toptan göçmeye eriştiği kabul edilir (Şekil 6.6).



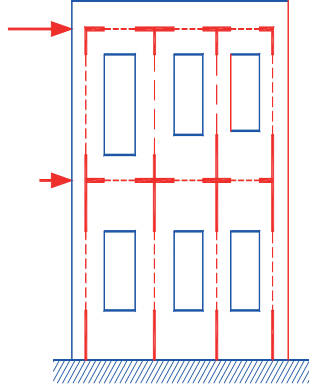
Şekil 6.5. Duvarda düzlem içi ve dışı etkiler



Şekil 6.6. Duvarda çapraz çubuk modeli

6.4.3. Eşdeğer çerçeve modeli

Bu yöntemde çubuklar en önemli taşıyıcı sistem elemanlarını oluşturur. Bilindiği gibi, çubuk eleman kesitlerinde iki doğrultuda kesme kuvveti ve eğilme momenti yanında burulma momenti de tanımlamak mümkündür. Bu tür elemanları uygun şekilde birleştirerek yığma yapının taşıyıcı sistem modellemesi yapılabilir. Çubuk elemanlar, hem eğilme hem de kesme davranışını yeterli şekilde temsil edebildikleri için duvar elemanlarını modellemek için kullanılabilir. Yığma yapılarda geniş duvarlarda kesme kuvveti şekil değiştirmesi etkili olurken, pencere boşlukları arasında kalan duvar bölümlerinde eğilme momenti etkili olur. Çubuk elemanlarla her ikisini de modellemek mümkün olur (Şekil 6.7).

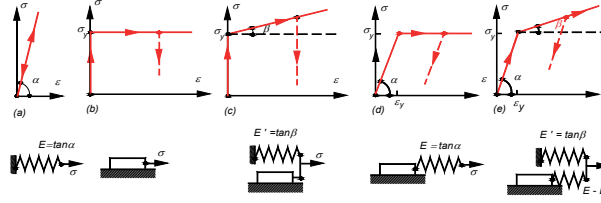


Şekil 6.7. Yığma yapıda çubuk elemanlar

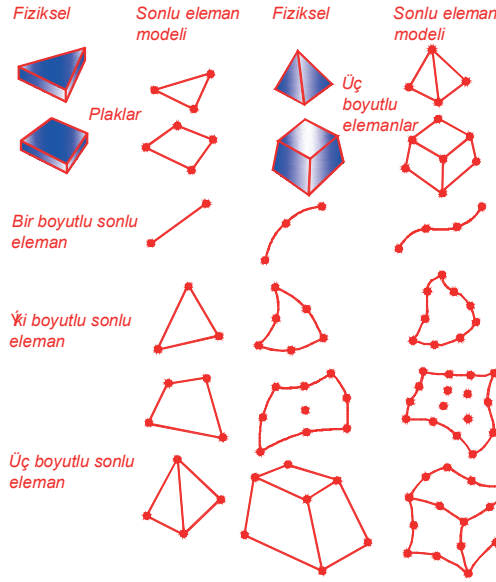
6.4.4. Sonlu eleman modeli

Sonlu eleman yönteminde, statik ve dinamik yapısal davranışın analizinde, gerilme ve şekil değiştirme arasındaki bağıntı (malzeme bünye denklemi), mesnet (sınır) şartlarını ve gerektiğinde başlangıç şartlarını temsil eden denklemler kullanılır (Şekil 6.8). Sayısal yöntemlerdeki gelişmeler ve yapısal analizdeki yazılımlar yüksek sayısal doğruluk seviyesinde karmaşık analizlerin yapılmasını sağlar. Yöntem, ayrıntılı yapısal analiz yapmak için kullanılabilir.

de, faydalı sonuçlar elde etmek için etkin modelleme önem taşır. Sonlu eleman analizinde, geometri Şekil 6.9'da gösterildiği gibi, doğrusal elemanlar (doğrusal çubuk veya eğrisel elemanlar, kiriş ve kolonlar), iki boyutlu elemanlar (yüzeyel duvarlar), kabuk elemanlar (eğrili yüzeyler) veya üç boyutlu katı elemanlar (kalın yapısal elemanlar) kullanılarak yapı modellenebilir.



Şekil 6.8. Çeşitli malzeme türleri



Şekil 6.9. Sonlu eleman türleri

Mevcut binaların doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle değerlendirilmesi, geometrik ve malzeme bakımından doğrusal ve doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak geliştirilmiştir. Doğrusal davranıştan ayrılma, geometriye bağlı büyük şekil değiştirme ya da malzemenin lineer olmayan davranışından kaynaklanabilir. Yapısal analizde elastik veya daha karmaşık malzeme modelleri de göz önüne alınabilir (Şekil 6.8).

Yukarıda açıklanan eşdeğer çerçeve yöntemindeki çubuk eleman da genel elemanlardan birisi olarak kabul edilebilir. Tarihi yapılardaki yapı elemanlarını modellemek amacıyla, eğilme momenti, kesme kuvveti ve burulma momenti etkisi altında bulunan kiriş elemanlar kullanılabilir. Tarihi yapılarda bulunan gergiler ve kirişler, yapıda kararlılığın sağlanmasında önemli elemanlardır. Bunlar tek boyutlu çubuk veya kiriş elemanla modellenenebilir. Küçük çubuk elemanlar birleştirilerek tek boyutlu eğrisel elemanlar oluşturulabilir. İki boyutlu düzlem içi kuvvetlere maruz levha elemanlar ve düzlem dışı etkilere maruz plak elemanlar geliştirilmiş olup, bu ikisi birleştirilerek daha kapsamlı düzlemsel kabuk elemanlar da tanımlanmıştır. Genellikle denge ve şekil değiştirme şartlarının sağlanması bakımından kabuk eleman yaygın biçimde kullanılır. İki doğrultuda eğriliğe sahip yüzeysel taşıyıcı sistemler küçük boyutlu düzlemsel elemanların birleştirilmesi ile temsil edilebilir. Taşıyıcı duvar gibi, kalın taşıyıcı elemanlar için kullanılmak üzere, üç boyutlu hacimsel sonlu elemanlar geliştirilmiştir ve değişik geometrilere tanımlanmıştır. Eleman türünün seçilmesinde taşıyıcı sistem elemanının geometrisi önemli rol oynar.

6.4.5. Yapım türüne bağlı modelleme

a. Yığma yapılar

Yığma yapılar yukarıdaki bölümlerde açıklandığı gibi, basit duvar modeli, çapraz çubuk modeli, eşdeğer çerçeve modeli, genel sonlu eleman modeli kullanılarak modellenenebilir. Düzenli yığma yapıda basit modeller yeterli olurken, karmaşık duvar düzeni olan yapılarda daha kapsamlı modeller kullanılabilir. Bunun gibi, sonuçlardan beklenen yaklaşıklık da model seçiminde etkili olur. Ancak kapsamlı modelin değerlendirilmesinde, daha çok tecrübe gerekeceği unutulmamalıdır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY) verilen modelleme ve değerlendirme kuralları da kullanılabilir.

b. Betonarme yapılar

Tarihi betonarme yapılar genellikle kolon kirişlerin oluşturduğu çerçevelerden oluşur. Aralarında rijitliği ve dayanımı yüksek tuğla bulunur. Bu sebepten bu tür yapılarda duvar durumu göz önüne alınarak modellenmelerine karar verilmesi uygundur. Eğer bölme duvarlara göre göreceli olarak kuvvetli bir kolon ve kiriş sistemi mevcutsa, taşıyıcı sistemin betonarme çerçeve sistem olarak üç boyutlu modellenmesi uygun düşer. Buna karşılık eğer kolon ve kiriş olan elemanlar çok zayıf ve duvarlar etkili ise, yapının yığma kabul edilip değerlendirilmesi yerinde olur. Ara bir durumda betonarme elemanlar çubuk sonlu elemanlarla ve yığma duvarlar da levha (mambran) elemanları kullanarak modelleme yapılabilir. Değerlendirme de bu iki sistem için ayrı ayrı yapılması gerekir. Her iki sistemin modellenmesinde TBDY'de verilen kurallar kullanılabilir.

c. Çelik yapılar

Çelik yapılar, önüretimli elemanların birleştirilmesiyle oluştuğu için yapıyı değerlendirmede ana ilke, yapının esasını oluşturan basit sistemlere odaklanmaktır. Buna ilave olarak, çelik elemanların montajı hakkında bilgi sahibi

olmak da değerlendirmenin etkinliğini artırır. Çelik yapının geometrisi, düşey ve yatay yükleri nasıl zemine aktardığı konusunda sistem anlaşıldıktan sonra, birleşimlerin oluşturulma şekli incelenerek uygun modelleme türüne karar verilir. Çelik yapılarda ve özellikle geçmişte inşa edilmiş olan demir veya çelik yapılarda modelleme ve analiz genelde bilgisayar yazılımı olmadan yapıldığı için bu analizleri azaltmak ve inşaatı kolaylaştırmak amacıyla çeşitli basitleştirmeler yapılmıştır. Örneğin, bütün kirişleri basit mesnetli yaparak momentlerin diğer elemanlara dağılımı önlenmiş ve moment aktaran çerçeveler yerine mafsallı birleşimleri olan çaprazların kullanıldığı çelik çerçeveler şeklinde basit sistemler ortaya çıkmış ve geniş uygulama alanı bulmuştur.

Çelik çerçevelerin modellenmesinde yaygın olarak elastik analiz ve elasto-plastik davranışı yansıtan modeller kullanılır. Elastik davranışta malzeme doğrusal elastik olarak kabul edilir. Tek ve çok katlı çerçevelerde, elasto-plastik yöntemler kullanılarak ve ilk plastik mafsaldan itibaren aşamalı olarak tüm çerçevede mafsalların oluşmasını göz önüne alan statik itme analizi yapılabilir. Bu işlemde çelik yapıların narinliği ve esnekliği sebebiyle stabiliteyi etkileyen ikinci merteye etkiler dikkate alınmalıdır, ancak çerçeve yeterince rijit ise bu etkiler ihmal edilebilir.

Çelik yapıların iki boyutlu modellemesi, sonuçların kolay yorumlanması bakımından tercih edilebilir. Buna karşılık üç boyutlu modelleme, kolaylıkla basit çerçevelere indirgenemeyen karmaşık sistemlerde kullanılır. Üç boyutlu modellerin çok büyük olması nedeniyle hata yapma ihtimali fazla olup, sonuçların değerlendirmesini bazen zorlaştırabilir. Alışlagelen çelik yapılarda birbirine dik iki doğrultuda iki boyutlu çerçevelerle hesap yapmak yeterlidir. Bütün yapıyı modellemek gerekirse, üç boyutlu modellemede bir doğrultuda moment birleşimleri, diğer doğrultuda mafsallı birleşimlerin kullanıldığı kabul edilerek modelleme yapılmalıdır.

Çelik elemanların birleşimlerin davranışı yapıdaki kesit etkilerinin dağılımını, şekil ve yerdeğiştirmeleri etkiler. Analizlerde birleşimler rijit, yarı-rijit ve mafsallı olmak üzere üç tip esas alınır. Çelik taşıyıcı sistemin modellenmesinde TBDY’de verilen kurallar kullanılabilir.

d. Ahşap yapılar

Tarihi ahşap yapıların düşey taşıyıcı elemanları; dikme ve çaprazlı çerçevelerden, yatay taşıyıcı elemanları ise; kirişler ve döşemelerden oluşur. Ahşap duvarlarda bulunan tuğla, kerpiç gibi dolgulardan yatay etki sırasında taşıyıcılık beklenmediği için, modellemede sadece ahşap çubuklar göz önüne alınır. Ahşap yapıların iç kuvvetleri çubuk eleman olarak modellenip bulunabilir. Ahşap yapılarda birleşim bölgelerinin yeterliliği ayrıca hesaplanmalıdır. Ahşap yapıların modellenmesinde TBDY’de verilen kurallar kullanılabilir.

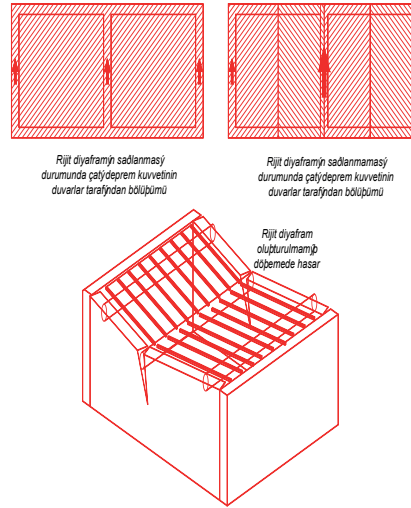
Basit duvar modeli, yığma yapılar için geliştirilmiş olmakla beraber, duvar düzeni dengeli olan ahşap yapılar için de uygulanabilir. Bu durumda duvarda bulunan kesme kuvvetlerinden ahşap taşıyıcı elemanlardaki etkiler hesaplanır.

6.5. Analiz Yöntemleri

Aşağıda özetlenen analiz yöntemlerinin ayrıntısı için TBDY’ne bakılabilir.

6.5.1. Doğrusal Tek ve Çok Modlu Statik Analiz

Analiz yöntemlerinden en yaygın uygulananı doğrusal statik yöntem olup, tek ve çok modlu olan uygulamaları mevcuttur. Tek modlu olan *Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* ve çok modlu olan *Mod Birleştirme Yöntemi* olarak bilinir. Deprem etkisi, yapının bulunduğu bölgeye ve zemine uygun spektrum ile tanımlanır. Yapının elastik ötesi davranışından oluşan kapasite artımı ve depremin yapıdan talebinde olan azalma, R_a Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ile hesaba katılır. Burada dikkat edilmesi gereken önemli husus, yapının deprem yükü azaltma katsayısı ile ilgili olan elastik ötesi şekil değiştirmeleri yapabilme (süneklik) özelliğinin bulunması ve bu tür hasarın ilgili deprem etkisi altında kabul edilebilir olmasıdır. Büyük azaltma katsayıları ile deprem yükü daha çok azaltılırken, daha büyük süneklik özelliğinin gerekli olacağı ve kabul edilebilir hasar düzeyinin de büyük olacağı unutulmamalıdır. Yığma yapılarda genellikle elastik ötesi davranış sınırlı olduğu için $R=3$ olarak önerilir. Ancak, minareler gibi taşıyıcı sistemi izostatik olan sistemlerde $R=2$ önerilir. Bu işlem için yapının doğal titreşim periyotlarına ihtiyaç duyulur. Analizde sadece spektrum eğrisi kullanılarak tek veya çok modlu yapılacak işlemin kullanılan yazılım tarafından yapılması da sağlanabilir. Diğer bir çözüm de yaklaşık denklemlerle yapının doğal titreşim periyodu hesaplanarak deprem kuvvetinin bulunmasıyla gerçekleştirilir. Elde edilen mod şekillerinden yapının depremdeki davranışı ve deprem etkisinde ortaya çıkan gerilme ve yerdeğiştirmelerden de yapının en çok zorlanan bölümleri anlaşılabilir. Doğrusal elastik analiz yapıldığı için, genellikle gerilmeler büyük değerlere ulaşabilir. Ancak, yapının doğrusal olmayan davranışı sebebiyle ortaya çıkan yerel ezilmeler, gerilmelerin sınırlı kalmasını sağlar. Meydana gelmesi beklenen gerilmeler azaltılmış deprem etkilerinden, yerdeğiştirmeler ise azaltılmamış deprem etkilerinden elde edilir.



Şekil 6.10. Döşemenin rijit diyafram oluşturmasının önemi

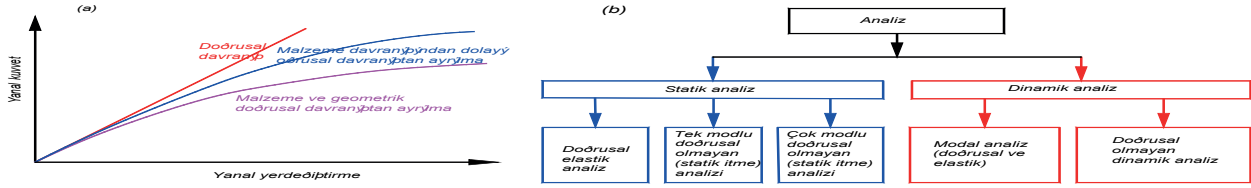
6.5.2. Zaman tanım alanında doğrusal analiz

Yapının kütle, sönüm ve rijitlik özelliklerini göz önüne alarak oluşturulan hareket denkleminin, seçilen bir ivme kaydı altında sayısal çözümlemesidir. Bu yöntemde de yapının elastik ötesi davranışını göz önüne almak için deprem yükü azaltma katsayısı kesitlerdeki gerilme ve iç kuvvetlerin hesabında da kullanılır. Ancak, şekil değiştirme ve yerdeğıştirmelerin hesabı belirli bir yaklaşıklıkla azaltılmamış deprem kuvvetlerden elde edilir. Çözüm için yapının bulunduğu yere ve zemin özelliklerine bağlı olarak ve spektrumu yönetmeliklerde verilen spektrumla uyumlu olan belirli sayıda deprem kaydının kullanılması gerekir. Belirli sayıda kayıt kullanılarak elde edilen sonuçlar uygun istatistiksel ilkelerle uygun birleştirilerek gerilme, iç kuvvetler, şekil değiştirme ve yerdeğıştirmeler elde edilebilir. Bu değerler zaman bağlı olarak hesaplandığı için, çok sayıda sonucun değeriendirilmesi gerekir.

6.5.3. Doğrusal Olmayan Analiz

Bu analiz yöntemleri tek modlu ve çok modlu itme analizi ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz olarak mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve yüksek binaların incelenmesi için geliştirilmiştir. Benzer ilkeler esas alınarak, bu yöntemler tarihi binalar için de kullanılabilir. Bu durumda iki önemli hususa özen göstermek gerekir. Bunlardan ilki doğrusal olmayan analizin kullanılabilir olması için, yapıda yeterli elastik ötesi şekil değiştirme kapasitesinin, yani sünekliğin, bulunması gerekir. Tarihi yapılarda sünekliğin yeni yapılan betonarme ve diğer tür yapılara göre daha sınırlı olduğu bilinir. İkinci husus da doğrusal olmayan analiz sonuçlarının, analiz ve malzeme parametrelerine bağlılığının yüksek olmasıdır. Sayısal sonuçların kullanılabilir olması için, bu parametrelerin olabildiğince gerçekçi olarak belirlenebilmesi ve analizde bu parametrelerin değışim aralığının da incelenmesi gerekir (Şekil 6.11).

Doğrusal olmayan statik analizde (itme analizi) taşıyıcı sistem elemanları çubuk elemanlarla iki veya üç boyutlu “Eşdeğer Çerçeve” olarak tanımlanır. Bu tür modellemede, eğilme plastik mafsalları çubuk uçlarına, kesme plastik mafsalları da çubuk ortasına yerleştirilir. Doğrusal olmayan artımsal itme analizi ile göçme mekanizması incelenmesi yapılabilir. İşlemin her adımında taşıyıcı elemanlardaki, elastik ötesi şekil ve yer değıştirmeler, katlar arası ötelenme oranı sınırlarıyla yaklaşık biçimde kontrol edilebilir. Analizde duvar elemanları iki boyutlu levha eleman olarak göz önüne alınabildiği gibi, çapraz çekme ve basınç çubuk elemanları olarak da modellenebilir.



Şekil 6.11. Tarihi yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan yapısal analizi

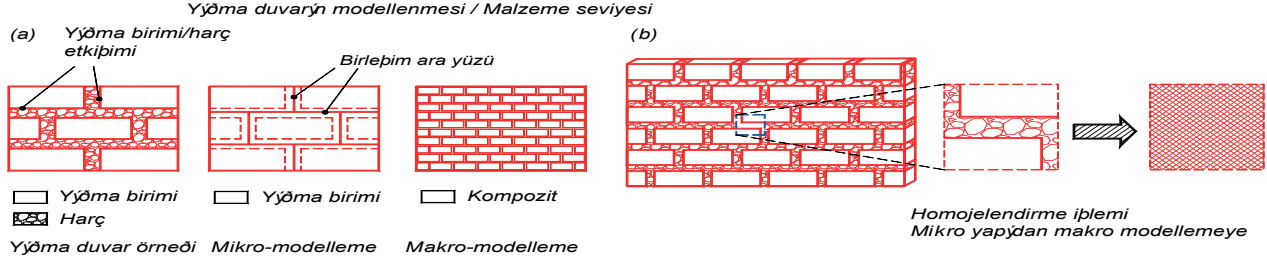
6.5.4. Modelleme seçenekleri, hassasiyeti ve analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Kullanılacak modelleme yaklaşımının seçimi, yapının davranışının belirlenmesi bakımından önemlidir. Bu yaklaşımın seçimi yapının geometrisine, yapım tekniğine ve modelden beklenen hassasiyete bağlı olarak değişebilir. Örneğin, kalın taşıyıcı duvarlar için, düşey düzlemsel elemanlar kullanılabildiği gibi, kalınlık boyunca bir veya daha fazla üç boyutlu prizmatik eleman kullanılabilir. Burada önemli bir husus seçimde bütün yapı için uyumlu olunmasıdır. Ancak, bazı durumlarda yapının bir bölümünde yapılacak ayrıntılı inceleme için, ilgili bölümde daha kapsamlı modelleme gerekebilir. Genellikle tüm yapı için benzer model hassasiyetinin korunması önerilir. Örneğin, kalın olmayan elemanlarda üç boyutlu elemanlar yerine, iki boyutlu elemanların kullanımı uygun olabilir. Elemanın basit türden seçilmesi modelin oluşturulmasında kolaylık sağlayacağı gibi, sonuçların da daha kolay değerlendirilmesini sağlar. Ayrıca, çoğu tarihi yapıda olduğu gibi, malzeme parametrelerinin ancak yaklaşık olarak belirlenebildiği hatırlanırsa, birçok durumda ayrıntılı model gerekli olmayabilir.

Malzeme ve yapısal belirsizlikler sebebiyle, farklı modelleme yaklaşımlarının sayısal sonuçları birbirinden farklı olabilir. Daha ayrıntılı bir analiz yönteminin, basit bir analiz yönteminden daha doğru sonuçlar üretmesi her zaman beklenmemelidir. Çoğunlukla basitleştirilmiş analiz basit yapısal mühendislik kuralları uygulanarak kontrol edilebilirken, ayrıntılı analizlerin sonuçlarını kontrol etmek ve yorumlamak kolay olmayabilir. Bir analizin yaklaşıklığının kullanılan yöntem yanında malzeme parametrelerine de bağlı olduğu unutulmamalıdır. Yığma birimin mekanik özelliklerinin ve yapım kalitesinin büyük farklılıklar gösterdiği durumlarda, genellikle ayrıntılı analizler gerekli olmayabilir. Malzeme parametrelerindeki değişiminin etkisini belirlemek için hassasiyet analizi yapılması önerilir.

Yığma yapılar; yığma birimlerden, bağlantı elemanlarından ve/veya harçtan oluşmaktadır. Bunların basınç mukavemetleri göreceli olarak yüksek olsa da, çekme mukavemetleri düşük olup, çekme gerilmesi altındaki davranışlarına güvenilemez. Bunun yanında, kayma gerilmesi altındaki davranışlarını belirlemek zordur. Çünkü kayma gerilmesinin uygulanması ve deneyin izlenmesi kolay bir durum değildir. Yığma duvar birimindeki kayma gerilmesi etkisinin, asal doğrultularda oluşan çekme ve basınç etkisine çevrilerek değerlendirilmesi çoğu zaman daha kolaydır. Ancak yığma birimlerinin arasındaki harcın bağlantısının incelenmesinde doğrudan kayma gerilmesi etkisi göz önüne alınarak değerlendirilir.

Yığma yapılarda diğer bir modelleme türü, yığma birimlerinin ve harcın farklı olarak modellenip birleştirilmesi şeklindedir. Mikro modelleme olarak isimlendirilen bu tür işlemde birimlerin, harcın ve ara birleşiminin yük altındaki davranışı için ek kabullere ve tanımlanan parametrelerin sayısal değerlerine ihtiyaç olacaktır. Bu yöntem genellikle yapısal bir elemanın tekil davranışının ayrıntılı şekilde belirlenmesi için kullanılır (Şekil 6.12).

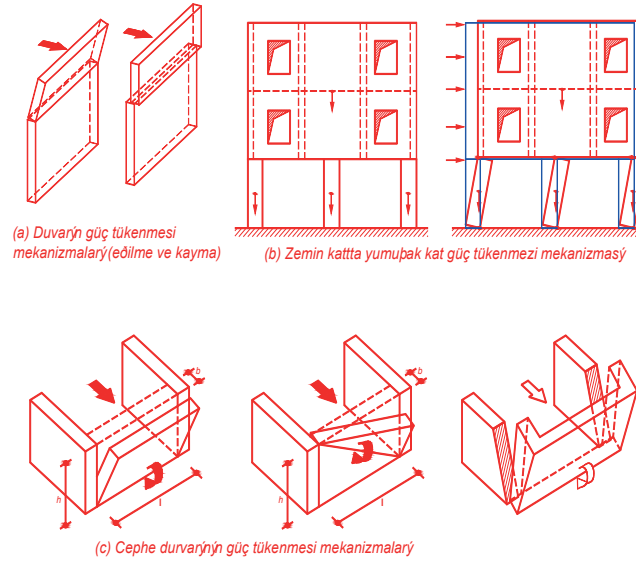


Şekil 6.12. Mikro ve makro modelleme türleri

Tarihi ahşap yapı sistemleri; yığma, dolgulu ve dolgusuz ahşap iskeletli olarak çeşitlenmektedir. Çerçeve sistemindeki birleşimlerin moment aktaran ya da aktarmayan olmasına bağlı olarak çubuk elemanlardan oluşan sistem şeklinde modellenip, kesit etkileri hesaplanabilir. Bu birleşimlerin taşıdığı kuvvetler, kesit tesirleri ve birleşim açısı göz önüne alınarak ayrıca hesaplanmalıdır. Duvarlar, döşemeler ve çatı sistemlerinde yük dağılımının belirlenmesi için bazı basitleştirici kabuller gerekli olur. Doğrusal malzeme modeli ve analiz yanında, sünek birleşimler sağlanarak, elastik ötesi analiz yöntemleri de kullanılabilir.

6.5.5. Mekanizma durumunu esas alan analiz yöntemi

Yığma yapıların deprem güvenliğini değerlendirmek için doğrusal ve doğrusal olmayan kinematik analiz yöntemi de kullanılabilir. Kinematik analiz, (i) muhtemel göçme mekanizma durumlarının tanımlanması, (ii) her bir mekanizma durumunu harekete geçirecek yatay kuvvetin ve bu yatay kuvveti oluşturmak için gerekli olan yatay deprem ivmesinin belirlenmesi, (iii) deprem yatay ivme talebinin belirlenmesi ve kapasite ile karşılaştırılması ve ortaya çıkabilecek mekanizma durumunun belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Bir yığma yapının tümünün veya bir bölümünün düşey ve yatay yükler altındaki güvenliğinin belirlenmesi için, çok sayıda mekanizma durumunun incelenmesi gerekebilir (Şekil 6.13).



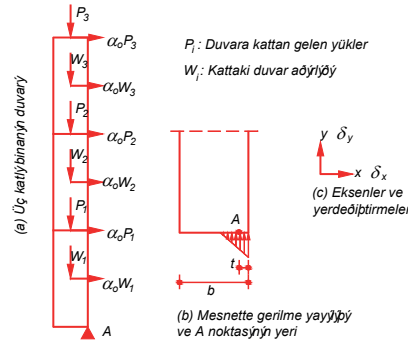
Şekil 6.13. Çeşitli mekanizma durumları

Hesaplama belirli bir göçme (mekanizma) durumu kabul edilerek, oluşması beklenen düşey ve yatay yükler sisteme yerleştirilir ve mekanizma durumu ile uyumlu virtüel yerdeğiştirme gözönüne alınır. Virtüel iş ilkesi kullanılarak karşı gelen yatay kuvvet hesap edilir. Olası tüm mekanizma durumlarındaki atalet kuvveti ve bu durumlarda birleşim bölgelerinde meydana gelen etkiler hesaplanarak kontrol edilir, muhtemel göçme durumu belirlenir. Yapının geometrisinin karmaşık olduğu durumlarda göçme durumu sayısı çok ve virtüel iş hesabında kullanılan geometrik bağıntılar karmaşık olabilir. Bu işlemde özellikle yığma duvarlar arasındaki bağlara, birleşim bölgelerine ve elemanlarına gelecek kuvvetler hesap edilerek kontrolün yapılması önemlidir. Örneğin, birbiri ile birleşen iki yığma duvar veya yığma duvarla döşeme arasındaki bağlantıda ortaya çıkacak kuvvetler hesap edilip karşılanması ile bölgesel göçme önlenirken, yapıda daha büyük atalet kuvveti gerektiren toptan göçmenin ortaya çıkması sağlanır. Bu işlemde diğer önemli bir husus, bölgesel göçme durumlarının tespit edilmesidir. İncelenen bölgedeki duvar ve döşemede ek elemanların ve boşlukların bulunması, göçme türünü değiştirebilir ve sayısını arttırabilir.

Bu mekanizma yaklaşımında genel olarak; (i) duvarın ve duvar parçalarının rijit blok davranış gösterdiği ve (ii) duvarı oluşturan yığma elemanların çekme dayanımının olmadığı, kabulleri yapılır. Duvara etkiyen düşey yükler yanında döşemeden ve çatıdan duvara iletilen yükler de göz önüne alınır. Her bir mekanizma durumu için bulunacak yatay kuvvet, hareket eden ağırlığa oranlanarak yatay etki çarpanı (yatay yük/ağırlık) her bir göçme mekanizması için hesap edilerek değerlendirme yapılır. Yöntemin basitliği, izlenebilirliği önemli bir üstünlüğü olmakla beraber, bazı

durumlarda mekanizma durumunun karmaşıklığı bir sakınca olarak bilinir. Ancak mekanizma durumları basitleştirilerek bu zorluk yenilebilir (Şekil 6.14).

Düzlem içi mekanizma durumu karmaşık olduğundan, göçme mekanizmasını belirlemek çoğu zaman çok zordur. Ancak düzlem dışı göçme mekanizmaları, gerek mevcut hasar biçiminden gerekse de daha önceki depremlerde gözlenen göçme biçimlerinden, daha kolay biçimde belirlenebilir. Bu nedenle bu kılavuzda, düzlem içi analizde önceki bölümlerde verilen analiz yöntemlerinin, düzlem dışı analizde ise bu bölümde verilen kinematik analiz yönteminin kullanılması önerilir.



Şekil 6.14. Çok katlı binanın dış duvarında mekanizma durumu

Yöntemi açıklamak için rijit davrandığı kabul edilebilen tekil bir duvar göz önüne alınsın. Duvarın parçalarına düşey P_i yüklerinin etkidiği ve bu duvar parçalarının ağırlıklarının W_i olduğu kabul edilsin. Bu duvarın A noktası etrafında dönmesine sebep olan ve ağırlıkla orantılı olan yatay yüklerinin α_o yük çarpanı, duvarın A noktası etrafında virtüel bir dönme yaptığı ve bu işlemde yapılan virtüel işlerin toplamının bulunup, sıfıra eşitlenmesiyle, aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Şekil 6.15)

$$\alpha_o \sum_i P_i \delta_{xi} + \alpha_o \sum_i W_i \delta_{xi} - \sum_i P_i \delta_{yi} - \sum_i W_i \delta_{yi} = 0$$

Burada δ_{xi} ve δ_{yi} ilgili kuvvetlerin yatay ve düşey yerdeğiştirmelerini göstermektedir. Bu örnekte olduğu gibi, dönme sırasında yatay yerdeğiştirmelerin kuvvetle aynı yönde ve düşey yerdeğiştirmelerin zıt yönde meydana geldiği kabul edilmiştir. Yatay ve düşey yerdeğiştirmeler dönme açısına bağlı olarak yazılan bağıntıdan duvarın A noktası etrafında dönmesine sebep olacak en düşük α_o yük çarpanı hesaplanabilir. Bu açıklanan dönmenin birinci titreşim modu olduğu kabul edilirse, yapı dinamiği bilgileri kullanılarak bu moda ait M^* Etkin Modal Kütle ve a_o^* Kütlem Katılım Oranı ve a_o^* göçme mekanizmasını oluşturan Spektral İvme değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$M^* = \left[\sum_i (W_i \delta_{xi}) + \sum_i (P_i \delta_{xi}) \right]^2 / \left[g \sum_i (W_i \delta_{xi}^2) + g \sum_i (P_i \delta_{xi}^2) \right]$$

$$a_{kapasite}^* = \left[\alpha_o (\sum_i W_i + \sum_i P_i) \right] / M^* = \alpha_o g / e^* \quad e^* = g M^* / \left(\sum_i W_i + \sum_i P_i \right)$$

Hemen kullanım performans seviyesi: Göçme mekanizmasını oluşturacak spektral ivme değeri, yapıdan beklenen performans seviyesi için belirlenen en büyük yer ivmesi değerinden daha büyük ise, bu göçme mekanizmasının oluşmayacağı kabul edilir. Göçme mekanizmasının temel seviyesinde olması durumunda,

$$a_{kapasite}^* \geq a_g \quad a_{kapasite}^* \geq 0,4gS_{DS}$$

eşitsizliğinin sağlanması gereklidir. Burada a_g yapıdan hemen kullanım performans seviyesine göre tanımlanan depremin, deprem tehlike haritasında tanımlanan en büyük yer ivmesi, S_{DS} kısa periyot bölgesi için tasarım Spektral İvme Katsayısı, ve g yerçekimi ivmesidir. S_{DS} değerinin belirlenmesinde TBDY taslak yönetmelikteki kurallar geçerlidir. Deprem Yönetmeliği'nde (2007) $a_g = A_o g$ ve TBDY'de (2017) $S_{DS} = S_S F_S$ olarak tanımlanmıştır. Göçme mekanizmasının temel seviyesi yerine belirli bir yükseklikte, yapı yüksekliğince herhangi bir seviyede olması durumunda ise;

$$a_{kapasite}^* \geq a_g S(T_1) \Phi(z/H) \Gamma \quad a_{kapasite}^* \geq S_{ae}(T_1) \Phi(z/H) \Gamma$$

yazılabilir. Burada $S(T_1)$ birinci moda ait Spektrum Katsayısı, olup detaylı hesap yapılmadığı durumda 2,5 olarak alınabilir. T_1 ; Tüm yapının göz önüne alınan doğrultudaki birinci mod periyodu, $S_{ae}(T_1)$; yapının göz önüne alınan doğrultudaki birinci moduna ait yatay tasarım elastik spektral ivmesidir. $S_{ae}(T_1)$ 'in hesaplanmasında TBDY (2017)'deki kurallar geçerlidir. Daha detaylı bir hesap yapılmadığı durumda $S_{ae}(T_1) = g S_{DS}$ olarak alınabilir. $\Phi(z/H)$ kinematik mekanizmanın tepe noktasına göre normalize edilmiş birinci birinci mod şekli olup, daha ayrıntılı hesap yapılmadığı durumda yaklaşık olarak z/H olarak alınabilir. H duvarın temel seviyesinden yüksekliği, z göçme mekanizmasında göz önüne alınan duvarın taban seviyesinin temel seviyesine göre yüksekliği ve Γ modal katkı çarpanı olup, bina türü yapılarda N kat adedi olmak üzere $\Gamma \approx 3N / (2N + 1)$ kabul edilebilir. Cami, hamam kervansaray gibi tek katlı yapılarda $\Gamma = 1.1$, minare gibi kule tipi yapılarda $\Gamma = 1.5$ olarak alınabilir (Lagomarsino ve Podesta, 2004). Hemen kullanım performans seviyesinde sistemin doğrusal elastik davranması istendiğinden deprem kuvveti R_a Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ile azaltılmamıştır. *Can güvenliği performans seviyesi:* Göçme mekanizmasının, temel seviyesinde olması durumunda,

$$a_{kapasite}^* \geq \frac{a_g}{R_a} \quad a_{kapasite}^* \geq \frac{0,4gS_{DS}}{R_a}$$

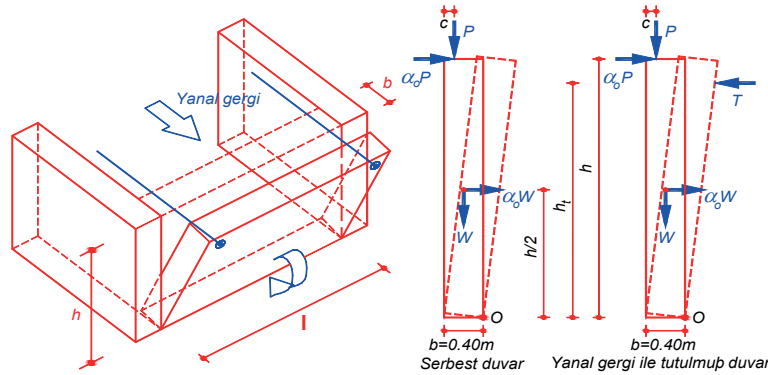
Göçme mekanizmasının temel seviyesi yerine belirli bir yükseklikte olması durumunda ise;

$$a_{kapasite}^* \geq \frac{a_g S(T_1) \Phi(z/H) \Gamma}{R_a} \quad a_{kapasite}^* \geq \frac{S_{ae}(T_1) \Phi(z/H) \Gamma}{R_a}$$

eşitsizliğin sağlanması gerekmektedir. R_a Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı olup, 2.0 kabul edilmesi önerilir. Bu analizde duvar rijit kabul edildiği için, analizde duvarın mekanik özelliklerine ihtiyaç duyulmaz. İşlemde düzlem dışı devrilme esnasında, mesnet teşkil eden kesitte gerilme yığılmasına bağlı olarak, duvar basınç dayanımına erişmediği varsayımıyla duvarın kesitin en dış noktası etrafında döndüğü (devrildiği, göçtüğü) kabul edilir. Düzlem dışı devrilme esnasında, mesnet teşkil eden kesitte gerilme yığılmasına bağlı olarak, duvar basınç dayanımına eriştiği kabul edilmesi durumunda, duvarın düzlem dışı dönme noktası $b-t$ olarak tanımlanır (Şekil 6.14 ve 6.15):

$$t = \sum_i W_i / (1.5 \sigma_r l)$$

Burada t duvar dış yüzeyinden dönme noktasına olan mesafe, σ_r duvar malzemesinin güvenlik katsayısı ile azaltılmış duvar basınç dayanımı, $\sum_i W_i$ incelenen duvara etkiyen toplam eksenel yük ve l duvar uzunluğudur.



Şekil 6.15. Basit mekanizma durumuna örnek

Örnek 1:

Şekil 15'deki bina cephe duvarının devrilme durumunun incelenmesi. Cephe duvarının göz önüne alınan mekanizma durumuna sebep olan $\alpha_o W$ atalet kuvvetini oluşturacak α_o parametresini belirlemek üzere O noktası etrafında kuvvetlerin moment dengesi yazılabilir:

$$W b / 2 - \alpha_o W h / 2 + P(b - c) - \alpha_o P h = 0 \quad \alpha_o = [W b / 2 + P(b - c)] / [h(W / 2 + P)]$$

Bu mekanizma durumunda etkin olan kütlenin toplam kütleyle oranı ise aşağıdaki gibi bulunur:

$$e^* = \frac{M^*}{(W+P)/g} = \frac{1}{(W+P)/g} \frac{(\sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj})^2}{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj}^2} = \frac{1}{(W+P)} \frac{(W h / 2 + P h)^2}{(W h^2 / 4 + P h^2)} = \frac{1}{(W+P)} \frac{(W / 2 + P)^2}{(W / 4 + P)}$$

Burada döşemeden gelen üstteki yükün de bir kütleyle sahip olduğu kabul edilmiştir. $c = 0.10m$, $h = 3.0m$, $b = 0.40m$, $P = 4.2kN$ ve $W = \gamma b l h = 20kN / m^3 \times 0.40m \times 4.0m \times 3.0m = 96.0kN$ kabul edilirse, $\alpha_o = 0.13$, $e^* = 0.96$ ve $M^* = 9.85kN / s^2$ ve

$$a_{kapasite}^* = \alpha_o (W+P) / M^* = \alpha_o g / e^* = 0.136g$$

bulunur. Yapının bulunduğu bölgede en büyük yer ivmesi $a_g = 0.40g$ kabul edilirse,

İncelenen göçme mekanizmasında duvar, yapının tabanından itibaren devrildiği için;

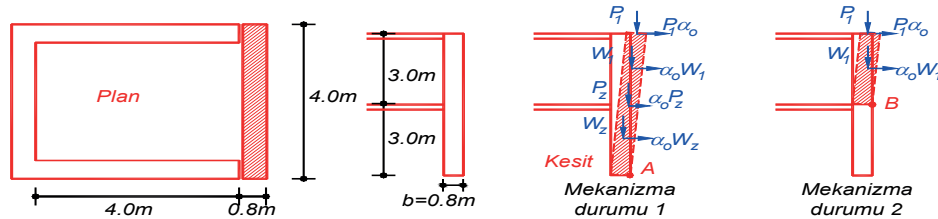
$$a_{kapasite}^* = 0.136g < a_g / R_a = 0.40g / 2 = 0.20g$$

hesap edilir. Kapasite (0.136g), talepten (0.20g) daha küçük olduğu için bu göçme mekanizması gerçekleşebilir. Bu durumda duvarı yerinde tutmak için gerekli toplam T gergi kuvveti, benzer şekilde O noktasına göre denge yazılarak $h_t = 2.80m$ ile bulunabilir:

$$W b / 2 - \alpha_o W h / 2 + T h_t + P(b-c) - \alpha_o P h = 0 \quad T = 3,88kN$$

Örnek 2:

Şekil 6.16'daki kat planı verilen iki katlı binada, ön duvarın kısmi olarak düzlem dışı devrilme analizi ve güvenliğinin belirlenmesi.



Şekil 6.16. Basit mekanizma durumuna örnek

Şekilde verilen birinci mekanizma durumunda duvarın A noktası etrafında ve ikinci mekanizma durumunda duvarın B noktası etrafında düzlem dışı devrilmesi kabul edilmiştir. Duvar kalınlığı $t = 0.80m$, kat yükseklikleri $h = 3.00m$ olup, döşemeler ahşap tek doğrultuda duvara yük aktaran kirişlemeli türdendir. Döşemeden, açıklığın yarısı kadar bir alandan incelenen duvara yük aktarıldığı kabul edilecektir. Sabit yük $g = 8.0kN / m^2$ ve hareketli yük

$q = 2.0kN / m^2$ hareketli yük katılım katsayısı $n = 0.3$, duvar birim hacim ağırlığı $20kN / m^3$ olduğu ve yapının bulunduğu alanda % 10 aşılma olasılığına karşılık gelen depremde Spektral İvme Katsayısı $S_{DS} = 1,0g$ olarak kabul edilmiştir.

Mekanizma durumu: 1

Zemin kat duvar ağırlığı: $W_z = 20 \times 0.80 \times 4.00 \times 3.00 = 192.0kN$

Zemin kat döşemesinden gelen yük: $P_z = 2.0 \times 4.0 \times (8.0 + 0.3 \times 2.0) = 68.8kN$

Birinci kat duvar ağırlığı: $W_1 = 192.0kN$

Birinci kat döşemesinden gelen yük: $P_1 = 68.8kN$

Duvarı dengede tutan kuvvetlerin oluşturduğu moment: $(P_1 + W_1 + P_z + W_z) \times t / 2 = 208.6kNm$

Duvarı devirmeye çalışan moment:

$$\alpha_o W_z h / 2 + \alpha_o P_z h + \alpha_o W_1 (h + h / 2) + \alpha_o P_1 (h + h) = 1771.2 \alpha_o = 208.6$$

$$\alpha_o = 0.12$$

Kat yerdeğiştirmeleri: $\delta w_z = 0.25 \quad \delta p_z = 0.50 \quad \delta w_1 = 0.75 \quad \delta p_1 = 1.00$

$$M^* = [P_1 \delta_{p1} + P_z \delta_z + W_1 \delta_{w1} + W_z \delta_{wz}]^2 / [g(P_1 \delta_{p1}^2 + P_z \delta_z^2 + W_1 \delta_{w1}^2 + W_z \delta_{wz}^2)] = 43.1kNs^2 / m$$

$$e^* = gM^* / (P_1 + P_z + W_1 + W_z) = 0.81$$

Göçme mekanizmasını oluşturan spektral ivme:

$$a_{kapasite}^* = \alpha_o (P_1 + P_z + W_1 + W_z) / M^* = \alpha_o g / e^* = 0.12g / 0.81 = 0.15g$$

$$a_{kapasite}^* = 0.15g < 0.4g S_{DS} / R_a = 0.40g / 2 = 0.20g$$

$$a_{kapasite}^* / a_{talep} = 0.15g / (0.20g) = 0.75 < 1.0$$

Can Güvenliği performans seviyesi için Mekanizma 1 in gerçekleştirilebileceği ve güçlendirmenin gerekli olduğu anlaşılır.

Mekanizma durumu: 2

Duvarı dengede tutan kuvvetlerin oluşturduğu moment: $(P_1 + W_1) \times t / 2 = 104.3kNm$

Duvarı devirmeye çalışan moment: $\alpha_o W_1 h / 2 + \alpha_o P_1 h = 494.4 \alpha_o = 104.3$
 $\alpha_o = 0.21$

Kat yerdeğiştirmeler:

$$\delta w_1 = 0.50 \quad \delta p_1 = 1.00$$

$$M^* = [P_1 \delta_{p1} + W_1 \delta_{w1}]^2 / [g(P_1 \delta_{p1}^2 + W_1 \delta_{w1}^2)] = 23.7 kNs^2 / m$$

$$e^* = gM^* / (P_1 + W_1) = 0.89$$

Göçme mekanizmasını oluşturan spektral ivme:

$$a_{kapasite}^* = \alpha_o (P_1 + W_1) / M^* = \alpha_o g / e^* = 0.21g / 0.89 = 0.24g$$

Deprem talebi $S_{ae} = gS_{DS}$ ve $R_a = 2$

$$\text{kabulü ile: } \Phi(z/h) = z/h = 0.5 \quad \Gamma = 3N / (2N + 1) = 3 \times 2 / (2 \times 2 + 1) = 1.2$$

$$a_{talep} = S_{ae} \Phi(z/h) \Gamma / R_a = 1,0 \times 0.50 \times 1.2 / 2 = 0.30g > a_o^* = 0.24g$$

$$a_{kapasite}^* / a_{talep} = 0.24g / (0.30g) = 0.79 < 1.0$$

Mekanizma 2 nin de gerçekteşebileceğı ve güçlendirmenin gerekli olduğı anlaşılr.

1.1. Düşey yükler altında yapısal güvenlik

Tarihi yapılar genellikle düşey yüklere göre belirli bir yapısal güvenlikle inşa edilmiştir. Daha önceki deneyimlerden yararlanılarak depremde ortaya çıkan yatay kuvvetlere karşı da belirli ölçüde güvenlik sağlanmıştır. Tarihi yapıların taşıyıcı sistemi konusunda günümüze pek az yazılı belge intikal ettiğı için, bu güvenliklerin oluşturulmasında uyulan ilkeler ancak tahmin edilebilmektedir. Tarihi yapıların taşıyıcı sistemlerinin düzenlenmesinde usta-çırak ilişkisi ile aktarılan kavram, ilke ve deneyimlerin önemli yer tuttuğı açıktır. Depremlerle veya başka etkilerle hasar gören yapıların, hasar sebebinin ve geçmiş müdahalelerin incelenmesi yol gösterici olur.

Düşey yükler yapıya inşasından itibaren etkimeye başlar, yapının uzun yıllar ayakta durması belirli bir güvenliğin sağlandığına işaret eder. Ancak, bu güvenlik seviyesi her zaman yeterli olmayabilir. Yapıya etkiyen en önemli yük ağırlık yükleridir. Bunlara ilave olarak kullanma yükleri olan ek (hareketli) yükler de etkili olur. Yığma yapılarda kullanılan malzemenin genellikle çekme dayanımı düşük olduğı için, olabildiğince çekme gerilmelerinin meydana gelmediğı tonoz ve kubbe gibi yapı elemanları tercih edilmiştir. Çekme kuvvetinin gergilerle karşılandığı durumlar yaygındır. Bunun sonucu olarak kalın ve kütleli yapı elemanları ortaya çıkmıştır. Elemanların kendi ağırlıklarından meydana gelen gerilmeler, kullanma yüklerinden oluşarlara göre oldukça yüksektir. Genellikle yığma yapılardaki yapısal incelemede, kullanma yüklerinin göz önüne alınmasına ihtiyaç olmayabilir. Ancak, kullanma yüklerinin na-

rin tonoz ve kubbe gibi yapı elemanlarına simetriyi bozan biçimde yerel etkimeleri güvenlik bakımından göz önüne alınacak bir durum olabilir. Bunun gibi, ahşap yapılarda ve ahşap döşemelerde yapı ağırlığı göreceli olarak düşük olduğu için kullanma yüklerinin güvenlik incelemesinde göz önüne alınmaları gerekir. Çatılarda kar ve rüzgar yükünün önemli olduğu unutulmamalıdır.

Yapının düşey yükler altında güvenliğinin tanımında, en önemli husus elemanların ağırlık yüklerinin taşıyıcı olan diğer elemanlara iletilmesidir. Döşeme yükleri, yatay ve düşey elemanlara ve sonunda temellere ve oradan zemine iletilir. İletiminin her adımında eleman ağırlıkları ile yükler artar ve kesitler büyür. Burada önemli diğer bir husus da yüklerin iletilmesinde taşıyıcı sistem elemanlarının birleşim bölgeleri önemli derecede zorlanır. Elemanlar yeterli mukavemete sahip olsa da, birleşim bölgeleri yeterli değilse, yeterli güvenlik sağlanamaz. Bu sebepten elemanların mukavemetlerinin yeterli olması kadar, birleşim bölgelerinde oluşan gerilmelerin karşılanması önemlidir.

Tarihi yapılarda yapısal olan ve olmayan elemanları birbirinden ayırmak her zaman kolay olmayabilir. Bazı durumlarda birleşim bölgesi yapısal elemanlar arası geçiş bölgesi olarak kabul edilebilir. Bir kubbenin mesnet bölgesinde desteklenmesinde kesitin kalınlaştırılması ile ortaya çıkan birleşim bölgesi, bu duruma bir örnek kabul edilebilir. Bunun gibi, bir tonozun mesnetlerinin gergi ile birleştirilmesinde de birleşim bölgesi oluşturulur. Genellikle, tarihi yapılarda, güvenliği en düşük olan bölge, farklı elemanların oluşturduğu birleşim bölgesidir. Bir duvarın döşeme ile birleşimi buna örnek sayılabilir. Güvenliğin sağlanmasında diğer bir önemli husus da ağırlık yüklerinin üstten itibaren zemine iletilmesinde birden fazla kuvvet akış yolunun bulunmasıdır. Başka bir ifade ile yerel veya bütünsel anlamda yapıda çok bağıllık (hiperstatiklik) derecesinin yüksek olması, güvenliği artırır. Bu suretle kuvvet akış yollarından birinin yetersiz olması veya hasar görmesi durumunda yapıda denge bozulmadan, yükler başka bir yolla temele aktarılabilir.

Düşey yükler altında güvenliğin sağlanması, yapısal elemanlardaki ve birleşim bölgelerindeki gerilmelerin kabul edilen sınır gerilmelerin altında kalması ve yapının kararlı denge konumunda olması olarak tanımlanabilir. Ancak, gerilmelerin karşılaştırılması, matematiksel bir işlem olarak görülmemelidir. Düşey yükler altında bulunacak gerilmelerin, yapısal modellemenin yeterliliği ve kullanılan malzemenin mekanik parametrelerin değerlerinin hassasiyeti kadar gerçekçi olduğu ve bu değerlerin deneyimli mühendise sadece yol gösterici olduğu unutulmamalıdır.

Düşey yükler altında güvenliğin sağlanmasında, temele ulaştırılan yüklerin zemine iletilmesi önemli yer tutar. Yığma ve ahşap yapılarda yükler yaygın biçimde taşıyıcı yığma duvarlar kalınlaştırılarak oluşturulan temelle zemine iletilir. Zeminde oluşan gerilmeler temelin genişletilmesiyle azaltılabilir.

Oluşan zemin gerilmelerinin zemine ait güvenli taşıma gücü değerlerini aşmaması yanında, temelerde üst yapıyı etkileyecek oturmaların özellikle farklı oturmaların meydana gelmemesi beklenir. Genellikle üst yapıda belirgin bir değişiklik meydana getirilmediğinde tarihi yapılarda zemin gerilmeleri ve oturmalar önemli bir sorun oluşturmaz-

lar. Geçen zaman içinde bu tür sorunların ortaya çıkması ve gerekli tedbirin alınmış olması beklenir. Bu sebepten taşıyıcı sistem güvenliği sebebiyle temellere müdahaleye genellikle ihtiyaç duyulmaz. Ancak, üst yapıda bir şekilde yük arttırılmışsa veya günümüzde çoğu zaman olduğu gibi, çevrede yapılan kazılar sebebiyle zemin seviyesinde yapılan değişiklik, temellerin kısmen de ortaya çıkmasına veya zemin hareketine sebep olabilir. Bu durumda temelin genişletilmesi veya temelin bölüm bölüm yenilenmesi sözkonusu olabilir. Bazı durumlarda zeminin taşıyıcılığını arttırmak da gerekebilir, ender durumda da çelik boru veya betonarme mini kazıklarla temele inen yükün daha aşağıda bulunan zemin tabakalarına iletilmesi de çözüm olabilir.

6.7. Deprem Etkisi

Yapıların deprem altında tasarımında esas alınacak deprem etkisi ile ilgili veriler *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*'nde (TBDY 2017) tanımlanmış olup, bununla ilgili olarak *Türkiye Deprem Tehlikesi Haritaları* verilmiştir. Bu bölümde, yönetmelikte mevcut ve yeni yapılacak binalar için verilen kurallar tarihi yapılara uygulanma bakımından özetlenmiştir. Tarihi yapılardaki belirsizlikler yanında, bu yapılarda güçlendirme müdahalesinin kapsamının sınırlı tutulmasının gerekmesi bakımından yönetmelikte verilen kuralların basitleştirilmesi ve sınırlandırılması yoluna gidilmiştir. Tarihi yapıların taşıyıcı sistem güvenliğinin değerlendirilmesinde üç deprem düzeyi öngörülür:

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1): 50 yılda aşılma olasılığı %2 ve tekrarlanma periyodu 2475 yıl olan yer hareketi, çok seyrek deprem hareketi olarak tanımlanır ve *göz önüne* alınan en büyük deprem olarak adlandırılır.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2): 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve tekrarlanma periyodu 475 yıl olan yer hareketi, *seyrek* deprem hareketi olarak tanımlanır ve *standart tasarım depremi* olarak adlandırılır.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3): 50 yılda aşılma olasılığı %50 ve tekrarlanma periyodu 72 yıl olan yer hareketi, *sık deprem* olarak adlandırılır.

Bu depremlerin yatay ve düşey elastik spektrumları, belirli bir deprem için referans zemin koşulları esas alınarak yönetmelikte tanımlanmıştır. Tarihi yapılarda genellikle yatay deprem bileşeninin göz önüne alınması yeterli olur. Ancak, büyük açıklıklarda veya konsollarda düşey deprem bileşeninin göz önüne alınması gerekebilir. Değerlendirilen yapının önemine ve özel zemin durumlarında yapının bulunduğu sahaya özel deprem tehlikesi analizleri ile sahaya özel deprem spektrumların tanımlanmasına ihtiyaç duyulabilir. Bu spektrumlar *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*'nde (TBDY 2017) verilen spektrumdan daha küçük olamaz. Gereken durumlarda tarihi yapının taşıyıcı sisteminin zaman tanım alanında üç boyutlu deprem hesabında gerekli deprem hareketlerinin seçimi ve ölçeklendirilmesi için uygulanması gerekli kurallar yönetmelikte verilmiştir.

6.8. Deprem Etkisi Altında Yapısal Güvenlik

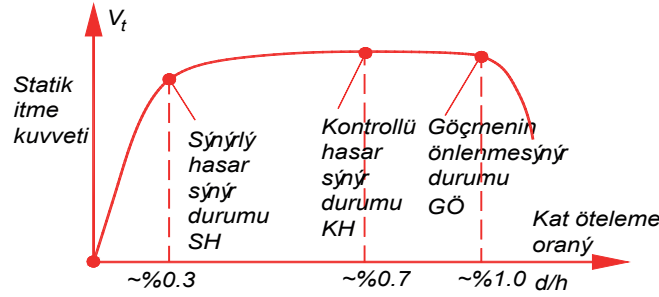
6.8.1. Hasar görülebilirlik ve performans düzeyi kavramı

Tarihi yapının önemi, fonksiyonu, kullanıcı ve ziyaretçi sayısına bağlı olarak bu yapılar için *Kabul Edilebilir Hasar Seviyesi* tanımlanabilir. Dünya çapında ve çok ziyaretçi alan bir yapıda hedeflenen hasar görülebilirlik en düşük seviyede kalırken, içine girmeden sadece dışardan ziyaret edilebilen, yerel öneme sahip bir tarihi yapıda göreceli olarak ileri bir hasar kabul edilebilir.

Performans kavramı, mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi için geliştirilmiş olup, bu kavramının tanımlanmasında iki hususun etkili olduğu görülür. Bunlardan birincisi, deprem etkisi altında taşıyıcı sistemin elastik ve elastik ötesi davranışında, hem taşıyıcı sistem kapasitesinin hem de depremin taşıyıcı sistemden talebine olan etkisinin olabildiğince gerçekçi biçimde göz önüne alınmasıdır. İkinci husus da gelişen taşıyıcı sistem davranış bilgisini ve bilgisayar yazılımlarının sunduğu ayrıntılı çözüm tekniğini kullanarak, binada kabullenilen hasarın (elastik ötesi kontrollü şekil değiştirmelerin) daha ayrıntılı olarak sayısal tanımlanması ve bunun deprem güvenliği değerlendirmesine yansıtılmasıdır. Ayrıntılı matematiksel çözümler yapılırken gözden kaçırılmaması gereken husus, elde edilen bütün sonuçların taşıyıcı sistem davranışının ve deprem etkisinin tanımlanmasındaki kabullere bağlı olduğudur. Tarihi bir yapıdaki belirsizliklerden dolayı yapısal analizde kullanılan malzeme ve taşıyıcı sistem parametrelerinin ancak sınırlı bir hassasiyetle belirlenebildiği unutulmamalıdır. Bu sebepten tarihi yapının değerlendirilmesinde, kullanılan kabullerin ve matematiksel yöntemin olabildiğince basit tutulması gerektiği açıktır.

Belirli bir deprem etkisindeki tarihi yapılar için aşağıdaki Yapısal Performans Düzeyleri tanımlanabilir:

- a. *Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi*: Bu düzey, yapının taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği (doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı) hasar düzeyine karşı gelir.
- b. *Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi*: Bu düzey, yapının taşıyıcı sistem elemanlarında çoğunlukla onarılması mümkün olan kontrollü hasar düzeyine karşı gelir.
- c. *Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi*: Bu düzey, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği, yapının kısmen veya tamamen göçmeye yaklaştığı, ancak göçmenin önlendiği duruma karşı gelir.



Şekil 6.17. Statik itme eğrisi ve sınır durumları

Taşıyıcı sistem güvenliğinin değerlendirilmesinde alışılagelen *Dayanıma Göre Değerlendirme* veya *Şekildeğiştirme* ya da *Göre Değerlendirme* uygulanır (Şekil 6.17).

Deprem Yönetmeliği; yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı tasarımında “*hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi; orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması; şiddetli depremlerde ise, kontrollü hasarın sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılması*” öngörmektedir. Deprem Yönetmeliği’nde tasarım için verilen bütün kayıtları aşağıdaki gibi üç ana bölümde toplamak mümkündür:

- Yönetmelikte *Tasarım Depremi*, Bina Önem Katsayısı $I = 1$ olan binalar için, ilgili bölgede 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10 olacak şekilde tanımlanır. İlgili kurallar kullanılarak deprem etkisi altında taşıyıcı sistemde oluşacak yükler sistemin elastik ötesi davranışı sebebiyle sistemin kapasitesindeki artış ve deprem etkisi talebindeki azalma göz önüne alınır. Azaltılan deprem yükü ve ilgili düşey yükler altındaki kesit etkileri karşılanacak şekilde tasarım yapılır.
- Yönetmelik, sık meydana gelen depremler altında taşıyıcı olmayan elemanların hasarının sınırlandırılmasını öngörür. Bu sınırlandırma ikinci mertebe etkilerin sınırlandırılması olarak kabul edilebileceği gibi, yapılardaki yapısal olmayan sistem elemanlarındaki hasarın minimuma indirilmesi olarak da kabul edilebilir.
- Yönetmelik, daha küçük olasılıkla daha büyük deprem etkilerinin ortaya çıkabileceğini göz önüne alarak taşıyıcı sistemin toptan göçmeye erişmemesini öngörür.

Aşağıdaki bölümlerde açıklandığı gibi, yapıda hasarın (elastik ötesi şekildeğiştirmelerin) küçük olması durumunda, dayanıma göre değerlendirme uygun düşerken, hasarın göçmeye sebep olmayan biçimde ve kontrollü olması

kaydıyla büyük olması durumunda şekildeğiştirmeye göre değerlendirmenin kullanımı tercih edilir. Ancak, uygun deprem yükü azaltma katsayısı kullanarak, kuvvete dayalı değerlendirmenin kullanım sınırını genişletmek ve uygun sınır değerleri tanımlayarak şekil değiştirmeye dayalı tasarımı bu tür hasar durumunda da uygulamak mümkündür.

Tablo 6.3. Önerilen hedef performans düzeyleri (Şekil 6.17)

TARİHİ YAPILARIN ÖNEMİNE GÖRE SEÇİLEBİLECEK PERFORMANS DÜZEYLERİ	Ulusal öneme sahip tarihi yapı Grup I	Evrensel öneme sahip tarihi yapı	
	DD-3 (50/%50, 72 yıl) Sınırlı hasar düzeyi (SH)	DD-2 (50/%10, 475 yıl) Sınırlı hasar düzeyi (SH)	DD-1 (50/%2, 2475 yıl) Sınırlı hasar düzeyi (SH)
Yerel öneme sahip tarihi yapı Grup II	DD-3 (50/%50, 72 yıl) Kontrollü hasar düzeyi (KH)	DD-2 (50/%10, 475 yıl) Kontrollü hasar düzeyi (KH)	DD-1 (50/%2, 2475 yıl) Kontrollü hasar düzeyi (KHI)
	DD-3 (50/%50, 72yıl) Göçmenin önlenmesi düzeyi (GÖ)	DD-2 (50/%10, 475yıl) Göçmenin önlenmesi düzeyi (GÖ)	DD-1 (50/%2, 2475yıl) Göçmenin önlenmesi düzeyi (GÖ)

Tablo 6.4. Performans düzeyleri ile ilgili hesap yöntemleri ve gerilme, şekildeğiştirme sınırları (Şekil 6.18)

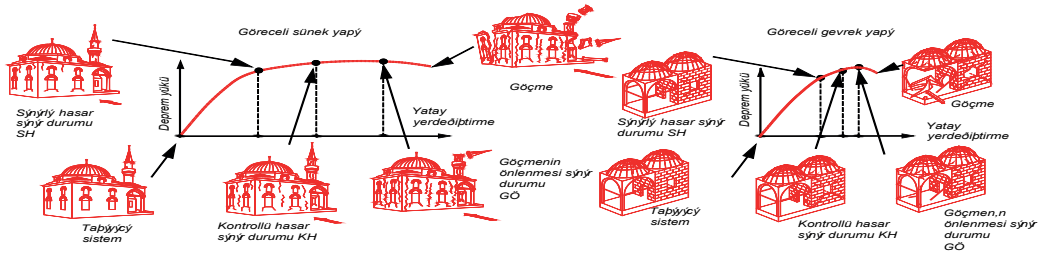
Performans düzeyi	Hesap yöntemi ve sınırlar
Sınırlı hasar sınır durum (SH)	1. Doğrusal hesap yöntemi kullanılıyor; a) Düşey yük ve azaltılmamış öngörülen deprem etkisinde bulunan hesap dayanımları aşılmıyor. b) Azaltılmamış deprem etkisinde öteleme oranı % 0,3 sınırını aşmıyor.
Kontrollü hasar sınır durumu (KH)	1. Doğrusal hesap yöntemi kullanılıyor; a) Düşey yük ve $R_a \leq 3$ ile azaltılmış öngörülen deprem etkisinde bulunan hesap dayanımları aşılmıyor. b) Azaltılmamış deprem etkisinde öteleme oranı % 0,7 sınırını aşmıyor. 2. Doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılıyor; a) Öteleme oranı % 0,7 sınırının aşmıyor. b) Malzemelerin şekildeğiştirme kapasiteleri aşılmıyor.
Göçme öncesi sınır durumu (GÖ)	1. Doğrusal hesap yöntemi kullanılıyor; a) Düşey yük ve $R_a \leq 3$ ile azaltılmış öngörülen deprem etkisinde bulunan hesap dayanımları belirli bir oranla (~ 1.5 katı) aşılabılır. b) Azaltılmamış deprem etkisinde öteleme oranı % 1 sınırını aşmıyor. 1. Doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılıyor; a) Öteleme oranı % 1 sınırının aşmıyor. b) Malzemelerin şekildeğiştirme kapasiteleri sınırlı oranda (~ 1.2 katı) aşılabılır.

6.8.2. Dayanıma göre değerlendirme

Dayanıma göre değerlendirmede, düşey yüklerin ve kabul edilen deprem yükü azaltma katsayısı ($R_d \leq 3$) ile azaltılmış deprem etkisinde, yapı elemanlarındaki gerilmeler hesap edilir. Bu gerilmeler, ilgili malzeme için kabul edilen sınır dayanım değerleri ile kıyaslanarak değerlendirme yapılır. Eğer öngörülen deprem etkisinde yapının çok sınırlı hasar görmesi, yani, Sınırlı Hasar (SH) bölgesinde bulunması bekleniyorsa azaltılmamış deprem etkisinde ($R_d = 1$) sınır gerilmelerin aşılmaması öngörülür. Eğer yapının toptan göçmesinin engellenmesi amaçlanıyorsa, düşey yüklerle beraber azaltılmış deprem etkisinin taşıyıcı sistemde oluşturduğu gerilmelerin ilgili sınır gerilmelerinin belirli oranda (%50) aşmasına izin verilir. İki hasar durumunun arasında olan kontrollü hasar durumunda ise, azaltılmış deprem etkileri altında sınır gerilmelerin aşılmaması beklenir. Deprem yükü azaltma katsayısı, taşıyıcı sistemin sünekliğine bağlı olarak belirlenir. Tarihi yapılarda, özellikle yığma olanlarda süneklik sınırlı olduğu için $R_d \leq 3$ kabul edilir.

Bu tür değerlendirmede iki şartın sağlanması gerektiği unutulmamalıdır. Bunlardan birincisi bu karşılaştırmanın geçerli olabilmesi için, davranışta gerekli olan yeterli elastik ötesi şekil değiştirme ve yerdeğiştirme kapasitesinin mevcut olması gerekir. Yani, tamamen gevrek olan veya yeterli sünekliği bulunmayan yapılarda bu tür deprem yükü azaltma katsayısının kullanımı uygun olmaz. Örneğin, sünekliği düşük bir yığma yapıda büyük deprem yükü azaltma katsayısının kullanımı ile yapılan bir değerlendirme anlamlı olmaz. İkinci şart ise, ortaya çıkması beklenen elastik ötesi şekil değiştirme veya yerdeğiştirmenin (kontrollü hasarın) ilgili taşıyıcı sistemde kabul edilebilir olması gerekir. Örneğin, belirli bir depremde yerel öneme sahip bir tarihi yapıda kabul edilebilir olan kontrollü hasar (elastik ötesi şekil değiştirme veya yerdeğiştirme), ulusal öneme sahip bir tarihi yapıda kabul edilmeyebilir.

Bütün hasar durumlarında taşıyıcı sistemin bütünsel davranışının azaltılmamış deprem etkisinde öteleme oranı sınırlandırılır (Tablo 6.4). Tarihi yapılarda öteleme oranı, farklı seviyelerde alınan noktaların yatay yerdeğiştirmelerinin farkının yükseklik farkına oranı şeklinde hesap edilir.



Şekil 6.18. Göreceli sünek ve gevrek taşıyıcı sistemde (yapı) performans düzeyleri

6.8.3. Şekildeğiştirmeye göre değerlendirme

Deprem etkisindeki taşıyıcı sistemin davranışı, Şekil 6.17'de tarihi yapıda uygun konumda seçilecek bir noktanın yerdeğiştirmesi ve toplam deprem taban kesme kuvveti arasında çizilecek eğride gösterilebilir. Görüldüğü gibi, yatay yükün artmasıyla elastik ötesi şekil değiştirmeler ortaya çıkar. Bunlar başlangıçta yapı elemanlarında elastik ötesi davranış sonucu oluşan sınırlı hasarın başlangıcına işaret eder. Yerdeğiştirmeler arttığında, elastik ve elastik ötesi şekil değiştirmeler artarken, hasar da artar. Yeterli sünekliğin mevcut olduğu yapılarda eğrinin yatay kolu belirgin ve uzun olarak meydana gelir. Ancak, genel olarak yığma yapılarda olduğu gibi, sünek davranışın sınırlı olduğu durumlarda, sınırlı hasar ile göçme durumu birbirine yakın olarak ortaya çıkar. Tamamen gevrek olan davranışta, yapı elastik ötesi şekil değiştirme yapmadan güç tükenmesine erişir. Bu tür gevrek davranışta, şekildeğiştirmeye göre değerlendirme anlamlı olmayıp, küçük bir deprem yükü azaltma katsayısı kabul edilerek, yapının dayanıma göre değerlendirilmesi gerekir. Bir yapıdaki elemanlarda elastik ötesi şekildeğiştirmeler ortaya çıkması için ve daha az zorlanan elemanların yükün karşılanmasında katkı yapabilmeleri için, gevrek olan kesit ve elemanın kapasitesi ve/veya sünekliği artırılması önerilir.

Şekil 6.17'de verilen bu eğri üzerinde elastik ötesi davranışın başlangıcı, çok sınırlı hasara karşı geldiği için *Sınırlı Hasar Performans Düzeyi (SH)* olarak isimlendirilir. Büyük yerdeğiştirmelerden sonra deprem yükünün azalmaya yüz tutması *Göçme Öncesi Performans Düzeyi (GÖ)* olarak bilinir. *Kontrollü Hasar Performans Düzeyi (KH)* ise, taşıyıcı sistemin sınırlı elastik ötesi şekil değiştirmelerle yatay yük kapasitesini güvenli olarak karşılayabileceği sınırı olarak tanımlanır. Taşıyıcı sistem için bu sınırların matematiksel olarak tanımlanması kolay değildir. Kesitlerdeki hasar değerlendirmesinden, taşıyıcı sistem eleman hasar sınırları elde edildiği gibi, eleman hasar sınırlarından taşıyıcı sistemin bulunduğu performans düzeyi tanımlanır. Bu tür değerlendirmenin yapının her iki doğrultusu için ve her katta ayrı ayrı yapılması gerekir.

Düşey yüklere göre, deprem etkisinin ortaya çıkma ihtimali düşük olduğu için, deprem etkisinde elastik ötesi şekil ve yer değiştirmelere (toptan göçmeye sebep olmayacak kontrollü hasara) müsaade edilebilir. Bu durumda elastik ötesi davranış, doğrusal kabul edilerek yapılacak değerlendirme yetersiz kalabilir. Bu durumda doğrusal olmayan bir analizle şekildeğiştirmeler ve yerdeğiştirmeler esas alınarak değerlendirme yapılması uygun düşer. Bu tür değerlendirmede de taşıyıcı sistem elemanlarında yeterli elastik ötesi şekil değiştirme ve yerdeğiştirme kapasitesinin mevcut olması ve beklenen şekil değiştirme veya yerdeğiştirmenin (kontrollü hasarın) ilgili taşıyıcı sistemde kabul edilebilir olması gerekir. Bu amaçla yerel şekildeğiştirmeler kontrol edilebildiği gibi, yapının bütünsel davranışını temsil eden, öteleme oranının kontrolü daha belirleyici olabilir. Bu amaçla *Tablo 6.4.*'de verilen performans sınır durumları için bu değer %0,3, %0,7 ve %1,0 olarak kabul edilebilir. Ayrıca malzemelerin şekildeğiştirme kapasitele-

6.8.4. Yapı için hedef performans düzeyi

Deprem Yönetmeliği'nde mevcut binaların (tarihi olmayan) performansla göre değerlendirmesinde göz önüne alınacak etkiler (düşey yükler ve deprem etkisi) ve sistem elemanlarındaki gerilme ve şekildeğiştirme sınır değerleri ve inceleme yöntemleri verilmiştir. Dayanım ve şekildeğiştirmeye göre değerlendirme yöntemleri farklı kabul ve kurallara dayandığı için, aynı yapı için birbirine yakın, ancak farklı sonuç verebilir. Bunun gibi seçilen bir deprem güvenliği seviyesini bütün tarihi yapılar için öngörmek genellikle yerinde olmaz. Sağlanacak güvenlik seviyesinin tarihi yapının önemine ve müdahale edilebilirlik durumuna göre seçilmesi gerekir. Göreceli olarak yüksek bir güvenlik seviyesi seçip, yapının tarihi özelliğinden dolayı ilgili yapı için uygulanamayan kapsamlı bir müdahale öngörmek yerinde bir çözüm olmayabilir. Bu durumda daha düşük bir güvenlik seviyesi öngörerek, daha az kapsamlı bir güçlendirme müdahalesi öngörmek uygun olabilir.

Genellikle elastik ötesi şekildeğiştirmelerinin beklendiği performans durumları, ortaya çıkma ihtimali çok düşük olan depremi içeren yükleme durumları için söz konusudur. Ortaya çıkma ihtimali deprem etkisine göre yüksek olan, güvenlik katsayılarıyla arttırılmış düşey yükler altında olağan durumlarda elastik ötesi şekil değiştirmeler oluşması kabul edilmez. Bu sebepten sadece düşey yükler altında, doğrusal olmayan bir çözümleme gerekmez. Ancak, özel durumlarda taşıyıcı sistemde *Yeniden Dağılım* gibi sınırlı doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin kabul edildiği kurallar kullanılabilir.

Yapılacak değerlendirmede eğer yetersiz deprem güvenliği seviyesi bulunursa, yapı için bir müdahale önerisi hazırlanır, aynı yöntemlerle bu müdahalenin yeterliliği kontrol edilir. Eğer yapılan incelemede yeterli güvenlik ortaya çıkıyorsa, kabul edilen müdahalenin uygun seçildiği anlaşılır. Öngörülen müdahaleye rağmen beklenen performans durumu elde edilemiyorsa, bu durum müdahale kapsamının yetersiz olduğuna işaret eder. Diğer taraftan müdahale ile öngörülen performans hedefi çok rahat bir şekilde sağlanmışsa, bu durum da müdahalenin gerektiğinden fazla yapıldığını gösterir. Sonuç olarak deneme-yanılma yöntemi ile en uygun güçlendirmenin kapsamı bulunabilir.

Tablo 6.3'te tarihi yapılar için seçilebilecek performans durumları verilmiştir. Görüldüğü gibi, bu tabloda yapının önemine bağlı olarak performans durumu önerilmektedir. Belirli bir öneme sahip yapı için birden fazla performans durumu öngörülmüştür. Ancak bunlar birbirinden çok farklı olmayıp, birbirine yakındır. Tabloda aşağı indikçe performans düzeyi düşmekte ve yukarı çıktıkça artmaktadır. Evrensel öneme sahip yapıya daha ileri bir performans durumu öngörülürken, yerel öneme sahip yapı için daha düşük bir performans durumu önerilmiştir. Tablo 6.3 ve Tablo 6.4 sadece yol gösterici olup, örneğin yerel önemli bir yapı için daha ileri performans durumu öngörülebilir. Yapının sağlaması beklenen performans durumunun ileri olması, yani büyük depremde daha az hasar ortaya çıkmasının sağlanması, yapıya kapsamlı bir müdahale öngörebilir. Eğer bu kapsamlı müdahale yapının özelliğinden dolayı kabul edilemezse, performans düzeyini indirmek gerekebilir. Bu sebepten mevcut bir tarihi yapının deprem

güvenliği incelemesinin en az iki farklı performans düzeyi esas alınarak yapılması önerilir. Bunun gibi, en az iki performans düzeyi esas alınarak ve her birine karşı gelen müdahale kapsamının ve tarihi yapının özelliği de göz önüne alınarak değerlendirilmesiyle yol gösterici bir karara varılması uygun olacaktır. Bu tabloda verilen hedef performans düzeyleri tamamen yol gösterici olup tarihi yapının özellikleri dikkate alınarak müdahale stratejisine ve performans düzeyine karar verilecektir.

Tablo 6.4.'te seçilen beklenen veya öngörülen performans düzeyine bağlı olarak, kullanılması önerilen hesap yöntemi ve tarihi yapı elemanının oluşturan malzemeye sınır gerilme ve şekil değiştirmelerini, ilgili malzemenin sınır gerilmeleme- rine bağlı olarak verilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere davranışın elastik sınıra yakın olması durumunda doğrusal hesap yöntemi yeterli olurken, göçmeye yakın durumlarda elastik ötesi şekil değiştirmeler önemli olduğunda doğrusal ötesi davranış hesap yöntemi de uygun düşmektedir. Tarihi yapılardaki belirsizlikten dolayı, olabildiğince daha az malzeme parametresine ihtiyaç gösteren doğrusal değerlendirme yönteminin, doğrusal olmayan davranış durumunda bile, deprem yükü azaltma katsayısı ile kullanımı önerilir.

Örnek:

Gazi Ahmet Paşa Medresesi'nin deprem güvenliğinin incelemesi:

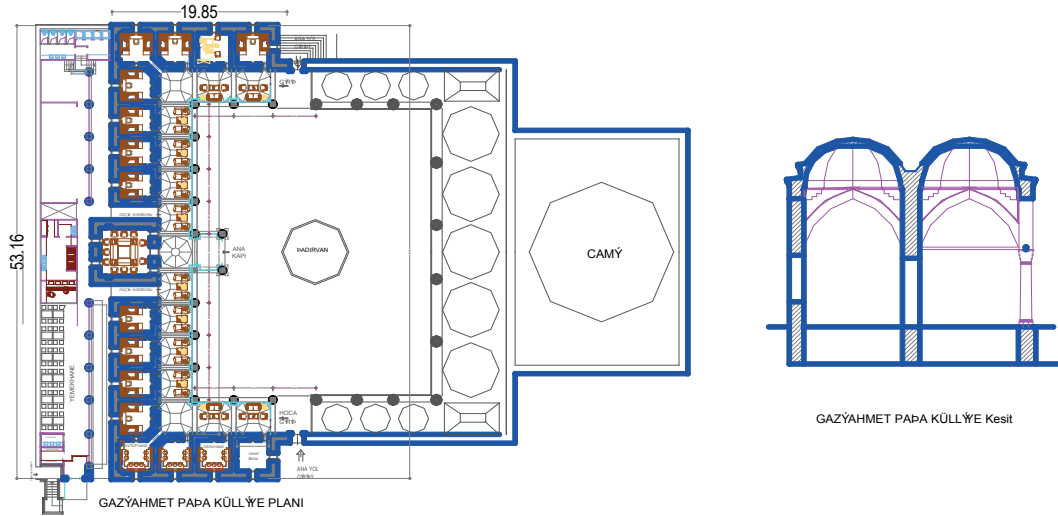
Bu örnekte yapıda tekrarlanan bölümlerden birisi seçilmiş ve enine doğrultuda deprem etkisi incelenmiştir. Duvarlar, kubbe ve tonoz iki boyutlu kabuk eleman olarak ve revak sütunları çubuk eleman olarak seçilmiştir.



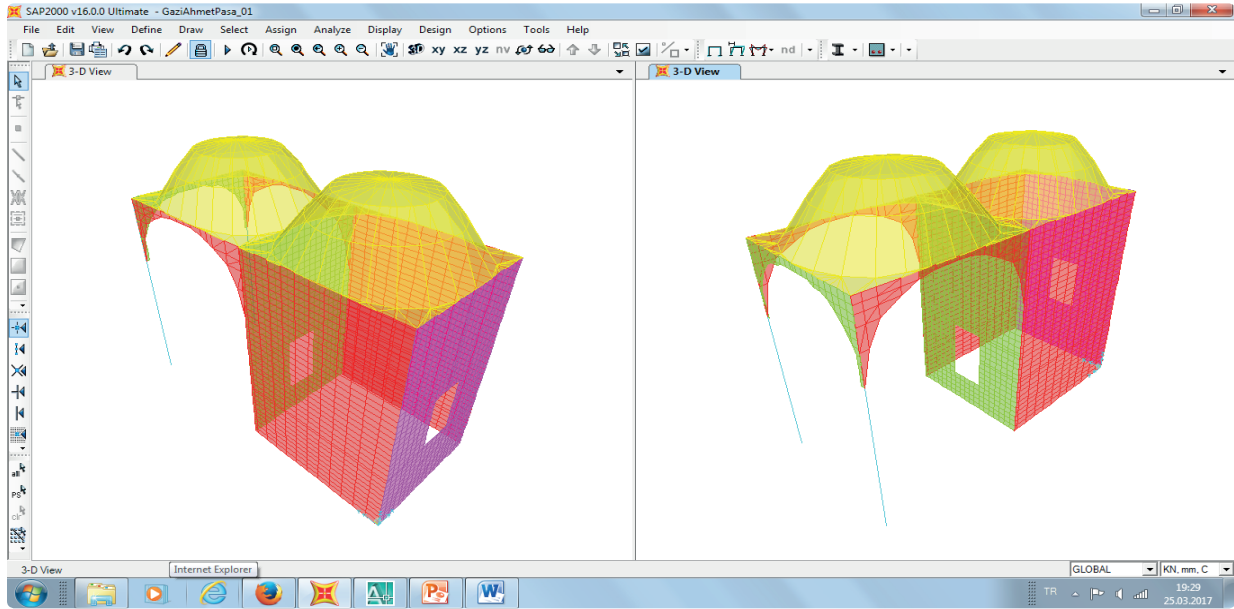
Şekil 6.19. Gazi Ahmet Paşa Medresesi



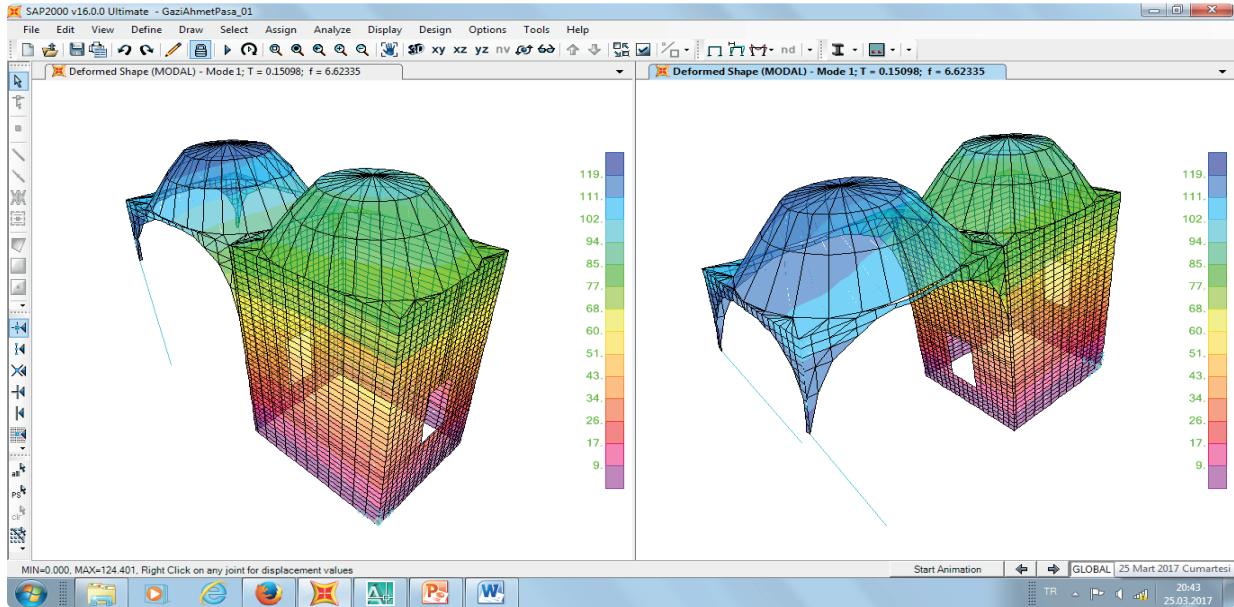
Şekil 6.20. Gazi Ahmet Paşa Medresesi

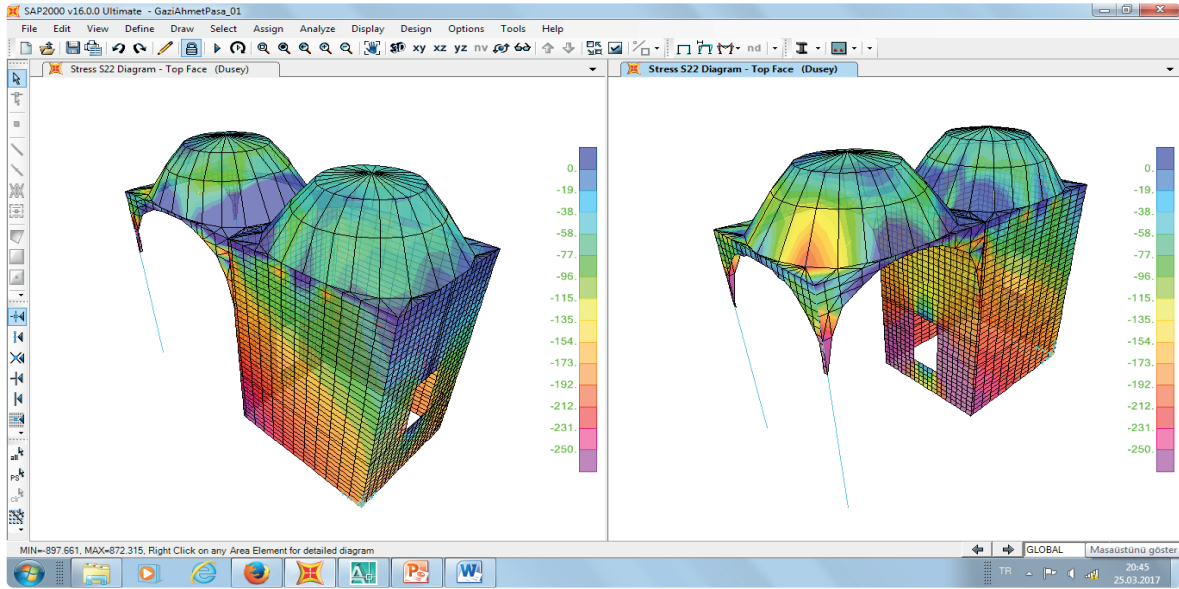


Şekil 6.21. Gazi Ahmet Paşa Medresesi

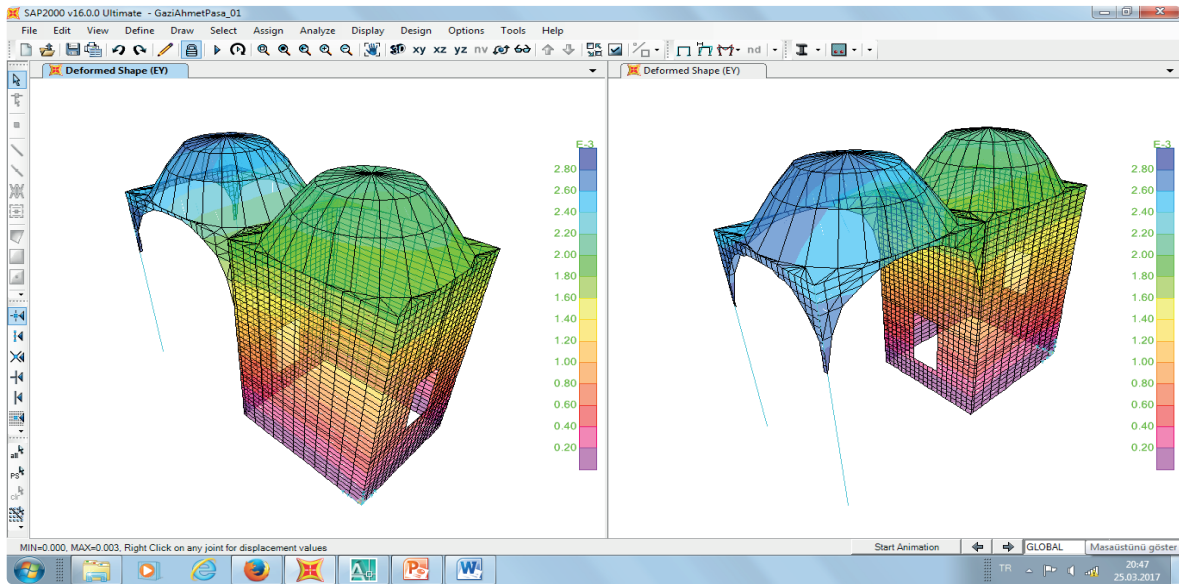


Şekil 6.22. Sonlu eleman düzeni

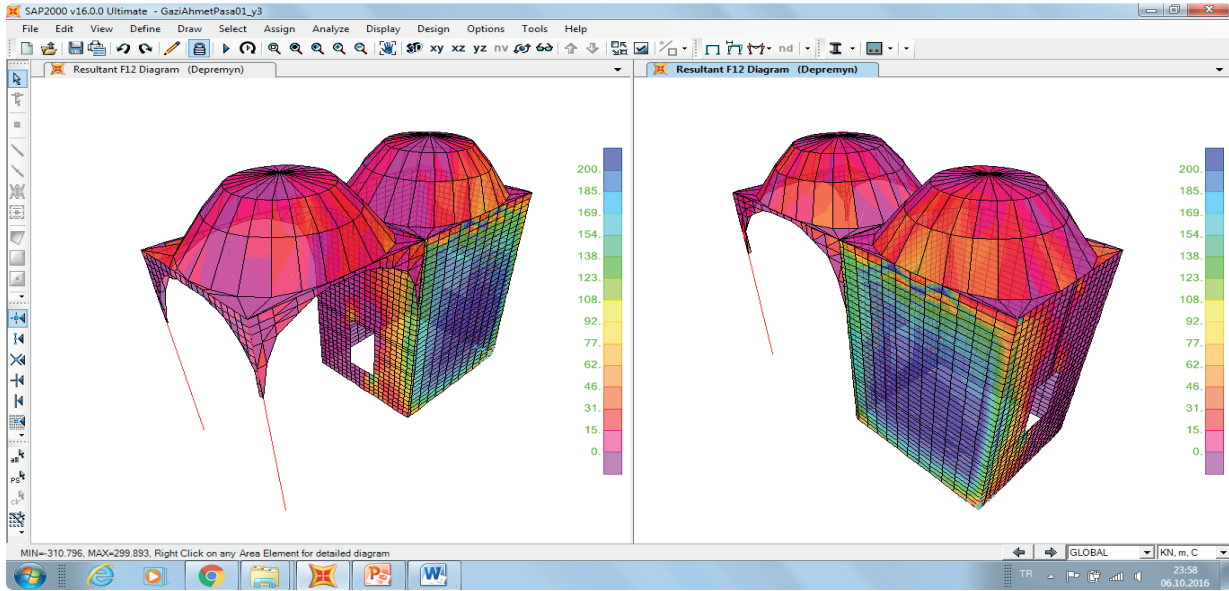
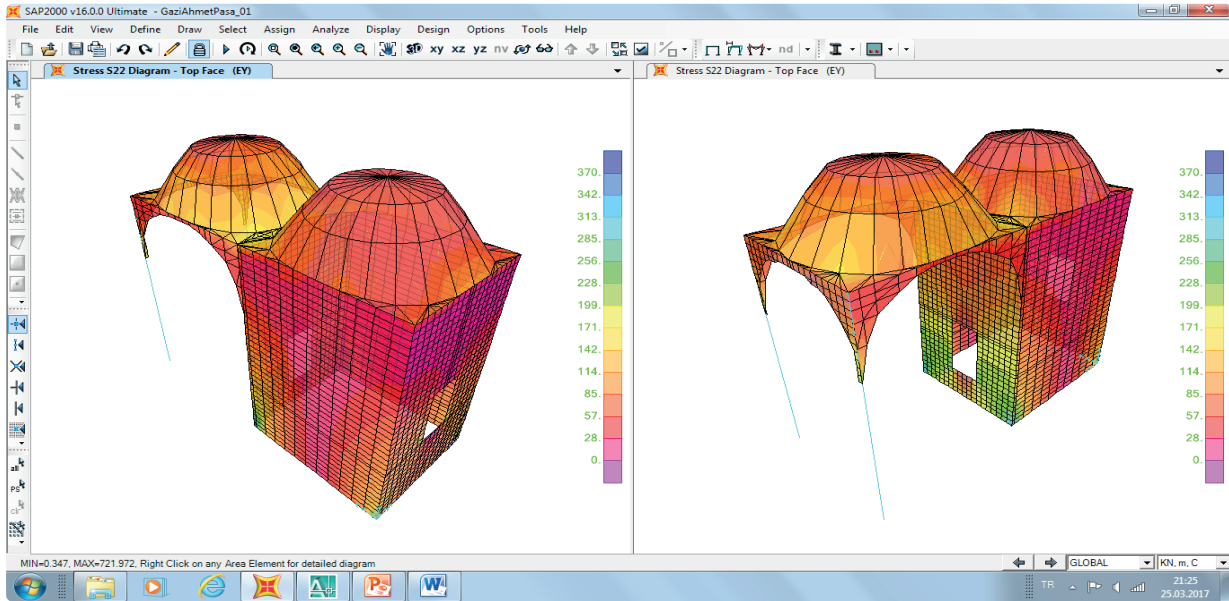
Şekil 6.23. Y doğrultusunda titreşim mod şekli ve titreşim periyodu $T=0.151s$



Şekil 6.24. Düşey yükten duvarda meydana gelen düşey normal gerilmeler ($154 \sim 301 \text{ kN/m}^2$)



Şekil 6.25. +Y yönünde depremde yatay yerdeğistirmeler max 2.30 mm

Şekil 6.26. +Y yönündeki depremde kayma gerilmesi +157~+190 kN/m²Şekil 6.27. +Y yönündeki depremde duvarlarda birim boydaki düşey normal kuvvetler +370~7~290 kN/m²

Basit duvar modeli:

Binanın ağırlığı:

- $W=2064\text{kN}$ (Ağırlık)

Enine depremden oluşan toplam taban kesme kuvveti: $S=2.5$ ve $R_a=3$ $V_t=2.5 \times 0.4 \times 2064/3=688\text{kN}$ (Azaltılmamış deprem kuvveti) (Sonlu eleman çözümü (SE) 487kN)

- $A_x=(1.00\text{m}+0.70\text{m}) \times 3.80\text{m}=6.46\text{m}^2$ (x doğrultusunda alan)
- $A_y=(0.35\text{m}+0.35\text{m}) \times 4.50\text{m}=3.15\text{m}^2$ (y doğrultusunda alan)

Toplama duvar alanı: $A_x+A_y=9.61\text{m}^2$

Düşey yükten tabandan ortalama normal gerilme= $2064\text{kN}/9.61\text{m}^2=215\text{kN/m}^2$ (SE: 154~301kN/m²)

Deprem yükünde ortalama kayma gerilmesi $\gamma=688\text{kN}/3.15\text{m}^2=218\text{kN/m}^2$ (SE: 157~190kN/m²)

Azaltılmamış deprem yükünden yerdeğiştirme= $3 \times 6.90 \times 218/833=5.42\text{mm}$ (SE: 2.30x3=6.90mm)

Görelî kat yerdeğiştirmesi: $5.42\text{mm}/6900\text{mm}=0.000786$ (SE: 6.90/6900=0.001)

Kayma dayanımı: 100 kPa Basınç dayanımı: 3.5 MPa $E=2000\text{ MPa}$ $G=833\text{ MPa}$

$\Gamma=22\text{ kN/m}^3$

Etkili kayma dayanımı: $100+0.5 \times 215=208\text{ kPa} > 218\text{ kPa}$

Yapı, gerilme kontrolü bakımından tasarım depreminde kontrollü hasar durumunu ancak sağlamaktadır: 208kPa ~ 218kPa

Yapı, yerdeğiştirme kontrolü bakımından tasarım depreminde sınırlı hasar durumunu rahatlıkla sağlamaktadır: $0.000786 < 0.003$

KAYNAKLAR

Lagomarsino, S., Podestà S., “*Seismic Vulnerability of Ancient Churches: Part 1. Damages*

Assessment and Emergency Planning”, Earthquake Spectra, 2004

Lagomarsino, S., Podestà S., “*Seismic Vulnerability of Ancient Churches: Part 2. Statistical Analysis of Surveyed Data and Methods for Risk Analysis*”, Earthquake Spectra, 2004

Magenes G., Penna A., “*Existing Masonry Buildings: General Code Issues and Methodes of Analysis and Assessment*” Eurocode 8 Perspectives from the Italian Standpoint Workshop, 185-198, Napoli, Italy, 2009

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar hakkında Yönetmelik (2007), Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2017), Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara

TS 498 (1987) Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

Müdahale Yöntemleri

7. Müdahale Yöntemleri

7.1. Müdahale Stratejileri

Tarihi yapılarda güçlendirme amaçlı müdahale stratejilerinin ana amacı, yapısal güvenliğin daima koruma ilkeleri esas alınarak gerçekleştirilmesidir. Bu genel çerçeve kapsamında deprem güvenliği için iki temel hedef de, kullanıma bağlı olarak yapıda öngörülen performans düzeyinin sağlanması ve tarihi yapının yapısal sistemine ve mimari özelliklerine saygılı bir uyum içinde değerinin korunması olarak ortaya çıkmaktadır. Deprem yönetmeliklerinin esasta yeni binalar için hazırlandıkları düşünülürse, benzer bir yaklaşımla fakat tarihi yapı koruma ilkelerini dikkate alan koşullara göre ve alternatif çözümlerle güçlendirme projelerinin hazırlanması önemlidir.

Projeler, yapının mevcut deprem dayanımının yetersiz olmasına bağlı olarak veya işlev değişikliği nedeniyle gerekli olabilir. Belirlenen hedef doğrultusunda yapıya uygulanacak müdahaleleri, işgücü kapasitesi, donanım, malzeme ve işin süresi gibi konular dikkate alındığında finansal imkânlar da önemli ölçüde etkileyecektir. Bu nedenlerle, alternatif müdahale stratejileri oluşturmak ve çeşitli çözümlere göre hasar görebilirlikle birlikte değerlendirmeler yapmak gereklidir. Müdahale stratejileri ve teknikleri açısından göz önüne alınacak ölçütler kısaca ana hatlarıyla:

- (i) Yapının bulunduğu bölgedeki deprem tehlikesi,
- (ii) Yapıda gözlenen hasarlar ve nedenleri
- (iii) Amaçlanan kullanım için yapının karakteristik parametreleri,
- (iv) Yapının günlük kullanım altında deprem güvenliği ve performans düzeyi,
- (v) Teknolojik olanaklar,
- (vi) Ekonomik ölçütler olarak özetlenebilir.

Yapının deprem performansını arttırmak veya deprem riskini azaltmak için yapılacak müdahaleler teknik olduğu kadar yönetsel bir yaklaşımı da gerektirir. Teknik stratejiler, taşıyıcı sistemdeki olası hasar ve kusurların onarımı, yapıda dayanım ve rijitliğin artırılması, deformasyon kapasitesinin değerlendirilmesi, enerji tüketme kapasitesinin artırılması veya sismik talebin azaltılması gibi müdahaleleri içerir. Müdahale seçiminde ana ölçüt, yapısal güvenlik açısından taşıyıcı elemanlarda oluşacak hasarları sınırlandırmaktır (Lungu ve Arion, 2012). Yönetsel stratejiler ise,

- Müdahalenin yapı kullanımda iken yapılıp yapılamayacağı,
- Deprem risk düzeyinin kabul edilebileceği bir şekilde kullanımın sınırlandırılması veya değiştirilmesi,
- Müdahalenin aşamalara bölünerek yapılması,
- Yapıya, dışından veya içinden kalıcı desteklerle müdahale edilmesi konularını içerir.

Tarihi yapıların deprem dayanıklılığının artırılmasında, yapısal sistemin ve elemanların güçlendirilmesi veya yapının deprem davranışının kontrol altında tutulması gibi iki ana yaklaşımdan uygun olanı seçilmelidir. Restorasyon ve

güçlendirmede ilave edilecek elemanlar yapıya olabildiğince az müdahaleyi gerektirmeli ve geri alınabilir olmalıdır. Ayrıca geleneksel yöntemler ve malzemelerin kullanılması tercih edilmelidir.

Onarım ve güçlendirmede kullanılacak geleneksel malzemeler haricindeki tüm endüstriyel malzemelerin mutlaka CE veya GE belgesi olmalıdır. Bu belgeleri taşımayan hiçbir malzeme tarihi yapıların onarımında ve güçlendirilmesinde kullanılmamalıdır.

Restorasyon projesi, her bir müdahale için yapılacak çalışmayı tanımlayan gerekli bütün belgeleri içermelidir. Bu belgeler kesinleşen proje raporunun tamamlayıcı bir parçası olmalıdır.

Müdahale stratejisi, (i) kısmi zayıflıkları gidermek için mevcut yapıyla uyumlu yeni elemanlar yerleştirerek yapının dayanım ve süneklik açısından iyileştirilmesi, (ii) dayanım, rijitlik ve sünekliği arttırmak üzere taşıyıcı elemanların kısmen veya yapının tamamının güçlendirilmesi, (iii) yapının kullanımının sınırlandırılması veya değiştirilmesi, şeklindeki aşağıdakilerden biri veya ikisinin bir birleşimi olarak belirlenebilir.

7.2. Basit Onarım

Tescilli tarihi eserlerin sürekli bakımla ayakta tutulmaları istenir. Sürekli bakım sağlanmadığında, yapılar harap olmakta; kapsamlı onarım müdahalelerine gerek duyulmaktadır. Kültür varlıklarını korumak için yapılacak müdahaleler ve koşulları Kültür Bakanlığı, Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulu tarafından alınan 660 sayılı ilke kararıyla tanımlanmıştır (bkz. kultur.gov.tr/mevzuat/ilke_kararlari/660_no_lu_ilke_karari).

660 sayılı ilke kararında, onarımlar “basit onarım” ve “esaslı onarım” olarak iki bölümde ele alınmaktadır. “Basit onarım” geleneksel ve anıtsal yapıların bozulan, yok olan cephe öğelerinin, kaplama, sıva gibi ayrıntılarının özgün biçimlerine uyularak, aynı renk ve dokuda malzeme kullanılarak yenilenmesi işlemidir. Bu kapsamda yapılan müdahalelerin özgün tasarımı bozmaması, plan ve görünüşü etkileyen değişikliklerin yapılmaması gerekir. Basit onarım için söz konusu tarihi yapının tam rölöve, restitüsyon, restorasyon projeleri hazırlanması zorunlu değildir. Yapılması planlanan işler tanımlanarak, ilgili Koruma Kuruluna veya kurulduğu il ve ilçelerde ilgili KUDEB’e (Koruma Uygulama ve Denetim Müdürlüğü) başvurulur ve izin alınır.

İzin alındıktan sonra onarımın istenilen düzeyde olması için izlenmesi, denetlenmesi söz konusudur. Çalışmalar, onarılan yapının ait olduğu kuruma veya kişiye bağlı olarak, kamu görevlisi uzmanlar tarafından izlenir. Kültür ve Turizm Bakanlığına bağlı veya tahsisli kültür varlıklarına ilişkin her türlü uygulama ilgili Rölöve ve Anıtlar Müdürlükleri’nin kontrol teşkilatı tarafından yürütülür. Vakıflar Genel Müdürlüğü mülkiyetindeki veya denetimindeki vakıflara ait eserlerin basit onarımlarını Vakıflar Genel Müdürlüğü uzmanları denetler. Diğer kurumlara ait veya özel mülkiyette olan yapılar Koruma Kurulu veya eğer teşkil edilmiş ise belediyenin ilgili bölümü olan KUDEB (Koruma Uygulama Denetim Müdürlüğü) uzmanları tarafından izlenir.

Çalışmalar tamamlandıktan sonra yapılan işleri tanımlayan bir rapor hazırlanması; yapının uygulama öncesi ve sonrası fotoğrafları ile birlikte ilgili Koruma Kuruluna veya KUDEB'e sunulması gerekir. İlgili kurum tarafından uygulama değerlendirilerek hatalı bulunduğu takdirde, aksayan noktaların düzeltilmesi istenebilir.

7.3. Esaslı Onarım

Esaslı Onarım; Yapının rölöve ve analitik rölöveye dayanan restitüsyon ve / veya restorasyon projeleri ile diğer ilgili belgelerin içerikleri ve ölçekleri koruma kurulunca belirlenen müdahalelerdir. Esaslı Onarım kapsamına aşağıdaki müdahale yöntemleri girmektedir:

- Sağlamlaştırma
- Uygun olmayan eklerin kaldırılması
- Bütünleme
- Yapısal iyileştirme
- Yenileme
- Yeniden Yapma
- Taşıma

7.3.1. Zemin ve temele yapılacak müdahaleler

Temel-zemin etkileşimi ile ilgili genel bilgiler Bölüm 6.2.4'de verilmektedir. Temel ve zemin ile ilgili sorunların nedenleri arasında zemin taşıma gücünün düşüklüğü, zemin yapısında zaman içinde meydana gelen değişiklikler, trafik veya bir çalışma dolayısıyla ortaya çıkan titreşim, temele iletilen yüklerde artış (kat ilavesi veya kullanım amacı değişikliği) ve yakın çevredeki diğer temel inşaatları ve çalışmaları gösterilebilir. Ayrıca söz konusu tarihi yapıyı etkileyebilecek yeraltı ve yüzey suları zeminin yumuşamasına ve taşıma gücünü yitirmesine neden olur. Deprem esnasında sismik hareketin etkisiyle zeminde sıvılaşma olabilir. Tüm bu durumlara bağlı olan hasarlar genellikle temelde dönme ve/veya oturma olarak ortaya çıkar. Bu tür temel hareketleri üstteki taşıyıcı sistemde iç kuvvetlerin ve gerilmelerinin artmasına ve dolayısıyla çatlamalara ve yarılmalara neden olur. Taşıma gücü düşük olan zeminlerde temel yüklerinin daha derindeki taşıyıcı tabakalara aktarılması gerekir.

Temel ve zemin problemleri ile ilgili olarak genellikle başvurulmuş müdahale yöntemleri aşağıda özetlenmiştir:

- Temelin genişletilmesi: Özellikle yüzeysel temelerde (sağlam zemin tabakasının yüzeye yakın olduğu zamanlarda tercih edilen temel tipi) kullanılabilecek bu müdahale yöntemi temellerin yük taşıma kapasitelerini arttırmayı veya zemin gerilmelerini azaltmayı hedeflemektedir. Uygulama sırasında enkesiti büyük olan duvarlara ait temel genişletmesi duvarın her iki tarafında da eşit miktarlarda yapılmalıdır. Aksi takdirde üst yapıya gelen yüklerin zemine düzenli bir şekilde aktarılmasında sorunlar yaşanabilir. Ayrıca mevcut temel ile genişletme amacıy-

la yeni eklenen bölümler arasındaki bağlantı sağlıklı bir şekilde oluşturulmalı, monolitik davranış sağlanmalıdır.

- **Kazık uygulamaları:** Tarihi yapının oturduğu ve taşıma gücü düşük olan zeminlerde temel yüklerinin daha derindeki sert ve taşıyıcı zemin tabakalarına aktarılması gerekebilir. Bu gibi durumlarda kazık uygulaması oldukça uygun bir müdahale yöntemidir. Farklı kazık türleri (mini, fore, çakma) uygulamada kullanılabilir. Çakma kazık kullanımı tarihi yapıda titreşim yaratma riskinden dolayı uygun bir müdahale yaklaşımı değildir. Kazık uygulamasının üstünlüğü; imalat sırasında her bir kazığın dayanım parametrelerinin bilinmesi ve uygulamanın bu bilgiye göre şekillenmesidir. Uygulamada dikkat edilmesi gereken bir husus; kazıkların yapının olabildiğince geneline yayılmasıdır. Yapının mevcut temelleriyle aralarındaki bağlantılar yeterli düzeyde sağlanmalıdır.
- **Zemin iyileştirmesi:** Çok sayıda zemin iyileştirme uygulaması mevcuttur: taş kolon (genellikle kohezyonu az zeminlerde ve siltli kumlarda uygulanan, açılan çukura vibratör yardımıyla çakıl ve kırma taş malzemesi doldurulup sıkıştırılması yöntemi), düşey diren (genellikle suya doymuş zayıf ve kohezyonlu zeminlerde uygulanan, düşey olarak zemine yerleştirilen bir diren sayesinde suyun zeminden tahliyesine yardımcı olan yöntem), ağırlık düşürme (genellikle granüler zeminlerde, dolgu alanlarında ve karstik ortamlarda uygulanan, ağır bir yükün tekrarlı olarak değişik yüksekliklerden zemin üzerine düşürüldüğü dinamik kompaksiyon yöntemi), derin karıştırma (özellikle zayıf ve geçirgen zeminlerde etkili olan, zeminin çimentolu maddelerle yerinde karıştırılması şeklinde uygulanan yöntem), kimyasal/harç enjeksiyonu (kum, çakıl veya kil ihtiva eden zeminlerde uygulanan, akışkan bir kimyasal maddenin veya harcın basınç ile zemin içerisindeki boşluklara enjekte edilmesi yöntemi) ve geosentetikler (genellikle yumuşak ve zayıf zeminler ile şev duraylılığı sorunu olan bölgelerde uygulanan, zeminin geosentetik, özellikle geotekstil, malzeme ile donatılandırılması yöntemi). Bu uygulamaların arasında zemine çeşitli kimyasalların enjekte edilmesi veya harç enjeksiyonu gibi uygulamalar zemin taşıma gücünde iyileştirme sağlayabilir. Enjeksiyon türü yöntemler; kısa süre içerisinde gerçekleştirilebildiği, zeminde titreşim yaratmadığı, zeminin taşıma gücünü ciddi oranda arttırdığı ve farklı zemin tabakaları olduğu durumlarda sorunsuz uygulandığı için tarihi yapıların temellerine ve altlarındaki zemin yapılarına müdahale anlamında uygundur. Ancak bu yöntemlerin de dikkatli şekilde kullanılması gereklidir. Müdahale esnasında hassasiyet gösterilmediği takdirde zemin enjeksiyonu basıncından dolayı duvarlarda ve taş ayaklarda düşeyden sapma ve kaplamalarında bozulma gibi çok ciddi yapısal hasarların meydana gelmesi mümkündür. Sıvılaşmaya karşı zeminin güçlendirilmesi amacıyla ağırlık düşürme (dinamik kompaksiyon) yöntemi kullanılabilir, ancak bu yöntemin yapıda titreşim yaratması riski mevcuttur.
- **Zemindeki suyun tahliyesi:** Çeşitli sebeplerle zeminin yumuşamasına ve taşıma gücünü yitirmesine yol açan durumlarda yeraltı su seviyesini kontrollü bir şekilde düşürmek veya yapının altındaki zeminde bulunan ve temele zarar veren suyun tahliye edilmesini sağlamak mümkündür. Bu amaçla zeminin içerisinde çakıl ve kum drenleri

oluşturulur. Ayrıca sentetik malzemeler de drenaj amaçlı kullanılabilir. Ancak bu tür uygulamalarda düzensiz su tahliyesi nedeniyle üst yapıda farklı oturmalara izin vermemek gerekir.

Tarihi yapıların temellerinde yeraltı suyu seviyesinin yüksekliği nedeniyle oluşmuş bozulmaların sık görülmemesinin en büyük nedeni, bu tür yapıların bir kısmında inşa edildikleri tarihte açılmış olan kuyuların ve bu kuyuları birbirine bağlayan tünellerin mevcudiyetidir. Kuyular ve tünellerden oluşan yeraltı sistemleri söz konusu tarihi yapının temelini uzun bir süre boyunca doğrudan su ve nem etkisinden korur. Tarihi yapı ile ilgili müdahale kararı alınması durumunda bir anlamda drenaj sağlayan bu sistemin korunması ve müdahaleden olumsuz şekilde etkilenmemesi gereklidir.

Yukarıda bahsi geçen bütün zemin/temel müdahaleleri sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda sıralanmıştır:

- Temele yapılan müdahalelerde olabildiğince düzgün bir temel altı gerilme dağılımının oluşturulması esas alınmalıdır.
- Müdahale alanında bulunması olası yer altındaki arkeolojik eserlere dikkat edilmelidir.
- Temele yapılan müdahalede mesnet koşulları değiştirilmemelidir.
- Şev stabilitesi ile ilgili sorunlar var ise müdahale yalnızca temel düzeyinde değil arazi düzeyinde yapılmalıdır. Bu durum için daha uygun müdahale yöntemleri taş kolonlar ve geosentetiklerdir.
- Tarihi yapılara yönelik tüm temel müdahalelerinde, yapı üzerinde enstrümantasyon ve ölçüm ile muhtemel yer değiştirmeler kaydedilmeli, gerekirse uygulama durdurulmalıdır. Kabul edilebilir yer değiştirme sınırları yapının ve temelinin özelliklerine bağlıdır.
- Temellerin ve duvarların toprak altında kalan kısımlarının dış ortama açık olan yüzeylerinde uzun yıllar boyunca suya ve neme maruz kalması sebebiyle harcın bağlayıcılığı azalabilmektedir. Bu nedenle toprak altında kalan yerlerde kazı yapıldığı durumlarda duvarı ve üst yapıyı korumak amacıyla geçici iksa yapılması gerekli bir koruma tedbiridir.

Tarihi yapılarda temel ile ilgili müdahale kararı almadan önce Bölüm 3.3'te anlatıldığı üzere zemin ile ilgili ayrıntılı incelemeler (inceleme çukuru, sondaj, sonda, vb.) yapılmalıdır. Zemin ile ilgili veriler elde edildikten sonra temelin mevcut durumu da göz önüne alınarak karar verilmelidir.

7.3.2. Duvarlara yönelik müdahaleler

Tarihi yapıların taşıyıcı yığma duvarlarına etkiyen yükler Bölüm 6.1'de açıklanmaktadır. Bu bağlamda yığma duvarları en fazla zorlayan yükleme durumu, düşey ve yatay yüklerin duvarların düzlem-içi veya düzlem-dışı yönlerinde

beraber etki etmeleridir. Bu yükleme durumunda yığma duvarlar basınç ile birlikte kayma (dolayısıyla çekme) gerilmelerini de taşımak zorunda kaldıkları için farklı seviyelerde hasar görebilirler. Bunun dışında yığma duvarlarda sadece düşey yükler altındaki zorlama (düşey yüklerin malzemenin basınç dayanımına yakın bir seviyede olması, sünme etkisi, ilave düşey yükler), kullanım amacı değişikliğinin yarattığı düşey yük farklılıkları, temelde oturma, dış etkilere maruz kalan duvar malzemesinin (taş, tuğla, harç, hatıl, metal bağlayıcılar, vb.) zamanla mekanik ve fiziksel özelliklerini yitirmesi gibi sebeplerden dolayı farklı tür ve seviyelerde hasarlar ve bozulmalar ortaya çıkabilir. Tarihi yapılardaki yığma duvarlara yönelik müdahale yöntemlerine karar verirken mevcut hasar durumlarını ve seviyelerini detaylı bir şekilde irdelemek ve bu müdahaleyi gerektiren hasarın veya bozulmanın nedenlerini bilmek önemlidir.

Yığma yapılarda hatıl, duvarın bütünlüğünün korunmasını, düzlem-dışı yöndeki kararlılığının artırılmasını ve duvarların beraber çalışmasını sağlamak için çok eski dönemlerden beri kullanılmaktadır. Tarihi yığma yapılarda ahşap hatılların zamanla çürümesi ve bozulması duvarlarda bazı hasarların ortaya çıkmasına yol açabilir. Bu gibi durumlarda yığma duvara aynı tür malzemeyi kullanarak yeni hatıl yerleştirilmesi oldukça zahmetli bir çözüm olsa da duvarın davranışında gözle görülür bir iyileşmeye neden olur. Hatıl yenilendikten sonra ankrajlar (ince paslanmaz tij) ile duvara sabitlenmeli daha sonra ahşap hatıl ile hatıl yuvası arasındaki boşluk mümkünse harçla doldurulup uygun malzeme ile harç enjeksiyonu yapılmak suretiyle hatıl ve duvarın birlikte çalışması sağlanmalıdır.

Yığma duvarların onarılması veya mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için pek çok farklı yöntem ve teknik mevcuttur. Seçilen müdahale yönteminde kullanılan malzemenin ve uygulama tekniğinin mevcut duvar malzemeleri ile fiziksel, kimyasal ve mekanik açıdan uyumlu olmasına özen gösterilmelidir. Bu bağlamda, tarihi yapılarda yığma duvarlara yönelik başlıca müdahaleler aşağıda sıralanmaktadır:

- Kısmi onarımlar
- Duvara harç enjeksiyonu
- Donatılı sıva uygulaması
- Donatı ilavesi
- Yeniden örme

7.3.2.1. Kısmi onarımlar

Tarihi yığma yapıların bazı duvarlarında, taşıyıcı sistemin yük aktarımındaki kesintiler, bölgesel aşırı yükler, temel oturması, duvar malzemesinin dış bir etkene maruz kalması gibi sebeplerden dolayı sıva dökülmeleri, çatlaklar, ezilmeler, parça kopmaları, malzeme bozulmaları ve derz boşalmaları gibi kısmi hasarlar ortaya çıkabilir. Hasarlı bölgelere uygulanacak müdahale yöntemine genellikle hasarın düzeyine göre karar verilir.

Yığma duvarlardaki derzler, çevresel etkilere (rüzgar, su, kimyasallar, donma-çözülme çevrimleri, vb.) karşı genellikle korumasızdır. Zaman içerisinde derzleri etkileyen bu tür faktörler aşınmaya neden olur ve derzler boşalırlar. Derzlerin boşalması sonrası özellikle suyun ve nemin duvar içlerine nüfuz etmeye başlaması duvarın içten zayıflamasına yol açabilir. Bu tür hasarlara ve bozulmalara karşı müdahale yöntemlerinden biri de derzlerin uygun harç malzemesi ile doldurulmasıdır. Müdahalenin etkili olması için duvarın tek veya her iki yüzünden de duvar yüzeyindeki bozulmuş, ayrılmış harç alınarak yerine özgün malzemeye uygun bir harç konulması gereklidir. Bu uygulama, duvarın stabilitesini bozmamak için duvar yüzlerinde sırayla gerçekleştirilmelidir.

Duvar malzemesinin dökülmesi, parça kopması ve bu sebeple duvarda meydana gelen bölgesel boşluklar, onarım gerektiren bir başka hasar türüdür. Genellikle aşırı yüklenme, fiziksel veya kimyasal bozulmalar nedeniyle ortaya çıkar. Dökülmenin duvarın kesit özelliklerini ve dayanımını çok fazla etkilemediği durumlarda dökülme olan bölge mümkün olduğu kadar yapıya özgü malzemeler kullanılarak yeniden örülebilir. Bu uygulamada mevcut duvar ile müdahale edilen kısmın bir bütün olarak işlev görmesi oldukça önemlidir.

Duvar yüzeyindeki çatlaklar ve ezilmeler tarihi yapıların yığma duvarlarında sıkça rastlanan bölgesel hasar türleridir. Yığma birimlerin (taş veya tuğla) düşük mekanik özelliklerinden veya yüksek seviyede deprem yüklerinden kaynaklanabilirler. Çatlaklar çekme dayanımının, ezilmeler ise basınç dayanımının aşıldığı bölgelerde kendini gösterir. Buna ek olarak, gece gündüz sıcaklık farklarının önemli olduğu karasal iklim koşullarında yığma duvarların içinde yer alan ve çeşitli malzemelerden (ahşap, metal veya beton) yapılmış olan parçaların farklı genleşme özellikleri çatlakların oluşmasına yol açabilir. Çatlaklara en yaygın müdahale yöntemi, yüksek dayanımlı ve kireç esaslı bir harç ile doldurma veya daha büyük, derin çatlaklar için özgün malzeme ile dikiş ve sonrası kireç esaslı bir harç ile doldurulmasıdır. Bu tür uygulamada özgün malzemesi ile dikiş yapılabilir, yapılamadığı durumlarda yine uzman görüşü alınarak, paslanmaz metal kenet uygulaması yapılabilir. Ayrıca kenetlerin uygun malzemeyle ankre edilmesi gerekir. Paslanmaz kenetler kurşunla tespit edilmeli, epoksi kullanılmamalıdır. Çatlak ve ezilmelerle ortaya çıkan metal bağlantı elemanlarında (kenet ve zivana gibi) ulaşılan yerlerde temizliği yapıp korozyon önleyici sürüldükten sonra tamirat yapılmalıdır.

Tüm çatlak boyunca belli aralıklarla yapılan bu uygulamada metal kenetler duvardaki çekme gerilmesini karşılar ve çatlakların daha fazla açılmasını engellerler. Bu uygulamada yaygın olan *metal kenet* kullanımının yanı sıra her ne kadar tarihi yapıların dokusu için pek uygun olmasa da *lifli polimer* malzemeler de kullanılmaktadır.

7.3.2.2. Harç enjeksiyonu

Bu müdahale yöntemi özellikle düzensiz ve dış etkiler nedeniyle boşalmış derzleri olan taş yığma duvarların ve orta kısmında boşluklu dolgu malzemesi bulunan sandık duvarların bütünlüğünün yeniden sağlanması için kullanılmaktadır. Boşluklu duvarlara bağlayıcılığı yüksek ve özgün malzemeler ile uyumlu bir harç uygun bir basınç altında

enjekte edilerek duvarın mekanik özellikleri iyileştirilebilir. Boşluk oranı yüksek olan duvarlarda tüm duvarın mekanik özelliklerinde (hem rijitlik hem de dayanım anlamında) iyileşmeler gözlenmesi mümkündür. Duvarın mevcut malzeme dayanımı düşükse veya duvar bir kaç malzemenin bir araya getirilerek oluşturulduğu boşluklu bir yapıya sahipse bu müdahalenin olumlu etkileri daha net olarak ortaya çıkmaktadır.

Enjeksiyon malzemesi tarihi yapının özgün duvar malzemesi ile uyumlu olmalıdır. Bu bağlamda kireç esaslı enjeksiyon malzemeleri kullanılabilir. Enjeksiyon malzemesi tüm boşlukları doldurması için ince ve akıcı olmalıdır, ancak fazla akışkanlık sonucu çiçeklenme problemine yol açmamalıdır. Bu bağlamda duvarın sıvası üzerinde bezemeler bulunması durumunda uygulama çok dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Enjeksiyon harçları ile ilgili olarak detaylı bilgi Bölüm 4.4.5’de verilmektedir.

Enjeksiyon işleminin yaygın olarak gerçekleştirilmesinden önce mevcut yapı elemanı içinde aderans sağlaması için zayıf toz şeklindeki maddelerin yıkanması veya ıslatılması faydalı olur. Enjeksiyon sonrası etkinliğin ise saha veya laboratuvar deneyleri ile denetlenmesi önem arz etmektedir. Bu müdahale yöntemi uygulanırken hatlı boşluklarının doldurulmamasına dikkat edilmelidir.

Ayrıca, eğer duvarlarda hatılların yıpranması sonucu boşluklar oluşmuşsa, harç enjeksiyonu uygulaması öncesinde duvar hatıllarının aynı tür malzeme ile yenilenmesi gereklidir. Eğer aynı tür malzeme ile yenilenmesi mümkün değilse farklı malzeme ya da teknikler ile doldurulduktan sonra enjeksiyon uygulaması yapılması tavsiye edilir.

Harç enjeksiyonu, duvarın iç kısmına yönelik bir müdahale olduğundan tarihi yapılar için tercih edilen bir yöntemdir. Ancak duvarlarda nem artışına ve buna bağlı hasarlara neden olduğu için bu müdahale yönteminde çimento esaslı harçlar kullanılmamalıdır.

Harç enjeksiyonu, bağlayıcı harcın çamur olduğu duvarlarda uygulanmamalıdır. Ancak zorunluluk halinde kireç eklenmiş elenmiş toprak kullanılarak hazırlanmış harç uzman görüşü alınmak koşuluyla kullanılabilir.

Enjeksiyon uygulaması tarihi yığma yapıların onarımında yaygın olarak kullanılan ve geri dönüşü olmayan bir yöntemdir. Yanlış malzeme seçimi veya hatalı uygulamaların yapılması tarihi yapılarda farklı hasarların oluşmasına neden olabilir. Bu nedenle, uygun malzemeler ile doğru uygulamanın yapılması ve enjeksiyon performansının değerlendirilebilmesi gerekir: Bunun için uygulama öncesinde ve uygulama sonrasında yapılacak çalışmalar aşağıda sırası ile verilmiştir.

a. Uygulama öncesinde yapılması gerekenler:

- Tarihi yapının özgün malzeme özellikleri belirlenmeli,
- Enjeksiyon malzemelerinin üretiminde kullanılacak malzemelerin inceliğine karar vermek için onarım yapılacak yapıdaki çatlak genişlikleri ölçülmeli,

- Özgün malzeme özelliklerine uygun enjeksiyon malzemeleri üretilmeli,
- Enjeksiyon malzemelerinin akışkanlık, hacim sabitliği ve penetrasyon özellikleri gibi fiziksel özelliklerinin yanı sıra yeni üretilen malzemelerin mekanik, kimyasal, mineralojik ve dayanıklılık özellikleri incelenmeli ve uygunluğu araştırılmalı,
- Uygulama yapılacak tarihi yapıdaki boşluk dağılımı belirlenmeli,
- Eleman üzerine açılacak deliklerin yerleri boşluk dağılımına bağlı olarak seçilmeli ve özgün malzemenin su emme kapasitesine bağlı olarak yığma eleman ıslatılmalı,
- Uygulama esnasında malzeme enjeksiyonuna en alt delikten başlanmalı; bir üst sıradaki deliklerden malzeme çıkışı görüldükçe bir üst noktaya geçilmelidir.

b. Enjeksiyonun Uygulanması

Uygulama, enjeksiyon malzemesinde oluşabilecek sedimentasyonu engellemek için haznesindeki malzemeyi basınç etkisi ile karıştıran ve çıkış kısmında bulunan barometre sayesinde enjeksiyon basıncını kontrol edebilen cihaz ile yapılır (Şekil 7.1).



Şekil 7.1 a) Enjeksiyon cihazı, b) Cihaz ucundaki barometre

- Uygulama öncesi ilk olarak duvar üzerinde matkapla duvar yüzeyine enjeksiyon delikleri açılır. Duvarın tek bir yüzünde açılan bu delikler, çatlak dağılımlarına bağlı olarak belirli aralıklar ile oluşturulur (Şekil 7.2a).
- İkinci adımda delikler içerisinde bulunan toz malzeme kompresör ile hava basılarak temizlenir (Şekil 7.2b), uygulama yapılacak elemandaki tuğla ve/veya harcın enjeksiyon malzemesi içerisindeki karma suyunu emmesini engellemek için onarım öncesinde su enjekte edilerek iç yüzey ıslatılmalıdır (Şekil 7.2c).

- Malzeme enjeksiyonu, açılan deliklere yerleştirilen plastik tüpler yardımı ile yapılır. Uygulama boyunca enjeksiyon basıncı (yaklaşık 1 bar) sabit tutulmaya özen gösterilir. Enjeksiyon işlemine duvarın alt bölgelerindeki noktalardan başlanır, uygulama boyunca çatlaklardan sızıntı olmasının engellenmesi amacıyla boşlukların, daha sonra temizlenmek üzere kapatılır (Şekil 7.2d) .



Şekil 7.2 a) Duvar üzerine matkap ile delik açılması, b) Açılan noktaların hava ile temizlenmesi, c) Islatma işlemi, d) Enjeksiyon uygulaması

c. Uygulama sonrasında yapılması gerekenler:

- Onarım gören elemanda uygulama sonrası boşluk dağılımını belirlemek ve enjeksiyonun ne ölçüde başarılı olduğunu görmek için boşluk dağılımı tekrar belirlenmelidir. Bu işlem uygulamanın performansını değerlendirmek için yapılması gereken önemli bir adımdır.
- Uygulama öncesi ve sonrasında yapılacak ultrases ölçümleri enjeksiyon uygulamasının performansının değerlendirilmesi için uygun yöntemlerden biri olabilir.
- Yapılan müdahalenin tarihi yapıya herhangi bir zarar verip vermediği belirli aralıklarla takip edilmelidir.

7.3.2.3. Donatılı sıva ile mantolama

Tarihi yapılarda uygulaması kısıtlı olan bu müdahale yöntemi genellikle duvarda çok geniş çatlaklar (veya yarılmalar) olması veya ileri düzeyde hasar olması durumlarında kullanılabilir. İleri düzeyde hasara örnek olarak deprem sırasında oluşmuş X-şeklindeki diyagonal çekme çatlakları verilebilir. Özellikle tuğla kullanılarak örülmüş, düzgün yüzeyi olan duvarlarda etkili bir yöntemdir. Uygulaması kolay ve iyi sonuç alınan bir yöntem olduğu için genellikle sivil yığma yapılarda çok sık kullanılmaktadır. Ancak tarihi yapılarda bulunan, sıvasız olarak kendine özgü bir dokuya ya da değerli bezemelere sahip yığma duvarlarda kullanılmamalıdır.

Bu tür müdahalenin tam anlamıyla etkili olması için duvarın her iki yüzüne de uygulanması tercih edilmelidir. Bu durumda; özellikle düşük malzeme kalitesine sahip duvarlarda kesme dayanımının önemli oranda arttığı gözlemlenir. Duvarın iki yüzüne de uygulanması durumunda, oluşturulan sıva tabakalarının enine doğrultuda ankraj eleman-

ları ile duvara bağlanması eklenen tabakaların mevcut duvarla bütünleşmesi açısından önemlidir. Bu bütünleşmenin gerçekleşmediği durumda zorlamalar sebebiyle mantolanan tabaka mevcut duvardan ayrılabilir.

Bu müdahale yönteminde lifli polimerler donatı olarak kullanılabilir. Sivil yığma yapılar için mantolama uygulamasında sıklıkla kullanılan çelik hasır donatı tarihi yapılarda eğer duvarı başka bir yöntemle kurtarmak mümkün değilse tercih edilebilir. Kaplama malzemesi olarak da kireç esaslı harç karışımı kullanılabilir. Bu karışımın mala veya püskürtme yoluyla kolaylıkla uygulanabilir olması gereklidir. Kullanılacak malzemelerin mevcut duvar malzemeleri ve örgüsü ile uyumluluğunun deneyler ile kontrol edilmesi yerinde olur.

Yapılan her müdahalenin katkısı olduğu kadar yan etkileri de vardır. Örneğin; mantolama ile duvarın mekanik özellikleri iyileştirilirken, duvarın rijitliğinin artması dolayısıyla deprem esnasında alacağı yük de artabilir. Buna ek olarak, duvarların plandaki dağılımı göz önüne alındığında mantolama düzensiz olarak uygulanmışsa, müdahale sonrası tarihi yapının dinamik özellikleri değişebilir, burulma etkileri ve dolayısıyla müdahale yapılmamış duvarlarda yerel hasarlar ortaya çıkabilir.

7.3.2.4. Donatı ekleme

Bilindiği üzere yığma duvarların çekme dayanımı oldukça düşüktür. Herhangi bir sebepten dolayı (deprem, rüzgar, temel oturması, vb.) çekme gerilmeleri alan duvarlarda hasarlar çatlak şeklinde kendini gösterir. Bu çatlaklar duvarın taşıma kapasitesini olumsuz olarak etkiler. Bu bağlamda, çekme gerilmesini alması ve hasarın artmasını engellemesi için bu tür bölgelere donatı takviyesi yapmak uygun bir müdahale yöntemidir. Bu müdahalenin olumlu yanı; çekme gerilmesi açısından kritik olduğu bilinen bölgelerde yerel ve pratik bir uygulama olmasıdır. Ancak malzeme uyumunun sağlanmasında sorunlar yaşanabilir. Ayrıca uygulama esnasında yığma elemanlara ek hasar vermemek önemlidir.

Bu müdahale yönteminde, duvar yüzeyine veya derzlere paslanmaz çelik veya lifli polimer donatılar eklenerek çekme gerilmelerinin bir kısmı karşılanabilir ve duvar yük taşıma kapasiteleri arttırılabilir. Ancak duvar kapasite artışının bir üst sınırı olduğu ve eklenen donatı miktarı ile doğru orantılı olamayacağı unutulmamalıdır.

Bu müdahale yöntemi ayrıca sandık duvarların iç ve dış katmanlarını birbirine bağlamak için de kullanılmaktadır. Böylece duvarın bir bütün halinde çalışması ve düzlem-dışı etkilere karşı korunması sağlanabilir. Bu uygulamada paslanmaz çelikten lamalar veya özel imal edilmiş ankrajlar kullanılır. Duvarın kalınlığı boyunca mümkün olduğu kadarıyla derzlere denk gelen delikler açılır. Donatı açılan deliklere yerleştirildikten sonra duvar yüzeyinde derzleri takip edecek şekilde bükülür ve üstü harç malzemesi ile kaplanır. Ankrajların yatayda ve düşeyde hangi aralıklarla yapılacağı duvarın boyutları ve mevcut hasar durumuna göre değişiklik gösterir.

Sivasız duvarlarda görünüşü olumsuz etkileyeceği için tercih edilmez. Derzdeki harcı bir kaç santim kaldırıp donatıyı açılmış derz boyunca bütüktükten sonra üzeri yapıda mevcut olana uygun bir harç ile kapatılabilir.

Uygulama esnasında duvara genellikle derzlerde 4-5 santimetre derinliğinde açılan boşluklara donatılar yerleştirilir ve daha sonra üzerine bazik özellikli enjeksiyon uygulanır. Ayrıca kullanılacak malzemelerin mevcut duvar malzemeleri ve örgüsü ile uyumluluğu deneyler ile kontrol edilmelidir.

7.3.2.5. Yeniden örme

Tarihi yapıların duvarlarında ileri düzeyde hasarlar bulunması durumunda kısmi onarımlar yeterli olmayabilir. Bu durumda zayıf veya hasarlı bölgeler sökülerek yeniden örülebilir. Sökme işlemi öncesi duvar dokusunun ayrıntılı bir şekilde belgelenmesi önemlidir. Bu müdahale yöntemi özellikle birden fazla katmanı bulunan taş yığma duvarlarda dış katmanların iç katmandan şişme yaparak ayrıldığı durumlarda kullanılabilir.

Yeniden örme esnasında mevcut yığma duvar ile eklenen örgü arasındaki bağlantının; mekanik kenetlenme (derzlerde şaşırtma, duvar enine doğrultusunda uzanan taş-tuğla birimler, vb.) veya donatılar (paslanmaz metal kenetler veya zıvanalar) yardımıyla güvenli olarak sağlanması büyük önem arz etmektedir. Duvarın bütünlüğünü sağlamak için ahşap hatıl sistemin yerinde tekrar oluşturulması gereklidir. Sandık kesitli duvarlarda ankrajlar sadece duvar düzleminde değil, duvar düzlemine dik doğrultuda da yeterli sıklıkta yapılarak duvar ön ve arka yüzü birbirine bağlanmalıdır.

Kesme taş ile yapılacak olan yeniden örmelerde geleneksel yapım yöntemlerine dikkat edilmelidir.

Mekanik yöntemle hazır kesilmiş taş malzemenin geleneksel yapım yöntemine göre yan, alt, üst ve arka yüzeylerinin işlenerek kullanılması gerekmektedir.

Yeniden örme esnasında oluşturulan derzlerin özgün derzlerle görsel benzeşimine, harç malzemesinin özgün malzeme ile benzer içerikte hazırlanmasına, kullanılacak taşların boyut ve biçimlendirme şeklinin özgünü ile benzer olmasına, malzemenin bir araya getirilmesinde geleneksel yapım tekniğinin korunmasına dikkat edilmelidir.

7.3.3. Sütun ve Ayaklara Yönelik Müdahaleler

Tarihi yapılarda sütun ve ayaklar gibi basınca çalışan yığma yapı elemanlarının hasarlarının giderilmesi ve dayanımının artırılması için çemberleme ve kesit arttırma gibi yöntemler kullanılmıştır. Günümüzde de çemberleme bu elemanlardan daha iyi bir yapısal performans beklediğinde kullanılabilecek etkin bir yöntemdir.

Tek parça taştan yapılan (monolit) sütunlarda çemberleme, maksimum yük kapasitesini, daha önemlisi sünekliği arttırmaktadır. Çatlakların oluşması da engellendiği için, taşıyıcı ögenin genel dayanımı ve stabilitesi iyileşmektedir. Çok sayıda taş veya taş-tuğla örgülü ayaklarda iç bünyenin durumu incelenerek, yalnız dıştan sağlamlaştırma ile yetinilmemesi; iç bünyeyi de destekleyici müdahaleler yapılması gerekebilir. Dışı kesme taş, iç moloz örgülü olan ayaklarda zamanla harcın ayrışması, farklı yüklemeler dolayısıyla çatlamalar, yüzey taşlarında şişmeler olabilir. Bu tür hasarlara müdahaleden önce içteki durumun radar, endoskopi, vb. yöntemlerle araştırılarak anlaşılması ve ona

göre karar verilmesi gerekir. Çatlakların paslanmaz kenetlerle dikilmesi, iç bünyeye enjeksiyon gibi müdahaleler hasarları giderici olabilir.

Çemberleme, sütun/ayağın artan yüklere karşı dayanımının artırılması, veya mevcut ezilme çatlaklarına karşı önlem alma ihtiyacından doğar. Sargılanacak elemanın enkesit şekline bağlı olarak çelik lamalar kullanılabilir. Dairesel sargılama, çemberlemenin meydana getirdiği çekme kuvvetlerinin sütunun yüzeyinde basınç oluşturmaya esasına dayanır. Sütunda herhangi bir değişiklik yapılmadığı için, müdahale tamamıyla geri alınabilir (reversible) niteliktedir. Eski yapılarda bu çemberler yüksek sıcaklık altında hazırlandıktan sonra yerleştirildiğinden, soğumayla istenen kavrama sağlanırdı. Günümüzde iki veya daha çok parçalı çemberler cıvatalarla sıkıştırılarak istenilen gerginlik sağlanmaktadır. Uygulanan çelik çember ile taş yüzey arasına kurşun akıtlı veya levha olarak yerleştirilir.

Sargılama sırasında boyuna elemanların kullanılması da gerilme yığılmalarını önlemek açısından çok önemlidir. Dairesel olmayan düşey taşıyıcılarda sargılama yaparken, köşelerde ezilme ve kopmalar olmaması için, boyuna doğrultuda köşebent profillerin kullanılması yararlı olur.

Düşey taşıyıcılarda (sütun ve ayaklar) düşeyden ayrılma sorunu varsa, çekme elemanları, payanda gibi destekler kullanılarak, hasarın artmasının önlenmesi, güvenliğin sağlanması yönünde çözümler geliştirilir.

Sütun, kaide ve üst başlıklarında parça kopmalarında ise gerektiği durumda uzman raporuna göre uygun malzeme ile bütünleme yapılabilir.

Sütun, ayak taşıyıcı elemanlarının kaideleri ve üst başlıklarında ezilme hasarı durumunda çemberleme yapılabilir.

7.3.4. Bağlantılara yönelik müdahaleler

Yığma yapının 3 boyutlu olarak modellenmesinde oluşan iç kuvvet dağılımının ve iletiminin sağlanması için yapının duvar-duvar, duvar-döşeme, duvar-kemer/tonoz gibi bağlantılarının stabilitesini kaybetmemesi gerekmektedir. Oysa ki, bu tür yapılarda genellikle hasarlar bu bağlantı noktalarında meydana gelmekte ve duvarlarda düzlem dışı göçme biçimi hakim olmaktadır. Bu nedenle yapıda ilk irdelenmesi gereken bölgeler, yukarıda bahsedilen bağlantı yerleri olmalıdır. Bağlantı yerlerinin stabilitesini arttırmak ve bölgesel düzlem dışı göçme biçimini engellemek gerekmektedir.

Çoğu yığma yapıda, planda tüm yapıyı çevreleyen ve düşeyde de belirli aralıklarla devam eden ahşap hatıllar bulunmaktadır. Bu ahşap hatıllar birbirlerine çivi veya çeşitli ahşap birleşim (Örn: kırlangıç kuyruğu, kama vb. yöntemi) ile bağlanmaktadır. Bazı yapılarda ise bu ahşap hatıllarla beraber demir hatıllar da kullanılmaktadır. Yapı çevresince devam eden bu ahşap hatılların çürüyerek yok olması, dövme demirlerin paslanarak kesit kaybına uğraması veya kopması duvarların bağlantılarını ve düzlem dışı stabilitelerini azaltmaktadır. Tonozların başladığı seviyede ise genellikle, tonoz uzunluğunca devam eden ahşap hatıllar bulunmaktadır. Bu ahşap hatılların da zamanla çürümesi

tonoz ile duvar arasındaki, bağlantıyı zayıflatmakta, tonozda açılmaya bağlı çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Kubbelerde ise, kubbenin başladığı seviyede sekizgen planlı ahşap hatıllar konulabilmektedir. Yine tonozlu ve kemerli sistemlerde yanal itkiyi karşılamak üzere konulan ahşap/dövme demir gergi çubukların çürümesi, kopması veya kesilmesi sonucunda bu bölümlerde stabilite sorunu meydana gelebilmektedir. Bazı durumlarda ise gergi elemanı bulunsa dahi, zamanla bağlantı elemanlarındaki kesit kayıplarından veya eski onarımlardaki hatalardan kaynaklı gergi elemanlarının duvara, sütuna veya ayağa ankraj noktalarında zayıflıklar olabilmektedir.

Yukarıda açıklanan ve yapının özgününde bulunan bu bağlantı elemanları, mümkün olduğunca geleneksel özgün malzeme ile yenilenmelidir. Mümkün olmaması durumunda ise bozulan veya tamamen yok olan bu elemanlar paslanmaz çelik, sıcak galvanize daldırılmış çelik veya kompozit (ahşap ve çelik) elemanlarla yeniden oluşturulmalıdır.

Saçak seviyesinde veya kat döşemesi seviyesinde, duvar üzerine çelik profilden veya ahşap hatıl+çelik lama karışımı kompozit elemanlardan bağ kirişi oluşturmak ve bu bağ kirişini belirli aralıklarla duvara sonsuz dişli tij ile ankrajlamak duvarların düzlem dışı stabilitesini arttırmak için etkili bir yöntemdir. Sonsuz dişlilerin duvara ankrajında yapının özgün harcına uyumlu harçların kullanılması önerilmektedir. Mimari kısıtlardan dolayı bu seviyede duvar üzerine çelik yatay hatıl konulamaması durumunda, saçak seviyesinde veya kat döşemesi seviyesinde duvar dışından ve içinden, yapıyı çevreleyecek şekilde kuşaklama yapılabilir. Kesişen duvar bağlantılarının zayıf olması durumunda, temelden saçak seviyesine kadar olan bölümlerde, farklı seviyelerde çelik tij veya levhalar ile duvar kesişim yerlerinin bağlantıları iyileştirilebilir. Çelik tij veya levhaların duvara ankrajı sürtünme ile sağlanacağından, çelik tijlerin veya levhaların uzunluğunun seçimine dikkat edilmelidir. Birbirini dik kesen iki duvar kesişim yeri çürütülerek birbirine geçmeli olarak özgün malzemeler ve teknikle yeniden örülebilir. Bu müdahalenin yapı genelindeki davranışına olumlu yönde katkısı olabilmesi için, yapı genelinde iyi bir duvar örgüsü bulunmalıdır.

Kemerli ve tonozlu sistemlerde itki kuvvetini karşılamak için konulan demir/ahşap gergilerin duvar/sütun/ayak bağlantılarında öncelik geleneksel yöntem olmalıdır. Ancak yeniden yapım durumu haricinde geleneksel yöntem ile bağlantı mümkün olamayabilir. Geleneksel yöntem ile sütun ve ayaklara bağlanan gergi demirlerinin ankrajlandığı yerlerde çatlamayı engellemek için, sütun başlıklarını çevreleyen çelik levha konulmalı, eksik olanlar tamamlanmalıdır. Geleneksel bağlantı detayının uygulanamadığı durumlarda, gergi demirlerinin duvara/sütuna/ayağa ankrajlanması, dış yüzeye geçecek şekilde delik açılarak gergi demirinin konulması, dış yüzeye çelik levhadan başlık teşkil edilerek somun ile sıkılarak yapılması önerilmektedir. Çelik gergi sistemlerinde gerekmesi halinde çelik manşonlar ile ek yapılabilir. Başlık levhası ile duvar arayüzüne kireç esaslı harç veya kurşun konulması önerilir. Ancak bölgesel ezilmelere neden olmaması için başlık levhasının boyutu mümkün olduğu kadar büyük seçilmelidir. Meydana gelen hasarın niteliğine bağlı olarak, özgün taşıyıcı sistemde gergi elemanları olmaması durumunda kemer, tonoz gibi açıklıklarda ilave gergi elemanları konulabilir.

7.3.5. Döşemelere yönelik müdahaleler

Döşemeler yapının yatay taşıyıcı elemanlarını teşkil eder. Genel olarak düşey yükler döşemelerin düzlemlerine dik olarak etkir: Bu etkilerin döşeme kesitlerinde meydana getirdiği eğilme momenti, büyük düşey (düzlem dışı) yerdeğıştirmelere (sehimlere) sebep olabilir. Döşemeler tarafından karşılanan bu yükler döşemeye mesnet olan duvar, sütun, ayak, kemer, kiriş ve kolon gibi diğer elemanlara iletilir. Buna karşılık deprem kuvvetleri, atalet kuvveti olarak döşeme düzlemi içinde meydana gelir ve benzer şekilde mesnetlere iletilir. Yatay etkilerin döşeme düzleminde meydana getirdikleri etkiler de, düzlem içi şekil değıştirmelere sebep olur. Ancak, döşemelerin düzlem içi rijitlikleri büyük olduğu için, önemli şekil değıştirmeler meydana gelmez. Ancak, düzlem içi rijitliğin küçük olduğu (rijit diyafram kabulünün geçerli olmadığı) durumlarda, büyük şekil değıştirmeler meydana gelebilir. Ayrıca, bu tür şekil değıştirmeler yatay yükün döşeme tarafından mesnetlere düzgün iletilmesine engel olabilir. Bu duruma, büyük boşluklu ve göreceli olarak ince olan döşemelerde rastlanır. Bütün taşıyıcı elemanlarda olduğu gibi, döşemelerde de döşeme gözleri arasında sürekliliğin sağlanması ile, kesit etkilerinin daha dengeli dağılması ve sehimlerin küçülmesi sağlanır.

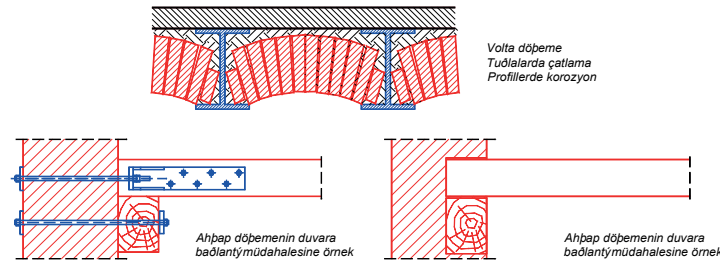
Birbirine bağlantısı zayıf olan ahşap elemanların belirli aralıkla bir araya getirilmesi ile oluşturulan ahşap döşeme sistemi rijit diyafram oluşturmayan türden kabul edilir. Bu tür ahşap döşemelere müdahale edilerek bunların birbirleri ile bağlantılarının sağlanması gerekir. Bu suretle döşeme, düşey yüklere ve deprem yüklerine daha dayanıklı duruma getirilirken, döşeme yüklerinin de mesnet teşkil eden duvar veya kirişlere daha dengeli biçimde iletilmesi sağlanır. Bu müdahale ahşap döşemelere göreceli olarak alttan ve üstten kuvvetli bir kaplama çakılması ile sağlanabilir. Bazı durumlarda rijit diyafram özelliği, ahşap döşeme elemanlarının arasına bağlantı, aralarına belirli aralıklarla boyunduruk (ahşap takozlar) konularak ve bunların diğer elemanlara birleşimi sağlanarak da oluşturulabilir. Ahşap döşemelerin diyafram özelliğini arttırmak için ilk kaplama tahtasına ilave olarak, ilk kaplama yönüne dik veya eğik ikinci bir kaplama yapılabilir. İki kaplama her kesişim noktalarında çivi ile birbirine bağlanmalıdır.

Büyük açıklıklı ahşap döşemelerde, eğilme rijitlikleri düşük olduğu için, yeterli mukavemete sahip olsalar bile, kullanımda rahatsızlık çıkaracak büyük sehimler meydana gelebilir. Bu sehimler, geçmişte yapılan ağır yüklemelerden ve elastik olmayan kalıcı türden de olabilir. Genellikle bu sehimlerin geri döndürülmesi mümkün değildir. Döşemeyi oluşturan ahşap elemanlar yeterli mukavemette ise ve bozulmamışlarsa, bunların alt-üst edilerek kullanılmaları uygun bir çözüm olabilir. Taşıyıcı yığma duvarlara oturan ahşap döşeme elemanlarının mesnet bölgelerinde, ahşabın genellikle nemden bozulmasına sık rastlanır. Döşeme mesnetleri duvar içinde kaldığı için genellikle özel inceleme yapılmazsa bu durum kolay görülmeyebilir ve aşırı bozulma ani döşeme göçmesine sebep olabilir. Bu sebepten, mesnetler incelenerek, gerekli durumda müdahale edilmesi gerekir. Kireç harcı ahşabın böceklenmesini sınırlandıracığı için kireç harcının ahşap döşeme kirişi ile yığma duvar arasında kullanılması önerilir. Bazı durumlarda, duvarın üst kısmında duvar düzleminde mesnet genişliğinin büyütülmesi ve mesnet gerilmelerinin düşürülmesi bir çözüm olabilir. Bozulmanın ilerlediği durumlarda, bozulmaya uğrayan kısım kesilerek çelik lamalar kullanılarak ahşap

ek yapılabilir. Gerekli durumlarda ahşap elemanın tamamen yenilenmesi de bir çözüm olarak göz önüne alınabilir. Ancak, neme karşı tedbir alınması, daha köklü bir çözüm olacak ve elemanın ömrünü uzatacaktır. Ahşap elemanın eğilme mukavemetinin büyük olması için mukavemet momentinin büyük olmasının sağlanması ve sehimleri küçük olması için atalet momentinin büyük olmasının sağlanması gerekir. Ancak kesit genişliği küçük ve yüksekliği büyük eleman, yanal burkulmaya karşı hassastır. Bu sebepten ahşap elemanın yükseklik/genişlik oranının 4 civarında kalması önerilir. Bu oranın büyük olduğu durumlarda özellikle mesnette ve açıklıkta da belirli ara ile elemanlar arasında boyunduruk (takozlar) konulması yanal burkulmayı önleyeceği gibi, elemanlar arası yardımlaşmayı da sağlayacaktır. Ahşap binalarda cumba veya balkon döşemelerindeki elemanların daima mesneti aşarak komşu döşemenin mümkünse mesnetine ulaşması tercih edilir. Bu suretle, konsol döşemenin ucunda büyük sehim çıkması önlenir ve uygun bir mesnetlenme sağlanır. Taşıyıcı elemanların komşu açıklıklarda da sürekliliğinin sağlanması gereği, en çok konsol döşemelerde ortaya çıkar.

Volta döşemeler 19. yy yapılarında en çok kullanılan döşeme türlerindendir. Bu döşemelerde, çelik elemanlar arasına tuğlalardan küçük açıklıklı tonozlar yapılarak, çelik elemanların eğilmeye ve yığma elemanın sadece basınca maruz olması sağlanır. Bu tür elemanlarda çelik elemanların paslanmış olması en çok rastlanan ve müdahaleyi gerektiren bir durumdur. Benzer durum, bu volta döşemenin yığma duvara mesnetlendiği bölgede ortaya çıkar. Bu elemanlarının pasının temizlenmesi ve pastan koruyucu kimyasal sürülmesi en uygun müdahaledir. Eğer yığma birimlerde de bozulma varsa onarılması veya yenilenmesi yerinde olur.

Tarihi yapılarda tonozların veya kubbelerin üzerinin doldurulması ve kaplama yapılmasıyla döşeme oluşturulur. Tonozların ve kubbelerin taşıyıcılığında herhangi bir olumsuzluk çıkmadığı durumda döşemeye bir müdahale gerektirmez.



Şekil 7.5. a) Ahşap ve b) Volta döşeme

7.3.6. Kemer, Tonoz ve Kubbelere Yönelik Müdahaleler

Tarihi yapı elemanlarında eğilme momenti etkisini minimum duruma indirmek ve kesitlerde basınç normal kuvvet etkisini ortaya çıkarmak için; kemer, tonoz ve kubbe kullanılmıştır. Taş veya tuğla elemanların uygun harçla

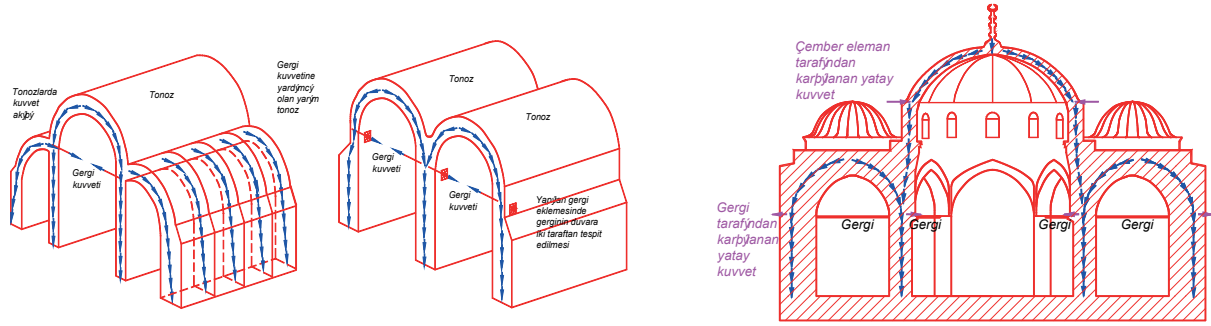
birleştirilerek oluşturulan derzlerde normal kuvvet kolayca iletilebilir. Kemer, tonoz ve kubbelerde, düzgün yayılı yükün dışındaki diğer türden yüklemelerde (özellikle tekil yerel yüklemelerde) eğilme momenti, dolayısıyla çekme gerilmeleri ortaya çıkar ve çatlaklar meydana gelebilir. Genellikle, bu eğrisel elemanların basınç dayanımı oldukça yüksektir. Mesnetlerdeki itki taşıyıcı eleman tarafından karşılanıyorsa tonoz ve kubbe yüzeyinde farklı nedenlerle oluşan küçük çatlaklar yapı stabilitesi açısından sorun yaratmaz.

Kemer ve tonozların mesnetlerinde ortaya çıkan çekme kuvvetinin bir gergi ile karşılıklı dengelenmesi, elemanın kendi içinde bir bütün olmasına sebep olur. Kubbede ise, kubbe eteğine yerleştirilen halka elemanla kubbeden gelen mesnet tepkilerini benzer şekilde dengelenir. Kemer ve tonozda gergilerin mesnette kemer ile bütünleşmesi, bu kesitten sıyrılmaması şarttır. Bu amaçla mesnet kesitine sütun başlığı içinde kalan bir demir halkaya (simit) gergiler kanca ile bağlanır. Özellikle sütun başlığı iki taraftan gergi ile bağlanmış ise, bu kuvvetler yaklaşık olarak dengede olacağı için, en uygun durum ortaya çıkar. Eğer gergi bir tarafta sonlanıyorsa, bu durumda gergi (simit) halkasının sütunun başlığına ve bunu taşıyan sütunun mesnetlenmesi daha fazla önem taşır. Camilerin harim hacimlerinin altında bulunan bodrum katlarında rastlandığı gibi, eğer kemer veya tonozun mesneti, açıklığına göre geniş bir duvarsa, gergiye ihtiyaç kalmayabilir. Kemer ve tonozlarda müdahale gerektiren en önemli durumu mesnet bölgesinde gerginin kesite girdiği bölgenin çatlamış veya dağılmaya yüz tutmuş olmasıdır. Bu durumda kemer ve tonozun gergi doğrultusunda açılması, tam engellenmemiş olur. Açılma sonucunda kemer ve tonozda, tepe noktası civarında çatlaklar ve taşların birbirine göre göreceli düşey hareketi meydana gelebilir. Bu yatay açılma küçük boyutlarda ise, yani sadece çatlaklar meydana gelmişse, sütun başlarına yapılacak halka (bilezik) çelik elemana gergi bağlanarak tedbir alınabilir. Ancak, gergi çok büyük bir duvara girmişse duvar delinerek gergi duvarın diğer kenarından çıkarılır ve uygun bir çelik plaka ile duvara dışardan mesnetlenir. Bu durumda duvarın iki tarafına (gerginin duvara girdiği kesite ve çıktığı kesite) plaka koymak, muhtemel çekme ve basınç kuvvetlerini karşılamak için uygun düşer. Bazı durumlarda, özellikle gerginin duvarın diğer yüzünden dışarı çıkması bezemeler sebebiyle yapılamıyorsa, gergi duvar içinde bırakılır. Ancak, bu durumda uygun bir düzeneikle gerginin ucunun duvar içinde açılan yuvada duvara mesnetlenmesine ve gergi kuvvetini duvara iletmesine özen gösterilmelidir.

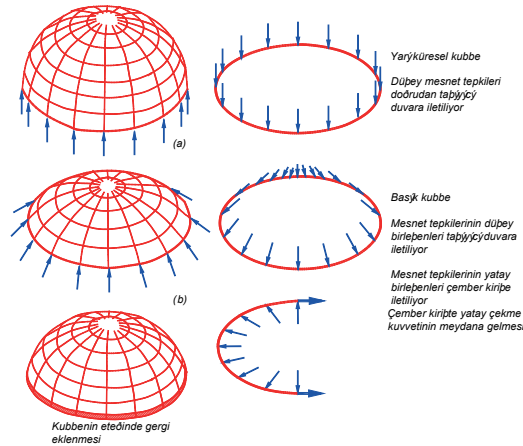
Kubbelerde kubbe eteğine birbirlerine kuvvet aktaracak şekilde yerleştirilen ahşap veya demir kuşaklar kubbeden gelen mesnet tepkilerini karşılar. Eğer kubbe eteğinin açılması sonucu bir çatlak gözlenirse müdahale gerekli olur. Kubbe eteğinin bir çelik çember ile sarılması en etkili müdahaledir. Bu elemanın kubbe ile bütünleşmesi araya konulacak kurşun, harç gibi malzemelerle ve küçük de olsa bir öngerme verilerek sağlanabilir. Bunun dışında kubbede bir çatlak olması durumunda, kubbe üstünde gereksiz ağırlığın azaltılması önerilir. Kemer, tonoz ve kubbe gibi eğrisel elemanlarda düzgün olmayan yerel yükleme kesitlerde önemli eğilme momenti, dolayısıyla çekme gerilmeleri ortaya çıkmasına ve çatlaklara sebep olur. Bu durumda, en etkili müdahale düzgün olmayan yüklemenin kaldırılmasıdır. Bir çatlağın, bir yüzünden diğer yüzüne çekme gerilmelerini aktarabilmek için, harç enjeksiyonu

yapılarak çatlakların doldurulması, çatlakları dik kesen yeterli uzunlukta paslanmaz çelik veya polimer çubukların derz aralarına yerleştirilip harçla kapatılması etkili olabilir. Ancak, çatlak onarımında U biçiminde kenetlerin ucunun yığma elemanı tahrip ederek yerleştirilmesi yerine kenet uçlarının derzlere yerleştirilmesi tercih edilmelidir. Diğer bir çözüm olarak çatlağa dik olarak konulan metal levhaların mevcut derzlere tijler vasıtasıyla bağlantısı sağlanarak kenet yapılabilir. Çatlak kesitindeki tuğla yenilenerek de dikiş yapılabilir.

Kemer, tonoz ve kubbelerde geometrinin bozulmasına sebep olan hasar bulunduğu zaman, dış yüklerin kesitlerde normal kuvvet yanında göreceli olarak büyük eğilme momentleri ve çekme gerilmeleri çıkacağı için, mümkünse, bu elemanların sökülerek yenilenmesi önerilir. Bu müdahale sırasında, üst yükün azaltılmasına ve elemanların taşıyıcı olan duvara olan mesnetlenmesine özen gösterilmesi önemlidir.



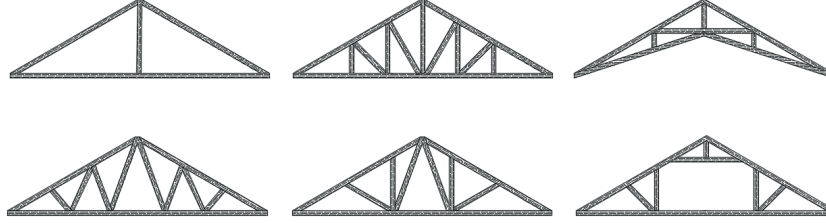
Şekil 7.6. Tonozlarda kuvvet akışı ve gergi



Şekil 7.7. Kubbe eteğinde kuvvet ve çelik şeritle müdahale

7.3.7. Ahşap Çatıya Yönelik Müdahaleler

Tarihi yapıların ahşap çatıları yaygın olarak ahşap elemanlarla ile oluşturulmuş makaslar ve bu makasların arasına yerleştirilerek yapının üzerini kaplayan çatı örtü elemanları ile teşkil edilmişlerdir. Ahşap çatının ana taşıyıcıları olan ve yapı duvarlarına mesnetlenen makaslar geçtikleri açıklık miktarına bağlı olarak farklı konfigürasyonlarda oluşturulmuş olabilirler (Şekil 7.8).



Şekil 7.8.Çeşitli ahşap makas konfigürasyonları (Rondelet, 1834)

Ahşap çatı elemanları genel olarak zamana ve çevresel şartlara bağlı olarak ortaya çıkan çürüme ve böceklenme gibi etkilere maruz kalmakta ve bunlara bağlı olarak hasarlar ortaya çıkmaktadır (Şekil 7.9). Bu hasarlar, herhangi bir deprem etkisi olmadan bile çatının kısmen veya tamamen çökmesine neden olabilmektedir. Önemli yapıların ahşap çatılarındaki hasarın ilerleyişi ve düzeyi; doğrudan görsel incelemenin yanı sıra, yapı sağlığı izleme sisteminde yer alan bağıl nem ve sıcaklıkölçer gibi algılayıcılarla veya tahribatsız deney yöntemleri ile takip edilebilir. Yüksek hassasiyette ses algılayıcılar görsel bir değişim gerçekleşmeden önce böcek larvalarının ahşabı delerken oluşturdukları sesleri yakalayabilmektedir.



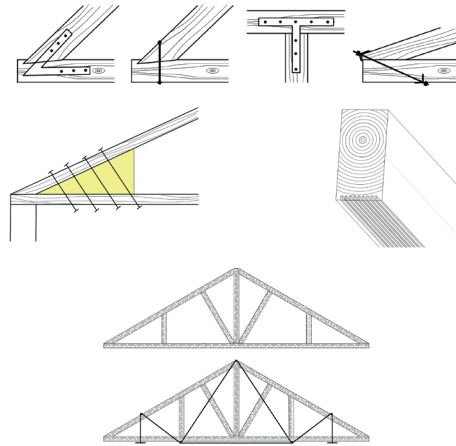
Şekil 7.9. Çatı elemanında malzeme bozulmasına bağlı deformasyon ve göçme

Çatı örtüsüne yönelik bir müdahale gerçekleştirilirken, düşük kütlesi ve yığma malzeme ile mekanik uyumluluğu açısından olabildiğince ahşap malzeme kullanılması yerinde olacaktır. Yığma malzeme ile çatı elemanları arasında kullanılan bağlantı elemanlarının sökülebilir olmasına dikkat edilmelidir.

Çatıdaki ahşap elemanların yaygın ve ileri düzeyde bozulmuş ve özelliklerini yitirmiş olmaları durumunda, çatı taşıyıcı sistemi güncel tasarım yönetmelikleri de dikkate alınarak ve olabildiğince özgün taşıyıcı sisteme sadık kalınarak yeniden oluşturulmalıdır. Mevcut çatı taşıyıcı sisteminin veya yeniden oluşturulacak taşıyıcı sistemin tasarım ve kontrolü için TS EN 1995-1-1 (Eurocode 5) yönetmeliğinde ahşap taşıyıcı sistem elemanları ve birleşimleri (mekanik olarak ve yapıştırıcı ile oluşturulan) için öngörülen hesap esaslarından ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2017'den faydalanılabilir. Ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin mekanik özellikleri için çeşitli deneyler yapılabileceği gibi TS EN 338 Yapı Kerestesi – Mukavemet Sınıfları standardında yapraklı (sert) ve iğne yapraklı (yumuşak) ağaçlar için verilen mekanik özelliklerden de yararlanılabilir. Mevcut çatı taşıyıcılarının malzeme özellikleri ve iç yapılarının durumu belirlenirken tahribatlı deneylerin yanı sıra ultrases, ahşap çekici ve resistograf gibi tahribatsız deneylerden de faydalanılabilir.

Ahşap çatı onarımı veya imalatında kullanılacak ahşaba uygulanacak koruma işlemi için TS EN 335 tarafından tanımlanan kullanım sınıfları ve yapının önemi dikkate alınarak biyolojik tahribat derecesine ait tehlike sınıfları belirlenebilir. Belirlenen tehlike sınıfı ve TS EN 460 Tehlike Sınıfları İçerisinde Kullanılacak Ahşap için Dayanıklılık Kuralları dikkate alınarak uygun bir koruyucu işlem seçilmelidir.

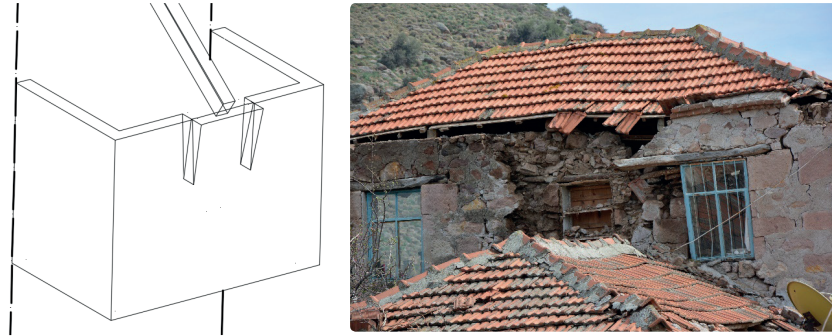
Çatı makaslarını oluşturan elemanların birbirleri ile ve yapı ile bağlantısını sağlayan birleşim elemanlarının yeterliliği yatay ve düşey yük etkileri altında kontrol edilmeli, gerekmesi durumunda metal plaka ve çubuklar ile takviye edilmelidir. Çatı makasının tahkiki esnasında yetersiz kapasiteye sahip olduğu belirlenen çekme çubukları çelik plakalar, halatlar ve gergiler ile desteklenebilir. Kullanılan metal elemanların korozyon etkilerine dayanıklı olması yapılan imalatın uzun ömürlü olması açısından önem arz etmektedir. Şekil 7.10'da çeşitli güçlendirme yöntemlerine ait örnekler gösterilmiştir.



Şekil 7.10. Çatı onarım ve güçlendirmesine yönelik müdahaleler

Çatı taşıyıcı sisteminin analiz ve tahkikleri gerçekleştirilirken yüklerin olabildiğince gerçekçi bir şekilde dikkate alınması önem arz etmektedir. Özellikle rüzgâr, kar ve buz yüklerinin belirlenmesi esnasında yapının bulunduğu bölgenin hava koşulları dikkate alınmalı, ilgili yük yönetmeliklerinin verdiği kar ve rüzgâr yükü değerlerinin yer yer aşılabileceği unutulmamalıdır. Böyle bir şüphenin bulunması durumunda yerel meteoroloji istasyonlarının verileri temin edilerek yönetmelik değerleri ile karşılaştırılabilir. Benzer şekilde, çatı kaplama malzemesinin (örneğin kurşun plakalar veya kiremitler) ve olası yalıtım ve dolgu malzemelerinin ağırlıkları da gerçekçi bir şekilde dikkate alınmalıdır.

Çatıyı oluşturan döşeme veya makaslar, çatı kaplamasına gelen yüklerin sağlıklı bir şekilde aktarımının yanı sıra sağladıkları diyafram etkisi ve mesnetlenme ile yatay yüklerin yapı duvarları arasında dağılımını düzenler ve duvarların düzlem dışı devrilmelerini de sınırlarlar. Ancak, çatı makasının özellikle çok tabakalı duvarların yalnızca bir tabakasına mesnetlenmesi veya duvara iyi mesnetlenmemesi durumlarında Şekil 7.11’de görüldüğü gibi düzlem dışı etkiler ortaya çıkabilir. Bu tip hasarların önüne geçebilmek için çatı elemanlarının doğrudan duvar yerine duvar üstünde teşkil edilmiş hatlılara mesnetlenmesi yerinde olacaktır (Şekil 7.12).



Şekil 7.11. Çatı elemanı mesnetinde duvar tabakasının düzlem dışı doğrultuda zorlanması



Şekil 7.12. Çatı elemanlarının duvar üzerinde teşkil edilmiş hatlılara mesnetlenmesi

7.3.8. Minareler ve Kule Tipi Yapılara Yönelik Müdahaleler

Minarelerin geometrisinden dolayı yapılabilecek müdahaleler kısıtlıdır. Minareler kaidesinden itibaren camiden ayrı olabildiği gibi caminin taşıyıcı duvarları ile birleşik de olabilir. Yapılacak müdahalede bu durumun değiştirilmesine özen gösterilmelidir. Depremlerde en fazla hasarın gözlendiği petek kısımlarında ahşap seren direğinin şerefe seviyesinde çekirdeğe mesnetlenmesi sağlanmalıdır. Seren direğinin çekirdek yerine, petek kısmının herhangi bir seviyesinde minarenin tuğla veya taş cidarlarına oturan ahşap kirişlere mesnetlendirilmesinden, süreksizlik meydana getireceği için kesinlikle kaçınılmalıdır.

Tuğla minarelerde bozulan derzler uygun derinlikte açılarak özgün harç ile uyumlu harç kullanılarak onarılabilir. Taş veya tuğla minarelerdeki derin olmayan çatlaklar özgün harç ile uyumlu harç kullanılarak enjeksiyon yöntemi ile doldurulabilir. Buna ilave olarak çatlakları dik kesecek şekilde metal kenet kullanılarak çatlakların ilerlemesi engellenebilir. Minare basamaklarında çatlaklarda da metal kenet yapılarak çatlakların ilerlemesi engellenebilir. Sürekli olmayan yerel çatlaklar çatlak olan bölgedeki taş veya tuğlalar yenilenerek onarılabilir.

Deprem etkisi altında kritik kesit olan kaideden şerefe kısmına kadar, belirli aralıklarla çelik kuşaklama yapılarak minarenin bütünlüğü sağlanabilir. Bu uygulama minarenin görünüşünü etkileyeceği için, bu yöntemin seçimine dikkat edilmelidir.

Hasar yalnız şerefe üstündeki petek kısmında ise, ayrıntılı rölöve çalışmasından sonra külah kaldırılır ve petekteki taş sıraları tek tek rölöveleri yapılarak ve taşları numaralandırılarak sökülür. Kenet ve zıvanalar belgelenir ve korumaya alınır. Şerefe seviyesinde serenin oturduğu çekirdek kısmındaki bağlantı belgelenir ve metal bağlantı tekrar kullanılabilir durumdaysa saklanır. Söküm işleminden sonra çatlamış veya büyük hasar görmüş taşlar belirlenir ve aynı boyutta yeniden yapılmaları için gerekli taş temin edilir. Taşları birleştirmek için kullanılacak kenetlerde korozyon varsa, yenileri paslanmaz çelikten yapılır. Bağlantılar için eritilmiş kurşun kullanılır.

Eğer merdivenin çekirdeğinde, gövdenin alt kısımlarında kenetle veya dıştan çemberleyerek onarılamayacak boyutta hasarlar varsa, minare en alttaki hasarlı bölüme kadar numaralandırılarak sökülür ve hasarlı taşlar yenilenecek yeniden yapılır.

7.3.9. Yapısal Olmayan Elemanlara Yönelik Müdahaleler

Parapet, saçak, baca, taşıyıcı niteliği olmayan bölme duvarları gibi yapısal olmayan elemanlara yönelik tahkikler gerçekleştirilirken ve müdahaleler planlanırken elemanların bulunduğu yüksekliğe ve yapı ile olan dinamik etkileşimlerine bağlı olarak deprem esnasında oluşacak ivmelerin büyüyebileceği unutulmamalıdır.

Yapısal olmayan elemanlara müdahale edilirken bu elemanların yatay yük etkileri altındaki yatay yerdeğiştirmelerini sınırlamak veya azaltmak amacıyla yatay destekler oluşturulabileceği gibi elemanların mesnet kesitleri genişleti-

lebilir ve yapı ile bağlantıları iyileştirilebilir. Söz konusu müdahaleler sonucunda yapısal olmayan elemanların dinamik özelliklerinin değişebileceği dolayısıyla deprem kuvvetlerinde artış olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

7.3.10. Kerpiç Yapılara Yönelik Müdahaleler

Kerpiç yapıyı oluşturan kerpiç birimlerde, bozulma olan ve bağlayıcılığını yitirenler yenilenmelidir. Kerpicing niteliğinden dolayı daha önceki bölümlerde verilen müdahale yöntemlerinin büyük bir kısmı (duvar içi enjeksiyon, donatılı sıva ile mantolama, donatı ekleme gibi) bu tür yapılarda uygulanamamaktadır. Bölüm 7.3.4, 7.3.5 ve 7.3.7’de verilen müdahale biçimleri kullanılacak malzemenin ahşap olması koşuluyla (ahşap bağlantılarında çelik levha kullanılabilir) kerpiç yapılarda da uygulanabilir.

Kerpiç yapılarda müdahale biçimi öncelikle ahşap hatıl, dikme ve çapraz elemanların iyileştirilmesi, çürüyen kısımlarının metal bağlantı elemanları ile yenilenmesi şeklinde olmalıdır. Kerpiç duvarların basınç dayanımı düşük olduğundan dolayı çatı ve döşeme üzerindeki fazla yükler uzaklaştırılmalıdır. Kerpiç duvarların kayma dayanımı, duvarın tek veya her iki yüzüne ahşap; yatay, düşey ve çapraz çerçeve oluşturularak ve bu ahşap elemanlar duvardaki diğer ahşap elemanlara çivi ile bağlanarak arttırılabilir.

7.4. Söküm ve Taşıma

Tarihi yapılar, bulundukları yere aittirler; kentsel veya kırsal gelişimin belgesi olarak yerlerinde korunmaları istenir. Ancak özel durumlarda: bulundukları zeminin sağlam olmaması, heyelan ve büyük oturma tehlikesi bulunması; yol genişletmesi, baraj, metro, köprü inşaatları nedeniyle tarihi yapıların ilk yapıldıkları yerden farklı bir konuma taşınarak korunmaları söz konusu olmaktadır. İstanbul’da 1950’lerde yapılan yol genişletmeleri, Marmaray ve Yenikapı kazıları bazı önemli yapı ve buluntuların yerlerinden alınarak farklı konumlara taşınmalarına neden olmuştur.

Kesme taştan yapılan tarihi yapılarda ayrıntılı olarak fotoğraf ve çizimle belgeleme yapıldıktan sonra yüzeyleri oluşturan taşların tek tek numaralandırılarak sökülmesi ve söküm sırasında her taş sırasındaki bağlantı sistemlerinin (kenet, zıvana, harç, vb. gibi...) ayrıntılı olarak kaydedilmesi gerekir. Tono, kubbe gibi genellikle tuğladan yapılan örtü öğelerinin ayrıntılı olarak, tek tek belgelenmesi yerine, örgüyü oluşturan tuğla ölçüleri ve birleşme sistemi belgelenir ve söküm sonrasında mümkünse aynı malzeme kullanılarak yeniden yapılır. Söküm sırasında özgün yapı malzemesi dağılmışsa, yeniden yapım için benzer boyut ve özellikte yeni malzeme sağlanması gerekir.

Bu tür tarihi yapıları bileşenlerine ayırarak taşıma işlemi özellikle çeşme, sebille gibi küçük yapılarda yapılmıştır. Cami, türbe gibi daha büyük kütlesi olan, duvarları dışta taş veya taş-tuğla almalı, içte moloz çekirdekten oluşan yapılarda taşıma uygulamasında söküm, malzemeleri birleştirmek için kullanılan harcın tümüyle kaybına neden olmaktadır. Eğer dışta tekrar kullanılabilecek nitelikte iyi durumda ve işçilikte taş kaplama varsa, taşlar numaralanarak tekrar kullanılmakta, yüzey gerisindeki moloz kısmın yeniden yapılması söz konusu olmaktadır.

Tarihi yapının özgünlüğünü zedeleyen, birçok ayrıntısının kaybedilmesine neden olan sökerek taşıma sistemine karşı, söz konusu eserin bir bütün olarak bulunduğu zeminden alınıp yeni konumuna götürülmesi ve orada özgün temele uygun olarak oluşturulan temeller üzerine yerleştirilmesi seçeneği geliştirilmiştir.

Yapının taşımadan önce yerinde sağlamlaştırılması (duvar boşluklarının enjeksiyonla doldurulması, derzleme yapılması, çatlakların dikilmesi, hasarlı bölgelerin onarımı), taşıma sırasında alabileceği darbe ve sarsıntılara karşı desteklenmesi gerekir.

Bütün olarak taşıma tekniği yapının parçalanmasına, bütünlüğünün yok olmasına, büyük ölçüde dokusunun yenilenmesi sorunlarını aşmaya yardımcı bir çözümdür. Hazırlanan yeni temelin özgün temele uygun olması, tarihi yapının yeni temelle bağlantılarının deprem ve benzeri sarsıntılara karşı güvenliğini sağlanması önemlidir.

7.5. Yeniden Yapım

Yangın, deprem veya çatışmalar nedeniyle tümüyle veya büyük ölçüde harap olan, yıkılan tescilli tarihi yapıların, ait olduğu çevrenin genel görünümüne katkıları, işlevsel ve simgesel değerleri nedeniyle, fotoğraf, daha önce hazırlanmış rölöve ve benzeri verilerden yararlanılarak yeniden yapılmaları işlemine “rekonstrüksiyon” denilmektedir.

Yeniden yapım mevcut kalıntılar, izler, belgeler değerlendirilerek hazırlanacak bir restitüsyon projesine dayanarak hazırlanan bir rekonstrüksiyon projesine bağlı olarak uygulanır. Koruma kurullarının uyduğu ilke kararlarına göre, özgün yapım teknikleri ve malzeme kullanılarak yapılması gerekir. Ahşap yapılar ahşap, kargir binalar kargir yapım teknikleri ile yeniden yapılırken, eğer kullanım değişikliği dolayısıyla yüklerde farklılaşma söz konusu olursa, gerekli hesaplar yapılarak, taşıyıcı eleman kesitlerinin genel görünüşü etkilemeyecek şekilde uyarlanması sağlanır.

Yeniden yapımda kullanılacak harç ve moloz örgü konusunda aslına uymaya özen göstermek gerekir; bu amaçla söküm sırasında harç ve diğer malzemelerden örnek alınması; dikkatli belgeleme yapılması gerekir.

Yeniden yapımda kullanılacak tuğla, taş ve harcın basınç dayanımının belirli mekanik özellikleri sağlamalıdır. Tarihi yapılarda duvarlar kalınlıklarının fazla olması ve üzerlerinde genellikle hareketli yüklerin az olmasından dolayı düşey yükler altında gerilme değerleri düşüktür. Ancak, geniş açıklıklı kemer, tonoz veya köprü gibi yapısal elemanlarda veya yapılarda düşey yükler altında gerilme değerleri yüksek olabilir. Bu nedenle yeniden yapımda kullanılacak malzemelerin basınç dayanımına ilişkin minimum koşullar aşağıdaki tabloda düşey yük altındaki gerilme düzeylerine göre verilmektedir.

Tablo.7.1. Duvardaki gerilme düzeyine bağlı olarak kullanılacak malzemenin minimum basınç dayanımı

Malzeme	Düşey Yük Altındaki Gerilme Düzeyi $\leq 0,5$ MPa	Düşey Yük Altındaki Gerilme Düzeyi $> 0,5$ MPa
Tuğla Basınç Dayanımı	> 5 MPa	7,5 MPa
Taş Basınç Dayanımı	> 10 MPa	20 MPa
Harç Basınç Dayanımı	2 MPa	3 MPa

Tabloda verilen minimum basınç dayanımları karakteristik basınç dayanımlarıdır. Karakteristik dayanım $f_k = f_{ort} - 1,28\sigma$ olarak tanımlanmaktadır. Bu denklemde f_k : Karakteristik dayanım, f_{ort} : Ortalama dayanım, σ : Standart sapmadır. Bu nedenle yeniden yapılacak yapılarda kullanılacak malzemelerden en az 10 adet numune alınıp, ilgili standartlara göre basınç dayanım deneyleri yapılmalı ve bu deney sonuçlarından hesaplanacak ortalama basınç dayanımı ve standart sapma değerinden yukarıdaki denkleme göre karakteristik basınç dayanımı hesaplanmalıdır. Sedimanter kayaların oluşumu itibarıyla tabakalar içermektedir. Bu tür taşların tabaka yönündeki basınç dayanımları, tabaka yönünde dik basınç dayanımlarının 1/3-1/2'si gibi daha düşüktür. Bu nedenle deney numunelerinde yükleme yönünün tabaka yönüne dik veya tabaka yönünde olup olmadığına dikkat edilmelidir. Deney numunelerinin tabaka yönündeki basınç dayanımları yukarıdaki tabloda verilen sınır değerleri karşılıyorsa, yapım aşamasında taşların konulması esnasında tabaka yönlerinde dikkat edilmesine gerek olmayabilir. Ancak deney numunelerinden elde edilen karakteristik basınç dayanımı sadece tabaka yönüne dik doğrultuda sağlanıyorsa yapım aşamasında da bütün taşların tabaka yönüne dik doğrultuda yük alacak şekilde konulmasına mutlaka dikkat edilmelidir. Diğer bir seçenek ise yeniden yapımda önerilen malzeme ile en az 3 sıra derzli olacak şekilde en az 6 duvar numunelerinin yapılması ve bu numunelerde basınç dayanımı deneyi yapılmasıdır. Deneylerden elde edilecek duvar karakteristik basınç dayanımının, düşey ve deprem yükleri altında oluşacak basınç gerilmesinden en az 2 kat daha büyük olmalıdır.

7.6. Projelendirme

Tarih yapılarda yapılacak müdahalelerin pek çoğu, yapıda görülen bir hasarı gidermek için yapılır. Bazı durumlarda yapının restorasyonu yapılırken, taşıyıcı sistemin düşey ve yatay yükler altındaki güvenliği incelenerek, hasar bulunmayan elemanlarda da bir sağlamlaştırma müdahalesi önerilebilir. Yapılacak bir müdahalenin kapsamına ve türüne karar verirken, hasarlı elemanlarda hasarın sebebi araştırıldığı gibi, benzer hasarsız elemanlarda hasar oluşmama sebebi de araştırılmalıdır. Seçilecek müdahale türünün, yapıya yeni hasar vermemesine özen gösterilmelidir. Bilindiği gibi, bir yapıda hasar olmaması, her zaman yapının yeterli taşıyıcı sistem güvenliğine sahip olduğuna işaret etmez. Mevcut durumda hasarlı olan tarihi yapıya müdahale edildiği gibi, bir şekilde restorasyonuna karar verilen bir tarihi yapıda hasar olmasa bile, taşıyıcı sistem güvenliğinin incelenmesi ve yetersiz bulunduğu gerekli müdahalenin yapılması önerilir. Ancak, yıllardır ayakta duran ve çeşitli depremlere dayanmış hasarsız yapının incelen-

mesi sonucu yetersiz taşıyıcı sistem güvenliği bulunması durumunda, gerekli müdahaleye karar verirken, mevcut durumda neden hasar oluşmadığı konusuna da önem verilmesi önerilir. Örneğin, yıllardır zemin ile ilgili bir çatlak veya hasar meydana gelmemiş bir yapının zeminine iyileştirme müdahalesinin yapılmasına karar vermeden ayrıntılı düşünülmesi gerekir. Böyle bir müdahale, ancak yapının çevresinde son zamanda yapılan bir yeraltı su seviyesinin değişmesi zemin yüzeyi seviye değişikliği durumunda gerekli olabilir.

Müdahaleye karar vermeden, varsa çatlak veya hasarın ortaya çıkma sebebi araştırılmalı ve müdahale bu sebebe yönelik olmalıdır. Meydana gelme sebebi tespit edilmeden, çatlakların veya hasarın kapatılması veya sıvanması çoğu zaman uygun bir müdahale olmaz. Ancak, bazı durumlarda da mevcut belirsizliklerden dolayı hasar sebebi açık biçimde bulunmayabilir ve çatlakların ve hasarın onarıma gidilebilir. Bu tür durumlarda bile, gözlem süresini uzatmak ve zamanla hasar kapsamında herhangi bir değişiklik görülmediğinde, bu tür yola başvurmak önerilir. Bazı durumlarda yeterli inceleme yapılmamasından veya yapılamamasından veya elde olmayan belirsizliklerden dolayı hazırlanan müdahalenin uygulama sırasında değiştirilmesi gerekebilir. Bu durumda hazırlanan rapora ek yapılarak, değiştirmenin sebebi ve yeni uygulama hakkında bilgi verilmelidir. Yapılan değişikliğin raporu hazırlayan gruba danışılarak yapılması her zaman gereksiz müdahalenin yapılmasını önleyecek ve en uygun işlemin belirlenmesini sağlayacaktır.

Hazırlanacak raporda; yapı ile ilgili olarak incelenen tarihi belgelerde, arşiv kayıtlarında ve diğer yayınlarda bulunan bilgilerin verilmesi yanında yapılan alan çalışmasına bağlı olarak analitik rölöve ve hasar tespitlerinin ve muhtemelen sebeplerinin verilmesi uygun düşer. Bunun gibi, yapılan saha ve laboratuvar deneylerinin sonuçlarının ve yapılan izlemeye ait bilgilerin verilmesi beklenir. Yapıda kullanılan malzeme özellikleri ve zemin durumu ile elde edilen bilgilerin özetlenmesi tavsiye edilir. Yapının taşıyıcı sisteminin düşey yükler ve deprem yükleri için yapılan modellemede yapılan kabulleri ve elde edilen sonuçların açıklanması önerilir. Öngörülen müdahaleye karar verme sebebi ve müdahalenin ayrıntılarının ve kapsamının verilmesi raporun kendi içinde bir bütün olmasını sağlayacaktır. Yukarıda bildirilen bilgilerin gerekliliği ve kapsamı, yapılacak müdahalenin kapsamına ve yapının büyüklüğüne ve önemine bağlı olacaktır. Yerel müdahalenin gerekli olduğu durumlarda laboratuvar deneylerine ve tüm yapı için bir model oluşturulmasına gerek olmayabilir.

Raporun yeterli bilgileri içermesi ve gereksiz bilgilerin verilmesi ile uzatılmaması gerekir. Raporun sonunda hazırlanma ve uygulamanın tarihi, hazırlayanların isimleri ve uzmanlık dalları ve bağlı olduğu kurumların verilmesi beklenir. Raporun uygun çizim ve resimlerle desteklenmesi yanında, raporun basılı ve dijital olarak hazırlanması saklanması ve iletilmesini kolaylaştıracığı için önerilir.

Kaynaklar

D. Lungu ve C. Arion (2012), Intervention Strategies, Editors: F.M. Mazzolani, G. De Matteis, A. Mandara, G. Altay Askar, D. Lungu, Earthquake protection of Historical Buildings by Reversible Mixed Technologies, Vol. 1, s. 313-393, Milano, Polimetrica S.a.s.

Oktay, D., (2017). Tarihi Kireç Harçlarına Uygun Enjeksiyon Malzemelerinin Üretilmesi ve Model Duvarlarda Uygulanmasının Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Oktay, D. ve Yüzer, N., (2013). “*Tarihi Yapıların Onarımında Kullanılan Enjeksiyon Yönteminin (Grouting) Değerlendirilmesi*”, 4. Tarihi Yapıların Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, 27-29 Kasım 2013, İstanbul, 377-386.

Yüzer, N., Oktay, D., Ulukaya, S. ve Gökyiğit-Arpacı, Y., (2015). “*Mechanical Behavior of Two-Wythe Brick Masonry Walls Injected with Hydraulic Lime Grout*”, REHAB 2nd International Conference on Preservation, Maintenance and Rehabilitation of Historical Buildings and Structures, , 22-24 July 2015, Porto, 2: 879-889.

Guidelines for evaluation and mitigation of seismic risk to cultural heritage, Ministry of Cultural Heritage and Activities, General Direction of Architectural Heritage and Landscape, Rome, Gangemi Editore spa.

Deprem Odaklı Afet ve Acil Durum Yönetimi

8. Deprem Odaklı Afet ve Acil Durum Yönetimi

8.1. Tarihi Yapılarda Acil Durum Yönetimi

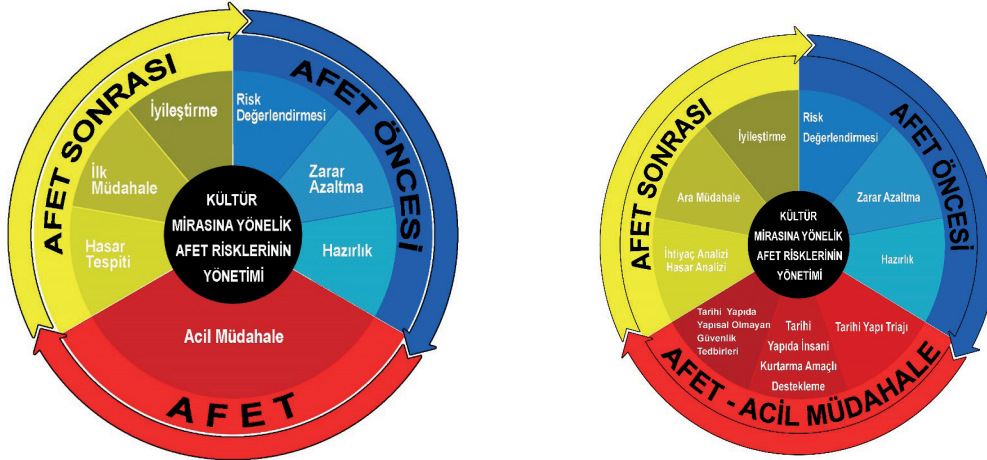
Tarihi yapıların varlığını tehdit eden deprem risklerinin yönetimi; tüm risk yönetimi çalışmalarında olduğu gibi bir acil durumun/afetin gerçekleşmesi ile başlayan ve bir sonraki acil durumun/afetin gerçekleşmesine kadar geçen süreyi kapsayan döngüsel bir sebep-sonuç ilişkisine sahiptir.

Kültür Mirasına Yönelik Afet Risk Yönetimi Döngüsü mevcut durumda genel kabul görmüş şu evreleri ve eylemleri içermektedir;

Afet/Acil Durum Öncesi :	Risk Değerlendirmesi Zarar Azaltma Hazırlık
Afet/Acil Durum Sırası :	Acil Müdahale
Afet/Acil Durum Sonrası :	Hasar Tespiti İlk Müdahale İyileştirme

Fakat özellikle son yıllarda Tohoku Depremi, Nepal Gorkha Depremi gibi dünyanın farklı coğrafyalarında meydana gelen ve tarihi çevrede önemli kayıplara neden olan depremler bu döngüsel eylemler dizisinin evrelerinde bazı değişikliklerin yapılması gerektiğini göstermiştir. Buna göre, Kültür Mirasına Yönelik Afet Risk Yönetimi Döngüsü'nün bütünlük afet risk yönetimi yaklaşımına göre şekil alan kurgusunda evrelerin içerdiği eylemlerde aşağıdaki kurgu geçerlilik kazanmaya başlamıştır;

Afet/Acil Durum Öncesi :	Risk Değerlendirmesi Zarar Azaltma Hazırlık
Afet/Acil Durum Sırası :	Tarihi Yapı Triağı Tarihi Yapıda İnsani Kurtarma Amaçlı Destekleme Tarihi Yapıda Yapısal Olmayan Güvenlik Tedbirleri
Afet/Acil Durum Sonrası :	İhtiyaç Analizi Hasar Analizi Ara Müdahale İyileştirme



Şekil 8.1. Kültür Mirasına Yönelik Afet Risklerinin Yönetiminin evrelerini bu evrelerde tanımlı eylemleri gösteren genel döngü ve bütünsel afet risk yönetimi yaklaşımına göre tanımlanmış eylemleri içeren Afet Risk Yönetimi Döngüsü.

Afet risklerinin yönetiminde öncelikle, afet öncesi evrede bir tehlikenin gerçekleşerek afetin/acil durumun meydana gelmesi halinde oluşabilecek tüm kayıpların tanımlandığı risk analizi çalışması yapılır. Analiz çalışması sonucunda elde edilen veriler ise iki aşamada iki olasılık üzerinden de değerlendirilir. Öncelikle, tanımlanan risklerin azaltılması için yapılması gereken çalışmalar ve alınması gereken önlemler belirlenir. Sonrasında tüm önlemlerin alınmasına rağmen olayın gerçekleşmesi durumunda ise oluşacak acil müdahale aşamasında yapılacak çalışmaların tanımlandığı hazırlık çalışmaları gerçekleştirilir.

Acil Müdahale Evresi; afetin/acil durumun meydana gelmesi halinde - *acil durumun başlangıcı* “0. Saniye (sıfırıncı saniye)”olarak tanımlanır – 0. Saniyeden başlayarak ilk 72 saatte yoğunluk kazanan ve iki haftaya kadar devam edebilen, öncelikle can kaybının azaltılmasına odaklanılan evredir. Bu evre için görev tanımı yapılmış olan kuruluşlar afet/olay yerine ulaşarak müdahale çalışmalarına başlar. “0.Saniye” ile başlayan acil müdahale evresinde hasar gören ve yıkılan yapılardan kazazedelerin kurtarılması, tam yıkılmamış olmakla birlikte risk oluşturan hasarlı yapıların kontrollü olarak yıkılması ve bu nitelikteki enkazların kaldırılması çalışmaları ilk birkaç gün içinde yapılır.

Acil Müdahale Evresi’nde, öncelikle insani kurtarma/yardım çalışmalarına odaklanılması nedeniyle tarihi yapılara yönelik acil müdahale uygulamasının da bir sonraki evre olan İyileştirme Evresi’nin kapsamında olması gerektiği gibi genel bir kanı vardır. Bu nedenle acil müdahale evresi, tarihi yapılar açısından genelde insani kurtarma/yardım çalışmalarının bitmesine kadar geçecek bir bekleme dönemi olarak düşünülür ve bu evre için stratejik, taktik ve operasyonel çalışmalar da genelde tanımlanmamıştır. Oysa içinde kullanıcıların (yaşayanların) bulunduğu tari-

hi bir yapının can kaybına, yaralanmaya sebep olan bir hasar alması durumunda insani kurtarma çalışmalarının gerçekleştirilebilmesi için yapılacak, başta taşıyıcı sistemi destekleme çalışmaları olmak üzere tüm çalışmalar acil müdahale evresinde yapılmaktadır. Bu konuyla ilgili olarak uluslararası literatürde halen kullanılmakta olan “Kültür Mirası Afet Risk Yönetimi Döngüsü” içinde acil müdahale aşamasında tarihi yapılar ile ilgili yapılması gereken ilk müdahale çalışmaları için “Tarihi Yapı Triajı” tanımı eklenmiştir. Tarihi Yapı Triajı, müdahale edilecek tarihi yapı enkazlarında önceliklerin belirlenmesi, güvenlik sağlama ve can kurtarma amaçlı taşıyıcı sistem ve enkaz destekleme çalışmalarını kapsamaktadır.

Bir afetin sonrasında oluşan acil durumun yönetilebilmesi; hazırlık aşamasında acil durumda yapılacak çalışmaların da Stratejik-Taktik-Operasyonel düzeylerde tanımlanması ve üzerinde tatbikatlar yapılarak işlerliğinin test edilmesi ile mümkün olabilmektedir.

Acil Durum Yönetimi’nde, olay-zaman ilişkisinin doğru tanımlanması büyük önem taşımaktadır. Bu kılavuzda, ülkemizdeki **5902 sayılı kanun** kapsamında Acil Durum için: *“Toplumsal tamamının veya belli kesimlerinin normal hayat ve faaliyetlerini durduran veya kesintiye uğratan ve acil müdahaleyi gerektiren olaylar ve bu olayların oluşturduğu kriz hali”* tanımı referans alınmıştır.

Acil durumu oluşturan olaylardan Afet *“...Toplumsal tamamı veya belli kesimleri için fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplar doğuran, normal hayatı ve insan faaliyetlerini durduran veya kesintiye uğratan, etkilenen toplumun baş etme kapasitesinin yeterli olmadığı doğa, teknoloji veya insan kaynaklı olay. Afet bir olayın kendisi değil, doğurduğu sonuçtur...”* olarak tanımlanmaktadır.

6745 sayılı Kanun’un 28. Maddesi, afet sonrası tarihi yapılara iyileştirme aşamasında yapılacak müdahaleyi, *“...doğal afet yaşanan yerlerde özel mülkiyette bulunan korunması gerekli taşınmaz kültür varlıklarının onarımı ile restorasyonuna yönelik proje ve uygulama işleri maliklerinin ve diğer ilgililerin muvafakati aranmaksızın ve bedelsiz olarak Bakanlık tarafından gerçekleştirilebilir. Bu kapsamda yürütülen proje ve uygulama işlerinden bir mali yıl içinde tamamlanması mümkün olmayanlar için dört yılı geçmemek üzere gelecek yıllara yaygın yüklenmeye girilebilir...”* şeklinde tanımlamaktadır.

Kültür ve Turizm Bakanlığı Kültür Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulu 7.2.2012 tarih ve 24 sayılı *“Depremde Hasar Gören Tescilli Taşınmaz Kültür Varlıkları İle Sit Alanları Ve Etkileşim-Geçiş Sahalarındaki Yapılarda Yapılacak Uygulamalara İlişkin İlke Kararı”* ise afet sonrasında hasar gören tarihi yapılara afet yönetiminin iyileştirme aşamasında yapılması gereken çalışmaları şu şekilde tanımlamaktadır: *“... Ülkemizin önemli bir kesiminin deprem bölgesinde yer alması nedeniyle, sit alanlarındaki yapılar ile sit alanları dışındaki tescilli taşınmaz kültür varlıklarının depremlerde hasar gördüğü, yıkılarak can ve mal kaybına sebebiyet verdiği belirlenmiştir.*

Bu nedenle;

- *Deprem sonucu hafif hasar gören, tescilli taşınmaz kültür varlığı yapılar ile sit alanında veya etkileşim-geçiş sahasında yer alan yapıların tadilat ve tamirat başvurularına ilişkin konuların ilgili Koruma Bölge Kurulu Müdür-lüğü veya KUDEB tarafından öncelikle incelenerek gerekli işlemlerin yapılmasına,*
- *Esaslı onarıma ihtiyaç duyulan tescilli taşınmaz kültür varlıkları için hazırlanacak rölöve, restitüsyon, restoras-yon projeleri ve diğer belgelerin Koruma Bölge Kuruluna sunulmasına, Koruma Bölge Kurulunun onayladığı proje ve koşullarda uygulamanın gerçekleştirilmesine,*
- *Deprem nedeniyle ağır hasarlı olduğu ve yıkılma tehlikesi arz ettiği (mail-i inhidam) ilgili idareler tarafından belirlenen yukarıda bahsi geçen yapıların belediye veya valilik tarafından boşaltılmasına,*
- *Gerekli fiziki ve güvenlik önlemlerinin ilgili valilik ve belediyesince alınmasından sonra, yapıya ilişkin elde edile-bilecek belgelerle birlikte (statik rapor, fotoğraflar vs.) konunun Koruma Bölge Kuruluna iletilmesine ve kurulca öncelikle (gerekirse ek gündem oluşturulmak suretiyle) değerlendirilmesine,*
- *Yapının mevcut fiziksel durumuna bağlı olarak yapıya uygulanacak müdahalenin biçimi ve niteliğinin Koruma Bölge Kurulunca belirlenmesine...”*

Yukarıda görüldüğü gibi afet/olay ve tarihi yapı arasındaki ilişkiyi tanımlayan *mevcut yasa ve yönetmelikler genel olarak tarihi yapılarda afet sonrası iyileştirme aşamasında yapılması gereken çalışmalara odaklanmış olup acil müdahale evresinde hasar gören tarihi yapılarda kritik zamanlarında yapılması gereken çalışmaların teknik tanım, nitelik, onay süreci, kaynak yönetimi vb. ilişkin düzenlemeler bulunmamaktadır. Bu nedenle, özellikle afet/olay sonrası 2. Bölümde tanımları verilen Afet risk yönetiminin “acil müdahale” evresinde, tarihi yapılar için “tarihi yapı triajı”, “tarihi yapı enkazı yönetimi” “yapısal olmayan güvenlik tedbirleri” gibi eş zamanlı veya iç içe gerçekleşebilecek bir sonraki alt bölümde tanımlanan acil müdahale çalışmaların yapılmasını sağlayacak yönetmeliklerin hazırlanması kılavuz yazarları tarafından tavsiye edilmektedir.*

8.1.1. Tarihi Yapı Ve Çevrelerde Acil Durum Hazırlık Çalışmaları

Afet öncesi hazırlık aşaması, tarihi çevre ve yapıların korunması ile ilgili süreçlerin, afete karşı yapıların hasar gö-rebilirliğinin azaltılması ve afetin hemen sonrasında arama-kurtarma ve acil müdahale evrelerinde yapılacak ça-lışmaların altyapısını hazırlamasını da içerecek şekilde tasarlanacak süreçleri kapsamaktadır. Hazırlık sürecinde acil durumda operasyonel seviyede tanımlı faaliyetlerin gerçekleştirilebilmesi için stratejik ve taktik seviyelerinin planlanması ve altyapılarının hazırlanması gereklidir.

Afet risk yönetimi çalışmaları ülkenin yönetim yapısı, koruma politikalarına bakış açısı, tarihi yapı stoğunun niteliği-ne göre bazı farklılıklar içermekle beraber tarihi yapılarda sismik riskleri de içeren afet risklerinin yönetimine ilişkin bazı ortak prensipler bulunmaktadır, bunlar kısaca şöyle tanımlanabilir:

- Tarihi Çevre Afet Risk Yönetim Planlarının hazırlanabilmesi için yasal ve yönetsel açıdan tanımlar içinde yer alması,
- Tarihi Çevre Afet Risk Yönetim Planı'nın stratejik düzeyde Ulusal Afet Risk Yönetimi Planlarının altında işleyecek şekilde hazırlanması,
- Yasal düzenlemelerde afet öncesi risk analizi, zarar azaltma ve hazırlık, afet sırası müdahale ve afet sonrası iyileştirme safhalarının ayrı başlıklar altında ele alınması, stratejik, taktik ve operasyonel aşamaların her safha için ayrı tanımlanması,
- Afet sonrasında arama kurtarma çalışmaları aşamasında, tarihi yapıların yapım sistemleri ve depremde davranış biçimleri konusundaki uzmanların olay yerinde verecekleri destek büyük fayda sağlayacağı için, afet sırasında ve acil müdahale aşamasında devreye girecek özel ekiplerin oluşturulmasına yönelik yasal ve idari düzenlemelerin yapılması,
- Kültür Mirası Veritabanı oluşturulması ve afet sırasında/sonrasında Acil Durum Müdahalesi ile ilgili çalışan yetkili ekiplere açılması,
- Veritabanının acil durumlarda birden fazla noktadan ulaşılabilecek güvenlik protokollerine sahip bir bilgi sisteminde tutulmasının sağlanması,
- Risk azaltımına yönelik ihtiyaçların belirlenmesi için risk analizi çalışması yapılarak tarihi yapıların içinde bulunduğu ana ve ikincil tüm afet risklerinin tanımlanması, tarihi yapının yapısal risklerin dışında yakın çevresinin incelenerek yapıdan çevreye-çevreden yapıya gelecek risklerin ayrıca değerlendirilmesi,
- Geleneksel dokularda risk analizi sonrasında risk haritalandırması yapılarak risk azaltımı için öncelikle müdahale gerektiren tarihi yapıların belirlenmesi ve önceliklerin en kapsamlıdan enaz müdahaleye kadar derecelendirilmesi,
- Afet sırasında ve acil müdahale aşamasında katkıda bulunabilecek (tarihi yapılarda arama-kurtarma gerçekleştirecek ekiplere teknik destek verecek) teknik uzmanların niteliklerinin belirlenmesi ve buna yönelik eğitim programları ile düzenli tatbikat programlarının oluşturulması,
- Yapıların olay sonrası hızlı hasar tespitlerine yönelik, yörelere ve farklı yapı tiplerine uyarlanabilir tespit formlarının hazırlanması (Bkz.Ek)

Mevcut durumda bulunmayan, tarihi yapılara yönelik afet risklerinin yönetimine ilişkin mevzuatın oluşturulması ile yukarıda verilen hususların yasal bir dayanağı bulunacaktır.

8.2. Acil Müdahale Yöntemleri

Tarihi yapıların haricinde modern yapılar hakkında da, yapısal ve yapısal olmayan elemanlara yönelik acil müdahale yöntemlerine ilişkin bir teknik belge doküman bulunmamaktadır. Bu açıdan bu kılavuzda yer alan afet sonrası acil müdahale yöntemlerine ilişkin verilen teknik bilgiler yurdumuzda bir ilk olmaktadır. Kılavuzun bu bölümünde deprem sonrasındaki acil müdahale yöntemlerine ilişkin bilgi verilmesi amaçlanmaktadır.

Meydana gelen deprem sonrasında (ana sarsıntı) çok sayıda artçı depremler meydana gelmektedir. İlk depremde hasar gören yapıda eğer gerekli önlem alınmaz ise, artçı depremlerde hasar daha da artabilmekte veya göçme meydana gelebilmekte, can kayıplarına neden olabilmektedir.

Tarihi yapılarda, deprem gibi bir afet sonrası veya olağan dışı durumlarda, olası can kayıpları ve hasarın artarak yapının göçmesini engellemek için, yapıda oluşan hasarın niteliğine ve muhtemel göçme mekanizmasına bağlı olarak geçici *acil müdahaleler* yapılabilir.

Deprem sonrasında, tarihi yapılar ve deprem konusunda uzman mühendis ve mimarlar tarafından incelenmeli, mevcut hasar durumları (yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşan çatlak, düşeyden sapma, ayrılma, kısmi göçme gibi hasarlar) tespit edilmelidir. Oluşan hasarlara bağlı olarak yapıda acil müdahalenin yapılıp yapılmayacağına tarihi yapılar konusunda uzmanlarla bu bölümde verilen temel kurallara uyularak acil müdahale yöntemlerinin belirlenmesi önerilir. Acil müdahale kapsamında ilk olarak sıva kopmasına bağlı parça düşmesi, taş düşmesi, baca devrilmesi gibi yapısal olmayan elemanlarda hasar var ise, can kayıplarını önlemek için bu tür hasar olan bölgelerin alınarak parça düşmesi tehlikesi ortadan kaldırılmalıdır. Bu tür hasar almış yapısal olmayan yapı elemanları arasında özellikle bezeme elemanlarının (silme, kalem işi, çini vb.) bulunması durumunda mümkün ise yapı üzerinde sabitleme/koruma, mümkün olmadığı durumda ise uygun yöntemler ile yerinden alınarak yapıda kalıcı koruma müdahalesi aşamasına kadar uygun koşullarda saklanmalıdır.

Yapının taşıyıcı sisteminde hasar meydana gelmesi durumunda, göçme mekanizmasına bağlı olarak aşağıdaki önlemlerin alınması önerilmektedir;

- Ahşap veya çelik profil kullanılarak payanda yapılması,
- Yapı çevresi boyunca duvarların ahşap, çelik levha, çelik halat veya polyester kumaş ile kuşaklanması,
- Gergi demirleri ilave edilmesi,
- Tonoz, kemer ve kubbelerin ahşap veya çelik profil kullanılarak askıya alınması,
- Kapı, pencere gibi boşluklarda ahşap veya çelik profil çapraz elemanlar kullanılarak rijitlik ve dayanımın artırılması,
- Minare, sütun, ayak gibi düşey elemanlarda çelik profil/levha, polyester kumaş veya çelik halat vb. ile sargılama yapılması,

- Ağır hasar gören kısımlarda kısmi söküm yapılması, gibi yöntemler kullanılabilir.

Afet sonrası, acil durum devam ederken yapılacak olan bu uygulamaların basit olması, kolay elde edilebilir malzemelerden yapılması ve uygulama açısından basit yöntem ve detayların seçilmesi acil müdahale etkinliği açısından önemlidir.

Bu yöntemlerden hangisinin seçileceğine yapının tipolojisine, hasarın biçimine, yapıda gözlemlenen hasar mekanizmasının şekline, yapı cephesinin uzunluğuna, yapının çevre binalar ile ilişkisine (bitişik/ayrık nizam), dar sokakların varlığına bağlı olarak uzmanlar karar verir.

Bu bölümde verilen acil müdahale yöntemleri, deprem sonrası hasar gören yığma yapıları içermekle birlikte, restorasyon ve onarım sürecinde de kullanılabilir.

8.2.1. Acil müdahale tasarımında deprem kuvvetinin (talep) belirlenmesi

Acil durumlarda yapılacak destekleme sistemleri, kalıcı koruma müdahalesi aşamasına kadar kalacağından kullanım süresi kısadır (1-5 yıl). Bu nedenle, acil müdahale için yapılacak geçici desteklerin tasarımına etki edecek tasarım yer ivme değerleri daha da azalacaktır. Geçici yapıların tasarımı için bir yönetmelik bulunmadığından, acil müdahale için yapılacak geçici destek sistemlerinin tasarımında deprem kuvvetinin belirlenmesine ilişkin bir kural da mevcut değildir.

Acil durumlarda yapılacak geçici destek yapıların tasarımında;

- Yapının bulunduğu coğrafi koordinatlar için Deprem Tehlike Haritası'nda verilen 475 yıl dönüş periyodu olan depremin parametreleri
- Yapının hasar görmesine neden olan ana sarsıntıda, bölgede ölçülen en büyük yatay ivme değeri
- AFAD veya Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından ana deprem sonrası deprem bölgesinde beklenen en büyük artçı depremin ivme değeri kullanılabilir.

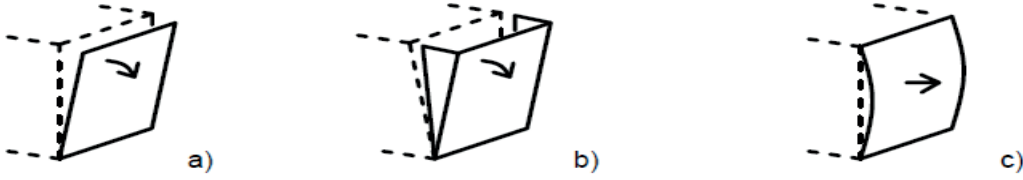
Geçici yapının tasarımında güvenli tarafta kalmak için bu değerlerden en büyük olanının kullanılması önerilir.

Bu kılavuzda verilen acil müdahale yöntemleri kullanıldığında ayrıca tasarım yapılmasına ihtiyaç yoktur. Ancak, bu kılavuzda izin verilen sınırlarını aşması veya farklı yöntemlerin uygulanacak olması durumunda acil müdahale tasarımı yapılması gerekir.

Deprem hesabında, taşıyıcı sistemin zaten hasarlı olmasından dolayı, destek sisteminin elastik davranış göstermesi beklendiği için Deprem Yüğü Azaltma Katsayısının $R_s=1,5$ olarak alınması önerilir.

8.2.3. Payanda Sistemleri

Depremde oluşan hasarlar sonucunda; duvarlarda düzlem dışı devrilme göçme mekanizması veya duvarlarda şişme görüldüğünde, duvarlara ve zemine eğik olarak mesnetlenmiş payanda sistemleri yapılabilir. Böylelikle, artçı depremler sonucunda düzlem dışı devrilme veya duvarın iç ve dış katmanlarının ayrılmasıyla oluşan hasarların ilerlemesi engellenebilir. Payanda yapımında, kolay/yerel bulunabilen ahşap ve çelik profil kullanılabilir. Bu belgede verilen boyut bilgileri yalnızca ahşap malzeme içindir. Payanda yapımında ikinci sınıf çam kerestenin kullanılması önerilir. Payandanın eğik yapılan kol sayısı duvarın yüksekliğine bağlı olarak tek kollu, iki kollu ve üç kollu olarak düzenlenebilir. Payanda sisteminin temel prensibi, duvar yüzeylerine mesnetlenen eğik elemanlarla depremde oluşan yatay kuvvetlerin zemine aktarılmasıdır.

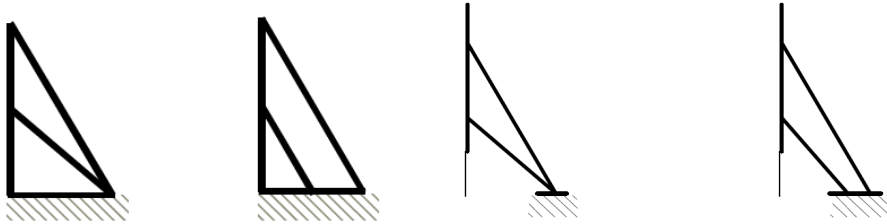


Şekil 8.2. Düzlem dışı devrilme göçme mekanizmaları a) Cephe duvarının dik kesen duvarlarla kesişim yerinden devrilme mekanizması b) Cephe duvarının dik kesen duvar arayüzeyinden devrilme mekanizması ve c) Duvar dış cidarında şişme

Payandalar genel olarak iki tür olarak sınıflandırılır. Bunlar;

- a) Destek noktası olan zemine kadar inen klasik payanda,
- b) Destek noktasına inmeyen uçan payanda,

Her iki payanda sistemi de, tabana mesnetlenme sayısına göre de iki sınıfa ayrılmaktadır. Tabanda tek noktadan mesnetlenen payandanın her kolu farklı açıda, tabana birden fazla noktadan mesnetlendiği durumda ise tüm payanda kolları aynı açıda olmaktadır.



a) Klasik payanda b) Uçan payanda

Şekil 8.3. a) Tabanda tek noktadan ve birden fazla noktadan mesnetli “Klasik Payanda” b) Tabanda tek noktadan ve birden fazla noktadan mesnetli “Uçan Payanda” sistemleri

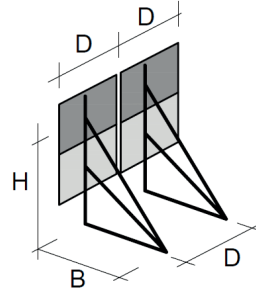
Eğer mevcut yapı ve çevresel etmenler, payandanın destek noktasına kadar inmesine olanak sağlıyorsa klasik payanda yapılması önerilir. Destek noktası ile yapı arasında kot farkı bulunuyorsa veya payandanın tüm elemanları destek noktasına kadar inemiyorsa uçan payanda yapılması önerilir.

8.2.3.1. Klasik Payandalar İçin Önerilen Boyutlar

Klasik payandalar, desteklenecek duvarın yüksekliğine, dolayısıyla payanda sisteminin yüksekliğine bağlı olarak, tek kollu, iki kollu veya üç kollu olarak yapılabilirler. Klasik payandalar bu kurala göre 3 farklı tipe ayrılmış ve kodlanmıştır. Bunlar;

- a) P1: Tek kollu payanda
- b) P2: İki kollu payanda
- c) P3: Üç kollu payanda olarak sınıflandırılmıştır.

Payanda yüksekliğine göre, ahşap malzeme kullanılarak hangi tür payandanın yapılacağına ilişkin önerilen koşullar aşağıdaki tabloda verilmektedir. Burada verilen ahşap ebatları minimum boyutlar olup, daha büyük kesitlerin kullanılması her zaman mümkündür. 7 metreden fazla yükseklikte payanda yapılacak olması durumunda, ahşap yerine farklı malzeme kullanılmalı ve bu payanda-yatay yükleri karşılamalıdır.

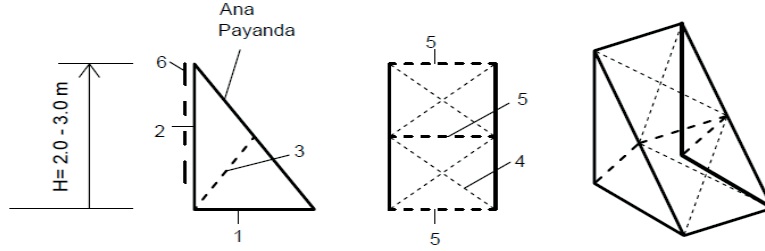


Şekil 8.4. Payanda boyutlarının şematik gösterimi (H: payanda yüksekliği, B: payanda genişliği, D: payanda aralığı)

Tablo 8.1. Payanda yüksekliğine bağlı önerilen ahşap klasik payanda türleri

H: Payanda Yüksekliği (m)	Klasik Payanda Tipi
$2 \leq H \leq 3$	P1
$3 < H \leq 5$	P2
$5 < H \leq 7$	P3
$H > 7$	Özel tasarım gerektirmektedir. Malzeme olarak, lamine ahşap veya çelik profil kullanılabilir.

Payandaların duvara destek noktalarının mümkün olduğu kadar;- Kat döşemeleri seviyesinde, - Yatay döşemesi olmayan yapılarda duvar bitiminin hemen altında, - Tonoz ve kemer üzengi seviyelerinde olması önerilmektedir. Payandaların etkinliğinin fazla olması için, ana payanda elemanının yatay düzlem ile yaptığı açının 45° ile 60° arasında olması önerilmektedir. Boyutsal oran olarak ifade edilirse, H:B oranlarının 2:1 ve 2:2 arasında olması tercih edilmelidir.



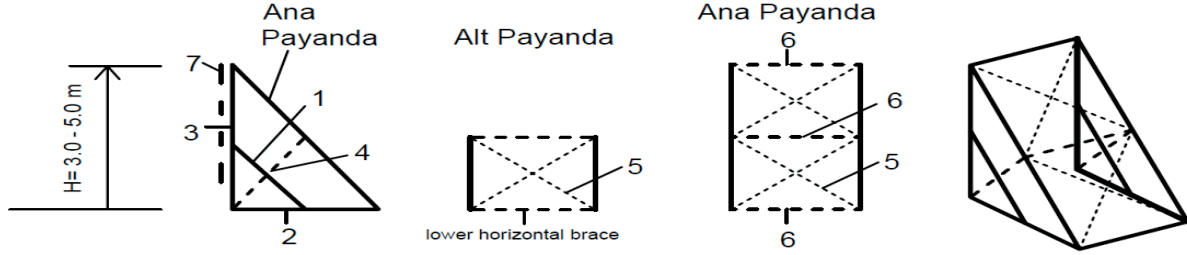
Şekil 8.5. P1 Tipi Ahşap Payanda

Tablo.8.2. P1 tipi ahşap payandaya ait önerilen geometrik ölçüler (Payanda boyutları cmxcm olarak verilmiştir)

P1 Tipi Payanda 2<H<3 m.	Duvar Kalınlığı t _d	t _d ≤0,6 m		t _d >0,6	
Payanda Genişliği (B)		1,5	2,5	1,5	2,5
Payanda Aralığı (D)	D≤1.5	10x10	10x10	15x15	10x10
	1,5<D≤2	15x15	10x10	18x18	15x15

Tablo.8.3. P1 tipi ahşap payandanın diğer elemanlarına ilişkin bilgiler

1	Payanda Tabanı Yatay Elemanı	Ana payanda ile aynı boyut
2	Duvar Yüzeyine Değen Düşey Eleman	Ana payanda ile aynı boyut
3	Payanda Rijitleştirme Bağlantıları	Payandanın her iki yüzeyine 2.5x10 cm ebadında bağlantı elemanı. Her iki ucunda en az 3 adet $\phi 5 \times 100$ mm ahşap vidası veya en az 3 adet 80 mm uzunluğunda çivi konulacaktır.
4	Çapraz Bağlantılar	5x5 cm ebadında olacaktır. Her iki ucunda en az 2 adet $\phi 5 \times 100$ mm ahşap vidası veya en az 2 adet 150 mm uzunluğunda çivi konulacaktır.
5	Boyuna Bağlantı Elemanları	5x5 cm ebadında olacaktır. Her iki ucunda en az 3 adet $\phi 6 \times 160$ mm ahşap vidası veya en az 3 adet 150 mm uzunluğunda çivi konulacaktır.
6	Duvara Dayanma Elemanları	5x20 cm ebadında olacaktır. Merkezden merkeze düşeyde aralıkları en fazla 1 metre olacaktır.



Şekil 8.6. P2 tipi ahşap payanda

Tablo.8.4. P2 Tipi ahşap payandaya ait önerilen geometrik ölçüler (Payanda boyutları cmxcm olarak verilmiştir)

P2 Tipi Payanda 3<H≤5 m.		Duvar Kalınlığı t_d		$t_d \leq 0,6$ m		$t_d > 0,6$	
Payanda Genişliği (B)				2,5	3,5	2,5	3,5
Payanda Aralığı (D)	$D \leq 1,0$			10x10	10x10	15x15	15x15
	$1,0 < D \leq 1,5$			15x15	15x15	15x15	15x15
	$1,5 < D \leq 2,0$			15x15	15x15	20x20	20x20
	$2,0 < D \leq 2,5$			20x20	20x20	x	20x20

NOT: x Tanımlanmamıştır. Özel tasarım gerekmektedir.

Tablo.8.5. P2 tipi ahşap payandanın diğer elemanlarına ilişkin bilgiler

1	Alt payanda	Ana payanda ile aynı boyut
2	Payanda tabanı yatay elemanı	Ana payanda ile aynı boyut
3	Duvar yüzeyine değen düşey eleman	Ana payanda ile aynı boyut
4	Payanda rijitleştirme bağlantıları	Payandanın her iki yüzeyine 5x20 cm ebadında bağlantı kirişi. Her iki ucunda en az 3 adet $\phi 5 \times 100$ mm ahşap vidası veya en az 3 adet 100 mm uzunluğunda çivi konulacaktır.
5	Çapraz bağlantılar	5x10 cm ebadında olacaktır. Her iki ucunda en az 2 adet $\phi 6 \times 100$ mm ahşap vidası veya en az 2 adet 150 mm uzunluğunda çivi konulacaktır.
6	Boyuna bağlantı elemanları	5x10 cm ebadında olacaktır. Her iki ucunda en az 2 adet $\phi 6 \times 160$ mm ahşap vidası veya en az 2 adet 150 mm uzunluğunda çivi konulacaktır.
7	Duvara dayanma elemanları	5x20 cm ebadında olacaktır. Merkezden merkeze düşeyde aralıkları en fazla 1 m olacaktır

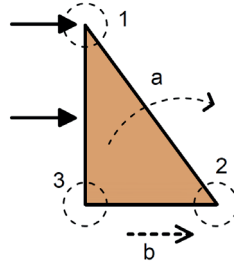
NOT: * Tanımlanmamıştır. Özel tasarım gerekmektedir.

Tablo.8.7. P3 tipi ahşap payandanın diğer elemanlarına ilişkin bilgiler

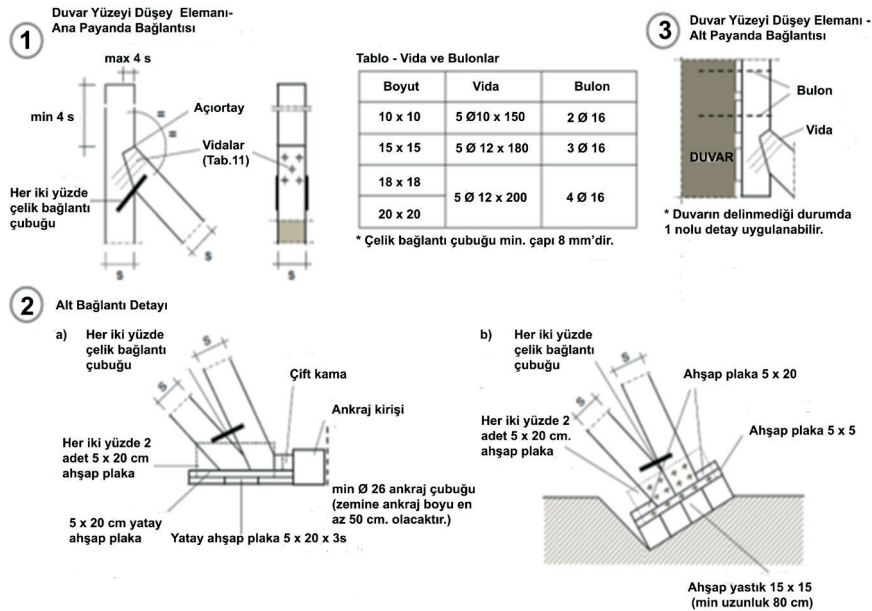
1	Alt ve orta payanda	Ana payanda ile aynı boyut
2	Payanda Tabanı Yatay Elemanı	Ana payanda ile aynı boyut
3	Duvar yüzeyine değen Düşey eleman	Ana payanda ile aynı boyut
4	Payanda rijitleştirme bağlantıları	Payandanın her iki yüzeyine 5x20 cm ebadında bağlantı kirişi. Her iki ucunda en az 3 adet $\phi 5 \times 100$ mm ahşap vidası veya en az 3 adet 100 mm uzunluğunda çivi konulacaktır.
5	Çapraz bağlantılar	5x10 cm ebadında olacaktır. Her iki ucunda en az 2 adet $\phi 6 \times 100$ mm ahşap vidası veya en az 2 adet 150 mm uzunluğunda çivi konulacaktır.
6	Boyuna bağlantı elemanları	5x10 cm ebadında olacaktır. Her iki ucunda en az 2 adet $\phi 6 \times 160$ mm ahşap vidası veya en az 2 adet 150 mm uzunluğunda çivi konulacaktır.
7	Duvara dayanma elemanları	5x20 cm ebadında olacaktır. Merkezden merkeze düşeyde aralıkları en fazla 1 m olacaktır

Payandanın devrilmemesi, tabandan kaymaması ve düğüm noktaları bağlantılarının iyi olması gerekmektedir (Şekil 8.8). Ana payanda, diğer payanda elemanları ile zemine bağlanma noktalarına ait detay çizimler Şekil 8.9 ve 8.10da verilmektedir. Payandaların yatayda kaymaması için, payanda uzunluğunca devam eden ve payandanın zemine destek noktasında konulacak ahşap boyuna elemanların boyutu en az ana payanda boyutunun 1.5 katı (1.5Sx1.5S) kadar olacaktır.

a: Devrilme b: Kayma 1,2,3: Bağlantı (düğüm) noktaları



Şekil 8.8. Payanda göçme biçimleri ve kritik kesitleri



Tablo 8.8. Payanda taban ankrajları (Ankrajların zemine giren uzunlukları zeminin özelliklerine göre belirlenecek ancak sağlam zeminlerde dahi 50 cm'den az olmayacaktır)

Payanda tipi	P1		P2		P3	
Duvar kalınlığı	$t_d \leq 0,6$ m	$t_d > 0,6$ m	$t_d \leq 0,6$ m	$t_d > 0,6$ m	$t_d \leq 0,6$ m	$t_d > 0,6$ m
Ankraj tipi	1 ϕ 26/50 cm (S tipi)	1 ϕ 26/40 cm (S tipi)	1 ϕ 26/30 cm (S tipi)	1 ϕ 26/25 cm S tipi 2 ϕ 26/40 cm A ve D tipi	1 ϕ 26/12,5 cm S tipi 2 ϕ 26/25cm A ve D tipi	1 ϕ 26/10 cm S Tipi 2 ϕ 26/20 cm A ve D tipi

8.2.3.2. Uçan payandalara ilişkin önerilen boyutlar

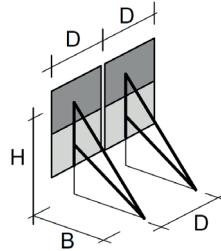
Uçan payandalar payanda yüksekliğine ve kol sayısına göre 3 farklı tipe ayrılmıştır. Bunlar;

- a) UP1: Tek kollu uçan payanda
- b) UP2: İki kollu uçan payanda
- c) UP3: Üç kollu uçan payanda olarak sınıflandırılmıştır.

Uçan payanda yüksekliğine göre, ahşap malzeme kullanılarak hangi tür payandanın yapılacağına ilişkin önerilen koşullar aşağıdaki tabloda verilmektedir. Yüksekliği 7 metreden fazla payandalarda, ahşap yerine farklı malzeme kullanılmalı ve payanda yatay yükleri karşılamalıdır.

Tablo 8.9. Payanda yüksekliğine bağlı önerilen ahşap uçan payanda türleri

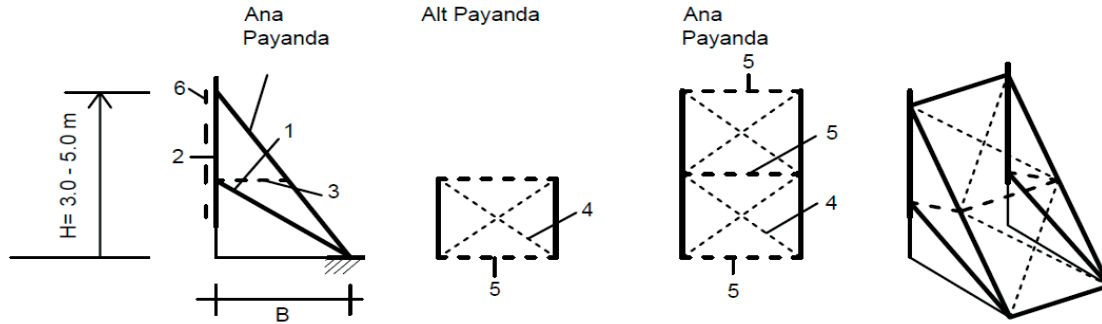
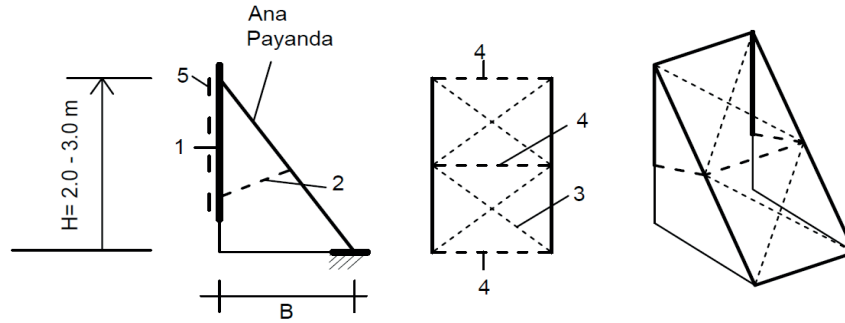
H: Payanda yüksekliği (m)	Klasik payanda tipi
$2 \leq H \leq 3$	UP1
$3 < H \leq 5$	UP2
$5 < H \leq 7$	UP3
$H > 7$	Özel tasarım gerektirmektedir. Malzeme olarak, lamine ahşap veya çelik profil kullanılabilir.



Şekil 8.11. Uçan payanda boyutlarının şematik gösterimi (H: payanda yüksekliği B: payanda genişliği D: payanda aralığı)

Uçan payandaların duvara destek noktalarının mümkün olduğu kadar; - Kat döşemeleri seviyesinde, - Yatay döşemesi olmayan yapılarda duvar bitiminin hemen altında, - Tonoz ve kemer üzengi seviyelerinde olması önerilmektedir.

Uçan payandaların etkinliğinin fazla olması için, ana payanda elemanının yatay düzlem ile yaptığı açının **45°** ile **60°** arasında olması önerilmektedir. Boyutsal oran olarak ifade edilirse, H:B oranlarının 2:1 ve 2:2 arasında olması tercih edilmelidir.



Tablo.8.11. UP1 tipi uçan payandanın diğer elemanlarına ilişkin bilgiler

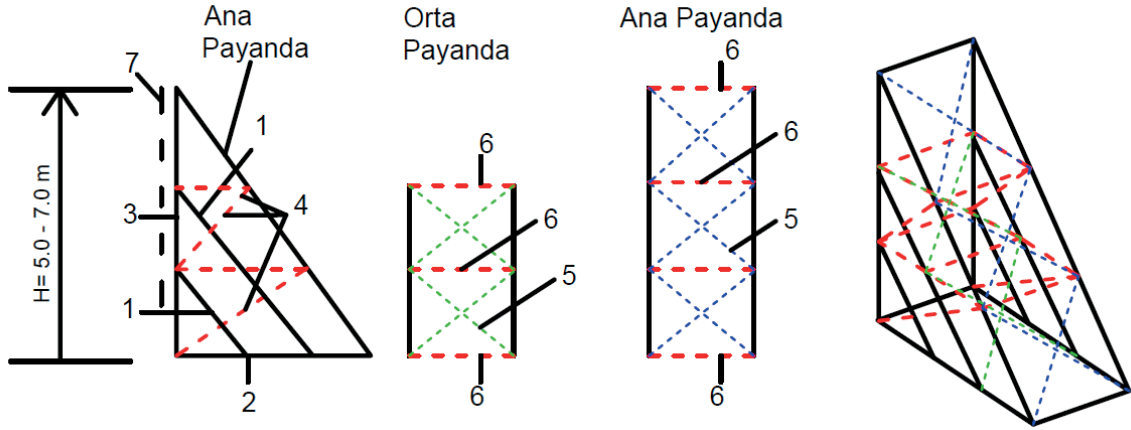
1	Duvar yüzeyine değen düşey eleman	Payanda ile aynı boyut
2	Payanda rijitleştirme bağlantıları	Payandanın her iki yüzeyine 2.5x10 cm ebadında bağlantı elemanı. Her iki ucunda en az 3 adet $\phi 5 \times 100$ mm ahşap vidası veya en az 3 adet 80 mm uzunluğunda çivi konulacaktır.
3	Çapraz bağlantılar	2.5x10 cm ebadında olacaktır. Her iki ucunda en az 2 adet $\phi 5 \times 100$ mm ahşap vidası veya en az 3 adet 80 mm uzunluğunda çivi konulacaktır.
4	Boyuna bağlantı elemanları	5x5 cm ebadında olacaktır. Her iki ucunda en az 2 adet $\phi 6 \times 160$ mm ahşap vidası veya en az 3 adet 150 mm uzunluğunda çivi konulacaktır.
5	Duvara dayanma elemanları	5x20 cm ebadında olacaktır. Merkezden merkeze düşeyde aralıkları en fazla 1 m olacaktır

NOT: x Tanımlanmamıştır. Özel tasarım gerekmektedir.

Tablo.8.13. UP2 tipi payandanın diğer elemanlarına ilişkin bilgiler

1	Alt Payanda	Ana Payanda ile aynı boyut
2	Duvar Yüzeyine Değen Düşey Eleman	Ana Payanda ile aynı boyut
3	Payanda Rijitleştirme Bağlantıları	Payandanın her iki yüzeyine 5x20 cm ebadında bağlantı kirişi. Her iki ucunda en az 3 adet $\phi 5 \times 100$ mm ahşap vidası veya en az 3 adet 100 mm uzunluğunda çivi konulacaktır.
4	Çapraz Bağlantılar	5x10 cm ebadında olacaktır. Her iki ucunda en az 2 adet $\phi 6 \times 100$ mm ahşap vidası veya en az 3 adet 100 mm uzunluğunda çivi konulacaktır.
5	Boyuna Bağlantı Elemanları	5x10 cm ebadında olacaktır. Her iki ucunda en az 2 adet $\phi 6 \times 160$ mm ahşap vidası veya en az 2 adet 150 mm uzunluğunda çivi konulacaktır.
6	Duvara Dayanma Elemanları	5x20 cm ebadında olacaktır. Merkezden merkeze düşeyde aralıkları en fazla 1 metre olacaktır

➤ UP3 Tipi Payanda



Şekil 8.14. UP3 tipi ahşap uçan payanda

Tablo.8.14. UP3 tipi ahşap uçan payandaya ait önerilen geometrik ölçüler (Payanda boyutları cmxcm olarak verilmiştir)

UP3 Tipi Payanda 5<H≤7 m.	Duvar Kalınlığı t _d	t _d ≤0,6 m		t _d >0,6	
		3,5	4,5	3,5	4,5
Payanda Genişliği (B)		3,5	4,5	3,5	4,5
Payanda Aralığı (D)	D≤1,0	20x20	20x20	20x20	20x20
	1,5<D≤2,0	20x20	20x20	x	20x20

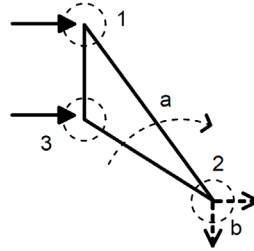
NOT: x Tanımlanmamıştır. Özel tasarım gerekmektedir.

Tablo.8.15. UP3 tipi payandanın diğer elemanlarına ilişkin bilgiler

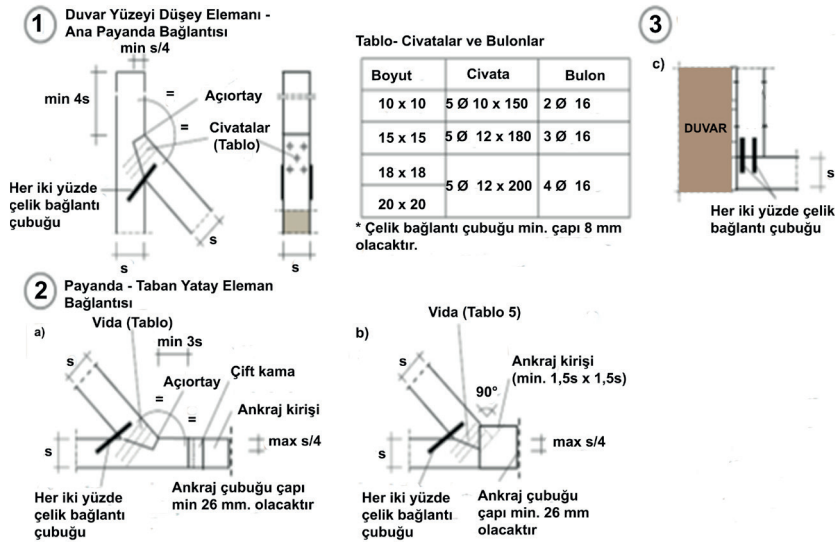
1	Alt ve Orta Payanda	Ana Payanda ile aynı boyut
2	Duvar Yüzeyine Değın Düşey Eleman	Ana Payanda ile aynı boyut
3	Payanda Rijitleştirme Bağlantıları	Payandanın her iki yüzeyine 5x20 cm ebadında bağlantı kirişİ. Her iki ucunda en az 3 adet $\phi 5 \times 100$ mm ahşap vidası veya en az 3 adet 100 mm uzunluğunda çivi konulacaktır.
4	Çapraz Bağlantılar	5x10 cm ebadında olacaktır. Her iki ucunda en az 2 adet $\phi 6 \times 100$ mm ahşap vidası veya en az 2 adet 150 mm uzunluğunda çivi konulacaktır.
5	Boyuna Bağlantı Elemanları	5x10 cm ebadında olacaktır. Her iki ucunda en az 2 adet $\phi 6 \times 160$ mm ahşap vidası veya en az 2 adet 150 mm uzunluğunda çivi konulacaktır.
6	Duvara Dayanma Elemanları	5x20 cm ebadında olacaktır. Merkezden merkeze düşeyde aralıkları en fazla 1 m olacaktır

Uçan payandanın devrilmemesi, tabandan kaymaması ve düğüm noktaları bağlantılarının iyi olması gerekmektedir (Şekil 8.15). Ana payanda, diğer payandalar ve zemine bağlanma noktalarına ait detay çizimler Şekil 8.16'da verilmektedir. Payandaların yatayda kaymaması için, payanda uzunluğunca devam eden ve payandanın zemine destek noktasında konulacak ahşap boyuna elemanların boyutu en az ana payanda boyutu kadar olacaktır.

a: Devrilme b: Kayma/batma 1,2,3: Bağlantı (düğüm) noktaları

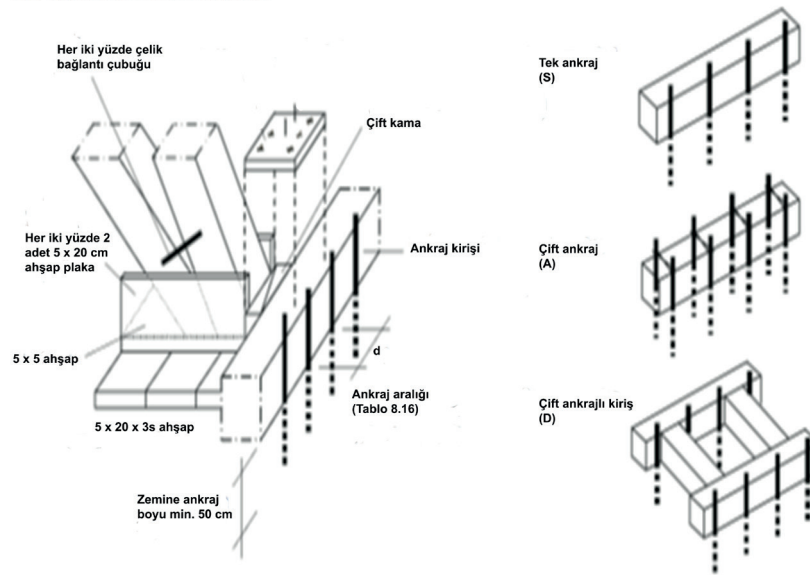


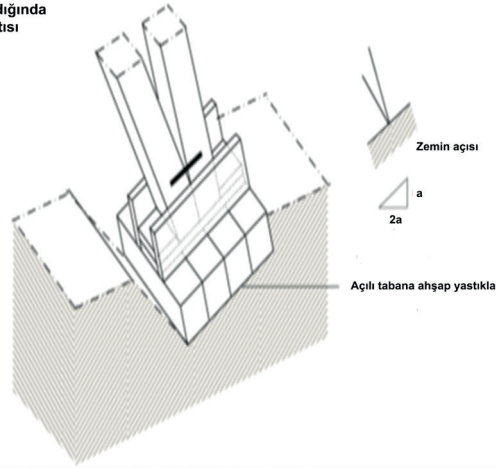
Şekil 8.15. Payanda göçme biçimleri ve kritik kesitleri



AÇIKLAMA: a ve ya b detayı uygulanabilir.

2 (a) Uygulandığında Zemin Bağlantısı



2 (b) Uygulandığında
Zemin Bağlantısı

Şekil 8.16. b) Payanda düğüm noktaları detayları, b) Taban ankraj tipleri ve detayları c) Taban ankraj detayı

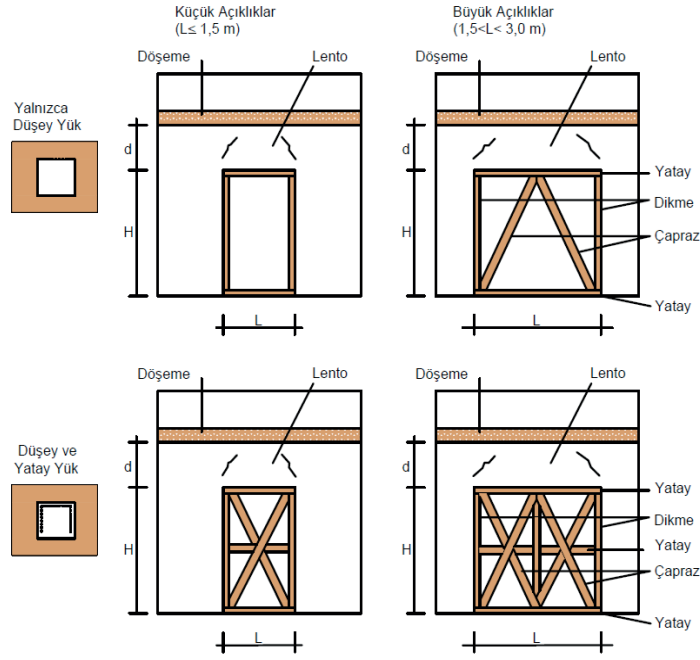
Tablo 8.16. Payanda taban ankrajları (Ankrajların zemine giren uzunlukları zeminin özelliklerine göre belirlenecek ancak sağlam zeminlerde dahi 50 cm'den az olmayacaktır)

	UP1		UP2		UP3	
Duvar kalınlığı	$t_d \leq 0,6$ m	$t_d > 0,6$	$t_d \leq 0,6$ m	$t_d > 0,6$	$t_d \leq 0,6$ m	$t_d > 0,6$
Ankraj tipi	1 ϕ 26/50 cm S tipi	1 ϕ 26/40 cm S tipi	1 ϕ 26/30 cm S tipi	1 ϕ 26/25 cm S tipi 2 ϕ 26/40 cm A ve D tipi	1 ϕ 26/12,5 cm S tipi 2 ϕ 26/25 cm A ve D tipi	1 ϕ 26/10 cm S Tipi 2 ϕ 26/20 cm A ve D tipi

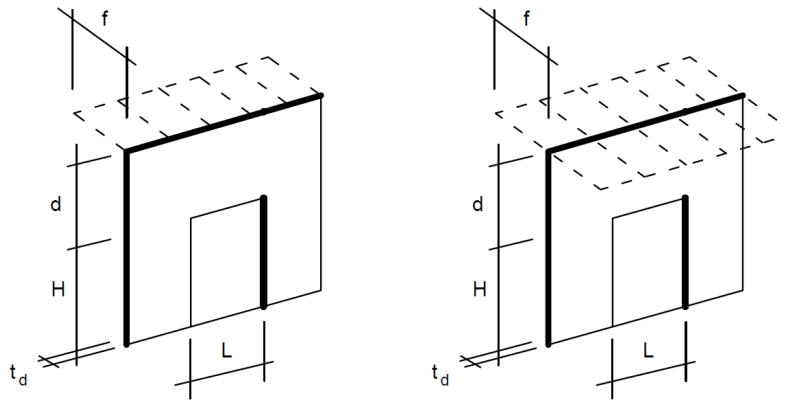
Payanda tabanında yatay itki kuvvetinin doğrudan payanda eğimine dik oluşturulan tabana aktarılması durumunda ankraj çubuklarının konulmasına gerek yoktur. (Şekil 16c)

8.2.4. Kapı pencere boşluklarının desteklenmesine ilişkin önerilen boyutlar

Kapı ve pencere boşlukların ahşap destek elemanları ile doldurularak duvarın düzlem içi rijitliği artırılabilir ve lento gibi elemanlardaki hasarlara bağlı olarak yerel göçme engellenebilir. Uygulama basitliği açısından her kapı/pencere boşluğu için tek tip ve kare kesitli ahşap elemanların kullanılması tavsiye edilmektedir. Burada verilen ahşap ebatları minimum boyutlar olup, daha büyük kesitlerin kullanılması her zaman mümkündür.

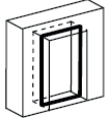
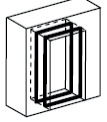
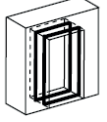
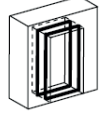
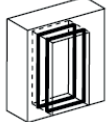


Şekil 8.17. Kapı ve pencere boşluklarının desteklenmesi (yalnızca lento için destek ve lentonun yanında diyagonal elemanlar ile duvar düzlem içi rijitliğinin artırılması)



Şekil 8.18. Dış ve iç duvarda geometrik parametrelerin gösterimi

Tablo 8.17. Kapı/pencere boşluklarında önerilen ahşap elemanlar boyutları

		Döşeme yük aktarım genişliği (f- metre)	Duvar kalınlığı (t_d)				
			$t_d \leq 0,4$		$0,4 < t_d \leq 0,6$	$0,6 < t_d \leq 0,8$	$t_d > 0,8$
			Tek 	Çift 	Çift 	Çift 	Çift 
Küçük Açıklıklı Boşluklar	$L \leq 1,0$	$f=0$	10x10	5x5	5x5	10x10	10x10
		$0 < f \leq 1,0$	13x13	10x10	10x10	10x10	13x13
		$1,0 < f \leq 3,0$	18x18	13x13	13x13	13x13	13x13
		$3,0 < f \leq 5,0$	x	15x15	15x15	15x15	18x18
	$1,0 < L \leq 1,5$	$f=0$	13x13	10x10	13x13	13x13	13x13
		$0 < f \leq 1,0$	18x18	13x13	15x15	15x15	15x15
		$1,0 < f \leq 3,0$	x	18x18	18x18	18x18	18x18
		$3,0 < f \leq 5,0$	x	18x18	20x20	20x20	20x20
Büyük Açıklıklı Boşluklar	$1,5 < L \leq 2,0$	$f=0$	13x13	10x10	10x10	13x13	13x13
		$0 < f \leq 1,0$	15x15	13x13	13x13	13x13	15x15
		$1,0 < f \leq 3,0$	20x20	15x15	15x15	18x18	18x18
		$3,0 < f \leq 5,0$	x	18x18	18x18	20x20	20x20
	$1,5 < L \leq 3,0$	$f=0$	18x18	13x13	15x15	18x18	18x18
		$0 < f \leq 1,0$	20x20	15x15	18x18	18x18	20x20
		$1,0 < f \leq 3,0$	x	20x20	20x20	x	x

NOT:

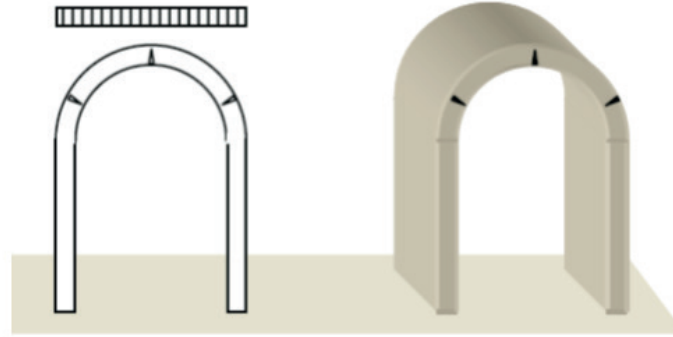
1-Döşemeden duvara yük gelmiyorsa (örneğin söz konusu duvara paralel ahşap kirişlemeli döşeme varsa) güvenli tarafta olmak için $f=1$ metre alınması tavsiye edilmektedir.

2- $d > L$ ise $f=0$ olarak alınabilir.

3-x: Tanımlanmamıştır. Özel tasarım gerekmektedir.

8.2.5. Kemer ve tonozların askıya alınmasına ilişkin önerilen boyutlar

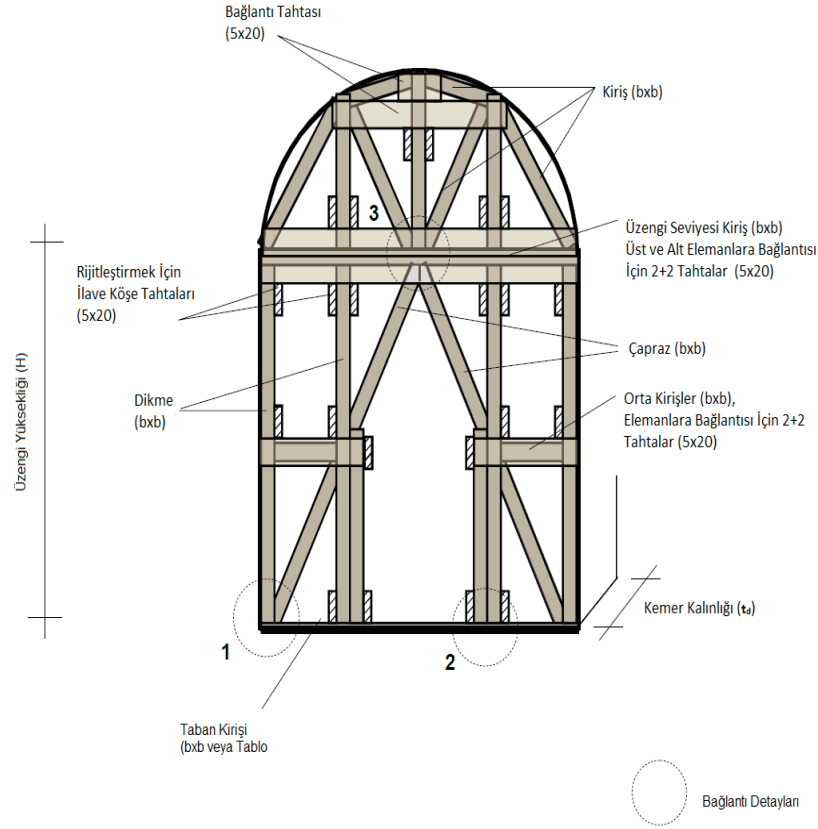
Tonoz veya kemer mesnetlerindeki itki karşılandığı sürece, göçme mekanizmasına en az 4 kesitinde hasar (plastik mafsalları) oluşmasıyla ulaşabilir. Bir ucu sabit, diğer ucu hareketli mesnet olması durumunda ise (ahşap veya metal gergilerin bulunmadığı son cemaat mahalleri veya revakların kısa doğrultuları) kemer veya tonoz tepe noktasında (tek noktada) hasarın (plastik mafsalları) oluşması göçme için yeterli olabilir. Şekil 8.19’da simetrik ve aşırı düşey yüke maruz tonoz veya kemerlerde oluşan hasar mekanizması görülmektedir. Bu bölümde verilen askı yöntemleri yalnızca kâgir kemer ve tonozlar için olup, çelik veya betonarme kemer ve tonozlar için uygulanamaz. Kemer ve tonozların askıya alınmasındaki temel amaç, kemer ve tonozlara gelebilecek ilave düşey yükü, mesnetlendiği duvar, ayak veya sütun yerine destek elemanları vasıtasıyla zemine aktarmaktır.



Şekil 8.19. Kemer veya tonozda tipik hasar mekanizması

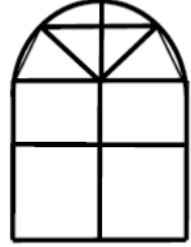
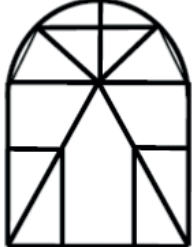
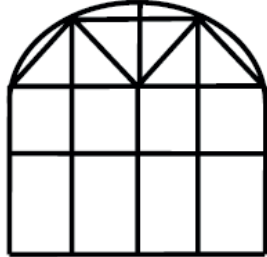
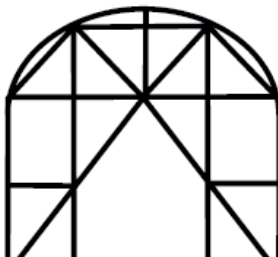
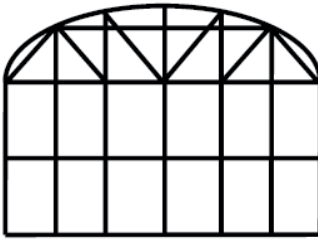
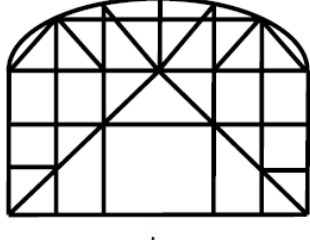
Kemer veya tonoz açıklığına, açıklık içerisinden insan geçişine izin verilip verilmeyeceği durumlarına göre (kullanım şekline göre) destek yöntemleri Tablo 8.18’de verilmektedir. Kemer kalınlığının 50 cm ve üzerinde olması durumunda destek sistemi kemer açıklığında çift, kalınlığın 50 cm’den az olması durumunda ise tek destek yapılması önerilmektedir. Tonozlarda ise destek sisteminin, yine kemer ile aynı olması uygundur. Ancak tekrarlar aralığı akstan aksa 0,8 metre aralıklı olmalı, 1 metreyi geçmemelidir. Geçişe izin verilen destek sistemindeki çaprazların yükseklik/yataydaki uzunluk oranı 1:0,8 ve daha altında olmalıdır.

Şekil 8.20’de kemer ve tonoz destek sisteminde kullanılacak elemanlar tanımlanmaktadır. Kiriş, dikme ve çapraz elemanların kesit boyutları bxb simgesi ile ifade edilmekte ve bu boyutlar cm biriminde kemer ve tonoz açıklığına bağlı olarak Tablo 8.19-24’te verilmektedir. Yükseklik sınırlarına ve aşağıda verilen açıklıklara uymayan kemer ve tonozlar için özel tasarım yapılması önerilmektedir. Dikmeler tarafından aktarılabilecek yüklerin zemin/tabandan emniyetli olarak karşılandığından emin olunmalıdır.



Şekil 8.20. Kemer ve tonoz askılama sisteminde kullanılacak elemanlar

Tablo 8.18. Açıklık ve kullanım tipine göre kemer ve tonoz askı tipleri

Askı Kullanım Şekli	
Geçişe Kapalı	Geçişe Açık
0<L3 m.  K1	 A1
3<L≤6m.  K2	 A2
6<L≤8m.  K3	 A3

