

Tarihi Yapılarında Kullanılan Fonksiyonelliğin İncelenmesi

Kemal Armağan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz - 2012

The Research of Functionality Used in Historical Buildings

Kemal ARMAĞAN

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Civil Engineering

July-2012

Tarihi Yapılarında Kullanılan Fonksiyonelliğin İncelenmesi

Kemal Armağan

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: DoÇ. Dr. Nevzat KIRAÇ

Temmuz - 2012

ONAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Kemal ARMAĞAN'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Tarihi Yapılarda Kullanılan Fonksiyonelliğin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Nevzat KIRAÇ

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Doç. Dr. Nevzat KIRAÇ

Üye: Prof. Dr. Hasan GÖNEN

Üye: Prof. Dr. Eşref ÜNLÜOĞLU

Üye: Doç. Dr. Mizan DOĞAN

Üye: Doç. Dr. Necati MAHİR

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nuntarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK
Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu çalışmada, geçmişten günümüze tarihi yapılarda kullanılan yapım teknikleri, kullanılan yapı elemanlarının özellikleri ve kullanılmış olan mühendislik ilkeleri incelenmiş. Tarihi yapıların yapısal davranışının nasıl anlaşılacağı, yapının nasıl modellenebileceği ve orijinal yapım tekniklerine uygun olarak nasıl restorasyon yapılabileceğine dair araştırma yapılmıştır.

Ayrıca Osmanlı mimarisinin gelişimde tarihi yapıların rolü incelenmiş. Geçmişten günümüze tarihi yapılarda kullanılmış önemli bazı yapım teknikleri ve fonksiyonları araştırılmış. Tarihi yapıların hasar tespiti, malzeme ve zemin özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılması gereken deneysel çalışmalar, statik analiz modelinin hazırlanması ve göçme mekanizmalarının belirlenme yöntemleri araştırılmış. Tarihi yapılarda kullanılan kemer, tonoz ve kubbe elemanlarına ait özellikler SAP2000 programında oluşturulan beşer modelde incelenmiş ve bu modellere ait uç kuvvetleri ve gerilme diyagramları verilmiş ve basıklık oranının değişimine göre mesnet reaksiyonlarının değişimi analiz edilmiştir...

Anahtar Kelimeler: anıt, tarihi yapı, tarihi yapıların sonlu elemanlar yöntemi ile analizi, restorasyon deneyleri...

SUMMARY

In this study, the main engineering principals, building techniques, structural forms abilities which are used in historical buildings from past upto now have been searched. It has been examined how to understand the structural behaviour of historical buildings, modalize and restorate this buildings with original construction methods.

On the other hand the effect of historical buildings on the improvement of Ottoman architecture is examined. Structural performances of some structural forms which have been used in historical buildings have been analized. Laboratory research for material and soil properties and damages of historical buildings are defined in order to establish the proper structural models. Also collapse mechanism are tried to be defined. The properties of historical buildings are modelized. These models are analysed by using SAP2000 program. Obtained results are compared with eachother and it has been found out that thereis a good agreement .

Keywords: monument, historical buildings, finite element method analysis of historical buildings, restoration experiments...

TEŐEKKÖR

Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nın Yapı Bilim Dalı'nda yaptığım yüksek lisans çalışmalarında, gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Doç.Dr.Nevzat KIRAÇ hocamla birlikte tüm bölüm hocalarıma en derin saygı ve sevgilerimle teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1: Angkor Wat.....	5
Şekil 2.2: Kremlin Sarayı.....	5
Şekil 2.3-2.4: Pisa Kulesi.....	6
Şekil 2.5-2.7: Chartes Katedrali.....	7
Şekil 2.8: Beyaz Piramit.....	8
Şekil 2.9-2.10: Mısır Piramitleri.....	10
Şekil 3.1-3.3: Halikarnas Mozolesi.....	11
Şekil 3.4: Afyon Kalesi.....	12
Şekil 3.5: Çorum Hitit Surları.....	13
Şekil 3.6: Aspendos Tiyatrosu.....	14
Şekil 3.7: Malabadi Köprüsü.....	14
Şekil 3.8: II. Bayezid Darüşşifası.....	15
Şekil 3.9-3.10: Ayasofya.....	16
Şekil 3.11: Yerebatan Sarayı.....	16
Şekil 3.12: Topkapı Sarayı.....	17
Şekil 3.13-3.14: Mağlova Su Kemerli.....	18
Şekil 3.15-3.16: Süleymaniye Cami.....	19
Şekil 3.17: Selimiye Cami.....	19
Şekil 4.1: Taşlarda Aranan Özellikler.....	21
Şekil 4.2 : Küfekiğin Statik ve Dinamik Davranışı.....	23
Şekil 4.3 : Küfeki ve Beton - Karbonatlaşmayla Mukavemet Değişimi.....	24
Şekil 4.4: Döşeme altı ahşap kirişler.....	25
Şekil 4.5: Kenet demiri.....	31
Şekil 5.1: Basınç yükleri altında kırılma mekanizması.....	37
Şekil 5.2: Yığma yapı elemanının yatay yükler altında göstermiş olduğu deformasyon ve basınç çizgisinin konumu.....	37
Şekil 5.3: Kayma kırılmasının mekanizması.....	38
Şekil 5.4: Serbest yapısal bir duvarın çökme mekanizması.....	38
Şekil 5.5: Yığma bir yapının çökme mekanizması.....	39
Şekil 5.6: Depreme maruz kalan yığma bir yapıda idealleştirilmiş kuvvet-gerilme Durumu.....	39
Şekil 6.1: Kemerin Muhtelif Kısımlarının İsimleri.....	40
Şekil 6.2: Elhamra Sarayı – İspanya.....	41
Şekil 6.3: Kemer Yapım Şekilleri.....	43
Şekil 6.4: Köşe kemerli kubbe.....	45
Şekil 6.5: Pandantifli kubbeler.....	46
Şekil 6.6: Pandantifli kubbe detayı.....	47
Şekil 6.7: Kubbede çekme ve basınç bölgeleri.....	48
Şekil 6.8: Kubbelerde yük taşıma mekanizması.....	49
Şekil 6.9: Tonozların döşeme durumuna getirilmesi.....	52
Şekil 6.10: Tonoz türleri.....	53
Şekil 6.11: Sütun Başındaki Mesnetlenme Sistemi.....	54

ŞEKİLLER DİZİNİ(devamı)

Şekil	Sayfa
Şekil 6.12: Ayak detayı.....	55
Şekil 6.13: Tarihi Yapılardaki Sütun ve Ayak Kullanımı.....	55
Şekil 6.14: Mesnetlenme Şekilleri.....	56
Şekil 6.15: Duvar Kuşaklaması.....	57
Şekil 6.16: Payanda duvar (Kariye Müzesi-İstanbul).....	59
Şekil 6.17: Sıfır derz taş duvar.....	59
Şekil 6.18: Kemer elemanda açıklık gergisi.....	60
Şekil 6.19: Ahşap Döşeme-Duvar Birleşim Planı.....	62
Şekil 6.20: Düz Tavanlı Adi Volta Döşeme.....	63
Şekil 6.21: Volta Döşeme.....	64
Şekil 6.22: Volta Döşeme Duvar Birleşim Detayı.....	64
Şekil 7.1: İznik Hacı Özbek Camisi Plan Şeması.....	66
Şekil 7.2: Bursa Ulu Cami Plan Şeması.....	66
Şekil 7.3: Edirne Eski Camisi Plan Şeması.....	66
Şekil 7.4: İstanbul Zal Mahmut Paşa Camisi Plan Şeması.....	67
Şekil 7.5: İstanbul Kılıç Ali Paşa Camisi Plan Şeması.....	67
Şekil 7.6: Edirne Muradiye Camisi Plan Şeması.....	67
Şekil 7.7: Edirne Üç Şerefeli Cami Plan Şeması.....	68
Şekil 7.8: Ayasofya Cami Plan Şeması.....	68
Şekil 7.9: İstanbul Eski Fatih Camisi Plan Şeması.....	68
Şekil 7.10: İstanbul Beyazıt Camisi Plan Şeması.....	69
Şekil 7.11: İstanbul Rüstem Paşa Camisi Plan Şeması.....	69
Şekil 7.12: İstanbul Mihrimah Sultan Camisi Plan Şeması.....	69
Şekil 7.13: Süleymaniye Camisi Plan Şeması.....	71
Şekil 7.14: Selimiye Camisi Plan Şeması.....	71
Şekil 7.15: İstanbul Piyale Paşa Camisi Plan Şeması.....	71
Şekil 7.16: İstanbul Azapkapı Sokullu Camisi Plan Şeması.....	73
Şekil 8.1: Zemin suları ve kademeli sıkıştırmanın kullanıldığı bir baraj inşaatı.....	74
Şekil 8.2: Theodosius Dikili Taşı.....	77
Şekil 8.3: Süleymaniye Camisi giriş kapısı üstündeki İs Odası.....	79
Şekil 8.4: Yerebatan Sarayı – Gadames Şehri ara sokağı – Gadames Şehri çatıları.....	85
Şekil 8.5: Chartes Katedrali.....	86
Şekil 8.6: Sultan Ahmet Cami.....	87
Şekil 8.7: Kilit ve geçme taş yöntemleriyle yapılmış bir volta döşeme örneği.....	88
Şekil 8.8: Süleymaniye Cami.....	90
Şekil 8.9: Fibonacci serisi ve Altın dikdörtgen.....	91
Şekil 8.10: İnsan da Altın Oran.....	91
Şekil 8.11: Partenon Tapınağı.....	92
Şekil 8.12: Partenon Tapınağı planı.....	92
Şekil 8.13: Notre Dam Katedrali.....	93
Şekil 9.1: Tuğla duvarda göçme biçimleri.....	97
Şekil 9.2: Yığma duvarda kesme ve eğilme etkisiyle oluşan çatlaklar.....	98
Şekil 9.3: Yığma duvarın yatay ve düşey eksen etrafında dönmesi.....	98

ŞEKİLLER DİZİNİ(devamı)

Şekil	Sayfa
Şekil 9.4: Zincir eğrileri ve bunların tersinden oluşan basık ve yüksek kemer.....	100
Şekil 9.5: Kemerde itki çizgisinin yeri.....	100
Şekil 9.6: Yarım daire kemerde min ve max yatay kuvvete göre itki çizgisi.....	101
Şekil 9.7: Tepe noktasından yüklü kemerin stabilitesi.....	101
Şekil 9.8: Yarım daire kemer	102
Şekil 9.9: Yarım daire kemer.....	102
Şekil 9.10: Kemer mesnedinin stabilitesi.....	103
Şekil 9.11: Tekil yüklü kemerin göçmesi.....	103
Şekil 9.12: Demir gergide hasar biçimleri.....	104
Şekil 9.13: 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminden sonra Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii kemerinde oluşan hasar.....	105
Şekil 9.14: Kubbede oluşan kuvvetler.....	105
Şekil 9.15: Kubbede tipik hasar biçimleri	106
Şekil 9.16: Kubbede hasar oluşumu.....	106
Şekil 9.17: Koni penetrasyon deney cihazı	111
Şekil 9.18: Koni ve sürtünme gömleği.....	112
Şekil 9.19: P tipi Schmidt çekici testi uygulaması.....	117
Şekil 9.20: (a) Ultrasonik test işlemi (b), (c) kolon üzerindeki test sonuçları.....	118
Şekil 9.21: Yerinde basınç deneyi:	118
Şekil 9.22: Flat - jack uygulaması	119
Şekil 9.23: Yerinde kayma deneyi	120
Şekil 9.24: Yapıdan numune alınması	121
Şekil 9.25: a. Numunenin kodlanması b. Tuğla numunesinde basınç deneyi	122
Şekil 10.1: Bazı Sonlu Elemanlar.....	128
Şekil 10.2: Atik Mustafa Paşa ve Bodrum Camilerinin Duvar Dokuları.....	129
Şekil 10.3: Zeyrek ve Ayasofya'ya Ait Duvar Dokuları.....	129
Şekil 10.4: Basit Volta Döşeme Kesiti.....	131
Şekil 10.5: Merdivenli Minare Kesiti.....	132
Şekil 11.1: Kemer modeli.....	135
Şekil 11.2: Veri Girişi.....	135
Şekil 11.3: Gerilme diyagramı.....	136
Şekil 11.4: Mesnet kuvvetleri.....	136
Şekil 11.5: Tonoz modeli.....	138
Şekil 11.6: Tonoz gerilme diyagramı.....	138
Şekil 11.6: Tonoz mesnet reaksiyonları.....	139
Şekil 11.7: Kubbe model tanımlama.....	141
Şekil 11.8: Kubbe malzeme tanımlama.....	141
Şekil 11.9-11.10: Kubbe model tanımlama.....	142
Şekil 11.11: Kubbe gerilme diyagramı.....	143
Şekil 11.12: Kubbe mesnet kuvvetleri.....	143

TABLolar DİZİNİ

Tablo	Sayfa
Tablo 4.1: Doğal Yapı Taşlarının Ortalama Fiziksel Özellikleri.....	20
Tablo 4.2: Küfekiinin Fiziki Özellikleri.....	22
Tablo 4.3: Küfekiinin Mekanik (Tek Eksenli) Özellikleri (1-30 günlük).....	23
Tablo 6.1: Mimar Sinan'a ait bazı yapılarda kubbe basıklık oranları.....	50
Tablo 9.1: Birleşik Zemin Sınıflandırılması.....	112
Tablo 11.1: Kemer modellerinin özellikleri.....	134
Tablo 11.2: Kemer modellerinin mesnet reaksiyonları.....	137
Tablo 11.3: Tonoz modellerinin özellikleri.....	137
Tablo 11.4: Tonoz modellerinin mesnet reaksiyonları.....	140
Tablo 11.5: Kubbe modellerinin özellikleri.....	140
Tablo 11.6: Kubbe modellerinin mesnet reaksiyonları.....	144

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

E = Elastisite Modülü

MPa = Megapascal

kN = Kilonewton

F_b = Basınç Dayanımı

f_ç = Çekme Dayanımı

g = Gram

cm³ = Santimetre Küp

R = Yüzeysel

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<u>ÖZET</u>	v
<u>SUMMARY</u>	vi
<u>TESEKKÜR</u>	vii
<u>SEKİLLER DİZİNİ</u>	viii
<u>TABLolar DİZİNİ</u>	xi
<u>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</u>	xii
<u>1.GİRİŞ</u>	1
<u>2.DÜNYADAKİ ÖNEMLİ BAZI TARİHİ YAPILAR</u>	4
2.1.Angkor Wat.....	4
2.2.Kremlin Sarayı.....	5
2.3.Pisa (Pizza) Kulesi.....	6
2.4.Chartres Katedrali.....	6
2.5.Orta Asyadaki Türk Piramitleri.....	8
2.6.Mısır Piramitleri.....	9
<u>3.TÜRKİYEDEKİ ÖNEMLİ BAZI TARİHİ YAPILAR</u>	11
3.1.Halikarnas Mozolesi.....	11
3.2.Afyon Kalesi.....	12
3.3.Çorum Hitit Surları.....	13
3.4.Aspendos Tiyatrosu.....	13
3.5.Diyarbakır Malabadi Köprüsü.....	14
3.6.II. Bayezid Darüşşifası.....	15
3.7.Ayasofya Cami.....	15
3.8.Yerebetan Sarayı.....	16
3.9.Topkapı Sarayı.....	17
3.10.Mağlova Su Kemerli.....	17
3.11.Süleymaniye Cami.....	18
3.12.Selimiye Cami.....	19
<u>4.TARİHİ YIĞMA YAPILARDA KULLANILAN MALZEMELER</u>	20
4.1 Taş.....	20
4.2 Ahşap.....	24
4.3 Harçlar.....	25
4.3.1 Kireç Harcı ve Sıvaları.....	25
4.3.2 Horasan Harcı ve Sıvaları.....	27
4.4 Demir.....	31
4.4.1 Kenet Demiri.....	31
4.4.2 Zıvana Demiri.....	32
4.4.3 Taşıyıcı Unsur Olarak Demir.....	33
<u>5.YIĞMA YAPI TANIMI VE TARİHİ YIĞMA YAPILARIN TAŞIYICI SİSTEMLERİ</u>	34
5.1 Yığma Yapı Sistemleri.....	34
5.2 Yığma Yapı Türleri.....	34
5.2.1 Donatısız Yığma Yapılar.....	34
5.2.2 Çerçeve Sistemli Yığma Yapılar.....	35

5.2.3 Donatılı Yığma Yapılar.....	35
5.3 Yığma Yapı Sistemlerinin Tasarım İlkeleri.....	35
5.4 Yığma Yapı Davranışı.....	36
6.TARİHİ YAPIYI OLUŞTURAN TAŞIYICI SİSTEMLER.....	40
6.1 Tarihi Yığma Yapıların Taşıyıcı Sistemleri.....	40
6.2. Kemerler.....	40
6.3. Kubbeler.....	44
6.4 Küresel Bingi (Pandantif).....	51
6.5 Tonozlar.....	51
6.6 Türk Üçgeni.....	53
6.7 Sütunlar ve Ayaklar.....	54
6.8 Duvarlar ve Payandalar.....	56
6.8.1 Kaba Yönü Taş Duvarlar.....	59
6.8.2.Sıfır Derz Taş Duvar.....	59
6.8.3.Gergiler.....	60
6.9 Temeller.....	61
6.10 Döşemeler.....	62
6.10.1.Ahşap Döşemeler.....	62
6.10.2. Adi Volta Döşeme.....	63
6.10.3. Volta Döşeme.....	63
7.MİMAR SİNAN VE OSMANLI MİMARİSİNİN GELİŞİMİNDEKİ ROLÜ.....	65
7.1.Mimar Sinan ve Osmanlı Mimarisinin Gelişimindeki Rolü.....	65
7.2.Sinan'ın Mimarlığı.....	65
7.3.Sinan Öncesinde Osmanlı Cami Mimarisi.....	66
7.4.Osmanlı Cami Mimarisinin ve Kubbe Tekniğinin Gelişimine Sinan'ın Katkıları.....	68
8.TARİHİ YAPILARIN GÜNÜMÜZE TAŞINMIŞ ÖNEMLİ ÖZELLİKLERİ.....	74
8.1 Zemin Sıkılaştırma.....	74
8.2 Zeminde Kuyu Açılması.....	74
8.3 Zeminde Kelepçe ve Kayar Temel Uygulaması.....	77
8.4.Havanın Kullanılması - Hava kanalları.....	78
8.5 Akustik.....	80
8.5.1.Sesin fizyolojik özellikleri.....	81
8.6.Yalıtım.....	85
8.7.Işığın Kullanımı.....	86
8.8.Kilit, Sıkıştırılmış ve Geçme Taş Yöntemleri.....	87
8.9.Şehirçilik – İhtiyaca Uygun Yapı Düzenleri Kullanımı.....	88
8.10.Kubbenin Kurşunla Kaplanması.....	88
8.11.Altın Oran.....	88
8.11.1.Altın Oran ve Tarihçesi.....	88
8.11.2.Mimaride Altın Oran.....	92
9.TARİHİ YAPILARIN KORUNMASINDA UYGULANAN BAZI TEKNİKLER YAPININ DAVRANIŞINI ANLAMA.....	94
9.1. Yığma Yapılar için Yöntemler.....	94
9.1.1. Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi.....	94
9.2. Tarihi Yığma Yapılarda Onarım ve Güçlendirme Öncesi Mevcut Durum Tespitleri.....	94

<u>9.2.1. Hasar Biçimlerinin Belirlenmesi</u>	95
<u>9.2.1.1. Taşıyıcı Duvarlarda Oluşan Hasarlar</u>	96
<u>9.2.1.2. Kemer ve Tonzlarda Deformasyonlar</u>	99
<u>9.2.1.3. Gergideki Bozulmalar</u>	104
<u>9.2.1.4. Kubbe Hasarları</u>	105
<u>9.2.1.5. Zeminden Kaynaklanan Hasarlar</u>	107
<u>9.2.1.5.a. Oturma</u>	107
<u>9.2.1.5.b. Yeraltı suyunun etkisi</u>	107
<u>9.2.1.5.c. Taşıma gücü sorunu</u>	108
<u>9.2.1.5.d. Zeminin sıvılaşması</u>	108
<u>9.3 Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi</u>	109
<u>9.3.1. Arazi Çalışmaları</u>	109
<u>9.3.1.a. Gözlem çukurları</u>	109
<u>9.3.1.b. Sondaj çalışmaları</u>	109
<u>9.3.1.c. Yeraltı su seviyesinin belirlenmesi</u>	110
<u>9.3.1.d. Arazi deneyleri</u>	110
<u>9.3.2. Zemin İndeks Özellikleri ve Sınıflandırma Deneyleri</u>	112
<u>9.3.2. a. Dane çapı dağılımı</u>	112
<u>9.3.2. b. Su muhtevası</u>	113
<u>9.3.2. c. Kıvam limitleri deneyi</u>	113
<u>9.3.2. d. Piknometre (özgül yoğunluk)</u>	113
<u>9.3.2. e. Permeabilite</u>	114
<u>9.3.2. f. Konsolidasyon deneyleri</u>	114
<u>9.3.2. g. Kayma mukavemeti ve gerilme deformasyon deneyleri</u>	114
<u>9.3.2. h. Kompaksiyon deneyi</u>	114
<u>9.4 Zeminin Sıvılaşma Olasılığının Belirlenmesi</u>	115
<u>9.5 Malzeme Özelliklerini Belirlerken Kullanılan Diğer Deneyler</u>	116
<u>9.5.1. Sertlik Ölçümü</u>	116
<u>9.5.2. Ultrases Ölçümü</u>	117
<u>9.5.3. Yerinde Basınç Deneyi</u>	118
<u>9.5.4. Yerinde Kayma Deneyi</u>	120
<u>9.5.5. Laboratuarda Yapılan Fiziksel ve Mekanik Deneyler</u>	121
<u>9.6 Yapı Güvenliğinin Belirlenmesi</u>	122
<u>10. MODELLEME VE ANALİZ YÖNTEMLERİ</u>	124
<u>10.1 Modelleme Yöntemleri</u>	124
<u>10.1.1. Sonlu Eleman Yöntemi</u>	124
<u>10.1.1.1. Doğrusal Sistemlerde Sonlu Elemanlar Yöntemi</u>	125
<u>10.1.1.2. Doğrusal Olmayan Sistemlerde Sonlu Elemanlar Yöntemi</u>	126
<u>10.1.2. Yapı Elemanlarının Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Modellenmesi</u>	127
<u>10.1.2.1 Duvarların Modellenmesi</u>	128
<u>10.1.2.2. Kubbe ve Tonzların Modellenmesi</u>	130
<u>10.1.2.3. Sütun ve Ayakların Modellenmesi</u>	130
<u>10.1.2.4. Kemerlerin Modellenmesi</u>	130
<u>10.1.2.5. Döşemelerin Modellenmesi</u>	131
<u>10.1.2.6. Minarelerin Modellenmesi</u>	131

<u>10.1.3. Ayrık Eleman Yöntemi</u>	132
<u>10.1.4. Sonlu Eleman Yöntemi – Ayrık Eleman Yöntemi</u>	132
<u>10.2 Analiz Yöntemleri</u>	133
<u>10.2.1 Zaman Tanım Alanında Analiz Yöntemi</u>	133
<u>10.2.2. Mod Birleştirme Yöntemi</u>	133
<u>11.KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ</u>	134
<u>11.1.Kemer</u>	134
<u>11.1.b.Kemer elemanı için karşılaştırma çalışması</u>	137
<u>11.2.Tonoz</u>	137
<u>11.2.b.Tonoz elemanı için karşılaştırma çalışması</u>	139
<u>11.3.Kubbe</u>	140
<u>11.3.b.Kubbe elemanı için karşılaştırma çalışması</u>	144
<u>12.SONUÇ VE ÖNERİLER</u>	145
<u>13.KAYNAKLAR</u>	148

BÖLÜM 1

1.GİRİŞ

Tarihi yapıları geçmiş medeniyetlerin bizlere bıraktığı birer miras olmakla beraber geçmişin bilgi birikimini, tecrübelerini ve teknolojilerini daha ileri taşımamız için aynı zamanda bize yol gösterici birer anıttır. Günümüzde dünya insanlığının evrensel görevi olarak nitelendirilen kültürel mirası koruma amacına hizmet etmek için birçok uluslararası örgüt kurulmuştur. Bu çerçevede zengin kültür varlıklarına sahip ülkemizin de önemli sorumlulukları olduğu göz ardı edilemez.

Tarihi yapılar deprem gibi beklenmedik doğal afetlerle zarar görmekte veya yıkılmaktadır. Bununla beraber tarihi yapılara zarar veren etkenler sadece depremler ya da doğal afetler değildir; yapıda kullanılan yapı malzemesinin dayanımını yitirmesi, zemin oturmaları, yanlış kullanımdan kaynaklı aşırı ve düzensiz yükleme, zamana bağlı deformasyonlar, savaşlar, yangınlar ve zamanında yapılmayan yada bilinçsizce yapılan bakım – onarım faaliyetleri tarihi yapıların yavaş yavaş yok olmalarının diğer nedenleri arasında yer almaktadır.

Tarihi yapıların korunması, onarım ve güçlendirmesi için strüktürel davranışının iyi anlaşılması ve doğru analiz edilmesi gerekmektedir. Günümüzde mevcut hesap yöntemleri ve statik analiz programları ile tarihi yapıları ayrıntılı olarak incelemek mümkündür. Pek çok yapıda kullanılmış olan eğrisel geometrik formdaki taş ve tuğla yapı elemanlarının 3 boyutlu yapısal davranışını hesaplamak için en uygun yöntem sonlu elemanlar yöntemidir.

Tarihi yapıların analizi oran-orantı kavramı ile başlamış, bir takım geometrik formüllerin ilavesi ile devam etmiş, daha çok basınç elemanları kullanıldığı için basınç çizgisi analizi kavramı gelişmiş ardından biraz daha bilimsel bir yaklaşım olan üçlü ortası kuralı ortaya atılmıştır. 30 yıl kadar önce yapılmış çalışmalarda plastik mafsal kavramı ilave edilerek bir çökme mekanizması analizi geliştirilmiştir. Son yıllarda statik

analiz yöntemleri ve bilgisayarlı analiz programlarının da gelişmesi ile bu yöntemlerin yerine doğrusal olmayan malzemenin özelliklerini de dikkate alan, taş blokları birbirine bağlayan harçtaki çatlakların neden olduğu plastik mafsallaşmayı da dikkate alan plastik analiz yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır.

Tarihi yapıların yapısal analizi oldukça karmaşıktır. Öncelikle yapının yapıldığı malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmeli. Yapının oturduğu zemin özellikleri tespit edilmeli. Yapıda hasar tespiti yapılmalı. Yapının, belirlenen malzeme özelliklerine uygun statik modeli oluşturulmalı ve belirlenen hasarlar da bu modele ilave edilerek analizi yapılmalı. Analiz sonucunda elde edilen verilere göre yapının kültürel, sanatsal ve yapısal özellikleri korunarak restorasyonu yapılmalıdır.

Bu çalışmada dünyadaki ve ülkemizdeki tarihi yapılar, tarihi yapılara ait yapısal özellikler, bu yapılarda kullanılan malzeme ve yapı elemanlarına ait özellikler ve Osmanlı mimarisinin gelişimde tarihi yapıların rolü incelenmiş. Geçmişten günümüze tarihi yapılarda kullanılmış önemli bazı yapı teknikleri ve fonksiyonları araştırılmış. Tarihi yapıların hasar tespiti, malzeme ve zemin özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılması gereken deneysel çalışmalar, statik analiz modelinin hazırlanması ve göçme mekanizmalarının belirlenme yöntemleri araştırılmış. Tarihi yapılarda kullanılan kemer, tonoz ve kubbe elemanlarına ait özellikler SAP2000 programında oluşturulan birer modelde incelenmiş ve bu modellere ait uç kuvvetleri ve gerilme diyagramları verilmiştir.

1.1.Çalışmanın kapsamı

Çalışmanın 1.bölümünde giriş yapılmış ve çalışmada değinilen noktalar özetlenmiştir. 2.bölümde dünyada yapılmış bazı tarihi yapılar hakkında bilgiler verilmiş, 3.bölümde Türkiye’de yapılmış bazı tarihi yapılar hakkında bilgiler, 4.bölümde tarihi yapılarda kullanılan malzemeler anlatılmış, 5.bölümde tarihi yapı tanımı ve tarihi yığma yapıların taşıyıcı sistemlerine dair bilgiler verilmiş, 6.bölümde

tarihi yapıların yapımında kullanılan yapı elemanlarına dair bilgiler verilmiş, 7.bölümde Mimar Sinan'ın Osmanlı mimarisinin gelişimindeki rolü anlatılmış, 8.bölümde tarihi yapıların bazı önemli özellikleri incelenmiş, 9.bölümde tarihi yapıların davranışını anlama ve korunmasına yönelik çalışmalar incelenmiş, 10.bölümde tarihi yapıların analiz ve modelleme yöntemleri anlatılmış, 11.bölümde sonuçlar değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 2

2.DÜNYADAKI ÖNEMLİ BAZI TARIHI YAPILAR

2.1.AngkorWat / SiemReap / Kamboçya: 12 yüzyıl'ın başlarında Kral II.Suryavarman için tapınak ve başkent olarak inşa edilmiştir. Buradaki en büyük ve en iyi korunmuş tapınak, kuruluşundan beri önce Hindu, sonra Budist olarak hizmet vermek üzere daima önemli bir dini merkez olarak kalmıştır. Tapınak, klasik Khmer mimarisinin en somut örneğidir ve Kamboçya'nın sembolüdür. Angkor Wat, Khmer mimarisinin iki temel özelliğini barındırır: tapınak dağı ve asma koridorlu tapınaklar. Yapısı, Hindu mitolojisindeki tanrıların evi olan Meru Dağı'nı çağrıştırmak üzere planlanmıştır. Bir hendeğin etrafındaki 3.6 kilometrelik bir dış duvarın içinde, her biri diğerinin üzerinde inşa edilmiş üç dikdörtgen galeri bulunur. Tapınağın tam merkezinde her biri dikdörtgenin birer köşesine, bir adedi de tam ortaya gelecek şekilde yerleştirilen beş kule vardır. Yapı, mimarisinin ihtişamı ve uyumu haricinde aynı zamanda, geniş duvar heykelleri ve duvarlarını süsleyen birçok Hindu koruyucu meleği ile de hayranlık uyandırır. Guinness Rekorlar Kitabı'na göre, Angkor Wat dünyadaki en büyük dini yapıdır.

Angkor Wat klasik Khmer mimarisinin en üst örneği ve Angkor Wat Stili'ne adını veren tarzıdır. 12 yüzyılda Khmerli mimarlar, ana yapı malzemesi olarak tuğla ya da laterit yerine kumtaşı kullanımında eskisinden daha tecrübeli hale gelmişlerdir. Angkor Wat Stili, çoğunlukla nitelik yerine nicelik kurbanı olan Bayon dönemini takiben gelmiştir. Bu tarzdaki diğer tapınaklar Angkor'daki Preah Pithu, Angkor dışındaki Beng Mealea ve Phimai'daki Phanom Rung'dur. Antik Yunan ve Roma mimarisi ile kıyaslanan Angkor Wat, en fazla övgüyü dizaynındaki uyum için alır. Tarzının mimari açıdan karakteristik özellikleri: kemerler, lotus çiçeği gongcası şekilli kuleler, geçiş yollarını geniş tutmak için inşa edilmiş yarı asma katlar, eksenel galeriler, bağlantılı çıkıntılar, haç şeklindeki teraslardır. Görülen alanların büyük kısmı kumtaşı bloklarından, dış duvarlar ve gizli mimari kısımlar ise lateritten oluşur. 200 kilometrekare'yi bulan Siem Reap Şehri 1858 yılında keşfedilmiştir.[1]



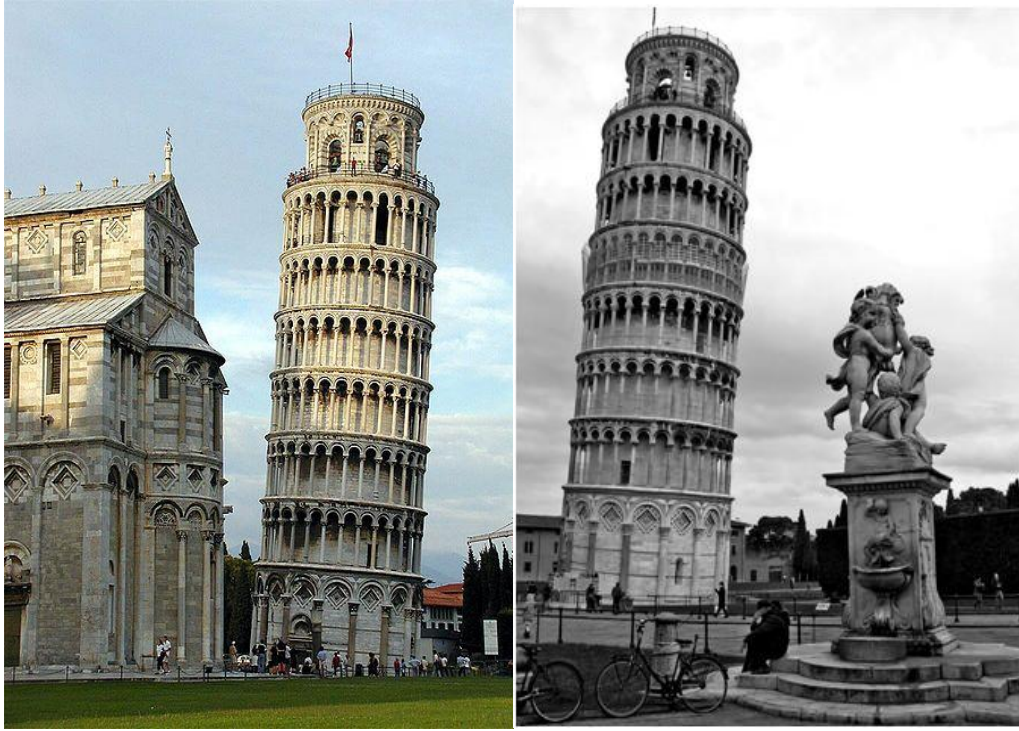
Şekil 2.1: Angkor Wat

2.2.Kremlin Sarayı (1156 - 1850) Moskova : Moskova'daki Kızıl Meydan'da bulunan ve Moskova'nın sembolü olan Kremlin Sarayı, Çar Korkunç İvan tarafından 1155'te yaptırılmıştır. Eski bir savunma kalesi olan Kremlin, 19 metre yükseklikte kırmızı bir duvarla çevrilidir. Bu duvarın çevre uzunluğu 2250 metredir. Duvarın giriş yerlerinde ve köşelerinde büyük kuleler vardır. En büyük kule 72 metre yüksekliktedir. Burada ilk yapı 14. yüzyılda yapılmış, daha sonra yeni ilavelerle büyümüştür. Kremlin'in içinde harika saray ve kiliseler vardır. Kremlin Sarayı'nın hemen yakınında bulunan ve Aziz Basileios adına Korkunç İvan tarafından yaptırılan Saint-Basile Katedrali, yalnız Moskova'nın değil bütün Rusya'nın en orijinal eseridir ve dünyada buna benzeyen başka bir kilise yoktur. Çünkü bu yapı şark stilinde bir kilisedir. Kubbeleri İslami eserlerin kubbelerine benzer. Katedralin inşaatına 1555'de başlanmış, 1560'da bitirilmiştir. Yapının mimarı Barma adlı bir Rus'tur. 11 bölümü ve 8 kubbesi vardır. Kubbelerin yükseklik, süsleme ve renkleri birbirlerinden farklıdır. Düz, gofre veya prizmatik çinilerle kaplanmışlardır. En yüksek kulenin kubbesi altın yaldızlıdır [2]



Şekil 2.2 : Kremlin Sarayı

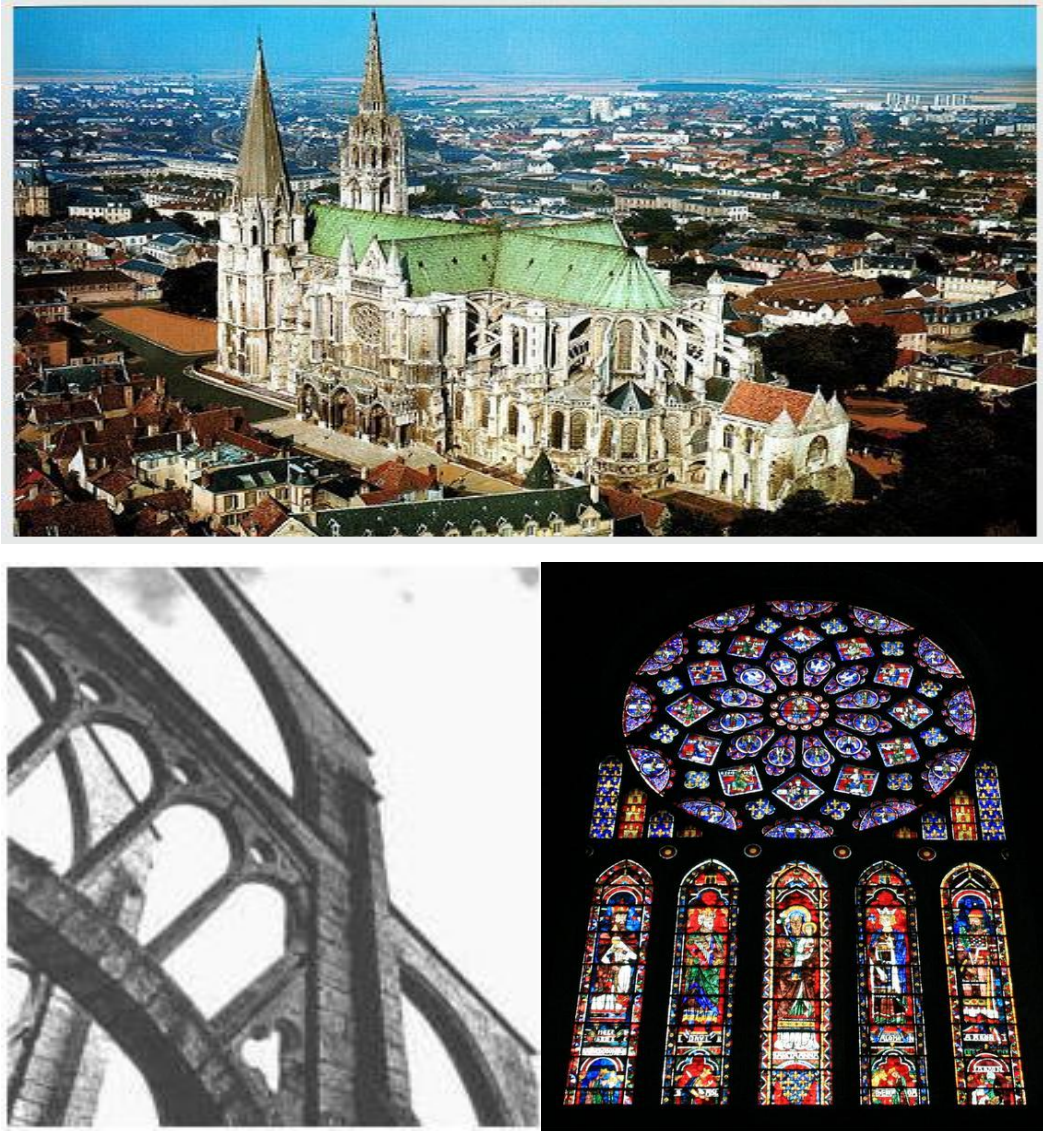
2.3.Pisa (Pizza) Kulesi – İtalya : Pisa Kulesi, İtalya'nın kuzeyindeki Pisa şehrinde Piazzadei Miracolide (İtalyanca Mucizeler Meydanı)yer alan ve 1063-1090 yıllarında yapılan şehir katedralinin çan kulesi, ana yapıdan ayrı olarak 1173'te yapılmıştır. Ünlü Pisa Kulesi, bu çan kulesidir. Kule üst üste bindirilmiş yuvarlak 6 sütun dizisinden meydana gelmiştir. 56 metre yüksekliktedir. Üzerine 294 basamaklı bir merdivenle çıkılır. En üstteki çanların bulunduğu 8. kat silindirik biçimindedir. Pisa Kulesi bitirildiği tarihten itibaren temeldeki yumuşak zeminde oluşan çökmeden dolayı güneye doğru eğilmeye başlamıştır. Günümüzde, kulenin tepesinden güney yönünde aşağı sarkıtılan bir çekül 4,3 metre açığa inmektedir. Ancak yapının ağırlık merkezinin izdüşümü kendi temel dairesinin içinde kaldığı için kule devrilmemektedir. Kule her yıl milimetrenin onda yedisi kadar (100 yılda 7 cm) eğilmektedir. Kulenin şu andaki eğimi 5,5° kadardır. [3]



Şekil 2.3-2.4 : Pisa Kulesi

2.4.Chartres Katedrali –Paris : Eure-et-Loir'un başkenti Chartres, Paris'in 88 km güneybatısında. Batı yakasındaki kulelerin her ikisinin yüksekliği de 91 m üzerinde, alçak olan 1130'larda, daha yüksek ve detaylı işlenen ise 1513'te yapılmış. Katedral baştan aşağıya , 10 binden fazla taş ve cam figüre ev sahipliği yapıyor. Özellikle, yaklaşık 2.044 m²büyükliğünde ,güneş ışığı vurduğunda en güzel halini alan vitray

camda incil bölümler halinde işlenmiş olup kullanılan mavi renk chartres mavisi tarihe geçmiştir. Bu yapının yapımı sırasında “Tapınakçılar” adı verilen ustalarının izleri görülmekte olup 1134 yılında kuzey kulesinin yapımı sırasında kullanılan geometri ve yapım tekniklerinden “gotik mimari” doğmuştur. Yapımı sırasında asma vinç keşfedilmiş ve ince fakat yüksek duvarlı bir yapı yapabilmek için dış payanda sistemleri kullanılmıştır. [6]



Şekil 2.5-2.7: Chartres Katedrali

2.5.Orta Asya'daki Türk Piramitleri: İlk insan mumyalama tekniğini mükemmel bir şekilde uygulayanlar Altay Türkleridir. (Mısır medeniyetinden yüzyıllarca önce) Uygur bölgesinde bulunan, Mısır piramitlerinden yüzyıllarca önce yapılan ve Mısır piramitlerinden daha yüksek / büyük olan piramitleri yapan Türklerdir. Çin hükümeti buraya girişi tamamı ile yasaklamıştır. Çünkü bu piramitlerin içinde proto-Türk yazılar mevcut. Arkeologların dahi girişine kati surette izin verilmiyor. Çünkü dünya tarihinin tekrar yazılması gerekebilir. Bugün Çin sınırları içerisinde yer alan, Xian şehrine 100 km uzaklıkta Qin Ling Shan dağlarında Ön-Türk uygarlıklarından birisi tarafından inşa edilmiş, etrafında irili ufaklı 100 adet piramitle beraber, 300 metre yüksekliğinde bir piramit bulunmaktadır.

Beyaz Piramit'in ikinci dünya savaşı sırasında Çin'e yardım malzemesi götüren bir C-54 uçağından çekilen fotoğrafı 1957 yılında ilk kez Life dergisinde yayınlanmıştır. Bu piramitleri araştırmak üzere 1994 yılında Şensi bölgesinde bir araştırma gezisi yapan alman bilim adamı Hartwig Hausdof kendi koleksiyonundan birkaç resmin halka açılmasına izin vermiştir. Hausdorf'a göre piramitlerin yapım tarihi en az M.Ö. 2500'ler civarındadır. Bölge Çin tarafından yasak bölge ilan edilmiş olduğundan dolayı piramitler içerisinde bulunan mısır medeniyetinden çok ileri bir teknikle mumyalanmış olan cesetler ve Ön-Türkçe yazıtlar üzerinde araştırma yapılamamaktadır. Piramitlerin ebat, orijinal şekil ve büyüklükleri ,dikkat çekmemesi açısından Çin hükümeti tarafından maksatlı olarak tahrip ve kamufle edilmiştir. Piramitlerin üst tarafları kesilmiş ve üstleri toprakla doldurulup, kamuflaj amacıyla ağaçlandırılmıştır. [8]



Şekil 2.8: Beyaz Piramit

2.6.Mısır Piramitleri: Dünyanın yedi harikasından günümüze kadar ulaşan tek eser, Mısır'daki Keops Piramididir. Mısır'ın başkenti Kahire yakınındaki Nil Nehrinin batısında bulunan Giza Yaylasında bulunmaktadır. Keops Piramidinin yanında biraz daha küçük olan Kefren ve Mikorinos piramitleri bulunmaktadır. Ayrıca, içlerinde prenseslere ve firavunun en yakın yardımcılara ait mumyaların bulunduğu beş piramit daha vardır. Büyük Piramit de denen Keops Piramidi, M.Ö. 2800 yıllarına doğru hüküm süren Mısır'ın 4. Sülale devri hükümdarlarından Keops'un mezarıdır. İkinci büyük piramit, Keops'un kardeşi olan ve O öldükten sonra firavun olan Kefren'e aittir. Küçük piramit ise M.Ö. 2500'lü yıllarda hüküm süren Mikerinos'a aittir. Mısır piramitleri yeryüzündeki anıt-kabirlerin en eskileri ve en büyükleridir. Bunların en haşmetlisi olan Keops Piramidi dış görünüşü ile de "Dünyanın Birinci Harikası" olma niteliğine hak kazanmıştır. Piramitler, firavunun mumyası ile hepsi birbirinden değerli eşsiz nitelikteki sanat eserlerini; kral, kraliçe, prens heykellerini de içlerinde saklıyordu ve bu eşsiz hazineleri saklamak için yapılmışlardır. Keops Piramidinin yüksekliği 138 metredir. Tepeden 10 metre kadar aşınmıştır. Bazıları 10-15 ton ağırlığında olan 2.300.000 adet blok taşın üst üste yığılmasıyla oluşturulmuştur. Bir kenarı 227 metre olan dörtgen tabanı 50.524 metrekarelik bir alanı kaplar. Piramidin iç ortasında, tepeden 100 metre

kadar aşağıda ve tabandan 40 metre kadar yukarıda firavunun odası vardır. Oda 10,5 metre uzunlukta, 5 metre genişlikte ve 6 metre yüksekliktedir. Buraya 50 metrelik bir dehlizden girilir. Biri kraliçeye ait olan iki oda daha vardır. Tarihçi Herodot'a göre, ağır granit blokları, piramidin üst bölümlerine çıkarmak için 925 metre boyunda, 19 metre genişlikte bir rampa yapılmıştır. Sadece bu rampanın yapılması bile 10 yıl sürmüştür. Bu muazzam mezar, üç ayda bir toplanan 100.000 esirin çalışmasıyla 30 yılda tamamlanmıştır. Daha sonra da Keops'un ve eşinin mumyalanmış cesetleri bu mezara yerleştirilmiştir. [9]



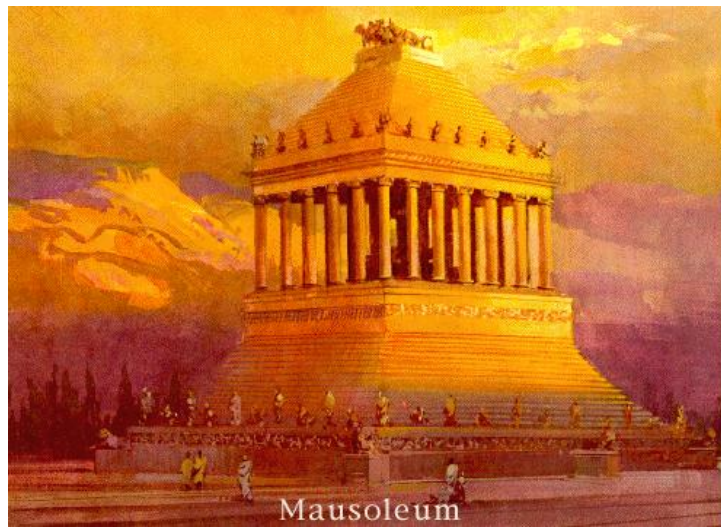
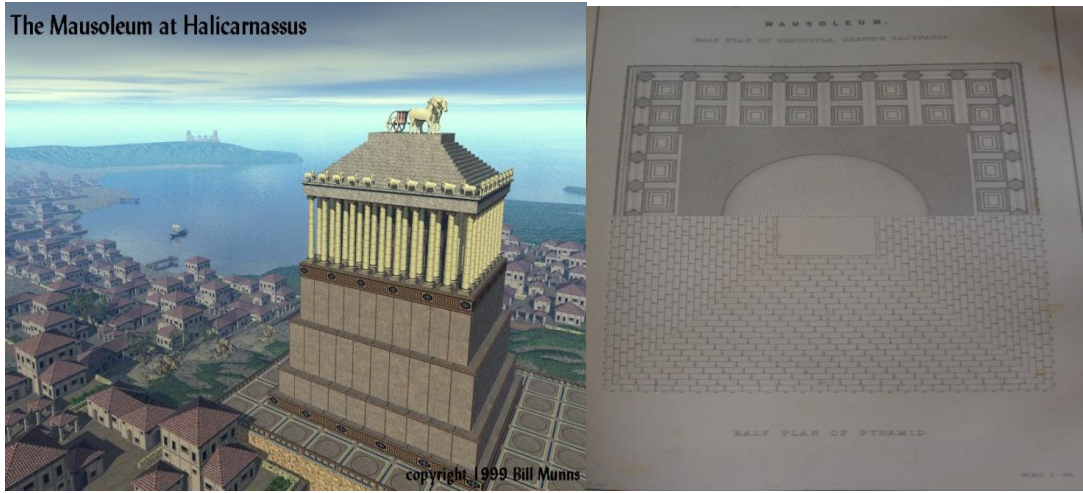
Şekil 2.9-2.10: Mısır Piramitleri

BÖLÜM 3

3.TÜRKİYEDEKİ ÖNEMLİ BAZI TARİHİ YAPILAR

3.1.Halikarnas Mozolesi M.Ö. 355 - M.Ö. 340 (Mausoleion) – Bodrum: Kral Mausolos adına karısı ve kız Artemisia tarafından Halikarnasos'ta yaptırılmış, dünyanın yedi harikasından biri sayılan, kolonlarıyla Yunan mimarisini, piramit şeklindeki çatısıyla da Mısır mimarisini birleştiren, oldukça büyük boyutlardaki mezar. Bu öneminden dolayı kendinden sonra gelen, aynı stildeki tüm yapılara mozole denmiştir... Taban ölçüleri 32 x 38 metre boyutlarındaki Mausoleion, bir zamanlar uzun kenarı 242,5 kısa kenarı 105 metre olan geniş bir alanın kuzeydoğu köşesinde yükselmekteydi.

Antik yazarların anlattıklarına göre Mausoleion, dört bölümden oluşmaktadır. En altta yüksek bir kaide (podyum); onun üzerinde kenarlarında onbir, kısa kenarlarında dokuz olmak üzere 36 İon sütunlu tapınak şeklinde bir bölüm vardır; onun da üzerinde 24 basamaklı piramit şekilli bir çatı ve en tepede dört atın çektiği araba içinde Mausolos ve Artemisia'nın heykelleri yer almaktadır. Yüksekliği yaklaşık 55 metredir. Antik yazarlar yapının mimarının Pytheos olduğunu kaydetmektedir. Ayrıca Satyros'un adı da geçmektedir. Vitruvius, M.Ö. 4. yüzyılın en önemli dört heykeltraşının bu yapıda çalıştığını kaydetmiştir. Muhtemelen, inşaat M.Ö. 340'ta Piksodaros'la Ada arasındaki satraplık mücadelesi sırasında yarım bırakılmıştır. [12]



Şekil 2.1-2.3: Halikarnas Mozolesi

3.2.Afyon Kalesi: Afyonkarahisar şehir merkezinde volkanik özellikli, yerden yüksekliği 226 metre olan doğal yükselti bir kaya kütlesi üzerindedir. M.Ö. 1350 yıllarında Hitit imparatoru II. Murşil zamanında Arzava ülkesine seferinde mustahkem mevki olarak kullanılmıştır. Friglerden sonra Lydialılar, Persler, Pergamon Krallığı, Romalılar Bizanslıların eline geçmiştir. Dik bir tepe üzerindeki kaleye, kayaların üstüne oyulmuş merdivenlerle çıkılmaktadır. Bunlar iç ve dış olmak üzere iki bölümden oluşurlar. Kız Kalesi veya Kız Kulesi denilen kalenin iç bölümü muhafızlara ayrılmıştır. Sultan Alaeddin Keykubat burada cami, saray, erzak ambarları, cephanelikler, sekiz su

sarnıcı ve değerli eşyaların saklandığı bir de mahzenler yaptırmıştır. Burası askerî amaçlı olduğundan halkın oturacağı yerler bulunmaz. [13]



Şekil 2.4: Afyon Kalesi

3.3.Çorum Hitit Surları: Çorum İl merkezinin 82 kilometre güneybatısında, üzüm bağlarıyla ünlü Boğazkale ilçesinde yer alan Hattuşa, Milattan önce 2000'de Mısır ve Babil'le birlikte dönemin en büyük devletlerinden Hititler'in başkentiydi. Aşağı Şehir'de "İç Sur" adı verilen sur 7-8 metre yüksekliğinde üç sur bedeninden ve 12-13 metre yüksekliğinde iki kuleden oluşuyor. Bu rekonstrüksiyon çalışmasında 2 bin 400 ton kerpiç toprağı, 100 ton saman ve bin 500 ton su kullanılmış. 400 bin dolara malolan surun inşasında 20-30 kişi çalışmış. Boğazkale halkı yavaş ilerleyen ve sabır isteyen çalışmada 34 kilogram ağırlığında, 45'e 45 boyutundaki tuğlaların yapımında da yardımcı olmuş. Kazı çalışmalarında 64 bin kerpiç tuğla üretilmiş. En önemli özelliğı surların yapımı sırasında çimento gibi ince öğütülmüş malzemenin, yerinde sıkıştırılarak iki kule arasındaki duvarın hem kulelerin hem de iç ve dış duvarların mukavemetini arttırıcı özellik göstermeleri. [14]



Şekil 2.5: Çorum Hitit Surları

3.4.Aspendos Tiyatrosu Antalya (138-164): Tiyatro M.S. 2. yüzyılda Romalı'lar tarafından inşaa edilmiştir. Seyircilerin güçlük çekmeden yerlerine oturabilmesi için dolaşım kolaylığı sağlamak amacıyla giderek yayılan merdivenler yapılmıştır, aşağı bölümde orkestra seviyesinden başlayan merdiven sayısı 20 iken bu sayı yukarıda diazomanın üst başlangıcında 21' dir. Daha sonraki bir tarihte yapıldığı düşünülen 59 kemerli galeri, üst caeva' nın bir ucundan diğer ucuna uzanır. Mimari açıdan bakıldığında diazomanın tonozlu galerisi üst caeva' yı destekleyen bir alt yapıdır. Tiyatronun oturma kapasitesini kesin olarak belirlemek imkansız olsa da 10.000 – 12.000 kişilik oturma kapasitesine sahip olduğu söylenir. [15]



Şekil 2.6: Aspendos Tiyatrosu

3.5.Diyarbakır Malabadi Köprüsü (1147) : Diyarbakır'ın Silvan ilçesi yakınlarındaki Batman Çayı'nı aşan, Artuklar tarafından yapılan köprü dönemine göre üstün özellikler taşır. Köprü farklı uzunluklarda kırık hatlar halindeki üç ana bölümden oluşuyor. Yaklaşık 7 m boyunda ve 150 m (bir uçtan diğerine 220 m) uzunluğundaki yapı, dönemindeki taş köprüler arasında en geniş örneği oluşturan 38,60 metrelik sivri kemerliyle ayırt ediliyor, Yüksekliği alçak su seviyesinden kilit taşına kadar 19 m ulaşan yapı, büyük kemerliyle birlikte beş boşaltma gözü içeriyor. [16]



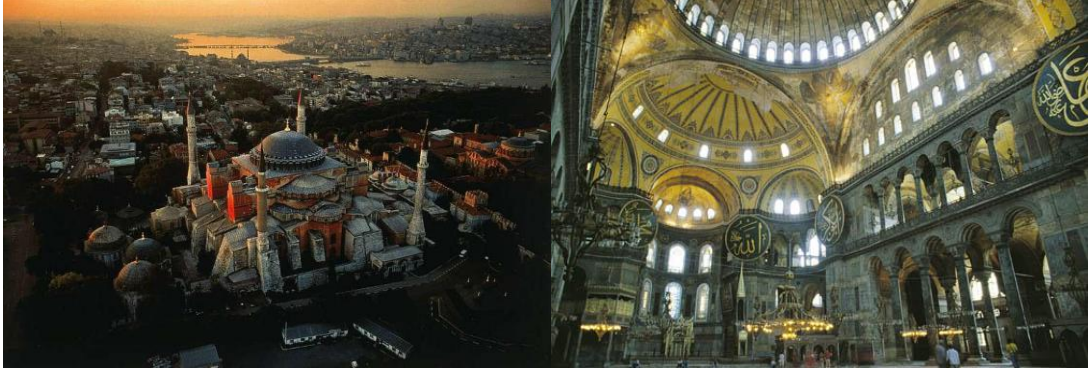
Şekil 3.7: Malabadi Köprüsü

3.6.II. Bayezid Darüşşifası (1484-1488) Edirne: II. Bayezid'in Mimar Hayrettin'e yaptırdığı yapı, Avrupa'da akıl hastalarının yakıldığı devirde, ruhsal hastalıkları olan kişilere müzikle, suyla, kokuyla, tedaviler önererek insanca yaklaşan, yüksek çalışma verimi sağlayan merkezi sistemiyle olduğu kadar dönemine göre çok ileri duran mükemmel havalandırma sistemi ve güçlü akustiği ile çığır açmış benzersiz bir yapıdır.10 kişiden oluşan musiki topluluğunun haftada üç gün verdiği konserler yankılanmadan yapının her tarafından rahatlıkla dinlenebiliyormuş[17].



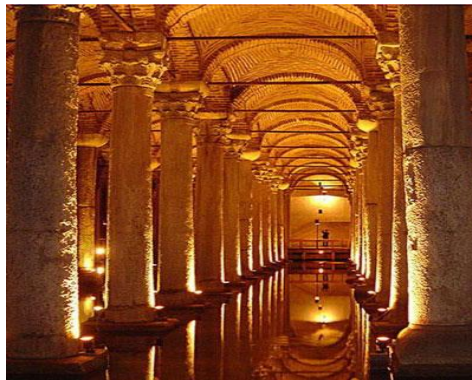
Şekil 3.8: II. Bayezid Darüşşifası

3.7.Ayasofya (532 -537)-İstanbul: Bizans İmparatoru I. Jüstinyen tarafından M.S. 532 - 537 yılları arasında İstanbul'un tarihi yarımadasındaki eski şehir merkezine inşa ettirilmiş bazilika planlı bir patrik katedrali olup, 1453 yılında İstanbul'un Türkler tarafından alınmasıyla Fatih Sultan Mehmet tarafından camiye dönüştürülmüştür ve günümüzde müze olarak hizmet vermektedir. Ayasofya, mimari bakımdan, bazilika planı ile merkezî planı birleştiren, kubbeli bazilika tipinde bir yapı olup kubbe geçişi ve taşıyıcı sistem özellikleriyle mimarlık tarihinde önemli bir dönüm noktası olarak ele alınır [18].



Şekil 3.9-3.10: Ayasofya

3.8.Yerebetan Sarayı (527-565) –İstanbul: Civardaki saraylara su sağlamak için I. Justinyen tarafından yaptırılmış olup, 143 metre uzunluk ve 65 metre genişliğiyle toplam 9.800 metrekarelik bir alanı kapsamaktadır. 28 x 12 sıralı sütunların toplamı 336 adet olup, sütun başlıkları genellikle İyon ve Korent üslupları taşımaktadır. Sarnıç, 4 metre kalınlıkta, pişmiş tuğladan yapılan duvarla çevrelenmiş ve su yalıtımı amacıyla özel bir harçla sıvanmıştır. Zamanında su seviyesi mevsimlere göre değişen sarnıcın, doğu duvarındaki değişik seviyelerdeki borular vasıtasıyla dışarıya su verilmiştir. Su seviyelerinin bıraktığı izler, sütunlarda görülebilir. Sarnıcın su gereksinimi, şehrin 19 km. kuzeyindeki Belgrad Ormanları'ndan imparator Jüstinyen (Justinianus) tarafından yaptırılan su kemerleriyle karşılanmıştır[19].



Şekil 3.11: Yerebatan Sarayı

3.9.Topkapı Sarayı :Ayasofya ile Sarayburnu arasında yükselen saray, 400 seneye yakın Osmanlı padişahlarını ve ailelerini ağırlamış ve imparatorluğun merkezi olmuştur. Kuruluş yıllarında yaklaşık 700.000 m² lik bir alanda yer alan sarayın bugünkü alanı 80.000 m² dir. Bir zamanlar içinde 4.000'e yakın insan yaşamıştır. Osmanlı padişahları zamanla yeni bölümler eklemiştir[20].



Şekil 3.12: Topkapı Sarayı

3.10.Mağlova Su Kemer: Mağlova Kemerı ya da Muallak kemer, Mimar Sinan tarafından 1554-1562 yılları arasında İstanbul'da, Alibey Deresi vadisi üzerinde yapılmış olan su kemeri. Bugün Gaziosmanpaşa ilçesi sınırlarında bulunan Cebeci köyü yakınlarındadır.1563 yılında selden zarar görmüşse de aynı yıl onarılarak eski haline getirilmiştir. Alibeyköy barajının göl suyu yapıtın dörtte birini kaplamaktadır. Kemer İstanbul'a su taşımaya devam etmektedir. Eser dünya su mimarisinin başyapıtlarından biri olarak kabul edilir. 36 metre yüksekliğinde ve 257 metre uzunluğunda olan kemer, iki katlıdır. Kemerin alt katında 8 büyük üst katında 8 küçük gözü bulunmaktadır. Alt katında bulunan gözlerden 4 tanesi diğerlerine nazaran daha büyük yapılmıştır. Genişlikleri 18,4 metredir. Üst katında ki orta 4 gözün genişlikleri ise 13,4 metredir[21].



Şekil 3.13-3.14: Mağlova Su Kemerli

3.11.Süleymaniye Cami: Süleymaniye Cami Klasik Osmanlı Mimarisinin en önemli örneklerinden biridir. Yapımından günümüze dek İstanbul'da yüzü aşkın deprem gerçekleşmesine karşın, caminin duvarlarında en ufak bir çatlak oluşmamıştır. Dört fil ayağı üzerine oturan caminin kubbesi 53 m. yüksekliğinde ve 26,5 m çapındadır. Bu ana kubbe, Ayasofya'da da görüldüğü gibi, iki yarım kubbe ile desteklenmektedir. Kubbe kasnağında 32 pencere bulunmaktadır. Cami avlusunun dört köşesinde birer minare bulunmaktadır. Bu minarelerin camiye bitişik iki tanesi üçer şerefeli ve 76 m. yüksekliğinde, cami avlusunun kuzey köşesinde son cemaat yeri giriş cephesi duvarının köşesinde bulunan diğer iki minare ise ikişer şerefeli ve 56 m. yüksekliğindedir. Cami, içindeki kandil islerini temizleyecek hava akımına uygun inşa edilmiştir. Yani cami içinde, yağ lambalarından çıkan islerin tek bir noktada toplanmasını sağlayan bir hava akımı yaratacak şekilde inşa edilmiştir. Camiden çıkan isler ana giriş kapısının üzerindeki odada toplanmış ve bu isler mürekkep yapımında kullanılmıştır. Zemin problemleri için uygulanan çözümler, bütünsellik, akustik, hava sirkülasyonu ve estetik konularda getirilen çözümlerle döneminin en görkemli yapılarından olmakla beraber günümüzde dahi hayranlık uyandırmaktadır[22].



Şekil 2.15-2.16: Süleymaniye Cami

3.12.Selimiye Cami: Selimiye Cami, yüksekliği 43,25 metre, çapı 31,25 metre olan muazzam kubbesiyle dikkat çeker. Bu büyük kubbe, 6 metre genişliğindeki kemerlerle birbirine bağlanan ve fil ayağı denen dev sütunlar üzerine oturur. İki tanesi kible duvarına bitişik olan fil ayaklarının öteki altı tanesi ikişer ikişer doğu, kuzey ve batı duvarlarının önünde yer alır. Böylece ibadet yerinin içinde tek ve büyük kubbeyle birlikte görkemli bir bütünlük sağlanmıştır. 31,25 metre çapında muazzam kubbenin ağırlığı 2000 ton olup bu ağırlık, payanda kemerler ile karşılanmaktadır. Kubbe üzerindeki kurşunun ağırlığı ise 18 tondur. Bu muazzam eserin kilit taşı ise 5 ton olup, taşın üzerinde beş metrelik altın kaplı alem bulunur. Bir bütün halinde toplanmış olan iç mekân dünya mimarisinde eşi olmayan bir etki ve mana kazanmıştır.[23]



Şekil 2.17: Selimiye Cami

BÖLÜM 4

4.TARİHİ YIĞMA YAPILARDA KULLANILAN MALZEMELER

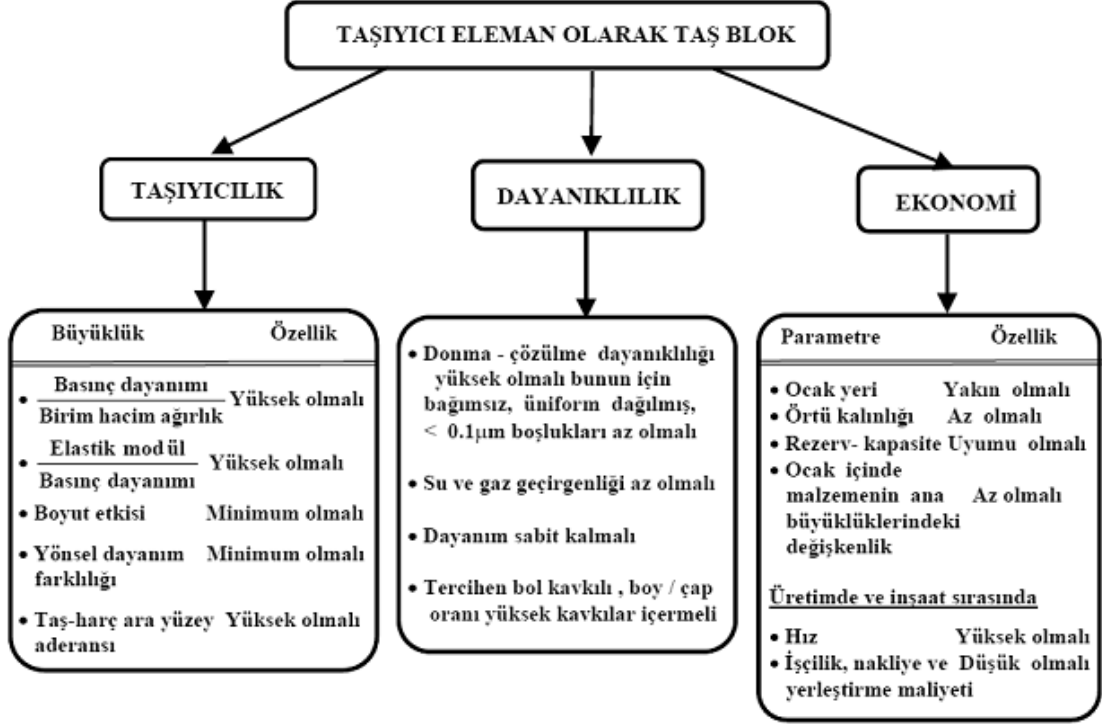
4.1 Taş

Doğal taş, basınca çok iyi çalıştığı halde çekme gerilmelerinde zayıf bir malzemedir. Bu sebeple, tarihi yığma yapılarda taş kullanılırken, özellikle kemer, kubbe, tonoz ve sütunlarda çekme gerilmesi almayacak şekilde kullanılmışlardır. Bununla beraber, yapıda çekme gerilmesi almasa bile, sıcaklık değişimleri, donma çözülme çevrimleri gibi olumsuz çevre şartları sebebiyle oluşan çekme gerilmeleri, taştan yapılmış elemanlarda çatlaklara sebep olabilir. Taş malzemenin mukavemetinin boyutlarını anlamak için teorik olarak bazı bilgiler verilmiştir. Mesela, ortalama sağlamlıkta bir kum taşından 2 km yüksekliğinde bir sütun yapılabilir. Kum taşı bu uzunluktaki bir sütunun zati ağırlığını, ezilmeden taşıyabilir. Yine teorik olarak bir granit sütun da ezilmeden 10 km boyunca inşa edilebilir. Basınç altında bazı taşların deformasyonu, betonla benzer özellikler gösterir. Betonun elastisite modülü $E = (14\sim30) \times 10^3$ MPa iken, granitin elastisite modülü $E = (15\sim70) \times 10^3$ MPa mertebesindedir. Elastisite modülünün bilinmesi, taşıyıcı elemanın yüklenmesi sonucu yaptığı sehim hesabı için gereklidir(Tablo 4.1) (Dabanlı Ö. , 2008).

Tablo 4.1: Doğal Yapı Taşlarının Ortalama Fiziksel Özellikleri

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

Uzun süreli mukavemet ve dayanıklılığın (durabilite) arandığı abidevi yapılarda kullanılacak taşların taşınması gereken bazı özellikler aşağıdaki şekilde toplu halde sunulmuştur (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: Taşlarda Aranılan Özellikler(Dabanlı Ö. , 2008)

Bu şekilden aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Basınç mukavemetinin birim hacim ağırlığına oranı mümkün mertebe yüksek olmalıdır. Ayrıca taş, yükler altında şekil değiştirme kapasitesini ifade eden sünek davranış da göstermelidir. Sünekliği karakterize etmek açısından taşın temel büyüklüklerinden olan Elastisite Modülü “E” ve basınç mukavemeti “fb” oranı (E/fb) mümkün olduğu kadar yüksek olmalıdır. Gevrek taşlarda bu oran yaklaşık 100-200 aralığında değişir.
- Taşın içyapısı donma-çözülme, sıcaklık farklılıkları, ıslanma-kuruma vb. dış etkilere minimum düzeyde etkilenmelidir.
- Taşın dayanıklılığını (fiziki, kimyevi ve mekanik büyüklüklerin zaman içindeki değişimini) kontrol eden en önemli özelliklerden biri de taşın “boşluklu” fakat

“geçirimsiz” bir içyapıya sahip olmasıdır. Üniform dağılmış, birbirinden bağımsız ve 0.1µm den daha büyük çaplı boşluklara sahip bir taşta, dış etkilerden dolayı iç yapıda oluşacak üniform gerilme yayılımı, belirli kesitlerdeki gerilme yoğunluklarını ve bu nedenle oluşacak mikro çatlakları minimize ederek yapının dayanıklılığı üzerinde olumlu etki yapar.

- Mukavemet ve dayanıklılık üzerinde etkin bir diğer parametre de taşın mikro yapısı içinde bütünleşmiş, lif gibi çalışan boy/çap oranı ve elastisite modülü yüksek kavkuların varlığıdır.

Söz konusu kavkular yapıya "süneklik" ve dış etkilere “dayanıklılık” sağlamaktadır.

- Abidevi yapılarda kullanılan yapı taşlarında aranan önemli özelliklerden biri de ekonomiklidir. Ocak işletmeciliği açısından bakıldığında örtü tabakası kalınlığı az ve rezerv kapasite büyüklükleri uyumlu olmalıdır. Ocaktan çıkarma işlemi, inşaat alanına nakliyenin kolaylığı, işçilik ücretleri, hız gibi faktörler üzerinde en etkin faktör ise taşın birim ağırlığıdır.

Hafif, ancak sağlam ve dayanıklılığı yüksek taşlar tarih boyunca anıtsal yapıların inşaatında her zaman tercih edilmiştir. Taşlar arasında küfeki yığma yapılar açısından farklı bir yere sahiptir. Küfeki, yüksek boşluk oranına sahip bir kireç taşıdır. Yüksek boşluk oranına sahip olması küfekinin sünek davranış göstermesini ve hafif olmasını sağlar. Basınç mukavemetinin çekme mukavemetine oranı $f_b/f_t = 11-12$ civarında tespit edilmiş olup bu değer küfekinin enerji yutma kapasitesi yüksek, sünek bir malzeme olduğunu gösterir. Elastisite modülünün basınç mukavemetine oranı olan $E/f_b=720$ olarak tespit edilmiştir ki bu da günümüzde üretilen betonlarla iyi bir uyumu ifade eder (Tablo 4.1 ve 4.2) (Dabanlı Ö. , 2008).

Tablo 4.2: Küfekinin Fiziki Özellikleri [26]

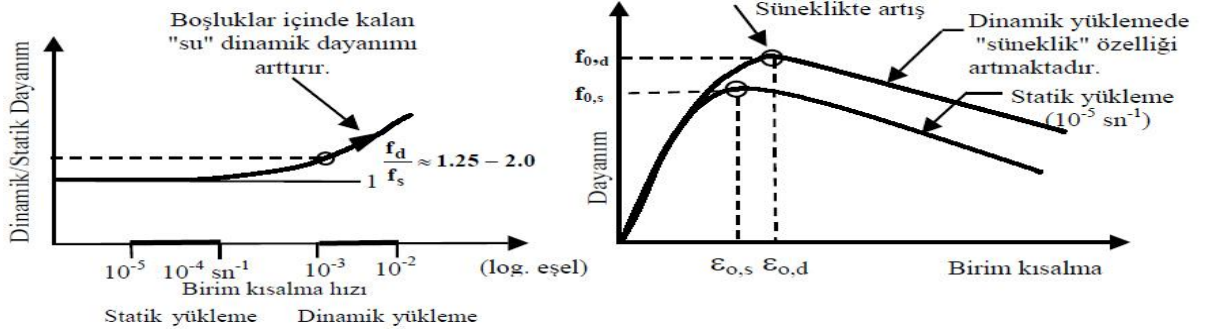
Birim Ağırlık g/cm ³	Boşluk Oranı%	Ağırlıkça Su Emme%	Hacimce Su Emme%	Kılcallık (3 aylık numune)	Donma-Çözülme Ortalama Ağırlık Kaybı%
2.19	12.6	5.70	11.08	4.93x10 ⁻⁶	0.28

Kimyevi bileşimi % 54.37 CaO, % 0.22 Fe₂O₃, % 0.39MgO, % 0.34SiO₂, % 0.11 H₂O, % 43.44 CO₂+H₂O şeklinde olan küfekiğin tek eksenli deneyle elde edilmiş olan mekanik özellikleri aşağıda verilmiştir (Tablo 3.3).

Tablo 4.3: Küfekiğin Mekanik (Tek Eksenli) Özellikleri (1-30 günlük)

Basınç fb MPa	Çekme fç MPa	Elastisite Modülü MPa	Yüzey Sertliği R	Ultrasonic Hız	fb / fç	E / fb
33.2–45.5	3.6	24000	47.7–50.1	3.88–5.01	11–12	720

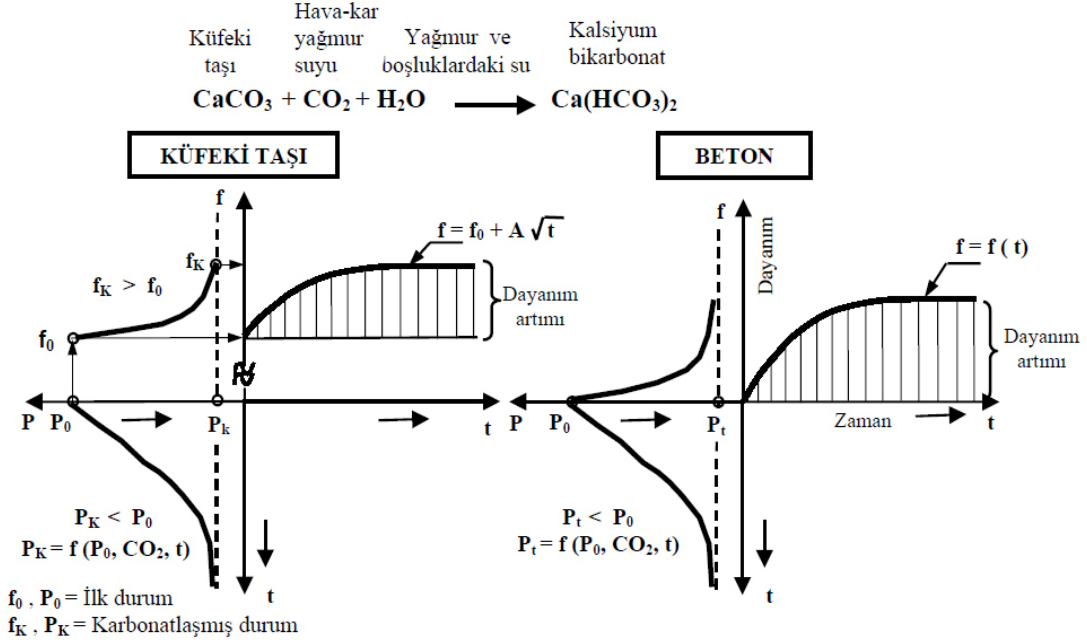
Küfekiğin yapısında su mevcuttur. Bu suyun bir bölümü zamanla buharlaşırken bir bölümü de dış çeperlerden içeriye doğru zamanla gelişen kalınlıkta karbonatlaşmanın sonucunda oluşan katmanın içinde hapsolmaktadır. Bünyede suyun varlığı dinamik yükler altında yapının taşıma gücüne önemli bir ilave katkı getirmektedir. Küfekiğin içinde hapsolan su, mukavemet yanında sünekliği de olumlu etkilemektedir(Dabanlı Ö. , 2008).



Şekil 4.2: Küfekiğin Statik ve Dinamik Davranışı (Dabanlı Ö. , 2008)

Bakırköy, Sefaköy, Halkalı, Hadımköy, Sazlı Bosna İstanbul civarındaki küfekiğin çıkarıldığı yerlerin başında gelmektedir. Ocaktan çıkarıldığı andaki mekanik ve fiziki özellikleri ile 30 gün sonraki özellikleri arasında farklar görünür. Küfeki, ocaktan çıktığı andan itibaren hızla karbonatlaşır ve boşluk oranı azalırken mukavemeti ve birim hacim ağırlığı da artmaya başlar. Betonda karbonatlaşma olumsuz etkilere yol

açarken, küfeki de karbonatlaşma etkisiyle mukavemet artışı gözlenmektedir (Kaya, S.M., 1999).

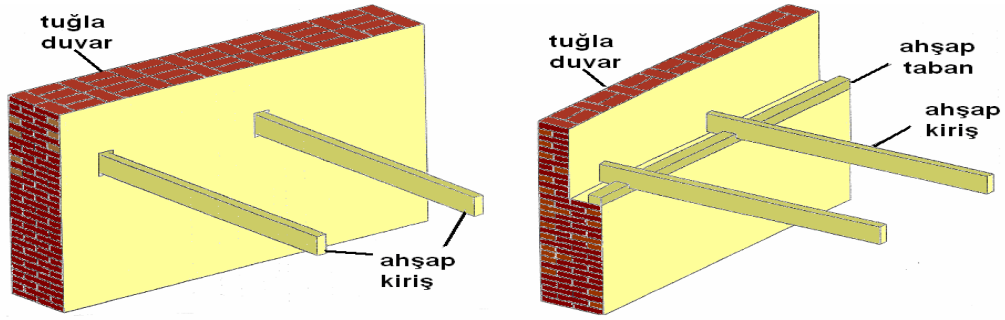


Şekil 4.3: Küfeki ve Beton - Karbonatlaşmayla Mukavemet Değişimi

4.2 Ahşap

Genellikle devlet eliyle gerçekleştirilen ve özellikle kamu hizmetine sunulmuş, cami, hamam, köprü, medrese vb. yapılar tabiatı güçlü ve sağlam olan taş malzeme ile yapılmıştır. Bu devletin devamlılığı, ferdin ise geçiciliği ve faniliğine ilişkin bir yaklaşımın eseri de sayılabilir. Ahşap malzeme ise daha çok konut yapılarında kullanılmış olmakla birlikte bazen de döşeme teşkilinde karşımıza çıkmaktadır. Ahşap, hem çekmeye, hem basınca çalışabildiği için eğilme elemanı olarak büyük açıklıkların geçilmesinde kullanılmıştır. Tarihi yığma yapılarda da ahşap, bu özelliğinden faydalanmak üzere döşeme taşıyıcısı vazifesini görmüştür. Ayrıca duvarlarda hatıl elemanı olarak kullanılmış, saçak ve cumba gibi mimari detaylarda da zaman zaman tercih edilmiştir (Dabanlı Ö., 2008).

Ahşap eğilme, çekme ve basınç gerilmelerine karşı dayanıklı hafif bir malzeme olduğu için çok eski dönemlerden bu yana konut yapımında kullanılmıştır. Tarihi yığma yapılarda; döşeme ve tavan taşıyıcı sistemi olarak, duvar içinde hatıl olarak, açıklık gergisi olarak, çıkmalı yapılarda çıkma taşıyıcısı olarak kullanılmıştır. Açıklıkların geçilmesinde kullanılan ve kat döşemelerini taşıyan ahşap kirişler, kat döşemesi hizasında taşıyıcı duvarların kalınlığı azaltılarak oluşturulan yüzeye oturtulur ya da taşıyıcı duvarlarda açılan boşluklar içine yerleştirilir (Şekil 4.4) (Kara H.G., 2009).



Şekil 4.4: Döşeme altı ahşap kirişler (Kara H.G., 2009).

4.3 Harçlar

4.3.1 Kireç Harcı ve Sıvaları

Kireç kullanılarak elde edilen sıva ve harçlar, Eski Yunan, Roma ve onu izleyen dönemlerden, çimentonun bulunmasına kadar geçen sürede, yapıların inşalarında kullanılmıştır. Bağlayıcı madde olarak kireç, dolgu malzemesi olarak da agregaların karıştırılmasıyla kireç harcı ve sıvaları elde edilir. Kireç harçlarının hazırlanmasında kirecin veya harcın özelliklerini geliştirmek amacıyla kirece veya harca organik ve inorganik maddelerin katıldığı da bilinmektedir (Mahrebel H.A.2006).

Kirecin hammaddesi, kalsiyum karbonat (CaCO_3) minerallerinden oluşan kireç taşlarıdır. Bu taşlar ısı ile kalsine olup karbondioksit gazının (CO_2) yapıdan ayrılması sonucunda kalsiyum okside (CaO) dönüşürler. Elde edilen bu ürüne sönmemiş kireç adı

verilir. Kalsinasyon sonucunda elde edilen sönmemiş kireç (CaO), su veya havada bulunan nem ile reaksiyona girerek kalsiyum hidroksite (Ca(OH)₂) dönüşmektedir. Bu ürün, sönmüş kireç olarak adlandırılmaktadır. Kirecin sönmesi için havada %15 oranında nisbi nemin olması yeterlidir.

Kirecin kalitesini etkileyen birçok etken bulunmaktadır. Kireç taşlarının yumru büyüklüğü, gözenekliliği, kalsiyum karbonat kristallerinin büyüklüğü sönmemiş kirecin reaktifliğine etki eden en temel etkenlerdir. Bu etkenlerin yanı sıra, su/kireç oranları, sönmemiş kirecin saflığı, parçacık büyüklüğü, karıştırma, söndürmede kullanılan suyun saflığıda kirecin özelliğini etkilemektedir.

Agregalar, kireç harcı ve sıvalarının yapımında dolgu malzemesi olarak kullanılırlar, kireç ile reaksiyona girmeyen (etkisiz) ve reaksiyona giren (puzolan) agregalar olarak sınıflandırılabilirler. Etkisiz agregalar, taş ocağı, dere ve denizlerden elde edilen agregalardır. Puzolanik agregalar kireç ile reaksiyona girerek harç ve sıvaların nemli ortamlarda, hatta su altında da sertleşmesini sağlayan amorf silikatlar ve alüminatlardan oluşan agregalardır. Puzolanlar doğal ve yapay olarak iki grupta incelenebilir. Doğal puzolanlar (tüf, tras, opal vb.) genelde volkanik küllerden oluşmaktadır. Tuğla, kiremit vb. pişirilmiş malzemeler ise yapay puzolan olarak birçok tarihi yapının harç ve sıvalarında kullanılmıştır(Mahrebel H.A.2006).

Kireç harçlarının hazırlanmasında kirecin veya harcın fiziksel özelliklerini geliştirmek, karbonatlaşmayı hızlandırmak amacıyla kirece veya harca organik ve inorganik maddelerin katıldığı bilinmektedir. Bunlardan bazıları, kan, yumurta, peynir, gübre, arap zıncı, hayvan tutkalı, bitki suları, kazein gibi malzemelerdir. Katkı malzemelerinden arap zıncı, hayvan tutkalı ve incirin sütlü suyu yapışkan olarak kullanılmıştır. Çavdar hamuru, domuz yağı, kesik süt, kan ve yumurta beyazı kirecin daha çabuk sertleşmesini sağlamaktadır. Arpa, idrar ve hayvan tüyleri dayanıklılığı arttırmaktadır. Şeker, suyun donma-erime periyotlarında meydana getirdiği bozulmaları yavaşlatmaktadır. Balmumu, harçtaki büzülme önlemektedir. Yumurta akı, hayvan

tutkalı, şeker, süt, keten tohumu gibi yağlar ise kirecin plastik özelliğini arttırıp kırılabilirliği azaltarak, harcın çalışabilirliğini arttırmaktadırlar. Kireç harç ve sıvaların sertleşmesi, kirecin havada bulunan karbondioksit gazı ile karbonatlaşması sonucu sonucu gerçekleşmektedir. Karbonatlaşma, gaz-sıvı-katı reaksiyonu ile açıklanabilir Moorehead (1986). Gaz halindeki karbondioksit (CO_2) kirecin yüzeyindeki veya gözeneklerindeki yoğunlaşmış su (H_2O) içinde çözünür. Bu çözünmede, hidrojen iyonu (H^+), bikarbonat (HCO_3^-) ve karbonat (CO_3^{2-}) iyonları oluşarak su asidik hale gelir. Oluşan asidik suda kireç ($Ca(OH)_2$) çözünerek kalsiyum (Ca^{+2}) iyonları oluşur. Ca^{+2} iyonları ile CO_3^{2-} iyonları birleşerek kalsiyumkarbonatı ($CaCO_3$) oluşturur.

Karbonatlaşma kirecin dış yüzeyinden iç yüzeyine doğru olmaktadır. Bu nedenle, kireç harçlarının ve sıvalarının kalınlığı, kireç/agrega oranları, agrega dağılımları, karıştırma ve bunların sonucunda oluşan gözenekli yapı karbonatlaşmaya etki etmektedir.

4.3.2 Horasan Harcı ve Sıvaları

Topraktan elde edilen tuğlanın ve kerpicingin, yapı malzemesi olarak kullanılması harcın doğmasına neden olmuştur. Tarihte ilk olarak çamur kullanılmıştır. Çamurun ardından, Romalılarla birlikte, kireç harcı kullanılmaya başlanmıştır. Kireç harcından sonra, kum kireç karışımının içine pişmiş kil veya puzolan denilen volkanik tüfün karıştırılması ile su karşısında sertleşen bir bağlayıcı elde edilmiştir. Tarihi yığma-kargir yapılarda özellikle, Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı mimarisinde ise horasan harcı adı verilen bağlayıcı kullanılmıştır.

Kireç harçları hidrolik ve hidrolik olmayanlar olarak iki grupta tanımlanmaktadır. Hidrolik olmayanlar, kireç ile etkisiz agregaların karışımıyla elde edilmektedir. Bu harçlar; kirecin, havanın karbondioksiti ile kalsiyum karbonata dönüşmesi sonucu sertleşmektedir. Hidrolik harçlar ise hidrolik kireç kullanılarak veya saf kireç ile puzolanların karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Hidrolik kireç kullanılarak

elde edilen harçlar, kirecin kalsiyum karbonata dönüşmesi ve içinde bulundurduğu kalsiyum alüminat silikatların su ile kalsiyum silikat hidrat ve kalsiyumalüminat hidratların oluşturması sonucu sertleşmektedir. Puzolan kullanılarak elde edilen hidrolik harçlarda ise kireç, puzolanlar ile reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidrat, kalsiyum alüminat hidrat vb. ürünleri oluşturur Lea (1940). Hidrolik harçların mukavemetleri, oluşan bu ürünlerden dolayı hidrolik olmayanlardan daha büyüktür.

Kirecin puzolanlarla olan reaksiyonu için ortamda suyun bulunması gerekmektedir. Bu nedenle, hidrolik harçlar su altında da mukavemet kazanabilmektedir. Yüzey alanı büyük puzolan kullanımı Shi ve Day (2001), ortam sıcaklığının yüksek olması Shi ve Day (1993), karışıma alçı eklenmesi, bu harçların sertleşme sürecini hızlandırarak daha büyük basınç dayanımına sahip olmalarını sağlamaktadır. Tuğla, kiremit ve benzeri malzemeler, kireç ile karıştırılarak birçok tarihi yapının harç ve sıva malzemesinin hazırlanmasında kullanılmıştır. Bu harç ve sıvalar hidrolik olup ülkemizde, horasan harcı ve sıvaları olarak bilinmektedir. Horasan, kırılmış öğütülmüş kiremit ve tuğla tozu benzeri pişmiş kildir. Horasan harcı ise, horasan ve kireç (hava kireci) ile üretilen harca denir. Horasan deyimi, İran'ın doğusundaki Horasan bölgesinden gelmektedir. Bu harçlar Roma döneminde 'Cocciopesto' Massazza ve Pezzuoli (1981), Hindistan'da 'Surkhi' Spence (1974), Arap ülkelerinde 'Homra', Yunanistan'da 'Korassa' adını almaktadır. Günümüzde Suudi Arabistan'da betona horasan denilmektedir (Mahrebel H.A.2006).

Horasan'ın dayanımı, kirecin kalitesine ve tuğla tozunun inceliğine bağlıdır. Horasan harcının dayanımının yüksek olması, harca katılan ince çakıl takviyesi ile orantılıdır. Bunun nedeni; harca katılan kirecin zamanla sertleşmesi olayıdır. Ayrıca horasan harcının içine rötreyi engellemesi için saman da katılabilir Horasan çok geç sertleşen bir malzemedir. Dayanımını çok uzun zamanda kazanır. Malzemenin bu özelliğini bilen eski mimarlar yapının temelini bitirdikten sonra üst yapıya başlamaları için, uzun bir süre yapıma ara verirlerdi. Horasanın sertleşme sürecini azaltmak ve dayanımını kısa sürede kazanabilmesi için çeşitli katkı maddeleri kullanılabilir.

Hidrolik özelliklerinden dolayı bu harç ve sıvalar Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemi sarnıç, su kuyusu, su kemerleri ve hamam yapılarında kullanılmıştır. Horasan harçlarının özellikleri bir çok tarihi yapıdan alınan örneklerde incelenmiştir. Bunlardan Rodos, Venedik ve Girit'teki bazı Bizans ve daha geç dönem yapıları ile İstanbul'da Ayasofya'da kullanılan horasan harçlarının, kireç / tuğla tozu oranlarının 1:4 ile 1:2 arasında değiştiği saptanmıştır. Agregata olarak kullanılan tuğlaların yoğunlukları, kireç taşı, granit, bazalt vb. agregalardan daha düşüktür. Bu nedenle, horasan harçları daha hafif ve daha yüksek çekme dayanımına sahiptir. Ayasofya'nın kubbesinde kullanılan horasan harçları bu durumu örneklemektedir. Horasan harçlarının yanı sıra kubbede kullanılan tuğlaların da çok gözenekli ve düşük yoğunlukta olması, kubbenin depreme daha dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Bunun yanında harç kalınlığı ince olan yapılarda üst yapıdaki taşıyıcı sistem dayanımı daha yüksektir. Diğer yapılara oranla ince horasan harçlı yapılar, daha az hasar görmüşlerdir.

Ülkemizde horasan harçları ve sıvaları üzerine yapılmış çalışmalar sınırlı sayıda. Konu ile ilgili ilk çalışma, Süheyl Akman ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, Bizans devrinden kalma bir sarnıçta kullanılan horasan harçlarının basınç dayanım değerleri belirlenmiş ve onarım amaçlı horasan harçları üretilerek bunların basınç dayanım özellikleri incelenmiştir. Bu çalışma, aynı zamanda horasan harçlarıyla ilgili eski yazılı kaynakları içermesi bakımından da önemli bir çalışmadır. Onarım amaçlı horasan harcı hazırlamaya yönelik çalışmaların kısa süreli olması ve kireç ile karıştırılan tuğlaların doğru seçilememesinden dolayı amacına ulaştığını söylemek güçtür.

Osmanlı döneminde horasan harcı hazırlamada kullanılacak tuğlaların yeni ve iyi pişirilmiş olması koşulu şartnamelerde belirtilmiştir. Buradaki iyi pişirilme, tuğlaların hammaddesi olan killerin tamamının amorf hale dönüşümünün sağlanmasının gerekliliği ile açıklanabilir. En fazla amorf malzemenin elde edildiği sıcaklığın 550-600 OC da gerçekleştiği bilinmektedir. Yeni pişirilmiş olması ise tuğlanın su ile temas

etmeden kullanılarak reaktifliğini yitirmemesinin gerekliliği ile açıklanabilir, çünkü su ile aktif hale gelen amorf silikatlar, silisik asit üreterek tuğlada olması muhtemel karbonatlarla reaksiyona girerek reaktifliğini yitirmektedir. Bu koşulların eski şartnamelerde yer alması, horasan harcı ve sıvası hazırlanması ile ilgili oluşan yılların deneyimini ve birikimini ifade etmektedir. Bu birikim, çimentonun yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlanması ile birlikte yok olmuştur (Mahrebel H.A.2006).

Horasan harcı ve sıvası hazırlamada kullanılacak modern veya geleneksel yöntemlerle üretilen tuğlaların puzolanik olup olmadıklarının kontrol edilmesi, harç ve sıva hazırlamada kullanılacak tuğlaların puzolanik özelliğe sahip olması gerekmektedir. Bu özellik, harç ve sıvaların hidrolik olmasını sağlayan en temel özelliktir. Ülkemizde yürütülen koruma çalışmalarında bu konu göz ardı edilmekte, günümüzde üretilen modern tuğla veya harman tuğlalarının horasan harcı ve sıvası yapımı için uygun olduğu sanılmaktadır.

Horasan harcıyla ilgili yapılan araştırmalarda aynı amaçlı; fakat değişik adlarla anılan karışımlar saptanmıştır. Bunlar,

1. Geleneksel Horasan Harcı :

- a) Dinlendirilmiş kireç + Yumurta akı + Horasan pirinci + Su
- b) 1 Kireç Kaymağı + 1 Yıkanmış kavrulmuş kum + ½ Alçı + Su
- c) 2 Kireç + 1 Horasan + Bir miktar dişli kum + Bir miktar meşe külü + Su

2. Kum Horasan Harcı :

- a) Dövülmüş kireç + Yumurta akı + Kum + Horasan pirinci + Su olup, karma süresi uzundur.

3. Lökün :

- a) Dövme Kireç + Üç ayda suda çürütülmüş pamuk + Su
- b) Dövme kireç + Zeytinyağı + Keten elyafı + Su
- c) Dövme kireç + Kızgın zeytinyağı + Koyun yünü elyafı + Su

4. Horasan Sıvası :

- a) Yumurta akı + Alçı + Tuz + Kireç
b) 2 Horasan + ½ Perdah kumu + ½ Beyaz çimento + ½ Kireç şerbeti (öneri)
olarak sınıflandırılmıştır (Mahrebel H.A.2006).

4.4 Demir

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

4.4.1 Kenet demiri

Tarihi yapılarda yer alan kenetler taşları taşa bağlamak, taşları kaplama için kullanılan malzemeye bağlamak veya yapı içerisinde yer alan ahşap elemanları taşa bağlamak amacıyla kullanılmıştır. Kenet yapımında hammadde olarak tunç, bakır veya demir kullanılmıştır. Genel olarak U biçiminde yapılmaktadır. Kenet yapımında kullanılan demir çubuk tek defada dövülerek üretildiği gibi, uzun şerit haline getirildikten sonra katlanarak U biçimi verilmesiyle de yapılabilir. Bazı tarihi yapılarda kıvrık uçları aşağıya doğru genişleyen türde de kenetlere rastlamak mümkündür(Şekil 4.5).



Şekil 4.5: Kenet demiri (Kara H.G., 2009)

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

Kenet kullanılarak yapılan örgü sistemlerinde çekme gerilmelerinin normal kâgir sistemlere oranla daha iyi karşılanmakta olduğu belirtilebilir. Moloz taş örgü sistemlerinde birbirine kenetlerle tutturulmuş taş blokların arası moloz taş, harç veya taş karışımı ile doldurulmakta olduğundan duvarın yapımı sırasında taş blokların arası malzemelerle dolduruldukça ve duvar yükseldikçe taş bloklarda cidar basıncı oluşmakta ve bu basınç nedeniyle oluşan bloklar arası açılma kenet demiri ile giderilmektedir. Yanaşık derzli örgü sistemlerinde duvar elemanları arasında kullanılan harç yeteri kadar bağlayıcı olmadığından elemanlar arasında açılmayı önlemek için kenet kullanılmıştır. Duvar içine konulan harcın prizini alması uzun zaman aldığından duvar yükseldikçe açılmaların önlenmesi için bazı tarihi yapılarda ara malzeme tabaka tabaka dökülmek suretiyle konulmuştur.

Duvar örgülerinde kullanılan kenetler duvar elemanlarına yerleştirildikten sonra kalan boşluklar kurşunla doldurularak kenetler elemanlara sabitlenir. Kenedin sabitlenmesi için kullanılan kurşun miktarı ve kenetlerin hangi sayıda ve yoğunlukta kullanılacağı kenetlerin çapları ve boyutları yapıdan yapıya değişiklik arz etmektedir. Bazı tarihi yapılarda ahşap elemanların diğer yığma yapı elemanlarına bağlanmasında da kenet kullanılmıştır. Kenet tipi olarak U biçimli kenet kullanılmakla birlikte bu kenedin bir ucu sivriltilerek ahşabın içine girmesi kolaylaştırılmıştır. Ahşap kirişlerin yığma konstrüksiyona bağlanmasında kenetler kullanılarak kirişlerin duvardan sıyrılması önlenmeye çalışılmıştır.

4.4.2 Zıvana demiri

Duvarlarda üst üste gelen taşları birbirine bağlamak için kullanılan pimlere zıvana demiri denir. Zıvana demirleri alt üst taşlar arasında çekme elemanı görevini yapmaktadır. Sıyrılmadan yerinde kalabilmelidir (Kara H.G., 2009).

Taşlardaki oyuklar zıvana demiri konulduktan sonra kurşunla doldurulmaktadır. Zıvanaların biçimleri değişiklik göstermemekle birlikte kullanım yerlerinde ve boyutlarında farklılıklar bulunmaktadır. Zıvanalar özellikle yatay etkilerin olduğu yerlerde kullanılmıştır.

Zıvanalar uçları şişkin ortası ince olabildiği gibi keskin köşeli prizmatik de olabilmektedir. Zıvanalar sütun ve başlıkların bağlanmasında, kemerlerin taşları arasında, minarelerde ve basamak bloklarını bağlamakta kullanılmıştır. Zıvanalar genel olarak düşey bağlantıyı sağlamak amacıyla yapılmıştır, ancak hem yatay hem de düşey bağlantıyı sağlamak için iki biçimde kullanılabilir.

4.4.3 Taşıyıcı unsur olarak demir

Tarihi yığma yapılarda taşıyıcı unsur olarak demir; döşeme sisteminin içerisindeki çelik kirişler olarak, çıkmalı yapılarda konsol taşıyıcısı olarak ve gergi sistemlerinde kullanılmıştır (Kara H.G., 2009).

BÖLÜM 5

5. YIĞMA YAPI TANIMI VE TARİHİ YIĞMA YAPILARIN TAŞIYICI SİSTEMLERİ

5.1 Yığma Yapı Sistemleri

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

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

5.2 Yığma Yapı Türleri

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

5.2.1 Donatısız yığma yapılar

Taş, tuğla, kerpiç gibi malzemelerin, bağlayıcı harç kullanılarak üst üste örülmesiyle oluşturulan yapılardır. Donatı kullanılmadığı için, malzeme özellikleri ve deprem davranışları bakımından diğer yığma yapı çeşitlerine göre daha az dayanımlıdır. Donatısız yığma yapılar yüksek bir rijiditeye sahiptirler ve deprem etkisiyle gevrek bir davranış gösterebilirler (Kara H.G., 2009).

4.2.2 Çerçeve sistemli yığma yapılar

Donatısız yığma yapıların düşeyde betonarme kolonlar, yatayda betonarme kirişlerle desteklenmesi sonucu oluşturulan yığma yapı türüdür. Betonarme düşey hatıllar yük taşıyıcı elemanlar değildir. Yapı köşelerinde ve birleşen duvarların kesişme noktalarına yerleştirilmelidir. Ayrıca kapı ve pencere gibi açıklıkların her iki tarafına ve büyük açıklıklarda duvarlara belli aralıklar ile yerleştirilmelidir.

5.2.3 Donatılı yığma yapılar

Donatılı yığma yapılar duvar içerisinde yatay olarak yerleştirilen donatıların düşey hatıllar ve yatay hatıllara bağlanması, boşluklu yığma elemanda boşluğun içerisinde düşey donatı ve yatay sıralar arasında yatay donatı kullanılması ya da çift sıralı örülen duvarlar arasında boşluk bırakılarak yatay ve düşey donatılar konulması ardından boşluğun harçla doldurulması sonucu oluşturulan yığma yapı türüdür.

4.3 Yığma Yapı Sistemlerinin Tasarım İlkeleri

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

- Yapı planları mümkün olduğunca simetrik olmalıdır. Simetrik plana sahip olmayan yapılarda yeterli sayıda dilatasyon bırakılarak yapı simetrik parçalara ayrılabilir.
- Yapının rijitlik ve kütle merkezinin mümkün olduğunca çakışması gerekmektedir. Taşıyıcı duvarların her iki doğrultuda düzenlenmesi gerekmektedir. Taşıyıcı elemanların planda düzgün dağılımı ile yapıda ilave yüklerin oluşması engellenebilir.

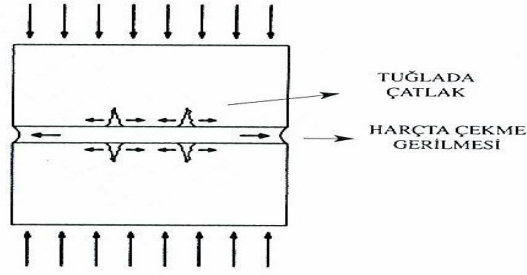
- Taşıyıcı elemanların düşeyde üst üste gelmesi, rijitliğin yapı yüksekliği boyunca da devam etmesi gerekmektedir. Düşeyde de yapı rijitliğinde ani değişimler meydana gelmemelidir(Kara H.G., 2009).
- Karma yapı sistemlerinden kaçınılmalıdır.
- Düşey taşıyıcı duvarlar ile döşemeler birbirine iyi bağlanmalı, döşeme rijit diyafram özelliği gösterebilmelidir.
- Mesnetlenmemiş duvar boyu yürürlükteki sınır değerleri aşmamalıdır. Herhangi bir taşıyıcı duvar, planda belli aralıklarla düzenlenen kendisine dik olarak saplanan taşıyıcı duvar ve bölme duvarları ile desteklenmelidir.
- Duvar birleşim ve kesişim bölgelerindeki bağlantının yeterli derecede olması gerekmektedir.
- Duvar içinde bırakılan pencere veya kapı boşluklarının sınır değerleri aşmaması gerekmektedir.
- Duvar birleşim ve kesişimleri de düşey hatların ve duvar içerisinde belli aralıklarla yatay hatların kullanılması olumlu etki oluşturmaktadır.
- Yapı elemanlarının yükleri taşıyabilecek yeterlilikte boyutlandırılması gerekmektedir.

5.4 Yığma Yapı Davranışı

Yığma yapılar diğer yapı sistemlerine göre karmaşık bir yapıya sahiptir. Yığma bir yapının davranışında yapıyı oluşturan malzemelerin yanı sıra bağlayıcı harcın da mekanik ve kimyasal özellikleri belirleyici olmaktadır. Kullanılan her bir yapı malzemesinin davranışı farklı olduğundan yığma yapılar hakkında genel bir kaniya varmak oldukça zordur. Yığma yapının bir bütün olarak davranmasında taşıyıcı duvarları oluşturan tüm elemanlar, döşeme sistemleri ve bu elemanların birleşimleri önemli bir rol oynamaktadır.

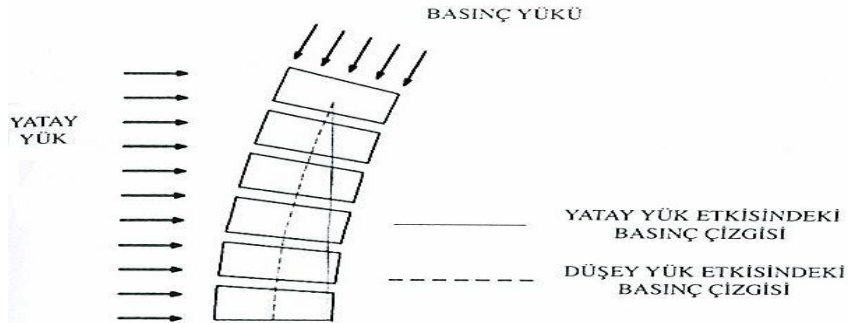
Yığma yapılarda yükler, duvarlar boyunca temele iletilirler. Çatı, döşeme ve duvar yükleri düşey yükler olup çizgisel etkiyen yüklerdir. Bu yükler etkisiyle duvar kesitlerinde (σ) basınç gerilmeleri oluşur. Normal hallerde bu gerilmelerin duvar basınç

emniyet gerilmelerini (σ_{em}) geçmemesi gerekir. Duvar kalınlıkları bu esasa göre belirlenir. Ayrıca bu duvar kalınlıklarına göre duvar kesitlerinde deprem kuvvetleri etkisi ile oluşacak kayma gerilmeleri (τ)'nin duvar malzemesi kayma emniyet gerilmesi (τ_{em})'den küçük olması gerekir. Şekil 5.1'de yığma yapıda basınç yükleri altında kırılma mekanizması görülmektedir (Kara H.G., 2009).



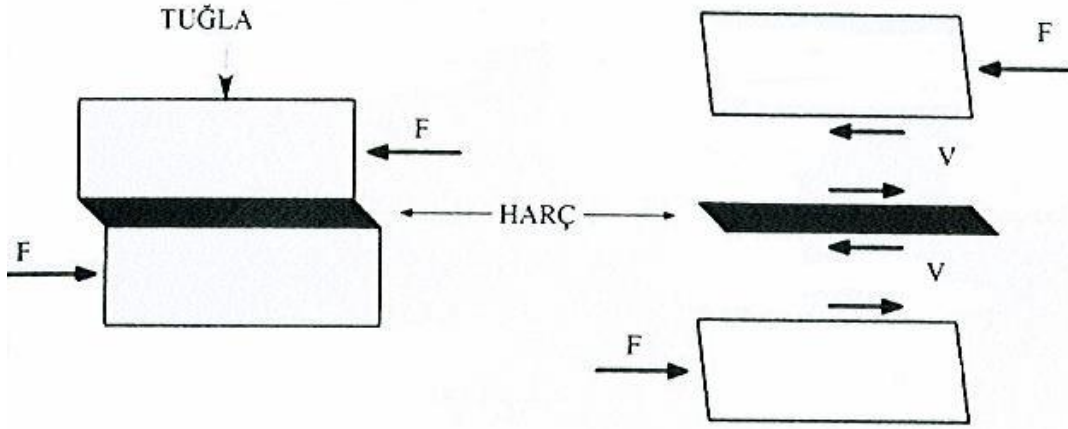
Şekil 5.1: Basınç yükleri altında kırılma mekanizması

Betonarme yapıların deprem yükleri altında davranışları büyük ölçüde bilinmekle beraber yığma yapıların depremdeki davranışları tam olarak bilinmemektedir. Yığma yapılar, betonarme yapılara göre daha az sünektirler. Takviyeli harçlı, donatılı yığma yapılar betonarme yapılar kadar sünek davranış gösterememektedirler. Yığma yapılarda düşey yükler döşemelerden taşıyıcı duvarlara, duvarlardan da temele aktarılır. Deprem hareketi ile oluşan atalet kuvveti yapıyı etkiler. Yatay atalet kuvveti, rijit diyafram gibi davranan döşemelerden duvarlara aktarılır. Duvarlarda kesme ve eğilme tesiri yaratır. Şekil 5.2'da yığma yapının yatay yükler altında davranışı görülmektedir(Kara H.G., 2009).



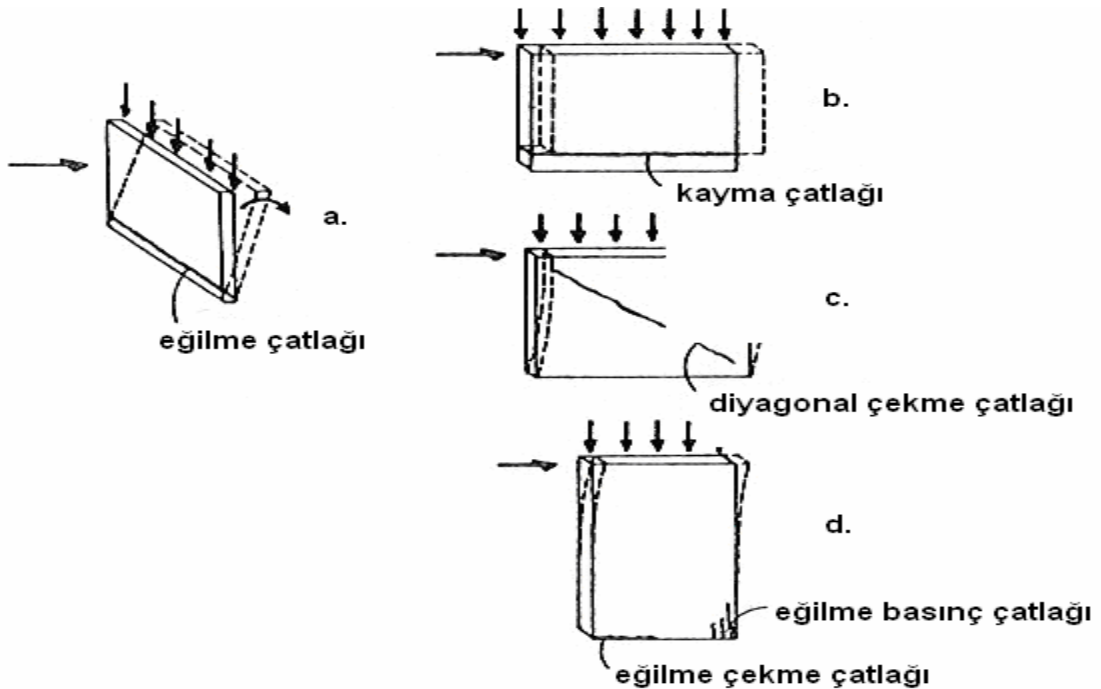
Şekil 5.2: Yığma yapı elemanının yatay yükler altında göstermiş olduğu deformasyon ve basınç çizgisinin konumu

Deprem sırasında oluşan yatay yükler etkisindeki yığma yapıda, kritik bölgelerden başlayarak çatlaklar oluşur ve yapı göçme mekanizmasına ulaşır.



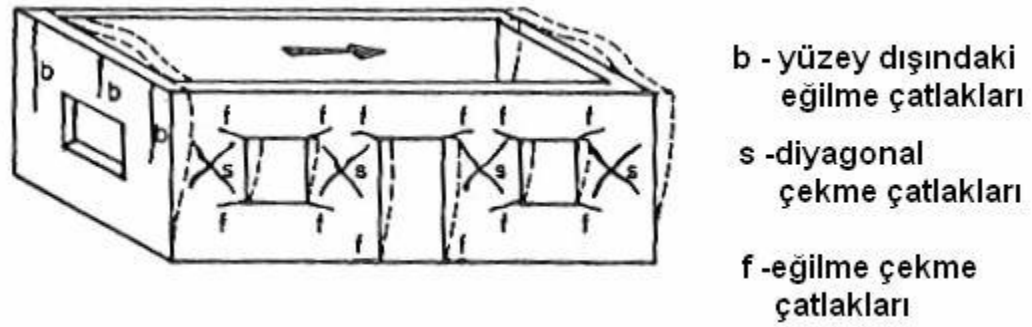
Şekil 5.3: Kayma kırılmasının mekanizması(Kara H.G., 2009).

Kapı ve pencere boşlukları çevresi, duvar ve döşeme birleşimleri, duvar kesişim ve birleşimleri kritik bölgelerdir.



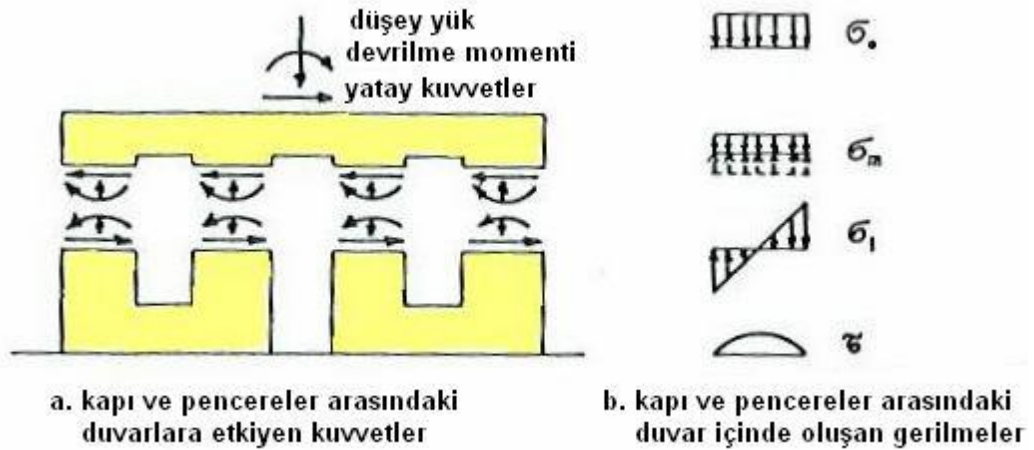
Şekil 5.4: Serbest yapısal bir duvarın çökme mekanizması (Kara H.G., 2009).

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’de yığma yapıda kırılma ve çökme mekanizmaları, Şekil 5.5’de yığma yapının çökme mekanizmaları



Şekil 5.5: Yığma bir yapının çökme mekanizması (Kara H.G., 2009)

Şekil 5.6’de ise yığma yapıda idealleştirilmiş kuvvet gerilme durumu görülmektedir.



Şekil 5.6: Depreme maruz kalan yığma bir yapıda idealleştirilmiş kuvvet-gerilme durumu (Kara H.G., 2009)

BÖLÜM 6

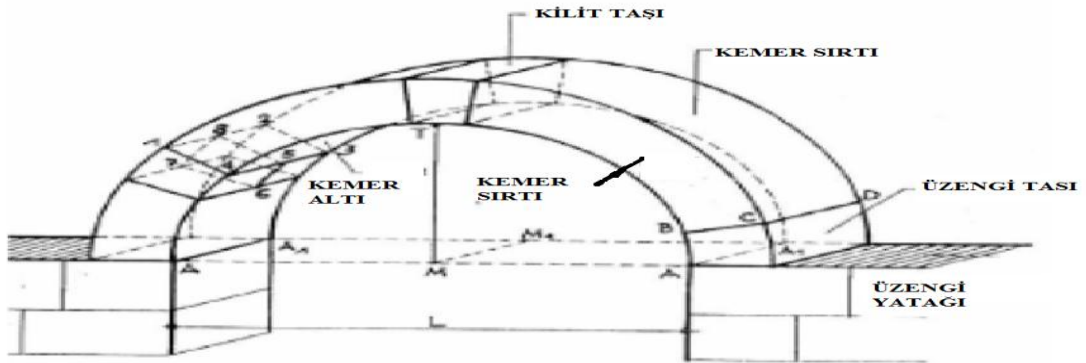
6. TARİHİ YAPIYI OLUŞTURAN TAŞIYICI SİSTEMLER

6.1 Tarihi Yığma Yapıların Taşıyıcı Sistemleri

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

6.2. Kemerler

Kemerler, iki sütun veya ayak arasındaki açıklığı geçmek için yapılan eğri eksenli kirişlerdir. Kemerler, taş yada tuğla ile inşa edilir. Taş kemerler, moloz, kaba yonu, ince yonu veya kesme taştan yapılır. Bir kemerde, kemer örgü taşı olarak üzengi, kilit taşı ve kemer taşları olmak üzere üç eleman bulunur. Üzengi taşı, kemerin başlama taşıdır. Kilit taşı, kemerin düşey ekseninde bulunan ve kendisi ile üzengi arasındaki taşları kilitleyen taşıdır. Kemer taşları, kilit taşı ile üzengi taşları arasında kemeri oluşturan taşlardır(Şekil 6.1).



Şekil 6.1: Kemerin Muhtelif Kısımlarının İsimleri

Kemerler, yerçekiminin etkisiyle düşey yük etkisi altındadır. Bu yükler yapıdaki detay malzeme ve taşıyıcı sistem malzemesinin (kerpiç, tuğla veya taş) toplamıdır. Kemerler, üzerlerine gelen yükleri basınca çalışan elemanlarıyla taşımaktadır(Şekil.6.2).



Şekil 6.2: Elhamra Sarayı-İspanya

Düşey yükün şiddetinin yatay yükten büyük olması sonucu, kesit içerisindeki çekme kuvvetlerinin şiddeti azalır. Kemerlerde kesit boyutlarının oldukça büyük olmasının sebebi, taş veya tuğla kemerlerin kendi ağırlıklarının, kemerin stabilitesine sağladığı avantajdır. Kemerin herhangi bir noktasında oluşacak çekme kuvveti; zaten, çekme kuvvetlerine karşı çok zayıf olan taş veya tuğlanın çatlamasına sebep olacaktır.

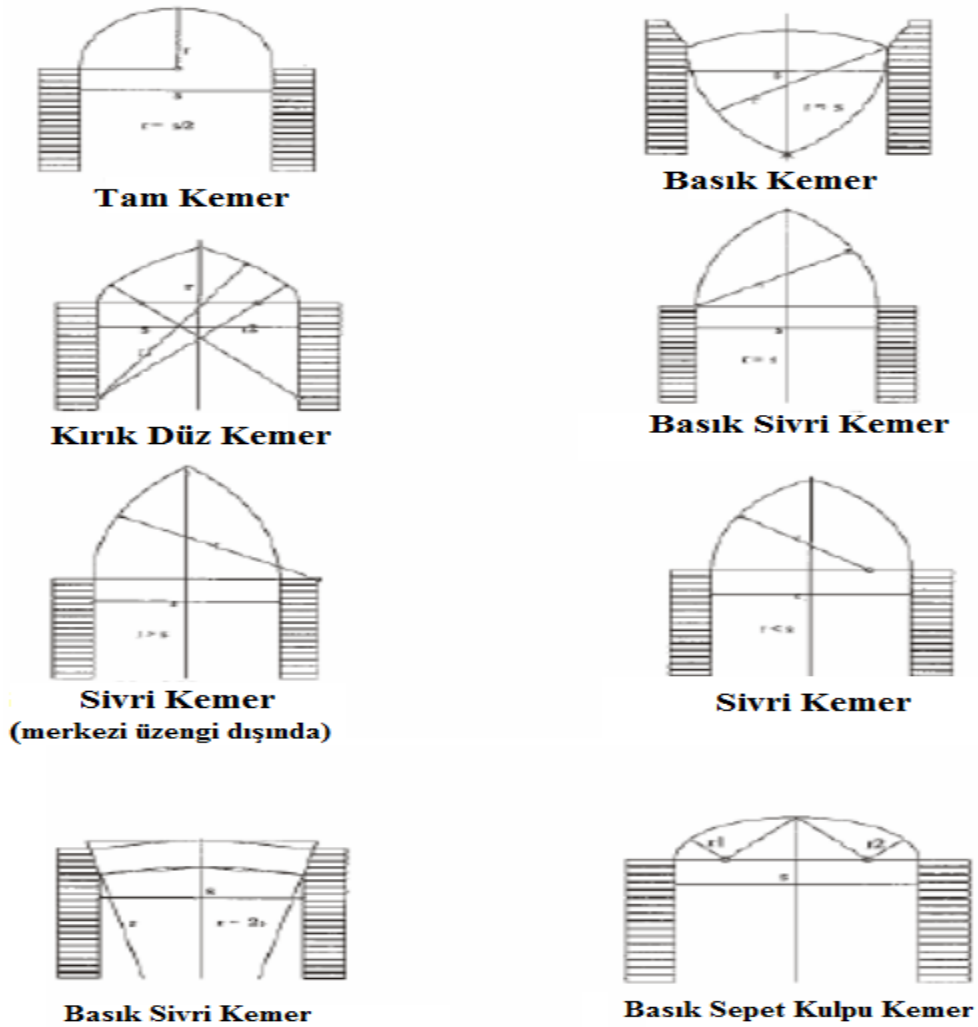
Çatlakların az veya birden fazla olması her zaman kemerin stabilitesinin bozulmasına neden olmayabilir. Kemerlerin stabilitesinin bozulmasına neden olan en büyük etken, mesnetlerin açıklık yönünde açılmasıdır. Bu yüzden, pek çok tarihi yapının taş, tuğla kemerlerinde ahşap veya metal gergi çubuğu kullanılmıştır. Gergi çubukları iki ayak, bir ayak bir duvar veya iki duvar arasında kullanılmıştır. Taşıyıcı öğeler üzerine, üst örtünün üzengi seviyesinde veya hemen altında bulunan taşa oyulmuş yuva ya da duvar içerisine bırakılmış boşluklara mesnetlendirilmişlerdir. Bu gergi çubuklarının bir başka özelliği ise de, ayakların kemer etkisinden etkilenmesini önlemektir. Gergi ile bağlanması istenmeyen durumlarda, duvarlara payandalarla

desteklenmiş ayaklar uzatılarak, eksenleri doğrultusunda, kemer mesnetleri üzerine ağırlık kütleleri asılmıştır (Mahrebel H.A.2006).

Şekillerine, yüksekliklerine, malzeme cinsine bağlı olarak taşıma kapasiteleri değişmektedir. Oluşturuldukları biçimlere göre kemerlerin yük taşıma güçleri, açıklıkları, merkezleri, yükseklikleri farklıdır. Açıklığa göre sehimi kazandıkça kemerler, düz, basık, tam, sivri, sepet, kulplu vb. isimlerle tanımlanırlar. (Şekil 6.3) Tuğla kemerler de örgü duvarlar gibidir. Bu tür açıklıklarda düz veya basık kemerler tercih edilir. Açıklığa göre sehimi çok olan sivri kemerlerin itme kuvvetleri düşeye yakındır. Bu açıdan sivri ve tam kemerlerin taşıma güçleri çoktur. Basık kemerlerde itme kuvvetleri yataya yakın olup yapı düşey yükleri ile olan bileşkenin ayak tabanı içinde kalması gerektiğinden yan kuvvetlerin karşılanması zordur ve bu nedenle ayaklar çok kalın olurlar (Kara H.G., 2009).

Kemerin yüksekliği (f), çapı (2L) olmak üzere, basıklık oranı ($f/2L$) olarak tanımlanır. (2L) açıklığındaki bir kemerde (a) açısı küçüldükçe (f) değeri azalır ve basıklık oranı azalır. Bu durumda mesnette oluşan düşey yük azalırken yatay yük değeri artar. Bunun tam tersi durumda ise, basıklık oranının artması durumunda mesnette oluşan düşey yük artarken yatay yük değeri azalır. Osmanlı mimarisinde büyük yükler ve açıklıkların olduğu yerlerde sivri kemerler kullanılarak (a) açısı artırılmıştır. Bu şekilde mesnet yüklerinin düşey olarak ayaklar yardımıyla zemine iletilmesi düşünülmüştür. Basık kemerlerin kullanıldığı durumlarda ise oluşan büyük yatay yüklerin, büyük ağırlık kuleleri ile yönü değiştirilmek sureti ile zemine aktarılması sağlanmıştır. Bu durumda plandaki ayak kesitini fazla büyütmemek için kemer ayakları yukarı yönde kule olarak uzatılmıştır. Üzerine kubbe oturan kemerlerde kubbe mesnet yüklerinin yanal bileşeni kemerlerin üst kenarı boyunca kemer düzlemine dik olarak etkir. Bu etkiler kemer kesitinde eğilme momenti oluşturur. Eğilme etkisinde çekme gerilmelerinin oluşmaması için yanal kuvvetlere karşı gelebilecek kemer genişliği belirlenir. Buna bağlı olarak ayak genişliği konstrüktif nedenlerle kemer genişliğine bağlı olarak büyütülür (Kara H.G., 2009).

Kemerlerin taşıdığı yükleri ayaklara yönlendirmesi, üzengi seviyesinde büyük yatay mesnet reaksiyonları oluşturur. Bu reaksiyonlar çoğu kez gergi demirleri ile alınır. Ancak çekme elemanı olarak demir kullanılması, bazı problemlerin oluşmasına sebep olur. Demir malzeme dış tesirlere maruz kalmakta, zamanla paslanarak işlevini yapamamaktadır. Ayrıca bağlı bulunduğu mesnette korozyon etkisi ile tahribatlar yapmakta, mesnedi parçalamaktadır. Kemerlerin bu bölgelerinin mutlaka rehabilitasyonu gerekmektedir (Kara H.G., 2009).



Şekil 6.3 : Kemer Yapım Şekilleri

Düz kemerler üzerlerine gelen yükler etkisinde güvenceli çalışabilmek için hafifletme kemeri denilen tahfif kemerleriyle birlikte yapılırlar (Kara H.G., 2009).

6.3. Kubbeler

Kubbe, bir kemerin simetri eksenini etrafında dönmesiyle elde edilir. Kuvvetleri pozitif çift eğrilikli yüzeylerde taşıyan kabuklardır. Tromp (tonoz mesnet), pandantif (küresel mesnet) ve Türk üçgeni, kubbeli mekan örtüsünde geçit elemanı olarak kullanılan en sık karşılaşılan formların başında gelmektedir.

Tarihi yığma kargir yapılarda kubbeler, küre parçası olarak yapılmışlardır. Kârgirin çekmeye karşı gösterdiği olumsuz performans, kubbe içinde yapılan pencerelerin oluşturduğu çekme gerilmeleri; bu iki olayın sonucunda pencerelerin bulunduğu noktalarda kubbede çatlakların oluşmasına sebebiyet verir .

Kubbenin tabanında oluşacak çekme gerilmelerine karşı alınacak en hayati önlem, bölgenin çekme gerilmelerine dayanıklı bir malzemedeki yapılmış bir çember ile kuşatılmasıdır. Büyük kubbeli yapılardaki kasnaklar masif ve ağır yapısıyla, bu bölgede oluşacak çekme kuvvetlerini etkisiz hale getirirler.

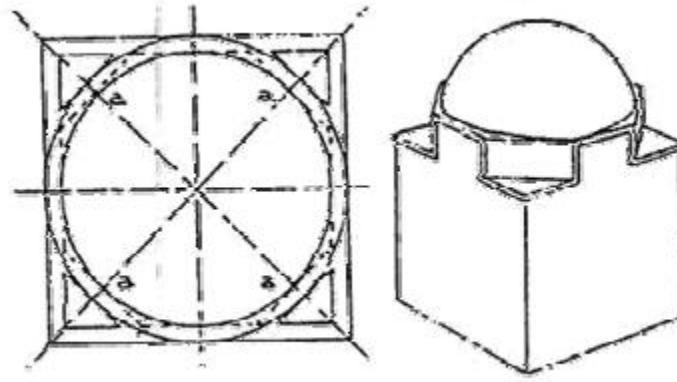
Kubbenin yükü, kubbe ayakları vasıtasıyla mesnet yüklerinin düşey bileşenlerini kemerlere; yanal bileşenleri ise kemer düzlemlerine dik doğrultuda yerleştirilmiş yarım kemerler veya payandalarla alınır. Kubbeden kemerlere taşınan düşey yüklerin kemer düzlemi içindeki itkileri de gergilerle alınır (Mahrebel H.A.2006).

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

Kubbe yapımı iki türüdür;

a) Köşe kemerli kubbeler

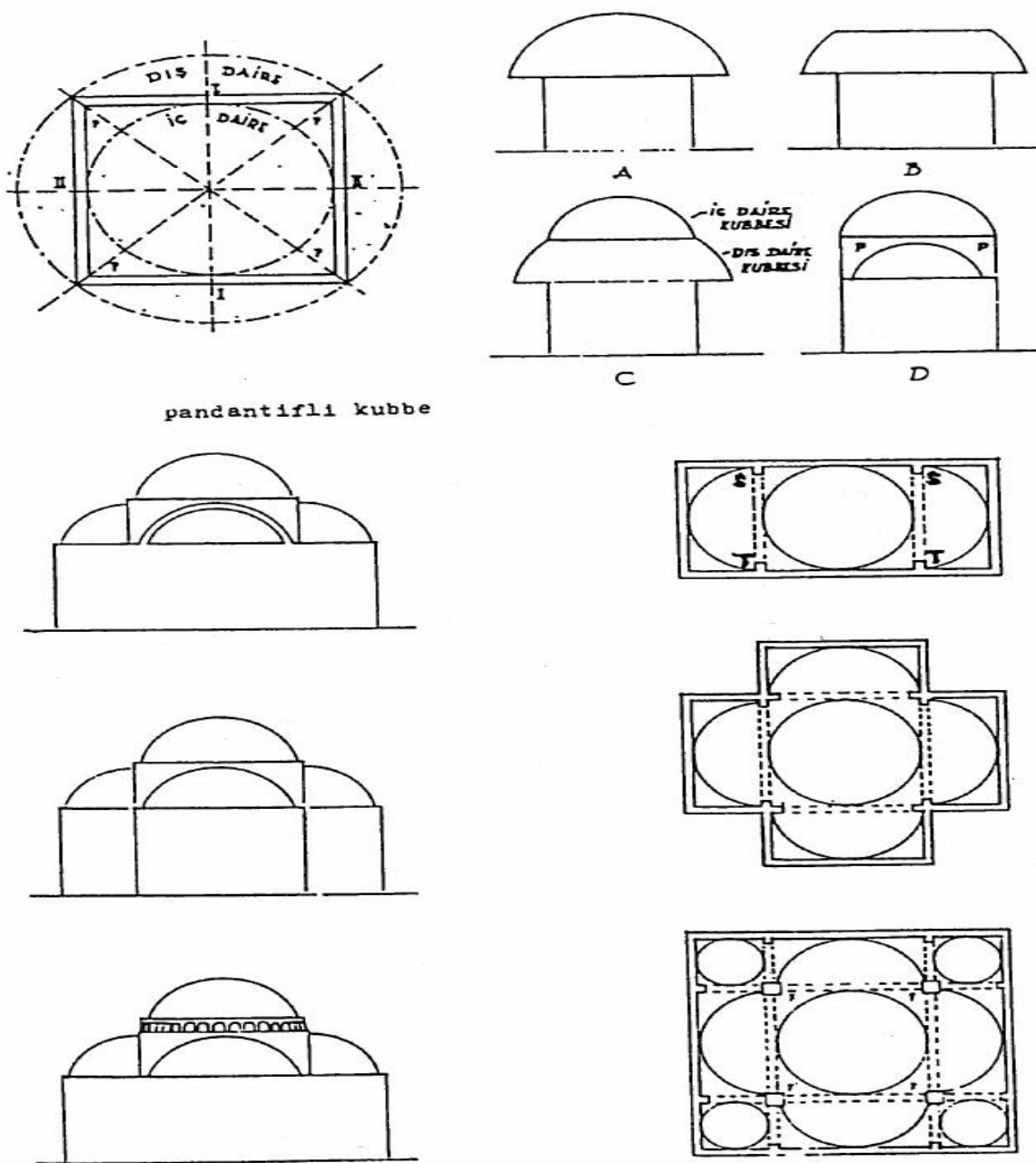
20 m' ye kadar olan açıklıklarda, şekildeki gibi yapılırlar. Sistem tekrarında daha büyük hacimler elde olunur. Tabanı daire olan kubbe, sekizgen bir plan üzerine oturtulmaktadır. Kare olan iki planlama sekizgene döndürülür(Şekil 6.4).



Şekil 6.4: Köşe kemerli kubbe

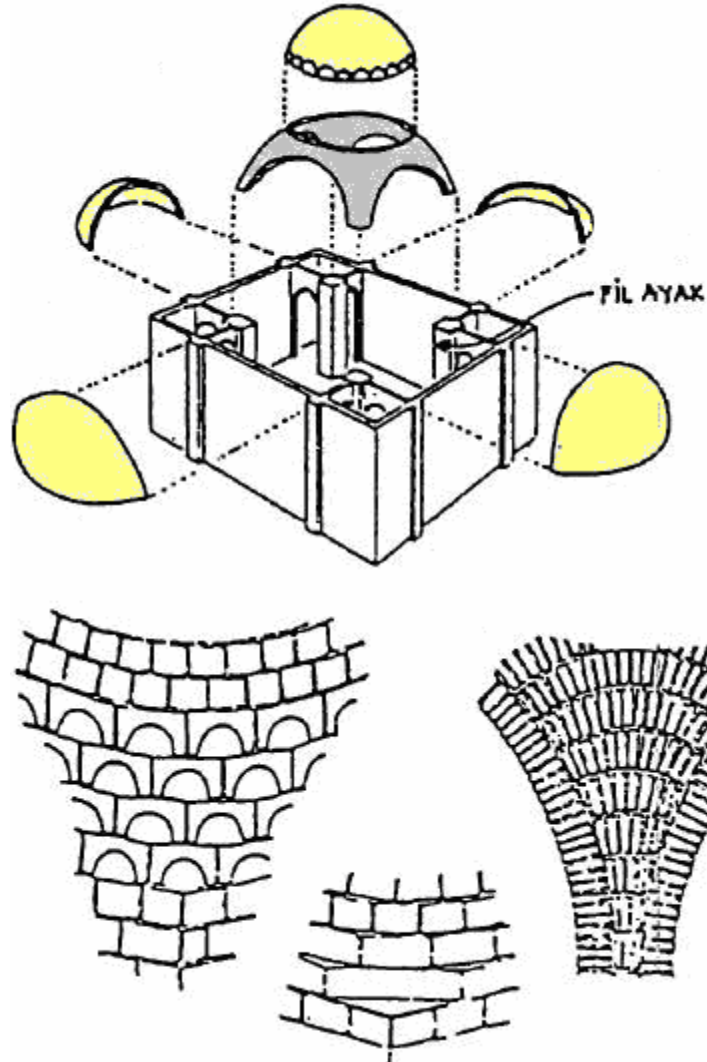
b) Pandantifli kubbeler

50m ve daha büyük açıklıklarda uygulanan bir sistemdir (Şekil 6.5, 6.6) (Kara H.G., 2009).



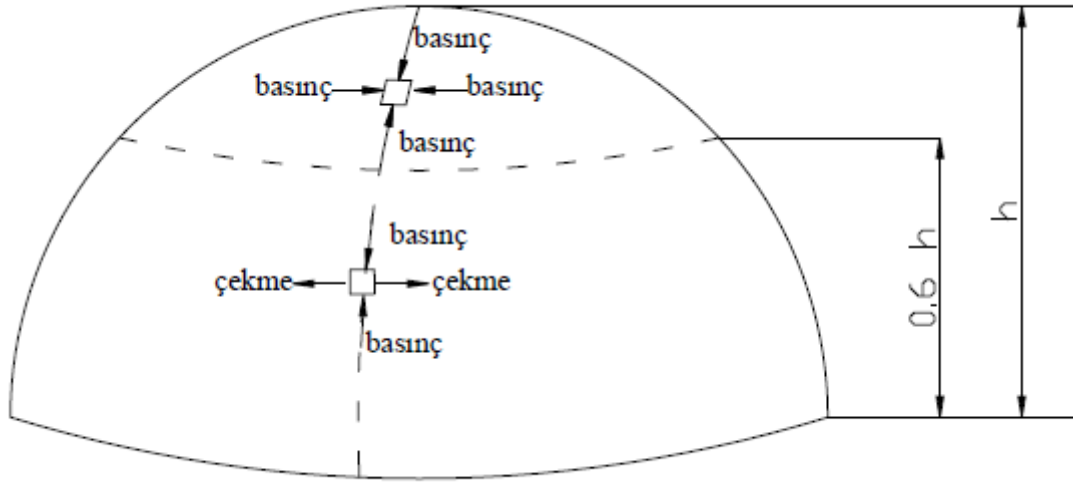
Şekil 6.5: Pandantifli kubbeler (Kara H.G., 2009).

Kubbeler yapım itibari ile çeşitlidir. Tek kesitli ve çift kesitli olarak yapılmaktadır. Statik hesap olarak, kasnak üzerine oturtulan duvardan bir küre parçasıdır. Duvarlar gibi kubbeler de basınç altında mukavemet gösterir. Yapım tekniği kubbe duvarının devamlı basınç altında kalacağı varsayımına dayanmaktadır. Kubbenin oturduğu duvar kısmına kasnak denir. Kasnak duvarın basıncını devamlı kılan önemli bir topuk elemanıdır. Kubbe duvarında devamlı basınç varken, kasnak yatay ekseninde dışa doğru kayma, boyuna doğrultuda devamlı çekme mevcuttur (Kara H.G., 2009).



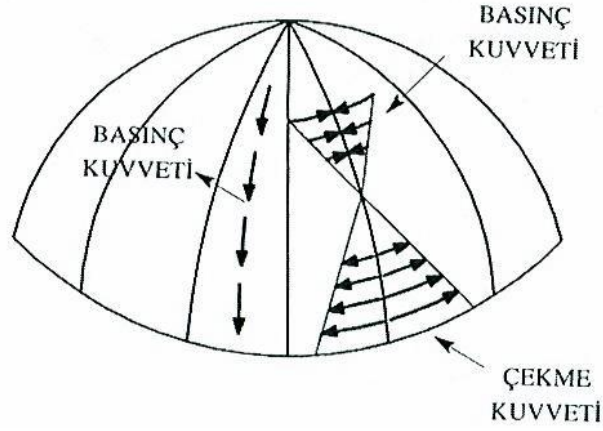
Şekil 6.6: Pendantifli kubbe detayı (Kara H.G., 2009).

Genellikle tarihi yığma kâgir yapılarda kubbeler birer küre parçası olarak yapılmışlardır. Kargır, çekme etkilerine dayanıklı olmadığından, kubbenin biçimi içinde çekme gerilmeleri meydana gelmeyecek şekilde belirlenmiştir. Bazen kubbe içinde yapılan pencereler vasıtasıyla çekme gerilmelerinin karşılanması kesintiye uğrar. Bu durumda pencerelerin bulunduğu noktalarda kubbede çatlaklar oluşur. Şekil 6.7 ve 6.8’de kubbede oluşan yük dağılımı görülmektedir.



Şekil 6.7: Kubbede çekme ve basınç bölgeleri

Kubbenin yükü, kubbe ayaklarından düşey ayaklara oturan kemerlere iletilir. Kubbe ayakları mesnet yüklerinin düşey bileşenlerini kemerlere, yanal bileşenleri ise kemer düzlemlerine dik doğrultuda yerleştirilmiş yarım kubbeler ve payandalara iletir. Yarım kubbeler, kemer ve duvarlarla desteklenerek, yükler temele iletilir. Kemerlere kubbeden iletilen yüklerin kemer düzlemi içinde uyandırdığı itki kuvvetleri, gergilerle alınabildiği gibi, ayakların uzantısı olarak kullanılan ağırlık kütleleri aracılığı ile ayakların çekirdek alanı içine düşürülür (Kara H.G., 2009).



Şekil 6.8: Kubbelerde yük taşıma mekanizması(Kara H.G., 2009).

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

Kubbe yüksekliğinin dairesel çapa oranına basıklık denmektedir. Basıklık ($b=h/2r$) dir. Basıklık oranı azaldıkça mesnet kuvvet vektörünün düşeyle yaptığı açı artmakta, yatay yük değeri büyümektedir. Basıklık arttıkça kubbe yükü artmakta mesnet kuvvet vektörünün düşeyle yaptığı açısı azalmakta, yatay mesnet yük değeri küçülmektedir. Sinan kubbeleri tarihteki en basık kubbelerdendir (Tablo 6.1).

Kasnak, kubbe, kubbe mesnet kısmını büyüterek elde edilen kesitte, ortası oyulmuş taşlar dizilmiş, içerisine çepeçevre bronz akıtılarak halka oluşturulmuştur. Bronzun içine demir çekme elemanı yerleştirilerek, çekmeye dayanıklı halka teşkil edilmiştir (Kara H.G., 2009).

Tablo 6.1: Mimar Sinan'a ait bazı yapılarda kubbe basıklık oranları [45].

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

Sinan kubbe kasnağında yapısal değişiklikler yapmıştır. Kubbe cidarlarının duvar örgüsü kasnak üstünde kemerlerle başlamaktadır. Kubbe duvar yüksekliğinin 1/3 kısmı kasnağa dönüşmüştür. Kasnak sıfır derz taş duvar şeklinde örülmektedir. Kasnakta ayrı bir taşıyıcı sistem teşkil edilmiştir. Kubbe cidarı yüksekliğin 1/3'ünden itibaren genişletilerek kemerli yapı ile alt ana kasnağa oturtulmuştur. Yüksekliğin 1/3'ünden itibaren oluşturulan ayak formu kubbe duvarının devamı şeklindedir. Adeta kasnak genişletilmiş ve yükseltilmiştir. Ayak kısmının kubbenin cidar formunda teşkil edilmesi düşey ve yatay yüklerin alt tabakaya intikali için önemlidir. Ayak kısmı kubbenin devamı olmuştur. Ancak yapısındaki kemer sistemi burulma momentinin taşınması içindir. Kubbedeki burulmalar kasnağa yakın duvarlarda, yatay kayma gerilmeleri oluşturur. Kayma gerilmeleri kubbe cidar duvarlarında kalıcı deformasyonlar oluşturur. Kalıcı deformasyonlar, tekrarlı yüklerde dağılmalara sebep olur. Kemer sisteminin esnek yapısı burulmaların tekrarlı tesirlerinde kalıcı deformasyonları önlemek için yapılmıştır (Kara H.G., 2009).

Kubbe yapı itibari ile küresel uzay sistemidir. Ağırlık merkezi uzayda bir noktadır. Kubbeyi taşıyan düşey diyafram çerçeveler kubbenin ağırlık merkezinden geçmez. Yapı deprem titreşimlerinin frekans ve ivme değerleri, başlangıçta kubbe ile

aynı olsa da, depremin ikinci periyodundan sonra hemen farklılaşır. Deprem yapı frekans ve ivme değerlerinin kubbede farklılaşması burulmalara sebep olmaktadır.

Kubbedeki burulma, kasnağa yakın cidarlarda büyük çekme kuvvetleri oluşturur. Kubbe mesnedine yakın duvar cidarlarında oluşan çekme kuvvetlerini, kemer sistemi ile halletmek dâhiyane bir çözüm olmuştur. Kemerli strüktür dinamik kayma gerilmeleri tesirinde esnemektedir. Kubbenin ayağındaki kemerli sistem, deprem yüklerinin ana yapıya kubbeden aktarılması için izolatör vazifesi görmektedir. Kasnağın açılması kubbe duvarlarındaki stabiliteyi bozmakta ve duvardaki basınç gerilmesini azaltmaktadır. Ön gerilme ile dayanım gösteren kubbeler, ön gerilmenin azalması ile deprem tesirlerinde dağılmaktadır.

Kubbelerin, oturdukları kasnakların rehabilitasyonu mutlaka yapılmalı, kasnağın oturduğu duvarlar kesme kuvvetleri itibari ile güçlendirilmelidir. Kubbe basınç duvarlarına mutlaka bir basınç ön gerilmesi verilmelidir. Kubbe duvarlarındaki basınç gerilmeleri, zamanla kasnağın sünerek açılmasından dolayı, azalmaktadır. Basınç gerilmesi altında kalması istenen kubbe duvarları, basıncın azalması ile dağılma sürecine girer. Kararsız yapı kısmı olan kubbe, olası depremlerde büyük hasar görür.

6.4 Küresel bingi (Pendantif)

Kare tabana oturan kubbe kasnağının açıkta kalan köşe kısımlarının, kubbenin devamı gibi üçgen vari küre parçası ile doldurulmasına pendantif denilmektedir (Kara H.G., 2009).

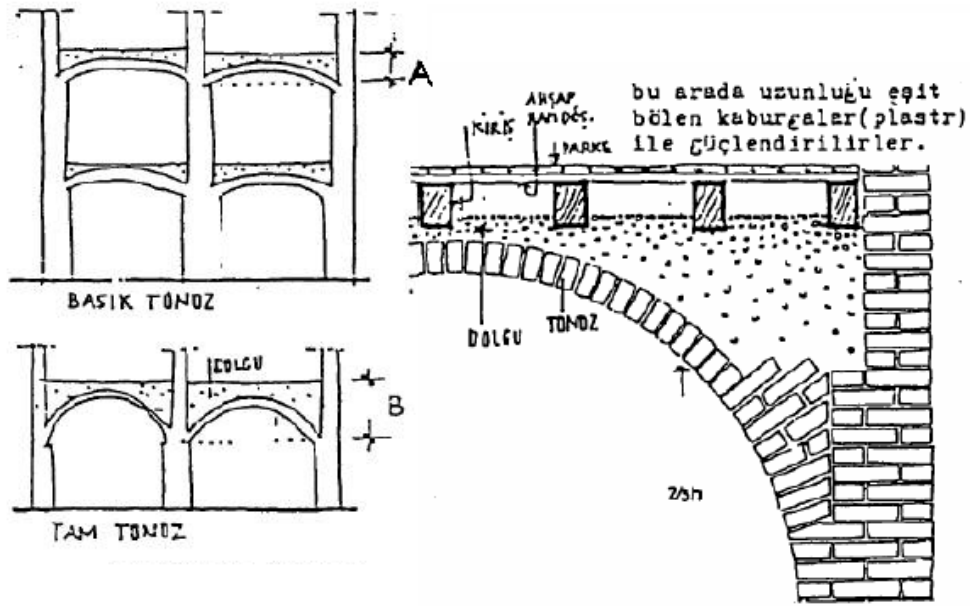
6.5 Tonozlar

Tonoz, bir kemerin kendi düzleminde, dik doğrultusunda ötelenmesi sonucu meydana gelen; yükleri, kemerlerin yük taşıma prensibi ilkesine göre taşıyan, aynı

zamanda da kabuk özelliği gösteren tek eğrilikli yapı elemanıdır. Tonozlarda, basınç kuvvetlerinden ötürü basınç gerilmeleri oluşur.

Tonoz çeşitleri; ilkel tonoz, beşik tonoz, çapraz tonoz ve manastır tonozu olmak üzere dört çeşittir. Tonoz, kendi ağırlığı ile birlikte üzerindeki kaplama yüklerini de taşır. Bir tonozun kesiti, aynı eğrilikteki bir kemerin eşdeğeridir. Tonoz mesnetlerinde oluşan yanıl kuvvetler, temellere doğru kalınlaştırılmış duvarlar, kemerlerde olduğu gibi gergiler veya payandalarla taşınır (Mahrebel H.A.2006).

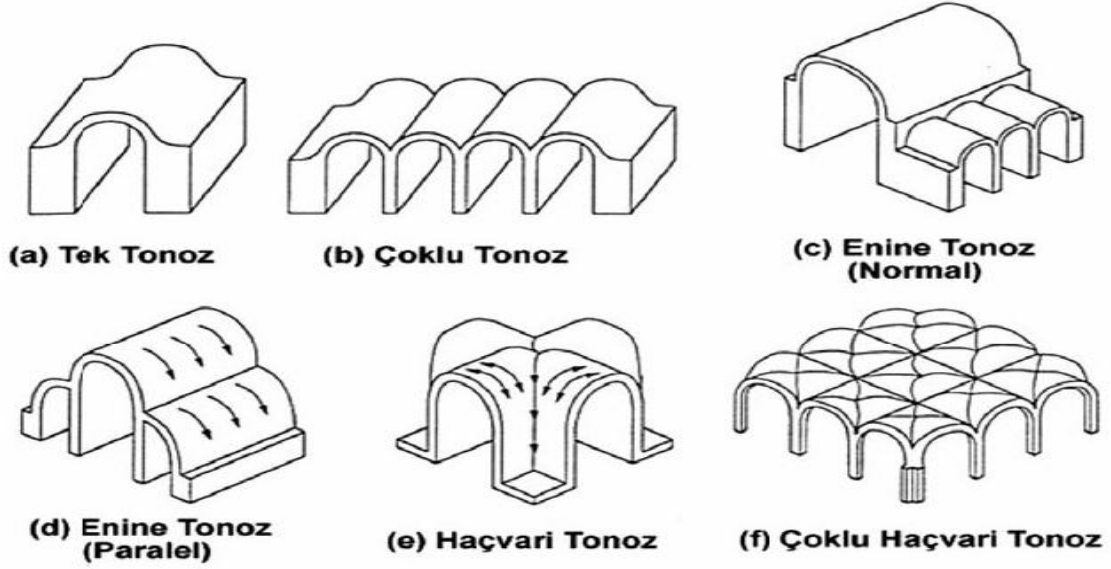
Bir kemer duvar kalınlığı kadar olduğu halde, tonozlar örtülen hacmin uzunluğu kadardır. Dikdörtgen planlı yapıların kapalı bir hacim haline getirilmesinde kullanılır (Şekil 6.9) (Kara H.G., 2009).



Şekil 6.9: Tonozların döşeme durumuna getirilmesi (Kara H.G., 2009).

İlkel tonoz, beşik tonoz, çapraz tonoz ve manastır tonozu olmak üzere dört çeşit tonoz vardır. Beşik tonozun ve ilkel tonozun mesnet noktaları sürekli bir taşıyıcı düzlem gerektirir. Çapraz ve haçvari tonoz, sütun ve ayaklar tarafından taşınabilmekte ve çok

üniteli bir mekânın mekân örtü birimi olabilmektedir. Tonz türleri Şekil 6.10'da gösterilmiştir (Kara H.G., 2009).



Şekil 6.10: Tonz türleri (Kara H.G., 2009).

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

Açıklığına oranla sehim artan tonozun taşıyıcılığı çöktür. Buna karşın hacim kaybı çok olacağından basık tonozlar tercih edilmektedir. Türlü ölçülere sahip tonozlar genişebilirler

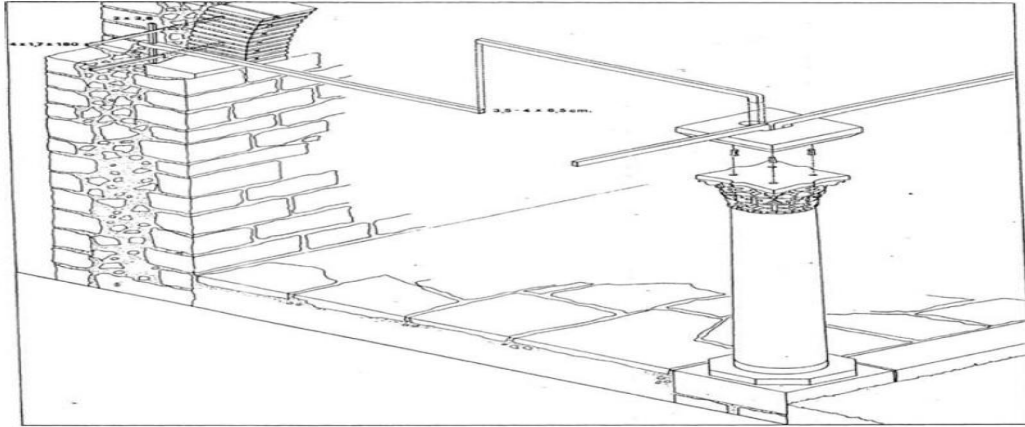
6.6 Türk üçgeni

Poligon oluşturulmuş kubbe kasnağının kare yapıya oturtulurken kasnakla kare taban arasında kalan boşlukları doldurmak için kullanılan geçiş elemanıdır. Çokgen olan kasnağın kare taban köşesine isabet eden parçaların her biri bir üçgenin taban kenarı olacak şekilde, üçgenin tepesi kare taban köşesine gelecek biçimde duvarın örülmesinden Türk üçgeni oluşur (Kara H.G., 2009).

6.7 Sütunlar ve Ayaklar

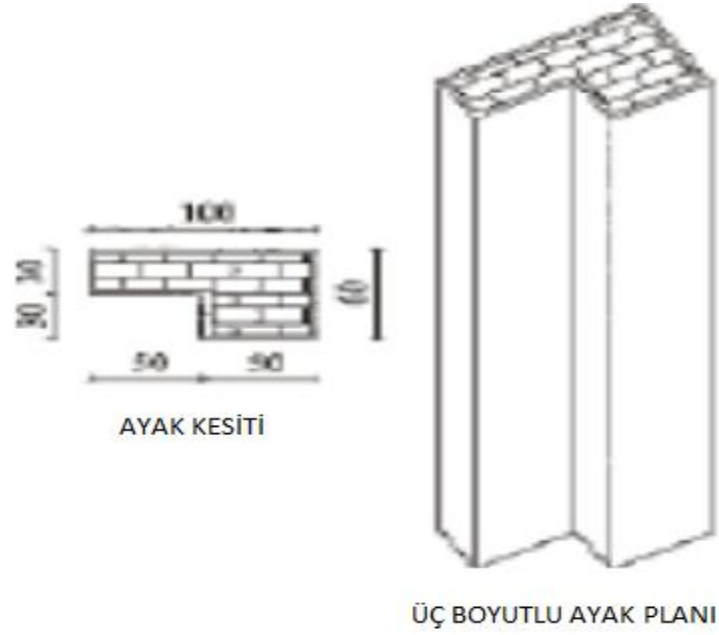
Mekan örtü yüklerinin tekil noktalardan iletilmesi hallerinde, düşey taşıyıcılar ayak ve sütunlardan oluşur. Sütunlar yekpare ya da birkaç blok taş ile oluşturulmuş düşey yapı elemanlarıdır(Şekil 6.11).

Birkaç blokla oluşturulduklarında, ağaç veya bronz kenetler yardımıyla birleştirilirler. Daha çok kare, çokgen ve daire kesitli olan sütunların taşıdığı kiriş ya da kemer yükünü toplamak için sütun başlığı, yükü altındaki yapı elemanına yaymak için sütun tabanı yapılır (Mahrebel H.A.2006).



Şekil 6.11: Sütun Başındaki Mesnetlenme Sistemi

Ayaklar, en kesiti sütunlardan daha büyük; duvar gibi örülerek yapılan düşey taşıyıcılardır. Mekan örtüsünün formu ve kullanım amacına ve yüklerin iletiliş biçimlerine göre karmaşık bir geometride imal edilmişlerdir(Şekil 6.12) (Mahrebel H.A.2006).



Şekil 6.12: Ayak detayı

Ana taşıyıcı ayaklarda meydana gelebilecek bir çatlak veya mafsallık oluşumu, yapının stabilitesini bozarak tamamen yıkılmasına neden olabilir. Bu sebeple, bu tür elemanlarda kesitin eğilme eksenine dik doğrultudaki boyutunun üçte birinden fazla bir bölümde çekme gerilmesi oluşmayacak çok büyük kesit boyutlarına ihtiyaç vardır. Tarihi yapılarda görünen büyük kesite sahip sütun ve ayakların, geçmişte yıkılan yapılardan alınan derslere göre bu şekilde yapıldığı anlaşılmaktadır(Şekil 6.13) (Mahrebel H.A.2006).



Finike

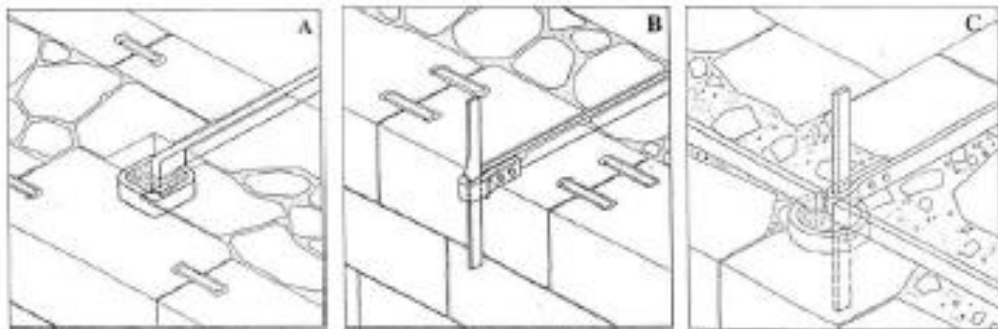


Yunanistan

Şekil 6.13: Tarihi Yapılardaki Sütun ve Ayak Kullanımı

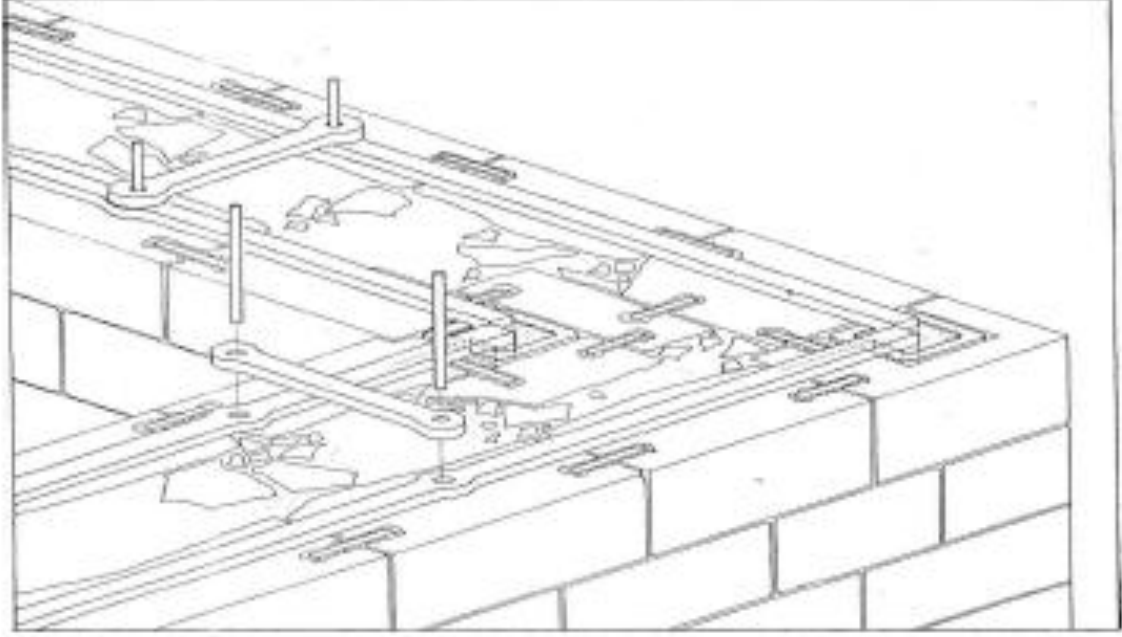
6.8.Duvarlar ve payandalar

Duvarlar, mekan örtüsünden gelen yükleri zemine ileten; malzemelerine göre taş, tuğla, kerpiç olarak sınıflandırabileceğimiz düşey düzlemsel elemanlardır. Duvarın boyutlarını belirleyen faktörler; duvara üst yapıdan gelen eğik ve düşey yükler, yanal deprem yükleri, malzeme cinsi, kapı-pencere boyutlarıdır. Duvarın düşey ve yatay yükleri alabilmesi için, bir bütün halinde çalışması gerekir. Duvarın bütünlüğünün sağlanması için yani gerilmeleri duvar kesitinde düzgün yayılı olarak dağıtmak, diyafram etkisi yaratmak amacıyla taş ve tuğlalar birbirine harç, kenet ve hatıllarla bağlanmıştır.



Şekil 6.14: Mesnetlenme Şekilleri

Tarihi yapıların duvar örgülerinde karşılaşılan mesnetlenme şekilleri (Şekil 6.14) de verilmiştir. Burada A. Simitli mesnetlenme, B. Açık kılıçlı mesnetlenme, C. Simitli mesnete kılıçlı bağlantı durumudur (Mahrebel H.A.2006).



Şekil 6.15: Duvar Kuşaklaması

Duvar yüksekliği tabandaki duvar kalınlığının 8 katını geçmediği yapıların depremlerde iyi davranış sergilediği eski ustalar tarafından dillendirilen, günümüzde de doğruluğu araştırılan bir söylentidir.

Duvar boyutlarının çok büyük seçilmesinin sebebi, yükten dolayı oluşabilecek çekme gerilmelerini sıfıra yaklaştırmak, basınç gerilmelerini aynı oranda arttırmaktır. Bunun neticesi olarak, iç mekana ışık vermek amacıyla açılan pencere boşlukları ile zayıflayan duvarlar, değişik mimari ve geometriye sahip payandalar yardımıyla kuvvetlendirilmişlerdir(Şekil 6.15) (Mahrebel H.A.2006).

Taşıyıcı duvarlar yapıdan gelen yükleri temele ileten elemanlardır. Taşıyıcı duvarlar hem düşey hem de yatay yükleri taşıdığından tarihi yığma yapılarda duvar

boyutları oldukça büyük seçilmiştir. Duvarların yükleri karşılayabilmesi için bir bütün halinde çalışması gerekmektedir. Yapıdan gelen yükler sürekli ya da tekildir. İç mekânı aydınlatmak için taşıyıcı duvara açılan pencere ve kapı boşlukları duvarın taşıma gücünü azaltır. Pencerelelerin, kapıların açıldıkları düzlem boyunca, duvara gelen yüklerin, pencerenin kenar sağırlıklarına ikinci bir ara taşıyıcı elemanla aktarılması gerekir. Bu ara eleman, hatıl, lento veya kemerdir (Kara H.G., 2009).

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

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



Şekil 6.16: Payanda duvar (Kariye Müzesi-İstanbul)

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

türlerine göre, kaba yönü taş duvarlar ve sıfır derz taş duvarlar olarak sınıflandırabilir. Şekil 6.16' da örneği görülmektedir (Kara H.G., 2009).

6.8.1 Kaba yönü taş duvarlar

Taşlar gelişigüzel yontularak düzlenen yüzeyler, görünen duvar yüzlerine gelecek şekilde duvarlar teşkil edilir. Her iki duvar yüzeyi bu şekilde teşkil edilerek orta duvar bölgesi sandık taş dolgu yapılmaktadır. Tarihi yapılarda bu tarz taş duvar yapımı birer metre yükseklikler şeklinde örülür. Duvar bir metre örülünce duvar düzleme yüzeyi teşkil edilir. Duvar düzleme yüzeyinde tuğladan iki sıra veya daha fazla tuğla duvar bölgesi oluşturulması gelenektir. Tarihi yapı taşıyıcı duvarlarında, düzleme bölgelerine, ahşap kalas çekme elemanları yerleştirilmektedir. Duvarlarda oluşan çekme kuvvetlerini karşılamak için duvarların bu kısımlarına ahşaptan hatıllar oluşturulmaktadır. Hatıllar yapının bu yükseklikteki tüm duvar bölgelerini kaplamaktadır (Kara H.G., 2009).

6.8.2.Sıfır derz taş duvar

Mimari estetik veya sürtünmenin azaltılması maksadı ile veya kapiler suların duvar üst katmanlarına çıkmaması için taşlar arasında harç kullanmadan yapılan düzgün örme taş duvarlara sıfır derz taş duvar denilmektedir(Şekil 6.17) (Kara H.G., 2009).



Şekil 6.17: Sıfır derz taş duvar.

6.8.3. Gergiler

Gergiler kubbe, kemer, tonoz gibi yapı elemanlarında ve duvarlarda yükler nedeniyle oluşan yatay itkilerin karşılanmasını sağlamakta kullanılırlar. Tarihi eski yapılarda ahşap ve dövme demir gergiler yoğun olarak kullanılmıştır. Genellikle üzengi seviyesinde, tek düzeyde tek ya da çift gergi yanında kilit ile üzengi arasında ikinci bir sıra gergi düzeni oluşturulan yapılar da vardır (Kara H.G., 2009).

Gergiler iki düşey taşıyıcı elamanı birbirine bağlamakta açıklık gergisi olarak ya da duvar içerisinde, bir duvarı kendisine dik konumda bitişen diğer bir duvara bağlamak amacıyla demir öge olarak da kullanılmaktadır. Açıklık gergileri kemerlerde ve tonozlarda kullanılmıştır. En yaygın olarak kemerlerde görülmektedir. (Şekil 6.18) Tonoz gergileri ise özellikle beşik tonozlarda kullanılmaktadır.



Şekil 6.18: Kemer elemanda açıklık gergisi.

Gergiler duvar kesitlerinin zayıfladığı durumlarda kullanılmıştır. Açıklık gergilerinin en ilginç örneği Edirnekapı Mihrimah Camisi'nde bulunmaktadır. Adı geçen yapıda mihrap ekseninin iki yanındaki iki ana askı kemeri üzengi katında ikişer bileşik gergi ile denkleştirilmiştir. Bu bileşik gergiler 8-8,5x12-12,5cm kesitinde ve

birbirlerine “simitli mesnetleme” diye adlandırılan yöntemle bağlanmış üçer demir öğeden oluşmaktadır (Kara H.G., 2009).

6.9 Temeller

Temeller, yapının kendi ağırlığını, kullanım yüklerini, kar, rüzgar ve deprem yüklerini zemine ileten taşıyıcı elemanlardır. Yapı tekniğinin günümüz şartlarına göre çok ilkel kaldığı, tarihi yapı temellerine bakılırsa, bugünkü anlamda temel atma olanaklarından bahsedilemez ve temel türleri de birkaç adedi geçmez. Bunları basit olarak şöyle sınıflandırabiliriz:

- Sağlam zeminlerde genellikle sığ temeller (yüzeysel temel) yapılmıştır. Bu temeller; ayak ve sütunların altına gelen ayırık temeller gibi veya sürekli duvar altlarına gelen sürekli temellerden oluşur. Ayırık ve sürekli temellerin, farklı boyutta yatay olarak konmuş ahşap elemanların oluşturduğu bir (ızgara) ya mesnetlendirildiği görülmektedir. Izgara sistemi, yapı yüklerinin daha büyük bir temel alanı boyunca zemine iletilmesi görevini üstlenmiştir.
- Derin temeller (ahşap kazıklı temeller), dolgu veya yumuşak zeminlerde, daha çok su içinde inşa edilen yapılarda kullanılmış, aynı zamanda bu yapılar zemine çakılan kazıkların oluşturduğu bir temel sistemine oturtulmuştur. Kazık başlarının ahşap bir ızgara ile bağlandığı da görülür. Ahşap kazıkların genellikle su içinde bulunması ve hava ile temas etmemiş olması, bozulma ve çürüme olayını geciktirmiş hatta ve hatta sıfıra indirmiştir (Mahrebel H.A.2006).

Yüzeysel temeller ve derin temellerin dışında tonoz temellere de rastlanmaktadır. Bu tip temeller ise düz ve geniş yüzeylere ihtiyaç duyulması durumunda ya da yapının kademeli olarak inşa edilmesi istendiğinde kullanılmıştır.

5.10 Döşemeler

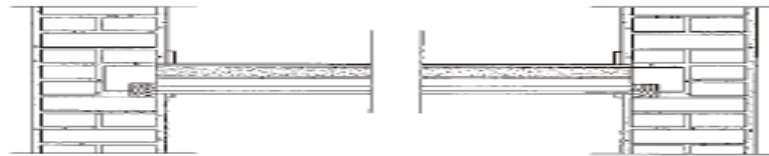
Döşemeler, binanın iki katını, yapının oturduğu zeminle kapalı hacmi ya da en üst kat ile dış mekanı, ayırma görevi üstlenen yatay taşıyıcı yapı elemanıdır. Yapı döşemeleri, inşa edildikleri malzemenin cinsine göre ahşap, kargir döşeme gibi isimlendirilir.

Döşemeler düşey yükler altında, çeşitli yük aktarım şekilleri dışında yapının genel davranışını etkilemezler; fakat deprem sırasında diyafram etkisi nedeniyle yatay yük aktarımını bakımından döşemelerin önemi artar. Döşemenin olmaması ya da boşlukların bulunması binada düzensiz plan oluşturur ve yapının depreme karşı davranışını olumsuz etkiler (Mahrebel H.A.2006).

5.10.1.Ahşap Döşemeler

Ahşap döşemelerde taşıyıcı elemanlar ahşap kirişlerdir. Kiriş kesitlerinin açıklığa ve taşıyacağı yüke uygun seçilmemeleri halinde sallanması, kat döşemelerinin sesi kolay iletmesi ve ahşap döşemenin yangın sırasındaki davranışı gibi birtakım sakıncalı durumlar, ahşap döşemelerin dezavantajlarıdır (Şekil 6.19).

Ahşap döşemelerin altındaki ahşap kirişler, açıklıkların kısa yönüne göre 0.60 – 0.80 m aralıkla atılmalıdır. Açıklık büyük ise bu döşeme kirişleri ana kirişlere oturtulur. Ahşap döşemenin tavanını sıva yapmak için bu kirişlerin altına sıva teli çakılır ve sıva sıvanır.



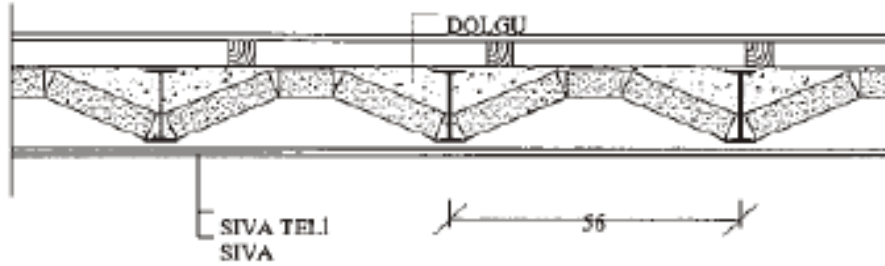
Şekil 6.19: Ahşap Döşeme-Duvar Birleşim Planı

Ahşap döşemenin, zemin katlarda çürümesini engellemek için temel duvarlarında toprak ile döşeme arasında kalan mesafe içinde yer yer karşılıklı delikler bırakılır (Mahrebel H.A.2006).

5.10.2. Adi Volta Döşeme

0.50 – 0.56 m. aks aralığında bir dizilmiş olan NPI profiller arasında üç tuğladan yapılan tonoz döşemedir. Tuğlaları bağlayıcı olarak genellikle çimento harcı veya yapının yaşına uygun olarak özel karışım harçları kullanılmıştır. Tuğlaların üstü putrel başlıklarının seviyesine kadar cüruf betonu ile doldurularak tesviye edilir ve döşeme kaplaması yapılır. Putrellerin altı sıva teli ile kaplanarak tuğlalarla birlikte sıvanmasının yanı sıra yalnız tuğlaların altı sıvanıp putrellerin altı yağlı boya ile de boyanabilir.

Eğer düz bir tavan istenilirse, putrelden putrele sıva teli kaplanarak, üstü sıva ile sıvanır. Adi volta döşemeler duvar kenarlarında putrelle başlatılır, duvara tonoz sistemi oturtularak başlatılmaz(Şekil 6.20) (Mahrebel H.A.2006).

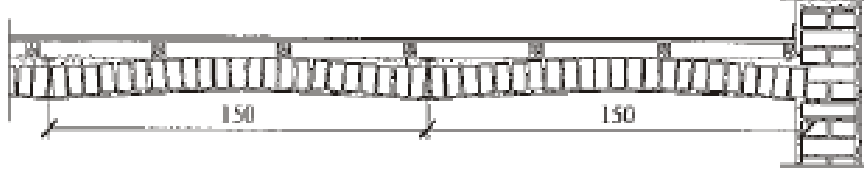


Şekil 6.20: Düz Tavanlı Adi Volta Döşeme

5.10.3. Volta Döşeme

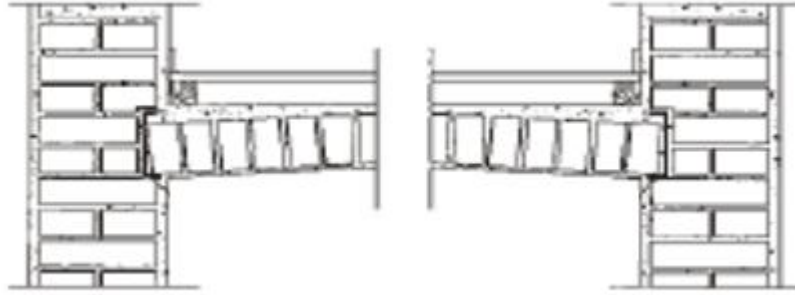
1.50 m. aks aralığında dizilmiş putreller arasında kalıp yapılarak, tuğlalarla tonoz şeklinde inşa edilir. Kalıplar, profillere asılan kancalara oturtulurlar. Bu döşemelerde duvar dibinde başlangıcın profille başlamasına ihtiyaç yoktur. Tonoz, duvara oturtulur.

Tonoz örgüsünde bağlayıcı olarak, yapım yılı dikkate alındığında çimento yada özel karışım harçları kullanıldığı görülür(Şekil 6.21, 6.22).



Şekil 6.21: Volta Döşeme

Dolgu malzemesi olarak curuf betonu kullanıldığında putrellerin üstünü örtecek kalınlıkta yapılması uygundur (Mahrebel H.A.2006).



Şekil 6.22: Volta Döşeme Duvar Birleşim Detayı

BÖLÜM 7

7.MİMAR SİNAN VE OSMANLI MİMARİSİNİN GELİŞİMİNDEKİ ROLÜ

7.1.Mimar Sinan ve Osmanlı Mimarisinin Gelişimindeki Rolü

Beylikten imparatorluğa dönüşen Osmanlı'da toplumun o günkü ihtiyaçlarına cevap verebilecek nitelikte farklı tipte birçok yapı inşa edilmiştir. Ancak bu mimari ürünler arasında devletin ekonomik gücünün birer göstergesi de olan camiler ön plana çıkar. Osmanlı Camileri incelendiğinde de mimari açıdan bir gelişim süreci yaşandığı ve bu süreçte Mimar Sinan'ın katkılarıyla doruğa ulaştığı görülür. 16. Yy'da Osmanlı Devletinin en parlak döneminde yaşamış olan Sinan, Osmanlı sanatının en büyük yapı ustasıdır. Günümüz teknik imkanlarına oranla hayli kısıtlı koşulların söz konusu olduğu "tarımsal düzen" mimarlığında, özellikle kubbe mimarisine getirdiği usta çözümleriyle evrenselleşmiş olmasından ve mimarlığa katkılarından dolayı "Mimar Sinan", "Mimarbaşı Sinan" ve "Koca Sinan" ünvanlarıyla anılır.

7.2.Sinan'ın Mimarlığı

Katıldığı seferler sayesinde yarım yüzyılı aşkın bir süre boyunca gözlem ve araştırma imkanı bulan Sinan, kendinden önceki çeşitli kültürlerle ilişkin eserleri izlemiş ancak hiçbir kopyacılığa ya da taklitçiliğe başvurmadan gözlemlerini sentezlemeyi, kendi üslubunu yaratmayı başarmıştır.

Sinan'ın eserleri incelendiğinde akıcılığın ön planda yer aldığı görülür. Çizgiler, biçimler ve hacimler belli bir güzelliği oluşturmak için adeta birbiriyle yarışır niteliktedir. Kubbe, kemer ve ayaklar sadece yapının yüklerini taşımakta görev almazlar; bu elemanlara yapının sanatsal değerini arttırıcı plastik form da verilmiştir. Sinan yapılarındaki güzelliği bezemeden çok biçim ve çizgilerin oluşturduğu oran ve orantılarda aramıştır. Her şey önceden düşünülmüş, hiçbir şey tesadüfe bırakılmamıştır.

Yapıyı oluşturan her eleman bir diğerinin devamı şeklinde algılanır, bu sebeple onun eserlerini bir tabloyu seyredencesine izlemek mümkündür.

Mimar Sinan sadece yapının plastiğini doruğa ulaştıran bir sanatçı değil aynı zamanda yapıyı uygun yere konumlandırarak ve çevresiyle uyumunu sağlayarak şehircilik anlayışını da ortaya koymuştur.

7.3.Sinan Öncesinde Osmanlı Cami Mimarisi

Osmanlı cami mimarisi daha 14.yüzyılda anıtsal mekan tasarımı açısından büyük gelişmeler göstermeye başlamış, özellikle kubbe, mekan tasarımının temel bir elemanı olmuştur. Osmanlı mimarlığının erken döneminde, bölgesel inşa teknikleri kullanılarak tek kubbeli(örneğin İznik Hacı Özbek Camisi (Şekil 7.1), İznik Yeşil Cami), çok ayaklı/ çok kubbeli [ör. Bursa Ulu Cami (Şekil 7.2), Edirne Eski Cami(Şekil 7.3)] ve tabheneli / zaviyeli [ör. Bursa Orhan Gazi Camisi, Edirne Muradiye Camisi(Şekil7.6)] cami tiplerinin kullanıldığı görülür.



15.yy'da çok ayaklı/çok kubbeli cami tipi terk edilerek Edirne'deki Üç Şerefeli Cami(1437-1447)(Şekil 7.7) gibi bir sonuca ulaşılmıştır. Üç Şerefeli Cami, dikdörtgen plana sahip kapalı ibadet mekanı, mihrap önünde bir duvardan diğer duvara kadar uzanan büyük bir kubbe ile örtülmüş, böylece taşıyıcı ayak sayısı ikiye indirgenerek iç mekanın çok sayıda ayak tarafından bölünmesi engellenmiştir. Buna karşın mekan

bütünlüğü ağır taşıyıcı ayaklar ve bunları birleştiren alçak kemerler tarafından zedelenmiş, üst örtüde ana kubbe ile yan kubbeler arasında oluşan boşluklar ustaca kapatılmamıştır.



Ancak bu yapı 100 yıl sonra Mimar Sinan tarafından tasarlanan camilerin ana fikrini geliştiren bir öncü olarak önem kazanıp, Osmanlı mimarisinde klasik dönemi hazırlayan yapılar arasında sayılmaktadır.

İstanbul'un fethinden sonra cami tasarımında yeni açılımlar izlenmiştir. Ayasofya'nın(Şekil 7.8) örtü sistemi, Osmanlı cami mimarlığına esin kaynağı olmuştur. Fetihden sonra inşa edilen Eski Fatih Cami(1462-1470)(Şekil 7.9), Üç Şerefeli Cami ve Ayasofya'nın bir uyarlaması olarak görülebilir. Bu caminin mekan örtüsünde kubbe-yarım kubbe birlikteliği görülür. Nitekim bir büyük kubbe, kible yönüne doğru bir yarım kubbe ve yanlarda üçer küçük kubbe ile genişletilmiştir. O zamana kadar ki en büyük kubbesi (26 metre çapında) ile Fatih devri camilerinin en büyüğü olan Eski Fatih Camisi klasik ölçüleri, oranları ve mimarisi ile kendinden sonraki İstanbul ve Edirne camilerine örnek olmuştur. Eski Fatih Camisi'nin şemasını bir adım ileriye götürerek yeni gelişmeye basamak teşkil eden İstanbul Beyazıt Camisi(1501-1505) ise Osmanlı mimarlığına belirli ölçüde simetri ve oran getirmiştir. Bu yapıda ana kubbe giriş ve

mihrap yönlerinde iki yarım kubbe ile açılmış ve yan bölümlerin üzerini örten eş büyüklükteki küçük kubbelerin sayısı dörde çıkmıştır.



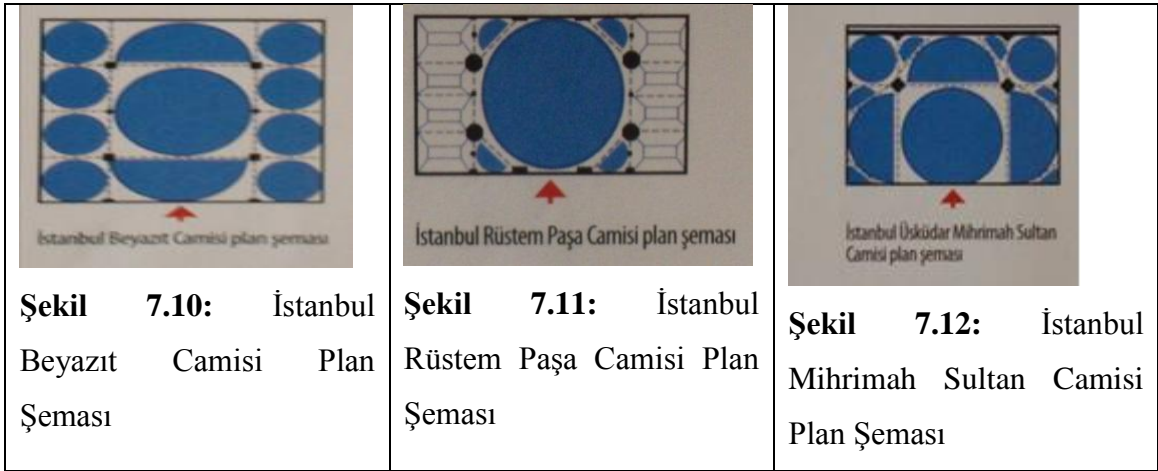
7.4.Osmanlı Cami Mimarisinin ve Kubbe Tekniğinin Gelişimine Sinan'ın Katkıları

Mimar Sinan, küresel yarım kubbenin saflığını bozmayacak şekilde birtakım biçimsel düzenlemeler denemiş, yaşamı boyunca bu denemelerin estetik kalitesini de yükselterek çalışmalarını sürdürmüştür. Onun mimarlığında kubbe yapının ağırlık merkezini oluşturmuş, yapı strüktürü de kubbenin desteklenmesi doğrultusunda biçimlenmiştir.

Yaklaşık yarım asırlık gözlemleri sonucunda ilk kubbesini Şehzade Camisi'nde (19 m çapında), ikinci büyük kubbesini Süleymaniye Camisi'nde(26,5 m çapında), üçüncü ve en büyük kubbesinide Selimiye Camisi'nde(31,5 m çapında) gerçekleştirmiştir.

Sinan'ın "çiraklık eserim" diye tanımladığı ilk büyük eseri, Kanuni Sultan Süleyman'ın 21 yaşında ölen oğlu Şehzade Mehmed anısına 1543-1548 yılları arasında yaptırdığı, Şehzade Camisi'dir. Bu yapıda kubbe-yarım kubbe problemini ele alan Sinan, Ayasofya ve Beyazıt Camisi'nin (Şekil 7.10)plan şemalarını aşarak ideal bir merkezi plan oluşturmuştur. Kapalı ibadet mekanının üst örtüsü, dört taşıyıcı ayak

üzerine oturan büyük kubbe ve bu kubbeyi dört yönde çeviren yarım kubbeler ile köşelerde yer alan küçük kubbelerden oluşmaktadır. Sinan'ın bu camideki yeniliği, bilinen bir plan şemasını farklı bir şekilde yorumlayarak anıtsal boyutlarda kullanmış olması ve ideal bir merkezi plan oluşturmasıdır. Nitekim bu plan şeması, kendisinden sonra inşa edilen Eminönü'ndeki Yeni Cami'de, Sultanahmet Camisi'nde ve Yeni Fatih Camisi'nde de kullanılmıştır. Sinan, Şehzade Camisi'nin dış mimarisinde de daha önce görülmemiş bir eleman kullanarak yeniliğe gitmiştir. Kapalı ibadet mekanının iki yanına revaklar düzenleyerek ağır kitle etkisini hafifletmiş ve yan revakların ortasına yerleştirdiği girişlerle de planın merkeziliğini vurgulamıştır. Şehzade Camisi ile kendi üslubunu koymaya başlayan Sinan, aynı zamanda hem anıtsal mimarinin hem de "Osmanlı klasik mimarisi" olarak tanımlanan bir dönemin önünü açmıştır.



İnşası Şehzade Camisi ile aynı yılda tamamlanan Üsküdar Mihrimah Sultan Camisi(Şekil 7.12) ise Eski Fatih Camisi ile Şehzade Camisi'nin bir varyasyonu ve kubbe +üç yarım kubbe denemesi olarak değerlendirilebilir. Mimarbaşı, Şehzade Camisi'nin giriş yönündeki yarım kubbe ile iki köşe kubbesinin yerine 5 kubbeli bir son cemaat yeri ve köşelere de iki ince minare yerleştirerek yüksek ve ahenkli bir cephe tasarlamıştır. Eski Fatih Camisinde ana kubbenin yanında yer alan ikişer küçük kubbe yerine birer büyük yarım kubbe yerleştirmiştir.

Mimarbaşı Sinan, 1550-1557 yılları arasında Kanuni Sultan Süleyman'ın kendi adına inşa ettirdiği Süleymaniye Camisi'nde, Beyazıt Camisi'nde uygulanmış olan kubbe+ yarım kubbeli plan şemasını denemiştir. Ölçü itibariyle Ayasofya'ya yaklaşan Süleymaniye'de, kendi çağının teknolojisini kullanarak daha güçlü bir iç mekan etkisi yaratmayı başarmıştır.

Sinan'ın "kalfalık eserim" dediği Süleymaniye'de(Şekil 7.13) büyük kubbe, dört büyük taşıyıcı ayak üzerine oturarak giriş ve mihrap yönünde iki yarım kubbe ile desteklenmiş, yarım kubbeler de iki çeyrek kubbe ile desteklenmiştir. Yan bölümlerde beşer kubbe ile örtülmüş, ancak birbirine eşit kubbelerin monotonluğu yerine bir büyük bir küçük (a-b-a-b-a)ritmi ile değişik bir etki yaratılmıştır. Sinan'ın Süleymaniye ve Selimiye inşaatı arasındaki süreçte dikkatini Edirne'deki Üç Şerefeli Cami'ye yönelttiği görülür. Üç Şerefeli' den 100 yıl sonra İstanbul Beşiktaş'taki Sinan Paşa Camisi'nde(1555), Rüstem Paşa Camisi'nde (1561) ve Edirnekapı Mihrimah Sultan Camisi'nde(1562-1565) Üç Şerefeli' nin varyasyonlarını denemiştir.

Plan şeması açısından Üç Şerefeli' nin özdeşi kabul edilen Sinan Paşa Camisi'nde dikkate değer gelişme olarak, iç mekandaki taşıyıcı ayakların inceltmesinden ve kemerlerin yükseltilmesinden söz edilebilir. Bu yapıda Üç Şerefeli' nin planını tekrarlayan Sinan, Üç Şerefeli'de izlenen iç mekan sorunlarını çözümlenmeye çalışmıştır. Sonrasında mihraba paralel olarak enine gelişim gösteren dikdörtgen bir planın üzerini, mekan birliğini ve bütünlüğünü sağlayarak üzerini, mekan birliğini ve bütünlüğünü sağlayarak örtebilmek için birtakım girişimlerde bulunmuştur.

Rüstem Paşa Camisi'nde dikdörtgen planın üzeri ortada büyük bir kubbe (dört köşeden eksedrallarla desteklenmiş), yanlarda da üçer adet aynalı tonoz ile örtülmüştür. Ancak bu örtü sisteminde büyük kubbenin sekiz ayağa oturması, iç mekanda duvarlardan bağımsız dört adet büyük serbest taşıyıcı ayağın yer almasına yol açmıştır ki bu da mekansal bütünlüğü zedelemiştir. Plan olarak Rüstem Paşa Camisi ile benzer

oranlara sahip Edirnekapı Mihrimah Sultan Camisi'nde ise Rüstem Paşa'daki aynalı tonozların yerine küçük kubbeler eksedraların yerine de pandantifler kullanılmıştır.

Ancak her iki yapıda da yan bölümler daha düşük kotta tutularak merkezi kubbe vurgulanmış, böylelikle gerek Üç Şerefeli'ye gerekse Sinan Paşa'ya, iç mekanın algılanışında ve yapının dış görünüşünde farklılık yaratılmıştır. Mimar Sinan'ın Rüstem Paşa Camisi ile başladığı sekizgen deneyimi(büyük kubbeyi sekiz taşıyıcı ayak üzerine oturtması), Osmanlı'nın ve kendisinin başyapıtı kabul edilen Edirne'deki Selimiye Camisi(Şekil 7.14) ile doruk noktasına ulaşmıştır. Sultan II.Selim döneminde, 1568-1575 yılları arasında inşa edilen Selimiye, kubbe altı mekan birliğinin tam olarak çözüldüğü bir örnek olarak karşımıza çıkar. Sinan bu yapısında cemaati aynı kubbe altında toplamayı ve büyük bir açıklığı tek kubbe ile geçmeyi başarmıştır. Caminin plan şeması, gördüğümüz tüm cami plan şemalarından farklı olarak hemen hemen tüm geometrik formları içerir. Zeminden yaklaşık 43 m yükseklikte 31,5 m çaplı kubbe, 8 büyük kolon(fil ayağı/pilpaye) ile taşınmış ve yapının köşelerine doğru yönelen dört eksedral ile daha da geniş bir alan oluşturma yoluna gidilmiştir. Ana mekanın zeminindeki dikdörtgen şeması, düşük kotta kalan mahliflerle sağlanmıştır. Mahliflerin sona erdiği noktada ise plan kareye dönüştürülmüştür. Eksedralarla bir yandan kubbe kasnağının yuvarlağı hizalarken, diğer yandan kareden sekizgene yumuşak bir geçiş sağlanmıştır. Mimar Sinan büyük kubbeyi, kübik hareketsiz dört duvar arasına koymak yerine, dikdörtgenden yuvarlağa değişimi yumuşak geçişlerle sağlanan hareketli bir gövdeye taşıtarak yapıyı monotonluktan kurtarmıştır. Ayrıca duvarlara açılan çok sayıda pencere ile ferah ve aydınlık bir iç mekan yaratmıştır.



Mimar Sinan Selimiye'nin yüzyıllarca ayakta kalabilmesini sağlamış, mekan-strüktür ilişkisini, estetiği de göz önüne alarak mükemmel bir kompozisyonla birleştirmiştir. Geniş bir iç mekan, iyi seçilmiş bir yapı strüktürünün verdiği tüm imkanlarla gerçekleştirilmiştir. Eşsiz kubbenin sekiz ayak tarafından taşınması ve bu ayakların yapı içinde dengeli bir biçimde yerleştirilmiş olması, yapı statğine verilen önemi göstermektedir. Zeminden kubbeye kadar ahenkli bir düzene sahip iç mekan, strüktür elemanları ile bütünleştirilmiştir. Strüktür elemanlarının ustalıklı kullanımı, gerek iç mekanın gerekse yapı kitlesinin oluşumunda en büyük rolün sahibidir.

Zeminden ana kubbeye kadar tüm strüktür elemanlarının kademeli yükselmesi, yapı dışında olduğu gibi içinde de hareketliliği sağlamaktadır. Ayrıca ana kubbe ile bu kubbeyi destekleyen yarım kubbelerin arasında ölçü farklılığının olması hem yapı içinde hem de yapı dışında dikkatleri tek kubbe üzerine çekmektedir. Ana kubbenin dört köşesine yerleştirilen minareler ile sekiz köşesindeki ağırlık kulelerinin de bu izlenimdeki payları büyüktür. Şehrin her köşesinden görülebilecek şekilde, şehre hakim bir noktada konumlandırılmış Selimiye'nin en önemli özelliklerinden biri de akustiğidir. Selimiye'nin içinde ezan okuyan müezzinin yankılanan sesi, akustiğin mükemmelliğini gösterir. Şüphesiz Selimiye camisi, Mimar Sinan'ın hayatı boyunca edindiği deneyimlerin bileşkesidir. Ancak Sinan, gerek Selimiye'nin inşası sırasında gerekse inşasından sonra, yaşamının sonuna değin kubbeli yapının strüktürel ve biçimsel sorunları üzerinde çalışmalarını sürdürmüştür.

Örneğin Piyale Paşa Camisi(1571) Sinan'ın, Osmanlı erken dönemine ait çok ayaklı kubbeli camiler grubunda yer alan Bursa Ulu Cami ve Edirne Eski Camisi gibi örnekleri ele aldığı bir yapı olarak kaşımıza çıkmaktadır. Strüktürel mekansal düzen açısından katı ve kasvetli bir etki yaratan erken dönem örneklerine oranla Piyale Paşa Camisi, gerek strüktürel öğelerin dışarıya yansıtılmasıyla gerekse pandantiflerin dışarıdan izlenebilmesiyle farklılık göstermektedir. Ayrıca iç mekanda kubbe ile örtülü ünitelerin yanlarında mahfillere yer verilmesi, bu tip yapılarda da mekan genişlemesinin mümkün olabildiğinin bir göstergesidir. Girişin tam mihrap ekseninde yer almaması ve

iki farklı giriş ile ibadet mekanına ulaşılması da bir başka yenilik olarak değerlendirilebilir. Böylece mekana girenlere dolaylı bir mekan algılama süreci yaşatılmıştır.

Sinan'ın Selimiye'den sonraki eserleri de özellikleri ile göz dolduran küçük tekrarlardır. Eyüp'teki Zal Mahmut Paşa Camisi(1575-1580)(Şekil 7.4), enine gelişmiş dikdörtgen planın son derece özgün bir çözüme ulaştırıldığı yapıdır. Azapkapı Sokullu Camisi(1577)(Şekil 7.16) bazı yenilikler görülmele ve küçük boyutlu olmakla birlikte Selimiye'nin varyasyonu niteliğindedir. Tophane Kılıç Ali Paşa Camisi'nde (1580)(Şekil 7.5) ise Ayasofya'nın plan şemasına geri dönmüş, yan bölümleri ayıran duvarları ortadan kaldırarak genişliği uzunluğuna yakın bir cami mekanı yaratmıştır. Bu yapının bir cami mekanı olmasına karşın, Ayasofya'ya oranla bir bazilikadan beklenebilecek nitelikleri daha belirgin taşıdığı, hatta Sinan'ın Ayasofya ile hesaplaşması olarak görülebileceği ifade edilmektedir (Benian E., 2011).



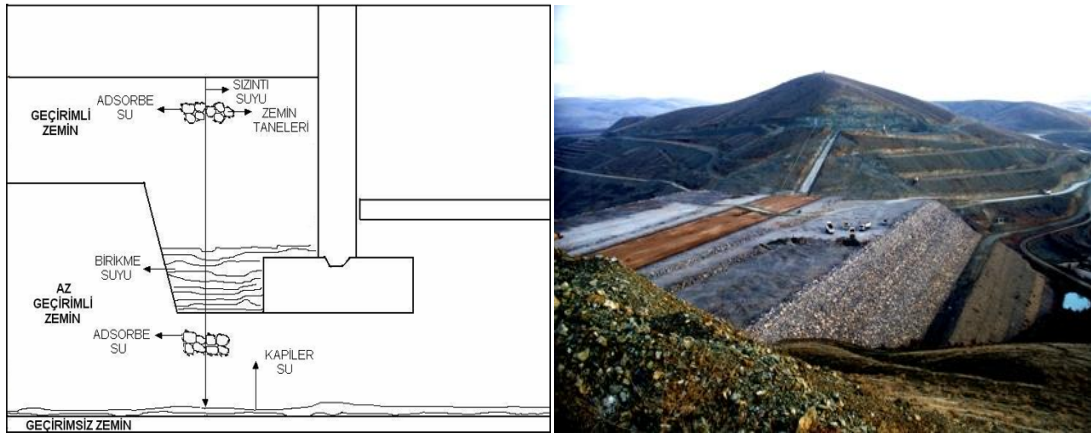
Şekil 7.16: İstanbul Azapkapı Sokullu Camisi Plan Şeması

BÖLÜM 8

8.TARİHİ YAPILARIN GÜNÜMÜZE TAŞINMIŞ ÖNEMLİ ÖZELLİKLERİ

8.1 ZEMİN SIKILASTIRMA

Tarihi yapılarda karşılaşılan zemin problemlerine karşı kullanılan bir yöntem de zemini sıkılaştırma yöntemidir. Yapının oturduğu zemindeki serbest su, adsorbsiyon suyu, hidratasyon, kristalleşme veya köşe suları, kapiler sulara karşı zeminde kademe kademe serme, oturtma ve sıkıştırma yapılarak zeminin mukavemeti arttırılmıştır (Şekil 8.1).



Şekil 8.1: Zemin suları ve kademeli sıkıştırmanın kullanıldığı bir baraj inşaatı

Buna en güzel örnek Mimar Sinan'ın Süleymaniye Camiinin yapımında 5 sene malzemenin zeminde bekletilmesi verilebilir. Günümüzde kademeli serimi en çok kullandığımız alanlar baraj ve yol yapımıdır.

8.2 ZEMİNDE KUYU AÇILMASI

Yer altı zeminlerin alt katmanlarında zerreler arasındaki hava boşluklarının tamamen su ile dolması ile oluşur. Yerin yapısına bağlı olarak zeminden muayyen

derinliklerde teşekkül eder. Mevsim ve yağışlara tabi olarak yer yüzeyinden derinliği sürekli değişmektedir. Bu alçalma yükselme, zerrelere arasındaki havayı sıkıştırarak boşaltması ve boşluklara suların dolması ile oluşur. Bu hareket esnasında hava yapı tabanında sıkışıp kalırsa kapiler yollardaki nemli havayı alttan iter. Tabandaki bu basınç, beden duvarlarında, kapiler suların yüksekliğe kadar çıkmasına neden olur.

Yer altı suyunun bu hareketi deprem esnasında çok daha etkili ve hızlı olmaktadır. Suların hareketi yönünde basınç üretmekte olduğunu biliyoruz. Ayrıca hava sıkıştırıldığında çevresine büyük basınçlar yapabilmektedir. Deprem zeminlerin zerrelere arasındaki çekim bağlarını zayıflatmaktadır. Yapı temelinde bir tedbir alınmamışsa zeminde atmosfer basıncının üzerinde basınç oluşur, yükselme istikametinde kaldırma kuvvetleri hasıl olur ve temel zeminin taşıma mukavemeti düşer. Yük taşıma kapasitesini kaybeden zeminlere sıvılaşma oldu deriz. Sıvılaşan zemin yamaçta ise yamaç kaymaları oluşur, denize kenarında ise zeminde yarılmalar meydana gelir, zayıf yer tabakalarında dalgalanmalar görülür. Yapılar zeminin bu hareketlerine uygun zarar görür. Tarihte Fatih Sultan Mehmet dönemine ait kayıtlarda depremlerde zeminlerin kaynamasına karşı, bilim adamlarının önerisi ile İstanbul'un çok yerinde derin su kuyuları açıldığı yazılmaktadır. Sıvılaşma tehlikesinin çok yüksek olduğu zeminde yapılan Küçük Ayasofya Camisi yapıldığı 515 yılından beri maruz kaldığı bunca depremlere rağmen yıkılmadan ayakta kalmasının sebebi kubbenin ortasına isabet eden temel zeminindeki su kuyusudur. Kuyu temel zeminindeki kanaletlerle dışarı açılmakta, yapı temel zeminindeki boşluk suyu basıncının artmasını önlemektedir.

Tarihi yapılar ağır kütleli yapılardır. Zeminlerinde sıvılaşmanın olup olmayacağını bilmesi şarttır. Sıvılaşma temel zemininin üç beş metresinde meydana gelir, bu yükseklik takriben kapiler çekim alanıdır. Kapiler çekim alanının temel yüzeyine yakın olması zeminin sıvılaşma riskini de arttırmaktadır. [49]

Mimar Sinan yapı zeminin de oluşabilecek kaymaların önemine Süleymaniye Camii'nin inşası sırasında uyguladığı teknikle vurgu yapmıştır. Caminin oturacağı

zemini inceleyen Mimar Sinan, camiinin yapımında önce çevreye birçok dükkan yaptırmıştır. Birbirine bağlı bu dükkan zincirinin camii zemininde oluşabilecek kaymalar için çok kullanışlı birer istinat duvarı gibi çalışmasını sağlamıştır. Süleymaniye Camii'nin inşaata başlamadan önce tepenin kenarlarından Haliç'e kadar (yaklaşık 5 km'lik bir uzaklık) toprağın altına setler yapılmış, kireç dökülmüş ve toprak kayması riski engellenmiştir. Caminin önemli bir özelliği de drenaj sisteminin kullanılmış olmasıdır. Mimar Sinan bu sistemle temelden halice kadar su kanalları yapmış ve temelde çıkabilecek suyun halice akmasını ve zeminde oluşabilecek sıvılaşmayı engellemesini sağlamıştır.

Araştırmacı-yazar Talha Uğurluel, yaptığı açıklamada, fay hattı üzerinde bulunan İstanbul'un Osmanlı imparatorluğu döneminde de depremlerle sarsıldığını belirterek, 2. Beyazıt'ın, depreme karşı önlem olarak şehrin muhtelif yerlerine yerin altında biriken gazı yerin üstüne vermek amacıyla 2 bin deprem kuyusu açtığını anlatmış. Açılan bu kuyular yeraltında sıkışan havanın yeryüzüne çıkmasını sağlayarak deprem ve sıvılaşma riskini azaltmıştır. Bu kuyulardan birkaçının Eyüp civarında bulunduğunu kaydeden Uğurluel, "Bu kuyuların günümüzde suyu da yoktur. Halk arasında dilek kuyusu diye adlandırılmıştır" diye konuştu (Son Dakika Haber, Osmanlı'dan Depreme Karşı Kuyu Formülü)

Bu önlemin Ayasofya'da da kullanıldığı anlaşılıyor. Birkaç yıl önce çıkan bir haberde, İstanbul Teknik Üniversitesi öğretim görevlisi Dr. Çiğdem Özkan Aygün, Ayasofya'da zeminin altında su sistemleri bulunduğunu açıklıyor, kanalizasyonları dehlizleri, kuyu ve sarnıçlarını haber veriyordu. Dr. Aygün şunları belirtmiş: "Ayasofya'da tam 8 kuyunun varlığını saptadık. Bunların tamamını inceleyeceğiz. Ancak, kuyuların bir bölümü çok dar, bu nedenle hepsine teker teker inmemiz mümkün değil. Su ana kadar iki kuyuya indik. Bunlar Van Nice'in da araştırmaları sırasında bulunduğu, müzenin içinde bulunan kuyular. En geniş, içine girilebilen bu kuyularda bile zorlanıyoruz. Zira ilk kuyunun ağzı sadece 44 santimetre, derinliği ise 11 metre.

Kuyunun ilk 1 metre 15 santimetrelik bölümü tuğla ile örülmüş. Sonraki bölüm ise kayaya oyulmuş. Dibinde ise henüz tam olarak ölçümünü yapmadığımız balçık tabakası var.” (Uzel N., 2011).

8.3 ZEMİNDE KELEPÇE VE KAYAR TEMEL UYGULAMASI

Tarihi yapıların depremdeki hareketlerine karşı çeşitli önlemler alınmıştır. Bunlardan biri zeminde kayar temel uygulaması yapılmasıdır. Bu uygulamanın esası deprem sırasında yapının bütün olarak hareket etmesinin istenmesidir çünkü yığma yapılarda oluşabilecek müstakil hareketlerin ve enerji çıkışlarının yıkıcı etkisi büyük olmaktadır. Bu uygulama üzerine en bilinenlerden biri Mimar Sinan’ın yapmış olduğu Süleymaniye Camisi’dir. Yapının minareleri ana yapıdan uzaklaşmasın stabilitesi bozulmasın diye minarelerin temelleri çelik kelepçeler ile ana yapıya bağlanmıştır. Ayrıca ana yapının altında bulunan kayar sistemlerin daha gelişmişinin minarelerin altında var olduğu ve minarelerin her yönü 5 derece yatabildikleri görülmüştür. Osmanlı’da ahşap ev seçimini deprem yüzündendir. Ahşap evlerin temellerinde yuvarlak taşlar kullanılmış ve yapının deprem sırasında bütün olarak hareket edip, depremin etkisini sönmülmesi sağlanmıştır.



Şekil 8.2: Theodosius Dikili Taşı

Ayrıca İstanbul Sultanahmet Meydanı(hipodrom) da bulunan Theodosius dikili taşının özel bir önemi vardır(Şekil 8.2). Dikili taş M.S.390 yılında dikilmiş, dikildiğinden bugüne kadar yıkılmadan yerinde kalmıştır. Dikili taş dört kısımdan oluşmaktadır. Temel kısmı 3.80 x 3.80 m ebadında yüksekliği 2.80 m olan tek parça mermer blok. Temel üstünde 3.00 x3.00 ebadında yüksekliği 3.0 m olan Marmara mermerinden yekpare blok. Üçüncü kısım 0.40 x 0.40 m ebadında 0.70 m yüksekliğinde dört adet bronz ayak. Bu bronz ayakların üzerinde yükselen 3.00x3.00 m taban kesitli 19 m yüksekliğinde yekpare granit mermer. Tahmini ağırlığı 80 ton. Dikili taşın yüksekliği temelden itibaren 26 m dir. Dikili taşı dikenler, temel taşının üstüne oturan ikinci mermer blokla temel bloğu arasına yetey yük izolatörü yerleştirmişlerdir. Temel bloğun dört köşesine oyularak yerleştirilen 0.50x0.40 m ebadında 0.70 m yüksekliğindeki granit mermer taşlar, temel bloğunun yatay hareketlerinde kasılarak dikili taşın temelle irtibatını kesmekte yatay yüzdeki sürtünmesini azaltarak yer hareketlerinin üst yapıya geçmesini önlemektedir. Üst yapı tüm depremlerde hiç hareket etmeden havadaki yerinde kalmaktadır[49].

8.4.HAVANIN KULLANILMASI - HAVA KANALLARI

İstanbul Üniversitesi Rektörlük ana binası temellerinde 100x170cm kesitinde galeriler yer yer beden duvarlarına yerleştirilen künk bacalarla çatıdan havaya açılmaktadır.

Kuleli Askeri Lisesi temel katmanında karadan deniz istikametinde eğimli 80-100 cm yüksekliğinde havalandırma galerileri vardır.

Havalandırma kanalları Süleymaniye Camiinin akustiğinde yankı sönümleyici olarak kullanılabilirken aynı zamanda ısı izolasyonu ve hava sirkülasyonunu şekillendirmek suretiyle cami içerisinde yakılan islerin toplanması dahi sağlanabilmiştir(Şekil 8.3)[49].



Şekil 8.3: Süleymaniye Camisi giriş kapısı üstündeki İs Odası

Ayrıca Mimar Sinan, Süleymaniye Camisi'nde ayaklar üşümesin ve secdede huzur duyulsun, diye yerden 20 cm yüksekliğe kadar hava hızı profilinin sıfıra çok yakın olması (sınır tabaka), sonrasında ise hava hızlarının yükselmeye başlaması temin edilmiştir.

Geometrik merkezlerden biri olan is odası cami içinde yanan kandillerin isini toplayıp mürekkebe dönüştüren ve tamamen tabiî havalandırma ile çalışan bir siklon-baca sistemidir. Bu olmasa cami kubbesi kandillerin tesiriyle çok kısa zamanda karacaktır. İs odası Selimiye'de yapılmamıştır, sadece Süleymaniye'ye has bir tercihtir.

Üçüncü geometrik merkez olan şadırvan, o devrin şartlarında (kısmen Bizans kanalları kullanılarak) İstiranca derelerinden getirilen suyu, tabiî kule prensibiyle hava akımı oluşturarak oksijenle arıtan tarihin ilk içme suyu hazırlama istasyonudur. Bugünün teknolojisi, is odasındaki tabiî hava akımını ve şadırvandaki tabiî kule tesirini hayranlıkla izlemekte; bu teknik, Batı üniversitelerinde doktora seviyelerinde ders olarak işlenmektedir (Gültek O.T.,)

8.5 AKUSTİK

Akustik; mekanik dalgaların, katı, sıvı ve gaz ortamları içinde yayılımını, özelliklerini, buldukları ortamlarla olan etkileşimlerini, canlılar üzerindeki fizyolojik ve psikolojik etkilerini inceleyen bilim dalıdır. Cami, tiyatro, konferans salonu gibi yerlerde sesin en az yankı ve en çok netlikle dinleyici kitlelere ulaştırılması büyük önem taşır.

Ses yansıması; Kısa uzaklıklarda yansıyan ses, ana sesin bir devamı gibi duyulur. Bu, tam olmayan yankıdır. Sesin çıkış noktasıyla yansıdığı nokta arasında uzun bir mesafe varsa “tam yankı” teşekkül eder. Boş bir odada konuşulduğu yahut yürüdüğü zaman ayak sesleri veya konuşma sesi dağılmadan geri döner. Yankıya yol açan böyle bir oda, mesela bir müze salonu “canlı oda” olarak; eşyanın ve yapım malzemesinin yankıyı en aza indirecek şekilde düzenlendiği bir oda ise “ölü oda” olarak isimlendirilir. “Yankısız salon”lar, özel maddelerle yapılmış ve döşenmiş ölü odalardır. Tamamen ses emici maddelerden yapılmış bu salonlarda her türlü sesli cihazın, mesela hoparlör, mikrofon gibi aletlerin kalite denemeleri yapılır. Akustik yardımıyla sesin yansıma özelliklerinin bilinmesinden faydalanılarak deniz derinliklerini ölçmek de mümkün olmuştur.

Yankı zamanı; Bir sesin işitilmesi ile bu sesin bir veya daha fazla yansımasından doğan yankının duyulması arasında geçen zaman yankı zamanıdır. Bu terim akustik mühendislerince, verilen kapalı bir salonun akustik özelliklerini hesaplamada kullanılır. Bu zaman, bir ses dalgasının değerinin bir milyonda birine düşmesi için gereken zamandır. “Canlı” bir odanın yankı zamanı saniyelerce sürebilirken, ses emici eşyalarla kaplanmış bir ölü odanın yankı zamanı bir saniyenin küçük bir parçasıdır. Yankı zamanının uzun olduğu bazı kapalı yerlerde ses etkili ve renkli bir duruma gelir. Bu da yapılaşa bağlı olan bir akustik özelliğidir. Bu olayın en iyi örneğine camilerimizde rastlanır.

Yankı zamanı, odanın hacmiyle doğru orantılı olup, etraftaki eşya ve duvarların ses absorpsiyon gücü ile de kısmen ters orantılıdır. Absorpsiyonu bulmak için, yüzeyin alanı aynı yüzeyin ses absorpsiyon katsayısı ile çarpılır. Bütün yüzeylerin bu şekilde hesaplanmış olan değerlerinin toplamı ise, odanın toplam ses emme gücünü ortaya koyar.

Ses emiciler; Absorpsiyon katsayılarına bakıldığında, bazı maddelerin diğerlerinden daha iyi ses emdiği görülür. Bu, maddeye yöneltilen ses enerjisinin, emilen enerjiye oranına bakılarak bulunur. Pürüzsüz yüzeylerin absorpsiyon katsayısı düşüktür.

Bazı yüzeylerin absorpsiyon katsayıları:

Sıvalı yüzeyler: 0,03

Tahta kaplamaları: 0,10

Halılar: 0,25

Celotex denilen özel izolasyon maddesi: 0,60

Pürüzü hiç olmayan bazı yerlerde absorpsiyon katsayısı 0 civarındayken, bazı özel ses izolasyon maddelerinde 1,00'a ulaşır.

Bir ses kayıt stüdyosunda kaydedilen ses için yankı zamanı hayati önem taşır. Sesin ön planda olduğu tiyatro, konferans salonu gibi yerlerde yankı zamanının düşük tutulması istenir. Buralarda yankı zamanı bir saniyenin altında olmalıdır. Ses kayıt stüdyolarında yankı zamanı bir saniyenin çok altındadır (Modern akustik)

7.5.1.Sesin fizyolojik özellikleri:

1.Yükseklik: Sesin frekansıdır. İnsan kulağı frekansı yaklaşık 20 ile 20.000 Hz. olan sesleri işitebilir. Sesin frekansına bağlı olarak yüksekliği târif edilir. İnce seslerin frekansları büyük, kalın seslerin ise frekansları küçük değerlerdedir. Frekansları, 20'den

küçük olan seslere “İnfrasonik”, 20.000’den büyük olanlara ise “Ultrasonik” denir. Sesin frekansı kaynağın hareketine bağlı olarak kayma gösterir. (Bkz. Doppler Olayı)

2.Şiddet: Ses dalgalarının bir santimetrekarelik yüzeydeki güçlerine denir. Birimi watt/cm²dir. Ses şiddeti, dalganın frekansına ve dalga genliğinin karesine bağlıdır. Şiddet sebebiyle ses kuvvetli veya zayıf olarak duyulur. İnsan kulağı 1016 watt/cm² ile 104 watt/cm² şiddet değerleri arasındaki sesleri duyabilir.

Duyuma şiddeti desibel birimiyle bilinir. Duyulan ses şiddeti alt limite giderken, duyma şiddeti de sıfır desibele gider. Duyulan ses şiddeti üst limite giderken, duyma şiddeti 120 desibele gider. Yâni duyma şiddeti, duyulan sesin şiddetinin logaritması ile orantılıdır. Normal insan sesinin duyma şiddeti 70 desibel civârındadır.

İşitmenin alt limitinde kulak zarının titreşim hareketinin genliği yaklaşık 3,6.10⁻¹⁰ cm’dir. Bu mesâfe, bir hidrojen atomunun çapının ancak binde 36’sıdır. Yâni, kulak zarı en güçsüz sesi işitirken akıllara durgunluk verecek kadar küçük bir genlikle titreşmektedir. Bu ise kulağın ne kadar hassas yaratıldığını göstermektedir. Ses şiddeti kaynaktan uzaklaştıkça azalır, düşer.

3. Tını ve harmonikler: Ses kaynakları, genellikle ana ses denilen (en kalın) sesle birlikte, frekansları ana sesin frekansının tam katları olan tâli sesler çıkarırlar. Bu tâli seslere ana sesin harmonikleri denir. Bu sesler etrâfa ana sesle birleşmiş olarak yayılırlar. Tını, bir sesin kulağa tesiridir. Farklı kaynaklardan çıkan sesler aynı yükseklik ve şiddette olsalar da tınları farklıdır (Sesin Fiziksel Özellikleri).

1988 yılında yapılan Uluslararası Kubbe Sempozyumunda, dünyanın çeşitli yerlerinden gelen kubbe uzmanı, mühendis ve profesörler, aradan 400 yıl geçmesine rağmen uzmanları hayrete düşüren mükemmel mimari özelliklerde ve akustik dengenin en iyi uygulandığı yapıların ustası olarak Mimar Sinan’ı göstermektedir. Akustik dengeyi en iyi kurduğu Süleymaniye Camii, mimarideki tüm unsurları en titiz ve denge

içerisinde taşımaktadır. Kubbe akustiği çözümleri, tasarım ve yapımı zamanın şartlarının çok ötesinde olduğu, günümüzde de izlenmektedir. Mimar Sinan Süleymaniye Camiinin yapımında kubbedeki akustik duyumu denetlemek için nargile fokurdattmış ve kubbenin her bir köşesinden işçilerinin ellerindeki borularından nargilenin sesini duyup duymamasına göre, düzenlemeler yapmıştır.

İnsan yapısında direkt ses tellerinden çıkan ham ses, yani ses tellerinin üzerindeki yapıyı yok ettiğinizde duyulan ses nargiledeki gibidir. Periyodik bir ritimle akan ses dalgaları, derinliksiz ham ses şeklindedir. Nargileyi de ses kaynağı olarak düşünürsek aynı yapıda, ham sesi oluşturmaktadır. Ancak bu ham ses, üzerindeki yapılara göre şekillenmektedir. Kaynaktan çıkan ses, genişleyen küresel dalgalar halinde ilerler ve mekanın duvarlarına çarpar. Duvarlara çarpan ses dalgaları, mekanın formuna, duvarların emicilik ya da yansıtıcılığına göre belirli doğrultuda değişik şekillerde yansır. Burada nargile ve ses telli bir ses kaynağı olarak benzerliği göze çarpmaktadır (Güven Ş., Kandoğan T., Damak Kubbe).

Avrupalılarda ise akustik konusunda ilk ciddi çalışma, Harvard Üniversitesi konferans salonunun akustiğinin çok bozuk olduğunu fark eden W.C.W. Sabine tarafından 1900 yılında yapılmıştır.

Tüm yapı formları arasında kubbe formu, sesin en çok çoğalmasını sağlayan yapıdır. Buna karşın bir çok ses odaklanmaları, ses tekrarları, yankılanma gibi riskleri de bulunmaktadır. Ancak bu riskler giderildiğinde, kubbe formu en ideal akustik yapı formudur. Bu form içinde ses, mekanı dolduran doygunluğa ulaşır ve burada ses önem kazanır.

Sinan kubbede geçiş elemanı olarak kullandığı ana kubbenin yanlarındaki küçük kubbeler olan mukarnaslar, sesi dağıtarak yansımaları sağlamıştır. Böylece mukarnasların taşıyıcılık fonksiyonlarının yanı sıra, estetik ve akustik fonksiyonları da uyum içinde birleştirmiştir. Mimar Sinan duvar ve kubbede kullanılan sıvalara kıtık

denen, talaş ve keçe gibi organik maddeler ilave ederek hacimde homojen ses dağılımını sağlamış, ses enerji dönüşünü ses yutucu elemanlarla kontrol altına almıştır.

Ses emicilik katsayısı, satıha çarpan ses dalgasının enerjisinin yüzde 30'u satıh tarafından emilmiş, yüzde 70'i yansımışsa, o satıhın emicilik katsayısı yüzde 30'dur. Örneğin, mermerin emicilik katsayısı yüzde 1, halının emicilik katsayısı yüzde 11'dir.

Sinan iç ve dış kubbeler arasında iki-üç metreyi bulan boşluklar kullanmıştır. Bu, yaz-kış ayarlarında iç mekandaki hava sıcaklığını belli bir seviyede tutmasının yanında, mükemmel bir akustik de sağlamıştır. Mimaride akustik hayaller denen, yansıma kanunlarına göre, yansıtıcı satıhın arkasında, hayal meydana gelmektedir. Yansıyan sesler buradan geliyormuş gibi yayılır. Bu da akustik zenginlik oluşturur ve sesin derinlik kazanmasını sağlar. Üst üste ve arada hava boşluğu bırakılarak oluşturulan kubbe bunlardan başka ses yalıtımı açısından da önem taşımaktadır. Sesin mekan dışına taşması önlenmekte, ses izolasyonu yaratmaktadır.

Sinan ayrıca uygun akustik değerleri sağlamak amacıyla döşeme kaplaması olan halıyla, uygun bir akustik elde etmiştir. Ayrıca zemin altında boşluk kullanarak, hem klimizasyonu, hem de zemin rezonatörünü sağlamıştır. Buradan oluşturulan hava akımı da kubbe içinde, ses dalgalarının düzenli dağılımını yapmıştır. Uyarıcı ses enerjisinin etkisiyle titreşim yapan sisteme rezonatör denir. Rezonatöre uyarıcı titreşim olan ses enerjisi ile belli bir uyuma girmesi, olayına da rezonans denir.

Mimar Sinan Süleymaniye Camiinin büyük kubbesinden yansıyan sesin meydana getireceği rahatsız edici büyümesine, kubbe yapısının güçlü tınlatici özelliğine ve kubbeye oluşacak özel ses odaklanmalarına önlem olarak, kubbeye, köşelere ve eteklerine içi boş 50 cm boyunda 64 küp yerleştirmiştir.

Kaynağından çıkan ham ses, yapının etkileşimiyle sesin rengini oluşturur. Sinan'ın, kullanıldığı küplerle etkin ses rengini elde etmeyi amaçlamıştır. Çıkan sesin

fazlası emilmeli ve oluşan ses yankılanmamalıdır. Kubbenin bir yerindeki küçük bir fisıltı 40-50 m. mesafeden kubbenin diğer yanından açıklıkla işitilir. Hatta kubbeyi birkaç kez döner. Bundan dolayı ses büyütecisi kubbe, eteklerindeki küplerle, ses dalgalarının üst üste binip kargaşa oluşturmamasını, emilmesini ve geri kalan sesin etkin şekilde düzenli, anlaşılır bir şekilde çoğalmasını sağlamaktadır(Güven Ş., Kandoğan T., Damak Kubbe).

8.6 YALITIM

Tarihi Roma İmparatorluğunun görkemli günlerinde İstanbul'daki su sorununa çözüm üretmek için yapılan Yerebatan Sarnıcı 100.000 tonluk su alma kapasitesiyle görkemli bir yapıdır ve yapının su geçirimsizliği oldukça kalın bir Horasan Harcı sıvası ile sağlanmıştır.

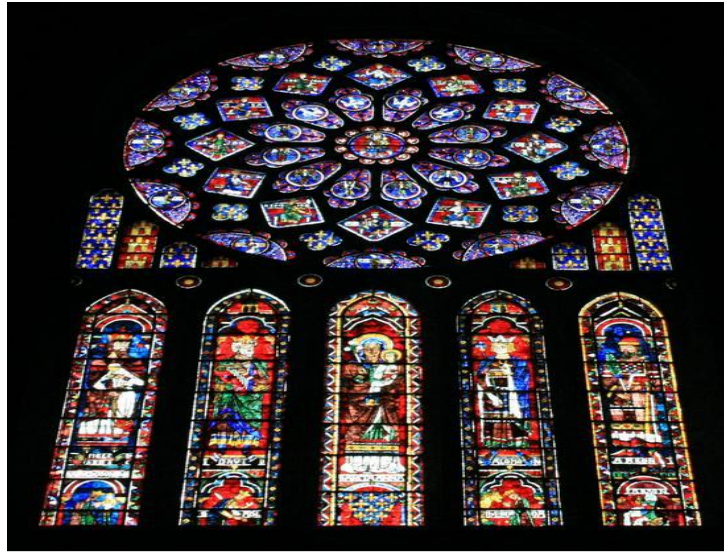


Şekil 8.4: Yerebatan Sarayı – Gadames Şehri ara sokağı – Gadames Şehri çatıları

Libya da 5000 yıllık geçmişiyle çok eski bir uygarlık olan Berberilerin yaşadığı bir şehir Gadames, Libya'da bulunan bir vaha yerleşim yeridir. Trablus'un 549 km kadar güneybatısında Cezayir ve Tunus sınırına yakın bir konumda yer almaktadır. Şehir tamamen kum fırtınalarından ve saldırılardan korunmak amacıyla caddeleri de dahil olmak üzere sistemli olarak kurulmuş bununla beraber asıl en önemlisi de çatıları gece-gündüz sıcaklık farklarından korunmak amacıyla yalıtımlı olarak yapılmıştır. Kullanılan izolasyon teknikleri sayesinde dışarıdaki hava -5,+55°C derecede olsa dahi yapının içinin +15 ile +25 °C derecede kalması sağlanmıştır. Yapıların çatılarında sırasıyla palmiye kütükleri, palmiye yaprakları, kerpiç tuğla yapımında da kullanılan kil balçık ve jips üst üste konularak yalıtım sağlanmıştır.

8.7 IŞIĞIN KULLANIMI

Dünyada ışığın en görkemli şekilde kullanımı ile ilgili ilk örneklerden biri Charlton Katedralidir. Eşsiz bir mavi renk kullanılarak yapılan vitrayların öğlen güneşi üzerine vurduğundan ilahi ışığı simgelediği söylenmektedir. Katedralin vitraylarında incilin her sayfası işlenmiş ve insanlara sadece okuyarak değil aynı zamanda görsel olarak da hitap edilmek istenmiştir.



Şekil 8.5: Chartes Katedrali

Türkiye’de bu konuda en iyi örneklerden biri Mimar Sinan’ın yetiştirdiği en iyi mimarlardan biri olan Mimar Sedefkar Mehmet Ağa’nın yaptığı Sultan Ahmet Camii verilebilir. Çini ve vitray işçiliği üst düzey olan bu camiye batılılar Mavi Camii anlamına gelen “Blue Mosque” adını takmışlardır.



Şekil 8.6: Sultan Ahmet Cami

8.8 KİLİT, SIKIŞTIRILMIŞ VE GEÇME TAŞ YÖNTEMLERİ

Tarihi yapılarda sıklıkla kullanılan malzemelerden biride taştır. Doğal taşların işlenmesi ile kullanılan yapım teknikleri ile yapılan kemer, kubbe, tonoz, pandantif, Türk üçgeni gibi elemanlar yapıldığı gibi döşemelerde kullanılan sıkıştırma yöntemi ile volta döşeme gibi geniş açıklıkların geçilebileceği kullanışlı yapı elemanları da yapılabilmektedir. Ayrıca Mimar Sinan’ın Süleymaniye Camisinin yapımında her taş için ayrı proje yaptığı birbirine geçirilen taşların birleşim noktalarındaki aşınmaların önüne geçmek içinde birleşim noktalarına eritilmiş kurşun uygulandığı söylenmektedir. Tarihi Osmanlı yapılarında geniş açıklıkları geçmek için volta döşeme çeşitleri kullanılmıştır.



Şekil 8.7: Kilit ve geçme taş yöntemleriyle yapılmış bir volta döşeme örneği

8.9 ŞEHİRCİLİK – İHTİYACA UYGUN YAPI DÜZENLERİ KULLANIMI

Hititlerin şehirlerini kademeli surlarla çevirmeleri, Libya'daki Gadames şehrinin kum fırtınalarına karşı izlediği yapım ve yerleşim tekniği, İstanbul'daki camilerin yerlerinin seçimi.

8.10 KUBBENİN KURŞUNLA KAPLANMASI

Kubbe ve minareler özellikle çok yağış alan bölgelerde yıldırım düşme tehlikesi ile karşı karşıyadır . Buna önlem olarak kubbe ve/ veya minare tepesine kurşun kaplanıp paratoner olarak çalışması yoluyla önlenmiştir. Örnek Muğla Kurşunlu Camii...

8.11 ALTIN ORAN

8.11.1. Altın Oran ve Tarihçesi

Altın oran, doğada sayısız canlinin ve cansızın şeklinde ve yapısında bulunan özel bir orandır. Altın oran, doğada, bir bütünün parçaları arasında gözlemlenen, yüzyıllarca sanat ve mimaride uygulanmış, uyum açısından en yetkin boyutları verdiği sanılan geometrik ve sayısal bir oran bağıntisidir. Doğada en belirgin örneklerine insan

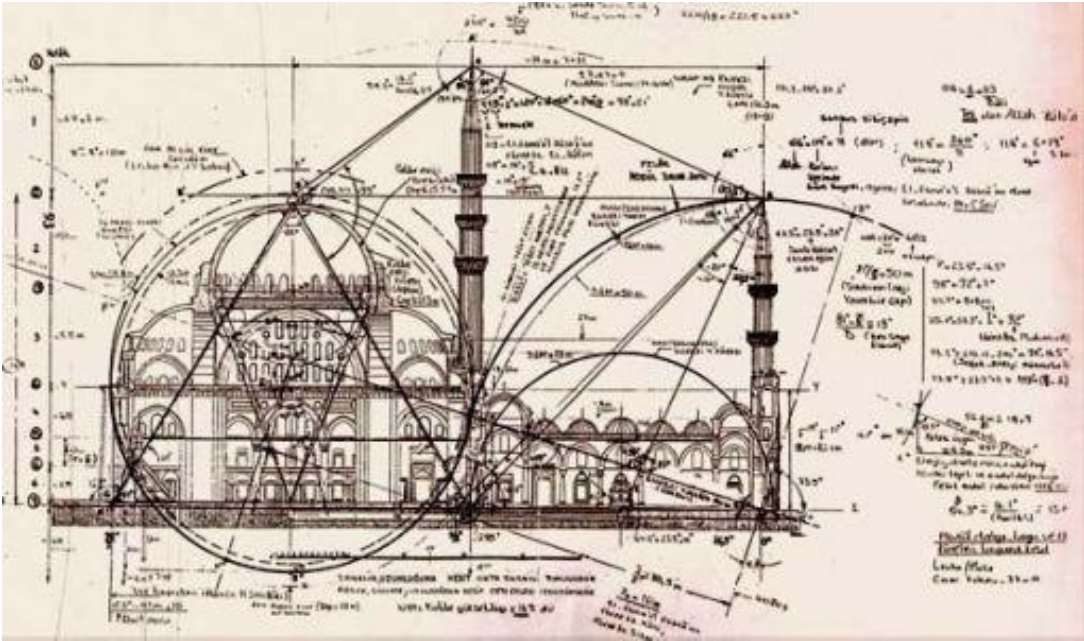
vücudunda, deniz kabuklularında ve ağaç dallarında rastlanır. Platon'a göre kozmik fiziğin anahtarı bu orandır.

Eski Misirliler ve Yunanlılar tarafından keşfedilmiş, mimaride ve sanatta kullanılmıştır. Altın Oran; $CB / AC = AB / CB = 1.618$; bu oranın değeri her ölçü için 1.618 dir. Bir doğru parçasının (AB) Altın Oran'a uygun biçimde iki parçaya bölünmesi gerektiğinde, bu doğru öyle bir noktadan (C) bölünmelidir ki; küçük parçanın (AC) büyük parçaya (CB) oranı, büyük parçanın (CB) bütün doğruya (AB) oranına eşit olsun. Altın Oran, pi (π) gibi irrasyonel bir sayıdır ve ondalık sistemde yazılışı; 1.618033988749894... dır. (noktadan sonraki ilk 15 basamak). Bu oranın kısaca gösterimi: $[1 + \sqrt{5}]/2$ olur. $\sqrt{5}$, beşin karekökünü göstermektedir.

Altın Oranın ifade edilmesi için kullanılan sembol, PHI yani Φ 'dir. Altın Oran, matematikte ve fiziksel evrende ezelden beri var olmasına rağmen, insanlar tarafından ne zaman keşfedildiğine ve kullanılmaya başlandığına dair kesin bir bilgi mevcut değildir. Tarih boyunca birçok defa yeniden keşfedilmiş olma olasılığı kuvvetlidir.

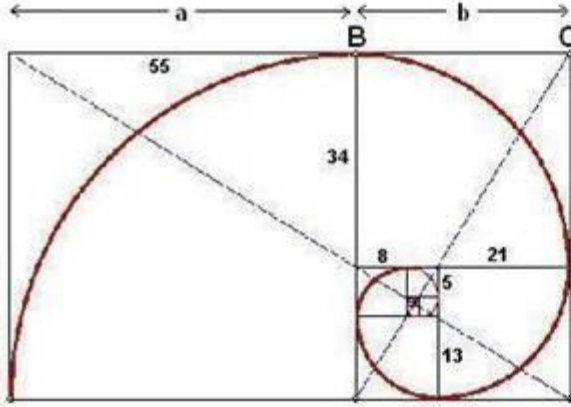
Euclid (M.Ö. 365 – M.Ö. 300), "Elementler" adlı tezinde, bir doğruyu 0.6180399... noktasından bölmekten bahsetmiş ve bunu, bir doğruyu ekstrem ve önemli oranda bölmek diye adlandırmıştır. Misirliler Keops Piramidi'nin tasarımında hem pi hem de phi oranını kullanmışlardır. Yunanlılar, Parthenon'un tüm tasarımını Altın Oran'a dayandırmışlardır. Bu oran, ünlü Yunanlı heykeltıraş Phidias tarafından da kullanılmıştır. Leonardo Fibonacci adındaki İtalyan matematikçi, adıyla anılan nümerik serinin olağanüstü özelliklerini keşfetmiştir fakat bunun Altın Oran ile ilişkisini kavrayıp kavramadığı bilinmemektedir. Leonardo da Vinci, 1509'da Luca Pacioli'nin yayımladığı İlahi Oran adlı bir çalışmasına resimler vermiştir. Bu kitapta Leonardo da Vinci tarafından yapılmış Five Platonic Solids (Beş Platonik Cisim) adlı resimler bulunmaktadır. Bunlar, bir küp, bir Tetrahedron, bir Dodekahedron, bir Oktahedron ve bir İkosahedronun resimleridir. Altın Oran'ın Latince karşılığını ilk

kullanan muhtemelen Leonardo da Vinci 'dir. Bu orani göstermek için, Parthenon'un mimari ve bu orani resmen kullandığı bilinen ilk kişi olan Phidias'a ithafen, 1900'lerde Yunan alfabesindeki Phi harfini Amerika'lı matematikçi Mark Barr kullanmıştır. Aynı zamanda Yunan alfabesindeki karşılık gelen F harfi de, Fibonacci 'nin ilk harfidir. Fibonacci sayıları (1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 987, 1597, 2584, 4181, 6765...sekinde devam eder) ile Altın Oran arasında ilginç bir ilişki vardır. Dizideki ardışık iki sayının oranı, sayılar büyüdükçe Altın Oran'a yaklaşır (Altın Oran).



Şekil 8.8: Süleymaniye Cami (Süleymaniye ve Altın Oran)

MİMAR SİNAN: Mimar Sinan'ın da bir çok eserinde bu altın oran görülmektedir. Mesela Süleymaniye ve Selimiye Camilerinin minarelerinde bu oran görülmektedir.



$$\frac{a+b}{a} = \frac{a}{b} , \quad b=1 \quad \text{ALINIRSA}$$

$$a^2 - a - 1 = 0 \quad a = \frac{1 \pm \sqrt{5}}{2}$$

$$a_1 = \phi_1 = 1,618033988.....$$

$$a_2 = \phi_2 = -0,618033988.....$$

Fibonacci serisi

1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55

$$55 / 34 = 1,61765...$$

$$\phi_1 + \phi_2 = 1$$

$$\phi_1 \times \phi_2 = -1$$

Şekil 8.9: Fibonacci serisi ve Altın dikdörtgen

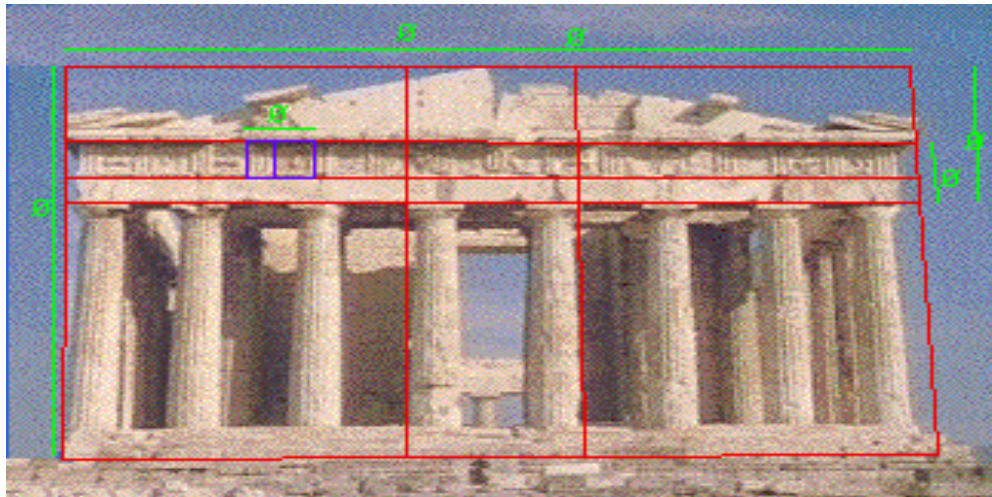
Fibonacci sayıları (1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 987, 1597, 2584, 4181, 6765...sekinde devam eder) ile Altın Oran arasında ilginç bir ilişki vardır. Dizideki ardışık iki sayının oranı, sayılar büyüdükçe Altın Oran'a yaklaşır(Altın Oran).



Şekil 8.10: İnsan da Altın Oran

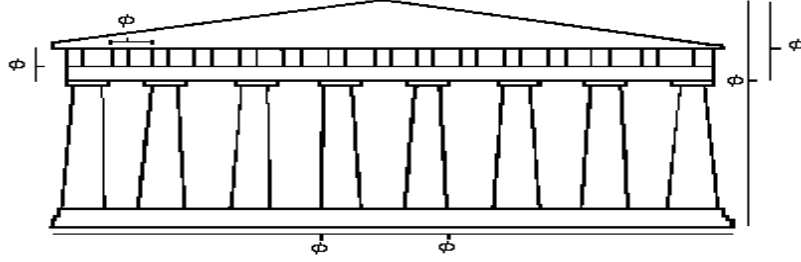
8.11.2.Mimaride Altın Oran

Eski Yunanda altın dikdörtgen bir çok sanat dalında kullanılmıştır. Bunlardan bir tanesi de Atina'daki Partenon 'dur. Partenon M.Ö 430 ve ya 440 yıllarında Athena adlı tanrıça için yapılmıştır. Tapınağın orijinal planları elimizde olmasa da , tapınağın uzunluğu genişliğinin kök 5 katı olan bir dikdörtgen üzerine inşa edildiği gözükmektedir.



Şekil 8.11: Partenon Tapınağı

Ayrıca aşağıdaki resimlerde görebileceğiniz gibi tapınakta daha başka altın dikdörtgenlerde göze çarpmaktadır. (altın dikdörtgen kenarları oranı altın oran olan dikdörtgenlerdir.)



Şekil 8.12: Partenon Tapınağı planı (Mimaride Altın Oran)

Altın oran sadece Yunanlılar tarafından kullanılmamıştır. Mısır'daki Keops piramidinde, Paris'in ünlü Notre Dam Katedralinde altın oranın izlerini görmek mümkündür. Hatta Türk mimarisi ve sanatı da altın orana ev sahipliği yapmıştır(Şekil 8.13)(Altın Oran)



Şekil 8.13: Notre Dam Katedrali

Konya'da Selçukluların inşa ettiği İnce Minareli Medrese'nin taç kapısı, İstanbul'daki Davut Paşa ve Süleymaniye Camileri, Sivas'ta Mengüçoğulları'dan günümüze miras kalan Divriği Külliyesi genel planlarından kimi ayrıntılarına dekor ile içiçe bir görünüm sunar.

BÖLÜM 9

9. TARİHİ YAPILARIN KORUNMASINDA UYGULANAN BAZI TEKNİKLER YAPININ DAVRANIŞINI ANLAMA

9.1. Yığma Yapılar için Yöntemler

Modelleme ve analiz işlemlerinden önce yapı üzerinde birtakım deneysel çalışma ve incelemeler yapılmalıdır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Yapının mimari rölövesinin çıkarılması,
- Yapının taşıyıcı sisteminin çıkartılması,
- Yapıda varsa hasarların belirlenmesi,
- Yapının malzeme özelliklerinin belirlenmesi,
- Yapının oturduğu zemin şartlarının belirlenmesi.

9.1.1. Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Yığma yapılarda en çok kullanılan malzemeler doğal taş ve tuğladır. Tarihi yapıların taşıyıcı elemanlarının taşıma gücünün laboratuvar deneyleriyle belirlenmesi oldukça zordur.

Malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, yığma yapıların yük taşıma performansını çok yakından etkiler. Bu özellikler, dayanıklılık, su emme katsayısı, basınç dayanımı, kayma dayanımı, çekme dayanımı ve ısı genleşme özellikleridir. Malzemenin dayanıklılığı, hava kirliliği, rüzgarın ve aşırı ısının neden olduğu aşınma, çatlaklara dolan suyun donmasıyla oluşan basıncın neden olduğu zararlara karşı, malzemenin basınç dayanımı ve su emme kapasitesiyle ölçülmektedir (Yılmaz P.).

9.2. Tarihi yığma yapılarda onarım ve güçlendirme öncesi mevcut durum tespitleri

Tarihi nitelikte olan yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesiyle ilgili kararlar alınmadan önce yapının taşıyıcı sistem rölövesinin hazırlanması, mevcut hasarların tespit edilmesi, yapının zemin ve malzeme özelliklerinin çeşitli deneylerle belirlenmesi, taşıyıcı sistemin sonlu eleman modeli kurularak statik ve dinamik analizlerinin yapılması, bu veriler ışığında hasar nedenlerinin tanımlanması ve taşıyıcı sistem güvenliğinin belirlenmesi gerekmektedir. Yapının taşıma gücünün istenilen düzeyde olmaması durumunda yapının kimliğine, tarihi geçmişine en az müdahale edecek bir anlayış ile yasa ve yönetmeliklere uygun olarak güçlendirme projesi hazırlanmalıdır (Aköz H.A., 2008).

2004 Deprem Şurası, Mevut Yapıların İncelenmesi ve Yapı Denetimi Komisyonu Raporu'nda tarihi yapının mevcut durumunun tespiti aşamasında aşağıdaki hususlara uyulması gerektiği belirtilmiştir (Aköz H.A., 2008):

- a. Mevcut durumun tespiti geniş katımlı grup tarafından yapılmalıdır. Oluşturulan bu grubun faaliyeti güçlendirme projesinin hazırlanması ve güçlendirme müdahalesi bitirilmesine kadar devam etmelidir.
- b. Mevcut durumda yapıdaki hasar gibi hususlar ve malzeme türü ve kullanılan yapım tekniği belirlenmelidir. Yapıdaki orijinal durum ve daha sonra yapılan eklemeler ayırt edilmelidir.
- c. Kullanılan malzemede zamana bağlı bozulma ve hasar tespit edilmelidir. Malzeme karakteristikleri için gerektiğinde mukavemet deneyleri yapılmalıdır.
- d. Meydana gelen hasarların sebebi ve mevcut durumda düşey ve muhtemel deprem yükleri için taşıyıcı sistem güvenliği tespit edilmelidir.
- e. Mevcut durum için yapılan bu tespitleri içeren bir rapor hazırlanmalıdır.

9.2.1. Hasar Biçimlerinin Belirlenmesi

Günümüzden yıllar önce yapılan yığma yapılarda zamanın da etkisiyle birçok sebepten dolayı hasar oluşabilir. Tarihi yığma yapılarda sağlıklı onarım ve güçlendirme

kararlarının alınabilmesi ve hasarın tekrar etmemesi için öncelikle hasar sebeplerinin belirlenmesi gerekir. Onarım ve güçlendirme, hasarın kendisinden çok sebebine yönelik olacağından hasarlı olan tarihi yapının hasar sebebinin kesin olarak belirlenmesi gerekir. Hasarın başta gelen sebepleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

a.Yapımdan kaynaklanan hasarlar

Taşıyıcı eleman kesitlerinin beklenen yüklerin oluşturacağı etkileri taşıyabilecek durumda olmaması ve taşıyıcı sistemde yükün iletilmesinde ve taşınmasındaki eksikliklerden kaynaklanan hasarlar.

b. Zeminden kaynaklanan hasarlar

Zeminin taşıma gücünün düşük olması, farklı oturmaların ortaya çıkması, zemin sıvılaşması ve yeraltı su seviyesinin değişimi sonucu oluşan hasarlar,

c. Malzemedan kaynaklanan hasarlar,

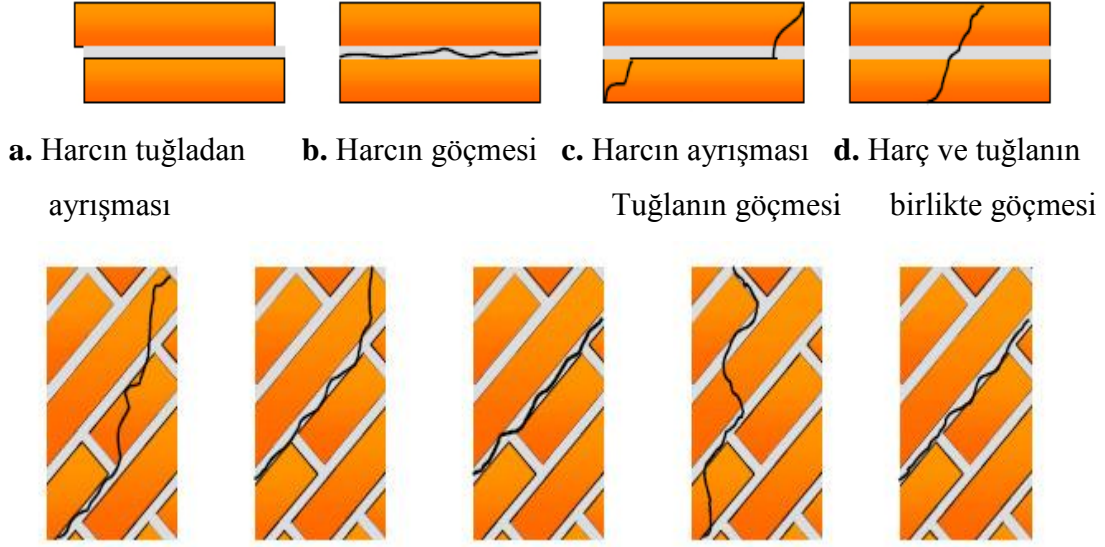
d. Diğer sebepler

Sel, yangın ve deprem gibi doğal afetlerin yanında bakımsızlık, terk ve kasıtlı tahrip sonucu ortaya çıkan hasarlar (Aköz H.A., 2008).

9.2.1.1. Taşıyıcı Duvarlarda Oluşan Hasarlar

Yığma yapılarda düşey yükler ve deprem yükleri taşıyıcı duvarlarla karşılanır. Genellikle, yığma yapılarda kullanılan duvar malzemesinin çekme dayanımı ve harcın da kayma dayanımı düşüktür. En önemli hasar nedeni, deprem etkisiyle duvarlarda oluşan kayma gerilmeleri dolayısıyla çekme gerilmelerinin meydana getirdiği çatlak, ayrılma ve dağılımadır. Şekil 9.1’de tuğla ve harçtan oluşan bir yığma duvarda kayma gerilmeleri ve çekme gerilmeleri sebebiyle oluşabilecek göçme biçimleri verilmiştir. Üstteki ilk şekilde tuğla ve harcın ayrışması, ikinci şekilde harcın göçmesi, üçüncü şekilde tuğlanın göçmesi ile birlikte harçla ayrışmanın gerçekleşmesi, son şekilde ise

çapraz olarak harcın ve tuğlanın göçmesi gösterilmiştir. Alttaki şekillerde ise duvar yüzeyinde bu göçme biçimlerinin birlikte olduğu çeşitli durumlar gösterilmiştir.

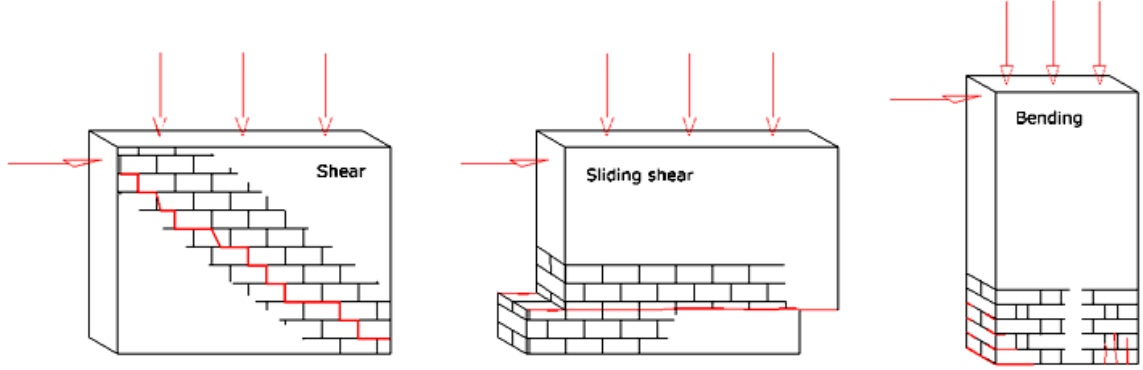


Şekil 9.1: Tuğla duvarda göçme biçimleri

Yığma yapılar ağır ve rijit olup, büyük deprem kuvvetinin oluşmasına sebep olurlar. Yığma yapının çekme ve basınç altındaki sünek olmayan davranışı, yapının önemli bir plastik şekil değiştirme göstermeden ani göçmesine sebep olur. Duvarlar arası bağlantı gibi, duvarların örtü sistemi ile bağlantısının zayıf olması, yapının zayıf bir bölgesinden başlayan hasarın kolayca yayılmasına ve yıkımın meydana gelmesine sebep olabilir. Büyük pencere ve kapı boşlukları ve planda duvar düzeninin simetriden ayrılması, ilave gerilme yığılmalarına dolayısıyla hasarın artmasına sebep olur. Bunun yanında yapım kusurları ve duvarların düşeyden ayrılması da önemli hasar nedenlerindedir (Aköz H.A., 2008).

Taşıyıcı duvarlarda oluşan en sık oluşan hasarlardan bir tanesi çatlak oluşumudur. Yapıdaki çatlakların oluşum nedenlerinin bilinmesi onarım ve güçlendirme kararlarının doğru alınması bakımından çok önemlidir. Çatlak yerleri ve yapı üzerindeki dağılımı, yapıdaki gerilme dağılışı ile çatlak oluşumunun nedeni hakkında fikir

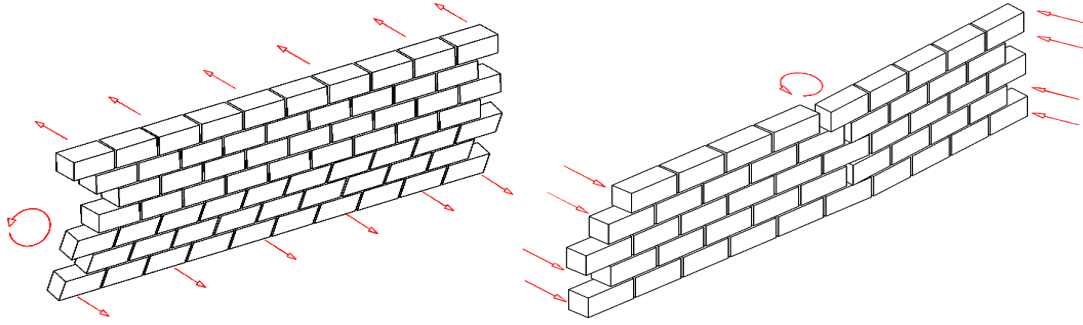
verecektir. Yapıda çatlaklar izlenebiliyorsa çatlak rölövesinin çıkarılması önerilir. Şekil 9.2’de kesme ve eğilme etkisiyle duvarda oluşan çatlaklar gösterilmektedir.



Şekil 9.2: Yığma duvarda kesme ve eğilme etkisiyle oluşan çatlaklar

Çatlağın onarım işlemlerine geçmeden önce çatlağın yeni ya da eski olduğuna karar verilmelidir. Yeni çatlaklar daha net ve keskin kenarlı olup eski çatlaklar daha kirlili ve yuvarlak kenarlıdır. Bundan sonra çatlak oluşumunun devam edip etmediği tespit edilmelidir. Çatlak genişliği, hareketli yük ve sıcaklık değişimine bağlı olarak artıp eksilebilir. Bu sebeple çatlak genişlikleri en az bir yıl boyunca belli aralıklarla ve günün belli saatlerinde ölçülmelidir. Çatlak oluşumu devam eden yapılarda öncelikle çatlağı oluşturan sebepler ortadan kaldırılmalıdır (Aköz H.A., 2008).

Duvarların eksenlerinden saparak, dönmesi bir başka önemli hasar biçimidir. Çatlaklar gibi yığma duvarlardaki dönmeler de yapı taşıyıcı sisteminin hareketi yönünde açık ipuçları verir. Duvardaki bu şekildeki dönmeler gerekiyorsa fotogrametrik yöntemlerle belirlenmelidir. Bu konuda unutulmaması gereken bir nokta da dönmenin bazen yapım hatasından kaynaklandığıdır. Yığma bir duvarın yatay ve düşey eksen etrafında nasıl dönebileceği şekil 9.3’de gösterilmiştir.



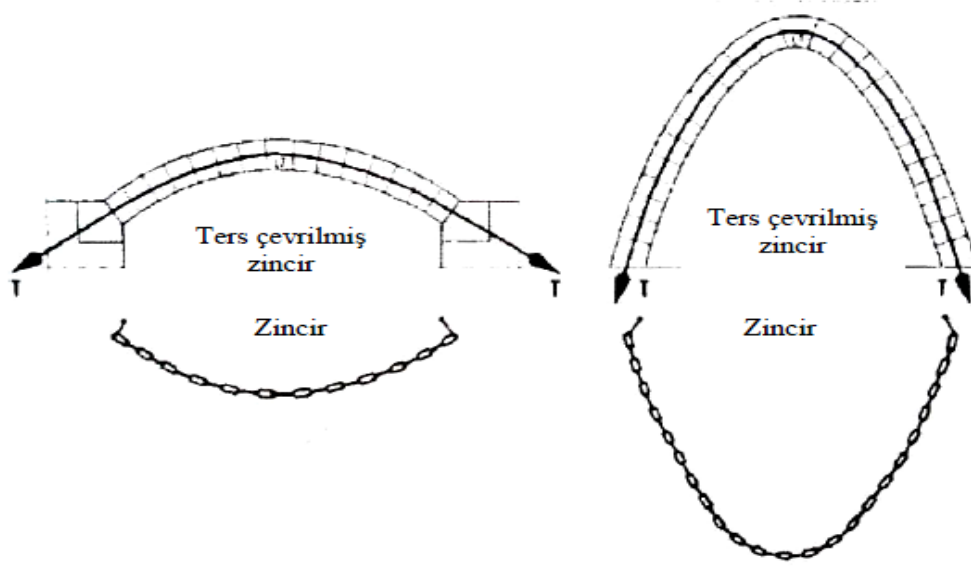
Şekil 9.3: Yığma duvarın yatay ve düşey eksen etrafında dönmesi

Duvardaki bir başka hasar biçimi, zemin farklılıklardan yada duvar üzerindeki düşey yüklerin duvar boyunca büyük değişiklikler göstermesi sebebiyle duvarın farklı oturmasıdır. Duvarda hasara neden olan farklı oturmalar, genelde duvar düzlemi içinde oluşan eğik çatlaklarla kendini gösterir. Oturmanın hangi tarafa olduğu bu çatlağın doğrultusunun belirlenmesi ile kolayca saptanabilir (Aköz H.A., 2008).

9.2.1.2. Kemer ve Tonozlarda Deformasyonlar

Bu bölümde genel olarak kemerden söz edilecektir, ancak kemer üzerindeki bütün kabuller, yan yana gelen kemerlerden oluşan tonoz için de geçerlidir. Eğilme momenti etkisinin oluşturacağı çekme gerilmelerine yığma yapı malzemeleri dayanıklı olmadığından kemerin sadece basınç gerilmeleri oluşturacak geometride olması gerekir. Bütün kesitlerinde eğilme momentinin sıfır olması kemer biçimini belirler. Bu biçim aynı zamanda doğal yük aktarımını gösteren zincir eğrisinin ters çevrilmiş şeklidir. Zincir eğrisi, iki uçundan serbest olarak asılmış zincir ya da esnek kablunun yerçekimi etkisi altında aldığı biçimdir. Kendi ağırlığı altındaki ters zincir eğrisi biçimindeki kemerin bütün kesitlerinde eğilme momenti sıfırdır ve kesitlerde hiçbir şekilde çekme kuvveti oluşmaz. Kendi ağırlığı altındaki bir kemer için en ideal şekil ters zincir eğrisi biçimidir. Şekil 9.4'de zincir eğrisi biçiminde teşkil edilmiş biri basık diğeri yüksek iki farklı kemer gösterilmiştir. Bu şekilde yapılan kemerler çok sağlamdır ve kesitlerinin ince olmasında bir sakınca yoktur. Kemerin biçimi, zincir eğrisinden uzaklaştıkça,

kemerde çekme kuvvetleri meydana gelmeye, çatlak ve deformasyonlar oluşmaya başlar.



Şekil 9.4: Zincir eğrileri ve bunların tersinden oluşan basık ve yüksek kemer.

Kemerde itki çizgisinin yeri, kemerin ağırlığı ve kemer eğrisinin biçimi, kemerin genişliği, kemerin oturduğu duvar ya da ayağın genişliği, kemerin üzerindeki yükün etkisi ve kemerin açılmasını önleyen gerginin durumu kemerin stabilitesini dolayısıyla kemerdeki deformasyonları etkiler.

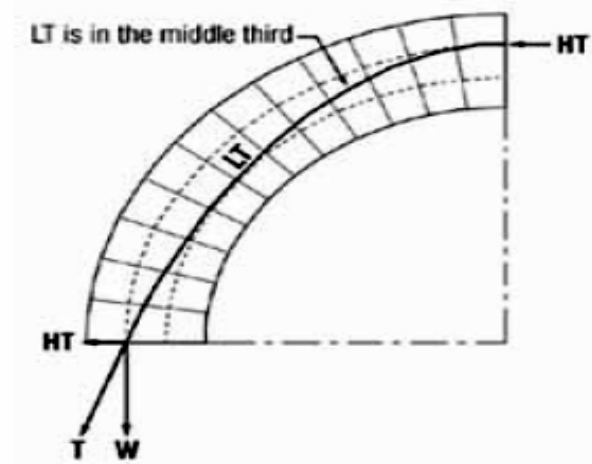
Kemerde itki çizgisinin yeri, kemerin ağırlığı ve yatay itkinin bileşkesi olan itki çizgisi şekil 9.5’de görüldüğü gibi kemerin orta üçte birlik kısmının içinde kalırsa kemer ya da tonoz kararlıdır.

HT: Kemer, tonoz ve kubbelerdeki yatay itki

LT: Kemer taşlarının davranışını temsil eden itki çizgisi

W: Strüktür üzerindeki tüm sabit ve hareketli yüklerin ağırlığı

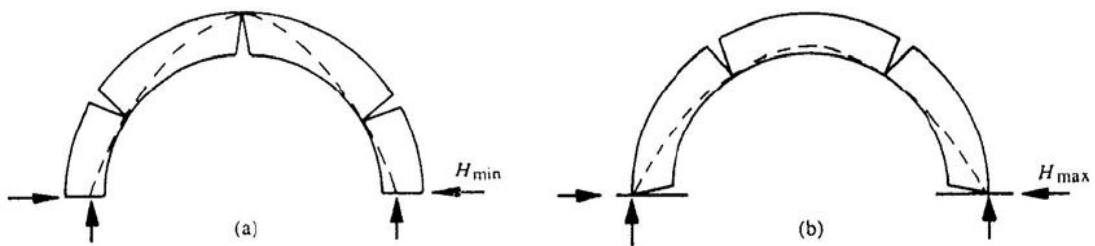
T: Yatay itki ve düşey yükün bileşke kuvveti olan itki



Şekil 9.5: Kemerde itki çizgisinin yeri

İtki çizgisinin kemerin yüzeyine temas etmesi neticesinde kesişim noktasında mafsall oluşur ve kemer çatlar. Üç mafsall oluşan kemer izostatik ve kararlı olmasına karşılık, daha fazla mafsall oluşumu kemeri mekanizma durumuna getirir.

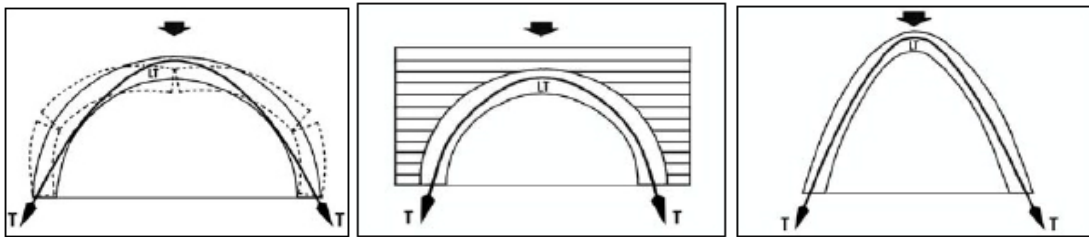
İtki çizgisi, şekil 9.6'da birinci resimde görüldüğü gibi kemerin dışa bakan yüzeyiyle kesişirse kemerin iç yüzeyinde çekme gerilmeleri oluşur ve kemer içe doğru göçer. İtki çizgisi, ikinci resimdeki gibi kemerin içe bakan yüzeyi ile kesişirse kemerin dış yüzeyinde çekme gerilmeleri oluşur ve kemer dışa doğru göçer.



Şekil 9.6: Yarım daire kemerde min ve max yatay kuvvete göre itki çizgisi

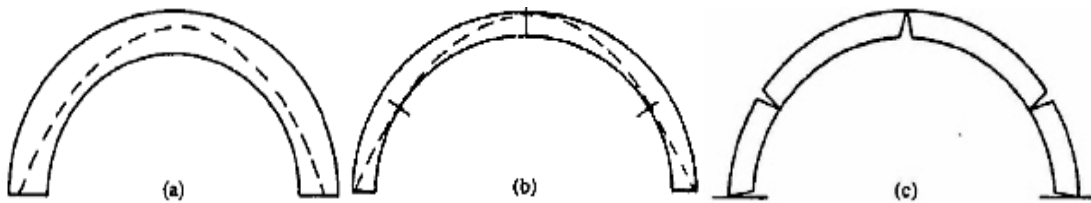
Kemerin ağırlığı ve kemer eğrisinin biçimi; Şekil 9.7'de birinci şekildeki kemerin tepe noktasına ağır bir merkezi yük uygulandığında itki çizgisi iç kısımdan

geçtiği için kemerde bozulmalar olur. İkinci şekilde, kemerin tepe noktasındaki yük aynı olduğu halde, kemerin üzerine kenarlarda daha fazla olacak şekilde ek yükleme yapıldığında itki çizgisi kemerin iç kısmında kaldığı için hasar oluşmadığı görülmektedir. Üçüncü şekilde tepe noktasındaki yük değiştirilmediği halde kemerin formu zincir eğrisiyle örtüştüğü için yine hasar meydana gelmemektedir. (Aköz H.A., 2008)



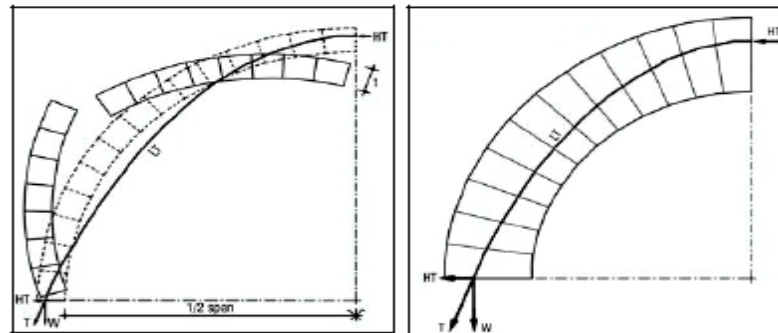
Şekil 9.7: Tepe noktasından yüklü kemerin stabilitesi

Kemerin genişliği; Şekil 9.8’de birinci şekildeki kemerin itki çizgisi, kemerin içinde olduğu için kemer güvenlidir. Kemerin genişliği, kemerin içerisine ancak bir zincir eğrisinin yerleşebildiği limit duruma kadar azaltılabilir. Bu durumda ikinci ve üçüncü şekilde de görüldüğü gibi itki çizgisi beş noktadan kemerin yüzeyi ile kesişir, bundan sonra kemerde çatlaklar oluşur, oluşan beş mafsalsı sistem mekanizma durumuna getirir ve kemer geçer. Kemerin güvenliği, kemer genişliğinin limit durumdaki genişliğe oranı olarak kabul edilebilir (Aköz H.A., 2008).



Şekil 9.8: Yarım daire kemer a: Kararlı b,c: Zincir eğrisinin yerleşebildiği en az genişlik

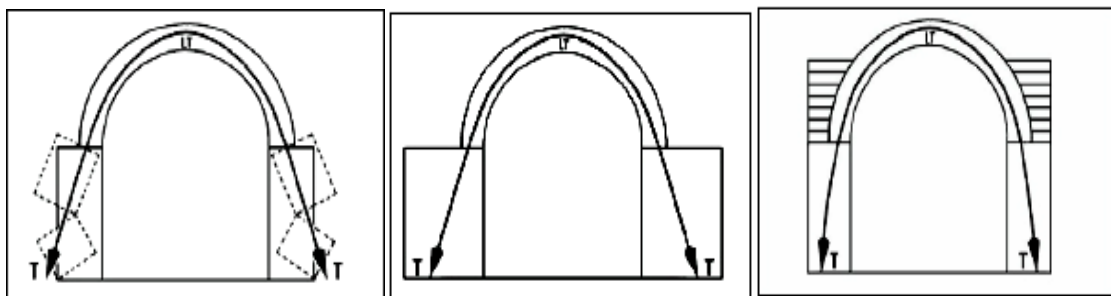
Yarım daire biçimindeki ince bir kemerde itki çizgisi kemerin merkezinden uzakta olacağından büyük gerilmeler oluşur ve şekil 9.9'da gösterildiği gibi kemer göçer. Ancak kalınlığın artırılması neticesinde itki çizgisi kemerinde merkezinde kalacak ve stabilite sağlanacaktır. Aynı açıklığı geçmek için yarım daire kemer zincir eğrisi kemere göre yaklaşık iki kat daha kalın olmak durumundadır.



Şekil 9.9: Yarım daire kemer

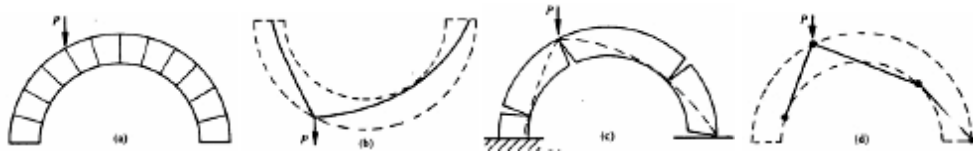
a. Yetersiz kalınlıkta: kararlı değil **b.** Yeterli kalınlıkta: kararlı

Kemerin oturduğu duvar ya da ayağın genişliği; Şekil 9.10'da birinci şekildeki kemerin itki çizgisi, kemerin içinde kaldığı halde kemerin oturduğu ayağın orta üçte birlik kısmında olmadığından ve ayak genişliği de yetersiz olduğundan kemer ayağında bozulmalar olur. İkinci şekilde itki çizgisinin açısı değişmemekle birlikte kemerin oturduğu ayak daha büyük olduğundan hasar önlenmiştir. Üçüncü şekilde ise kemer ayağı aynı kalınlıkta olmasına karşılık kemerin üzerindeki yükler sayesinde itki çizgisinin açısı değiştirilmiş, itki çizgisi mesnedin içine düşürülerek hasar önlenmiştir.



Şekil 9.10: Kemer mesnedinin stabilitesi

Kemerin üzerindeki yükün etkisi; Yığılma kemer davranışının anlaşılabilmesi için öncelikle kemerin yük altındaki göçme durumları incelenmelidir. Kemerin yapıldığı malzeme ve mesnetler sağlam olsa bile aşırı şekil değiştiren kemer göçer. Şekil 9.11'de tekil yük altındaki kemerde itki çizgisinin limit durumda kemer yüzeyine değmesi ve mafsallı oluşumu görülmektedir. Yükteki artış neticesinde kemerde dört mafsallı oluşması sistemi mekanizma durumuna getirerek göçmeye sebep olur (Aköz H.A., 2008).



Şekil 8.11: Tekil yüklü kemerin göçmesi

9.2.1.3. Gergideki bozulmalar

Basınç etkisiyle çalışan kemer ve tonozların kesitlerinde çekme gerilmelerinin oluşmasının yanında mesnetlerin açılmasını önleyen gergi demirlerinin paslanması, burkulması... vb. sebepler de kemer ve tonozlarda hasara neden olur. Demir gergilerdeki en yoğun bozulma biçimi gergide oluşan aşırı korozyondur. Gergiler dövme demirden yapıldığından bozulmanın yoğun olduğu bölgede katmanlar arasında açılmalar / çözümler gözlenmektedir. Yapıdaki hareketler sonucu gergilerde burkulma ve kopma sıkça izlenen hasar biçimleridir. Şekil 9.12'de kemerlerde oluşan burkulma ve kopmaya örnekler görülmektedir. Ahşap gergilerde ise çoğunlukla çürüme, mantarlaşma gibi bozulmalar vardır (Aköz H.A., 2008).



Şekil 9.12: Demir gergide hasar biçimleri

- a. Burkulma (Atik Ali Paşa Camisi) b. Kopma (Edirne Sarayı mutfakları)

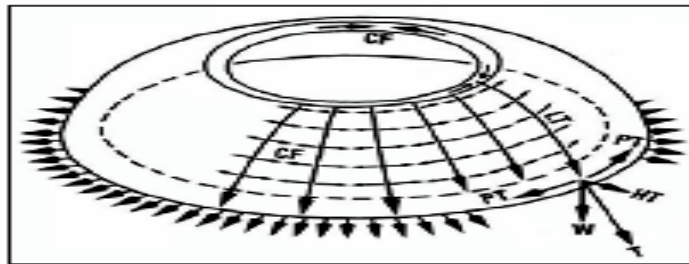
Geometrisi gereği düşey yüklerde kararlı davranış sergileyen kemer ve tonozlarda deprem gibi yanal yük etkisinde çeşitli deformasyonlar meydana gelebilmektedir. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminden sonra Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii'nde kible ana kemeri dış cephesinde, anahtar kesitine yakın bir noktada büyük bir kemer taşı yerinden koparak düşmüştür (Şekil 9.13). Ayrıca aynı kemerde bir kilit taşı da yerinden oynamıştır (Aköz H.A., 2008).



Şekil 9.13: 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminden sonra Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii kemerinde oluşan hasar

9.2.1.4. Kubbe Hasarları

Bir kemerin düşey aksı çevresinde döndürülmesiyle oluşan kubbede düşey yükler, kilit taşından başlayarak komşu taşlara aktarılıp kubbenin tabanına kadar iletilir. Taşlara düşey olarak etkiyen ağırlık kuvveti, komşu taşlara çapraz olarak iletilir. Böylece kubbe tabanında toplanan yükün yatay ve düşey iki bileşeni ortaya çıkar. Kubbede hasara genellikle bu yatay kuvvet sebep olur. Kubbede oluşan kuvvetler şekil 9.14'de gösterilmiştir (Aköz H.A., 2008).



Şekil 9.14: Kubbede oluşan kuvvetler

Yükün düşey bileşeni, kubbeyi taşıyan kemer, duvar vs elemanlara aktarılırken, yatay kuvvet de, payandalar ve gergilerle karşılanarak kubbenin açılması önlenir.

Kubbede açılmaya sebep olan yatay kuvvet kalın beden duvarlarıyla karşılanabileceği gibi ağırlık kuleleri yardımıyla kuvvetin aşağıya doğru yönlendirilmesiyle daha ince duvarlarla da taşınabilir. Bu yatay kuvvet, kubbeye mesnetlik yapan ve kubbenin açılmasını önleyen kasnak kısmında yatay doğrultuda çekme, düşey doğrultuda kayma gerilmeleri oluşturur.



Şekil 9.15: Kubbede tipik hasar biçimleri

Kasnağın kubbeden gelen yükleri taşıyamaması neticesinde kubbede çekme gerilmeleri oluşur. Kubbeler basınç altında çalışan elemanlardır, kubbede oluşabilecek çekme kuvveti düşeyde çatlak oluşumuna dolayısıyla kubbenin hasar görmesine sebep olur. Şekil 9.15’de şematik olarak gösterilen kubbedeki tipik hasar biçiminin gerçekleşmiş örneği bir sonraki şekilde gösterilmektedir. Şekil 8.16’da kubbede oluşan çekme kuvvetlerinin sebep olduğu merkezden kubbe eteğine kadar uzanan çatlak oluşumu görülmektedir. Çok kararlı bir yapıya sahip olan kubbe biçiminin böylesine ciddi bir çatlakla bile göçmediği dikkati çekmektedir(Aköz H.A., 2008).



Şekil 9.16: Kubbede hasar oluşumu

9.2.1.5. Zeminden Kaynaklanan Hasarlar

Zeminden kaynaklanan hasarlarda, oturma, yer altı suyunun etkisi, taşıma gücü sorunu, zeminin sıvılaşması etkili olmaktadır.

9.2.1.5.a.Oturma

Zeminden kaynaklanan hasarların başında oturma gelir. Zeminin yapısına göre oturma süreci uzun bir zamanda tamamlanır. Siltli zeminlerde oturmaların birkaç sene içinde, killi zeminlerde ise, altmış – yetmiş senelik zaman içinde tamamlandığı düşünülmektedir. Tarihi yapılarda zemin sorunları genelde yapının inşa edilmesinden hemen ya da bir süre sonra ortaya çıkmaktadır. Yapıda ve çevrede önemli ve ani bir değişiklik olmaksızın yıllarca yerinde durmuş bir yapının temel zemininde son yıllarda bir sorun çıkması olasılığı yoktur. Bu tür yapılarda olası oturmalar yıllar önce tamamlanmış durumdadır. Ancak temel kazıklarının çürümesi, yeraltı suyunun alçalıp yükselmesi, yapı altında veya çevresinde kazılarak açılan boşluklar ve deprem etkilerinde yeni oturmaların olması mümkün olmaktadır.

9.2.1.5.b.Yeraltı suyunun etkisi

Yumuşak zeminlere oturan yapılarda, yeraltı suyunun alçalması ve yükselmesi yapıda hasara neden olabilir. Yeraltı suyunun alçalması sonucu, su içinde yüzen zemin danelerinin ağırlıkları artacağından, daha alttaki zemin tabakalarına ilave yük getirir. Bu ilave yük etkisiyle zemin tabakaları tekrar oturmaya başlar. Bu oturmaların belli değerlere ulaşması sonucunda yapıda hasar oluşabilir. Yeraltı suyunun alçalması sonucu kuruyan zemin tabakalarında ayrıca rötre de oluşur. Rötre sonucu, özellikle killi zeminlerde, aşırı bir hacim küçülmesi olacağından, oturmalar bir önceki duruma göre daha büyük boyutlara ulaşır. Yeraltı suyunun yükselmesi sonucunda ise, zemin boşlukları tamamen su ile dolacağından, doygun hale geçer. Bu durumda zemin yumuşayarak, zeminin kayma direncinin azalması ile taşıma gücü azalır, oturmalar gerçekleşir ve bu, yapıda hasarlara neden olabilir(Aköz H.A., 2008).

9.2.1.5.c.Taşıma gücü sorunu

Her zeminin taşıyabileceği maksimum bir yük vardır. Zeminin cinsine göre, zemine yüklenecek limit yükler söz konusudur. Bu limit değerlerin aşılması sonucunda zemin hareketleri, hatta göçmeler yaşanır. Özellikle kohezyonsuz zeminlerde, aşırı yükleme sonucunda, zemin göçmeleri meydana gelir .

9.2.1.5.d.Zeminin sıvılaşması

Yeraltı su seviyesinin altındaki tabakaların mukavemetini kaybederek, katı yerine sıvı gibi davranmalarıdır. Özellikle, kil bulunmayan kum ve silt ve bazen çakıl tabakaları sıvılaşma potansiyeline sahiptir. Deprem sırasında, özellikle kayma dalgalarının suya doymuş daneli tabakalardan geçerken, dane yerleşim düzenini değiştirir ve gevşek olarak bulunan danelerin göçerek yerleşmesine ve sıkılaşmasına sebep olur. Bu yerleşme sırasında daneler arasında su yol bulup kaçamazsa boşluk suyu basıncı yükselir. Eğer bu basınç üstte bulunan tabakaların ağırlığına yakın bir seviyeye

ulaşırsa, daneli tabaka geçici olarak sıvı gibi davranarak sıvılaşma ortaya çıkar. Zeminin sıvılaşması sonucu yapı, zemine batma veya hafif yapılarda yukarı doğru hareket ederek yüzme eğilimi gösterebilir. Sıvılaşarak kayma dayanımı kaybolan zeminde, yön değiştiren küçük kayma gerilmeleri büyük şekil değiştirmelere sebep olur ve yapılarda zemin göçmesi hasarları meydana gelir. Zemin sıvılaşması esas olarak, gevşek bir yerleşime sahip olmasına, daneler arasındaki bağa, kil miktarına ve boşluk suyunun drenajının engellenmesine bağlıdır. Zemin sıvılaşmasında ortaya çıkan büyük yer değiştirmeler, ayrıca sıvılaşan tabaka kalınlığına, yüzey eğimine ve yükleme durumuna bağlıdır(Aköz H.A., 2008).

9.3 Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi

Onarım ve güçlendirme çalışmaları öncesi mevcut durumun tespitinde zemin özelliklerinin belirlenmesi ayrı bir öneme sahiptir. Bunun için arazide bir takım çalışmaların yapılmasıyla birlikte laboratuvar deneylerine de ihtiyaç duyulur.

9.3.1. Arazi Çalışmaları

Zemin özelliklerinin belirlenebilmesi için arazide yeterli sayıda gözlem çukuru ve sondajlar açılıp numuneler alınmalı, yeraltı su seviyesi belirlenmeli ve zemin üzerinde birtakım deneyler yapılmalıdır.

9.3.1.a.Gözlem çukurları

Yapıların temel durumlarının ve derinliklerinin belirlenmesi için yapı kenarında gerekli sayıda kontrol kuyuları açılır. Yüzeysel temelerde temelin biçimi ve derinliği hakkında yeterli bilgi edinildiği kadar, kazıklı temelerde de kazığın başlık kotu ve yeraltı suyunun başladığı yer belirlenir. Bu şekilde yapının çevresinde yapılması olası kazı çalışmalarının hangi derinlikte ve mesafede yapıya olumsuz etkisi olabileceği belirlenir. Gözlem çukurları genellikle 3.5-4.0 m. Derinliğe kadar açılır. Uygun zemin

şartlarında kazı makineleri ile 8.0 m. derinliğe kadar muayene çukuru açmak mümkündür. Muayene kuyuları düşey, muayene galerileri ise yatay açılır. Açılan muayene çukurlarına tüp çakılarak deney yapılmak üzere örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınır (Aköz H.A., 2008).

9.3.1.b.Sondaj çalışmaları

Sondaj sayısı yapı alanı, derinliği ise temel genişliği ile orantılıdır. Kabaca 100 m² için bir sondaj yapılması, sondaj derinliğinin temel altında en az 5m olacak şekilde seçilmesi uygun olmaktadır (Aköz H.A., 2008).

Zemin sondajları genellikle 3.0m'den daha derin incelemelerde, muayene çukurları ile ulaşılamayan derinliklerde ya da muayene çukuru için elverişsiz zemin şartlarında, yeraltı su seviyesi altındaki derinliklerde kullanılırlar. Sondaj çapları genel olarak 50 mm ile 250 mm arasında değişir. Sıkı zeminlerde sondaj deliği desteksiz durabilir. Fakat yumuşak kil veya yeraltı su seviyesinin altındaki kum zeminlerde kaplama borusu ile veya sondaj deliği içi viskoz çamur süspansiyonu betonit kil ile doldurularak, sondaj çukurunun yıkılması veya kapanması önlenir. Zemin içinde sondaj ile delik açılması burğu, darbeli yıkama veya dönel sondaj tekniklerinden biri ile yapılabilir. Sondajlar yapılara yakın fakat sınırları dışında yapılır(Aköz H.A., 2008).

9.3.1.c.Yeraltı su seviyesinin belirlenmesi

Yeraltı su seviyesi, foraj ve sondaj delikleri yardımı ile her ne kadar saptanırsa da, seviyenin zamanla değişiminin gözlenmesi için özel kontrol kuyularının açılması gerekir. Yeterli bilgi edinilebilecek bir diğer yöntem de mevcut su kuyularının gözlenmesidir. Bu tür bilgileri yeraltı sularının durumunu inceleyen bürolardan da temin etmek mümkündür.

9.3.1.d.Arazi deneyleri

Özellikle çok hassas kil ve silt zeminlerde veya bazı iri daneli kohezyonsuz zeminlerde örselenmemiş numune almak zordur. Bu nedenle zeminin özelliklerini belirlemek için bazı arazi deneyleri kullanılır. Bu deneyler laboratuvar sonuçları kadar sağlıklı sonuç vermediğinden birçok kez tekrarlanmalıdır. Arazi deneyleri ile laboratuvar deneylerinin birlikte değerlendirilmesi gerekir. Standart penetrasyon deneyi arazide en yaygın olarak uygulanan deneydir. 50 mm dış çaplı özel standart ucun, kaplama borusu çakılmış sondaj çukuru tabanından itibaren zemine çakılması ile yapılır. Standart uç aynı zamanda numune alıcı kaşıktır. Deney sırasında 635 N'luk ağırlık 0.76 m den standart uç tij üzerine düşürülerek sondaj deliği tabanından itibaren 0.15 m girmesi için gerekli düşüş sayısı bulunur(Aköz H.A., 2008).

Kohezyonsuz zeminlerin yerleşim sıklığı, kohezyonlu zeminlerin kıvamı hakkında bilgi verir. Bu deney ince çakıl, kum, silt ve kil zeminlerde uygulanır. Düşüş sayısının büyük olması, zeminin sağlam olduğunun göstergesidir.

Arazide uygulanan bir diğer deney ise Veyn deneyidir. Veyn deneyi ile özellikle yumuşak normal konsolide killerin drenajsız kayma mukavemeti belirlenebilir. Veyn deney aleti zemin içine batırılarak, zemin içinde dönmeye zorlanır ve zeminin direncinin aşılmasına karşılık gelen burulma momentinden zeminin drenajsız kayma mukavemeti belirlenir. Arazide uygulanan diğer deneyler koni penetrasyon deneyi, Becker penetrasyon deneyi ve arazi kayma dalga hızının ölçülmesidir. Koni penetrasyon deneyi (CPT), gelişen teknoloji ile birlikte zemin profili ve özelliklerinin yerinde, operatör müdahalesi minimum düzeyde ve sürekli olarak belirlenmesini sağlayabilen bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Deney; kısa zamanda istenilen sayıda tekrarlanabilmekte, zemin parametreleri numune alınmasına ve laboratuvar çalışmasına gerek duyulmadan elde edilebilmekte, deneyin yapılmasının ve sonuçların yorumlanmasının diğer yöntemlere göre daha az zaman alması işgücü ve maliyet açısından avantaj sağlamaktadır. Koni penetrasyon deneyi ucu koni seklinde olan bir

silindirik borunun zemine itilmesi sırasında beliren dirençlerin ölçülmesi esasına dayanmaktadır (Şekil 9.17).



Şekil 9.17: Koni penetrasyon deney cihazı

Deney sırasında 1 m uzunluğundaki tijler zemine 20 ± 2 mm/s hızla itilirken uç direnci, çevre sürtünmesi ve boşluk suyu basıncı değerleri sürekli olarak kaydedilmektedir. Deneyde kullanılan koni ve sürtünme gömleği şekil 9.18’de görülmektedir(Aköz H.A., 2008).



Şekil 9.18: Koni ve sürtünme gömleği

9.3.2. Zemin İndeks Özellikleri ve Sınıflandırma Deneyleri

Arazi çalışmalarından sonra yapılacak iş zeminin sınıflandırılması ve mühendislik özelliklerinin belirlenmesi için gerekli görülen deneylerin laboratuarda yapılmasıdır.

9.3.2. a. Dane apı dağılımlı

Standart metot (elek analizi) ile ince kum boyutunda ve çakıl gibi daha iri danelerin dane çapı dağılımlı belirlenir. Zemindeki kil ve siltin toplam miktarı deney sonuçlarından hesaplanabilir. Hidrometre analizi ile de kil ve silt gibi ince daneli zeminlerin dane çapı dağılımlı bulunur. Tablo 8.1’de dane çapı dağılımlı esasına göre yapılan ve zeminlerin sınıflandırılmasında en çok kullanılan sistem, birleşik zemin sınıflandırılması görülmektedir.

Zemin Cinsi	Dane apı (mm)
Blok – iri taş	> 75.6
akıl	75.6 - 4.76
Kum	4.76 - 0.074
Silt	0.074 - 0.002
Kil	<0.002

Tablo 9.1: Birleşik Zemin Sınıflandırılması

9.3.2. b. Su muhtevası

Zemin içindeki su kütlesinin zeminin kuru kütlesine oranıdır. Su muhtevası; zeminin plastik, likit ya da katı gibi hangi kıvamda olduğunun belirlenmesinde kullanılır.

9.3.2. c. Kıvam limitleri deneyi

İnce daneli zeminlerin mühendislik özellikleri boşluklarında yer alan su miktarına bağlı olarak değişir. İnce daneli zeminlerin su muhtevası değiştikçe kıvamı da değişmektedir. Zeminin daha fazla su muhtevasında kendi ağırlığı ile viskoz bir sıvı gibi aktığı su muhtevası değerine likit limit denilmektedir.

Laboratuarda cam plaka üzerinde zemin numunesinin parçalanmadan 3 mm çapında silindircikler halinde yuvarlanabildiği, plastik davranış sergilediği en küçük su muhtevası değerine ise plastik limit denilmektedir. Zemin plastik limitten daha az su muhtevası değerlerinde katı kıvamda olduğu kabul edilmektedir. Daha fazla su kaybının zeminin hacminde bir azalmaya sebep olmamaya başladığı su muhtevası değerine ise rötire limiti denilmektedir. Bu sınır su muhtevalarının hepsine birden kıvam limitleri denilmektedir. Kıvam limitlerinin küçükten büyüğe doğru aldıkları isimler sırası ile rötire limiti, plastik limit ve likit limittir. Kıvam limitleri laboratuarda yapılan Cassagrande yöntemi, düşen koni yöntemi, plastik limit deneyi ve rötire limiti deneyi ile belirlenmektedir.

9.3.2. d. Piknometre (özellük yoğunluk)

Zemin danelerinin özgül yoğunluğunu belirlemek için yapılır.

9.3.2. e. Permeabilite

Zeminin permabilitesini belirlemek için, sabit seviyeli permabilite deneyi ile düşen seviyeli permabilite deneylerinden faydalanılır.

9.3.2. f. Konsolidasyon deneyleri

Zeminlerin sıkışabilirlikleri örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan konsolidasyon deneyleri ile belirlenir. Ödometre deneyi, yanal deformasyonu önlenmiş olan, suya doymuş örselenmemiş bir zemin numunesinin alt ve üst yüzeyinden drenaj sağlayarak sabit bir basınç altında konsolidasyon miktarı ve hızının ölçümü için kullanılmaktadır.

9.3.2. g. Kayma mukavemeti ve gerilme deformasyon deneyleri

Kesme kutusu deneyi, özellikle kumlar için kayma mukavemeti parametrelerini hızlıca belirleyebilmek için kullanılır. Serbest basınç deneyi ise killerin drenajsız kayma mukavemetini belirlemek için kullanılır. Üç eksenli basınç deneyi ile drenajlı ve drenajsız şartlarda, kayma mukavemeti ile elastisite modülü belirlenebilir, gerilme-şekil değiştirme arasındaki ilişkiler tanımlanabilir. Ayrıca yine üç eksenli basınç deneyi ile drenajlı / drenajsız kesme sırasında boşluk suyu basınçları ve konsolidasyon sırasında hacim değişimi belirlenebilir. Düşen koni deneyinde standart boyutlarda ve ağırlıkta metal bir koni, sabit yükseklikten zemin numunesi üzerine düşürülür. Zeminin drenajsız kayma mukavemetinin koninin ağırlığı ile doğrudan, koninin zemin içine batma miktarının karesi ile tersten orantılı olduğu kabul edilerek zeminin drenajsız kayma mukavemeti elde edilebilmektedir. Düşen koni deneyi ve arazide uygulanan Veyn deneyi, yalnızca yumuşak normal konsolide killerde güvenilir sonuçlar vermektedir.

9.3.2. h. Kompaksiyon deneyi

Mekanik yöntemler yardımıyla zeminin boşluklarında yer alan havanın çıkartılarak danelerin birbirine yaklaşması ve böylece danelerin daha sıkı bir yerleşime sahip olmasını dolayısıyla da zeminin daha mukavim bir hale gelmesini sağlayan işleme kompaksiyon denir. Kompaksiyonun amacı, boşluk oranını azaltarak geçirimsizliği azaltmak, su emme ve su muhtevası özelliklerini kontrol altına almak, zeminin kayma mukavemetini dolayısıyla taşıma gücünü arttırmak, zemini titreşim ve yük etkisi altında hacim değiştirme, oturma ve deformasyonunu azaltmaktır. Kompaksiyon deneyi ile arazide sıkıştırılacak zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve bu birim hacim ağırlığına ulaşılan su muhtevası (optimum su muhtevası) değeri tespit edilmektedir. Laboratuvar ortamında iki farklı kompaksiyon deneyi yapılabilir. Bunlar Standart Proktor ve Modifiye Proktor Deneyleridir (Aköz H.A., 2008).

9.4 Zeminin Sıvılaşıma Olasılığının Belirlenmesi

Zeminin sıvılaşıma analizinde ilk adım potansiyel olarak sıvılaşacak kumlu ve siltli zemin tabakalarının bulunup bulunmadığının belirlenmesidir. Bundan sonra yapılacak iş sıvılaşımanın olabirliğinin sayısal yöntemlerle belirlenmesidir. Bu amaca yönelik iki yöntem vardır:

1. Örselenmemiş numunelerin laboratuvar ortamında test edilmesi
2. Arazi davranışları ile indeks test parametrelerine dayalı ampirik bağıntıların kullanılmasıdır.

Laboratuvar testlerinin kullanılması, numune alımı ve numunenin arazideki gerilmelere konsolidasyonu sırasındaki örselenmeler sebebiyle oldukça zordur. Tekrarlı basit kayma ve üç eksenli dinamik testlerin her projede uygulanabilirliği ve ayrıca testlerin zor ve pahalı olması bakımından kısıtlıdır.

Arazi deneylerinin kullanımı mühendislik uygulamalarında oldukça yaygındır. Dört değişik arazi deney yöntemi ile sıvılaşıma potansiyeli belirlenebilmektedir. Bu testler 1. Standart penetrasyon deneyi, 2. Koni penetrasyon deneyi, 3. Arazi kayma dalga hızının ölçülmesi ve 4. Becker penetrasyon deneyi'dir. Bu yöntemler arasında en eski ve en sıkça kullanılan yöntem Standart penetrasyon deneyidir.

9.5 Malzeme Özelliklerini Belirlerken Kullanılan Diğer Deneyler

Tarihi yığıma yapılarda sıklıkla kullanılan taş ve tuğla malzemelerin basınç dayanımı, harçla yapı malzemesi arasındaki kayma dayanımı, elastisite modülü ve malzeme kalitesinin belirlenmesi için çoğunlukla tahribatsız deneylerden faydalanılır. Doğru sonuçlara ulaşmak için, yapıdan numune alınarak laboratuvar ortamında test edilmesi ve bu deneylerin bir arada değerlendirilmesi gerekir, ancak tarihi yapılarda bu her zaman mümkün olamamaktadır. Yapıdan numune alınamaması durumunda yakın

tarihlerde yapılmış benzer nitelikteki tahrip olmuş yapılardan alınan örneklerden faydalanılmaktadır.

Tahribatsız deneyler, çekiç geri tepme indisi ölçümleri ya da ultrases ölçümleri şeklinde olabilir. Duvarlarda kayma dayanımı, yapı üzerinde yapılacak deneylerle bulunabilir. Onarım ve güçlendirmede kullanılacak malzemenin belirlenmesi için mevcut duvarları oluşturan bileşenler üzerinde kimyasal deneyler yapılmalıdır.

9.5.1.Sertlik Ölçümü

Malzemelerin en önemli mekanik özellikleri, elastisite, süneklik, dayanım, tokluk ve sertliktir. Sertlik, bir malzemenin yüzeyine batırılan sert bir cisme karşı gösterdiği dirençtir ve cismin dayanımı hakkında bir fikir verir, ancak dayanım ya da süneklik gibi belirli bir karakteristiği tam olarak ifade etmez. Sertliğin belirlenmesi ile malzemenin kökeni hakkında bilgi edinilir, farklı iki numunenin aynı malzemeye ait olup olmadığı anlaşılır. Sertlik deneylerinin yapılması kolaydır, deneyde malzeme tahrip edilmez, bu deney, yığma yapılardaki doğal taş, tuğla, harç gibi gözenekli ve seramik bünyeli malzemelerde elle taşınabilir aletler ile laboratuvar dışında da gerçekleştirilebilir. Sertlik değerinden malzemenin içyapısına bağlı özelliklere geçilebilmesi için cismin homojen olması, yüzey özelliklerinin içyapıdan farklı olmaması gerekir (Aköz H.A., 2008).

Seramik bünyeli, gözenekli yapı malzemelerinde sertliğin belirlenmesi için çoğunlukla geri sıçramanın ölçülmesi prensibine dayanan N tipi veya P tipi Schmidt çekiciden yararlanır. P tipi Schmidt çekiciyle yapılan bir test Şekil 2.19'da görülmektedir. Bunlardan, N tipinde, bir bilye, P tipinde ise bir pandül, arkasında bulunan yay yardımı ile yüzeye fırlatılır. Bilye veya pandül taş cismin yüzeyine çarptıktan sonra geri sıçrar, geri sıçrama ne kadar büyük ise sertlik o kadar yüksektir. Elemanın yüzeyindeki sıva veya kaplama kaldırıldıktan sonra değişik noktalara en az 10

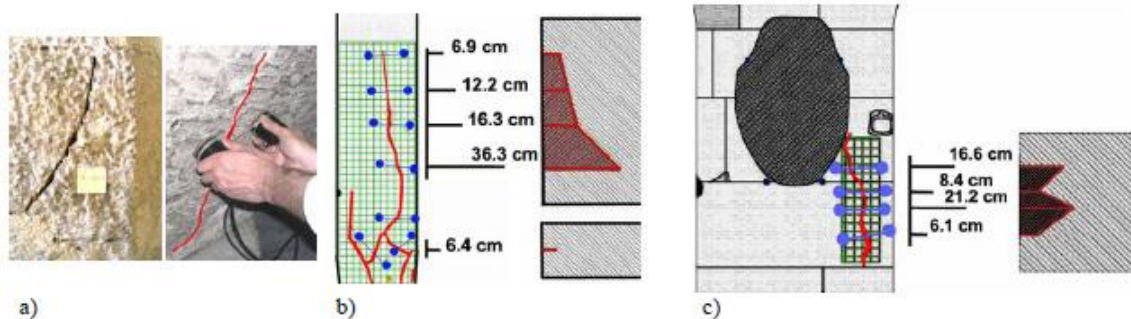
vuruş yapılmalı, maksimum vuruş değeri ile minimum vuruş değeri arasındaki fark 10'dan küçük olmalıdır.



Şekil 9.19: P tipi Schmidt çekici testi uygulaması [72]

9.5.2. Ultrases Ölçümü

Frekansı 16.000'in üzerinde olan ve insan kulağı tarafından işitilemeyen ultrases dalgaları, katı, sıvı ve gaz içinde belirli bir hız ile yayılır. Ultrases dalgaları da ışık dalgaları gibi yayılır, yansır, kırılır ve difraksiyona uğrar. Ultrases deney tekniğinde, ses dalgaları, cisme, boşluk bırakılmaksızın temas ettirilen piezoelektrik transduser ile gönderilir ve aynı özellikteki transduser yardımı ile alınır. Alıcı ve verici problar arasındaki ses dalgalarının iletim süresi ve hızı zaman ölçer devre ile ölçülür. Cismin yoğunluğu düşük ise ve/veya bünyesinde çatlaklar var ise ses dalgalarının yayılımı ve dolayısı ile ses geçiş hızı düşük olur (Aköz H.A., 2008).



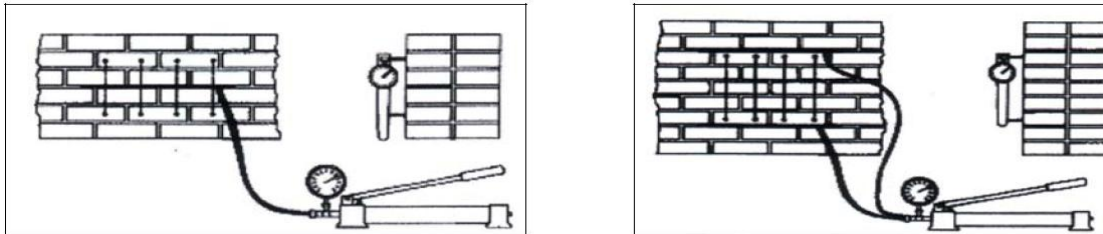
Şekil 9.20: (a) Ultrasonic test işlemi (b), (c) kolon üzerindeki test sonuçları [74]

Ultrasonic test tekniği, sütünların içerisindeki çatlak derinliğinin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Çatlağın iki tarafına eşit mesafede tutulan 40 khz'lık transduser yardımıyla çatlak oluşumu izlenebilmektedir. Şekil 8.20'da ultrasonic test tekniğine ait uygulama ve çizimler görülmektedir. Test sonuçlarından kolon üzerindeki çatlakın 40 cm derinliğe kadar ulaştığı görülmüyor.

Ses geçiş hızının yüksek olması, boşlukların az, dolayısı ile dayanımın yüksek olduğu anlamına gelir, ancak bu deney dayanımın belirlenmesi için tek başına yeterli değildir. Diğer ölçümler ile birlikte değerlendirilmelidir.

9.5.3.Yerinde Basınç Deneyi

Yığma yapılarda, ASTM C 1196-92 (Reapproved 1997)'ye uygun olarak gerçekleştirilen yerinde basınç deneyinde; elemana uygulanan kuvveti ve kuvvete karşılık gelen boy değişiminin ölçülmesine imkân sağlayan flat-jack deney düzeneğinden faydalanılır. Tek ve çift plak ile yapılan ölçüm düzenekleri Şekil 9.21'de görülmektedir.



Şekil 9.21: Yerinde basınç deneyi:

a. Tek Plak ile Ölçüm

b. Çift Plak ile Ölçüm [9]

Bu deney düzeneği şekil 9.21'de görüldüğü gibi basınç uygulayan bir kompresör ve bir basınçölçer, basınç kuvvetini yüzeye uygulamaya yarayan plaklar, yer değiştirmeyi ölçmeye yarayan komparatör ve komparatörü tespit etmeye yarayan pimlerden oluşmaktadır. Şekil 9.22'de flat-jack uygulamasına ait resim görülmektedir.

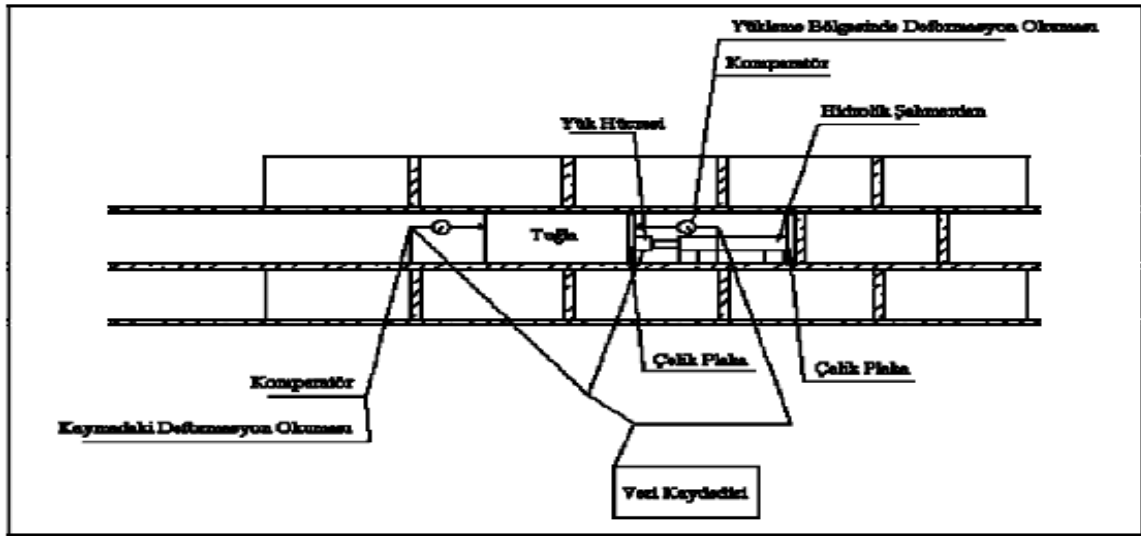


Şekil 9.22: Flat-jack uygulaması

Deneyin uygulamasında, öncelikle yer değiştirmelerin ölçüleceği pimler, şablona uygun olarak yapıştırılır; başlangıçtaki uzaklık ölçülür. Elemanda, tercihen yatay derzde plağın yerleştirileceği bölge, matkap ile açılır; harç kaldırıldığı için yapının zati yükü nedeni ile ölçüm bölgesinde boy değişimi meydana gelir. Pimler arasındaki mesafe ölçülerek boy değişimi tespit edilir. Açılan bölgeye plak yerleştirilir, gerekli bağlantılar yapılır, kuvvet uygulanır, belirli aralıklar ile kuvvet ve yer değiştirmeler ölçülür. Deneylerden gerilme ve şekil değiştirmeler, elastisite modülü ve ölçüm yapılan bölgedeki gerilme seviyesi belirlenir. Bu gerilme seviyesi, şekil değiştirmenin başlangıçtaki değerine ulaştığı gerilme seviyesi olarak kabul edilir (Aköz H.A., 2008).

9.5.4.Yerinde Kayma Deneyi

Yığma yapıdaki kayma dayanımının ASTM C 1531-03'e uygun olarak belirlendiği deney seti, kuvvet uygulanan kompresör, kuvvet ölçer ve yer değiştirmeyi tespit edentransducer'den oluşur. Deneyin uygulanmasında şekil 9.23'de görüldüğü gibi ölçüm yapılacak bölgenin iki tarafı açılır, bir taraftan yatay kuvvet uygulanır, diğer tarafa yerleştirilen transduserin yer değiştirmeyi kaydettiği andaki kayma gerilmesi, yapıdaki kayma dayanımı olarak tespit edilir .



Şekil 9.23: Yerinde kayma deneyi

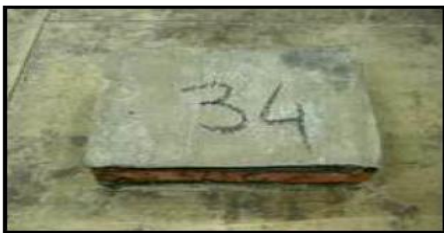
9.5.5. Laboratuarda Yapılan Fiziksel ve Mekanik Deneyler

Yapıdan alınan ve laboratuara getirilen taş, tuğla ve harç numunelerinden mekanik fiziksel deneyler için numuneler hazırlanır, fiziksel ve mekanik deneyler yapılır, gerekli görülür ise onarım ve güçlendirmede kullanılacak malzemelerin mevcut malzemelere uyumunun sağlanması için iç malzemelerde içyapı analizleri gerçekleştirilir. Şekil 8.24'te özel aletlerle yapıdan numune alınışı görülmektedir.



Şekil 9.24: Yapıdan numune alınması

Taş örneklerden, alındığı yapıya ve elemana göre kodlanan numunelerin (Şekil 9.25), deneye hazırlanması için öncelikle birbirine paralel iki başı çap/yükseklik oranı 1/1 olacak şekilde taş kesme aleti ile düzeltilir. Bu numuneler, ortalama 48 saat süre ile sıcaklığı 20 ± 2 °C, bağıl nemi $\%65\pm 5$ olan rüzgarsız laboratuvar ortamında bekletilir. Numunelerin çapı ve yüksekliği ölçülür, birim ağırlığının belirlenmesi için tartılır, ses geçiş süresi ölçülür. Ölçüm ve tartım işleminden sonra düzeltilen yüzeylere alçı, çimento karışımı hamur ile toplam 5-6 mm kalınlığında başlık yapılır. Başlığın sertleşmesinden sonra başlıklı yükseklik (h,mm) ölçülür. Bu numunelerde tek eksenli basınç deneyi yapılır, basınç etkisinde meydana gelen boy değişimi ve kırma yükü belirlenir, basınç mukavemeti hesaplanır.



Şekil 9.25: a. Numunenin kodlanması b. Tuğla numunesinde basınç deneyi

Alındığı yapıya ve elemana göre kodlanmış olarak plastik torba içinde laboratuvara getirilen tuğla numunelerinden mekanik deneyler için TS 4563 ve TS 705'e uygun olarak hazırlanan numunelerde, tek eksenli basınç deneyi yapılır, kırma yükü belirlenir, kırma yükünün kuvvet uygulanan yüzeye oranlanması ile basınç dayanımı hesaplanır. Deney sonuçların verildiği çizelgede tuğlaların nominal boyutları, dar kenarı, uzun kenarı ve kalınlığı da verilir.

Fiziksel deneyler için hazırlanan numunelerde kılcal su emme ve ağırlıkça su emme deneyleri yapılır, deney sonuçlarından boşluklu birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme, hacimce su emme ve kılcal su emme katsayıları belirlenir.

Fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenen malzemelerin onarımında kullanılacak malzeme ile uyumun araştırılması amacı ile taş, tuğla ve özellikle harç numunelerin mikro-yapısal özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir(Aköz H.A., 2008).

9.6 Yapı Güvenliğinin Belirlenmesi

Yapının düşey ve yatay yükler altındaki davranışının ve elemanlardaki gerilme ve kuvvet akışının belirlenmesi için bir model geliştirilmelidir. Güçlendirme sisteminin yeterliliğinin belirlenmesinde oluşturulacak mekanik modelin yapının özelliklerini yansıtması önemlidir. Oluşturulacak model kapsamlı olması derecesinde ek kabullere ihtiyaç olacaktır. Bunun yanında geliştirilecek çok basit model de gerçek durumu temsilden uzak olabilir. Modelin karmaşıklık derecesine, yapıya bağlı olarak deneyimli mühendis tarafından karar verilmelidir. Hazırlanacak modelle yapılacak yapısal çözümlerme güçlendirme durumunda kuvvet akışını ortaya çıkaracak ve bazı kritik kesit ve bölgelerin belirlenmesinde faydalı olacaktır.

Tarihi yığma yapıların güvenliğinin belirlenmesinde diğer yapılardan farklı olarak daha hassas ve ayrıntılı hesapların yapılması gerekir. Bu nedenle yığma türü yapı sistemlerinin analizinde analitik çözümler yerine sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemle çubuk (frame), kabuk (shell) ve katı (solid) eleman gibi çeşitli yapı eleman modellerini bir arada kullanmak mümkün olmakta yapının üç boyutlu statik ve dinamik analizi yapılabilmektedir. Yapılacak hesaplarda öncelikle yapının mevcut güvenlik düzeyi belirlenip güçlendirme ihtiyacı olup olmadığı saptanmalı daha sonra güçlendirildiği şekliyle tekrar modellenip öngörülen güvenlik düzeyine ulaşıp ulaşılmadığı kontrol edilmelidir(Aköz H.A., 2008).

BÖLÜM 10

10.MODELLEME VE ANALİZ YÖNTEMLERİ

10.1 Modelleme Yöntemleri

Sonlu eleman yöntemi, ayırık eleman yöntemi ve her ikisinin bir arada kullanıldığı karma yöntemler modelleme yöntemleri olarak sayılabilir.

10.1.1. Sonlu eleman yöntemi

Sonlu Eleman Yöntemi; yapıların üç boyutlu doğrusal ve doğrusal olmayan, statik ve dinamik analizlerinin yapılabildiği sayısal bir yöntemdir. Sonuçlar sayısal ve grafik ortamda elde edilebilmektedir [75].

Sonlu eleman yönteminin üstünlüklerini sıralamak gerekirse;

- Bitişik elemanlardaki malzeme özellikleri aynı olmayabilir. Bu özellik birkaç malzemenin birleştirildiği cisimlerde uygulanabilmesine imkan vermektedir.
- Düzgün olmayan sınırlara sahip şekiller, eğri kenarlı elemanlar kullanılarak analiz edilebilirler.
- Eleman boyutları kullanıcı tarafından değiştirilebilir. Böylece önemli değişiklikler beklenen bölgelerde daha küçük elemanlar kullanılarak hassas işlemler yapılabilirken, aynı parçanın diğer bölgeleri büyük elemanlara bölünerek işlem hızı artırılabilir.
- Sınır şartları kolayca uygulanır.
- Sonlu eleman metodunun çok yönlülük ve esnekliği karmaşık yapılarda, sürekli ortam, alan ve diğer problemlerde sebep sonuç ilişkilerini hesaplamak için çok etkin bir şekilde kullanılabilir (Yılmaz P., 2006).

Sonlu eleman yönteminde uygulanan temel adımlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Taşıyıcı sistem küçük parçalara (sonlu eleman) bölünür.
- Sonlu eleman şekil fonksiyonları belirlenir.

- Eleman matrisleri belirlenir.
- Eleman matrisleri birleştirilerek sistem matrisleri elde edilir.
- Sınır şartları uygulanır.
- Sistem denge denklemi çözülür.
- Çözümlerin ve istenilen değerlerin ileri hesaplaması yapılır (Yılmaz P., 2006).

Sonlu eleman analizinin en önemli adımı, bir takım elemanlar tarafından verilen alanı tanımlamaktır. Problemin analizi ve istenen doğruluk derecesi için eleman tipinin, eleman sayılarının ve eleman yoğunluğunun seçilmesi alanın geometrisine bağlıdır. Bir yapının yer hareketi altında incelenmesi sırasında ilk adım, basit bir modelle temsil edilmesidir. Bir yapının titreşim durumundaki konumunun belirlenmesi için gerekli olan parametre sayısı serbestlik derecesi olarak isimlendirilir. Günümüzde yaygın olan bilgisayar çözümü için sistem ayrıklaştırılır ve çok serbestlik dereceli sistem haline getirilir. Bunun yanında çok serbestlik dereceli sistemlerin çoğu, basit yaklaşımla, tek serbestlik dereceli kabul edilerek uygun yaklaşıklıkta sonuçlar elde edilir. Bir sistemin hareket halinde bulunduğu konum, tek bir parametrenin verilmesi ile belirlenebiliyorsa, bu tür sistem tek serbestlik dereceli olarak, eğer birden fazla parametrenin verilmesi ile belirlenebiliyorsa, çok serbestlik dereceli sistem olarak isimlendirilir (Yılmaz P., 2006).

10.1.1.1. Doğrusal Sistemlerde Sonlu Elemanlar Yöntemi

Bilgisayarda çözüm yapmak açısından daha az bilinmeyene sahip ve diğerlerine nazaran bant genişliği daha küçük olan denklemler üretmesi sebebiyle yer değiştirme yöntemi doğrusal sistemlere uygulamalarında tercih edilmektedir. Bu yöntemin uygulaması aşağıdaki gibi yapılır.

- Sistem ya da sürekli ortam sonlu elemanlara ayrılarak düğüm noktalarından birbirlerine birleştirilir.
- Daha sonra sonlu eleman yüzeyinin şekil değiştirmesi düğüm noktalarının yer değiştirme parametrelerine bağlı olarak ifade edilir.
- Yer değiştirme parametrelerini, dik doğrultulardaki yer değiştirmeler ile dönme ve burulma eğriliği gibi vektörler oluşturur. Bu sayede eleman yer değiştirmeleri, seçilen

şekil fonksiyonu vasıtasıyla düğüm noktaları yer değiştirmelerine bağlı olarak ifade edilmiş olur.

- Seçilen şekil fonksiyonları sistemi tam anlamda tarif edebilmelidir. Bu konuda son yıllarda farklı fonksiyonlar kullanılarak sonuçların yakınsaklığı iyileştirilmiştir.

Eğilme hesaplarında düğüm noktalarının yer değiştirme parametrelerinin bilinmesi, sistem yer değiştirme yüzeyinin ve her düğüm noktasındaki kesit tesirlerinin belirlenmesi açısından yeterli olmaktadır. Seçilen yer değiştirme parametreleri ve şekil fonksiyonları yardımıyla, sistemin malzeme özelliklerine göre rijitlik matrisi, sistemin yükleme durumuna göre de yük matrisi hesaplanır. Elemanların rijitlik ve yük matrislerinden yola çıkarak sistemin rijitlik ve yük matrisleri bulunur. Daha sonra sınır şartları göz önünde tutularak düğüm noktası bilinmeyenleri hesaplanabilmektedir. Şekil fonksiyonlarının eleman koordinatları cinsinden ifade edilmesi, sonlu eleman yönteminin sistematik olarak formüle edilmesini kolaylaştırmakla kalmaz, boyutsuz parametrelerle işlem yapma rahatlığını da sağlar. Eğer sınır şartlarını sağlayacak tarzda seçilen şekil fonksiyonları, sonlu elemanın tipine göre (çubuk, dörtgen, hegzahedral vb.) tayin edilirse, bunlar yer değiştirme fonksiyonu olarak kullanılmakla birlikte sistemin geometrisini tanımladığı için bu yaklaşıma izoparametrik eleman yaklaşımı denilmiştir. İzoparametrik yaklaşım hesapları kolaylaştırmakta ve işlem yükünü azaltmaktadır (Dabanlı Ö. , 2008).

10.1.1.2. Doğrusal Olmayan Sistemlerde Sonlu Elemanlar Yöntemi

Doğrusal olmayan sistemlerde, elastik ötesi davranış, malzemenin bünye denklemlerinin doğrusal olmaması ve geometrideki değişimler sebebiyle denge denklemlerinin doğrusal olmaması şeklinde ortaya çıkar. Hem malzemedan hem de geometriden kaynaklanan doğrusal olmayan davranış, sonlu elemanlar yönteminde dikkate alınabilmektedir. Bir yüzeyin ya da ortamın elasto-plastik davranışını sonlu elemanlar yöntemiyle modellemek için üç fonksiyona ihtiyaç duyulur:

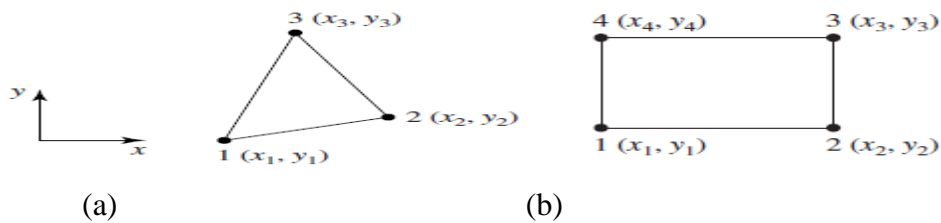
- Akma fonksiyonu: Malzemenin akmaya başlayıp başlamadığını ifade eder.
- Pekleşme fonksiyonu: Plastik şekil değiştirmeler sebebiyle akma fonksiyonundaki değişiklikleri ifade eder.
- Akma Kuralı (flow rule) : Plastik şekli değiştirmelerin yönünü belirler.

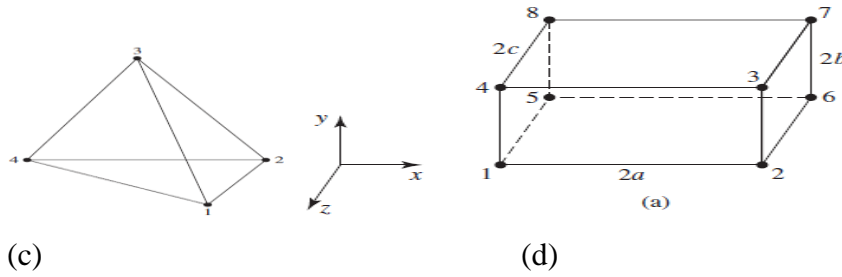
Sonlu elemanlar yönteminde doğrusal olmayan problemler için sayısal hesap tekniğine de ihtiyaç duyulur. Bu teknikler sayesinde yük artımlarına tekabül eden şekil değiştirmeler hesaplanır. Sayısal teknikler, Artımsal Yöntem, Ardışık Yaklaşım Yöntemi ve bunların karışımı şeklinde karşımıza çıkmaktadır (Dabanlı Ö. , 2008).

10.1.2. Yapı Elemanlarının Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Modellenmesi

Sonlu Elemanlar Metodu ile yapı sistemlerinin analizinden önce izlenmesi gereken yol genel olarak şöyle sıralanabilir:

- Kullanılacak olan sonlu eleman tipleri belirlenir.
- Malzeme karakteristikleri tanımlanır.
- Sonlu elemanların en, boy, yükseklik ve alan gibi geometrik büyüklükleri belirlenir. Uygun sonlu eleman ağları oluşturulur. Şekil fonksiyonları seçilir.
- Sınır şartları ve yükler tanımlanır
- Eleman matrisleri yardımıyla sistem matrisleri bulunur.
- Sistem denge denklemleri çözülür (Dabanlı Ö. , 2008).





Şekil 10.1. Bazı Sonlu Elemanlar a) Üçgen b) Dörtgen c) 3D Dörtüzlü d) 3D Dörtgen (Dabanlı Ö. , 2008)

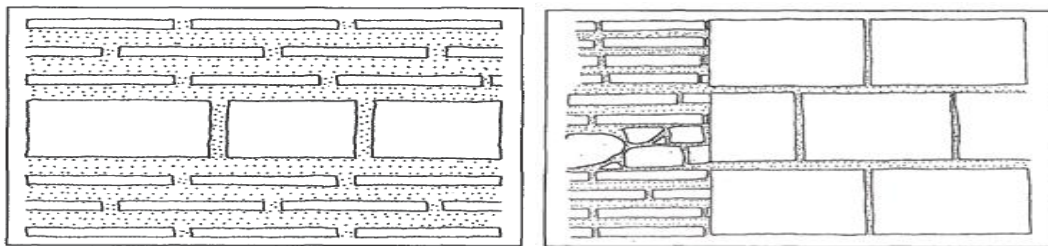
Yapıları modellerken izlenebilecek en basit yaklaşım farklı yapı elemanlarını, farklı model elemanlarıyla temsil etmektir. Mesela, sütunları çubuk (frame) elemanlarla, kubbe, tonozları kabuk (shell) elemanlarla, duvarları da katı (solid) elemanlarla modellemek sıkça kullanılan bir yaklaşımdır. İncelenen yapının türüne göre değişkenlik gösterebilen bu yaklaşımlar, uygun kabullerle yeterli yaklaşıklıkta sonuçlar verebilir.

10.1.2.1 Duvarların Modellenmesi

Yığılma duvarlar kalın kesitlere sahiptir. Modelleme esnasında duvar kesitlerinin tek eleman olarak modellenmesi çoğu zaman uygun olmaz. Özellikle en kesiti birkaç katmandan oluşan duvarların planda parçalara ayrılması önem kazanır. Kullanılan sonlu eleman boyutları küçüldükçe taşıma gücü değerleri de düşmektedir. Eleman boyutu küçüldükçe bir yükleme adımı sırasında rijitlik kaybına uğrayan eleman sayısı da artar. Diğer taraftan eleman boyutunun gereğinden büyük olması durumunda da rijitlik gerçek değerinden daha yüksek kalır. Dolayısıyla daha küçük elemanlardan oluşan modellerde, yapı gerçek taşıma gücünden daha önce, daha büyük elemanlı modellerde ise gerçek taşıma gücünden daha sonra güç tükenmesine erişir. Bu sebeple optimum bir eleman boyutu seçmek önemlidir. Genel olarak modelde kullanılan sonlu eleman boyutlarının, duvardaki tuğla ya da taş eleman boyutlarının en fazla 3-4 katı kadar olması uygundur. Mesela 20 cm yüksekliğinde taşlarla inşa edilmiş bir duvarda 60-80 cm yüksekliğinde

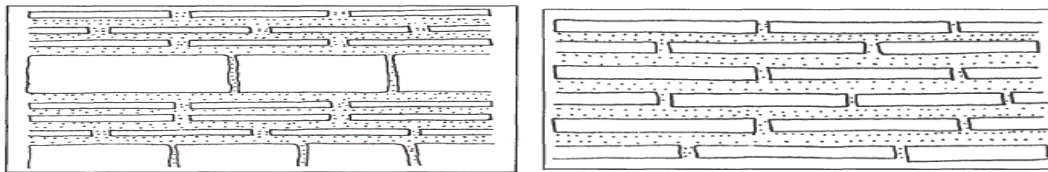
sonlu elemanların kullanılması uygun bulunmaktadır. Ancak bu şekilde sistem homojen olarak ifade edilmiş olabilir (Dabanlı Ö. , 2008).

Genel olarak yığma duvarlarda kullanılan harcın mukavemeti, duvarın mukavemetine eşdeğer durumdadır. Diğer bir deyişle, duvarda zayıf halkayı oluşturan harcın mukavemeti, yığma elamanın mukavemetinde belirleyici bir konumdadır. Güç tükenmesi harç ile tuğla veya taş arasında gerçekleşir (Dabanlı Ö. , 2008).



Şekil 10.2: Atik Mustafa Paşa ve Bodrum Camilerinin Duvar Dokuları

Duvarların modellenmesi sırasında duvar dokusu ve yapım tekniği de dikkate alınmalıdır. Duvarın tuğla veya taş olması ya da almalı düzende olması modelleme tekniği açısından değerlendirilmelidir (Şekil 10.2, 10.3).



Şekil 10.3: Zeyrek ve Ayasofya'ya Ait Duvar Dokuları (Dabanlı Ö. , 2008).

10.1.2.2. Kubbe ve Tonozların Modellenmesi

Kubbe ve tonozlar, kesitleri nispeten ince kabul edilebilen elemanlardır. Bu yüzden kabuk (shell) elemanlarla modellenmesi yaygın bir yaklaşımdır. Kabuk elemanlarda düzlem gerilme ve şekil değiştirme söz konusuken katı (solid) elemanlarda üçüncü boyutta da gerilme ve şekil değiştirme hesaba girer. Kubbe ve

tonozlarda üçüncü boyuta denk gelen kesit derinliği boyunca meydana gelen değişimler ihmal edilebilmektedir. Ancak kesit derinliği boyunca değişimin ihmal edilebilmesi için uygun boyutların seçilmesi gerekmektedir. Bu boyutlara bazı farklı denemeler sonucunda karar verilebilir.

10.1.2.3. Sütun ve Ayakların Modellenmesi

Sütunların mermer veya granit gibi tek bir elemandan oluştuğu durumlarda sütunlar çubuk (frame) eleman olarak modellenebilmektedir. Fakat çubuk elemanlarla katı ve kabuk elemanların bağlandığı düğüm noktalarında gerilme yığılmaları meydana gelmektedir. Bu sebeple uygun bir gerilme dağılımı elde edilmesi zorlaşmaktadır.

Çubuk eleman yerine katı elemanlar kullanıldığında ise daha düzenli bir gerilme dağılımı elde edilebilmektedir. Ayaklarda ise çubuk eleman kabulü yapmak gerçeğe uygun olmamaktadır. Yine de çubuk eleman yapılmak istenirse, rijitlik ve sınır şartları açısından uygun kabul ve düzenlemelerin yapılması gerekir.

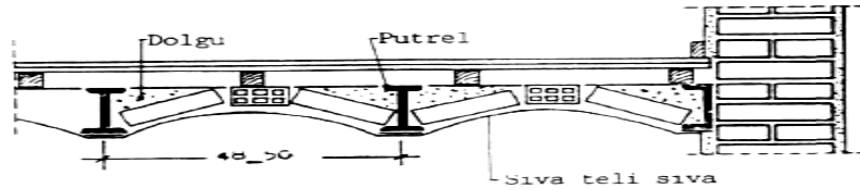
10.1.2.4. Kemerlerin Modellenmesi

Kemerlerin sayısal ortamda modellenmesi esnasında dikkat edilmesi gereken hususlardan birisi kemeri oluşturan birimlerin yapım ve diziliş tarzına uygun modelleme yapmaktır. Daha çok mikro modelleme adıyla bilinen detaylı eleman analizlerinde bu husus öne çıkar.

10.1.2.5. Döşemelerin Modellenmesi

Yığma yapılarda döşemelerin modellenmesinde kabuk (shell) elemanlar kullanılmaktadır. Fakat rijit bir diyafram vazifesini bütün döşemeler göremez. Yapıya etkiyen yükleri dağıtım işlevi olmayan döşemeleri modellerken, eksenel yüklerin taşınmayacağı belirtilmelidir. Özellikle ahşap ve volta döşemelerin (Şekil 10.4) rijit

diyafram olarak çalıştığını kabul etmek, zaten oldukça büyük rijitliklere sahip yığma duvarların yanında dikkate almak uygun olmayabilir. Kabuk elemanlarda S11 ve S22 gerilmeleriyle ifade edilen aksenal yük taşıma kapasitesi düşürülmeli veya sıfırlanmalıdır. Bunu, yazılımların imkânlarıyla gerçekleştirmek mümkündür.

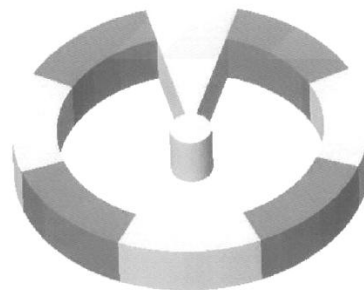


Şekil 10.4. Basit Volta Döşeme Kesiti (Dabanlı Ö. , 2008).

Ayrıca yığma yapılarda zemine oturan döşemeler genel olarak modellenmemektedir. Dolayısıyla bu döşemedeki yükler de nazarı itibara alınmadığı gibi yapının kütesine de katılmaları doğru değildir.

10.1.2.6. Minarelerin Modellenmesi

Minarelerin mutlaka içindeki merdivenlerle beraber modellenmesi gerekir. Çünkü içerideki dönen merdiven minarenin rijitliğine katkıda bulunur. Çoğu minare hasarı da merdivenlerin bittiği ve sadece çevre duvarların devam ettiği şerefe sonrası kısımda görülür. Minarenin uç bölgesi olan bu bölümde, merdivenin bitmesi sebebiyle oluşan ani rijitlik değişimi hasarların başlıca sebebinin oluşturur. Aşağıdaki şekilde (Şekil 10.5) örnek bir minare kesiti merdiven ile beraber gösterilmiştir.



Şekil 10.5 Merdivenli Minare Kesiti (Dabanlı Ö. , 2008).

10.1.3. Ayrık eleman yöntemi

Bu yaklaşımda, yapı ayrı blokların (katı ya da deforme olabilen) birleşimi olarak kabul edilir. Yöntem büyük yer değiştirme (bağlar için) ve küçük şekil değiştirmeler (bloklar için) üzerine kuruludur. Her bir blok geometrik ve malzeme olarak modellendikten, hacim ve yüzey kuvvetleri tanımlandıktan sonra, zamana bağlı hareket denklemleri sayısal olarak çözülür.

10.1.4. Sonlu eleman yöntemi – Ayrık eleman yöntemi (FEM-DE)

Sonlu eleman yöntemi ve ayrık eleman yönteminin birlikte uygulanmasıdır. Katı elemanlar sonlu eleman yöntemi ile modellenirken bağlayıcı harçlar için ayrık eleman yöntemi kullanılmaktadır. Büyük yer değiştirme olduğunda bu yöntemi kullanmak güçleşmektedir.

Bu yöntemdeki en büyük zorluk, uygun malzeme parametrelerini belirlemektir. Tuğla / blok ve harç bağlarının tespit edilmesinde pratikte zorlanılmaktadır. Çünkü örme yapıları elemanlar genellikle alçı, sıva gibi malzemeler ile kapatılmaktadır. Bu nedenle kullanım parametrelerinin belirlenmesi gereklidir (Yılmaz P., 2006).

10.2 Analiz Yöntemleri

Deprem etkisi altındaki; bina türünden yapıların taşıyıcı sisteminde, boyutlama esas olacak şekilde kesit etkilerinin bulunması işleminde, zaman tanım alanında hesap yöntemi ve mod birleştirme yöntemi kullanılabilir.

10.2.1 Zaman tanım alanında analiz yöntemi

Boyutlama sırasında gerçek deprem kaydının esas alınması ve gerçek durumla en iyi şekilde uyuşturulması bakımından tercih edilir. Deprem kaydının bulunmaması

durumunda, deprem hareketini rastgele bir titreşim kabul ederek yapay deprem kayıtları elde edilebilir. Ancak sistemin davranışı boyutlarına bağlı olduğu için, projelendirmenin ilk aşamasında kullanılacak bir yöntem değildir. Bu çözümleme yöntemi, araştırma amacıyla kullanılması yanında, daha basit yöntemlerle yapılan çözümlerde bulunan sonuçların yorumlanmasında da kullanılabilir.

10.2.2. Mod birleştirme yöntemi

Bu analiz yöntemi, sistem davranışının, her bir serbest titreşim modunun deprem hareketine katkısının, ayrı ayrı elde edilip birleştirilmesi ile bulunabileceği esasına dayanır. Binalarda kütlelerin katlarda toplandığı kabul edilerek her kat için iki öteleme ve bir dönme hareketi esas alınır. Matematiksel olarak sağlam bir temele dayanmasına rağmen, gerçek taşıyıcı sistemi yansıtmasındaki eksiklikler nedeniyle dikkatli kullanılmalıdır. Yönetmeliklerde bu yöntemin önerildiği durumlarda da, elde edilen sonuçların Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile karşılaştırılması önerilmektedir (Yılmaz P., 2006).

BÖLÜM 11

11.1.KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ

Bu çalışmada kemer, tonoz ve kubbeye ait yapısal özellikler incelenmiştir. Bu incelemede karşılaştırma yapabilmek için aynı açıklığa sahip farklı yükseklik ve basıklık oranlarında 5 adet kemer, 5 adet tonoz ve 5 adette kubbe olmak üzere toplam 15 ayrı statik model oluşturulmuştur. Tüm modellerde aynı malzeme kullanılmış, aynı tür modellerde aynı kesitler kullanılmıştır.

Malzeme özellikleri:

E(Elastisite modülü) = 3000000 kN/m² , ν (poisson oranı) = 0.2

Kesit özellikleri

A = 1 m, D = 0.25 m

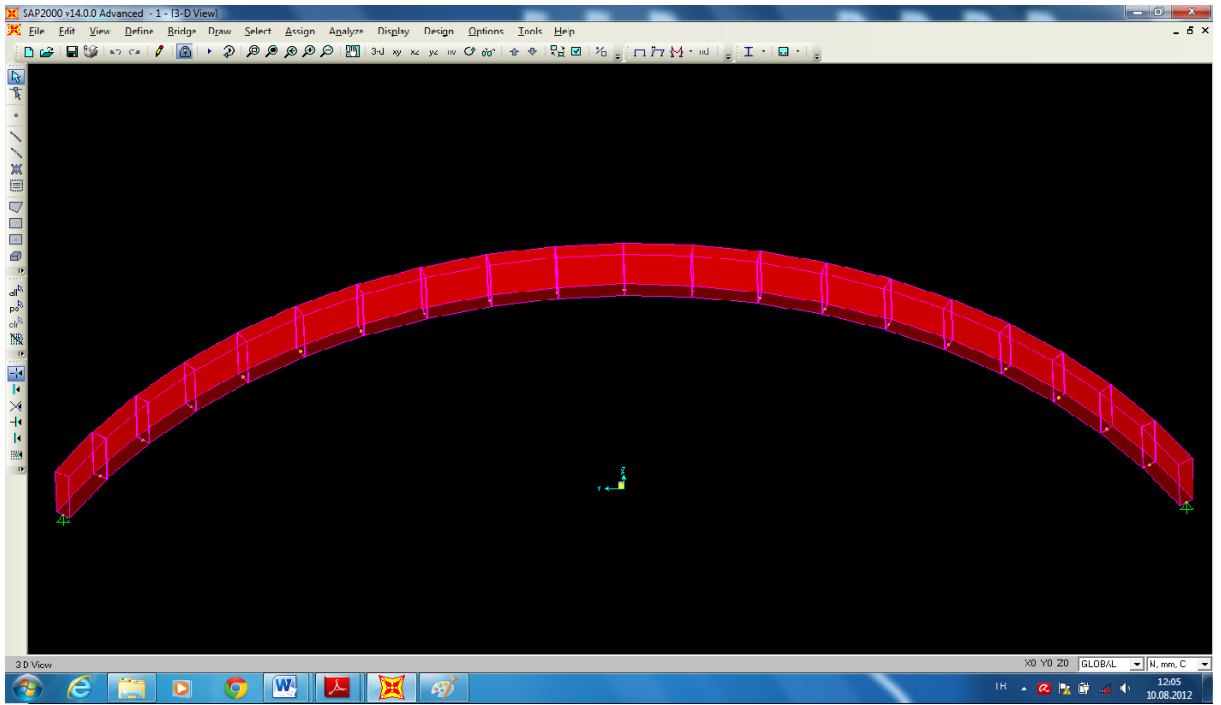
Kemer modellerinin özellikleri

Tablo 11.1: Kemer modellerinin özellikleri

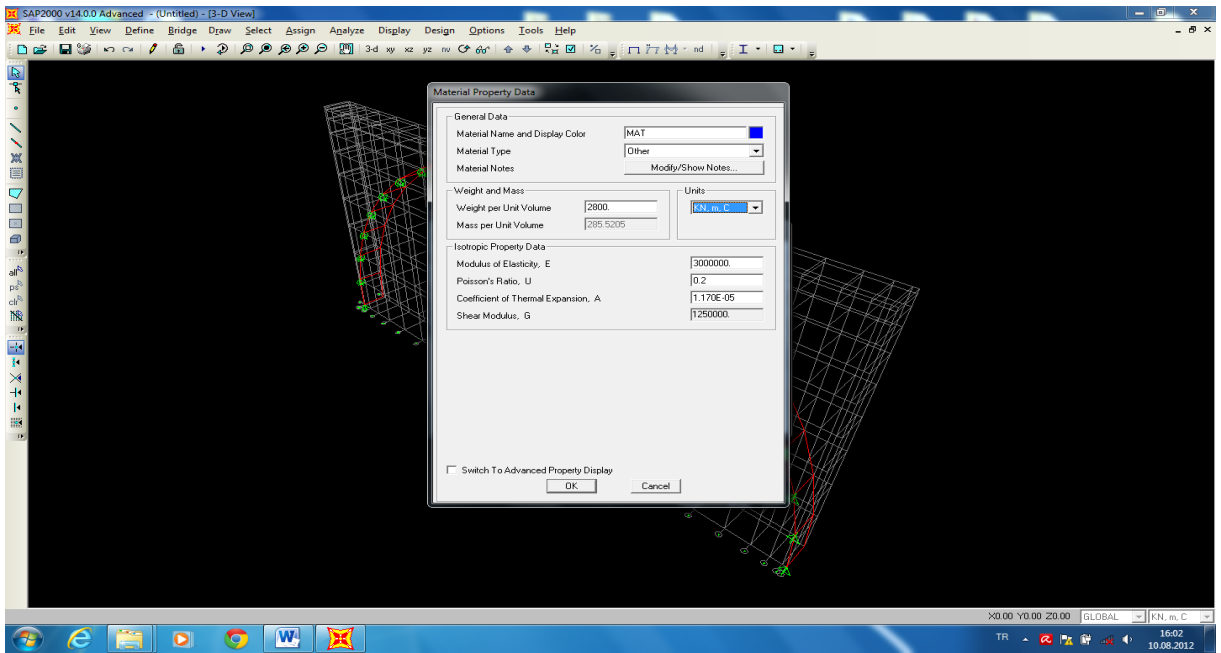
Kemerin Eğimi (θ)(açı)	90	75	60	50	45
Uzunluğu-L(m)	20	20	20	20	20
Yüksekliği-H(m)	10	7.68	5.78	4.68	4.16
Basıklık oranı H/L	0.5	0.38	0.29	0.23	0.21

11.1.a.Kemer

Aşağıda gösterilen modelin aynısı 90, 75, 60, 50 ve 45 dereceler için yapılmıştır. Modellere ait veriler ve zati ağırlıkları altındaki analizleri sonucu mesnet reaksiyonları her bir model için verilmiştir.

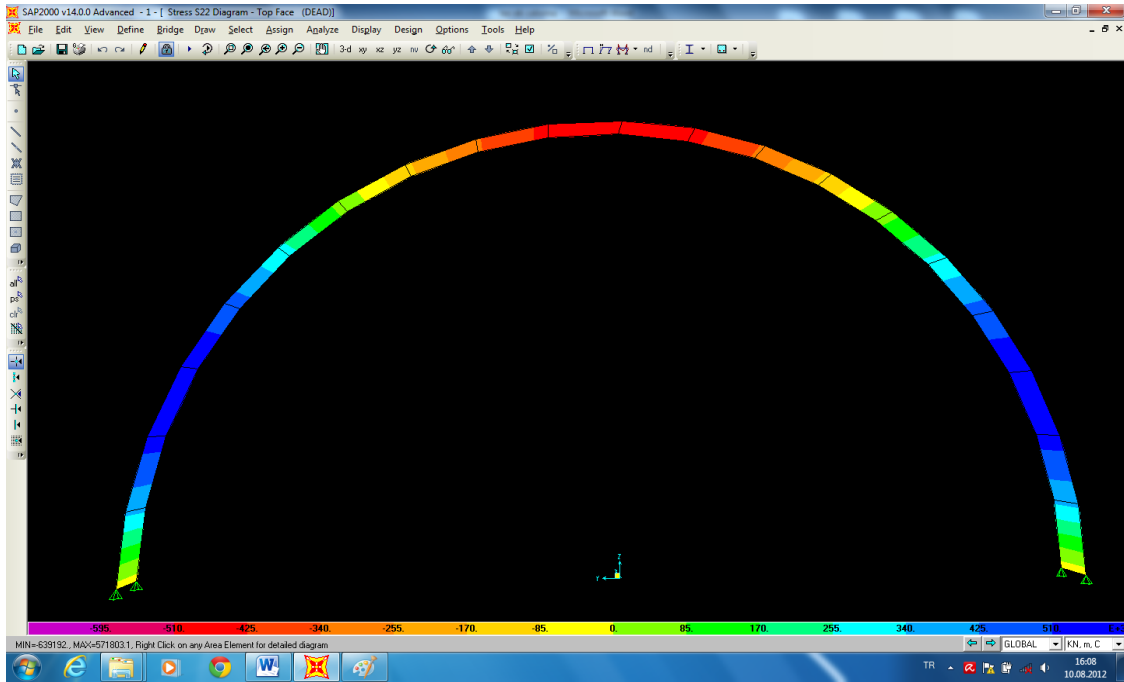


Şekil 11.1: Kemer modeli



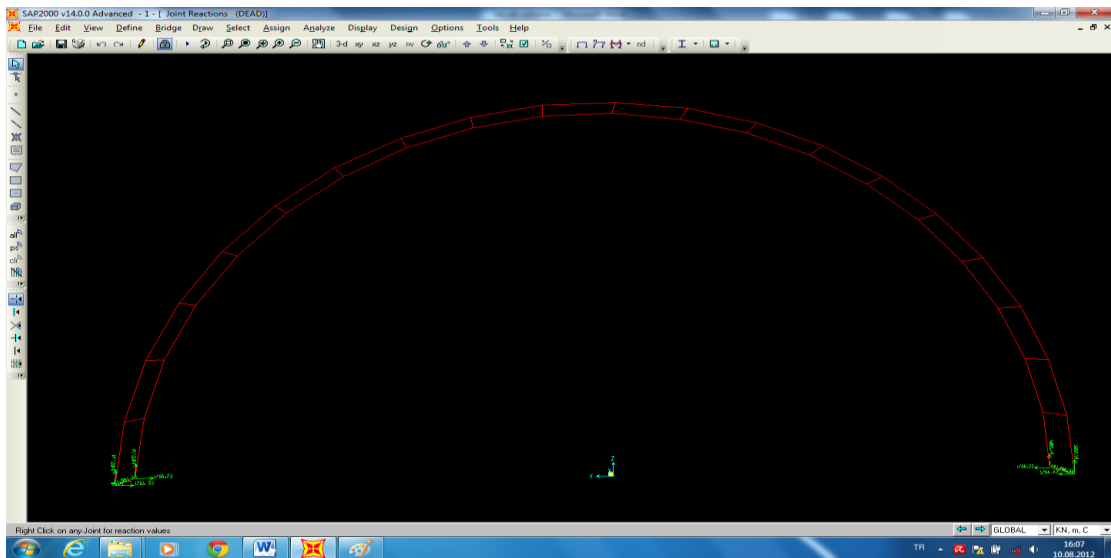
Şekil 11.2: Veri Girişi

S22 Gerilme diyagramı



Şekil 11.3: Gerilme diyagramı

Mesnet kuvvetleri, 90 derece eğimli kemer için



Şekil 11.4: Mesnet kuvvetleri

11.1.b.Kemer elemanı için karşılaştırma çalışması

Kemer elemanı için yapılan karşılaştırmalı analizde aynı açıklık ve malzeme özelliğine sahip 5 ayrı modelde kemer basıklığının değişimine bağlı olarak mesnet reaksiyonlarının değişimi incelenmiştir.

Tablo 11.2: Kemer modellerinin mesnet reaksiyonları

Kemerin Eğimi (θ)	X yönünde mesnet kuvveti(kN)	Y yönünde mesnet kuvveti(kN)	Z yönünde mesnet kuvveti(kN)
90	981.54	1755.23	5492.14
75	806.03	2403.83	4761.35
60	721.13	3176.09	4230.63
50	727.99	3913.52	4006.00
45	744.70	4376.31	3902.43

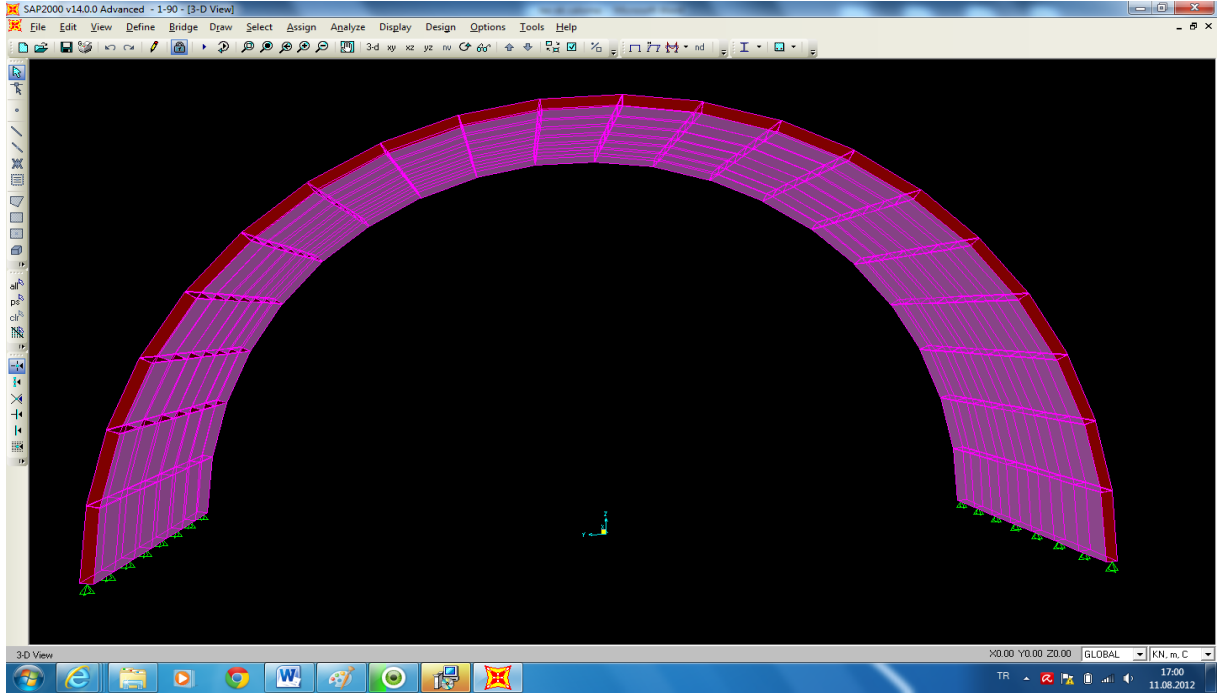
11.2.Tonoz

Tablo 11.3: Tonoz modellerinin özellikleri

Tonozun Eğimi (θ)(açı)	90	75	60	50	45
Genişliği(m)	7	7	7	7	7
Uzunluğu-L(m)	20	20	20	20	20
Yüksekliği-H(m)	10	7.68	5.78	4.68	4.16
Basıklık oranı H/L	0.5	0.38	0.29	0.23	0.21

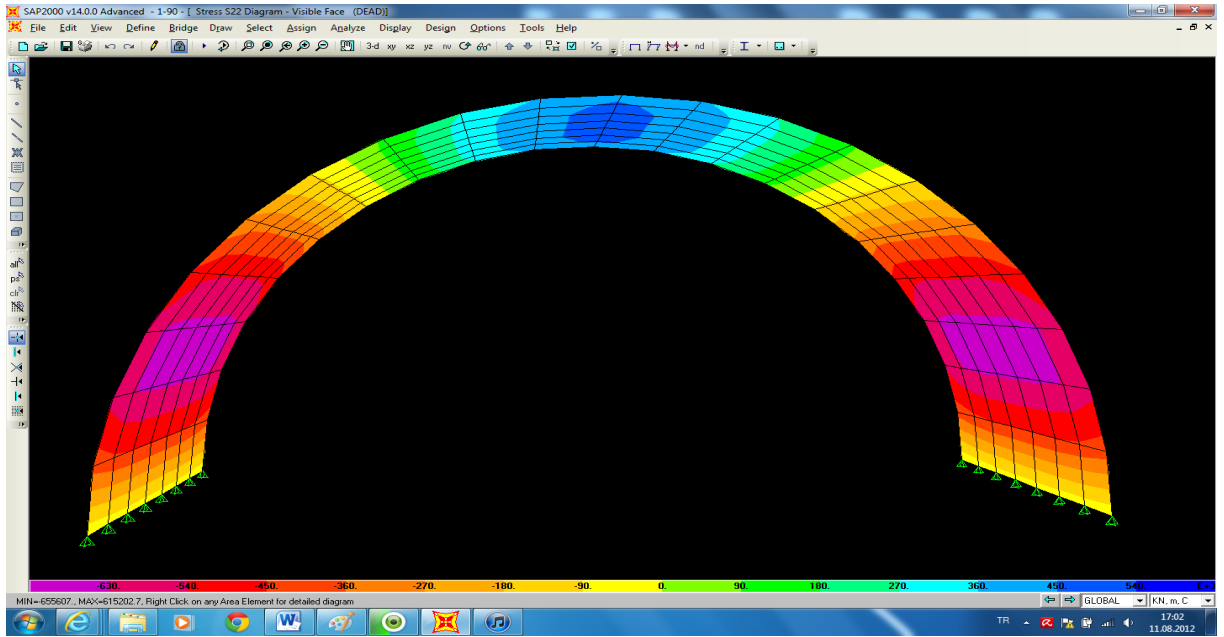
Aşağıda gösterilen modelin aynısı 90, 75, 60, 50 ve 45 dereceler için yapılmıştır. Modellere ait veriler ve zati ağırlıkları altındaki analizleri sonucu mesnet reaksiyonları her bir model için verilmiştir.

Tonoz modeli



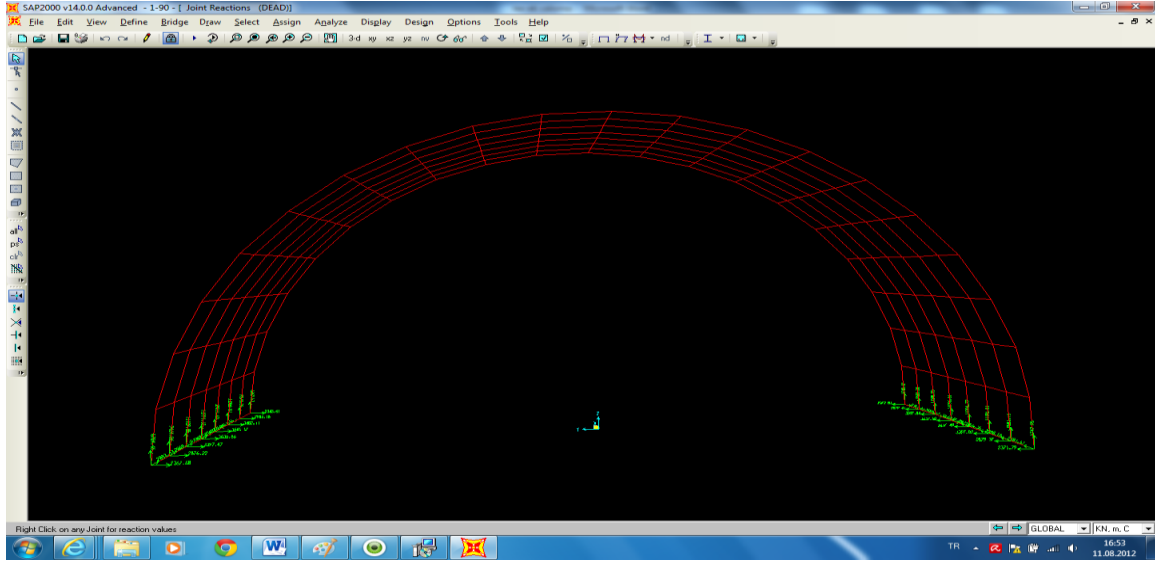
Şekil 11.5: Tonoz modeli

S22 gerilme diyagramı



Şekil 11.6: Tonoz gerilme diyagramı

Mesnet reaksiyonları, 90 derece eğimli tonoz için



Şekil 11.6: Tonz mesnet reaksiyonları

11.2.b.Tonz elemanı için karşılaştırma çalışması

Tonz elemanı için yapılan karşılaştırmalı analizde aynı açıklık ve malzeme özelliğine sahip 5 ayrı modelde tonoz basıklığının değişimine bağlı olarak mesnet reaksiyonlarının değişimi incelenmiştir.

Tablo 11.4: Tonoz modellerinin mesnet reaksiyonları

Model	Eğim (Ø)	Düğüm N.	F _x (kN)	F _y (kN)	F _z (kN)
1	90	1	2101.57	2371.79	5747.95
2	75	1	1629.68	2837.25	4988.11
3	60	1	1446.99	3660.19	4615.83
4	50	1	1460.64	4531.23	4483.66
5	45	1	1503.49	5095.26	4422.28
1	90	2	2098.55	2879.37	9501.14
2	75	2	1433.82	4243.29	8814.85
3	60	2	1146.16	5973.58	8185.19
4	50	2	1097.06	7541.59	7859.84
5	45	2	1107.75	8513.74	7697.19
1	90	3	1015.35	3397.82	11198.81
2	75	3	741.28	4732.29	9531.47
3	60	3	632.28	6238.43	8355.22
4	50	3	622.56	7613.61	7818.42
5	45	3	633.03	8479.22	7581.47
1	90	4	217.73	3637.49	11996.77
2	75	4	186.5	4948.81	9866.82
3	60	4	179.29	6383.53	8488.94
4	50	4	185.82	7708.18	7880.10
5	45	4	192.30	8545.88	7616.05

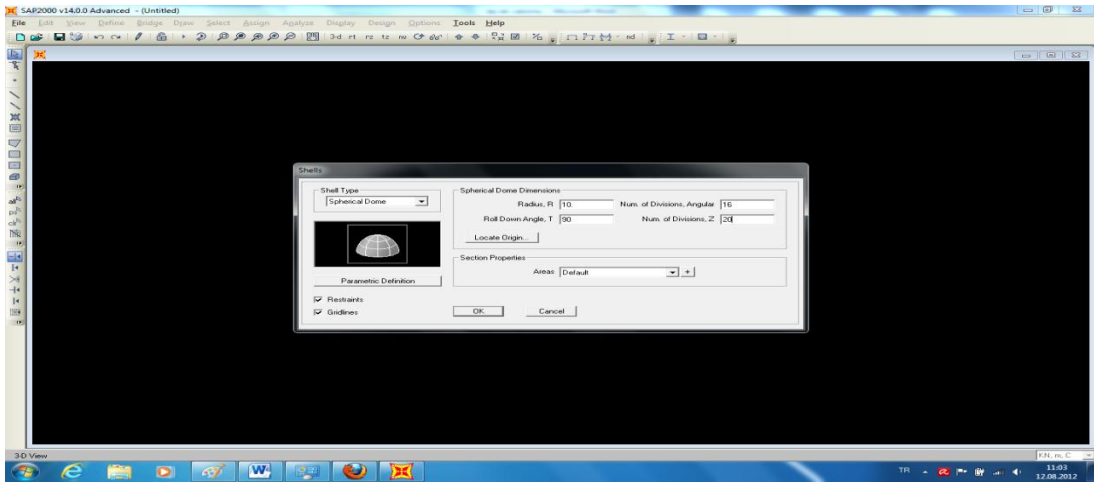
11.3.Kubbe

Aşağıda gösterilen modelin aynısı 90, 75, 60, 50 ve 45 dereceler için yapılmıştır. Modellere ait veriler ve zati ağırlıkları altındaki analizleri sonucu mesnet reaksiyonları her bir model için verilmiştir.

Tablo 11.5: Kubbe modellerinin özellikleri

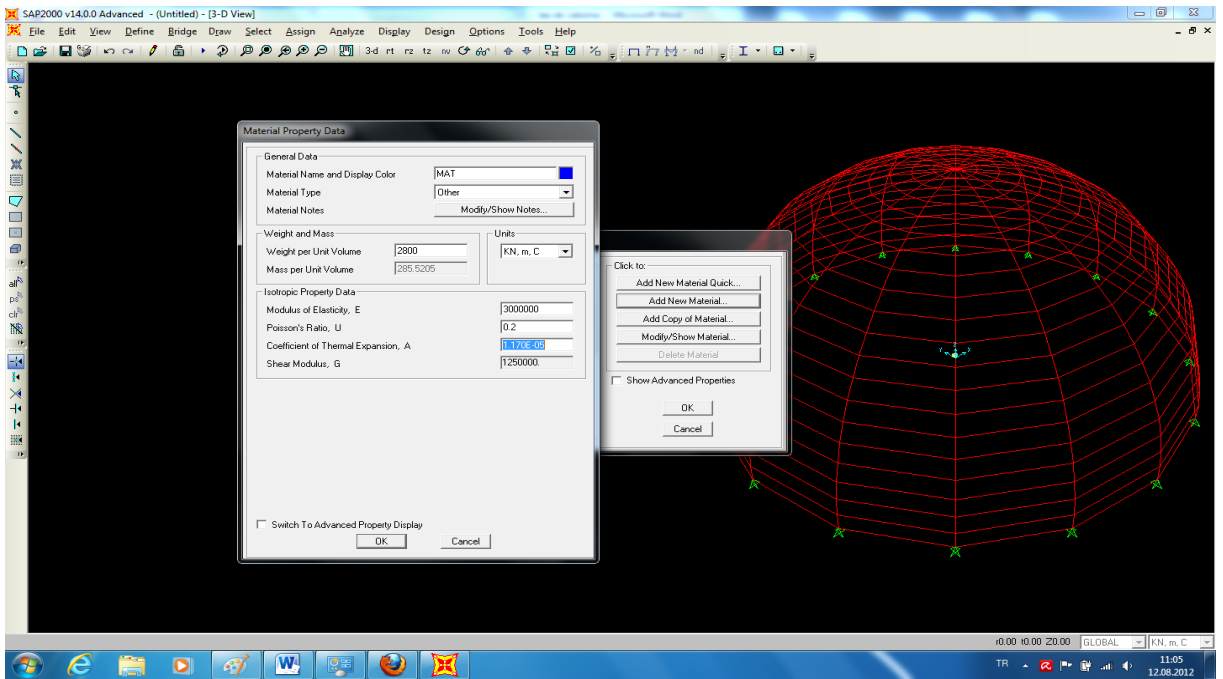
Kubbenin Eğimi (Ø)(açı)	90	75	60	50	45
Yarıçapı(m)	10	10	10	10	10
Yüksekliği-H(m)	10	7.68	5.78	4.68	4.16
Basıklık oranı H/L	0.5	0.38	0.29	0.23	0.21

Model oluşturma



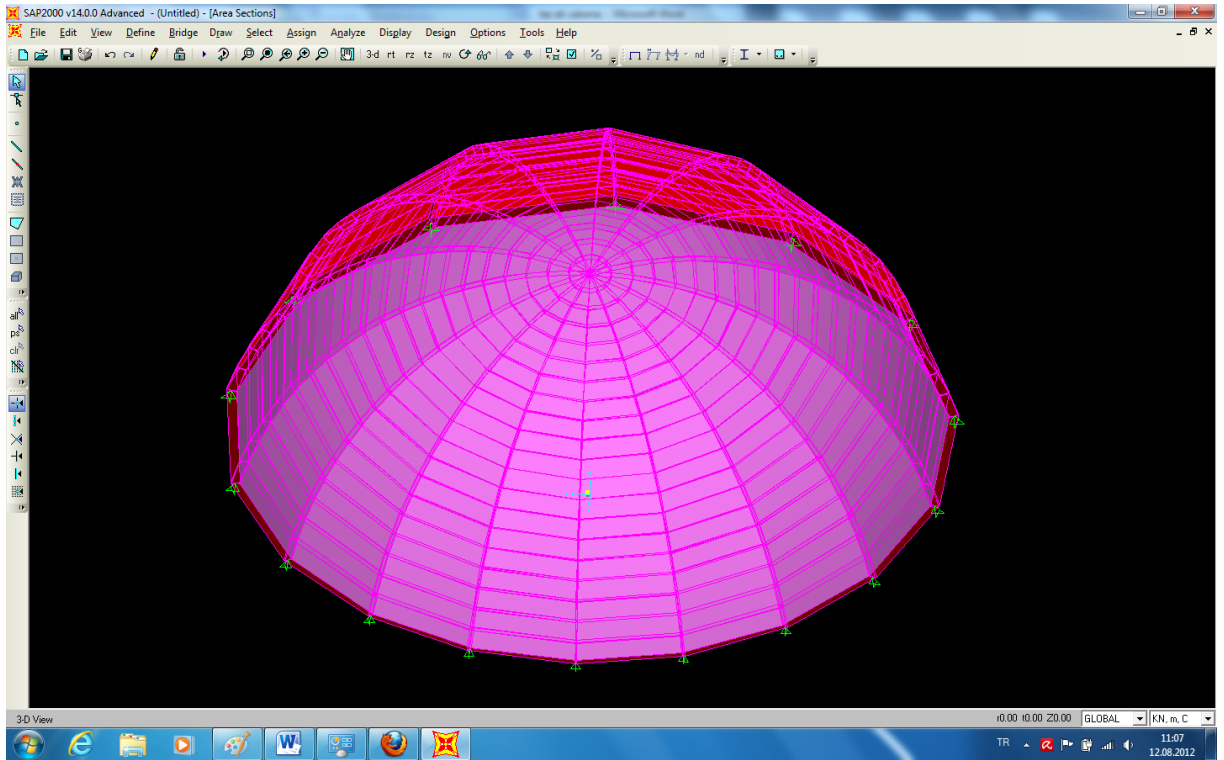
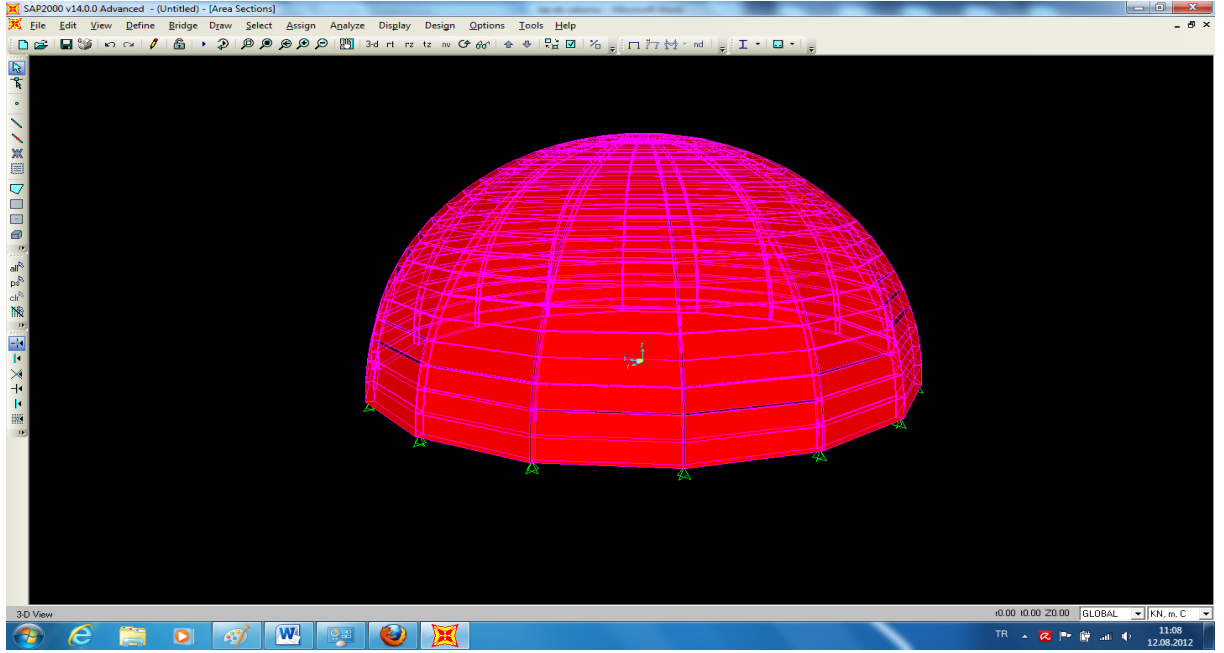
Şekil 11.7: Kubbe model tanımlama

Malzeme tanımlama



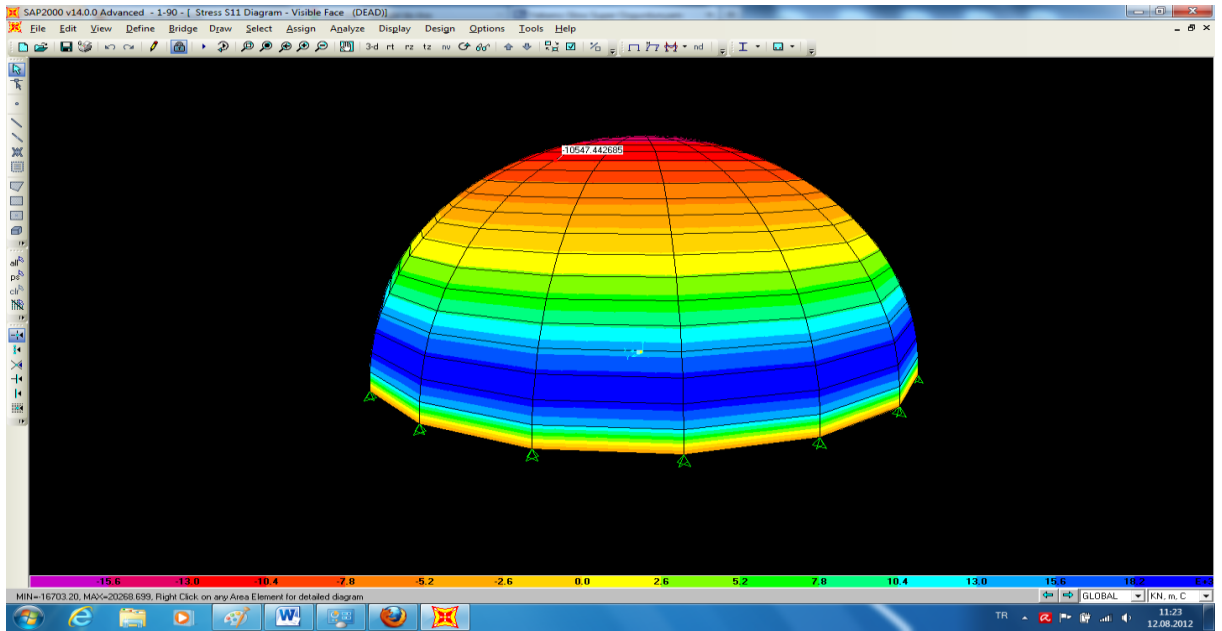
Şekil 11.8: Kubbe malzeme tanımlama

Model



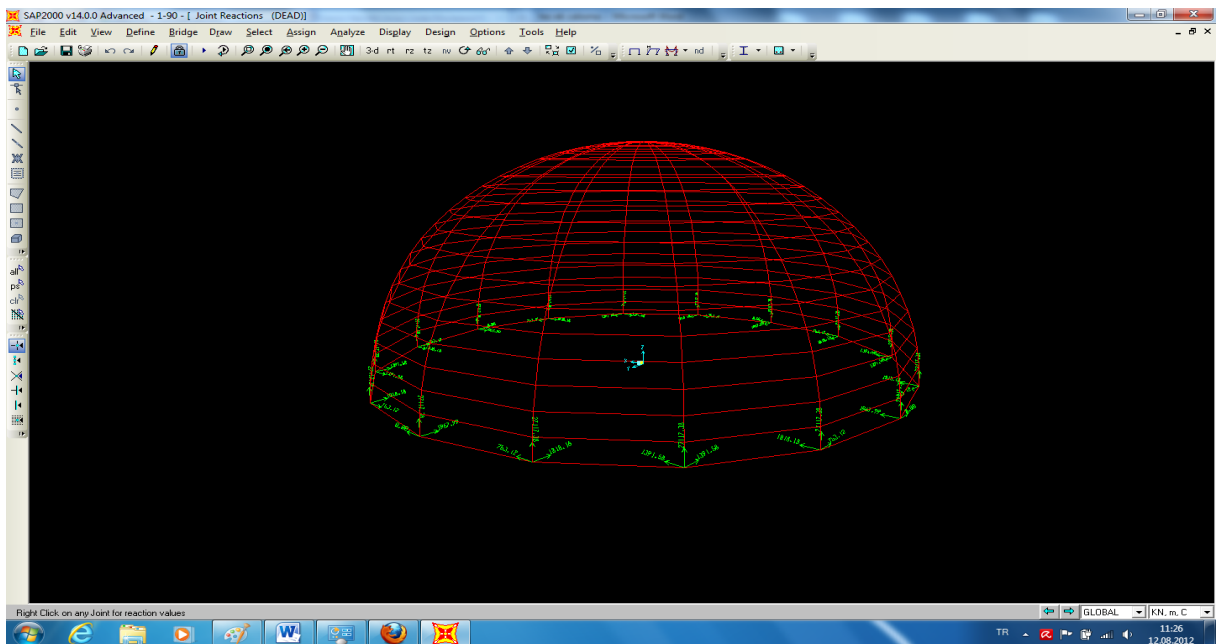
Şekil 11.9-11.10: Kubbe model tanımlama

S11 Gerilme Diyagramı



Şekil 11.11: Kubbe gerilme diyagramı

Mesnet kuvvetleri, 90 derece eğimli kubbe



Şekil 11.12: Kubbe mesnet kuvvetleri

11.3.b.Kubbe elemanı için karşılaştırma çalışması

Kubbe elemanı için yapılan karşılaştırmalı analizde aynı açıklık ve malzeme özelliğine sahip 5 ayrı modelde kubbe basıklığının değişimine bağlı olarak mesnet reaksiyonlarının değişimi incelenmiştir.

Tablo 11.6: Kubbe modellerinin mesnet reaksiyonları

Model	Eğim (Ø)	Düğüm N.	F _x	F _y	F _z
1	90	1	0	1967.99	22117.38
2	75	1	0	6733.59	21531.94
3	60	1	0	10603.15	18039.26
4	50	1	0	13560.64	16569.55
5	45	1	0	15253.23	15899.93
1	90	2	753.12	1818.18	22117.38
2	75	2	2576.83	6221.02	21531.94
3	60	2	4057.65	9796.03	18039.26
4	50	2	5189.43	12528.39	16569.55
5	45	2	5837.16	14092.16	15899.93
1	90	3	1391.58	1391.58	22117.38
2	75	3	4761.37	4761.37	21531.94
3	60	3	7497.56	7497.56	18039.26
4	50	3	9588.82	9588.82	16569.55
5	45	3	10785.66	10785.66	15899.93
1	90	4	753.12	1818.18	22117.38
2	75	4	2576.83	6221.02	21531.94
3	60	4	4057.65	9796.03	18039.26
4	50	4	5189.43	12528.39	16569.55
5	45	4	5837.16	14092.16	15899.93

BÖLÜM 12

12.SONUÇ VE ÖNERİLER

Tarihi yapılarda kullanılmış olan, yapının yapıldığı döneme göre gelişmiş mühendislik özellikleri ve yapım teknikleri incelenmiş. Birçok tarihi binanın ne denli hassas bir şekilde imal edildiği, kullanılan yapım tekniklerinin günümüzde dahi yaygın olarak kullanılmadığı görülmüştür. Bazı tarihi yapılarda kullanıldığı belirlenen yapım tekniklerinin henüz tam anlamıyla çözülemediği anlaşılmıştır. Bir yapıyı yaparken nerede ve ne şekilde yaptığının, o yapıya ait altyapıyı nasıl tesis ettiğinin, yapıyı yapmak kadar, hatta bazı durumlarda daha da önemli olduğunu gördük. Geçmişte yapılmış ve uygulanmış olan ve halen işlerliğini yitirmemiş teknikleri inceleyerek günümüz teknolojisinin de yardımıyla çok daha muazzam sonuçlar elde edebileceğimizi fark ettik.

Tarihi yapılarda kullanılan kemer, tonoz ve kubbe elemanlarının çalışma prensiplerini sonlu elemanlar metodu ile incelemek için bir adet kemer, bir adet tonoz ve bir adet de kubbe tasarladık. Tasarladığımız yapı elemanlarında E (Elastisite modülü) = 3000 N/mm², ν (poisson oranı) =0,02 olan malzeme özellikleri seçilmiştir. Oluşturulan kemer formu için açıklık 10 m, eğim 45 derece, genişlik 1 m, ve kabuk eleman kalınlığı 25 cm olarak seçilmiştir. Oluşturulan tonoz formu için açıklık 10 m, eğim 45 derece, genişlik her bir parça 1 m olmak üzere toplam 8 m ve kabuk malzeme kalınlığı 25 cm olarak seçilmiştir. Oluşturulan kubbe formu için çap 10 m ,eğim 90 derece, düşey yönde 16 ve yatay yönde 8 parça seçilmiş, malzeme kalınlığı 25 cm olarak girilmiştir. Yapmış olduğumuz analiz çalışmasında, kemerin formunu oluştururken ters zincir kuralını uygulamaya çalıştık. Ölü yükler altındaki statik analiz sonucunda, kemer formunun basınca çalışan bir eleman olduğunu ve oluşan eğilme momentinin 0(sıfır)'a çok yakın olduğunu gördük. Tonoz elemanının aynı kemer gibi basınca çalıştığını gördük, aynı zamanda oluşan momentlerin tonoz boyunca yakın değerlerde kaldığını tespit ettik. Kubbe elemanının kemerin özelliklerini taşıdığını ve

basınca çalıştığını, eğilme momentinin 0(sıfır) olduğunu gördük. Aynı zamanda S11 moment diyagramında gösterildiği üzere kubbe yüksekliğinin %60'ından itibaren çekme kuvvetlerinin de etkiğini gördük.

Bu çalışmada aynı açıklıktaki basıklığı değişen 5 adet kemerde yapılan karşılaştırmada, basıklık oranı azaldıkça düşey yönlü mesnet reaksiyonunun azaldığını ve yatay yönde mesnet reaksiyonunun arttığını gördük. Buradan yola çıkarak kemerler için basıklık miktarı düştükçe, kemerin stabilitesinin bozulmaması ve göçme mekanizması oluşmaması için kemerlerin oturduğu kolonların, duvarların...vb. boyutlarının büyümesi, ağırlık kulesi kullanılması veya yanal ötelenmeyi önleyecek önlemler alınmasının gerektiğini analiz etmiş olduk.

Aynı açıklıktaki basıklığı değişen 5 adet tonozda yapılan karşılaştırmada, kemerde olduğu gibi basıklık oranı azaldıkça düşey yönlü mesnet reaksiyonunun azaldığını ve yatay yönde mesnet reaksiyonunun arttığını gördük. Tonozlardaki gerilme dağılımlarının kemerlerdeki gerilme dağılımlarına benzerliğini göstermiş olduk. Buradan yola çıkarak tonozlar için basıklık miktarı düştükçe, tonozun stabilitesinin bozulmaması ve göçme mekanizması oluşmaması için tonozun oturduğu kolonların, duvarların...vb. boyutlarının büyümesi, ağırlık kulesi kullanılması veya yanal ötelenmeyi önleyecek önlemler alınmasının gerektiğini analiz etmiş olduk.

Aynı açıklıktaki basıklığı değişen 5 adet kubbede yapılan karşılaştırmada, kemerde olduğu gibi basıklık oranı azaldıkça düşey yönlü mesnet reaksiyonunun azaldığını ve yatay yönde mesnet reaksiyonlarının arttığını gördük. Kubbelerdeki gerilme dağılımlarının kemerlerdeki gerilme dağılımlarına benzerliğini göstermiş olduk. Buradan yola çıkarak kubbelere için basıklık miktarı düştükçe, kubbenin stabilitesinin bozulmaması ve göçme mekanizması oluşmaması için kubbenin oturduğu dairesel kasnağa yanal ötelenmeyi önleyecek önlemler alınmasının gerektiğini analiz etmiş olduk.

Bu çalışmanın devamında tarihi binaların onarım ve güçlendirmelerinin her tür yapısal özelliklerinin bozulmadan nasıl restore edileceklerinin belirlenmesi, üst düzey yapım tekniklerine uygun restorasyon tekniklerinin belirlenmesi. Akustiğin, ses enerji dönüşümlerinin, hava kanallarının kullanım şeklinin modellenmesi, drenaj tekniklerinin incelenmesi, kayar sismik izolatör yapısının ve minarelerdeki sismik izolatör yapısının incelenmesi, radyasyonun yapı içinde nasıl işlevsel kullanıldığının araştırılması gibi konulara yönelinebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Angkor wat, http://www.kambocya.org.tr/angkor_wat.htm

Kremlin Sarayı ve Kızıl Meydan, <http://www.delinetciler.net/forum/dunya-tarihi/31998-kremlin-sarayi-ve-kizil-meydan.html>

Pisa Kulesi, http://tr.wikipedia.org/wiki/Pisa_Kulesi

Chartres Katedrali, http://tr.wikipedia.org/wiki/Chartres_Katedrali

Gizemli Maya Sarayı, <http://tarih.sitesi.web.tr/gizemli-maya-sarayi.html>

Orta Asya Türk Piramitleri, http://www.gezikolik.com/tr/Haber_Sizden/Guncel/Turkiye/Orta_Asya_Turk_Piramitleri/e_9205.aspx

Mısır Piramitleri, <http://tarih.sitesi.web.tr/misir-piramitleri.html>

Pantheon, <http://www.itusozluk.com/goster.php/pantheon>

Halikarnas Mozolesi, http://tr.wikipedia.org/wiki/Halikarnas_Mozolesi

Afyon Karahisar Kalesi, <http://www.uludagsozluk.com/k/karahisar-kalesi/>

Hitit surlari orijinal haliyle yeniden ayakta, <http://v3.arkitera.com/h10642->

hattusadaki-hitit-surlari-orijinal-haliyle-yeniden-ayakta.html

Aspendos Tiyatrosu, http://www.arkeolojidunyasi.com/antik_kentler/aspendos.html

Malabadi Köprüsü, http://www.gezikolik.com/tr/Tarih_Kultur/Kopruler/Turkiye/DIYARBAKIR/Malabadi_Koprusu/e_577.aspx

II. Bayezid Darüşşifası, http://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0kinci_Bayezid_Ka%C3%BCllyesi_Sa%C4%9Fl%C4%B1k_M%C3%BCzesi

Ayasofya, <http://tr.wikipedia.org/wiki/Ayasofya>

Yerebatan Sarayı, <http://www.yerebatan.com/tarihce.php>

Topkapı Sarayı, <http://www.topkapisarayi.gov.tr/>

Mağlova Kemerli, http://tr.wikipedia.org/wiki/Ma%C4%9Fluva_Kemerli

Süleymaniye Camii, http://tr.wikipedia.org/wiki/S%C3%BCleymaniye_Camii

Selimiye Camii, <http://www.selimiyecamii.com/kubbe.html>

Dabanlı Ö. 2008, Tarihi yığma yapıların deprem performansının belirlenmesi,
Yüksek Lisans Tezi

Kaya, S.M., 1999, Determination of the earthquake performance of Süleymaniye Mosque, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul

Kara H.G 2009, Tarihi yığma yapıların taşıyıcı sistemleri özellikleri, hasarlar, onarım ve güçlendirme teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü

Mahrebel H.A.2006, Tarihi yapılarda taşıyıcı sistem özellikleri, hasarlar, onarım ve güçlendirme teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü

Benian E.,2011, Bilim Teknik Dergisi Ocak 2011 sayısı

Bayraktar A., 2006, Tarihi Yapıların Analitik İncelenmesi ve Sismik Güçlendirme Metodları,

Son Dakika Haber, Osmanlı'dan Depreme Karşı Kuyu Formülü
<http://www.sondakika.com/haber-osmanli-dan-depreme-karsi-kuyu-formulu-3082282/>

Uzel N., 2011, Küçük kıyamet 1509

Gültek O.T., Mimarinin Mühendislikle Muhteşem Buluşması Süleymaniye Camii

Modern akustik, <http://www.turkcebilgi.com/akustik/ansiklopedi>

Sesin Fiziksel Özellikleri, http://www.turkcebilgi.com/ses_%28fizik%29/ansiklopedi

Güven Ş., Kandoğan T., Damak Kubbe, 28.Türk Ulusal Otorinolarenoloji ve Baş Boyun Cerrahisi Kongresi

Altın Oran, www.kirbas.com/index.php?id=402

Mimaride Altın Oran, http://www.kendinibil.50megs.com/altn_mmr.htm

Süleymaniye ve Altın Oran, <http://www.kastamonumatematik.com/?Syf=26&Syz=48371&/Alt%C4%B1n-Oran>

Altın Oran, http://www.isapeker.com/altin_oran.htm

Yılmaz P.,2006,Tarihi Yapıların Modellenmesi ve Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesi, Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi

Aköz H.A., 2008, Deprem etkisi altındaki tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesi, İTÜ, Yüksek Lisans Tezi.