



YALVAÇ DEVLETHAN CAMİİ
DEPREM GÜVENLİĞİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet ÖZTOPRAK

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Veli BAŞARAN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞUBAT 2021

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YALVAÇ DEVLETHAN CAMİİ
DEPREM GÜVENLİĞİNİN İNCELENMESİ

Mehmet ÖZTOPRAK

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Veli BAŞARAN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞUBAT 2021

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YALVAÇ DEVLETHAN CAMİİ DEPREM GÜVENLİĞİNİN İNCELENMESİ

Mehmet ÖZTOPRAK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Veli BAŞARAN

Ülkemizde yüz yıllardır, cami, türbe, köprü ve han gibi pek çok yapı inşa edilmiş ve bu kültürel miraslarımızın çoğu günümüze kadar ulaşmıştır. Bu yapıların gelecek nesillere aktarılması için gerekli önemlerin alınmalıdır. Aktif fay hatlarının bulunduğu topraklarımızda, deprem tehlikesi altındaki bu tarihi yapıların sismik performansları belirlenmelidir. Bu tür yapıların deprem performanslarının belirlenmesi zor ve uzmanlık gerektiren aşamalardan oluşmakla birlikte gerçeğe yakın yapı modelinin oluşturulması önemlidir. Bu tez çalışmasında, yapım tarihi 1400’lü yıllara dayanan Isparta ilinin Yalvaç ilçe merkezinde bulunan Devlethan Camii’nin deprem güvenliği araştırılmıştır. Caminin, Antalya Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğünden temin edilen röleve projeleri yerinde kontrol edildikten sonra üç boyutlu modeli SAP2000 programında oluşturulmuştur. Düşey yük ve deprem yükleri etkisi altında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan analizler neticesinde yapıda oluşan maksimum basınç, maksimum kayma gerilmesi ve yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek yapının sismik performansı yorumlanmıştır.

2021, x + 87 sayfa

Anahtar Kelimeler: Tarihi yapılar, Devlethan Camii, Deprem güvenliği, Sonlu elemanlar.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

YALVAÇ DEVLETHAN MOSQUE INVESTIGATION OF EARTHQUAKE SAFETY

Mehmet ÖZTOPRAK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Veli BAŞARAN

Many buildings such as mosques, tombs, bridges and inns have been built in our country for hundreds of years, and most of these cultural heritages have survived to the present day. Necessary measures should be taken in order to pass these structures on to future generations. The seismic performances of these historical structures under earthquake risk should be determined in our lands where active fault lines are located. Although determining the earthquake performance of such structures consists of stages that are difficult and require expertise, it is important to create a realistic building model. In this thesis, the earthquake safety of Devlethan Mosque, which is located in Yalvaç district center of Isparta province, whose construction date dates back to 1400s, has been investigated. The three-dimensional model of the mosque was created in the SAP2000 program after the survey projects obtained from the Antalya Regional Board for Conservation of Cultural Heritage were checked on site. As a result of the analysis made using the finite element method under the effect of vertical load and earthquake loads, the values of maximum pressure, maximum shear stress and displacement occurred in the structure were obtained. The seismic performance of the structure has been interpreted by evaluating the obtained results.

2021, x + 87 pages

Keywords: Historical Buildings, Devlethan Mosque, Earthquake safety, Finite Element

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Veli BAŞARAN' a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Yalvaç Devlethan Camisinin mimari röleve projesini temin ettiğim Antalya Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı annem Ayten ÖZTOPRAK ve babam Hüseyin Avni ÖZTOPRAK' a çok teşekkür ederim.

Mehmet ÖZTOPRAK
Afyonkarahisar 2021

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
RESİMLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
3. MATERYAL ve METOT	9
3.1 Tarihi Yapılarda Kullanılan Malzemeler.....	9
3.1.1 Doğal Taş.....	9
3.1.2 Tuğla.....	10
3.1.3 Kerpiç	11
3.1.3.1 Kerpicing Özellikleri	11
3.1.3.2 Kerpicing Avantaj ve Dezavantajları	12
3.1.4 Kireç Harcı ve Sıvaları	13
3.1.5 Ahşap.....	14
3.2 Tarihi Yapıyı Oluşturan Taşıyıcı Sistemler.....	15
3.2.1 Kemerler	16
3.2.2 Kubbeler	19
3.2.3 Tonozlar.....	21
3.2.4 Sütunlar ve Ayaklar	22
3.2.5 Duvarlar ve Payandalar	24
3.2.6 Temeller.....	24
3.2.7 Döşemeler.....	25
3.3 Yığma Yapıların Deprem Karşısındaki Davranışları ve Hasar Nedenleri	27
3.3.1 Yığma Yapı Türleri	28
3.3.1.1 Donatısız Yığma Yapılar	28

3.3.1.2 Çerçeve Sistemli Yığma Yapılar	29
3.3.1.3 Donatılı Yığma Yapılar	29
3.3.2 Yığma Yapılarda Oluşan Hasar Türleri.....	29
3.3.2.1 Zeminden Kaynaklanan Hasarlar	30
3.3.2.2 Depreme Bağlı Hasarlar	31
3.3.2.3 Taşıyıcı Yığma Duvar Davranışı ve Hasarları	32
3.3.2.4 Malzemeden Kaynaklanan Hasarlar	35
3.3.2.5 Kötü İşçilikten Kaynaklanan Hasarlar.....	35
3.3.2.6 Hava Kirliliği ve Trafikten Kaynaklanan Hasarlar.....	35
3.3.2.7 Doğal Afetler ve İnsanların Sebep Olduğu Hasarlar	35
3.4 Tarihi Yapılarda Onarım ve Güçlendirme Tekniklerinin Belirlenmesi.....	36
3.4.1 Taş Yığma Yapılar İçin Kullanılan Onarım/Güçlendirme Yöntemleri.....	37
3.4.1.1 Çatlakların Onarımı	38
3.4.1.2 Taşıyıcı Elemanların Güçlendirilmesi	40
3.4.1.3 Temellerin Güçlendirilmesi.....	40
3.4.1.4 Duvarların Güçlendirilmesi	41
3.4.1.5 Taşıyıcı Olan Kâgir Duvarların Güçlendirilmesi	43
3.4.1.6 Kubbe, Tono ve Kemerlerin Güçlendirilmesi	44
3.4.1.7 Döşemelerin Onarımı ve Güçlendirilmesi.....	45
3.5 Yığma Yapıların Modelleme ve Analiz Yöntemleri	46
3.5.1 Mikro Modelleme Yöntemi.....	47
3.5.2 Makro modelleme.....	47
3.5.3 Sonlu Elemanlar Yöntemi	48
3.5.3.1 Sonlu Elemanlar Yönteminde İşaret Uyum ve Yön Kabulleri.....	49
3.5.4 Yığma Yapılarda Analiz Yöntemleri.....	50
3.5.5 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi	50
3.5.6 Mod Birleştirme Yöntemi.....	50
3.5.7 Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi	51
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	52
4.1 Yalvaç Devlethan Camii ve Çevresi.....	52
4.2 Tarihi Çınaraltı Meydanı ve Tarihi Çınar Ağacı	53
4.3 Devlethan Camii	55

4.3.1 Camide Bulunan Yazıt	60
4.3.2 Geçirdiği Onarımlar.....	62
4.4 Yerel Zemin ve İvme Katsayıları	65
4.5 Devlethan Camisinin SAP2000 ile Modellenmesi ve Statik Analizi	66
4.6 Malzeme Özellikleri	68
4.6.1 Ahşap Malzeme Özellikleri.....	68
4.6.2 Beton ve Betonarme Çeliği	69
4.6.3 Taş Duvar	70
4.7 Deprem Hesabı İçin Parametrelerin Girilmesi	70
4.8 Kombinasyonların Tanımlanması.....	71
4.9 Modal Analiz Sonuçları.....	72
4.10 Yer Değiştirme Değerlerinin Tespiti	73
4.11 Basınç, Çekme ve Kayma Gerilme Değerleri	74
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	78
6. KAYNAKLAR.....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	87

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

a	Açı
A _w	Toplam Alan
D	Dayanım Fazlalığı Katsayısı
DD	Deprem Yer düzeyi hareketi
E	Elastisite Modülü
f	Frekans
F _s	Kısa Periyot İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı
F ₁	1 Saniye Periyot İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı
G	Ölü yük
h	Yükseklik
I	Bina Önem Katsayısı
kPa	Kilopascal
kWh	Kilo watt saat
L	Uzunluk
MPa	Megapascal
N	Newton
R	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
S _{DS}	Kısa Periyot İçin Tasarım Spektral İvme Katsayısı
S _{D1}	1 Saniye Periyot İçin Tasarım Spektral İvme Katsayısı
S ₁₂	X eksen doğrultusunda yz düzleminin bileşen kayma gerilmesi
S ₂₁	Y eksen doğrultusunda xz düzleminin bileşen kayma gerilmesi
S ₁₁ , S ₂₂ , S ₃₃	X-X, Y-Y ve Z-Z doğrultularındaki normal gerilme
T	Bina Hakim Periyodu
μ	Poisson Oranı
V _T	Taban Kesme Kuvveti
ZC	Yerel Zemin Sınıfı
w	Birim Hacim Ağırlık
W	Toplam Ağırlık
Q	Hareketli Yük
τ	Kayma Gerilmesi
λ	Yükseklik/Kalınlık oranı
σ	Basınç Gerilmesi
°C	Santigrad Derece

Kısaltmalar

DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
ICAMOS	Uluslararası Anıtlar ve Sitler Konseyi
PGA	En Büyük Yer İvmesi Değeri
PGV	En Yüksek Hız Değeri
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS	Türk Standartları

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Kemerin muhtelif kısımların isimleri.....	17
Şekil 3.2 Kubbenin üstten görünüşü ve payanda yerleşimi	20
Şekil 3.3 Kubbenin yük aktarımı.....	20
Şekil 3.4 Kâgir tonoz çeşitleri	22
Şekil 3.5 Çeşitli taş ve tuğla duvarlar.....	24
Şekil 3.6 Yüzeysel temel	25
Şekil 3.7 Ahşap döşeme	26
Şekil 3.8 Adi volta döşeme.	27
Şekil 3.9 Volta döşeme.....	27
Şekil 3.10 Binaların zeminden kaynaklı düşey doğrultuda oturma şekli	30
Şekil 3.11 Tuğladan yapılmış yığma duvarlarda çatlaklar	32
Şekil 3.12 Yatay ve düşey yüklerin sebep olduğu taşıyıcı duvar çatlakları	33
Şekil 3.13 Çatlakların enjeksiyon yöntemi ile onarımı	39
Şekil 3.14 Detaylı temel güçlendirmesi gösterimi	41
Şekil 3.15 Taş duvara çimento Enjenkte	43
Şekil 3.16 Çelik dikiş elemanı ile duvar çatlakların giderilmesi.....	44
Şekil 3.17 Örnek yığma yapı elemanı	46
Şekil 3.18 Ayrıntılı mikro modelleme tekniği	47
Şekil 3.19 Makro modelleme tekniği	47
Şekil 3.20 Sonlu elemanların SAP2000 modellenmesi.....	48
Şekil 3.21 Sekiz düğüm noktalı katı eleman	49
Şekil 3.22 Katı elemana ait x, y ve z eksenlerindeki S11, S22 ve S33 gerilmeleri.....	50
Şekil 4.1 Kiriş malzeme özellikleri(solda), sütun malzeme özellikleri (sağda).....	69
Şekil 4.2 Beton malzeme özelliği (solda), betonarme çeliği malzeme özelliği (sağda). 69	
Şekil 4.3 Kütle katılım oranları	71
Şekil 4.4 Yapının yatay spektrumu.	71
Şekil 4.5 Tanımlanan yük kombinasyonları.....	72
Şekil 4.6 Maksimum yer değiştirme grafiği.....	74
Şekil 4.7 Maksimum basınç ve çekme gerilme değerlerinin oluştuğu bölge.....	76
Şekil 4.8 Maksimum kayma gerilme değerinin oluştuğu bölge.....	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Doğal yapı taşlarının ortalama fiziksel özellikleri	9
Çizelge 3.2 Tuğlaların ortalama fiziksel özellikleri	10
Çizelge 3.3 Ahşap yapı elemanları için emniyet gerilmeleri	15
Çizelge 4.1 Binaya ait genel özellikler ve proje verileri	65
Çizelge 4.2 Devlethan Cami duvar ebatları.	67
Çizelge 4.3 Modal Analiz Sonuçları.	72
Çizelge 4.4 Kombinasyonlar etkisinde maksimum deplasman değerleri.....	73
Çizelge 4.5 Maksimum basınç, çekme ve kayma değerleri.	75



RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Ayasofya taşıyıcı unsurları	16
Resim 3.2 Roma tipi tek parça sütunlar (solda), çok parçalı sütunlar (sağda).....	23
Resim 4.1 Yalvacın genel Görünüşünde Devlethan Camiinin konumu	52
Resim 4.2 Çınar ağacının geçmiş dönemlerden resmi	53
Resim 4.3 Çınar ağacının günümüzden resmi	54
Resim 4.4 Çınaraltı meydanından görünüş	54
Resim 4.5 Devlethan Caminin konumu	55
Resim 4.6 Devlethan Caminin genel görünüşü.....	56
Resim 4.7 Devlethan Caminin kuzey cephesi görünüşü.....	56
Resim 4.8 İç mekân görünüşü.....	57
Resim 4.9 Kadınlar mahfilinden görünüşü.	58
Resim 4.10 Kadınlar mahfili ve imam odası.....	58
Resim 4.11 Ana mekânı taşıyan sütunlar.	59
Resim 4.12 Betonarme kolon içerisinde kalan ahşap sütunlar.....	59
Resim 4.13 Mihrap ve minber.....	60
Resim 4.14 Kireç taşından eski yazıyla yazılmış kabartma yazıt	61
Resim 4.15 Tamirat sonrası 2005 tarihli ibadete açılış beratı	63
Resim 4.16 Devlethan Caminin röleve projeleri.....	64
Resim 4.17 Türkiye deprem tehlike haritası	66
Resim 4.18 Yapının modeli.	68

1. GİRİŞ

Tarihi yapıların günümüzde yaşatılması düşüncesi yakın zamanda bütün dünyada görüleceği üzere ülkemizde de uygulanmaktadır. Özellikle yoğun kentleşme sonucunda şehir merkezlerinde bulunan sivil mimari örnekleri bu koruma anlayışı ile yeniden işlev kazanmaya başlamışlardır. Eski yapıların devamlılığı sosyal, kültürel ve ekonomik açılardan çok önemli olduğu araştırmalar neticesinde görülmektedir.

Çalışmamıza konu olan tarihi Yalvaç Devlethan Camii gibi yığma yapıları incelemeye, yapı unsurlarını oluşturan malzeme özelliklerinin tespit edilerek başlanmalıdır. Söz konusu yapıları oluşturan malzemelerin özelliklerini tespit etmenin yolları olsa da koruma altında olan bu tür yapılarda malzeme değerleri evvelden yapılmış çalışmalardan alınarak yapılmıştır.

Yığma yapıların modellenmesi farklı yöntemlerle yapılabilmektedir. Bunlardan mikro modelleme, bağlayıcısı ile yapı elemanının ayrı ayrı değerlendirilmesi ile makro modelleme ise bağlayıcı ve yapı elemanının bir bütün olarak modellenmesi yöntemleridir. Kabuk, çubuk, levha gibi elemanlara ayırmak suretiyle yapıların sonlu elemanlar yöntemiyle, üç boyutlu modeli oluşturularak belli bir zaman aralığında gerçeğe en yakın sonuçların elde edilmesi beklenmektedir (Demir 2019).

Yapılarda var olan düzensizliklerin çeşidine göre izlenecek yol belirlenerek tasarımı yapılır. İlk doğal titreşim periyodu kullanılmak suretiyle yarı dinamik yöntem olan eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılabilir. Kütlelerin, yapıların düğüm noktalarında toplandığı mod birleştirme yöntemi, dinamik analiz yöntemi olan bu hesaplamada kabul edilmektedir (Tetik 2015). Deprem bölgelerinde oluşan deprem ivmelerinin düzgün bir şekilde tespit edilmesiyle gerçekleşen zaman tanım alanında hesap yöntemi, belirlenen zaman aralıklarıyla tutulan belli bir yönde meydana gelen ivme değeri kullanılarak analiz yapılmaktadır. (Doğan 2005). En yüksek yer değiştirme ve gerilme değerlerinin zamana bağlı olarak davranış spektrumu ile bulunabilmektedir (Demir 2019).

Bu tez çalışmasında, yapım tarihi 1400’lü yıllara dayanan Isparta ilinin Yalvaç ilçe merkezinde bulunan Devlethan Camii’nin deprem güvenliği araştırılmıştır. Caminin, Antalya Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğünden temin edilen röleve projeleri yerinde kontrol edildikten sonra    boyutlu modeli SAP2000 programında oluşturulmuştur. Düşey yük ve deprem yükleri etkisi altında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan analizler neticesinde yapıda oluşan maksimum basınc, maksimum kayma gerilmesi ve yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek yapının sismik performansı yorumlanmıştır.



2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Koçak (1999) çalışmasında, Sonlu elemanlar yöntemi ile modellemesi yapılan yığma tarzda olan tarihi bina elemanlarının boyutları önem arz ettiğini ifade ediyor. İncelediği küçük Ayasofya Camii' de deneyler yapmış ve bu deneyler ışığında yapıyı modelleyerek tasarım ve çözüm olarak belirleme yapmıştır. Malzeme özellikleri ve karakteristiklerinin tespiti, ele alınan sonlu elemanlar yöntemi ve ağ büyüklüklerinin belirlenmesi, modellemede ve analizde yapılacak işlemler ve yöntemler olarak modelleme de dikkat edilmesi gereken hususları 3 grupta ifade etmiştir.

Namlı (2001) çalışmasında, tarihi yapıların temel sistemlerini irdeleyerek, eski temel inşaatlarından örnekler vermiştir. İstanbul'un zemin özellikleri ile yine İstanbul da bulunan; Süleymaniye Cami, Yeni Cami, Nur-u Osmaniye Cami, Ortaköy Cami, Küçüksu Kasrı, Darül Aceze, Sveti Stefen Bulgar Kilisesi, Sant Antonio Kilisesi ve Medresetü-l Kuzat tarihi yapıların temel sistemlerini incelemiştir. Tarihi yapılarda görülen hasar çeşitlerini ve nedenleri ile temel takviyesinden önce yapılması gereken araştırma yöntemlerinin önemini vurgulamış ve uygulanan temel takviye yöntemlerini izah etmiş, temel takviyesi yapılan bazı tarihi yapıları incelemiştir. Sonuç olarak ta Edirnekapı Mihrimah Sultan Camindeki hasar nedenlerini analiz ederek bilgi vermiştir.

Pusat (2002) çalışmasında, tarihi yapıların onarımında kullanılacak harç üretiminin fiziksel ve estetik olarak gereksinimlere yanıt olma özelliğini ifade etmiştir. Harç ve sıva malzemeleri hakkında bilgi vermiş, horasan harcının tarihi, kimyasal özelliklerini ve sınıflandırılmasını anlatmıştır. Tarihi yapıların koruma çalışmalarında kullanılan geleneksel harçların üretiminden bahsetmiştir. Tarihi yapılarda kullanılan harçların özelliklerini belirlemek için yapılan deneysel çalışmaları inceleyerek tarihi yapıların onarımında kullanılacak mevcut harçların dayanıklılığı araştırılmalıdır demiştir.

Mahrabel (2006) çalışmasında, tarihi yapıların korunması yönünde, tarihte ve günümüzde yapılan uygulamalardan bahsetmiştir. Tarihi yapılara uygulanan güçlendirme ve onarım yöntemlerini incelemiş, hasarların ve hasarların meydana gelmesinde ki sebeplerin tespit yöntemlerini, taşıyıcı sistem özelliklerini ve tarihi yapı

türlerini irdelemiştir. Örnek olarak Edirne Muradiye Cami, İstanbul Vefa Lisesi ve Kabataş Erkek Lisesi yapılarına çalışmasında yer vermiştir.

Yılmaz (2006) çalışmasında, tarihi yapıların yaşanması muhtemel depremler karşısında ki davranışı ve zaman içinde ki durumları bilinmesinin önemi vurgulanmıştır. Sapanca Rahime Sultan Cami'nin model analizinin yapılmasında uygulanacak yöntemler, yapının malzeme özellikleri ve inceleme yöntemleri, seçilen modelleme yöntemi olan sonlu eleman yöntemi ile çözümleme yapılmıştır. Yapının çekme ve basınç gerilmeleri etkisinde güvende olduğunu ifade etmiştir.

Kara (2009) çalışmasında, tarihi yapıların sonraki nesillere kültürel miras olarak aktarılmasında önemli vazifesi olduğunu ifade etmiştir. Tarihi yapıların; sınıflandırılması, yapı türleri, malzemeleri ve özellikleri, sıklıkla rastlanılan yığma yapı usulleri ve taşıyıcı unsurlar önem arz etmektedir. Bu unsurlar arasındaki yük aktarımı, hasar çeşitleri ve oluşum sebepleri, 2007 DBYYHY şartlarına istinaden yığma yapı tasarımı ve yapılaşma kaideleri ile deprem emniyeti, malzeme özellikleri ve hasar tespitinde uygulanan deneysel uygulamalar, güçlendirme ile onarım tekniklerini araştırmıştır. Beş adet yapı üzerinde çalışarak 2007 DBYYHY göre güçlendirme ihtiyacı varsa karşılaştırmalarını yapmış ve güçlendirme neticesinde hesap sınır değerlerini aşmadığını ifade etmiştir.

Akdeniz (2011) çalışmasında, tarihi yapıların gelecek nesillere aktarılması gerektiği ve bunun içinde kültürel miras olan yapıların korunmasının önemine değinmiştir. 1 Mayıs 2003 yılında Bingöl de meydana gelen depremin verilerini kullanarak Malatya Ulu Camisini sonlu eleman yöntemi ile makro modelleme tarzıyla modellemesini yaparak ANSYS programı ile çözümlemiştir. Yapıda oluşan çatlaklar genelde birleşim yerlerinde olduğu görülmüş, minare kısmında oluşan hasarların devrilme momentinin etkisi olduğunu ifade etmiştir.

Armağan (2012) çalışmasında, tarihi yapıların etkiler altında davranışını, modellemesini ve restorasyonu ile alakalı araştırma yapmıştır. 5 adet ayrı yapının kemer, tonoz, ve kubbe elemanlarının SAP2000 programında uç kuvvetlerini ve gerilme diyagramlarını

ortaya koymuştur. Tarihi binaların onarımında ve güçlendirilmesinde yapısal unsurları tahrip edilmeden hangi yöntemlerle restore edileceği hususlarına değinmiştir.

şeker vd. (2013) alışmalarında, islami kùltürü camilerin yapısal ve mimari özellikleri önemli ölçüde kıymetlendirdiğinden bahsetmişlerdir. Erzurum'da bulunan Lala Paşa Cami yapısal durumu statik ve dinamik yönleriyle araştırılmış, statik yönünden, askı kemer birleşim yerleri, kubbe kasnağı ile kubbenin kendisinin önemi vurgulanmıştır. Zaman tanım alanı yöntemi ile icra edilen dinamik çözümlemeye istinaden kritik yerlerin taşıyıcıların alt kısımlarının kesitleri, pencere etrafı ve büyük olmayan kubbeler olduğu ortaya konmuştur. Cemaatin saf tuttuğu son sıra kısmında deprem sırasında hasar görebileceği ifade edilmiştir.

arhoğlu vd. (2013) alışmalarında, ÷lkemizin deprem kuşağında olduğundan bahsederek, kırsal kesimdeki yapıların çoğunun yığma yapılardan olduğu ve bu yüzden deprem etkisindeki davranışlarının incelenmesi gerekliliği ifade edilmiştir. Bir yığma yapının 20 farklı ivme kaydıyla zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi tesir ettirilmiş. Sonuçlar ile yapıların deprem etkisi altındaki davranışları değeriendirilmiştir.

Mumyakhmaz (2015) alışmasında, tarihi yapılarda kullanılan malzeme ve özelliklerini, 1964 tarihli Venedik Tüzüęünü, tarihi yapılarda uygulanan tahribatlı ve tahribatsız deneylerden bahsederek, tarihi ve kùltürel binalar bakımından oldukça fazla unsura sahip olan Afyonkarahisar da bulunan Gedik Ahmet Paşa Camisi bulunmaktadır. ANSYS WorkBench programı ile modellemiş yer değıştirmeler ve gerilmelerin en az ve en yüksek olduğu noktaları ortaya koyarak yapının toptan göçme durumunun beklenmediğini ifade etmiştir.

Tetik (2015) alışmasında, tarihi yapıların geçmişten günümüze korunması yönünde alınan önlemler, yığma yapıların durumu, malzeme özellikleri ve görülebilecek hasar türleri hakkında bilgi vermiştir. şeyh Süleyman Mescidinin hakkında tarihi, taşıyıcı sistemi ve kullanılan malzemelerin bilgileri, sonlu eleman modelini SAP2000 programında oluşturmuş, statik ve dinamik analiz sonuçları izah edilmiştir. Elde edilen

sonuçlara göre hasar oluşması düşünülen yerlere ilave eleman konması uygun bulunmuştur.

Uğuz (2016) çalışmasında, ülkemizin aktif ve tehlikeli deprem kuşağında olduğunu, tarihi yapıların incelenmesinde mevcut yönetmeliklerin kullanılmasının zorluğunu dile getirmiştir. Yığma yapıların modellemesinde mikro ve makro modelleme yöntemlerinin kullanıldığından söz etmiştir. Yığma yapıların analizinde sonlu eleman yönteminin sıklıkla kullanıldığını ifade etmiştir. Yapının büyüklüğü ve yapısı itibari ile tarihi Konya Gazi Lisesinin sonlu eleman yöntemi ile yapısal analizini yapmıştır. Analiz sonucu binanın statik olarak pencere ve kapı kıyıları en üst seviyede zorlandığını ifade etmiştir.

Anadut (2016) çalışmasında, 13.03.1992 tarihli Erzincan depreminin ivme-deprem verilerini kullanarak, Yozgat'ta bulunan Elekçi köprüsü ve Yozgat Saat Kulesini irdelemiştir. Çalışmasına mevzu bahis yapıların deprem etkisi altında davranışlarını tespit etmiştir. Sonuçlar kıyaslandığında köprünün daha rijit, kulenin ise daha narin özellikler gösterdiği, kulenin yapısal zarara uğrama ihtimalinin fazla olduğunu ifade etmiştir.

Çalık vd. (2016) çalışmalarında, tarihi ahşap çatılı doğal taştan yapılan yığma camileri, frekans, sönüm oranı ve mod şeklinden meydana gelen dinamik karakteristikleri sismik ivme ölçerler kullanarak çevresel titreşim testi yöntemiyle tespit etmiştir. Doğu karadeniz bölgesinden Rize Gülbahar mahallesi Büyük Cami, Artvin Hopa Sundura Mahallesi Camisi ve Trabzon Merkez Taranlı Cami örneklerini dinamik karakteristik özelliklerini karşılaştırmıştır.

İpek (2017) çalışmasında, tarihi yapıların inceleme neticesinde tespit edilen hasarlar, bu hasarların onarım yöntemleri ile mevcut yönetmeliklerin ışında güçlendirme tekniği üzerinde çalışılmış ve sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla Solidworks programı verileri kullanılmıştır. Güçlendirme yöntemleri olarak; çelik taşıyıcılı ve ahşap taşıyıcılı çözümleri yapılmış. Yozgat Hacı Ahmet Ağa Camisinde Venedik Tüzüğü ve ICOMOS maddeleri dikkate alınarak çelik kullanımı uygun bulursa da yapının özgününde

yapılması gerektiği fakat kesitlerin büyük olması nedeniyle uygulanmasının mümkün olmadığı ifade edilmiştir.

Döndüren vd. (2017) çalışmalarında, tarihi yapıların maziye günümüze aktarmasındaki öneminden bahsetmiş, bu nedenle tarihi yapıların onarım ve güçlendirme icraatlarının yapılması gerektiğini vurgulamışlardır. Hasar türleri olan; zeminden kaynaklı, taşıyıcı duvarda oluşan hasar, kubbe-kemer ve tonozlarda meydana gelen hasarlar ve diğer hasar türlerinden açıklayarak, bu yapıları yük, gerilme hesabı ve daha bir çok konunun inşaat mühendisliği eğitiminde yeteri kadar yer almadığını vurgulamışlardır.

Aşık (2018) çalışmasında, tarihi yapıları gelecek uygarlıklara aktarmanın önemini vurgulayarak, onarım ve korunmasının yapısal ve karakteristik davranışlarının belirlenerek, mümkün olacağını dile getirmiştir. Tarihi Zenburi Caminin modelini SAP2000 programında modelleyerek analizini yapmış onarım ihtiyaç duyulan noktalarda güçlendirme yöntemlerinden bahsetmiştir.

Uray (2018) çalışmasında, sonlu eleman modellemesinde dikkate alınması gereken eleman boyutları, tarihi yapıların yığma tarzda inşaa edilmesinde büyük önem arz ettiğini ifade etmiştir. İncelediği Küçük Ayasofya Camisinde deneyler yapmış ve bu deneyler ışığında yapıyı modelleyerek tasarım ve çözüm olarak belirleme yapmıştır. Modellemede dikkat edilmesi gereken; malzeme özellikleri ve karakteristiklerinin tespiti, el alınacak sonlu elemanlar yöntemi ve ağ büyüklüklerinin belirlenmesi, modellemede ve analizde yapılacak işlemler ve yöntemlerin bu çalışmada 3 grupta incelemiştir.

Akaslan (2019) çalışmasında, tarihi mirasın korunması yönünde çevresel faktörleri önemini ve bu mirasın korumayı başaramadığımızı ifade etmiştir. Yığma ve tarihi yığma yapıları meydana getiren taşıyıcı sistemlerden, yığma yapı unsurlarının mekanik özellikleri ve modellemesi konularını incelemiştir. Tez çalışmasını tarihi yığma yapı olan Öşki Kilisesinin analizini yaparak, güçlendirme modellemesi hakkında bilgi vermiştir.

Kamanlı vd. (2019) alışmalarında, tarihi yapıların, doğal afet ve depremlere karşı korunması ve ileriki nesillere aktarılmasının kültürel geçmişimizin korunmasında büyük önem arz ettiğini vurgulamıştır. Sille bölgesinin büyük camilerinden olan Ak camisini TBDY 2018 'e göre hali hazır durumunun statik analizini yapmış ve sonlu eleman yöntemini ile SAP2000 programında yapısal analizini yaparak yapının gelecek nesillere aktarılması için zm nerileri ortaya koymayı hedeflemiştir.



3. MATERYAL ve METOT

3.1 Tarihi Yapılarda Kullanılan Malzemeler

3.1.1 Doğal Taş

Yapı malzemelerinin kullanılmaya başlamasından günümüze kadar çeşitli formlarda malzeme kullanılmıştır. Eski zamanlarda büyük taşların iç kısımlarını açmak suretiyle barınma ve korunma için kullanılan malzeme, zamanla değişik şekillerde kullanılmaya başlanmıştır. Esas olarak taşın kullanım sahaları; taşıyıcı, kaplama ile süsleme malzemeleri ve agrega şeklinde gruplandırılabilir. Yapı unsuru olarak da kullanılan taş, yığma yapı sisteminde duvarın kendisi olabileceği gibi taşıyıcı gereç olarak da kullanılabilir. İşlenme yöntemine göre değişik şekilleri olan taşın; moloz, kaba yonu, ince yonu ve kesme taşları taşıyıcılık vazifesi şeklinde kullanılmaktadır. Kaplama malzemesi olarak ta kullanmaya olanak sağlayan taş sadece taşıyıcı unsuru şeklinde kullanılmaz (Aşık 2018).

Taşı taşıyıcı malzeme olarak kullanıldığında daha kaba fakat kaplama malzemesi olarak itina göstererek hazırlanır. Yüzeylerde de güzel bir kaplama malzeme yeteneğine sahip taş bu özelliği ile sadece duvarlarda kullanılmaz. Tezhip Anadolu'da bilhassa gotik mimarlığın son zamanlarında kullanılmaya başlanan taşın mühim kullanım sahalarından biri olmuştur. Tabiatta işlenmemiş vaziyette bulunan taşın kırılması ve değişik parça ebatlarına göre ayrıştırılarak kullanıldığı vaziyeti de agrega durumudur (Ögel 2002).

Çizelge 3.1 Doğal yapı taşlarının ortalama fiziksel özellikleri (Yılmaz 2006).

Taşın Cinsi	Basınç Dayanımı (kPa)	Kayma Dayanımı (kPa)	Çekme Dayanımı (kPa)	Elastisite Modülü (kPa)
Granit	30.000 - 70.000	14.000 - 33.000	4.000 - 7.000	30×10^6 - 55×10^6
Mermer	25.000 - 65.000	9.000 - 45.000	1.000 - 15.000	25×10^6 - 70×10^6
Kireç Taşı	18.000 - 35.000	6.000 - 20.000	2.000 - 6.000	10×10^6 - 55×10^6
Kumtaşı	5.000 - 30.000	2.000 - 10.000	2.000 - 4.000	13×10^6 - 50×10^6
Kuvars	10.000 - 30.000	3.000 - 10.000	3.000 - 4.000	15×10^6 - 55×10^6
Serpantin	7.000 - 30.000	2.000 - 10.000	6.000 - 11.000	23×10^6 - 45×10^6

Değişik harç ve sıva karışımlarda esas materyal olarak kullanabilen taş bu özelliği ile de diğer kullanım sahalarına göre daha az müdahale gerektirmektedir. Taşın, bahsettiğimiz tüm kullanım sahaları dışında dekoratif unsur olarak kullanıldığı emsallerde mevcuttur. Güncel olarak yapılarda hafif ve işlenmesi daha kolay malzemeler kullanılsa da taş malzemesi gereksinimi bitirmemiştir.

Evrendeki çoğu yapıda görünen taş malzemesinin sağladığı estetik, mimari farklılığı, karakteristiği ve dayanıklılığı, süre gelen bu ihtiyacın temel sebebidir. Bu sayılan vasıflarıyla taş eskiden çağımıza kudretin temsilcisi olmuştur. Mimari tarzın önemli emsallerinden olan Anadolu'daki eski yapılar ve çevre, devrinin sanatını, işçiliğini ve teknolojisini ifade eder. Anadolu'nun köklü bir geçmişe sahip olması, mimarlık hayatı, yöresel, mahalli ve ulusal yöntemlerin çeşitliliği sayesinde gelişmiştir. Taşı nasıl kullanırsak kullanalım yapı unsuru olarak tarihe tanıklık etmiştir (Erbaş 2018).

3.1.2 Tuğla

Akarsu yataklarında yüzeysel olarak toplanan kum taşlarından elde edilen tuğla genellikle pişirilmiş kilden imal edilir, tarihi yapılarda kullanılmaktaydı. Görüntülerine ve işlevlerine göre gruplandırılan kilin pişirilmesi ile imal olan tuğlalar; yüksek ısıda fırınlarda, fırınların olmadığı yerlerde güneşten faydalanılarak pişirilir.

Çizelge 3.2 Tuğlaların ortalama fiziksel özellikleri (Mahrabel 2006).

Basınç dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)
10-30	2,5-5	10-20

Tuğlanın direncini; malzemenin kalitesi, harç ve örülme düzeni tespit eder. Kullanılan malzemelerin özelliklerine göre tuğlaların basınç dayanımları Çizelge 1.2'de görüldüğü gibi 10 MPa ile 30 MPa arasında değişkenlik gösterir. Tuğlalar kendi arasında ki dayanım değişkenlikleri fırınlanma şekline göre üç kata kadar artar veya azalır. Tuğlanın genellikle basıncın %30 civarı kayma dayanımı, basıncın %10 civarı çekme dayanımı olduğu görülmektedir (Ünay 2002).

3.1.3 Kerpiç

Köy hanelerinin duvarlarının yapımında görülmekte olan bu malzemenin ahşap kalıp malzemelere toprak ve su karışımı birazda saman katılarak güneşte kurutulmak suretle oluşmaktadır. Maddi yönden uygun olan bu malzeme yazın sıcaktan kışın soğuktan uzak tutmaktadır.

3.1.3.1 Kerpicing Özellikleri

Tuğla ile kerpiç benzer özelliklere sahiptir. Kerpiç, hammaddesinde bulunan kilin su ile beraber belli şekillerde güneşte kurutulması suretiyle kullanılır. Kerpiç tuğla gibi yüksek dayanıma sahip değildir, suya direnci de düşüktür. Yapısında lif olan saman, kerpicing içine karıştırılarak, eğilme dayanımı ile direncini arttırmak ve kılcal çatlakları önlemek için kullanılır. Tuğla 900 °C sıcaklığı olan fırında pişirilerek kurutulur, kerpiç ise güneşte kurutularak doğal yollardan faydalanılır, bu sayede kerpicing kurutulması için enerji harcanmaz (Gül 2011).

Kerpicing tuğlaya göre bir diğer imalat kolaylığı ise; tuğlanın belli bir kuvvet altında kalıplarda şekillendirilirken kerpicing insan gücü ile kalıplara yerleştirilmesidir. Kil ve kum kerpicing esas unsurlarıdır. Kerpicing özelliğini bünyesinde ki kum belirlerken, kumunda birleştirme özelliğini kil tayin etmektedir. Bilinen en uygun kil/kum değeri 1/5'dir. Yöreden yöreye farklılıklar gösteren kerpiçler genel olarak iki farklı boyutta imal edilmektedirler. Kuzu kerpicing küçüğüne, ana büyüğüne denir.

Kerpicing ebatları mm şeklinde 120 x 300 x 400 (ana) ve 120 x 190 x 400 (kuzu), ya da 120 x 250 x 300 (ana) ve 120 x 180 x 300 (kuzu) TS 2514'de taşıyıcı duvarlarda kullanılacak kerpiç boyutlarıdır. Kerpiç malzeme; 20-45 dakikalık sürede suda çözülür, 0.4 kcal/mh°C ısı geçirimsizlik katsayısına sahip, 3-20 kgf/cm² basınç dayanımına sahip ve yaklaşık birim ağırlığı 1,2-1,6 g/cm³'dir. Toprağın türüne, karışıma dâhil olan su oranına, lif oranına ve kurutma metoduna ve vaktine tabii olarak kerpiç malzemenin özellikleri değişkenlik gösterebilir (Duran 2016).

3.1.3.2 Kerp cin Avantaj ve Dezavantajları

Kerpiç den yapılmış binaların içindeki rutubeti, kerpiç hamurunun gözenekli olması sayesinde dengede kalır. Sıcaklık ve rutubet dengesini, kerp cin sıcaklığı kontrol altında tutabilme özelliği ile sağlar. Bu şekilde bina dâhilinde daha kaliteli, pak ve sağlıklı biyoklimatik rahatlık oluşturur. İ aatlarda binayı saran duvarlarda kullanılabilen kerpiç, çok iyi enerji saklayan malzeme olmasından dolayı enerji kaybını çok düşük seviyelerde tutar. Bünyesinde aldığı sıcak ve soğuk havayı uzun zaman muhafaza etmesinden dolayı ısınma ve soğuma kesildikten sonra bile ortamı aynı ısıda kalmasını sağlar. Bu şekilde yapı dışından etkiyen farklı derecelerdeki ısıdan binayı muhafaza eder.

İmalat tesisi gerekmeden üretilbildiği için maliyet düşüktür. Mekanik enerjiye ihtiyaç duymadan, imalat ve kullanımı gerçekleşebilir. 300-500 kWh enerji ile 1 m³ beton üretilirken, emsal oranda kerpiç imal etmek için aynı enerjinin % 1 'i kâfidir. Doğaya yaklaşık 5.5 g SO₂ ve 2.5 g NO₂ salınarak ancak 1 kWh enerji üretilbildiği yapılan araştırmalar neticesine anlaşılmaktadır (Bayrakçı 2018).

Yıkımı, diğer i aat malzemelerine nazaran daha az enerji gerektirir ve tekrar kullanılabilir, aynı zamanda imalatında ve kullanılmaktan vazgeçildiğinde doğaya zarar vermemektedir. İ aat işlerinin birçoğunda gerçekleşen temel açma işlemi sırasında hafriyattan çıkan toprak, aynı yapıda kullanılmak üzere kerpiç imalatında kullanılması halinde nakliye  creti olmadan yapı imalatına ekonomik katkı sağlayacağı kesindir. Maliyeti düşük bir yapı elemanı olarak kerpiç gösterilebilir. Kerp cin yoksun özellikleri aşağıda belirtilmiştir. Bunlar;

- Düşük basınç mukavemeti.
- Hassasiyeti suya karşı fazladır.
- Noksan yönlerinden biride, kerp cin her yıl bakım gereksinimi duymasıdır (G l 2011).

3.1.4 Kireç Harcı ve Sıvaları

Çimento icat edilinceye kadar, Eski Yunan, Roma ve akabindeki çağlardaki yapılarda, kireç marifetiyle imal olan sıva ve harçlar kullanılmıştır. Kireç harcı ve sıvaların içine agregaların dâhil edilmesiyle dolgu malzemesi olarak kullanılması kirecin bağlayıcı özelliği ile gerçekleşmektedir. Organik ve inorganik malzemeler, kirece ve harcına katılarak özelliklerini değiştirmek için kullanılmaktadır.

Kireç taşları, kalsiyum karbonat (CaCO_3) bileşikleri kirecin hammaddesini oluşturmaktadır. Sönmemiş kireç elde etmek için, kireç taşının ısıtılarak kalsine olması içeriğindeki karbondioksit (CO_2) içeriğinden ayrılması neticesinde kalsiyum okside (CaO) dönüşürler. Sönmüş kireç olarak bilinen (Ca(OH)_2) kalsinasyon sonucu oluşan sönmemiş kirecin (CaO) su ya da havanın içinde (havanın içerisinde %15 oranında nemin olması kâfidir) olan rutubet ile etkileşime girmesiyle meydana gelmektedir (Şirikçi 2013).

Kireç taşlarının ebatları, gözenekli yapısı, kalsiyum karbonat kristali şekli sönmeyen kireç malzemesinin reaktifliğine etki etmesi esas unsurlardır. Bu hususta kireç taşının kalitesini etkileyen unsurlardır. Öte yandan Kirecin özelliğini etkileyen unsurların bazıları şöyledir; kireç/su miktarı, sönmeyen kirecin saflık derecesi, kirecin parça ebadı, çalkalama, söndürülürken yardımcı olan su malzemesinin saflık oranı. Roma ve takip eden devirlerde, söndürülmüş kirecin hava ile temas etmeden kullanıldığı bilinmektedir (Pusat 2002).

Kirecini plastik özelliği ve su tutma miktarı artması için bekletilmesi süresi uzaması gerekmektedir. Roma döneminde kirecin minimum 3 yıl bekletildikten sonra kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Kireç, reaksiyona girip girmeme yönünden gruplandırılır, reaksiyona dâhil olan (puzolan) agregalar ve reaksiyona dâhil olmayan. Kireç harcı ve sıvaların imalatında dolgu malzemesi olarak agregalar kullanılır. Taş ocağı ve denizlerden sağlanan taşlar tesirsiz agregalardır. Agregalar, alüminatlar ve amorf silikatların su altında sertleşmesinden, harç ve sıvaların puzolanik agregaların

kireç ile reaksiyona girmesinden oluşur. İki grupta incelenen puzolanlar; doğal ve yapaydır. Yapay puzolanlar, tuğla, kiremit gibi pişirilmiş malzemeler eski yapılarda harç ve sıva olarak kullanıldığı görülmektedir. Volkanik küllerden meydana gelenler (tüf, tras, opal vb.) doğal puzolandır (Akdeniz 2011).

Kireç harcının içine doğal ve doğal olmayan maddeler (kan, hayvan yumurtası-tutkalı, süt ürünlerinde peynir, hayvansal gübre, arap zımkı, bitki suları, kazein) ilave edilerek, harcın fiziksel özelliklerini geliştirerek karbonatlaşmayı hızlandırılma hedeflenmektedir. Kesik süt, kan, domuz yağı, çavdar hamuru ve yumurta beyazı kirecin daha hızlı sertleşmesine katkı sağlamaktadır (Aşık 2018).

Hayvan tüyleri, arpa ve idrar dayanıklılığı arttırmaktadır. Şeker, kirecin içerisindeki suyun erime-donma dönemlerinde oluşan aksaklıkların hızını kesmektedir. Balmumu, kirecin harcındaki büzülme önlemektedir. Şeker, süt, yumurtanın akı, hayvansal tutkalı, ketenin tohumu gibi malzemeler kirecin plastisite özelliklerine katkı sağladığı için kırılma dayanıklılığını azaltır ve üzerinde çalışılmasını kolaylaştırmaktadır. Maddenin 3 halinin (katı-sıvı-gaz) birbiri ile reaksiyona girmesi neticesinde karbonatlaşma meydana gelebilir, buradan yola çıkarak kireçten imal edilmiş harçların zamanla sertleşmesi, karbondioksit ile kirecin karbonatlaşmasından kaynaklanabilir (Şirikiçi 2013).

Kirecin bünyesindeki yoğunlaşmış suyun (H_2O) içinde karbondioksit ile çözünür. Kirecin karbonatlaşmasına tesir eden bazı hususlar şu şekildedir, havayla önce temasından dolayı kirecin dışından içine doğru gerçekleşmektedir. Kirecin, agrega dağılımları, oranı kirecin harç ve sıva kalınlığı karbonatlaşmaya tesir eder (Mahrebel 2006).

3.1.5 Ahşap

Ahşap nakliyesi ve üzerine işlem yapılması rahat bir malzeme olması nedeniyle sadece ev mimarisinde yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Uzun açıklıklar, ahşap malzeme ile kolaylıkla geçilmesinin sebebi; ağır olmaması, çekme, basınç ve eğilmeye karşı dayanıklı olmasıdır. Tavan ve döşeme taşıyıcı sistemleri olan tarihi yapılar kargir yapılarda ahşap malzeme kullanıldığı görülmüştür. Eğilmeye karşı mukavemetinden

dolayı çıkma (saçak, cumba, taşma) bununla beraber çekmeye göstermiş olduğu mukavemetinden dolayı hatıl olarak duvarlarda kullanıldığı görülmüştür (Mahrabel 2006).

Çizelge 3.3 Ahşap yapı elemanları için emniyet gerilmeleri (TS 647).

TS 647'ye Göre Ahşap Yapı Elemanları İçin Emniyet Gerilmeleri					
		Emniyet Gerilmeleri (N/mm ²)			
		İğne Yapraklılar			Meşe Kayın
Gerilme Türü	Notasyon	I.Sınıf	II.Sınıf	III.Sınıf	
Eğilme	σ_{em}	13	10	7	11
Liflere Paralel Çekme	σ_{em}	10,5	8,5	0	11
Liflere Paralel Basınç	σ_{em}	11	8,5	6	10
Liflere Dik Basınç	σ_{em}	2	2	2	3
Makaslama	τ_{em}	0,9	0,9	0,9	1

3.2 Tarihi Yapıyı Oluşturan Taşıyıcı Sistemler

Tarih boyunca medeniyetleri bünyesinde bulunduran ülkemizde birçok tarihi yığma yapı bulunmaktadır. Bu yapılar yığma yapı tekniğiyle yapılmıştır. Yığma yapılarda çeşitli yapı elemanları bulunmaktadır. Bunlar yükleri, yapının en üstünden başlayarak zemine kadar aktarmaktadırlar. Resim 3.1'de görüleceği üzere İstanbul'da bulunan Ayasofya Camii en güzel örneklerden birisidir.

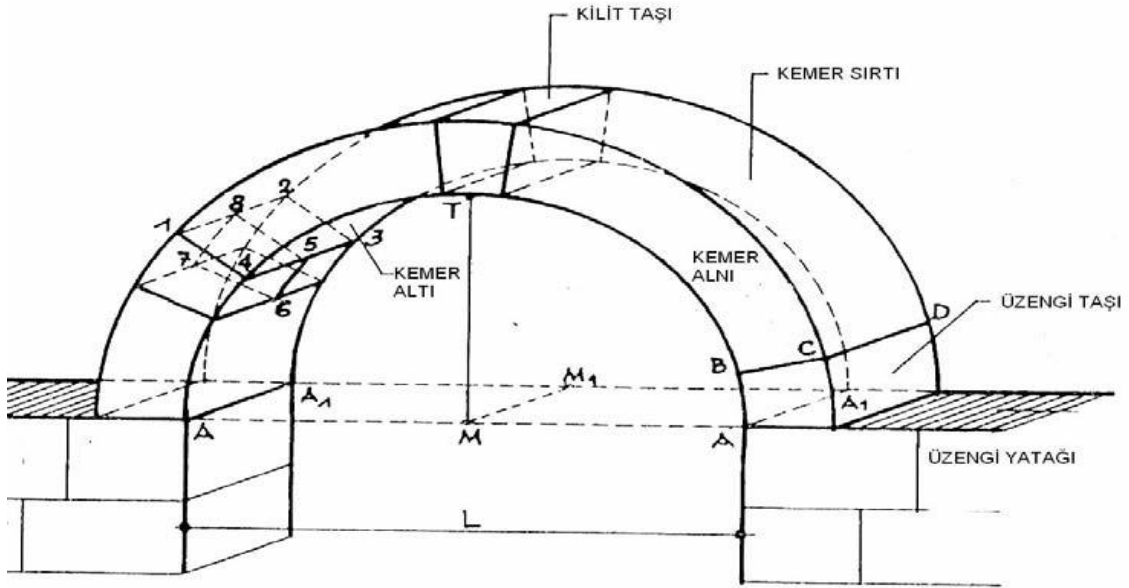


Resim 3.1 Ayasofya taşıyıcı unsurları (Tetik 2015).

3.2.1 Kemerler

Eğri eksenli kiriş olarak tanımlanan kemerler, ayaklar ya da sütunlar arasındaki mesafeyi geçmek için kullanılırlar. Tuğla veya taştan, kemerler imal edilir. Kesme taş, ince yonu, kaba yonu, veya moloz, taş kemerin unsurlarıdır. Üzengi olarak kemer örgü taşı, kemer taşları ve kilit taşı halinde üç adet öğeden oluşur. Kemerin başlangıç taşı üzengi taşıdır. Kilit taşı ile üzengi arasındaki taşları sıkıştırarak kilitleyen, kemerin üst noktasında düşey ekseninde bulunan taşta denir. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi üzengi taşları ile kilit taşı aralarındaki kemeri, kemer taşları oluşturur. Yerçekimi marifetiyle kemerler, düşey ağırlığın tesirinde kalmaktadır. Bu düşey ağırlıklar taşıyıcı sistemde bulunan malzemeler (taş, kerpiç ve tuğla) ile yapıda bulunan teferruat malzemenin toplamıdır. Kemerlerin basınca çalışan elemanları sayesinde üzerine etkiyen yükleri karşılayabilmektedir (Çalık 2017).

Kemerlerin en önemli özelliği ise, düşey yükün tesiri yatay yükten fazla olması nedeniyle çekme kuvvetinin gücü azalır. Kemerlerde kesitler fazlasıyla büyüktür, bunun nedeni ise tuğla ya da taş kemerlerin kendi ağırlıkları ile kemere stabilitesine sağladığı katkıdır. Kemer unsurlarından tuğla ve taş, kemere etkiyen çekme kuvveti etkisinden dolayı tuğla veya taşta çatlamasına sebep olacaktır. Fakat bu çatlamalar küçük ya da birkaç tane olması her zaman kemerin stabilitesini bozacak diye bir kaide yoktur.



Şekil 3.1 Kemerin muhtelif kısımların isimleri (Mahrabel 2006).

Mesnetlerin yatay açıklık istikametinde aralarındaki mesafenin artması, kemerlerin sabitliği olumsuz etkilenmesine sebep olan en baştaki tesirdir. Ahşap ya da metal gergi çubuğu, çoğu tarihi yapının kemerlerinde bu sebepten dolayı kullanılmaktadır. İki duvar, bir duvar bir ayak ya da iki ayak aralarında gergi çubukları kullanılır. Gergi çubukları, duvar içindeki boşluklara, taşıyıcı unsurların üstüne, üst örtünün kemerin iki yanında ayaklar üzerine gelen ilk taş hizasına ya da hemen altında var olan taş oyulmuş yere sabitlenmiştir. Kemerlerin yatay yükü ayaklara aktarmasından dolayı ayakların ötelenmesini önlemek için gibi gergi çubukları kullanılır. Gerginin kullanımını engelleyen veya gergi kullanımı istenmeyen durumlarda, payandalarla desteklenen ayak duvara uzatılarak, eksenleri istikametinde, ağırlık kütleleri kemer mesnetlerine asılmıştır. Taşıma kapasiteleri biçimlerine, irtifalarına, materyal çeşidine bağlı olarak yük çekme kabiliyeti farklılık göstermektedir. Meydana getirdikleri şekillere göre kemerlerin yük çekme kapasiteleri, yükseltileri, açıklıkları ve merkezleri değişiktir.

Açıklığın etkisi altında sehim miktarı artan kemerler; basık, sivri, sepet, kulplu, düz, tam vb. adlandırılır (Şişik 2017).

Örgü duvar ile tuğla kemer benzerdir. Basık ve düz kemerler bu çeşit açıklıklarda kullanılır. Açıklık sebebiyle, sehim miktarı fazla olmasına rağmen sivri kemerlerin itme gücü düşeye yakındır. Tam ve sivri kemerlerin taşıma güçleri bu nedenle yüksektir. Basık kemerlerde ayakların kalın olmasının nedeni; basık olan kemerlerin itme gücü yataya eşdeğer olması düşey kuvvetleri ile olan birleşik kuvvetin ayak tabanı tarafından karşılanması gerektiğindendir. Kemerin basıklık miktarı, yüksekliği ve çapı ile hesaplanır. Bu hesap şu şekildedir; kemerin yerden yüksekliği (h), çapı ($2R$) ise sıkışıklık miktarı ($h/2R$) 'dır. İki ayak üzerinde ($2R$) açıklıktaki kemerin (a) açısı azaldıkça, yüksekliği (h) miktarı azalmakla beraber basıklık oranı da azalır. Kemerin açısı azaldıkça, mesnette meydana gelen yatay yük değeri artarken düşey yük azalır. Kemerin açısı artınca basıklık oranı artar, mesnette meydana gelen yatay yük miktarı azalırken düşey yük artmaktadır. Sivri kemerler, büyük yüklerin ve açıklıkların meydana geldiği yerlerde (a) açısı yükseltilerek Osmanlı mimarisinde kullanılmıştır. Mesnette meydana gelen kuvvetlerin bu tarz kemerler sayesinde düşey yüklere dönüştürülerek ayaklar vasıtasıyla zemine aktarılmıştır (Aşık 2018).

Büyük ağırlık kulelerin kullanılma sebebi ise, meydana gelen büyük yatay yüklerin basık kemerler ve büyük ağırlık kuleleri ile yüklerin yönünün değiştirilerek zemine iletilmesidir. Zaten büyük kesite sahip olan kulelerin kesitini daha da büyütmemek için kemer ayakları yukarı yönde kule şeklinde uzatılır. Kemer düzlemine, kemerin üst kenarına yanal bileşenlerin kemer üzerine oturan kubbelerdeki mesnet yükleri dik istikamette etkir. Eğilme momenti kemer kesitinde bu etkiler dolayısıyla oluşur. Kemer genişliği, eğilme tesirinde olan çekme kuvveti meydana gelmemesi maksadıyla yan taraftan tesir edecek kuvvetlere direnebilecek şekilde belirlenir. Kemerin çapının büyüklüğüne ilişkili olan bir başka unsur ise konstrüktif sebeplerle ayak genişliğidir.

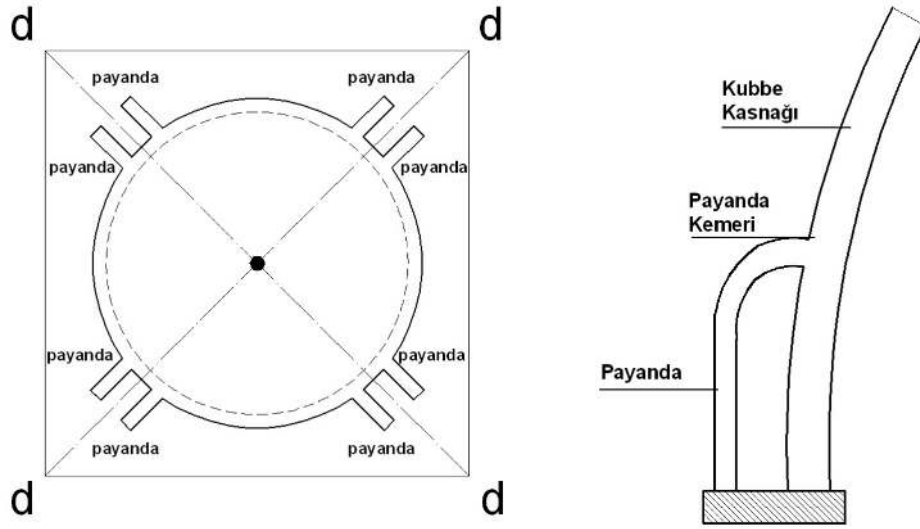
Üzengi hizasında yüksek mesnet reaksiyonu kemerlerin taşıdığı yüklerin ayaklara iletilmesi ile meydana gelmektedir. Gergi demirleri genelde bu reaksiyonları alır. Bu konuda oluşan problemlerden biride çekme unsuru olarak demir tercih edilmesidir.

Çünkü demir, dış etkiler altında süreyle paslanır ve görevini yerine getiremez. Buna bağlı olarak sabitlendiği noktada korozyona sebep olarak zarar vermektedir. Demir elemanların ve bağlandığı noktalar kesinlikle bakımının yapılması gerekmektedir (Armağan 2012).

3.2.2 Kubbeler

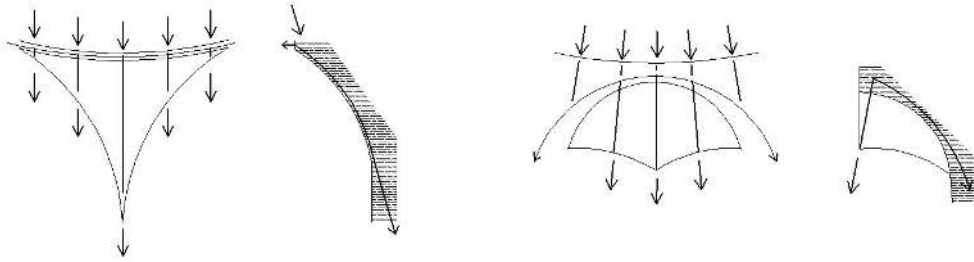
Kubbelerin kullanım maksadının aslında mekânın üstünü örtmek için kullanıldığı olduğuna dair kesin bir bilgiye sahip değiliz. Roma döneminde ilk defa büyük boyutlu olarak kullanıldığı bilinmektedir. Kubbeler, taş ve tuğla gibi büyük olmayan yapı unsurlarıyla inşa edilir, merkezinden kubbenin kesitine bakıldığında kemer olduğunu görürüz yuvarlak bir zemin üzerine yerleştiği görülmüştür. Kubbenin şekline göre üzerindeki kemer basık veya sivri kemer şeklinde olabilir. Yapı örtüsü olarak yapıları örtmek için kullanılan Şekil 3.2’de görüldüğü gibi kubbeler; usulüne uygun olarak şekilleri dairesel, düzgün çokgen ve eşkenardırlar. Kubbelerin oturduğu yer itibariyle zor adapte olduğu şekiller; kare ve dikdörtgen plana sahip yapılardır (İnt.Kyn.2).

Pendantif ve köşe kemerlerin (tromplar) kullanılması, kare planlı altyapıdan dairesel ortam örtüsüne geçişte yardımcı olur ve bu durum kubbenin uygulanmasında kolaylık sağlar. Sürekli taşıyıcı bir yüzey olmaz ise kubbeler mesnetlenemez. Kubbeler mutlaka kendi yapısı itibari ile dairesel bir kaideye oturmak zorundadır. Örtü şekilleri arasında kubbe, geçit materyallerinin kullanılması ile örtü biçimleri arasında ayrıcalıklı bir konuma sahiptir. Kubbe münferit ve ısıdan kaynaklı etkileri dışında kendi ağırlığı, yayılı yüklerden olan rüzgâr ve kar yüklerinin çoğunlukla kesitleri ile karşılayabilmesi için kubbeye etkiyen ağırlıkların dağılımı ve kubbenin sabitlenme stili münasip seçilmesi gerekmektedir. Kubbeler basınç dayanımı çekme dayanımına göre yüksek malzemelerden imal edilseler dahi yüklerin en az kendi malzeme miktarıyla taşınmasına olanak sağlar (Özçakı 2018).



Şekil 3.2 Kubbenin üstten görünüşü ve payanda yerleşimi (Bayraktar 2006).

Horasan kâgiri, geleneksel mimari kubbe örtüsü ve kubbelerde kullanılmıştır. Ufalanmış, parçalanmış kiremit ve tuğla gibi pişmiş kilden oluşur horasan. Horasanın içine kireç eklendiğinde horasan harcı elde edilir. Osmanlı, Bizans ve Selçuklu yapılarında genellikle horasan harcı kullanılmıştır. Osmanlıda daha çok 15. yüzyıl sonrasında horasan harcı kullanılmıştır. Çekme dayanımı çok zayıf olan kâgirin az da olsa basınç dayanımına sahip olduğundan, söz konusu malzeme ile yapılan taşıyıcı yapıların taşıma kapasitesi; malzemenin ve yapının bakım- onarım tekniğinin yanı sıra, zamanla sertleşmesi ve sonra çevreden gelebilecek etkilere de bağlıdır. Eski yapılardan alınan horasan harcı barındıran kâgir ile laboratuvarında imal edilen horasan harcında ve horasan kâgirde uygulanan çalışmalara sonucunda, çözümlerde kabul görece basınç emniyet dayanımı: 1,2 ile 1,8 N/mm², çekme emniyet gerilmesinin 0,5 N/mm² olabileceği ve çok düşüğe olsa horasan harcı barındıran kâgir unsurun ufakta olsa çekme dayanımı varlığı görülmektedir (Pusat 2002).

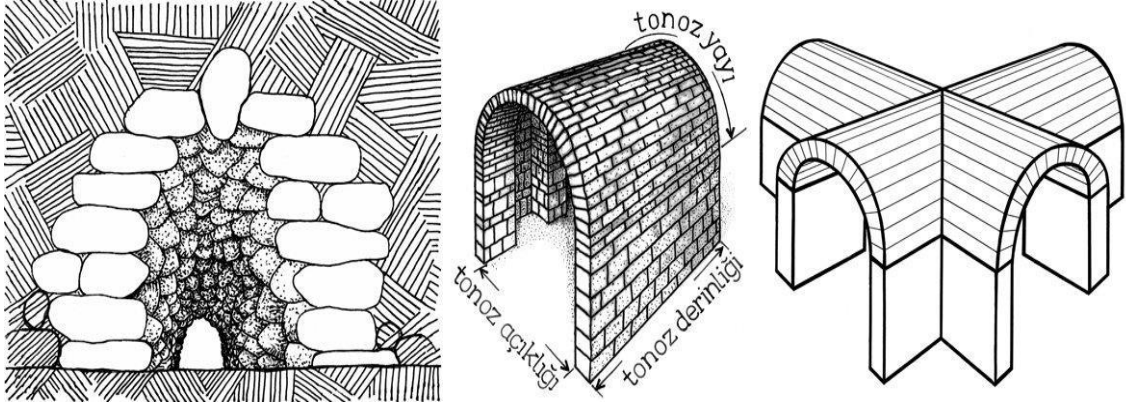


Şekil 3.3 Kubbenin yük aktarımı (Okçuoğlu 1995).

Homojen ve izotrop yapıya sahip olmayan bir malzemedir kagir malzeme. Bu tarz malzemeye sahip yapılar karmaşık olmasından dolayı, basitleştirme yoluna gidilmesi hesaplama yöntemlerini kullanılır hale getirmiştir. Homojen ve izotrop olduğu kabul edilerek basitleştirilmiştir. Malzemenin, lineer elastik davranış gösterdiği, daha az çekme gerilmeleri olduğu için kabul edilir. Malzemede oluşabilecek hasarların yerini tanımlama ve görme işleminde çatlama ve basınç durumlarının çıktığı bölgelerin tespitinde faydalanılır. Esasen, kagir yapının davranışı işin başındaki elastik modelden sonra tanımlanabilir (Türkmen ve Bilgin 2002).

3.2.3 Tonozlar

Bir kemeri kendi düzleminde dikey yönünde döndürmenin sonucu; kemerin etkiyen kuvvetleri taşıma kabiliyeti olması ile beraber kabuk formunda oluşu doğrusal olmayan yapısal eleman olarak Şekil 3.4’de ki gibi tonoz görülmektedir. Basınç kuvvetleri tonozlarda basınç gerilmelerinden meydana gelmektedir. Manastır tonozu, beşik tonozu, ilkel tonoz ve çapraz tonoz olmak üzere 4 çeşit tonozdur. Kaplama yükleri ile birlikte tonoz kendi yükünü taşıyabilir. Benzer eğrilikte kemerin kesiti ile tonozun kesiti benzerdir. Kemerlerde gergiler veya payandalarla temellere doğru kalınlaşan duvarlar aktarılan tonoz mesnetlerinde meydana gelen yanal kuvvetlerin aktarılması sonucu taşınır. Tonozların hacmi uzunluğu kadar olduğu halde kemerin ise duvar kalınlığı kadardır. Tonozlar genelde planı dikdörtgen olan yapıyı kapalı bir hacme çevrilmesinde kullanılır. Tonozlar dört çeşit olmaktadır, manastır tonozu, beşik tonozu, çapraz tonoz ve ilkel tonoz. Mesnet noktaları devamlı taşıyıcı düzleme beşik ve ilkel tonoz ihtiyaç duyar. Sütun ve ayaklarca çapraz ve haçvari tonozlar taşınır. Bu vesileyle fazla bölümlü alanların üstü örtülebilmektedir (Çalık 2017).



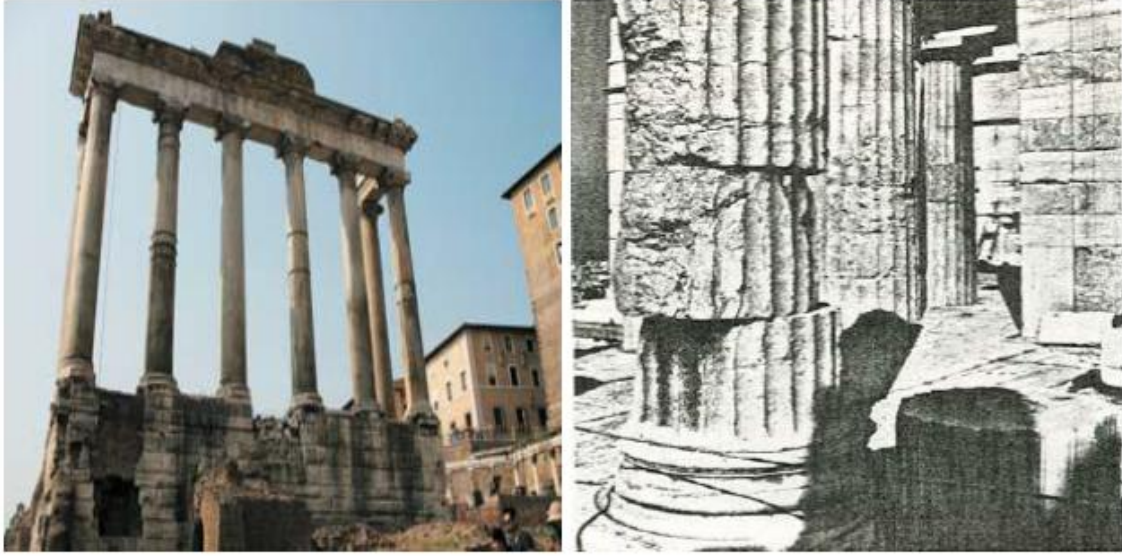
Şekil 3.4 Kâgir tonoz çeşitleri (Uray 2018).

Üzerinde kaplama yükleri bulunan tonoz kendi ağırlığını da bu yükleri de taşır. Kemerin yük taşıma prensibi ile tonozun yük taşıma prensibi benzerdir. Emsal eğrilikteki Kemer ile tonozun kesiti benzerdir. Tonozun malzemeleri tarafından, tonozu etkileyen eksenine paralel kesitlerdeki basınç gerilmeleri karşılanır. Zemine doğru kalınlaşan Duvarlar ve payandaların taşınan, tonoz mesnetlerinde meydana gelen yatay kuvvetler, kemerlere benzer şekilde, gergiler ile aktarılır. Tonozun taşıma kapasitesi açıklığına nispetle sehimli artsa da fazladır. Hacimsel olarak küçük olsa da basık tonozlar tercih edilmektedir. Çeşitli ebatlarda tonozlar aynı noktada buluşabilirler (Armağan 2012).

3.2.4 Sütunlar ve Ayaklar

Sütunlar, kubbeleri ve kemerlerin yükleri ile beraber temele aktarmak için kullanılır kolon olarakta adlandırılan taşıyıcılar camilerde esasen kullanılan yapı unsurlarıdır. Günümüz yapılarında da kullanılan sütunlar Yüksek ve kalın ayak özellikleri ile bilinmektedir. Düşey yapı elemanları olarak sütunlar camilerde kubbe ve kemerleri taşımak için taşıyıcı sistemde yerini almıştır. Temellere akabinde zemine, yapıda iç ve dış etkenlerden meydana gelen etkileri (moment, kesme kuvveti vb.) sütunlar ve ayaklar aktarırlar. Kanunların belirlediği, kullanılan malzemenin çeşidine göre belirlenen asgari ebatlardan küçük olamayacağı gibi etkileyen kuvvetlere göre yapılan hesaplamalara göre de taşıyıcıların boyutları belirlenir. Paye, tuğla veya taştan örülmek suretiyle elde edilen taşıyıcı ayaklara denir (Armağan 2012).

Yapıları ayakta tutabilmek için Resim 3.2’de görüleceği üzere tarihin başlarından beri yapılarda kullanılmaktadır. Zamanla birlikte birleştirici özelliği olan çimento ve iskeleti oluşturan demirden yapılmış betonarme ya da sadece çelikten sütunlar kullanıldığı gibi, eski zamanlarda taş, ağaç tarzı doğadan faydalanılarak sadece düzeltilerek doğal malzeme kolon yapımında kullanılmıştır.



Resim 3.2 Roma tipi tek parça sütunlar (solda), çok parçalı sütunlar (sağda) (Sesigür vd, 2007).

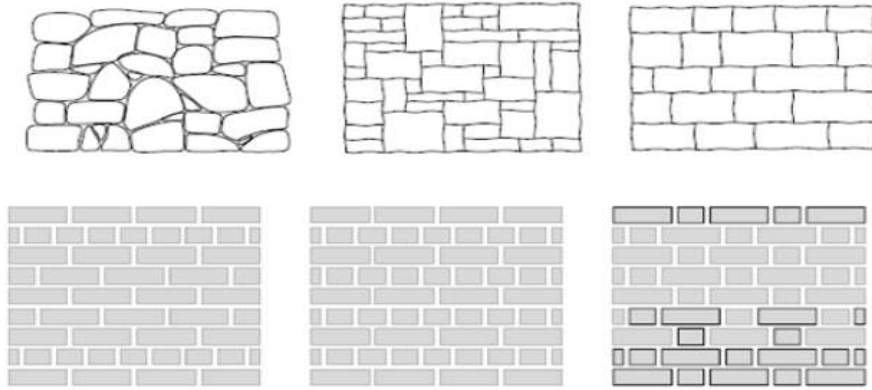
Yapı sistemlerinde kirişler ile temel arasında yük aktarma görevi sütunlarıdır, temelden de zemine aktarılır. Yapılarda önemli hususlardan birisi, kolonlarda meydana gelebilecek hasarın binanın yerle bir olmasına sebep olmaktadır. Mısır’da MÖ 2600 yıllarında taş kalıplarıyla Imotep tapınağında ilk defa sütunların kullanıldığı görülmektedir. Perslerde mimari unsur olarak sütunları kullandığı bilinmektedir. 70 x 70 m ebatlarında büyük bir yapı olan Perslere ait Apadana tapınağında bolca sütun kullanmışlardır. Söz konusu sütunlar çoğu halen tarihe direnmektedir. Vergi taşları ve sadaka taşları olarak kullanılan kolonlar ayrıca diğer uygarlıklarda yapı elemanı olarak kullanılmıştır. Çok farklı ebatlarda kolonlar düşünülebilir. Bazı kolonlar bütün olarak yapılırken bazıları da kesme taşların birbiri üstüne dizilmesi suretiyle yapılmışlardır (Şişik 2017).

Tek parça olan kolonlar uzun ve ağır oldukları için; taşınması ve yerleştirilmesi eski çağlarda zorluklar çıkarmıştır. Kesme taşların üst üste dizilmesi ile yapılan kolonlar

harçlarla birleştirilerek yapılmıştır. Bu çeşit kolonlar da ise gerilmeleri karşılamak için değişik yöntemler icra edilmiş farklı taş ya da metal parçaları kullanılmıştır. Beton, tuğla ya da taş gibi dayanımı düşük materyallerden kolonlar imal edilmişlerdir (İnt.Kyn.3).

3.2.5 Duvarlar ve Payandalar

Çeşitli taşlar ve taş ile birlikte tuğla malzemeleri Şekil 3.5’de görüldüğü gibi eski yapılarda taşıyıcı duvarlar, yapının etkiyen yükleri binayı taşıyan temellere aktaran devamlı unsurlarıdır. Deprem yüklerinin göz önünde bulundurulmasıyla birlikte duvara etkiyen eğik yüklerin dikkate alınmasıyla duvarın en kesit boyutları tespit edilir. Eski yığma kâgir yapılarda duvar kalınlıklarının büyük seçilmesinin sebebi duvara etkiyen yatay kuvvetlerin duvarın kendi ağırlığı ile karşılanmasıdır. Duvarların bir bütün olarak davranması gerekmektedir çünkü düşey ve yatay etkileri karşılayabilmek için. (Duran 2016).



Şekil 3.5 Çeşitli taş ve tuğla duvarlar (Lourenço 1998).

3.2.6 Temeller

Temeller, bina etkiyen (zati ağırlık, hareketli yükler, deprem, rüzgar) Şekil 3.6’da görüleceği üzere yükleri zemine aktarmakla görevli yapı elemanıdır. Derin temeller ve yüzeysel temel olmak üzere 2 grupta görülür. Zeminin güçlü olması halinde yüzeysel temeller, zeminin zayıf olması durumunda güçlü tabakayı bulmak için derin temeller kullanılır. Tekil ve sürekli temel olmak üzere yüzeysel temeller kullanılır. Tekil temeller

DOLGU

TEMEL ŞEVİ

TEMEL TABAN TAŞI

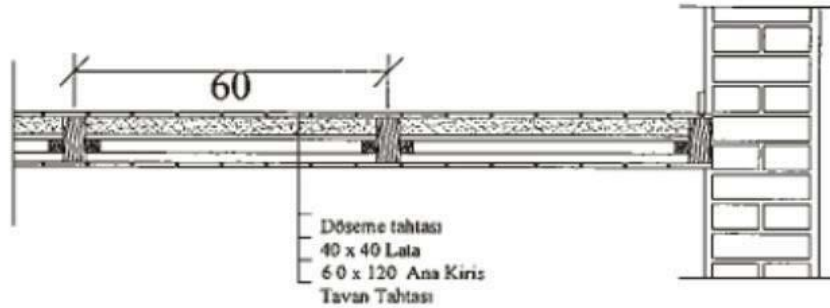
KUM

Zemine çakılan kazıklar da derin temel çeşitlerindendir. Zeminin gevşek ve güçsüz olduğu yerlerde hafriyat işlemi yapılarak sağlam zeminin bulunması zor olan konumlarda ahşap vb. malzemelerin kazık şeklinde zemine çakılarak derin temel olarak zemini sağlamlaştırmak için kullanılır. Ahşap malzemeler ile çakılan kazıkların üzerine ızgara şekli ile yapılır ve bunların üzerin yapı inşaa edilir. Su oranı çok yüksek zeminler de kullanılan bir tekniktir. Tonoz temel yöntemi de, yüzeysel ve derin temellerin kullanılmadığı yerlerde uygulandığı görülmüştür. Yapının kademeli olarak inşa edilmesi veya geniş ve düz yüzeye ihtiyaç duyulması durumunda tonoz temel kullanılmaktadır (Kara 2009).

Binalarda katlar arası ya da zemin ile bina arasında ya da en üstte dış mekânla arasında bölme görevi ve aynı zamanda taşıyıcı özelliği bulunan yapı unsurudur. Ahşap ve kâgir döşeme gibi yapımı esnasında kullanılan malzemenin çeşidine göre döşeme isimlendirilir. Deprem sırasında diyafram gibi davranması nedeniyle yatay yük aktardıkları gibi düşey yükler altında yükü aktarmaları dışında yapının genel durumunu etkilemezler. Binalarda döşemelerin olması ya da olmaması bina taşıyıcı unsurlarını

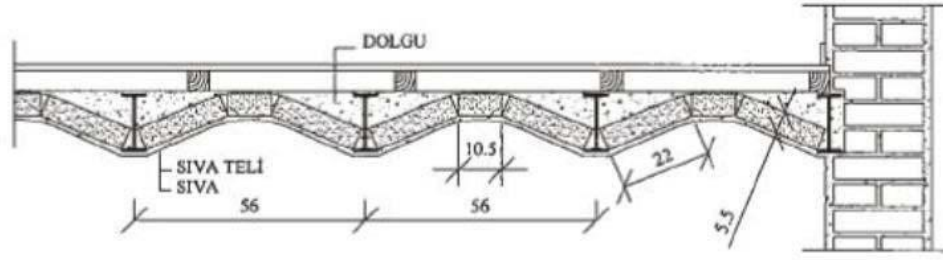
hesap yöntemlerinde böldüğü için düzenli ya da düzensiz olan oluşturdıkları gibi depreme karşı davranışını da etkiler (Sesigür vd. 2007).

Ahşap Döşemeler; Taşıyıcı eleman olarak ahşap kirişlerin kullanıldığı döşemeye ahşap döşeme denir. Ahşap döşemelerin dezavantajları şu şekildedir; yangın sırasında davranışı, katlar arası ses yalıtımı olmaması, döşemeyi taşıyan kiriş kesitlerinin yüke göre uygun seçilmemesi halinde sarsıntı olması gibi durumlardır. 0,6-0,80 m mesafe ile ahşap döşemelerin altındaki ahşap kirişler Şekil 3.7’de görüleceği üzere açıklıkların kısa yönüne konulmalıdır. Ana kirişlere oturtulması gereken durum ise açıklığın büyük olduğu döşeme kirişleridir. Sıva teli çakılarak sıvanın yapıldığı yer ise, ahşap döşemenin tavanıdır. Temel duvarlarında zemin ile döşeme arasında kalan mesafede belli boşluklar bırakılmasının sebebi ahşap döşemenin zemin katlarda çürümesinin önüne geçmek içindir (Çalık 2017).



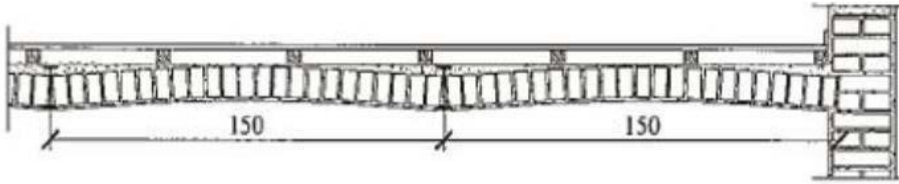
Şekil 3.7 Ahşap döşeme (Aşık 2018).

Adi Volta Döşeme; NPI profiller arasında üç tuğladan 0.5-0.6 m aks mesafesinde bir konulmuş tonoz döşemedir. Çimento harcı veya özel karışım harçlar binanın yaşına göre, tuğlaları birbirine bağlayıcı unsur olarak kullanılır. Döşeme kaplaması, Şekil 3.8’de ki gibi curuf betonu ile doldurularak tuğlaların üstü olan putrel başlıkları seviyesine kadar tesviye edilmesiyle yapılır. Tuğla malzemesinin aşağı bölümü sıvanmak suretiyle putrellerin aşağı kısmı yağlı boya marifetiyle boyandığı gibi, aynı yer sıva teli kaplanmak suretiyle üzeri sıvanarak da teşkil edilebilir. Putreller arası sıva teli kaplanması sonucu üstü sıva ile sıvanırsa düz bir tavan elde edilir. Duvarın üzerine tonoz sistemi oturtularak adi volta döşeme elde edilmez ancak duvar kenarlarında putrelle başlatılır. (İnt.Kyn.5)



Şekil 3.8 Adi volta döşeme (Aşık 2018).

Volta Döşeme; Tuğlaların tonoz şeklinde inşa edilebilmesi için putreller arasına 1.5 m ask aralığı ile dizilmesi ve kalıp yapılması gerekmektedir. Kancalara profiller ile asılan kalıplar oturtulur. Duvar dibinde profiller ile başlanmasına Şekil 3.9’da görüldüğü gibi volta döşemelerde ihtiyaç yoktur. Duvara tonoz oturtulur. İmalat yılına bakıldığında çimento ya da özel karışım harçların tonoz örgüsünde kullanıldığı görülmüştür. Putrellerin üzerini dolgu malzemesi olarak münasip kalınlıkta curuf betonu yapılması uygundur (Mahrabel 2006).



Şekil 3.9 Volta döşeme (Aşık 2018).

3.3 Yığma Yapıların Deprem Karşısındaki Davranışları ve Hasar Nedenleri

Taşıyıcı sistemi, taş ya da tuğlaların harç yardımıyla birbirine yapışmasını sağlayarak duvar örülüp, döşemenin de kütük ya da tahtalarla çivi kullanmadan duvarlara monte edilmiş taşıyıcı sistemi bulunan unsura denir. Söz konusu yapılarındaki duvarların taşıyıcı görevi dışında mimari görevi de vardır. Mimari olarak duvarlar yapıyı dış etkilerden korudukları gibi yapıda oluşması istenen hacimleri oluşturur ve iç hacimler arası bölme görevi görürler. Sayılan bu özellikleri duvarların, yığma yapıların yapımında önemli unsur olduğunu göstermektedir (Öztaş 2009).

Yığma yapılar Türkiye’de büyük bir oranla imal edilmektedir. Depremde binanın ağırlığının önemi ve yığma yapıların yatay kuvvetlere karşı dayanıksız olması nedeniyle yığma yapıların depremlere karşı dayanıksız olarak görülürken, yığma yapıların avantajları da vardır. Depreme dayanıksız olması bu yapıların yapılmadığı anlamına gelmemektedir, yapılmaya ve kullanılmaya devam edildiğinden dolayı deprem esnasında nasıl bir davranış sergileyeceği ve depreme karşı kuvvetlendirilmesi gerekmektedir (Armağan 2012).

Betonarme yapılar depreme karşı tuğla yığma yapılara göre daha dirençlidir. Yapı elemanlarında süneklik önemli bir yer tutmaktadır. Tuğlaların harçla birbirine yapıştırılması ile meydana gelen yığma yapılar katmanlı olmadığından sünek davranamaz. Gevrek bir yapıya sahiptir tuğla duvarlar. Sünek bir özelliğe sahip olmak için betonarme gibi donatılı yığma yapılması gerekmektedir. Betonarme yapıların deprem etkisini tüketme kapasiteleri, depremde kalıcı tahribat ortaya çıkaran yığma yapılara göre daha çoktur. Kerpiç, tuğla, hafif beton blok, taş, briket gibi kullanılan malzemeye göre gruplandırılırlar. Kullanımı kolay, basınç mukavameti yüksek ve harç ile uyumlu kullanıldığı yer ile uyumlu özellikte olmalıdır (Kara 2009).

3.3.1 Yığma Yapı Türleri

Donatılı, donatısız ve çerçeveli olmak üzere yığma yapılar, kullanılan malzeme ve yapım şekillerine göre üç gruba ayrılır.

3.3.1.1 Donatısız Yığma Yapılar

Aralarına bağlayıcı unsur olarak harç kullanılan, kerpiç, taş ve tuğla ile örülerek imal edilen yapılardır. Kullanılan malzeme yapısı gereği depreme karşı göstermiş olduğu zayıf direnç, donatısız yığma yapılar diğer yığma yapılarına göre dayanıksızdır. Deprem kuvveti karşısında gevrek bir davranış sergilemesinin nedeni donatısız yığma yapıların yüksek rijiditeye sahip olmasıdır (Yaldız vd. 2011).

3.3.1.2 Çerçeve Sistemli Yığma Yapılar

Yığma yapı türleri arasında betonarme kolon ve kirişlerle desteklenen donatısız çerçeve sistemli yığma yapılarıdır. Taşıyıcı elemanlar arasında betonarme düşey hatıllar gösterilmemektedir. Duvarların birleşme noktalarında ve yapının köşelerine yerleştirilmektedirler. Geniş açıklıklarda duvara belli aralıklarla yerleştirilen ve kapı-pencerelerin açıklıklarının her iki tarafına konulmaktadır (Sayın 2016).

3.3.1.3 Donatılı Yığma Yapılar

Yatay ve düşey hatıllara, içerisinde donatı bulunan yığma yapıların duvar içinde yatay pozisyonda bulunan donatılar bağlanır. İki sıra örülen duvarların arasında boşluk bırakılır. Donatı ve yatay sıralar arasında boşluğu bulunan söz konusu elemanda boşlukta bulunan düşey ile yatay donatıların kendi aralarında donatı kullanılarak, ardından boşluğun harçla doldurulması sonucu donatılı yığma yapı oluşur (Armağan 2012).

3.3.2 Yığma Yapılarda Oluşan Hasar Türleri

Doğal afet neticesinde ya da zaman geçtikçe aşınmış tarihi yapı ve anıtların ağır hasar aldığı tespit edilmiştir. Tarihi binaların hasar ve güçlendirilme maksatlı işlemlerden önce mutlaka aşağıdaki hususlar bilinmesi gerekmektedir;

- Temel yapısı
- Zemin özellikleri
- Strüktürel açıdan yapım tekniğinin bağlayıcı eleman etkisi
- Yapı malzemesi
- Yapının geçmişi
- Çatlak ve deformasyonlar
- Taşıyıcı unsurların yük taşıma kapasitesi (Güner 2018).

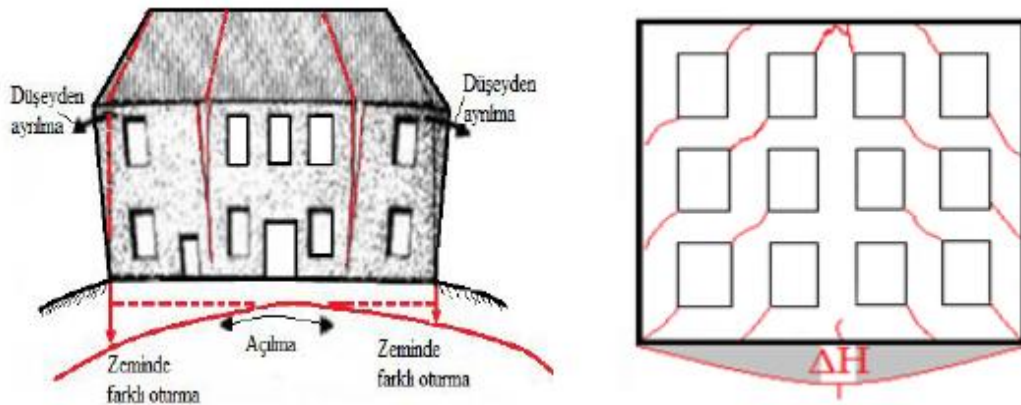
slık disiplinleri olan; taşıyıcı sistemin farklı oturması, ezilme, dönme, yanlış tamiratlar ve malzeme bozulmaların teşhisi ve çözümü gibi yardım alınmalıdır (Çırak 2011).

zeminden Kaynaklanan Hasarlar

n kaynaklandığı düşünülen hasarlar aslında o zemine uygun olmadığından kaynaklandığı görülmektedir. Deprem etkisi altında taşıyıcı elemanların görülmesinin sebepleri; sıvılaşma, killi zeminlerde depremi engellemek, temel derinliğinin az olmasından dolayı zeminin taşıma gücünün azaltılması, yüksek yapı narinliği. Binada zamanla Şekil 3.10'da görülen çatlakların oluşmasına, dönmesine ve değişik yer değiştirmelere; binanın taşıyıcı elemanlarının taşıma gücünün az olması, homojen olmaması gibi unsurlar etkili olmaktadır. Yapıda gözlemlenen çatlakların; yerine ve doğrultusuna bakılarak kaynağı tespit edilebilir. Bu konuda fikir sahibi olabiliriz (Selçuk 2019).

3.3.2.1 Zeminden Kaynaklanan Hasarlar

Zeminden kaynaklandığı düşünülen hasarlar aslında o zemine uygun temel tasarlanmadığından kaynaklandığı görülmektedir. Deprem etkisi altında taşıma gücü kaybı sorunların görülmesinin sebepleri; sıvılaşma, killi zeminlerde depremin sebep olduğu yoğrulma, temel derinliğinin az olmasından dolayı zeminin taşıma gücü sorunu, yatay yer değiştirmeler, yüksek yapı narinliği. Binada zamanla Şekil 3.10'da görüldüğü gibi çatlakların oluşmasına, dönmesine ve değişik yer değiştirmelere; binanın üzerinde bulunduğu zeminin taşıma gücünün az olması, homojen olmaması gibi unsurlar, neden olurlar. Yapıda gözlemlenen çatlakların; yerine ve doğrultusuna bakılarak kaynağının zemin olup olmadığı hakkında fikir sahibi olabiliriz (Selçuk 2019).



Şekil 3.10 Binaların zeminden kaynaklı düşey doğrultuda oturma şekli (Döndüren vd.2017).

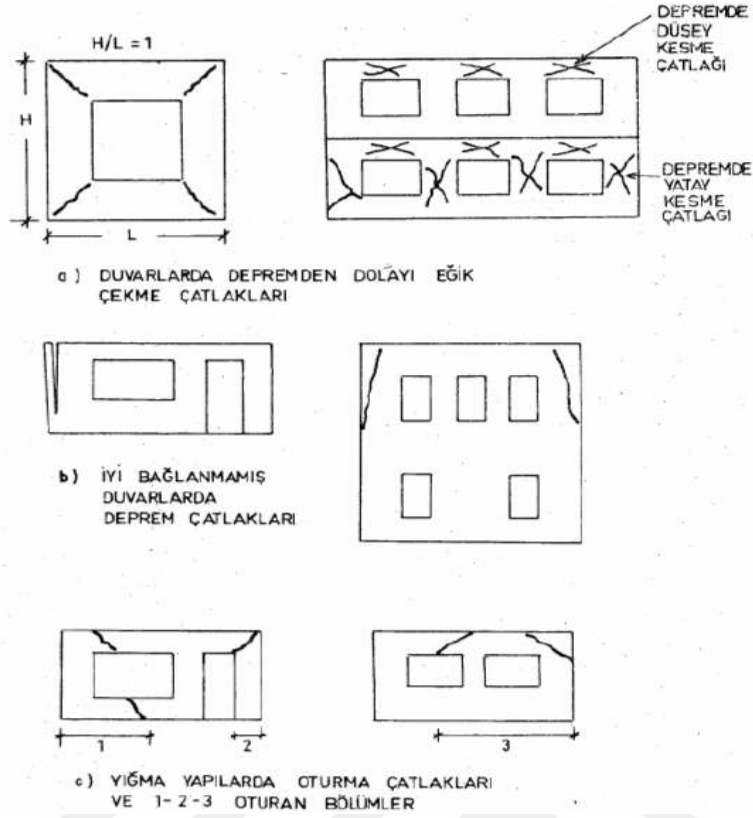
Kapı ve pencere köşelerinden başlayan 45 dereceli açılı ile kenarlara doğru uzayan çatlaklar kama görünümünde aşağıda dar yukarıda genişliyor ise yapı iki ucunda sağlam fakat orta zayıftır. Tefferrüatlı zemin incelemesi zemin mühendislerinin uzmanlık alanıdır ve bu incelemelerde zemin hasarları ve düzeltilmesine yönelik çalışmaları yapılmalıdır. Zemini iyileştirme ya da sağlam zemini bulmak için temeli bu derinlikteki

zemine indirme çalışmaları oldukça zor ve pahalı işlemlerdir. Binanın, taşıyıcı unsurlarının ya da mimari unsurlarının bozulması- yıkılması riskini arttıran en önemli unsurlardan birisi bu yapının fay hattı üzerinde olması ya da çatlaklı bir yapıya sahip kayanın üzerinde olmasıdır. Temellin altında bulunan killi zeminin taşıma gücü, dışarıdan zemin içerisine su dahil olmasıyla düşmesi neticesinde, yığma yapılarda oturmalarla neden olurlar. Yapı duvarlarındaki çatlakların sebebi temelde meydana gelen lokal oturmalar (Aşık 2018).

Zemine etkiyen gerilmelerin küçük olması tasarlanan temel boyutlarının temel üzerine etkiyen yığma yapı duvarlarının düşey gerilmelere göre oldukça büyük olmasıdır. Yapının kendi ağırlığından dolayı göçmesi ancak çok kötü bir temel tasarlanması neticesinde olabilir. Dış etkilere olan; yeraltı suyunun artıp azalması, atık su kaçaqları, yer altı su sızıntıları zemindeki killi yapıyı bozarak (kohezyonun azalması) oturmalarla neden olabilir. Yığma yapılar da duvar göçme nedenlerinden biri de, dolgu ya da gevşek zemin üzerine yapılmasıdır (Döndüren vd. 2017).

3.3.2.2 Depreme Bağlı Hasarlar

Depreme bağlı yığma yapı duvarlarında değişik tahribat neticesinde çatlama ve kısmen göçme şeklinde görülür. Düşük şiddetli depremlerde bile Şekil 3.11’de görüleceği üzere çatlaklar, tuğladan yapılmış yığma duvarlarda görülmektedir bunun sebebi de tuğlanın gevrek bir yapıya sahip olmasıdır. Duvarlardaki düşey gerilme ve yatay deprem kuvvetine, meydana gelen çatlakların yönü, şekli ve genişliği dış duvardaki pencere ve kapı boşluklarının yerine ve miktarını bağlıdır (Güner 2018).



Şekil 3.11 Tuğladan yapılmış yığma duvarlarda çatlaklar (Öztaş 2009).

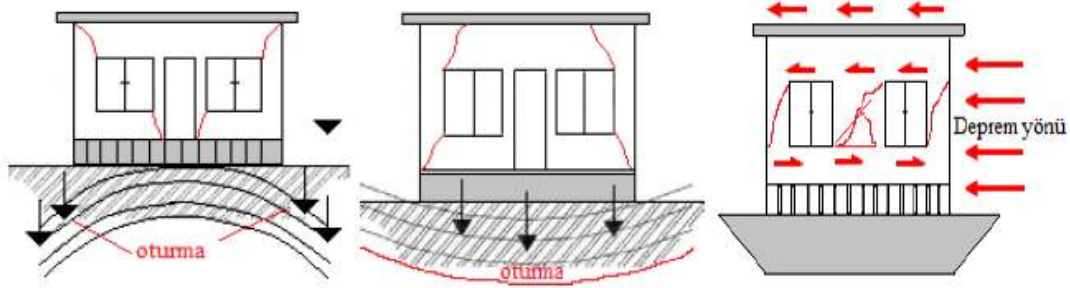
Deprem etkisi ile çatlak oluşması, depreme karşı kuvvetli yapı prensiplerinden vazgeçilmesi neticesindendir. Çatlama görülen yapılar incelendiğinde, simetrik plana sahip olmayan yığma yapıların ağırlık ve rijitlik merkezinin birbirine uzak olmasıdır.

Yığma yapının tasarım aşamasında ilerde hasar görmemesi için ağırlık merkezi ile rijitlik merkezinin aynı nokta da olarak tasarlanmasıdır. Ağırlık merkezi ile rijitlik merkezi aynı olmayan yapılarda, deprem kuvvetinin ağırlık merkezine etkimesinden dolayı ağırlık merkezinin rijitlik merkezi etrafında dönme eğilimine girer ve yapı zorlanır. Neticede burulma ve çatlama meydana gelir. Deprem kuvvetine dik doğrultuda maruz kalan duvarlar rijit yapıya sahip olmadığından, yer değiştirmeler ve çatlama olabilir (Öztaş 2009).

3.3.2.3 Taşıyıcı Yığma Duvar Davranışı ve Hasarları

Çatı ve döşemelerden gelen yükler taşıyıcı duvarlara aktarılır. Yapıda çatlaklar, etkiyen dış yüklerin yapının çekme kapasitesinin üzerine çıkması Şekil 3.12’de görüldüğü gibi

olur. Yapıda çökme ya da depremden kaynaklanan dış yükler; temel oturmaları, farklı sunme ve nemdir. Bu gibi hasarlar yük taşıma kapasitesini, kalıcılığını ve görünüşünü etkiler. Taşıyıcı sistemde boyutlandırma yanlışlıkları genelde yapının ilk tasarımından kaynaklanır ve önemli hasarlar meydana gelir (İnt.Kyn.6).



Şekil 3.12 Yatay ve düşey yüklerin sebep olduğu taşıyıcı duvar çatlakları (Döndüren vd. 2017).

Sistemde yıkılmalara neden olan hususlardan biri de kesit yetersizliğidir. Duvar kesitleri yetersiz ise duvar bel vermeye başlar, payandaların kesiti yetersiz olursa üzerine oturan kemer, tonoz ve kubbede açılmalara yol açar. Binaların bel vermesi olarak adlandırılan hadise şu şekilde olur, yapılarda basınç, eğer zemin eşit ve dengeli bir yapıda ise binanın orta noktasında en fazla görülür ve en fazla oturma binanın ortasında meydana gelir, binanın bel vermesi bu şekilde oluşur. Yapıların taşıyıcı sistemlerinin sorunlu olduğunu kâgir duvarlardaki çatlamalardan anlayabiliriz. Yapı taşıyıcı sisteminde bulunan unsurların olağan dışı hareket etmelerini, çatlakların boyutları ve çatlakların ilerlemesi izlenerek anlaşılabilir. Çeşitli yöntemler ile yapılacak incelemelerin kâgir duvarlar üzerinde bulunan çatlaklara bakılarak gerekli malumat edinilmesi mümkün olacaktır(Akdeniz 2011).

Betonarme yapılarda taşıyıcı olan ve taşıyıcı olmayan yapı elemanları bulunmaktadır bu yüzden oluşan hasarların taşıyıcıya etkisi ile orantılıdır fakat çoğu yığma yapıda duvarlar taşıyıcı özelliği olduğundan tüm hasarlar taşıyıcı sistemi etkilemektedir. En ufak zeminde meydana gelen hareket ve bu harekete bağlı temel oturmaları yığma yapı duvarlarında çatlama olarak gözlemlenmektedir. Yığma yapılarda kullanılan malzemelerin gevrek malzemeden oluşması, etkiyen yüklerin düşük olmasına rağmen elastik geriliminde düşük olması duvarlarda çatlamalara neden olmaktadır. Kolaylıkla hasar görmesinin sebebi de dayanımı düşük bir malzeme olmasıdır (Güner 2018).

Yığma kargir yapılarda deprem esnasında oluşan başlıca hasarlar şu şekildedir,

- Kesme çatlaklarının duvar düzlemi içinde olması.
- Duvarların düzlem dışına devrilmesi.
- Duvarların köşe bağlantı noktalarından ayrılması neticesinde yıkılması.

Genelde yapı stabilitesini tehlikeye sokmayan hasarlardan biri de duvar düzlemi doğrultusundaki yer değiştirmelerdir. Duvarda oluşan çatlakların ilerlemesini duvar düzlemi doğrultusunda sürtünme sınırlar. Çatlakların büyümesinin nedeni duvar düzlemi istikametinde etkiyen kuvvetlerin altında olmasıdır. Diyagonal çatlaklar, pencere ve kapı boşluğu olmayan duvarlar da oluşur. Yapıdaki dinamik özelliklerden olan yer değiştirmeler artması ve doğal frekanslar azalması, yapı titreşiminin sebep olduğu çatlakların oluşmasından meydana gelir. Duvar yüzeyinde meydana gelen bağımsız duvar blokları oluşması ve çatlakların istikametinde hareketin artması, yanal hareketin devam ettikçe düşey yük ve sürtünmenin tesiri ile çatlakların birleşmesinden kaynaklanır. Rijitliği azalmasına neden olan kâgir yapının titreşim periyodu uzamasıdır. Blokların kayıp duvar dışına düşmesi ince duvarlarda diyagonal çatlak oluşmasıdır (Selçuk 2019).

Gerilme yoğunluğu yüksek olan yerlerde çatlaklar meydana gelir. Mevcut duvarın düzlemine dik olacak şekilde eğilme gerilmesi veyahut mevcut duvarın düzlemi istikametinde meydana gelen kayma gerilmesi ile kapı ve pencere civarlarındaki çatlaklar oluşur. Duvarlara etkiyen, düzlemine dik ve doğrultusundaki birleşik kuvvetlerin etkisi ile birleşim yerlerinden düşey veya diyagonal çatlakların ayrılmasına neden olur. Düşey ya da diyagonal çatlakların oluşmasına, boşluksuz uzun duvarlarda düzleme dik doğrultuda etkiyen kuvvetler, alt tarafta yatay çatlaklar sebep olur. Duvarların düzlem dışı istikamete yer değiştirmesi büyük bir tehlikedir ve yığma yapının yıkılmasına yol açabilir. Duvar kalınlığı ve duvarın yükseklik kalınlık oranı, çatlama duvarların düzlemine dik olan kuvvetlere direnmesinde önemlidir. Duvar kalınlığında narinliği (yükseklik/kalınlık) λ ile temsil edilir. $\lambda < 6$ ise duvar kalın kabul edilir, $\lambda = 6 - 8$ ise duvar orta kalınlıkta kabul edilir, $\lambda > 8$ ise duvar ince olarak kabul edilir (Akdeniz 2011).

Deprem esnasında davranışı iyi olan duvarların, yüksekliği tabandaki duvar kalınlığının 8 katını geçmediği görülmüştür. Yapı sisteminin düzlemine dik etkiyen yüklere karşı stabilitesini arttırmak için, duvar üstüne duvarları bağlayan kiriş yapılması veya üst döşeme ya da çatının taşıyıcı unsurlarına yapılacak ekler yapıldığında stabilite artar (Döndüren vd. 2017).

3.3.2.4 Malzemeden Kaynaklanan Hasarlar

Yapısal hasarların oluşmasına, harç ve tuğla gibi unsurların kalitesinin düşük olması yapılar da hasara neden olur. Hasara neden olmasından dolayı malzemelerin karakteristik özelliklerinin yeterliliği önemlidir. Yapılarda duvarların tahrip olma nedenlerinden biri de; yapısında kil bulunduran kum ile çamurdan harçlar kullanılarak yapılan taş ve yığma yapıların düşük gerilme değerlerine sahip olmasıdır (Güner 2018).

3.3.2.5 Kötü İşçilikten Kaynaklanan Hasarlar

Yapım tekniği ve işçiliğin ne kadar önemli olduğu, her ne kadar malzemeler yüksek kalite de olsa bile ortaya çıkmaktadır. Duvarın örülmesinde yapılan kusurlar, yığma yapı elemanlarının birbirine yapıştırılmasında yeterli olmadığı durumlarda hasarlar meydana gelmektedir (Selçuk 2019).

3.3.2.6 Hava Kirliliği ve Trafikten Kaynaklanan Hasarlar

Yapıların dış cephelerine havada bulunan gazlar ve eriyiklerde yapılara zamanla aşınmasına ve özelliklerine zarar vermektedir. Binaya etkiyen titreşim kuvvetlerinden biri de taşıtların yaratmış olduğu titreşimlerdir, bunlar yapı temeline yaptığı etki ile hasara neden olabilirler (Çırak 2011).

3.3.2.7 Doğal Afetler ve İnsanların Sebep Olduğu Hasarlar

Depremeler yapıya etkiyen en büyük doğal afettir. Yapıların hasara uğramasına neden olan hususlardan bazıları, depremden kaynaklanan zeminde kayma, sıvılaşma ve buna

benzer hadiselerdir. Yapıya etkiye diğer doğal afetler ise heyelan, sel ve tayfun yapıları önemli ölçüde zarar vermektedir. Yapılara uygulanan eklentiler ve onarımlar, bakımının yapılmaması, maksadı dışında kullanım ile taşıyıcı sistemlere tesir eden değişiklikler insanların sebep olduğu hasarlardır (Kara 2009).

3.4 Tarihi Yapılarda Onarım ve Güçlendirme Tekniklerinin Belirlenmesi

Alışlagelen tekniklerin ve yapı malzemelerinin günümüz yenilikler ile beraber kullanılması, eski yapıların onarım ve koruma için elzemdir. Koruma şartlarına uygun muhafaza edilmesi, tarihi yapıları günümüze ve ileriye taşımaktadır. Venedik Tüzüğü adı verilen, bir tüzük yayınlanarak eski yapılara müdahale yapılması uluslararası düzeyde 1964 'de ortaya konmuştur. Sanat tarihi ve arkeolojik inceleme yapılması, bir yapının farklı dönemlerinde yapılan ilaveleri korunarak, yapıya eksik parçalar ve bölümler, doğrusunu anlamayı engelleyecek şekilde birleştirilmeler ve mevcut yapıya eklentilerin yapılmaması, bütün ülkelerin kabul ettiği tüzük ilkeleridir. Özgün yapım yöntemleri ve malzeme özellikleri kullanılarak restorasyon yapılmalı ve istendiğinde sökülüp düzeltilebilmelidir (Sesigür vd, 2007).

Bir yapının restorasyon işlemleri asgari düzeyde müdahalenin olacağı tekniğin tercih edilmesi, “Mimari Mirasın Analizi, Korunması ve Strüktürel Restorasyonu” isimli 2003 yılında ICAMOS’un ilkelerinde belirtilmiştir. İlerleyen sürede yapı hakkında yeni bilgilerin öğrenilmesi, yapıda düzeltmelerin yapılma ihtiyacı doğurabilir, bu düzeltmelerin kolaylıkla yapılabilmesi için yapılan restorasyonların istenildiği zaman yapıya zarar vermeden geri döndürülebilir olması gerekir. Gelecekte yapılması muhtemel işlemlerin engellenmemesi ehemmiyetle üzerinde durulduğundan, geriye dönüşü olan müdahaleler yapılmalıdır. Tarihsel, belge, estetik, sembolik, kullanım değeri ve kültürel gibi niteliklerin kaybedilmemesi için, tarihi eserlerin onarım ve güçlendirmelerin önemle vurgulanması gerekmektedir (Armağan 2012).

Taşıyıcı sistem, temel ve diğer elemanların güçlendirilmesi, tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde 3 esas başlıkta incelenebilir. Yapının bazı bölgelerinin yıkım-söküm işlemi, yapıda kullanılan malzemelerin iyileştirilmesi, kısmen güçlendirme ve onarım,

yapının üst kısmının takviye edilmesi, binayı taşıyan temelin güçlendirilmesi, kubbe, tonoz ve kemerin birbiri ile etkileşiminin artırılması 3 esas başlık incelendiğinde görülmektedir. Eski yapılara tatbik edilecek olan müdahalelerin asgari düzeyde olması, bu sayılan hususlar göz önünde tutulduğunda önem arz etmektedir (Yaldız vd 2011).

3.4.1 Taş Yığma Yapılar İçin Kullanılan Onarım/Güçlendirme Yöntemleri

İki esas unsur eski yapıların miadını belirler. Zemin sorunları ve depremler bunlardan birincisidir. İkinci unsur ise; insanların sebep olduğu hasarlar, çevre doğa şartları ve yaşam sürecidir. Zemin sorunları, yangınlar, çevre etkilerinin meydana getirdiği fiziksel ve kimyasal tahribatlar ve depremler, bu sayılan sebeplerden ötürü memleketimizdeki tarihi yapıların çoğu yıpranmıştır.

Kısmen ya da tamamen yıkılma gibi neticeler; taşıyıcı sistemdeki düzensizlik ve süreksizlik sebebiyle çatlaklar ve çatlaklar sonucu meydana gelmektedir. Yapının oturduğu zemin özelliği, taşıyıcı sistem, kullanılan malzeme ve yapının tarihi niteliği, tahrip olmuş tarihi yapıyı güçlendirmeden önce teferruatlı olarak incelenmelidir. Uygulanacak güçlendirme ve müdahaleye, sayılan çalışmaların sonucuna göre karar verilmelidir. Yapının sağlamlaştırılması, yapıda kullanılan malzemenin güçlendirmesi, yapı taşıyıcı sisteminin sağlamlaştırılması, yapının oturduğu zeminin sağlamlaştırılması, bütünleme, yapının yenilenmesi, yeniden yapım, yapının temizlenmesi ve taşıma şeklinde tarihi yığma yapılarda uygulanan onarım ve güçlendirme tekniklerini sınıflandırmak mümkündür (Öztaş 2009).

Taşıyıcı sistem, temel ve diğer elemanlarının güçlendirilmesi, tarihin yapıların onarım ve güçlendirilmesinde sağlamlaştırılma teknikleri 3 esas başlıkta görülmektedir. Yapının bazı bölgelerinin yıkım-söküm işlemi, yapıda kullanılan malzemelerin iyileştirilmesi, kısmen güçlendirme ve onarım, yapının üst kısmının takviye edilmesi, binayı taşıyan temelin güçlendirilmesi, kubbe, tonoz ve kemerin birbiri ile etkileşiminin artırılmasıdır (Utkan 2014).

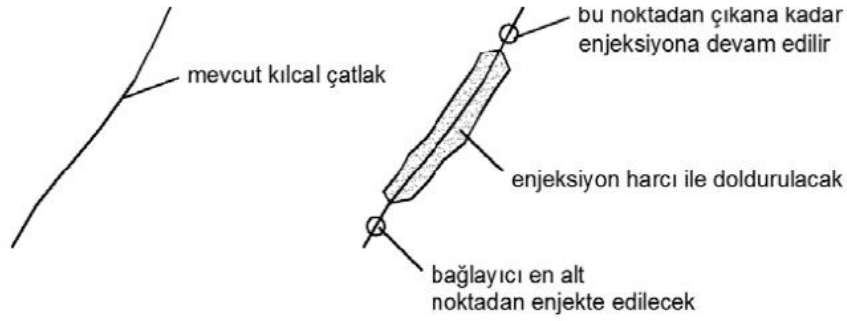
Yüksek mukavemetli ve paslanmayan çelik, epoksi, farklı yapıya sahip çimentolar, tamir harçlar, lif destekli polimerler ve kendine has malzemeler tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılır. Kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler, onarım ve güçlendirilme işleminde hali hazırda bulunan malzeme ile zamanla sorun çıkartmayacak ve yapıldıktan sonra eski haline dönüşebilecek marifette olması beklenir. Genellikle yerel onarım, mahallî takviye ve temel takviye işlemleri tarihi yapıların güçlendirme ve onarılmasında kullanılmaktadır (Yaldız vd. 2011).

3.4.1.1 Çatlakların Onarımı

Mekanik nedenlerden olan; kazı yapılması, deprem etkisi, zeminin zayıf oluşu, oturma veya taşlara bitişik olan demir unsurların paslanması çatlakların oluşumuna neden olur. Yapıda güçlü olmayan lokasyonlarda çatlamlar oluşur. Dik istikamette çatlakların oluşmasına özellikle kuvvetli dinamik etkilere maruz kalan yapılarda çekme gerilmesi sebep olur. Hasar nedenleri tespit edilmesinde en önemli rolü çatlakların biçimi ve yönü belirler. Binaların genel statik durumuna olumlu etkisi olduğu kesin durumlardan biri de lokal güçlendirme olsa da yığma yapı unsurlarından olan duvarlardaki çatlakların onarılmasıdır. İki grupta incelenen çatlaklar, derinlik ve önemleridir (Utkan 2014).

Kılcal (ince) çatlaklar: ‘Kılcal çatlak’ olarak adlandırılan çatlak çeşidi, yüzeysel ve statik sistemi riske atmayan Şekil 3.13’de gözüken çatlak çeşitleridir.

Yapısal Çatlaklar: ‘Yapısal çatlak’ olarak adlandırılan çatlak çeşidi, derin çatlaklara neden olan taşıyıcı sistemin hatalı olması ya da genelde deprem, oturma, dengesiz yük dağılımıdır. Yapının tamamı için tehlike arz eden etkenlerden çatlak, yapı malzemesi olarak taşı güçsüzlendirdiği gibi, çatlağın uzunluğuna ve derinliğine bağlıdır.



Şekil 3.13 Çatlakların enjeksiyon yöntemi ile onarımı (Yaldız vd. 2011).

Duvarlarda kullanılan kendine has malzemeye emsal nitelikte olan harcı, ince ve kalın duvarlardaki çatlak ve duvarların onarımında avantajlı yöntem olarak boşluklara enjekte edilerek kullanılmasıdır (Şişik 2017).

Duvarlarda oluşan çatlak, boşluk gibi lokasyonlara, uygulamalar içerisinde başı çeken enjeksiyon yöntemi, 14 mm çapı bulunan ve 15 ila 40 cm aralığında bulunan delikler açılmak suretiyle, söz konusu deliklere çatlak, boşluk olan bölgelere Şekil 3.13’de ki gibi poliüretan reçinelerinin enjekte yapılması. Yapıda arzu edilen yalıtım ve onarımın sağlanması için çatlak ve boşlukların kalıcı şekilde tamamen kısa zamanda prizlenen reçineler ile yapılabilir. Çatlakların ve taşların içindeki boşlukların doldurulması söz konusu uygulama alanının ebatına göre enjekte edilen malzemenin miktarı değişkenlik gösterir (Şişik 2017).

Enjeksiyon yönteminin işlemleri sırasıyla; Hava basıncı yardımıyla boşluğun-çatlağın temizlenmesi, bir süreliğine çatlakların kapatılması, 14 mm çapında 10 ila 20 cm ara ile 15 ile 40 cm derinliği bulunan delik açılması, enjeksiyon packerlerinin çakılma suretiyle, enjeksiyon pompası vasıtası ile reçinelerin uygulanması, uygulanan packerlerin söküldükten sonra delik noktalarının yüzeysel onarılmasıdır (İpek 2017).

Çatlak onarımında çekme gerilmelerini karşılayacak elemanların kullanıldığı durumlar ise uygulama yapılacak çatlak genişliğinin 10 mm’den büyük olması ya da büyük kütlelerin düşmüş olması durumudur. Dikiş ve çelik bağlantı elemanları, çatlağa bitişik taş veya tuğlaların yerine konarak çekme gerilmesinin karşılanması sağlanır. Değeri yüksek olmayan basınç altında boşluklar doldurulur. Duvarın her iki yüzeyinde de bu

işlem uygulanmalıdır. Yapılan işlemin kontrolü değişik yüksekliklerden alınan örneklerin incelenmesi ile ortaya çıkar ve düşük sonuçlar var ise enjeksiyon takviyesi yapılmalıdır (Aköz 2008).

3.4.1.2 Taşıyıcı Elemanların Güçlendirilmesi

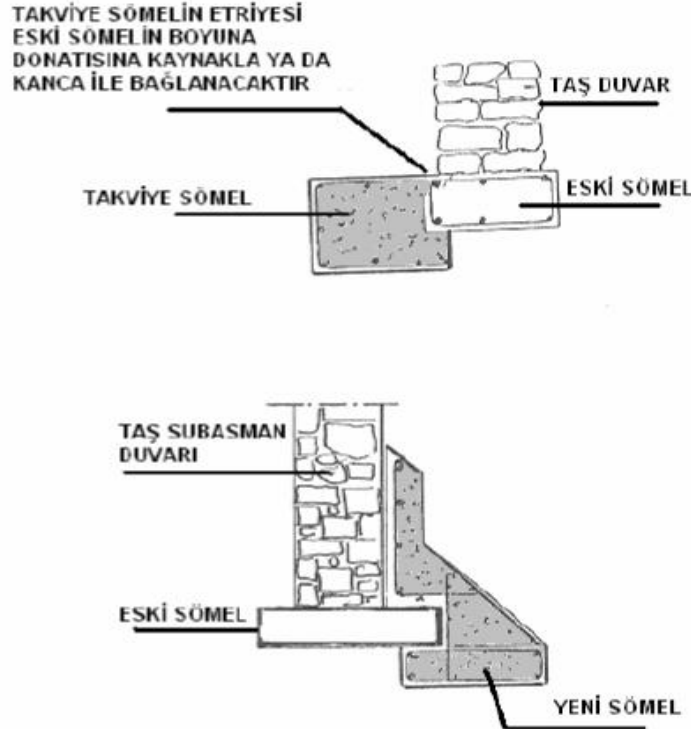
Yapısal bütünlük diğer ismiyle rijit diyafram tarihi yapıların kat hizalarında sağlanması gereken en büyük sorunlardan biridir. En önemli hususlardan biri de yapılarda bütünlük sağlanmasıdır, bu nedenle takviye veya onarımların, deprem esnasında tekil hareketin önüne geçilerek deprem kuvvetinin tüm elemanların kesitlerine eşit tesirin olması amaçlanır. Yanal ötelenmelerin belli sınırlar dahilinde kalması bu sistemle amaçlanmaktadır. Yığma yapının içinde yatay çelik bağlantılar kullanılmasındaki temel amaç; yapıdaki taşıyıcı elemanlarda bütünlük sağlanmak ve plastik mafsallı davranışını oluşturmaktır. Böylelikle çekme gerilmesi dayanımına da katkı sağlanmış olacaktır. Çekme kuvvetinin fazla olduğu noktalar olan duvarların kubbelerle birleştiği yerlerde çelik bağlantılar kullanılmaktadır (Öztaş 2009).

Aynı zaman da kazık perde ve dolgu duvarların ek bölgelerinde kullanılmaktadır. Ardgermeli beton kablolar, yapı da estetiği bozmayacak ve yapının girintili çıkıntılı yapısından faydalanacak şekilde yapıya dayanım kazandırılabilir. Ardgerme beton kabloları, batı Avrupa da birçok tarihi yapı ve dini yapının onarımında kullanıldığı görülmektedir.

3.4.1.3 Temellerin Güçlendirilmesi

Temel kesitlerinin özellikli beton yardımıyla büyütülmesi, Şekil 3.14’de de görüleceği üzere taşıma kapasitelerini katkı sağlanması ve zemin gerilmesini düşürmeye yardımcı olur. Bu yöntem basit temeller yani derin olmayan temellerde bu yöntem kullanılır. Tabi ki tatbik esnasında dikkatli ve hassas olunmalıdır. Üzerinde taşıdığı duvarın iz düşümü ile bırakılarak temel çok faydalı olmayacaktır. Bunun yerine duvar hizasının dışına taşarak her iki tarafa simetrik şekilde genişletilmelidir, böylelikle duvar yükleri temele ve temel yükleri de zemine homojen biçimde aktarılır. Proje çalışmaları yapıldığı sırada,

yapıya etkiyen yükler, yapı güvenliği göz önünde bulundurularak temele düşen yükler ekler yapılmalıdır (Aşık 2018).



Şekil 3.14 Detaylı temel güçlendirmesi gösterimi (Kara 2009).

3.4.1.4 Duvarların Güçlendirilmesi

Kısmi yıkılmalar, yapının temelinde meydana gelen hareketler, güçsüz malzeme, çekme kuvveti veya ısı değişikliklerinden kaynaklı hareketler neticesi hasarlar, malzemede bozulmalar, duvarlarda kılcal ya da büyük çatlaklar, şişme, düşeyden doğrultudan sapmalardan ortaya çıkar. Yapı malzemelerini bir arada tutan bağlayıcı malzeme, yapının ana malzemeleri kadar önem arz etmektedir. Duvar örme işleminde duvar harçları ve taş ile tuğla arası derzleri kapatmak için derz olarak geleneksel yapım usulünde harç olarak geçmektedir. Kiremit ve taş kırıkları harcın içine katılarak tutucu özelliğine katkı sağlar, çoğunlukla kireç kökenli harçlara katılır (Yaldız vd. 2011).

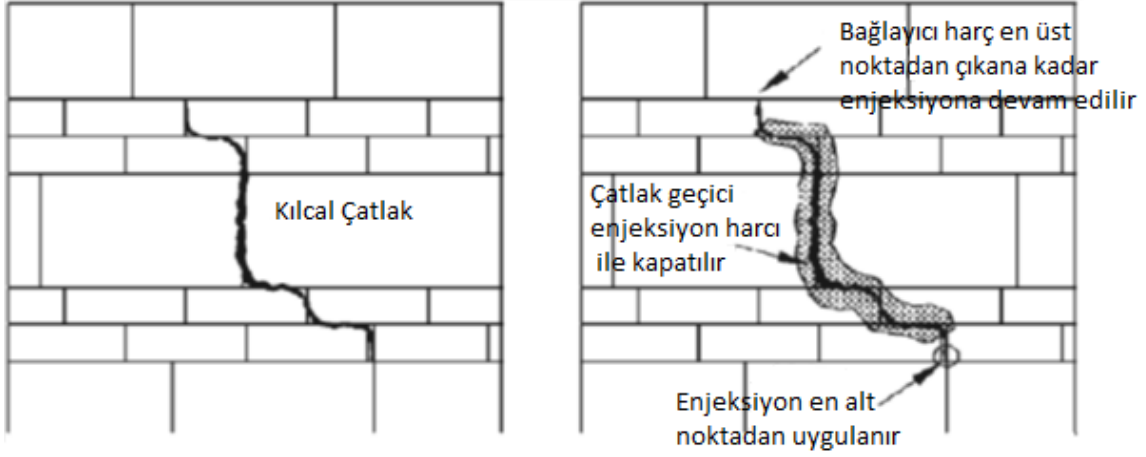
Duvarlarda şişme olması, zayıf duvar örgüsü ya da âşık yük nedeniyle duvarlarda genişleme ile meydana gelir. Bir duvarda şişme olması durumunda şişmeyi kapatmak ve yüzeyi hem düzleştirmek hem de o şişkinliğin yapıya zarar vermesini önlemek için

duvarın var olan yüzü ile karşı tarafına yeni kalıp konarak tamir edilir. Derin olmayan çatlakların tamirâtı, oluşmuş taş duvar üzerinde sürekli devam eden çatlağın etrafında 50-60 cm sıvalar darbe ile düşürölür, çatlağa bitişik taşlar çıkarılır ve çıkan taşların yerine bağ plakalar yerleştirilir, kalan boşluklar ise özel bağlayıcı harçlar ile doldurulur. Kâgir Duvarlarda Nemin Giderilmesi: Kâgir duvarların bağlayıcı ya da taş unsurlarının içerisinde tuz bulunmaktadır. Bu tuzlar yapı elemanlarının ve bağlayıcı unsurlara etkiyen nem, tuzu yüzeye çıkarmaktadır, böylelikle malzemelerde bozulmalara çatlamalara sebep olmaktadır (Arslan 2006).

Duvardaki oluşın gidermek için aşağıdaki yöntemler kullanılabilir,

- Drenaj: Yapının oturduğu zemin içerisinde bulunan nemin yapıya zarar vermesini önlemek için duvarlarda drenaj delikleri açılabilir.
- Duvara Kimyasal Maddelerin Uygulanması: Massari yöntemi olarak da bilinen, silikon esaslı kimyasal maddelerin duvarlarda 20° açı ile enjekte edilme yöntemidir.
- Elektro-Osmose Sistemi: Doğal elektrik akımı, kılcal yollar ile suların yer çekimine karşı yönde hareket ederek oluşur. Kuru duvar istikametinde bu akım ilerler. Pozitif yönden negatif istikamete doğru, su doğal ya da yapay olarak oluşın elektriksel alanı ile iletilen bu hadiseye elektro-osmose olarak bilinir ve genellikle kalın duvarlara uygulanır. Güç kaynağına bağlı 6 volt değerinde doğru akım duvar yüzeyine ve toprağına yerleştirilir. Nemli duvara uygulanan bu yöntem otomatik olarak çalışır duvar kurudukça azalır nem yükselirse tekrar devreye girer (İpek 2017).

Enjeksiyon: Donatı çubuğı ve öngermeli donatı çubuğının kâgir duvara bağlanması, duvarı güçlendirme, kâgir duvarların taşıma gücüne katkı sağlamak, boşluk ve çatlakları doldurmak, aderansı düşmüş duvar malzemelerini sağlamlaştırmak için Şekil 3.15’de gibi kullanılır. Hidrolik kireç basınçlı pompa yardımı ile epoksi bazlı suni reçineler dolgu malzemesi olarak uygulanır.



Şekil 3.15 Taş duvara çimento Enjenkte (Şişik 2017).

Enjeksiyon metodu tek başına yapıyı tam manasıyla sağlamlaştırdığı söylenemez. Bu yöntem ile çekme kuvveti tesirinde olan çatlakları ebatları ve önceden doldurulan boşluklar artacaktır. Çekme donatısı yada buna benzer malzeme yardımıyla enjeksiyon yöntemi daha verimli olacaktır. Laboratuvar ortamında, yapıda kullanılacak dolgu malzemesinin özellikleri incelenmeli ve uygulanacak bölge temizlenip ısıtılarak tatbik edilmelidir (Öztaş 2009).

3.4.1.5 Taşıyıcı Olan Kâgir Duvarların Güçlendirilmesi

Çelikten İmal edilen Bantlarla Güçlendirme: Yapının donatı ile bağlanması olarak ta bilinen duvardaki çatlakların güçlendirilmesi ve çatlak onarımında kullanılır. Bu donatıların başlarında bulunan bulonlar sıkılarak öngerme sistemi oluşturulur. Gergi demirlerinin duvar direncini dolayısıyla yapının direnci katkı sağladığı uygulanan tetkiklerde görülmüştür. Bu tetkikler sonucu gergi demirlerinin yapı için en uygun yerleri de tespit edilmiştir. Bu yerler duvarların 3 te 1 aralıklarla taksim edilerek yerleştirilmesi en uygun görülmüştür (Akdeniz 2011).

Dikiş ile güçlendirme: Bu yöntem ile Şekil 3.16 ‘ da da görüleceği üzere çatlağın her iki tarafına yerleştirilen demir ve paslanmaz çelik monte edilerek dikiş ile kapatılarak güçlendirme yapılır. Dikişin alttan yukarı doğru yapılması gerektiği yerler ise düşey çatlaklardır. Balık ve kırlangıcın kuyruğuna benzeyen paslanmaz çelikten imal edilen metal kenetler kesme taş duvarlarda çatlağın iki tarafına sabitlenerek yapılır. Dikiş için

duvara monte edilen metal kenet aparatlarının boşlukları da epoksi ile doldurularak daha güçlü sabitlenmesi işlemi daha sağlıklı hale getirir (Utkan 2014).



Şekil 3.16 Çelik dikiş elemanı ile duvar çatlakların giderilmesi (Aşık 2018).

Yığma Yapıları Levhalarla Güçlendirme: Genellikle tuğladan yapılmış yığma yapılarda kullanılır. Tamir edilmek istenen bölgenin sıvası her iki tarafta tuğlaya kadar temizlenir, çatlağın olduğu tuğla iki sıra bir 10 cm harçtan içeriye doğru temizlenir. Temizlenen yere 4/150/200 mm ebatlarında levha temizlenen bölgeye konur ve akabinde montaj aletleri yardımıyla 5 cm daha çakılır. Çimento şerbeti levha ile duvar arasına ilave edilerek doldurulur. Çatlağın olduğu tamir edilen bölge kireçsiz harç ile sıvanır (İnt.Kyn.7).

Eski Duvara Yeni Duvar İlave Edilmesi: Taşıyıcı duvarların kısmen ya da tamamen devre dışı bırakılması, yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesi esnasında olduğu görülmektedir. Bu güçlendirme yöntemi sırasında eski ile yeni duvarın birbirine yapışması ve yükleri beraber karşılaması gerekir aksi halde duvarlar arası boşluklar soğuk derz oluşarak farklı davranış sergilerler bu istenecek bir durum değildir. Bunun önüne geçmek için plakalar kullanılır. 15-20 cm ek yapılacak duvar kesiti ile plaka arasına boşluk bırakılarak katkılı çimento harcı ile bu boşluk doldurulur. Yeni örülecek duvar ile tuğla arasındaki derzlere uygun olacak şekilde plakanın dışarda kalan 10 cm' lik bölümü örülür (Arslan 2006).

3.4.1.6 Kubbe, Tono ve Kemerlerin Güçlendirilmesi

Mesnetlerin kesitleri düşmesi ve birleşik eğilme etkisi (moment + normal kuvvet) etkisi, farklı yüklemeler etkisi ile değişik kesitlerde çatlamlar ve mafsallardan oluşumundan

kaynaklı ezilme/parçalanma olarak görülen hasarların nedenidir. Güçlendirme ile ezilen, konumu değişen elemanların yenileri ile yer değiştirmesi, oluşan çatlakların normale oranla zayıf harç ile takviye edilmesi, gergilerin gerilmeleri karşılayacak şekilde gergin tutulması ve olması gerektiği gibi mesnetlerin sabit tutulması bunlar güçlendirmenin özetleridir (İnt.Kyn.7).

Gergi elemanları kullanılarak, yer değiştirmelerin olduğu kemerlerden farklı olarak tonoz duvarların mesnetlendiği duvarlardaki açılmalar düzletilerek tonoz ilk şekline kavuşturulur. Radyal çatlaklar, kubbe eteğinde oluşan çekme gerilmelerinin taşınamaması sonucu tipik hasar çeşididir. Çekme çemberleri çatlakların açılmasını önleme açısından en iyi önlemler arasındadır. Çekme çemberlerinin çelik olması avantajları yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Dezavantajlarından biri paslanma olayıdır. Paslanmanın önüne geçmek için paslanmaz çelik malzeme kullanılmalıdır ya da beton kesitin içine yerleştirilmelidir (Kara 2009).

3.1.4.7 Döşemelerin Onarımı ve Güçlendirilmesi

Düşey taşıyıcılar ile yatay yükler arasında yük aktarımı yapan taşıyıcı sistemlere döşemeler denir. Döşemelerin, rijit yani bir bütün halde hareket etme özelliği ve döşeme ile düşey taşıyıcılar arasında bağlantı zayıflığı en büyük sorunları teşkil etmektedir. Yıpranma ve malzemelerin kendi özelliklerini yitirmesi döşemelerin yük taşıma kapasitelerini azaltmaktadır. Ahşap döşemelerin tamir edilebilmesi şu şekillerde olabilir, sorunlu eski elemanlar yerine yenileri ile değiştirmek ya da döşemenin taşıyıcı doğrultusunun ters istikametinde yeni bir döşeme oluşturulması (Akdeniz 2011).

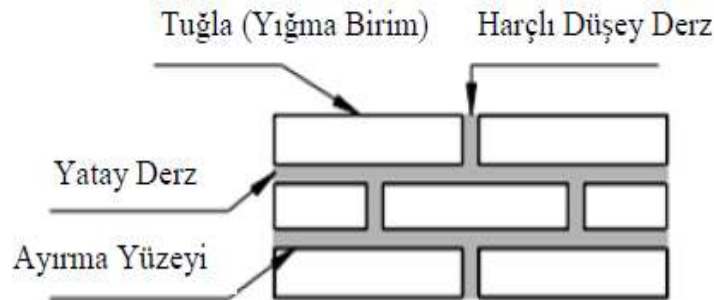
Volta ve ahşap döşemeler döşeme hizasında çelik hatıllar ya da çelik kafesler ile tarihi yığma yapılar takviye yapılmış olur. Bir diğer onarım yöntemi de kat hizasında betonarme hatıllar yapılmasıdır. Bu şekilde yatay yükler altında döşemelerin rijit bir davranış gösterir ve deprem esnasında kat kütlelerinin maruz kalacağı yükleri karşılanmış olur (Kara 2009).

3.5 Yığma Yapıların Modelleme ve Analiz Yöntemleri

Yapılarda malzeme kendi özellikleri ve bu malzemelerin bir arada kullanımları sonucu ortaya çıkan malzemenin yapısal özelliklerinin tespiti, oldukça önem arz etmektedir. Yığma yapılarda, değişik özelliklere sahip malzemeler, bu malzemelerin kullanılma yöntemleri ve yapısal oluşum nedeniyle yığma yapıların kendine has bir durumu oluşmaktadır.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan betonarme yapıları oluşturan malzemeler her ne kadar farklı özelliklere sahip olsalar dahi yapılan kabuller neticesinde sonlu elemanlar metodu ile modellemek mümkündür. Yığma yapıların modellenmesinde kullanılan sonlu elemanlar yöntemi ise betonarme yapılara göre değişiklikler göstermektedir. Bunun sebebi ise yığma yapılarda kullanılan malzemelerin Şekil 3.17’de görüldüğü gibi farklı yapısal özelliklere sahip olmalıdır. Bu durumda izlenecek yollarda biri, kullanılan malzemelerin tek tek modelleyerek sonlu eleman sayısı arttırmak, diğer yöntem ise kullanılan tüm malzemeleri gerçeğe en yakın özellikler ile tek bir malzeme olarak kabul ederek sonlu eleman yöntemi ile modellemektir (Tetik 2015).

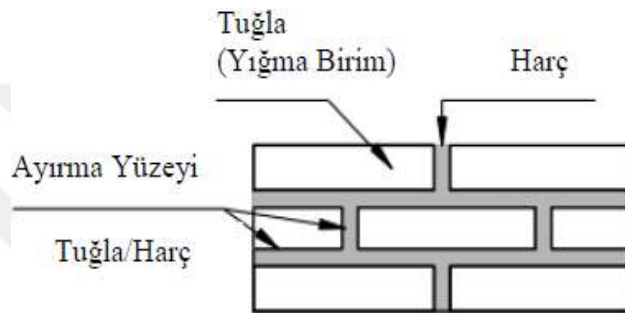
Yığma yapıları modellerken, modelleme tekniklerini yapacağımız kabullere göre 3 farklı yöntem ile izah edebiliriz. Bunlar; Mikro modelleme, makro modelleme ve sonlu elemanlar yöntemi.



Şekil 3.17 Örnek yığma yapı elemanı (Tetik 2015).

3.5.1 Mikro Modelleme Yöntemi

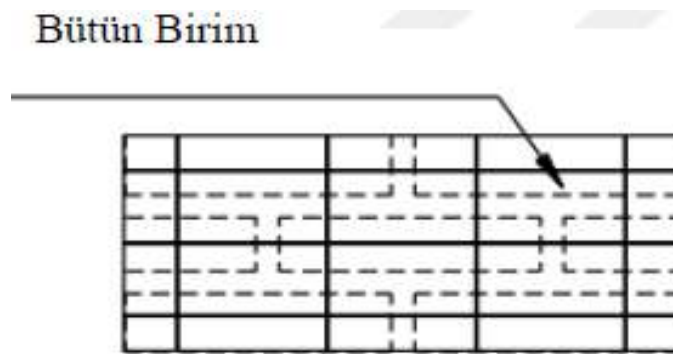
Söz konusu modelleme yöntemi Şekil 3.18 ‘de görüleceği üzere, yığma duvarı bir araya getiren ana malzeme ve harcın kendi mekanik özelliklerini alarak meydana getirir. Eğer bu yapıda bir hasar olacaksa harç ve ana malzemeyi kendi içinde bütün olarak kabul eden bu yöntem de hasarın iki malzemenin birleşim yüzeylerinde olduğu kabul edilir. Bu yöntem lokal analiz yöntemlerinde kullanılmasında fayda vardır, büyük ölçekli yapının bütününe ele alındığı durumlarda terci edilmez (Jaihoon 2019).



Şekil 3.18 Ayrıntılı mikro modelleme tekniği (Tetik 2015).

3.5.2 Makro modelleme

Bu modelleme Şekil 3.19’da görüleceği üzere, mikro modellemeye olduğu gibi, yığma birimler ile harç malzemelerinin birbirleri arasındaki etkileşimi göz önüne alınmadığı için modelleme süresi açısından kolaylık sağlamasından ötürü büyük ve kompleks yapılarda tercih edilmektedir.



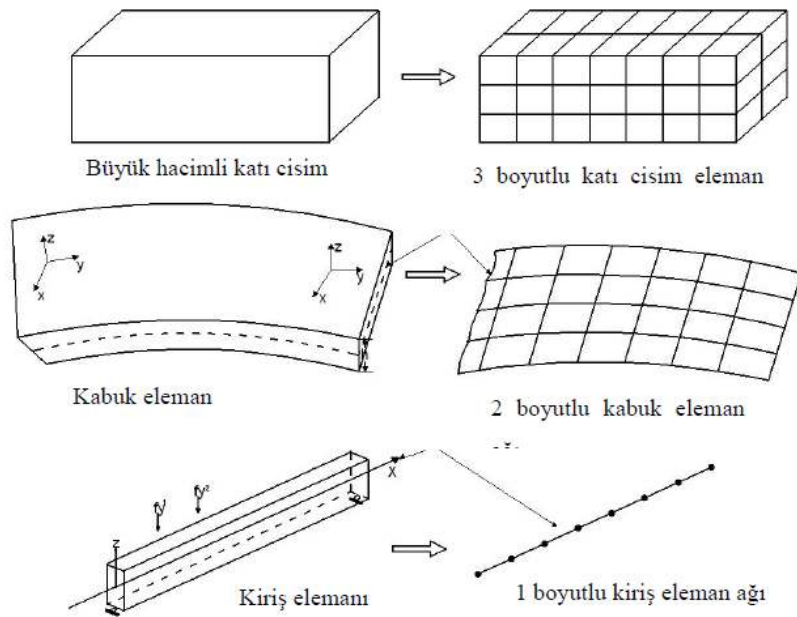
Şekil 3.19 Makro modelleme tekniği (Tetik 2015).

3.5.3 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu Eleman Yöntemi; yapı elemanlarının doğrusal ve doğrusal olmayan, statik ve dinamik tahkiklerinin oluşturulabildiği sayısal bir yöntemdir. Veriler sayısal olarak elde edilebilir (Yılmaz 2006). Söz konusu uygulamanın amacı, problemi sonlu sayıda değişken ile aynı zamanda realiteye uygun şekilde sayısal ortamda çözümlemektir (Omurtag 2010). Bu yöntem, geometrik yapı modelinde gerekli sadeleştirmeler yapıp eleman tipi seçildikten sonra birkaç adımda tamamlanır.

İlk adımda problem, minimize edilerek ağ yapısı oluşturulur. Ağ yapısı, çubuk elemanlar ve bu elemanları birleştiren düğüm noktalarından oluşmaktadır. Kalınlık, uzunluk, atalet momenti gibi geometrik özellikler, malzeme özellikleri, değişkenler (sınır koşulları) belirlendikten sonra elemanlar oluşturulur (Tetik 2015).

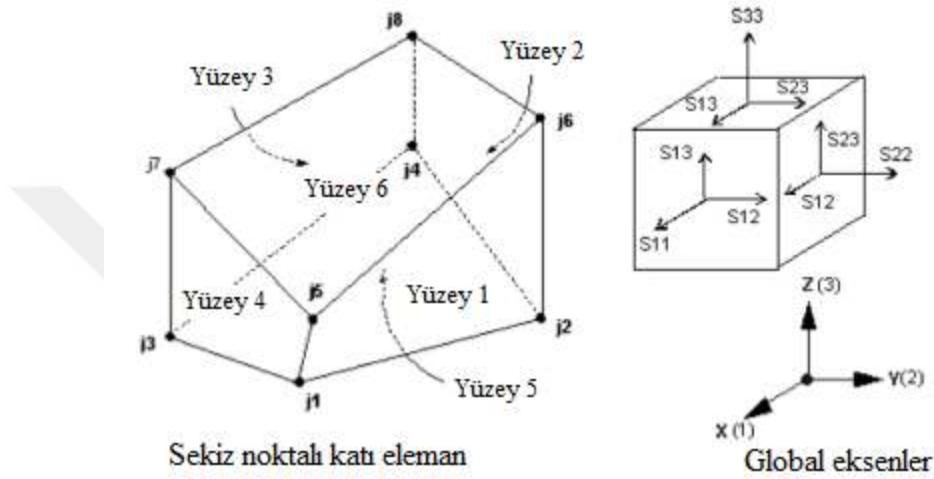
Meydana gelen sorunu çözebilmek adına sonlu elemanlar farklı boyutlarda olabilir. Çubuk, bir boyutlu elemanlar ile plak ve kabuklar iki boyutlu elemanlarla ve yüzeysel taşıyıcılar şartlarının sınırları dışında olan üç boyutlu cisim tarzında Şekil 3.20’de görüldüğü gibi geometrik şekiller üç boyuta sahip elemanlarla çözülür (Omurtag 2010).



Şekil 3.20 Sonlu elemanların SAP2000 modellenmesi (Fahjan 2012).

3.5.3.1 Sonlu Elemanlar Yönteminde İşaret Uyumu ve Yön Kabulleri

Yapıların oluşturulan sonlu eleman modelinde üç boyutlu olarak kullanılan katı elemanların gerilmelerini simgeleyen işaretlerin hangi anlama geldikleri aşağıda gösterilmiştir. Şekil 3.21’de, SAP 2000 programı ile tasarlanan sekiz noktalı katı elemanların yön kabulü ve gerilmeleri görülmektedir. (Tetik 2015).



Şekil 3.21 Sekiz düğüm noktalı katı eleman (Tetik 2015).

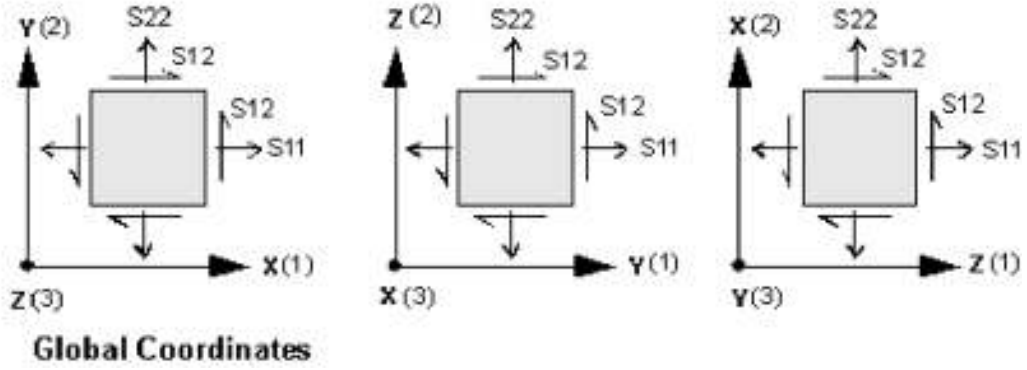
S_{11} = x doğrultusundaki normal gerilme

S_{22} = y doğrultusundaki normal gerilme

S_{33} = z doğrultusundaki normal gerilme

S_{12} = x eksenine doğrultusunda yz düzleminin gerilme bileşeni kayma gerilmesi

S_{21} = y eksenine doğrultusunda xz düzleminin gerilme bileşeni kayma gerilmesi (Dabanlı 2008)



Şekil 3.22 Katı elemana ait x, y ve z eksenlerindeki S11, S22 ve S33 gerilmeleri (Tetik 2015).

3.5.4 Yığma Yapılarda Analiz Yöntemleri

Bu bölümde, yönetmeliklerin belirlediği yöntem ve sınırlamalar ışığında ortaya çıkan analiz yöntemleri ifade edilmiştir. Yapılarda var olan düzensizliklerin çeşidine göre izlenecek yol belirlenir ve tasarımı yapılır. Lineer-elastik davranış sergilediği düşünülen malzemeler için yapılan bu analiz ile yapıların sınır yük vaziyetleri bulunur. Bu yöntem yaklaşık hesap metodu olarak ifade edilir (Tetik 2015).

3.5.5 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Yapıların ilk doğal titreşim periyodu kullanılmak suretiyle yarı dinamik yöntem olan eşdeğer deprem yüğü yöntemi yapılır. Kat seviyesinde kat ağırlıklarının birikmiş olduğu eşdeğer deprem yüğü hesabında kabul edilmektedir. Eşdeğer deprem yüğü hesaplanırken yapının ağırlığı ve yapının bulunduğu zeminden kaynaklı ivme spektrumu dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Eşdeğer deprem yüğü yönteminde yapıya her iki doğrultuda depremler ayrı ayrı tatbik edilmesi gerekmektedir (TBDY 2018).

3.5.6 Mod Birleştirme Yöntemi

Kütlelerin, yapıların düğüm noktalarında toplandığı, dinamik analiz yöntemi olarak kabul edilmektedir. En yüksek mod olan birinci mod ile en yükseğe yakın modların etkiside hesaplara dahil edilerek kütle katılımları istatistiksel olarak bir araya getirilir. Bu şekilde yapıdaki en yüksek iç kuvvetler ve deplasmanlar bulunur (Tetik 2015).

Bu analiz yöntemi, sistem hareketlerinin, deprem hareketine katkı sağlayan serbest titreşim modları, kendi içlerinde değerlendirilerek birleştirilmesi neticesine tabiidir. Binaların katları kütle olarak kabul görür ve katlar için dönme ve öteleme hareketlerinin olduğu kabul edilir. Yönetmelikler, Mod birleştirme yöntemi sonuçları ile Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi sonuçlarının kıyaslanmasını önermektedir (Celep vd. 2004).

3.5.7 Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

Deprem bölgelerinde oluşan deprem ivmelerinin düzgün bir şekilde tespit edilmesiyle gerçekleşir. Belirlenen zaman aralıklarıyla tutulan belli bir yönde meydana gelen ivme değeri zaman tanım alanıdır. Depremlerin kendine özgü oluşumları olduğundan deprem kayıtları olması yeni depremin etkisini tam olarak yansıtılması anlamına gelmez (Doğan 2005).

Deprem kayıtlarının temin edilebileceği farklı üç yöntemden bahsetmek mümkündür. Gerçek depremden alınan veriler, Yapay yolla fiziksel olarak benzeştirilmiş kaynak ve dalga yayılımı kayıtları ve doğal olmayan yollarla meydana getirilen tasarım ivme spektrumu kayıtları. Deprem sırasında elde edilen verilerin teknolojinin ilerlemesiyle artması ve basit yoldan ulaşılabilir olması zaman tanım alanında hesap yöntemi ile yapılacak hesaplamalarda, reel verilere ulaşmada seçilen en uygun yol olduğu görülmektedir (Seçme 2009).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Yalvaç Devlethan Camii ve Çevresi

Akdeniz bölgesinin kuzey sınırında bulunan Sultandağlarının güney cephesinde bulunan Resim 4.1’de kuşbakışı görüntüsü olan Yalvaç Isparta’nın en büyük ilçesidir. Yalvacın tarihi Büyük İskender zamanına kadar uzanmaktadır. Büyük İskenderin vefatından sonra milattan önce 323 sonra bu alana Pisidia Antiokheia kenti meydan getirilmiştir. Milattan önce 39 yılları civarında Roma İmparatorluğuna dâhil olmuştur. Milattan sonra 395 yılına kadar Roma İmparatorluğu hâkimiyeti devam ettikten sonra Bizans dönemi başlamıştır. Türklerin 1071 yılındaki Malazgirt zaferinin ardından Anadolu’nun kapıları Türklere açılmıştır. Anadolu’ya yerleşmeye başlayan Türklerden olan Yalvaç Bey idaresindeki topluluk Pisidia Antiokheia etrafına konuşlanmışlardır. Burayı kendilerine vatan bilmişler ve başlarında Yalvaç Bey olmasından dolayı burası Yalvaç olarak anılmaya başlanmış ve günümüze kadar ismi gelmiştir. Uzun süre Büyük Selçuklu İmparatorluğu himayesinde olan Yalvaç, Selçuklunun dağılmasından sonra 1300’lü yıllarda Hamitoğullarına katılır. Osmanlının büyümesine Yalvaçta 1380 yılında dâhil olarak Osmanlılara katılır. Cumhuriyetin ilanı ve sonrası günümüze kadar devam etmektedir. (İnt.Kyn.9)



Resim 4.1 Yalvacın genel Görünüşünde Devlethan Camiinin konumu (İnt. Kyn.11).

4.2 Tarihi Çınaraltı Meydanı ve Tarihi ınar Ağacı

Devlethan camisini doğu kısmında tarihi ınar ağacı (Resim 4.2, Resim 4.3 ve Resim 4.4) ve ağacın altındaki meydan bulunmaktadır. Yaklaşık 800 yaşında olan bu ağaç ve meydan Antalya Koruma Kurulu tarafından koruma altına alınarak tescil edilmiştir. Selçuklular döneminde ınar ağacının etrafında, Türklerin şehirleşmesini örnek olarak görebileceğimiz şekilde Hamam, cami ile medrese bulunmaktadır (Anonim (b) 2020).



Resim 4.2 ınar ağacının geçmiş dönemlerden resmi (Anonim (b) 2020).



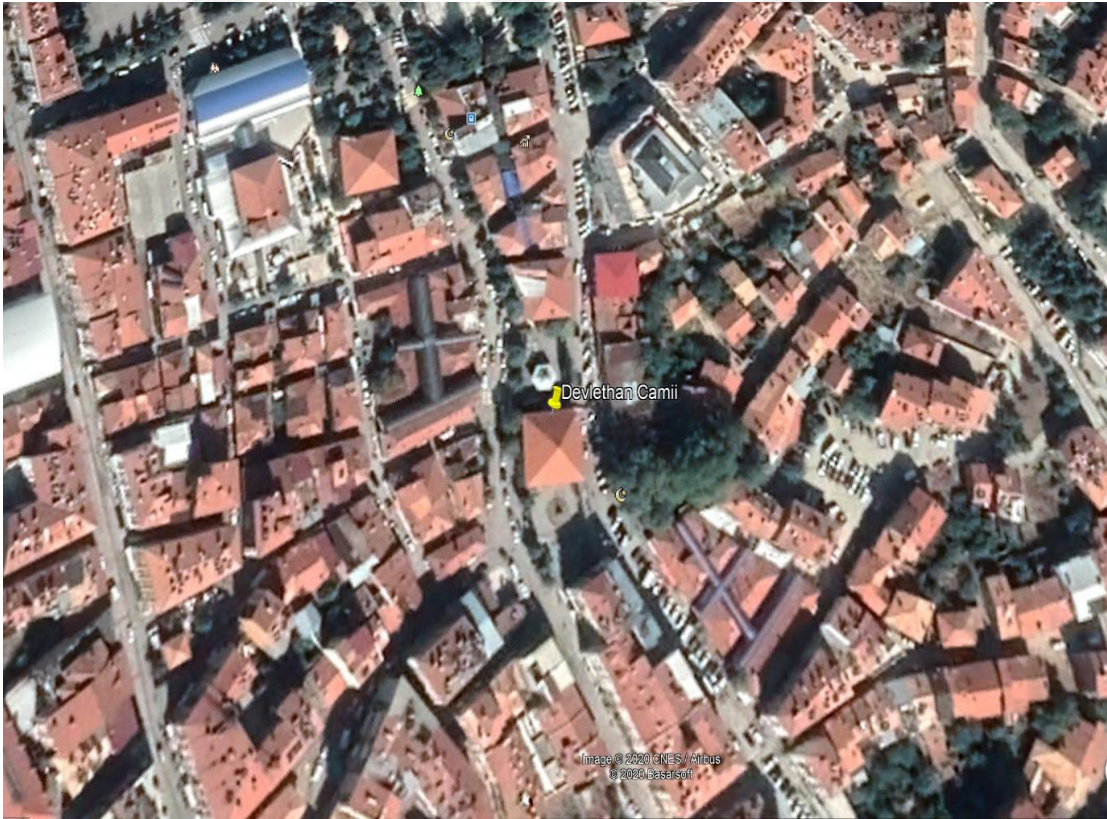
Resim 4.3 Çınar ağacının günümüzden resmi (Anonim (b) 2020).



Resim 4.4 Çınaraltı meydanından görünüş (Anonim (b) 2020).

4.3 Devlethan Camii

Selçuklular döneminde Çınar ağacının etrafında, Türklerin şehirleşmesini örnek olarak görebileceğimiz şekilde Hamam, cami ile medrese bulunmaktadır. Söz konusu cami Yalvacın merkezinde bulunan Devlethan camisidir (Resim 4.5, Resim 4.6 ve Resim 4.7). Yalvaç Devlethan camii, Devlet Hatun adında Selçuklu hükümdar kardeşi olan veya yine Devlet adına sahip sultan 1. Mesud Anadolu Selçuklu padişahının oğlu namına yaptırdığı düşünceleri mevcuttur. 1400’lü yıllarda yaptırıldığı tahmin edilmekte olup çeşitli onarımlar geçirerek olarak günümüze ulaşmıştır. Caminin mimarı bilinmemekle beraber Beylikler dönemi mimari özellikleri görülmektedir. İlk yazılı kaynaklar 1726 yılında Osmanlı Devleti arşivlerinde cami görevlilerinin isimleri olarak görülmektedir (Anonim (f) 2020).



Resim 4.5 Devlethan Caminin konumu (İnt. Kyn.11).



Resim 4.6 Devlethan Caminin genel görünüşü (Anonim (b) 2020).



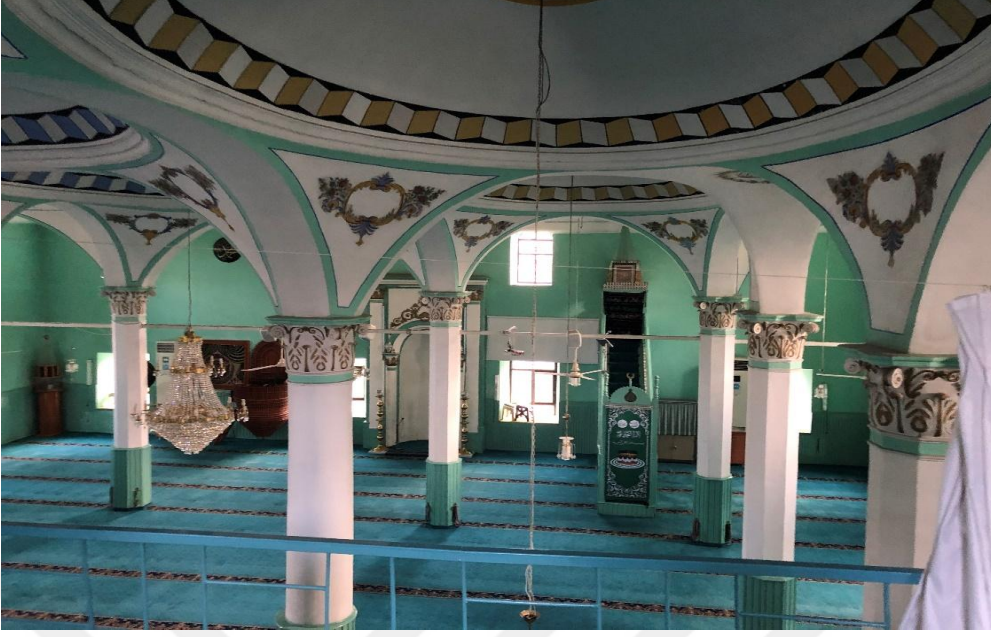
Resim 4.7 Devlethan Caminin kuzey cephesi görünüşü (Anonim (b) 2020).

Pisidia Antiokheia antik kentinden getirilen kesme düzgün taşların özellikle temel ve temel üstü bölgelerde kullanıldığı görülmektedir. Caminin duvarları kireç harcı marifetiyle taşların bir araya getirilerek örülmüştür. Caminin dış cephesinde sıva yoktur. Geçirilen tamiratlar sırasında çimento esaslı onarımlar görülmektedir. 20,75 x 24,80 metre iç mekân (Resim 4.8) ölçüleri bulunan camiye 3 adet kapıdan giriş yapılmaktadır. Caminin bütün cephelerinde de iki sıra pencere sıraları vardır. Bu şekilde camiyi aydınlatma imkânı sağlanmıştır. Çatısı, kırma çatı diye tabir edilen dört tarafa eğimli şekilde kapatılmıştır. Söz konusu çatı, caminin dış duvarları ile içerideki sütunlara yükünü aktarmaktadır (Anonim (f) 2020).



Resim 4.8 İç mekân görünüşü (Anonim (b) 2020).

Caminin kuzey cephesinden giriş yapıldığında, kadınlar mahfilinin (Resim 4.9) altından geçilerek geniş bölgeye ulaşılır.



Resim 4.9 Kadınlar mahfilinden görünüşü.

Mahfilin alt kısmında bulunan son cemaat yerinin yanında imam odası (Resim 4.10) olarak düzenlenmiş bir bölüm bulunmaktadır.



Resim 4.10 Kadınlar mahfili ve imam odası.

Caminin kuzey cephesinde bulunan duvarına paralel yapılan kadınlar mahfilinde bulunan çatıyı taşıyan sütunlar, kadınlar mahfilinin betonarme yapıldığı tamirat

esnasında, betonarme kolonların içerisine alınarak (Resim 4.12) yapı özgünlüğünü kaybetmiştir.



Resim 4.11 Ana mekânı taşıyan sütunlar.



Resim 4.12 Betonarme kolon içerisinde kalan ahşap sütunlar.



Resim 4.13 Mihrap ve minber.

4.3.1 Camide Bulunan Yazıt

Yalvaçta birçok tarihi cami bulunmakla beraber aralarında en yaşlısı olan Devlethan camisinde Sakal-ı Şerif bulunmaktadır. Cami hakkında bilgi edinebildiğimiz Resim 4.14’te görülen ve İsmail Güneş tarafından çevirisi yapılan, 1887 tarihinde yazıldığı anlaşılan yazıt vardır. Yaklaşık olarak 90 cm yüksekliğinde, 60 cm eninde ve 15 cm kalınlığı olan kireç taşından yapılmış yazıt şu an Yalvaç Müze Müdürlüğünde muhafaza edilmektedir. Yazıtın içeriğinde 34. Osmanlı Padişahı II. Abdülhamid devrinde yapılan tamirattan bahseder. Onarımın Konya valisi Said Paşa destekleriyle yapıldığı anlaşılmaktadır (Anonim (b) 2020).



Resim 4.14 Kireç taşından eski yazıyla yazılmış kabartma yazıt (Anonim (b) 2020).

*'Virüb tarz-ı nevinde cami-i lami inayetle
 Ne ziba dilnişin oldu taravetle, maharetle
 Sezadır öyle bir manend-i adn böyle mabedğah
 Çün erbab-ı hamîyyet verdirler semahatle
 Becadır pişîğahında şadırvan oldu amade
 Akubdur fî sebilillah tavaddu kıl inayetle
 Behişt asa kılub mü'minini eyledi tenvir
 Küşad oldu ki mevlid-i Rasul hem tilavetle
 Muvakkıthanedir hem lahık-ı kütüphane ona layık
 Görünmezlik noksanı bi-hamdilillah beşaretle
 Ola her hadimi lutf-i Cenab-ı Halıka mazhar*

*Bu belde halkı da hep dem g zar olsun rehavetle
Zaman-ı sa'dine etti tesadüf oldu bala ter
Saidiyye denildi namına ger i bedahatle
Odur asr-ı Hamid elbet olur ma'mur-ı abadan
 la yevmi't tenat ancak beka bulsun hilafetle
Dem a dem fikr-i marzini said pa ayı zi- anın
 marettir zehi elhak cenah açmış himayetle
Bu yolda eyledi  edd-i nitak gayret-i Tevfik
Sarıldı de t-i himmetle tamam etti metanetle
Odur Kaimmakam ibkay-ı nam etti enam içre
D   rd  hahi e e rafi fahr etsin  erafetle
Niçe imar u in aata hasr-ı nefis edüp ra'na
Yüzünden milk   millet müstefit oldu beraatle
Teberrük maksadı tarih-i cevher yad edüp irfan
Bulubdur zib u zinet-i mescidi-i Aksa  etaretle'*

1303

4.3.2 Geçirdiği Onarımlar

Vakıflar Genel Müdürlüğü Abide ve Yapı İ leri Dairesi Vakıf Eski Eser Fi inden anlaşılacağı üzere caminin iç tertibatı 1885 (Hicri 1303) senesinde Konya valisi Sait pa anın ve Yalvaç Kaymakamı Tefik beyinde bulunduğu sırada halkın yardımıyla tahakkuk ettirilen tamir esnasında meydana geldiği anlaşılmaktadır (Anonim (a) 2020).

Resim 4.15'de açılış beratı görülen,1999 depreminden sonra Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından onarılan cami Ekim 2005 'te ibadete açılmıştır. Yüksek İ aat Mühendisi İzzet Yiğit'in düzenlemiş olduğu statik raporunda, söz konusu onarımda cephelerdeki sıvalar raspa edilerek derz onarımı yapılmış ve çatı örtüsü yenilenerek eser esaslı bir onarımdan geçtiğinden bahsetmiştir (Anonim (a) 2020).

T. C.
YALVAÇ İLÇE MÜFTÜLÜĞÜ
CAMİ İBADETE AÇILIŞ BERATI

"B" GRUBU

C A M İ İ N	
Adı Herkes Devlethan Cami	Kodu B.02.1.DİB.4.32. 80.00/215-001
Yapımcısı II. Kılıçarslan	Mimarı -
Toplam Alan Alanı (m ²) 383,81 m²	İç Alan (m ²) 383 m²
Mülkiyeti Vekâflar Genel Müdürlüğü	Kapasitesi 1000
Yapılış Tarihi 1200 Yılları	İbadete Açılış Tarihi Bilinmiyor
Yapı Şekli ve Özelliği Teğ	Milyonluk Şadırvan, Avlu, Tuvalet
Bulunduğu Yer (Mah. / Köy) Çarşı içi	

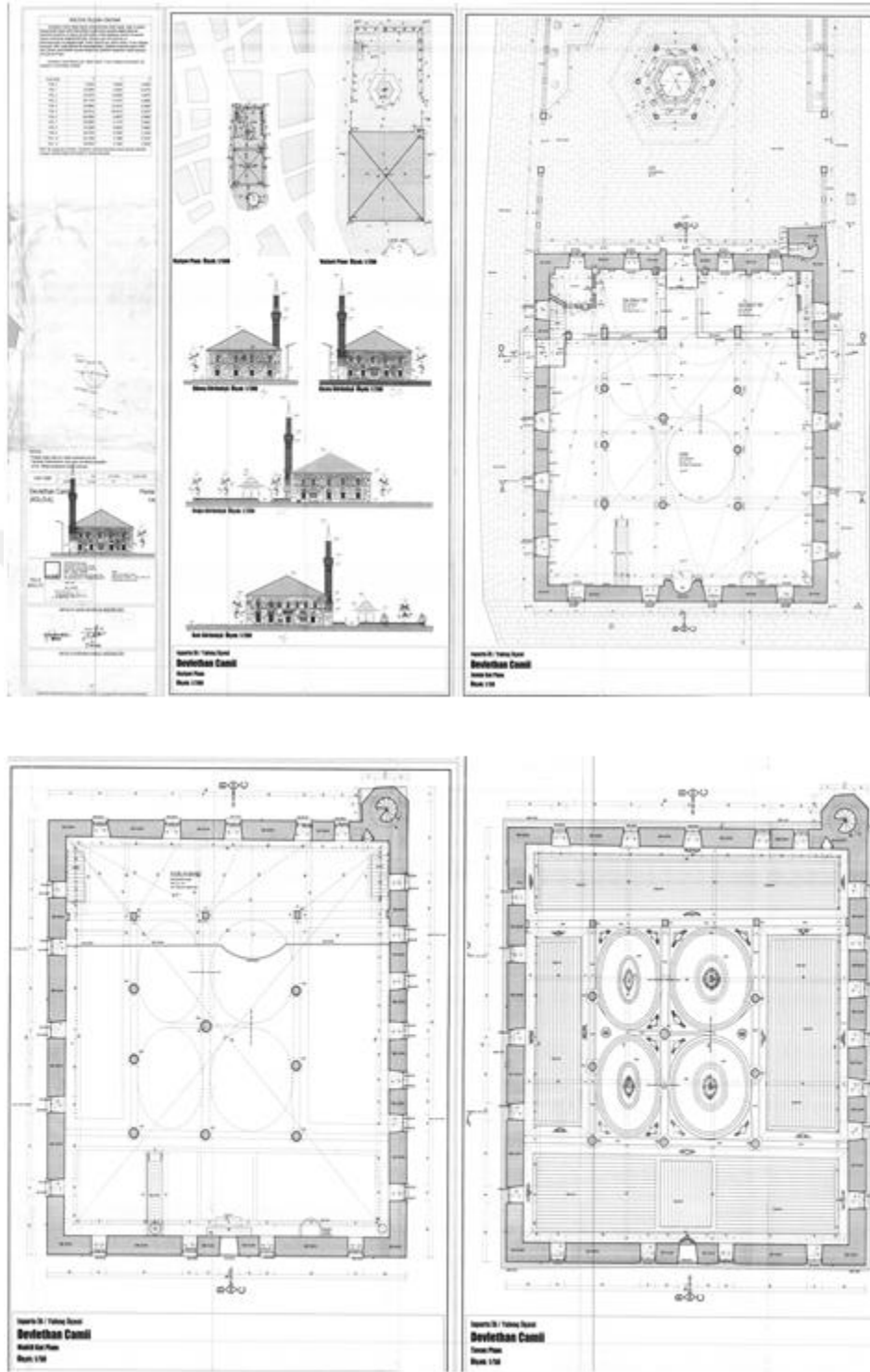
Yukarıda adı ve özellikleri belirtilen yapı, CAMİ vasıfını taşımakta olup, bu yapıda vakıf namazları ile cuma ve bayram namazlarının kılınmasına Müftülüğümüzce müsaade edilmiştir.

Nusret KAPALISIZ
Yalvaç İlçe Müftüsü
31/07/2005
Mühür

NOT : Tahmini 1200 yıllarından beri ibadete açık olan bu esminin berati form standardizasyonu sebebiyle yenilendirilmiştir.

Resim 4.15 Tamirat sonrası 2005 tarihli ibadete açılış beratı (Anonim (c) 2020).

Devlethan Camisinin hesaplamalarında ve modellemesinde Resim 4.16'da görülen Antalya Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğü'nden temin edilen röleve projesi kullanılmıştır.



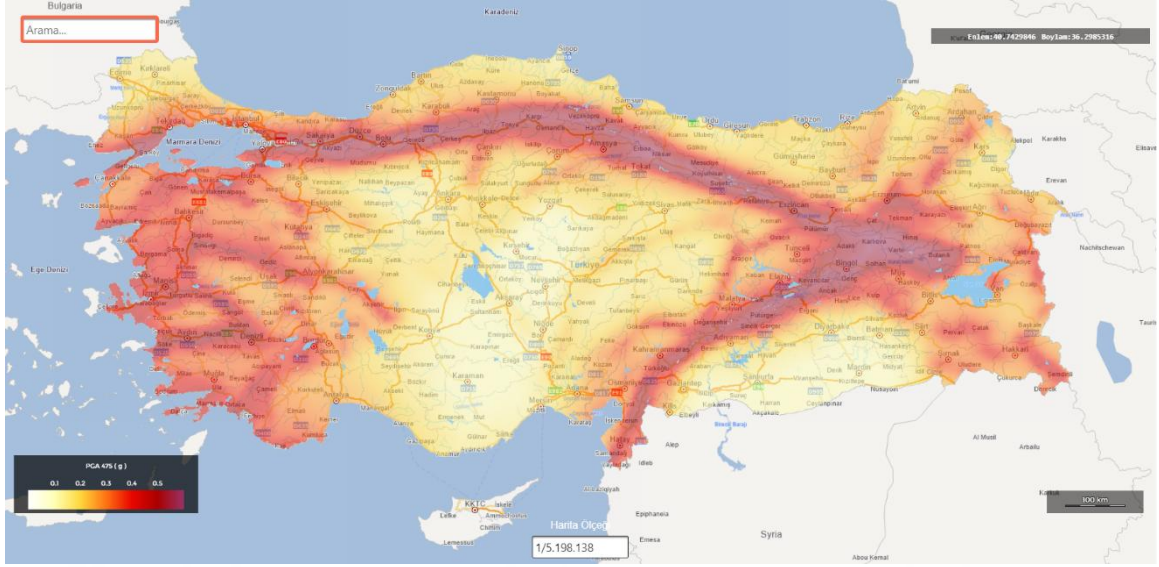
Resim 4.16 Devlethan Caminin röleve projeleri (Anonim (a) 2020).

4.4 Yerel Zemin ve İvme Katsayıları

Yapımız koruma altında olması nedeniyle zemin ile alakalı bilgi bulunmamaktadır. Yapının çevresinde zemin etüdü yapılmış arsanın verileri bize caminin bulunduğu zemin ile alakalı bilgi verecektir. Buna göre Yalvaç Belediyesi yapı ruhsatı arşivinden yapımıza en yakın noktada yapılan zemin etüd raporuna göre, deprem yer hareketi DD-2 ve yerel zemin sınıfı ZC olarak alınmıştır(Anonim (b) 2020). Türkiye Deprem Tehlike Haritaları (Resim 4.17) interaktif web uygulamasında noktasal işaretleme yapılarak elde edilen binaya ait genel özellikler ve proje verileri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Binaya ait genel özellikler ve proje verileri (İnt.Kyn.10).

YALVAÇ DEVLETHAN CAMİİ		
Deprem Yer Hareketi	DD-2	50 yılda olma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar
Enlem	38.295632	
Boylam	31.179935	
Ss	0.638	
S1	0.150	
PGA	0.264 g	
PGV	14.450 cm/sn	



Resim 4.17 Türkiye deprem tehlike haritası (İnt.Kyn.10).

4.5 Devlethan Camisinin SAP2000 ile Modellenmesi ve Statik Analizi

Tarihi yapılar, geçmişin birikimlerini gelecek nesillere aktarılmasının önemli unsurlarındandır. Yapıların incelenmesi, bu tarz yapıların koruma altında olması yönetmelik, şartnameler ve ancak mevcut imkânlar dâhilinde yapılabilir kılmaktadır. Detaylı bir inceleme yapabilmek için, bütün halde olan yapı elemanlarını parçalara bölme yöntemi olan sonlu elemanlar yöntemini kullanmak uygun olacaktır. Gerilme değerlerini inceleyebilmek için mesh uygulamasını yaparak mühendislik sorunların sonuca ulaşması için en uygun yöntemdir.

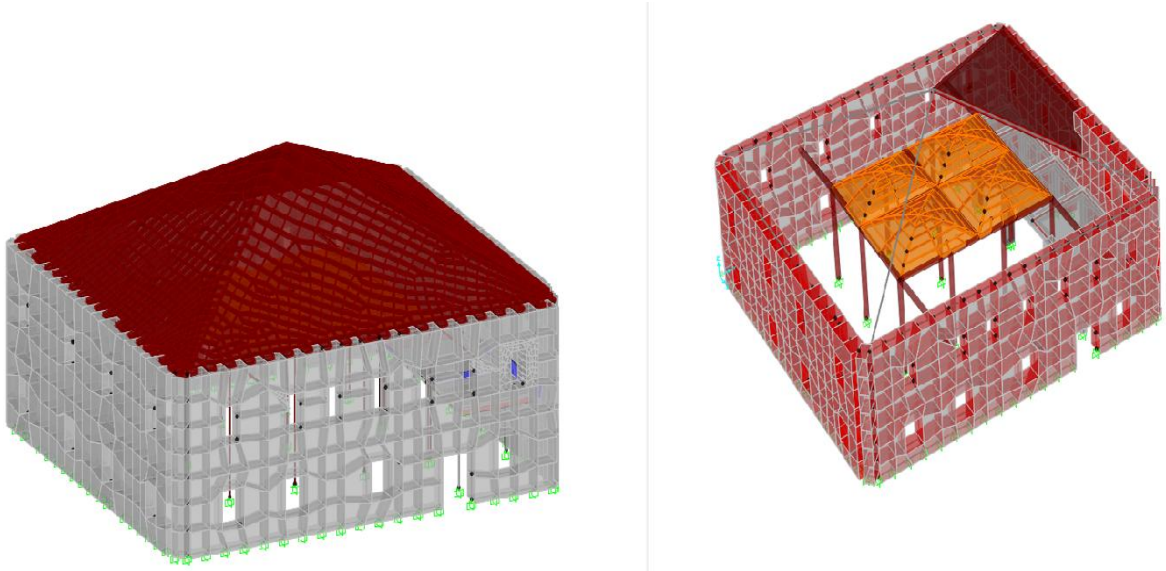
Yalvaç Devlethan cami, Antalya Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğü'nden elde edilen röleve projesine uyularak SAP2000 programı ile modellenmiştir. Yaklaşık olarak dikdörtgen bir yapıya sahip olan yapının çatısı, dış duvarlar (Çizelge 4.2) ve cami içerisinde bulunan 11 adet ahşap sütun taşımaktadır. Yatayda 2 adet ana ahşap kiriş çatı yüklerini taşıyıcı sütunlara ve dış duvarlara aktarmaktadır. Yapıda 4 adet ahşap kubbe bulunmaktadır. Bu kubbeler taşıyıcı unsur olarak görev yapmamaktadır. Yapının geçirdiği tamiratlarda yapıldığı anlaşılan betonarme kadınlar mahfili, arka sırada bulunan 3 adet ahşap sütunu, mahfilin betonarme kolonunun içerisinde kaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.2 Devlethan Cami duvar ebatları.

Duvar Ebatları			
	Uzunluk	Kalınlık	Yükseklik
Güney Cephedeki Duvar	20,67 m	1,04 m	7,51 m
Kuzey Cephedeki Duvar	20,32 m	1,08 m	7,51 m
Doğu Cephedeki Duvar	22,75 m	1,02 m	7,51 m
Batı Cephedeki Duvar	22,62 m	0,98 m	7,51 m

Model; 830 adet düğüm noktası, 66 adet Frame elemanı, 659 adet Shell elemanı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile oluşturulmuştur. Modele 150 kg/m^2 çatı yükü (zati yük), $115,5 \text{ kg/m}^2$ kar yükü (hareketli yük) ve kadınlar mahfilinin üzerine 500 kg/m^2 hareketli yük tanımlanmıştır. TBDY-2018'e göre hareketli yük kütle katılım oranı 0,6 seçilmiştir. TBDY-2018'e göre Bina Taşıyıcı Sistemleri için Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, Dayanım Fazlalığı Katsayısı ve İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları tablosundan; Taşıyıcı sistem katsayısı E.22 Donatısız yığma bina olduğu için $R=2,5$, Dayanım fazlalığı katsayısı $D=1,5$ alınmıştır. Camiiler için bina kullanım sınıfına göre bina önem katsayısı $I = 1,2$ seçilmiştir.

Deprem hesabında Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasından Yalvaç Devlethan Camisinin bulunduğu yer haritadan seçilmiş, etrafında bulunan yapıların zemin etüd çalışmalarından elde edilen veriler doğrultusunda yerel zemin sınıfı ZC, Deprem Yer Hareketi Düzeyi DD-2 verileri kullanılmıştır. Bu girdiler sonucunda; yatay ve düşey elastik tasarım spektrumu ile tasarım spektral ivme katsayıları verileri elde edilmiştir. Bu veriler ile X ve Y doğrultularında deprem etkileri oluşturulmuştur. Bu etkiler sonucu yapının modal analizi sonucu 12 adet moddan hâkim periyodu ve frekansı bulunmuştur. Yalvaç Devlethan Camisinin 3 boyutlu modeli Resim 4.18'de görülmektedir.



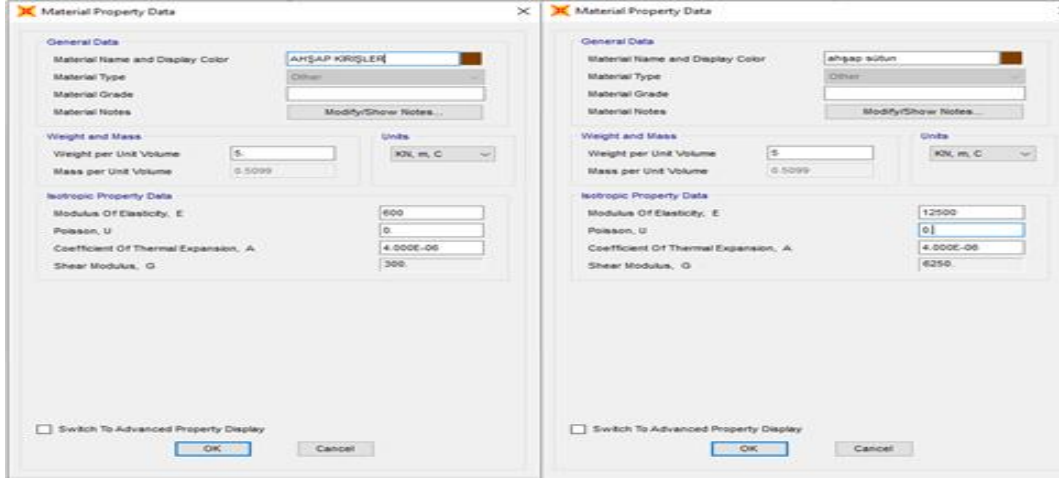
Resim 4.18 Yapının modeli.

4.6 Malzeme Özellikleri

Yalvaç Devlethan Camisi farklı malzemeler kullanılarak yapılmıştır. Yapının dış duvarları temele yakın yerlerde antik kentten getirilen devşirme malzemelerden ve harç ile bir araya getirilmiş çeşitli büyüklüklerde taşlardan oluşmaktadır. Duvarların içinde kalan bölümde çatıyı taşıyan ahşap kirişler ve bu kirişleri taşıyan ahşap sütunlar vardır. Taş duvarlar ve ahşap sütunlar yapıyı taşımaktadır. Yapının geçirdiği tamiratlarda kadınlar mahfili betonarme olarak yapılmıştır. Arka sırada bulunan 3 adet ahşap sütun, düzenleme sırasında mahfilin betonarme kolon kalıplarının içerisine alındığı ve imalatın bu şekilde yapıldığı görülmektedir.

4.6.1 Ahşap Malzeme Özellikleri

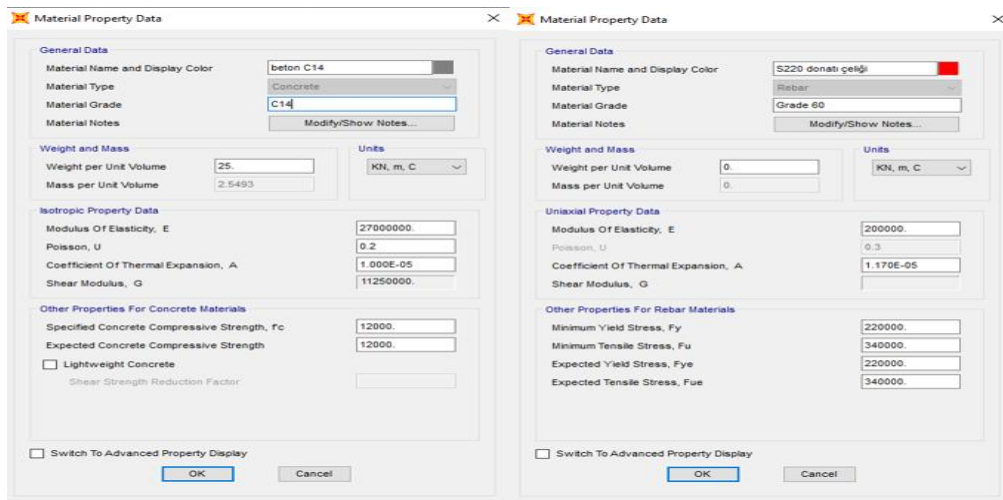
Yapıda kullan ahşap malzemeler röleve projesine uygun olarak ebatları belirlenerek SAP2000 programına tanımlanmıştır. Malzeme özellikleri ise ahşap malzemeler için, poisson oranı 0 (İnt.Kyn.12), birim hacim ağırlığı 5 kN/m^3 alınmıştır. Bu noktada kirişler ve sütunlar aynı malzemeden yapılmış olsalar dahi, ahşap kirişlere yükler kesite dik aktarıldığı için elastisite modülü 0,6 MPa, ahşap sütunlara ise kesit doğrultusunda aktarıldığı için elastisite modülü 12,5 MPa alınmıştır (Deren 1980).



Şekil 4.1 Kiriş malzeme özellikleri(solda), sütun malzeme özellikleri (sağda)

4.6.2 Beton ve Betonarme Çeliği

Yalvaç Devlethan camisi eski ve tarihi bir cami olmasına rağmen bünyesinde betonarme yapı elemanlarını da barındırmaktadır. Kadınlar mahfili geçirilen onarım neticesinde betonarme olarak yapıldığı görülmektedir. 1975 yılından sonra yapıldığı düşünülen tadilat çalışmasında o yıllarda yürürlükte olan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğe göre dökülen beton sınıflarını dikkate alarak, kullanılan betonun sınıfı B160 (C14) olarak modele tanımlanmıştır. Beton malzeme için, 25 kN/m^3 birim hacim ağırlığı, 27000 MPa elastisite modülü ve 0,2 poisson oranı değerleri alınmıştır (TS 500). Betonarme çeliği elastisite modülü 200000 MPa olarak alınmıştır (TS 708). Şekil 4.2’de görüldüğü gibi programa tanımlanmıştır.



Şekil 4.2 Beton malzeme özelliği (solda), betonarme çeliği malzeme özelliği (sağda).

4.6.3 Taş Duvar

Yapının dış duvarlarını harç ile bir araya getirilmiş taşlardan oluşmaktadır. Bu nedenle harç ile taş malzemelerini birlikte tek parça olarak kabul edilmiştir (Aşık 2018). Taş duvarın birim hacim ağırlığı 24 kN/m^3 ve duvar karakteristik basınç dayanımı $1,2 \text{ MPa}$ olarak alınmıştır (Jaihoon 2019). Poisson oranı $0,25$ ve Elastisite modülü karakteristik basınç dayanımının 750 katı olan 900 MPa alınmıştır (TBDY 2018). Söz konusu taş duvarın malzeme özellikleri Şekil 4.3 'de görüldüğü gibi SAP2000 programına tanımlanmıştır.

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: taş duvar

Material Type: Other

Material Grade:

Material Notes:

Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 24

Mass per Unit Volume: 2.4473

Units: KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 900000.

Poisson, U: 0.25

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 6.500E-06

Shear Modulus, G: 360000.

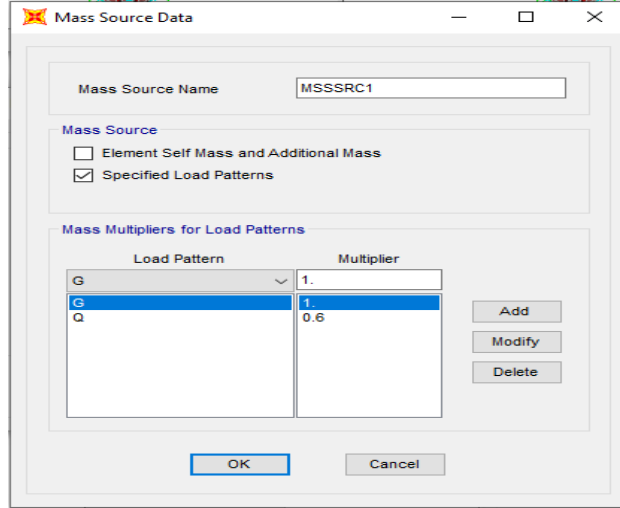
☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Şekil 4. 3. Taş duvar malzeme özelliği.

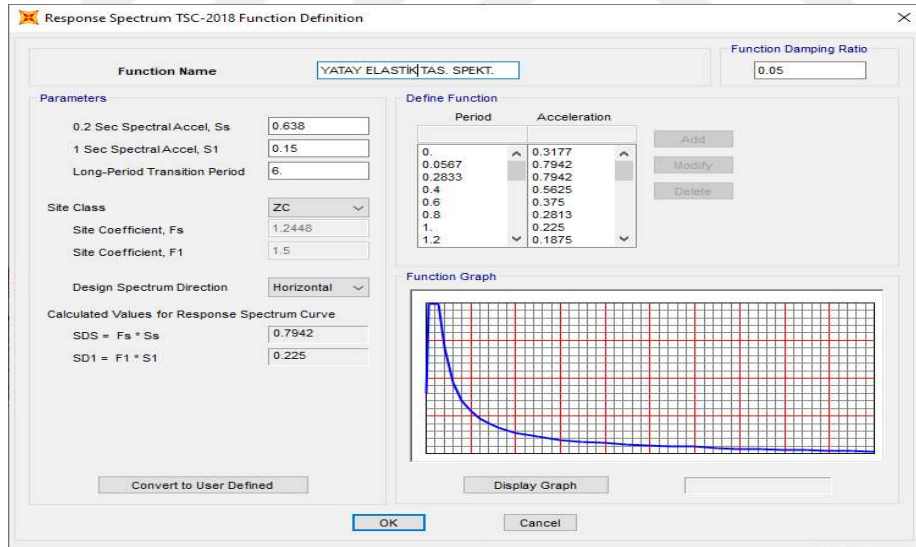
4.7 Deprem Hesabı İçin Parametrelerin Girilmesi

Yapı için hareketli yük kütle katılım katsayısı ibadethane için $0,6$ ve sabit yük (G) katsayısı 1 alınmıştır (TBDY 2018).



Şekil 4.4 Kütle katılım oranları

Davranış spektrumu oluşturmak için; kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_s) 0,638, 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1) 0,150 ve yerel zemin sınıfı ZC değerleri dikkate alınarak spektrum eğrileri SAP2000 programına tanımlanmıştır (İnt.Kyn.10). Şekil 4.5’de yatay spektrumu görülmektedir.

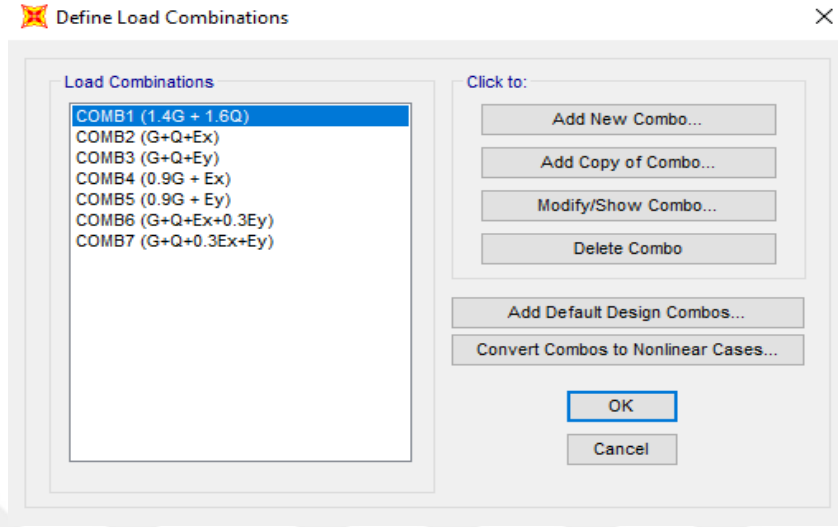


Şekil 4.5 Yapının yatay spektrumu.

4.8 Kombinasyonların Tanımlanması

Devlethan camisinin SAP2000 programında bu veriler ile oluşturulan modele TBDY 2018 ve TS500’e göre aşağıdaki kombinasyonlar tanımlanmıştır. Kombinasyonları, ölü yük (G), hareketli yük (Q), x doğrultusunda deprem yükü (E_x) ve y doğrultusunda

deprem yükü (E_Y) meydana getirmektedir. Şekil 4.6' da SAP2000 programına kombinasyonların tanımlanması görülmektedir.



Şekil 4.6 Tanımlanan yük kombinasyonları.

4.9 Modal Analiz Sonuçları

Devlethan camisinin modal analizi sonucu elde edilen 12 adet modun periyot ve frekans değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Modal Analiz Sonuçları.

Mod sayıları	Periyot Değerleri (sn)	Frekans Değerleri (Hz)
1	0,40	2,50
2	0,39	2,56
3	0,28	3,57
4	0,22	4,55
5	0,21	4,76
6	0,21	4,76
7	0,19	5,26
8	0,15	6,66
9	0,14	7,14
10	0,13	7,69
11	0,13	7,69
12	0,12	8,33

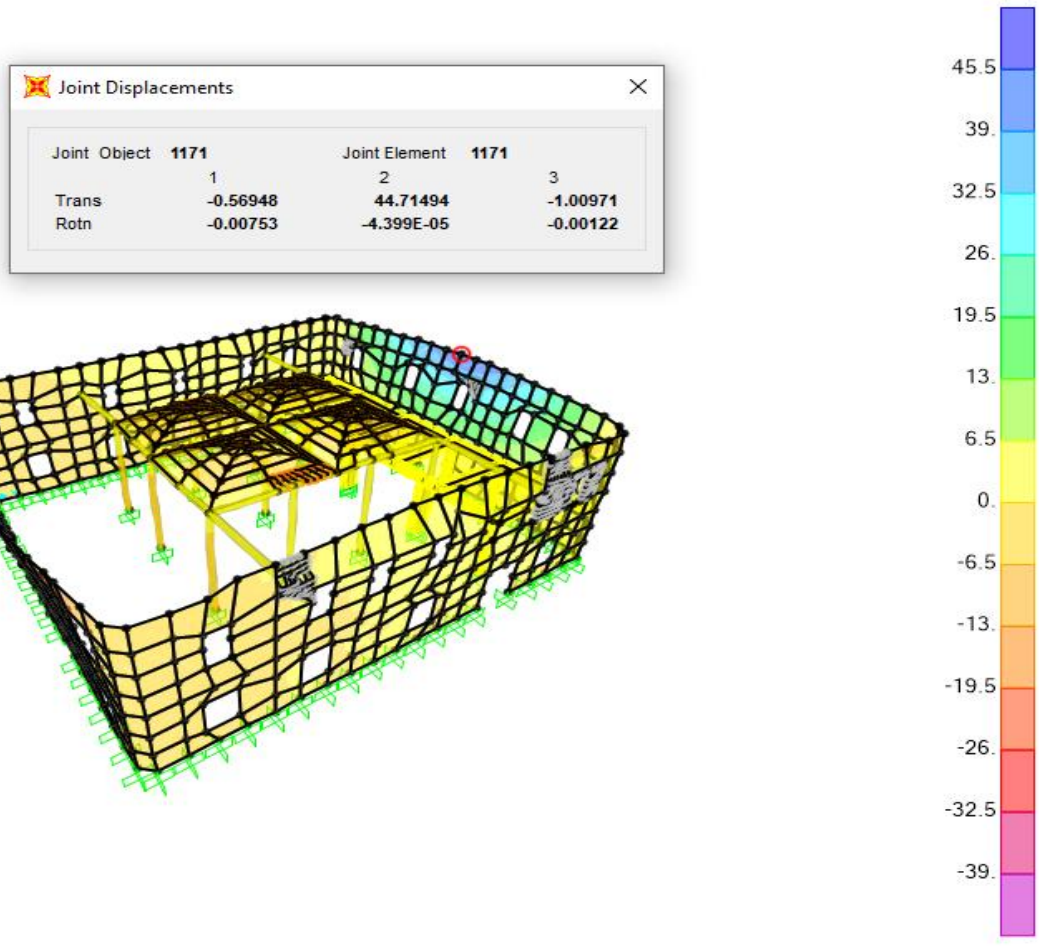
4.10 Yer Değiştirme Değerlerinin Tespiti

Yük kombinasyonları dikkate alınarak yapılan analizler sonucunda elde edilen maksimum yer değiştirme değerleri Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4 Kombinasyonlar etkisinde maksimum deplasman değerleri.

	X Yönü (mm)	Y Yönü (mm)	Z Yönü (mm)
1 Nolu Kombinasyon (1.4G+1.6Q)	0,27	0,21	-12,64
2 nolu Kombinasyon (G+Q+Ex)	-41,94	-7,04	-8,57
3 nolu Kombinasyon (G+Q+Ey)	2,93	44,43	-8,76
4 nolu Kombinasyon (0.9G+Ex)	41,93	-7,02	-4,5
5 nolu Kombinasyon (0.9G+Ey)	2,91	-44,33	-4,68
6 nolu Kombinasyon (G+Q+Ex+0.3Ey)	-42,17	-16,83	-8,65
7 nolu Kombinasyon (G+Q+Ey+0.3Ex)	-13,35	44,71	-8,78

Modele ait kombinasyonlar incelendiğinde maksimum yer değiştirme 7 nolu (G+Q+Ey+0.3Ex) kombinasyon etkisinde Y doğrultusunda 44,71 mm olarak tespit edilmiştir. Söz konusu nokta Şekil 4.7 ‘te gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Maksimum yer değiştirme grafiği.

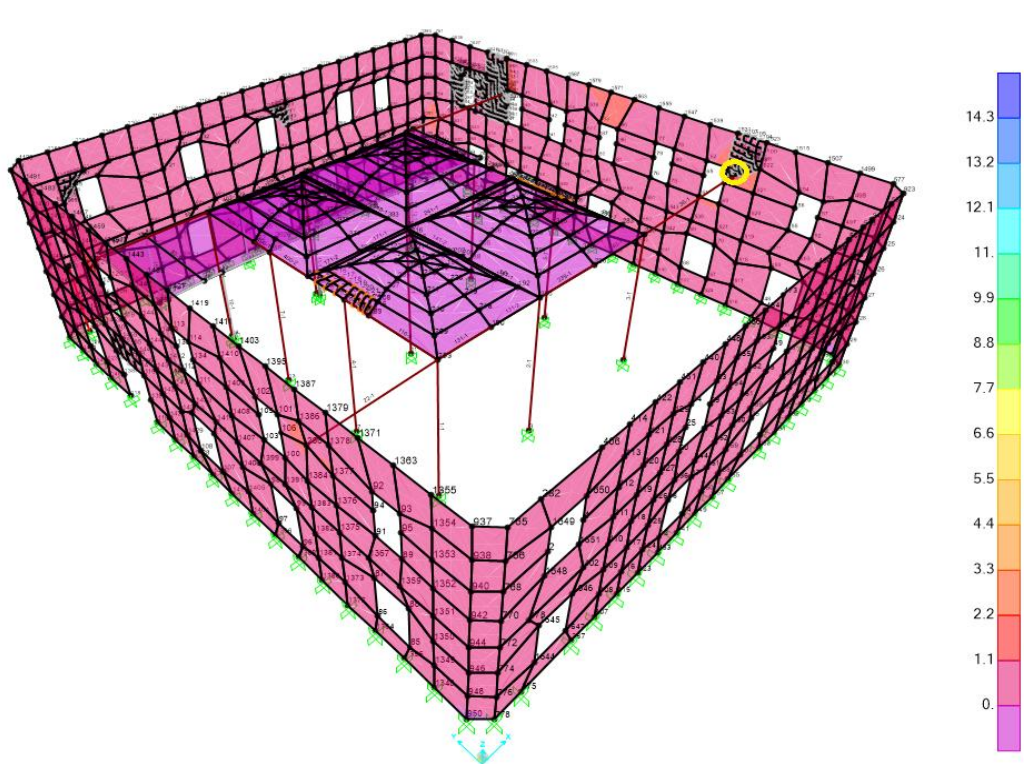
4.11 Basınç, Çekme ve Kayma Gerilme Değerleri

Yapıya etkitilen yük kombinasyonları neticesinde Çizelge 4.5'te basınç, çekme ve kayma gerilme değerleri görülmektedir. X doğrultusunda normal gerilme değeri, negatif ise basınç gerilmesi pozitif ise çekme gerilmesi (S11) olarak okunur. Y doğrultusunda normal gerilme değeri, negatif ise basınç gerilmesi pozitif ise çekme gerilmesi (S22) olarak okunur. X eksenı doğrultusunda YZ düzleminin gerilme bileşeni olarak kayma gerilmesi (S12) değeri okunmaktadır.

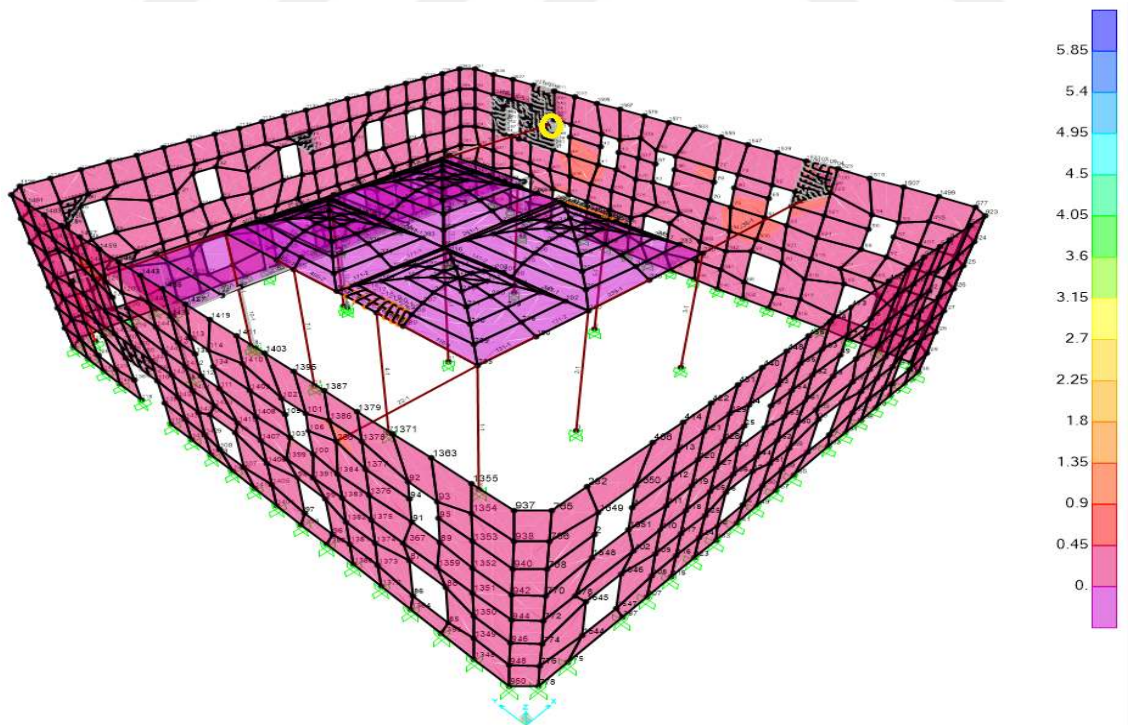
Çizelge 4.5 Maksimum basınç, çekme ve kayma değerleri.

	S11 (N/mm ²)		S22(N/mm ²)		S12(N/mm ²)
	Basınç Gerilmesi	Çekme Gerilmesi	Basınç Gerilmesi	Çekme Gerilmesi	Kayma Gerilmesi
1 nolu kombinasyon (1,4G+1,6Q)	-0,445	0,376	-0,925	0,251	-0,394
2 nolu kombinasyon (G+Q+E _X)	-14,04	13,97	-9,79	10,04	-6,21
3 nolu kombinasyon (G+Q+E _Y)	-2,54	2,46	-1,85	1,36	1,37
4 nolu kombinasyon (0,9+E _X)	-14,06	13,94	-9,91	9,92	-6,2
5 nolu kombinasyon (0,9G+E _Y)	-2,53	2,47	-1,82	1,39	1,37
6 nolu kombinasyon (G+Q+E _X + 0,3E _Y)	-14,29	14,22	-9,92	10,18	-6,25
7 nolu kombinasyon (G+Q+ E _Y + 0,3E _X)	-5,08	5	-3,75	3,54	-2,03

Analizler neticesinde S11; X-X yönünde maksimum basınç gerilmesi -14,29 N/mm², maksimum çekme gerilmesi 14,22 N/mm², S22; Y-Y yönünde maksimum basınç gerilmesi-9,92 N/mm², çekme gerilmesi 10,18 N/mm² değerleri 6 nolu kombinasyon ile elde edilmiştir. Maksimum basınç ve çekme değerlerinin görüldüğü bölge Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Maksimum basınç ve çekme gerilme değerlerinin oluştuğu bölge.



Şekil 4.9 Maksimum kayma gerilme değerinin oluştuğu bölge.

TBDY 2018 madde 11.2.9' da belirtilen kayma gerilmesi hesabına göre, doğal ve yapay taşlarda kullanılan genel amaçlı harçların kayma gerilme değeri;

$$f_{vk0} = 0.1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = 14,29 \text{ MPa (hesaplanan basınç gerilmesi)}$$

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \sigma_d$$

$$f_{vk} = 5,82 \text{ MPa olarak hesap edilmiştir.}$$

7 nolu kombinasyon ile elde edilmiş S12 maksimum kayma gerilmesi -6,25 MPa değeri, duvar kesme dayanımı 5,82 Mpa değerinden büyük olduğundan dolayı kesme dayanımı yetersizdir. Şekil 4.9'da maksimum kayma gerilme değerinin meydana geldiği bölge gösterilmiştir.



5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez çalışmasında, Isparta ilinin Yalvaç ilçe merkezinde bulunan Devlethan Camii'nin deprem güvenliği araştırılmıştır. Caminin, Antalya Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğünden temin edilen röleve projeleri yerinde kontrol edildikten sonra üç boyutlu modeli SAP2000 programında oluşturulmuştur. Düşey yük ve deprem yükleri etkisi altında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan analizler neticesinde yapıda oluşan maksimum basınç, maksimum kayma gerilmesi ve yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek yapının sismik performansına ilişkin hususlar aşağıda yorumlanmıştır.

- Yapı duvarlarında düşey yükler etkisi altında oluşan basınç gerilmeleri ve basınç dayanımı dikkate alındığında düşey yük etkisi altında yeterli kapasiteye sahiptir.
- Maksimum basınç ve kayma gerilmesi değerleri düşey yük ve deprem yüklerinin birlikte dikkate alındığı yük kombinasyonlarında elde edilmiştir. Elde edilen değerlerin kesit dayanımlarının üzerinde olduğu görülmüştür. Caminin doğu cephesinde diğer cephelere göre çok sayıda pencere olması gerilme yığılmalarının o noktalarda birikmesine sebep olduğu anlaşılmaktadır. Bir deprem etkisi altında o bölgede çatlaklar meydana gelebilir.
- Yapılan onarımlarda kadınlar mahfili arka sıradaki ahşap sütunları içine alarak ve caminin beden duvarları ile bağlantı kurulmadan betonarme olarak inşa edilmiştir. Çalışmamızda yapıda bulunan betonarme kısım kaldırılarak tekrardan analiz yapılmış ve sonuçların değişmediği görülmüştür.
- Bu çalışmada yapıdan örnek malzeme almak mümkün olmadığından yönetmeliklerde tanımlanan malzeme özellikleri kullanılmıştır. Tarihi yapıların deprem güvenlikleri belirlenirken mevcut malzeme dayanımlarının yapıya zarar vermeden tespit edilmesini sağlayan yöntemlerin kullanılması önemlidir. İleride yapılacak çalışmalarda, tahribatsız yöntemler ile tespit edilecek malzeme

özellikleri kullanılarak yapı yeniden analiz edilebilir ve sonuçlar karşılaştırılabilir.



6. KAYNAKLAR

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY), 1975, Resmi Gazete, 9 Haziran 1975, 15260.

Akaslan S A, 2019, Tarihi Yapıların Deprem Etkileri Altında Değerlendirilmesi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95s, Kocaeli.

Akdeniz Ö, 2011, Tarihi Yapıların Lineer Olmayan dinamik Analizi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 70s, Elazığ

Aköz A H, 2008, Deprem Etkisi Altındaki Tarihi Yığma Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 112s, İstanbul.

Anadut H O, 2016, Tarihi Yapıların Dinamik Davranışlarının İncelenmesi, Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 73s, Yozgat.

Anonim 2020a, Antalya Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Arşivi.

Anonim 2020b, Yalvaç Belediyesi Arşivi (Sözlü Görüşme).

Anonim 2020c, Yalvaç Müftülüğü Arşivi.

Armağan K, 2012, Tarihi Yapılarında Kullanılan Fonksiyonelliğin İncelenmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 147s, Eskişehir.

Arslan F, 2006, Depremden Zarar Görmüş Tarihi Yapıların Güçlendirilmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 126s, Ankara.

Aşık F. M, 2018, Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar İçin Onarım ve Güçlendirme Teknikleri, Zenburi Mescidi'nin Model Analizi, Konya Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 113s, Konya.

Bayrakçı M, 2018, Karapınar Tarihi Camileri, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 198s, Konya.

Celep Z, Kumbasar N, 2004, Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, 865s, İstanbul.

- Çalık İ, 2017, Tarihi Cami ve Minarelerin Deneysel Dinamik Karakteristiklerinin Belirlenmesi ve Restorasyon Etkilerinin Değerlendirilmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 506s, Trabzon.
- Çamlıbel A N, 2000, Geleneksel Yapılarda Stabilitenin İyileştirilmesi Temellerin Takviyesi İstanbul, Birsan Yayınevi, 165s, İstanbul.
- Çarhoğlu A I, Korkmaz K A, 2013, Mevcut Yığma Bir Yapının Deprem Davranışının Değerlendirilmesi, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 2, 1-11.
- Çılı F, Sesigür H, 2007, Tarihi Yapıların Onarımı/Güçlendirilmesi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Seminer Notları.
- Çırak İ F, 2011, Yığma Yapılarda Oluşan Hasarlar, Nedenleri ve Öneriler, Süleyman Demirel Üniversitesi Müh.-Mim. Fakültesi, SDÜ Uluslararası Teknoloji Bilimi, 3, 55-60.
- Dabanlı Ö, 2008, Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 157s, İstanbul.
- Deren H, 1980, Ahşap Yapı Elemanları Ders Notları. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, 89s. İstanbul.
- Doğan M, 2005, Depreme Dayanıklı Tasarım Ders notları, 81, 84, 259, 365, 366, 367, 381-389s, Eskişehir.
- Döndüren M S, Şişik Ö, Demiröz A, Tarihi Yapılarda Görülen Hasar Türleri, Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi, 2017, 45-58.
- Duran S, 2016, Akşehir’de Kerpiç Malzemeli Yapıların ve Binaların Taşıyıcı Sistem Açısından İrdelenmesi ve Günümüz Koşullarında Değerlendirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 105s, İzmir.
- Erbaş İ, 2018, Taş ve Taş Yapı Kültüründe Değişim ve Dönüşüm, Atatürk Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, ATA Planlama ve Tasarım Dergisi, 2, 29-37.
- Gül T, 2011, Cam Elyaf ve Hava Sürükleyici Katkı Kullanılarak Geliştirilmiş Kerpiç, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 69s, İstanbul.

- Güner Y, 2018, Mevcut Tarihi Yığma Yapıların Performans Analizi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 164s, İzmir.
- İpek Ş Ö, 2017, Tarihi Yapıların Onarım Teknikleri ve Depremsellik Yönünden İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 68s, Kayseri.
- Jaihoon, E. H, 2019, TBDY 2018' e Gore Tarihi Yığma Yapıların Analizi ve Bir Örnek Sille Ak Camii, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 113s, Konya.
- Kamanlı M, Jaihoon E.H, Ünal A, TBDY 2018'e Göre Tarihi Sille Ak Caminin Statik Analizi, Selçuk-Teknik Dergisi, 18, 2019, 134-151.
- Kara H G, 2009, Tarihi Yığma Yapıların Taşıyıcı Sistemleri, Güvenliğinin İncelenmesi, Onarımı ve Güçlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 163s, İstanbul.
- Koçak A, 1999, Tarihi Yapıların Statik ve Dinamik Yükler Altında Lineer ve Non Lineer Analizi Küçük Ayasofya Cami Örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 318s, İstanbul.
- Livaoğlu R, Doğançün A, 2001, Yapıların Deprem Hesabında Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Kullanılması. Mühendislik Bülteni, 15, 14-24.
- Lourenço P B, 1998, Experimental and Numerical Issues in the Modelling of the Mechanical Behaviour of Masonry, Structural Analysis of Historical Constructions II.
- Mahrebel H A, 2006, Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım ve Güçlendirme Teknikleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 107s, İstanbul.
- Mumyakmaz Y A, 2015, Tarihi Yapıların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi ve Gedik Ahmet Paşa Camii Örneği, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 77s, Afyonkarahisar.

- Namlı M, 2001, Tarihi Yapıların Temel Sistemleri ve Temel Takviyesi Yöntemleri, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 166s, İstanbul.
- Okçuoğlu T, 1995, Anadolu Selçuklu Mescitlerinde Kubbeye Geçiş Alanının Değerlendirilmesi, İstanbul Üni, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 101s, İstanbul
- Omurtag M H, 2010, Çubuk Sonlu Elemanlar, Birsan Yayınevi, 291s, İstanbul.
- Ögel S, 2002, Anadolu Selçuklu Mimarisinde Taş Süsleme, Selçuklu Çağında Anadolu Sanatı, Yapı Kredi Yayınları 311, İstanbul.
- Özçakı M, 2018, Kubbenin Cami Mimarisindeki Yeri ve Önemi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, İdil dergisi, 7, 383-402.
- Öztaş V, 2009, Yığma Yapıların Güçlendirilmesi ve Bir Yığma Yapı Örneğinde Güçlendirme Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 50s, İstanbul.
- Pusat S E, 2002, Tarihi Yapıların Onarımında Kullanılacak Harç Üretimi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 61s, İstanbul.
- SAP2000 V21, Computer Program, Computers and Structures, Berkeley, USA, 2000.
- Sayın B, 2016, Tarihi Yığma Yapıların Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi ve Uygulama Önerileri, Dicle Üniversitesi, Mühendislik Dergisi, 7, 387-398.
- Seçme T, 2009, Zaman Tanım Alanında Davranış Spektrumunun İncelenmesi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 119s, Eskişehir.
- Selçuk E, 2019, Tarihi Yapıların Temel Sistemlerinin Güçlendirilmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 87s, Ankara.
- Sesigür H, Çelik O C, Çılı F, 2007, Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Bileşenler, Hasar Biçimleri, Onarım ve Güçlendirme, İTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Statiği ve Betonarme Birimi, Yapı Dergisi, 10-21.

- Şeker B Ş, Çakır F, Doğangün A, Durmuş A, 2015, Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Tarihi Erzurum Lala Paşa Caminin Yapısal Davranışının İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21, 82-87.
- Şirikçi S T, 2013, Tarihi Eserlerde Yapı Malzeme Cinslerinin Araştırılması ve Korunmaları İçin Alınacak Önlemler, Haliç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 112s, İstanbul.
- Şişik Ö, 2017, Edirne’de Bulunan 15.Yy ve 16.Yy’da İnşaa Edilmiş Tarihi Cami ve Türbelerin Taşıyıcı Sistem Analizi ve Çözüm Önerileri, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 211s, Konya.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), 2018, Resmi Gazete, 18 Mart 2018, 30364
- Tetik T, 2015, Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansı ve Güçlendirme Teknikleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 116s, İstanbul.
- TS 647, 1960, Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- TS 498, 1997, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 500, 2000, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türkmen M, Bilgin, H, 2002, Geleneksel Mimaride Kubbeli Örtü Sistemlerinin Yapısal Davranışı, Balıkesir Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi IV. Mühendislik Mimarlık Sempozyumu, Balıkesir, Türkiye.
- Uğuz S, 2016, Tarihi Yığma Bir Binanın Deprem Güvenlik Analizi: Tarihi Konya-Gazi Lisesi (Darü-L Muallim) Örneği, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 100s, Konya.
- Uray A, 2018, Tarihi Yapıların Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizinin İznik Yeşil Cami Örneğinde İncelenmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 89s, Eskişehir.

- Utkan U, 2014, Tarihi Yapılarda Karşılaşılan Geoteknik Problemler ve Uygulanan Zemin İyileştirme Yöntemleri, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 294s, Adana.
- Ünay A İ, 2002, Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Basım İşliği, Ankara.
- Üstündağ C, 2000, Bir-iki Katlı Yığma Binaların Yatay Yükler Altındaki Davranışı ve Kesme Güvenliğinin Sağlanması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 63s, İstanbul.
- Venedik Tüzüğü, 1964, Tarihi Anıtların ve Yerleşmelerin Korunması ve Onarımı için Uluslararası Tüzük, (The Venice Charter) İkinci Uluslararası Tarihi Anıtlar Mimar ve Teknisyenleri Kongresi, 25-31 Mayıs, Venedik.
- Yaldız E, Yavuz G, Yılmaz Ü S, 2011, Tarihi Taş Yığma Konutların Güçlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler: Ürgüp İbrahim Paşa Köyünden Bir Konut Örneği, Selçuk Üniversitesi, e-Journal of New World Sciences Academy dergisi, 1033-1052.
- Yılmaz P, 2006, Tarihi Yapıların Modellenmesi Ve Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 59s, Sakarya.

İnternet Kaynakları

- 1- <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/isparta/gezilecekyer/devlethan-camii/>, (24.11.2020)
- 2- <http://gezgindergi.com/kubbeler-ve-mimarisi/>, (01.10.2020)
- 3- <https://www.hurriyet.com.tr/gundem/camilerde-kubbeleri-ve-kemerleri-tasimak-icin-kullanilan-yukse-ve-kalin-ayaklara-ne-denir-41051857>, (30.07.2020)
- 4- <https://www.humbarahane.com/temeller-ve-temel-cesitleri/>, (06.10.2020)
- 5- <https://tr.homeinteriorz.com/complete-history-of-flooring-part-one-5351/>, (27.08.2020)
- 6- <https://docplayer.biz.tr/20585551-Tarihi-yigma-yapilarda-hasar-teghisi.html>, (11.05.2020)
- 7- <https://docplayer.biz.tr/27335107-Deprem-bolgelerindeki-tarihi-kagir-yapilarin-guclendirilmesinde-kullanilan-yeni-teknikler.html>, (21.11.2020)
- 8- <https://www.restorasyonforum.com/8226diger-projeler/deprem-bolgelerindeki-tarihi-kagir-yapilari-guclendirmek/>, (24.08.2020)
- 9- <http://www.isparta.gov.tr/yalvaç>, (18.08.2020)
- 10- <https://www.tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>, (03.07.2020)
- 11- <https://www.google.com/earth/>, (04.07.2020)
- 12- <https://www.web.itu.edu.tr/kimence/bolum1.pdf>, (15.12.2020)