



**YARIM KUBBELİ TARİHİ MEDRESELERİN DİNAMİK
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ: TOKAT YAĞIBASAN
(ÇUKUR) MEDRESE ÖRNEĞİ**

HABİP TÜRKEKUL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

TOKAT 2019

Her hakkı saklıdır.

T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YARIM KUBBELİ TARİHİ MEDRESELERİN DİNAMİK
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ: TOKAT YAĞIBASAN
(ÇUKUR) MEDRESE ÖRNEĞİ

HABİP TÜRKEKUL

TOKAT
Ağustos - 2019

Her hakkı saklıdır.

Habip Türkekul tarafından hazırlanan “**Yarım Kubbeli Tarihi Medreselerin Dinamik Davranışlarının İncelenmesi: Tokat Yağlıbasan (Çukur) Medrese Örneği**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 22/08/2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Murat ÇAVUŞ
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi

Üye

Doç. Dr. Burçin Şenol ŞEKER
Amasya Üniversitesi

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Şahin SÖZEN
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi

İmza

.....


.....


.....


ONAY
.....

Prof. Dr. Çetin ÇEKİÇ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
09./09/2019

TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Habip TÜRKEKUL

22 Ağustos 2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YARIM KUBBELİ TARİHİ MEDRESELERİN DİNAMİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ: TOKAT YAĞIBASAN (ÇUKUR) MEDRESE ÖRNEĞİ

HABİP TÜRKEKUL

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ MURAT ÇAVUŞ

Bu çalışmada, kültürel mirasımızın önemli yapılarından olan Tokat Yağıbasan (Çukur) Medresesi, ölçeklenmiş gerçek deprem ivme kayıtları kullanılarak analiz edilmiştir. Bu yapının çalışılmasında en belirleyici özelliğinin, Anadolu'da birkaç örneğine rastlanan ve orta kubbesinin yarım yapılmış olmasıdır. Çalışmada yapı iki farklı senaryoya göre sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Birinci senaryoda orijinalinde de olduğu gibi yarım kubbeli olarak modellenmiş, ikinci senaryoda ise tam kubbeli olarak modellenmiş ve analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Malzeme özellikleri için literatür de geleneksel yığma yapılarla ilgili yapılan benzer çalışmalardan elde edilen malzeme özellikleri kullanılmıştır. Dinamik analizler için yerel zemin koşulları dikkate alınmış, deprem etkisi altında yapısal davranışı incelenerek değerlendirmeler yapılmış, yapısal performansı statik ve dinamik etkiler bakımından ortaya konulmuştur. Yapılan analizler sonucunda her iki yapı için gerilme yığılmalarının oluştuğu bölgelerin benzer olduğu ancak değerlerin değiştiği gözlemlenmiştir.

2019, 88 SAYFA

ANAHTAR KELİMELELER: Deprem Güvenlik Analizi, Geleneksel Yığma Yapılar, Medreseler, Yapısal Performans

ABSTRACT

MASTER THESIS

INVESTIGATION OF THE DYNAMIC BEHAVIOR OF HALF-DOMED HISTORICAL MADRASAS: A CASE STUDY OF TOKAT YAĞIBASAN (ÇUKUR) MADRASA

HABİP TÜRKEKUL

**TOKAT GAZİOSMANPASA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

SUPERVISOR: ASST. PROF. DR. MURAT ÇAVUŞ

In this study, Tokat Yağibasan (Çukur) Madrasa, one of the important structures of our cultural heritage, was analysed using scaled real earthquake acceleration records. The most distinctive feature of this structure is the fact that it has a half central dome. Using finite element method, the structure was modelled according to two different scenarios. In the first scenario, the structure was modelled as half domed as in the original, then modelled as full domed in the second scenario and the results of the analysis were compared. For material characteristics, the properties obtained from similar studies on traditional masonry construction in literature were used. For dynamic analysis, local ground conditions were taken into consideration. Structural behaviour was investigated under earthquake forces, and structural performance was evaluated in terms of static and dynamic influences. According to structural analysis, it was observed that stress concentration areas were similar for both structures, however the values varied.

2019, 88 PAGE

KEYWORDS: Earthquake Safety Analysis, Madrasahs, Structural Performance, Traditional Masonry Structures

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim süresince fikirleriyle beni yönlendiren, yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Murat ÇAVUŞ'a, tezin yazım sürecinde birçok konuda destek ve katkılarını sağlayan deneyim ve tecrübelerinden faydalandığım, yardımlarını esirgemeyen amcam ve hocam Prof. Dr. İbrahim TÜRKEKUL'a minnetlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam esnasında manevi olarak hep yanımda olan kıymetli babam Durmuş TÜRKEKUL'a, her türlü destek ve yardımlarıyla katkıda bulunan, hep ilgi ve desteğini yanımda hissettiğim gerçekleştirmeyi düşlediğim hayallerimin peşinden giderken, fedakârlıkları, sevgisi, ilgisi ve desteğiyle her zaman varlığını hissettiğim değerli eşim Şule Gamze TÜRKEKUL'a, oğlum Durmuş Emir'e ve kızlarım Zekiye Nur ve Zeynep Su'ya, sevgili annem Zekiye TÜRKEKUL'a sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGE VE KISALTMALAR	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
ÇİZELGELER LİSTESİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. TARİHİ YIĞMA YAPILAR	12
3.1. Tarihi yığma yapıların malzeme özellikleri.....	15
3.1.1. Doğal taş	16
3.1.2. Kerpiç.....	18
3.1.3. Tuğla	19
3.1.4. Harç.....	23
3.1.5. Ahşap	25
3.2. Tarihi yığma yapıların yapısal özellikleri	27
3.2.1. Temeller	27
3.2.2. Duvarlar	28
3.2.3. Kemerler ve Tonozlar	30
3.2.4. Kubbeler.....	33
3.2.5. Ayaklar ve Sütunlar	34
4. TARİHİ YIĞMA YAPILARDA MODELLEME ve ANALİZ YAKLAŞIMLARI ..37	
4.1. Modelleme teknikleri	37
4.1.1. Mikro modelleme.....	39
4.1.2. Makro modelleme	41

4.1.3. Sonlu elemanlar yöntemi	43
4.2. Yığıma yapılarda analiz yöntemleri	47
4.2.1. Doğrusal analiz yöntemleri	47
4.2.2. Doğrusal olmayan analiz yöntemleri	51
5. ÖRNEK YAPININ MODELLENMESİ ve ANALİZİ	56
5.1. Yapıya ait genel bilgiler	56
5.2. Yapının modellenmesi ve analiz parametreleri	60
5.2.1. Statik analiz	62
5.2.2. Modal analiz	64
5.2.1. Dinamik analiz	67
6. SONUÇ	82
7. KAYNAKLAR	84
8. ÖZGEÇMİŞ	88

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simge	Açıklaması
A	Deprem Bölgesi Etkin Yer İvmesi Katsayısı
A_o	Etkin Yer İvmesi Katsayısı
A(T)	Spektral İvme Katsayısı
cm	Santimetre
CAD	Computer Aided Design
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
df_i (x)	(X) Deprem Doğrultusunda Binanın Hakim Doğal Titreşim Periyodunun Hesabında i'inci Kata Etki Ettirilen Fiktif Yükten Oluşan Yer Değiştirme [m]
ETABS	Structural Software for Building Analysis and Design
Ff_i (x)	(X) Deprem Doğrultusunda Binanın Hakim Doğal Titreşim Periyodunun Hesabında i'inci Kata Etki Ettirilen Fiktif Yük [kN]
FEM-DE	Finite element method-Discrete Element
g	Yerçekimi ivmesi [9.81m /s ²]
I	Bina Önem Katsayısı
kg	Kilogram
km	Kilometre
kN	Kilo Newton
m	Kütle Matrisi, Eleman Atalet Matrisi, Metre
mm	Milimetre
mt	Binanın Bodrum Katlarının Üstündeki Üst Bölüm'ünün Toplam Kütlesi [t]
mi	i'inci katın toplam kütlesi [t]
mt_{xn}(x)	(X) deprem doğrultusu için binanın x eksenini doğrultusunda n'inci titreşim moduna ait taban kesme kuvveti modal etkin kütlesi [t]

mtyn(y)	(Y) deprem doğrultusu için binanın y eksenini doğrultusunda n'inci titreşim moduna ait taban kesme kuvveti modal etkin kütle [t]
Ra(T)	Öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
s	saniye
SAP	Systems Analysis and Program Development
SaR (T)	Azaltılmış tasarım spektral ivmesi [g]
S(T)	Spektrum katsayısı
S11	X eksenindeki normal gerilme
S22	Y eksenindeki normal gerilme
S33	Z eksenindeki normal gerilme
S12	X eksenini doğrultusunda uzanan, YZ düzleminin Y doğrultusundaki gerilme bileşeni
SVmax	Düzlem dışı kesme gerilmeleri
S	Kar yükü etkisi
Sae (T)	Yatay elastik tasarım spektral ivmesi [g]
SDS	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
TP (x)	(X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu [s]
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğı
T	Yapının doğal titreşim periyodu
TA, TB	Spektrum karakteristik periyotları [s]
Tm, Tn	Binanın m'inci ve n'inci doğal titreşim periyotları
TS	Türk Standartları
(VS)30	Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı [m/s]
VtE (x)	(X) deprem doğrultusunda binanın tümüne etkileyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) [kN]
σ	Duvar Düşey Gerilmesi

$\sigma_{e,em}$	Duvar Düşey Emniyet Gerilmesi
τ_{em}	Duvar Kayma Emniyet Gerilmesi
1B	Bir Boyutlu
2B	İki Boyutlu
3B	Üç Boyutlu
∞	Sonsuz



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Yığma Taş Yapılar a) Moloz taş, b) Kesme taş, c) İri Kesme Taş.....	14
Şekil 3.2. Tuğla Örgü Teknikleri a) Basit, b) Çapraz, c) Flaman.....	14
Şekil 3.3. Roma'da Duvar a) Bağlı b) Yastıklı-Ortası Dolgulu c) Tuğla Yüzlü- Dolgulu.....	15
Şekil 3.4. Taş Duvar yapım şekilleri a) Toprak ile örülmüş b) Sıkıştırılarak kille harçsız örülmüş c) Köşeli taşlarla harçsız örülmüş d) Poligonal olarak örülmüş e) Kesilmiş birimlerle ve kireç harcı ile örülmüş f) Kesilmiş birimlerle harçsız örülmüş Kapak Sayfalarının Düzeni.....	17
Şekil 3.5. Taşlarda Aranan Özellikler.....	18
Şekil 3.6. Romalılar tarafından yapılmış tuğlalar.....	20
Şekil 3.7. Günümüz kil tuğlaları.....	21
Şekil 3.8. Silindirik Tuğlanın Çevrimli Basınç Deneyi ve Tipik Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi.....	23
Şekil 3.9. Antik Klaros tapınak alanındaki Apollon Klaros Tapınağı temeli.....	27
Şekil 3.10. Tekil temel.....	28
Şekil 3.11. Romalılar zamanında yapılmış yığma duvarlar	29
Şekil 3.12. Kabuk duvar detayı.....	29
Şekil 3.13. Yunanistan'ın Tiryns şehrinde M.Ö. 600'de yapılmış duvar içinde dirsek kemer.....	30
Şekil 3.14. Irak'da M.S. 550'de çamus tuğladan yapılan Ctesiphon Sarayı.....	30
Şekil 3.15. Kemerin yük aktarımı 1.....	31
Şekil 3.16. Kemerin yük aktarımı 2.....	31
Şekil 3.17. Topkapı Sarayı Mutfak Bölümü.....	32
Şekil 3.18. SantaClara-Coimbra/Portekiz.....	32
Şekil 3.19. Tonoz yapılar.....	33
Şekil 3.20. Topkapı Sarayı-Mutfak Bölümü.....	34
Şekil 3.21. Sütun alt başlığı-tabanı.....	35
Şekil 3.22. Grand Palais-Paris/Fransa.....	35
Şekil 3.23. Tek parça sütunlar.....	36

Şekil 4.1. Örnek Yığma Yapı Elemanı.....	38
Şekil 4.2. Model Yaklaşımları a) Detaylı Mikro b) Basit Mikro c) Makro Modelleme.....	39
Şekil 4.3. Yığma Duvarın Mikro Model Analizi a) Kuvvet-Yer değiştirme Diyagramı b,c) Maksimum ve Nihai Yüklerdeki Şekil Değişiklikleri.....	40
Şekil 4.4. Ayrıntılı mikro modelleme yöntemi.....	41
Şekil 4.5. Basitleştirilmiş mikro modelleme yöntemi.....	41
Şekil 4.6. Yığma Duvarın Makro Model Analizi a) Kuvvet-Yer değiştirme Diyagramı b) Nihai Yükte Şekil Değişiklikleri Şekli.....	42
Şekil 4.7. Makro modelleme yöntemi.....	42
Şekil 4.8. Sonlu Eleman Modelinde Düğüm Noktaları ve Elemanlar.....	45
Şekil 4.9. 1. B, 1. çizimde, toplam düğüm sayısı ∞ , her bir noktanın serbestlik derecesi 6, toplam serbestlik derecesi ∞ . 2. çizimde, toplam düğüm sayısı 8, her bir noktanın serbestlik derecesi 6, toplam serbestlik derecesi 48.....	47
Şekil 4.10. Analiz Tiplerinin Karşılaştırılması.....	48
Şekil 5.1. Yapının plan krokisi (VGMA, 2019).....	57
Şekil 5.2. Yapının kesiti (VGMA, 2019).....	58
Şekil 5.3. Yapı dışından alınan görüntüler	59
Şekil 5.4. Yapı içinden alınan görüntüler	60
Şekil 5.5. Yapıya ait sonlu elemanlar modelleri (a) yarım kubbeli durum (b) tam kubbeli durum	61
Şekil 5.6. Kendi ağırlığı altında oluşan şekil değişiklikleri (a) yarım kubbeli (b) tam kubbeli yapı	62
Şekil 5.7. Kendi ağırlığı altında oluşan çekme gerilme haritaları (a) yarım kubbeli (b) tam kubbeli yapı	63
Şekil 5.8. Kendi ağırlığı altında oluşan basınç gerilme haritaları (a) yarım kubbeli (b) tam kubbeli yapı	64
Şekil 5.9. Yarım kubbeli yapı modal analiz sonuçlarından elde edilen mod şekilleri	65
Şekil 5.10. Tam kubbeli yapının modal analiz sonuçlarından elde edilen mod şekilleri	66
Şekil 5.11. Türkiye deprem tehlike haritası.....	68

Şekil 5.12. Yapının bulunduğu bölge ve zemin sınıfı için oluşturulan spektrum eğrisi	69
Şekil 5.13. Dinamik analizlerde kullanılan ölçeklenmiş ivme-zaman grafikleri.....	69
Şekil 5.13. (Devam) Dinamik analizlerde kullanılan ölçeklenmiş ivme-zaman grafikleri.....	70
Şekil 5.13. (Devam) Dinamik analizlerde kullanılan ölçeklenmiş ivme-zaman grafikleri.....	71
Şekil 5.14. Yapının Düzce depremi (a) tam kubbe için kuzey-güney (b) tam kubbe için doğu-batı (c) yarım kubbe için kuzey-güney (d) yarım kubbe için doğu-batı ivme kayıtları altında yaptığı en büyük yer değiştirmelere ait deformasyon şekilleri	72
Şekil 5.15. Yapının Erzincan depremi (a) tam kubbe için kuzey-güney (b) tam kubbe için doğu-batı (c) yarım kubbe için kuzey-güney (d) yarım kubbe için doğu-batı ivme kayıtları altında yaptığı en büyük yer değiştirmelere ait deformasyon şekilleri.....	73
Şekil 5.16. Yapının Kocaeli depremi (a) kuzey-güney (b) doğu-batı ivme kayıtları altında yaptığı en büyük yer değiştirmelere ait deformasyon şekilleri....	74
Şekil 5.17. Yapıların Kuzey-Güney ivme kayıtları ile yapılan dinamik analizi sonucunda ortaya çıkan çekme gerilmesi dağılımı şekilleri(N/mm ²).....	76
Şekil 5.18. Yapıların Doğu-Batı ivme kayıtları ile yapılan dinamik analizi sonucunda ortaya çıkan çekme gerilmesi dağılımı şekilleri(N/mm ²).....	77
Şekil 5.19. Yapıların Kuzey-Güney ivme kayıtları ile yapılan dinamik analizi sonucunda ortaya çıkan basınç gerilmesi dağılımı şekilleri(N/mm ²).....	78
Şekil 5.20. Yapıların Doğu-Batı ivme kayıtları ile yapılan dinamik analizi sonucunda ortaya çıkan basınç gerilmesi dağılımı şekilleri(N/mm ²).....	79
Şekil 5.21. Gerilme yığılmasının yoğunlaştığı elamanlardan birinin seçiminin gösterimi	80

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Doğal yapı taşlarının ortalama mekanik özellikleri.....	17
Çizelge 3.2. Taşıyıcı duvarlarda kullanılan kerpicin boyutları.....	19
Çizelge 3.3. Tuğlaların ortalama fiziksel özellikleri.....	20
Çizelge 3.4. Basınç Dayanımları ve biçimlerine göre harman tuğlaları (TS704).	21
Çizelge 3.5. Harman Tuğlası Boyutları (TS704).....	21
Çizelge 3.6. Fabrika tuğlalarının birim hacim ağırlıkları ve basınç dayanımları)	22
Çizelge 3.7. Tuğlaların Ortalama Mekanik Özellikleri.	23
Çizelge 3.8. Ahşap malzemenin fiziksel özellikleri.	26
Çizelge 3.9. Ahşap yapı elemanları için emniyet gerilmeleri (Esas yükler için)..	26
Çizelge 3.10. Ahşapların ortalama mekanik özellikleri.....	26
Çizelge 4.1. Analiz Tiplerinin Karşılaştırılması.	51
Çizelge 5.1. Malzeme mekanik özellikleri.	60
Çizelge 5.2. Modal analiz sonuçları.....	67
Çizelge 5.3. Tam kubbeli yapıdan seçilen eleman (Area 756) için hesaplanan çekme ve basınç gerilmeleri	80
Çizelge 5.4. Yarım kubbeli yapıdan seçilen eleman (Area 761) için hesaplanan çekme ve basınç gerilmeleri	81

1. GİRİŞ

Geleneksel yapılar, bizden önceki medeniyetlerin bizlere bıraktığı birer miras, devletler için birer hâkimiyet sembolü, şehirleri süsleyen birer anıt, geçmişin ustalık, metot ve teknolojilerini daha ileri taşımamızı sağlayan miraslarımızdır (Anadut, 2016). Birçok kültüre ve medeniyete ev sahipliği yapmış ülkemiz, bu renkli yapısı nedeniyle eski kültürlerle ve medeniyetlere ait camiler, surlar, kiliseler, kaleler, köprüler, medreseler gibi çeşitli tarihi yapıları barındırmaktadır (Uğuz, 2016).

Bu geleneksel kültür varlıkları çeşitli doğal (çevresel ve iklimsel) etkilere maruz kalmakta ve zamanla gücünü, dayanımını, sağlamlığını kaybetmektedir. Bizden önceki medeniyetlerin bizlere bıraktığı bu değeri korumak ve kendine has nitelikleriyle sonraki nesillere aktarmak bugün en önemli sorunlar arasındadır (Anadut, 2016). Bu yapıların korunmasında atılacak ilk adım, taşıyıcı strüktürlerin yapısal davranışını anlamak olmalıdır. Geleneksel yapılar yapısal davranışını belirleyebilmek, ancak yapıyı meydana getiren malzemelerin özelliklerinin ortaya çıkarılmasıyla yakından ilişkilidir (Durutürk, 2012).

Günümüz yapılarının tasarımında deprem güvenliğine dikkat edilirken, mevcut tarihi yapılarımızın deprem performanslarının değerlendirilmesi ve bu değerlendirmeler dikkate alınarak gerekli önlemlerin alınması kaçınılmazdır (Şişik, 2017). Amaç tarihi eserlerin yapısal ve işlevsel özelliklerinin bozulmasını önlemek, sağlıklı bir durumda bizden sonraki nesillere aktarılmasını sağlamaktır (Anadut, 2016).

Geleneksel Yapılar, yapı ömrü boyunca oluşan depremleri zarar görmeden atlattığı olmasına karşın, kullanımdan sonraki günümüze kadar olan süreçte ve ileride meydana gelecek depremler karşısında nasıl bir performans sergileyeceğinin incelenmesi konusu hem kamu yararı hem de geleneksel yapıların depreme karşı performansının araştırılması ile ilgili akademik çalışmalara faydası olacağı kanaatine varılmıştır (Uğuz, 2016).

Geleneksel yapıların çoğu elemanların basınca çalıştırılması prensibiyle inşa edilmiş yapılar. Bu tür yapılar taşıyıcı duvarlar, sütunlar, payandalar, tonozlar ve

kubbeler'den oluşmaktadır. İnşalarında da genel olarak doğal taş, kesme taş, moloz taş, tuğla gibi malzemeler kullanılmıştır. Bu malzemeleri birleştirmek için bağlayıcı eleman olarak farklı puzolan katkılı kireç esaslı harçlar veya tuğla pirincinin katıldığı horasan harcı olarak adlandırılan harçlar tercih edilmiştir. Geleneksel yapılarda oluşan çekme kuvvetleri ise ahşap ya da demir kenet, demir gergi elemanlarından faydalanılarak karşılanmaya çalışılmıştır (Şişik, 2017).

Ülke olarak dünyanın en tehlikeli ve aktif deprem hatlarından birisinde yer almaktayız. Ülkemizde nüfusun %70'i yüksek deprem riski altında yaşamakta ve yapıların %90'dan fazlası yine bu bölgelerde bulunmaktadır. Ayrıca Merkezi yerleşim yerleri dışındaki Yapıların hemen hemen hepsi, şehir merkezlerinde de çoğu geleneksel yığma yapılarıdır (Uğuz, 2016).

Geleneksel yapıları tümü ile projelendirmek, güçlendirme hesap ve esaslarını belirlemek için, bu yapıların analitik incelenmesinin yapılması şarttır. Bunun için, incelemesi yapılacak yapıların tüm elemanlarının dijital ortamda modellenip, deprem etkilerindeki davranışlarının tespit edilmesi zorunludur (Şişik, 2017).

Analizi yapılacak geleneksel yığma yapılarıdaki çalışmalar, betonarme yapılara nazaran oldukça zordur. Son zamanlarda bilgisayar teknolojileri sayesinde yığma yapıların analizinde klasik analiz yöntemlerinden ziyade doğrusal olmayan malzeme özelliklerinin ve mafsalların dikkate alındığı plastik analiz yaklaşımı genellikle kullanılmaya başlamıştır. Geleneksel Yığma yapıların modellenmesinde iki yaklaşımdan söz edilebilir; bunlar mikro modelleme ve makro modellemedir. Mikro modelleme de tuğla ve harçtan oluşan yığma yapı birimleri ayrı ayrı modellenmek suretiyle modelleme yapılır (Uğuz, 2016).

Bu tür çalışmalarda çoğunlukla sonlu elemanlar yöntemi kullanılmaktadır. Çoğunlukla Mikro modellemede büyük bir hesap yüküyle karşılaşmaktadır. Bu yöntem yerel analizler için uygun olup, büyük yapıların analizlerinde tercih edilmez. Mikro modelleme yöntemindeki uygulamalar ise limit analiz, ayrıl elemanlar ve sonlu elemanlar yöntemiyle gerçekleştirilir. Plastik analizde kullanılan makro modellemede ise yığma yapı malzemesi homojen kabul edilerek mekanik malzeme özellikleri bu

kabul üzerinden tanımlanmaktadır (Çaktı ve ark., 2013). Sonlu elemanlar yöntemi genellikle Yığma yapıların yapısal analizlerinde kullanılmaktadır. Bu analiz yöntemde yapı analizin amacına uygun bir şekilde ve sayıda sonlu elemanlara ayrıştırılarak modellenir ve analizi yapılır. ETABS, SAP2000 vb. bilgisayar programlar Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan yapısal analizlerde kullanılan paket programlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada, kültürel mirasımızı oluşturan geleneksel yapılardan pek çok sivil ve dini mimarlık örneklerini bünyesinde bulunduran Tokat'daki Yağlıbasan (Çukur) Medrese örneği ele alınarak, tam ölçekli olarak modellenmiştir. Tokat Yağlıbasan (Çukur) Medrese yapısının detaylı rölöveleri Tokat Vakıflar Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Çalışmada yapı iki farklı senaryoya göre modellenmiş ve analiz edilmiştir. Birinci senaryoda orijinalinde de olduğu gibi yarım kubbeli olarak ikinci senaryoda ise tam kubbeli olarak modellenmiş ve analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Malzeme özellikleri için literatür de geleneksel yığma yapılarla ilgili yapılan benzer çalışmalar araştırılıp, bu araştırmalara göre elde edilen malzeme özellikleri modellemede kullanılmıştır. Modellemede yerel zemin koşulları dikkate alınmış, deprem etkisi altında yapısal davranışı incelenerek değerlendirmeler yapılmış, yapısal performansı statik ve dinamik etkiler bakımından ortaya konulmuştur. Geometrik özellikleri ve malzeme özellikleri belirlenen tarihi yapıların SAP2000 programı kullanılarak modellenmesi yapıp, kendi yükleri ve sismik yükler etkisi altındaki analizleri yapılmıştır. Analizi yapılan tarihi yapıda bir deprem sebebiyle oluşabilecek hasarların büyüklüğü ve hasarların oluşması muhtemel yapı bölümleri hakkında yorumlamalar yapılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Geleneksel yapılar, birer miras olmakla beraber geçmişin tecrübelerini ve teknolojilerini daha ileri taşımamız için aynı zamanda bize yol gösterici birer anıttır. Bu nedenle dünya ve Türkiye literatüründe geleneksel yapılarla ilgili yapılmış fazlaca çalışma bulunmaktadır. Yapmış olduğumuz Tez kapsamında bu çalışmalardan bazıları incelenmiş ve kısaca içeriklerine değinilmiş, kronolojik sıra ile aşağıda özet halinde sunulmuştur.

Di Pasquale (1979) kagir duvarlarla ilgili malzeme özellikleri ve yapısal davranışları anlatarak İtalya Floransa'da bulunan ve XV. yüzyıl yapısı olan Santa Maria Del Fiore Katedrali'nin kubbesini sonlu elemanlar yöntemiyle modellemiş ve analiz sonuçlarını incelemiştir.

Karaesmen ve Ünay (1988) Mimar Sinan'ın kubbeli yapılarını incelemiş ve bu yapıların yük aktarma sistemleri hakkında bilgi vermişlerdir. Şehzade Mehmet Camisi'nin malzeme ve yapısal özellikleri ile ilgili bilgiler vererek ana kubbenin sonlu elemanlar yöntemiyle analizini yapmışlardır.

Karaesmen ve ark. (1992) Mimar Sinan'ın deprem kuşağı üzerinde yer alan yapılarını ele alarak, Şehzade Mehmet Camisi'ni ve Edirnekapı Mihrimah Sultan Camisi'ni sonlu elemanlar yöntemiyle modellemişlerdir. Modellenen yapıların deprem yükleri altındaki davranışlarını incelemiştir.

Lourenço (1996) makro ve mikro modelleme yöntemleriyle yapıların; doğrusal olmayan hareketlerini inceleyerek, kayma ve göçme sistemleri ile alakalı bilgi edinmemizi sağlamıştır.

Riva ve ark. (1998) İtalya'da bulunan Asinelli Kulesi'ni, makro modelleme tekniğiyle Abaqus sonlu elemanlar programında modelleyerek yapının modal ve sismik analizlerini yapmışlardır. Kulenin kendi ağırlığı altında oluşan maksimum basınç gerilmesi değerinin tuğla için bilinen sınır dayanımına yakın değerlerde olduğunu ve

Bologna’da geçmiş tarihlerde meydana gelmiş olan depremlere kulenin dayanabileceğini göstermişlerdir.

Kaya (2003), yaptığı çalışmada, çelik ve betonarmenin, tamir ve güçlendirmedeki etkisi üzerinde durmuş, yığma yapılarda kısmen harabe ve zarar görmüş olanlarını güçlendirilmesi ve onarımı için yöntemleri incelemiştir.

Bernardeschi ve ark. (2004) İtalya’da bulunan Buti Çan Kulesi’ni, makro modelleme tekniği ile modelleyip kendi ağırlığı ve kendi ağırlığı yanında yatay yük etkisi altında olmak üzere iki farklı durum altında incelemiştir. Yapıdaki yer değiştirmeleri, gerilme alanlarını ve çatlak dağılımlarını inceleyip hesap sonucunda bulunan çatlak dağılımları ile yapıdaki gerçek çatlak dağılımlarını karşılaştırmışlardır.

Teomete (2004) LUSAS adlı bir paket program kullanarak Urla Kamanlı Camii’nin rölevesini çıkartarak malzeme testlerini yapmış, geçmişini araştırmış, bu araştırmalar ve testler sonucunda elde ettiği verilerle yığma yapının sonlu elemanlar yöntemi ile modelini oluşturup analizini gerçekleştirmiştir

Kuruşcu (2005) yığma yapıların tarihçesi, malzeme özellikleri ve yapı elemanlarına ilişkin açıklamalar yapmış, mevcut sayısal yöntemler ve modelleme tekniklerini irdeleyerek gerçek ölçekli duvar deneyi yapmış ve yük-yer değiştirme eğrileri bulunan duvar örnekleri ile önerilen sayısal analiz yöntemini kıyaslamıştır.

Ural (2005), çalışmasında; Trabzon’ un Maçka ilçesine yakın konumdaki Coşandere (Kınalı) Köprüsü örneğinde, eski kemer köprülerle alakalı bilgiler verip, SAP2000 programı ile modelini oluşturmuş, model üzerine 1940-Elcentro depreminin ivme kaydını vererek, yapının statik ve dinamik analizini yapmıştır.

Boz (2006) deprem yönetmeliğinde belirtilen yükler etkisindeki analizi için, 2.derece deprem bölgesindeki eski Aspendos tiyatrosunun 3D sonlu elemanlar modelini kullanmış ve belirtilen yük etkisi altındaki gerilme düzeylerini araştırmıştır. Ayrıca halen kullanımdan kaynaklanan ses dalgalarının yapının rezonans durumuna getirip getirmediğini incelemiştir.

Şen (2006) 105 yaşındaki Hemdat İsrail Sinagog'unu SAP2000 sonlu elemanlar yöntemi paket programıyla modelledikten sonra deprem etkisini temsil edecek şekilde düşey ve yatay yükler altında doğrusal analizini yaparak yapının mevcut durumunun deprem performansını değerlendirmiştir. Ayrıca pencere çerçevesiz ve çerçevesiz olmak üzere iki farklı model daha oluşturup analizini yaparak yapılarıdaki boşlukların yapının sismik davranışına etkisini incelemiştir.

Özen (2006) Hasankeyf'te yer alan yığma bir yapının modeli oluşturulmuştur. Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan farklı uygulamalar ile gerilmeler, şekil değiştirmeler ve mod şekil değiştirmeleri kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Ayrıca yapının doğrusal analizi yapılmış ve doğrusal olmayan davranışla karşılaştırması yapılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında benzer değerler elde edilmiştir. Tüm yapının incelenmesinde doğrusal analizin, doğrusal olmayan analiz için yeterli bir alternatif olduğu görülmüştür.

Mahrebel (2006) tarihi yapı türleri, yığma yapılarıdaki kullanılan malzemeler, yığma yapıların taşıyıcı sistemlerinin özellikleri, deprem güvenliğinin incelenmesi, oluşan hasarlar ve türleri ile onarım ve güçlendirme yöntemleri konuları ele alınmıştır.

Yılmaz (2006), çalışmasında; Sakarya ili, Sapanca ilçesinde bulunan tarihi Rahime Sultan Cami' sini ele alarak, bu yapının deprem davranışını belirlemek ve gelecek nesillere ulaştırabilmek için yapılması gerekli olan işlemleri ortaya koymuştur. İlk olarak yapının deprem davranışlarını belirleyebilmek için model ve analiz yöntemleri belirlenmiş, daha sonra kullanılan malzeme ve bu malzemeleri inceleme yöntemlerinden bahsedilmiştir. Son olarak Rahime Sultan Cami' nin SAP2000 programında 3 boyutlu sonlu eleman modeli oluşturulmuş ve sayısal çözümleri yapılmıştır. Yapıdaki maksimum basınç gerilmesi ve yer değiştirmelerin sayısal değerleri verilmiştir.

Batur (2006), çalışmasında; yığma yapı tanımını yapmış ve yığma yapının deprem altındaki davranışını, deprem hasar biçimlerini ve kırsalda bulunan yapıların hasar düzeylerini incelemiştir. Ayrıca yığma yapıların; tasarımı, analizi ve malzeme özelliklerini vermiştir. Çalışmada incelenen yığma modelin, taşıyıcı duvarlarda yatay ve düşey yüklerden kaynaklanan gerilmelerin emniyet gerilmesinin altında çıktığı, dolayısı

ile yığma yapı modelinin bulunduğu deprem bölgesi için uygun bir model olduğu sonucuna varılmıştır.

Özkul ve ark. (2007) İstanbul'da bulunan tarihi bir kiliseyi incelemiştir. SAP 2000 programını kullanarak kilisenin sonlu eleman modelini oluşturup, kilisenin kendi ağırlığı altındaki ve deprem kuvvetleri altındaki davranışını incelemiştir. Oluşan basınç ve çekme gerilme değerlerinin limit değerlerin altında kaldığı sonucuna varmışlardır.

Atabey (2007) Sivas'ın Suşehri ilçesindeki yığma yapı olarak yapılmış olan Aşağısarıca İlköğretim Okulu binasının deprem performans analizi 2007 Deprem Yönetmeliği esaslarına göre analitik yöntem ve StatiCAD-Yığma uygulaması ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yapının performansı tespit edilmiştir. Bunun dışında ayrıca StatiCAD-Yığma uygulaması ile analitik hesap sonuçları da karşılaştırılmıştır. Hem analitik yöntem sonucunda, hem de StatiCAD-Yığma uygulaması ile yapılan analizler neticesinde, 2007 deprem yönetmeliği ile yapının göçme durumunda olduğu tespit edilmiştir.

Köseoğlu (2008) 16. yüzyıl klasik Osmanlı mimarisinde tek kubbeli hasarlı bir cami üzerinde çalışılmıştır. Kubbede ve taş duvarlarda gözlemlenen aşırı çatlaklar caminin kapatılmasına neden olmuştur. Çalışmanın ana amacı hasarın olası sebeplerinin araştırılmasıdır. Cami siltli-kil üzerine inşa edilmiştir. Su tablasındaki değişime bağlı olarak siltli kil zeminde farklı oturmalara neden olmuştur. Yapının sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Taş duvarlar ise makro modellemeye göre homojen olarak kabuk elemanlarla modellenmiştir. Su tablası değişimi zemin oturması sebebiyle camiye temel mesnetlerinde deplasman olarak uygulanmıştır. Analizlerin sonuçları gözlemlenen gerçek hasarla karşılaştırılmış ve sonlu elemanlar modeli hasarla uyumlu olarak yeniden düzenlenmiştir. Zemin oturmasına bağlı deplasmanları engellemek için sert kaya zemine kadar mini fore kazık uygulaması önerisinde bulunulmuştur. Kubbedeki çatlakların ilerlemesini engellemek için kubbe kaidesi etrafına çelik plaka kasnağı konulması önerilmiştir.

Dabanlı (2008) tarihi yığma yapılar hakkında açıklamalarda bulunarak yapı emniyet limitlerin değerlendirilmesi sürecine emniyet limitlerinin belirlenmesinde takip edilecek ve uygulanacak yöntem ve yaklaşımları incelemiş, modelleme teknikleri ve kabullerini inceleyerek eski yığma yapıların deprem karşısındaki dayanımlarını ve koruma metotlarını araştırmış, tarihi yığma yapıların güvenlik seviyelerinin belirlenmesi ve yapısal değerlendirmesi için sonlu elemanlar yöntemiyle Hırka-i Şerif Camii'ni modelleyip statik ve dinamik analizler yapmıştır. Model üzerinde çalışmadan ve değerlendirme çalışmalarına başlamadan önce yapılması gereken hazırlıklar, tarihi araştırmalar, malzeme özelliklerinin tespit edilmesi, zemin özellikleri, tarihi yığma yapıların nümerik modellenmesi ve analiz yöntemleri incelenmiştir. Bu incelemeden sonra Camii'nin için 3D sayısal analiz modeli oluşturulmuştur. Modelin çeşitli yükleme durumları için sayısal çözümü yapılmış, sırasıyla düşey yükler altında statik analiz, modal analiz ve davranış spektrumu analizleriyle yapının performansı, gerilmeler ve yer değiştirmeler yoluyla değerlendirilmiştir. Sonuç olarak modellenen yapı olan Hırka-i Şerif Camii'nde oluşan zararların çoğunun zemin de meydana gelen hareketlerden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Ayrıca yapı için güçlendirme önerilerinde bulunulmuştur.

Gedik (2008) geleneksel yığma yapıların malzeme özellikleri, elemanları, bu yapılarda meydana gelen hasarlar ve bu hasarların onarım ve güçlendirilmesine ait kısa bilgi verilip, daha sonra tarihi Mehmet Ağa Camii üzerinde incelemeler yapılmıştır. Yapının modeli oluşturulmuş ve zati ağırlığı ile deprem yüklerine maruz kaldığındaki analizi yapılmıştır. Analizde 50 yılda aşılma olasılıkları %2 ve %10 olan farklı iki tip deprem yüklemesi kullanılmıştır. Çekme gerilmesi noktaları araştırılarak oluşan deformasyonların sebepleri tespit edilmiş ve bugüne kadar olan karşılaştırması yapılmıştır. Ayrıca olması muhtemel deformasyonları önlemek amacıyla bir takım onarım ve güçlendirme önerilerinde bulunulmuştur.

Aköz (2008) yapım tarihi 1400'lü yıla dayanan eski Murat Paşa Camii'sini ele alarak yapının güçlendirilmesi ve renovasyonu için bir model oluşturmuş, seçilen bu eski yapının 3D sonlu eleman modelini oluşturarak dinamik ve statik çözümlemesini yapmıştır.

Kaya (2010) donatısız yığma duvara ait sonlu eleman modeli oluşturduktan sonra yatay ve düşey yükler altındaki davranışına açıklık getirmek için duvarların doğrusal olmayan analizi ile ilgili modelleme tekniklerini araştırmıştır. Bu çalışmada Drucker-Prager kırılma kriteri kullanılmıştır.

Bayraktar ve ark.(2010) Trabzon'da bulunan Ayasofya Çan Kulesi'nin makro modelleme yöntemiyle sonlu elemanlar modelini oluşturup, deprem etkisindeki lineer olmayan dinamik analizlerini yapmışlardır. Çan kulesinde meydana gelen yer değiştirmeleri, gerilme dağılımlarını ve çatlak dağılımlarını hesaplayıp, kulede mevcut olan gerçek çatlak dağılımları ile karşılaştırmışlardır.

Atabey (2011) StatiCAD-Yığma bilgisayar programı kullanarak Sivas'ın Suşehri ilçesinde 1. Deprem bölgesinde bulunan yığma yapı tarzında yapılmış olan Aşağısarıca İlköğretim Okulunun, TDY-2007 'ye göre deprem performansını incelemiştir.

Öncü (2011) Yapıların düzensizliklerini ve deprem etkisindeki davranışlarını DBYBHY-2007'ye göre değerlendirmiş, bu değerlendirmede İzmir ili, Bornova ve Seferihisar da bulunan yığma ve betonarme yapıları ele almıştır. Ele alınan yapıların hâlihazırdaki durumlarına göre güçlendirme modellerini geliştirmek için depreme benzeyen yükler etkisiyle performans analizleri yapmıştır.

Akdeniz (2011) tarihi yapılarda taşıyıcı sistem elemanları ve kullanılan malzemeler hakkında bilgiler verilmiştir. Tarihi yapılarda oluşan hasarlar, onarım ve güçlendirme ile yığma yapılarda kullanılan modelleme yöntemleri hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Çalışmada 1224 yılında yapılan, tarihi yığma yapı olan Malatya Ulu Camii'nin doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri Bingöl (2003) depremi ivme kayıtları kullanılarak yapılmıştır. Cami, sonlu elemanlar yöntemine göre modellenmiş ve ANSYS uygulaması yardımıyla analizleri yapılmıştır. Sonuçlar grafikler halinde sunularak değerlendirilmiştir. Doğrusal olmayan analizde camide çekme gerilmelerinin fazla olduğu bölgelerde çatlaklara bağlı oluşan hasarların yoğunlaştığı görülmüştür. Çatlakların çekme gerilmelerinin büyük değerler aldığı kemer-duvar birleşim bölgelerinde, duvar birleşim bölgelerinde ve duvar-temel birleşim ara yüzeyinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Minaredeki çatlaklar ise, genelde minarenin orta kısmında

ve minare-cami duvarı birleşim bölgesinde daha çok meydana gelmiştir. Minaredeki hasarlarda devrilme momentinin önemli etkisinin olduğu kanaatine varılmıştır.

Durutürk (2012) Isparta ili, Yalvaç ilçesinde bulunan 1912 yılında yapılmış tarihi bir yağma yapı olan Hamidiye Camii'nin, rölövesi esas alınarak, SAP2000 uygulamasıyla statik ve dinamik analizi yapılmış, taşıyıcı sistemin yapısal davranışı tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan çözümler sonucunda basınç ve kayma gerilmeleri açısından en kritik bölgenin +2.00 kotu seviyesi olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni olarak ise bu kotta boşluk oranlarının diğer kotlara nazaran daha fazla olduğu kanaati getirilmiştir. Bütün kotlarda hesaplanan basınç ve kayma gerilmelerinin yönetmelikte verilen emniyet gerilmelerinin altında kaldığı, dolayısıyla binanın deprem kuvvetleri altında güvenli olduğu tespit edilmiştir. Kombinasyonlarda maksimum gerilmelerin, taşıyıcı taş duvarların birleşim bölgelerinde ve kapı- pencere boşluklarının bulunduğu yüzeylerde olduğu belirlenmiştir. Yapının fiziksel özellikleri ve DBYBHY 2007 yönetmeliğinin verdiği sınır şartları ile Düzce (1999) depremi ivme kaydı kullanılarak yapılan statik ve dinamik analizlere bakıldığında yapının rijit taş duvarları, kat yüksekliğinin az oluşu ve üzerindeki çatının ahşap malzemedan yapılmış olmasının yapının günümüze kadar ulaşmasının temel sebepleri olduğu kanaatine varılmıştır. Sonuçlara bakıldığında yapının deprem yönetmeliğine göre güvenli olduğu belirlenmiştir.

Chamaky (2014) Yağma yapıların deprem analizi ve analiz sonuçlarına göre güçlendirme metotları hakkında çalışmıştır. Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak İstanbul'da bulunan tarihi Çinili Karakolu, Fatih İlköğretim Okulu ve Sirkeci Kredi Han binalarının modellerini oluşturmuştur ve doğrusal yöntemlerle analiz yapmıştır.

Çal (2015) Ortaköy Büyük Mecidiye Camii'nin sayısal modeli oluşturulmuştur. Yapısal davranışının değerlendirilmesi amacı ile statik ve dinamik analizleri yapılmış ve analiz aşamasından sonra yapının genel davranışı elde edilmiştir. Mevcut yükler ve deprem etkisi altında en fazla zorlanan kesit ve bölgeler tespit edilmiş ve yapının davranışı genel olarak yorumlanarak zorlanan bölgeler ile ilgili değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Tetik (2015) İstanbul'da bulunan Şeyh Süleyman Mescidi SAP2000 uygulamasında modellenmiştir. Statik ve dinamik yükler altında yapının analizi yapılmış ve hasar oluşması beklenen bölgeler tespit edilerek güçlendirme tekniklerine göre önlemler tavsiye edilmiştir.

Aslan ve Şahin (2016) Mimar Sinan'ın 1550 yılında yapımına başladığı ve 7 senede yapımını bitirdiği Süleymaniye Camii 3 boyutlu olarak SAP2000 uygulamasında modellenmiş ve farklı depremlerin etkisi altında davranışı incelenmiştir. Modellemede sonlu elemanlar yöntemi kullanılmış, depremler ise geçmişte yaşanan gerçek deprem kayıtları kullanılarak yapıya etki ettirilmiştir. Analiz sonucunda yapının deprem etkileri altında yapacağı davranışlar elde edilmiş ve yapının depremlerden en çok etkilenen bölgeleri tespit edilmiştir. Sonuçlar neticesinde yapı hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

3. TARİHİ YIĞMA YAPILAR

Uzun yıllar boyunca birçok kültüre ve medeniyete ev sahipliği yapan ülkemiz zengin bir geleneksel yapı stoğuna sahiptir. Bu geleneksel yapılar, yığma yapı olarak adlandırılan bir sistemle inşa edilmişlerdir. Geleneksel yığma yapıların korunup sonraki nesillere olduğu gibi aktarılabilmesi için yapının maruz kaldığı yükler altında gösterdiği performans ve davranışların incelenmesi gerekir.

Yığma yapılar; Farsça'da taş, tuğla, kerpiç malzemeleriyle yapılmış olan yapı anlamına gelen kârgir yapılar olarak da adlandırılır. Bu tür yapıların malzemeleri onlara etki eden gerilmeler karşısındaki davranışları göze alındığında basınç mukavemetleri yüksek, buna karşılık çekme mukavemetleri düşüktür. Bu sebeple tasarımında ve yapının davranışı incelenirken, yapının çekme kuvveti taşımadığı varsayılır (Tetik, 2015).

Yığma yapıların taşıyıcı sistem şekli çizgisel (kemer), düzlemsel (yük taşıyan yığma duvar), hacimsel (tonoz, kubbe) meydana gelebilir. İnşa şekillerine göre ise donatısız, donatılı, kuşatılmış olarak üç grupta incelenebilir. Ancak genellikle geleneksel yığma yapılar, yapı malzemelerini bir arada tutan harç ile yığma birimlerin (taş, tuğla, harç) örülmesiyle donatısız olarak inşa edilmiş yapılardır. Yüksek rijitliğe sahip olan bu yapılar, kullanılan malzemeler sebebiyle maruz kaldıkları yükler altında gevrek davranış sergilerler.

Yapıdaki duvarlar yapıyı dış etkilere karşı korudukları gibi yapının yapılış amacına göre iç bölmelerin ayrılmasına da yardımcı olurlar. Duvarların bu ve daha fazla faydalı birden çok işlevi yapımındaki basitlik ve kullanım açısından yığma yapıların üstün tarafıdır.

Ülkemizdeki yapı stoğu incelendiğinde yapıların büyük kısmının yığma yapılar olduğu anlaşılmaktadır. Yığma yapıların bazı yönlerden üstünlükleri varsa da, deprem ve yatay yük etkisine maruz kaldığında dayanımının az olması sebebiyle, çoğunlukla depreme dayanıklı yapı olarak adlandırılmazlar.

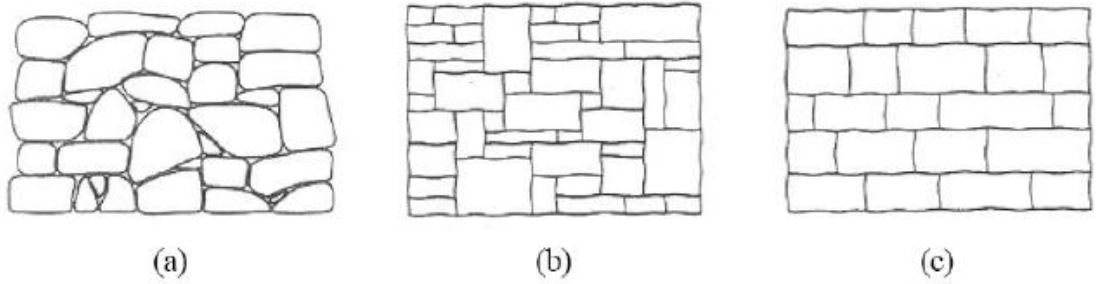
Ülkemizdeki merkezi yerleşim bölgelerindeki yapıların yüzdeler olarak sınıflandırılması Devlet İstatistik Enstitüsü'nün 1998 yılında açıkladığı oranlara göre %30'u betonarme, %48'i yığma ya da hımış, %22'si ise kerpiç ya da moloz taş yığma yapılar oluşturmaktadır. Kırsal bölgelerde yığma yapı oranları daha fazla olup bu oran %82'yi bulabilmektedir. Açıklanan bu oranlardan anlaşılmaktadır ki Türkiye'de deprem bölgelerinde aşırı sayıda yığma yapı mevcut olup ülke nüfusunun çoğunluğu da bu yapılarda hayatlarını sürdürmektedir. Yığma yapıların bu derece yaygın olmasında etken olarak; yapım tekniğinin basit ve işçiliğin ve işçiliğe ulaşımın kolay olması, diğer yapılara nazaran yapım maliyetinin daha ucuz olması ve yapımda tercih edilen malzemelere ulaşımın kolay olması gibi avantajlarıdır. Yığma yapıların üstün taraflarının yanında bazı sakıncalı yönleri de mevcuttur. Bu sakıncalı yönlerinden bazıları ise; yapım usulünün kolay olması sebebiyle yapım sürecindeki ustalık ve teknik eleman bilgisi, projelendirme, denetime ihtiyaç duyulmadığı için gelişi güzel inşa edilmesi sebebiyle depremde hasar görmekte ya da yıkılabilmektedir, yapımda kullanılan yapı eleman dayanımlarının yeterli olmaması sebebiyle çok katlı yığma yapı yapmak oldukça zordur, imalat esnasında lokal bir bölgede yapılması muhtemel ufak detay yanlışlıkları özellikle depremlerde büyük yıkımlara neden olabilir (Uğuz, 2016).

Tarihte son teknoloji kullanılarak elde edilenler de olmak üzere yapımda kullanılan tüm yapı malzemeleri dahil doğadaki malzemeler kullanılarak imal edilmiştir. Yapıda kullanılan kerpiç, taş, ahşap doğadan kolayca elde edildiği için herkes tarafından kullanılmıştır. Taşın, yapı malzemeleri içinde ayrı bir yeri vardır. İnsanoğlu hayatta kalabilmek adına başını sokacak bir yer yapmak için çok defa taşı kullanmayı tercih etmişlerdir. Doğadan elde ettikleri bu taşı çeşitli formlarda işleyerek yıllarca kullanmışlardır. Taşın doğada temsil ettiği güç ve kararlılığı, onu kalıcı tarihi yapıların malzemesi yapmıştır. Bununla birlikte, taş, sık ve kolay elde edilen bir malzeme olması ve ucuzluğu nedeniyle halen tercih edilen bir yapı malzemesidir. Yapı Harçlarını kullanılmasıyla ve tuğlanın keşfiyle de geleneksel yığma yapıları bu günlere kadar taşıyan önemli yapı malzemeleri unutulmaya yüz tutmuş, yavaş yavaş kullanılmamaya başlamış ve tarihin sayfalarına kaydolmuştur (Dabanlı, 2008).

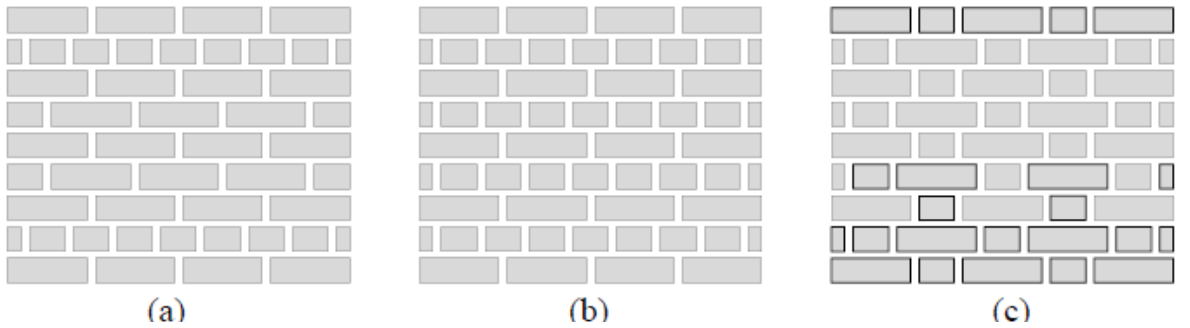
Mevcut geleneksel mirasın çoğunluğunu oluşturan yapılarda, yığma yapı tekniğinden ve ahşap yapı malzemelerinden yararlanılmıştır. Ancak bu malzemeler ve yapım metotları,

halen mühendislik eğitim programlarında ve müfredatlarında çok az işlenen veya hiç sözü edilmeyen konulardandır. Günümüz çelik ve betonun temel yapı malzemelerini meydana getirdiği mühendislik sahasında, yapı mühendisleri geleneksel yapım metotları ve yapı malzemeleri ile alakalı yetersiz bilgi ve birikime sahiptirler. Bu bilgi ve tecrübe noksanlığı, yapılarda yapı güvenliğinin değerlendirilmesi hususunda çelişkiye ve önyargıya sebebiyet vermektedir. Halen bu durum, geleneksel teknik ve malzemeler, yapı tasarımında etüt safhasında bir alternatif olarak bile değerlendirilmemektedir.

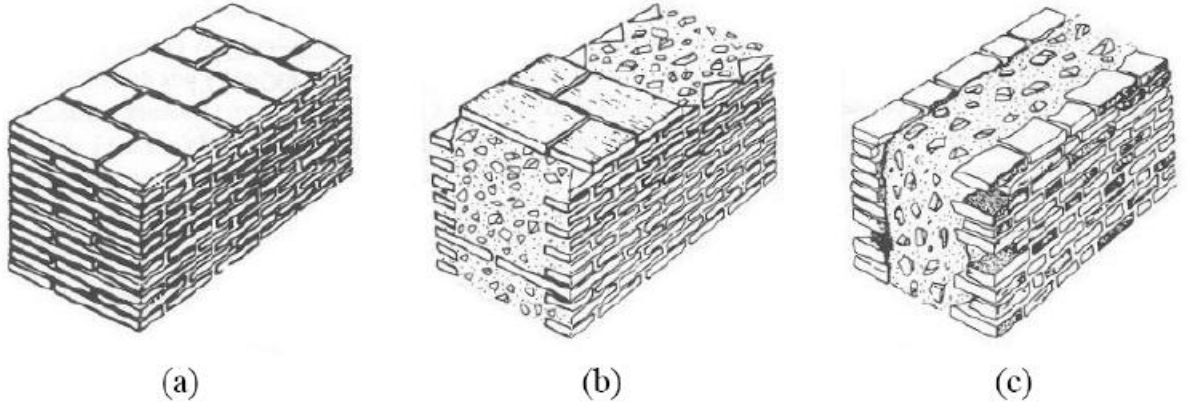
Geleneksel Yığma yapılarda metot olarak günümüze kadar çok farklı yapım metotları uygulanmıştır. Duvarların yapım aşamasında, yapı malzemesinin diziliş çeşitliliği, bir arada kullanımları da farklı yapım metotları olarak karşımıza çıkmaktadır. Yığma yapılarda heterojen bir yapı metodu mevcuttur. Bunun sebebi ise yapı malzemeleri ve bu malzemeleri tutan ayrı bir sistemin olmasıdır. Yapım tekniği olarak Yığma yapıların tipleri (Şekil 3.1.) gösterilmiştir. Yığma yapım metodunda, yığma birim ve bağlayıcıya bağlı olan pek çok geometrik, örgü metodu mevcuttur (Şekil 3.2., 3.3.) (Dabanlı,2008).



Şekil 3.1.Yığma Taş Yapılar a) Moloz taş, b) Kesme taş, c) İri Kesme Taş (Dabanlı, 2008).



Şekil 3.2.Tuğla Örgü Teknikleri a) Basit, b) Çapraz, c) Flaman (Dabanlı, 2008).



Şekil 3.3. Roma'da Duvar a) Bağlı b) Yastıklı-Ortası Dolgulu c) Tuğla Yüzlü-Dolgulu (Dabanlı, 2008).

3.1 Geleneksel Yığma Yapıların Malzeme Özellikleri

Yapı malzemeleri, kullanıldıkları yapıların hareketlerinde etkili bir görev alırlar. Geleneksel yığma yapılarda kullanılan harç, tuğla, taş ve ahşap gibi elemanların fiziki ve mekanik özelliklerinin tespit edilmesi, bu yapıların analizinde olmazsa olmaz bir parçasını oluşturmaktadır.

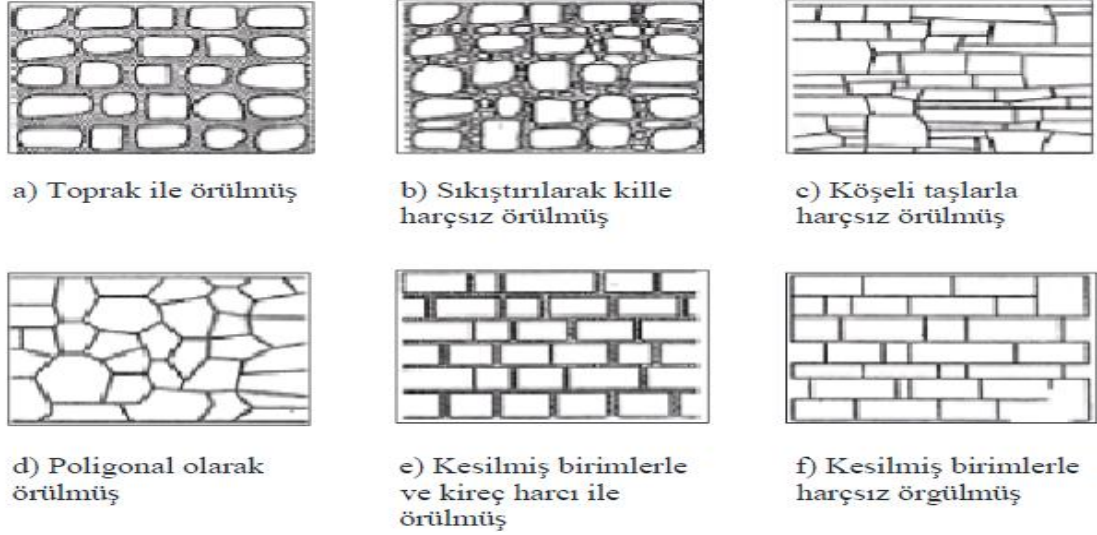
Yığma yapı elemanları, çamurdan imal edilmiş kerpiçten doğal taş kadar geniş bir yelpazede, metalik özelliği olmayan inorganik malzemelerin büyük bir kısmını içinde barındırır. Fakat, yığma yapılarda ekseriyetle tercih edilen malzemeler doğal taş ve tuğladır. Doğal taş ve tuğla, görevleri itibarıyla yapının taşıma gücünü doğrudan etkilemektedir. Bugün, yapıyı oluşturan elemanların mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için çeşitli deneyler yapılmaktadır. Ancak, bu deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar yaklaşık değerlerdir, geleneksel yapıların taşıyıcı elemanlarının taşıma gücünün laboratuvar deneyleriyle belirlenmesi çok zor bir işlem olup neredeyse olanaksızdır. Sanatsal ve kültürel değerleri yaralamadan, bu yapılardan alınabilecek çok küçük örnekler veya aynı özellik taşıyan modeller laboratuvarlarda test edilebilmektedir. Modellenmiş küçük bir örnekten elde edilen veriler çok daha büyük boyutlara sahip mevcut yapı elemanlarının gerçek davranış özelliğini aynen yansıtmaz (Tetik, 2015).

Kerpiç, doğal taşlar ve yapay taşlar Geleneksel Yığma yapılarda duvarlarda yapı elemanı olarak kullanılmaktadır. Yatay elemanlar ise betonarme veya ahşaptan yapılır. Çatılarda ise toprak, beton veya ahşap iskelet üzerine kiremit veya çinko yapı elemanı kullanılır. Yığma yapılarda kullanılan yapı elemanları imal edilecek yapı sınıfı göz önüne alınarak kagir birim, harç, beton, donatı çeliği ve ön gerilme çeliği olarak sıralanabilir. Ülkemiz yığma yapı elemanları açısından zengin bir ülkedir. Yığma yapılar incelendiğinde genellikle yapım aşamasında bölgeye has malzemeler tercih edildiği anlaşılmaktadır. Ancak kırsal bölgelere bakıldığında yığma yapı malzemesi olarak genellikle kerpiç, merkezi ve büyük yerleşim bölgelerinde ise tuğla ve briket benzeri malzemeler tercih edildiği tespit edilmektedir. Ülkemizde yapı inşasında kullanılan elemanlardan çokça bulunan tuğla ve çimento fabrikaları da yığma yapı imalatında yapı elemanlarına pozitif katkı sağlamaktadır.

Bu bölümde geleneksel yığma yapılarda, yığma yapı olarak inşa edilmelerinden dolayı yapı elemanlarını oluşturmakta kullanılan malzemeler ve genel özelliklerinden bahsedilecektir.

3.1.1. Doğal taş

Tarihte doğal taş yapı elemanı olmaktan ziyade çoğunlukla avcılık ve yabani hayvanlara karşı kendini savunmak gayesiyle kullanılırdı. Sonraları insanoğlu barınma ihtiyacını karşılamak amacıyla mağaralara alternatif yapılan yapılarda taş, yapı elemanı olarak kullanılmaya başlamıştır. İlk olarak doğada serbest olarak bulunan taşlar direkt harçla birbirine tutturularak duvarlar yapılmıştır. Çok daha sonra taşların işlem görmesiyle biçimlendirilmiş ve bu sayede pürüzsüz ve estetik duvarlar yapılmıştır. Doğal Taş, yapıların kalıcı ve uzun ömürlü olması istendiğinde, yapı inşaatında özellikle tercih edilen bir yapı malzemesidir. Taşın geleneksel yapılarda çokça kullanılmasına asıl sebep, genellikle her yerde ve arazi şartlarında basitçe bulunabilmesinin getirdiği kolaylıktır. Yığma yapıda kullanılacak taşlar tabiatta halen çalışan taş ocaklarından, homojen, atmosfer tesirlerine dayanıklı ve teknolojik özellikleri açısından yapı işlerinde kullanılabilmesi gibi özellikleri taşımalıdır. Ayrıca bu taşlar ocak taşı olmalı ve yapısında çatlak hava etkisi ile ayrılmış ya da ayrılmaya başlamış bölümler olmamalıdır (Uğuz, 2016). Şekil 3.4.'de ilk zamanlara ait taş duvar yapım şekilleri gösterilmiştir.



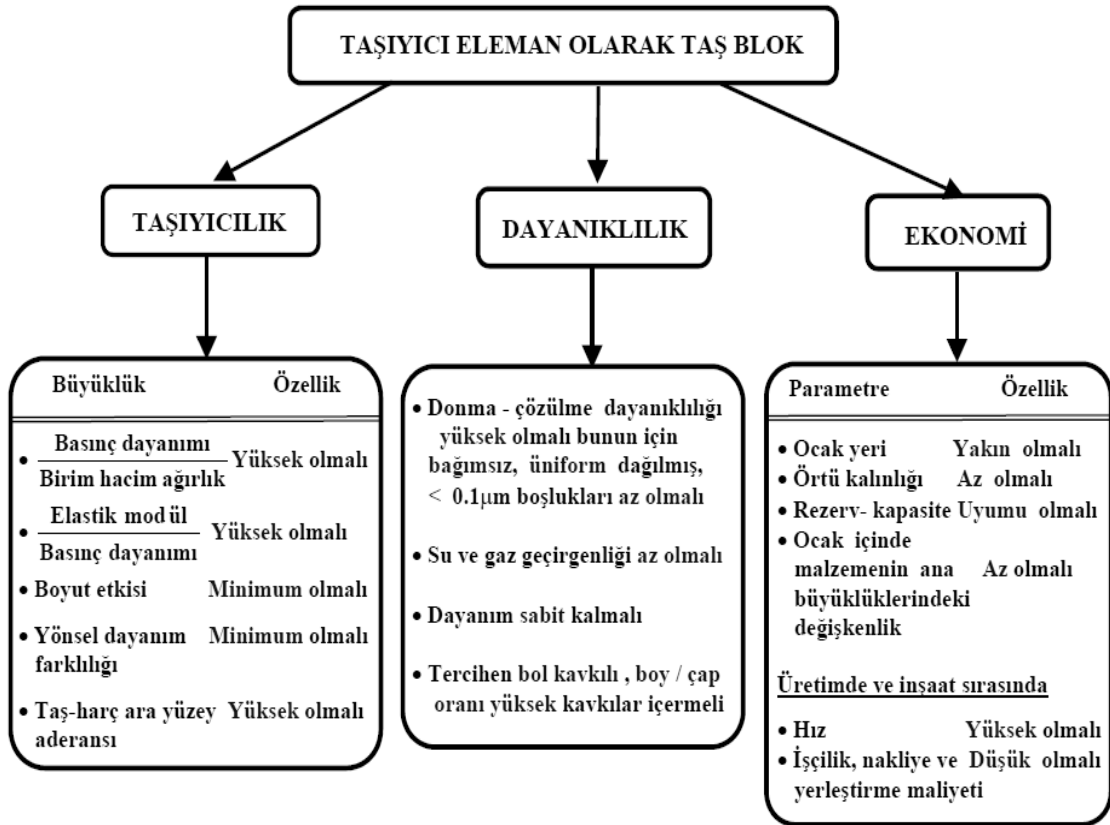
Şekil 3.4. Taş Duvar yapım şekilleri a) Toprak ile örülmüş b) Sıkıştırılarak kille harçsız örülmüş c) Köşeli taşlarla harçsız örülmüş d) Poligonal olarak örülmüş e) Kesilmiş birimlerle ve kireç harcı ile örülmüş f) Kesilmiş birimlerle harçsız örgülmüş (Uğuz,2016)

Doğal yapı taşı, basıncı çok iyi karşıladığı gibi çekme gerilmelerinde zayıf bir yapı elemanıdır. Bu nedenle, eski yığma yapılarda taş kullanımında genellikle kubbe, kemer, sütunlar ve tonozlarda çekme gerilmesi oluşmayacak şekilde kullanılmışlardır. Ayrıca, doğal taş ile imal edilen birimlerde meydana gelen çatlaklara, çekme gerilmesi sebep olmasa bile çevre şartları da neden olabilir. Yapı malzemesi olarak kullanılan Taş'ın mukavemetini tespit etmek için teorik olarak kullanılacak veriler mevcuttur. Doğal Taşın yapıda kullanımından kaynaklanan dayanıklılığı, jeolojik ve kimyasal yapısıyla incelenebilir.

Çizelge 3.1. Doğal yapı taşlarının ortalama mekanik özellikleri (Tetik, 2015).

Taşın Cinsi	Basıncı Dayanımı (MPa)	Kayma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
Granit	30-70	14-33	4-7	30-55
Mermer	25-65	9-45	1-15	25-70
Kireç Taşı	18-65	6-20	2-6	10-55
Kumtaşı	5-30	2-10	2-4	13-50
Kuvars	10-30	3-10	3-4	15-55
Serpantin	7-30	2-10	6-11	23-45

Ana malzeme biriminin doğal taş olduğu yığma yapı elemanlarının dayanım, dayanıklılık ve diğer malzeme özellikleri malzemenin; cins, kesilme biçimi, birleşim dokusu, işçilik, kullanım alanı gibi birçok nedene bağlıdır (Durutürk, 2012). Genellikle geleneksel yapılarda kullanılan doğal taşın yaklaşık fiziksel özellikleri Çizelge 3.1.' de verilmiştir. Yapı ömrü süresince mukavemet ve dayanıklılığın (durabilite) istendiği abidevi yapılarda kullanılacak taşlarda bulunması gereken bazı özellikler aşağıdaki şekilde toplu halde sunulmuştur (Şekil 3.5.) (Dabanlı, 2008).



Şekil 3.5. Taşlarda Aranan Özellikler (Dabanlı, 2008)

3.1.2. Kerpiç

Toprak; yapı inşasında, ilk zamanlarda dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Sonraları, toprak çeşitleri ile kullanım sahası da genişlemiştir. Kerpiç toprağı, %20 - %70 arasında kili bulundurmakla birlikte en uygun oranı %30 - %40 arasında kil bulunan topraktır (TS 2514, 1977). Killi toprağın, atmosfer şartlarındaki dayanıklılığı keşfedilerek kerpiç elde edilmiştir. Killi toprağın dayanıklı bitki sapları, kırıntıları ile birleşiminden oluşan kerpiç; uzun ömürlü eski bir yapı malzemesidir. Kerpiçlerin en

küçük basınç dayanımı 0.8 MPa 'dan az olmaması tavsiye edilir (TS 2514, 1977) (Tetik, 2015).

Kerpiç, kırsal yerleşim bölgelerinde tercih edilen saman, kum ve balçık karışımının güneşte kurutulmasıyla elde edilen yapı elemanıdır. Tarihte En eski kerpiç yığma yapı kalıntıları, M.Ö. 8350 ile 7350 yıllarına ait Filistin'in Jericho bölgesinde tespit edilmiştir. Ülkemiz'de ise Çatalhöyük'te yapılan araştırmalarda, M.Ö. 6500'lere ait ilk dikdörtgen yığma kerpiç evlere rastlanmıştır. (Uğuz, 2016) .

Kerpiçler kırık ve çatlak barındırmamalı, dikdörtgen prizması şeklinde olmalıdır. Islandığı zaman yumuşaması ve dayanıklılığını kaybetmesi de Kerpiç ile yapılan duvarların zayıf yönlerindedir. Bunu durumun çözümü için harcın içerisine çimento ve kireç eklenebilir. Bunun sonucunda kerpici meydana getiren kum taneleri ve kil tam anlamıyla yapışır ve ayrışması daha zor olur (Uğuz, 2016). Taşıyıcı duvarlarda kullanılan kerpici boyutları ve özellikleri Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Taşıyıcı duvarlarda kullanılan kerpici boyutları (Uğuz, 2016)

Boyutlar (mm)	Hacim (dm ³)	Yaklaşık Ağırlık (kg)
120x190x400 (Kuzu)	9,12	10-12
120x300x400 (Ana)	14,4	15-25
120x180x300 (Kuzu)	6,48	7-11
120x250x300 (Ana)	9,00	10-15

3.1.3. Tuğla

Tuğla; fırınlanmış kerpiç olarak adlandırılır. Tuğlanın yığma yapı malzemesi olarak kullanımının Roma döneminden önceki devirlere dayandığı bilinmektedir (Uğuz, 2016). Tuğla; yapıda kullanılan ahşap ve taşa ulaşımın zor olduğu bölgelerde, yapı malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır. İnsan tarafından üretilen, istenilen biçimin verilebildiği yapı malzemeleri, kerpiç ve tuğladır. Geleneksel büyük örtü sistemlerinin esas elemanlarını oluşturan kemer, tonoz ve kubbe, kerpiç ve tuğlanın ana malzemesi olduğu bölgelerde ortaya çıkmıştır. Ulaşımının kolay olması, üretilmesi ve ucuz olması, yapının

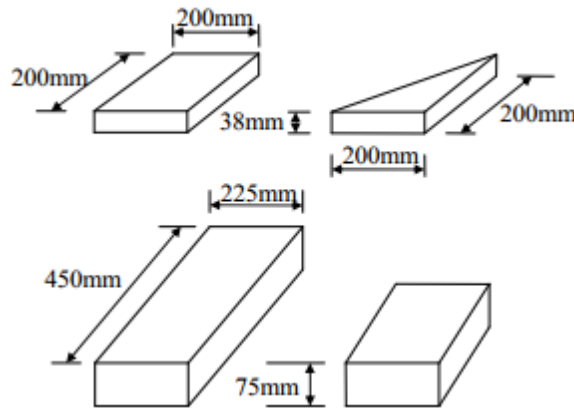
ana malzemesi olma özelliği kazandırmıştır. Tuğlanın taş gibi yalnız basınca dayanıklı bir malzeme olması nedeni ile yapı taşıyıcı sistemi basınç alacak şekilde biçimlendirilmiştir (Durutürk, 2012).

Eski yapılarda fırınlanmış kilden imal edilen tuğlayı meydana getiren malzemeler çoğunlukla akarsu havzalarında yüzeye yakın bölgede toplanmış kum taşlarının kırıntılarında sağlanırdı. Fırınlanmış kilden imal edilen tuğlalar, şekline ve işlevlerine göre birçok kritere göre sınıflandırılabilirler. Eski yapılarda kullanılan tuğlalar saf kaolin ve kil karışımlarının fırınlarda yüksek ısı altında fırınlanmasıyla elde edilir. Fırın teknolojisinin bulunmadığı yerlerde güneş ısısından faydalanılarak üretildiği de görülmektedir. Malzeme kalitesi, örülme deseni ve kullanılan harç Tuğlanın dayanımında etkilidir. Çok rastlanan bazı tuğla cinslerinin ortalama fiziksel özellikleri Çizelge 3.3.' de gösterilmiştir (Durutürk, 2012).

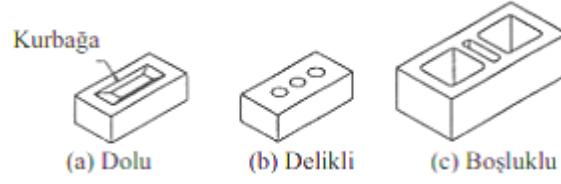
Çizelge 3.3. Tuğlaların ortalama fiziksel özellikleri (Durutürk, 2012)

Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Kayma Dayanımı (N/mm ²)	Elastisite Modülü (N/mm ²)
10 - 30	2,7 - 5	10 - 20	150 - 300

Malzemenin pişirilme süresi ve boşluk oranı, dayanımına etki etmektedir. Bu malzemenin, Tablo 3.7.'da de görüldüğü gibi ortalama olarak basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşüktür (Tetik, 2015).



Şekil 3.6. Romalılar tarafından yapılmış tuğlalar (Uğuz,2016).



Şekil 3.7. Günümüz kil tuğlaları (Uğuz,2016)

Yığma yapılarda kullanılan tuğlalar, harman tuğlası ve fabrika tuğlası olmak üzere ikiye ayrılır. Harman tuğlası; balçık, kil ve killi toprağın ayrı ayrı ya da birlikte karıştırılmasıyla ve gerektiğinde su, kum, öğütülmüş tuğla ve kiremit tozu gibi maddelerin karıştırılması ile şekillendirilip kurutulmuş ve ocaklarda fırınlanması sonucu elde edilen tuğla tipidir (Uğuz,2016). Harman tuğlalarının basınç dayanımları ve biçimleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Basınç Dayanımları ve biçimlerine göre harman tuğlaları (TS704)

Sınıfı		Tuğla Sembolü	Ortalama Birim Hacim Ağırlığı (max.)kg/cm ²	Ortalama Basınç Dayanımı (min.) N/mm ²	Basınç Dayanımı (min.) N/mm ²
Dolu Harman Tuğlası	Orta Dayanımlı	DOHT/50	Sınıflandırılmamış	0,05	0,04
	Az Dayanımlı	DOHT/30	Sınıflandırılmamış	0,03	0,026
Delikli Harman Tuğlası	Orta Dayanımlı	DOHT/50	Sınıflandırılmamış	0,05	0,04
	Az Dayanımlı	DOHT/30	Sınıflandırılmamış	0,03	0,026

Yüzeyleri ve kenarları düzgün olmalı, dikdörtgenler prizması şeklinde olmalıdır. Bu tuğlaların üst yüzeyinin ortasında, derinliği 10 mm’den fazla olmayan çukurlar oluşturulabilir. Çukur kenarlarının, buldukları yüzün kenarlarına mesafesi 20 mm’den daha az olmamalıdır (Uğuz,2016). Harman tuğlaların boyutları Çizelge 3.5.’de verilmiştir. Fabrika tuğlası; kil, killi toprak ve balçığın ayrı ayrı ya da karıştırılmasıyla gerektiğinde öğütülmüş tuğla, kiremit tozu, su, kum gibi maddelerin karıştırılması ile makinelerde şekillendirilerek kurutulmuş ve fırınlanarak yapılan duvar inşasında kullanılan tuğla tipidir (Uğuz, 2016).

Çizelge 3.5. Harman Tuğlası Boyutları (TS704)

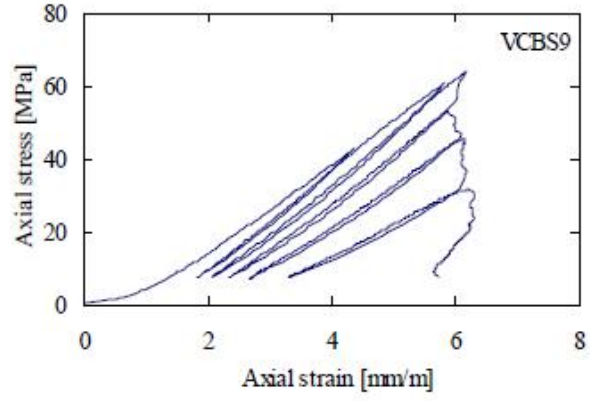
Ahşap Çeşidi (mm)		Toleranslar (mm)
Uzunluk	190	- 13 / + 6
Genişlik	90	- 5 / + 4
Yükseklik	50	- 2 / + 3

Fabrika tuğlalarının basınç dayanımları bir çok faktöre bağlı olup bunlardan bazıları; porozitesi, pişirilme ısısı, yapıldığı toprağın cinsi, üretim biçimi, deliklerinin yerleri ve miktarı, yükleme yönleri, kenarlarının biçimi gibi (Uğuz, 2016). Fabrika tuğlalarının birim hacim ağırlıkları ve basınç dayanımları Çizelge 3.6.'de verilmiştir.

Çizelge 3.6. Fabrika tuğlalarının birim hacim ağırlıkları ve basınç dayanımları (TS705)

Tuğla Sınıfı	Birim Hacim Ağırlık kg/m ³	Delik Oranı	Tuğla Sembolleri	Ortalama Basınç (N/mm ²)
Dolu Tuğla	2	15%	2/140	0,25
			2/180	0,18
			2/120	0,12
	1,8	15%	1,8/220	0,22
			1,8/150	0,15
			1,8/100	0,10
Seyrek Delikli Tuğla	1,6	20%	1,6/220	0,22
			1,6/150	0,15
			1,6/100	0,10
	1,4	25%	1,4/220	0,20
			1,4/120	0,12
			1,4/80	0,08
Az Delikli Tuğla	1,2	35%	1,2/150	0,15
			1,2/100	0,10
			1,2/60	0,06

Tuğlanın imalatında dikkat edilecek önemli unsurlardan bir tanesi de fırınlanmasıdır. Fırınlanma esnasında tuğla iyi pişerse mukavemet ve doğal koşullara karşı direnci de iyi olur.



Şekil 3.8. Silindirik Tuğlanın Çevrimli Basınç Deneyi ve Tipik Gerilme-Şekil Değişirme Eğrisi

Tuğlanın elastisite modülü yüksek olmayıp, tekrarlı yükleme ve boşaltmalardan oluşan yüklemelerde şekil değiştirmelerin elastik olduğu izlenmektedir (Şekil 3.8.). Maksimum gerilme değerine ulaştıktan sonra elastisite modülünde azalmalar izlenirken artan çatlaklarla mukavemet azalmaya başlar. Ayrıca yapımındaki kolaylık ve ucuz imalat nedeniyle geniş bir kullanım alanına sahiptir. Çekme mukavemeti oldukça düşük olan Tuğla da tıpkı taş gibi yapıda ancak basınca maruz kalarak çalışabilir (Dabanlı,2008). Aşağıdaki tabloda tuğlalar için yaklaşık değerler verilmiştir (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7. Tuğlaların Ortalama Mekanik Özellikleri

Basınç Mukavemeti (Mpa)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Elastisite Modülü (Mpa)
3 - 10	0,2 - 0,5	1000 - 5000

3.1.4. Harç

Harç, yığma elemanlarının ara yüzeylerini dolduran, taş ve tuğla gibi yığma yapı malzemesinin birim elemanlarını bir arada tutarak birbirine bağlayan yapı malzemesidir (Tetik,2015). Bağlayıcı madde ihtiyacı ilk dönemlerde çamurla sağlanmaktaydı. Kireç harcı ilk olarak Romalılar döneminde kullanılmaya başlanmıştır. Kireç harcından sonra, kum-kireç karışımının içine pişmiş kilin veya puzolan denilen volkanik tüflerin karıştırılması ile suyla reaksiyona giren ve sertleşen bir bağlayıcı elde edilmiştir.

Selçuklu ve Osmanlı mimarisi gibi eski yığma yapılarda bağlayıcı olarak horasan harcı adı kullanılmıştır (Dabanlı, 2008).

Kireç ile karıştırılarak yapılan sıva ve harçlar, eski Yunan, Roma ve takip eden dönemlerden, çimentonun icadına kadarki sürede yapı inşasında kullanılmıştır. Harçlar karışımında yer alan bağlayıcı malzeme özelliklerine göre adlandırılırlar. Dolgu malzemesi olarak agregaların ve kirecin karıştırılmasıyla kireç harcı ve sıvaları elde edilir (Durutürk, 2012). Bununla birlikte harç, yapı elemanlarına gelen yüklerin paylaştırılmasına yardımcı olmasının yanında bileşenin esnemesinde, hareket etmesinde de faydalıdır. Harçların, dış ortam şartlarının yıpratıcı etkilerinden yapıyı korumaya faydası olduğu da bilinmektedir (Dabanlı, 2008).

Kireç harçlarının yapılmasında kirecin veya harcın fiziksel kabiliyetlerini arttırmak, karbonatlaşmayı hızlandırmak gayesiyle kirece veya harca organik ve inorganik karışımlar ilave edilebilmektedir. Bunlardan bazıları; kan, yumurta, peynir, gübre ve benzeri malzemelerdir (Durutürk, 2012). Horasan, kırılmış öğütülmüş tuğla tozu ve kiremit benzeri pişmiş kildir. Bu yapı elemanlarının kireç ile karıştırılmasıyla elde edilen harca da horasan harcı denilmektedir. Harcın mukavemeti kirecin kalitesine ve tuğla tozunun inceliğine bağlı olarak değişebilmektedir (Uğuz, 2016). Harcın asıl mukavemetine erişmesi uzun süren ve zaman alan Horasan'ın kalitesi ve mukavemeti bölgesel faktörlerin etkisiyle değişiklik göstermekte olup zaman alan bu eksikliği gidermek için harcın karışımına ince çakıl ilave edilebilir. Eskinin ustaları, horasanın bu özelliğinden dolayı yapının temelini yaptıktan sonra uzun bir süre üst yapı inşaatına devam etmeyip beklemiştir. Ayrıca rötrenin önüne geçmek amacıyla harca samanda eklenebilir. Horosan'ın bölgesel faktörlere göre içerisinde kil, kireç, taş tozu, taş kırıntıları, mermer tozu, su, keçi kılı ve hatta yumurta akı bulunduğu eski kaynaklardan tespit edilmiştir (Dabanlı, 2008).

Yığma yapıların performansı genellikle yapımda tercih edilen harcın mukavemetine ve bağlayıcının karakteristiklerine bağlı olup, yığma yapılarda kullanılan harç miktarı diğer malzemelere göre daha azdır. Yığma yapıların önemli yapısal göstergesi Basınç, çekme ve kayma mukavemetleri ile yığma yapı birimleri arasındaki bağ (derz) dayanımıdır (Dabanlı, 2008).

Harcın çekme dayanımı ve yığılma birim ile arasındaki aderans dayanımı oldukça önemlidir. Yığılma yapıda malzemenin mukavemeti, bağlayıcı harcın mukavemetine eşdeğerdir, zira tuğla veya taş birimlere kıyasla önce zayıf halka olan harç güç tükenmesine ulaşır. Kireç harcı kullanılmış bir malzemede emniyet gerilmesi $\sigma=0.2-0.6\text{MPa}$, horasan için ise $\sigma=1.5-3.0\text{MPa}$ seviyesindedir. Bu emniyet gerilme değerleri, basınç gerilmeleridir. Harçtaki bileşenlerin çözünüp dışarı sızması ve yüzeyde kristalleşmesi sonucu oluşan çiçeklenme izlerine karşı harcın dayanıklı olması ve nemin dengede tutulması için malzemenin su buharı geçirgenliğinin iyi olması şarttır (Tetik, 2015).

Parapet, nem etkisindeki tabakalar ve dış duvarlar gibi yüksek dayanım gerekli yapılar için halen tercih edilen çimento harçları en dayanıklı harçlardır. Bu imalat esnasında harcın en önemli özelliği az geçirgen ve yüksek dayanımlı olmasıdır. Çimento harçlarında karışımdaki çimento oranını azaltılması kohezyonun ve işlenebilirliğin azalmasına ve donma direncinin düşmesine sebep olur (Uğuz, 2016).

Günümüz puzolanları ile imal edilen harcın çekme mukavemeti, orijinal puzolan karışumlu kireç harcından 15 kat daha az çekme mukavemeti göstermiştir. Ayrıca, karışımında agrega boyutlarında tuğla parçaları içeren bu harçlar, döneminin betonu olarak da tanımlanabilir (Dabanlı, 2008).

3.1.5. Ahşap

Ahşap; eski yapılarda işlenme, elde edilme, kolay taşınabilme gibi özelliklerinden dolayı en çok kullanılan malzemelerden birisi olup geçmişten günümüze, yapı malzemesi olarak her tür yapıda kullanılmıştır. Taşa oranla ömrü oldukça kısadır. Ancak, ahşap hafifliği, çekme ve eğilmeye karşı dayanımı bakımından taşa göre üstünlük göstermektedir. Bu özelliğinden yararlanılarak, taşla geçilemeyen büyük açıklıklar ahşapla geçilmiştir. Geleneksel yapılarda tavan, döşeme taşıyıcı sistemi olarak ve duvarlarda hatıl olarak kullanıldığı görülmektedir (Durutürk, 2012).

Ahşabın emniyet gerilmeleri ve elastisite modülü; yüklemenin karakteri ve süresi, ahşabın kusurları, içindeki su miktarı diğer bilgiler hakkında kesin bilgiler bulunmadığından ahşabın emniyet gerilmeleri 5 ila 10 arasında emniyet katsayıları alınarak tayin edilmiştir. Kalite sınıfı ne olursa olsun, muhtelif cins ahşaba ait elastisite değerleri Çizelge 3.8.' da emniyet gerilmeleri ise Çizelge 3.9.' de gösterilmiştir (Durutürk, 2012).

Çizelge 3.8. Ahşap malzemenin fiziksel özellikleri

Ahşap Çeşidi	E (N/mm ²)(Paralel)	E (N/mm ²)(Dik)
Çam Sınıfı	10.000	300
Meşe ve Kayın	12.500	600

Malzemenin seçiminde ağaç gövdesinin (tomruk), budaksız olmasına dikkat edilmektedir. Tomrukta budak, boyuna liflerin dışına dönmesi veya ahşabın lifli yapısında oluşan bozulmalar ile ifade edilebilir.

Çizelge 3.9. Ahşap yapı elemanları için emniyet gerilmeleri (Esas yükler için)

TS 647'ye göre ahşap yapı elemanları için emniyet gerilmeleri (esas yükler için)						
Gerilme Türü	Notasyonu	Emniyet gerilmeleri (N/mm ²)				
		İğne yapraklılar			Meşe Kayın	
		I. Sınıf	II. Sınıf	III. Sınıf		
Eğilme	$\sigma_{e,em}$	13	10	7	11	
Liflere Paralel Çekme	$\sigma_{ç,em}$	10,5	8,5	0	11	
Liflere Paralel Basınç	$\sigma_{b,em}$	11	8,5	6	10	
Liflere Dik Basınç	$\sigma_{b,em}$	2	2	2	3	
Makaslama	τ_{em}	0,9	0,9	0,9	1	

Çizelge 3.10. Ahşapların ortalama mekanik özellikleri (Tetik, 2015).

Dayanım Türü	Liflere Olan Yönü	III. Sınıf (Mpa)		II. Sınıf (Mpa)		I. Sınıf (Mpa)		Elastisite Modülü (Gpa)	
		Çam	Kayın (Meşe)	Çam	Kayın (Meşe)	Çam	Kayın (Meşe)	Çam	Kayın (Meşe)
Çekme	Paralel	-	-	8,5	10	10,5	11	1	12,5
Basınç	Paralel	6	7	8,5	10	11	12	1	12,5
Basınç	Dik	2	3	2	3	2	3	0,3	0,6

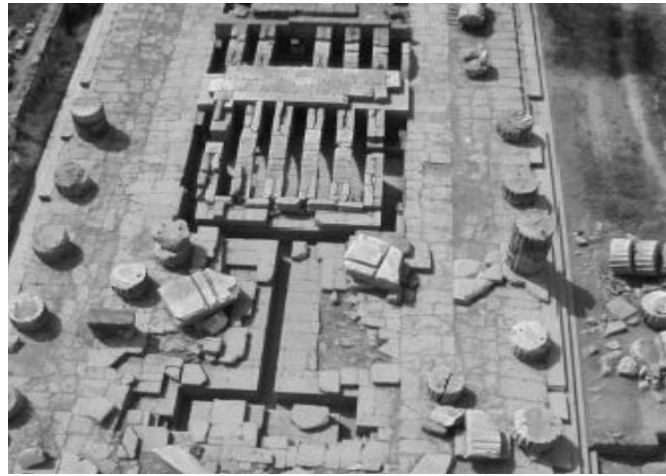
Dolayısıyla budaklı gövdenin ömrü kısa olur. Ahşap, hem çekme gerilmelerine hem de basınç gerilmelerine karşı çalışabildiği için eğilme elemanı olarak kullanılır ve özellikle döşemelerde büyük açıklıkların geçilmesine olanak sağlar (Tetik, 2015). Çizelge 3.10.'da mekanik özellikleri verilen bu malzemenin basınç ve çekme dayanımları, malzeme yapısındaki liflerin yönüne göre değişir.

3.2. Tarihi Yığma Yapıların Yapısal Özellikleri

Geleneksel yığma yapılarda; sütun ve ayaklar, kemerler, tonozlar, temeller, duvarlar, kubbeler, döşemeler, Merdivenler, köprüler vb. gibi yığma yapım metoduyla inşa edilmiş elemanlardır (Uğuz, 2016).

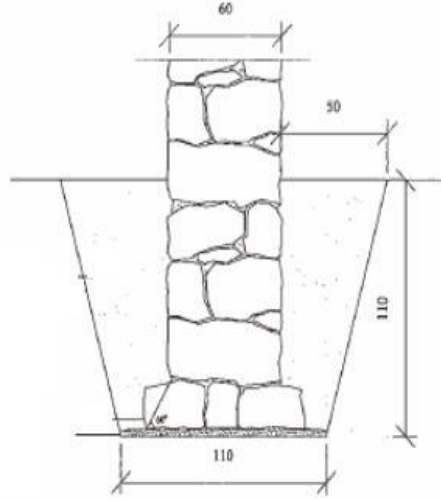
3.2.1. Temeller

Yapının taşıdığı bütün yüklerin zemine ulaştırılmasını sağlayan taşıyıcı elemanlardır. Yapının oturduğu zemine inşa edilen yüzeysel temeller, sütun ve ayakların tabanına yapılan tekil temeller ve duvar altına yapılan sürekli temellerden oluşurlar. Dolgu ve yumuşak zeminlerde, sulu zeminlerde yapılan temellere Derin temel denir (Uğuz, 2016).Şekil 3.9.'de tarihi bir yapının temeli gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Antik Klaros tapınak alanındaki Apollon Klaros Tapınağı temeli

Eski yapı temelleri incelendiğinde, zamanımızdaki metotların eksikliği sebebiyle günümüzdeki anlamda temel atma şartlarının zayıf olduğu bilinmektedir ve temel türleri kısıtlı olmaktadır. Şekil 3.10.'de yığma bir yapı elemanı altındaki tekil temel sistemi gösterilmiştir (Uğuz, 2016).



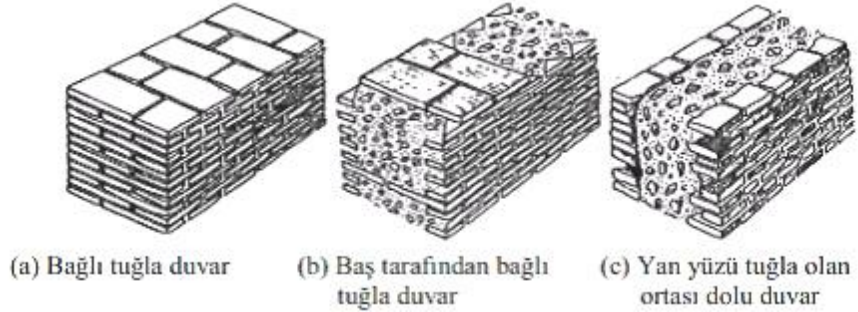
Şekil 3.10. Tekil Temel

3.2.2. Duvarlar

Eski yapılarda taşıyıcı duvarlar, kesme taş, kaba yonu taş, moloz taş, tuğla ya da kerpiç gibi yapı malzemesinden yapılan ve yapının taşıdığı yükleri temele taşıyan sürekli elemanlardır. Etkiyen deprem yüklerinin ve aldığı eğik yüklerin hesaplanmasıyla enkesit boyutları tespit edilir. Duvar kalınlıkları eski yığma yapılarda etkiyen düzlem dışı yükler duvarların öz ağırlıklarıyla taşındığından, mümkün oldukça büyük seçilirdi. Yapı elemanı olan Duvarın bütün yükü taşıyabilmesi için bir bütün olarak hareket etmesi zorunludur. Yapı temel kotundan başlamak üzere çoğunlukla taş duvarlar devam eder. Doğal taşların işlenmesiyle yapılan parçalar düzgün belirli sıralar halinde yatay olarak dizilmektedir. Düşeyde derzler şaşırtmalı olarak yapılmaktadır. Duvarların iç ve dış kısmı boyuna taşlarla örülüp iç kısmına da dolgu duvar olarak inşa edilebilir.

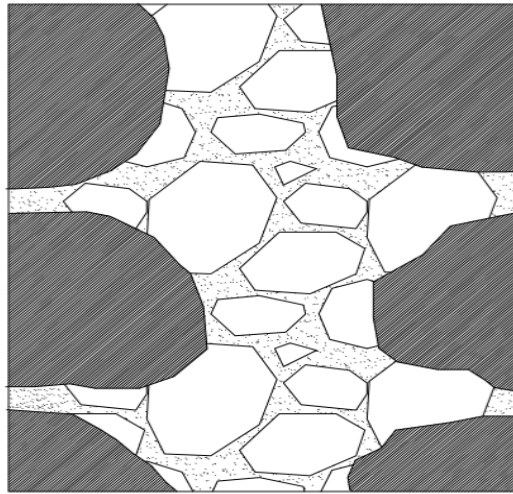
Geniş bir kâgir duvar, içi dolu veya arasında boşluk bırakarak yapılabilir. Geniş duvarların iki farklı yüzünü oluşturan duvarlar aynı tip parçalarla yapılabildiği gibi

çeşitli ebatta parçalarla karma olarak da inşa edilebilir. Duvarlar arası boş bırakılabilir veya moloz taş ve harçla doldurulur (Uğuz, 2016). Şekil 3.11.'de Romalılar zamanında yapılmış farklı tip tuğla duvarlar gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Romalılar zamanında yapılmış yığma duvarlar (Uğuz, 2016)

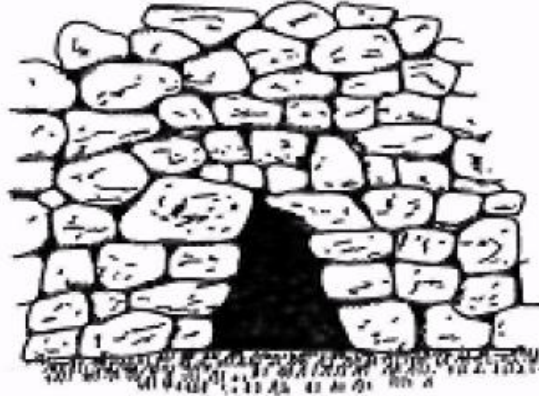
Duvarlar; taşıdıkları düzlem içi ve dışı etkiler altında, oluşan çekme gerilmeleri sebebiyle güç tükenmesine ulaşır ve bu gerilmeler yapı elemanı üzerinde kayma mekanizması meydana getirmektedir. Yatay olan kesme kuvvetleri yatay ve düşey yönde kayma gerilmesi veya köşegen yönünde çekme ve basınç gerilmeleri meydana getirirler. Bu nedenle köşegen yönünde X çatlakları meydana gelir. Bu sistemin oluşmasını engellemek için, yatay harekete direnmek amacıyla duvarın diğer yöndeki duvarlara münasip bir şekilde bağlanmış olması şarttır. Kabuk duvarlarda oluşan gerilmeler yapısal analizlerde ele alınırken dolgu üzerindeki gerilmeler dolgunun elastisite modülünün az olması sebebiyle ihmal edilir (Tetik, 2015).



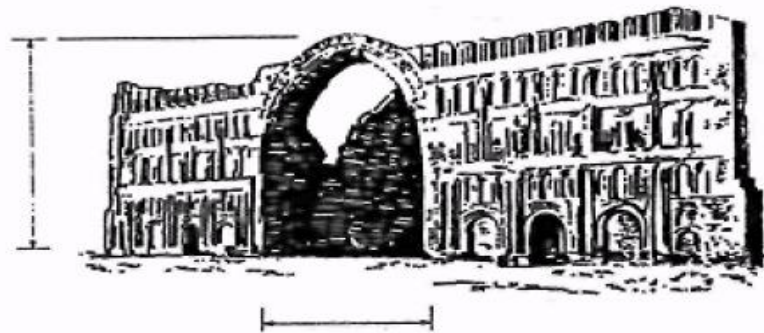
Şekil 3.12. Kabuk duvar detayı (Tetik, 2015).

3.2.3 Kemerler ve Tonozlar

Yatay ve düşey yükleri belli noktalara taşıyan yapı elemanlarıdır. Kemerlere etkiyen düşey yükler yapıdaki kerpiç, tuğla veya taş gibi taşıyıcı malzemeler ve detay elemanlardan meydana gelmektedir (Uğuz, 2016). Şekil 3.13. ve Şekil 3.14.'da M.Ö. ve M.S. yapılmış kemer yapıları görülmektedir.



Şekil 3.13. Yunanistan'ın Tiryns şehrinde M.Ö. 600'de yapılmış duvar içinde dirsek kemer (Uğuz, 2016)

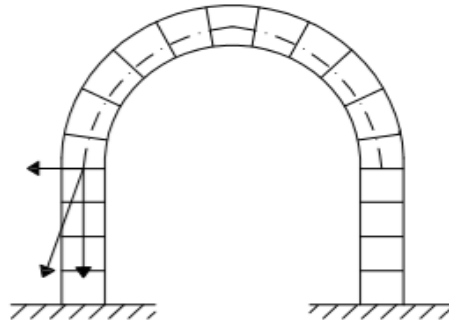


Şekil 3.14. Irak'da M.S. 550'de çamus tuğladan yapılan Ctesiphon Sarayı (Uğuz, 2016)

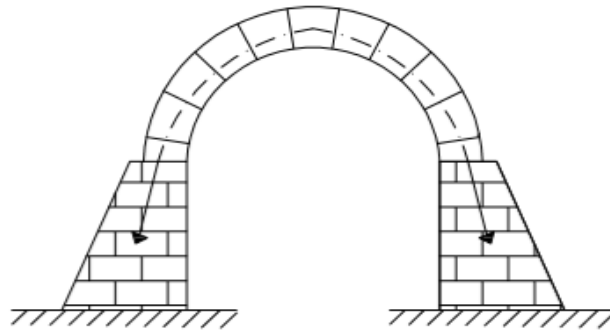
Kemerlere gelen yükler, eğrisel şekilleri sebebiyle direk olarak mesnetlere iletilirler. Kemerin en üst birleşim yerinde Kilit Taşı bulunur ve duvara bastığı bölgeye üzengi seviyesi denir. kilit noktası ile Üzengi seviyesi arasındaki uzunluk kemerin sehimidir. İki üzengi noktası arasındaki mesafe kemerin açıklığıdır ve açıklığa göre sehimi çok olan kemerin taşıma gücü daha fazladır (Uğuz, 2016).

Kemerler ve tonozlar, yapısal özellikleri ve taşıyıcılık özellikleri açısından birbirine benzemektedir. Eğer kemerlerin derinliği, açıklığını geçerse o eleman; tonoz olarak adlandırılır. Bu yapı elemanları, aldığı düşey yükü iki taraftaki mesnetlerine iletir. Mesnet kuvvetleri, genellikle duvarlar tarafından karşılanır (Tetik, 2015).

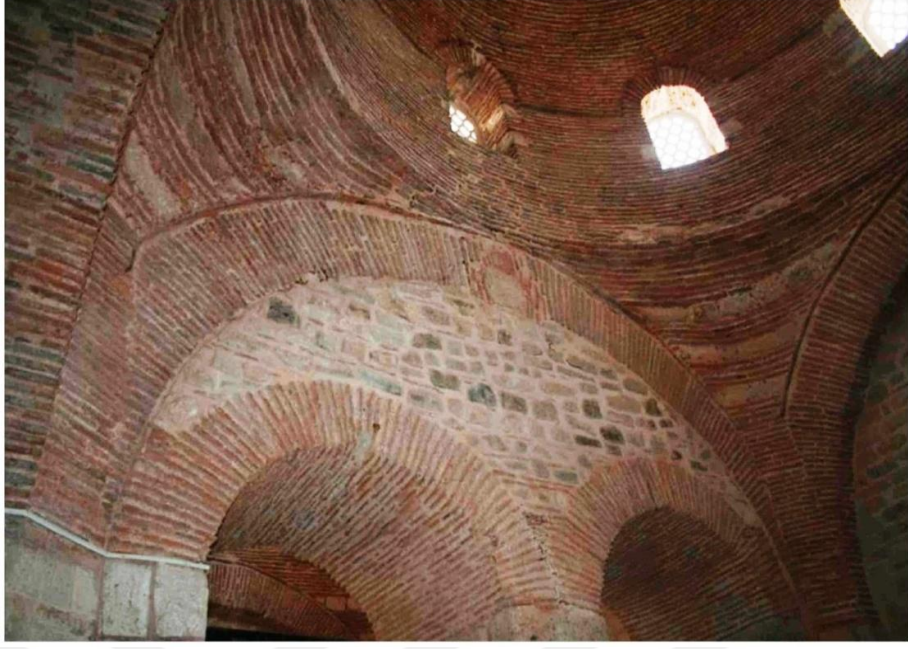
Şekil 3.15. ve Şekil 3.16.'de görülen, kemerde kesikli çizgi ile gösterilmiş olan bileşke kuvvet çizgisi, diğer adıyla itki çizgisi, gösterilmiştir. Eğer bu çizgi yığma yapı elemanı içerisinde kalırsa, kesitte meydana gelen basınç gerilmeleriyle dış yük karşılanır ve yapıda yıkılma olmaz. Şekil 3.17. ve Şekil 3.18. ise yığma yapıda kemerlere örnektir (Tetik, 2015).



Şekil 3.15. Kemerin yük aktarımı 1 (Tetik, 2015).



Şekil 3.16. Kemerin yük aktarımı 2 (Tetik, 2015).



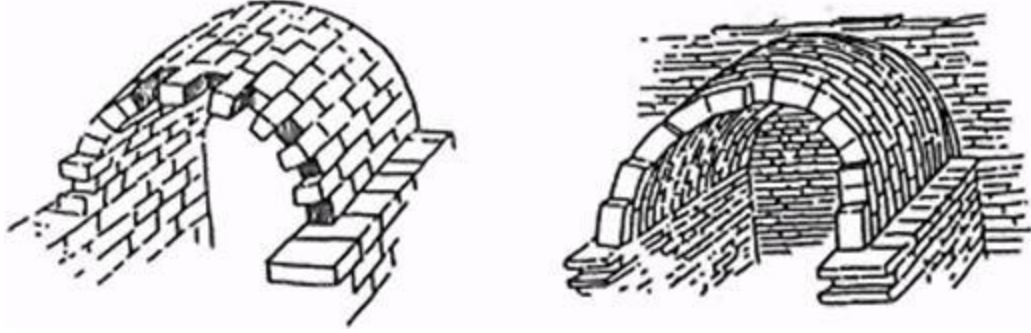
Şekil 3.17. Topkapı Sarayı Mutfak Bölümü (Tetik, 2015).



Şekil 3.18. Santa Clara-Coimbra/Portekiz (Tetik, 2015).

Tonozlar kemerin sahip olduğu düzlemine dik doğrultusunda ötelenmesi neticesinde oluşan ve yük taşıma sistemi kemerlere benzeyen aynı zamanda da kabuk özelliği

gösteren tek eğrilikli elemandır. Tonozlarda, basınç kuvvetlerinden kaynaklanan basınç gerilmeleri oluşur. Eski yapılarda dikdörtgen şeklindeki hacimlerin kapatmak için kullanılan tonozlar; ilkel tonoz, manastır tonozu, çapraz tonoz ve beşik tonozu olarak dörde ayrılır (Uğuz, 2016). Şekil 3.19.'de tonoz yapı örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Tonoz yapılar (Uğuz, 2016)

3.2.4 Kubbeler

Kubbeler, kemerin simetri eksenini etrafında 360° dönmesi ile meydana gelen çoğunlukla dönele simetrik yapı elemanlarıdır. Kubbelerin duvara oturan kısmına kasnak adı verilir. Kasnağın bastığı yatay düzlem ile kubbe tepesi arasındaki yüksekliğin kubbe çapına oranına basıklık denir. Basıklığın büyütülmesi ile kesitlerde basınç gerilmesinin etkisinin artması sağlanır. Ağırlık merkezleri boşlukta oluşan büyük ağırlıklı kubbeler, şayet yapı simetrik değil ise düşey ve yatay yüklere maruz kaldığında kararsız davranış gösterirler ve yapıda burulmalar meydana gelir. Kubbenin bulunduğu yapının burulma etkisini azaltmak için kasnak ve alt yapı yapımına önem verilir. Kubbeler; dairesel yapıların çatı örtüsü ihtiyacını karşılamak için yapıldığından kare duvarlarda kullanma ihtiyacı olursa düşey yükleri aktarmak için bazı yardımcı elemanlara (tromp, pandantif, Türk üçgeni...) ihtiyaç vardır (Tetik, 2015). Kubbelerin düşey duvarların bir arada tutulmasına da faydası vardır. Şekil 3.20. ile kubbe örneği gösterilir.



Şekil 3.20. Topkapı Sarayı-Mutfak Bölümü

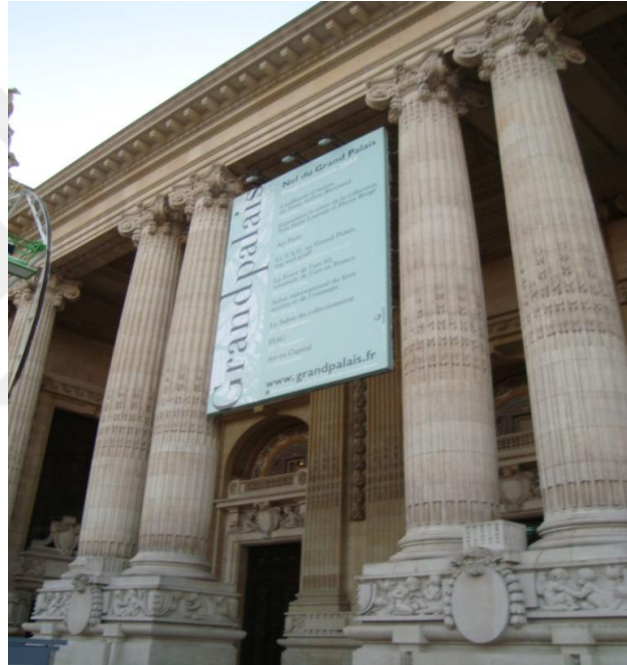
3.2.5. Ayaklar ve Sütun

Eski yığma yapılarda dikey taşıyıcı olarak duvar ile birlikte sütun ve ayaklarda kullanılabilir. Sütunlar tek bir malzemedен tek parça olarak yapılabildiği gibi tek bir malzemedен tambur adı verilen çoğunlukla dairesel blokların üst üste konması ile meydana gelmektedir. Ayaklar ise duvarlar gibi olup aralıklı olarak imal edilen eski yığma yapı elemanlarıdır (Uğuz, 2016).

Çatı ve döşemelerden gelen yükler, düşey elemanlar olan sütunlar ile temele iletilir. Şekil 3.22.'de gösterilen sütunlar; alt başlık, gövde, üst başlık olarak üç kısımdan oluşur. Sütunların oturduğu tabanlar, sütunun taban gerilmesini düşürmek için Şekil 3.21.'deki gibi taş dilimlerinden yastıklar (alt başlık-taban) şeklinde yapılır. Tavanların sütuna basan kısmında ise taşıma kapasitesini yükseltmek gayesiyle yastıklar (üst başlık) yerleştirilir. Basınca çalışan sütunların, eğilme momentiyle meydana gelecek çekme gerilmesini engellemek amacıyla, bu yapı elemanı parçalarının birleşimi her devirde mafsallı olarak yapılmıştır (Tetik, 2015).



Şekil 3.21. Sütun alt başlığı-tabanı



Şekil 3.22. Grand Palais-Paris/Fransa

Sürekliliği ayrı ayrı birimlerin pimlerle birbirine bağlanması ile sağlanan sütunlar, granit ya da farklı taşlarla, davul şeklinde yada tek parça yapılabilir. Şekil 3.23.'de sütunları tek parça yapılmış tarihi bir yapı görülmektedir (Uğuz, 2016).



Şekil 3.23. Tek parça sütunlar



4. TARİHİ YIĞMA YAPILARDA MODELLEME ve ANALİZ YÖNTEMLERİ

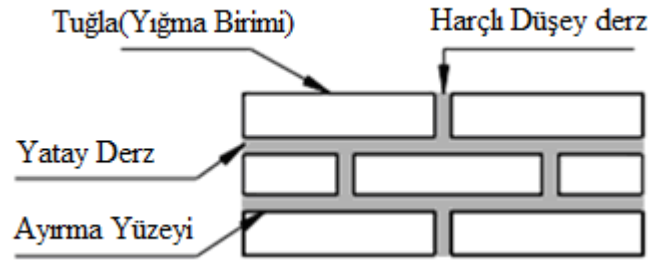
4.1. Modelleme Teknikleri

Yapı tasarımı, yapılabirlik ile mühendisliği dengeleme becerisidir. Önceden, kaynağı tecrübeye dayalı bilgilerden oluşan bir potansiyele sahip olan yapı tasarımı, sonradan sayısal temellere oturtulmuş ve metotları büyük ölçüde eksiksiz hale getirilmiştir. Romalı mimar Vitruvius, Mimarlık Üzerine On Kitap adlı çalışmasında, ayrı ayrı yataklardan çıkarılan doğal taşları, ayrı ayrı ağaçlardan temin edilen ahşabı kıyaslamıştır. Ayrıca sütunların yapıda hangi aralıklarla sıralanacağından ve bir tapınağın sütunlarının olması gerekenden çok açıklıklarla geçildiğini anlatırken, herhangi bir yapısal formül veya hesaplardan söz etmemiştir. Sonraları orta çağ ustaları, deneme yanılma yöntemiyle mimaride ciddi gelişmelere önderlik etmişlerdir. Taş ustalığındaki görkemi meydana getiren eserlerin kubbe, tonozlar, payanda, sütun ve kemerlerden oluşan iskeleti, kırılğan ve oldukça ağır olan taşların tüm stabilize kurallarına aykırılığına rağmen başarılı bir netice vermiştir. Yapısal güvenliğin limitlerini inceleme ve tecrübe ile tespit eden ustaların, yapısal davranışı ne kadar bildiği bir soru işareti olsa da, yaptıkları eserlerde stabilizeyi etkileyen geometrik oranlardaki tespitleri bakımından şanslı da sayılabilirlerdi. Ayak veya sütuna orantılı yapılacak payandaların kalınlıklarının doğru tespit edilmesi Mignot'a göre yığma yapıda karşılaştırılabilir tek kuraldır. Bu oranı kendisi 3:1 olarak tanımlarken 4:1 ve 1.5:1 oranlarını verenlerde olmuştur. Bu oranlarla çok başarılı sonuçlar elde edilmişse de, bir kısım yapısal hasarlar da ortaya çıkmış olması nedeniyle söz konusu oranlarda birtakım düzeltmelerin yapılması zorunluluğu da düşünülebilir. Sonraları Leonardo Da Vinci, temeli geometriye dayanan bir kısım grafik yöntemler üretmiştir. Fazlaca uğraştığı kubbelerin yapımı için kullanmış olduğu zincir eğrisi metodu da bunlar arasında yer alır (Anadut, 2016).

Günümüzde, yığma yapıların sayısal modellerle incelenmesi artık yaygın bir hal almıştır. Yığma yapı analizinde farklı metotlar ve yaklaşımlar ortaya çıkması bilgisayar teknolojilerindeki gelişmenin bir sonucudur (Birinci, 2010). Yığma yapılar, yapım metodu göz önüne alındığında birde fazla malzemenin bir araya getirilmesiyle uygulandığı için, ayrı doğrultularda ayrı davranışlar gösteren bir özelliğe sahiptir.

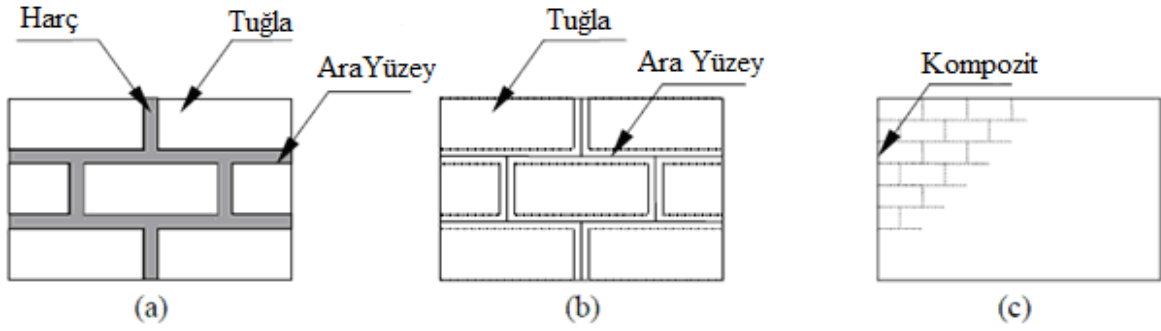
Modellemede önemli olan bu hareketin temsilidir. Yapının gerçek hareketine modelleme vasıtasıyla ulaşmak için bazı idealleştirmelere ve basitleştirici kabuller yapmak gerekir. Yapının değerlendirilmesi için harcanan zaman ve ekonominin de etkili olduğu bir süreçte, kabul edilen yaklaşım limitleri çerçevesinde hesaplama için farklı idealleştirmeler ve farklı modelleme ilkeleri tercih edilebilir. Örneğin, yapıdaki bir elemanın hareketini araştırmak için tercih edilecek model çok detaylı hazırlanabileceği gibi, yapının genel değerlendirmesi için daha az detay kabulü yapılabilir. Bilgisayarların işlem ve hafıza limitleri de bu incelemeler için sınırlamalar getirmektedir (Anadut, 2016).

Yığma yapılar heterojen bir yapıya sahip oldukları için yığma birimlerin, harcın ve bunlar arasındaki aderansın, statik ve dinamik yükler altındaki hareketi dikkate alınır (Lourenço, 1996). Bu sebeple modelleme yapılırken çeşitli varsayımlarda bulunulur ve bu varsayımlara göre de çeşitli stratejilerden yararlanır (Tetik, 2015).



Şekil 4.1. Örnek Yığma Yapı Elemanı (Tetik, 2015).

Mikro modelleme yönteminde, taş veya tuğla ile bağlayıcıyı temsil eden harç farklı farklı modellenir. Makro modellemede ise malzemeler farklı farklı değil, genel bir ilişki içerisinde tek malzeme gibi düşünülmektedir. Mikro modelleme yönteminde, elastik ötesi davranış ara yüz elemanlarında oluşur ve bu sebeple rijitliğin azalmasına sebep olan gerilmeler ve yük akışı takip edilebilir. Ara yüz elemanı için çeşitli göçme modlarını barındıran modeller de geliştirilmiştir (Şekil 4.2.)

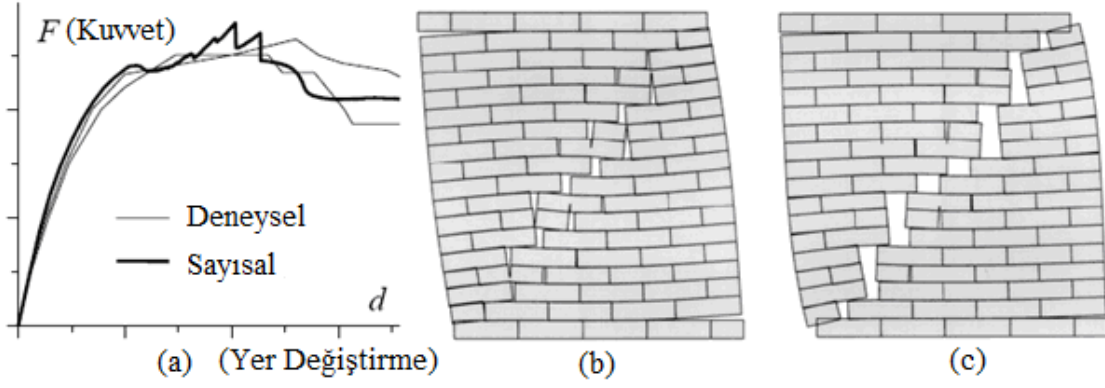


Şekil 4.2. Model Yaklaşımları a) Detaylı Mikro b) Basit Mikro c) Makro Modelleme (Dabanlı, 2008)

4.1.1. Mikro modelleme yöntemi

Yığma yapılarıdaki derzler rijitliğin ön planda olduğu düzlemler olarak bilinir. Detaylı bir modelde, tuğla veya doğal taştan meydana gelen yığma elemanlarla derzleri meydana getiren harcın farklı modellenmesi ile oluşan farklı davranışlara dikkat edilir. Derzde bulunan harcın yığma kısımlara göre zayıf olması nedeniyle, derzleri esas alan bir model yaklaşımı olan mikro modelleme yöntemi, genellikle küçük boyutlu yapılarda ve özellikle yapı elemanlarının veya yapıların bir kısmının titiz analizinin yapılmasında tercih edilen bir yöntemdir (Lourenço, 1996, Magenas ve Penna, 2009). Mikro modelleme yönteminde yığma yapı elemanlarıyla bağlayıcıların mekanik özellikleri iyi bilinmeli, öncesinde titiz bir malzeme çalışması yapılması zorunludur. Mikro modellemede, tüm doğrusal olmayan davranış ara yüzlerde, muhtemel düşey kırılmalar da birimin ortasında yoğunlaştırılabilir. Sonradan bu yöntemde çoğunlukla büyük bir hesap yükü karşımıza çıkar. Bu nedenle mikro modelleme yöntemi bölgesel analizler için genel olarak tercih edilirken, büyük ölçekli yapının yükünü dikkate alan çalışmalarda ise tercih edilmez. Uygulamalar Sonlu elemanlar, ayırık elemanlar ve limit analiz kullanılarak gerçekleştirilebilir (Dabanlı, 2008).

Ayrık eleman metodunda, yapının ayrı blokların (katı ya da deforme olabilen) birleşimi kabulü yapılır. Metot küçük şekil değiştirmeler (bloklar için) ve büyük yer değiştirme (derzler için) üzerine kuruludur. Her bir blok geometrik ve malzeme olarak modellendikten, hacim ve yüzey kuvvetleri tanımlandıktan sonra, zamana bağlı hareket denklemleri sayısal olarak çözülür (Şekil 4.3.).



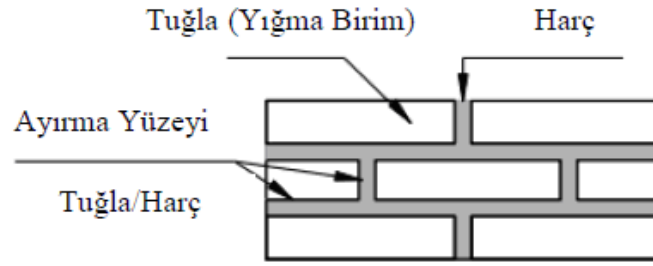
Şekil 4.3. Yığma Duvarın Mikro Model Analizi a) Kuvvet-Yer değiştirme Diyagramı b,c) Maksimum ve Nihai Yüklerdeki Şekil Değişimleri (Dabanlı, 2008)

Sonlu eleman yöntemi ile Ayrık Eleman Yöntemi (FEM-DE) (Finite element method-Discrete Element) beraber kullanılabilir. Bağlayıcı harçlar için ayrık eleman metodu kullanılırken, katı elemanlar sonlu eleman metoduyla modellenmektedir. Büyük yer değiştirmelerde bu metodu kullanmak zordur. Bu metodun en büyük zorluğu, uygun malzeme özelliklerini tespit etmektir. Tuğla/blok ve harç bağlayıcının özelliklerinin belirlenmesinde uygulamada problemler çıkmaktadır. Çünkü örme yapıları genellikle alçı, sıva gibi kaplama malzemeleri ile sıvanmaktadır.

Tasarımda kullanılabilmesi ve hızlı analiz yapma olanağı metodun avantajıdır. Bu metodun olumsuz tarafları ise sadece göçme yükü ve mekanizmanın tespit edilebilmesi ve çekme gerilmelerinin modele dâhil edilememesidir. Ayrıca yüklemeye geçişinin tanıtılması da zorluklarındandır. Tam bir mikro modelde bütün göçme mekanizmaları, yani, birleşimlerdeki çatlaklar, derzde oluşabilen kaymalar, yığma birimin kırılması ve ezilmesi şeklinde sayılabilecek sistemler bulunmalıdır (Dabanlı, 2008).

Ayrıntılı Mikro Modelleme

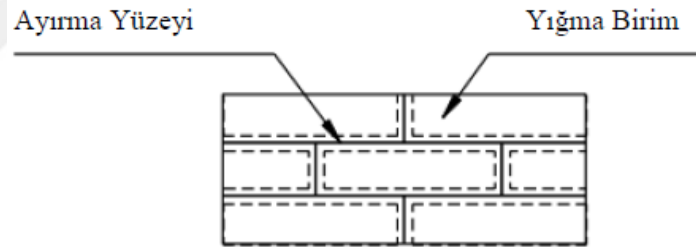
Bu modelleme yönteminde, yığma duvarı oluşturan yığma birimin ve harcın mekanik özelliklerinin herbirisi ayrı ayrı değerlendirilir. Yapının hasar görmesi durumunda ise çatlakların yığma birimin ve harcın arasındaki ara yüzeylerde oluştuğu varsayılmaktadır (Tetik, 2015).



Şekil 4.4. Ayrıntılı mikro modelleme yöntemi (Tetik, 2015).

Basitleştirilmiş Mikro Modelleme

Bu modelleme yönteminde, yığma birimlerinin ebatları, harç tabakasının kalınlığının yarısı kadar genişletilerek harç tabakası ihmal edilmektedir. Yığma birimler ortalama ara yüzey çizgileriyle birbirinden ayrılmaktadır. Yığma duvarda meydana gelebilecek olan çekme ve kayma çatlaklarının ise ara yüzeylerde oluşacağı ve tuğlalarda meydana gelebilecek olan olası çatlakların ise tuğlanın orta kısmında düşey olarak gerçekleşeceği varsayılmaktadır (Tetik,2015).

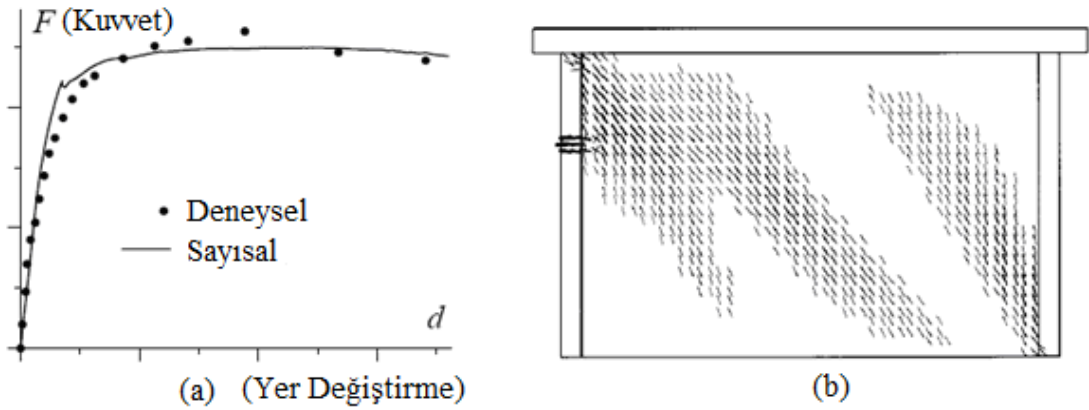


Şekil 4.5. Basitleştirilmiş mikro modelleme yöntemi (Tetik, 2015)

4.1.2. Makro Modelleme Yöntemi

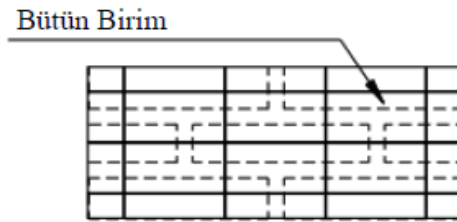
Makro modellerin uygulanması ve kavranmasında laboratuvar verilerinin olmayışı ve izotrop olmayan malzeme hareketindeki karmaşıklığı nedeniyle zorluklar çıkabilmektedir. Detaylı çalışmaları yapılmayan özel modeller, makro modellemedeki zorlukları gidermek için yeterli değildir. Farklı araştırmalarda ise anizotrop malzeme hareketi ve plastisite kavramından faydalanılarak, ayrı yönlerde ayrı sertleşme/yumuşama özelliği taşıyan uygulamaların iyi sonuç verdiği bilinmektedir (Pela vd., 2009, Frunzio vd, 2001, Wang ve Melbourne, 2007). Tespitlerden de

anlaşılacağı gibi makro modellemede, malzeme tanımları model ve analizin doğruluğuna etki eden başlıca kriterdir. Şekil 4.6. da yığma bir duvarın makro model analizi görülmektedir. Laboratuvar sonuçları ile sayısal sonuçlar bire bir benzerlik göstermiştir. Mikro model metodu olan ayırık eleman metodu ile aynı duvarın analiz edilmesinden benzer sonuçlar elde edilmiştir. Burada geçerli kabuller ve sınır şartlarına ulaşıldığında makro modelin hız kazandıran ve kolay bir yöntem olduğu anlamına gelmektedir (Dabanlı, 2008).



Şekil 4.6. Yığma Duvarın Makro Model Analizi a) Kuvvet-Yer değiştirme Diyagramı b) Nihai Yükte Şekil Değiştirme Şekli (Dabanlı, 2008)

Makro modelleme yöntemleri; karmaşık ve büyük sistemlerde, yığma binanın bütünüünün analizinde tercih edilmektedir (Toker ve Ünay, 2004, bayraktar vd., 2008, Preciade vd., 2015, İlerisoy ve Soyluk, 2012). Uygun sonlu elemanlara ayırmak suretiyle makro modelleme zaman açısından tasarruf sağladığından dolayı tercih edilmektedir. Bu modellemeye göre, yığma birimler ile harç arasındaki etkileşim ihmal edilir (Tetik, 2015).



Şekil 4.7. Makro modelleme yöntemi (Tetik, 2015)

4.1.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi

20. yüzyılın ortalarına doğru bilgisayar teknolojileri kapsamında pek çok çalışmalar yapılmış ve olumlu sonuçlar yaşanmıştır. Karmaşık, yoğun ve içinden çıkılması çok zor olan hesapların daha doğru ve hızlı çözümü bu şekilde mümkün hale gelmiştir. Bilgisayar teknolojisindeki pek çok gelişmenin ortaya çıkardığı kolaylıklar mühendislere ve diğer araştırmacılara daha çeşitli alanlarda çalışma ve yeni yöntemler üzerinde düşünme imkânı sağlamıştır. Mevcut durumdaki çözüm yöntemlerinin yaklaşık yöntemler olması ve bilgisayarla yapılacak çözümler için çok uygun olmaması sebebiyle yeni yöntemlerin denenme ve tercih edilme sayıları artmıştır (Anadut,2016, Brencich ve Sabia, 2008, Fanning ve Boothby, 2001).

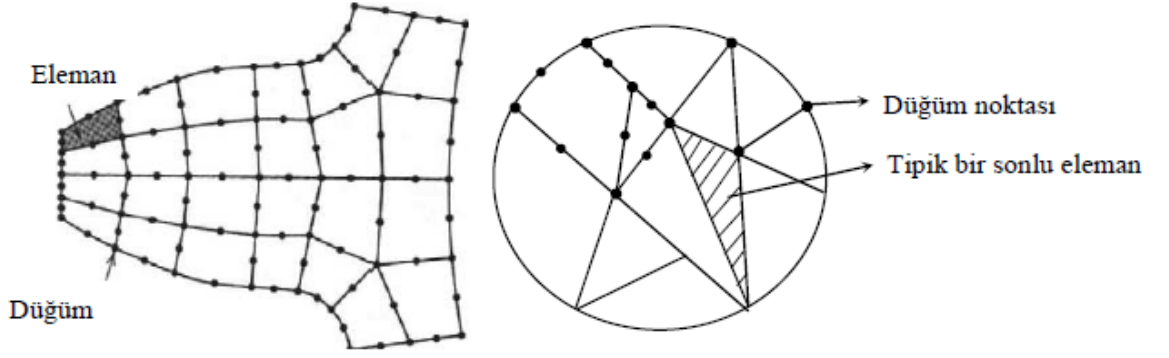
Sonlu elemanlar yöntemi, problemlerin bilgisayar ortamına aktarılma isteği neticesinde geliştirilmiş ve genellikle tüm mühendislik alanlarında, bilgisayar ile çözümlenmeye uygun olması ve kısa zamanda doğru sonuçlar elde edilmesini sağlamasından dolayı kullanılmış ve halen de kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yönteminde ana mantık, bütünü sonlu sayıda elemanlara bölerek sistemin genel davranışını, sistemi meydana getiren elemanların gösterdikleri tepkiler ile detaylı bir şekilde açıklamaktır. Sonlu elemanlar yönteminde çözümün doğruluğu için modellemenin doğru yapılması ve her bir elemanın davranışının gerçeğe en yakın şekilde temsil edilmesi gerekmektedir. Sonlu elemanlar yönteminin uygulanışı üç ana grup olarak ele alınabilir. Bunlar matris ve doğrusal uygulamalar, seçilen sonlu eleman formülasyonu ile statik ve dinamik analizde sonlu eleman denge denklemlerinin etkili bir biçimde çözümü için kullanılan nümerik metotlar şeklinde açıklanabilir (Anadut, 2016, Bayraktar vd., 2010, Altunişik vd, 2011, Pela vd, 2009, Frunzio vd., 2001).

Sonlu elemanlar yöntemi; kısmi diferansiyel denklemlerle ifade edilen problemlerin çözümünde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, doğrusal ve doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Bu metotta cisim sonlu boyutta çok sayıda elemana ayrılmaktadır. Sonlu eleman yaklaşımında problemin genel bir denklemini yazıldıktan sonra ortam sonlu elemanlara ayrılır ve her eleman için problemin bütünü göz önüne alınarak denklemler çıkartılır. Mevcut sınır şartları içerisinde elemanlar

birleştirilir ve ortamın tamamı için matris şeklinde denklemler elde edilir. Elde edilen denklem takımı veya takımları çözümlenerek bilinmeyenler hesaplanır (Anadut, 2016).

Doğru şekil fonksiyonlarının seçiminden sonra, rijitlik ve yük matrislerinin formülasyonunu sonlu elemanlar yöntemini kullanarak elde etmek mümkün olmaktadır. Rijitlik matrisi yöntemi, elde edilen yük formülasyonu ve matris uygulamalarının doğruluğunda yapılması gereken yöntem olarak ele alınması ve yapı sistemlerinin çözümüne uygulanmasından ibarettir. Yapı sisteminin genel şekli nasıl olursa olsun, yapıyı oluşturan bütün elemanların davranışlarının uygun şekil fonksiyonları ile temsil edilebildiği, rijitlik ve yükleme matrisleri formüle edilebildiği için yapı sisteminin çözümü, bu standart rijitlik matrisi uygulaması ile kolaylıkla yapılabilmektedir. Bahsedilen işlem bilgisayar ile çözümlenmeye son derece uygundur (Küçükdoğan vd, 2010, Doğangün vd., 2008, Radnic vd., 2012).

Elemanlar, geometrisine göre (üçgen, paralel kenar, dörtgen), düğüm sayısına açısından düğüm sayısındaki bilinmeyenlere göre ve sürekli ortam probleminin özelliklerine göre (plak, levha, kabuk problemleri) sonlu elemanlar yönteminde sınıflandırılır. Ayrıca temel matrislerin elde edilmesine göre de elemanları matematik modelleme açısından sınıflandırmak mümkündür. İnşaat mühendisliği alanında birçok problemi çözmeye kullanılan sonlu elemanlar metodu; malzeme özelliklerinin çeşitliliğini ve limit koşullarını kolaylıkla bağdaştırabilen, çalışılması kolay çok yönlü sayısal analiz metodlarından birisidir. Aynı zamanda doğrusal ve doğrusal olmayan malzeme özelliklerini aynı anda problemde kullanabilen, toplam ve efektif gerilme durumunu gösterecek şekilde formüle edilmiş bir analiz yöntemidir. Sonlu elemanlar yöntemi mühendislere büyük oranda hız kazandırmakta, dikkat, bilgi ve tecrübe ile kullanıldığında kolaylıkla her probleme uygulanabilmektedir (Anadut, 2016).



Şekil 4.8. Sonlu Eleman Modelinde Düzüm Noktaları ve Elemanlar (Anadut, 2016).

Sonlu eleman yöntemlerinin sağladığı çok fazla avantaj vardır. Diğer sayısal yöntemlerde olduğu gibi sonlu elemanlar metodu da bölgelendirme ilkesine dayanmaktadır. Varyasyon ve kalıcı yaklaşım metodu sayesinde teknik, cisim sadece sürekli ortam gibi idealize edilmeyip, bununla birlikte sürekli ortam içinde her noktada yaklaşık çözüme ulaşan interpolasyonu da sağlamaktadır. Çözüm, sonlu sayıdaki ayrık düğüm noktalarında elde ediliyor olmasına karşılık, alan değişken modelinin formülasyonu ile cisimdeki diğer yer değiştirmeleri de hesaplamaktadır. Kalıcı ve değişken yaklaşımlardan ayrı olarak, sonlu elemanlar yönteminde ayrık alt birimlerin kullanımı karmaşık bir geometri gösteren süreklilikler için de kolaylıklar sağlar. Sonlu elemanlar yönteminde malzemeler istenilen her boyuta ayrılarak yüksek hassasiyetli sonuçlara ulaşılabilir. Sonlu elemanlar yöntemi geometrisi düzgün olmayan ve sınır şartlarını sağlamayan problemlere bile kolaylıkla uygulanabilir. Yöntem farklı özellik ve malzemelerden oluşan yapı malzemelerinin bir bütün oluşturmasını sağlar. Sonlu elemanlar yöntemi özellikle yığılma yapılar gibi farklı malzemelerden oluşan yapıların gerçek hali gibi modellenbilmesine olanak sağlar. Yöntem aynı yapı elemanı için farklı özellikler kullanmaya olanak sağlar. Yöntem, yapısal sürekliliklerin sonlu boyutlu ayrık elemanlardan oluşan bir sistemle yer değiştirilmesiyle çözümüne olanak sağlamaktadır. Bu sistem çerçeve analizinde sıklıkla tercih edilen ve bilinen yer değiştirme modeli aracılığıyla analiz yapılmaktadır. Tanımlanan sınır koşullarının yöntemdeki denklem kümesine dâhil edilişi gayet kolaydır. Sınır şartları değiştiği zaman alan değişken modelinin değişmesine gerek olmamaktadır. Yöntemin, hiçbir özel metoda veya suni yöntemlere ihtiyacı yoktur. Çok değişkenli yaklaşımda sadece geometrik sınır koşulları tespit edilmelidir. Diğer sayısal yöntemlerle modellenemeyen çeşitli karmaşık malzeme

koşullarının ve tiplerinin modellenmesinde de Sonlu elemanlar yöntemi kullanılabilir. Doğrusal olmayıp, zaman veya sıcaklığa bağlı malzeme davranışları gibi katı mekaniğin bünyesel özelliklerini de formüle edebilmektedir. Yöntemle her çeşit dış yükler modellenebilir ayrıca diğer analitik metotlarla kıyaslandığında sınır koşullarının esnek oluşu ayrı bir avantaj sağlamaktadır. Bu yöntem homojen olmayan sürekliliklerin modellenmesinde, ayrı elemanlara ayrı malzeme nitelikleri vermek suretiyle rahatlıkla çözüme ulaşmaktadır. Değişken malzeme özellikleri tanımlanırken, daha önce seçilen polinom modeli ile uygunluk bozulmayacak şekilde, eleman içinde özelliklerin değişimini sağlamak mümkündür. Yöntem, kolay veya karmaşık her türlü problemin sebep sonuç ilişkisini açıklayabilmektedir. Yöntemin sistematik bir şekilde genelleştirilebilmesi, onu çok farklı tipteki problemlere uygulanabilir kılmakta ve yöntemi çok kullanışlı bir hale getirmektedir. Yöntem, fiziksel manasının olması, sayısal temelinin gücü ve ifadesi ile uygulamacılara çok büyük kolaylıklar sağlamaktadır (Anadut, 2016, Pela vd, 2013, Ural, 2005, Brencich ve Sabia, 2008).

Sonlu elemanlar yönteminin en sıkıntılı kısmı süreklilikleri alt bölgelere ayırma işlemi ve bilgisayar için yanlış yapma olanağı sağlayan veri girişi kısmıdır. Bu işlem bir noktaya kadar otomatik olmakla birlikte, bölgelendirme esnasında teknik yorum katabilmek gayesiyle tamamen otomatikleştirilmemiştir. Veri girişindeki kusurlar, başlangıçta kabul sınırlarında görünen yanlışların ve fark edilmemiş neticelerin elde edilmesine neden olabileceğinden dolayı kullanıcılar böyle hataları gözden geçirerek irdelemelidir. Kontrollere ilave olarak, veri girişini sağlayan ve bölgelendirilmiş sürekliliğin çizimine imkân veren yardımcı işlemler tercih edilmektedir. Bu çizim veri girişinin çok hızlı bir şekilde kullanıcı tarafından kontrol edilmesine imkân sağlamaktadır (Anadut, 2016).

İlk adımda problem, küçük alt yapılara ayrılarak ağ yapısı oluşturulur. Ağ yapısı, çubuk elemanlar ve bu elemanları birleştiren düğüm noktalarından oluşmaktadır. Sonlu elemanlar yönteminde serbestlik derecesi kavramı oldukça önemlidir. Serbestlik derecesi; eleman boyutuna, eleman ve analiz tipine bağlıdır. Bir ağ yapısının toplam serbestlik derecesi; toplam düğüm sayısının her bir düğüm noktasının serbestlik derecesi ile çarpımına eşittir (Tetik, 2015).



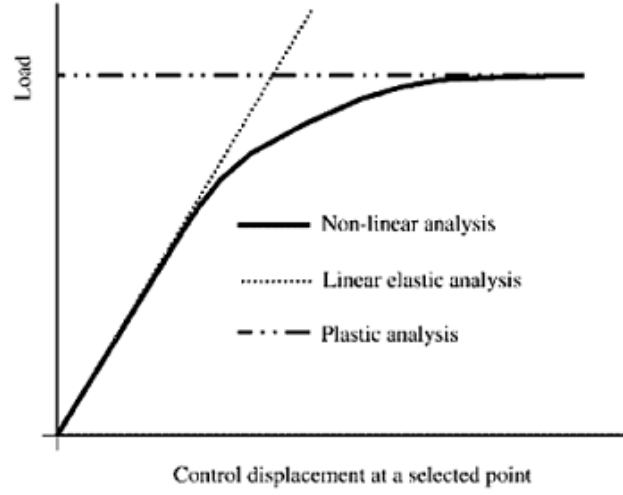
Şekil 4.9. 1 B, 1. çizimde, toplam düğüm sayısı oo, her bir noktanın serbestlik derecesi 6, toplam serbestlik derecesi oo. 2. çizimde, toplam düğüm sayısı 8, her bir noktanın serbestlik derecesi 6, toplam serbestlik derecesi 48 (Tetik, 2015)

4.2. Yığma Yapılarda Analiz Yöntemleri

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte detaylı olarak anlatılıp hesaplama formülleri ve gerekli sınır koşulları verilmiş olan analiz yöntemleri için yapılan kabuller, bu bölümde kısaca özetlenecektir. Plastik Analiz, Doğrusal Analiz ve Doğrusal Olmayan Analiz metotları Geleneksel yığma yapıların analizinde öne çıkan yöntemlerdir.

4.2.1 Doğrusal (lineer) analiz yöntemleri

Yapının lineer analizi, malzemenin lineer-elastik davranış kabul edilerek yapılan analiz yöntemidir. Yapının limit yük pozisyonlarının analizi lineer davranışla incelenip tespit edilebilir. Ayrıca, yapıda oluşan kademeli çatlak ve deformasyonların incelenmesiyle kullanılabilirlik sınırlarına da ulaşılabilir. Çatlayan elemanların rijitliklerinde azaltmaya gidilerek tekrar gerilmelerin dağılımı sayesinde limit yük analizi de yapılmaktadır. Analiz yöntemleri aşağıdaki şekilde grafik olarak gösterilmiştir (Şekil 4.17) (Dabanlı, 2008). Yaklaşık hesap metodu olarak nitelendirilirler. Yapıdaki mevcut düzensizliklere göre bir yöntem seçilip tasarımı yapılır.



Şekil 4.10. Analiz Tiplerinin Karşılaştırılması (Dabanlı, 2008).

Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

Bu yarı dinamik yöntemin hesabı yapılırken yapının birinci doğal titreşim periyodu kullanılmaktadır. Bu hesapta kat ağırlıklarının kat seviyesinde toplanmış olduğu kabul edilmektedir. Yapının ağırlığı, sünekliği, zemin bilgileri, bulunduğu deprem bölgesi göz önünde bulundurularak eşdeğer deprem yükü hesaplanmaktadır (Tetik, 2015).

TBDY 2018 yönetmeliğine göre; toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti), $V_{tE}^{(X)}$ denklem (4.1.) ile belirlenmektedir.

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR} (T_p^{(X)}) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g \quad (4.1.)$$

Bu denklemde eden $T_p^{(X)}$, binanın birinci doğal titreşim periyodunu vermektedir ve denklem (4.2.) ile hesaplanmaktadır.

$$T_p^{(X)} = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^{(X)2}}{\sum_{i=1}^N F_{fi}^{(X)} d_{fi}^{(X)}} \right)^{1/2} \quad (4.2.)$$

Denklem (4.1.)'de verilen binanın deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılacak toplam ağırlık, m_t , denklem (4.3.) ile belirlenir.

$$m_t = \sum_{i=1}^N m_i \quad (4.3.)$$

Taşıyıcı deprem yükü azaltma katsayısı, $Ra(TI)$ ise yapının taşıyıcı sistem davranış katsayısı, R ile yapının doğal titreşim periyodu, TpA 'ya göre değişmektedir. Süneklik düzeyine göre yığma yapılar için taşıyıcı deprem yükü azaltma katsayısı $Ra(TI)=2$ olarak alınmaktadır.

Yerel zemin sınıflarına ve doğal titreşim periyoduna göre belirlenen spektrum katsayısı $S(TI)$ ise yığma yapılar için TBDY 2018 'e göre 2.5 olarak alınmaktadır. Etkin yer ivme katsayısı olan $A0$, yapının bulunduğu deprem bölgesine göre seçilirken, bina önem katsayısı, I ise yapının kullanım amacına göre belirlenir.

TBDY 2018'de deprem yer hareketi spektrumları şöyle ifade edilmiştir: Belirli bir deprem yer hareketi düzeyi esas alınarak %5 sönüm oranı için harita spektral ivme katsayılarına ve yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak standart biçimde veya sahaya özel deprem tehlikesi analizleri ile özel olarak tanımlanır. Birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkilerinin geometrik ortalamasına karşılık gelen harita spektral ivme katsayıları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulu $[(Vs)30=760 \text{ m/s}]$ esas alınarak %5 sönüm oranı için harita spektral ivmelerinin yerçekimi ivmesine bölünmesi ile boyutsuz katsayılar olarak tanımlanmıştır.

Mod Birleştirme Yöntemi

Yaklaşık dinamik analiz yöntemi olan bu hesaplamada, kütlelerin yapı düğüm noktalarında toplandığı kabul edilmektedir. Birinci modlar yanında diğer yüksek modların da etkisi kabul edilerek hesaplanan kütle katılımları, istatistiksel olarak birleştirilir. Böylece yapıdaki maksimum iç kuvvetler ve yer değiştirmeler belirlenir (Tetik, 2015).

TBDY 2018 'e göre; x ve y doğrultularında etkin kütleler denklem (4.6) ile hesaplanmaktadır. Hesaplanan maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için de denklem (4.7.) sağlanmış ise Karelerinin Toplamının Kare Kökü (SRSS) kuralı uygulanır. Denklem (4.7.)'da alınan T_m ve T_n değerleri, herhangi iki titreşim moduna ait doğal periyotlardır (TBDY 2018) (Tetik, 2015).

$$\sum_{n=1}^{YM} m_{txn}^{(X)} \geq 0.95 m_t \quad ; \quad \sum_{n=1}^{YM} m_{ty n}^{(Y)} \geq 0.95 m_t \quad (4.6)$$

$$T_m < T_n \Rightarrow T_m / T_n < 0,80 \quad (4.7.)$$

4.2.2 Doğrusal Olmayan (non-linear) Analiz Yöntemleri

Deprem tesirine maruz mevcut yapıların yapısal performanslarının tespit edilmesi ve güçlendirme analizlerinde kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesap metodlarının gayesi, öngörülen deprem için sünek davranış neticesindeki plastik şekil değiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır (TBDY 2018).

Yapıda başlangıçtan itibaren limit duruma kadar oluşan bütün deformasyonlar ve tepkiler doğrusal olmayan analizle incelenebilir. Daha önceki yüklemelerin etkisi, Yapım aşamasındaki, bu analizde hesaba katılabilir. Yapılarda doğrusal olmayan hareketi tetikleyen iki etken vardır. İlki malzemenin elastik ötesi hareketidir. İkincisi ise geometrinin sebep olduğu, ikinci mertebe etkiler olarak bilinen, yüklemeye geometride sebep oluşan değişimleri dikkate alan etkileri kapsar. Doğrusal olmayan analiz hem limit yük analizinde, hem de kullanılabilirlik analizlerinde kullanılabilir. Malzeme davranışı ve sonuçları bakımından tüm analiz yöntemleri farklılık gösterir. Giriş ve sonuç verileri ile analiz yöntemleri Aşağıdaki tabloda toplu olarak verilmiştir (Çizelge 4.1.).

Çizelge 4.1. Analiz Tiplerinin Karşılaştırılması (Dabanlı, 2008)

Analiz Tipi	Giriş Verisi	Sonuç Verisi
Doğrusal Analiz	Lineer-elastik Malzeme Özellikleri Güvenlik Gerilmeleri	Şekil Değiştirme Gerilme Dağılımı
Doğrusal Olmayan Analiz	Malzemenin Elastik ve Mukavemet Özellikleri Malzemenin Elastik olmayan Özellikleri	Şekil Değiştirme Gerilme Dağılımı ve Göçme Mekanizması
Plastik Analiz	Malzeme Mukavemeti	Göçme Mekanizması

Doğrusal olmayan analiz metotları; artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi, artımsal mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemi olmak üzere üç bölümde incelenir (Tetik, 2015).

Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

Tek modlu statik itme analizi olarak da bilinen bu yöntemde, artan yükler altında yapı elemanlarındaki iç kuvvetlerin yeniden dağılımı dikkate alınarak gerçekçi sonuçlar elde edilmektedir (Tetik, 2015). Eşdeğer statik yatay yüklerin yapıya adım adım arttırılarak uygulandığı bu yöntemde, ilk adımlarda yapı doğrusal elastik davranır. Daha sonraki adımlarda, taşıyıcı yapı elemanlarında yer değiştirme ve şekil değiştirme meydana gelir, plastik mafsallar oluşmaya başlar ve yapı elastik ötesi (plastik) davranış gösterir. Son adımda maksimum değerler hesaplanır.

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi

Artımsal Mod Birleştirme yöntemi ile çözümde modal kuvvetler binaya birbirinden bağımsız şekilde ayrı ayrı etkilerek statik itme analizi yapılır ve gözönüne alınan bütün modlara ait modal kapasite diyagramları ve modal yerdeğiştirme istemleri elde edilir. Elde edilen modal değerler bir istatistik yöntemle birleştirilerek, taşıyıcı sistemde

meydana gelen yer değiştirme, plastik dönme ve iç kuvvet istemleri hesaplanır (Tetik, 2015).

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile itme analizinin en önemli sakıncası, taşıyıcı sistemin deprem davranışının sadece birinci (deprem doğrultusunda hakim) doğal titreşim modundaki davranıştan ibaret olduğunun varsayılmasıdır. Bu nedenle yöntem, çok katlı olmayan ve deprem doğrultusuna göre planda simetrik veya simetriğe yakın olan binalarla sınırlıdır (TBDY 2018).

Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

Zaman tanım alanında analiz, yaşanmış bir deprem kaydının öngörülmesiyle yapılır. Bu analiz metodunda binaya, yaşanmış deprem, depremin yaşandığı sürede uygulanır. Zaman tanım alanında analiz yöntemi, ayrıntılı araştırmalar veya diğer çözümlerde çıkan neticelerin yorumlanması amacıyla kullanılır (Dabanlı, 2008).

Yapıların zaman tanım alanında doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için, yapay yollarla üretilen, daha önce kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketleri kullanılabilir (TBDY 2018). Doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta; üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınmaktadır (Tetik, 2015).

Zaman tanım alanı, belli zaman aralıklarıyla tutulan belli bir yönde deprem ivme değerinin kayıdır. Bu yöntemin uygulanmasının başarılı olması meydana gelen depremin kapsadığı bölgelerdeki deprem ivmelerinin düzgün bir şekilde kayda alınmasıyla gerçekleşir. Sismik etkiye maruz kalan bölgenin deprem kayıtlarının bulunması, modelleme ve analizde hazır değerlerin kullanılması bakımından pek çok belirsizliği ortadan kaldırarak sismik etkinin gerçeğe yakın şekilde benzeştirilmesinde kolaylık sağlamaktadır. Ancak her insanın kendine has genetik özelliğı olduğu gibi depremlerinde kendine has bir oluşum özelliğı olduğundan dolayı deprem kayıtlarının olması tahmini bir depremin yaratacağı etkinin tam olarak yansıtılması anlamına gelmez (Durutürk, 2012).

Yapıların doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için kullanılan yöntemlerin başında gelir. Bu yöntemde; yapay olarak üretilen, daha önce kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketleri kullanılır. Deprem kayıtlarının alınabileceği üç farklı veri kaynağından bahsetmek mümkündür. Yapay yollar kullanılarak oluşturulan ve tasarım ivme spektrumunu uyumlu kayıtlar, kaynak ve dalga yayılımı özellikleri yapay yolla fiziksel olarak benzeştirilmiş kayıtlar ve gerçek depremlerden elde edilen kayıtlardır. Deprem esnasında alınan kayıtların sayısının teknolojinin ilerlemesiyle artması ve bunlara erişimin kolaylaşması zaman tanım alanında yapılacak hesaplarda, gerçek kayıtları en çok tercih edilen seçenek olarak karşımıza çıkarmaktadır (Durutürk, 2012).

Zaman tanım alanında hesap yöntemi yapay deprem hareketleri kullanılacaksa TBDY 2018' ne göre; aşağıdaki özellikleri taşıyan en az üç deprem yer hareketi üretilecektir.

1. Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
2. Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_{og} ' den daha küçük olmayacaktır.
3. Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre % 5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyod T_1 ' e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyodlar için, denklem (4.8)'de tanımlanan $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivmelerinin % 90' ından daha az olmayacaktır.

Eğer zaman tanım alanında yapılacak deprem hesabı için kaydedilmiş depremler veya kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş yer hareketleri kullanılabilir. Bu tür yer hareketleri üretilirken yerel zemin koşulları da uygun biçimde göz önüne alınmalıdır. Kaydedilmiş veya benzeştirilmiş yer hareketlerinin kullanılması durumunda en az üç deprem yer hareketi üretilecek ve bunlar denklem (4.8.)' de verilen tüm koşulları sağlayacaktır. Herhangi bir n ' inci titreşim modunda göz önüne alınacak azaltılmış ivme spektrumu ordinatı denklem (4.8) ile belirlenecektir (Durutürk, 2012).

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (4.8)$$

TBDY 2018' ne göre Deprem Kayıtlarının Seçiminde;

1. Bina taşıyıcı sistemlerinin zaman tanım alanında deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi, tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak yapılacaktır. Binanın bulunduğu bölgede tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu geçmiş deprem kayıtlarının mevcut olması durumunda öncelikle bu kayıtlar kullanılacaktır. 12 Sahaya özel deprem tehlikesine en fazla katkıda bulunan depremlere ait büyüklük ve fay uzaklığı bilgilerinin belirlenmesi için deprem tehlikesi ayrıştırma işleminden yararlanılabilir.

2. Yeterli sayı veya nitelikte deprem kaydı seçiminin yapılamadığı durumlarda, zaman tanım alanında benzeştirilmiş yer hareketi kayıtları kullanılabilir. Bu tür kayıtların kullanılması durumunda, binanın bulunduğu sahanın sismik kaynak, dalga yayılım ve yerel zemin özellikleri göz önüne alınacaktır. Benzeştirme için kullanılacak model parametrelerinin, söz konusu bölgede meydana gelmiş depremlerde kaydedilmiş gerçek deprem kayıtları ile uyumlu olduğu gösterilecektir.

3. Bir veya iki boyutlu hesap için seçilecek deprem kayıtları'nın ve üç boyutlu hesap için seçilecek deprem kaydı takımları'nın sayısı en az onbir olacaktır. Aynı depremden seçilecek kayıt veya kayıt takımı sayısı üçü geçmeyecektir.

TBDY 2018' ne göre Deprem Kayıtlarının Basit Ölçeklendirme Yöntemi ile Ölçeklendirilmesinde;

1. TBDY 2018' ne göre 16.5.2'ye veya 16.10'a göre yapılacak zemin davranış analizleri dışında, zaman tanım alanında hesapta kullanılacak deprem yer hareketleri, seçilen deprem kayıtlarından basit ölçeklendirme yöntemi ile aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

(a) Bir veya iki boyutlu hesap için seçilen tüm kayıtlara ait spektrumların ortalamasının p 0.2T ve p 1.5T periyotları arasındaki genliklerinin, 2.3.4 veya 2.4.1'e göre tanımlanan tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerinden daha küçük olmaması kuralına göre, deprem yer hareketlerinin genlikleri ölçeklendirilecektir.

(b) Üç boyutlu hesap için seçilen her bir deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilecektir. Seçilen tüm kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının p 0.2T ve p 1.5T periyotları arasındaki genliklerinin, 2.3.4 veya 2.4.1'e göre tanımlanan tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranının 1.3'ten daha küçük olmaması kuralına göre deprem yer hareketi bileşenlerinin genlikleri ölçeklendirilecektir. Bu periyot aralığı yalıtımlı binalar için değişebilir (Bkz.14.14.4.2). Her iki yatay bileşenin ölçeklendirilmesi aynı ölçek katsayıları ile yapılacaktır.

2. Mevcut deprem verileri ile bina özelliklerinin gerekli kılması ve sahaya özel deprem yer hareketi spektrumu belirlenmesi durumunda, binanın belirli sayıda titreşim periyodu ile ilişkilendirilen koşullandırılmış ortalama spektrumlar'dan yararlanılarak, deprem kayıtlarının analiz sonuçlarında daha az saçılmayı sağlayacak şekilde seçilerek ölçeklendirilmesi yoluna gidilebilir.

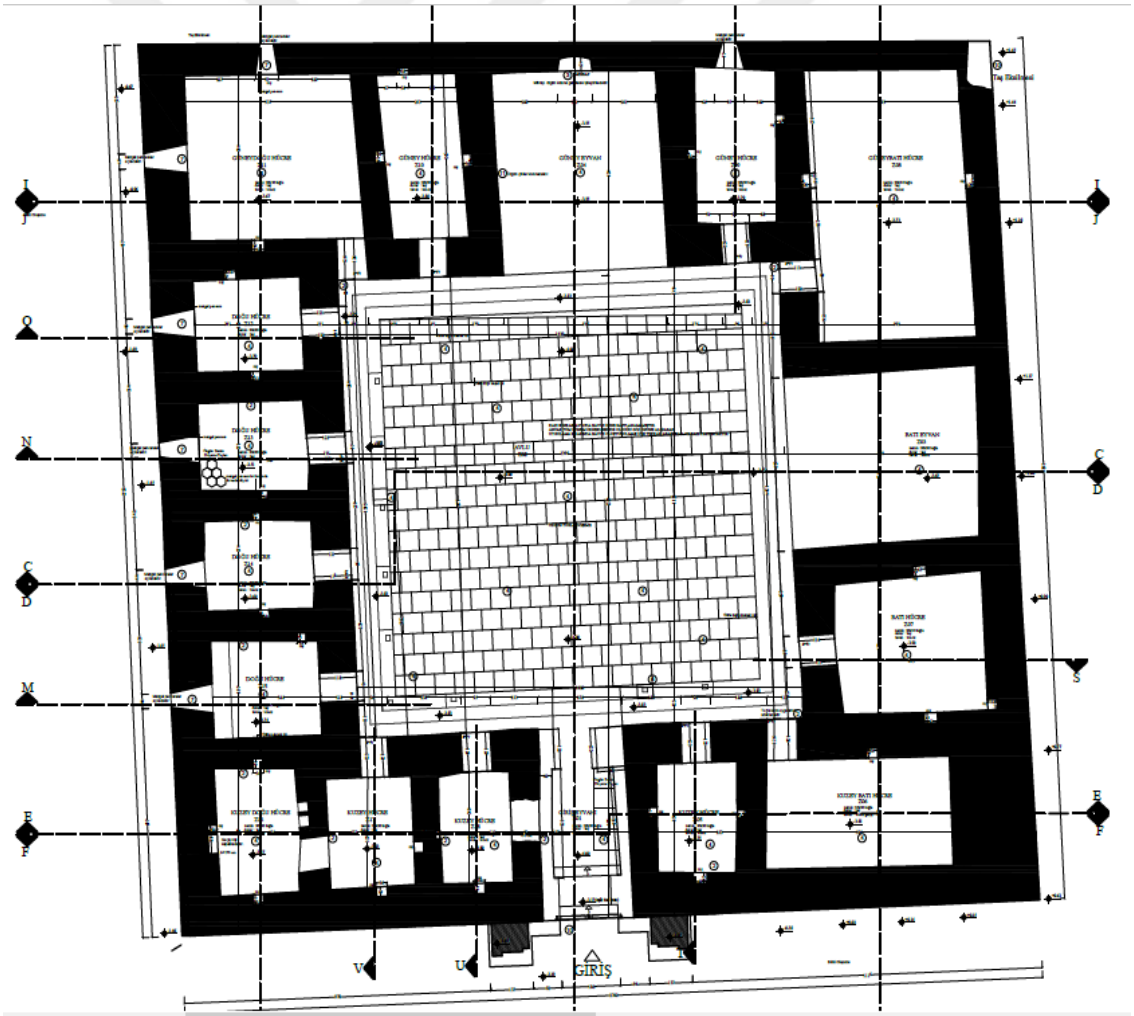
5. ÖRNEK YAPININ MODELLENMESİ ve ANALİZİ

5.1. Yapıya Ait Genel Bilgiler

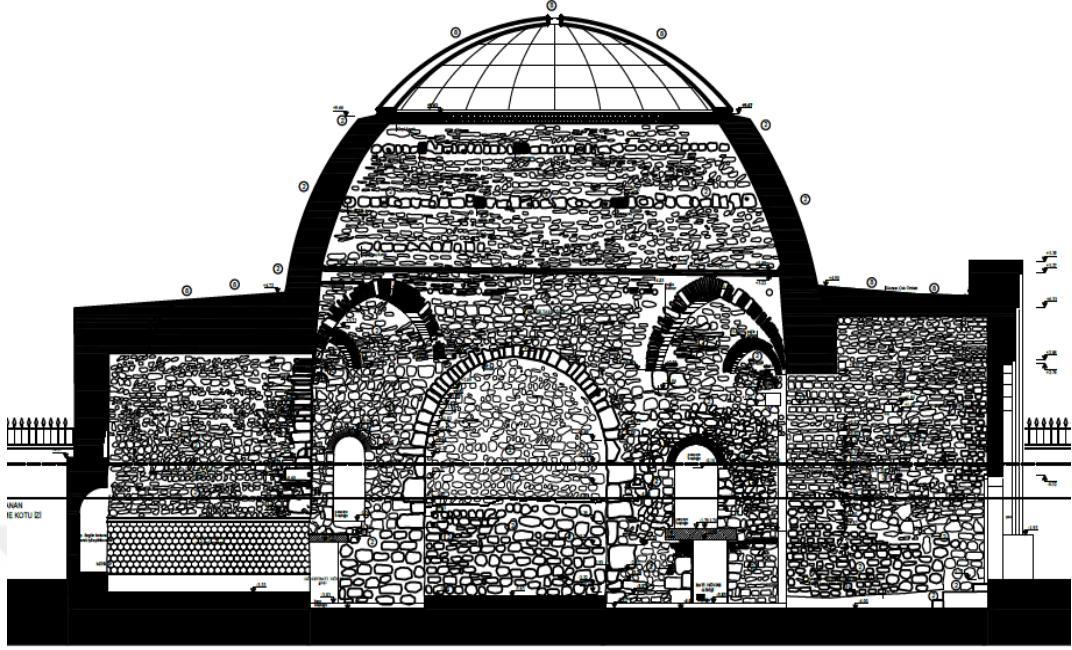
Danışmendoğulları XII. YY'da Anadolu Selçuklularının himayesinde Anadolu'nun doğusunda kısmen huzur içerisinde yaşamış, Anadolu Selçuklularının batıda, Haçlı Seferleri ile Bizans kuvvetlerine karşı sürekli savaştığı bu devirde hakimiyetlerindeki bölgelerde önemli eserlere imza atmışlardır. Niksar da Külük ismiyle bilinen cami ve Niksar Ulu Camii XII. YY'a ait Danışmendli yapılarıdır. Danışmendliler döneminde eğitime gereken önemi vermişler, halen ülkemizde varlığını bildiğimiz Danışmendli Meliki Nizâmeddin Yağıbasan (1142 - 1164) tarafından inşa ettirilen Niksar Yağı-basan Medresesi ile Tokat Yağıbasan Medresesi (Çukur Medrese) restore edildikten sonra halen kullanılmakta olan yapılarıdır. En eski medreselerden olan bu iki medresenin diğer özelliği de Bosra'da Ebû Mansur Gümüştekin'in yaptırmış olduğu 530 H. (1135 - 36) tarihli medrese bir yana bırakılırsa, Müslümanların yaşadığı bölgelerde yapılan merkezi kubbeli ilk medrese özelliğini taşımalarıdır. Suriye mimarisi üzerinde belirli bir etkisi olan Bosradaki Gümüştekin medresesi türünün tek örneği olarak kalmıştır. Bununla birlikte, merkezî-kubbeli Danışmendli medreselerinin Anadolu medrese mimarisinin ilerlemesinde etkisi büyük olmuş, Danışmendlilerden sonra Selçuklu, İlhanlı, Beylikler ve Osmanlı devirlerinde merkezî-kubbeli çokça medrese ve buna benzer eserler yapılmıştır. Her iki Yağı-basan Medrese'sinin de gerek yapı gerekse plân şeması itibariyle benzer olmaları, merkezî-kubbeli medrese türünün durup dururken ortaya çıkmayıp yerel yapı metodu ve ihtiyaçlardan doğan ve şekil bulan bilinçli bir mimarî olduğunu gösterir (Kuran,1968).

Bu çalışmada konu edilen medrese Tokat Yağıbasan (Çukur) medresesidir. Çukur Medrese dış ebatları 26.85 m x 25.90 m kareye yakın, girişi kuzeydeki kapıdan sağlanan bir yapıdır (Şekil 5.1 ve Şekil 5.2). Ancak, yapı olarak çok fazla süslü olmaması ve bu mütevazı karakteri dikkate alınacak olursa giriş kapısının sade ve kemerli bir yapıya sahip olduğu düşünülebilir. Kare şeklinde ve özellikle merkezî kubbeli bir yapının kapısı yapının merkezinden geçen eksen üzerinde olmak durumundadır ve Çukur Medrese'de bu hususa dikkat edilmiştir. Yaklaşık çapı 14 mt çapında ve dönemi için büyük addedilebilecek kubbe iki katlı tromplarla 14.20 mt x 13.90 mt ebatlarındaki orta

avlunun duvarlarına oturur. Kubbe yarımküresinin yaklaşık 8 metre çapındaki üst kısmı açık olduğundan orta avlu ferah ve aydınlıktır. Batı ve güneydeki sivri beşik tonozlu iki eyvan orta avluya açılır. 6.10 mt derinliğinde ve 5.30 mt enindeki güney eyvanı orta avlunun kuzey-güney aksından 1.90 mt batıya; yine 6.10 mt x 5.30 mt ölçülerindeki batı eyvanı ise avlunun doğu-batı ekseninden 1 m. güneye kaydırılmıştır. Güney eyvanının yanlarında eni 2.40 mt olan iki hücre mevcuttur. Bu hücrelerin yanlarında, güney-doğu ve güney-batı köşelerinde ise ilki 5.80 mt x 5.00 mt, ikincisi 5.00 mt x 8.60 mt ölçülerinde hücreler mevcuttur. Ölçüleri 7.25 mt x 3.50 mt olan üçüncü bir hücre kuzey-batı köşesine yerleştirilmiş; bu ince, uzun oda ile batı eyvanı arasına da ebatları 5.00 mt x 4.00 mt olan dördüncü bir hücreye yer verilmiştir. Avlunun doğu ve kuzey yönlerinde ise boyları 3.50 mt ile 3.90 mt arasında olan odalar bulunmaktadır (Kuran,1968).



Şekil 5.1. Yapının plan krokisi (VGMA, 2019)



Şekil 5.2. Yapının kesiti (VGMA, 2019)

Çukur medrese tümüyle moloz taştan yapılmış, ancak tromp kemerleri tuğla ve taşla sıralar halinde örülmüştür. Bir de, kubbe gözünün etrafı birkaç sıra tuğla ile bitirilmiştir. Duvarlar yapının genelinde 1.10 mt, tonozlar 50-60 cm. kalınlığındadır. Yapıda dekoratif detaylara hiçbir yerde rastlanmamaktadır. Yapım tarihi kesin olarak bilinmeyen Çukur Medresenin kapısı üzerinde bulunan H. 645 (1247) tarihli kitabe de Yağıbasan adının geçtiği, kitabenin İsmail Hakkı Uzunçarşılı tarafından neşredildiği bilinmektedir. Danişmendli Meliki Nizâmeddin Yağıbasan'ın 1164 senesinde öldüğü düşünülürse H. 645 tarihi Yağıbasan için geç bir tarihtir. Bununla birlikte, Çukur Medresenin gerek mimarî karakteri gerekse Niksar Yağıbasan Medresesine benzerliği, binanın XIII. yy'da yapılmış olması ihtimalini tamamen ortadan kaldırmakta, kitabenin yazılışında bir hata olduğunu ortaya koymaktadır. Yapım tarihi ile alakalı ileri sürülen bir iddiada Gabriel 546 tarihini yanlışlıkla 645 olarak yazıldığını ileri sürmektedir. Bu sebeple, aksi ispatlanana kadar Tokat'taki Çukur Medrese'nin bir Danişmendli yapısı olduğu ve Melik Nizâmeddin Yağıbasan (1142-1164) tarafından XII. yy'ın ortalarında ve Niksar'daki medreseden gerek daha simetrik ve nizami gerekse kubbe çapını daha

büyük olması sebebiyle muhtemelen ondan birkaç yıl sonra yapılmış olduğu düşünülmektedir (Kuran, 1968).

2012-2015 yılları arasında restorasyonu tamamlanan medresenin günümüzdeki durumu Şekil 5.3. de olduğu gibidir. Günümüzde medresenin orta kubbesi üzerinde kalan kısmı hafif çelik konstrüksiyonla tamamlanmış ve üzeri pvc esaslı bir malzeme ile kaplanarak yağmur ve kar gibi iklim olaylarının yapı içine etkimesinin önüne geçilmeye çalışıldığı görülmektedir. Yapı modellenirken bu çelik kısım modele dahil edilmemiştir. Birinci durumda yapının kubbesi şu anda olduğu gibi yarım olarak modellenmiş ve analizler gerçekleştirilmiştir. Bu modelde kubbenin yarım kısmının yerden yüksekliği 13.66 m olarak alınmıştır. Yapının orijinalinde olmamasına rağmen ikinci senaryo olarak kubbenin özgün malzemeye tamamlanmış olduğu varsayımı ile yapı modellenmiş ve analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.3. Yapı dışından alınan görüntüler



Şekil 5.4. Yapı içinden alınan görüntüler

5.2. Yapının Modellenmesi ve Analiz Parametreleri

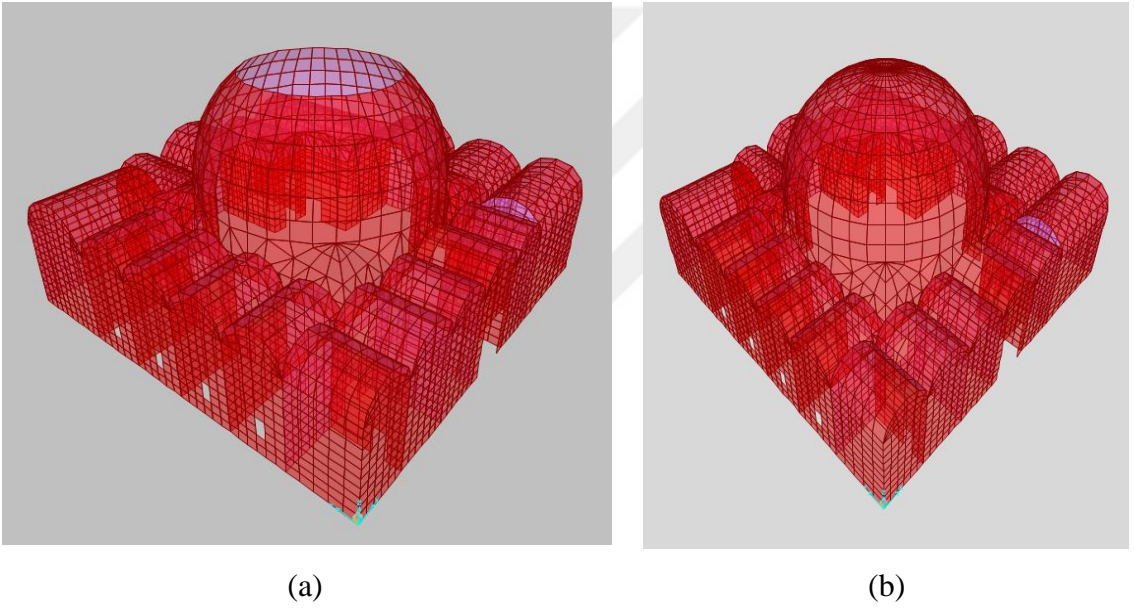
Tarihi yapının tamamında moloz taş ve harç kullanılmıştır. Bu yüzden duvar, tonozlar ve ana kubbenin tamamında taş-harç malzeme özellikleri kullanılmıştır. Yapının sonlu eleman modeli oluşturulurken kullanılan malzeme özellikleri Çizelge 5.1’de gösterilmektedir. Yapının sonlu eleman modeli oluşturulurken SAP2000 programı kullanılmıştır.

Çizelge 5.1. Malzeme mekanik özellikleri

	E (MPa)	γ (kN/m ³)	μ
Duvar, tonoz ve kubbe (taş-harç)	1100	22	0,17

E: Elastisite Modülü, γ : Yoğunluk, μ : Poisson oranı.

Sonlu elemanlar yönteminde yapının veya yapıyı oluşturan elemanlarının geometrisi sonlu sayıda düğüm noktası ile belirlendiğinden dolayı yapının sonlu eleman modeli oluşturulurken yapı davranışının doğru bir şekilde belirlenmesi amacıyla çok sayıda düğüm noktası kullanılmıştır. Hazırlanan sonlu eleman modellerinde yarım kubbeli model için; 5.156 kabuk (Shell) eleman ve bu elemanları oluşturmak içinde 17.979 adet düğüm noktası, tam kubbeli model için; 5356 kabuk (Shell) eleman ve bu elemanları oluşturmak içinde 20.879 adet düğüm noktası kullanılmıştır (Şekil 5.5.). Analizlerde, yapıyı oluşturan tüm yapı elemanlarındaki malzemeler için doğrusal elastik malzeme modeli ve geometrik bakımdan da doğrusal analiz yaklaşımı dikkate alınmıştır.



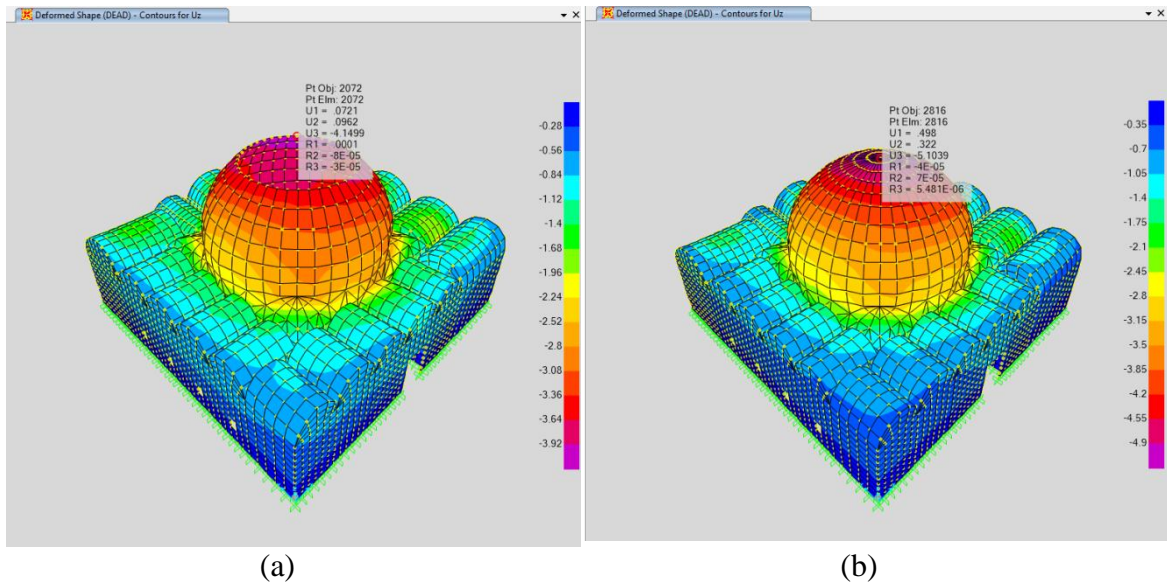
Şekil 5. 5. Yapıya ait sonlu elemanlar modelleri (a) yarım kubbeli durum (b) tam kubbeli durum

Bilindiği üzere yığma yapıların sayısal modellemesinde, detaylı mikro modelleme, basitleştirilmiş mikro modelleme ve makro modelleme teknikleri kullanılabilir (Lourenço, 1996). Detaylı mikro modellemede yığma yapı elemanını oluşturan ana unsur taş/tuğla ile bunları birleştiren harç ayrı yapı malzemeleri olarak modellenirken, basitleştirilmiş mikro modellemede yığma yapı elemanlarının genişlikleri harç tabakasının kalınlığının yarısı kadar arttırılarak modellenir. Basitleştirilmiş mikro modellemede harç tabakası ihmal edildiğinden, yapı elemanları birbirlerinden temas yüzeyleri ile ayrılacak şekilde modellenirler. Makro modellemede ise yapı elemanı

harçla birlikte kompozit bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Büyük yapıların analizinde, bilgisayar çözümü için gerekli süreyi önemli ölçüde kısalttığından, sıklıkla makro modelleme tekniğinin tercih edildiği görülmektedir (Birinci vd, 2010, Bernardeschi vd, 2004, Küçükdoğan vd., 2010). Bu gerekçelerle bu çalışmada analiz edilen yapının modellememesinde makro modelleme yaklaşımı kullanılmıştır. Modellenen yapılar üç farklı analiz sonucuna göre karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

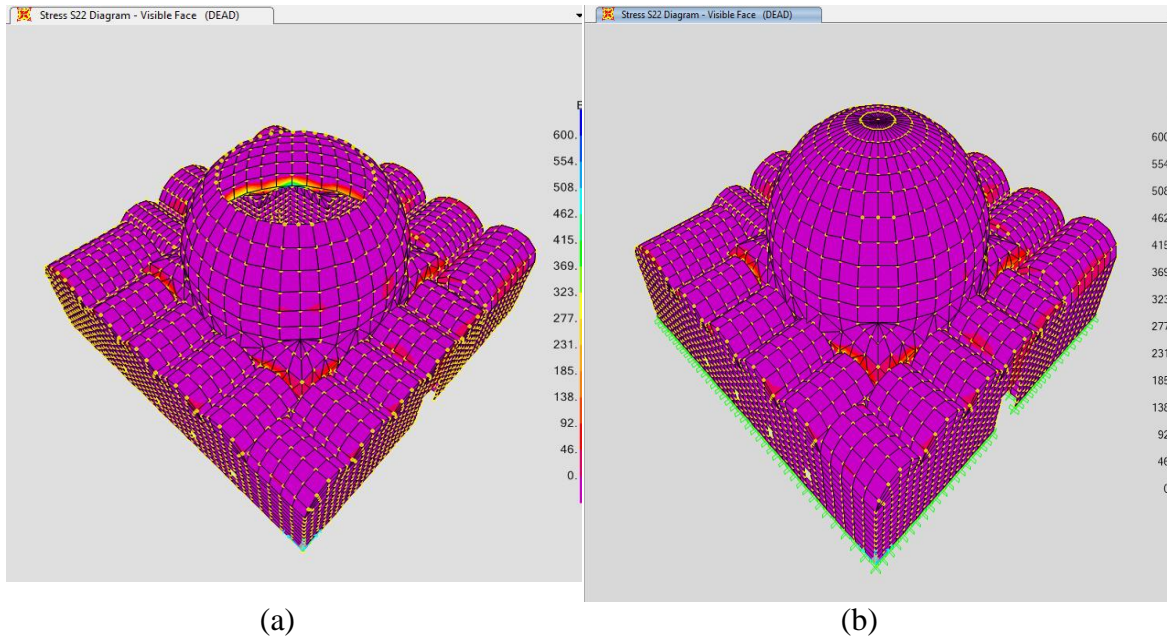
5.2.1. Statik analiz

Düşey yükler altında statik analiz, düşey yükler altında yapıda meydana gelen gerilme dağılımı ve yer değiştirmeleri görmek açısından önemlidir. Genel olarak her yapının düşey yükleri sıkıntısız bir şekilde taşınması beklenmesine rağmen olası düşey yükleri taşımadaki problemler bu analiz sayesinde rahatlıkla görülüp önlem alınabilmektedir. Yapılan çalışmada ölü yükler, malzeme birim ağırlıkları ile tanımlanmıştır. Hareketli yükler ve kar yükü hesaba katılmamıştır. Yapının kendi ağırlığı altında yapılan statik analizden elde edilen düşey yer değiştirmeler Şekil 5.6.'da görülmektedir. Yarım kubbeli yapıdaki en büyük yer değiştirmenin yarım kubbenin bitim noktasında ve düşey doğrultuda 4.14 mm olarak ortaya çıktığı, tam kubbeli yapıda yer değiştirmenin kubbe tepesinde 5.10 mm olduğu görülmüştür.

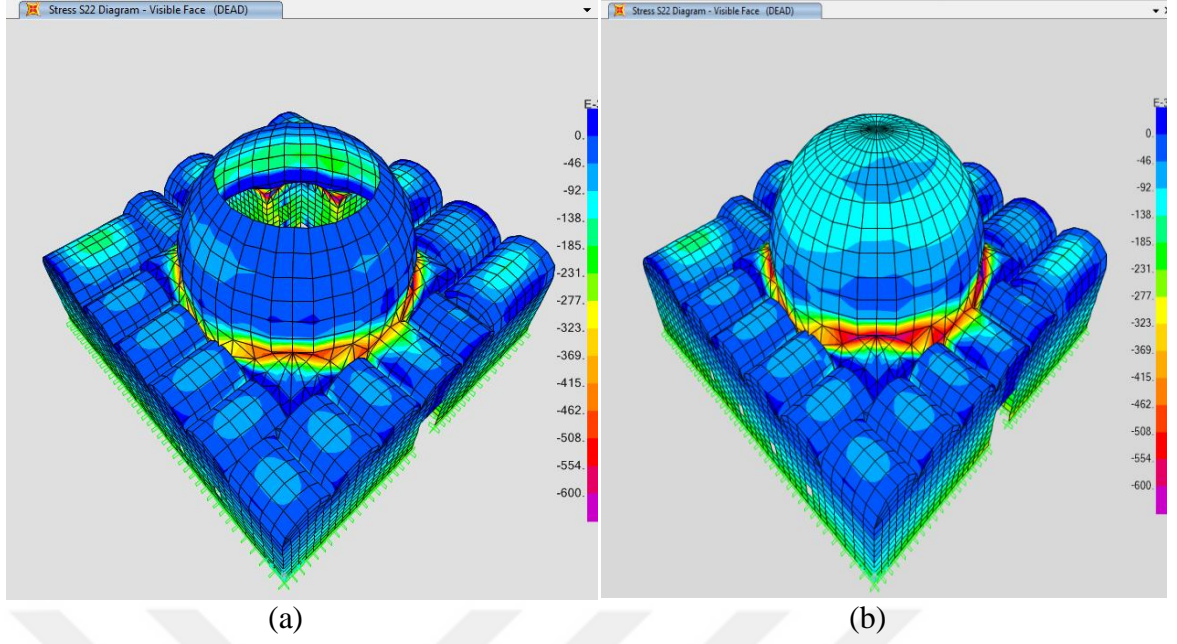


Şekil 5.6. Kendi ağırlığı altında oluşan şekil değiştirmeler (a) yarım kubbeli (b) tam kubbeli yapı

Şekil 5.6. (a) ve (b) statik analiz sonucu yapıda oluşan çekme ve basınç gerilme sonuçlarına ilişkin gerilme dağılımlarını göstermektedir. Yapının ana kubbesi köşelerde 4 adet kemerli pendentiflerle taşınmaktadır (Şekil 5.5.). Ayrıca bu elemanlar kare olan açıklığın dairesel formu birleşmesini sağlayan elemanlardır. Kubbeli tarihi yapılarda genellikle çekme ve basınç gerilme yığılmalarının bu bölgelerde yoğunlaştığı bilinmektedir. Çünkü bu elemanlar ana kubbenin yükünü büyük oranda karşılayıp beden duvarlarına aktarmaktadırlar. Bu durum bu bölgelerde geometrisi gereği çekme basınç gerilmelerin aynı anda çıkmasına sebep olmaktadır. Analizi yapılan her iki yapıda da özellikle bu bölümlerde basınç ve çekme gerilmelerinin maksimum değerlere ulaştığı görülmüştür. Çekme gerilmelerinin en büyük değere ulaştığı noktanın kubbe alt çizgisinde ve pendentif kemerinin tepesinde ve 0,630 MPa olarak ortaya çıktığı görülmüştür. Şekil 5.6 (a). Basınç gerilmelerinin ise kubbe alt uçlarında ve pendentiflerin duvarlarla birleştiği noktalarda ortaya çıktığı ve 0,710 MPa değerlerine ulaştığı gözlenmiştir.



Şekil 5.7. Kendi ağırlığı altında oluşan çekme gerilme haritaları (a) yarım kubbeli (b) tam kubbeli yapı

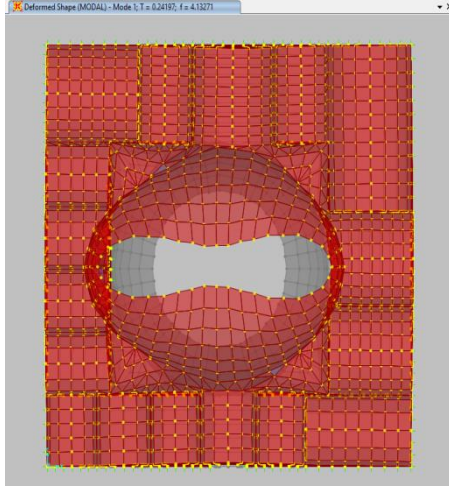


Şekil 5.8. Kendi ağırlığı altında oluşan basınç gerilme haritaları (a) yarım kubbeli (b) tam kubbeli yapı

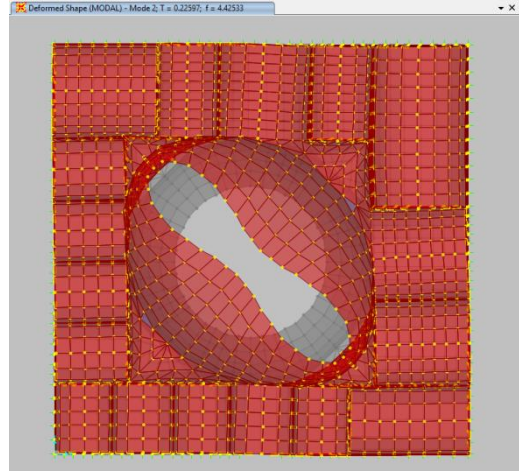
5.2.2. Modal Analiz

Modal analiz, bir yapının titreşim özelliklerini (doğal frekanslar ve mod şekilleri) belirler. Diğer ayrıntılı dinamik analizler (harmonik analiz veya spektrum analizi gibi) için bir ön analiz olarak değerlendirilebilir. Modal analiz neticesinde elde edilen doğal frekanslar ve mod şekilleri, dinamik yükleme koşulları için bir yapının tasarımında önemli parametrelerdir. Modellenen yapılar için mod şekilleri oluşturulmuş, yapının kütle katılım oranları dikkate alınarak Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da verilmiştir. Modal analizden elde edilen frekanslar ve etkili kütle katılım oranları ise Tablo 5.2'de verilmiştir. Her iki yapı için modal analizde 60 titreşim modu dikkate alınmış olup, kümülatif kütle katılım oranının 60. Modda her iki doğrultu için %81'e ulaştığı görülmüştür.

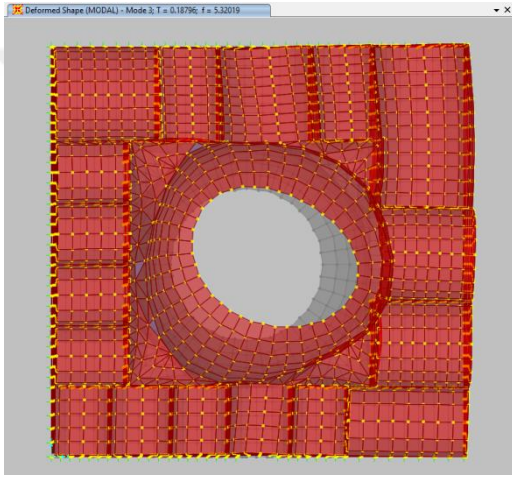
Yarım kubbeli yapının ilk iki modunda kütle katılım oranları %1 in altında kalmıştır. Bu iki modda yapının mod şeklini belirleyen yarım kubbeler olmuştur. Yapının kütle katılımı 3. modla birlikte başlamış ve 4. modda kütle katılımı x ve y doğrultusu için % 40'ı geçmiştir. 16 moddan sonra kütle katılım oranları nerdeyse eşitlemiştir. Son olarak 60. modda yapının kütle katılım oranları her iki doğrultu için %81'e ulaşmıştır.



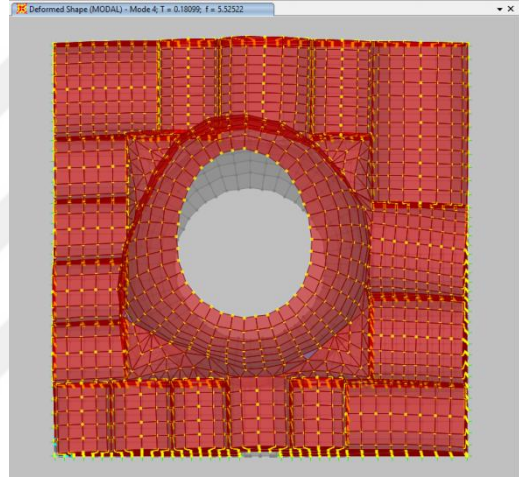
1. mod



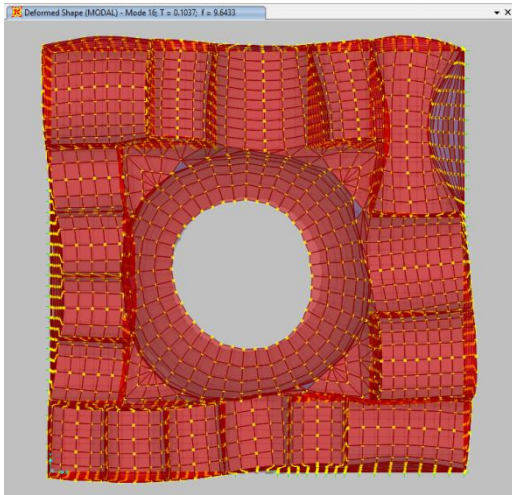
2. mod



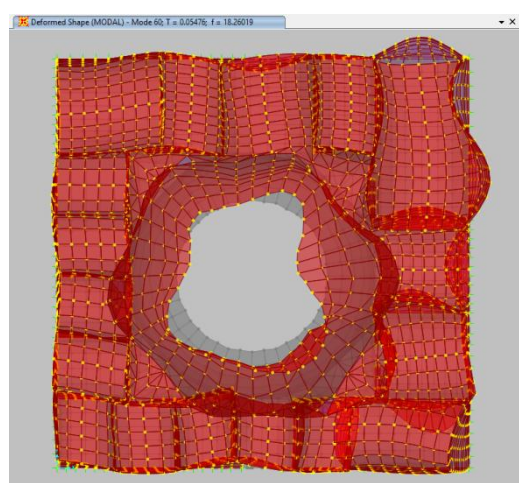
3. mod



4. mod

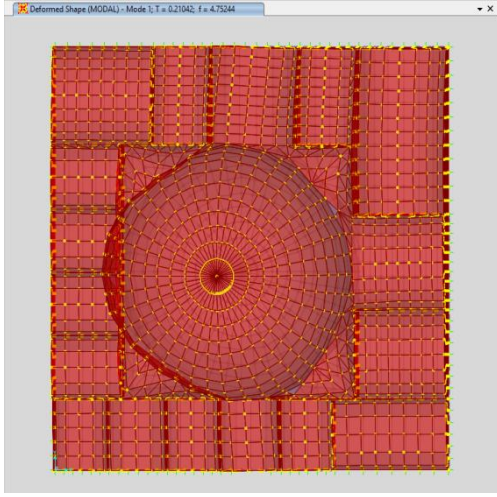


16. mod

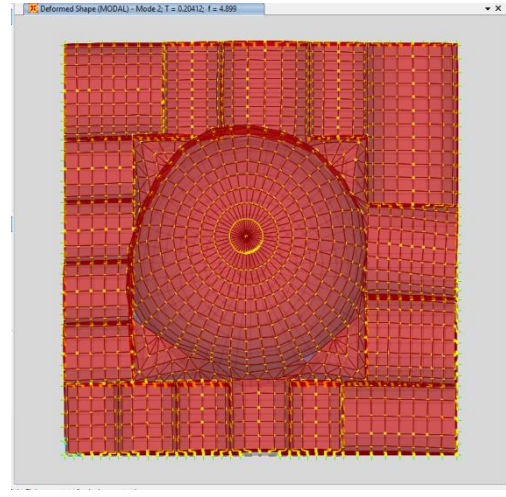


60. mod

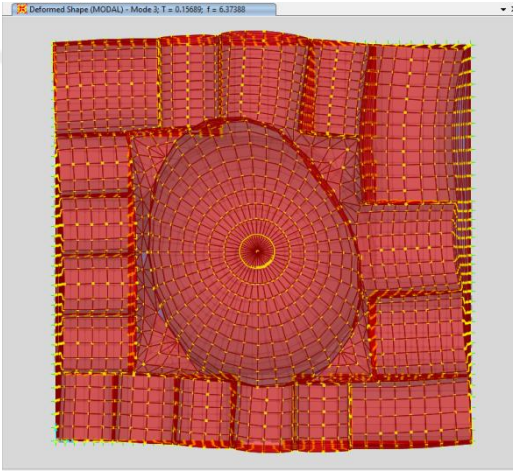
Şekil 5.9. Yarım kubbeli yapı modal analiz sonuçlarından elde edilen mod şekilleri



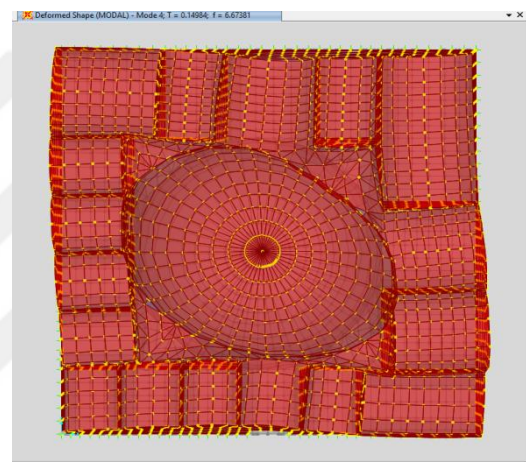
1. mod



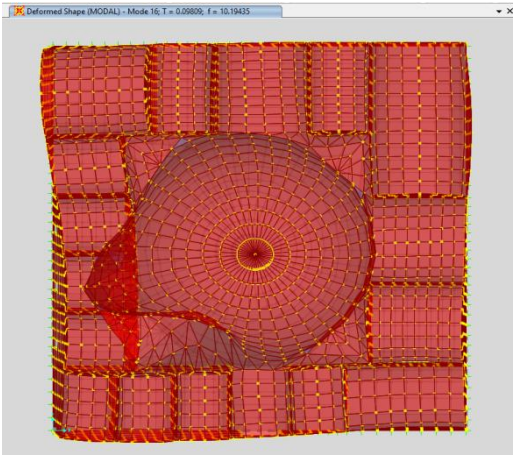
2. mod



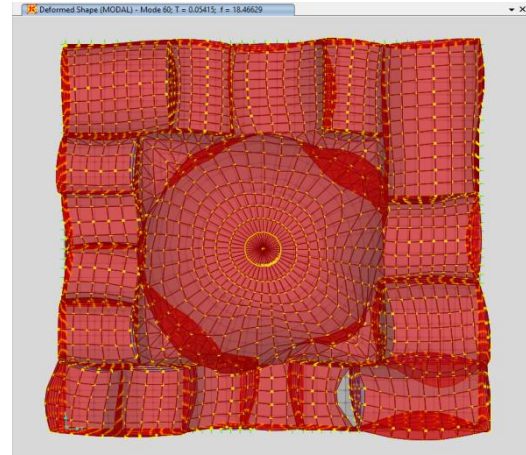
3. mod



4. mod



16. mod



60. mod

Şekil 5.10. Tam kubbeli yapının modal analiz sonuçlarından elde edilen mod şekilleri

Yarım kubbeli yapının aksine tam kubbeli yapıda kütle katılım oranı 1. moddan itibaren anlamlı bir büyüklükle başladığı görülmüştür. Bu yapının 1. periyodu x doğrultusunda çıkmış ve kütle katılım oranı %35 olarak gerçekleşmiştir. Diğer yapıda olduğu gibi 16. moddan sonra kütle katılım oranları nerdeyse eşitlemiştir. Son olarak 60. modda yapının kütle katılım oranları her iki doğrultu için %81'e ulaşmıştır.

Çizelge 5.2. Modal analiz sonuçları

Mode	Yarım Kubbeli		Tam kubbeli		Etkili Kütle Katılım Oranları			
	Frekans [Hz]	Periyot [s]	Frekans [Hz]	Periyot [s]	X aksı	Y aksı	X aksı	Y aksı
1	4,1327	0,2419	4,7524	0,2104	<0,01	<0,01	0,35	<0,01
2	4,4253	0,2259	4,8990	0,2041	<0,01	<0,01	0,36	0,32
3	5,3202	0,1879	6,3738	0,1568	0,43	0,02	0,38	0,33
4	5,5252	0,1809	6,6738	0,1498	0,45	0,41	0,38	0,33
16	9,6433	0,1036	10,1943	0,0980	0,68	0,67	0,70	0,69
60	18,2602	0,0541	18,4662	0,0541	0,81	0,81	0,81	0,81

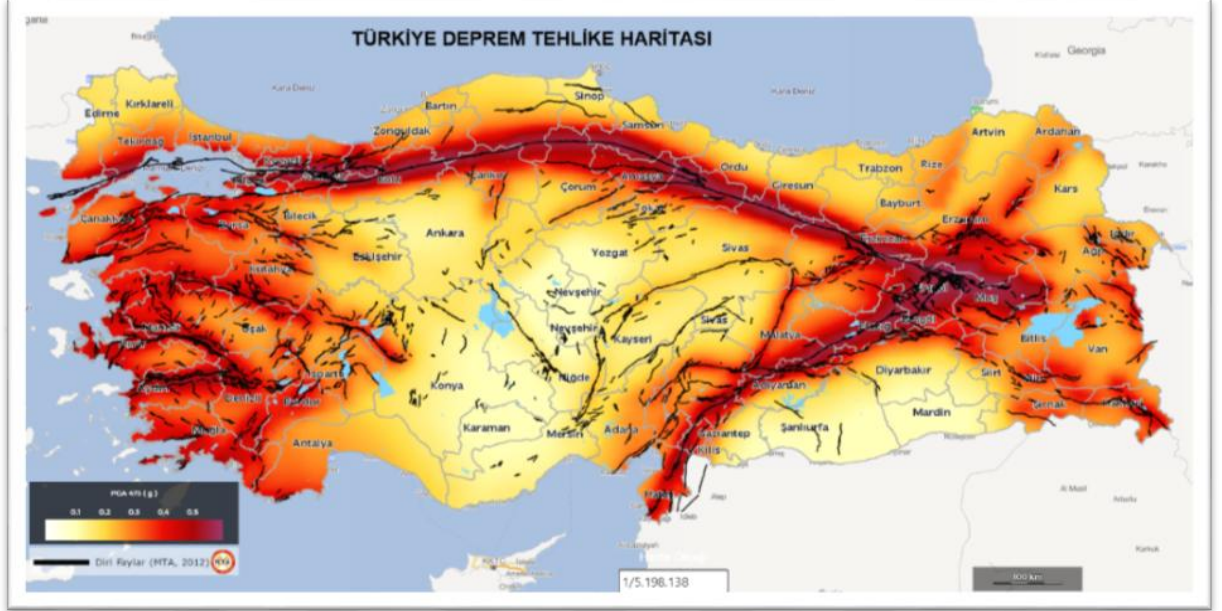
Yarım kubbeli yapının 1. ve 2. mod değerlerini daha çok yarım kubbenin yapının davranışı belirlediği görülmektedir. Yapının büyük bölümünün harekete katıldığı mod 3. mod olarak gerçekleşmiştir. Bu yüzden karşılaştırma için yarım kubbeli yapıda ilk iki mod için hesaplanan periyot değerleri dikkate alınmamış 3. moda ait frekans ve periyot değerleri başlangıç değeri olarak kabul edilmiştir. Buna göre yapının 3. mod periyot değeri 0.1879 s olarak hesaplandığı görülmüştür. Buna karşılık tam kubbeli yapının 1. periyot değeri 0,2104 olarak gerçekleştiği görülmektedir (Çizelge 5.2).

5.2.3. Dinamik Analiz

Zaman Tanım Alanında Analiz

Yapının bulunduğu bölge, İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritası (Şekil 5.11.) verilerine göre 475

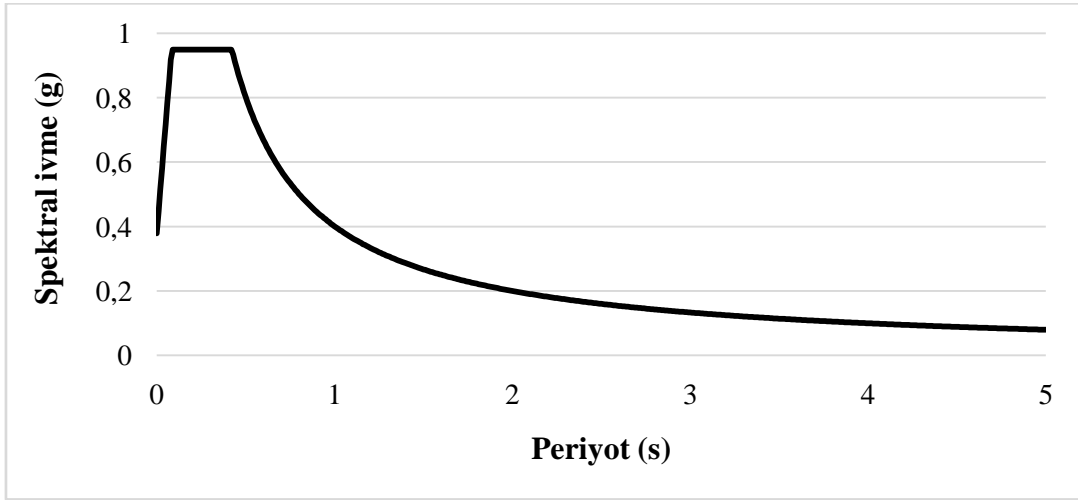
yıllık tekerrür periyodu için en büyük yer ivmesi 0,671g olarak değerlendirilmektedir (Afad, 2019). Bu ivme değeri ve Şekil 5.11.'den anlaşılacağı üzere yapı, Kuzey Anadolu Fay hattı üzerinde sismik tehlikenin yüksek olduğu bir konuma yakın bir yerde almaktadır.



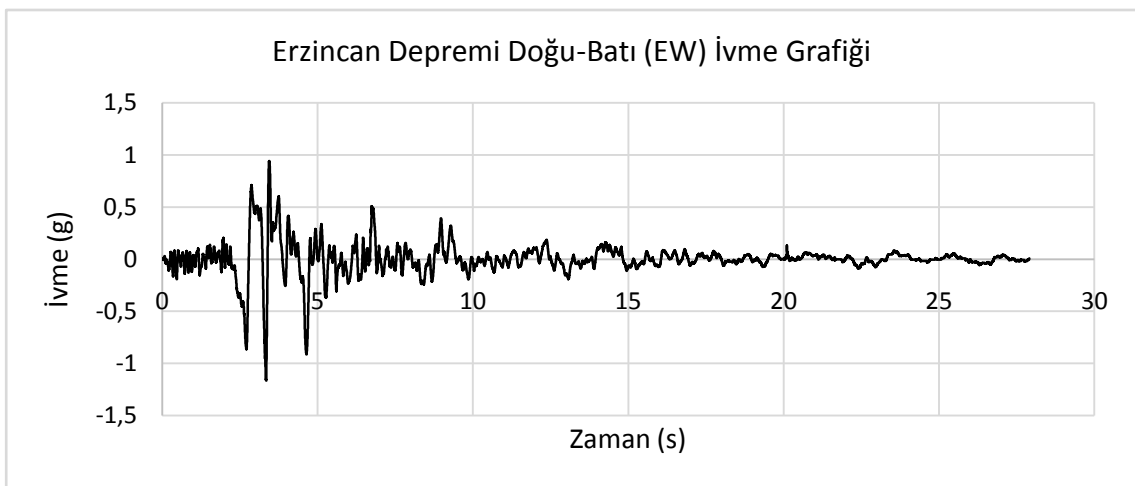
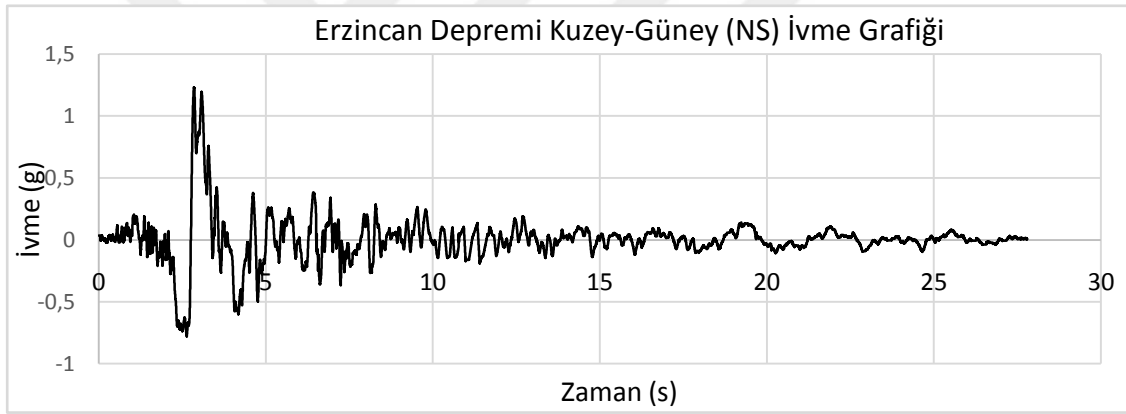
Şekil 5.11. Türkiye deprem tehlike haritası

Zaman tanım alanında hesap, herhangi bir genel zamana bağlı yükün etkisi altında bir yapının dinamik tepkisini belirlemek için kullanılan bir analizdir. Yapının, zamanın bir fonksiyonu olan yükleme altında, yine zamana bağlı olarak değişen yer değiştirme, gerilme, birim deformasyon ve reaksiyon kuvvetleri gibi tepkileri bu analizle belirlenebilir.

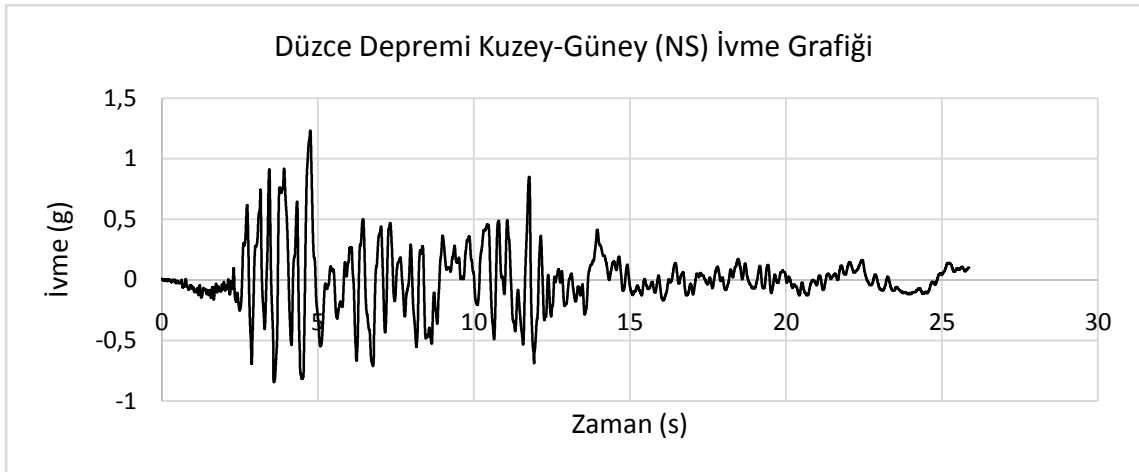
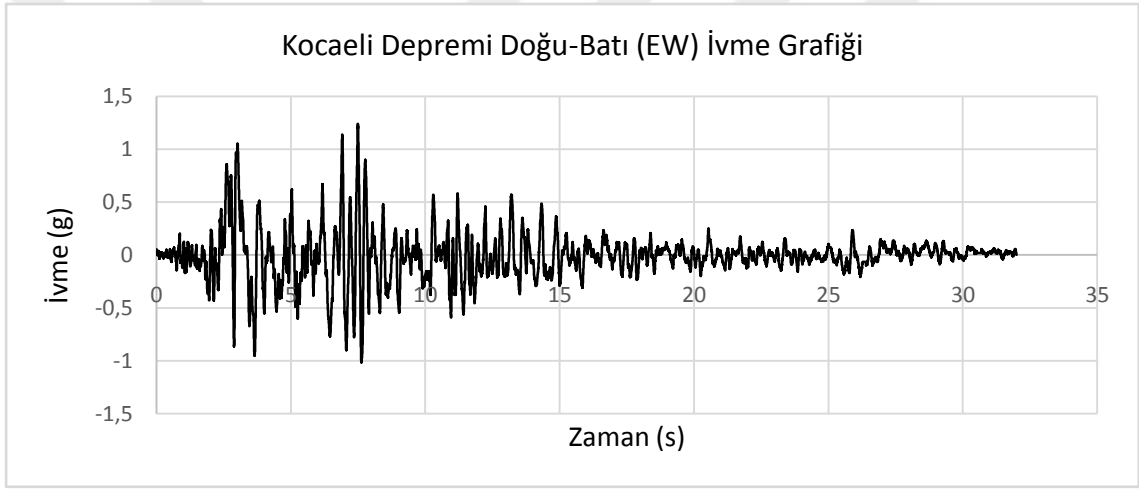
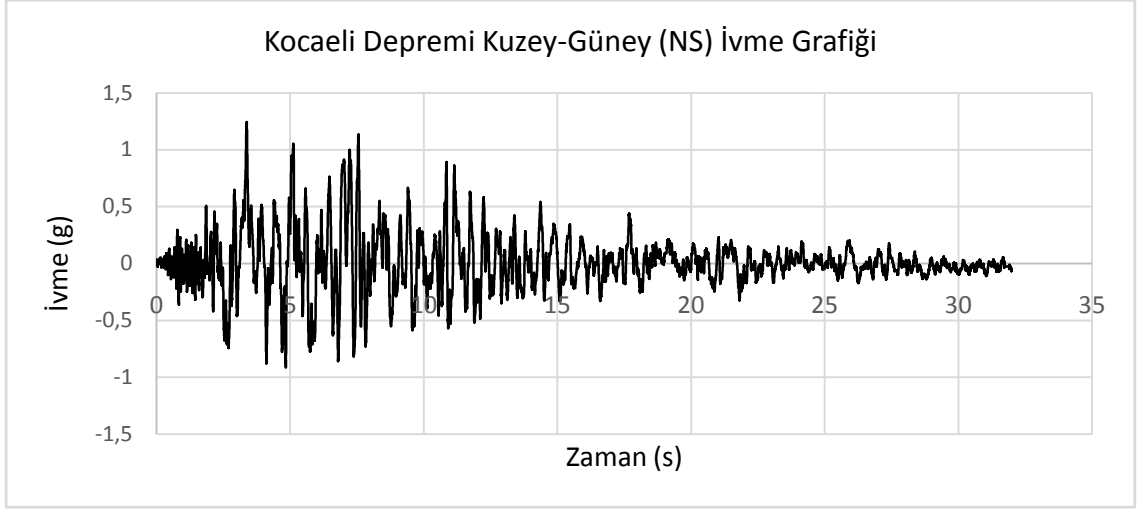
Yapılan çalışmada zaman tanım alanında dinamik hesap için üç farklı ivme kaydı ve bunların ikişer bileşeni kullanılmıştır. Çalışmada Erzincan 1992 depremi, Erzincan merkez istasyon kayıtları, Kocaeli 1999 depremi, Kocaeli merkez istasyon kayıtları ve son olarak Düzce depremi, Düzce merkez istasyon kayıtları kullanılmıştır. Bu depremlerin doğu-batı ve kuzey-güney bileşenleri alınmıştır. Daha sonra yapının bulunduğu bölge ve zemin sınıfı için spektrum eğrisi oluşturulmuştur (Şekil 5.12.). Tüm ivme kayıtları, yapının bulunduğu Tokat merkez için oluşturulan spektrum eğrisi için ölçeklendirildi. Ölçeklenmiş ivme kayıtları şekil 5.13. de verilmiştir.



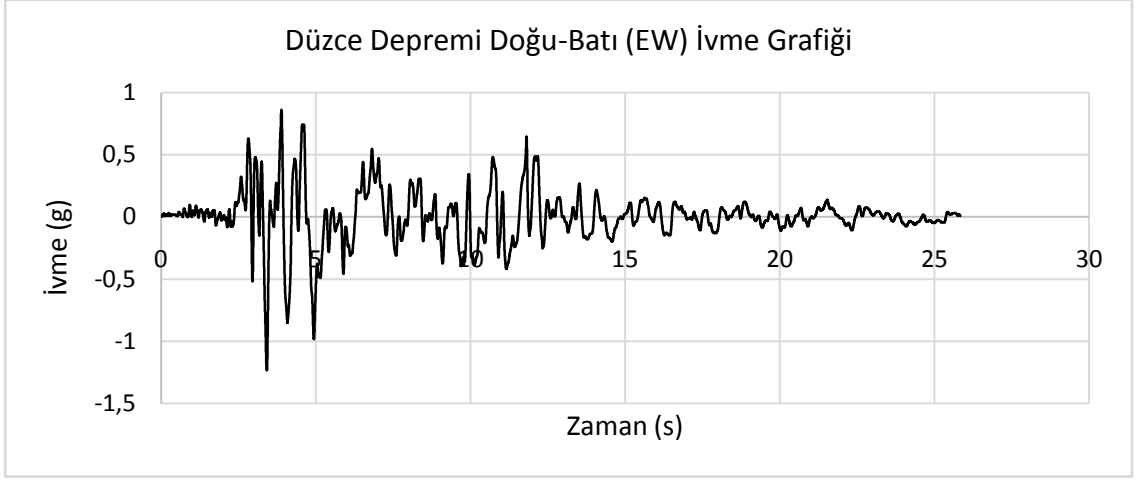
Şekil 5.12. Yapının bulunduğu bölge ve zemin sınıfı için oluşturulan spektrum eğrisi



Şekil 5.13. Dinamik analizlerde kullanılan ölçeklenmiş ivme-zaman grafikleri



Şekil 5.13. (Devam) Dinamik analizlerde kullanılan ölçeklenmiş ivme-zaman grafikleri



Şekil 5.13. (Devam) Dinamik analizlerde kullanılan ölçeklenmiş ivme-zaman grafikleri

Analizler sonucunda yapı deformasyonlar, çekme ve basınç gerilmeleri açısından değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır. Her bir ivme kaydı için yapılan dinamik analizler sonucunda ortaya çıkan deformasyonlar Şekil 5.11, 5.12 ve 5.13'te verilmiştir. Elde edilen deformasyon grafiklerine göre aşağıdaki tespitler yapılmıştır.

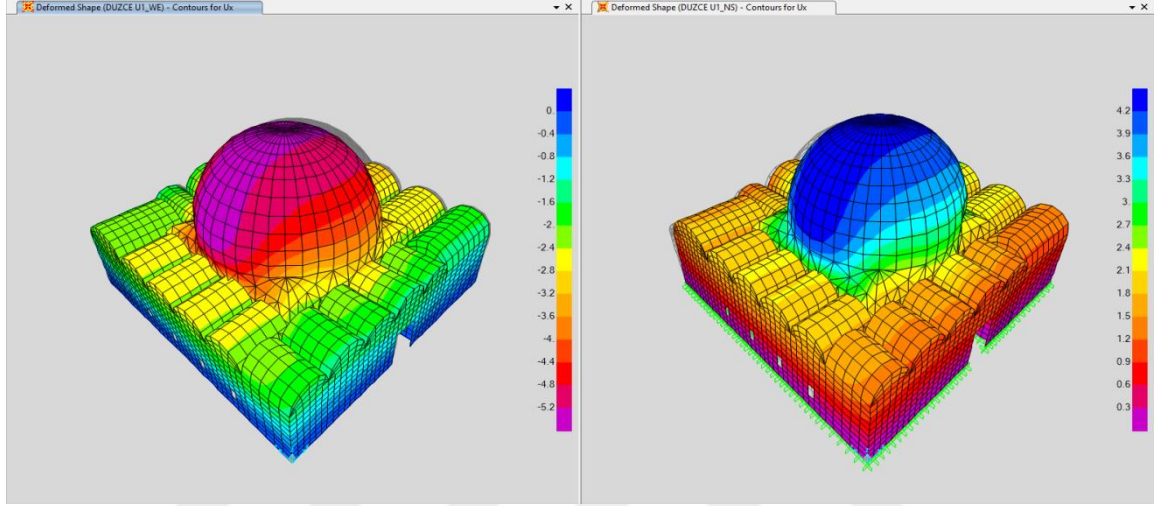
Tam kubbeli yapı için;

- Düzce depremi kayıtları için en büyük yer değiştirme bu depremin doğu-batı bileşeninde, kubbe tepe noktasında ve x doğrultusunda 5,28 mm olarak hesaplanmıştır.
- Erzincan depremi kayıtları için en büyük yer değiştirme bu depremin yine doğu-batı bileşeninde, kubbe tepe noktasında ve x doğrultusunda 14,19 mm olarak hesaplanmıştır.
- Kocaeli depremi kayıtları için en büyük yer değiştirme bu depremin ise kuzey-güney bileşeninde, kubbe tepe noktasında ve x doğrultusunda 21,31 mm olarak hesaplanmıştır.

Yarım kubbeli yapı için;

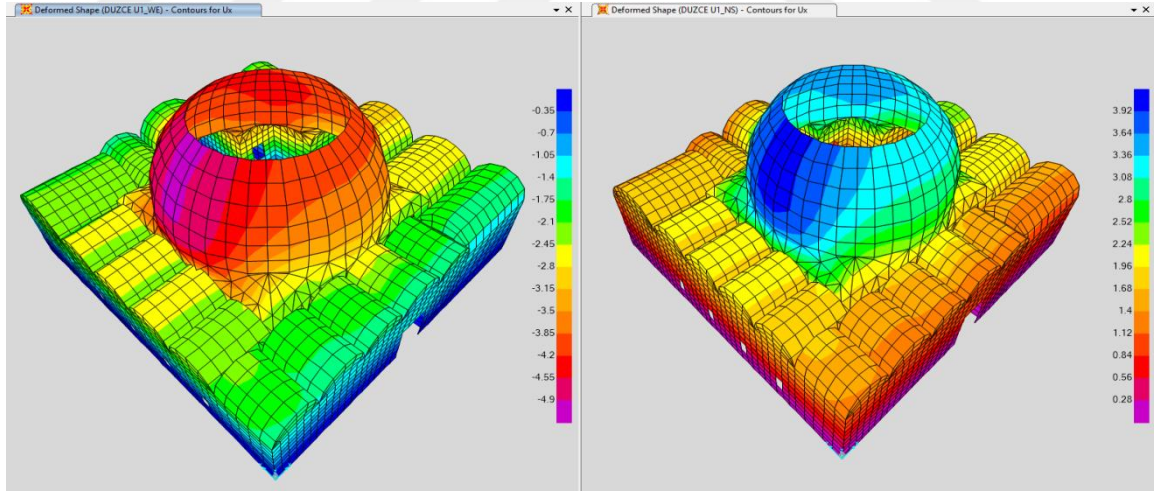
- Düzce depremi kayıtları için en büyük yer değiştirme bu depremin doğu-batı bileşeninde, 2114 nolu düğüm noktasında ve x doğrultusunda 4,96 mm olarak hesaplanmıştır.

- Erzincan depremi kayıtları için en büyük yer değıştirme bu depremin yine doğu-batı bileşeninde, 2114 nolu düğüm noktasında ve x doğrultusunda 13,71 mm olarak hesaplanmıştır.
- Kocaeli depremi kayıtları için en büyük yer değıştirme bu depremin ise kuzey-güney bileşeninde, 1323 nolu düğüm noktasında ve x doğrultusunda 19,75 mm olarak hesaplanmıştır.



(a)

(b)

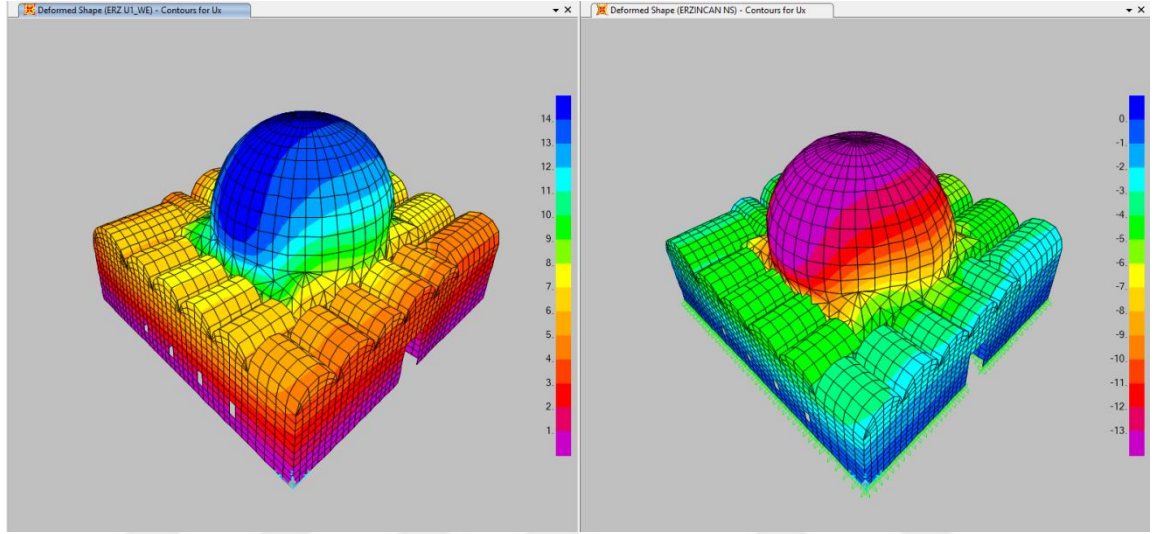


(c)

(d)

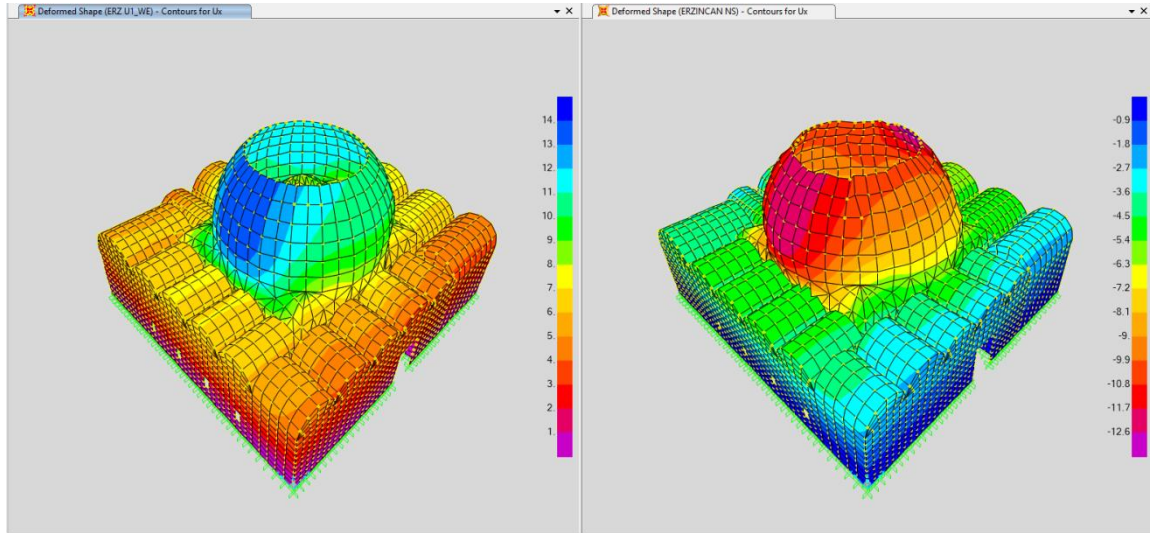
Şekil 5.14. Yapının Düzce depremi (a) tam kubbe için kuzey-güney (b) tam kubbe için doğu-batı (c) yarım kubbe için kuzey-güney (d) yarım kubbe için doğu-batı ivme kayıtları altında yaptığı en büyük yer değıştirmelere ait deformasyon şekilleri

Elde edilen sonuçlar içinde yarım kubbeli yapı için en büyük deformasyon Kocaeli depremi kuzey-güney bileşeninde ve 19,75 mm olarak hesaplanmıştır. Tam kubbeli yapı için hesaplanan en büyük değer 21,31 mm ile yine Kocaeli depremi kuzey-güney bileşeninde çıktığı görülmüştür. Tam kubbeli ve yarım kubbeli yapı için en düşük deformasyon değerleri ise Düzce depremi kuzey-güney bileşeninde ve sırasıyla 4,07 ile 4,68 mm olarak bulunmuştur.



(a)

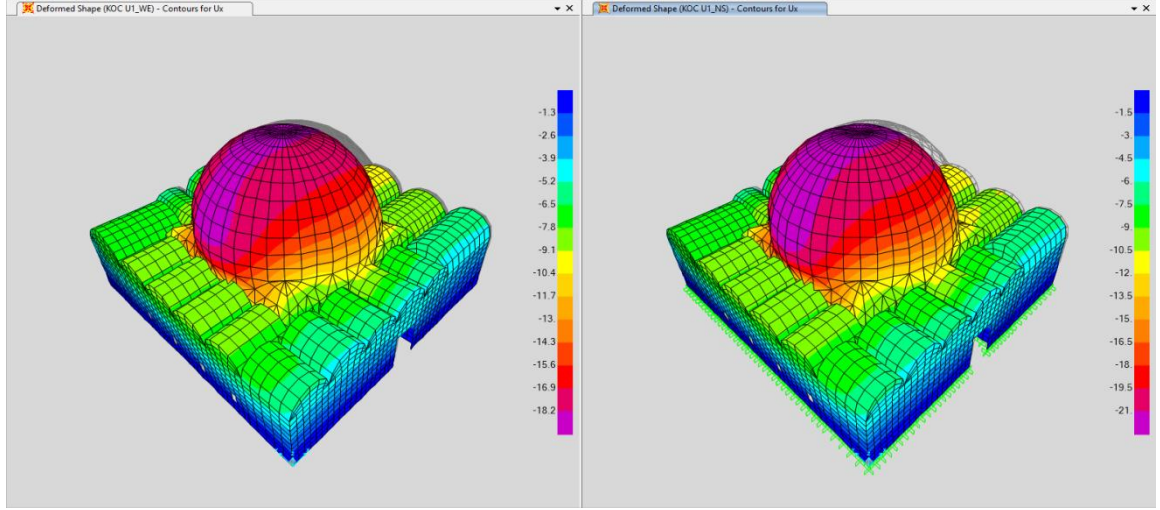
(b)



(c)

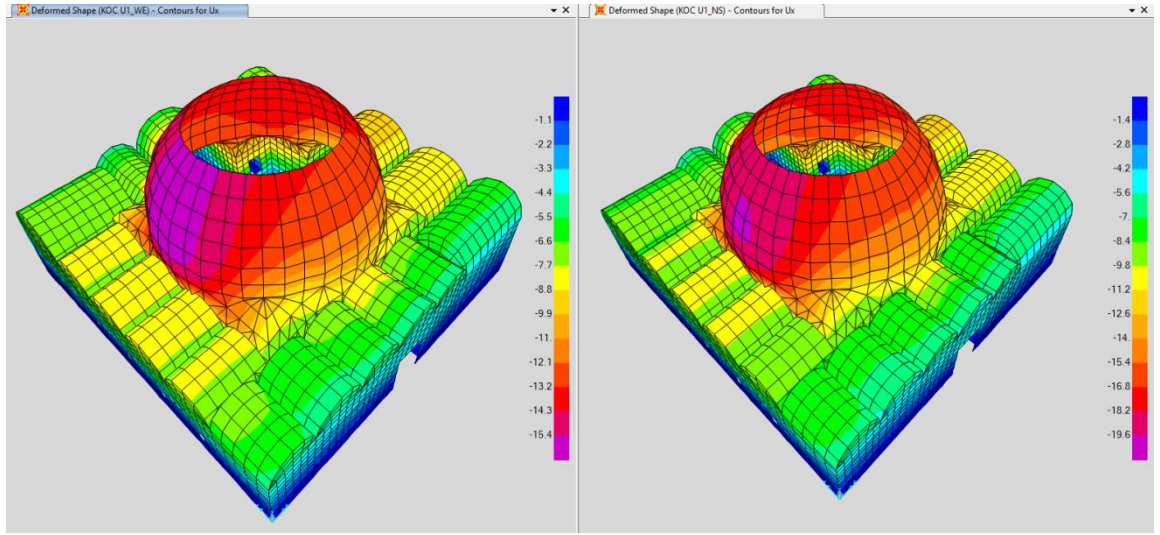
(d)

Şekil 5.15. Yapının Erzincan depremi (a) tam kubbe için kuzey-güney (b) tam kubbe için doğu-batı (c) yarım kubbe için kuzey-güney (d) yarım kubbe için doğu-batı ivme kayıtları altında yaptığı en büyük yer değiştirmelere ait deformasyon şekilleri



(a)

(b)



(c)

(d)

Şekil 5.16. Yapının Kocaeli depremi (a) tam kubbe için kuzey-güney (b) tam kubbe için doğu-batı (c) yarım kubbe için kuzey-güney (d) yarım kubbe için doğu-batı ivme kayıtları altında yaptığı en büyük yer değiştirmelere ait deformasyon şekilleri

Erzincan 1992 depremi, Erzincan merkez istasyon kayıtları, Kocaeli 1999 depremi, Kocaeli merkez istasyon kayıtları ve son olarak Düzce depremi, Düzce merkez istasyon kayıtları kullanılarak yapılan zaman tanım alanında doğrusal dinamik analiz sonuçları, şekil 5.17-5.20 arasında verilmiştir. Verilen şekillerde çekme ve basınç gerilmeleri her iki deprem bileşeni için oluşturulmuştur. Detaylı bir değerlendirme için tüm deprem yüklemelerinde yüksek gerilme değerlerine ulaşan pandantiflerde yer alan kabuk elamanlardan bir tanesi seçilerek (tam kubbeli yapı için Area 756 ve yarım kubbeli yapı

için Area 761) zaman içindeki gerilme dağılımlarından en yüksek basınç ve çekme gerilme değerleri için çizelge 5.3. oluşturulmuştur.

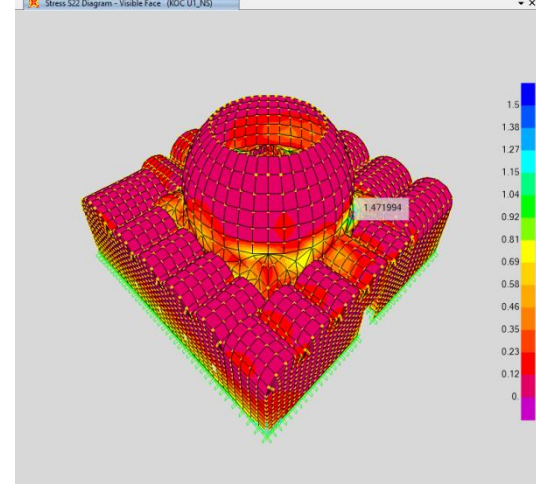
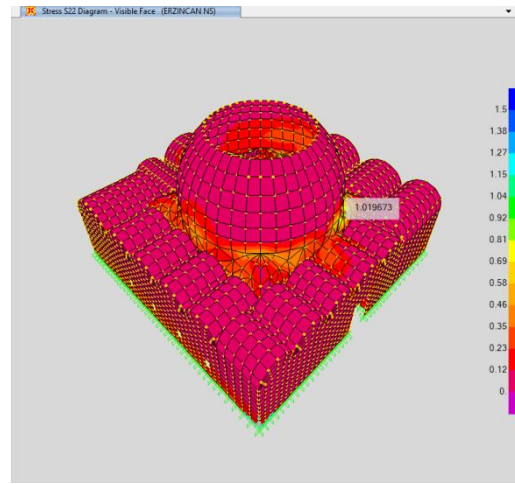
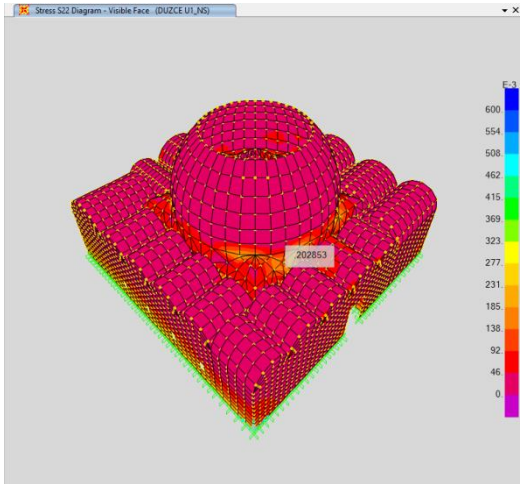
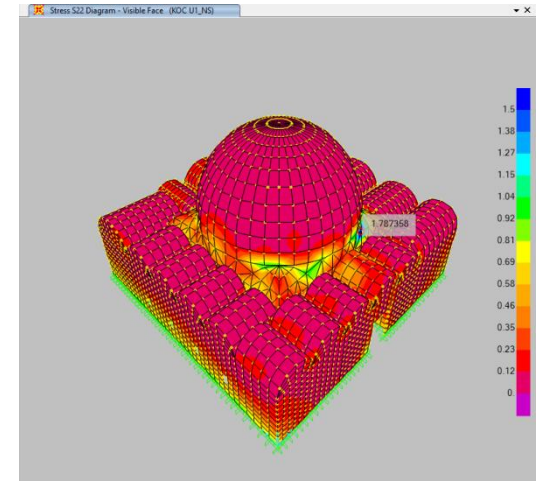
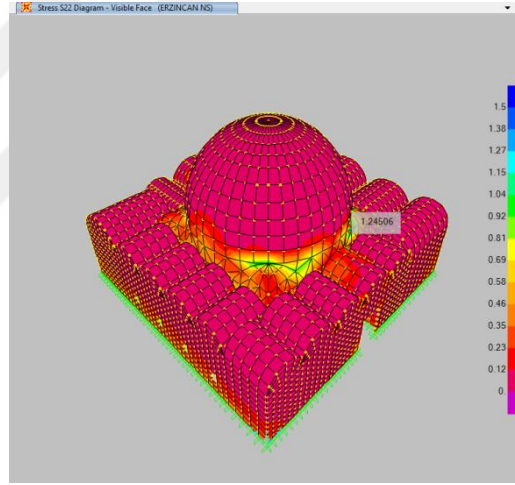
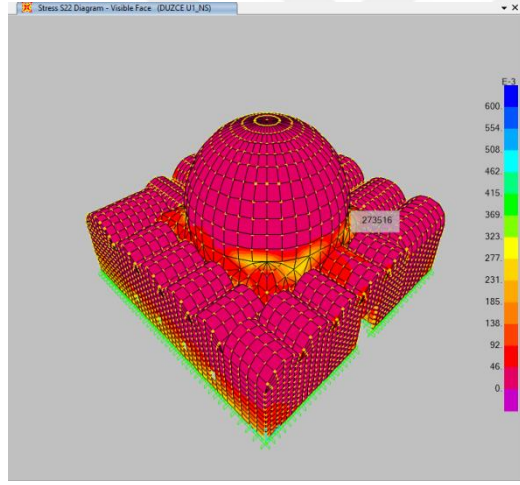
Yapılan dinamik analizler sonucunda tüm deprem kayıtları için gerilme yığılmalarının yapıların aynı bölgelerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Yapının tam kubbeli yada yarım kubbeli olması durumu gerilme yığılmalarının yerini değiştirmede etkili olmazken çıkan sonuçların büyüklüğünü değiştirdiği görülmüştür. Buna göre:

Tam kubbeli yapı için;

- Düzce depremi kayıtları için en büyük çekme gerilmeleri depremin doğu-batı bileşeninde ortaya çıkarken, en büyük basınç gerilmeleri depremin kuzey-güney bileşeninde ve kubbe pandantif birleşimlerinde ortaya çıkmıştır. Bu bölgelerde hesaplanan ortalama gerilme değerleri çekme için 0,433 MPa iken basınç için 0,374 MPa olarak hesaplanmıştır.
- Erzincan depremi kayıtları için en büyük çekme gerilmesi depremin kuzey-güney bileşeninde ortaya çıkarken en büyük basınç gerilmeleri depremin doğu-batı bileşeninde hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar göre ortalama gerilme değerleri kubbe pandantif birleşimlerinde 1,234 MPa çekme gerilmesi ve 1,167 MPa basınç gerilmesi şeklinde ortaya çıkmıştır.
- Kocaeli depremi kayıtları için en büyük çekme gerilmesi depremin kuzey-güney bileşeninde ortaya çıkarken en büyük basınç gerilmeleri depremin doğu-batı bileşeninde hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar göre ortalama gerilme değerleri kubbe pandantif birleşimlerinde 1,787 MPa çekme gerilmesi ve 1,310 MPa basınç gerilmesi şeklinde ortaya çıkmıştır.

Yarım kubbeli yapı için;

- Düzce depremi kayıtları için en büyük çekme gerilmesi depremin doğu-batı bileşeninde ortaya çıkarken en büyük basınç gerilmeleri depremin kuzey-güney bileşeninde hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar göre ortalama gerilme değerleri kubbe pandantif birleşimlerinde 0,353 MPa çekme gerilmesi ve 0,290 MPa basınç gerilmesi şeklinde ortaya çıkmıştır.

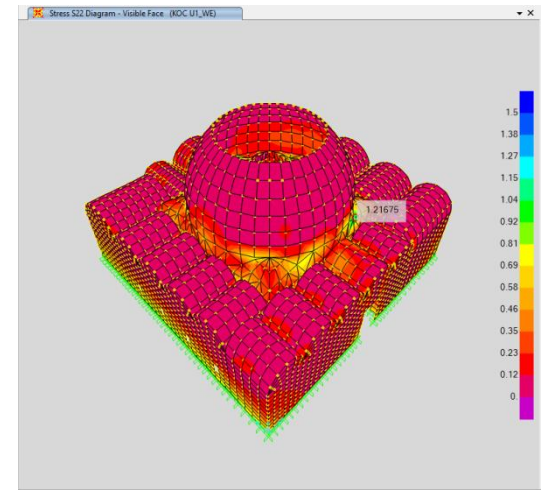
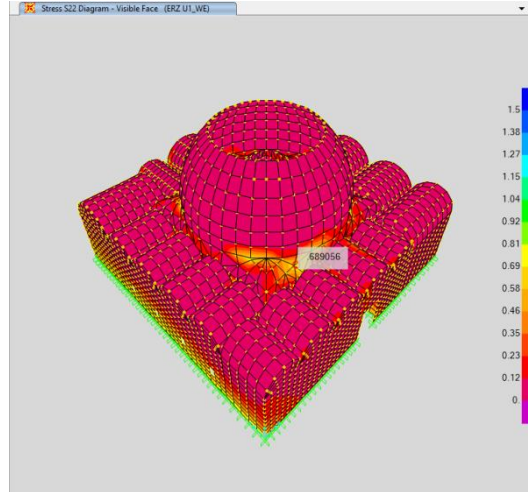
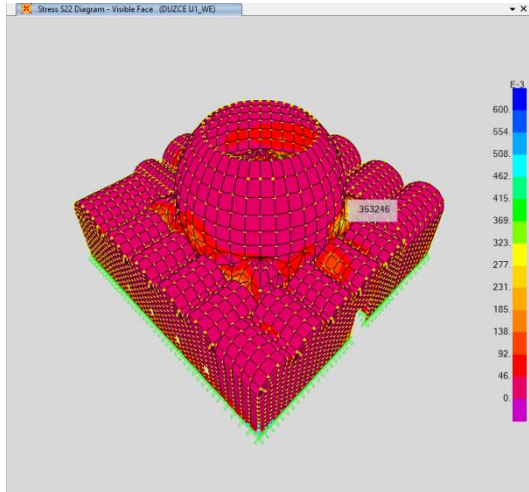
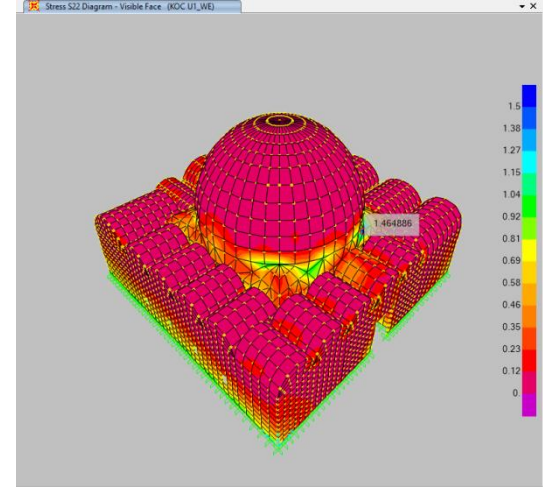
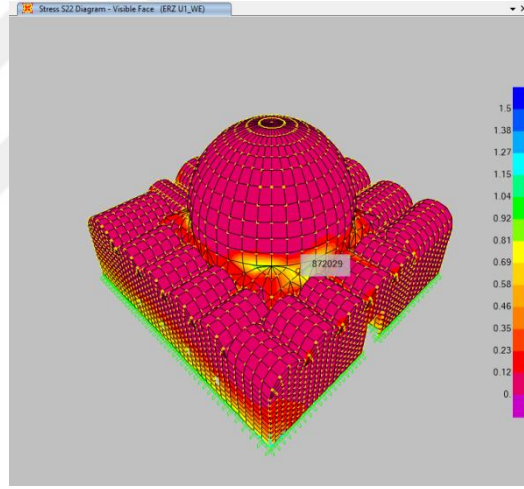
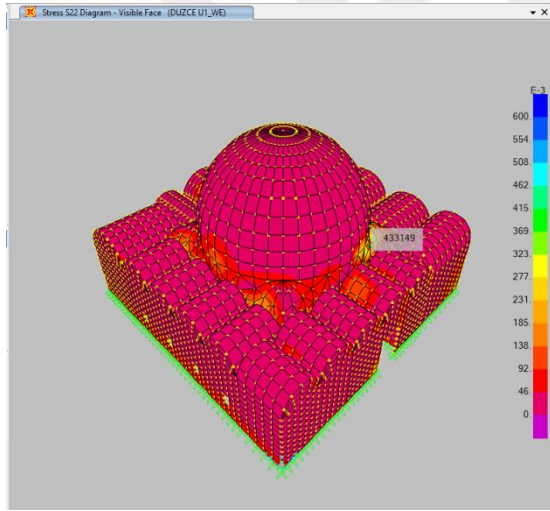


Düzce depremi

Erzincan depremi

Kocaeli depremi

5.17. Yapıların Kuzey-Güney ivme kayıtları ile yapılan dinamik analizi sonucunda ortaya çıkan çekme gerilmesi dağılımı şekilleri(N/mm²)

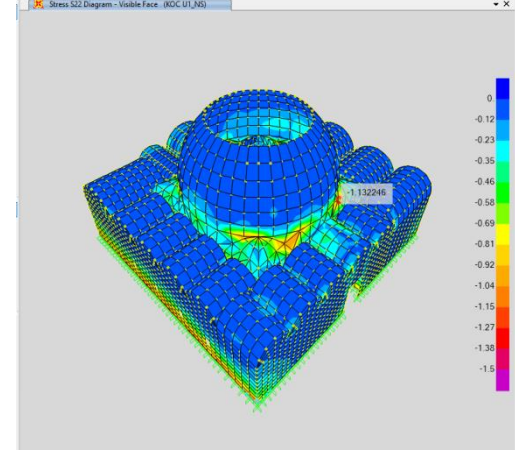
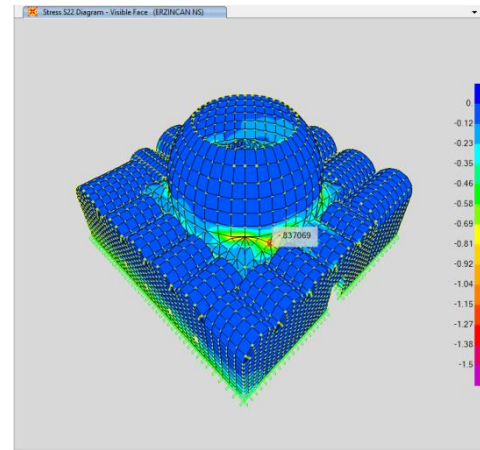
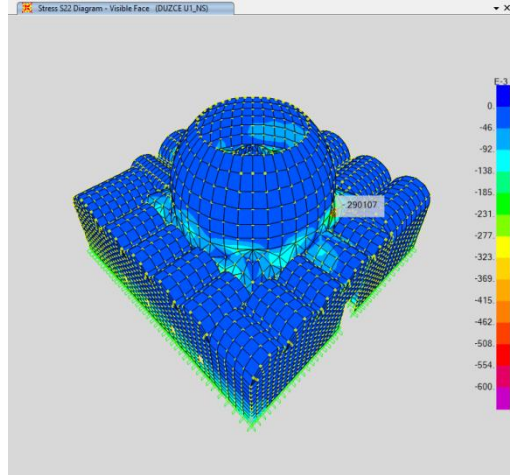
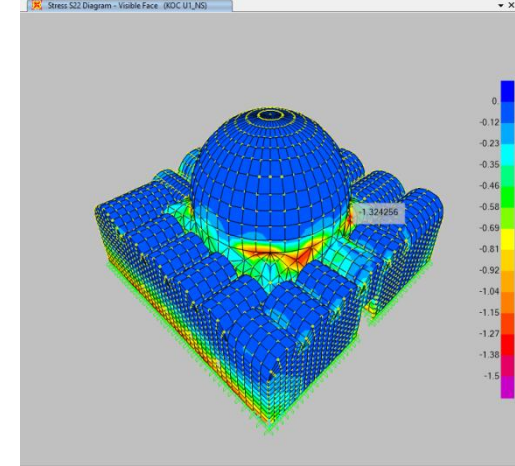
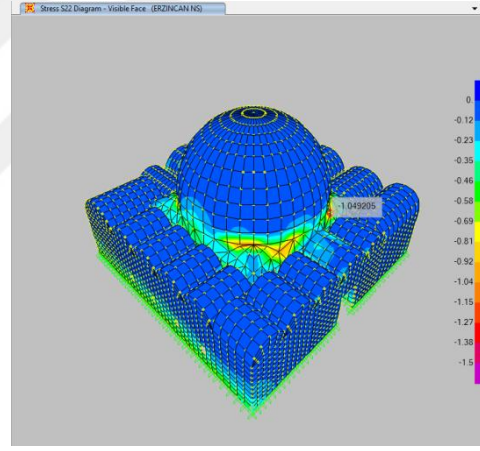
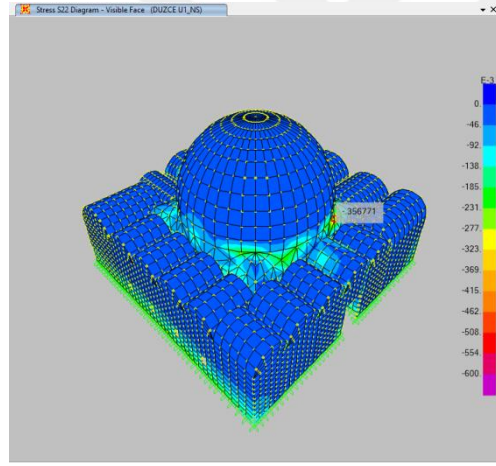


Düzce depremi

Erzincan depremi

Kocaeli depremi

5.18. Yapıların Doğu-Batı ivme kayıtları ile yapılan dinamik analizi sonucunda ortaya çıkan çekme gerilmesi dağılımı şekilleri(N/mm2)

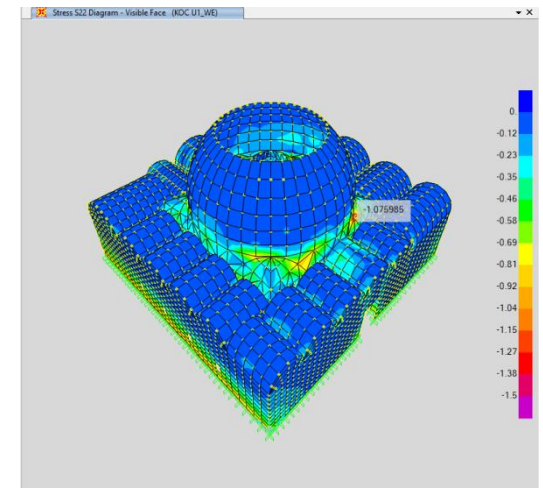
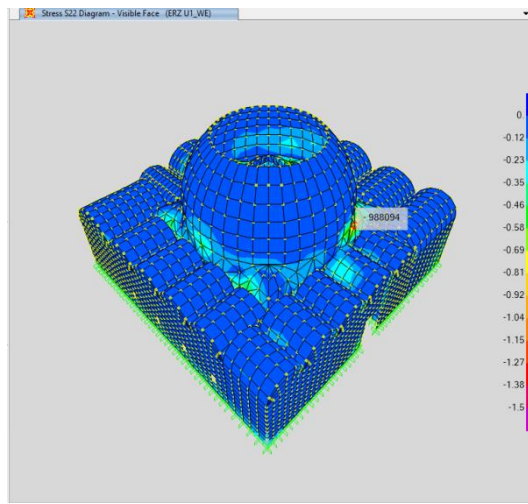
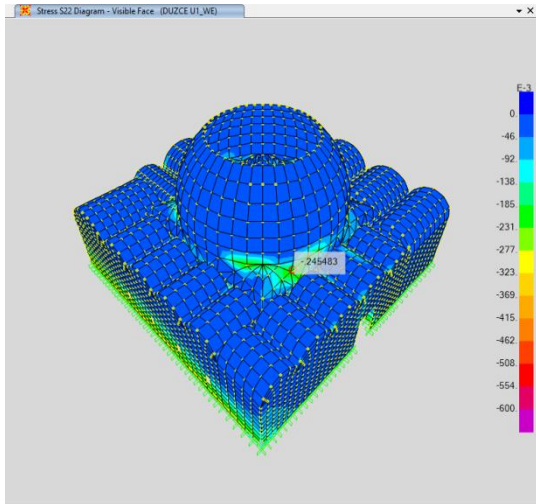
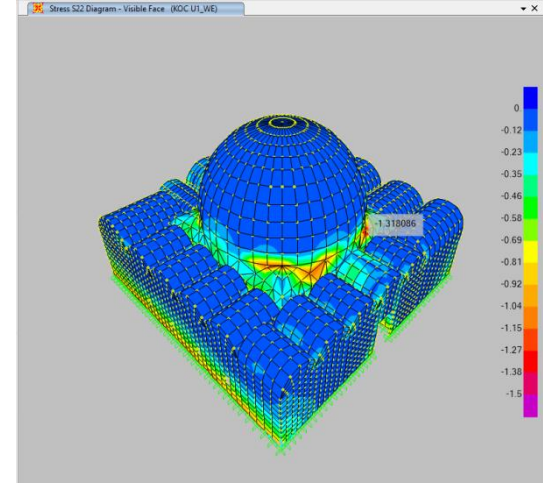
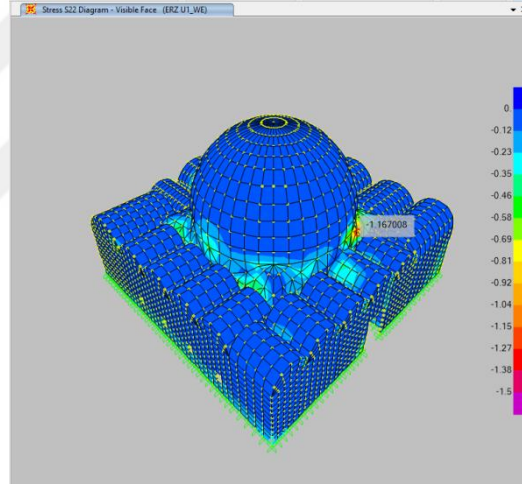
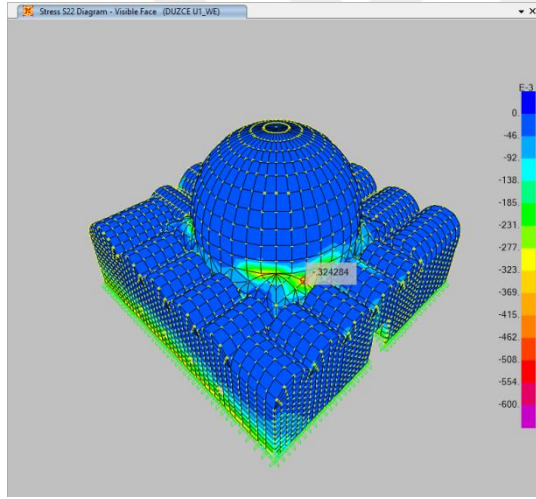


Düzce depremi

Erzincan depremi

Kocaeli depremi

5.19. Yapıların Kuzey-Güney ivme kayıtları ile yapılan dinamik analizi sonucunda ortaya çıkan basınç gerilmesi dağılımı şekilleri(N/mm²)



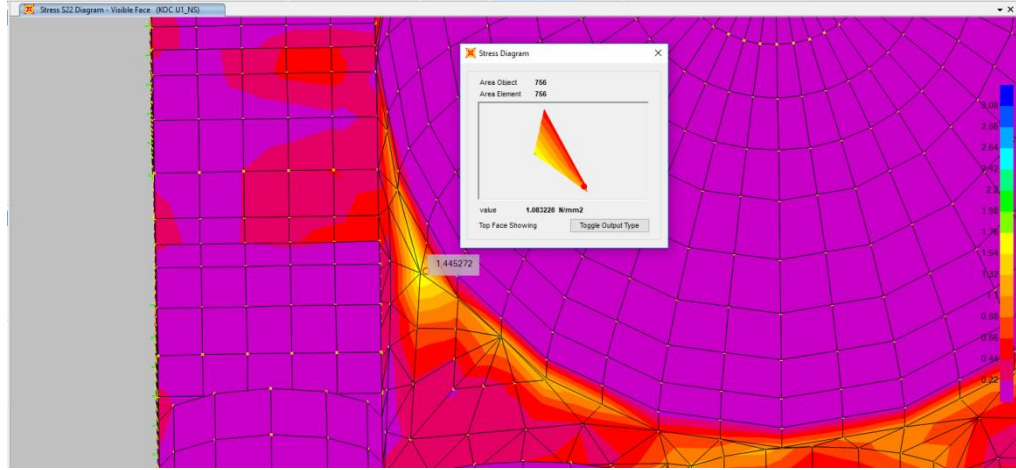
Düzce depremi

Erzincan depremi

Kocaeli depremi

5.20. Yapıların Doğu-Batı ivme kayıtları ile yapılan dinamik analizi sonucunda ortaya çıkan basınç gerilmesi dağılımı şekilleri(N/mm²)

- Erzincan depremi kayıtları için en büyük çekme gerilmesi depremin kuzey-güney bileşeninde ortaya çıkarken en büyük basınç gerilmeleri depremin doğu-batı bileşeninde hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar göre ortalama gerilme değerleri kubbe pendentif birleşimlerinde 1,019 MPa çekme gerilmesi ve 0,988 MPa basınç gerilmesi şeklinde ortaya çıkmıştır.
- Kocaeli depremi kayıtları için en büyük çekme gerilmesi depremin kuzey-güney bileşeninde ortaya çıkarken en büyük basınç gerilmeleri depremin doğu-batı bileşeninde hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar göre ortalama gerilme değerleri kubbe pendentif birleşimlerinde 1,471 MPa çekme gerilmesi ve 1,132 MPa basınç gerilmesi şeklinde ortaya çıkmıştır.



Şekil 5. 21. Gerilme yığılmasının yoğunlaştığı elamanlardan birinin seçiminin gösterimi

Çizelge 5.3. Tam kubbeli yapıdan seçilen eleman (Area 756) için hesaplanan çekme ve basınç gerilmeleri

Deprem adı	Deprem bileşeni	Basınç gerilmesi (MPa)	Kaçıncı saniyede olduğu (s)	Çekme gerilmesi (MPa)	Kaçıncı saniyede olduğu (s)
Düzce	Kuzey-Güney	0,408	24,96	0,313	25,91
	Doğu-Batı	0,132	22,54	0,496	25,80
Erzincan	Kuzey-Güney	1,187	36,60	1,423	30,85
	Doğu-Batı	1,336	27,02	0,426	19,68
Kocaeli	Kuzey-Güney	1,510	41,16	2,044	33,80
	Doğu-Batı	1,519	36,50	1,755	30,25

Çizelge 5.4. Yarım kubbeli yapıdan seçilen eleman (Area 761) için hesaplanan çekme ve basınç gerilmeleri

Deprem adı	Deprem bileşeni	Basınç gerilmesi (MPa)	Kaçıncı saniyede olduğu (s)	Çekme gerilmesi (MPa)	Kaçıncı saniyede olduğu (s)
Düzce	Kuzey-Güney	0,389	24,95	0,272	25,91
	Doğu-Batı	0,128	21,36	0,473	25,77
Erzincan	Kuzey-Güney	0,761	37,60	1,418	30,51
	Doğu-Batı	1,327	27,10	0,397	19,64
Kocaeli	Kuzey-Güney	1,523	48,36	1,984	33,74
	Doğu-Batı	1,44	36,49	1,635	29,56

6. SONUÇ

Bu çalışmada; öncelikle tarihi yapılarda taşıyıcı sistem elemanları ve kullanılan malzemeler hakkında bilgi verilmiş daha sonra, tarihi yığma yapılarda kullanılan modelleme ve analiz yöntemleri kısaca anlatılmıştır. Tez çalışması kapsamında Tokat ilinde bulunan Yağlıbasan (Çukur) Medresesinin mevcutta bulunan yarım kubbeli durumu ile kubbesinin tamamlanmış olduğu varsayımından hareketle, her iki yapının dinamik davranışlarının belirlenmesi amacıyla yapılar sonlu elemanlar modeli ile SAP 2000'de kabuk elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Modellemede malzeme parametreleri literatürden elde edilmiş ve doğrusal elastik kabulü yapılmıştır.

Yapı üzerinde gerçekleştirilen analizler, statik, modal ve dinamik analizlerden oluşmaktadır. Dinamik analizlerde zaman tanım alanında analiz yöntemi seçilerek ölçeklenmiş gerçek deprem ivme kayıtları kullanılmıştır. Bu analizlerde Erzincan 1992 depremi, Erzincan merkez istasyon kayıtları, Kocaeli 1999 depremi, Kocaeli merkez istasyon kayıtları ve son olarak Düzce depremi, Düzce merkez istasyon kayıtları kullanılmıştır. Her iki yapı için mod şekilleri, doğal frekans değerleri, en büyük yer değiştirme değerleri, yer değiştirme zaman grafikleri, maksimum basınç ve çekme gerilmesi değerleri tespit edilmiştir.

Her iki yapının kendi ağırlığı altında yapılan analizlerinde beklendiği gibi en büyük deformasyonun tam kubbeli yapı için kubbe tepesinde, yarım kubbeli yapı için ise yarım kubbe bitiminde ortaya çıkmıştır. Ortaya çıkan deformasyon değerleri bu tür yapılar için kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığı görülmüştür. Gerilmeler açısından bakıldığında yine her iki yapı için kubbe pandantif birleşim bölgelerinde çıktığı görülmüştür. Çekme gerilmeleri açısından her iki yapı içinde bu bölgelerin zorlandığı ancak basınç gerilmeleri açısından bir sorun teşkil edecek değerlere ulaşılmadığı görülmüştür.

Modal analizden elde edilen titreşim modlarına ait şekiller değerlendirildiğinde, yarım kubbeli yapının ilk iki modunu ucu boşta olan kubbenin belirlediği görülmüştür. Bu iki modda kütle katılım oranları %1'in altında kaldığından tam kubbeli yapı ile karşılaştırma 3. moddan sonra yapılmıştır. Tam kubbeli yapıda ise kütle katılım oranı 1. moddan başlayarak artmaya devam etmiştir. Her iki yapının frekans aralığı 4-18 Hz aralığında kaldığı görülmüştür. Periyot değerleri açısından bakıldığında hesaplanan

süreler yarım kubbeli ve tam kubbeli yapı için sırasıyla 0,18 sn ve 0,21 sn dir. Bu değerler bu tür yapılar için anlamlı bir sonucu yansıtmaktadır. Yapıların her ikisinde de 60. Moda gelindiğinde kütle katılım oranları %81 değerine ulaştığı görülmüştür.

Zaman tanım alanında analiz sonuçları değerlendirildiğinde, genel olarak her iki yapı için en düşük gerilme değerlerinin Düzce depremi kayıtları ile yapılan analizlerde en büyük gerilme değerlerinin ise Kocaeli depremi kayıtları ile yapılan analizlerde ortaya çıktığı görülmüştür.

Yapılan çalışma ile her iki modelde gerilme yoğunluğunun fazla olduğu bölgeler belirlenmiş olup, dinamik etkiler karşısında her iki durum için olası hasarların ilk olarak bu gerilme yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde meydana geleceği tespit edilmiştir.

Her iki tarihi yapıya aynı deprem kayıtları uygulanmış olup, analiz sonuçlarından elde edilen gerilme değerleri incelendiğinde, yarım kubbeli yapıda oluşan gerilme değerlerinin tam kubbeli yapıya oranla daha düşük çıktığı gözlenmiştir. Aynı dinamik etkiye maruz kalma durumunda tam kubbeli yapıda yapısal hasar oluşma ihtimalinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu yapıların analizleri sonucunda oluşan gerilme değerlerinin kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığı ancak deformasyon değerleri açısından bakıldığında yapıların hasar görme ihtimallerinin yüksek olduğu söylenebilir.

7. KAYNAKLAR

- AFAD 2019, Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, (<https://tdth.afad.gov.tr /TDTH/main.xhtml>). (Erişim 24.06.2019)
- Akdeniz, Ö., 2011. Tarihi Yapıların Lineer Olmayan Dinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Aköz, A. H., 2008. “Deprem Etkisi Altındaki Tarihi Yığma Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Altunışık, A.C., Bayraktar, A., Sevim, B. and Birinci, F., “Vibration-based operational modal analysis of the Mikron historic arch bridge after restoration”, Civ. Eng. Envir. Syst., c. 28, s. 3, ss. 247-259, 2011.
- Anadut, H.O., 2016. Tarihi Yapıların Dinamik Davranışlarının İncelenmesi. Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 79s, Yozgat.
- Aslan, A. ve Şahin, A., 2016. “Süleymaniye Camii’nin Farklı Deprem Kayıtları Altında Davranışının İncelenmesi” Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu (DAAYS’16), 2-4 Mart 2016, Karabük.
- Atabey, İ., 2011, Yığma Binaların Performans Analizi Sivas Şehri Aşağısarıca İlköğretim Okulu Örneği, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi, Ankara.
- Batur, N., 2006. Yığma Yapı Tasarımı ve Analizi. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Bitirme Tezi, 66s, İstanbul.
- Bayraktar, A., Altunışık, A.C., Sevim, B., Türker, T., Akköse, M. and Coşkun, N., “Modal analysis, experimental validation and calibration of a historical masonry minaret”, J. Test. Evaluation, c. 36, s. 6, ss. 516-524, 2008.
- Bayraktar, A., Altunışık, A.C., Birinci, F., Sevim, B. and Türker, T., “Finite element analysis and vibration testing of a two-span masonry arch bridge”, J. Perform. Constr. Facil., c. 24, s. 1, ss. 46-52, 2010.
- Bayraktar, A., Şahin, A., Özcan, D.M., and Yıldırım, F., Numerical Damage Assessment of Hagia Sophia Bell Tower by Nonlinear FE Modeling, Applied Mathematical Modelling, Volume: 34, pp. 92-121, 2010.
- Bernardeschi, K., Padovani, C. and Pasquinelli, G., Numerical Modeling of the Structural Behavior of Buti’s Bell Tower, J. Cultural Heritage, c 5, ss 371-378, 2004.
- Birinci, F., Taş Kemer Köprülerin Sonlu Eleman Modellerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2010.
- Brencich, A. and Sabia, D. (2008), “Experimental identification of a multi-span masonry bridge: the Tanaro bridge”, Constr. Build. Mater., 22(10), 2087-2099.
- Boz, B., 2006, Structural analysis of historic aspendos theatre, Middle East Technical University.
- Chamaky, R.Y., 2014. Tarihi Yığma Yapıların Deprem Analizi ve Uygun Güçlendirme Teknikleri, (Yüksek lisans tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Çal, G., 2015. Ortaköy Büyük Mecidiye Camii’nin Deprem Etkisi Altında Yapısal Davranışının Değerlendirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dabanlı, Ö., 2008. Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 170s, İstanbul.

- Di Pasquale, S., The Dome of Santa Maria del Fiore: An Opportunity to State a Theory of Masonry Structures, Proceedings of IASS Symposium, Madrid, 843-866, 1979.
- Doğangün, A., Acar, R., Sezen, H., and Livaoğlu, R., Investigation of dynamic response of masonry minaret structures, Bulletin of Earthquake Engineering, c. 6, ss 505–517, 2008.
- Durutürk, G., 2012. Yalvaç Hamidiye Cami Deprem Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 96s, Isparta.
- Fanning, P.J. and Boothby, T.E., “Three-dimensional modelling and full-scale testing of stone arch bridges”, Comput. Struct., c. 79, s. 29, ss. 2645-2662, 2001.
- Frunzio, G., Monaco, M. and Gesualdo, A., “3D F.E.M analysis of a Roman arch bridge”, Historical Constructions, Eds., P.B. Lourenço, P. Roca, Guimarães, ss. 591-597, 2001.
- Gedik, Y. H., (2008). Analysis, Repair And Strengthening of Historical Masonry Structures; Case Study: Mehmet Aga Mosque, Master of Science Thesis, İstanbul Technical University Institute of Science And Technology, İstanbul.
- Karaesmen, E., Ünay, A.İ., A Study of Structural Aspects of Domed Buildings with Emphasis on Sinan's Mosques, Proceedings of IASS-MSÜ Int. Symposium, İstanbul, 93-104, 1988.
- Karaesmen, E., Erkey, C., Boyacı, N., Senkaya, E., Yakut, A., Evolution of Domed Building in Seismic Zones with Emphasis on Sinan's Major Works, METU-Pariar Education and Research Foundation, Ankara, 1992.
- Kaya, E., 2003, Yığma yapıların çelik ve betonarme takviyesi uygulanabilirliği ve yapım hataları, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi.
- Kaya, Ç., 2010. Yığma Duvarların Elastik-Plastik Hesabı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Koçer, M., Nakipoğlu, A., Öztürk, B., Al-Hagri, M.G., Arslan, M.H., Deprem Kuvvetine Esas Spektral İvme Değerlerinin TBDY 2018 ve TDY 2007'ye Göre Karşılaştırılması. Selçuk-Teknik Dergisi Cilt 17, Sayı:2-2018, 43-58s,2018, Konya.
- Köseoğlu, G. Ç., 2011. Investigation of A Damaged Historical Mosque With Finite Element Analysis, Master of Science Thesis, The Graduate School of Natural And Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara.
- Kuran, A., "Tokat ve Niksar'da Yağı-Basan Medreseleri." Vakıflar Dergisi,7(1968): 39-43.
- Kuruşcu, A.O., 2005. Yığma Yapıların Analizi, (Yüksek lisans tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Küçükdoğan, B., Kubin, J., Ünay, A. İ., "Seismic Assessment of Monastery of Studios (Imrahor Mosque) in İstanbul." Advanced Materials Research, c. 133, s. 134, ss. 721-726, 2010.
- Lourenço, P.B., “Computational strategies for masonry structures”, Ph.D. Thesis, Delft Technical University of Technology, The Netherlands, (1996).
- Magenes, G., & Penna, A., "Existing masonry buildings: general code issues and methods of analysis and assessment." Eurocode 8 Perspectives from the Italian Standpoint Workshop, c. 8, ss. 185-198, 2009.
- Mahrebel, H.A., 2006. Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım ve Güçlendirme Teknikleri. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 113s, İstanbul.

- Öncü, G., 2011, Mevcut betonarme ve yığma binaların depreme karşı onarım ve güçlendirme yöntemleri ve İzmir'deki bazı uygulama örneklerinin irdelenmesi, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özen, G. Ö., (2006). Comparison of Elastic And Inelastic Behavior of Historic Masonry Structures At The Low Load Levels, Master of Science Thesis, The Graduate School of Natural And Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara.
- Özkul, T.A., Karagüler, M., Ergüneş, O.I., Kaya, Y., Pavlatos, C.F., Static and Dynamic Analysis of Panagia Ton Isodion Church, International Semposium Studies on Historical Heritage, Antalya, 535-542, September 17-21, 2007.
- Pela, L., Aprile, A. and Benedetti, A., “Seismic assessment of masonry arch bridges”, Eng. Struct., c. 31, s. 8, ss. 1777-1788, 2009.
- Pela, L., Aprileb, A. and Benedettic, A., “Comparison of seismic assessment procedures for masonry arch bridges”, Constr. Build. Mater., c. 38, ss. 381-394, 2013.
- Preciado, A., Bartoli, G. and Budelmann, H., “Fundamental aspects on the seismic vulnerability of ancient masonry towers and retrofitting techniques”, Earthq. Struct., c. 9, s. 2, ss. 339-352, 2015.
- Radnić, J., Harapin, A., Smilović, M., Grgić, N. and Glibić, M., “Static and dynamic analysis of the old stone bridge in Mostar”, Građevinar, c. 8, ss. 655-665, 2012.
- Riva, P., Perotti, F., Guidoboni, E., Boschi, E., Seismic Analysis of the Asinelli Tower and Earthquakes in Bologna, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume: 17, Issure Number: 7-8, pp. 525–550, 1998.
- Şen, B., Modeling and Analysis of the Historical Masonry Structures, Master of Science Thesis, Boğaziçi University, İstanbul, 2006.
- 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, 188s, Konya.
- TBDY., 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği , Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara
- Tetik, T., 2015.Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansı ve Güçlendirme Teknikleri. İstanbul Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 138s, İstanbul.
- Teomete, E., Finite Element Modeling of Historical Masonry Structures; Case Study: Urla Kamanlı Mosque, Master Of Science Thesis, Izmir Institute Of Technology, İzmir, 2004.
- Toker, S. and Unay, A.I., “Mathematical modelling and finite element analysis of masonry arch bridges”, *G.U. J. Sci.*, c. 17, s. 2, ss. 129-139, 2004.
- TS704 (TS EN 771-1), Harman Tuğlası (Duvarlar İçin), Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Ankara, 2005
- TS705 (TS EN 771-1), Fabrika Tuğlaları - Duvarlar İçin Dolu ve düşey Delikli, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Ankara, 2005
- 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, 107s, Konya.
- Ural, A., Tarihi Kemer Köprülerin Sonlu Eleman Metoduyla Analizi, DepremSempozyumu, Kocaeli, 408-413, Mart 2005.
- Wang, J. and Melbourne, C., “Finite element analyses of soil-structure interaction in masonry arch bridges”, ARCH’07 - 5th International Conference on Arch Bridges, Medeiara, Portugal, 2007.

- Yeşim İlerisoy, Z., & Soyluk, A., “Impact Of Shallow Earthquakes On The Sehzade Mehmet Mosque”, Gradenivar, c. 64, s. 9, ss. 735-740, 2012.
- Yılmaz, P., 2006, Tarihi yapıların modellenmesi ve deprem güvenliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.



8. ÖZGEÇMİŞ



1978 yılında Kırıkkale'nin Keskin ilçesinde doğdum. İlk ve orta öğrenimimi Kırıkkale'de, lise öğrenimimi Tokat'ta tamamladım. 1996 yılında Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandım, Şubat 2001 tarihi itibariyle mezun oldum. Mezuniyetten sonra yaklaşık iki yıl süreyle Örem İnşaat Taahhüt şirketinde Tokat Turhal Şeker Fabrikası Uşak Şeker Fabrikası Yozgat Sorgun Şeker Fabrikası da Şantiye şefi olarak görev yaptım. Bu tarihten sonra 2003 yılının Eylül'üne kadar Almanya da yabancı dil eğitimimi tamamladım. 2004 yılında Habip TÜRKEKUL - Habiboğulları İnşaat Taahhüt Emlak Mühendislik Tic. Ltd. Şti' ni kurdum. Bugüne kadar; TC. Ziraat Bankası Ankara 1 ve 2. bölge müdürlüğünde 13 adet şube tadilatı, Tokat merkezde 9.590 m², Ankara/Çubuk ta 1.485 m², Kırıkkale Merkezde 28.542 m² olmak üzere toplam 39.617 m² yapsat inşaatı bitirdim. Evliyim 3 çocuk sahibiyim.

Uzmanlık Alanları: İnşaat Mühendisi, Proje Yönetimi, Proje ve Uygulama Denetçisi 2015, Adli-Kamulaştırma Bilirkişi 2017, Akustik Uzmanı (D1-Temel Bina Akustiği 2019, C1-Tipi Bina Akustiği 2018, A2-Tipi Mühendislik Akustiği 2018), Futbol Hakemi 1997.