T.C.
T.C. HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YIĞMA BİR SEYİR KULESİNİN DİNAMİK ANALİZİ

Gürkan BALTACI

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2020

Doç. Dr. Recep Kadir PEKGÖKGÖZ danışmanlığında, Gürkan BALTACI'nın hazırladığı **"Yığma Bir Seyir Kulesinin Dinamik Analizi"** konulu bu çalışma 08/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Doç. Dr. Recep Kadir PEKGÖKGÖZ

Üye : Prof. Dr. M. Arif GÜREL

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin ÖNCÜ

Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım

Doç. Dr. İsmail HİLALİ
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT iii
ÖNSÖZ iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iiv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
SİMGELER DİZİNİ vvi
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER 3
2.1. Kuleler 3
2.1.1. Haberleşme kuleleri 3
2.1.2. Sanayi bacaları 4
2.1.3. Ayaklı Su Depoları 5
2.1.4. Minareler 5
2.1.5. Seyir Kuleleri 6
2.2. Kule Tipi Yapıların Taşıyıcı Sistemleri 7
2.3. Kule Tipi Yapıların Tasarım Esasları 8
2.3.1. Tasarım ve Yönetmelikler 24
2.4. Kulelerde Dinamik Yük Meydana Getiren Etkiler 10
2.5. Seyir Kulelerinin Ekonomi - Sosyal Hayat İlişkisi 11
2.6. Kuleler ile İlgili Yapılan Çalışmalar 11
2.7. Yığma Yapı Kavramı 13
2.7.1. Yığma yapı 15
2.7.2. Yığma yapılarda kullanılan malzemeler 16
2.7.2.1. Tuğla 16
2.7.2.2. Doğal yapı taşları 16
2.7.2.3. Beton briket 17
2.7.2.4. Yığma yapılarda kullanılan harçlar 17
2.8. Yığma Yapıların Dinamik, Düşey ve Yatay Kuvvetler Altındaki Davranışları 17
2.8.1. Dinamik kuvvetler altındaki davranış 17
2.8.2. Yarı statik test 24
2.8.3. Benzeşik dinamik test 25
2.9. Yığma yapıların yatay ve düşey kuvvetler altında davranışı 25
2.9.1. Yatay ve düşey yük taşıyan yığma duvarlar 25
2.9.1.1. Yatay yükün duvarlara dağılımı 26
2.9.1.2. Yatay kuvvetler altında duvarlarda oluşan kırılma biçimleri 27
2.9.1.3. Yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarların göçme şekilleri 28
2.9.1.4. Düşey ve yatay yük taşıyıcı yığma duvarlarda donatı kullanılması 29
2.9.1.5. Yığma dolgu duvarlar 30
2.10. Yığma yapılarda hasar biçimleri 30
2.10.1. Yığma yapılarda deprem hasar seviyeleri 31
2.10.1.1. Hasarsız ya da az hasarlı yapılar 32
2.10.1.2. Az hasarlı yapılar 32
2.10.1.3. Orta hasarlı yığma yapılar 32
2.10.1.4. Ağır hasarlı yığma yapılar 32
2.10.1.5. Yıkılmış yığma yapılar 33
2.11. Kırsal yapıların hasar biçimleri 33
2.12. Yığma yapılarda onarım ve güçlendirme 34
2.12.1. Onarım ve güçlendirme ilkeleri 34
2.12.1.1. Duvarların güçlendirilmesi 35
2.12.1.2. Çimento Enjeksiyonu 36
2.12.1.3. Betonarme mantolama 37
2.12.1.4. Gergi demirleri ile güçlendirme 37
2.12.1.5. Betonarme hatıllarla güçlendirme 38
2.12.1.6. Ahşap dikme ve çaprazlarla güçlendirme 40
2.12.1.7. Yığma yapıların güçlendirilmesi ile ilgili diğer teknikler 40

2.13. Yapıların Dinamik Özelliklerinin Tespit Edilmesi 41
2.13.1. Yapıların dinamik özelliklerinin tespit edilmesi ve yararlanılan yaklaşımlar 41
2.13.1.1. Teorik yaklaşımlar 44
2.13.1.2. Deneysel yaklaşımlar 45
2.13.1.2.1. Deneysel modal analiz 46
2.13.1.2.2. Çevresel titreşimlerle modal analiz 47
2.13.1.3. Filtreleme yöntemleri 50
3. MATERYAL ve YÖNTEM 52
3.1. Yığma Bir Seyir Kulesi 52
3.2. Yığma Seyir Kulesinin Modellenmesi 53
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 59
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 72
KAYNAKLAR 73
ÖZGEÇMİŞ 77
EKLER 78
EK 1 - Seyir kulesi boy ve en kesitleri 78
EK 2 - Seyir kulesi tasarımında kullanılan malzeme fotoğrafları 83

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YIĞMA BİR SEYİR KULESİNİN DİNAMİK ANALİZİ

Gürkan BALTACI

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Recep Kadir PEKGÖKGÖZ
Yıl:2020, Sayfa:84

Yığma yapılarda kullanılan malzemelerin gevrek olması nedeniyle mühendislik açısından istenmeyen davranışlar görülmekte, taşıma kapasitesinin aşılması durumunda ani kırılmalara ve çatlamalara yol açmaktadırlar. Söz konusu nedenlerden dolayı yığma yapılar depreme dayanıklı yapılar olarak değerlendirilmemektedirler. Yığma yapı örneklerinden biri de kulelerdir. Seyir kulelerinde, özellikle tarihi olanlarında yaygın olarak yığma ve ahşap taşıyıcı sistemler görülmektedir.

Çalışmanın konusunu oluşturan seyir kuleleri gibi yığma tipe sahip yapıların deprem ve rüzgâra karşı davranışlarının bilinmesi ve dayanıklılıklarının artırılması gerekmektedir. Betonarme ve çelik yapıların hem yatay yükler ve hem de düşey altında nasıl davrandığı, elde edilen tecrübeler neticesinde matematiksel olarak da ifade edilirken, yığma yapıların düşey ve bilhassa yatay yükler altındaki davranışı belirsizliğini korumaktadır. Yığma yapıların deprem karşısında ki davranışı, yetersizlikleri, depreme dayanıklı donatı takviyeli binaların tasarımı, hasar görmüş binaların onarımı vb. konular üzerinde halen araştırmalar sürmektedir.

Bu çalışmanın amacı, yığma bir seyir kulesinin dinamik analizinin gerçekleştirilmesidir. Araştırma sonuçlarına göre, yığma yapıların basınç dayanımları her ne kadar yüksek olsa da kayma gerilmelerine karşı olan dayanım sınır değerlerinin basınç gerilmeleri karşısında oldukça zayıf kaldığı tespit edilmiştir. Bu tip narin yapıların sünekliliklerinin olabildiğince yüksek olması gerekirken tam tersi düşük sünekliliğe sahip yığma yapı tekniğiyle inşa edilmesi durumunda yapıda oluşacak gerilmelerin karşılanabilse bile, büyük depremlerde gevrek kırılmalardan kaynaklanan hasarlardan kaçınılamayacağı görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Kule, Yığma Yapı, Dinamik Analiz, Zaman Tanım Alanında Deprem Analizi.

ABSTRACT

MSc Thesis

DYNAMIC ANALYSIS OF A MASONARY TOWER

Gürkan BALTACI

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Recep Kadir PEKGÖKGÖZ
Year:2020, Page:84

Due to the brittleness of materials used in masonry structures, undesirable behaviors are seen in terms of engineering and if they are exceeded, they cause sudden breaks and cracks. For these reasons, masonry structures are not considered as earthquake resistant structures. One such example is the towers. In towers, masonry and wooden bearing systems are commonly seen, especially from historical ones.

The behavior of masonry structures such as cruise towers, which are the subject of the study, should be known and their durability should be increased. While the behavior of reinforced concrete and steel structures under both horizontal loads and verticals is expressed mathematically as a result of the experiences obtained, the behavior of masonry structures under vertical and especially horizontal loads remains unclear. Behavior of masonry structures against earthquakes, deficiencies, design of earthquake resistant reinforcement reinforced buildings, repair of damaged buildings and so on. Researches are still ongoing.

The aim of this study is to investigate the dynamic analysis of a masonry tower. According to the results of the research, although the compressive strength of the masonry structures is high, it is determined that the resistance limit values against shear stresses are quite weak against the pressure stresses. While the ductility of this type of delicate buildings should be as high as possible, on the contrary, it is observed that even if the stresses to be formed in the structure can be met in case of being constructed with the low ductility masonry structure technique, brittle fractures cannot be avoided at present.

KEY WORDS: Tower, Masonry Buildings, Dynamic Analysis, Time History Analysis of Earthquake.

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanması sırasında akademik bilgi birikimiyle desteğini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Recep Kadir PEKGÖKGÖZ"e, çalışmamızın mimari tasarımını gerçekleştiren Dr. Öğr. Üyesi Şahabettin ÖZTÜRK'e ve katkılarından ötürü inşaat mühendisi Dündar ERÖRS'e teşekkürlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Tokyo Skytree. 4
Şekil 2.2. Sanayi bacası. 4
Şekil 2.3. ABD Pewaukee'de 250,000 galonluk ayaklı su tankı. 5
Şekil 2.4. Sultanahmet Camii 6
Şekil 2.5. Rhine Kulesi - Düsseldorf. 6
Şekil 2.6. (a) Basit Örgü, (b) Çapraz Örgü, (c) Flaman. 14
Şekil 2.7. Yığma binanın dinamik davranışı 19
Şekil 2.8. A duvarı üzerinde oluşan deprem kuvvetleri ve kesme kuvvet diyagramı. 20
Şekil 2.9. Düzlem içi deprem zorlamaları ve etkileri 20
Şekil 2.10. B duvarının mesnetlendiği 2. ve 3. kat döşemelerine tekabül eden ivmeler 21
Şekil 2.11. X - yönünde deprem hareketi altında B duvarında düzlem dışı sismik kuvvetlerin oluşumu. 21
Şekil 2.12. B duvarında oluşan düzlem dışı ivme. 22
Şekil 2.13. T_w / T_f oranında etki edilmiş A duvarının dinamik tepkisi 23
Şekil 2.14. Tipik bir yarı statik test mekanizması 24
Şekil 2.15. Benzeşik dinamik deney uygulamasındaki önemli işlemler. 25
Şekil 2.16. Yatay yükün duvarlara dağılımı 26
Şekil 2.17. Yığma yapılarda yatay kuvvetlerin dağılımı. 27
Şekil 2.18. Yapı köşelerinin durumu 28
Şekil 2.19. Yatay ve düşey yük taşıyıcı duvarlarda göçme şekilleri. 28
Şekil 2.20. Basit donatılı yığma bina. 29
Şekil 2.21. Yığma dolgu duvarların ve çerçevelerin yatay yük altında davranışları. 30
Şekil 2.22. Çimento enjeksiyonu ile taş duvarın güçlendirilmesi 36
Şekil 2.23. Düşey ve yatayda betonarme takviye bantları ile çatlak onarımı. 37
Şekil 2.24. Gergi demirleri ile boşluklar arası duvar parçası güçlendirme. 38
Şekil 2.25. Tek ve çift taraflı düşey hatıllarla duvar güçlendirme. 39
Şekil 2.26. Ahşap çaprazlarla güçlendirme. 40
Şekil 2.27. Pencere boşlukları açılmış yığma bir duvarın çelik çaprazlarla takviyesi 40
Şekil 2.28. Deneysel ve teorik modal analiz işlem akış şeması. 43
Şekil 2.29. Sonlu eleman alt modellerinden bazı örnekler. 45
Şekil 2.30. Deneysel Modal Analizde Genel Bir Ölçüm Düzeneği. 47
Şekil 2.31. Operasyonel Modal Analiz. 48
Şekil 3.1. Seyir Kulesi Plan ve Kesitleri 52
Şekil 3.2. Seyir kulesinin Sap2000 programındaki modellemesi. 54
Şekil 3.3. AFAD Türkiye deprem tehlike haritaları interaktif web uygulamasından alınan spektrumlar 57
Şekil 4.1. Modal analiz sonucu x doğrultusu ilk beş moda ait periyot değerleri 59
Şekil 4.2. Seyir kulesinde kontrol edilen kritik kesit ve eleman isimleri. 60
Şekil 4.3. Statik itme eğrisi ve sınır durumları. 61
Şekil 4.4. Deprem kayıtları ivme – zaman grafikleri 66
Şekil 4.5. Zaman tanım alanı analizleri tepe noktası yer değiştirme – zaman grafikleri 69

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Yakıtlardaki sülfür miktarı 7
Çizelge 3.1. Malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri 54
Çizelge 3.2. TBDY-2018 Yığma duvarların karakteristik basınç dayanımları 55
Çizelge 3.3. TBDY-2018 Duvarların başlangıç kesme dayanımları 56
Çizelge 3.4. Seyir kulesi tasarım depremi parametreleri 57
Çizelge 4.1. Performans düzeyleri ile ilgili hesap yöntemleri ve gerilme, şekil değiştirme sınırları 62
Çizelge 4.2. Azaltılmamış deprem etkisi altında tasarım depremi gerilme kontrolleri 62
Çizelge 4.3. Azaltılmış deprem etkisi altında tasarım depremi gerilme kontrolleri 63
Çizelge 4.4. Tasarım depremi öteleme kontrolleri 64
Çizelge 4.5. Analizlerde kullanılan deprem kayıtlarının özellikleri 65
Çizelge 4.6. Deprem ivme kayıtları kullanılarak yapılan analiz gerilme sınuçları ve sınır değerler 68
Çizelge 4.7. Deprem ivme kayıtları kullanılarak yapılan analiz öteleme sınuçları ve sınır değerler 71

SİMGELER DİZİNİ

ACI	Amerikan Beton Enstitüsü
H2S	Hidrojen Sülfür
FRP	Fibrik olarak güçlendirilmiş polimer
CFCM	Carbon Fiber Cement Matrix
FFT	Fast Fourier Transform
FRF	Frequency Response Function
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
f_b	Kargir birimin standartlaştırılmış ortalama basınç dayanımı
f_k	Yığma duvar karakteristik basınç dayanımı
f_m	Harcın ortalama basınç dayanımı (28 günlük)
f_{vk}	Duvar üzerindeki ortalama düşey gerilmeleri kullanarak elde edilen duvar karakteristik basınç dayanımı
f_{vko}	Eksenel gerilmenin bulunmadığı durumdaki karakteristik kesme dayanımı
σ_d	Yük katasayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan düşey basınç gerilmesi
σ	Basınç gerilmesi
τ	Kayma gerilmesi
S_s	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
S_1	1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
S_{DS}	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
G	Sabit yük etkisi
Q	Hareketli yük etkisi
S	Kar yükü etkisi
H	Yatay zemin etkisi
$Ed^{(H)}$	Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas yatay deprem etkisi
$Ed^{(X)}$	(X) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas yatay deprem etkisi
$Ed^{(Y)}$	(Y) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas yatay deprem etkisi
$Ed^{(Z)}$	(Z) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas yatay deprem etkisi
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
D	Dayanım fazlalığı katsayısı
DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi

1. GİRİŞ

İnsanoğlu Tarih boyunca ısınma, barınma gibi gereksinimleri giderebilmek amacıyla yapılara ihtiyaç göstermişler ve bu ihtiyaç karşısında ilk çağlardan zamanımıza dek günün koşulları ve teknolojileri çerçevesinde birçok değişik malzemeden yararlanarak yaşam alanları inşa etmişlerdir.

Her ne kadar günümüzde betonarme ve çelik yapılar en yaygın yapı türleri olsa da, dünyanın çeşitli ülkelerinde ve ülkemizin de birçok bölgesinde yığma yapılar hala inşaa edilmektedir (Çöğürcü, 2007).

Türkiye'deki yapıların bilhassa Anadolu'nun kırsal kesimlerinde ve büyük şehirlerin gecekondu semtlerinde büyük çoğunluğu yığma yapı şeklinde bulunmaktadır. Bu durum büyük ihtimalle gelecekte de geçerli olacak çünkü malzeme temininin kolay olması, nispeten ucuz olması ve yapının gerektirdiği basit işçilik yığma yapıların cazibesini halen devam ettirmektedir (Budak ve ark., 2004).

Yığma yapıların sahip olduğu en büyük dezavantaj ağır, hantal ve gevrek malzemeden inşa edilmiş olmalarıdır. Yapı ağırlığının fazla olması deprem sırasında oluşabilecek atalet kuvvetlerinin fazla olmasına yol açmaktadır. Bu husus yapı elemanlarının oldukça fazla iç tesirlere maruz kalması anlamına gelmektedir. Bunun yanında yığma yapıların rijit olmaları esnek yapılar gibi enerji yutma ve esneme becerisine sahip olmamaları demektir. Neticede, deprem esnasında ortaya çıkan enerjiyi azaltma kapasitesinin düşük olmasından dolayı büyük yatay kuvvetlere maruz kalmaktadırlar (Koç, 2016).

Üstelik yığma yapılarda yararlanılan malzemelerin gevrek olması nedeniyle mühendislik açısından istenmeyen davranışlar görülmekte, taşıma limitinin aşılması durumunda ani kırılmalara ve çatlamalara yol açmaktadırlar. Söz konusu nedenlerden dolayı yığma yapılar depreme dayanıklı yapılar olarak değerlendirilmemektedirler. Ancak yığma yapılar deprem açısından tamamen olumsuz yapılar şeklinde

değerlendirilmemelidirler. Diğer yapılarda olduğu gibi yığma yapıların da yönetmelik ve standartlara uygun olarak yapılması ve mühendislik çalışması görmesi durumunda emniyetli ve sağlam olabilirler (Çöğürcü, 2007).

Bu yapı örneklerinden biri de kulelerdir. Minareler, haberleşme kuleleri, sanayi bacaları, deniz fenerleri, radar kuleleri, seyir kuleleri ve ayaklı su depoları gibi yapılar kule türü yapılar olarak değerlendirilebilir. Bu tip yapılar genellikle çelik, betonarme, ön gerilmeli betondan imal edilmektedir. Bu yapılardan seyir kuleleri de özellikle tarihi olanlarda yaygın olarak yığma (tuğla, kesme taş vb.) ve ahşap taşıyıcı sisteme sahip olanları da görmek mümkündür (Acar, 2009).

Çalışmanın konusunu oluşturan seyir kuleleri gibi yığma tipe sahip yapıların deprem ve rüzgâra karşı davranışlarının bilinmesi ve dayanıklılıklarının artırılması gerekmektedir. Teknolojik ilerlemeler doğrultusunda ön gerilme teknolojisinden yararlanarak bu tip yapıların dayanıklılıklarının artırılması sağlanabilmektedir. (Kökan, 2019).

Betonarme ve çelik yapıların hem yatay ve hem de düşey yükler etkisi altında nasıl davrandığı, elde edilen tecrübeler neticesinde matematiksel olarak da ifade edilirken, yığma yapıların düşey ve bilhassa yatay yükler altındaki davranışı belirsizliğini korumaktadır. Yığma yapıların deprem karşısında ki davranışı, yetersizlikleri, depreme dayanıklı donatı takviyeli binaların tasarımı, hasar görmüş binaların onarımı vb. konular üzerinde halen araştırmalar sürmektedir (Bayülke, 1980).

Yukarıda açıklanan hususlar çerçevesinde bu çalışmada, yığma bir seyir kulesinin dinamik analizi yapılacaktır.

2. KURAMSAL TEMELLER

Bu bölümde kule tipi yapılar hakkında genel bilgiler verilecektir.

2.1. Kuleler

Kule türü yapılar denildiğinde seyir kuleleri, minareler, sanayi bacaları, haberleşme kuleleri ve ayaklı su depoları akla gelmektedir. Minareler ve sanayi bacalarının kütleleri ve rijitlikleri yükseklikleri boyunca yayılı haldedir. Ayaklı su depoları ve haberleşme kuleleri taşıyıcı sistemin yanında yapılış amaçları doğrultusunda depo, anten, baş gibi kısımlardan meydana gelmektedir.

2.1.1. Haberleşme kuleleri

Haberleşme kulesi televizyon ve radyo sinyallerinin taşınması için tesis edilmektedir. Televizyon ve radyo sinyalinin uzak bölgelere iletilmesi amacıyla güçlü ve büyük antenlere gereksinim duyulmaktadır. Bundan dolayı haberleşme kulelerinin inşaları yüksek yapılmaktadır. Topografya nispetinde haberleşme kule yükseklikleri farklılık göstermektedir (Arslan, 2018).

Genellikle Haberleşme kuleleri anten, baş ve gövde bölümlerinden meydana gelmektedir. Şekil 2.1, Japonya'daki 634 metre yüksekliğine sahip dünyanın en yüksek iletişim kulesi Tokyo Skytree gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Tokyo Skytree. (https://www.japan-guide.com/e/e3064.html)

2.1.2. Sanayi bacaları

Zararlı atıkların (gaz, kömür tozu vb.) çevreye güvenilir bir biçimde atılması amacıyla inşa edilen "Sanayi bacaları", kütle ve rijitlikleri alt taraftan üst tarafa doğru azalarak düzgün şekilde dağılım göstermektedir.

Sanayi bacalarının yüksek inşa edilmelerinin başlıca 2 nedeni bulunmaktadır. Birincisi baca yüksekliği artışıyla baca çekişinin iyileşmesi, ikinci nedeni de atık gazların atmosfere olan zararlarını minimuma indirmek amacıyla yeterli yükseklikte bulunma zorunluluğudur. Örnek olarak Şekil 2.2'de bir sanayi bacası gösterilmiştir. Türkiye'nin en yüksek bacası, 75 metre yüksekliğe sahip Orhaneli Termik Enerji Tesisi Projesinde inşa edilmiştir (Nuhoğlu ve Şahin, 2005).



Şekil 2.2. Sanayi bacası. (Nuhoğlu ve Şahin, 2005)

2.1.3. Ayaklı Su Depoları

Ayaklı su deposu taşıyıcı sistem ve bu sisteme ait bir hazneden meydana gelmektedir. Bu hazneler küp, küresel, konik ve silindirik biçimde dizayn edilebilirler. Taşıyıcı sistemler de kabuk, kafes, çerçeve elemanlarından oluşabilmektedir. Hazne bu taşıyıcı sisteme mesnetlenebilirken, bina türü bir yapıya da mesnetlenebilir (Livaoğlu, 2005).

Ayaklı su depoları inşa nedeni, işletme debisinin yeterli seviyelerde olabilmesi için suyun belli bir yükseklikte korunmasıdır.



Şekil 2.3. ABD Pewaukee'de 250,000 galonluk ayaklı su tankı (http://www.ruekertmielke.com/project-experience/2017/12/19/city-hall-elevated-tank).

2.1.4. Minareler

Minareler, müslümanlıkta ibadetlerin gerçekleştirildiği camilerin bir parçası şeklinde inşa edilen narin yapılardır. İslam'ın ilk yıllarında ibadet için çağrı yapılması amacıyla inşa edilen bu yapılar, sonraki dönemlerde sembolik bir anlama sahip olmuşlardır. Minareler, dünyanın farklı bölgelerinde, inşa edildiği bölgenin sahip olduğu malzeme, yapıldığı andaki sanat, kültür ve teknoloji birikimleriyle ilişkili ve çeşitli özelliklere sahip olarak inşa edilmeye devam edilmektedir (Acar, 2009).

Osmanlı padişahlarından Sultan Ahmet tarafından yaptırılan Sultan Ahmet camii Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Sultanahmet Camii (https://gezipgordum.com/sultanahmet-camii/)

2.1.5. Seyir Kuleleri

Seyir kuleleri genel olarak radyo ve televizyon yayıncılığı yanında toplumsal kullanım adına yemek, geniş manzara amaçları doğrultusunda dizayn edilen yapılarıdır. Özellikle bulunduğu bölgenin görsel seyri için yerli ve yabancı turistler tarafından oldukça rağbet gören bu yapılar, bulunduğu bölgenin sahip olduğu geleneksel yapı tarzına ve hedeflenen görevleri paralelinde dizayn edilebilmektedir. Almanya Düsseldorf şehrinde bulunan televizyon kulesi Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Rhine Kulesi - Düsseldorf. (https://www.youtube.com/watch?v=Jdbhg2kYm5k)

2.2. Kule Tipi Yapıların Taşıyıcı Sistemleri

Daha öncede ifade edildiği gibi seyir kuleleri, haberleşme kuleleri, ayaklı su depoları, minareler, sanayi bacaları, radar kuleleri ve deniz fenerleri gibi kule tipi yapılar çoğunlukla ön gerilmeli beton, betonarme ve çelikten inşa edilmektedirler. Nitekim özellikle eski teknolojiye sahip minare ve baca gibi yapılara yığma olarak da karşılaşılabilmektedir. Günümüz şartlarında bu tip yapılar incelendiğinde seyir kuleleri, haberleşme kuleleri ve sanayi bacalarının diğerlerine nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir.

Baca sistemlerinde yüksekliğin az olduğu durumlarda, yüksek ısıya dayanan tuğla tercih edilmektedir. Atık gaz içeriğinde çeliği korozyona uğratan maddelerin olması, bundan dolayı çeliğin onarım ve bakım maliyetlerinin artması, dış etkilere karşı betonarme yapıya nazaran dayanımının düşük olması gibi nedenlerden dolayı bacalarda genel olarak betonarme yapı tercih edilmektedir (Aydoğan ve Hasgür, 1988).

Çizelge 2.1. Yakıtlardaki sülfür miktarı (Aydoğan ve Hasgür, 1988)

Yakıt	Sülfür miktarı (ağırlıkça % olarak)
Odun ve odun kömürü	-
Kömür	0,5-3,5
Dizel yakıtlar (ağır akaryakıt)	0,1-1,0
Kreozot-zift	≥5,0
Hava gazı	≤0,9
Doğal gaz	≥ 0,3 (H_2S olarak)
Kuzey Denizi gazları	-
Ağır yağlar	3,5
Hafif yağlar	0,3
Gaz yağı	≤0,1

Bacalar, uzun silindir şeklindeki yapı türlerinin pek çoğunda olduğu gibi çeşitli sorunları nedeniyle öteki kule türü yapılardan farklı değerlendirilirler. Bu sorunlardan en önemlisi borudaki gazların korozif ve termal etkilerinin meydana gelmesidir.

Bunun yanında yalıtım malzemesi ile beton arasındaki farklı sıcaklık mekanizması ve yüksek ısı, betonun korunmasını zorunlu hale getirir (Pinfold, 1975).

Kuleler tasarım esnasında bacalara nazaran nispeten daha az sorunla karşılaşılırlar. Yüksek sıcaklık sorunu olmazken uzun antenler güneşe maruz kaldığından saparlar. Bunun yanında rüzgar da dikkate alınmalıdır. Kulelerin karşı karşıya kaldığı diğer sorunlar şunlardır (Pinfold, 1975):

- Galeri ve platformların desteklenmesi,
- Lokanta ve asansör için gereken donanımlar gibi mekanik servislerin sağlanması,
- Güneş ve rüzgara maruz kalması nedeniyle antende meydana gelebilecek açısal dönmelerin önlenmesi,
- Kamuya açık alanlarda dinamik hareketin kısıtlanması,
- Yeterli yanma direnci ve tehlike çıkısının temin edilmesi.

Radar kuleleri ise çoğunlukla 2 bölüm şeklinde değerlendirilmektedir: radar kısmı ve kule yapısı. Deniz fenerleri genel görünüş açısından bacalarla benzerlik göstermekle beraber taşıyıcı sistemlerinde bulunan en kayda değer fark duvarların içindeki ve taşıyıcı özelliğine sahip merdivenlerdir (Beyazoğlu, 2006).

2.3. Kule Tipi Yapıların Tasarım Esasları

Kule türü yapılara yönelik uluslararası standartlar ve tasarım kriterleri bu başlık altında incelenecektir.

2.3.1. Tasarım ve Yönetmelikler

Betonarme yapıların yüksekliklerinin artmasıyla yatay yüklerin etkisi de gözle görülür şekilde artarken, yatay yükler de düşey yüklere göre oldukça önemli olmaktadır (Beyazoğlu, 2006).

Kule tipi yapılarda karşılaşılan kayda değer sorunlardan biri de II. mertebe etkileridir. Yanal yükün taşıyıcı sistem üzerinde oluşturacağı yanal deplasmanlar nedeniyle meydana gelen II. mertebe momentlerinin yapıya hasar vermemesi adına bu momentlerin küçük olması gerekmektedir. Meydana gelebilecek II. mertebe momentlerinin daha önce hesaplanmış olan moment değerinin % 20 düzeyini geçmesi arzu edilmez. Hesaplama safhasındaki II. mertebe momenti daha önce hesaplanmış momente ilave edilerek toplam moment bulunur (Özden ve Kumbasar, 1993).

Günümüze dek betonarme yapı hesaplamalarında izin verilen gerilmelerden yararlanılarak elastik dizayn tercih edilmiştir. Bu tip günümüz yapılarının çökme dayanımı ve bununla birlikte sehim ve çatlama emniyetini sağlaması çözüm için yeterli olarak değerlendirilmektedir (limit durum metodu). Limit durum tekniğinin faydaları arasında yapının farklı bölümlerine ait güvenlik katsayılarının uniform olarak alınmasıdır. Böylelikle güvenli bölgede kalınabilmektedir (Pinfold, 1975).

Esasen limit durumlar, kesin limit durumu (güç tükenmesi limit durumu veya emniyet limit durumu) ve kullanma limit durumu şeklinde 2 gruba ayrılmaktadır. Kesin limit durumunun aşılması durumunda yapı tümüyle elden çıkar. İşletme limit durumunun aşılması durumunda ise yapı işletme işlevini yapamaz. İşletme limit durumu, yapıdaki çatlak ya da benzer durumların olmaması şeklinde ifade edilmektedir (Celep ve Kumbasar, 2005; Özden ve Kumbasar, 1993).

Kule tipi yapılar için önem arz eden dinamik yüklerin etkisiyle beraber süneklik gibi bir takım yeni limit durumlar gerçekleşebilmektedir. Bu limit durumlar şunlardır:

- Kesin Limit Durumlar
  - ✓ Stabilite kontrolü.
  - ✓ Göçme mekanizması kontrolü.
  - ✓ Kritik bölge ve kesitlerin taşıma gücü düzeyi kontrolü.
  - ✓ Süneklik kontrolü.

- İşletme Limit Durumlar
  - ✓ İşletme yükleri altında gerilme sınırlamaları.
  - ✓ Limit deformasyonlar.
  - ✓ Düktilite (Özden ve Kumbasar, 1993).

Konuya ilişkin bazı yönetmelikler ülkelere göre oldukça farklılık göstermektedir. Pek çok ülke kule tasarımları için özel bir yönetmelik kullanmamaktadır. Bu ülkeler genel betonarme yönetmeliğinden yararlanmaktadır. Amerika, Polonya, Almanya ve Fransa gibi ülkeler ise betonarme yapılar için özel şartnameler hazırlamışlardır. Birbirlerinden bağımsız şekilde hazırlanan bu şartnameler, her ülkenin kendi tecrübelerini yansıtmakta olup uygulamada da çok çeşitlidirler (Pinfold, 1975).

2.4. Kulelerde Dinamik Yük Meydana Getiren Etkiler

Mühendislik yapıları, estetik, ekonomi ve emniyet şartları dikkate alınarak projelendirilir. Aynı zamanda yapının hizmet verdiği süre boyunca etkisinde kalabileceği yük ya da yük etkilerinin gerçeğe yakın bir biçimde tespit edilmesi gerekmektedir.

Kulelere etkiyen yükler; dinamik, hareketli ve kalıcı yüklerdir. Kuleye ait öğeler kalıcı yük olarak ifade edilir. Hareketli yükler dikkate alınmayacak kadar küçük olduğu için göz önünde bulundurulmayabilinir. Hareketli ve kalıcı yükler statik yük şeklinde nitelendirilir.

Dinamik yükler ise deprem ve rüzgâr yükleridir. Dinamik sözcüğü zamanla değişen anlamını taşır. Mesela bir yapıdaki yükün etkime yeri, doğrultusu ve büyüklüğü zamana bağlı olarak değişebilir. Netice olarak da taşıyıcı sistemde oluşan yer değiştirme, şekil değiştirme ve iç kuvvetler zamanın bir fonksiyonu olarak değişmektedir.

2.5. Seyir Kulelerinin Ekonomi - Sosyal Hayat İlişkisi

Seyir Kuleleri ekonomi ve sosyal hayata katkıları yadsınamaz boyuttadır. İnşa sürecinde pek çok sektörden malzeme sağlanırken bu malzemelerin montaj işçiliğinde ise büyük boyutlu iş gücü gereklidir. Yapının tamamlanması sonrasında çok fazla amaç doğrultusunda hizmet verdiği dikkate alınırsa hem inşa öncesinde hem de inşa sonrasında istihdam kaynağı oluşturmaktadır.

Yapı içerisinde bulunan sosyal birim mevcudiyeti de bireyleri sosyal ve kültürel yönden geliştirmektedir. Sergiler, kongre merkezleri, sanatsal faaliyetler ve fuar alanları gibi bu yapılar da bireylerin sosyal yönlerini geliştirecektir. Bunların yanında bu tarz yapıların yerli ve yabancı turizm açısından da milli gelire ufak da olsa katkıları bulunmaktadır.

Yeni teknoloji ve tasarım tekniklerinden yararlanılarak inşa edilen kulelerde günümüzde birçok çevresel etken de dikkate alınmaktadır. Yüksek teknolojiye sahip ülkelerde bu yapılarda kendi enerjileri kullanılırken bilhassa enerji gereksinimleri ve çevre kirliliği nedeniyle zararlı yönleri de bulunmaktadır. Kulelerde çevresel zararların en az seviyede tutulabilmesi için özel olarak dizayn edilmiş yapı malzemeleri tercih edilmektedir (Babur, 2012).

2.6. Kuleler ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Kule tipi yapıların uygulama tekniği, hesap zorluğu ve tasarımından dolayı diğer yapılardan farklı biçimde değerlendirilmektedir. Kule tipi yapılar üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde hesap yöntemlerine ilave olarak uygulama metotları üzerinde de yoğunlaşılmıştır.

Pinfold (1975) tarafından yapılan çalışmada kuleler ve betonarme bacalar hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Tasarım teknikleri, sıcaklık etkileri, uygulama, yalıtım ve yanal yüklere ilişkin bilgiler verilmiştir.

Houghton ve Carruther (1976) tarafından yapılan çalışmada rüzgarın yapılar üzerindeki etkisi incelenmiş ve de baca ve kule gibi özel yapılardaki rüzgar etkileri teorik ve deneysel olarak açıklanmıştır.

Jackson (1978) tarafından yapılan çalışmada bacalarda oluşan asit, sıcaklık sorunu, dizayn ve yalıtımda göz önünde bulundurulması gereken hususlara değinilmiştir. Bunun yanında uygulamada yararlanılan birleşim elemanları hakkında bilgiler verilmiştir.

Dowrick (1978) tarafından bacalar, kütlesi boyunca düzenli dağılmış kabul edilip incelenirken, gözetleme kulesi ve TV kulesi gibi yapılar de ters sarkaç şeklinde varsayılarak bu yapıların deprem karşısındaki dinamik özellikleri incelenmiştir.

Güven (1980) tarafından kule ve bacaların sayısal hesap yöntemleri ayrı ayrı incelenmiş ve bunlara etkiyen yükler araştırılmıştır. Bunun yanında konuyla ilgili sayısal örnek çözümlerine yer verilmiştir.

Aydoğan ve Hasgür (1988) tarafından betonarme bacalar hakkında yapılan çalışmada, betonarme baca elemanları, temel, kaplama ve gövde ile ilgili bilgiler sunularak, bacaya gelen dış yükler ve hesap yöntemleri incelenmiştir.

Özden ve Kumbasar (1993) tarafından yüksek betonarme binaların projelendirilmesi üzerine çalışma yapılmıştır. Bunun yanında yüksek binalara ilişkin stabilite kontrolü, dinamik hesap yöntemleri ve 2. mertebe etkileri açıklanmıştır.

Hansen (1998) tarafından ise baca tipindeki yapıların rüzgâr etkisiyle başlayan titreşim etkileri incelemiş olup çeşitli baca tipleri için bazı karakteristik bilgiler verilmiştir.

Kawai (1997, 1999) tarafından kulelerin rüzgâr hareketleri incelenmiş, bu yapıların rüzgâr yönüne göre en ve genişliklerinin değişimleri analiz edilmiştir.

Hara, Kato ve Ohya (1999), soğutma kulelerine etkiyen periyodik rüzgar yüklerini sonlu elemanlar tekniğiyle analiz etmiş ve sonuçları monolitik yükleme neticeleriyle karşılaştırılmıştır.

Cho ve Tamura (1999) tarafından baca ve kulelere farklı yönlerde etkiyen rüzgârları ve bundan kaynaklanan titreşimlerin sönümleri arasındaki fark incelenmiş, doğal frekansla sönüm oranı arasında bir ilişki kurulmuştur.

Wilson (2000) tarafından betonarme bacaların depreme dayanıklı dizaynı için uygun süneklik faktörleri doğrultusunda hesaplar yapılmış ve sonuçları uluslararası baca yönetmelikleri ile karşılaştırılmıştır.

Halabian ve El Naggar (2000) tarafından kuvvetli rüzgarların yüksek yapılar üzerindeki etkileri malzeme etkisi de dikkate alınarak analiz edilmiştir.

Chopra (2001) tarafından baca tipi yapılar konsol şeklinde ve kütleyi konsol boyunca düzgün yayılmış kabul edilerek bu tür yapıların tek serbestlik dereceli kabul edilmesi gerektiği ileri sürülmüştür.

Celep ve Kumbasar (2005) tarafından betonarme elemanlarına ilişkin genel kurallar, boyutlandırma esasları, betonarme taşıyıcı sistemleri hesap modelleri Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik ve TS 500 doğrultusunda açıklanmıştır.

Kule tipi yapılar üzerine yapılan çalışmalar yanal yüklere karşı hassas olmasından dolayı çoğunlukla bu konuda dinamik analiz çalışmaları yapılmıştır.

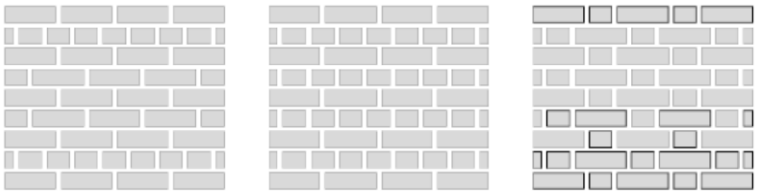
2.7. Yığma Yapı Kavramı

Yığma yapılar, bir iskelet sistemine sahip olmayan, yapıyı teşkil eden birimlerin sırayla yükün zemine aktarımıyla yük iletimini yerine getiren sistemlerdir. Bu tip yapılarda taşıyıcı özelliği duvarlar gösterirken duvarı teşkil eden her yapı birimi (ağaç,

tuğla, taş) kendine düşen yükü sonraki birime aktararak yükün zemine iletilmesi sağlanmış olur (Özkul, 2016).

Blok, kerpiç, tuğla, ahşap ve taş gibi taşıyıcı yapı elemanlarıyla düzenlenmiş olan yapılar, dış etkilere karşı dayanan materyalle üretildiği için pek çoğu zamanımıza kadar korunmuştur. Yığma yapı, kırılgan ve elastiklikleri düşük olan malzemeler kullanılarak yapılır. Yapımı esnasında ve mukavemetlerinin korunmasında işçiliğin önemi bulunmaktadır. Yığma yapının, hareketli ve zati düşey yükler ile yatay deprem kuvvetlerine karşı mukavemeti; duvar geometrisi, yararlanılan materyal dayanımı, yığma blokların birleştirilme biçimiyle doğru orantıya sahiptir.

Yığma yapı davranışlarında duvarı meydana getiren blokların basınca karşı direnci oldukça önemlidir. Bu blok yapıları gereği çekme dayanımı çok düşüktür. Bundan dolayı, depremin etkisi altındaki duvarın hem düzleminde hem de düzlemine dik gelen eğilme dayanımı oldukça düşüktür. Tuğla ve taş gibi bloklar yangın hasarlarına karşı dayanımı yüksek malzeme grubundandır. Bloklara ait gözenek ve su emme karakteristiği don hasarına karşı mukavemetlidir. Birim hacmin sahip olduğu ağırlık yüksek olduğundan meydana getirilen yığma yapılar da ağır olurlar. Bu biçimdeki fazla ağırlığın olması durumu yapının durabilitesini de artırmaktadır. Yığma yapılardaki duvarların oluşturulmasında faydalanılan materyalin dizilimi ve birbirinden değişik yapı elemanlarının birlikte kullanılması gibi etkenlerle çeşitli kombinasyonlar kullanılarak pek çok teknikten yararlanılmıştır. Genellikle yığma yapılar tuğla ve taş gibi temel malzemeler bağlayıcı harçlarla birbirlerine bağlanarak oluşturulmaktadır. Yığma yapı da yığma birimlerin bağlayıcıyla farklı örülme şekilleri ile farklı birçok örgü tekniği meydana gelmiştir. Tuğla örgü teknikleri Şekil 2.6.'de verilmiştir (Lourenço, 1998).



(a) (b) (c)

Şekil 2.6. (a) Basit Örgü, (b) Çapraz Örgü, (c) Flaman (Lourenço, 1998).

Tuğlalar, mimari detaylara kolayca adapte olan ve çevresel şartlara uzun yıllar dayanan bir karakteristiğe sahiptir. Bundan dolayı geçmişte yapılan birçok yapı yığma biçimde inşa edildiğinden çevresel faktörlerin tamamına dayanarak bugüne kadar gelebilmiştir. Aynı zamanda yığma yapılar geri dönüşümü basit ve kolayca ortadan kaldırılan yapılar arasındadır. Ayrıca yapıda faydalanılan temel malzemeler olan taşların kolay bulunabilirliği ekonomik anlamda da avantaj getirmektedir.

2.7.1. Yığma yapı

Mühendislik yönünden, duvarların tamamının taşıyıcı olarak görev yaptığı yapılara "yığma yapı" adı verilmektedir. Bu duvarlarda ortaya çıkabilecek hasar ve zararlar doğrudan taşıyıcı sistemi üzerinde etkili olmaktadır. TS2510 Kargir Duvarlar Hesap ve Yapım Kuralları içerisinde geçen kargir duvar ve yığma kargir yapı için yapılan tanımlar şöyledir:

Kargir duvarlar; gazbeton blok, kireç, beton briket, kumtaşı ve tuğla gibi yapay taşların ya da doğal taşların çimento, kireç gibi mineral bağlayıcılarla yapılan harçların kullanılarak örülmesi vasıtasıyla meydana getirilen yapı elemanlarıdır.

Yığma kargir yapılar ise, taşıyıcı duvarları kargir duvar tanımına uyan ve döşemeleri betonarme ya da betonarmenin verdiği yatay rijitliği temin eden bir başka döşeme olan yapılardır.

Türkiye'de, kırsal bölgelerdeki yığma yapılar, duvarlarının moloz taşla örüldüğü, harç olarak çamurun kullanıldığı ve damları topraktan yapılan yapılardır. Anadolu'daki evler incelendiğinde bir çeşitlilik bulunmaktadır. Ev duvarları zaman zaman taştan, zaman zaman da kerpiç, briket ya da harman tuğlasındandır. Döşemeler ise ahşap ya da betonarme olabilmektedir. Damlar da toprak, beton veya ahşap iskelet üstüne çinko ya da kiremittendir (Çöğürcü, 2007).

2.7.2. Yığma yapılarda kullanılan malzemeler

Bu bölümde genellikle yığma binalar için kullanılan malzemelerden bahsedilecektir.

2.7.2.1. Tuğla

Yığma yapı duvarları için yararlanılan iki çeşit tuğla bulunmaktadır. Bunlar, harman ve fabrika tuğlalarıdır.

Harman tuğlaları, balçık, killi toprak ve kilin beraber ya da ayrı ayrı yoğrularak gerektiği zaman da kiremit tozu, kum, öğütülmüş tuğla, su ve benzerleri ile karıştırılarak şekil verilmesi sonrasında kurutulup genel olarak harman yerindeki ocaklarda pişirilmesi yoluyla üretilen ve duvar yapımında yararlanılan bir malzemedir.

Fabrika tuğlaları balçık, killi toprak ve kilin harman edilip ya da ayrı ayrı olarak, gerektiği zamanda kül, kiremit tozu, öğütülmüş tuğla, kum, su ve benzerleriyle karıştırılarak makineler yoluyla şekil verilmesi ve kurutulması sonrasında fırında pişirilmesiyle üretilen ve duvar yapımında faydalanılan bir malzemedir.

2.7.2.2. Doğal yapı taşları

Doğal yapı taşları, tabiatta var olan taş ocaklarından çıkarılan, teknolojik, petrografik, atmosfer koşullarına dayanıklı ve homojen karakteristikleri açısından yapı işlerinde kullanılmaya uygun malzemelerdir.

Yığma bina yapımında faydalanılacak doğal taşlar ocak taşı olmalı ve gözle muayenesinde çatlak veya yarık kısımlar ve hava etkisiyle ayrışan ya da ayrışmaya başlamış kısımlar olmamalıdır. Taşların, çıkarıldıkları ocağın açık yüzeyine yakın yerinden elde edilenlerin, rengi değişmiş, bozulmuş ve hava tesirleri ayrışan kısımları taş ocağındayken temizlenmelidirler (Kaya, 2003).

2.7.2.3. Beton briket

Beton briketler duvar yapımı amacıyla kullanılan, suni ve/veya tabii agregalar ile katkı maddeleri, su ve çimentodan yararlanılarak yapılan, en fazla 135 mm anma yüksekliğine sahip beton malzemelerdir.

Beton briketler dolu briket ve boşluklu briket olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Ayrıca bu iki sınıf da basınç dayanımlarına göre BB2, BB4, BB6 ve BB12 olmak üzere dört tipe ayrılırlar.

2.7.2.4. Yığma yapılarda kullanılan harçlar

Yığma yapılarda, taşıyıcı duvarları teşkil eden taş ve tuğla gibi elemanları birbirlerine bağlayan malzemelere "harç" adı verilmektedir. Harçlar basınç dayanımlarına göre; A sınıfı harç, B sınıfı harç, C sınıfı harç, D sınıfı harç, E sınıfı harç olmak üzere 5 farklı sınıfta kategorize edilmektedir.

2.8. Yığma Yapıların Dinamik, Düşey ve Yatay Kuvvetler Altındaki Davranışları

2.8.1. Dinamik kuvvetler altındaki davranış

Yığma yapıların dinamik kuvvetler altındaki gösterdiği mekanik özellikler, günümüzün yapı elemanları olan çelik ve betonun mekanik özellikleri göz önüne alındığında oldukça karmaşık yapıya sahiptir. Bilhassa yığma yapının mekanik özellikleri üzerinde etkili olan birçok etken bulunmaktadır.

Yapılara ait sönüm oranları, mod şekilleri ve periyotlar dinamik karakteristikleridir. Yığma yapıların çok rijit olmaları nedeniyle çoğunlukla doğal titreşim çok küçük periyotlara sahiptir (~0,05–0,20 saniye). Bir yapıya ait periyot; dolu duvar oranı, boyu, eni ve kat yüksekliği ile ilişkilidir. Yüksek yapılar uzun periyoda sahiptir. Büyük boy ve ene sahip yapılar ise kısa periyotlara sahip olur. Deprem sırasında yapıda hasar oluşurken çatlama olursa periyot uzamaktadır. Yapı rijitliğinin

artmasıyla periyot da kısalmaktadır. Mesela, betonarme çerçeve yapılara ait periyotlar, yığma yapıların periyoduna göre uzundur. Betonarme perde yapılarda ise periyotlar kısadır. Betonarme yapılarda kat adedi ile periyot arasında yaklaşık olarak formül Denk. 2.1 de gösterilen ilişkinin olduğu kabul edilmektedir:

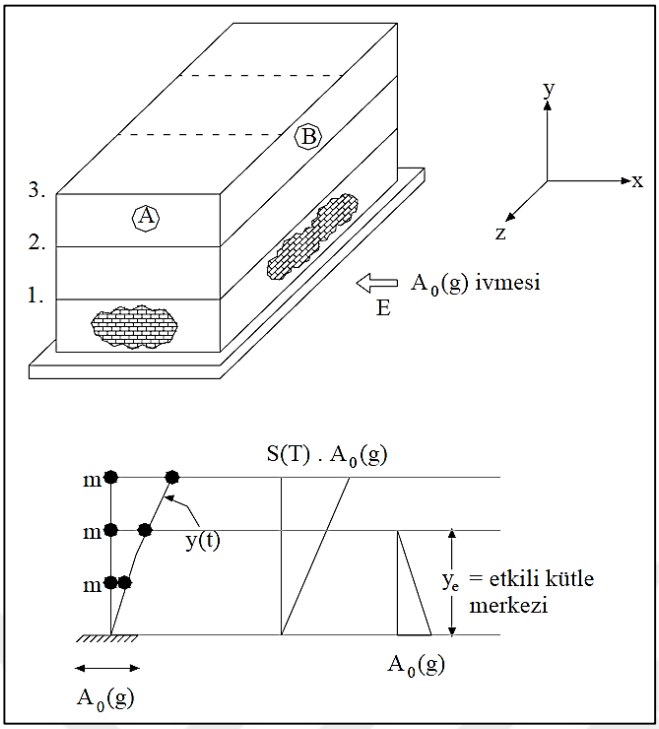
$$T = (0{,}1 - 0{,}07)N \tag{2.1}$$

Bu denklemde N kat adedi olup, mesela 20 katlı betonarme bir yapı 1,6-2,0 saniye civarında bir periyoda sahip olur. Betonarme yapılara ait periyotlar birden fazla yapılan ölçümle tespit edilmesine rağmen yığma yapılar için sınırlı miktarda ölçüm yapılmaktadır. Bu ölçümler doğrultusunda Denk. 2.1'e benzer biçimde aşağıdaki formül kullanılmaktadır (Bayülke, 1990).

$$T = (0{,}035)N \tag{2.2}$$

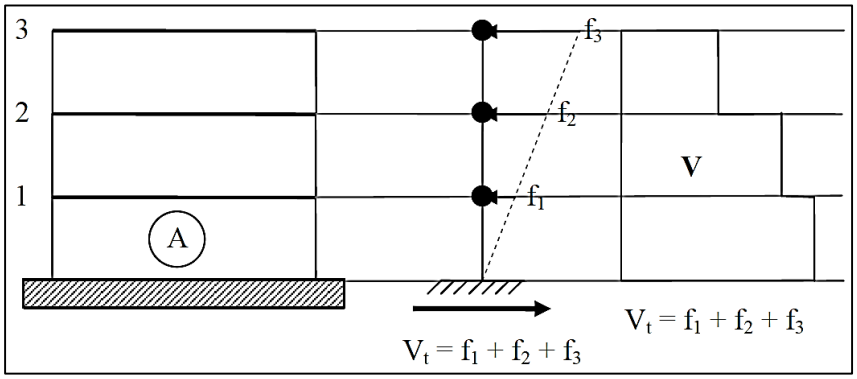
Fakat sınırlı sayıdaki test için bu kabul yapılırken çok titiz davranılmalıdır. Türkiye'deki yığma yapı yönetmeliklerine göre en fazla 4 kata müsaade edildiğinden bu yapılara ait periyotların 0,05-0,20 saniye arasında farklılık gösterdiği ortaya çıkmaktadır. Bu değerlerle birlikte yığma yapıların rijit olduğu görülmektedir. Sağlam zeminde kısa periyoda sahip yapılara büyük ivmeler geldiği, yumuşak zeminde ise uzun periyoda sahip yapılara büyük ivmeler geldiği görülür.

Yığma yapıların kısa periyoda sahip olması nedeniyle deprem anında büyük ivmelerin gelmesine engel olmak adına yumuşak zeminlere inşa edilmesi daha uygundur. Gerçekten de pek çok depremde sağlam zemin üzerine inşa edilen yığma yapıların çok daha fazla hasar aldığı bulgulanmıştır. Şekil 2.7 depreme maruz yığma bir yapının dinamik davranışını göstermektedir.

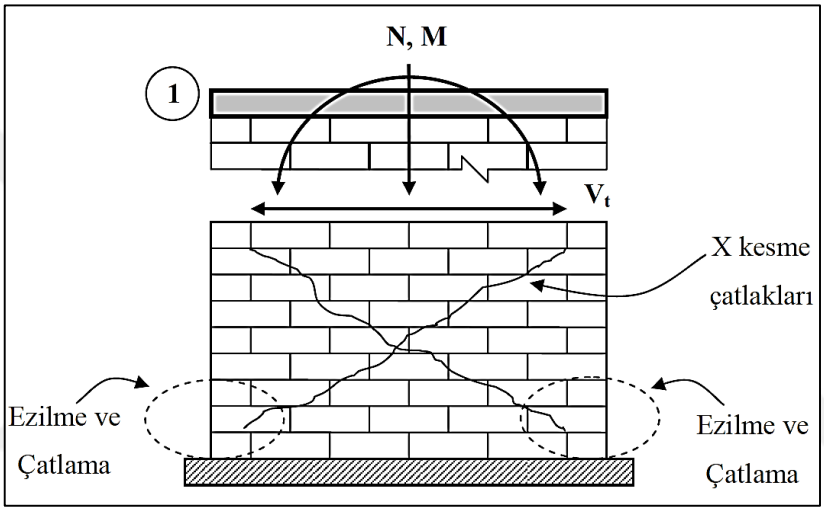


Şekil 2.7. Yığma binanın dinamik davranışı (Çöğürcü, 2007).

Depreme maruz yığma bina 1. modun gerektirdiği yönde ötelenir (y(t)). Bu ötelenmenin 2. zaman türevi olarak, temelden çatıya bir ivme dağılımı meydana gelmektedir. Deprem yönetmeliklerine göre bu ivme dağılımının doğrusal olduğu kabul edilmektedir. Fakat temel kotunda ivmenin sıfır değil $A_0(g)$ olduğu da dikkate alınmalıdır. Yığma yapıya ait doğal periyoda bağlı olarak, yapıda deprem kuvvetleri oluşmaktadır. Kat düzeylerinde yoğunlaştırılan kütlelere ve bunlara denk gelen ivmelere bağlı olarak, bu deprem kuvvetleri dağılımı "ters üçgen" şeklindedir. A duvarı düzleminde f_1, f_2 ve f_3 kat deprem kuvvetleri ve kesme kuvvetleri meydana gelmektedir (Şekil 2.8). Şekil 2.9, 1. katın altındaki maksimum deprem etkilerine maruz A duvarı düzlem içi yüklendiği zaman gerçekleşen deprem zorlamaları etkileri ve çatlak deseni göstermektedir.

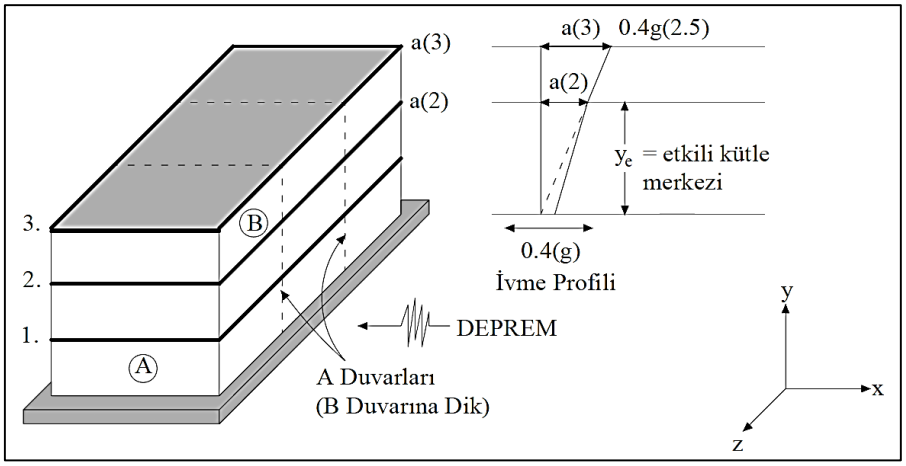


Şekil 2.8. A duvarı üzerinde oluşan deprem kuvvetleri ve kesme kuvvet diyagramı (Çöğürcü, 2007).

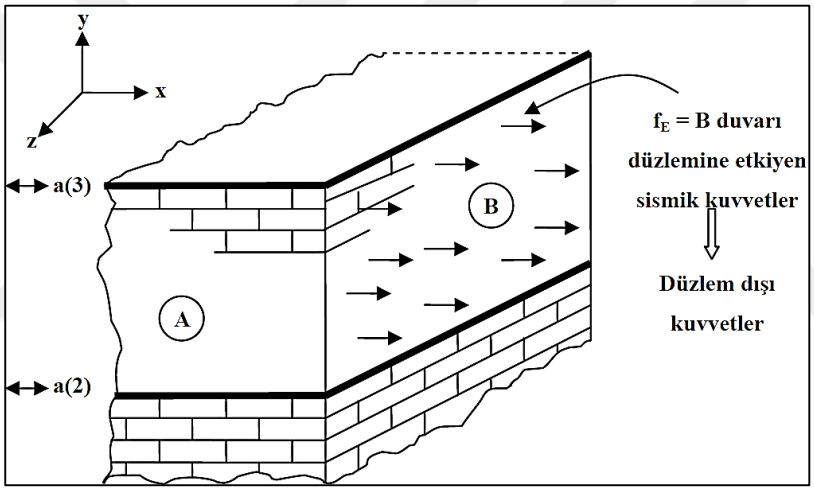


Şekil 2.9. Düzlem içi deprem zorlamaları ve etkileri (Çöğürcü, 2007).

Bunlarla birlikte üç boyutlu yığma binada, (Şekil 2.10), B duvarında da depremin etkileri meydana gelecektir (Kanıt, Işık, Can, Yener, Serimer, Uğur ve Atımtay, 2005). Yapının doğal periyoduyla ilişkili olarak, depreme maruz yığma yapı ve de yapının 1. , 2. ve 3. kat döşemeleri x yönünde ivmelerin etkisinde kalacaktır. Şekil 2.10 , en büyük yer ivmesinin 1. derece deprem bölgesine denk gelen 0,4 (g) değerinde olduğu düşünüldüğünde x yönündeki deprem altında, 1. moda bağlı olarak x yönünde ötelenen yığma yapıda, 2. ve 3. kat döşeme ivmelerini göstermektedir. 2. ve 3. katlar arasındaki B duvarı da düzlemine dik olarak, ötelenmeler, titreşimler ve ivmelerin etkisinde kalacaktır (Şekil 2.11).



Şekil 2.10. B duvarının mesnetlendiği 2. ve 3. kat döşemelerine tekabül eden ivmeler (Çöğürcü, 2007).

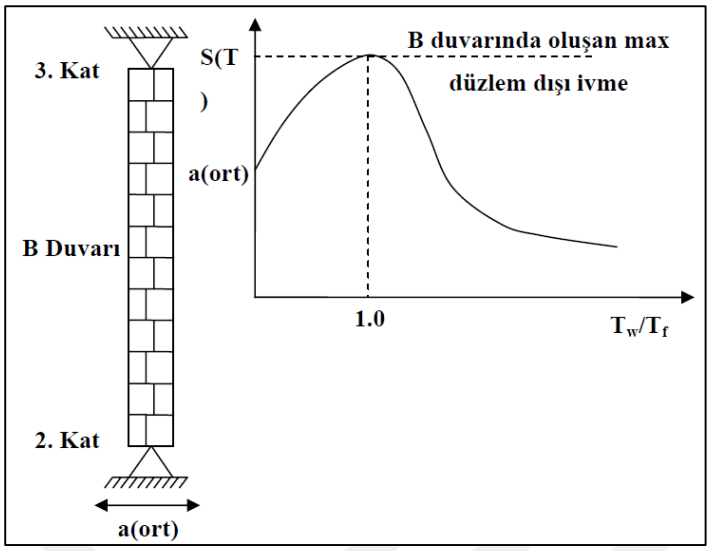


Şekil 2.11. X - yönünde deprem hareketi altında B duvarında düzlem dışı sismik kuvvetlerin oluşumu (Çöğürcü, 2007).

B duvarının a(2) ve a(3) ivmelerinin ortalaması ile zorlandığı düşünülebilir.

$$a\,(ort) = [a\,(2) + a\,(1)]\,/\,2 \tag{2.3}$$

2. ve 3. kat döşemelerinin doğal periyodu T_f, B duvarının düzlem dışı doğal periyodu ise T_w ise, a (ort) ivmesi etkisinde kalan B duvarı T_w/T_f oranı doğrultusunda a (ort) ivmesinin büyümesini sağlayacaktır (Şekil 2.12).

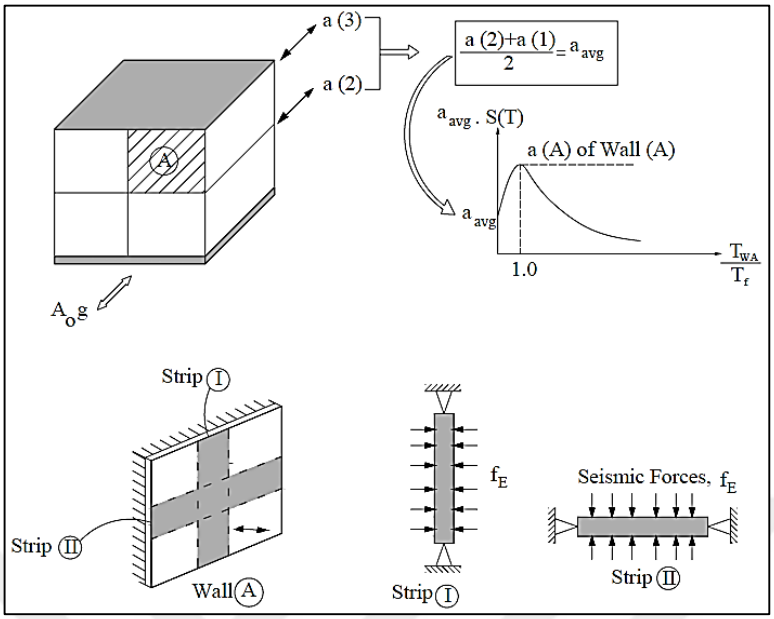


Şekil 2.12. B duvarında oluşan düzlem dışı ivme (Çöğürcü, 2007).

Tabana gelen ivmenin, yapının doğal periyoduyla ilişkili şekilde büyümesi, Tepki Spektrumu kavramını oluşturur. 1997 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğe göre bu büyüme S (T) = 2,5 şeklindedir. Yanıtlanması gereken soru: a (ort) ivmesinin etkisindeki B duvarında, döşemenin doğal periyodu T_f ile B duvarının düzlem dışı doğal periyodu T_w arasındaki oran T_w/T_f büyüklüğünde bir enerji alışverişine neden olmaktadır. Döşemenin sonsuz rijit olmadığı kabulü vardır. Yığma binalar için yararlanılan ince döşemenin sonsuz rijit davranmayacağı yaygınca kabul görmektedir (Şekil 2.13).

Bu durumda cevabı bulmak çok basit değildir. Cevabın karmaşık ve doğrusal olmayan (nonlineer) analizler gerektirdiği aşikardır. Çeşitli deney ve analizler sonrasında, Paulay ve Prestley (1992), bu büyümenin ortalama 2,0 olarak alınabileceğini önermektedir.

Bu durumda 0,4 (g) en yüksek yer ivmesi etkisindeki bir yığma yapıda, 2. ve 3. kat arasındaki B duvarında, en yüksek düzlem dışı ivme aşağıda gösterildiği gibi oluşmaktadır.



Şekil 2.13. T_w / T_f oranında etki edilmiş A duvarının dinamik tepkisi (Çöğürcü, 2007).

$$A_0(g) = 0{,}4 \tag{2.4}$$

$$S\,(T) = 2{,}5 \tag{2.5}$$

$$a\,(3) = 0{,}4\,(g)(2{,}5) = 1{,}0\,(g) \tag{2.6}$$

$$a\,(2) = \frac{2}{3}a(3) = 0{,}67\,(g) \tag{2.7}$$

$$a\,(ort)[a(3) + a(2)]/2 = \ 0{,}835\,(g) \tag{2.8}$$

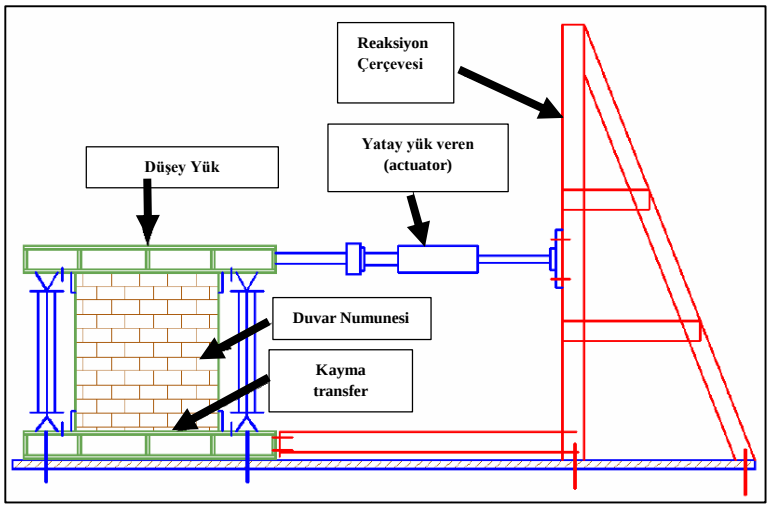
$$a\,(B) = 2\ x\ 0{,}835\,(g) = 1{,}67\,(g) \tag{2.9}$$

Denklem 2.9'da görüleceği üzere B duvarı 1,67 (g)'lik düzlem dışı bir ivme etkisindedir. Aslında oldukça büyük bir ivme seviyesidir. Yığma yapılar rijit olmalarına ilave olarak gevrek özellik taşırlar. Çatlama ve kırılma olması sonrasında yığma yapılar taşıma güçlerini çok çabuk kaybederler. Betonarme binalarda ise kırılma ve çatlama sonrasında taşıma gücü kaybı yavaşça azalmaktadır. Süneklilik ise ani

olarak gerçekleşmez. Yapının çatlaması sonrasında bir süre eski yük taşıma gücünü sürdürür (Kanıt ve diğerleri, 2005). Var olan bir yığma yapı için, bir köşesinden alınan numune üzerinde testler yapılarak o yapı üzerine bir neticeye varmak doğru bir yaklaşım değildir. Açıkçası bu yaklaşım standartlara uygun değildir. Yığma duvarların kesme kuvvetinin etkisi altında davranış tespiti yapabilmek için farklı testler uygulanmaktadır. Bu testler yarı statik test, Pseudo dinamik test olmak üzere iki çeşittir.

2.8.2. Yarı statik test

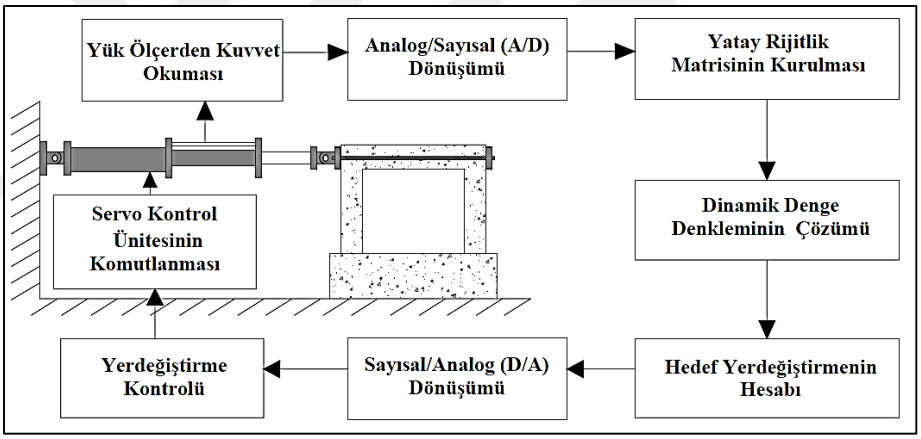
Yarı statik test için sabit düşey yük altındaki bir test numunesine artarak büyüklüğü değişen yatay deplasman uygulanmaktadır. Her deplasman test numunesine çekme ve basma yükü olmak üzere iki yönlü uygulanır. Her adımda iki yükleme deplasman eğrisi elde edilmektedir. Bu yükleme şekli duvar numunesinde belirgin bir mukavemet düşümü olana dek sürdürülür (Şekil 2.14). Bu aşama sonrasında yükleme sayısı her aşamada üçe yükseltilir. Yatay yüklemeler bilgisayar kontrollü bir hidrolik sistemle yapıldığı için yüklemenin her safhasında uygulanan deplasmanlara karşı gelen farklı yük değerleri kolaylıkla görülebilir. Bunun yanında deplasmanların her yükleme aşamasında ölçümü ve kontrolü adına duvar numunesine deplasman ölçerler yerleştirilir (Hamoush, McGinley, Mlakar, ve Terro, 2002).



Şekil 2.14. Tipik bir yarı statik test mekanizması (Çöğürcü, 2007).

2.8.3. Benzeşik dinamik test

Benzeşik dinamik testi, kısa duvar numunelerine uygulanabilmektedir. Test numunesi için yükleme kütlesinin duruş şekli, zemin ivmesi ve düşey yükün değeri tespit edilir. Bu şartlarda sarsma tablası deneyi meydana getirilir. Sabit düşey yük öngerme kabloları vasıtasıyla test numunesine uygulanır. Duvarın üst kısmı, yalnızca yatay hareket sağlanan bir kılavuz sisteme yerleştirilir. Yatay yük duvarın orta yüksekliğinde uygulanır. Kılavuz sistemle duvarın üst kısmının alt kısmına göre dairesel bir hareket yapmasına engel olunurken eğilme momentinin kuvvet çifti ile sağlanma şartı temin edilir. Artan yoğunlukta çeşitli temel ivmelerine tekabül eden yatay yükler test numunesi deformasyona uğrayana dek uygulanır (Hamoush ve diğerleri, 2002).



Şekil 2.15. Benzeşik dinamik deney uygulamasındaki önemli işlemler (Yüksel, Özkaynak ve Sürmeli, 2009).

2.9. Yığma yapıların yatay ve düşey kuvvetler altında davranışı

2.9.1. Yatay ve düşey yük taşıyan yığma duvarlar

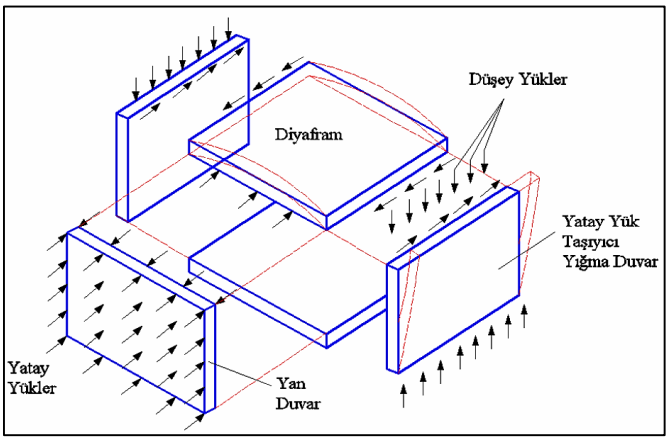
Düşey ve yatay yük taşıyan yığma duvarlar, rüzgâr ya da deprem etkisiyle gerçekleşen ve duvarlara, çatı ya da döşeme gibi diyaframlar aracılığıyla iletilen,

düzlem içi yatay yükleri taşımaktadır. İlave olarak çatı döşemesi ve üst kattan gelen eksenel yüklere maruz kalmaktadırlar.

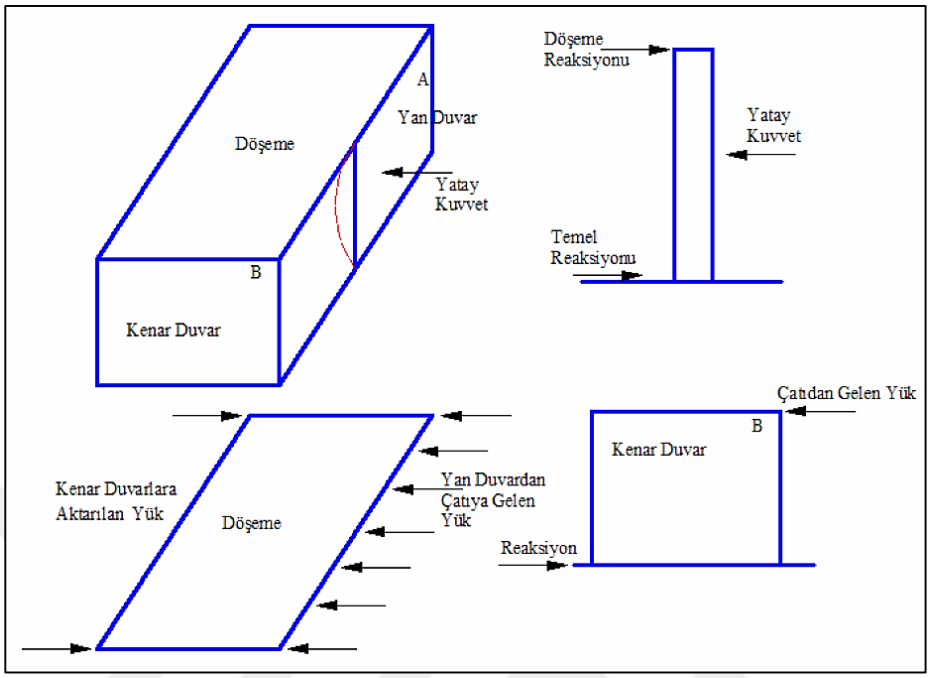
Bu duvarlar, donatısız ya da donatılı şekilde imal edilebilirler. Tuğla gibi yığma yapı elemanı gevrek malzemeler olup çok düşük çekme mukavemetine sahiptirler. Yapıya yalnızca düşey yükler etki ettiğinde bu özellik kayda değer bir sorun meydana getirmese de, duvarda büyük oranda çekme gerilmesi meydana getiren yatay yükler etkin olduğu zaman malzemenin bu özelliği uygulamada birtakım kısıtlamalara yol açmaktadır. Betonarme de olduğu gibi, yığma duvarlarda da öngerilme ya da donatı elemanlarından yararlanılarak bu sorunlar çözülebilmektedir. Yığma duvarlar için donatıdan faydalanılması, duvarda yüksek sünekliliğe neden olurken göçme durumunda duvarın parçalanmasını önler ve hasar miktarını azaltır (Corradi, Borri ve Vignoli, 2003).

2.9.1.1. Yatay yükün duvarlara dağılımı

Yan duvara gelen yatay kuvvet altında duvarın kesiti, uçlarından çatıya veya zemin ve kat döşemesine oturan bir kiriş gibi hareket ederek, üzerine gelen yükü çatıya ya da bitişik döşemelere aktarmaktadır (Şekil 2.16). Diyafram şeklinde isimlendirilen bu döşeme yatay yükü, üzerine oturduğu kenar duvarlara düzlem içi kuvvet olacak biçimde iletmektedirler. Bu yüklemeler altında kenar duvarlar düşey ve yatay yük taşıyıcı yığma duvarlar şeklinde davranır (Şekil 2.17) (Corradi ve diğerleri, 2003).



Şekil 2.16. Yatay yükün duvarlara dağılımı (Çöğürcü, 2007).



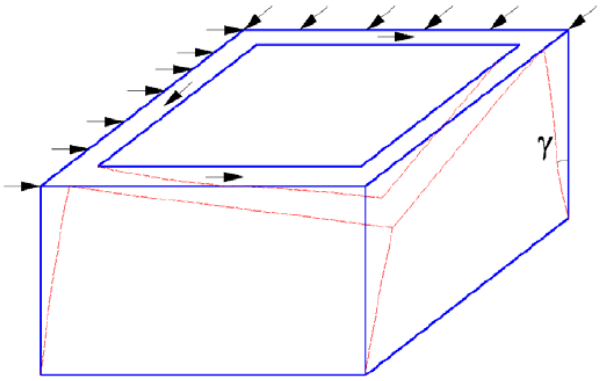
Şekil 2.17. Yığma yapılarda yatay kuvvetlerin dağılımı (Çöğürcü, 2007).

Döşemeler tarafından her bir düşey yük ve yatay taşıyıcı yığma duvarına iletilen yatay yük miktarı üç faktöre bağlıdır: rölatif rijitlikleri, diyafram rijitliği ve duvarların plandaki yerleşimleridir.

2.9.1.2. Yatay kuvvetler altında duvarlarda oluşan kırılma biçimleri

Çatıdan gelen deprem yükünün zemine aktarılması sırasında duvarda kayma gerilmeleri meydana gelmektedir. Duvarın kayma mukavemetinin aşılması durumunda, dolu duvarda 45^{O} çekme çatlakları gerçekleşir. Duvarda eksenel basıncın büyüklüğü nispetinde bu çatlak açıları değişir. Büyük düşey basınç gerilmeleri varsa bu açı 45^{O}'den daha büyük gerçekleşir. Depremin 2 yönlü hareket olması nedeniyle öteki yönde de eğik çekme çatlakları meydana gelir. Eğik çekme çatlaklarının duvarı zayıflatması sonrasında duvarın taşıyabildiği düşey yükleri taşıyamama durumu ortaya çıkar. Deprem esnasında düşey yüklerde % 20 ila % 30 düzeyinde bir azalış ve artış olur. Bu durum deprem süresince süren dinamik yüklemenin bir özelliğidir. Böylelikle

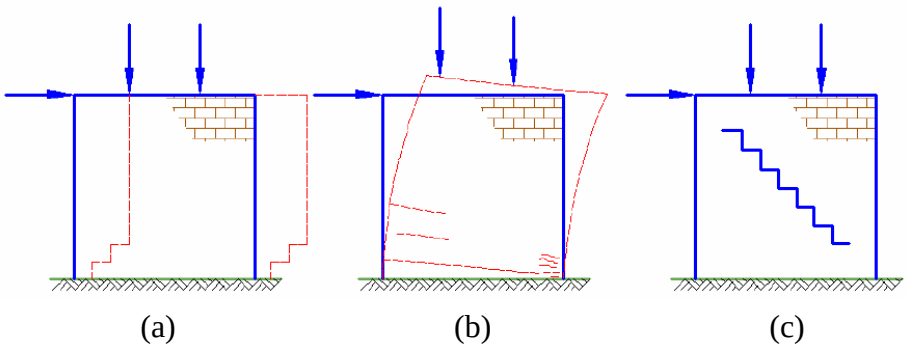
eğik çekme çatlakları sonrasında düşey basınç çatlakları da meydana gelmektedir (Şekil 2.17) (Marzahn, 1997).



Şekil 2.18. Yapı köşelerinin durumu (Çöğürcü, 2007).

2.9.1.3. Yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarların göçme şekilleri

Düşey ve yatay yük taşıyıcı yığma duvarlarda göçme biçimi 3 değişik türde meydana gelebilir (Şekil 2.19). Bunlar sırasıyla a) Dönmeden yatay ötelenme göçmesi, b) Eğilme göçmesi ve c) Kayma göçmesidir.



Şekil 2.19. Yatay ve düşey yük taşıyıcı duvarlarda göçme şekilleri (Çöğürcü, 2007).

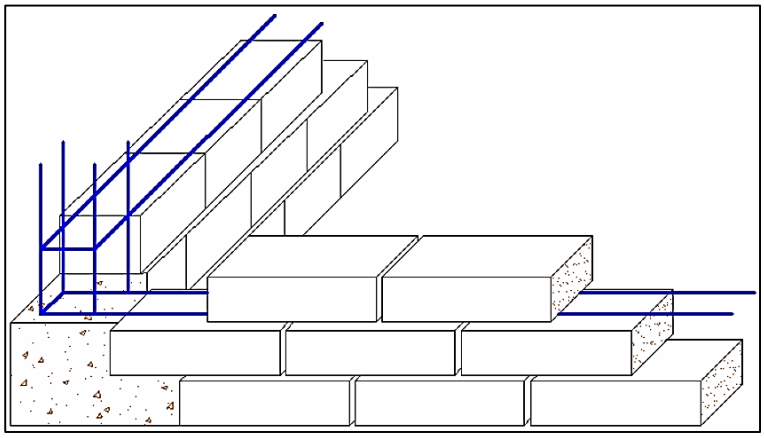
a) Dönmeden yatay ötelenme göçmesi: Bu göçme şekli, duvara ait tüm bölümlerin harç ya da taban yüzeyi boyunca tümüyle yatay ötelenmesi ile gerçekleşmektedir (Şekil 2.19a) (Demir, 1992).

b) Eğilme göçmesi: Bu göçme tipine göre duvar düşey bir konsol gibi hareket eder (Şekil 2.19b). Bu tip göçmede duvarın taşıma kapasitesini belirleyen etkenler, duvarın topuk bölgesinde bulunan çekme donatılarının akması veya uç bölgesinde yer alan malzemenin ezilmesidir.

c) Kayma göçmesi: Yığma duvarı etkileyen yatay ve düşey yükler altında meydana gelen gerilmeler, duvar üzerinde kayma dayanımını aştığında, duvar ekseni boyunca birbirini takip eden yatay ve düşey derzler boyunca gerçekleşen diyagonal çatlaklar nedeniyle duvar göçebilir (Şekil 2.19c) (Stierwalt ve Hamilton, 2004).

2.9.1.4. Düşey ve yatay yük taşıyıcı yığma duvarlarda donatı kullanılması

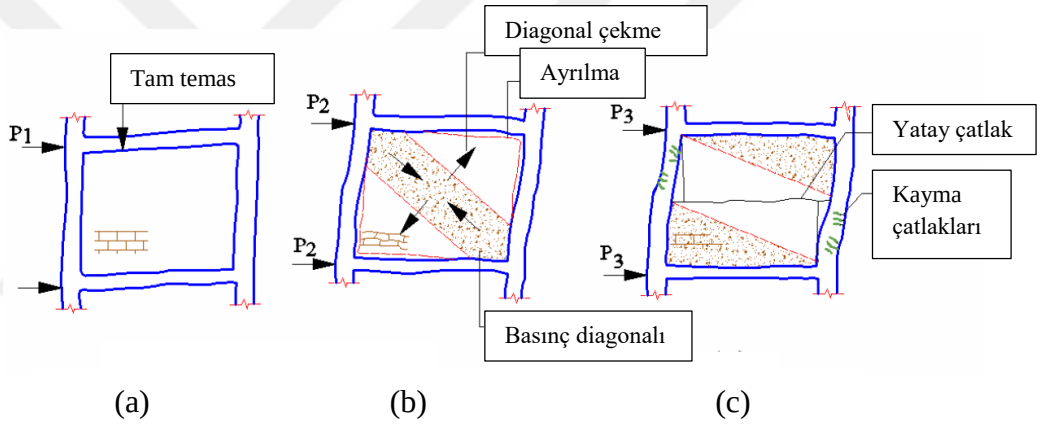
Düşey ve yatay yük taşıyıcı yığma duvarlar için donatılardan yararlanılması pek çok avantajı beraberinde getirmektedir. Bilindiği üzere gevrek malzemelerden oluşan yığma yapı elemanları çok düşük çekme dayanımına sahip olup ve bu özellik yüksek çekme gerilmeleri meydana getiren yatay yüklerin etkin olduğu durumlarda uygulamaya sınırlamalar getirmektedir. Yığma duvarlar için donatıdan faydalanılması, duvara ait sünekliliği artırdığı gibi göçme durumunda duvarın parçalanmasına da engel olurken, bunun yanında hasar seviyesini azaltır ve kayma göçmesine, dübel etkisi yaparak engel olur. Ancak duvarın kayma taşıma kapasitesi üzerinde etkili olmaz (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. Basit donatılı yığma bina(Çöğürcü, 2007).

2.9.1.5. Yığma dolgu duvarlar

Taşıyıcı sistemi betonarme veya çelik çerçevelerden oluşan birçok sistemde, bu çerçevelerin içine yığma dolgu duvarlar örülür. Yığma dolgu duvarlar, sistemin rijitliğini önemli ölçüde arttırmasına rağmen, taşıyıcı sistemin yatay yükler altında çözümü esnasında, sistemin karma (kompozit) davranışının tam olarak anlaşılamamış olması, yığma duvar ve çerçevenin birleşiminin iyi teşkil edilmemiş olma ihtimali ve yapının kullanımı süresince bu duvarların kaldırılabileceği gibi sebeplerden dolayı, çoğu kez bu etki ihmal edilir. Daha önce de değinildiği gibi, birçok araştırmacı çerçevenin ve yığma dolgu duvarın beraber çalışmasını dikkate alan bir hesap yöntemi geliştirilmesi için çalışmalar yapmaktadır (Şekil 2.21) (Marfia ve Sacco, 2001).



Şekil 2.21. Yığma dolgu duvarların ve çerçevelerin yatay yük altında davranışları (Çöğürcü, 2007).

2.10. Yığma yapılarda hasar biçimleri

Yığma yapıları oluşturan neredeyse tüm duvarlar taşıyıcı görevini görmektedirler. Gevrek yapıya sahip yığma yapı duvarları, çekme ve basınç mukavemeti düşük malzemelere sahiptir. Bundan dolayı temelde yapılan küçük oynamalar ve düşük deplasmanlardan dahi etkilenirler. Yığma yapılarda çoğunlukla hasarlar, oturma çatlağı hasarları, ağaçlardan kaynaklanan hasarlar, deprem hasarı ve kırsal yapı hasarları şeklinde oluşmaktadır.

d) Oturma çatlağı hasarları: Yığma yapılar oturma kaynaklı farklı çatlaklara maruz kalabilmektedir. Oturmanın oluştuğu bölge ya da oturma oranıyla bağlantılı şekilde üst yapıda çatlak genişliği ve çatlak biçimi kendisini göstermektedir. Çeşitli oturma tipleri haricinde temelde oluşturulan kademeler de üst yapının çatlama göstermesine yol açabilir. Değişik kot ve derinliklere oturan temellerde zeminde farklı sıkışma neticesinde üst yapıda çatlaklar gerçekleşebilecektir (Ehsani ve Saadatmanesh, 1997).

e) Ağaçlardan kaynaklanan hasarlar: Kimi ağaç türlerinin zeminden çok fazla su çekebilme özellikleri vardır. Bilhassa kurak havalarda ağaç köklerinin zeminden su çekmesi sonucu zemin sıkışmasına neden olurlar. Bu sıkışma neticesinde ise yapı oturmalara ortaya çıkmaktadır. Zeminin sıkışma seviyesi de yüksek ise bu durum tehlikeli sonuçlar doğurabilmektedir. Ağaçlar kesildiğinde de zeminin su potansiyeli artacağı için zeminde şişmeler olurken, temele basınç etkisi yaparlar (Hendry,1990).

f) Deprem hasarı: Yığma yapılarda depreme karşı tepkiler deprem kuvvetinin meydana geldiği yönde bulunan paralel duvarlar yardımıyla karşılamaktadır. Bir başka ifadeyle deprem kuvvetine dik yönde bulunan duvarlar üst döşemeden mesnetli ve temelden bir kiriş gibi hareket ederek kendine gelen kuvveti belirli oranlarda temele ve döşemeye aktarmaktadır. Üst döşeme de hem kendi kuvvetini hem de duvarlardan gelen kuvvetleri yanındaki depreme paralel yöndeki duvarlara aktarmaktadırlar. Yan duvarlara bu döşeme mesnetli kiriş gibi hareket eder. Depreme paralel yönde bulunan bu duvarlar ise döşemeden gelen kuvvetlerle kesme kuvvetleri etkisindedir. Bundan dolayı dik duvar içerisinde eğik çekme çatlakları meydana gelmektedir.

2.10.1. Yığma yapılarda deprem hasar seviyeleri

Yığma yapılarda oluşan hasar seviyeleri beş kademeli bir ölçekle tespit edilebilir. Analiz edilen yapı, çatı döşemeleri ve betonarme plak kata sahip duvarları

taşıyıcı olan yığma yapılardır. Diğer bir ifadeyle yığma yapı kutu davranışı gösterecektir (Bayülke, 1999).

2.10.1.1. Hasarsız ya da az hasarlı yapılar

Bu hasar seviyesinde hiç hasar yoktur veya kılcal şekilde çatlaklar bulunmaktadır. Kılcal çatlaklar sıva çatlakları biçiminde olup derine inmezler yani yüzeyde sınırlı kalır. Bu seviyedeki bir yapı için herhangi bir biçimde güçlendirme ya da onarım şart değildir (Ersoy, 1999).

2.10.1.2. Az hasarlı yapılar

Bu hasar seviyesindeki yığma yapılarda çoğunlukla X şeklinde çatlaklar görülmektedir. Çatlak genişlikleri 1,0-10,0 mm arasında değişirken bu genişlik aralığına sahip çatlaklar duvara kadar uzanır. Duvardaki kayma gerilmeleri ise taşıma gücüne ulaşır. Elastik eğri altında duvarın taşıyabileceği kesme kuvveti kısmen aşılır.

2.10.1.3. Orta hasarlı yığma yapılar

Bu hasar tipinde de X biçiminde çatlaklar görülebilir. Çatlak genişliği 10,0 ila 25,0 mm arasındaki değerlere ulaşabilir. Duvarın taşıyabileceği en yüksek kesme kuvveti değerinde önemli düşüşler gözlenir. Fakat duvarda çok fazla şekil değiştirme görülmez. Duvar düzlemi şakulden uzaklaşma ya da dışa doğru şişme gibi bir değişim göstermez. Bu tip hasarlarda güçlendirme yapılması gerekmektedir (Ersoy, 1999).

2.10.1.4. Ağır hasarlı yığma yapılar

Bu seviyedeki yığma yapılarda çatlaklar 25 mm'yi aşmakta olup şu değişmelere rastlanır: kısmen yıkılmış duvarlar, duvarlarda düşey yüklerden dolayı şişme, köşelerde duvarın ayrışması ve duvarlarda düşeyden uzaklaşma. Düşey yükler nedeniyle şişme oluşan bir duvar, kesme kuvvetlerinin meydana getirdiği çatlakların etkisiyle parçalanmış ve zayıflamış duvarların bu yükleri de taşıyamaz hale geldiğini

göstermektedir. Bu hasara sahip yığma yapıların bazılarının onarımı mümkündür. Bilhassa duvarda yataydan uzaklaşma, şişme ve yıkılma durumunun nadiren gözlendiği zamanlarda güçlendirme ve onarım yapılabilir. Ayrıca döşemede de bahsedilen duvarlardaki hasarların gerçekleşmemesi gerekmektedir. Bu sebeplerle ortaya çıkabilecek aşırı deformasyonlardan döşemeler de etkilenebilir. Bu hasar seviyesindeki yapılarda güçlendirme ve onarım yapılsa bile yapının kullanım şekli değiştirilmelidir. Mesela bu derecede hasara uğrayan bir okulun güçlendirme ve onarım işlemi sonrasında konut olarak yararlanılması daha uygundur (Hendry, 1990).

2.10.1.5. Yıkılmış yığma yapılar

Bu hasarı görmüş yığma yapılara ait taşıyıcı duvarların büyük bölümü ya da tamamı yıkılmıştır. Döşemeler ise mesnetlendikleri duvarın yıkılması neticesinde birbiri üstüne yıkılmış ya da ciddi çatlaklar oluşmuştur. Bu seviyede hasarlı bir yığma yapının onarımı söz konusu değildir.

2.11. Kırsal yapıların hasar biçimleri

Kırsal yapı denildiğinde duvarları moloz taştan yapılan harç olarak çamur kullanılmış ve çatı döşemesi olarak da topraktan oluşturulan yapılar akla gelmektedir. Islak durumdayken kısmen yapıştırma özelliği olan çamurların, kuruması sonrasında yapıştırma özelliği kaybolur. Ayrıca kuruduktan sonra büzülme nedeniyle taşların arasındaki boşluklar artmaktadır. Çatı kirişleri tarafından basılan duvarlarda basıncın daha fazla olması nedeniyle duvarlardaki sürtünme kuvveti daha çok oluşmaktadır. Bundan dolayı iç duvarların kayma gerilmelerine karşı kısmen daha dayanıklı olduğu ifade edilebilir. Kalın duvarların dış ve iç yüzlerine yerleştirilen birbirinden bağımsız taşlar zaman içerisinde kolaylıkla duvardan ayrılırken duvar yıkılır. Bilhassa köşelerdeki duvar bağlantıları düzenli olmadığı için çatlaklar meydana gelmektedir (Marfia ve Sacco, 2001).

2.12. Yığma yapılarda onarım ve güçlendirme

Genellikle bir yapıdaki hasarların giderilmesi için temel iki hedef bulunmaktadır. Birincisi yapı ya da elemanların hasar öncesi dayanımlarının tekrar kazandırılmasıdır. İkincisi ise yapı mukavemetinin hasar öncesi mukavemetinden daha ileri seviyeye çıkarmaktır. Bunlar sırasıyla onarım ve güçlendirme şeklinde tanımlanmaktadır.

Onarım durumunda, yapıya ait yatay ya da düşey yük taşıma kapasitesi hasar öncesindeki seviyesi ile eşdeğer duruma getirilmektedir (Guinea, Hussein, Elices ve Planas, 2000).

Güçlendirme durumunda yapıya ilişkin dayanım düzeyi hasar öncesindeki mukavemet seviyesinden daha yüksek bir duruma getirilmektedir. Normal yükler altında yapılar çatlama, deformasyon ya da aşırı sehim ortaya çıkarıyor ise bu durum yüklerin yapıyı zorladığını göstermektedir. Bundan dolayı bu hasarı oluşturan yük düşürülmeli ya da yapı elemanlarının mukavemet seviyesi arttırılmalıdır. Bu amaçla gerçekleştirilen işlemlere güçlendirme denilmektedir.

2.12.1. Onarım ve güçlendirme ilkeleri

Hasar sebebine bağlı olarak güçlendirme ve onarım ilkesi tespit edilebilir. Bir yapının güçlendirmesi ya da onarımında farklı amaçlar bulunmaktadır. Bu amaçlar;

- Hasarın sebeplerini ortadan kaldıracak tedbirlerin alınması,
- Hasar nedeniyle oluşan dayanım kayıplarının tekrar kazanılması,
- Yeniden hasar oluşmaması amacıyla gerekli güçlendirme işlemlerinin yerine getirilmesi.

Güçlendirme ve onarımda belirli amaçlar doğrultusunda farklı ilkeler benimsenmesine ilave olarak neredeyse tümünde yararlanılan ortak önlemler mevcuttur.

Bunlardan ilki yapıya ait ağırlığın düşürülmesidir ki bu bazı yönlerden avantaj getirmektedir. Yapıda çatlamalar mevcutsa üzerindeki yükler nedeniyle dayanım kapasitesine yaklaşması anlamına gelir, bu durumda yapı yükünün azaltılması faydalı olacaktır (Bayülke, 1999).

Donatı miktarının arttırılması da sünekliliğin düşmesi anlamına gelmektedir. Güçlendirme ve onarım sonrası durumlarda yapının süneklilik seviyesini tespit etmek basit değildir. Ama eldeki bulgular doğrultusunda güçlendirme ve onarım işlemleri sistemin sünekliliğini düşürmektedir (Celep, 2001).

Yığma yapılardaki taşıyıcı sistemi oluşturan tuğla duvarların gevrek bir yapısı vardır. Yığma yapıların oldukça rijit ve ağır olması nedeniyle deprem esnasında büyük yanal kuvvetlerin etkisi altından kalmaktadırlar. Bu dinamik kuvvetler duvarlarda çok büyük kayma gerilmeleri meydana getirmektedir. Yapı planındaki burulma nedeniyle kayma gerilmelerinin mümkün olduğu ölçüde engellenmesi gerekmektedir. Planda taşıyıcı sistemi oluşturan duvarlar mümkünse yapıda burulma meydana getirmeyecek biçimde yerleştirilmelidir.

Yapıların güçlendirilmesi ve onarımında kayda değer diğer bir nokta da var olan imkânların göz önünde bulundurulmasıdır. Yapının inşa edildiği bölgedeki var olan imkânlarla istenilen düzeyde mukavemetli bir yapı elde edilememiş ise güçlendirme ve onarımda yararlanılması gerekli üst düzey malzeme ve işçiliğin nasıl temin edileceği planlanmalıdır (Bayülke, 1999).

2.12.1.1. Duvarların güçlendirilmesi

Güçlendirme işlemleri esnasında göz önünde bulundurulması gereken hususlar şöyle ifade edilebilir:

- Yapının düşey ve yatay yüklere karşı mukavemetinin artırılması,
- Yapının kütle ve rijitlik merkezlerinin çakıştırılması,
- Yapının taşıyıcı sistem performansı ve güvenliğinin artırılmasıdır.

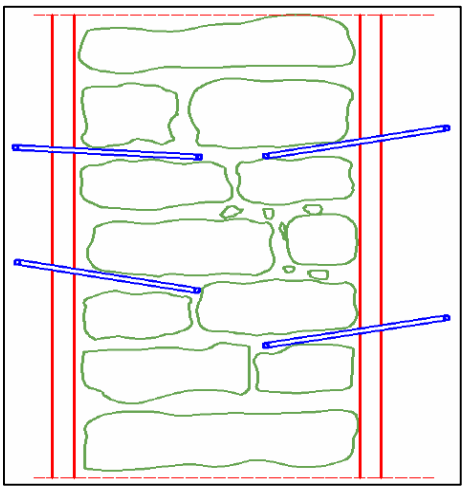
Zamanımızda yaygın olarak yararlanılan güçlendirme teknikleri şunlardır:

- Ahşap dikme ve çaprazlarla güçlendirme
- Çimento enjeksiyonu
- Gergi demirleri ile güçlendirme
- Betonarme mantolama
- Betonarme hatıllarla güçlendirme

Bu tekniklere ilaveten günümüzde polimer grid, epoksi bağlayıcılı FRP (fibrik olarak güçlendirilmiş polimer) plakalar, CFCM (Carbon Fiber Cement Matrix) sistemle güçlendirmeye yönelik çalışmalar devam etmektedir (Celep, 2001).

2.12.1.2. Çimento Enjeksiyonu

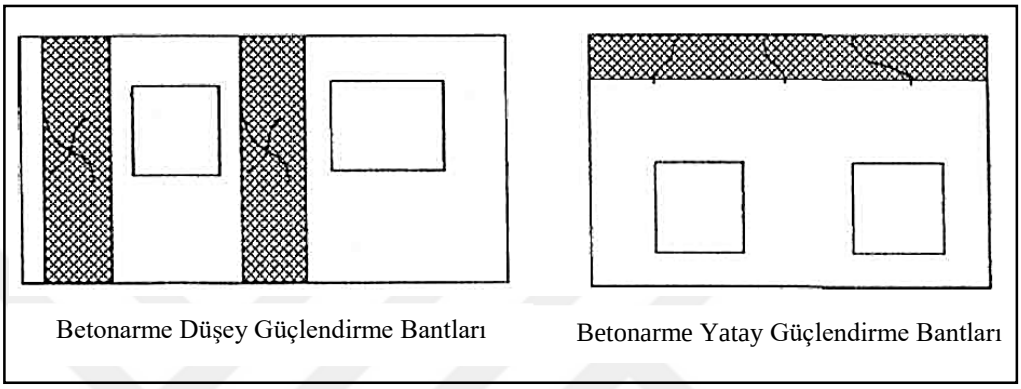
Çimento enjeksiyonu tekniği sayesinde düşük dirençli ve oldukça zayıf moloz taş duvarların dirençlerinin artırıldığı ve daha sağlam bir duvar meydana geldiği görülmüştür. Bilhassa kırsal bölgelerde harç olarak yararlanılan çamur zaman içerisinde dökülmektedir. Bu hasarın giderilebilmesi için taşlar arasında boşluklar olan duvarlar çimento enjeksiyonu sayesinde kuvvetlendirilebilirler (Şekil 2.22) (Sadatmanesh, 1997).



Şekil 2.22. Çimento enjeksiyonu ile taş duvarın güçlendirilmesi (Çöğürcü, 2007).

2.12.1.3. Betonarme mantolama

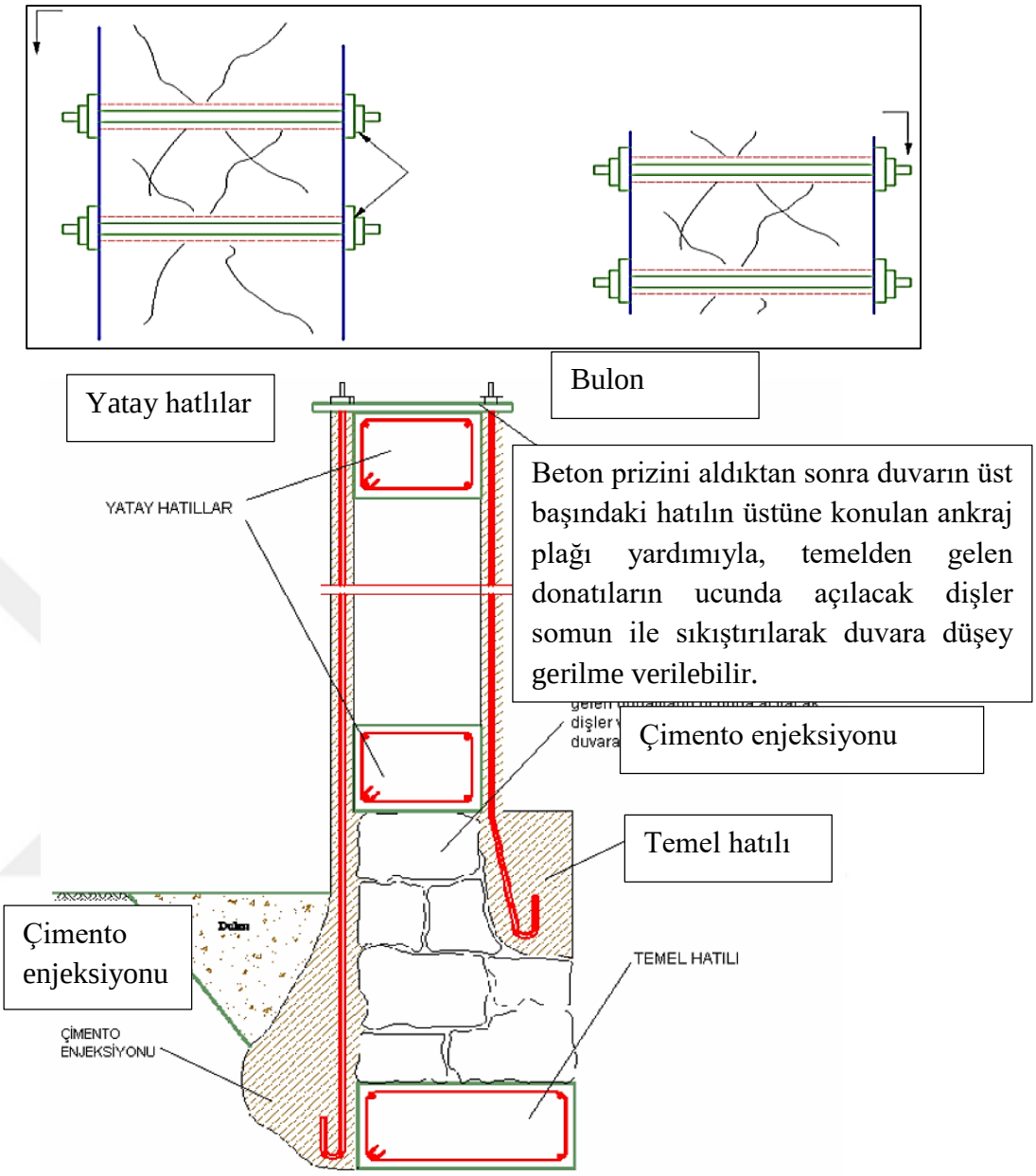
Betonarme mantolama tekniği yaygın olarak kullanılan yöntemler arasındadır. Duvarın dış ve iç yüzleri hasır çelikli betonarme bantlarla kaplanmaktadır (Benmakrone, Rahman, ve Mukhopadhyaya, 2000).



Şekil 2.23. Düşey ve yatayda betonarme takviye bantları ile çatlak onarımı (Çöğürcü, 2007).

2.12.1.4. Gergi demirleri ile güçlendirme

Yığma yapıların duvarları düşey ve yatayda gergi demirleriyle güçlendirilebilir. Bu teknik çok yaygın olmamasına rağmen yapılan araştırmalarda bu tip gergilerin duvarların mukavemetini artırdığı ve dağılmasına engel olduğu tespit edilmiştir. Yapılmış testlerde gergi demirlerinin en etkin olduğu pozisyonun duvar yüksekliğinin 1/3 aralıklara bölünerek konulması olduğu saptanmıştır. Böylelikle duvarda meydana gelebilecek eğik çekme çatlakları gergi demirleri tarafından kesilerek daha yüksek bir güçlendirme sağlanmaktadır (Bayülke, 1990).

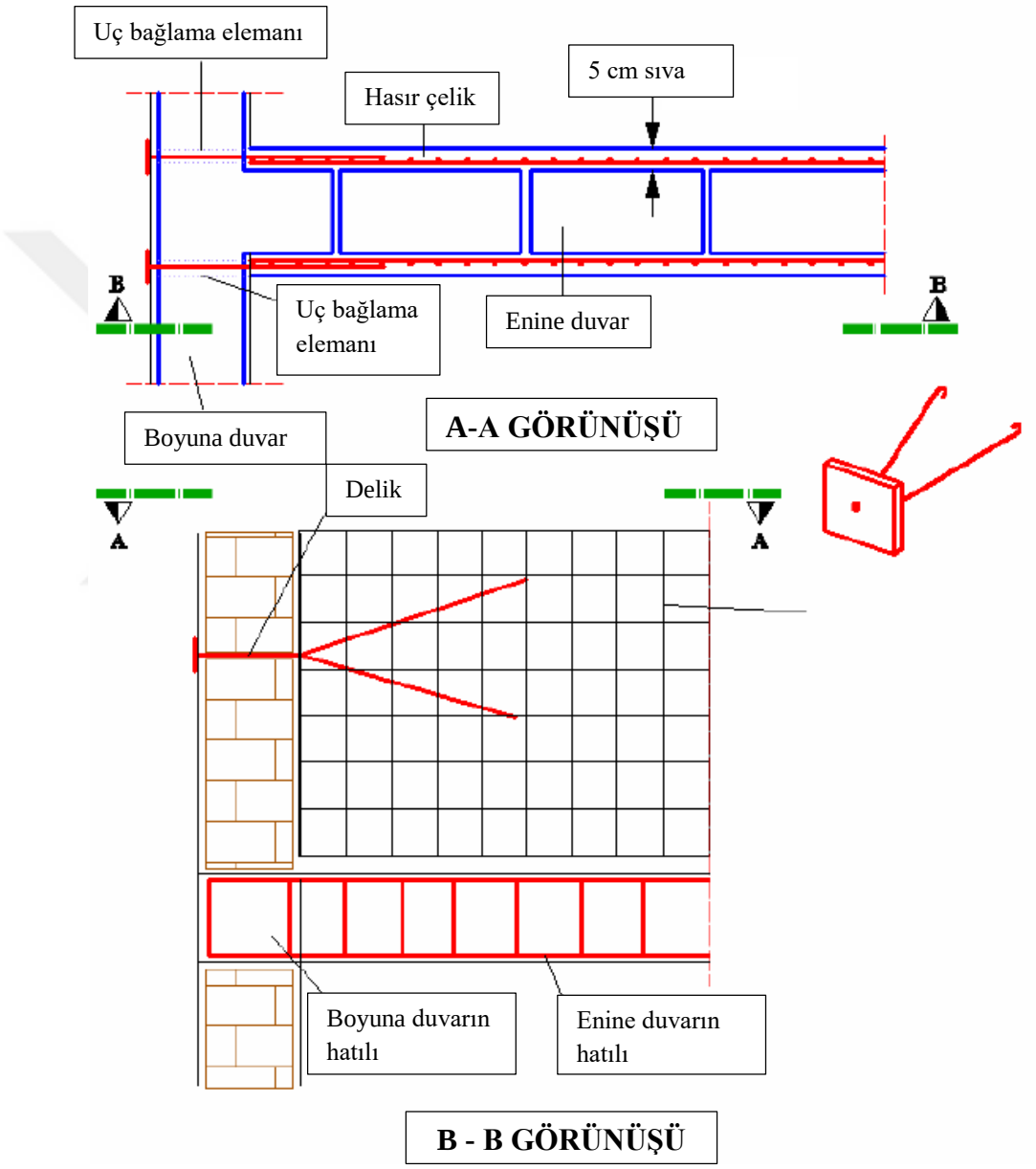


Şekil 2.24. Gergi demirleri ile boşluklar arası duvar parçası güçlendirme (Çöğürcü, 2007).

2.12.1.5. Betonarme hatıllarla güçlendirme

Yığma yapılardaki duvarların takviye edilmesinin bir diğer yolu da inşa edilecek betonarme hatıllardır. Düşey hatıl kullanılmamış uzun ve rijitliği zayıf olarak değerlendirilen duvarlar çift ya da tek taraflı olarak betonarme hatıllarla takviye edilebilir.

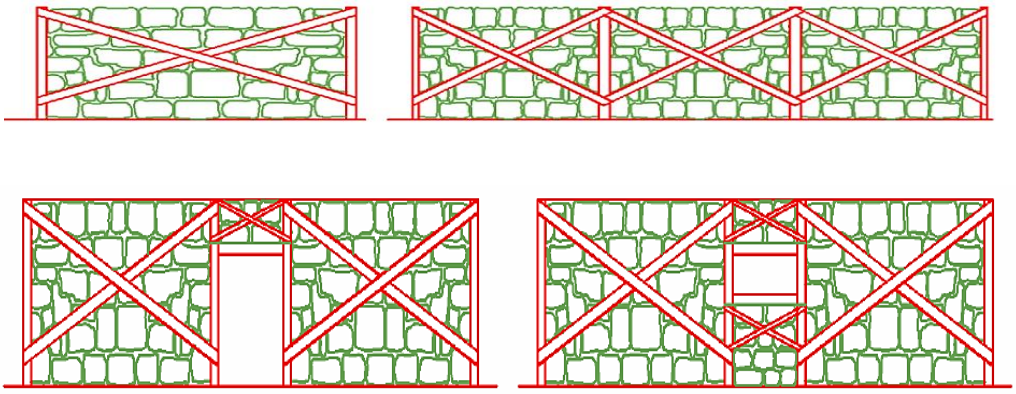
Yönetmelikler yeni yapılan yığma yapılardaki çatı ve döşeme hizasında yatay hatıllar yapılmasını istemektedir. Var olan bir yığma yapıda bilhassa kat hizasında yatay hatıl oluşturmak zor olabilir. Yatay hatıl oluşturulurken üst taraftaki duvarın desteklenmesi açılan boşluğa kalıcı desteklerin yerleştirilmesiyle mümkün olabilmektedir (Şekil 2.25) (Valuzzi, Binda, ve Modena, 2005).



Şekil 2.25. Tek ve çift taraflı düşey hatıllarla duvar güçlendirme (Çöğürcü, 2007).

2.12.1.6. Ahşap dikme ve çaprazlarla güçlendirme

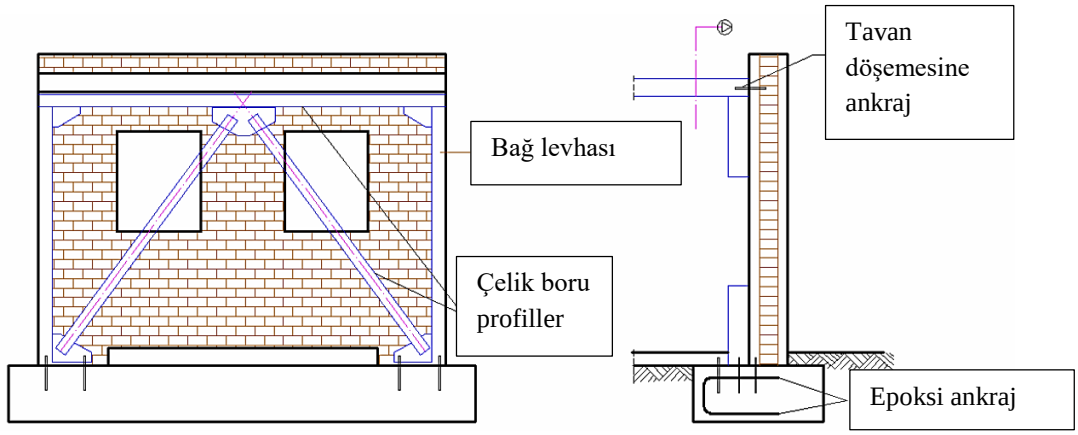
Kırsal bölgelerde oldukça yaygın tek katlı yığma yapılar, ahşap çaprazlar ve dikmelerle kuvvetlendirilebilir. Deprem esnasında gerilmelerin toplandığı pencere ve kapı boşlukları ahşap çerçevelerle kuvvetlendirilebilir (Şekil 2.26) (Wenzel,1990).



Şekil 2.26. Ahşap çaprazlarla güçlendirme (Çöğürcü, 2007).

2.12.1.7. Yığma yapıların güçlendirilmesi ile ilgili diğer teknikler

Betonarme yapıların takviyesinde sıkça yararlanılan çelik profiller, yığma yapılarda nadiren kullanılmaktadırlar. Kullanım amacı çelik profillerden teşkil bir çaprazlamayla yatay yüklerin karşılanmasıdır (Şekil 2.27).



Şekil 2.27. Pencere boşlukları açılmış yığma bir duvarın çelik çaprazlarla takviyesi (Çöğürcü, 2007).

Yukarıda bahsedilen alışılagelmiş güçlendirme tekniklerinin yapılarda uygulama sorunları nedeniyle uzmanlar yığma yapıların güçlendirilmesi için daha farklı teknik arayışında olmuşlardır. Bu yeni teknikler arasında en önemlisi FRP'lerdir. Bu malzemeler yüksek mukavemet, rijitlik, hafif malzeme, boyut sınırı olmadan laminatlar, lif ve tendonlar halinde uygulamaya sunum gibi özellikleri temin etmektedir (Ehsani ve Saadatmanesh, 1997).

2.13. Yapıların Dinamik Özelliklerinin Tespit Edilmesi

Bu bölümde yapıların dinamik özelliklerinin tespit edilmesi ve yararlanılan yaklaşımlar hakkında bilgiler verilecektir.

2.13.1. Yapıların dinamik özelliklerinin tespit edilmesi ve yararlanılan yaklaşımlar

Dizayn edilmiş ve inşa edilmiş yapıların tamamı kendilerine has mod ve doğal frekans şekilleri vardır. Bu karakteristikler yapının rijitliği ve kütlesine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu özelliklerin bilinmesi, yapıya etkiyen yüklerden dolayı yapının göstereceği davranışın saptanması ve daha güvenli yapıların teşkil edilebilmesi adına mühendisler için kolaylık sağlamaktadır.

Yapıların dinamik yük etkisi altındaki davranışları pek çok belirsizliği kapsamaktadır. Bu belirsizliklerin yanında dinamik davranış üzerinde etkisi olan parametre belirsizlikleri, dinamik yapı davranışının gerçekçi biçimde saptanmasını zorlaştırır. Dinamik özellikler şeklinde isimlendirilen sönüm oranı, mod şekli ve doğal frekansın var olan yapının karakteristiklerini yansıtacak biçimde deneysel yöntemlerle saptanabilmesi dinamik yapı davranışının daha gerçekçi tespitine olanak vermektedir.

Yapı dinamik özelliklerinden yapılan analitik model doğruluklarının kontrolü ve yapıya etki edecek deprem kuvvetlerinin hesaplanması için yararlanılmaktadır. Bunun yanında yapıdaki modal davranışa bakılarak burulma düzensizliği ve rijitlik dağılımı

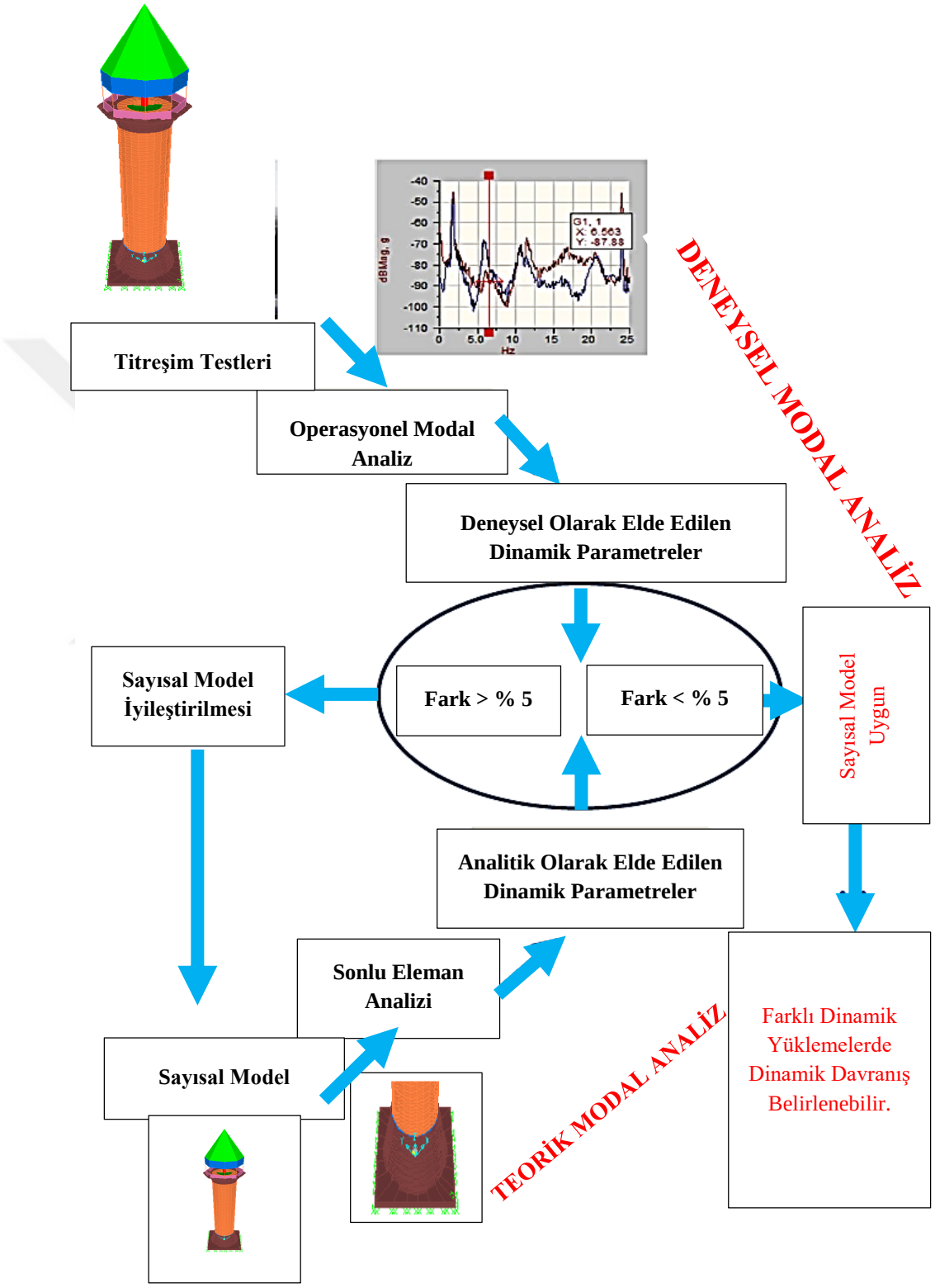
gibi bazı düzensizlik durumlarının olup olmadığı hakkında bilgi sahibi olunabileceği gibi, bu teknikle uzun süreli izlenecek sistemlerde hasar seviyeleri hakkında da bilgi sahibi olunabilmektedir. Bahsedilen bu nedenlerden dolayı modal analiz testleri sayesinde yapı sistemleri dinamik özelliklerinin saptanması çok önemli bir metottur. Bunun yanında bütün deneylerin malzemenin elastik limitleri içinde yapılması yapı sistemlerinin elastik dışı davranışları üzerine bilgi vermeyecektir. Fakat bu durum bahse konu tekniği değerini düşürmemekle beraber, kalibre edilen sayısal modellerle yapı sistemlerine ilişkin malzeme modellerinin doğru bir biçimde saptanması bu davranışın da daha doğru bir biçimde bulunmasına imkan verecektir. Bu veriler sayesinde günümüze dek geliştirilen tekniklerin katkısıyla dinamik özellikler belirlenebilmektedir. Bu noktada süreksizlikler, yapı sisteminin niteliği, mesnetlenme biçimleri, malzeme karakteristikleri gibi özelliklerin iyi saptanması gerekliliği aşikardır. Bununla birlikte yararlanılan test tekniklerinin kabiliyetlerinin de bilinmesi gerçekçi neticelere varmayı kolaylaştıracaktır. Bu kapsamda aşağıda yaygınca yararlanılan yaklaşımlara ilişkin genel bilgiler verilecektir.

Var olan yapıya ait dinamik özelliklerin tespit edilmesi için kullanılması olası iki yaklaşım mevcuttur. Bu yaklaşımlardan en yaygın şekilde kullanılan; var olan geometrik özellikler yanında, mesnetlenme şekillerini ve malzeme karakteristiklerini de göz önünde bulundurarak gerçekleştirilen sayısal yaklaşımlardır. Bu amaçla sınır elemanlar, sonlu elemanlar ve sonlu farklar gibi sayısal yaklaşımlardan yararlanılabileceği gibi, yapı sistemi karakteristiklerine bağlı olarak saptanmış yaklaşık analitik yaklaşımlardan da yararlanılabilmektedir.

Benzer yaklaşımlarla yapılacak modellemeler ile var olan yapı sistemlerinin dinamik özelliklerinin saptanması yaklaşık olarak mümkün olmakla beraber, yukarıda bahsedilen parametrelerdeki belirsizliklere bağlı olarak önemli hatalar yapılabilir.

Var olan yapıların dinamik karakteristiklerini tespit etmek amacıyla tercih edilen ve son zamanlardaki gelişmeler doğrultusunda çok geniş bir kullanım alanına sahip olan başka bir yaklaşım ise deneysel yöntemlerdir. Bu yöntemler kendi içerisinde uygulanış şekli paralelinde çevresel titreşimlerle modal analiz ve deneysel modal

analiz şeklinde iki alt grupta sınıflandırılmaktadır. Şekil 2.28 deneysel ve teorik olarak dinamik parametrelerin tespit edilmesini şematik olarak gösterilmektedir.



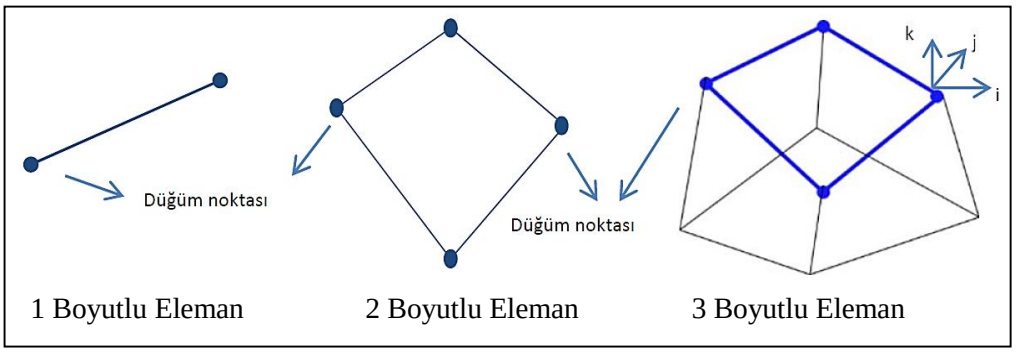
Şekil 2.28. Deneysel ve teorik modal analiz işlem akış şeması.

2.13.1.1. Teorik yaklaşımlar

Yapılara ilişkin dinamik parametreler sayısal yaklaşımlar yoluyla oluşturulan modeller ve/veya yaklaşık yöntemlerden yararlanılarak tespit edilebilmektedir. Bu yaklaşımlar doğrultusunda pek çok yapı standardı yapı sistemlerine ait 1. frekans değerinin saptanması için yaklaşık bağıntılara sahiptir. Standartlar içerisinde tanımı yapılan kurallar paralelinde inşa edilen yapılara yönelik 1. periyot değeri yapı boyutlarına göre tanımlanabildiği gibi, yaklaşık kütle ve rijitlik tahminlerine göre de tarif edilebilmektedir. Bu yaklaşımların esas mantığı, yapı sistemi 1. modunun, modal yer değiştirmelere dayanmakta olup, genel anlamda düzenli yapı sistemlerinde gerçeğe çok yakın neticeler vermektedir. Öteki yandan yapılara ait doğal titreşim frekansları sayısal modeller yapılarak da belirlenebilirken, böylelikle gerek doğal frekans gerekse mod şekilleri tahmini parametrelere ait doğruluk çerçevesinde öngörülebilmektedir. Böylece yapıya ait dinamik davranış hakkında bilgi sahibi olunabilir.

Bu bağlamda doğal frekanslar yardımıyla mod şekilleri tespit edilerek dinamik karakteristikler de teorik yönden bulunabilmektedir. Fakat genellikle mühendislik yapılarında birden fazla serbestlik derecesi bulunması teorik yöntemlerden yararlanılarak dinamik davranış tespitini çok zorlaştırırken bu noktada uzun bir süreç gerekmektedir. Bundan dolayı bilgisayar ortamında yapının sayısal modelinin teşkil edilerek ve doğru yazılımlardan yararlanılarak dinamik davranışların tespit edilmesi daha kullanışlı olmaktadır. Böyle bir yaklaşım sayesinde yapıya ait sayısal modelin yapıyı gerçek manada yansıtması gerçekçi neticeye ulaşılmasına imkan verecek, aksi halde analiz edilen yapı gerçekte kendisinden istenilen davranışı göstermeyecektir.

Sayısal model çözümlerinde çoğunlukla sonlu elemanlar yönteminden faydalanılmaktadır. Şekil 2.29'da sonlu eleman alt model örneği görülmektedir. Bu yöntem; materyal karakteristiklerinin çeşitliliği ve sınır şartlarının farklılığını zorlukla karşılaşmaksızın entegre edebilen, kolay kullanıma sahip çok yönlü sayısal analiz yöntemleri arasındadır. Bunun yanında non-lineer ve lineer materyal karakteristiklerini eşzamanlı olarak problemde kullanan, efektif ve toplam gerilme durumlarını sunacak biçimde formüle edilmiş bir analiz tekniğidir (Huvaj, 2018).



Şekil 2.29. Sonlu eleman alt modellerinden bazı örnekler.

2.13.1.2. Deneysel yaklaşımlar

1970'ler döneminde dijital FFT (Fast Fourier Transform) spektrum analizöründen yararlanılmayla beraber "deneysel modal analiz", günümüze dek ilerlemesini devam ettirmiştir. Zamanımızda ise bu amaç doğrultusunda geliştirilen sistem ve makinalardan yararlanılmaktadır. Deneysel modal analiz yöntemi, sistemde titreşim hareketleri oluşturularak FFT analizörü yardımıyla FRF (Frequency Response Function) değerlerini ölçmektedir. Titreşim testi ve ölçümü; deneysel modal analiz, çevresel titreşimlerle modal analiz ve modal test gibi tekniklerle yerine getirilmektedir. Deneysel modal analizde, sistemin zorlanması işlemi gerçekleştirildiği için, titreşim analizörü, ivme ölçer, çekiç ve benzeri titreşim oluşturan, ayrıca zorlanma şiddetini kayıt altına alabilen temel ölçüm unsurları kullanılmaktadır. Deneysel Modal Analiz Yöntemi'nde dikkat edilmesi gereken bazı şartlar birtakım temel varsayımlar bulunmaktadır geçerli olabilmesi için yapılmaktadır (Heylen, Lammens ve Sas, 2007). Bu varsayımlar şunlardır:

- Deneysel ölçümler esnasında, rutubet ve sıcaklık gibi etkiler altında yapıya ait malzeme karakteristikleri ve sınır şartlarının değişim göstermediği varsayılmaktadır.
- Yapıda meydana gelen titreşimlerin düşük olduğu başka bir deyişle yapının lineer davranış gösterdiği varsayılmaktadır. Yapının rijitliği üzerinde

değişiklik meydana getirecek oldukça büyük titreşimlerin ölçümlerinin neticelerinin geçersiz olacağı kabul edilir.

- Yapının sürekli ve bir bütün olduğu, bir başka söylemle, yapının bir noktasında saptanan davranışların tüm yapıyı yansıttığı varsayılmaktadır. Böylelikle süreksizlik gösteren unsurların lokal titreşim modlarına sahip olmadığı kabul edilir (Sevim 2010).

Deneysel modal analiz sayesinde tespit edilebilen ve ölçülebilen dinamik özelliklerle matematiksel model meydana getirilerek davranışın gerçeğe çok yakın bir biçimde yansıtabilecek sayısal modeller teşkil edilebilir. Bu çerçevede meydana getirilecek çözümlemeler yardımıyla yapının performansı hakkında kolaylıkla sonuca ulaşılabilir.

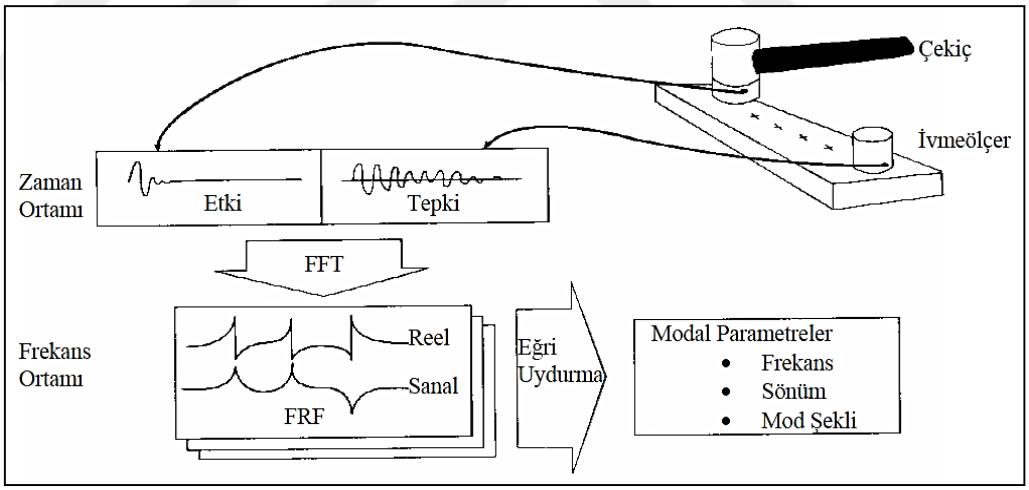
2.13.1.2.1. Deneysel modal analiz

Yapı sistemleri, yer kabuğunda meydana gelen hareketler, çevresel etkiler ve yapı içerisinde yararlanılan dönen makineler gibi pek çok sebep nedeniyle neredeyse her an titreşim etkisi altında bulunmaktadır. Bu türde titreşimler belli bir kaynağı kullanarak oluşturulabilir. Bu tarz meydana getirilen zorlama veya yükün genliği ve zamanla değişimi gibi karakteristiklerin tamamı bilineceği için ölçümü yapılan yapı sistemine dair tespitler kolaylıkla belirlenebilmektedir. Uygulanan kuvvet etkisinde olan yapılar; varsa hasar durumu, malzeme karakteristikleri ve mevcut sınır şartlarıyla ilişkili olarak titreşim hareketi ortaya koymaktadır. Yapıya etki eden kuvvet, titreşim yapan çekiç ve sarsıcı üzerine monte edilmiş bir yük ölçerle, yapıda meydana gelen titreşim tepkileri ise yapıya yerleştirilen ivme ölçerler vasıtasıyla ölçüm süresince ölçülerek kaydedilirler. Çeşitli metotlardan yararlanılarak laboratuvar ortamında kaydedilen sinyallerden yapıyla ilgili dinamik özellikler elde edilmektedir.

Deneysel modal analizin genel bir ölçüm düzeneği Şekil 2.30'da görülmektedir. Bu analiz kullanılırken laboratuvar şartlarında alışılagelmiş tekniklerle çalışmalar yapılmaktadır. Bu analiz için dışarıdan çeşitli noktalarda uygulanan etki - kuvvet ile dinamik tepkilerin beraber ölçümleri yapılarak değerlendirmeler yapılmaktadır.

Hareketi başlatan kuvvetin büyüklüğü ölçüm noktalarında yeterli tepkiyi oluşturmalıdır. Buna karşın bu kuvvet lineer sistem şeklinde değerlendirilen yapılarda çok düşük düzeydedir. Deneysel modal analiz yöntemleri lineer olmayan sistemler için de kullanılabilirler. Bu noktada sarsıcı vasıtasıyla yük kontrol edilebildiği için sistem münasip yük seviyesinde elastik sınır aşılabilirken böylelikle elastik ötesi davranış hakkından da bilgi sahibi olunabilmektedir.

Her yöntemde olduğu gibi bu teknik de öteki tekniklere nazaran bazı dezavantajlara sahiptir. İvme ölçer ve sarsıcı yerleşim noktalarının kayıtlar üzerinde kayda değer düzeyde etkisi olduğu, bundan dolayı ölçümleri birden değişik konfigürasyonla tekrar edilmesi ve neticelerin doğrulanması gerekmektedir. Bunun yanında sarsıcı için yararlanılan yükleme tiplerinin kayıtlarda gürültü seviyesini artırabildikleri, bundan dolayı bu tür fonksiyonların alıcıların yerleşimi ve yapı sistemi doğrultusunda seçilme zorunluluğu göz önünde bulundurulması gerekli hususlar arasındadır.



Şekil 2.30. Deneysel Modal Analizde Genel Bir Ölçüm Düzeneği (Bayraktar ve Türker, 2005).

2.13.1.2.2. Çevresel titreşimlerle modal analiz

Çevresel Titreşim tekniğinde doğal ya da çevresel etkilerle titreşmesi sonucunda yapının titreşimler karşısında gösterdiği reaksiyon davranışının ölçümü yapılmaktadır.

Doğal ya da çevresel etki olarak, değeri ölçülmemiş rastgele titreşimler, deprem, patlatma, rüzgar, su dalgası ya da trafikten yararlanılmaktadır (Sevim, 2010).

Büyük mühendislik yapılarının hantal ve ağır olmaları nedeniyle büyük uyarıcı kuvvetlere gereksinim duymaktadırlar. Böyle yapılarda hareketin başlatması gereken kuvvetin yalnızca bir noktadan uygulanması yetersiz olabilir. Bundan dolayı böyle yapılarda çeşitli noktalardan birden fazla sarsıcı kuvvet uygulayıcısından yararlanılması gereksinimi olduğu için hem ekonomik değildir hem de zaman alıcıdır.



Şekil 2.31. Operasyonel Modal Analiz
(https://www.sensoengineering.com/tr/service/operasyonel-modal-analiz-oma/).

Kimi yapılar doğal etkilerden dolayı titreşim halindedirler. Zaman zaman yapının bulunduğu ortamda ısıl ya da çevresel etkilerden dolayı meydana gelen titreşimler ile dinamik karakteristiklerinin test edilmesi gerekmektedir. İşletme halinde bir taraftan hareketi başlatan kuvvetin kontrolü tehlikeli ve karmaşık olabilirken öteki yandan ölçülemeyen çevresel ve iç kuvvetler karakteristiklerin tespit edilmesini riske atabileceği için, deneysel modal analizden yararlanılması çoğunlukla mümkün değildir. İşletme halinde bazı tabi uyarıcıların mevcudiyeti sebebiyle çevresel titreşimlerle modal analiz ya da çevresel titreşim testinin dikkate alınması gerekmektedir. Bu analiz yöntemine ait başlıca avantajlar şu şekilde sıralanabilir;

- Test hem daha hızlı hem de ucuzdur.
- Ölçümler doğal işletme halinde yapılırken tespit edilen modal parametreler yapıya ilişkin dinamik davranışları gerçek kullanım durumu doğrultusunda göstermektedir.
- Test esnasında yapıya ait kullanım kısıtlaması gerekliliği bulunmamaktadır.

Deneysel tekniklerle tespit edilen dinamik özelliklerin analitik açıdan tespit edilenlerle karşılaştırması yapıldığında gözle görülür farklılıklar yoksa (% 5-10'dan küçük), analitik dinamik özelliklerin yapıya ait mevcut durumu temsil ettiği kabul edilirken rüzgar ve deprem yükleme şartlarında ileri performans analizlerinin yapılabileceği modeller temin edilmiş olmaktadır. Eğer bu fark büyük (% 5-10'dan büyük) ise, analitik dinamik özelliklerin yapıya ait mevcut durumu temsil etmediği kabul edilmektedir. Bu şartlarda deneysel ve analitik dinamik özellikleri arzu edilen sınırlar içinde birbirlerine yaklaştırmak amacıyla, yapı için sonlu elemanlar modelinde yapılan varsayımlar, malzeme karakteristikleri ve sınır şartları tekrar değerlendirilerek yapının var olan davranışını temsil edecek optimum şartlar tespit edilmektedir (Sevim 2010).

Çevresel titreşim testleri vasıtasıyla modal parametrelerin saptanmasına yönelik çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Bunlar arasında geliştirilmiş frekans ortamında ayrıştırma tekniği ve stokastik alt alan belirleme tekniği başlıca olanlarıdır.

- **Geliştirilmiş frekans ortamında ayrıştırma tekniği:** Bu yöntem kolay kullanıma sahip Frekans Ortamında Ayrıştırma tekniğinin iyileştirilmiş halidir. Bu teknikte, davranışın spektral yoğunluk fonksiyonu ile hesaplanan tekil değer ayrıştırma grafiklerinde bulunan piklerin seçilmesi ile modlar saptanmaktadır. Frekans ortamında ayrıştırma tekniği hızlı fourier dönüşümündeki tek bir frekans hattının kullanımı temeline dayandığından, tespit edilen doğal frekansın kesinliği hızlı fourier dönüşümünün çözünürlüğü ile bağlantılıdır. Frekans ortamında ayrıştırma tekniğinde yapıya ait sönüm

oranları tespit edilemez. Bunun yanında geliştirilmiş frekans ortamında ayrıştırma tekniğinde saptanan mod şekilleri ve doğal frekansların kesinliği arttırılmakta ve de sönüm oranları saptanabilmektedir (Jacobsen, Andersen ve Brincker, 2006).

- Geliştirilmiş frekans ortamında ayrıştırma tekniğinde, bir titreşim pikinin çevresinde tanımlanan tek serbestlik dereceli güç spektral yoğunluk fonksiyonu, ters ayrık fourier dönüşümünden yararlanılarak zaman ortamına geri dönüştürülebilmektedir. Doğal frekans, zamana bağlı sıfır geçiş sayısının tespit edilmesiyle, sönüm de tek serbestlik dereceli normalize edilmiş oto korelasyon fonksiyonunun logaritmik azalışıyla saptanabilmektedir (Jacobsen ve diğerleri, 2006).

- Stokastik altalan belirleme tekniği: Stokastik altalan belirleme tekniği spektrum ya da korelasyona gereksinim göstermeden direkt olarak zaman verilerini kullanan ve zaman ortamına dayanan bir tekniktir. Ayrıca dinamik özelliklerin tespit edilmesi için çok uygun bir tekniktir (Baştürk, 2013).

2.13.1.3. Filtreleme yöntemleri

Bir sayısal sistemde istenilen çıkışın üretilmesi amacıyla yararlanılan donanımsal ya da yazılımsal yapılar "sayısal filtre" olarak tanımlanmaktadır. Sayısal filtreler, sonsuz ve sonlu impuls cevaplı filtre olarak iki alt başlıkta sınıflandırılmaktadır. Tekrarsız şekilde yapılan bir filtrenin arzu edilen genlik cevabının sınırlı miktarda eleman alınarak dizayn edilmesi işleminde keskin kesim frekansı bölgesinde istenilmeyen Gibbs salınımları gerçekleşmektedir. Meydana gelen bu salınımlar pencere fonksiyonları vasıtasıyla yok edilmektedir. Bu işlemler için faydalanılan pencere fonksiyonları için alan yazında farklı karakteristiklere sahip çeşitli pencere tipleri geliştirilmiştir.

Pencere fonksiyonları, sonlu impuls cevaplı sayısal filtre dizaynında arzu edilmeyen salınımları yok etmek amacıyla yararlanılan yapılardır. Bu fonksiyon,

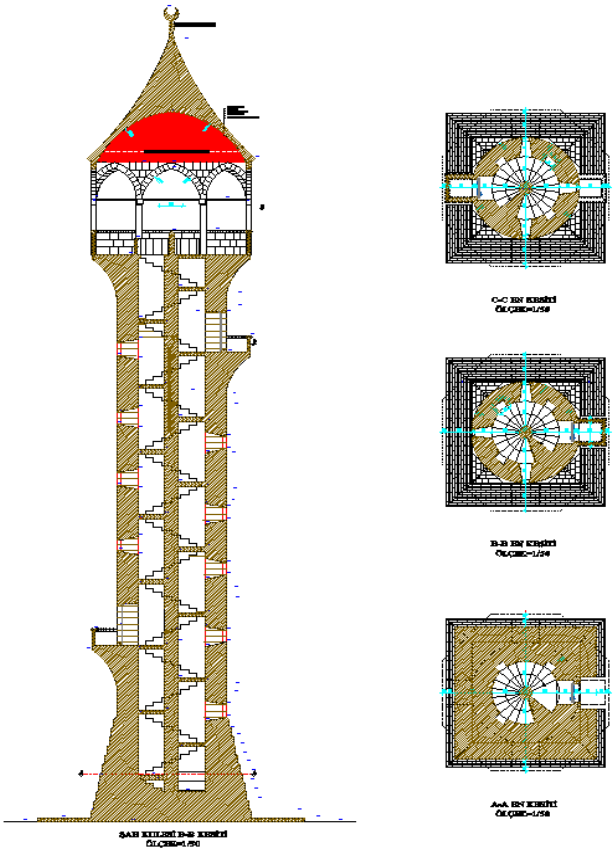
yanlob azalma oranı, dalgalanma oranı ve analob genişliği gibi fonksiyonun performansı üzerinde etkili olan parametreleri elinde bulundurur. Bu fonksiyonun tasarımında esas amaç, arzu edilen karakteristikleri temin edecek genlik spektrumuna uygun spektral parametre değerlerini elde etmektir.

Pencere fonksiyonları parametreleri kapsamında ayarlanabilir ve sabit pencereler olarak iki grupta sınıflandırılmaktadır. Sabit pencere fonksiyonu sahip oldukları pencere uzunluğu parametresiyle sadece analob genişliğini ayarlayabilir. Ayarlanabilir pencereler ise sahip oldukları parametrelerle analob genişliğini ayarlayabilirken öteki parametreler vasıtasıyla da diğer pencere spektral parametrelerini kontrol ederler. Araştırmacılar tarafından çokça kullanılan ayarlanabilir pencere fonksiyonları Ultraspherical, Dolph-Chebyshev, Saramaki ve Kaiser ile günümüzde yararlanılan Üstel, Cosh, modifiye edilmiş Cosh, modifiye edilmiş Kaiser'dir (Kaya ve İnce, 2010).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Yığma Bir Seyir Kulesi

Bu tez çalışmasında ele alınan yapı 40 m yüksekliğinde yığma yapı tekniğiyle inşa edilecek bir seyir kulesidir. Seyir kulesinin mimari tasarımı 100. Yıl Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi öğretim üyelerinden Dr. Öğr. Üyesi Şahabettin Öztürk tarafından gerçekleştirilmiştir. Modellenmiş olan kulenin mimari boy kesiti ve en kesitleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Ayrıca detaylı boy ve en kesitleri EK'1'de gösterilmiştir. Söz konusu seyir kulesi tabanda 7,70 m x 7,70 m ölçülerinde bir oturum alanına sahip olup, 5,28 m yükseklikten sonra çapı 5,00 m olan daireye dönüşmektedir. Kule 25,48 m yükseklikten sonra tekrar genişlemeye başlamıştır. Kulenin seyir kısmı ise sekizgen geometriye sahiptir.



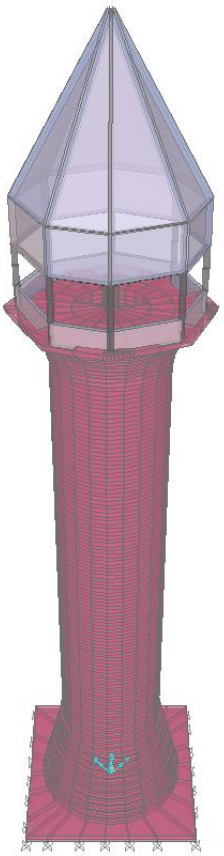
Şekil 3.1. Seyir Kulesi Plan ve Kesitleri.

Ülkemiz Van şehrinde yapılması planlanan seyir kulesinin inşasında bu bölgede bulunan Edremit Traverteni, Saphan Bazalt ve Harman Tuğla malzemeleri kullanılacaktır. Bu malzemelere ait fotoğraflar EK 2'de çalışmaya eklenmiştir. Seyir kulesinin modellenmesinde kullanılan yapı malzemelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri ile bunlara uygun harç kabulleriyle model oluşturulmuştur. Seyir kulesinin 0,00 m – 5,28 m kotları arası Saphan Bazalt, 5.28 m - 32.20 m kotları arası Edremit Traverteni, kulenin 32,20 m – 40,00 m kotları arasındaki kubbesi de Harman Tuğla malzemelerinden modellenmiştir. Ayrıca kulenin tabanından seyir terasına çıkan iç merdivenler de Edremit traverteni olarak tasarlanmıştır.

3.2. Yığma Seyir Kulesinin Modellenmesi

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018'de de belirtildiği üzere sonlu elemanlar yöntemi aracılığıyla yapılacak çözümlemede, taşıyıcı duvarların modellenmesine göre, mikro modelleme, basitleştirilmiş mikro modelleme veya makro modelleme teknikleri kullanılarak 3 farklı şekilde modelleme yapılabilir. Tercih ettiğimiz basitleştirilmiş mikro modelleme tekniğinde, yatay ve düşey harç derzleri ihmal edilmekte ve genişletilen kargir birimler ortalama ara yüzey çizgileriyle birbirinden ayrılarak modelleme yapılmıştır.

Seyir kulesi modellenirken Sap2000 sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Modelde 32 adet Çubuk (Frame), 24 adet Alan (Shell) ve 7341 adet Katı (Solid) eleman kullanılmıştır. Sap2000 programında modellenen seyir kulesi Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Seyir kulesinin Sap2000 programındaki modellemesi

Çizelge 3.1'de seyir kulesinde kullanılan malzemelerin ayrı ayrı fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir. Oluşturulan yığma duvar birimlerinin özellikleri, kullanılan bu malzeme özelliklerinden yola çıkılarak TBDY-2018 Bölüm 11. aracılığıyla belirlenmiştir.

Çizelge 3.1. Malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri

Malzeme ismi	Birim Hacim Ağırlığı (kN/m^3)	Serbest Basınç Dayanımı (N/mm^2)	Elastisite Modülü (N/mm^2)	Poisson Oranı
Edremit Traverten	20,1	31,60	14480	0,30
Saphan Bazalt	26,3	142,76	47630	0,25
Harman Tuğlası	17,0	6,60	6085	0,30

Yukarıda inşa edilecek yığma seyir kulesinde kullanılacak taşıyıcı elemanların serbest basınç dayanımları doğrultusunda, TBDY-2018'den alınan Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3 baz alınarak inşa edilecek yığma seyir kulesinin kargir birim basınç dayanımı f_b =5,50 MPa olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.2. TBDY-2018 Yığma duvarların karakteristik basınç dayanımları

Birim-Birim Sınıfı	Harç sınıfı	Harç basınç dayanımı, f_m (MPa)*	Kargir birim basınç dayanımı, f_b (MPa)					
			5	10	15	20	25	30
Grup I	Genel amaçlı harç	M10-M20	3.4-4.2	5.5-6.8	7.3-9.0	8.9-11.0	10.4-12.9	11.9-14.6
		M2.5-M9	2.2-3.3	3.6-5.3	4.8-7.1	5.9-8.7	6.9-10.1	7.8-11.5
		M1-M2	1.7-2.1	2.8-3.4	3.7-4.5	4.5-5.5	5.2-6.4	5.9-7.3
Grup II ve Kesme taş		M10-M20	2.8-3.4	4.5-5.5	6.0-7.4	7.3-9.0	8.5-10.5	9.7-12.0
		M2.5-M9	1.8-2.7	3.0-4.4	3.9-5.8	4.8-7.1	5.6-8.3	6.4-9.4
		M1-M2	1.4-1.7	2.3-2.8	3.0-3.7	3.7-4.5	4.3-5.3	4.9-6.0
Tuğla (Grup I)	İnce tabakalı harç**		2.9	5.3	7.5	9.6	11.6	13.5
Tuğla (Grup II)			2.2	3.5	4.7	5.7	6.7	7.6
Beton (Grup I), Gazbeton			3.1	5.7	8.0	10.2	12.3	14.4
Beton (Grup II)			2.6	4.6	6.5	8.3	10.0	11.7

(*) Harçlar M harfini takip eden rakamı MPa cinsinden karakteristik basınç dayanımlarını gösterecek şekilde isimlendirilmiştir.
(**) İnce tabakalı harç, dirimler arası harç tabakası 0,5 mm ile 3,0 mm olan harç

TBDY-2018'de belirtildiği üzere yığma duvarların karakteristik kayma dayanımları f_{vk} 'nın denklem 3.1'de belirtilen ve yönetmelikte Denklem 11.1'le ifade edilen bağlantıyla elde edilebileceği görülmektedir.

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4\sigma_d \leq 0{,}10\, f_b \qquad (3.1)$$

Denklem 3.1'deki bağıntıda;

- f_{vko} , TBDY-2018'de bulunan duvarların başlangıç kesme dayanımları başlıklı Çizelge 3.3 aracılığıyla elde edilecektir.
- σ_d , Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan düşey basınç gerilmesini yani analiz neticesinde seçilen duvar kesitinde oluşan basınç gerilmesini ifade eder.
- f_b , ise Çizelge 3.1 de verilen malzemelerin serbest basınç dayanımıdır.

Tüm bu veriler aracılığı ile analiz sonrasında elemanlarda oluşan basınç gerilmeleri neticesinde elemanın dayanacağı kayma gerilmeleri söz konusu bağıntı ile Çizelge 4.2'de hesap edilmiş ve çalışmaya eklenmiştir.

Çizelge 3.3. TBDY-2018 Duvarların başlangıç kesme dayanımları

Kargir birim	Genel amaçlı harç(*)		İnce tabaka harç
Tuğla	M10-M20	0.30	0.30
	M2.5-M9	0.20	
	M1-M2	0.10	
Beton	M10-M20	0.20	0.30
Gazbeton	M2.5-M9	0.15	0.30
Doğal veya Yapay Taş	M1-M2	0.10	Kullanılamaz

(*) Harçlar M harfini takip eden rakam MPa cinsinden karakteristik basınç dayanımlarını gösterecek şekilde isimlendirilmiştir.

Oluşturulan taşıyıcı duvarların modelde kullanılan elastisite modülleri de TBDY-2018 11.2.13 maddesinde belirtildiği üzere yapısal çözümlemede $\mathbf{750}f_k$ değerine eşit alınmıştır.

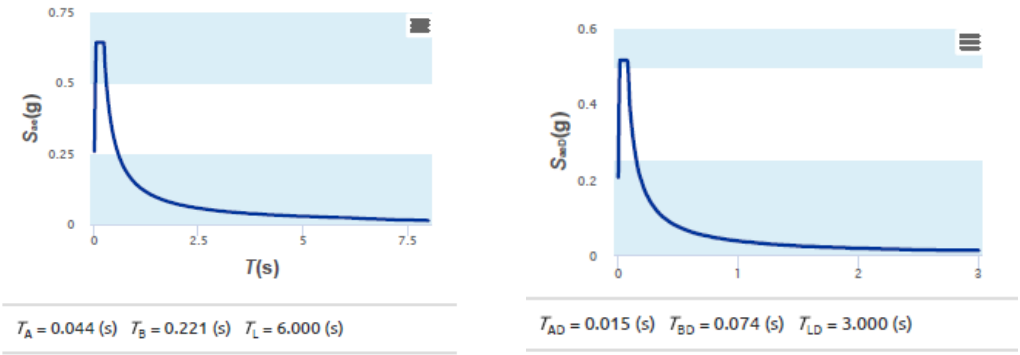
Seyir kulesinin deprem analizlerinde TBDY-2018 yönetmeliği esas alınmıştır. Deprem yönetmeliğimizle birlikte deprem haritalarının ve deprem hesabının güncellenmiş olması nedeniyle yapılacak yeni yapılarda spektral ivmelerin

belirlenebilmesi için enlem ve boylam belirtmek gerekliliği bilinmektedir. Bu nedenle modellenmiş seyir kulesinin hem deprem bölgesi olması hem de yığma bir seyir kulesinin kültürel mozaiğe uygun olacağı düşünüldüğü için Van ili Tuşba ilçesinde bulunan Geleneksel Van Evleri yakınında konumlandırılmıştır. Bu konuma göre enlem ve boylamı belirlenmiştir.

Seyir kulesinde DD-2 deprem düzeyi tasarım depremi olarak belirlenmiş ve AFAD'ın düzenlemiş olduğu Türkiye deprem tehlike haritaları isimli uygulamasından söz konusu enlem ve boylama göre S_s ve S_1 parametreleri belirlenmiş ve Sap2000 programına bu değerler girilerek spektrumlar tanımlanmıştır. AFAD'ın Türkiye deprem tehlike haritaları interaktif web uygulamasından alınan yatay ve düşey elastik tasarım spektrumları Şekil 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Seyir kulesi tasarım depremi parametreleri

Raporun Ait Olduğu Yapı	Seyir Kulesi
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2
Yerel Zemin Sınıfı	ZB
Enlem	38.548686 °
Boylam	43.334920 °
S_s	0.717
S_1	0.178



(a) Yatay elastik tasarım spektrumu (b) Düşey elastik tasarım spektrumu

Şekil 3.3. AFAD Türkiye deprem tehlike haritaları interaktif web uygulamasından alınan spektrumlar.

Analizlerin yapılacağı yapı modelinin oluşturulmasından sonra model üzerinde yapılacak yükleme kombinasyonları belirlenmiştir. Analizlerde ikinci mertebe etkileri dikkate alınmamıştır.

TBDY-2018'de deprem etkilerinin diğer etkilerle birleştirilmesi başlığı altında, taşıyıcı elemanların tasarımında esas alınmak üzere, deprem etkisini içeren yük kombinasyonları aşağıdaki bağlantılarla tanımlanmıştır.

$$G + Q + 0{,}2S + E_d^{(H)} + 0{,}3E_d^{(Z)} \tag{3.2}$$

$$0{,}9G + H + E_d^{(H)} - 0{,}3E_d^{(Z)} \tag{3.3}$$

2018 deprem yönetmeliğinde yatayda birbirine dik doğrultudaki deprem etkilerinin birleştirilmesi hususunu, eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemlerinden biri ile deprem hesabı yapılması durumunda aşağıdaki bağlantılarla yapılacağı belirtilmiştir.

$$E_d^{(H)} = \pm E_d^{(X)} \pm 0{,}3E_d^{(Y)} \tag{3.4}$$

$$E_d^{(H)} = \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} \tag{3.5}$$

Ayrıca düşey deprem etkisini de yataydaki izdüşümü 20 m veya daha fazla olan kirişleri içeren binaların, konsollarının 5 m veya daha fazla olan binaların, kirişlere oturan kolonları içeren binaların ve kolonları düşeye göre eğimli olan binaların dışındaki binalarda aşağıdaki denklem ile yaklaşık olarak hesaplanacağı belirtilmiştir.

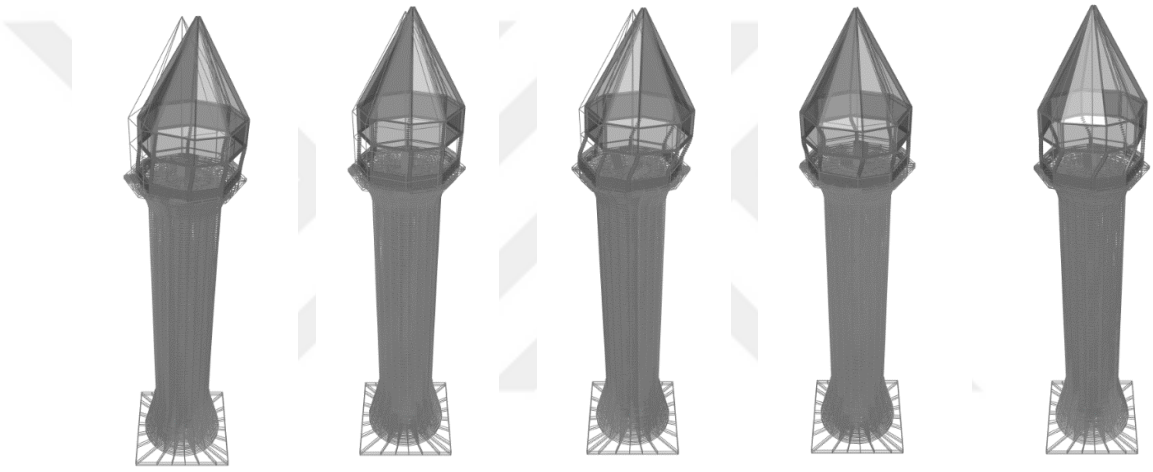
$$E_d^{(Z)} \approx (2/3)S_{DS}G \tag{3.6}$$

Tasarım depremleriyle oluşturulan yük kombinasyonlarının haricinde bir de modele, Düzce, Elcentro, Erzincan, Kobe ve Kocaeli (Yarımca İstasyonu) depremlerinin ivme kayıtları tanımlanıp analizleri yapılmıştır. Bu depremler neticesinde zaman tanım alanında değerlendirmeler tezin ilerleyen bölümünde sunulmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Seyir kulesinde materyal ve yöntem bölümünde anlatıldığı üzere modelleme ve analiz parametreleri belirlenmiştir. Deprem yönetmeliği 2018 doğrultusunda seyir kulesinde yük kombinasyonları oluşturulmuş ve bu yük kombinasyonları neticesinde analiz sonuçları çizelgelere aktarılmıştır.

Seyir kulesi x ve y doğrultusunda simetrik olduğundan sadece x doğrultusuna ait ilk beş modda oluşan periyot değerleri Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

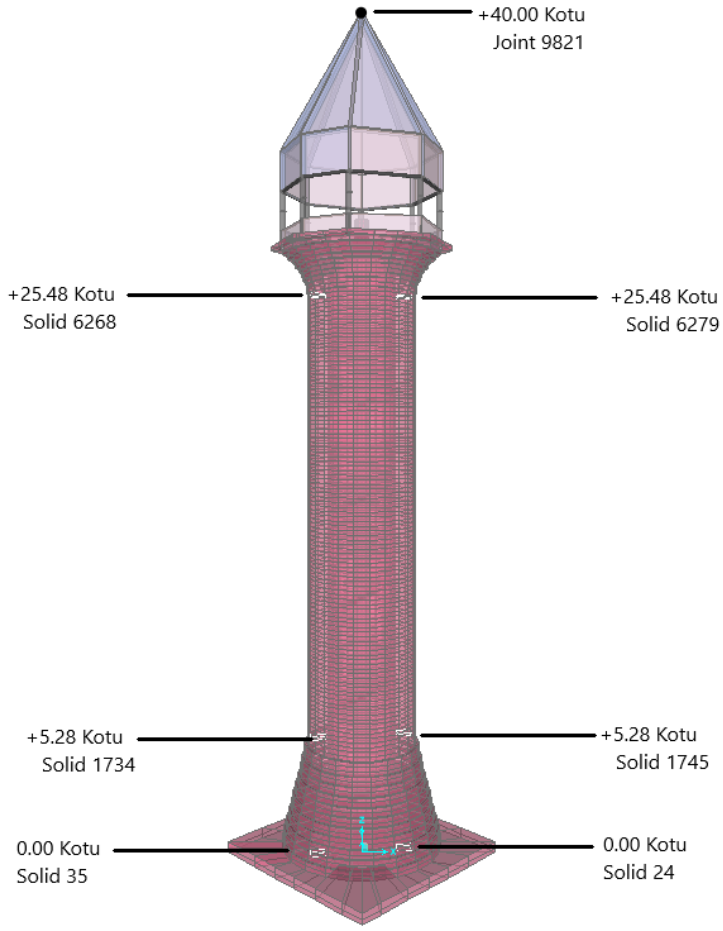


1. Mod	2. Mod	3. Mod	4. Mod	5. Mod
0,781sn	0,331sn	0,314sn	0,218sn	0,124sn

Şekil 4.1. Modal analiz sonucu x doğrultusuna ait ilk beş moda ait periyot değerleri.

Tanımlanan kombinasyonlar ve yapılan analizlerin değerlendirilmesi açısından seyir kulesinde gerilmelerin kontrol edileceği üç ayrı kritik kesit belirlenmiştir. Bunlardan ilki temel seviyesindeki 2 adet solid eleman, diğeri kulenin temelden sonra kesit daralmasının başladığı +5,28 m kotundaki 2 adet solid eleman ve sonuncusu ise seyir terasının altında +25,48 m kotunda kesitin genişlemeye başladığı noktadaki 2 adet solid eleman olarak belirlenmiştir. Bu elemanlarda basınç ve kayma gerilmeleri kontrolü yapılırken, 9821 nolu düğüm noktası (joint elemanı) olan tepe noktasında da

yer değiştirme kontrolleri yapılmıştır. Bahsi geçen bu kritik kesit ve elamanlar Şekil 4.2'de de gösterilmiştir.



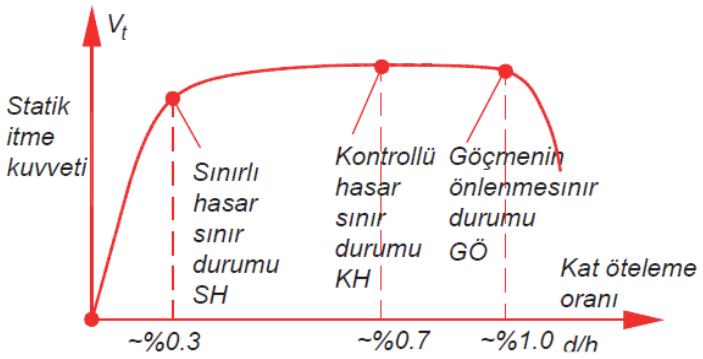
Şekil 4.2. Seyir kulesinde kontrol edilen kritik kesit ve eleman isimleri

Önemli olan modelleme ve analizleri gerçekleştirilen yığma yapıda oluşan basınç ve kayma gerilmeleri ile yer değiştirme kontrollerinin hangi kriterler üzerinden yapılması gerekliliğidir. Bu doğrultuda "Tarihi Yapılar için Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu" çalışmamızı aydınlatan bir diğer kaynak eser olmuştur.

Kılavuzun 6. bölümü, yapısal modelleme ve değerlendirme ana başlığında, deprem etkisi altında yapısal güvenlik olarak değerlendirmenin nasıl yapılması gerekliliği tanımlanmıştır.

Burada belirli deprem etkisindeki yapılar için yapısal performans düzeyleri Şekil 4.3'de de görüldüğü üzere;

a) Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi
b) Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi
c) Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyleri olarak ayrı ayrı tanımlanmıştır.



Şekil 4.3 Statik itme eğrisi ve sınır durumları.

Deprem yönetmeliği yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı tasarımında "hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi; orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması; şiddetli depremlerde ise, kontrollü hasarın sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlanmasını" öngörmektedir (Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu).

Tüm bu kriterler altında tarihi yapılar için deprem risklerinin yönetimi kılavuzunda da belirtilen sınır değer kabulleri Çizelge 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Performans düzeyleri ile ilgili hesap yöntemleri ve gerilme, şekil değiştirme sınırları.

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

Seyir kulesinin DD-2 tasarım depremi kabulüyle yapılan analizleri neticesinde oluşan gerilmeler ile malzemenin karakteristik özelliklerinden yola çıkılarak bulunan (taşınabilecek) maksimum gerilmeler Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'de kıyaslanmıştır.

Çizelge 4.2. Azaltılmamış deprem etkisi altında tasarım depremi gerilme kontrolleri.

SINIRLI HASAR DURUMU DD-2 DEPREMİ R=1,0 D=1,0						
Kritik Kesit Kot ve İsimleri			Oluşan En Büyük Normal Gerilme σ (N/mm²)	Normal Emniyet Gerilmesi σ (N/mm²)	Oluşan En Büyük Kayma Gerilmesi τ (N/mm²)	Kayma Emniyet Gerilmesi τ (N/mm²)
Taban Kesiti 0.00 Kotu	24	SOLID	0,695 ✔	5,500	0,051 ✔	0,378
	35	SOLID	0,718 ✔	5,500	0,029 ✔	0,387
Geçiş Kesiti +5.28 Kotu	1734	SOLID	0,287 ✔	5,500	0,037 ✔	0,215
	1745	SOLID	0,313 ✔	5,500	0,046 ✔	0,225
Üst Seyir Altı +25.48 Kotu	6268	SOLID	0,252 ✔	5,500	0,044 ✔	0,201
	6279	SOLID	0,240 ✔	5,500	0,039 ✔	0,196

Çizelge 4.3. Azaltılmış deprem etkisi altında tasarım depremi gerilme kontrolleri.

KONTROLLÜ HASAR DURUMU DD-2 DEPREMİ R=2,5 D=1,5						
Kritik Kesit Kot ve İsimleri			Oluşan En Büyük Normal Gerilme σ (N/mm²)	Normal Emniyet Gerilmesi σ (N/mm²)	Oluşan En Büyük Kayma Gerilmesi τ (N/mm²)	Kayma Emniyet Gerilmesi τ (N/mm²)
Taban Kesiti 0.00 Kotu	24	SOLID	0,366 ✔	5,500	0,032 ✔	0,246
	35	SOLID	0,401 ✔	5,500	0,015 ✔	0,260
Geçiş Kesiti +5.28 Kotu	1734	SOLID	0,144 ✔	5,500	0,018 ✔	0,158
	1745	SOLID	0,153 ✔	5,500	0,023 ✔	0,161
Üst Seyir Altı +25.48 Kotu	6268	SOLID	0,162 ✔	5,500	0,027 ✔	0,165
	6279	SOLID	0,154 ✔	5,500	0,024 ✔	0,162

Görüldüğü üzere doğrusal hesap yöntemi kullanılarak yapılan analizlerde sınırlı hasar kontrolleri yapılırken düşey yük ve azaltılmamış öngörülen deprem etkisinde hesap dayanım sınır değerleri kontrol edilmiş ve bu sınır değerlerin aşılmadığı anlaşılmıştır.

Ayrıca yine doğrusal hesap yöntemi kullanılarak yapılan analizlerde bu defa kontrollü hasar durum kontrolleri yapılırken düşey yük ve azaltılmış öngörülen deprem etkisinde bulunan hesap dayanım sınır değerleri kontrol edilmiş ve bu sınır değerlerin de aşılmadığı anlaşılmıştır.

DD-2 depreminde oluşan gerilmeler kontrollü hasar sınır durumunda aşılmadığından, aynı deprem koşullarında göçme öncesi sınır durum değerlendirmesine gerek kalmamaktadır.

Değerlendirilme yapılması gereken bir diğer önemli hususun da öteleme sınır değerleri olduğu bilindiğinden Çizelge 4.4'te bu değerlerin karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 4.4. Tasarım depremi öteleme kontrolleri.

Kritik Kesit Kot ve İsimleri		TASARIM DEPREMİ	OLUŞAN EN BÜYÜK YER DEĞİŞTİRME MİKTARI (mm)	SINIRLI HASAR ÖTELEME ORANI < %0,3		KONTROLLÜ HASAR ÖTELEME ORANI < %0,7		GÖÇME ÖNCESİ ÖTELEME ORANI < %1	
Tepe Noktası	9821	DD-2	142	115	✗	269	✔	384	✔

Doğrusal hesap yöntemiyle azaltılmamış deprem etkisindeki analiz sonucunda alınan öteleme değeri ve buna karşılık gelen sınır değerler Çizelge 4.4'te gösterilmiştir. Analiz neticesinde hesaplanan yer değiştirmenin kontrollü hasar ve dolayısıyla göçme öncesi sınır durumu öteleme oranlarını aşmadığı fakat sınırlı hasar öteleme sınır durumunu sağlamadığı anlaşılmıştır.

Seyir kulesinin dinamik analizi incelenirken tasarım depremlerinin haricinde, gerçek deprem kayıtları da kullanılarak yapılan analizler sonucunda zaman tanım alanında değerlendirmeler de yapılmıştır. TBDY-2018 yönetmeliği ile zaman tanım alanında deprem hareketlerinin tanımlanmasında uygulanması gerekli kurallar bina taşıyıcı sistemleri için belirtilmiş olması ve yapımızın yığma bir seyir kulesi olması münasebeti ile bu kurallar baz alınmamış ve bir takım deprem kayıtları seçilerek zaman tanım alanında analizler gerçekleştirilmiştir. Zaman tanım alanında analizler için seçilen depremler aşağıda açıklanmış ve Çizelge 4.5'te özellikleri verilmiştir.

El Centro Depremi (1940): Amerika Birleşik Devletleri'nin Kalifornia eyaletinde meydana gelen bu deprem 6.5 büyüklüğünde gerçekleşmiştir. Can kaybı 9 kişi ile sınırlı kalsa da 20 kişinin yaralanmasına ve 6 milyon dolar kadar bir hasarın oluşmasına sebebiyet vermiştir. Ayrıca yapılaşmanın %80'inin zarar gördüğü de açıklamalar dahilindedir. Bu deprem kaydı düzgün kaydedilen ilk güçlü yer hareketi olmasından dolayı bir çok çalışmada referans kayıt olarak kullanılmıştır.

Erzincan Depremi(1992): Erzincan ilinin güneydoğusunda meydana gelen 6,7 büyüklüğündeki depremde 801 kişi ölmüş, 8057 bina da hasar görmüş ya da yıkılmıştır.

Kobe Depremi (1995): Japonya'nın batısındaki yoğun nüfuslu Kansai Bölgesi'nin Kobe kentinde meydana gelen 7,2 büyüklüğündeki depremde 6200 kişi yaşamını yitirmiştir.

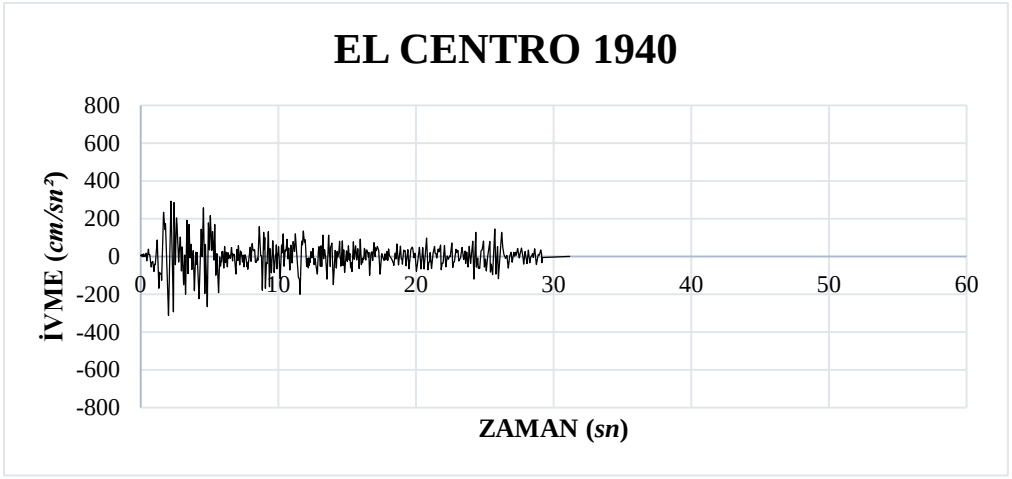
Kocaeli (Yarımca) Depremi (1999): Merkez üssü Kocaeli'nin Gölcük ilçesi olan 7,5 büyüklüğündeki deprem 45 saniye sürmüştür. Depremde 18 bin 373 kişi hayatını kaybetmiş, 48 bin 901 kişi de yaralanmıştır. Ayrıca 5 bin 840 kişi de kaybolmuştur. Depremde 364 bin 905 konut ve işyeri yıkılmış ya da çeşitli düzeylerde hasar görmüştür.

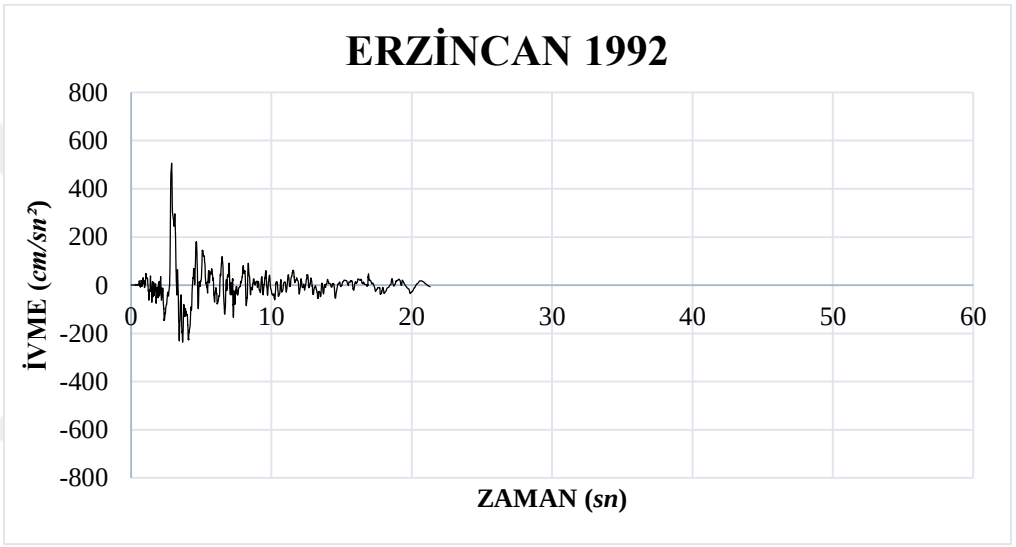
Düzce Depremi (1999): Büyüklüğü 7,5 ve merkez üssü Düzce olan deprem 30 saniye süreyle etkili olmuştur. Bu depremde 710 kişi ölmüş 2679 kişi de yaralanmıştır. Depremde hasar gören ve derhal yıkılması gereken bina sayısı 3395, yıkık ya da ağır hasarlı ev sayısı 12939, iş yeri sayısı ise 2450'dir.

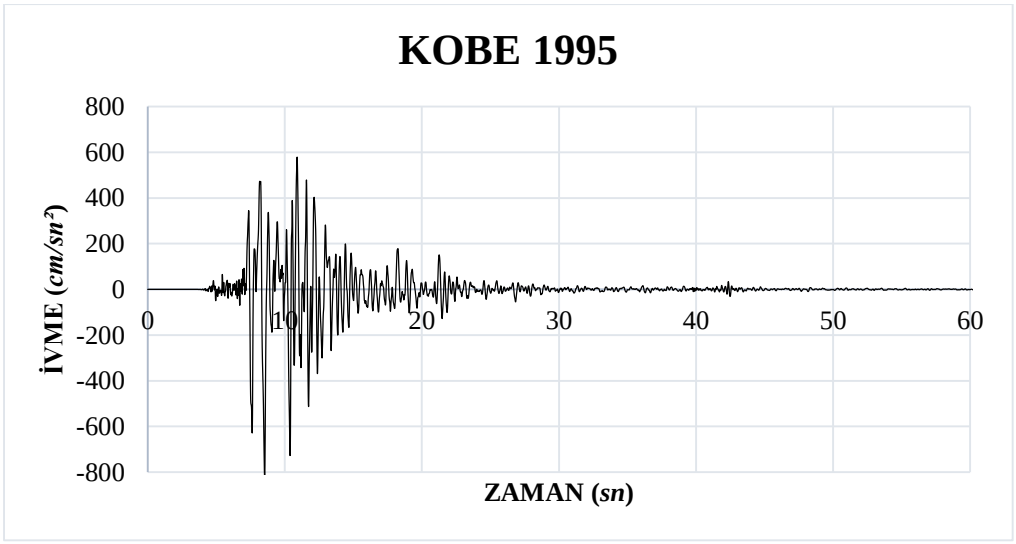
Çizelge 4.5. Analizlerde kullanılan deprem kayıtlarının özellikleri (Gül, Özdemir ve Avşar, 2017)

Deprem	İstasyon	Tarih	Bileşke	Büyüklük M_S	En Büyük Zemin İvmesi (*g*)	En Büyük Zemin Hızı (*cm/sn*)	En Büyük Zemin Yer Değiştirmesi (*cm*)
El Centro	El Centro	19.05.1940	050	6,5	0,170	47,50	31,10
Erzincan	Erzincan	13.03.1992	NS	6,7	0,520	84,00	27,70
Kobe	Kobe City	16.01.1995	000	7,2	0,820	81,30	17,70
Kocaeli	Yarımca	17.08.1999	060	7,5	0,270	65,70	57,20
Düzce	Düzce	12.11.1999	180	7,5	0,310	58,90	44,20

Çizelge 4.5'de özellikleri verilen depremlerin ivme-zaman grafikleri Microsoft Excel programı yardımıyla çizilmiş ve Şekil 4.4'de çalışmaya eklenmiştir.

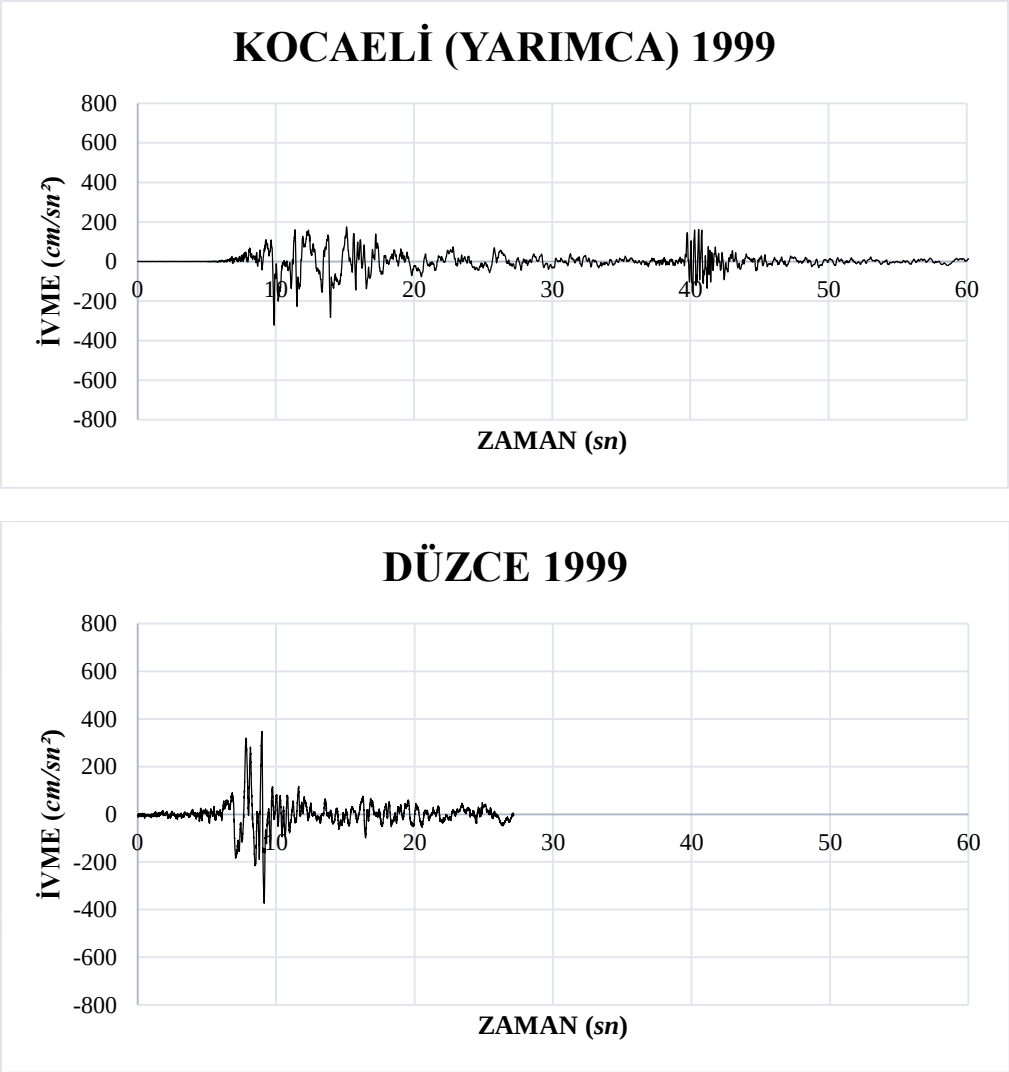






Şekil 4.4. Deprem kayıtları ivme – zaman grafikleri.

Şekil 4.4. (**devam**)



Şekil 4.4 Deprem kayıtları ivme – zaman grafikleri

Şekil 4.4'de görünen ve tanımları yapılan bu deprem ivme kayıtları kullanılarak yapılan analiz sonuçları da Çizelge 4.6'te çalışmaya eklenmiştir.

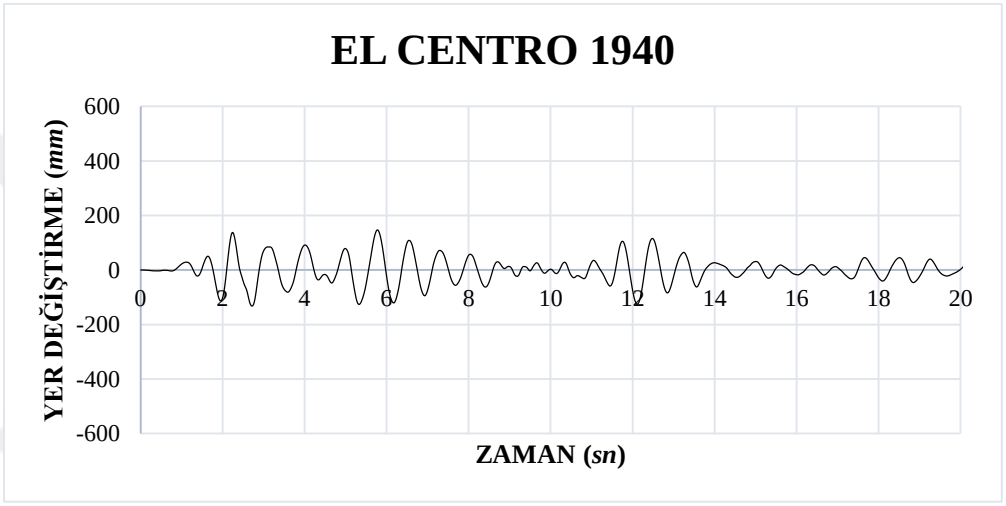
Çizelge 4.6. Deprem ivme kayıtları kullanılarak yapılan analiz gerilme sonuçları ve sınır değerler

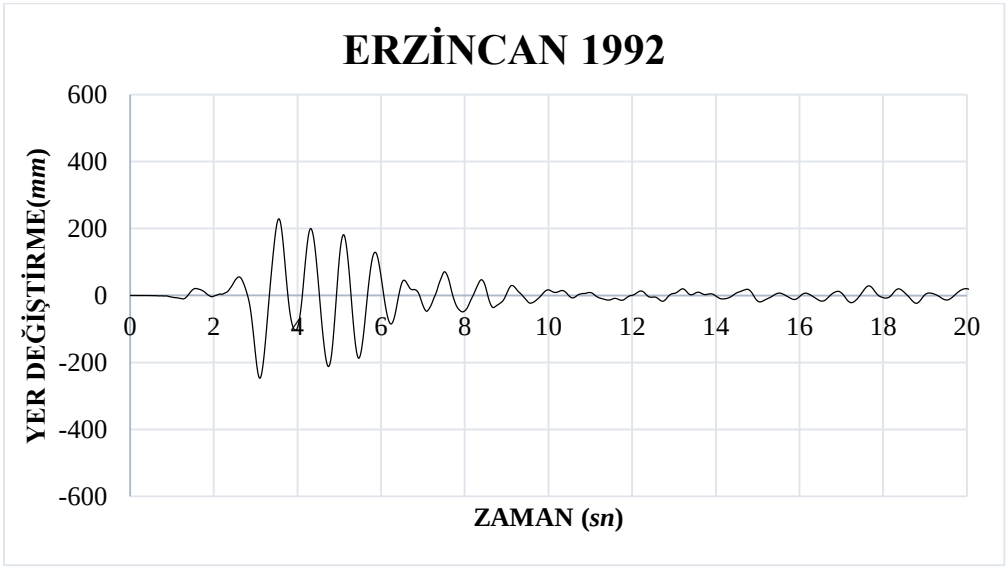
Kritik Kesit Kot ve İsimleri			Deprem Kaydı	Oluşan Normal Gerilme σ (*N/mm²*)		Normal Emniyet Gerilmesi σ (*N/mm²*)	Oluşan Kayma Gerilmesi τ (*N/mm²*)		Kayma Emniyet Gerilmesi τ (*N/mm²*)
Taban Kesiti 0.00 Kotu	24	SOLID	EL CENTRO	0,365	✔	5,500	0,018	✔	0,246
	24	SOLID	ERZINCAN	0,583	✔	5,500	0,018	✔	0,333
	24	SOLID	KOBE	1,534	✔	5,500	0,046	✔	0,714
	24	SOLID	YARIMCA	0,562	✔	5,500	0,017	✔	0,325
	24	SOLID	DUZCE	0,495	✔	5,500	0,015	✔	0,298
Taban Kesiti 0.00 Kotu	35	SOLID	EL CENTRO	0,345	✔	5,500	0,016	✔	0,238
	35	SOLID	ERZINCAN	0,605	✔	5,500	0,043	✔	0,342
	35	SOLID	KOBE	1,454	✔	5,500	0,043	✔	0,682
	35	SOLID	YARIMCA	0,427	✔	5,500	0,016	✔	0,271
	35	SOLID	DUZCE	0,405	✔	5,500	0,014	✔	0,262
Geçiş Kesiti +5.28 Kotu	1734	SOLID	EL CENTRO	0,138	✔	5,500	0,024	✔	0,155
	1734	SOLID	ERZINCAN	0,253	✔	5,500	0,039	✔	0,201
	1734	SOLID	KOBE	0,619	✔	5,500	0,100	✔	0,347
	1734	SOLID	YARIMCA	0,176	✔	5,500	0,036	✔	0,171
	1734	SOLID	DUZCE	0,169	✔	5,500	0,031	✔	0,168
Geçiş Kesiti +5.28 Kotu	1745	SOLID	EL CENTRO	0,141	✔	5,500	0,028	✔	0,156
	1745	SOLID	ERZINCAN	0,224	✔	5,500	0,045	✔	0,190
	1745	SOLID	KOBE	0,593	✔	5,500	0,012	✔	0,337
	1745	SOLID	YARIMCA	0,217	✔	5,500	0,043	✔	0,187
	1745	SOLID	DUZCE	0,187	✔	5,500	0,037	✔	0,175
Üst Seyir Altı +25.48 Kotu	6268	SOLID	EL CENTRO	0,078	✔	5,500	0,010	✔	0,131
	6268	SOLID	ERZINCAN	0,093	✔	5,500	0,011	✔	0,137
	6268	SOLID	KOBE	0,186	✔	5,500	0,025	✔	0,174
	6268	SOLID	YARIMCA	0,069	✔	5,500	0,010	✔	0,127
	6268	SOLID	DUZCE	0,104	✔	5,500	0,012	✔	0,142
Üst Seyir Altı +25.48 Kotu	6279	SOLID	EL CENTRO	0,053	✔	5,500	0,014	✔	0,121
	6279	SOLID	ERZINCAN	0,049	✔	5,500	0,014	✔	0,119
	6279	SOLID	KOBE	0,137	✔	5,500	0,034	✔	0,155
	6279	SOLID	YARIMCA	0,047	✔	5,500	0,013	✔	0,119
	6279	SOLID	DUZCE	0,071	✔	5,500	0,017	✔	0,128

Zaman tanım alanında yapılan doğrusal analiz sonuçları değerlendirilmiş ve seyir kulesinde basınç ile kayma gerilmelerinin yine aşılmadığı anlaşılmıştır. Bununla

birlikte tasarım depremi (DD-2) ile ivme kayıtlarıyla oluşturulan deprem sonuçlarını kıyasladığımızda zaman tanım alanında karşılaşılan gerilmelerin daha büyük olduğu görülmüştür.

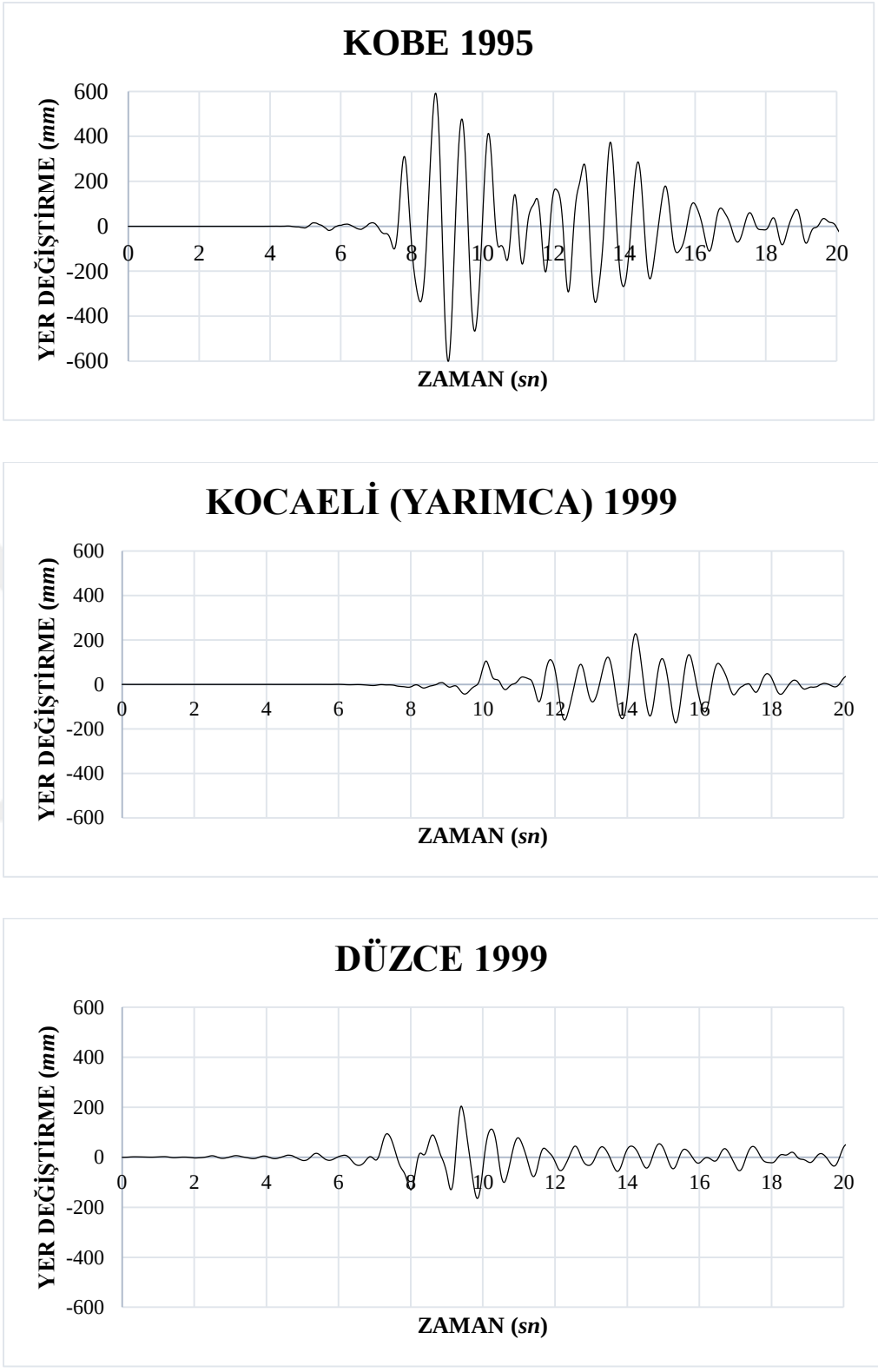
Zaman tanım alanı değerlendirme sonuçlarında seçilen kritik kesit gerilmelerinin sınır değerleri aşmaması önemli bir hususken, yer değiştirme kontrollerinin de yapılması gerekmektedir. Bu nedenle ivme kayıtlarıyla yapılan doğrusal analiz sonuçlarından 9821 nolu tepe noktasının yer değiştirme grafikleri Şekil 4.5'te çalışmaya eklenmiştir.





Şekil 4.5. Zaman tanım alanı analizleri tepe noktası yer değiştirme – zaman grafikleri

Şekil 4.5. (**devam**)



Şekil 4.5. Zaman tanım alanı analizleri tepe noktası yer değiştirme – zaman grafikleri.

Zaman tanım alanında yapılan analiz sonucu seyir kulesinin tepe noktasında oluşan yer değişmelerle sınır değer karşılaştırmaları Çizelge 4.7'e verilmiştir.

Çizelge 4.7. Deprem ivme kayıtları kullanılarak yapılan analiz öteleme sonuçları ve sınır değerler

Kritik Kesit Kot ve İsimleri	**Deprem Kaydı**	**Oluşan En Büyük Yer Değiştirme Miktarı (*mm*)**	**Oluşan En Büyük Öteleme Oranı (%)**		**Sınırlı Hasar Öteleme Oranı < %0,3**	**Kontrollü Hasar Öteleme Oranı < %0,7**	**Göçme Öncesi Öteleme Oranı < %1**
Tepe Noktası			**h=40000*mm***	**%**			
9821	EL CENTRO	147	147 / 40000	0,37	✗	✔	✔
9821	ERZINCAN	229	229 / 40000	0,57	✗	✔	✔
9821	KOBE	593	593 / 40000	1,48	✗	✗	✗
9821	YARIMCA	228	228 / 40000	0,57	✗	✔	✔
9821	DUZCE	204	204 / 40000	0,51	✗	✔	✔

Tasarım depreminde de olduğu gibi seçilen deprem kayıtlarından alınan analiz sonuçlarına bakıldığında sınırlı hasar durumunda sağlanması istenilen öteleme sınır değerlerinin aşıldığını belirlenmiştir.

Kontrollü hasar ve göçme öncesi sınır durumlarında ise Kobe gibi büyük bir depremde öteleme sınırlarının aşıldığını fakat diğer depremlerde öteleme sınır koşullarının sağlandığı görülmüştür.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Günümüz inşaat teknolojisiyle birlikte yapı malzemeleri her ne kadar değişmekte olsa da hem mevcut tarihi yapıların değerlendirilmesi hem de tarihi dokuya uygun yeni yığma yapıların yapılabilmesi amacıyla, doğal taşlarla yığma yapı oluşturma tekniğine de önem vermek ve geliştirmek gerekmektedir.

Söz konusu çalışmanın içeriğini belirleyen seyir kulesinin yığma yapı tekniğiyle tasarlanması, yığma yapı davranışının statik ve dinamik yükler etkisi altında daha iyi anlaşılmasını sağlamak amaçlanmıştır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 doğrultusunda oluşturulan tasarım depremi ve meydana gelmiş eski deprem kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında dinamik analiz sonuçlarının değerlendirildiği bu çalışma, yığma yapı tekniğiyle inşa edilmiş yüksek kule tipi yığma yapıların deprem davranışlarının anlaşılmasında faydalı olmuştur.

Sonuç olarak yığma yapı tekniğiyle oluşturulan kargir birimin basınç dayanımları yüksek olsa da kayma dayanımlarının düşük olması bu tür yapıları deprem gibi dinamik yükler karşısında zayıf kılmaktadır. Bu durum yaptığımız çalışmayla doğrulanmıştır. Böylece yığma yapıları yönetmeliklerde verilen kurallara göre yapmanın önemi bir kez daha anlaşılmıştır.

Ayrıca yığma yapı tekniği ile inşa edilen yüksek kule tipi yapıların büyük depremlerde yer değiştirme sınır değerlerinin aşıldığı görüldüğünden tepe deplasmanlarını azaltacak araştırmaların yapılmasının faydalı olacağı önerilmektedir.

KAYNAKLAR

ACAR, R., 2009. Anıtsal Kule Türü Yapıların Deprem Davranışlarının İncelenmesi ve Alternatif Sistemlerin Geliştirilmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 124s.

ARSLAN, E., 2018. Yapı-Zemin Etkileşimli Kule Türü Yapılarda P-Delta Etkisi. Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 87s.

AYDOĞAN, M. ve HASGÜR Z., 1988. Betonarme Bacalar. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

BABUR, A., 2012. Kule Yapıların Deprem Etkisinde Sonlu Elemanlarla Modellenmesi ve Simülasyonu. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Samsun, 97s.

Baştürk, M. H., 2013. Bursa Tarihi Yığma Minarelerinin Dinamik Davranışlarının Modal Analiz Yöntemi ile İncelenmesi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 108s.

BAYRAKTAR, A. ve TÜRKER, T., 2005. Deneysel Modal Analiz Yöntemi İle Düzlem Çerçevelerin Dinamik Karakteristiklerinin Belirlenmesi. Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart, Kocaeli, s.1035-1041.

BAYÜLKE N., 1980. Yığma Yapılar. T.C. İmar ve İskân Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara, 111s.

BAYÜLKE N., 1999. Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi. İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir, 95s.

BEYAZOĞLU A., 2006. Kule Tipi Betonarme Yapıların Analizi ve Betonarme Tasarımı. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 116s.

BUDAK, A., UYSAL, H. ve AYDIN, A. C., 2004. Kırsal Yapıların Deprem Karşısındaki Davranışı. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 35 (3-4): 209-219.

CELEP, Z., 2001. Mevcut Binaların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi ve Güçlendirilmesi. Mevcut Yapıların Deprem Yüklerine Karşı Güçlendirilmesi ve Çıkmalı Binalardaki Sorunlar Sempozyumu, İstanbul.

CELEP, Z. ve KUMBASAR, N., 2005. Betonarme Yapılar. Beta Dağıtım, İstanbul, 829s.

CHO, K.P. ve TAMURA, Y., 1999. Field measurement of damping in industrial chimneys and towers. First International Conference on Advances in Mechanics, 1: 695-700.

CHOPRA, A.K., 2001. Dynamics of Structures 2E: Theory And Applications To Earthquake Engineering. Prentice Hall, New Jersey, 844p.

CORRADİ, M., BORRİ,A., VİGNOLİ A., 2003. Experimental Study on The Determination of Strength of Masonry Walls. Construction and Building Materials, 17(5): 325–337.

ÇÖĞÜRCÜ, M. T., 2007. Yığma Yapıların Yatay Derz Güçlendirme Yöntemiyle Güçlendirilmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, Konya, 185s.

DEMİR, H., 1992. Depremlerden Hasar Görmüş Betonarme Yapıların Onarım Ve Güçlendirilmesi. İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 151s.

DOWRICK, D.J., 1978. Earthquake Resistant Design. John Wiley & Sons Ltd, New Jersey, 374p.

EHSANI, M. R. ve SAADATMANESH, H., 1997. Shear and Flexural Strengthening of R/C Beams with Carbon Fiber Sheets. Journal of Structural Engeneering, 123: 903-911.

ERSOY, U., 1999. Betonarme Binaların Onarım ve Güçlendirilmesi. TÜBİTAK, İMO, 54s.

GUINEA, G. V., HUSSEIN, G., ELICES, M. ve PLANAS, J., 2000. Micromechanical modelling of brick-masonry fracture. Cement and Concrete Research, 30: 731–737,

GÜVEN, N., 1982. Televizyon Kuleleri ve Sanayi Bacaları. Çağlayan Matbaası, İstanbul, 122s.

GÜL, H. D. , ÖZDEMİR, G. ve AVŞAR, Ö., 2017. Depreme Karşı Yalıtılmış Yapıların Tepkileri ile Yer Hareketine Ait Şiddet Ölçütleri Arasındaki Korelasyonun İncelenmesi.4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-13 Ekim, Eskişehir.

HALABIAN, A.M. ve EL NAGGAR, M. H., 2000. Probabilistic analysis of tall structures under strong winds with application on tv-structures. 8th ASCE Specialty Conference on Probabilictic Mechanics and Structural Reability, 24-26 July, Indiana, 1-6.

HAMOUSH, S., MCGINLEY, M., MLAKAR, P. ve TERRO, M. J., 2002. Out-of-Plane Behaviour of Surface Reinforced Masonry Walls. Construction and Building Materials, 16(6): 341-351.

HANSEN, S. O., 1998. Vortex-induced vibrations of line-like structures. CICIND Report, 15 (1): 15-23.

HARA, T., KATO, S. ve OHYA, M., 1999. R/C cooling tower behavior subjected to cyclic wind loading. First International Conference on Advances in Mechanics, 1: 341-346.

HENDRY, A.W.,1990. Structural Masonry. MacMillan Education Ltd., Hong Kong, 308p.

HOUGHTON, E.L. ve CARRUTHERS, N.B., 1976. Wind Forces On Buildings And Structures: An İntroduction. John Wiley & Sons Inc, New Jersey, 243p.

HUVAJ, N., 2018. Geoteknik Mühendisliğinde Sonlu Elemanlar Yöntemi. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, 88s.

JACKSON, K.R., 1978. A guide to chimney design, IPC Science and Technology Press Limited, 143p.

JACOBSEN, N.J., ANDERSEN, P. ve BRINCKER, R., 2006. Using Enhanced Frequency Domain Decomposition as a Robust Technique to Harmonic Excitation in Operational Modal Analysis. Proceedings of ISMA2006: International Conference on Noise & Vibration Engineering, 18-20 september, Leuven.

KANIT, R., IŞIK, N.S., CAN, Ö., YENER, M.K., SERİMER, G., UĞUR, L.O. ve ATIMTAY, E., 2005. Düzlem Dışı Yüklenen Yığma Yapıların Deneysel Davranışı. Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı, 17 Şubat, Ankara.

KAYA, E., 2003. Yığma Yapıların Çelik ve Betonarme Takviyesi Uygulanabilirliği ve Yapım Hataları. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 112s.

KAYA, T. ve İNCE, M. C., 2010. Pencere Fonksiyonu Aileleri ve Uygulama Alanları. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 26 (3): 291-306.

KAWAİ, H., 1997. Wind induced vibrations of tall buildings. Seventh International Conference on Compoting in Civil and Building Engineering, 4: 2317-2328.

KAWAİ, H., 1999. Vortex induced vibration, galloping and torsional flutter of tall buildings. First International Conference on Advances in Mechanics, 2: 1687-1692.

KOÇ, V., 2016. Depreme Maruz Kalmış Yığma ve Kırsal Yapı Davranışlarının İncelenerek Yığma Yapı Yapımında Dikkat Edilmesi Gereken Kuralların Derlenmesi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2 (1): 36-57.

KÖKAN, H., 2019. Ard Çekmeli Radye Temeller ile Betonarme Radye Temellerin Karşılaştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 81s.

LİVAOĞLU, R., 2005. Ayaklı Depoların Sıvı-Yapı-Zemin Etkileşimleri Dikkate Alınarak Deprem Davranışlarının İncelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 340s.

MARFIA, S. ve SACCO, E., 2001. Modelling of Reinforced Masonry Element. International Journal of Solids and Structures, 38: 4177-4198.

MARZAHN, G., 1997. Shear Strength of Dowelled Masonry. University of Leipzig, Lacer Vol. 2.

NUHOĞLU, A. ve ŞAHİN, S., 2005. Sanayi Bacalarının ve Minarelerin Dinamik Davranışlarının İncelenmesi. Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart, Kocaeli, s.433-443.

ÖZDEN, K. ve KUMBASAR, N., 1993. Betonarme Yüksek Binalar, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 206s.

ÖZKUL, M., 2016. Tarihi Bir Yapının Deneysel Modal Analiz ile Yapısal Güvenliğinin Belirlenmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 124s.

SADATMANESH, H., 1997. RC Beams Strengthened with GFRP Plates. Structure Journal, 94 (5): 493-551.

SEVİM, B., 2010. Kemer barajların dinamik davranışlarının sonlu eleman ve deneysel modal analiz yöntemleriyle belirlenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 253s.

STIERWALT, D.D. ve HAMİLTON, H.R., 2004. Creep of Concrete Masonry Walls Strengthened With FRP Composites. Construction and Building Materials, 19(3): 181-187.

YÜKSEL, E., ÖZKAYNAK, H. ve SÜRMELİ, M., 2009. Pseudo Dynamıc Testıng Methodology And Its An Applıcatıon. Journal of Engineering and Natural Sciences, 27: 286-302.

PAULAY, T. ve PRESTLY, M. J. N., 1992. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings. John Wiley and Sons Inc, United States of America, 768p.

PINFOLD, G. M., 1975. Reinforced Concrete Chimneys and Towers. Viewpoint Publications, Londra, 233s.

WILSON, J. L., 2000. Code recommendations for the aseismic design of tall reinforced concrete chimneys, CICIND Report, 16 (2): 8-12.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	**:** Gürkan Baltacı
Uyruğu	**:** T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:** Şanlıurfa / 24.08.1987
Telefon	**:** +90 532 156 04 86
Faks	**:** -
e-mail	**:** grkanbaltaci@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	**:** Anadolu Lisesi, Şanlıurfa	2005
Üniversite	**:** Çukurova Üniversitesi, Adana	2010
Yüksek Lisans	**:** Harran Üniversitesi, Şanlıurfa	2020
Doktora	**:**	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2010 - 2011	Eren İnşaat Tic. Ve San. Ltd. Şti.	İnşaat Mühendisi
2011 – 2019	Şanlıurfa Karaköprü Belediyesi	İnşaat Mühendisi

UZMANLIK ALANI

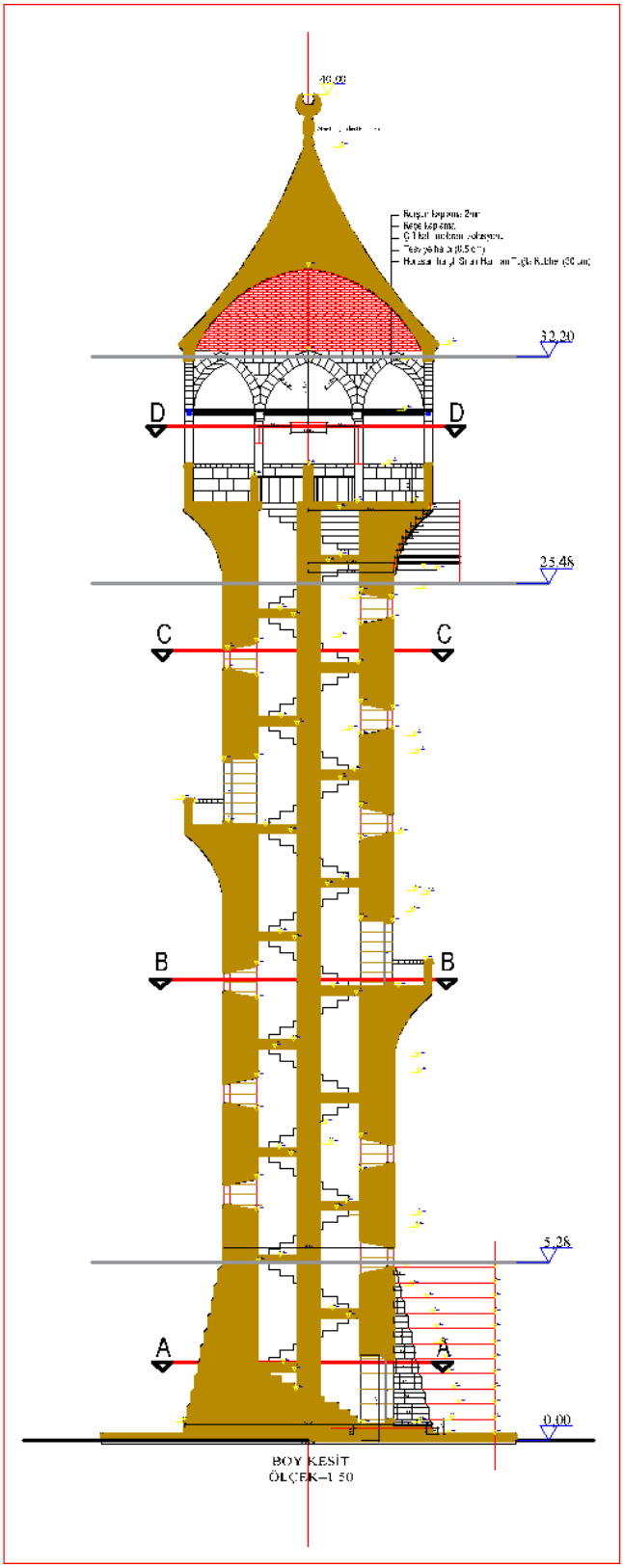
- 3194 Sayılı İmar Kanunu ve Uygulamaları
- 4734 Sayılı Kamu İhale Kanunu ve Uygulamaları
- 4735 Sayılı Kamu İhale Sözleşmeleri Kanunu ve Uygulamaları
- Üst Yapı Betonarme Statik Proje Yapımı
- Metraj, Keşif ve Yaklaşık Maliyet Hesapları ile İhale Dosyası Hazırlıkları

YABANCI DİLLER

İngilizce Orta Seviye

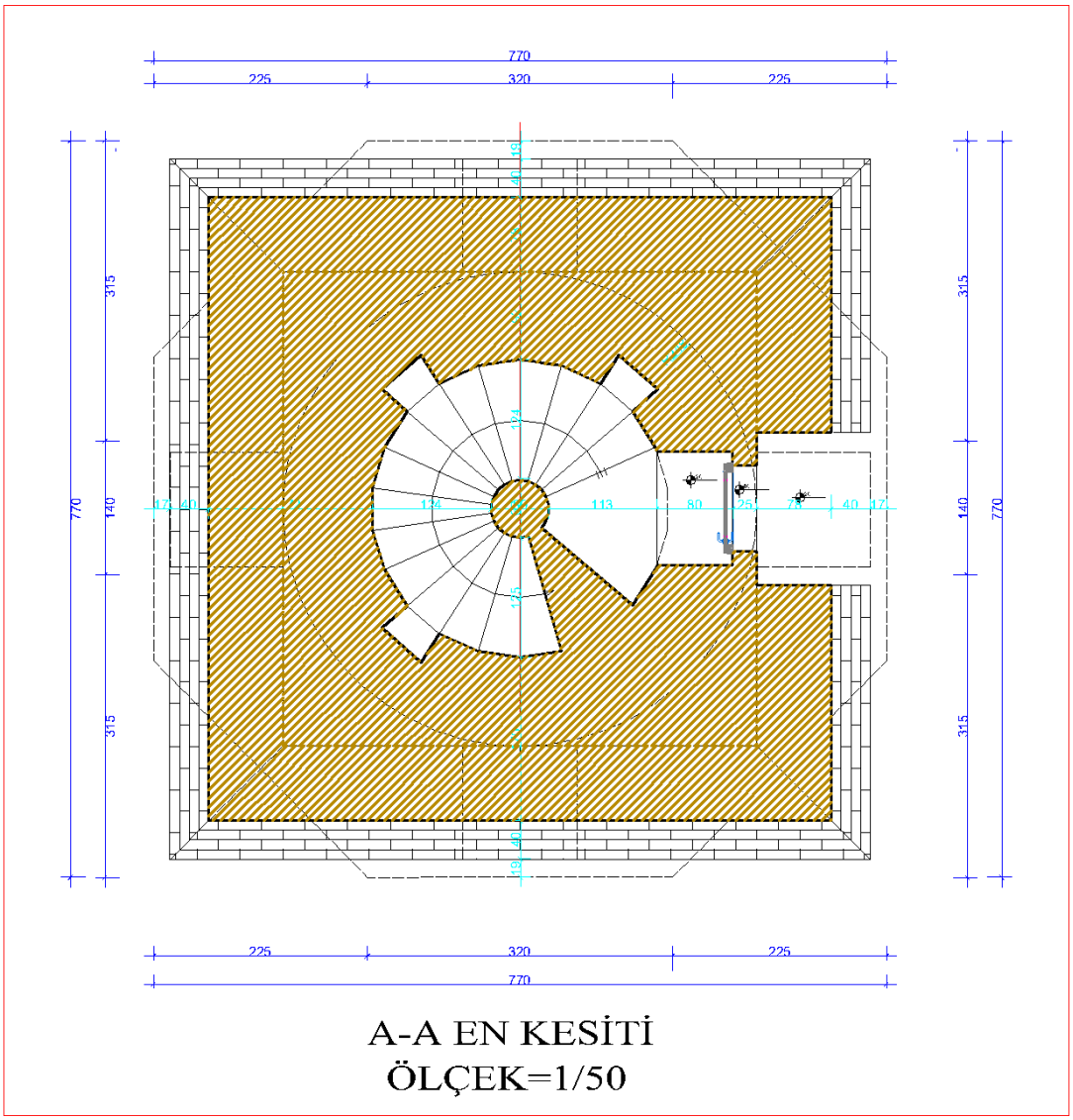
EK-1

SEYİR KULESİ BOY VE EN KESİTLERİ



EK-1

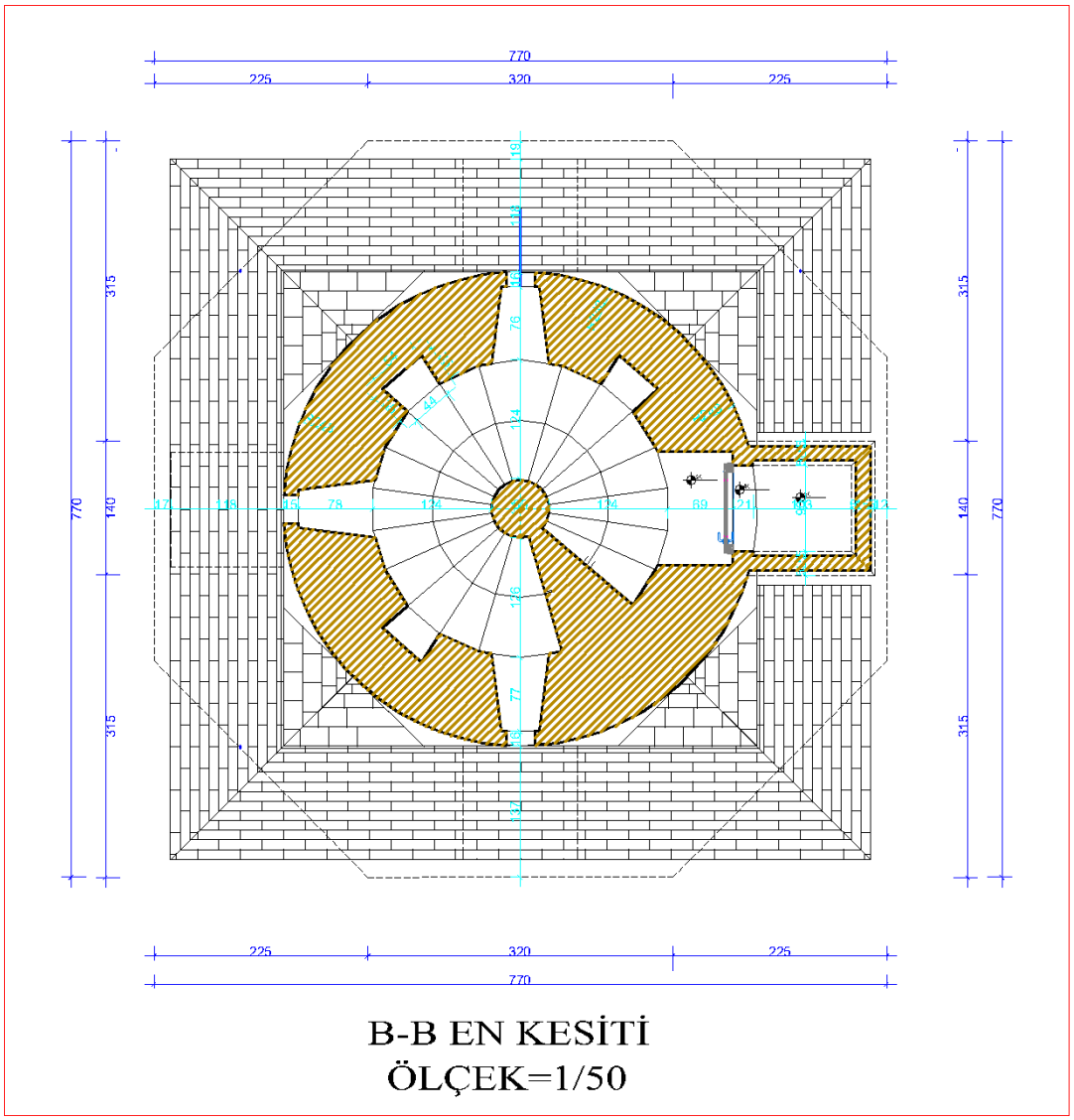
SEYİR KULESİ BOY VE EN KESİTLERİ



A-A EN KESİTİ
ÖLÇEK=1/50

EK-1

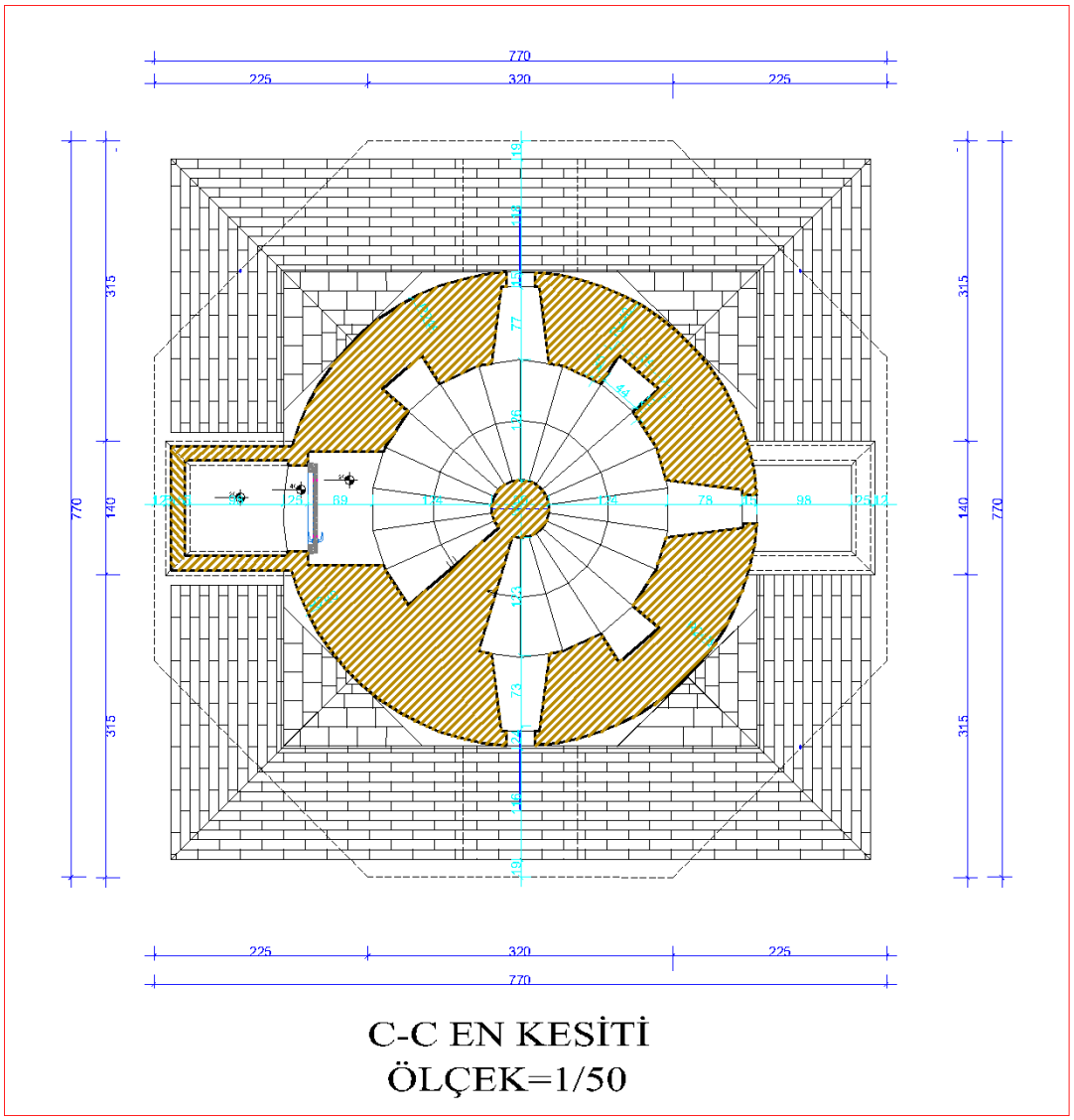
SEYİR KULESİ BOY VE EN KESİTLERİ



B-B EN KESİTİ
ÖLÇEK=1/50

EK-1

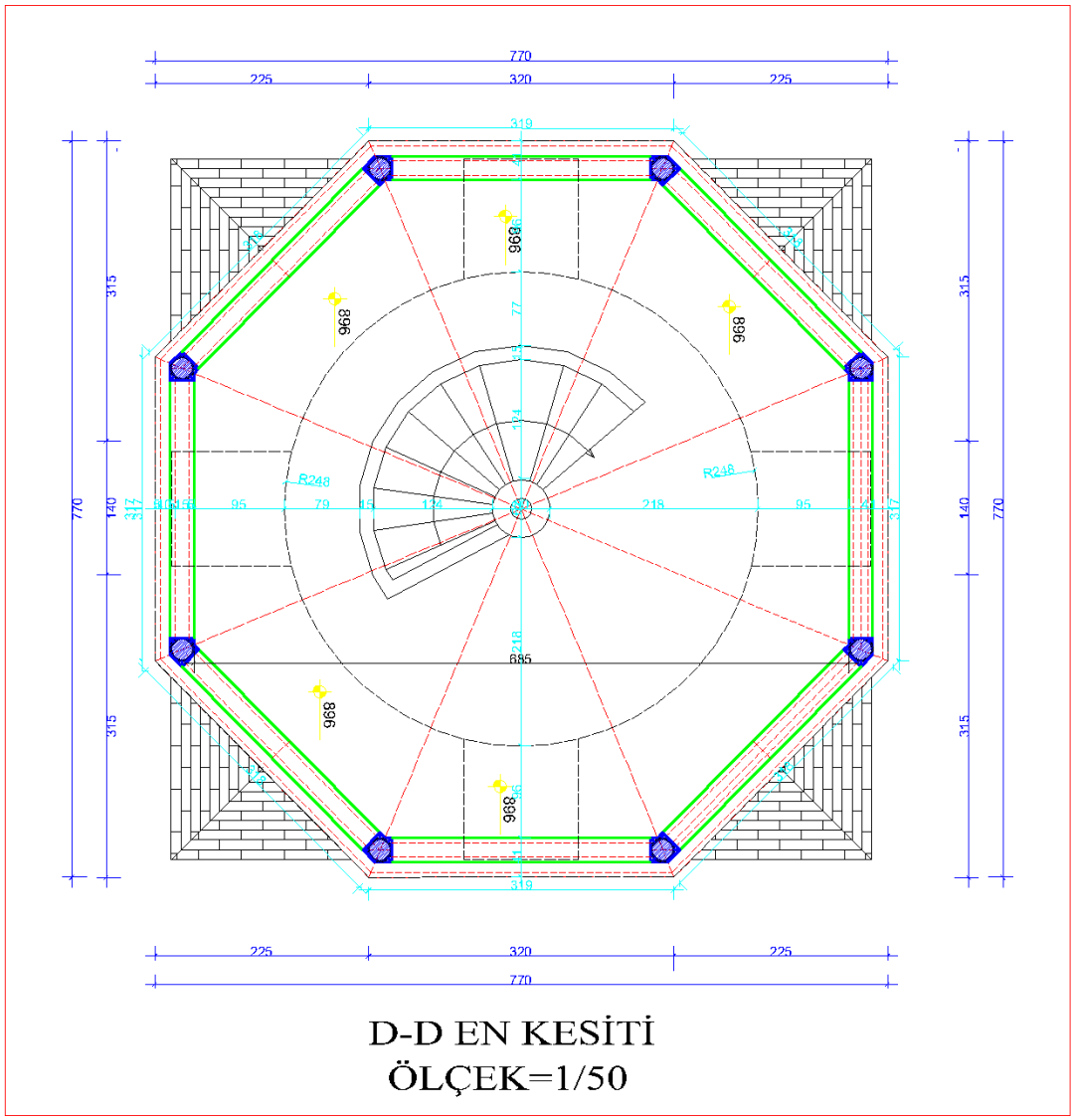
SEYİR KULESİ BOY VE EN KESİTLERİ



C-C EN KESİTİ
ÖLÇEK=1/50

EK-1

SEYİR KULESİ BOY VE EN KESİTLERİ



D-D EN KESİTİ
ÖLÇEK=1/50

EK-2

SEYİR KULESİ TASARIMINDA KULLANILAN MALZEME FOTOĞRAFLARI



Edremit Traverteni



Saphan Bazaltı

EK-2

SEYİR KULESİ TASARIMINDA KULLANILAN MALZEME FOTOĞRAFLARI



Harman Tuğlası