



**AHŞAP MİNARELERİN TAŞIYICI SİSTEM
ÖZELLİKLERİ VE DEPREM DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

Doğukan GÜDÜ



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AHŞAP MİNARELERİN TAŞIYICI SİSTEM ÖZELLİKLERİ VE DEPREM
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Doğukan GÜDÜ
0000-0002-8198-2274

Prof. Dr. M. Bilal BAĞBANCİ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS
YAPI BİLGİSİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans

AHŞAP MİNARELERİN TAŞIYICI SİSTEM ÖZELLİKLERİ VE DEPREM DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ **Doğukan GÜDÜ**

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. M. Bilal BAĞBANCİ

Bu çalışmada farklı yapım sistemlerine sahip ahşap minareler incelenmiş olup, bunlardan en yaygın olarak kullanılan iki farklı yapım sistemi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu minarelerin 1/10 ölçekli maket modelleri yapılarak çeşitli deprem etkilerine maruz bırakılmış, deplasman ve gerilme değerleri elde edilmiş, birbirleri ile kıyaslamaları yapılmıştır.

Birinci bölümde, tarihi kültürel miras, koruma yöntemleri, ülkemizde olan depremlerin çeşitli etkileri, ahşap minarelerden bahsedilmiş, giriş, amaç, kapsam ve araştırma yöntemi anlatılmıştır.

İkinci bölümde, konu ile ilgili kaynaklar araştırılmıştır.

Üçüncü bölümde, minarelerin İslam coğrafyası ve ülkemizdeki öneminden bahsedilmiştir, minare yapım aşamasında kullanılan yapı malzemeleri incelenmiştir. Diagrid sistemlerin ahşap minarelerin yapım sistemleri ile aralarındaki benzerlik incelenmiş olup, tasarımı yapılan minarelerin detayları verilmiştir. Seçilen depremlerin ölçeklenmesi sonrası maket modellere sarsma tablası deneyleri uygulanmış, SAP2000 programı ile oluşturulan modellerde meydana gelen deplasmanlar birbirleriyle mukayese edilerek SAP2000 modellerinin doğruluğu araştırılmıştır. Son olarak farklı deprem ivmeleri sonucunda SAP2000 modellerinin eleman kuvvetleri ve deplasmanları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Dördüncü bölümde, çalışmalar sonucunda elde edilen deplasman verileri grafikler haline getirilerek çalışma esnasında elde edilen bulgular özetlenmiştir. Eleman gerilmeleri karşılıklı olarak incelenmiştir.

Beşinci bölümde, çalışmalar ile ilgili sonuçlar ve öneriler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ahşap, minare, deprem, sarsma tablası, maket model, diagrid sistem

2021, xiii + 74 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

THE STRUCTURAL SYSTEM OF TIMBER MINARETS AND THEIR EARTHQUAKE BEHAVIORS

Doğukan GÜDÜ

Bursa Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Architecture

Supervisor: Prof. Dr. M. Bilal BAĞBANCİ

In this study, timber minarets with different construction systems were examined, and the two most widely used construction systems were examined in detail. Models of 1/10 scale of these minarets were made and exposed to various earthquake effects, displacement and stress values were obtained and compared with each other.

In the first chapter, historical cultural heritage, conservation methods, various effects of earthquakes in our country, timber minarets are mentioned, introduction, purpose, scope and research method are explained.

In the second chapter, resources related to the subject were searched.

In the third chapter, the importance of minarets in the Islamic geography and our country is mentioned, and the building materials used in the construction of the minarets are examined. The similarities between the diagrid systems and the construction systems of timber minarets were examined and the details of the designed minarets were given. After the scaling of the selected earthquakes, shaking table tests were applied to the model models, and the accuracy of the SAP2000 models were investigated by comparing the displacements in the models created with the SAP2000 program. Finally, as a result of different earthquake accelerations, the element forces and displacements of the SAP2000 models were examined comparatively.

In the fourth chapter, the displacements and the element stresses data obtained as a result of the studies were made into graphics and the findings obtained during the study were summarized.

In the fifth chapter, the results and suggestions related to the studies are given.

Key words: Timber, minaret, earthquake, shaking table, mock up model, diagrid system

2021, xiii + 74 pages.

TEŞEKKÜR

Mesleki hayatımda bana yol gösterecek bu eğitimi sağlayan, tüm bilgi birikim ve deneyimlerini bana aktaran çok değerli hocam Bilal BAĞBANCİ' ya ve eşi Özlem KÖPRÜLÜ BAĞBANCİ' ya tüm destekleri için teşekkürlerimi borç bilirim.

Tez jüri komitesinde yer alan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Serkan SAĞIROĞLU ve Doç. Dr. M. Elif ÇELEBİ KARAKÖK'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Benim bugünlere gelmemi sağlayan merhum canım annem Mümine GÜDÜ' ye ve her konuda sürekli beni destekleyen canım babam İlker GÜDÜ'ye teşekkürlerimi borç bilirim.

Bu zorlu süreçte yanımda olan önce yol arkadaşım daha sonrasında sevgili eşim Yonca ERTAŞ GÜDÜ'ye teşekkür ediyorum.

Bu tez süreci boyunca beni destekleyen sevgili dostlarım, arkadaşlarım ve meslektaşlarıma teşekkür ediyorum.

Doğukan GÜDÜ
27/07/2021

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	9
3.1. Araştırma Yöntemi.....	9
3.2. Anadolu Coğrafyası’ nda Minareler	10
3.3. Ahşabın Malzeme Özellikleri Ve Ahşap Minare Yapım Sistemleri	16
3.3.1. Ahşabın Malzeme Özellikleri	16
3.3.2. Ahşap Minare Yapım Sistemleri.....	21
3.4. Diagrid Yapı Sistemleri.....	23
3.4.1. Aldar Merkez Binası	24
3.4.2. Capital Gate.....	25
3.4.3. Kanton Kulesi	27
3.5. Çalışmada Kullanılan Deney Sistemi.....	28
4. BULGULAR	34
4.1. Serbest Titreşim Periyodu Belirleme Aşamaları.....	34
4.2. Deprem İvme Kayıtlarının Belirlenmesi ve Ölçeklendirilmesi	43
4.3. Ölçeklendirilmiş Deprem İvmelerinin Modellere Uygulanması.....	52
4.3.1. Deprem İvme Kayıtlarının Bilgisayar Modellerine Uygulanması.....	52
4.3.2. Deprem İvme Kayıtlarının Sarsma Tablası Deneyi ile Maket Modellere Uygulanması	54
4.4. SAP2000 Programı ile Ölçeksiz Deprem İvmelerinin Modellere Uygulanması	57
4.5. Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	59
4.6. Minare Elemanlarında Oluşan Gerilmelerin Karşılaştırılması.....	62
5. SONUÇ.....	69
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	74

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

Fm	Maket Model Frekansı
Fg	Gerçek Model Frekansı
Hz	Hertz
E	Elastisite Modülü
U	Poisson Oranı
A	Termal Genleşme
G	Kayma Modülü

Kısaltmalar

Açıklama

UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organizations
ICOMOS	International Council on Monuments and Sites

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Halfeti’de bulunan sular altında kalmış minare	11
Şekil 3.2. a) Orhan Cami (Adapazarı) ve b) Süleyman Paşa Cami (Geyve)	11
Şekil 3.3. Yığma minare a) merdiven ve b) dikme görünüşü	12
Şekil 3.4. Betonarme minare	14
Şekil 3.5. Betonarme minare kesit örneği	14
Şekil 3.6. Çelik karkas minare	15
Şekil 3.7. Ahşap minare örneği	15
Şekil 3.8. Sert ağaçlara örnek olarak meşe kesiti (Anonim g, 2021)	17
Şekil 3.9. Yumuşak ağaçlara örnek olarak çam kesiti (Anonim h,2021).....	18
Şekil 3.10. a) Yumuşak ağaç ve b) sert ağaç (Anonim i,2021).....	18
Şekil 3.11. Ahşabın lif yönlerine göre kesitleri	19
Şekil 3.12. Ahşabın lif yönleri (Anonim ı,2021)	21
Şekil 3.13. Ahşap minare a) dış taşıyıcıda ahşap kaplama kullanımı ve b) dış taşıyıcıda çapraz kullanımı	22
Şekil 3.14. Ahşap minarenin kısımları (Bağbancı ve Bağbancı 2018)	22
Şekil 3.15. Diagrid sistemler a) IBM binası ve b) Hearts kulesi (Anonim a, 2021)	23
Şekil 3.16. Aldar Merkez Binası a) Çekirdek ve b) Diagrid görseli (Anonim b, 2021) .	24
Şekil 3.17. Aldar Merkez Binası (Anonim c, 2021)	25
Şekil 3.18. a) Pisa Kulesi ve b) Capital Gate (Anonim ç, 2021).....	25
Şekil 3.19. Yapıda hem betonarme çekirdek hem de diagrid sistem bir arada kullanılmıştır. (Anonim d,2021)	26
Şekil 3.20. Yapının dış diagrid sistemi a) iç sarmal örgü ve çekirdek, b) dış görünüş (Anonim e,2021)	27
Şekil 3.21. Kanton Kulesi planı (Anonim f,2021)	27
Şekil 3.22. Maket model tiplerine örnek olarak a) çelik çubuk ve b) balsa ağacı (Anonim g,2021)	28
Şekil 3.23. Balsa odunu (Anonim j, 2021).....	30
Şekil 3.24. Gürgen odunu (Anonim k, 2021).....	30
Şekil 3.25. Çalışmaya konu minare maketleri a) çapraz model, b) kabuk model.....	31
Şekil 3.26. Minare modellemesi.....	32
Şekil 3.27. Tasarımı yapılan minarelerin dıştan görünüşü.....	33
Şekil 3.28. Tasarımı yapılan minarelerin üstten görünüşü.....	33
Şekil 4.1. Autocad modeli.....	34
Şekil 4.2. a) Kabuk sistem ve b) Çapraz sistem	35
Şekil 4.3. Yapının a) 1. ve b) 2. modu	35
Şekil 4.4. Yapının a) 1. ve b) 2. modu	36
Şekil 4.5. Maket modellerin boş hali	37
Şekil 4.6. Çapraz model yapım sistemi maket modeli a) tamamlanmamış maket model ve b) tamamlanmış maket model	37
Şekil 4.7. Merdiven montaj aşaması	38
Şekil 4.8. Kabuk model yapım sistemi kabuk eleman montaj aşaması	38
Şekil 4.9. Maket modellerin bitmiş hali a) yan görünüş ve b) ön görünüş	39
Şekil 4.10. 10.000’de 1 hassasiyet ölçüm yapan tartı ile belirlenen birim hacim ağırlık hesaplamaları.....	39
Şekil 4.11. Sarsma tablası üzerindeki a) Kabuk sistem ve b) Çapraz sistemi.....	40
Şekil 4.12. İvme ölçer bağlanmış maket model	40

Şekil 4.13. Kabuk model yapım sisteminin serbest titreşim frekansı	41
Şekil 4.14. Çapraz model yapım sisteminin serbest titreşim frekansı	41
Şekil 4.15. Yapıların 1. Mod değerleri ve frekansları.....	42
Şekil 4.16. Kocaeli depremi için hazırlanan deprem ivmeleri a) orijinal, b) 1/6,747 ölçekli ve c) 1/3,83 ölçekli.....	45
Şekil 4.17. Chi Chi depremi için hazırlanan deprem ivmeleri a) orijinal, b) 1/6,747 ölçekli ve c) 1/3,83 ölçekli.....	46
Şekil 4.18. Northridge depremi için hazırlanan deprem ivmeleri a) orijinal, b) 1/6,747 ölçekli ve c) 1/3,83 ölçekli.....	47
Şekil 4.19. Kabuk modelden alınan SAP2000 deplasman grafikleri a) Chi Chi, b) Kocaeli ve c) Northridge	53
Şekil 4.20. Çapraz model alınan SAP2000 deplasman grafikleri a) Chi Chi, b) Kocaeli ve c) Northridge	54
Şekil 4.21. Kabuk modelden alınan sarsma tablası deplasman grafikleri a) Chi Chi, b) Kocaeli ve c) Northridge.....	55
Şekil 4.22. Çapraz modelden alınan sarsma tablası deplasman grafikleri a) Chi Chi, b) Kocaeli ve c) Northridge.....	56
Şekil 4.23. Kullanılan ölçeksiz deprem ivmeleri a) Kocaeli, b) Chi Chi, c) Northridge ve d) Kobe Depremleri.....	58
Şekil 4.24. Ölçeksiz depremlerden elde edilen kat deplasmanları a, b, c ve d	61
Şekil 4.25. SAP2000 gerilme yönleri a) Çubuk eleman b) Kabuk eleman (Bağbancı ve Bağbancı, 2018; SAP2000 Manuel, 2021; Dağlı, D., 2020).....	62
Şekil 4.26. Minarelerin dikmelerinde oluşan basınç ve çekme gerilmeleri	63
Şekil 4.27. Minarelerin kirişlerinde oluşan çekme gerilmeleri.....	64
Şekil 4.28. Seren direğinde oluşan çekme gerilmeleri.....	65
Şekil 4.29. Merdivenlerde oluşan çekme gerilmeleri a) Kabuk model b) Çapraz model	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Ahşap için emniyet gerilmeleri (İMO Sayfasından alınmıştır)	20
Çizelge 3.2. Bazı ahşap cinsleri için elastisite ve kayma modülleri (D.E.Ü. ders notlarından düzenlenmiştir.)	21
Çizelge 4.1. Kullanılan ahşap malzemelerin elastik özellikleri	42
Çizelge 4.2. Yapıların SAP2000 ve Sarsma tablası frekansları	43
Çizelge 4.3. Maket modellerin serbest titreşim değerleri	47
Çizelge 4.4. Gerçek modellerin serbest titreşim değerleri	48
Çizelge 4.5. Kabuk Sistem mod sayısı, kütle katılım oranı, periyot ve frekans değerleri	50
Çizelge 4.6. Çapraz sistem mod sayısı, kütle katılım oranı, periyot ve frekans değerleri	51
Çizelge 4.7. SAP2000 programından elde edilen maksimum deplasman verisi	54
Çizelge 4.8. Sarsma tablasından yamuk yöntemiyle elde edilen maksimum deplasman verisi	57
Çizelge 4.9. Ölçeksiz uygulanan deprem ivmeleri sonucu elde edilen maksimum deplasmanlar	58
Çizelge 4.10. Çapraz Model Sistemi Deplasman Karşılaştırılması	59
Çizelge 4.11. Kabuk Model Sistemi Deplasman Karşılaştırılması	59
Çizelge 4.12. Dikmelerde oluşan maksimum çekme gerilmeleri	63
Çizelge 4.13. Kirişlerde oluşan maksimum çekme gerilmeleri	65
Çizelge 4.14. Seren direğinde oluşan maksimum çekme gerilmeleri	66
Çizelge 4.15. Merdivenlerde oluşan maksimum çekme gerilmeleri (+105mm kotu)	67

1. GİRİŞ

Ülkemiz tarihi eserler konusunda oldukça zengin bir coğrafyaya sahiptir. Bulunmuş olduğu jeopolitik konum, ticari, kültürel, dini ve politik açıdan birçok farklı ülke ile iç içe olmasını sağlamıştır. Selçukluların 1071 yılında Anadolu coğrafyasına giriş yapması ile beraber, Anadolu topraklarında Türk-İslam kültürü yayılmaya başlamıştır. Bulundukları coğrafyaya adapte olmak ve yerleşmeleri yaklaşık olarak 75 yıl gibi bir süre almıştır. Bu süreç sonunda Anadolu’da 1150’li yıllardan sonra Türk Cami mimari kültürü yayılmaya başlamıştır (Güler & Kolay, 2006).

İslamiyet’te insanları camiye ibadete çağırmak için, günde 5 vakit ezan okunur. İlk olarak okunan ezan Medine’de bir mescidin damından okunmuştur. Daha sonrasında uzakta bulunan daha fazla insana ezanın sesini duyurmak için yüksek kule benzeri yapılara ihtiyaç duyulmuştur. Bu sebepten ötürü cami ile beraber veya ayrı olarak kule benzeri yapılar yapılmaya başlanmış ve bu mimari kısmın adı artık minare olarak anılmıştır. İlk minarelerin o dönemde daha yaygın olan Hristiyan dini ibadet evleri olan kiliselerin çan kulelerine benzetilip ya da deniz feneri gibi bu tarz mimari yapılardan esinlenildiği söylenmektedir. Minarenin mimari yapısı, bulunduğu bölge ile çok alakalıdır. Bulunduğu bölgede etrafında ağaç ve ağaç işçiliği daha hakim ise minare ve cami ahşaptan yapılmış, bulunduğu bölgede taş ve taş işçiliği daha hakim fazla ise cami ve minare yapısı tamamen taş olarak yığma tasarlanmıştır (Uysal, 1985). Genel olarak cami ve minare hem birbirleri ile hem de bulunduğu bölge ile bir uyum içindedir.

Tarihi yapılar yüzyıllar boyunca depremler, yangınlar, savaşlar, olumsuz çevre şartları ile beraber dönemsel olarak oluşan bakımsızlıklardan dolayı genel olarak yapısal bozulmalara uğramıştır. Minare yapıları günümüz tarihi eserleri arasında deprem ve rüzgâr etkilerinden en çok etkilenen yapılardır. Ana yapıdan bağımlı ya da bağımsız olarak inşa edilen bu yapılar, ince ve uzun, gökdelen, kule vb. narin bir yapı örneği olması sebebiyle bu etkilere daha çok maruz kalmıştır. Tarihi minareler genellikle yığma tarzda inşa edilmiştir. Yeni yapılan minareler ise betonarme tarzda inşa edilmektedir. Ancak her iki yapı sistem de deprem sırasında yıkıma uğrayabilmekte veya yapısal hasar

alabilmektedir. Oysa ahşap minareler deprem kuvvetlerine karşı daha iyi bir davranış göstermektedir. Bu nedenle tez konusu olarak ahşap minareler seçilmiştir.

Yaşayan toplumda tarihi mirasın korunması üzerine çok fazla bilim insanı çalışmalarına devam etmektedir. Bu tip yapıların korunması için disiplinler arası çalışmalar yapıp, bilgi paylaşım ve aktarımları yapılmaktadır. Ahşap mimari yapının korunması için 2017 yılının aralık ayında 19. ICOMOS Genel Kurulunda ‘Ahşap Mimarinin Korunması İçin İlkeler’ kabul edilmiştir. Bu ilkeler 1999 yılında gerçekleşen 12. ICOMOS Genel Kurulu’nda kabul edilen ilkeleri güncellemek amacıyla yazılmıştır (Ahunbay, 2018).

Bu belge dünya çapında kabul edilmiş olan Venedik Tüzüğü, Amsterdam Bildirgesi, Burra Tüzüğü ve Nara Özgünlük Belgesi, UNESCO ve ICOMOS’un genel koruma ilkelerini uygulamayı hedeflemektedir. Ahşap kültür mirası terimi, kültürel olarak öneme sahip ya da tarihi mekanların içinde bulunan her türlü ahşap bina veya yapıların tümüne denir.

Her döneme ilişik ahşap kültür mirasını dünya kültür mirasının bir parçası olarak değerlendirmek, taşıyıcı sistemlerinin ve ayrıntılarına önem göstermek, ahşap kültür mirasının ve onunla bağlantılı somut olmayan kültür mirasının varlıklı çeşitliliğinin bilincinde olmak, ahşap kültür mirasının zanaatkar ve yapı ustalarının kabiliyetleri ile onların geleneksel, kültürel ve kuşaktan kuşağa aktarılan birikimleri ile alakalı veri sağladığının farkında olmak önemlidir.

Kültürel değerlerin zaman içerisindeki evrimini ve değerlendirmelerin belirli aralıklarla gözden geçirilmesi, özgünlüğün değişen kavram ve eğilimlere doğru uyarlanması hususlarında, korumada kullanılabilecek metot ve tekniklerin zengin çeşitliliğini de dikkate alarak, farklı yerel geleneklere, yapı uygulamalarına ve koruma yaklaşımlarına dikkat etmek gerekmektedir.

Geçmişte kullanılan farklı ahşap tür ve kalitelerini tanımak, ahşap yapıların, binanın tümünün yada taşıyıcı sisteminin geçirdiği değişimler ile alakalı bilgileri bilmek, ahşap taşıyıcı sistemlerin deprem kuvvetlerine karşı koymada iyi bir davranış gösterdiğini

dikkate almak, tümüyle yada kısmen ahşaptan yapılma binaların sıcaklık ve rutubet değişiklikleri, ı ışık, mantar, böcek saldırıları, aşınma, yıpranma, yangın, deprem yada diğer doğal afetler ile insanların yıkıcı eylemleri gibi çevresel ve iklimsel koşullara olan duyarlılığını bilmek, tarihi ahşap yapılardaki kayıpların, rahat hasar görme, fena kullanım, geleneksel zanaatların, geleneksel tasavvur ve imal tekniklerinin unutulması, halkların manevi ve tarihi ihtiyaçları konusundaki anlayış eksikliği dolayısıyla arttığının bilincinde olmak, halkın katılımının ahşap kültür mirasının korunmasındaki öneminin, sosyal ve çevresel dönüşümlerle olan ilişkisinin ve sürdürülebilir gelişmedeki rolünün farkında olmak gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, ülkemiz çok yoğun bir deprem kuşağında yer almaktadır, bu durum kimi zaman kolay yoldan kimi zaman da zor yollardan bizlere deprem ile yaşamayı öğretmiştir. Anadolu coğrafyasında yaşanan 1939 Erzincan depremi, 1999 Gölcük ve Kocaeli depremleri gibi gerçekleşen birçok depremde gerek insan kaybı gerekse de yapı kaybı yoğun olarak gerçekleşmiş, özellikle de narinlikleri ile bilinen yapılar olan minareler en büyük hasarları almışlardır. Ancak hasar alan minarelerin yığma tarzda ya da son yıllarda betonarme tarzda inşa edilen minareler olduğu görülmüştür. Ahşap minareler ise hasar almadan deprem kuvvetlerine karşı koyabilmişlerdir. Ahşap minarelerin deprem karşısındaki üstünlüğüne rağmen ne yazık ki günümüze dek ulaşan ahşap minare sayısı oldukça azdır.

Yapılan araştırmalarda orman açısından zengin olan yerlerde ahşap minare yapımının daha fazla benimsendiği ve nesiller boyunca uygulandığı belirlenmiş olup özellikle Karadeniz bölgesinde farklı taşıyıcı strüktür tiplerinin uygulandığı görülmüştür. Bu bağlamda Sakarya İli ve çevresinde yapılan ahşap minarelerin yapısal özellikleri, kullanılan malzemeler incelenmiş ve belli başlı iki farklı sistemin uygulandığı tespit edilmiştir. Bunlardan biri dikmeler ve kirişler arasında çapraz elemanların kullanımı, diğeri ise dikme ve kirişlerin ahşap plakalarla kaplanması şeklindedir. Bu çalışmada iki farklı taşıyıcı strüktür tipinin farklı depremler sırasındaki deplasmanları ve eleman kuvvetleri karşılaştırılmalı olarak incelenerek gelecekte yapılacak olan minareler için her iki yapım sisteminin avantaj ve dezavantajları belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında farklı iki tipte inşa edilmiş ahşap minarenin 1/10 ölçekli maketleri yapılarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bunlardan biri dikmeler ve kirişler arasında çapraz elemanların kullanımı ile, diğeri ise dikme ve kirişlerin ahşap plakalarla kaplanması şeklinde oluşturulmuştur. Minare maketlerinde dikmeler, kirişler, merdiven ve kaplama elemanları balsa ağacı ile ortada yer alan seren direği ise gürgen ağacı kullanılarak ve yapıştırma tekniği ile oluşturulmuştur.

Hazırlanan maketler, sarsma tablası üzerine doğal titreşim periyotları belirlenmiştir. SAP2000 modelleri oluşturulan maketlerde kullanılan malzeme özellikleri sarsma tablası deneyi sonuçlarına göre revize edilerek daha önce meydana gelmiş deprem kayıtlarının ölçeklendirilmiş halleriyle tekrar sarsılmıştır. Deney sonuçları ile SAP2000 bilgisayar modelleri sonuçları karşılaştırılarak bu minarelerin davranışları karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

Bu çalışmada, farklı yapım sistemlerine sahip ahşap minareler incelenmiş olup, bunlardan en yaygın olarak kullanılan iki yapım sistemi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu minarelerin 1/10 ölçekli maket modelleri yapılarak sarsma tablası üzerinde serbest titreşim periyotları belirlenmiştir. Bilgisayar modelleri de hazırlanan minarelerin malzeme parametreleri maket modellerden elde edilen frekans değerlerine göre kalibre edilmiştir. Sonraki aşamalarda maket modeller ve bilgisayar modelleri ölçeklendirilmiş çeşitli deprem etkilerine maruz bırakılarak, maket modeller ile bilgisayar modellerinin yakınsaklığı kontrol edilmiştir. Son aşamada ise aynı deprem etkileri uygulanan iki farklı sistemin bilgisayar modellerinden elde edilen deplasman ve gerilme değerleri tespit edilmiş ve bu iki farklı yapım sisteminin birbirleri ile olan karşılaştırmaları yapılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Özdemir ve ark. (2007) çalışmalarında deprem kayıtlarının 3 şekilde elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Bunlar yapay kayıtlar, benzerleştirilmiş kayıtlar ve gerçek deprem kayıtlarıdır. Sistemler de en çok kullanılan kayıt örnekleri gerçek deprem kayıtlarıdır. Bu kayıt sistemleri yönetmeliklerdeki şartları sağlaması için çeşitli ölçeklendirme yöntemleri ile ölçeklendirilirler. Bu yöntemler zaman tanım alanındaki ölçeklendirmeler ve frekans tanım alanındaki ölçeklendirmeler olarak 2'ye ayrılır. Bu yöntemler sayesinde ölçeklendirilen deprem ivmeleri tek serbestlik dereceli sistemin doğrusal elastik olmayan davranışları ile karşılaştırılmıştır.

Acar (2009) kule tipi yapıları tanıtarak, bu yapıların hasar sebeplerinin irdelenmesi, anıtsal olan yapıların diğer kule tipi yapılardan farklarına, bu yapıların hasarları incelenerek sınıflandırılması yapılmıştır. Deprem bölgesinde bulunan minarelerin hasar bölgelerine göre çalışma yapılmıştır. Anıtsal kule tipi yapılar (minareler) in yapım sisteminde herhangi bir yönetmelik olmamasından kaynaklı, betonarme minarelerin deprem etkisi altında zayıf yönleri araştırılarak alternatif taşıyıcı bir sistem önerisi yapılmaya çalışılmıştır.

Kuşüzümü (2010) İstanbul İli'nde bulunan tüm minarelerin tarihsel süreçteki gelişimini, minarelerin bölümlerini, minarelerde kullanılan malzemeleri, planlarını, geleneksel yapım tekniklerine göre çizimlerini ve en son olarak da restorasyon yöntemleri ve tekniklerini açıklamıştır.

Örmecioglu ve ark. (2011) Konya Yivli Minare'yi Sap2000 programında sonlu elemanlar yöntemi kullanarak, deprem etkisi altındaki davranışları incelenmiştir ve yapının deprem yönetmeliğinin standartlarını sağlamadığı kararına varılmıştır ancak bilgisayar ortamındaki analiz şartları altında verilen deprem yükünün yapıda ciddi hasara sebep olmayacağı anlaşılmıştır.

Mendes (2012) sarsma tablası boyutlamalarına göre gerçek sisteme en yakın oranda maket model yapımı hesap aşaması gerçekleştirmiştir. Kullanılan sarsma tablasının alanı

4,6x5,6 m² olup, seçilen yapı 1/3 oranında ölçeklendirilerek tasarlanmıştır. Ağırlık, boyut ve şekil olarak gerçeğinin aynısı yapılan model, çeşitli ölçeklendirilmiş depremlere maruz bırakılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında deprem etkisi altında oluşan yapısal çatlaklar gerçek model ile kıyaslanmıştır. Burada kullanılan depremler hem kuvvet hem de zaman aralığında ölçeklenmiştir.

Haydaroglu ve ark. (2013) Zıbıncı Cami minaresinin, ilk etapta rölöve ölçüleri alınarak, dijital ortamda 3 boyutlu modeli oluşturulmuştur ve SAP2000 programı ile sistem deprem etkisine maruz bırakılarak, minareyi rekonstrüksiyon yapılacağı düşünülerek sistem çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar orta dikme ve yan dikmeleri birbirine bağlayan baskıç kirişlerin önemini ortaya çıkarmıştır. Rekonstrüksiyon aşamasında planlanan kontrplak kaplama yapı rijitliğini arttırıp, görelî ötelemeleri azaltmaktadır.

Panchal ve ark. (2014) diagrid yapısal sistemlerin gelişim tarihi ve diğer yüksek katlı yapı sistemleri hakkında farkları açıklayarak, diagrid yapım sisteminin avantajlarının anlatmışlardır. Bunu kanıtlamak için 20 kata ve 72 m yüksekliğe sahip iki bina modeli oluşturulmuştur. Bir tanesi diagrid yapım sistemiyle diğeri ise geleneksel çerçeve sistemiyle yapılan binalardır. Diagrid yapım sistemiyle elde edilen ötelenmeler, geleneksel sisteme göre %50 daha az olmaktadır, kat kayması diagrid sistemde daha az olmaktadır. Diagrid yapım sistemi, geleneksel sisteme göre daha ekonomik olmaktadır.

Nizamtdinkyzy (2016) benzersiz yapılara örnek olarak Capital Gate binasını incelemiştir. Bu yapıda bulunan diagrid sistemi, betonarme çekirdek sistemi ve bu iki sistemin birbiri ile entegre edilmesi durumuna değiniştir. Yapıda bulunan eğimler birbirinin tersi olacak şekilde verilmiştir ve bu durum üst kısımda bulunan eğimi ters yönde hareket edecek şekilde tutmaktadır.

Çetin ve ark. (2017) 1951 – 2015 yılları arasında Türkiye’de yetişen çeşitli ağaç türlerinin odunları elde edilip, bu numuneler üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar ile beraber bu odunların hiçbir işleme tabi tutulmadan kendi halindeki direnç özelliklerine bakılmıştır. Bu belirlenen özellikler, liflere paralel çekme direnci, liflere dik çekme

direnci, liflere paralel basınç direnci, bu odunların sertlik değeri, kalite değeri vb. çeşitli özellikleri çalışmada incelemiştir.

Omid (2017) yapı zemin etkileşimi problemini, yerinde ve model olarak gerçekleştirilecek sarsma tablası deneyi için uygun ölçeği tam anlamıyla belirlemek amacıyla bu çalışmayı gerçekleştirmiştir. Bu çalışma kapsamında belirlenen ölçeğin sadece geometrik olarak değil, aynı zamanda kinematik ve dinamik olarak ta benzerlik içermesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında mevcut hali bulunan bir binanın uygun ölçeği deneysel çalışmalar yardımı ile seçilerek belirli parametreler yardımıyla oluşturulmuştur. Sarsma tablası deneyi için kullanılacak deprem ivme kayıtlarının ölçeklemek için bu geometrik ölçekten yararlanılır. Bu ölçek yardımı ile 3 adet deprem kaydı frekans içeriği değiştirilmeksizin, zaman genliği ile oynanmıştır.

Şahin ve ark. (2017) sarsma tablası deneyleri yapılırken, mevcut sarsma tablalarının ölçü ve kapasiteleri sınırlı olduğu için, sistemler belirli orada ölçekli şekilde kullanılmıştır. Bu araştırmada 6 katlı gerçek betonarme yapı, belirlenen uygun bir ölçeklendirme katsayısı ile küçültülerek, sarsma tablası üzerinde deney yapmaya uygun ölçekli bir yapısal model elde edilmiştir. Aynı ölçek, yapıya etki ettirilecek olan deprem kayıtlarının zaman genliğini daraltacak şekilde uygulanmış ve bu deprem kayıtları maket modele etki ettirilmiştir. Daha sonrasında yapı ve maket modelin tepe noktası maksimum yatay yer değiştirmeleri, teorik ve deneysel olarak karşılaştırılmıştır, bulunan sonuçlar ile ölçümler istenilen şekilde sonuçlandığını kanıtlamıştır.

Usta (2017) ahşap malzemesi anizotropik olduğu için özelliklerini belirlemek zordur. Liflerinin doğrultu ve yönlerine göre farklı özellikler göstermektedir. Günlük hayatta sık olarak kullanılan ahşap malzemesinin fiziksel özellikleri incelenmiş ve kategorize edilmiştir. Ele alınan başlıca kategoriler yoğunluk, daralma genişleme ve rutubet miktarı olarak ayrılmıştır.

Ahunbay (2018) ahşap mimaride önemli bir mihenk taşı olan ICOMOS genel kurulunda yapılan görüşmeler sonrasında daha öncesinde kabul edilen ilkeler güncellenerek yayımlanmıştır. Venedik tüzüğü, Amsterdam bildirgesi, Burra tüzüğü, Nara özgünlük

belgesi, ahşap kültür mirasın korunması ile ilgili UNESCO ve ICOMOS metinlerinin genel ilkelerini uygulanmasını hedef göstermiştir.

Bağbancı ve ark. (2018) Sakarya İl'inde bulunan 5 adet farklı ahşap minarenin yapısal özelliklerini, yapım sistemlerini incelemişlerdir. Ahşap minarelerde kullanılan geometrik özellikleri, yapım tekniklerinin dinamik davranışlar üzerinde etkilerini hem deneysel olarak hem de bilgisayar modeli ile inceleyerek karşılaştırmışlardır.

Gögebakan (2018) kültürel varlıklarının sağlıklı bir şekilde korunmasının ve algılanabilirliğinin arttırılması konusunda hem hukuksal hem de yönetsel yaklaşımlar sergileyerek, Karakaş Konağı'nı incelemiştir.

Adam (2019) yüksek yapıların tarihini, yüksek yapıların sınıflandırılması, yapının taşıyıcı sistemlerinin seçiminde kullanılan yüklerin analizi, yapı tasarım maliyetlerini ve kullanılan malzemeleri, döşeme sistemi, yapım sistemi, sönümleyici sistemlerin belirlenmesinde vb. hangi rollerin önemli olduğu araştırılmıştır. Çalışmanın amacı olarak da yüksek katlı binaların taşıyıcı sistemlerinin tasarımlarında önemli olan noktanın yanal yüklerden kaynaklanan yer değiştirme bulgusu olduğu anlaşılmıştır.

Savasir (2019) çeliğin sanayi devriminden sonra hayatımızın her alanına girdiğini ve bu kullandığımız yapılara ve yapım sistemlerine yansıtıldığını belirtmiştir. Teknolojinin ilerlemesi, hızlı nüfus artışıyla beraber bir yarış oluşturmuştur ve bu yarış sonucunda çelik karkas yapım sistemlerine çeşitli farklılıklar getirmiştir. Bu farklılıkların en önemlisi diagrid yapım sistemidir. Bu makalede çeşitli diagrid yapım sistemiyle yapılan binaların özelliklerini kıyaslayıp, bu sistemlerin diğer çelik taşıyıcı sistemlere olan üstünlükleri incelenmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada iki farklı şekilde tasarlanmış ahşap minarenin deprem yükleri altındaki davranışları incelenmiştir. Minareler; dış duvar, seren direği (çekirdek) ve bunları birbirine bağlayan merdivenlerden oluşmaktadır. Birinci ve ikinci tip minare arasındaki fark ise; ele alınan birinci minarenin dış duvarları ahşap dikme ve kirişler arasında çapraz elemanların kullanımı diğerinde ise çapraz elemanlar yerine dikme ve kirişler arasında kaplama malzemesi kullanımıdır. Minarelerin maket modelleri, sahada uygulanmış gerçek minare boyutlarının 1/10 ölçeğinde küçülterek hazırlanmıştır. Çalışmada öncelikle hazırlanan maket modellerin sarsma tablası deneyleri yapılarak serbest titreşim frekansları tayin edilmiştir. Bulunan titreşim frekansları esas alınarak SAP2000 modellerindeki malzeme kalibrasyonu sağlanmıştır. Maket modeller daha sonra ölçeklendirilmiş Chi Chi, Kocaeli ve Northridge deprem kayıtları kullanılarak sarsma tablası deneyleri yapılmıştır. Aynı depremler SAP2000 programında hazırlanmış maket model boyutlarındaki minareler için de uygulanmıştır. Elde edilen yer değiştirme sonuçları mukayese edilmiştir. Son olarak deprem yükleri altında oluşan eleman kuvvetleri ve deplasmanlar tespit edilerek iki minare tipi arasındaki farklılıklar ortaya konulacaktır.

3.1. Araştırma Yöntemi

Bu çalışma sırasında yapılan araştırmalar neticesinde tarihi ahşap minarelerin özellikle orman alanlarının yoğun olduğu bölgelerde geçmişten itibaren yapıldığı ve günümüze dek geldikleri görülmüştür. Diğer bölgelerde ise ahşap minareler yapılmış olsa bile yangın nedeniyle yok olmuş ve yerine farklı tipte minareler inşa edilmiştir. Yapılan araştırmalarda ahşap minarelerin Marmara bölgesinin doğusunda bulunan Sakarya İli ve Karadeniz bölgesi yer alan illerde yaygın olarak uygulandığı belirlenmiştir. Bu minareler iki farklı tipte inşa edilmiştir. Birinci tip olan minarelerde dış duvarlarda dikmeler ve kirişler arasında çapraz elemanlar oluşturulmuş ve merkezde bulunan seren direği ile merdivenler aracılığı ile bağlantı yapılmıştır. Çapraz elemanların sıklığı ve açılarının değişken olduğu tespit edilmiştir. İkinci tipte inşa edilen minarelerde ise dış duvarlar dikme ve kirişler üzerine ahşap kaplama malzemesi çakılarak oluşturulmuş ve merkezde bulunan seren direği ile merdivenler aracılığı ile bağlantı yapılmıştır.

Tez konusu olarak da iki tip yapım sistemi esas alınmış ve karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu bağlamda, minarelerin 1/10 ölçekli maketleri balsa ve gürgen ağacı kullanılarak hazırlanmıştır. Gürgen ağacı sadece merkezdeki seren direğinde kullanılmış diğer tüm elemanlar balsa ağacından oluşturulmuştur. Maketi hazırlanan minarelerin SAP2000 programı ile modelleri oluşturulmuştur.

Hazırlanan iki farklı yapım tarzına sahip maketlerin doğal titreşim frekansları sarsma tablası deneyi sonrasında belirlenmiştir. SAP2000 modelleri oluşturulan maketlerde kullanılan malzeme özellikleri sarsma tablası deneyi sonuçlarına göre revize edilerek daha önce meydana gelmiş deprem kayıtlarının ölçeklendirilmiş halleriyle tekrar sarsma tablası deneyi yapılmıştır. Maketlerin farklı depremler sırasındaki deplasmanları SAP2000 programı ile hazırlanmış modellerle aynı deprem verileri uygulanarak karşılaştırılmalı olarak incelenerek sonuçların uyumlu olup olmadığı incelenmiştir. Daha sonra her iki modele de aynı depremler uygulanarak eleman kuvvetleri ve deplasmanları SAP2000 modelleri üzerinde incelenerek her iki sistemin avantaj ve dezavantajları tespit edilmeye çalışılmıştır.

3.2. Anadolu Coğrafyası' nda Minareler

İslam coğrafyasında mimarinin merkezini teşkil eden başlıca yapı tiplerinde olan cami ve mescitlerin en belirleyici unsurlarından biri olarak kabul edilen minare; bu yapılar için simgesel anlam taşımaktadır. (Şekil 3.1.) Minare, söz konusu mimari yapılara dönem ve üslup özellikleri bakımından belirli bir karakter vererek, yapıları kent dokusunda daha anlamlı hale getirir (Kuşüzümü, 2010).

Birçok medeniyetin yerleştiği şehirde, anıtsal yapılar, antik kent kalıntıları ve kırsal mimari miras iç içe geçmiş olarak varlığını sürdürmektedir. Bu çalışmanın konusu olan ahşap minareler, yakın geçmişin kırsal mimari mirasının önemli örneklerini oluşturmaktadır (Şekil 3.2.).

Minare, camiden ayrı veya bitişik olarak inşa edilen, ezan okumak, çeşitli bildirgeleri yayınlamak için inşa edilen, müezzinin bu işleri yapabilmesi için balkonu bulunan kule tipindeki uzun ve narin yapılardır. (Kuşüzümü, 2010)



Şekil 3.1. Halfeti’de bulunan sular altında kalmış minare

a)



b)



Şekil 3.2. a) Orhan Cami (Adapazarı) ve b) Süleyman Paşa Cami (Geyve)

Minareler geçmişten günümüze yapı malzemelerine göre 4 farklı şekilde oluşturulmuştur. Coğrafi bölgede bulunan malzeme çeşidine bağlı olarak, yapılacak minarede kullanılan malzeme tipi değişmektedir. Geçmişte yaygın olarak yığma (taş-tuğla) olarak yapılan

minarelere ek olarak ahşap minarelerde oluşturulmuştur. Günümüzde ise yeni yapılan minarelerde betonarme ve çelik konstrüksiyon da kullanılmaktadır.

Tarihte ilk yapılan minareler yığma minarelerdir. Yığma minareler çeşitli şekillerde kesilmiş, yonu taşı, kireç taşı ya da o bölgede bulunan taş çeşitleri veya tuğla kullanılarak yapılmış olan minare sistemine verilen isimdir. Duvar taşları ve basamak taşları yekpare olacak şekilde bir örgü sistemi içinde örülür ve taşlar birbirine kenet adı verilen bağlantılar ile yatayda bağlanır. Bir üst sıraya çıkan taş örgüsü birbirine dikeyde zıvana adı verilen bağlantılar ile birbirine bağlanır. Duvar örgüsünde taşlar ve derzler birbirinin üzerine gelmeyecek şekilde imalat yapılır. (Şekil 3.3.)



Şekil 3.3. Yığma minare a) merdiven ve b) dikme görünüşü

Temel, kaidenin planına ve boyutlarına, minarenin oturduğu zeminin yapısına bağlı olarak tasarlanan ana taşıyıcı yapılardan birisidir. Pabuç kürsünün kare veya geniş satırlı poligonal planından, minare gövdesinin daha dar çaplı yuvarlak planına geçiş, pabuç ile sağlanmaktadır. (Kuşüzümü 2010) Gövde, minarede en fazlaca yüksekliğe sahip olan gövde kısmı basamaklara bağlı olarak; yedekli ve yedeksiz, dış duvarlara bağlı olarak da gömlekli ya da gömleksiz olarak inşa edilir. Gövdeler genellikle silindirik ve çokgendir. Bunun yanı sıra dilimli, yivli, burmalı, karma gibi değişik biçimlere sahip olanlar da vardır. İçi boş silindir bir forma sahip olan minarenin taşıyıcı niteliği merdiven basamak örgüsü ile artmaktadır.

Şerefe, gövde etrafını belirli bir yükseklikte çepeçevre saran, müezzinin ezanı okumak için kullandığı tüm yönleri dönebildiği balkon veya gövde içinde çözölen kısımdır. Petek, şerefe döşemesi ile külah kısmı arasında yükselen, kibleye açılan şerefe çıkış kapısını barındıran bölümdür. Minarenin, deprem ve rüzgâr etkisinde genellikle zarar bulan petek kısmı günümüze orijinal olarak ulaşan petek sayısı çok azdır. Şerefe kapısı boşluğu da bu kısımda yer aldığından petek statik açıdan dezavantajlı kalmaktadır.

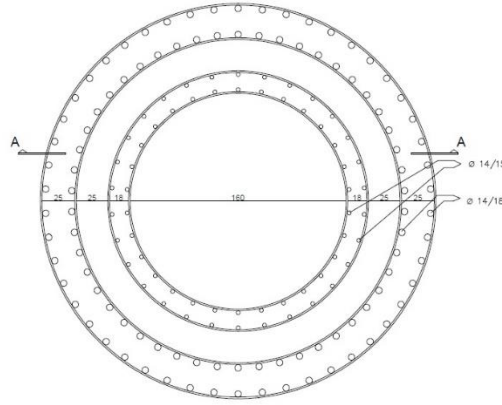
Külah, peteğin basamak çekirdeğinden çıkan seren direğine bağlanan farklı araç-gereç ve şekillerde meydana getirilen minarenin çatısıdır. Külah genellikle ahşap iskelet kurularak kurşun kaplanır. Üst örtü malzemesi olarak kullanılan kurşun kaplamanın altında caminin öteki bölümlerinde izolasyon için çamur sıva kullanılırken, bu bölümde eğimin çok olması nedeniyle keçe serilir.

Betonarme minare sistemi yığma minare sistemi ile benzer özellik göstermektedir. Demir donatılar ile sistemde zıvana ve kenet sistemi uyumluluk gösterirken, beton ile taş uyumluluk göstermektedir. Teknoloji gelişmeye başladıkça minare sistemleri de kendini güncellemiştir (Şekil 3.4.).

İnsanoğlunun gökyüzüne ulaşma yarışı son yüzyılda tüm dünyayı birbiri ile yarışır haline getirmiştir. Benzeri durum İslam dünyasında en geniş açıklıklı cami, en büyük kubbeye sahip cami gibi çeşitli yarışları da vardır. Bu yarış yapım sistemlerini de değiştirmiştir. Yığma minarelerin yerini güncel yapılarda betonarme minareler almıştır. (Şekil 3.5.)



Şekil 3.4. Betonarme minare



Şekil 3.5. Betonarme minare kesit örneği

Teknolojinin gelişmesi ile beraber yapı malzemeleri de ahşap, taş, kurşun gibi malzemelerden, beton, demir ve çelik gibi güncel yapı malzemelerine yönelmiştir. Bu yapı malzemeleri işlenmesinin kolay oluşu, hızlı olmasından dolayı günümüzde daha fazla tercih edilir olmuştur. Köy, mahalle gibi küçük yerleşim bölgelerinde camilere ahşap veya yığma minare yapılması yerine çelik minare yapımı rağbet görmektedir. Çelik karkas minare yapımı ahşap minare yapım sistemi ile benzer özellikler göstermektedir. Ahşap yapı sisteminin benzeri şekilde, dikey ve yatay taşıyıcılar, kutu profile, seren direği boru profile, merdivenler ise sac plaka olarak kullanılmıştır. Yapılmış olan bağlantılar ise ön görülen rüzgar, deprem hesaplamalarına ve imalat kolaylığı olması amacıyla perçinli

sistem veya kaynaklı sistem olarak kullanılmıştır. Dış kaplama malzemesi ise sac plaka ile çevrilerek örtülmüştür. (Şekil 3.6.)



Şekil 3.6. Çelik karkas minare

Yapılan incelemeler sonucunda, ormanların yoğun olduğu yerlerde ahşap malzemesi fazla kullanıldığından kullanılan binalar, camiler, minareler hep ahşap olarak yapılmıştır, ama orman yoğunluğunun olmadığı kısımlarda yapılar çoğunlukla tuğla, taş gibi yapı malzemeleri kullanılarak yığma olarak yapılmıştır. Ahşap minareler orta kısmında tek parça halinde bulunacak şekilde seren direğinin etrafına dikey taşıyıcı ahşaplar ve bu sistemleri birbirine bağlayacak şekilde yatay taşıyıcılar, seren direği ve dış taşıyıcı sistem birbirine ise merdiven sistemi ile bağlanmaktadır. (Şekil 3.7.)



Şekil 3.7. Ahşap minare örneği

3.3. Ahşabın Malzeme Özellikleri Ve Ahşap Minare Yapım Sistemleri

Bu çalışma kapsamında ahşap minare yapımında kullanılan iki farklı sistem ele alınmış, çeşitli deneyler ve bilgisayar analizleri yardımıyla aynı deprem yükleri altında bu iki sistem arasındaki deplasman ve eleman kuvvetleri yönünden oluşan farklılıklar tespit edilmiştir. Bu bölümde ahşabın malzeme özellikleri ile ahşap minare yapım teknikleri ele alınmıştır.

3.3.1. Ahşabın Malzeme Özellikleri

Ahşap günümüzde her alanda işlenebilirliği açısından tercih edilen malzeme olmuştur. Çelik, betonarme gibi yapım süreçlerinin zorluğu, ahşap malzemenin kolay bulunması, sarsma tablası deneylerinde aktif olarak kullanılması, hafif olması, yapım aşamasında ve deney sürecinde tercih edilen malzeme balsa ağacı olmuştur. Balsa ağacı en hafif ahşap türleri arasında bulunana en hafif ahşap türüdür.

Ahşap, insanlığın başladığından beri kullandığı en önemli doğal, yenilebilir kaynaklardan bir tanesidir. İlk çağlardan bu yana çeşitli malzemelerin ve eşyaların yapımı, yapı sektörü, mobilya, el aletleri, kağıt, dekorasyon ve en önemlisi geri dönüştürülerek kullanılması ahşabı ön plana çıkarmıştır. Yakın dönemde her ne kadar taşıyıcı eleman olarak kullanımı azalsa da hala aktif olarak önemli bir yapı malzemesi olarak yerini korumaktadır. Günümüzde aktif olarak betonarme inşaatlarda kalıp, iskele ve çatı malzemesi olarak, restorasyon işlerinde işe ana taşıyıcı elemanlar, tavan ve zemin kaplamaları, doğramalar, merdivenler ve çatı malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Ahşabın ham maddesi olan ağaçlar 2 ye ayrılırlar.

- İğne yapraklı ağaçlar (yumuşak ağaçlar)
- Geniş yapraklı ağaçlar (sert ağaçlar)

Sert ağaçlar odunsu bitki türleridir ve anjiyospermiler olarak bilinir. Bu yapı ceviz, meşe palamudu, fındık gibi sert kabuklu meyve olabilirken, elma, armut, ayva gibi yumuşak ve yenilebilir meyvede olabilir. Sert ağaçlarda bulunan odunsu damardaki tüpler, suyun gövdeden geçmesini sağlarlar; bunlar ahşaba bakıldığında ve bu ahşap parçası enine

olarak enine kesitler halinde büyütüldüğünde gözenekler şeklinde görülmektedir. Aynı gözenekler, aynı zamanda ahşabın işlenmesini ve yoğunluğunu artırmakta olan damar desenlerini meydana getirmektedirler. Sert ağaç türlerinden elde edilen kereste en çok mobilya, döşeme, ahşap kalıplar ve ince kaplamalarda kullanılır. Örnek verecek olursak, bu deney örneğinde kullandığımız balsa ağacı, meşe, (Şekil 3.8.) huş, ceviz, kayın, kızılçam, tik ağacı sayılır.



Şekil 3.8. Sert ağaçlara örnek olarak meşe kesiti (Anonim ğ, 2021)

Yumuşak ağaçlar bir meyve veya kabuklu yemişte bulunmayan çıplak tohumlara sahip açık tohumlulardır (iğne yapraklılar). Kozalaklar şeklinde tohum veren çamlar, ladin, köknar bu sınıfa girmektedir. Kozalaklı ağaçlarda tohumlar olgunlaştıklarında rüzgâra salınır. Bu, ağacın tohumunu geniş bir bölgeye yayılmasını sağlayarak sert ağaç türlerine göre nispeten daha erken dönemde çıkmasını sağlar. Yumuşak ağaçların gözenekleri yoktur, bunun yerine büyüme için besin sağlayan trakeid adı verilen doğrusal tüplere sahiptir. Bu trakeidler, sert ağaç gözenekleriyle aynı şeyi yani su taşırlar. Ayrıca haşere istilasından koruyan ve ağaç büyümesi için gerekli unsurları sağlayan özsu üretirler.

Yumuşak ağaçlar en fazla kağıt yapılmak üzere hamur ağacında, inşaat sektöründe boyutlu çerçeve yapımında ve sunta, kontraplak ve yonga levha şeklindeki tabakaların yapımlarında kullanılırlar. Bu kullanımlarda değerlendirilen bu ağaçlar arasında Douglas köknar, sekoya, sedir, çam, ardıç, porsuk ve ladin bulunmaktadır. Yumuşak ağaçlar genel olarak sert ağaçlara göre daha az yoğundurlar ve çok daha hafiftirler. Çoğu türü, sert ağaçlardan çok daha ucuz olduğundan ahşabın görülmeyeceği herhangi bir yapısal uygulama için açık bir favori yapar. Yumuşak ağaçların çoğu sert ağaca kıyasla hızlı

büyümesi, daha ucuz olmasının bir nedenidir. Örnekler ise; sarıçam, karaçam, ladin, köknar, fıstık çamı verilebilir. (Şekil 3.9.)



Şekil 3.9. Yumuşak ağaçlara örnek olarak çam kesiti (Anonim h,2021)

Bu ayrım sadece üreme biyolojisi ile ilgilidir. Kabaca sert ağaçlar yapraklarını dökerken, iğne yapraklı ağaçlar 4 mevsim yapraklarını korurlar. Genel olarak sert ağaçlar dediğimiz ağaç cinsleri genel olarak daha yumuşaktır ve mobilya üretiminde başı çekerken, yumuşak ağaç cinsleri çatı malzemesi, iskele ve inşaatlık kereste olarak kullanılmaktadır. (Şekil 3.10.)

a)

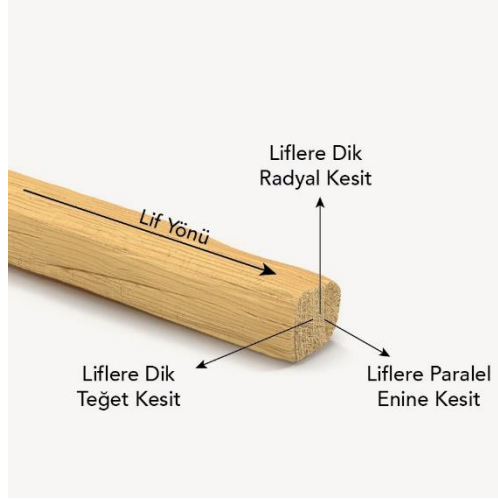


b)



Şekil 3.10. a) Yumuşak ağaç ve b) sert ağaç (Anonim i,2021)

Ahşabın canlı yapısı gereği odun hali, homojen yapılı bir ürün değildir. Homojen yapılı ürünler yapısı gereği kendi içlerinde bir düzen ve sistematikliğe hakimdir, örneği çelik. Ahşap malzeme ise bu konuda anizotrop davranış gösterir. Bu durumda her lif yönlerine bağlı olarak gösterdiği fiziksel ve mekanik özellikler birbirinden farklıdır. (Şekil 3.11.)



Şekil 3.11. Ahşabın lif yönlerine göre kesitleri

Enine kesit gövde eksenine dik olarak kesilmek üzere elde edilen yüzeydir. Enine kesit üstünde, en dışta kabuk göze çarpmaktadır. Kabuk esas itibariyle dış (ölü) ve iç (diri) kabuk tabakaları olmak suretiyle iki kısımdan oluşmaktadır. Kabuktan sonra kambiyum tabakası yıllık halkalar, öz ışınları, öz, boyuna paranşim, reçine kanalları, diri ve öz odun ile renk farklılıklarını görmek mümkündür.

Radyal kesit gövde eksenine paralel, ama öz ışınlarına paralel kesilmek üzere elde edilen yüzeydir. Radyal kesit üstünde öz ışınları ağaç türlerine göre değişmek suretiyle parlak levhalar halinde görülür ve bu kesiş şekline Ayna ya da Çeyrek kesiş ismi verilir. Örneğin Akçaağaç, Meşe, Çınar ve Kayında bu aynacıkları kolayca ve çıplak gözle görmek mümkündür.

Teğet kesit gövde eksenine paralel, ama yıllık halkalara teğet yönde kesilmek üzere elde edilen kesittir. İğne yapraklı ağaçlarda yaz odunu tabakaları, halkalı trakelilerde ise halka teşkil eden ilkbahar odunu tabakalarının iç içe geçmiş pramitler meydana getirmiş olduğu kolayca ve çıplak gözle dahi görülür.(Bozkurt Yılmaz, 1971) Ahşap çeşitli kusurlara sahiptir ve bu kusurlar kendisi incelemeyi zorlaştırmakta ve stabil veriler elde edilememektedir. Bu durumdan ötürü ahşap malzeme liflerinin doğrultusuna göre çeşitli incelemelere tabi tutulmaktadır.

Ahşabın fiziksel özellikleri madde haline getirilmek istenirse başlıca, yoğunluk, porozite, hacim-ağırlık değerleri, sorpisiyon (su alma/verme yeteneği), nem miktarı, daralma genişleme, geçirgenlik, kapıllarite, difüzyon, akustik özellikler, termik özellikler, elektriksel özellikler, koku, tat gibi özellikler olarak sıralanabilir.

Geçmişten günümüze insanların çeşitli ihtiyaçlarını ahşap ile gidermişlerdir. Örnek vermek gerekirse, barınmak için taşıyıcı ve kapatıcı sistemler, çeşitli silah aparatları, mobilyalar, çeşitli mutfak eşyaları bunlardan sayılabilir. Ahşabın kullanım aşamasında seçilebilme özellikleri ahşabın lif yapısı, dokusu, deseni, rengi, el ile işlenebilmesi, çürümeye karşı çeşitli direnç sağlamasıdır.

Yoğunluk birim hacim ağırlıktaki net odun miktarı olup, özgül ağırlık ile eş anlamda kullanılmaktadır. Bu aşamada birimi g/cm^3 veya kg/m^3 olarak kullanılır. Bilimsel olarak tam kuru haldeki yoğunluk olarak değerlendirilen, nem içermeyen andaki yoğunluğudur. Bu yoğunluk ahşabın mekanik özelliklerine ve fiziksel özelliklerine son derece önemli bir etkiye sahiptir. Ahşap, ağaçlardan elde edildiği için lifli ve gözenekli yapısı ile gözenekleri içinde su tutma yetisine sahiptir

Ahşap malzemenin anizotropik olması sebebiyle, mekanik özelliklerini incelemek zordur. Ahşabın değişik etkilere karşı gösterdiği basınç, çekme, elastisite modülü, eğilme dayanımı gibi özellikler birbiri ile aynı değildir. Ahşap malzemesi liflerden oluştuğu için gösterdiği mekanik özellikler liflerin doğrultusu ile değişkenlikler göstermektedirler.

Çizelge 3.1. Ahşap için emniyet gerilmeleri (İMO Sayfasından alınmıştır)

Emniyet Gerilmeleri (Kg/cm^2)	III. Ahşap		II. Ahşap		I. Ahşap	
	Çam	Meşe Kayın	Çam	Meşe Kayın	Çam	Meşe Kayın
Eğilme	70	75	100	110	130	140
Çekme (P)	0	0	85	100	105	110
Basınç (P)	60	70	85	100	110	120
Basınç (D)	20	30	20	30	20	30
P: Liflere paralel doğrultu. D: Liflere dik doğrultu						

Ahşabın elastisite modülü aynı şekilde liflere dik ve liflere paralel doğrultularda değişmektedir. Bu bize ahşabın kusurlu olduğunu ve hesaplama yapılırken dikkatli olunması gerektiğini gösterir. (Şekil 3.12.)

Çizelge 3.2. Bazı ahşap cinsleri için elastisite ve kayma modülleri (D.E.Ü. ders notlarından düzenlenmiştir.)

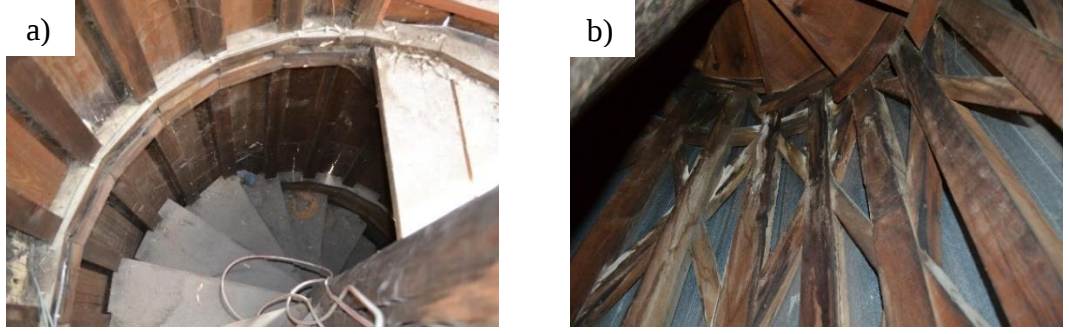
Ahşap Malzeme Cinsi	Elastisite Modülü (kg/cm ²)		Kayma Modülü G (kg/cm ²)
	Liflere Paralel E(p)	Liflere Dik E(d)	
Çam vb.	100000	3000	5000
Meşe, Kayın	125000	6000	10000
P: Liflere paralel yön. D: Liflere dik yön.			



Şekil 3.12. Ahşabın lif yönleri (Anonim 1,2021)

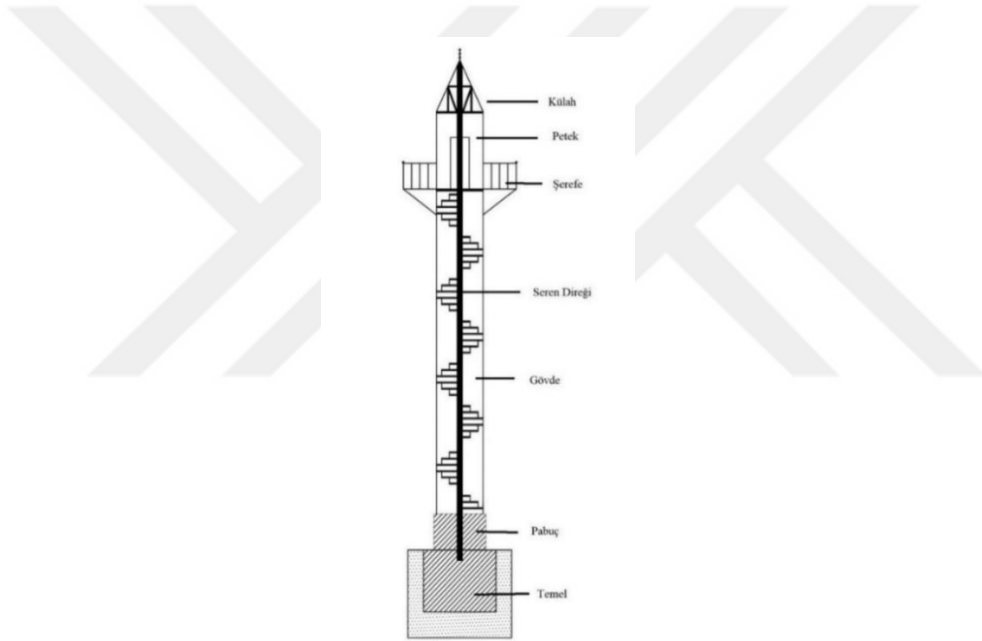
3.3.2. Ahşap Minare Yapım Sistemleri

İncelenen ahşap minarelerin bir kısmında dikey taşıyıcıların arası çeşitli çapraz sistemler ile bölünmüştür. Bu sistem ile beraber yük aktarımı ve dikey taşıyıcılar birbirine daha rijit şekilde bağlanmaktadır. Diğer minarelerde ise dikey taşıyıcıların arası boş bırakılacak şekilde dış kısımdan 2 cm'lik ahşap tahtalar ile birbirine monte edildiği görülmüştür. Bu yapım sistemi ile beraber sistem birbirine rijit bir şekilde bağlanmaktadır. Dış kaplama malzemesi yapım türüne göre ahşap kaplama olmakla beraber günümüzde sac plaka da kullanılmıştır. (Şekil 3.13, Şekil 3.14.)



Şekil 3.13. Ahşap minare a) dış taşıyıcıda ahşap kaplama kullanımı ve b) dış taşıyıcıda çapraz kullanımı

Ahşap minarelerin ortasında tek parça halinde bir çekirdek,



Şekil 3.14. Ahşap minarenin kısımları (Bağbancı ve Bağbancı 2018)

Ahşap minarelerin dış cephesinde kullanılan çapraz taşıyıcı sistemi günümüzde kullanılan diagrid yapım sistemi ile benzerlik göstermektedir. Bu araştırma sürecinde çeşitli diagrid yapım sistemi ile yapılmış binaların taşıyıcıları, ahşap minarelerin taşıyıcı sistemleri ile benzeştirilmiştir. Merkezde bulunan seren direği ile yüksek yapıların çekirdek sistemleri, dış cephedeki üçgen ağ örgüsü de diagrid sistemi andırmaktadır.

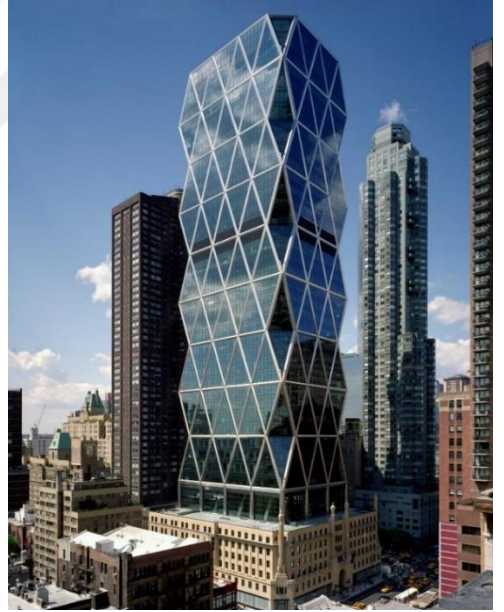
3.4. Diagrid Yapı Sistemleri

Nüfusun hızlı büyümesiyle, insanların şehirlerdeki alanları kullanım stilleri değişmiş bulunmaktadır. Dolayısıyla 19. yy. sonlarında önemli şehir merkezlerinde yatay mimari yerini günden güne dikey mimariye teslim etmektedir. Yüksek katlı yapıların yapım sistemlerinde rijit çerçeve sistem, perde duvarlı sistem, çerçeve ve perde duvarlı sistem, tübüler sistemler yer almaktadır. 1950’ler den sonra günümüze geldikçe bu yapım sistemlerine ek olarak diagrid sistemler eklenmişlerdir. Diagrid sistemler, sistemin benzersiz geometrik fonksiyonunun sağladığı yapısal verimliliği ve estetik potansiyeli nedeniyle yüksek katlı binalarda tercih sebebi olmuştur. Bu binalara örnek olarak IBM Binası, Hearst Kulesi, Capital Gate, Aldar Merkez Binası, Kanton Kulesi (Şekil 3.15.)

a)



b)



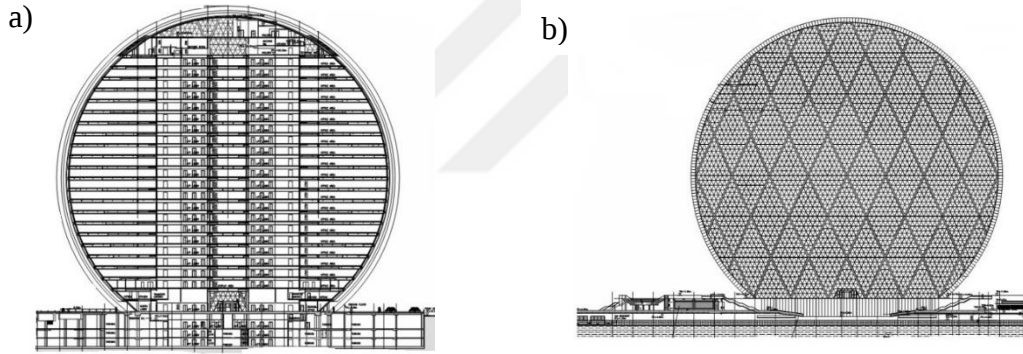
Şekil 3.15. Diagrid sistemler a) IBM binası ve b) Hearts kulesi (Anonim a, 2021)

Köşegenleri olmayan geleneksel çerçeve boru biçimli yapılar ile karşılaştırıldığında, diagrid yapılar kesme deformasyonunu en aza indirme konusunda daha etkilidir, çünkü çapraz elemanlar aksenal hareketleriyle kesme kuvvetini taşırlar, oysa geleneksel çerçeve boru biçimli yapılar, dikey sütunların bükülmesiyle kesme kuvvetini taşırlar. Diagrid yapılar, yüksek kesme rijitliğine sahip çekirdeklere ihtiyaç duymazlar, çünkü kesme kuvveti çevre üzerinde bulunan diagridler üzerinde taşınır. Çevresel diagrid

sistemi, geleneksel bir moment çerçevesi yapısına kıyasla yapı malzemesi ağırlığında %20 tasarruf ettirir. (Nishith ve Vinubhai 2014)

3.4.1. Aldar Merkez Binası

Abu Dabi, Birleşik Arap Emirliklerinde yer alan Aldar Merkez Binası 121 metre yüksekliğinde 23 katlı, 124 metre çapında dairesel bir yüksekliğe sahiptir. Yapı hem dikey hem de yatay olarak kavslidir. Cephenin yüzeyi halka ve dairenin kesişmesi ile elde edilmiştir. Ortaya çıkan geometri, iki halkanın kesiştiği ve muazzam yüksek bir daire oluşturur. Yapıda merkezde 2 adet çekirdek bulunuyor ve bu merkez dışarıdan diagrid sistemle sarılmış bulunmaktadır. Bina merkezinde bulunan çekirdek çelik ve betonarmeden oluşan karma sistemdir. Dışarıdan saran diagrid sistem ise çelikten inşa edilmiştir. (Şekil 3.16.)



Şekil 3.16. Aldar Merkez Binası a) Çekirdek ve b) Diagrid görseli (Anonim b, 2021)

Binanın en dikkat çekici ve en zorlayıcı özelliği, mimari cephe diagridini binanın yapısal kolon ızgarası olarak benimseyen çevre destek yapısıdır. Sütunlar, zemin kattaki podyumdan yükselir, dikey olarak yaklaşık 25 ° açıyla çapraz olarak yükselir ve binanın yüksekliğinin her dördüncü katında (16 m) kesişir. Çevresel zemin kirişleriyle birlikte, bu eleman diyagramı, binanın çevresi için üçgensel bir destek ızgarası oluşturur. (Şekil 3.17.)



Şekil 3.17. Aldar Merkez Binası (Anonim c, 2021)

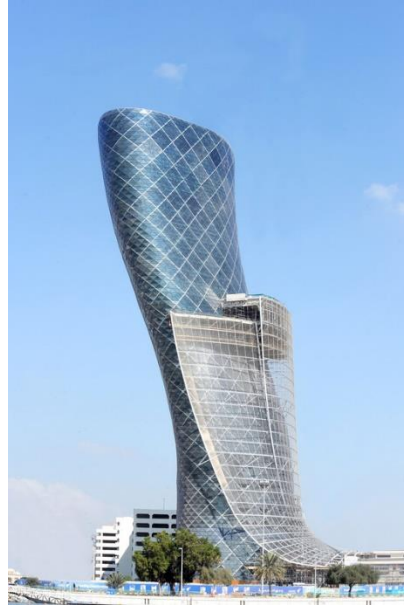
3.4.2. Capital Gate

Abu Dabi, Birleşik Arap Emirliklerinde yer alan Capital Gate, kendi alanında dünyanın en büyük eğimine sahip gökdelen unvanını taşımaktadır. Capital Gate İtalya’da bulunan Pisa Kulesi ile kıyaslandığı zaman, yerçekimi yasasına aykırı olarak 5 kat daha fazla dikey ekseninde açı yapmaktadır. (Şekil 3.18.) Pisa kulesinin açısı yaklaşık olarak 3,97 derece ve Capital Gate yapısının yaptığı açı ise 18 derece olarak ölçülmüştür. Yapımı 2007 yılında başlayıp 2011 yılında tamamlanmıştır. (Nizamtdinkyzy, 2016)

a)



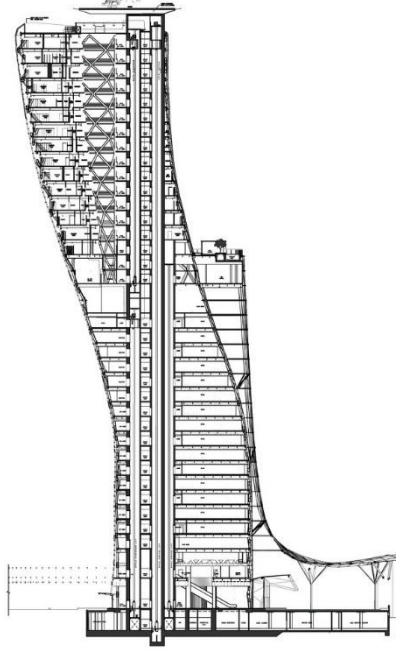
b)



Şekil 3.18. a) Pisa Kulesi ve b) Capital Gate (Anonim ç, 2021)

Yer çekimine karşı koyan bu sistem sağlam bir zemine oturmaktadır. En büyük çapı 1000 mm olan 490 adet kazıktan oluşan bir temele oturmaktadır. Bu kazıkların boyu yaklaşık olarak 30 mt olmaktadır ve binanın yer çekime karşı koymasına destek olmaktadır. 600mm x 600mm çelik kutu profiller dış diagrid sistemini oluşturur. Her bir elemanın farklı uzunluğu, eğriliği, kalınlığı ve açısı vardır. Çelik profillerin kalınlıkları alt katta 80 mm'den üst katlarda 40 mm'ye kadar değişmektedir.

Tüm diagrid düğümlerini bağlantı kirişleri ile bağlayarak güçlü bir çaprazlama sistemi korunur. İç diagrid, 80 mm kalınlığında çelik kutu profillerden oluşur. İç diagrid, bir avlu oluşturarak 18 katın ağırlığını destekler. Huni şeklindeki iç diagrid, mekanik zemindeki yapısal elemanlar aracılığıyla binanın çekirdeğine bağlanır. (Şekil 3.19) Meydana gelen kuvvetler bu küçük alan için çok fazla olduğu için, ek bir betonarme destek yapılmıştır. Çözüm olarak 6 adet çelik çubuk ile çekirdeğe bağlanmıştır.



Şekil 3.19. Yapıda hem betonarme çekirdek hem de diagrid sistem bir arada kullanılmıştır. (Anonim d,2021)

3.4.3. Kanton Kulesi

Kanton kulesi Çin'in Guangzhou bölgesinde yer almaktadır. Yapılış amacı gözlem ve iletişim kulesi olmasından dolayı diğer bir ismi de Guangzhou TV kulesi olarak ta geçmektedir. Bu gökdelen Çin'in en uzun gökdeleni unvanını elinde bulundurmaktadır. Radyo eklenti ucu dahil en yüksek noktası 604 metredir. Kullanılabilir en yüksek noktası ise 454. metrede bulunmaktadır.

Diğer gökdelenler gibi betonarme bir iç çekirdeğe sahiptir, bu çekirdeği dışarıdan diagrid çelik sistem sarmaktadır (Şekil 3.20.). Taban alanı eliptik olarak tasarlanmıştır ve kule yükseldikçe bu alanlar kendi içlerinde belirli dereceler ile dönmektedirler. En düşük ve yüksek alanında bu eliptik alanlar yaklaşık olarak 45 derecelik açı yapmaktadırlar (Şekil

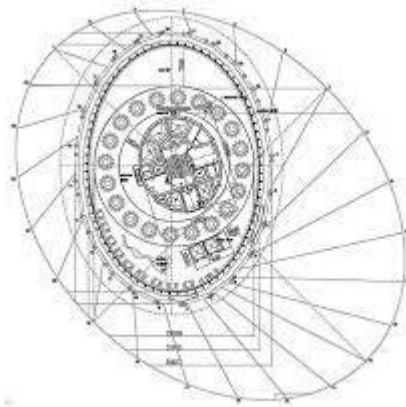
3. a)



b)



Şekil 3.20. Yapının dış diagrid sistemi a) iç sarmal örgü ve çekirdek, b) dış görünüş (Anonim e,2021)



Şekil 3.21. Kanton Kulesi planı (Anonim f,2021)

Kulenin dışında kullanılan diagrid sistemin en büyük özelliği yükleri diagrid sistemi oluşturan elemanlara eşit bir şekilde dağıtmasıdır. Merkezde yer alan çekirdek ve yer yer oluşturulan rijit katlar diagrid sistemle birlikte çalışarak yükleri zemine aktarmaktadır.

Çalışma konusu olan ahşap minarelerde de benzer bir yöntem kullanılmış olup rijit kat sadece şerefe kısmında oluşturulmuştur. İçerdeki çekirdek (Seren direği) ile dış taraftaki çapraz konstrüksiyon arasındaki bağlantı ise merdivenlerle sağlanmıştır.

3.5. Çalışmada Kullanılan Deney Sistemi

Sistemleri hem dijital olarak hem de fiziksel olarak çeşitli testlere tabi tutmak amacıyla belirli metotlar uygulanmaktadır. Sarsma tablası deneyi, deneysel çalışma yöntemlerinden bir tanesidir. Sarsma tablasında herhangi bir yapım sistemini incelemek amacıyla çeşitli modeller oluşturulur. Bu maket model sistemleri hafif malzemelerden oluşturulur. Bunlar balsa ağacı ve çeşitli metal çubuklar olarak kullanılmaktadır. (Şekil 3.22.)

a)



b)



Şekil 3.22. Maket model tiplerine örnek olarak a) çelik çubuk ve b) balsa ağacı (Anonim g,2021)

Sınır koşulları doğru olarak gerçekleştirildikten sonra, yapıların deprem esnasındaki davranışlarını hakkında çok önemli bilgiler veren bir yöntemdir. Tabla özelliklerine bağlı olarak, yapılar tam ölçekli bir şekilde tabla üzerinde test edilmesi mümkündür ama tabla özellikleri yapı testini kısıtlı hız, deplasman, ivme vb. sebeplerle desteklemiyorsa veya oluşturulan bütçe tam ölçekli yapı maliyetini karşılamıyorsa benzerlik/ölçek yasaları kullanılarak daha kısıtlı imkanlar dahilinde sarsma tablası üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilebilir (Torun & Çunkaş, 2009).

Model yapıda balsa ağacından levhalar ve çıtalar kullanılmasının sebebi öncelikle malzemenin hafif olmasıdır. Bu durum bize maket modelimizi sarsma tablasına koyarken, taşıırken kolaylık sağlayacaktır. Benzer yapı malzemesi kullanılarak oluşturulmuş ve incelenmiş çeşitli yüksek yapılar olması sebebiyle bize incelemeler konusunda yardımcı dokunacaktır (Ağcakoca, 2019). Aşağıda balza ağacının özellikleri kısaca belirtilmiştir.

Balsa Ağacı:

Balsa ağacı, tropikal sert bir ağaç türü olup çoğunlukla Amerika kıtasında bulunmaktadır, bu ağaç türü fazla hızlı uzayıp 5-8 yıl içinde yaklaşık olarak 20 metre yüksekliğine ve 75 santimetre çapına kadar ulaşabilmektedir. Hızlı büyümesinden dolayı odun yoğunluğu düşüktür ve bu özelliğinden dolayı balsa ağacı en hafif ticari ağaç tipi olarak kabul edilir. Ortalama olarak yoğunluk değerleri $100 - 250 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir. (Şekil 3.23.) Düşük yoğunluk değerinden dolayı iyi mekanik performans istenen durumlarda son derece değerli bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Balsa ağacı, rüzgar türbini kanatları, maket modeller, spor ekipmanları, gibi yerlerde sürekli kullanılmaktadır. (Borrega & Gibson, 2015)



Şekil 3.23. Balsa odunu (Anonim j, 2021)

Tez kapsamında maket modelleri hazırlanmış olan minarelerde sadece iç çekirdek (Seren direği) gürgen ağacı olarak kullanılmış, diğer tüm ahşap elemanlar balza ağacından oluşturulmuştur. Gürgen ağacının özellikleri aşağıda kısaca belirtilmiştir.

Gürgen Ağacı:

Mobilya ve ahşap malzeme üretiminde sıkça kullanılan gürgen ağacı sağlam yapısı neden ile gemi üretiminde oldukça tercih edilmiştir. Türkiye’de iki tip gürgen ağacı vardır. Bunlar adi gürgen ve doğu gürgeni olarak ayrılmaktadır. (Şekil 3.24.) Adi gürgen ağaçları 20 metre uzunluğa kadar ulaşabilirken doğu gürgenleri 7–8 metre uzunluğunda değişmektedir. Ortalama yoğunluk değerleri $790\text{--}830\text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir. Koyu renkli öz odunu bulunmamaktadır bu durumdan dolayı diri odun karakterine girmektedir. Rengi gri beyaz ile sarıya dönük beyazdır. Yıllık halka sınırı pek belirgin değildir. Öz ışınları bileşik şekilde bulunmaktadır. Dekoratif bir odun çeşidi değildir, fazla sert ve ağırdır. (As, Koç, & Doğu, 2001)



Şekil 3.24. Gürgen odunu (Anonim k, 2021)

Balsa ağacı çıtalarını yataylar, dikmeler ve çaprazlar olarak kullanılacak ve maket model sistemi yapılacaktır. Minaremizi gerçek hayatta tasarlanacak şekilde planladığımız durumda yükseklik yaklaşık olarak 15 metre olacaktır, yapacağımız maket model için en ideal ölçek 1/10 olarak seçilmiştir. Aşağıda Şekil 3.25'te çalışmaya konu olan iki adet minare maketi görülmektedir.

a)



b)



Şekil 3.25. Çalışmaya konu minare maketleri a) çapraz model, b) kabuk model

Şekilde de görüldüğü üzere iki minare de de aynı tip malzeme kullanılmıştır. Aralarındaki fark ise dış cephelerdir. Birinde dikme ve kirişler arasında çapraz elemanlar kullanılırken diğerinde kabuk elemanlar kullanılmıştır. Tez kapsamında bu iki minare birbiriyle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Minare boyutları hakkında detaylı bilgi aşağıda verilmiştir. Bu minare modellerinden biri çapraz model diğeri ise kabuk model olarak adlandırılmıştır.

Tasarımı yapılması planlanan çapraz modelle (Şekil 3.26.) ilgili bilgileri şu şekildedir.

- Yüksekliği: 1565 cm
- Genişliği: 150 cm
- Seren direği: 29,5 cm
- Dikey taşıyıcılar: 5/8 cm
- Yatay taşıyıcılar: 5/8 cm
- Çapraz bağlantı elemanları: 5/5 cm



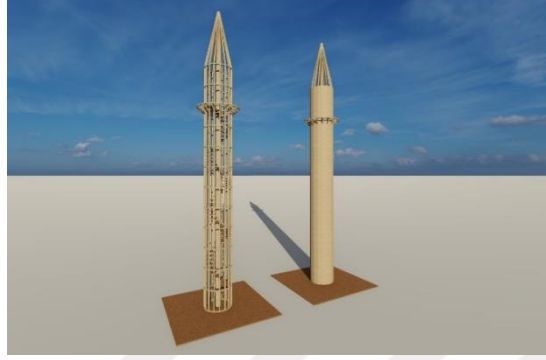
Şekil 3.26. Minare modellemesi

Tasarımı yapılması planlanan kabuk modelle ilgili bilgileri şu şekildedir.

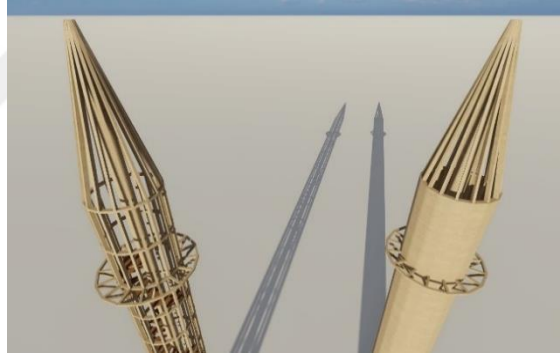
- Yüksekliği: 1565 cm
- Genişliği: 150 cm
- Seren direği: 29,5 cm
- Dikey taşıyıcılar: 5/8 cm
- Yatay taşıyıcılar: 5/8 cm
- Kaplama eleman kalınlığı: 2 cm

Karşılaştırması yapılacak 2 tip minare Şekil 3.27 ve Şekil 3.28’de gösterilmiştir. Çapraz sistem olan minarenin dikey taşıyıcı elemanlar arasında çapraz diagrid bağlantılar bulunmaktadır. Çapraz bağlantıların yatay taşıyıcı elemanlar arasında ki açı 45 dereceye denk gelecek şekilde seçilmiştir. Bunun sebebi en güvenli şekilde yük aktarımı yapıp bağlantı elemanlarını en az şekilde yorarak, desteklemektir.

Kabuk sistem olan minarenin dikey elemanlarının arası 2cm'lik ahşap kaplama malzemesi ile kapatılacaktır. Bu durum sistemin rijitliğini arttırarak, oluşacak deplasmanları sınırlayacaktır.



Şekil 3.27. Tasarımı yapılan minarelerin dıştan görünüşü

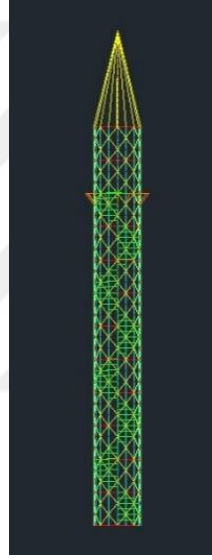


Şekil 3.28. Tasarımı yapılan minarelerin üstten görünüşü

4. BULGULAR

4.1. Serbest Titreşim Periyodu Belirleme Aşamaları

Tasarım aşaması için Sakarya yöresinde bulunan çeşitli cami minareleri incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda 2 tip minare yapım sistemine karar verilmiştir. Yapılmasını planlanan minare modelinin öncelikle dijital çizimleri yapılmıştır. Bunun için görsel ve mimari tasarımları için Archicad ve Autocad programlarından, statik çözümleri için ise SAP2000 programından yararlanılmıştır. (Şekil 4.1.)



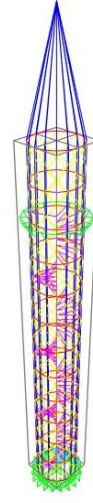
Şekil 4.1. Autocad modeli

Autocad programında iskeleti çizilen minarenin her bir eleman grubu için ayrı bir katman tanımlanmıştır. Dikey, yatay, çapraz, merdiven, şerefe, kabuk elemanlar için balsa, seren direği kısmı içinse gürgen malzeme tanımlamaları gerçekleştirilmiştir. 1. Aşamada balsa ağacının elastisite modülü ortotropik olarak alındı (Şekil 4.2.,4.3.,4.4.), birim hacim ağırlık ise 160 kg/cm² olarak kullanıldı. 2 yapım sistemi de bu kabuller yapılarak çözüldü. Bu kabullerin sonrasında, minare modelleri SAP2000’de herhangi bir yükleme yapılmadan modlarını görmek amacıyla çözümlenmiştir.

a)



b)



Şekil 4.2. a) Kabuk sistem ve b) Çapraz sistem

a)



b)



Şekil 4.3. Yapının a) 1. ve b) 2. modu

a)



b)



Şekil 4.4. Yapının a) 1. ve b) 2. modu

2. Aşamada balsa ağacından elde edilen plaka malzeme ve çubuk elemanlar kullanılarak çapraz, dikey, yatay, şerefe kısımları, gürgen ağacı ise seren direği, sarsma tablası montajı için kontrplak kullanılmıştır.

Sakarya bölgesinde incelenen 5 minare sonucunda 2 tip minare seçilmiştir ve bu minarelerin yerinde alınan ölçülerine ve sistemine güncelleme yapılarak, 2 adet minare maket modeline karar verilmiştir. İlk aşamada kontrplak CNC’ de tabanına seren direği ortaya, düşey taşıyıcı direkler 15 cm çapına gelecek seren direğinin etrafına uygun delik yerleri belirlenerek, sarsma tablası sabit zeminine montaj için 16 adet düşey taşıyıcı deliği, 1 adet seren direği yeri açılmıştır.

Maket model yapımına ilk başlanırken önce düşey taşıyıcılar ve seren direği kontrplak tabana montajlanmıştır, peşine her 10 cm de bir gelecek şekilde yatay taşıyıcılar maket modele yapıştırılmıştır. Bu işlemden sonra seren direği ve düşey taşıyıcıları birbirine bağlamak ve yük aktarmak amacıyla merdivenler monte edildi. Maket model yapılırken yapıştırma malzemesi olarak hızlı yapıştırıcı kullanılmıştır. Bu şekilde 2 adet boş maket model oluşturulmuştur. (Şekil 4.5.) Çapraz model yapım sisteminde çapraz bağlantılar, kabul model yapım sisteminde ise kabuk elemanlar kullanılacaktır.



Şekil 4.5. Maket modellerin boş hali

Seren direği, düşey ve yatay taşıyıcılar montajlandıktan sonra çapraz modele çapraz bağlantılar ve ardından merdivenler montajlanmıştır.

a)



b)

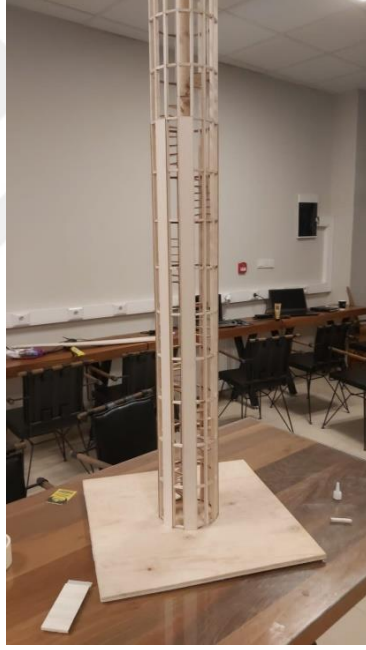


Şekil 4.6. Çapraz model yapım sistemi maket modeli a) tamamlanmamış maket model ve b) tamamlanmış maket model

Çapraz model yapım sistemi tamamlandıktan sonra (Şekil 4.6). Kabuk model yapım sistemine geçilmiştir. Merdivenlerin montajı tamamlandıktan sonra (Şekil 4.7.) yapının dış cephesi 2 mm kalınlığında balsa kabuk elemanları ile kaplanmıştır (Şekil 4.8.).

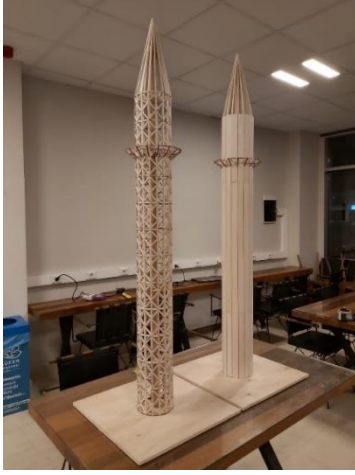


Şekil 4.7. Merdiven montaj aşaması

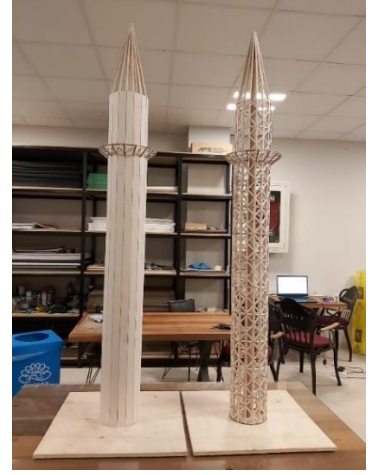


Şekil 4.8. Kabuk model yapım sistemi kabuk eleman montaj aşaması

a)



b)



Şekil 4.9. Maket modellerin bitmiş hali a) yan görünüş ve b) ön görünüş

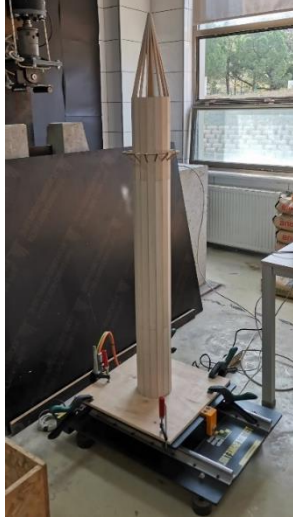
Maketler tamamlandıktan sonra (Şekil 4.9.), kullandığımız yapı malzemelerinin sistem çözümlerlerinden birim hacim ağırlıkları tekrardan fiziksel yollar ile hesaplanmıştır (Şekil 4.10). Hesaplamalar sonucunda kabul ettiğimiz birim hacim ağırlık değeri doğru çıkmıştır. Kabul edilen değerimiz yaklaşık olarak $0,16 \text{ g/cm}^3$ çıkmıştır.



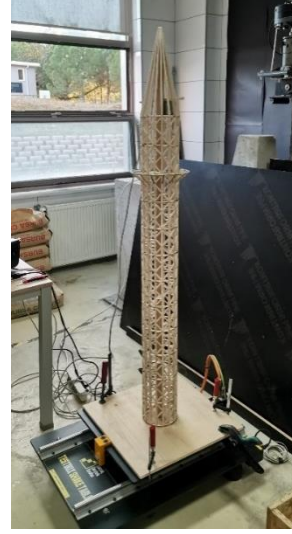
Şekil 4.10. 10.000'de 1 hassasiyet ölçüm yapan tartı ile belirlenen birim hacim ağırlık hesaplamaları

Maket modellerimiz daha sonrasında Uludağ Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarı'na götürülerek burada sarsma tablası üzerine çıkarılmıştır.

a)

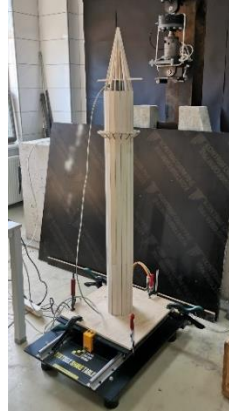


b)

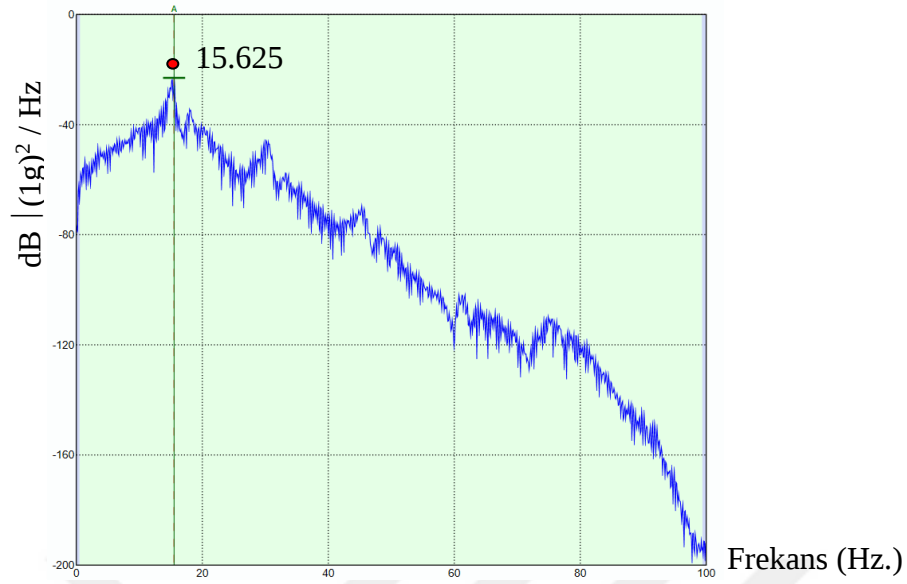


Şekil 4.11. Sarsma tablası üzerindeki a) Kabuk sistem ve b) Çapraz sistemi

Sarsma tablası üzerinde öncelikle yapının serbest titreşim hareketlerini görmek amacıyla kabuk model yapım sistemi monte edilmiştir (Şekil 4.11.). Modelin üst noktasına ivme ölçer bağlanarak, yapıda oluşacak titreşimleri algılamak amacıyla yapı-bilgisayar bağlantısı kurulmuştur ve yapıya bir kuvvet uygulanarak, verileri bilgisayar ortamına alınmıştır. (Şekil 4.12.)

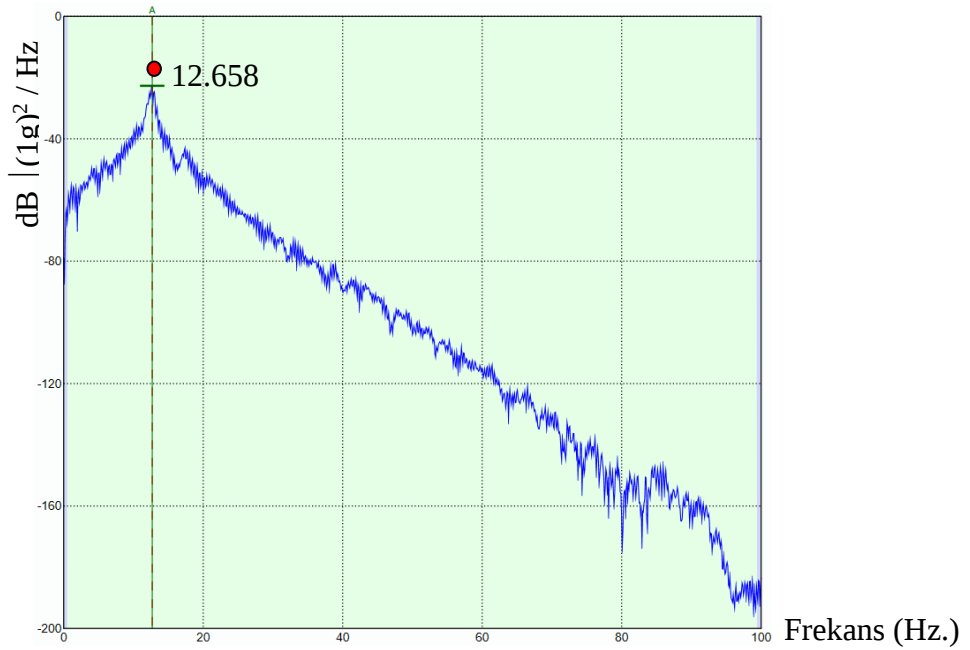


Şekil 4.12. İvme ölçer bağlanmış maket model



Şekil 4.13. Kabuk model yapım sisteminin serbest titreşim frekansı

Sarsma tablasında ivme ölçerden alınan ivme verileri, ARTEMİS programı yardımı ile analiz edildikten sonra elde edilen serbest titreşim periyodu (Şekil 4.13. ve 4.14.) ve SAP2000 programında sistemin serbest titreşim periyodu (Şekil 4.15.) bulunarak frekansa çevrilip tablo haline getirilmiştir. Elde edilen değerler sonucunda yapımız ve modelimiz bir biri yüksek oranda uyumlu olduğu anlaşılmıştır.



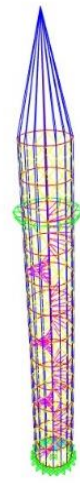
Şekil 4.14. Çapraz model yapım sisteminin serbest titreşim frekansı

Deformed Shape (MODAL) - Mode 1; T = 0,06447; f = 15,5119



f:15,512

Deformed Shape (MODAL) - Mode 1; T = 0,07905; f = 12,65086



f:12,651

Şekil 4.15. Yapıların 1. Mod değerleri ve frekansları

SAP2000 programında ahşap malzemeleri tanımlarken balsa ağacı ortotropik, gürgen ağacı ise izotropik kabul edilmiştir. Bu malzemelerin özellikleri (Çizelge 4.1) de' verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kullanılan ahşap malzemelerin elastik özellikleri

		Balsa (Ortotropik)	Gürgen (İzotropik)
Elastisite Modülü (E) N/mm ²	E1	3400	16000
	E2	153	
	E3	51	
Poisson Oranı (U)	U12	0,229	0,3
	U13	0,488	
	U23	0,665	
Termal Genleşme (A)	A1	1.17 E ⁻⁵	1.17 10 ⁻⁵
	A2	1.17 E ⁻⁵	
	A3	1.17 E ⁻⁵	
Kayma Modülü (G) N/mm ²	G12	183,6	6153,9
	G13	125,8	
	G23	17	

Çizelge 4.2. Yapıların SAP2000 ve Sarsma tablası frekansları

Yapım Sistemi	Sarsma Tablası Frekansı (Hz)	SAP2000 Frekansı (Hz)	Hata Oranı (%)
Çapraz Sistem	12,658	12,651	%1
Kabuk Sistem	15,625	15,512	%1

Balza ve gürgen ağacı için Çizelge 4.1 de belirtilen elastisite modülü değerleri sarsma tablası deneyleri sonucunda elde edilen serbest titreşim periyoduna göre kalibre edilerek SAP2000 çözümlerinde yeni değerler esas alınmıştır. Frekans değerlerinin değişiminde seren direğinin etkisinin çok az olması sebebiyle gürgen ağacı ile ilgili mekanik değerlerde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Ancak maket malzemesi olarak seren direği hariç diğer tüm elemanlarda kullanılan balza ağacının frekans değerlerini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. SAP2000 analizlerinde frekans değerlerinin birbirine yaklaşması için balza ağacının elastisite modülünün yaklaşık 1/10 oranında gerçek değerlerden azaltılması gerektiği tespit edilmiştir. Maket yapımı sırasında da balza maket malzemesinin doğadaki balza ağacı ile ilgili belirlenen standart özelliklerini barındırmadığı, son derece kırılğan bir malzeme olduğu görülmüş olup bu durumun oluşmasına sebebiyet verdiği düşünülmektedir. Bu durumdan dolayı maket modelin serbest titreşim periyoduna göre sistemi düzenleyip, elastisite modülü tayini yapılarak en gerçekçi sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 4.2.).

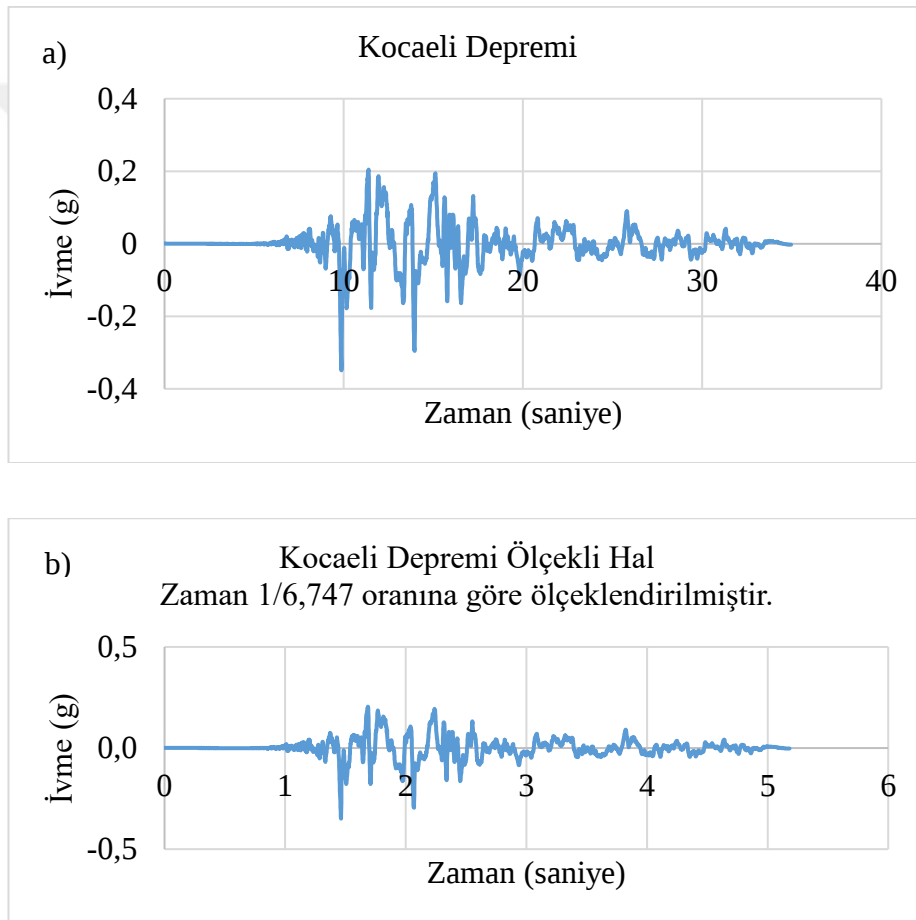
4.2. Deprem İvme Kayıtlarının Belirlenmesi ve Ölçeklendirilmesi

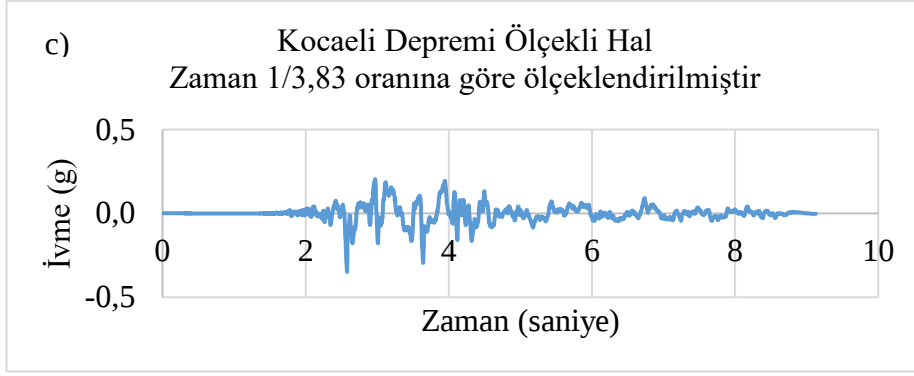
Deprem ivme kayıtları 3 farklı şekilde elde edilebilmektedir. Birinci yöntem, yapay olarak üretilmiş tasarım ivme spektrumu uyumlu kayıtlar, ikinci yöntem kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş kayıtlar ve üçüncü olarak gerçek depremlerden elde edilen kayıtlardır. Gerçek deprem kayıtları, günümüz teknolojisinin gelişmesiyle beraber alınan deprem kayıt sayılarının artması ve veri aktarımlarının kolaylaşması sebebiyle daha çok kullanılır hale gelmiştir. (Fahjan, 2008)

Yapılacak olan deney deprem verileri gerçek deprem kayıtları kullanılarak gerçekleştirilecektir. Deney süresince deprem kayıtları seçilirken şu kriterlere dikkat

edildi. İlk olarak seçilen depremlerin 1990 senesinden sonra gerçekleşmiş olması, ikinci olarak ta ivme etkilerinin başlangıç, orta ve son kısımlarda yoğunluk oranına göre seçilmiştir. Seçilen depremler Kocaeli, Chi Chi ve Northridge depremleridir.

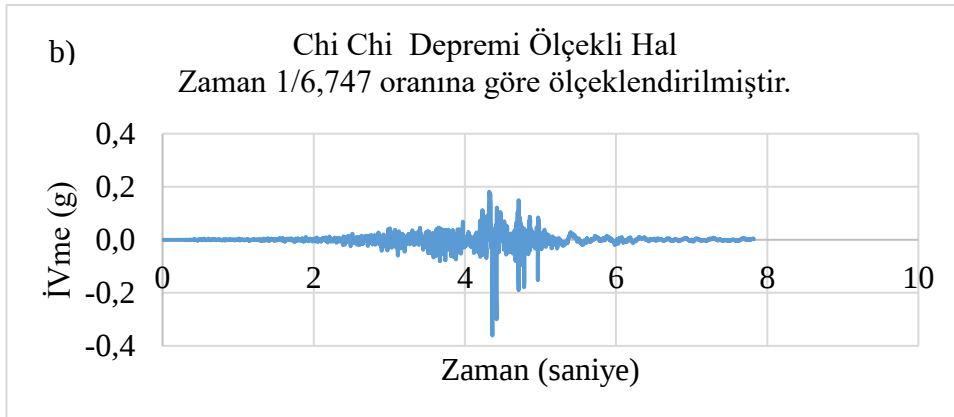
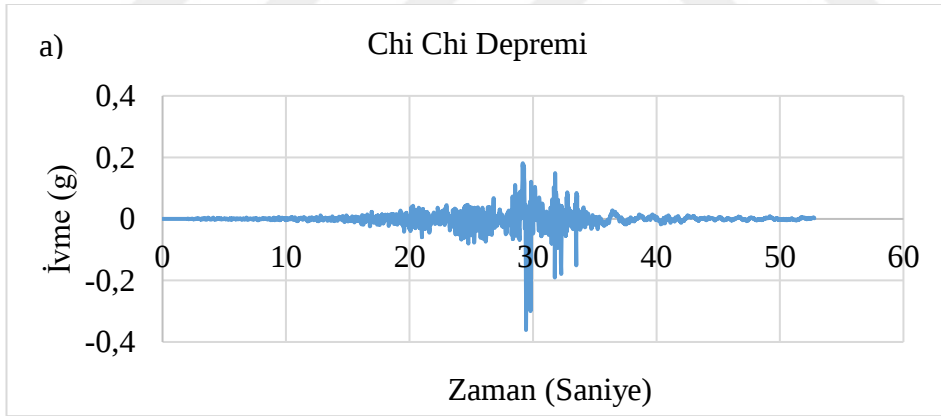
Kocaeli Depremi 17 Ağustos 1999 tarihinde gerçekleşmiştir. Depremin büyüklüğü 7,5 Mw olarak açıklanmıştır. Depremin odak derinliği 10-15 km olduğu ve sağ atımlı 120 km civarında bir fay hareketi ortaya çıkarıştır. Belirlenen deprem ivmesi seçilen ölçeğe göre zaman tanım aralığı ölçeklendirilmiştir. (Şekil 4.16.)

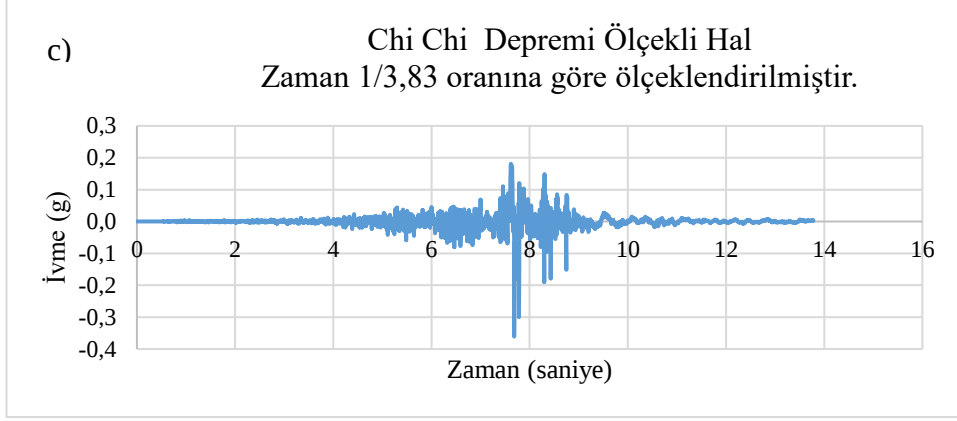




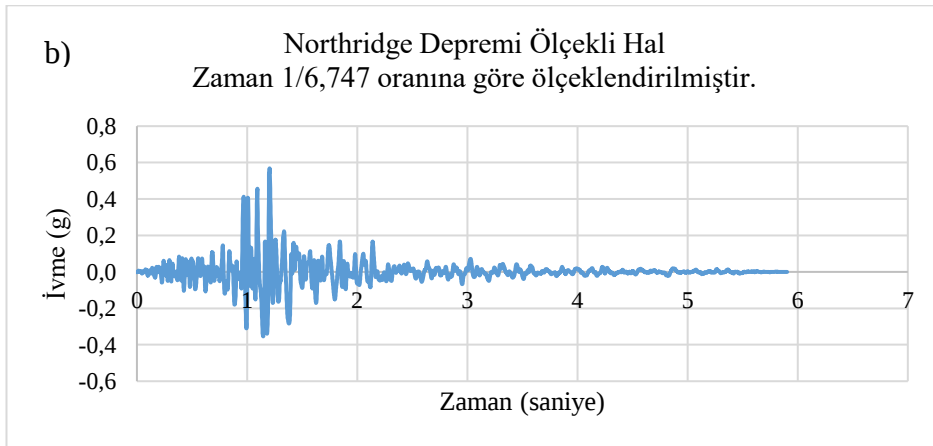
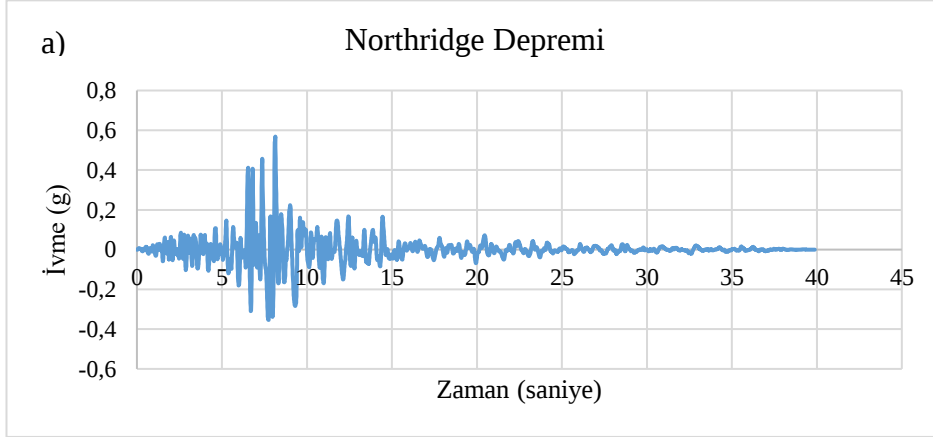
Şekil 4.16. Kocaeli depremi için hazırlanan deprem ivmeleri a) orijinal, b) 1/6,747 ölçekli ve c) 1/3,83 ölçekli

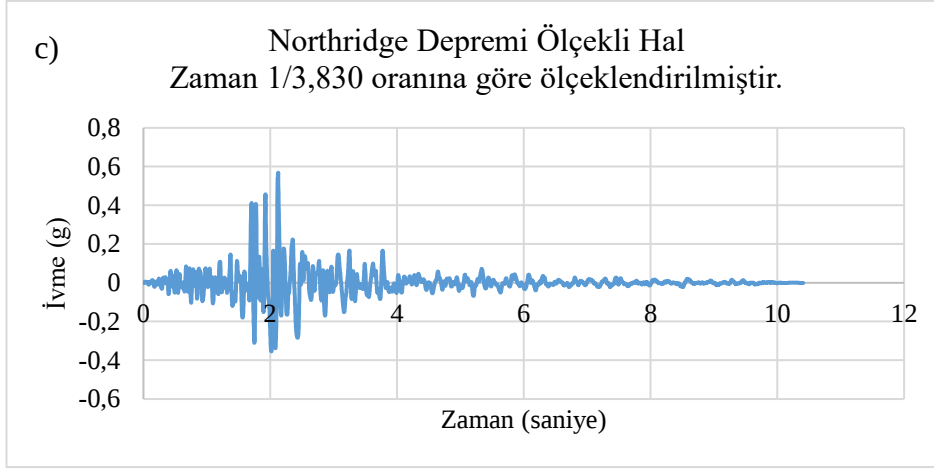
Chi Chi Depremi 20 Eylül 1999 tarihinde gerçekleşmiştir. Deprem büyüklüğü 7.3 Mw olarak açıklanmıştır. 100 km uzunluğunda kuzeye ve batıya doğru atım gerçekleşmiştir. Bu depremden sonra dijital dünyada sismolojik araştırma ve mühendislik tasarımı için çeşitli gözlemler sağlanmıştır. Belirlenen deprem ivmesi seçilen ölçeğe göre zaman tanım aralığı ölçeklendirilmiştir. (Şekil 4.17.)





Şekil 4.17. Chi Chi depremi için hazırlanan deprem ivmeleri a) orijinal, b) 1/6,747 ölçekli ve c) 1/3,83 ölçekli Northridge Depremi 17 Ocak 1994 tarihinde meydana gelmiştir. Depremin büyüklüğü 6.7 Mw olarak ölçülmüştür. Belirlenen deprem ivmesi seçilen ölçeğe göre zaman tanım aralığı ölçeklendirilmiştir. (Şekil 4.18.)





Şekil 4.18. Northridge depremi için hazırlanan deprem ivmeleri a) orijinal, b) 1/6,747 ölçekli ve c) 1/3,83 ölçekli

Maket model ve bilgisayar modelin geometrik ölçek oranı 1/10 olarak tasarlanmıştır. Bu durumun esas nedeni, çalışma yapabileceğimiz sarsma tablasında gerçek verileri en verimli şekilde almak içindir. Yapılmış olan ahşap minarelerin uzunlukları 10 ile 20 m arasında değişmektedir. Bu durumdan ötürü gerçek minarenin 15 m olarak düşünülüp, maket olarak yapılması uygun boyutun 1,5 m'olacağına karar kılınmıştır. Maket ve gerçek model frekansları dijital olarak belirli olduğu için ölçeklendirme ikisi arasında yapılmıştır. Yapılan serbest titreşim deneylerinde maket modellerin ayrı ayrı serbest titreşim periyodu bulunmuştur. Aynı şekilde SAP2000 modellerinin serbest titreşim periyodu bulunmuştur. (Çizelge 4.3., 4.4.)

Çizelge 4.3. Maket modellerin serbest titreşim değerleri

Serbest Titreşim Hali	Frekans Değeri (Hz)	Periyot Değeri (s)
Kabuk Maket Model	15,625	0,064
Çapraz Maket Model	12,658	0,079

Çizelge 4.4. Gerçek modellerin serbest titreşim değerleri

Serbest Titreşim Hali	Frekans Değeri (Hz)	Periyot Değeri (s)
Kabuk Maket Model	4,080	0,245
Çapraz Maket Model	1,876	0,533

Ölçekli modeller sarsma tablası için sadece geometrik ölçeklendirme yeterli olmayacaktır. Bu yüzden dinamik ve kinematik benzeşimleri dikkate alınmalıdır. Yapılan deneyler sonucunda her iki yapının da serbest titreşim periyotları belirlenmiştir(Omid, 2017). Deprem etkilerini en verimli etkiletmek için her iki test modelinin serbest titreşim periyotları arasındaki oran tespit edilmiştir.

Çapraz model sistemi için belirlenen ölçek değeri

$$\frac{F_m}{F_g} = \frac{12,658}{1,876} = 6,747 \quad (3.1.)$$

Kabuk model sistem için belirlenen ölçek değeri

$$\frac{F_m}{F_g} = \frac{15,625}{4,080} = 3,830 \quad (3.2.)$$

Çizelge 4.3. ve 4.4.'e göre, ölçeklendirilen model ve gerçek yapı, ivme ölçeklendirme katsayısı 1.0'dan farklıdır. Bunun sebebi deprem büyüklüğünün dinamik benzerlik ilkesine göre aynı kalmasının sonucudur. Tespit edilen katsayılar oranında seçilen depremlere zaman tanım aralığında küçültme katsayısı (3.1 ve 3.2) uygulanmıştır. (Şahin, 2017) Çapraz maket model için Kocaeli depremi zaman adım tanımı 0,01'dan 0,0015'e kaymıştır. Chi Chi depremi zaman adım tanımı 0,01'den 0,0015'e kaymıştır. Northridge depremi zaman adım tanımı 0,01 'den 0,0015'e kaymıştır.

Kabuk maket model için Kocaeli depremi zaman adım tanımı 0,01'den 0,0026'ya kaymıştır. Chi Chi depremi zaman adım tanımı 0,01'den 0,0026'ya kaymıştır. Northridge depremi zaman adım tanımı 0,01.'den 0,0026'ya kaymıştır. SAP2000 programından elde edilen çeşitli veriler mod, kütle katılım, periyot ve frekans gibi aşağıda ki tablolarda (Çizelge 4.5., 4.6.) gösterilmiştir.



Çizelge 4.5. Kabuk Sistem mod sayısı, kütle katılım oranı, periyot ve frekans değerleri

Mod No	Periyot Saniye	Frekans Hz	UX	UY	UZ	TOP. UX	TOP. UY	TOP.UZ
1	0,063959	15,6256894	0,200000	0,460000	0,000001	0,200000	0,460000	0,000001
2	0,062597	15,9752064	0,460000	0,210000	0,000000	0,670000	0,660000	0,000001
3	0,013533	73,894883	0,055280	0,140000	0,000001	0,720000	0,810000	0,000002
4	0,012966	77,122389	0,130000	0,048440	0,000000	0,860000	0,860000	0,000002
5	0,012426	80,474634	0,007969	0,005797	0,000000	0,870000	0,860000	0,000002
6	0,007391	135,307964	0,000077	0,000517	0,000000	0,870000	0,860000	0,000003
7	0,006731	148,555769	0,002311	0,000101	0,000000	0,870000	0,860000	0,000003
8	0,006132	163,080223	0,014730	0,039470	0,000061	0,880000	0,900000	0,000065
9	0,005921	168,878958	0,035330	0,014280	0,000000	0,920000	0,920000	0,000065
10	0,005106	195,832993	0,000278	0,000127	0,000000	0,920000	0,920000	0,000065
11	0,004943	202,318695	0,000004	0,000015	0,000001	0,920000	0,920000	0,000065
12	0,004705	212,545135	0,000005	0,000491	0,000000	0,920000	0,920000	0,000065
13	0,004013	249,205920	0,004801	0,014710	0,000020	0,920000	0,930000	0,000085
14	0,003952	253,017708	0,014760	0,003241	0,000001	0,940000	0,940000	0,000086
15	0,003690	271,037410	0,000236	0,010570	0,000001	0,940000	0,950000	0,000087
16	0,003630	275,457137	0,006411	0,000223	0,000006	0,940000	0,950000	0,000092
17	0,003404	293,743332	0,000249	0,000379	0,000003	0,940000	0,950000	0,000095
18	0,003355	298,027701	0,002356	0,000010	0,000000	0,950000	0,950000	0,000095
19	0,003258	306,978745	0,000463	0,000837	0,000006	0,950000	0,950000	0,000101
20	0,003164	316,027671	0,000031	0,000047	0,000000	0,950000	0,950000	0,000101
21	0,002985	334,996926	0,003006	0,000125	0,000012	0,950000	0,950000	0,000113
22	0,002966	337,132250	0,000091	0,004208	0,000097	0,950000	0,950000	0,000210
23	0,002696	370,891195	0,004275	0,000575	0,000015	0,950000	0,950000	0,000224
24	0,002612	382,825625	0,000880	0,008286	0,000045	0,960000	0,960000	0,000269
25	0,002416	413,944139	0,008745	0,000493	0,000017	0,960000	0,960000	0,000287
26	0,002298	435,235456	0,000070	0,000099	0,000000	0,960000	0,960000	0,000287
27	0,002132	469,000502	0,000609	0,010050	0,000000	0,970000	0,970000	0,000287
28	0,001940	515,517344	0,010630	0,000478	0,000046	0,980000	0,970000	0,000333
29	0,001797	556,525536	0,000002	0,000095	0,000004	0,980000	0,970000	0,000337
30	0,001683	594,330563	0,000311	0,006850	0,000380	0,980000	0,980000	0,000716
31	0,001390	719,609539	0,000007	0,000067	0,000000	0,980000	0,980000	0,000716
32	0,001313	761,524005	0,010640	0,000321	0,000000	0,990000	0,980000	0,000717
33	0,001200	833,532279	0,000217	0,008773	0,000055	0,990000	0,990000	0,000772
34	0,001065	939,116475	0,000000	0,000034	0,000001	0,990000	0,990000	0,000772
35	0,000647	1544,452458	0,010930	0,000320	0,000000	1,000000	0,990000	0,000773
36	0,000605	1651,959102	0,000281	0,010250	0,000015	1,000000	1,000000	0,000788

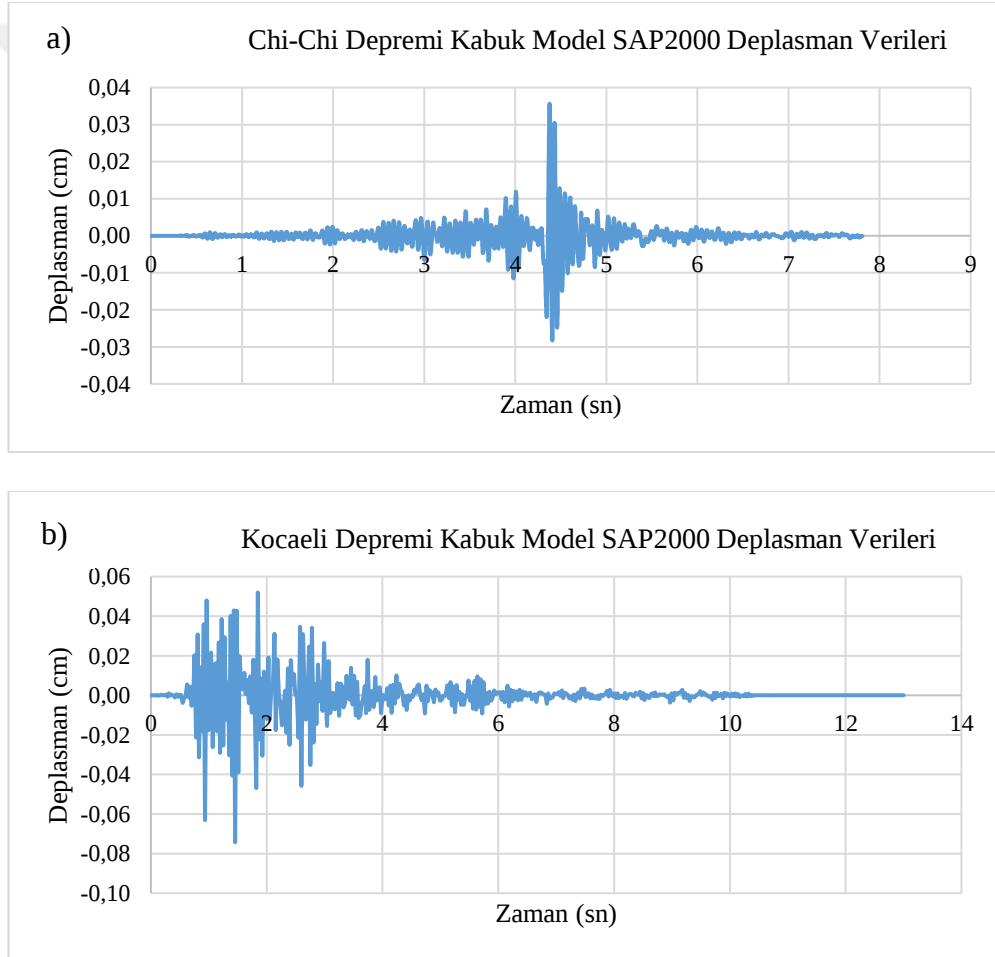
Çizelge 4.6. Çapraz sistem mod sayısı, kütle katılım oranı, periyot ve frekans değerleri

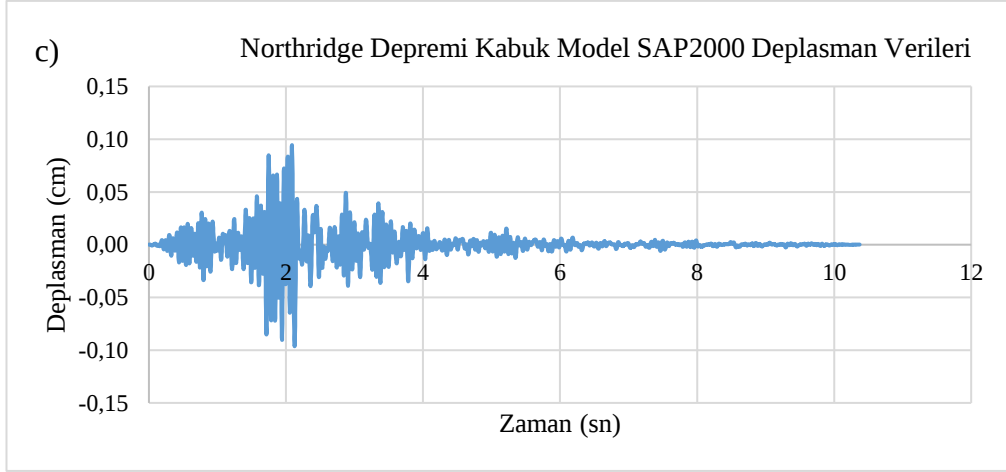
Mod No	Periyot Saniye	Frekans Hz	UX	UY	UZ	TOP. UX	TOP. UY	TOP. UZ
1	0,078766	12,657985	0,002840	0,610760	0,000000	0,002840	0,610760	0,000000
2	0,076545	12,554218	0,610350	0,002850	0,000000	0,613180	0,613610	0,000000
3	0,010836	92,283605	0,045880	0,150380	0,000000	0,659060	0,763990	0,000000
4	0,010824	92,384736	0,150440	0,045610	0,000000	0,809500	0,809600	0,000000
5	0,005224	191,412476	0,000003	0,000034	0,000000	0,809500	0,809630	0,000000
6	0,004836	206,771421	0,047900	0,007900	0,000000	0,857410	0,817530	0,000000
7	0,004798	208,402990	0,008950	0,050960	0,000000	0,866360	0,868500	0,000000
8	0,003686	271,322154	0,015420	0,005930	0,000001	0,881780	0,874430	0,000001
9	0,003498	285,837581	0,005330	0,014060	0,000001	0,887110	0,888490	0,000002
10	0,002655	376,680963	0,008370	0,003600	0,000000	0,895480	0,892090	0,000002
11	0,002580	387,649621	0,007390	0,004610	0,000003	0,902870	0,896700	0,000005
12	0,002480	403,155110	0,000300	0,016510	0,000005	0,903160	0,913210	0,000010
13	0,002386	419,093882	0,009160	0,000077	0,000002	0,912320	0,913290	0,000013
14	0,001939	515,852511	0,011260	0,001090	0,000140	0,923590	0,914380	0,000150
15	0,001904	525,129656	0,001080	0,010090	0,000270	0,924670	0,924470	0,000430
16	0,001875	533,267055	0,000070	0,000700	0,000024	0,924740	0,925160	0,000450
17	0,001761	568,013626	0,000001	0,000008	0,518680	0,924740	0,925170	0,519130
18	0,001573	635,686303	0,001080	0,000003	0,000110	0,925810	0,925170	0,519240
19	0,001533	652,325815	0,002170	0,000038	0,000002	0,927980	0,925210	0,519240
20	0,001514	660,435036	0,000800	0,000003	0,000005	0,928780	0,925210	0,519250
21	0,001501	666,199804	0,000120	0,001580	0,000000	0,928900	0,926790	0,519250
22	0,001497	668,192697	0,000670	0,000063	0,000040	0,929570	0,926850	0,519290
23	0,001489	671,596778	0,000096	0,000530	0,000055	0,929670	0,927390	0,519340
24	0,001466	682,233310	0,000250	0,000150	0,000014	0,929920	0,927530	0,519350
25	0,001450	689,715745	0,000012	0,008430	0,000023	0,929930	0,935960	0,519380
26	0,001443	692,943300	0,007090	0,000034	0,000070	0,937020	0,935990	0,519450
27	0,001423	702,572701	0,000760	0,001590	0,000004	0,937780	0,937590	0,519450
28	0,001394	717,469134	0,000210	0,001190	0,000067	0,938000	0,938780	0,519520
29	0,001365	732,396154	0,000070	0,000320	0,000027	0,938070	0,939100	0,519550
30	0,001316	759,660581	0,001600	0,001060	0,000011	0,939660	0,940150	0,519560
31	0,001272	786,286160	0,000000	0,000086	0,000028	0,939660	0,940240	0,519580
32	0,001257	795,320203	0,000380	0,000015	0,000018	0,940050	0,940260	0,519600
33	0,001247	802,146247	0,000470	0,000630	0,000003	0,940510	0,940890	0,519610
34	0,001206	829,064279	0,002160	0,000230	0,000160	0,942670	0,941120	0,519770
35	0,001197	835,287423	0,000050	0,001910	0,000002	0,942720	0,943020	0,519770
36	0,001161	861,109400	0,000002	0,000400	0,000470	0,942730	0,943420	0,520240

4.3. Ölçeklendirilmiş Deprem İvmelerinin Modellere Uygulanması

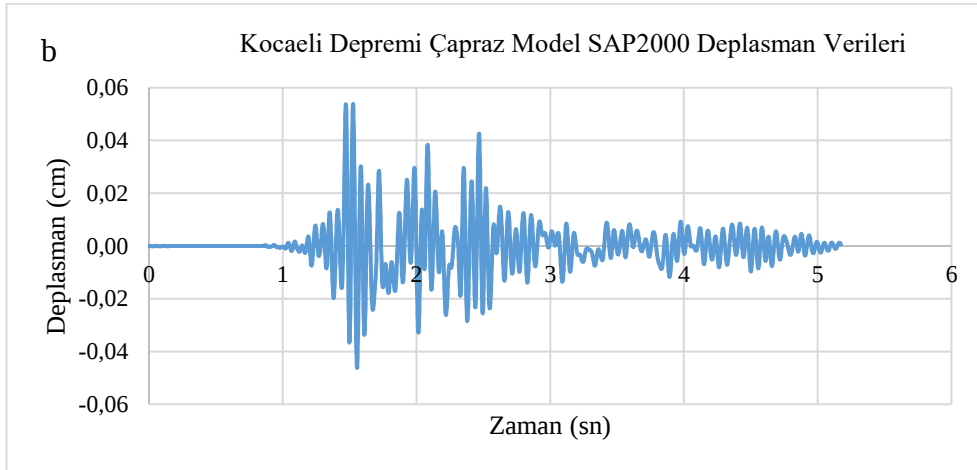
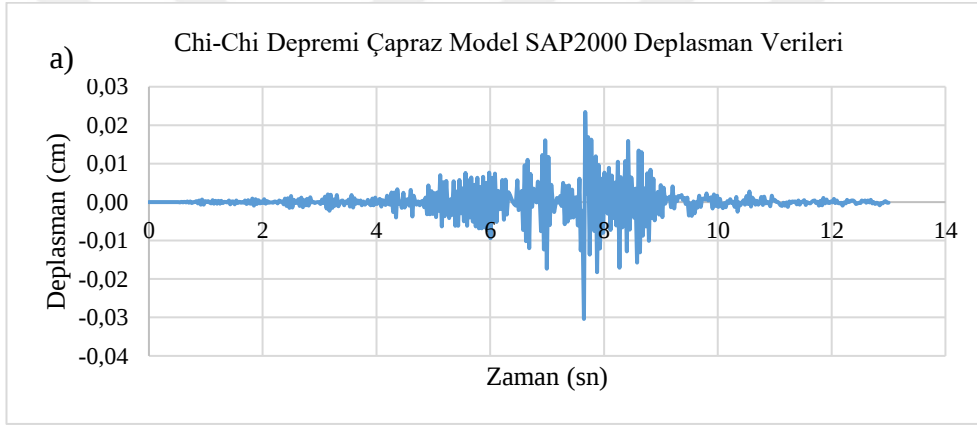
4.3.1. Deprem İvme Kayıtlarının Bilgisayar Modellerine Uygulanması

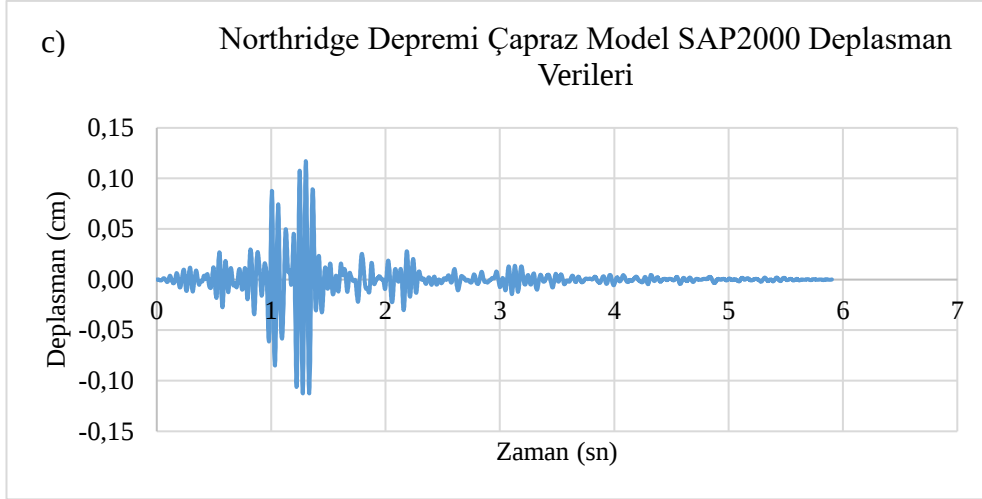
Seçilen ve gerekli ölçeklendirmeleri yapılan deprem kayıtları öncelikle SAP2000 programı içine işlenerek, modellenen maketlerin üzerine sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak uygulanmıştır. Uygulanan depremler sonucunda elde edilen veriler, maket modelin sarsma tablasında ivme ölçerin yerleştirildiği noktadan alınan ivme değerlerinin, deplasman değerlerine çevrilerek grafik (Şekil 4.19, 4.20.) ve tablo (Çizelge 4.7.) haline getirilmiştir.





Şekil 4.19. Kabuk modelden alınan SAP2000 deplasman grafikleri a) Chi Chi, b) Kocaeli ve c) Northridge





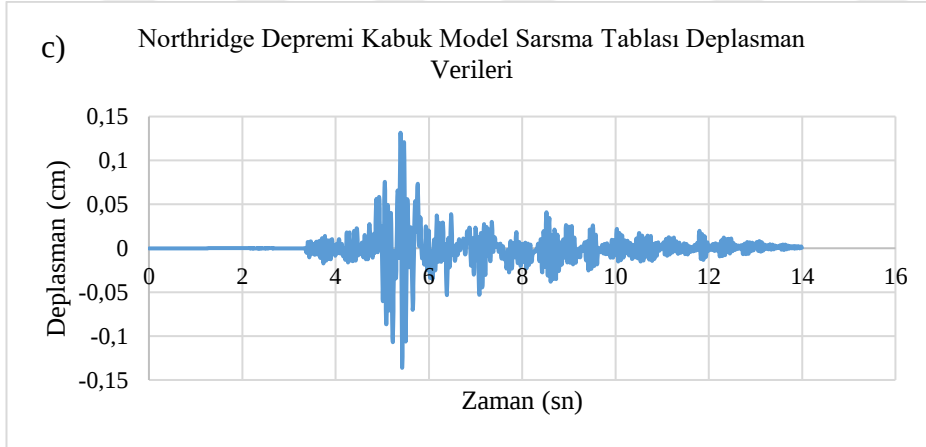
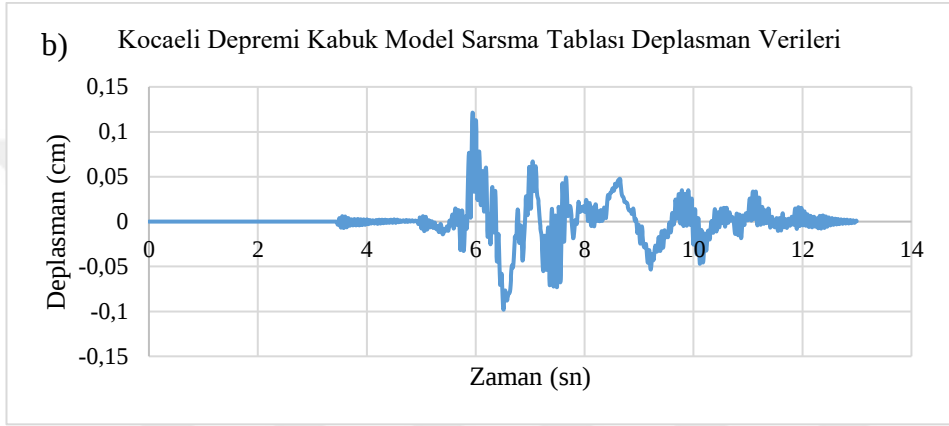
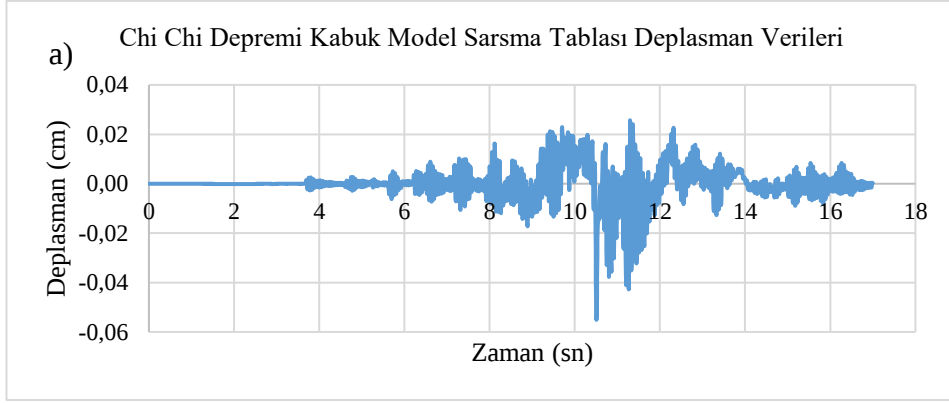
Şekil 4.20. Çapraz model alınan SAP2000 deplasman grafikleri a) Chi Chi, b) Kocaeli ve c) Northridge

Çizelge 4.7. SAP2000 programından elde edilen maksimum deplasman verisi

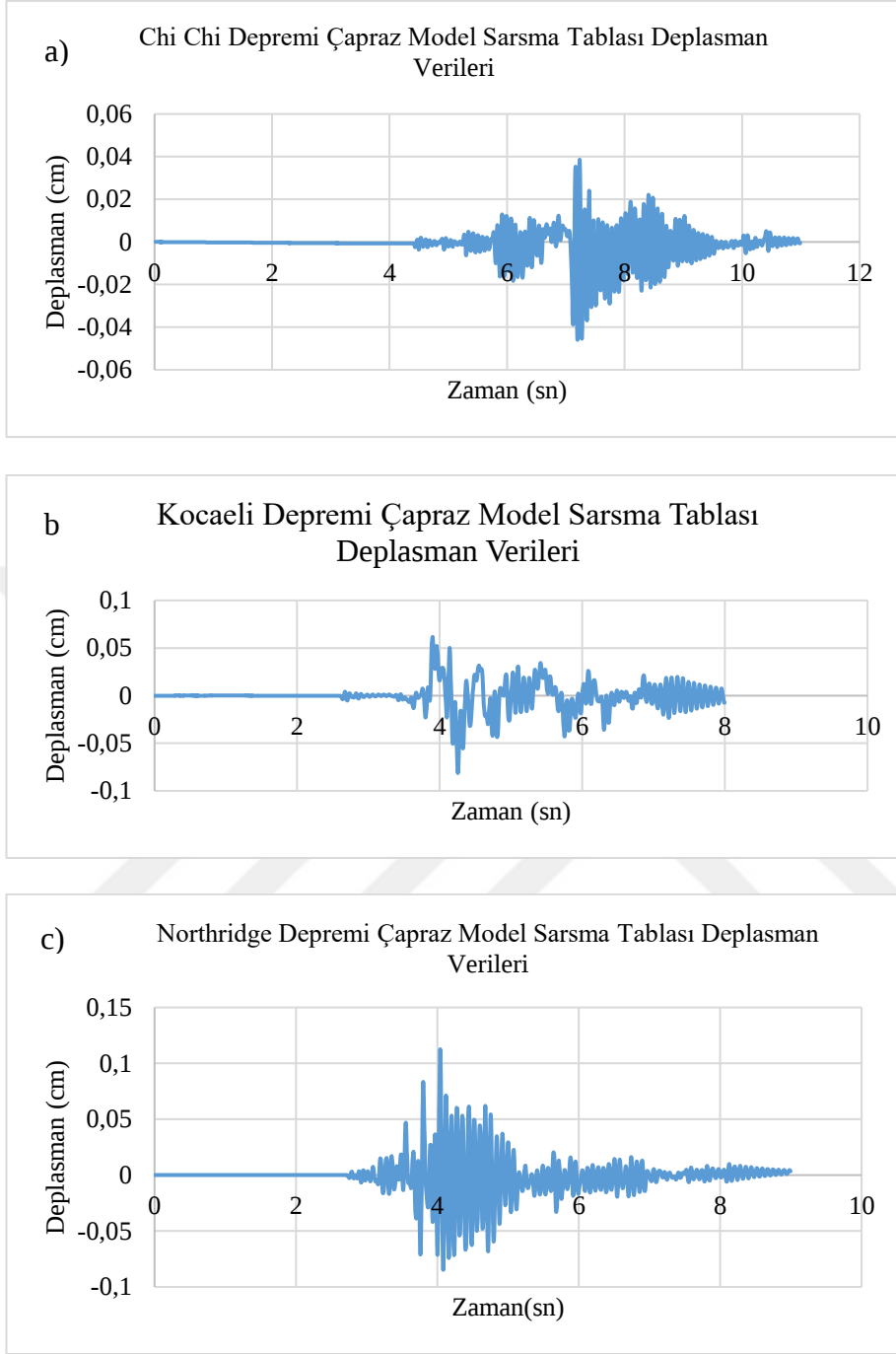
Uygulanan Deprem Adı	Chi Chi Depremi Deplasman Değeri (cm)	Kocaeli Depremi Deplasman Değeri (cm)	Northridge Depremi Deplasman Değeri (cm)
Uygulanan Model Tipi			
Çapraz Model	0,0234	0,0539	0,1172
Kabuk Model	0,0357	0,0520	0,0944

4.3.2 Deprem İvme Kayıtlarının Sarsma Tablası Deneyi ile Maket Modellere Uygulanması

Bilgisayar ortamında etki ettirilen deprem ivmelerinin aynısı, sarsma tablası üzerine maket modellere uygulanmıştır. Uygulanan depremler sonucunda elde edilen ivme verileri yamuk kuralına göre deplasman verilerine çevrilmiştir. Yamuk kuralının belirli bir hata oranı olduğu bilinmektedir (Şekil 4.21,4.22.). Bu hata payları göz önüne alınarak yapılacak yorumlar değerlendirilecektir (Çizelge 4.8.)



Şekil 4.21. Kabuk modelden alınan sarsma tablası deplasman grafikleri a) Chi Chi, b) Kocaeli ve c) Northridge



Şekil 4.22. Çapraz modelden alınan sarsma tablası deplasman grafikleri a) Chi Chi, b) Kocaeli ve c) Northridge

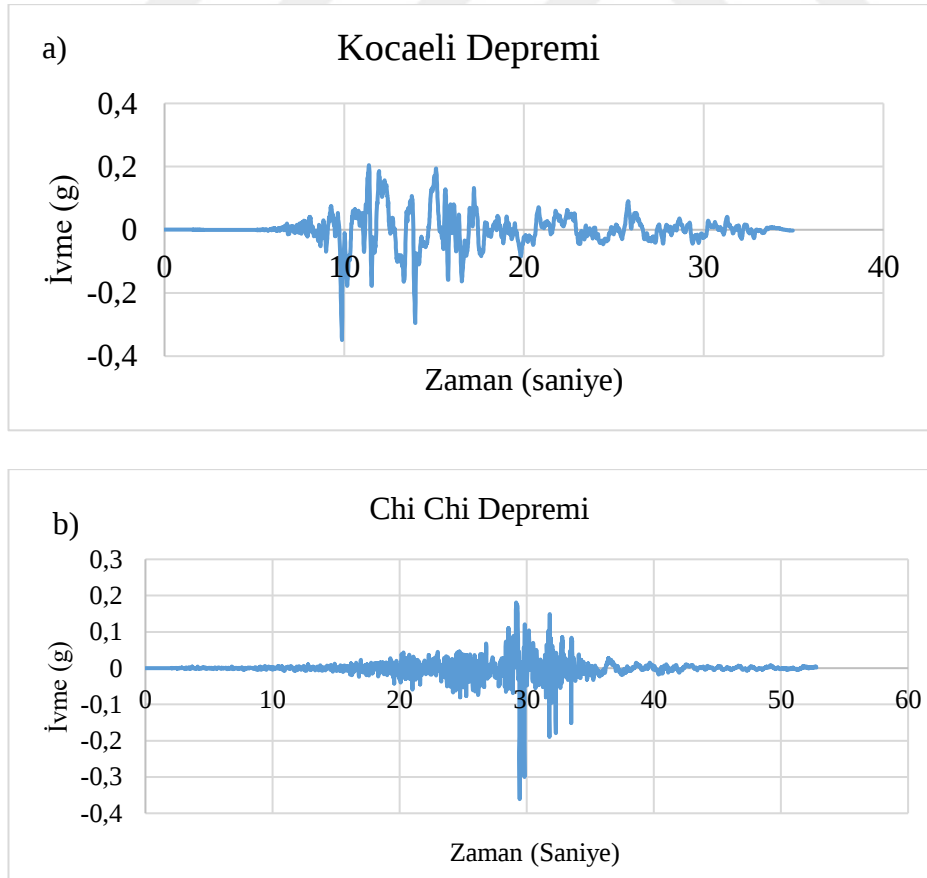
Çizelge 4.8. Sarsma tablasından yamuk yöntemiyle elde edilen maksimum deplasman verisi

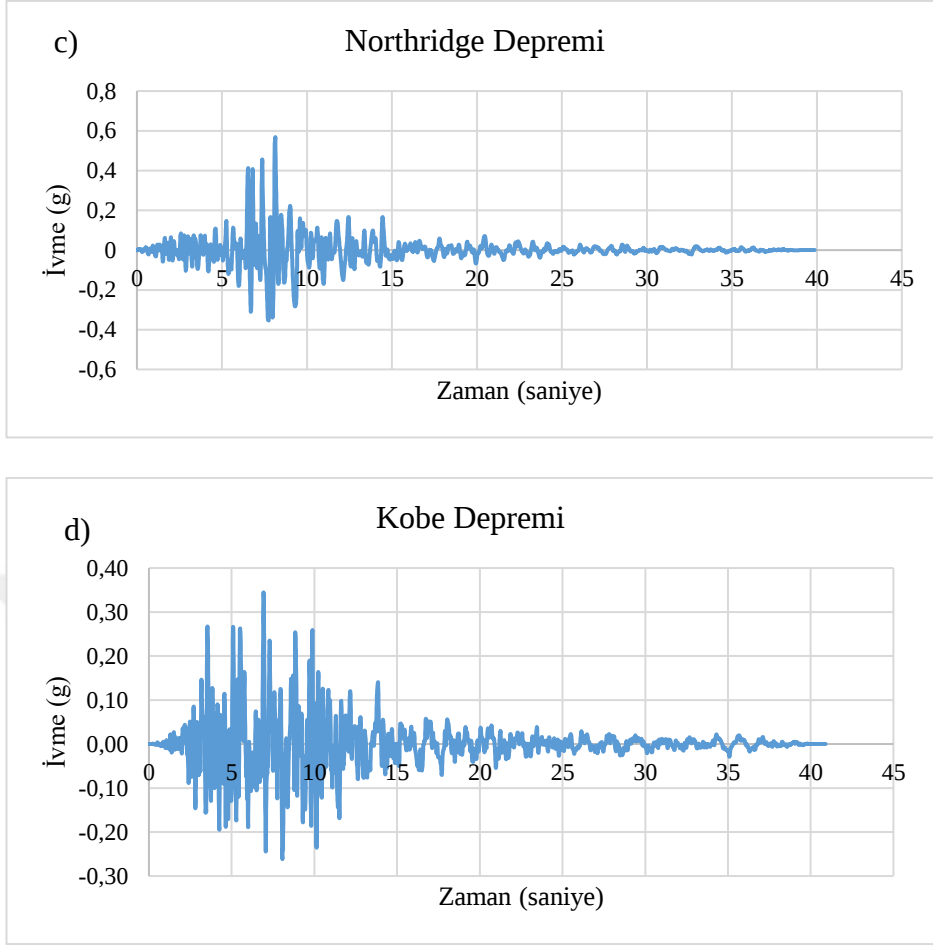
Uygulanan Deprem Adı	Chi Chi Depremi Deplasman Değeri (cm)	Kocaeli Depremi Deplasman Değeri (cm)	Northridge Depremi Deplasman Değeri (cm)
Uygulanan Model Tipi			
Çapraz Model	0,0459	0,0813	0,1126
Kabuk Model	0,0551	0,1214	0,1362

4.4. SAP2000 Programı ile Ölçeksiz Deprem İvmelerinin Modellere Uygulanması

Bilgisayar ortamında modellemeleri yapılan çapraz ve kabuk sistemlere herhangi bir ölçek uygulanmadan deprem ivmeleri etki ettirilmiştir. Uygulanan deprem ivmeleri sonucu elde edilen veriler, bir sonraki bölümde tartışılmıştır.

Kullanılan deprem ivme grafikleri (Şekil 4.23.) ve tablo aşağıdadır (Çizelge 4.9.).





Şekil 4.23. Kullanılan ölçeksiz deprem ivmeleri a) Kocaeli, b) Chi Chi, c) Northridge ve d) Kobe Depremleri

Çizelge 4.9. Ölçeksiz uygulanan deprem ivmeleri sonucu elde edilen maksimum deplasmanlar

Uygulanan Deprem Adı	Chi Chi Depremi	Kocaeli Depremi	Northridge Depremi	Kobe Depremi
Uygulanan Model Tipi	Deplasman Değeri (cm)	Deplasman Değeri (cm)	Deplasman Değeri (cm)	Deplasman Değeri (cm)
Çapraz Model	0,140	0,135	0,215	0,012
Kabuk Model	0,035	0,045	0,075	0,004

4.5. Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Yapılan sarsma tablası ve SAP2000 ölçekli deprem deneyleri ve hesaplamalar sonucunda, aynı noktadan alınan deplasman verileri aşağıdaki şekilde tablo haline (Çizelge 4.10, 4.11) getirilmiştir.

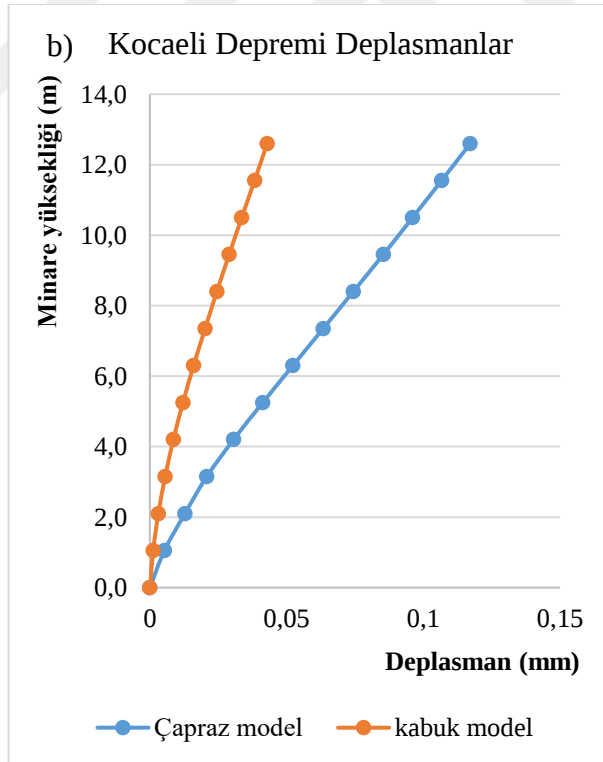
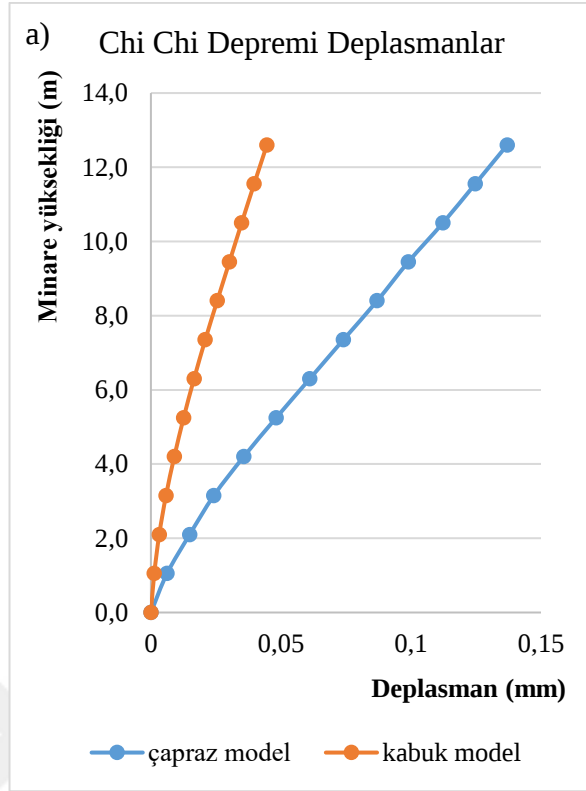
Çizelge 4.10. Çapraz Model Sistemi Deplasman Karşılaştırılması

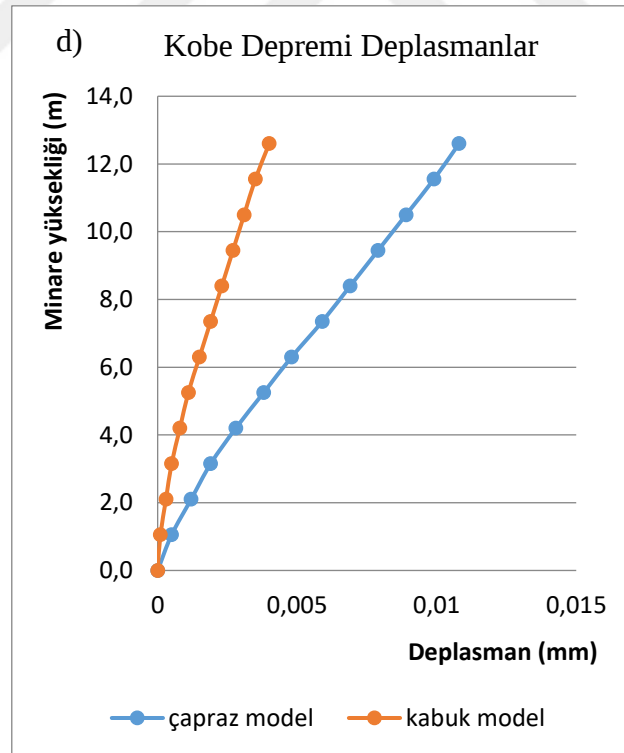
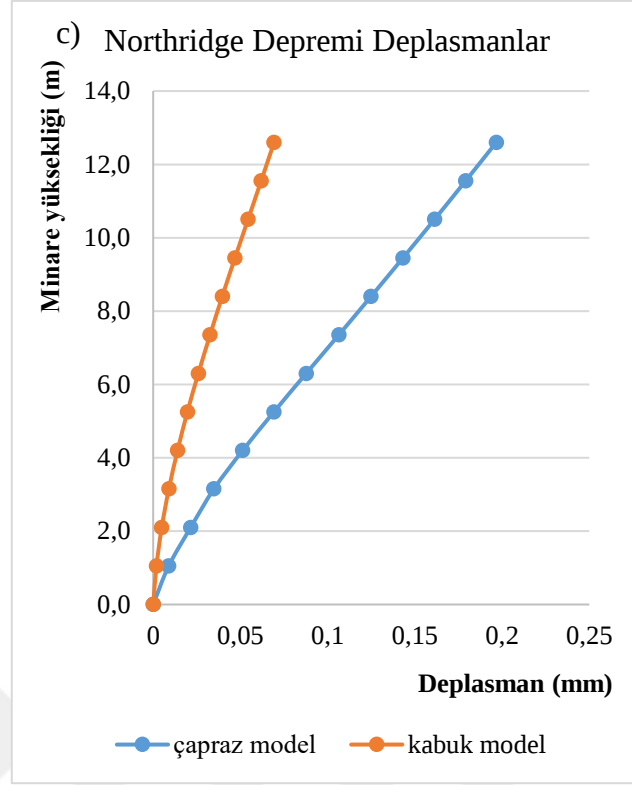
Uygulanan Deney Tipi	Uygulanan Deprem Adı	Chi Chi Depremi Deplasman Değeri (cm)	Kocaeli Depremi Deplasman Değeri (cm)	Northridge Depremi Deplasman Değeri (cm)
	Uygulanan Model Tipi			
Sarsma Tab.	Çapraz Model	0,0460	0,0813	0,1127
SAP2000	Çapraz Model	0,0357	0,0539	0,1172
Hata Oranı		%22	%33	%4

Çizelge 4.11. Kabuk Model Sistemi Deplasman Karşılaştırılması

Uygulanan Deney Tipi	Uygulanan Deprem Adı	Chi Chi Depremi Deplasman Değeri (cm)	Kocaeli Depremi Deplasman Değeri (cm)	Northridge Depremi Deplasman Değeri (cm)
	Uygulanan Model Tipi			
Sarsma Tab.	Kabuk Model	0,0551	0,1214	0,1362
SAP2000	Kabuk Model	0,0234	0,0520	0,0944
Hata Oranı		%57	%57	%30

SAP2000 modellerine herhangi bir küçültme ölçeği uygulanmadan etki ettirilen depremler sonucunda katlarda oluşan deplasmanlar grafik halinde aşağıda belirtilmiştir (Şekil 4.24.)

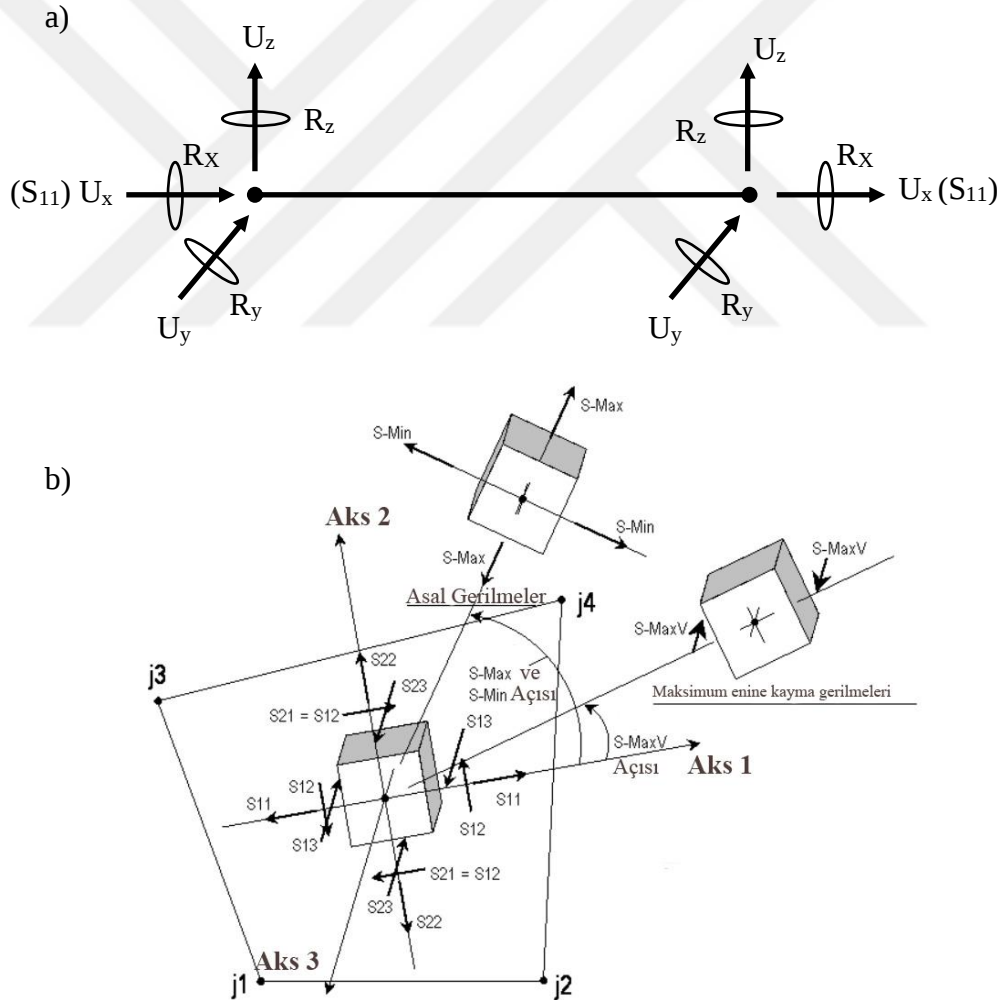




Şekil 4.24. Ölçeksiz depremlerden elde edilen kat deplasmanları a, b, c ve d

4.6. Minare Elemanlarında Oluşan Gerilmelerin Karşılaştırılması

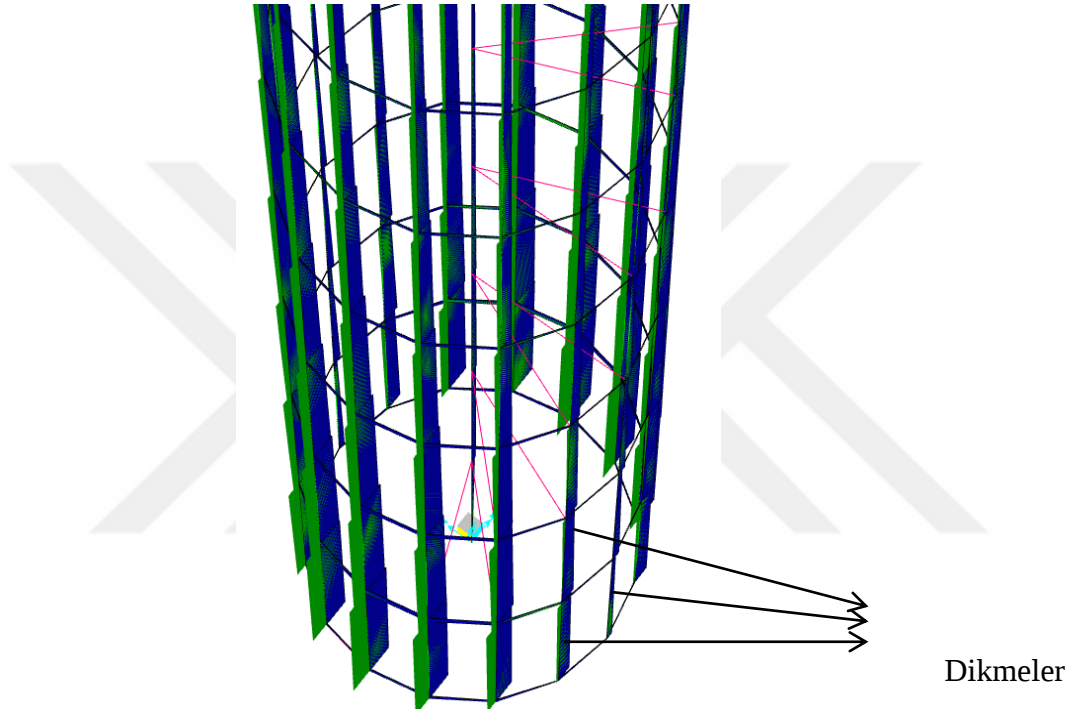
Farklı 2 tipteki minarelerin yer değiştirmelerine ek olarak deprem etkileri altında yapı elemanlarında oluşan gerilme kuvvetlerinin dağılımı da önem arz etmektedir. Bu bağlamda; her iki minare için de ortak elemanlar olan dikmeler, kirişler, merdivenler ve seren direğinde oluşan gerilmelerin dağılımı SAP2000 modelleri maket boyutları esas alınarak karşılaştırma amaçlı incelenmiştir. Bu gerilmeler Chi Chi, Kocaeli, Northridge ve Kobe depremlerinde elde edilen maksimum ve minimum değerlerdir. Aşağıda Şekil 4.25'te çubuk elemanlar ve kabuk elemanlar için SAP2000 programında kabul edilen yönler gösterilmiştir. Çubuk elemanlarda ve kabuk elemanlarda S_{11} çekme gerilmeleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.



Şekil 4.25. SAP2000 gerilme yönleri a) Çubuk eleman b) Kabuk eleman (Bağbancı ve Bağbancı, 2018; SAP2000 Manuel, 2021; Dağlı, D., 2020)

Dikmelerde oluşan gerilmeler:

Minarenin dış cephesinde kullanılan dikmelerde gerilme dağılımları her iki sistem için de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada dikmelerin S11 yönü (eksenine paralel) hem çekme hem de basınç gerilmesi cinsinden incelenmiştir. Çekme gerilmeleri mavi, basınç gerilmeleri yeşil renkli olarak Şekil 4.26’te görülmektedir.



Şekil 4.26. Minarelerin dikmelerinde oluşan basınç ve çekme gerilmeleri

Şekil 4.26’te görüldüğü üzere en büyük gerilmeler minarelerin alt kısmında bulunan dikmelerde oluşmaktadır. Çapraz ve kabuk modellerin birbiriyle karşılaştırılması sonucu oluşan çizelge 4.12 aşağıda sunulmuştur. Çizelgede sadece çekme gerilmeleri sunulmuş olup sistemin simetrik olması nedeniyle basınç gerilmeleri de yakın değerlerdir.

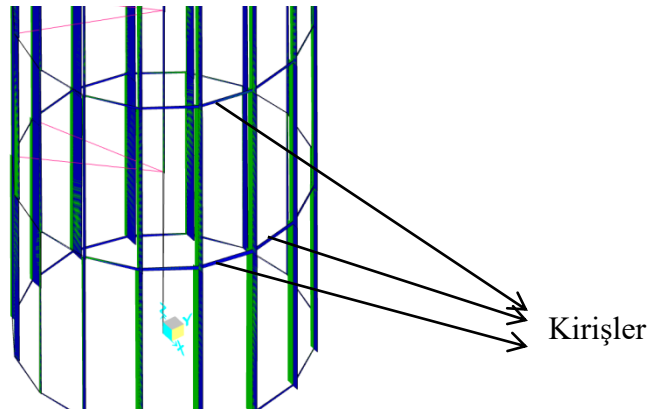
Çizelge 4.12. Dikmelerde oluşan maksimum çekme gerilmeleri

Uygulanan Depremler	Chi Chi Depremi	Kocaeli Depremi	Northridge Depremi	Kobe Depremi
Gerilme tipi	Çekme (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)
Kabuk model	0,021	0,020	0,033	0,002
Çapraz model	0,098	0,084	0,144	0,008

Yapılan incelemeler neticesinde aynı deprem yükleri altında dikmelerde oluşan maksimum çekme gerilmelerinin çapraz modelde kabuk modele oranla 4 ila 5 kat arasında arttığı belirlenmiştir. Basınç gerilmelerinde de durum benzerdir.

Kirişlerde oluşan gerilmeler:

Minarenin dikmeleri arasında her 105mm mesafede kirişler bulunmaktadır. Her iki sistem için de kirişlerde oluşan gerilme dağılımları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada kirişlerin S11 yönünde (eksenine paralel) oluşan maksimum çekme gerilmeleri tespit edilmiştir. Çekme gerilmeleri Şekil 4.27’te görüldüğü üzere mavi renklidir.



Şekil 4.27. Minarelerin kirişlerinde oluşan çekme gerilmeleri

Yapılan incelemeler neticesinde en büyük gerilmelerin minarelerin +105mm kotundaki kirişlerde olduğu tespit edilmiştir. Daha üst kotlara doğru gerilmeler azalmaktadır. Çapraz ve kabuk modellerin birbiriyle karşılaştırılması sonucu oluşan çizelge 4.13 aşağıda sunulmuştur. Çizelgede sadece çekme gerilmeleri sunulmuştur.

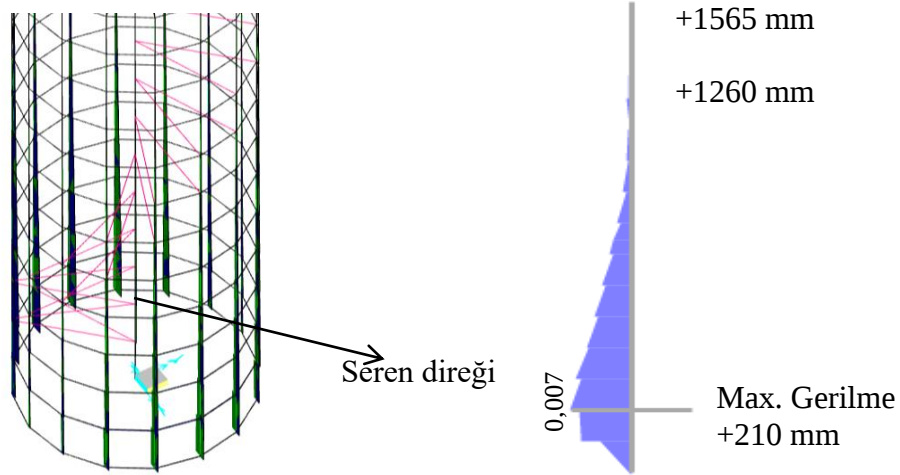
Çizelge 4.13. Kirişlerde oluşan maksimum çekme gerilmeleri

Uygulanan Depremler	Chi Chi Depremi	Kocaeli Depremi	Northridge Depremi	Kobe Depremi
Gerilme tipi	Çekme (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)
Kabuk model	0,007	0,008	0,013	0,0007
Çapraz model	0,040	0,035	0,052	0,003

Yapılan incelemeler neticesinde aynı deprem yükleri altında kirişlerde oluşan maksimum çekme gerilmelerinin çapraz modelde kabuk modele oranla 4 ila 6 kat arasında arttığı belirlenmiştir. Basınç gerilmelerinde de durum benzerdir.

Merkezdeki seren direğinde oluşan gerilmeler:

Minarenin merkezde yer alan Seren Direğinde oluşan gerilme dağılımları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada S11 yönünde (eksenine paralel) oluşan maksimum çekme gerilmeleri tespit edilmiştir. Çekme gerilmeleri Şekil 4.28’de görüldüğü üzere mavi renkli gösterilmiş olup, en büyük değeri +210mm de oluşmaktadır.



Şekil 4.28. Seren direğinde oluşan çekme gerilmeleri

Yapılan incelemeler neticesinde en büyük gerilmelerin minarelerin +210mm kotunda oluştuğu tespit edilmiştir. Daha üst kotlara doğru gerilmeler azalmaktadır. Çapraz ve

kabuk modellerin birbiriyle karşılaştırılması sonucu oluşan Çizelge 4.14 aşağıda sunulmuştur. Çizelgede sadece çekme gerilmeleri sunulmuştur.

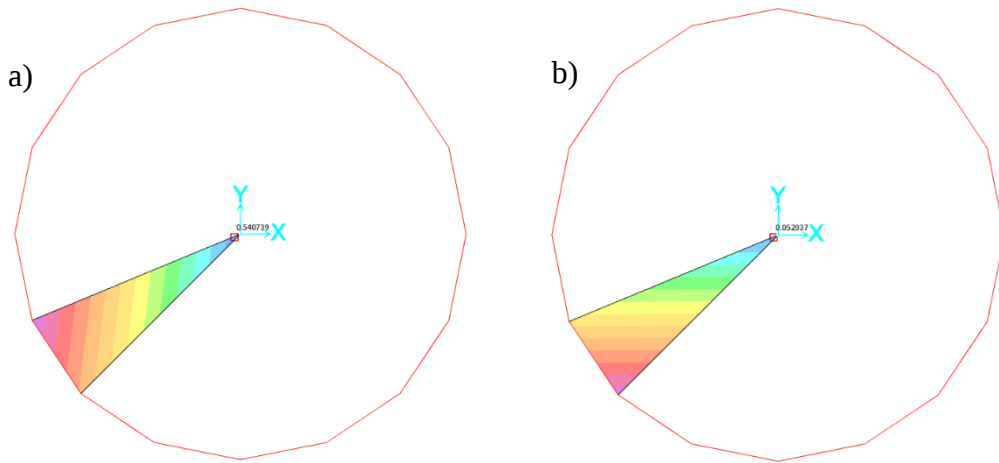
Çizelge 4.14. Seren direğinde oluşan maksimum çekme gerilmeleri

Uygulanan Deprem	Chi Chi Depremi	Kocaeli Depremi	Northridge Depremi	Kobe Depremi
Gerilme tipi	Çekme (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)
Kabuk model	0,005	0,005	0,007	0,0004
Çapraz model	0,030	0,024	0,039	0,0024

Yapılan incelemeler neticesinde aynı deprem yükleri altında seren direğinde oluşan maksimum çekme gerilmelerinin çapraz modelde kabuk modele oranla ~5 ila 6 kat arasında arttığı belirlenmiştir. Basınç gerilmelerinde de durum benzerdir.

Merdivenlerde oluşan gerilmeler:

Minarenin Seren Direği ile dış cephesi arasında bağlantı sağlayan merdivenlerinde oluşan gerilme dağılımları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada S11 yönünde (eksenine paralel) oluşan maksimum çekme gerilmeleri tespit edilmiştir. Çekme gerilmeleri Şekil 4.29'da gösterilmiş olup, en büyük çekme ve basınç gerilme değerleri +105 mm de oluşturulan merdivende ve seren direğine bağlanan bölgede oluşmaktadır.



Şekil 4.29. Merdivenlerde oluşan çekme gerilmeleri a) Kabuk model b) Çapraz model

Yapılan incelemeler neticesinde en büyük gerilmelerin minarelerin +105mm kotunda oluşturulan merdivenlerde olduğu tespit edilmiştir. Daha üst kotlara doğru gerilmeler azalmaktadır. Çapraz ve kabuk modellerin birbiriyle karşılaştırılması sonucu oluşan çizelge 4.15 aşağıda sunulmuştur. Çizelgede sadece çekme gerilmeleri sunulmuştur.

Çizelge 4.15. Merdivenlerde oluşan maksimum çekme gerilmeleri (+105mm kotu)

Uygulanan Deprem	Chi Chi Depremi	Kocaeli Depremi	Northridge Depremi	Kobe Depremi
Gerilme tipi	Çekme (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)
Kabuk model	0,054	0,053	0,070	0,005
Çapraz model	0,640	0,550	0,560	0,047

Yapılan incelemeler neticesinde aynı deprem yükleri altında merdivenlerde oluşan maksimum çekme gerilmelerinin çapraz modelde kabuk modele oranla 8 ila 12 kat arasında arttığı belirlenmiştir. Basınç gerilmelerinde de durum benzerdir.

Çaprazlama ve kabuk elemanlarda oluşan gerilmeler:

Karşılaştırma yapılan iki minarenin ortak olmayan elemanları birinde dikme ve kirişler arasında çaprazlamaların, diğerinde ise kabuk elemanların kullanımıdır. Çaprazlamaların yüksek yapı teknolojisindeki diagrid sisteme benzetildiği daha önceki konu başlığında belirtilmiştir. Diagrid sistemin en büyük özelliği yükü diagridi oluşturan tüm elemanlara eşit olarak aktarmasıyla bilinmektedir. Minarelerde benzer bir durumun gelişip gelişmediği araştırılmıştır.

Çaprazlamalar:

Yapılan analiz sonuçlarında çaprazlamaların en alt kotlarda en fazla gerilmelere maruz kaldığı, üst kotlara çıkıldıkça gerilmelerin azaldığı belirlenmiştir. Ancak aynı kot düzleminde yer alan çaprazlamaların gerilme değerleri birbirine yakındır. Analiz sonuçları incelendiğinde +105mm kotunda oluşan en büyük gerilmeler +210mm kotunda %40 oranında , +420mm kotunda %60 oranında, +640mm kotunda %85 oranında çaprazlamalarda gerilme kuvvetlerinde azalma olduğu belirlenmiştir. +840mm ile

+1260mm kotları arasında gerilmelerde %95 oranında azalma olup, bu katlar arasındaki çapraz elemanlarda oluşan gerilmelerde önemli bir düşüş bulunmamaktadır.

Kabuk elemanlar:

Kabuk elemanlarda da benzer şekilde alt kotlarda gerilme düzeyleri en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. +210mm kotundan sonra belirgin şekilde gerilmeler azalmaktadır.



5. SONUÇ

Bu çalışmada; boyutları ve kullanılan elemanlar aynı olan ancak birinde dikme ve kirişler arasında çaprazlamalar diğerinde ise kabuk elemanlar kullanılarak oluşturulmuş iki farklı minarenin deprem yükleri altındaki davranışları incelenmiştir. Maketleri oluşturulan minarelerin SAP2000 modelleri oluşturulmuş, sarsma tablası deneyleri ve SAP2000 programı ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak SAP2000 modellerinde gerekli kalibrasyonlar yapılmıştır. Daha sonra aynı deprem yükleri altında her iki minarenin deplasmanları ve eleman gerilmeleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar ile deneyler sırasında edinilen tecrübeler ışığında elde edilen sonuçlar aşağıda maddelenmiştir.

- Maket ölçekleri 1/10 olarak tasarlanmış olup, maket ölçeklerinin gerçeğe daha yakın uygulanabilir olması halinde, sarsma tablası ve SAP2000 programından elde edilen deplasman verileri birbiri ile daha yakın değerler elde edileceği tahmin edilmektedir.
- Tasarımı yapılan modelin boyutları gerçek modele yaklaştıkça, kullanılması planlanan malzeme çeşitleri ve yapım sistemi benzerliği artacaktır. Bu deney süreci boyunca maket model yapım aşamasında balsa ağacı, ulaşılabilir, işlenebilir ve maket model sistemine uygun olması sebebiyle tercih edilmiş olup, zamanla bekleyen modellerin birleşim noktaları istenilenden fazla rijit davranış göstermiştir. Ayrıca balza ağacı oldukça hafif ve kırılgan bir malzeme olup gerçek bir ahşap elemanı temsil etmekte problem yaşanmaktadır.
- Sarsma tablasından elde edilen ivme verileri, yamuk metodu kullanılarak deplasman verilerine geçilmiştir. Trapez metodu hesabında beklenen değerlerden biraz saptmalar olmaktadır. Bu durum deplasman verileri arasındaki uyumsuzluğun sebeplerinden birisi olabilir.
- Yapı bağlantı noktaları fazla rijit olduğu için, maket model ve gerçek yapı arasında bu durum bir uyumsuzluk oluşturmaktadır. Ahşap yapılarda bağlantı noktaları deprem kuvvetleri altında hareket edebilecek şekilde montaj işlemi

uygulandığı için, deprem anında ani kırılmalar gerçekleştirmez. Bu durumdan kaynaklı olarak istenilen deplasman değerleri ile elde edilen deplasman verileri arasında uyumsuzluk meydana gelmiş olabilir.

- Kabuk model olarak tasarlanan minarede deprem etkileri altında oluşan deplasmanlar çapraz modele göre en az 4 kat kadar daha azdır. Kabuk modelin oldukça rijit davranış gösterdiği görülmüştür.
- Aynı deprem yükleri altında dikmeler ve kirişlerde oluşan maksimum çekme gerilmelerinin çapraz modelde kabuk modele oranla 4 ila 6 kat arasında arttığı belirlenmiştir. Basınç gerilmelerinde de durum benzerdir.
- Aynı deprem yükleri altında seren direğinde oluşan maksimum çekme gerilmelerinin çapraz modelde kabuk modele oranla ~5 ila 6 kat arasında arttığı belirlenmiştir. Basınç gerilmelerinde de durum benzerdir. Seren direğinde oluşan maksimum gerilmeler yüksekliğin 1/6 sı oranında gerçekleşmiştir.
- Merdivenlerde oluşan maksimum çekme gerilmeleri seren direğine bağlantı yapılan bölgeye doğru artmaktadır. En yüksek değere seren direğine en yakın bölgelerde ulaşmaktadır. Kabuk modelin rijit davranışı neticesinde çapraz modele oranla 8~12 kat arasında çekme gerilmelerinde azalma olmaktadır. Çapraz modelde merdiven gerilmelerini azaltmak için merdiven genişliklerini arttırmak (rijit kat oluşumu) veya dış çeper ile seren direği bağlantılarında demir elemanlar kullanmak gerekecektir.
- Çapraz elemanlarla oluşturulan minarede yüksek yapı sistemindeki diagrid sistem çalışmasına uygun bir yük dağılımının oluşmadığı görülmektedir. Alt kotlarda yer alan çapraz elemanların çok fazla gerilmeye maruz kaldığı, orta bölgelerde gerilmelerin %85 oranında üst bölgelerde ise %95 oranında azaldığı tespit edilmiştir.
- Kabuk elemanlarla oluşturulan minarede de benzer şekilde deprem etkileri sonucu oluşan gerilmeler alt kotlarda en büyük değerlerine ulaşmakta ve yükseklik arttıkça hızla gerilmeler düşmektedir.

Yapılan araştırma ve çalışmalar sonucunda ahşap minareler günümüz modern yapım sistemlerine göre daha az tercih edilse de ekolojik olarak geri dönüştürülebilir olması, işlenebilirliğinin ve bulunmasının kolay olması, deprem etkisi altında rijit kırılmalara

maruz kalmaması, ayrıca kültürel mirasımız olmasından dolayı tercih edilmelidir. Ancak minarelerin deprem etkileri altındaki davranışları bilinerek uygun yöntemlerle inşa edilmesi gerekmektedir.



KAYNAKLAR

- Acar, R. (2009). *Anıtsal Kule Türü Yapıların Deprem Davranışlarının İncelenmesi ve Alternatif Sistemlerin Geliştirilmesi*. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Adam A., I. (2019). *Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistem Tasarımı* (Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü). Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ağcakoca, E. (2019). Yüksek Katlı Yapının Sarsma Tablası Üzerinde Deprem Performansının İncelenmesi. *ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 1(3), 132–143. <https://doi.org/10.46740/alku.577323>
- Ahunbay, Z. (2018). *Ahşap Mimari Mirasın Korunması İçin İlkeler ICOMOS*.
- As, N., Koç, K. H., & Doğu, D. (2001). Türkiye’de yetişen endüstriyel öneme sahip ağaçların anatomik , fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri. 51(1), 71–88. <https://doi.org/10.17099/jffiu.15049>
- Bağbancı, M. B., & Köprülü Bağbancı, Ö. (2018). The effects of construction techniques and geometrical properties on the dynamic behavior of historic timber minarets in Sakarya, Turkey. *Shock and Vibration*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/9853896>
- Borrega, M., & Gibson, L. J. (2015). Mechanics of balsa (Ochroma pyramidale) wood. *Mechanics of Materials*, 84, 75–90. <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2015.01.014>
- Bozkurt Yılmaz, A. (1971). *Önemli Bazı Ağaç Türleri Odunlarının Tanımı, Teknolojik Özellikleri ve Kullanış yerleri*.
- Çetin Faruk, G. G. (2017). Türkiye’deki Bazı Ağaç Türü Odunlarının Mekanik Özellikleri Üzerine Yapılan Araştırmaların Değerlendirilmesi. *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 19(1), 161–181. <https://doi.org/10.24011/barofd.306723>
- Fahjan, Y. M. (2008). Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi. 19(3), 4423–4444.
- Gögebakan, Y. (2018). Kültür Varlıklarının Korunmasının ve Algılanabilirliklerinin Sağlanmasının Yönetmelik ve Hukuksal Boyutu: Malatya Karakaş Konağı. *Sanat ve Tasarım Dergisi*, (21), 121–141. <https://doi.org/10.18603/sanativetasarim.435651>
- Güler, M., & Kolay, İ. (2006). 12. Yüzyıl Anadolu Türk camileri. *İTÜ Dergisi*, 2(414), 83–90.
- Haydaroğlu, C., Ökten, M. S., Bozdağ, B., & Ökten, B. B. (2013). *Ahşap Minarelerin Taşıyıcı Sistemleri ve Zıbcı Camii Örneği*. 9.
- Kuşüzümü, K. H. (2010). *İstanbul Minarelerinin Geleneksel Yapım Teknikleri ve Günümüzdeki Restorasyonu*.
- Mendes, N. A. L. (2012). *Seismic Assessment of Ancient Masonry Buildings: Shaking Table Tests and Numerical Analysis*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1822/23110>
- Nizamtdinkyzy, K. I. (2016). Unique Building Structures Of Capital Gate. *International Scientific Journal*, 67(477).
- Omid, A. J. (2017). *Sarsma Tablası İçin Geliştirilmiş Ölçekli Yapi-Zemin Modeli Üzerinde Sayısal Ve Deneyisel İncelemeler*.
- Ormecioglu, H. T., Akan, A. E., Beeson, S. T., & Özmen, C. (2011). Yivli Minare’nin Yapısal Analizi ve Sismik Davranışı. *Süleyman Demirel Üniversitesi Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 3(3), 52–61.
- Özdemir, Z., & Fahjan, Y. M. (2007). Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım

- Spektrumlarına Uygun Olarak Zaman ve Frekans Tanım Alanlarında Ölçekleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, (October), 435–446.
- Panchal, N. B., & Patel, V. R. (2014). Diagrid Structural System: Strategies To Reduce Lateral Forces On High-Rise Buildings. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 03(04), 374–378. <https://doi.org/10.15623/ijret.2014.0304067>
- Şahin, Ö., Çağlar, N., & Çelebi, E. (2017). Küçük Ölçekli Sarsma Tablası Test Modelleri için Uygun Ölçeklendirme Katsayısının Araştırılması. *5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, 2017(September), 7–16.
- Savasir, K., & Tuğrul, F. (2019). Yüksek Yapılarda Çelik Karkas Taşıyıcı Sistem Yerine Çelik Diagrid Kullanımının Avantajları. (January).
- Torun, A., & Çunkaş, M. (2009). İki Eksende Salınım Yapan Sarsma Tablası Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi; Cilt: 9 Sayı: 2; 85-96*, 9(2), 85–96.
- Usta, I. (2017). Ahşap : Fiziksel Özellikler. *Yapı Dünyası*, (July).
- Uysal, A. O. (1985). *Anadolu Selçuklularından Erken Osmanlı Dönemine Minare Biçimindeki Gelişmeler*. 506–532.
- Anonim, a (2021). https://en.wikipedia.org/wiki/1200_Fifth,, <https://www.archdaily.com/204701/flashback-hearst-tower-foster-and-partners/> Erişim Tarihi: 10/05/2021
- Anonim, b (2021). <https://www.archdaily.com/240524/al-dar-headquarters-mz-architect> Erişim Tarihi: 10/05/2021
- Anonim, c (2021). <https://www.cppwind.com/portfolios/wind-tunnel-testing-the-worlds-first-circular-skyscraper/> Erişim tarihi: 10/05/2021
- Anonim, ç (2021). www.towerofpisa.org, <https://www.archdaily.com/889854/capital-gate-rmjm> Erişim tarihi: 10/05/2021
- Anonim, d (2021). <https://www.archdaily.com/889854/capital-gate-rmjm> Erişim tarihi: 10/05/2021
- Anonim, e (2021). <https://www.arch2o.com/case-study-parametric-twist-canton-tower/> Erişim tarihi: 10/05/2021
- Anonim, f (2021). <https://www.arch2o.com/case-study-parametric-twist-canton-tower/> Erişim tarihi 10/05/2021
- Anonim, g (2021). <https://binatasarimi.dask.gov.tr/yarisma-hakkinda/2014>, http://www.besmaklab.com/Urunler/152/Sarsma_Tablasi/1 Erişim tarihi 10/04/2021
- Anonim, ğ (2021). <https://www.istockphoto.com> Erişim tarihi: 10/05/2021
- Anonim, h (2021). <https://www.flickr.com/photos/landlearnsw/2987640584> Erişim tarihi: 10/05/2021
- Anonim, i (2021). <https://horizonwood.com> Erişim tarihi: 10/05/2021
- Anonim, ı (2021). <https://www.wherismytree.com/types-of-wood-hard-wood-and-soft-wood/> Erişim tarihi: 10/05/2021
- Anonim, j (2021). <https://rogergeorge.com/products-balsawood> Erişim tarihi: 10/05/2021
- Anonim, k (2021). <https://asortie.com/bloggurgun> Erişim tarihi 10/05/2021
- Capital Gate (2014). <https://www.atlasobscura.com/places/capital-gate>
- SAP2000 Programı
- Artemis Model Analiz Programı