



T. C.

ORDU ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YIĞMA MİNARELERİN DEPREM DAVRANIŞINA
YÜKLEME YÖNÜNÜN ETKİSİ: AKSARAY ZAFER CAMİSİ
MİNARESİ ÖRNEĞİ**

KADİR YAYLA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

ORDU 2024

TEZ BİLDİRİMİ

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

KADİR YAYLA

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

ÖZET

YIĞMA MİNARELERİN DEPREM DAVRANIŞINA YÜKLEME YÖNÜNÜN ETKİSİ: AKSARAY ZAFER CAMİSİ MİNARESİ ÖRNEĞİ

KADİR YAYLA

ORDU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ, 44 SAYFA

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR ERDEM TÜRKELİ)

Dini mimarinin önemli bir unsuru olan minarelere, İslam kültüründe sadece camilerde değil; medrese, türbe gibi yapılarla rastlamak mümkündür. Başlangıçta özel bir mimari forma bağlı kalmadan inşa edilmeye başlanan minareler, değişik bölge ve kültürlerde birbirinden farklı biçimlerde genellikle taş, tuğla ve ahşaptan inşa edilmiştir. Bu çalışmanın temel amacını, üzerinde kapı boşluğu bulunan ve eksenel simetrik olmayan yığma minareler için, deprem uygulama kritik ekseninin tespit edilebilmesi oluşturmaktadır. Bunun için, teknik literatürden Aksaray il merkezinde bulunan ve yığma taşıyıcı sistemli Zafer Camisi minaresi seçilmiştir. Seçilen söz konusu minareye, Türkiye’de yakın zamanda meydana gelen ve birçok can kaybının yaşandığı 1999 Düzce, 2011 Van ve 2023 Kahramanmaraş Depremleri, 0°’den başlamak üzere (x-ekseni), 15’er derecelik artışlarla, 180°’ye kadar etki ettirilmiştir.

Çalışma sonucunda, ilgili minarenin söz konusu depremler altındaki tepe deplamanlarına bağlı olarak kritik eksenleri ve kritik gerilme değerlerinin olduğu bölgeler elde edilmiştir. Minare, Van depremi altında “Kontrollü Hasar” bölgesinde, Düzce depremi altında “Göçme Öncesi” ve Kahramanmaraş depremi altında ise, “Göçme Öncesi” bölgenin de ötesine geçmektedir. Bundan başka, deprem karakteristiğine bağlı olarak, tasarım aşamasında kullanılmak üzere, söz konusu yığma minare için kritik eksen olarak kapı boşluğunun tam ortasından geçen eksen (x-ekseni) veya bu eksene tam dik olan eksen (y-ekseni) belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yığma Minare, SAP2000 programı, Deprem Yüğü, Yükleme Yönü

ABSTRACT

THE EFFECT OF LOADING DIRECTION ON THE EARTHQUAKE BEHAVIOR OF HISTORICAL MASONRY MINARETS: THE CASE OF AKSARAY ZAFER MOSQUE MINARET

KADİR YAYLA

ORDU UNIVERSITY INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED
SCIENCES

RENEWABLE ENERGY

MASTER THESIS, 44 PAGES

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. ERDEM TÜRKELİ)

Minarets, an important element of religious architecture, are used not only in mosques in Islamic culture, it is possible to come across these structures such as in madrasahs and mausoleums. Minarets, which were initially built without adhering to a specific architectural form, were generally built of stone, brick and wood in different forms in different regions and cultures. The main purpose of this study is to determine the critical axis of earthquake application for masonry minarets that have a door spaces and are not axisymmetric. For this, the minaret of the Zafer Mosque, located in the city center of Aksaray and with a masonry load carrying system, was selected from the technical literature. The 1999 Düzce, 2011 Van and 2023 Kahramanmaraş Earthquakes, which occurred recently in Turkey and caused many casualties, started from 0° (x-axis), in 15-degree increments, up to 180° has been applied.

As a result of this study, the critical axes of the cited minaret and the regions where critical stress values occur, depending on the peak displacements under the cited earthquakes were obtained. The minaret goes under the "Controlled Damage" region under Van earthquake, the "Pre-Collapse" region under the Düzce earthquake, and beyond the "Pre-Collapse" region under the Kahramanmaraş earthquake. Furthermore, depending on the earthquake characteristics, the axis passing through the middle of the door (x-axis) or the axis exactly perpendicular to this axis (y-axis) was determined as the critical axis for the cited masonry minaret to be used in the design phase.

Keywords: Masonry Minaret, SAP2000 program, Earthquake Load, Loading Direction

TEŞEKKÜR

Tez konumun belirlenmesi, çalışmanın yürütölmesi ve yazımı esnasında çok değerli desteklerini esirgemeyen danıőman hocam Sayın Doç. Dr. Erdem Tőrkelı'ye çok teőekkőr ederim.

Aynı zamanda, manevi desteklerini her an üzerimde hissettiğim eőim Tölın ve ocuklarım Sena ve Alp Eren'e teőekkőrü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEZ BİLDİRİMİ	I
ÖZET	II
ABSTRACT	III
TEŞEKKÜR	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİL LİSTESİ	VI
ÇİZELGE LİSTESİ	VIII
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	IX
1. GİRİŞ	1
1.1 Tarihi minareler ve malzeme özellikleri.....	4
2. GENEL BİLGİLER	7
2.1 Minarelerde taşıyıcı sistemler	7
2.1.1. Karkas taşıyıcı sistemli minareler	7
2.1.2. Yiğma taşıyıcı sistemli minareler	7
2.2. Minarelere Etkiyen Yükler	8
2.2.1. Kalıcı (Zati) Yükler.....	8
2.2.2. Rüzgâr Yükleri.....	8
2.2.3. Deprem Yükleri	9
2.3 Önceki Çalışmalar	11
3. MATERYAL ve YÖNTEM	15
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	27
4.1. Tepe Deplasmanlarının Elde Edilmesi	27
4.2. Gerilme Değerlerinin Elde Edilmesi	35
4.3. Yapısal Performans Değerlendirmesi.....	38
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	40
6. KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ	45

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Batı tipi minareler: a) Halep Ulu Cami b) Casablanca Hassan Cami c) Kurtuba Ulu Camisi d) Mısır El-Ezher Camii (Anonim, 2021; Beksaç, 2002; Serhatlıoğlu, 2015; Gündüz, 2020).....	1
Şekil 1.2 Doğu tipi minareler: a) İznik Yeşil Cami b) Balasagun Burana Kulesi c) Bakü Bibiheybet Cami d) Bağdat Samarra Cami (Gündüz, 2020; Anonim, 2024a; Anonim, 2024b; Anonim, 2024c)	2
Şekil 1.3 Minareler için a) Tipik bölümler b) Düşey kesit (Baştürk, 2013)	3
Şekil 2.1 Minarede rüzgar etkisinden kaynaklanan eğilme momenti (Temüz, 2007) ..	9
Şekil 2.2 Kocaeli Depremi'nde yıkılan yığma minare (Doğangün ve ark., 2006)	10
Şekil 3.1 Zafer Camisi yığma minaresi (Badem, 2023)	15
Şekil 3.2 Bu çalışma kapsamında kullanılan malzeme özellikleri	16
Şekil 3.3 Bu çalışma kapsamında kullanılan minareye ait geometrik özellikler	16
Şekil 3.4 Bu çalışma kapsamında kullanılan minareye ait sonlu elemanlar modeli (kapı boşluğu bulunmayan)	17
Şekil 3.5 Bu çalışma kapsamında kullanılan minareye ait sonlu elemanlar modelinin doğrulamasının yapılması.....	18
Şekil 3.6 Bu çalışma kapsamında kullanılan minareye ait sonlu elemanlar modeli (kapı boşluğu bulunan).....	19
Şekil 3.7 Model minareye deprem uygulama yönlerinin şematik gösterimi	20
Şekil 3.8 12.11.1999 Mw 7.2 Düzce (Kaynaşlı) Depremi ivme-zaman grafiği (PEER, 2023).....	21
Şekil 3.9 12.11.1999 Mw 7.2 Düzce (Kaynaşlı) Depremi'nde hasar gören veya yıkılan yapılardan bazıları (Cebeci, 2022)	22
Şekil 3.10 23.10.2011 Van-Erciş Depremi ivme-zaman grafiği (TADAS, 2024)	22
Şekil 3.11 23.10.2011 Van-Erciş Depremi'nde hasar gören veya yıkılan yapılardan bazıları (Anonim, 2020)	23
Şekil 3.12 06.02.2023 Kahramanmaraş Depremi'ne ait ivme-zaman grafiği (TADAS, 2024).....	24
Şekil 3.13 06.02.2023 Kahramanmaraş Depremi'nde hasar gören veya yıkılan yapılardan bazıları (Anonim, 2023)	24
Şekil 3.14 06.02.2023 Kahramanmaraş Depremi'nde hasar gören veya yıkılan yapılardan bazıları (Anonim, 2023)	25
Şekil 3.15 Ötelenme oranı sınır durum değerleri (Aymelek ve ark., 2023)	25
Şekil 4.1 12.11.1999 Mw 7.2 Düzce (Kaynaşlı) Depremi için elde edilen mutlak tepe deplasmanları	30
Şekil 4.2 23.10.2011 Mw 7.2 Van-Erciş depremi için elde edilen mutlak tepe deplasmanları	30
Şekil 4.3 06.02.2023 Mw 7.7 Kahramanmaraş Depremi için elde edilen mutlak tepe deplasmanları	31
Şekil 4.4 06.02.2023 Mw 7.7 Kahramanmaraş Depremi için 90° uygulama yönünde tepe deplasmanının zamana bağlı değişimi.....	32

Şekil 4.5	12.11.1999 M_w 7.2 Düzce (Kaynaşlı) Depremi için 0° uygulama yönünde tepe deplasmanının zamana bağlı değişimi.....	33
Şekil 4.6	23.10.2011 M_w 7.2 Van-Erciş depremi için 0° uygulama yönünde tepe deplasmanının zamana bağlı değişimi.....	33
Şekil 4.7	06.02.2023 M_w 7.7 Kahramanmaraş Depremi için 90° uygulama yönünde deplasmanın yüksekliğe bağlı değişimi.....	34
Şekil 4.8	12.11.1999 M_w 7.2 Düzce (Kaynaşlı) Depremi için 0° uygulama yönünde deplasmanın yüksekliğe bağlı değişimi.....	34
Şekil 4.9	23.10.2011 M_w 7.2 Van-Erciş depremi için 0° uygulama yönünde deplasmanın yüksekliğe bağlı değişimi.....	35
Şekil 4.10	06.02.2023 M_w 7.7 Kahramanmaraş Depremi için 90° uygulama yönünde S_{max} gerilme değerleri (MPa).....	36
Şekil 4.11	12.11.1999 M_w 7.2 Düzce (Kaynaşlı) Depremi için 0° uygulama yönünde S_{max} gerilme değerleri (MPa).....	36
Şekil 4.12	23.10.2011 M_w 7.2 Van-Erciş depremi için 0° uygulama yönünde S_{max} gerilme değerleri (MPa)	37
Şekil 4.13	06.02.2023 M_w 7.7 Kahramanmaraş Depremi'nde yıkılan Elbistan'daki tarihi Atık Camisi'nin minaresi (Soyluk ve Demircan, 2023)	38

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 12.11.1999 M_w 7.2 Düzce (Kaynaşlı) Depremi için elde edilen x ve y yönlü tepe deplasmanları.....	28
Çizelge 4.2 23.10.2011 M_w 7.2 Van-Erciş depremi için elde edilen x ve y yönlü tepe deplasmanları	28
Çizelge 4.3 06.02.2023 M_w 7.7 Kahramanmaraş Depremi için elde edilen x ve y yönlü tepe deplasmanları.....	29
Çizelge 4.4 Yığma minare modelinin (üzerinde kapı bulunan) farklı depremler altındaki en büyük göreceli ötelenme oranları.....	38

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

A₀	:	Etkin yer ivmesi katsayısı
A(T)	:	Spektral ivme katsayısı
AFAD	:	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
I	:	Bina önem katsayısı
M_w	:	Deprem Yerel Büyüklüğü
S_{max}	:	Maksimum Gerilme
T	:	Sistemin doğal titreşim periyodu

1. GİRİŞ

Dini mimarinin önemli bir unsuru olan minarelere, İslam kültüründe sadece camilerde değil; medrese, türbe gibi yapılar da rastlamak mümkündür. Emeviler (7. yy) döneminde özel bir mimari forma bağlı kalmadan inşa edilmeye başlanan minareler, farklı bölgelerle kültürlerde birbirlerinden farklı şekillerde genel olarak taştan, tuğladan ve ahşaptan yapılmıştır. İslam coğrafyasında minareler, mimari ve estetik açıdan değişik özellikler gösterirler. Kuzey Afrika ile Endülüs'ten Suriye'ye uzanmakta olan bölgelerdeki (batı) minareler, dört köşe kuleler biçimindedir. İran, Irak, Türkiye ve Türk dünyasını içeren doğu bölgesindeyse daha çok silindriktir ve incedir; saf ve abidevi yapılarıdır. Minareler, geleneksel Osmanlı döneminde (16.-17. asırlar) en olgun düzeyine ulaşmıştır (Temüz, 2007).



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 1.1 Batı tipi minareler: a) Halep Ulu Camii b) Casablanca Hassan Camii c) Kurtuba Ulu Camisi d) Mısır El-Ezher Camii (Anonim, 2021; Beksaç, 2002; Serhatlıoğlu, 2015; Gündüz, 2020)



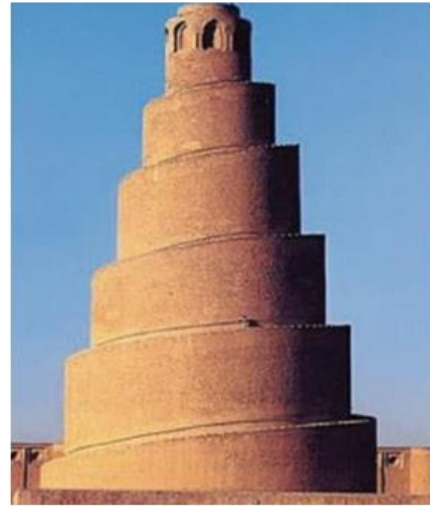
(a)



(b)



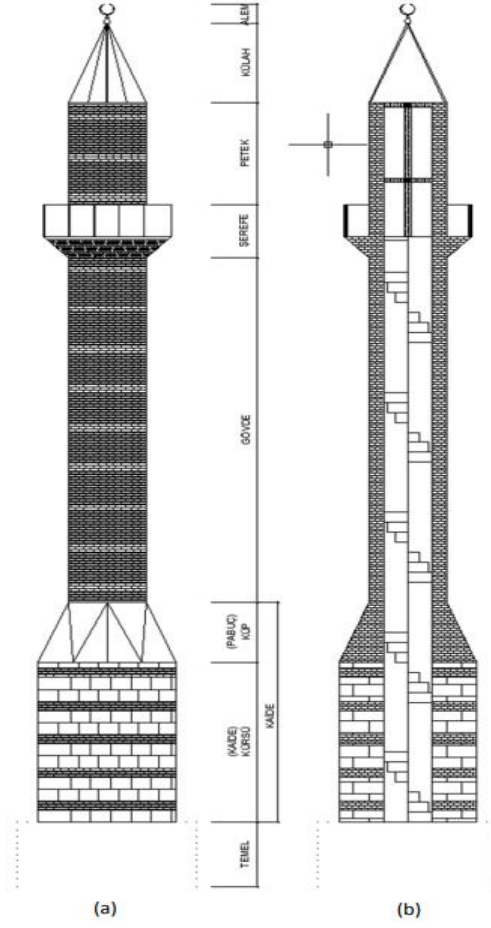
(c)



(d)

Şekil 1.2 Doğu tipi minareler: a) İznik Yeşil Cami b) Balasagun Burana Kulesi c) Bakü Bibiheybet Cami d) Bağdat Samarra Cami (Gündüz, 2020; Anonim, 2024a; Anonim, 2024b; Anonim, 2024c)

Genel olarak minareler, “âlem, petek, şerefe, gövde, külah, merdiven, kaide (kürsü), küp (pabuç), temel” gibi 9 ana bölümden oluşur. Osmanlı ya da Selçuklu minare tipinin bölümleri Şekil 1.3’de verilmiştir (Baştürk, 2013).



Şekil 1.3 Minareler için a) Tipik bölümler b) Düşey kesit (Baştürk, 2013)
Alem: Minarenin en tepesinde Ay'a (Hilal) benzeyen sembolik unsurdur.

Külâh: Minareyi üst noktadan kapatan kısımdır. Yapımında taş ya da tuğla kullanılan külâhların bilhassa petek duvarıyla bağlantısının iyi bir biçimde kurulmadığı hallerde, yatay yükler etkisinden dolayı göçme riski de vardır.

Petek: Minarenin külâh ile şerefe arasındaki bölümdür.

Şerefe: İnsanları namaza davet eden ezanın okunduğu, belli yüksekliklerde gövdeyi çevreleyen, balkon şeklindeki çıkmalardır.

Gövde: Minarenin küple şerefe arasındaki bölümdür. Genel olarak silindirik olan gövde taşla ya da tuğlayla oluşturulmaktadır.

Merdiven: Merdiven kaideden başlamak suretiyle şerefenin zeminine dek helezonik şekilde uzanan kısımdır.

Küp (Pabuç): Yapısal ve mimari açıdan minarenin en önemli bölümüdür. Kaidenin kare ya da geniş yüzeyle poligonal planından, minare gövdesinin daha dar çaplı yuvarlak planına geçiş sadece bu pabuç bölümünde oluşturulacak geçiş birimleriyle olanaklı olabilir. Pabuç, kaideden gövdeye yumuşak bir geçiş sağlamaktadır.

Kürsü-(Kaide): Temelle pabuç arasındaki minarenin en alttaki kısmıdır.

Temel: Temeller, toprak altındaki, kaideden gelen düşey ve yatay yükleri güvenli bir biçimde zemine aktarması gereken yapı unsurudur (Baştürk, 2013).

Minareler yüksek ve narin yapılar olduğundan deprem, rüzgâr vb. tabii etkilere karşı olağandışı davranışlarda bulunur. Bu tip yapılar tasarlanırken zati ağırlıklar, rüzgar, deprem gibi faktörler dikkate alınmalıdır. Ülkemizde Diyanet İşleri Başkanlığı, 1999 Kocaeli depreminden sonra, "Minarelerin Yapımında Uygulanacak Esaslar" talimatı yayınlamıştır. Ancak bu esaslar, sadece betonarme minareleri içermektedir. Kritik bir kültür mirası ve anıtlara sahip ülkemizdeki tarihsel minarelere dair de bu tip bir yönergeye ihtiyaç vardır.

1.1 Tarihi minareler ve malzeme özellikleri

Ülkemizdeki tarihi yığma minareler incelendiği zaman taşıyıcı unsur şeklinde taş ya da tuğla kullanımı öne çıkmaktadır. Yığma minarelerde taşıyıcı elemanlar arasında bağlayıcı olarak düşük dayanımlı "Horasan harcı" kullanılmıştır. Bundan dolayı, deprem, rüzgâr vb. aşırı zorlanmalarla minarelerin önemli bölgelerinde eğilmeyle, kimi özel hallerde kesmeden dolayı çatlaklar oluşmaktadır. Mimar Sinan, 1509 depreminden sonra, yatay ve düşey taşlar arasına demir çubuklar yerleştirerek depreme dayanıklı karma denebilecek yeni bir taşıyıcı sistem geliştirmiştir. Söz konusu sistemle, asırlar önce inşa edilen minareler, birçok doğal afete rağmen halen ayakta durmaktadır (Serhatlıoğlu, 2015).

Doğal taşlar, insanoğlunun yapı inşa ederken kullandıkları önemli bir malzemedir. Taşların genellikle basınç dayanımları yüksek, çekme dayanımları düşük olduğundan yatayda büyük açıklıkların geçilmesinde kemer kubbe ya da tonoz vb. özel formlar kullanılır. Coşkun ve Türk (2012), tarihsel minarelerin dinamik davranışlarının saptanmasına dönük bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada ulaşılan sonuçlar çerçevesinde, tarihi yapılarda kullanılan küfeki taşının, en öne çıkan

özelliği, tabiattan çıktığında tüm işlemlere uygun ve işlenebilirliğinin kolay olmasıdır. Söz konusu taş, aslında bir tür kireç taşı olup (kalker), hava ile temasın ardından burada bulunan karbondioksiti bünyesine alıp sertlik, dayanıklılık ve kuvvet elde etmektedir.

Tuğla da tarihi yapılarda sıkça kullanılan bir malzemedir. Pişmiş kilden üretilen tuğlalar, fırınlarda yüksek sıcaklık altında pişirilir veya güneş enerjisinden yararlanılarak imal edilirdi. Mahrebel (2006), yapmış olduğu bir çalışmada, tuğlaların basınç dayanımını 10-30 MPa arası, çekme dayanımını 2,5-5 MPa arası ile kayma dayanımını ise 10-20 MPa arası şeklinde tespit etmiştir.

Harçlar, yapılarda yapı unsurlarının birbirine bağlanması için kullanılmakta olan bir ara yüzey malzemesidir. Anadolu'da tarihi yapılarda kullanılan horasan harcı, genellikle kireç, tuğla ya da kiremit kırıkları vb. pişirilmiş toprak malzemelerden oluşmaktadır. Canbaz ve ark., (2005), horasan harcıyla betonun özelliklerini belirlemeye dair gerçekleştirdiği araştırmada, horasan harcının birim ağırlığını 1,36-1,66 kg/ dm³, eğilme dayanımlarını 1,87-2,13 MPa ve basınç dayanımlarını 4,5-7,59 MPa olarak tespit etmişlerdir.

Tarihsel yapılar; yapıldığı dönemin malzeme özelliklerini, yapıım teknikleriyle mimari ve mühendislik unsurlarını bugüne taşıyan yapılardır. Zamanla, söz konusu yapılar; deprem, yağmalama, yangın, malzeme dayanım kayıpları, zeminde oturma ve çevresel etkiler vb. pek çok negatif etkiyle karşı karşıya kalabilmektedir. Bu etkilerden dolayı, kimileri yıkılabilir, kimileri ağır hasar alabilir, kimileri de hasar almayarak ayakta kalabilir. Hasar almış ve almamış yapıların yapısal davranışları titiz bir biçimde belirlenmeli, gereksinim hissedilenler onarılmalı ya da güçlendirilmek suretiyle geleceğe aktarılmalıdır.

Tarihsel yapıların büyük bir bölümünü teşkil eden yığma minareler, hassas yapılarından kaynaklı olarak bilhassa deprem, rüzgâr vb. dinamik etkilerin altında hasar almakta veya bazen yıkılabilmektedirler. Bunun için, söz konusu yapıların muhtemel dinamik etkiler karşısında ortaya koyacakları yapısal davranışlarının belirlenmesiyle, gereken onarım/güçlendirme tedbirlerinin alınması gerekmektedir. Bunun yanı sıra, onarılmış ya da kuvvetlendirilmiş minarelerin dinamik davranışlarındaki değişmeler, onarım/kuvvetlendirilmenin öncesinde ve ardından,

depremden önce ve sonra belirlenmeli, periyodik olarak da izlenmelidir. Bu çalışmaların tam manasıyla sürdürülebilir olabilmesi için planlama, yapım, restorasyon ve yıkım aşamalarında, çevresel bilinç dikkate alınmalıdır. Sürdürülebilir ve yenilenebilir bir yapılaşma sürecinde çevre, maliyet, zaman ve kalite önemli faktörlerdir (Günaydın, 2018).

Bu çalışma, Aksaray Zafer Camisi minaresi özelinde, tarihi yığma minareler üzerinde oluşan deprem yüklerinin, minarelerin dinamik davranışına etkisini incelemek amacıyla yapılmıştır. Üzerinde kapı boşluğu bulunan ve eksenel simetrik olmayan söz konusu yığma minare için, tasarım aşamasında kullanılmak üzere, deprem uygulama kritik ekseninin tespit edilebilmesi hedeflenmektedir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Minarelerde taşıyıcı sistemler

Minarelerin zati yükü, kendi ağırlıklarından kaynaklanır. Bu yapılar, ağır ve yüksek yapılar olduklarından yatay kuvvetlere daha fazla maruz kalmaktadır. Bu yüzden, minareler tasarlanırken taşıyıcı sistem seçimi ve minarenin konumlandırılması önemlidir. Minarelerde taşıyıcı sistem bakımından karkas ve yığma minareler öne çıkmaktadır.

2.1.1. Karkas taşıyıcı sistemli minareler

Günümüzde minareler, bu sistemle tasarlanmaktadır. Karkas yapı sistemleri, betonarme, ahşap ve çelik karkas olarak üçe ayrılır.

Betonarme minarelerde ankastre temel kullanılmakta, yapım tekniğinde kayar kalıplar uygulanmaktadır. Rüzgâr yükünün belirlenmesine yönelik olarak TS498 ile, depremlere göre hesap içinse "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik" kısmi olarak kullanılmak suretiyle, genel olarak standart kalıp boyutlarında yapılmaktadır.

Çelik taşıyıcı sisteme sahip minareler, betonarme yapılara nazaran süratli inşaat, montaj kolaylığı, depreme karşı dayanıklılık, uzun hizmet ömrüyle muhtemel hasarlarda kolay müdahale imkânından dolayı tercih edilmektedir.

Ahşap karkas minareler ise, geçmişte genel olarak taşın nakledilmesinin güç olduğu engebeli topraklarda yapılmıştır. Ahşap minareler genel olarak kâgir cami inşasıyla beraber kullanılır. Hafif malzemedeki yapıldıklarından yüksekliği görece daha düşüktür (Serhatlıoğlu, 2015).

2.1.2. Yığma taşıyıcı sistemli minareler

Tarihi cami ve minarelerde genellikle yığma taşıyıcı sistem kullanılmıştır. Yığma minarelerde taşıyıcı eleman olarak taş ve tuğla kullanıldığı görülmektedir. Taşıyıcı elemanlar arasında bağlayıcı olarak Horasan harcı kullanılmıştır.

Yığma taşıyıcı sistemlerde temeller, genel olarak sağlam zemine kadar hafriyat yapılmasıyla, büyük ebatlara sahip taşlarla dolgu yapılarak oluşturulmuştur. Duvar kesitinden daha geniş şekilde yapılan temellerin bazen ahşap kazıkların üstüne kurulduğuna da tesadüf edilmektedir.

Taş malzemeden yapılan taşıyıcı duvarların kesitleri, ön ve arka kaplamayla ortasında moloz dolgu biçiminde düzenlenir. Tuğla duvarlar, kesit şeklinde taş duvarlara benzemekle beraber, tamamıyla tuğla ve harç malzemeyle örülmüştür. Taş gibi dayanımı bulunmayan tuğla unsurların, harçla birleştiğinde geniş kesitlerde çok güvenli yapım malzemelerine dönüştüğü anlaşılmaktadır. Tuğla ve taş duvarlar, genellikle 60-110 cm. arasında bir kalınlığa sahiptir (Çalık, 2017).

Minarelerde, yığma taşıyıcı duvar elemanlarıyla merdiven inşaatı beraber ve iç içe sürer. Böylece merdivenler, minare taşıyıcı sistemine katılıp yatay yükler karşısında minarenin rijitliğini artırmaktadır. Merdivenler gövdenin içerisine helezonik bir şekilde yerleştirilir.

2.2. Minarelere Etkiyen Yükler

Genel olarak yapılara etki eden yükler, düşey zati yükleri ile yatay deprem ve rüzgar yüküdür. İnce ve uzun taşıyıcı sistemleri nedeniyle minareler için de aynı kuvvet etkilerinden söz edilebilir.

2.2.1. Kalıcı (Zati) Yükler

Minarelerde kalıcı yükleri, taşıyıcı unsurlarının ağırlıklarıyla kaplama için kullanılmakta olan malzemelerin ağırlıkları oluşturmaktadır. Bu yükler, düşey olarak etki etmektedir.

Yapıda düşey yapı unsurları, üst üste konan yatay düzlemlerdeki yükleri toplayıp zeminle temellere aktarır. Söz konusu aktarmanın dengeli olmasına yönelik olarak tüm katlarda yüklerin düşey taşıyıcılara nakledildiği noktalar düzenli olmalıdır. Düşey yüklerin aktarılması konusunda devamlılık gereksiniminden dolayı, düşey yapı sistemleri cephede genel olarak, sürekli giden düşey elemanlar ile karakterize edilmektedir (Özgen ve Sev, 2000).

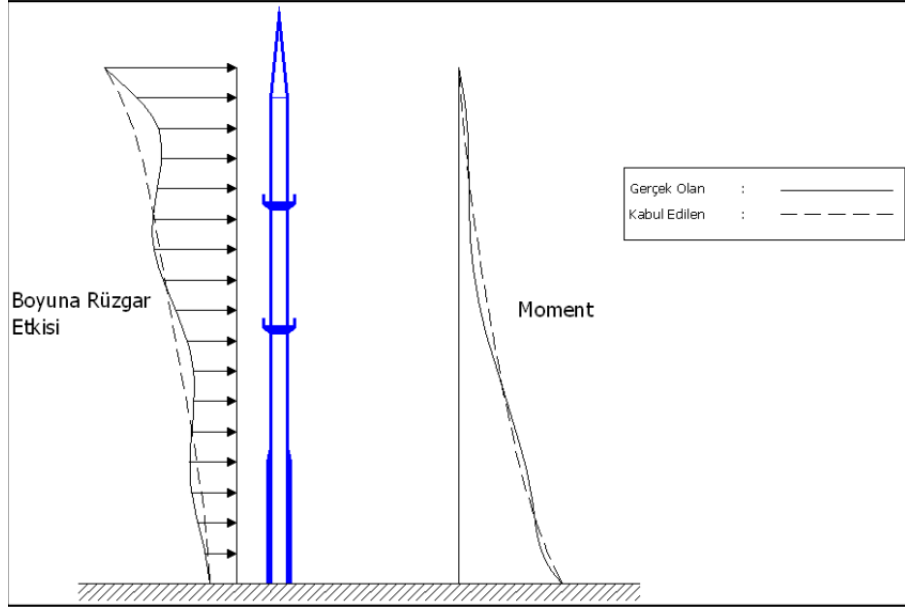
2.2.2. Rüzgâr Yükleri

Rüzgar yükü, rüzgarın yönü ve şiddetine bağlı olarak değişir. Yapıların tasarım ve şekli de rüzgar yükünün etkisini belirler. Hesaplamalar yapılırken bu faktörler dikkate alınmalıdır. Ayrıca rüzgarın bazı özel yapılar üzerinde titreşim haline bağlı olarak oluşabilecek dinamik etki durumu da dikkate alınmalıdır (Temüz, 2007).

Rüzgâr olayı, değişken ve karmaşık bir oluşumdur. Bu yüzden rüzgâr etkisinin belirlenmesinde olasılık yöntemlerinin kullanılması gerekir. Genel olarak, yapıların

düsey düzlemi rüzgârın etkisi altındadır. Rüzgâr etkisinin yatay olduğu kabul edilerek, rüzgâr yükünün uygulama noktası da sahanın ağırlık merkezi alınmalıdır (Aliyazıcıoğlu, 2004).

Minare gibi yüksek yapılarda yüklerin egemen kaynağını rüzgâr teşkil eder (Şekil 2.1). Söz konusu yapılarda, rüzgâr etkisi, boyuna ve enine olabilir. Bu durum minarede durağan ve dinamik etkilere sebep olacağından rüzgâr etkileri belirlenirken bu iki tür yükün de etkisinin dikkate alınması gerekir (Aliyazıcıoğlu, 2004).



Şekil 2.1 Minarede rüzgâr etkisinden kaynaklanan eğilme momenti (Temüz, 2007)

Tarihi minareler üzerine yapılan inceleme ve çalışmalar, hasarların önemli bir bölümünün kaideden gövdeye geçişteki küp bölgesinde ve şerefe düzeyinde olduğunu göstermektedir. Küp bölgesinde oluşan hasarlar ani kesit değişmesinden dolayı gerçekleşen gerilmelerden kaynaklanmaktadır. Şerefe bölgesindeki hasarlar ise şerefenin (şerefenin tabanı, şerefenin korkulukları, şerefenin tabanı gövde geçiş bölümü) ağırlığından kaynaklı olarak fazla yatay yük çekmesiyle gerilmelerin sınır değerini üstüne çıkmasından kaynaklanır (Baştürk, 2013).

2.2.3. Deprem Yükleri

Depremler, yer kabuğunda oluşan sarsıntıların dalgalar halinde ilerleyerek yeryüzünün belli noktalarında hareket ve sarsıntı oluşturmasıdır. Deprem anında zeminde oluşan titreşimler, yapıya aktarılır. Deprem hasarı, yapıların kütlesi, sönüm özellikleri ve rijitliğine bağlı olarak değişir. Deprem yüklerini belirleyebilmek ve

yapılara etkilerini öngörebilmek için bölgede geçmişte oluşan deprem büyüklükleri ve fay hatları hakkında bilgi sahibi olmak gereklidir. Bu bilgiler ve alınacak tedbirler, ilgili deprem yönetmeliklerinde belirtilmiştir (Çiçek, 2021).

Ülkemizde geçmişte birçok yıkıcı deprem olmuş; can ve mal kayıpları yaşanmıştır. Özellikle, 1999 Marmara Depremi'nde, 18200 insanımız ve 2023 Kahramanmaraş Depremi'nde ise 50000 insanımız hayatını kaybetmiştir. Bugün Türkiye topraklarının % 96'sı deprem riski altındadır ve nüfusumuzun % 98'i bu bölgelerde yaşamaktadır (Özmen ve Can, 2010).

Minarelerde deprem etkisi ile genel olarak ani kesit değişmesinin görüldüğü küp bölümüyle şerefe düzeyinde hasarlar oluşmaktadır. Şekil 2.2'de Kocaeli Depremi'nde yıkılan yığma taşıyıcı sistemli tarihi minare görülmektedir (Doğangün ve ark., 2006).



Şekil 2.2 Kocaeli Depremi'nde yıkılan yığma minare (Doğangün ve ark., 2006)

2.3 Önceki Çalışmalar

Ülkemiz topraklarında İslam medeniyetinin yaklaşık bin yıllık bir geçmişi vardır. Bu dönem içinde, ülkemizin hemen hemen her noktasında tarihi yapılar ve camiler inşa edilmiştir. Camilerin ayrılmaz bir parçası haline gelen tarihi yığma minarelerin bir kısmı deprem, rüzgar vb sebeplerle hasar görmüştür. Bu tarihi eserleri korumak ve gelecek kuşaklara aktarmak için sanat tarihi, mimarlık ve mühendislik alanında birçok bilimsel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda özetle sunulmuştur.

Işık ve ark., (2022) yaptıkları çalışmada, türkülerimize de konu olan Bitlis'in tarihi beş minaresini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında her bir minare hakkında detaylı bilgiler verilmiş ve minare yapımında kullanılan taşın mekanik özellikleri belirlenmiştir. Türkiye'nin güncel deprem yönetmeliğine uygun olarak her minarenin sismik davranışı için düşey ve yatay tasarım spektrumları seçilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, söz konusu tarihi yığma minareler modellenmiştir. Farklı yüklemeler altında, minarelerdeki gerilme dağılımının yanı sıra periyot ve yer değiştirme sonuçları da araştırılmıştır.

Güdü (2021), yaptığı çalışmada, değişik yapı sistemleri olan iki ahşap minareyi detaylı olarak incelemiştir. Söz konusu minarelerin 1/10 ölçekli maket modelleri yapıp farklı deprem etkilerine maruz bırakılmış, deplasmanla gerilme değerleri elde edilmiş ve elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen araştırmaların ve çalışmaların neticesinde, ahşap minareler bugünün çağdaş inşa sistemlerine nazaran daha az kullanılsa da çevresel olarak geri dönüştürülebilmesi, işlenebilirliğiyle bulunmasının kolay olması, deprem etkisindeki rijit kırılmalara uğramaması, bunun yanı sıra kültür mirasımız olmasından kaynaklı olarak kullanılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Türkeli (2020), yaptığı bir çalışmada, tarihi İskenderpaşa Camisi minaresinin dinamik sismik ve rüzgar tepkisini incelemiştir. Çalışmada, TS498, CICIND Model Code and Eurocode 1 gibi farklı rüzgar yükleme prosedürleri, CICIND Model Code tasarım spektrumları ve farklı zemin türleri için Eurocode 8 yöntemleri kullanılarak veriler toplanmıştır. Çalışmanın sonunda, tepe yer değiştirmeleri ve gerilme dağılımları elde edilerek yorumlanmıştır. Bu çalışmanın bulguları, bu tarihi yığma

minarenin dinamik davranışının rüzgar ağırlıklı olduğunu (CICIND Model Kodu) ve geçiş bölümü ile minarenin silindirik gövdesinin birleşim noktasındaki çekme ve kayma gerilmesi birikimlerinin sünek davranış göstermediğini ve çökmenin ana nedeni olduğunu göstermiştir.

Kılıç ve ark., (2020) Kırklareli merkezinde yer alan tarihi Hızırbey Camisi minaresinin lineer dinamik analizini yapmıştır. Yapının duvarlarında kullanılan taş malzemenin mekanik özellikleri incelenerek, malzeme elastisite modülü belirlenmiştir. Minarenin dinamik analizi, mod birleştirme yöntemiyle 2007 ile 2018 Deprem Yönetmeliklerine (DBYBHY 2007 ile TBDY 2018) dayalı olarak SAP2000 yazılımı kullanılmak suretiyle yapılmıştır. Araştırmanın sonucunda, TBDY 2018 yönetmeliğine nazaran elde edilen yer değiştirmelerin, DBYBHY 2007 yönetmeliğine göre elde edilenlerden daha büyük olduğu saptanmıştır.

Erdoğan ve ark., (2019) yaptıkları bir çalışmada, Sultan Ahmed Camisi minaresinin kuvvetli deprem hareketi altındaki sismik davranışını incelemişlerdir. Sunulan çalışmada, caminin avlusunu çevreleyen revakla temas halinde olan Sultan Ahmed Camisi'nin M6 minaresinin dinamik davranışı ele alınmıştır. Minare ve revakın bireysel ve birleşik titreşim modlarını belirlemek amacıyla, sahada ortam titreşim testleri yapılmıştır. Sonlu/ayrık bir model geliştirilmiş ve sismik analiz yapılmıştır. Kıyaslamalı araştırma, kuvvetli ve çok kuvvetli deprem hareketi altında değişik modellerin davranışlarında ciddi farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır.

Günaydın (2018), Trabzon İskenderpaşa Camisi minaresinin onarımdan sonraki dinamik karakteristiklerinin, deneysel anlamda belirlenmesi amacıyla bir çalışma yapmıştır. Çalışmada, Deneysel Modal Analiz Metodu tercih edilmiştir. Ulaşılan dinamik karakteristikler, minarenin onarım öncesi sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve muhtemel farklılıklar ele alınmıştır. Çalışmadan ulaşılan neticeler, minarenin onarım uygulamaları ile beraber dinamik karakteristiklerinin de değiştiğini göstermiştir.

Çalık (2017), tarihsel camilerle minarelerin deneysel dinamik karakteristiklerinin belirlenmesiyle, restorasyon tesirlerinin değerlendirilmesine yönelik olarak bir doktora çalışması yapmıştır. Çalışmanın verileri, Çevresel Titreşim Testi Yöntemi ile elde edilmiştir. Çalışmada, Türkiye'nin değişik yerlerinde, otuzdan

fazla camiyle, farklı taşıyıcı sistemleri olan minareler incelenmiştir. Çalışmanın neticesinde, tarihsel camilerle minarelerin analitik tabii frekanslarının deneysel metotlara dayalı geliştirilmiş olan formülasyonlarla yakın olarak elde edilebileceği, sönüm oranıyla modal davranışlarının tahmin edilebileceği ifade edilmiştir. Ayrıca, restorasyonun yapıların dinamik karakteristiklerine önemli düzeyde etkileri olduğu da saptanmıştır.

Serhatoğlu (2015), yaptığı çalışmada, Bursa'daki onbeş adet tarihi Osmanlı cami minaresinin dinamik davranışlarını ve performanslarını incelemiştir. Araştırma kapsamında, minarelerin dinamik karakteristiklerini saptamak üzere, lineer sınırlar içinde çevresel titreşim testi uygulanmıştır. Ayrıca, söz konusu modal parametrelerin belirlenebilmesine yönelik olarak klasik frekans alanlı metot tercih edilmiştir. Minarelerin inşasında kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için, sahada ultrases testi, laboratuvaradaysa birim hacim ağırlık ile özgül ağırlık testleri yapılmıştır. Üç boyutlu sonlu elemanlar yaklaşımıyla, minarelerin yapısal davranışlarını temsil edecek matematiksel modeller oluşturulmuştur. Kalibrasyonlar ise modal testten sağlanan verilerle gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen minarelerin birinci mod periyotlarıyla, periyoda etkide bulunan parametreler arasında ilişkiler kurulup regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, incelenen beş minareye doğrusal olmayan itme analizi uygulanıp, talep-kapasite diyagramları elde edilmiş ve deprem performansları ele alınmıştır. Bu çalışmalar neticesinde, tarihsel minarelerdeki deprem hasarlarının genel olarak geçiş elemanı ile gövde arasındaki birleşim noktasında olduğu belirlenmiştir.

Baştürk (2013), Bursa tarihsel yığma minarelerinin dinamik davranışlarını modal analiz yöntemiyle incelemiştir. Bu inceleme, yedi yığma minare üzerinde yapılmıştır. Bu kapsamda, hassas ivme ölçerlerle uygun yazılımlar kullanılmak suretiyle, çevresel titreşim testleri yapılmıştır. Minareler üzerinde yapılmış olan çevresel titreşim testlerinden sağlanan verilerle, sayısal model çözümünden sağlanan sonuçların birbirleri ile örtüştüğü sonucuna varılmıştır.

Türk ve Coşgun (2012), araştırmalarında, Dolmabahçe Cami minaresi örneğinden hareketle tarihsel yığma minarelerin sismik davranışını incelemiştir. Aynı zamanda, tarihsel yığma minarelerde kullanılmakta olan küfeki taşının mekanik

özelliklerini analiz etmişlerdir. Bu çalışmada, minarenin dinamik davranışının tespiti, sonlu elemanlar yöntemi ile yapılmıştır. Minarenin ilk beş modu hesaplanmasının ardından deprem performansı gerçekleştirilmiştir. Minarenin depremden sonra hasar göreceği öngörülmüştür. Bundan dolayı, minarede kritik gerilmelerin gerçekleştiği noktalara fiberle güçlendirilmiş polimer (FRP) kullanılmak suretiyle, minarenin durumu analiz edilmiştir.

Altunışık (2011), yaptığı araştırmada, yığma minarelerin FRP malzemeyle güçlendirilmeden önce ve sonra dinamik davranışlarını değerlendirmiştir. Araştırmada, 1992 Erzincan depreminden elde edilen dataları kullanılmak suretiyle Trabzon ilindeki İskender paşa Camii incelenmiştir. Analizler sonlu elemanlar programı olan ansys ile yapılmıştır. Analizlerin sonucunda güçlendirilmenin ardından minarenin periyoduyla oluşan gerilmelerde kaydadeğer bir azalma görülmüştür. Minaredeki yer değiştirmeler de hemen hemen %60 civarında azalmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında kullanılan yığma minare, Aksaray il merkezinde bulunan Zafer Camisi'ne ait yığma taşıyıcı sistemli minaredir. Dinamik yapısal doğrulaması yapılabilmesi adına, teknik literatürden seçilmiştir (Ural ve Çelik, 2018). Ural ve Çelik (2018) yaptıkları çalışmada, Aksaray il merkezinde bulunan ve farklı yükseklikteki yedi adet yığma minarenin, 1992 yılı Erzincan Depremi, 1999 yılı Kocaeli Depremi, 2003 yılı Bingöl Depremi ve 2011 yılı Van spektrumlarını kullanarak deprem analizini lineer olarak gerçekleştirmişlerdir.

Zafer Camisi, Aksaray şehir merkezinde, Zafer Mahallesi'nde bulunmakta olup, 1956 yılında inşa edilmiştir (Şekil 3.1) (Badem, 2023).



Şekil 3.1 Zafer Camisi yığma minaresi (Badem, 2023)

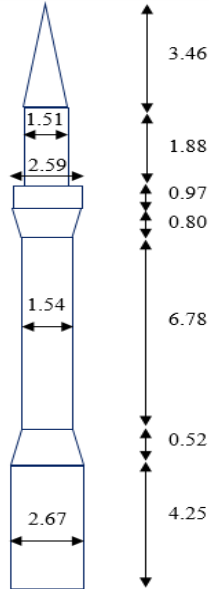
Ural ve Çelik (2018), yaptıkları çalışmada, malzeme özellikleri olarak, elastisite modülünü 4000 MPa, Poisson oranını 0.2 ve yığma malzeme birim ağırlığını ise 30 kN/m³ olarak belirlemişlerdir. Bu çalışma kapsamında modellenen Zafer Camisi minaresi için de, aynı malzeme özellikleri kullanılmış ve Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Aynı zamanda, bu çalışma kapsamındaki tüm analizler, doğrusal olarak ve zemin-yapı etkileşimi dikkate alınmadan gerçekleştirilmiştir.

Material Property Data

General Data	
Material Name and Display Color	yigma ■
Material Type	Other
Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	3.000E-05
Mass per Unit Volume	3.059E-09
Units	
N, mm, C	
Isotropic Property Data	
Modulus of Elasticity, E	4000
Poisson's Ratio, U	0.2
Coefficient of Thermal Expansion, A	1.170E-05
Shear Modulus, G	1666.6667
<input type="checkbox"/> Switch To Advanced Property Display	
OK Cancel	

Şekil 3.2 Bu çalışma kapsamında kullanılan malzeme özellikleri

Gerçekleştirilen ölçümlerde (Ural ve Çelik 2018), söz konusu yığma minareye ait geometrik özellikler tespit edilmiştir. Bu çalışma kapsamında modellenen yığma minare için de aynı geometrik özellikler dikkate alınmıştır (Şekil 3.3).

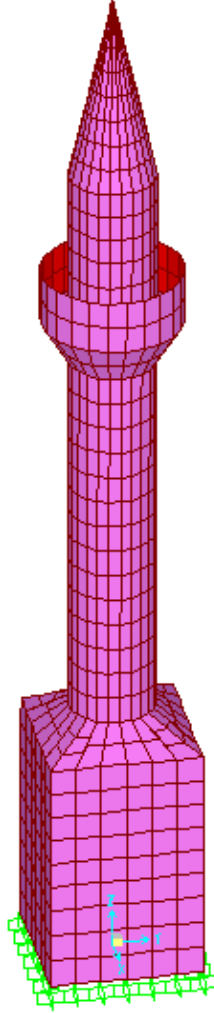


Notlar
 1-Tüm ölçüler metredir.
 2-Çizim ölçeksizdir.

Şekil 3.3 Bu çalışma kapsamında kullanılan minareye ait geometrik özellikler

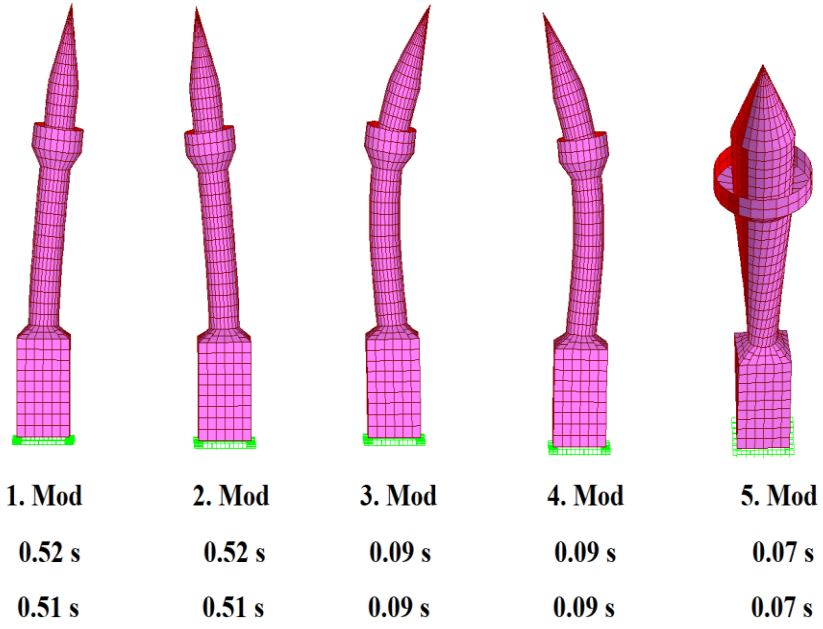
Ural ve Çelik (2018), Zafer Camisi minaresinin sonlu elemanlar modelini, LUSAS bilgisayar yazılımı kullanarak oluşturmuşlardır. Karşılaştırma ve bunun

sonucunda yapısal dinamik doğrulamanın yapılabilmesi adına, bu çalışmada, SAP2000 Ver. 14 (Computers & Structures, 2000) yapısal analiz programı kullanılmıştır. Söz konusu Zafer Camisi minaresinin sonlu elemanlar modeli, Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



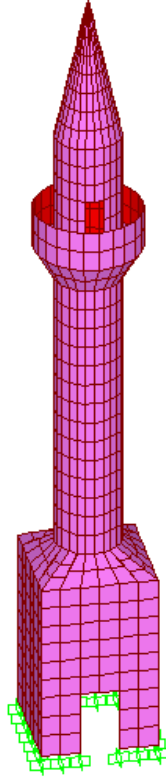
Şekil 3.4 Bu çalışma kapsamında kullanılan minareye ait sonlu elemanlar modeli (kapı boşluğu bulunmayan)

Bundan başka, bu çalışma kapsamında modellenen yığma minarenin yapısal dinamik doğrulaması, Ural ve Çelik (2018)'de sunulan modelin dinamik verileri ile kıyaslanarak gerçekleştirilmiş ve Şekil 3.5'te karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.



Şekil 3.5 Bu çalışma kapsamında kullanılan minareye ait sonlu elemanlar modelinin doğrulamasının yapılması

Şekil 3.5'ten açıkça görülebileceği üzere, Ural ve Çelik (2018), tarafından modellenen yapının dinamik verileri ile bu çalışma kapsamında modellenen dinamik veriler arasındaki fark %5'ten düşüktür. Bu durum, SAP2000'de üretilmiş olan sonlu elemanlar modelinin doğrulamasının gerçekleştirildiğini ve yapısal dinamik analizlerde kullanılabilirliğini göstermektedir. Bundan başka, Şekil 4.5'te doğrulaması yapılan sonlu elemanlar modelinde, herhangi bir kapı boşluğu bulunmamaktadır. Bu çalışma kapsamında uygulanacak deprem yüklerinin yönünün önemini tespit edebilmek amacı ile, sonlu elemanlar modeline, 1.5 metre yüksekliğinde, birincisi zemin seviyesinde, ikincisi ise balkon seviyesinde olmak üzere, iki adet kapı boşluğu eklenmiştir. Kapı boşluğu bulunan modelin sonlu elemanlar modeli, Şekil 3.6'da gösterilmektedir.

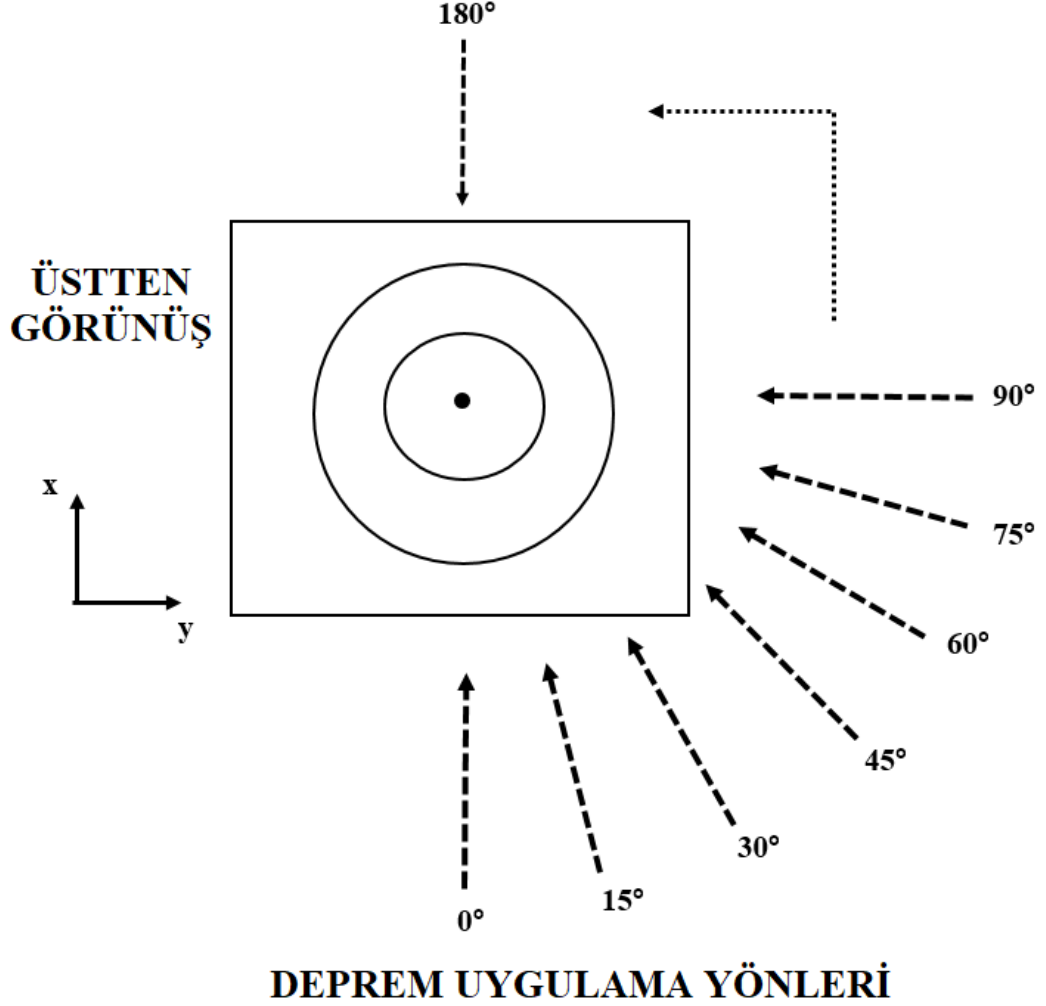


Şekil 3.6 Bu çalışma kapsamında kullanılan minareye ait sonlu elemanlar modeli (kapı boşluğu bulunan)

Kapı boşluğunun tanımlanması ile birlikte, yapının ilk 5 periyodunda da ufak değişimler (virgülden sonra iki basamak dikkate alındığından değişim olmamış gibi gözükmemektedir) meydana gelmiştir. Bunlar: 1. mod periyodu 0.51 saniye, 2. mod periyodu 0.51 saniye, 3. mod periyodu 0.10 saniye, 4. mod periyodu 0.10 saniye ve 5. mod periyodu ise 0.07 saniyedir. Burada, kapı boşluğunun yapıya eklenmesiyle, yapıya uygulanacak deprem yükünün hangi kritik eksen doğrultusunda etkittirilmesi gerektiği tespit edilebilmeye çalışılmaktadır.

Genel olarak, geleneksel bina tarzı yapılarda, deprem yükü yalnızca x ve y olmak üzere, iki eksen yönünde yapıya uygulanmaktadır. Eksenel simetrik olan yapılarda da, deprem yükünün hangi yönden uygulanacağına bir önemi bulunmamaktadır. Ancak, cidarlarında boşluk bulunan baca, minare, ışıklandırma kulesi gibi eksenel simetrik olmayan uzun ve narin yapılarda, deprem yükünün hangi yönden etki ettirilmesinin gerektiğinin tespit edilebilmesi, tasarım aşamasında büyük önem arz etmektedir.

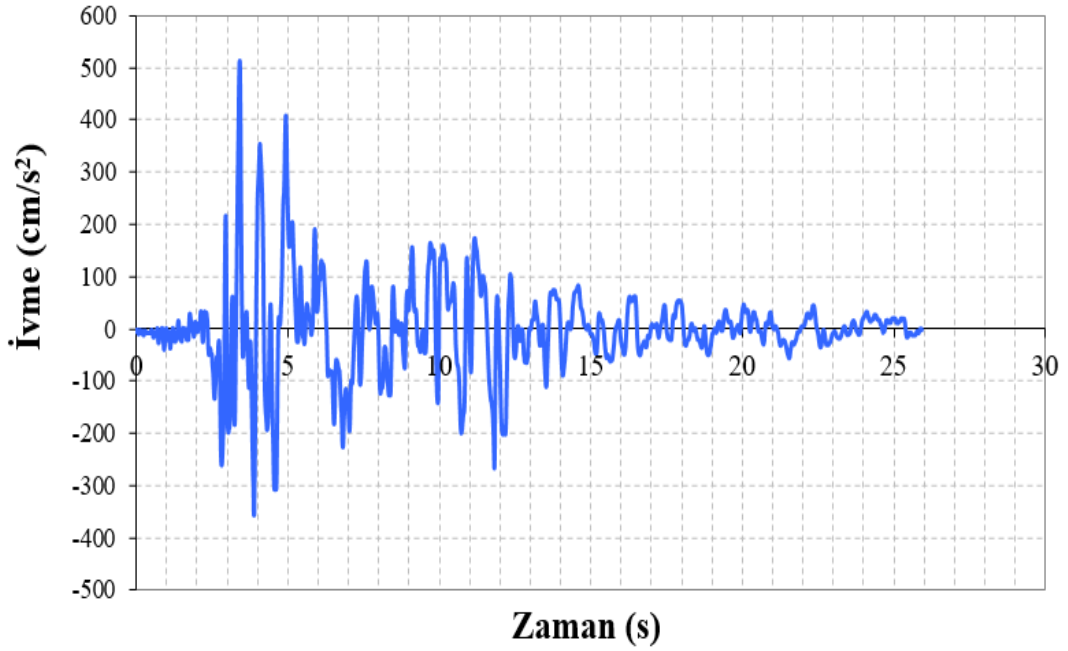
Bu çalışma kapsamında, söz konusu deprem yükü kritik ekseninin belirlenebilmesi amacıyla, yapıdaki x eksenini sıfır (0) derece kabul edilerek, 15'er derecelik açı artışlarıyla, 180 dereceye kadar deprem yükü, hem kapı boşluğu bulunan hem de kapı boşluğu bulunmayan yığma minare modeline uygulanmıştır. Bu durum, şematik olarak Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Model minareye deprem uygulama yönlerinin şematik gösterimi

Bu çalışmada, deprem uygulama yönünün söz konusu yığma minarenin yapısal davranışına etkisini belirleyebilmek amacı ile, Türkiye’de değişik zamanlarda meydana gelen yıkıcı depremlerin ivme kayıtları kullanılmıştır. Bunlar, 1999 yılında meydana gelen Düzce Depremi, 2011 yılında meydana gelen Van Depremi ve 2023 yılında meydana gelen Kahramanmaraş Depremleridir.

12.11.1999 M_w 7.2 Düzce (Kaynaşlı) Depremi, 17 Ağustos 1999'daki Gölcük depreminden 87 gün sonra, Gölcük depreminde oluşan kırılmalardan kaynaklı olarak oluşmuştur. 12.11.1999 M_w 7.2 Düzce (Kaynaşlı) Depremi, söz konusu fayın kalan 43 kilometrelik doğu kısmında kırılma meydana getirmiştir. Kırılan 43 kilometrelik kısım ile birlikte, Kuzey Anadolu Fay (KAF) zonunun kuzey kolunu oluşturan 73 kilometre uzunluğundaki Düzce fayı tamamen kırılmıştır. 12.11.1999 M_w 7.2 Düzce (Kaynaşlı) Depremi, Düzce'nin merkezi ve merkezin 15 kilometre batısında yer alan Kaynaşlı ilçesinde büyük yıkım ve hasara yol açmıştır (Düzce Valiliği, 2023). Bu çalışma kapsamında, zaman tanım alanındaki analizlerde kullanılan ve yukarıda detayları verilen 12.11.1999 M_w 7.2 Düzce (Kaynaşlı) Depremi'ne ait ivme zaman grafiği (PEER, 2023), Şekil 3.8'de sunulmuştur.



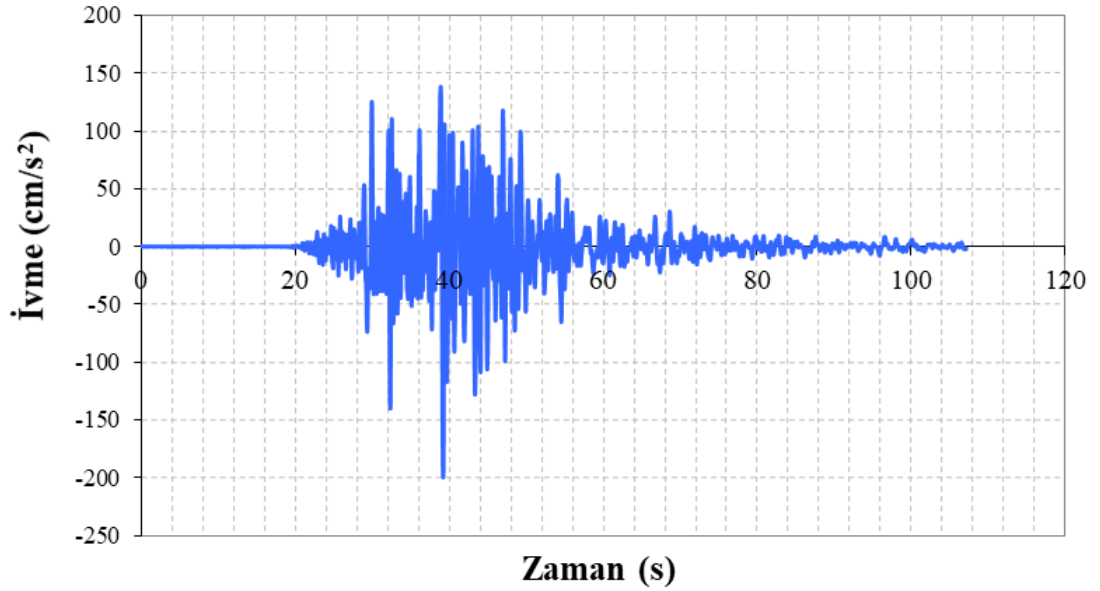
Şekil 3.8 12.11.1999 Mw 7.2 Düzce (Kaynaşlı) Depremi ivme-zaman grafiği (PEER, 2023)

Bundan başka, 12.11.1999 Mw 7.2 Düzce (Kaynaşlı) Depremi'nde hasar gören veya yıkılan yapılardan bazıları Şekil 3.9'da sunulmaktadır.



Şekil 3.9 12.11.1999 Mw 7.2 Düzce (Kaynaşlı) Depremi'nde hasar gören veya yıkılan yapılardan bazıları (Cebeci, 2022)

23.10.2011 Van-Erciş merkezli, M_w 7.2 büyüklüğünde, Van ve ilçelerinde çok kuvvetli bir şekilde hissedilen yıkıcı bir deprem hadisesi cereyan etmiştir. Van İli Erciş İlçesi, depremin meydana geldiği merkezden 30 kilometre uzaklıkta bulunmaktadır. Depremde toplam 604 vatandaşımız hayatını kaybetmiştir (AFAD, 2024). Bu çalışma kapsamında, zaman tanım alanındaki analizlerde kullanılan ve yukarıda detayları verilen Van-Erciş Depremi'ne ait ivme zaman grafiği (TADAS, 2024), Şekil 3.10'da sunulmuştur.



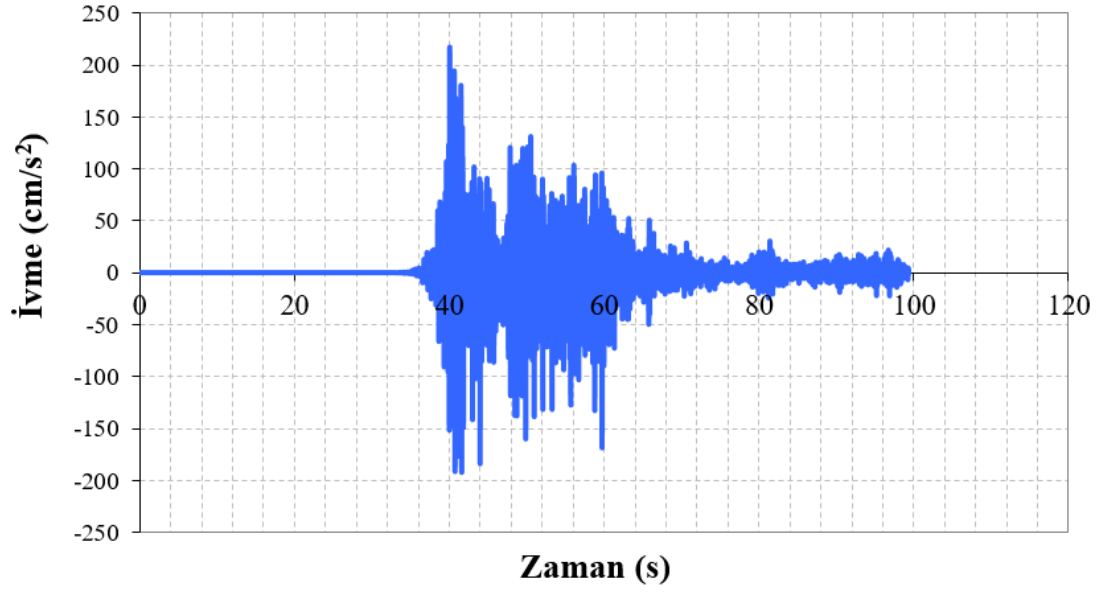
Şekil 3.10 23.10.2011 Van-Erciş Depremi ivme-zaman grafiği (TADAS, 2024)

23.10.2011 Van-Erciş Depremi'nde hasar gören veya yıkılan yapılardan bazıları Şekil 3.11'de sunulmaktadır.



Şekil 3.11 23.10.2011 Van-Erciş Depremi'nde hasar gören veya yıkılan yapılardan bazıları (Anonim, 2020)

06.02.2023 tarihinde, Kahramanmaraş ili Pazarcık merkezli olmak üzere, 04.17'de M_w 7.7 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Bundan 9 saat sonra da, Elbistan merkez üssü olmak üzere, M_w 7.6 büyüklüğünde ikinci bir deprem daha meydana gelmiştir. Bu iki yıkıcı ve geniş alanı etkileyen depremin ardından, bazıları şiddetli sayılabilecek 7184 artçı depremin meydana geldiği kayıtlara geçmiştir (AFAD, 2023). Bu iki depremin ardından, Kahramanmaraş, Adıyaman, Hatay, Malatya, Gaziantep, Adana, Kilis, Osmaniye, Diyarbakır, Şanlıurfa, Elazığ olmak üzere, on bir il olumsuz bir şekilde etkilenmiştir. Bu kadar geniş bir alanı etkileyen ve 53557 vatandaşımızın hayatını kaybettiği depremler, literatüre, "Asrın Felaketi" olarak girmiştir (TRT, 2024). Bu çalışma kapsamında, zaman tanım alanındaki analizlerde kullanılan ve yukarıda detayları verilen Kahramanmaraş Depremi'ne ait ivme zaman grafiği (TADAS, 2024), Şekil 3.12'de sunulmuştur.



Şekil 3.12 06.02.2023 Kahramanmaraş Depremi'ne ait ivme-zaman grafiği (TADAS, 2024)

06.02.2023 Kahramanmaraş Depremi'nde hasar gören veya yıkılan yapılardan bazıları Şekil 3.13 ve 3.14'te sunulmaktadır.

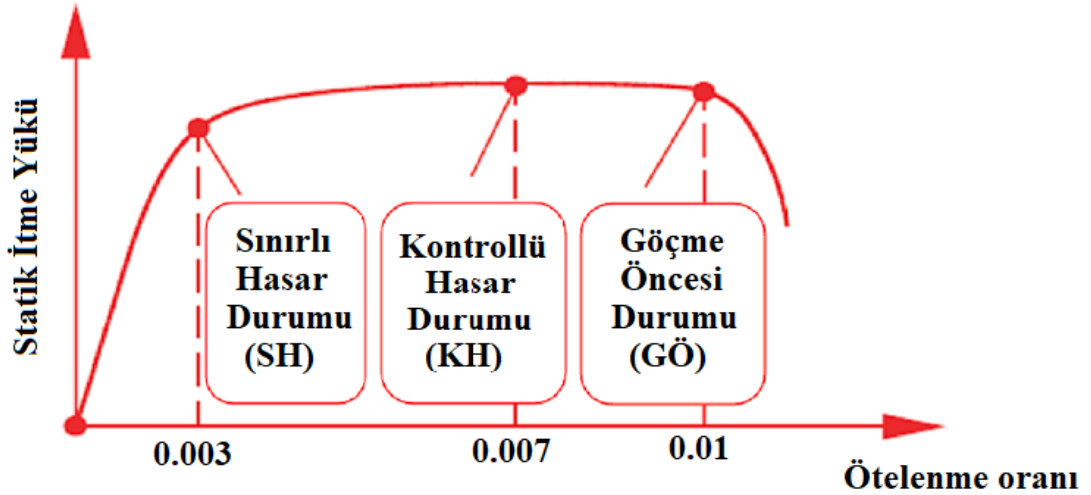


Şekil 3.13 06.02.2023 Kahramanmaraş Depremi'nde hasar gören veya yıkılan yapılardan bazıları (Anonim, 2023)



Şekil 3.14 06.02.2023 Kahramanmaraş Depremi'nde hasar gören veya yıkılan yapılardan bazıları (Anonim, 2023)

Yığma minarelerin yapısal performans değerlendirmesinde, Şekil 3.15'te verilen ötelenme oranlarının sınır durumları kullanılmaktadır (Aymelek ve ark., 2023). Buna göre, Sınırlı Hasar (SH) durumu, Kontrollü Hasar (KH) durumu ve Göçme Öncesi (GÖ) durumu olmak üzere, üç durum tanımlanmıştır.



Şekil 3.15 Ötelenme oranı sınır durum değerleri (Aymelek ve ark., 2023)

Buna göre, Kontrollü Hasar (KH) durumu, tasarım aşamasında izin verilen, yapıda toptan göçme oluşturmayan hasar durumunu ifade etmektedir. Şekil 3.15'ten görülebileceği üzere, Sınırlı Hasar (SH) durumu, Kontrollü Hasar (KH) durumu ve Göçme Öncesi (GÖ) durumu için ötelenme oranları, sırasıyla, 0.003, 0.007 ve 0.01

değerleridir (Aymelek ve ark., 2023). Yapısal analizi gerçekleştirilen yığma minare için ötelenme oranı:

$$\frac{\Delta_i}{h_i} \leq \left(\frac{\Delta_i}{h_i}\right)_{sınır} \quad (3.1)$$

Denklem 3.1’de, Δ_i yapının tepe deplasmanı, h_i ise yapının toplam yüksekliğini ifade etmektedir. Yapısal analiz sonucu elde edilen değerler, Denklem 3.1’de verilen sınır değerle kıyaslanmakta, buna göre yapının ilgili yük altındaki performansı hakkında fikir sahibi olunabilmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın bu bölümünde, Düzce, Van ve Kahramanmaraş depremlerinin ivme-zaman grafikleri kullanılarak, literatürden seçilmiş olan örnek bir yığma üzerinde, farklı deprem yükü uygulama yönleri için (0° 'den 180° 'ye kadar) yapısal analiz sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen bu analiz sonuçlarından, üzerinde kapı boşluğu bulunan ve kapı boşluğu bulunmayan yığma minareye etkittirilecek deprem yükünün uygulanması gerekli kritik ekseninin tespit edilebilmesine çalışılmıştır. Aynı zamanda, söz konusu deprem yükleri altında, yapının performans değerlendirilmesi de gerçekleştirilmiştir.

4.1. Tepe Deplasmanlarının Elde Edilmesi

Önceden de bahsedildiği üzere, deprem yükü uygulaması kritik ekseninin tespit edilebilmesi adına, söz konusu deprem yükleri, 0° 'den başlamak üzere (x-ekseni), 15° , 30° , 45° , 60° , 75° , 90° , 105° , 120° , 135° , 150° , 165° ve 180° 'ye kadar döndürülerek, sonlu elemanlar modeli oluşturulan Aksaray Zafer Camisi minaresine uygulanmıştır. Burada, kapı boşluğunun, deprem uygulaması kritik yönü üzerindeki etkisinin bulunması amacı ile, söz konusu deprem yükleri, hem kapı boşluğu bulunan hem de bulunmayan modele uygulanmıştır. Burada, tepe deplasmanı hesaplanırken, hem x hem y yönündeki deplasmanlar ayrı ayrı elde edilmiş ve mutlak sonuç deplasmanı hesap edilmiştir.

12.11.1999 M_w 7.2 Düzce (Kaynaşlı) Depremi için, üzerinde kapı boşluğu bulunan ve bulunmayan model için elde edilen tepe deplasmanları, Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 12.11.1999 M_w 7.2 Düzce (Kaynaşlı) Depremi için elde edilen x ve y yönlü tepe deplasmanları

Deprem Yüğü	Kapı Bulunmayan Model		Kapı Bulunan Model		Kapı Bulunmayan Model	Kapı Bulunan Model
	x	y	x	y		
düz-0	14.4182	0.0000	14.5099	0.0000	14.418200	14.509900
düz-15	13.9270	3.7317	14.0155	3.7501	14.418284	14.508532
düz-30	12.4866	7.2091	12.5659	7.2446	14.418263	14.504691
düz-45	10.1952	10.1952	10.2600	10.2454	14.418190	14.499511
düz-60	7.2091	12.4866	7.2549	12.5480	14.418263	14.494340
düz-75	3.7317	13.9270	3.7554	13.9955	14.418284	14.490585
düz-90	0.0000	14.4182	0.0000	14.4892	14.418200	14.489200
düz-105	3.7317	13.9270	3.7554	13.9955	14.418284	14.490585
düz-120	7.2091	12.4866	7.2549	12.5480	14.418263	14.494340
düz-135	10.1952	10.1952	10.2600	10.2454	14.418190	14.499511
düz-150	12.4866	7.2091	12.5659	7.2446	14.418263	14.504691
düz-165	13.9270	3.7317	14.0155	3.7501	14.418284	14.508532
düz-180	14.4182	0.0000	14.5099	0.0000	14.418200	14.509900

23.10.2011 M_w 7.2 Van-Erciş merkezli deprem için, üzerinde kapı boşluğu bulunan ve bulunmayan model için elde edilen tepe deplasmanları, Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 23.10.2011 M_w 7.2 Van-Erciş depremi için elde edilen x ve y yönlü tepe deplasmanları

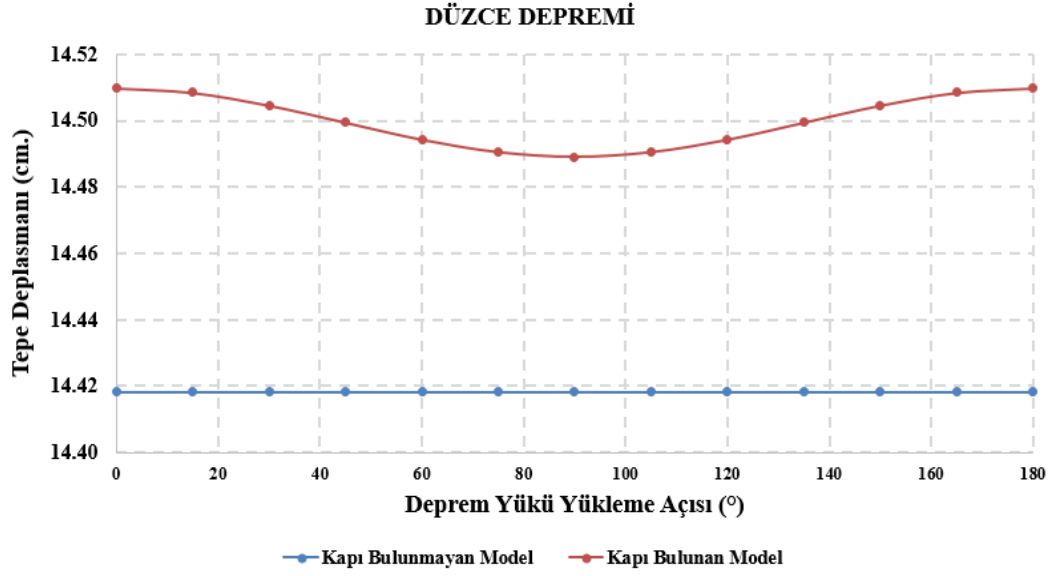
Deprem	Kapı Bulunmayan Model		Kapı Bulunan Model		Kapı Bulunmayan Model	Kapı Bulunan Model
	x	y	x	y		
van-0	8.5292	0.0000	8.5579	0.0000	8.529200	8.557900
van-15	8.2386	2.2075	8.2663	2.1998	8.529220	8.553995
van-30	7.3865	4.2646	7.4113	4.2498	8.529197	8.543311
van-45	6.0311	6.0311	6.0513	6.0101	8.529263	8.528747
van-60	4.2646	7.3865	4.2789	7.3608	8.529197	8.514127
van-75	2.2075	8.2386	2.2149	8.2099	8.529220	8.503425
van-90	0.0000	8.5292	0.0000	8.4995	8.529200	8.499500
van-105	2.2075	8.2386	2.2149	8.2099	8.529220	8.503425
van-120	4.2646	7.3865	4.2789	7.3608	8.529197	8.514127
van-135	6.0311	6.0311	6.0513	6.0101	8.529263	8.528747
van-150	7.3865	4.2646	7.4113	4.2498	8.529197	8.543311
van-165	8.2386	2.2075	8.2663	2.1998	8.529220	8.553995
van-180	8.5292	0.0000	8.5579	0.0000	8.529200	8.557900

06.02.2023 Mw 7.7 Kahramanmaraş Depremi için, üzerinde kapı boşluğu bulunan ve bulunmayan model için elde edilen tepe deplasmanları, Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

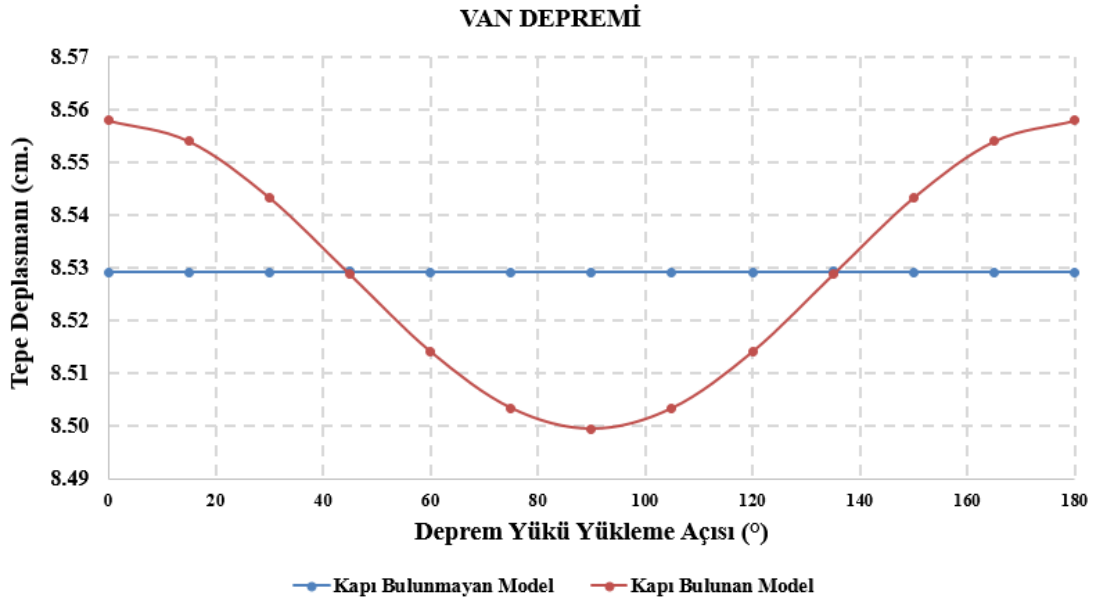
Çizelge 4.3 06.02.2023 M_w 7.7 Kahramanmaraş Depremi için elde edilen x ve y yönlü tepe deplasmanları

Deprem	Kapı Bulunmayan Model		Kapı Bulunan Model		Kapı Bulunmayan Model	Kapı Bulunan Model
	x	y	x	y		
kah-0	20.6021	0.0000	20.6822	0.0000	20.602100	20.682200
kah-15	19.9001	5.3322	19.9775	5.3606	20.602095	20.684210
kah-30	17.8419	10.3010	17.9113	10.3559	20.602039	20.689595
kah-45	14.5679	14.5679	14.6245	14.6454	20.602122	20.696950
kah-60	10.3010	17.8419	10.3411	17.9369	20.602039	20.704365
kah-75	5.3322	19.9001	5.3529	20.0060	20.602095	20.709746
kah-90	0.0000	20.6021	0.0000	20.7117	20.602100	20.711700
kah-105	5.3322	19.9001	5.3529	20.0060	20.602095	20.709746
kah-120	10.3010	17.8419	10.3411	17.9369	20.602039	20.704365
kah-135	14.5679	14.5679	14.6245	14.6454	20.602122	20.696950
kah-150	17.8419	10.3010	17.9113	10.3559	20.602039	20.689595
kah-165	19.9001	5.3322	19.9775	5.3606	20.602095	20.684210
kah-180	20.6021	0.0000	20.6822	0.0000	20.602100	20.682200

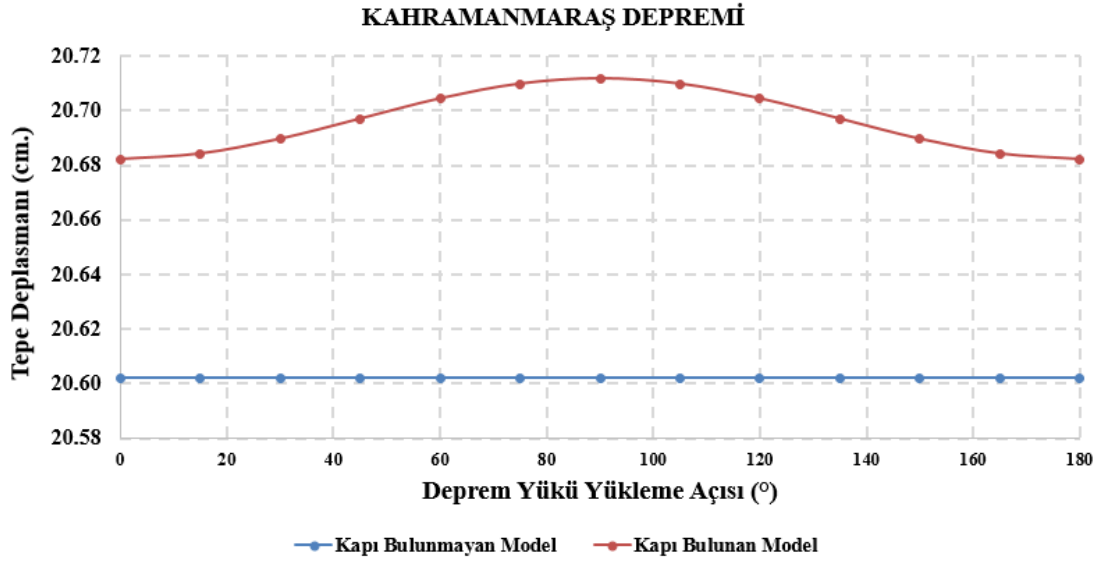
Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te sunulmuş olan mutlak tepe deplasmanları, grafiksel olarak Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.1 12.11.1999 M_w 7.2 Düzce (Kaynaşlı) Depremi için elde edilen mutlak tepe deplasmanları



Şekil 4.2 23.10.2011 M_w 7.2 Van-Erciş depremi için elde edilen mutlak tepe deplasmanları

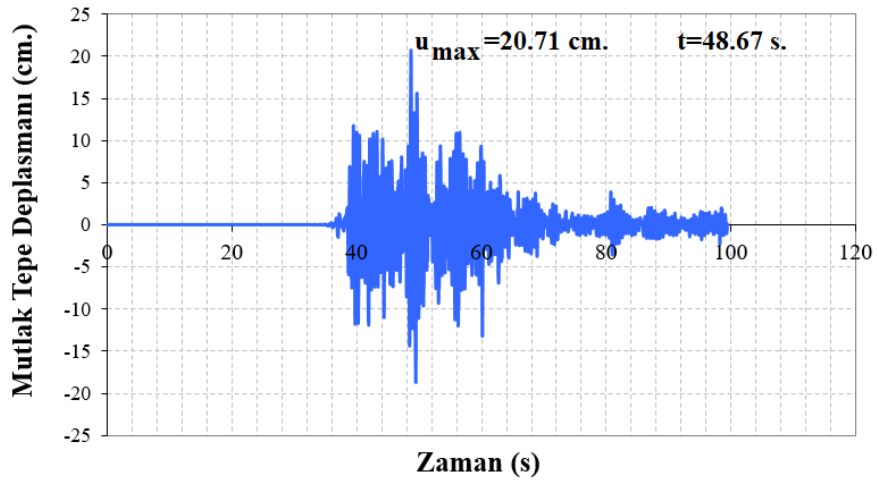


Şekil 4.3 06.02.2023 M_w 7.7 Kahramanmaraş Depremi için elde edilen mutlak tepe deplasmanları

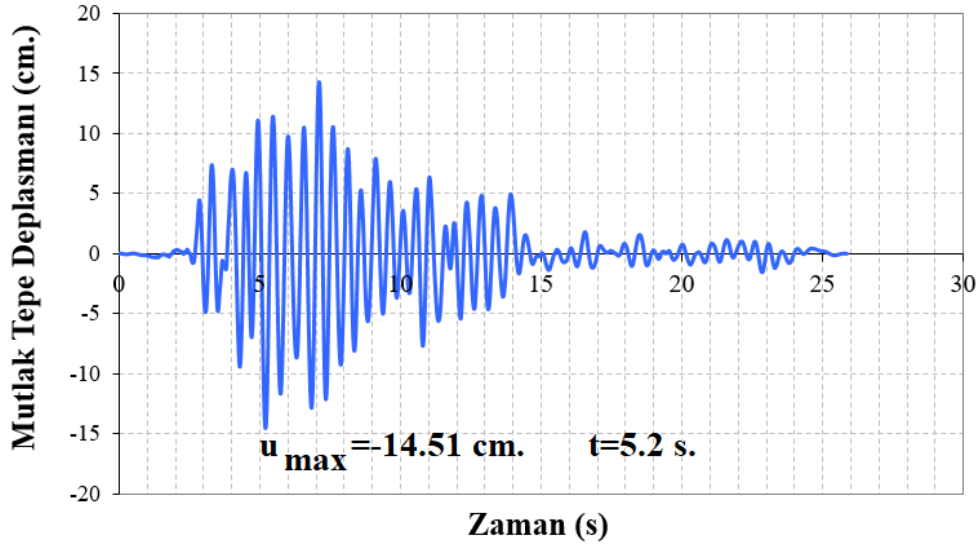
Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 detaylı bir şekilde incelendiğinde: üzerinde kapı boşluğu bulunmayan model, eksenel simetrik bir yapı olduğundan dolayı, deprem yükünün hangi yönden uygulanırsa uygulanırsın, mutlak tepe deplasmanında bir değişiklik meydana getirmemiştir. Yani, söz konusu şekillerdeki mavi ile gösterilen tepe deplasmanı, deprem yükünün yapıya uygulama açısı ile değişmemiştir. Ancak, modele kapı boşluğu eklenmesi ile birlikte, yapının eksenel simetrik özelliği bozulmuştur. Bununla beraber, Düzce ve Van Depremleri için en büyük mutlak tepe deplasmanı 0° ve onun tam simetriği olan 180° uygulama açısında meydana gelmiş, bu uygulama yönlerine tam dik olan 90° uygulama açısında ise en küçük değerini almıştır. Bundan başka, Kahramanmaraş depreminde ise, Düzce ve Van depremlerinden farklı olarak, en büyük tepe deplasmanı, kapı boşluğuna tam dik olan 90° uygulama açısında meydana gelmiş, 0° ve 180° uygulama açısında ise en küçük değerini almıştır. Buradan, Zafer Camisi minaresi modeli için şu sonuç çıkarılabilir: üzerinde kapı boşluğu bulunan eksenel simetrik olmayan yığma minare modeli için, deprem yükünün karakteristiğine göre, tasarım aşamasında, 0° (veya onun tam simetriği olan 180°) ve 90° uygulama yönleri dikkate alınmalı, hangi yönden daha büyük sonuç elde ediliyorsa, o eksen kritik eksen olarak kabul edilmeli ve yapısal dinamik analizler, o eksen baz alınarak gerçekleştirilmelidir. Ancak, burada şu hususa özellikle dikkat çekmekte fayda bulunmaktadır. Bu çalışmada elde edilen yukarıdaki sonuçların yığma minareler için genellenebilmesi ancak daha fazla

sayıda yığma minare modeli üzerinde, daha fazla sayıda ve değişik karakteristikte depremin, daha hassas açılarla yapıya uygulanması (örneğin 5'er derecelik artışlarla) ile mümkün olabilir.

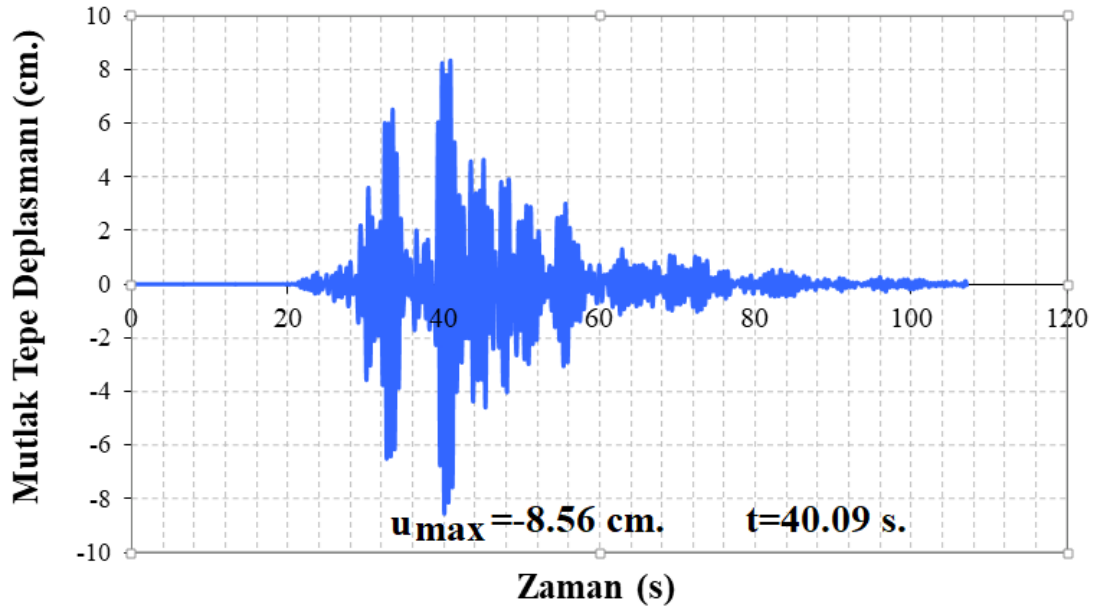
Bir başka husus ise, mutlak tepe deplasmanlarının büyüklüğü ile ilgilidir. Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'ten söz konusu yığma minare modeli için en büyük tepe deplasmanı, "Asrın Felaketi" olarak literatüre geçmiş olan Kahramanmaraş Depremi'nde (90° uygulama yönü) meydana gelmiştir. Bu değer, 20.71 cm olarak tespit edilmiştir. Yine, Düzce Depremi ve Van Depremi için en büyük tepe deplasmanı değerleri (0° uygulama yönü), sırasıyla, 14.51 cm. ve 8.56 cm. olarak elde edilmiştir. Buradan, Kahramanmaraş Depremi için elde edilen tepe deplasmanı değerinin, Düzce Depremi için elde edilen tepe deplasmanı değerinden yaklaşık 1.5 kat, Van Depremi için elde edilen tepe deplasmanı değerinden ise yaklaşık 2.5 kat daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durum da, Kahramanmaraş Depremi'nden elde edilen ivme değerlerinin ne denli şiddetli, büyük ve yıkıcı olduğunu bir kez daha gözler önüne sermektedir. Ayrıca, en büyük mutlak tepe deplasmanı değerlerinin elde edildiği uygulama yönleri için (kapı boşluğu bulunan model), Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da sırasıyla, Kahramanmaraş, Düzce ve Van depremleri altında, tepe deplasmanının zamana bağlı değişimleri sunulmuştur.



Şekil 4.4 06.02.2023 M_w 7.7 Kahramanmaraş Depremi için 90° uygulama yönünde tepe deplasmanının zamana bağlı değişimi

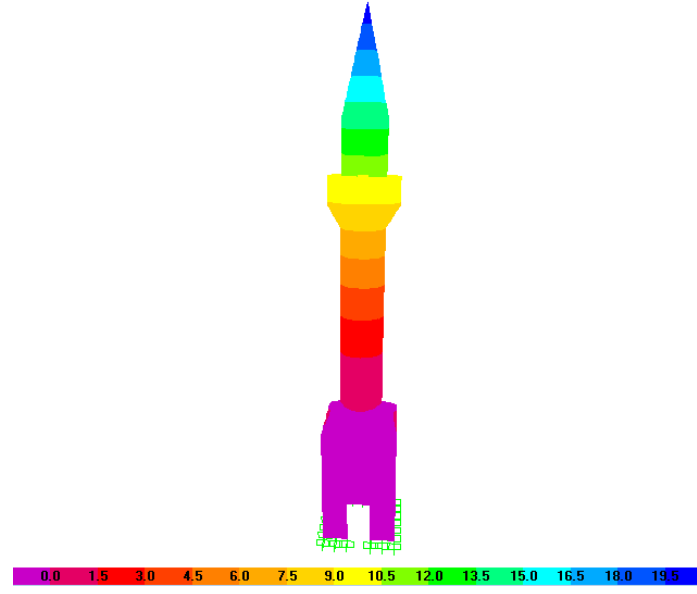


Şekil 4.5 12.11.1999 M_w 7.2 Düzce (Kaynaşlı) Depremi için 0° uygulama yönünde tepe deplasmanının zamana bağlı değişimi

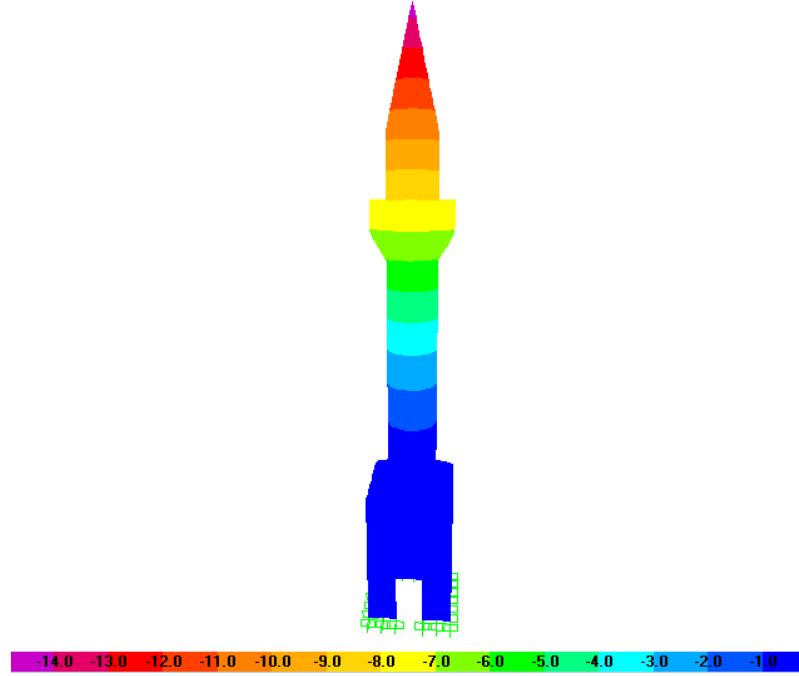


Şekil 4.6 23.10.2011 M_w 7.2 Van-Erciş depremi için 0° uygulama yönünde tepe deplasmanının zamana bağlı değişimi

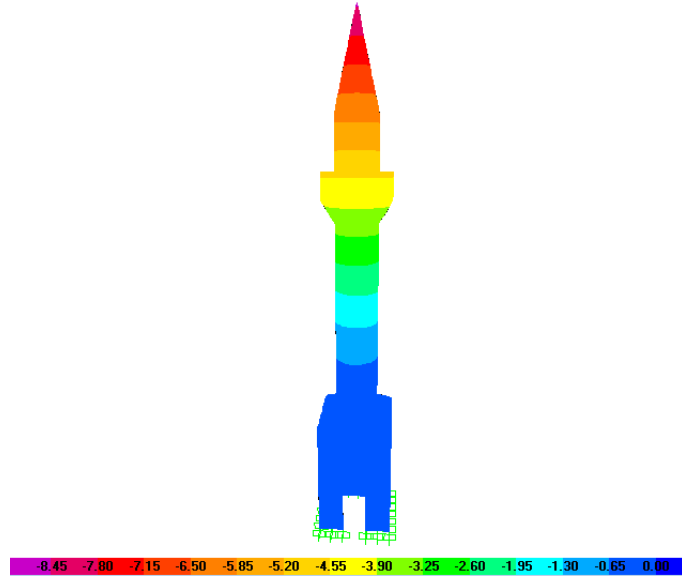
Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da, sırasıyla, Kahramanmaraş (90° uygulama yönünde), Düzce (0° uygulama yönünde) ve Van (0° uygulama yönünde) depremleri altında, en büyük tepe deplasmanı oluşan zaman için, oluşan deplasmanın yüksekliğe bağlı olarak değişimi sunulmuştur (Kapı boşluğu bulunan model).



Şekil 4.7 06.02.2023 M_w 7.7 Kahramanmaraş Depremi için 90° uygulama yönünde deplasmanın yüksekliğe bağlı değişimi



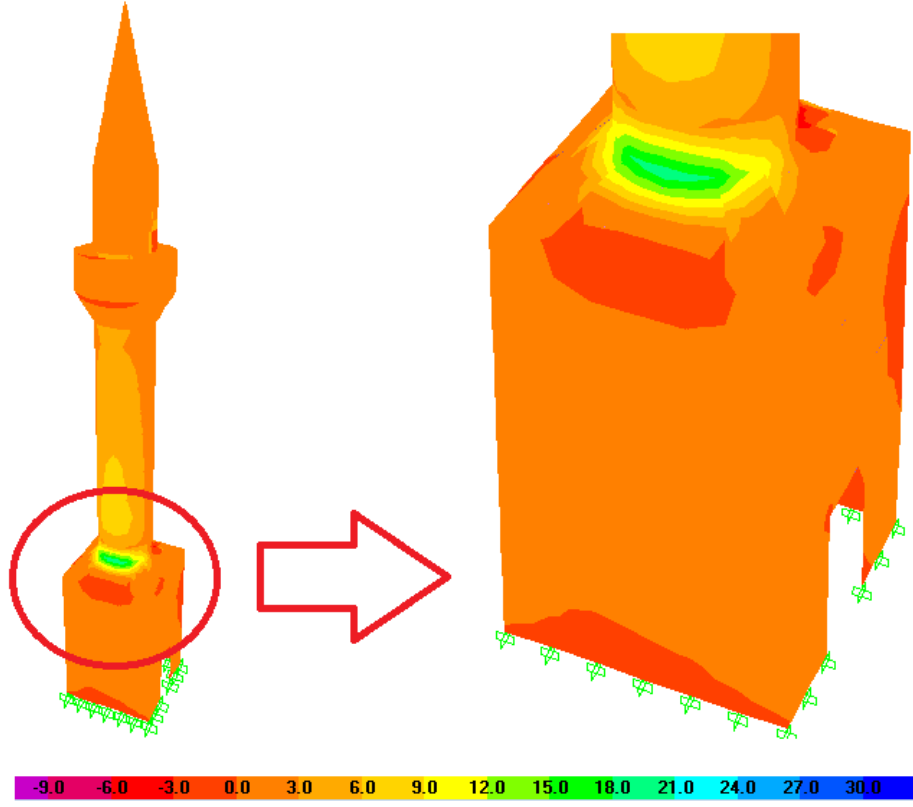
Şekil 4.8 12.11.1999 M_w 7.2 Düzce (Kaynaşlı) Depremi için 0° uygulama yönünde deplasmanın yüksekliğe bağlı değişimi



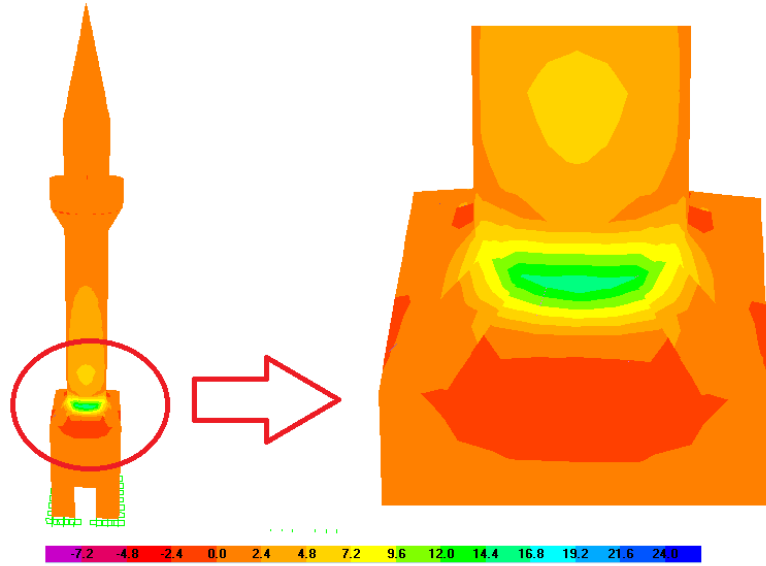
Şekil 4.9 23.10.2011 M_w 7.2 Van-Erciş depremi için 0° uygulama yönünde deplasmanın yüksekliğe bağlı değişimi

4.2. Gerilme Değerlerinin Elde Edilmesi

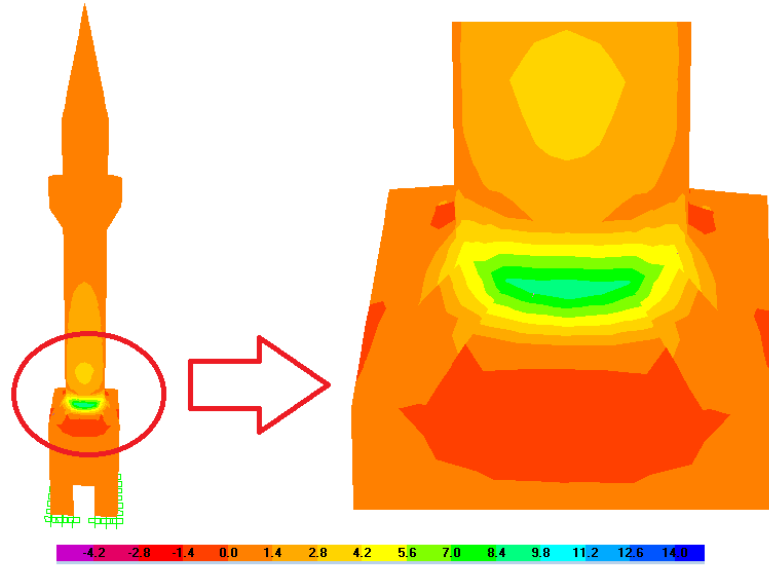
Tezin 3.1 bölümünde de bahsedildiği üzere, bu çalışma kapsamında kullanılan yığma minare modeli için en büyük mutlak tepe deplasman değeri, Kahramanmaraş Depremi'nde (90° uygulama yönü) meydana gelmiştir. Bu değeri, en büyük tepe deplasmanı değerleri (0° uygulama yönü) olarak, Düzce Depremi ve Van Depremi için sırasıyla, 14.51 cm. ve 8.56 cm. olarak izlemektedir. Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de, sırasıyla, en büyük mutlak tepe deplasman değerlerinin elde edildiği zamanlarda, Kahramanmaraş Depremi (90° uygulama yönü), Düzce Depremi (0° uygulama yönü) ve Van Depremi (0° uygulama yönü) için, söz konusu yığma minare modelinde oluşan maksimum (S_{max}) gerilme değerleri, MPa cinsinden gösterilmiştir.



Şekil 4.10 06.02.2023 M_w 7.7 Kahramanmaraş Depremi için 90° uygulama yönünde S_{max} gerilme değerleri (MPa)



Şekil 4.11 12.11.1999 M_w 7.2 Düzce (Kaynaşlı) Depremi için 0° uygulama yönünde S_{max} gerilme değerleri (MPa)



Şekil 4.12 23.10.2011 M_w 7.2 Van-Erciş depremi için 0° uygulama yönünde S_{max} gerilme değerleri (MPa)

Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de, S_{max} gerilme değerleri, söz konusu modellenen minare üzerinde gösterilmiş olup, en büyük değerleri, Kahramanmaraş Depremi (90° uygulama yönünde) için 28.12 MPa, Düzce Depremi (0° uygulama yönünde) için 23.19 MPa ve Van-Erciş depremi (0° uygulama yönünde) için ise 13.59 MPa olarak elde edilmiştir.

Bundan başka, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de, S_{max} gerilme değerlerinin oluştuğu bölge incelendiğinde, küp şekli olan kaide ile silindirik şekli olan gövde kısmının birleşiminin hemen üzerinde birikim gösterdiği görülmektedir. Şekil 4.13’te gösterilen ve 2023 yılındaki Kahramanmaraş depreminde yıkılan Elbistan’daki tarihi Atik Camisi’nin minaresi, yine yukarıda bahsedilen bölgeden gevrek bir şekilde kırılarak yıkılan yığma minarelere bir örnektir (Soyluk ve Demircan, 2023).



Şekil 4.13 06.02.2023 M_w 7.7 Kahramanmaraş Depremi'nde yıkılan Elbistan'daki tarihi Atik Camisi'nin minaresi (Soyluk ve Demircan, 2023)

4.3. Yapısal Performans Değerlendirmesi

Çalışmanın bu bölümünde, tepe deplasman değerlerinin, üzerinde boşluk bulunmayan modelden daha fazla olmasından dolayı, üzerinde kapı boşluğu bulunan söz konusu yığma minarenin, deprem performans değerlendirilmesi üzerinde durulacaktır. Burada şunu belirtmekte fayda bulunmaktadır: söz konusu yığma minarenin deprem performans değerlendirilmesi, mutlak tepe deplasmanının her bir deprem için en büyük değeri aldığı yöndeki değer esas alınarak yapılmıştır. Çizelge 4.4'te, yapının performans değerlendirilmesine esas alınacak görelî ötelenme oranları hesaplanmış ve limit değerlerle kıyaslanması gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 Yığma minare modelinin (üzerinde kapı bulunan) farklı depremler altındaki en büyük görelî ötelenme oranları

Deprem	Kapı Bulunan Model (Δ_i) (cm)	h_i (m)	Δ_i/h_i	Hasar Durumları			
				SH (0.003)	KH (0.007)	GÖ (0.01)	>GÖ
van-0	8.557900	18.66	0.00458623		x		
kah-90	20.711700	18.66	0.01109952				x
düzce-0	14.509900	18.66	0.00777594			x	

Çizelge 4.4'ten görülebileceği üzere, söz konusu yığma minare, Van depremi altında, "Kontrollü Hasar" bölgesindedir. Bu durum, yapının söz konusu deprem altında güvenli tarafta olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde, Düzce depremi altında, yapı, "Göçme Öncesi" bölgede bulunmaktadır. Bu durum, yapının güvenli tarafta olmadığını ve yıkılma olasılığı olduğunu göstermektedir. Son olarak, Kahramanmaraş depremi altında, yapı, "Göçme Öncesi" bölgenin de ötesine geçmiştir. Bu bölge, artık yapının toptan göçme yapmasından hemen önceki bölgedir. Yapı hiçbir şekilde güvende değildir ve çok büyük olasılıkla yıkılmaya maruz kalacaktır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmanın temel amacı, üzerinde kapı boşluğu bulunan ve eksenel simetrik olmayan yığma minareler için, tasarım aşamasında, deprem uygulama kritik ekseninin tespit edilebilmesini sağlamaktır. Bu doğrultuda, teknik literatürden yapısal dinamik doğrulaması yapılabilen ve Aksaray il merkezinde bulunan Zafer Camisi minaresi seçilmiştir. Daha sonra, Türkiye’de yakın zamanda meydana gelen ve birçok can kaybının yaşandığı 1999 Düzce Depremi, 2011 Van Depremi ve 2023 Kahramanmaraş Depremi, söz konusu minareye, 0°’den başlamak üzere (x-ekseni), 15’er derecelik artışlarla, 180°’ye kadar etki ettirilmiş ve bunun sonucunda yapısal analiz sonuçları elde edilmiştir. Çalışmanın sonunda da, bu çalışma kapsamında incelenen yığma minarenin deprem performans değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada değerlendirilen analiz sonuçlarından birincisi, söz konusu yığma minarenin tepe noktasında oluşan tepe deplasmanlarının değerlendirilmesidir. Göz önüne alınan üç depremden, yapıda en fazla tepe deplasmanı oluşturan deprem, 20.71 cm.’lik değer ile Kahramanmaraş depremidir. Bu depremi, 14.51 cm. ile Düzce depremi ve 8.56 cm.’lik tepe deplasmanı değeri ile Van depremi takip etmektedir. “Asrın Felaketi” olarak teknik literature geçmiş olan Kahramanmaraş depreminin büyüklüğü, şiddeti ve yıkıcılığı burada bir kez daha gözler önüne serilmektedir.

Aynı zamanda, bu çalışma kapsamında göz önüne alınan üç deprem de, üzerinde kapı boşluğu bulunan ve kapı boşluğu bulunmayan modele, 0°’den başlamak üzere (x-ekseni), 15’er derecelik artışlarla, 180°’ye kadar etki ettirilmiş ve her bir uygulama yönü için tepe deplasmanları elde edilmiştir. Buradan, depremin uygulanması gereken kritik eksen tespit edilebilmeye çalışılmıştır. Bu eksen, Düzce ve Van depremleri için x eksenini (yani kapı boşluğunun tam ortası), Kahramanmaraş depremi için ise, kapı boşluğuna tam dik olan eksen (yani y eksenini doğrultusu) oluşturmuştur. Bu durum, söz konusu yığma minarenin kritik ekseninin tespiti için şu hususu ortaya çıkmaktadır: Üzerinde kapı boşluğu bulunan ve eksenel simetrik olmayan yığma minareler için, tasarım aşamasında, kritik olarak x ve y eksenleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu iki kritik eksen haricindeki yüklemelerden elde edilen değerler, kritik x ve y eksenlerinden elde edilen değerlerin arasında kalmaktadır. Buradan, söz konusu minare için, depremin karakteristiklerine bağlı olarak, kritik

eksenin değişerek x ve y eksenlerinden bir tanesinde oluştuğu sonucuna varılmıştır. Ancak, elde edilen bu sonucun genellenebilmesi için, çok fazla sayıda yığma minare üzerinde, farklı özellikteki ve farklı karakteristikteki depremler altında yapısal dinamik analizlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Çalışmada değerlendirilen analiz sonuçlarından ikincisi, en büyük gerilme (S_{max}) değerleridir. Bu değerler, Kahramanmaraş Depremi (90° açısında) için 28.12 MPa, Düzce Depremi (0° açısında) için 23.19 MPa ve Van-Erciş depremi (0° açısında) için ise 13.59 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda, en büyük gerilme değerlerinin, söz konusu yığma minarenin kaide ile gövde kısmının birleşim noktasının hemen üzerinde oluştuğu grlmştir. Son depremlerde oluşan yığma minare yıkılmaları incelendiğinde, kırılmaların genellikle bu bölgeden olması, bu çalışmada elde edilen bulguları destekler niteliktedir.

Çalışmada değerlendirilen son husus ise, üzerinde kapı boşluğu bulunan modelin, bu çalışma kapsamında göz önünde bulundurulan depremler altında sergileyebileceği performanstır. Van depremi altında, söz konusu minarenin hasar oranı, “Kontrollü Hasar” bölgesinde olup, yapı güvenli tarafta kalmaktadır. Düzce depremi altında ise, yapı, “Göçme ncesi” bölgede bulunmaktadır ve bu durum yapının güvenli tarafta olmadığını, aynı zamanda yıkılma olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir. Son olarak ise, Kahramanmaraş depremi altında ise, yapı, “Göçme ncesi” bölgenin de ötesine geçmektedir. Bu bölgede, artık yapının toptan göçme yapmasından hemen önceki bölgedir. Yapı, güvenli tarafta değildir ve çok yüksek ihtimalle bir yıkıma maruz kalacaktır.

Özetle, bu çalışma kapsamında, teknik literatürden seçilen ve doğrulanarak modellenmesi gerçekleştirilen Zafer Camisi minaresi, yapısal anlamda incelenmiştir. Burada, şunu belirtmekte fayda vardır: Bu tez kapsamında elde edilen bu sonuçlar, analiz yapılan minareye ve minareye uygulanan depremlere aittir. Bu sonuçların genellenebilmesi için, çok fazla sayıda ve dinamik özellikleri değişik yığma minare üzerinde, farklı karakteristik özellikteki ve fazla sayıda depremler altında yapısal dinamik analizlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

- AFAD, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (2023). Kahramanmaraş'ta Meydana Gelen Depremler Hk.-34. <https://www.afad.gov.tr/kahramanmarasta-meydana-gelen-depremler-hk-34>-(Erişim tarihi: 07.02.2024).
- AFAD, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (2024). Van Depremi Hakkında. <https://www.afad.gov.tr/van-depremi-hakkinda>-(Erişim tarihi: 03.02.2024).
- Aliyazıoğlu, C. (2004). Bir sentez çalışması ışığında betonarme sanayi bacalarının farklı yöntemlerle çözümlenmeleri ve tasarımları. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Altunışık, A. C. (2011). Dynamic response of masonry minarets strengthened with fiber reinforced polymer (FRP) composites. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 2011–2019.
- Anonim (2020). Sabah Gazetesi Resmi Sitesi. Van'daki depremin şiddeti kaçtı? 2011 Van Erçiş depremi kaç saniye sürdü, kaç şiddetinde oldu. <https://www.sabah.com.tr/yasam/vandaki-depremin-siddeti-kacti-2011-van-ercis-depreminde-kac-kisi-hayatini-kaybetti-5222727>-(Erişim tarihi: 07.02.2024).
- Anonim, (2021). El-Ezher Camii. https://tr.wikipedia.org/wiki/El-Ezher_Camii-(Erişim tarihi: 03.02.2024).
- Anonim (2023). Sabah Gazetesi Resmi Sitesi.Kahramanmaraş depreminde ölü ve yaralı sayısı kaç? 9 Şubat 2023 Kahramanmaraş depreminde kaç kişi öldü ve kaç bina yıkıldı. <https://www.sabah.com.tr/galeri/yasam/depreminde-son-durum-9-subat-2023-kahramanmaras-depreminde-kac-kisi-oldu-kac-yarali-var-kac-bina-yikildi>-(Erişim tarihi: 07.02.2024).
- Anonim, (2024a). Burana Kulesi. https://tr.wikipedia.org/wiki/Burana_Kulesi-(Erişim tarihi: 03.02.2024).
- Anonim, (2024b). Bibi-Heybat Mosque. https://en.wikipedia.org/wiki/Bibi-Heybat_Mosque-(Erişim tarihi: 03.02.2024).
- Anonim, (2024c). Samarra Ulu Camii. https://tr.wikipedia.org/wiki/Samarra_Ulu_Camii-(Erişim tarihi: 03.02.2024).
- Aymelek, A., Yanık, Y., Demirtaş, B., Yıldırım, Ö., Çalık, İ., & Türker, T. (2023). Full-scale structural evaluations of İskenderpaşa minaret. *Structures*, 55, 1028-1044.
- Badem, M. (2023). Zafer Camii, Aksaray. <https://dunyacamileri.blogspot.com/2012/02/zafer-camii-aksaray.html>-(Erişim tarihi: 03.02.2024).
- Baştürk, M. H. (2013). Bursa tarihi yığma minarelerinin dinamik davranışlarının modal analiz yöntemi ile incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Beksaç, E. (2002). Kurtuba Ulucamii. <https://islamansiklopedisi.org.tr/kurtuba-ulucamii>-(Erişim tarihi: 03.02.2024).

- Canbaz, M., Karanfil, H. & Topçu, İ.B. (2005). Horasan harç ve betonunun özellikleri. Yapı mekaniği semineri, 1 Temmuz, Eskişehir.
- Cebeci, E.B. (2022). Düzce Depremi'nin 23.yıl dönümü! 12 Kasım Düzce Depremi ne zaman, kaç şiddetinde oldu. <https://www.haberturk.com/duzce-depremi-nin-23yil-donumu-12-kasim-duzce-depremi-ne-zaman-kac-siddetinde-oldu-ve-ne-kadar-surdu-3538063/3->(Erişim tarihi: 03.02.2024).
- Computers & Structures, Inc. "Sap 2000: Integrated Software for Structural Analysis and Design", [computer program] Available at:<https://www.csiamerica.com/products/sap2000->(Erişim Tarihi: 20.01.2024)
- Coşkun, C., Türk A.M. (2012). Sesimic behaviour and retrofit of historical masonry minaret. *Gradevinar*, 64, 39-45.
- Çalık, İ. (2017). Tarihi cami ve minarelerin deneysel dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi ve restorasyon etkilerinin değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Çiçek, A. (2021). Betonarme sanayi bacalarında deprem etkilerinin incelenmesi ve bu yapıların deprem yüklerine göre hesabı. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun.
- Doğangün, A., Acar, R., Livaoğlu, R. & Tuluk, İ. (2006). Performance of masonry minarets against earthquakes and winds in Turkey. 1st International Conference on Restoration of Heritage Masonry Structures, 24-27 Nisan, Kahire, Mısır.
- Düzce Valiliği (2023). 12 Kasım Düzce Depremi. <http://www.duzce.gov.tr/12-kasim-duzce-depremi#:~:text=12%20KASIM%201999%207.2%20Mw%20D%20C3%209CZCE%20DKAYNA%205%20ELI%20DEPREM%204%20B0&text=12%20Kas%204%20B1m%201999%20depremi%20nedeniyle,kaybederken%203836%20ki%205%209Fi%20de%20yaralanm%204%20B1%205%209Ft%204%20B1r.->(Erişim tarihi: 04.05.2024).
- Erdoğan, Y. S., Kocatürk, T. & Demir, C. (2019) Tarihi bir yığma minarenin sismik davranışının çevre yapılarla etkileşimi açısından incelenmesi. *Deprem Mühendisliği Dergisi*, 23(1), 112-140.
- Güdü, D. (2021). Ahşap minarelerin taşıyıcı sistem özellikleri ve deprem davranışlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Bursa.
- Günaydın, M. (2018). Tarihi bir yığma minarenin onarım sonrasındaki dinamik karakteristiklerinin deneysel olarak belirlenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(2), 381-395.
- Gündüz, F. (2020). Minare. <https://islamansiklopedisi.org.tr/minare->(Erişim tarihi: 03.02.2024).
- Işık, E., Harirchian, E., Arkan, E., Avcil, F., Günay, M. (2022). Structural analysis of five historical minarets in Bitlis (Turkey), *Buildings*, 12(2), 159.

- Kılıç, İ., Bozdoğan, K. B., Aydın, S., Gök, S. G., Gündoğan, S. (2020). Kule tipi yapıların dinamik davranışının belirlenmesi: Kırklareli Hızırbey camisi minaresi örneği. *Politeknik Dergisi*, 23(1), 19-26.
- Mahrebel, H.A. (2006). Tarihi yapılarda taşıyıcı sistem özellikleri, hasarlar, onarım ve güçlendirme teknikleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- Özgen, A., Sev, A. (2000). Çok katlı yüksek yapılarda taşıyıcı sistemler, Birsen Yayınevi, İstanbul, 345s.
- Özmen, B., Can, H. (2010). Türkiye'nin deprem gerçeği paneli. Ankara: Gazi Üniversitesi. [http://webftp.gazi.edu.tr/deprem/turkiyenin deprem gercegi paneli kitabi.pdf](http://webftp.gazi.edu.tr/deprem/turkiyenin-deprem-gercegi-paneli-kitabi.pdf)
- PEER (2023) Pacific Earthquake Engineering Research Center. <http://peer.berkeley.edu/>-(Erişim Tarihi: 15.03.2024)
- Serhatlıoğlu, C. (2015). Bursa tarihi minarelerinin dinamik davranışlarının ve performanslarının incelemesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Soyluk, A., & Demircan, B. (2023). Tarihi Yığma Minarelerin Deprem Yükü Altındaki Davranışlarının 6 Şubat Kahramanmaraş Depremlerinde Hasar Görmüş Cami Örnekleri Üzerinden Mimari Açından İncelenmesi. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 8, 329-354.
- TADAS, Türkiye İvme Veritabanı ve Analiz Sistemi (2024). Van Depremi ve Kahramanmaraş Depremleri İvme Grafikleri. <https://tadas.afad.gov.tr/map->(Erişim tarihi: 15.03.2024).
- Temüz, H.T. (2007). Minarelerin rüzgar yükleri altında davranışlarının incelenmesi ve bunların rüzgara göre hesabı. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Trabzon.
- Türk, A. M., Cosgun, C. (2012). Seismic behaviour and retrofit of historic masonry minaret. *Gradevinar*, 64(1): 39-45.
- Türkeli, E. (2020). Dynamic seismic and wind response of masonry minarets. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 64(2), 353–369.
- Türkiye Radyo Televizyon Kurumu (TRT) (2024). Asrın felaketinden, asrın dayanışmasına. <https://www.trthaber.com/haber/gundem/asrin-felaketinden-asrin-dayanismasina-834638.html>-(Erişim tarihi: 07.02.2024).
- Ural, A., & Çelik, T. (2018). Dynamic analyses and seismic behavior of masonry minarets with single balcony. *Aksaray University Journal of Science and Engineering*, 2(1), 13-27.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Kadir YAYLA
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Giresun Üniversitesi
Fakülte	MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
Bölümü	İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Mezuniyet Yılı	21.09.2020
Yüksek Lisans	
Üniversite	Ordu Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı
Mezuniyet Tarihi	-