

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**2007 ve 2018 DEPREM YÖNETMELİKLERİ İŞİĞİNDA
BETONARME MİNARELERİN ZEMİN-YAPI
ETKİLEŞİMİ GÖZ ÖNÜNDE BULUNDURULARAK
PROJELENDİRİLMESİ**

NİHAL ALTUN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SAMSUN
2019**

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

Nihal Altun tarafından hazırlanan “2007 ve 2018 Deprem Yönetmelikleri Işığında Betonarme Minarelerin Zemin-Yapı Etkileşimi Göz Önünde Bulundurularak Projelendirilmesi” adlı tez çalışması 10/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman Prof. Dr. Zeki KARACA
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri

Başkan Prof. Dr. Zeki KARACA
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye Dr. Öğr. Üyesi Erdem TÜRKELİ
Ordu Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu
İnşaat Bölümü



Yukarıdaki sonucu onaylarım. 10/07/2019

.....

Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

26/07/2019

Nihal Altun

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

2007 ve 2018 DEPREM YÖNETMELİKLERİ İŞİĞİNDA BETONARME MİNARELERİN ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ GÖZ ÖNÜNDE BULUNDURULARAK PROJELENDİRİLMESİ

Nihal Altun

Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Zeki Karaca

Değişen deprem yönetmeliği ile yeni bir boyut kazanan betonarme yapı tasarımı minareler açısından belirsizliğini korumaktadır. Bina türü olmayan yapılara özel yönetmelikler çıkana kadar kullanılacak olan yönetmelik 18.03.2018 tarihinde Resmi Gazete’de yayımlanan, 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’dir. 2018 deprem yönetmeliğinin bize getirdiği yeniliklerden birisi değişen deprem tehlike haritasıdır. Önceki yönetmelik (2007) ile bölgesel olarak tanımlanan deprem, yeni yönetmelik (2018) ile noktasal olarak tanımlanmıştır. Bu durumun doğuracağı sonuçlar merak konusudur. Çalışmada geleneksel bir betonarme minare modelinin yapısal analizi 2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri dikkate alınarak zemin-yapı etkileşimli ve zemin-yapı etkileşimsiz olmak üzere farklı zemin sınıfları için gerçekleştirilmiş ve sonuçlar birbirleriyle kıyaslanmıştır. Betonarme minarenin yapısal çözümlenmesi Sta4cad (Structural Analysis For Computer Aided Design) paket programı yardımıyla sonlu elemanlar metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapı modal analiz yöntemi ile lineer analiz edilerek, zemin-yapı etkileşiminin; yapı periyotlarını, taban kesme kuvvetlerini, maksimum yerdeğiştirmeleri ve düzlem gerilme değerlerini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Her iki yönetmelikte de, zemin-yapı etkileşiminin yapı periyot sürelerinde bir uzamaya yol açtığı, aynı zamanda maksimum yerdeğiştirme ve gerilmelerinde de değişim oluşturduğu gözlemlenmiştir. 2018 deprem yönetmeliği ile yapılan analiz sonuçları, 2007 deprem yönetmeliği ile yapılan analiz sonuçlarına göre farklılıklar göstermiştir. Zemin-yapı etkileşimi dikkate alınmadan tasarlanacak bir betonarme minarenin deprem kuvveti geldiğinde hesaplandığı gibi davranamayacağı ortadadır. Çıkan tüm sonuçların yapı donatılandırılmasını etkilediği düşünüldüğünde, doğru projelendirilme yapılabilmesi adına yapı davranışında değişime yol açan zemin-yapı etkileşiminin özellikle yumuşak zeminler için göz önünde bulundurulması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Temmuz 2019, 113 sayfa

Anahtar Kelimeler: Minare; Betonarme; 2018 Deprem yönetmeliği; Zemin-yapı etkileşimi

ABSTRACT

Master's Thesis

PROJECT OF THE CONCRETE MINARETS CONSIDERING THE SOIL-STRUCTURE INTERACTION IN THE LIGHT OF 2007 AND 2018 EARTHQUAKE REGULATIONS

Nihal Altun

Ondokuz Mayıs University
Graduate School of Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Zeki Karaca

The design of the reinforced concrete structure, which has gained a new dimension with the changing earthquake regulation has remained uncertainty in terms of minarets. The regulation which will be effective until a specific regulation about structures that are not regarded as buildings, comes into force is the "Structure and Earthquake Regulations of Turkey" coming into force on January 1, 2019 by publishing in "Turkish Official Newspaper" on March 18, 2019. One of the innovations of earthquake regulation 2018 is the dynamic earthquake hazard map. The earthquake, which is defined as regional by the previous regulation (2007), has been defined as a point with the new regulation (2018). The consequences of this situation are a matter of curiosity. In the study, structural analysis of a traditional model of reinforced concrete minarets was carried out for different soil classes with soil-structure interaction and soil classes without soil-structure interaction considering the 2007 and 2018 earthquake regulations and the results were compared with each other. Structural analysis of the reinforced concrete minarets was carried out by using the finite element method with the help of Sta4cad (Structural Analysis For Computer Aided Design) package program. By analyzing linearly over structure model analysis method, how soil-structure interaction influences structure periods, base shear forces, maximum displacements and plane stress values has been investigated. In both regulations, it has been observed that the soil-structure interaction has caused an extension in the construction periods and has created changes in the maximum displacements and stresses. The results of the analysis conducted with the 2018 earthquake regulation has some differences compared to the results of the analysis of the 2007 earthquake regulation. It is obvious that a reinforced concrete minaret designed without considering soil-structure interaction cannot be as the case when it is exposed to earthquake force. Considering all the results affect the construction of buildings, it is concluded that the soil-structure interaction which causes change in the construction behavior should be considered especially for soft soils in order to be able to make the right project design.

July 2019, 113 pages

Key Words: Minaret; Reinforced concrete; Earthquake Regulation 2018; Soil-structure interaction

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Akademik hayatımın zorlu evresini atlatmamı sağlayan, her türlü bilgi tıkanmasında önümü açan, yüksek lisans tez konumu belirlememde ve çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen danışman hocam **Prof. Dr. Zeki KARACA**'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Tez savunma sınavımda ve sonrasında değerli bilgileriyle tezime katkıda bulunan sayın jüri üyelerim **Dr. Öğr. Üyesi Sertaç TUHTA** ve **Dr. Öğr. Üyesi Erdem TÜRKELİ**'ye teşekkür ederim.

Beni bugünlere getiren, hayatımın hiçbir döneminde fedakarlıktan kaçınmayan babam **Ahmet ALTUN**, annem **Meral ALTUN** ve kardeşim **Alperen ALTUN**'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimime Ankara'dan devam etmeye karar verdiğimde destekleyen ve her türlü problemimde yardımcı olan **Aycan AKDAĞ**'a teşekkür ederim.

Sta4cad ile minare modellememde yardımını esirgemeyen, bilgileriyle tezime ışık tutan (İnşaat Mühendisi) **Muhammed LEKESİZ**'e teşekkür ederim.

Sta4cad lisans kilidini kullanmama olanak sağlayan (İnşaat Mühendisi) **Refik BAYINDIR**'a teşekkür ederim.

Önüme çıkan her engelde beni motive eden, bakış açısıyla daha iyisini yazmamı sağlayan **Büşra GÖYNÜK**'e teşekkür ederim.

Ve son olarak tez yazım aşamasında desteklerini benden esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Temmuz 2019, Samsun

Nihal Altun

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Minare İle İlgili Bilgiler.....	6
1.1.1. Minarelerin tarihi geçmişi.....	6
1.1.2. Minare bölümleri.....	8
1.1.3. Betonarme minare örnekleri.....	9
1.1.4. Minare projelendirilmesinde dikkate alınması gereken yükler.....	18
1.1.5. Minare kritik noktaları.....	19
1.2. Tezin Amacı.....	22
2.KAYNAK ÖZETLERİ.....	24
3.MATERYAL VE YÖNTEM.....	30
3.1. Materyal.....	30
3.1.1. Çalışma için kullanılacak minare modeli ve uygulanacak alan seçimi ..	30
3.2. Yöntem.....	35
3.2.1. Zemin-yapı etkileşimi.....	35
3.2.2. Çalışma için izlenen yol ve kullanılan malzeme özellikleri.....	38
3.2.3. Sta4cad paket programı ile betonarme minare modellenmesi.....	40
3.2.4. Yapısal çözümlemede kullanılacak katsayıların belirlenmesi.....	43
3.2.5. Yapısal çözümler için kullanılan bazı formüller.....	55
4.BULGULAR VE TARTIŞMA.....	58
4.1.Minare Modelinin 2007 DBYBHY'e Göre Dinamik Analizi.....	63
4.2.Minare Modelinin 2018 TBDY'ne Göre Dinamik Analizi.....	77
5.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	90
KAYNAKÇA.....	94
EKLER.....	98
EK 1 ZA YEREL ZEMİN SINIFI İÇİN AFAD UYGULAMA ÇIKTILARI.....	99
EK 2 ZC YEREL ZEMİN SINIFI İÇİN AFAD UYGULAMA ÇIKTILARI.....	104
EK 3 ZE YEREL ZEMİN SINIFI İÇİN AFAD UYGULAMA ÇIKTILARI.....	109
ÖZGEÇMİŞ.....	

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

$A(T)$	Spektral ivme katsayısı
A_0	Etkin yer ivme katsayısı
d_{fi}	Binanın i'nci katında F_i fiktif yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme
$d_{fi}^{(x)}$	X deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodunun hesabında i'nci kata etki ettirilen fiktif yükten oluşan yerdeğiştirme
D	Dayanım fazlalığı katsayısı
DD-2	50 yılda aşılma olasılığı % 10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
E_c	Beton elastisite modülü
f_{yk}	Donatının karakteristik akma dayanımı
f_{ck}	Betonun karakteristik basınç dayanımı
F_i	i'nci kata etkiyen fiktif yük
$F_i^{(x)}$	X deprem doğrultusunda i'nci kata etkiyen fiktif yük
g	Yerçekimi ivmesi
h_i	Bina i'nci katın kat yüksekliğini
h_1	Kabul edilen zemin tabakası kalınlığı
H_N	Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam yüksekliği [m]
I	Bina önem katsayısı
m^2	Metrekare
m^3	Metreküp
m_i	Binanın i'nci katının kütlesi
MPa	Megapascal
M_{DEV}	Betonarme perdenin veya çaprazlı çerçevenin tabanında deprem yüklerinden meydana gelen devrilme momenti [kNm]
M_O	Binanın tümü için deprem yüklerinden tabanda meydana gelen toplam devrilme momenti [kNm]
m_t	Binanın toplam kütlesi
M_{xr}	Göz önüne alınan X deprem doğrultusunda binanın r'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle
M_{yr}	Göz önüne alınan Y deprem doğrultusunda binanın r'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle
n	Hareketli yük katılım katsayısı
N	Binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısı
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T)$	Deprem yükü azaltma katsayısı
S_a	İvme spektrumu
$S_{ae}(T)$	Yatay elastik tasarım spektral ivmesi (g)
$S_{aR} T_p^{(X)}$	Göz önüne alınan (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu $T_p^{(X)}$ göz önüne alınarak azaltılmış tasarım spektral ivmesi (g)
S_d	Deplasman spektrumu

$S_{de}T$	Yatay elastik tasarım spektral yer değiştirmeleri
S_{DS}	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_{D1}	1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_S, S_1	Harita spektral ivme katsayıları
T	Serbest titreşim periyodu
T_A, T_B	Spektrum karakteristik periyotları
T_p^X	Göz önüne alınan (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu
V_S	Zemin kayma dalga hızı
V_t	Eşdeğer deprem yükü yönteminde göz önüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
V_{tB}	Mod Birleştirme Yöntemi'nde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda modlara ait katkıların birleştirilmesi ile bulunan bina toplam deprem yükü (taban kesme kuvveti)
$V_{tE}^{(X)}$	(X) deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) [kN]
β	Mod birleştirme yöntemi ile hesaplanan büyüklüklerin alt sınırlarının belirlenmesi için kullanılan katsayı
W	Bina toplam ağırlığı

KISALTMALAR

BKS	Bina Kullanım Sınıfı
BYS	Bina Yükseklik Sınıfı
DİB	Diyanet İşleri Başkanlığı
DTS	Deprem Tasarım Sınıfı
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
G+Q+E _X	X yönünde depremin söz konusu olması durumunda yük kombinasyonu
G+Q+E _Y	Y yönünde depremin söz konusu olması durumunda yük kombinasyonu
STA4CAD	Structural Analysis For Computer Aided Design
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
1,4G+1,6Q	Yalnız düşey yükler için yapıya etkime olasılığı bulunan yük birleşimi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Türkiye deprem bölgeleri haritası (Özmen vd, 1997).....	1
Şekil 1.2. Türkiye deprem tehlike haritası (AFAD, 2018).....	2
Şekil 1.3. Türkiye rüzgar haritası (YEGM, 2019)	3
Şekil 1.4. Marmara depremi esnasında yıkılan minarenin binayı kılıç gibi kesmesi..	5
Şekil 1.5. Taş bloklar ve demir kenetler ile minare yapımı	7
Şekil 1.6. Minare bölümleri	8
Şekil 1.7. Şeyh Ali Semerkandi Cami minaresi.....	10
Şekil 1.8. Malazgirt Mahallesi Tepebaşı Cami minaresi	11
Şekil 1.9. Emir Yaman Cami minaresi.....	12
Şekil 1.10. Hz. Hamza Cami minareleri	13
Şekil 1.11. Ahmet Hamdi Akseki Cami minareleri	14
Şekil 1.12. Ahimesut Söğüt Cami minareleri.....	15
Şekil 1.13. Osmangazi Ulu Cami minareleri	16
Şekil 1.14. Harun Efendi Cami minaresi	17
Şekil 1.15. Haymana’da şiddetli rüzgar nedeniyle lojmanın üzerine devrilen minare (Anonim, 2014)	19
Şekil 1.16. Aksaray rüzgardan yıkılan minare (Anonim, 2013)	19
Şekil 1.17. Balıkesir aşırı yağıştan yıkılan minare (Anonim, 2018).....	20
Şekil 1.18. Adıyaman şiddetli rüzgar nedeniyle yıkılan minare (Anonim, 2018)	20
Şekil 1.19. Sinop’ta şiddetli fırtına nedeniyle yıkılan minare (Anonim, 2019).....	21
Şekil 1.20. Ege Denizi’nde meydana gelen deprem sonucu İstanköy Adası’nda yıkılan minare (Anonim, 2017).....	21
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılacak geleneksel minare modeli ve kotlar.....	31
Şekil 3.2. Temsili minarenin geometrik kesit özellikleri	32
Şekil 3.3. Çalışma için seçilen alanın uydu görüntüsü	33
Şekil 3.4. Zemin-temel-yapı etkileşimi (Siyahi, 2015).....	36
Şekil 3.5. Sta4cad yapı-temel analiz opsiyonları	38

Şekil 3.6. Sta4cad 2007 DBYBHY'e göre istenilen katsayılar.....	40
Şekil 3.7. Sta4cad 2018 TBDY'ne göre istenilen katsayılar.....	41
Şekil 3.8. Sta4cad Winkler zemin modeli.....	42
Şekil 4.1. Temsili minare 3D çizimi	62
Şekil 4.2 . Model 1-4 için mod şekilleri.....	66
Şekil 4.3. Model 2-5 için mod şekilleri.....	66
Şekil 4.4. Model 3-6 için mod şekilleri.....	67
Şekil 4.5. Model 1 ve 4 için x yönündeki deprem etkisi altında düzlem gerilmesi diyagramı (MPa)	73
Şekil 4.6. Model 2 ve 5 için x yönündeki deprem etkisi altında düzlem gerilmesi diyagramı (MPa)	74
Şekil 4.7. Model 3 ve 6 için x yönündeki deprem etkisi altında düzlem gerilmesi diyagramı (MPa)	75
Şekil 4.8. Model 7-10 için mod şekilleri.....	80
Şekil 4.9. Model 8-11 için mod şekilleri.....	80
Şekil 4.10. Model 9-12 için mod şekilleri.....	81
Şekil 4.11. Model 7 ve 10 için x yönündeki deprem etkisi altında düzlem gerilmesi diyagramı (MPa).....	86
Şekil 4.12. Model 8 ve 11 için x yönündeki deprem etkisi altında düzlem gerilmesi diyagramı (MPa).....	87
Şekil 4.13. Model 9 ve 12 için x yönündeki deprem etkisi altında düzlem gerilmesi diyagramı (MPa).....	88

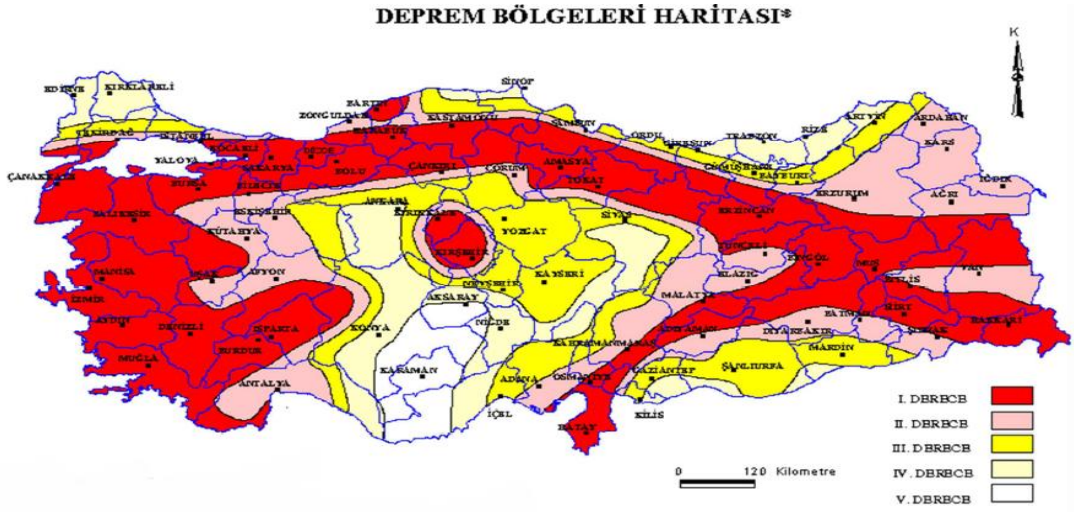
ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Zemin grubu ve sınıfına bağlı spektrum karakteristik periyot (T_A, T_B) değerleri ve zemin sınıflarının kayma dalga hızları (DBYBHY, 2007)	34
Çizelge 3.2. Yerel zemin sınıfına göre tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}, S_{D1}) değerleri ve zemin sınıflarının kayma dalga hızları (TBDY, 2018)....	35
Çizelge 3.3. Yerel zemin sınıflarına göre kabul edilen zemin değerleri	39
Çizelge 3.4. Etkin yer ivme katsayısı (DBYBHY, 2007)	43
Çizelge 3.5. Bina türü olmayan yapılar için taşıyıcı sistem davranış katsayısı (DBYBHY, 2007)	45
Çizelge 3.6. Bina önem katsayısı (DBYBHY, 2007)	46
Çizelge 3.7. Hareketli yük katılım katsayısı (DBYBHY, 2007).....	47
Çizelge 3.8. Bina kullanım sınıfı (TBDY, 2018).....	49
Çizelge 3.9. Deprem tasarım sınıfının belirlenmesi (TBDY, 2018)	50
Çizelge 3.10. Bina kullanım sınıfı ve S_{DS} değerlerine bağlı belirlenen deprem tasarım sınıfı değerleri.....	50
Çizelge 3.11. Bina yüksekliğine ve deprem tasarım sınıflarına göre belirlenen bina yükseklik sınıfı katsayısı (BYS) (TBDY, 2018).....	51
Çizelge 3.12. DTS ve H_N 'e bağlı belirlenen BYS değerleri	51
Çizelge 3.13. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı seçme koşulları (TBDY, 2018)	53
Çizelge 3.14. Yapılar için hareketli yük kütle katılım katsayısı (TBDY, 2018).....	55
Çizelge 4.1. Z1-A (2007 DBYBHY) ve ZA (2018 TBDY) zemin sınıfları için (etkileşimli) değişen spektrum eğrisi	58
Çizelge 4.2. Z3-C (2007 DBYBHY) ve ZC (2018 TBDY) zemin sınıfları için (etkileşimli) değişen spektrum eğrisi	59
Çizelge 4.3. Z4-D (2007 DBYBHY) ve ZE (2018 TBDY) zemin sınıfları için (etkileşimli) değişen spektrum eğrisi	59
Çizelge 4.4. Z1-A (2007 DBYBHY) ve ZA (2018 TBDY) zemin sınıfları için (etkileşimsiz) değişen spektrum eğrisi.....	60
Çizelge 4.5. Z3-C (2007 DBYBHY) ve ZC (2018 TBDY) zemin sınıfları için (etkileşimsiz) değişen spektrum eğrisi.....	60
Çizelge 4.6. Z4-D (2007 DBYBHY) ve ZE (2018 TBDY) zemin sınıfları için (etkileşimsiz) değişen spektrum eğrisi.....	61

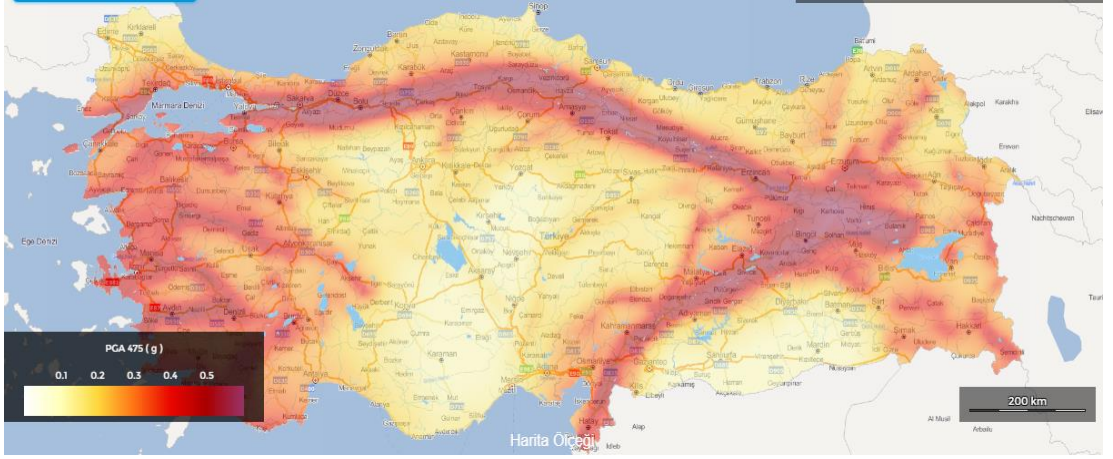
Çizelge 4.7. 2007 DBYBHY'e modellerin yerel zemin sınıflarına göre periyot (T) değerleri.....	63
Çizelge 4.8. Z1-A zemin grubu için zemin-yapı etkileşiminin modlarda oluşturduğu değişim	64
Çizelge 4.9. Z3-C zemin grubu için zemin-yapı etkileşiminin modlarda oluşturduğu değişim	64
Çizelge 4.10. Z4-D zemin grubu için zemin-yapı etkileşiminin modlarda oluşturduğu değişim	65
Çizelge 4.11. 2007 DBYBHY'e modellere etkiyen kütle katılım oranları	68
Çizelge 4.12. 2007 DBYBHY'e modellerin taban kesme kuvvetleri	69
Çizelge 4.13. 2007 DBYBHY'e göre 1,4G+1,6Q ve G+Q+E yüklemeleri altında minare modellerinde oluşan maksimum deplasmanlar (cm).....	70
Çizelge 4.14. Modellerde 1,4G+1,6Q kombinasyonu altında x ve y yönünde oluşan maksimum deplasmanlar	71
Çizelge 4.15. Modellerde $G+Q+E_x$ ve $G+Q+E_y$ kombinasyonları altında x ve y yönünde oluşan maksimum deplasmanlar	72
Çizelge 4.16. 2018 TBDY'ne göre modellerin yerel zemin sınıflarına göre periyot (T) değerleri.....	77
Çizelge 4.17. ZA zemin grubu için zemin-yapı etkileşiminin modlarda oluşturduğu değişim	78
Çizelge 4.18. ZC zemin grubu için zemin-yapı etkileşiminin modlarda oluşturduğu değişim	78
Çizelge 4.19. ZE zemin grubu için zemin-yapı etkileşiminin modlarda oluşturduğu değişim	79
Çizelge 4.20. 2018 TBDY'e modellerin kütle katılım oranları	82
Çizelge 4.21. 2018 TBDY'ne göre modellere etkiyen taban kesme kuvvetleri.....	83
Çizelge 4.22. 2018 TBDY'e göre 1,4G+1,6Q ve G+Q+E yüklemeleri altında minare modellerinde oluşan maksimum deplasmanlar (cm).....	84
Çizelge 4.23. Modellerde 1,4G+1,6Q kombinasyonu altında x ve y yönünde oluşan maksimum deplasmanlar	85
Çizelge 4.24. Modellerde $G+Q+E_x$ ve $G+Q+E_y$ kombinasyonları altında x ve y yönünde oluşan maksimum deplasmanlar	85

1. GİRİŞ

Uluslararası bir problem olan doğal afetlerden deprem ve şiddetli rüzgar (fırtına, kasırga vb.) mühendisler tarafından dikkate alınması gereken durumlardandır. Bu durumlara karşı ülkeler kendi inşa ettikleri mimarilerde doğal afetleri minimize edecekleri şekilde yollar izlemektedirler. Teknoloji ve bilimin gelişmesi ile bu yollar çeşitlendirilmekte, deprem ve rüzgar faktörleri göz önünde bulundurularak yapılan çalışmalar artmaktadır. Türkiye’de bu çalışmaların bir sonucu olarak, onbir yıl aradan sonra 18.03.2018 tarihinde 30364 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanması, 01.01.2019’da yürürlüğe girmesi ile yeni bir deprem yönetmeliği (2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY)) hayatımıza girmiş bulunmaktadır. Gelişen teknoloji ile önceki deprem yönetmeliğine (2007) göre bazı noktalar daha detaylı bir hal almıştır. Uygulamayı ilgilendiren değişikliklerin olduğu kadar proje aşamasını da ilgilendiren birçok değişiklik vardır. Bu değişikliklerden birisi de değişen Türkiye deprem tehlike haritasıdır. 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY)’i için kullanılan Türkiye deprem bölgeleri haritası Şekil 1.1’de verilmiştir. 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye deprem tehlike haritasına ise Şekil 1.2’de yer verilmiştir.



Şekil 1.1. Türkiye deprem bölgeleri haritası (Özmen vd, 1997)



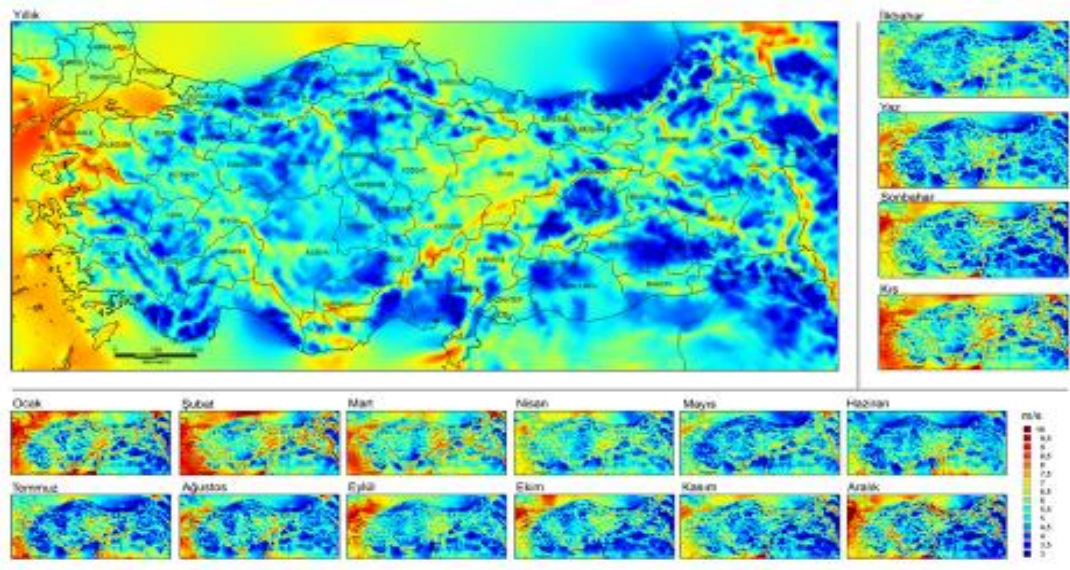
Şekil 1.2. Türkiye deprem tehlike haritası (AFAD, 2018)

2018 TBDY ile, geniş alanlar için tanımlanan deprem bölgesi kavramı ortadan kalkarak haritadaki her nokta için ayrı ayrı deprem ivmesi katsayısı tanımlanmıştır (Altun ve Karaca, 2019).

2007 deprem bölgeleri ve 2018 deprem tehlike haritalarına bakıldığında ülkemizin deprem bölgesi üsleri arasında yer aldığı ve aktif fay hatlarının ülkenin genelini kapsadığı açıkça görülmektedir. Bu nedenle tarihsel süreçte Türkiye’de yıkıcı depremler gerçekleşmiş ve her an daha da şiddetlisi gerçekleşebilecektir. Bu noktada yapı tipi ne olursa olsun, emniyet açısından tüm yapıların mevcut yönetmelik koşullarındaki hususları taşıması hayati önem arz etmektedir.

Dikkatle değerlendirilmesi gereken bir konu da %92’si deprem bölgesi olarak tanımlanan ülke topraklarımızın yaklaşık dörtte üçünün 1. ve 2. derece deprem kuşağı içerisinde olduğudur (Uğurlu, 2013). Yeni deprem yönetmeliği ile bu verilerin güncellenmesi gerekmektedir fakat ülke toprakları çoğunluğunun fay hatları üzerinde olduğu gerçeği değişmeyecektir.

Diğer bir husus olan rüzgar konusunda ise; Şekil 1.3’deki Türkiye rüzgar deprem haritasına bakıldığında genellikle orta ölçekli rüzgarların hakim olduğu, şiddetli rüzgarların kıyı bölgelerinde görüldüğü anlaşılmaktadır.



Şekil 1.3. Türkiye rüzgar haritası (YEGM, 2019)

Diyanet İşleri Başkanlığı (DİB) 2017 istatistiklerine göre ülkemizde 88.039 adet cami ibadet hizmeti vermektedir. 2017 itibariyle paylaşılan sayılara göre cami sayılarının bölgesel olarak çoktan aza doğru sıralaması şu şekildedir; Karadeniz Bölgesi, İç Anadolu Bölgesi, Marmara Bölgesi, Ege Bölgesi, Doğu Anadolu Bölgesi, Akdeniz Bölgesi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi (Anonim, 2018). Bu sıralamada özellikle Karadeniz, Marmara ve Ege Bölgelerinin deprem fay hattı üzerinde ve şiddetli rüzgar alan yerlerde olduğu deprem ve rüzgar haritasına bakıldığında net bir şekilde görülmektedir.

Son zamanlarda betonarme malzeme ağırlıklı inşa edilen cami ve minarelerin projelendirilmesi ve inşasında kullanılmak üzere müftülüklerden, sivil toplum kuruluşları vb. kurumlardan maddi yardım almak hem çok zor hemde uzun bir süreçtir. Ülkemizde genel olarak insanlardan toplanan paralar ile hayır amaçlı yapılan camiler ve cami eklentisi minarelerin inşasında maliyetin mümkün mertebe minimum tutulması beklenmektedir. Durum böyle olunca yapımı üstlenen insanlar, tasarım ve uygulama aşamasında maliyeti düşürmek için çareler aramaktadır. Projelendirme ve uygulamada izlenecek yolların çok net olmaması, minarelere has bir yönetmelik olmayışı; uygun olmayan fakat maliyet düşürücü noktaları artırmaktadır. Bu aşamada zaten ustanın becerisine, deneyimine kalmış olan minare inşası belirsiz bir hale dönüşmektedir.

2007 DBYBHY'nde iyiden kötüye doğru Z1, Z2, Z3 ve Z4 olmak üzere 4 yerel zemin sınıfı mevcutken, 2018 TBDY'nde iyiden kötüye doğru ZA, ZB, ZC, ZD, ZE

ve ZF olmak üzere 6 yerel zemin sınıfı mevcuttur. Zemin sınıfı sayısının artmasıyla zemin kayma dalgası hız (m/s) sınırları da değişmiştir (Altun ve Karaca, 2019).

Betonarme minare tasarımı için yönetmelik vs. bulunmamasına ek olarak 01.01.2019 tarihi itibarıyla yürürlüğe giren 2018 TBDY, bina türü olmayan yapıları kapsamamaktadır. Fakat minare gibi kule tipi yapılar için herhangi bir yönetmelik yürürlüğe girene kadar 2018 TBDY kullanılabilir (TBDY, 2018).

TBDY’nde (2018) geçen yüzeysel temellerde bina türü yapılar için zemin-yapı etkileşiminin binayı olumlu yönde etkileyerek eşdeğer deprem yüklerini azaltması olgusunun minareler açısından geçerliliği ve yapı donatılmasını etkileyen her husus için olumlu olup olmadığı araştırılması gereken bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle 2018 TBDY’nin binalar için olmadığı ve bina türü olmayan yapılara özel yönetmelikler çıkana kadar bu yönetmeliğin kullanılacağı düşünüldüğünde bu konunun en kısa sürede sonuçlanması gereken bir nokta olduğu aşikardır.

Bugüne kadar minareler ile ilgili yapılan çalışmalara dair literatür taraması göz önünde bulundurulduğunda yapı dinamik analizinde genel olarak zemin ile bağlantı rijit kabul edilmiş ve zeminin üst yapıya etkisi göz ardı edilmiştir. Dış yükler altında zemin farklı şekil değiştirmeler yapacağından, deprem anında yapının vereceği tepkiyi en gerçekçi biçimde ortaya koyabilmek adına zemin dikkate alınarak çözümlenmeler yapılmalıdır (Aydınoglu, 1977). Betonarme minareler kapsamında çalışmaların mevcut olmasına ek olarak zemin-yapı etkileşiminin minare üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalar oldukça azdır.

Bina türü yapılar için dahi zemin-yapı etkileşiminin etkisi halen araştırılmakta iken kule tarzı narin yapı kategorisine giren minareler için durum daha da önem kazanmaktadır. Deprem ve şiddetli rüzgarlardan dolayı kolayca hasar gören hatta yıkılabilen minarelerin, yerleşim yerlerinin merkezlerine inşa edildiği göz önünde bulundurulduğunda maddi hasar vermesinin yanı sıra can kaybına neden olması da muhtemeldir. Bu duruma en iyi örnek Şekil 1.4’de verilmiştir.



Şekil 1.4. Marmara depremi esnasında yıkılan minarenin binayı kılıç gibi kesmesi

Bu tez çalışmasında yukarıda bahsedilen bilgiler ışığında 1.1. bölümde minarelerin tarihi geçmişine değinilmiş, minare kısımları açıklanmış, örnek betonarme minare modelleri, minareye etkiyen yükler ve minare kritik noktalarına yer verilmiştir. Bölüm 1.2.'de ise tezin amacı açıklanmıştır. 2. Bölümde minareler üzerinde tezin amacına paralel olarak yapılmış olan çalışmaların literatür taraması verilmiştir. 3.1. Materyal bölümünde; çalışma için kullanılacak minare modeli ve uygulanacak alan tanıtılarak, 3.2. Yöntem bölümünde zemin-yapı etkileşiminin gerekliliğine değinilerek, çalışma için izlenen yol ve kullanılan malzeme özellikleri verilmiş ve 2007-2018 deprem yönetmeliklerine göre Sta4cad programı ile temsili betonarme minarenin yapısal çözümleme yapılabilmesi için kullanılacak katsayılara ve analiz için kullanılan bazı formülüzasyonlara yer verilmiştir. 4. bölüm olan Bulgular ve Tartışma başlığı altında ise, 2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri ışığında farklı zemin sınıflarında yapısal çözümleri yapılan zemin-yapı etkileşimli ve zemin-yapı etkileşimsiz modellerin analiz sonuçlarına yer verilmiştir. 5. Sonuç bölümünde çalışmada elde edilen sonuçlara yer verilerek, zemin-yapı etkileşiminin -özellikle yumuşak zeminlerde- betonarme minarelerin yapısal çözümlerinde dikkate alınması gerektiği önerilmiştir.

1.1. Minare İle İlgili Bilgiler

1.1.1. Minarelerin tarihi geçmişi

‘Üzerinde ezan okunan yer’ ve ‘üzerinde ateş yanan yer’ anlamına gelen minare, başka bir tanımda ‘ezan okunan kulelere verilen isim’ olarak geçmektedir (Nefes, 1996).

İslam dinine ait ibadet yeri olarak kabul edilen camilerde namaz vaktini bildirmek ve sela okumak amacıyla inşa edilen yapılara ‘minare’ adı verilir. Minareler ezanın uzak yerlere duyurulmasını sağlamak amacıyla yapılan yapılardır. Müezzin, şerefeye çıkarak istinare¹ denilen şekilde ezanı okumaktaydı. İlk ezanın Bilal-i Habeşi tarafından Medine’de bir mescidin damında okunduğu bilinmektedir.

İlk minare; Hz. Muhammed (s.a.v) döneminde Bilal-i Habeşi’nin ezan okumak için üzerine ipe tırmanarak çıktığı ‘üstüvane’ (silindir) denilen yerdir. Camiye minareyi ekleyen ilk kişi ise Emevilerin Mısır valisi Mesleme b. Muhalled’dir. Fustat Amr Cami’ne ezan okunması için her köşeye bir tane olmak üzere dört kule eklemiş ve bu kuleler savmaa ismiyle anılmıştır (Nefes, 1996). İlk minarelerin kilise çan kuleleri, deniz fenerleri ve benzeri kuleler örnek alınarak yapılmış oldukları düşünülmektedir (Diez, 1960). Namaz vaktinin geciktirilmemesi ve ezan sesini daha fazla insana duyurmak amacıyla yapılan minarelerin ilham kaynakları kültürden kültüre değişmektedir.

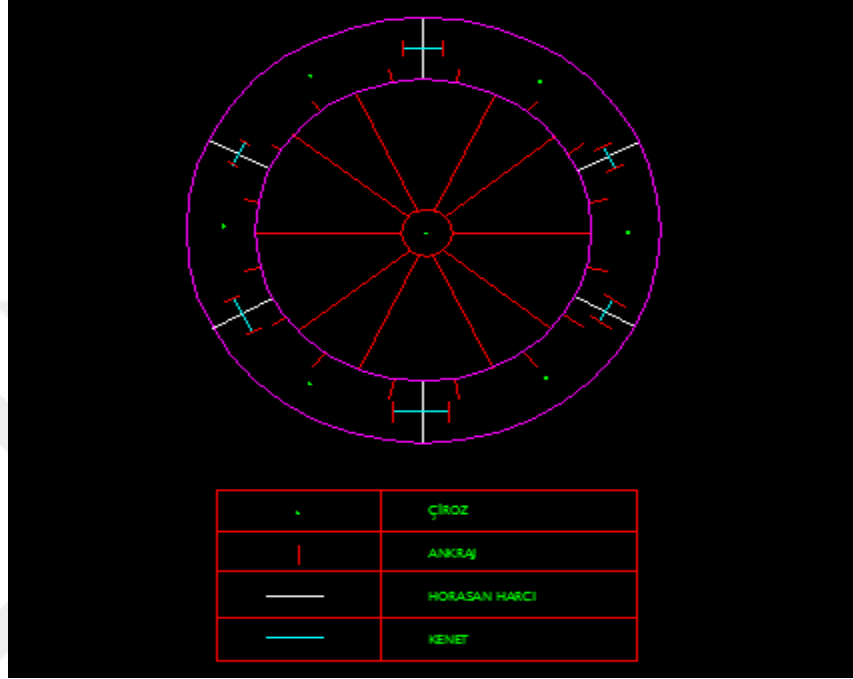
Minarelerin şekilsel olarak farklılaşmasında coğrafi koşullar, bölgesel etkenler, gelenekçi yaklaşım ile süsleme isteği etkili olmuştur (Uysal, 1990).

Betonarme minarelerin deprem ve rüzgar etkisiyle kolayca yıkılabildiği, Selçuklu ve Osmanlı döneminden kalan minarelerin ise halen sapsağlam ayakta durabildiği bilinen bir gerçektir.

Bu sağlamlığın nasıl ortaya çıktığı literatürde şu şekilde özetlenmektedir: “Kelepçeler ve dikey çubuklar, taş bloklardaki ankraj deliklerinin içine yerleştirilip deliğin içine eritilmiş kurşun dökülmektedir (Şekil 1.5). Tipik bir duvar minaresinin yapımında, yaklaşık 2000 kg kurşun kullanılmaktadır. Bu ek kütle, minarenin doğal yapısını değiştirmekte ve sismik davranışını etkilemektedir. Bir başka açıdan, kurşun çevresel koşullardan neredeyse hiç etkilenmediği için yüzyıllarca amaçlandığı gibi

¹ Şerefeye’de dönerek ezan okumaya verilen isim.

çalışmaktadır. Tarihi minarelerde ve diğer Türk anıtlarında taşlar arasında bağlayıcı malzeme olarak, Horasan harcı adında özel bir harç kullanıldığı bilinmektedir. Kireç içeren Horasan harcı, dayanımını kazanması için inşaatta kullanılmadan önce süzülerek, yeraltında yaklaşık 10 ile 15 yıl mayaya bırakılmaktadır (Doğangün vd, 2007).”



Şekil 1.5. Taş bloklar ve demir kenetler ile minare yapımı

2007 yılında DİB'nın yayınladığı 2007 genelgesine göre 1.4'den yukarı sertlikte yonu taşı², betonarme ve çelik dışında malzeme kullanılmayacaktır (DİB, 2007).

Minareler günümüzde amacı için kullanılmamaktadır. Teknolojinin gelişmesi ile ezan şerefeye çıkıp okunarak değil, hoparlör sistemi ile merkezden okunmaya başlanmıştır. Her ne kadar yapımına gerek yokmuş gibi görülsede cami ile birlikte simgeleşmesinden dolayı yapımına devam edilmektedir.

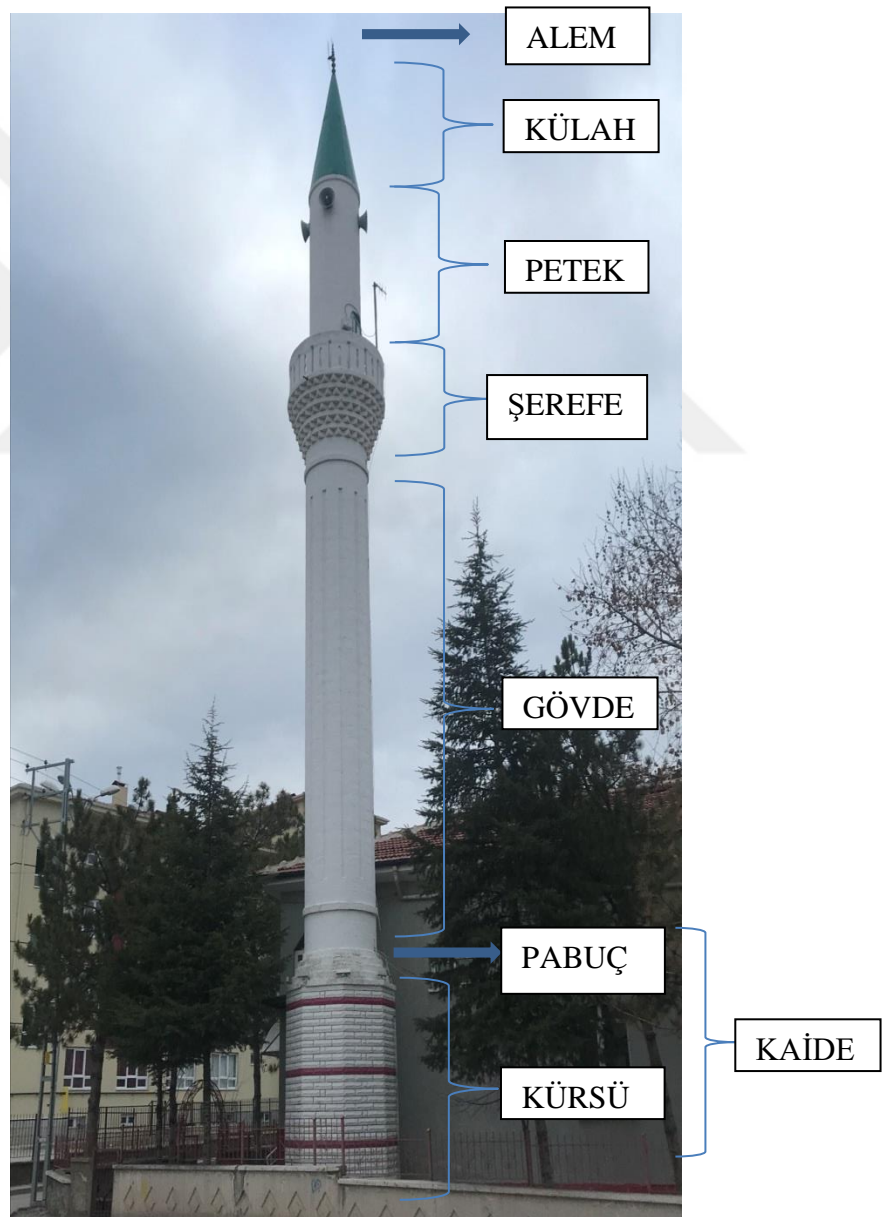
Cami ve eklentisi olan minare mimarilerine Selçuklu ve Osmanlı zamanında son derece önem verilmesine rağmen son dönem mimarilerine kadar tekdüzelik ve 'bitsin de nasıl biterse bitsin'lik ön plana çıkmakta idi. Fakat son dönem minare mimarileri görsel açıdan farklılaşmaktadır. Minareler görsel açıdan farklılıklar sunmasına rağmen taşıyıcı sistemin deprem, rüzgar ve diğer dış etkilere gösterdiği

² Kireçtaşı (kalker ailesinden) doğal bir taş türüdür.

savunma açısından yetersiz durumdadır. Günümüzde çoğunlukla betonarme olarak inşa edilen minareler için halen bir yönetmelik ya da uygulama prosedürü bulunmamaktadır.

1.1.2. Minare bölümleri

Camilerin bir bölümü olarak inşa edilen minareler kültürden kültüre, bölgeden bölgeye farklılık gösterebilir Türkiye’de genel itibari ile sık kullanılan minare modeli bellidir. Geleneksel minare modelinin bölümleri Şekil 1.6’da gösterilerek, sonrasında bölümlerin hangi aralıkları temsil ettiği açıklanmıştır.



Şekil 1.6. Minare bölümleri

Alem: Minarenin en üst noktasında bulunan kısımdır. Bu üst noktayı aşan sadece paratonerdir. Bakır, pirinç gibi metallerden yapılmış hilalin olduğu kısımdır.

Külâh: Alemin altında bulunur. Minareyi yağıştan koruyan külâh, kurşundan imal edilir ve koni biçimindedir. Çalışmada betonarme olarak kabul edilmiştir.

Petek: Şerefeden külâhın başladığı noktaya kadar devam eden kısımdır. Şerefeye çıkışı sağlayan kapı bu bölümdedir.

Şerefe: Müezzinin ezan ya da sela okuduğu, minarede her yöne dönebilmeyi sağlayan balkona denir. Şerefe sayısı bir veya birden fazla olabilir.

Gövde: Şerefenin altında bulunan ve petek ile aynı ya da farklı çap ve incelikte olabilen uzun bölümdür.

Pabuç (Küp): Gövde ile kürsü arasındaki geçişi sağlayan bölümdür. Gövde ile kürsü enkesiti birbirine yakın ya da eşitse pabuç kısmı olmayabilir. Son zamanlarda inşa edilen betonarme minarelerde bu kısım çok fazla bulunmamakta ve görsel açıdan farklı farklı minareler yapılmaktadır. Çalışmada bu kısım gövde enkesitinde kabul edilmiştir.

Kürsü: Minarenin en alt katıdır. Dikdörtgen, dairesel veya kare kesite sahip olabilir. Gövdedeki etkileri temele aktaran kısımdır.

Ayrıca minareler iç kısımda şerefeye çıkışı sağlayan spiral şeklinde merdivene sahiptirler.

1.1.3. Betonarme minare örnekleri

Her ne kadar inşa edilen minare tipi genel itibariyle aynı olsada minareler şerefe sayısına, kürsüsünün kare veya dairesel oluşuna, kürsüsü ve gövdesinin birleşme şekline göre farklılaşır. Türkiye’de bulunan görsel açıdan birbirinden farklı minare şekillerine sahip olan minare örneklerine ilişkin teknik bilgiler Sincan Belediyesi ve Etimesgut Belediyesi arşivlerinden alınmış ve fotoğraflanarak aşağıda sunulmuştur:

Şeyh Ali Semerkandi Cami

Ankara ili Sincan ilçesi 576 ada 1 parsel’de bulunan Şeyh Ali Semerkandi Cami (Şekil 1.7) 906.77 m² alana sahiptir. Yapı ruhsatı 01.08.2014 tarihinde alınmış olup kaba inşası bitmiştir. Halen caminin hat süslemeleri devam edilmektedir. Cami yapı denetime tabii değildir.

Cami 1 minareye sahip olup ayrıca 4 süs minaresi mevcuttur. Minare 2 şerefeye sahiptir. Kûlah dâhil minare yüksekliği 28.7 m olup, kûlahsız yükseklik 23 m’dir.



Şekil 1.7. Şeyh Ali Semerkandi Cami minaresi

Malazgirt Mahallesi Tepebaşı Huzur Cami

Ankara ili Sincan ilçesi 101071 ada 12 parsel’de bulunan Tepebaşı Huzur Cami (Şekil 1.8) 1122.64 m² alana sahiptir. Yapı ruhsatı 19.09.2013 tarihinde alınmış olup inşası tamamen bitmiştir.

Cami tek minareye, minare ise tek şerefeye sahiptir. Kûlah dâhil minare yüksekliği 30.8 m olup, kûlahsız yükseklik 24.60 m’dir. Minare mimarisi diğer minare mimarilerinden ayrılmaktadır. Kürsü kısmı kare tarzda yükselip, gövde kısmı alt kütleyle göre açısız olarak döndürülmüş tarzda devam etmektedir. Petek kısmı ise şerefe ile başlamış olup, gövde kısmı gibi bir alt kütleyle açısız olarak döndürülmüş hali ile devam etmektedir. Temel bölümü hariç yapı cami kütlelerinden bağımsızdır.



Şekil 1.8. Malazgirt Mahallesi Tepebaşı Cami minaresi

Emiryaman Cami ve Türbesi

Ankara ili Etimesgut ilçesi 45798 ada 11 parsel’de bulunan Emiryaman Cami ve Türbesi (Şekil 1.9) 759.28 m² alana sahiptir. Yapı tadilat ruhsatı 24.12.2018 tarihinde alınmış olup, restore işlerine halen devam edilmektedir.

Cami tek minareye sahiptir ve minare cami kütesinden bağımsızdır. Külâh dâhil minare yüksekliği 22.94 m, külâhsız minare yüksekliği 19.32’dir.



Şekil 1.9. Emir Yaman Cami minaresi

Hz. Hamza Cami

Ankara ili Etimesgut ilçesi 46764 ada 2 parsel’de bulunan Hz. Hamza Cami (Şekil 1.10) 1624,45 m² alana sahiptir. Yapı ruhsatı 18.02.2015 tarihinde alınmış olup kaba inşaatı tamamlanmış fakat ince işçilikler ve süslemeler devam etmektedir.

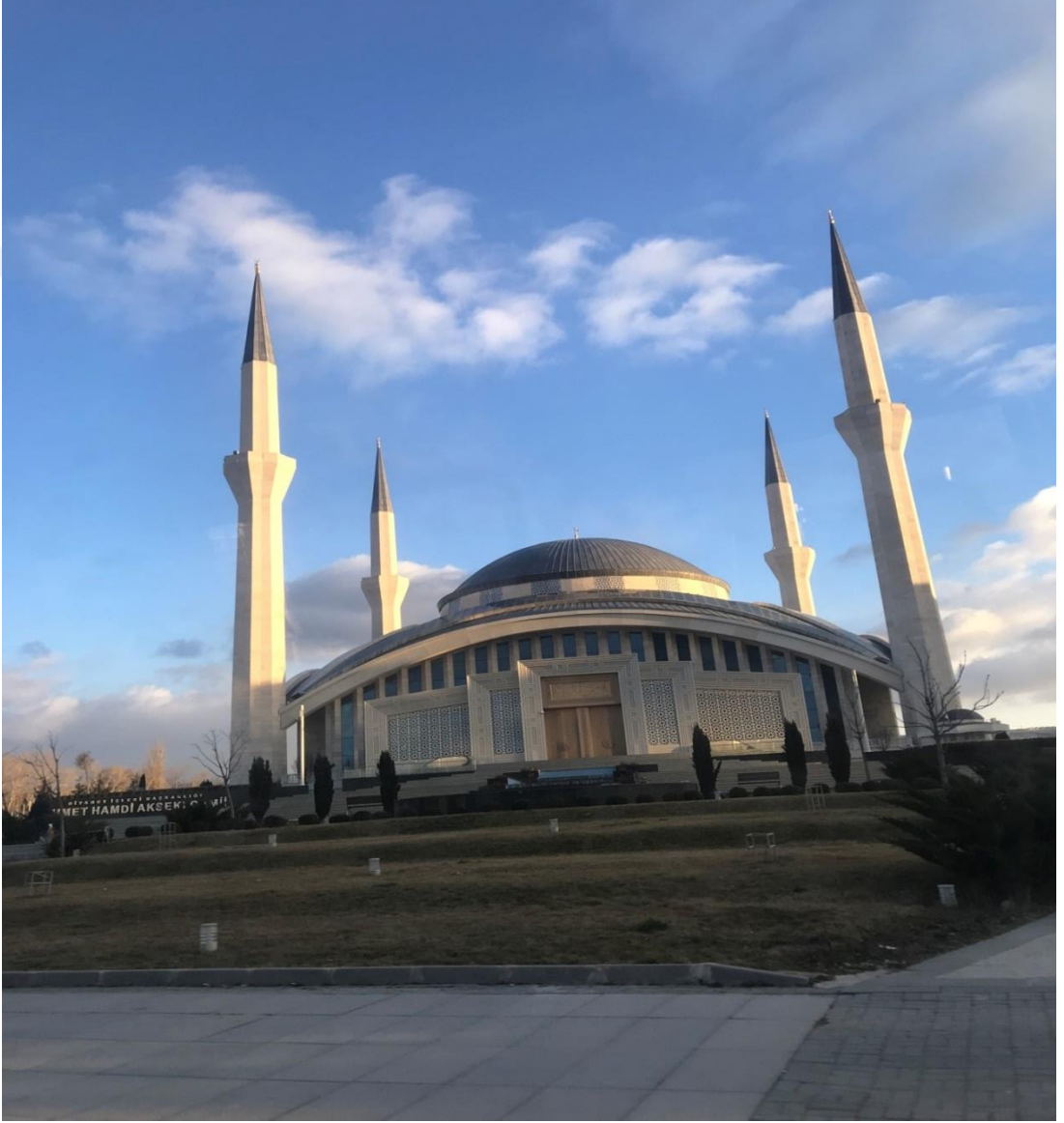
Cami tek minareye sahiptir. Kûlah dâhil minare yüksekliği 32.70 m, kûlahsız minare yüksekliği 25.90’dır. Minare kütlesi kürsüden sonra cami kütlesinden ayrılmaktadır.



Şekil 1.10. Hz. Hamza Cami minareleri

Ahmet Hamdi Akseki Cami

Türkiye'nin en büyük kubbe çapına sahip (33 m) Ahmet Hamdi Akseki Cami (Şekil 1.11), Ankara'da yer almaktadır. Diyanet İşleri Cami olarak da anılan cami 80.000 m² kapalı alan, 20.618 m² avlu, 11.087 m² peyzaj alanına ve 5000 kişilik kapasiteye sahiptir (Anonim, 2013). Cami 4 minareye ve her minare tek şerefeye sahip olmakla birlikte minare kütleleri ana binadan bağımsız tasarlanmış ve uygulanmıştır.



Şekil 1.11. Ahmet Hamdi Akseki Cami minareleri

Ahimesut Söğüt Cami

Ankara ili Etimesgut ilçesi 47620 ada 1 parsel’de bulunan Ahimesut Söğüt Cami (Şekil 1.12) 1808,9 m² alana sahiptir. Yapı ruhsatı 02.02.2011 tarihinde alınmış olup cami ve minare kütlesi alışlagelmiş mimarilerden oldukça farklı inşa edilmiştir.

Minare yüksekliği 31,82 m uzunluğundadır. Minare kütlesi cami kütlesine bağlıdır.



Şekil 1.12. Ahimesut Söğüt Cami minareleri

Osmangazi Ulu Cami

Ankara ili Sincan ilçesi 1458 ada 1 parsel’de bulunan Osmangazi Ulu Cami (Şekil 1.13) 2369,25 m² alana sahiptir. Yapı ruhsatı 02.07.2013 tarihinde alınmış olup cami ve minare kütlesi alışılacelmiş mimarilerden oldukça farklı inşa edilmiştir.

Minare yüksekliği 50,97 m uzunluğundadır ve tek şerefeye sahiptir. Minare kütlesi cami kütlesine bağımlıdır.



Şekil 1.13. Osmangazi Ulu Cami minareleri

Harun Efendi Cami

Ankara ili Etimesgut ilçesi 49083 ada 1 parsel’de bulunan Harun Efendi Cami (Şekil 1.14) 2010,71 m² alana sahiptir. Yapı ruhsatı 22.06.2016 tarihinde alınmıştır.

Minare yüksekliği 26 m uzunluğundadır ve tek şerefeye sahiptir. Minare kütlesi cami külesine bağlıdır.



Şekil 1.14. Harun Efendi Cami minaresi

1.1.4. Minare projelendirilmesinde dikkate alınması gereken yükler

- Sabit yükler
- Hareketli yükler
- Deprem yükleri
- Rüzgar yükleri
- Kar yükü (ihmal edilebilir)

Sabit yükler

Minaredeki sabit yükler; kendini oluşturan gövde, pabuç, kürsü, alem, külah, petek, şerefe'ye ek olarak kaplama olacaksa kaplamanın ağırlığı ve içerisindeki merdivenin ağırlığından oluşmaktadır.

Hareketli yük

Camilerde merkezi sistem (hoporlör) ile ezan okuma gerçekleştiği için günümüzde müezzinler minareye çıkıp ezan okumamaktadırlar. Her ihtimale karşı insanların şerefeye çıkacağı göz önünde bulundurularak şerefe döşemesi hareketli yükü TS498'e göre balkon olarak değerlendirilip $Q=0,5 \text{ t/m}^2$ alınmalıdır (TS498, 1987).

Deprem yükleri

Daha önce belirtildiği üzere Türkiye'nin % 92'si deprem bölgesi içerisinde yer almaktadır (Uğurlu, 2013). Türkiye'de inşa edilecek minarelerde deprem etkisinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Minareler kule tipi narin yapı oldukları için deprem esnasında davranışları da normal yapılardan farklı olacaktır ve bu davranışların tasarım aşamasında muhakkak dikkate alınması gerekmektedir.

Rüzgar yükleri

Minarelerin boyutlandırılmasında dikkate alınacak yükler için minarelere özgü oluşturulmuş bir yönetmelik bulunmamaktadır. Bu sebeple minare tasarımında her tipte yapı için kullanılan TS498 dikkate alınmaktadır. Çalışmada rüzgar yükü dikkate alınmış fakat model kıyaslamalarına eklenmemiştir.

Kar yükü

Kar'ın sıkışma durumunda birim hacim ağırlığı 500-600 kg'ı geçmez. Şerefenin tamamı kar ile doldurulsa dahi dikkate alınacak bir yük ortaya çıkmaz. Bu nedenle

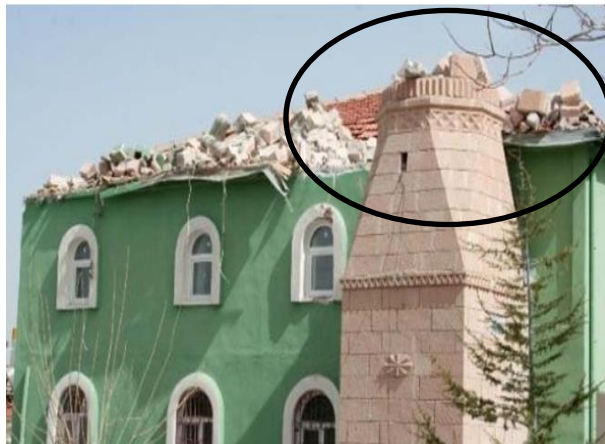
şerefelerde kar yükünün dikkate alınması çok anlamlı bulunmamaktadır (Çelikkollu, 2019).

1.1.5. Minare kritik noktaları

Deprem ve rüzgar gibi doğal afetlerin sonucunda betonarme minarelerin zarar görmesi sadece mali açıdan oluşan bir zarar türü değildir. Camilerin genellikle toplu yerleşim yerlerinin merkezlerine inşa edildiği düşünüldüğünde herhangi bir yıkım sonrası birçok insana zarar vermesi kaçınılmaz bir durumdur. Şekil 1.15, 1.16, 1.17, 1.18, 1.19 ve 1.20’da sunulan fotoğraflar bu durumu kanıtlar niteliktedir.



Şekil 1.15. Haymana’da şiddetli rüzgar nedeniyle lojmanın üzerine devrilen minare (Anonim, 2014)



Şekil 1.16. Aksaray’da rüzgardan yıkılan minare (Anonim, 2013)



Şekil 1.17. Balıkesir’de aşırı yağıştan yıkılan minare (Anonim, 2018)



Şekil 1.18. Adıyaman’da şiddetli rüzgar nedeniyle yıkılan minare (Anonim, 2018)



Şekil 1.19. Sinop'ta şiddetli fırtına nedeniyle yıkılan minare (Anonim, 2019)



Şekil 1.20. Ege Denizi'nde meydana gelen deprem sonucu İstanköy Adası'nda yıkılan minare (Anonim, 2017)

Resimler incelendiğinde minarelerin deprem ve rüzgar etkisi ile genellikle belirli noktalardan kırıldığı görülmektedir. Minarelerin etkilendiği bu noktaları araştıran çalışmalar mevcuttur. Çalışmaların üzerinde durduğu iki nokta vardır.

Birincisi kürsü ile gövde arasında kalan, farklı kesitler arası geçişi sağlayan pabuç kısmının hemen üstündeki taban kısmıdır (Ertek, 2009). İkincisi ise şerefenin hemen üst kısmıdır (Doğangün vd, 2007). Aynı zamanda Sezen vd, yayınladıkları çalışma için deprem sonrası keşif ziyaretleri sırasında, depremden etkilenen bölgede kullanılan en yaygın donatı tipinin S220 olduğunu gözlemlemişlerdir. Kolay işçilik için, genellikle Ø12 veya Ø14 çaplı küçük boyutlu donatı çubukları kullanılmıştır. Çoğu durumda, uzunlamasına donatı oranının, 2007 DBYBHY’nde 0.01 olan minimum donatı oranına yakın ya da daha küçük olduğunu görmüşlerdir. 1999 depreminden sonra yapılan birçok çalışmada, beton dayanımının 10 MPa’a kadar düşük çıktığı görülmüştür. Başka bir sorun ise 1999 öncesi nervürsüz donatı sorunudur. Bu donatıların nervürlü çubuklara göre şantiyede bükülmeleri ve kesilmelerinin daha kolay olması kullanılma oranlarını arttırmıştır. Fakat düz donatı demir ile beton arasındaki kenetlenmeyi azaltmaktadır (Sezen vd, 2008).

Bir yapı ne kadar mükemmel tasarlanmış olursa olsun, tasarım doğru uygulanmadığı müddetçe hiçbir deprem, rüzgar vs. kuvvetlerine karşı istenen şekilde davranamaz. İçi boş narin bir kesite sahip olan betonarme minareler ise rüzgar ve deprem kuvvetlerine karşı önlem alınması gereken önemli yapılar arasındadır.

1.2. Tezin Amacı

Türkiye’de minare gibi kule tipi yapılar için özel bir yönetmelik vs. bulunmamaktadır. Bu eksiklik bu tarz yapıları inşa eden insanların kendi bildiği gibi davranmasına yol açmaktadır. Yapılan işin sonucunda mühendisliğe uygun olmayan, sadece deneyimlere göre inşa edilmiş yapılar ortaya çıkmaktadır. 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe giren 2018 TBDY, bina türü olmayan yapıları kapsamamakla birlikte bina türü olmayan yapılara özel yönetmelikler çıkana kadar kullanılacak olan yönetmeliktir (TBDY, 2018). 2018 TBDY’de yer alan ‘yüzeysel temellerde zemin-yapı etkileşimi üst yapıyı olumlu etkilediği için ihmal edilebilir’ ibaresinin kule tipi yapılar adına incelenen her nokta için geçerli olup olmadığı belirsizdir. Bu noktadan hareketle bu çalışmanın amacını; minare-zemin etkileşiminin yapı güvenliği açısından önemi oluşturmaktadır.

Şekil 1.15, 1.16, 1.17, 1.18, 1.19 ve 1.20’de bulunan fotoğraflarda, minare tipi yapıların deprem ve rüzgar karşısında hangi noktalarından hasar aldığı açıkça görülmektedir. Bu çalışma kapsamında, fotoğraflarda görülen hasar bölgeleri ile

yapısal çözümlene sonuçlarının uyumu değeriendirilmekte, zemin-yapı etkileşiminin zemin sınıfına bağılı olarak minarede oluşturduğu periyot sürelerini, taban kesme kuvvetini, maksimum yerdeğıştirmelerini ve düzlem gerilmelerini nasıl etkilediğı araştırılmaktadır. Yapısal çözümleneler, 2007 ve 2018 deprem yönetmeliğine göre ayrı ayrı yapılarak aynı zamanda iki yönetmelik sonuçları kıyaslanmaktadır. Çalışma için geleneksel mimariye sahip temsili bir betonarme minare modeli tercih edilerek aynı model üzerinden oniki ayrı yapısal çözümlene yapılmış ve bazı sonuçlara varılmıştır.

Uygulamada cami ve minare yapısal çözümlenmesi için kullanılacak çok sayıda program bulunmaktadır. Büyük ölçekli mimarilere sahip camiler için her ne kadar daha geniş kapsamlı, uluslararası programlar kullanılıyor olsada, küçük ölçekli mimariye sahip cami ve cami eklentisi minare çiziminde -ki ülkemizde bunun sayısı oldukça fazladır- Sta4cad vb. yerel yazılımlar ile modelleme yapılarak, yapısal çözümlene gerçekleştirilmektedir. Özellikle piyasada çokça kullanılan yerli paket programlar ile minare projelendirilmesinde ilgili katsayı seçimlerinin nasıl belirleneceğı karmaşık haldedir. Bu çalışma kapsamında söz konusu karmaşıklığı gidermek adına minarenin dinamik analizi yerli paket program olan Sta4cad ile lineer olarak yapılmış ve analiz için gerekli katsayıların nasıl belirlendiğı açıklanmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Minareler kapsamında literatürde yapılan çalışmalar incelenerek aşağıda bir özet sunulmaktadır:

OĞUZMERT (2002), deprem ve rüzgar yüklerine karşı dayanıksız olan yığma minarelerin dinamik davranışlarını araştırmıştır. Birinci bölümde yığma yapı malzemesinin mekanik özellikleri ve yığma yapıların analizlerinde kullanılan yöntemler bir giriş niteliğinde sunulmuştur. Bir sonraki bölümde ise bilgisayarla yapılan modellemelerin bu alandaki uygulamaları tartışılmıştır. Üçüncü bölüm Osmanlılar tarafından geliştirilen, yığma minarelerin yapımında kullanılan özel teknik hakkındadır. Bu teknikte kullanılan bağlantı elemanları ve yöntemin tarihsel gelişiminden kısaca söz edilmektedir. Çalışmanın dördüncü bölümünde Marmara Bölgesi'nde meydana gelen tarihi depremlerin minareler üzerindeki etkisi araştırılmış ve bu yapıların depreme dayanımı konusunda bazı sonuçlar çıkarılmıştır. Son iki kısımda İTÜ İnşaat Mühendisliği bölümünden bir ekip tarafından yürütülen Dolmabahçe Cami minareleri üzerindeki çalışmalar anlatılmıştır. Beşinci bölümde minarelerde yapılan saha çalışması ele alınmıştır. Bu bölümde yapı hakkında genel bilgiler ve mikro titreşim deneyi sonuçları bulunmaktadır. Altıncı bölümde ise SAP2000 programında kabuk elemanları kullanılarak oluşturulan model ele alınarak analiz edilmiş ve bazı sonuçlar elde edilmiştir.

TEMÜZ (2007), minarelerin rüzgar yükleri altında davranışlarını incelemiştir. Minarelerin ACI 307 ve TS498'e göre rüzgar yüklerinin hesabı, deprem yüklerinin hesabı ve minare gövdesinin taşıma gücüne göre kesit hesapları çeşitli yük kombinezonları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Bölümün sonunda rüzgar ve deprem yükleri için yük kombinezonlarından elde edilen değerleri karşılaştırmalı olarak irdelemiştir.

ERTEK ve FAHJAN (2007), Osmanlı minarelerinin yapısal sistemlerini; sınıflandırma, modelleme ve analizi olmak üzere 3 yönden incelemiştir. Basit bir minare modelini dış kabuklarında ve iç merdivenlerinde farklı malzeme kullanarak analiz etmişler ve modellerin dinamik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Bu analizlerde iki farklı deprem hareketi kullanmış ve üç noktada maksimum yerdeğiştirme ve gerilmeler ile karşılaşmışlardır. Merdivensiz katı elemanlar modeli

ve merdivensiz kabuk elemanlar modeli için doğal titreşim periyotları ve değişik noktalardaki yerdeğiştirmeler ve stresler yönünden yaklaşık olarak aynı sonuçları bulmuşlardır. Elde ettikleri bulgulara göre minare modeline merdiven eklenmesi sistemin rijitlik ve kütesini arttırmaktadır. Katı elemanlarla modellenen sistemlerde modele merdiven eklenmesi sonucu deprem kaydına göre artış veya azalış kaydederken, kabuk eleman modellenen sistemde her zaman artış kaydetmiştir. Bunun nedenini katı elemanlarla modellenen sistemdeki bağlantıların yüzey alanının kabuk elemanlarla modellenen sisteme göre fazla olması ve böylelikle sistemin rijitliğinin artması olarak açıklamışlardır.

DOĞANGÜN vd (2007), yığma minarelerin mimarisi ve yapısal özellikleri, yaygın olarak kullanılan inşaat malzemeleri, yöntemleri ve depremler sonrasında gözlenen sismik hasarları incelenmişlerdir. Yığma minareler üzerinde yaptıkları araştırma ile bilinmeyen tarihi yapıım tekniklerini, oluşan hasar türlerini mimari ve mühendislik yönleriyle tanıtmış ve tartışmışlardır. Çalışmada sırasıyla minare bölümleri, deprem ve rüzgarlar neticesinde en çok oluşan hasar türleri açıklanmıştır.

KORKMAZ ve ÇARLIOĞLU (2008), çelik kule tipi yapıların temellerinin ankastre olarak kabul edilmesinin doğruluğunun incelenmesini amaçlamışlardır. Bu amaçla farklı özelliklerde zemin tabakaları alınarak farklı modeller tanımlanmıştır. Modeller 12 farklı zemin kombinasyonu için 3 boyutlu olarak tanımlamış ve zaman tanım alanı yöntemi kullanılarak dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Zaman tanım alanında dinamik analiz için Düzce deprem verisi kullanılmıştır. Analizler sonucunda taban kesme kuvvetleri ve yerdeğiştirmeler elde edilmiştir. Modeller karşılaştırılarak farklı koşulların değerlendirilmesi sağlanmıştır.

SEZEN vd (2008), Kocaeli ve Düzce depremlerinden dolayı hasar gören minareleri incelemişler ve zayıf donatılandırmanın minare dinamik potansiyeli üzerine etkisini araştırmışlardır. Betonarme minarelerde oluşan hasarların nedenini çözümleyebilmek adına temsili bir minare modelleyerek sarmal merdivenlerin, kapı açıklıklarının ve balkonların dinamik davranış üzerindeki etkileri incelenmişler ve maksimum dinamik iç kuvvet taleplerini hesaplanan kapasiteler ile karşılaştırmışlardır.

TÜRKELİ ve KARACA (2009), narin betonarme sanayi bacalarında rüzgar etkilerinin incelenmesi ve bu yapıların rüzgar yüklerine göre hesabı başlıklı bir

çalışma yayınlamışlardır. Çalışmada seçilen on betonarme baca hakkında modelleme ve malzeme bilgisi verilmiştir. Rüzgar yüklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan standartlar tanıtılmış ve bu standartlara göre hesaplanan endüstri yapı yükleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Modellerin tabanını betonarme kabul edip çalışmaya zemin etkisini dahil etmemişlerdir.

ALTUNIŞIK (2011), lif takviyeli polimer (FRP) ile güçlendirilmiş yığma minarelerin dinamik davranışını incelemiştir. Minare duvarlarını FRP ile güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş olarak analiz ederek minarenin dinamik tepkisini belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışma için Trabzon'da bulunan ve 21 metre yüksekliğe sahip tarihi İskenderpaşa Cami minaresini seçmiştir. Minare modelini üç boyutlu sonlu eleman modeli ile ANSYS yazılımını kullanarak oluşturmuş ve ardından minarenin dinamik davranışını belirlemek için alanın yakınında meydana gelen 1992 Erzincan deprem ivmesini kullanarak analiz etmiştir. Daha sonra minarenin silindirik gövdesini farklı konfigürasyonlar kullanılarak FRP kompozit ile güçlendirmiş ve dinamik analizlerini yapmıştır. FRP'nin silindirik bölgeye uygulanabileceğini belirterek çalışmada sadece silindirik gövdenin FRP ile güçlendirildiğini belirtmiştir. Son olarak, minarede oluşan yer değiştirmeler, maksimum-minimum gerilmeler; FRP güçlenmesinden önce ve sonrası baz alınarak karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda, minarenin yüksekliği boyunca yer değiştirmelerin arttığı, tüm analizler için silindirik gövde ve geçiş segmenti bölgesinde maksimum ve minimum ana gerilmelerin meydana geldiğini görmüştür. Ayrıca, deprem analizlerinde FRP güçlendirmesinin minarenin dinamik tepkileri üzerinde olumlu olarak etkili olduğunu görmüş ve FRP kompozitin yapısal sisteme sertlik kazandırdığını görmüştür.

OLIVEIRA vd (2011), farklı boyutlardaki eski minarelerin, modlarının ve frekanslarının doğru belirlenebilmesi için ortam titreşim testleri uygulayarak minarelerin geometrik ve malzeme özelliklerini belirlemeye çalışmışlardır. Çalışma için İstanbul'da bulunan 23 m ile 67 m arasında 11 farklı minare seçilmiştir. Toplanan verileri kullanarak modları belirlemek adına amprik bir formül geliştirmişlerdir. Formüle göre frekansın minare yüksekliğinin karekökü ile ters orantılı olduğunu ve formülün $\pm\%$ 30 hata payına sahip olduğunu söylemişlerdir. Minarelerin dinamik özelliklerini karakterize etmek için Artemis Extractor software yazılımı kullanılmıştır. Toplanan verilere göre modellerin geometrik özellikleri Sap2000 programında tanımlanmıştır. Zemin sınıfları ise bölgede en son yapılan

araştırmalara göre B, C, D sınıfları seçilmiştir. Zemin-yapı etkileşimi göz önünde bulundurulmamıştır. Yapıların dinamik analizleri için 30 yıl içinde gerçekleşmesi muhtemel en büyük yer ivmesini (PGA) yapılarla uygulamışlar ve çok yüksek gerilmelerin ortaya çıktığı grlmştir. Bu gerilmelerin, son dönemde yaşanan olaylarda olduğu gibi minarelerin devrilmelerine neden olabileceğini belirtmişlerdir.

ABDEL (2014), kazıkların, minarelerin dinamik tepkisi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışma için Mısır'da bulunan Er Rahman Er Rahim Cami minaresini seçmiştir. Minare (4.0 × 4.0 m) taban ölçülerine sahip betonarme iskeletten (60.0 m yükseklik) oluşmaktadır. Kapsamlı bir çalışma yapmak için, üst toprak formasyonu fiziksel ve mekanik toprak özellikleri (20 m derinliğe kadar) ok çeşitli kumlu toprak türlerini (gevşek, orta, yoğun, yoğun ve çok yoğun) kapsayacak şekilde seçmiştir. Kazık uzunluğu ve çapının, kazık dizilişinin, toprak sertliğinin minarenin dinamik tepkisi üzerindeki etkisini araştırmak için kapsamlı bir çalışma yapmıştır. 5, 10, 15, 20 m uzunluğunda 4x4, 6x6, ve 8x8 adet kazık ızgara biçimi kullanılarak çalışmasını gerçekleştirmiştir. Kazık çaplarını ise 40, 60, 80, 100 cm olarak seçmiştir. Analiz sonuçları aşağıda listelendiği gibidir:

- Minarelerin temelinde kazık kullanımı yapının dinamik tepkisini azaltmada oldukça önemli bir etkiye sahiptir. 20 m uzunluğunda ve 1 m çapında kazık kullanılması durumunda, kesit etkileri yaklaşık % 60 oranında azaltılabilir.
- Minarenin dinamik tepkisi kazık uzunluğundan etkilenir. Çalışma sonuçları, kısa kazıkların bile toprak ile kazıklar arasındaki karmaşık etkileşim üzerindeki etkisini göstermektedir.
- Çalışma sonuçları optimum bir kazık uzunluğu olduğunu göstermektedir; bu değerin ötesinde kazık uzunluğunun arttırılmasının etkisi önemli değildir.
- Ekonomik açıdan, büyük çaplı kazıkların kullanılması tavsiye edilmez, çünkü artan kazık çapları yanal dinamik tepkinin azaltılmasında önemli bir etkiye sahip değildir. Aksine, gelişen eğilme momentini ve dolayısıyla kazık takviyesini arttırır.

TÜRKELİ (2014), betonarme minarelerin deprem ve rüzgar karşısında davranışlarını incelemiş ve yapıların zayıf noktalarını belirlemiştir. Çalışmada, temsili bir betonarme minareye rüzgâr etkittirilmif ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Minarenin deprem karşısında davranışını incelemek adına pek çok betonarme minarenin bu depremde çökmesi nedeniyle 1999 Düzce Depremi ivmesiyle, zaman

tanım alanında analiz yapılmıştır. Minarenin 3D sonlu elemanlar modeli Sap2000 yapısal analiz programı kullanılarak yapılmıştır.

TÜRKELİ vd (2015), yıkıcı depremler sonucunda hasar gören betonarme minarelerin dinamik davranışlarının incelenmesi gerektiğini söyleyerek farklı yükseklikteki minarelere payanda eklemişler ve bu minarelerin dinamik davranışlarını birbirleriyle kıyaslayarak betonarme minareler için alternatif bir güçlendirme tekniği önermişlerdir. Betonarme minarelerde yapının donatılandırılması, toprak özellikleri ve depremin büyüklüğü gibi bazı faktörlere bağlı olarak meydana gelen hasarların son depremlerden sonra incelendiğinde birkaç spesifik noktada yoğunlaştığını belirtmişlerdir.

ASLAN (2016), Süleymaniye Camii ve minarelerini yerel zemin koşullarına bağlı olarak Sap2000 programında sonlu elemanlar yöntemi ile 3 boyutlu olarak tasarlamış ve deprem performans değerlendirilmesini yapmıştır. Karmaşık yapıların modellenmesi hakkında bilgiler vererek minareleri katı eleman olarak modellemiştir. Yapıya iki farklı şekilde analiz yaptırmıştır. Birincisinde üç adet farklı karakteristik özelliğe sahip tarihi büyük depremleri yapıya etki ettirmiş, ikincisinde ise yapıda Kocaeli depremi zemin etkisini dikkate alınarak analiz yaptırmıştır. Analizler neticesinde minareleri yapının tamamına oranla en fazla çekme gerilmelerinin olduğu yer olarak tespit etmiş ve çekme gerilmelerinin minarelerin alt kısımlarında meydana geldiğini ve yapıda en fazla yer değiştirmenin minarelerde ortaya çıktığını görmüştür. Çalışma sonucunda yapı yakınlarında oluşabilecek ciddi bir deprem riski nedeniyle minarelere çekme gerilmelerini karşılayacak takviyelerde bulunması gerektiğini önermiştir.

UĞURLU vd (2017), minareler ve zemin arasındaki ilişkiyi göz önünde bulundurarak Dört Ayaklı Minare'yi makro modellemişler ve minarede bulunan yapısal çatlakların nedenini araştırmışlardır. Bunun için Sap2000 ve Seismostruct programlarını kullanarak minarenin analitik modelini oluşturmuşlar, dinamik ve statik yükler altında analiz yapmışlardır. Yapılan analizler sonucunda sütunların hemen üstlerinde yer alan lentoların açıklık bölgesinde eksenel çekme kuvvetlerinin yüksek, kesme kuvvetlerinin çok düşük olduğunu görmüş ve bu elemanların eksenel çekme amacı ile tasarlandığını ortaya koymuşlardır. Yapısal çatlakların nedeni olarak hesaba katılmayan motorlu araçların sebep olduğu titreşimler ile günümüz

yapılaşması sonucu kısmi oturmalar gibi yapı stabilitesini olumsuz etkileyebilecek durumları göstermişlerdir.

REŞATOĞLU vd (2018), rüzgar ve deprem yüklerinin Kuzey Kıbrıs'ta bulunan dört farklı yükseklikte betonarme minare üzerine etkisini incelemişlerdir. Kapı boşlukları, kesit boyutundaki geometri değişiklikleri ve balkonlardaki ek kütlelerin en sık karşılaşılan sorunlar olduğuna dikkat çekerek zayıf ve kritik yönleri açıklığa kavuşturmak adına ACI307-98 (ACI, 1998), TEC2007 (DBYBHY, 2007) ve TS498 (TS498, 1997) yönetmelikleri ışığında seçilen betonarme minarelerinin rüzgar ve deprem analizlerinin sonuçlarını karşılaştırmışlardır.

URAL ve ÇELİK (2018), çift şerefeli yığma minarelerin deprem performansını incelemişlerdir. Çalışma için Aksaray il merkezinde bulunan sekiz adet yığma minareyi fotogrametrik cihazlar yardımıyla ölçmüşler ve LUSAS yazılımı ile sonlu eleman modelini oluşturmuşlardır. 1992 Erzincan, 1999 Kocaeli ve 1999 Düzce Depremi ile Türk deprem yönetmeliği kurallarına uygun hazırlanmış tasarım spektrum verileri kullanılarak modellerin spektral analizlerini yapmışlar ve sonuçları birbirleriyle kıyaslamışlardır. Bu depremleri seçme nedenlerini; büyüklüğü 6.0'dan büyük olan bu üç deprem karşısında çok fazla minarenin göçmesi olarak açıklamışlardır.

GÜNAYDIN ve TONYALI (2018), betonarme minarelerin dinamik tepkisini araştırmışlardır. Çalışma için geleneksel tarzda Türk mimarisine sahip bir minare seçmişler ve minare üzerinde modal analiz ve zaman tanım alanında analiz gerçekleştirmişlerdir. Zaman tanım alanında analiz için 1992 Erzincan deprem ivmesini ve analizler için ANSYS sonlu elemanlar paket programını kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, minare için hesaplanan maksimum yerdeğiştirme ve maksimum-minimum gerilmeler karşılaştırılmıştır.

TÜRKELİ (2019), TS498 ve TS-EN-1991-1-4 standartlarına göre, seçilen bir betonarme minareye etkiyen rüzgâr yüklerini ayrıntılı bir şekilde hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda ayrıca, zemin yapı etkileşiminin, hesaplanan rüzgâr yüklerine etkilerini de incelenmiştir. Çalışmanın sonunda, yapılan hesaplamalar ile elde edilen rüzgâr yüklerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Deprem yönetmeliği değişimi ile (son yönetmelik-2018 TBDY) betonarme yapı tasarımı farklı bir boyut kazanmıştır. Gelişen teknoloji ile tasarlanan her tipte yapı bir öncekinin hem estetik açıdan daha iyisi hemde emniyet açısından daha güvenilir hali olma özelliğini taşımaktadır.

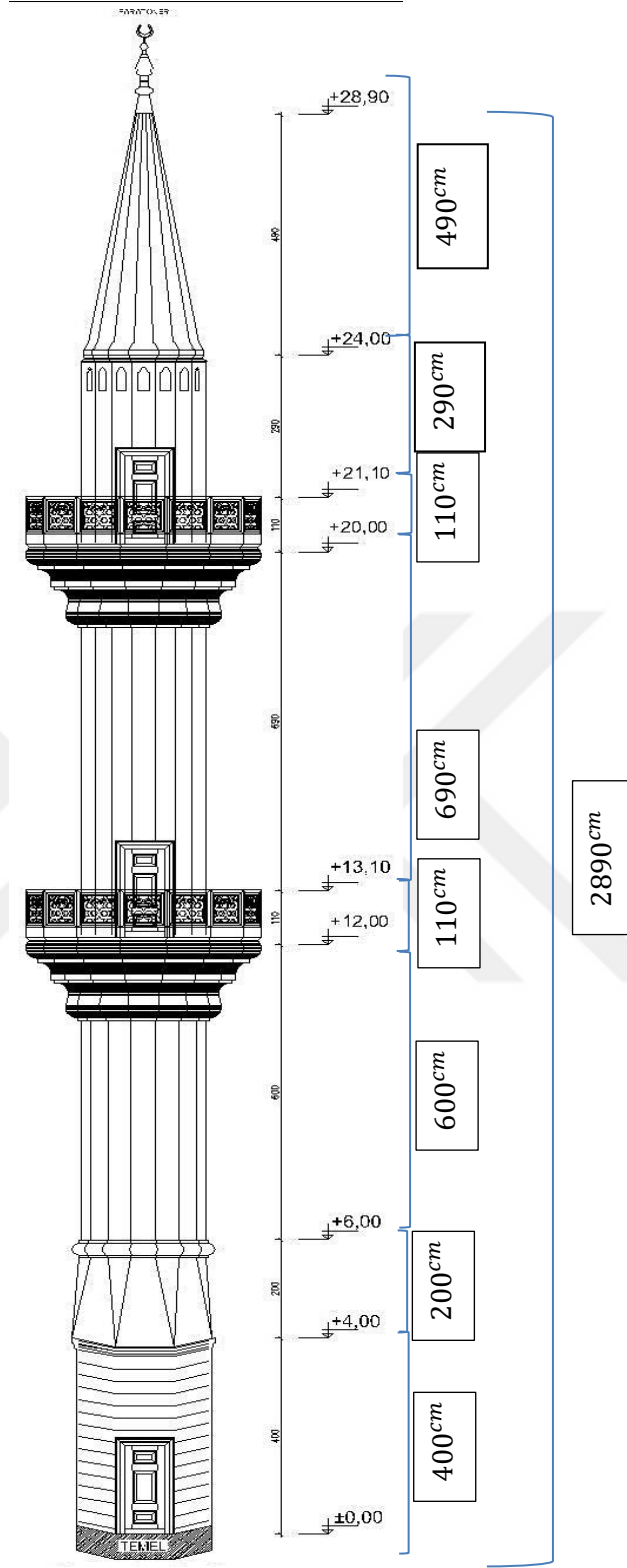
Öncesinde taş ve ahşap malzemeden imal edilen minareler tarihsel süreçte, daha çok betonarme sistemlerin tercih edilmesiyle yapılmaya başlanmıştır.

3.1. Materyal

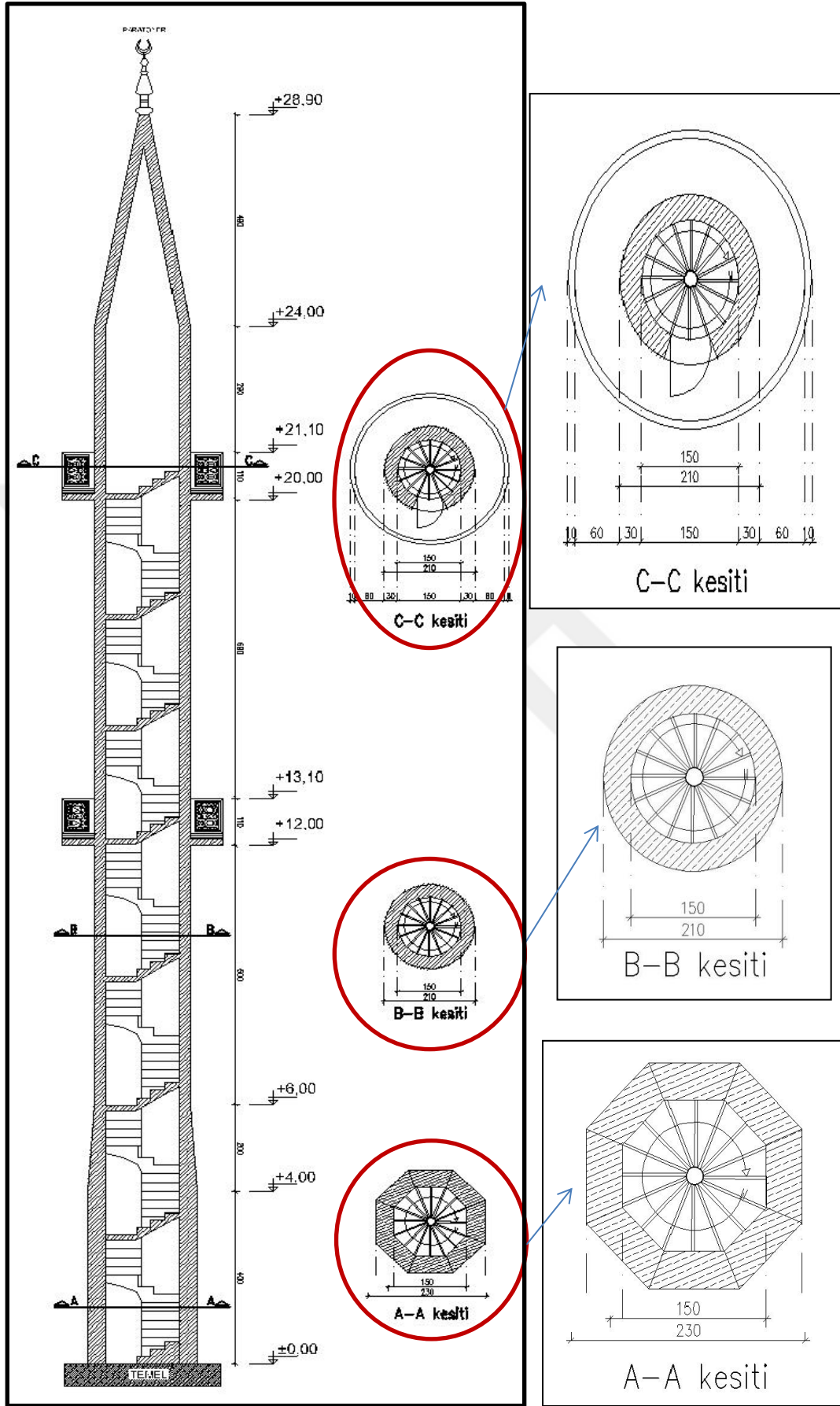
3.1.1. Çalışma için kullanılacak minare modeli ve uygulanacak alan seçimi

Birbirinden farklı birçok minare çeşiti bulunmasına rağmen ülkemizde sık tercih edilen minare şekillerini genellikle; tek ya da iki şerefeli, kürsüsü dikdörtgen, kare veya çokgen kesitli, gövdesi dairesel kesite sahip, girişinden şerefesine kadar spiral bir iç merdiveni bulunan minare şekli oluşturmaktadır. Uygulama yelpazesinin geniş olmasından dolayı bu çalışmada temsili minare modeli olarak Şekil 3.1’de sunulan model tercih edilmiştir.

Seçilen minare modeli geometrik özellikleri bakımından geleneksel minare fiziksel özelliklerine sahip olup, külah dahil 28,9 m yüksekliğindedir. Kürsü yüksekliği 4 m, geçiş segment (pabuç) yüksekliği 2 m’dir. Gövde yüksekliği 1. şerefeye kadar 6 m, 1. şerefeden 2. şerefeye kadar 8 m, 2. şerefeden sonra külah kadar 4 m’dir. Külah betonarme olarak düşünülmüş olup 4,9 m yüksekliğe sahiptir. Minare 2 şerefeye sahip olup; 1. şerefe + 12.00, 2. şerefe + 20.00 kotundadır. Giriş kapısı ise ± 0.00 kotundadır. Kürsü perde kalınlığı 40 cm, gövde perde kalınlığı 30 cm’dir. Geçiş segmentinin (pabuç) iç çapı kürsü ve gövde iç çapı ile aynı olup, perde kalınlığı çalışmada kolaylık sağlaması adına gövde enkesitlerinde modellenmiştir. Petek enkesiti, gövde en kesiti ile aynıdır. Spiral merdiven ± 0.00 kotunda başlayarak +20.00 kotuna kadar devam etmektedir. Yapı + 20.00 kotuna kadar 30 cm çapında, merdivenlerin etrafında döndüğü katı kolon elemanına sahiptir. Temsili minare kotlarına Şekil 3.1’de, geometrik kesit özelliklerine Şekil 3.2’de yer verilmiştir.



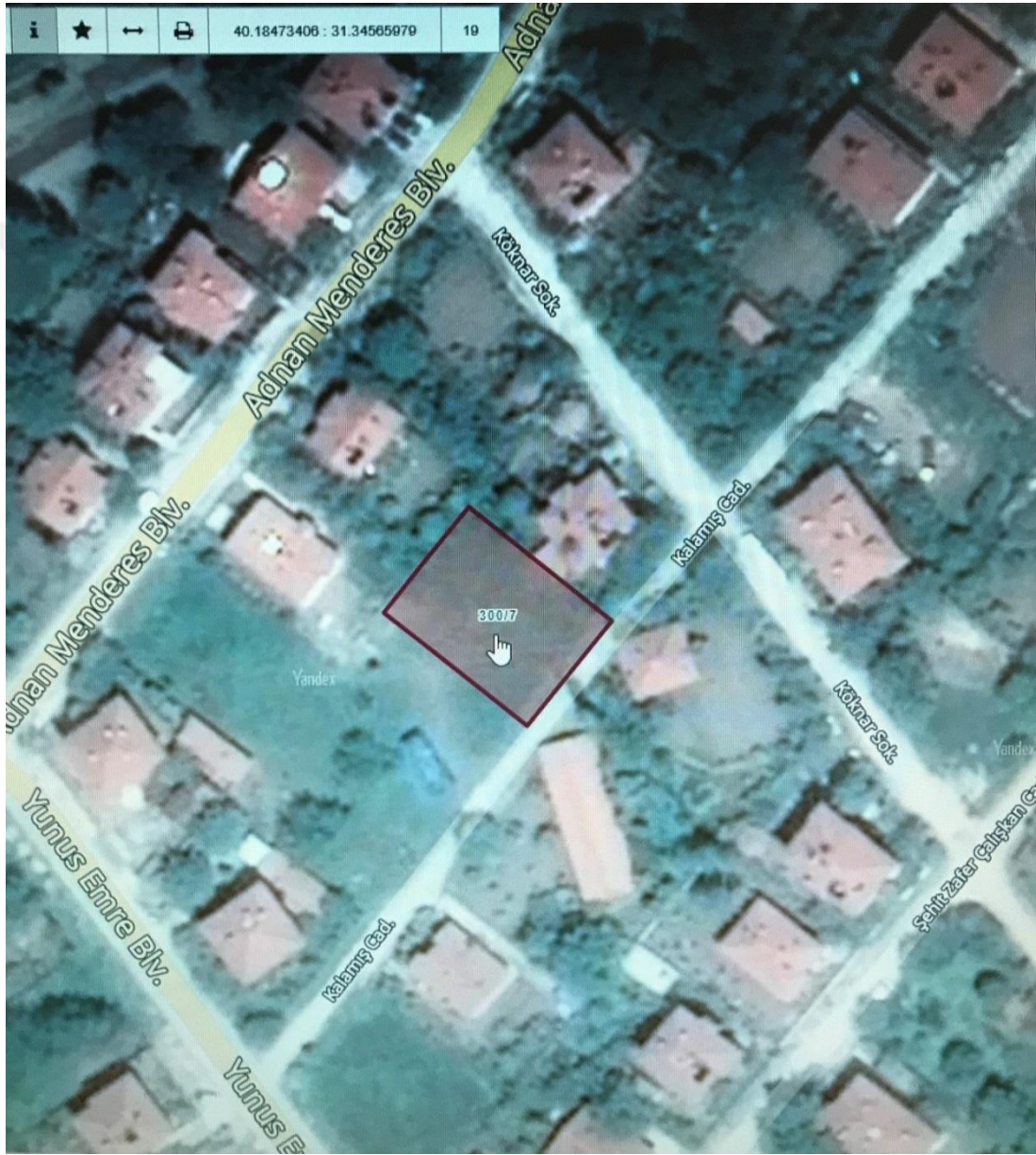
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılacak geleneksel minare modeli ve kotlar



Şekil 3.2. Temsili minarenin geometrik kesit özellikleri

Çalışma kapsamına girmemesinden dolayı minare kütlesi, cami kütlesinden bağımsız olarak düşünülmüştür. Cami kütlesine bağımlı olarak inşa edilecek betonarme minareler için ayrıca bir çalışma yapılması gerekmektedir.

Çalışmada minarenin uygulanacağı sanal nokta Şekil 3.3'te sunulan 40.184734 enlem ve 31.345659 boylama sahip, Ankara ili Nallıhan ilçesinde bulunan 300 ada 7 parsel üzerinde yer almaktadır.



Şekil 3.3. Çalışma için seçilen alanın uydu görüntüsü

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)'nın hazırlamış olduğu Türkiye deprem tehlike haritasına bakıldığında (<https://tdth.afad.gov.tr/>)

görülmektedir ki, aynı adada bulunan parsellerin dahi spektral ivme katsayıları farklı çıkabilmektedir. Ayrıca yeni yönetmelik ile 4 (Z1, Z2, Z3, Z4) olan yerel zemin sınıfı sayısı 6'ya (ZA, ZB, ZC, ZD, ZE, ZF) çıkarıldığı için 2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri adına, isimleri aynı olan yerel zemin sınıflarının birbirine tamamen denk olması imkansızdır. Çünkü zemin sınıflarının temsil ettiği kayma gerilmesi aralıkları birbirine eşit değildir. Bu bilgi de göz önünde bulundurularak; Z1-A (2007) ve ZA (2018), Z3-C (2007) ve ZC (2018), Z4-D (2007) ve ZE (2018) zemin sınıflarının birbirine en yakın zemin sınıfları olduğu görülmüş ve çalışmada kıyaslanmıştır.

2007 DBYBHY ile yapısal çözümlemesi gerçekleştirilecek bölüm için kullanılacak spektrum karakteristik periyot değerleri (T_A, T_B), zemin grubu ve yerel zemin sınıfına bağlı olarak, yerel zemin sınıflarının temsil ettikleri kayma gerilmesi aralıkları ile birlikte 2007 DBYBHY'nden alınarak Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Zemin grubu ve sınıfına bağlı spektrum karakteristik periyot (T_A, T_B) değerleri ve zemin sınıflarının kayma dalga hızları (DBYBHY, 2007)

Zemin Grubu	Yerel Zemin Sınıfı	Kabul edilen zemin tabakası kalınlığı h_1 (m)	T_A (saniye)	T_B (saniye)	Kayma Dalgası Hızı
A	Z1	30	0.10	0.30	>700-1000
C	Z3	30	0.15	0.60	400-700/ 200-300
D	Z4	30	0.20	0.90	<200

2019 Ocak ayından itibaren tasarlanacak yapılar, 01.01.2019 tarihi itibarıyla hayatımıza giren 2018 TBDY'nin getirdiği koşul gereği zemin raporundan alınacak periyot değerlerine göre değil, AFAD'ın sitesinde bulunan deprem tehlike haritasından alınacak tasarım spektral ivme katsayılarına (S_{DS} ve S_{D1}) göre tasarlanacaktır (TBDY, 2018). Çalışmada kullanılacak tasarım spektral ivme katsayıları 2018 TBDY gereği <https://tdth.afad.gov.tr/> adresinden alınmış ve Çizelge 3.2'de verilmiştir. Bu uygulama 2007 DBYBHY'nde bulunmamaktadır. Harita kendi

içinde tanımlanan harita spektral ivme katsayılarını (S_S ve S_1) Denklem 3.1’de yer alan formüller ile tasarım spektral ivme katsayılarına (S_{DS} ve S_{D1}) dönüştürmektedir. Denklemde bulunan F_S ve F_1 , yerel zemin sınıflarına bağlı olarak tanımlanan yerel zemin etki katsayılarıdır (TBDY, 2018).

$$S_{DS} = S_S F_S$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 \quad (3.1)$$

Çizelge 3.2. Yerel zemin sınıfına göre tasarım spektral ivme katsayı (S_{DS} , S_{D1}) değerleri ve zemin sınıflarının kayma dalga hızları (TBDY, 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	Enlem	Boylam	Kabul edilen zemin tabakası kalınlığı h_1 (m)	S_{DS}	S_{D1}	T_A (saniye) (0,2x S_{D1}/S_{DS})	T_B (saniye) (S_{D1}/S_{DS})	V_{S30} [m/s]
ZA	40.184734	31.345659	30	0.322	0.130	0.081	0.404	>1500
ZC	40.184734	31.345659	30	0.524	0.243	0.093	0.464	360-760
ZE	40.184734	31.345659	30	0.795	0.590	0.148	0.742	<180

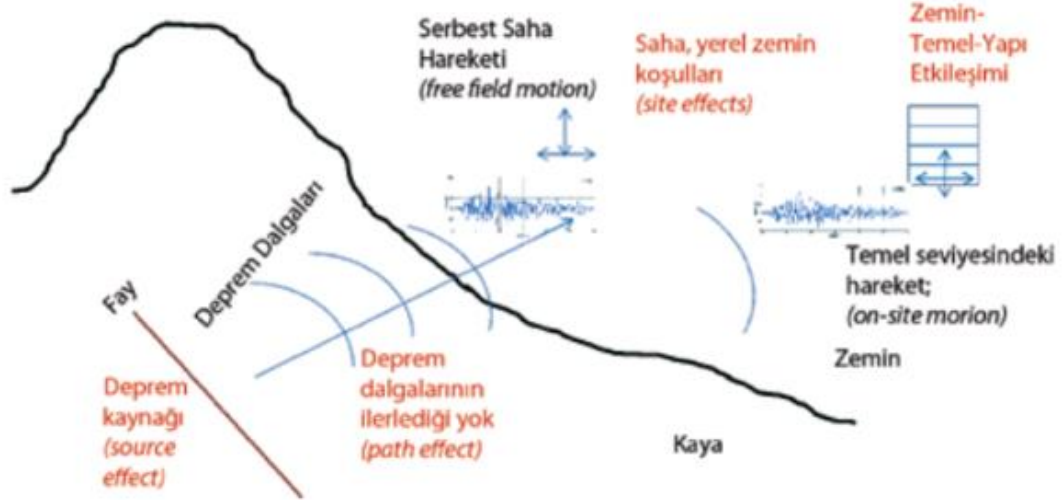
Tasarım spektral ivme katsayıları (S_{DS} , S_{D1}) AFAD’ın sitesinden (tdth.afad.gov.tr)³ alınırken deprem yer hareketi düzeyi olarak, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının % 10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini simgelemesi ve standart tasarım deprem yer hareketi olmasından dolayı DD-2 seçilmiştir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Zemin-yapı etkileşimi

Zemin-yapı etkileşimi temel ve üst yapının zemin ile deprem sırasında birbirlerini karşılıklı etkilemesi olarak tanımlanabilir. Meydana gelen deprem dalgaları yapı temeline ulaşır ve bir kısmı üst yapıya yansarak titreşmesine neden olur, bir kısmı ise zemine geri döner (Siyahi, 2015). Bu durum Şekil 3.4’de özetlenmektedir.

³Zemin sınıflarına göre alınan AFAD verilerine ait çıktılar EK 1-2-3’te verilmiştir.



Şekil 3.4. Zemin-temel-yapı etkileşimi (Siyahi, 2015)

Zemin ve temel bağlantılı üst yapının bir etkileşim içinde olduğu ortadadır. Hal böyle olunca 2018 TBDY’de geçen ‘bina türü yapılar için zemin-yapı etkileşiminin zemin sınıfına bağlı olarak olumlu etki oluşturduğu’ ibaresinin minareler açısından incelenen her nokta için geçerli olup olmadığı araştırılması gereken bir konu haline dönüşmüştür ve çalışmada bu durum irdelenmektedir.

Yapısal çözümleme esnasında mühendisler tarafından zemin hakkında yeterince bilgi sahibi olunmamasının sonucu olarak kaba bir yaklaşımla zemin rijit kabul edilmektedir. Zeminin dış yükler karşısında şekil değiştirdiğini en basit örnekle, yeni asfalt atılmış bir yol üzerinden ağır tonajlı vasıtaların sürekli geçmesi sonucu şekil değiştirerek asfalt yapısını bozmasından anlayabiliriz. Bu konu ile ilgili görüşlerini Özçep vd (2005) şu şekilde belirtmişlerdir: “Statik ve dinamik (deprem) etkiler altında zemin davranışının incelenmesi, yapı (bina, köprü, baraj vb.) üretimi sürecinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Zeminler, gezegenimiz yerküre ile kıyaslandığında oldukça küçük bir bölüm oluşturmasına karşın, sağlıklı ve güvenli yapılaşma açısından yaşamımıza etkileriyle bakıldığında çok büyük bir öneme sahiptir. Mühendislik tasarımının bir parçası olarak bir zemin ya da yapı yeri incelemesi, önerilen inşaat ile doğal çevrenin etkileşiminin değerlendirilmesi amacıyla temel veriyi sağlamak için yapılmaktadır. Mühendisliği bilimsel ilkelerin, doğadaki kaynakların en verimli biçimde yapılara, makinalara, sistemlere ve süreçlere dönüştürülmesi amacıyla uygulamaya koyma sanatı olarak tanımladığımızda, zemin davranışı bağlamında mühendislik sağlık ve güvenlik sınırları içinde kriterler oluşturmak ve bu kriterlere göre zeminde oluşan problemleri

çözmektir. Bir başka açıdan bakarsak, statik ve dinamik yükler altında zeminlerin davranışının incelenmesi, yapıların projelendirilmesi ve üretimi sürecinde oldukça önemli bir yere sahiptir”.

Korkmaz ve Demir'in (2012) bu konudaki görüşleri ise şu şekildedir: “Yapı çözümlemesinde genel yaklaşım zemine bağlanan kolonların, sabit veya ankastre mesnetler şeklinde modellenmesi yönündedir. Bu modellemede zeminin üst yapıya etkisi tam olarak gözlemlenemez. Zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak yapılan çözümlemelerde yapı periyodunun ve buna bağlı olarak etkiyen yatay yüklerin zemin özelliklerine bağlı olarak değiştiği görülür”.

Çağlar'ın görüşü (2005) ise şu şekildedir: “Temeldeki çökme ve dönmenin ihmal edilmesi demek, deprem kuvvetinin zeminde oluşturacağı hasarları göz ardı etmek demektir. Son yıllarda yapılan çalışmalar bize göstermektedir ki zeminin üst yapı üzerine etkisi oldukça fazladır. Zemin kayma dalga hızı V_S 'nin büyük olduğu zemin çeşitlerinde üst yapının tepe noktasının daha az yer değiştirme yaptığı, bu nedenle zemin çeşidinin dikkate alınması gerektiği anlaşılmaktadır”.

Yazarlarında belirttiği üzere kötü zeminlerde etkisi daha fazla olmak kaydıyla zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak çözümlenen yapılarda elde edilen çeşitli parametrelerde değişiklikler saptanmaktadır. Bu noktada anlaşılan şudur ki; kötü zeminlerde daha fazla olmak kaydıyla yapıda değişikliğe yol açan zemin-yapı etkileşimi dikkate alınması gereken bir durumdur.

Bu çalışmaya konu olan minare yapısal çözümlemelerinde Sta4cad (Sta4cad, 2018) programı kullanılacaktır. Yapısal çözümleme için kullanılacak her paket programın bizden tanımlamamızı istediği opsiyonların başında zemin ve temelin birlikte nasıl çalışacağı gelir. Sta4cad'in konu ile ilgili bize sunduğu görsel Şekil 3.5'de verilmiştir. Zemin-yapı etkileşimsiz modeller için 1. opsiyon olan yapı-temel ayrı statik analiz (temel zemine rijit bağlı kabul edilerek dönme ve çökme engellenmiş durum), zemin-yapı etkileşimli modeller için 3. opsiyon olan yapı-temel birlikte analiz (çökmeler ve dönmeler dikkate alınarak) seçilerek çözümlemelerde dikkate alınmaktadır.



Şekil 3.5. Sta4cad yapı-temel analiz opsiyonları

3.2.2. Çalışma için izlenen yol ve kullanılan malzeme özellikleri

Çalışmada zemin-yapı etkileşiminin yapı üzerinde oluşturduğu farklılıkları görebilmek adına seçilen minare modeli, Çizelge 3.1 ve 3.2’de belirlenen zemin sınıfları için zemin-yapı etkileşimli ve zemin-yapı etkileşimsiz olarak ayrı ayrı modellenmiştir. 2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri için işlemler tekrar edilmiş ve toplamda oniki farklı sonuç elde edilmiştir. Minare modeli kabuk elemanlar kullanılarak modellenmiş ve lineer analiz yapılmıştır.

Çalışma için kullanılan modeller:

- Model (1) (2007 DBYBHY) Z1 zemin sınıfı ve A zemin grubu/ zemin-yapı etkileşimli
- Model (2) (2007 DBYBHY) Z3 zemin sınıfı ve C zemin grubu/ zemin-yapı etkileşimli
- Model (3) (2007 DBYBHY) Z4 zemin sınıfı ve D zemin grubu/ zemin-yapı etkileşimli
- Model (4) (2007 DBYBHY) Z1 zemin sınıfı ve A zemin grubu/ zemin-yapı etkileşimsiz

- Model (5) (2007 DBYBHY) Z3 zemin sınıfı ve C zemin grubu/ zemin-yapı etkileşimsiz
- Model (6) (2007 DBYBHY) Z4 zemin sınıfı ve D zemin grubu/ zemin-yapı etkileşimsiz
- Model (7) (2018 TBDY) ZA yerel zemin sınıfı/ zemin-yapı etkileşimli
- Model (8) (2018 TBDY) ZC yerel zemin sınıfı/ zemin-yapı etkileşimli
- Model (9) (2018 TBDY) ZE yerel zemin sınıfı/ zemin-yapı etkileşimli
- Model (10) (2018 TBDY) ZA yerel zemin sınıfı/ zemin-yapı etkileşimsiz
- Model (11) (2018 TBDY) ZC yerel zemin sınıfı/ zemin-yapı etkileşimsiz
- Model (12) (2018 TBDY) ZE yerel zemin sınıfı/ zemin-yapı etkileşimsiz

Yerel zemin sınıflarına göre farklılaşan zemin emniyet gerilmesi ve zemin yatak katsayılarının modeller için kabul edilen değerlerine Çizelge 3.3’de yer verilmiştir.

Çizelge 3.3. Yerel zemin sınıflarına göre kabul edilen zemin değerleri

Model	Yerel zemin sınıfı	Zemin emniyet gerilmesi (t/m ²)	Zemin yatak katsayısı (t/m ³)
Model 1-4	Z1-A	150	15000
Model 2-5	Z3-C	30	3000
Model 3-6	Z4-D	15	1500
Model 7-10	ZA	150	15000
Model 8-11	ZC	30	3000
Model 9-12	ZE	15	1500

2018 TBDY’ne göre zemin emniyet gerilmesi yerine, zemin taşıma gücü kullanılacağından hesaplarda zemin emniyet gerilme değerleri 1.5 ile çarpılarak zemin taşıma gücüne çevrilmiş ve çalışmada bu değerler kullanılmıştır.

2018 TBDY’ne göre kullanılması gereken minimum beton sınıfı C25’dir (TBDY, 2018). Çalışmada kullanılan beton sınıfı C30 (karakteristik basınç dayanımı, $f_{ck} = 30$ MPa), beton elastisite modülü $E_c = 32000$ MPa, çelik minimum akma dayanımı $f_{yk} = 420$ MPa (4200 kg/cm²)’dir.

3.2.3. Sta4cad paket programı ile betonarme minare modellenmesi

Sta4cad paket programı ile minare projelendirilmesinde kullanılacak katsayıların çoğu, deprem yönetmeliğinden alınması gereken katsayılar olup bunlar; spektrum karakteristik periyot katsayısı (T_A, T_B) (2007 DBYBHY için), tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}, S_{D1}) (2018 TBDY için), taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R), yapı önem katsayısı (I), hareketli yük katsayısı (n) vs. gibi katsayılardır. Herhangi bir yapıyı tasarlarken öncelikle bu katsayıların belirlenmesi gerekir. Şekil 3.6 ve 3.7’de bu çalışmada kullanılan Sta4cad’e ait tanımlanması gereken katsayıların 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre farklılaşan arayüzleri görülmektedir. Katsayılardan bazıları 2018 TBDY ile değişmiş, bazıları yeni eklenmiş, bazıları ise aynı kalmıştır. ‘Yapısal çözümlenmede kullanılacak katsayıların belirlenmesi’ başlığı altında bu katsayıların nasıl belirleneceği 2007 ve 2018 TBDY’ne göre kıyaslanarak anlatılmış olup, aradaki farkın daha rahat görülebilmesi sağlanmıştır.

YAPI GENEL BİLGİLERİ		
Yapı Proje İsmi		
Kat Sayısı		1
Deprem Bölge Katsayısı	A_0	0
Deprem Yapı Davranış Katsayısı	R_x/R_y	0
Deprem Yapı Önem Katsayısı	I	0
Spektrum Karakteristik Periyodu	T_a/T_b	0
Hareketli Yük Katsayısı	n	0
Deprem Yüğü Alt Yüksekliği	H_x/H_y (m)	0
Zemin Yatak Katsayısı	K_0 (t/m^3)	0
Zemin Emniyet Gerilmesi	(t/m^2)	0
Hareketli Yük Azaltma Katsayısı	C_z	0
Deprem Yüğü Eksantrisitesi		0.05
Modal Analiz Min. Yüğü Oranı	B	0.8
Üst Kat no (TDY için)		1
Aplikasyon Kot Farkı	(m)	0
Zemin gerilmesi deprem artırım oranı		0.5

YENİ YAPI PROJESİ DEPREM STANDARDI: TDY2007 DIZAYN STANDARDI: T S500t

Şekil 3.6. Sta4cad 2007 DBYBHY’e göre istenilen katsayılar

YAPI GENEL BİLGİLERİ

Yapı Proje İsmi

Kat Sayısı	1	
Spektral ivme Katsayısı	Sds/Sd1	0
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı	Rx/Ry	0
Dayanım Fazlalığı Katsayısı	D	0
Deprem Yapı Önem Katsayısı	I	0
Hareketli Yük Katsayısı	n	0
Deprem Yüğü Alt Yüksekliği	Hx/Hy (m)	0
Zemin Yatak Katsayısı	Ko (t/m ³)	0
Zemin Taşıma Gücü Gerilmesi	qt (t/m ²)	0
Hareketli Yük Azaltma Katsayısı	Cz	0
Deprem Yüğü Eksantrisitesi		0.05
Modal Analiz Min. Yük Oranı	β	0.8
Üst Kat no (TDY için)		1
Aplikasyon Kot Farkı	(m)	0

YS. CERCEVE + YS. PERDE

UserKey

PERFORMANS ANALİZ OPSİYONU

YENİ YAPI PROJESİ DEPREM STANDARTI: TBDY2018 TASARIM STANDARTI: T S500t

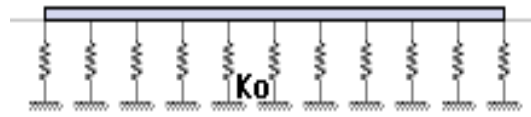
Şekil 3.7. Sta4cad 2018 TBDY'ne göre istenilen katsayılar

2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri göz önünde bulundurulduğunda değişen hususlar yalnızca bahsedilen katsayılar olmayıp, yapısal çözümleme adına da değişen birçok nokta mevcuttur. Örneğin; yeni yönetmelik yapının karma (perdeli+çerçeveseli) çözümlenebilmesi için perdelerin tabanında deprem yüklerinden meydana gelen devrilme momentlerinin toplamının (M_{DEV}), binanın tümü için deprem yüklerinden dolayı tabanda meydana gelen toplam devrilme momentine oranını (M_O) minimum 0,75 olarak belirleyip, yapının sünek (perdeli) çözümlenebilmesi için perdelerin tabanında deprem yüklerinden meydana gelen devrilme momentlerinin toplamının (M_{DEV}), binanın tümü için deprem yüklerinden dolayı tabanda meydana gelen toplam devrilme momentine oranını (M_O) minimum 0,4 olarak belirlemiştir (TBDY, 2018). Bu maddenin bize vermek istediği mesaj 'yapılarımızı elinizden geldiğince sünek olarak tasarlayın'dır.

Minareler için yüksek yapı davranış katsayısı (R) ile çalışılmaması gerekir. Bu durumun en önemli sebebi, 2018 TBDY'nin bina türü olmayan yapıları kapsamamasıdır. 2007 DBYBHY, bina türü olmayan yapıları da kapsamakta ve bu yapılar için bir R katsayısı vermektedir. 2018 TBDY madde 1.1.7'e göre bina ve

bina türü yapıların dışında kalan köprü, baraj, kıyı ve liman yapıları, tüneller, borular, enerji nakil hatları, nükleer tesisler, doğalgaz depolama tesisleri, tamamı yer altında bulunan yapılar ve binalardan farklı hesap ve güvenlik esaslarına dayanan yapılar bu proje kapsamı dışındadır. Fakat 2018 TBDY madde 1.1.9 göre bu yönetmeliğin kapsamı dışında kalan bina ve bina türü olmayan yapıların deprem etkisi altında tasarımı kendi özel yönetmelikleri yazılıncaya dek, ilgili Türk Standartları'nda verilen hükümler ile birlikte bu yönetmelikte öngörülen ilkeler gözetilerek kullanılabilir (TBDY, 2018). Tüm bu durumlar göz önünde bulundurularak R katsayısı seçimi için '3.2.4. Yapısal çözümlemede kullanılacak katsayıların belirlenmesi' başlığı altında bir öneride bulunulmuştur.

Her iki yönetmeliğe göre yapılacak çözümlemelerde, sistemde sonlu elemanlar modeli için; her bir noktaya 3 serbestlik, kat diyaframında 3 serbestlik olmak üzere her noktada 6 deplasmana göre denge denklemleri kurulmaktadır (Sta4cad, 2018). Sistem analizleri 12 mod üzerinden yapıp ilk 9 mod ve % 5 sönüm oranı dikkate alınmıştır. Minare türü yapıların çok katlı yapılardan farkı, kütlelerinin ve rijitliklerinin yükseklik boyunca yayılı olmasıdır. Literatürde minare tipi yapıların sismik davranışlarını ortaya koyabilmek adına modal analiz veya zaman tanım alanında analiz yöntemlerinden herhangi birinin kullanılabilmesi belirtilmiştir (Chopra, 1995). Çalışmada bu kapsamda analiz yöntemi olarak modal analiz kullanılmıştır. Temel modellemesinde ise Winkler zemin modeli kullanılmış olup model görseline Şekil 3.8'de yer verilmiştir.



Şekil 3.8. Sta4cad Winkler zemin modeli

Winkler zemin modelinde yerdeğiştirmeler tanımlanan sabit bir yatak katsayısı (K_0) ile çarpılarak temelde meydana gelen gerilmeler bulunur (Çömlekçioğlu ve Sert, 2018).

3.2.4. Yapısal çözümlemede kullanılacak katsayıların belirlenmesi

2007 DBYBHY'e göre yapılacak tasarım için katsayılar

01.01.2019 tarihi itibarıyla 2007 DBYBHY'in kullanılması mümkün değildir (TBDY, 2018). Fakat çalışmada iki yönetmelik arasındaki sistematik işleyiş farkını tam olarak anlayabilmek ve 2007- 2018 deprem yönetmeliklerinin incelenen noktalar için değişimini inceleyebilmek adına iki deprem yönetmeliğine göre yapısal çözümleme yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elastik deprem yüklerinin belirlenmesi için kullanılan Spektral İvme Katsayısı $A(T)$ Denklem 3.2'de verilmiştir Aynı zamanda % 5 sönüm oranı için tanımlanan Elastik İvme Spektrumu'nun ordinatı olan Elastik Spektral İvme $S_{ae}(T)$, Spektral İvme Katsayısı $A(T)$ ile yerçekimi ivmesi g 'nin çarpımına karşı gelmektedir (DBYBHY, 2007).

$$\begin{aligned} A(T) &= A_0 I S(T) \\ S_{ae}(T) &= A(T) g \end{aligned} \quad (3.2)$$

Spektrum katsayısı $S(T)$, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T 'ye bağlı olarak Denklem 3.3 ile bulunmaktadır (DBYBHY, 2007).

$$\begin{aligned} S(T) &= 1 + 1,5 \frac{T}{T_A} & 0 \leq T \leq T_A \\ S(T) &= 2,5 & T_A < T \leq T_B \\ S(T) &= 2,5 \left(\frac{T_B}{T}\right)^{0,8} & T_B < T \end{aligned} \quad (3.3)$$

- Etkin yer ivme katsayısı (A_0)

A_0 değeri arsanın bulunduğu deprem bölgesine göre Çizelge 3.4'den alınmaktadır.

Çizelge 3.4. Etkin yer ivme katsayısı (DBYBHY, 2007)

Deprem Bölgesi	A_0
1	0,4
2	0,3
3	0,2
4	0,1

Çalışma için kullanılan nokta 3. derece deprem bölgesi seçilerek, $A_0=0,2$ kabul edilmiştir.

- Spektrum karakteristik periyotları (T_A, T_B)

Çalışmada kabul edilen ve zemin sınıfına göre değişim gösteren spektrum karakteristik periyot değerleri daha önce Çizelge 3.1’de verilmiştir.

- Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ($R_a(T)$)

2007 DBYBHY’nde Spektral İvme Katsayısına $A(T)$ göre bulunacak Elastik Deprem Yüğüleri, Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı $R_a(T)$ ’na bölünmektedir. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı $R_a(T)$; Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R ’ye ve Doğal Titreşim Periyodu T ’ye bağılı olarak Denklem 3.4 ve 3.5 ile bulunmaktadır (DBYBHY, 2007).

$$R_a(T) = 1,5 + (R-1,5) \frac{T}{T_A} \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (3.4)$$

$$R_a(T) = R \quad T_A < T \quad (3.5)$$

Yapının Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı $R_a(T)$, 2007 deprem yönetmeliğinde Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısının (R) bir fonksiyonu olarak tanımlamıştır. Analiz sonucunda hesaplanan Elastik Deprem Yüğüleri, azaltma katsayısına bölünerek azaltılır. Bu işlemin yapılma nedeni ise, yapıya etkiyecek deprem enerjisinin bir kısmının yapı taşıyıcı sistemi tarafından emileceğı görüşüdür. Taşıyıcı sistemin sünek, karma ya da normal tasarlanmasının amacı yapıya etkiyecek deprem yükünü belirlemektir. Sünek olarak tasarlanan yapılarda daha küçük yüklerle çalışılacağı aşıkardır.

- Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)

2007 DBYBHY’nde bina türü olmayan bazı yapılar için R katsayısı belirlenmiştir ve Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Bina türü olmayan yapılar için taşıyıcı sistem davranış katsayısı (DBYBHY, 2007)

Yapı Türü	R
Süneklik düzeyi yüksek çerçeveler veya dışmerkez çaprazlı çelik perdeler tarafından taşınan yükseltilmiş sıvı tankları, basınçlı tanklar, bunkerler, hazneler	4
Süneklik düzeyi normal çerçeveler veya merkezi çaprazlı çelik perdeler tarafından taşınan yükseltilmiş sıvı tankları, basınçlı tanklar, bunkerler, hazneler	2
Kütlesi yüksekliği boyunca yayılı, yerinde dökülmüş betonarme silo, endüstri bacaları ve benzeri taşıyıcı sistemler (*)	3
Betonarme soğutma kuleleri (*)	3
Kütlesi yüksekliği boyunca yayılı uzay kafes kirişli çelik kuleler, çelik silo ve endüstri bacaları (*)	4
Gergili yüksek çelik direk ve gergili çelik bacalar	2
Kütlesi tepede yığılı, bağımsız tek bir düşey taşıyıcı eleman tarafından taşınan ters sarkaç türü yapılar	2

Dikkat edilirse çizelgedeki R değerleri 2 ile 4 arasında değişmektedir. Baca, silo, kule gibi kütlesi yüksekliği boyunca yayılı yapılarda etkiyen deprem yükünün mümkün mertebe azaltılmaması istenir. Bu yüzden deprem yükü daha az bir katsayıya bölünür. Minareler için R katsayısı 3 seçilebilir.

- Bina önem katsayısı (*I*)

Binaların kullanım amacına bağlı olarak alınması gereken bina önem katsayıları Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Bina önem katsayısı (DBYBHY, 2007)

Bina Kullanım Amacı veya Türü	Bina Önem Katsayısı (<i>I</i>)
<u>1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</u>	
a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları)	1.5
b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	
<u>2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar</u>	
a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri vb.	1.4
b) Müzeler	
<u>3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</u>	
Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1.2
<u>4. Diğer binalar</u>	
Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1

Camiler insanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu yapılardır. Minarelerin camilerin yanında olmaları nedeniyle bina önem katsayısı 1.2 alınabilir.

- Hareketli yük katılım katsayısı (n)

Bina kullanım amacına bağlı olarak alınan hareketli yük katılım katsayısı Çizelge 3.7’de yer almaktadır.

Çizelge 3.7. Hareketli yük katılım katsayısı (DBYBHY, 2007)

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0.8
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb.	0.6
Konut, işyeri, otel, hastane, vb.	0.3

2007 DBYBHY’de endüstri binalarında sabit ekipman ağırlıkları için $n=1$ alınmalı ibaresi geçmektedir (DBYBHY, 2007). Minareler de bina türü yapı olmadığından $n=1$ alınması uygun olmaktadır.

2018 TBDY’de göre yapılacak tasarım için katsayılar

2018 TBDY ile yapısal çözümlene yapılacak modeller için ilk olarak Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısının (R) sünük, karma veya sınırlı mı olacağına karar verilmesi gerekmektedir. 2007 DBYBHY ile yapılan yapısal çözümlenelerde kullanılacak katsayılar birbirlerinden bağımsız seçilebilirken, 2018 TBDY’de katsayılar birbirlerine bağlı seçilmektedir.

2018 TBDY’ne göre R katsayısının belirlenmesi, bina yükseklik sınıfına (BYS) bağlanmıştır. BYS deprem tasarım sınıfı (DTS) ve bina yüksekliğine (H_N) bağlı seçilmektedir. DTS ise bina kullanım sınıfı (BKS) ve S_{DS} değerlerine bağlı olarak deprem yönetmeliğinden seçilmektedir. Yeni yönetmelik ile hayatımıza giren bu katsayılarından bazılarını (BYS, DTS) paket programlar otomatik belirlemektedir. Fakat program mühendisi olmamak ve hesaplara vakıf olabilmek adına hangi katsayının nasıl belirlendiğini bilmek zorunlu bir durumdur. Aşağıda sırasıyla betonarme minare modeli için 2018 TBDY ışığında katsayıların nasıl belirlendiği gösterilmiştir.

Elastik Deprem Yükleri’nin belirlenmesinde kullanılan Spektral İvme Katsayısı’nın $S_{ae}(T)$ formülü 2018 TBDY ile değişmiş, göz önüne alınan herhangi

bir deprem yer hareketi düzeyi için Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu'nun ordinatları olan Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmeleri $S_{ae}(T)$, Doğal Titreşim Periyodu'na bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden Denklem 3.6'da tanımlanmıştır (TBDY, 2018).

$$\begin{aligned}
 S_{ae}(T) &= (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_A}) S_{DS} & 0 \leq T \leq T_A \\
 S_{ae}(T) &= S_{DS} & T_A \leq T \leq T_B \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & T_B \leq T \leq T_L \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & T_L \leq T
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

Denklem 3.2'de yer alan S_{DS} ve S_{D1} Tasarım Spektral İvme Katsayıları'nı, T ise Doğal Titreşim Periyodu'nu göstermektedir. Yatay Tasarım Spektrumu Köşe Periyotları T_A ve T_B Denklem 3.7'de, S_{DS} ve S_{D1} katsayılarına bağlı olarak tanımlanmıştır. Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu $T_L = 6$ s alınacaktır (TBDY, 2018).

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{3.7}$$

- Tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS} , S_{D1})

Seçilen noktanın yerel zemin sınıflarına göre Tasarım Spektral İvme Katsayıları (S_{DS} , S_{D1}) daha önce Çizelge 3.2'de verilmiştir. Deprem bölgeleri tanımının, 2018 TBDY ile ortadan kalkması sonucu, her noktanın Tasarım Spektral İvme Katsayısı AFAD'ın yayınlamış olduğu deprem tehlike haritasından alınarak işlemler yapılacaktır.

- Bina önem katsayısı ve bina kullanım sınıfı (BKS)

Bina kullanım amacına bağlı olarak alınan BKS Çizelge 3.8’de yer almaktadır.

Çizelge 3.8. Bina kullanım sınıfı (TBDY, 2018)

Bina Kullanım Sınıfı	Bina Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı
BKS=1	<p>Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</p> <p>a)Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları)</p> <p>b)Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri vb.</p> <p>c)Müzeler</p> <p>d)Toksit, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar</p>	1.5
BKS=2	<p>İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</p> <p>Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.</p> <p>Diğer binalar</p>	1.2
BKS=3	<p>BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)</p>	1

Çizelgeye bakıldığında minareler, diğer yapılar (BKS=3) kategorisine giriyor gibi gözüksede, camilerin (insanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu bina) yanında olması nedeniyle bina önem katsayısı 1.2 (BKS=2) alınabilir.

- Deprem tasarım sınıfı (DTS)

Deprem Tasarım Sınıfı Katsayısı; Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS} , S_{D1}) ve Bina Kullanım Sınıfı göz önünde bulundurularak Çizelge 3.9'a göre belirlenir.

Çizelge 3.9. Deprem tasarım sınıfının belirlenmesi (TBDY, 2018)

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS=1	BKS=2,3
$S_{DS} < 0.33$	DTS=4a	DTS=4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS=3a	DTS=3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS=2a	DTS=2
$0,75 \leq S_{DS}$	DTS=1a	DTS=1

Çizelge 3.2'deki S_{DS} değerleri ve Çizelge 3.8'e göre belirlenen BKS değerleri dikkate alınarak belirlenen Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) modeller için Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Bina kullanım sınıfı ve S_{DS} değerlerine bağlı belirlenen deprem tasarım sınıfı değerleri

Yerel Zemin Sınıfı	Nokta	S_{DS}	BKS	DTS
ZA	Model 7-10	0.322	2	4
ZC	Model 8-11	0.524	2	2
ZE	Model 9-12	0.795	2	1

Çizelge 3.9'a dikkat edildiğinde DTS için a grubunun BKS=1 e giren yapılara ait olduğu görülmektedir. BKS=1'in önemli yapılara (okul, müze, patlayıcı madde bulunduran yapılar vs.) ait olduğu düşünüldüğünde DTS a grubu olan yapılar kullanım açısından deprem sonrasında önceliği olan yapılardır ve minareler bu gruba girmemektedir.

- Bina yükseklik sınıfı katsayısı

Çizelge 3.11'de bina yüksekliğine ve Deprem Tasarım Sınıfları'na göre belirlenen bina yükseklik sınıfı katsayılarına yer verilmiştir.

Çizelge 3.11. Bina yüksekliğine ve deprem tasarım sınıflarına göre belirlenen bina yükseklik sınıfı katsayısı (BYS) (TBDY, 2018)

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları (m)		
	DTS=1,1a,2,2a	DTS=3,3a	DTS=4,4a
BYS=1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS=2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS=3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS=4	$28 < H_N \leq 42$		$42 < H_N \leq 56$
BYS=5	$17.5 < H_N \leq 28$		$28 < H_N \leq 42$
BYS=6	$10.5 < H_N \leq 17.5$		$17.5 < H_N \leq 28$
BYS=7	$7 < H_N \leq 10.5$		$10.5 < H_N \leq 17.5$
BYS=8	$H_N \leq 7$		$H_N \leq 10.5$

Çalışmada külah kısmı betonarme olarak düşünülmüştür ve minare yüksekliği (H_N) 28,9 m'dir.

$H_N = 28,9$ m ve modeller için belirlenen DTS'ları dikkate alınarak belirlenen bina yükseklik sınıfları Çizelge 3.12'de verilmiştir.

Çizelge 3.12. DTS ve H_N 'e bağlı belirlenen BYS değerleri

Nokta	H_N	DTS	BYS
Model 7-10	28,9	4	5
Model 8-11	28,9	2	4
Model 9-12	28,9	1	4

- Deprem yükü azaltma katsayısı ($R_a(T)$)

2018 TBDY'nde doğrusal elastik deprem yüklerinin azaltılmasında esas alınacak Deprem Yükü Azaltma Katsayısının formülü değişmiş ve $R_a(T)$; Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)'ye, Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)'ye ve Bina Önem Katsayısı (I)'ya bağlı olarak Denklem 3.8a ve 3.8b'de tanımlanmıştır (TBDY, 2018).

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (3.8a)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (3.8b)$$

T sistemin Doğal Titreşim Periyodu'nu ve T_B Denklem 3.9'da tanımlanan Spektrum Köşe Periyodu'nu göstermektedir (TBDY, 2018).

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.9)$$

Denklemden belirtilen S_{D1} ve S_{DS} değerleri, AFAD'ın yayınlamış olduğu deprem tehlike haritasından alınarak daha önce Çizelge 3.2'de verilmiştir.

- Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)

Çalışmada kullanılan minare modelleri için 2018 TBDY'nde taşıyıcı sistem davranış katsayısı seçiminde; süneklik düzeyi sınırlı taşıyıcı sistem seçilmesi $BYS \geq 6$ ile sınırlandırılmıştır. Seçilen modellerin BYS sınıfları 4 ve 5 olduğu düşünüldüğünde sistemi süneklik düzeyi sınırlı çözmek doğru olmayacaktır.

Süneklik düzeyi karma taşıyıcı sistem seçilebilmesi $BYS \geq 4$ olması halinde mümkündür. Fakat 2018 TBDY'e göre R katsayısının 5 ve 6 seçilebilmesi $DTS=4$ olan binalar ile sınırlandırılmıştır. Bu da sadece $S_{DS} < 0.33$ olan Model 7-10 (Çizelge 3.10'a göre) için uygundur.

Ersoy ve Özcebe (2017), yapıların sünekliği hakkındaki görüşlerini "Betonarme çerçevelerden oluşan bir yapının, şiddetli deprem etkileri altında elastik sınırlar içinde kalmasını sağlamak, ekonomik ve pratik bir çözüm değildir. Depreme dayanıklı yapı felsefesinde, şiddetli bir depremde yapıyı oluşturan elemanlardaki donatının yer yer akma konumuna ulaşacakları ve bu noktalarda plastik mafsallar oluşacağı kabul edilmektedir. Bu tür şiddetli depremlerde yapı güvenliği açısından temel amaç, yapının göçmemesidir. Yapının ayakta kalması, plastik mafsallarda yeterli enerji tüketilmesine bağlıdır. Tüketilen enerji, yük-yer değiştirme veya moment eğrileri altında kalan alanla orantılıdır. Doğal olarak dayanımda önemli bir azalma olmadan büyük deformasyon (dönme, eğrilik) yapabilen bir kesit, daha fazla enerji tüketebilecektir." şeklinde ifade etmektedirler. Ersoy ve Özcebe'nin de ifade ettiği gibi statik tasarımda yapı elden geldiğince sünek olarak tasarlanmalıdır. Normal bir yapı adına düşünüldüğünde bu standartlardaki bir model için yüksek sünek çözüm yapmak gerekmektedir, fakat yapının bina türü olmadığı düşünüldüğünde ve yüksek sünek bir yapıda seçilecek katsayıların 7-8 civarı olduğu

düşünüldüğünde, deprem yüklerini bu kadar büyük bir sayıya bölmek mantıklı olmayacaktır. Çizelge 3.13’de 2018 TBDY’de R katsayısının, hangi koşullarda ne seçileceği belirtilmektedir (TBDY, 2018).

Çizelge 3.13. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı seçme koşulları (TBDY, 2018)

Bina taşıyıcı sistemi	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)	Dayanım fazlalığı katsayısı (D)	İzin verilen bina yükseklik sınıfları (BYS)
A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ			
A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	BYS \geq 3
A12. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2.5	BYS \geq 2
A13. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	BYS \geq 2
A14. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	8	2.5	BYS \geq 2
A15. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	7	2.5	BYS \geq 2
A16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m’yi geçmeyen süneklik düzeyi yüksek betonarme kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	3	2	-

Süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistem seçimi $BYS \geq 2$ olması halinde mümkündür. Seçilen modeller için $BYS \geq 4$ olduğu düşünüldüğünde bu kısım tasarımlar için değerlendirilebilir.

Yapıda çerçeve sistem kullanılmadığından dolayı A11, A14 ve A15 seçilebilmesi doğru olmayacaktır.

Seçtiğimiz minare modeli için çizelgede uygun bir satır bulunmamasına ek olarak A16; yüksekliği 12 m'yi geçmeyen yapılar için geçerli olduğundan kullanılamaz.

A12 ve A13, modeller için en mantıklı seçenek olarak gözükebilir. Fakat taşıyıcı sistem davranış katsayısı ne alınırsa, yapıya gelen deprem yükleri o sayıya bölünüyor demektir. Yani R katsayısı deprem yüklerini azaltmak ve daha ekonomik yapılar tasarlamak için vardır. Herhangi bir yapı $R=1$ alınarak tasarlanırsa gerçek yükleri ile analiz yapılmış demektir ve deprem esnasında hiç zarar görmeyecektir. Fakat bu tasarım hiç ekonomik olmayacaktır. Bizde tasarımlarımızda R katsayısını yüksek tutarak (gerektirdiği şartları sağlamak şartıyla -perde oranı vs-) deprem esnasında yapının belli oranda hareket etmesine izin veririz. 2007 DBYBHY'de bina türü olmayan yapılar için R katsayısı verilmiştir. Fakat 2018 TBDY bina türü olmayan yapıları kapsamamakta, fakat kendi özel yönetmelikleri çıkana dek kullanılabilir.

Çizelgede çalışma için seçilen minare modeline uygun bir satır bulunmamasına rağmen A16 koşulu ve önceki yönetmelik (2007) göz önünde bulundurulduğunda R katsayısını 3 almak en doğru tercih olacaktır. Minarelerde hiperstatiklik derecesi düşüktür, tek bir kritik kesit vardır ve kritik kesit tabandadır. Elemanlardan oluşmadığından elemanlar arası yardımlaşma yoktur. Bu kritik kesit hasar görürse minarenin ayakta kalma ihtimali azalacaktır. Bu yüzden büyük deprem kuvveti ile çalışmak gerekir (Çelikkollu, 2019).

- Dayanım fazlalığı katsayısı (D)

D , Dayanım Fazlalığı Katsayısı'nı göstermektedir. D katsayısı 2018 TBDY ile tanımlanmıştır. Bu katsayı ile akma dayanımının, tasarım dayanımına göre fazlalığı ifade edilmektedir. Elemanın güvenlik faktörleri eklenmiş halinin dayanımının (tasarım dayanımı), elemanın gerçek dayanımına oranıdır. Yüksek sünek çözüm yapılacak sistemler için dikkate alınması gereken D katsayısı daha önce Çizelge 3.13'de verilmiştir. Çalışmada D katsayısı 2.5 kabul edilmiştir.

- Hareketli yük kütle katılım katsayısı (n)

Hareketli yük katılım katsayısı ile yapı üzerindeki hareketli yük belirli oranlarda yapı analizine dahil edilir ve Çizelge 3.14’de bina kullanım amacına göre kaç alınması gerektiği belirtilmiştir.

Çizelge 3.14. Yapılar için hareketli yük kütle katılım katsayısı (TBDY, 2018)

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0.8
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb.	0.6
Konut, işyeri, otel, hastane, vb.	0.3

Bu çizelgeden görüldüğü üzere bina kullanım önemi azaldıkça hareketli yükün dahil edilme oranı azalır. Çizelgede bina türü olmayan yapılar için herhangi bir hareketli yük katılım katsayısı verilmemiştir. 2007 DBYBHY’de göz önüne alındığında, kule tipi yapı kategorisine giren minareler için bu çalışma kapsamında $n=1$ alınması uygun görülmüştür. Böylelikle kullanılan malzemelerin ağırlıkları azaltılmamış olacaktır.

3.2.5. Yapısal çözümler için kullanılan bazı formüller

2007 DBYBHY’e göre yapılacak tasarım için formüller

Dayanıma göre tasarım kapsamında kullanılacak doğrusal hesap yöntemleri, eşdeğer deprem yükü yöntemi ile modal hesap yöntemleridir. Çalışma için yapısal çözümler modal analiz (mod birleştirme yöntemi) ile yapılmıştır. Bu yöntemde deprem yükü, kat kesme kuvveti, iç kuvvet bileşenleri ve yerdeğiştirme değerleri binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilir (DBYBHY, 2007).

- Doğal titreşim periyodu

Binanın deprem doğrultusunda hakim doğal periyodunun maksimum değeri Denklem 3.10’da tanımlanmıştır (DBYBHY, 2007).

$$T_1 = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_i d_{fi}} \right)^{1/2} \quad (3.10)$$

Denklemden F_i i'nci kata etkiyen fiktif yük, N binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısı, m_i binanın i'nci katının kütlesi, d_{fi} binanın i'nci katında F_i fiktif yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirmeyi simgelemektedir (DBYBHY, 2007).

- Taban kesme kuvveti

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, birleştirilerek elde edilen bina toplam deprem yükü (taban kesme kuvveti) V_{tB} 'nin hesabı her mod için ayrı ayrı deprem yükünün bulunarak istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilir (DBYBHY, 2007).

Tek modlu yapılarda (eşdeğer deprem yükü yönteminde) deprem yükü (taban kesme kuvveti) V_t 'nin nasıl bulunduğu Denklem 3.11'de verilmiştir (DBYBHY, 2007).

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0, IA_0IW \quad (3.11)$$

W binanın toplam ağırlığını, $A(T_1)$ birinci doğal titreşim periyoduna karşı gelen spektral ivme katsayısını, $R_a(T_1)$ deprem yükü azaltma katsayısını, A_0 etkin yer ivme katsayısını, I bina önem katsayısını göstermektedir (DBYBHY, 2007).

Denklem 3.12 (Keskin ve Bozdoğan, 2018)'de verilen deplasman spektrum formülünde S_d deplasman spektrumu, S_a ivme spektrumu, T ise serbest titreşim periyodunu simgelemektedir (DBYBHY, 2007).

$$S_d \leq \frac{S_a T^2}{4\pi^2} \quad (3.12)$$

2018 TBDY'e göre yapılacak tasarım için formüller

- Doğal titreşim periyodu

Göz önüne alınan (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodunu ifade eden T_p^X , daha kesin bir hesap yapılmadıkça, Denklem 3.13 ile hesaplanacaktır (TBDY, 2018).

$$T_p^X = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^{(x)2}}{\sum_{i=1}^N F_i^{(x)} d_{fi}^{(x)}} \right)^{1/2} \quad (3.13)$$

Denklemden $F_i^{(x)}$ i'nci kata etkiyen fiktif yük, N binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısı, m_i binanın i'nci katının kütlesi, $d_{fi}^{(x)}$ X deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodunun hesabında i'nci kata etki ettirilen fiktif yükten oluşan yerdeğiştirmeyi simgelemektedir (TBDY, 2018).

- Taban kesme kuvveti

Bina toplam deprem yükü (taban kesme kuvveti) $V_{tE}^{(X)}$ 'nin nasıl bulunduğu Denklem 3.14'de verilmiştir (TBDY, 2018).

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR} T_P^{(X)} \geq 0,04 m_t I S_{DS} g \quad (3.14)$$

Burada $S_{aR} T_P^{(X)}$, göz önüne alınan (X) deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu $T_P^{(X)}$ göz önüne alınarak hesaplanan azaltılmış tasarım spektral ivmesini göstermektedir. S_{DS} ise kısa periyot için tanımlanan tasarım spektral ivme katsayısı olup, m_t binanın toplam kütlesi, g yerçekimi ivmesi, I bina önem katsayısıdır (TBDY, 2018).

- Deplasman spektrumu

Yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmeleri ($S_{de}T$), doğal titreşim periyodu (T)'ye bağlı olarak metre [m] cinsinden Denklem 3.15'de tanımlanmıştır (TBDY, 2018).

$$S_{de}T \leq \frac{T^2}{4\pi^2} g S_{ae}(T) \quad (3.15)$$

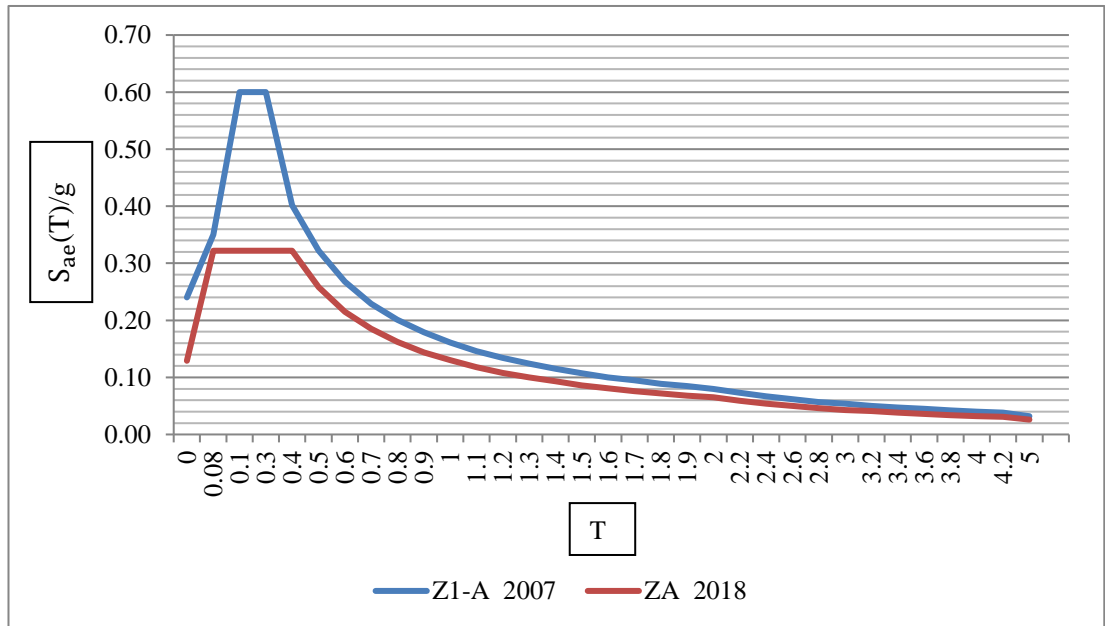
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapı yüksekliği 28,9 m olan temsili betonarme minare modeli, farklı zemin sınıfları baz alınarak zemin-yapı etkileşimli ve zemin-yapı etkileşimsiz olmak üzere ayrı ayrı Sta4cad programı yardımıyla çözümlenmiştir ve analizler 2007 DBYBHY ve 2018 TBDY için tekrarlanmıştır.

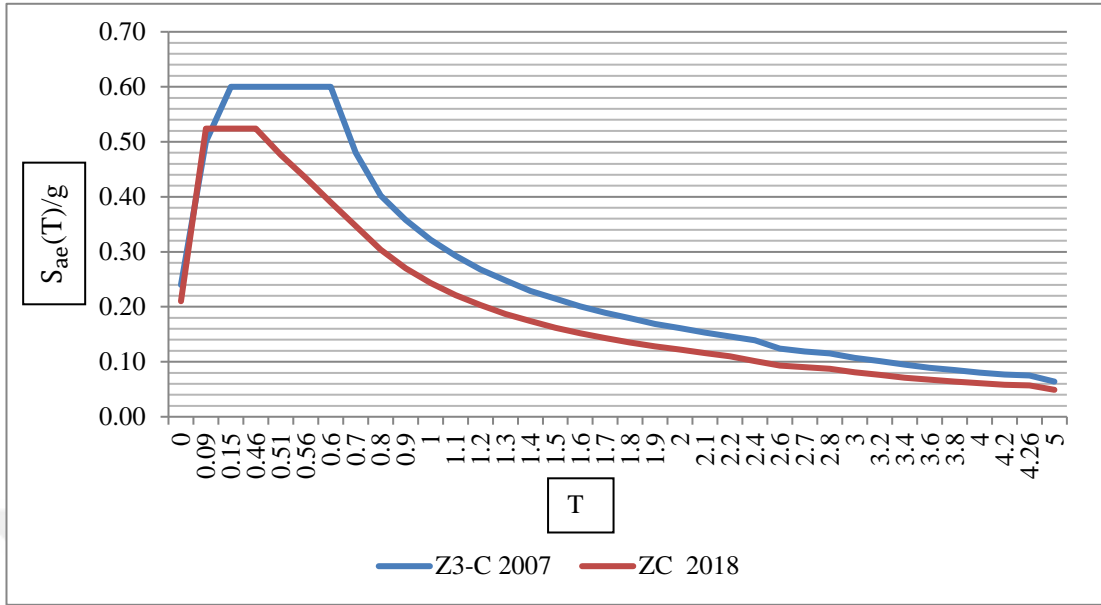
Minare modellemesinde kabuk elemanlar kullanılmıştır. Analizler tasarım spektrumu kullanılarak gerçekleştirilmiş, ekstra bir deprem ivmesi uygulanmamıştır. Modellerin kütle katılım oranları 12. modda tamamlanmasına rağmen çalışmanın sadeleştirilmesi adına periyot (T) karşılaştırmalarında ilk 9 mod verilmiştir.

2007 DBYBHY’nde elastik spektral ivme $S_{ae}(T)$ formülü Denklem 3.2 ile, 2018 TBDY’nde yatay elastik tasarım spektral ivme $S_{ae}(T)$ formülü Denklem 3.6 ile daha önce verilmiş olup üç zemin sınıfı için deprem yönetmeliklerine göre değişen spektrum eğrilerine Çizelge 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6’da yer verilmiştir. Çizelgelerde yatay eksen periyot sürelerini (T), dikey eksen ise bu periyot sürelerine karşılık gelen yatay elastik tasarım spektral ivmeyi $S_{ae}(T)$ (2007 DBYBHY’e göre tanımı elastik spektral ivme) simgelemektedir.

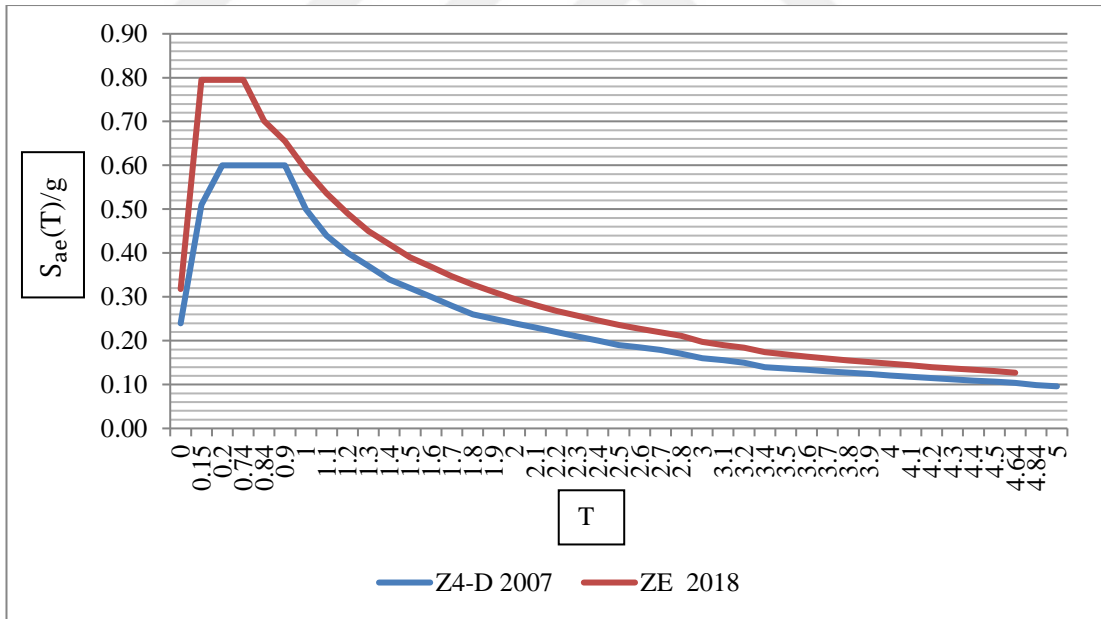
Çizelge 4.1. Z1-A (2007 DBYBHY) ve ZA (2018 TBDY) zemin sınıfları için (etkileşimli) değişen spektrum eğrisi



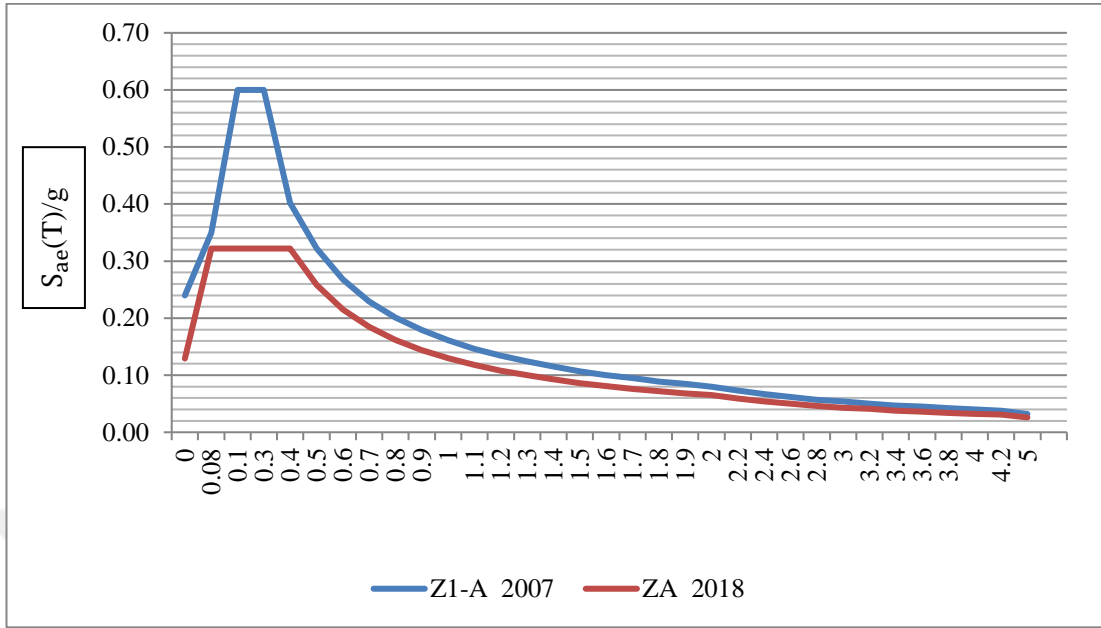
Çizelge 4.2. Z3-C (2007 DBYBHY) ve ZC (2018 TBDY) zemin sınıfları için (etkileşimli) değişen spektrum eğrisi



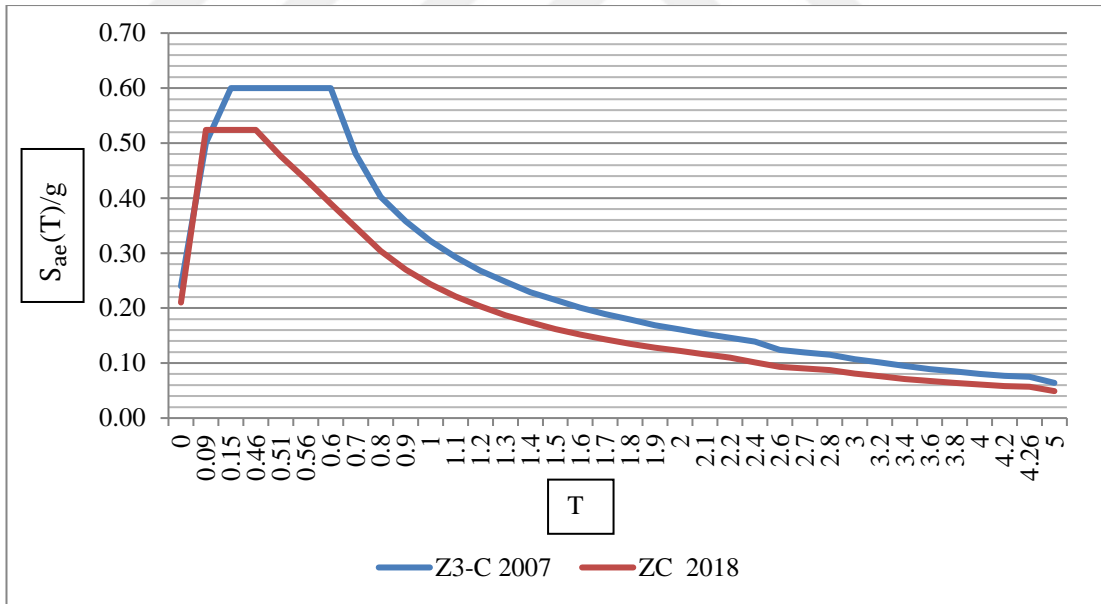
Çizelge 4.3. Z4-D (2007 DBYBHY) ve ZE (2018 TBDY) zemin sınıfları için (etkileşimli) değişen spektrum eğrisi



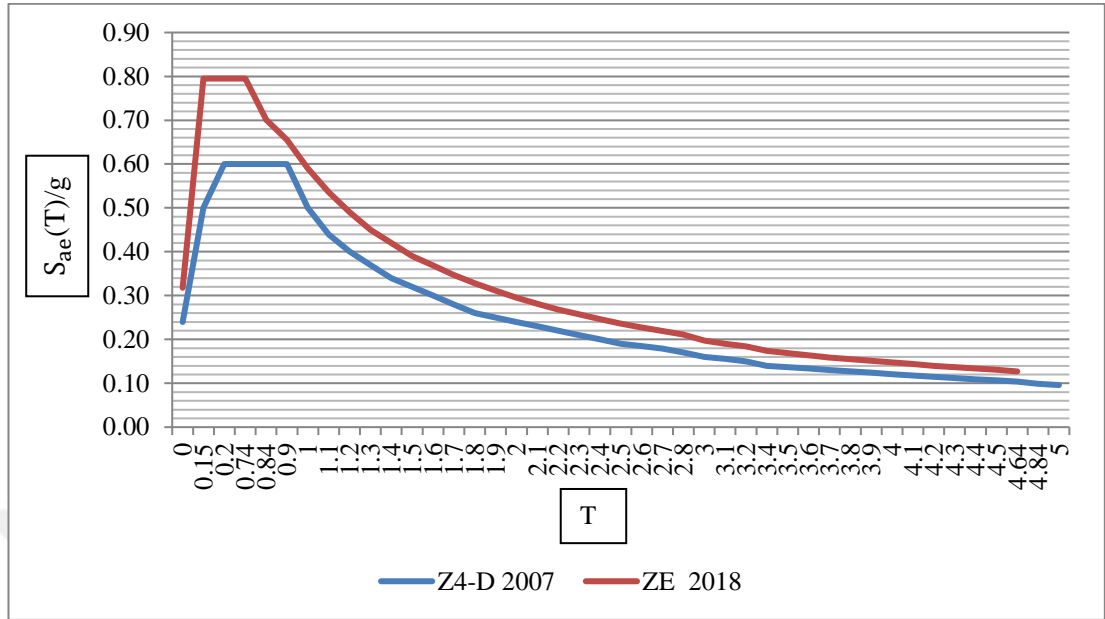
Çizelge 4.4. Z1-A (2007 DBYBHY) ve ZA (2018 TBDY) zemin sınıfları için (etkileşimsiz) değişen spektrum eğrisi



Çizelge 4.5. Z3-C (2007 DBYBHY) ve ZC (2018 TBDY) zemin sınıfları için (etkileşimsiz) değişen spektrum eğrisi



Çizelge 4.6. Z4-D (2007 DBYBHY) ve ZE (2018 TBDY) zemin sınıfları için (etkileşimsiz) değişen spektrum eğrisi



Sabit bir yönetmelik için, aynı zemin sınıfına ait zemin-yapı etkileşimli ve etkileşimsiz modellerin spektrum eğrilerinin aynı olduğu görülmektedir. Bu durum elastik (tasarım) spektral ivme $S_{ae}(T)$ değerlerinin zemin sınıfına bağlı olarak belirlenmesinden kaynaklanmaktadır. Aynı zemin sınıfı için çalışılan zemin-yapı etkileşimli ve etkileşimsiz modellerde yerel zemin sınıfı aynı olduğundan, sabit bir periyot (T) süresine denk gelen elastik (tasarım) spektral ivme aynı olacaktır ve spektrum eğrisi değişim göstermeyecektir. Sabit zemin sınıfı için etkileşimli ve etkileşimsiz modellerde sabit bir periyot süresine karşılık gelen spektral ivme değerlerinin genel itibariyle Z1-A/ZA ve Z3-C/ZC zemin sınıfları için 2018 deprem yönetmeliğinde daha az olduğu, fakat Z4-D/ZE zemin sınıfı için 2018 deprem yönetmeliğinde spektral ivme değerlerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Bu değişime 2007 ve 2018 deprem yönetmeliği için örnek verilecek olursa (çalışılan model kapsamında);

Örnek 1a. 2007 DBYBHY (Z1-A, etkileşimli) $T=0$ için; $T < T_A=0,1$ $S(T)=1$
 $A(T)=0,2 \times 1,2 \times 1=0,24$ $S_{ae}=0,24g=2,354 \text{ m/s}^2$

Örnek 1b. 2018 TBDY (ZA, etkileşimli) $T=0$ için; $T < T_A=0,081$ $S_{ae} =$
 $0,4 \times 0,322 = 0,129g = 1.264 \text{ m/s}^2$ ($S_{ae}(T)$ yönetmelikte g cinsinden tanımlanmıştır.)

Örnek 2a. 2007 DBYBHY (Z4-D, etkileşimli) $T=0,6$ için; $T_A=0,2 < T < T_B=0,9$
 $S(T)=2,5$ $A(T)=0,2 \times 1,2 \times 2,5=0,6$ $S_{ae}=0,6g=5,89 \text{ m/s}^2$

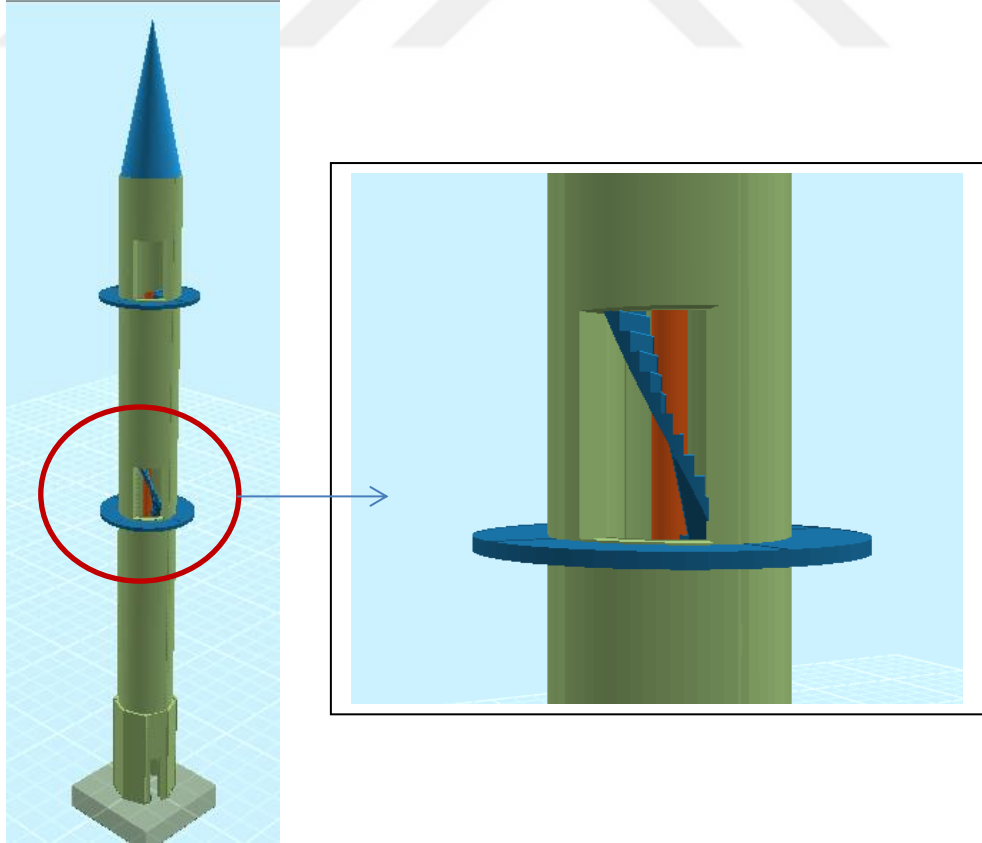
Örnek 2b. 2018 TBDY (ZE, etkileşimli) $T=0,6$ için; $T_A=0,148 < T < T_B=0,742$
 $S_{ae} = 0,795g = \mathbf{7,79 \text{ m/s}^2}$ ($S_{ae}(T)$ yönetmelikte g cinsinden tanımlanmıştır).

Örnek 3a. 2007 DBYBHY (Z4-D, etkileşimli) $T=1,6$ için; $T > T_B=0,9$
 $S(T)=2,5 \times (0,9/1,6)^{0,8} = 1,26$ $A(T)=0,2 \times 1,2 \times 1,26=0,302$ $S_{ae} = 0,302g = \mathbf{2,97 \text{ m/s}^2}$

Örnek 3b. 2018 TBDY (ZE, etkileşimli) $T=1,6$ için; $T > T_B=0,742$
 $S_{ae} = 0,59/1,6=0,369g = \mathbf{3,69 \text{ m/s}^2}$ ($S_{ae}(T)$ yönetmelikte g cinsinden tanımlanmıştır).

Örneklerden de anlaşılacağı üzere Z1-A/ZA zemin sınıfı için 2007 DBYBHY'ye göre 2018 TBDY ile elastik spektral ivmeler azalma, Z4-D/ZE zemin sınıfı için artma göstermiştir. 2018 TBDY ile elastik spektral ivme formülüzasyonunun değişmesi ve çalışılan bölge zeminine bağlı olarak tanımlanan tasarım spektral ivmelerinin (S_{DS} , S_{D1}) noktasal olarak daha hassas hesaplanmasından dolayı, 2007 ve 2018 deprem yönetmeliğine göre elastik (tasarım) spektral ivmenin ($S_{ae}(T)$) artışı veya azalışı değişiklik göstermiştir.

Çalışmada kullanılan minare modelinin Sta4cad paket programında çizilmiş üç boyutlu görseli Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Temsili minare 3D çizimi

4.1. Minare Modelinin 2007 DBYBHY'e Göre Dinamik Analizi

Yapı periyodu, yapının titreşimini tamamladığı süredir. Denklem 3.10'da belirtildiği üzere yapı periyodunun bağlı olduğu iki özellik vardır; taşıyıcı sistem rijitliği ve yapı kütlesi. Mod kavramı ise yapının belirli bir sürede aldığı şekildir. 2007 DBYBHY'e göre çizilmiş modellerin ilk 9 modu için periyot süreleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. 2007 DBYBHY'e modellerin yerel zemin sınıflarına göre periyot (T) değerleri

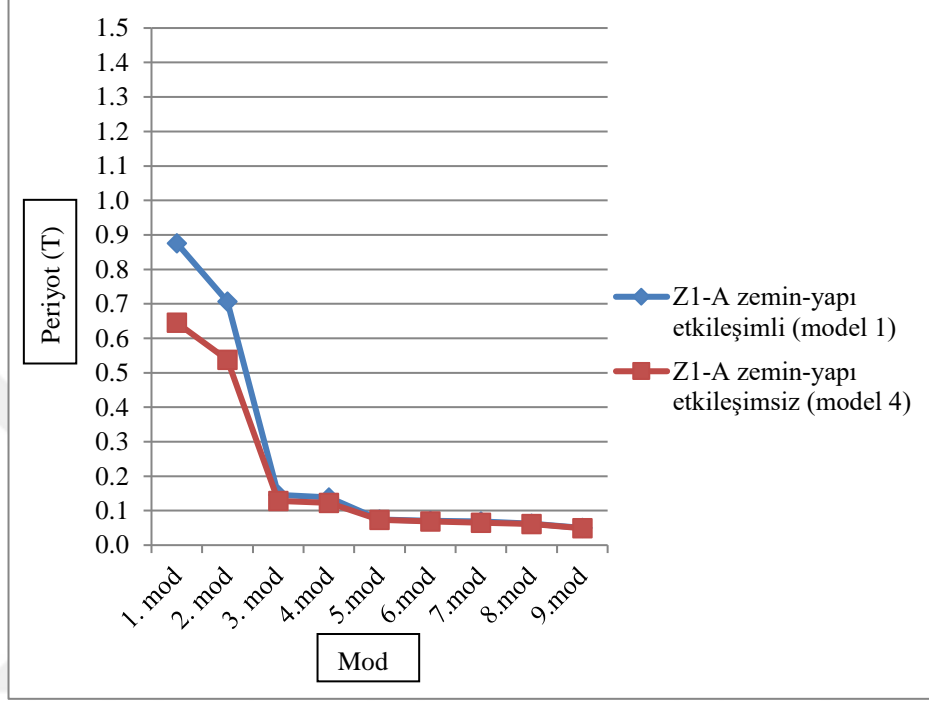
YEREL ZEMİN SINIFLARI							
	Zemin yapı etkileşimli			Zemin yapı etkileşimsiz			
	Z1-A (model 1)	Z3-C (model 2)	Z4-D (model 3)	Z1-A (model 4)	Z3-C (model 5)	Z4-D (model 6)	
T	1.mod	0.876	1.264	1.451	0.645	0.645	0.645
	2.mod	0.707	0.916	0.990	0.538	0.538	0.538
	3.mod	0.146	0.156	0.158	0.128	0.128	0.128
(sn)	4.mod	0.138	0.146	0.147	0.123	0.123	0.123
	5.mod	0.074	0.074	0.074	0.073	0.073	0.073
	6.mod	0.071	0.072	0.072	0.069	0.069	0.069
	7.mod	0.069	0.071	0.071	0.065	0.065	0.065
	8.mod	0.062	0.062	0.062	0.061	0.061	0.061
	9.mod	0.050	0.050	0.050	0.049	0.049	0.049

Zemin-yapı etkileşimsiz analiz yapılan modellerde 20-25 m yüksekliğinde bir minarenin doğal titreşim periyodu (1.mod) yaklaşık 0.5–1 saniye olurken, 30 m yüksekliğinde bir minarenin doğal titreşim periyodu yaklaşık 1.5 saniye olabilir. Periyot süreleri, kullanılan tipik minare modelleri içindir ve büyük ölçüde kullanılan malzeme ve geometrik özelliklere bağlıdır (Doğangün vd, 2007). Doğangün vd'nin çalışmalarında bahsettikleri aralıklar, bu çalışmada bulunan periyot süreleri ile paralellik göstermektedir. Periyot süreleri zemin-yapı etkileşimi, yapı rijitliği, yerel zemin sınıfından etkilenmiştir.

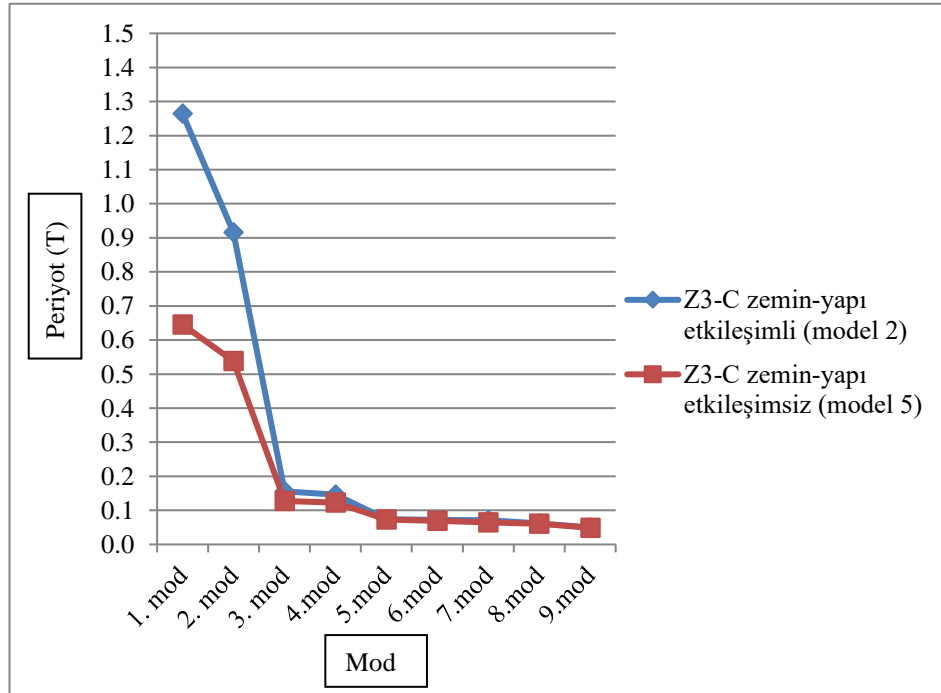
Değerlere dikkat edildiğinde, zemin-yapı etkileşimli modellerde periyot sürelerinin zemin sınıfı kötüleştikçe arttığı görülmektedir. Fakat zemin-yapı etkileşimsiz modellerde, zemin sınıfı periyot sürelerinde değişiklik oluşturmamıştır.

Yerel zemin sınıflarının etkileşimli ve etkileşimsiz olmasına göre periyot sürelerinde oluşan değişimleri net olarak görebilmek adına değerler Çizelge 4.8, 4.9, 4.10'da görselleştirilmiştir.

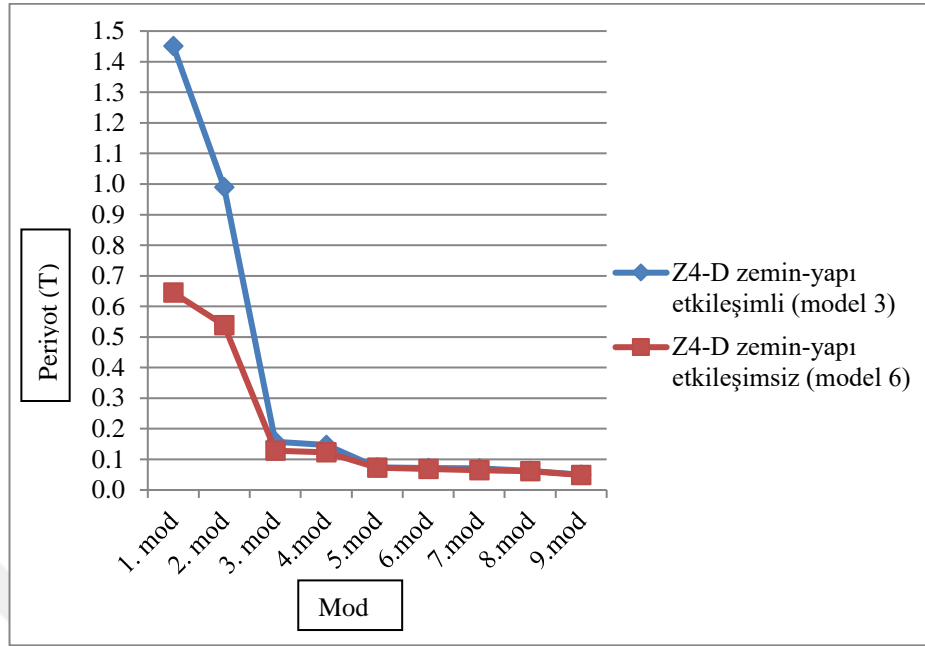
Çizelge 4.8. Z1-A zemin grubu için zemin-yapı etkileşiminin modlarda oluşturduğu değişim



Çizelge 4.9. Z3-C zemin grubu için zemin-yapı etkileşiminin modlarda oluşturduğu değişim

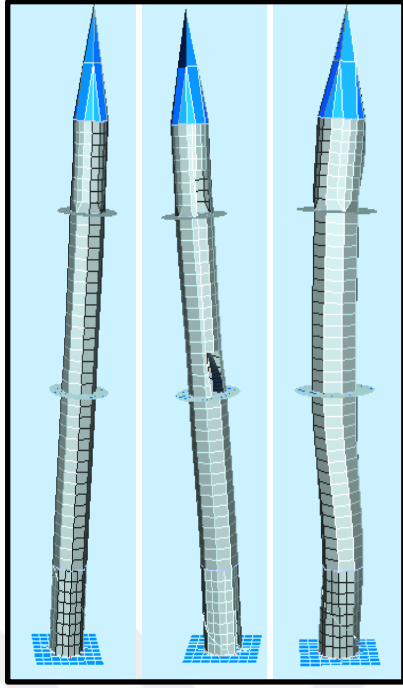


Çizelge 4.10. Z4-D zemin grubu için zemin-yapı etkileşiminin modlarda oluşturduğu değişim

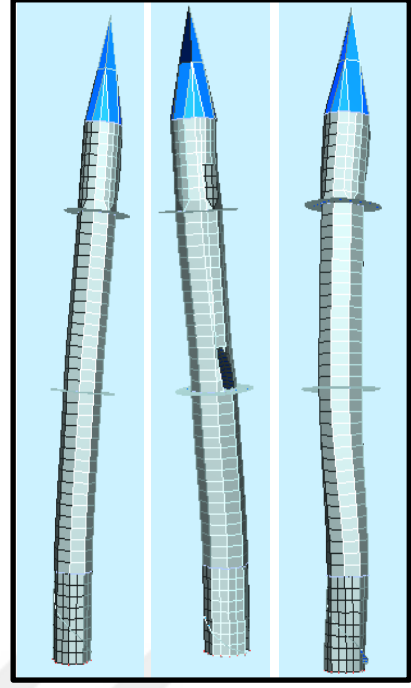


Modellerin zemin-yapı etkileşimli ve zemin-yapı etkileşimsiz olarak ayrı ayrı dinamik analizi gerçekleştirilmiş ve özellikle 1. mod (doğal titreşim periyodu) için gereken periyot süreleri arasındaki farkın zemin sınıfı kötüleştikçe arttığı ve aynı zemin sınıfı için zemin-yapı etkileşimli modellerin titreşimlerini tamamlamaları için gereken sürenin zemin-yapı etkileşimsiz modellere göre daha fazla olduğu, 3 yerel zemin sınıfı için verilen etkileşimli ve etkileşimsiz modellerin karşılaştırıldığı çizelgelerde (Çizelge 4.8, 4.9, 4.10) açıkça görülmektedir. Periyot süresinin yapı rijitliği ile ters orantılı olduğu düşünüldüğünde (Denklem 3.10), zemin-yapı etkileşimli modellerde etkileşimsiz modellere kıyasla periyot süresinin artması ve yumuşak zeminlerde sert zeminlere kıyasla periyot süresinin artması; zemin-yapı etkileşimli modellerde etkileşimsiz modellere göre ve yumuşak zeminli modellerde sert zeminli modellere göre rijitliğin azaldığını göstermektedir.

Mod kavramı yapının titreşirken aldığı şekilleri ifade etmektedir. Betonarme minare modellerinin modlarda aldığı durumlar Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4’de verilmiştir.

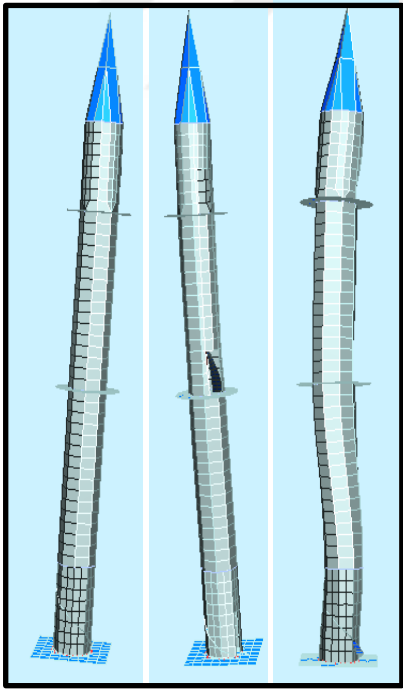


1.mod (x yönü) 2.mod (y yönü) 5.mod (burulma) 1

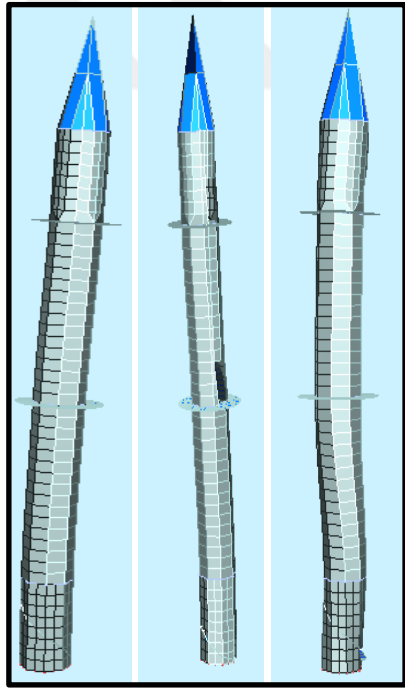


4 1.mod (x yönü) 2.mod (y yönü) 5.mod (burulma)

Şekil 4.2. Model 1-4 için mod şekilleri

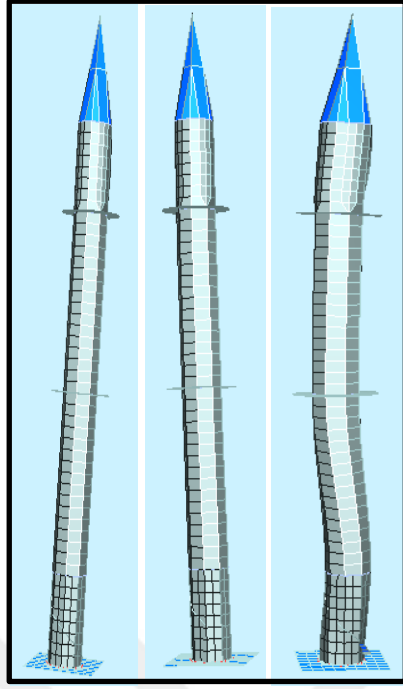


1.mod (x yönü) 2.mod (y yönü) 5.mod (burulma) 2



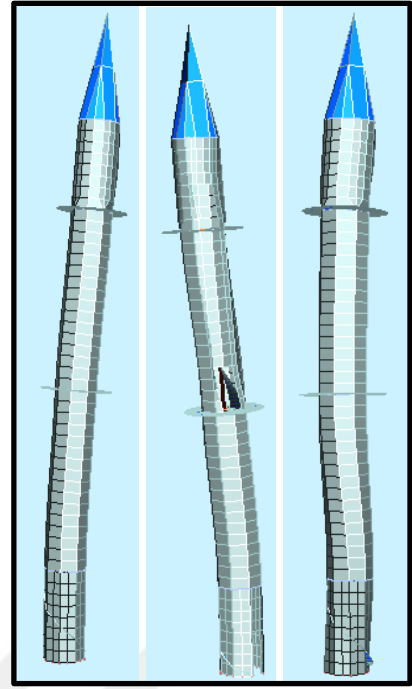
5 1.mod (x yönü) 2.mod (y yönü) 5.mod (burulma)

Şekil 4.3. Model 2-5 için mod şekilleri



1.mod (x yönü) 2.mod (y yönü) 5.mod (burulma)

3



1.mod (x yönü) 2.mod (y yönü) 5.mod (burulma)

6

Şekil 4.4. Model 3-6 için mod şekilleri

Vektörel büyüklüğe sahip olan periyot için yön söz konusu değildir. Periyot süresi ile kastedilen durum yapının o süre zarfında titreşimini tamamlamasıdır. Bu titreşim sadece x yönünde ya da y yönünde olmaz. Her iki yönde de bileşeni mevcuttur. Yapının ne kadarlık kütlesi x-x yönünde titreşmeye çalışıyorsa, bu değer toplam kütleyle oranı kütle katılım payıdır. Newton prensibine göre ($F=m.a$) bulunan deprem kuvveti için için simgelediği durum burada bahsedilen kütlelerdir. (Çelikkollu, 2018). Her mod için tek tek hesaplanan etkin kütle (M_r)'lerin toplamı %90'ı buluncaya kadar mod sayısı arttırılacaktır. (DBYBHY, 2007). Çizelge 4.11'de modellerin ilk iki modlarının x ve y yönünde etkin kütle (kütle katılım) oranları (M_{xr} , M_{yr}) verilmiştir.

Çizelge 4.11. 2007 DBYBHY'e modellere etkiyen kütle katılım oranları

Model	Modellerin Kütle Katılım Oranları			
	1.Mod kütle katılım oranı		2.Mod kütle katılım oranı	
	Mxr%	Myr%	Mxr%	Myr%
Model 1	40,403	31,934	33,145	41,720
Model 2	43,267	32,944	33,889	44,418
Model 3	43,751	33,272	34,143	44,854
Model 4	34,635	30,710	31,947	35,940
Model 5	34,635	30,710	31,947	35,940
Model 6	34,635	30,710	31,947	35,940

2007 DBYBHY'e göre yapılan yapısal çözümleme sonucunda zemin-yapı etkileşimli modeller için kütle katılım oranı ilk modda yaklaşık % 40-44 aralığında x yönünde, % 31-34 aralığında y yönünde gerçekleşmiştir. İkinci modda yaklaşık % 33-35 aralığında x yönünde, % 41-45 aralığında y yönünde gerçekleşmiştir. Beşinci modun ise burulma olduğu Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4'de açıkça görülmektedir. Zemin-yapı etkileşimsiz modellerde ise kütle katılım oranı ilk modda yaklaşık % 35 ile x yönünde, yaklaşık % 31 ile y yönünde gerçekleşmiştir. İkinci modda kütle katılım oranının ise yaklaşık % 32 ile x yönünde, yaklaşık % 36 ile y yönünde olduğu görülmüştür. Zemin-yapı etkileşimi ve yerel zemin sınıfı, yapının hangi yönde yapısal deformasyonunun baskın olacağını etkilememiş olsada kütle katılım oranlarında değişime yol açmıştır. Bu noktada önemli olan husus yapının % 90 kütle katılım oranına erişmesidir. Yapı % 90 kütle katılım oranına ulaşıncaya kadar mod sayısını artırır (DBYBHY, 2007). Yapı karmaşıklıktıkça mod sayısı artar. Modellerde zemin-yapı etkileşimi ve zemin sınıfının kötüleşmesi yapıyı karmaşık hale getirmiştir ve ilk modlarda kütle katılım oranları düşmüştür.

Mod birleştirme yöntemleri sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetleri, 2007 DBYBHY'e göre analizi yapılan modeller için Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. 2007 DBYBHY'e modellerin taban kesme kuvvetleri

Model	Taban kesme kuvveti (kN)	
	X yönü taban kesme kuvveti	Y yönü taban kesme kuvveti
Model 1	119,57	120,11
Model 2	132,23	136,27
Model 3	150,76	158,00
Model 4	141,13	140,74
Model 5	184,31	184,13
Model 6	186,07	185,36

Aynı zemin sınıfı için zemin-yapı etkileşimli modellerde, etkileşimsiz modellere göre taban kesme kuvvetinin daha az olduğu ve etkileşimli ve etkileşimsiz modellerde zemin sınıfı kötüleştikçe taban kesme kuvvetinin arttığı görülmektedir. Yapısal çözümler sonucunda aynı zemin sınıfına ait etkileşimli ve etkileşimsiz modeller için spektrum eğrilerinin aynı olduğu görülmektedir (Çizelge 4.1-4.4, 4.2-4.5, 4.3-4.6). Aynı zemin sınıfı için etkileşimli modellerde etkileşimsiz modellere göre, yapı doğal titreşim periyot süresinin (T) artmasına bağlı olarak (Örn. Çizelge 4.7) elastik spektral ivme (S_{ae}) azalma gösterecektir (Örn. Çizelge 4.1-4.6). Denklem 3.11'de belirtilen taban kesme kuvveti için elde edilmesi gereken spektral ivme katsayısı ($A(T)$)'nın mod birleştirme ve eşdeğer deprem hesabı gibi farklı hesap yöntemleri için geçerli olan formülü daha önce Denklem 3.2'de verilerek spektrum katsayısına $S(T)$, Denklem 3.3'de ise spektrum katsayısı $S(T)$ 'nin, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T 'ye bağlı olduğu söylenmiştir. Periyot sürelerinde artış olması spektral ivmeyi (S_{ae}) ve dolayısıyla spektral ivme katsayısını $A(T)$ azaltacak (Örn. Çizelge 4.1), azalan spektral ivme katsayısı ise taban kesme kuvvetinin azalmasına yol açacaktır (Denklem 3.11). Sabit bir zemin sınıfı için zemin-yapı etkileşimli modellerde etkileşimsiz modellere göre periyot süresinin arttığı göz önünde bulundurulduğunda bu modellerde taban kesme kuvvetinin azalması gerekmektedir ve Çizelge 4.12 bu durumu doğrulamaktadır. Deprem yönetmeliğinde (2007) geçen "dinamik yapı-zemin etkileşimi genellikle binayı elverişli yönde etkiler ve zeminden binaya geçen deprem dalgalarının meydana getirdiği eşdeğer deprem yüklerini azaltır" ibaresinin yukarıda bahsedilen durum için

ifade edildiği anlaşılmaktadır. Etkileşimli modellerde zemin sınıfının kötüleşmesi ile periyot (T) süresinin artmasına rağmen farklılaşan spektrum eğrisi sonucu spektral ivme (S_a) ve dolayısıyla spektral ivme katsayısı A(T) artış göstermektedir. Artan spektral ivme katsayısı A(T) ile taban kesme kuvveti artış göstermiştir.

Eğer yapı periyodu, spektrum karakteristik periyodundan (T_A) küçük olsa idi spektral ivme (S_a) çizelgede artış gösteren bölgeye denk gelecekti ve o zaman yapıya etkileyen taban kesme kuvveti etkileşimli modeller için artış gösterecekti.

Yapı üzerine etkileyen kuvvetlerin (sabit, hareketli, deprem vs.) sonucunda yapıdaki her noktada yerdeğişimi meydana gelir. Modellerde oluşan maksimum yerdeğiştirme değerleri Çizelge 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.13. 2007 DBYBHY’ye göre 1,4G+1,6Q ve G+Q+E yüklemeleri altında minare modellerinde oluşan maksimum deplasmanlar (cm)

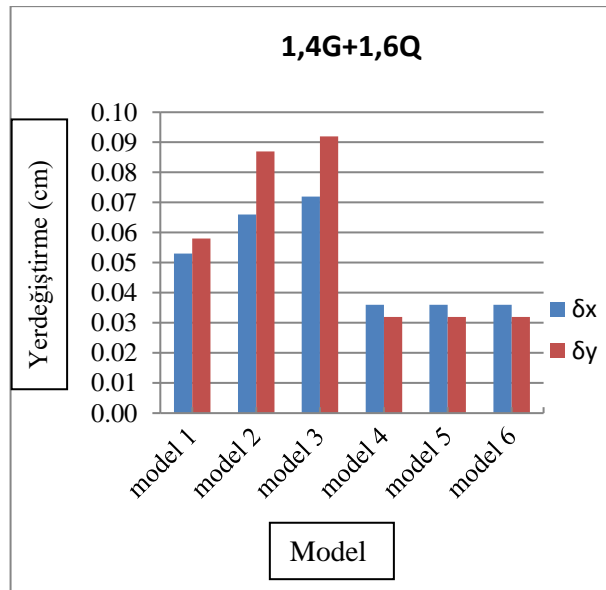
Model	Yüklemeler	δ_x (cm)	δ_y (cm)
Model 1	1,4G+ 1,6Q	0,053	0,058
	G+ Q+ E_x	2,164	0,046
	G+ Q+ E_y	0,042	2,229
Model 2	1,4G+ 1,6Q	0,066	0,087
	G+ Q+ E_x	5,082	0,152
	G+ Q+ E_y	0,110	5,157
Model 3	1,4G+ 1,6Q	0,072	0,092
	G+ Q+ E_x	7,773	0,264
	G+ Q+ E_y	0,209	7,786
Model 4	1,4G+ 1,6Q	0,036	0,032
	G+ Q+ E_x	1,285	0,029
	G+ Q+ E_y	0,026	1,335
Model 5	1,4G+ 1,6Q	0,036	0,032
	G+ Q+ E_x	2,297	0,033
	G+ Q+ E_y	0,027	2,488
Model 6	1,4G+ 1,6Q	0,036	0,032
	G+ Q+ E_x	2,308	0,034
	G+ Q+ E_y	0,028	2,494

Zemin-yapı etkileşimsiz modellerde, 1,4G+1,6Q yüklemesi altında x ve y yönündeki yerdeğiştirmelerin periyot süresinin sabit kalmasından dolayı aynı olduğu (depremsiz durum olduğu için S_{ae} önemsiz), fakat $G+Q+E_x$ ve $G+Q+E_y$ yüklemeleri altında, tüm yönlerde zemin sınıfı kötüleştikçe sabit bir periyot süresine (T) karşılık gelen elastik (tasarım) spektral ivme (S_{ae}) değerinin artmasından dolayı yerdeğiştirmelerin arttığı görölmüştür. Zemin-yapı etkileşimli modellerde tüm yüklemeler için yerdeğiştirmeler zemin sınıfı kötüleştikçe artış göstermiştir ve sabit bir zemin sınıfı için zemin-yapı etkileşimli modellerde meydana gelen yerdeğiştirmeler, zemin-yapı etkileşimsiz modellere göre daha fazla çıkmıştır. Denklem 3.12'ye göre deplasman spektrumu periyotun karesi ile doğru orantılıdır. Sabit bir zemin sınıfı için zemin-yapı etkileşimli modelde periyot (T) süresinin etkileşimsiz modele göre daha fazla olması zemin-yapı etkileşimli modellerde maksimum yerdeğiştirmenin daha fazla çıkmasına yol açmaktadır.

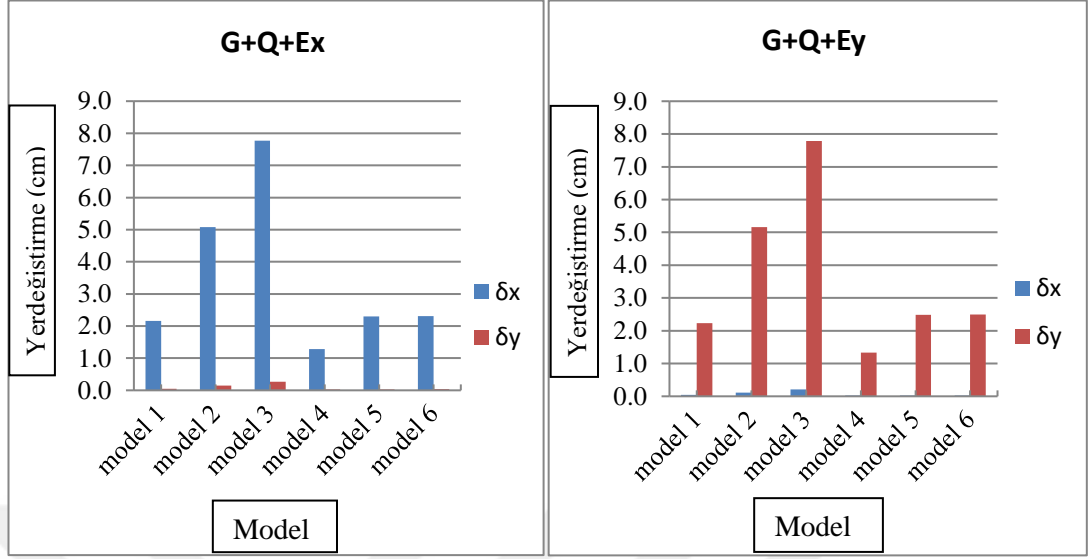
Etkileşimsiz modellerde meydana gelen maksimum yerdeğiştirme 2,494 cm iken, etkileşimli modeller için maksimum yerdeğiştirme Z4-D zemin sınıfına ait zemin-yapı etkileşimli modelde $G+Q+E_y$ yüklemesi için gerçekteşmiş ve 7,786 cm ölçölmüştür.

Kombinasyonlar için meydana gelen maksimum yerdeğiştirme değerlerinin x ve y yönündeki değişimi Çizelge 4.14 ve 4.15'de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Modellerde 1,4G+1,6Q kombinasyonu altında x ve y yönünde oluşan maksimum deplasmanlar



Çizelge 4.15. Modellerde $G+Q+E_x$ ve $G+Q+E_y$ kombinasyonları altında x ve y yönünde oluşan maksimum deplasmanlar



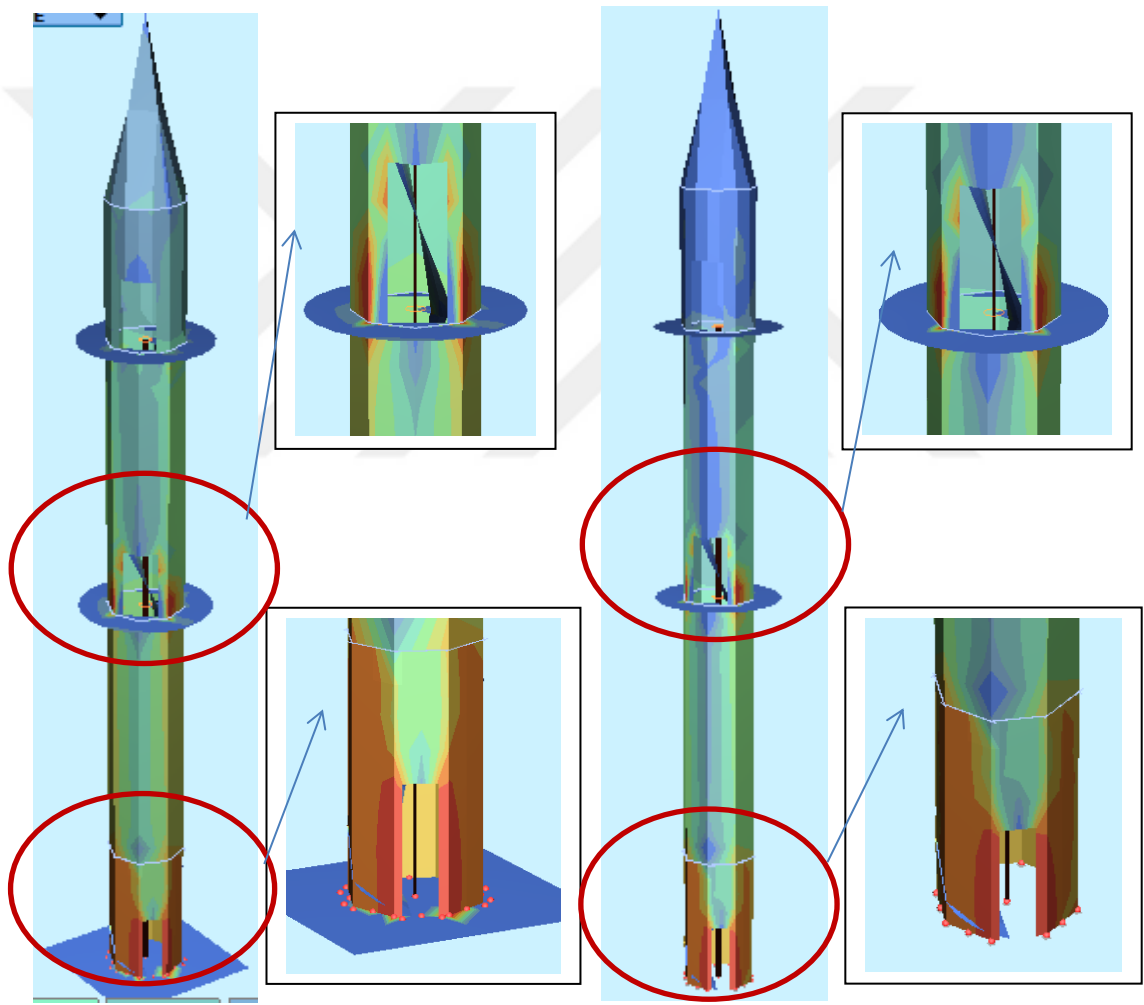
Günaydın ve Tonyalı (2018) betonarme minarelerin dinamik tepkisi üzerine yaptıkları araştırmada 28,3 m yüksekliğe sahip betonarme minare modeline Erzincan deprem ivmesini uygulamışlar ve oluşan maksimum yerdeğiştirmeyi 16 cm olarak ölçmüşlerdir.

Reşatoğlu vd (2018) Kuzey Kıbrısta bulunan betonarme minarelerini deprem ve rüzgar yükü etkisinde incelemişlerdir. İnceledikleri modellerden 33.2 m yüksekliğe sahip betonarme minare için oluşan maksimum yerdeğiştirmeyi 4,9 cm olarak ölçmüşlerdir (sadece deprem yükü etkisi için).

Doğangün vd (2006) Türkiye’de bulunan yığma minareleri deprem ve rüzgar etkisine karşı inceledikleri çalışmalarında, yaklaşık 23 m yüksekliğinde yığma minarenin maksimum yerdeğiştirmesini Düzce deprem etkisinde 29,8 cm bulurken, Kocaeli deprem etkisi altında 13 cm bulmuşlardır.

Yukarıda verilen literatürdeki çalışmaların sabit bir zemin sınıfı için, zemin-yapı etkileşimsiz olarak yapıldığı düşünüldüğünde ve çalışmalar arasında minare modeli, kullanılan beton sınıfı, şerefe sayısı, zemin-yapı etkileşimi gibi farklılıklar olduğu düşünüldüğünde bu çalışmada bulunan yerdeğiştirme sonuçlarının uygun olduğu anlaşılmaktadır.

Çalışma için kullanılan program kapsamında düzlem gerilme değerleri; bir birim çevre elemanına etkiyen normal kuvvet (F)'i simgelemektedir (kN/m). Bu kuvvet plak kalınlığına bölüldüğünde noktaya etkiyen gerilme elde edilir. Düzlem gerilme hesap için kullanılması gereken zarf (maksimum) gerilmedir ve noktaya etkiyen dik kuvvet ile çalışıldığından asal gerilmeye (σ_2) karşılık geldiği söylenebilir. Fakat çalışılan program kapsamında doğru isimlendirme yapılabilmesi adına çalışmada düzlem gerilme ismi kullanılacaktır. Modellerin G+Q+E_x kombinasyonu altında düzlem gerilme dağılımları ve değerleri (MPa) cinsinden Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7'de verilmiştir.

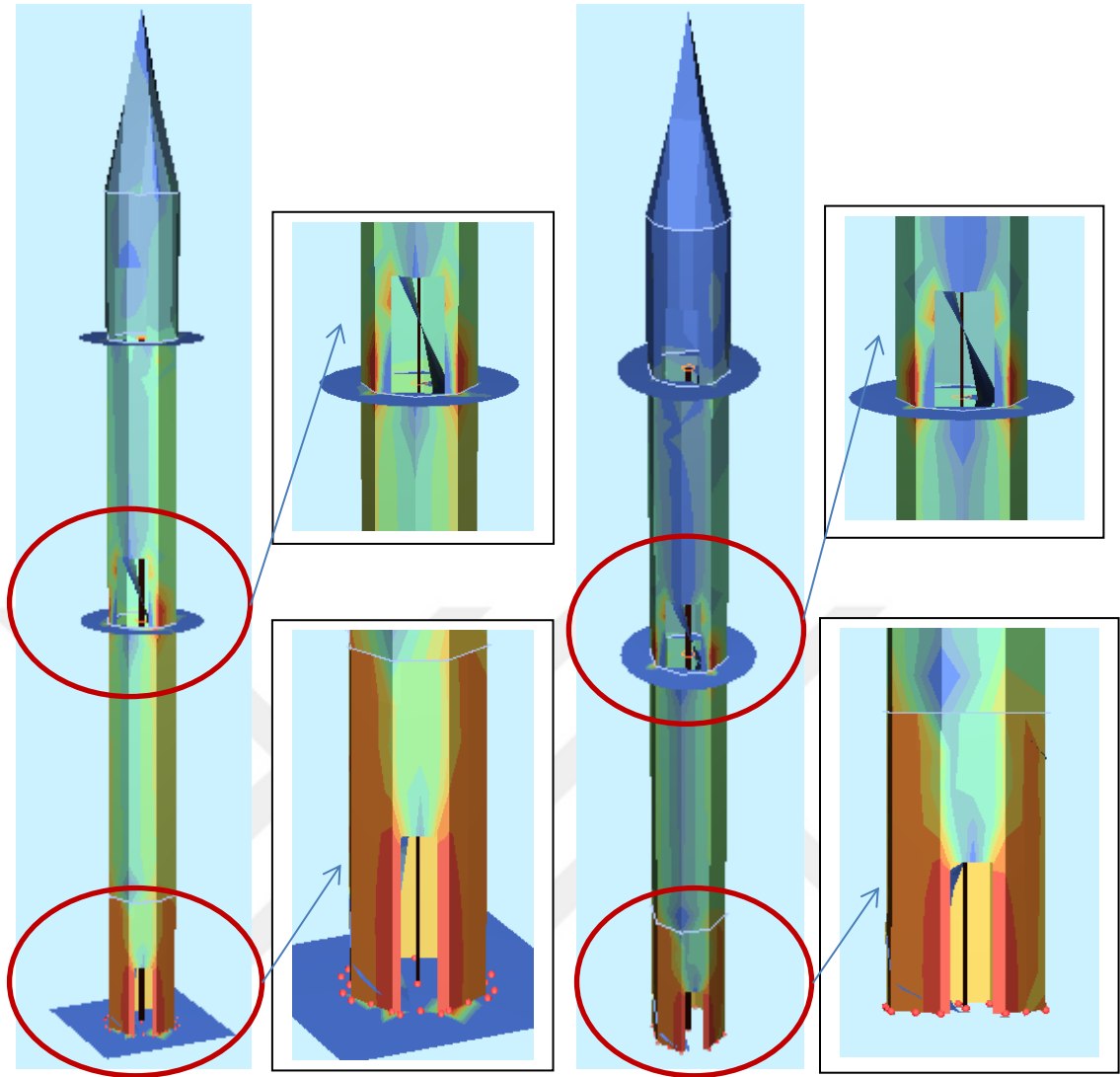


(Model 1)

(Model 4)

(1)	-3.27	-2.77	-2.27	-1.76	-1.26	-0.75	-0.25	+0.2	+0.7	+1.25
(4)	-3.77	-3.12	-2.47	-1.82	-1.54	+0.5	+0.1	+0.7	+1.4	+ 2.09

Şekil 4.5. Model 1 ve 4 için x yönündeki deprem etkisi altında düzlem gerilmesi diyagramı (MPa)

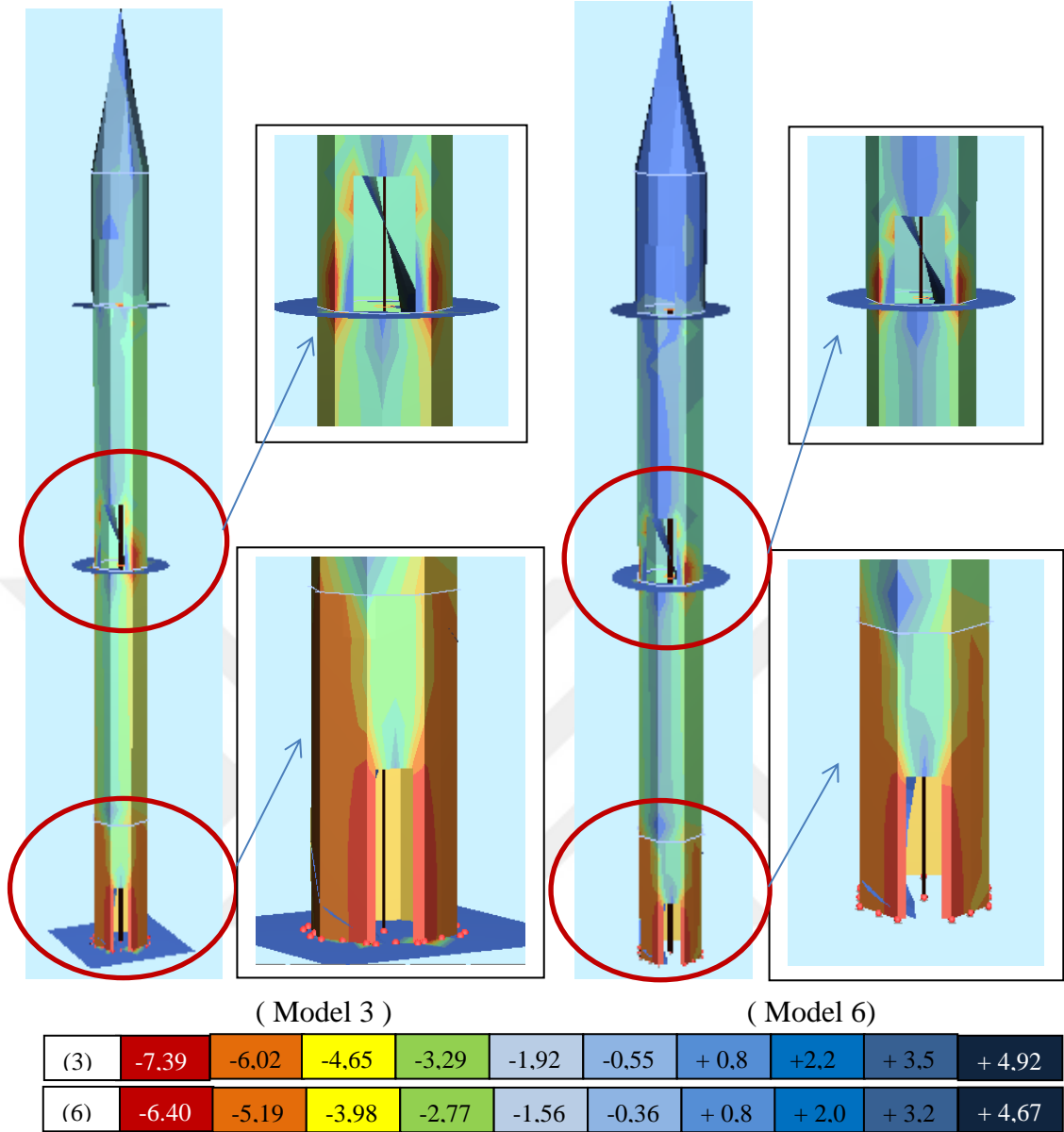


(Model 2)

(Model 5)

(2)	-5.39	-4.45	-3.51	-2.57	-1.64	-0.69	-0.24	+1.8	+2.1	+ 3.06
(5)	-6.05	-4.92	-3.77	-2.65	-1.51	-0.96	-0.38	+0.7	+1.8	+ 3.03

Şekil 4.6. Model 2 ve 5 için x yönündeki deprem etkisi altında düzlem gerilmesi diyagramı (MPa)



Şekil 4.7. Model 3 ve 6 için x yönündeki deprem etkisi altında düzlem gerilmesi diyagramı (MPa)

Minare tipi yapılarda, kesit değişimi olan noktalar ile kapı boşluğunun olduğu noktalarda gerilme yığılması beklenmekte (Türkeli, 2014) ve Şekil 4.5, 4.6, 4.7 bunu doğrulamaktadır.

Zemin-yapı etkileşimli modellerde düzlem gerilme değerleri sağlam zemin için (Z1-A) etkileşimsiz modellere kıyasla daha az olurken, yumuşak zeminde (Z4-D) zemin-yapı etkileşimli modelde düzlem gerilme değerleri, etkileşimsiz modele göre daha fazla olmuştur. Zemin-yapı etkileşimi çok fazla etkene bağlı karmaşık bir kavramdır. Deprem anında zeminde bir kuvvet oluşur ve zemin bu kuvveti yapıya iletir. Yapı ise rijitliği ile doğru orantılı olarak bir tepki oluşturur ve bunu zemine

iletir. Yumuşak zemin ise sağlam zeminden daha fazla titreşir. Tüm bunlar düşünüldüğünde sabit bir zemin sınıfında yumuşak zemin için etkileşimli modellerde oluşan gerilmenin etkileşimsiz modellere göre daha fazla çıkmış olması zemin-yapı etkileşimi açısından önemli bir durum olup, özellikle kötü zeminlerde zemin-yapı etkileşiminin göz ardı edilmemesi gerektiğini göstermektedir.

İlk altı model için meydana gelen maksimum gerilme Z4-D zemin sınıfı için (zemin-yapı etkileşimli) 7,39 MPa olup, çalışmada kullanılan betonun dayanımı 30 MPa'dır. Maksimum gerilme beton dayanımından küçüktür.

Zemin-yapı etkileşimli ve etkileşimsiz modellerde zemin sınıfı kötüleştikçe düzlem gerilme değerleri artış göstermiştir.



4.2. Minare Modelinin 2018 TBDY'ne Göre Dinamik Analizi

2018 TBDY'ne göre çizilmiş modellerin periyot süreleri Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. 2018 TBDY'ne göre modellerin yerel zemin sınıflarına göre periyot (T) değerleri

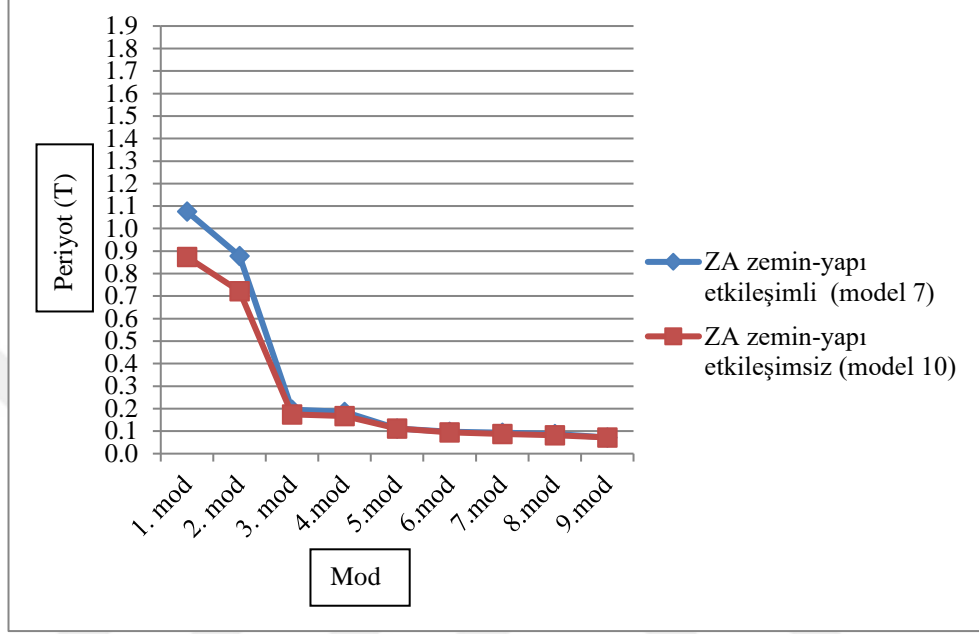
YEREL ZEMİN SINIFLARI						
T (sn)	Zemin yapı etkileşimli			Zemin yapı etkileşimsiz		
	ZA	ZC	ZE	ZA	ZC	ZE
	Model 7	Model 8	Model 9	Model 10	Model 11	Model 12
1.Mod	1.076	1.535	1.832	0.874	0.874	0.874
2.Mod	0.877	1.154	1.288	0.722	0.722	0.722
3.Mod	0.196	0.216	0.221	0.174	0.174	0.174
4.mod	0.186	0.201	0.204	0.167	0.167	0.167
5.mod	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111
6.mod	0.097	0.099	0.100	0.094	0.094	0.094
7.mod	0.093	0.096	0.097	0.088	0.088	0.088
8.mod	0.088	0.089	0.089	0.082	0.082	0.082
9.mod	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072

Değerlere dikkat edildiğinde, zemin-yapı etkileşimli modellerde periyot sürelerinin zemin sınıfı kötüleştikçe arttığı görülmektedir. Fakat zemin-yapı etkileşimsiz modellerde, zemin sınıfı periyot sürelerinde değişiklik oluşturmamıştır.

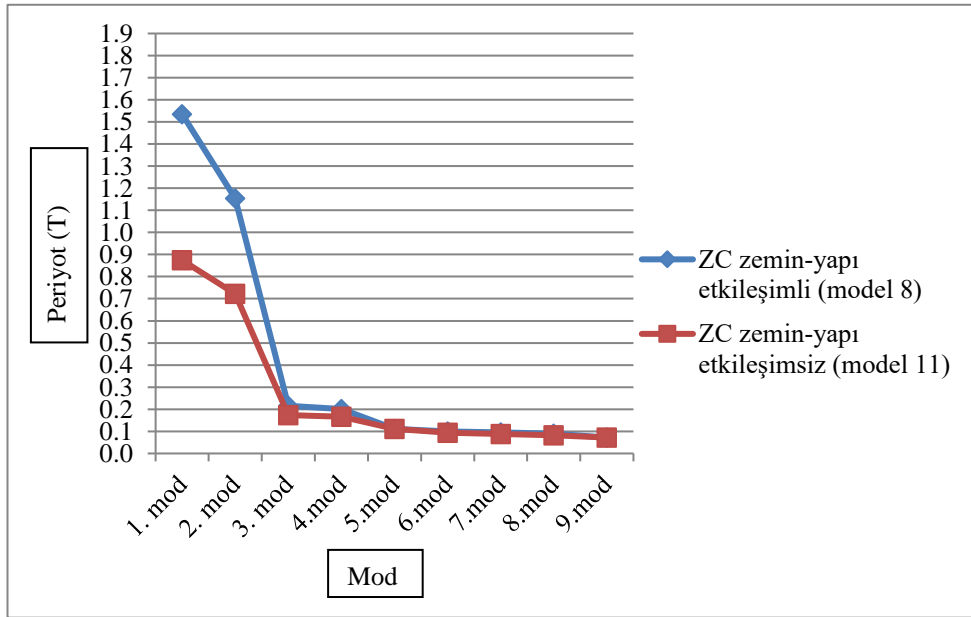
Periyot sürelerindeki artış ve azalış 2007 DBYBHY ile paralellik göstermektedir. Fakat 2018 TBDY ile analiz edilen zemin-yapı etkileşimli modellerde ilk modun periyot süresi 2007 DBYBHY ile analiz yapılan zemin-yapı etkileşimli modellere kıyasla, zemin sınıfı sırasıyla iyiden kötüye olmak üzere yaklaşık % 23, % 21 ve % 26'lık bir artış göstermiştir. Zemin-yapı etkileşimsiz modellerde ise % 36'lık bir artış söz konusudur. Bu artışın sebebi; 2018 deprem yönetmeliğine göre hesaplarda çatlama kesit atalet momenti kullanılmasıdır. Perdeler için etkin kesit rijitliği çarpanı (çatlama kesit atalet momenti) 0,5 olarak verilmiştir (TBDY, 2018). Atalet momenti, elemanın gelen yüklere karşı direnci olarak düşünüldüğünde bu direnç yani rijitlik 0,5 çarpanı ile azalacak ve rijitliğin azalması ile periyot süresi artacaktır.

Yerel zemin sınıflarının etkileşimli ve etkileşimsiz olmasına göre periyot sürelerinde oluşan değişimleri net olarak görebilmek adına değerler Çizelge 4.17, 4.18, 4.19’da görselleştirilmiştir.

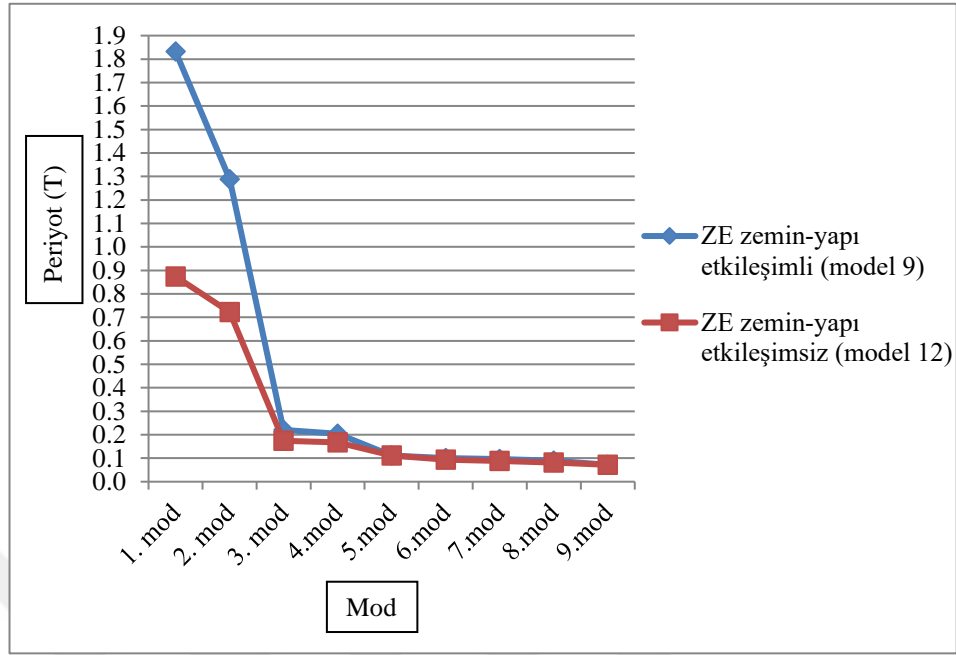
Çizelge 4.17. ZA zemin grubu için zemin-yapı etkileşiminin modlarda oluşturduğu değişim



Çizelge 4.18. ZC zemin grubu için zemin-yapı etkileşiminin modlarda oluşturduğu değişim

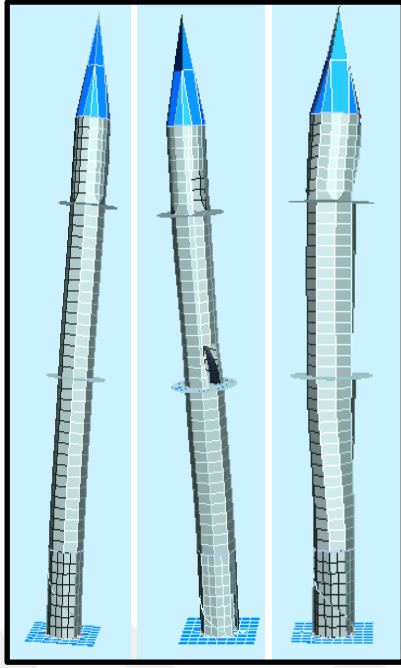


Çizelge 4.19. ZE zemin grubu için zemin-yapı etkileşiminin modlarda oluşturduğu değişim



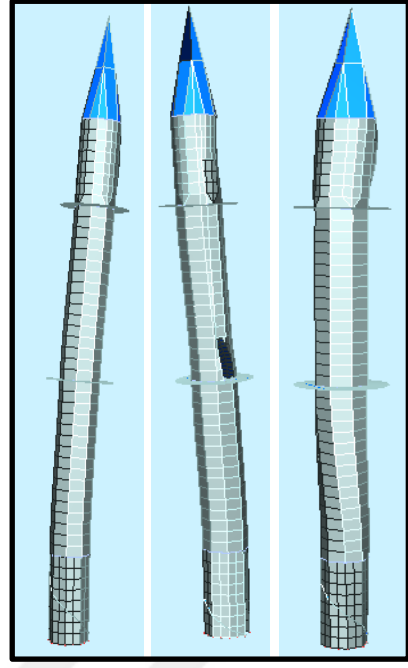
Modellerin zemin-yapı etkileşimli ve zemin-yapı etkileşimsiz olarak ayrı ayrı dinamik analizi gerçekleştirilmiş; sabit bir zemin sınıfı için etkileşimli ve etkileşimsiz modellerde 1. mod için gereken periyot süreleri arasındaki farkın 2007 DBYBHY’nde olduğu gibi zemin sınıfı kötüleştikçe arttığı ve zemin-yapı etkileşimli modellerin titreşimlerini tamamlamaları için gereken sürenin zemin-yapı etkileşimsiz modellere göre daha fazla olduğu, 3 yerel zemin sınıfı için verilen etkileşimli ve etkileşimsiz modellerin karşılaştırıldığı Çizelge 17, 18 ve 19’da açıkça görülmektedir. Periyot süresinin artması, rijitliğin azalması ile doğru orantılı olduğundan zemin-yapı etkileşimli modellerde rijitliğin daha az olduğu söylenebilir.

Betonarme minare modellerinin modlarda aldığı durumlar Şekil 4.8, 4.9 ve 4.10’da verilmiştir.



1.mod (x yönü) 2.mod (y yönü) 5.mod (burulma)

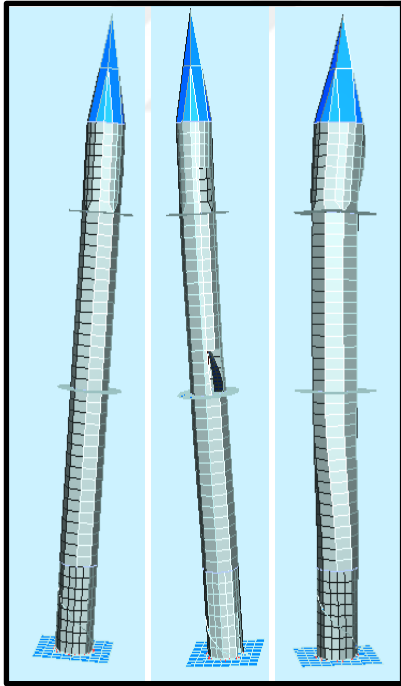
7



1.mod (x yönü) 2.mod (y yönü) 5.mod (burulma)

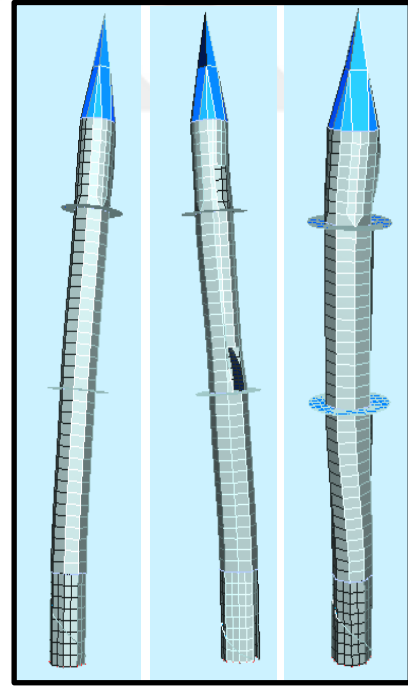
10

Şekil 4.8. Model 7-10 için mod şekilleri



1.mod (x yönü) 2.mod (y yönü) 5.mod (burulma)

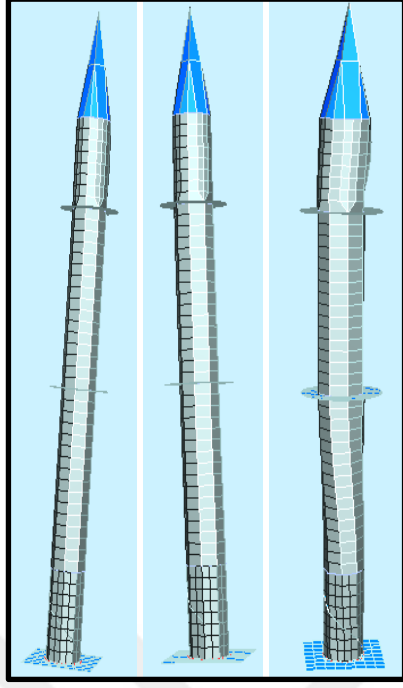
8



1.mod (x yönü) 2.mod (y yönü) 5.mod (burulma)

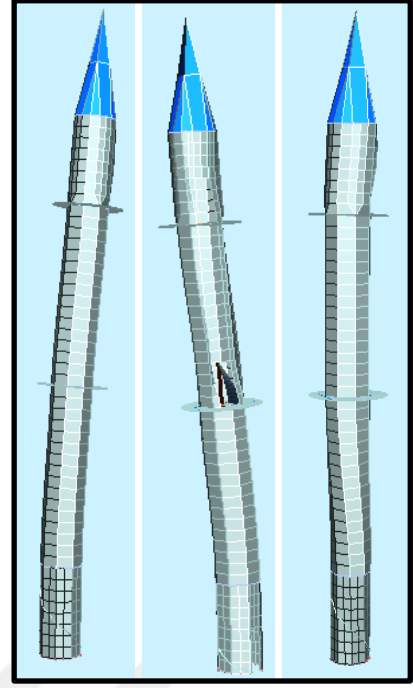
11

Şekil 4.9. Model 8-11 için mod şekilleri



1.mod (x yönü) 2.mod (y yönü) 5.mod (burulma)

9



1.mod (x yönü) 2.mod (y yönü) 5.mod (burulma)

12

Şekil 4.10. Model 9-12 için mod şekilleri

2018 TBDY’nde 2007 DBYBHY’nde olduğu gibi zemin-yapı etkileşimi kütle katılım oranını etkilese de, modlarda deformasyonun hangi yönde baskın olacağını etkilememiştir.

2007 DBYBHY’ne göre yapılan yapısal çözümlerinin sonuç kısmında belirtildiği üzere periyot süresi ile kastedilen durum yapının o süre zarfında titreşimini tamamlamasıdır. Bu titreşim sadece x yönünde ya da y yönünde olmaz. Her iki yönde de bileşeni mevcuttur. Yapının ne kadarlık kütlesi x-x yönünde titreşmeye çalışıyorsa, bu değer toplam kütleyle oranı kütle katılım payıdır (Çelikkollu, 2018). Çizelge 4.20’de modellerin ilk iki modlarının x ve y yönünde etkin kütle (kütle katılım) oranları (M_{xr} , M_{yr}) verilmiştir.

Çizelge 4.20. 2018 TBDY’ e modellerin kütle katılım oranları

Modellerin Kütle Katılım Oranları				
Model	1.Mod kütle katılım oranı		2.Mod kütle katılım oranı	
	Mxr%	Myr%	Mxr%	Myr%
Model 7	41,609	27,773	28,951	43,179
Model 8	45,662	29,074	29,994	47,020
Model 9	46,493	29,618	30,426	47,806
Model 10	36,817	26,659	27,741	38,234
Model 11	36,817	26,659	27,741	38,234
Model 12	36,817	26,659	27,741	38,234

2018 TBDY’ne göre yapılan yapısal çözümleme sonucunda zemin-yapı etkileşimli modeller için kütle katılım oranı ilk modda yaklaşık % 41-47 aralığında x yönünde, % 27-30 aralığında y yönünde gerçekleşmiştir. İkinci modda yaklaşık % 28-31 aralığında x yönünde, % 43-48 aralığında y yönünde gerçekleşmiştir. Beşinci modun ise burulma olduğu Şekil 4.8, 4.9 ve 4.10’da açıkça görülmektedir. Zemin-yapı etkileşimsiz modellerde ise kütle katılım oranı ilk modda yaklaşık % 37 ile x yönünde, % 27 ile y yönünde gerçekleşmiştir. İkinci modda kütle katılım oranının ise yaklaşık % 28 ile x yönünde, % 38 ile y yönünde olduğu görülmüştür. Zemin-yapı etkileşimi ve yerel zemin sınıfı, yapının hangi yönde yapısal deformasyonunun baskın olacağını etkilememiş olsada kütle katılım oranlarında değişime yol açmıştır.

Çizelge 4.21’de 2018 TBDY baz alınarak yapısal çözümlemesi yapılan modellere etkileyen taban kesme kuvvetlerine yer verilmiştir.

Çizelge 4.21. 2018 TBDY’ne göre modellere etkiyen taban kesme kuvvetleri

Model	Taban kesme kuvveti (kN)	
	X yönü taban kesme kuvveti	Y yönü taban kesme kuvveti
Model 7	75,98	76,96
Model 8	106,33	108,56
Model 9	172,67	182,93
Model 10	82,73	88,44
Model 11	148,93	149,54
Model 12	270,14	275,41

2018 TBDY’nde, 2007 DBYBHY’nde olduğu modal analiz ile hesaplanan toplam taban kesme kuvvetleri, zemin-yapı etkileşiminden ve yerel zemin sınıfından etkilenmiştir. Aynı zemin sınıfı için zemin-yapı etkileşimli ve etkileşimsiz modeller arasındaki fark zemin sınıfı kötüleştikçe artmıştır. Aynı zamanda zemin sınıfı kötüleştikçe taban kesme kuvveti artmıştır.

Toplam taban kesme kuvveti zemin-yapı etkileşimli modellerde, etkileşimsiz modellere kıyasla daha küçük çıkmıştır. Bu durum 2007 DBYBHY’e göre analiz yapılan modeller için açıklandığı gibi Çizelge 4.1-4.6’daki spektrum eğrilerinden kaynaklanmaktadır. Sabit zemin sınıfı için zemin-yapı etkileşimli ve etkileşimsiz modele ait spektrum eğrisinin aynı olduğu düşünüldüğünde; etkileşimli modellerde artan periyot süresini (T)’ne bağlı olarak elastik tasarım spektral ivme ($S_{aR} T_P^{(X)}$) azalacak ve dolayısıyla deprem yükünün azalmasına yol açacaktır.

2018 TBDY ile yapılan analiz sonucunda modellerin toplam taban kesme kuvveti (ZA ve ZC zemin sınıfı için) 2007 DBYBHY baz alınarak analizi yapılan modellere (Z1-A ve Z3-C zemin sınıfı için) kıyasla azalma göstermiştir. Fakat model 9 ve 12 sonuçları (ZE-2018), model 3 ve 6 (Z4/D-2007) sonuçlarına göre bir artma göstermiştir. Bu durumun sebebi denklem 3.14’te taban kesme kuvvetinin elastik tasarım spektral ivme ($S_{aR} T_P^{(X)}$) ile doğru orantılı olması ve Çizelge 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6’ya bakıldığında da görüleceği gibi Z1-A/ZA ve Z3-C/ZC zemin sınıfı için 2018 TBDY ile spektral ivmelerde azalma, Z4-D/ZE zemin sınıfı için 2018 TBDY ile spektral ivmelerde artma olmasından kaynaklanmaktadır.

2018 TBDY baz alınarak yapısal çözümlemesi yapılan modellerin maksimum yerdeğiştirme değerlerine Çizelge 4.22’de yer verilmiştir.

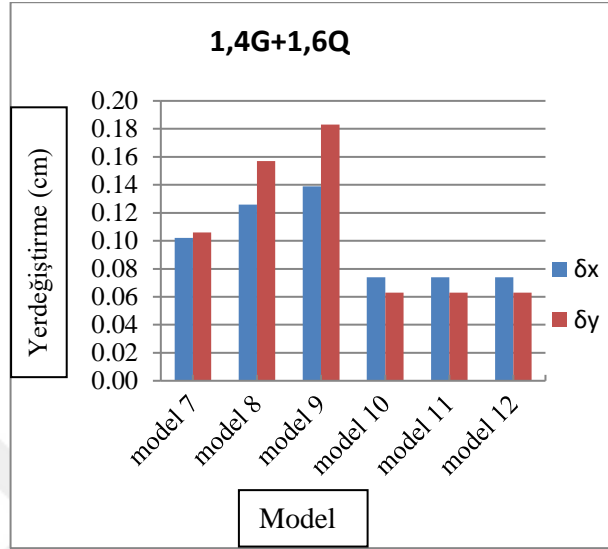
Çizelge 4.22. 2018 TBDY’e göre 1,4G+1,6Q ve G+Q+E yüklemeleri altında minare modellerinde oluşan maksimum deplasmanlar (cm)

Model	Yüklemeler	δ_x (cm)	δ_y (cm)
Model 7	1,4G+ 1,6Q	0,102	0,106
	G+ Q+ E _X	2,009	0,076
	G+ Q+ E _Y	0,080	2,063
Model 8	1,4G+ 1,6Q	0,126	0,157
	G+ Q+ E _X	5,172	0,167
	G+ Q+ E _Y	0,122	5,423
Model 9	1,4G+ 1,6Q	0,139	0,183
	G+ Q+ E _X	16,093	0,461
	G+ Q+ E _Y	0,352	16,705
Model 10	1,4G+ 1,6Q	0,074	0,063
	G+ Q+ E _X	1,299	0,046
	G+ Q+ E _Y	0,053	1,341
Model 11	1,4G+ 1,6Q	0,074	0,063
	G+ Q+ E _X	2,501	0,047
	G+ Q+ E _Y	0,055	2,589
Model 12	1,4G+ 1,6Q	0,074	0,063
	G+ Q+ E _X	6,852	0,060
	G+ Q+ E _Y	0,077	7,103

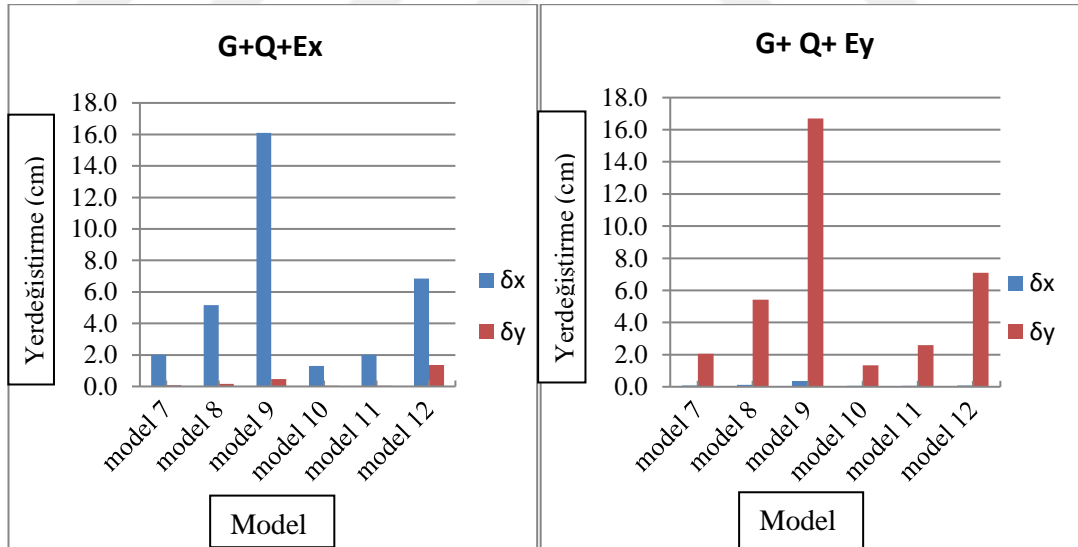
Zemin-yapı etkileşimsiz modellerde, 1,4G+1,6Q yüklemesi altında x ve y yönündeki yerdeğiştirmelerin sabit kaldığı, fakat G+Q+E_X ve G+Q+E_Y yüklemeleri altında, tüm yönlerde zemin sınıfı kötüleştikçe yerdeğiştirmelerin arttığı görülmüştür. Zemin-yapı etkileşimli modellerde tüm yüklemeler için yerdeğiştirmeler zemin sınıfı kötüleştikçe artış göstermiştir. Zemin-yapı etkileşimli modellerde meydana gelen yerdeğiştirmeler, zemin-yapı etkileşimsiz modellere göre daha fazladır. Etkileşimsiz modellerde meydana gelen maksimum yerdeğiştirme 7,103 cm iken, etkileşimli modeller için maksimum yerdeğiştirme 16,705 cm’dir.

Kombinasyonlar için meydana gelen maksimum yerdeğiştirme değerlerinin x ve y yönündeki değişimi Çizelge 4.23 ve 4.24’de verilmiştir.

Çizelge 4.23. Modellerde 1,4G+1,6Q kombinasyonu altında x ve y yönünde oluşan maksimum deplasmanlar



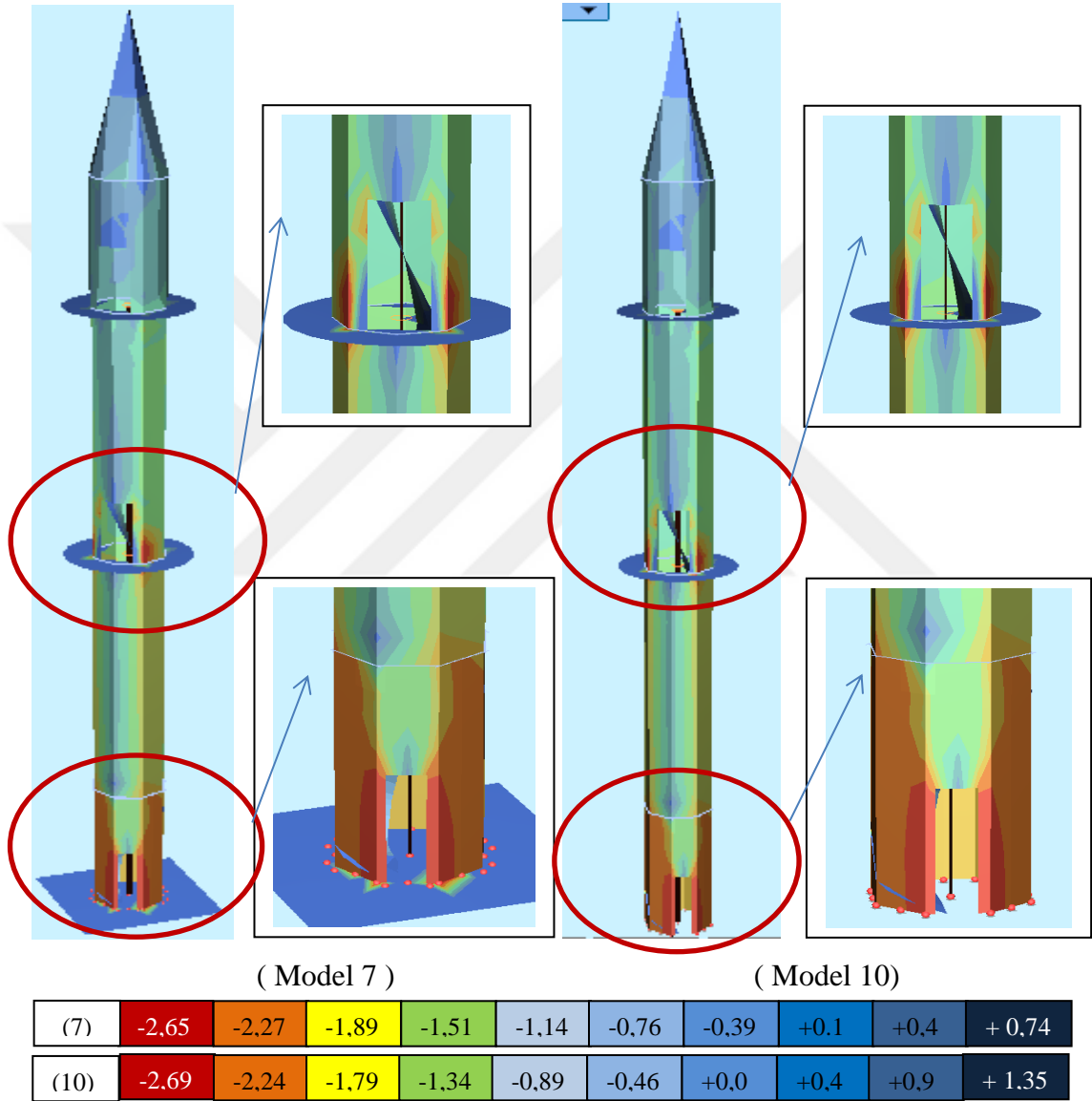
Çizelge 4.24. Modellerde $G+Q+E_x$ ve $G+Q+E_y$ kombinasyonları altında x ve y yönünde oluşan maksimum deplasmanlar



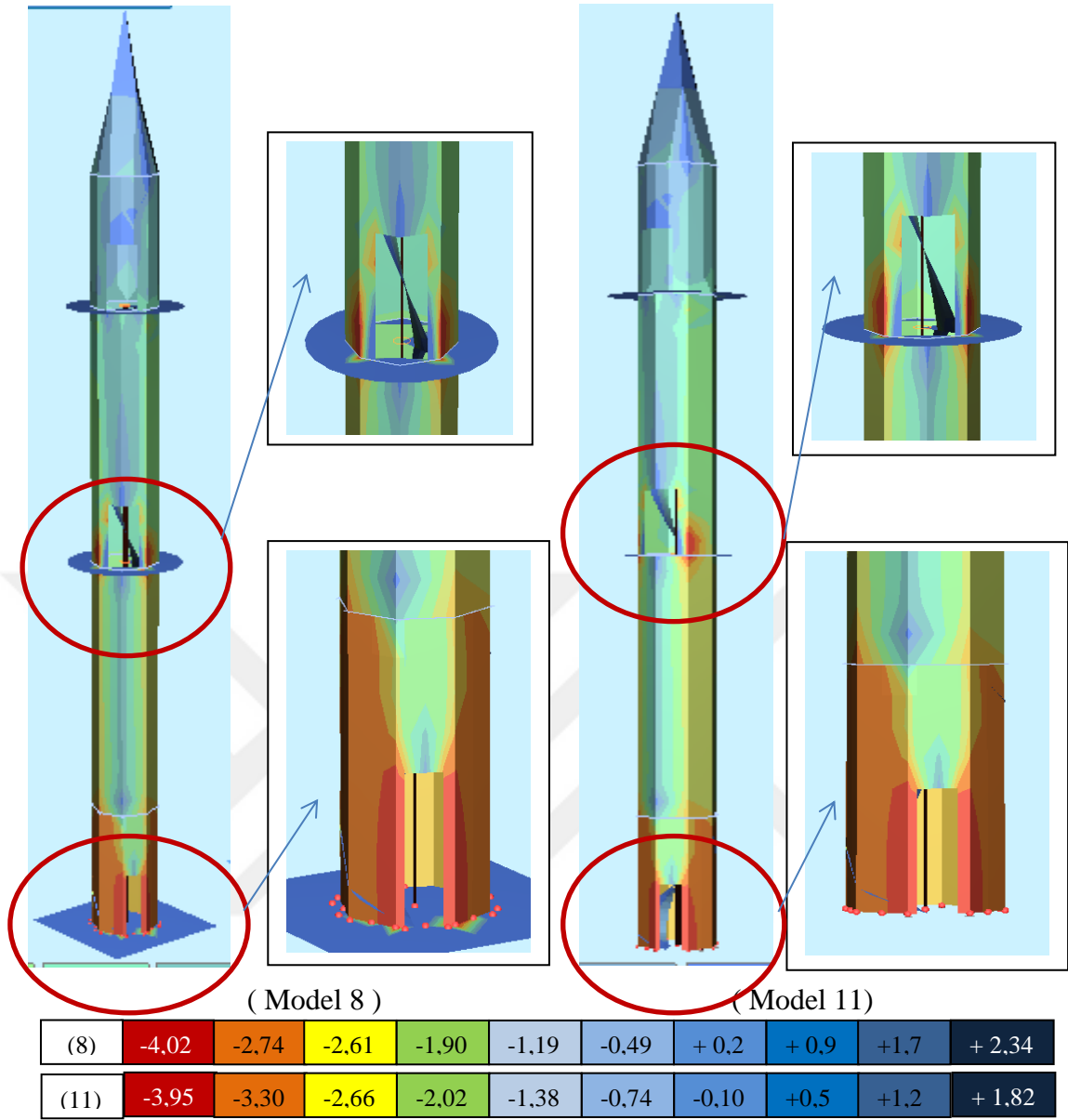
2018 TBDY ile analizi yapılan modellerde oluşan maksimum yerdeğiştirmeler, 2007 DBYBHY ile analizi yapılan modellerde meydana gelen maksimum yerdeğiştirmelere göre genel itibariyle artma gösterebilir, bazı yüklemeler için azalma göstermiştir. Denklem 3.15 dikkate alındığında yerdeğiştirmenin elastik spektral ivme (S_{ae}) ve periyot (T) (karesi) ile orantılı olduğu görülmektedir. Çalışılan model için 2018 TBDY ile periyot (T) sürelerinde artma, elastik (tasarım) spektral ivme

sürelerinde (S_{ae}) azalma ve artma (zemin sınıfına göre değişiklik göstermekte) olduğu düşünüldüğünde 2018 TBDY ve 2007 DBYBHY arasında yerdeğıştirmeler için sabit bir oran kurmak adına yapılan çalışmaların sayısı arttırılmalıdır.

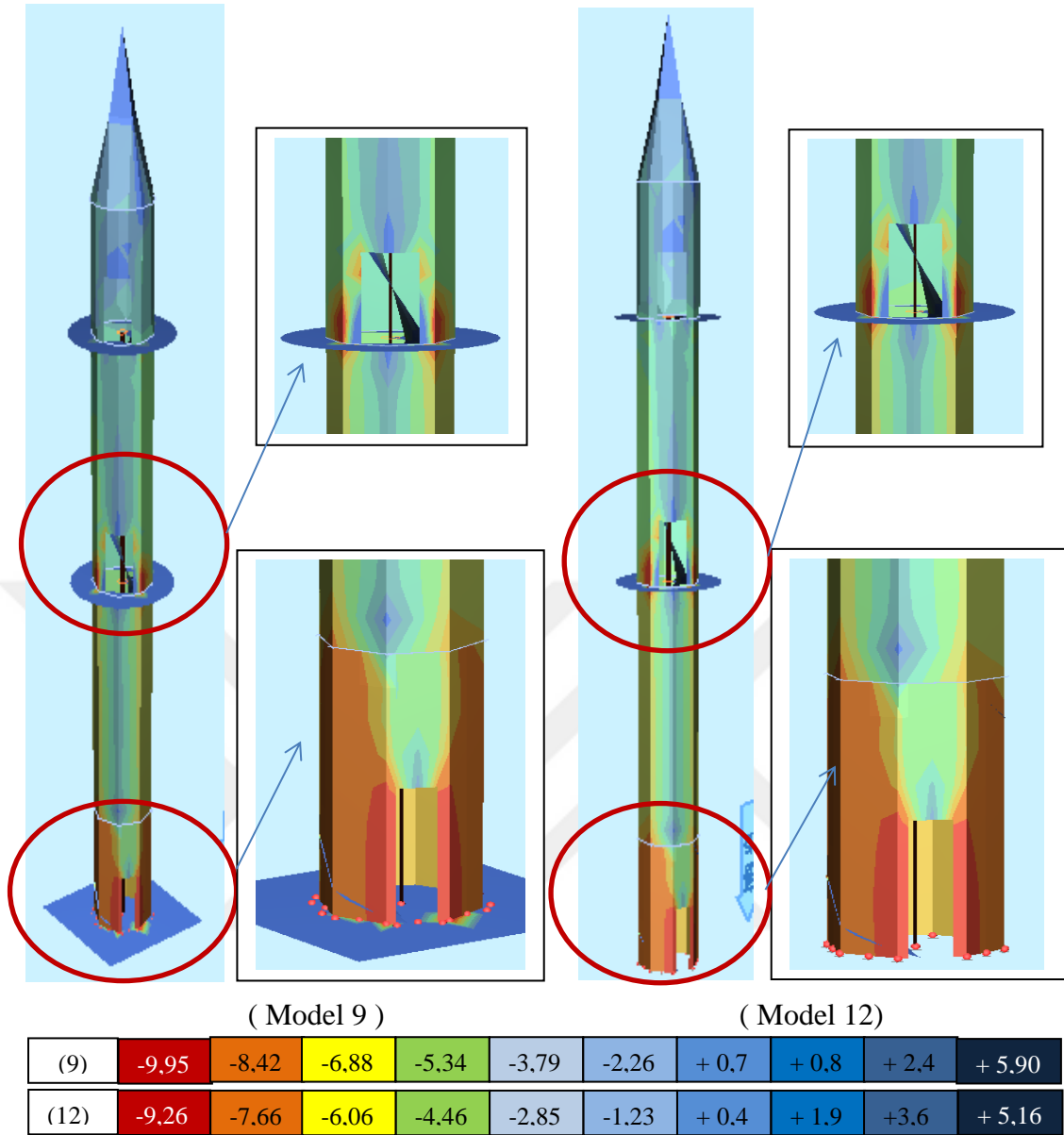
2018 TBDY baz alınarak yapısal çözümlemesi yapılan modellerin $G+Q+E_x$ kombinasyonu altında düzlem gerilme dağılımları ve değerleri (MPa) Şekil 4.11, 4.12 ve 4.13’de verilmiştir.



Şekil 4.11. Model 7 ve 10 için x yönündeki deprem etkisi altında düzlem gerilmesi diyagramı (MPa)



Şekil 4.12. Model 8 ve 11 için x yönündeki deprem etkisi altında düzlem gerilmesi diyagramı (MPa)



Şekil 4.13. Model 9 ve 12 için x yönündeki deprem etkisi altında düzlem gerilmesi diyagramı (MPa)

Minare tipi yapılarda, kesit değişimi olan noktalar ile kapı boşluğunun olduğu noktalarda gerilme yığılması beklenmekte (Türkeli, 2014) ve Şekil 4.11, 4.12, 4.13 bunu doğrulamaktadır.

Zemin-yapı etkileşimli modellerde düzlem gerilme değerleri sağlam zemin için (ZA) etkileşimsiz modellere kıyasla daha az olurken, yumuşak zeminde (ZE) zemin-yapı etkileşimli modelde düzlem gerilme değerleri etkileşimsiz modele göre daha fazla olmuştur.

Zemin-yapı etkileşimli ve etkileşimsiz modellerde zemin sınıfı kötüleştikçe düzlem gerilme değerleri artış göstermiştir. Model 7-12 için meydana gelen maksimum gerilme ZE zemin sınıfı için (zemin-yapı etkileşimli) 9,95 MPa olup, çalışmada kullanılan betonun dayanımı 30 MPa'dır. Maksimum gerilme beton dayanımından küçüktür.

2018 TBDY ile yapısal çözümlemesi yapılan modellerin, 2007 DBYBHY ile yapısal çözümlemesi yapılan modellere göre maksimum düzlem gerilme değerleri ZA ve ZC zemin sınıfı için azalma gösterirken, ZE zemin sınıfı için artış göstermiştir. Bu durumun sebebi Çizelge 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6'ya bakıldığında da anlaşılacağı üzere Z1-A/ZA ve Z3-C/ZC zemin sınıfı için 2018 TBDY ile spektrum eğrilerinde azalma, Z4-D/ZE zemin sınıfı için 2018 TBDY ile spektrum eğrisinde artma olmasından kaynaklanmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Betonarme minarelerin statik sonuçlarını etkileyen; minarelerin geometrik özellikleri, kullanılan malzemeler, minare kütesinin cami kütesinden bağımsız olup-olmaması ve zemin-yapı etkileşiminin dikkate alınıp alınmaması gibi birçok etken mevcuttur. Bu etkenlerden özellikle zemin-yapı etkileşiminin sonuçları ne şekilde etkilediğine ve bu etkinin dikkate alınıp alınmaması gerektiğine karar vermek için bu çalışma yapılmıştır. Çalışmanın temelde 2 amacı vardır. Birincisi zemin-yapı etkileşiminin betonarme minare üzerindeki etkisini araştırmak, ikincisi değişen deprem yönetmeliği ile betonarme minarede bazı hususların (periyot, maksimum yerdeğiştirme vs.) nasıl değiştiğini araştırmaktır. Çalışma amaçlarının gerçekleştirilebilmesi adına, betonarme minare modelinin 3 farklı zemin sınıfında zemin-yapı etkileşimli ve zemin-yapı etkileşimsiz olmak üzere 6 farklı yapısal çözümlemesi yapılmıştır. Bu işlemler, 2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri baz alınarak tekrarlanmış ve toplamda 12 ayrı model için sonuç elde edilmiştir (Model 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12). 2007 DBYBHY ile yapılan yapısal çözümlemeler için Z1-A, Z3-C, Z4-D zemin sınıfları; 2018 TBDY ile yapılan yapısal çözümlemeler için ZA, ZC, ZE zemin sınıfları kullanılmıştır. 28,9 m yüksekliğinde, 2 şerefeye sahip, geometrik özellikleri daha önce Şekil 3.2’de verilen betonarme minarenin 3 boyutlu sonlu elemanlar modeli, Sta4cad paket programı kullanılarak kabuk elemanlar yardımıyla çizilmiş ve lineer olarak yapısal çözümlemesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada, Sta4cad paket programı kullanılarak modellenen minareler için hangi katsayıların ne şekilde seçileceği açıklanmıştır.

Betonarme minareler üzerine yapılan çalışmaların kısıtlı olmasına ek olarak, zemin-yapı etkileşiminin betonarme minareler üzerindeki etkilerini araştıran çalışma oldukça azdır. Yapılan çalışmalarda genel itibarıyla zemin rijit kabul edilmiş ve temellerdeki dönme ve çökmeler engellenmiştir. Bu çalışmada zemin-yapı etkileşimli modeller ile etkileşimsiz modeller karşılaştırılarak literatüre katkı sağlamak hedeflenmiştir. Bu çalışma sonunda elde edilen sonuç ve öneriler aşağıda özetlenmektedir:

- Zemin-yapı etkileşimli analiz yapılan modellerde periyot sürelerinin zemin sınıfı kötüleştikçe arttığı, zemin-yapı etkileşimsiz modellerde zemin sınıfının

modellerin periyot sürelerinde değişim oluşturmadığı görülmüştür. Her iki yönetmelikte de sabit bir zemin sınıfı için zemin-yapı etkileşimli modellerin periyot süreleri, etkileşimsiz modellerin periyot sürelerinden daha uzun çıkmıştır. Yapı rijitliği daha fazla olan modellerin yapı periyot süresinin daha düşük olduğu bilindiğine göre zemin-yapı etkileşiminin olduğu ve zemin sınıfının kötüleştiği modellerde yapı rijitliğinin azaldığı sonucuna varılmaktadır. 2018 TBDY ile analizi yapılan modellerin periyot sürelerinin, 2007 DBYBHY'ne göre analizi yapılan modellerin periyot sürelerinden daha uzun olduğu görülmüştür.

- Her iki yönetmelikte de sabit bir zemin sınıfı için taban kesme kuvvetleri zemin-yapı etkileşimli modellerde, zemin-yapı etkileşimsiz modellere nazaran azalma göstermiştir. Zemin sınıfı kötüleştikçe etkileşimli ve etkileşimsiz modeller için taban kesme kuvvetlerinde artış görülmüştür. 2018 TBDY ile analizi yapılan modellerin taban kesme kuvvetleri, 2007 DBYBHY ile analizi yapılan modellere kıyasla Z1-A / ZA ve Z3-C / ZC zemin sınıfı için azalış gösterirken, Z4-D / ZE zemin sınıfı için artış göstermiştir.

- Her iki yönetmelikte de sonlu eleman modelinde oluşan yerdeğiştirmeler, minarenin yüksekliğine bağlı olarak tepeye doğru artış göstermiştir. Zemin-yapı etkileşimsiz modellerde 1,4G+1,6Q kombinasyonu için yerdeğiştirmeler sabit kalırken, G+Q+E kombinasyonları altında oluşan yerdeğiştirmeler, zemin sınıfı kötüleştikçe artış göstermiştir. Sabit bir zemin sınıfı için zemin-yapı etkileşimli yapısal çözümlemesi yapılan modellerin maksimum yerdeğiştirmesi, zemin-yapı etkileşimsiz modellerin maksimum yerdeğiştirmesine kıyasla daha fazladır. 2018 TBDY ile analizi yapılan modellerin maksimum yerdeğiştirme değerleri, 2007 DBYBHY ile analizi yapılan modellere kıyasla genel itibariyle artma gösterse de bazı yüklemeler için azalma göstermiştir. Yerdeğiştirmenin elastik spektral ivme (S_{ae}) ve periyot (T) (karesi) ile orantılı olduğu ve çalışılan model için 2018 TBDY ile periyot (T) sürelerinde artma, elastik (tasarım) spektral ivme sürelerinde (S_{ae}) azalma ve artma (zemin sınıfına göre değişiklik göstermekte) olduğu bilindiğinden, 2018 TBDY ve 2007 DBYBHY arasında yerdeğiştirmeler için sabit bir oran kurmak adına yapılan çalışma sayısının artırılması gerektiği söylenmiştir.

- Her iki yönetmelikte de sağlam zemin için (Z1-A / ZA) zemin yapı etkileşimli modellerde düzlem gerilme değerleri, etkileşimsiz modellere nazaran azalış gösterirken, yumuşak zemin için (Z4-D / ZE) düzlem gerilme değerleri

etkileşimli modellerde etkileşimsiz modellere kıyasla artış göstermiştir. Zemin sınıfı kötüleştikçe düzlem gerilme değerleri artış göstermiştir. 2018 TBDY'e göre analizi yapılan modellerde düzlem gerilme değerleri, 2007 DBYBHY'i ile analizi yapılan modellere göre Z1-A / ZA ve Z3-C / ZC zemin sınıfı için azalış gösterirken, Z4-D / ZE zemin sınıfı için artış göstermiştir. Modellerde oluşan gerilme değerleri kesit değişimi olan bölgede ve kapı boşlukları etrafında maksimum değere ulaşmıştır. Bu bölgelerde doğru donatılandırma yapılmadığı takdirde deprem esnasında istenmeyen hasarların oluşması muhtemeldir. Yapım esnasında bu bölgelere ekstra ilgi gösterilmelidir.

- Analiz sonuçları bir bütün olarak değerlendirildiğinde periyot süresi, maksimum yerdeğiştirme ve düzlem gerilme değerlerinde (yumuşak zemin için), sabit bir zemin sınıfı için zemin-yapı etkileşimli modellerde zemin-yapı etkileşimsiz modellere kıyasla daha yüksek değerler çıkmıştır. Fakat taban kesme kuvveti sabit bir zemin sınıfı için zemin-yapı etkileşimli modellerde, etkileşimsiz modellere nazaran daha az çıkmıştır. Bu durumda birçok nokta için zemin-yapı etkileşimli modellerde etkileşimsiz modellere nazaran daha gerçekçi sonuçların alındığı söylenebilir, fakat taban kesme kuvvetinin (deprem yükü) azalmasından dolayı daha güvenlidir denilemez. Analizi yapılan modellerde tüm bu etkenler göz önünde bulundurularak tasarım yapılmalı ve her nokta için en olumsuz durum dikkate alınmalıdır. Yumuşak zeminde inceleme yapılan noktalar için sabit zemin sınıfına ait zemin-yapı etkileşimli ve etkileşimsiz modeller arasındaki değer farkları sağlam zemine göre daha fazla olduğu göz önünde bulundurulduğunda, özellikle yumuşak zeminlerde yapıların gerçek davranışını ortaya koyması açısından zemin-yapı etkileşiminin dikkate alınması önerilmektedir.

- Çalışmanın uygulanacağı temsili nokta için 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre belirlenen spektrum eğrileri incelendiğinde sabit bir periyot süresine karşılık gelen spektral ivme değerlerinin Z1-A / ZA ve Z3-C / ZC zemin sınıfları için 2018 deprem yönetmeliğinde daha az olduğu, fakat Z4-D / ZE zemin sınıfı için spektral ivme değerlerinin 2018 deprem yönetmeliğinde daha fazla olduğu görülmektedir. 2018 TBDY ile elastik spektral ivme formülüzasyonunun değişmesi ve önceki yönetmelikte (2007) belirlenen geniş bir alan için aynı spektrum karakteristik periyotları kullanılırken yeni yönetmelik (2018) ile çalışılan bölge zeminine bağlı olarak tanımlanan tasarım spektral ivmelerinin (S_{DS} , S_{D1}) noktasal

olarak daha hassas hesaplanmasından dolayı, 2007 ve 2018 deprem yönetmeliğine göre elastik (tasarım) spektral ivmenin ($S_{ae}(T)$) artışı veya azalışı değişiklik göstermiştir. İki yönetmelik için analiz sonuçları incelendiğinde aralarında ciddi farklar olduğu görülmektedir. Özellikle etkin rijitlik katsayı kullanımı bina periyot sürelerini ve deplasmanlarını ciddi oranda etkilemiştir. Bu farkların bölgesel olarak değişiklik göstereceği aşıkardır. Çalışma için seçilen minare modeli ve uygulanacağı nokta için ortaya çıkan sonuç şudur ki; kötü zemin için yeni yönetmelik ile incelenen noktalarda artış meydana gelmiş ve daha güvenli tarafta kalınacağını göstermiştir, orta ve sağlam zeminlerde yeni yönetmelik ile incelenen noktalarda azalma meydana gelmiş ve daha ekonomik yapılar elde edilebileceğini göstermiştir. 2018 TBDY ile noktasal bazda daha gerçekçi ivmeler elde edilebildiğinden daha hassas sonuçlara varılmaktadır.

- Minare tasarımı için özel bir yönetmelik bulunmamakla beraber 2018 TBDY bina türü olmayan yapıları kapsamamaktadır. Fakat minare gibi kule tipi yapılar için özel bir yönetmelik çıkana kadar kullanılacak olan yönetmelik 2018 TBDY'dir. Bu yapılar için yönetmelikler çıkarken konu ile ilgili literatür çalışmaları göz önünde bulundurulmalıdır. Zemin-yapı etkileşimsiz yapısal çözümlemesi yapılan modellerin deprem esnasında beklenildiği gibi davranmayacağı ortadadır. Bu yapıların yapısal çözümlemesi yapılırken, yapıda değişime yol açabilecek tüm etkiler göz önünde bulundurulmalı ve özellikle yumuşak zeminlerde uygulanacak minare yapıları zemin-yapı etkileşimli olarak tasarlanmalıdır.

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçların, çalışmaya konu olan “2007 ve 2018 Deprem Yönetmelikleri Işığında Betonarme Minarelerin Zemin-Yapı Etkileşimi Göz Önünde Bulundurularak Projelendirilmesi” için oluşturulan temsili betonarme minare modelleri üzerinde yapılan analiz sonuçlarının belirlenen koşullar altında geçerli olduğu, farklı geometrik ve fiziksel özelliklere sahip, daha farklı bölgelerde bulunan/inşa edilecek betonarme minareler adına genelleyebilmek için, söz konusu yapıları temsil edebilecek analitik modellerin oluşturulması ve küçük ölçekli modeller üzerinde çalışmalar yapıp elde edilen sonuçlar ile birlikte değerlendirilmesinin gerekli olduğunu belirtmek uygun bulunmaktadır.

KAYNAKÇA

- Abdel-Motaal M. A. 2014. Effect of piles on the seismic response of mosques minarets. *Ain Shams Engineering Journal*, 5:1, 29-40.
- ACI 307-98, 1998. Design and construction of RC chimneys, American Concrete Institute; Farmington Hills, MI, USA.
- Afad, 2018. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, (<https://tdth.afad.gov.tr/>), Ankara.
- Afet ve Acil Durum Başkanlığı, 2018. Türkiye bina deprem yönetmeliği, Ankara.
- Altun, N. ve Karaca Z. (2019). 2018 Deprem Yönetmeliği Işığında Zemin-Yapı Etkileşimli Betonarme Minare Tasarımı, 4. International conference on civil environmental geology and mining engineering (ICOCEM-4), 20-22 Nisan, Tam Metinler Kitabı, 1301-1309, Trabzon, Türkiye.
- Altunışık A. C. 2011. Dynamic response of masonry minarets strengthened with Fiber Reinforced Polymer (FRP) composites. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 11:7, 2011-2019. doi: 10.5194/nhess-11-2011-2011
- Anonim, 2013. Trt haber arşiv. <https://www.trthaber.com/haber/turkiye/minare-yikildi-agaclar-devrildi-78275.html> (Erişim tarihi: 24.02.2019)
- Anonim, 2013. PLD Türkiye. <https://pldturkiye.com/ahmet-hamdi-akseki-camisi/> (Erişim tarihi: 30.04.2019)
- Anonim, 2014, Emlakta sondakika.com. <https://www.emlaktasondakika.com/haber/genel/haymanada-minare-siddetli-ruzgara-dayanamadi/83148> (Erişim tarihi: 24.02.2019)
- Anonim, 2017. Memurlar.net. <https://www.memurlar.net/haber/682357/depremin-merkez-ussu-kos-ta-minare-yikildi-2-kisi-oldu.html> (Erişim tarihi: 24.02.2019)
- Anonim, 2018. Habertürk arşiv. <https://www.haberturk.com/balikesir-haberleri/63164791-kepsutta-asiri-yagistan-cami-minaresi-devrildi> (Erişim tarihi: 24.02.2019)
- Anonim, 2018. Blog Artı. <https://www.blogarti.com/turkiyede-illere-gore-cami-sayisi.html> (Erişim tarihi: 27.02.2019)
- Anonim, 2018. Habertürk arşiv. <https://www.haberturk.com/adiyaman-haberleri/64229923-minare-siddetli-firtina-ile-yikildiminarenin-uzerine-dustugu-ambulans-hurdaya-dondu#> (Erişim tarihi: 24.02.2019)
- Anonim, 2019. Sözcü gazetesi arşiv. <https://www.sozcu.com.tr/2019/gundem/karadenizdeki-firtinada-minare-yikildi-catilar-uctu-2992638/> (Erişim tarihi: 24.02.2019)

- Anonim, 2019. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru_01.html (Erişim tarihi: 24.02.2019)
- Aydınoğlu, M. N. 1977. Üstyapı-zemin ortak sisteminin deprem hesabı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Anabilim Dalı, 284, İstanbul.
- Ayhan, A. 2016. Süleymaniye Camii'nin yerel zemin koşullarına bağlı deprem performansının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 130, İstanbul.
- Chopra, A. K. 1995. Dynamics of structures: theory and application to earthquake engineering (vol. 2), Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Çağlar, N., Garip, Z. Ş. ve Yaman, Z. D. (2005). Deprem etkisindeki betonarme yapılarda yapı-zemin etkileşimi. Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart, Tam Metinler Kitabı, 1089-1096, Kocaeli, Türkiye.
- Çelikkollu, A. 2019. Yazılı görüşme. Eskişehir Tepebaşı Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü, Eskişehir, Türkiye.
- Çömlekçioğlu, Y. ve Sert, S. (2018). Bir betonarme yapı temelinin karşılaştırmalı analizi, Natural Hazards and Disaster Management, 4-6 Mayıs, Tam Metinler Kitabı, 306-316, Sakarya, Türkiye.
- DBYBHY, 2007. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- DİB, 2007. T.C. Başbakanlık Diyanet İşleri Başkanlığı Teknik Hizmetler Müdürlüğü Genelge 2007, Diyanet İşleri Başkanlığı, madde 188-3, 135
- Diez, E. 1960. Minare, MEB islam ansiklopedisi, c. VIII, 323-329, İstanbul.
- Doğangün, A., Acar, R., Livaoğlu, R. and Tuluk, Ö. İ. 2006. Performance of masonry minarets against earthquakes and winds in Turkey. In *1st international conference on restoration of heritage masonry structures*, 1:10.
- Doğangün, A., Sezen, H., Tuluk, Ö. İ., Livaoğlu, R. and Acar, R. 2007. Traditional Turkish masonry monumental structures and their earthquake response. *International Journal of Architectural Heritage*, 1:3, 251-271. doi: 10.1080/15583050701436980
- Ersoy, U. ve Özcebe, G. 2017. *Betonarme* (6. Baskı). EVRİM Yayınevi. 816, Türkiye.
- Ertek, E. 2009. Osmanlı minarelerinin yapısal modellenmesi ve deprem analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Deprem ve Yapı Bilimleri Anabilim Dalı, 92, Gebze.

- Ertek, E. ve Fahjan, Y. (2007). Osmanlı minarelerinin yapısal sistemleri: sınıflandırma, modelleme ve analizi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim, Tam Metinler Kitabı, 413-424, İstanbul, Türkiye.
- Günaydın, M. and Tonyalı, Z. 2018. Dynamic response of a reinforced concrete minaret. *Journal of Structural Engineering and Applied Mechanics*, 1:2, 62-72. doi:10.31462/jseam.2018.01062072
- Karaca, Z. and Türkeli, E. 2012. Determination and comparison of wind loads for industrial reinforced concrete chimneys. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 21:2, 133-154, Türkiye.
- Korkmaz, K. A. ve Demir, F. 2012. Yapı-zemin etkileşiminin yapıların deprem davranışına etkileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3:1, 12-17, Türkiye.
- Korkmaz, K. A. ve Çarlıoğlu, A. I. 2008. Çelik kule yapıların yapı zemin etkileşiminin incelenmesi. *EÜFBED Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1:1, 1-15, Türkiye.
- Nefes, E. 1996. Minarenin cami minaresine katılımı ve ilk minare örnekleri. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İslam Tarihi ve Sanatları Anabilim Dalı, 105, Samsun.
- Oğuzmert, M. 2002. Yığma minarelerin dinamik davranışları. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 50, İstanbul.
- Oliveira, C. S., Çaktı E., Stengel, D. and Branco, M. 2011. Minaret behavior under earthquake loading: the case of historical Istanbul. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 41:1, 19-39. doi: 10.1002/eqe.1115
- Özçep, F., Aşçı, M., Alpaslan, N., Yas, T. ve Gündoğdu, D. (2005). Statik ve dinamik (deprem) etkiler altında zemin davranışı, Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart, Tam Metinler Kitabı, 1123-1129, Kocaeli, Türkiye.
- Özmen, B., Güler, H. ve Nurlu, M. 1997. Coğrafi bilgi sistemi ile deprem bölgelerinin incelenmesi. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Reşatoğlu, R., Mirata, T. and Karaker, L. 2018. Earthquake and wind load effects on existing RC minarets in north Cyprus. *International Journal of Engineering and Technology*, 7:4, 3074-3085. doi: 10.14419/ijet.v7i4.16598
- Sezen, H., Acar, R., Doğangün, A. and Livaoğlu, R. 2008. Dynamic analysis and seismic performance of reinforced concrete minarets. *Engineering Structures*, 30:8, 2253-2264. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.11.005>
- Siyahi, B., Çetin, K. Ö. ve Bilge, T. 2015. Geoteknik deprem mühendisliği açısından zemin-temel-yapı etkileşimine kritik bakış, Türkiye Mühendislik Haberleri, 484, 41-50.

Sta4cad, 2018. Sta4cad V14, Yapı Analiz Programı, STA Bilgisayar Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti., İstanbul.

Temüz, H. 2007. Minarelerin rüzgar yükleri altında davranışlarının incelenmesi ve bunların rüzgara göre hesabı. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 95, Trabzon.

TS498, 1997. Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, 21, Ankara.

Türkeli, E. ve Karaca, Z. 2009. Narin betonarme sanayi bacalarında rüzgar etkilerinin incelenmesi ve bu yapıların rüzgar yüklerine göre hesabı. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 203, Samsun.

Türkeli E. 2014. Determination and comparison of wind and earthquake responses of reinforced concrete minarets. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39:1, 3665-3680. doi:10.1007/s13369-014-0999-5

Türkeli, E., Livaoglu, R. and Doğangün, A. 2015. Dynamic response of traditional and buttressed reinforced concrete minarets. *Engineering Failure Analysis*, 49, 31-48.

Türkeli, E. 2019. The use of TS498 and TS-EN-1991-1-4 in the wind load calculation of reinforced concrete minarets considering soil-structure interaction. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23, 84-93.

Uğurlu, A. 2013. Depremde beton ve davranışı. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, (476), 2:476, 57-63.

Uğurlu, M. A., Günaslan, S. E. ve Karaşin, A. 2017. Dört Ayaklı Minare'nin modellenmesi ve yapısal analizi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (DÜMF) Mühendislik Dergisi*, 8:2, 413-422.

Ural, A. ve Çelik, T. 2018. Çift şerefeli geleneksel Türk minarelerinin deprem performansları. *Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6:1, 16-24.

ve

Uysal, A. O. 2017. Anadolu Selçuklularından erken Osmanlı dönemine minare biçimindeki gelişmeleri. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi (DTCF) Dergisi*, 33(1-2), 505-533.

EKLER

EK 1 ZA YEREL ZEMİN SINIFI İÇİN AFAD UYGULAMA ÇIKTILARI

EK 2 ZC YEREL ZEMİN SINIFI İÇİN AFAD UYGULAMA ÇIKTILARI

EK 3 ZE YEREL ZEMİN SINIFI İÇİN AFAD UYGULAMA ÇIKTILARI



EK 1 ZA YEREL ZEMİN SINIFI İÇİN AFAD UYGULAMA ÇIKTILARI

18.02.2019

Sismik Tehlike Haritası Detay Raporu

AFAD[®]



Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	minare	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZA	Sağlam, sert kayalar
Enlem:	40.184734°	
Boylam	31.345659°	

Çıktılar

$S_0 = 0.403$ $S_1 = 0.162$ $PGA = 0.172$ $PGV = 13.548$

S_0 : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Yerel Zemin Sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe/30 cm]	$(C_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	-	-
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 - 1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 - 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 - 360	15 - 50	70 - 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak - katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($C_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler : 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer , 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Yerel Zemin Sınıfı ZA ve $S_S = 0.403$ için $F_S = 0.800$

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Yerel Zemin Sınıfı ZA ve $S_1 = 0.162$ için $F_1 = 0.800$

Tasarım Spektral İvme Katsayıları

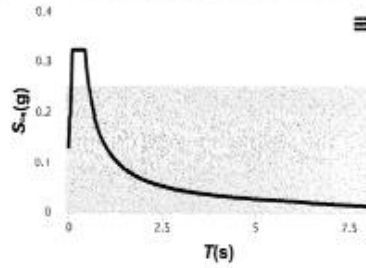
$$S_{DS} = S_S F_S = 0.403 \times 0.800 = 0.322$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 = 0.162 \times 0.800 = 0.130$$

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

Yatay Elastik Tasarım Spektrumu



$$S_{oe}(T) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A)$$

$$S_{oe}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B)$$

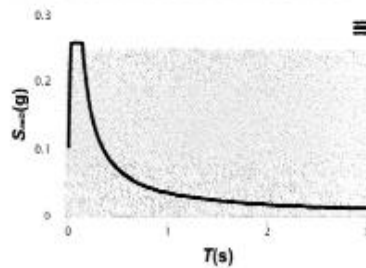
$$S_{oe}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L)$$

$$S_{oe}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T)$$

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad T_L = 6s$$

$$T_A = 0.080 (s) \quad T_B = 0.402 (s) \quad T_L = 6.000 (s)$$

Düsey Elastik Tasarım Spektrumu



$$S_{oeD}(T) = \left(0.32 + 0.48 \frac{T}{T_{AD}}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_{AD})$$

$$S_{oeD}(T) = 0.8 S_{DS} \quad (T_{AD} \leq T \leq T_{BD})$$

$$S_{oeD}(T) = 0.8 S_{DS} \frac{T_{BD}}{T} \quad (T_{BD} \leq T \leq T_{LD})$$

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3} \quad T_{BD} = \frac{T_B}{3} \quad T_{LD} =$$

EK 2 ZC YEREL ZEMİN SINIFI İÇİN AFAD UYGULAMA ÇIKTILARI

18.02.2019

Sismik Tehlike Haritası Detay Raporu

AFAD[®]



Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	minare	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlama periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar
Enlem:	40.184734*	
Boylam	31.345859*	

Çıktılar

$S_5 = 0.403$ $S_1 = 0.162$ $PGA = 0.172$ $PGV = 13.548$

S_5 : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

File failed to load: /extensions/MathZoom.js

Yerel Zemin Sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe/30 cm]	$(C_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	-	-
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 - 1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 - 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 - 360	15 - 50	70 - 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak - katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($C_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler : 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer , 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

File failed to load: /extensions/MathZoom.js

Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Yerel Zemin Sınıfı ZC ve $S_S=0.403$ için $F_S=1.300$

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

File failed to load: /extensions/MathZoom.js

Yerel Zemin Sınıfı ZC ve $S_1 = 0.162$ için $F_1 = 1.500$

Tasarım Spektral İvme Katsayıları

$$S_{DS} = S_S F_S = 0.403 \times 1.300 = 0.524$$

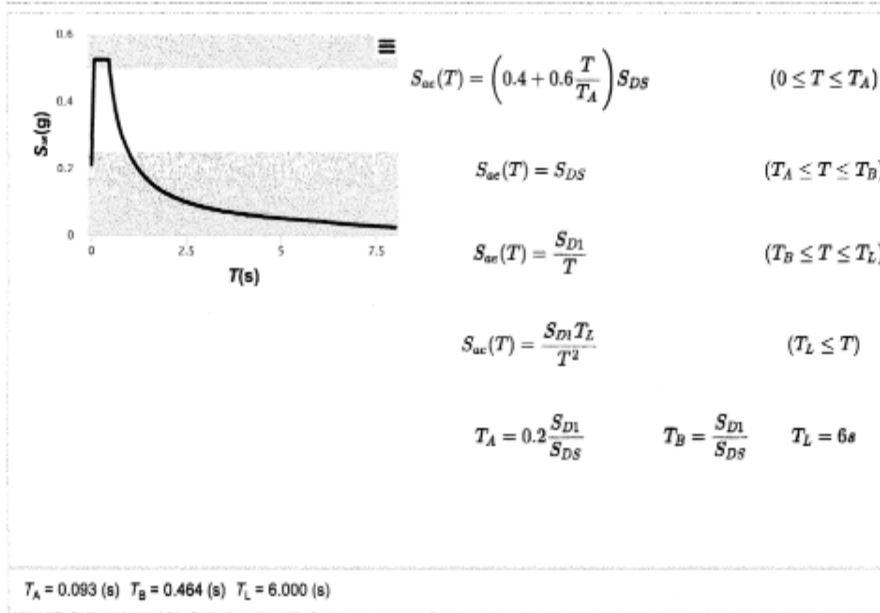
$$S_{D1} = S_1 F_1 = 0.162 \times 1.500 = 0.243$$

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

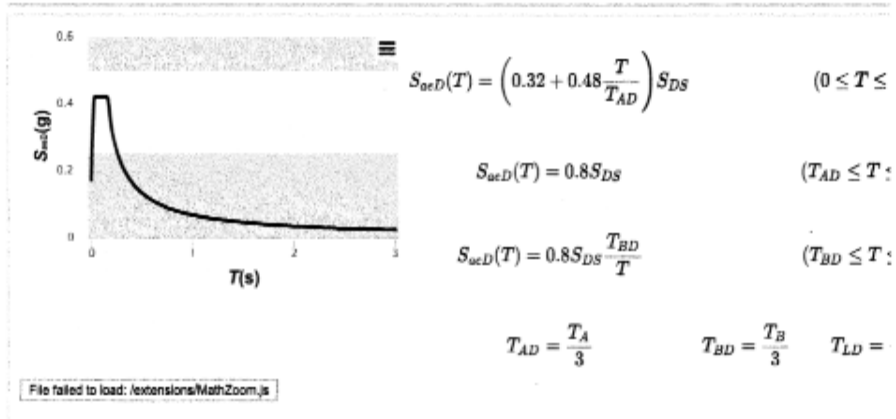
S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

File failed to load: /extensions/MathZoom.js

Yatay Elastik Tasarım Spektrumu



Düşey Elastik Tasarım Spektrumu



EK 3 ZE YEREL ZEMİN SINIFI İÇİN AFAD UYGULAMA ÇIKTILARI

18.02.2019

Sismik Tehlike Haritası Detay Raporu

AFAD[®]



Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	minare	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak - katı kil tabakaları veya $P_f > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($C_u < 25$ kPa) içeren profiller
Enlem:	40.184734°	
Boylam	31.345659°	

Çıktılar

$S_s = 0.403$ $S_1 = 0.162$ $PGA = 0.172$ $PGV = 13.548$

S_s : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

File failed to load: /extensions/MathZoom.js

Yerel Zemin Sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe/30 cm]	$(C_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	-	-
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 - 1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 - 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 - 360	15 - 50	70 - 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak - katı kil tabakaları veya $P_l > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($C_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler : 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaştırılabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($P_l > 50$) killer , 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

File failed to load: hextensions\MathtZoom.js

Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Yerel Zemin Sınıfı ZE ve $S_S = 0.403$ için $F_S = 1.972$

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

File failed to load: /scenariol/MethZoom.js

Yerel Zemin Sınıfı ZE ve $S_1 = 0.162$ için $F_1 = 3.642$

Tasarım Spektral İvme Katsayıları

$$S_{DS} = S_S F_S = 0.403 \times 1.972 = 0.795$$

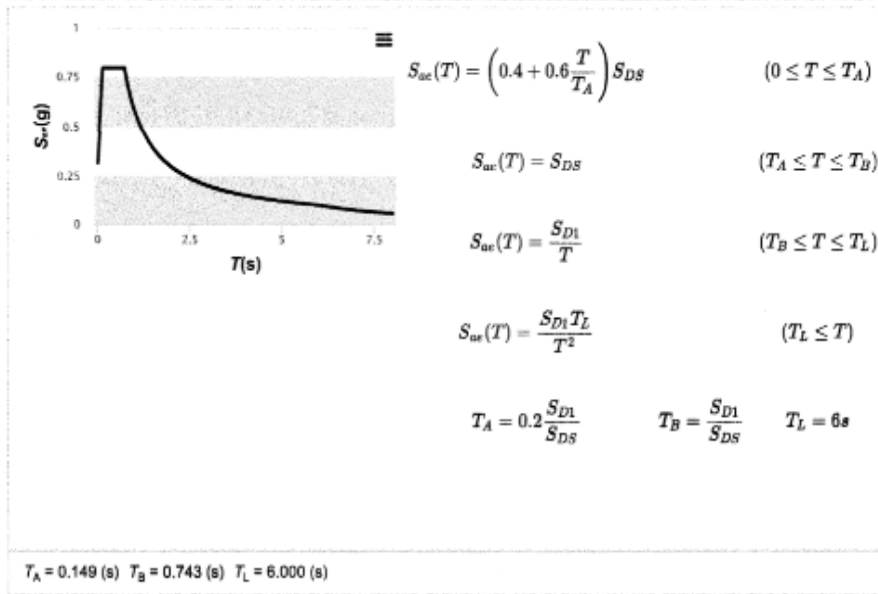
$$S_{D1} = S_1 F_1 = 0.162 \times 3.642 = 0.590$$

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

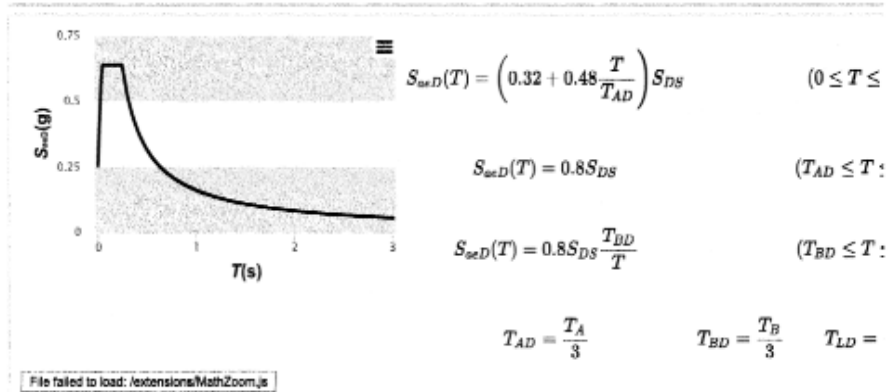
S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

File failed to load: /extensions/MSHZoom.js

Yatay Elastik Tasarım Spektrumu



Düsey Elastik Tasarım Spektrumu



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Nihal Altun
Doğum Yeri : Yenimahalle/ANKARA
Doğum Tarihi : 09.01.1994
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Asfa Ferda Anadolu Lisesi (2012)
Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi- Mühendislik Fakültesi- İnşaat Mühendisliği (2016)

Çalıştığı Kurum ve Yıl

Enda Yapı Denetim / 25.05.2017-31.07.2019

Yayınlar

Altun, N. ve Karaca Z. (2019). 2018 Deprem Yönetmeliği Işığında Zemin-Yapı Etkileşimli Betonarme Minare Tasarımı, 4. International conference on civil environmental geology and mining engineering (ICOCEM-4), 20-22 Nisan, Tam Metinler Kitabı, 1301-1309, Trabzon, Türkiye.