



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME MİNARELERİN DOĞRUSAL
OLMAYAN MODELLEMESİ VE DİNAMİK ANALİZİ**

MUHAMMED AHMET OĞUZHANOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

KAHRAMANMARAŞ 2019

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME MİNARELERİN DOĞRUSAL
OLMAYAN MODELLEMESİ VE DİNAMİK ANALİZİ**

MUHAMMED AHMET OĞUZHANOĞLU

Bu tez,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2019

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Muhammed Ahmet OĞUZHANOĞLU tarafından hazırlanan “BETONARME MİNARELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN MODELLEMESİ VE DİNAMİK ANALİZİ” adlı bu tez, jürimiz tarafından 11/06/2019 tarihinde oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. M.Metin KÖSE (DANIŞMAN)

İnşaat Müh.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. Abdülkadir ÇEVİK (ÜYE)

İnşaat Müh.

Gaziantep Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi A. İlker AKGÖNEN (ÜYE)

İnşaat Müh.

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

Prof. Dr. Mustafa YAZICI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

MUHAMMED AHMET OĞUZHANOĞLU



Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No:../.-... YLS

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

**BETONARME MİNARELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN MODELLEMESİ VE
DİNAMİK ANALİZİ
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

MUHAMMED AHMET OĞUZHANOĞLU

ÖZET

Minareler hem tarihi hem kültürel hem de dini açıdan çok önemli yapılardır. Tarihimizi ve kültürümüzü yansıtan bu özel yapıların uzun yıllar ayakta kalması gerekmektedir. Minarelerin uzun yıllar ayakta kalabilmesi için deprem, rüzgar gibi dış yükler altında stabilitelerini korumak zorundadır. Minareler tasarlanırken hesaplamalarının çok iyi yapılması gerekmektedir. Ülkemizde ve dünyanın birçok yerinde güncel deprem yönetmeliklerine göre tasarlanmayan, usta maharetiyle yapılan çok sayıda betonarme ve taş minare bulunmaktadır. Bu şekilde yapılan minareler yetersiz boyuna donatıya ve geniş aralıklı enine donatıya sahip olduklarından dolayı deprem ve şiddetli rüzgar etkisinde kolayca yıkılabilmektedir.

Dış kuvvete maruz kalan bir minarede oluşan yanal deformasyonlar eğilme deformasyonu, kesme deformasyonu ve sıyrıлма deformasyonu olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Bu araştırmada, oluşan yanal deformasyonların her biri için SAP2000 programı kullanılarak, tek şerefeli 19 m, iki şerefeli 28 m ve üç şerefeli 37 m yüksekliğe sahip betonarme minare modelleri, doğrusal olmayan modelleme yöntemi ile oluşturulmuştur. Oluşturulan minare modellerine time history analizi ve pushover analizi uygulanmıştır. Öngörülen minare davranışı deprem etkisinden dolayı yıkılan minareler ile karşılaştırıldığında önerilen modeller betonarme minarelerin yanal yüklerle tepkisini tahmin etmede iyi bir performans göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme minare, Eğilme deformasyonu, Sıyrıлма deformasyonu, Kesme deformasyonu, SAP2000

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Temmuz / 2019

Danışman: Prof. Dr. M. Metin KÖSE

Sayfa sayısı: 109

**NONLINEAR MODELING AND DYNAMICS ANALYSIS OF REINFORCED
CONCRETE MINARETS
(M.Sc.THESIS)**

MUHAMMED AHMET OĞUZHANOĞLU

ABSTRACT

Minarets are very important structures in term of historical, cultural and religious. These special structures mirror our history and culture must remain safely for many years. In order to remain the minarets for many years, it must be maintaining their stability under external loads such as earthquakes and wind. Calculations should be done very well when designing the minarets. In our country and in many parts of the world, there are many reinforced concrete and stone minarets which are not designed according to the developed earthquake design codes. The minarets which is designed with non-seismic details such as wide space transverse reinforcement and low longitudinal reinforcement ratio can be easily collapse by earthquake and severe wind effect.

The lateral deformations in a minaret exposed to external force consist of three parts: flexural deformation, shear deformation and slip deformation. In this study, the models of single balcony minaret 19 m height, two balconies with 28 m height and three balconies with 37 m height were modeled. The non-linear modeling method was used for each of the resulting lateral deformations by using the SAP2000 program. The minaret models are analyzed by both time history analysis and pushover analysis. The proposed models have shown a good performance in predicting the response of the reinforced concrete minarets to lateral loads compared to the minarets collapse by the earthquake effect.

Keywords : Reinforced concrete minaret, Flexural deformation, Slip deformations, Shear deformations, SAP2000

Kahramanmaraş Sutcu Imam University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Department, July / 2019

Supervisor: Prof. Dr. M. Metin KÖSE
Number of pages: 109

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐması sűrecinde her tűrlű bilgi ve tecrűbelerini benden esirgemeyen tez danıŐman hocam Prof.Dr. M.Metin KŐSE'ye ve her fırsatta moral ve motivasyon olarak desteklerini esirgemeyen baŐta Dr. Őđretim űyesi Alırıza İlker AKĐŐNEN hocama ve diđer bűlűm hocalarıma teŐekkűr ederim.

Ayrıca bu sűrete, bana maddi ve manevi olarak çok bűyűk destek veren, yapmıŐ olduđu fedekarlıklardan dolayı baŐta eŐime ve aileme teŐekkűr ederim.

Son olarak tez sűrecinde bana desteklerini esirgemeyen baŐta İbrahim ERMEYDAN arkadaŐıma ve diđer arkadaŐlarıma teŐekkűr ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	1
TEŞEKKÜR	2
İÇİNDEKİLER.....	3
ŞEKİLLER DİZİNİ	5
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	9
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	10
1. GİRİŞ.....	14
1.1 Araştırmanın Amacı ve Yöntemi	17
1.2 Minare Bölümleri.....	18
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	22
3.MALZEME MODELLERİ	25
3.1 Sargısız Beton Modeli	25
3.2 Sargılı Beton Modeli.....	26
3.3 Çelik Modeli	28
3.4 Moment Eğrilik İlişkisi	28
3.5 Plastik Mafsal Teoremi	30
4.DEFORMASYON BİLEŞENLERİ	31
4.1 Monotonik Davranışın Deformasyon Bileşenleri	31
4.1.1 Eğilme deformasyonu.....	31
4.1.2 Donatı sıyrılması deformasyonu.....	32
4.1.3 Kesme deformasyonları.....	34
4.1.4 Toplam deformasyon.....	38
4.1.4.1 Kategori-1 $V_n < V_y$	40
4.1.4.2 Kategori-2 $V_y \leq V_n \leq 0.95V_p$	40
4.1.4.3 Kategori-3 $0.95V_p \leq V_n \leq 1.05V_p$	40
4.1.4.4 Kategori-4 $1.05V_p < V_n \leq 1.4V_p$	41
4.1.4.5 Kategori-5 $V_n > 1.4V_p$	41
5. BİLGİSAYAR MODELLEMESİ	42
5.1 Merdiven Koşullarının Minare Doğal Titreşim Periyotuna Etkisinin İncelenmesi ...	43
5.2 Tek Şerefeli Minare Modeli.....	47
5.3 İki Şerefeli Minare Modeli	52
5.4 Üç Şerefeli Minare Modeli	53
5.5 Plastik Mafsal Tanımlama	55
5.5.1 Eğilme deformasyonu için plastik mafsal modeli	56

5.5.2 Kesme deformasyonu için plastik mafsal modeli.....	57
5.5.3 Sıyırılma deformasyonu için plastik mafsal modeli	58
5.5.4 Toplam deformasyonu için plastik mafsal modeli	59
5.6 Analiz Yöntemleri.....	59
5.6.1 Pushover analizi.....	59
5.6.2 Time history analizi	61
6.ANALİZ SONUÇLARI	62
6.1 Pushover Analiz Sonuçları.....	62
6.1.1 Eğilme deformasyon sonuçları	62
6.1.2 Kesme deformasyon sonuçları	67
6.1.3 Sıyırılma deformasyon sonuçları.....	75
6.1.4 Toplam yanal deformasyon sonuçları	83
6.2 Time History Analiz Sonuçları	90
6.3 Modal Analiz Sonuçları	95
7.SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	100
KAYNAKLAR.....	102

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1 Farklı kültürlerle ait minare örnekleri. (a) İran kültürünü yansıtan minare. (b) Fas kültürünü yansıtan minare ve (c) Osmanlı minaresi	14
Şekil 1.2 Deprem'den dolayı yıkılmış yığma minare örnekleri. (Doğangün , 2008)	14
Şekil 1.3 Deprem'den dolayı yıkılmış betonarme minare ve kancasız, geniş aralıklı etriye detayları (Sezen, 2008)	16
Şekil 1.4 Deprem'den dolayı yıkılmış betonarme minare örnekleri (Sezen, 2008)	16
Şekil 1.5 Minarenin bölümleri	19
Şekil 1.6 Minare külahının yerleştirilmesi	20
Şekil 1.7 Şerefe detayı	20
Şekil 1.8 Farklı geometrik şekillere sahip kaide ve küp kısımları	21
Şekil 2. 1 Boyuna rüzgâr etkisinden dolayı minarede oluşan eğilme momentinin	23
Şekil 2.2 Farklı kaide yüksekliklerine sahip minareler (Doğangün ve ark. 2014)	24
Şekil 3.1 Mander sargısız beton modeli	25
Şekil 3.2 Betonarme bir minarenin donatı dizilim detayları	26
Şekil 3.3 SAP2000 Mander sargılı beton modeli tanımlama arayüzü	27
Şekil 3.4 S420 Donatı çeliği davranış modeli	28
Şekil 3.5 Eğrilik hesabı	29
Şekil 3.6 Moment-eğrilik grafiği	29
Şekil 3.7 Konsol kolonu için plastik davranış modeli (Özmen ve ark. 2007)	30
Şekil 4.1 Önerilen aderans-sıyrılma modeli için şekildeğişime ve kuvvet dağılımları (Sezen H., 2002)	33
Şekil 4.2 Donatı sıyrılmasından kaynaklanan dönmesi (Sezen , 2002)	34
Şekil 4.3 Patwardhan (2005) tarafından önerilen yanal yük-kesme modeli	35
Şekil 4.4 Yanal yük-yerdeğiştirme ilişkisinin sınıflandırılması (Lodhi S.,2010)	39
Şekil 4.5 Her kategori için eğilme, donatı sıyrılması davranışı (Lodhi S.,2010)	40
Şekil 4.6 Her kategori için kesme davranış modeli (Lodhi S.,2010)	40
Şekil 5.1 Betonarme bir minarenin donatı dizilimi.	43
Şekil 5.2 Minare-1 modeline ait ANSYS sonlu elemanlar modeli (a) Merdivenli model (b) Merdivensiz model (c) Merdivensiz ve şerefesiz model (d) Merdivensiz, şerefesiz ve kapısız	44

Şekil 5.3 Minare-2 modeline ait ANSYS sonlu elemanlar modeli (a) Merdivenli model (b) Merdivensiz model (c) Merdivensiz ve şerefesiz model (d) Merdivensiz, şerefesiz ve kapısız	45
Şekil 5.4 Minare-3 modeline ait ANSYS sonlu elemanlar modeli (a) Merdivenli model (b) Merdivensiz model (c) Merdivensiz ve şerefesiz model (d) Merdivensiz, şerefesiz ve kapısız	46
Şekil 5.5 (a) 19 m yüksekliğindeki Minare-1 (b) 28 m yüksekliğindeki Minare-2 (c) 37 m yüksekliğindeki Minare-3	47
Şekil 5.6 Minare-1'in (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu hali (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Kesit tanımlanan bölgeler	48
Şekil 5.7 Minare-1'in A-A En kesit detayı.....	49
Şekil 5.8 Minare-1'in B-B ve C-C En kesit detayı.....	50
Şekil 5.9 Minare-1'in (a) D-D En kesit detayı (b) E-E En kesit detayı (c) F-F En kesit detayı	50
Şekil 5.10 Minare-1'in G-G, H-H ve J-J gövde en kesit detayları	51
Şekil 5.11 Minare-1'in I-I en kesit detayları	52
Şekil 5.12 Minare 2'nin (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu hali (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Kesit tanımlanan bölgeler	53
Şekil 5.13 Minare 3'ün (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu hali (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Kesit tanımlanan bölgeler	54
Şekil 5.14 Plastik mafsal deformasyon noktaları	55
Şekil 5.15 moment-eğrilik ilişkisini gösteren arayüz	56
Şekil 5.16 Plastik mafsal tanımlama arayüzü.....	57
Şekil 5.17 Kesme deformasyonu plastik mafsal modeli.....	58
Şekil 5.18 Sıyrıma deformasyonu plastik mafsal modeli.....	59
Şekil 5.19 Pushover (statik itme) yükleme durumu	60
Şekil 5.20 1999 Düzce depremi doğu-batı yönü ivme kaydı (inç/sn ²)	61
Şekil 6.1 Minare-1'in (a) 3 boyutlu genel görünüşü, (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Eğilme deformasyon sonuçları	62
Şekil 6.2 Minare-1'in eğilme deformasyon eğrisi	63
Şekil 6.3 Minare-2'nin (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Eğilme deformasyon sonuçları	64
Şekil 6.4 Minare-2'nin eğilme deformasyon eğrisi	65

Şekil 6.5 Minare-3'ün (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Eğilme deformasyon sonuçları	66
Şekil 6.6 Minare-3'ün eğilme deformasyon eğrisi	67
Şekil 6.7 Minare-1'in (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu hali (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Kesme deformasyon sonuçları	68
Şekil 6.8 Minare-1'in kesme deformasyon eğrisi.....	69
Şekil 6.9 Minare-1 kesme deformasyonu plastik dönme-moment grafiği	69
Şekil 6.10 Minare-2'nin (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Kesme deformasyon sonuçları.....	71
Şekil 6. 11 Minare-2'nin kesme deformasyon eğrisi.....	72
Şekil 6.12 Minare-2'nin kesme deformasyonu plastik dönme-moment grafiği.....	72
Şekil 6.13 Minare-3'ün (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Kesme deformasyon sonuçları.....	73
Şekil 6.14 Minare-3'ün kesme deformasyon eğrisi.....	74
Şekil 6.15 Minare-3'ün kesme deformasyonu plastik dönme-moment grafiği.....	75
Şekil 6.16 Minare-1'in (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu hali (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Sıyırılma deformasyon sonuçları	76
Şekil 6.17 Minare-1'in sıyırılma deformasyon eğrisi.....	77
Şekil 6.18 Minare-1'in sıyırılma deformasyonu plastik dönme-moment grafiği.....	78
Şekil 6.19 Minare-2'nin (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Sıyırılma deformasyon sonuçları ...	79
Şekil 6.20 Minare-2'nin sıyırılma deformasyon eğrisi.....	80
Şekil 6.21 Minare-2'nin sıyırılma deformasyonu plastik dönme-moment grafiği.....	80
Şekil 6.22 Minare-3'ün (a) 3 boyutlu genel görünüşü, (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Sıyırılma deformasyon sonuçları ...	81
Şekil 6.23 Minare-3'ün sıyırılma deformasyon eğrisi.....	82
Şekil 6.24 Minare-3'ün sıyırılma deformasyonu plastik dönme-moment grafiği	83
Şekil 6.25 Minare-1'in (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu hali (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Toplam yanal deformasyon sonuçları.....	84
Şekil 6.26 Minare-1'in toplam yanal deformasyon eğrisi	85
Şekil 6.27 Minare-2'nin (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Toplam yanal deformasyon sonuçları	86
Şekil 6.28 Minare-2'nin toplam yanal deformasyon eğrisi	87

Şekil 6.29 Minare-3'ün (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Toplam yanal deformasyon sonuçları.....	88
Şekil 6.30 Minare-3'ün toplam yanal deformasyon eğrisi	89
Şekil 6.31 1999 Düzce Doğu-Batı yönündeki deprem ivme kaydı	90
Şekil 6.32 Minare-1 modelinin tepe deplasman grafiği	90
Şekil 6.33 Minare-2 modelinin tepe deplasman grafiği	91
Şekil 6.34 Minare-3 modelinin tepe deplasman grafiği	91
Şekil 6.35 Minare-1 tepe noktasındaki ivme değişim grafiği.....	92
Şekil 6.36 Minare-2 tepe noktasındaki ivme değişim grafiği.....	92
Şekil 6.37 Minare-3 tepe noktasındaki ivme değişim grafiği.....	93
Şekil 6.38 Minare-1'in (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Deprem analizi deformasyon sonucu.....	93
Şekil 6.39 Minare-2'nin (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Deprem analizi deformasyon sonucu.....	94
Şekil 6.40 Minare-3'ün (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Deprem analizi deformasyon sonucu.....	95
Şekil 6.41 Minare-1 modeline ait sonlu elemanlar modeli (a) Merdivenli model (b) Merdivensiz model (c) Merdivensiz ve şerefesiz model (d) Merdivensiz, şerefesiz ve kapısız	96
Şekil 6.42 Minare-2 modeline ait sonlu elemanlar modeli (a) Merdivenli model (b) Merdivensiz model (c) Merdivensiz ve şerefesiz model (d) Merdivensiz, şerefesiz ve kapısız	97
Şekil 6.43 Minare-3 modeline ait sonlu elemanlar modeli (a) Merdivenli model (b) Merdivensiz model (c) Merdivensiz ve şerefesiz model (d) Merdivensiz, şerefesiz ve kapısız	98

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 6.1 Minare-1'in eğilme deformasyon kapasite eğrisi sonuçları	63
Tablo 6.2 Minare-2'nin eğilme deformasyon kapasite eğrisi sonuçları	64
Tablo 6. 3 Minare-3'ün eğilme deformasyon kapasite eğrisi sonuçları	66
Tablo 6.4 Minare-1'in kesme deformasyon kapasite eğrisi sonuçları.....	68
Tablo 6.5 Minare-1 kesme deformasyonu plastik dönme-moment grafiği sonuçları.....	69
Tablo 6.6 Minare-1 modelinin kesme deformasyonun el hesabı kontrolü	70
Tablo 6. 7 Minare-2'nin kesme deformasyon kapasite eğrisi sonuçları.....	71
Tablo 6. 8 Minare-2'nin kesme deformasyonu plastik dönme-moment grafiği sonuçları ..	72
Tablo 6.9 Minare-2 modelinin kesme deformasyonun el hesabı kontrolü	73
Tablo 6.10 Minare-3'ün kesme deformasyon kapasite eğrisi sonuçları	74
Tablo 6.11 Minare-3'ün kesme deformasyonu plastik dönme-moment grafiği sonuçları ..	74
Tablo 6.12 Minare-3 modelinin kesme deformasyonun el hesabı kontrolü	75
Tablo 6.13 Minare-1'in sıyırılma deformasyon kapasite eğrisi sonuçları	76
Tablo 6.14 Minare-1'in sıyırılma deformasyonu plastik dönme-moment grafiği	77
Tablo 6.15 Minare-1 modelinin sıyırılma deformasyonun el hesabı kontrolü	78
Tablo 6.16 Minare-2'nin sıyırılma deformasyon kapasite eğrisi sonuçları	79
Tablo 6.17 Minare-2'nin sıyırılma deformasyonu plastik dönme-moment grafiği	80
Tablo 6.18 Minare-2 modelinin kesme deformasyonun el hesabı kontrolü	81
Tablo 6.19 Minare-3'ün sıyırılma deformasyon kapasite eğrisi sonuçları	82
Tablo 6.20 Minare-3'ün sıyırılma deformasyonu plastik dönme-moment grafiği	82
Tablo 6.21 Minare-3 modelinin sıyırılma deformasyonun el hesabı kontrolü.	83
Tablo 6.22 Minare-1'in toplam yanal deformasyon kapasite eğrisi sonuçları	84
Tablo 6.23 Minare-2'nin toplam yanal deformasyon kapasite eğrisi sonuçları	86
Tablo 6.24 Minare-3'ün toplam yanal deformasyon kapasite eğrisi sonuçları	88
Tablo 6.25 Deformasyon bileşenlerinin göçtükleri anda ki tepe deplasmanları	89
Tablo 6.26 Deformasyon bileşenlerinin toplam deformasyon içerisindeki yüzdelerik değerleri.....	89
Tablo 6.27 Deprem etkisinden dolayı maksimum tepe deplasmanları.....	91
Tablo 6.28 Minare-1 modeline ait modal analiz sonuçları	97
Tablo 6.29 Minare-2 modeline ait modal analiz sonuçları	98
Tablo 6.30 Minare-3 modeline ait modal analiz sonuçları	99

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_c	: Betonun dirençli kesme alanı
A_e	: Etkisiz sargılı çekirdek betonun alanı
A_{eff}	: Basınç gerilmesine maruz kalan beton alanı olan etkili alanı
A_g	: Kolon kesit alanı
A_i	: Sargılı çekirdek betonun alanı
A_s	: Çekme çubuklarındaki toplam donatı alanı
A_{sx}	: x yönüne paralel enine donatı toplam alanı
A_{sy}	: y yönüne paralel enine donatı toplam alanı
A_{sw}	: Yükleme yönünde s aralığındaki enine donatı alanı,
b	: Kesitin genişliği
c	: Ekstra basınç çizgisinden basınç çeliğinin merkezine olan mesafe
d	: Ekstra basınç çizgisinden çekme çeliğinin merkezine olan mesafe
d_c	: Kesitin etkili derinliği
d_b	: Boyuna donatı çubuğunun çapı
D	: Maksimum sapma
D_y	: Akma sapması
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_s	: Donatı çubuğun elastisite modülü
E_{sec}	: Sargılı betonun sekant modülü
f'_c	: Betonun basınç gerilmesi
f_{c0}	: Sargısız beton dayanımı
f_{cc}	: Sargılı beton basınç dayanımı
f_l	: Yanal sargılama dayanımı
f_s	: Çelik gerilmesi
f_{sh}	: Gerilme pekleşmesinin başlangıcındaki çelik gerilmesi
f_u	: Çelik nihai dayanımı
f_y	: Akma anındaki çelik gerilmesi
f_{yw}	: Enine donatının akma dayanımı
G	: Betonun kesme modülü
h	: Kesit derinliği

I_g	: Kolon kesitinin kırılmamış atalet momenti
i_r	: Boyuna çubuğun dönme yarıçapı
k	: Süneklik katsayısı
k_1	: Başlangıç noktasını çatlama noktasına bağlayan çizginin eğimi
k_2	: Akma noktasını bir doğrultuda çatlama doğru ters yönde bağlayan çizginin eğimi
k_e	: Sargılama katsayısı
k_r	: Boşaltma bölümü eğimi
k_y	: Bir doğrultuda akma noktasını diğer doğrultuda kırılma noktasına bağlayan çizginin eğimi
l_d	: Donatı çubuğu gelişme uzunluğu
l_{dy}	: Gömülü uzunluktaki akma batması
l_h	: Donatı çubuklarının yüksekliği
l_s	: Donatı çubuklarının açık aralığı
l_w	: Donatı çubuklarının genişliği
L	: Minare yüksekliği
L_e	: Çubuğun elastik parçasının uzunluğu
L_p	: Plastik mafsallık uzunluğu
L_{sh}	: Gerilme pekleşme bölgesinin uzunluğu
L_{yp}	: Akma plato bölgesinin uzunluğu
M	: Moment
M_{cr}	: Kırılma momenti
M_y	: Akma anındaki eğilme momenti
M_p	: Kesitin maximum moment taşıma kapasitesi
N	: Eksenel basınç kuvveti
N_o	: Eksenel basınç kapasitesi
P	: Eksenel yük
P_{cr}	: Çatlama yükü
P_G	: Kolonda yerçekimi yükü
u_b	: Aderans gerilmesi
u_f	: Sürtünme aderans gerilmesi,
s	: Enine donatılar arasındaki mesafe

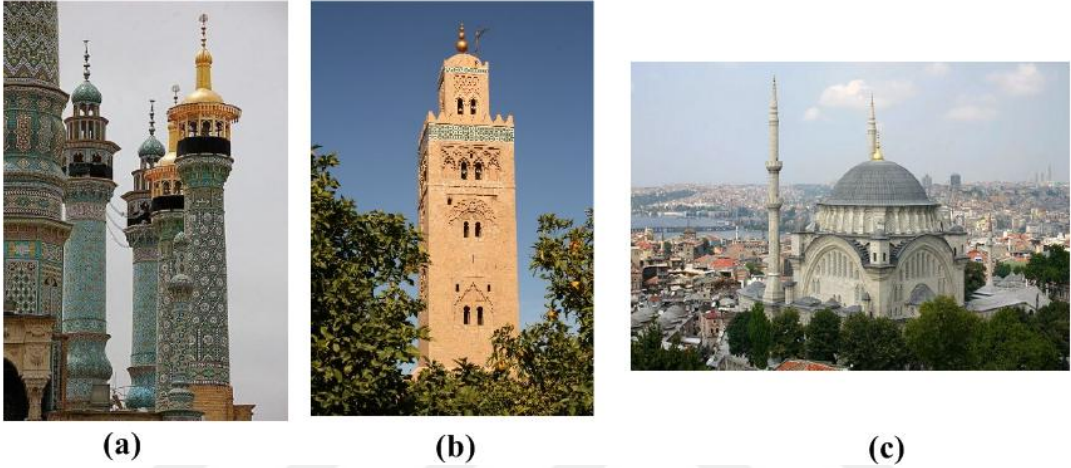
S_c	: Akma anındaki sıyrılma değeri
S_0	: Maximum değerdeki sıyrılma değeri
S_n	: Kalıcı durumdaki sıyrılma değeri
v_c	: Beton tarafından taşınan kesme gerilmesi
V	: Kesme kuvveti
V_c	: Beton katkısı
V_{cr}	: Kırılma anındaki kesme kuvveti
V_n	: Kesme dayanımı
V_p	: Tepe yükü
V_s	: Enine donatı katkısı
V_y	: Akma dayanımı
a	: Kesme açıklığı
w'_i	: Bitişik boyuna çubuklar arasındaki açık enine uzunluğu
ϵ_c	: Beton basınç birim şekildeğiştirme
ϵ_{cc}	: Sargılı betonda maksimum dayanımda birim şekildeğiştirme
ϵ_{c0}	: Sargısız beton basınç dayanımında birim şekildeğiştirme
ϵ_{cr}	: Betonun çatlama birim şekildeğiştirmesi
ϵ_{cu}	: Sargılı betondaki en büyük birim şekildeğiştirme
ϵ_s	: Çelik birim şekil değıştirmesi
ϵ_{sh}	: Çeliğin pekleşmeye başladığı birim şekil değıştirmesi
ϵ_u	: Çelik nihai birim şekil değıştirmesi
Δ	: Boşaltma sırasındaki sapma
Δ_{ALF}	: Kolonun aksenal kapasite kaybında toplam yerdeğiştirme kapasitesi
Δ_{cr}	: Çatlama anındaki sapma
Δ_f	: Eğilme yerdeğiştirmesi
$\Delta_{f,f}$: Son eğilme yerdeğiştirmesi
Δ_p	: Tepe yerdeğiştirmesi
$\Delta_{s,f}$: Son sıyrılma yerdeğiştirmesi
Δ_v	: Kırılmamış kesitin kesme yerdeğiştirmesi
$\Delta_{v,cr}$: Kırılma anında yerdeğiştirme
$\Delta_{v,y}$: Akma yerdeğiştirmesi
Δ_y	: Akma anındaki sapma

θ_s	: Sıyrılma dönmesi
ϕ	: Eğrilik
ϕ_y	: Akma anındaki eğrilik
ϕ_u	: Nihai eğrilik
ν	: Poisson oranı
ρ_{cc}	: Boyuna donatı alanının çekirdek beton alanına oranı
ρ_l	: Boyuna donatı oranı
ρ_v	: Enine donatı oranı
ρ''	: Enine donatı hacminin çekirdek betonun hacmine oranı
γ_n	: Maximum gerilmede ortalama kesme yerdeğiştirmesi
γ_u	: Son kesme birim Şekil değiştirmesi



1. GİRİŞ

Minare, insanlara namaz vakitlerini duyurmak için camilerin yanında inşa edilen ince ve yüksek yapılardır. Yaklaşık 1400 yıldır farklı malzemeler kullanılarak çok farklı şekillerde minaralar yapılmaya devam etmektedir. Minareler, farklı bölgedeki insanların kendi kültürlerine göre şekillenmiştir. Ülkemizde yapılan minareler, formlarını 16.yy da Mimar Sinan tarafında yapılan minarelerden almıştır (Ertek, 2009). Şekil 1.1’de farklı kültürleri yansıtan çeşitli tipteki minareler görülmektedir.



Şekil 1.1 Farklı kültürere ait minare örnekleri. (a) İran kültürünü yansıtan minare. (b) Fas kültürünü yansıtan minare ve (c) Osmanlı minaresi

Minareler yakın zamana kadar taşıyıcı malzeme olarak, taş ve tuğla kullanılarak yığma inşa edilmiştir (Baştürk, 2013). Bağlayıcı malzeme olarak ise kireç ve alçı kullanılmış. Yığma olarak yapılan minarelerin depreme karşı dirençleri çok düşüktür. 1999 Düzce depreminde yıkılan yığma minareler çevreye ve insanlara ciddi zarar vermiştir. Şekil 1.2’de deprem etkisinden yıkılan yığma minarelerin çevreye verdiği zararlar görülmektedir (Doğangün, 2008).



Şekil 1.2 Deprem’den dolayı yıkılmış yığma minare örnekleri. (Doğangün , 2008)

1999 Düzce depreminin hemen ardından Diyanet İşleri Başkanlığı'nın "Minarelerin Yapımında Uygulanacak Esaslar" hakkındaki genelgesi yayınlanmıştır. Bu genelge de yığma ve ahşap minarelerin yapımı yasaklanmıştır. Bu tarihten itibaren yığma minare yapımı sonlandırılmış ve minareler betonarme olarak inşa edilmeye başlanmıştır (Temüz, 2007).

Uzun ve narin yapılar olan minareler, uzun yıllar ayakta kalabilmesi için deprem, rüzgar gibi dış yükler altında stabilitelerini korumak zorundadır. Minareler tasarlanırken hesaplamalarının çok iyi yapılması gerekmektedir. Özellikle deprem yüklerine karşı yapısal davranışları iyi tespit edilmeli ve hesaplamaları ona göre yapılmalıdır. Literatürde Diyanet İşleri Başkanlığı'nın "Minarelerin Yapımında Uygulanacak Esaslar" hakkındaki genelgesi dışında doğrudan minarelerin hesap ve tasarımı için herhangi bir şartname ya da yönetmeliğin bulunmadığı görülmüştür. Minarelerin hesabı ile ilgili doğrudan bir kaynak ve yönetmelik olmadığından dolayı ülkemizde ve dünyanın birçok yerinde güncel deprem yönetmeliklerine göre tasarlanmayan, usta maharetiyle yapılan çok sayıda betonarme minare bulunmaktadır. Bu şekilde yapılan betonarme minareler yetersiz boyuna donatıya ve geniş aralıklı enine donatıya sahip olduklarından dolayı deprem ve şiddetli rüzgar etkisinde kolayca hasar görerek yıkılabilmektedir (Temüz, 2007). Geçmişte rüzgar ve deprem etkilerinden dolayı yıkılmış minareler incelendiğinde sargı donatısının bindirme boylarının kısa olduğu ve etriye uçlarının kanca yapılmadığı görülmüştür. Şekil 1.3'de depremden dolayı yıkılan betonarme bir minarenin sargı donatısının yetersiz bindirme boyuna sahip olduğu ve sargı donatısının ucunun kancasız olduğu görülmektedir (Sezen, 2008). Aynı zamanda geniş etriye aralıklarına sahip olduğuda görülmüştür. Etriye aralıklarının sık olması minareye etkiyecek olan yanal deprem yüklerine karşı yeterli kesme kuvveti sağlar. Deprem ve rüzgar etkisinden dolayı yıkılan betonarme minarelerin incelenmesinin sonucunda iki büyük eksiklik ortaya çıkmıştır. Bu eksikliklerden birincisi yeterli boy donatısına sahip olmaması, diğer eksiklik ise sargı donatılarının geniş aralıklara sahip olması ve minarenin geçiş bölgelerinde etriye sıklaştırmasının yapılmamasıdır. Bu sebeplerden dolayı minare sünek davranış gösteremeyip aniden göçme tehlikesiyle karşı karşıya kalmaktadır. Sargılama, betonun basınç mukavemetinin de önemli artış sağlar (Mander ve ark.,1988). Eğer beton iyi şekilde sargılanmışsa, eğilme kuvveti altında çatlamış olsa bile büyük yer değişikliklerine karşı koyabilir. Sargılaması yetersiz olan betonlar da kesme kuvvetinden dolayı ufak çatlaklar, betonun ani mukavemet kaybına neden olarak kırılıp göçmesine neden olabilir. Geçmişte, depremlerden dolayı yıkılmış betonarme yapılar incelendiğinde, uç kancalarının yeterli bükülmemesi sonucu açılması ve

bağların etkisiz bir şekilde olmasının, beton sargılama ve yanal mukavemetlerdeki azalmayı hızlandıracagının göstermiştir. (Sezen, 2002)



Şekil 1.3 Deprem'den dolayı yıkılmış betonarme minare ve kancasız, geniş aralıklı etriye detayları (Sezen, 2008)



Şekil 1.4 Deprem'den dolayı yıkılmış betonarme minare örnekleri (Sezen, 2008)

1.1 Araştırmanın Amacı ve Yöntemi

Türkiye, aktif deprem kuşakları ile çevrilidir ve deprem kuşakları üzerindeki bir çok bölgede güncel sismik şartnamelere göre dizayn edilmeyen çok sayıda minare mevcuttur (Serhatoğlu, 2015). Günümüzde yapılan betonarme minareler incelendiğinde çift sıra boy donatısına sahip betonarme minarelerle karşılaşılmaktadır. Donatı dizilimi ile sargı durumu betonun davranışını ve sünekliğini ciddi derecede etkileyen bir etkidir. Minarelerin yapımıyla ilgili herhangi bir şartnamenin olmamasından dolayı bu minareler yapılırken hesaplamalarda deprem bölgeleri dikkate alınmadığı ve genellikle hayır işi olmasından dolayı da tam kontrollerinin yapılmadığı görülmüştür (Temüz, 2007). Bu şekilde inşa edilmiş minareler şiddetli rüzgar ve depremlerde hasar görmeye karşı hassastır.

Minarenin kendi ağırlığının yanı sıra deprem ve rüzgar yükleri, minareyi yatay ve düşey yüklere maruz bırakır. Deprem yükleri minarenin tabanına ve üst noktasına yatay olarak etki eder. Minare bir ucundan ankastre mesnetlenmiş, yüksek yapılar olduğu için bu kuvvetler minarede çok büyük kesme ve moment kuvvetleri oluşturur. Minareye etki eden dış kuvvetler sonucunda, betonarme minarenin toplam yanal deformasyonu üç bileşenden meydana gelir. Oluşan bu deformasyon bileşenleri: Eğilme deformasyonu, kesme deformasyonu ve minare tabanında meydana gelen donatı sıyrılma deformasyonlarıdır. Bu deformasyon bileşenlerinin etkileşimi minarenin toplam yanal deformasyonunu belirlemektedir.

Bu çalışmada, minareye etki eden toplam yanal deformasyonların hesaplanması için günümüzde en çok karşılaşılan tek şerefeli, iki şerefeli ve üç şerefeli betonarme minare tipleri incelenecektir. Bu minare tiplerinin yanal davranışlarını tespit etmek amacı ile eğilme deformasyonu, kesme deformasyonu ve donatı sıyrılma deformasyonları monotonik yükleme altında ayrı ayrı doğrusal olmayan modelleme yöntemi ile modellenecektir. Bu üç ayrı deformasyon bileşeni minarenin toplam yanal davranışını tahmin edebilmede genel bir model oluşturmak için birleştirilecektir.

Minarelerin yapısal davranışlarını araştıran birçok çalışma mevcuttur (Baştürk, 2013). Yapılan çalışmaları incelediğimizde modellemelerin sonlu elemanlar yöntemi olan kabuk ve katı modellemeler kullanıldığı görülmüştür. Bu modelleme yöntemleri, minarelerin genel olarak yapısal davranışını tespit etsede eksik kalan yönleri mevcuttur. Kullanılan bu modellemelerde minarenin toplam yanal deformasyonu hesaplamak çok zor ve karmaşıktır. Bilgisayar destekli tasarım teknolojisinin gelişmesi ile doğrusal olmayan

modelleme yöntemleri geliştirilmiştir. Doğrusal olmayan modelleme yöntemi, gerçek hayatta yapılan yapıların davranışı modellemede ve anlamada en yakın sonuçları vermektedir (Ertek, 2009). Bu nedenden dolayı bu tez çalışmasında doğrusal olmayan modelleme yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmada toplam deformasyon bileşenlerinin tahmin edilebilmesi için SAP2000 programı kullanılarak, doğrusal olmayan modelleme yöntemi ile betonarme bir minarenin eğilme deformasyonları, kesme deformasyonları ve donatı sıyrılma deformasyonları basit şekilde çözümlenerek yeni yapılacak betonarme minarelerin tasarım ve hesaplamaları için katkıda bulunması amaçlanmıştır.

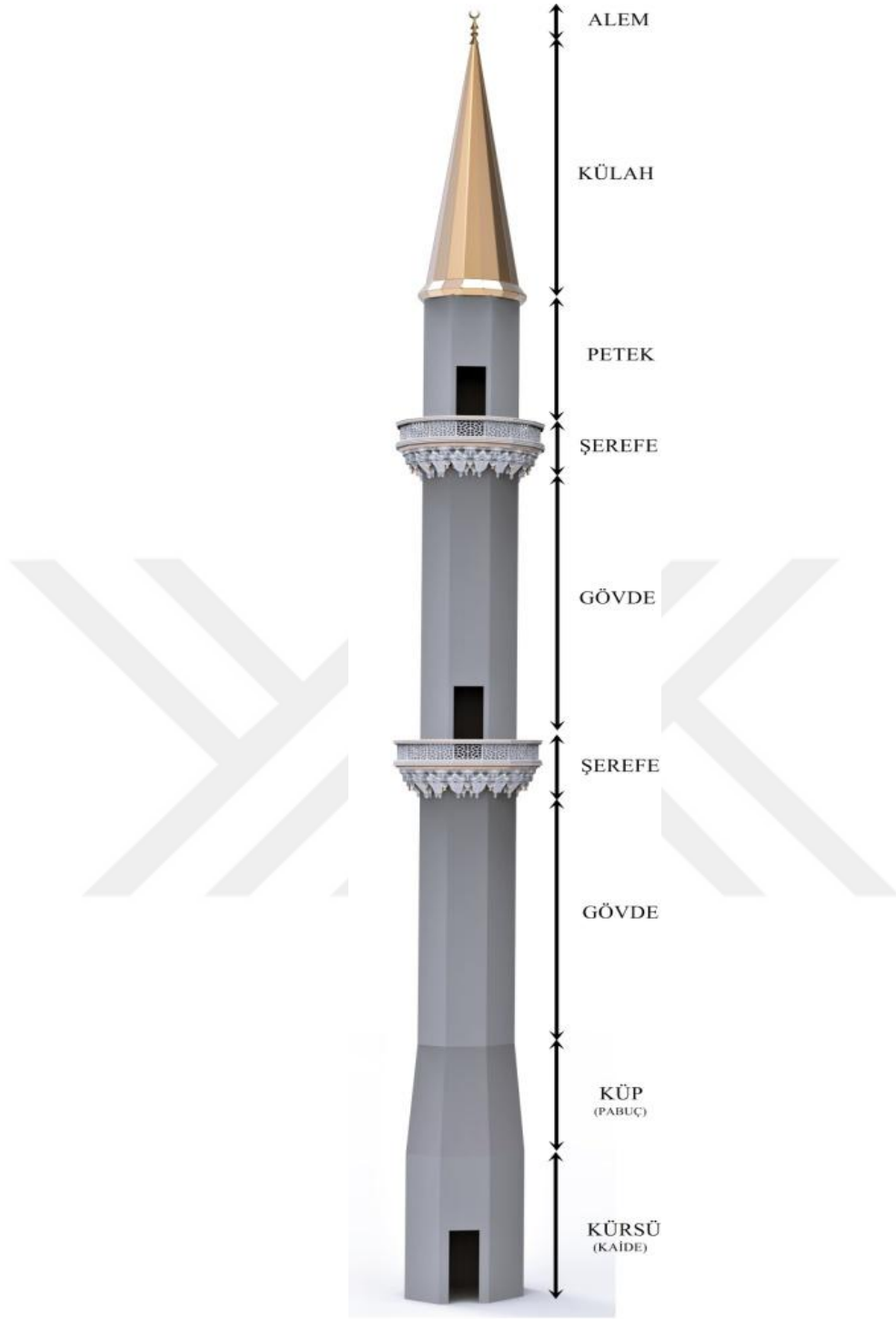
Bu araştırmada kaide ve gövde kısmı sekizgen olan tek şerefeli 19 m, iki şerefeli 28 m ve üç şerefeli 37 m yüksekliğinde betonarme minare modelleri incelenmiş olsa bile, kullanılan yöntem farklı kesit tiplerine ve farklı yükseklikteki betonarme minarelere kolayca uygulanabilir.

1.2 Minare Bölümleri

Minareyi oluşturan bölümler, birçok yapı türünden farklı karakteristik yapısal özellikler taşımaktadır. Bir minare aşağıdan yukarıya doğru incelendiğinden sırasıyla; temel, merdiven, kürsü (kaide), küp (pabuç), gövde, şeref, petek, külah ve âlem olmak üzere dokuz bölümden oluşmaktadır. Minareler, farklı kültürlerde ve farklı zamanlarda değişik malzemelerle farklı formlarda yapılmış olsada, günümüze kadar aynı işlev üzerine gelmiştir. Şekil 1.5’de genel olarak bir minarenin bölümleri görülmektedir.

Alem : Genellikle kurşun ve bakırdan yapılan minarelerin en tepesinde bulunan, islamin sembolü hilal şeklindeki süsleme amaçlı kullanılan minare elemanıdır.

Külah : Bir nevi minarenin çatısı olan, peteğin hemen üstündeki kısımdır. Yığma olarak yapılan minarelerde bu kısım taştan, tuğladan oluşturuluyordu. Günümüzde yapılan betonarme minarelerin birçoğunda kalıp işçiliğini zor olmasından ve betona külah şeklini vermenin zor olmasından dolayı ahşap karkas üzerine kurşun kaplama tarzındaki külahlar yapılmaya başlanmıştır. Genellikle yerde imal edildikten sonra bir bütün olarak minarenin tepesine koyulmaktadır (Ertek, 2009). Şekil 1.6’da bir minarenin külahının yerleştirilmesi görülmektedir.



Şekil 1.5 Minarenin bölümleri

Petek : Minarenin son şerefesiyle külah kısmının arasında kalan kısımdır. Yığma minarelerde iç çapı normal gövdesine göre dar olsada betonarme minarelerde genellikle gövde çapı ile aynı olmaktadır.

Şerefe : Geçmişte müezzinlerin ezan okumak için kullandıkları, kapısı olan ve genellikle 40-50 cm arası genişliğe sahip balkon şeklindeki kısımdır. Günümüzde ezan okumak amacı için kullanılmamaktadır. Şekil 1.7’de şerefe detayları görülmektedir.



Şekil 1.6 Minare külâhının yerleştirilmesi



Şekil 1.7 Şerefe detayı

Gövde : Şerefe ile küp (pabuç) arasında kalan kısımdır. Selçuklu dönemlerinde kullanılan malzemelerden dolayı sekizgen veya onaltıgen şeklinde inşa edilmekteydi (Baştürk, 2013). Günümüzde betonarme şeklinde inşa edilen minarelere çokgen ve dairesel şekiller

verilmektedir. Yığma olarak yapılan minarelerde gövde yukarıya doğru incelirken, betonarme olarak inşa edilen minarelerde gövde kısmı tepe noktasına kadar aynı genişlikte çıkmaktadır.

Küp (Pabuç) : Minarenin kürsü (kaide) kısmı ile gövde kısmını birbirine bağlayan bölgedir. Küp kısmı, geniş çaplı kesiti daha dar bir kesite bağladığı için giderek azalan kesite sahiptir. Bu nedenden dolayı yapısal olarak minarenin en kritik bölgesidir.

Kürsü (Kaide) : Minarenin temel üstü ile küp arasında kalan ve giriş kapısının bulunduğu bölgedir. Genellikle onikigen, sekizgen ve kare kesitlere sahiptir. Minarenin diğer bölümlerine göre daha geniş kesitlere sahiptir.



Şekil 1.8 Farklı geometrik şekillere sahip kaide ve küp kısımları

Merdiven: Merdivenler, minarenin kürsü (kaide) kısmından başlayarak şerefelere ulaşmak için kullanılan, gövde içerisindeki spiral şeklindeki elemanlardır. Yığma minarelerdeki yapım şekli ile betonarme minarelerdeki yapım şekli çok farklıdır. Yığma minarelerde, merdivenler ana gövdenin taşıyıcı elemanlarından bir kısmını oluşturmaktadır. Daha önceki yapılan yığma minareler üzerindeki araştırmalar sonucunda merdivenlerin yığma minarelerin yapısal davranışı üzerine etkisinin büyük olduğu göstermiştir (Calp, 2018).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

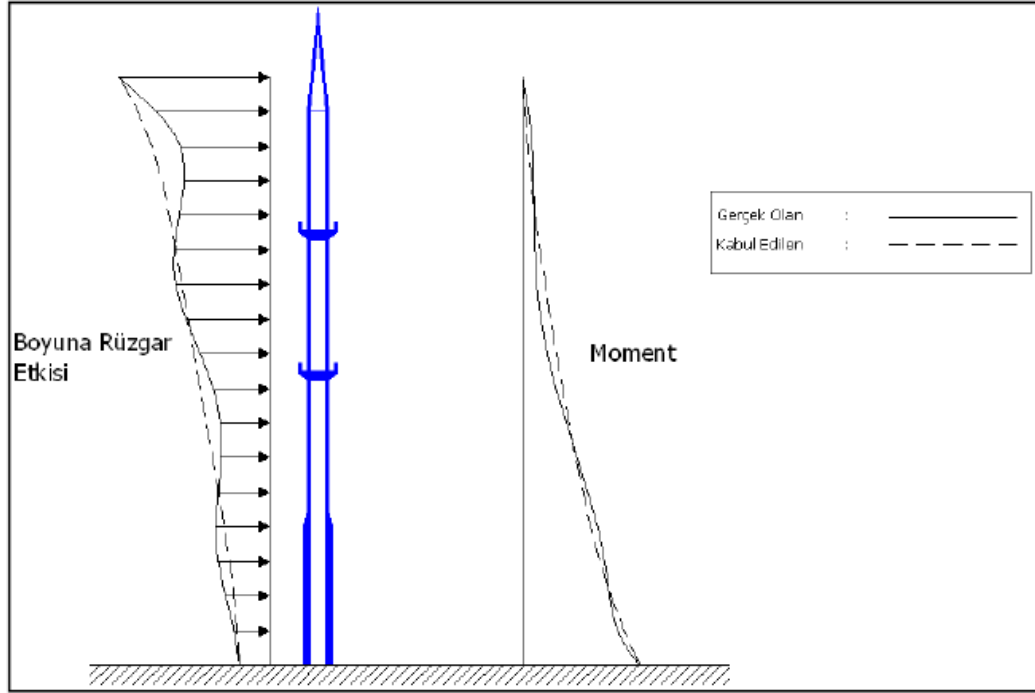
Betonarme minarelerin statik ve dinamik olarak yapısal davranışını anlamaya yönelik yapılan çalışmalar, diğer betonarme yapı türlerine göre oldukça sınırlıdır. Minarelerin tarihi 1400 yıl öncesine dayanırken bilgisayar destekli hesaplamaların geçmişi son 40-50 yıla dayanmaktadır. Bu nedenle dolayı minareler üzerinde çok az sayıda araştırma yapıldığı görülmüştür. Yapılan Literatür taraması sonucunda Diyanet İşleri Başkanlığı'nın "Minarelerin Yapımında Uygulanacak Esaslar" genelgesinin haricinde direkt olarak minarelerin hesap ve tasarımıyla ilgili herhangi bir şartnamenin yada yönetmeliğin olmadığı görülmüştür (Baştürk, 2013).

Dinimizi ve kültürümüzü yansıtan minarelerin uzun yıllar ayakta kalabilmesi için rüzgarlar ve deprem gibi dinamik dış yüklerle karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Büyük kısmı birinci deprem bölgesi olan ve aktif fay hatlarıyla çevrili ülkemizde, minarelerin deprem yükü altındaki davranışlarının iyi bilinmesi gerekmektedir. Minareler üzerine yapılan geçmiş çalışmalar incelendiğinde, yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu rüzgar ve deprem gibi dinamik yükler altında minarelerin yapısal davranışı araştırılmıştır. Minare tiplerine göre yapılan araştırmalar iki bölüme ayrılabilir. Bunlardan birincisi günümüze kadar ulaşan taş ve tuğladan yapılmış, tarihi yığma minarelerin dinamik ve karakteristik özelliklerini anlamaya yönelik olan çalışmalar, diğeri ise betonarme olarak inşa edilmiş minarelerin dinamik ve karakteristik özelliklerini anlamaya yönelik çalışmalar olduğunu görülmektedir. Yapılan bu çalışmalar incelendiğinde büyük bir bölümü tarihi minareleri konu aldığı görülmüştür. Az da olsa betonarme minareler üzerine yapılan çalışmalarda mevcuttur. Bu bölümde hem ülkemizde hemde yurtdışında betonarme minareler üzerine yapılan çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Doğangün ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada yığma minarelerin rüzgar ve deprem yükleri altındaki davranışı incelenmiştir. Yapılan çalışmada rüzgar veya deprem gibi dinamik dış yüklerin yığma minarenin hangi bölümüne daha çok hasar verdiği üzerinde durulmuştur. Meydana gelmiş olan doğal afetlerin yığma minarelerin nasıl etkilendiği gösterilmiştir.

Hasan T. Temüz (2007) tarafından yapılan çalışmada, rüzgar yükünün minareler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kabuk elemanlar kullanılarak oluşturulan betonarme bir minare üzerinde TS498'de ve ACI 307'de yüklerle ilgili yönetmeliklerdeki, rüzgar yük hesaplarının minare üzerine nasıl uygulanacağından bahsedilmiştir. Betonarme bir

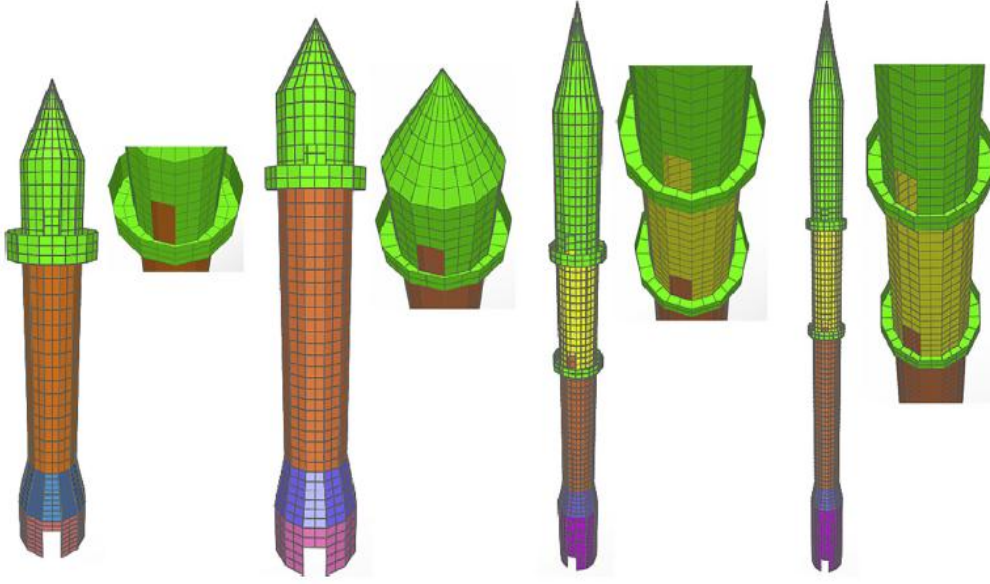
minarenin rüzgar yükleri altındaki dinamik davranışı araştırılmıştır. Şekil 2.2’de minareye etkiyen boyuna rüzgar kuvveti gösterilmiştir.



Şekil 2. 1 Boyuna rüzgâr etkisinden dolayı minarede oluşan eğilme momentinin yükseklik boyunca şematik dağılımı (Temüz, 2007)

Bayraktar ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada tarihi yapıların deprem güvenliklerini tespit edilmesi amacıyla tahribatsız deney yöntemleri ile çalışma yapılmıştır. Bu çalışma için Ayasofya kulesi (Trabzon), İskenderpaşa cami minaresi ve tarihi Osmanlı köprüleri üzerinde dinamik özelliklerin belirlenmesi için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Daha sonra bu yapıların geometrik özellikleri kullanılarak üç boyutlu sayısal modelleri oluşturulmuştur.

Doğangün ve ark. (2014) yapılan çalışmada farklı kaide yüksekliklerine sahip betonarme bir minarenin deprem yükleri altındaki davranışı araştırılmıştır. Bu araştırma için farklı kaide yüksekliklerine sahip 4 adet betonarme model sonlu elemanlar yöntemi ile oluşturulmuştur. Minarelerin toplam yükseklikleri sırasıyla 16.8 m, 22.4 m, 46.6 m ve 61.0 m dir. Oluşturulan bu minarelere 1999 Düzce ve 1999 Kocaeli deprem ivme kayıtları uygulanmıştır. 35 m ile 40 m arasındaki minarelerin depreme karşı daha iyi performans gösterdikleri gözlemlenmiştir. Şekil 2.1’de analizi yapılan minareler görünmektedir.



Şekil 2.2 Farklı kaide yüksekliklerine sahip minareler (Doğangün ve ark. 2014)

Keyvan Dehghanian'ın (2015) yaptığı çalışmayı incelediğimizde betonarme minareler için gerçek deprem ivme kayıtları ile Türk Deprem Yönetmeliği'nde (DBYBHY, 2007) verilen tasarım ivme spectrumlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Bu araştırmada model olarak 90 m yüksekliğinde betonarme bir minare kabuk elemanlar kullanılarak oluşturulmuştur. Bu çalışmada uygun kuvvetli yer hareketi kayıtlarının seçilmesi için önerilen temel yöntemler ve kriterler belirlenmiştir.

Gökçe A. Taş'ın (2015) çalışmasında, ayarlı kütle sönümleyicilerinin yüksek betonarme minarelerin dinamik davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu araştırma için yüksek bir betonarme minareye, ayarlı kütle sönümleyicisi (AKS) yerleştirilmiş ve minare modeline, Rita kasırgasından elde edilmiş kayıtlar ile deprem kayıtları etki ettirilerek dinamik analizleri yapılmıştır. Ayarlı kütle sönümleyicisinin (AKS) minarenin sönümünü yaklaşık 2 kat artırdığı gözlemlenmiştir.

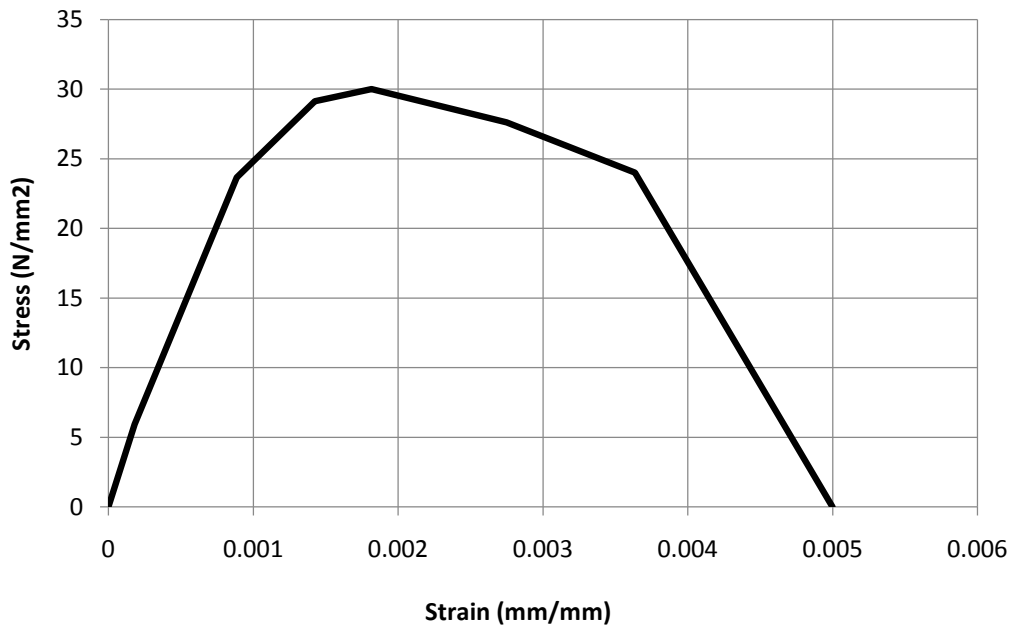
Musa Yekin ve ark (2017) tarafından betonarme minarelerin dinamik karakteristiklerinin çevresel titreşimler kullanılarak belirlenmesi ve sonlu eleman modelleri güncelleştirilmesi amacıyla Fırat üniversitesi kampüsü içerisindeki caminin minaresine OROS-OR36 çok kanallı gürültü ve titreşim ölçümü yapan deney aletleri yerleştirilerek çevresel titreşimlerin minare frekansına etkileri ölçülmüştür. Deneysel analizden elde edilen dinamik karakteristiklere bağlı olarak yapının sonlu elemanlar modeli geliştirilmiştir. Bu şekilde oluşturulan modellerle daha gerçekçi analiz sonuçları elde edilmiştir.

3.MALZEME MODELLERİ

3.1 Sargısız Beton Modeli

Modelleme de beton malzemesi olarak C30/37 türü beton kullanılmıştır. Betonun basınç mukavemeti çok yüksekken çekme mukavemeti çok düşüktür. Betonun çekme mukavemeti düşük olduğu için genellikle hesaplamalarda betonun çekme mukavemeti ihmal edilmektedir. Doğrusal olmayan modelleme yöntemi, gerçek yapısal davranışın bilgisayar modellemesiyle gerçeğe en yakın sonuçlar elde etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu nedenden dolayı modelleme yapılırken, uygulaması yapılan yapı elemanının bütün özelliklerinin doğru bir şekilde modellenmesi gerekmektedir. Gerçek hayatta yapılan kolon ve minareleri incelendiğinde sargı donatısıyla çevrili çekirdek beton ve sargının dışında kalan kabuk beton örtüsü olduğu görülmektedir. Her ne kadar çekirdek beton ile sargı betonu aynı beton olsa bile sargılama etkisinden dolayı dayanımları ve yapısal davranışları farklıdır.

Yapılan bu çalışmada, minare modellemelerinde doğrusal olmayan davranışı tam olarak verebilmek için çekirdek beton ile kabuk betonun farklı davranışları dikkate alınarak modellemeler yapılmıştır. SAP2000 programında minare kesitleri oluşturulurken çekirdek betonu Mander sargılı beton modeli, kabuk betonu ise Mander sargısız beton modeli kullanılmıştır. Şekil 3.1'te modelleme de kullanılan kabuk betonun davranışı gösteren Mander sargısız beton modeli görülmektedir.



Şekil 3.1 Mander sargısız beton modeli

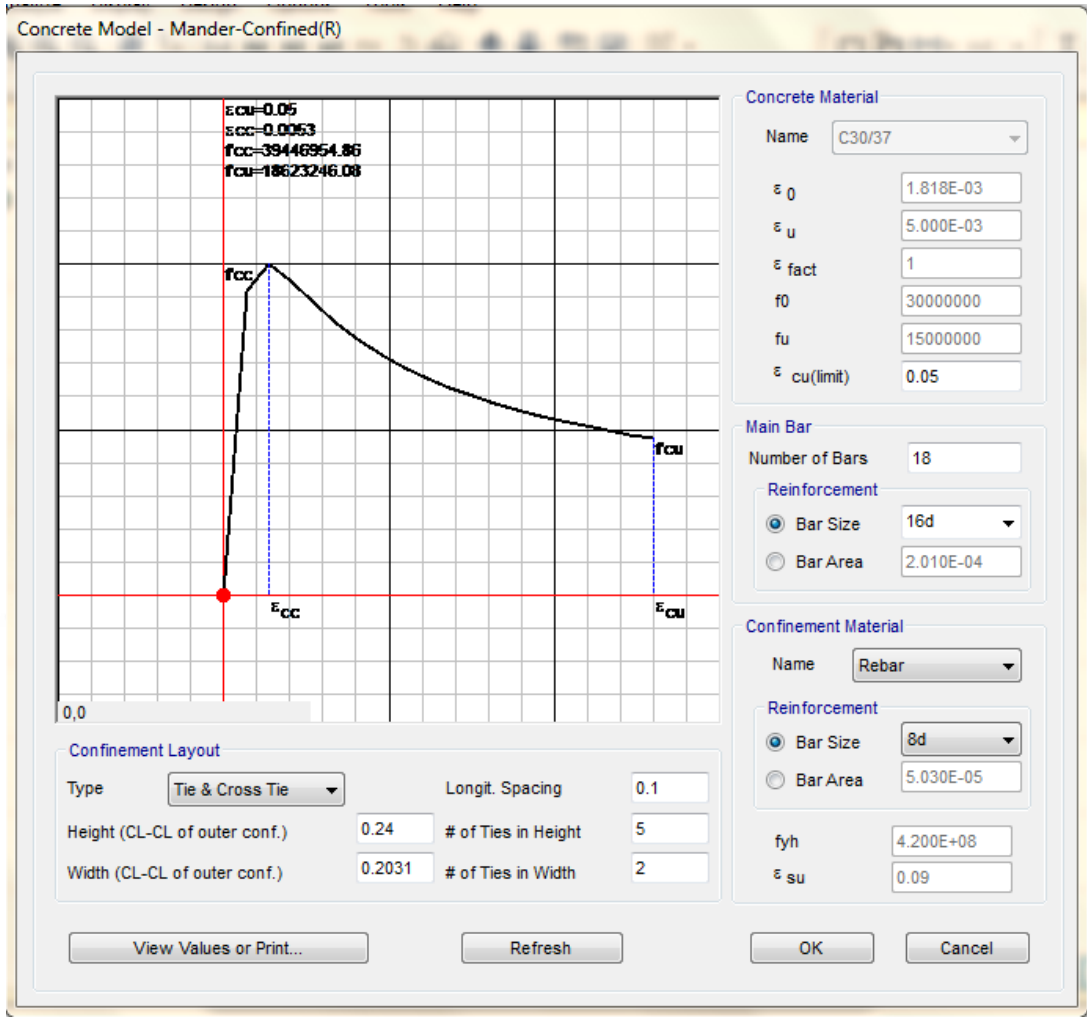
3.2 Sargılı Beton Modeli

Betonarme minarelerde, çift taraflı etriye donatıları ve çirozlar bulunmaktadır. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi içteki ve dıştaki boyuna donatıları tam tur şekilde dönen etriye donatıları görülmektedir. Bu etriyeler, betona sargılama etkisi oluşturmaktadır. Çekirdek kısmında kalan beton, sargılı beton davranışı sergileyecektir.



Şekil 3.2 Betonarme bir minarenin donatı dizilim detayları

Yapılan bu çalışmada sargılanmış betonun doğrusal olmayan davranışını tam olarak modelleyebilmek için SAP2000 programı içerisindeki Mander sargılı beton modeli kullanılmıştır. SAP2000 programı içerisindeki kesit tanımla kısmından, Şekil 3.3’de görülen modül kullanılarak sargılı beton özellikleri girilmiştir.



Şekil 3.3 SAP2000 Mander sargılı beton modeli tanımlama arayüzü

Bu arayüzde “Confinement Layout” sekmesi altındaki, etriye aralıklarıyla ilgili girilen değerler direk olarak betonun dayanımını etkilemektedir. Arayüzü detaylı inceleyecek olursak;

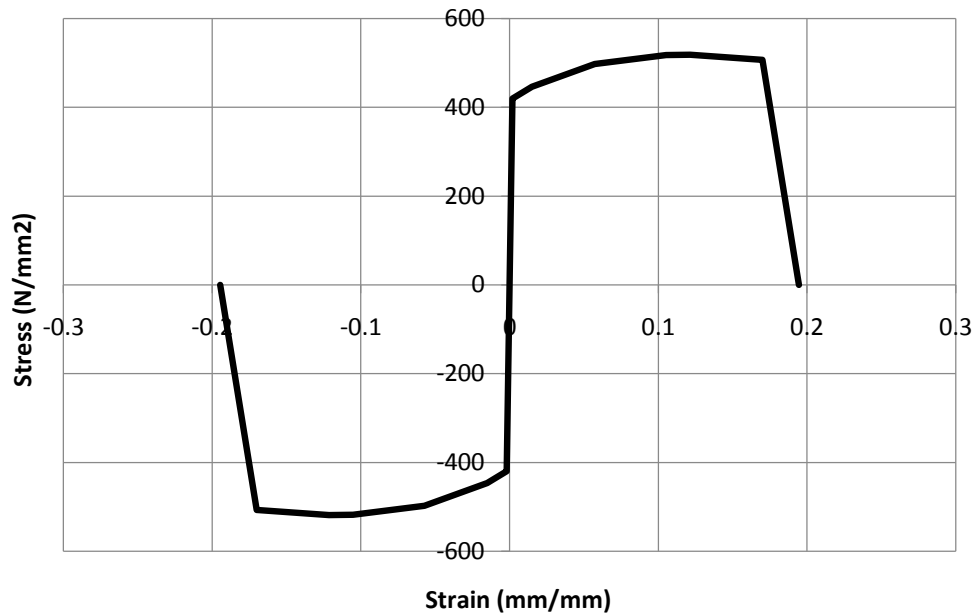
Height (CL-CL of outer conf.): Bu değer yükseklik yönündeki sargı donatılarının, merkezleri arasındaki mesafedir. Ties in height; yükseklik boyunca kaç adet etriye kolu olduğunu göstermektedir. Eğer bu yönde çirozlarda mevcut ise onlarda dahil edilmelidir.

Width (CL-CL of outer conf.): Bu değer genişlik yönündeki sargı donatılarının, merkezleri arasındaki mesafeyi ifade eder. Ties in width; genişlik boyunca kaç adet etriye kolu olduğunu göstermektedir. Eğer bu yönde çirozlarda mevcut ise onlarda dahil edilmelidir. Minare kestileri oluşturulurken çirozlar dikkate alınmıştır.

Longit. Spacing: Etriye aralığını ifade etmektedir. Eğer kesitte sıklaştırma bölgeleri mevcutsa bu değer ona göre ayarlanmalıdır. Minare kesitleri oluşturulurken sıklaştırma bölgeleri dikkate alınmıştır.

3.3 Çelik Modeli

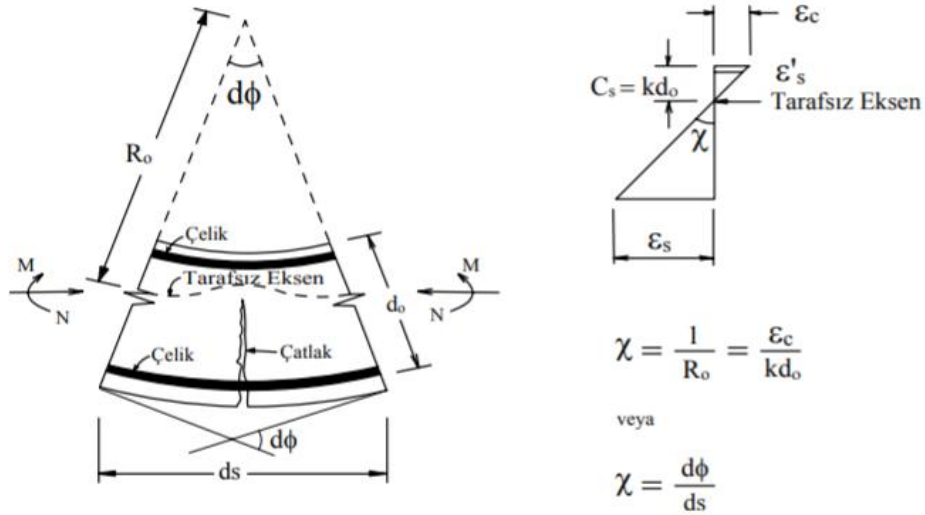
Donatı çeliğinin yapısal davranışı, elastik bölge, akma bölgesi ve doğrusal olmayan birim şekil değiştirme-pekleşme bölgesi olmak üzere üç bölge tanımlanarak modellenir. Betonarme minareler modellerinde kullanılan çeliğin, basınç ve çekme mukavemeti dikkate alınmıştır. Boy ve etriye donatılarında aynı çelik malzemesi kullanılmıştır. Bu çalışmada SAP2000 programı içerisindeki hazır çelik modeli olan, S420 donatı çeliği kullanılmıştır. Şekil 3.4'te minare modellerinde kullanılan S420 donatı çeliğinin davranış modeli görülmektedir.



Şekil 3.4 S420 Donatı çeliği davranış modeli

3.4 Moment Eğrilik İlişkisi

Yapısal davranışı anlayabilmek için kullanılan betonun, davranışı ve özellikleri bilinmelidir. Yapısal elemanların davranışlarını belirlemek için kesit kapasiteleri kullanılır. Betonarme kesitin davranışının değerlendirmek için kullanılan en iyi yöntemlerden biri moment-eğrilik ilişkisidir. Kesitlerin rijitlik ve süneklik gibi özellikleri moment-eğrilik ilişkisi ile tanımlanmalıdır. Enine kesit deformasyonunu ifade eden eğrilik (C), eğilmeye maruz kalan kesitin birim dönüş açısı olarak tanımlanmaktadır. (Şekil 3.5).



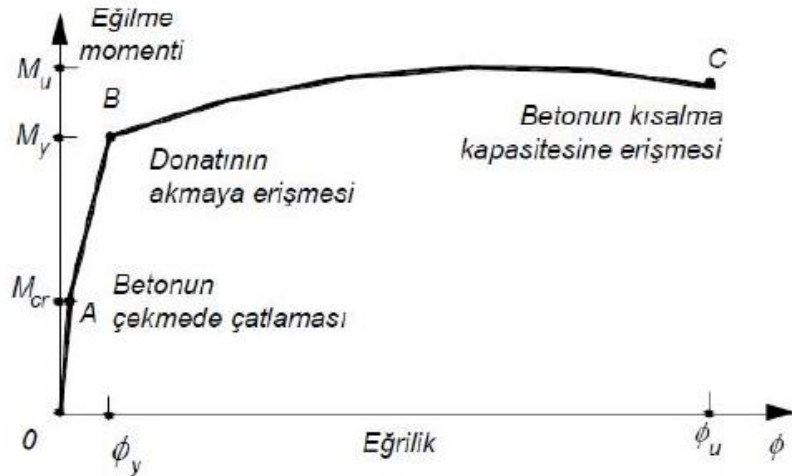
Şekil 3.5 Eğrilik hesabı

$$eğrilik = \phi = \frac{d\phi}{ds} = \frac{1}{R_0} \quad (3.1)$$

Eğilme momentine maruz kalan kesitlerde, eğrilik ve moment arasındaki ilişki:

$$\phi = \frac{M}{EI} \quad (3.2)$$

burada EI : Eğilme rijitliğini ifade eder. Analitik yöntemler, betonarme elemanların deneysel çalışmaların zorluklarından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Eğilmeye maruz kalan dikdörtgen bir kesitin moment-eğrilik ilişkisi şekil 3.6'da gösterildiği gibidir. [Celep, 2007].



Şekil 3.6 Moment-eğrilik grafiği

Moment-eğrilik grafiğindeki kesitin, moment altındaki davranışı 3 farklı kısımda incelenmiştir. Birinci kısımdaki, ϕ_{cr} : Kesitte çatlakların oluşmaya başladığı anı, M_{cr} : Çatlakın meydana gelmesine sebep olan momentti ifade eder. Çatlakların oluşmasına

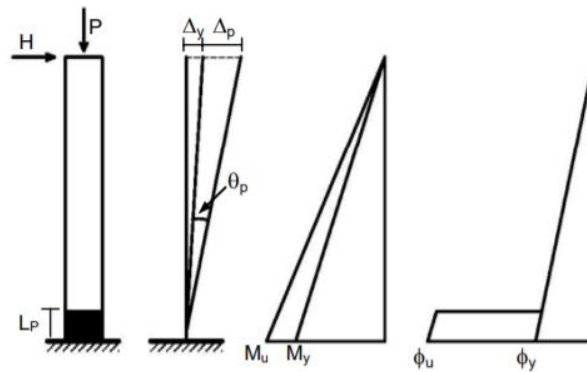
sebebe olan moment hesaplanırken betonun elastik davrandığı kabul edilmektedir. İkinci kısım, betonda plastik şekil değişmelerinin olduğu (ϕ_y) ve donatının akmaya başladığı bölümdür. M_y : Beton akma momenti. Üçüncü kısımda ise artan eğilme momenti ile birlikte donatı uzamaya başlayarak kopacaktır. M_u : Kesitin taşıma gücü. Grafikte belirtilen noktalar arasındaki ilişki doğrusal alınarak idalleştirilmiştir. Sünek yapı sistemleri, plastik mafsallı hipotezi kullanılarak hesaplamalar kolaylık sağlanabilir.

3.5 Plastik Mafsallı Teoremi

Plastik mafsallı tanım olarak, şekil değiştirmelerin yoğun olduğu ve maksimum momentin olduğu bölgeler olarak ifade edilmektedir. Plastik mafsaldaki dönme çok küçük moment altında oluşur. Plastik mafsallı bölgesinde eğriliğin sabit olduğu kabul edilir. Bu şekilde plastik mafsalların dönmesi kolaylıkla görülebilir ve kolaylıkla hesaplamaları yapılabilir. (İnel ve diğ., 2008).

Toplam şekil değiştirmenin, doğrusal şekil değiştirmelere oranı süneklik olarak tanımlanıp, göçme esnasındaki sünekliğin büyük olduğu bilinmektedir. Doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekil değiştirmeleri plastik mafsallı bölgesinde toplanır, bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayılabilir. Bu hipoteze plastik mafsallı hipotezi adı verilmektedir. (Özer E. 2008)

Türk deprem yönetmeliğinde yer alan (TBDY-2018) yığılı plastik davranış teoremine göre; elemanlarda ait doğrusal olmayan davranış parametreleri, bu davranışın elemanın uç bölgelerinde yoğunlaşacağını varsaymaktadır. (Şekil 3.7)



Şekil 3.7 Konsol kolonu için plastik davranış modeli (Özmen ve ark. 2007)

4.DEFORMASYON BİLEŞENLERİ

4.1 Monotonik Davranışın Deformasyon Bileşenleri

Betonarme minareye deprem ve rüzgar gibi dış yükler etki ettiği zaman minare tabanında kesme deformasyonu, donatı sıyrılma deformasyonu ve eğilme deformasyonları meydana gelir. Oluşan bu üç deformasyonun toplamı, toplam yanal deformasyonu verir. Oluşturulan her bir betonarme minareye ayrı ayrı bu üç deformasyon bileşeni tahmin edilir ve ardından her bir minareye bu üç deformasyon birlikte eklenerek toplam yanal deformasyonlar elde edilir. Formülasyonlar sonucunda eğilme ve kesme mukavemetinin karşılaştırılmasına göre beş katagoriye sınıflandırılarak plastik mafsal eğrileri meydana getirilir.

Yukarıda yerdeğiştirme deformasyon bileşenlerinin analitik yönteminden kısaca bahsedilmiştir. İlk olarak, bu deformasyon bileşenlerini detaylı bir şekilde ayrı ayrı inceledikten sonra toplam yanal deformasyonun modellerinin ayrıntıları gösterilmiştir.

4.1.1 Eğilme deformasyonu

Betonarme bir kesitin eğilme deformasyon bileşeni moment-eğrilik ilişkisi ile hesaplanabilir. Moment-eğrilik analizi, beton ve yapı çeliğinin doğrusal olmayan davranışını doğru bir şekilde yansıtmaktadır. Betonarme minare kesitleri modellenirken, sargı donatısıyla sargılanmış çekirdek betonu ve sargı donatısının dışında kalan kabuk betonu, SAP2000 içerisindeki Mander beton modelleri kullanılarak ayrı ayrı modellenmiştir. Ayrıca donatı çeliğide doğrusal olmayan davranışı tam olarak sergilemesi için doğrusal elastik davranış, akma noktası ve şekil değiştirme-pekleşme bölgeleri göz önüne alınarak modellenmiştir.

Betonarme bir kesite dış kuvvetler etki ettiği zaman, donatı çeliğinin akma dayanımını aşan kesitlerde plastik deformasyon bölgeleri meydana gelecektir. Plastik deformasyonlara sahip bu bölgeler plastik mafsal olarak bilinir. Plastik mafsal yöntemindeki, eğilme dönmeleri elastik ve elastik olmayan eğriler ayrı ayrı modellenerek sonrasında bir araya getirilmektedir. Elastik aralıkta moment ve eğrilik arasında doğrusal bir ilişki olduğu varsayılır ve elastik olmayan eğrilik, plastik mafsal uzunluğu L_p boyunca toplanır. L_p değeri içi boş silindir kolonlar ve minareler için aşağıdaki formülle hesaplanır (Hoshikuma, 2000).

$$L_p = 0.08L + 0.022f_y d_{bl} \quad (4.1)$$

burada L_p : Plastik mafsal uzunluğu, L : Kesit yüksekliğinin yarısı, f_y : Boyuna donatının akma gerilmesi ve d_{bl} : Boyuna donatının çapı. Formüldeki birimler mm cinsindedir. Minaredeki farklı yüksekliklere sahip bütün kesitler ayrı ayrı bu formülle hesaplanmıştır.

4.1.2 Donatı sıyrılması deformasyonu

Beton içerisindeki donatı çeliğine bir çekme kuvvet etki ettiği zaman, donatıdaki şekil değiştirme, gömülü tarafta kalan donatının uzunluğu boyunca birikir. Aynı durum betonarme minareye eğilme momenti etkidiğinde de gözlemlenir. Minareler uzun ve ince yapılar olduğu için, en ufak bir deprem veya rüzgar yüküne maruz kaldığı zaman moment kolu uzun olduğundan dolayı tabanda çok büyük eğilme momentleri oluşturacaktır. Minare tabanındaki kesitte çekmeye kalan taraftaki beton, çekme kuvvetine karşı zayıftır. Bu bölgede yüklerin etki ettiği anda çatlama görür ve temel ile olan bağlantısı zayıflar. Sonuç olarak, çekme bölgesinde kalan boyuna donatılar, minare gövdesinden temele çekme yüklerini taşır. Çekme bölgesinde kalan donatılarda, donatı-beton arasındaki sürtünme gerilmeleri, gömülü uzunluk boyunca çekme gerilme şekil değişimine sebep olur. Bu gerilmelerin dağıldığı ve sonunda aderans gerilmeleriyle betona aktarıldığında, çubuğun uzamasına neden olur. Bu uzama, genellikle donatı sıyrılması olarak bilinir ve rijit-cisim dönmesine yol açar. Bu, toplam yanal deformasyonların % 25 ila 40'ı kadar yanal yerdeğiştirmelere neden olur (Sezen, 2002).

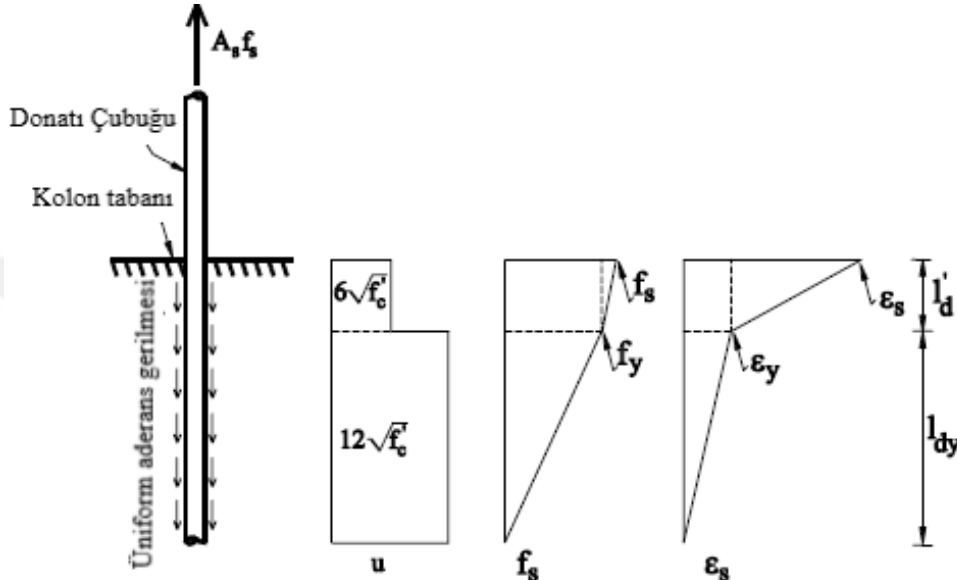
Moment-eğrilik ilişkisi ile hesaplaması yapılan eğilme deformasyonları, donatı sıyrılmasında dolayı meydana gelen yanal deformasyonları hesaba katmaz. Donatı sıyrılması deformasyonu, toplam yanal deformasyonun diğer bir bileşenidir. Bu sebepten dolayı, donatı sıyrılması deformasyonlarının hesabı yapılarak, toplam yanal deformasyon hesabına dahil edilmelidir.

Donatı çubuklarının sıyrılma deformasyonunu hesaplanabilmesi için moment-dönme ilişkisine bağlı analitik bir model geliştirilmiştir. Kolonun taban kısmındaki sıyrılmadan dolayı meydana gelen yanal deformasyonları, Sezen ve Moehle (2003) tarafından önerilen, Sezen ve Setzler (2008) tarafından geliştirilen bir analitik modelleme yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada ise geliştirilen bu formüller betonarme bir minarenin sıyrılma deformasyonlarının hesaplaması için kullanılmıştır. Elastik bölgedeki aderans gerilmelerinin hesaplanması için, Sezen (2002) tarafından 12 adet kolonu test etmesi sonucunda yapılan bir araştırmaya göre $u_b = 12\sqrt{f'_c}$ (psi) olarak alınmıştır. Elastik olmayan bölge için ise, aderans gerilmelerinin değeri, Lehman ve Moehle (2000) tarafından yapılan bir araştırmaya göre, $u'_b = 6\sqrt{f'_c}$ (psi) olarak alınmıştır.

Donatıya yük etki eden ucundaki sıyrılma, iki-kademeli şekil değiştirme dağılımının, geliştirme uzunluğu boyunca integrali alınarak :

$$sıyrılma = \int_0^{l_d+l'_d} \varepsilon(x) dx \quad (4.2)$$

burada l_d : donatı çubuğunun elastik bölgedeki gelişme uzunluğu ve l'_d : elastik olmayan bölgedeki gelişme uzunluğudur.



Şekil 4.1 Önerilen aderans-sıyrılma modeli için şekil değiştirme ve kuvvet dağılımları (Sezen H., 2002)

Donatı çubuğunun sıyrılması veya uzaması ile ilgili denklem 4.1'in integrali alınarak:

$$sıyrılma = \frac{\varepsilon_s l_d}{2} \varepsilon_s \leq \varepsilon_y$$

$$sıyrılma = \frac{\varepsilon_y l_d}{2} + \frac{(\varepsilon_y + \varepsilon_s) l'_d}{2} \varepsilon_s > \varepsilon_y \quad (4.3)$$

buradan ε_s : çubuğun yüklü tarafındaki şekil değiştirme, ε_y : çelik akma şekil değiştirmesidir. Elastik ve elastik olmayan bölgeler için gelişme uzunlukları aşağıdaki denklemlerle hesaplamaları yapılabilir:

$$l_d = \frac{f_s d_b}{4u_b} \quad (4.4)$$

$$l'_d = \frac{(f_s - f_y) d_b}{4u_b} \quad (4.5)$$

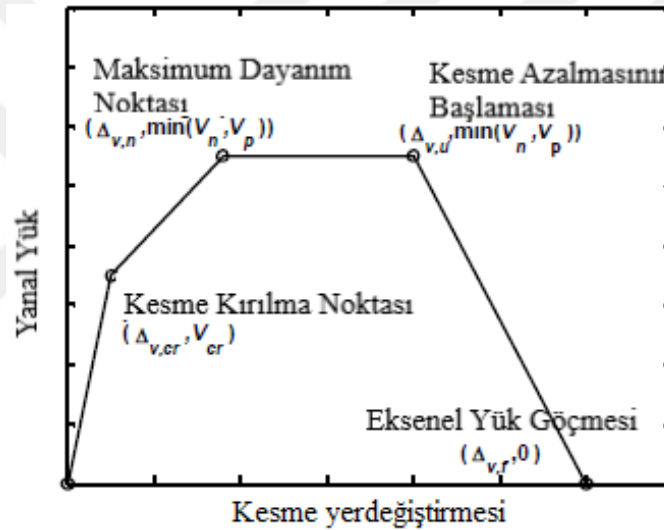
burada f_s : donatının yüklü ucunda gerilme, f_y : çelik akma gerilmesi, d_b : boyuna donatı çapıdır. Denklemler 5.5 ve 5.6, elastik ve esnek olmayan gelişme uzunlukları için Denklem 5.4'ye ikame edilir ve iki kademeli aderans gerilmelerini kullanarak, sıyrılma:

bazı durumlarda minarının ve yapının göçmesine sebep olabileceği göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Hesaplalarda gerçeğe yakın hesaplamalar yapılabilmesi için kesme deformasyonunda hesaplamalara dahil edilmesi gerekmektedir.

Yapılan bu araştırmada, kesme modeli olarak Patwardhan (2005) tarafından geliştirilen model kullanılmıştır. Patwardhan, Response-2000 kullanılarak parametrik bir çalışma ile 4 nokta tanımlamıştır. Şekil 5.3'te gösterilmiştir (Patwardhan, 2005).

Model 4 nokta ile tanımlanabilir:

- kesme kırılma noktası (A Noktası)
- maksimum kesme dayanım noktası (B Noktası)
- kesme azalmasının başlangıç noktası (Nokta C)
- aksenal yük taşıma kaybı kapasitesi (Nokta D).



Şekil 4.3 Patwardhan (2005) tarafından önerilen yanal yük-kesme modeli.

a. Kesme Kırılma Noktası

Patwardhan'ın önerdiği yanal yük-kesme modelindeki A Noktası çapraz kesme çatlaklarının başladığı noktayı gösterir. Fakat bu noktayı deney esnasında kesme çatlağı olarak görmek çok zordur, bunun sebebi ise kesitte bu noktada aynı zamanda eğilme çatlakları başlayacaktır ve kesme çatlakları bu eğilme çatlaklarının devamı şeklinde oluşabileceğinden dolayı tespit etmek çok zordur. Patwardhan kesme kırılma denklemini regrasyon analizleri sonucu aşağıdaki şekilde önermiştir.

$$V_{cr} = \left(\frac{P}{50000} + 0.0062 \right) K_{kesme} \quad (4.10)$$

$$\Delta_{v,cr} = \left(\frac{P}{50000} + 0.0062 \right) \quad (4.11)$$

Kesitin davranışı, çatlaklıklar oluşmadan önce, esneklik prensiplerini kullanarak tahmin edilebilir. Çatlamamış kesitin kesme rijitliği:

$$K_{kesme} = \frac{GA}{L} \quad (4.12)$$

$$G = \frac{E_c}{2(1 + \mu)} \quad (4.13)$$

$$E_c = 57000\sqrt{f'_c} \quad (4.14)$$

burada E_c : Betonun elastisite modülü, μ : poisson oranıdır ve 0.25 olarak alınmıştır, μ normal betonlar için 0.15-0.30 arasında bir değer alınabilir. G: Beton için tanımlanmış kesme modülü. P: Minare ağırlığı, A: Minare kesit alanı alan, L: Minare yüksekliğidir. Hesaplamalarda kullanılan formüllerin birimi inch ve psi cinsindedir.

b. Maksimum Kesme Dayanım Noktası ve Karşılık Gelen Kesme Şekil Değişirme

Şekil 4.3'deki B ve C noktaları maksimum kesme dayanımını noktalarıdır, bu noktaların değerlerini hesaplayabilmek için mevcut birkaç analit çözüm vardır. Yapılan bu çalışmada Sezen ve Moehle (2004) tarafından önerilen analitik çözüm modeli kullanılmıştır. Kesme mukavemeti direncine betonun ve etriye donatısının katkısı vardır. V_c : Beton katkısını, V_s : Etriye donatı katkısını göstermektedir. Kesme mukavemeti bileşenlerinin toplamı kesme dayanımıdır ve V_n ile gösterilmiştir. Betonun kesme direncine katkısı V_c , aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır;

$$V_c = \left(\frac{6\sqrt{f'_c}}{a/d} \sqrt{1 + \frac{P}{6\sqrt{f'_c}A_g}} \right) 0.8A_g \quad (4.15)$$

burada P: Basınç için pozitif olan minare ağırlımı, A_g : Minare kesit alanı, f'_c : Beton basınç dayanımı, d: Etkili derinliği ve a: kesme açıklığıdır. Sargı donatısının kesme mukavemetine katkısı V_s , aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır:

$$V_s = \left(\frac{A_{sp}f_{yw}d_c}{s} \right) \quad (4.16)$$

burada A_{sp} : yükün etki ettiği yönündeki enine donatının alanı, s: enine donatılar arasındaki farktır, f_{yw} : enine donatının akma gerilmesidir. Burdan toplam kesme gerilmesi:

$$V_n = k(V_c + V_s) \quad (4.17)$$

burada k : yerdeğiştirme sünekliği (maksimum yerdeğiştirmenin akma yerdeğiştirmesine oranı) ile ilgili bir faktördür. Yerdeğiştirme sünekliği, 2'den daha az ise $k=1$, 0.6 'dan daha büyük ise $k = 0.7$ ve orta deplasman sünekliğinde 1 ve 0.7 arasındadır.

Patwardhan, kesme şekil değiştirmesi için iki formülasyon önermiştir. Bunlardan ilki eğer kesit kesme-eğilme göçmesine maruz kalırsa denklem 4.18 kullanılarak hesaplanır, ikinci öneri ise kesit kesme eğilme göçmesine maruz kalırsa denklem 4.19'daki formüller kullanılarak hesaplanır.

$$\gamma_n = \frac{1}{33000} \frac{f_{yl} \sqrt{\rho_l}}{(a/d) \sqrt{\frac{P}{A_g f_c}}} - 0.0006 \quad (4.18)$$

burada f_{yl} : boyuna donatı akma dayanımı (ksi), ρ_l : boyuna donatı donatı oranıdır, bu oran yüzde cinsinden ifade edilir,

$$\gamma_n = \frac{1}{25000} \frac{(a/d) f_{yv} \sqrt{\rho_v}}{\sqrt{\frac{P}{A_g f_c}}} - 0.0011 \quad (4.19)$$

burada f_{yv} : enine donatı akma dayanımı (ksi), ρ_v : enine donatı oranıdır ve ρ_v yüzde cinsinden ifade edilir. Kayma yer değiştirmesini ($\Delta_{v,n}$) hesaplamak için, minare uzunluğu (L) ile ortalama kesme şekil değiştirmesinin (γ_n) çarpılması ile hesaplanır. Denklem 4.20.

$$\Delta_{v,n} = \gamma_n L \quad (4.20)$$

c. Kesme Dayanımı Azalmasının Başlaması

Kesme davranışı modelinde Patwardhan, Vecchio ve Collins (1986) tarafından geliştirilen ve Response-2000 programı (Bentz, 2000) aracılığıyla geliştirilen Modifiye Sıkıştırma Alanı Teorisi (MCFT) kullanılmaktadır. Bu yöntem kesme davranışı tahmininde çok başarılıdır. Şekil 4.3'te 'C' ile gösterilen nokta kesme dayanımının azalmaya başladığı noktayı ifade eder.

Bu çalışmada, dayanım azalmasının başlanıcını gösterebilecek maksimum dayanım seviyesinde bir başka noktaya getirilmeye karar verilmiştir. Bu nokta, Şekil 4.3'te 'C' ile temsil edilir.

Kesme şekildeğiştirmesi (γ_u) aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$\gamma_u = \left(4 - 12 \frac{v_n}{f'_c} \right) \gamma_n \quad (4.21)$$

burada v_n : Tepe mukavemetindeki kesme gerilmesi (V_{peak}/bd), f'_c : Beton basınç dayanımı, kayma yer değiştirmesi ($\Delta_{v,u}$), ortalama kesme şekil değiştirmesi (γ_u), minare uzunluğu (L) ile çarparak elde edilebilir.

$$\Delta_{v,u} = \gamma_u L \quad (4.22)$$

d. Eksenel yük göçmesindeki yerdeğiştirme

Eksenel yük göçemi, Patwardhan(2005) tarafından önerilen yanal yük-kesme modeli grafiğinde "D" noktası olarak gösterilen noktadır. Eksenel yük göçme noktası ile kesme dayanımı azalması başlangıç noktası arasındaki çizgi artan kesme deformasyonundan dolayı doğrusal azalarak sıfır noktasında ulaşır. Eksenel yük göçmesi durumunda yapıya etkiyen yanal yüklerin sıfır olduğu kabul edilir. Patwardhan (2005) ve Sezen (2002) tarafından kullanılan formüller ile eksenel yük göçmesindeki kesme deplasmanların hesabı şu formülasyon ile hesaplanır;

$$\Delta_{v,f} = \Delta_{ALF} - \Delta_{f,f} - \Delta_{s,f} \geq \Delta_{v,u} \quad (4.23)$$

burada $\Delta_{f,f}$: Eksenel yük göçme noktasındaki eğilme , Δ_{ALF} : Eksenel yük göçmesindeki toplam yerdeğiştirme ve $\Delta_{s,f}$: Eksenel yük göçme noktasındaki sıyrıma deplasmanlarıdır. Moehle (2005) ve Elwood tarafında önerilen formül ile eksenel yük göçmesindeki toplam sapma şu formülasyon ile hesaplanır :

$$\Delta_{ALF} = \frac{4}{100} \left[\frac{1 + \tan^2 \theta}{\tan \theta + P \left(\frac{s}{A_{sp} f_{yw} d_c \tan \theta} \right)} \right] \quad (4.24)$$

burada θ açısı kesme kırılma açısıdır ve 65 derece olduğu varsayılır

4.1.4 Toplam deformasyon

Yanal deformasyon bileşenleri olan eğilme deformasyonu, sıyrıma deformasyonu ve kesme deformasyonları birbirleriyle ilişkilidir. Betonarme minare için ayrı ayrı yanal deformasyon bileşenlerinin hesabı yapıldıktan sonra toplam deformasyonu hesaplayabilmek için bu üç deformasyonu birleştirilerek hesaplama yapılmalıdır. Betonarme minarede tepe sonrası davranışında eğilme, kesme ve akma mukavemetlerinin karşılaştırılmasına dayanan beş kategori oluşturulur ve davranışına göre bu beş kategoriden birine sınıflandırılır.

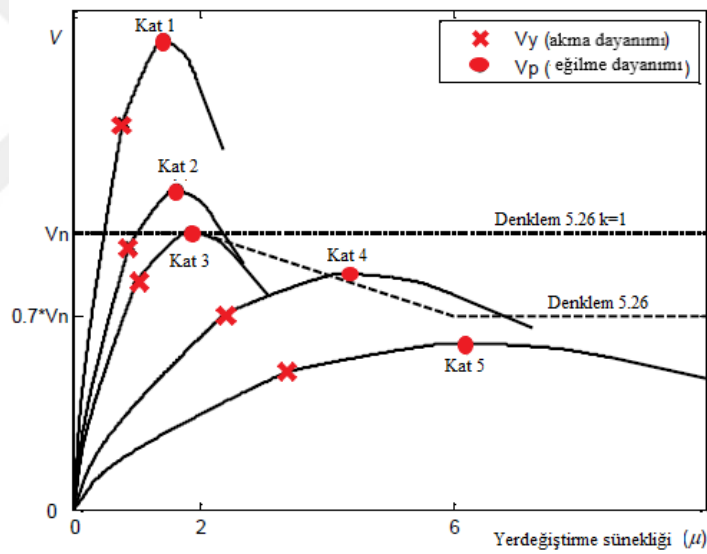
Akma mukavemeti (V_y), minarenin çekme bölgesinde kalan donatıların akmaya başlamasına karşılık gelen yanal yükü ifade eder ve bu bu değer akma momentini minarenin kesme açıklığına bölerek hesaplanır. Eğilme mukavemeti V_p , minare tepe

momentine karşılık gelen yanal yüküdür ve maksimum moment kapasitesini kesme açıklığına bölerek hesaplanır. Kesme dayanımı olan V_n , Sezen ve Moehle (2004) tarafından önerilen bir denklemden hesaplanır:

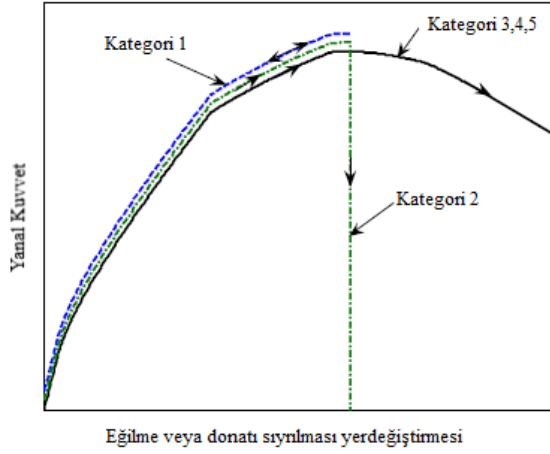
$$V_n = k(V_c + V_s) = \left(\frac{6\sqrt{f'_c}}{a/d} \sqrt{1 + \frac{P}{6\sqrt{f'_c}A_g}} \right) 0.8A_g + \left(\frac{A_{sp}f_{yw}d_c}{s} \right) \quad (4.25)$$

burada V_s : Donatının kesme dayanımına olan katkısını, V_c : Betonun kesme dayanımına olan katkısını ifade eder. P : Eksenel yükü yani minare ağırlığı, a/d : Minare kesitinin en boy oranı, A_g : Minare enine kesitinin brüt alanı ve k : Yer değiştirme sünekliliği ile ilgili bir faktördür.

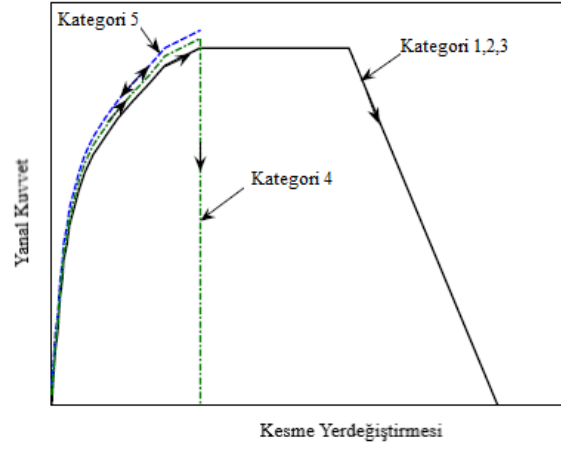
Setzler (2005) tarafından kesme dayanımını (V_n), eğilme mukavemetini (V_y) ve akma mukavemetlerini (V_p) karşılaştırarak oluşturulan kategorilere göre minareler sınıflandırılabilir. Şekil 4.4'te ve Şekil 4.5'te her bir kategoriye karşılık gelen yanal tepki gösterilmiştir



Şekil 4.4 Yanal yük-yerdeğiştirme ilişkisinin sınıflandırılması (Lodhi S.,2010)



Şekil 4.5 Her kategori için eğilme, donatı sıyrılması davranışı (Lodhi S.,2010)



Şekil 4.6 Her kategori için kesme davranış modeli (Lodhi S.,2010)

4.1.4.1 Kategori-1 ($V_n < V_y$)

Katagori-1 sınıfına göre betonarme kesitin kesme mukavemeti akma mukavemetinden azdır ve kesit eğilme davranışında elastik davranırken, kesmeden kaynaklı olarak göçer. Kesit kesme mukavemeti akma mukavemetinden daha azdır ve eğilme davranışında elastik kalırken, kesmeden kaynaklı olarak göçer. Maksimum tepe kuvvetine ulaşıldıktan sonra kesme davranışı tepkiye hakimdir. Tepe sonrası deformasyon, kesme deformasyon, tepe öncesi sıyrılma ve eğilme deformasyonlarının toplamıdır.

4.1.4.2 Kategori-2 ($V_y \leq V_n \leq 0.95V_p$)

Betonarme kesitinin kesme kuvveti, eğilme mukavemetinden daha azdır ve kesit kesmede zayıftır. Kesme deformasyonları tepe kesme kuvvetine ulaştıktan sonra artmaya devam ederken kesme deformasyon eğrileri ile eğilme deformasyon eğrileri maksimum mukavemet değerinde sabit kalır. Tepe mukavemeti, kesme modelinden hesaplanan kesme dayanımıdır. Tepe sonrası deformasyonu, tepe mukavemeti ve tepe sonrası kesme deformasyonundaki eğilme ve sıyrılma deformasyonlarının toplamıdır.

4.1.4.3 Kategori-3 ($0.95V_p \leq V_n \leq 1.05V_p$)

Bu katagori sınıfında ise betonarme kesitin eğilme dayanımı ile kesme dayanımı eşittir. Eğilme göçmesiyle kesme göçmesinin aynı zamanda gerçekleştiği varsayılır ve her durumunda tepe sonrası davranışa katkı sağlar. Tepe kuvvetin de eğilme mukavemeti ve kesme mukavemeti daha küçüktür. Tepe kuvveti elde edildikten sonra, tüm deformasyonlar artmaya devam eder. Tepkinin herhangi bir nokasında oluşan toplam deformasyon, bu noktadaki sıyrılma deformasyonu ile eğilme deformasyonunun toplamıdır.

4.1.4.4 Kategori-4 ($1.05V_p < V_n \leq 1.4V_p$)

Betonarme kesitinin kesme mukavemeti, eğilme mukavemetinden daha büyüktür. Bu sebepten dolayı kesit, eğilme esnasında göçebilir. Fakat büyük kesme deformasyonları tepe sonra davranışı etkilediği için yer değiştirmeler arttıkça kesme göçmeleri oluşabilir. Tepe mukavemeti, eğilme modelinden elde edilen eğilme dayanımıdır. Maksimum mukavemette. Pik noktasından sonrası deformasyon, tepe noktasındaki sıyrılma deformasyonu, eğilme deformasyonu ve kesme deformasyonun toplamıdır.

4.1.4.5 Kategori-5 ($V_n > 1.4V_p$)

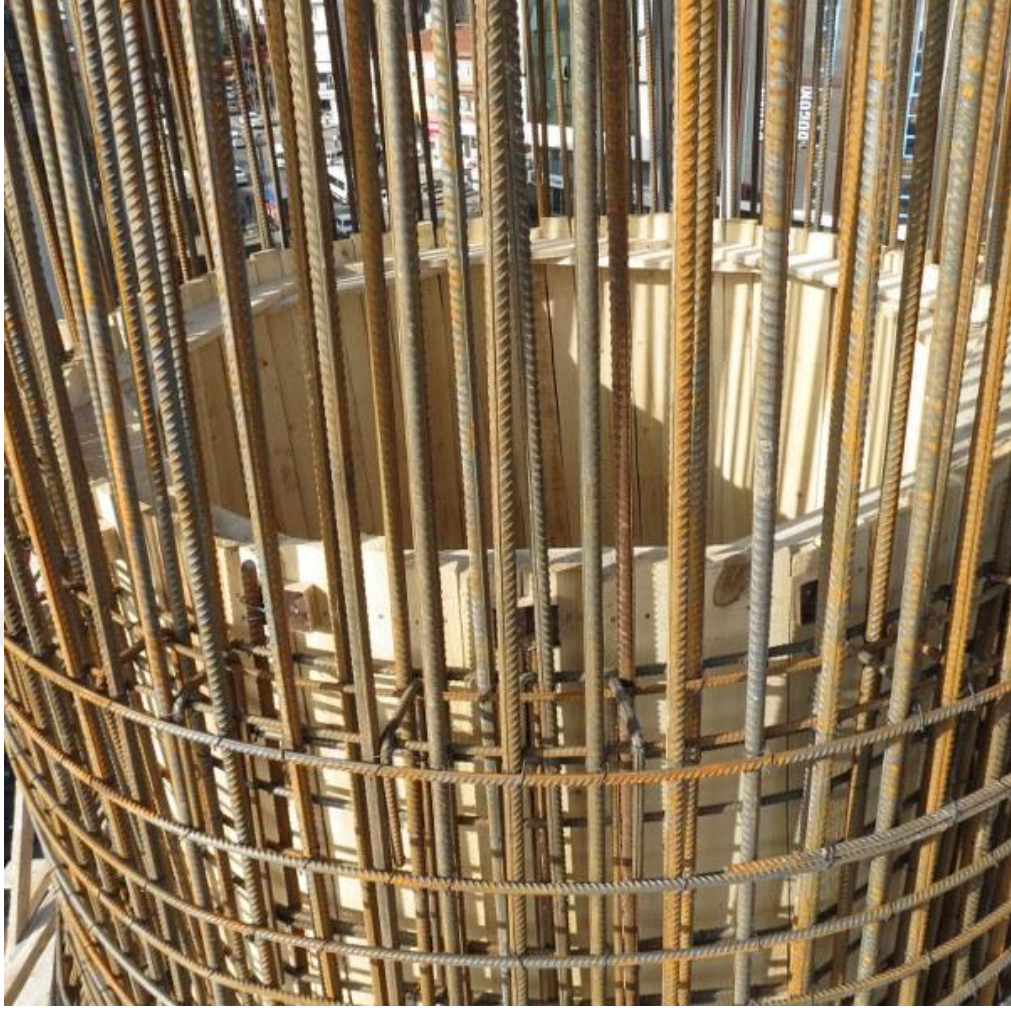
Betonarme kesitin kesme dayanımı eğilme dayanımında büyüktür. Kesit kesme davranışında elastik davranırken eğilmeden dolayı göçer. Tepe mukavemeti eğilme modelinde hesaplanan eğilme dayanımıdır. Maksimum mukavemetteki deformasyon, her bir eğrideki tepe noktasındaki deformasyonların toplamıdır. Tepe kuvvetine ulaşıldıktan sonra, sıyrılma deformasyonları ve eğilme deformasyonları artmaya devam eder ve herhangi bir yanal yük seviyesinde pik sonrası deformasyon, tepe noktasındaki sıyrılma deformasyonu ile kayma deformasyonun toplamıdır.

5. BİLGİSAYAR MODELLEMESİ

Bu bölümde, sonlu elemanlar yönetimi ile doğrusal olmayan modelleme kullanılarak betonarme minare modelleri oluşturulmuştur. Sonlu elemanlar yöntemindeki temel mantık, kompleks olan bir problemi daha küçük parçalara ayırarak çözüme kavuşturmadır. Sonlu elemanlar yöntemi ilk defa 1956 yılında uçak gövdelerinin gerilme analizi için geliştirilmiştir. Daha sonra bilgisayar teknolojisinin hızla gelişmesiyle birçok mühendislik ve bilim dalı alanında kullanılmaya başlanılmıştır. Sonlu elemanlar yönteminin kullanılmasının başlıca avantajları, kısa zamanda deney yapmaya gerek kalmadan etkili ve ucuz çözümler yapılabilmesi, diğer bir avantajı ise deneysel olarak tespit edilmesi zor birçok konuyu incelemesine olanak sağlamasıdır.

Doğrusal olmayan modelleme yönteminde, malzemenin yumuşak davranışı, dayanım azalması ve çatlak oluşumu gibi nonlinear özelliklerini dikkate alarak malzemenin elastik bölge dışındaki davranışı ile ilgilenir. Malzeme elastik bölge dışında sertleşme veya yumuşama davranışı sergileyebilir (Lourenço, 2002).

Günümüzde yapılan betonarme minareler incelendiğinde, gövde içerisinde çift sıra boy donatısına sahip minarelerle karşılaşmaktadır. Şekil 5.1'de uygulaması yapılan betonarme bir minareye ait donatı detayları görülmektedir. Betonarme minarelerin dinamik ve statik yükler altındaki davranışlarını incelemek amacıyla tek şerefeli 19 m yüksekliğinde, iki şerefeli 28 m yüksekliğinde ve üç şerefeli 37 m yüksekliğinde 3 adet betonarme minare, doğrusal olmayan modelleme yöntemi ile oluşturulmuştur. 19 m yüksekliğindeki tek şerefeli betonarme minare modeli; Minare-1, 28 m yüksekliğindeki iki şerefeli betonarme minare modeli; Minare-2 ve 37 m yüksekliğindeki üç şerefeli betonarme minare modeli; Minare-3 olarak adlandırılmıştır.

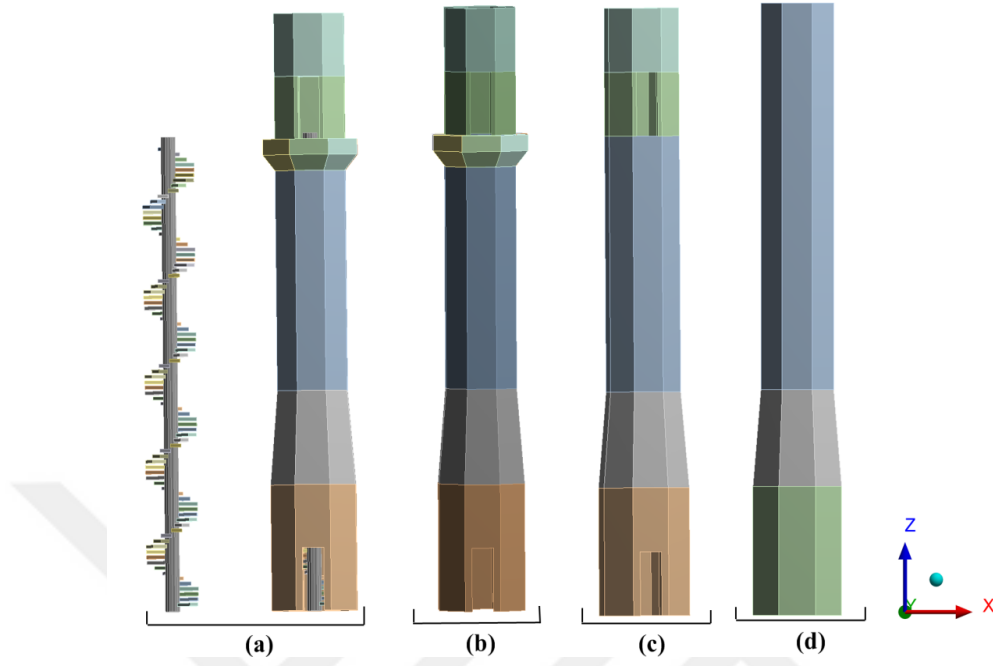


Şekil 5.1 Betonarme bir minarenin donatı dizilimi.

5.1 Merdiven Koşullarının Minare Doğal Titreşim Periyotuna Etkisinin İncelenmesi

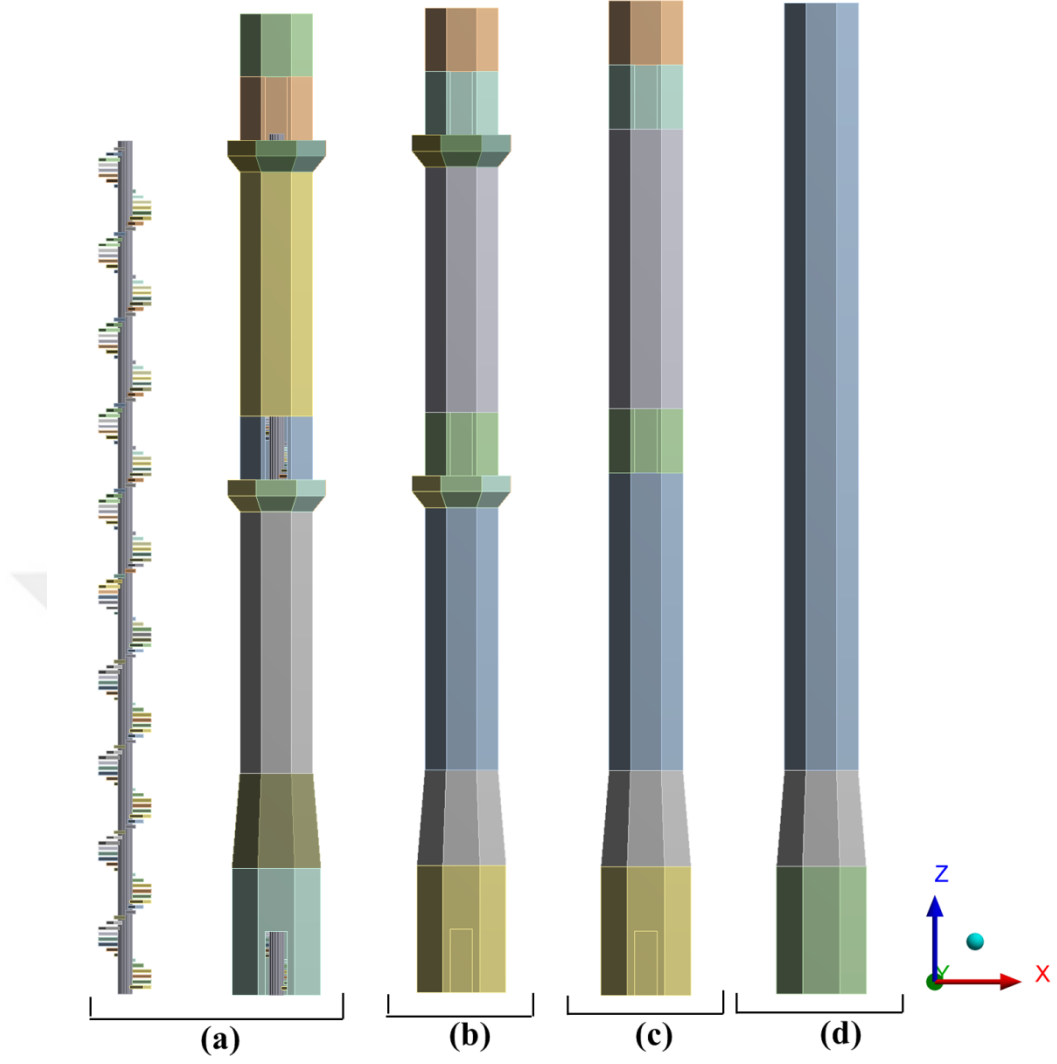
Geçmiş çalışmalar incelendiğinde merdivenlerin, betonarme minareler üzerinde etkisinin çok az olduğu ve bu sebepten dolayı analizlere merdivenlerin dahil edilmediği görülmüştür (Dehghanian, 2015). Bu tez çalışmasına başlamadan önce farklı merdiven, şerefe ve kapı boşlukları gibi koşullarının, minarenin yapısal davranışı üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla Minare-1, Minare-2 ve Minare-3 modellerine modal analiz uygulanmıştır. Herbir minare modeli için 4 farklı durum incelenmiştir. Bunlar sırasıyla; (a) Merdivenler, şerefeler ve kapı boşluklukları dikkate alınmıştır. (b) Şerefeler ve kapı boşlukları dikkate alınırken merdivenler dikkate alınmamıştır. (c) Sadece kapı boşlukları dikkate alınmıştır, merdivenler ve şerefeler dikkate alınmamıştır. (d) Merdivenler, şerefeler ve kapı boşluklarının tamamı dikkate alınmamıştır. Modeller ANSYS V19 paket programında, katı modelleme yöntemiyle oluşturularak modal analizleri yapılmıştır. Analizleri yapılan minare modelleri aşağıda görülmektedir. Şekil 5.2'de Minare-1

modeline ait ANSYS sonlu elemanlar modelleri görülmektedir. Analiz sonuçları sonuçlar kısmında detaylı olarak incelenmiştir.



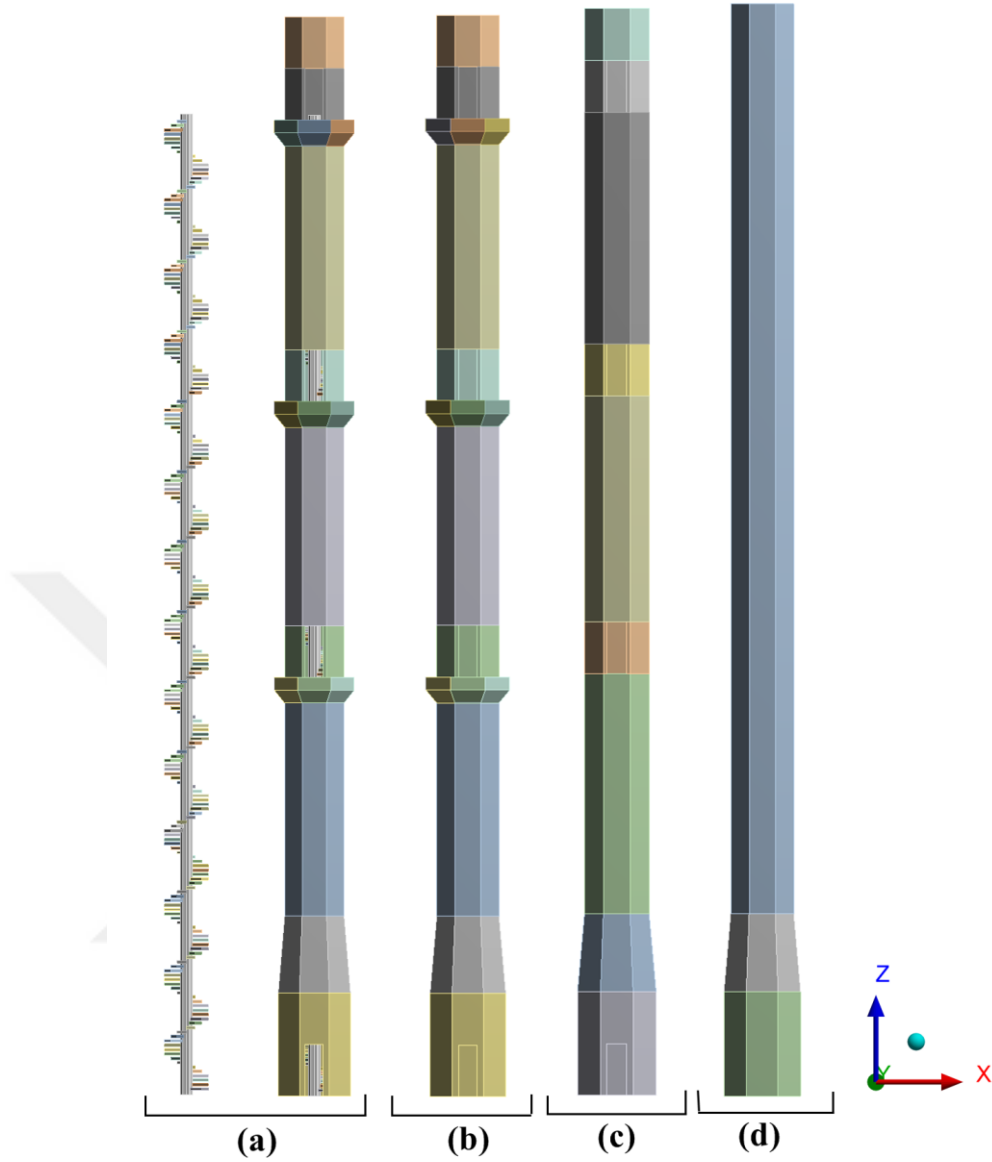
Şekil 5.2 Minare-1 modeline ait ANSYS sonlu elemanlar modeli (a) Merdivenli model (b) Merdivensiz model (c) Merdivensiz ve şerefesiz model (d) Merdivensiz, şerefesiz ve kapısız

Şekil 5.3'de Minare-2 modeline ait ANSYS sonlu elemanlar modelleri görülmektedir.



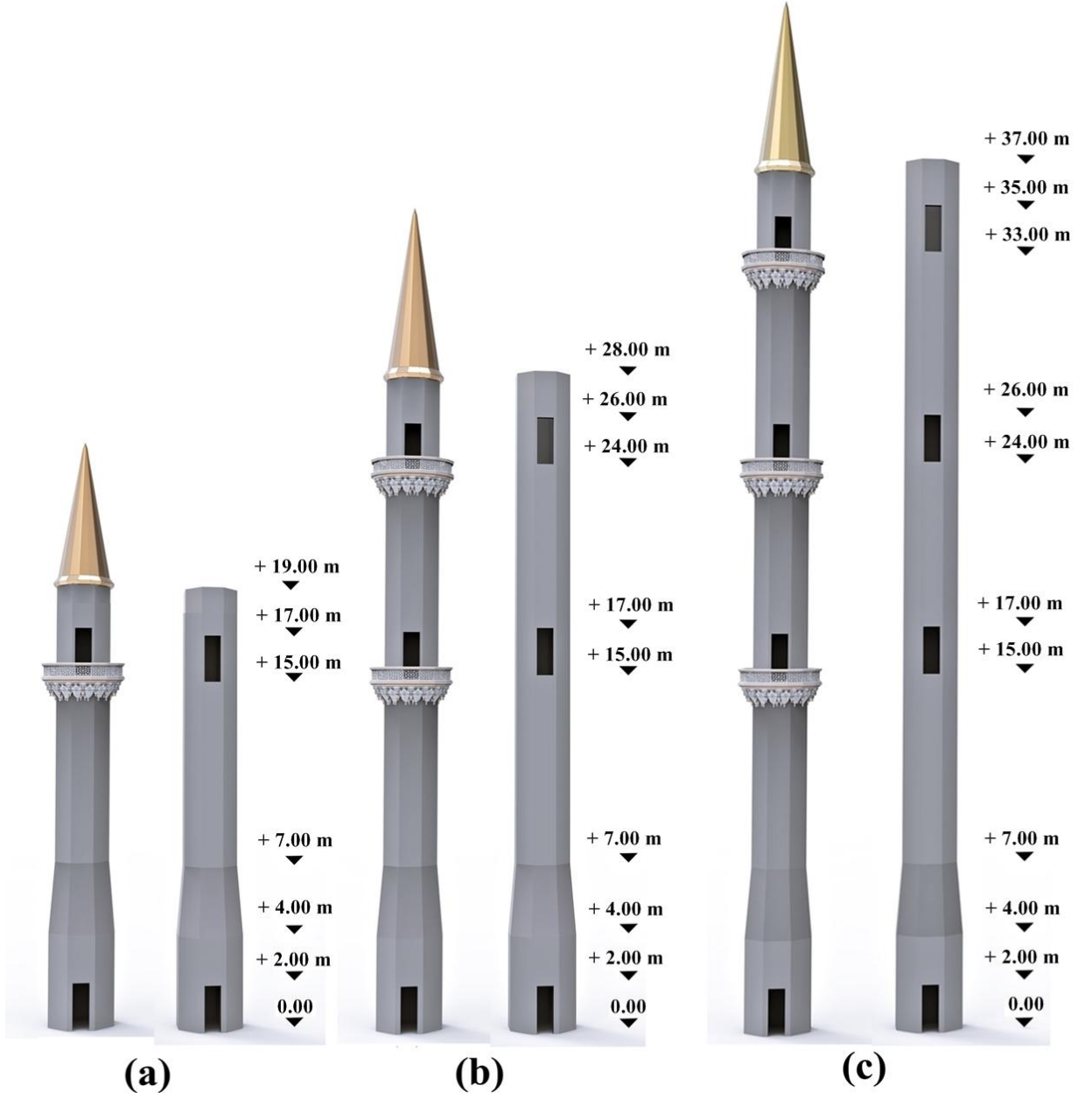
Şekil 5.3 Minare-2 modeline ait ANSYS sonlu elemanlar modeli (a) Merdivenli model (b) Merdivensiz model (c) Merdivensiz ve şerefesiz model (d) Merdivensiz, şerefesiz ve kapısız

Şekil 5.4'de Minare-3 modeline ait ANSYS sonlu elemanlar modelleri görülmektedir.



Şekil 5.4 Minare-3 modeline ait ANSYS sonlu elemanlar modeli (a) Merdivenli model (b) Merdivensiz model (c) Merdivensiz ve şerefesiz model (d) Merdivensiz, şerefesiz ve kapısız

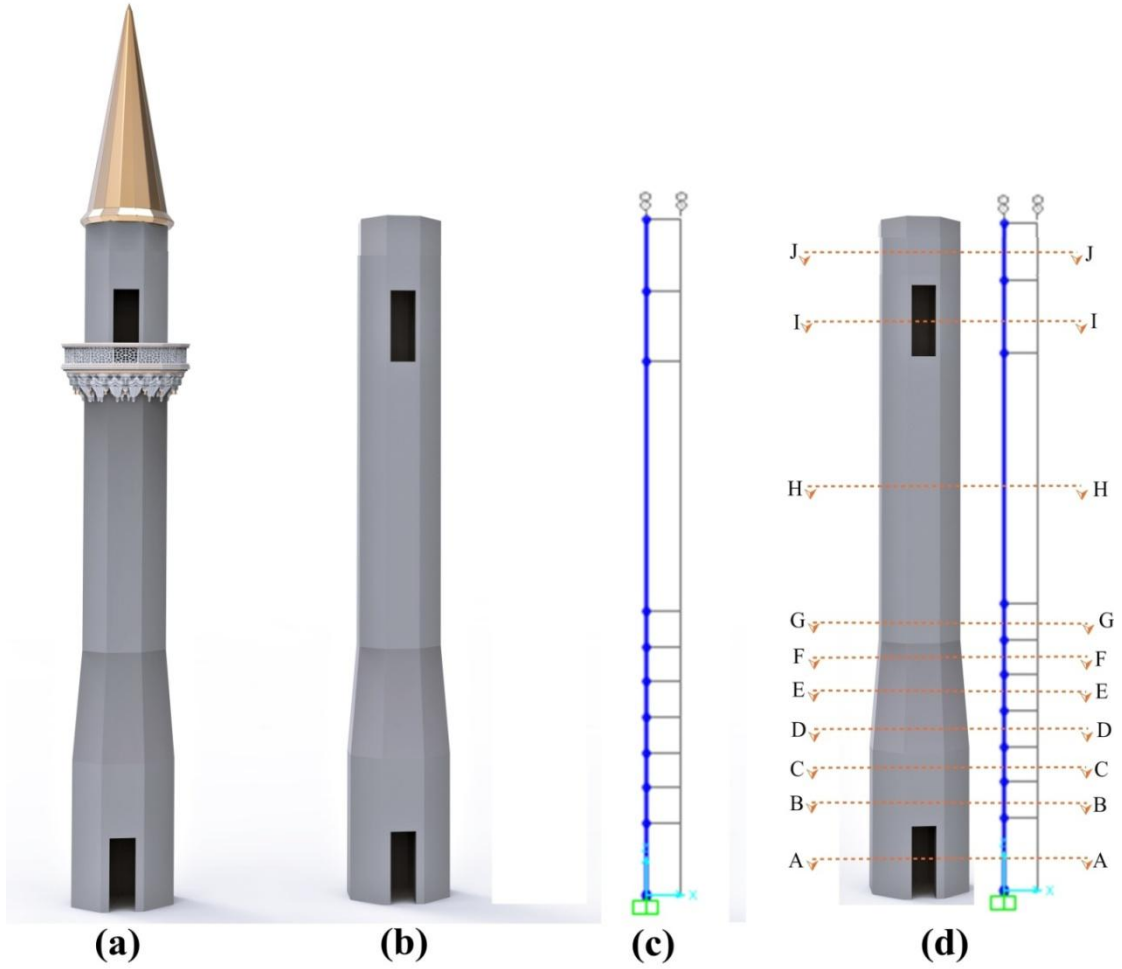
Minare tarzındaki ince uzun yapıların çok katlı yapılardan farklı olarak kütleleri ve rijitlikleri yükseklik boyunca yayılıdır. Bu tür sistemlerin dinamik davranışları, doğal titreşim frekanslarına ve modlarına bağlı olarak modal analiz yöntemi ile belirlenebilir (Chopra,1995). SAP2000 programında doğrusal olmayan modelleme yöntemi ile minareler oluşturulurken analiz sonuçları ve geçmiş yapılan çalışmalar dikkate alınarak, merdivenler ve şerefeler ihmal edilmiştir. Kule kısmı ise betonarme olarak imal edilmediği için ihmal edilmiştir. Şekil 5.5’de analizleri yapılacak minarelerin idealleştirilmiş hallerinin 3 boyutlu görselleri görülmektedir.



Şekil 5.5 (a) 19 m yüksekliğindeki Minare-1 (b) 28 m yüksekliğindeki Minare-2 (c) 37 m yüksekliğindeki Minare-3

5.2 Tek Şerefeli Minare Modeli

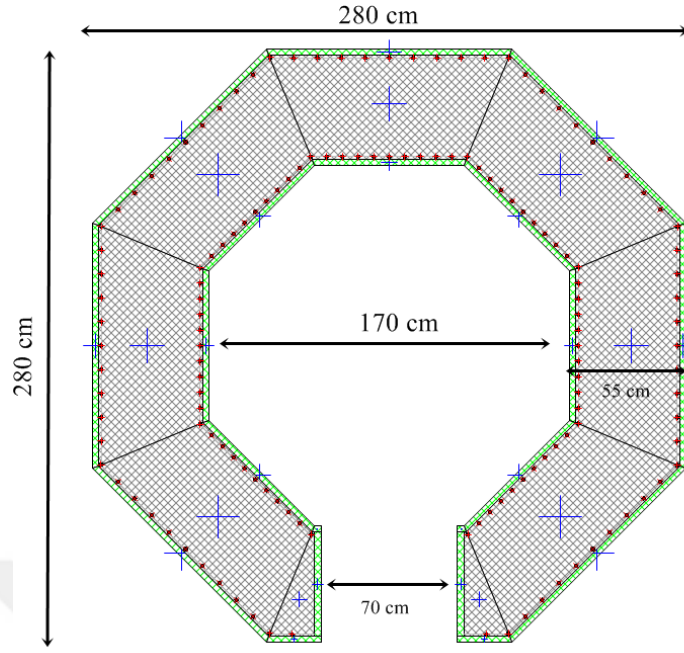
19 m yüksekliğindeki tek şerefeli betonarme minare, Minare-1 olarak adlandırılmıştır. Bu bölümde Minare-1'in detaylı boy ve en kesitleri incelenecektir. Şekil 5.6'da Minare-1'in boy kesitleri görülmektedir.



Şekil 5.6 Minare-1'in (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu hali (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Kesit tanımlanan bölgeler

Minare yüksekliği boyunca, değişen en kesitler, etriye sıklaştırmasının olduğu yerler ve kapı boşluklarının bulunduğu bölgeler dikkate alınarak her bir farklı kesit için ayrı ayrı kesit tasarımı yapılmıştır. Kapı yükseklikleri boyunca ve geçiş bölgelerinde etriye sıklaştırması yapılmıştır. Şekil 5.6'da en kesit detayları gösterilmiştir. Minare yüksekliği boyunca tüm kesitlerde pas payı 3 cm alınmıştır. Şekil 5.7'de görülen siyah taralı kısım Mander sargılı beton modelini, yeşil taralı kısım ise pas payını yani Mander sargısız beton modelini göstermektedir.

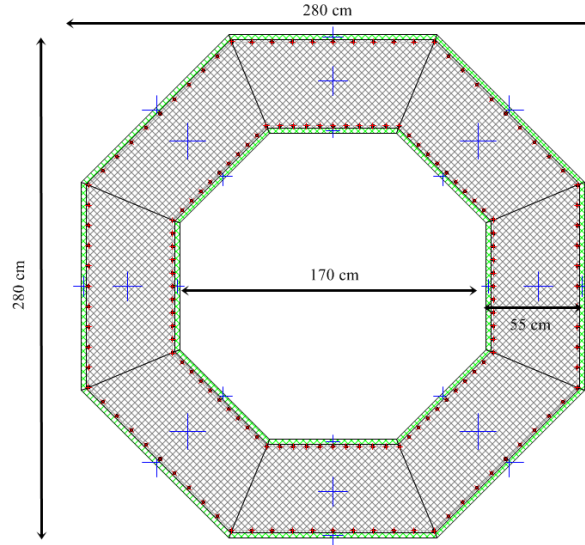
A-A kesiti, minarenin giriş kapısının bulunduğu kesittir. Dıştan dışa 280 cm ve beton kalınlığı 55 cm'dir. Kapı genişliği 70 cm ve yüksekliği 200 cm. Kapı yüksekliği boyunca etriye aralığı 10 cm, etriye çapı $\varnothing 8$ ve etriye sıklaştırması yapılmıştır. İç kısımda 71 $\varnothing 16$ ve dış kısımda 73 $\varnothing 16$ olmak üzere toplam 144 $\varnothing 16$ boy donatısı mevcuttur. Bu kesit 0.00 kotu ile +2.00 m kotu arasında tanımlanmıştır. Şekil 5.7'te kesit detayı gösterilmektedir.



Şekil 5.7 Minare-1'in A-A En kesit detayı

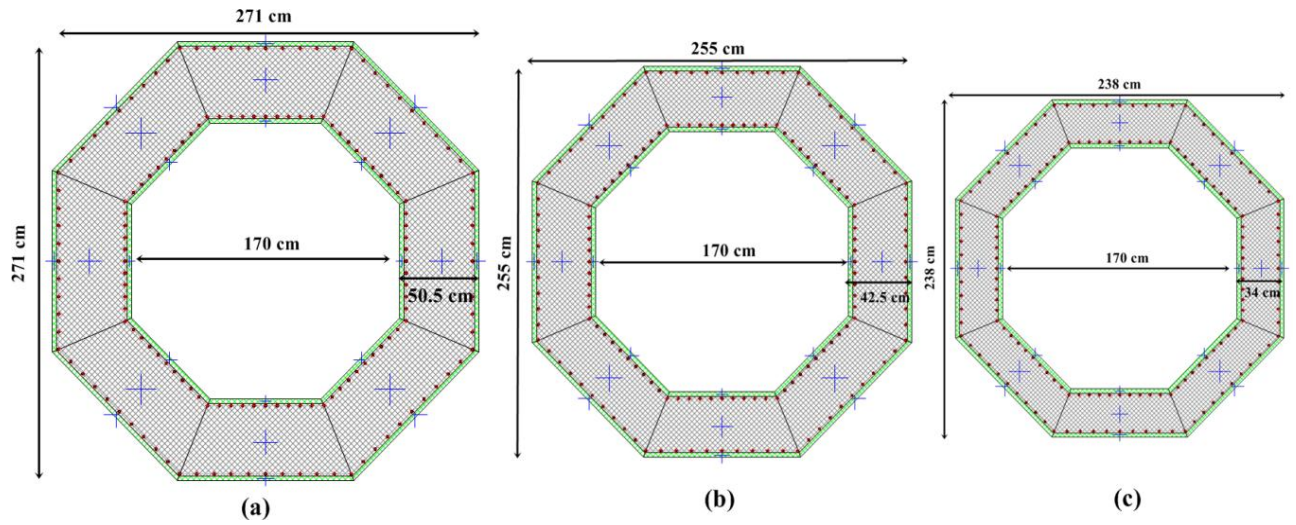
B-B en kesiti, minare giriş kapısının hemen üst kısmı, minare ayağının orta bölgesidir. Dıştan dışa 280 cm ve beton kalınlığı 55 cm'dir. Orta bölge olduğu için etriye çapı Ø8 ve etriye aralığı 20 cm'dir. Boy donatısı, içte 80Ø16 ve dışta 80Ø16 olmak üzere toplam 160Ø16 boy donatısı mevcuttur. Bu kesit +2.00 m kotu ile +3.00 m kotu arasında tanımlanmıştır.

C-C en kesiti, minare kaidesinin tepe noktası ile küp kısmının birleştiği bölgedir. C-C kesitinin bütün kesit özellikleri B-B kesitinin özellikleri ile aynıdır sadece etriye aralığı bu bölgede farklıdır. Geçiş bölgesi olduğu için bu bölgede etriye sıklatırması yapılmıştır. Etriye çapı Ø8 ve etriye aralığı 10 cm'dir. Bu kesit +3.00 m kotu ile +4.00 m kotu arasında tanımlanmıştır. B-B ve C-C kesitinin Şekil 5.8'te en kesit detayları gösterilmektedir.



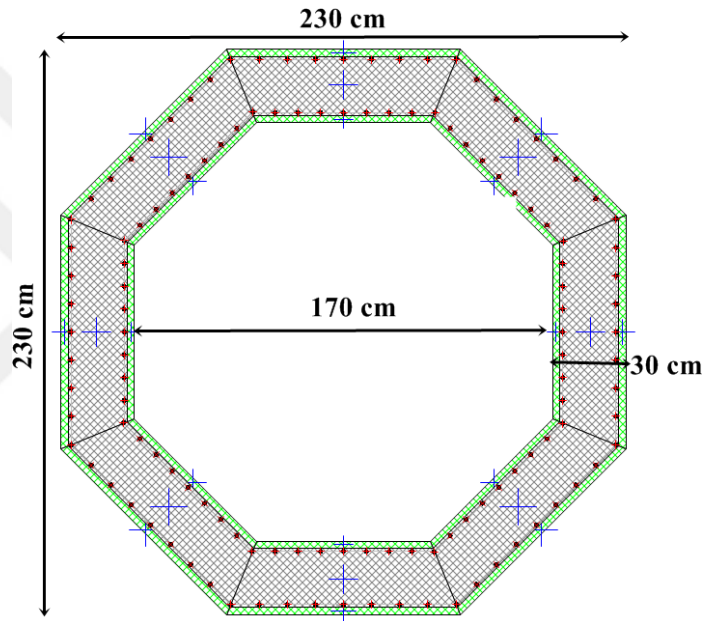
Şekil 5.8 Minare-1'in B-B ve C-C En kesit detayı

Minarenin 3 m'lik küp kısmı, yani kaide ile gövde kısmı arasındaki geçiş bölgesi 1'er metrelik üç eşit parça bölünerek, her bir parçanın en kesit detayları oluşturulmuştur. Küp kısımları aşağıdan yukarıya sırasıyla D-D kesit, E-E kesiti ve F-F kesitleridir. Küp bölgesini oluşturan kesitlerin, kesit alanları aşağıdan yukarıya doğru azalmaktadır. Üç kesitinde gövde içerisindeki boyuna donatı miktarı aynıdır. Boy donatısı, içte 80Ø16 ve dışta 80Ø16 olmak üzere toplam 160Ø16 boy donatısı mevcuttur. Küp kısmını oluşturan uç kesitlerde yani D-D ve F-F kesitlerinde etriye sıklaştırılması yapılmıştır. Etriye aralığı bu kesitlerde 10 cm, orta da kalan E-E kesitinde ise 20 cm'dir. D-D kesiti; +4.00 m ile +5.00 m arası , E-E kesiti; +5.00 m ile +6.00 m arası , F-F kesiti; +6.00 m ile +7.00 m kotları arasında tanımlanmıştır. Kesit ölçüleri Şekil 5.9'te detaylı olarak verilmiştir.



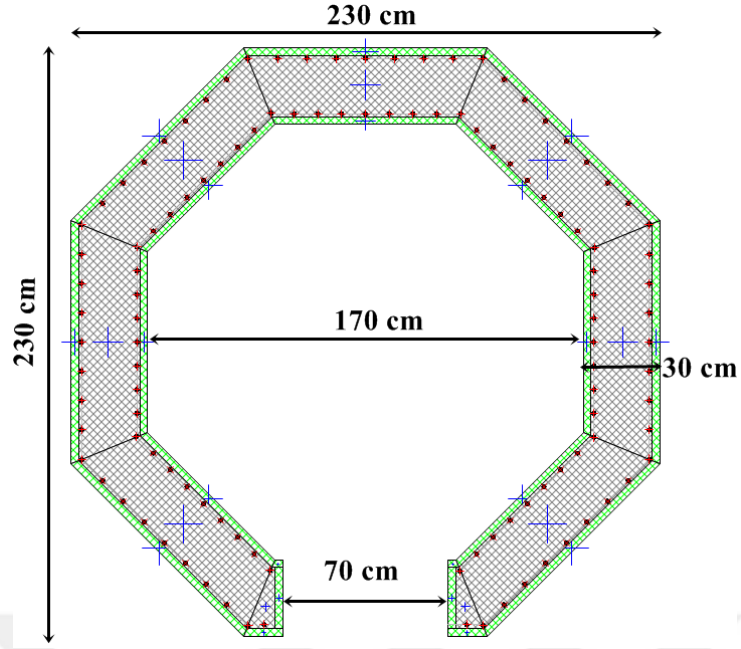
Şekil 5.9 Minare-1'in (a) D-D En kesit detayı (b) E-E En kesit detayı (c) F-F En kesit detayı

G-G, H-H ve J-J en kesitlerinin, etriye aralıkları hariç bütün özellikleri aynıdır. Kesitler dıştan dışa 230 cm ve gövde beton kalınlığı 30 cm'dir. G-G en kesit bölgesi küp kısımdan gövde kısmına geçiş bölgesi olduğu için bu bölgede etriye sıklaştırması yapılmıştır, H-H ve J-J kesitlerinde ise etriye aralığı 20 cm'dir. Gövde kısmının en kesit alanı kaide ve küp kısımlarına göre çok küçük olduğundan, gövde kısmında donatı sayısı azalmaktadır. Küp üst kısmından başlayarak minarenin tepe noktasına kadar boy donatısı , içte 64Ø16 ve dışta 64Ø16 olmak üzere toplam 128Ø16 boy donatısı mevcuttur. G-G kesti; +7.00 m ile +8.00 m kotları arasında, H-H kesti; +8.00 m ile +15.00 m kotları arasında ve J-J kesti ise; +17.00 m ile +19.00 m arası tanımlanmıştır. En kesit detayları şekil 5.10'te verilmiştir.



Şekil 5.10 Minare-1'in G-G, H-H ve J-J gövde en kesit detayları

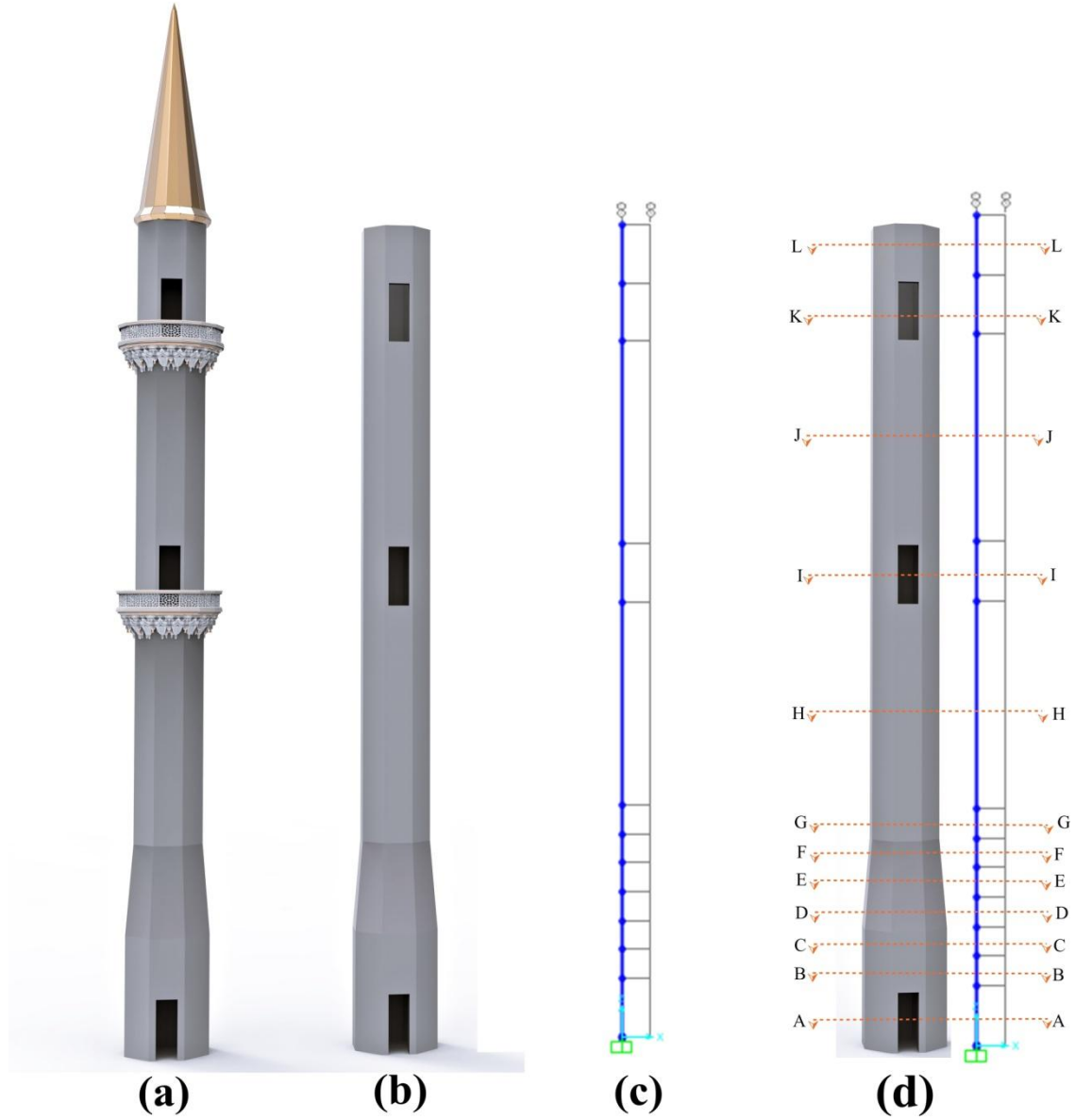
I-I en kesiti gövde kısmındaki şerefeye açılan kapı bölgesidir. Kapı 70 cm genişliğinde ve 200 cm yüksekliğindedir. Kapı boşlukları kesit alanını küçülttüğü için kesitte zayıflamalar meydana gelmektedir. Bu etkiyi azaltmak için kapı yükseklikleri boyunca etriye sıklaştırması yapılmıştır. Boy donatısı, içte 57Ø16 ve dışta 59Ø16 olmak üzere toplam 116Ø16 boy donatısı mevcuttur. I-I kesti; +15.00 m ile +17.00 m kotları arasında tanımlanmıştır. Kesit ölçüleri Şekil 5.11'de detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 5.11 Minare-1'in I-I en kesit detayları

5.3 İki Şerefeli Minare Modeli

Bu bölümde incelenecek olan minare modeli, 28 m yüksekliğindeki iki şerefeli betonarme bir minaredir. Bu minare modeli, Minare-2 olarak adlandırılmıştır. Minare-2'nin şerife sayısı ve yüksekliği haricindeki bütün kesit özellikleri, Minare-1'in kesit özellikleri ile aynıdır. Minare-1 modelinden farklı olarak, Minare-2 modelindeki J-J kesitinin yüksekliği 2 m'den 7 m'ye artırılmıştır. J-J kesiti bu modelde +17.00 m ile +24.00 m kotları arasında tanımlanmıştır. Ayrıca K-K ve L-L kesitleri eklenmiştir. K-K kesiti, ikinci şerife kapısı hizasında olup Minare-1 deki I-I en kesit detayları ile aynıdır. K-K kesiti +24.00 m ile +26.00 m kotları arasında tanımlanmıştır. L-L en kesitinin özellikleri ise Minare-1 modelindeki H-H gövde en kesiti ile aynıdır. L-L kesiti; +26.00 m ile +28.00 m kotları arasında tanımlanmıştır. Şekil 5.12'de Minare-2'nin boy kesit detayları görülmektedir.

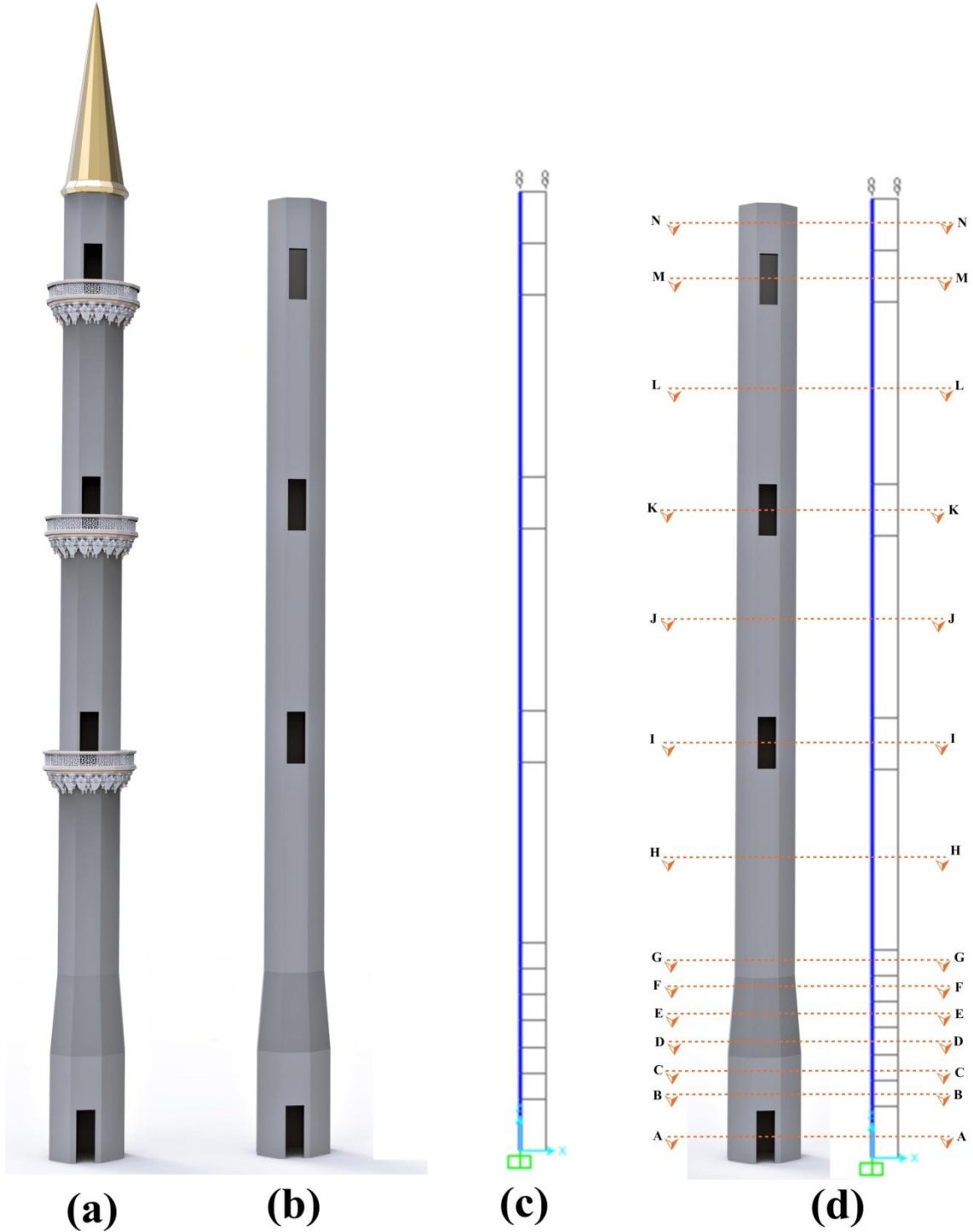


Şekil 5.12 Minare 2'nin (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu hali (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Kesit tanımlanan bölgeler

5.4 Üç Şerefeli Minare Modeli

Bu bölümde incelenecek olan minare modeli, 37 m yüksekliğindeki üç şerefeli betonarme bir minaredir. Bu minare modeli, Minare-3 olarak adlandırılmıştır. Minare-3'ün şerefe sayısı ve yüksekliği haricindeki bütün kesit özellikleri, Minare-1 ve Minare-2'nin kesit özellikleri aynıdır. Minare-2 modelinden farklı olarak, Minare-3 modelinde L-L kesitinin yüksekliği 2 m'den 7 m'ye artırılmıştır. L-L kesiti bu modelde +26.00 m ile +33.00 m kotları arasında tanımlanmıştır. Ayrıca M-M ve N-N kesitleri eklenmiştir. M-M kesiti, üçüncü şerefe kapısı hizasındaki bölgedir ve Minare-2 deki I-I ve K-K en kesit detayları ile aynıdır. M-M kesiti +33.00 m ile +35.00 m kotları arasında tanımlanmıştır.

N-N en kesitinin özellikleri ise Minare-2 modelindeki H-H gövde en kesiti ile aynıdır. N-N kesiti; +35.00 m ile +37.00 m kotları arasında tanımlanmıştır. Şekil 5.13’de Minare-3’ün boy kesit detayları görülmektedir.



Şekil 5.13 Minare 3’ün (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu hali (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Kesit tanımlanan bölgeler

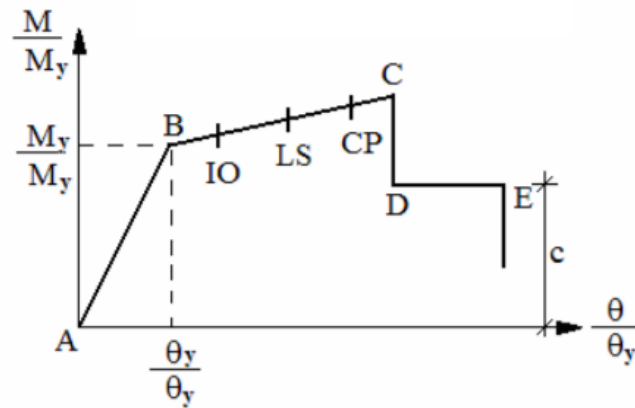
5.5 Plastik Mafsal Tanımlama

SAP2000 programı plastik mafsal tanımı olarak, ATC-40 (Applied Technology Council) ve FEMA-356 (Federal Emergency Management) plastik mafsal yaklaşımlarını kullanılmaktadır. SAP2000 programında plastik mafsal tanımlamak için, beş farklı nokta kullanılmaktadır. Bu noktaların birleşimiyle oluşan plastik mafsal eğrisinin özellikleri; aksenal yüke, sargı donatısı miktarına ve betonun dayanımına bağlıdır. Eğriyi oluşturan beş nokta A,B,C,D ve E harfleriyle tanımlanmaktadır. Bu noktalar Şekil 5.14'de gösterilmiştir.

- A noktası, başlangıç noktasıdır ve sıfır olarak kabul edilir.
- B noktası, akma sınır noktası olarak kabul edilir ve B noktasının plastik eğriliği 0 olduğu için bu noktaya kadar plastik şekil değiştirme oluşmaz.
- C noktası ise kesitin kapasite tükenme noktasıdır. Bu noktadan sonraki D ve E noktaları için kapasite belli miktarda azaltılarak bir miktar daha yük taşınabilir.

B ve C noktaları arasında oluşan performans noktaları şu şekilde belirlenmiştir:

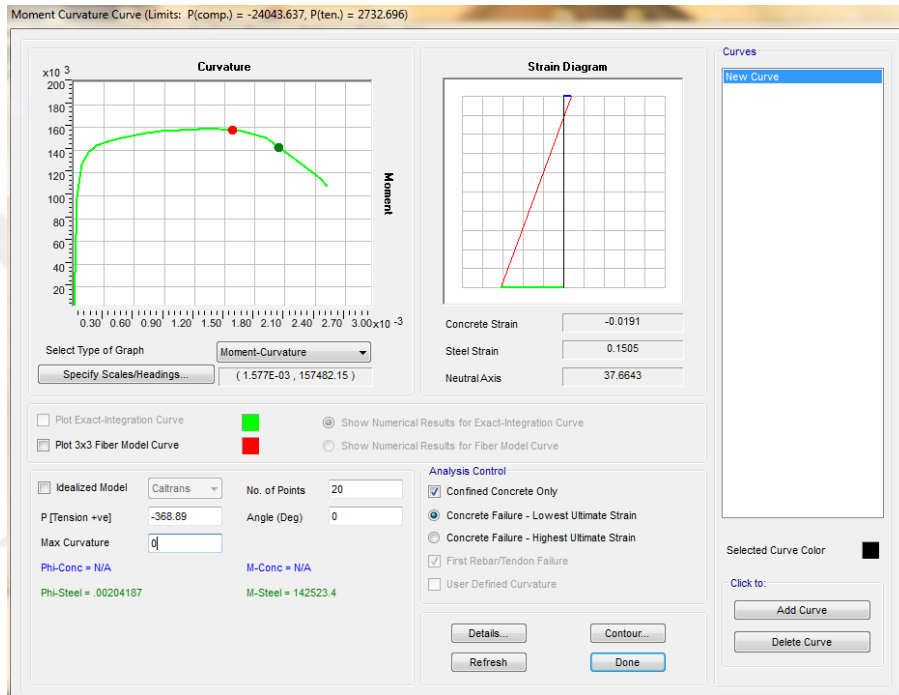
- IO (Immediate Occupancy), (Hemen kullanım): Sistem güvenlidir ve meydana gelen hasarlar kolay bir şekilde onarılabilir.
- LS (Life Safety), (Can güvenliği): Sistem göçmemiştir. Fakat orta derece yapısal hasarlar oluşur.
- CP (Collapse Prevention), (Göçme öncesi): Sistem çok büyük yüklere maruz kalarak zorlanmıştır. Büyük çapta hasarlar oluşur.



Şekil 5.14 Plastik mafsal deformasyon noktaları

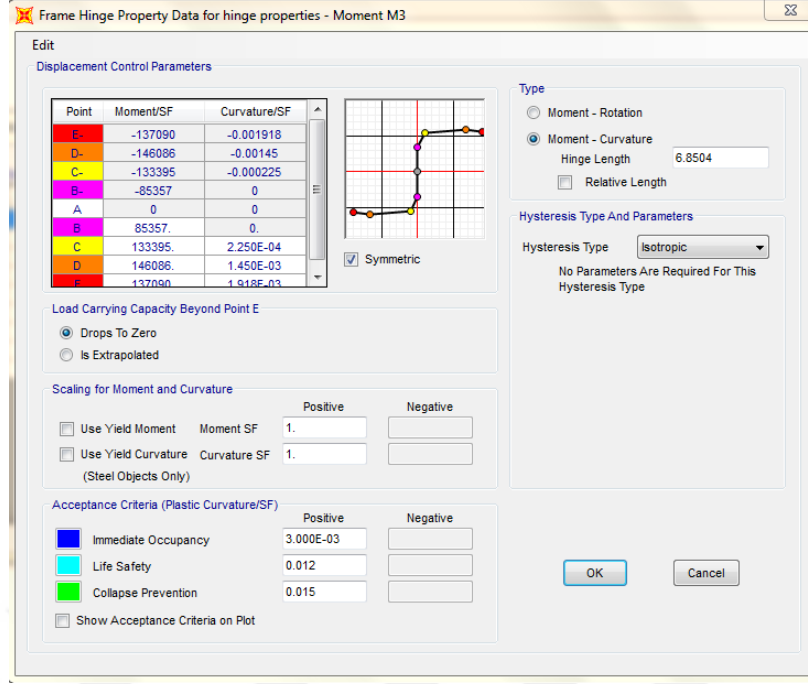
5.5.1 Eğilme deformasyonu için plastik mafsal modeli

Yapısal davranışı anlayabilmek için kullanılan betonun davranışı ve özellikleri bilinmelidir. Yapısal elemanların doğrusal olmayan davranışlarını belirlemek için kesit kapasiteleri kullanılır. Betonarme kesitin davranışının değerlendirmek için kullanılan en iyi yöntemlerden biri moment-eğrilik ilişkisidir. SAP2000'nin 'Section Designer' modülü kullanılarak, minareyi oluşturan her bir kesit ayrı ayrı modellenerek bu kesitlere ait moment-eğrilik grafikleri çıkarılmıştır. Şekil 5.15'de moment-eğrilik grafiklerinin oluşturulduğu arayüz görülmektedir.



Şekil 5.15 moment-eğrilik ilişkisini gösteren arayüz

Kesitlerin, moment-eğrilik ilişkileri kullanılarak eğilme momenti altında, doğrusal olmayan davranışını gösterebilmek için plastik mafsal modelleri oluşturulur. SAP2000 içerisinde plastik mafsal tanımlanabilmesi için 5 noktaya ihtiyaç vardır ve bu noktalar moment-eğrilik grafiğinin idealleştirilmesi sonucu elde edilir. Şekil 5.16'da plastik mafsal tanımlama arayüzü görülmektedir.



Şekil 5.16 Plastik mafsal tanımlama arayüzü

Minareyi oluşturan herbir farklı kesit için, o kesitlere ait moment-eğrilik grafikleri kullanılarak plastik mafsal modelleri oluşturulmuştur. Elastik aralıkta moment ve eğrilik arasında doğrusal bir ilişki olduğu varsayılır ve elastik olmayan eğrilik, plastik mafsal uzunluğu L_p boyunca toplanır. L_p değeri içi boş silindirik kolonlar ve minareler için aşağıdaki formül kullanılabilir (Hoshikuma, 2000).

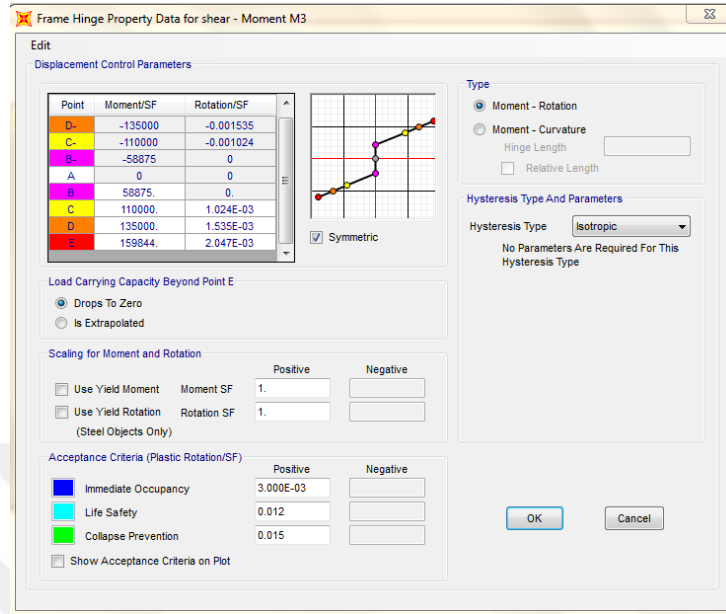
$$L_p = 0.08L + 0.022f_y d_{bl} \quad (5.2)$$

burada L_p : Plastik mafsal uzunluğu (Hinge Length), L : Kesit yüksekliğinin yarısı, f_y : Boyuna donatının akma gerilmesi ve d_{bl} : Boyuna donatının çapı. Formüldeki birimler inç cinsindedir. Minaredeki farklı yüksekliklere sahip bütün kesitler ayrı ayrı bu formülle hesaplanmıştır. Herbir kesit için oluşturulan plastik mafsal modelleri, kesit yükseklikleri boyunca her 0.50 m'de bir tanımlanmıştır. Yapılan bütün hesaplamalar, analizlerde kullanılan 3 farklı minare modeli için ayrı ayrı yapılmıştır.

5.5.2 Kesme deformasyonu için plastik mafsal modeli

Minareye etki eden kesme deformasyonlarını hesaplamak için, kesme modeli olarak Patwardhan (2005) tarafından geliştirilen hesaplamalar kullanılmıştır. Hesap adımları "4.1.3 Kesme deformasyonları" bölümünde detaylı olarak incelenmiştir. Hesaplamalar sonucunda, kesme dayanımını (V_n), eğilme mukavemetini (V_y) ve akma mukavemetlerini

(V_p) karşılaştırarak oluşturulan kategorilere göre kesme deformasyonu için moment-dönme eğrisi belirlenir. Kesme deformasyonunun moment-dönme plastik mafsal modeli Şekil 5.17'de görülmektedir.

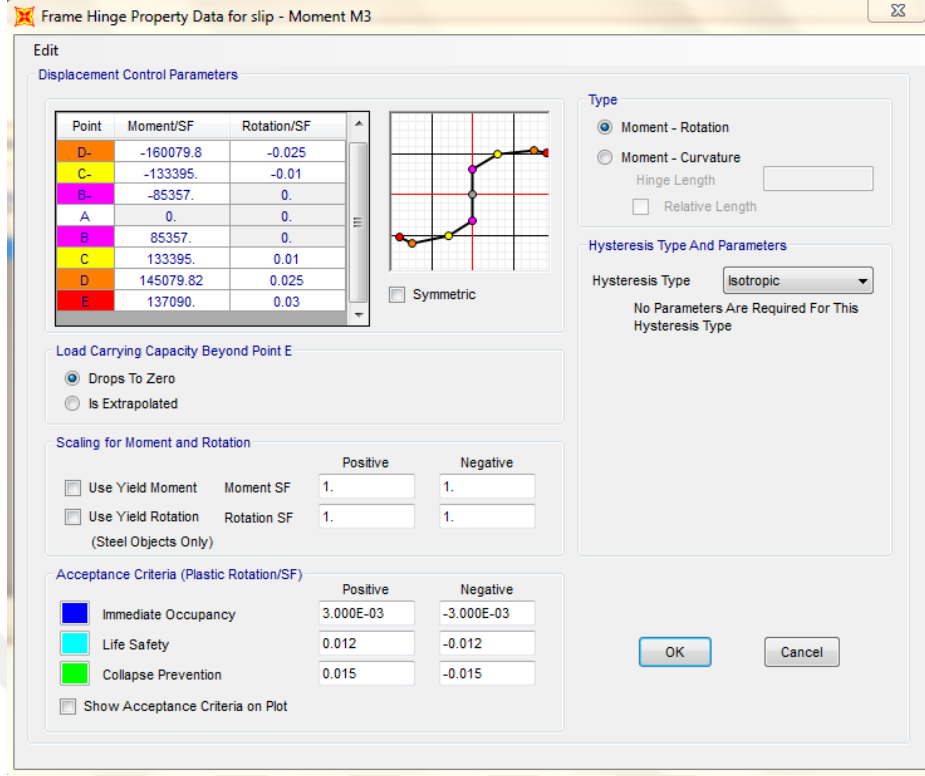


Şekil 5.17 Kesme deformasyonu plastik mafsal modeli

Kesme deformasyonu için oluşturulan plastik mafsal modeli sadece minarenin tabanına tanımlanmıştır. Yapılan bütün hesaplamalar, analizlerde kullanılan 3 farklı minare modeli için ayrı ayrı yapılmıştır.

5.5.3 Sıyırılma deformasyonu için plastik mafsal modeli

Donatı çubuklarının sıyırılma deformasyonunu hesaplanabilmesi için moment-dönme ilişkisine bağlı analitik bir model geliştirilmiştir. Kolonların taban kısmındaki sıyırılmadan dolayı meydana gelen yanal deformasyonları, Sezen ve Moehle (2003) tarafından önerilen, Sezen ve Setzler (2008) tarafından geliştirilen bir analitik modelleme yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada Sezen ve Setzler (2008) tarafından geliştirilen formülasyonlar betonarme minarenin tabanındaki sıyırılmadan dolayı meydana gelen deformasyonun hesaplanması için kullanılmıştır. Hesap adımları “4.1.2 Donatı sıyırılması deformasyonu” bölümünde detaylı olarak incelenmiştir. Hesaplamalar sonucunda, kesme dayanımını (V_n), eğilme mukavemetini (V_y) ve akma mukavemetlerini (V_p) karşılaştırarak oluşturulan kategorilere göre sıyırılma deformasyonu için moment-dönme eğrisi belirlenir. Sıyırılma deformasyonunun moment-dönme plastik mafsal modeli Şekil 5.18'de görülmektedir.



Şekil 5.18 Sıyırılma deformasyonu plastik mafsal modeli

Sıyırılma deformasyonu için oluşturulan plastik mafsal modeli sadece minarenin tabanına tanımlanmıştır. Yapılan bütün hesaplamalar, analizlerde kullanılan 3 farklı minare modeli için ayrı ayrı yapılmıştır.

5.5.4 Toplam deformasyonu için plastik mafsal modeli

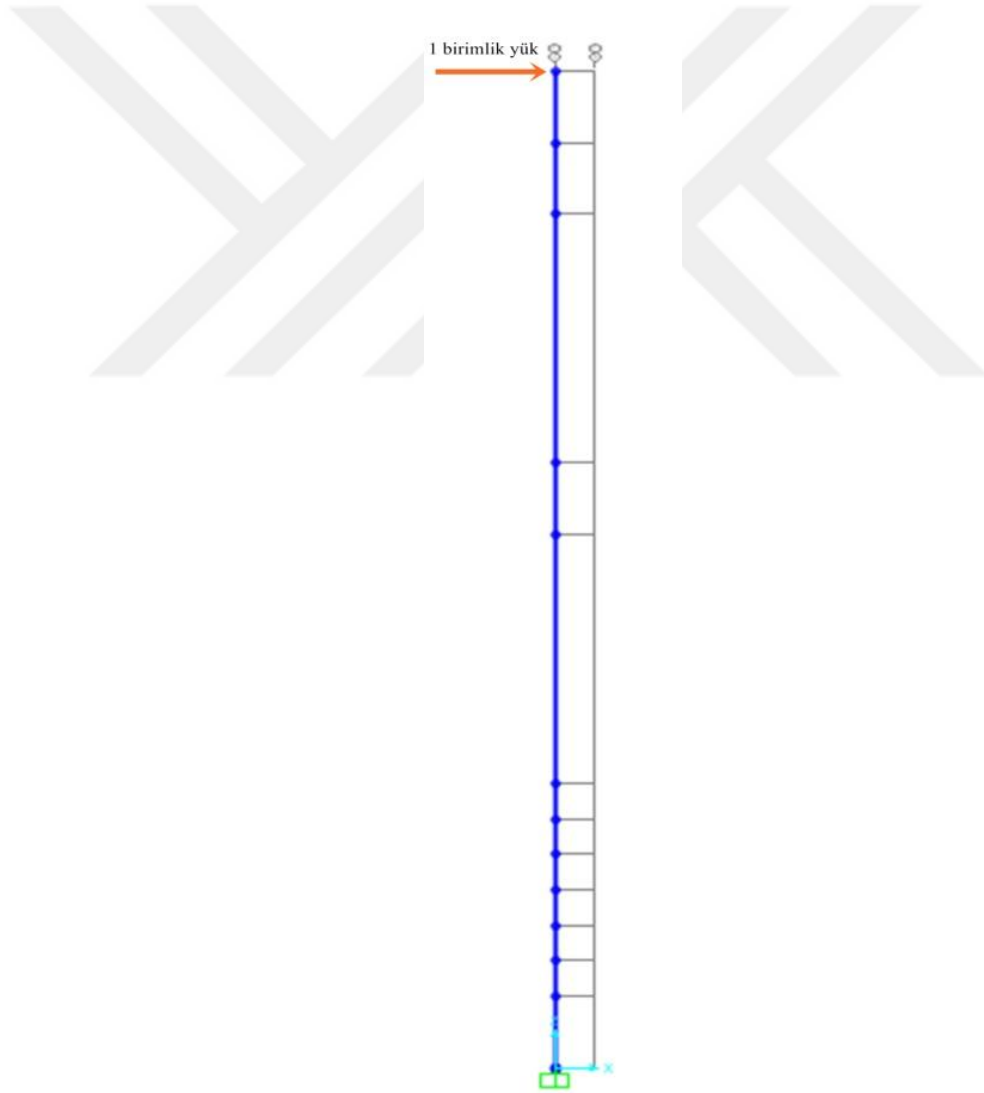
Toplam yanal deformasyonun hesaplanabilmesi eğilme deformasyonu, kesme deformasyonu ve sıyırılma deformasyonları için ayrı ayrı tanımlanan plastik mafsal modelleri üst üste eklenmiştir. Eğilme deformasyonları için oluşturulan plastik mafsallar minare boyunca her 0.50 m’de bir tanımlanırken kesme ve sıyırılma deformasyonları için tanımlanan plastik mafsal modelleri sadece minarenin taban kısmında tanımlanmıştır.

5.6 Analiz Yöntemleri

5.6.1 Pushover analizi

Statik itme (Pushover) analizi yapıların performans seviyelerinin ölçmek amacıyla kullanılan analiz yöntemidir. Doğrusal analiz yöntemleri ile yapılan deprem hesapları ve mevcut yapıların deprem tahkiki ilk mafsalı buluncaya kadar geçerlidir. Bu aşamadan sonraki kısmı, yani yapının gerçek davranışını ve göçme mekanizmasının nasıl olacağı hakkında fikir sahibi olunamamaktadır (YILMAZ 2008). Statik itme analizinde sistem

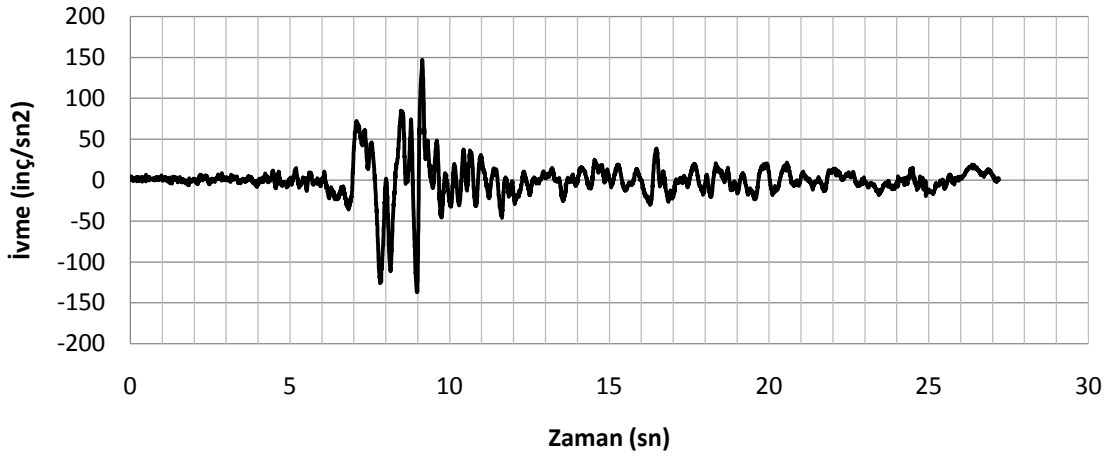
göçünceye kadar yüklemeye devam ederek plastik mafsallaşmanın nerelerde olduğu ve sistemin hangi noktadan geçmeye başladığı görülmektedir. Bu şekilde yapının kapasitesi belirlenerek performans durumu ortaya çıkmaktadır. Performans seviyesi, depremden sonra yapıda meydana gelecek muhtemel fiziksel hasarlar, oluşan hasarların can güvenliği açısından durumu ve deprem sonrası yapının kullanılabilir olup olmaması gibi durumların ifade edilmesidir. Bu bölümde, oluşturulan betonarme minare modellerine pushover analizi uygulanarak ve ardından gerçek deprem kayıtları ile dinamik analizi yapılarak betonarme minarelerin performans durumları incelenmiştir. Şekil 5.19’da statik itme yükleme durumu görülmektedir. Oluşturulan 3 adet betonarme minare modeline aynı şekilde pushover (statik itme) analizi uygulanmıştır.



Şekil 5.19 Pushover (statik itme) yükleme durumu

5.6.2 Time history analizi

Yakın geçmişte ülkemizde yaşanmış en büyük depremlerden biri olan 1999 Düzce depreminin yer ivme kayıtları betonarme minare modellerinin dinamik analizi için kullanılmıştır. Afad deprem dairesinin resmi sitesinde, Düzce istasyonu kayıtlarından alınan veriler incendiğinde doğu-batı yönündeki depremin şiddeti en fazla olduğu için bu yöndeki ivme kayıtları kullanılmıştır. Sistemden indirilen deprem ivme kayıtların birimi gal (cm/sn²) cinsindedir. Bu çalışmada kips ölçü birimi kullanıldığı için birimi dönüşümü yapılmıştır. Şekil 5.20’de 1999 Düzce depremi ivme kaydı görülmektedir.



Şekil 5.20 1999 Düzce depremi doğu-batı yönü ivme kaydı (inç/sn²)

Minareler, geleneksel yapı türlerinden farklı yapılardır. Binalar için sönüm oranı %5 iken, yapılan deneysel çalışmada (Yetkin, 2017) betonarme minareler için sönüm oranı %4 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada deprem analizleri için betonarme minarelerde sönüm oranı %4 olarak alınmıştır. Analizlerde yeni deprem yönetmeliği TBDY 2018 kullanılmıştır. Bu yönetmelikte Türkiye ZA, ZB, ZC, ZD, ZE ve ZF olmak üzere 6 yerel zemin sınıfına ayrılmıştır. ZA zemin sınıfı Türkiye’deki en iyi zemin sınıfını temsil etmektedir. Sağlam ve sert kayalar bu sınıfa girmektedir. ZB zemin sınıfı, ayrışmış kayalar içeren zemin sınıfıdır. ZC zemin sınıfı, çok çatlaklı zayıf kayaları ve çok sıkı kumlu zeminleri kapsamaktadır. ZD zemin sınıfı, orta-sıkı kum yada katı killi zeminleri kapsamaktadır. ZE zemin sınıfı ise gevşek zemin yapısına sahip alanları kapsamaktadır. Bu zemin sınıflarının haricinde ZF sınıfı zeminler, problemlili alanları kapsamaktadır ve bu zeminler için mutlaka araştırılma yapılması gerekmektedir (TBDY, 2018). Bu çalışmada, ZB zemin sınıfı seçilerek analizler ona göre yapılmıştır. Oluşturulan 3 adet betonarme minare modeline aynı deprem yüklemesi yapılarak dinamik analizleri yapılmıştır.

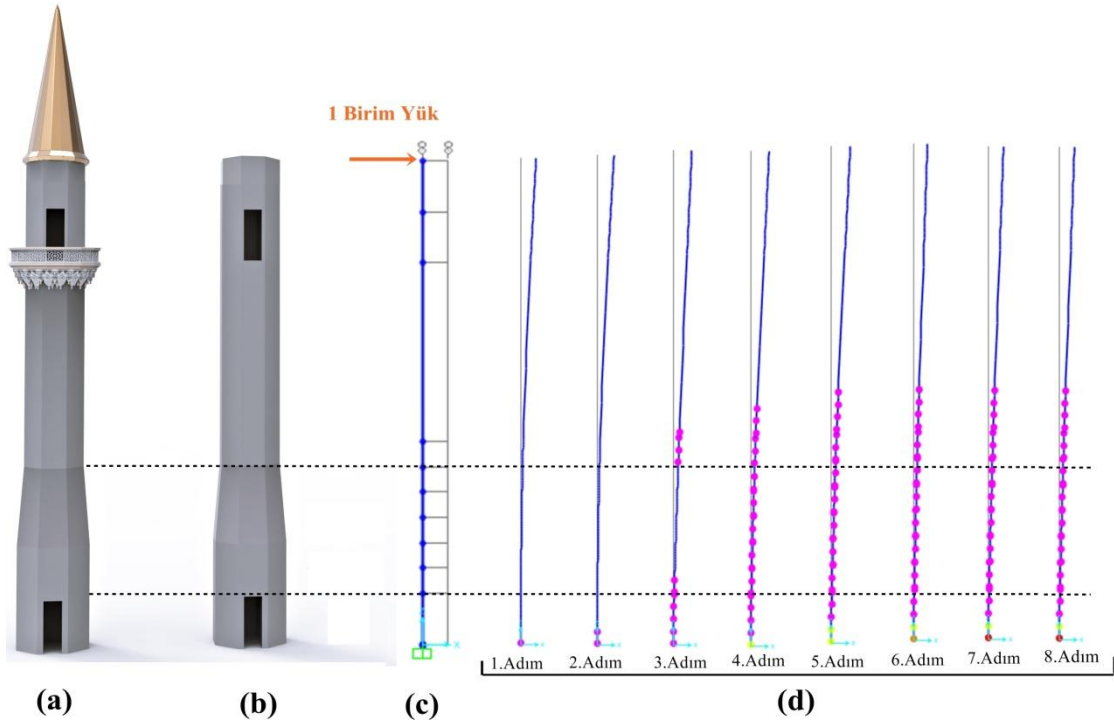
6. ANALİZ SONUÇLARI

6.1 Pushover Analiz Sonuçları

6.1.1 Eğilme deformasyon sonuçları

Bu bölümde, oluşturulan betonarme minare modellerinin eğilme deformasyon sonuçları incelenecektir. Oluşturulan üç minare modelinin her bir farklı kesiti için moment-eğrilik ilişkisine dayanan plastik mafsalları ayrı ayrı oluşturulmuştur. Oluşturulan plastik mafsalları her bir minare modeli için 0.50 m aralıklarla minare yüksekliği boyunca tanımlanmıştır. Bu şekilde oluşturulan minare modelleri pushover analizi uygulanarak, analiz sonuçları aşağıda incelenmiştir.

19 m yüksekliğindeki tek şerefeli Minare-1 modelinin pushover analiz sonuçları incelendiğinde plastikleşmenin minarenin kaide kısmındaki 0.00 m ile +2.00 m kotları arasındaki kapı bölgesinden başladığı görülmektedir. 3. adıma gelindiğinde plastik mafsallar, kesitin daraldığı minarenin küp kısmından gövdeye geçiş bölgesinde oluşmaya başladığı gözlemlenmiştir. 4. adıma gelindiğinde kaide kısmındaki kapı bölgesinde çatlaklıkların oluşmaya başladığı gözlemlenmiştir. 8. adıma ulaşıldığında minare, nihai taşıma kapasitesine ulaşarak kaide kısmındaki kapı bölgesinden göçtüğü gözlemlenmiştir. Minare-1'in eğilme deformasyon analiz sonuçları Şekil 6.1'de detaylı olarak görülmektedir.

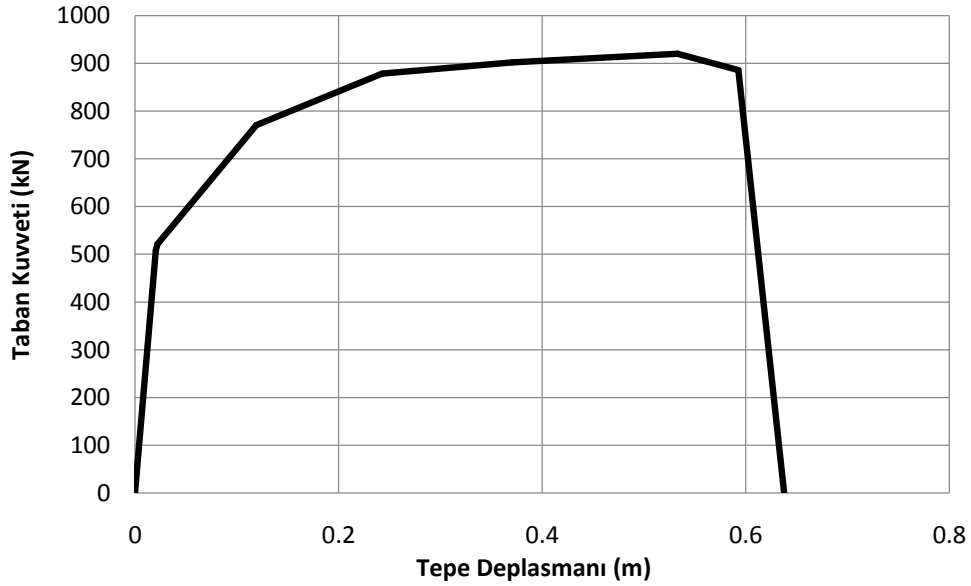


Şekil 6.1 Minare-1'in (a) 3 boyutlu genel görünüşü, (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Eğilme deformasyon sonuçları

Minare-1 modeline ait taban kuvveti'ne karşılık gelen tepe deplasmanları ve taban reaksiyonu-deplasman ilişkisini gösteren pushover eğri grafiği sırasıyla Tablo 6.1'de ve Şekil 6.2 görülmektedir.

Tablo 6.1 Minare-1'in eğilme deformasyon kapasite eğrisi sonuçları

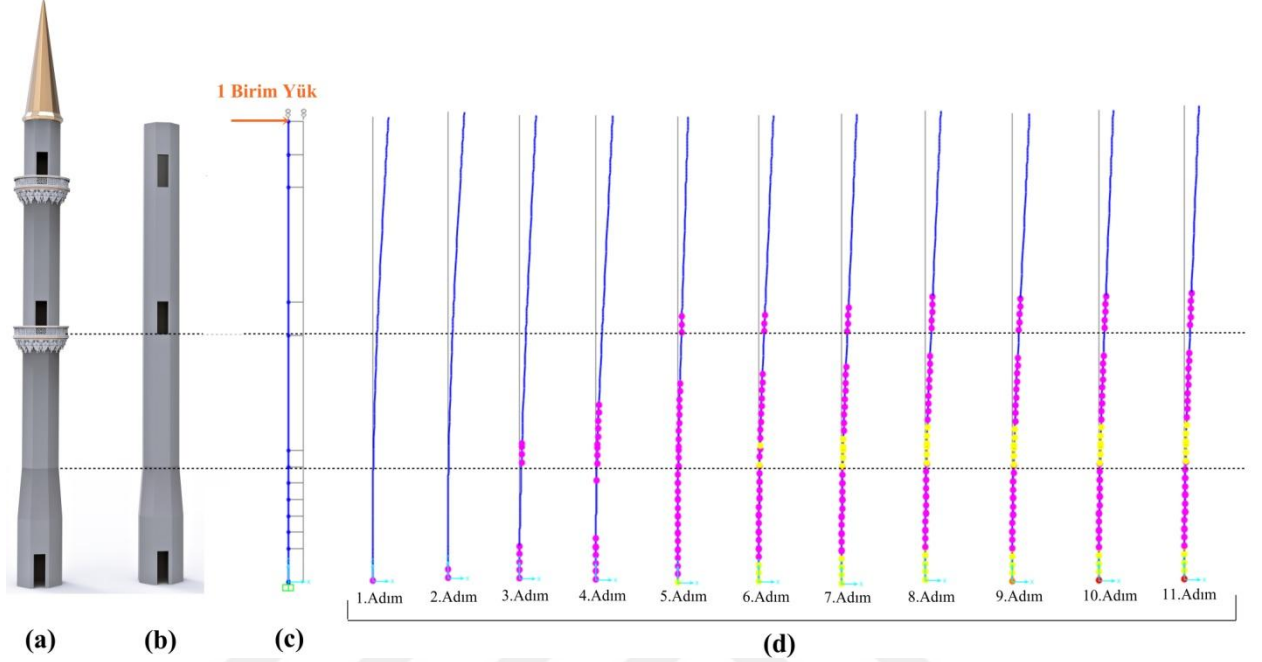
Adım	Deplasman (m)	Taban Kuvveti (kN)
1.Adım	0.020256	507.581
2.Adım	0.021886	521.3
3.Adım	0.119223	770.844
4.Adım	0.242568	878.44
5.Adım	0.370322	902.401
6.Adım	0.533035	920.579
7.Adım	0.592566	885.925
8.Adım	0.637739	0.005075



Şekil 6.2 Minare-1'in eğilme deformasyon eğrisi

28 m yükseliğindeki iki şerefeli Minare-2 modelinin pushover analiz sonuçları incelendiğinde plastikleşmenin minarenin kaide kısmındaki 0.00 m ile +2.00 m kotları arasındaki kapı bölgesinden başladığı görülmektedir. 3.adıma gelindiğinden plastik mafsallar, kesitin daraldığı minarenin küp kısmından gövdeye geçiş bölgesinde oluşmaya başladığı gözlemlenmiştir. 5.adıma gelindiğinde kaide kısmındaki kapı bölgesinde çatlaklıkların oluşmaya başladığı ve hemen ardından çatlakların küp kısmından minare gövde kısmına geçiş bölgesinde başladığı gözlemlenmiştir. 9.adıma kadar kaide

kısımındaki kapı boyunca ve minare gövdesi boyunca çatlaklıklar yayılarak devam etmiştir. 11.adıma ulaşıldığında ise minare, nihai taşıma kapasitesine ulaşarak kaide kısmındaki kapı bölgesinden göçtüğü gözlemlenmiştir. Minare-2'in eğilme deformasyon analiz sonuçları Şekil 6.3'de detaylı olarak görülmektedir.

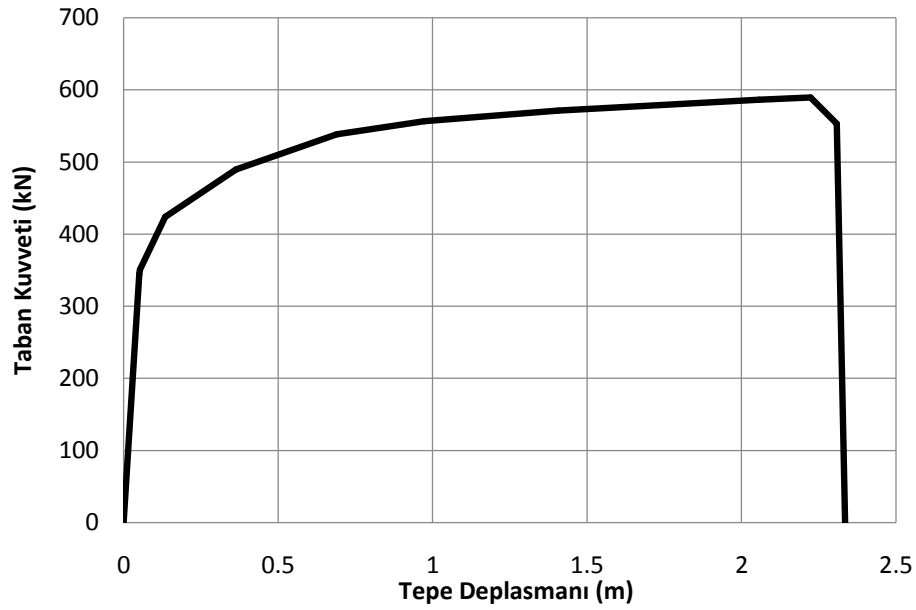


Şekil 6.3 Minare-2'nin (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Eğilme deformasyon sonuçları

Minare-2 modeline ait taban kuvveti'ne karşılık gelen tepe deplasmanları ve taban reaksiyonu-deplasman ilişkisini gösteren pushover eğri grafiği sırasıyla Tablo 6.2 ve Şekil 6.4'de görülmektedir.

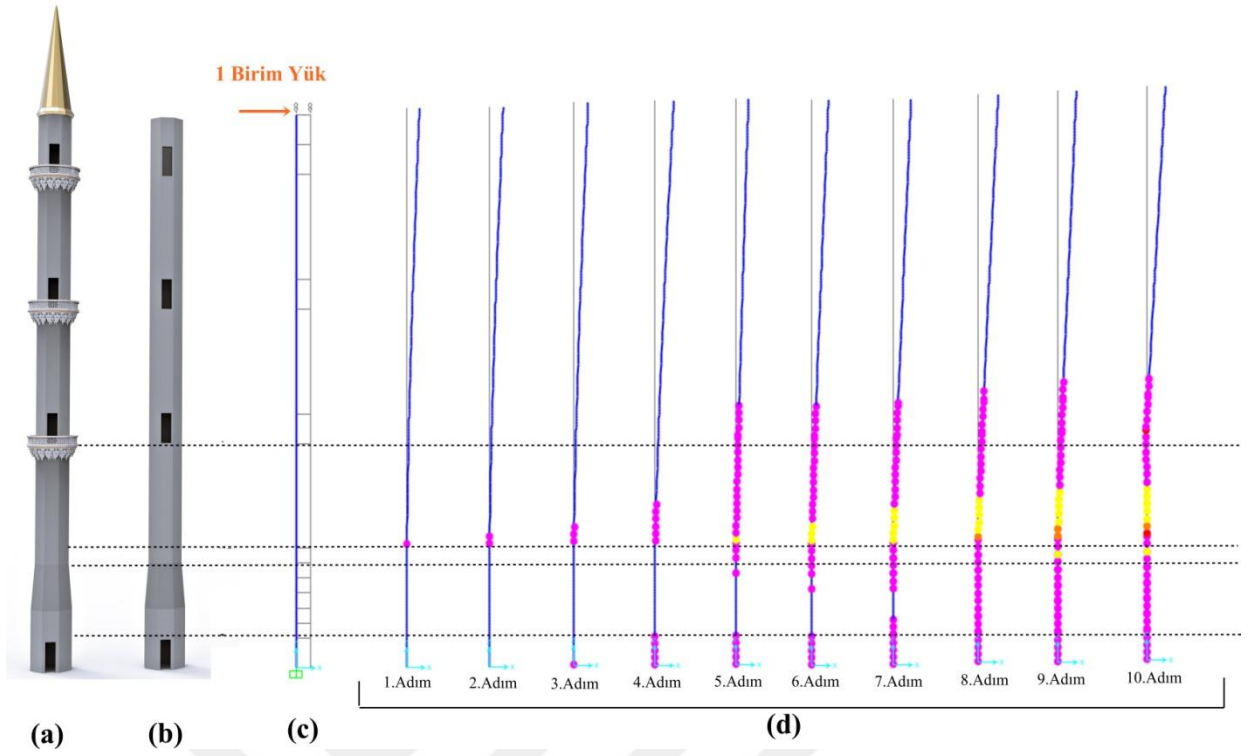
Tablo 6.2 Minare-2'nin eğilme deformasyon kapasite eğrisi sonuçları

Adım	Deplasman (m)	Taban Kuvveti (kN)
1.Adım	0.050873	344.43
2.Adım	0.053192	350.693
3.Adım	0.13441	423.964
4.Adım	0.363963	489.43
5.Adım	0.690549	538.272
6.Adım	0.97377	556.857
7.Adım	1.406194	571.15
8.Adım	2.056906	586.207
9.Adım	2.224315	589.482
10.Adım	2.308721	553.182
11.Adım	2.336188	0.003444



Şekil 6.4 Minare-2'nin eğilme deformasyon eğrisi

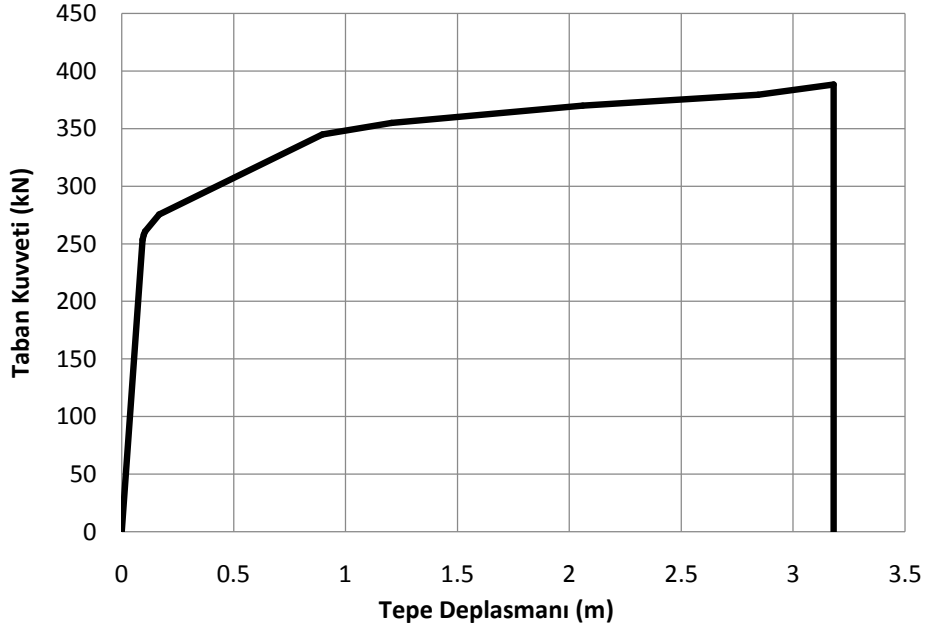
37 m yükseliğindeki üç şerefeli Minare-3 modelinin pushover analiz sonuçları incelendiğinde plastikleşmenin Minare-1 ve Minare-2 modellerinden farklı olarak, küp kısmının gövde bölgesine geçiş kısmındaki etriye sıklaştırmasının hemen üst bölgesinden yani +9.00 m kotundaki noktada plastikleşmeye başladığı gözlemlenmiştir. 3.adıma gelindiğinde plastik mafsallar, gövde kısmındaki etriye sıklaştırmasının hemen üst kısmından yukarıya doğru devam ederken aynı zamanda kaide bölgesindeki kapı kısmında da plastik mafsallar oluşmaya başladığı gözlemlenmiştir. 5.adım da kaide bölgesindeki kapı yüksekliği boyunca ve küp kısmının hemen üst bölgesinde plastik mafsallar oluşurken, gövde alt bölgesinde etriye sıklaştırmasının hemen üst kısmındaki bölgeden minare çatlmaya başladığı gözlemlenmiştir. 8.adıma kadar çatlakların gövde boyunca yayıldığı gözlemlenmiştir. 10.adıma ulaşıldığında ise minare, nihai taşıma kapasitesine ulaşarak gövde etriye sıklaştırmasının olduğu yerin hemen üst kısmından yani +9.00 m kotundan göçtüğü gözlemlenmiştir. Minare-3'ün eğilme deformasyon analiz sonuçları Şekil 6.5'de detaylı olarak görülmektedir.



Şekil 6.5 Minare-3'ün (a) 3 boyutlu genel görünüş (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Eğilme deformasyon sonuçları

Tablo 6. 3 Minare-3'ün eğilme deformasyon kapasite eğrisi sonuçları

Adım	Deplasman (m)	Taban Kuvveti (kN)
1.Adım	0.094143	253.429
2.Adım	0.099361	257.88
3.Adım	0.104752	260.65
4.Adım	0.168099	275.544
5.Adım	0.897512	345.079
6.Adım	1.205424	354.912
7.Adım	2.060177	369.908
8.Adım	2.843664	379.512
9.Adım	3.179887	388.412
10.Adım	3.179963	0.023

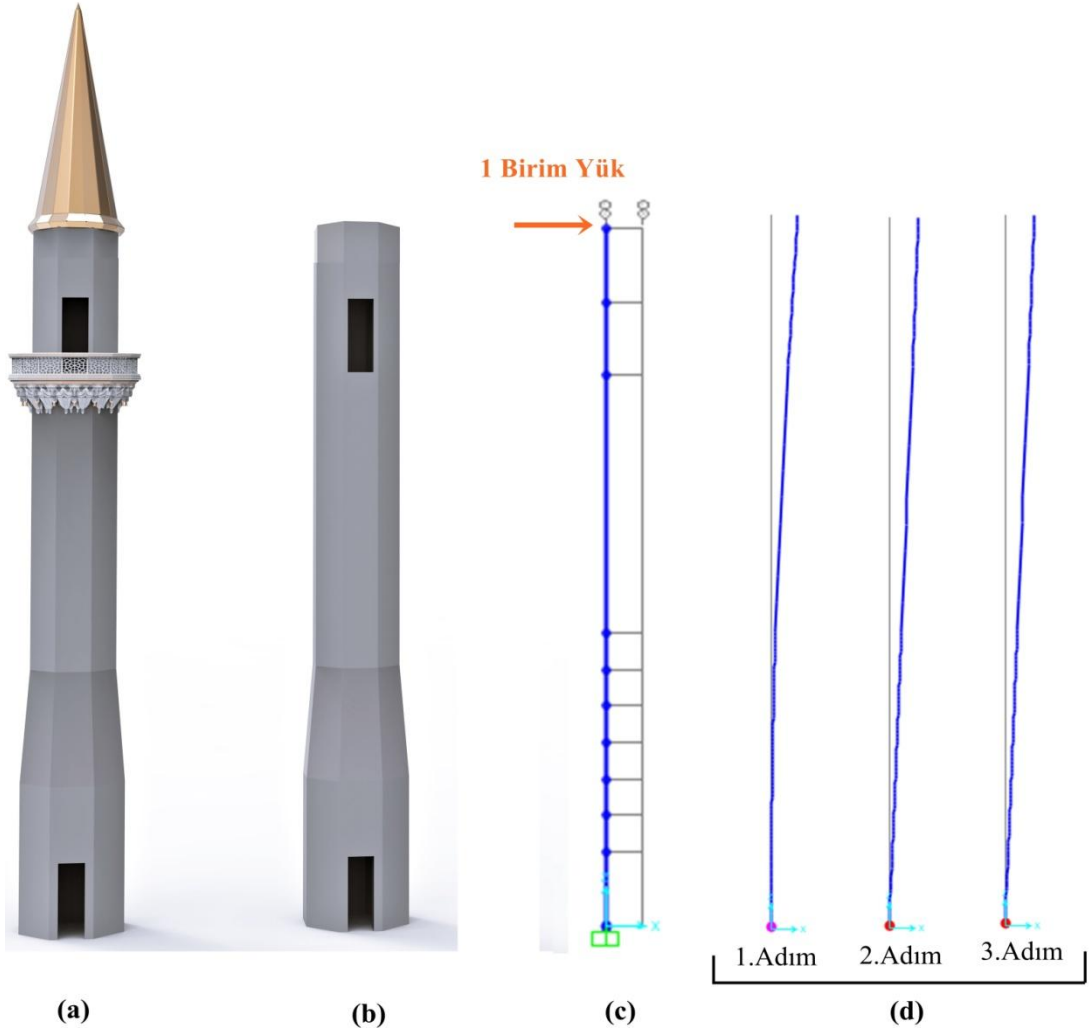


Şekil 6.6 Minare-3'ün eğilme deformasyon eğrisi

6.1.2 Kesme deformasyon sonuçları

Bu çalışmada minarelerin kesme davranışını modellemek için, Bölüm 4.1.3'te incelenen Patwardhan tarafından geliştirilen formülasyonlar kullanılarak üç minare modeli için ayrı ayrı kesme deformasyonu plastik mafsal modelleri oluşturulmuştur. Minare sadece taban kısmından ankstre şeklinde mesnetlendiği için kesme deformasyonları sadece uç noktalarda gerçekleşeceği düşünülerek oluşturulan plastik mafsal modelleri minare modellerinin sadece alt ucuna tanımlanmıştır. Bu şekilde oluşturulan minare modelleri pushover analizi uygulanarak, analiz sonuçları aşağıda incelenmiştir.

19 m yükseliğindeki tek şerefeli Minare-1 modelinin kesme deformasyonu pushover analiz sonuçları Şekil 6.7'de detaylı olarak görülmektedir.

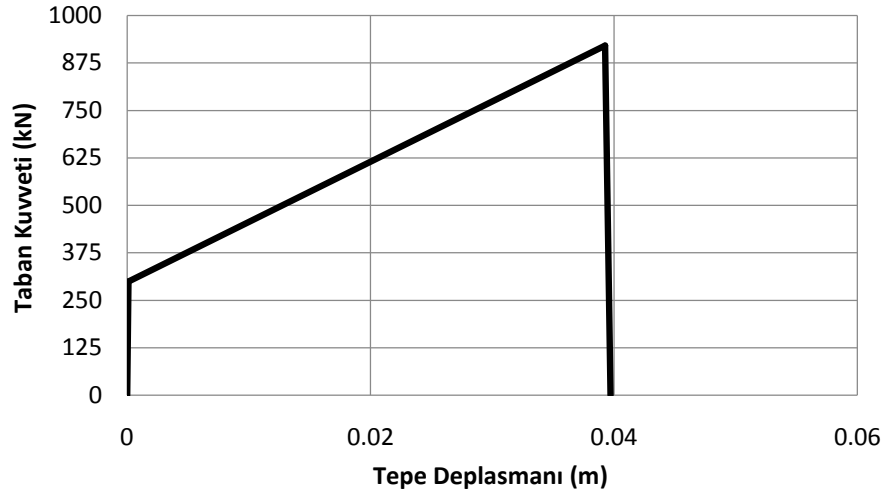


Şekil 6.7 Minare-1'in (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu hali (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Kesme deformasyon sonuçları

Minare-1 modelinin sonuçları incelendiğinde taban kesme kuvveti 920.803 kN ulaştığında model kesme göçmesine uğradığı gözlemlenmiştir. Kesme deformasyonun belirlenmesi için tanımlanan plastik mafsallı modelinin sonuçları aşağıda gösterilmektedir.

Tablo 6.4 Minare-1'in kesme deformasyon kapasite eğrisi sonuçları

Adım	Deplasman (m)	Taban Kuvveti (kN)
1.Adım	0.000119	298.889
2.Adım	0.03926	920.803
3.Adım	0.03973	0.002989

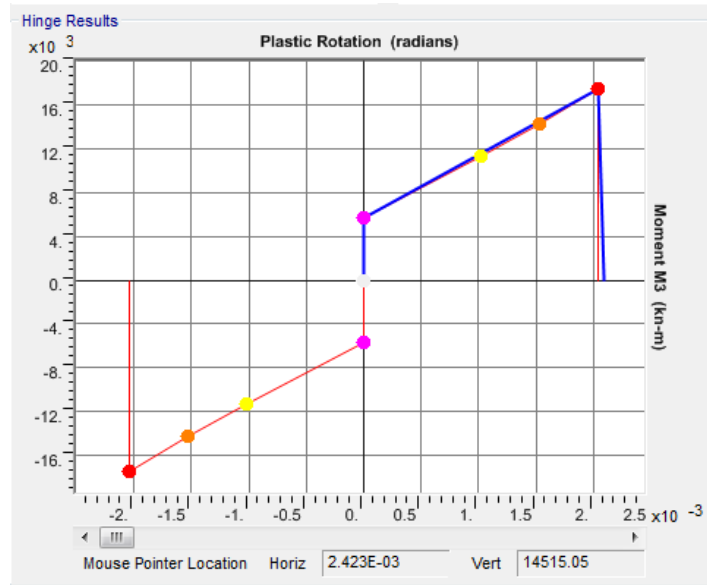


Şekil 6.8 Minare-1'in kesme deformasyon eğrisi

Şekil 6.12'de gösterilen Minare-1 modelinin kesme deformasyonu için hesaplanan plastik mafsal dönme sonucu görülmektedir. Şekil 6.9'da görülen mavi grafik, Patwardhan tarafından geliştirilen formüller kullanılarak elde edilen plastik dönme- moment grafiğidir, kırmızı çizgilerle oluşturulan grafik ise SAP2000 programı tarafından hesaplanan değerleri göstermektedir.

Tablo 6.5 Minare-1 kesme deformasyonu plastik dönme-moment grafiği sonuçları

Adım	M3 (kN-m)	R3PI Radians	R3PIMax Radians
1.Adım	5678.8837	0	0
2.Adım	17495.2503	0.002047	0.002047
3.Adım	0	0.002091	0.002091



Şekil 6.9 Minare-1 kesme deformasyonu plastik dönme-moment grafiği

SAP2000 programında elde edilen kesme deformasyonu sonuçları aşağıdaki formülle (5.11) el hesabı yapılarak sonuçların doğruluğu kontrol edilmiştir. Minarenin tepe noktasındaki yani serbest ucundaki kesme deformasyonundan kaynaklanan yanıl yerdeğiştirme deformasyonu aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

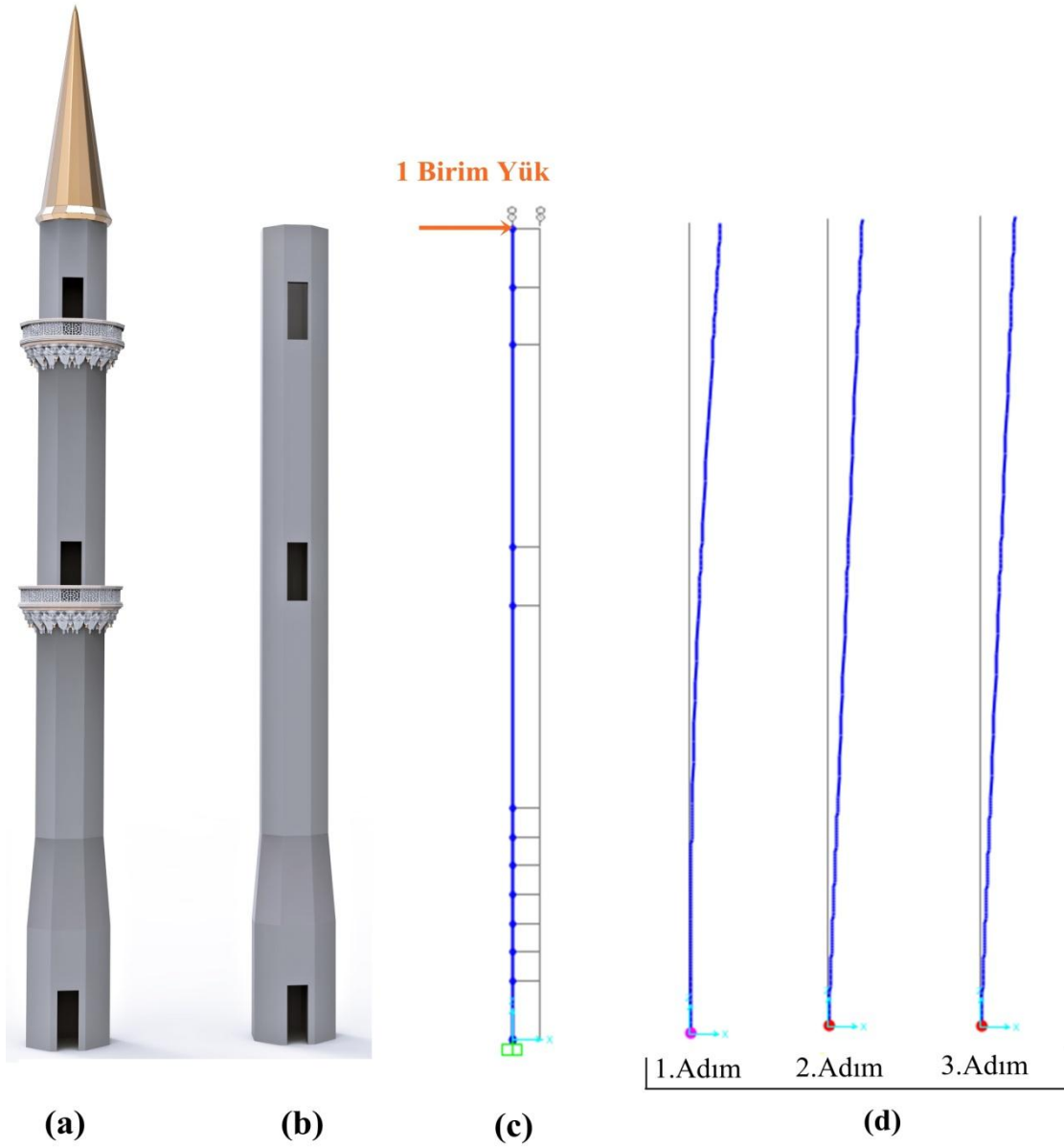
$$\Delta_{tepe\ deplasman\ 1} = \theta_{kesme} L \quad (5.11)$$

burada $\Delta_{tepe\ deplasman\ 1}$: Kesme deformasyonundan dolayı minarenin tepe noktasındaki deplasmanı, θ_{kesme} : Kesme deformasyonu sonucunda plastik mafsaldaki dönme ve L : Minare yüksekliğini ifade etmektedir. 19 m yüksekliğindeki Minare-1 modeli için kesme deformasyonunda dolayı oluşan tepe deplasmanın el hesabı ile SAP2000 programı tarafından hesaplanan analiz sonuçlarının doğrulaması Tablo 6.6'da gösterilmektedir.

Tablo 6.6 Minare-1 modelinin kesme deformasyonun el hesabı kontrolü

θ_{kesme} (rad)	L (m)	$\Delta_{tepe\ deplasman\ 1}$ (m)	SAP2000 Analiz Sonucu (m)
0.002091	19	0.03972	0.03973

28 m yükseliğindeki iki şerefeli Minare-2 modelinin kesme deformasyonu pushover analiz sonuçları Şekil 6.10'da detaylı olarak görölmektedir.

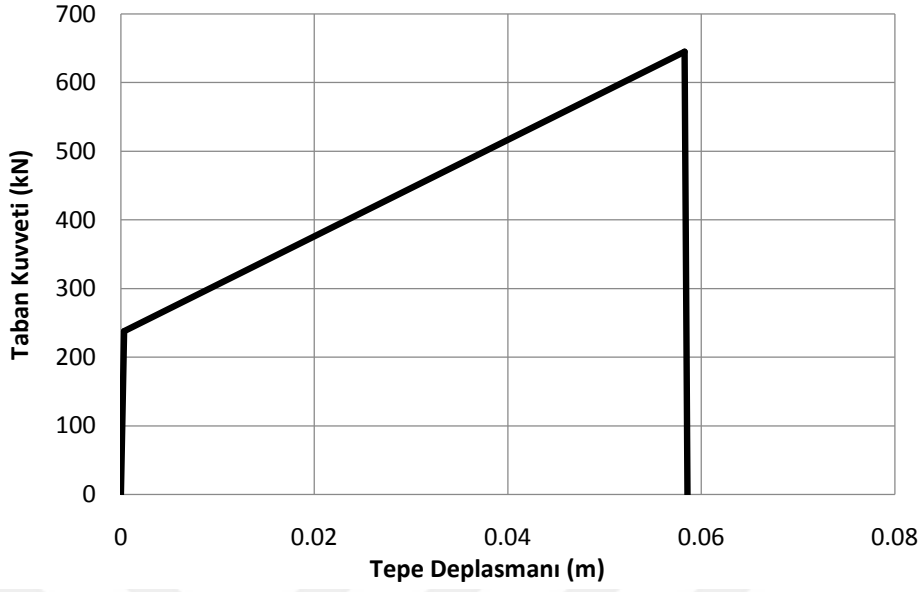


Şekil 6.10 Minare-2'nin (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Kesme deformasyon sonuçları

Minare-2 modelinin sonuçları incelendiğinde taban kesme kuvveti 644.998 kN ulaştığında model kesme göçmesine uğradığı gözlemlenmiştir. Kesme deformasyonun belirlenmesi için tanımlanan plastik mafsallı modelinin sonuçları aşağıda gösterilmektedir.

Tablo 6. 7 Minare-2'nin kesme deformasyon kapasite eğrisi sonuçları

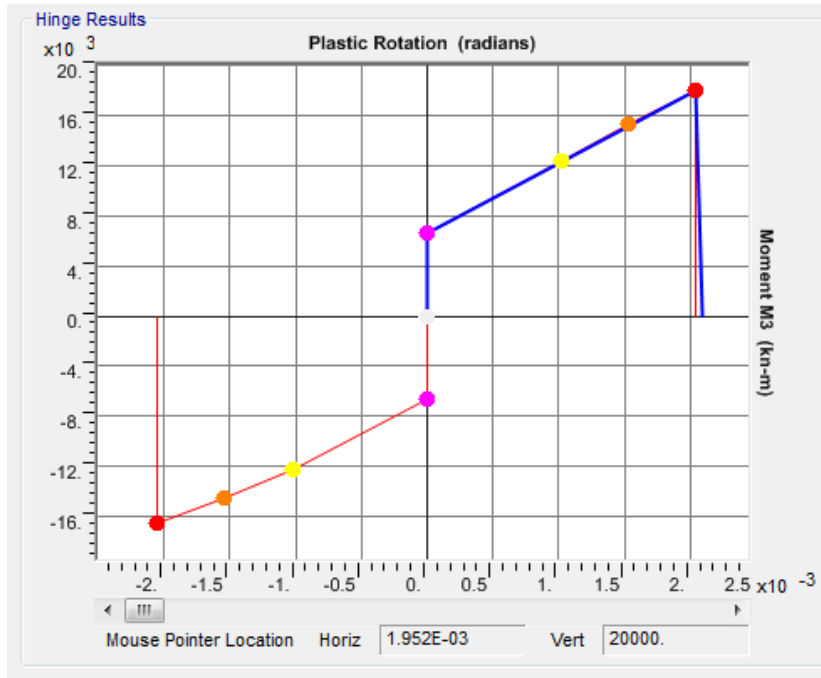
Adım	Deplasman (m)	Taban Kuvveti (kN)
1.Adım	0.000351	237.571
2.Adım	0.058269	644.998
3.Adım	0.058589	0.002376



Şekil 6. 11 Minare-2'nin kesme deformasyon eğrisi

Tablo 6. 8 Minare-2'nin kesme deformasyonu plastik dönme-moment grafiği sonuçları

Adım	M3 (kN-m)	R3PI Radians	R3PIMax Radians
1.Adım	6651.9824	0	0
2.Adım	18059.9486	0.002047	0.002047
3.Adım	0	0.002092	0.002092



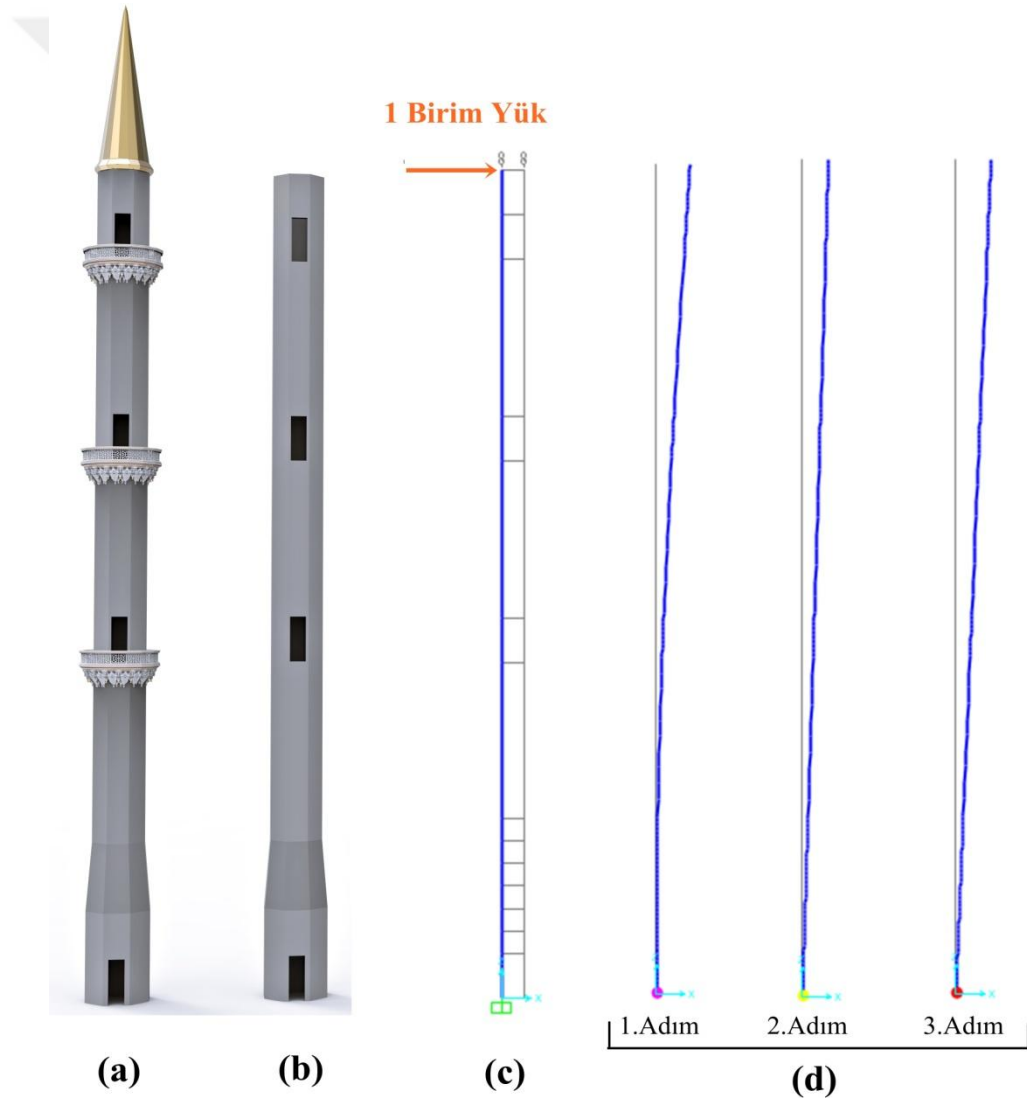
Şekil 6.12 Minare-2'nin kesme deformasyonu plastik dönme-moment grafiği

28 m yüksekliğindeki Minare-2 modeli için kesme deformasyonunda dolayı oluşan tepe deplasmanın el hesabı ile SAP2000 programı tarafından analiz sonuçlarının doğrulaması formül 5.11 kullanılarak elde edilen sonuçlar ve SAP2000 programında bulunan sonuçlar Tablo 6.9’da gösterilmektedir.

Tablo 6.9 Minare-2 modelinin kesme deformasyonun el hesabı kontrolü

θ_{kesme} (rad)	L (m)	$\Delta_{tepe\ deplasman}$ (m)	SAP2000 Analiz Sonucu (m)
0.002092	28	0.05857	0.05858

37 m yükseliğindeki üç şerefeli Minare-3 modelinin kesme deformasyonu pushover analiz sonuçları şekil 6.19’da detaylı olarak görülmektedir.

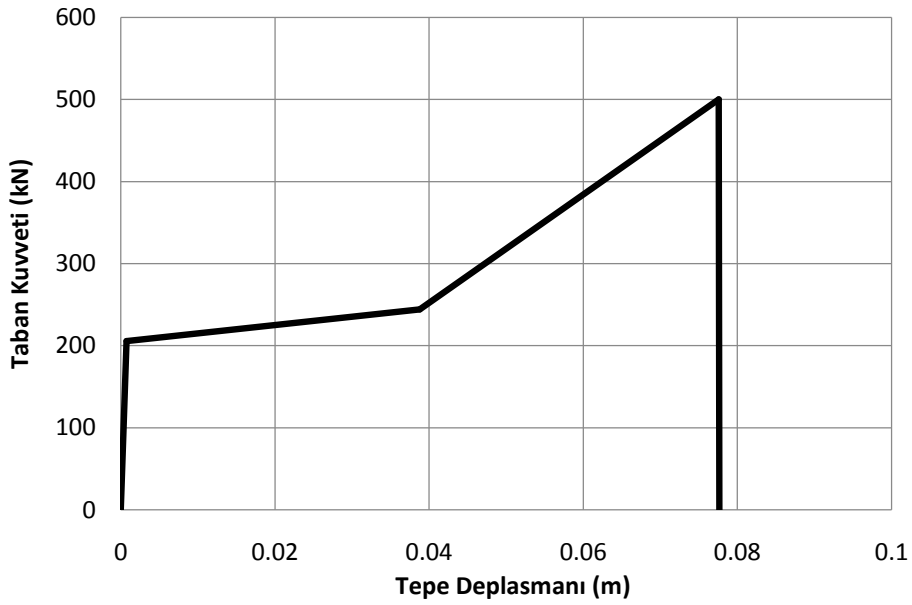


Şekil 6.13 Minare-3’ün (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Kesme deformasyon sonuçları

Minare-3 modelinin sonuçları incelendiğinde taban kesme kuvveti 499.927 kN ulaştığında model kesme göçmesine uğradığı gözlemlenmiştir. Kesme deformasyonun belirlenmesi için tanımlanan plastik mafsal modelinin sonuçları aşağıda gösterilmektedir.

Tablo 6.10 Minare-3'ün kesme deformasyon kapasite eğrisi sonuçları

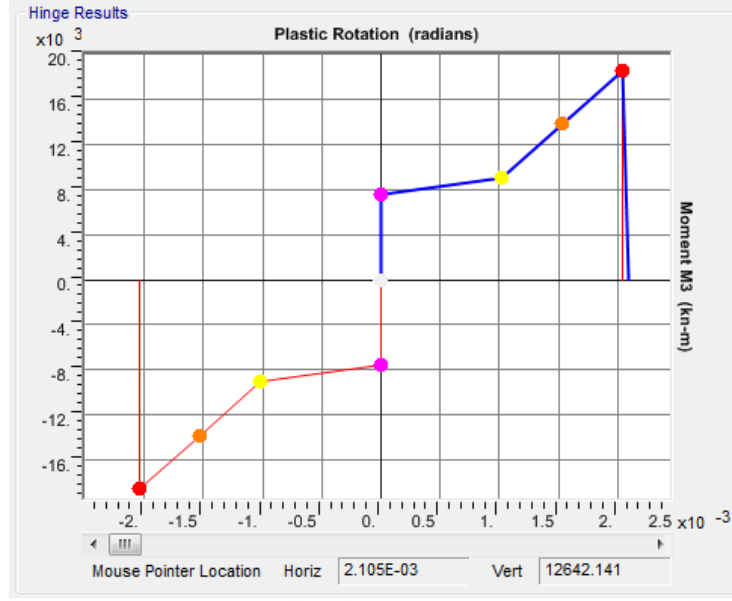
Adım	Deplasman (m)	Taban Kuvveti (kN)
1.Adım	0.000763	205.497
2.Adım	0.038795	244.292
3.Adım	0.077596	499.927
4.Adım	0.077672	0.002666



Şekil 6.14 Minare-3'ün kesme deformasyon eğrisi

Tablo 6.11 Minare-3'ün kesme deformasyonu plastik dönme-moment grafiği sonuçları

Adım	M3 (kN-m)	R3PI Radians	R3PIMax Radians
1.Adım	7603.3769	0	0
2.Adım	9038.7871	0.001024	0.001024
3.Adım	18497.3129	0.002047	0.002047
4.Adım	0	0.002094	0.002094



Şekil 6.15 Minare-3'ün kesme deformasyonu plastik dönme-moment grafiği

37 m yüksekliğindeki Minare-3 modeli için kesme deformasyonunda dolayı oluşan tepe deplasmanın el hesabı ile SAP2000 programı tarafından analiz sonuçlarının doğrulaması formül 5.11 kullanılarak elde edilen sonuçlar ve SAP2000 programında bulunan sonuçlar Tablo 6.12'de gösterilmektedir.

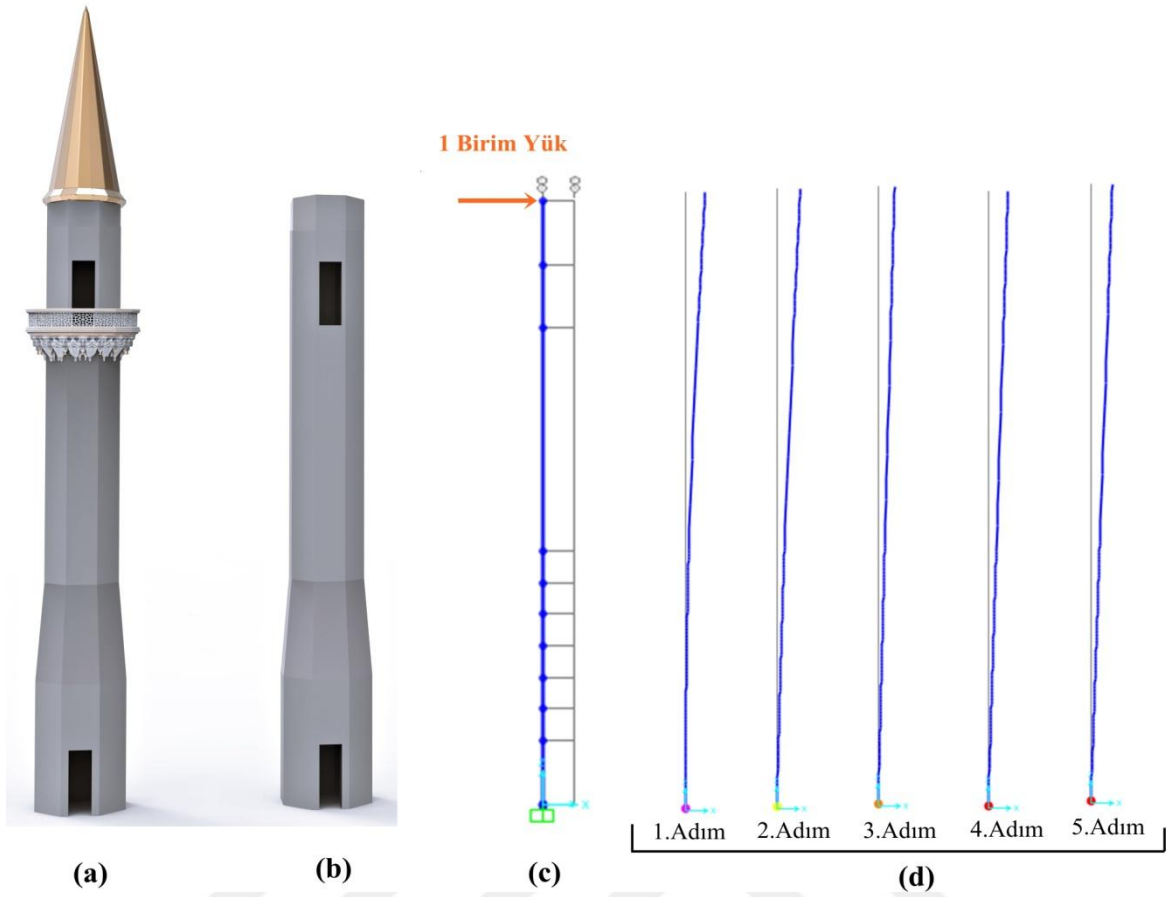
Tablo 6.12 Minare-3 modelinin kesme deformasyonun el hesabı kontrolü

θ_{kesme} (rad)	L (m)	$\Delta_{tepe\ deplasman}$ (m)	SAP2000 Analiz Sonucu (m)
0.002094	37	0.0774	0.0776

6.1.3 Sıyırılma deformasyon sonuçları

Bu bölümde minarelerin donatı sıyırılmasından dolayı yanal deformasyon davranışlarını incelemek amacıyla, Bölüm 4.1.2'te incelenen ve Sezen H.(2002) tarafından geliştirilen formüller kullanılarak üç minare modeli için ayrı ayrı sıyırılma deformasyonu plastik mafsal modelleri oluşturulmuştur. Minare sadece taban kısmından ankstre şeklinde mesnetlendiği için sıyırılma deforsasyonları sadece uç noktalarda gerçekleşeceği düşünülmüş ve oluşturulan plastik mafsal modelleri minare modellerinin sadece alt ucuna tanımlanmıştır. Bu şekilde oluşturulan minare modelleri pushover analizi uygulanarak, analiz sonuçları aşağıda incelenmiştir.

19m yükseliğindeki tek şerefeli Minare-1 modelinin sıyırılma deformasyonu pushover analiz sonuçları Şekil 6.16'da detaylı olarak görülmektedir.

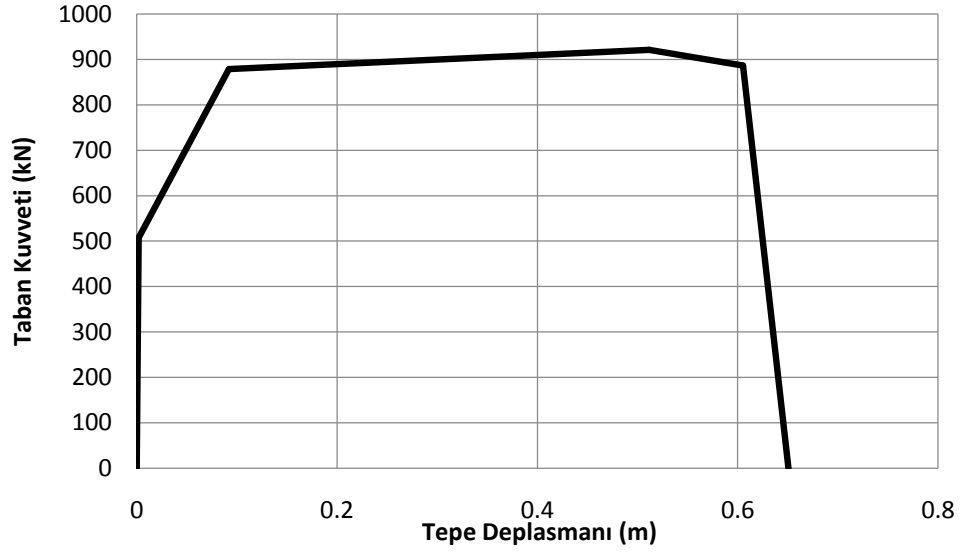


Şekil 6.16 Minare-1'in (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu hali (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Sıyırma deformasyon sonuçları

Minare-1 modelinin sıyırma deformasyonu sonuçları incelendiğinde taban kuvveti 886.14 kN ulaştığında model sıyırma deformasyonundan dolayı göçtüğü gözlemlenmiştir. Sıyırma deformasyonun belirlenmesi için tanımlanan plastik mafsallı modelin sonuçları aşağıda gösterilmektedir.

Tablo 6.13 Minare-1'in sıyırma deformasyon kapasite eğrisi sonuçları

Adım	Deplasman (m)	Taban Kuvveti (kN)
1.Adım	0.020256	507.581
2.Adım	0.092064	878.653
3.Adım	0.511746	920.803
4.Adım	0.605363	886.14
5.Adım	0.650527	0.005076

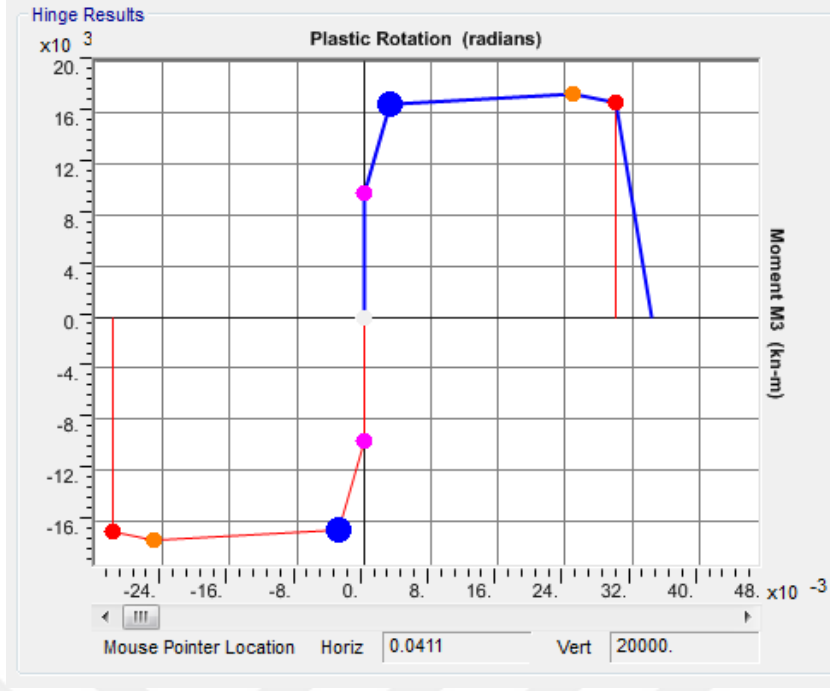


Şekil 6.17 Minare-1'in sıyrılma deformasyon eğrisi

Şekil 6.18'de gösterilen Minare-2 modelinin sıyrılma deformasyonu için hesaplanan plastik mafsalsal dönme sonucu görülmektedir. Şekil 6.18'de görülen mavi grafik Sezen H.(2002) tarafından geliştirilen formüller kullanılarak elde edilen plastik dönme-moment grafiğidir, kırmızı çizgilerle oluşturulan grafik ise SAP2000 programı tarafından hesaplanan değerleri göstermektedir.

Tablo 6.14 Minare-1'in sıyrılma deformasyonu plastik dönme-moment grafiği sonuçları

Adım	Deplasman (m)	Taban Kuvveti (kN)
1.Adım	0.0020256	507.581
2.Adım	0.092064	878.653
3.Adım	0.511746	920.803
4.Adım	0.605363	886.14
5.Adım	0.650527	0.005076



Şekil 6.18 Minare-1'in sıyrılma deformasyonu plastik dönme-moment grafiği

SAP2000 programında elde edilen sıyrılma deformasyonu sonuçları aşağıdaki formülle (5.12) el hesabı yapılarak sonuçların doğruluğu kontrol edilmiştir. Minarenin tepe noktasındaki yani serbest ucundaki kesme deformasyonundan kaynaklanan yanıl yerdeğiştirme deformasyonu aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

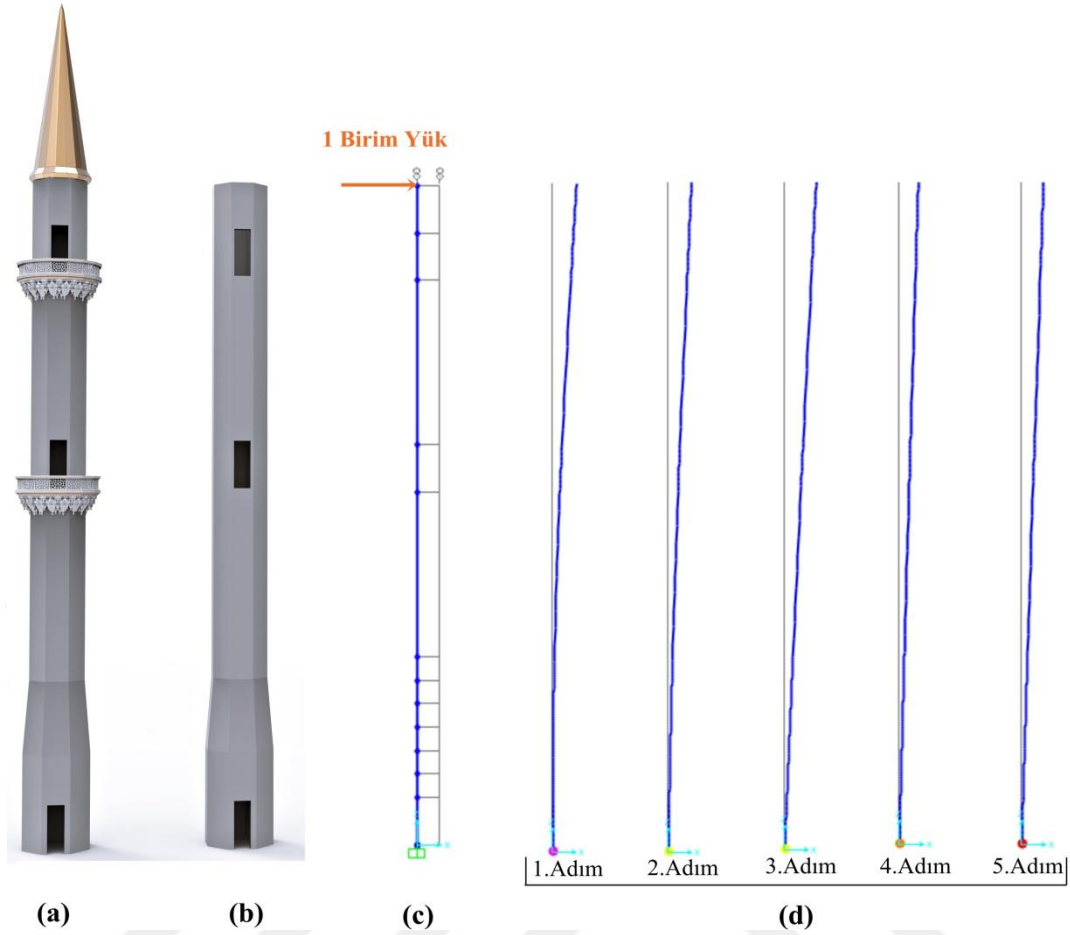
$$\Delta_{tepe\ deplasman\ 1} = \theta_{Sıyrılma} L \quad (5.12)$$

burada; $\Delta_{tepe\ deplasman\ 1}$: Sıyrılma deformasyonundan dolayı minarenin tepe noktasındaki deplasmanı, $\theta_{Sıyrılma}$: Sıyrılma deformasyonu sonucunda plastik mafsaldaki dönme ve L : Minare yüksekliğini ifade etmektedir. 19 m yüksekliğindeki Minare-1 modeli için sıyrılma deformasyonunda dolayı oluşan tepe deplasmanın el hesabı ile SAP2000 programı tarafından analiz sonuçlarının doğrulaması Tablo 6.15'de gösterilmektedir.

Tablo 6.15 Minare-1 modelinin sıyrılma deformasyonunun el hesabı kontrolü

$\theta_{Sıyrılma}$ (rad)	L (m)	$\Delta_{tepe\ deplasman\ 1}$ (m)	SAP2000 Analiz Sonucu (m)
0.03423	19	0.65053	0.65052

28 m yükseliğindeki iki şerefeli Minare-2 modelinin sıyrılma deformasyonu pushover analiz sonuçları Şekil 6.19'da detaylı olarak görülmektedir.

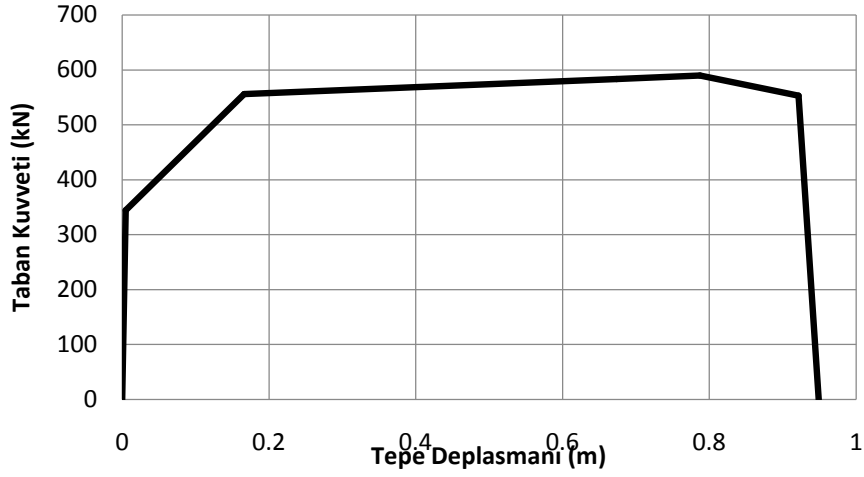


Şekil 6.19 Minare-2'nin (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Sıyırma deformasyonu sonuçları

Minare-2 modelinin sıyırma deformasyonu sonuçları incelendiğinde taban kuvveti 583.482 kN ulaştığında model sıyırma deformasyonundan dolayı göçtüğü gözlemlenmiştir. Sıyırma deformasyonunun belirlenmesi için tanımlanan plastik mafsal modelinin sonuçları aşağıda gösterilmektedir.

Tablo 6.16 Minare-2'nin sıyırma deformasyon kapasite eğrisi sonuçları

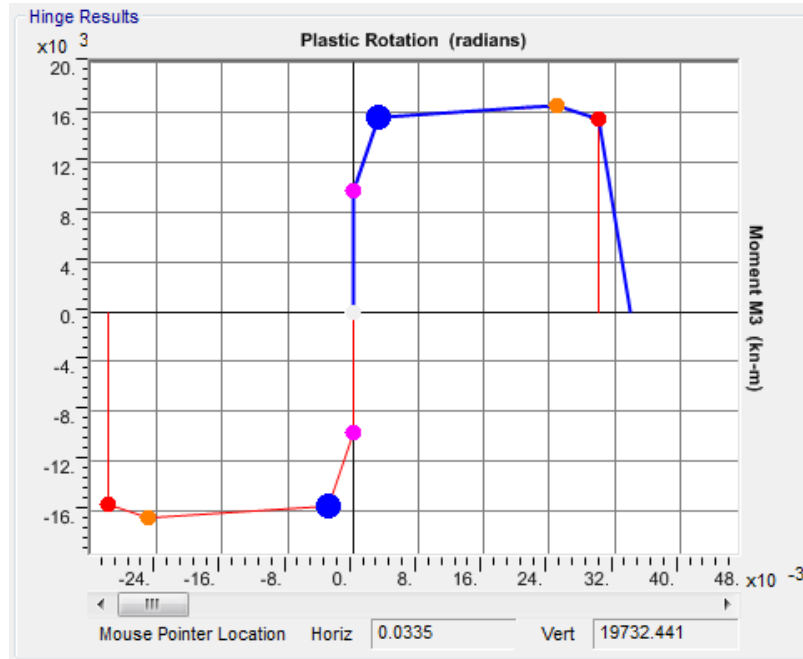
Adım	Deplasman (m)	Taban Kuvveti (kN)
1.Adım	0.0050873	344.43
2.Adım	0.166104	555.877
3.Adım	0.674104	583.369
4.Adım	0.787068	589.482
5.Adım	0.921706	553.182
6.Adım	0.949174	0.003444



Şekil 6.20 Minare-2'nin sıyırılma deformasyon eğrisi

Tablo 6.17 Minare-2'nin sıyırılma deformasyonu plastik dönme-moment grafiği

Adım	M3 (kN-m)	R3PI Radians	R3PIMax Radians
1.Adım	9644.0469	0	0
2.Adım	15564.5654	0.003	0.003
3.Adım	16334.331	0.020998	0.020998
4.Adım	16505.5032	0.025	0.025
5.Adım	15489.0916	0.03	0.03
6.Adım	0	0.033899	0.033899



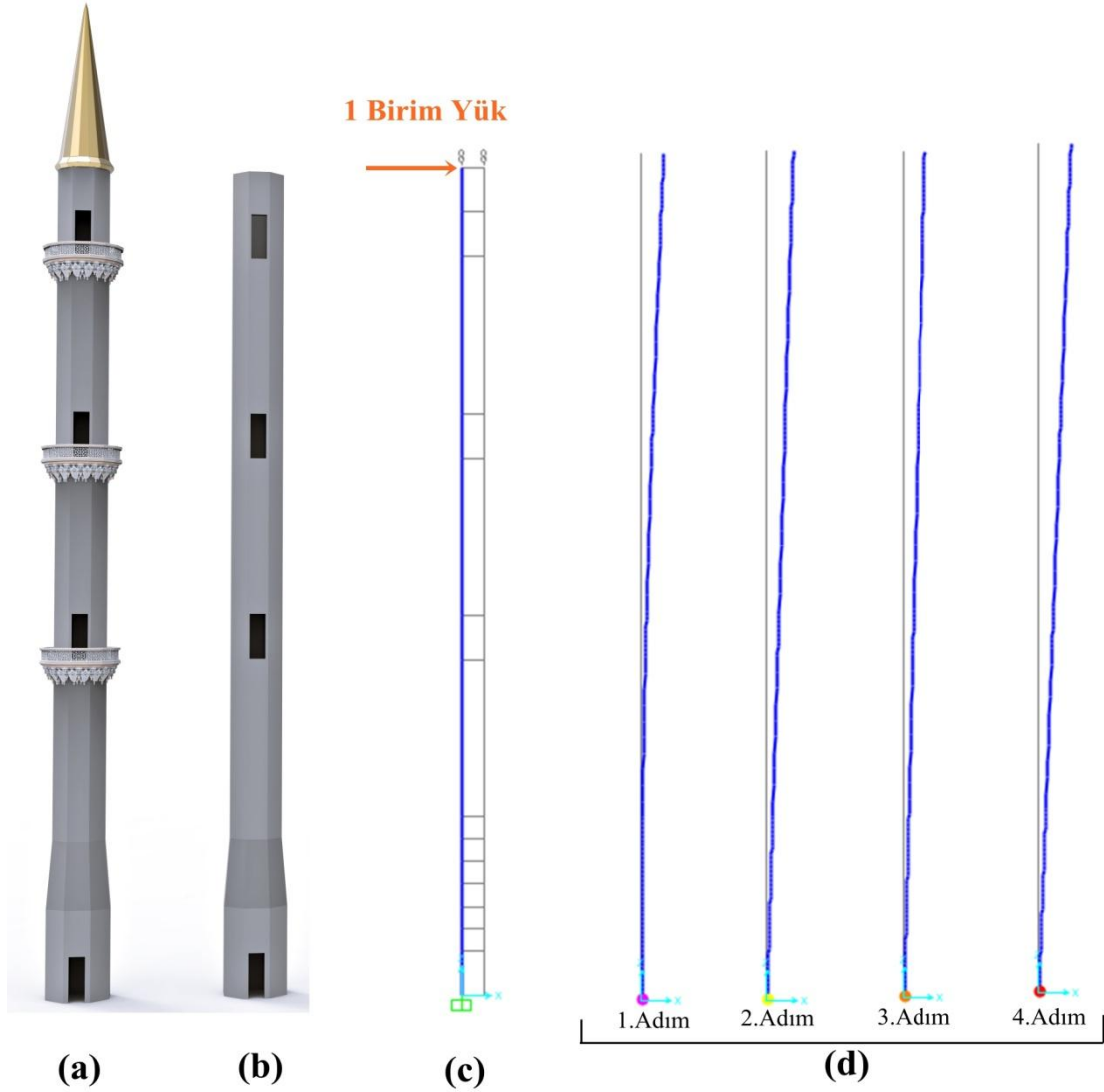
Şekil 6.21 Minare-2'nin sıyırılma deformasyonu plastik dönme-moment grafiği

28 m yüksekliğindeki Minare-2 modeli için sıyrılma deformasyonunda dolayı oluşan tepe deplasmanın el hesabı ile SAP2000 programı tarafından analiz sonuçlarının doğrulaması formül 5.12 kullanılarak elde edilen sonuç ve SAP2000 programında bulunan sonuç Tablo 6.18’de gösterilmektedir.

Tablo 6.18 Minare-2 modelinin kesme deformasyonunun el hesabı kontrolü

$\theta_{sıyrılma}$ (rad)	L (m)	$\Delta_{tepe\ deplasman}$ (m)	SAP2000 Analiz Sonucu (m)
0.03389	28	0.9489	0.9491

37 m yüksekliğindeki üç şerefeli Minare-3 modelinin sıyrılma deformasyonu pushover analiz sonuçları Şekil 6.22’de detaylı olarak görülmektedir.

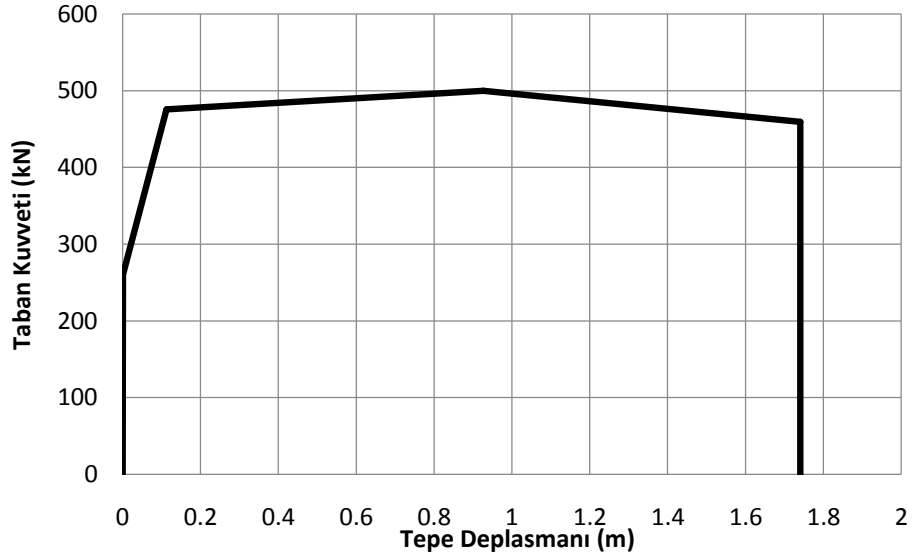


Şekil 6.22 Minare-3’ün (a) 3 boyutlu genel görünüşü, (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Sıyrılma deformasyon sonuçları

Minare-3 modelinin sıyırılma deformasyonu sonuçları incelendiğinde taban kuvveti 459.387 kN ulaştığında model sıyırılma deformasyonundan dolayı göçtüğü gözlemlenmiştir. Sıyırılma deformasyonun belirlenmesi için tanımlanan plastik mafsal modelinin sonuçları aşağıda gösterilmektedir.

Tablo 6.19 Minare-3'ün sıyırılma deformasyon kapasite eğrisi sonuçları

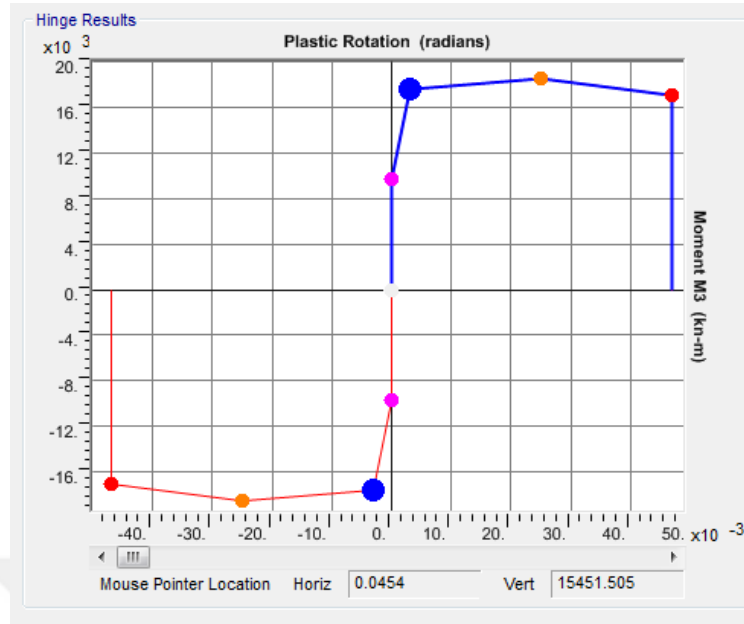
Adım	Deplasman (m)	Taban Kuvveti (kN)
1.Adım	0.000968	260.65
2.Adım	0.112767	475.605
3.Adım	0.926857	499.927
4.Adım	1.740707	459.387
5.Adım	1.740834	0.003334



Şekil 6.23 Minare-3'ün sıyırılma deformasyon eğrisi

Tablo 6.20 Minare-3'ün sıyırılma deformasyonu plastik dönme-moment grafiği sonuçları

Adım	M3 (kN-m)	R3PI Radians	R3PIMax Radians
1.Adım	9644.0469	0	0
2.Adım	17597.3886	0.003	0.003
3.Adım	18497.3129	0.025	0.025
4.Adım	16997.3262	0.047	0.047
5.Adım	0	0.047043	0.047043



Şekil 6.24 Minare-3'ün sıyrılma deformasyonu plastik dönme-moment grafiği

37 m yüksekliğindeki Minare-3 modeli için sıyrılma deformasyonunda dolayı oluşan tepe deplasmanın el hesabı ile SAP2000 programı tarafından analiz sonuçlarının doğrulaması formül 5.12 kullanılarak elde edilen sonuç ve SAP200 programında bulunan sonuç Tablo 6.21'de gösterilmektedir.

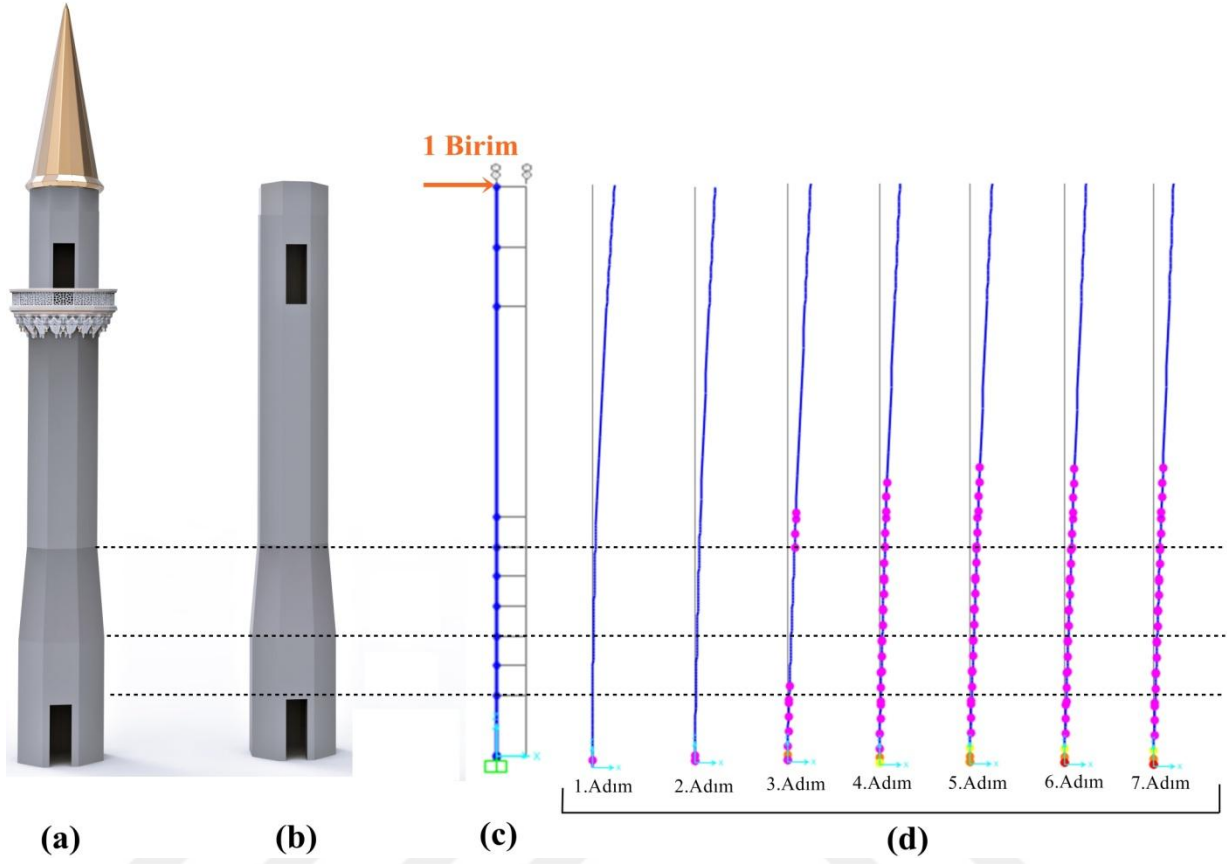
Tablo 6.21 Minare-3 modelinin sıyrılma deformasyonun el hesabı kontrolü.

$\theta_{\text{sıyrılma}}$ (rad)	L (m)	$\Delta_{\text{tepe deplasman}}$ (m)	SAP2000 Analiz Sonucu (m)
0.04704	37	1.74048	1.74083

6.1.4 Toplam yanal deformasyon sonuçları

Toplam yanal deformasyon eğilme deformasyonu, sıyrılma deforasyonu ve kesme kesme deformasyonlarının toplamı olduğundan dolayı toplam yanal deformasyonun hesaplanabilmesi için bu üç deformasyon bileşeni üst üste eklenerek analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu nedenden dolayı eğilme, sıyrılma ve kesme deformasyonları için ayrı yarı tanımlanan plastik mafsalları aynı model üzerinde tanımlanarak minare modellerinin analizleri yapılmıştır. Eğilme deformasyonları için oluşturulan plastik mafsallar minare boyunca her 0.50 m'de bir tanımlanırken kesme ve sıyrılma deformasyonları için tanımlanan plastik mafsalları sadece minarenin taban kısmında

tanımlanmıştır. Bu şekilde oluşturulan 3 ayrı minare modeline pushover analizi uygulanarak sonuçlar aşağıda incelenmiştir.

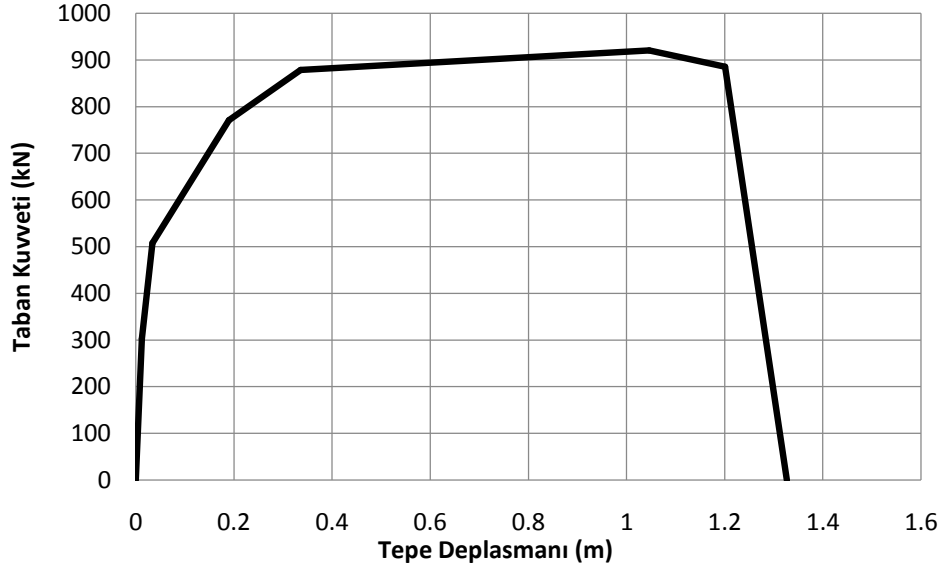


Şekil 6.25 Minare-1'in (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu hali (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Toplam yanıl deformasyon sonuçları

Minare-1 modelinin toplam yanıl deformasyon sonuçları incelendiğinde, toplam yanıl deformasyonun eğilme, sıyırılma ve kesme deformasyonlarının toplamı olduğu Şekil 6.28'de pushover analizi sonuçlarının da görülmektedir.

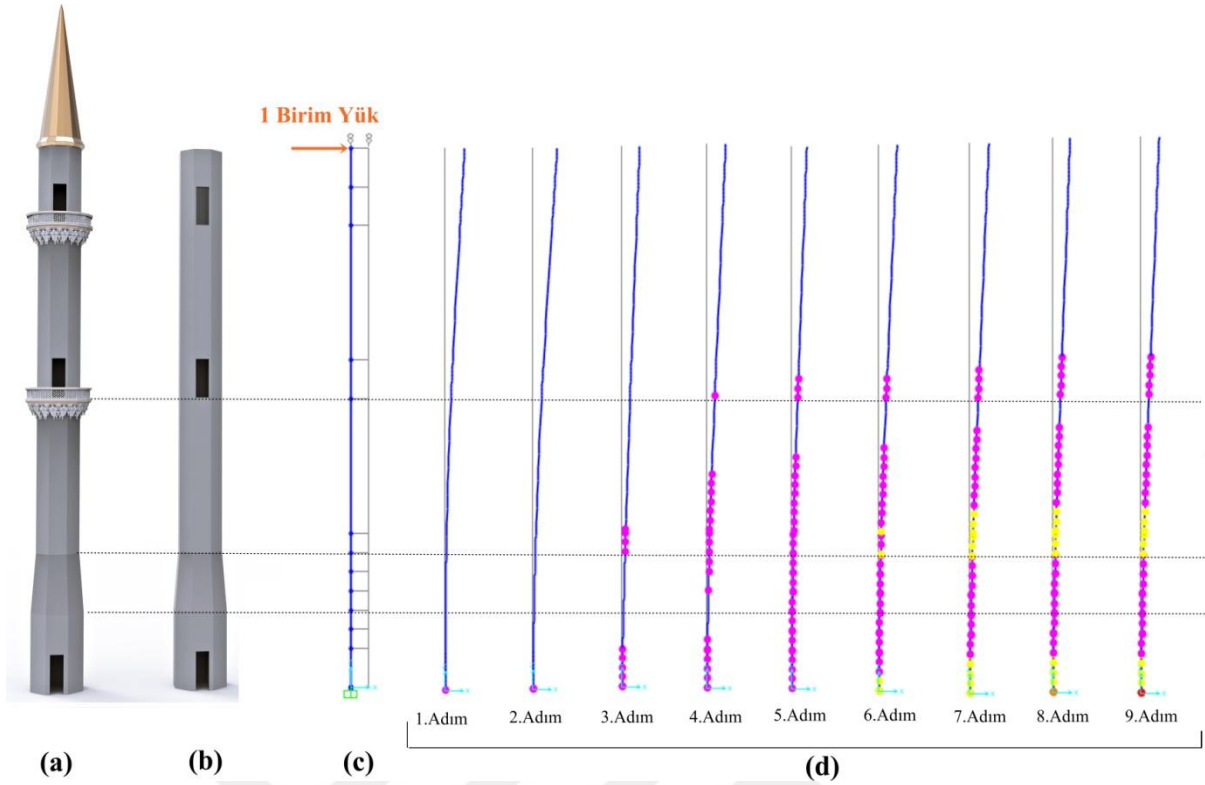
Tablo 6.22 Minare-1'in toplam yanıl deformasyon kapasite eğrisi sonuçları

Adım	Deplasman (m)	Taban Kuvveti (kN)
1. Adım	0.012054	302.068
2. Adım	0.03336	507.581
3. Adım	0.189547	770.844
4. Adım	0.335431	878.44
5. Adım	1.046252	920.579
6. Adım	1.200783	885.925
7. Adım	1.326483	0.005075



Şekil 6.26 Minare-1'in toplam yanal deformasyon eğrisi

28 m yükseliğindeki iki şerefeli Minare-2 modelinin pushover analiz sonuçları incelendiğinde plastikleşmenin minarenin kaide kısmındaki 0.00 m ile +2.00 m kotları arasındaki kapı bölgesinden başladığı görülmektedir. 3.adıma gelindiğinde plastik mafsallar, kesitin daraldığı minarenin küp kısmından gövdeye geçiş bölgesinde oluşmaya başladığı gözlemlenmiştir. 5.adıma gelindiğinde kaide kısmındaki kapı bölgesinde çatlaklıkların oluşmaya başladığı ve hemen ardından çatlakların küp kısmından minare gövde kısmına geçiş bölgesinde başladığı gözlemlenmiştir. 9.adıma kadar kaide kısmındaki kapı boyunca ve minare gövdesi boyunca çatlaklıklar yayılarak devam etmiştir. 11.adıma ulaşıldığında ise minare, nihai taşıma kapasitesine ulaşarak kaide kısmındaki kapı bölgesinden göçtüğü gözlemlenmiştir. Minare-2'in toplam yanal deformasyon analiz sonuçları Şekil 6.27'de detaylı olarak görülmektedir.

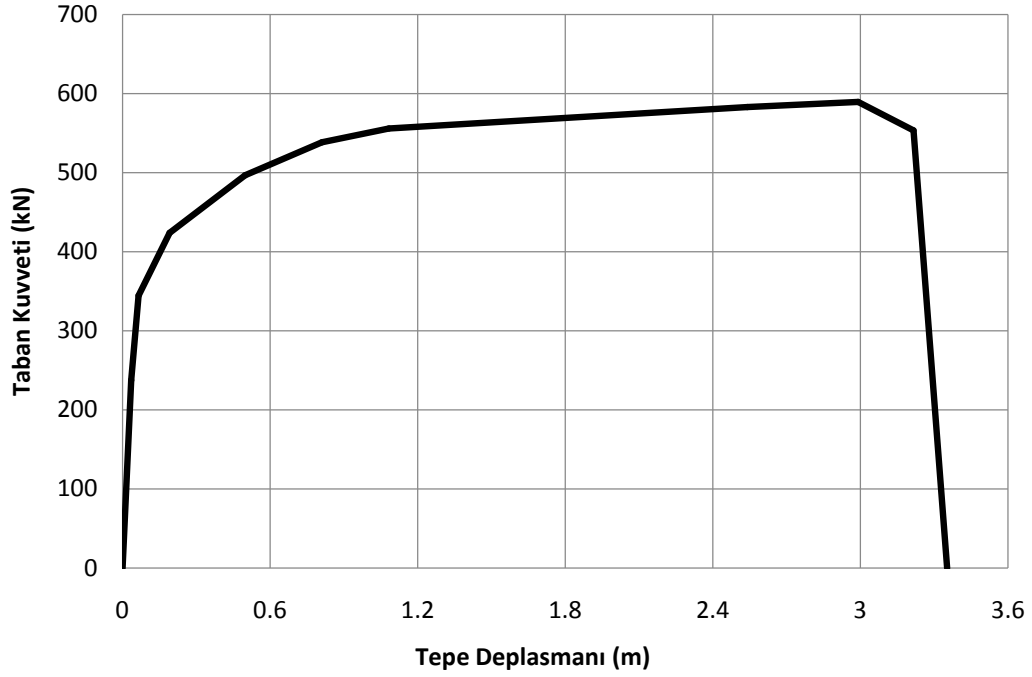


Şekil 6.27 Minare-2'nin (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Toplam yanıl deformasyon sonuçları

Minare-2 modelinin toplam yanıl deformasyon sonuçları incelendiğinde, toplam yanıl deformasyonun eğilme, sıyrıılma ve kesme deformasyonlarının toplamı olduğu Şekil 6.31'de pushover analizi sonuçlarının da görülmektedir.

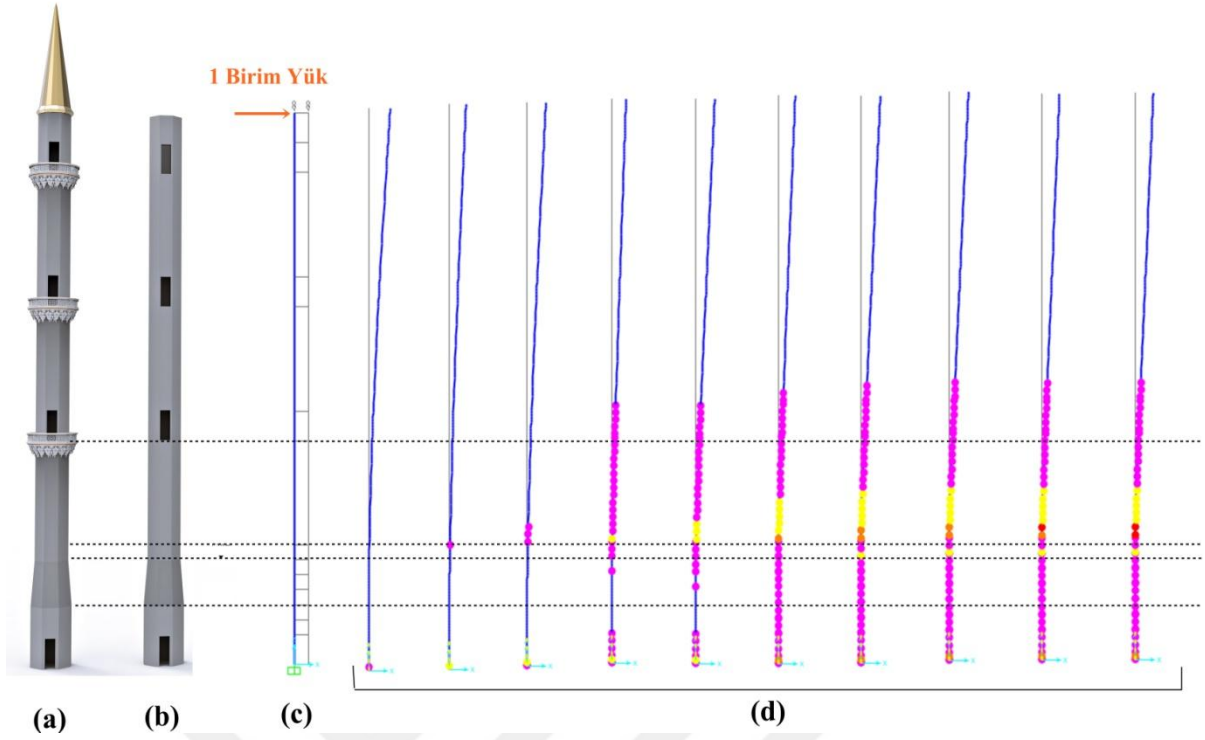
Tablo 6.23 Minare-2'nin toplam yanıl deformasyon kapasite eğrisi sonuçları

Adım	Deplasman (m)	Taban Kuvveti (kN)
1.Adım	0.03509	237.571
2.Adım	0.065725	344.43
3.Adım	0.191911	423.964
4.Adım	0.499467	496.509
5.Adım	0.811362	538.272
6.Adım	1.083961	555.877
7.Adım	2.540681	583.001
8.Adım	2.991569	589.482
9.Adım	3.215975	553.182
10.Adım	3.352615	0.003444



Şekil 6.28 Minare-2'nin toplam yanal deformasyon eğrisi

37 m yüksekliğindeki üç şerefeli Minare-3 modelinin pushover analiz sonuçları incelendiğinde plastikleşmenin Minare-1 ve Minare-2 modellerinde olduğu gibi kaide kısmındaki kapı bölgesinden başladığı fakat göçmenin, küp kısmının gövde bölgesine geçiş kısmındaki etriye sıklaştırmalarının hemen üst bölgesinden yani +9.00 m kotundaki noktada olduğu gözlemlenmiştir. 3.adıma gelindiğinde plastik mafsallar, gövde kısmındaki etriye sıklaştırmalarının hemen üst kısmından yukarıya doğru devam ederken aynı zamanda kaide bölgesindeki kapı kısmında da plastik mafsallar oluşmaya başladığı gözlemlenmiştir. 5.adım da kaide bölgesindeki kapı yüksekliği boyunca ve küp kısmının hemen üst bölgesinde plastik mafsallar oluşurken, gövde alt bölgesinde etriye sıklaştırmalarının hemen üst kısmındaki bölgeden minare çatlamaya başladığı gözlemlenmiştir. 8.adıma kadar çatlakların gövde boyunca yayıldığı ve 10.adıma ulaşıldığında ise minare, nihai taşıma kapasitesine ulaşarak gövde etriye sıklaştırmalarının olduğu yerin hemen üst kısmından yani +9.00 m kotundan göçtüğü gözlemlenmiştir. Minare-3'ün toplam yanal deformasyon analiz sonuçları Şekil 6.33'te detaylı olarak görülmektedir.

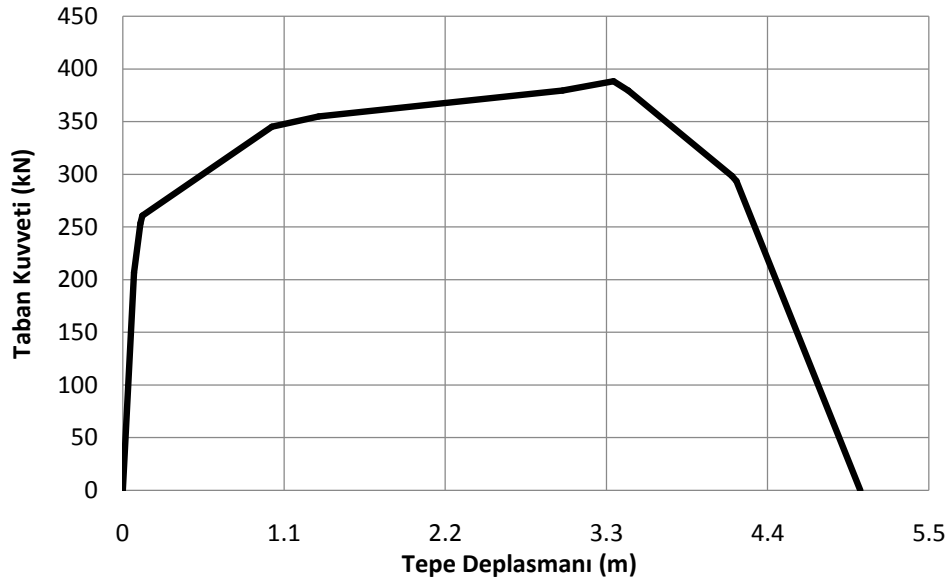


Şekil 6.29 Minare-3'ün (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Toplam yanıl deformasyon sonuçları

Minare-3 modelinin toplam yanıl deformasyon sonuçları incelendiğinde, toplam yanıl deformasyonun eğilme, sıyrıılma ve kesme deformasyonlarının toplamı olduğu Şekil 6.31'de pushover analizi sonuçlarının da görülmektedir.

Tablo 6.24 Minare-3'ün toplam yanıl deformasyon kapasite eğrisi sonuçları

Adım	Deplasman (m)	Taban Kuvveti (kN)
1.Adım	0.076752	206.614
2.Adım	0.120224	253.429
3.Adım	0.134871	260.65
4.Adım	1.018455	345.079
5.Adım	1.336944	354.912
6.Adım	3.001675	379.512
7.Adım	3.348734	388.456
8.Adım	3.448887	379.512
9.Adım	4.155935	298.339
10.Adım	4.186297	293.646
11.Adım	5.03209	0.002398



Şekil 6.30 Minare-3'ün toplam yanıl deformasyon eğrisi

Pushover analizi yapılan üç minare modelinin, eğilme deformasyonu, sıyrıılma deformasyonu ve kesme deformasyonundan dolayı göçtükleri anda ki tepe deplasmanlarının değerleri aşağıdaki Tablo 6.25'te detaylı olarak gösterilmektedir. Yukarıdaki analiz sonuçlarında da görüldüğü gibi toplam yanıl deformasyon değeri, eğilme deformasyonu, sıyrıılma deformasyonu ve kesme deformasyonun toplamı olduğu Tablo 6.26'da da görülmektedir.

Tablo 6.25 Deformasyon bileşenlerinin göçtükleri anda ki tepe deplasmanları

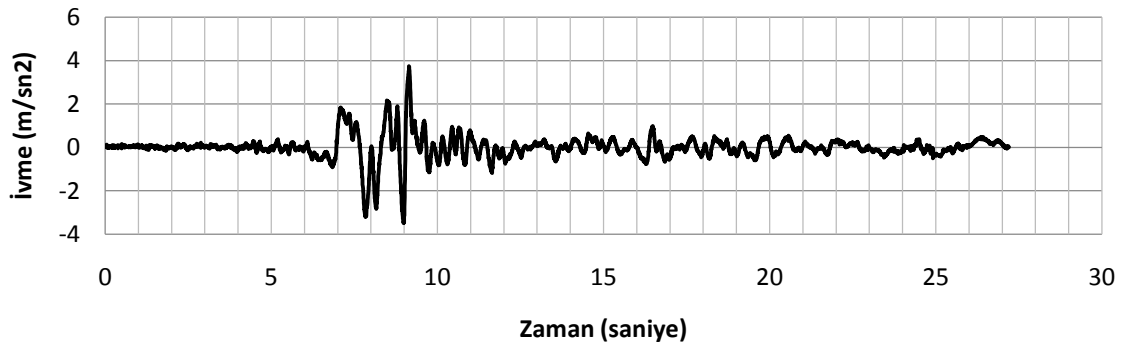
Minare Modelleri	Eğilme Deformasyonu (m)	Sıyrıılma Deformasyonu (m)	Kesme Deformasyonu (m)	Toplam Deformasyon (m)
Minare-1 (19 m)	0.6377	0.6553	0.03973	1.3264
Minare-2 (28 m)	2.3361	0.9491	0.05858	3.3526
Minare-3 (37 m)	3.1799	1.7408	0.07767	5.032

Tablo 6.26 Deformasyon bileşenlerinin toplam deformasyon içerisindeki yüzdeler değeri

Minare Modelleri	Eğilme Deformasyonu (%)	Sıyrıılma Deformasyonu (%)	Kesme Deformasyonu (%)	Toplam Deformasyon (%)
Minare-1 (19 m)	48.0775	49.4044	2.9953	100
Minare-2 (28 m)	69.6802	28.3094	1.7473	100
Minare-3 (37 m)	63.1936	34.5946	1.5435	100

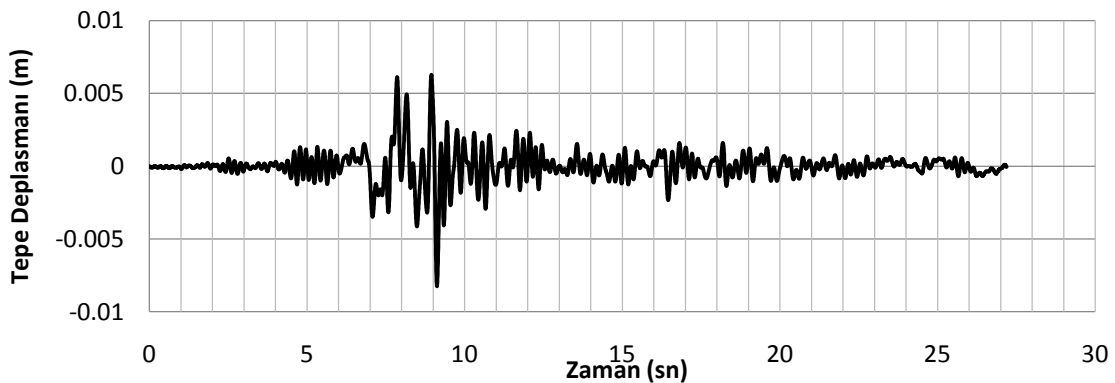
6.2 Time History Analiz Sonuçları

Betonarme minarelerin dinamik yükler altındaki yapısal davranışlarını incelemek amacıyla oluşturulan minare modellerine, 17 Ağustos 1999 Düzce depreminin en büyük şiddete sahip Doğu-Batı yönündeki deprem ivme kaydı etki ettirilmiştir. Uygulanan deprem ivme kaydı Şekil 6.31’te görülmektedir. Dinamik analiz sonucunda, minarelerin tepe deplasmanları, tepe ivme değerleri ve plastik mafsallarda meydana gelen değişimler oluşturulan üç minare modeli için ayrı ayrı incelenecektir.



Şekil 6.31 1999 Düzce Doğu-Batı yönündeki deprem ivme kaydı

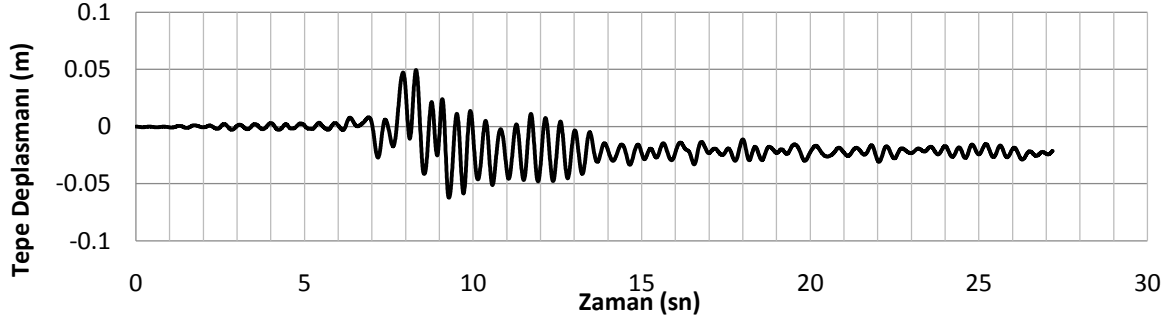
Tek şerefeli 19 m yüksekliğindeki Minare-1 modelinin tepe deplasmanı sonuçları incelendiğinde, tepe noktasındaki maksimum yer değiştirme 9.125 saniyede meydana gelmiştir ve -0.0083 m olarak bulunmuştur. Şekil 6.32’de Minare-1’in tepe deplasman grafiği detaylı olarak görülmektedir.



Şekil 6.32 Minare-1 modelinin tepe deplasman grafiği

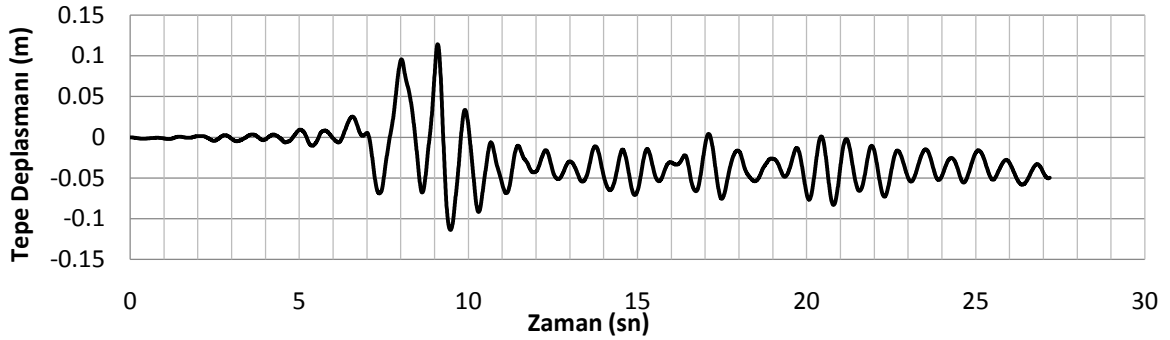
İki şerefeli 28 m yüksekliğindeki Minare-2 modelinin tepe deplasmanı sonuçları incelendiğinde, tepe noktasındaki maksimum yer değiştirme 9.285 saniyede meydana

gelmiştir ve -0.062 m olarak bulunmuştur. Şekil 6.33’de Minare-2’nin tepe deplasman grafiği detaylı olarak görülmektedir.



Şekil 6.33 Minare-2 modelinin tepe deplasman grafiği

Üç şerefeli 37 m yüksekliğindeki Minare-3 modelinin tepe deplasmanı sonuçları incelendiğinde, tepe noktasındaki maksimum yer değiştirme 9.095 saniyede meydana gelmiştir ve 0.1144 m olarak bulunmuştur. Şekil 6.35’de Minare-2’nin tepe deplasman grafiği detaylı olarak görülmektedir.

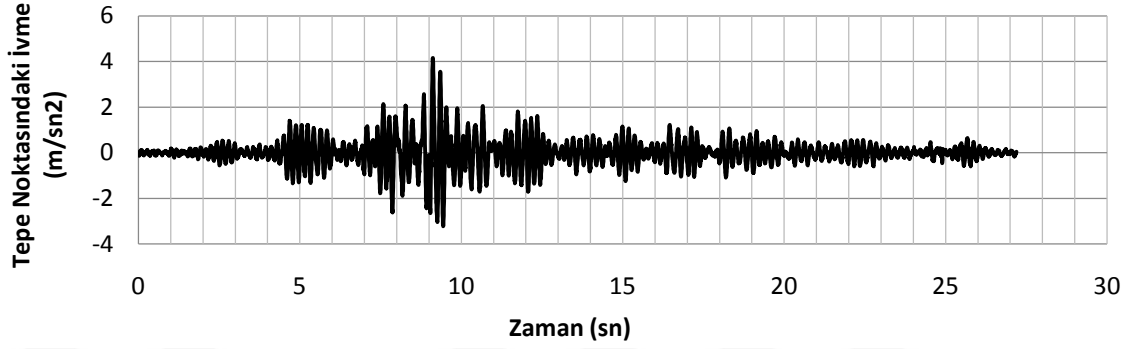


Şekil 6.34 Minare-3 modelinin tepe deplasman grafiği

Tablo 6.27 Deprem etkisinden dolayı maksimum tepe deplasmanları

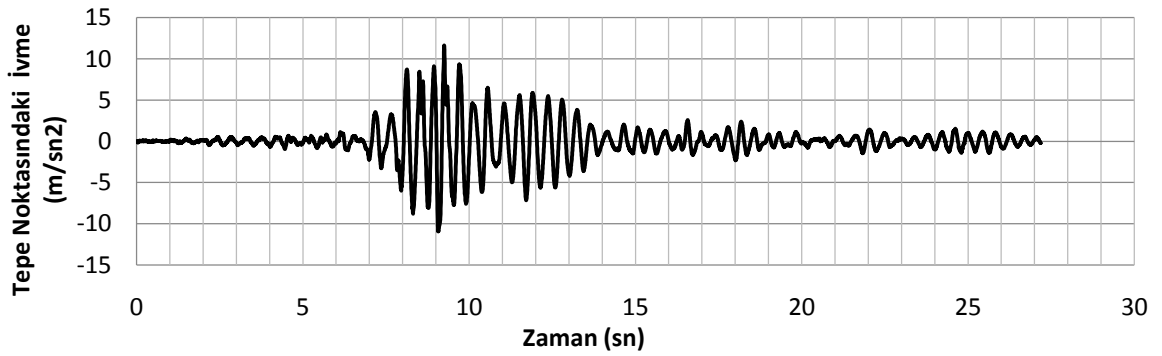
	Minare Yüksekliği	Tepe Noktasındaki Maksimum Yer Değiştirme
Minare - 1	19 m	-0.0083 m
Minare - 2	28 m	-0.0622 m
Minare - 3	37 m	0.1144 m

19 m yüksekliğinde Minare-1 modelinin tepe noktasındaki ivme değişimleri incelendiğinde 9.115 saniyede 4.1639 m/sn² olarak hesaplanmıştır. Minare-1 modeline ait tepe ivme grafiği Şekil 6.36'da detaylı olarak görülmektedir.



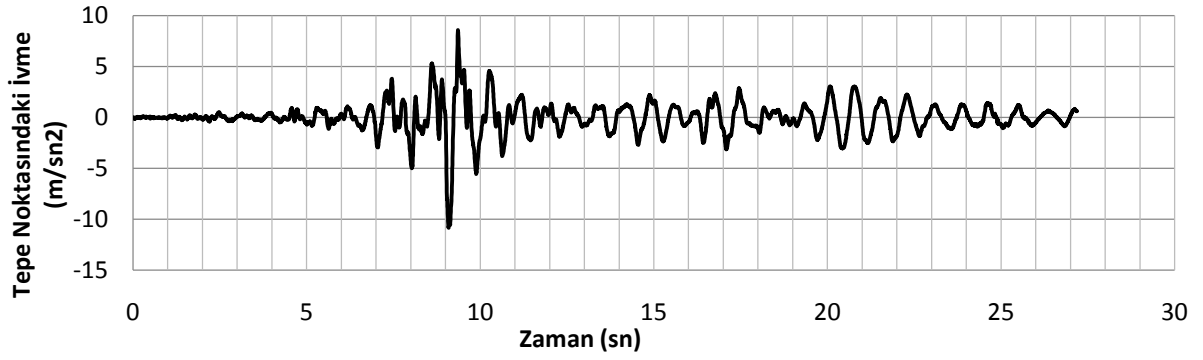
Şekil 6.35 Minare-1 tepe noktasındaki ivme değişim grafiği

28 m yüksekliğinde Minare-2 modelinin tepe noktasındaki ivme değişimleri incelendiğinde 9.25 saniyede 11.6312 m/sn² olarak hesaplanmıştır. Minare-2 modeline ait tepe ivme grafiği Şekil 6.37'de detaylı olarak görülmektedir.



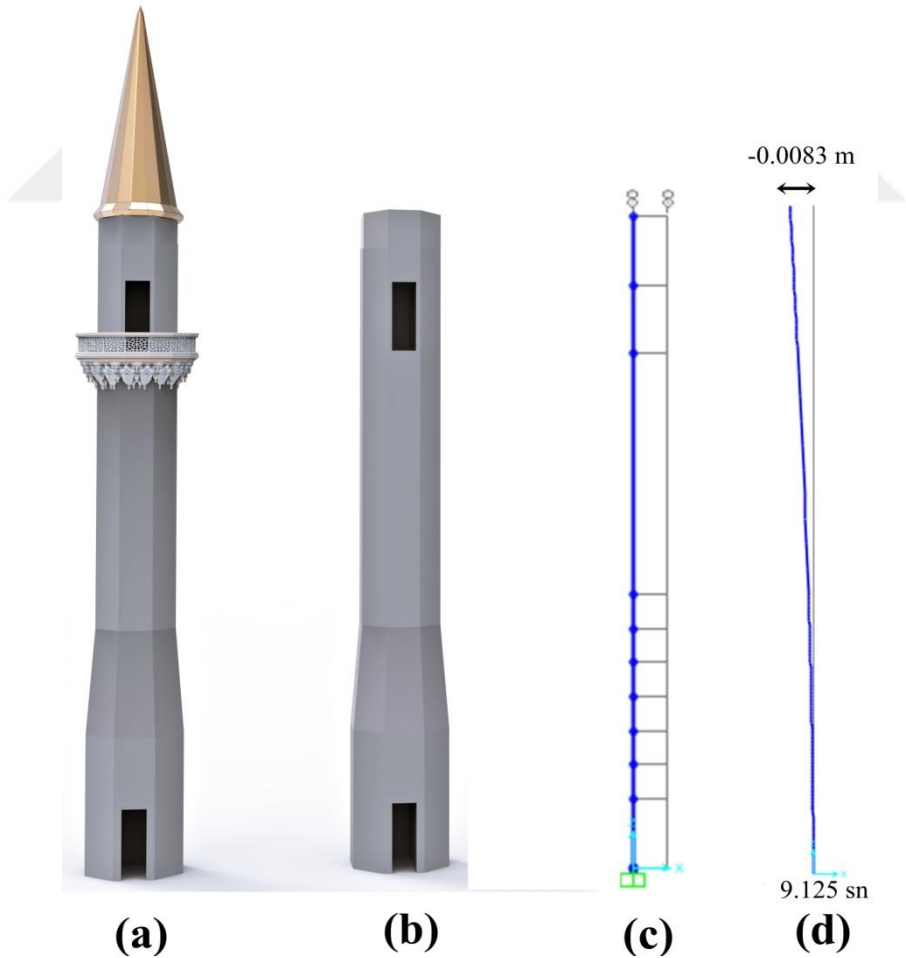
Şekil 6.36 Minare-2 tepe noktasındaki ivme değişim grafiği

37 m yüksekliğinde Minare-3 modelinin tepe noktasındaki ivme değişimleri incelendiğinde 9.36 saniyede 8.5966 m/sn² olarak hesaplanmıştır. Minare-3 modeline ait tepe ivme grafiği Şekil 6.38'de detaylı olarak görülmektedir.



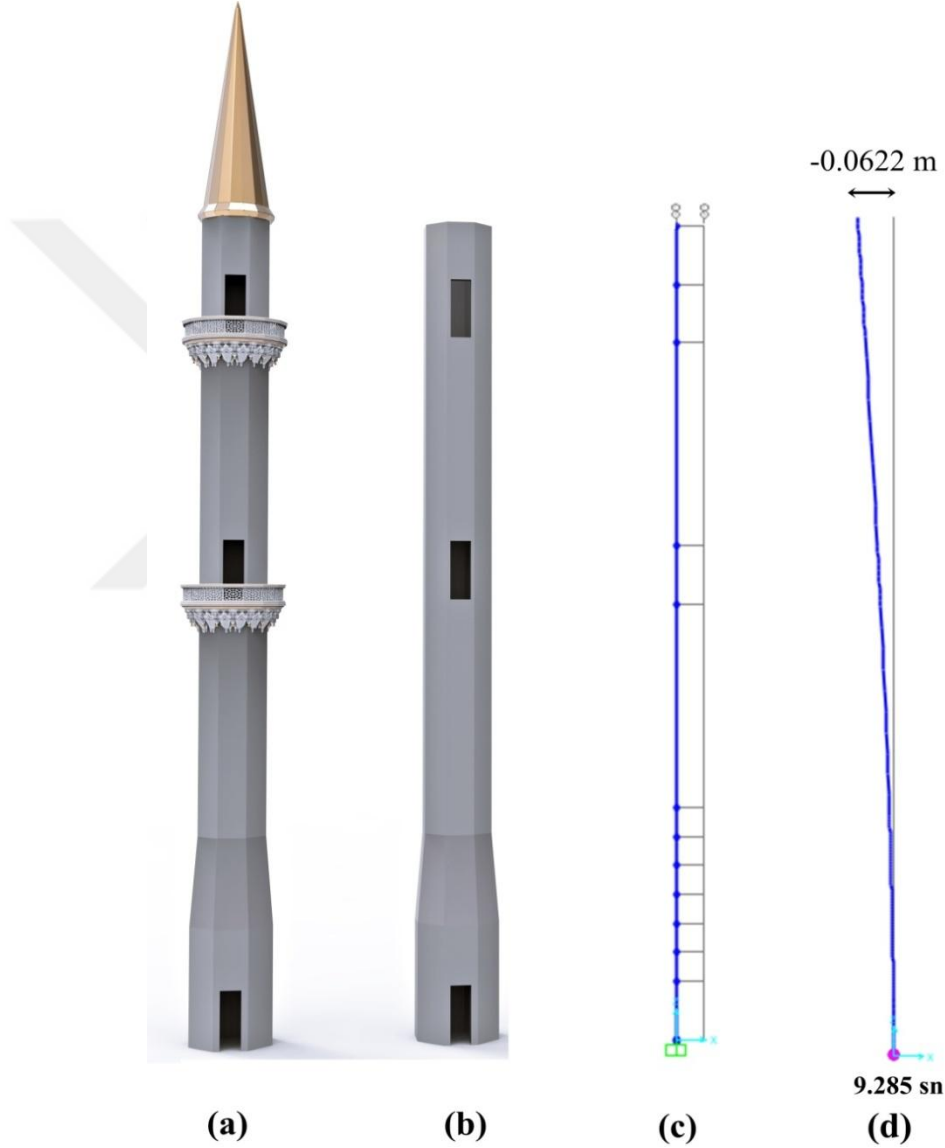
Şekil 6.37 Minare-3 tepe noktasındaki ivme değişim grafiği

Deprem etkisinden dolayı 19 m yüksekliğindeki tek şerefeli Minare-1 modelindeki plastik mafsallar incelendiğinde, plastik mafsal oluşmadığı gözlemlenmiştir. Maksimum tepe deplamanı 9.125 saniyede -0.0083 m olarak ölçülmüştür. Şekil 6.39'da herhangi bir plastik mafsal oluşmadığı görülmektedir.



Şekil 6.38 Minare-1'in (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Deprem analizi deformasyon sonucu

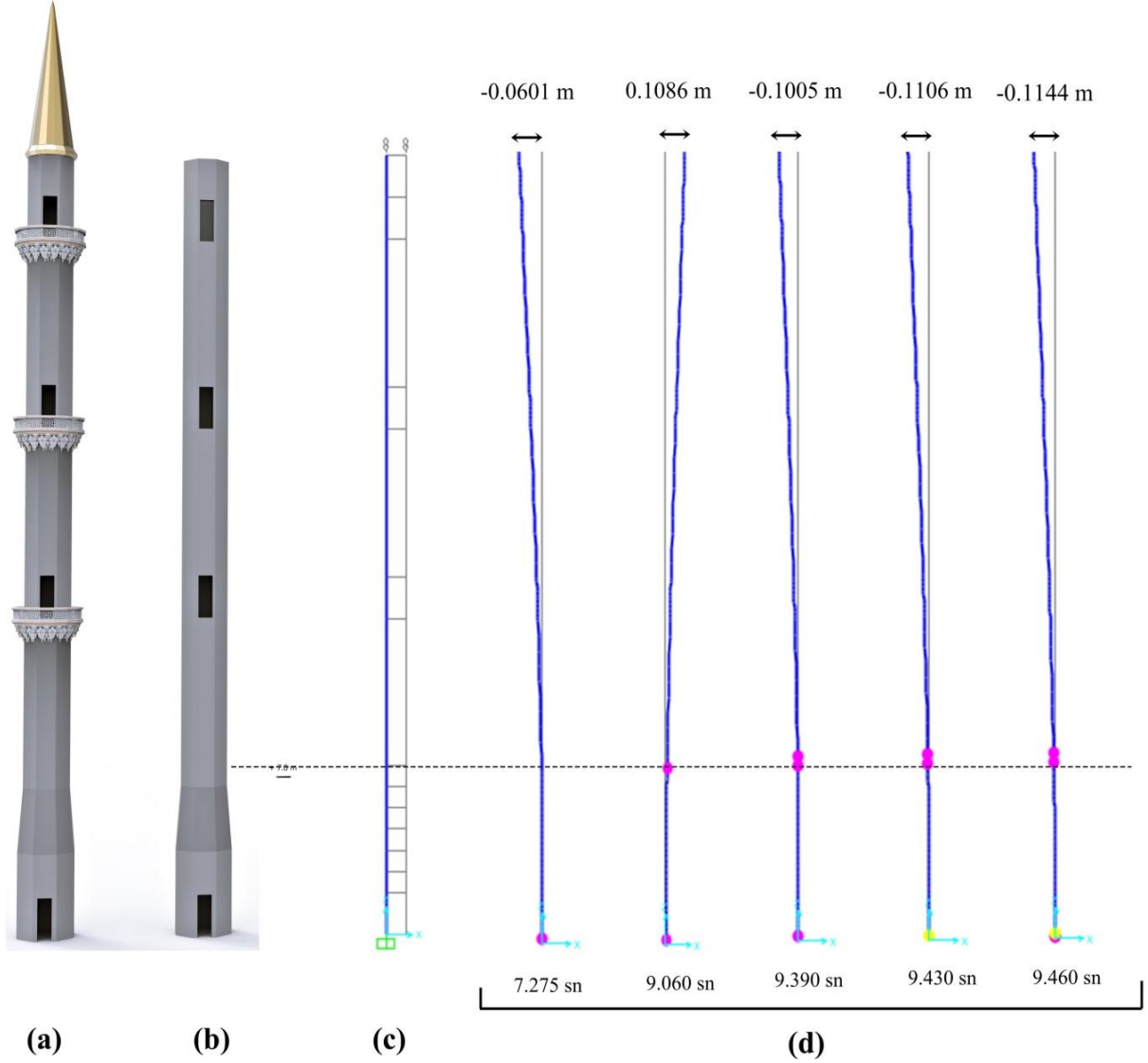
Deprem etkisinden dolayı 28 m yüksekliğindeki iki şerefeli Minare-2 modelindeki plastik mafsallar incelendiğinde, sadece kaide bölgesindeki kapı kısmında plastik mafsal olduğu gözlemlenmiştir. Maksimum tepe deplamanı 9.285 saniyede -0.0622 m olarak ölçülmüştür. Oluşan plastik mafsal incelendiğinde sistem güvenlidir ve meydana gelen hasarlar kolay bir şekilde onarılabılır düzeydedir. Şekil 6.40'da sonuçlar ve oluşan plastik mafsal görülmektedir.



Şekil 6.39 Minare-2'nin (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Deprem analizi deformasyon sonucu

37 m yüksekliğindeki üç şerefeli Minare-3 modelinde deprem etkisinden dolayı oluşan plastik mafsallar incelendiğinde, ilk plastik mafsal 7.275 saniyede, -0.0601 m tepe deplasmanında kaide bölgesindeki kapı kısmında olduğu gözlemlenmiştir. İkinci plastik

mafsal 9.060 saniyede ve tepe deplasmanı 0.1086 m olduğu esnada küp kısmı ile gövde kısmının birleştiği, gövde kısmındaki etriye sıklaştırmasının yapıldığı bölgenin hemen üst kısmında meydana geldiği görülmüştür. Maksimum tepe deplasmanı 9.460 saniyede -0.1144 m olarak ölçüldüğü esnada kaide kısmındaki kapı bölgesinde çatlakların oluştuğu gözlemlenmiştir. Oluşan plastik mafsalları incelendiğinde sistem göçmemiştir fakat orta derece yapısal hasarlar meydana gelmiştir. Şekil 6.41’de sonuçlar ve oluşan plastik mafsallar görülmektedir.

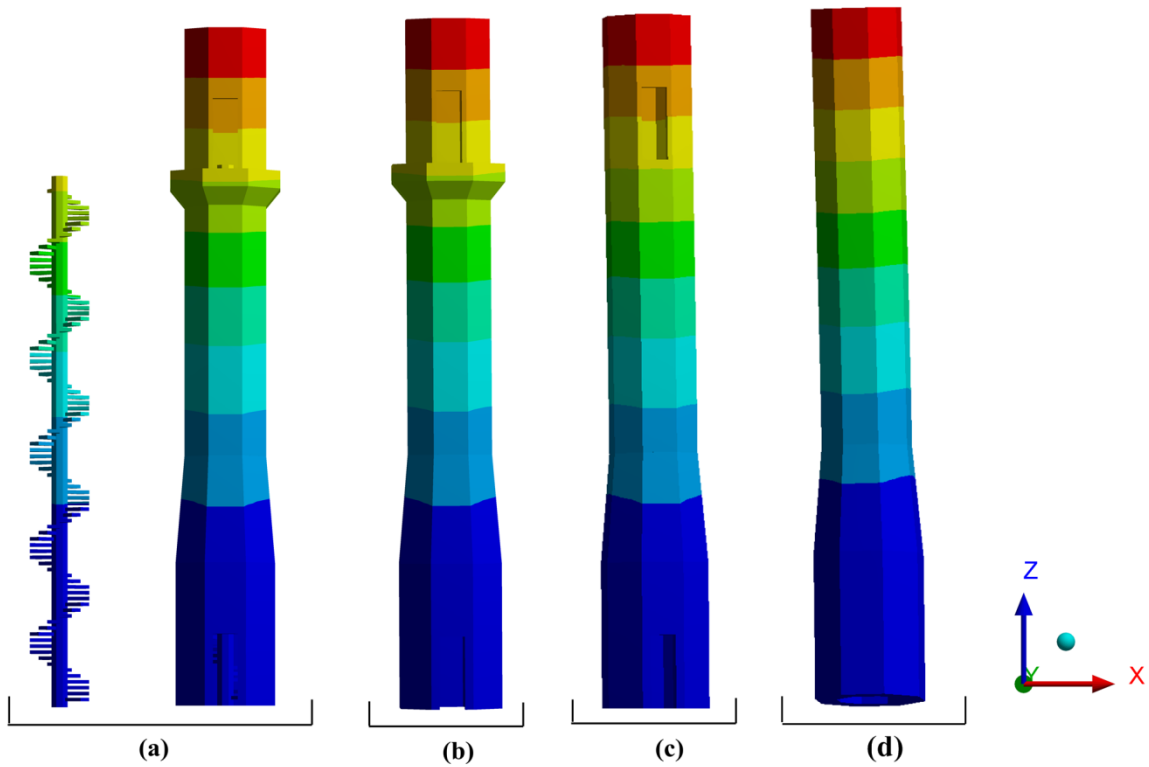


Şekil 6.40 Minare-3’ün (a) 3 boyutlu genel görünüşü (b) idealleştirilmiş 3 boyutlu modeli (c) SAP2000 Sonlu elemanlar modeli (d) Deprem analizi deformasyon sonucu

6.3 Modal Analiz Sonuçları

Bu bölümde, merdivenlerin, şerefelerin ve kapı boşluklarının minarenin yapısal davranışı üzerindeki etkisinin sonuçları incelenmiştir. Bu kapsamda oluşturulan Minare-1,

Minare-2 ve Minare-3 modellerine modal analiz uygulanmıştır. Herbir minare modeli için 4 farklı durum incelenmiştir. Bunlar sırasıyla; (a) Merdivenler, şerefeler ve kapı boşluklukları dikkate alınmıştır. (b) Şerefeler ve kapı boşlukları dikkate alınırken merdivenler dikkate alınmamıştır. (c) Sadece kapı boşlukları dikkate alınmıştır, merdivenler ve şerefeler dikkate alınmamıştır. (d) Merdivenler, şerefeler ve kapı boşluklarının tamamı dikkate alınmamıştır. Oluşturulan modeller ANSYS V19 programında modal analizleri yapılmıştır. Bulunan sonuçlar aşağıda incelenmiştir. Şekil 6.41’de ve Tablo 6.28’de Minare-1 modeline ait modal analiz sonuçları görülmektedir.

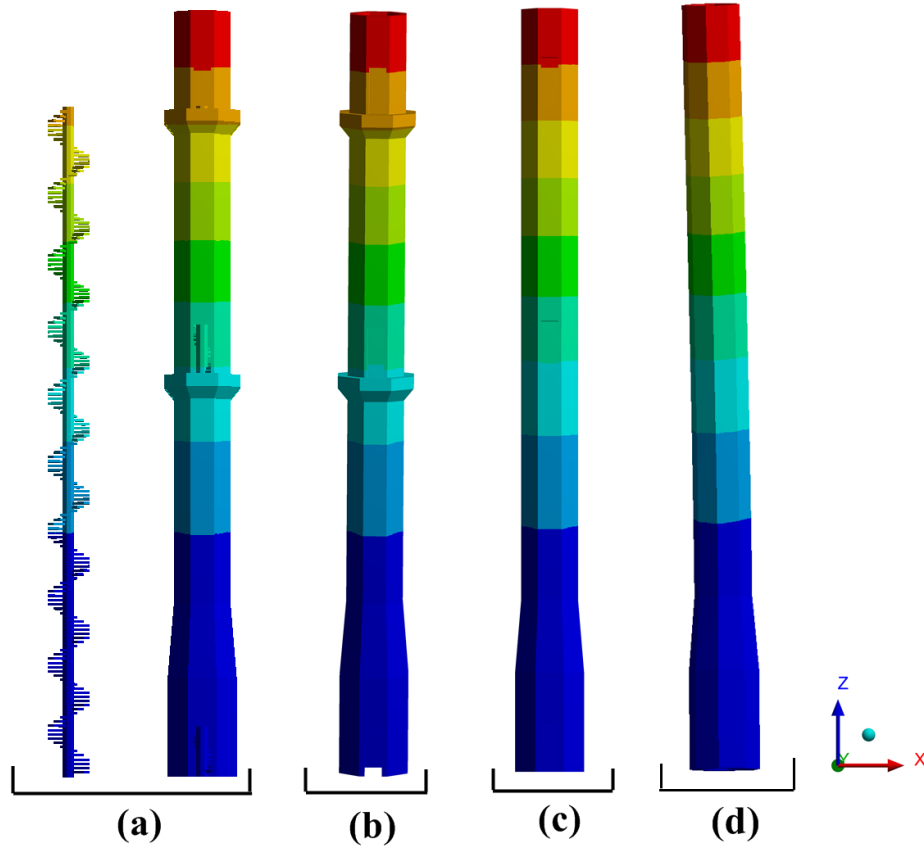


Şekil 6.41 Minare-1 modeline ait sonlu elemanlar modeli (a) Merdivenli model (b) Merdivensiz model (c) Merdivensiz ve şerefesiz model (d) Merdivensiz, şerefesiz ve kapısız

Tablo 6.28 Minare-1 modeline ait modal analiz sonuçları

Minare 1	Model (a)	Model (b)	Model (c)	Model (d)	(c) modelinin, (d) modeline göre % farkı	(b) modelinin, (d) modeline göre % farkı	(a) modelinin, (d) modeline göre % farkı
Mod	Frekans	Frekans	Frekans	Frekans			
1.Mod	5.078	5.1764	5.5096	5.6135	1.85	7.79	9.54
2.Mod	5.233	5.3322	5.6724	5.6146	-1.03	5.03	6.80
3.Mod	24.35	25.266	25.23	26.152	3.53	3.39	6.89

Şekil 6.42’de ve Tablo 6.29’da Minare-2 modeline ait modal analiz sonuçları görülmektedir.

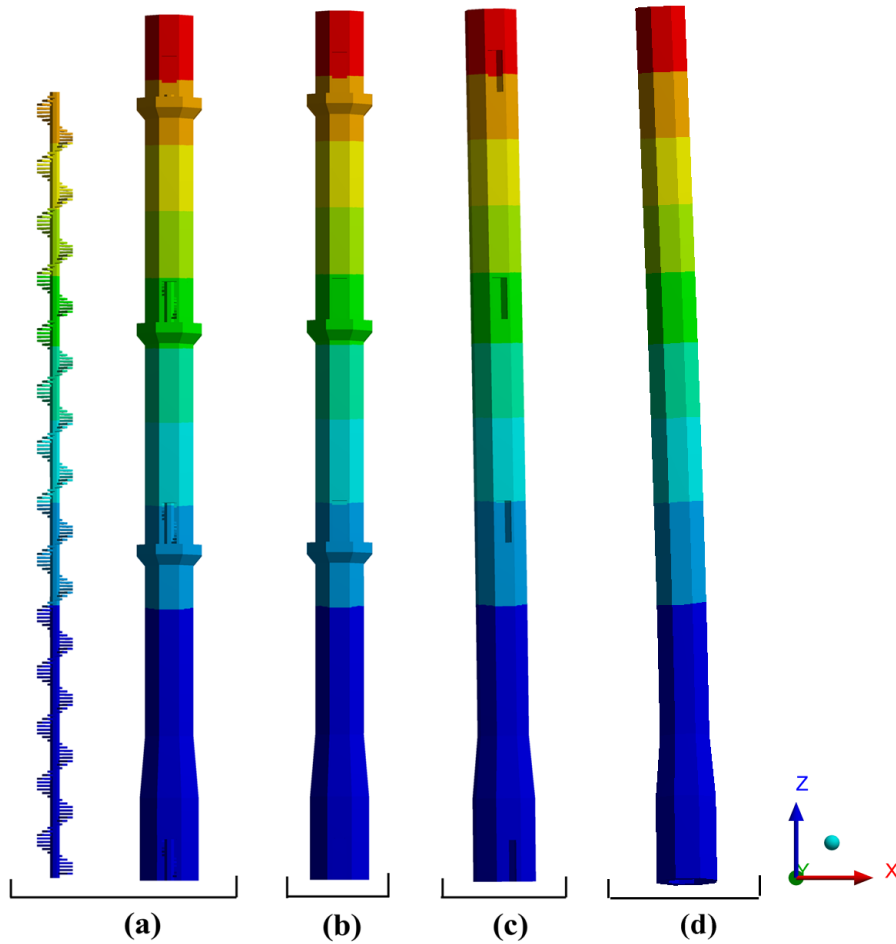


Şekil 6.42 Minare-2 modeline ait sonlu elemanlar modeli (a) Merdivenli model (b) Merdivensiz model (c) Merdivensiz ve şerefesiz model (d) Merdivensiz, şerefesiz ve kapısız

Tablo 6.29 Minare-2 modeline ait modal analiz sonuçları

Minare 2	Model (a)	Model (b)	Model (c)	Model (d)	(c) modelinin, (d) modeline göre % farkı	(b) modelinin, (d) modeline göre % farkı	(a) modelinin, (d) modeline göre % farkı
Mod	Frekans	Frekans	Frekans	Frekans			
1.Mod	1.7335	1.7861	1.897	1.9194	1.17	6.94	9.69
2.Mod	1.7728	1.8266	1.9399	1.9196	-1.06	4.84	7.65
3.Mod	9.5	9.8839	10.31	10.695	3.60	7.58	11.17

Şekil 6.43'de ve Tablo 9.30'da Minare-3 modeline ait modal analiz sonuçları görülmektedir.



Şekil 6.43 Minare-3 modeline ait sonlu elemanlar modeli (a) Merdivenli model (b) Merdivensiz model (c) Merdivensiz ve şerefesiz model (d) Merdivensiz, şerefesiz ve kapısız

Tablo 6.30 Minare-3 modeline ait modal analiz sonuçları

Minare -3	Model (a)	Model (b)	Model (c)	Model (d)	(c) modelinin, (d) modeline göre % farkı	(b) modelinin, (d) modeline göre % farkı	(a) modelinin, (d) modeline göre % farkı
Mod	Frekans	Frekans	Frekans	Frekans			
1.Mod	0.89815	0.93042	0.98452	0.99763	1.31	6.74	9.97
2.Mod	0.91924	0.95238	1.0082	0.99766	-1.06	4.54	7.86
3.Mod	5.2119	5.4303	5.6987	5.8713	2.94	7.51	11.23



7.SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Bu tez çalışması kapsamında, günümüzde en yaygın olarak yapılan 19 m, 28 m ve 37 m yükseliğe sahip 3 adet betonarme minarenin, doğrusal olmayan modelleme yöntemi ile SAP2000 programında, yanal yükler altındaki performansı ve dinamik yükler altındaki yapısal davranışı incelenmiştir. Bu çalışmada, sekizgen en kesite sahip minare modelleri kullanılmış olsada aynı yöntem farklı kesitlere ve farklı yüksekliklere sahip minare modelleri içinde kolaylıkla uygulanabilir.

Yapılan bu çalışmanın başlıca amaçlarını 4 ana kısımda inceleyebiliriz;

1) Toplam yanal deformasyonun bileşenleri olan eğilme, sıyrıma ve kesme deformasyonlarının yanal yüklerle maruz kalan farklı yüksekliklere sahip betonarme minarelerin yanal deformasyon davranışını nasıl etkilediği incelenmiştir. Toplam yanal deformasyon içerisindeki en büyük oran eğilmeden kaynaklı göçme olsada sıyrıma deformasyonunun ve kesme deformasyonunun da toplam yanal deformasyona etkisinin ihmal edilemeyecek seviyelerde olduğu analiz sonuçların görülmektedir. Gerçek yapısal davranışın tam olarak modellenebilmesi için analizlerde, toplam yanal deformasyonun bileşenleri olan eğilme, sıyrıma ve kesme deformasyonlarının göz ardı edilmemesi gerektiği gözlemlenmiştir.

2) Dinamik yüklere maruz kalan farklı yüksekliklere sahip betonarme minarelerin yapısal davranışı incelenmiştir. Bu kapsamda 1999 Düzce depreminin Doğu-Batı yönündeki ivme kayıtları kullanılmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde minare yüksekliği arttıkça minareye etki eden dinamik yüklerin etkisinin arttığı görülmüştür. Deprem etkisinden dolayı oluşan hasarların minarenin kaide kısmındaki kapı bölgesinde ve küp ile gövde geçiş bölgesinde meydana geldiği gözlemlenmiştir. İlk bölümlerde gösterilen deprem etkisinden dolayı yıkılan minareler incelendiğinde analiz sonucunda bulunan kritik bölgelerden minarelerin yıkıldığı gözlemlenmiştir.

3) Farklı yükseklikteki betonarme minarelere Pushover (statik itme) analizi uygulanarak minarelerin zayıf bölgeleri tespit edilmiştir ve çatlakların minarenin hangi bölgesinde başladığı incelenmiştir. Pushover (statik itme) analizi sonucunda minarenin kritik bölgeleri, kaide kısmındaki kapı bölgesi ve küp ile gövdenin birleştiği geçiş bölgesi olduğu tespit edilmiştir. Analizleri yapılan minarelerin performansları incelendiğinde, bulunan kritik bölgeler ile dinamik yüklere maruz kalan minarelerde oluşan kritik bölgelerin aynı noktalar olduğu gözlemlenmiştir. Bu şekilde Pushover (statik itme)

analizinin minareye etki edecek olan deprem yüklerinden dolayı oluşacak hasarları tespit etmede iyi bir performans sergilediği gözlemlenmiştir.

4) Daha önceki yapılan çalışmalarda merdivenlerin, minarelerin yapısal davranışını çok az etkilediği vurgulanmıştır. Bu çalışmada merdiven, şerefe ve kapı boşluğu gibi farklı koşullar göz önüne alınarak yapılan analizler sonucunda, minare gövdesinde boşluklar azaldığında minarelerin frekans değerlerinin arttığı, minare yüksekliği arttıkça frekans değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Diğer bir bulunan sonuç ise merdivenli minare ile merdivensiz minarelerin, 1.mod'unun frekansları arasında %6 civarında çok az bir fark olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, önceki çalışmaları destekler nitelikte sonuçlar elde edilmiştir ve merdivenlerin betonarme minarelerin yapısal davranışını çok etkilemediği gözlemlenmiştir. Modal analiz sonuçları dikkate alınarak, bu çalışmada doğrusal olmayan minare modellemeleri merdivensiz olarak analizleri yapılmıştır.

Bu çalışmada bulunan sonuçlar doğrultusunda, kullanılan doğrusal olmayan modelleme yöntemi ile mevcut minarelerin performansları ölçülebilir ve aynı zamanda yeni yapılması düşünülen betonarme minarelerin dinamik ve statik yüklere göre tasarımlarının yapılmasına olanak sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- Ertek, E. (2009). Osmanlı minarelerinin yapısal modellenmesi ve deprem analizi. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Alsawat, J. M. and Saatcioglu, M., 1992. "Reinforcement Anchorage Slip under Monotonic Loading," *Journal of Structural Engineering*. ASCE, V. 118, No. 9, Sept. 1992. pp. 2421-2438.
- Analysis and Design Using SAP2000 V 20 Software. Computer and Structures, Incorporated.
- ANSYS Workbench Release 19.0. (2019), ANSYS Inc, Canonsburg. Pennsylvania
- Baştürk, M. H. (2013). Bursa tarihi yığma minarelerinin dinamik davranışlarının modal analiz yöntemi ile incelenmesi .Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Bursa.
- Bentz, E., 2000a. "Response-2000." <http://www.ecf.utoronto.ca/~bentz/home.shtml>.
- Calp, C. (2018). Tarihi minarelerin dinamik özellikleri ve deprem performansları. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ,2018.
- Chopra, A.K., 1995, Dynamics of Structures: Theory and Application to Earthquake Engineering, Prentice, Inc., New Jersey.
- Dehghanian, K. (2015). Comparison of scaled real strong motion and Turkish earthquake design spectrum for modern reinforced concrete minarets. Istanbul Technical University Graduate School Of Science Engineering And Technology, Istanbul.
- Dogangun, A., Acar, R., Sezen, H., & Livaoglu, R. (2008). Investigation of dynamic response of masonry minaret structures. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 6(3), 505-517.
- FEMA 356, 2000. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington DC, Nov. 2000.
- Günaydın, M. Tarihi Bir Yığma Minarenin Onarım Sonrasındaki Dinamik Karakteristiklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(2), 381-395.
- Hoshikuma, J. I., & Priestley, M. J. N. (2000). Flexural behavior of circular hollow columns with a single layer of reinforcement under seismic loading. *SSRP*, 13.
- Inel, M. and Aschheim, M. A., 2002. "Models for Estimating the Deformation Capacities of Reinforced Concrete Columns," *ECAS2002 International Symposium on Structural and Earthquake Engineering*. Middle East Technical University, Ankara, Turkey, Oct. 2002.

- Mander, J. B., Priestley, J. N., and Park, R., 1988. "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete," *Journal of Structural Engineering*. ASCE, V. 114, No. 8, Aug. 1988. pp. 1804-1825
- Patwardhan, C., 2005. "Strength and Deformation Modeling of Reinforced Concrete Columns," *M.S. Thesis*. The Ohio State University, Columbus, Ohio, 2005. 166 pp.
- Pekgökgöz, R. K., & Taş, G. (2017). Ayarlı Kütle Sönümleyicili Yüksek Minarelerin Dinamik Analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(1).
- SAP 2000 Structural Analysis Programme, 2003, Computers and Structures Inc. Version 20, Berkeley, California.
- Sezen, H. and Moehle, J. P., 2004. "Shear Strength Model for Lightly Reinforced Concrete Columns," *Journal of Structural Engineering*. ASCE, V. 130, No. 11, Nov. 2004. pp. 1692-1703
- Sezen, H., 2002. "Seismic Behavior and Modeling of Reinforced Concrete Building Columns," *Ph.D. Dissertation*. University of California, Berkeley, 2002. 324 pp.
- Sezen, H., Acar, R., Dogangun, A., & Livaoglu, R. (2008). Dynamic analysis and seismic performance of reinforced concrete minarets. *Engineering Structures*, 30(8), 2253-2264.
- T.C. Başbakanlık Diyanet İşleri Başkanlığı Teknik Hizmetler Müdürlüğü, Minarelerin Yapımında Uygulanacak Esaslar, Sayı: B.02.1.DİB.0.80.00.00- 022, Ekim 1999
- Türkeli, E. Betonarme Minarelerin Zemin-Yapı Etkileşimiyle Rüzgâr Yüğü Hesaplamasında TS498 ve TS-EN-1991-1-4'ün Kullanılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23, 84-93.
- Vecchio, F. J. and Collins, M. P., 1986. "The Modified Compression-Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear," *ACI Journal*. V. 83, No. 2, Mar. 1986. pp. 219-231.
- Vecchio, F. J. and Collins, M. P., 1988. "Predicting the Response of Reinforced Concrete Beams Subjected to Shear Using Modified Compression Field Theory," *ACI Structural Journal*. V. 85, No. 3, May 1988. pp. 258-268.
- Yılmaz, C. (2008). Statik İtme Analiziyle Mevcut Bir Betonarme Yapının Performans Değerlendirmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Muhammed Ahmet OĞUZHANOĞLU
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 02.05.1992, Kahramanmaraş
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 554 329 80 60
Faks :
e-posta : a_oguzhanoglu@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	KSÜ / İnşaat Mühendisliği Bölümü	2019
Lisans	KSÜ/ İnşaat Mühendisliği Bölümü	2014
Lise	Sütçü İmam Lisesi	2010

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2014-2016	Kalde Yapı Denetim Firması	Kontrol Elemanı

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Farklı Merdiven Koşullarının Betonarme Minarenin Doğal Titreşim Periyodu Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi (KSU Faculty of Engineering & Architecture, International Symposium on Advanced Engineering Technologies (ISADET) , KSU, 2019)

2.

Hobiler