T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EĞİLME ETKİSİNİN BELİRLEYİCİ OLDUĞU YÜKSEK KONSOL YAPILARIN DEPREM ETKİSİ ALTINDA DAVRANIŞI

Yavuz ÖZÇELİK

DANIŞMAN
Prof. Dr. Namık Kemal ÖZTORUN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Kasım, 2022

TEZ KABUL VE ONAYI

Yavuz ÖZÇELİK tarafından, **Prof. Dr. Namık Kemal ÖZTORUN** danışmanlığında hazırlanan **"EĞİLME ETKİSİNİN BELİRLEYİCİ OLDUĞU YÜKSEK KONSOL YAPILARIN DEPREM ETKİSİ ALTINDA DAVRANIŞI"** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **28/11/2022** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	**Sonuç**
DANIŞMAN	Prof. Dr. Namık Kemal ÖZTORUN İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Yapı Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Turgay ÇOŞGUN İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Yapı Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Anıl NİŞ İstanbul Gelişim Üniversitesi Malzeme Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret

Desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme ithaf ediyorum…

BÜTÇE DESTEKLERİ

EĞİLME ETKİSİNİN BELİRLEYİCİ OLDUĞU YÜKSEK KONSOL YAPILARIN DEPREM ETKİSİ ALTINDA DAVRANIŞI

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Öğrenmek, zorlu ve bir o kadarda yorucu bir yolculuktur. Pes etmeniz için karşınıza her türlü engel çıkacaktır. Her türlü engele rağmen yolculuğun ne zaman biteceğine de yolcu karar verir. Öğretmek ise bir sanattır. Ön koşulu öğrenmiş olmak ve öğrenmeye devam etmektir. Bu sanatı en iyi icra eden öğretmenlerimden birisi olan Prof. Dr. Namık Kemal ÖZTORUN'a, beni sabırla dinlediği, beni engin bilgisi ve tecrübesiyle aydınlattığı için en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tezimde bilgileriyle bana destek olan, meslektaşım İnşaat Yüksek Mühendis Dilara ÖZŞENOL KUMKAR'a, mimari modelleme konusunda bana yardımcı olan kardeşim Mimar İdris ÖZÇELİK'e teşekkürü borç bilirim.

Hayatım boyunca uğraşsam da emeklerini asla ödeyemeyeceğim babam Mustafa ÖZÇELİK ve annem Figen ÖZÇELİK'e sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Kasım 2022 Yavuz ÖZÇELİK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI ..... **ii**
BÜTÇE DESTEKLERİ ..... **v**
TEŞEKKÜR ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **ix**
TABLO LİSTESİ ..... **xvi**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xvii**
ÖZET ..... **xviii**
ABSTRACT ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE **8**
3. YÖNTEM **12**
3.1. MİNARENİN MİMARİ ÖZELLİKLERİ 13
3.2. MODELLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ 15
3.3. YAPI GEOMETRİSİNİN BELİRLENMESİ 17
3.3.1. Çubuk Eleman Analiz Modellerin Düğüm Noktalarının Belirlenmesi 17
3.3.2. Kabuk Eleman Analiz Modelinin Geometrisinin Belirlenmesi 18
3.3.3. Katı Eleman Analiz Modelinin Geometrisinin Belirlenmesi 19
3.4. ÇUBUK ELEMANIN RİJİTLİK DEĞERLERİNE KARŞILIK GELEN KÜTLE DEĞERLERİ 20
3.5. ANALİZDE KULLANILAN DEPREMLER 21
4. BULGULAR **23**
4.1. TÜM MODELLER İÇİN MOD ŞEKİLLERİNİN BULUNMASI 23
4.1.1. Model 1 İçin Mod Şekillerinin Bulunması 23
4.1.2. Model 2 İçin Mod Şekillerinin Bulunması 29
4.1.3. Model 3 İçin Mod Şekillerinin Bulunması 34
4.1.4. Model 4 İçin Mod Şekillerinin Bulunması 38

4.1.5. Model 5 İçin Mod Şekillerinin Bulunması 43
4.1.6. Benzer Modların Karşılaştırılması 49
4.2. MODEL 1, MODEL 2 VE MODEL 3 İÇİN DEPLASMAN ZAMAN GRAFİĞİ İNCELEMESİ 53
4.3. MODEL 1 İÇİN MESNET KUVVETLERİ VE İÇ KUVVET İNCELEMESİ 68
4.3.1. Mesnet Kuvvetleri 68
4.3.2. Eksenel Kuvvet İncelemesi(DÜZELT) 69
4.3.3. Eğilme Davranışının İncelenmesi Ve Zarf Moment Grafikleri 81
4.4. YAPI ÜZERİNDE OLUŞAN GERİLMELER 92
4.4.1. Eksenel Kuvvet Sebebiyle Oluşan Normal Gerilmeler 92
4.4.2. Eğilme Davranışı Ve Eksenel Kuvvet Sonucu Oluşan Normal Gerilmeler 96
5. TARTIŞMA 105
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 106
KAYNAKLAR 110
EKLER 113
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI 117

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: Kocaeli Depremi'nde (1999) yıkılan Şemsi Ahmet Paşa Camisi Minaresi (Doğangün ve diğ., 2008). 5

Şekil 1.2: Minarenin şerefe ve kürsü arasındaki bölgeden geçmesi durumu (Sezen ve diğ., 2008). 6

Şekil 1.3: Minarenin, kürsünün üst kısmından göçmesi durumu (Sezen ve diğ., 2008). 6

Şekil 2.1: Yumuşak çeliğin temsili gerilme birim şekil değiştirme grafiği. 8

Şekil 2.2: Konsol bir kolonun 2. Mertebe etkisi. 9

Şekil 2.3: Örnek çerçeve bir yapıda düşey mod 11

Şekil 3.1: Çalışmada kullanılan minarenin temsili resimleri. 13

Şekil 3.2: Çalışmada kullanılan minarenin kesitleri 14

Şekil 3.3: Çubuk eleman modellerin düğüm noktalarının yerleşimi 17

Şekil 3.4: Kabuk eleman modeli 18

Şekil 3.5: Katı eleman modeli 19

Şekil 3.6: Çubuk eleman modellerin matematik modelleri 20

Şekil 4.1: (a) Minare 1. modu. (b) Minare 2. modu. (c) Minare 3. modu. 24

Şekil 4.2: (a) Minare 4. modu. (b) Minare 5. modu. (c) Minare 6. modu. 24

Şekil 4.3: (a) Minare 7. modu. (b) Minare 8. modu. (c) Minare 9. modu. 25

Şekil 4.4: (a) Minare 10. modu. (b) Minare 11. modu. (c) Minare 12. modu. 25

Şekil 4.5: (a) Minare 13. modu. (b) Minare 14. modu. (c) Minare 15. modu. 26

Şekil 4.6: (a) Minare 16. modu. (b) Minare 17. modu. (c) Minare 18. modu. 26

Şekil 4.7: (a) Minare 19. modu. (b) Minare 20. modu. (c) Minare 21. modu. 27

Şekil 4.8: (a) Minare 22. modu. (b) Minare 23. modu. (c) Minare 24. modu. 27

Şekil 4.9: (a) Minare 25. modu. (b) Minare 26. modu. (c) Minare 27. modu. 28

Şekil 4.10: (a) Minare 28. modu. (b) Minare 29. modu. (c) Minare 30. modu. 28
Şekil 4.11: (a) Minare 31. modu. (b) Minare 32. modu. (c) Minare 33. modu. 29
Şekil 4.12: Model 2 Minarenin (a) 1. modu. (b) 2. modu. (c) 3. modu. 30
Şekil 4.13: Model 2 Minarenin (a) 4. modu. (b) 5. modu. (c) 6. modu. 30
Şekil 4.14: Model 2 Minarenin (a) 7. modu. (b) 8. modu. (c) 9. modu. 31
Şekil 4.15: Model 2 Minarenin (a) 10. modu. (b) 11. modu. (c) 12. modu. 31
Şekil 4.16: Model 2 Minarenin (a) 13. modu. (b) 14. modu. (c) 15. modu. 32
Şekil 4.17: Model 2 Minarenin (a) 16. modu. (b) 17. modu. (c) 18. modu. 32
Şekil 4.18: Model 2 Minarenin (a) 19. modu. (b) 20. modu. (c) 21. modu. 33
Şekil 4.19: Model 2 Minarenin 22. modu 33
Şekil 4.20: Model 3 Minarenin (a) 1. modu. (b) 2. modu. (c) 3. modu. 34
Şekil 4.21: Model 3 Minarenin (a) 4. modu. (b) 5. modu. (c) 6. modu. 35
Şekil 4.22: Model 3 Minarenin (a) 7. modu. (b) 8. modu. (c) 9. modu. 35
Şekil 4.23: Model 3 Minarenin (a) 10. modu. (b) 11. modu. (c) 12. modu. 36
Şekil 4.24: Model 3 Minarenin (a) 13. modu. (b) 14. modu. (c) 15. modu. 36
Şekil 4.25: Model 3 Minarenin (a) 16. modu. (b) 17. modu. (c) 18. modu. 37
Şekil 4.26: Model 3 Minarenin (a) 19. modu. (b) 20. modu. (c) 21. modu. 37
Şekil 4.27: Model 3 Minarenin 22. modu. 38
Şekil 4.28: Model 4 Minarenin (a) 1. modu. (b) 2. modu. (c) 3. modu. 38
Şekil 4.29: Model 4 Minarenin (a) 4. modu. (b) 5. modu. (c) 6. modu. 39
Şekil 4.30: Model 4 Minarenin (a) 7. modu. (b) 8. modu. (c) 9. modu. 39
Şekil 4.31: Model 4 Minarenin (a) 10. modu. (b) 11. modu. (c) 12. modu. 40
Şekil 4.32: Model 4 Minarenin (a) 13. modu. (b) 14. modu. (c) 15. modu. 40
Şekil 4.33: Model 4 Minarenin (a) 16. modu. (b) 17. modu. (c) 18. modu. 41
Şekil 4.34: Model 4 Minarenin (a) 19. modu. (b) 20. modu. (c) 21. modu. 41
Şekil 4.35: Model 4 Minarenin (a) 22. modu. (b) 23. modu. (c) 24. modu. 42
Şekil 4.36: Model 4 Minarenin (a) 25. modu. (b) 26. modu. (c) 27. modu. 42

Şekil 4.37: Model 4 Minarenin (a) 28. modu. (b) 29. modu. (c) 30. modu. 43

Şekil 4.38: Model 5 Minarenin (a) 1. modu. (b) 2. modu. (c) 3. modu. 44

Şekil 4.39: Model 5 Minarenin (a) 4. modu. (b) 5. modu. (c) 6. modu. 44

Şekil 4.40: Model 5 Minarenin (a) 7. modu. (b) 8. modu. (c) 9. modu. 45

Şekil 4.41: Model 5 Minarenin (a) 10. modu. (b) 11. modu. (c) 12. modu. 45

Şekil 4.42: Model 5 Minarenin (a) 13. modu. (b) 14. modu. (c) 15. modu. 46

Şekil 4.43: Model 5 Minarenin (a) 16. modu. (b) 17. modu. (c) 18. modu. 46

Şekil 4.44: Model 5 Minarenin (a) 19. modu. (b) 20. modu. (c) 21. modu. 47

Şekil 4.45: Model 5 Minarenin (a) 22. modu. (b) 23. modu. (c) 24. modu. 47

Şekil 4.46: Model 5 Minarenin (a) 25. modu. (b) 26. modu. (c) 27. modu. 48

Şekil 4.47: Model 5 Minarenin (a) 28. modu. (b) 29. modu. (c) 30. modu. 48

Şekil 4.48: Model 1'in kütle matrisi. 51

Şekil 4.49: Model 2'nin kütle matrisi. 51

Şekil 4.50: Model 3'ün kütle matrisi. 51

Şekil 4.51: Sap2000'de kabuk eleman yüzeyine dik bir kirişe verilen burulma momentinin, kabuk elemanda oluşturduğu moment değerleri. 52

Şekil 4.52: Sap2000'de kabuk eleman yüzeyine dik bir kirişe verilen burulma momentinin, kabuk elemanda oluşturduğu gerilme değerleri. 53

Şekil 4.53: 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (Chi-Chi Taiwan_03-2, RSN 2624). 54

Şekil 4.54: : 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (Irpinia Italy-01, RSN 290). 55

Şekil 4.55: : 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (Loma Prieta, RSN 755). 55

Şekil 4.56: : 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (Parkfield, RSN 28). 56

Şekil 4.57: : 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (Cape Mendocino, RSN 830). 56

Şekil 4.58: : 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (Duzce, RSN 1612). 57

Şekil 4.59: : 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (Imperial Valley-02, RSN 6). 57

Şekil 4.60: : 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (Imperial Valley-06, RSN 165). 58

Şekil 4.61: : 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (Kobe, RSN 1108). 58

Şekil 4.62: : 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (Landers, RSN 879). 59

Şekil 4.63: : 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (Loma Prieta, RSN 779). 59

Şekil 4.64: : 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (N. Palm Springs, RSN 529). 60

Şekil 4.65: : 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Cape Mendocino, RSN 830). 60

Şekil 4.66: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Imperial Valley-06, RSN 164). 61

Şekil 4.67: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Irpinia Italy-01, RSN 290). 61

Şekil 4.68: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Landers, RSN 881). 62

Şekil 4.69: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Loma Prieta, RSN 755). 62

Şekil 4.70: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (N. Palm Springs, RSN 524). 63

Şekil 4.71: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Parkfield, RSN 28). 63

Şekil 4.72: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Cape Mendocino, RSN 825). 64

Şekil 4.73: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Duzce, RSN 1612). 64

Şekil 4.74: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Imperial Valley-02, RSN 6). 65

Şekil 4.75: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Imperial Valley-06, RSN 165). 65

Şekil 4.76: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Kobe, RSN 1108). 66

Şekil 4.77: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Landers, RSN 879). 66

Şekil 4.78: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Nahanni, RSN 495). 67

Şekil 4.79: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Parkfield, RSN 30). 67

Şekil 4.80: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (uzak fay depremi). 70

Şekil 4.81: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (uzak fay depremi). 70

Şekil 4.82: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (uzak fay depremi). 71

Şekil 4.83: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (uzak fay depremi). 71

Şekil 4.84: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (uzak fay depremi). 72

Şekil 4.85: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (uzak fay depremi). 72

Şekil 4.86: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (uzak fay depremi). 73

Şekil 4.87: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (uzak fay depremi). 73

Şekil 4.88: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (uzak fay depremi). 74

Şekil 4.89: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (uzak fay depremi). 74

Şekil 4.90: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi). 75

Şekil 4.91: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi). 75

Şekil 4.92: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi). 76

Şekil 4.93: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi). 76

Şekil 4.94: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi). 77

Şekil 4.95: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi). 77

Şekil 4.96: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi). 78

Şekil 4.97: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi). 78

Şekil 4.98: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi). 79

Şekil 4.99: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi). 79

Şekil 4.100: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi).....80
Şekil 4.101: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi).....80
Şekil 4.102: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi).....81
Şekil 4.103: Örnek bir bina için moment grafiği.....82
Şekil 4.104: Minare moment grafiği (Imperial Valley-06, RSN = 164, t = 1,4 sn). 83
Şekil 4.105: Düğüm noktaları açısal eksende tutulu bir minarenin moment grafiği (Imperial Valley-06, RSN = 164, t = 1,4 sn).....84
Şekil 4.106: Imperial Valley-06. 86
Şekil 4.107: Cape_Mendocino. 87
Şekil 4.108: Chi-Chi Taiwan-03.....87
Şekil 4.109: Irpinia Italy-01. 88
Şekil 4.110: Landers.....88
Şekil 4.111: Imperial Valley-02. 89
Şekil 4.112: Parkfield. 89
Şekil 4.113: San Fernando.....90
Şekil 4.114: Chi-Chi Taiwan.....90
Şekil 4.115: Duzce.....91
Şekil 4.116: Cape Mendocino (Yakın fay, RSN = 825).....96
Şekil 4.117: Cape Mendocino (Uzak fay, RSN = 830). 97
Şekil 4.118: Chi-Chi Taiwan (Yakın fay, RSN = 1231). 97
Şekil 4.119: Duzce (Yakın fay, RSN = 1612). 98
Şekil 4.120: Imperial Valley-02 (Yakın fay, RSN = 6).....98
Şekil 4.121: Imperial Valley-06 – El Centro (Yakın fay, RSN = 181). 99
Şekil 4.122: Kobe (Yakın fay, RSN =1108).....99
Şekil 4.123: Landers (Uzak fay, RSN = 881).....100
Şekil 4.124: Landers (Yakın fay, RSN = 879). 100
Şekil 4.125: Loma Prieta (Uzak fay, RSN = 755).....101

Şekil 4.126: Loma Prieta (Yakın fay, RSN = 779).....101
Şekil 4.127: N. Palm Springs (Yakın fay, RSN = 529).....102
Şekil 4.128: Nahanni Canada (Yakın fay, RSN = 495).....102
Şekil 4.129: Parkfield (Uzak fay, RSN = 28).....103
Şekil 4.130: Parkfield (Yakın fay, RSN = 30).....103
Şekil 4.131: San Fernando (Uzak fay, RSN = 88).....104
Şekil 4.132: San Fernando (Yakın fay, RSN = 77).....104

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: Model 1, Model 2 ve Model 3'ün analizlerinde kullanılan depremler.....22

Tablo 4.1: Benzer modların periyot ve kütle katılım ornları. 49

Tablo 4.2: Tabanda oluşan kuvvetler.....68

Tablo 4.3: Model 1 için periyot, kütle katılım oranları ve kütle katılım oranlarının kümülatif toplamı. 85

Tablo 4.4: Uzak fay depremleri için normal gerilmeler. 93

Tablo 4.5: Uzak fay depremleri için normal gerilmeler. 93

Tablo 4.6: Yakın fay depremleri için normal gerilmeler. 94

Tablo 4.7: Yakın fay depremleri için normal gerilmeler. 95

Tablo 4.8: Yakın fay depremleri için normal gerilmeler. 95

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
σ_{Ev}	: Yalnızca depremin düşey hareketi sebebiyle oluşan normal gerilme
σ_{D}	: Zati yük sebebiyle oluşan normal gerilme
[k]	: Sistem rijitlik matrisi
[m]	: Kütle matrisi
[c]	: Sönüm matrisi
{ü}	: İvme vektörü
{u̇}	: Hız vektörü
{u}	: Yer değiştirme vektörü
{ΔF}	: Anlık kuvvet vektörü

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EĞİLME ETKİSİNİN BELİRLEYİCİ OLDUĞU YÜKSEK KONSOL YAPILARIN DEPREM ETKİSİ ALTINDA DAVRANIŞI

Yavuz ÖZÇELİK

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Danışman : Prof. Dr. Namık Kemal ÖZTORUN

Düşey yapısal elemanları kolonlardan oluşan bina türü yapıların yatay yükler altındaki davranışları incelenirken, yaygın olarak kolonlarda kayma deformasyonu etkisinin belirleyici olduğu hesaba katılmaktadır. Bu durum işlem hacmini büyük ölçüde azaltan makul bir varsayımdır. Perde duvarlı yapısal sistemlerde durum biraz karmaşık olmakla birlikte, bu tür yapılar şartnamelerin kapsamı içerisindedir. Ancak tamamen eğilme davranışı gösteren kule tipi yapıların davranışı özel analiz yöntemleri gerektirmektedir. Minareler bu davranışın gözlemlendiği en önemli yapılardandır. Bu çalışmada da kule tipi yapı olarak minare örneği üzerinde durulmuştur. Minareler beş farklı şekilde modellenmiş ve davranışları araştırılmıştır. Açısal serbestliklere karşılık gelen kütle bileşenlerinin hesaba katıldığı modele de çalışmada yer verilmiştir. Açısal bileşenlerle gelen ilave modlar değerlendirilmiştir. Ayrıca çalışmada minarelerin, eğilme davranışının belirleyiciliği üzerinde de durulmaktadır. Mevcut çalışmadaki bulgular, açısal ve düşey kütle bileşenleri nedeniyle gelen ilave modların yapı davranışını daha gerçekçi temsil ettiği yönündedir. Ülkemizde camilerde kalabalıkların toplanıyor olması, minarelerin modellenirken daha fazla önem verilmesi gerektiğini ve hatta kendi davranışına özgü şartnamesinin olması gerektiğini göstermektedir.

Kasım 2022 , 135 sayfa.

Anahtar kelimeler: Minare, Sap2000, Dinamik Analiz, Zaman Tanım Alanında Analiz

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

EARTHQUAKE RESPONSE OF HIGH CANTILEVER STRUCTURES DOMINATED BY THE BENDING BEHAVIOR

Yavuz ÖZÇELİK

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Civil Engineering Programme

Supervisor : Prof. Dr. Namık Kemal ÖZTORUN

When examining the behavior of building-type structures, whose vertical structural elements are columns, under lateral loads, it is commonly taken into account that the shear deformation effect on the columns is decisive. This is a reasonable assumption that majority reduces the transaction volume. Although the situation is somewhat complicated in structural systems with shear walls, such structures are within the scope of the specifications. However, the behavior of tower-type structures that show fully bending behavior requires special analysis methods. Minarets are one of the most important structures which this behavior is seen. In this study, the example of the minaret as a tower-type structure was emphasized. Minarets were modeled in five different ways and their behavior was studied. The model in which the mass components corresponding to the angular freedoms are taken into account is also included in the study. Additional modes that come with angular components are evaluated. In addition, the study also focuses on the determination of the bending behavior of minarets. The results in the current study are that the additional modes due to angular and vertical mass components represent the structural behavior more realistically. The fact that the crowds gather in the mosques in our country shows that more importance should be given to the modeling of the minarets and that it should even have its own behavior-specific specifications.

November 2022, 135 pages.

Keywords: Minaret, Sap2000, Dynamic Analysis, Time History Analysis

1. GİRİŞ

Günümüzde camilerin ayrılmaz bir parçası olan minareler, günde beş vakit ezan okunan, kule tipi yapılardır (Pekgökgöz, Taş, 2017; Çarhoğlu ve diğ, 2013; Şentürk, Özkaynak, 2017). İslam dininin ilk yıllarında ezan, çevredeki bir yapının çatısından, daha sonra ise mescitlerin önünde ya da çatısına çıkılarak okunduğu bilinmektedir (Ödekan, 1997). İslamiyet öncesi askeri anlamda gözetleme amaçlı kullanılan kuleler, İslamiyet'le birlikte ezan okumak amaçlı da kullanılmış ve günümüz minarelerinin temellerini oluşturmuştur.

Minareler geçmişten günümüze farklı biçimlerde karşımıza çıkabilmektedir. Örneğin Tunus, Fars, Cezayir, Mısır'da dört veya çok köşeli minareler bulunabilirken, Türkiye'de de yapım dönemine göre değişik geometrilerde bulunan minareler vardır (Kuşüzümü, 2010).

Geçmişte minarelerin yapımında deprem hareketinin oluşturduğu yüksek çekme kuvvetini yatayda ve düşeyde karşılayabilmek için metal aksamlar kullanılmıştır. Şaşırtmalı olarak örülen taşların yatay stabilitesi için "Kenet" adı verilen metal bir aksam kullanılırdı. Bu aksam, yan yana duran iki taşı birbirine bağlamakta ve stabiliteye katkı sağlamaktadır. Düşey stabilite için de metalden imal edilmiş "Zıvana" adı verilen bir aksam kullanılırdı. Bu metal aksamın çevresi eritilmiş kurşun ile doldurulur. Eritilmiş kurşun soğuduğunda metal ile harç arasındaki aderansı oluşturmaktadır (Doğangün ve diğ., 2007). Bu durum, günümüz betonarme yapılarının benzerini oluşturmaktadır.

Mehmet Şentürk ve Hasan Özkaynak (2017), Kapıüstü Mescidi Minaresini modal analiz ve artımsal itme analizi yöntemlerini kullanarak incelemiştir. Yapılan çalışmada eşit boylara sahip minarelerde basamak sayısı arttıkça yatay yük taşıma kapasitesinin arttığı gözlemlenmiş, boy ve basamak sayısında ki değişimin genel olarak minare sünekliliği üzerinde bir etkisi olmadığı görülmüştür.

Kılıç ve diğ. (2020) kule tipi yapılar üzerine yapmış oldukları çalışmada, Kırklareli Hızırbey Camii minaresinin dinamik davranışını incelemişlerdir. Analizlerde lineer mod birleştirme yöntemi DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 yönetmelikleri doğrultusunda uygulanmıştır. Çubuk ve kabuk eleman modeli için birer adet çatlamış ve çatlamamış kesit

modeli olmak üzere toplam dört adet model oluşturulmuştur. Çubuk elemanların analiz sonuçlarının kabuk eleman analiz sonuçlarına yakın olduğu görülmüştür. Çubuk eleman kullanılarak yapılan modelin, minarenin dinamik davranışı hakkında ön bilgilendirmede kullanılabileceği belirtilmiştir. Ayrıca söz konusu çalışmada önerilen Rayleigh yöntemi kullanılarak bulunan periyodun, kullanılan program ile örtüştüğü saptanmıştır.

Hökelekli (2020) tarihi yığma minareler üzerine yaptığı araştırmada, yapı zemin etkileşimi üzerinde durmuştur. Örnek olarak Alaca Camii minaresi seçilmiştir. Söz konusu çalışmada ilk olarak titreşim deneyleri ile deneysel dinamik veriler, sonlu elemanlar programı ile de teorik dinamik veriler elde edilmiştir. Daha sonra teorik veriler, deneysel veriler ile kalibre edilmiştir. Zemin türleri ankastre, sert, orta ve yumuşak olarak seçilmiş ve üç boyutlu sonlu ve sonsuz elemanlar ile modellenmiştir. Her bir model, düşey etkinin hesaba katıldığı ve hesaba katılmadığı zaman tanım alanında analiz yöntemiyle analiz edilmiştir. Düşey yer hareketinin minarenin yer değiştirmesinde önemli derecede etkili olduğu görülmüştür. Sadece yatay yer ivmesinin uygulandığı modellerde maksimum yer değiştirme yumuşak zemin durumunda oluşurken, düşey ivmenin de uygulandığı modellerde maksimum yer değiştirme sert zeminde meydana gelmiştir.

Işık ve Antep (2018) Kadı Mahmut Camisi'nin deprem davranışını araştırmışlardır. Söz konusu çalışmada yapıda meydana gelen tahribat ile alakalı bilgilere yer verilmiş, yapının işlevini devam ettirebilmesi için öneride bulunulmuştur. Minarede oluşan en büyük gerilmelerin minare en kesitinin değiştiği geçiş bölgelerinde olduğu saptanmış, buna karşın yapının bu gerilemelere karşı yeterli dayanıma sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çaktı ve diğ. (2013), Edirnekapı Mihrimah Sultan Cami minaresinin deprem davranışı üzerine araştırma yapmışlardır. Minarenin modellenmesinde ayrık eleman yöntemi kullanılmıştır. Modele göre deformasyonların gövde ile küp (kürsü) arasında, şerefeye yakın bölgelerde ve gövdenin şerefe altında kalan kısmının yarı yüksekliğinde daha çok bulunduğu tespit edilmiştir. Şerefenin üzerinde gerçekleşen göçmelerin kesme sonucu olduğu düşünülmektedir. Ayrıca çalışmada minarelerin tasarım ve inşa esasları ile alakalı yönergelerin belirlenmesi gerektiği önerilmekte ve mevcut yönetmeliklerin yetersiz olduğu belirtilmektedir.

Uğurlu ve Karaşin (2016), Şeyh Mutahhar Camisi (Dört Ayaklı Minare Camisi) Minaresinde bulunan çatlakların sebebini, minareyi iki farklı sonlu elemanlar programı kullanarak araştırmışlardır. Yapı zemin etkileşiminin de hesaba katıldığı çalışmada, yapı

çatlaklarının deprem sebebiyle oluşmadığı, minarenin dört ayak üzerinde bulunması sebebiyle her bir ayağın farklı oturması sonucu çatlakların oluşabileceği üzerinde durulmuştur.

Maras ve diğ. (2022) tarihi Sütlü Minare Camisinin sismik özelliklerini değerlendirmişlerdir. Makro modelleme stratejisinin kullanıldığı çalışmada taş, tuğla, harç gibi malzeme elemanları homojen bir yapı olarak ele alınmıştır. Bu elemanlar için ortak malzeme özellikleri bulunmuş ve yapı modeli bu şekilde hazırlanmıştır. Çalışmada, gerilmelerin fazla olduğu kısımlara, güçlendirmede kullanılan karbon fiber yapının kullanılabileceği belirtilmiştir.

Anadolu coğrafyası, birçok medeniyete ev sahipliği yapması sebebiyle, tarihi eserler bakımından zengindir. Bu tarihi eserlerin ayakta durması, kültürel mirasın korunması gerekmektedir. Günümüzde tarihi eserlerin incelenmesinde, restore edilmesinde veya güçlendirilmesinde farklı teknikler kullanılmaktadır. Korkmaz (2017), minare yapılarının güçlendirilmesinde basitleştirilmiş metot ortaya koymuş ve kültürel mirasımızın en önemli yapılarından olan Ayasofya Camisi örneğini incelemiştir. FRP (Fiber Takviyeli Plastikler) ile güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş durumların karşılaştırılması yapılmış ve sonuç olarak yöntem kolay uygulanabilir bulunmuştur.

Başaran ve diğ., (2015), Hacı Mahmut Camisi'nde nümerik ve deneysel çalışmayı birlikte yürütmüştür. Nümerik modelin teorik olarak elde edilen minare modları, operasyonel modal analiz yöntemiyle deneysel olarak sınanmış ve revize edilmiştir. Operasyonel modal analiz yönteminde deneysel olarak bulunan modların periyotlarıyla, teorik modelin modlarının periyotları arasındaki farkı gidermek için, teorik modeldeki malzemenin elastisite modülü adım adım değiştirilmiştir. Deneysel modların periyotları ile teorik modelin periyotlarının çakıştığı değerler, hem yapının hem de teorik modelin asıl periyotları olarak alınırmıştır. Sonuç olarak bahsi geçen durum çalışmasında, Hacı Mahmut Camisi minaresinin deprem davranışı değerlendirilmiş, en büyük yer değiştirme araştırılmıştır. En büyük gerilmeler ve bu gerilmelerin konumu tayin edilmiş, olası bir güçlendirmenin hangi bölgede yapılması gerektiği ortaya konmuştur.

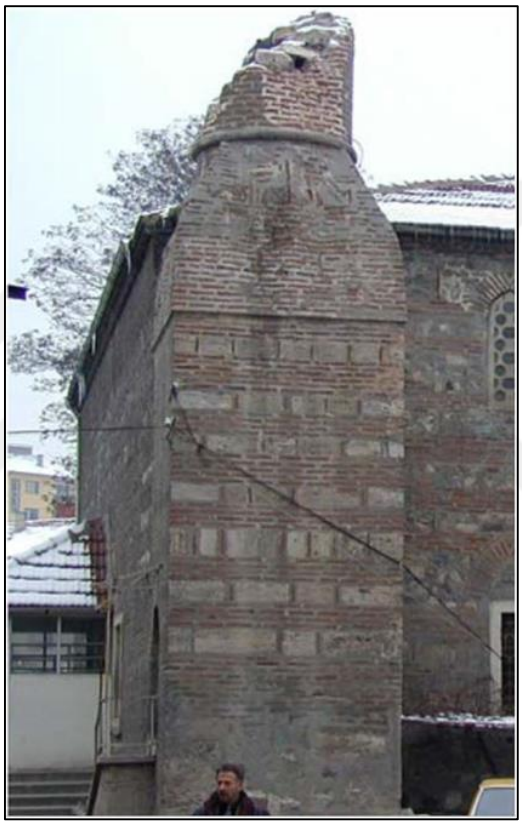
Minarelerdeki çatlakların nedenini bulmak, davranışı belirlemede büyük rol oynar. Usta (2021), yapmış olduğu çalışmada, tarihi minarelerdeki çatlaklarını ve sebeplerini araştırmıştır. Antalya'da tarihi camilerin minareleri üzerine yapılan araştırmada, sismik hareketlerden kaynaklı gerilmelerin geçiş bölgesinin üst kısmında toplandığı görülmüştür.

Bilimin gelişmesi ve yapım tekniklerinin ilerlemesi, minare yüksekliklerinin artmasında büyük rol oynamıştır. Yükseklikteki artış minareleri daha narin bir yapıya dönüştürmüştür. Bu durum akıllara ayarlı kütle sönümleyicilerin bu narin yapılarda kullanılabileceğini getirmektedir. Pekgökgöz ve Taş (2017), ayarlı kütle sönümleyici yerleştirilmiş betonarme minarelerin dinamik davranışları üzerine araştırma yapmışlardır. Yapılan analizde iki boyutlu ve üç boyutlu modeller kullanılmış ve iki boyutlu model için düşey ve açısal serbestlikler göz ardı edilmiş sönüm oranı %2,5 alınmıştır. Söz konusu çalışmada ayarlı kütle sönümleyicisi olmayan minare ile ayarlı kütle sönümleyici kullanılan minare (AKSM) kıyaslanmıştır. Analizler, bir adet rüzgar hız kaydı (Rita Kasırgası) ve üç adet deprem ivme kaydı (Vrancea Bucharest 1977, Erzincan 1992, Kocaeli 1999) ile yapılmıştır. Rüzgar yükü ile ilgili olarak ayarlı kütle sönümleyiciye sahip olan minarenin, kütle sönümleyicisine sahip olmayan minareye göre sönüm oranını 2.4 kat arttırdığı, en büyük yer değiştirmeyi ise %40 azalttığı gözlemlenmiştir. Deprem hareketi etkisinde ise yapıdaki yer değiştirmelerin normal minareye göre azımsanamayacak derecede azaldığı ve titreşimlerin daha çabuk sönümlendiği görülmüştür. Buna karşılık ayarlı kütle sönümleyicinin yapının sönümüne katkısının dinamik dış etkilerle alakalı olması dolayısıyla farklı dinamik etkiler için genelleme yapmaktan kaçınılmıştır.

Ertek ve Fahjan (2007) Osmanlı minareleri üzerine yapmış oldukları çalışmada minarelerin sınıflandırılması, modellenmesi ve analizi üzerinde durmuşlardır. Sonlu eleman modellerinin dikkatle seçilmesi gerektiği ve doğru sonuçların alınabilmesi için farklı yapısal elemanların nasıl birleştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Söz konusu çalışmada bir minarenin birinci ve ikinci model olarak merdivenli ve merdivensiz katı eleman modeli, üçüncü model olarak duvarlar ve merdivenlerin kabuk, çekirdeğin çerçeve elemanla modellenmiş olduğu model ve dördüncü model olarak, üçüncü modelin merdivensiz hali modellenmiştir. Katı eleman modellerinde ve kabuk eleman modellerinde merdivenli sistem, merdivensiz sisteme göre doğal periyodu daha fazladır. Bunun sebebinin, sistem rijitliğinin azalmasından daha çok kütledeki artış olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca kabuk elemanlarla modellenen sistemlerin periyodu katı elemanlarla modellenenlere göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda kabuk elemanla modellenen sistemler ile katı eleman olarak modellenen sistemler, doğal titreşim periyotları ve belirlenen bazı noktalardaki yer değiştirmeler ve gerilmeler yönünden yaklaşık olarak aynı sonuçları verdiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak

minarelerin çerçeve, kabuk veya katı eleman olarak modellenebileceği, merdivenli veya merdivensiz olarak analiz edilebileceği üzerinde durulmuştur.

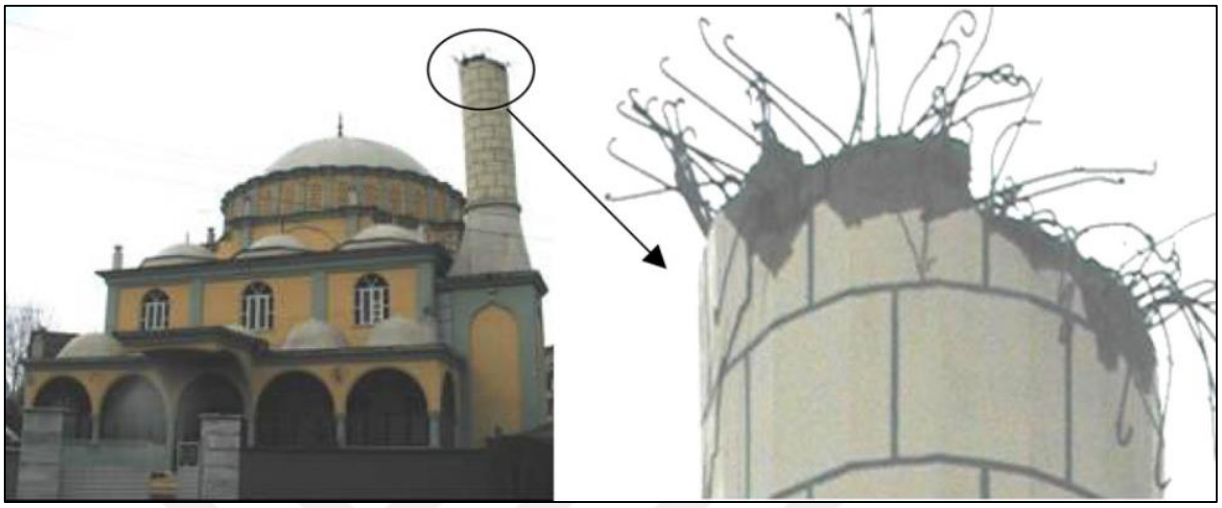
Minareler izostatik yapılar olduğu için, meydana gelebilecek çatlaklar yapıyı labil hale getirebilir. Bu çatlaklar eğilme etkisiyle oluşabileceği gibi, eksenel çekme kuvvetiyle de meydana gelebilir. Her bir birleşim noktası için eksenel yükün, yapının o noktanın üzerinde kalan kütleyi aşıp aşmadığı kontrol edilmelidir.



Şekil 1.1: Kocaeli Depremi'nde (1999) yıkılan Şemsi Ahmet Paşa Camisi Minaresi (Doğangün ve diğ., 2008).

Geçtiğimiz yıllarda ülkemizde meydana gelen depremlerde birçok minare önemli hasarlar almış ya da yıkılmıştır. Yıkılan bu minareler incelendiğinde, kırılma noktaları belirli birkaç kısımda toplandığı görülmektedir. Bu kısımlar, minarenin geçiş kesitinin üst kısmı, geçiş kesiti ile şerefe arasında kalan kısım, şerefenin üzerindeki kapı boşluğu, petek bölümündeki kapı boşluğu ve petekle külahın birleştiği noktalardır. Bu noktalardaki donatılandırmanın yetersizliği, yanlış donatı detaylarının kullanılması ya da işçilik sırasında yapılan hatalar, göçmeye sebep olabilmektedir. Bununla beraber, yapılan analizlerin yanlış kabuller üzerinden yapılması, yanlış modelleme veya tasarım, davranışın bilinmemesi gibi hatalar da yapının

kullanım ömrünü azaltabilmektedir. Modellemenin ve tasarımın iyi yapılarak kritik noktaların fark edilmesi gerekir. Modellemenin iyi yapılabilmesi için ise davranışın iyi bilinmesi gerekmektedir.



Şekil 1.2: Minarenin şerefe ve kürsü arasındaki bölgeden göçmesi durumu (Sezen ve diğ., 2008).



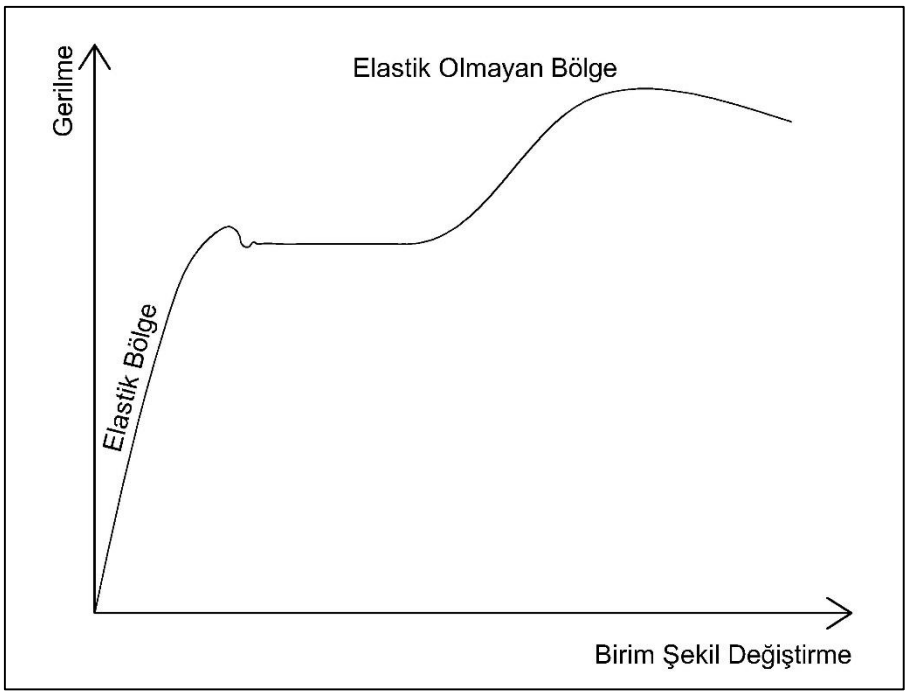
Şekil 1.3: Minarenin, kürsünün üst kısmından göçmesi durumu (Sezen ve diğ., 2008).

Bu çalışmada genel olarak davranış üzerinde durulmuş ve beş farklı minare modelinin davranışı araştırılmıştır. Modeller kendi arasında kıyaslanmış ve farklılıklar dile getirilmiştir.

Çalışmada açısal serbestlik değerine karşılık gelen kütlelerin tanımlı olduğu çubuk eleman modelinde araştırma detaylandırılmış ve iç kuvvetler ve gerilmeler bulunmuş, bunun sonucunda kritik noktalar araştırılmıştır. Yıkılan minarelerdeki kırılma noktalarıyla mevcut çalışmadaki modelin kritik noktaların örtüştüğü görülmüştür.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

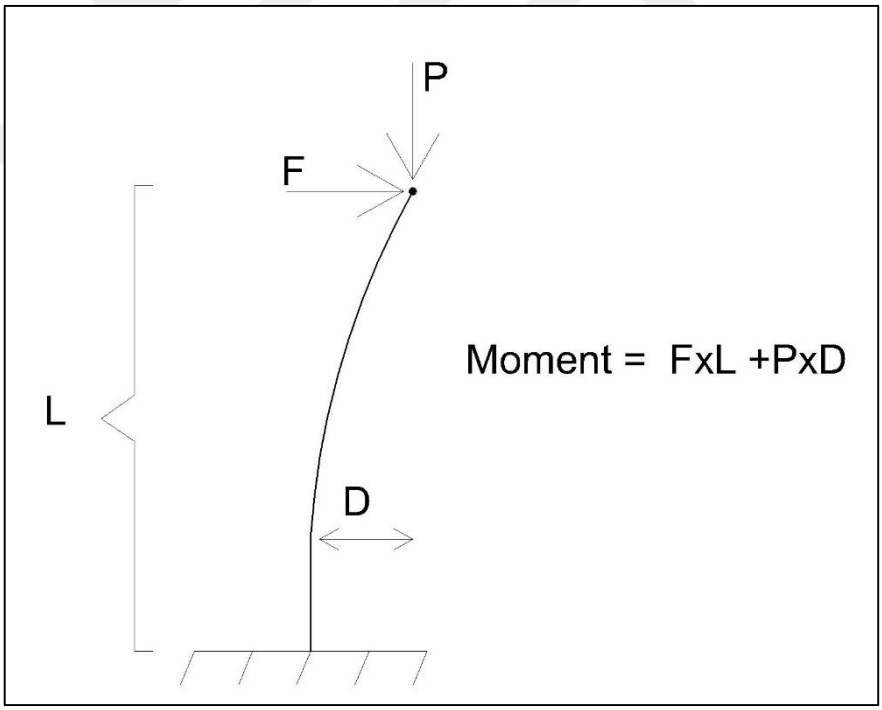
Mühendislikte birçok durumda, işlem hacmini azaltmak için veya bir çözüm bulabilmek için, basitleştirici varsayımlar kullanılmaktadır (Ersoy ve diğ., 2020). Aynı şekilde yapıların analiz yöntemlerinde birçok kabul ve varsayım yapılır. Bunlar malzeme davranışıyla alakalı olabildiği gibi eleman davranışıyla ve hatta yapının bütünüyle de alakalı olabilir. Bu üç durum için örnek verecek olursak, öncelikle malzeme davranışını ele almak gerekmektedir. Analizlerde malzeme davranışı, yapının rijitlik matrisinde bulunan "Elastisite Modülü" olarak adlandırılan bir sabit ile tanımlanır. Elastisite modülü oransal bir sabit olması sebebiyle, ister karmaşık bir yapı, ister basit bir eleman olsun, gerilmeler ile şekil değiştirmeler arasındaki oransal ilişkiyi kurar. Bu ilişkinin geçerli olduğu, yani deplasmanlarla gerilmeler arasında belli bir oranın bulunduğu analiz türüne "Doğrusal Analiz" ya da "Lineer Analiz" denir. Doğrusal analiz genellikle yapı elemanlarının deplasmanlarının küçük olduğu durumlarda kullanılır. Birim şekil değiştirme-gerilme grafiğindeki orantılı kısmın en büyük değerine, yani doğrusal analizin daha doğru sonuç verdiği sınıra "Orantılılık Sınırı" denir.



Şekil 2.1: Yumuşak çeliğin temsili birim şekil değiştirme-gerilme grafiği.

Orantılılık sınırı, “Hook Kanunu”’nun geçerli olduğu kısımdır. Malzemenin Hook Kanununu aştığı durumlarda, yapıdaki elemanların rijitlik matrisine bir takım fonksiyonlar eklenir ve doğrusallıktan uzaklaşan malzeme davranışı modellenmiş olur (Majid, 1972). Şekil 2.1’deki yumuşak çelik “Birim Şekil Değiştirme – Gerilme” grafiğinde elastik bölge ve elastik olmayan bölgeler gösterilmiştir. Malzemenin elastik sınırlar içerisinde doğrusal davrandığı kabul edilir. Malzemenin doğrusal olmayan davranışının modellenmediği analizler, “Doğrusal Analiz” olarak adlandırılır. Bir başka tanım ile “Doğrusal Analiz”, gerilmeler ile deplasmanların orantılı olduğu analiz türüdür. Mevcut çalışmada doğrusal analiz yöntemi kullanılmıştır.

Eleman davranışlarındaki kabullere örnek olarak “Geometrik Nonlineerite” veya diğer adıyla “2. Mertebe Etkisi” örnek verilebilir. 2. mertebe etkisi, şekil değiştirmiş sistem üzerinden yapılan analiz yöntemidir. Örneğin bir kolon, yatay bir F kuvvetine ve düşey P kuvvetine maruz kalmış olsun (Şekil 2.2). Geometrik doğrusal hesap için mesnette oluşan moment değeri, kuvvet ile kuvvete dik manivela kolunun çarpımı kadardır.



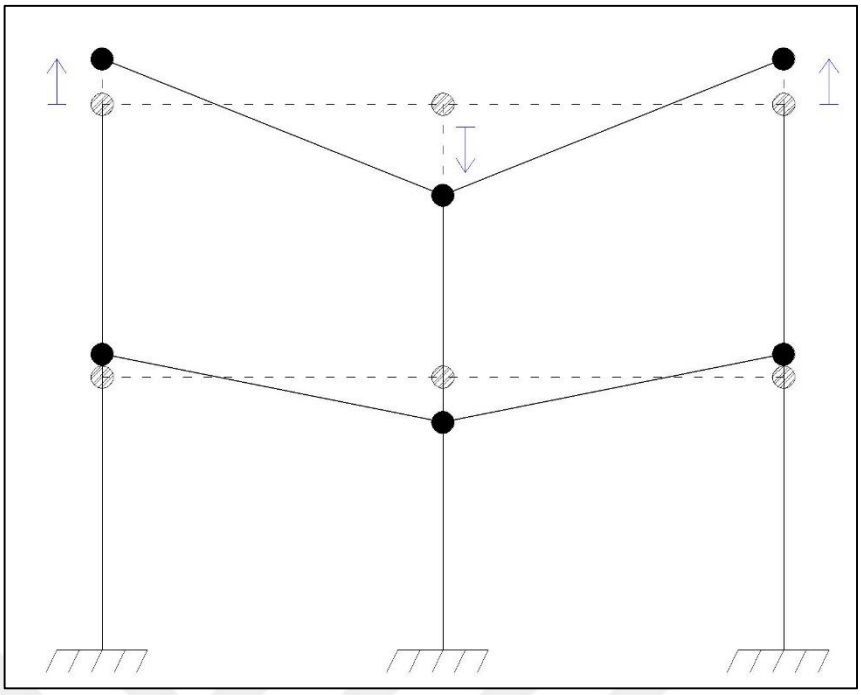
Şekil 2.2: Konsol bir kolonun 2. mertebe etkisi.

Buna karşılık geometrik olarak doğrusal olmayan analizde, bu momente ek olarak, düşey P kuvvetinin, yatay F kuvveti sonucu oluşan D deplasmanı ile çarpımı sonucu oluşan moment de dahil edilir. 2. mertebe etkileri, birçok durumda var olmasına rağmen, deplasmanların küçük

olduğu durumlarda genellikle ihmal edilir. Mevcut çalışmada da 2. mertebe etkileri dikkate alınmamış olup, geometrik olarak doğrusal analiz yapılmıştır.

Yapı davranışındaki en önemli varsayımlardan birisi kat kayması tipi yapı davranışıdır. Kat kayması, bina tipi çerçeve yapıların geometrisinden kaynaklanan bir davranış biçimidir. Her bir katın kolonlarının, kirişler tarafından belli bir rijitlikle tutulu olması sebebiyle kolonların eğilmesi bir miktar engellenir ve bu sebeple her bir katın kayma davranışı sergilediği kabul edilir. Bu varsayım dinamik analizde büyük kolaylıklar sağlar. Buna karşılık, dinamik durum için sistem rijitlik matrisinde küçültmeler yapılır. Bu küçültmeler sonucunda yapı bazı rijitlik değerlerini kaybeder. Bu varsayım bina türü yapılarda sıklıkla uygulanmakta, hatta bu varsayımları kullanan paket programlar bulunmaktadır. Mevcut çalışmada kat kayması davranışı minareler için irdelenmiştir.

Mühendislikte çoğu zaman tüm kat kolonları, yapılan bir kabulle tek bir kolona indirgenebilir. Tüm kat kolonlarının rijitlikleri toplanarak devasa tek bir kolonmuş gibi modellenebilmektedir (Chopra, 2015). Bu varsayıma konsantre kat kütlesi metodu denmektedir. Bu tip modellerde, düşeyde bazı modlar gözden kaçabilmektedir. Örneğin Şekil 2.3'te, çerçeve tipi bir yapı görülmektedir. Şekildeki kesikli çizgiler, yapının şekil değiştirmemiş halini göstermektedir. Bu yapının düşey modları belirlenirken, tüm kolonların tek bir kolon şeklinde modellenmesi durumunda, şekilde gösterilen düşey mod, fark edilememektedir.



Şekil 2.3: Örnek çerçeve bir yapıda düşey mod.

Aynı kattaki üç kolondan ikisinin zıt yönde hareket ettiği davranış, yapılan kabul sonucu fark edilememektedir. Bu gibi durumlar, davranışın yanlış anlaşılmasına sebep olabilmektedir.

Mevcut çalışmada kullanılan Sap2000 (2019), sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan genel amaçlı yapı analiz programıdır. Bilindiği üzere sonlu elemanlar yöntemi analiz edilmekte olan bir yapının davranışı bilinen (bir başka deyişle formülasyonu bilinen) ve literatürde "Sonlu Elemanlar" olarak adlandırılan elemanlar kullanılarak tanımlama tekniğidir (Öztorun ve diğ., 2018). Kullanım alanı çok geniş olup bina, gökdelen, köprü, metro istasyonu, silo, soğutma kulesi, gaz tankları, baraj, araba, uçak, denizaltı, (biomühendislikle ilgili olarak) protez diş, insan iskeleti ve yapısı vb. birçok yapısal sistemin analizinde kullanılabilmektedir (Topçu, 2015). Sonlu elemanlar yönteminin başlangıcı 1960'lı yıllara kadar dayansa da, günümüzde geçerliliğini korumakta ve üzerine araştırmalar yapılmaktadır.

Deprem yönetmeliği olarak "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (2018)" başvurulmuştur. Taşıyıcı eleman malzeme özellikleri TS 500'den alınmıştır (TS 500, 2000). Minarenin kaplamasının yük yoğunlukları için "TS ISO 9194" yönetmeliğine başvurulmuştur.

3. YÖNTEM

Mevcut çalışmada Şekil 3.1'de temsili resimleri verilen minarenin beş adet modeli oluşturulup, bütün çalışma bu beş model üzerinde yapılmıştır. Modellerin özellikleri ileriki sayfalarda verilmektedir. Bu beş modelin ilk üçü çubuk eleman olarak modellenmiştir. Dördüncü model kabuk eleman, beşinci model ise katı eleman olarak modellenmiştir. Bütün modellerin modları incelenmiş, bazı modlar ve periyotlar karşılaştırılmıştır. Çubuk eleman modellerin deplasman -zaman grafikleri incelenmiş, buna karşılık iç kuvvet ve gerilme incelemeleri yalnızca Model 1 için yapılmıştır.

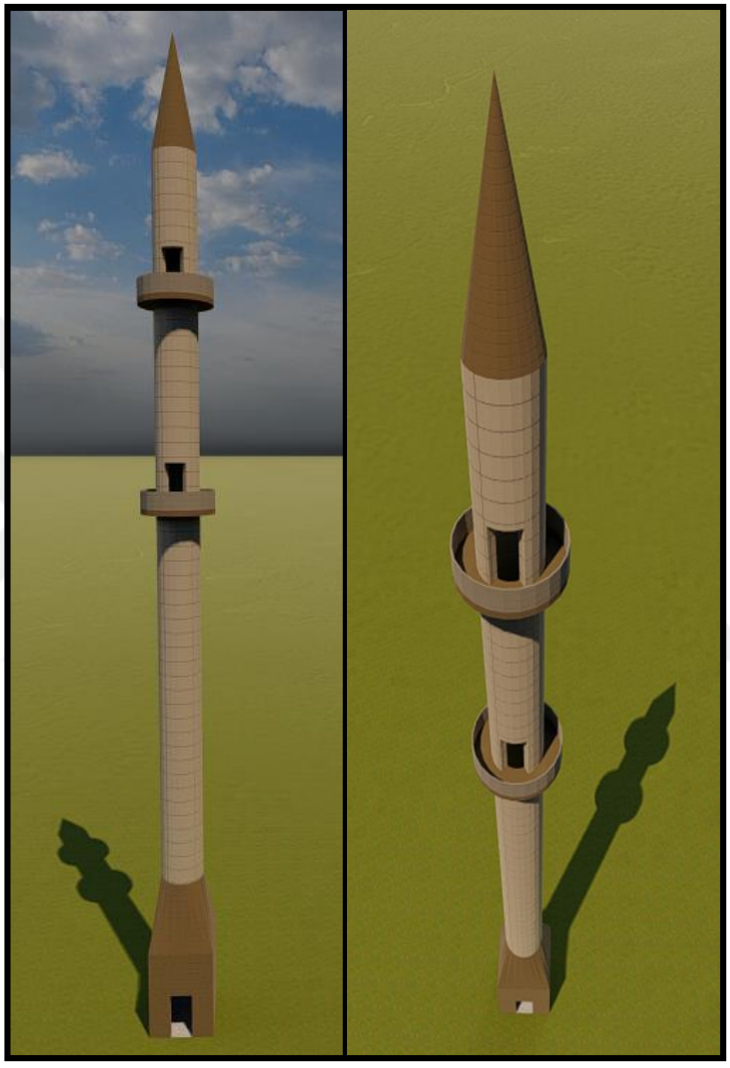
Geçmiş çalışmalar incelendiğinde, minarelerin analizinde genellikle zaman tanım alanında analiz kullanılmaktadır. Bu çalışmada da deplasmanların, iç kuvvetlerin ve gerilmelerin belirlenmesinde bu analiz türü kullanılmıştır. Her ne kadar düzenli kuvvetler için analitik çözümler üretebilse de, zaman tanım alanında analizde yer ivmelerinin gelişi güzel dağılması sebebiyle, analitik çözümler üretmek olanaksızdır. Bu sebeple, çözüme ulaşmada zaman adımlama yöntemleri kullanılır (Chopra, 2015). Bu çalışmada "Wilson Theta" zaman adımlama yöntemi kullanılmıştır. Theta, yöntemde kullanılan bir katsayıdır ve 1.38'den büyük veya eşit alınır. Bununla birlikte uygulamalarda genelde 1.4 kabul edilir (Kasımzade, 2018).

Zaman adımlama yöntemlerinde sönüm sabit değil de bir fonksiyon olarak alınmaktadır. Belirlenen iki adet mod için periyotlar ve sönüm oranları girilir ve sönüm fonksiyonu oluşturulmuş olur. Bu çalışmada ilk iki periyot ve bu periyotlara karşılık iki adet sönüm oranı (ikisi de 0.05) girilmiştir.

Çalışmada deprem kuvvetleri, zati yük, kaplama yükü, külah yükü ve merdivenin zati yükü tanımlanmıştır. Külah, yapıya yalnızca yük olarak atanmış, taşıyıcı eleman olarak düşünülmemiş ve rijitlik değerleri tanımlanmamıştır.

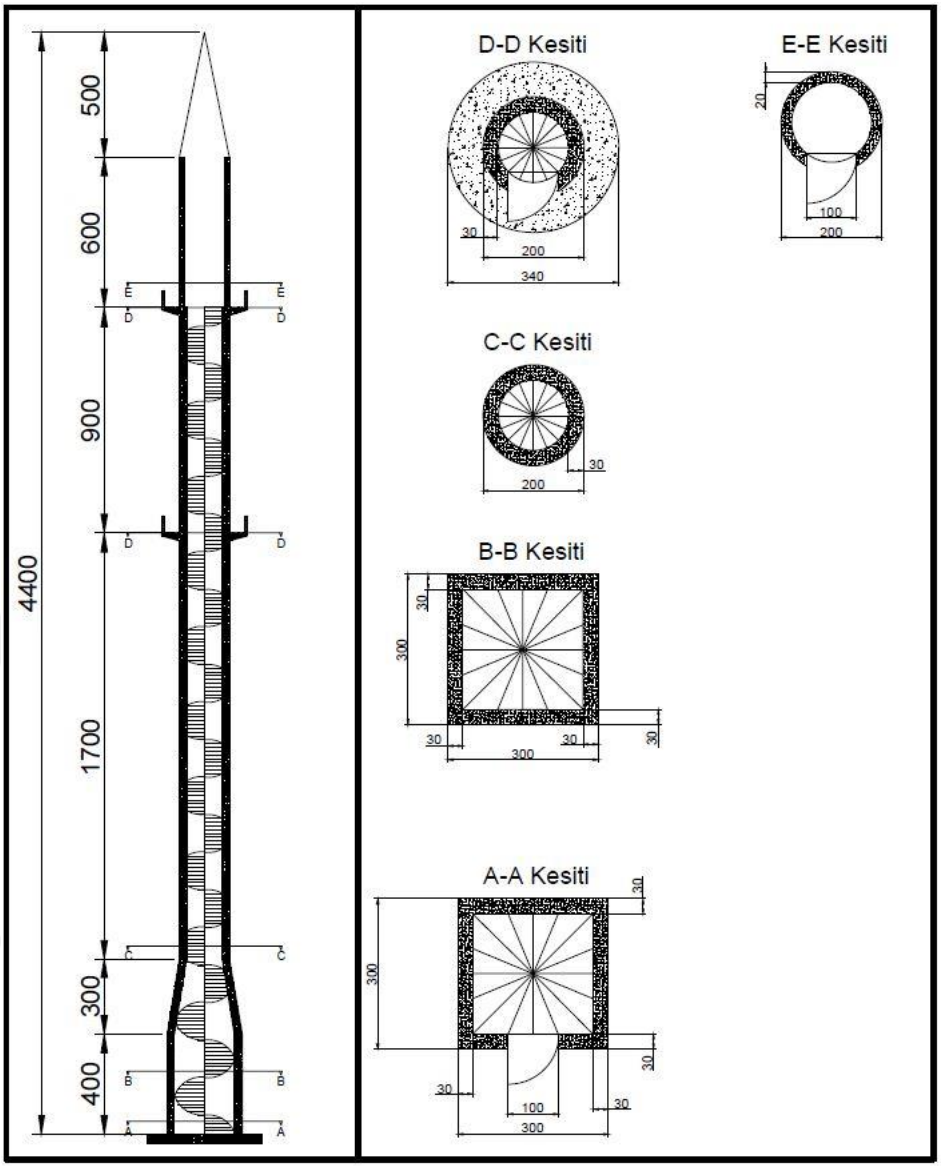
3.1. MİNARENİN MİMARİ ÖZELLİKLERİ

Çalışmada temsili bir minare kullanılmıştır. Minare oluşturulurken, yapı modellerinin minare davranışını yansıtabilmesi için birkaç adet minare incelenmiştir. İncelenen minarelere benzer bir minare geometrisi oluşturulmuştur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Çalışmada kullanılan minarenin temsili resimleri.

Minarenin, genellikle kare kesit olan ve değişken kesitin başladığı yerde biten zeminden yukarıdaki ilk bölümü “Kaide” olarak adlandırılmaktadır. Kaidenin içindeki merdiven, en üstteki şerefe bölümüne kadar gitmektedir. Kaide, minarenin yere mesnetlendiği bölümdür. Birçok minarede değişken kesitli olan, “Kürsü” olarak adlandırılan kısım bulunmaktadır. Bu kısım genellikle alt ucundan kare başlayıp, üst ucunda daire olarak bitmektedir. Kürüsü’nün dairesel kesit olarak bittiği yerde “Gövde” olarak adlandıran minare bölümü gelmektedir.



Şekil 3.2: Çalışmada kullanılan minarenin kesitleri.

Bu bölüm de kürsü gibi genellikle daire olmaktadır. Bununla beraber "Hasan Camii Minaresi" gibi kaide, kürsü ve gövdenin ayrı ayrı modellenmediği, tek bir kesitten oluşan minareler de bulunmaktadır. Ezanın okunması için oluşturulan ve balkona benzeyen kısma ise "Şerefe" olarak adlandırılmaktadır. Bazı minarelerde 2 (Örneğin Fatih Camisi Minaresi), bazılarında ise 3 (Süleymaniye Camisi Minaresi) şerefe olabilmektedir. Şekil 3.2'de görüldüğü üzere çalışmada 2 şerefeli bir minare göz önüne alınmıştır. Örnek minarede şerefe kesiti değişken olması sebebiyle, ortalama 25 cm kalınlığında seçilmiştir. En üst şerefeden sonra gelen kısım, "Petek" olarak adlandırılmaktadır. Bu kısım, gövdeye çok benzemekle beraber, gövdeye oranla daha az yüke maruz kalması sebebiyle et kalınlığı daha az olmaktadır. Mevcut minarede petek bölümünün kalınlığı 20 cm olarak tanımlanmıştır. Minarenin en üst kısmında

ise “Külah” ve “Alem” yer almaktadır. Külah kısmı eski minarelerde taştan yapılabildiği gibi, günümüzde profiller kullanılarak imal edilip petek kısmına monte edilebilmektedir. Profillerde tercihen çelik ya da alüminyum kullanılmaktadır. Minarenin hiçbir taşıyıcı yapısı olmayan, yalnızca estetik için yerleştirilen ve metalden imal edilen kısmına ise “Alem” denmektedir.

Minarenin şerefesinde bulunan korkuluğun kütlesi önemsiz kabul edilmiş ve analize dahil edilmemiştir. Minarenin dışında kaplama olduğu varsayılmıştır. Minarede üç adet kapı bulunmakta olup bunların hepsi aynı boydadır. Kapılar 1m x 2m boyutundadır. Minare yüksekliği külah ile birlikte 44 metre, külahsız 39 metredir. Kaideden peteğe kadar et kalınlığı 30 cm olup, petekteki et kalınlığı 20 cm’dir.

3.2. MODELLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Çalışmada 5 farklı model kullanılmıştır. Modellerin farklılıkları aşağıda her bir model için belirtilmiştir.

Model 1: Çubuk sonlu elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Tüm yükler “Kütle” olarak X ve Z yönünde doğrusal serbestlik bileşeni, Y ekseni etrafında açısal serbestlik bileşenine karşılık gelecek şekilde düğüm noktalarına konsantre yük şeklinde atanmıştır. Model, 12 düğüm noktasından ve 11 adet çubuk elemandan oluşmaktadır. Kürsü bölümündeki çubuk eleman, değişken kesitli olacak şekilde modellenmiştir. Ayrıca kaide kısmında ve gövde kısmında bulunan kapı boşlukları, modellerde tanımlanmıştır.

Model 2: Çubuk sonlu elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Tüm yükler “Kütle” olarak X ve Z yönünde doğrusal serbestlik bileşenine karşılık gelecek şekilde, düğüm noktalarına konsantre yük şeklinde atanmıştır. Model 1’den farklı olarak, Y ekseni etrafında açısal serbestlik bileşenine karşılık gelen yük bulunmamaktadır.

Model 3: Çubuk sonlu elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Yayılı yük modeli kullanılmıştır. Zati yük program tarafından hesaplanıp düğüm noktalarına atanmıştır. Merdiven yükü, “kg/m” biriminde 10 numaralı düğüm noktasına kadar yayılı yük olarak atanmıştır. Şerefe döşemesinin yükü ve külah yükü konsantre yük olarak düğüm noktalarına atanmıştır. Rijitlik, malzeme ve kesit özellikleri, Model 1 ve Model 2 ile tam olarak aynıdır.

Model 4: Kabuk eleman olarak modellenmiştir. Zati yük program tarafından hesaplanmıştır. Kaplama yükü “81 kg/m2” olarak dış yüzeye atanmıştır. Külah yükü konsantre yük olarak, petek kısmının en üst kesitindeki düğüm noktalarına atanmış olup 229 kilogram olarak belirlenmiştir. Merdiven ve şerefe modellenmiş olup zati yükleri program tarafından hesaplanmıştır. Model kesiti, 15’er derecelik açılarla 24 parçadan oluşmaktadır. Modelde toplamda 7641 adet kabuk sonlu eleman kullanılmıştır.

Model 5: Katı eleman olarak modellenmiştir. Zati yük program tarafından hesaplanmıştır. Kaplama yükü dış yüzeydeki düğüm noktalarına atanmıştır. Külah yükü tekil yük olarak düğüm noktalarına atanmıştır. Merdiven ve şerefe modellenmiş olup zati yükleri program tarafından hesaplanmıştır. Modelde toplamda 15008 adet katı sonlu eleman kullanılmıştır. Bu katı elemanlar toplamda 22688 düğüm noktası içermektedir.

Çubuk eleman olarak modellenen minarelerin A-A, D-D ve E-E kesitlerindeki kapı boşlukları, programın sunmuş olduğu “Section Designer” kısmından modellenmiş olup, analizlerde bu boşluklar dikkate alınmıştır. Çubuk eleman modellerde minarelerin alemi ve külahı taşıyıcı eleman olarak düşünülmemiş, kütle 5500 kg olarak 12 numaralı düğüm noktasına atanmıştır. Şerefe rijitliği modellerde ihmal edilmiş, buna karşılık kütle olarak düğüm noktasına uygulanmıştır. Minarenin geçiş segmenti (kürsü) değişken kesit olarak modellenmiştir. Merdiven çubuk eleman için modellenmemiş olup, rijitliği belli bir çarpan ile büyütülmüştür. Minarenin yere ankastre olarak mesnetlendiği varsayılmıştır. Ayrıca minarenin, caminin herhangi bir bölümüyle bağlantısı olmadığı varsayılmıştır. Yani minare yalnızca tabanından mesnetlenmiştir. Mesnetlenme biçimi ankastre mesnettir. Sönüm oranı birinci ve ikinci modun periyodu (1. modun periyodu: 1.055 sn., 2. modun periyodu: 0.185 sn.) için %5 olarak kabul edilmiştir.

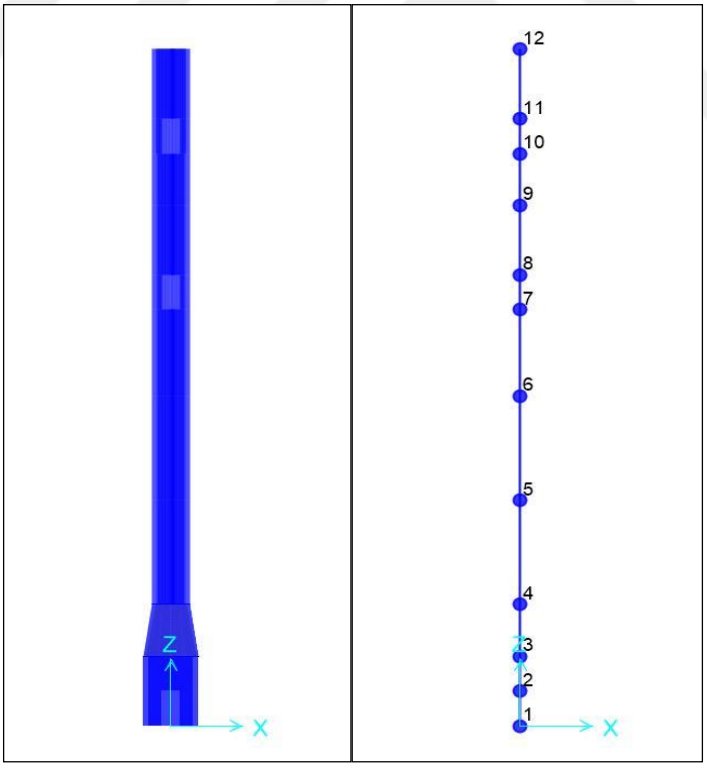
Beton sınıfı olarak C30 Beton (Elastisite Modülü = 32000 MPa) kullanılmıştır. C30 betonun karakteristik çekme dayanımı (f_{ctk}) “1.9” MPa, tasarım çekme dayanımı (f_{ctd}) 1.26 MPa’dır (TS500, 2000). Kaplama olarak mermer kullanıldığı varsayılmış ve ilgili yönetmelikten yoğunluğu (2700 kg/m^3) kütleye çevrilerek atanmıştır (TS ISO 9194, 1997). Minarelerde herhangi bir hareketli yük değeri bulunmadığından, hareketli yük hesaba katılmamıştır.

3.3. YAPI GEOMETRİSİNİN BELİRLENMESİ

Yapı geometrisi belirlenirken öncelikli şartın, yapı davranışını tam olarak yansıtması ve sonuçların yeter hassaslıkta olmasıdır. Düğüm noktaları arasındaki bağlantılar, kuvvet akışını doğru iletecek şekilde sağlanmalı ve elemanlar doğru büyüklükte seçilmelidir. Bununla beraber yapı geometrisi ile bilgisayar model arasındaki fark mümkün mertebe yakın olmalıdır.

3.3.1. Çubuk Eleman Analiz Modellerin Düğüm Noktalarının Belirlenmesi

Çubuk elemanlar kullanılarak hazırlanan analiz modellerinde düğüm noktalarının konumu belirlenirken, kesit özelliklerindeki farklılıklar nedeniyle gerilme dağılımlarında farklılıklar yaratabilecek kısımlar tespit edilmiş, ani kesit kaybı olan kısımlara düğüm noktası tanımlanmıştır. Örneğin kapı boşluğu olan bir elemanda, kapı boşluğu olan kısmın iki ucuna düğüm noktası tanımlanmış ve çubuk eleman, kapı boşluğu içerecek şekilde modellenmiştir. Değişken kesitli elemanın uçlarına da düğüm noktası tanımlanmış ve aynı eleman modelde de değişken kesitli olarak atanmıştır.



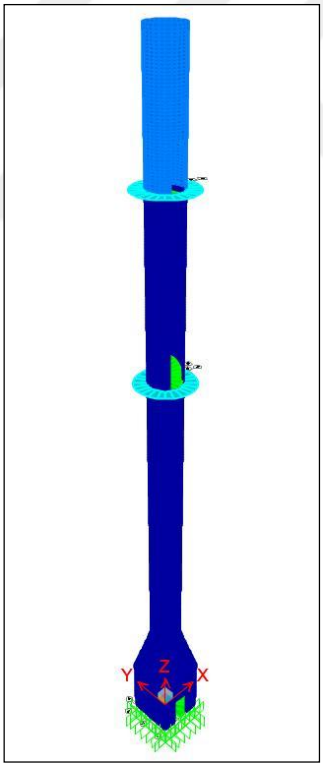
Şekil 3.3: Çubuk eleman analiz modellerinin düğüm noktalarının yerleşimi

Çubuk eleman modellerde (Model 1, Model 2, Model 3) merdiven ve şerefeler, modellenmemiştir. Merdiven rijitliği çarpan olarak minarenin petek kısmına kadar eklenmiş, merdiven olmayan petek kısmına bu rijitlik eklenmemiştir. Bu rijitlik çarpanı, minarenin kaide

bölgesinde 1.019, kürsüde 1.05, gövdede 1.047 olarak alınmıştır. Ayrıca merdiven ve şerefelerin kütlesi, bulundukları düğüm noktalarının üzerine ilave kütleler olarak eklenmiştir. Minarenin kürsü ile şerefe kısımları arası aralığın fazla olması nedeniyle, bu bölgeye iki adet düğüm noktası tanımlanmıştır.

3.3.2. Kabuk Eleman Analiz Modelinin Geometrisinin Belirlenmesi

Kabuk elemanlar kullanılarak hazırlanan analiz modelinde, yapının üç boyutlu, kullanılan sonlu elemanın yüzey elemanı olmasından kaynaklanan bazı hatalar oluşmaktadır. Bu analiz modelinde, her bir kabuk elemanın düşeyde aksların ortasına oturması gerekmektedir. Kabuk elemanın kesit kalınlığının modellenememesi sebebiyle, Şekil 3.4'te 2 metre olarak verilen yapının gövde genişliği, et kalınlığı hesap edildiğinde 1.7 metreye düşmektedir. Aynı şekilde minarenin petek kısmında, 1.8 metre olması gereken çap, kuvvet aktarımında sorunlara yol açmaması için 1.7 metre olarak modellenmiştir.



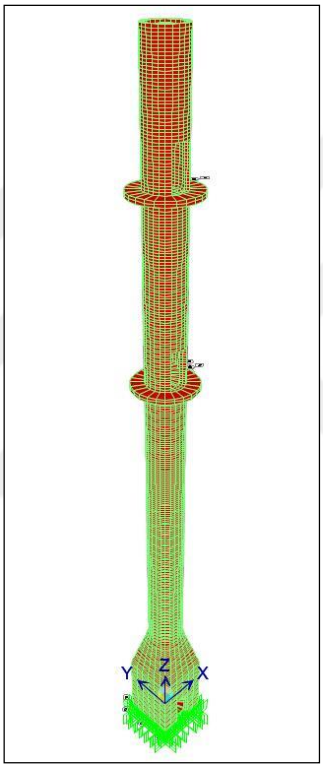
Şekil 3.4: Kabuk eleman modeli

Kabuk elemanların boyutu belirlenirken, akslar için gövdede ve petekte silindirik koordinat sistemi seçilmesi sebebiyle, Z ekseni etrafında açısal olarak 24 parçaya bölünmüştür. Yapı, düşeyde ise her bir eleman 0.125 metre olacak şekilde yapı, sonlu parçalara bölünmüştür. Yapı ve zemin arasındaki sınır şartları ankastre mesnet olarak tanımlanmıştır. Merdiveni oluşturan

kabuk elemanlar, kaide, kürsü, gövde ve şerefe düğüm noktalarıyla süreklilik sağlayacak ve kuvvet aktarımında monolitik davranışı yansıtacak şekilde birleştirilerek modellenmiştir.

3.3.3. Katı Eleman Analiz Modelinin Geometrisinin Belirlenmesi

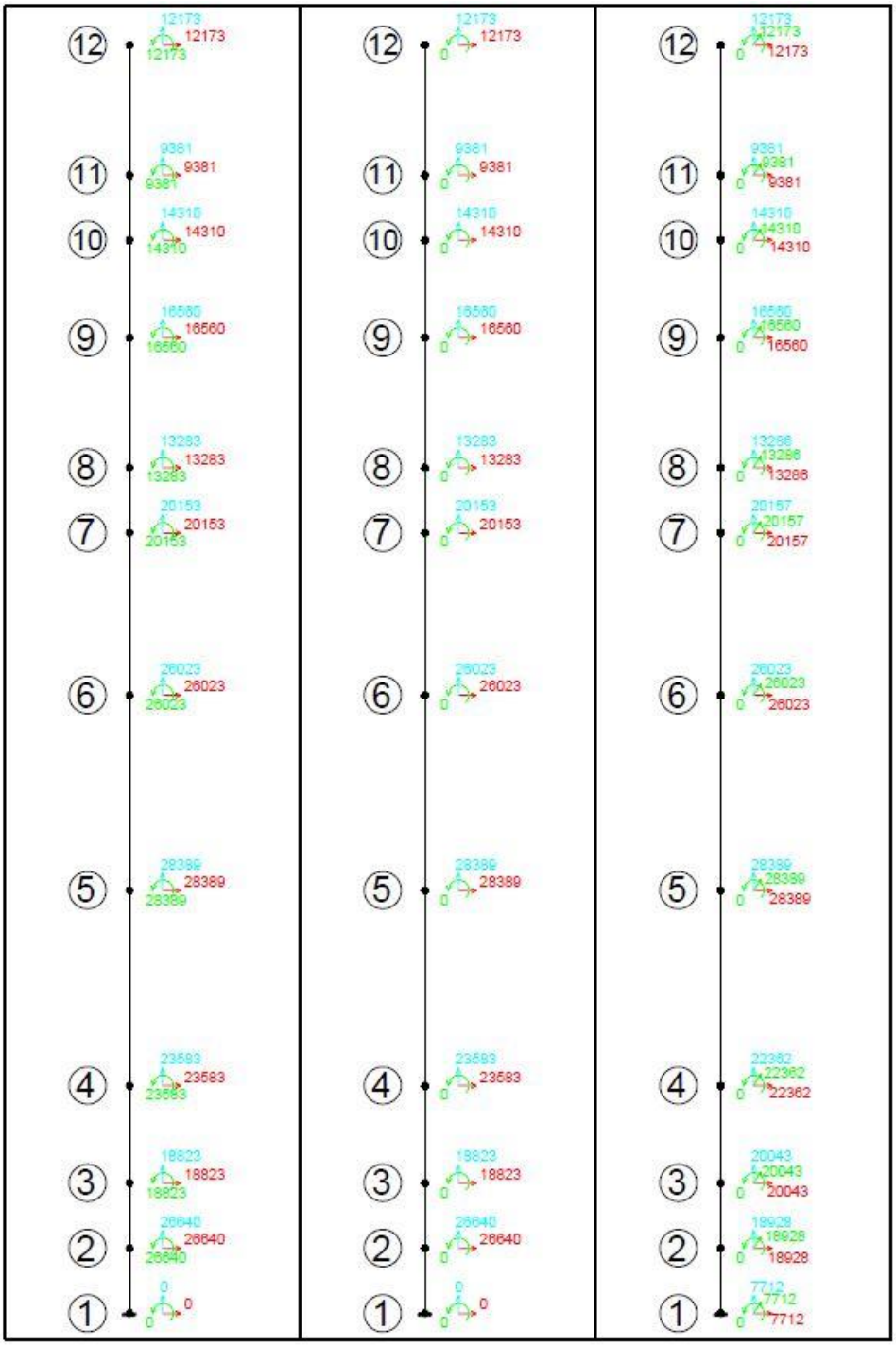
Katı eleman analiz modelinde, yapının ve sonlu elemanın üç boyutlu olması sebebiyle, kabuk eleman analiz modelinin hazırlanması sırasında petek bölgesinde oluşan, sonlu elemanlar geometrisinden kaynaklanan bir sorun yaşanmamıştır. Yapının düğüm noktalarının kuvvet aktarımında monolitik davranışı yansıtacak şekilde birleştirilerek modellenmiştir.



Şekil 3.5: Katı eleman modeli

Katı eleman modelde, et kalınlığı da 2'ye bölünmüş yani iç içe iki sıradan oluşan bir model hazırlanmıştır. Bu iç içe iki sıranın da kalınlıkları eşittir. Kalınlıklar kaide, kürsü ve gövdede 15'er cm (2 x15cm), petekte 10'ar cm'dir (2 x10cm). Şerefe kalınlığı da iki eşit parçaya bölünmüştür (2 x 12.5 cm). Model, gövde ve petekte 24 adet katı elemanın çembersel şekilde dizilmesiyle daire şeklini almıştır. Her bir parça eşit ve dairesel koordinat sisteminde 15 derecelik bir açıya tekabül etmektedir. Gövde ve petekteki en dış 24 adet dairesel eleman, kuvvet aktarımında sorunlar çıkarmaması ve modellemede kolaylık sağlaması için kaide, kürsü ve şerefede de yine 24 adet modellenmiştir.

3.4. ÇUBUK ELEMANIN RİJİTLİK DEĞERLERİNE KARŞILIK GELEN KÜTLE DEĞERLERİ



Şekil 3.6: Çubuk eleman analiz modellerinin düğüm noktalarındaki kütle değerleri.

Dinamik hesap için düğüm noktalarında hesaplanan kütleler Şekil 3.6'da verilmiştir. Verilen kütlelerin birimi kilogramdır. Model 1'de açısal bileşenlere karşılık gelen kütleler, eğilme modlarının araştırılması amacıyla dikkate alınmıştır. Düğüm noktası sayısı fazlalığından

dolayı, Model 4 ve Model 5'in rijitlik değerlerine karşılık gelen kütle değerleri verilememektedir.

Çubuk elemanlarda analiz türü olarak zaman tanım alanında lineer analiz(direct integration) kullanılmıştır. İvmeler yatay (X) ve düşey (Z) yönlü olarak kullanılmıştır. Yatay (Y) yönü analizde hesaba katılmamıştır. Deprem ivmelerinin birimi "g" olduğundan dolayı, birimi "milimetre/saniye^2" çevirmek amacıyla ivmeler programın içinde "9810" katsayısıyla çarpılmıştır. Time integration metodu olarak "Wilson Theta" metodu tercih edilmiş olup theta değeri genellikle kullanılan değer olan "1.4" alınmıştır (Kasımzade, 2018). Model 4 ve Model 5'in zaman tanım alanında analizleri yapılmamış, yalnızca modları ve periyotları bulunmuştur.

3.5. ANALİZDE KULLANILAN DEPREMLER

Depremler, deprem dalgaları şeklinde yayılmaktadırlar. Deprem sırasında dört adet deprem dalgası meydana gelmektedir. Bunlar; yer yüzeyine paralel olarak yayılan ve ilk hissedilen dalga olan "P" dalgası, yer yüzeyine dik olarak yayılan ve ikincil olarak hissedilen "S" dalgası ve en son hissedilen ve yıkıcı etkisi daha fazla olan "L" ve "R" dalgalarıdır (Kasımzade, 2018).

Türkiye'de her birkaç senede birçok büyük deprem olmaktadır. Depremlerin büyüklüğü, deprem sırasında ortaya çıkan enerjiyle ölçülmektedir. Çok büyük depremler, büyüklüğü 7.0 ila 7.9 arasında değişen depremlerdir. Bu büyüklükteki depremler dünyada, yılda ortalama 18 kez olabilmektedir (Kazsımzade, 2018).

Depremlerin faya uzaklığına göre niteliksel farklılıkları olması dolayısıyla (Chopra, 2015), analizde hem yakın fay hem de uzak fay depremleri kullanılmıştır. Bu depremlere ait bilgiler Tablo 3.1'de verilmektedir. Tablo 3.1'de görüldüğü üzere bazı depremler, farklı uzaklıktaki istasyonlarda kaydedildiğinden dolayı hem uzak fay hem yakın fay depremi olarak kullanılmıştır.

Minarelerin simetrik yapılar olması ve rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasında kayda değer bir fark olmaması dolayısıyla, çubuk eleman modellerinde burulma davranışını ihmal edilmiş ve hesaplar iki boyutlu yapılmıştır. Dolayısıyla bir deprem, o depreme ait iki kaydın (yatay ve düşey) birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Eğer analizler üç deprem kullanılarak yapılacak olsaydı, gerilmelerin ya da deplasmanların süperpozisyon sebebiyle daha büyük veya

daha küçük çıkacağı bilinmektedir. Buna karşın tezin amacı gerilmelerin ya da deplasmanların büyük çıkmasından daha çok kule tipi konsol bir yapının deprem davranışıdır.

Tablo 3.1: Model 1, Model 2 ve Model 3'ün analizlerinde kullanılan depremler.

Deprem No	RSN	Deprem Adı	Yıl	İstasyon	Büyüklük	Rrup(km)	Yakın/Uzak Fay	Doğrultu	PGA(g)	Veri Sayısı	Zaman Adımı(sn)	Dosya Adı
1	830	Cape Mendocino	1992	Shelter Cove Airport	7.01	28.78	Uzak Fay	Yatay	0.2285	1800	0.02	RSN830_CAPEMEND_SHL000.AT2
								Düşey	0.0543			RSN830_CAPEMEND_SHL-UP.AT2
2	2490	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	CHY074	6.2	28.69	Uzak Fay	Yatay	0.0617	12600	0.005	RSN2490_CHiCHi03_CHY074E.AT2
								Düşey	0.0295			RSN2490_CHiCHi03_CHY074V.AT2
3	2624	Chi-Chi, Taiwan-03	1999	TCU073	6.2	20.91	Uzak Fay	Yatay	0.0337	14801	0.005	RSN2624_CHiCHi03_TCU073E.AT2
								Düşey	0.0173			RSN2624_CHiCHi03_TCU073V.AT2
4	164	Imperial Valley-06	1979	Cerro Prieto	6.53	15.19	Uzak Fay	Yatay	-0.1683	6382	0.01	RSN164_IMPVALL.H_H_CPE147.AT2
								Düşey	-0.2103			RSN164_IMPVALL.H_H_CPEDWN.AT2
5	290	Irpinia Italy-01	1980	Mercato San Severino	6.9	29.8	Uzak Fay	Yatay	0.1076	14712	0.0029	RSN290_ITALY_A-MER000.AT2
								Düşey	-0.0491			RSN290_ITALY_A-MER-UP.AT2
6	881	Landers	1992	Morongo Valley Fire Station	7.28	17.36	Uzak Fay	Yatay	0.2230	11214	0.005	RSN881_LANDERS_MVH045.AT2
								Düşey	0.1638			RSN881_LANDERS_MVH-UP.AT2
7	755	Loma Prieta	1989	Coyote Lake Dam-Southwest	6.93	20.34	Uzak Fay	Yatay	-0.4847	7999	0.005	RSN755_LOMAP_CYC285.AT2
								Düşey	0.0891			RSN755_LOMAP_CYC-UP.AT2
8	524	N. Palm Springs	1986	Joshua Tree	6.06	26.88	Uzak Fay	Yatay	0.0652	11998	0.005	RSN524_PALMSPR_JOS090.AT2
								Düşey	-0.0407			RSN524_PALMSPR_JOS-UP.AT2
9	28	Parkfield	1966	Cholame-Shandon Array #12	6.19	17.64	Uzak Fay	Yatay	0.0635	4419	0.01	RSN28_PARKF_C12320.AT2
								Düşey	-0.0536			RSN28_PARKF_C12DWN.AT2
10	88	San Fernando	1971	Santa Felita Dam (Outlet)	6.61	24.87	Uzak Fay	Yatay	0.1549	8000	0.005	RSN88_SFERN_FSD172.AT2
								Düşey	-0.0672			RSN88_SFERN_FSD-UP.AT2
11	825	Cape Mendocino	1992	Cape Mendocino	7.01	6.96	Yakın Fay	Yatay	1.4936	1500	0.02	RSN825_CAPEMEND_CPM000.AT2
								Düşey	-0.7388			RSN825_CAPEMEND_CPM-UP.AT2
12	165	Imperial Valley-06	1979	Chihuahua	6.53	7.29	Yakın Fay	Yatay	-0.2699	5159	0.01	RSN165_IMPVALL.H_H-CHI012.AT2
								Düşey	-0.2163			RSN165_IMPVALL.H_H-CHIDWN.AT2
13	879	Landers	1992	Lucerne	7.28	2.19	Yakın Fay	Yatay	-0.7252	9625	0.005	RSN879_LANDERS_LCN260.AT2
								Düşey	0.8233			RSN879_LANDERS_LCN-UP.AT2
14	1108	Kobe	1995	Kobe University	6.9	0.92	Yakın Fay	Yatay	-0.2758	3200	0.01	RSN1108_KOBE_KBU000.AT2
								Düşey	0.4520			RSN1108_KOBE_KBU-UP.AT2
15	779	Loma Prieta	1989	LGPC	6.93	3.88	Yakın Fay	Yatay	0.5700	5001	0.005	RSN779_LOMAP_LGP000.AT2
								Düşey	-0.8960			RSN779_LOMAP_LGP-UP.AT2
16	529	N. Palm Springs	1986	North Palm Springs	6.06	4.04	Yakın Fay	Yatay	0.6927	4023	0.005	RSN529_PALMSPR_NPS210.AT2
								Düşey	0.3801			RSN529_PALMSPR_NPS-UP.AT2
17	30	Parkfield	1966	Cholame-Shandon Array #5	6.19	9.58	Yakın Fay	Yatay	0.3682	4400	0.01	RSN30_PARKF_C05355.AT2
								Düşey	-0.1458			RSN30_PARKF_C05DWN.AT2
18	77	San Fernando	1971	Pacoima Dam (upper left abut)	6.61	1.81	Yakın Fay	Yatay	1.2190	4172	0.01	RSN77_SFERN_PUL164.AT2
								Düşey	-0.6874			RSN77_SFERN_PULDWN.AT2
19	6	Imperial Valley-02	1940	El Centro Array #9	6.95	6.09	Yakın Fay	Yatay	-0.2808	5372	0.01	RSN6_IMPVALL.I_I-ELC180.AT2
								Düşey	-0.1781			RSN6_IMPVALL.I_I-ELC-UP.AT2
20	1612	Duzce	1999	Lamont 1059	7.14	4.17	Yakın Fay	Yatay	-0.1367	4067	0.01	RSN1612_DUZCE_1059-E.AT2
								Düşey	-0.1010			RSN1612_DUZCE_1059-V.AT2
21	1231	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY080	7.62	2.69	Yakın Fay	Yatay	0.8092	18000	0.005	RSN1231_CHiCHi_CHY080-E.AT2
								Düşey	0.7302			RSN1231_CHiCHi_CHY080-V.AT2
22	181	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #6	6.53	1.35	Yakın Fay	Yatay	-0.4490	7815	0.005	RSN181_IMPVALL.H_H-E06230.AT2
								Düşey	1.8950			RSN181_IMPVALL.H_H-E06-UP.AT2
23	495	Nahanni	1985	Site 1	6.76	9.6	Yakın Fay	Yatay	-1.2007	4113	0.0025	RSN495_NAHANNI_S1280.AT2
								Düşey	2.2808			RSN495_NAHANNI_S1-UP.AT2

Tablo 3.1'de depremlerin özellikleri verilmiştir. Depremler "PEER Ground Motion Database"'den alınmıştır ve ölçekleme yapılmamıştır (https://ngawest2.berkeley.edu/., Erişim tarihi: 11 Ekim 2021). Depremler en temelde yakın fay ve uzak fay olarak iki grupta toplanmıştır. Yakın fay depremleri, genellikle 15 km'den yakın olan faylardır (Kamıarfar, 2016; TBDY, 2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne uygunluğu açısından 11'den fazla yakın fay depremi alınmıştır.

4. BULGULAR

Bu bölümde örnek bir minare için beş farklı minare modelinin deprem davranışları araştırılmıştır. Beş modelin mod şekilleri, periyotları ve kütle katılım oranları bulunmuş ve bu modların benzerlikleri araştırılmıştır. Model 1, Model 2 ve Model 3'ün kütle matrisleri verilmiş ve kütle matrislerinden kaynaklı deplasman – zaman grafikleri arasındaki fark incelenmiş, bu farklar sonucunda Model 1 ile devem edilmeye karar verilmiştir. Model 1 için eksenel kuvvet incelemesi yapılmış ve karakteristik bir grafik elde edilmiştir. Eğilme-moment incelemesi yapılmış ve kat kayması davranışıyla kıyaslanmıştır. Zarf eğilme momentleri, hem uzak fay hem de yakın fay depremleri için bulunmuş araştırılmıştır. Yalnızca eksenel kuvvet sebebiyle oluşan normal gerilmeler ve hem zati yük hem de eksenel kuvvet sebebiyle oluşan normal gerilmeler ayrı ayrı bulunmuştur. Ayrıca bu bulunan gerilmeler, eğilme sonucu oluşan gerilmelerle birleştirilmiş ve yine karakteristik eğilme grafikleri oluştuğu farkedilmiştir.

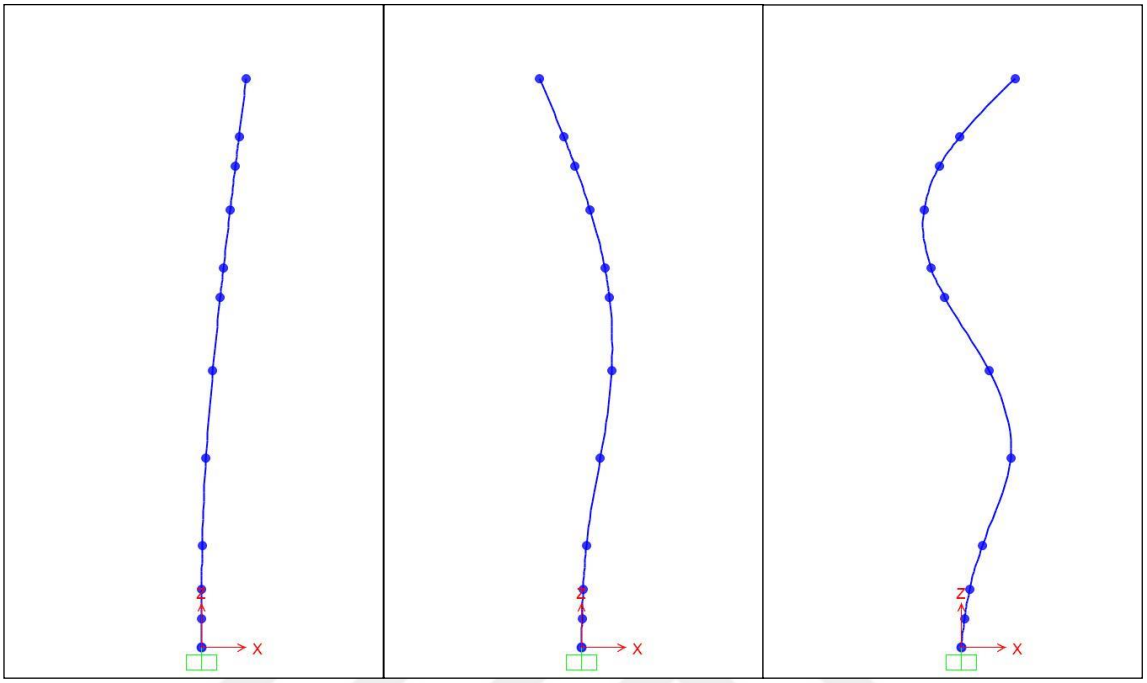
4.1. TÜM MODELLER İÇİN MOD ŞEKİLLERİNİN BULUNMASI

Mod şekillerinin bulunması, analize başlamadan önce yapı hakkında birçok bilgi verebilmektedir. Örneğin modelleme sırasında herhangi bir hata olması durumunda, mod şekilleri beklendiği gibi davranmayabilmektedir. Örneğin kütlenin yanlış atanması, sonlu elemanlar arasındaki bağlantıların yanlış yapılması, yapı elemanının kesit bilgisinin veya eleman boyunun yanlış girilmesi, malzeme bilgisinin yanlış girilmesi, birbirine bağlanması gereken iki sonlu elemanın bağlantısının olmaması gibi durumlarda mod şekillerinde veya modların periyotlarında bazı beklenmeyen durumlar meydana gelebilmektedir. Böyle bir durumda hata sebebi bulunup giderilmelidir. Bunun dışında doğru modellenmiş bir yapının mod şekilleri, yapının davranışı hakkında da bilgi vermekte, yanlış kabuller bazı mod şekillerinin ortaya çıkmamasını sağlayabilmektedir.

4.1.1. Model 1 İçin Mod Şekillerinin Bulunması

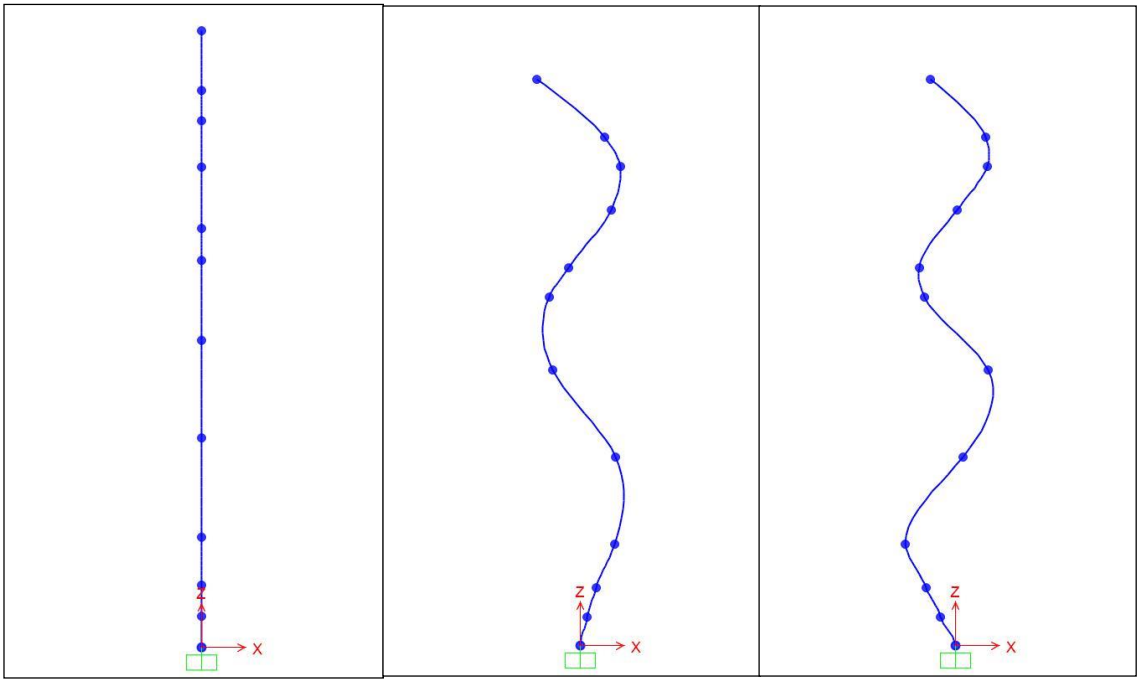
Bu kısımda Model 1 için mod şekilleri araştırılmıştır. Model 1'in açısal bileşenlerine denk gelen kütlelerinin tanımlanmış olması sebebiyle, dinamik açıdan her düğüm noktasında üç adet

serbestliği bulunmaktadır. Toplamda 11 adet mesnet olmayan düğüm noktası bulunan modelin 33 adet modu oluşmaktadır. Bu modlar Şekil 4.1 – Şekil 4.11'de gösterilmektedir.



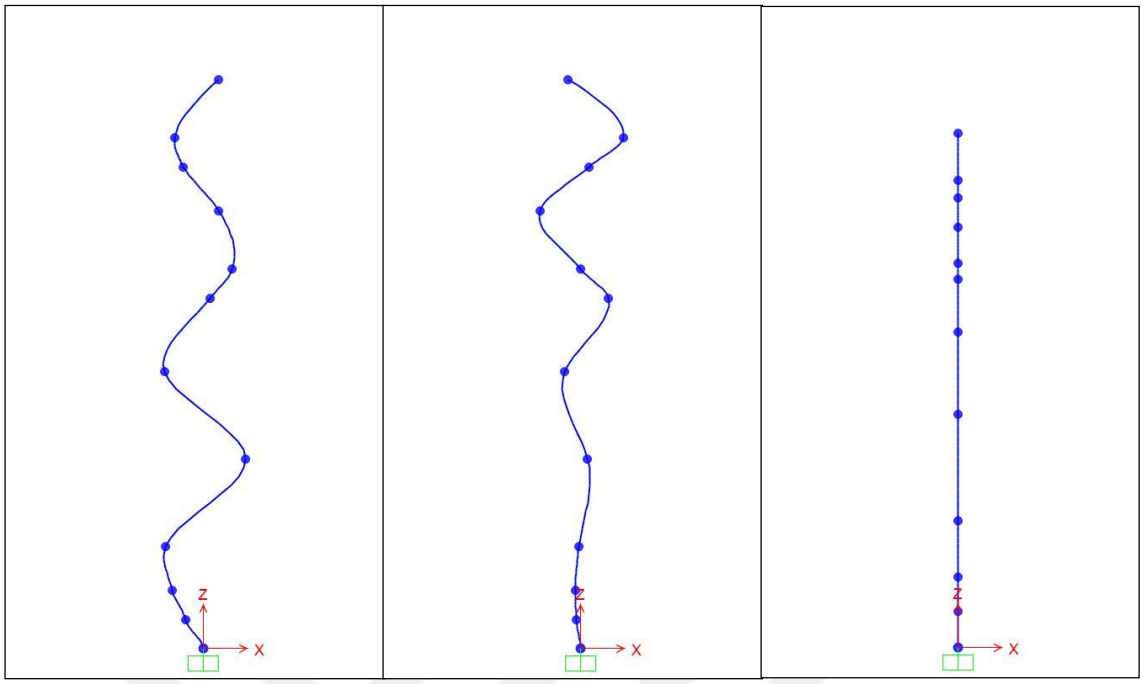
(a) (b) (c)

Şekil 4.1: (a) Minare 1. modu. (b) Minare 2. modu. (c) Minare 3. modu.



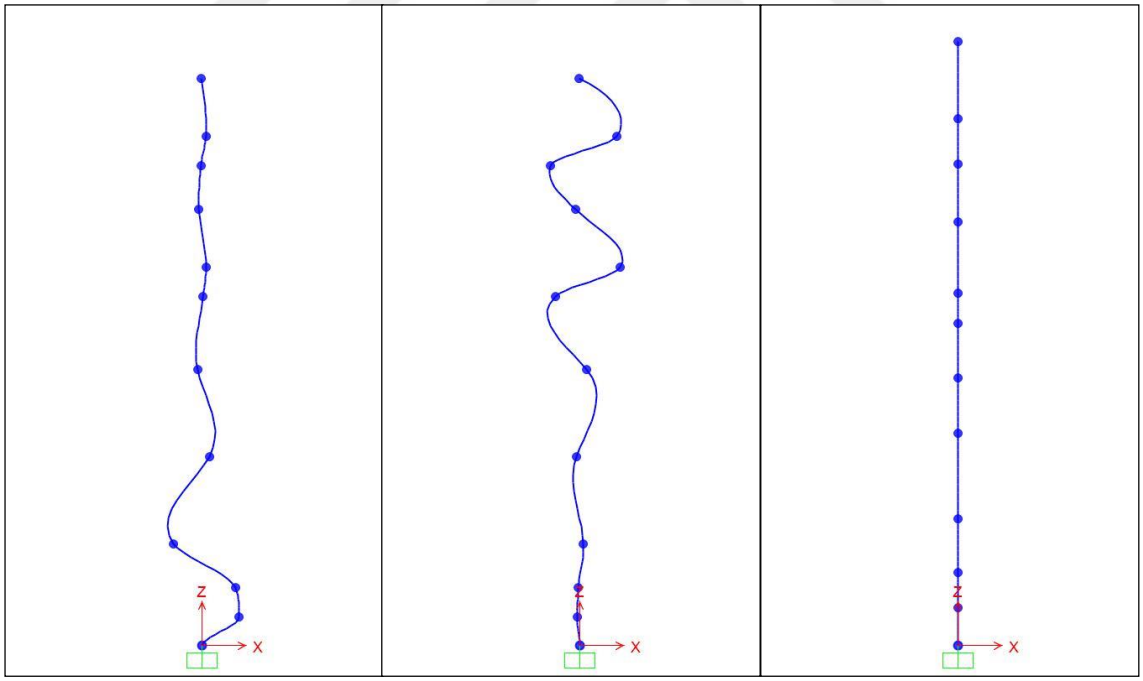
(a) (b) (c)

Şekil 4.2: (a) Minare 4. modu. (b) Minare 5. modu. (c) Minare 6. modu.



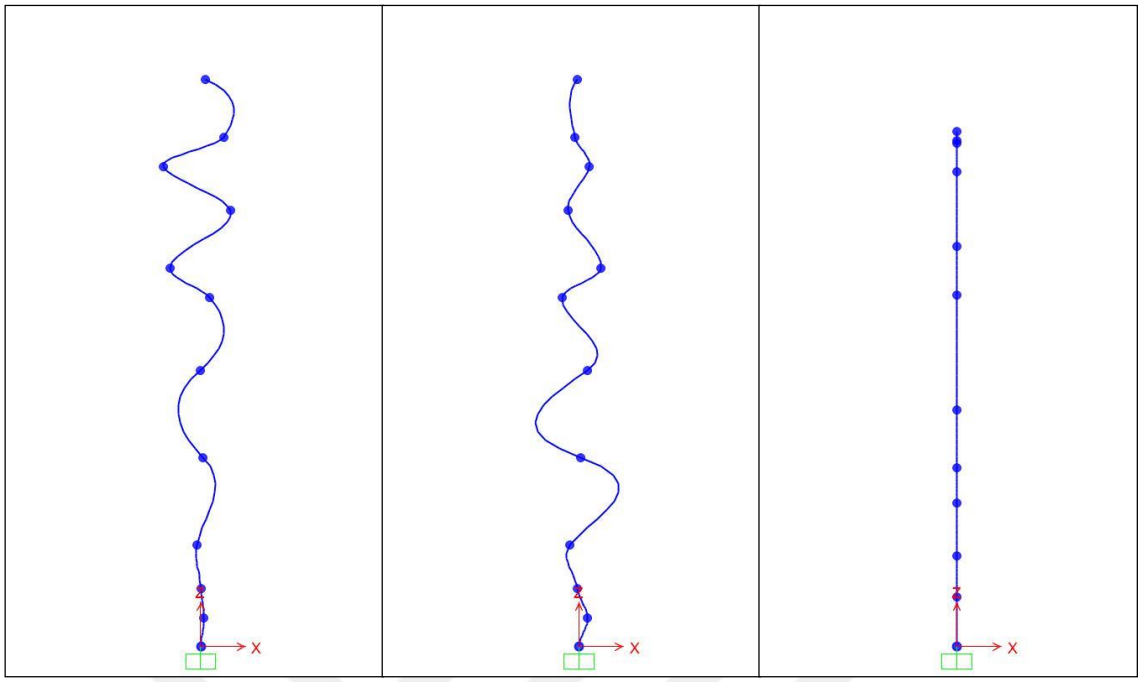
(a) (b) (c)

Şekil 4.3: (a) Minare 7. modu. (b) Minare 8. modu. (c) Minare 9. modu.



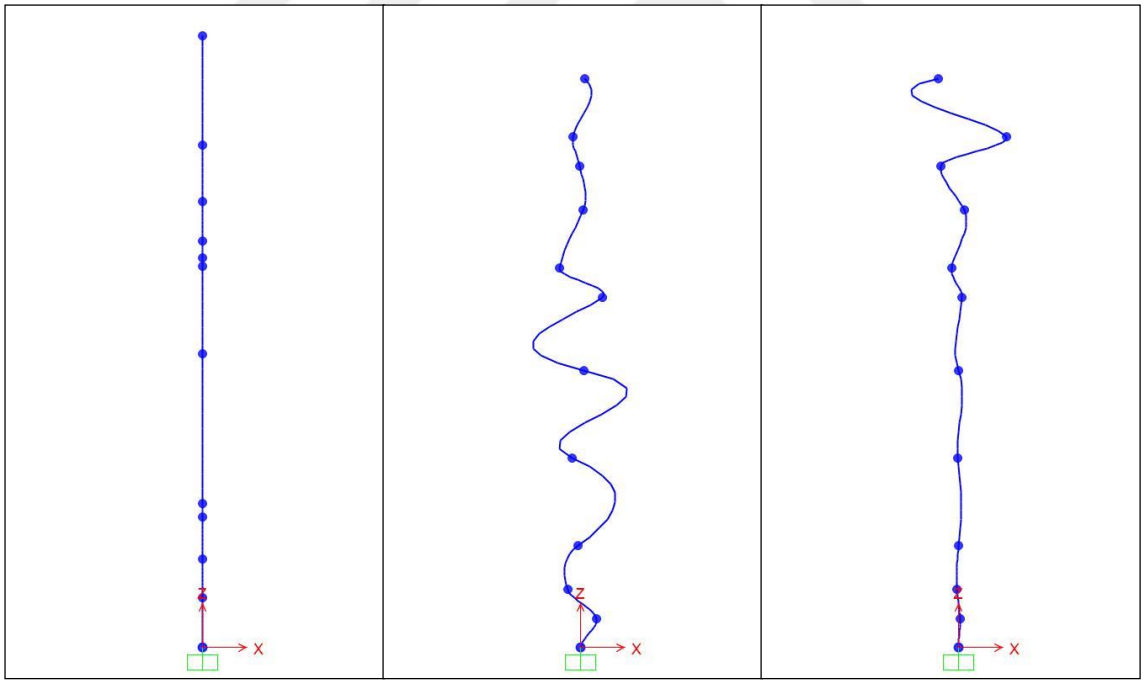
(a) (b) (c)

Şekil 4.4: (a) Minare 10. modu. (b) Minare 11. modu. (c) Minare 12. modu.



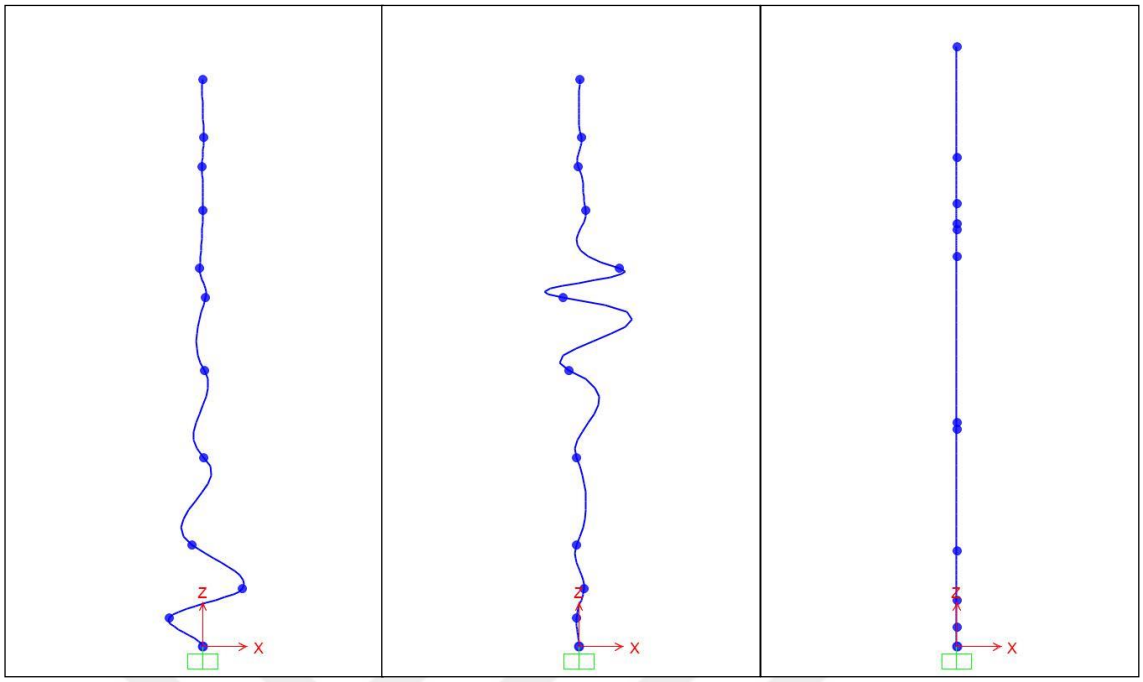
(a) (b) (c)

Şekil 4.5: (a) Minare 13. modu. (b) Minare 14. modu. (c) Minare 15. modu.



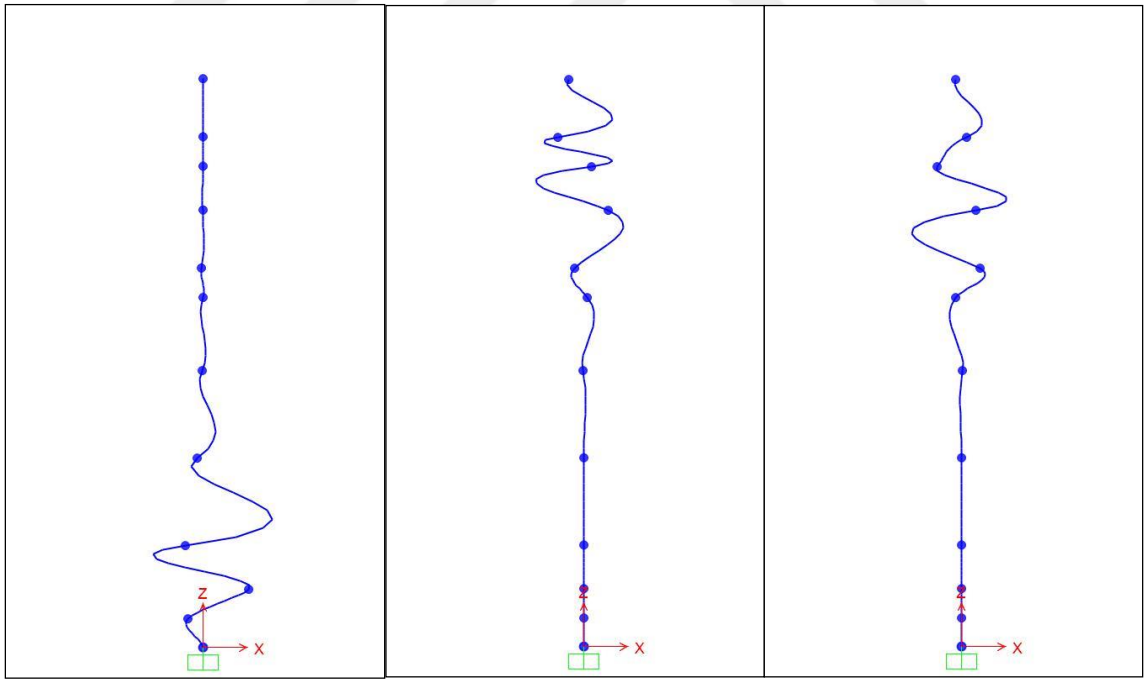
(a) (b) (c)

Şekil 4.6: (a) Minare 16. modu. (b) Minare 17. modu. (c) Minare 18. modu.



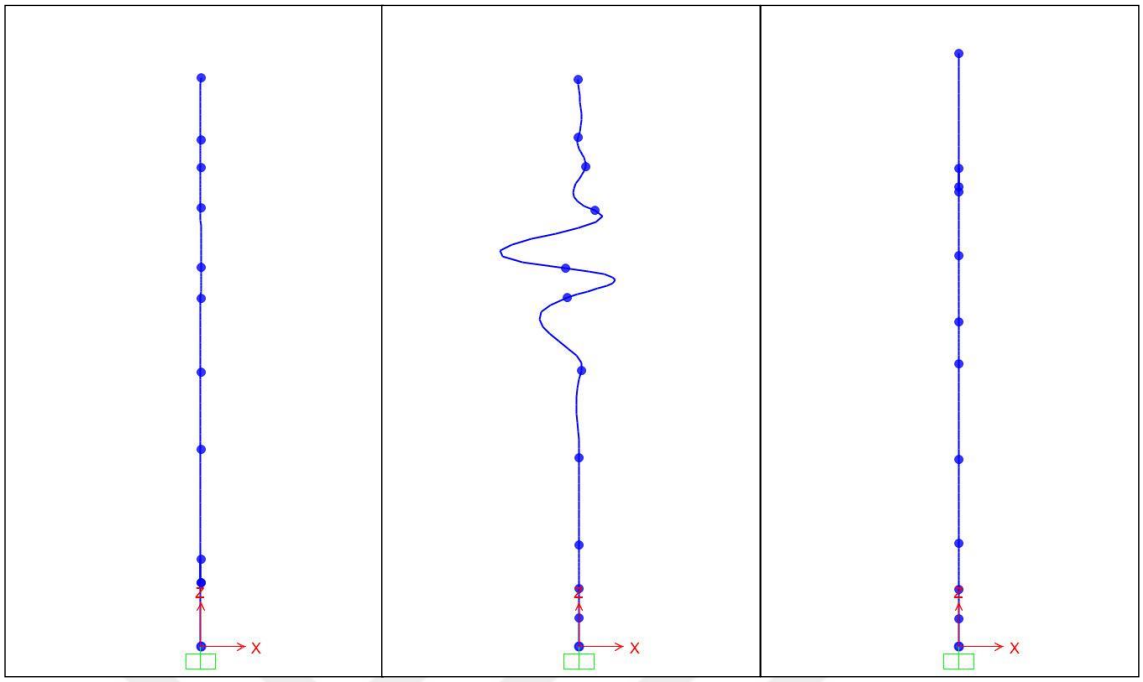
(a) (b) (c)

Şekil 4.7: (a) Minare 19. modu. (b) Minare 20. modu. (c) Minare 21. modu.



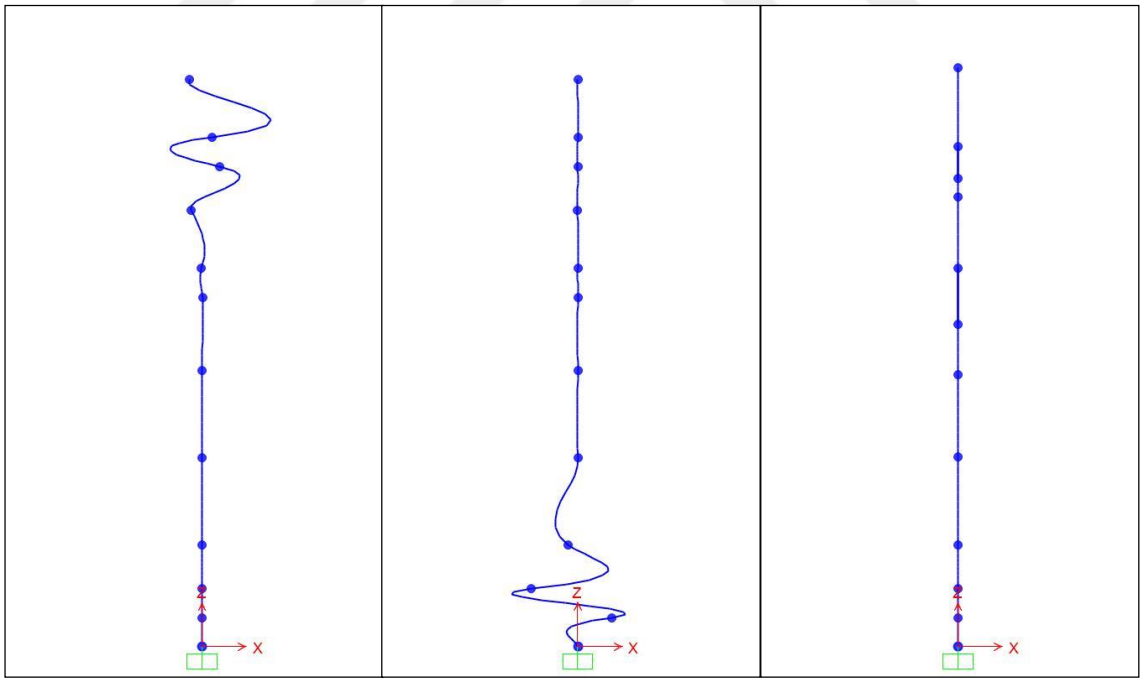
(a) (b) (c)

Şekil 4.8: (a) Minare 22. modu. (b) Minare 23. modu. (c) Minare 24. modu.



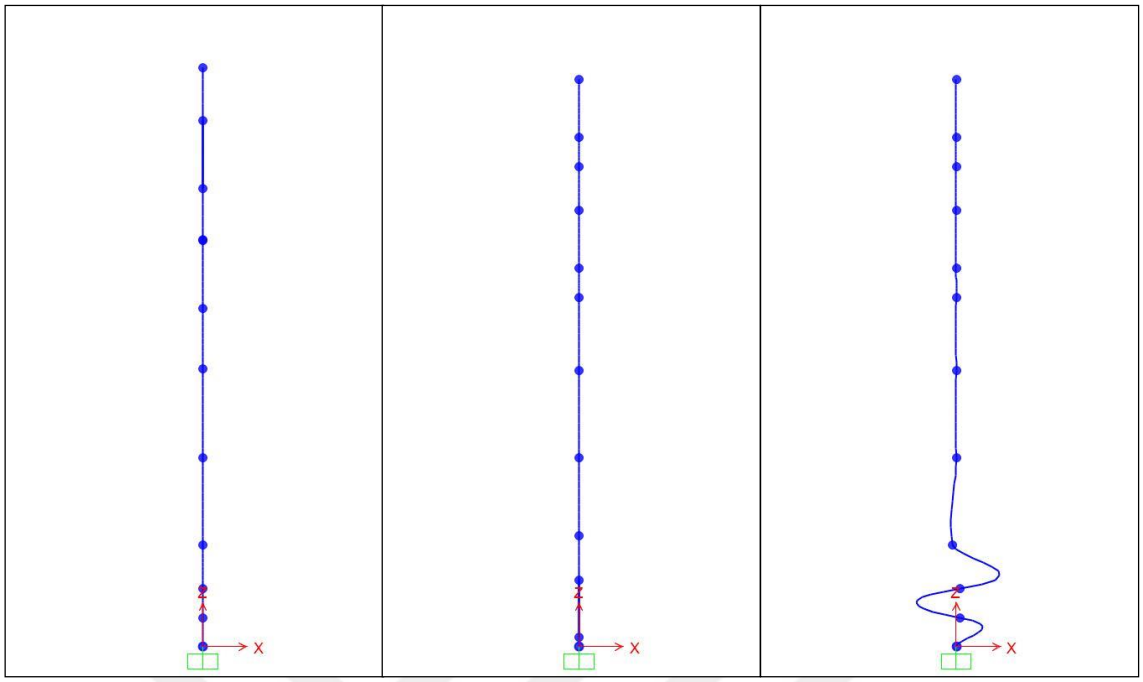
(a) (b) (c)

Şekil 4.9: (a) Minare 25. modu. (b) Minare 26. modu. (c) Minare 27. modu.



(a) (b) (c)

Şekil 4.10: (a) Minare 28. modu. (b) Minare 29. modu. (c) Minare 30. modu.



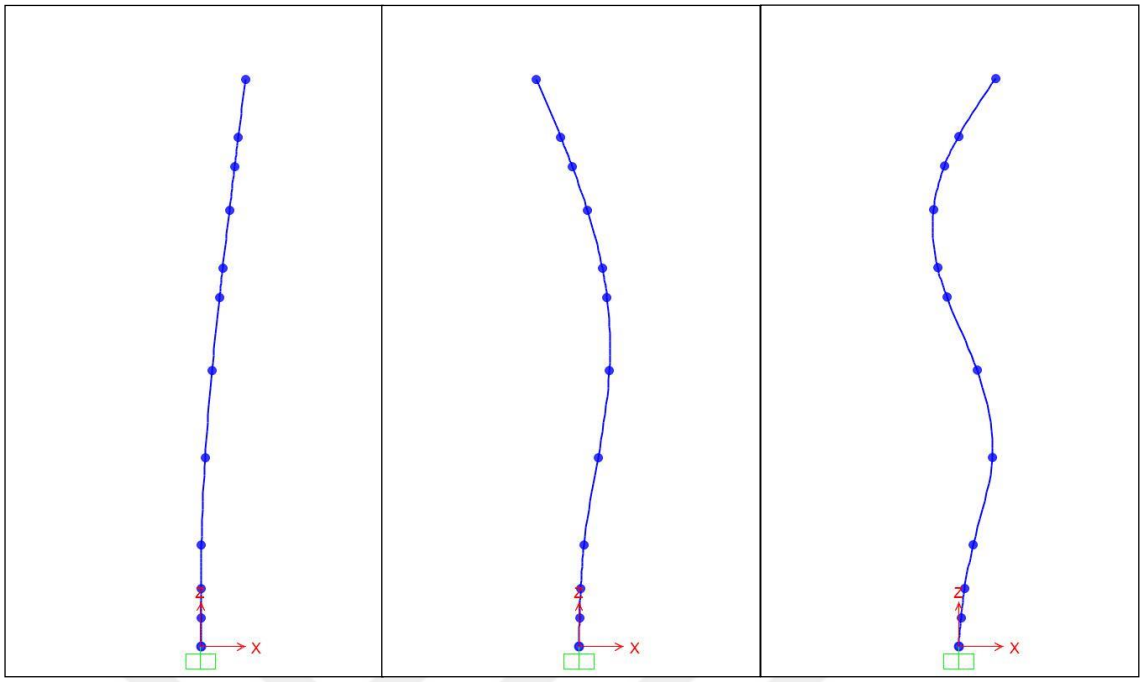
(a) (b) (c)

Şekil 4.11: (a) Minare 31. modu. (b) Minare 32. modu. (c) Minare 33. modu.

Şekil 4.1 – Şekil 4.11'de Model 1'in tüm modları gösterilmiştir. Mod sayısı 33'tür. Mod sayısı ankastre mesnet haricinde kalan 11 düğüm noktasının 3 adet serbestlikle (2 adet doğrusal ve 1 adet açısal) çarpımı kadardır. Açısal bileşenlere denk gelen kütleler tanımlı olması sebebiyle mod sayısı 3 ile çarpılmıştır. Düşey hareketin herhangi bir eğilme hareketiyle birlikte olduğu bir mod bulunmamaktadır. Modelin toplamda 11 adet düşey, 22 adet eğilme ve kayma modları bulunmaktadır.

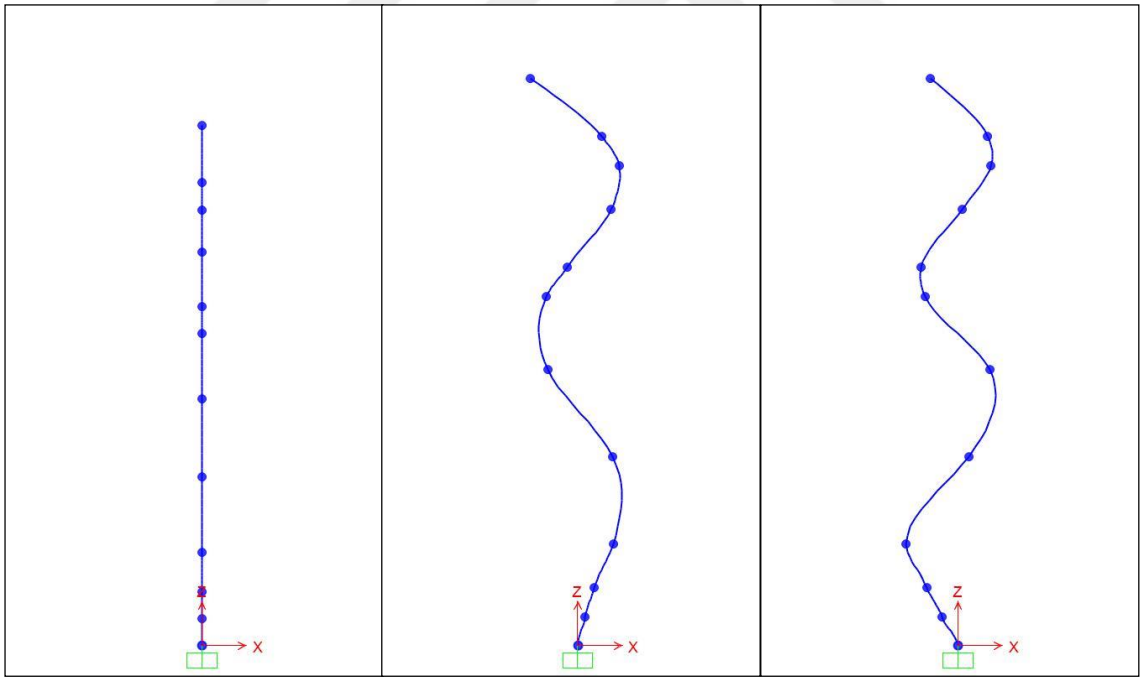
4.1.2. Model 2 İçin Mod Şekillerinin Bulunması

Bu kısımda Model 2 için mod şekilleri araştırılmıştır. Model 2'nin Model 1'den tek farkı, açısal serbestlik bileşenlerine denk gelen kütle bileşenlerinin tanımlanmamış olmasıdır. Bu sebeple dinamik açıdan her düğüm noktasında iki adet serbestliği bulunmaktadır. Toplamda 11 adet tutulu olmayan düğüm noktası bulunan modelin 22 adet modu oluşmaktadır. Bu modlar Şekil 4.12 – Şekil 4.19'da gösterilmektedir.



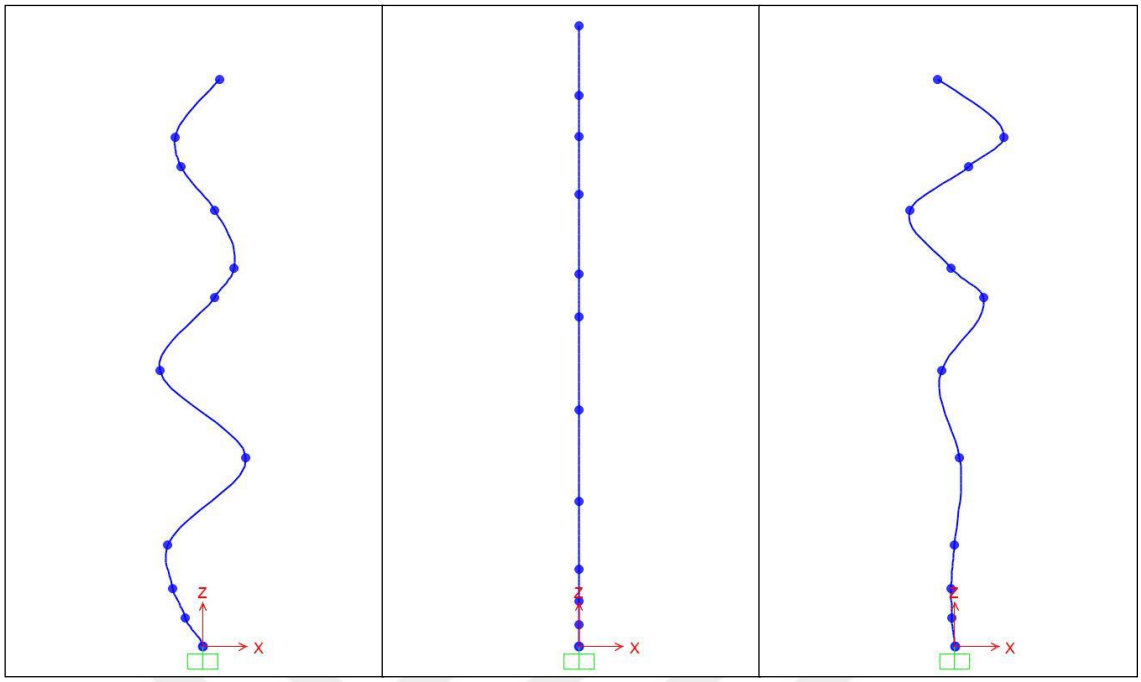
(a) (b) (c)

Şekil 4.12: Model 2 Minarenin (a) 1. modu. (b) 2. modu. (c) 3. modu.



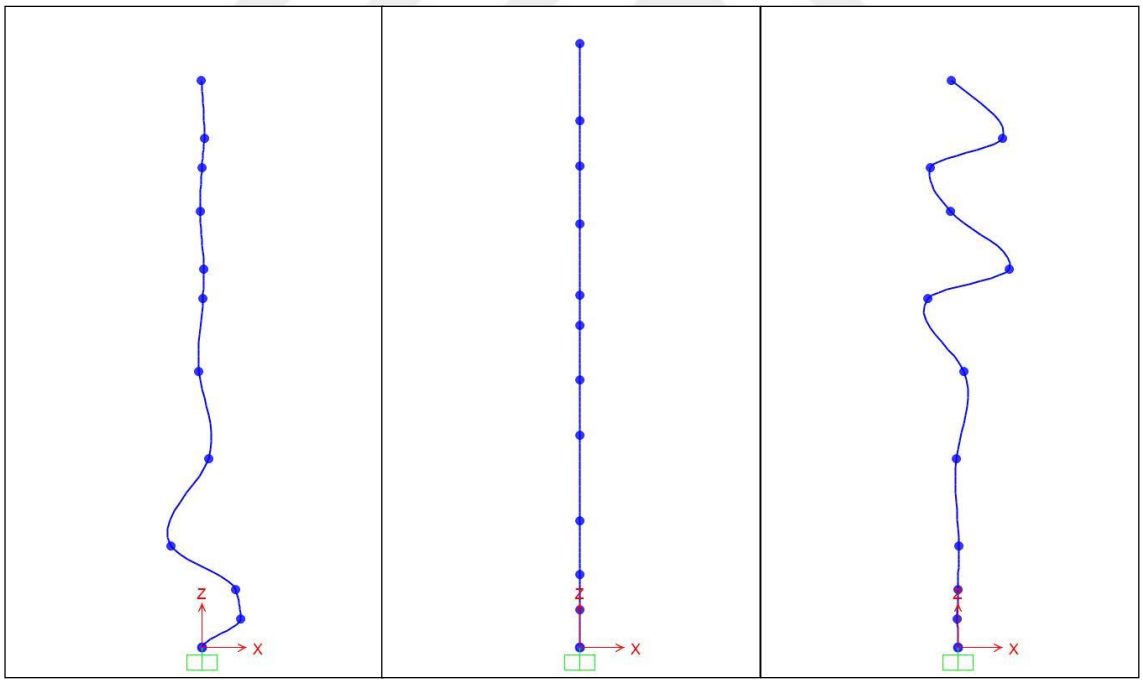
(a) (b) (c)

Şekil 4.13: Model 2 Minarenin (a) 4. modu. (b) 5. modu. (c) 6. modu.



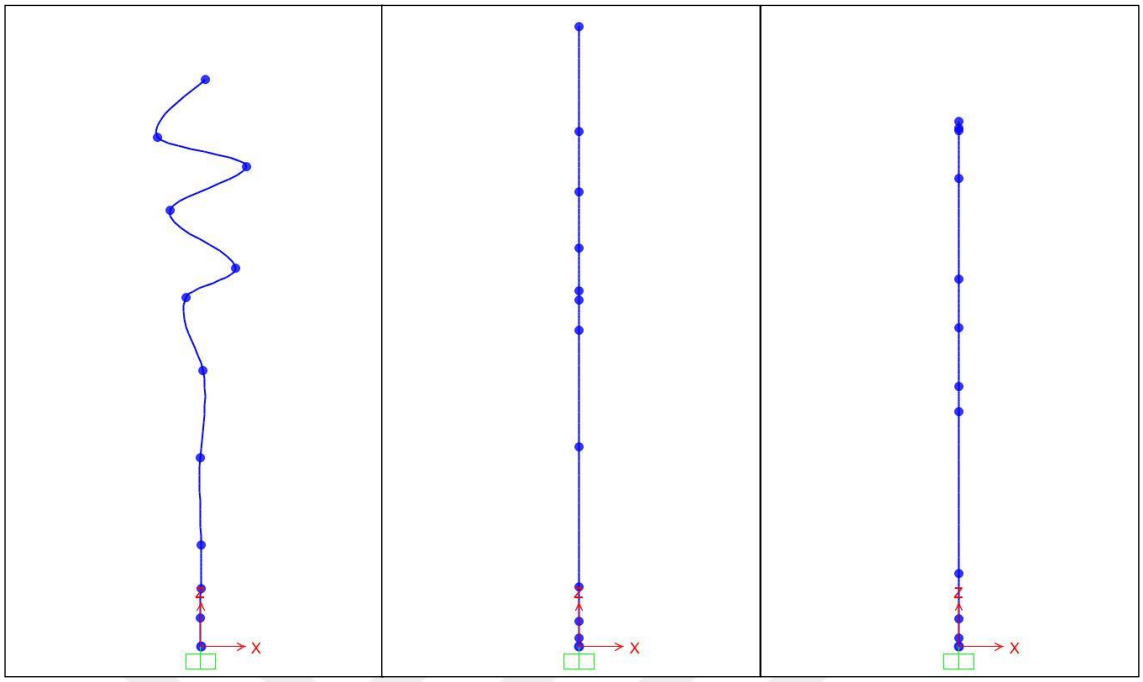
(a) (b) (c)

Şekil 4.14: Model 2 Minarenin (a) 7. modu. (b) 8. modu. (c) 9. modu.



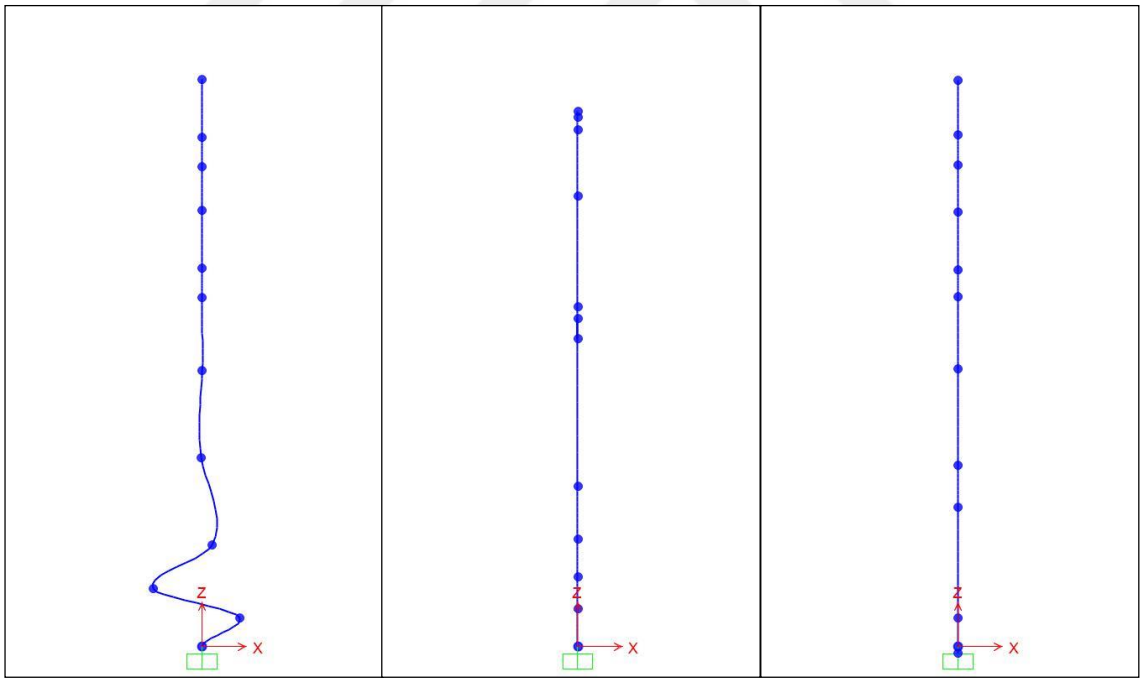
(a) (b) (c)

Şekil 4.15: Model 2 Minarenin (a) 10. modu. (b) 11. modu. (c) 12. modu.



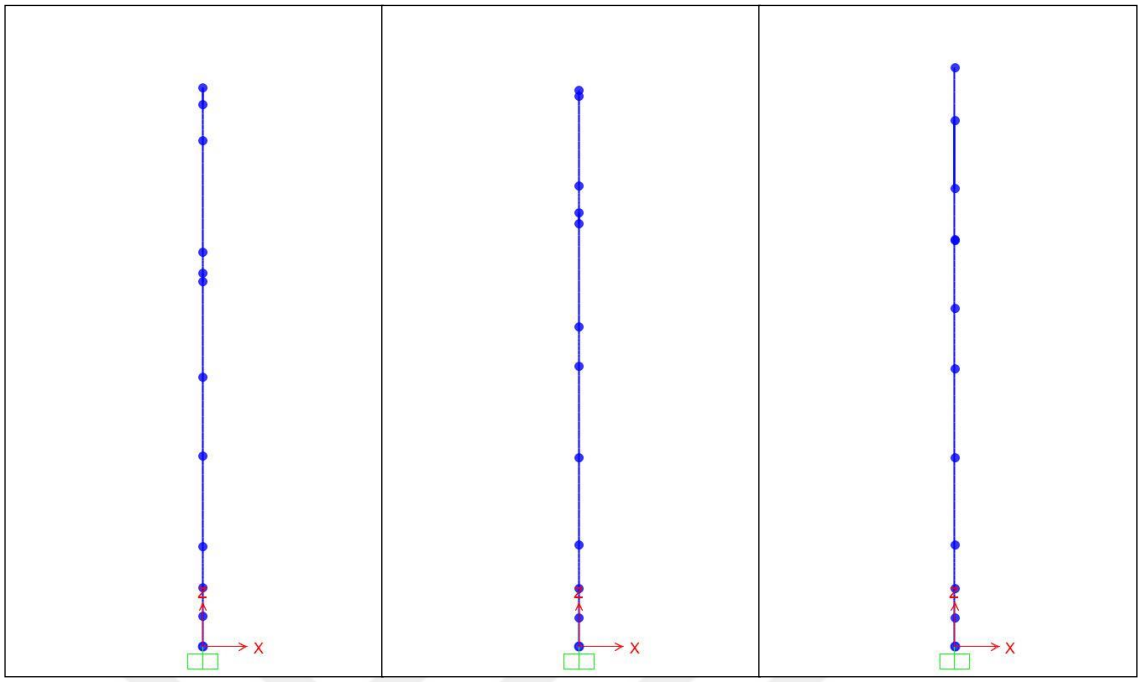
(a) (b) (c)

Şekil 4.16: Model 2 Minarenin (a) 13. modu. (b) 14. modu. (c) 15. modu.



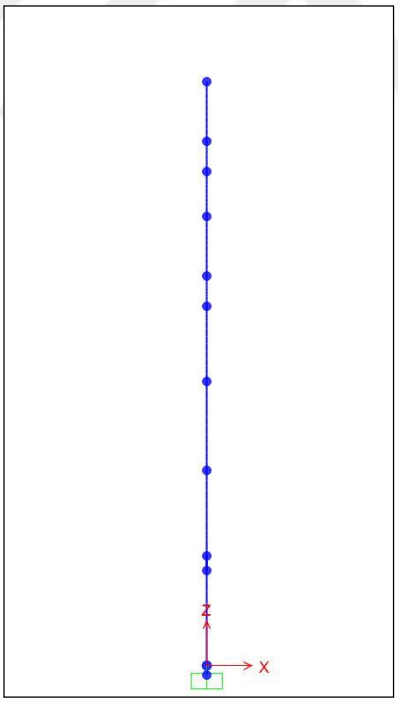
(a) (b) (c)

Şekil 4.17: Model 2 Minarenin (a) 16. modu. (b) 17. modu. (c) 18. modu.



(a) (b) (c)

Şekil 4.18: Model 2 Minarenin (a) 19. modu. (b) 20. modu. (c) 21. modu.

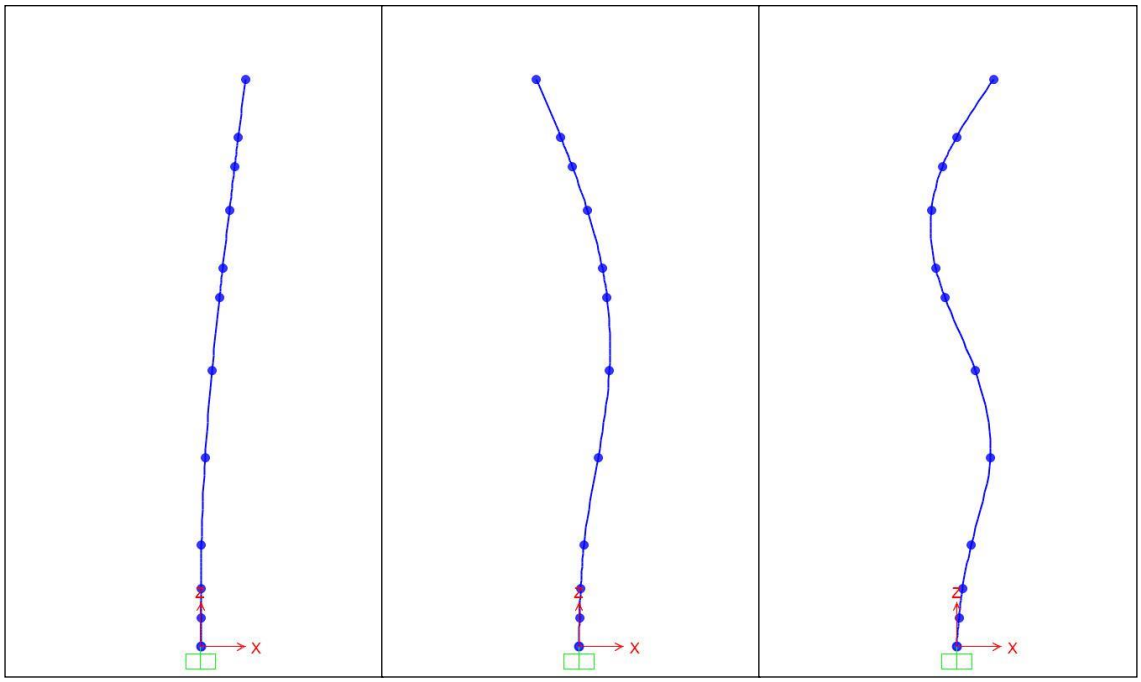


Şekil 4.19: Model 2 Minarenin 22. modu

Şekil 4.12- Şekil 4.19'da Model 2'nin modları verilmiştir. Her bir düğüm noktası için 2 adet serbestliği (yatay ve düşey ötelenme) bulunan modelin, bu sebeple 22 adet modu bulunmaktadır.

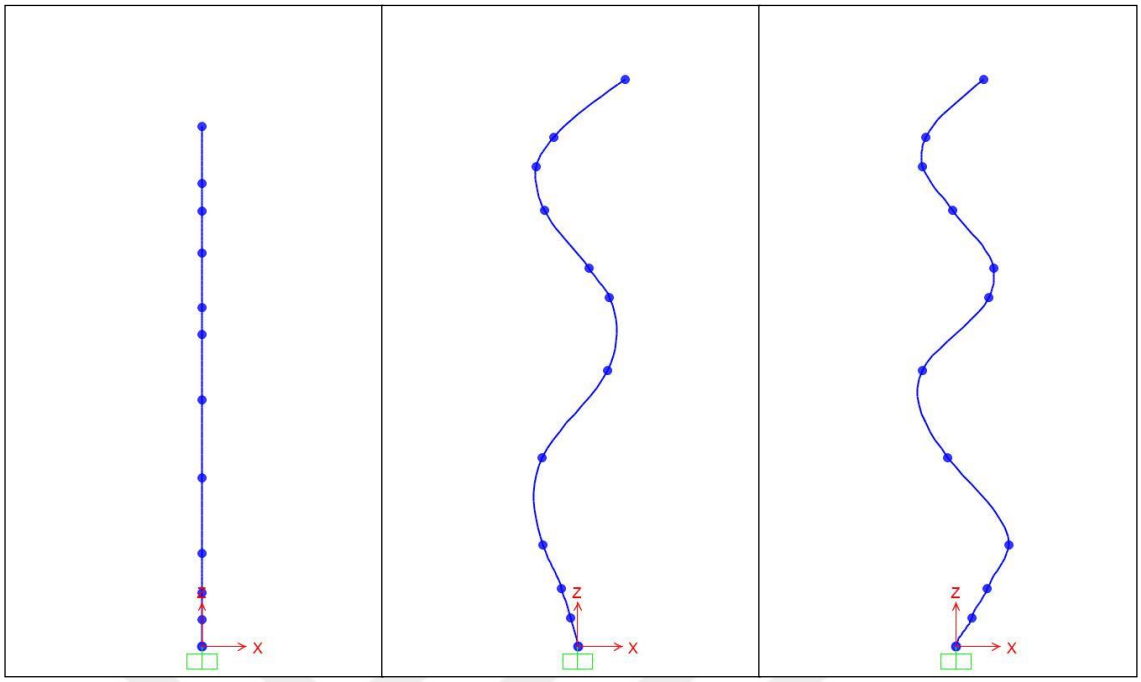
4.1.3. Model 3 İçin Mod Şekillerinin Bulunması

Bu kısımda Model 3 için mod şekilleri araştırılmıştır. Model 3'ün kütle dağılımı Sap2000 programına bırakılmıştır. Sonlu elemanlar programı, herhangi bir müdahale yapılmadığı takdirde açısal serbestliklere denk gelen kütle bileşenlerini tanımlamamaktadır. Bu sebeple, toplamda 22 adet mod oluşmaktadır.



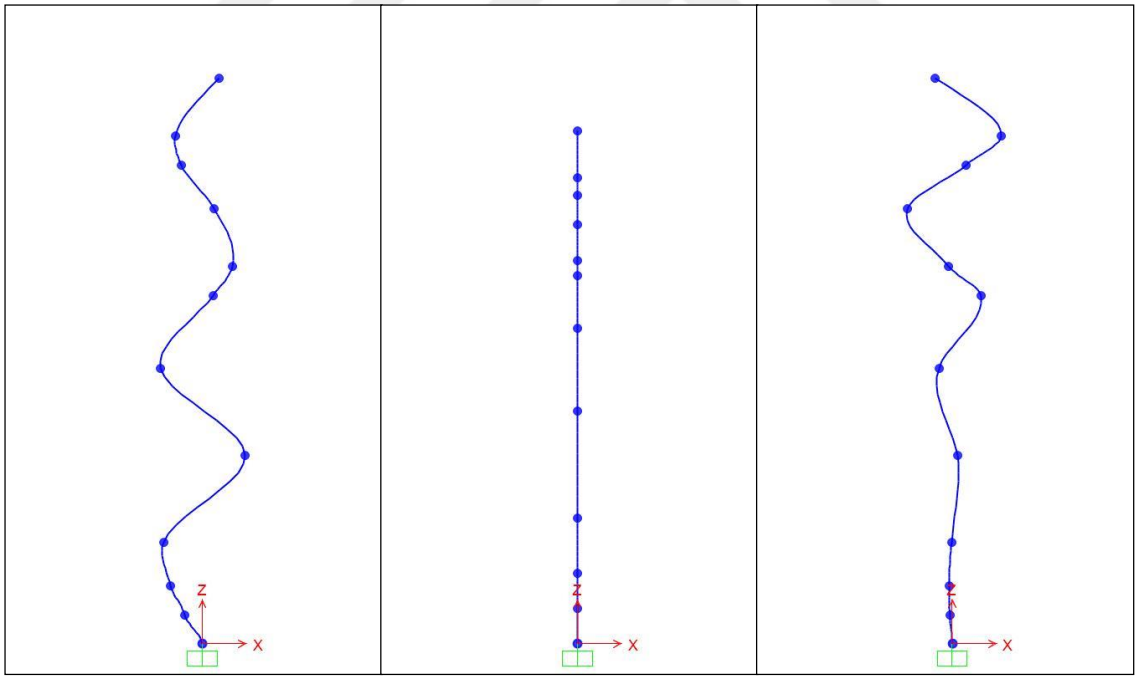
(a) (b) (c)

Şekil 4.20: Model 3 Minarenin (a) 1. modu. (b) 2. modu. (c) 3. modu.



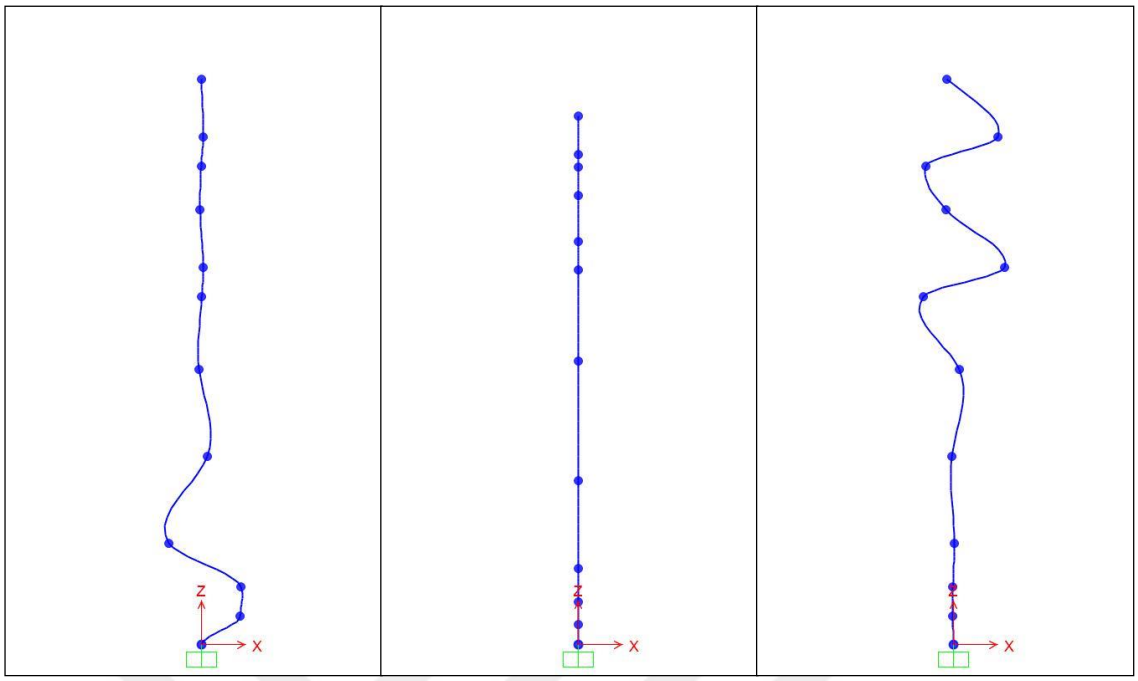
(a) (b) (c)

Şekil 4.21: Model 3 Minarenin (a) 4. modu. (b) 5. modu. (c) 6. modu.



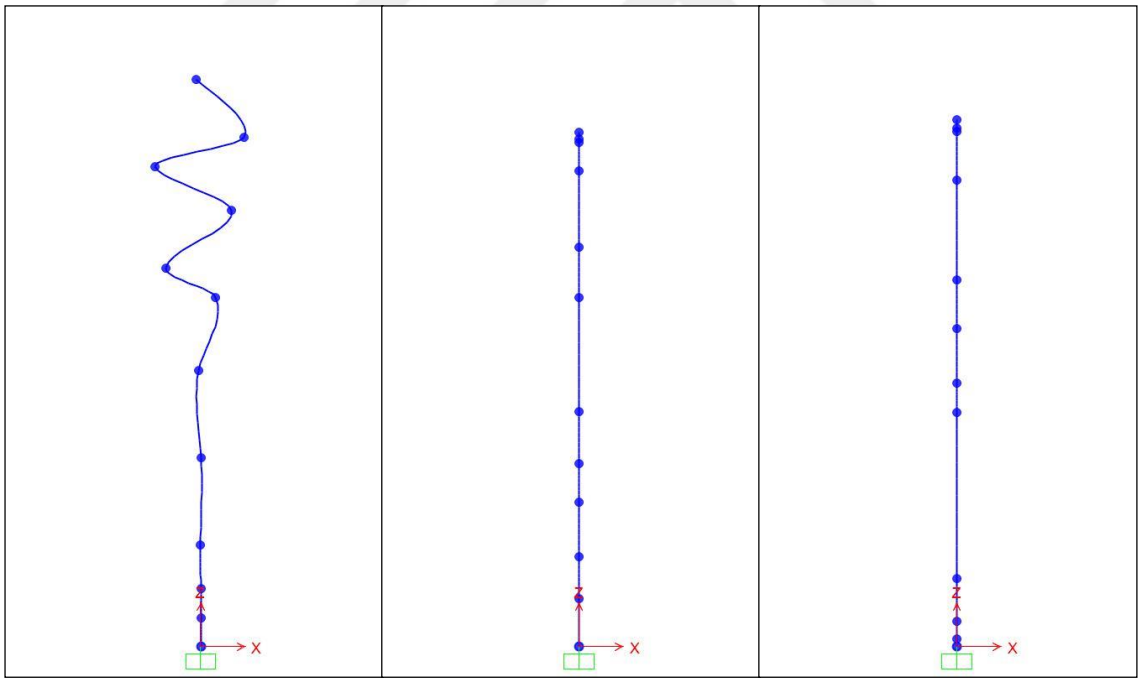
(a) (b) (c)

Şekil 4.22: Model 3 Minarenin (a) 7. modu. (b) 8. modu. (c) 9. modu.



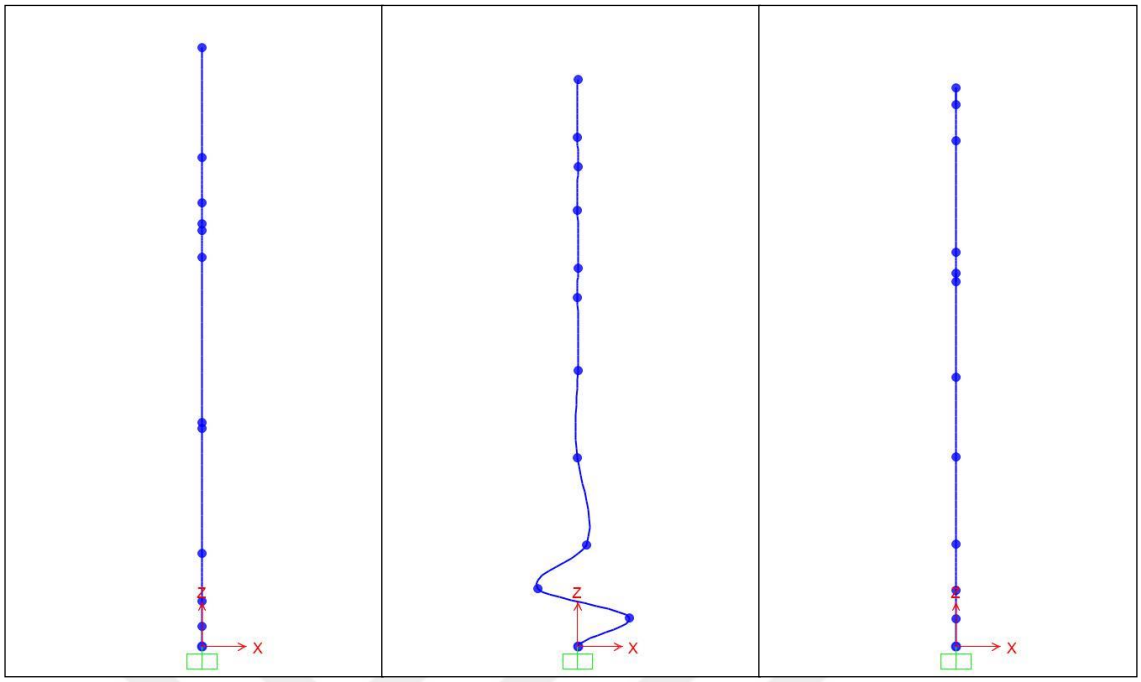
(a) (b) (c)

Şekil 4.23: Model 3 Minarenin (a) 10. modu. (b) 11. modu. (c) 12. modu.



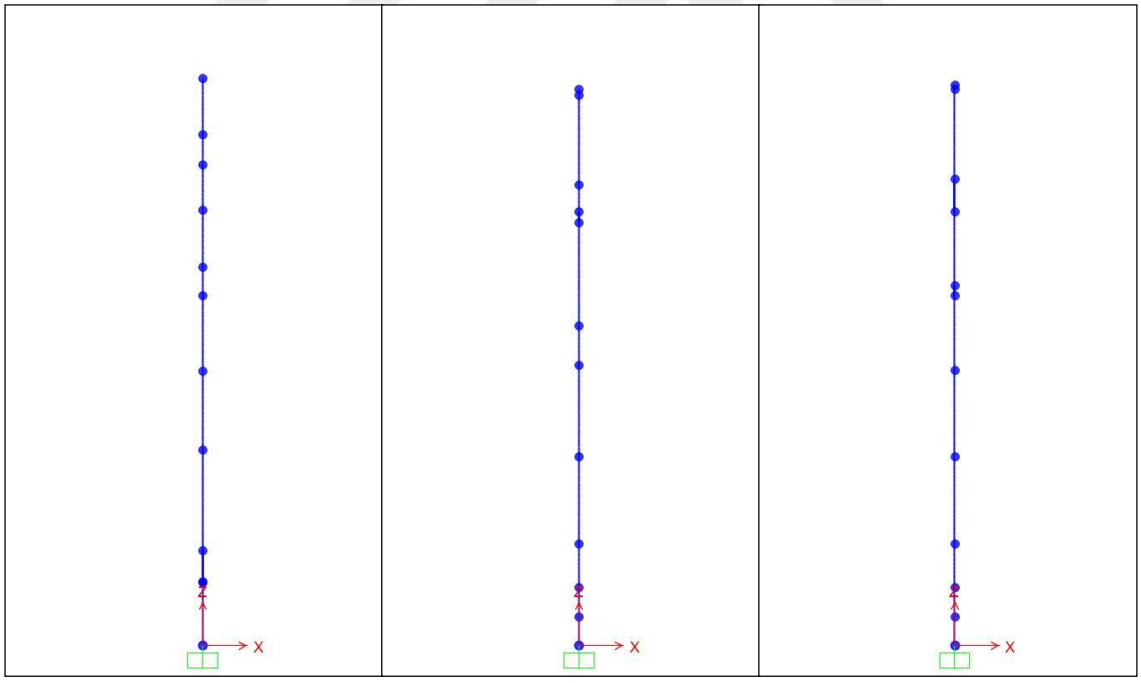
(a) (b) (c)

Şekil 4.24: Model 3 Minarenin (a) 13. modu. (b) 14. modu. (c) 15. modu.



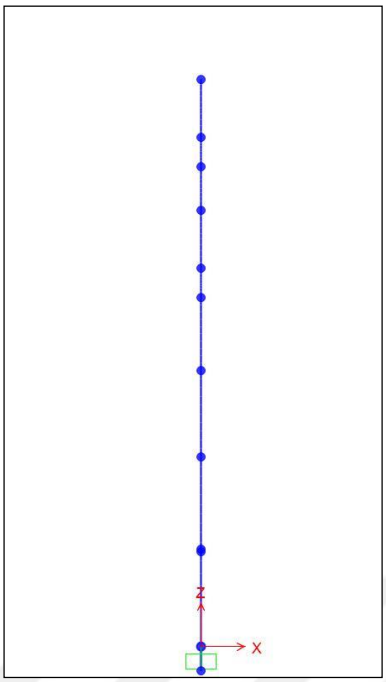
(a) (b) (c)

Şekil 4.25: Model 3 Minarenin (a) 16. modu. (b) 17. modu. (c) 18. modu.



(a) (b) (c)

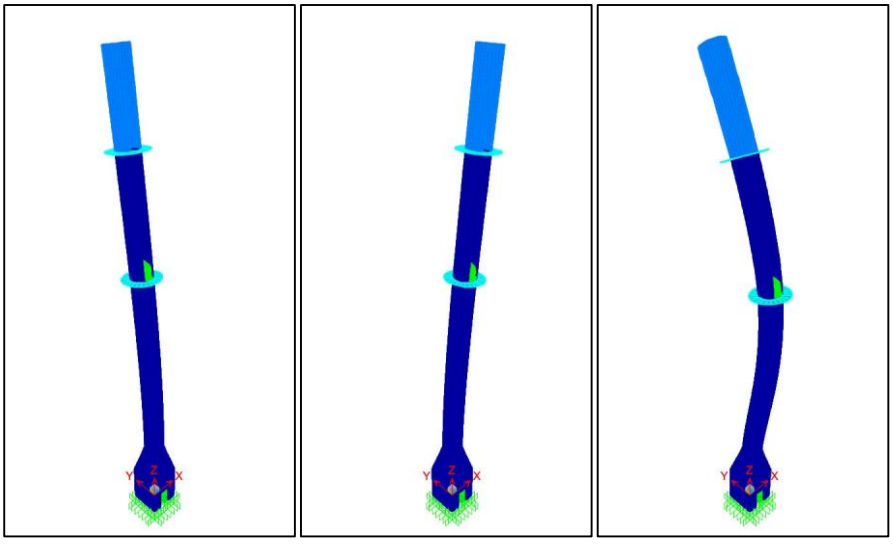
Şekil 4.26: Model 3 Minarenin (a) 19. modu. (b) 20. modu. (c) 21. modu.



Şekil 4.27: Model 3 Minarenin 22. modu.

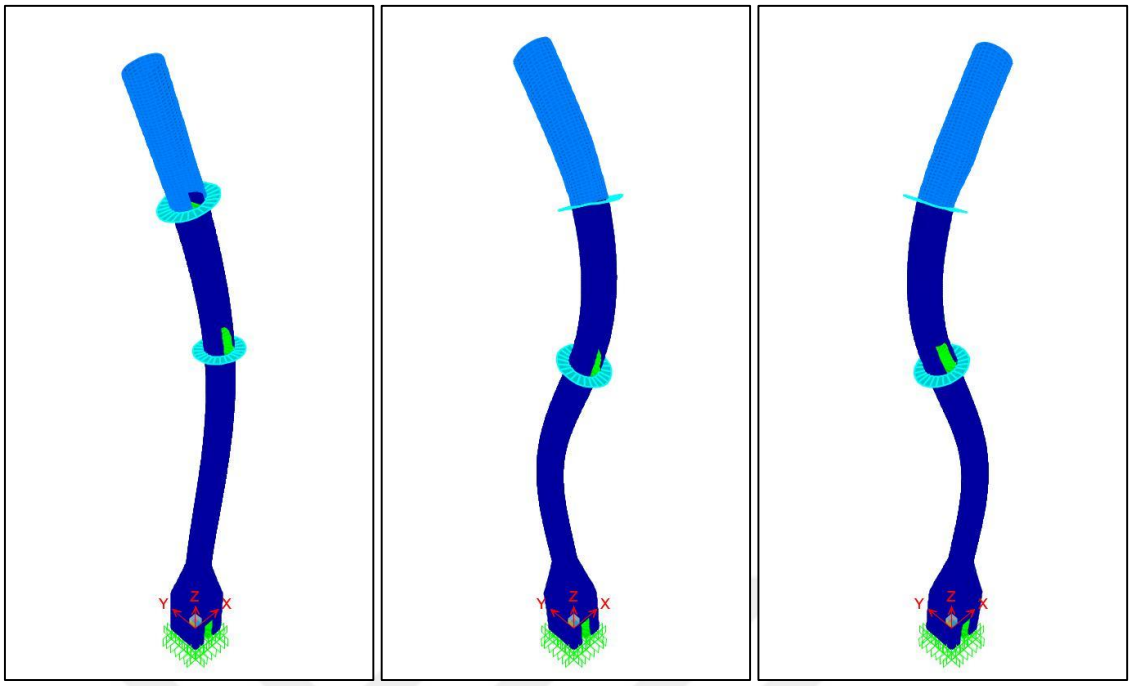
4.1.4. Model 4 İçin Mod Şekillerinin Bulunması

Bu kısımda Model 4 için mod şekilleri araştırılmıştır. Çubuk elemanlardan oluşan modellerin aksine düşey yönlü kütle katılım ile yatay yönlü kütle katılım, birlikte belirli bir mod içerisinde bulunabilirler. Çubuk elemanlardan oluşan modellerde bu durum görülmemiş olup, kabuk eleman modelinde, ilk modlarda çok az miktarda olmakla birlikte, ileri modlarda bu oran artmaktadır. Kabuk elemanın kütle katılım oranları EK 1.3'te verilmiştir.



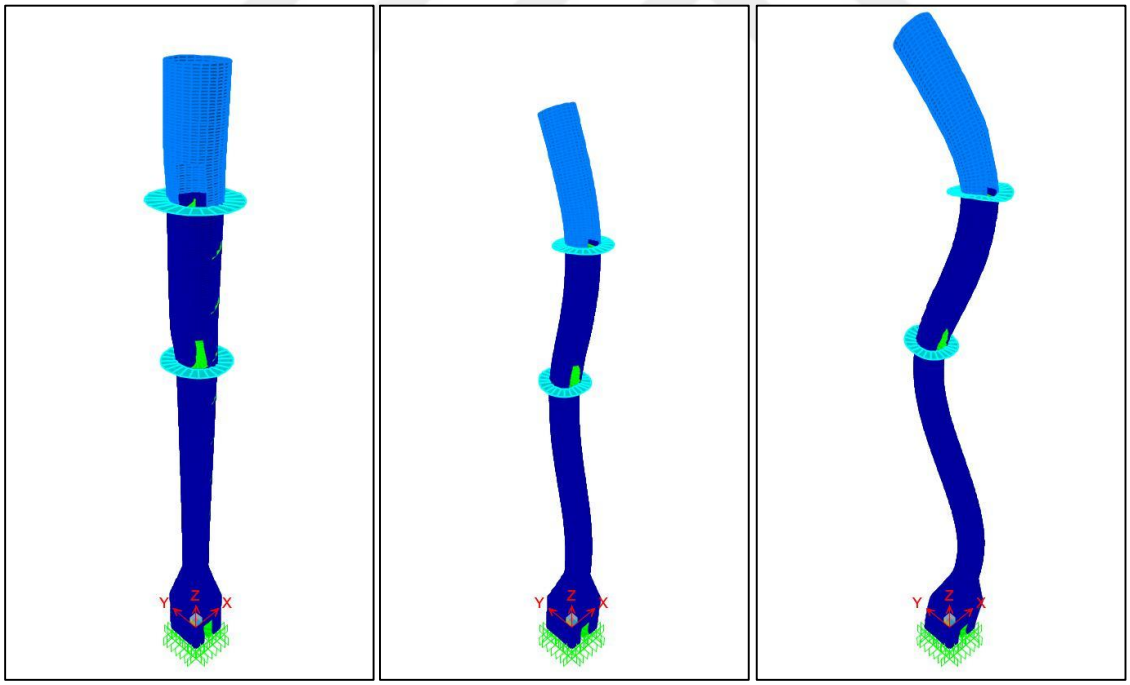
(a) (b) (c)

Şekil 4.28: Model 4 Minarenin (a) 1. modu. (b) 2. modu. (c) 3. modu.



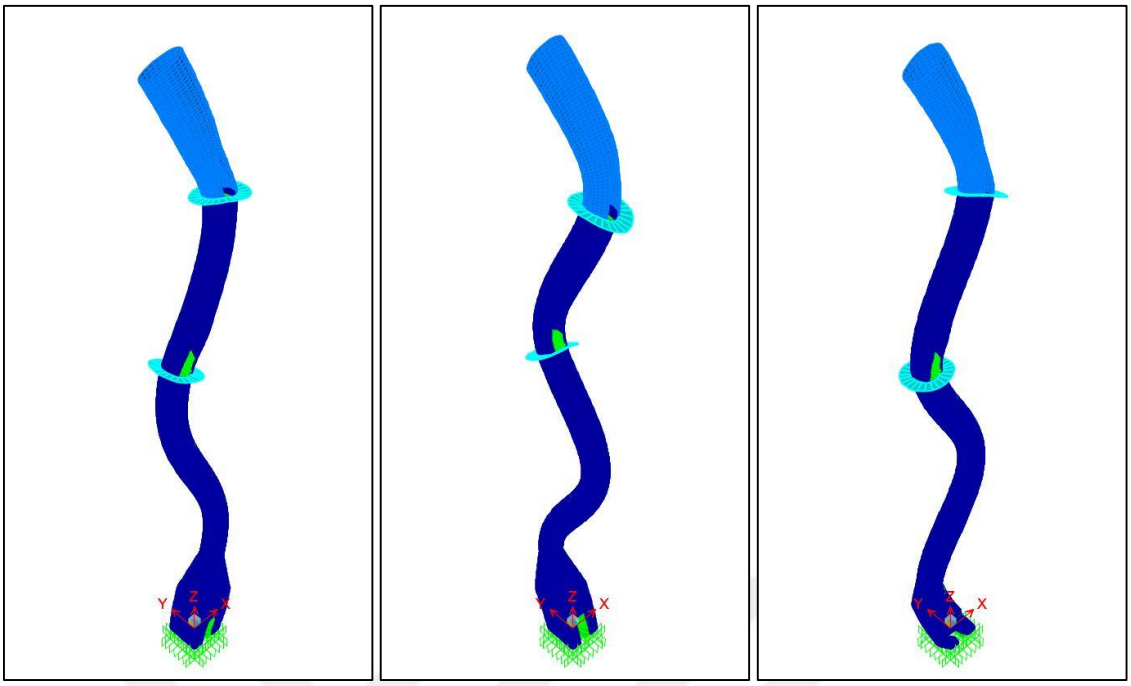
(a) (b) (c)

Şekil 4.29: Model 4 Minarenin (a) 4. modu. (b) 5. modu. (c) 6. modu.



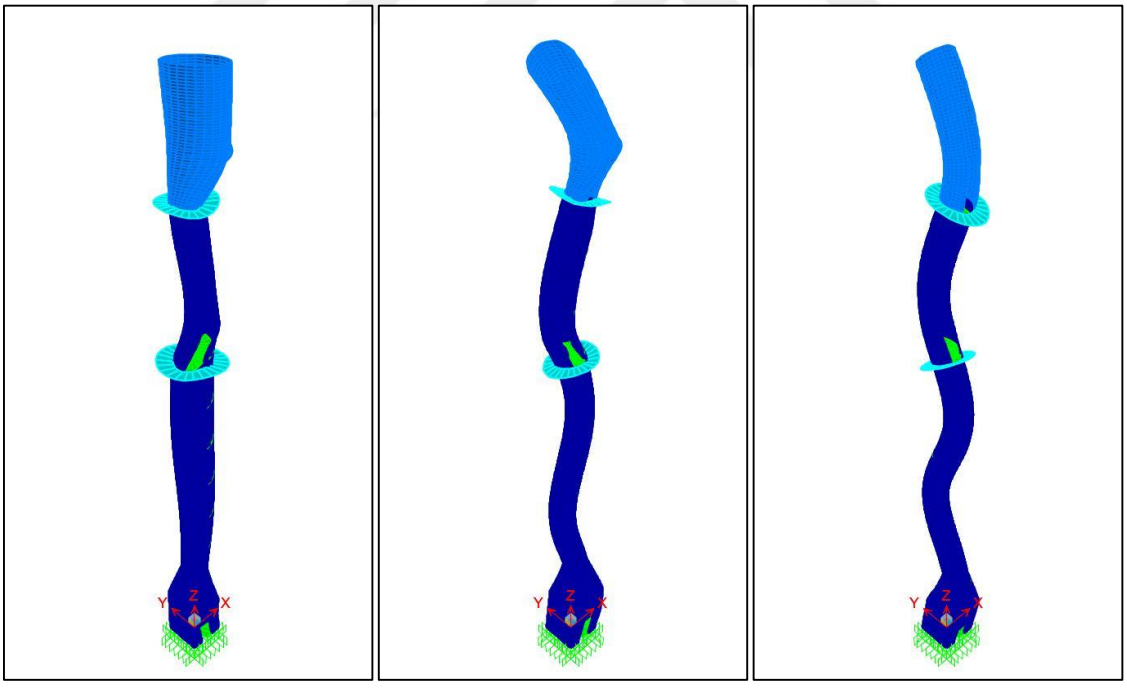
(a) (b) (c)

Şekil 4.30: Model 4 Minarenin (a) 7. modu. (b) 8. modu. (c) 9. modu.



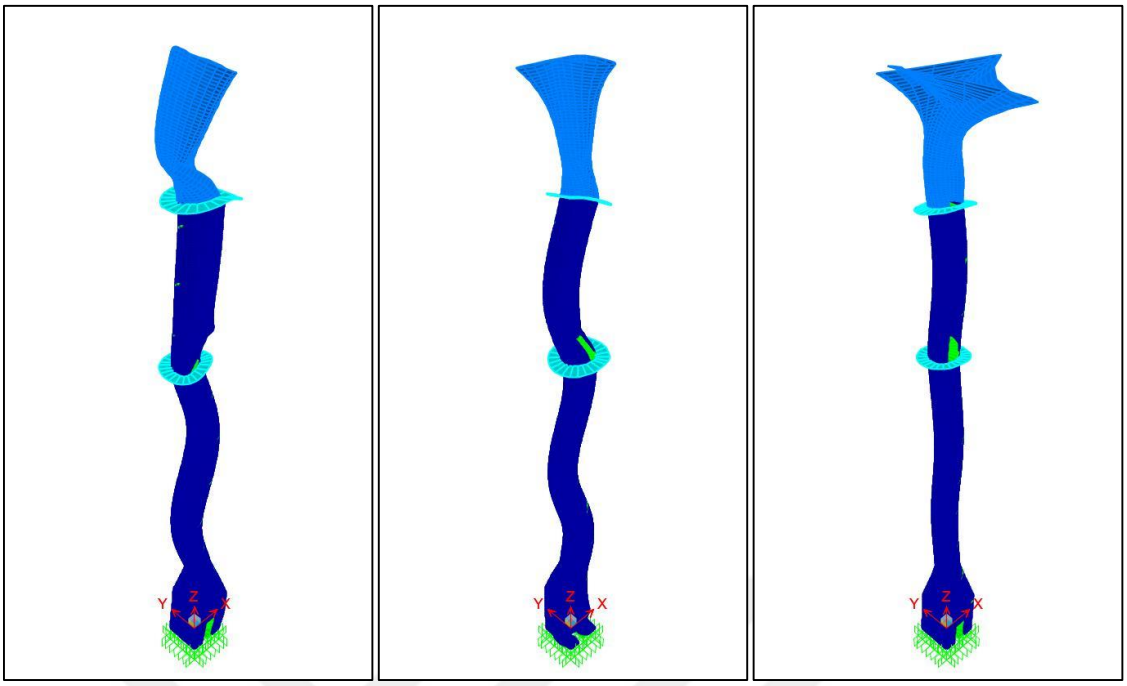
(a) (b) (c)

Şekil 4.31: Model 4 Minarenin (a) 10. modu. (b) 11. modu. (c) 12. modu.



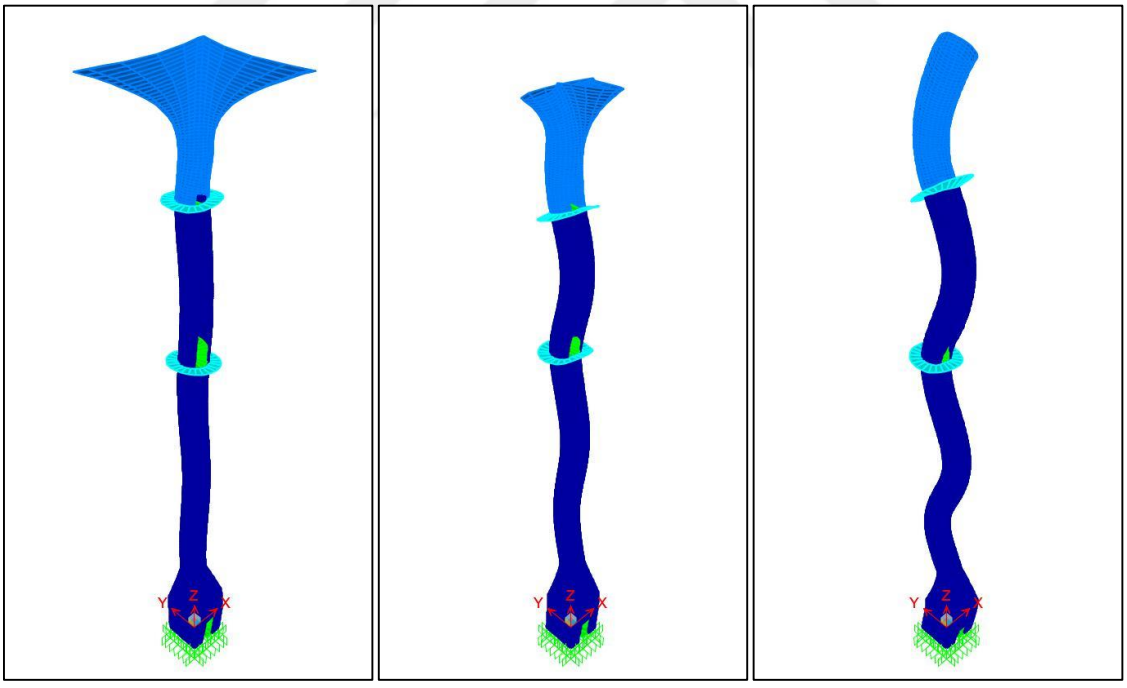
(a) (b) (c)

Şekil 4.32: Model 4 Minarenin (a) 13. modu. (b) 14. modu. (c) 15. modu.



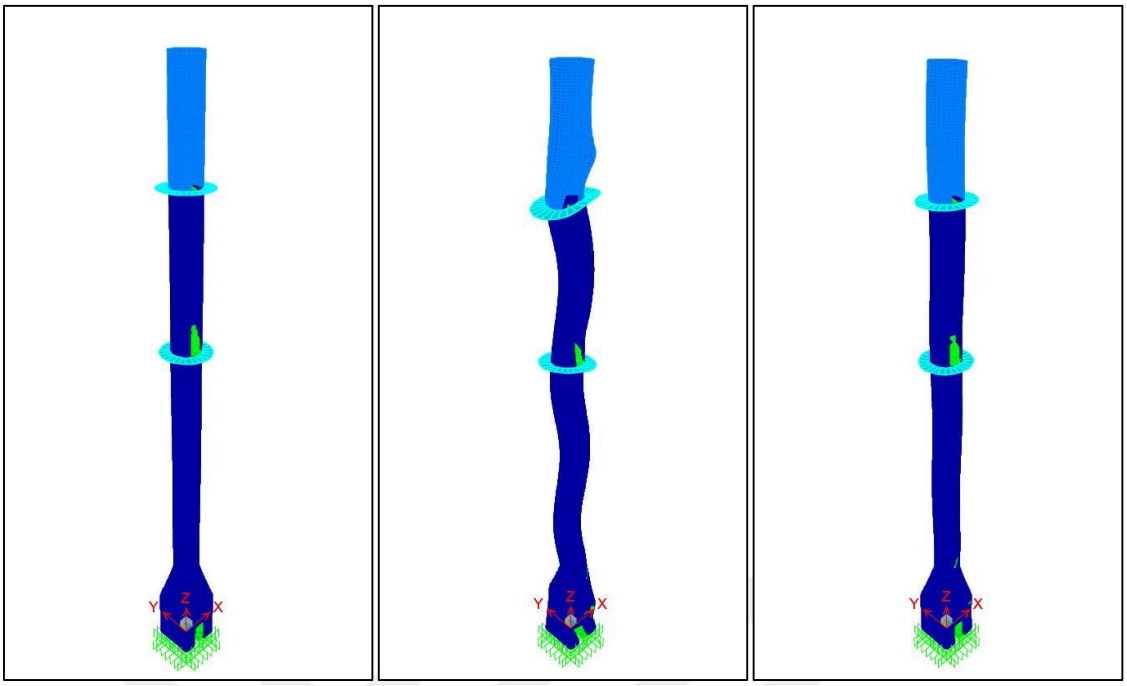
(a) (b) (c)

Şekil 4.33: Model 4 Minarenin (a) 16. modu. (b) 17. modu. (c) 18. modu.



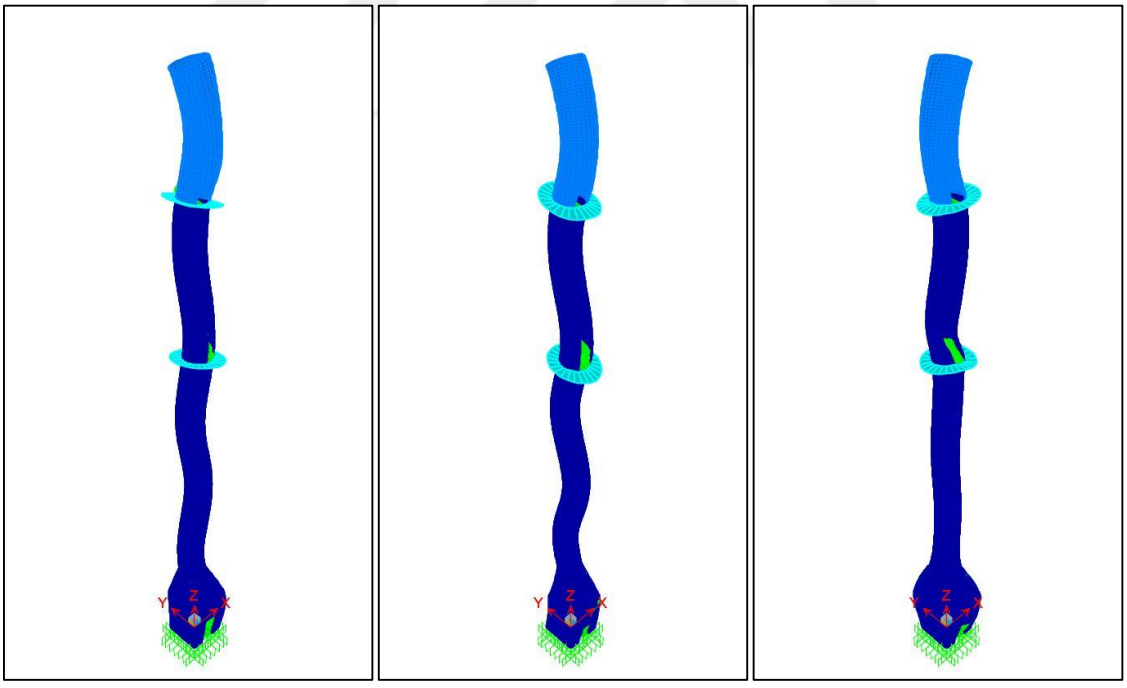
(a) (b) (c)

Şekil 4.34: Model 4 Minarenin (a) 19. modu. (b) 20. modu. (c) 21. modu.



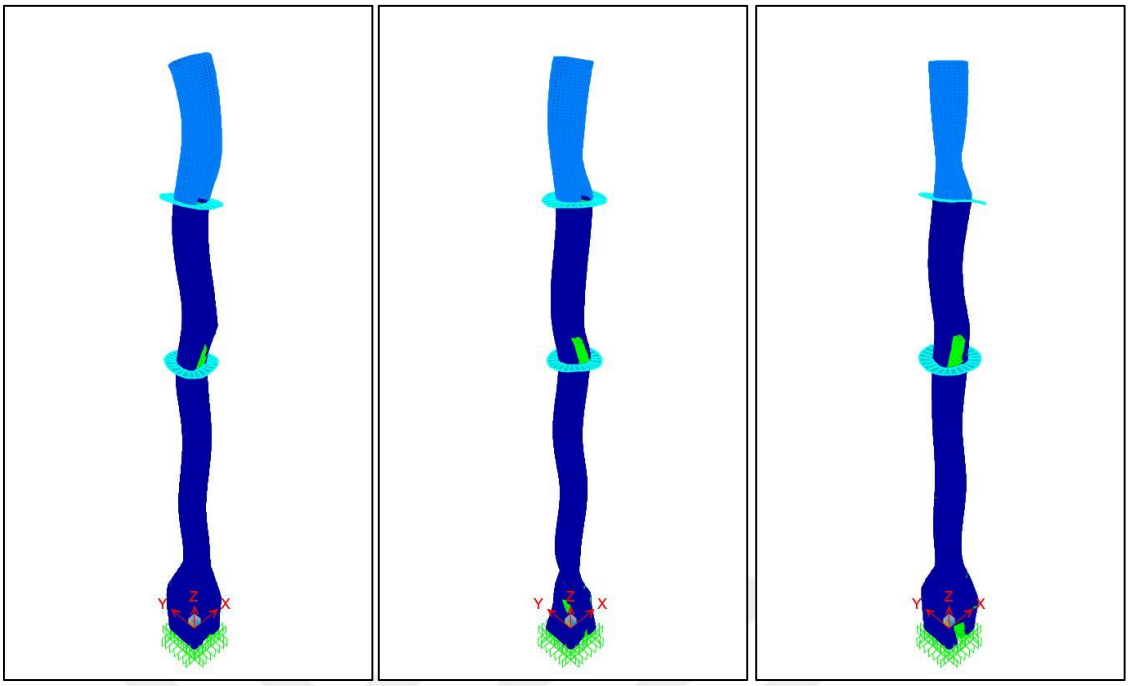
(a) (b) (c)

Şekil 4.35: Model 4 Minarenin (a) 22. modu. (b) 23. modu. (c) 24. modu.



(a) (b) (c)

Şekil 4.36: Model 4 Minarenin (a) 25. modu. (b) 26. modu. (c) 27. modu.



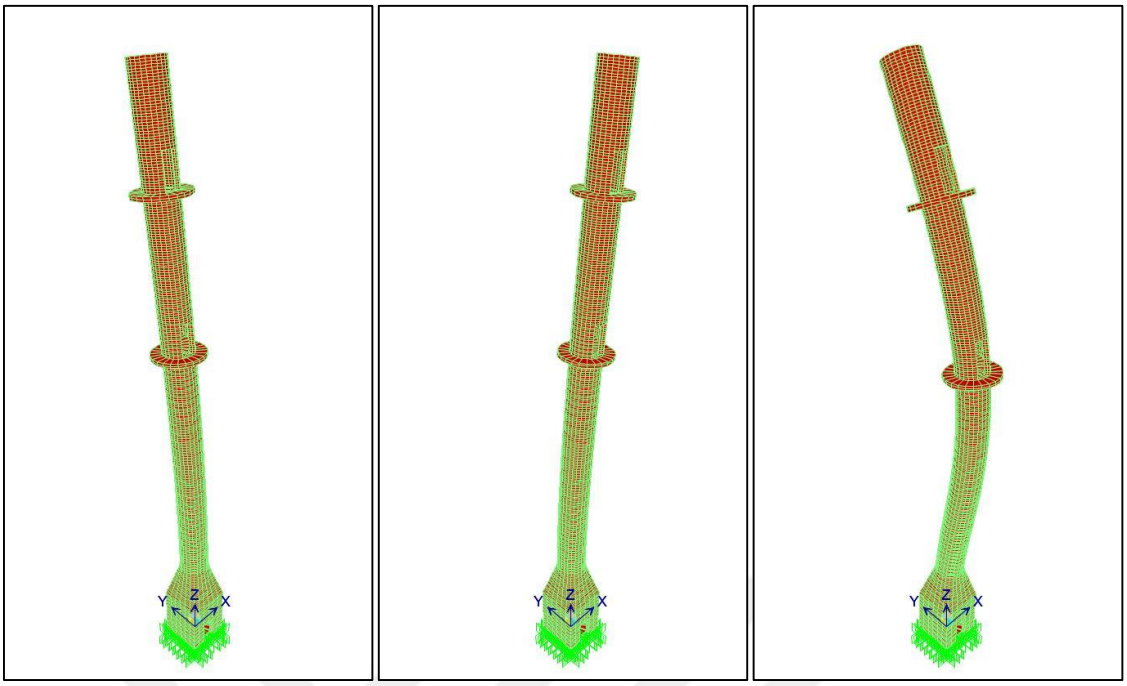
(a) (b) (c)

Şekil 4.37: Model 4 Minarenin (a) 28. modu. (b) 29. modu. (c) 30. modu.

Şekil 4.28- Şekil 4.37'de kabuk eleman kullanılarak oluşturulan Model 4'ün modları verilmiştir. Modelde 7721 adet düğüm noktası, 7641 kabuk elemanı bulunmaktadır. Modelin binlerce modu arasından yukarıda ilk 30 tanesi gösterilmiştir. İlk modlar daha çok eğilme şeklinde, ileri modlarda ise şişmeler ve daralmalar meydana geldiği görülmüştür.

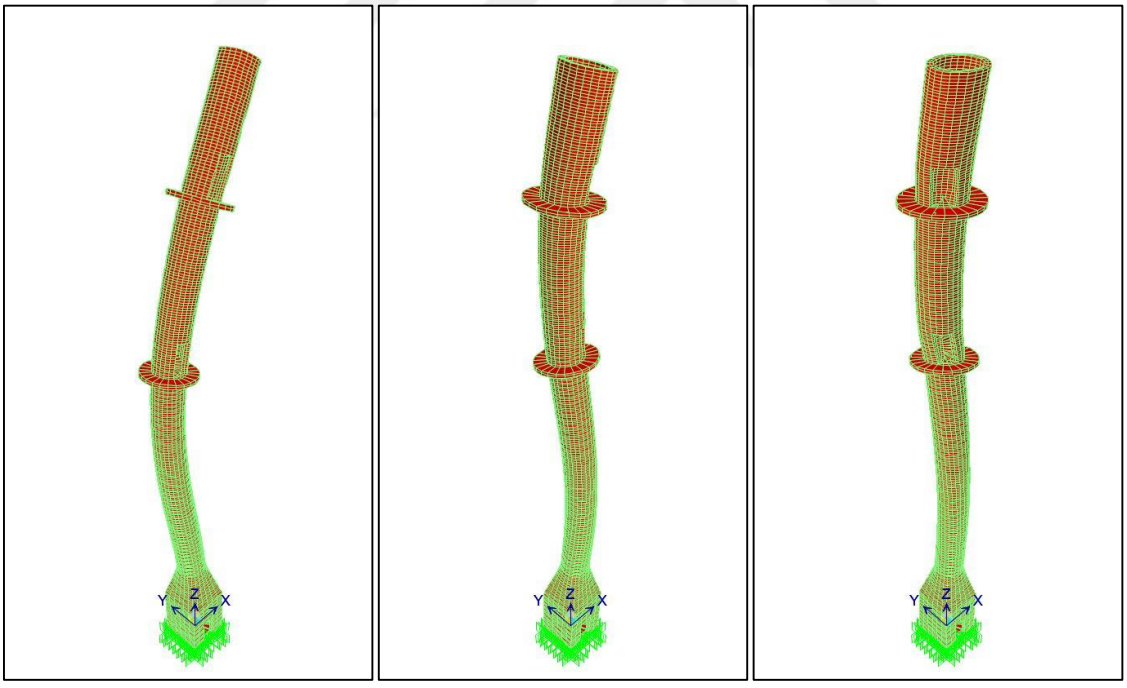
4.1.5. Model 5 İçin Mod Şekillerinin Bulunması

Bu kısımda Model 5 için mod şekilleri araştırılmıştır. Çubuk elemanlardan oluşan modellerin aksine düşey modlar, yatay modlarla birlikte belirli bir mod içerisinde sıfırdan farklı bir kütle katılım oranına sahip olabilirler. Çubuk elemanlardan oluşan modellerde bu durum görülmemiş olup, katı eleman modelinde, ilk modlarda çok az miktarda olmakla birlikte, ileri modlarda bu oran artmaktadır. Katı elemanın kütle katılım oranları EK 1.4'te verilmiştir.



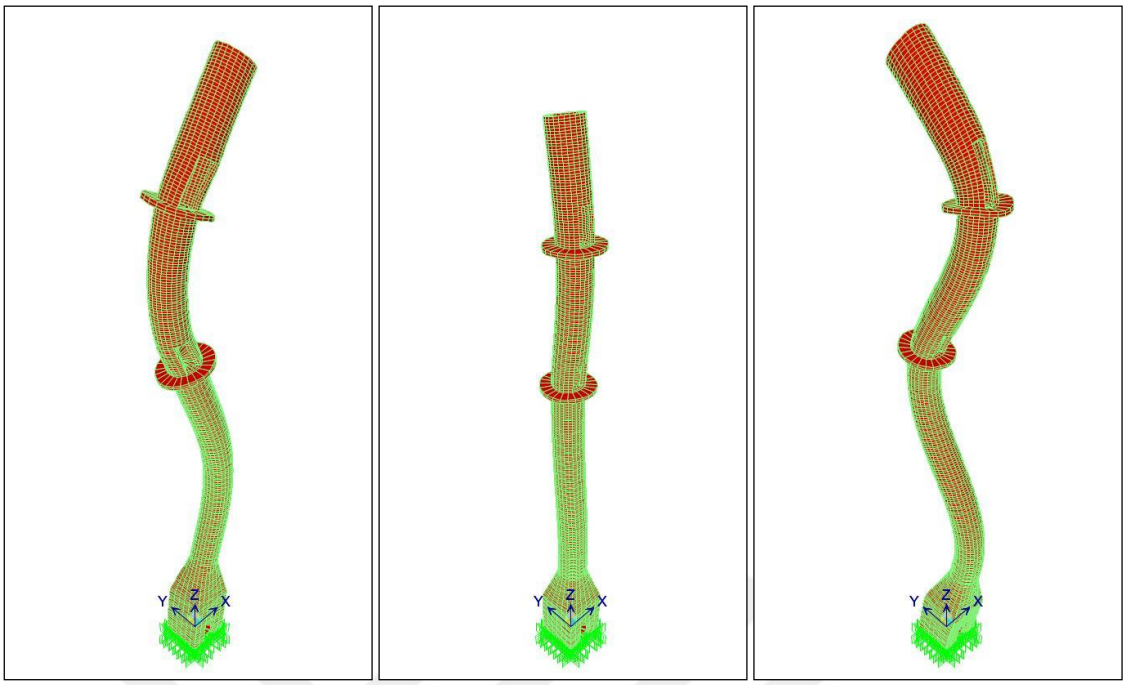
(a) (b) (c)

Şekil 4.38: Model 5 Minarenin (a) 1. modu. (b) 2. modu. (c) 3. modu.



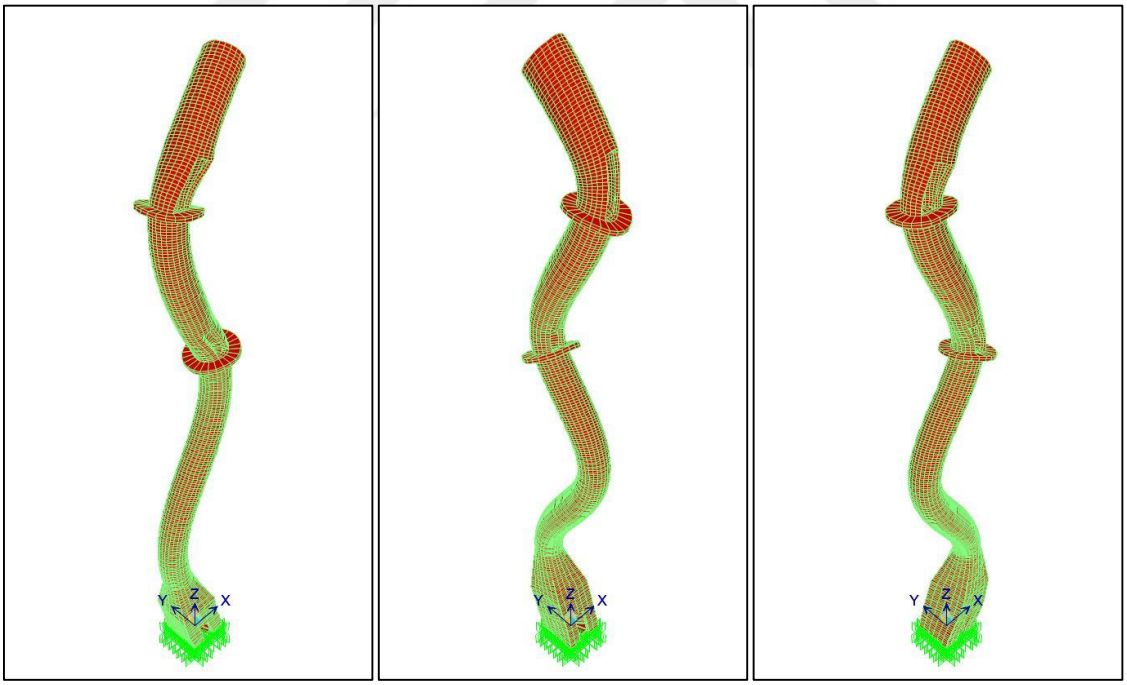
(a) (b) (c)

Şekil 4.39: Model 5 Minarenin (a) 4. modu. (b) 5. modu. (c) 6. modu.



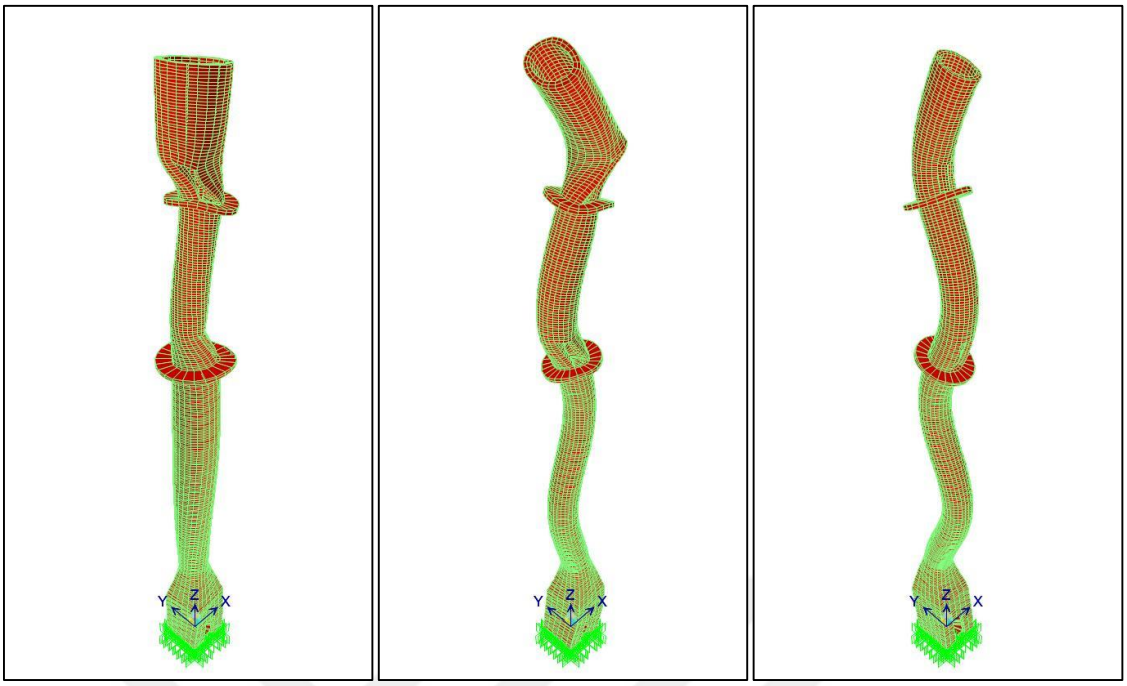
(a) (b) (c)

Şekil 4.40: Model 5 Minarenin (a) 7. modu. (b) 8. modu. (c) 9. modu.



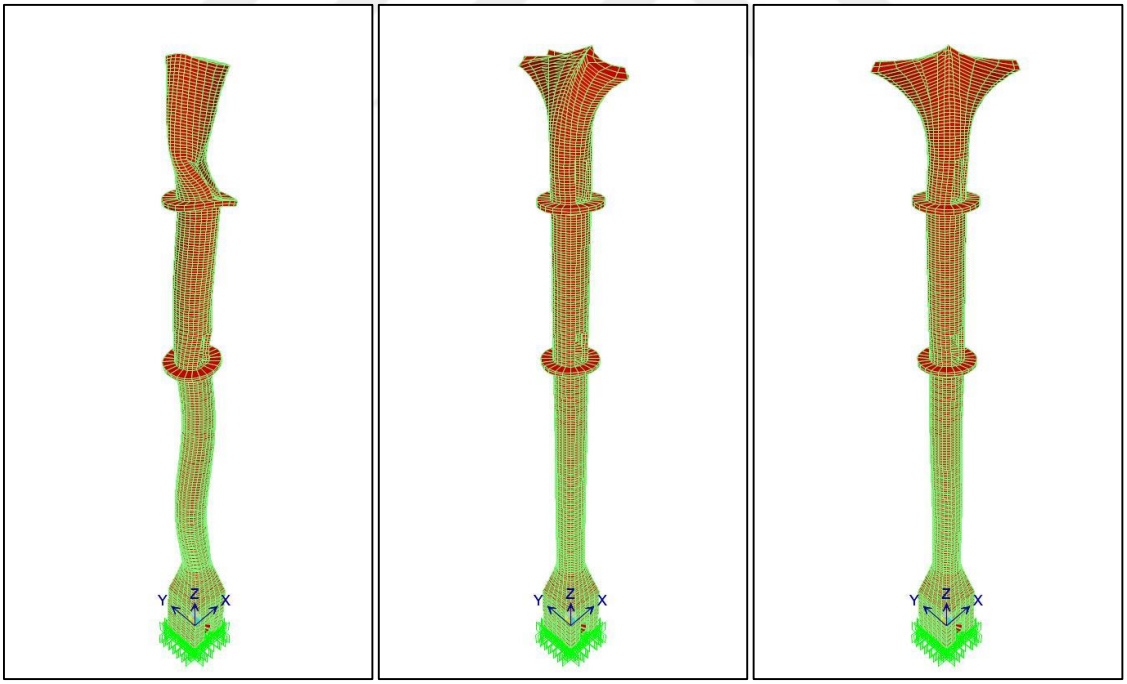
(a) (b) (c)

Şekil 4.41: Model 5 Minarenin (a) 10. modu. (b) 11. modu. (c) 12. modu.



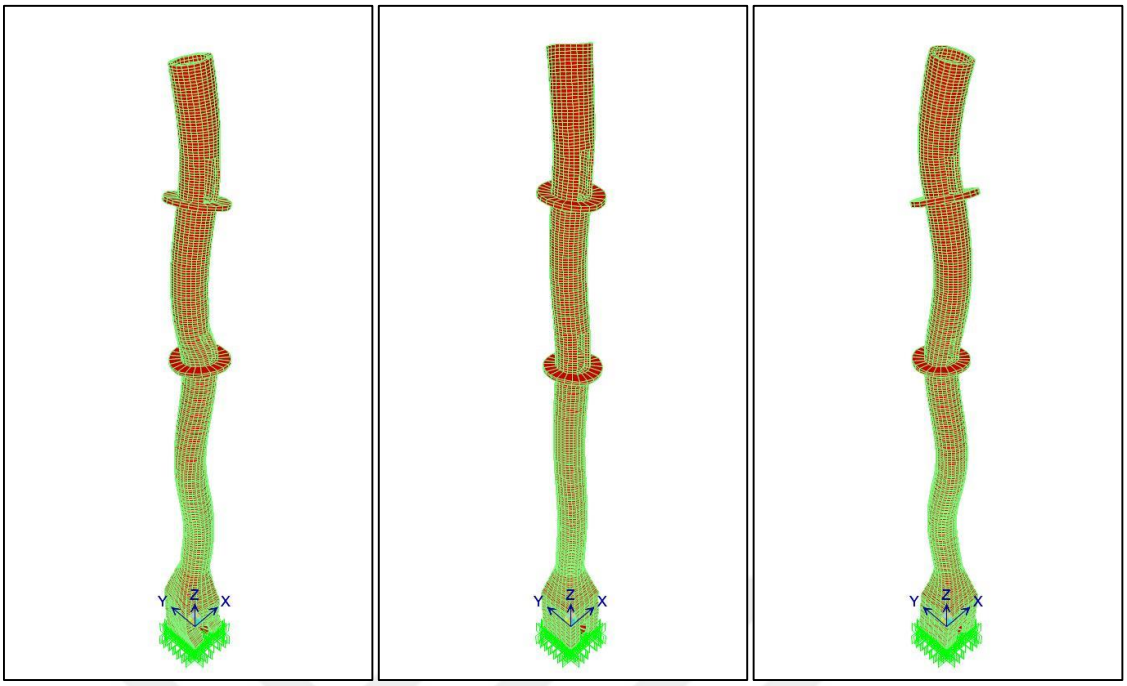
(a) (b) (c)

Şekil 4.42: Model 5 Minarenin (a) 13. modu. (b) 14. modu. (c) 15. modu.



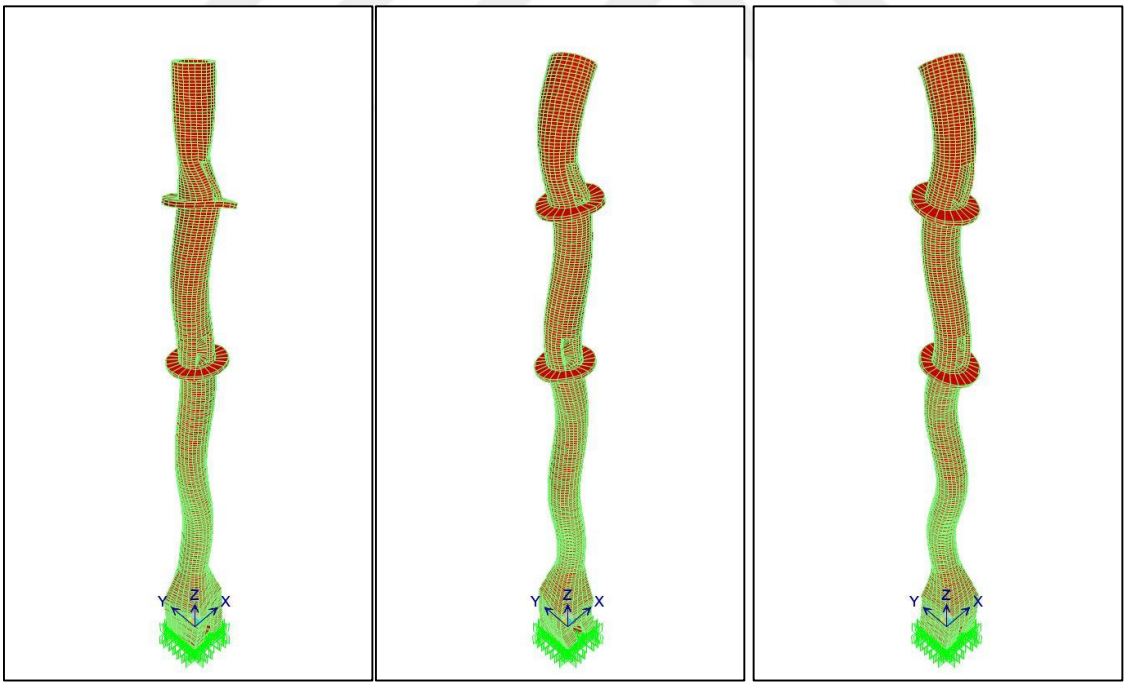
(a) (b) (c)

Şekil 4.43: Model 5 Minarenin (a) 16. modu. (b) 17. modu. (c) 18. modu.



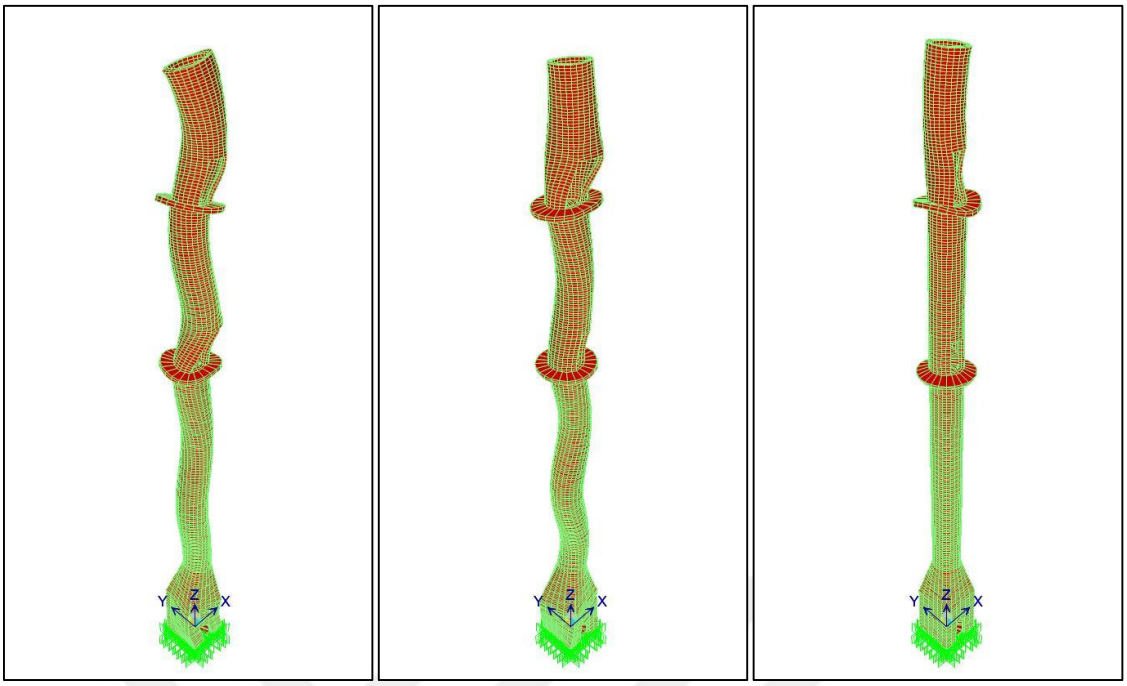
(a) (b) (c)

Şekil 4.44: Model 5 Minarenin (a) 19. modu. (b) 20. modu. (c) 21. modu.



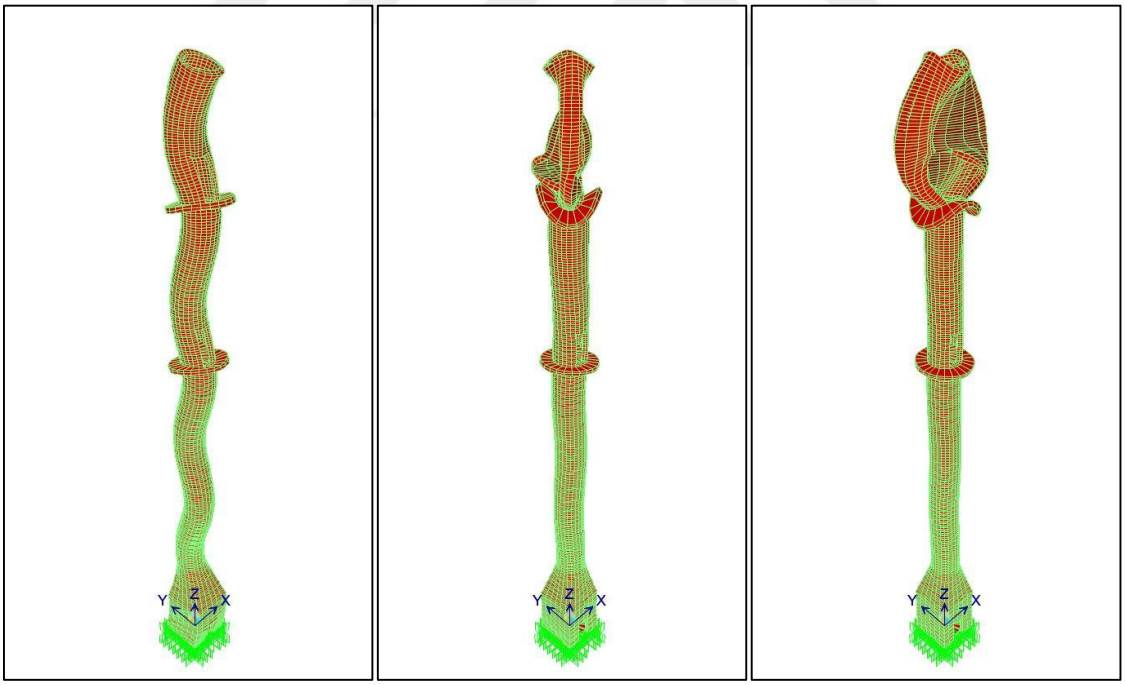
(a) (b) (c)

Şekil 4.45: Model 5 Minarenin (a) 22. modu. (b) 23. modu. (c) 24. modu.



(a) (b) (c)

Şekil 4.46: Model 5 Minarenin (a) 25. modu. (b) 26. modu. (c) 27. modu.



(a) (b) (c)

Şekil 4.47: Model 5 Minarenin (a) 28. modu. (b) 29. modu. (c) 30. modu.

Şekil 4.38 – Şekil 4.47'de katı eleman kullanılarak oluşturulan Model 5'in ilk 30 modu verilmiştir. Her bir düğüm noktası için 3 adet serbestliği bulunan modelin (Sap2000 Manual, 2017), 22688 adet düğüm noktası, 15008 katı elemanı bulunmaktadır. Modelin binlerce modu

olmasına karşılık yukarıda ilk 30 tanesi gösterilmiştir. Aynı kabuk eleman modelindeki gibi ilk modlar daha çok X ve Y yönünde eğilme şeklindeyken yapı, ileri modlarda genişleme ve daralma gibi davranışlar sergilediği gözlenmiştir.

4.1.6. Benzer Modların Karşılaştırılması

Tablo 4.1'de modellerin mod numaraları, periyotları ve kütle katılım oranları verilmiştir.

Tablo 4.1: Benzer modların periyot ve kütle katılım oranları.

Model	*Mod*	*Mod Açıklama*	*Periyot*	*UX Kütle Katılım*	*UZ Kütle Katılım*	*RY Kütle Katılım*
Model 1	1	Hakim 1. Mod (X)	1.055812	0.49	0	0.48
Model 2	1		1.053825	0.5	0	0.48
Model 3	1		1.053837	0.51	0	0.52
Model 4	2		1.037785	0.47609	2.58E-09	0.49488
Model 5	2		1.045117	0.48187	1.38E-10	0.49037
Model 1	2	X Yönünde 2. Mod	0.185319	0.17	0	0.05125
Model 2	2		0.183249	0.17	0	0.05312
Model 3	2		0.183223	0.17	0	0.05405
Model 4	4		0.182513	0.1722	3.55E-09	0.04454
Model 5	4		0.181281	0.16958	1.80E-08	0.04558
Model 1	3	X Yönünde 3. Mod	0.072387	0.08288	0	0.06293
Model 2	3		0.070837	0.08476	0	0.06675
Model 3	3		0.070731	0.08401	0	0.06567
Model 4	6		0.072613	0.09167	7.82E-08	0.06283
Model 5	7		0.071288	0.08549	5.40E-09	0.05903
Model 1	4	Hakim Düşey Mod(Z)	0.045253	0	0.7	0
Model 2	4		0.045253	0	0.7	0
Model 3	4		0.045242	0	0.73	0
Model 4	8		0.043578	7.68E-06	0.60163	8.08E-06
Model 5	8		0.043888	1.66E-08	0.6836	7.97E-10
Model 1	5	X Yönünde 4. Mod	0.04215	0.06079	0	0.06762
Model 2	5		0.040851	0.06192	0	0.07165
Model 3	5		0.040681	0.05815	0	0.06671
Model 4	10		0.042336	0.08458	0.00027	0.08786
Model 5	10		0.041307	0.07809	2.56E-05	0.08096

Model 1'deki ilk beş moda karşılık gelen diğer modellerdeki modlar, Tablo 4.1'de verilmiştir. Benzer modların belirlenmesinde periyotların ve aynı yönlü kütle katılım oranlarının yakınlığı göz önüne alınmıştır.

Bu tablonun veriliş amacı, modeller arasında birbirine tekabül eden modları göstermektir. Lakin her ne kadar modlar şekil olarak benzer olsa da, kütle katılım oranlarında

ve periyotlarda farklılıklar vardır. Bu farklılıklar ilk modlarda belirgin olmamakla birlikte, ileri modlarda belirginleşmektedir. Öyleki ileri modlarda çubuk, kabuk ve katı eleman modellerin benzer modları, farkedilememektedir.

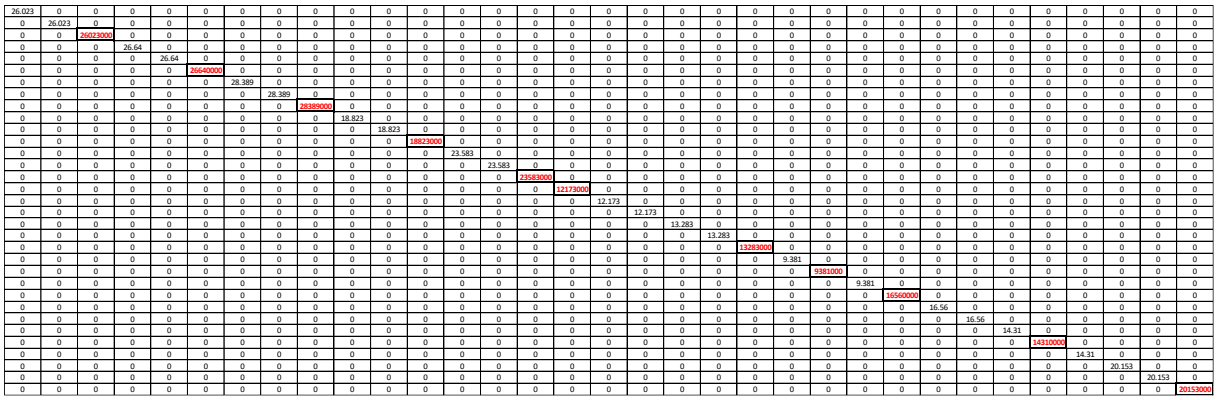
Açısal serbestliklere karşılık gelen kütlelerin analize nasıl dahil edildiği, Şekil 3.6'daki matematik modelde gösterilmiştir. Bu matematik modele göre Sap2000 tarafından oluşturulan kütle matrisleri Şekil 4.48, Şekil 4.49 ve Şekil 4.50'de gösterilmiştir. Bu matrisler Sap2000'den alınarak matris formuna dönüştürülmüştür.

Modellerin farklı elemanlar veya farklı teknikler kullanılarak oluşturulması, modlarda eksiklikler ve farklılıklar veya şekil olarak benzeyen modların sırasının farklı olmasına sebep olmaktadır. Örnek olarak ilk düşey mod Model 1, Model 2 ve Model 3'te 4. mod olmasına karşılık, aynı mod Model 4 ve Model 5'te 8. moddur.

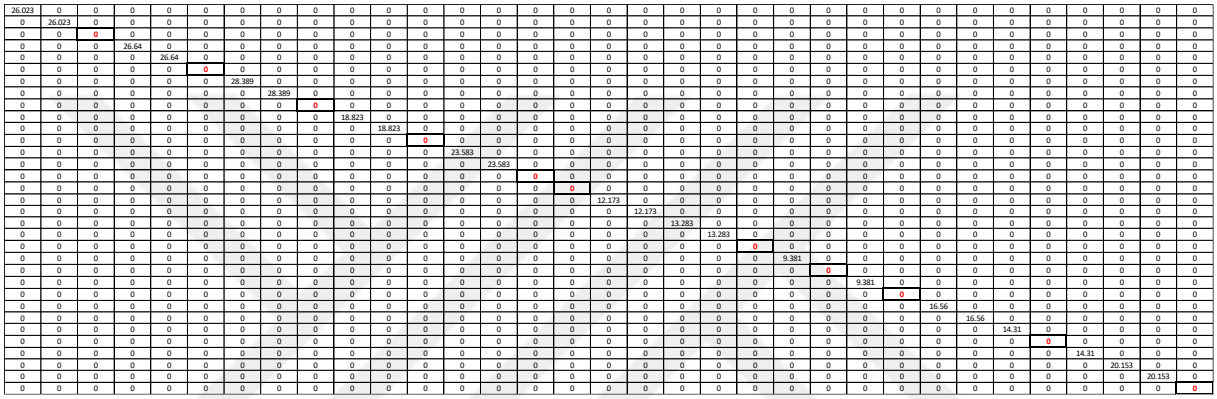
Model 1 ve Model 2 arasındaki farklılıkların tek sebebi, Model 1'de açısal serbestliklere karşılık gelen kütlelerin de analize dahil edilmesidir. Model 2'de açısal bileşenler 0'dır. Yani rijitlik matrisinde herhangi bir eleman azaltmasına gidilmemiştir. Bu iki model arasında başka bir fark bulunmamaktadır.

$$\det([k] - \lambda[m]) = 0 \tag{3.1}$$

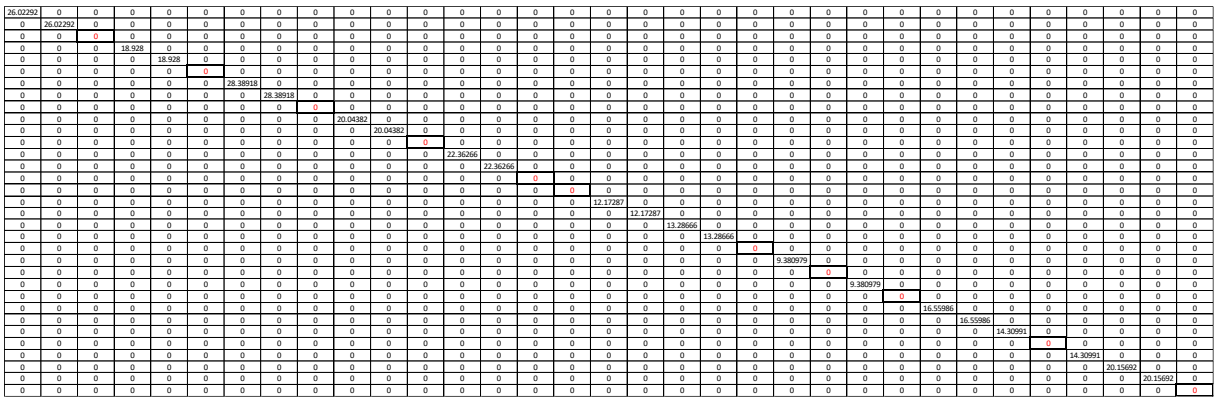
Denklem 3.1'de k rijitlik matrisini, m kütle matrisini ve λ'da frekansın karesini göstermek üzere, "Özdeğer Özvektör" yöntemiyle periyotlar bulunmaktadır. Bu denklemde bilinmeyenler frekansların karesidir. Frekansın karesi, kütle matrisiyle çarpılır ve rijitlik matrisinden çıkarılır. Çıkan sonucun determinantı sıfıra eşitlenir ve bir bilinmeyenli bir denklem bulunur. Bu denklemin derecesi, mod sayısına eşittir. Bu işlem sırasında, Model 1 ile Model 2'nin kütle matrisindeki açısal serbestliklere denk gelen kütle elemanlarının farklı olması, bu iki modelin denklemlerinin farklı olmasına sebep olur. Bunun sonucu olarak, periyotlarda ve kütle katılım katsayılarında farklılık oluşur. Bu iki model arasındaki kütle katılım ve periyot farkı, diagonal olan kütle matrisinin açısal serbestliklere karşılık gelen kütle bileşenlerinin farklı olmasından kaynaklanır. Şekil 4.48, Şekil 4.49 ve Şekil 50'de Model 1 ve Model 2 ve Model 3'ün program tarafından verilen kütle matrisleri bulunmaktadır.



Şekil 4.48: Model 1'in kütle matrisi.



Şekil 4.49: Model 2'nin kütle matrisi.

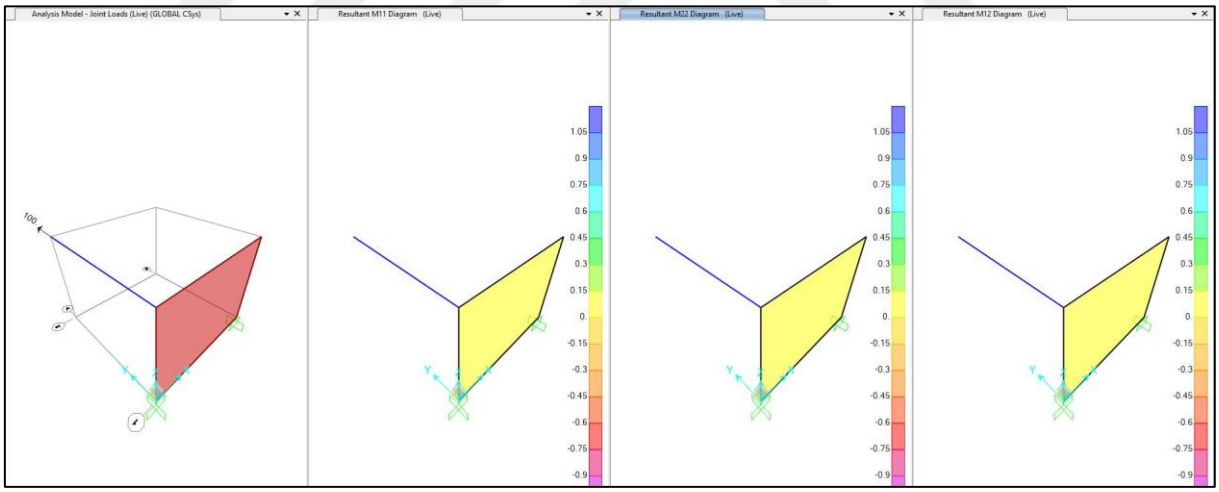


Şekil 4.50: Model 3'ün kütle matrisi.

Model 2 gibi Model 3'ün de kütle matrisindeki açısal bileşenler 0'dır. Bu durum Şekil 3.50'de görülmektedir. Fakat Model 3'ün periyotlarının Model 1'den farklı çıkmasındaki tek etken açısal bileşenlere karşılık gelen kütleler değildir. Model 3'ün rijitlik matrisi, Model 1 ile aynıdır. Model 3'te zati yük ve merdiven yükü kütlelerin birleşim noktalarına dağılımı programa bırakılmıştır. Bu durum Model 3'ün kütle matrisinde ufak farklılıklar yaratmış ve periyotların farklı çıkmasına sebep olmuştur.

Model 4 yalnızca kabuk elemanlarla modellenmiştir. Bu durum modellemede bazı sorunlar oluşturmuştur. Örneğin kabuk elemanlar iki boyutlu olması sebebiyle kabuk sonlu elemanların, aksların ortasına modellenmesi gerekmektedir. Çapı 2 metre olan gövdenin modellenirken et kalınlığı (30 cm) hesaba katılıp, kabuk eleman model çapının 1,7 metre olması gerekmektedir. Bununla beraber petek bölümünde et kalınlığı 20 cm olup, kabuk eleman modelinin çapı 1.8 m olması gerekmektedir. Bu durum modellemede bazı aksaklıklar meydana getirmektedir. Boyutlandırmadaki bu sorun kütle ve rijitlik değerlerinde ufak farklılıklar oluşturmaktadır.

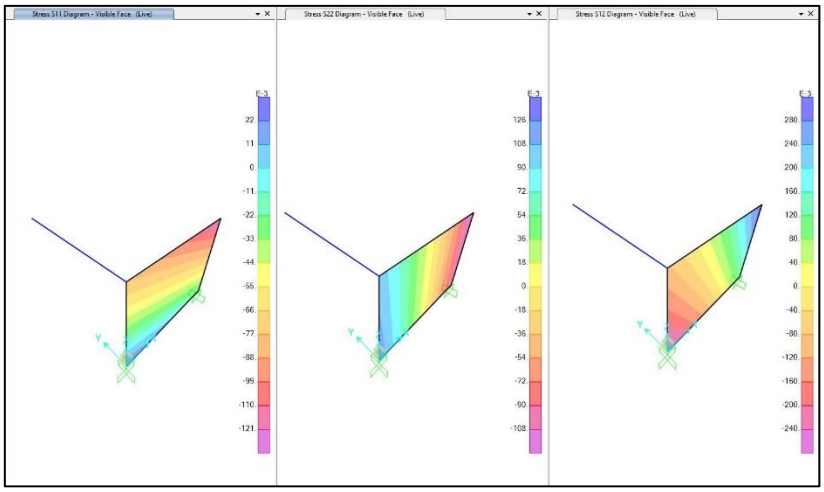
Sap2000 programının kullanıcı bilgilendirme formu, kabuk eleman formülasyonu için her ne kadar 6 serbestliğin de aktif olduğunu belirtse de (Sap2000 Manual, 2017), bu sertbesliklere karşılık gelen rijitlik değerleri için bir takım belirsizlikler bulunmaktadır. Bu belirsizliklere örnek olarak Şekil 4.51'de kabuk elemanın düğüm noktasına, yüzeye dik şekilde modellenmiş konsol bir kirişten oluşan basit bir yapı görülmektedir. Kirişin boştaki ucuna 100 kNm değerinde bir burulma momenti uygulanmış ve bu durumun kabuk elemana moment aktarmadığı gözlemlenmiştir.



(a) (b) (c) (d)

Şekil 4.51: Sap2000'de kabuk eleman yüzeyine dik bir kirişe verilen burulma momentinin, kabuk elemanda oluşturduğu moment değerleri.

Moment aktarılmamasına karşılık program, bir takım gerilmeler hesaplamaktadır (Şekil 4.52). Sonuç olarak modelleme hataları, eleman formülasyonundaki farklılıklar, parçalara ayrılmış kabuk elemanların büyüklüğü gibi sebeplerden ötürü Model 1 ile Model 4'ün periyotları ve kütle katılımları arasında farklılıklar oluşabilmektedir.



Şekil 4.52: Sap2000'de kabuk eleman yüzeyine dik bir kirişe verilen burulma momentinin, kabuk elemanda oluşturduğu gerilme değerleri.

Model 5 yalnızca katı elemanlardan oluşturulmuştur. Katı elemanın her bir birleşim noktasında üç adet doğrusal serbestlik bulunmaktadır. Katı elemanın düğüm noktalarında açısal serbestlikler bulunmamaktadır. Dolayısıyla Model 5'in fomülasyonu, Model 1'in fomülasyonundan farklı olmaktadır. Fomülasyonun farklı olması, katı elemanların büyüklükleri gibi nedenler periyot ve kütle katılımında küçük farklılıklar oluşturabilmektedir.

Yukarıda belirtilen belirsizlik ve eksikliklerden ötürü çalışmanın bu aşamasından sonra Model 4 ve Model 5 kullanılmamış, araştırmalar Model 1, Model 2 ve Model 3 üzerinde yapılmıştır. Model 4 ve Model 5 periyotların, kütle katılım katsayılarının ve mod şekillerinin kıyaslanması ve davranış konusunda fikir vermesi için çalışmaya eklenmiştir. Çalışmada ağırlıklı olarak Model 1 tercih edilmiştir.

4.2. MODEL 1, MODEL 2 VE MODEL 3 İÇİN DEPLASMAN ZAMAN GRAFİĞİ İNCELEMESİ

Bu başlık altında Model 1, Model 2 ve Model 3 için deplasman-zaman grafikleri araştırılmıştır. Bu incelemeye geçmeden önce yapısal sistemlerin depremli analizlerdeki hareket denklemi aşağıda verilmiştir.

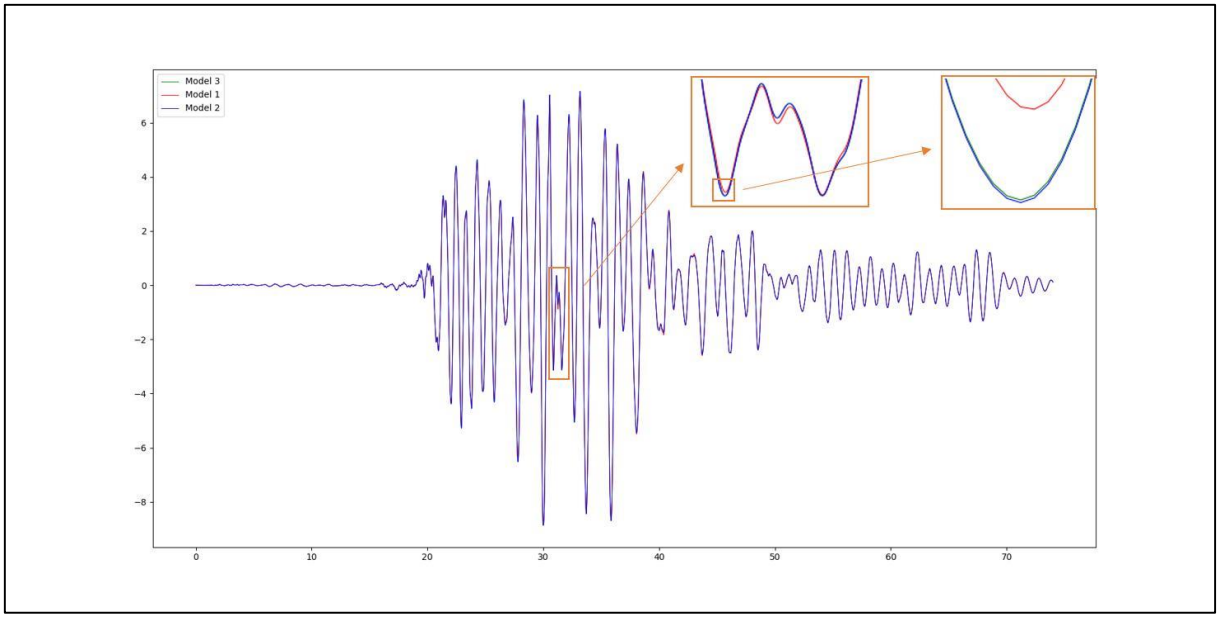
$$[m]\{\ddot{u}\}+[c]\{\dot{u}\}+[k]\{u\} = \{\Delta F\} \qquad (3.2)$$

Denklem 3.2'de görüldüğü gibi kütle değerleri bir matrise, ivme değerleri bir vektöre kaydedilmektedir. Kütle matrisleride Şekil 4.48, Şekil 4.49 ve Şekil 4.50'de görüldüğü gibi

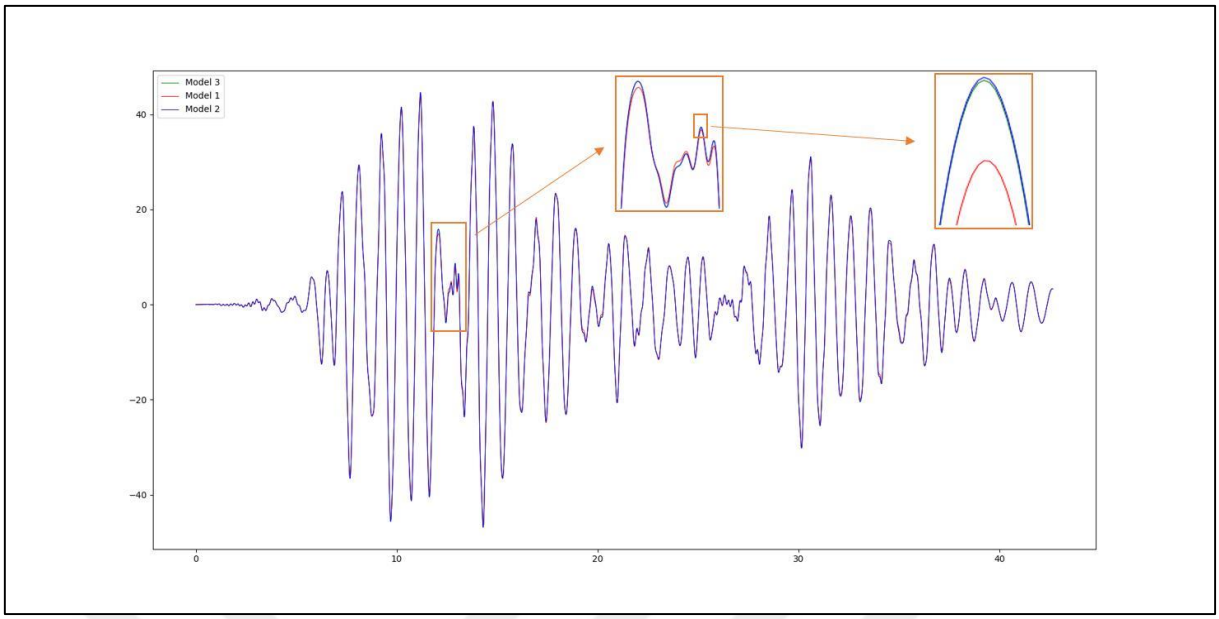
köşegen matrislerdir. Denklem 3.2'nin "[m]{ü}$_i$" kısmında, kütle matrisinin her bir köşegen elemanı, ivme vektörünün tek bir elemanıyla çarpılmaktadır. İvme vektörünün açısal bileşenleri 0'dır. Bu sebepten ötürü, Model 1 ve Model 2 arasında oluşan deplasman farkının, yuvarlama hatasından oluşabileceği düşünülmektedir.

Beklenenin aksine grafiklerde Model 2 ve Model 3'ün deplasman değerleri birbirine oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu iki model arasındaki tek farkın kütle matrisinden kaynaklandığı daha önce belirtilmiştir. Model 2'nin kütle matrisinin 0 olmayan elemanlarının tümü Model 1'in aynı indisli elemanlarına eşit olmasına karşılık, Model 1'deki açısal serbestliklere karşılık gelen kütle bileşenleri sebebiyle oluşan yuvarlama hatası, Model 3'e göre daha büyük bir fark oluşturmuştur.

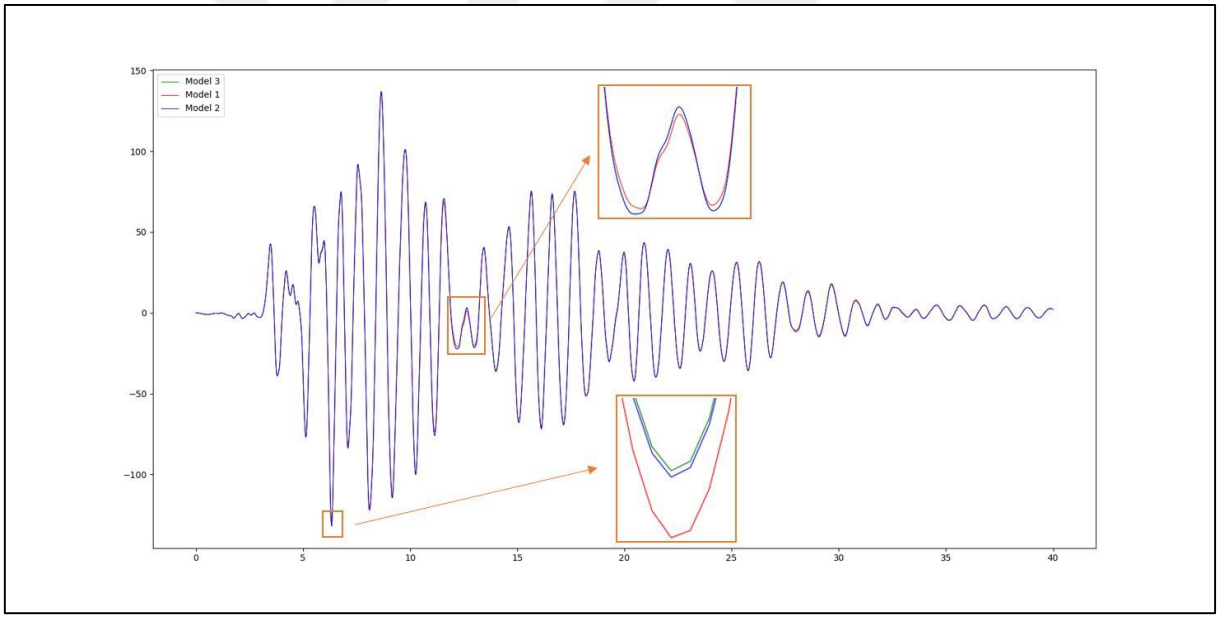
Şekil 4.53 – Şekil 4.79'da deplasman-zaman grafiklerinde Model 1, Model 2 ve Model 3'ün değerleri bulunmaktadır. Şekil 4.53 – Şekil 4.64'de X eksenindeki doğrusal yerdeğiştirme grafikleri verilecektir. Bahsedilen üç modelin değerlerinin çok yakın olması sebebiyle, grafikteki bazı kısımlar büyütülerek verilmiştir. Ayrıca grafikler tüm depremler için verilmemiştir. Şekil 4.53 – Şekil 4.64'deki grafiklerde zamanın birimi saniye, deplasmanın birimi milimetredir. Şekil 4.65 – Şekil 4.79'daki grafiklerde zamanın birimi saniye, açısal deplasmanın birimi radyandır.



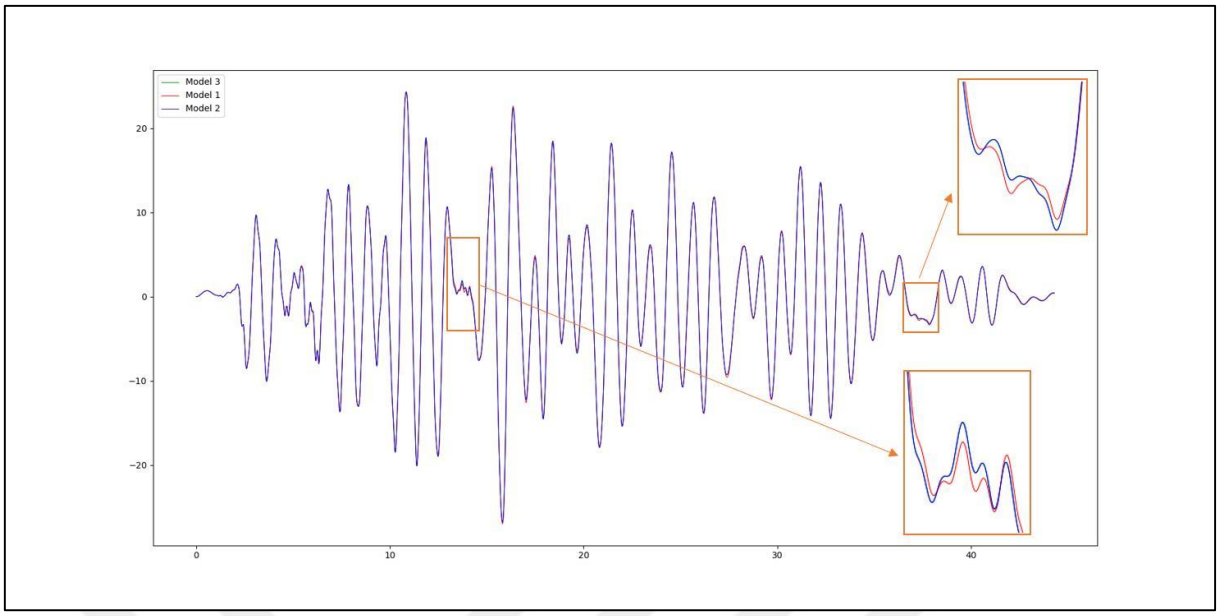
Şekil 4.53: 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (Chi-Chi Taiwan_03-2, RSN 2624).



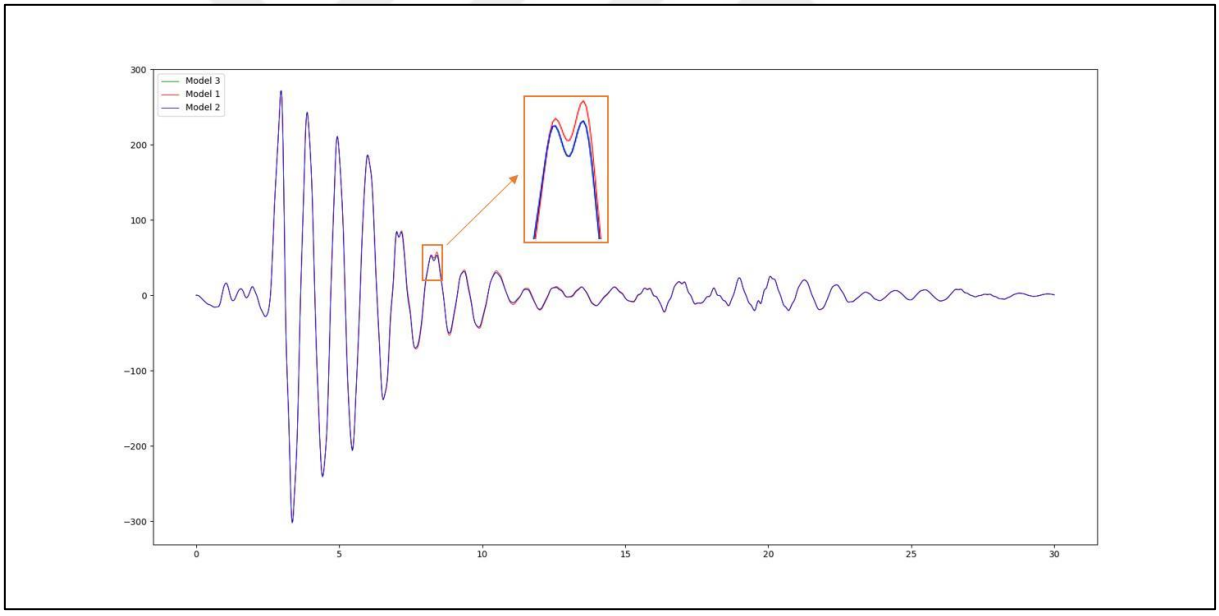
Şekil 4.54: : 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (Irpinia Italy-01, RSN 290).



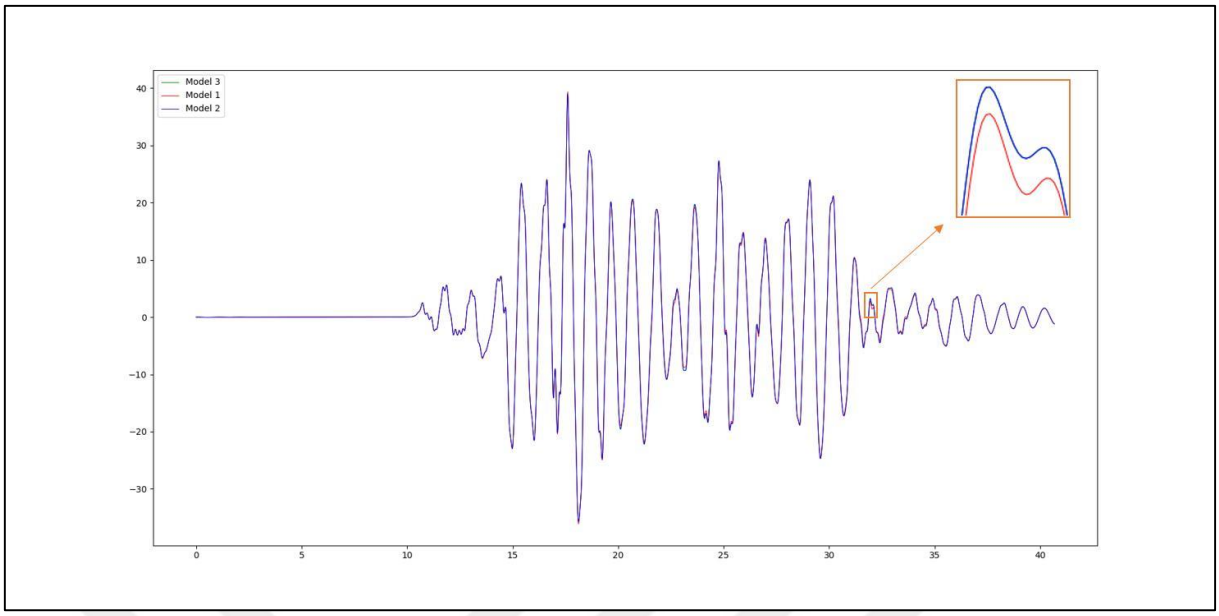
Şekil 4.55: : 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (Loma Prieta, RSN 755).



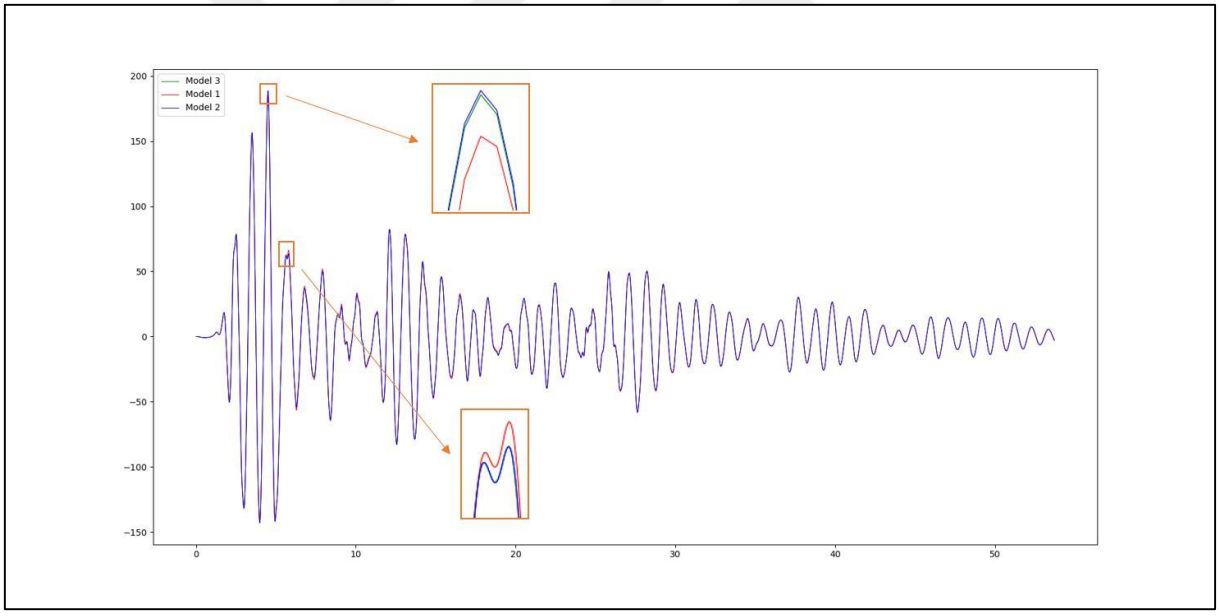
Şekil 4.56: : 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (Parkfield, RSN 28).



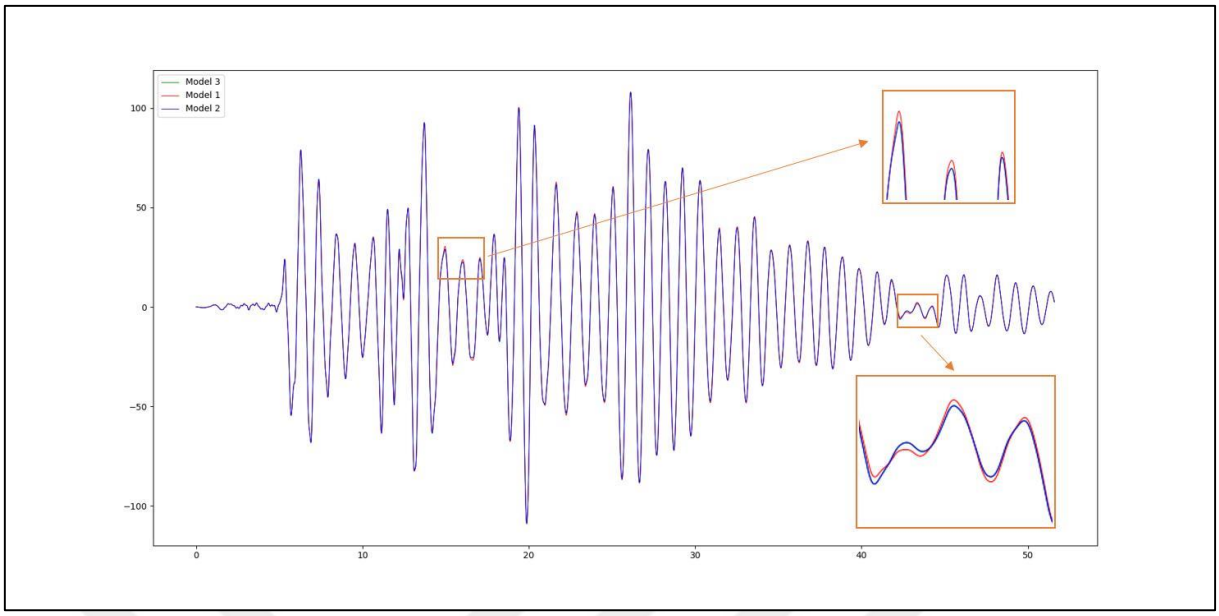
Şekil 4.57: : 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (Cape Mendocino, RSN 830).



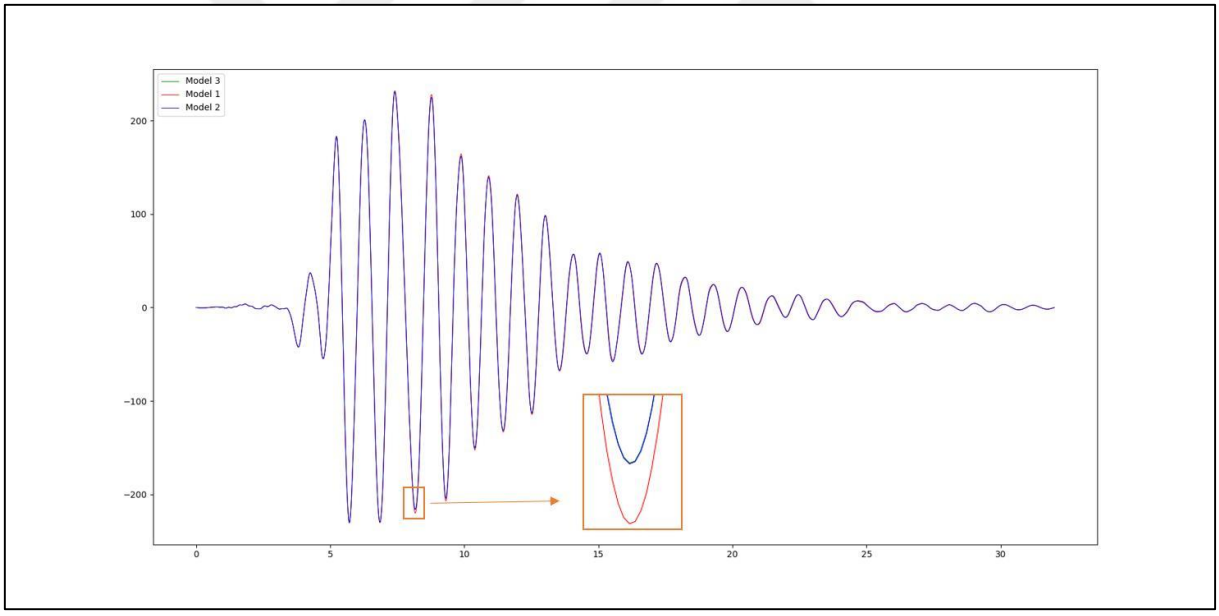
Şekil 4.58: : 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (Duzce, RSN 1612).



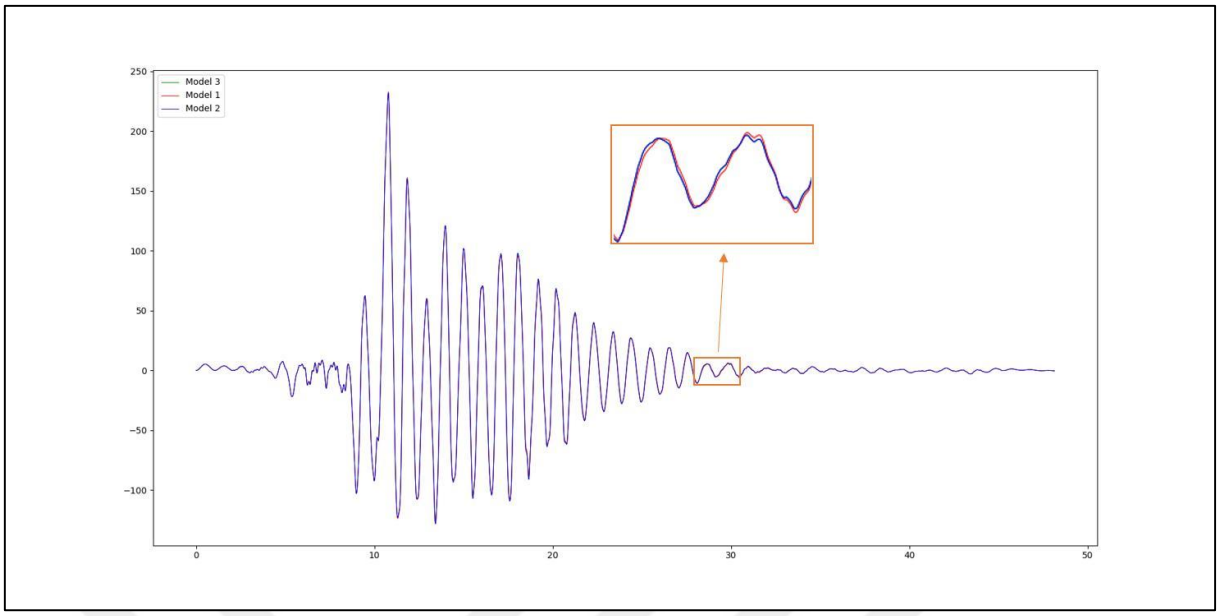
Şekil 4.59: : 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (Imperial Valley-02, RSN 6).



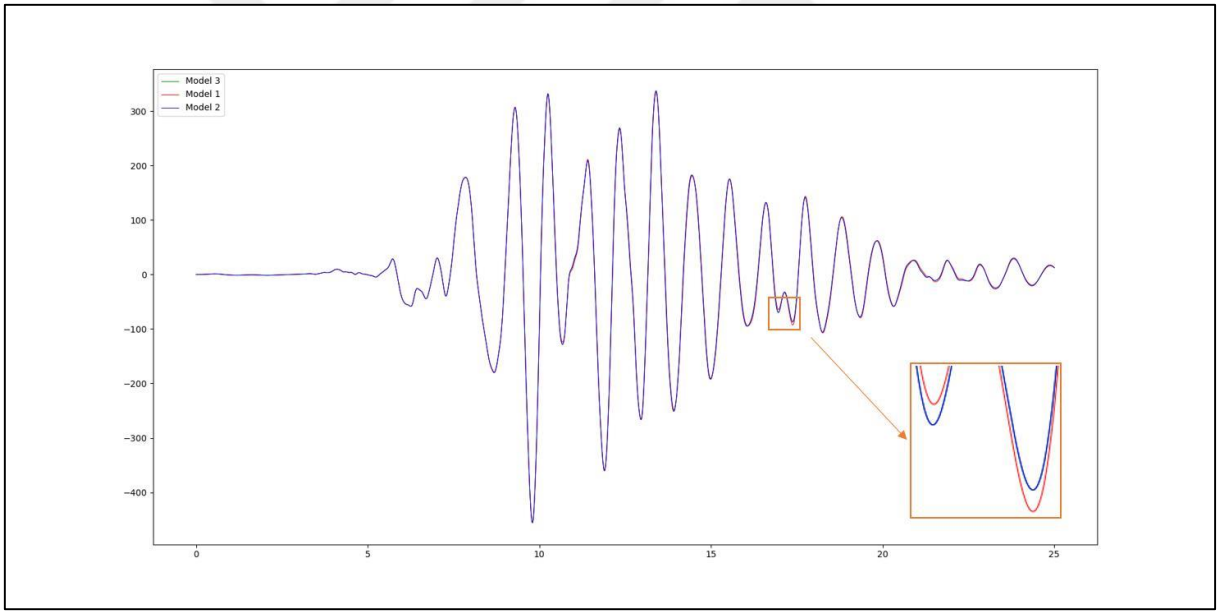
Şekil 4.60: : 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (Imperial Valley-06, RSN 165).



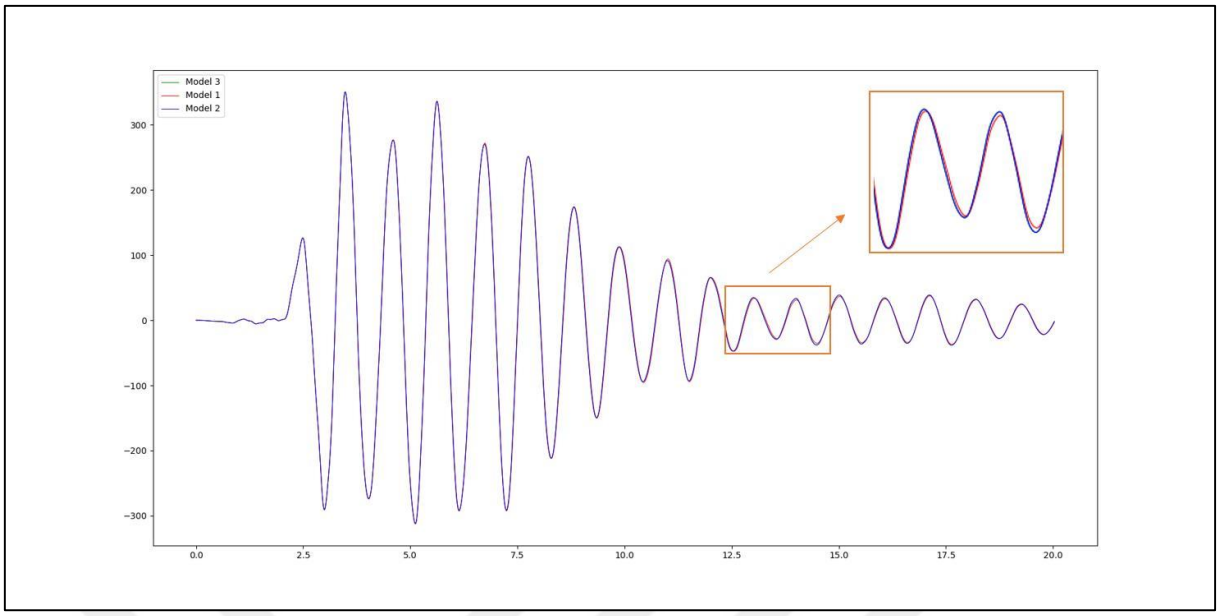
Şekil 4.61: : 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (Kobe, RSN 1108).



Şekil 4.62: : 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (Landers, RSN 879).

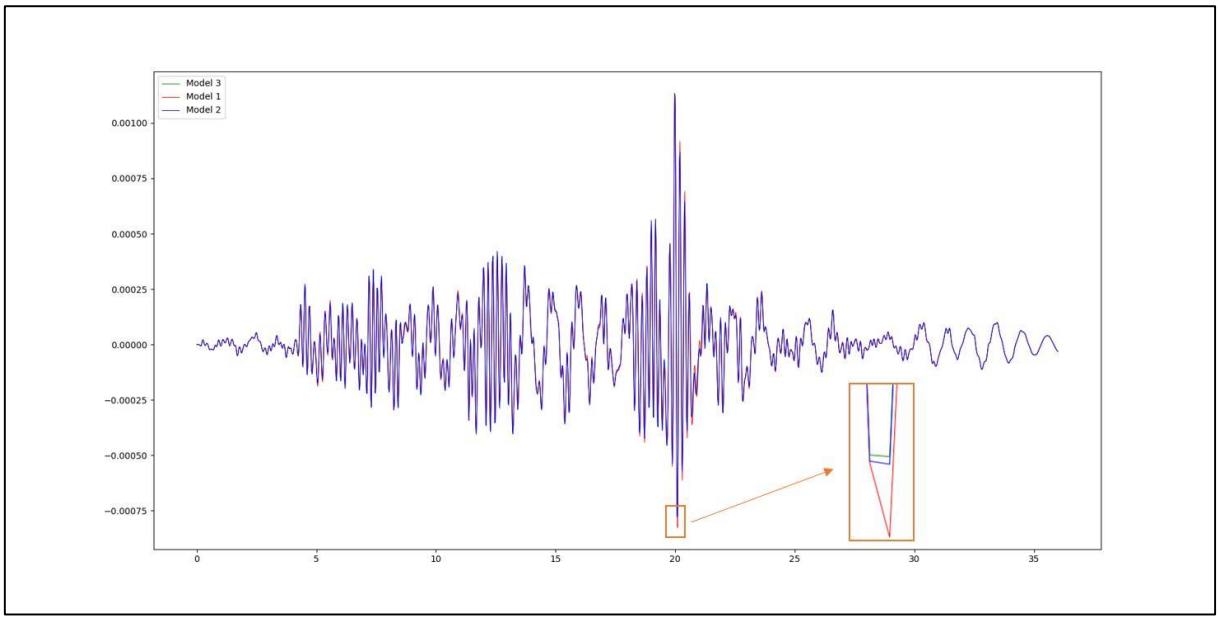


Şekil 4.63: : 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (Loma Prieta, RSN 779).

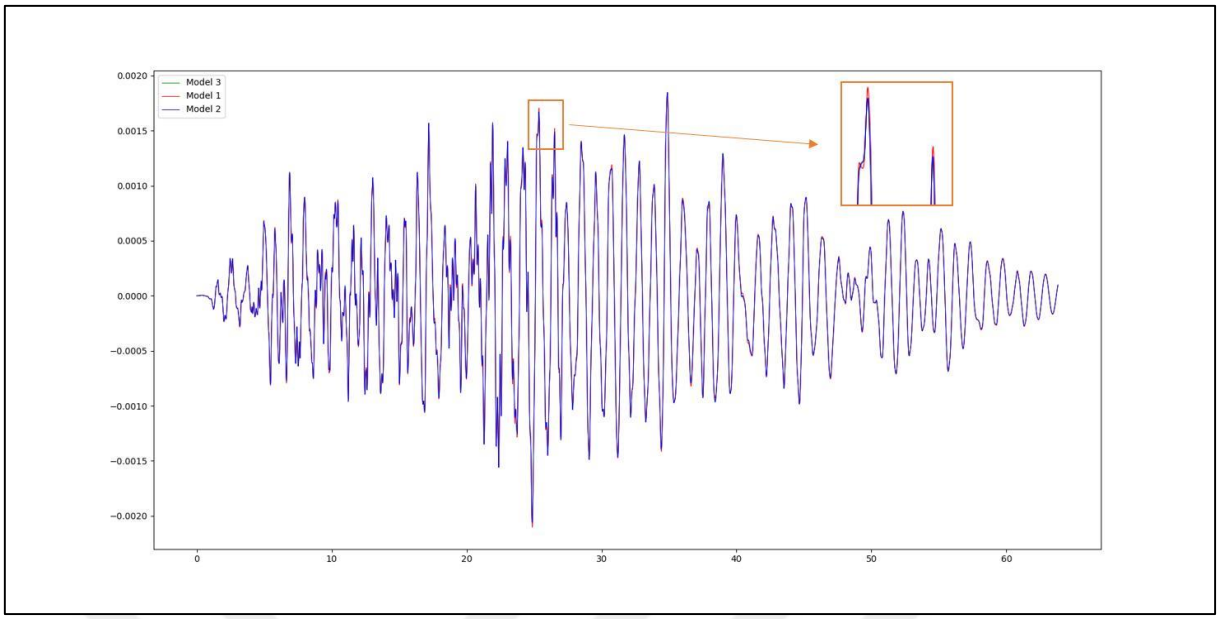


Şekil 4.64: : 12 numaralı düğüm noktasının, X eksenindeki doğrusal deplasman grafiği (N. Palm Springs, RSN 529).

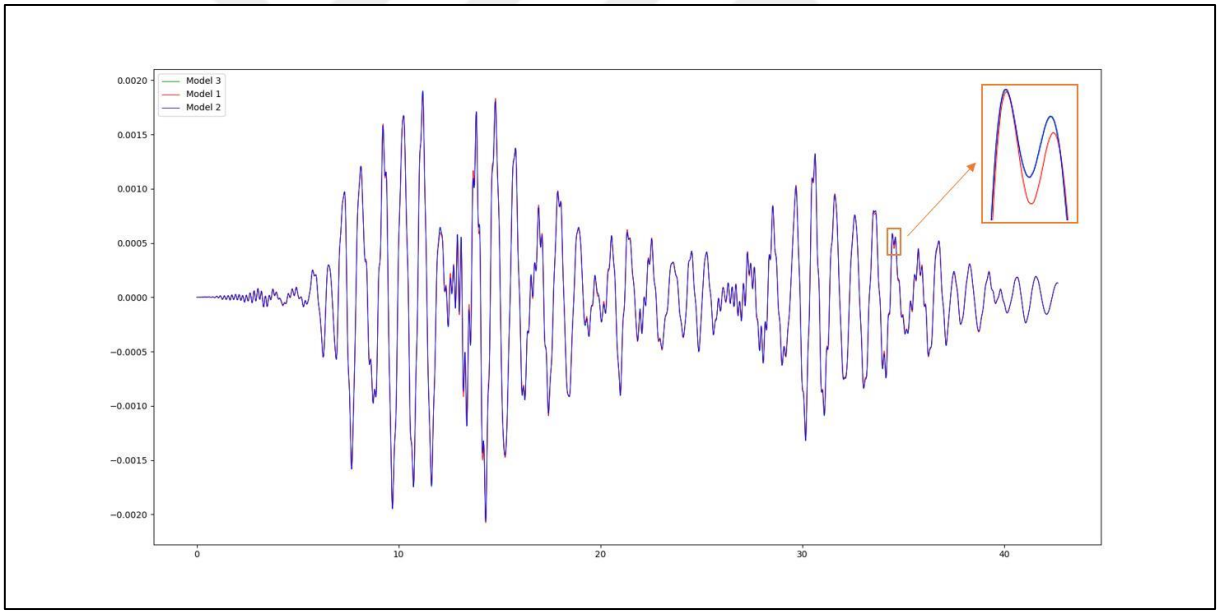
Genel olarak Şekil 4.53 – Şekil 4.64'de görüldüğü üzere, deplasman zaman grafiklerinde Model 2 ve Model 3 arasındaki fark oldukça küçük, Model 1 ise görece daha fazla deplasman yapmıştır. Şekil 4.65 – Şekil 4.79'da 12 numaralı düğüm noktasının Y ekseni etrafındaki deplasman-zaman grafikleri verilmiştir.



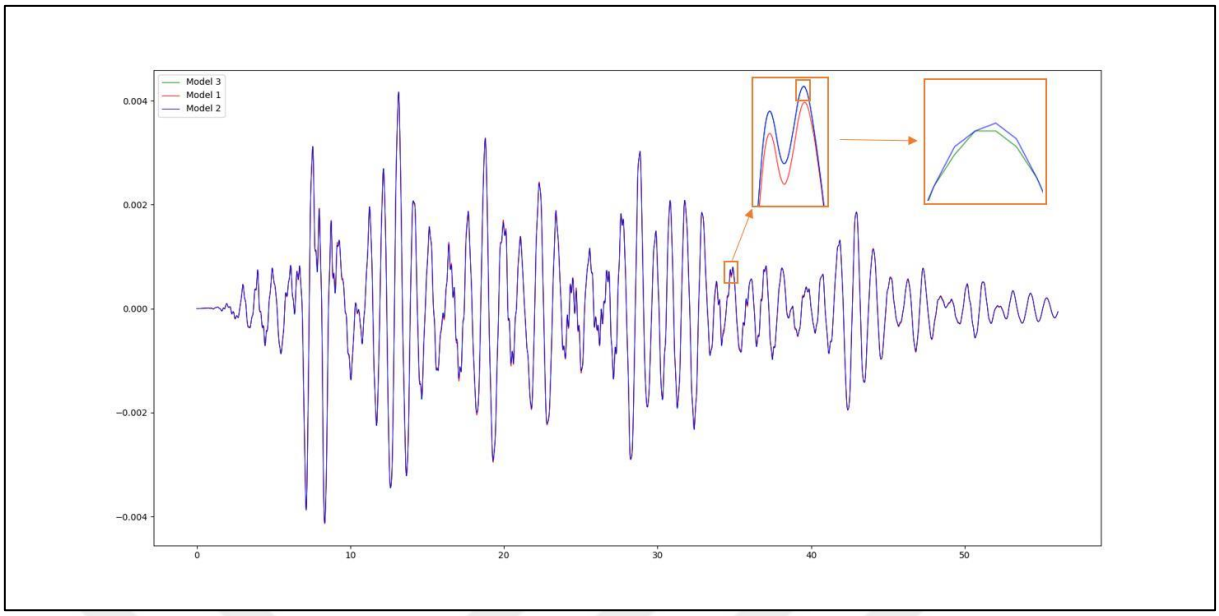
Şekil 4.65: : 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Cape Mendocino, RSN 830).



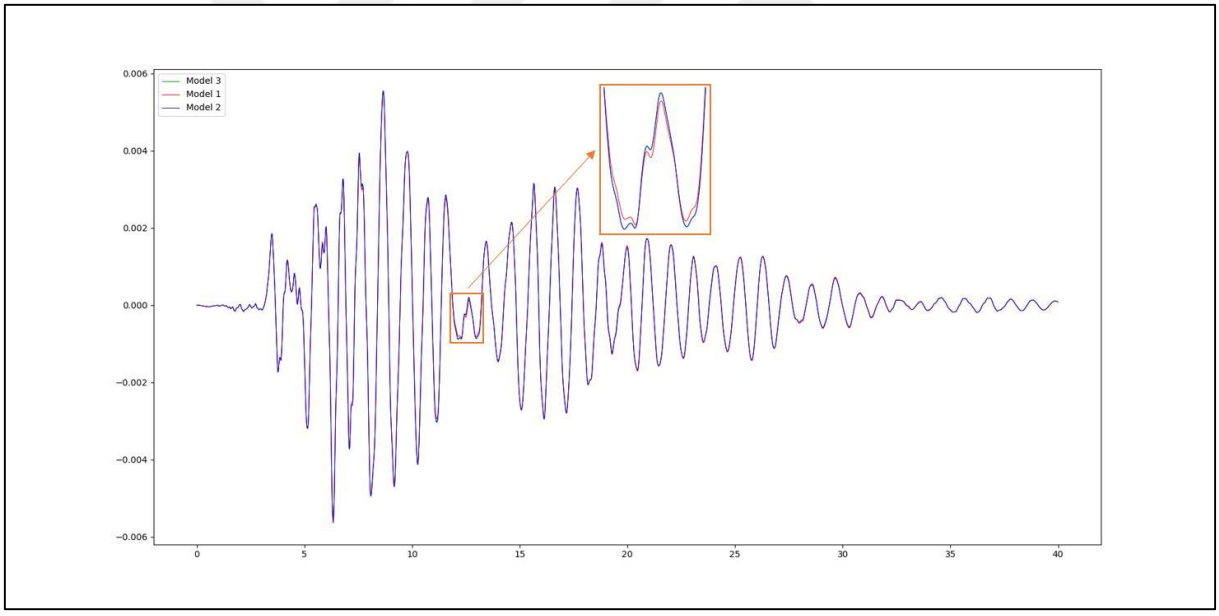
Şekil 4.66: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Imperial Valley-06, RSN 164).



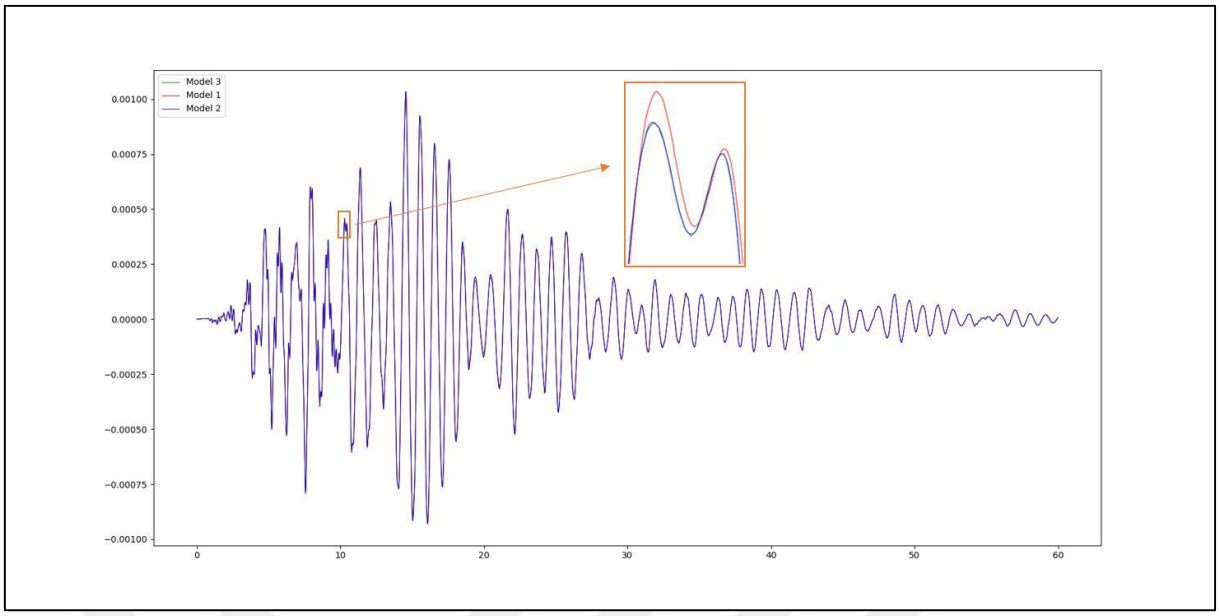
Şekil 4.67: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Irpinia Italy-01, RSN 290).



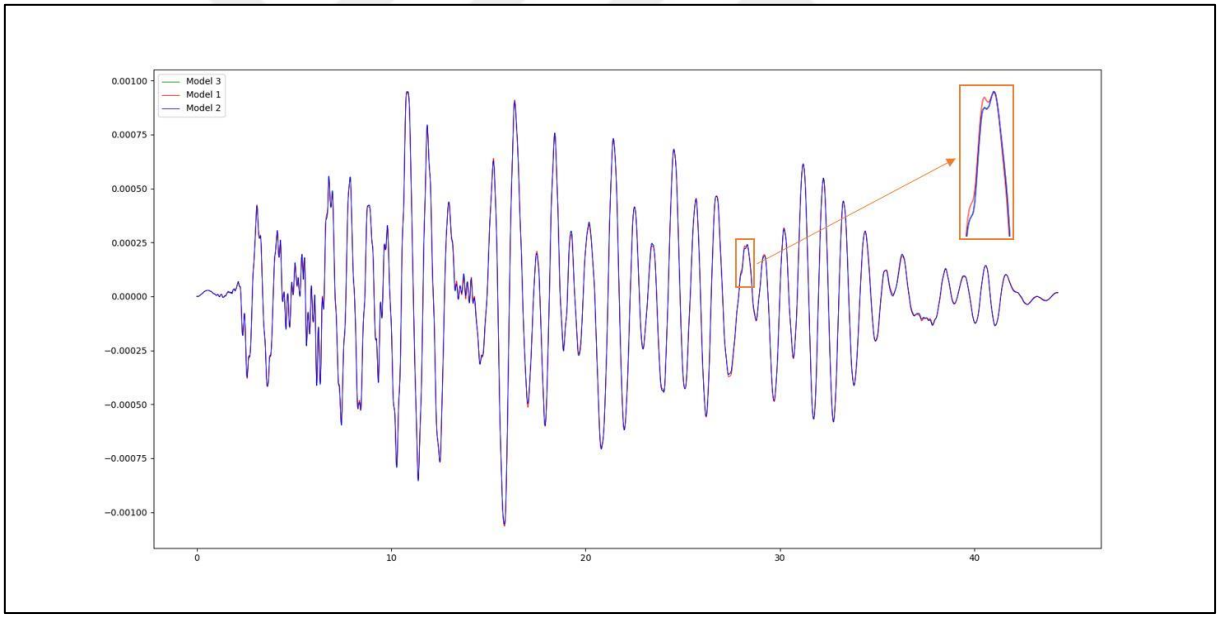
Şekil 4.68: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Landers, RSN 881).



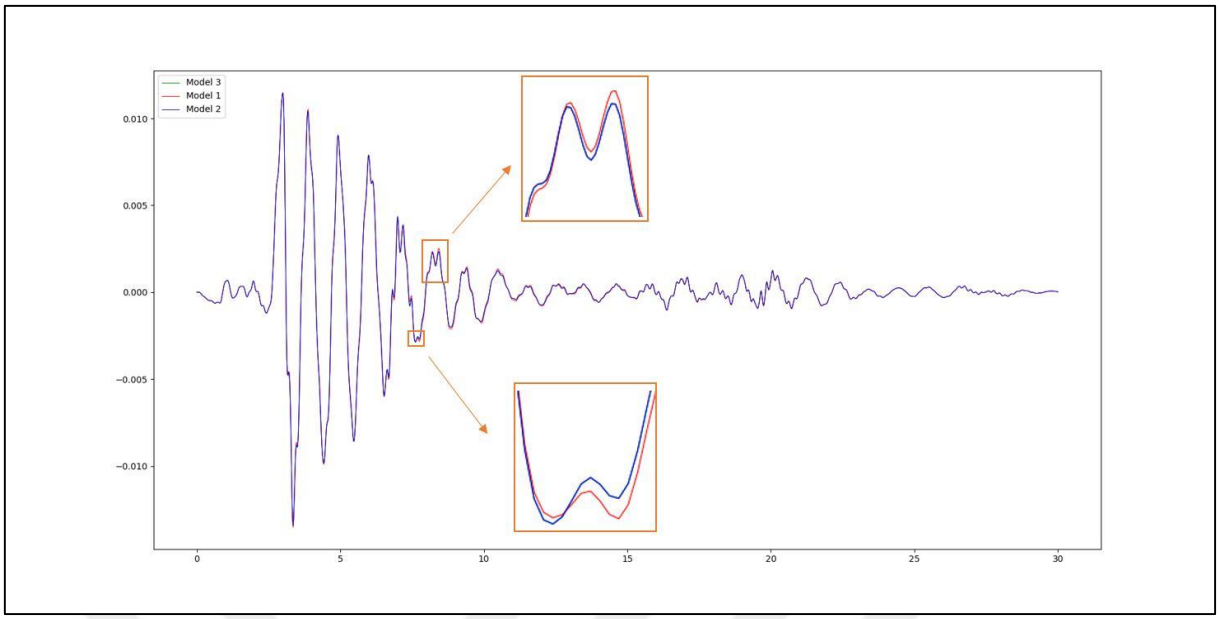
Şekil 4.69: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Loma Prieta, RSN 755).



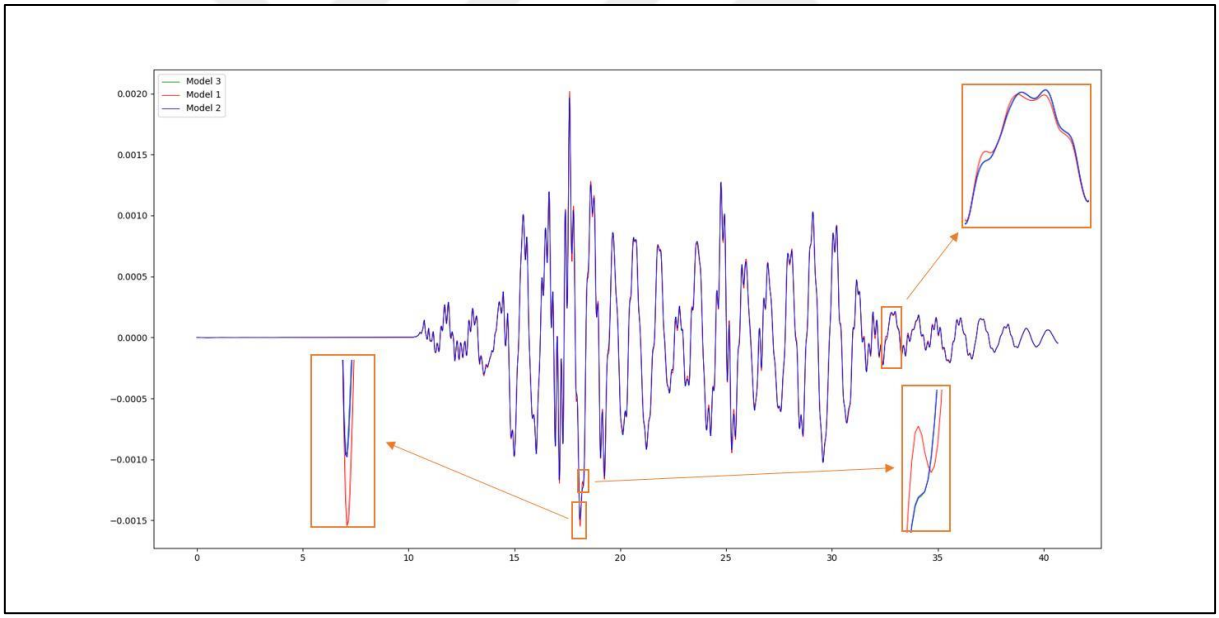
Şekil 4.70: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (N. Palm Springs, RSN 524).



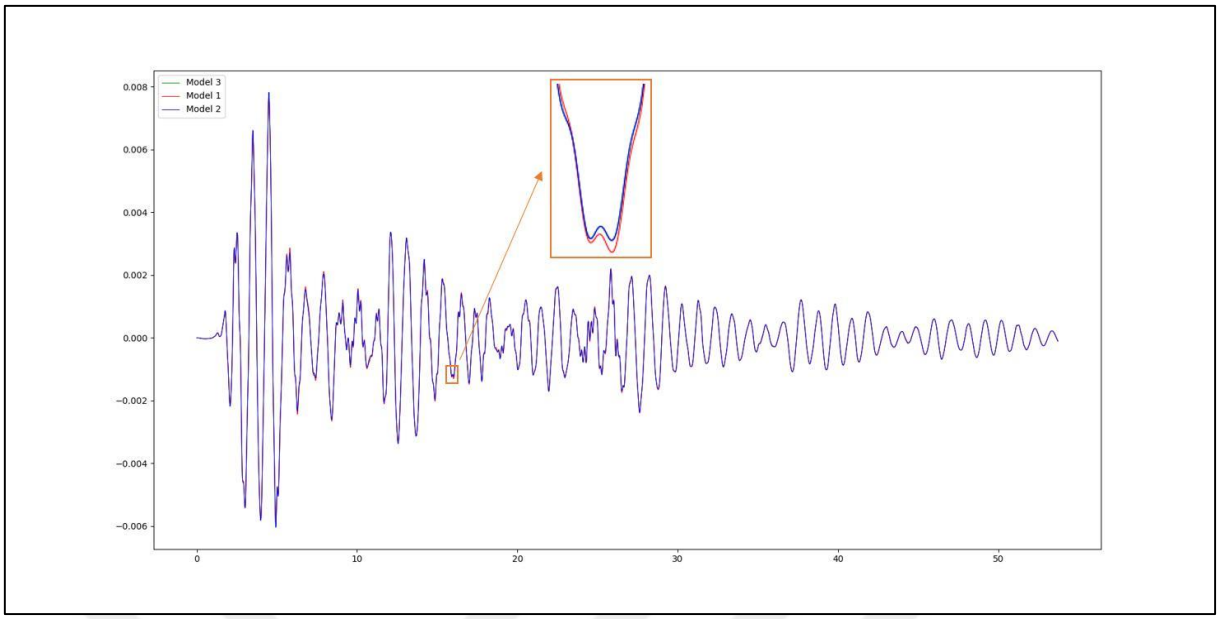
Şekil 4.71: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Parkfield, RSN 28).



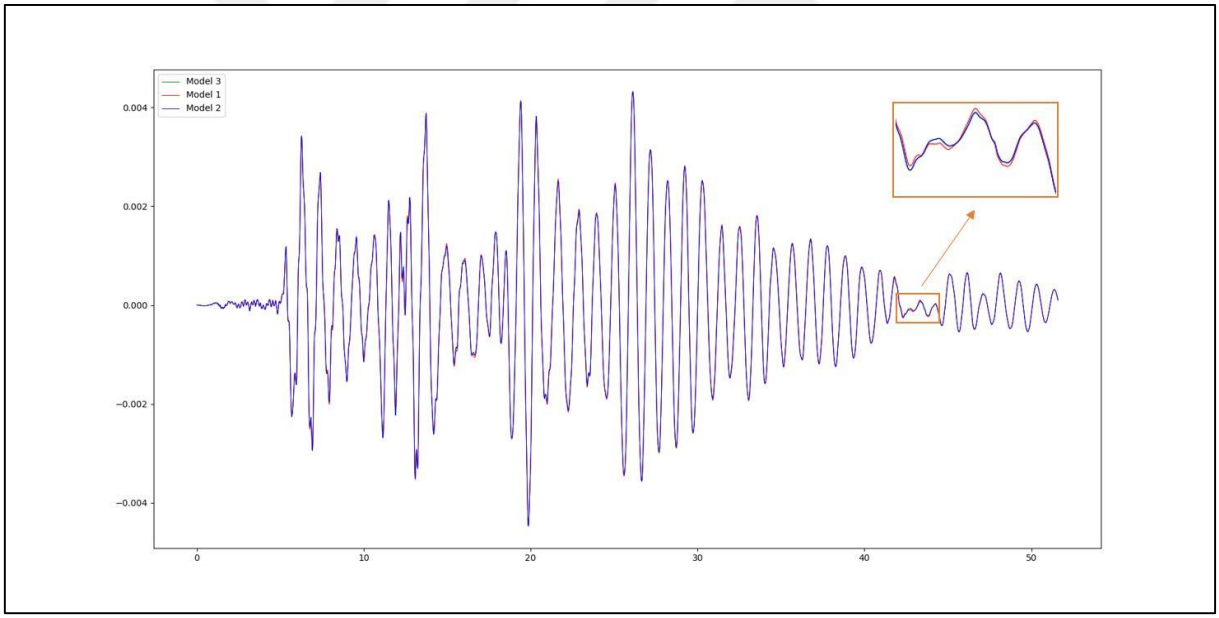
Şekil 4.72: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Cape Mendocino, RSN 825).



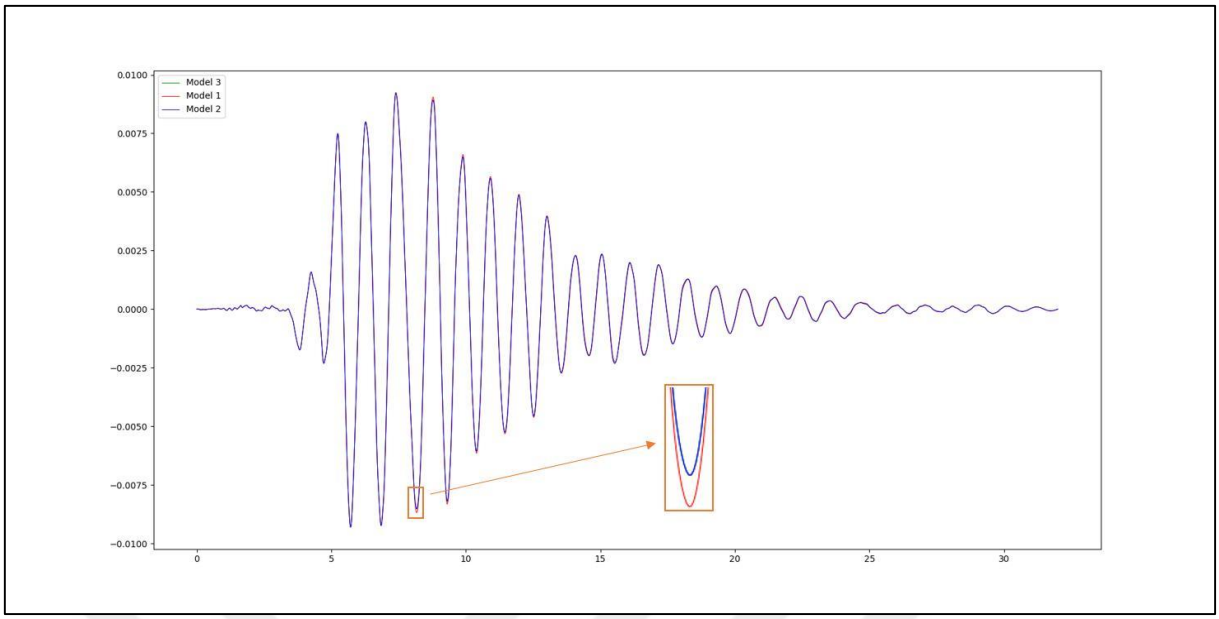
Şekil 4.73: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Duzce, RSN 1612).



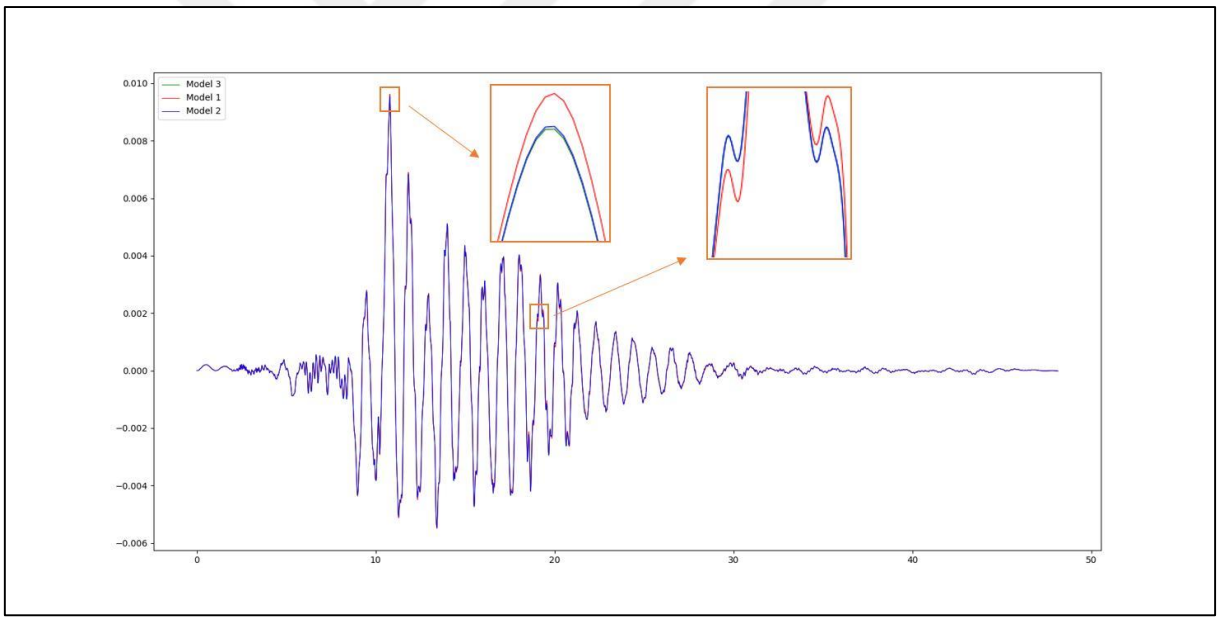
Şekil 4.74: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Imperial Valley-02, RSN 6).



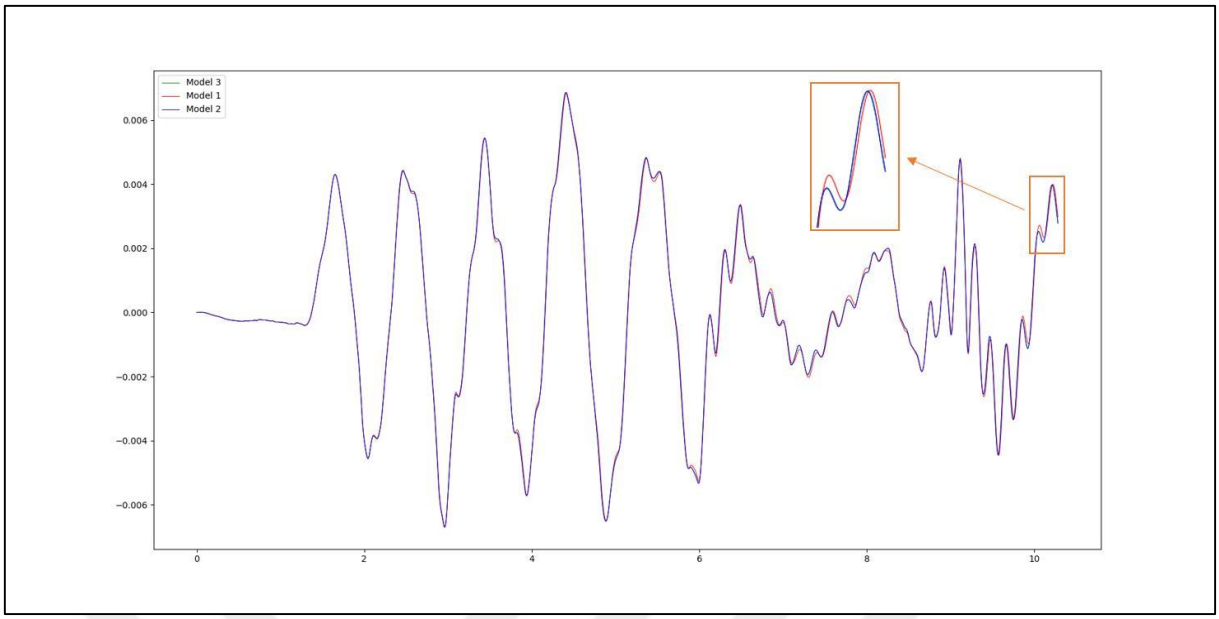
Şekil 4.75: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Imperial Valley-06, RSN 165).



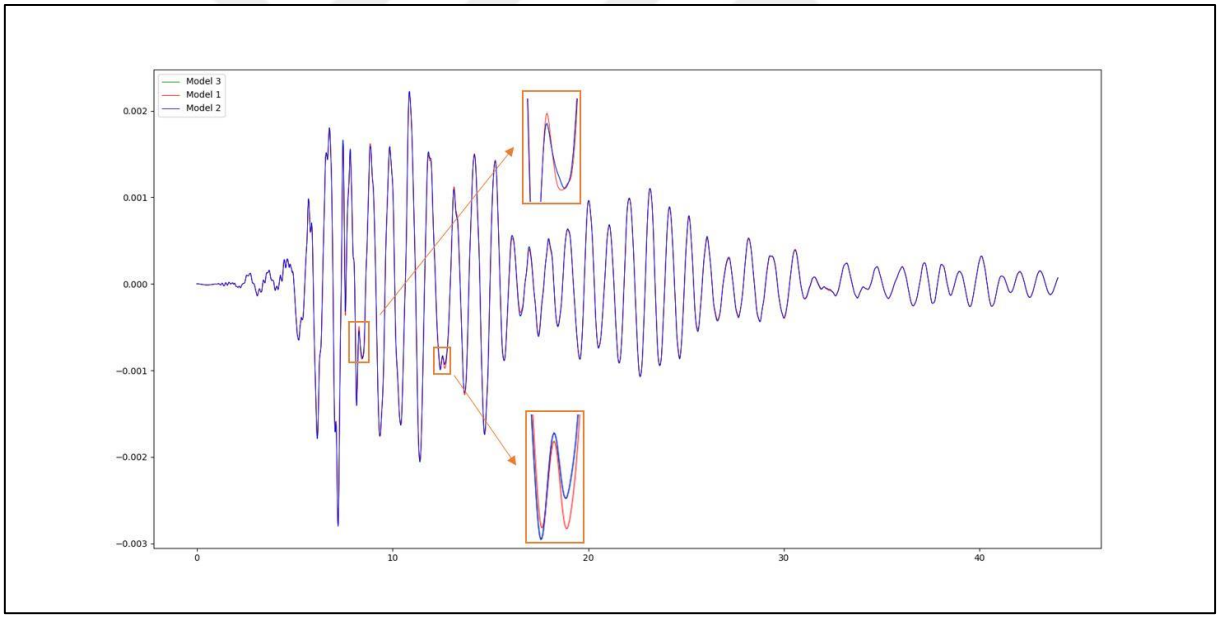
Şekil 4.76: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Kobe, RSN 1108).



Şekil 4.77: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Landers, RSN 879).



Şekil 4.78: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Nahanni, RSN 495).



Şekil 4.79: 12 numaralı düğüm noktasının, Y eksenindeki açısal deplasman grafiği (Parkfield, RSN 30).

Şekil 4.65 – Şekil 4.79'de 3 model için Y ekseninde açısal deplasmanlar verilmiştir. Grafiklerde görüldüğü üzere modeller arasındaki fark oldukça küçüktür. Bununla beraber Model 2 ve Model 3'ün yaptığı açısal deplasman değerleri, beklenenin aksine Model 1'e göre daha yakındır. Bu duruma, yuvarlama hatalarının sebep olduğu düşünülmektedir.

Çalışmanın bu aşamasından sonra yalnızca açısal bileşenlere karşılık gelen kütlelerin tanımlı olduğu Model 1 ile devam edilmiştir.

4.3. MODEL 1 İÇİN MESNET KUVVETLERİ VE İÇ KUVVET İNCELEMESİ

4.3.1. Mesnet Kuvvetleri

Tablo 4.2'de reaksiyon kuvvetlerinin zarf değerleri verilmiştir. Kuvvetlerin yönleri global eksenlerle uyumludur. Tablodaki Global Fx ve Global Fz'nin birimleri kN, Global My'nin birimleri ise kNm'dir.

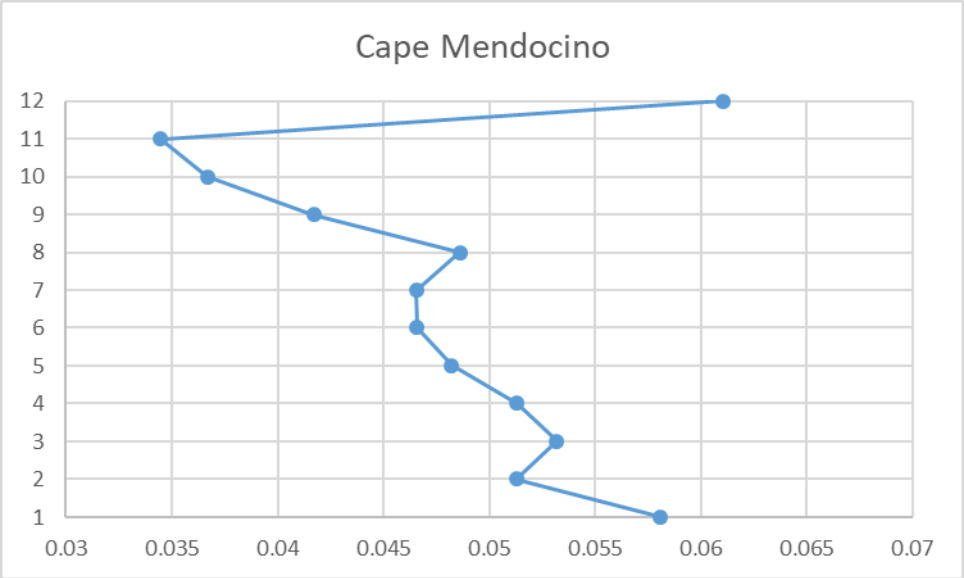
Tablo 4.2: Tabanda oluşan kuvvetler.

Deprem Adı	RSN	Max/Min	Global Fx	Global Fz	Global My
Imperial Valley-06	164	Max	240.3	2524.2	3820.0
Imperial Valley-06	164	Min	-234.2	1564.5	-3530.7
Cape Mendocino	830	Max	358.9	2210.7	3031.6
Cape Mendocino	830	Min	-380.0	1933.5	-3773.5
Chi-Chi Taiwan-03	2624	Max	34.8	2096.4	715.6
Chi-Chi Taiwan-03	2624	Min	-40.7	2012.0	-661.9
Chi-Chi Taiwan-03	2490	Max	91.1	2115.8	2774.3
Chi-Chi Taiwan-03	2490	Min	-102.1	2005.6	-2571.3
Irpinia Italy-01	290	Max	225.1	2150.4	4120.0
Irpinia Italy-01	290	Min	-189.0	1944.6	-3379.3
Landers	881	Max	305.5	2481.2	6559.2
Landers	881	Min	-349.8	1505.9	-7122.0
Loma Prieta	755	Max	435.2	2224.4	9428.9
Loma Prieta	755	Min	-431.0	1828.3	-9177.1
N. Palm Springs	524	Max	74.5	2159.1	1652.5
N. Palm Springs	524	Min	-82.2	1964.2	-1742.5
Parkfield	28	Max	89.9	2188.7	2033.9
Parkfield	28	Min	-85.8	1903.0	-1921.8
San Fernando	88	Max	163.8	2185.2	4303.9
San Fernando	88	Min	-165.1	1896.6	-4182.9
Imperial Valley-02	6	Max	601.9	2327.0	12121.9
Imperial Valley-02	6	Min	-538.2	1657.7	-12042.7
Parkfield	30	Max	350.9	2446.8	5059.8
Parkfield	30	Min	-374.4	1582.0	-3784.2
San Fernando	77	Max	1492.3	3533.9	37725.7
San Fernando	77	Min	-1418.5	299.8	-35771.8
Imperial Valley-06	165	Max	324.7	2616.7	7450.7
Imperial Valley-06	165	Min	-417.8	1535.4	-7564.2
N. Palm Springs	529	Max	1292.2	3095.3	23072.6
N. Palm Springs	529	Min	-1147.4	1216.0	-25464.1
Loma Prieta	779	Max	1222.1	3503.1	30054.0
Loma Prieta	779	Min	-1169.4	-412.5	-22595.6
Cape Mendocino	825	Max	1585.3	3746.2	24730.6
Cape Mendocino	825	Min	-1156.0	-544.5	-20636.2
Landers	879	Max	867.9	4169.3	10805.2
Landers	879	Min	-1176.4	-214.2	-19212.7
Kobe	1108	Max	709.4	3068.6	16655.9
Kobe	1108	Min	-812.4	1334.2	-17433.0
Chi-Chi Taiwan	1231	Max	1856.5	3751.1	56595.8
Chi-Chi Taiwan	1231	Min	-1768.0	1151.0	-54651.5
Duzce	1612	Max	266.3	2327.8	3165.8
Duzce	1612	Min	-359.8	1805.1	-4436.6
Imperial Valley-06 (El Centro)	181	Max	550.0	7358.1	13015.9
Imperial Valley-06 (El Centro)	181	Min	-633.1	-1546.2	-13343.1
Nahanni	495	Max	1302.2	7649.8	11798.2
Nahanni	495	Min	-914.5	445.8	-11875.7

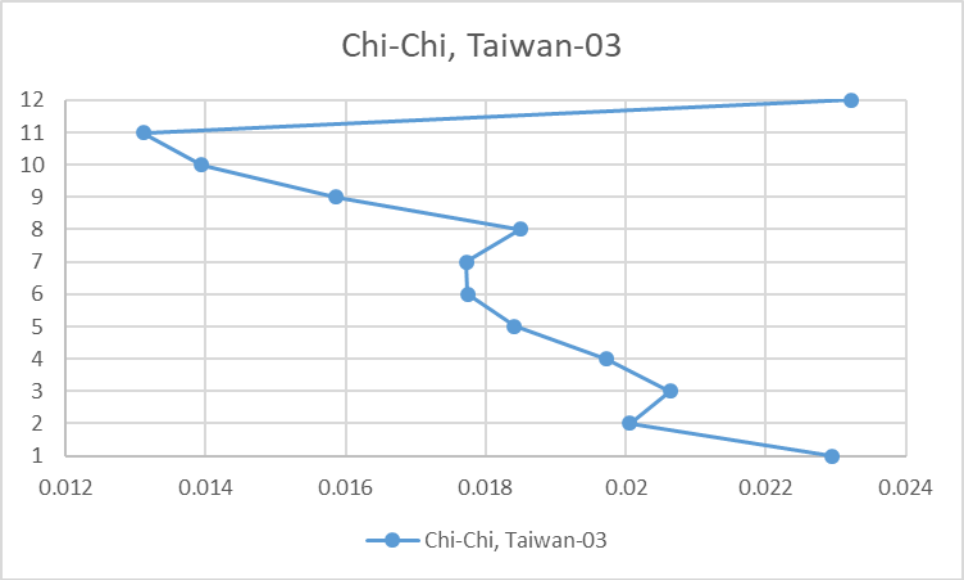
4.3.2. Eksenel Kuvvet İncelemesi

Deprem dalgalar halinde yayılmaktadır. Deprem dalgalarının periyodu ile minarenin düşey periyodu uyum gösterebilir. Bu uyum sonucunda yapı, rezonansa girebilir ve eksenel iç kuvvetlerde hızlı bir büyüme gerçekleşebilir. Eksenel kuvvetlerini büyümesi sonucunda yapıda çatlamalar veya göçme durumu meydana gelebilir. Bu sebeple düşey deprem hareketinin araştırılması gerekmektedir. Bu durum araştırılırken ilk olarak yapıdaki her bir nokta için eksenel çekme kuvvetinin en yüksek değeri, o noktanın üzerinde kalan zati yüke (kümülatif zati yük) oranlanmıştır. Bu oranın birden büyük olması, eksenel çekme kuvvetinin, o noktadaki kümülatif zati yükten büyük olması demektir ve bu durumda yapıda çekme gerilmeleri oluşacaktır. Yapıda oluşan çekme gerilmelerinin beton çekme dayanımını geçmesi durumunda, eğer yapıda yeterli miktarda donatı bulunmuyorsa, o noktada çatlamalar görülebilir. Bina türü yapıların aksine minare gibi izostatik konsol davranış gösteren yapılarda bu tür çatlaklar, ciddi sonuçlar oluşturabilir. Bu sebepten ötürü eksenel çekme kuvvetinin yapı boyunca aldığı maksimum değerlerin, kümülatif zati yüke oranını gösteren grafikler oluşturulmuş ve bu oranın karakteristik bir davranış sergileyip sergilemediği araştırılmıştır.

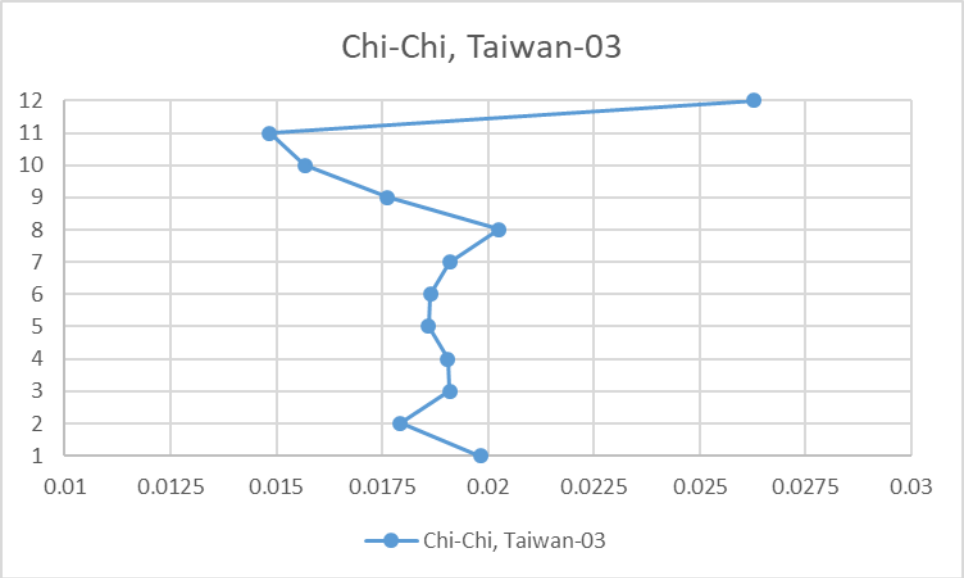
Şekil 4.80 – Şekil 4.89'da 10 adet uzak fay, Şekil 90 - Şekil 102'de 13 adet yakın fay depreminin grafikleri gösterilmiştir. Bu grafiklerde her bir düğüm noktasında bulunan eksenel çekme kuvvetinin, o düğüm noktasının üzerinde kalan kütleye oranı gösterilmiştir. Bu grafiklerin düşey ekseni düğüm noktası numarasını verirken, yatay eksen eksenel kuvvetin (çekme) kütleye oranını vermektedir. Bu oranının 1'i geçtiği noktalarda eksenel çekme kuvveti oluşmakta, bu durum belirtilen noktadaki donatı detayını önemli kılmaktadır. Ara değerler için eğri uydurma işlemi yapılmamıştır. Düğüm noktaları numaraları aşağıdan yukarıya doğru artmaktadır.



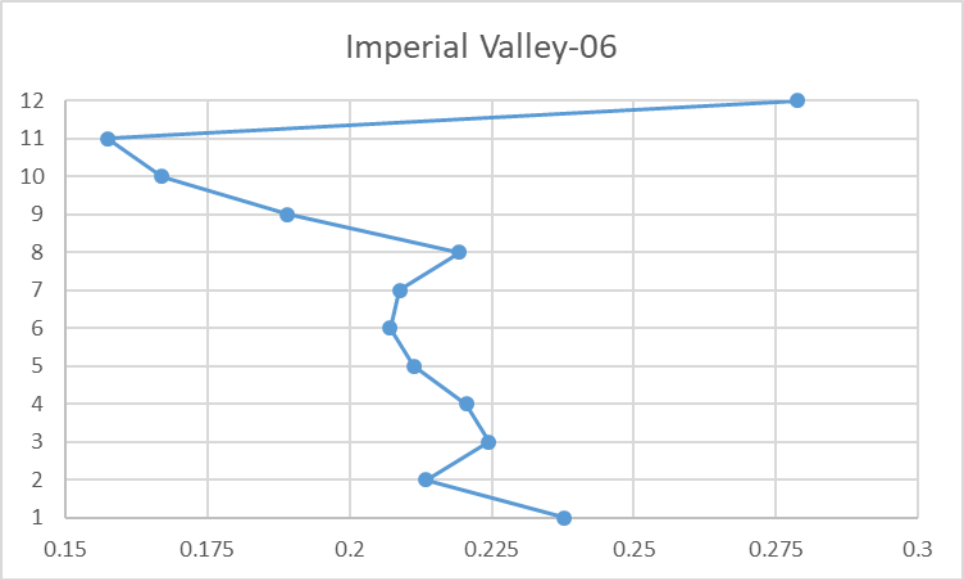
Şekil 4.80: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (uzak fay depremi).



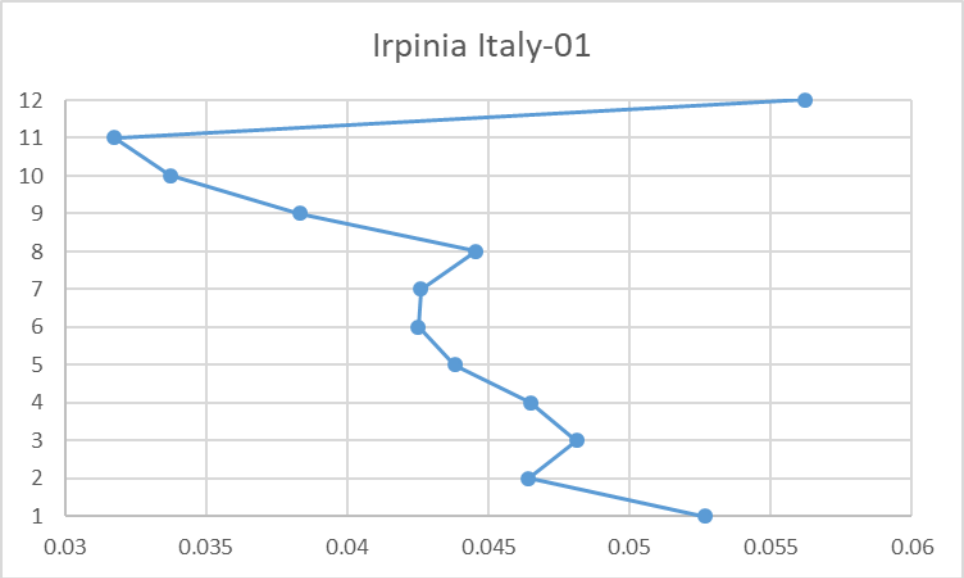
Şekil 4.81: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (uzak fay depremi).



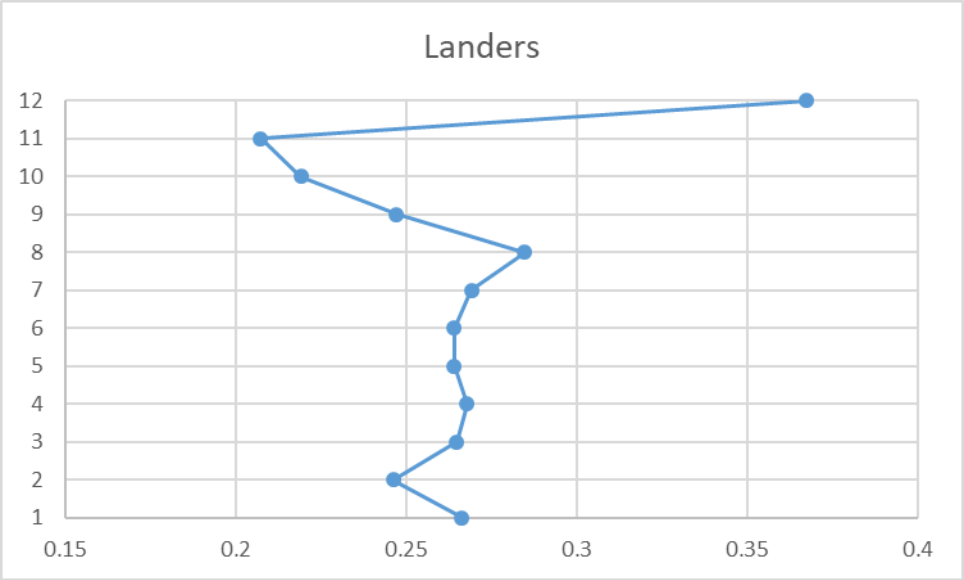
Şekil 4.82: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (uzak fay depremi).



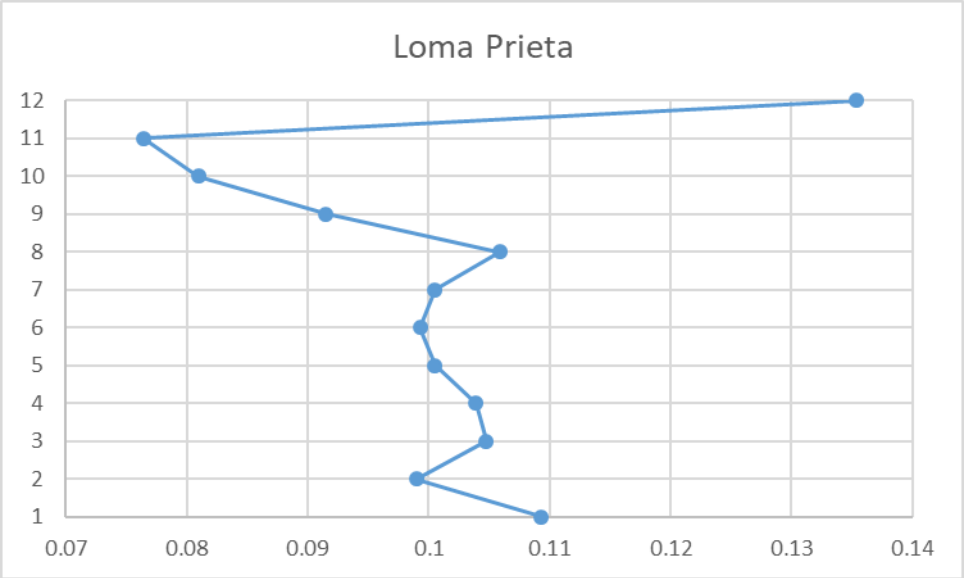
Şekil 4.83: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (uzak fay depremi).



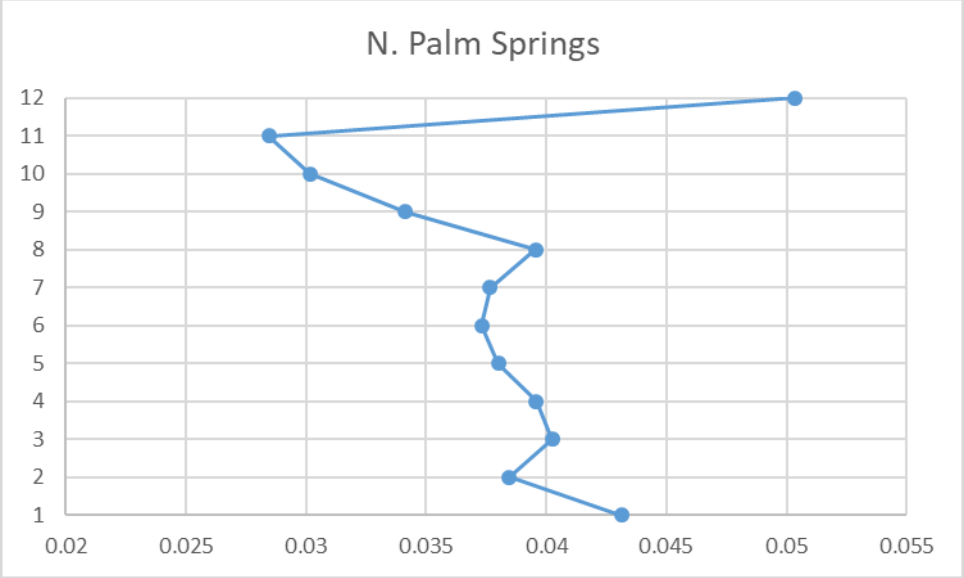
Şekil 4.84: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (uzak fay depremi).



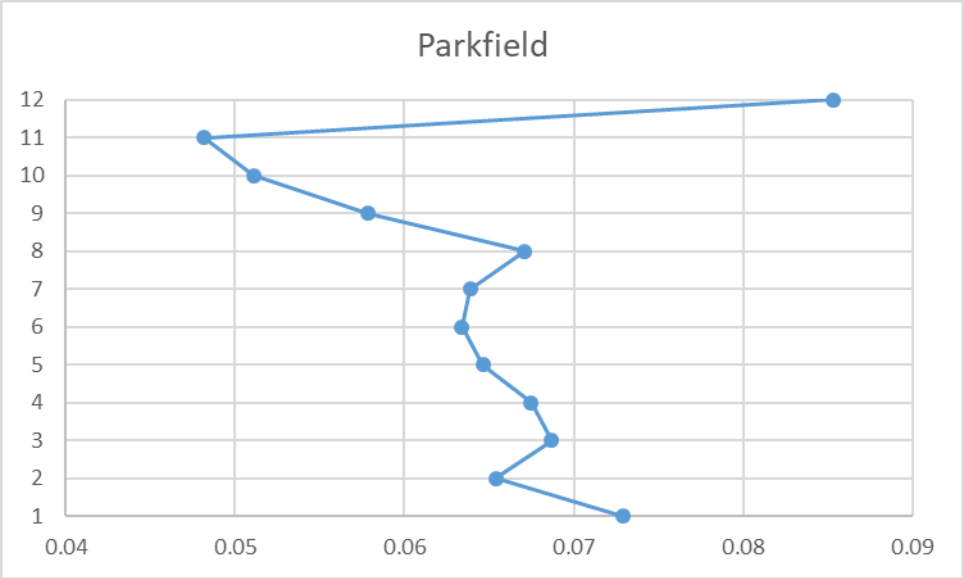
Şekil 4.85: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (uzak fay depremi).



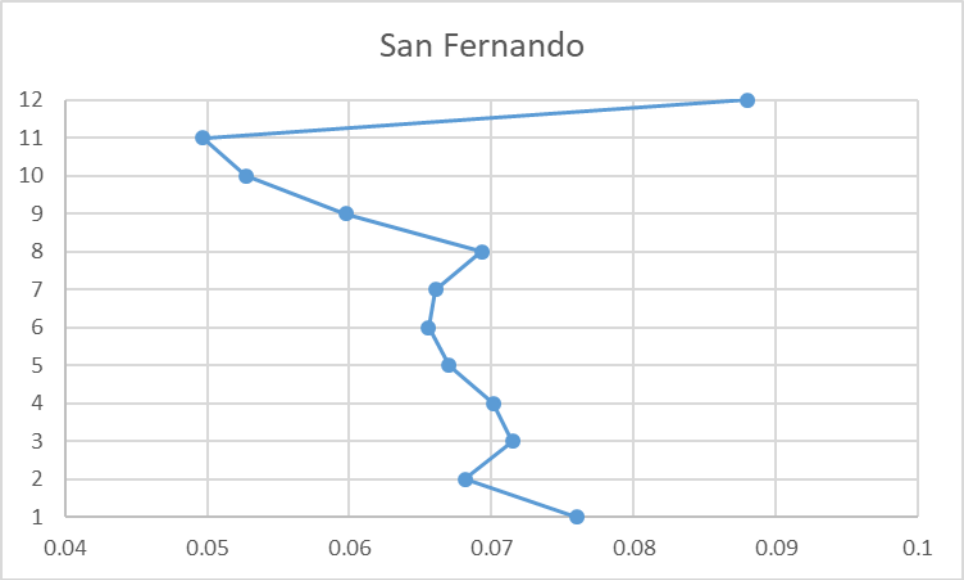
Şekil 4.86: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (uzak fay depremi).



Şekil 4.87: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (uzak fay depremi).

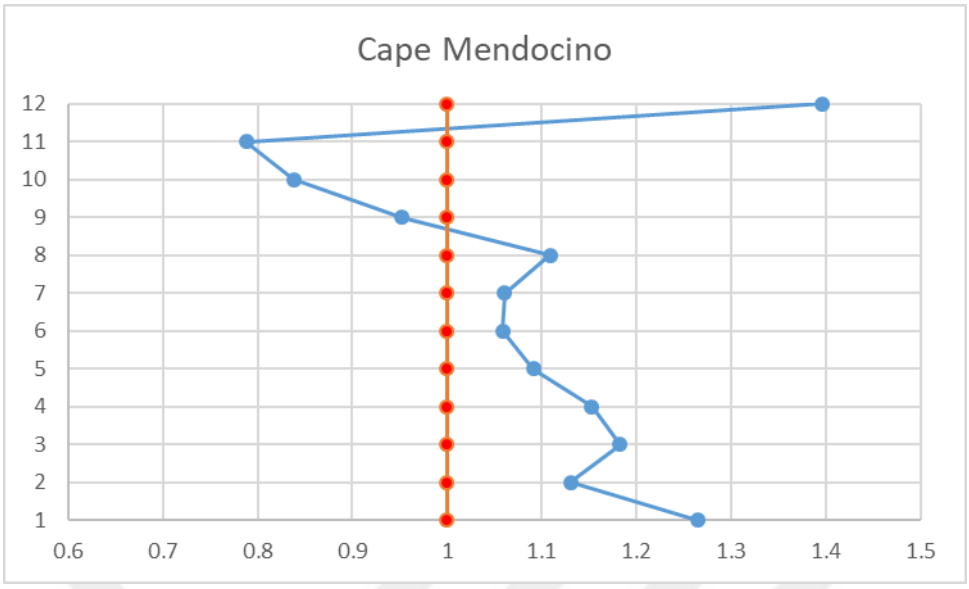


Şekil 4.88: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (uzak fay depremi).

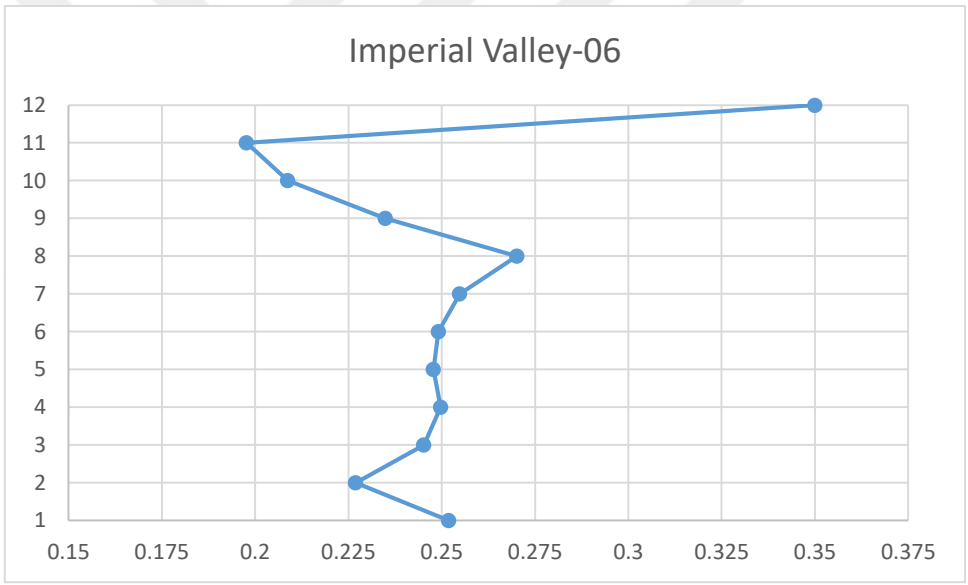


Şekil 4.89: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (uzak fay depremi).

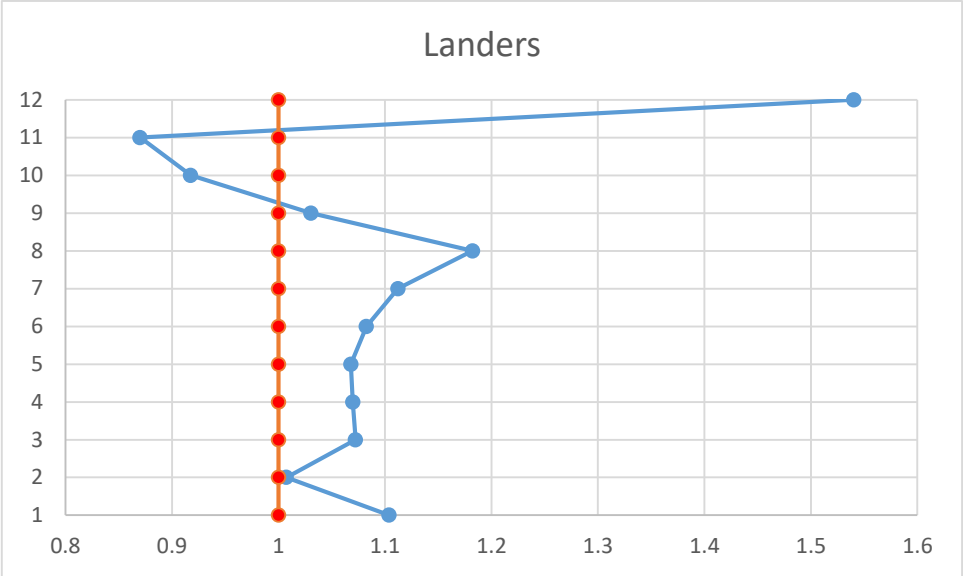
Şekil 4.80 – Şekil 4.89'da görüldüğü üzere, genel olarak 1, 3, 8 ve 12 numaralı birleşim bölgelerinde eksenel kuvvet'in zati yüke oranının pik yaptğı görülmektedir. Bu noktalar, yapı-zemin etkileşiminin gerçekleştiği mesnet noktasını (1 numaralı düğüm noktası), geçiş elemanı olan kürsünün alt ucunu (3 numaralı düğüm noktası), alttaki şerefenin kapısının üst kısmını (8 numaralı düğüm noktası) ve külahla peteğin birleştiği noktayı (12 numaralı düğüm noktası) ifade etmektedir. Uzak fay depremlerin bahsedilen oranı 1'i geçmemiştir. Bununla beraber grafiklerde karakteristik bir davranış elde edilmiştir. Şekil 4.90 – Şekil 4.102'de aynı grafikler yakın fay depremleri için de verilmiştir.



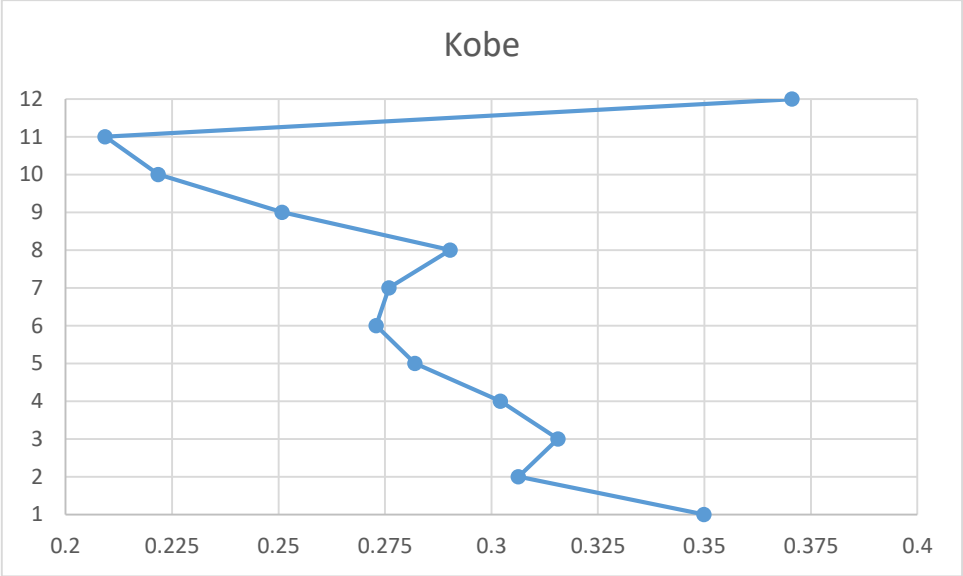
Şekil 4.90: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi).



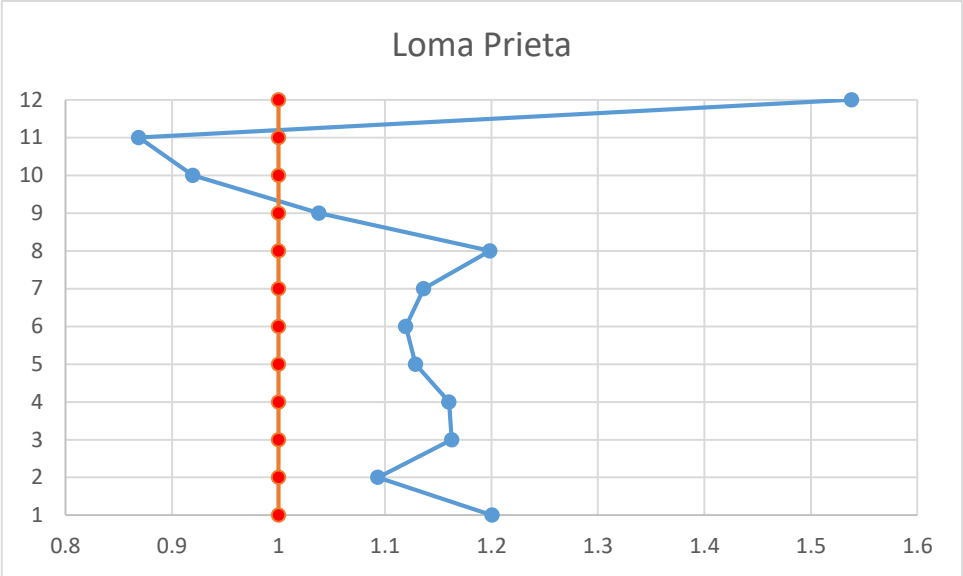
Şekil 4.91: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi).



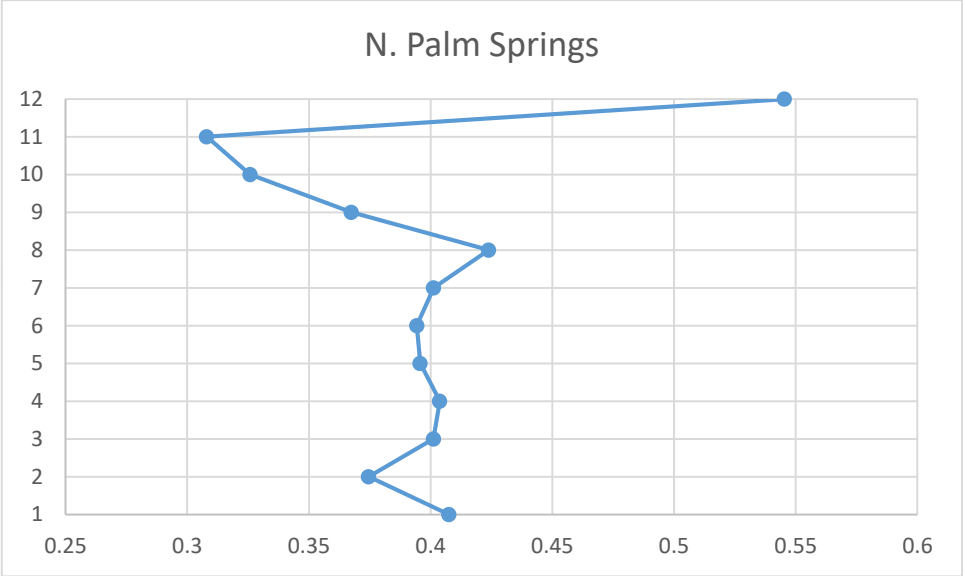
Şekil 4.92: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi).



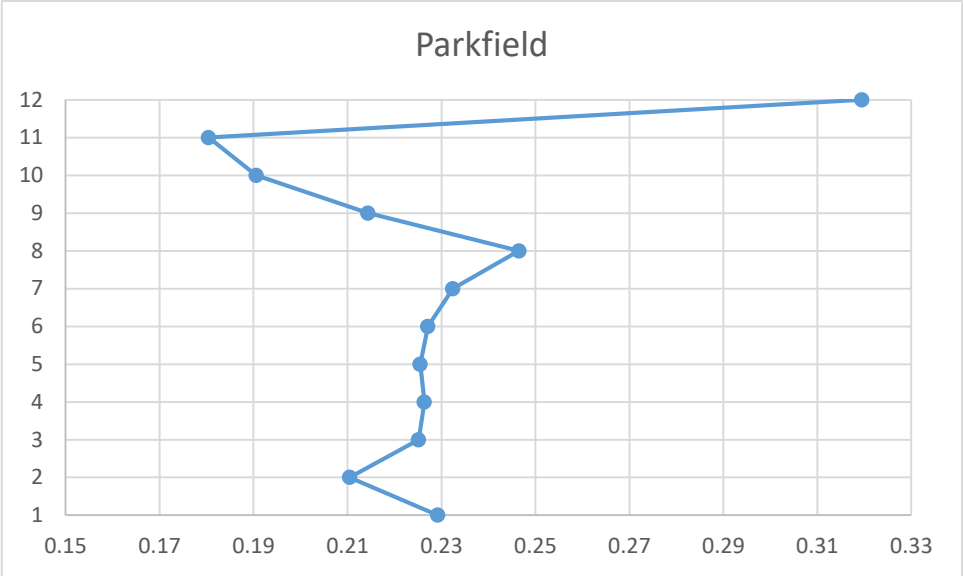
Şekil 4.93: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi).



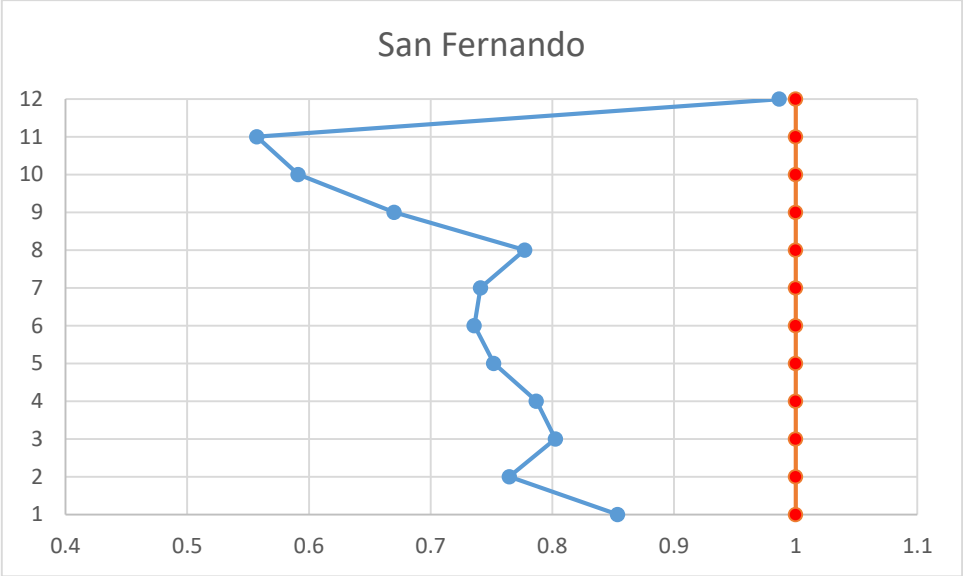
Şekil 4.94: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi).



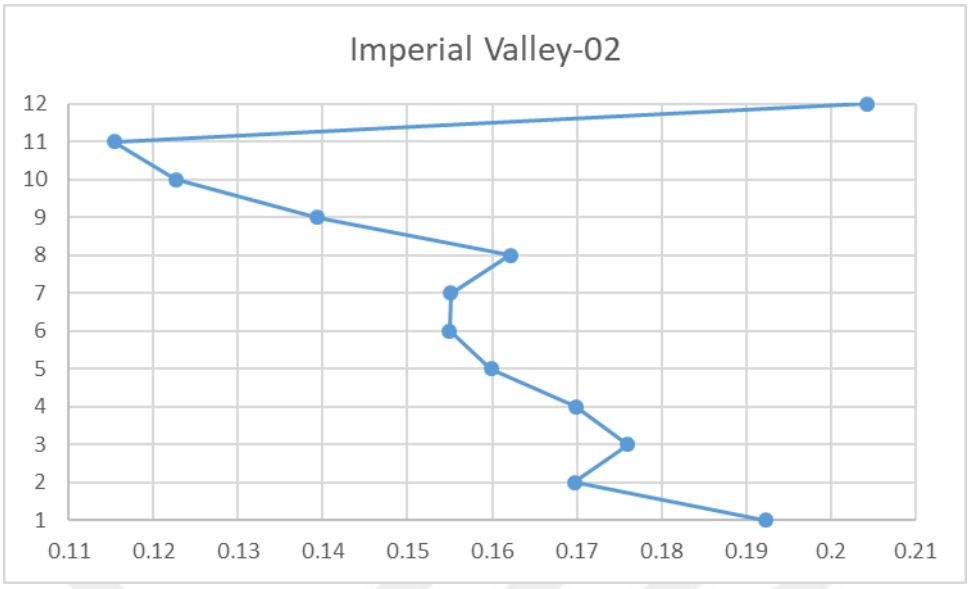
Şekil 4.95: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi).



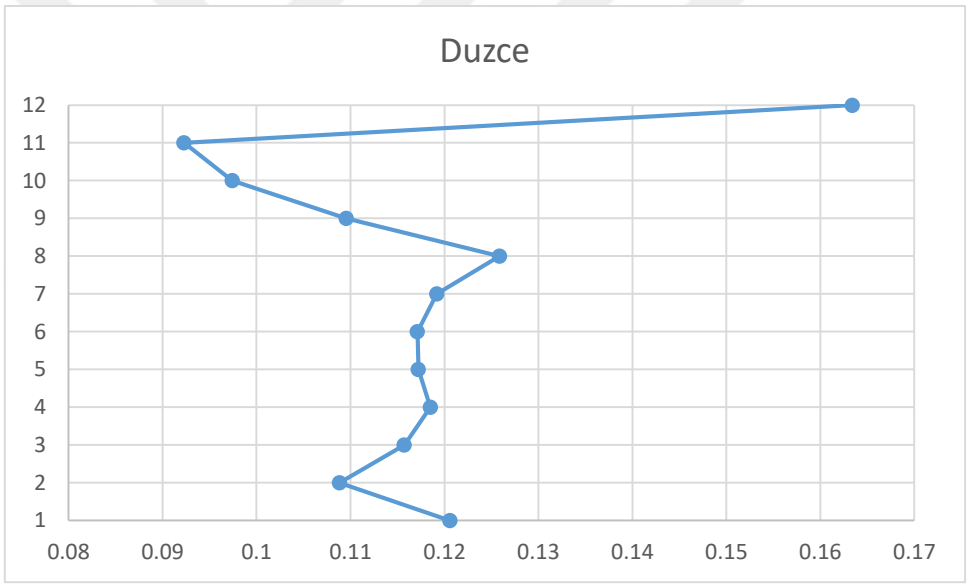
Şekil 4.96: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi).



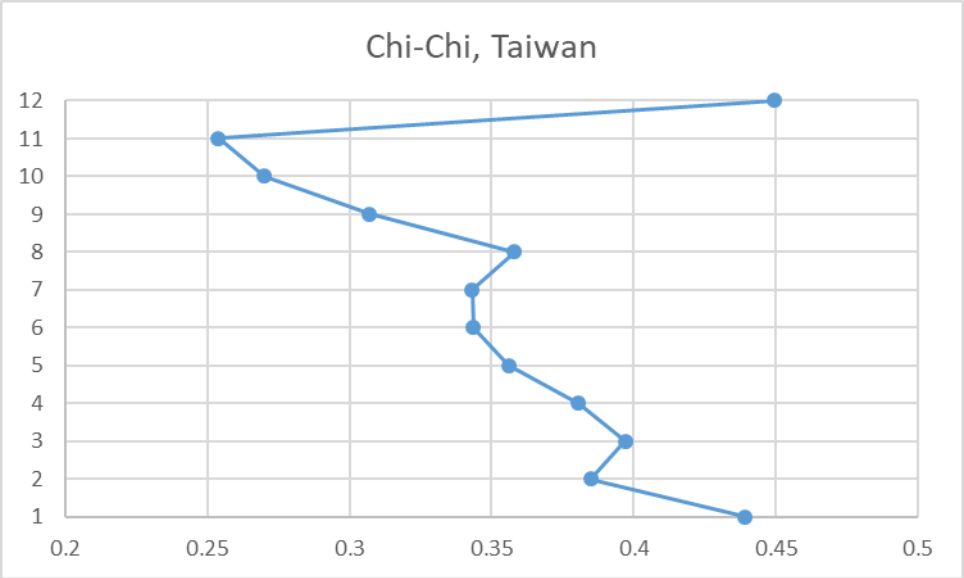
Şekil 4.97: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi).



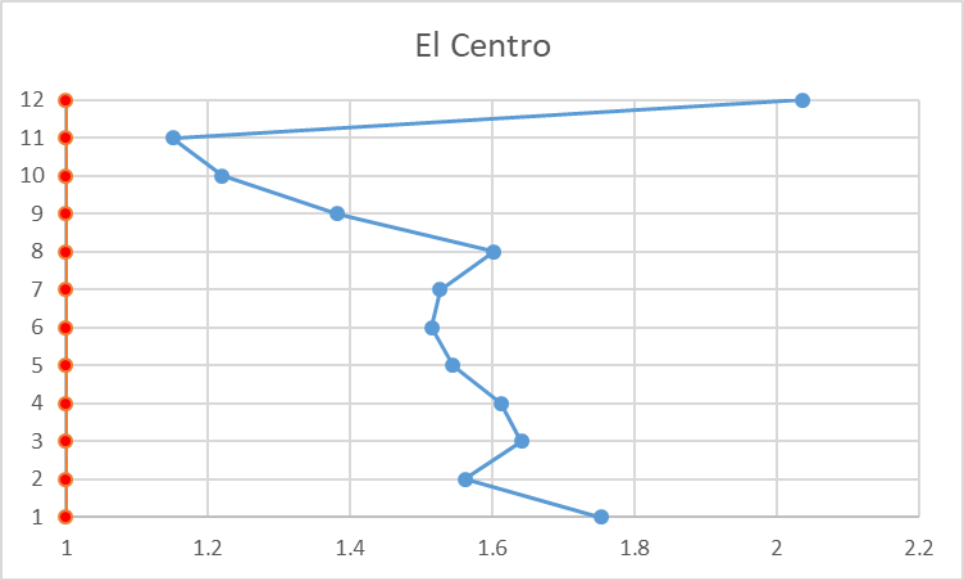
Şekil 4.98: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi).



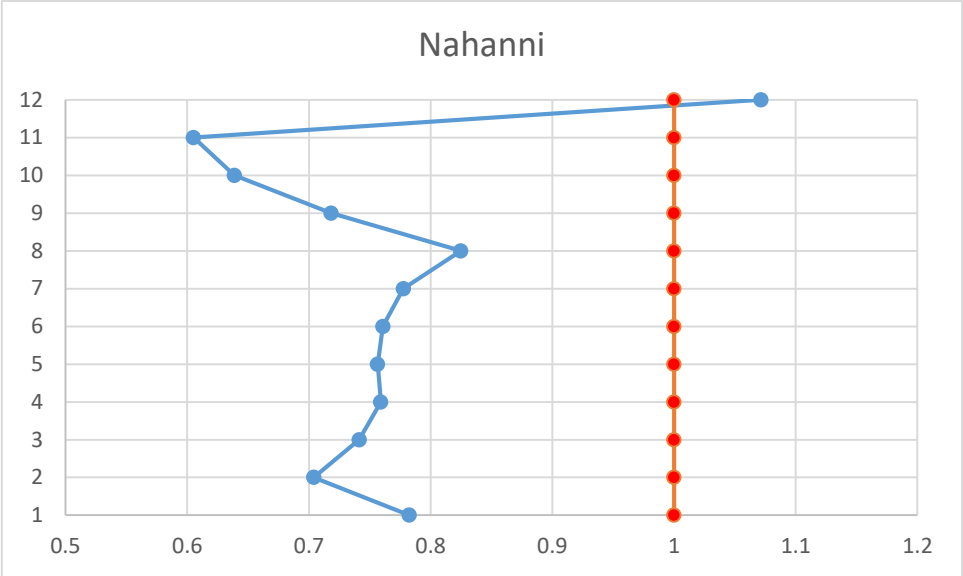
Şekil 4.99: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi).



Şekil 4.100: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi).



Şekil 4.101: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi).



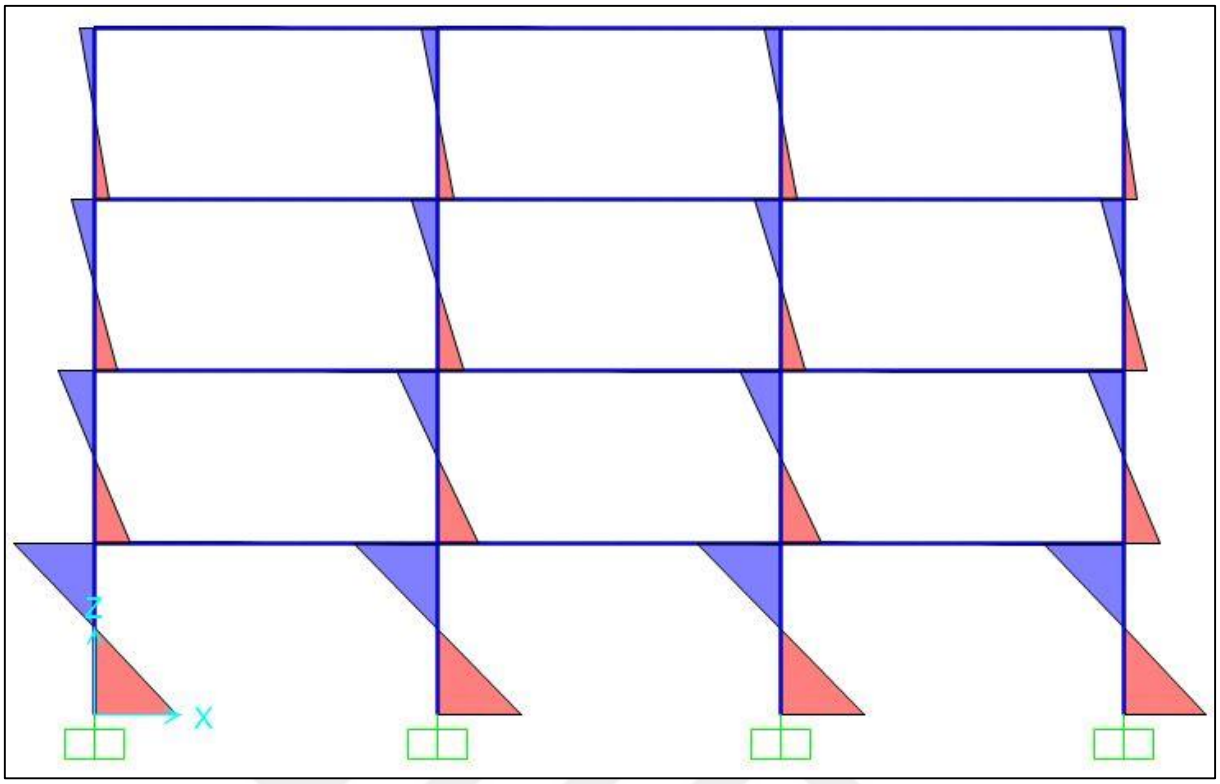
Şekil 4.102: Eksenel kuvvetin zati yüke oranı (yakın fay depremi).

Şekil 4.90 - Şekil 4.102'de verilen grafiklerde, yakın fay depremleri için eksenel çekme kuvvetinin, o nokta üzerinde kalan zati yüke oranı gösterilmektedir. Her ne kadar grafikte gösterilen oranlar, uzak fay depremlerine göre fazla olsada, grafiklerin karakteristik davranışları, uzak fay depremininkine benzerdir. Pik noktaları olarak 1, 3, 8 ve 12 numaralı düğüm noktaları öne çıkmaktadır.

4.3.3. Eğilme Davranışının İncelenmesi ve Zarf Moment Grafikleri

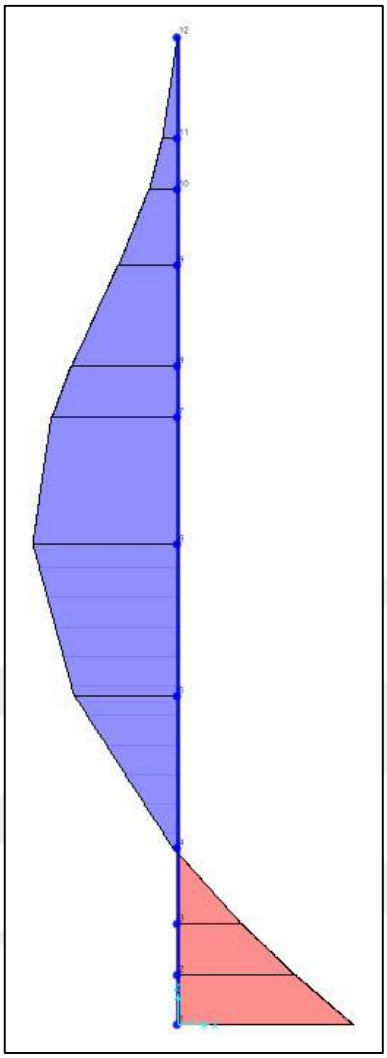
4.3.3.1. Eğilme Davranışının İncelenmesi

Eğilme momenti grafikleri, yapıdaki zayıf noktaların bulunmasında kolaylık sağlamakta ayrıca yapıların deprem davranışı hakkında ipuçları vermektedir. Yapılar, eğilme biçimlerine göre moment dağılımı yapmaktadırlar. Bu sebeple yapıların moment grafiklerinden şekil değiştirme değerleri ve davranış türü anlaşılabilir. Örnek olarak Şekil 4.104'te çerçeve yapılardan oluşan bir sistemin deprem anındaki moment grafiği verilmiştir.



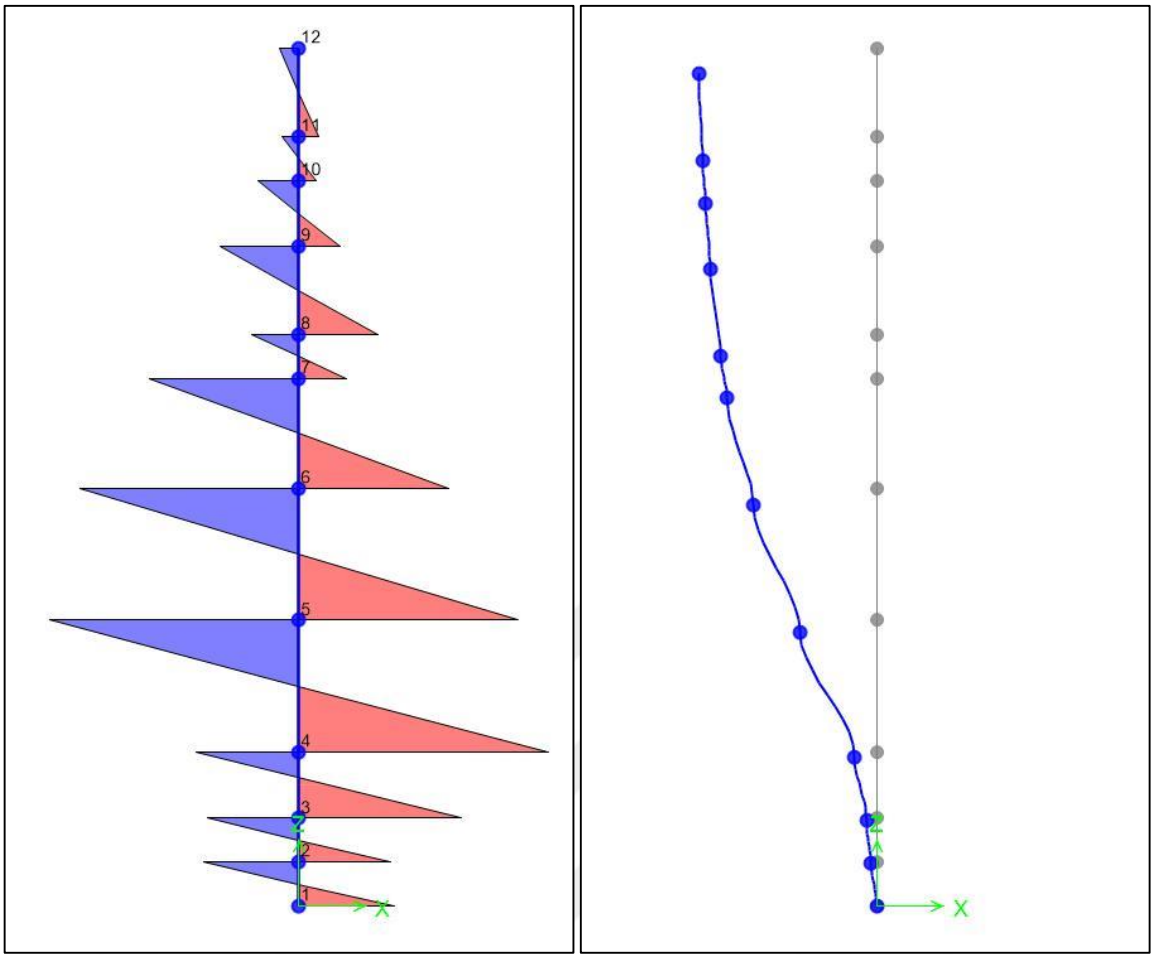
Şekil 4.103: Örnek bir çerçeve yapı için moment grafiği (Imperial Valley-06, RSN = 164, t = 1.4 sn).

Şekil 4.103'te görülen moment grafiğinde, her katta ve her iki katın ortasında moment işaret değiştirmektedir. Kat hizasındaki momentlerde ani işaret değişimi gözlemlenmektedir. Kiriş elemanlarının kolonların dönmesini rijitlikleri oranında engellemesi sebebiyle kat hizalarındaki momentlerde ani değişimler olmaktadır. Bu durumun sonucunda yapının kat kayması davranışı yaptığı varsayılmaktadır. Katlar, kütlenin büyük bir kısmının toplandığı noktalardır. Yayılı kütlenin düğüm noktalarında toplanması ile modellenen konsol kule tipi yapılarda ise moment grafikleri her iki düğüm noktası arasında işaret değiştirmeyebilir ve hatta tüm yapıda aynı işaretli moment olabilir. Bununla berber eğer işaret değişimi varsa genellikle bu değişim ani olmamaktadır. Moment iki düğüm noktası arasında azalarak işeret değiştirir. Bu durum ise eğilme davranışının bir sonucudur. Şekil 4.104'de bu davranışa örnek olarak, "Imperial Valley-06" depreminin uzak fay kaydının (t = 1.4 saniye) anındaki bir moment grafiği verilmiştir.



Şekil 4.104: Minare moment grafiği (Imperial Valley-06, RSN = 164, t = 1.4 sn).

Şekil 4.104'te örnek olarak görüldüğü üzere, minare yapısının deprem anında moment grafiği verilmiştir. Görüldüğü üzere minare yapılarının deprem anındaki moment grafiği, bina türü yapıların deprem anındaki moment grafiğine benzememektedir. Binalar, kat kayması şeklindeki davranışı moment grafiklerine yansımaktadır. Kayma tipi davranışı sergilemesi için modellenen bir minare, Şekil 4.105'da verilmiştir. Şekil 4.105'daki minarenin her bir düğüm noktasında, açısal Y eksenleri etrafında sonsuz rijit tutulu olup, açısal deplasman yapması engellenmiştir. Bu durumun sonucunda, binalardaki kat kayması şeklindekine benzer bir eğilme grafiği elde edilmiştir.



(a) (b)

Şekil 4.105: Düğüm noktaları açısal Y ekseni etrafında tutulu bir minare modeli: (a) moment grafiği, (b) deforme olmuş hali (Imperial Valley-06, RSN = 164, t = 1.4 sn).

Şekil 105'de, Y ekseni etrafındaki açısal rijitlikleri sonsuz tutulu bir minarenin "Imperial Valley-06" depreminin 1.4 saniyesindeki moment grafiği ve deforme olmuş hali verilmiştir. Yapı, kat kayması davranışına örnek olması amacıyla, her bir düğüm noktasının Y yönündeki açısal hareketi sonsuz rijit olarak modellenmiştir. Şekil 4.105.b'de görüldüğü üzere düğüm noktalarındaki açısal davranış, kat kayması davranışı yapan çerçeve yapıların düğüm noktalarındaki davranışa benzemektedir.

Kayma davranışı yapması için düğüm noktalarının serbestliklerine müdahale edilen minarenin moment grafiği, kat kayması davranışı yapan Şekil 4.103'deki binanın moment grafiğine benzemektedir. Her bir çubuk elemanda momentler işaret değiştirmekte ve düğüm noktalarında mutlak maksimum değerine ulaşmaktadır. Bununla beraber Şekil 4.105'de bahsedilen ve özel olarak modellenen minare modeli, gerçek davranışı yansıtmamaktadır.

Tablo 4.3'de Model 1'in modlarının periyotları, kütle katılım oranları ve bu oranların kümülatif toplamı verilmiştir.

Tablo 4.3: Model 1 için periyot, kütle katılım oranları ve kütle katılım oranlarının kümülatif toplamı.

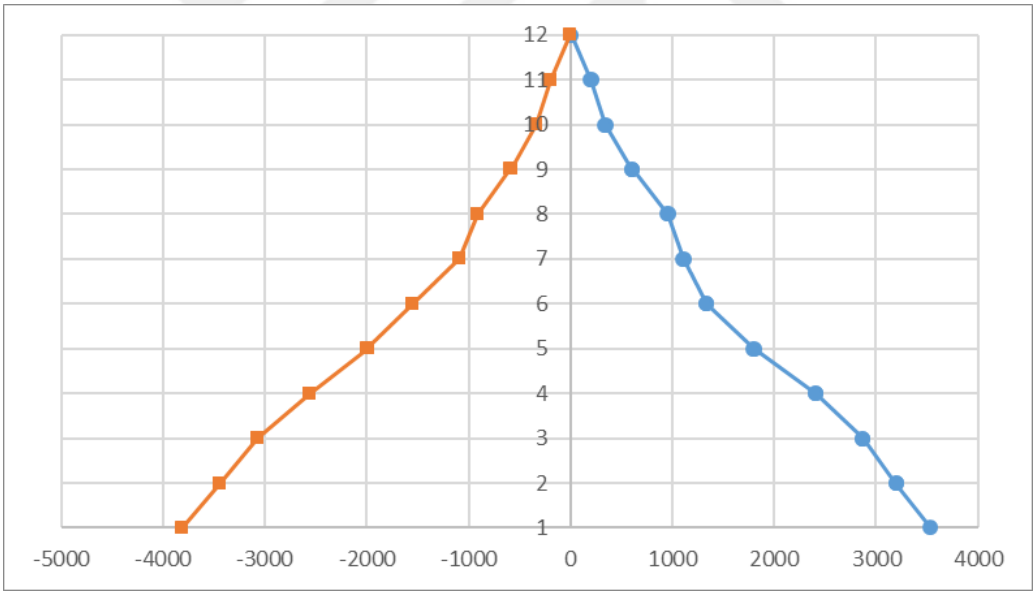
Mod	*Periyot*	*UX Kütle Katılım*	*UZ Kütle Katılım*	*RY Kütle Katılım*	*ΣUX Kümülatif Toplam*	*ΣUZ Kümülatif Toplam*	*ΣRY Kümülatif Toplam*
1	1.055812	0.49341	0	0.47834	0.49341	0	0.47834
2	0.185319	0.16669	0	0.05125	0.6601	0	0.52958
3	0.072387	0.08288	0	0.06293	0.74299	0	0.59251
4	0.045253	0	0.70475	0	0.74299	0.70475	0.59251
5	0.04215	0.06079	0	0.06762	0.80378	0.70475	0.66013
6	0.028436	0.07474	4.05E-18	0.10548	0.87852	0.70475	0.76561
7	0.021777	0.04581	6.82E-16	0.07452	0.92433	0.70475	0.84013
8	0.015708	0.00183	0	0.00345	0.92616	0.70475	0.84357
9	0.015561	0	0.10244	0	0.92616	0.80718	0.84357
10	0.012228	0.06577	0	0.13544	0.99194	0.80718	0.97902
11	0.01006	0.0002	0	0.00043	0.99213	0.80718	0.97945
12	0.010057	0	0.06602	0	0.99213	0.8732	0.97945
13	0.008355	0.00013	0	0.0003	0.99227	0.8732	0.97975
14	0.007731	0.0007	0	0.0016	0.99297	0.8732	0.98135
15	0.007725	0	0.05419	0	0.99297	0.92739	0.98135
16	0.006625	4.32E-18	0.02928	7.13E-18	0.99297	0.95668	0.98135
17	0.006609	0.00063	0	0.00152	0.9936	0.95668	0.98286
18	0.006444	1.46E-05	0	3.54E-05	0.99362	0.95668	0.9829
19	0.00623	0.00566	0	0.01414	0.99928	0.95668	0.99704
20	0.005731	7.43E-06	0	2.13E-05	0.99929	0.95668	0.99706
21	0.005707	4.42E-20	0.00306	8.49E-20	0.99929	0.95974	0.99706
22	0.005549	0.00042	0	0.00132	0.99971	0.95974	0.99838
23	0.005169	1.02E-10	0	4.65E-10	0.99971	0.95974	0.99838
24	0.004857	4.57E-12	0	3.28E-11	0.99971	0.95974	0.99838
25	0.004352	8.07E-16	0.03568	1.33E-15	0.99971	0.99542	0.99838
26	0.004264	4.22E-13	1.35E-20	4.27E-12	0.99971	0.99542	0.99838
27	0.004234	4.16E-17	4.76E-05	6.63E-17	0.99971	0.99547	0.99838
28	0.004106	5.01E-16	0	4.12E-15	0.99971	0.99547	0.99838
29	0.00346	0.0002	0	0.00121	0.99991	0.99547	0.99959
30	0.003346	3.89E-19	9.24E-09	6.44E-19	0.99991	0.99547	0.99959
31	0.003093	5.10E-20	2.59E-10	8.44E-20	0.99991	0.99547	0.99959
32	0.002515	0	0.00453	0	0.99991	1	0.99959
33	0.002234	9.26E-05	1.36E-20	0.00041	1	1	1

Tablo 4.3'de görüldüğü gibi doğrusal kütle katılım oranı ve açısal bileşenlere karşılık gelen kütle katılım oranı birlikte bulunmaktadır. Açısal davranış düşey modlardan farklı olarak,

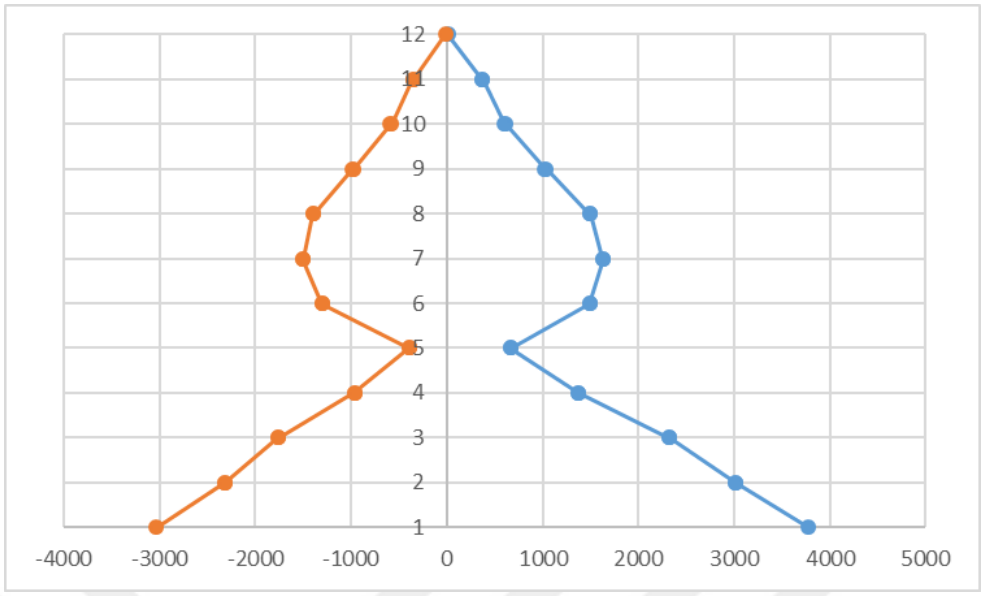
çubuk eleman için yatay modlardan bağımsız değildir. Kütle katılım oranları için doğrusal X ilk üç modda açısal Y'ye göre daha hakim fakat dördüncü moddan, yani düşey moddan sonra eğilme kütle katılımı daha hakim hale gelmektedir. İlk üç mod için de açısal ve doğrusal kütle katılımları arasındaki fark oldukça azdır.

4.3.3.2. Zarf Moment Grafikleri

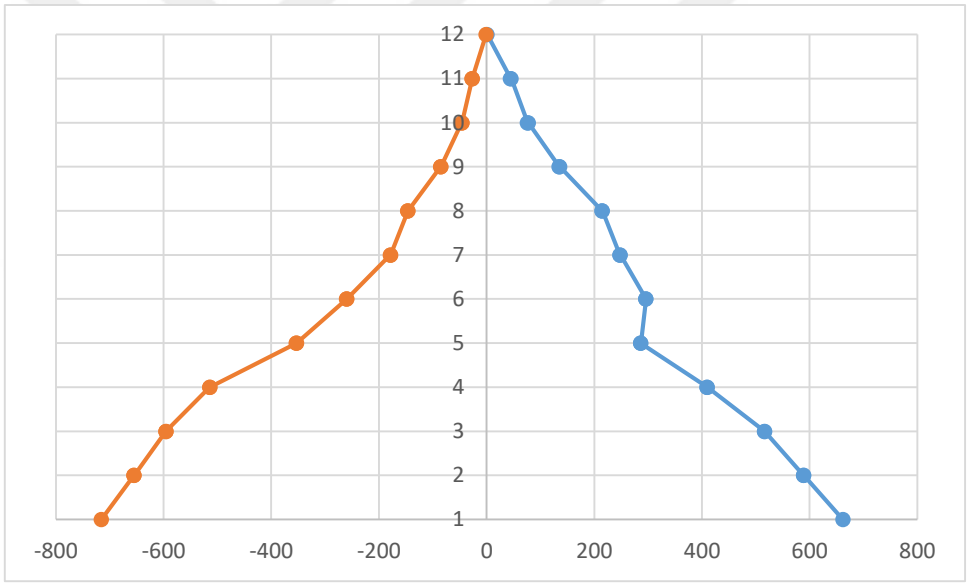
Moment grafikleri, kritik noktaların belirlenmesinde olduğu kadar davranışın anlaşılmasında da büyük rol oynamaktadır. Moment grafiklerine göre bir yapının, eğilme davranışının hakim olup olmadığı belirlenebilir. Konsol yapılarda moment grafiği, genellikle mesnetten uzaklaştıkça azalan bir yapıdadır. Şekil 4.106 - Şekil 4.110'de uzak fay depremlerinden bazılarının düğüm noktalarına göre zarf eğilme momentleri verilmiştir. Eğilme momentlerinin birimi kNm'dir. Yatay eksen maksimum ve minimum eğilme momentini, düşey eksen düğüm noktası numarasını vermektedir. Aynı grafikler, yakın fay depremi için de, Şekil 4.111 – Şekil 4.115'te gösterilmektedir.



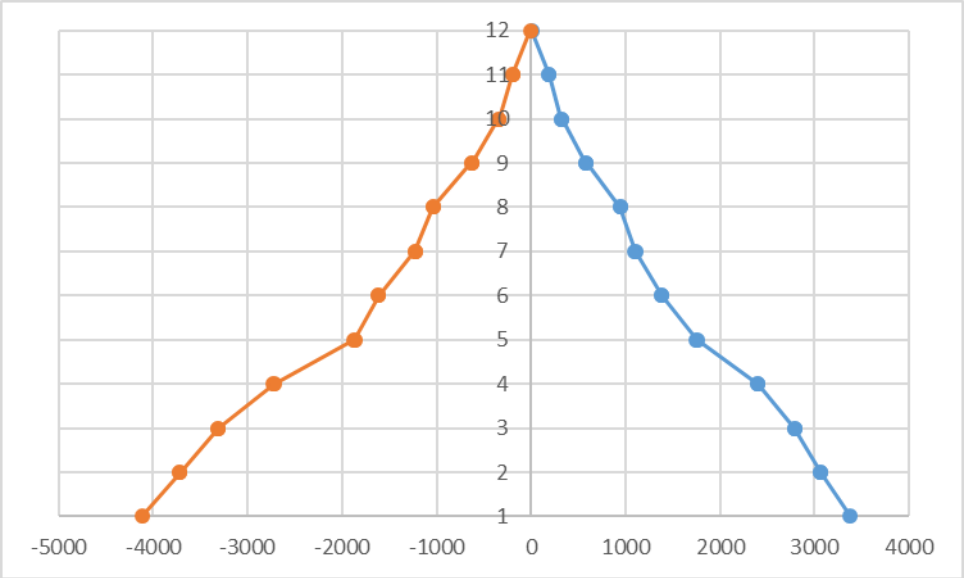
Şekil 4.106: Imperial Valley-06.



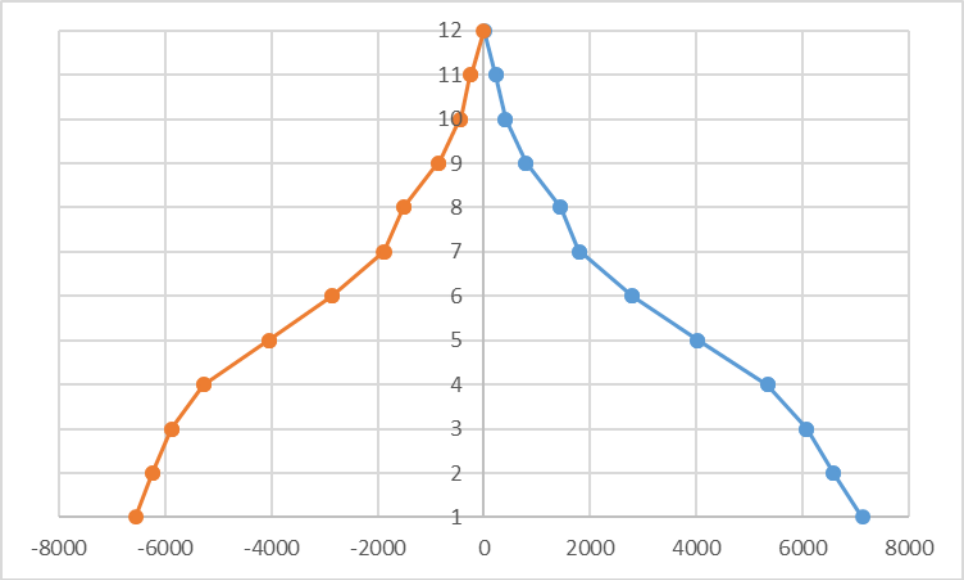
Şekil 4.107: Cape_Mendocino.



Şekil 4.108: Chi-Chi Taiwan-03.

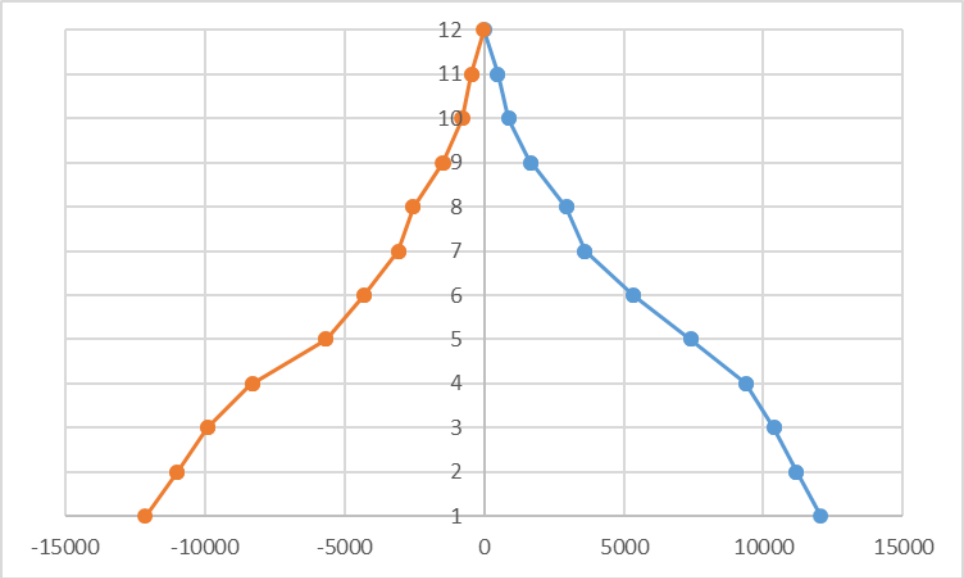


Şekil 4.109: Irpinia Italy-01.

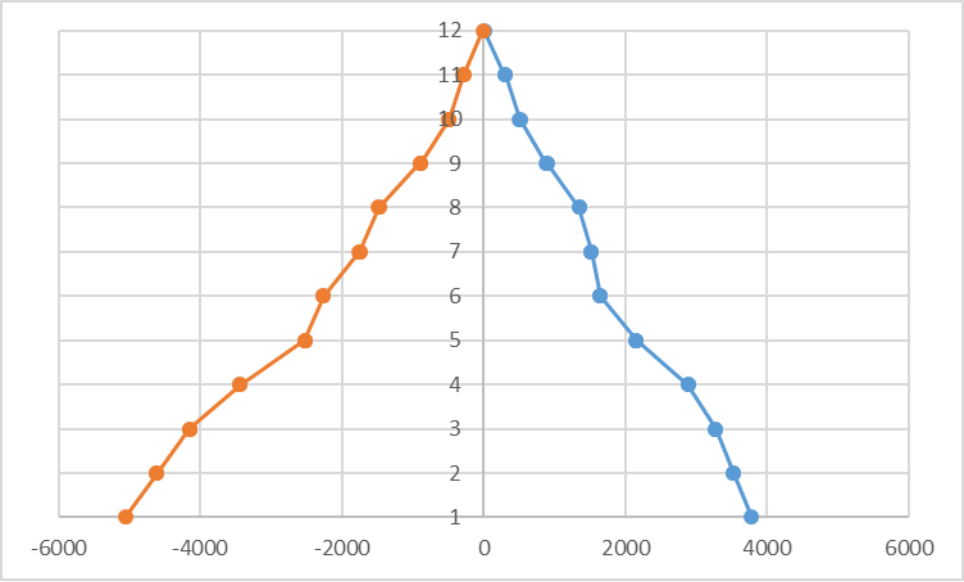


Şekil 4.110: Landers.

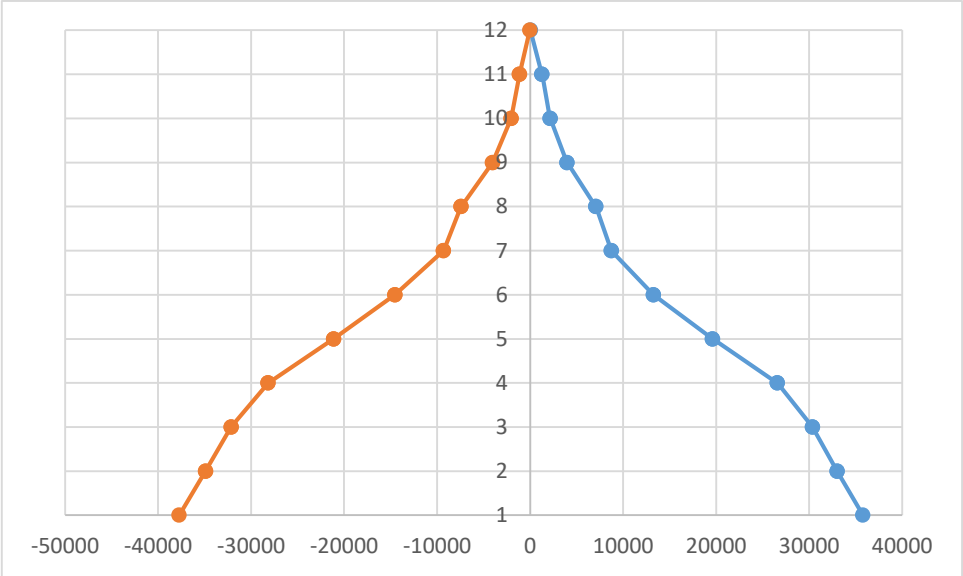
Şekil 4.106 – Şekil 4.110'da uzak fay depremleri için en büyük ve en küçük eğilme momentinin her bir düğüm noktasına göre değeri verilmiştir. Şekil 4.106 – Şekil 4.110'e göre genel olarak konsol gibi davrandığı gözlenen minare de, "Cape Mendocino" depreminin uzak fay kaydında farklı bir moment grafiği ortaya çıkmıştır. "Chi-Chi Taiwan-03" depreminde, 6 numaralı düğüm noktasında eğilme momentinin bir miktar arttığı görülmüştür. Zarf momentleri genel olarak en tepedeki düğüm noktası olan 12 numaralı düğüm noktasından, mesnet noktası olan 1'e kadar azaldığı görülmektedir.



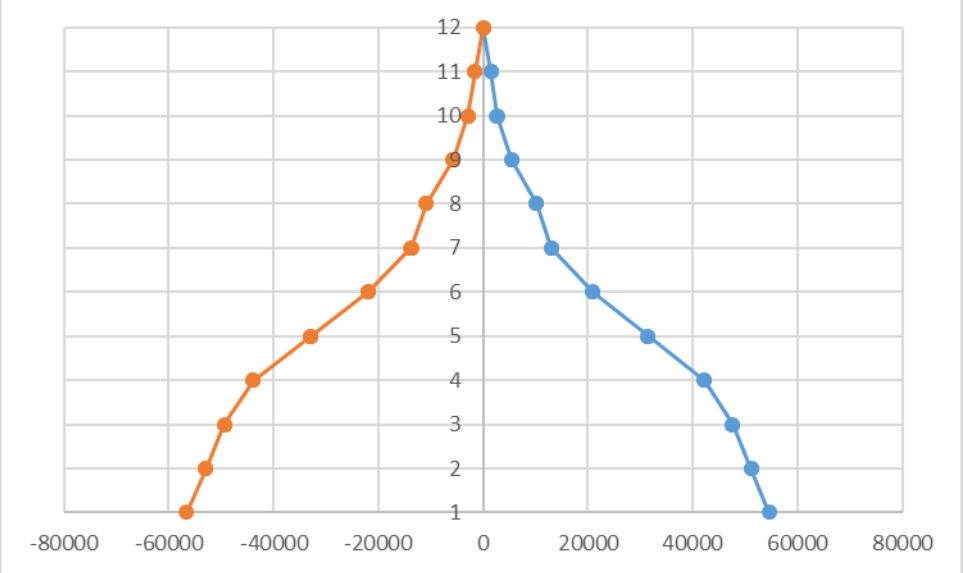
Şekil 4.111: Imperial Valley-02.



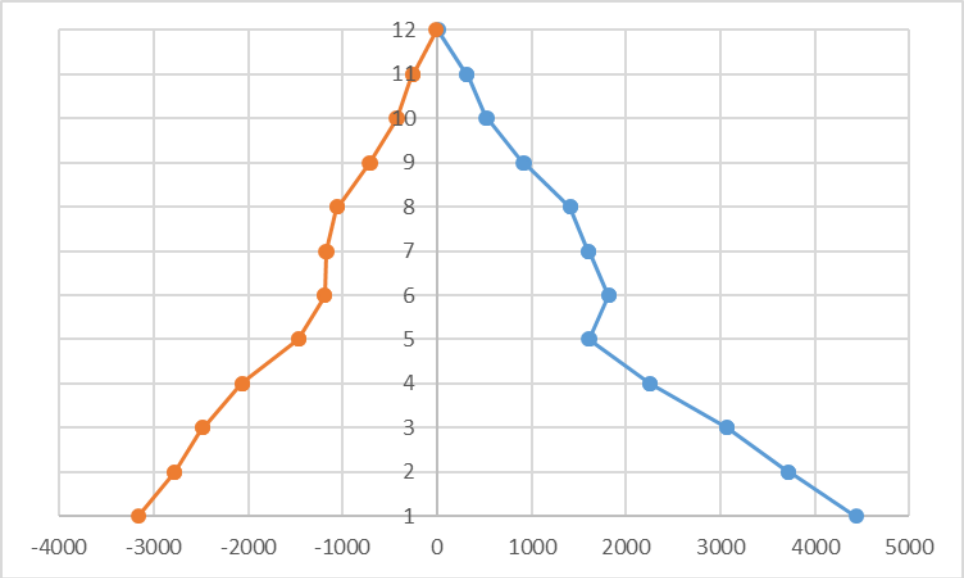
Şekil 4.112: Parkfield.



Şekil 4.113: San Fernando.



Şekil 4.114: Chi-Chi Taiwan.



Şekil 4.115: Duzce.

Eğilme davranışı sonrası, yapıdaki gerilmelerin beton dayanımını aştığı noktalarda çatlaklar oluşabilir. Bu çatlakları minimum seviyede tutulması oldukça önemlidir. Daha önce de bahsedildiği gibi minare gibi izostatik konsol yapılarda çatlağın büyük olması yapıyı labil hale getirebilir yani yapı göçme moduna girebilir. Bu sebepten ötürü oluşabilecek çatlakların küçük olması gerekmektedir. Bina türü yapılar genellikle hiperstatik yani fazla bağlı sistemler olması nedeniyle, herhangi bir elemanda oluşan küçük hasar, yapıyı göçme moduna sokmayabilir. Bağ sayısının fazla olması sebebiyle, bir elemanda oluşan çatlaklar, başka elemanlar tarafından tolere edilebilir. Bu durum izostatik sistemler için geçerli değildir. İzostatik yapılarda fazladan bağ olmaması sebebiyle, yapının herhangi bir bölümünde oluşan çatlağı tolere edebilecek bir eleman bulunmamaktadır.

Düşey deprem etkisinin eksenel kuvvet oluşturmasıyla meydana gelen normal gerilmeler, eğilme kaynaklı oluşan normal gerilmeler ile süperpozisyona girebilir ve bu durum gerilmeleri büyütebilmekte veya küçültebilmektedir. Zarf eğilme momentlerinin görece daha yüksek olduğu alt bölgeler genel olarak mesnetten yukarı ilk dört veya beş düğüm noktası olduğu grafiklerden görülmektedir. Bununla birlikte uzak fay depremi olan “Cape Mendocino” depreminde, farklı bir davranış olarak 5 numaralı düğüm noktası (Kürsünün üst noktasının 6m üzerindeki düğüm noktası), kritik nokta olmaktan çıkmıştır.

4.4. MODEL 1 ÜZERİNDE OLUŞAN NORMAL GERİLMELER

4.4.1. Eksenel Kuvvet Sebebiyle Oluşan Normal Gerilmeler

Eksenel kuvvetler sebebiyle oluşan gerilmelerin önemi, betonun çekme dayanımını aşıp aşmamasıyla alakalıdır. Yapıdaki gerilmelerin beton çekme dayanımı aşmasıyla bu kesitte rijitliği değiştirebilecek çatlamalar başlayabilir. Donatı diziliminin yetersiz veya hatalı olması, çatlakların büyümesine ve rijitliğin azalmasına veya yapının göçmesine sebep olabilir. İyi yerleştirilmiş donatı düzeni, yapıdaki çatlakların büyümesini engeller (Ersoy, 2020). Donatı düzeninin iyi yapılabilmesi için, yapının düşey modlarının da hesaba katılması ve bu modlar sonucu oluşan gerilmelerin incelenmesi gerekmektedir. Bu sebeple, hem yakın fay hem de uzak fay depremleri için eksenel kuvvet kaynaklı gerilmeler, bu başlık altında eğilme davrnışından kaynaklanan gerilmelerden bağımsız bir şekilde araştırılmıştır. Bu inceleme yapılırken, Tablo 3.1'de verilen depremlerin yalnızca düşey ivmeleri kullanılmıştır.

Tablo 4.4 – Tablo 4.8'de eksenel kuvvet için oluşan en büyük çekme gerilmeleri tablolar halinde verilmiştir. Tabloda gösterilen "σ_{Ev}" simgesi, zati yük sonucu oluşan gerilmelerin dahil edilmediği, yalnızca düşey deprem ivmelerinin kütle ile etkileşimi sonucu oluşan gerilmelerdir. "σ_D" simgesi ise zati yük sebebiyle oluşan gerilmelerdir. Bu değerlerin ayrı ayrı verilme sebebi, deprem etkisi sonucu oluşan düşey gerilmelerin, diğer normal gerilmelerden bağımsız olarak ne seviyede olduğunu ve hangi bölgelerde pik noktasına ulaştığını belirlemektir.

Gerilmelerin birimi N/mm^2'dir. "-" işaretli gerilmeler basıncı göstermektedir. Grafiklerde tek bir düğüm noktası için 2 adet gerilme verilmiştir. Bu gerilmeler, düğüm noktasının altında kalan elemanın kesiti için en büyük gerilmeler ile düğüm noktasının üzerinde kalan elemanın kesiti için en büyük gerilmelerdir. 12 numaralı düğüm noktasının üzerinde ve 1 numaralı düğüm noktasının altında eleman olmadığından, bu noktalarda 1 adet gerilme verilmiştir. Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'de uzak fay depremlerinin yalnızca eksenel kuvvet ve eksenel kuvvetle zati yükün kombinasyonunun oluşturduğu normal gerilmeler verilmiştir.

Tablo 4.4: Uzak fay depremleri için normal gerilmeler.

Düğüm Noktası	Üst/Alt Kesit	Imperial Valley-06 (RSN = 164)		Cape_Mendocino (RSN = 830)		Chi-Chi Taiwan-03 (RSN = 2490)		Chi-Chi Taiwan-03 (RSN = 2624)		Irpinia Italy-01 (RSN = 290)	
		σ_{Ev}	$\sigma_{Ev}+\sigma_D$	σ_{Ev}	$\sigma_{Ev}+\sigma_D$	σ_{Ev}	$\sigma_{Ev}+\sigma_D$	σ_{Ev}	$\sigma_{Ev}+\sigma_D$	σ_{Ev}	$\sigma_{Ev}+\sigma_D$
1	Üst Kesit	0.166	-0.532	0.041	-0.657	0.014	-0.684	0.016	-0.682	0.037	-0.661
2	Alt Kesit	0.166	-0.532	0.041	-0.657	0.014	-0.684	0.016	-0.682	0.037	-0.661
2	Üst Kesit	0.135	-0.499	0.032	-0.602	0.011	-0.623	0.013	-0.621	0.029	-0.605
3	Alt Kesit	0.135	-0.418	0.032	-0.521	0.011	-0.542	0.013	-0.540	0.029	-0.524
3	Üst Kesit	0.158	-0.546	0.037	-0.667	0.013	-0.691	0.015	-0.689	0.034	-0.670
4	Alt Kesit	0.251	-0.752	0.059	-0.944	0.021	-0.982	0.023	-0.980	0.054	-0.949
4	Üst Kesit	0.221	-0.782	0.051	-0.952	0.019	-0.984	0.020	-0.983	0.047	-0.956
5	Alt Kesit	0.221	-0.638	0.051	-0.808	0.019	-0.840	0.020	-0.839	0.047	-0.812
5	Üst Kesit	0.181	-0.678	0.041	-0.818	0.016	-0.843	0.016	-0.843	0.038	-0.821
6	Alt Kesit	0.181	-0.504	0.041	-0.644	0.016	-0.669	0.016	-0.669	0.038	-0.647
6	Üst Kesit	0.142	-0.543	0.032	-0.653	0.013	-0.672	0.012	-0.673	0.029	-0.656
7	Alt Kesit	0.142	-0.384	0.032	-0.494	0.013	-0.513	0.012	-0.514	0.029	-0.497
7	Üst Kesit	0.138	-0.524	0.031	-0.631	0.013	-0.649	0.012	-0.650	0.028	-0.634
8	Alt Kesit	0.138	-0.369	0.031	-0.476	0.013	-0.494	0.012	-0.495	0.028	-0.479
8	Üst Kesit	0.088	-0.314	0.020	-0.382	0.008	-0.394	0.007	-0.395	0.018	-0.384
9	Alt Kesit	0.088	-0.233	0.020	-0.301	0.008	-0.313	0.007	-0.314	0.018	-0.303
9	Üst Kesit	0.061	-0.260	0.013	-0.308	0.006	-0.315	0.005	-0.316	0.012	-0.309
10	Alt Kesit	0.061	-0.159	0.013	-0.207	0.006	-0.214	0.005	-0.214	0.012	-0.208
10	Üst Kesit	0.064	-0.322	0.014	-0.372	0.006	-0.380	0.005	-0.380	0.013	-0.373
11	Alt Kesit	0.064	-0.168	0.014	-0.218	0.006	-0.226	0.005	-0.226	0.013	-0.219
11	Üst Kesit	0.029	-0.158	0.006	-0.181	0.003	-0.184	0.002	-0.185	0.006	-0.181
12	Alt Kesit	0.029	-0.077	0.006	-0.099	0.003	-0.103	0.002	-0.103	0.006	-0.100

Tablo 4.5: Uzak fay depremleri için normal gerilmeler.

Düğüm Noktası	Üst/Alt Kesit	Landers (RSN = 881)		Loma Prieta (RSN = 755)		N. Palm Springs (RSN = 524)		Parkfield (RSN = 28)		San Fernando (RSN = 88)	
		σ_{Ev}	$\sigma_{Ev}+\sigma_D$	σ_{Ev}	$\sigma_{Ev}+\sigma_D$	σ_{Ev}	$\sigma_{Ev}+\sigma_D$	σ_{Ev}	$\sigma_{Ev}+\sigma_D$	σ_{Ev}	$\sigma_{Ev}+\sigma_D$
1	Üst Kesit	0.186	-0.512	0.076	-0.622	0.030	-0.668	0.051	-0.647	0.053	-0.645
2	Alt Kesit	0.186	-0.512	0.076	-0.622	0.030	-0.668	0.051	-0.647	0.053	-0.645
2	Üst Kesit	0.156	-0.478	0.063	-0.571	0.024	-0.610	0.041	-0.593	0.043	-0.591
3	Alt Kesit	0.156	-0.397	0.063	-0.490	0.024	-0.529	0.041	-0.512	0.043	-0.510
3	Üst Kesit	0.186	-0.518	0.074	-0.630	0.028	-0.676	0.048	-0.656	0.050	-0.654
4	Alt Kesit	0.296	-0.707	0.117	-0.886	0.045	-0.958	0.077	-0.926	0.080	-0.923
4	Üst Kesit	0.269	-0.734	0.104	-0.899	0.040	-0.963	0.068	-0.935	0.070	-0.933
5	Alt Kesit	0.269	-0.590	0.104	-0.755	0.040	-0.819	0.068	-0.791	0.070	-0.789
5	Üst Kesit	0.227	-0.632	0.086	-0.773	0.033	-0.826	0.056	-0.803	0.058	-0.801
6	Alt Kesit	0.227	-0.458	0.086	-0.599	0.033	-0.652	0.056	-0.629	0.058	-0.627
6	Üst Kesit	0.181	-0.504	0.068	-0.617	0.026	-0.659	0.043	-0.642	0.045	-0.640
7	Alt Kesit	0.181	-0.345	0.068	-0.458	0.026	-0.500	0.043	-0.483	0.045	-0.481
7	Üst Kesit	0.178	-0.484	0.067	-0.595	0.025	-0.637	0.042	-0.620	0.044	-0.618
8	Alt Kesit	0.178	-0.329	0.067	-0.440	0.025	-0.482	0.042	-0.465	0.044	-0.463
8	Üst Kesit	0.115	-0.287	0.043	-0.359	0.016	-0.386	0.027	-0.375	0.028	-0.374
9	Alt Kesit	0.115	-0.206	0.043	-0.278	0.016	-0.305	0.027	-0.294	0.028	-0.293
9	Üst Kesit	0.079	-0.242	0.029	-0.292	0.011	-0.310	0.019	-0.302	0.019	-0.302
10	Alt Kesit	0.079	-0.141	0.029	-0.191	0.011	-0.209	0.019	-0.201	0.019	-0.201
10	Üst Kesit	0.085	-0.301	0.031	-0.355	0.012	-0.374	0.020	-0.366	0.020	-0.366
11	Alt Kesit	0.085	-0.147	0.031	-0.201	0.012	-0.220	0.020	-0.212	0.020	-0.212
11	Üst Kesit	0.039	-0.148	0.014	-0.173	0.005	-0.182	0.009	-0.178	0.009	-0.178
12	Alt Kesit	0.039	-0.067	0.014	-0.092	0.005	-0.100	0.009	-0.097	0.009	-0.096

Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'te düğüm noktalarındaki gerilme değerleri çok yüksek değilse de kritik noktalar hakkında fikir vermektedir. Tablolarda görüldüğü üzere σ_{Ev} gerilmesinin, yani yapının zati ağırlığı olmadan hesaplanan normal gerilmenin en büyük değeri 4 numaralı düğüm noktasında olmuştur. Bununla birlikte σ_{Ev} değeri, zati ağırlık sebebiyle oluşan gerilmelerle toplanarak verildiğinde çekme gerilmeleri basınca dönüşmüştür.

Aynı grafikler yakın fay depremleri için verilmiştir.

Tablo 4.6: Yakın fay depremleri için normal gerilmeler.

Düğüm Noktası	Üst/Alt Kesit	Parkfield (RSN = 30)		San Fernando (RSN = 77)		Imperial Valley-06 (RSN = 165)		N. Palm Springs (RSN = 529)		Loma Prieta (RSN = 779)	
		σ_{Ev}	$\sigma_{Ev}+\sigma_D$	σ_{Ev}	$\sigma_{Ev}+\sigma_D$	σ_{Ev}	$\sigma_{Ev}+\sigma_D$	σ_{Ev}	$\sigma_{Ev}+\sigma_D$	σ_{Ev}	$\sigma_{Ev}+\sigma_D$
1	Üst Kesit	0.160	-0.538	0.596	-0.102	0.176	-0.522	0.285	-0.413	0.839	0.141
2	Alt Kesit	0.160	-0.538	0.596	-0.102	0.176	-0.522	0.285	-0.413	0.839	0.141
2	Üst Kesit	0.133	-0.501	0.485	-0.149	0.144	-0.490	0.237	-0.397	0.693	0.059
3	Alt Kesit	0.133	-0.420	0.485	-0.068	0.144	-0.409	0.237	-0.316	0.693	0.140
3	Üst Kesit	0.159	-0.545	0.565	-0.139	0.173	-0.531	0.283	-0.421	0.819	0.115
4	Alt Kesit	0.252	-0.751	0.898	-0.105	0.274	-0.729	0.449	-0.554	1.301	0.298
4	Üst Kesit	0.227	-0.776	0.789	-0.214	0.251	-0.752	0.405	-0.598	1.164	0.161
5	Alt Kesit	0.227	-0.632	0.789	-0.070	0.251	-0.608	0.405	-0.454	1.164	0.305
5	Üst Kesit	0.194	-0.665	0.646	-0.213	0.213	-0.646	0.340	-0.519	0.969	0.110
6	Alt Kesit	0.194	-0.491	0.646	-0.039	0.213	-0.472	0.340	-0.345	0.969	0.284
6	Üst Kesit	0.156	-0.529	0.504	-0.181	0.171	-0.514	0.270	-0.415	0.767	0.082
7	Alt Kesit	0.156	-0.370	0.504	-0.022	0.171	-0.355	0.270	-0.256	0.767	0.241
7	Üst Kesit	0.154	-0.508	0.491	-0.171	0.169	-0.493	0.266	-0.396	0.753	0.091
8	Alt Kesit	0.154	-0.353	0.491	-0.016	0.169	-0.338	0.266	-0.241	0.753	0.246
8	Üst Kesit	0.099	-0.303	0.313	-0.089	0.109	-0.293	0.171	-0.231	0.482	0.080
9	Alt Kesit	0.099	-0.222	0.313	-0.008	0.109	-0.212	0.171	-0.150	0.482	0.161
9	Üst Kesit	0.069	-0.252	0.215	-0.106	0.075	-0.246	0.118	-0.203	0.333	0.012
10	Alt Kesit	0.069	-0.151	0.215	-0.005	0.075	-0.145	0.118	-0.102	0.333	0.113
10	Üst Kesit	0.074	-0.312	0.228	-0.158	0.081	-0.305	0.126	-0.260	0.355	-0.031
11	Alt Kesit	0.074	-0.158	0.228	-0.004	0.081	-0.151	0.126	-0.106	0.355	0.123
11	Üst Kesit	0.034	-0.153	0.104	-0.083	0.037	-0.150	0.058	-0.129	0.162	-0.025
12	Alt Kesit	0.034	-0.072	0.104	-0.002	0.037	-0.069	0.058	-0.048	0.162	0.056

Tablo 4.7: Yakın fay depremleri için normal gerilmeler.

Düğüm Noktası	Üst/Alt Kesit	Imperial Valley-02 (RSN = 6)		Cape Mendocino (RSN = 825)		Landers (RSN = 879)		Kobe (RSN = 1108)	
		σ_{Ev}	$\sigma_{Ev}+\sigma_D$	σ_{Ev}	$\sigma_{Ev}+\sigma_D$	σ_{Ev}	$\sigma_{Ev}+\sigma_D$	σ_{Ev}	$\sigma_{Ev}+\sigma_D$
1	Üst Kesit	0.134	-0.564	0.883	0.185	0.771	0.073	0.244	-0.454
2	Alt Kesit	0.134	-0.564	0.883	0.185	0.771	0.073	0.244	-0.454
2	Üst Kesit	0.108	-0.526	0.716	0.082	0.638	0.004	0.194	-0.440
3	Alt Kesit	0.108	-0.445	0.716	0.163	0.638	0.085	0.194	-0.359
3	Üst Kesit	0.124	-0.580	0.833	0.129	0.755	0.051	0.222	-0.482
4	Alt Kesit	0.197	-0.806	1.323	0.320	1.199	0.196	0.353	-0.650
4	Üst Kesit	0.170	-0.833	1.156	0.153	1.073	0.070	0.303	-0.700
5	Alt Kesit	0.170	-0.689	1.156	0.297	1.073	0.214	0.303	-0.556
5	Üst Kesit	0.137	-0.722	0.937	0.078	0.917	0.058	0.242	-0.617
6	Alt Kesit	0.137	-0.548	0.937	0.252	0.917	0.232	0.242	-0.443
6	Üst Kesit	0.106	-0.579	0.725	0.040	0.742	0.057	0.187	-0.498
7	Alt Kesit	0.106	-0.420	0.725	0.199	0.742	0.216	0.187	-0.339
7	Üst Kesit	0.103	-0.559	0.703	0.041	0.737	0.075	0.183	-0.479
8	Alt Kesit	0.103	-0.404	0.703	0.196	0.737	0.230	0.183	-0.324
8	Üst Kesit	0.065	-0.337	0.446	0.044	0.476	0.074	0.117	-0.285
9	Alt Kesit	0.065	-0.256	0.446	0.125	0.476	0.155	0.117	-0.204
9	Üst Kesit	0.045	-0.276	0.306	-0.015	0.331	0.010	0.081	-0.240
10	Alt Kesit	0.045	-0.175	0.306	0.086	0.331	0.111	0.081	-0.139
10	Üst Kesit	0.047	-0.339	0.323	-0.063	0.354	-0.032	0.086	-0.300
11	Alt Kesit	0.047	-0.185	0.323	0.091	0.354	0.122	0.086	-0.146
11	Üst Kesit	0.022	-0.165	0.147	-0.040	0.163	-0.024	0.039	-0.148
12	Alt Kesit	0.022	-0.084	0.147	0.041	0.163	0.057	0.039	-0.067

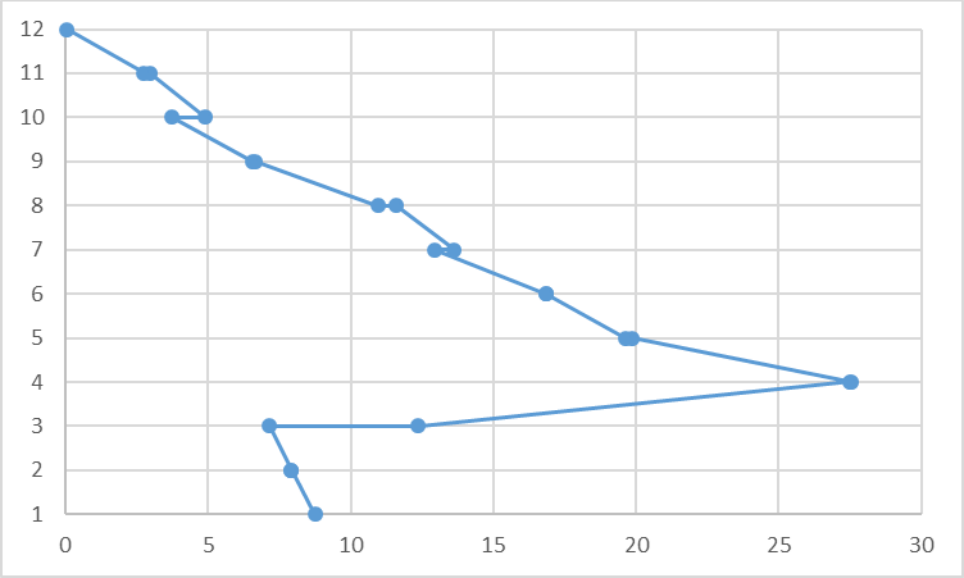
Tablo 4.8: Yakın fay depremleri için normal gerilmeler.

Düğüm Noktası	Üst/Alt Kesit	Chi-Chi Taiwan (RSN = 1231)		Duzce (RSN = 1612)		Imperial Valley-06 El Centro (RSN = 181)		Nahanni Canada (RSN = 495)	
		σ_{Ev}	$\sigma_{Ev}+\sigma_D$	σ_{Ev}	$\sigma_{Ev}+\sigma_D$	σ_{Ev}	$\sigma_{Ev}+\sigma_D$	σ_{Ev}	$\sigma_{Ev}+\sigma_D$
1	Üst Kesit	0.307	-0.391	0.084	-0.614	1.224	0.526	0.547	-0.151
2	Alt Kesit	0.307	-0.391	0.084	-0.614	1.224	0.526	0.547	-0.151
2	Üst Kesit	0.244	-0.390	0.069	-0.565	0.99	0.356	0.446	-0.188
3	Alt Kesit	0.244	-0.309	0.069	-0.484	0.99	0.437	0.446	-0.107
3	Üst Kesit	0.280	-0.424	0.082	-0.622	1.156	0.452	0.522	-0.182
4	Alt Kesit	0.444	-0.559	0.129	-0.874	1.836	0.833	0.829	-0.174
4	Üst Kesit	0.382	-0.621	0.119	-0.884	1.618	0.615	0.744	-0.259
5	Alt Kesit	0.382	-0.477	0.119	-0.740	1.618	0.759	0.744	-0.115
5	Üst Kesit	0.306	-0.553	0.101	-0.758	1.327	0.468	0.642	-0.217
6	Alt Kesit	0.306	-0.379	0.101	-0.584	1.327	0.642	0.642	-0.043
6	Üst Kesit	0.235	-0.450	0.080	-0.605	1.037	0.352	0.519	-0.166
7	Alt Kesit	0.235	-0.291	0.080	-0.446	1.037	0.511	0.519	-0.007
7	Üst Kesit	0.227	-0.435	0.079	-0.583	1.011	0.349	0.515	-0.147
8	Alt Kesit	0.227	-0.280	0.079	-0.428	1.011	0.504	0.515	0.008
8	Üst Kesit	0.144	-0.258	0.051	-0.351	0.645	0.243	0.332	-0.070
9	Alt Kesit	0.144	-0.177	0.051	-0.270	0.645	0.324	0.332	0.011
9	Üst Kesit	0.099	-0.222	0.035	-0.286	0.444	0.123	0.231	-0.090
10	Alt Kesit	0.099	-0.121	0.035	-0.185	0.444	0.224	0.231	0.011
10	Üst Kesit	0.104	-0.282	0.038	-0.348	0.471	0.085	0.246	-0.140
11	Alt Kesit	0.104	-0.128	0.038	-0.194	0.471	0.239	0.246	0.014
11	Üst Kesit	0.047	-0.140	0.017	-0.170	0.215	0.028	0.113	-0.074
12	Alt Kesit	0.047	-0.059	0.017	-0.089	0.215	0.109	0.113	0.007

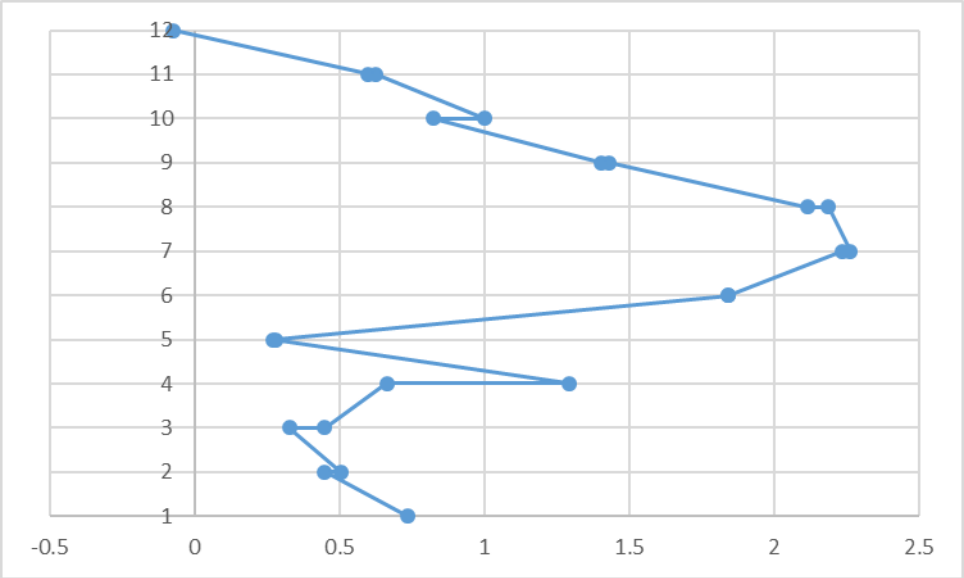
Tablo 4.6, Tablo 4.7 ve Tablo 4.8'de yakın fay depremlerinin düğüm noktalarındaki alt ve üst kesitlerine göre en büyük çekme gerilmeleri verilmiştir. Eksenel çekme kuvvetinin, belirlenen noktanın üzerinde kalan kütleye oranının en büyük olduğu nokta 12 numaralı düğüm noktası olmasına rağmen aynı düğüm noktasında düşey deprem hareketi sonucu oluşan en büyük normal gerilme değeri oldukça düşüktür. Bunun sebebi, 12 numaralı düğüm noktasının üzerinde çok büyük bir kütle olmaması yüzünden meydana gelen eksenel kuvvetin çok yüksek çıkmaması ve kesit alanının eksenel kuvvete oranla çok büyük olmasıdır.

4.4.2. Eğilme Davranışı ve Eksenel Kuvvet Sonucu Oluşan Normal Gerilmeler

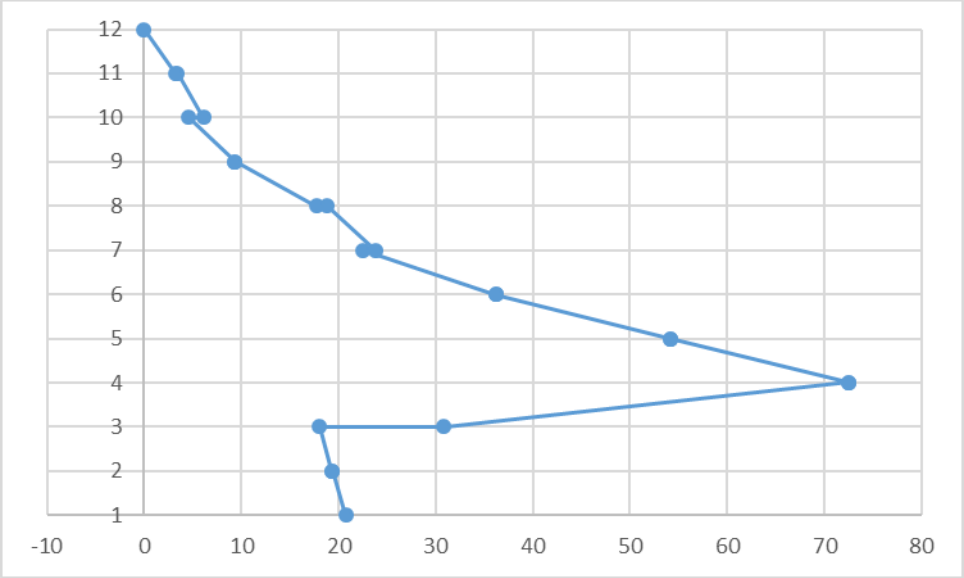
Bu başlık altında hem yatay hem de düşey deprem hareketinin, eğilme davranışı sonrası oluşan en büyük çekme gerilmeleri araştırılmıştır. Bu gerilmeler incelenirken, yapının zati yükten kaynaklı normal gerilmeler hesaba katılmıştır. Gerilme değeri seçilirken, kesitin en dış noktasındaki gerilme seçilmiştir. Birimler N/mm^2'dir.



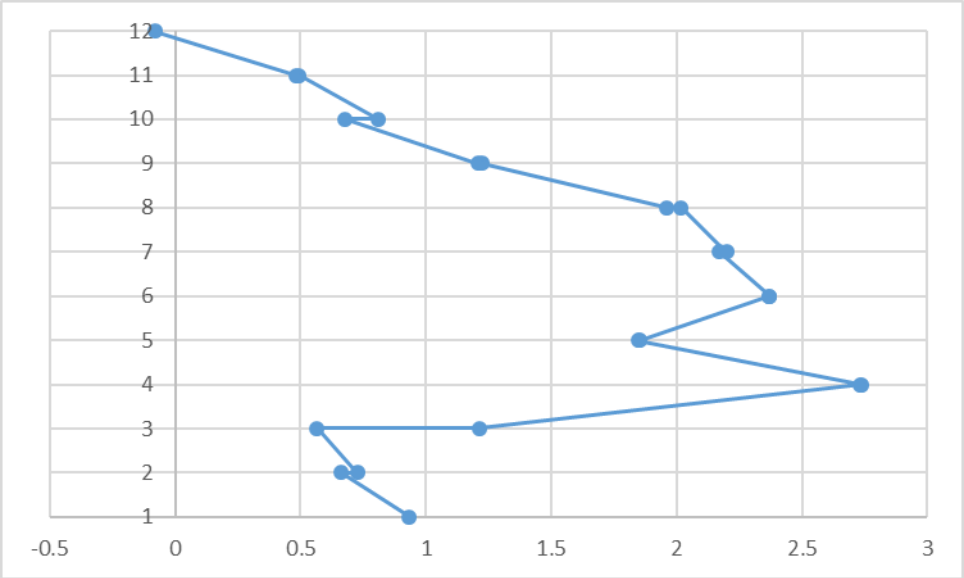
Şekil 4.116: Cape Mendocino (Yakın fay, RSN = 825).



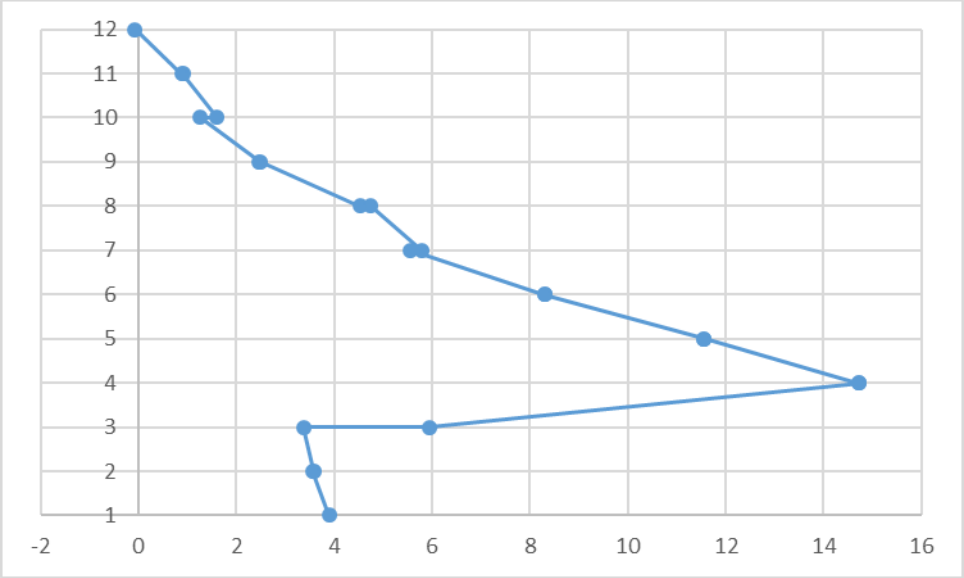
Şekil 4.117: Cape Mendocino (Uzak fay, RSN = 830).



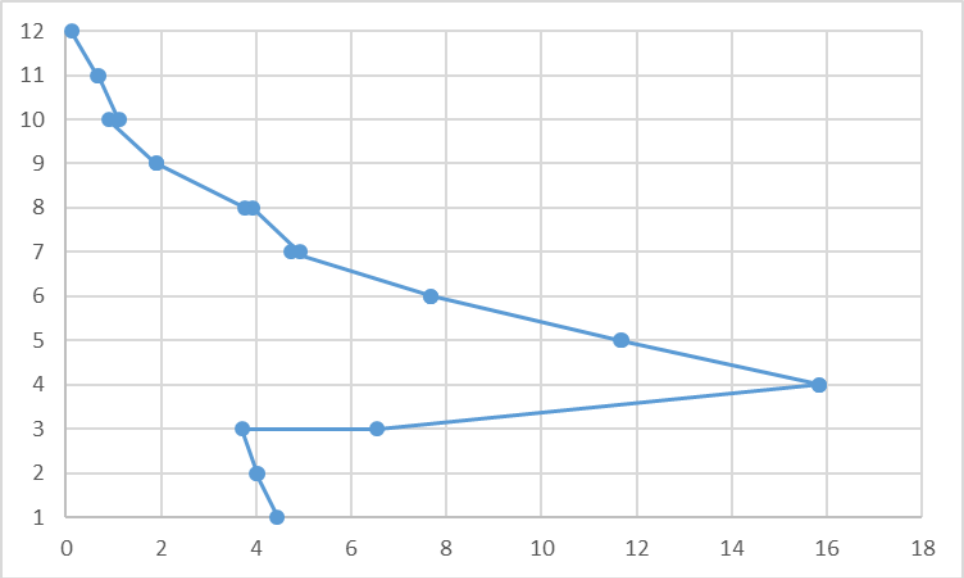
Şekil 4.118: Chi-Chi Taiwan (Yakın fay, RSN = 1231).



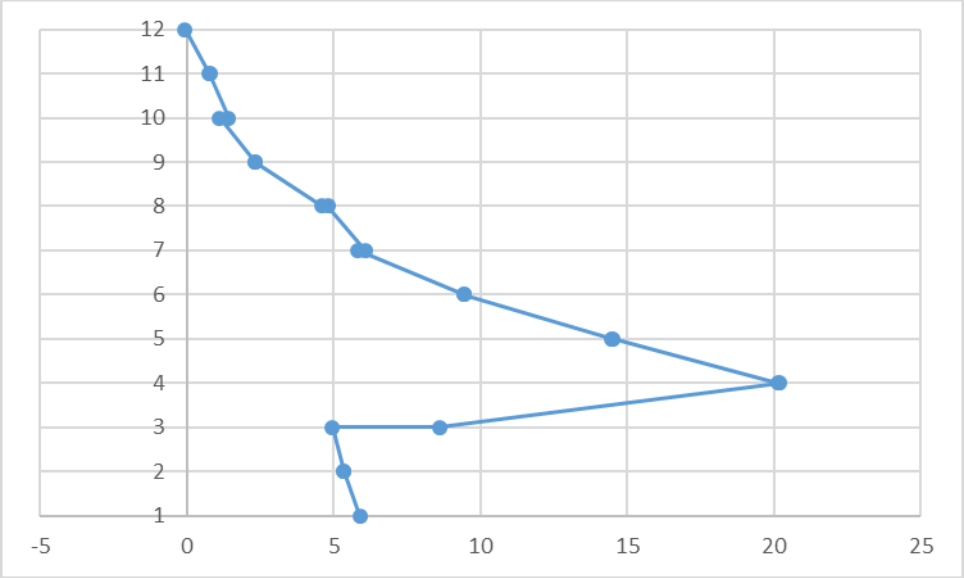
Şekil 4.119: Duzce (Yakın fay, RSN = 1612).



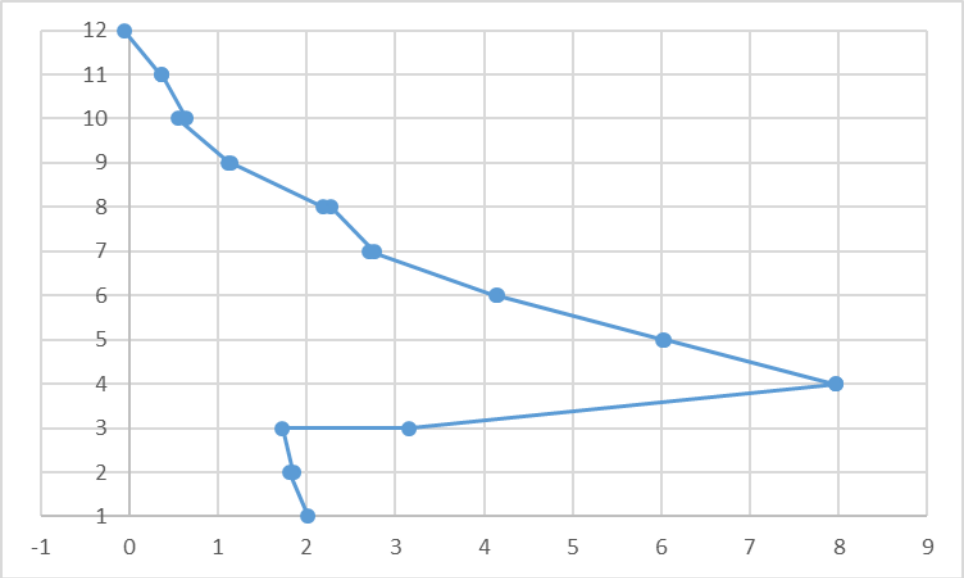
Şekil 4.120: Imperial Valley-02 (Yakın fay, RSN = 6).



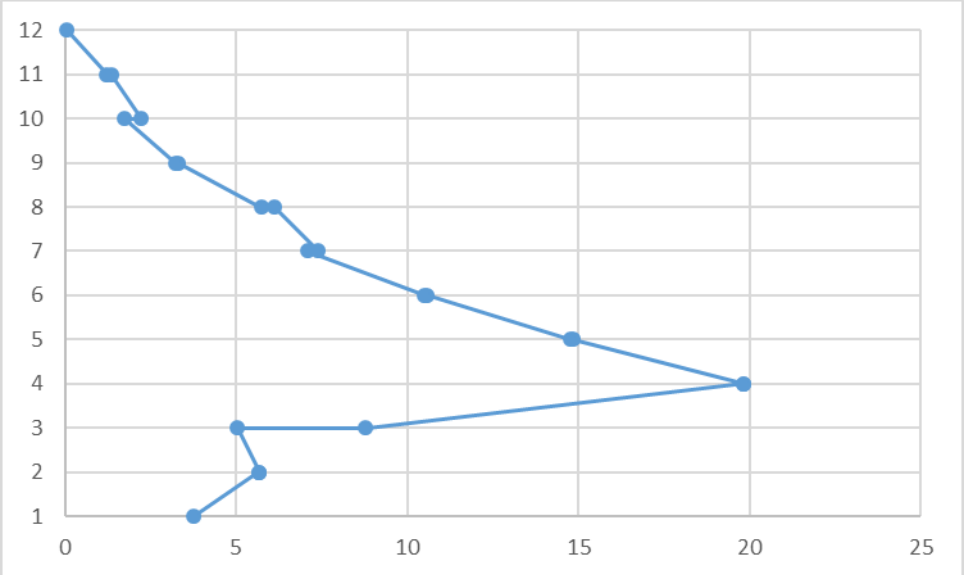
Şekil 4.121: Imperial Valley-06 – El Centro (Yakın fay, RSN = 181).



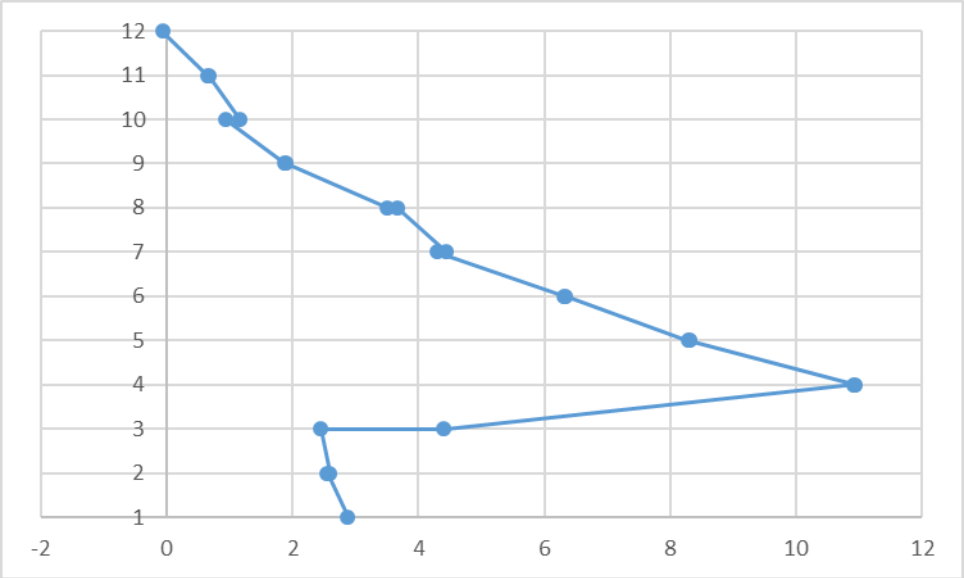
Şekil 4.122: Kobe (Yakın fay, RSN =1108).



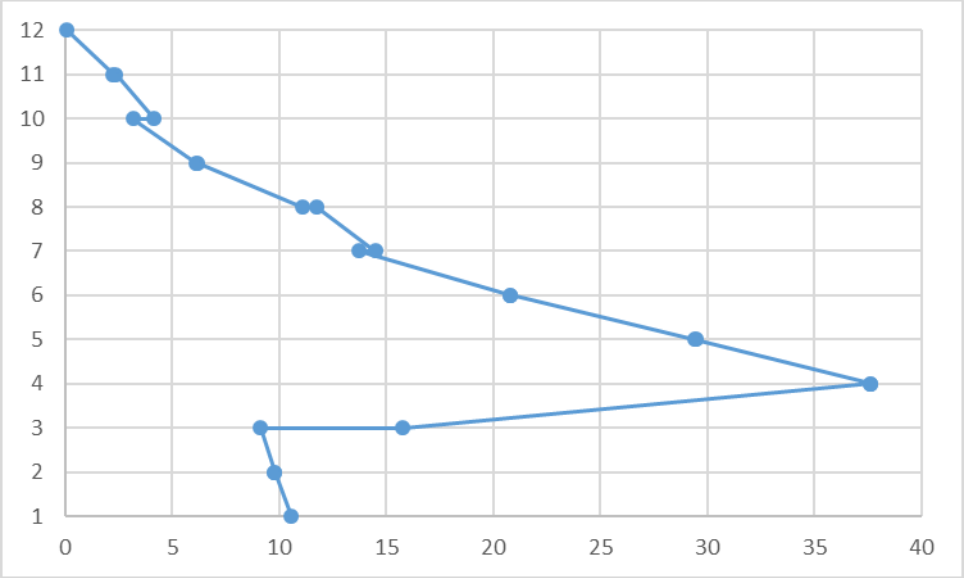
Şekil 4.123: Landers (Uzak fay, RSN = 881).



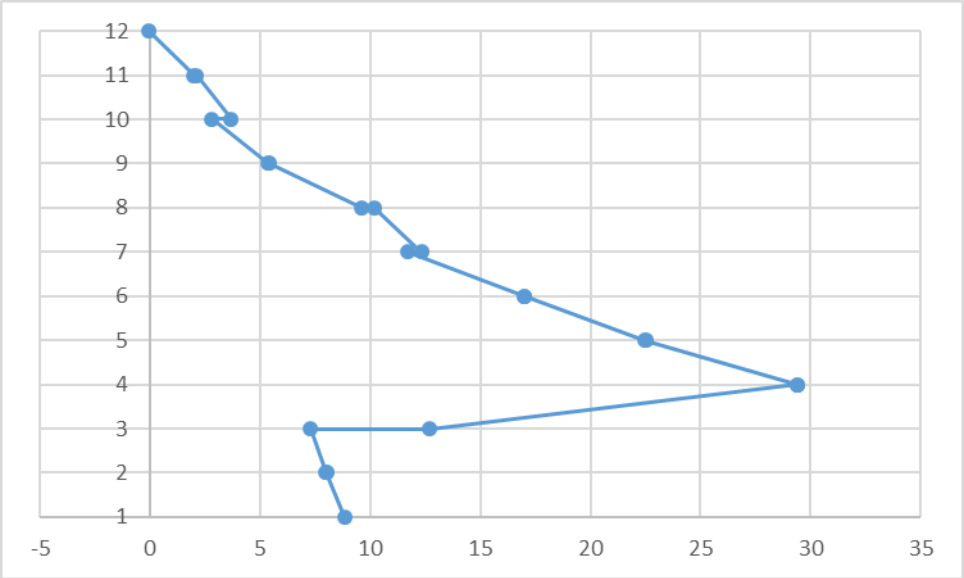
Şekil 4.124: Landers (Yakın fay, RSN = 879).



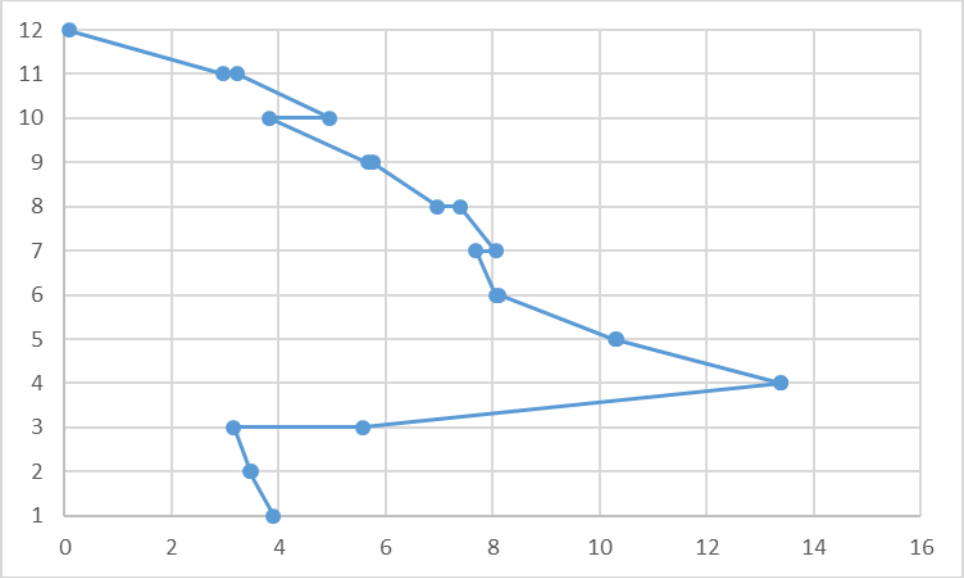
Şekil 4.125: Loma Prieta (Uzak fay, RSN = 755).



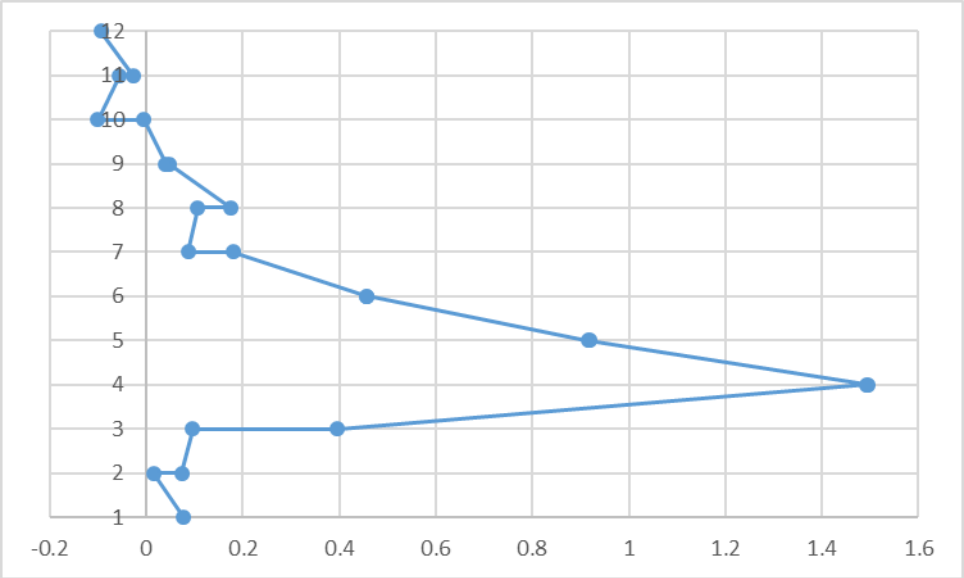
Şekil 4.126: Loma Prieta (Yakın fay, RSN = 779).



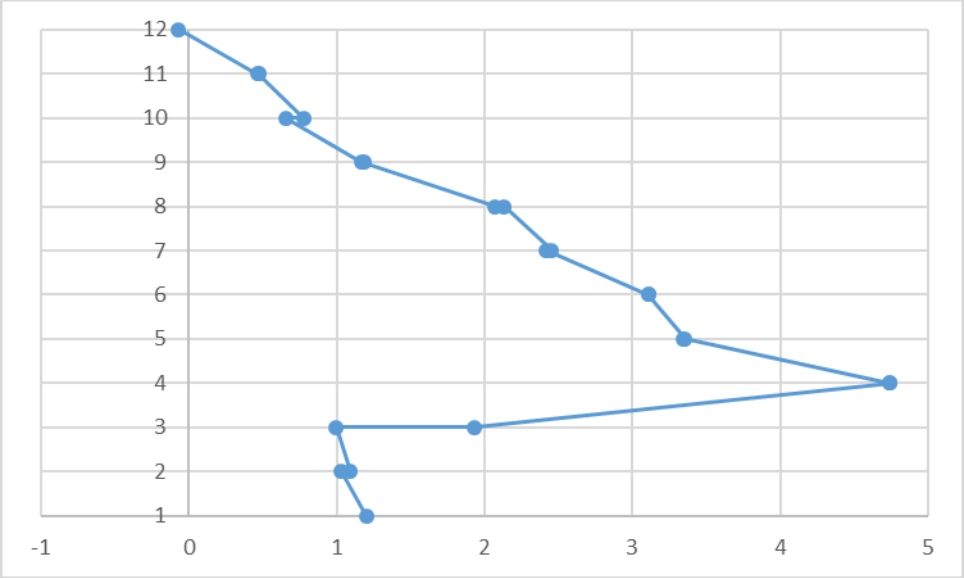
Şekil 4.127: N. Palm Springs (Yakın fay, RSN = 529).



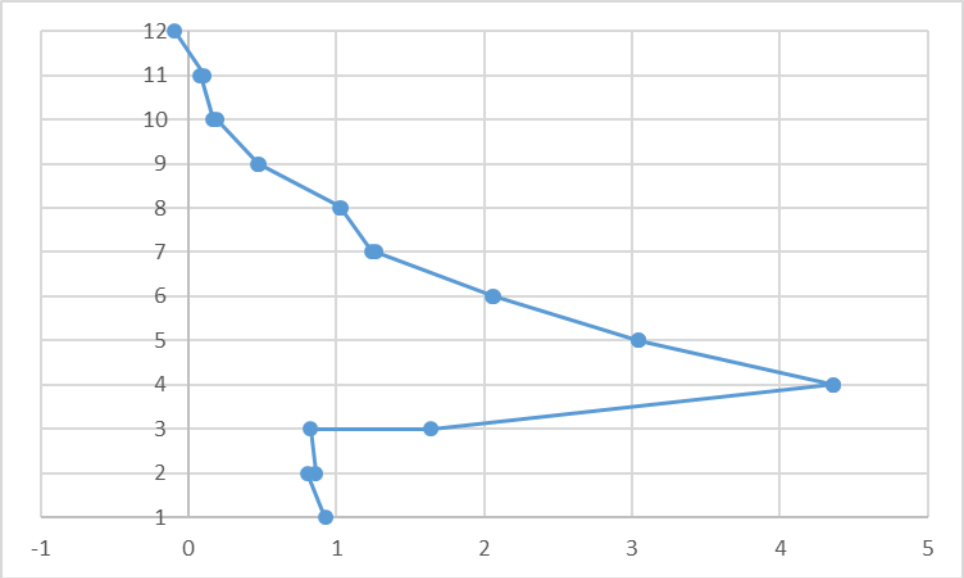
Şekil 4.128: Nahanni Canada (Yakın fay, RSN = 495).



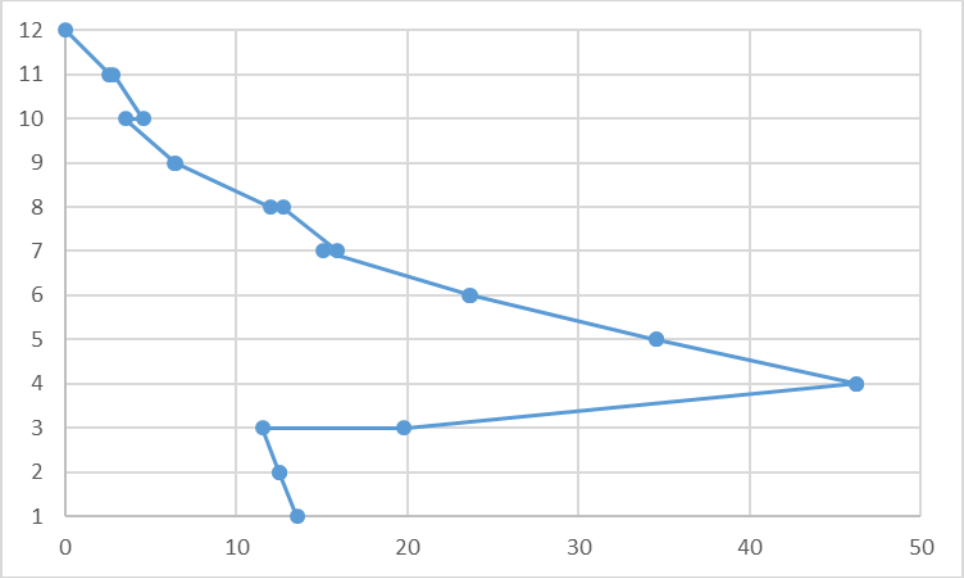
Şekil 4.129: Parkfield (Uzak fay, RSN = 28).



Şekil 4.130: Parkfield (Yakın fay, RSN = 30).



Şekil 4.131: San Fernando (Uzak fay, RSN = 88).



Şekil 4.132: San Fernando (Yakın fay, RSN = 77).

Bu gerilmelerin değerleri depremden depreme ve kesitten kesite değişebileceği için, grafiklerde gerilme değerlerinden çok hangi düğüm noktalarında pik yaptığı üzerinde durulmuştur. Bu pik noktalarında yeterli donatı olmadığı durumlarda yapı, donatının eksik olduğu noktadan göçme moduna girebilir. Yukarıdaki Şekil 116 - Şekil 132'de görüldüğü gibi pik noktalar, depremlere göre farklılıklar göstermekle birlikte geçiş elemanının üst ucu olan 4 numaralı düğüm noktası ve bu noktaya yakın olan 3, 5 ve 6 noktaları, tabloların hepsinde pik nokta veya pik noktaya yakın bir değer olarak konumlanmıştır.

5. TARTIŞMA

Yapılan çalışmada örnek bir minare için beş farklı analiz modeli oluşturulmuştur. Bu analiz modelleri arasında, açısal serbestliklere karşılık gelen kütlelerin tanımlandığı model de bulunmaktadır.

Literatürde deprem yer hareketinin açısal bileşenleri üzerine çalışmalar bulunmaktadır (Basu ve diğ., 2013). Depremin açısal ivmelerinin yapılara olan etkisi henüz araştırma aşamasında ve uygulamalarda yaygın olarak kullanılmamaktadır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği de bu konunun kapsamı dışındadır. Yapılan tez çalışmasında açısal bileşenlere karşılık gelen kütlelerin tanımlandığı analiz modelinde (Model 1), depremin açısal ivmelerinin de analize dahil edilmesi halinde, açısal ivme bileşenleri ile bu bileşenlere karşılık gelen kütle değerlerinin çarpımının değeri 0 olmayacaktır.

Minareler, narin yapılar olması sebebiyle özel analiz yöntemleri gerektirmektedir. Bu konuda literatürde pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların bir kısmında, açısal serbestlik bileşenlerine karşılık gelen kütleler tanımlanmamıştır (Ertek, Fahjan, 2007; Şentürk, Özkaynak, 2017). Bu sebeple açısal serbestliklere karşılık gelen kütleler sebebiyle oluşan ilave modlar ihmal edilmiştir. Yapılan bu varsayımın, gelecek çalışmalarda depremin açısal ivmelerinin de dinamik analizlerde yaygın olarak kullanılmasıyla, büyük oranda geçerliliğini yitireceği düşünülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Geçtiğimiz yıllarda ülkemizde, birçok şiddetli deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerden yalnızca 1999 Kocaeli (17 Ağustos) ve 1999 Düzce (12 Kasım) depremlerinde 64 adet minarenin büyük hasarlar aldığı kayıtlara geçmiştir (Sezen ve diğ, 2003). Bu tür hasar ve yıkımların meydana gelmemesi için, doğru kabuller ve hesap teknikleri kullanılması gerekmektedir. Doğru kabullerin yapılabilmesi için de, yapıların deprem sırasındaki davranışının iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, eğilme etkisinin belirleyici olduğu, kule tipi konsol bir yapı olan örnek bir minarenin 5 modeli oluşturulmuş ve bu modellerin deprem altındaki davranışları araştırılmıştır.

Modellerin mod şekilleri incelendiğinde, açısal serbestliklere karşılık gelen kütlelerin tanımlandığı model olan Model 1'in 33 adet moda sahip olduğu görülmüştür. Model 1 ve Model 2'nin mod şekilleri ve periyotları karşılaştırıldığında, açısal bileşenlere karşılık gelen kütlelerin, düşey modları etkilemediği görülmüştür. Bununla beraber açısal bileşenlere karşılık gelen kütleler, yatay modları, ilk modlarda görece daha az olmak şartıyla etkilemiştir. İleri modlarda bu farkın artması sebebiyle benzer olan modlar farkedilememiştir.

Açısal bileşenlere karşılık gelen kütle değerlerinin olmadığı, yüklerin de yayılı kabul edildiği Model 3 ile Model 2 karşılaştırıldığında, Model 2'nin 16. moduyla benzerlik gösteren modun, Model 3'ün 17. moduna denk geldiği, Model 2'nin 17. moduyla benzerlik gösteren modun, Model 3'ün 16. moduna denk geldiği görülmüştür. Bunun dışında çok büyük bir fark olmadığı, kütle katılım değerlerinin oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Çubuk sonlu eleman ile modellenmiş olan modeller, kabuk ve katı elemanlar ile oluşturulan modeller ile kıyaslandığında, kabuk ve katı modellerin yatay kütle katılım oranlarının, herhangi bir mod içerisinde, düşey kütle katılım oranlarıyla birlikte bulunabileceği görülmüştür. Çubuk eleman modellerde bu durum gözlemlenmemiştir. Bu durumun sebebinin, kapı boşluğu gibi rijitlik merkezini asimetrik değiştiren kesitlerin, çubuk eleman modellerin tek boyutlu olması sebebiyle rijitlik merkezini değiştirememesi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca Model 1 ile kabuk ve katı eleman modellerinde, yatay (X) ve düşey (Z) benzer olan ilk 5 mod tespit edilebilmiş, geri kalan modlarda benzerlikler azalmış ve farkedilemez hale gelmiştir.

Şekil 4.53 – Şekil 4.79'daki Model 1, Model 2 ve Model 3'ün deplasman – zaman grafiği incelendiğinde, üç modelinde birbirine son derece yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Bununla beraber Model 2 ile Model 3'ün deplasman değerleri daha yakın görülmüştür. Model 1 ile Model 2 karşılaştırıldığında, Model 1'in deplasmanındaki farkın, yuvarlama hatası olabileceği düşünülmektedir. Bununla beraber deprem yer hareketinin açısal ivmelerinin daha yaygın kullanılmasıyla, açısal bileşenlere karşılık gelen kütlelerin tanımlı olduğu modelin, diğer modellere göre daha tutarlı sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

Model 1 için eksenel kuvvet incelemesi, uzak fay (Şekil 4.81 – Şekil 4.90) ve yakın fay (Şekil 4.91 – Şekil 103) grafiklerinde araştırılmıştır. Bu grafiklerdeki oranın 1'den büyük olması, o noktada eksenel çekme kuvveti olduğu anlamına gelmektedir. Grafiklerin genel karakteristiğine bakıldığında, 8 numaralı düğüm noktasından 11'e kadar yavaşça azalmakta ve 11 numaralı düğüm noktasından sonra ani artışla, 12 numaralı düğüm noktasında en büyük orana sahip olduğu görülmüştür. Grafikler uzak fay depremleri için 1 oranını aşamamıştır. Bu durum, uzak fay depremleri için minarede düşey deprem hareketi sebebiyle çekme kuvveti oluşmadığı anlamına gelmektedir. Bununla birlikte yakın fay depremlerinden "Cape Mendocino" için 9, 10, 11 düğüm noktaları hariç hepsi, "Landers" ve "Loma Prieta" için 10 ve 11 numaralı düğüm noktası hariç hepsi, "El Centro" için tüm düğüm noktaları ve "Nahanni" için yalnızca 12 numaralı düğüm noktası, bahsedilen oranı geçmekte ve bu noktalarda çekme kuvvetleri meydana gelmektedir.

Düşey deprem hareketi sonucu oluşan normal gerilmeler (çekme), Tablo 4.4 – Tablo 4.8'de, zati ağırlığın olmadığı ve zati ağırlığın olduğu durum olmak üzere iki durumda araştırılmıştır. Zati yükün olmadığı durumda en büyük normal çekme gerilmesi, "Landers" uzak fay depreminde, 4 numaralı düğüm noktasının alt kesitinde (gövde ile kürsünün birleştiği nokta), beton tasarım çekme dayanımının (1,26 MPa) ancak %23.5'na ulaşmıştır. Zati yükün olduğu tüm uzak fay depremlerinde ise, tüm düğüm noktalarında basınç gerilmesi oluşmuştur. Yakın fay depremlerinden "Loma Prieta" ve "Cape Mendocino" 4 numaralı düğüm noktasında, "Imperial Valley-06 (El Centro)" depremi ise 4, 5 ve 6 numaralı düğüm noktalarında, zati yükün olmadığı durumlar için beton tasarım çekme dayanımını geçmiştir. Zati yüklerin olduğu durumlarda ise "Imperial Valley-06 (El Centro)" depremi için 4 numaralı düğüm noktası, beton tasarım çekme dayanımının %66.1'ine ulaşmıştır. Hesaplanan veriler doğrultusunda, depremin düşey hareketi için mevcut minarenin en kritik noktası, 4 numaralı düğüm noktası olduğu görülmüştür.

Eksenel çekme konusunda en önemli düğüm noktalarından biri de 12 numaralı düğüm noktasıdır. Çünkü bazı minarelerde külah, yapıya ankrajlarla monte edilmektedir. Eksenel çekme kuvvetine maruz kalan ankrajlarda, yatay yer hareketi sonucu oluşan kuvvetler sebebiyle, ankraj çubuklarında ya da ankraj çevresi betonda ani gerilme artışları olabilir ve yeterince ankrajla monte edilmemiş külahlarda büyük çatlaklar, kırılmalar veya göçmeler meydana gelebilir. Aynı durum düzgün donatılandırılmamış betonarme külahlar için de geçerlidir.

Şekil 4.103 ve Şekil 4.104'te, kat kayması tipi davranış ile eğilme tipi davranışın, belirli bir zaman için anlık moment grafikleri incelenmiştir. Kule tipi izostatik konsol yapı örneği olan minarenin anlık moment grafiğinde, her bir düğüm noktası arasında moment değerinin işaret değiştirmediği, yapının anlık eğilme davranışına göre harhangi bir noktadan işaret değiştirdiği görülmüştür. Bu durum, kat kayması tipi davranış yapan çerçeve sistemlerde geçerli olmayıp, her iki kat yüksekliği arasındaki orta noktada moment grafiği işaret değiştirmektedir. Bu durum, minarelerin deprem davranışının çerçeve yapılardan farklı olduğu, eğilme davranışı sergilediği anlamına gelmektedir.

Şekil 4.106 – Şekil 4.115'te, yapının zarf momentleri araştırılmıştır. Bu değerler yakın fay depremlerinde genellikle daha büyüktür. Zarf momentleri, genel olarak mesnette çok büyük bir değerden başlayıp, 12 numaralı düğüm noktasına doğru giderek azalmaktadır. Bu durum yapının kat kayması şeklinde değilde, eğilme davranışı yapmasından kaynaklanmaktadır. Bununla beraber "Cape Mendocino" uzak fay depreminin moment grafiği (Şekil 4.107), diğer grafiklere göre farklı olduğu görülmüştür. Bu durumun sebebinin, yapının diğer depremlerdekinden farklı bir mod ile daha fazla etkileşime girmesi olduğu düşünülmektedir.

Şekil 4.116 – Şekil 4.132'de hem eğilme hem de eksenel kuvvet sonucu oluşan çekme gerilmeleri, yapının zati yükünden meydana gelen gerilmeler ile süperpoze edilerek verilmiştir. Genel olarak gerilme grafikleri görüldüğü üzere karakteristik bir davranış içermektedir. "Cape Mendocino" uzak fay depremi dışında ki tüm depremlerde, 4 numaralı düğüm noktası, yani kürsü ile gövdenin birleştiği nokta kritik nokta olmakta, takip eden 5, 6, 7 ve. 8 numaralı düğüm noktalarında ise gerilme kademeli olarak azalmaktadır. "Cape Mendocino" uzak fay depreminde ise kritik noktalar, 7 ve 8 numaralı düğüm noktalarıdır. Bu noktalar, alttaki şerefenin üzerinde kalan ve kapı boşluğu içeren kesitlerdir. "Düzce" yakın fay depreminde ise 4 numaralı düğüm noktasına ek olarak 5, 6, 7 ve 8 numaralı düğüm noktaları da kritik noktalar

olarak kabul edilebilir. Bahsi geçen noktaların betonarme tasarımı sırasında yapılabilecek bir hata, yapının depremde işlevsiz kalmasına sebep olabilecektir.

Yapılarda düşey rijitliğin genel olarak yatay rijitliğe göre yüksek olması sebebiyle, düşey modların periyotları oldukça düşük çıkmaktadır. Bu sebeple deprem kayıtları seçilirken, düşeydeki olası rezonans durumunun tespit edilebilmesi için, zaman adımı küçük olan depremlerin seçilmesinde fayda olduğu düşünülmektedir.

Sap2000'de mevcut olan kabuk elemanın yüzeyine dik açısal rijitliğinde bir takım belirsizlikler bulunmakta, düzleme dik açısal bileşen davranışı birtakım kabuller ile hesaplanmaktadır. Bu sebeple Model 4, çalışmada ana model olarak tercih edilmemiştir. Kabuk elemandaki bu belirsizliğin, hatalı sonuçlar verebileceği düşünülmektedir.

Minareler, eğilme etkisinin hakim olduğu, kule tipi yapılardır. Geometrisi dolayısıyla narin bir yapı türüdür. Davranışları sebebiyle kayma çerçevesi türündeki yapılardan ayrılmaktadır. Bu sebeple kayma çerçevesi türündeki yapıların yönetmelikleriyle değil, kendine ait yeni bir yönetmeliğin olması gerektiği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Basu, D., Whittaker, A., S., Constantinou, M., C., 2013, Extracting rotational components of earthquake ground motion using data recorded at multiple stations, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 42 (3), 451-468.

Başaran, H., Demir, A., Ercan, E., Nohutçu, H., Hökelekli, E., Kozanoğlu, C., 2015, Investigation of seismic safety of a masonary minaret using its dynamic characteristics, *Earthquakes and Structures*, 10 (3), 523-538.

Chopra, A., K., 2015, *Yapı dinamiği teori ve deprem mühendisliği uygulamaları*, Palme Yayıncılık, Ankara, 978-605-355-339-7.

Çaktı, E., Saygılı, Ö., Görk, S., Zengin, E., Olivera, C., S., Lemos, J., V., 2013, Edirnekapı mihrimah sultan camii minaresinin deprem davranışı, *Vakıf Restorasyon Yıllığı*, 6, 33-40.

Çarhoğlu, A., I., Usta, P., Korkmaz, K., A., 2013, Ayasofya örneğinde tarihi minare yapılarının sismik davranışının incelenmesi, *SDU International Technologic Science*, 5 (1), 36-43.

Dogangun, A., Acar, R., Sezen, H., Livaoglu, R., 2008, Investigation of dynamic response of masonary minaret structures, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 6 (3), 505-517.

Doğangün, A., Sezen, H., Tuluk, Ö., İ., Livaoğlu, R., Acar, R., 2007, Traditional turkish masonary monumental structures and their earthquake response, *International Journal of Architectural Heritage*, 1 (3), 251-271.

Ersoy, U., Özcebe, G., Canbay, E., 2020, *Betonarme davranış ve hesap ilkeleri*, Evrim Yayınevi, İstanbul, ISBN: 978-975-5032-39-9.

Ertek, E., Fahjan, Y., M., 2007, Osmanlı minarelerinin yapısal sistemleri: sınıflandırma, modelleme ve analizi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim 2007, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Hökelekli, E., 2020, Yapı-zemin etkileşiminin tarihi yığma minarelerin deprem davranışına etkisi, DÜMF Mühendislik Dergisi, 11 (2), 825-838.

Işık, E., Antep, B., 2018, Ahlat ilçesinde yer alan tarihi yığma minarenin yapısal analizi, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 7 (1), 46-56.

Kamıarfar, M., Naimi, S., 2016, Faya yakın depremlerin etkisi ve yapıların güçlendirtme amacı ile incelenmesi, *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 32, 127-136.

Kasımzade, A., A., 2018, *Yapı dinamiği temelleri ve deprem mühendisliğinde uygulamaları*, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, ISBN: 978-605-320-933-1.

Kılıç, İ., Bozdoğan, K., B., Aydın, S., Gök, S., G., Gündoğan, S., 2020, Kule tipi yapıların dinamik davranışının belirlenmesi: kırklareli hızırbey camii minaresi örneği, Politeknik Dergisi, 23 (1), 19-26.

Korkmaz, K.A., 2017, A Simplified Strengthening Methodology for Minaret Structures in Turkey: Hagia Sophia Case, *International Journal of Architectural Engineering Technology*, 4, 11-17.

Kuşüzümü, K., H., 2010, Yapım teknikleri açısından istanbul minareleri, *Restorasyon Yıllığı Dergisi*, 1, 56-66.

Majid, K., I., 1972, *Non-linear structures matrix methods of analysis and design by computers*, Butterworths, London, 0-40870251-6.

Maras, M.M., Özmen, A., Sayın, E., Ayaz, Y., 2022, Seismic Assessment of the Historical Sütlü Minaret Mosque, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 66(2), 445-459.

Ödekan, A., 1997. Minare, Eczacıbaşı Sanat Ansiklopedisi, Cilt:2, İstanbul.

Öztorun, E., Damcı, E., Öztorun, N., K., 2018, Analysis of axially symmetric shell structures, *20. National Mechanics Congress*, 9 (2), 235-242.

PEER Ground Motion Database, https://ngawest2.berkeley.edu/., [Ziyaret tarihi: 11 Ekim 2021].

Pekgökgöz, R., K., Taş, G., 2017, Ayarlı Kütle Sönümleyici Yerleştirilmiş Betonarme Yüksek Minarelerin Dinamik Analizi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(1), 265-282.

Sap2000, Structural analysis program, 2019, *Computers and Structures Inc*., Berkeley, California, USA.

Sap2000 Manuel**,** 2017. Integrated structural analysis and design software, Computer and Structures Inc., USA.

Sezen, H., Fırat, G., Y., Sozen, M., A., 2003, Investigation of the performance of monumental structures during the 1999 Kocaeli and Duzce earthquakes, *Fifth national conference on earthquake engineering.*

Sezen, H., Acar, R., Dogangun, A., Livaoglu, R., 2008, Dynamic Analysis and seismic performance of reinforced concrete minarets, *Engineering Structures*, 30 (8), 2253-2264.

Şentürk, M., Özkaynak, H., 2017, Kapıüstü mescidi minaresinin yapı mühendisliği açısından değerlendirilmesi, *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*, 2-3-4 Kasım 2017, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Topçu, A., 2015, *Sonlu elemanlar metodu 1. kısım: yer değiştirme metodu ders notu*, Eskişehir.

TS 500, 2000, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS ISO 9194, 1997, Yapıların Projelendirilmes Esasları-Taşıyıcı Olan ve Olmayan Elemanlar Depolanmış Malzemeler-Yoğunluk, Ankara.

Türkeli E., 2020, Dynamic Seismic and Wind Response of Masonry Minarets, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 64 (2), 353-369.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.

Tuluk, Ö., İ., Doğangün, A., Livaoğlu, R., Acar, A., 2006, Mimari ve Taşıyıcı Sistem Özellikleri bağlamında Türk Minare Geleneği, *Yapı Dünyası Dergisi*, 122, 41-49.

Uğurlu, M., A., Karaşin, A., 2016, Evaluation of the structural damages of the four-legged minaret, 12th International Congress on Advances in Civil Engineering, 21-23 September 2016, Boğaziçi University, Istanbul.

Usta, P., 2021, Assessment of seismic behavior of historic masonry minarets in Antalya, Turkey, *Case Studies in Construction Materials*, 15(e00665).

EKLER

EK 1. PERİYOT VE KÜTLE KATILIM ORANLARI

EK 1.1. MODEL 2 PERİYOT VE KÜTLE KATILIM ORANLARI

Mod	Periyot	Model 2 Kütle Katılım (UX)	Model 2 Kütle Katılım (UZ)	Model 2 Kütle Katılım (RY)
1	1.05383	5.00E-01	0.00E+00	4.80E-01
2	0.18325	1.70E-01	0.00E+00	5.31E-02
3	0.07084	8.48E-02	0.00E+00	6.68E-02
4	0.04525	0.00E+00	7.00E-01	0.00E+00
5	0.04085	6.19E-02	0.00E+00	7.17E-02
6	0.02752	7.94E-02	0.00E+00	1.20E-01
7	0.02129	4.12E-02	0.00E+00	6.85E-02
8	0.01556	1.04E-19	1.00E-01	2.17E-19
9	0.01460	7.15E-04	4.00E-19	1.39E-03
10	0.01194	6.37E-02	2.32E-18	1.30E-01
11	0.01006	7.03E-19	6.60E-02	1.48E-18
12	0.00912	4.36E-06	0.00E+00	9.60E-06
13	0.00779	1.68E-07	3.84E-15	3.80E-07
14	0.00773	1.59E-19	5.42E-02	3.53E-19
15	0.00663	2.21E-18	2.93E-02	5.38E-18
16	0.00599	5.51E-03	2.62E-18	1.33E-02
17	0.00571	1.58E-18	3.06E-03	3.93E-18
18	0.00435	2.79E-18	3.57E-02	6.64E-18
19	0.00423	1.92E-20	4.76E-05	5.59E-20
20	0.00335	4.37E-19	9.24E-09	1.07E-18
21	0.00309	2.21E-19	2.59E-10	5.27E-19
22	0.00252	1.11E-19	4.53E-03	3.00E-19

EK 1.2. MODEL 3 PERİYOT VE KÜTLE KATILIM ORANLARI

Mod	Periyot	Model 3 Kütle Katılım (UX)	Model 3 Kütle Katılım (UZ)	Model 3 Kütle Katılım (RY)
1	1.05384	5.10E-01	0.00E+00	5.20E-01
2	0.18322	1.70E-01	0.00E+00	5.41E-02
3	0.07073	8.40E-02	0.00E+00	6.57E-02
4	0.04524	0.00E+00	7.30E-01	0.00E+00
5	0.04068	5.82E-02	0.00E+00	6.67E-02
6	0.02723	7.29E-02	0.00E+00	1.10E-01
7	0.02113	4.05E-02	0.00E+00	6.67E-02
8	0.01552	0.00E+00	9.92E-02	0.00E+00
9	0.01459	4.78E-04	3.35E-19	9.16E-04
10	0.01117	5.05E-02	5.33E-18	1.00E-01
11	0.00999	3.87E-18	5.91E-02	8.07E-18
12	0.00912	7.54E-06	4.04E-19	1.63E-05
13	0.00779	1.92E-07	3.05E-19	4.26E-07
14	0.00764	1.64E-19	4.75E-02	3.87E-19
15	0.00657	9.97E-19	3.00E-02	2.37E-18
16	0.00570	2.50E-16	2.95E-03	5.96E-16
17	0.00556	7.36E-03	1.44E-16	1.75E-02
18	0.00424	2.92E-19	4.17E-05	6.58E-19
19	0.00410	1.20E-19	2.87E-02	2.86E-19
20	0.00335	0.00E+00	1.50E-08	0.00E+00
21	0.00309	4.29E-19	3.15E-10	1.03E-18
22	0.00233	0.00E+00	6.75E-03	0.00E+00

EK 1.3. MODEL 4 PERİYOT VE KÜTLE KATILIM ORANLARI

Mod Numarası	Periyot (sn)	Kütle Katılım Oranı (UX)	Kütle Katılım Oranı (UY)	Kütle Katılım Oranı (UZ)	Kütle Katılım Oranı (RX)	Kütle Katılım Oranı (RY)	Kütle Katılım Oranı (RZ)
1	1.04776	1.15E-05	4.75E-01	6.97E-10	4.95E-01	1.18E-05	2.28E-06
2	1.03779	4.76E-01	1.16E-05	2.58E-09	1.17E-05	4.95E-01	1.99E-06
3	0.19090	3.05E-08	1.68E-01	2.40E-06	4.08E-02	4.66E-11	6.87E-08
4	0.18251	1.72E-01	6.14E-08	3.55E-09	1.47E-08	4.45E-02	7.67E-06
5	0.07429	1.19E-06	9.17E-02	9.20E-04	6.09E-02	8.16E-07	9.70E-08
6	0.07261	9.17E-02	6.69E-07	7.82E-08	3.02E-07	6.28E-02	1.98E-03
7	0.06467	1.90E-04	2.02E-07	6.87E-05	1.34E-07	3.10E-04	4.39E-01
8	0.04358	7.68E-06	7.21E-03	6.02E-01	7.22E-03	8.08E-06	4.60E-05
9	0.04274	7.61E-05	5.80E-02	9.15E-02	5.71E-02	7.90E-05	4.72E-07
10	0.04234	8.46E-02	4.91E-05	2.70E-04	5.18E-05	8.79E-02	2.30E-04
11	0.02875	2.77E-05	5.89E-02	1.40E-04	7.39E-02	3.93E-05	2.08E-05
12	0.02820	6.46E-02	2.76E-05	1.08E-07	3.87E-05	8.95E-02	4.13E-03
13	0.02522	2.30E-04	3.82E-06	4.35E-07	5.27E-06	6.50E-04	9.77E-02
14	0.02040	1.78E-02	8.52E-08	1.67E-06	2.75E-07	3.04E-02	2.07E-03
15	0.01971	1.07E-06	3.20E-02	7.93E-05	4.89E-02	1.80E-06	5.31E-09
16	0.01721	1.37E-02	3.52E-06	2.29E-05	6.47E-06	2.40E-02	1.62E-02
17	0.01573	4.65E-03	7.40E-06	2.60E-04	1.25E-05	1.14E-02	1.02E-01
18	0.01558	9.26E-07	9.70E-04	1.49E-02	1.61E-03	2.07E-06	1.64E-05
19	0.01554	1.10E-04	2.53E-05	6.70E-04	4.16E-05	3.50E-04	1.18E-02
20	0.01551	1.23E-05	3.44E-03	6.51E-02	5.69E-03	3.34E-05	7.10E-04
21	0.01462	8.32E-07	1.41E-02	1.95E-02	2.47E-02	7.26E-07	8.11E-05
22	0.01358	7.85E-06	7.15E-05	3.40E-03	1.30E-04	1.21E-05	1.80E-05
23	0.01255	2.79E-03	1.65E-06	6.01E-05	3.21E-06	3.74E-03	1.20E-01
24	0.01204	9.70E-04	2.63E-05	2.39E-03	4.60E-05	2.19E-03	1.71E-05
25	0.01195	8.28E-03	3.70E-05	2.90E-04	6.87E-05	1.75E-02	1.40E-02
26	0.01160	3.95E-05	1.79E-02	8.90E-04	3.39E-02	7.23E-05	2.15E-05
27	0.01104	3.19E-06	2.10E-05	1.35E-06	4.66E-05	5.62E-05	8.48E-03
28	0.01082	2.76E-03	8.33E-08	8.47E-06	1.00E-06	5.94E-03	6.50E-04
29	0.01047	6.15E-03	7.89E-05	1.94E-06	1.50E-04	1.20E-02	5.40E-04
30	0.00985	1.02E-03	1.90E-04	4.20E-04	3.70E-04	1.74E-03	5.79E-02

EK 1.4. MODEL 5 PERİYOT VE KÜTLE KATILIM ORANLARI

Mod Numarası	Periyot (sn)	Kütle Katılım Oranı (UX)	Kütle Katılım Oranı (UY)	Kütle Katılım Oranı (UZ)	Kütle Katılım Oranı (RX)	Kütle Katılım Oranı (RY)	Kütle Katılım Oranı (RZ)
1	1.05497	2.06E-05	4.81E-01	6.39E-11	4.90E-01	1.92E-05	1.47E-06
2	1.04512	4.82E-01	2.08E-05	1.38E-10	1.92E-05	4.90E-01	2.41E-06
3	0.18927	4.31E-07	1.66E-01	2.00E-06	4.24E-02	3.80E-08	3.67E-08
4	0.18128	1.70E-01	2.78E-07	1.80E-08	2.46E-08	4.56E-02	2.50E-06
5	0.07290	6.30E-04	5.31E-02	7.10E-04	3.62E-02	5.40E-04	1.85E-01
6	0.07274	1.30E-03	3.62E-02	3.10E-04	2.46E-02	1.08E-03	2.69E-01
7	0.07129	8.55E-02	1.37E-05	5.40E-09	9.30E-06	5.90E-02	2.03E-03
8	0.04389	1.66E-08	5.10E-04	6.84E-01	5.50E-04	7.97E-10	8.45E-06
9	0.04176	3.00E-04	6.15E-02	1.09E-02	6.15E-02	3.20E-04	8.84E-07
10	0.04131	7.81E-02	2.50E-04	2.56E-05	2.60E-04	8.10E-02	2.17E-05
11	0.02802	1.20E-04	5.63E-02	1.30E-04	7.11E-02	1.70E-04	3.20E-04
12	0.02731	6.38E-02	1.00E-04	5.55E-08	1.30E-04	8.71E-02	4.62E-03
13	0.02704	1.45E-07	1.00E-04	4.22E-07	1.30E-04	3.26E-05	8.60E-02
14	0.01988	1.64E-02	9.57E-07	3.36E-06	1.60E-06	2.73E-02	6.29E-03
15	0.01925	3.24E-07	3.10E-02	1.20E-04	4.72E-02	6.82E-07	2.78E-06
16	0.01762	1.33E-02	9.34E-06	8.88E-06	1.56E-05	2.18E-02	2.16E-02
17	0.01627	9.82E-08	3.70E-05	1.50E-04	5.97E-05	1.98E-07	8.58E-07
18	0.01623	2.70E-04	7.59E-08	1.45E-06	1.39E-07	4.50E-04	6.70E-04
19	0.01556	8.09E-03	2.24E-05	5.40E-04	4.04E-05	1.72E-02	1.03E-01
20	0.01538	7.25E-05	3.40E-03	8.56E-02	5.51E-03	1.50E-04	7.20E-04
21	0.01435	2.67E-08	1.48E-02	1.55E-02	2.54E-02	1.45E-07	1.41E-05
22	0.01290	6.21E-03	2.33E-06	5.04E-07	5.27E-06	1.01E-02	1.04E-01
23	0.01188	5.87E-03	1.89E-05	2.56E-07	3.16E-05	1.30E-02	1.38E-02
24	0.01136	2.58E-05	1.64E-02	1.02E-03	3.04E-02	5.02E-05	5.77E-06
25	0.01085	1.92E-03	4.60E-05	5.82E-06	8.19E-05	4.67E-03	1.31E-02
26	0.01033	8.95E-03	7.68E-06	1.37E-07	1.56E-05	1.68E-02	6.64E-02
27	0.00967	1.43E-07	1.20E-04	5.94E-02	2.00E-04	3.25E-07	5.92E-06
28	0.00944	3.18E-05	1.31E-02	3.50E-04	2.57E-02	6.16E-05	5.18E-05
29	0.00908	7.20E-04	6.98E-06	2.28E-07	1.35E-05	1.49E-03	2.05E-03
30	0.00890	2.02E-06	2.70E-04	4.00E-04	5.50E-04	4.20E-06	4.06E-06

4801190751-Yavuz Ozcelik

ORİJİNALLİK RAPORU

%7	%5	%1	%2
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%2
2	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%2
3	uvb.nrel.colostate.edu İnternet Kaynağı	<%1
4	amsdottorato.unibo.it İnternet Kaynağı	<%1
5	dspace.lib.ntua.gr İnternet Kaynağı	<%1
6	www.scribd.com İnternet Kaynağı	<%1
7	polen.itu.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
8	ankara.imo.org.tr İnternet Kaynağı	<%1
9	Encyclopedia of Earthquake Engineering, 2015.	<%1