

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OSMANLI MİNARELERİNİN YAPISAL
MODELLENMESİ VE DEPREM ANALİZİ

Emre ERTEK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

GEBZE

2009

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OSMANLI MİNARELERİNİN YAPISAL
MODELLENMESİ VE DEPREM ANALİZİ

Emre ERTEK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr. Yasin FAHJAN

GEBZE

2009

 GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ	MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ JÜRİ ONAY FORMU
--	--

JÜRİ

ÜYE (BAŞKAN) :

ÜYE :

ÜYE :

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı ile yukarıdaki öğretim elemanlarından oluşmuş jüri tarafından düzenlenen/...../..... tarihli Tez Savunma Tutanağı neticesinde Yüksek Lisans öğrencisi Emre ERTEK'in çalışması GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Yönetim Kurulu/...../..... tarih ve/..../..... sayılı kararıyla Deprem ve Yapı Bilimleri Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak onaylanmıştır.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZ BAŞLIĞI: Osmanlı Minarelerinin Yapısal Modellenmesi ve Deprem Analizi

YAZAR ADI: Emre ERTEK

Tarihi yapıların korunması ve yenilenmesi konusunda doğru analitik modellerin oluşturulması mühendisler için oldukça zorlayıcıdır. Tarihi yapıların modellenmesi ve analiz edilmesinde sadece yapının geometrik ve malzeme özelliklerinin bilinmesi yeterli değildir. Aynı zamanda yapının farklı bölümleri modellenirken en iyi elemanların kullanılması ve doğru sonuçları alabilmek için farklı yapısal elemanların nasıl birleştirileceğinin bilinmesi gerekir. Türkiye’de Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde inşa edilen çok sayıda tarihi minare bulunmaktadır. Ana binaya (cami) bitişik, ayrı ve ana bina beden duvarı üzerine inşa edilen minarelerin dış kabuklarında ve iç merdivenlerinde farklı yapısal malzeme kullanılmıştır.

Bu çalışmada, Osmanlı döneminde inşa edilen minarelerde kullanılan farklı yapı teknolojileri ve malzemeler araştırılmıştır. Sonlu elemanlar tekniği farklı minare sistemlerini modellemede kullanılmıştır. Dış kabuk ve iç merdivenler için farklı sonlu elemanlar modellerine çalışılmış ve karşılaştırılmıştır. Kullanılan farklı malzemelerin ve mesnet koşullarının, minarenin dinamik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir.

SUMMARY

THESIS TITLE: Structural Modeling and Earthquake Analysis of Ottoman Minarets

AUTHOR'S NAME: Emre ERTEK

The conservation and restoration of historical structures are great challenges for the engineering community in terms of robust analytical models. Modeling and analyzing the historical structures require not only the knowledge of geometrical and material properties of the structure but also the skills to use the best elements to model different parts of the structures and how to connect the different structural elements in order to get the correct results. A large number of historical minarets now exists all over Turkey built during “Selçuk” and “Ottoman” periods, which were constructed as an integrated part with the wall of the mosque, adjacent to the mosque and separated from the mosque. Different type of construction materials were used for outer shells and inner stairs.

In this study, the different construction technology and materials used at the minarets constructed during Ottoman period are investigated. Different aspects in the modeling and analysis of historical construction are reviewed. The finite element techniques are utilized to model the different minarets systems. Models using different finite elements for outer shells and inner stairs, different materials and different support conditions are studied and compared.

TEŞEKKÜR

Öncelikle yönlendirmesi, bilgi ve motivasyon konusunda destekleri, öğrettikleriyle bu çalışmanın oluşmasını sağlayan kıymetli hocam Y.Doç. Dr. Yasin Fahjan’a teşekkür etmeyi borç bilirim.

Çalışmanın her aşamasında, özellikle en yoğun son kısmında desteğini benden esirgemeyen eşime teşekkürlerimi sunuyorum.

Deprem ve Yapı Bilimi öğretim üyeleri, hocalarım Doç. Dr. Bülent Akbaş’a ve Prof. Dr. Bilge Siyahi’ye ilgilerinden ötürü teşekkürlerimi sunuyorum. Mimarlık Bölümü öğretim üyesi Y.Doç. Dr. Elif Özlem Aydın’a ilgilerinden ötürü teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xi
RESİMLER DİZİNİ	xii
1 GİRİŞ	1
1.1 Genel Bilgiler	1
1.2 Amaç ve Kapsam	6
2 OSMANLI MİNARELERİ	8
2.1 Klasik Osmanlı Minaresi Bölümleri	8
2.2 Osmanlı Taş Minarelerinin Yapım Tekniği	9
2.3 Minarelerin Mimari Açıdan Sınıflandırılması	15
2.3.1 Sinan Devrine Kadar İnşa Edilen Camiler ve Minareler	16
2.3.2 Mimar Sinan'dan Lale Devrine Kadar İnşa Edilen Camiler ve Minareler	18
2.3.3 Lale Devrinden Günümüze Kadar Olan Dönemde İnşa Edilen Camiler ve Minareler	20
3 TARİHİ BİNALARIN MODELLENMESİNDE TEMEL SÜREÇLER VE GEREKLER	22
3.1 Geometrik Veri	22
3.2 Malzeme ve Yapısal Deneyler	22
3.3 Yapı Geometrisinin Modellenmesi	23
3.3.1 Çerçeve – Katı eleman birleşimleri	23

3.3.2	Kabuk – Katı Eleman Birleşimleri	24
3.4	Modelleme Stratejileri	24
3.4.1	Makro Modelleme	24
3.4.2	Basitleştirilmiş Mikro Modelleme	24
3.4.3	Mikro Modelleme	25
3.5	Analiz Tipleri	25
3.5.1	Doğrusal Elastik Analiz	25
3.5.2	Doğrusal Olmayan Elastik Analiz	25
4	BİR MİNARE KESİTİNİN FARKLI ELEMANLAR KULLANARAK MODELLENMESİ VE ANALİZİ	27
4.1	İşlem ve Bulgular	27
4.2	Bulguların Değerlendirilmesi	36
5	BİR MİNARE KESİTİNİN FARKLI MALZEMELER KULLANARAK MODELLENMESİ VE ANALİZİ	37
5.1	İşlem ve Bulgular	37
5.2	Bulguların Değerlendirilmesi	52
6	BİR MİNARE MODELİNİN FARKLI MESNET KOŞULLARINA GÖRE ANALİZİ	54
6.1	İşlem ve Bulgular	55
6.2	Bulguların Değerlendirilmesi	74
7	SONUÇLAR	75
	KAYNAKLAR	
	Error! Bookmark not defined.	
	ÖZGEÇMİŞ	
	Error! Bookmark not defined.	

Şekiller Dizini

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1. Minarenin Bölümleri	8
2. Basamak Detay	10
3. Çerçeve, Kabuk Ve Katı Elemanların Serbestlik Dereceleri	23
4. Çerçeve – Katı Eleman Birleşimlerine Örnekleri	24
5. Yığma Yapılar için Malzemede Elastik Olmayan Çekme ve Basınç davranışı	26
6. Analizde Kullanılan Minare Sisteminin Geometrik Görünümü ve Boyutları	28
7. Analizde Kullanılan Modeller	29
8. Minare'nin Model-1'e ait Mod Şekilleri	31
9. Kocaeli 99 Depremi, Bursa Tofaş İstasyonu Deprem Kaydı	32
10. Kocaeli 99 Depremi, İzmit İstasyonu Deprem Kaydı	32
11. Model-1'de 1. Deprem Kaydına göre A noktasının yer değişim zaman grafiği	33
12. Model-2'de 1. Deprem kaydına göre A noktasının yer değişim zaman grafiği	33
13. Model-1'de 2. Deprem kaydına göre A noktasının yer değişim zaman grafiği	34
14. Model-2'de 2. Deprem kaydına göre A noktasının yer değişim zaman grafiği	34
15. Model-3, 4, 5 ve 6'nın geometrik özellikleri ve Model-4'ün malzemelerin kullanım yerleri	38
16. Model-3, 4, 5 ve 6'nın bilgisayar programındaki görüntüsü	39
17. Deprem Kaydı-3	40
18. Deprem Kaydı-4	40
19. Model-3 mod şekilleri	41
20. Model-4 mod şekilleri	42
21. Model-3'ün Deprem Kaydı-3'e göre A Noktasının Yer Değişim Zaman Grafiği	43
22. Model-3'ün Deprem Kaydı-3'e göre B Noktasının Yer Değişim Zaman Grafiği	44
23. Model-3'ün Deprem Kaydı-3'e göre Analizi Sonucunda C Noktasının Stres Zaman Grafiği	44
24. Model-3'ün Deprem Kaydı-3'e göre Analizi Sonucunda D Noktasının Stres Zaman Grafiği	45
25. Model-3'ün Deprem Kaydı-4'e göre A Noktasının Yer Değişim Zaman Grafiği	45
26. Model-3'ün Deprem Kaydı-4'e göre B Noktasının Yer Değişim Zaman Grafiği	46
27. Model-3'ün Deprem Kaydı-4'e göre C Noktasının Stres Zaman Grafiği	46
28. Model-3'ün Deprem Kaydı-4'e göre D Noktasının Stres Zaman Grafiği	47
29. Model-4'ün Deprem Kaydı-3'e göre A Noktasının Yer Değişim Zaman Grafiği	47
30. Model-4'ün Deprem Kaydı-3'e göre B Noktasının Yer Değişim Zaman Grafiği	48
31. Model-4'ün Deprem Kaydı-3'e göre C Noktasının Stres Zaman Grafiği	48
32. Model-4'ün Deprem Kaydı-3'e göre D Noktasının Stres Zaman Grafiği	49
33. Model-4'ün Deprem Kaydı-4'e göre A Noktasının Yer Değişim Zaman Grafiği	49
34. Model-4'ün Deprem Kaydı-4'e göre B Noktasının Yer Değişim Zaman Grafiği	50
35. Model-4'ün Deprem Kaydı-4'e göre C Noktasının Stres Zaman Grafiği	50
36. Model-4'ün Deprem Kaydı-4'e göre D Noktasının Stres Zaman Grafiği	51

37. Model-5'e yay mesnetlerin uygulanması	57
38. Model-6'ya yay link mesnetlerin uygulaması	58
39. Model - 5 mod şekilleri	59
40. Model – 6 mod şekilleri	60
41. Model-5'in Deprem Kaydı-3'e göre A noktasının yer değişim zaman grafiği	61
42. Model-5'in Deprem Kaydı-3'e göre B noktasının yer değişim zaman grafiği	61
43. Model-5'in Deprem Kaydı-3'e göre C noktasının Stres zaman grafiği	62
44. Model-5'in Deprem Kaydı-3'e göre D noktasının stres zaman grafiği	62
45. Model-6'nın Deprem Kaydı-3'e göre A noktasının yer değişim zaman grafiği	63
46. Model-6'nın Deprem Kaydı-3'e göre B noktasının yer değişim zaman grafiği	63
47. Model-6'nın Deprem Kaydı-3'e göre C noktasının stres zaman grafiği	64
48. Model-6'nın Deprem Kaydı-3'e göre D noktasının stres zaman grafiği	64
49. Model-3'ün deprem kaydı 3'e göre 0.25 m. , 7 m. Ve 15 m. yükseklikteki kesitlerde oluşan maksimum stres dağılımı (Mpa)	66
50. Model-5'in deprem kaydı 3'e göre 0.25 m. , 7 m. Ve 15 m. yükseklikteki kesitlerde oluşan maksimum stres dağılımı (Mpa)	67
51. Model-6'nın deprem kaydı 3'e göre 0.25 m. , 7 m. Ve 15 m. yükseklikteki kesitlerde oluşan maksimum stres dağılımı (Mpa)	68
52. Model-3, Doğu-Batı Yönlü Deprem için Batı Yönünden Maksimum Stres Dağılımı (Mpa)	69
53. Model-3,Doğu-Batı Yönlü Deprem için Güney Yönünden Maksimum Stres Dağılımı (Mpa)	69
54. Model-5 Doğu Yönünden Maksimum Stres Dağılımı (Mpa)	70
55. Model-5 Kuzey Yönünden Maksimum Stres Dağılımı (Mpa)	70
56. Model-5 Batı Yönünden Maksimum Stres Dağılımı (Mpa)	71
57. Model-5 Güney Yönünden Maksimum Stres Dağılımı (Mpa)	71
58. Model-6 Doğu Yönünden Maksimum Stres Dağılımı (Mpa)	72
59. Model-6 Kuzey Yönünden Maksimum Stres Dağılımı (Mpa)	72
60. Model-6 180 Batı Yönünden Maksimum Stres Dağılımı (Mpa)	73
61. Model-6 Güney Yönünden Maksimum Stres Dağılımı (Mpa)	73

Tablolar Dizini

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
1. Minare Modellerinin Doğal Titreşim Periyodları	31
2. Deprem Kaydı -1 kullanarak Lineer Zaman Analizinde Minare'nin A,B,C Değişik Noktalarında Ait Maksimum ve Minimum Sonuçları	35
3. Deprem Kaydı -2 kullanarak Lineer Zaman Analizinde Minare'nin A,B,C Değişik Noktalarında Ait Maksimum ve Minimum Sonuçları	35
4. Model-3 ve Model 4 'ün Doğal Titreşim Periyodları	43
5. Deprem Kaydı 3'e göre Model 3 ve Model 4'ün maksimum ve minimum değerlerinin karşılaştırılması	51
6. Deprem Kaydı 4'e göre Model 3 ve Model 4'ün maksimum ve minimum değerlerinin karşılaştırılması	52
7. Model 3,5 ve 6 doğal titreşim periyodlarının karşılaştırılması	58
8. Deprem Kaydı 3'e göre Model 3, Model 5 ve Model 6'nın maksimum ve minimum değerlerinin karşılaştırılması	65

Resimler Dizini

<u>Resim</u>	<u>Sayfa</u>
1. Amr İbn Al As camisi	2
2. Kayrevan Minaresi	2
3. Vezir Han Camisi	3
4. Mali'den bir minare örneği	3
5. Turfan, Çin'den bir minare örneği	3
6. Afganistan Jam' da bulunan Minare	3
7. Irak'ta bir minare örneği	4
8. El Mutavekkil Cami	4
9. Kazakistan'dan bir minare örneği	4
10. Kutab Minaresi	4
11. Eşrefoğlu Cami	5
12. İnce Minare	5
13. Çifte Minare	5
14. Ebu Menucehr Camii	5
15. Minarenin yapımında kullanılan ankrajlar	9
16. Mihrimah Camii Minaresi, merdivenlerin alttan görünüşü	11
17. Mihrimah Camii Minaresi, çekirdek ve merdivenler	11
18. Mihrimah Camii Minaresi, giriş kısmı	12
19. Yeni Camii Minaresi	12
20. Yeni Camii Minaresi, merdivenlerin alttan görünüşü	13
21. Yeni Camii Minaresi, çekirdek bölümü	14
22. Yeni Camii Minaresi	14
23. Yeni Camii Minaresi, merdiven ve duvar birleşimleri	15
24. Bayezid Camii	17
25. Firuzğa Camii	17
26. Atik Ali Paşa Camii	17
27. Murat Paşa Camii	18
28. Bursa Ulu Cami	18
29. Şehzade Camii	18
30. Süleymaniye Camii	19
31. Selimiye Camii	19
32. Sultanahmet Camii	19
33. Yeni Camii	20
34. Yıldız Camii	21

35. Nuru Osmaniye Camii	21
36. Ayasofya Camii ve minaresi	54
37. Dolmabahçe Valide Sultan Camii	54
38. Yeni Cami ve Minaresi	55

1 GİRİŞ

1.1 Genel Bilgiler

Osmanlı minarelerinin ülkemizdeki tarihi yapılar içerisinde biçim yönünden ayrı bir yeri vardır. Klasik şeklini Mimar Sinan döneminde alan Osmanlı minarelerinde, dış duvar ve iç merdivenin başarılı birleştirme teknikleriyle birleştirilmesi sonucunda iyi bir yapısal sistem vardır. Bunun en iyi göstergesi yüzyıllar önce yapılan birçok minarenin deprem, fırtına gibi birçok doğal afete rağmen hala ayakta kalmasıdır.

İslam dininde namaz zamanlarının bildirilmesinde benimsenmiş olan ezan ilk zamanlarda yüksek yerlerde okunurken daha sonraları deniz fenerleri, gözetleme kuleleri, kilise kuleleri üzerinde okunmuştur [Eyice, 1963]. Bu yapılar minarelerin ilk örneklerini oluşturmaktadır. Mısır'ın başkenti Fustat/Yeni Kahire'deki Amr İbn Al As Camisi'ne ek olarak 673 yılında Muaviye tarafından caminin dört tarafına inşa ettirilen minareler ilk minare örneklerindendir (Resim 1) [<http://en.wikipedia.org>]. Bu cami ve minaresi yıllar içerisinde tekrar tekrar yıkılıp yapılmıştır ve son halini 19. yüzyılda almıştır. Kuzey Afrika'da inşa edilen ilk minare örneklerinden biri Kayrevan Camii minaresidir (Resim 2). [<http://www.britannica.com>]

Birbirinden farklı boyutta ve geometride, genelde taştan ve tuğladan yapılmış minareler bulunmaktadır (Resim 3-10). Tunus, Fas, Cezayir, Mısır ve Suriye'de görülen dört veya çok köşeli minareler, ezan okuma işlevi yanında konut olarak da kullanılmıştır. Bu tip minarelere batı minareleri denir. İran, Irak ve Anadolu'daki minareler bölgeleri itibarı ile doğu minareleri grubunu oluşturmaktadır. Bu grup minareler yalnız ezan okuma işlevi için yapılmıştır [Lomlu, 1996].



Resim 1 Amr İbn Al As camisi, Fustat Mısır, 678
[\[http://www.archnet.org\]](http://www.archnet.org)



Resim 2 Kayrevan Minaresi, Tunus, 723-727



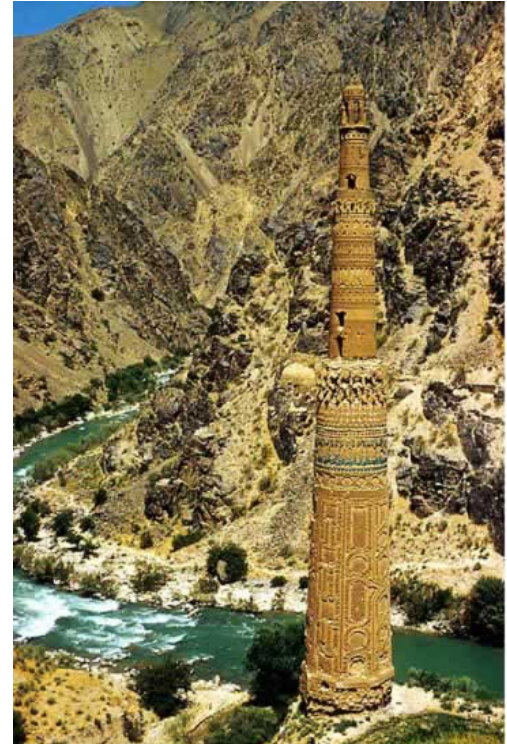
Resim 3 Vezir Han Camisi (Wazir Khan Mosque), Pakistan, yapım yılı 1635.[<http://en.wikipedia.org>]



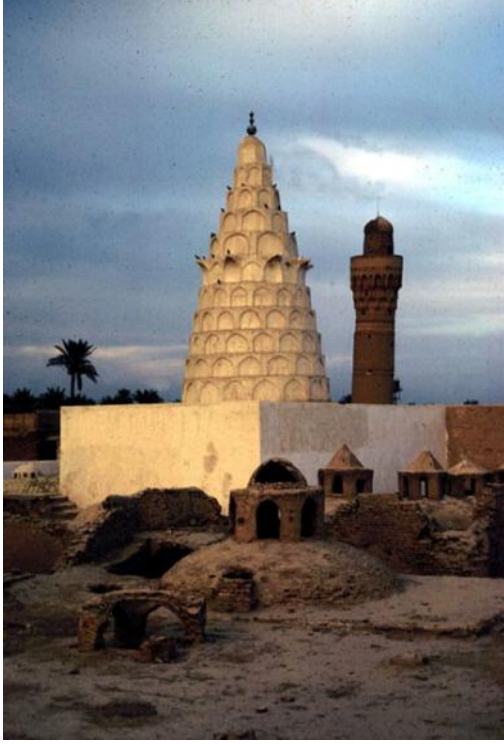
Resim 4 Mali'den bir minare örneği, 1365 yılında yapılmış.



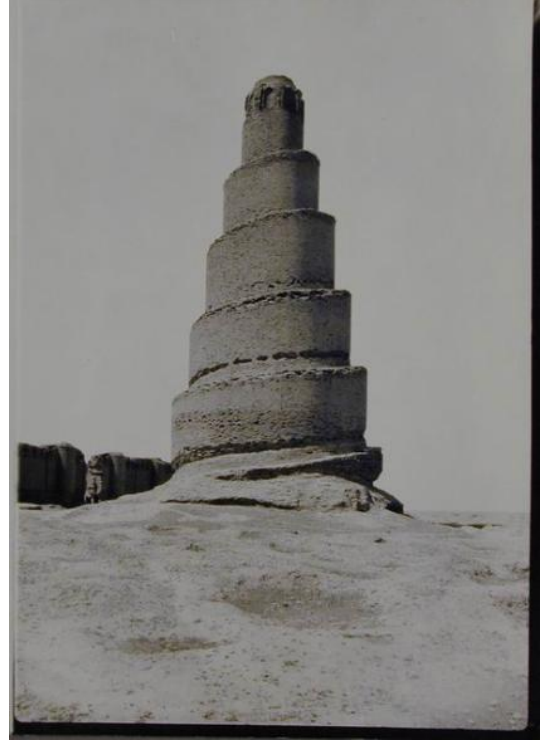
Resim 5 Turfan, Çin'den bir minare örneği, 1778 yılında yapılmış, 44 metre yüksekliğinde. [<http://en.wikipedia.org>]



Resim 6 65 metre yüksekliğindeki, Afganistan Jam' da bulunan Minare. [<http://en.wikipedia.org>]



Resim 7 Dhul Kifl Shrine, Irak



Resim 8 El Mutavekkil Cami, Samarra, Irak, 851



Resim 9 Kazakistan'dan bir minare örneği



Resim 10 Kutab Minaresi, Delhi Hindistan, 72,5 m yüksekliğinde yapım yılı 1368 [<http://en.wikipedia.org>]

Türkiye’de Selçuklu (Resim 11- 14) ve Osmanlı dönemlerinde inşa edilen çok sayıda tarihi minare bulunmaktadır. Bunların dış kabuklarında ve iç merdivenlerinde farklı yapısal malzemeler kullanılmıştır. Boyları 10 -40 m. arasında olan, camiye bitişik veya ayrı minarelerin yapımında taş, tuğla ve horasan harcı kullanılmıştır. Horasan harcı öğütülmüş durumdaki tuğla, kireç, kum veya kum büyüklüğündeki tuğla parçalarının su ile karışmasıyla hazırlanmaktadır. Osmanlılar zamanında kullanılan horasan harcında nohut büyüklüğünde tuğla ve kiremit parçaları da kullanılmıştır. [Erdoğan, 2007]



Resim 11 Eşrefoğlu Camii, Beyşehir Konya, Yapım Yılı 1297-1299



Resim 12 İnce Minare, Konya, 1264 yılında yapılmıştır.



Resim 13 Çifte Minare, Sivas, 1271 yılında yapılmıştır. [http://www.sivas.bel.tr]



Resim 14 Ebu Menucehr Camii, Kars, 1064 yılında yapılmıştır.

1.2 Amaç ve Kapsam

Tarihi yapıların korunması ve yenilenmesi konusunda sağlam analitik modellerin oluşturulması mühendisler için oldukça zorlayıcıdır. Tarihi yapıların modellenmesi ve analiz edilmesinde sadece yapının geometrik ve malzeme özelliklerinin bilinmesi yeterli değildir, aynı zamanda yapının farklı bölümleri modellenirken en iyi elemanların kullanılması ve doğru sonuçları alabilmek için farklı yapısal elemanların nasıl birleştirileceğinin bilinmesi gerekir.

Bu çalışmada, Osmanlı minarelerin yapısal bölümleri, inşa teknolojisi, mimari açıdan sınıflandırılması literatür araştırması sonucunda derlenmiştir. Yeni Cami ve Mihrimah Cami minareleri yerinde incelenmiştir. E. Lomlu 'nun (1996) çalışmasında belirtilen minare boyutları kullanılarak modelleme için minare geometrileri seçilmiştir. Bu geometriler günümüze kadar değişikliğe uğramayan büyük minarelerden seçilmiştir. Geometrik özellikler (dış kabuk ve iç merdivenler), malzeme özellikleri ve mesnet koşulları için farklı sonlu elemanlar modellerine çalışılmıştır. Hazırlanan modeller geçmiş büyük deprem kayıtlarına göre analiz edilmiştir.

Bu çalışmada amaçlanan; Osmanlı taş minarelerinin dinamik özelliklerini belirlemek, modellemede kullanılacak elemanların (katı, kabuk, vb...), geometrinin (merdivenlerin etkisi), malzemelerin ve mesnet koşullarının bu özelliklere olan etkisini tespit etmek, böylelikle taş minarelerin modellenmesiyle ilgili çalışmalara kılavuz olmaktır.

Bu tez çalışmasında uygulanan yöntem:

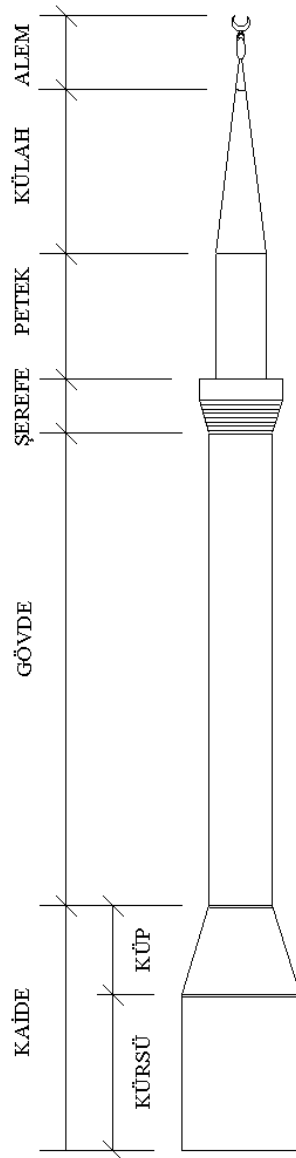
- i. Literatür araştırması
- ii. Yapısal bölümlerine göre Osmanlı minarelerinin sınıflandırılması
- iii. Farklı elemanlar kullanarak basit bir minare modelinin yapılması ve sonlu elemanlar programıyla analizin yapılması ve sonuçların karşılaştırılması

- iv. İç merdivenlerin ve kullanılan elemanların minarelerin yapısal davranışına etkisine çalışılması
- v. Aynı elemanlar fakat farklı malzemeler kullanılan minare modellerinin sonlu elemanlar programıyla analizin yapılması ve sonuçların karşılaştırılması
- vi. Malzemelerin minarelerin yapısal davranışına etkisine çalışılması
- vii. Aynı elemanlar ve malzemeler fakat farklı mesnet koşulları kullanılan minare modellerinin sonlu elemanlar programıyla analizin yapılması ve sonuçların karşılaştırılması
- viii. Mesnet koşullarının minarelerin yapısal davranışına etkisine çalışılması

2 OSMANLI MİNARELERİ

2.1 Klasik Osmanlı Minaresi Bölümleri

Klasik Osmanlı minaresinin bölümleri Lomlu (1996) ve Uluengin vd. (2001) tarafından incelenmiştir. Özeti aşağıda bulunmaktadır.



Alem: Hilal biçimindeki elemanı taşıyan simgesel bölüm.

Kûlah: Alem'in üzerinde durduğu, genelde metal olan koni biçimindeki kısım.

Petek: Şerefeye çıkış kapısını içerir. Bu bölümde merdivenler kapıdan sonra 4–5 basamak devam eder.

Şerefeye: Müezzinleri ezan okuduğu kısımdır.

Gövde: Dış duvar ve içte helezonik merdivenden oluşur.

Küp: Üsteki yuvarlak kısmın alttaki karesel kısma geçişini sağlayan bölümdür.

Kûrsü: Minare gövdesinden gelen etkileri temele ileten genelde kare tabanlı bölümdür.

Şekil 1 Minarenin Bölümleri

2.2 Osmanlı Taş Minarelerinin Yapım Tekniği

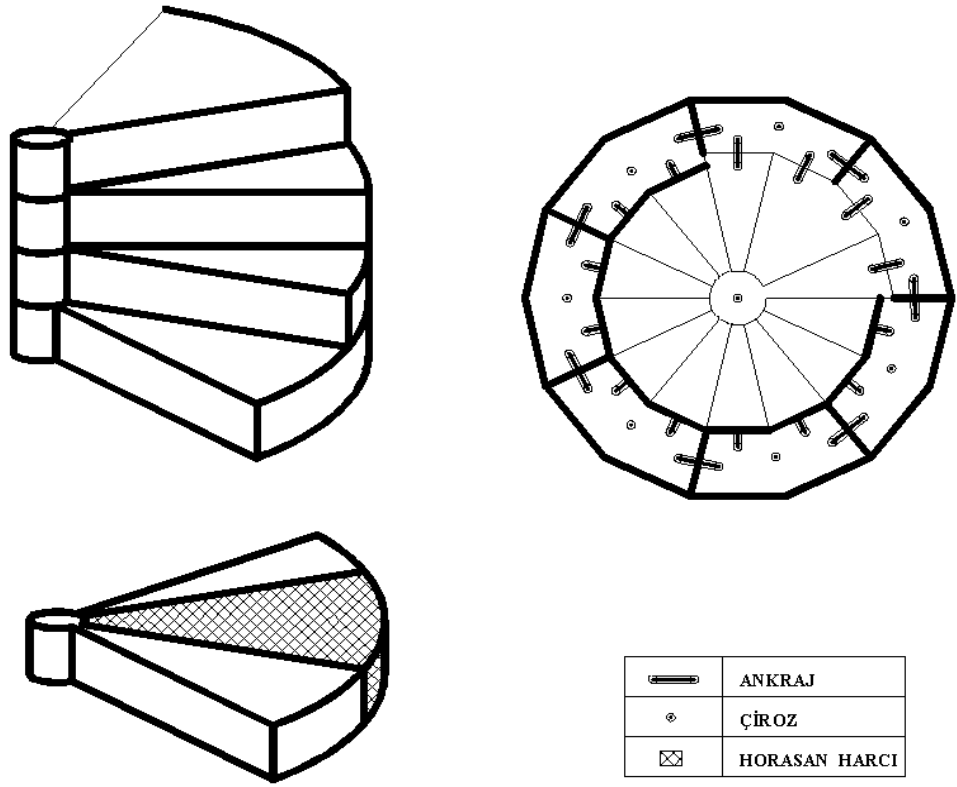
Osmanlılarda minare inşasında sistematik bir çalışma gözlenmektedir. Birçok zanaatkâr inşanın farklı aşamalarında çalışmaktadır. Bu konuda Lomlu (1996) çalışmaları aşağıda özetlenmiştir.

Minare yapımında kullanılacak taşlar, şantiyede önceden hazırlanır. Temelden sonra minarenin kürsü kısmında giriş kapısı boşluğu bırakılır ve üst yapı inşaatına başlanır. Merdivenlerin sağdan çıkması kural olarak uygulanmıştır. Minare yapımı için iskele oluşturulur. Duvar örgüsünü oluşturan her bir taş taşıyıcı elemandır. Aynı hizadaki taşların oluşturduğu taş dizisine kur denir [Lomlu,1996]. Bir kur, bir basamak ve çevresindeki dış duvardan oluşur.

Aynı kurlardaki taşlar birbirine demir ankrajlarla, üst ve alt kurdaki taşlara demir zıvanalar ile bağlanırlar. Kurlar üst üste getirilirken 1-2 mm yastık harcı uygulanır. Her kurda basamak iki merdiven taşının arası horasan harcı ile doldurularak oluşturulur. Ankraj ve zıvanalarla üst ve yan taşlarla birleştirilir (Resim 27).İki merdiven taşı ve horasan harcı ile oluşturulan geniş basamak yüzeyinin büyük kısmı üstteki basamağın altında kalır (Şekil 2).



Resim 15 Minarenin yapımında kullanılan ankrajlar



Şekil 2 Basamak, Basamakların Üst Üste Gelmesi, Basamak ve Dış Duvarın Birbirine Ankraj ve Çirozlarla Bağlanması [Lomlu, 1996].



Resim 16 Mihrimah Camii Minaresi, merdivenlerin alttan görünüşü



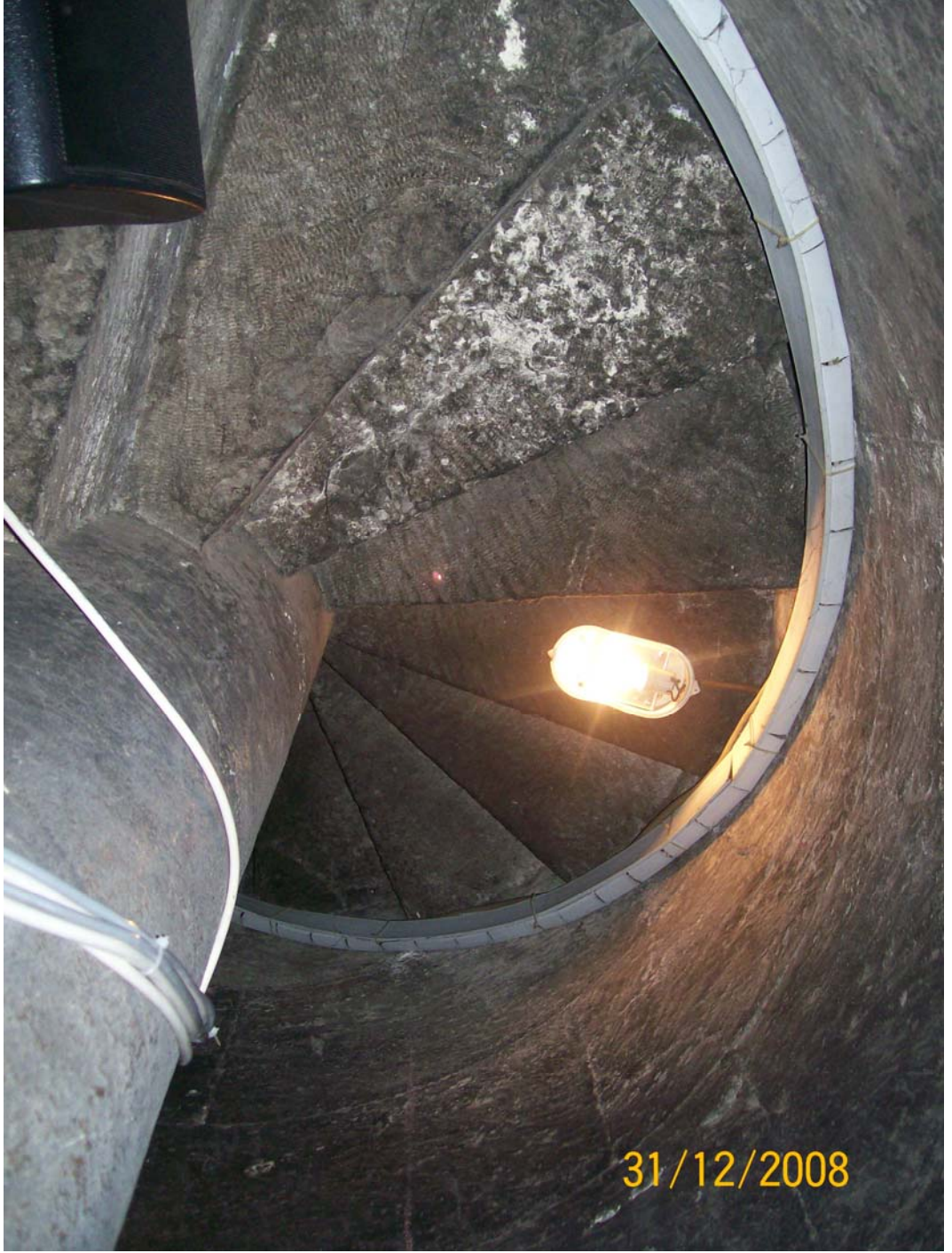
Resim 17 Mihrimah Camii Minaresi, çekirdek ve merdivenler



Resim 18 Mihrimah Camii Minaresi, giriş kısmı



Resim 19 Yeni Camii Minaresi



Resim 20 Yeni Camii Minaresi, merdivenlerin alttan görünüşü



Resim 21 Yeni Camii Minaresi, çekirdek



Resim 22 Yeni Camii Minaresi



Resim 23 Yeni Camii Minaresi, merdiven ve duvar birleşimleri

Merdiven taşından bir tanesi, üst üste gelen iki sırada bir duvar örgüsüne katılmaz (duvar içerisine sadece 10–15 cm girer), böylelikle basamak dengelemesinde önemli bir görev üstlenirler.

Gövde örgüsündeki taşlar genişleyerek şerefeyi oluşturur. Şerefeden sonra basamaklar 4–5 sıra daha devam eder. Petek bölümünde duvar kalınlığı inceltir. Kûlah bölümünün mesnetlendiği ana taşıyıcı olan seren, petek bölümündeki merdivenin merkezine sabitlenen ahşap bir direktir. Kûhal kısmı kurşunla kaplanır ve üzerine alem yerleştirilir.

2.3 Minarelerin Mimari Açıdan Sınıflandırılması

Osmanlı minareleri mimari açıdan; Mimar Sinan devrine kadar, Mimar Sinan'dan Lale devrine kadar, Lale devrinden günümüze kadar olmak üzere üç ayrı devirde gruplanabilir[Eyice, 1963].

2.3.1 Sinan Devrine Kadar İnşa Edilen Camiler ve Minareler:

Osmanlılar döneminde mevcut Bizans kiliselerine minareler eklenerek camiler oluşturulurken diğer yandan da, "Selatin" büyük ve "vüzerâ" orta büyüklükteki camiler de inşa edilmiştir. Bu dönem inşa edilen selatin camii minareleri günümüze kadar çok az değişikliğe uğrayarak ayakta kalmıştır[Lomlu, 1996]. Bu devir minarelerin gövdeleri kalındır.

Bayezit, Murat Paşa, Koca Mustafa Paşa, Firuzağa, Atik Ali Paşa camileri minareleri bu devir minarelerine örnek sayılabilir.



Resim 24 Bayezid Camii, 1501-1506, Mimar : Yakup Şah



Resim 25 Firuzağa Camii, 1491 yılında yapılmıştır, yangından hasar görmüş ve 1835 yılında tadil edilmiştir.[<http://www.beyoglumuftulugu.gov.tr>]



Resim 26 Atik Ali Paşa Camii, 1491



Resim 27 Murat Paşa Camii, 1465-1471

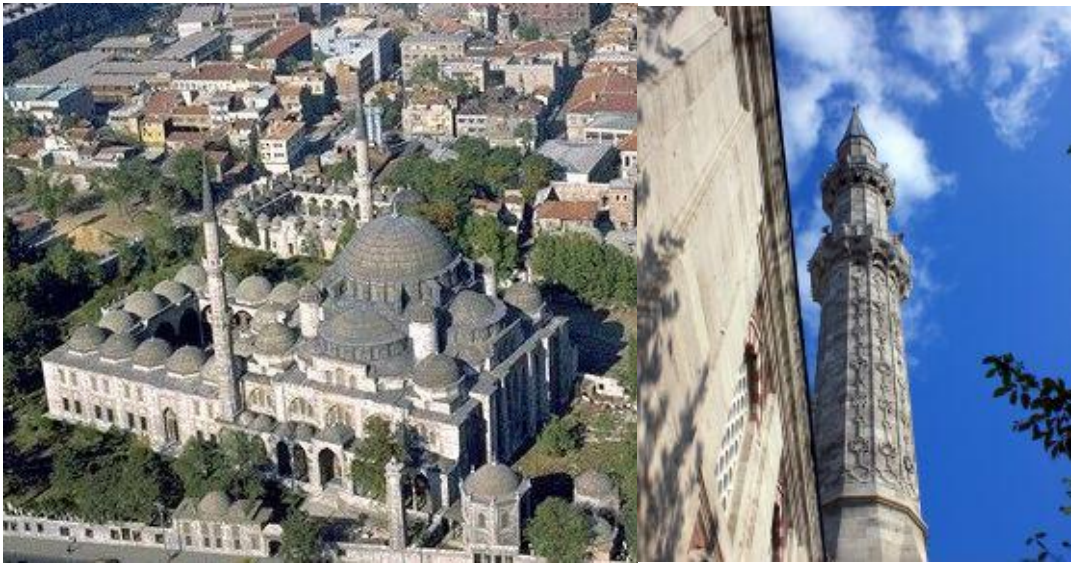


Resim 28 Bursa Ulu Cami, 1399

2.3.2 Mimar Sinan'dan Lale Devrine Kadar İnşa Edilen Camiler ve Minareler

Mimar Sinan ile başlayan bu devirde Osmanlı minareleri klasik şeklini almıştır. Minareler önceki devre göre incelmıştır ve yükseklikleri artmıştır. Bu devir minareleri cami ile bir kompozisyon oluşturmaktadır.

Şehzade (Resim 20), Süleymaniye (Resim 21), Selimiye (Resim 22), Sultanahmet (Resim 23), Yeni (Resim 24) camileri minareleri bu devir minarelerine örnek sayılabilir.



Resim 29 Şehzade Camii Mimar Sinan Tarafından 1543-1548 yıllarında yapılmıştır.



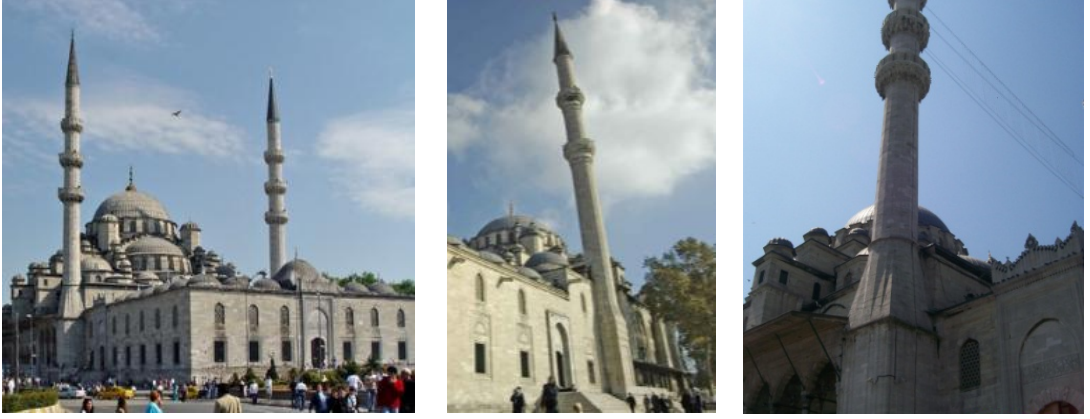
Resim 30 Süleymaniye Camii 1550-1557 yıllarında yapılmıştır. Mimar Sinan tarafından yapılmıştır.



Resim 31 Selimiye Camii 1569-1575' yıllarında Mimar Sinan Tarafından Yapılmıştır.



Resim 32 Sultanahmet Camii, 1609-1616 yıllarında yapılmıştır. Mimarı Sedefkâr Mehmet Ağa'dır.



Resim 33 Yeni Cami Mimar Davut Ağa tarafından 1597 yılında yapılmaya başlanmış, Mimar Dalgıç Ahmed Ağa devam ettirmiş ancak inşaatın başlangıcından 66 yıl sonra 1663 yılında dönemin mimarbaşısı Mustafa Ağa tarafından bitirilebilmiştir.

2.3.3 Lale Devrinden Günümüze Kadar Olan Dönemde İnşa Edilen Camiler ve Minareler

Osmanlı minareleri XVIII. yy ilk yarısından itibaren batı üslubu etkisi altında kalmıştır. Bu üsluplardan Barok ve Ampir (Empire) üslupları, XIX yy ortalarına kadar Osmanlı sanatı üzerinde etkili olmuştur [Lomlu, 1996]. Bu devir minareleri, oldukça süslemelidir ve önceki dönemlere göre daha da incelmıştır.

Yıldız (Resim 25), Nuru Osmaniye (Resim 26), Ortaköy, Beylerbeyi, Dolmabahçe Valide Sultan camileri minareleri bu devir minarelerine örnek sayılabilir.



Resim 34 Yıldız Camii



Resim 35 Nuru Osmaniye Camii

3 TARİHİ BİNALARIN MODELLENMESİNDE TEMEL SÜREÇLER VE GEREKLER

Bu konuda Mena ve Fahjan'ın (2005) çalışması aşağıda özetlenmiştir.

Genelde tarihi yapıların modellenmesi ve analiz edilmesinde sadece yapının geometrik ve malzeme özelliklerinin bilinmesi yeterli değildir, aynı zamanda yapının farklı bölümleri modellenirken en iyi elemanların kullanılması ve doğru sonuçları alabilmek için farklı yapısal elemanların nasıl birleştirileceğinin bilinmesi gerekir. Minarenin analizinde sonlu elemanlar yönteminin uygulanmasında temel ilkeleri aşağıda verilmiştir.

3.1 Geometrik Veri:

Tarihi binaların modellenmesinde öncelikle yapının geometrik şeklinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekir. Bunun için GPS destekli fotometrik cihazlar kullanmak daha ayrıntılı ve doğru sonuçlar alınmasını sağlar. Yapının geometrik şekli belirlenirken yüzey çatlakları ve daha başka yapısal hasarların kaydedilmesi önemlidir.

3.2 Malzeme ve Yapısal Deneyler:

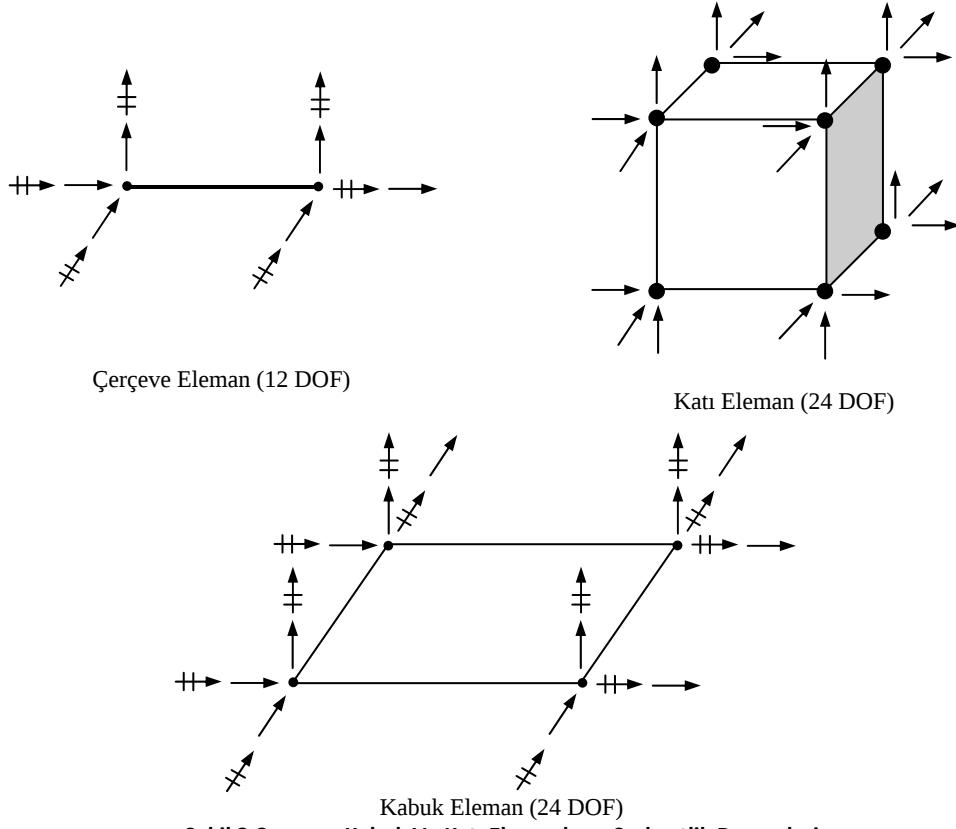
Genelde yığma yapı olan tarihi binaların birbirine dik iki doğrultudaki elastikiye modülleri, çekme ve basınç dayanımları, poisson oranları bilinmelidir. Bu verilere ulaşmak için tahribatlı veya tahribatsız deney metotları kullanılır.

Manyetik alan ve röntgen ışınları kullanılarak yapılan tahribatsız muayene sonucunda malzemenin karakteristik özelliklerinin homojenitesi ve yapı üzerindeki dağılımı görülür ki, bu bilgi modellemede çok önemlidir. Yapıdan deney numunesi alınarak yapılan tahribatlı deney sonuçlarında ise malzeme özellikleri hakkında daha doğru sonuçlara ulaşılır.

Yapı sisteminin, doğal periyodlarının ve mod şekillerinin belirlenmesi için dinamik testler yapılmalıdır. Bunun için yapıda sismometrik ağ oluşturulur ve dinamik yükler uygulanır.

3.3 Yapı Geometrisinin Modellenmesi:

Yapı modellenirken kullanılabilecek çerçeve, kabuk ve katı elemanlar serbestlik dereceleri ile Şekil 3’de verilmiştir. Farklı elemanların birleşmesinde ortaya çıkabilecek sorunlar aşağıda verilmiştir.

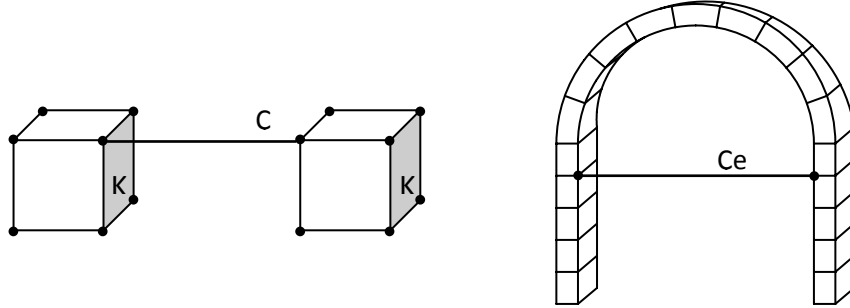


Şekil 3 Çerçeve, Kabuk Ve Katı Elemanların Serbestlik Dereceleri

3.3.1 Çerçeve – Katı eleman birleşimleri:

Bu birleşimlerde çerçeveden katı elemana moment aktarım mümkün değildir. Bunun sonucu olarak da kararsız sistem oluşabilir ve hatalı sonuçlar ortaya çıkabilir (Şekil 4).

Birleşimdeki moment aktarım sorununu çözmek için çerçeve elemanları yerine kafes elemanları kullanılabilir veya çerçeve elemanı katı eleman olarak tanımlanabilir.



Şekil 4 Çerçeve – Katı Eleman Birleşimlerine Örnekleri [Mena ve Fahjan, 2005]

3.3.2 Kabuk – Katı Eleman Birleşimleri:

Burada da yukarıda olduğu gibi moment aktarımı problemi vardır. Ayrıca üç boyutlu analizde kabuk elemanlar kullanmak kalınlık boyunca stres dağılımında belirsizlikler oluşturmaktadır.

3.4 Modelleme Stratejileri

Tarihi yapıların modelleme ve analiz stratejileri Lourenço (2002) tarafından üç gruba ayrılmıştır:

3.4.1 Makro Modelleme:

Yapı malzemesi homojen anizotropik bir malzeme olarak kabul edilir. Yapı geometrisi devamlı elemanlarla tanımlanır. Makro modelleme zaman ve verim dikkate alındığında en başarılı metottur ve uygulaması pratiktir.

3.4.2 Basitleştirilmiş Mikro Modelleme:

Makro modelden farklı olarak harç ve taşların birleşim yüzeyleri ayrıca tanımlanır.

3.4.3 Mikro Modelleme:

En gelişmiş modelleme metodudur. Taş ve harç elemanlar birbirinden bağımsız olarak modellenir. Birleşim yerlerinde yüzey elemanları tanımlanır. Yapısal ayrıntılar modelde belirtilir.

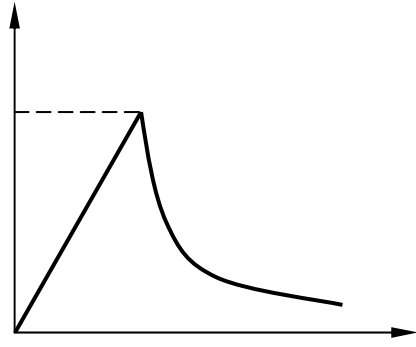
3.5 Analiz Tipleri

3.5.1 Doğrusal Elastik Analiz:

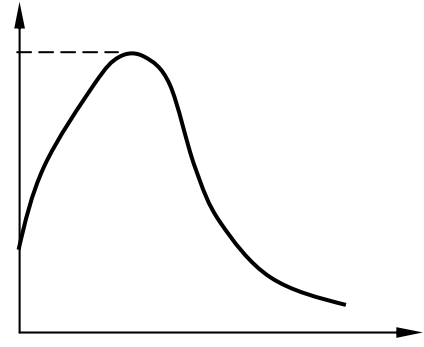
Bu metotla yapının statik ve dinamik özellikleri belirlenebilir. Malzemenin Hook yasasına uyduğu kabul edilir ve yapı için global rijitlik matriksi bir defa hazırlanır. Bu analiz için malzemenin doğrusal elastisite özellikleri ve izin verilen maksimum stres dayanımı bilinmelidir. Bulunan stres dayanımları düşükken daha doğru sonuç verir. Yapının doğal periyodu ve mod şekilleri gibi dinamik özelliklerini belirlemek için serbest titreşim analizi uygulanabilir.

3.5.2 Doğrusal Olmayan Elastik Analiz:

Bu analiz yapıdaki malzemenin yumuşak davranışı, çatlak oluşumu, dayanım azalması gibi özellikleri göz önüne alınır. Malzemenin elastik bölge dışındaki davranışı ile ilgilenir. Malzeme elastik bölge dışında yumuşama veya sertleşme davranışı gösterebilir (Şekil 5). Buna bağlı olarak uygun bir plastik model seçilmelidir [Lourenço, 2002].



Çekme yumuşama eğrisi



Basınç için sertleşme/yumuşama yasası

Şekil 5 Yığma Yapılar için Malzemedelik Elastik Olmayan Çekme ve Basınç davranışı [Lorenço, 2002]

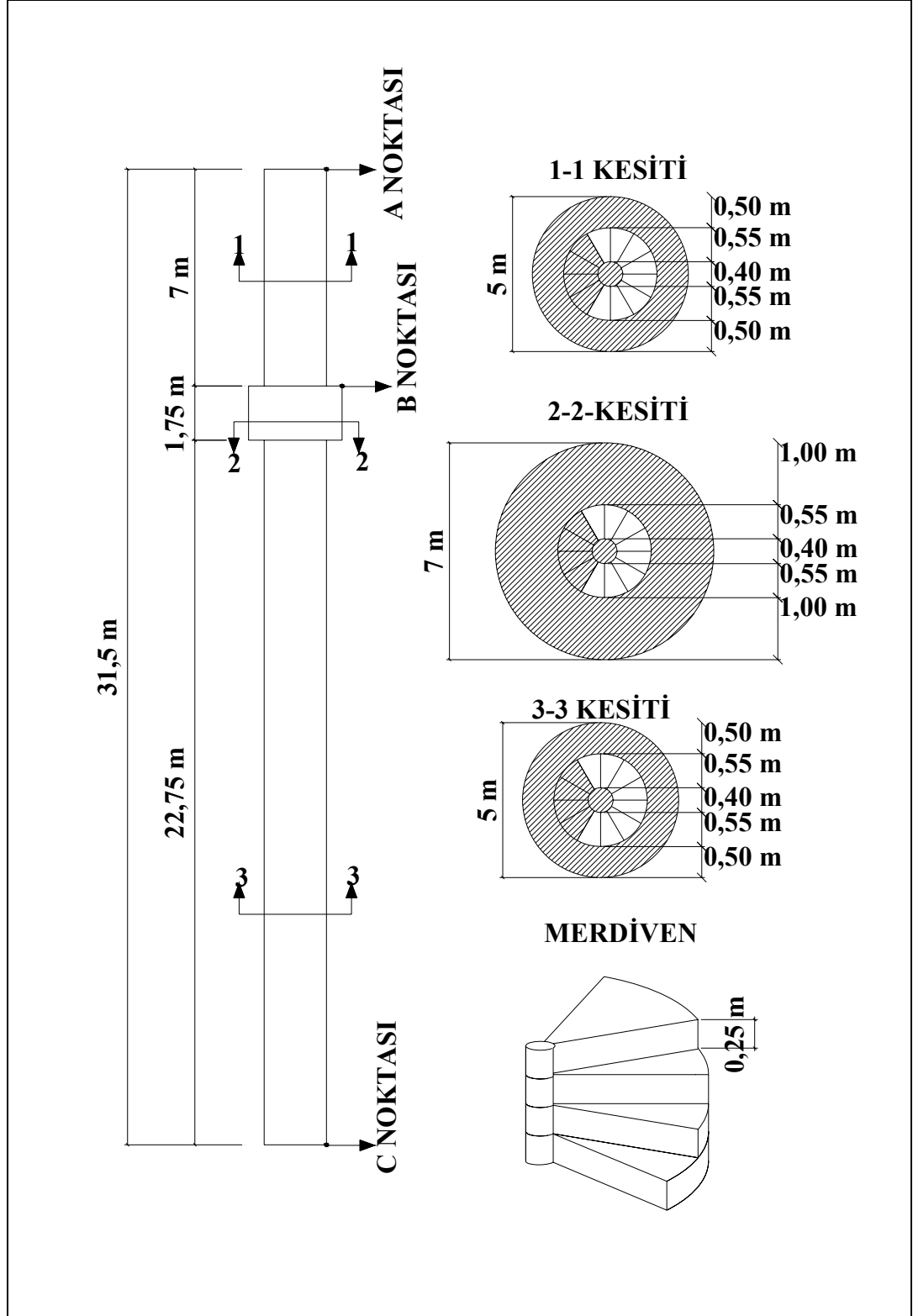
4 BİR MİNARE KESİTİNİN FARKLI ELEMANLAR KULLANARAK MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Bu çalışmada, basit bir minare geometrisi (Şekil 6) farklı elemanlarla (katı, kabuk) modellenerek sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilmiştir. Minare'nin geometrik görünümü ve boyutları Şekil 6'da verilmiştir. Hazırlanan minare modellerinin dinamik özellikleri karşılaştırılmıştır. Lineer zaman tanım alanında yapılan analizlerde iki farklı deprem kaydı kullanılmıştır. Analizlerin sonucunda Şekil 6'da gösterilen 3 noktada (A,B ve C) yer değiştirmeler ve stresler karşılaştırılmıştır.

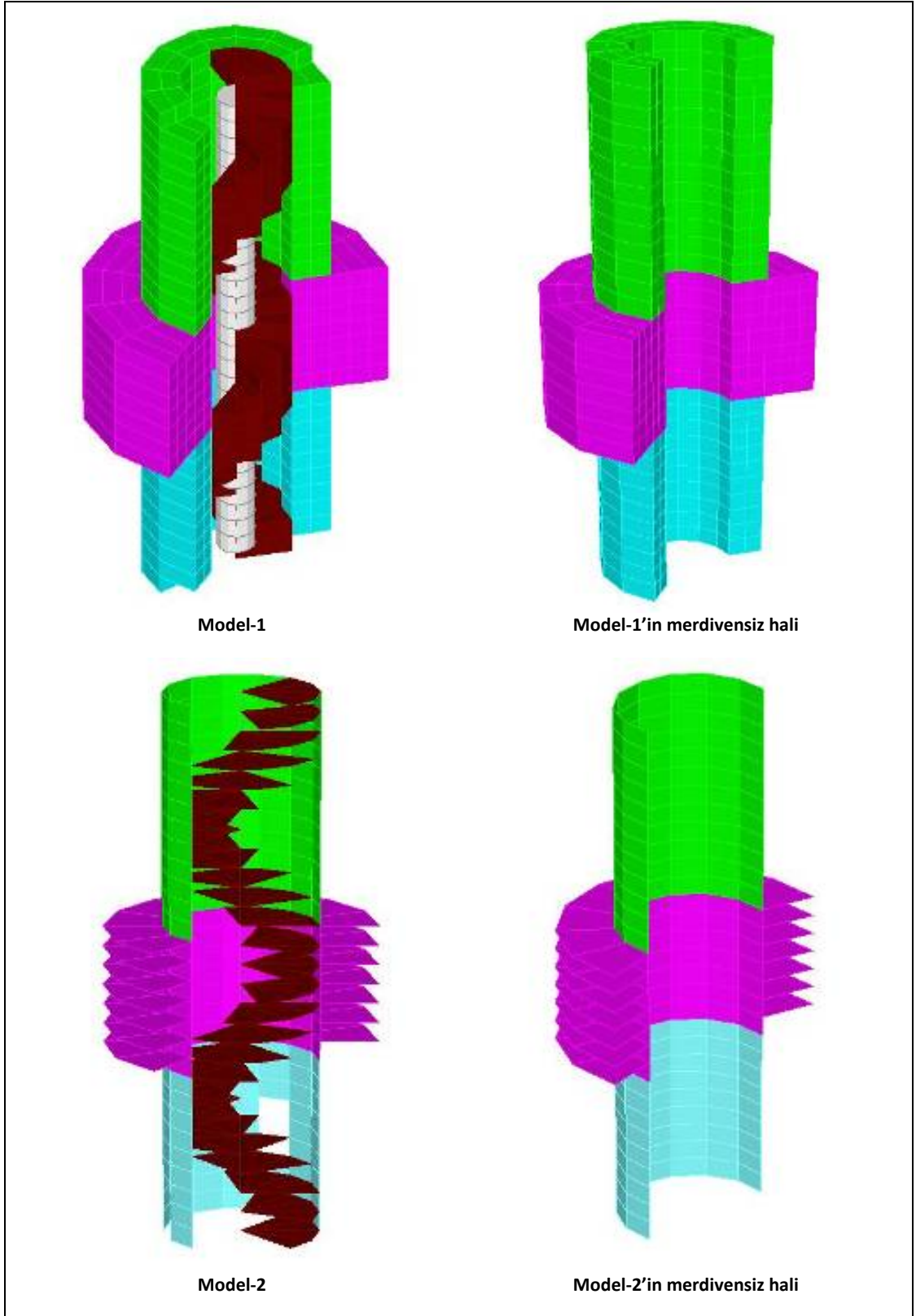
4.1 İşlem ve Bulgular

Minarenin modellenmesi ve analizinde gövde kısmından petek kısmına kadar SAP 2000 programı ile çerçeve, kabuk ve katı elemanla farklı kombinasyonlar oluşturularak aşağıda detayları belirtilen iki model hazırlanmıştır. Her model merdivenli ve merdivensiz olarak analiz edilmiştir. Modellerde, dış duvar, iç merdivenler ve merdivenlerin ortasındaki yaklaşık 40 cm çapındaki çekirdeği oluşturan dairesel taşlar olmak üzere üç çeşit eleman kullanılmıştır. Tüm modellerde gerek pratik olması, gerekse aranan sonuç için yeterli olmasından dolayı makro modelleme stratejisi kullanılmıştır. Malzeme izotropik, 2,2 ton/m³ yoğunluğunda, elastisite modülü 3000 Mpa, poisson oranı 0,2 olarak tanımlanmıştır. Minare'nin hazırlanan sonlu elemanlar modelleri Şekil 7'de gösterilmiştir:

- **Model 1:** Duvarlar, merdivenler ve çekirdek katı elemanlarla modellenmiştir.
- **Model 2:** Duvarlar ve merdivenler kabuk elemanlarla, çekirdek çerçeve elemanlar ile modellenmiştir.



Şekil 6 Analizde Kullanılan Minare Sisteminin Geometrik Görünümü ve Boyutları



Şekil 7 Analizde Kullanılan Modeller

Minarenin dinamik özelliklerinin belirlenmesi için özdeğer analiz yapılmıştır. Şekil-8’de, minare’nin model-1’a ait mod şekilleri gösterilmiştir. Tablo 1’de dört modelin doğal titreşim periyodları verilmiştir. Katı elemanlarla modellenen merdivenli sistemin merdivensize göre %6.7, kabuk elemanlarla modellenen merdivenli sistemin merdivensize göre %13.1 daha uzun doğal periyodu vardır. Bunun nedeni sistemin rijitliğinin azalmasından öte kütledeki artıştır. Kabuk elemanlarla modellenen sistemlerin periyodu katı elemanlarla modellenenlere göre %5–6 daha fazladır. Bunun nedeni katı elemanlarla modellenen sistemdeki bağlantıların yüzey alanının kabuk elemanlara göre fazla olması ve böylelikle sistemin rijitliğinin artmasıdır.

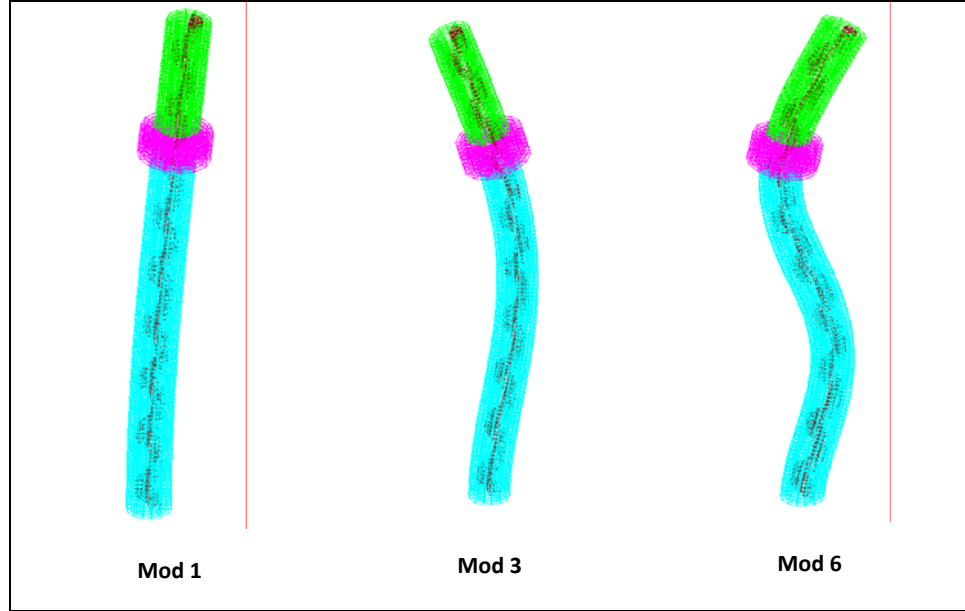
Lineer zaman tanım analizinde iki ivme kaydı kullanılmıştır.

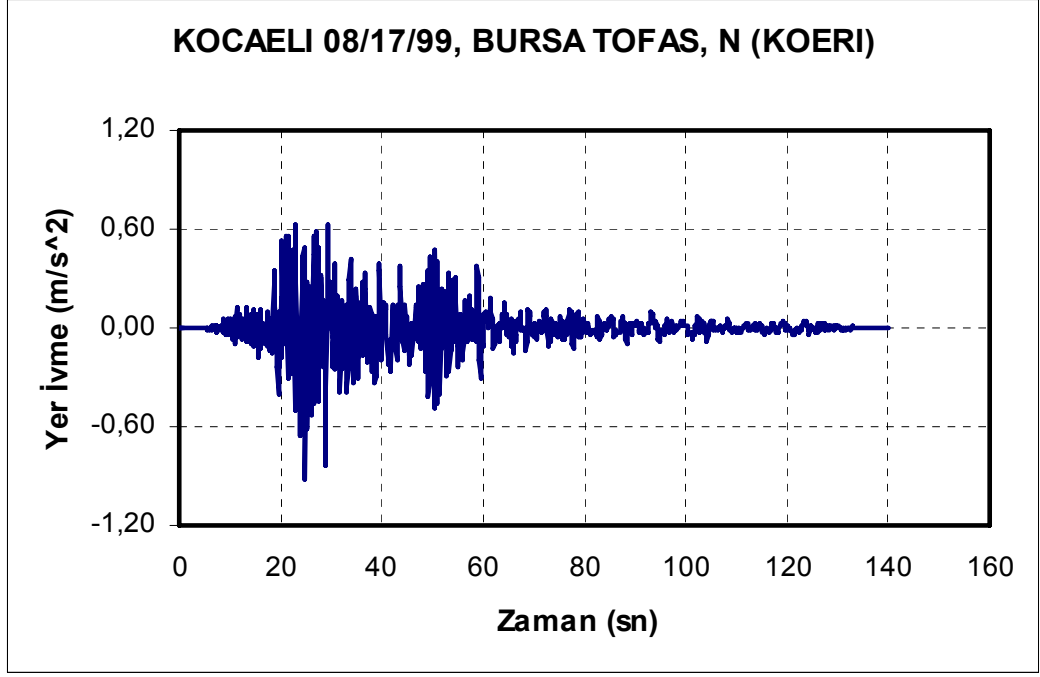
- **Deprem Kaydı -1:** Kocaeli 08/17/99, Bursa Tofas, N-S bileşeni (Şekil 9)
- **Deprem Kaydı -2:** Kocaeli 08/17/99, İzmit, 090- bileşeni (Şekil 10)

Deprem kaydı -1 ve deprem kaydı -2 kullanılarak yapılan lineer zaman analizinde minare’nin model-1’in ve model-2’nin merdivenli ve merdivensiz haline ait A Noktası’nın yer değişim zaman grafiği sırasıyla şekil 11-14’de verilmiştir. Ayrıca, deprem kaydı -1 ve deprem kaydı -2 kullanarak lineer zaman analizinde minare’nin A,B,C değişik noktalarına (Şekil 6) ait maksimum ve minimum yer değiştirme veya stres sonuçları sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3 özetlenmiştir (streslerde pozitif değerler çekmeyi, negatif değerler ise basıncı gösteriyor).

Tablo 1 Minare Modellerinin Doğal Titreşim Periyodları

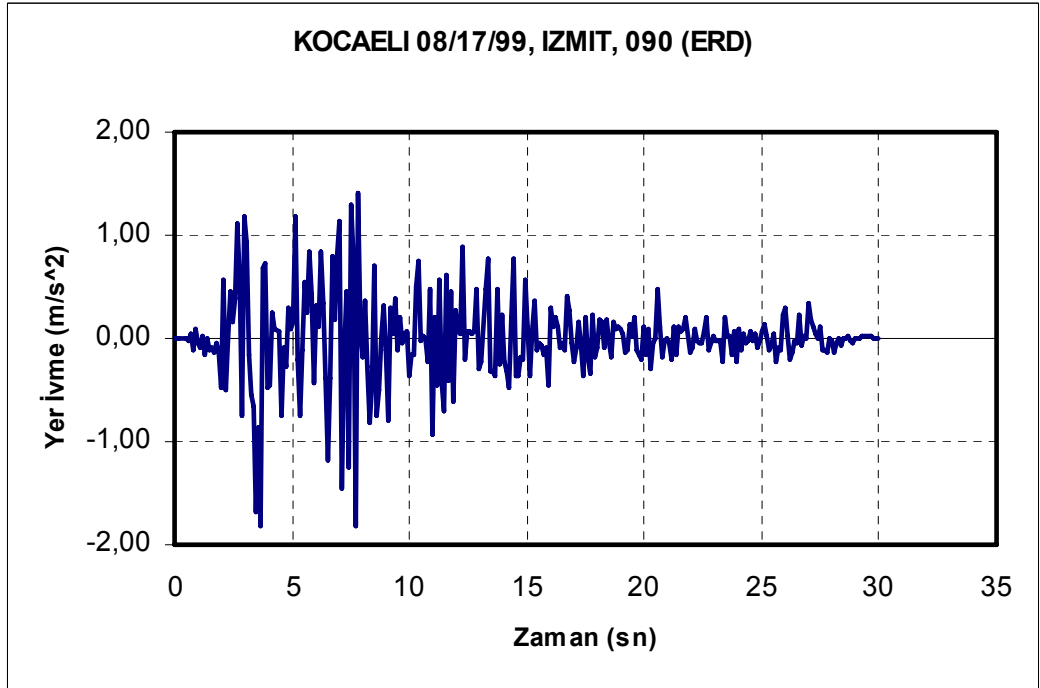
Mod	Periyod (Saniye)			
	Model-1	Model-1, merdivensiz	Model-2	Model-2, merdivensiz
1	2,523	2,365	2,686	2,376
2	2,521	2,365	2,686	2,376
3	0,378	0,351	0,415	0,361
4	0,378	0,351	0,415	0,361
5	0,218	0,218	0,194	0,187
6	0,145	0,137	0,161	0,142
7	0,145	0,137	0,161	0,142
8	0,119	0,120	0,129	0,118
9	0,078	0,074	0,088	0,077
10	0,078	0,074	0,088	0,077
11	0,059	0,058	0,057	0,054
12	0,050	0,048	0,055	0,048

**Şekil 8 Minare'nin Model-1'e ait Mod Şekilleri**



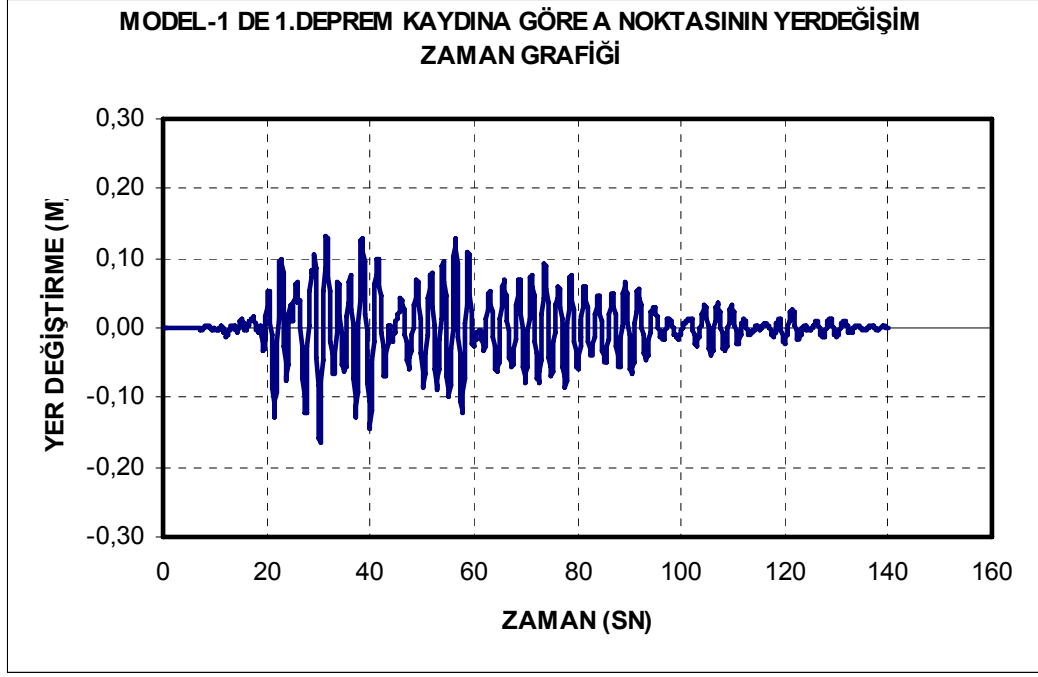
Şekil 9 Kocaeli 99 Depremi, Bursa Tofaş İstasyonu Deprem Kaydı

Şek



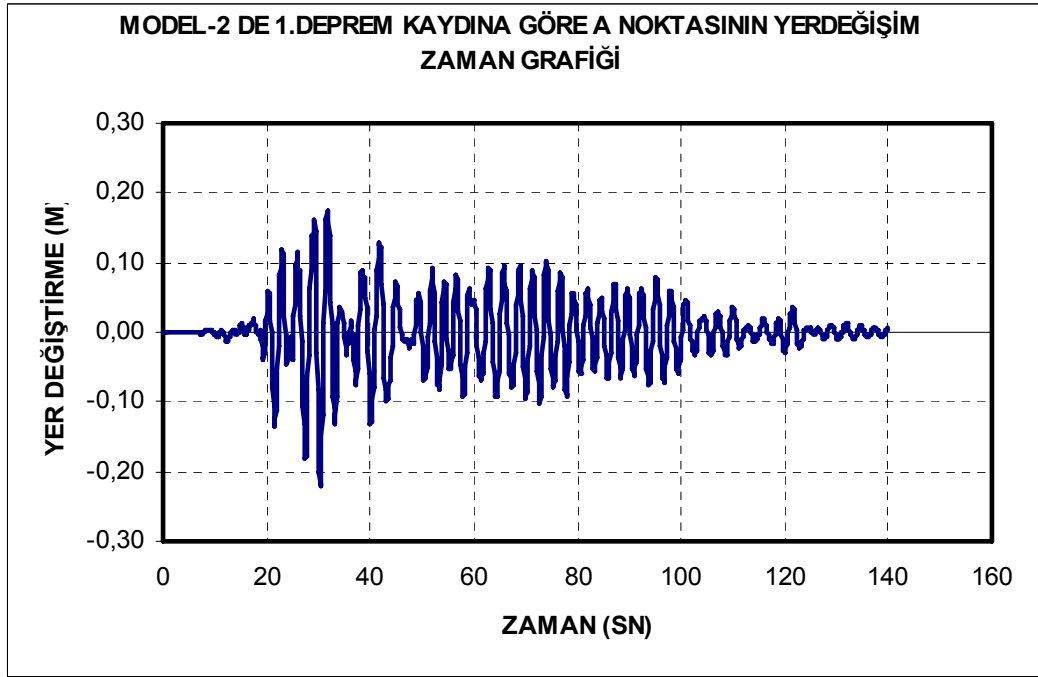
Şekil 10 Kocaeli 99 Depremi, İzmit İstasyonu Deprem Kaydı

Şek



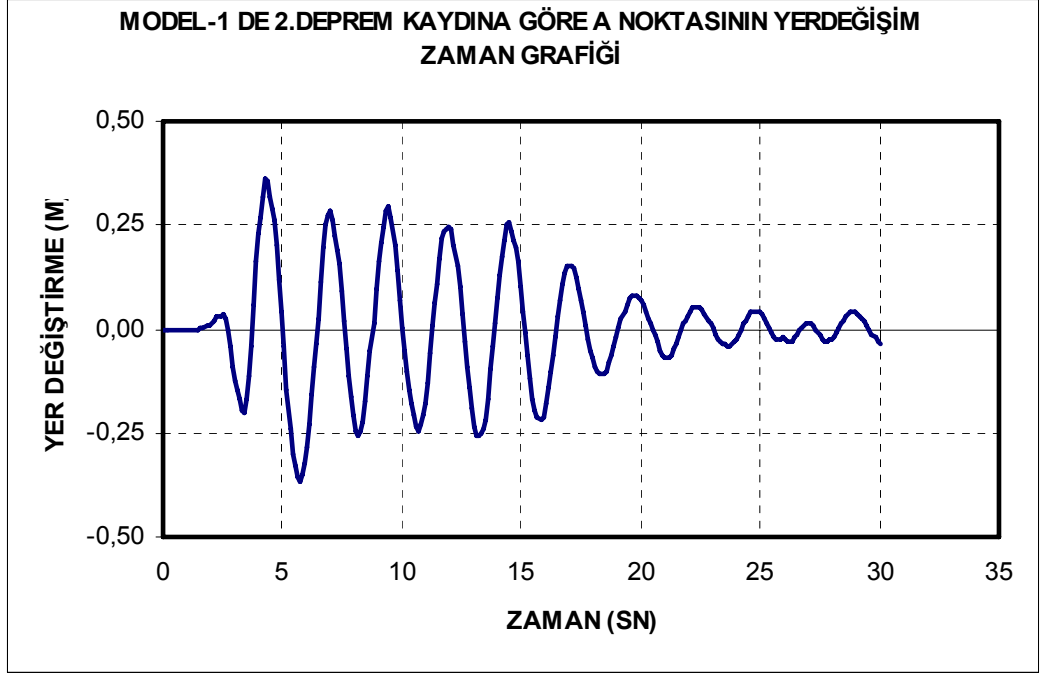
Şek

Şekil 11 Model-1'de 1. Deprem Kaydına göre A noktasının yer değişim zaman grafiği



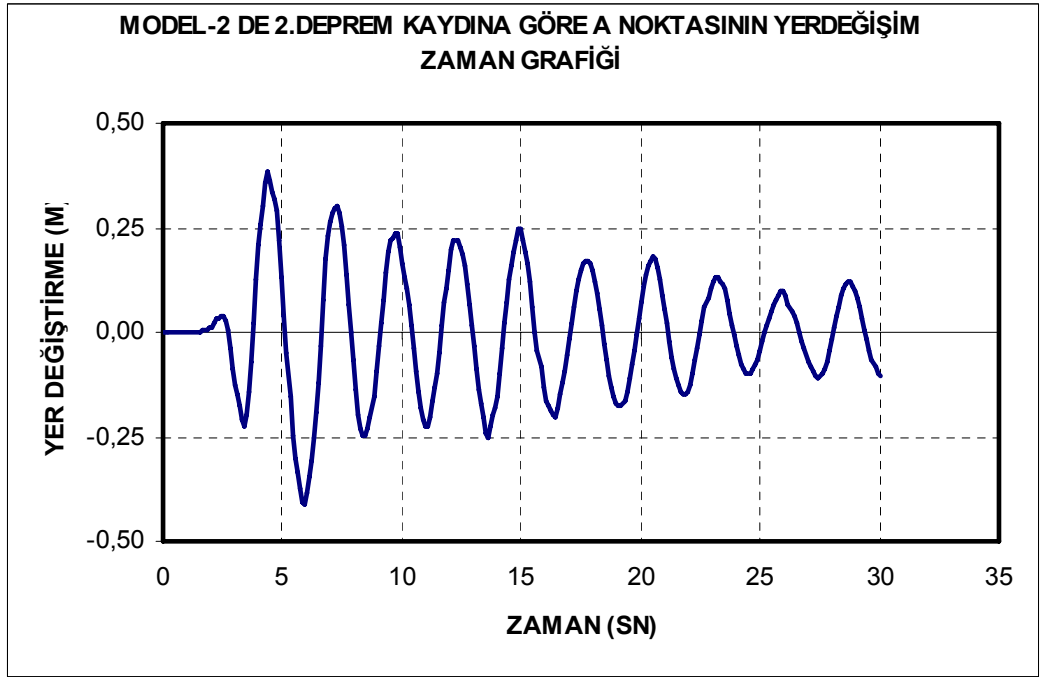
Şek

Şekil 12 Model-2'de 1. Deprem kaydına göre A noktasının yer değişim zaman grafiği



Şek

Şekil 13 Model-1'de 2.Deprem kaydına göre A noktasının yer değişim zaman grafiği



Şek

Şekil 14 Model-2'de 2.Deprem kaydına göre A noktasının yer değişim zaman grafiği

Tablo 2 Deprem Kaydı -1 kullanarak Lineer Zaman Analizinde Minare'nin A,B,C Değişik Noktalarında Ait Maksimum ve Minimum Sonuçları

	A Nok. Yer Değiştirme		B Nok. Yer Değiştirme		C Nok. Stres	
	Maks.(m)	Min. (m)	Maks.(m)	Min. (m)	Maks.(KN/m2)	Min. (KN/m2)
Model-1	0,1332	-0,1654	0,0919	-0,1129	1,418E+03	-1,654E+03
Model-1 merdivensiz	0,1561	-0,1533	0,1098	-0,1065	1,440E+03	-1,322E+03
Model-2	0,1755	-0,2208	0,1239	-0,1524	1,953E+03	-2,144E+03
Model-2 merdivensiz	0,1540	-0,1520	0,1081	-0,1055	1,520E+03	-1,342E+03

Tablo 3 Deprem Kaydı -2 kullanarak Lineer Zaman Analizinde Minare'nin A,B,C Değişik Noktalarında Ait Maksimum ve Minimum Sonuçları

	A Nok. Yer Değiştirme		B Nok. Yer Değiştirme		C Nok. Stres	
	Maks.(m)	Min. (m)	Maks.(m)	Min. (m)	Maks.(KN/m2)	Min. (KN/m2)
Model-1	0,3609	-0,3664	0,2443	-0,2531	4,187E+03	-4,005E+03
Model-1 merdivensiz	0,3440	-0,3340	0,2340	-0,2340	3,177E+03	-3,092E+03
Model-2	0,3833	-0,4106	0,2571	-0,2835	4,848E+03	-4,737E+03
Model-2 merdivensiz	0,3471	-0,3345	0,2344	-0,2346	3,165E+03	-3,053E+03

Merdivensiz modellerde doğal titreşim periyotları ve A, B noktadaki yer değiştirmeler ve C noktasındaki stresler yönünden yaklaşık olarak aynı sonuçlar vermektedirler. Bu gözlem yapılan iki lineer zaman tanım analiz sonuçları için geçerlidir. Modele merdivenin dahil edilmesi hem sistemin rijitliğini hem de kütlesini artırır. A, B noktadaki yer değiştirmeler ve C noktasındaki stresler katı elemanlarla modellenen sitemlerde modele merdivenin eklenmesi sonucunda deprem kaydına göre artış veya azalış göstermektedir. Kabuk eleman ile modellenen sistemde ise her zaman artış göstermektedir. Bunun nedeni katı elemanlarla modellenen sistemdeki bağlantıların yüzey alanının kabuk elemanlarla modellenen sisteme göre fazla olması ve böylelikle sistemin rijitliğinin artmasıdır. Diğer bir ifadeyle, kullanılan geometride kabuk elemanlar tüm etkileşimleri temsil edememektedir. Örneğin model 2'de altalta iki basamak birbirini dış duvar ve içerideki çerçeve eleman yoluyla etkileyebilmektedir. Ama model 1'de katı elemanlar sayesinde altalta olan bu iki birim birbirine yük aktarabilmektedir.

4.2 Bulguların Değerlendirilmesi

Minareler sonlu elemanlar yöntemiyle modellenirken çerçeve, kabuk ve katı elemanlar kullanılabilir. Minarenin merdivenli ve merdivensiz kabuk veya katı elemanlarla istenilen hassasiyet ve karmaşıklığı modellenenebilir ve analiz edilebilir. Katı elemanları kullanırken, bu elemanların moment aktarma özelliklerinin olmamasından ötürü diğer elemanlar ile bağlantılarına ayrıca dikkat göstermek gerekmektedir. Merdivensiz katı elemanlar modeli ve merdivensiz kabuk elemanlar modeli doğal titreşim periyotları ve değişik noktalardaki yer değiştirmeler ve stresler yönünden yaklaşık olarak aynı sonuçları vermektedirler. Modele merdivenin dahil edilmesi hem sistemin rijitliğini hem de kütlesini arttırır. Katı elemanlarla modellenen sitemlerde modele merdivenin eklenmesi sonucunda deprem kaydına göre artış veya azalış oluşurken, kabuk eleman modellenen sistem de ise her zaman artış göstermektedir. Bunun nedeni katı elemanlarla modellenen sistemdeki bağlantıların yüzey alanının kabuk elemanlarla modellenen sisteme göre fazla olması ve böylelikle sistemin rijitliğinin artmasıdır.

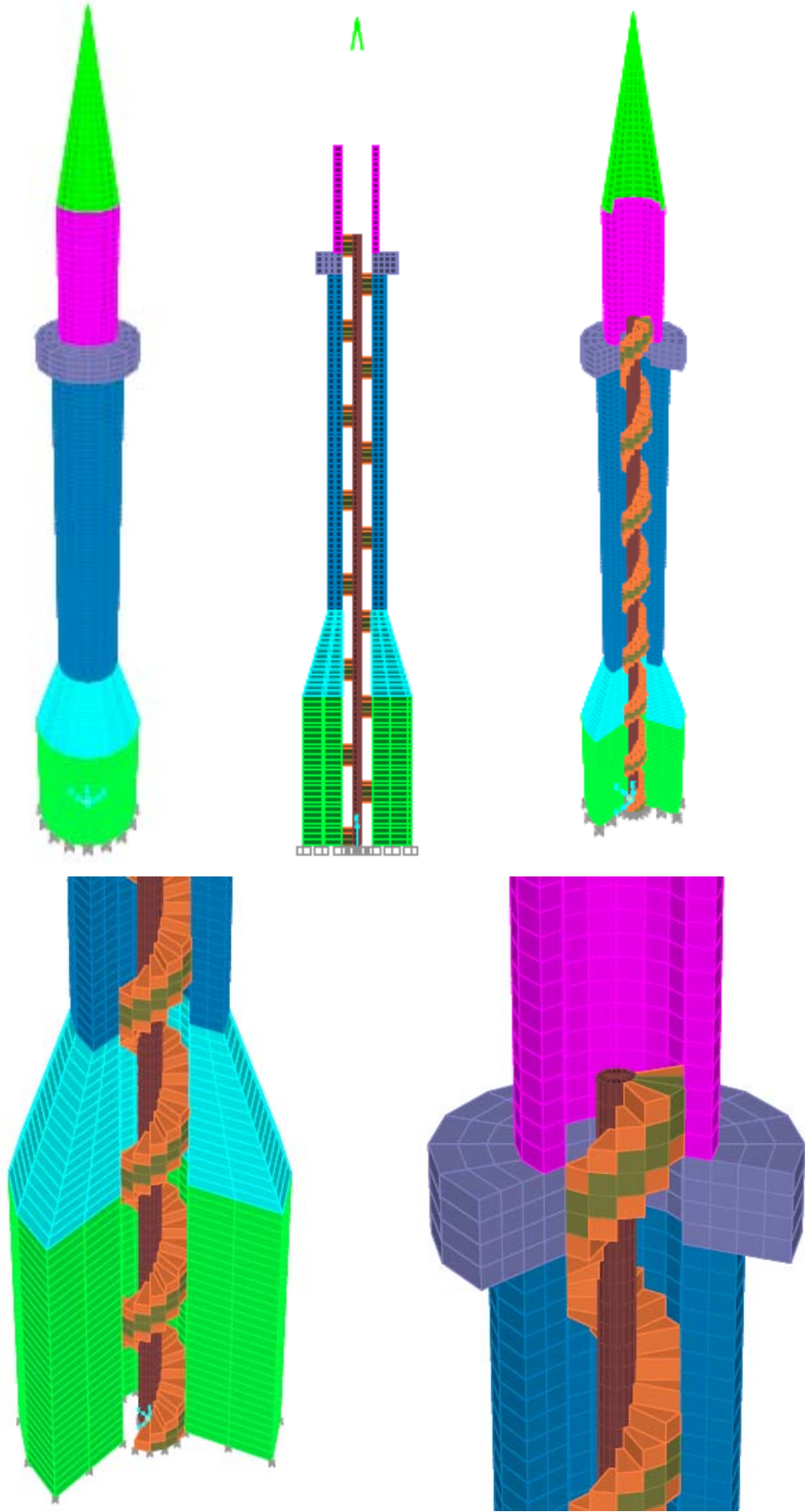
5 BİR MİNARE KESİTİNİN FARKLI MALZEMELER KULLANARAK MODELLENMESİ VE ANALİZİ

Bu çalışmada, aynı minare geometrisi farklı malzeme kombinasyonları ile modellenerek sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilmiştir. Buradaki amaç detayları Şekil-15 de görülen basamakların orta kısmını oluşturan horasan harcının sistemin dinamik özelliklerine etkisini araştırmaktır. Minare'nin geometrik görünümü ve boyutları Şekil 15'de verilmiştir. Analiz sonucunda minare modellerinin dinamik özellikleri karşılaştırılmıştır. Lineer zaman tanım alanında yapılan analizlerde iki farklı deprem hareketi kullanılmıştır ve Şekil 15'de gösterilen minare kesiti üzerinde 4 noktada (A, B, C ve D noktaları) yer değiştirmeler ve stresler karşılaştırılmıştır.

5.1 İşlem ve Bulgular

Bu çalışmada 2 adet minare modeli (Model-3 ve Model-4) SAP 2000 programı ile katı elemanlar kullanarak hazırlanmıştır. Modellerde taş ve horasan olmak üzere 2 adet izotropik malzeme tanımlanmıştır. Minarenin yapımındaki taş malzemeyi temsilen seçilen malzemenin özellikleri Model-1 ve Model-2 de olduğu gibi, 2.2 ton/m^3 yoğunluğunda, elastisite modülü 3000 Mpa, poisson oranı 0,2 şeklindedir. Petek bölümünde 75 cm devam eden merdivenlerde kullanılan horasan harcını temsilen seçilen horasan malzemenin özellikleri 1.5 ton/m^3 yoğunluğunda, elastisite modülü 1500 Mpa, poisson oranı 0,3 şeklindedir. Hazırlanan sonlu elemanlar modeli Şekil 16'de gösterilmiştir:

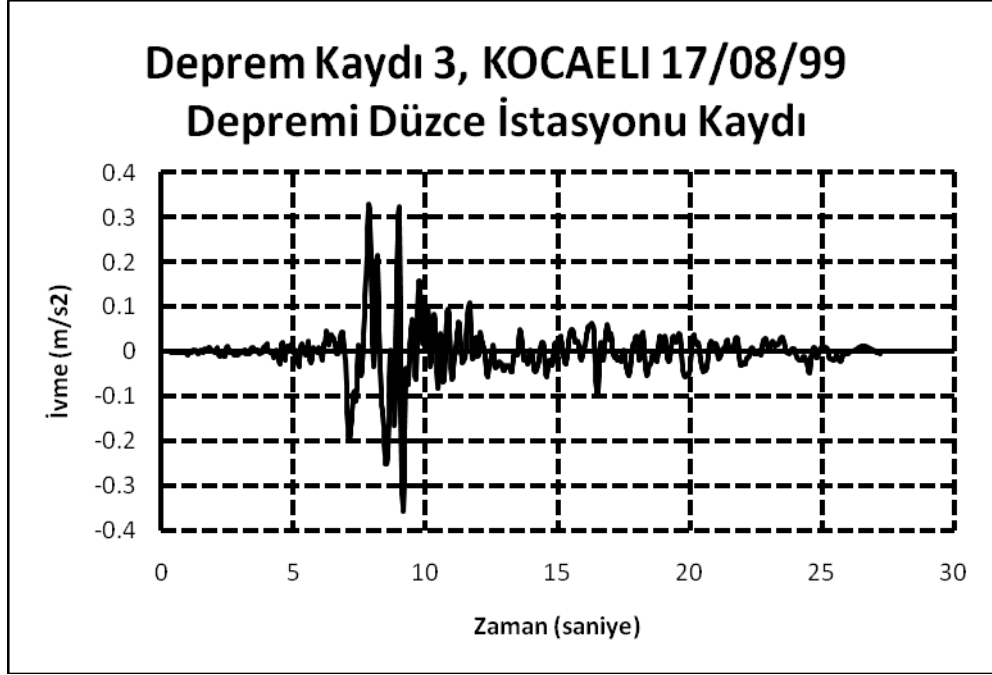
- **Model 3:** Bütün elemanlar katı elemanlarla modellenmiş, ve malzeme olarak taş seçilmiştir.
- **Model 4:** Model-3 'ün merdivenlerde kullanılan malzemeler hariç aynısıdır. Merdivenlerin orta kısmına şekil 15 de belirtilen şekilde horasan malzeme tanımlanmıştır.



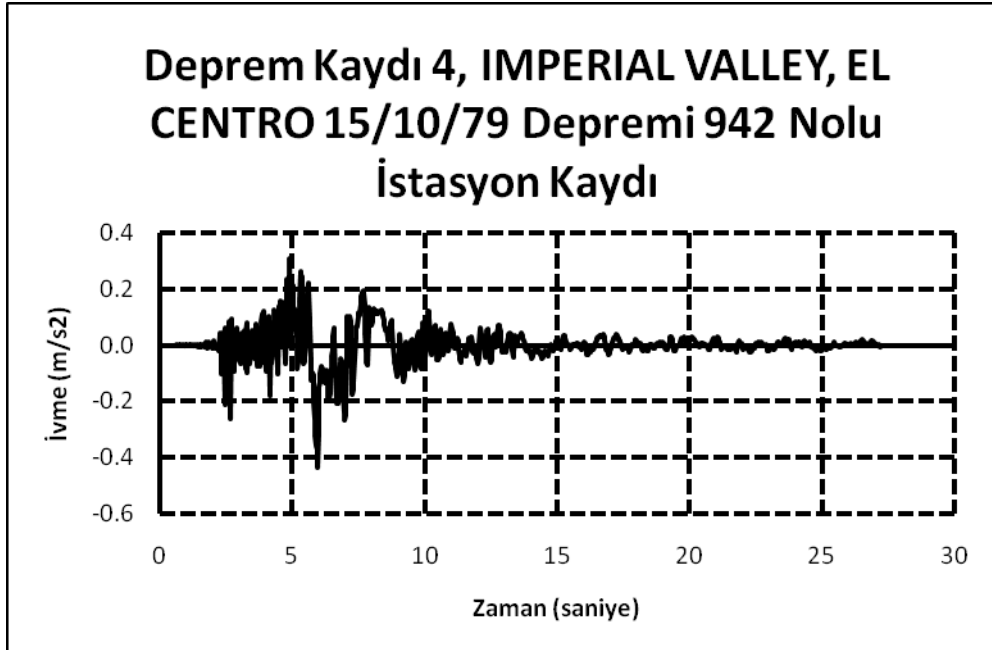
Şekil 16 Model-3, 4, 5 ve 6'nın bilgisayar programındaki görüntüsü

Model-3 ve Model-4 lineer zaman tamiri analizinde iki deprem kaydı kullanılmıştır.

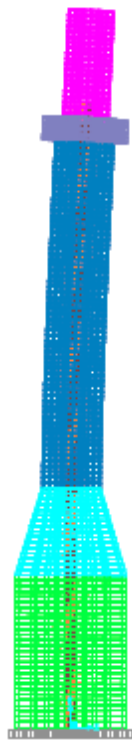
- Deprem Kaydı - 3, Kocaeli 1999, Düzce İstasyonu (Şekil-17)
- Deprem Kaydı - 4, Imperial Valley El Centro 1979. (Şekil-18)



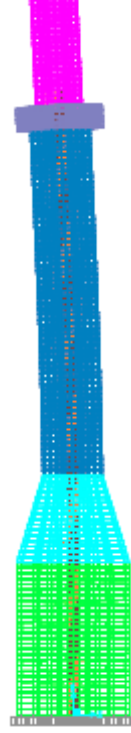
Şekil 17 Deprem Kaydı-3



Şekil 18 Deprem Kaydı-4



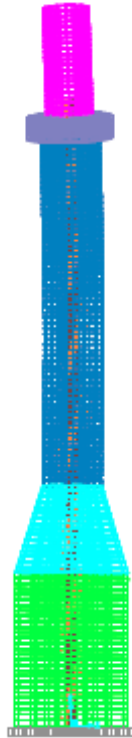
Mod-1



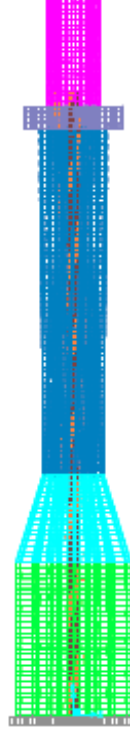
Mod-2



Mod-3



Mod-4

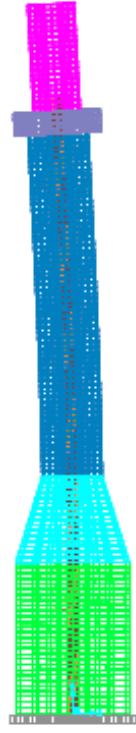


Mod-5

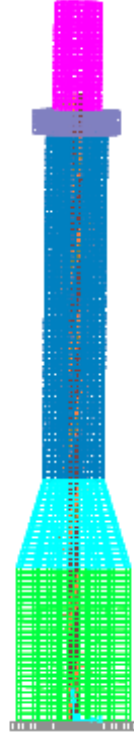


Mod-6

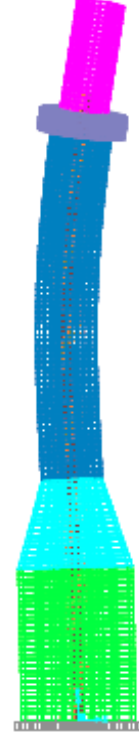
Şekil 19 Model-3 mod şekilleri



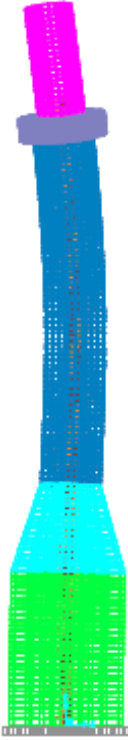
Mod-1



Mod-2



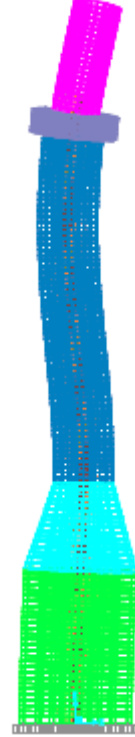
Mod-3



Mod-4



Mod-5



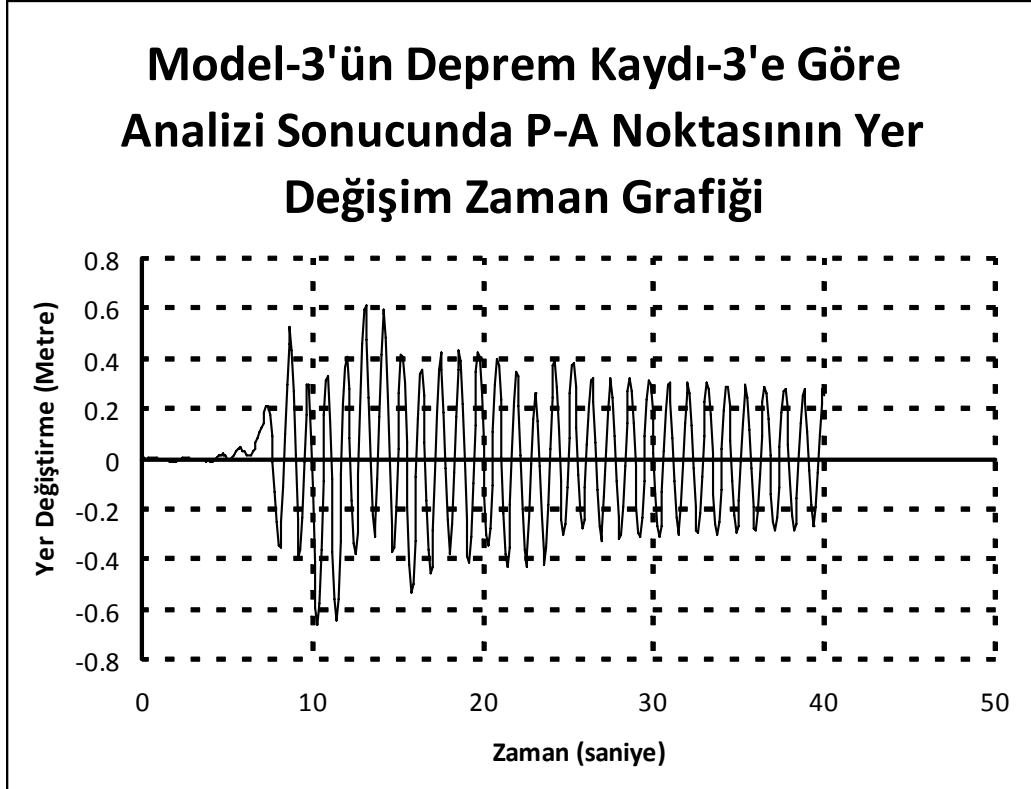
Mod-6

Şekil 20 Model-4 mod şekilleri

Tablo 4 Model-3 ve Model 4 'ün Doğal Titreşim Periyodları

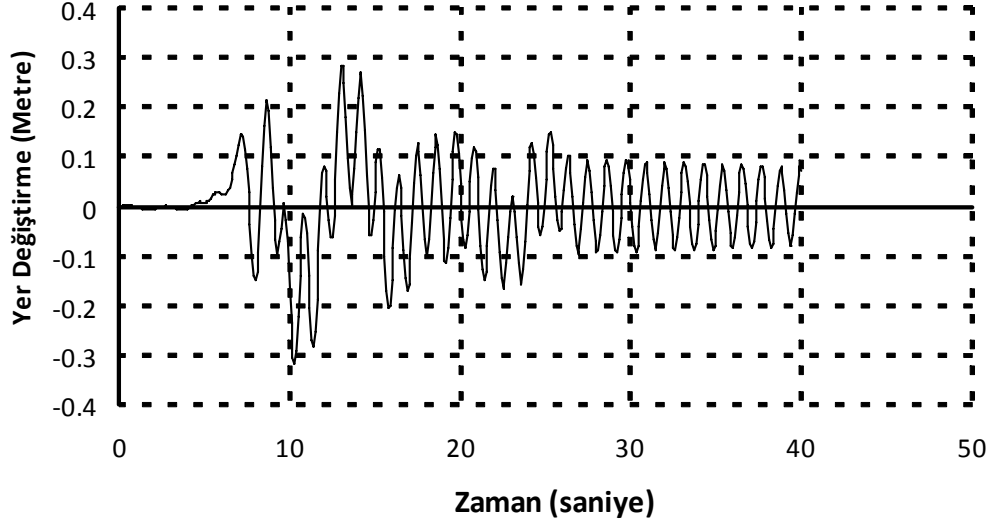
Mod	Periyod		Fark(%) Model-4 / Model-3
	Model-3 (sn.)	Model-4 (sn.)	
1	1.1027	1.1016	-0.100%
2	1.1027	1.1016	-0.100%
3	0.2258	0.2256	-0.089%
4	0.2258	0.2256	-0.089%
5	0.1308	0.1310	0.153%
6	0.1153	0.1154	0.087%
7	0.1152	0.1154	0.174%
8	0.0849	0.0855	0.707%
9	0.0715	0.0717	0.280%
10	0.0714	0.0717	0.420%
11	0.0500	0.0500	0.000%
12	0.0474	0.0476	0.422%

Model-3 ve Model-4 arasında mod şekilleri (Şekil-19 ve Şekil-20) ve mod periyodları arasında (Tablo-4) önemli bir fark bulunmamaktadır.



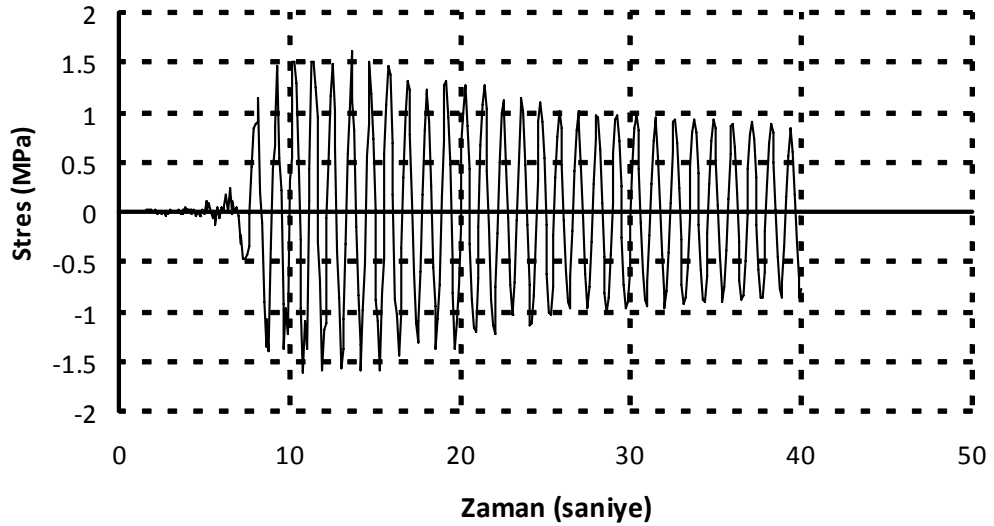
Şekil 21 Model-3'ün Deprem Kaydı-3'e göre Analizi Sonucunda A Noktasının Yer Değişim Zaman Grafiği

Model-3'ün Deprem Kaydı-3'e Göre Analizi Sonucunda P-B Noktasının Yer Değişim Zaman Grafiği



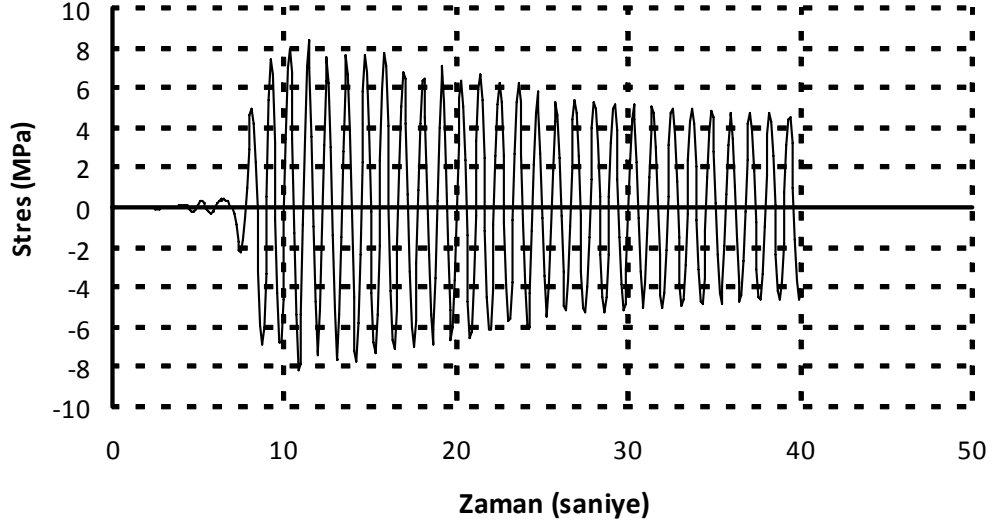
Şekil 22 Model-3'ün Deprem Kaydı-3'e göre Analizi Sonucunda B Noktasının Yer Değişim Zaman Grafiği

Model-3'ün Deprem Kaydı-1'e Göre Analizi Sonucunda S-C Katı Elemanının Stres Zaman Grafiği



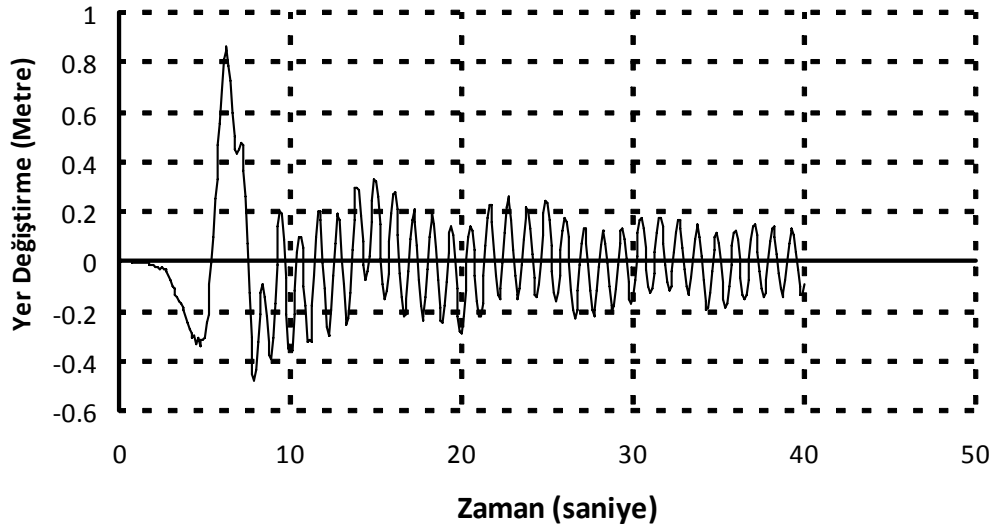
Şekil 23 Model-3'ün Deprem Kaydı-3'e göre Analizi Sonucunda C Noktasının Stres Zaman Grafiği

Model-3'ün Deprem Kaydı-3'e Göre Analizi Sonucunda S-D Katı Elemanının Stres Zaman Grafiği



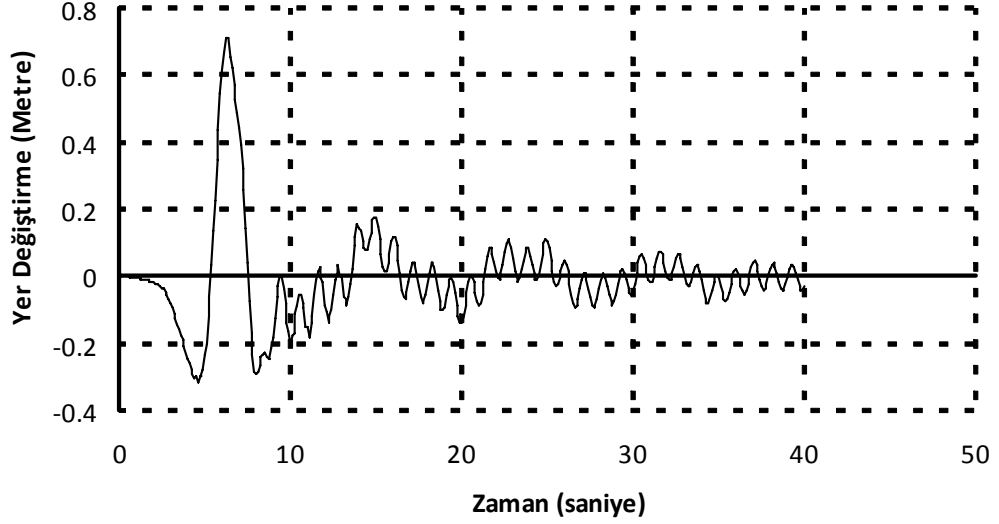
Şekil 24 Model-3'ün Deprem Kaydı-3'e göre Analizi Sonucunda D Noktasının Stres Zaman Grafiği

Model-3'ün Deprem Kaydı-4'e Göre Analizi Sonucunda P-A Noktasının Yer Değişim Zaman Grafiği



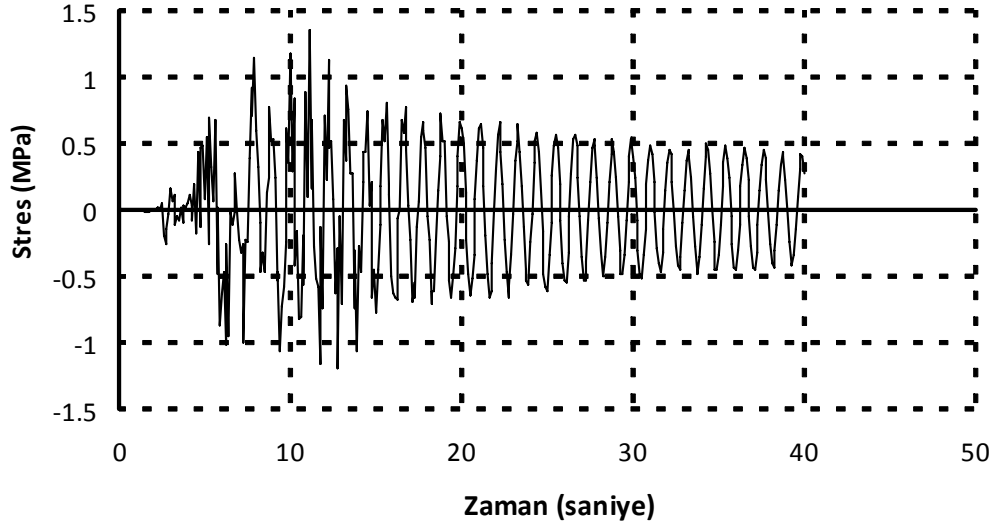
Şekil 25 Model-3'ün Deprem Kaydı-4'e göre Analizi Sonucunda A Noktasının Yer Değişim Zaman Grafiği

Model-3'ün Deprem Kaydı-4'e Göre Analizi Sonucunda P-B Noktasının Yer Değişim Zaman Grafiği



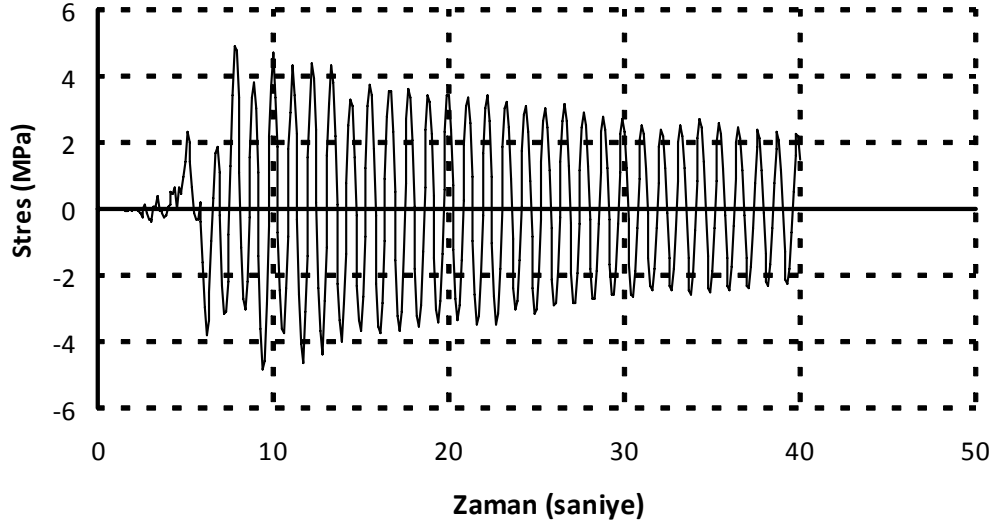
Şekil 26 Model-3'ün Deprem Kaydı-4'e göre Analizi Sonucunda B Noktasının Yer Değişim Zaman Grafiği

Model-3'ün Deprem Kaydı-4'e Göre Analizi Sonucunda S-C Katı Elemanının Stres Zaman Grafiği



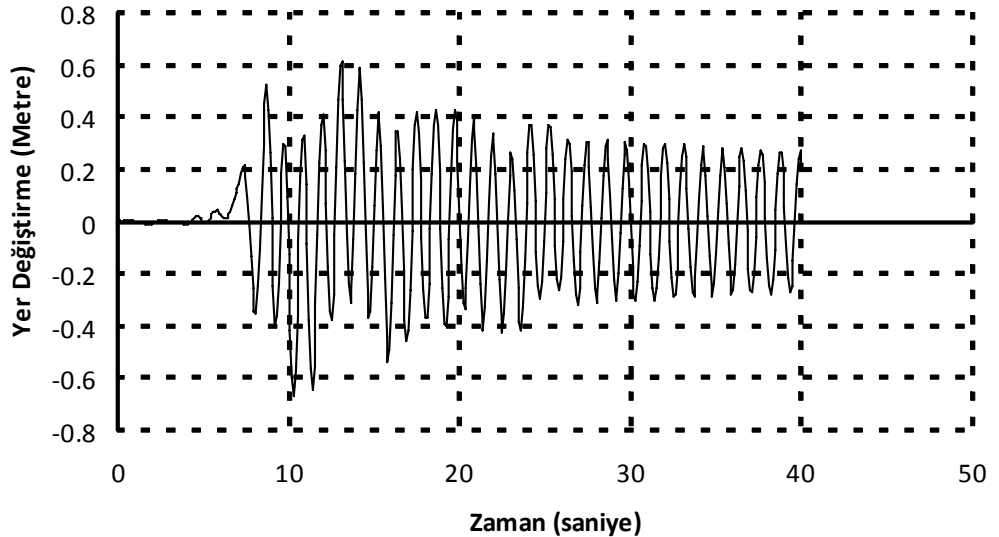
Şekil 27 Model-3'ün Deprem Kaydı-4'e göre Analizi Sonucunda C Noktasının Stres Zaman Grafiği

Model-3'ün Deprem Kaydı-4'e Göre Analizi Sonucunda S-D Katı Elemanının Stres Zaman Grafiği



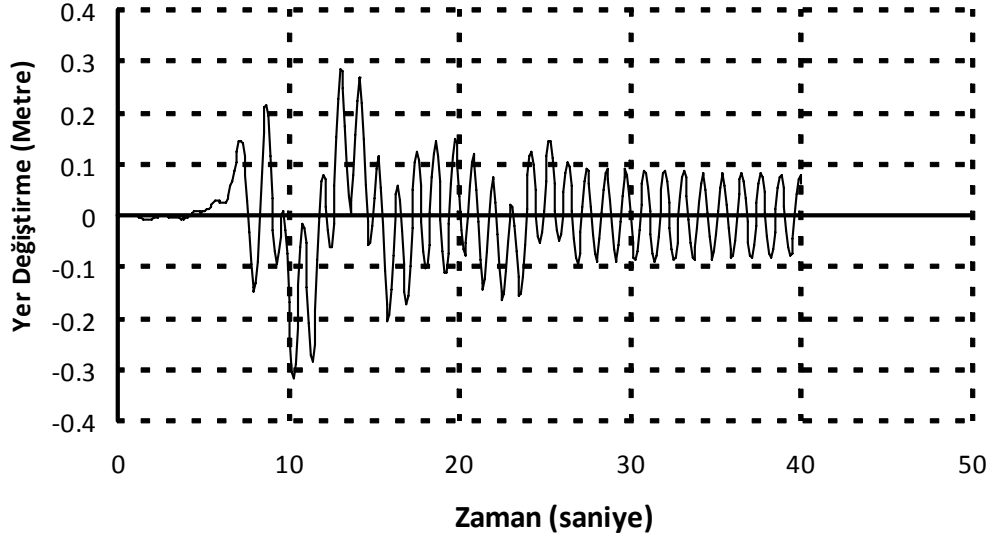
Şekil 28 Model-3'ün Deprem Kaydı-4'e göre Analizi Sonucunda D Noktasının Stres Zaman Grafiği

Model-4'ün Deprem Kaydı-3'e Göre Analizi Sonucunda P-A Noktasının Yer Değişim Zaman Grafiği



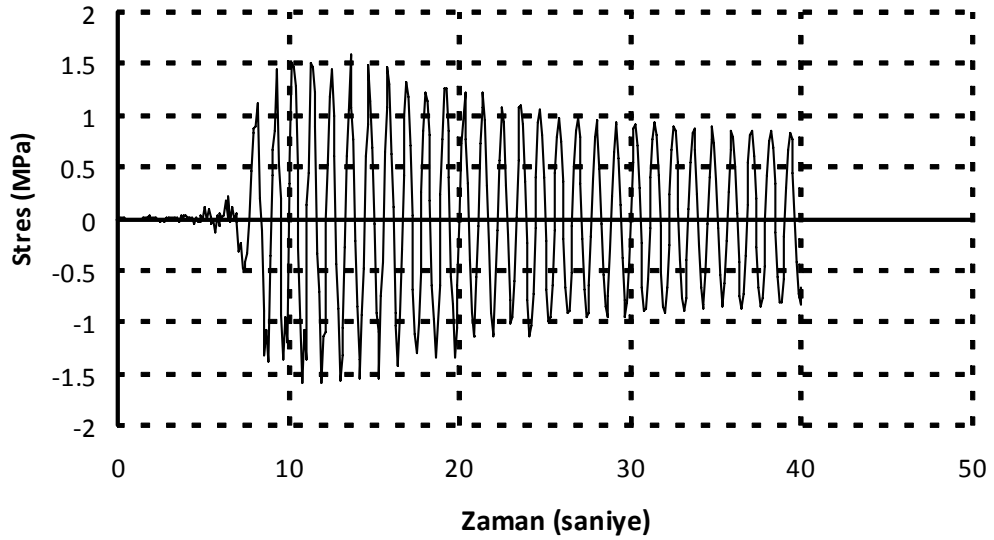
Şekil 29 Model-4'ün Deprem Kaydı-3'e göre Analizi Sonucunda A Noktasının Yer Değişim Zaman Grafiği

Model-4'ün Deprem Kaydı-3'e Göre Analizi Sonucunda P-B Noktasının Yer Değişim Zaman Grafiği



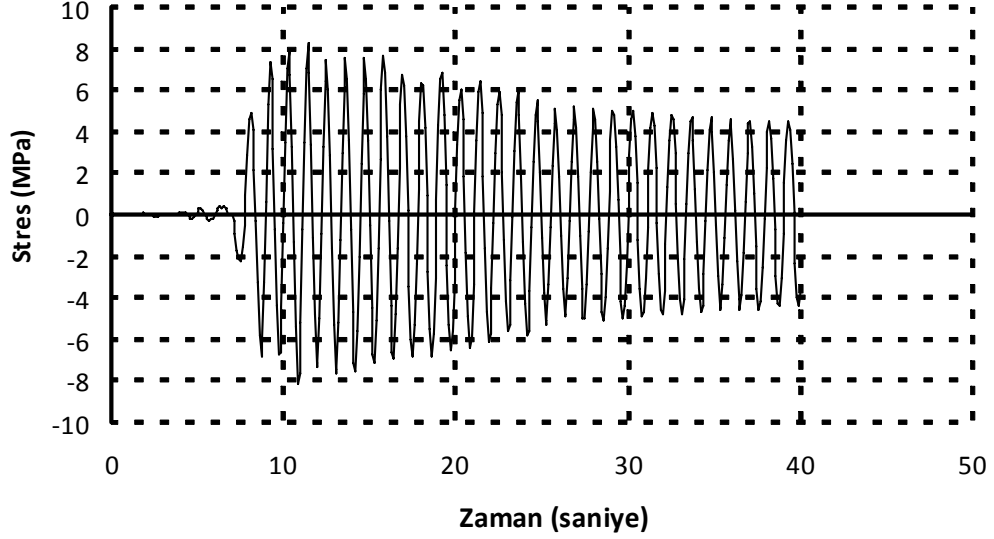
Şekil 30 Model-4'ün Deprem Kaydı-3'e göre Analizi Sonucunda B Noktasının Yer Değişim Zaman Grafiği

Model-4'ün Deprem Kaydı-3'e Göre Analizi Sonucunda S-C Katı Elemanının Stres Zaman Grafiği



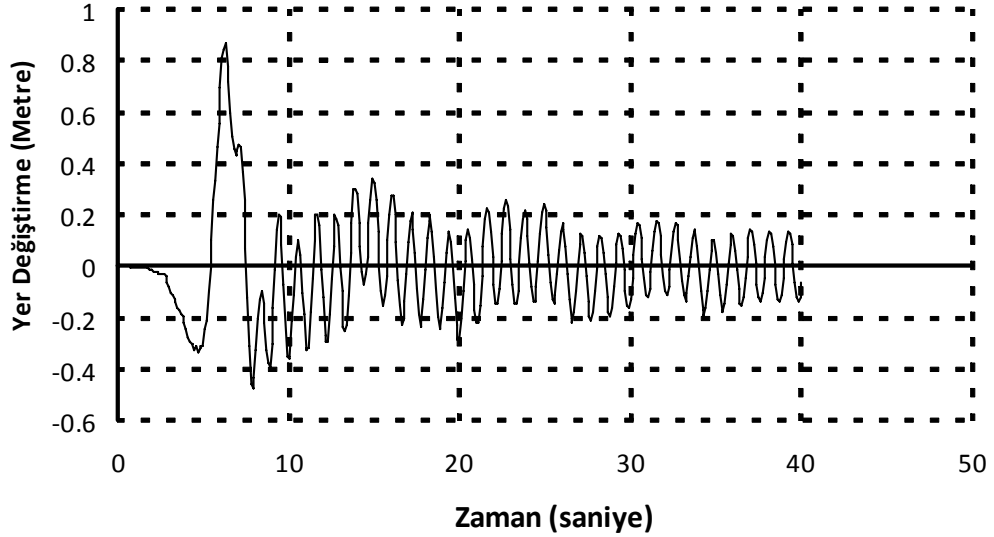
Şekil 31 Model-4'ün Deprem Kaydı-3'e göre Analizi Sonucunda C Noktasının Stres Zaman Grafiği

Model-4'ün Deprem Kaydı-3'e Göre Analizi Sonucunda S-D Katı Elemanının Stres Zaman Grafiği



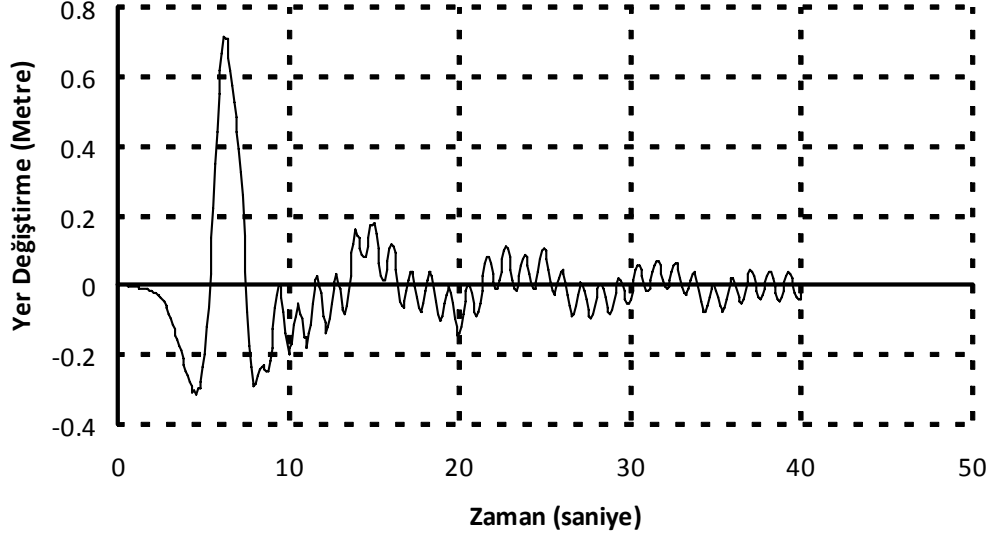
Şekil 32 Model-4'ün Deprem Kaydı-3'e göre Analizi Sonucunda D Noktasının Stres Zaman Grafiği

Model-4'ün Deprem Kaydı-4'e Göre Analizi Sonucunda P-A Noktasının Yer Değişim Zaman Grafiği



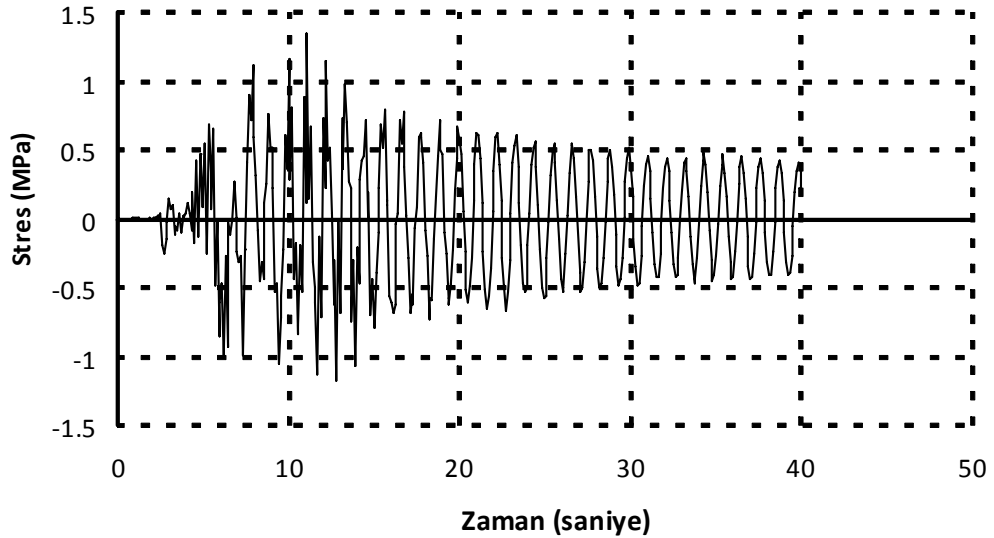
Şekil 33 Model-4'ün Deprem Kaydı-4'e göre Analizi Sonucunda A Noktasının Yer Değişim Zaman Grafiği

Model-4'ün Deprem Kaydı-4'e Göre Analizi Sonucunda P-B Noktasının Yer Değişim Zaman Grafiği

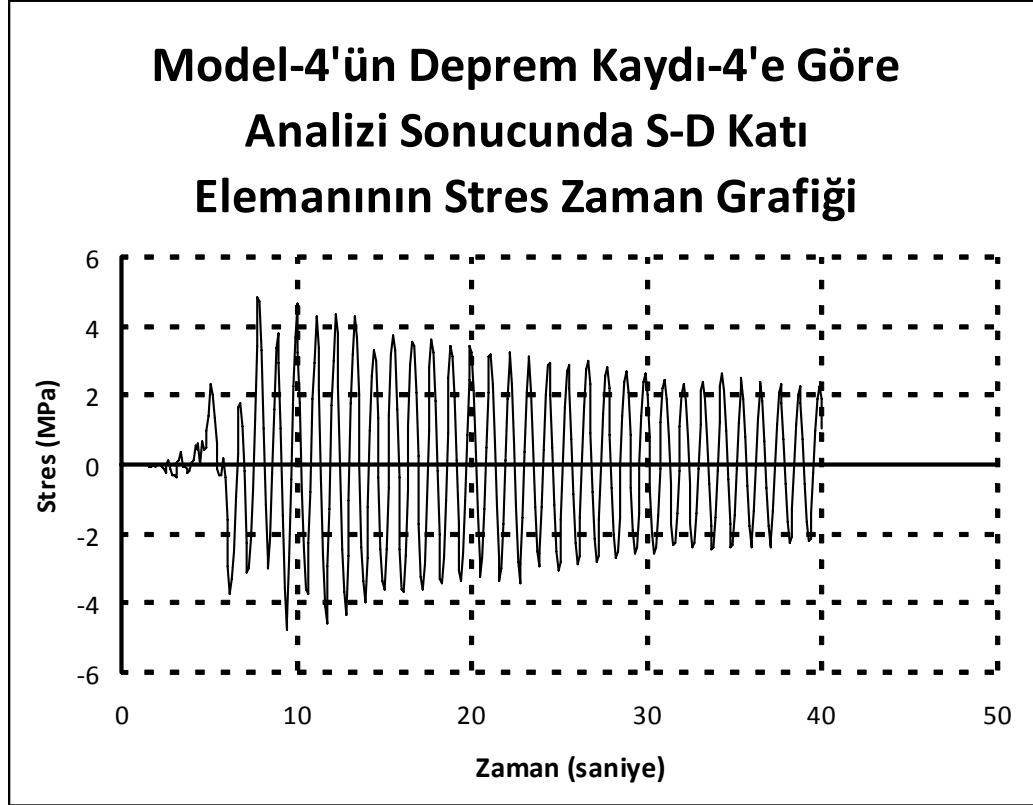


Şekil 34 Model-4'ün Deprem Kaydı-4'e göre Analizi Sonucunda B Noktasının Yer Değişim Zaman Grafiği

Model-4'ün Deprem Kaydı-4'e Göre Analizi Sonucunda S-C Katı Elemanının Stres Zaman Grafiği



Şekil 35 Model-4'ün Deprem Kaydı-4'e göre Analizi Sonucunda C Noktasının Stres Zaman Grafiği



Şekil 36 Model-4'ün Deprem Kaydı-4'e göre Analizi Sonucunda D Noktasının Stres Zaman Grafiği

Tablo 5 Deprem Kaydı 3'e göre Model 3 ve Model 4'ün maksimum ve minimum değerlerinin karşılaştırılması

Model	Model 3	Model 4	Fark (metre)	Fark (%)
Malzeme	Tas	Tas+Horasan		
Analiz	Deprem Kaydı 3	Deprem Kaydı 3		
A Noktası Maksimum Yer Değiştirme (m)	0.61512	0.61135	-0.0038	-0.613%
A Noktası Minimum Yer Değiştirme (m)	-0.66671	-0.66610	0.0006	-0.091%
B Noktası Maksimum Yer Değiştirme (m)	0.28373	0.28267	-0.0011	-0.374%
B Noktası Minimum Yer Değiştirme (m)	-0.31776	-0.31716	0.0006	-0.189%
C Katı Elemanı Maksimum Stres(Mpa)	1.61184	1.59517	-0.0167	-1.035%
C Katı Elemanı Minimum Stres(Mpa)	-1.61554	-1.59793	0.0176	-1.090%
D Katı Elemanı Maksimum Stres(Mpa)	8.35426	8.24679	-0.1075	-1.286%
D Katı Elemanı Minimum Stres(Mpa)	-8.17737	-8.12436	0.0530	-0.648%

Tablo 6 Deprem Kaydı 4'e göre Model 3 ve Model 4'ün maksimum ve minimum değerlerinin karşılaştırılması

Model	Model 3	Model 4		
Malzeme	Tas	Tas+Horasan		Fark (%)
Analiz	Deprem Kaydı 4	Deprem Kaydı 4	Fark	
A Noktası Maksimum Yer Değiştirme (m)	0.86642	0.86524	-0.0012	-0.136%
A Noktası Minimum Yer Değiştirme (m)	-0.47997	-0.47880	0.0012	-0.244%
B Noktası Maksimum Yer Değiştirme (m)	0.71332	0.71284	-0.0005	-0.067%
B Noktası Minimum Yer Değiştirme (m)	-0.31660	-0.31652	0.0001	-0.025%
C Katı Elemanı Maksimum Stres(Mpa)	1.35790	1.34659	-0.0113	-0.832%
C Katı Elemanı Minimum Stres(Mpa)	-1.19488	-1.17410	0.0208	-1.739%
D Katı Elemanı Maksimum Stres(Mpa)	4.87590	4.82561	-0.0503	-1.031%
D Katı Elemanı Minimum Stres(Mpa)	-4.82647	-4.78921	0.0373	-0.772%

Model-3 ve Model-4, Şekil-15'de belirtilen noktalardaki yer değiştirme ve stres değerleri yönüyle Tablo-5 ve Tablo-6 da karşılaştırılmıştır. Değerler arasında kayda değer bir fark yoktur. Bunun nedeni kullanılan horasan malzemenin sistem içerisinde dağınık olması, rijitliği zayıf bölgeler oluşturmaması ve kütle oranı olarak da çok düşük olmasıdır.

Minarede stres dağılımında en kritik bölge kesit daralmasından ötürü gövde ile kürsü kısmının birleştiği yerdir. Kesme kuvvetinin en fazla olduğu tabandan seçilen C noktasındaki stresler bu bölgeden seçilen D noktasındaki streslerden 4-5 kat daha küçüktür.

5.2 Bulguların Değerlendirilmesi

Minareler sonlu elemanlar yöntemiyle modellenirken kullanılan malzeme özellik ve kombinasyonlarına dikkat etmek gereklidir. Burada önemli olan kullanılan malzemelerin yapısal sistem içerisindeki dağılımı ve oranıdır. Kullanılan malzeme yapısal sistem içerisinde bir bölgede toplanıyor, sistemin rijitlik merkezini değiştiriyor ise buna ayrıca dikkat etmek gereklidir. Minare modelinde merdivenlerde basamakların orta kısmında kullanılan, rijitliği ve kütlesi taş malzemeye göre oldukça az olan horasan harcının modelde tanımlanması sonucunda gerek sisteme göre kütle oranının az olmasından gerek dağılımının düzgün olmasından ötürü yer değiştirme, maksimum stresler ve sistemin doğal titreşim periyodlarında kayda değer farklılıklar olmamıştır.

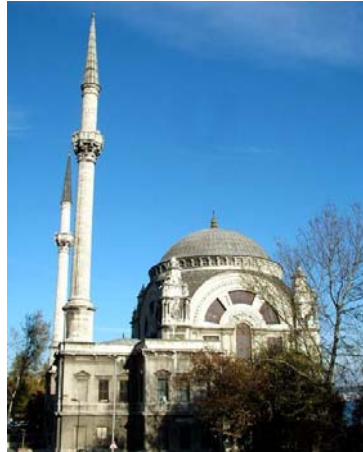
Temelden itibaren küp, kürsü, gövde, şerefe, petek ve külah olarak bölümlere ayrılan minare üzerinde en kritik kesit, kürsü ile gövde bölümlerinin birleştiği yerdir. Bunun nedeni kesit alanının daralması ve böylelikle streslerin artmasıdır.

6 BİR MİNARE MODELİNİN FARKLI MESNET KOŞULLARINA GÖRE ANALİZİ

Bu çalışmada minarenin ana yapı ile olan ilişkisi incelenmiştir. Minareler ana yapıdan ayrı (Ayasofya Camii, bkz. Resim-36), ana yapı beden duvarı üzerinde (Valide Sultan Camii, bkz. Resim-37) ve ana yapıya bitişik olarak inşa edilmişlerdir (Yeni Camii, bkz. Resim-38). Minare modeli bu değişik mesnet koşullarına göre düzenlenerek analiz edilmiştir. Lineer zaman tanım alanında yapılan analizler sonucunda minare modellerinin dinamik özellikleri karşılaştırılmıştır. Şekil 15’de gösterilen minare kesiti üzerinde 4 noktada (A, B, C ve D noktaları) yer değiştirmeler ve stresler karşılaştırılmıştır. Modellerin farklı yüksekliklerdeki kesitlerinde stresler karşılaştırılmıştır.



Resim 36 Ayasofya Camii ve minaresi



Resim 37 Dolmabahçe Valide Sultan Camii



Resim 38 Yeni Cami ve Minaresi

6.1 İşlem ve Bulgular

Bu çalışmada; önceki çalışmada kullanılan minare modeli (Model-3, bkz. Şekil-15-16) kullanılarak, mesnet koşulları farklı 2 adet minare modeli hazırlanmıştır (Model-5 ve Model-6). Modellerin özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

Model 3: Ana yapıdan ayrı minareleri temsil etmektedir. Sadece zemin kısmından mesnetlenmiştir.

Model 5: Ana yapının beden duvarı üzerine inşa edilen minareleri temsil etmektedir. Şekil-37’de gösterilen şekilde minarenin iki tarafından katı elemanların birleşim noktalarından lineer yay mesnetler tanımlanmıştır. Mesnet sabiti $k=EA/L$ formülünden hesaplanmış ve noktalara dağıtılmıştır. k değeri 70000 KN/m alınmıştır.

Model 6: Ana yapıya bitişik inşa edilen minareleri temsil etmektedir. Şekil-38’de gösterilen şekilde minarenin bir tarafından katı elemanların yüzeyinden nonlineer link-GAP mesnetler, yani sadece basınç alan mesnetler tanımlanmıştır. Mesnet sabiti 70000 KN/m alınmıştır.

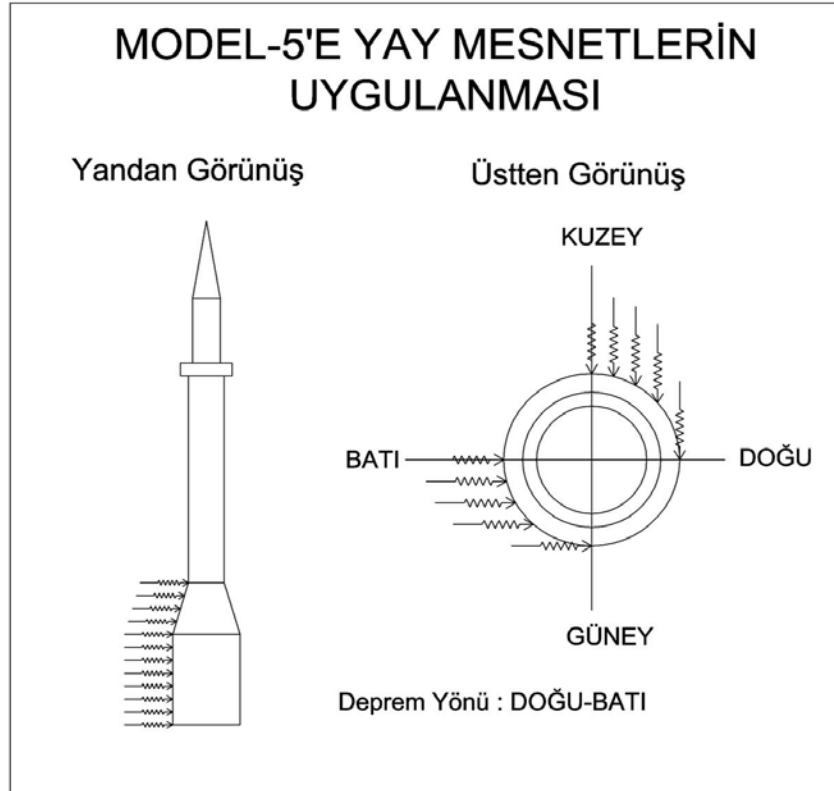
Model-3'ün mod şekilleri Şekil-19'da, Model-5'in mod şekilleri Şekil-39'da ve Model-6'nın mod şekilleri Şekil-40'da verilmiştir. Tablo-7'de Model 3,5 ve 6'nın doğal titreşim periyodları karşılaştırılmıştır.

Bu modelde hazırlanan üç modele, önceki çalışmada kullanılan 1999 Kocaeli depremi Düzce istasyonu kaydına (Deprem Kaydı-3) göre lineer zaman analizi uygulanmıştır. Şekil-15'de belirtilen A,B,C ve D noktalarına ait yer değiştirme – zaman ve stres – zaman grafikleri Şekil-39'dan Şekil-46'ya kadar olan kısımda verilmiştir. Tablo-8'de bu noktalar üzerinde bulunan maksimum yer değiştirme ve stresler karşılaştırılmıştır. Şekil-49'dan Şekil-51'e kadar modellerin 0,25m., 11m. ve 15 m. yükseklikteki kesitleri üzerindeki maksimum stres dağılımları gösterilmiştir. Şekil-52'den Şekil-61'e kadar modellerin deprem hareketine dik ve paralel yönlerden maksimum stres dağılımı gösterilmiştir.

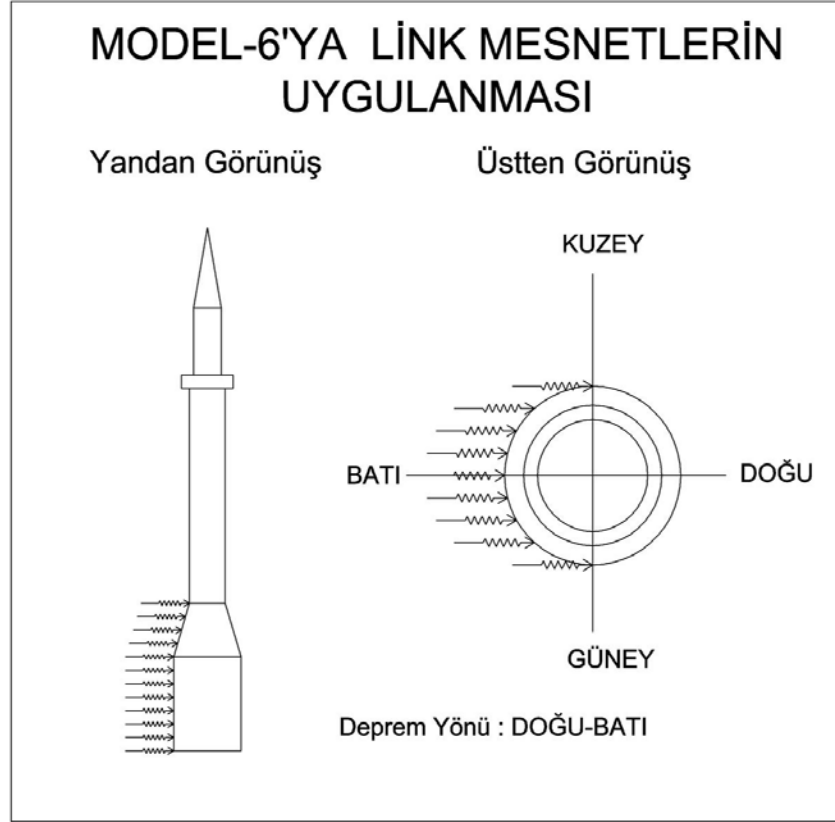
Model-5'in doğal titreşim periyodları Model-3'e göre %10 ile %40 arasında değişen oranlarda azalma göstermiştir. Bunun nedeni hem basınç hem de çekme alan yayların sistemin rijitliğini arttırmasıdır. Model-6 da ise Model-3 'e göre doğal titreşim periyodları %27 'ye kadar azalma göstermiştir. Model-6'da deprem yönünde uygulanan toplam yay katsayısı Model-5'e göre yaklaşık 2 kat fazla olmasına rağmen, bu yaylar sadece basınç aldıkları için sistemin rijitliğine etkileri Model-5'e göre daha az olmuştur.

Model-5 ve Model-6'da Şekil 15 de belirtilen A, B noktalarındaki maksimum yer değiştirmeler yaklaşık % 10 oranında azalmıştır. Bunun nedeni sistemlerin rijitliğinin artmasıdır. Minarenin kritik kesiti olan gövdenin başlangıcından seçilen D noktasında streslerde önemli değişiklikler olmamıştır. Model-5 ve 6'da minarenin tabanından seçilen C noktasında stresler model-3'e göre yaklaşık %94-%97 oranında azalmıştır. Model-5'de ise C noktasında stresler Model-6'ya göre yaklaşık yarıya inmiştir. Bunun nedeni tabandaki streslerin büyük kaynağı olan deprem yükünden ötürü oluşan momentin yaylar tarafından alınmasıdır.

Modellerde dış duvarlarda oluşan stresler minarenin gövde ile kürsü kısımları arasında maksimum değerleri görmektedir. Bu değerler Model-6'nın link mesnetlerin tanımlandığı taraf hariç 12–15 Mpa arasındadır. Model-6'nın bu kısmında ise maksimum 38.5 Mpa değerlerini görmektedir. Bunun nedeni model-5 in aksine model-6'da sistem deprem kuvvetleri etkisiyle yayların ters yönünde salınım yaparken yaylardan bir etki olmaması ve yaylara doğru etki yaparken birden yayların aktifleşmesi yani sistemin rijitleşmesidir. Aynı zamanda Model-6'da toplam yay sabitinin Model-5 in yaklaşık iki katı olmasının etkisiyle de dış duvarda yüksek gerilmeler oluşmaktadır.



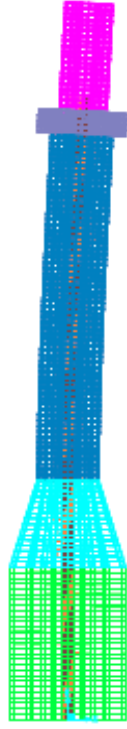
Şekil 37 Model-5'e yay mesnetlerin uygulanması



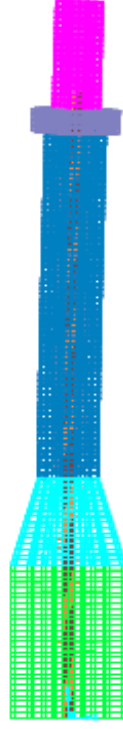
Şekil 38 Model-6'ya yay link mesnetlerin uygulaması

Tablo 7 Model 3,5 ve 6 doğal titreşim periyodlarının karşılaştırılması

Periyodlar (saniye)					
Mod	Model-3	Model-5	Model-6	Fark (%) Model-5'in Model-3'e göre	Fark (%) Model-6'nın Model-3'e göre
1	1.1027	1.0065	1.1026	-8.724%	-0.009%
2	1.1027	1.0057	1.0201	-8.797%	-7.491%
3	0.2258	0.1783	0.2258	-21.036%	0.000%
4	0.2258	0.1771	0.1823	-21.568%	-19.265%
5	0.1308	0.1276	0.1287	-2.446%	-1.606%
6	0.1153	0.0849	0.1152	-26.366%	-0.087%
7	0.1152	0.0792	0.0849	-31.250%	-26.302%
8	0.0849	0.0782	0.0815	-7.892%	-4.005%
9	0.0715	0.0535	0.0714	-25.175%	-0.140%
10	0.0714	0.0480	0.0535	-32.773%	-25.070%
11	0.0500	0.0453	0.0474	-9.400%	-5.200%
12	0.0474	0.0394	0.0440	-16.878%	-7.173%



Mod-1



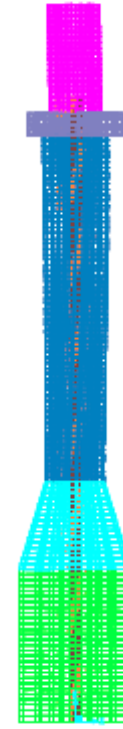
Mod-2



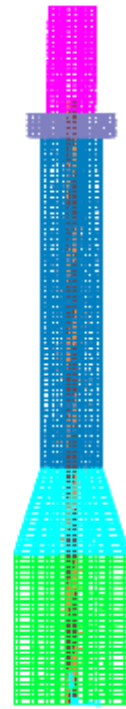
Mod-3



Mod-4



Mod-5

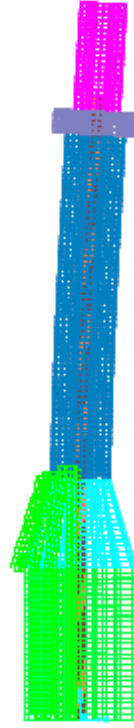


Mod-6

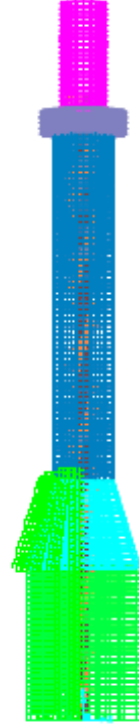
Şekil 39 Model - 5 mod şekilleri



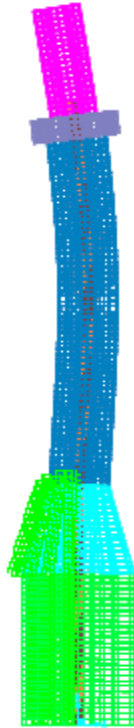
Mod-1



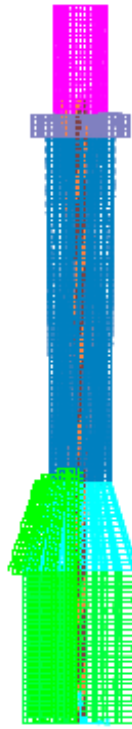
Mod-2



Mod-3



Mod-4

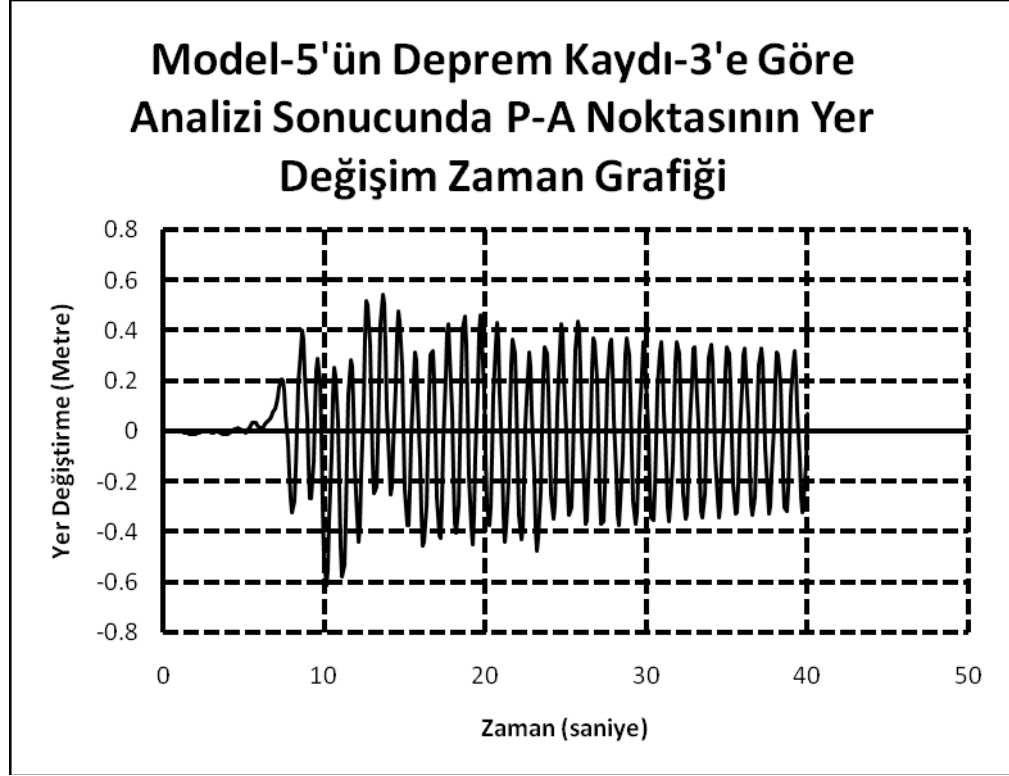


Mod-5

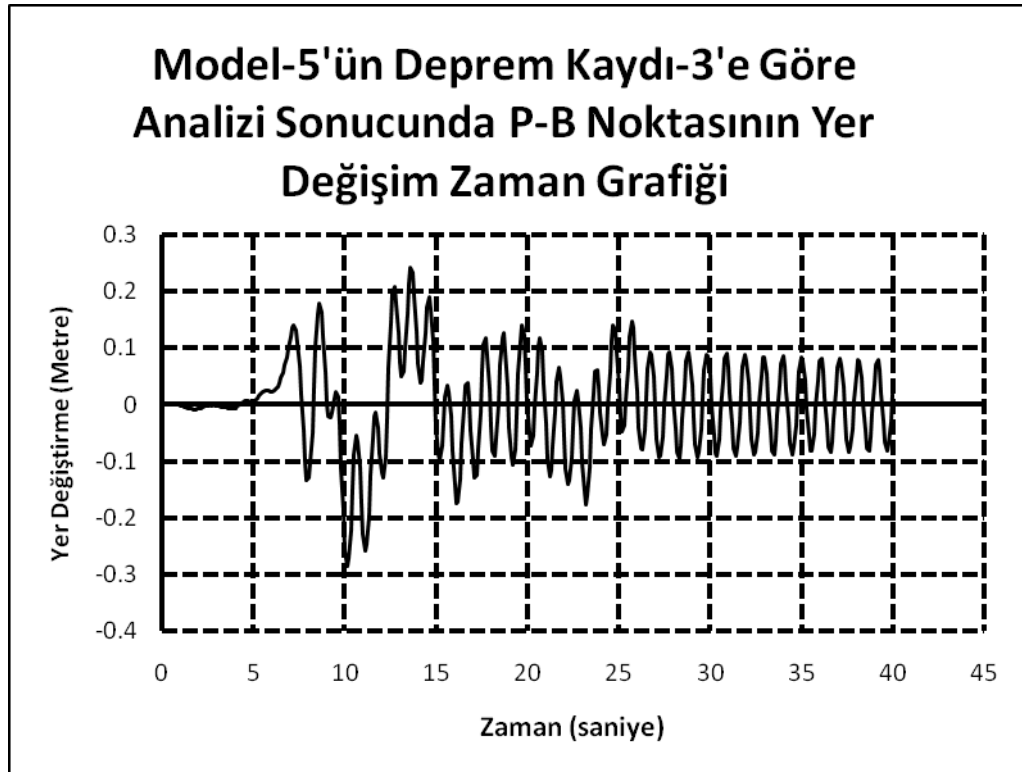


Mod-6

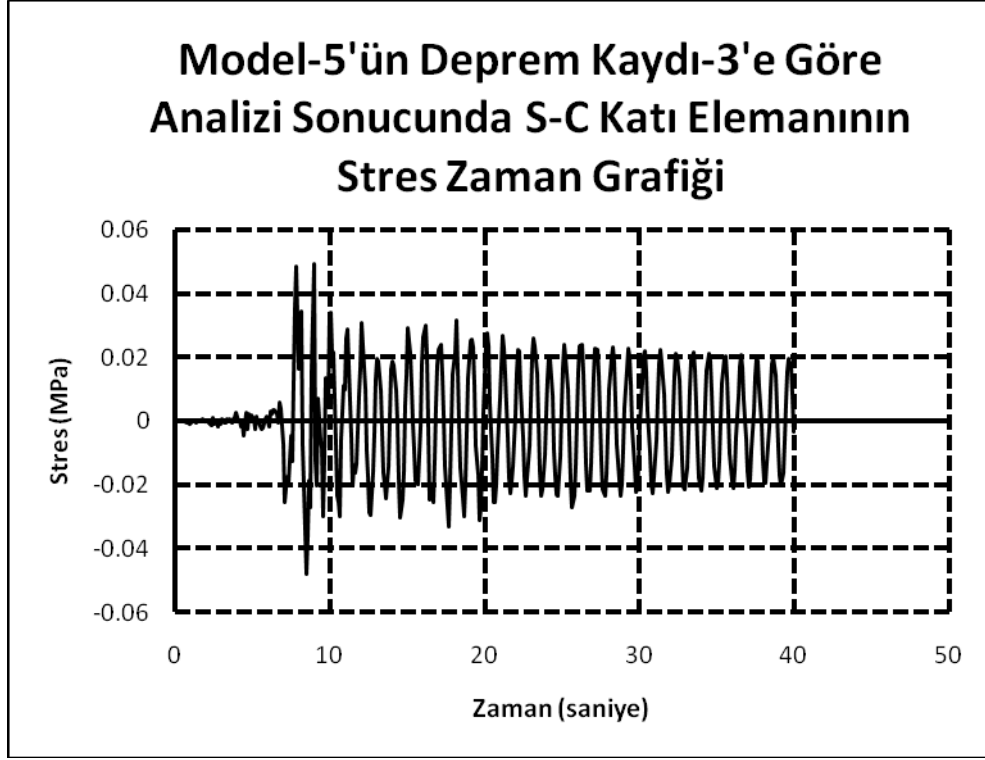
Şekil 40 Model – 6 mod şekilleri



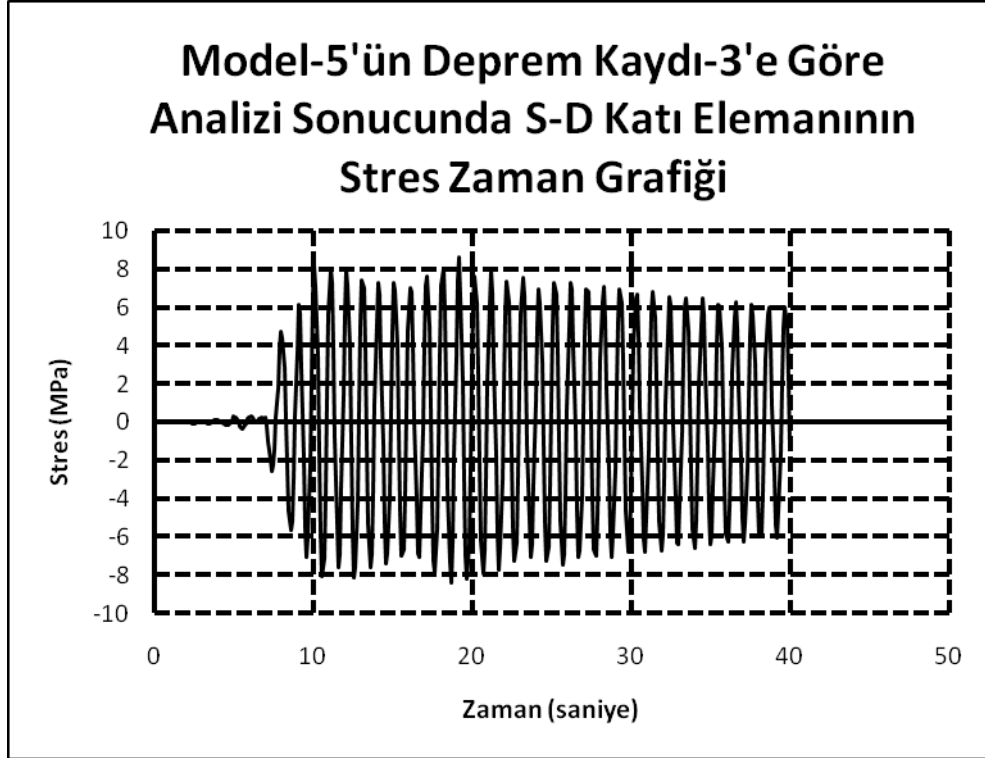
Şekil 41 Model-5'in Deprem Kaydı-3'e göre Analizi Sonucunda A noktasının yer değişim zaman grafiği



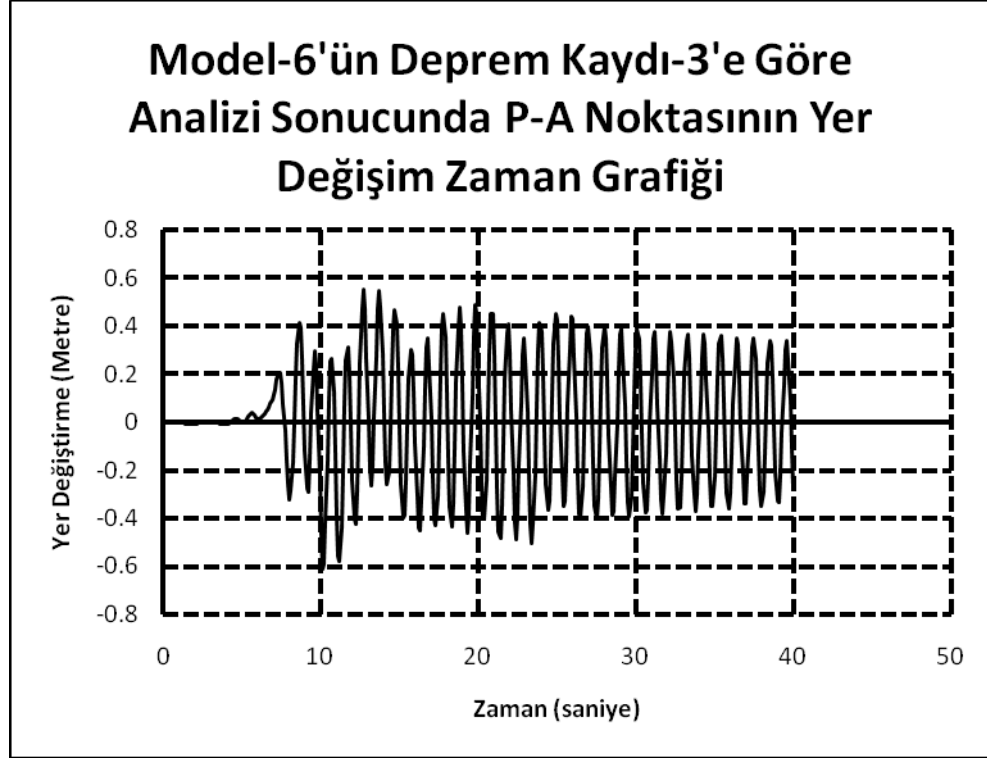
Şekil 42 Model-5'in Deprem Kaydı-3'e göre Analizi Sonucunda B noktasının yer değişim zaman grafiği



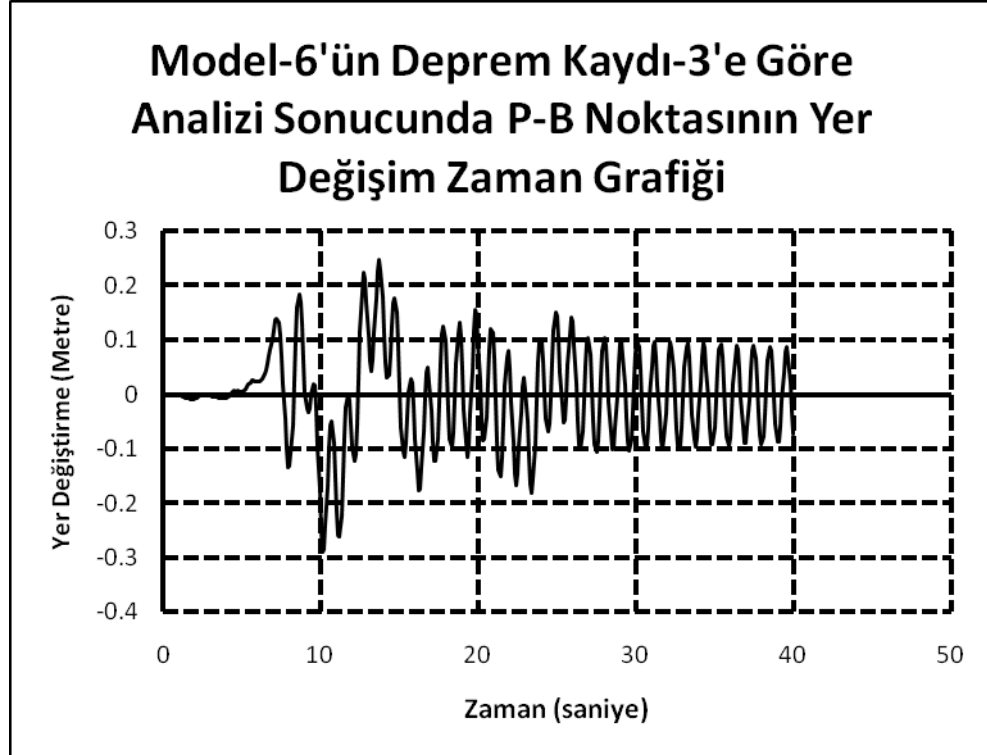
Şekil 43 Model-5'in Deprem Kaydı-3'e göre Analizi Sonucunda C noktasının Stres zaman grafiği



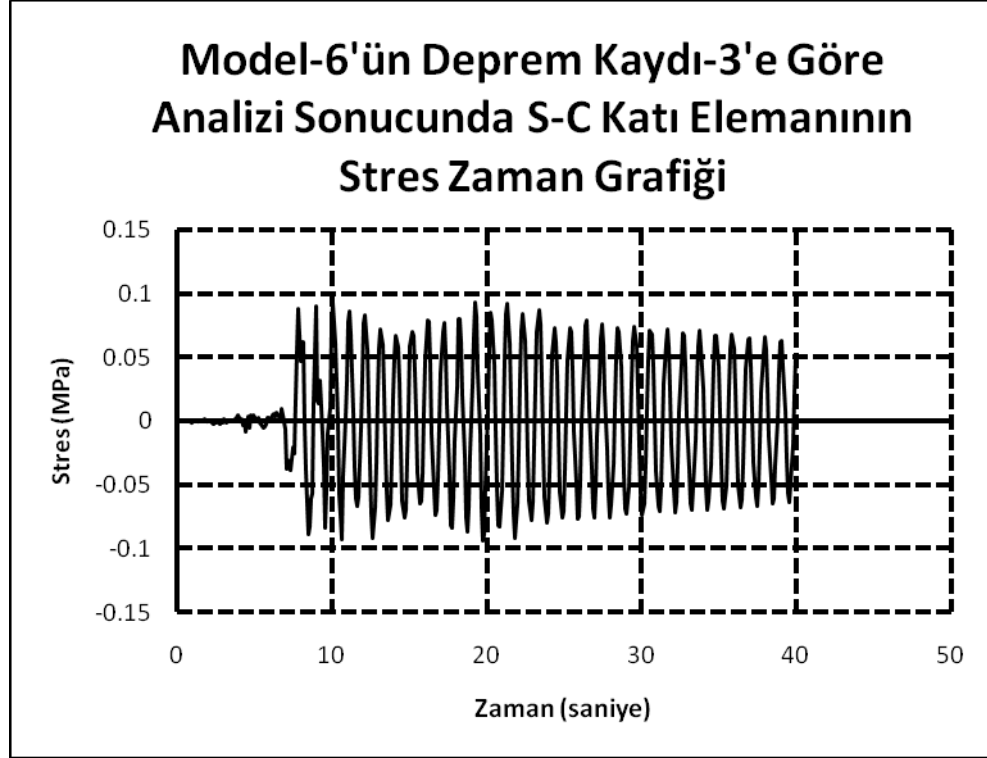
Şekil 44 Model-5'in Deprem Kaydı-3'e göre Analizi Sonucunda D noktasının stres zaman grafiği



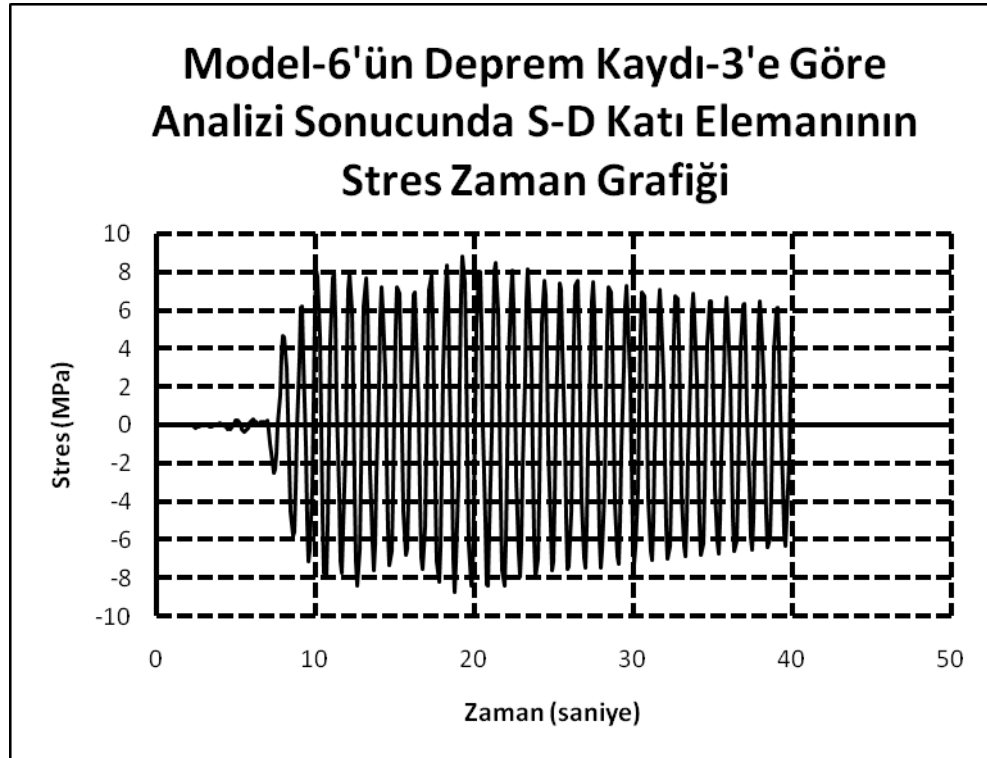
Şekil 45 Model-6'nın Deprem Kaydı-3'e göre Analizi Sonucunda A noktasının yer değişim zaman grafiği



Şekil 46 Model-6'nın Deprem Kaydı-3'e göre Analizi Sonucunda B noktasının yer değişim zaman grafiği



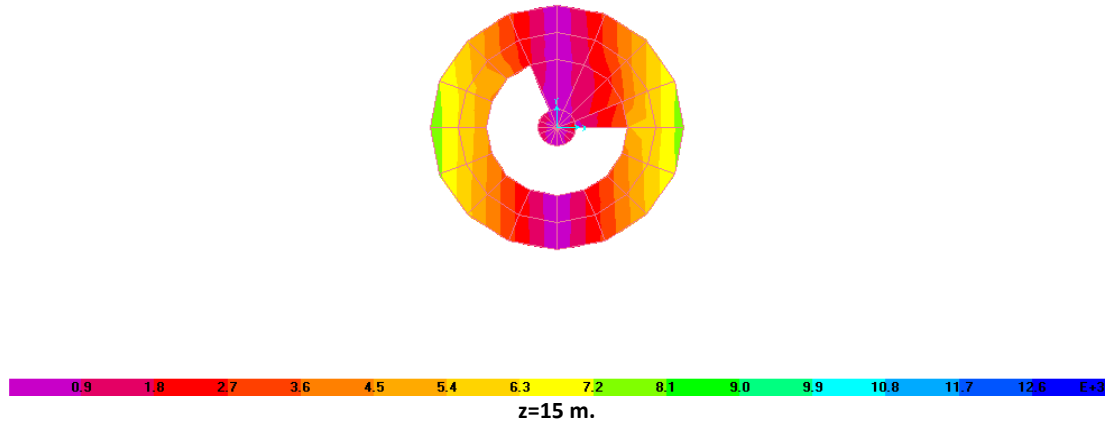
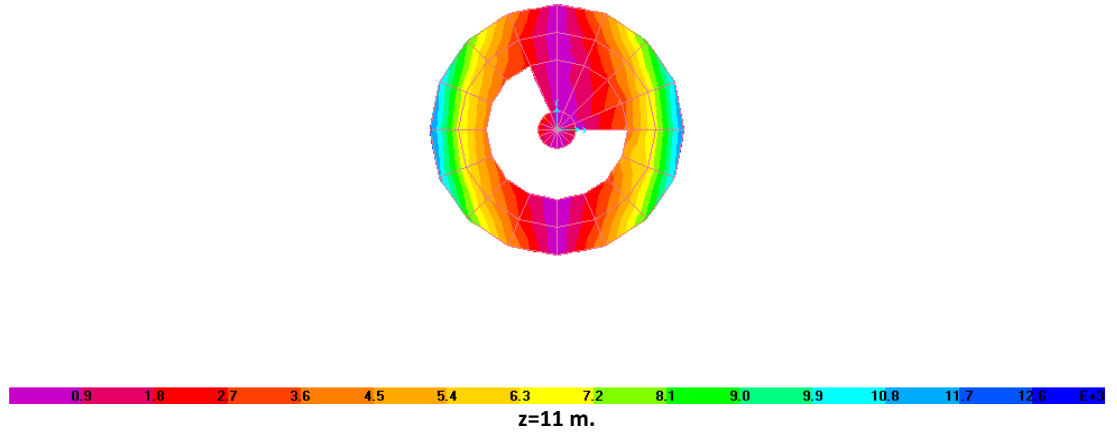
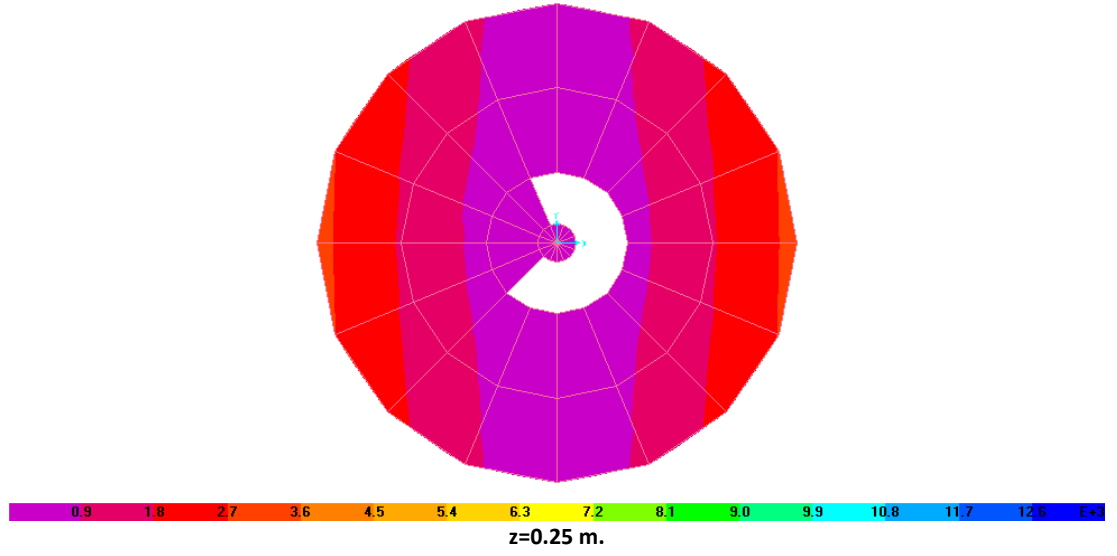
Şekil 47 Model-6'nın Deprem Kaydı-3'e göre Analizi Sonucunda C noktasının stres zaman grafiği



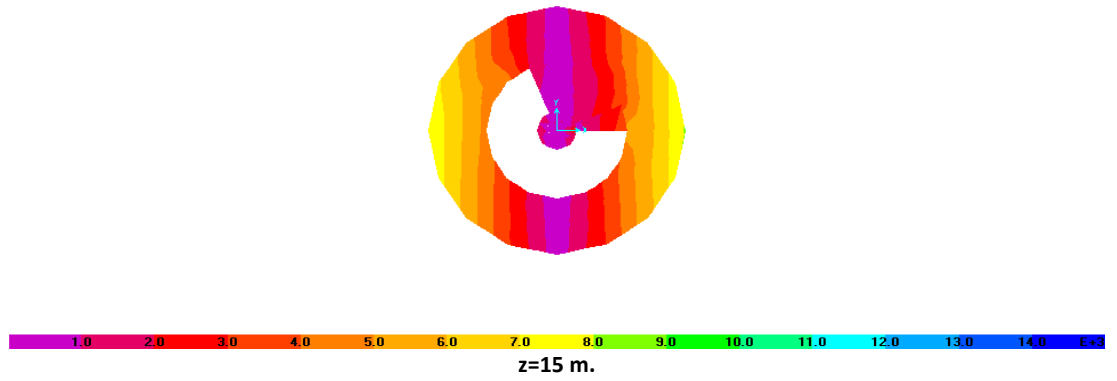
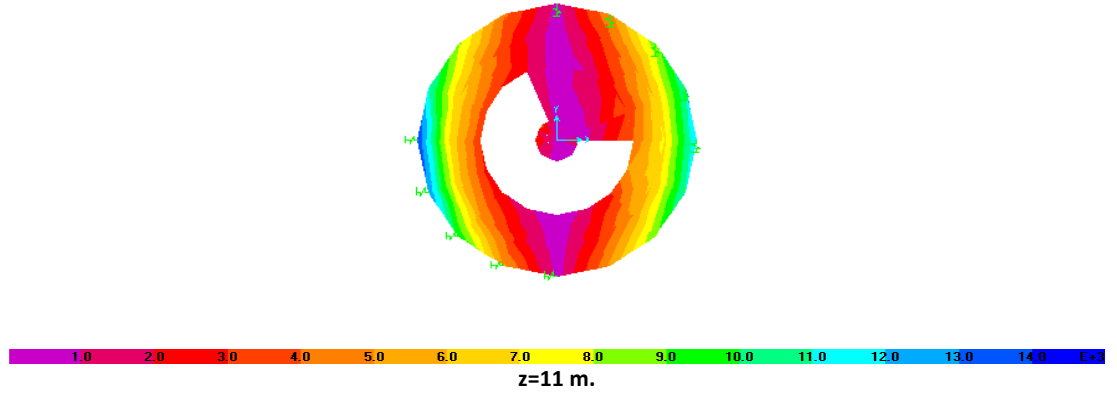
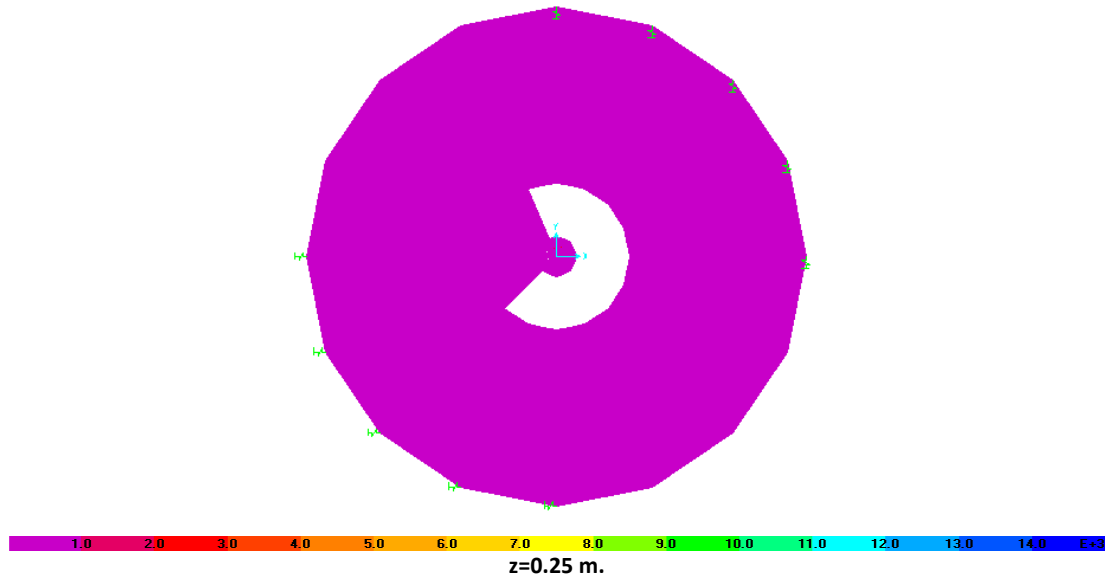
Şekil 48 Model-6'nın Deprem Kaydı-3'e göre Analizi Sonucunda D noktasının stres zaman grafiği

Tablo 8 Deprem Kaydı 3'e göre Model 3, Model 5 ve Model 6'nın maksimum ve minimum değerlerinin karşılaştırılması

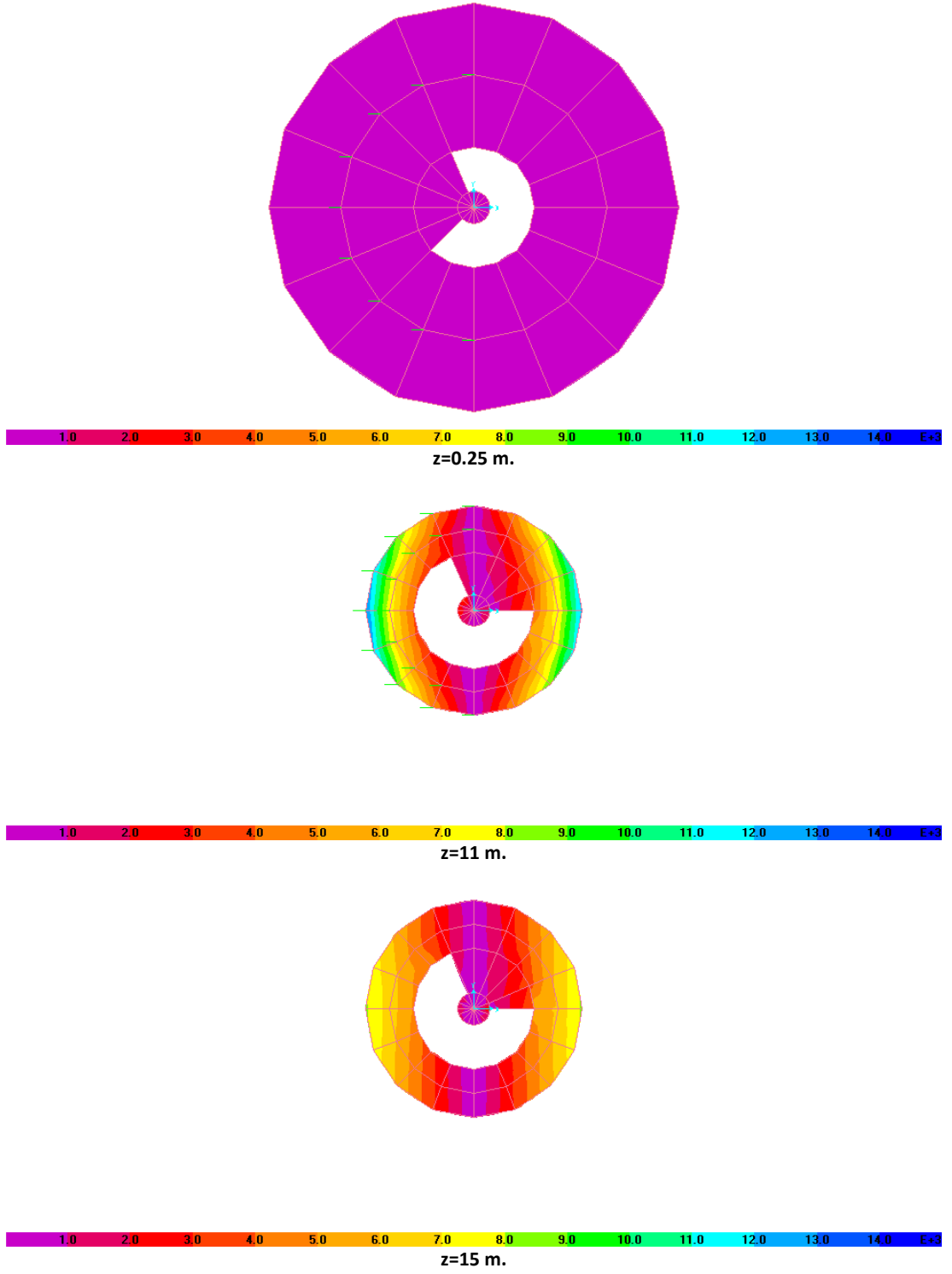
Model	Model 3	Model 5	Model 6	Fark Model 3 model 5	Fark Model 3 model 6	Fark Model 5 model 6	Fark(%)Mo del 5'inModel 3'e göre	Fark(%)Mo del 6'nın Model 3'e göre	Fark(%)Mo del 6'nın Model 5'e göre
A Noktası Maks. Yer Değişime (m)	0.61512	0.54333	0.55445	0.07179	0.06067	0.01112	-11.671%	-9.863%	2.047%
A Noktası Min. Yer Değişime (m)	-0.66671	-0.61081	-0.61408	0.0559	0.05263	0.00327	-8.384%	-7.894%	0.535%
B Noktası Maks. Yer Değişime (m)	0.28373	0.24314	0.24841	0.04059	0.03532	0.00527	-14.306%	-12.448%	2.167%
B Noktası Min. Yer Değişime (m)	-0.31776	-0.28559	-0.28905	0.03217	0.02871	0.00346	-10.124%	-9.035%	1.212%
C Katı Elemanı Maks. Stres(Mpa)	1.611843	0.049485	0.093553	1.562358	1.51829	0.044068	-96.930%	-94.196%	89.053%
C Katı Elemanı Min. Stres(Mpa)	-1.61554	-0.04786	-0.09414	1.567685	1.521406	0.046279	-97.038%	-94.173%	96.699%
D Katı Elemanı Maks. Stres(Mpa)	8.354257	8.616022	8.855592	0.261765	0.501336	0.239571	3.133%	6.001%	2.781%
D Katı Elemanı Min. Stres(Mpa)	-8.17737	-8.37634	-8.72066	0.198972	0.543288	0.344316	2.433%	6.644%	4.111%



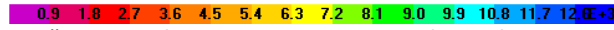
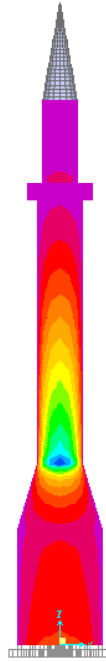
Şekil 49 Model-3'ün deprem kaydı 3'e göre analizi sonucunda 0.25 m. , 7 m. Ve 15 m. yükseklikteki kesitlerde oluşan maksimum stres dağılımı (Mpa)



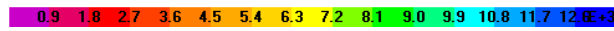
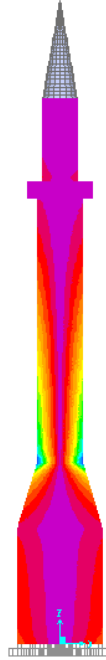
Şekil 50 Model-5'in deprem kaydı 3'e göre analizi sonucunda 0.25 m. , 7 m. Ve 15 m. yükseklikteki kesitlerde oluşan maksimum stres dağılımı (Mpa)



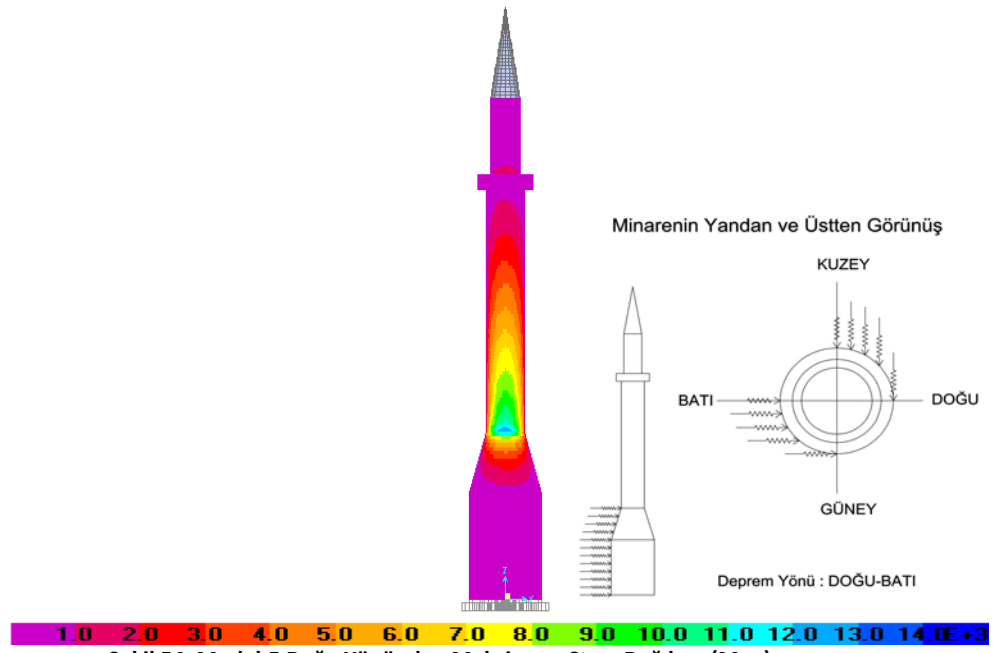
Şekil 51 Model-6'nın deprem kaydı 3'e göre analizi sonucunda 0.25 m. , 7 m. Ve 15 m. yükseklikteki kesitlerde oluşan maksimum stres dağılımı (Mpa)



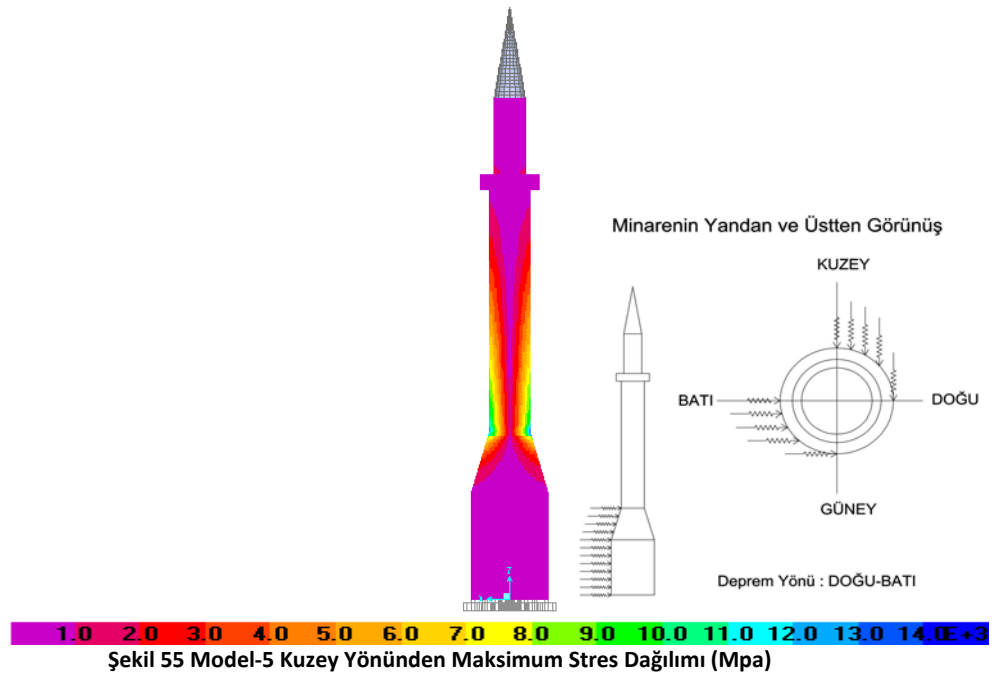
Şekil 52, Model-3, Doğu-Batı Yönlü Deprem için Batı Yönünden Maksimum Stres Dağılımı (Mpa)



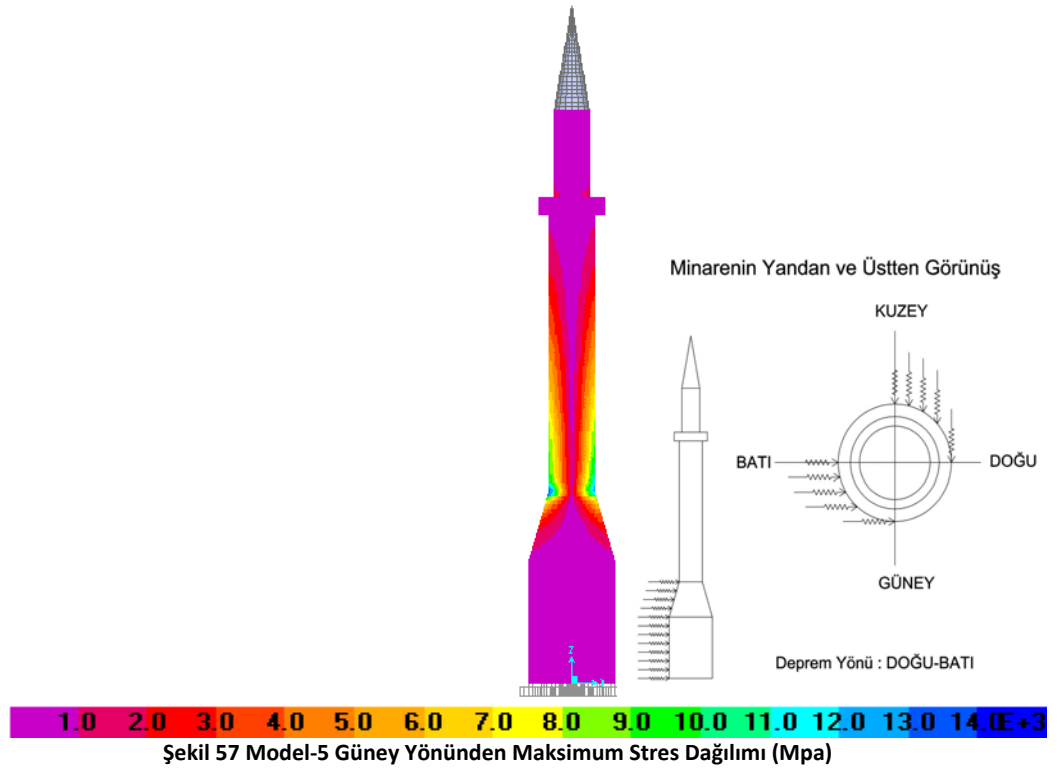
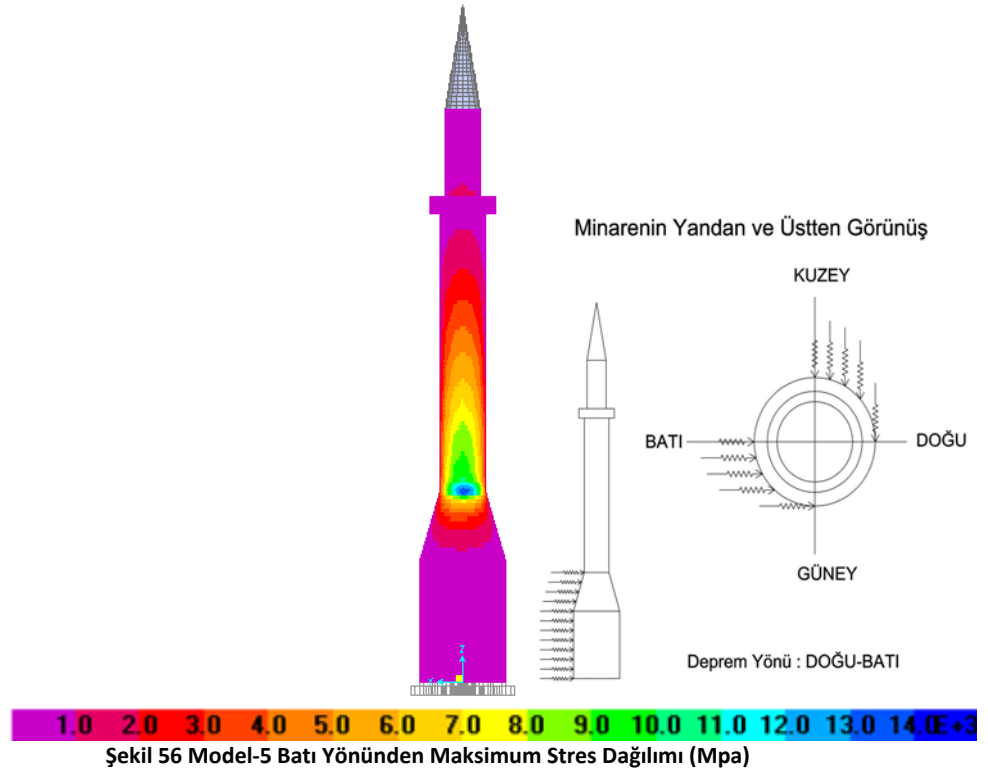
Şekil 53 Model-3, Doğu-Batı Yönlü Deprem için Güney Yönünden Maksimum Stres Dağılımı (Mpa)

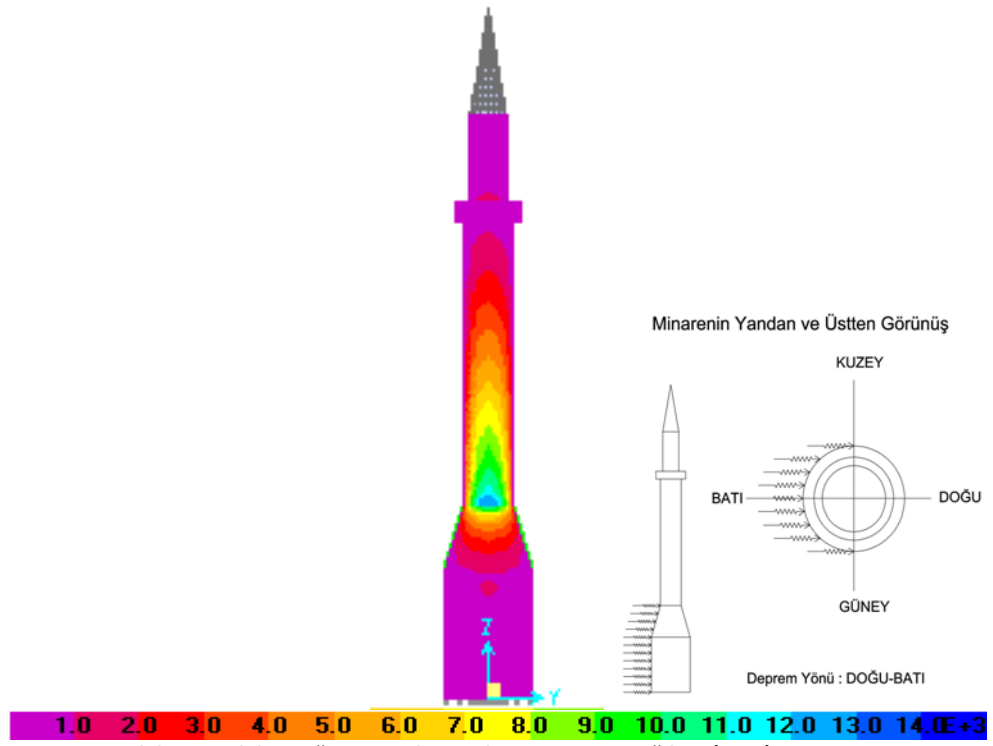


Şekil 54, Model-5 Doğu Yönünden Maksimum Stres Dağılımı (Mpa)

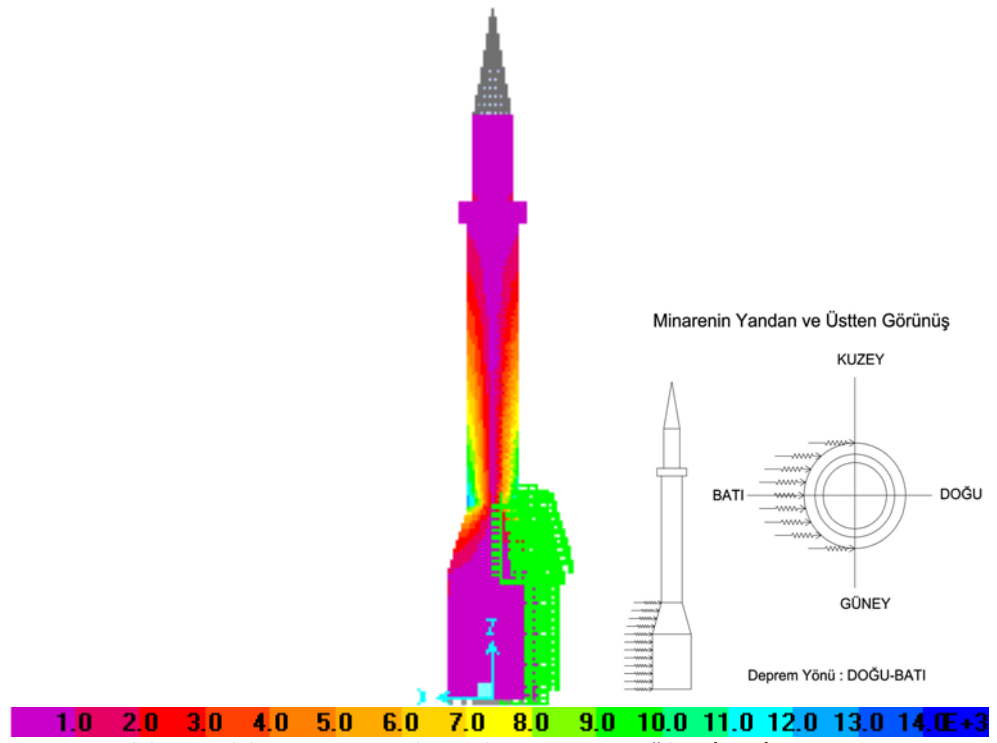


Şekil 55 Model-5 Kuzey Yönünden Maksimum Stres Dağılımı (Mpa)

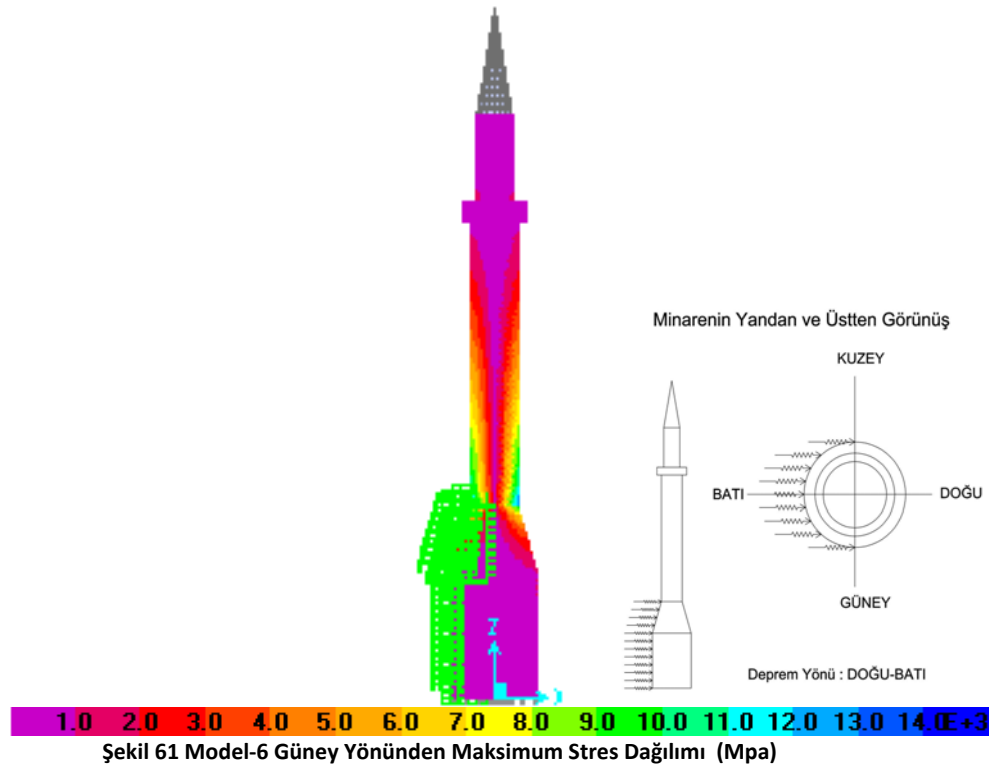
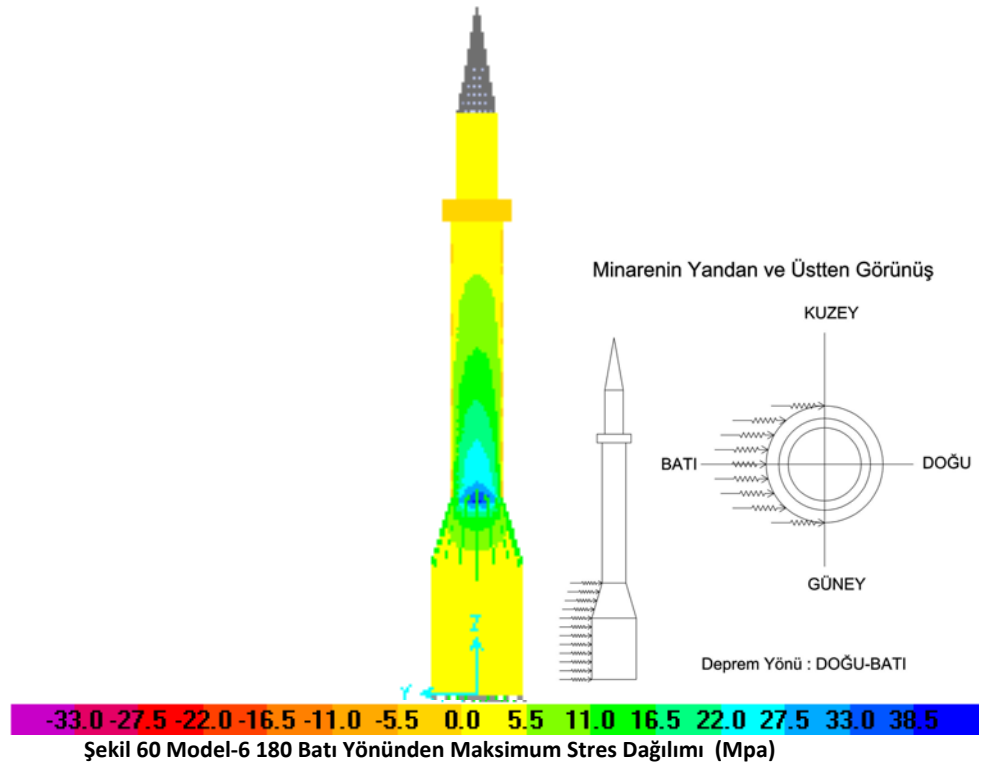




Şekil 58 Model-6 Doğu Yönünden Maksimum Stres Dağılımı (Mpa)



Şekil 59 Model-6 Kuzey Yönünden Maksimum Stres Dağılımı (Mpa)



6.2 Bulguların Değerlendirilmesi

Minareler sonlu elemanlar yöntemiyle modellenirken mesnet koşullarına özellikle dikkat edilmelidir. Minare eğer caminin beden duvarı üzerine veya camiye bitişik inşa edilmiş ise, gövde kısmından itibaren tekil minareye göre çok büyük farklılıklar gözlenmemektedir. Ama kaidenin taban kısmında maksimum stresler %90–95 oranında düşmektedir. Bunun nedeni yatay kuvvetler etkisiyle oluşan momentlerin duvar tarafından gelen kuvvetlerle azaltılmasıdır.

Cami ana yapısına bitişik inşa edilen minarelerde, minarenin ana yapı tarafında dış duvarlarda yaklaşık 3 kat stres artışları meydana gelmektedir. Bunu sebebi ana yapı ile minarenin salınım esnasında doğal titreşim periyotlarının farklı olmasıdır.

7 SONUÇLAR

Gövdeden peteğe kadar olan kısımları temsil eden basit bir minare geometrisi; katı elemanlarla ve kabuk elemanlarla, merdivenli ve merdivensiz olarak modellenmiş ve belirli deprem kayıtlarına göre analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda:

- Kabuk elemanlar üstüste olan basamakların birbirine yük aktarmasını dış duvar ve iç çerçeve aracılığıyla yapabilmektedir. Merdivenler kabuk elemanlar ile modellendiği zaman sistemin rijitliğine etkileri olmamaktadır. Ama kabuk elemanlarla modellendikleri zaman üstüste olan iki basamak birbirine doğrudan yük aktarabilmekte ve sistemin rijitliğini arttırmaktadırlar. Bu nedenlerden ötürü minareleri merdivenler dahil olarak katı elemanlar ile modellemek daha doğrudur.

Aynı geometride iki tane minare modeli katı elemanlar kullanarak hazırlanmıştır. 1. Modelde tüm malzemler doğal taş olarak tanımlanmıştır. 2. Modelde basamakların orta kısmı gerçekte olduğu gibi horasan harcı olarak tanımlanmıştır. Modellere belirli deprem kayıtlarına göre analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda:

- Rijitliği ve kütlesi taş malzemeye göre oldukça az olan horasan harcının sistemde tanımlanmasının gerek sisteme göre kütle oranının az olmasından gerekse dağılımının sistem içerisinde düzgün olmasından dolayı yer değiştirmeye, streslere ve sistemin doğal titreşim periyotlarına önemli bir etkisi olmamıştır. Bu nedenlerden ötürü basamakların orta kısmında kullanılan horasan harcının minare modelinde tanımlanmasına gerek yoktur.
- Minarenin en kritik bölgesi kesit daralmasından ötürü küp kısmının bittiği gövde kısmının başladığı yerdir.

Katı elemanlar ve taş malzeme tanımlanarak hazırlanan minare modeline camiye bitişik minareleri temsilen, cami beden duvarı üzerinde olan minareleri temsilen ve camiden ayrı olan minareleri temsilen yay mesnetler eklenerek üç adet model hazırlanmıştır. Modellere belirli deprem kaydına göre analiz yapılmıştır. Bu analizler sonucunda:

- Minare eğer caminin beden duvarı üzerine veya camiye bitişik inşa edilmiş ise, gövde kısmından itibaren tekil minareye göre çok büyük farklılıklar gözlenmemektedir. Fakat kaidenin taban kısmında maksimum stresler %90–95 oranında düşmektedir. Bunun nedeni yatay kuvvetler etkisiyle oluşan momentlerin duvar tarafından gelen kuvvetlerle azaltılmasıdır.
- Cami ana yapısına bitişik inşa edilen minarelerde, minarenin ana yapı tarafında dış duvarlarda yaklaşık 3 kat stres artışları meydana gelmektedir. Bunun sebebi ana yapı ile minarenin salınım esnasında doğal titreşim periyodlarının farklı olmasıdır.
- Minarenin kritik kesitinde, küp kısmı ile gövde kısmının birleşim yerinde mesnet koşullarındaki değişimlerden dolayı gerilmelerde kayda değer değişimler oluşmamaktadır.

KAYNAKLAR

1. **Celep Z., Kumbasar N. (2004)** Deprem Mühendisliğine Giriş, Beta Dağıtım, İstanbul
2. **Çağdaş S. (2004)**, Uygulamalı SAP2000, Türkmen Kitabevi, İstanbul
3. **Erdoğan Sinan T., Erdoğan Turhan Y (2007)** Bağlayıcı Malzemelerin ve Betonun Onbin Yıllık Tarihi, ODTÜ Yayıncılık, Ankara
4. **Eyice, S (1963)**, İstanbul Güzel Sanatlar Akademisi Türk Sanatı Araştırma ve İncelemeleri, I. Berksoy Matbaası, İstanbul
5. **Lomlu E (1996)**, İstanbul'daki Osmanlı Taş Minarelerinin Stabilitate Bozukluklarının Saptanması ve Rüzgâra Karşı Dayanıklılıklarının Artırılmasına İlişkin bir Sistem Araştırması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
6. **Lourenço PB (2002)**, "Computations on historic masonry structures", Prog. Struct. Engng. Mater., 4, 2002, pp. 301-319.
7. **Mena Cabrera A., Fahjan YM (2005)**, "Practical aspects in modeling and nonlinear analysis of historical structures", Paper No. 19 , The International Earthquake Engineering Conference, November 21-24, 2005, Dead Sea/Jordan.
8. **Özmen G., Orakdöğen E., Darılmaz K. (2004)** Örneklerle SAP2000, Birsen Yayınevi, İstanbul
9. **Peynircioğlu H., T.E. (1981)**, "İstanbul'da Osmanlı Döneminde İnşa Edilen Camilerin Temelleri", I. Uluslararası Türk – İslam Bilim ve Teknoloji Tarihi Kongresi, İTÜ, İstanbul, ss.37-46

10. Syrmakezis CA (2005), "Seismic Protection of Historical Structures and Monuments", Structural Control and Health Monitoring, 13:958-979

11. Uluengin F, Uluengin B, Uluengin MB (2001) Osmanlı Anıt Mimarisinde Klasik Yapı Detayları, Yem Yayınları, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Emre ERTEK

Doğum Yeri: KONYA

Doğum Tarihi: 1980

Medeni Hali: Evli

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu:

- Ortaokul: Seydişehir Anadolu Lisesi (1991-1995)
- Lise : Konya Meram Fen Lisesi (Son dönem Seydişehir Lisesi) (1995-1998)
- Lisans : Ortadoğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü (1998-2005)
- Yüksek Lisans : Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Deprem ve Yapı Bilimleri Ana Bilim Dalı (2006-2009)

İş Deneyimi :

- Deprem güçlendirme projesi hazırlamak (2005-2006)
- Beton ve beton elemanları ve doğal taş ürün ve malzeme deneyleri yapmak (TSE Yapı Malz. Lab.) (2006-halen)

İletişim:

- e_ertek@yahoo.com
- eertek@kampus.tse.org.tr