



**YAKIN FAY ETKİSİNDEKİ UZUN AÇIKLIKLI KÖPRÜ SİSTEMLERİN
DİNAMİK ANALİZİ**

Hayrettin KARACA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2017

Hayrettin KARACA tarafından hazırlanan “YAKIN FAY ETKİSİNDEKİ UZUN AÇIKLIKLI KÖPRÜ SİSTEMLERİN DİNAMİK ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Kurtuluş SOYLUK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Tekin GÜLTOP

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Yrd. Doç. Dr. Mahmut Cem YILMAZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 11/08/2017

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Hayrettin KARACA

11/08/2017

YAKIN FAY ETKİSİNDEKİ UZUN AÇIKLIKLI KÖPRÜ SİSTEMLERİN DİNAMİK ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hayrettin KARACA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2017

ÖZET

Bu tez çalışmasında, uzun açıklıklı eğik kablo askılı ve asma köprülerin yakın fay ve uzak fay yer hareketleri etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Son zamanlarda, çeşitli mühendislik yapıları üzerindeki yakın fay yer hareketlerinin etkileri çeşitli araştırmacılar tarafından ele alınmış ve darbeli yakın fay yer hareketlerinin köprü sistemlerinin dinamik davranışı üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Kablo destekli köprülerin büyük açıklıklar için kullanılmaya başlanmasıyla birlikte 1000 m'ye ulaşan merkez açıklıklar için kullanılan köprü tipinin yakın fay yer hareketi etkisi için araştırılması önemli hale gelmiştir. Bu sebeple, bu çalışmada yakın fay ve uzak fay yer hareketlerinin kablo destekli köprülerin dinamik tepkileri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Japonya'da inşa edilen Tataru Köprüsü eğik kablo askılı köprü modeli olarak seçilirken, Türkiye'de inşa edilen Fatih Sultan Mehmet Köprüsü asma köprü modeli olarak tercih edilmiştir. Her iki köprü modelinin üç boyutlu sonlu eleman modeli SAP IV bilgisayar programı ile hazırlanmıştır. Yakın fay ve uzak fay yer hareketleri olarak; 1995 Kobe, 1999 Chi-Chi, 1999 Kocaeli ve 1999 Düzce güçlü yer hareketi kayıtları kullanılmıştır. Yakın fay yer hareketi, darbeli ve darbesiz olarak sınıflandırılmak suretiyle yakın fay etkisinin kablo destekli köprüler üzerindeki etkisi kapsamlı olarak ele alınmıştır. Yakın fay ve uzak fay yer hareketleri için dikkate alınan köprü sistemlerinin çözümlenmesi neticesinde elde edilen köprü tepkileri karşılaştırılarak, deprem yer hareketlerinin köprü davranışı üzerindeki etkisi vurgulanmaya çalışılmıştır. Özellikle darbe etkili yakın fay yer hareketinin kablo destekli köprülerin dinamik davranışı üzerinde önemli etkilerinin olduğu çalışma sonucunda gözlenmiştir.

Bilim Kodu : 91104

Anahtar Kelimeler : Eğik kablo askılı köprüler, asma köprüler, yakın fay yer hareketleri, uzak fay yer hareketleri

Sayfa Adedi : 191

Danışman : Prof. Dr. Kurtuluş SOYLUK

DYNAMIC ANALYSIS OF LONG SPAN BRIDGES UNDER NEAR-FAULT GROUND MOTION EFFECTS

(M. Sc. Thesis)

Hayrettin KARACA

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2017

ABSTRACT

In this thesis study, cable-stayed and suspension bridges are analyzed under near-fault and far-fault ground motions. Recently, the effects of near-fault ground motions on a variety of civil engineering structures have been investigated by many researchers due to the fact that near-fault ground motions with pulse type characteristics have been considered as critical in the design of these structures. The increasing center spans of cable-stayed bridges necessitates the investigation of the bridge type to be used for main spans reaching to 1000 m. Considering the differences of the dynamic behavior of cable-stayed and suspension bridges during earthquakes, it is important to be able to define the dynamic behavior of these bridges for equal spans. Therefore, in this paper a cable-stayed bridge and a suspension bridge with closer main span lengths are considered to determine the effects of near-fault and far-fault ground motions on the dynamic characteristics of the seismic responses of these bridges. While Tatara Bridge constructed in Japan is preferred as a cable-stayed bridge model, Fatih Sultan Mehmet Bridge constructed in Turkey is considered as a suspension bridge model. 3D finite element models of both bridges are prepared with SAP IV computer code to get reliable results. The bridge responses obtained from the near-fault and far-fault ground motion cases are compared for both bridge models to underline the relative importance of earthquake ground motions on the bridge responses. It is observed that especially near-fault ground motions with pulse type characteristics have important effects on the dynamic responses of cable supported bridges.

Science Code : 91104

Key Words : Cable-stayed bridges, suspension bridges, near-fault ground motions,
far-fault ground motions

Page Number : 191

Supervisor : Prof. Dr. Kurtuluş SOYLUK

TEŞEKKÜR

Hayatımın her aşamasında bana her türlü desteği sağlayan ve her zaman yanımda olan aile fertlerimden annem Hatice KARACA'ya, babam Talip KARACA'ya, kardeşlerim Ayşe Begüm KARACA ve Fatih KARACA'ya sonsuz sevgilerimi ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışması süresince bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, beni doğruya yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Kurtuluş SOYLUK'a teşekkür eder, saygılarımı sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xxi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxi
1. GİRİŞ	1
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	3
2.1. Amaç	3
2.2. Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar	3
2.2.1. Yakın fay etkisinin yapı sistemlerin üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmalar	3
2.2.2. Yakın fay etkisinin kısa açıklıklı karayolu köprüleri üzerindeki incelendiği çalışmalar	10
2.2.3. Yakın fay etkisinin uzun açıklıklı kablo destekli köprüler üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmalar	12
2.3. Çalışmanın Kapsamı	14
3. YAKIN FAY HAREKETLERİ	17
3.1. Fayın Kırılma Mekanizması	19
3.2. Yönelme Etkisi	22
3.3. 1997 Uniform Building Code Yönetmeliğindeki Yakın Fay Faktörleri	25
4. DALGA YAYILMA ETKİSİ	29

	Sayfa
4.1. Giriş	29
4.2. Asinkronize Dinamik Analiz Formülasyonu	30
5. KABLO DESTEKLİ KÖPRÜLER VE SONLU ELEMAN MODELLERİ	37
5.1. Asma Köprüler	37
5.2. Eğik Kablo Askılı Köprüler	42
5.3. Kablo Destekli Köprülerin Sonlu Eleman Modelleri	47
5.3.1. Asma köprü (Fatih Sultan Mehmet Köprüsü)	47
5.3.2. Asma köprü sonlu eleman modeli	50
5.3.3. Eğik kablo askılı köprü (Tatara Köprüsü)	52
5.3.4. Eğik kablo askılı köprü sonlu eleman modeli	53
6. SEÇİLEN YER HAREKETLERİ	57
6.1. Yer Hareketlerinin Seçimi	57
6.2. Chi-Chi Depremi	60
6.3. Düzce Depremi	70
6.4. Kobe Depremi	79
6.5. Kocaeli Depremi	89
7. NÜMERİK ÇÖZÜMLER	97
7.1. Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'nün Dinamik Analizi	97
7.1.1. Chi-Chi Depremi için yapılan çözümlemeler	97
7.1.2. Düzce Depremi için yapılan çözümlemeler	105
7.1.3. Kobe Depremi için yapılan çözümlemeler	113
7.1.4. Kocaeli Depremi için yapılan çözümlemeler	121
7.2. Tatara Köprüsü'nün Dinamik Analizi	126

	Sayfa
7.2.1. Chi-Chi Depremi için yapılan çözümler 126	126
7.2.2. Düzce Depremi için yapılan çözümler 134	134
7.2.3. Kobe Depremi için yapılan çözümler 142	142
7.2.4. Kocaeli Depremi için yapılan çözümler 150	150
7.3. Dalga Yayılma Etkisi İçin Kablo Destekli Köprülerin Dinamik Analizi (Asinkronize Dinamik Analiz) 155	155
7.3.1. Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'nün dalga yayılma etkisi için dinamik analizi 156	156
7.3.2. Tatar Köprüsü'nün dalga yayılma etkisi için dinamik analizi 162	162
7.3.3. 250 m/sn dalga yayılma hızı için Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'nün dinamik analizi 168	168
7.3.4. 250 m/sn dalga yayılma hızı için Tatar Köprüsü'nün dinamik analizi ... 174	174
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 181	181
KAYNAKLAR 185	185
ÖZGEÇMİŞ 191	191

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Yönelme etkisi ve sıçrama etkisinin fay mekanizmalarındaki yerleri	20
Çizelge 3.2. Sismik kaynak tipleri	26
Çizelge 3.3. Kısa periyot ivme faktörü, N_a	26
Çizelge 3.4. Orta periyot hız faktörü, N_v	26
Çizelge 3.5. Sismik katsayı, C_a	27
Çizelge 3.6. Sismik katsayı, C_v	27
Çizelge 3.7. Zemin profil tipleri	28
Çizelge 3.8. Deprem kayıtları için bulunan zemin profil tipleri	28
Çizelge 6.1. Analizlerde kullanılan normalizasyonlar	58
Çizelge 6.2. Yakın fay yer hareketlerinin özellikleri	59
Çizelge 6.3. Uzak fay yer hareketlerinin özellikleri	60

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Chi-Chi Depremi TCU050 kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği ...	18
Şekil 3.2. Northridge Depremi Olive View kaydı fay normal doğrultusu hız-zaman grafiği	19
Şekil 3.3. Northridge Depremi Olive View kaydı fay paralel doğrultusu hız-zaman grafiği	19
Şekil 3.4. Doğrultu ve eğim atımlı faylarda yönelme ve sıçrama etkilerinin şematik gösterimi	21
Şekil 3.5. Bir bölgenin ileri, geri ve nötr yönelme olarak tanımlanması	23
Şekil 3.6. Landers Depremi'nden ileri ve geri yönelme etkileri	24
Şekil 3.7. Abrahamson yönelme etkisi modeli	25
Şekil 5.1. Asma köprülerin çalışma prensibi	37
Şekil 5.2. Tel grupları	38
Şekil 5.3. Çelik halatlar	38
Şekil 5.4. Paralel tel grupları	38
Şekil 5.5. Tekil düzlemde yerleşim	42
Şekil 5.6. İkili düzlemde yerleşim	43
Şekil 5.7. Üçlü düzlemde yerleşim	43
Şekil 5.8. Kablo - kule bağlantıları a) Yelpaze b) Paralel c) Radyal	44
Şekil 5.9. Kule tipleri	45
Şekil 5.10. Çelik tabliye tipleri	45
Şekil 5.11. Kutu kesitli çelik tabliye tipleri	45
Şekil 5.12. Beton tabliye kesitleri	46
Şekil 5.13. (a) Çelik tel (b) Tel grubu (c) Çelik halat (Kablo)	47
Şekil 5.14. Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'nün üç boyutlu sonlu elaman modeli	51
Şekil 5.15. Fatih Sultan Mehmet Köprüsü kule ve tabliye kesiti	52

Şekil	Sayfa
Şekil 5.16. Tatara Köprüsü'nün üç boyutlu sonlu elaman modeli	55
Şekil 5.17. Tatara Köprüsü kule kesitleri	55
Şekil 5.18. Tatara Köprüsü çelik tabliye enkesiti	56
Şekil 5.19. Tatara Köprüsü öngerilmeli beton enkesiti	56
Şekil 6.1. Chi-Chi TCU050 kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği	61
Şekil 6.2. Chi-Chi TCU050 kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği	61
Şekil 6.3. Chi-Chi TCU050 kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği	61
Şekil 6.4. Chi-Chi TCU050 kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği	62
Şekil 6.5. Chi-Chi TCU050 kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği	62
Şekil 6.6. Chi-Chi TCU050 kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği	62
Şekil 6.7. Chi-Chi TCU054 kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği	63
Şekil 6.8. Chi-Chi TCU054 kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği	63
Şekil 6.9. Chi-Chi TCU054 kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği	64
Şekil 6.10. Chi-Chi TCU054 kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği	64
Şekil 6.11. Chi-Chi TCU054 kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği	64
Şekil 6.12. Chi-Chi TCU054 kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği	65
Şekil 6.13. Chi-Chi TCU089 kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği	65
Şekil 6.14. Chi-Chi TCU089 kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği	66
Şekil 6.15. Chi-Chi TCU089 kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği	66
Şekil 6.16. Chi-Chi TCU089 kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği	66
Şekil 6.17. Chi-Chi TCU089 kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği	67
Şekil 6.18. Chi-Chi TCU089 kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği	67
Şekil 6.19. Chi-Chi HWA032 kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği	68
Şekil 6.20. Chi-Chi HWA032 kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği	68

Şekil	Sayfa
Şekil 6.21. Chi-Chi HWA032 kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği	68
Şekil 6.22. Chi-Chi HWA032 kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği	69
Şekil 6.23. Chi-Chi HWA032 kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği	69
Şekil 6.24. Chi-Chi HWA032 kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği	69
Şekil 6.25. Düzce 1058 kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği	70
Şekil 6.26. Düzce 1058 kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği	70
Şekil 6.27. Düzce 1058 kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği	71
Şekil 6.28. Düzce 1058 kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği	71
Şekil 6.29. Düzce 1058 kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği	71
Şekil 6.30. Düzce 1058 kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği	72
Şekil 6.31. Düzce 531 kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği	72
Şekil 6.32. Düzce 531 kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği	73
Şekil 6.33. Düzce 531 kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği	73
Şekil 6.34. Düzce 531 kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği	73
Şekil 6.35. Düzce 531 kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği	74
Şekil 6.36. Düzce 531 kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği	74
Şekil 6.37. Düzce 498 kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği	75
Şekil 6.38. Düzce 498 kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği	75
Şekil 6.39. Düzce 498 kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği	75
Şekil 6.40. Düzce 498 kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği	76
Şekil 6.41. Düzce 498 kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği	76
Şekil 6.42. Düzce 498 kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği	76
Şekil 6.43. Düzce BOLU kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği	77
Şekil 6.44. Düzce BOLU kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği	77

Şekil	Sayfa
Şekil 6.45. Düzce BOLU kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği	78
Şekil 6.46. Düzce BOLU kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği	78
Şekil 6.47. Düzce BOLU kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği	78
Şekil 6.48. Düzce BOLU kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği	79
Şekil 6.49. Kobe PRI kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği	79
Şekil 6.50. Kobe PRI kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği	80
Şekil 6.51. Kobe PRI kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği	80
Şekil 6.52. Kobe PRI kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği	80
Şekil 6.53. Kobe PRI kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği	81
Şekil 6.54. Kobe PRI kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği	81
Şekil 6.55. Kobe KBU kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği	82
Şekil 6.56. Kobe KBU kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği	82
Şekil 6.57. Kobe KBU kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği	83
Şekil 6.58. Kobe KBU kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği	83
Şekil 6.59. Kobe KBU kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği	83
Şekil 6.60. Kobe KBU kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği	84
Şekil 6.61. Kobe NIS kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği	84
Şekil 6.62. Kobe NIS kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği	85
Şekil 6.63. Kobe NIS kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği	85
Şekil 6.64. Kobe NIS kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği	85
Şekil 6.65. Kobe NIS kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği	86
Şekil 6.66. Kobe NIS kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği	86
Şekil 6.67. Kobe CHY kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği	87
Şekil 6.68. Kobe CHY kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği	87

Şekil	Sayfa
Şekil 6.69. Kobe CHY kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği	87
Şekil 6.70. Kobe CHY kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği	88
Şekil 6.71. Kobe CHY kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği	88
Şekil 6.72. Kobe CHY kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği	88
Şekil 6.73. Kocaeli YPT kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği	89
Şekil 6.74. Kocaeli YPT kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği	89
Şekil 6.75. Kocaeli YPT kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği	90
Şekil 6.76. Kocaeli YPT kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği	90
Şekil 6.77. Kocaeli YPT kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği	90
Şekil 6.78. Kocaeli YPT kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği	91
Şekil 6.79. Kocaeli IZT kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği	91
Şekil 6.80. Kocaeli IZT kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği	92
Şekil 6.81. Kocaeli IZT kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği	92
Şekil 6.82. Kocaeli IZT kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği	92
Şekil 6.83. Kocaeli IZT kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği	93
Şekil 6.84. Kocaeli IZT kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği	93
Şekil 6.85. Kocaeli ERG kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği	94
Şekil 6.86. Kocaeli ERG kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği	94
Şekil 6.87. Kocaeli ERG kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği	94
Şekil 6.88. Kocaeli ERG kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği	95
Şekil 6.89. Kocaeli ERG kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği	95
Şekil 6.90. Kocaeli ERG kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği	95
Şekil 7.1. Chi-Chi Depremi için FSM kule yatay yer değiştirmeleri	98
Şekil 7.2. Chi-Chi Depremi için FSM tabliye düşey yer değiştirmeleri	99

Şekil	Sayfa
Şekil 7.3. Chi-Chi Depremi için FSM kule eğilme momentleri	100
Şekil 7.4. Chi-Chi Depremi için FSM tabliye eğilme momentleri	101
Şekil 7.5. Chi-Chi Depremi için FSM kule eksenel kuvvetleri	102
Şekil 7.6. Chi-Chi Depremi için FSM tabliye eksenel kuvvetleri	103
Şekil 7.7. Chi-Chi Depremi için FSM kule kesme kuvvetleri	104
Şekil 7.8. Chi-Chi Depremi için FSM tabliye kesme kuvvetleri	105
Şekil 7.9. Düzce Depremi için FSM kule yatay yer değiştirmeleri	106
Şekil 7.10. Düzce Depremi için FSM tabliye düşey yer değiştirmeleri	107
Şekil 7.11. Düzce Depremi için FSM kule eğilme momentleri	108
Şekil 7.12. Düzce Depremi için FSM tabliye eğilme momentleri	109
Şekil 7.13. Düzce Depremi için FSM kule eksenel kuvvetleri	110
Şekil 7.14. Düzce Depremi için FSM tabliye eksenel kuvvetleri	111
Şekil 7.15. Düzce Depremi için FSM kule kesme kuvvetleri	112
Şekil 7.16. Düzce Depremi için FSM tabliye kesme kuvvetleri	113
Şekil 7.17. Kobe Depremi için FSM kule yatay yer değiştirmeleri	114
Şekil 7.18. Kobe Depremi için FSM tabliye düşey yer değiştirmeleri	115
Şekil 7.19. Kobe Depremi için FSM kule eğilme momentleri	116
Şekil 7.20. Kobe Depremi için FSM tabliye eğilme momentleri	117
Şekil 7.21. Kobe Depremi için FSM kule eksenel kuvvetleri	118
Şekil 7.22. Kobe Depremi için FSM tabliye eksenel kuvvetleri	119
Şekil 7.23. Kobe Depremi için FSM kule kesme kuvvetleri	120
Şekil 7.24. Kobe Depremi için FSM tabliye kesme kuvvetleri	121
Şekil 7.25. Kocaeli Depremi için FSM kule yatay yer değiştirmeleri	122
Şekil 7.26. Kocaeli Depremi için FSM tabliye düşey yer değiştirmeleri	122

Şekil	Sayfa
Şekil 7.27. Kocaeli Depremi için FSM kule eğilme momentleri	123
Şekil 7.28. Kocaeli Depremi için FSM tabliye eğilme momentleri	123
Şekil 7.29. Kocaeli Depremi için FSM kule eksenel kuvvetleri	124
Şekil 7.30. Kocaeli Depremi için FSM tabliye eksenel kuvvetleri	124
Şekil 7.31. Kocaeli Depremi için FSM kule kesme kuvvetleri	125
Şekil 7.32. Kocaeli Depremi için FSM tabliye kesme kuvvetleri	125
Şekil 7.33. Chi-Chi Depremi için Tatara kule yatay yer değiştirmeleri	127
Şekil 7.34. Chi-Chi Depremi için Tatara tabliye düşey yer değiştirmeleri	128
Şekil 7.35. Chi-Chi Depremi için Tatara kule eğilme momentleri	129
Şekil 7.36. Chi-Chi Depremi için Tatara tabliye eğilme momentleri	130
Şekil 7.37. Chi-Chi Depremi için Tatara kule eksenel kuvvetleri	131
Şekil 7.38. Chi-Chi Depremi için Tatara tabliye eksenel kuvvetleri	132
Şekil 7.39. Chi-Chi Depremi için Tatara kule kesme kuvvetleri	133
Şekil 7.40. Chi-Chi Depremi için Tatara tabliye kesme kuvvetleri	134
Şekil 7.41. Düzce Depremi için Tatara kule yatay yer değiştirmeleri	135
Şekil 7.42. Düzce Depremi için Tatara tabliye düşey yer değiştirmeleri	136
Şekil 7.43. Düzce Depremi için Tatara kule eğilme momentleri	137
Şekil 7.44. Düzce Depremi için Tatara tabliye eğilme momentleri	138
Şekil 7.45. Düzce Depremi için Tatara kule eksenel kuvvetleri	139
Şekil 7.46. Düzce Depremi için Tatara tabliye eksenel kuvvetleri	140
Şekil 7.47. Düzce Depremi için Tatara kule kesme kuvvetleri	141
Şekil 7.48. Düzce Depremi için Tatara tabliye kesme kuvvetleri	142
Şekil 7.49. Kobe Depremi için Tatara kule yatay yer değiştirmeleri	143
Şekil 7.50. Kobe Depremi için Tatara tabliye düşey yer değiştirmeleri	144

Şekil	Sayfa
Şekil 7.51. Kobe Depremi için Tatara kule eğilme momentleri	145
Şekil 7.52. Kobe Depremi için Tatara tabliye eğilme momentleri	146
Şekil 7.53. Kobe Depremi için Tatara kule eksenel kuvvetleri	147
Şekil 7.54. Kobe Depremi için Tatara tabliye eksenel kuvvetleri	148
Şekil 7.55. Kobe Depremi için Tatara kule kesme kuvvetleri	149
Şekil 7.56. Kobe Depremi için Tatara tabliye kesme kuvvetleri	150
Şekil 7.57. Kocaeli Depremi için Tatara kule yatay yer değiştirmeleri	151
Şekil 7.58. Kocaeli Depremi için Tatara tabliye düşey yer değiştirmeleri	151
Şekil 7.59. Kocaeli Depremi için Tatara kule eğilme momentleri	152
Şekil 7.60. Kocaeli Depremi için Tatara tabliye eğilme momentleri	152
Şekil 7.61. Kocaeli Depremi için Tatara kule eksenel kuvvetleri	153
Şekil 7.62. Kocaeli Depremi için Tatara tabliye eksenel kuvvetleri	153
Şekil 7.63. Kocaeli Depremi için Tatara kule kesme kuvvetleri	154
Şekil 7.64. Kocaeli Depremi için Tatara tabliye kesme kuvvetleri	154
Şekil 7.65. Dalga yayılma etkisi için FSM kule yatay yer değiştirmeleri	157
Şekil 7.66. Dalga yayılma etkisi için FSM tabliye düşey yer değiştirmeleri	157
Şekil 7.67. Dalga yayılma etkisi için FSM kule eğilme momentleri	159
Şekil 7.68. Dalga yayılma etkisi için FSM tabliye eğilme momentleri	159
Şekil 7.69. Dalga yayılma etkisi için FSM kule eksenel kuvvetleri	160
Şekil 7.70. Dalga yayılma etkisi için FSM tabliye eksenel kuvvetleri	160
Şekil 7.71. Dalga yayılma etkisi için FSM kule kesme kuvvetleri	161
Şekil 7.72. Dalga yayılma etkisi için FSM tabliye kesme kuvvetleri	161
Şekil 7.73. Dalga yayılma etkisi için Tatara kule yatay yer değiştirmeleri	163
Şekil 7.74. Dalga yayılma etkisi için Tatara tabliye düşey yer değiştirmeleri	163

Şekil	Sayfa
Şekil 7.75. Dalga yayılma etkisi için Tatara kule eğilme momentleri	164
Şekil 7.76. Dalga yayılma etkisi için Tatara tabliye eğilme momentleri	164
Şekil 7.77. Dalga yayılma etkisi için Tatara kule eksenel kuvvetleri	166
Şekil 7.78. Dalga yayılma etkisi için Tatara tabliye eksenel kuvvetleri	166
Şekil 7.79. Dalga yayılma etkisi için Tatara kule kesme kuvvetleri	167
Şekil 7.80. Dalga yayılma etkisi için Tatara tabliye kesme kuvvetleri	167
Şekil 7.81. 250 m/sn dalga yayılma hızı için FSM kule yatay yer değiştirmeleri	170
Şekil 7.82. 250 m/sn dalga yayılma hızı için FSM tabliye düşey yer değiştirmeleri	170
Şekil 7.83. 250 m/sn dalga yayılma hızı için FSM kule eğilme momentleri	171
Şekil 7.84. 250 m/sn dalga yayılma hızı için FSM tabliye eğilme momentleri	171
Şekil 7.85. 250 m/sn dalga yayılma hızı için FSM kule eksenel kuvvetleri	172
Şekil 7.86. 250 m/sn dalga yayılma hızı için FSM tabliye eksenel kuvvetleri	172
Şekil 7.87. 250 m/sn dalga yayılma hızı için FSM kule kesme kuvvetleri	173
Şekil 7.88. 250 m/sn dalga yayılma hızı için FSM tabliye kesme kuvvetleri	173
Şekil 7.89. 250 m/sn dalga yayılma hızı için Tatara kule yatay yer değiştirmeleri	175
Şekil 7.90. 250 m/sn dalga yayılma hızı için Tatara tabliye düşey yer değiştirmeleri ..	176
Şekil 7.91. 250 m/sn dalga yayılma hızı için Tatara kule eğilme momentleri	176
Şekil 7.92. 250 m/sn dalga yayılma hızı için Tatara tabliye eğilme momentleri	177
Şekil 7.93. 250 m/sn dalga yayılma hızı için Tatara kule eksenel kuvvetleri	177
Şekil 7.94. 250 m/sn dalga yayılma hızı için Tatara tabliye eksenel kuvvetleri	178
Şekil 7.95. 250 m/sn dalga yayılma hızı için Tatara kule kesme kuvvetleri	178
Şekil 7.96. 250 m/sn dalga yayılma hızı için Tatara tabliye kesme kuvvetleri	179

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Ana kabloların oluşturulması	39
Resim 5.2. Ana kablonun sıkıştırılması ve düşey kablonun bağlanması	40
Resim 5.3. Tabliyenin oluşturulması	41
Resim 5.4. Fatih Sultan Mehmet Köprüsü.....	51
Resim 5.5. Tatara Köprüsü	54



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

N_a	Kısa periyot ivme faktörü
N_v	Orta periyot hız faktörü
M	Maksimum moment büyüklüğü
SR	Kayma oranı
Z	Sismik bölge faktörü
C_a, C_v	Sismik katsayılar
d	Deprem kayıt istasyonunun faya olan uzaklığı
T_p	Deprem kaydının darbe süresi
M_w	Deprem moment büyüklüğü
V	Deprem dalgasının yayılma hızı
g	Yerçekimi ivmesi
Hz	Saniye başına düşen devir sayısı

Kısaltmalar

Açıklamalar

CHY	Chihaya
DB	Deprem Kaydının Doğu-Batı Bileşeni
D	Deprem Kaydının Düşey Bileşeni
ERG	Eregli
FSM	Fatih Sultan Mehmet
IZT	Izmit
İY	İleri Yönelme Etkisi
KBU	Kobe University
KG	Deprem Kaydının Kuzey-Güney Bileşeni
NIS	Nishi-Akashi
PEER	Pacific Earthquake Engineering Research Center

Kısaltmalar**Açıklamalar**

PGA	Peak Ground Acceleration (Maksimum Yer İvmesi)
PGV	Peak Ground Velocity (Maksimum Yer Hızı)
PRI	Port Island
TV	Ters Verev Fay
UBC	Uniform Building Code
UF	Uzak Fay
YA	Yanal Atımlı Fay
YF	Yakın Fay
YPT	Yarımca
1058	Lamont 1058
498	IRIGM 498
531	Lamont 531

1. GİRİŞ

Köprü endüstrisindeki son zamanlardaki gelişmelerle, eğik kablo askılı köprüler ve asma köprüler uyumlu olarak daha büyük açıklıklar için kullanılmaya başlanmıştır. Eğik kablo askılı köprülerin artan merkez açıklığı, 1000 m'ye varan merkez açıklıklar için kullanılan köprü tipinin araştırılmasını gerekli kılmıştır. Depremler sırasında eğik kablo askılı ve asma köprülerin dinamik davranışının farklılıkları dikkate alındığında, eşit açıklıklar için köprülerin dinamik davranışını tanımlayabilmek önemli görülmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada birbirine yakın merkez açıklık uzunluğuna sahip eğik kablo askılı ve asma köprüler, sismik davranışları üzerindeki yakın fay ve uzak fay yer hareketlerinin etkilerini belirlemek üzere dikkate alınmıştır. Uzun temel periyotlu bu köprülerin deprem faylarına yakın yer hareketleri kayıtları için hassas olduğu bilinmektedir.

Ülkemizde ve dünyada birçok uzun açıklıklı kablo destekli köprü aktif deprem faylarına birkaç kilometre mesafede inşa edilmektedir. Yapı sistemlerinin sismik tasarımı için kullanılan yönetmelikler geçmişte yaşanan sınırlı sayıdaki yetersiz deprem verilerine bağlı olarak geliştirildiğinden gelecekte meydana gelecek depremler ve bunların yapı sistemleri üzerindeki etkileri açısından özellikle yakın fay bölgelerinde bir belirsizlik söz konusudur. Geçmişte yaşanmış depremlerle ilgili yakın fay kayıt sayısı oldukça sınırlı iken, son yıllarda modern kayıtçılarla kaydedilen yakın fay yer hareketleri sayesinde yakın fay etkisi daha iyi anlaşılmıştır (McCallen, Astaneh-Asl, Larsen ve Hutchings, 2006).

Uzun periyotlu yer hareketlerinin kablo destekli köprüler gibi esnek yapı sistemleri üzerindeki etkisinin anlaşılması oldukça önemlidir. Az katlı bina sistemleri gibi yapı sistemlerinin çoğunun hakim periyodu 5 sn'nin altındadır ve bu yapı sistemleri 5 sn'nin üzerindeki uzun periyotlu sismik dalgalara karşı rijit cisim hareketi ile karşılık vermektedir. Ancak kablo destekli uzun açıklıklı köprüler gibi esnek yapı sistemlerinin periyotları, uzun periyotlu yer hareketlerine karşı önemli yapısal tepkiler ortaya çıkarabilecek kadar büyük olabilmektedir. Yakın fay özelliği gösteren yer hareketleri, uzun periyotlu ve büyük genlikli darbe etkileri gösterdiğinden bu tür yer hareketlerinin uzun periyotlu kablo destekli köprülerin yüksek periyotlu modları üzerinde etkili olması muhtemeldir (McCallen ve diğerleri, 2006).

Deprem fayına yakın yer hareketlerinin, sismik kaynaktan çok uzakta kaydedilen yer hareketlerinden önemli ölçüde farklı olduğu belirlenmiştir. Yakın fay bölgesinde belirli alanlardaki yer hareketleri; fay kırılma mekanizması, fayın sahaya göre kayma yönü, tektonik hareket sonucu sahadaki kalıcı yer değiştirme faktörlerinden önemli derecede etkilenmektedir (Bray ve Rodriguez-Marek, 2004). Son zamanlardaki Kobe 1995, Kocaeli 1999, Chi-Chi 1999 ve Düzce 1999 gibi büyük depremlerde, yakın fay yer hareketlerinin darbe tipi özellikler gösterdiği ve kaydedilmiş hareketin başlangıç aşamasında yapısal sistemi yüksek enerji iletimine maruz bıraktığı gözlenmiştir. Yapı tasarımcılarının yakın fay etkileri üzerine çalışarak oluşturduğu tasarım faktörleri 1997 Uniform Building Code (UBC) yönetmeliğinde yerini almıştır. Bu nedenle, özellikle köprü tipi uzun açıklıklı yapılarda yakın fay yer hareketlerinin etkisi özenle dikkate alınmalıdır.

Büyük depremlerin meydana gelmesi ile birlikte kentsel bölgelerde yakın fay etkilerinin görülmesi kaçınılmazdır. 1971 San Fernando Depremi'nden sonra mühendisler ve sismolojistler yakın fay yer hareketlerinin etkilerini bina sistemleri üzerinde çalışmışlardır. 1994 Northridge Depremi ve 1995 Kobe Depremi yakın fay bölgesindeki mühendislik yapılarının davranışı hakkında yeni bilgiler edinilmesine olanak sağlamıştır. Yapıların maruz kaldığı bu yakın fay etkileri tasarım yönetmeliklerinde yer almadığı için ilk kez 1997 Uniform Building Code yönetmeliğine yapı mühendisleri tarafından yakın fay etkilerini içeren tasarım faktörleri eklenmiştir. Köprü mühendisleri ise köprüler üzerindeki yakın fay etkilerini araştırmaya başlamıştır. Yakın fay kayıtlarının en önemli özelliği yönelme etkilerinden kaynaklanan büyük hız darbelerinin meydana gelmesidir. Darbeler, yakın fay kayıtlarının ivme ve yer değiştirme kayıtlarında da görülebilir ancak hız darbesi mühendislik açısından daha önemlidir. Nitekim yüksek hız darbesiz olarak meydana gelecek büyük bir yer değiştirme yapı sistemleri üzerinde önemli bir hasara neden olmayacaktır, çünkü yapı sistemi yer hareketine karşılık verebilecek ve depremi az hasarla atlatabilecektir (Cox ve Ashford, 2002).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Amaç

Bu tez çalışmasında yakın fay ve uzak fay yer hareketleri etkisindeki asma köprü ve eğik kablo askılı köprülerin dinamik analizlerinin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Günümüze kadar bu konu ile ilgili olarak çeşitli çalışmalar yapılmış olup yakın fay ve uzak fay yer hareketlerinin yapı sistemleri, kısa ve uzun açıklıklı köprü sistemleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yakın fay ve uzak fay yer hareketleri etkisindeki asma köprü ve eğik kablo askılı köprülerin dinamik davranışlarının da incelendiği çalışmalar yapılmıştır. Ancak literatürde yakın fay ve uzak fay yer hareketleri etkisindeki asma köprü ve eğik kablo askılı köprülerinin üniform ve dalga yayılma etkileri dikkate alınarak dinamik analizlerinin yapıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

2.2. Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

2.2.1. Yakın fay etkisinin yapı sistemleri üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmalar

Mahin, Bertero, Chopra ve Collins (1976), 1971 San Fernando Depremi'nden sonra Olive View Medical Center'da şiddetli bir yakın fay yer hareketinden meydana gelen hasarla ilgili bir rapor hazırlamışlardır. Büyük kat ötelemelerinin gözlemlendiği olayda yoğun, şiddetli ve uzun süreli ivme darbelerinin etkisi vurgulanmıştır. Bunun yanında yakın fay yer hareketine maruz kalan yapıların yönetmelik şartlarının yetersizliği nedeniyle büyük süneklilik taleplerine uğradığını ve bu şartların iyileştirilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir.

Singh (1985), deprem dalga yayılma kaynağının kinematikliğini, bu kaynağın deprem dalga genliği ve deprem dalga biçimi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Buradan yola çıkarak deprem dalgasının yayılma yönünde şiddetli frekansların oluşmasının ileri yönelme etkisini, zıt uçta ise daha küçük şiddetli frekansların oluşmasının ise geri yönelme etkisini gösterdiğini ortaya koymuştur.

Anderson ve Bertero (1987), 10 katlı çelik çerçeveli bir yapının, Imperial Valley Depremi yakın fay deprem kaydını kullanarak lineer olmayan dinamik analizini yapmışlardır.

Depremi tehlikesini vurgulayan unsurlardan olan deprem fayının yönelme etkisinin önemini ortaya koymuşlardır. Yakın fay yer hareketi etkisi ile binaların alt katlarında artan eksenel yükün yanal yer değiştirmeyi arttırdığını ifade etmişlerdir. Zemine ait maksimum ivme değerlerinin yanında maksimum hız ve maksimum yer değiştirme değerlerinin de yapıların dinamik davranışlarını tanımlamak için kullanılabilir olduğundan bahsetmişlerdir. Darbe süresinin yapı periyoduna oranının artması ile rijit yapılardaki süneklilik talebinin arttığını belirlemişlerdir.

Hall, Heaton, Halling ve Wald (1995), 20 katlı bir çelik çerçeve yapının 7,0 büyüklüğünde yakın kaynak yer hareketi etkisindeki davranışını bilgisayar simülasyonu ile incelemişlerdir. Çelik çerçeve yapıdaki kaynaklı bağlantıların, yakın kaynak yer hareketinin oluşturduğu fay kırığına karşı hassas olması nedeniyle çelik çerçeve yapının göçme potansiyelinin arttığını belirlemişlerdir.

Iwan (1997), bina türü yapıların detaylı nümerik analiz sonuçları ile yer değiştirme spektrum metodunun sonuçlarının yakın olması nedeniyle yapısal tasarım için davranış spektrum metoduna ilave olarak yer değiştirme spektrum metodunu tavsiye etmiştir. Böylece darbeli yakın fay yer hareketi etkisindeki çok serbestlik dereceli yapıların sismik ölçümlerinin yapılabilmesini sağlamıştır. Yer değiştirme spektrum metodunun daha kullanışlı bir metod olmasına rağmen taban kesme kuvvetini yeteri düzeyde hesaplayamadığını ortaya koymuştur.

Somerville, Smith, Graves ve Abrahamson (1997), güçlü yer hareketlerinin genlik ve süreleri üzerindeki yönelme etkilerini hesaplamak amacıyla güçlü yer hareketlerinin etkilerini azaltan ve yakın fay verilerinin deneysel analizine dayanan deneysel çalışma yapmışlardır. Yakın fay yer hareketi şartlarını uygun biçimde yansıtan deprem kayıtlarının seçimini kolaylaştırmak için yönelme parametreleri içeren yakın fay kayıtlarının listesini oluşturmuşlardır.

Makris ve Chang (1998), yakın fay yer hareketlerinin yapılar üzerindeki etkisini azaltmak amacıyla bazı sismik izolasyon sistemlerinin etkinliğini araştırmışlardır. Bu sistemlerin yer değiştirme taleplerini azaltmakta etkili olmalarının yanında yapıdaki taban kesme kuvvetine de neden olabileceğini tespit etmişlerdir.

Somerville (1998), ileri yönelme şartlarını sağlayan yakın fay yer hareketleri için parametreler geliştirmiştir. Davranış spektrumuna ek olarak, yakın fay darbe etkisini açıklayan zaman alanlı parametreler olan periyot ve genlik kavramlarını incelemiştir. Yakın fay yer hareketleri ile deprem büyüklüğü ve deprem kayıt istasyonunun faya olan uzaklığı arasında bir ilişki kurarak uygun bir model geliştirmiştir.

Anderson, V. Bertero ve R. Bertero (1999), yanal kuvvetlendirici sistemler ve perde duvar kullanarak sırasıyla çelik çerçeve ve betonarme yapıları güçlendirmek suretiyle bu sistemlerin dinamik davranışlarını değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, darbeli yer hareketlerine maruz kalmış uzun periyotlu yapılarda, yapı sistemine perde duvarlar eklenmesi ile sistemin rijitliğinin artırılmasının etkisiz bir yaklaşım olduğunu çünkü yapı rijitliğinin artmasına bağlı olarak sistemin periyodunun azalması nedeniyle spektral ivme değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir.

Akkar ve Gülkan (2000), yer değiştirmeye dayalı sismik tasarım usullerinden olan Kapasite Spektrum Metodu'nu ve Yer Değiştirme Kapasite Spektrum Metodu'nu çerçeve tipi yapılar üzerinden yakın fay yer hareketi etkisi için karşılaştırmışlardır. Yakın fay yer hareketinin lokal deformasyonları artırması sonucunda lokal deformasyonların değerlendirildiği Yer Değiştirme Kapasite Spektrum Metodu'nu kullanmışlardır ve bu metodun daha güvenilir olduğunu tespit etmişlerdir.

Alavi ve Krawinkler (2001), darbeli yakın fay yer hareketlerine maruz tek serbestlik dereceli ve çok serbestlik dereceli çerçeve sistemlerin elastik ve elastik olmayan davranışlarını incelemişlerdir. Temelde sabit ya da mafsallı duvarlarla güçlendirilmiş çerçeveleri çalışmışlardır. Mafsal duvarlı güçlendirmenin yakın fay etkilerine karşı etkili bir koruma sağladığını ortaya koymuşlardır.

Stewart, Chiou, Bray, Graves, Somerville ve Abrahamson (2001), performansa dayalı tasarıma bağlı olarak yer hareketlerini değerlendirmek üzere kullanılan bir yöntem üzerinde durmuşlardır. Bu yöntemi üç adımda uygulamışlardır. Birinci adımda, spektral ivme ya da süre gibi geleneksel parametreler içeren yoğunluk ölçümleri ile yer hareketlerini değerlendirmişlerdir. İkinci adımda, sistem davranışı ya da hasar ölçümlerinin değerlendirilmesi için katlar arası yer değiştirme ve plastik mafsal gibi mühendislik

terimlerini tanımlayan parametreleri incelemişlerdir. Üçüncü adımda, hasar ölçümlerini dikkate alarak hasarların onarımının alabileceği zaman üzerine bir değerlendirme yapmışlardır.

Wang, Zhou, Zhang ve Igel (2002), yakın fay yer hareketlerinin; deprem mekanizması, deprem kayıt istasyonunun faya olan uzaklığı, saha şartları, fay kırılma yönlülüğü, fay sistemlerindeki tavan bloğu gibi kriterler tarafından etkilendiğini belirtmişlerdir. Yakın fay yer hareketlerini doğru anlamak için Chi-Chi Depremi'nden yola çıkarak üç boyutlu dalga form modelini oluşturmuşlardır.

Somerville (2002), yakın fay yer hareketlerinin özelliklerini yansıtmaları için davranış spektrumunun tek başına yeterli olmadığını, çünkü yakın fay darbelerinin açığa çıkardığı yüksek orandaki enerji emme talebini yeterince yansıtmadığını ifade etmiştir. Bunun yerine yakın fay yer hareketi etkisindeki yapıların davranışını yansıtmaları için lineer olmayan zaman tanım alanında analiz yapılması gerektiğini belirtmiştir. Deprem büyüklüğü ve darbe periyodu arasındaki ilişkinin yanında deprem büyüklüğü ve fay uzaklığının darbe hızına etkisini içeren bir denklem geliştirmiştir.

Gibson, Filiatrault ve Ashford (2002), 1:2 ölçekli dört adet kolon kiriş birleşim bölgesini büyük hız darbelerine maruz bırakarak köprü mafsallarının performansını ölçmek suretiyle test etmişlerdir. Numunelerden iki tanesini 1971 San Fernando Depremi öncesine göre, diğer iki numuneyi ise günümüz koşullarına göre tasarlamışlardır. Yüklemeden sonra karşılaştırılan sonuçlara göre; 1971 San Fernando Depremi öncesine göre tasarlanan numunenin yüksek hıza sahip darbeleri yükleme karşısında çok hasar aldığını gözlemlemişlerdir. Günümüze göre tasarlanan numunede ise az hasar tespit etmişlerdir.

Orozco ve Ashford (2002), %22 ölçekli üç adet betonarme köprü kolonunu büyük hız darbelerine maruz bırakarak bir numuneyi statik ve iki numuneyi de dinamik yükleme altında test etmişlerdir. Betonarme köprü kolonlarında %10 ile %15 arasında değişen yüksek gerilme oranları ile plastik mafsal uzunluğunun köprü kolonunun yarıçapına eşit olduğunu tespit etmişlerdir. Hız darbelerinin köprü kolonlarının performansı üzerindeki etkisinin asgari düzeyde olduğunu vurgulamışlardır.

Cox ve Ashford (2002), büyük hız darbeleri yakın fay yer hareketinin özelliklerini laboratuvar ortamında incelemişlerdir. Bunun için büyük hız darbeleri yakın fay yer hareketi etkisine maruz kalan ölçeklendirilmiş betonarme köprü kolon ve kolon kiriş birleşim bölgesinin davranışını incelemişlerdir. Büyük hız darbeleri yüklemelerin numuneler üzerindeki sonuçlarına bağlı olarak doğru modelleme ve tasarım için veri oluşturmuşlardır.

Somerville (2003), mevcut yer hareketi modellerinin deprem büyüklüğü ile spektral genliğin artması arasındaki ilişkiye dayandığını belirtmiştir. Ancak yakın fay yer hareketinden kaynaklanan ileri yönelme etkisinin oluşturduğu fayın dik bileşenindeki hız darbesinin de deprem büyüklüğünü artırdığını tespit etmiş ve kaynak bir parametre olarak kullanılması gerektiğini ifade etmiştir. Sonuç olarak, farklı içerikteki bu modelleri kaya ve toprak saha koşullarında uygulayarak farklı büyüklükteki depremlerin spektral ivme değerlerini hesaplamıştır.

Shabestari ve Yamazaki (2003), güçlü yer hareketi kaynağı olan Chi-Chi Depremi'nin fay sistemindeki tavan blok ve fayın kırılma yönelme etkilerini yansıtan deneysel modeller oluşturmuşlardır. Yakın fay etkisi altında olan bu modeli, düşey (eğim) atımlı fay sistemine sahip bölgelerde kullanarak, sık ve büyük depremlere maruz kalan uzun periyotlu yapıların sismik tasarımında uygulamışlardır.

Akkar ve Gülkan (2003), yakın fay yer hareketlerinin uzaklık ve büyüklüğüne bağlı olarak çerçeve tipi yapılardaki katlar arası yer değiştirme talep limitlerini hesaplamışlardır. Sonuçları Uniform Building Code hükümleri ile karşılaştırmışlardır. Deprem büyüklüğünün 7,0'dan büyük olduğu ve deprem kayıt istasyonunun fay kırığına 5 km'den daha yakın olduğu durumlar için geçerli olan bu yaklaşım ile UBC hükümlerinin gerçek talep değerlerine göre daha küçük sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Bray ve Rodriguez-Marek (2004), basitleştirilmiş parametrelendirme ile hız-zaman alanındaki genlik ve darbe periyodunu temsil etmeyi amaçlamışlardır. Yakın fay bölgesindeki ileri yönelme hareketlerine ait maksimum yer hızı (PGV) ve hız darbe periyodunun tahmini için deneysel ilişkiler geliştirmişlerdir. Bu yaklaşım neticesinde küçük depremlerin ürettiği düşük darbe periyotlarının rijit yapılar üzerinde daha tehlikeli olacağını ifade etmişlerdir.

Akkar, Yazgan ve Gülkan (2004), yapısal sistemler üzerindeki yakın fay yer hareketlerinin maksimum elastik ve elastik olmayan deformasyon talepleri arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak incelemiştir. Elastik olmayan deformasyon üzerinde önemli bir etkiye sahip olan darbeli yakın fay yer hareketleri yanında darbesiz deprem kayıtları da kullanarak maksimum elastik olmayan deformasyon talebinin daha doğru elde edilmesini amaçlamışlardır.

Kalkan, Adalier ve Pamuk (2004), Kocaeli Depremi ve Düzce Depremi'nin karayolu köprüleri, binalar, benzin istasyonları, su hattı ve hareketsiz taşıtlar üzerindeki etkilerini inceleyerek fay kırılmasının yönelme etkisi ve fay kırılma mekanizması gibi unsurların yakın fay yer hareketlerini önemli derece etkilediğini tespit etmişlerdir. Darbe etkisi ve fay kolu sebepli beklenmeyen hasar modellerini incelemiştir. Lokal saha şartlarının sismik hasarları artırmadaki önemini ortaya koymuşlardır.

Akkar, Yazgan ve Gülkan (2005), düzenli çerçeve tipi yapılardaki lokal yer değiştirme taleplerini tahmin etmek amacıyla elastik limitler tanımlamışlardır. Spektral yer değiştirme ve kiriş kolon rijitlik matrisini dikkate alarak zemin kattaki ve katlar arasındaki yer değiştirmeler hakkında fikir edinmişlerdir. Bu sayede darbesiz yakın fay yer hareketine maruz kalan, 0,3 sn ve 1,5 sn temel periyotlu çerçeve tipi yapıların sismik davranışını izleyebilmişlerdir. Mevcut yapıların sismik davranışının hızlı bir şekilde elde edilmesinde ve yeni yapılacak yapıların ön tasarımında bu metodu kullanışlı bulmuşlardır.

Umut (2006), tez çalışmasında yakın fay yer hareketi etkisi ile meydana gelen büyük yer değiştirmeleri önlemek amacıyla sıvı sönümleyiciler kullanmıştır. Yakın fay etkisi içeren yapay depremler ve yakın fay etkisi içermeyen sıradan deprem kayıtlarını sismik izolatörlü bir köprüye ve bir binaya uygulamıştır. Binayı, ankastre tabanlı, viskoz sönümleyicili, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü, kurşun çekirdekli kauçuk izolatör ve viskoz sönümleyicilerin birlikte kullanıldığı durum olmak üzere dört farklı şekilde çözmüştür. Ankastre tabanlı binaya viskoz sönümleyici ekleyerek maksimum yer değiştirmelerin önemli oranda azaldığını tespit etmiştir.

Hasgür ve Umut (2007), yakın fay etkisi içeren depremleri temel ayırıcılı 6 açıklıklı bir betonarme köprüye ve 5 katlı bir betonarme binaya uygulamışlardır. Binayı; mevcut hali, viskoz sönümleyicili, kurşun çekirdekli-kauçuk temel ayırıcılı, kurşun çekirdekli kauçuk

temel ayırıcı ve sıvı sönümleyicilerin birlikte kullanıldığı durumlar olmak üzere dört farklı şekilde çözümlenmişler ve yapı davranışı üzerindeki etkilerini karşılaştırmışlardır. Yakın fay etkisi içeren depremlerde maksimum hız ve yer değiştirmelerin arttığını, binaya viskoz sönümleyici eklenmesi ile maksimum yer değiştirmelerin önemli oranda azaldığını gözlemlemişlerdir.

Dicleli ve Buddaram (2007), ileri yönelme etkisine sahip yakın fay yer hareketleri etkisi altındaki sismik olarak izole edilmiş köprülerin tasarımı için eşdeğer lineer analiz ile lineer olmayan zaman tanım alanında analiz yaparak karşılaştırmalı değerlendirme yapmışlardır. Yakın fay yer hareketinin büyüklüğünün, fayın yapıya olan uzaklığının ve izolatörün akma dayanımının eşdeğer lineer analizin sonucunu belirlediğini tespit etmişlerdir. Yakın fay bölgelerindeki köprülerin ön tasarım aşamasında eşdeğer lineer analiz kullanılması gerektiğini, son tasarım aşamasında ise üç boyutlu lineer olmayan zaman tanım alanında analizin daha uygun olacağını tavsiye etmişlerdir.

Bayraktar, Altunişik, Sevim, Kartal ve Türker (2008), yakın fay yer hareketi etkisindeki baraj-rezervuar-temel etkileşimini içeren ağırlık baraj, kemer baraj, beton yüzeyli kaya dolgu baraj ve kil çekirdekli kaya dolgu baraj sistemlerinin lineer olmayan davranışını incelemişlerdir. Sonlu eleman methodu kullanılarak barajların analizinden elde edilen yer değiştirmelerin, maksimum ve minimum asal gerilme değerlerinin yakın fay yer hareketi etkisi için oldukça arttığını tespit etmişlerdir.

Bayraktar, Altunişik, Sevim, Kartal, Türker ve Bilici (2009), beton kemer baraj ve beton yüzeyli kaya dolgu barajların baraj-rezervuar-temel sistemlerinin lineer olmayan davranışını yakın fay ve uzak fay yer hareketleri etkisi altında incelemişlerdir. Sonlu eleman methodu kullanılarak barajların analizinden elde edilen yer değiştirmelerin, maksimum ve minimum asal gerilme değerlerinin yakın fay deprem kayıtları etkisi altında sıradan deprem kayıtlarına göre daha çok arttığını belirlemişlerdir.

Brown ve Saiidi (2011), deneysel çalışmalarında 1:4 ölçekli olarak imal ettikleri betonarme köprü ayaklarını sarsma tablası altında yakın fay ve uzak fay yer hareketine maruz bırakarak dinamik davranışlarını izlemişlerdir. Yakın fay yer hareketinin daha büyük

gerilmelere, eğilmelere ve yer değiştirme oranlarına neden olduğunu saptamışlar ve yakın fay yer hareketinin neden olduğu hasarları gözlemlemişlerdir.

Mortezaei ve Ronagh (2013), yakın fay ve uzak fay yer hareketleri etkisindeki betonarme kolonların lineer olmayan davranışları altında plastik mafsallık uzunluklarını araştırmışlardır. Bunun için 1316 adet elastik olmayan zaman tanım alanında analiz yapmışlardır. Sonlu eleman metodu ve deneysel verilerin sonuçlarını karşılaştırmak suretiyle yakın fay depremlerine maruz kalan betonarme kolonların daha az plastik mafsallık uzunluğuna sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Zhang ve Wang (2013), Hindistan'daki Koyna beton ağırlık barajının yakın fay ve uzak fay yer hareketleri etkisi altında baraj-rezervuar-temel etkileşimini içine alan lineer olmayan dinamik analizini yaparak sonuçları karşılaştırmışlardır. Yaptıkları nümerik analiz neticesinde yakın fay yer hareketinin baraj-rezervuar-temel sistemleri üzerinde daha şiddetli hasarlar doğurduğunu göstermişlerdir.

2.2.2. Yakın fay etkisinin kısa açıklıklı karayolu köprüleri üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmalar

Liao, Loh, Wan, Jean ve Chai (2000), bir karayolu köprüsünün yakın fay ve uzak fay yer hareketleri etkisi altındaki dinamik davranışını incelemişlerdir. Yakın fay yer hareketlerinin uzak fay yer hareketlerine göre köprüde daha çok süneklilik talebi ve taban kesme kuvveti oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Park, Ghasemi, Shen ve Yen (2002), sismik açıdan izole edilmiş Bolu Viyadüğü 1'in yapay yakın fay yer hareketi etkisindeki performansını lineer olmayan sonlu eleman analizi ile belirlemişlerdir. Sismik izolasyon sistemine ait tasarım kapasitesinin aşıldığını ve mafsallarda ve enerji dağılım birimlerinde önemli hasarlar olduğunu gözlemlemişlerdir. Boyuna ve enine yöndeki deprem takozlarının üstyapının göçmesini önlemede önemli rol oynadığını belirtmişlerdir.

Liao, Loh ve Lee (2004), bir karayolu köprüsünün yakın fay ve uzak fay yer hareketleri etkisi altındaki dinamik davranışlarını izole edilmiş sistem ve izole edilmemiş sistemler için karşılaştırmışlardır. Maksimum yer hızı (PGV) ile maksimum yer ivmesi (PGA)

oranının (PGV/PGA) yakın fay yer hareketleri etkisi altındaki izole edilmiş köprünün dinamik davranışını belirleyen önemli bir parametre olduğunu gözlemlemişlerdir.

Park, Ghasemi, Shen, Somerville, Yen ve Yashinsky (2004), Bolu Viyadüğü'nün yakın fay yer hareketi etkisi altındaki sismik performansını incelemişlerdir. Üstyapının yer değiştirme değerlerinin viyadük ayaklarına göre mafsallık kapasitesini depremin ilk evresinde aştığını tespit etmişlerdir. Boyuna ve enine yöndeki deprem takozlarının tabliye açıklıklarının göçmesini önlemede önemli bir görevi olduğunu ortaya koymuşlardır.

Jónsson, Bessason ve Haflidason (2010), Oseyrar Köprüsü'nün South Iceland Depremi için durum tespitini yapmışlardır. Tespitlerinde köprü ayaklarının üst noktalarındaki beton tutucuların ezildiğini ve köprü ayaklarındaki kanat duvarlarının zarar gördüğünü gözlemlemişlerdir. Büyük bir depremin sonucu olabilecek yakın fay yer hareketi ile ilgili çalışma yaparak gelecekte meydana gelebilecek tehlikeleri önlemeyi amaçlamışlardır.

Jalali, Jokandan, Trifunac (2012), rijit tabliyelili, üç eşit açıklıklı bir köprünün yakın fay yer hareketi etkisi altındaki dinamik davranışını incelemişlerdir. Asinkronize hareket için mafsallık bölgelerindeki kesme kuvvetlerinin ve köprü ayaklarındaki yer değiştirmeleri düşük frekanslı rijit yapısal sistemlerde azaldığını ortaya koymuşlardır.

Dolati, Taghikhany ve Rahai (2012), üç boyutlu lineer olmayan bir karayolu köprüsünü yakın fay ve uzak fay depremleri altında nümerik olarak incelemişlerdir. Analizler sonucunda darbeli yakın fay depremlerinin uzak fay depremlerine göre daha büyük etkileri olduğunu belirlemişlerdir. Deprem kaynağı ile saha geometrisi ve yer hareketi genliği gibi parametrelerin yakın fay yer hareketinin daha şiddetli bir etkiye sahip olmasına neden olduğunu ortaya koymuşlardır.

Yasrebi ve Ghafory-Ashtiany (2014), öngermeli betonarme bir köprüyü yakın fay ve uzak fay yer hareketleri etkisi altında lineer ve asinkronize durum için incelemişlerdir. Köprünün asinkronize analiz sonucunda daha büyük süneklilik talebi ürettiğini belirtmişlerdir. Bu durumun nedeni olarak ileri yönelme etkisine sahip darbeli yakın fay yer hareketinin ürettiği dalga geçiş etkisinin köprünün lineer olmayan davranışı üzerinde önemli etkiye sahip olmasını göstermişlerdir.

Ling-kun, Li-zhong, Wei, Wen-shuo, Zhi-ping ve Ge-wei (2014), yüksek hızlı demiryolu köprü sistemlerinin ileri yönelme özelliğine sahip darbeleri yakın fay hareketi etkisi altında lineer olmayan sismik davranışını nümerik olarak incelemişlerdir. Köprü ayakları ve kirişlerdeki yer değiştirme değerlerinin sıradan deprem kayıt etkilerine göre daha çok arttığı sonucuna varmışlardır.

Mosleh, Razzaghi, Jara ve Varum (2016), 1990 öncesi inşa edilen betonarme bir köprünün yakın ve uzak alan yer hareketleri etkisi altında kırılma eğrisini elde ederek hasar görülebilirlik değerlendirmesini yapmayı amaçlamışlardır. Bu sayede köprünün sismik açıdan zayıf olduğunu tespit etmişlerdir.

Sevim, Atamturktur, Altunişik ve Bayraktar (2016), tarihi kemer köprülerin sismik davranışını yakın fay ve uzak fay yer hareketi etkisi altında nümerik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Yakın fay yer hareketinin etkisi ile daha yüksek sismik enerjiye maruz kalan kemer köprüdeki yer değiştirme ve gerilmelerin arttığını gözlemlemişlerdir.

2.2.3. Yakın fay etkisinin uzun açıklıklı kablo destekli köprüler üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmalar

Megawati, Higashihara ve Koketsu (2001), Akashi Boğazı'ndaki fayların merkez üssü yakınında sismik verilerin elde edilememesi nedeniyle fay kırılma sürecinin detaylarının incelemesini gerekli görmüşlerdir. Bu nedenle Akashi Kaikyo asma köprüsünün kulelerinin titreşim kayıtlarından çıkarım yaparak köprü ayaklarındaki yakın kaynak yer hareketlerini belirlemişlerdir. Yapılan bu benzeştirmenin ön analiz için sorun oluşturmadığını ancak Akashi Boğazı'nda sonradan meydana gelen fay kırılmasının ortaya çıkardığı büyük darbe etkilerinin analizlerde beklenmeyen sonuçlara neden olduğunu belirtmişlerdir.

McCallen ve diğerleri (2006), esnek asma köprü tipindeki Oakland Bay köprüsü üzerindeki uzun periyot özelliğindeki yakın fay yer hareketlerinin etkisini araştırmışlardır. Yapısal simülasyon modeli geliştirerek kablo destekli köprülerin lineer olmayan davranışını etkili bir şekilde benzeştirmeyi amaçlamışlardır. Düşük frekans dalga form özelliğindeki yakın alan hareketlerinin asma köprüler üzerinde önemli etkisinin olduğu sonucuna varmışlar ve asma köprülerin analiz ve tasarımında dikkate alınması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Jia ve Ou (2008), eğik kablo askılı bir köprü sistemi üzerindeki darbeli yakın fay yer hareketlerinin etkisini incelemişlerdir. Zaman tanım alanındaki analiz yöntemi ile uzun açıklıklı eğik kablo askılı köprülerin sismik performansını değerlendirmişlerdir. Darbeli yakın fay yer hareketlerinin uzun temel periyotlu yapılar üzerinde daha şiddetli hasar potansiyelinin olduğu sonucuna varmışlardır. Bunun yanında, PGV/PGA oranı ve yer hareketinin spektral ivme ve spektral hız faktörleri ile yapısal davranış arasında doğrusal bir ilişkinin olduğunu belirtmişlerdir.

McCallen, Astaneh-Asl, Larsen ve Hutchings (2009), düşük frekanslı yakın fay yer hareketlerinin uzun açıklıklı asma köprü davranışı üzerindeki etkilerini nümerik olarak incelemişlerdir. Yakın fay yer hareketleri tarafından tabliye sistemine ait uzun dalga modlarının güçlü bir şekilde etkilendiğini tespit etmişlerdir. Buradan yola çıkarak büyük depremlerin ölçümü sonucu elde edilen geniş bantlı yakın fay yer hareketlerinin uzun açıklıklı kablo destekli köprüler üzerinde daha etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Shrestha ve Tuladhar (2012), Karnali eğik kablo askılı köprüsü üzerindeki yakın fay düşey yer hareketinin etkisini dikkate almışlardır. Düşey yer hareketinin köprü kule ve kablo eksenel davranışı üzerindeki etkisinin küçük mertebelerde olduğunu gözlemlemişlerdir. Bunun yanında hız darbe periyotlarının yapının doğal periyodundan büyük olması durumunda oluşabilecek tehlikeye neden olan ileri yönelme yer hareketinin önemini vurgulamışlardır.

Adanur, Altunişik, Bayraktar ve Akköse (2012), yakın fay ve uzak fay yer hareketlerinin Boğaziçi ve Fatih Sultan Mehmet asma köprülerinin geometrik olarak lineer olmayan deprem davranışı üzerindeki etkilerini karşılaştırmışlardır. Geometrik olarak lineer olmayan durum için sonlu eleman metodu ile köprülerin yer değiştirme ve kesit tesirlerini hesaplamışlardır. Yakın fay yer hareketlerinin uzak fay yer hareketlerine göre köprü sistemleri üzerinde daha büyük yer değiştirme ve kesit tesirlerine neden olduğunu göstermişlerdir.

Ismail, Casas ve Rodellar (2013), Bill Emerson Memorial eğik kablo askılı köprü üzerindeki izolasyon sisteminin yakın fay sismik performansını incelemişlerdir. İzolasyon sistemini yapısal ivme ve yer değiştirme taleplerini kontrol etmek amacıyla

kullanmışlardır. Yakın fay depremlerine karşı eğik kablo askılı köprüleri koruma amaçlı olarak kullanılan izolasyon sisteminin uygunluğunu ortaya koymuşlardır.

Shrestha (2015), düşey yöndeki yakın fay yer hareketi etkisi altındaki Karnali eğik kablo askılı Köprüsü'nü analitik olarak üç boyutlu köprü modeli için incelemiştir. Ayrıca düşey ve yatay yöndeki maksimum yer hareketinin aynı anda köprüye etkimesi durumunu dikkate almıştır. Bunun sonucunda düşey yöndeki yakın fay yer hareketinin köprünün sismik davranışı üzerindeki etkisinin az olduğunu, düşey ve yatay yöndeki yer hareketinin aynı anda köprüye etkimesi durumunun ise köprü sismik davranışı üzerindeki etkisinin daha da az olduğunu tespit etmiştir.

2.3. Çalışmanın Kapsamı

Bu tez çalışmasında yakın fay ve uzak fay yer hareketleri etkisindeki asma köprü ve eğik kablo askılı köprülerin üniform ve dalga yayılma etkileri için dinamik analizlerinin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)'in veritabanı kullanılarak deprem verileri elde edilmiştir. Elde edilen deprem ivme kayıtları için enine, boyuna ve düşey yönlerde normalizasyon işlemi yapılmıştır. Bu sayede yakın fay ve uzak fay yer hareketlerinden elde edilen sonuçlar uygun bir şekilde karşılaştırılabilmiştir. Darbe etkisine sahip olmayan uzak fay yer hareketlerinin yanında yakın fay yer hareketleri köprü sistemlerine darbeli ve darbesiz olarak uygulanmıştır. Bu yer hareketleri etkisindeki asma köprü ve eğik kablo askılı köprü tiplerinin dinamik analizleri MULLSAP yapısal analiz programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla oluşturulan bölümlerin içerikleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Birinci bölümde genel bilgiler üzerinde durulmakta olup, konunun önemi ve konu ile bilgiler verilmektedir.

İkinci bölümde tez çalışmasının amacı, yakın fay ile ilgili literatür çalışması ve tez çalışmasının kapsamı hakkında bilgi verilmektedir.

Üçüncü bölümde tez çalışmasına konu olan yakın fay yer hareketi ile ilgili teorik bilgiler yer almaktadır. Yakın fay etkilerinden olan fay kırılmasının yönelme etkisi ve fay kırılma

mekanizması, 1997 UBC’de yer alan yakın fay faktörleri ilgili genel bilgilere yer verilmektedir.

Dördüncü bölümde deprem dalgasının zemin boyunca yayılımı sırasındaki sonlu yayılma hızını dikkate alan asinkronize dinamik analiz ile ilgili teorik bilgiler ve formülasyonu verilmektedir.

Beşinci bölümde tez çalışmasına konu olan asma köprü ve eğik kablo askılı köprülerin temel özellikleri ile uygulama için seçilen köprülere ait yapısal özellikler ve köprülerin sonlu eleman modelleri verilmektedir.

Altıncı bölümde tez çalışmasında kullanılacak yakın fay ve uzak fay yer hareketlerinin seçiminde dikkate edilmesi gereken şartlara, deprem kayıtları için yapılan normalizasyonlara, seçilen yakın fay ve uzak fay yer hareketlerinin özelliklerine değinilmektedir. Chi-Chi, Düzce, Kobe ve Kocaeli deprem kayıtlarının hız-zaman ve ivme-zaman grafikleri aracılığıyla deprem kayıtlarının maksimum yer ivmesi, maksimum yer hızı ve darbe süreleri hakkında bilgi verilmektedir.

Yedinci bölümde ise üniform ve sonlu hızla yayılan yer hareketlerinin, dikkate alınan asma köprü ve eğik kablo askılı köprü sistemine etkisi kule ve tabliyede elde edilen yer değiştirme ve kesit tesirlerinin karşılaştırılması ile incelenmektedir. Bu bölümde önce Fatih Sultan Mehmet Köprüsü’nün klasik dinamik analizi sonra da Tatara Köprüsü’nün klasik dinamik analizi ele alınmaktadır. Klasik dinamik analiz için Chi-Chi, Düzce, Kobe ve Kocaeli depremilerinin yakın fay darbeleri, yakın fay darbesiz ve uzak fay yer hareketleri kullanılmaktadır. Daha sonra, Chi-Chi Depremi TCU050 yakın fay darbeleri yer hareketi kaydı kullanılarak Fatih Sultan Mehmet Köprüsü ve Tatara Köprüsü’nün asinkronize dinamik analizi gerçekleştirilmektedir.

Sekizinci bölümde tez çalışmasından çıkarılan sonuçlar ve öneriler verilirken, bu bölümü kaynaklar ve özgeçmiş izlemektedir.



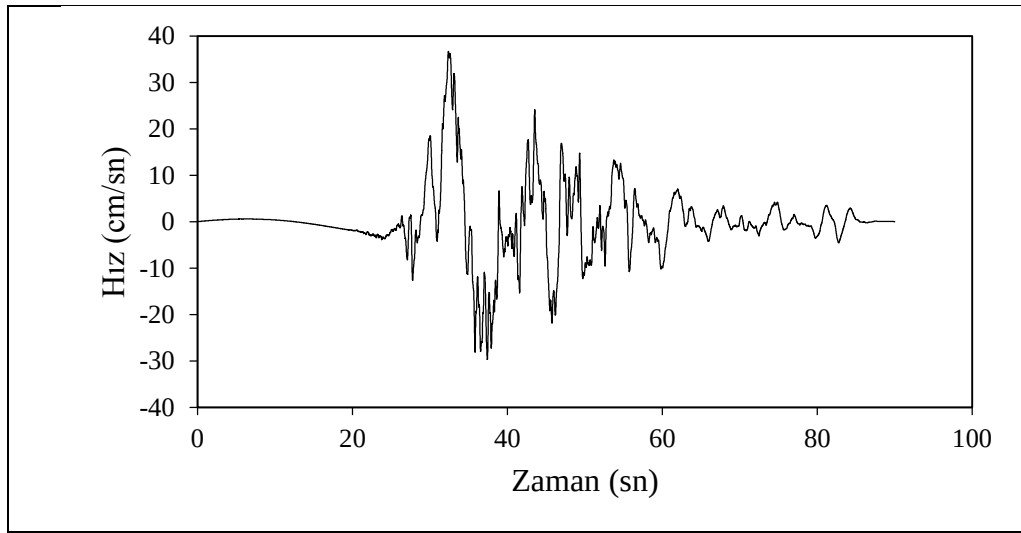
3. YAKIN FAY HAREKETLERİ

Yakın fay hareketleri, yüksek hızlı darbe içeren büyük enerji içeriği ile yapı sistemine etkiyerek yapı sistemleri üzerinde sıradan kayıtlara göre çok daha büyük yer değiştirme ya da süneklik taleplerine neden olan yer hareketleridir (Hasgür ve Umut, 2007).

Bir deprem hareketi aslında fay üzerindeki bir noktadan başlayıp kayma dalgası hızına yakın bir hızla yayılan bir kayma hareketidir. Kırılan bir fayın kayma dalgası hızına yakın bir hızla bir bölgeye doğru yayılması, kırılmadan dolayı ortaya çıkan sismik enerjinin büyük bir kısmının yer hareketi kaydının hemen başında gözlenen büyük bir darbe hareketi şeklinde ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Fay üzerinde meydana gelen bu kayma hareketi sonucu ortaya çıkan sismik dalgaların yayılma düzeni, bu büyük darbe hareketinin fay düzlemine dik doğrultuda ortaya çıkmasına ve böylelikle yer hareketinin faya dik bileşeninin 0,5 sn'den daha büyük periyotlarda faya paralel bileşeninden daha büyük olmasına neden olmaktadır (Somerville, 2002).

Kırılan bir faya yakın mesafede kaydedilen kayıtlar, sismik kaynaktan yeterince uzak mesafedeki kayıtlardan önemli derecede farklılıklar gösterebilmektedir. Yakın fay bölgesinin genel olarak kırılan faydan yaklaşık olarak 20-60 km aralığındaki mesafeyi kapsadığı kabul edilmektedir. Yakın fay yer hareketi kayıtları diğer yer hareketi kayıtlarından birçok açıdan önemli farklılıklar göstermektedir. Yakın fay bölgesindeki yer hareketleri; fayın kırılma mekanizmasından, fay kırığının bölgeye göre olan göreceli yayılma doğrultusundan ve tektonik hareket sonucu meydana gelen kalıcı yer değiştirmelerden önemli derecede etkilenmekte ve bunun sonucunda “yönelme etkisi” ve “sıçrama etkisi” ortaya çıkmaktadır. Bu durumda aktif bir faya yakın yer hareketleri tanımlanırken, yakın fay yer hareketlerinin söz konusu bu özelliklerinin dikkate alınması gerekmektedir (Stewart ve diğerleri, 2001). Yakın fay yer hareketlerinin ivme zaman grafiklerinde önemli bir farklılık gözükmesi dahi, özellikle hız-zaman grafiklerinde yönelme etkisine bağlı olarak darbe türü hareket açık bir şekilde gözlenmektedir. Yakın fay yer hareketinin maksimum hızı PGV sıradan kayıtlara göre önemli ölçüde daha büyüktür ve bu farklılığa bağlı olarak yapı sistemlerine etkiyecek kuvvetler önemli ölçüde değişmektedir (Bray ve Rodriguez-Marek, 2004).

Kırılan fayın, kayma dalgası hızı büyüklüğündeki bir hızla fay üzerindeki bir noktadan başlayarak bir bölgeye doğru yayılması durumunda, kırılan faydan kaynaklanan sismik enerjinin birikimli etkisi büyük bir darbe hareketinin oluşmasına neden olmaktadır (Somerville ve diğerleri, 1997). Darbe hareketi deprem kaydının hız-zaman grafiğinin başlangıcında açıkça izlenebilmektedir (Şekil 3.1). Bu tez çalışmasında da yer hareketi kaydının darbeli olup olmadığına karar verilirken hız-zaman grafikleri dikkate alınmıştır.

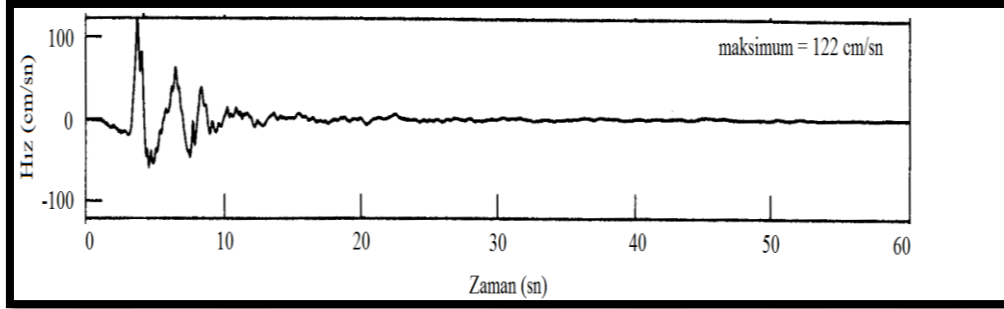


Şekil 3.1. Chi-Chi Depremi TCU050 kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği

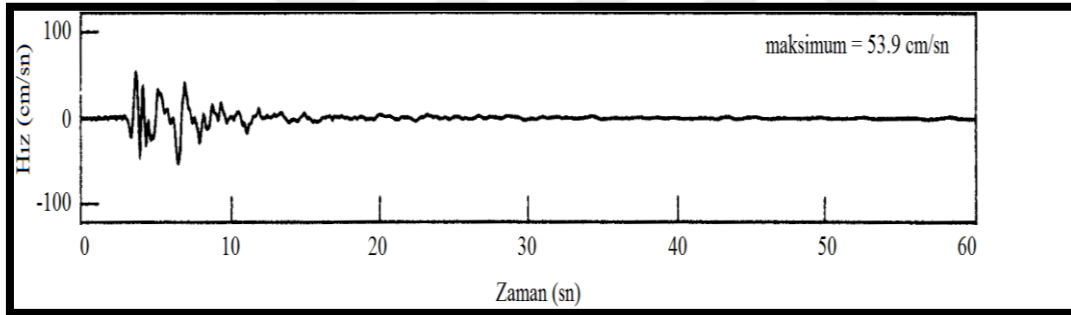
Darbe etkisi, yakın fay yer hareketlerinin en belirgin özelliklerindendir. Son yıllarda meydana gelen depremlerde, kırılan bir fayın yakınında kaydedilmiş yer hareketi kayıtlarının sınırlı sayıdaki yüksek enerjili darbe etkilerinden meydana geldiği görülmüştür. Bu darbe etkisi iki farklı fay kırılma hareketi ile ortaya çıkmaktadır (Jia ve Ou, 2008);

1. Kırılan fay bölgeye doğru kayma dalgası hızına yakın bir hızla yayılmakta ve kırılan fayın enerjisi yer hareketi kaydının hemen başında gözlenen büyük periyotlu darbe hareketi içerisinde toplanmaktadır. (Somerville ,1998). Bu olay ileri yönelme etkisi olarak tanımlanmaktadır. Fay üzerindeki kayma hareketinin bu yayılma şekli büyük genlikli darbe etkisinin faya dik olmasına ve böylelikle dik bileşenin maksimum hızının paralel bileşeninkinden daha büyük olmasına neden olmaktadır (Somerville, 1998). Bu durum Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'teki şekillerde açık bir şekilde görülmektedir.
2. Fayın kırılma hareketi zemin yüzeyinde kalıcı yer değiştirmelere neden olmaktadır. Bu yakın fay sismik hareketi "sıçrama etkisi" olarak tanımlanmaktadır (Jia ve Ou, 2008).

Bu iki yakın fay etkisini ayırt etmek amacıyla, “yönelme etkisi” ve “sıçrama etkisi” tanımlamaları kullanılmaktadır. Doğrultu atımlı fayda yönelme etkisi fayın kırılma düzlemine dik doğrultudaki yer hareketi bileşeninde ortaya çıkarken, sıçrama etkisi fay kırığı doğrultusunda ortaya çıkmaktadır (Jia ve Ou, 2008).



Şekil 3.2. Northridge Depremi Olive View kaydı faya dik doğrultudaki hız-zaman grafiği (Somerville, 1998)



Şekil 3.3. Northridge Depremi Olive View kaydı faya paralel doğrultudaki hız-zaman grafiği (Somerville, 1998)

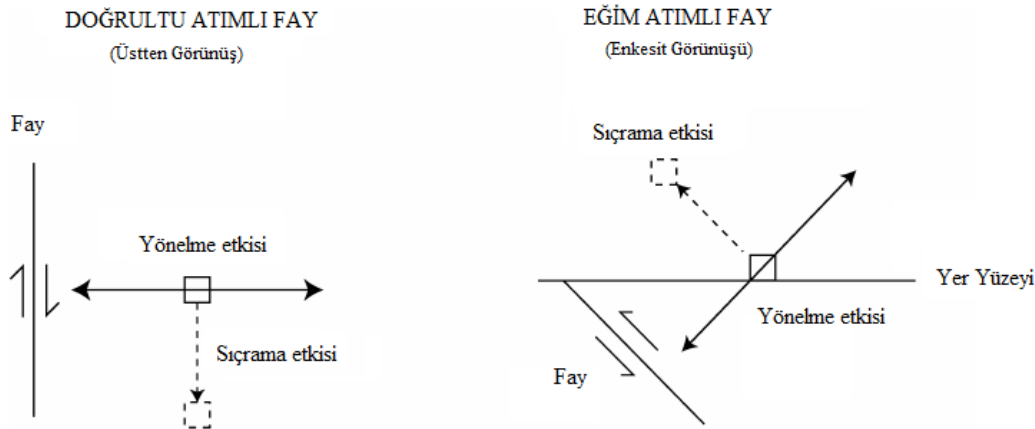
3.1. Fayın Kırılma Mekanizması

Yakın fay hareketleri genel olarak “Yönelme Etkisi” ve “Sıçrama Etkisi” ile karakterize edilmektedir. Yakın fay hareketlerinin kaydedildiği modern kayıt cihazlarında deprem hareketinden dolayı kalıcı zemin yer değiştirmelerinin olduğu gözlenmiştir ki bu statik yer değiştirmeler “sıçrama etkisi” olarak tanımlanmaktadır. Doğrultu atımlı fayda yönelme etkisi faya dik doğrultudaki bileşende ortaya çıkarken, sıçrama etkisi faya paralel doğrultudaki bileşende ortaya çıkmaktadır. Eğim atımlı fayda ise hem yönelme etkisi hem de sıçrama etkisi faya dik doğrultudaki bileşende ortaya çıkmaktadır. Bu durum Çizelge 3.1’de özetlenmiştir (Stewart ve diğerleri, 2001). Doğrultu ve eğim atımlı faylar için

yönelme etkisi ve sıçrama etkisi şematik olarak Şekil 3.4'te verilmiştir. Doğrultu atımlı fay için plan görünümü verilmiş olup burada fay, kırılma doğrultusunu göstermektedir. Darbe etkisinin görüldüğü ileri yönelme etkisi fay doğrultusuna dik olarak ortaya çıkarken statik zemin yer değiştirmesi (sıçrama etkisi) fay doğrultusuna paraleldir. Eğim atımlı fay için düşey kesit görünümü verilmiş olup burada fay, fayın eğim doğrultusunu gösterirken kırılma doğrultusu sayfa düzlemine diktir. Darbe etkisinin görüldüğü ileri yönelme etkisi fay eğimine dik olup hem düşey doğrultuda hem de fay kırığına dik olan yatay doğrultuda bileşenleri vardır. Statik zemin yer değiştirmesi ise fay eğimi doğrultusunda olup hem düşey doğrultuda hem de fay kırığına dik olan yatay doğrultuda bileşenleri vardır (Somerville, 2002).

Çizelge 3.1. Doğrultu ve eğim atımlı faylar için yönelme ve sıçrama etkisi

Fay Mekanizması	Yönelme Etkisi	Sıçrama Etkisi
Doğrultu Atımlı Fay	Faya Dik Bileşen	Faya Paralel Bileşen
Eğim Atımlı Fay	Faya Dik Bileşen	Faya Dik Bileşen



Şekil 3.4. Doğrultu ve eğim atımlı faylarda yönelme ve sıçrama etkilerinin şematik gösterimi (Stewart ve diğerleri, 2001)

İleri yönelme etkisi, fayın kırığının bir bölgeye doğru yayılmasının yanı sıra fay üzerindeki eğim doğrultusunun da söz konusu bölgeye doğru olması durumunda ortaya çıkmaktadır (Stewart ve diğerleri, 2001). İleri yönelme etkisi çoğunlukla faya dik doğrultuda büyük ve ağır hasara neden olabilecek, uzun periyotlu bir darbe etkisi ile kendini göstermektedir. Bu

durum genellikle fayın kırılma hızının kaynağa yakın olan zeminin kayma dalgası hızına yakın olduğu zaman geçerlidir (Hasgür ve Umut, 2007).

Sıçrama etkisinden kaynaklanan darbeler, yönelme etkisi kaynaklı darbelerden farklı özelliklere sahiptir. Yönelme etkisi kalıcı statik yer değiştirme meydana getirmeyen ve dolayısıyla iki yönlü hız darbeleri oluşturan dinamik bir olay iken, sıçrama etkisi tek yönlü hız darbeleri meydana getiren kalıcı zemin yer değiştirmeleri sonucu ortaya çıkmaktadır (Bray ve Rodriguez-Marek, 2004).

3.2. Yönelme Etkisi

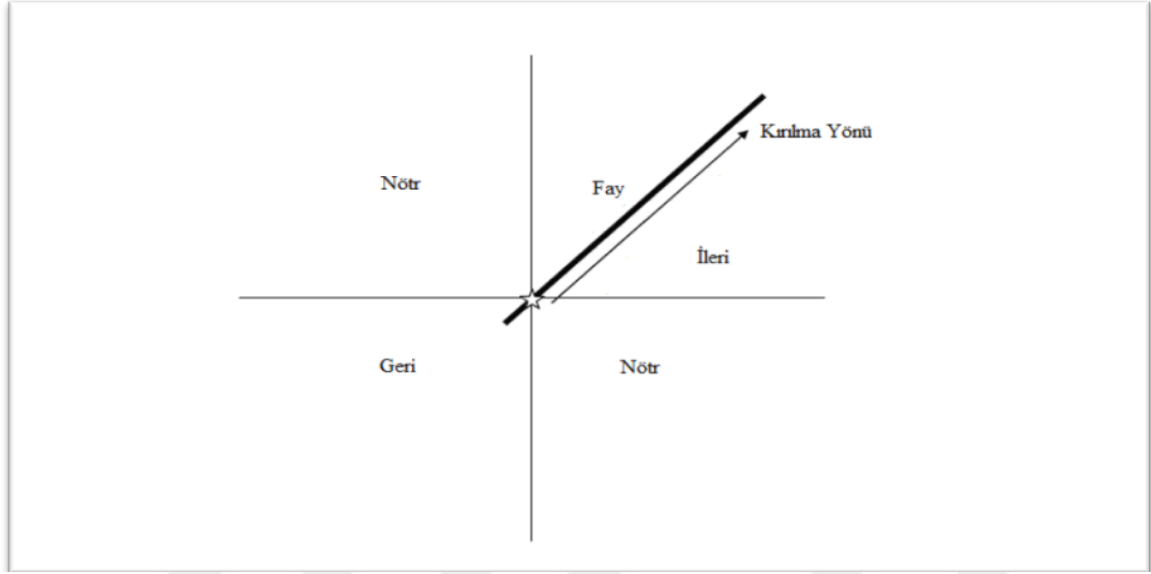
Aktif faylara yakın yapıların inşasından önce yakın fay yer hareketlerinin özel durumlarını göz önüne almak gerekir. Buradan hareketle yapılacak olan hesaplamalar sismik tehlikelere karşı yapıları güvenli tarafta tutacaktır. Fayın kırılma mekanizması ve fayın bölgeye göre kayma doğrultusuna bağlı olarak ortaya çıkan yer hareketleri dinamik etkiler doğurmaktadır. Bu dinamik etkiler üç şekilde sınıflandırılmaktadır;

- İleri yönelme etkisi
- Geri yönelme etkisi
- Nötr yönelme etkisi

Yapılan çalışmalar sonucunda, yakın fay yer hareketlerinin darbe kaynağının çoğunlukla ileri yönelme etkisinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan darbeleri yakın fay deprem kayıtları da ileri yönelme etkisini içermektedir. Bunun yanında tez çalışması kapsamında dikkate alınan ve geri yönelme etkisi gösteren yer hareketlerinin, kaydın sonlarına doğru darbe etkisi içerdiği görülmüştür.

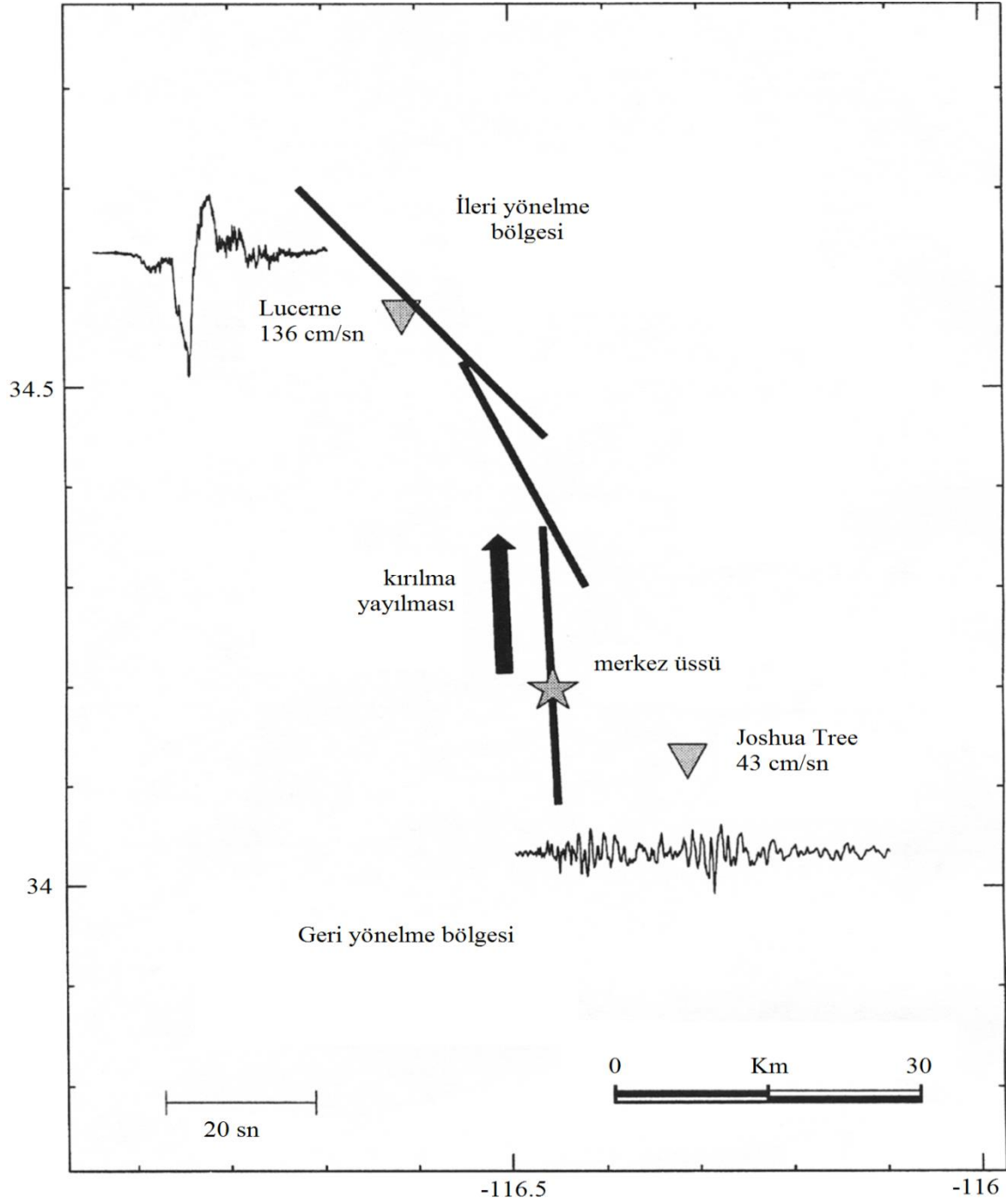
Doğrultu atımlı bir fayda, fay kırığının ön kısmı depremin merkezinden belirli bir bölgeye doğru yayılırken enerji, fay boyunca ardışık olarak meydana gelen her bir kayma bölgesinin kırık ön yüzeyinde toplanmaktadır. Bu durumda deprem dalgası, kaydın hemen başlangıcında gözlenen ve kırığa dik doğrultuda ortaya çıkan büyük bir darbe etkisi ile bölgeye ulaşmaktadır. Söz konusu bu darbe etkisi genel olarak orta ve uzun periyotlarda büyük genlikli olarak ortaya çıkan hareketler şeklindedir. Bu etki en iyi hız-zaman

grafiklerinde gözlemlenmektedir. Fay kırılmasının bölgeden uzağa doğru yayılması ile oluşan geri yönelme etkisi, göreceli olarak uzun süreli ve kısa genlikli olarak ortaya çıkan yer hareketleridir (Stewart ve diğerleri, 2001). Nötr yönelme etkisi ise, fay kırılmasının bölgeye doğru ya da bölgeden uzağa doğru yayılmasının dışında kalan fay kırılma yüzeyine dik olan bölgelerde gözlenmektedir (Somerville ve diğerleri, 1997) (Şekil 3.5).

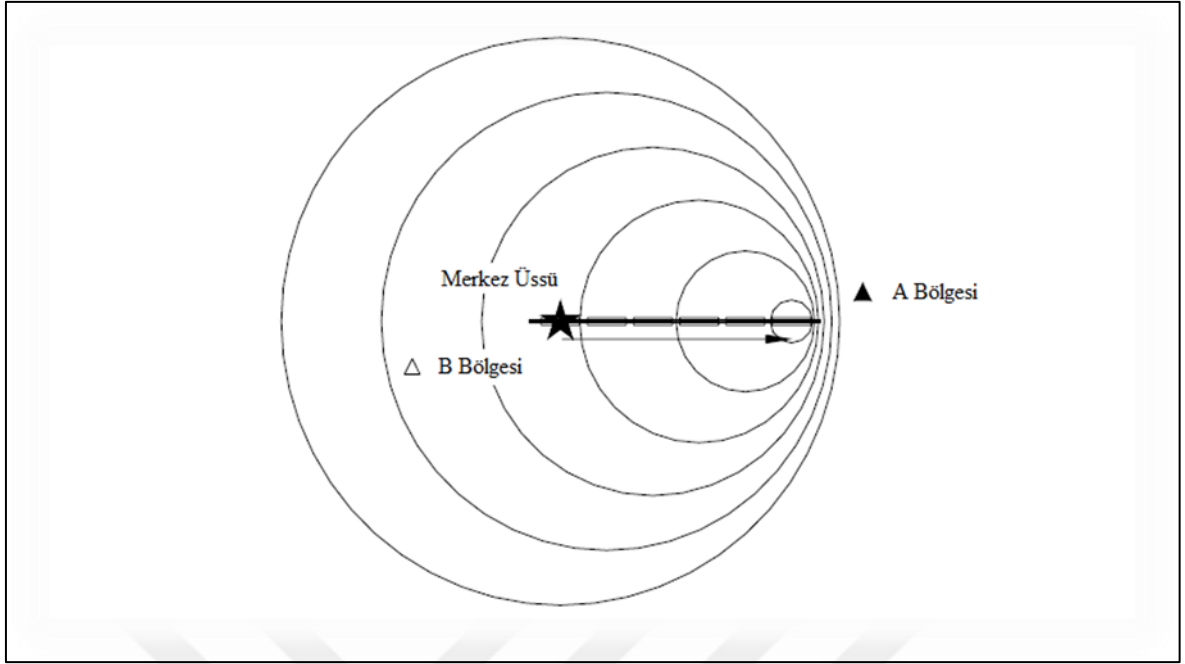


Şekil 3.5. Bir bölgenin ileri, geri ve nötr yönelme olarak tanımlanması (Cox ve Ashford, 2002)

İleri yönelme etkisi sonucunda büyük genlikli ve kısa süreli yer hareketleri meydana gelmektedir. Buna karşın, geri yönelme etkisi düşük genlikli ve uzun süreli yer hareketleri üretmektedir (Bray ve Rodriguez-Marek, 2004). Şekil 3.6’da ileri ve geri yönelme etkileri Landers Depremi’ndeki Lucerne ve Joshua Tree deprem kayıt istasyonlarında gösterilmiştir. 1998 yılında ilk kez Abrahamson yönelme etkisini Şekil 3.7’deki modeli kullanarak açıklamıştır. Bu modele göre fay kırılması merkez üssünden başlayarak ok yönündeki A bölgesine doğru fay boyunca yayılmaktadır. Kayma dalgalarının hızı fay kırılma hızına yakın olduğu için ileri yönelme etkisi kısa zaman periyodunda meydana gelmektedir. A bölgesine hemen hemen aynı anda varan sismik dalgacıklar büyük genlikli ve kısa süreli deprem kayıtları oluşturmaktadır. B bölgesinde ise sismik dalgacıkların bölgeye varış süresi daha uzun olduğundan deprem kayıtları uzun süreli ancak düşük genlikli olmaktadır (Gibson ve diğerleri, 2002).



Şekil 3.6. Landers Depremi'nden ileri ve geri yönelme etkileri (Somerville ve diğerleri, 1997)



Şekil 3.7. Abrahamson yönelme etkisi modeli (Gibson ve diğerleri, 2002)

3.3. 1997 Uniform Building Code Yönetmeliğindeki Yakın Fay Faktörleri

1997 UBC yönetmeliğinin ilgili hükümlerinde yer alan yakın kaynak faktörleri ile yakın fay etkileri hesaplanmaktadır. Bu faktörlerden N_a ; kısa periyot ivme faktörü, N_v ise orta periyot hız faktörü olarak kullanılmaktadır. Yakın fay faktörleri, 15 km'den az mesafeler için ve üç farklı fay tipi için belirlenmektedir (Stewart ve diğerleri, 1997). Çizelge 3.2, Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'te yönetmelik hükümleri tablo halinde sunulmuştur.

Çizelge 3.2. Sismik kaynak tipleri (UBC, 1997)

Sismik Kaynak Tipi	Sismik Kaynak Tanımı	Sismik Kaynak Tanımı	
		Maksimum Moment Büyüklüğü, M	Kayma Oranı, SR (mm/yıl)
A	Büyük Magnitüde Deprem Üretebilen ve Yüksek Sismik Aktiviteye Sahip Faylar	$M \geq 7,0$	$SR \geq 5$
B	Tip A ve C haricindeki Faylar	$M \geq 7,0$ $M < 7,0$ $M \geq 6,5$	$SR < 5$ $SR > 2$ $SR < 2$
C	Büyük Magnitüde Deprem Üretemeyen ve Düşük Sismik Aktiviteye Sahip Faylar	$M < 6,5$	$SR \leq 2$

Çizelge 3.3. Kısa periyot ivme faktörü, N_a (UBC, 1997)

Sismik Kaynak Tipi	Bilinen Sismik Kaynağa En Yakın Mesafe		
	≤ 2 km	5 km	≥ 10 km
A	1,5	1,2	1,0
B	1,3	1,0	1,0
C	1,0	1,0	1,0

Çizelge 3.4. Orta periyot hız faktörü, N_v (UBC, 1997)

Sismik Kaynak Tipi	Bilinen Sismik Kaynağa En Yakın Mesafe			
	≤ 2 km	5 km	10 km	≥ 15 km
A	2,0	1,6	1,2	1,0
B	1,6	1,2	1,0	1,0
C	1,0	1,0	1,0	1,0

Sismik kaynağa en yakın mesafe olarak, fay düzleminin yüzey izdüşümü ve bölge arasındaki mesafenin minimum alınması tavsiye edilmiştir. Yüzey izdüşümünün 10 km ve daha büyük derinlikteki kaynakları kapsamasına gerek görülmemiştir (UBC, 1997).

Yakın kaynak faktörleri kullanılarak 4. derece deprem bölgesi için davranış spektrumu artırılmaktadır. N_a ve N_v yakın kaynak faktörleri kullanılarak C_a ve C_v sismik katsayılar hesaplanmaktadır. Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6’da bu durum tablo halinde sunulmuştur.

Çizelge 3.5. Sismik katsayı, C_a (UBC, 1997)

Zemin Profil Tipi	Sismik Bölge Faktörü, Z				
	$Z = 0,075$	$Z = 0,15$	$Z = 0,2$	$Z = 0,3$	$Z = 0,4$
S_A	0,06	0,12	0,16	0,24	$0,32N_a$
S_B	0,08	0,15	0,20	0,30	$0,40N_a$
S_C	0,09	0,18	0,24	0,33	$0,40N_a$
S_D	0,12	0,22	0,28	0,36	$0,44N_a$
S_E	0,19	0,30	0,34	0,36	$0,36N_a$
S_F	Bölgeye özel geoteknik dinamik davranış analizi yapılarak bulunur				

Çizelge 3.6. Sismik katsayı, C_v (UBC, 1997)

Zemin Profil Tipi	Sismik Bölge Faktörü, Z				
	$Z = 0,075$	$Z = 0,15$	$Z = 0,2$	$Z = 0,3$	$Z = 0,4$
S_A	0,06	0,12	0,16	0,24	$0,32N_v$
S_B	0,08	0,15	0,20	0,30	$0,40N_v$
S_C	0,13	0,25	0,32	0,45	$0,56N_v$
S_D	0,18	0,32	0,40	0,54	$0,64N_v$
S_E	0,26	0,50	0,64	0,84	$0,96N_v$
S_F	Bölgeye özel geoteknik dinamik davranış analizi yapılarak bulunur				

Çizelge 3.7. Zemin profil tipleri (UBC, 1997)

Zemin Profil Tipi	Zemin Profil İsmi	Kesme Dalga Hızı, V_s (m/sn)
S_A	Sert Kaya	$V_s > 1500$ m/sn
S_B	Kaya	$760 \text{ m/sn} < V_s \leq 1500 \text{ m/sn}$
S_C	Çok Yoğun Zemin ve Yumuşak Kaya	$360 \text{ m/sn} < V_s \leq 760 \text{ m/sn}$
S_D	Sert Zemin	$180 \text{ m/sn} < V_s \leq 360 \text{ m/sn}$
S_E	Yumuşak Zemin	$V_s < 180 \text{ m/sn}$
S_F	Bölgeye özel geoteknik dinamik davranış analizi yapılarak bulunur	

Çizelge 3.8. Deprem kayıtları için bulunan zemin profil tipleri

Deprem Kaydı	Kesme Dalga Hızı, V_s (m/sn)	Zemin Profil Tipi
Chi-Chi, TCU050	542,41	S_C
Chi-Chi, TCU054	460,69	S_C
Chi-Chi, TCU089	671,52	S_C
Chi-Chi, HWA032	573,04	S_C
Düzce, 1058	529,18	S_C
Düzce, 531	638,39	S_C
Düzce, 498	425	S_C
Düzce, BOLU	293,57	S_D
Kobe, PRI	198	S_D
Kobe, KBU	1043	S_B
Kobe, NIS	609	S_C
Kobe, CHY	609	S_C
Kocaeli, YPT	297	S_D
Kocaeli, IZT	811	S_B
Kocaeli, ERG	585,09	S_C

UBC-1997’de deprem kayıtlarının kesme dalgası hızı ile zemin profil tipleri tanımlanmaktadır. Tez çalışmasında kullanılan deprem kayıtlarının kesme dalga hızları PEER’den alınmak suretiyle Çizelge 3.8.’de deprem kayıtlarının ait oldukları zemin profil tipleri ile ilgili bilgi verilmektedir.



4. DALGA YAYILMA ETKİSİ

4.1. Giriş

Bir yapının deprem hareketinden kaynaklanan dinamik davranışını belirlemek amacı ile dinamik analiz yapılırken, genellikle yapının tüm mesnet noktalarının aynı anda aynı yer hareketine maruz kaldığı kabul edilmektedir. Söz konusu dinamik analiz klasik dinamik analize karşılık gelmektedir ve bu analizde deprem dalgalarının dalga boylarının yapının boyutları yanında büyük olduğu kabul edilmektedir. Bu yaklaşım iki kabulden ibarettir. Kabullerden birincisinde deprem dalgasının yayılma hızı sonsuz varsayılırken, ikincisinde deprem dalgasının zemin boyunca yayılımı sırasındaki değişimi dikkate alınmamaktadır. Ancak, asma ve eğik kablo askılı köprüler gibi uzun açıklıklı yapılarda mesnet noktalarının farklı yer hareketlerine maruz kalacağı açıktır. Başka bir ifade ile deprem dalgasının sonsuz hızla yayılması durumunda dahi farklı mesnet noktalarındaki yer hareketleri farklı olacaktır (Nazmy ve Abdel-Ghaffar, 1987).

Deprem hareketinden kaynaklanan yer hareketi kaynağından itibaren yayıldığı ortamın özelliklerine bağlı olarak 200-4000 m/sn arasında değişen hızlarla frekans içeriği ve genliği değişerek hareket etmektedir. Dolayısıyla, deprem dalgasının yayılımı esnasında frekans içeriği ve genliği değişmekte ve farklı mesnet noktalarına farklı zamanlarda ulaşmaktadır. Bu değişimin yapının dinamik davranışı üzerinde etkili olup olmadığı veya etkisinin ne kadar olduğu yapı-zemin etkileşim yüzeyine bağlıdır. Bina sistemleri gibi yapı uzunluğu küçük yapılar için, tüm mesnet noktalarının aynı yer hareketine maruz kalması gerçekçi olabilir. Ancak, uzun açıklıklı köprüler gibi büyük yapılarda, deprem dalgalarının sonlu hızla yayılmasından dolayı farklı mesnet noktalarındaki yer hareketleri farklı olmakta ve tüm mesnetlere üniform olarak uygulanan yer hareketine oranla farklı dinamik davranışlar gözlenmektedir. Bu durumda klasik dinamik analizlerde olduğu gibi tüm yapının zeminle etkileşim yüzeyi boyunca aynı yer hareketine maruz bırakılması gerçekçi olmamaktadır. Dolayısı ile deprem dalgasının sonlu yayılma hızı analizlerde mutlaka dikkate alınmalıdır (Dumanoglu ve Severn, 1984).

Deprem dalgasının sonlu hızla yayılması, normal dinamik yer değiştirmelere ek olarak zahiri-statik yer değiştirmelere neden olmaktadır. Dinamik yer değiştirmeler atalet

kuvvetlerinden kaynaklanırken, zahiri-statik yer değiştirmeler mesnet noktalarının farklı hareketinden kaynaklanmaktadır. Zahiri-statik yer değiştirmeler zamana bağımlıdır ve atalet kuvvetlerinden kaynaklanan gerilmelere ek olarak yeni gerilmelere neden olmaktadır.

4.2. Asinkronize Dinamik Analiz Formülasyonu

N serbestlik dereceli bir sistemin hareket denklemi,

$$[M]\{\ddot{v}\} + [C]\{\dot{v}\} + [K]\{v\} = \{F\} \quad (4.1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $[M]$, $[C]$, $[K]$ sırasıyla sistemin kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini; $\{\ddot{v}\}$, $\{\dot{v}\}$, $\{v\}$ ise sırasıyla toplam ivme, hız ve yer değiştirme vektörlerini, $\{F\}$ ise dış kuvvet vektörünü göstermektedir. Sistemin hareket denkleminde sisteme direkt olarak uygulanan dış kuvvet olmadığından, $\{F\}$ sıfır vektörüdür. Burada dış kuvvet vektörü yerine, yapı-zemin etkileşim yüzeyi boyunca mevcut serbestlik dereceleri ile ilgili yer değiştirme, hız ve ivmeler bilinmektedir. Gerçekte yapı-zemin etkileşim yüzeyi boyunca olan serbestlik derecelerinin ivmeleri biliniyor iken, hız ve yer değiştirmeler ivmenin sayısal integrasyonu ile elde edilmektedir.

Sistemin serbestlik derecelerini bilinen ve bilinmeyen diye iki gruba ayırmak mümkündür. Bilinen serbestlik dereceleri yer hareketinin bilindiği yapı-zemin etkileşim yüzeyi ile ilgili serbestlik derecelerinin ivme, hız ve yer değiştirmeleridir. Bilinmeyen serbestlik dereceleri yapı-zemin sisteminin diğer noktaları ile ilgili serbestlik derecelerinin ivme, hız ve yer değiştirmeleridir. Denklem (4.1)'deki bilinen ve bilinmeyen serbestlik derecelerini birbirinden ayırmak için, bilinen serbestlik dereceleri $\{v_g\}$, bilinmeyen serbestlik dereceleri ise $\{v_r\}$ vektörleri ile gösterilmektedir. Bu ifadelerdeki g indisi Bilinen Zemin Serbestlik Derecelerini, r indisi ise sistemin diğer deplasmanlarına karşılık gelen Bilinmeyen Serbestlik Derecelerini göstermektedir. Denklem (4.1), alt kısımlara bölünerek,

$$\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rg} \\ M_{gr} & M_{gg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_r \\ \ddot{v}_g \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{rr} & C_{rg} \\ C_{gr} & C_{gg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_r \\ \dot{v}_g \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{rr} & K_{rg} \\ K_{gr} & K_{gg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_r \\ v_g \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (4.2)$$

formunda yazılabilir. Burada $[M_{rr}]$, $[C_{rr}]$ ve $[K_{rr}]$ bilinmeyen serbestlik dereceleri ile ilgili sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini göstermektedir. $[M_{rg}]$, $[C_{rg}]$ ve $[K_{rg}]$ her bilinen zemin serbestlik derecelerinin birim hareketinden dolayı bilinmeyen serbestlik derecelerinde meydana gelen kuvvetleri; $[M_{gg}]$, $[C_{gg}]$ ve $[K_{gg}]$ ise her bilinen zemin serbestlik derecelerinin birim hareketinden dolayı bilinen zemin serbestlik derecelerinde meydana gelen kuvvetleri ifade etmektedir. $[M_{gr}]$, $[C_{gr}]$ ve $[K_{gr}]$ ise sırasıyla $[M_{rg}]$, $[C_{rg}]$ ve $[K_{rg}]$ ifadelerinin transpozelerine karşılık gelmektedir. Deklem (4.2)'den ilk satır çıkartılıp bilinenler sağ tarafa atılırsa,

$$[M_{rr}]\{\ddot{v}_r\} + [C_{rr}]\{\dot{v}_r\} + [K_{rr}]\{v_r\} = -[M_{rg}]\{\ddot{v}_g\} - [C_{rg}]\{\dot{v}_g\} - [K_{rg}]\{v_g\} \quad (4.3)$$

ifadesi elde edilir. Denklem (4.3)'ün sağ tarafında deprem etkisi; ivme, hız ve yer değiştirmeler cinsinden ifade edilmektedir. (4.3) nolu denklemi daha basit hale getirmek için, toplam yer değiştirme v_r iki bileşenin toplamı olarak yazılabilir. Bunlardan biri, bilinen zemin serbestlik derecelerinin asinkronize hareketinden diğeri ise atalet kuvvetlerinin etkisinden kaynaklanmaktadır. Atalet kuvvetleri düğüm noktaları ivme ve kütlelerinin çarpımından ibaret olduğu için, ikinci yer değiştirme bileşeni dinamik olarak tanımlanıp v_d ile gösterilecektir. Birinci yer değiştirme bileşeni üniform yer hareketi durumunda rijit cisim hareketi olarak oluştuğundan ve yapıda iç etki meydana getirmediğinden hareket denklemlerinden çıkartılmaktadır. Fakat, asinkronize yer hareketi durumunda farklı serbestlik derecelerinde farklı yer değiştirmeler gözlenecek ve bundan dolayı iç kuvvetler oluşacaktır. Bu yer değiştirmelerin hesaplanmasında kütlelerin etkisi dikkate alınmadığından, söz konusu yer değiştirmeler zahiri-statik olarak isimlendirilmekte ve v_s ile gösterilmektedir. Bu durumda (4.2) nolu denklemdeki yer değiştirme vektörleri,

$$\begin{Bmatrix} v_r \\ v_g \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} v_{sr} \\ v_{sg} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} v_{dr} \\ v_{dg} \end{Bmatrix} \quad (4.4)$$

şeklinde yazılabilir. Burada v_{dg} sıfır, v_{sg} ise v_g 'ye eşittir. v_{sr} ve v_{dr} ise sırasıyla zahiri-statik ve dinamik yer değiştirmeleri göstermektedir. Denklem (4.4) denklem (4.3)'de yerine yazılıp zahiri-statik bileşenlerle ilgili terimler sağ tarafta toplanırsa,

$$[M_{rr}]\{\ddot{v}_{dr}\} + [C_{rr}]\{\dot{v}_{dr}\} + [K_{rr}]\{v_{dr}\} = \{F_{eff}\} \quad (4.5)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifadede $\{F_{eff}\}$ bilinmeyen serbestlik derecelerini etkileyen etkili kuvvet vektörünü göstermekte ve

$$-\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_{sr} \\ \ddot{v}_{sg} \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} C_{rr} & C_{rg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_{sr} \\ \dot{v}_{sg} \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} K_{rr} & K_{rg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_{sr} \\ v_{sg} \end{Bmatrix} \quad (4.6)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Dinamik denge denklemleri statik denge denklemlerini içerdiğinden, (4.6) nolu denklem önemli derecede basitleştirilebilir. Eğer denklem (5) ve denklem (4.6)'dan zamana bağlı terimler çıkartılırsa, sadece denklem (4.6)'nın son terimi kalmakta ve bu terimde sıfıra eşit olmaktadır. Böylece (4.6) nolu denklem,

$$\{F_{eff}\} = -\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_{sr} \\ \ddot{v}_{sg} \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} C_{rr} & C_{rg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_{sr} \\ \dot{v}_{sg} \end{Bmatrix} \quad (4.7)$$

şeklinde yazılabilir. Sönüm matrisi rijitlik matrisi ile orantılı ise denklem (4.7)'nin sönümle ilgili terimleri sıfır olmaktadır. Sönümün rijitlikle orantılı olmaması durumunda bile sönüm kuvvetleri, rijitlik kuvvetleri ile karşılaştırıldığında çok küçük kalmakta ve ihmal edilebilmektedir. Bu durumda denklem (4.7) tekrar düzenlenirse,

$$\{F_{eff}\} = -\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_{sr} \\ \ddot{v}_{sg} \end{Bmatrix} \quad (4.8)$$

ifadesi elde edilmektedir. Denklem (4.8)'deki $\ddot{v}_{sg}$, bilinen zemin serbestlik derecelerine uygulanan ivmeleri gösterdiğinden bilinmekte; $\ddot{v}_{sr}$ ise bilinmemektedir. Daha önce belirtildiği gibi, denklem (4.6)'nın son terimi sıfıra eşit olduğundan,

$$[K_{rr}]\{v_{sr}\} = -[K_{rg}]\{v_{sg}\} \quad (4.9)$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifadeden $\{v_{sr}\}$,

$$\{v_{sr}\} = -[K_{rr}]^{-1}[K_{rg}]\{v_{sg}\} = -[R_{rg}]\{v_{sg}\} \quad (4.10)$$

olarak belirlenebilir. Burada $[R_{rg}]$; $[K_{rr}]^{-1}$ ve $[K_{rg}]$ alt matrislerinin çarpımını göstermektedir. Denklem (4.10)'dan yararlanılarak $\{\ddot{v}_{sr}\}$ türevle bulunabilmektedir. Denklem (4.10), denklem (4.8)'de yerine konursa,

$$\{F_{eff}\} = -[M_{rr}R_{rg} + M_{rg}]\{\ddot{v}_{sg}\} \quad (4.11)$$

şeklinde elde edilir. Bir çok durumlarda $[M_{rg}]$ matrisinin sıfırdan farklı terimleri çok azdır. Dolayısıyla, depremden dolayı meydana gelen etkili kuvvet vektörüne katkısı çok az olacağından ihmal edilebilir. Özellikle diyagonal kütle matrisler için $[M_{rg}]$ matrisi sıfır olmaktadır. Yukarıdaki açıklamalardan sonra denklem (4.5) tekrar düzenlenirse,

$$[M_{rr}]\{\ddot{v}_{dr}\} + [C_{rr}]\{\dot{v}_{dr}\} + [K_{rr}]\{v_{dr}\} = -[M_{rr}][R_{rg}]\{\ddot{v}_{sg}\} \quad (4.12)$$

şeklinde yazılabilir.

Asinkronize yer hareketi durumunda $\{v_{dr}\}$ dinamik yer değiştirme bileşenlerinin bulunmasında kullanılan (4.12) ifadesi, klasik dinamik analiz için de geçerlidir. Bilinen zemin serbestlik derecelerinin tümünde aynı ivme kullanıldığında $\{\ddot{v}_{sg}\}$ tekil bir terim olup, $\{R_{rg}\}$ ise sıfır ve birlerden oluşan bir vektördür. Söz konusu vektör klasik dinamik analizde doğrultu vektörü olarak adlandırılır. Asinkronize yer hareketi durumunda ise $[R_{rg}]$, $\{r\}$ vektörlerinden oluşan bir matristir. $\{r\}$ vektörü, zahiri-statik etki katsayı vektörü veya zemin yer değiştirmelerinin şekil vektörü olarak isimlendirilmektedir. $\{r\}$ vektörleri, bilinen zemin serbestlik derecelerinin birine yatay veya düşey yönde birim yer değiştirme verilip diğer tüm bilinen zemin serbestlik dereceleri tutulmak suretiyle yapının yapmış olduğu şekli gösterir. Yer hareketinin etkidiği her mesnet noktası için $\{r\}$ vektörleri hesaplanabilir.

Denklem (4.12)'nin çözümü, standart sayısal analiz işlemlerinden olan direkt sayısal integrasyon veya modların süperpozisyonu yaklaşımıyla bulunabilir. Açısal frekans w_i ve mod vektörleri $\{\phi_i\}$,

$$[M_{rr}]\{\ddot{v}_{dr}\} + [K_{rr}]\{v_{dr}\} = 0 \quad (4.13)$$

ifadesiyle verilen sönümsüz serbest titreşim denklemlerinden elde edilmektedir.

Bilinmeyen serbestlik derecelerinin dinamik yer değiştirme bileşeni, $\{v_{dr}\}$,

$$\{v_{dr}\} = \sum_i \{\phi_i\} Y_i(t) \quad (4.14)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Denklem (14)'de $Y_i(t)$ zamana bağlı i. modal genliği göstermektedir. Denklem (14), denklem (12)'de yerine konur ve gerekli düzenlemeler yapılırsa

$$\ddot{Y}_i(t) + 2\xi w_i \dot{Y}_i(t) + w_i^2 Y_i(t) = \left[-\frac{\phi_i^T M_{rr}}{\phi_i^T M_{rr} \phi_i} \right] [r_1 \ddot{v}_{1g}(\tau_1, t) + r_2 \ddot{v}_{2g}(\tau_2, t) + \dots] \quad (4.15)$$

bağıntısı elde edilmektedir. Burada ξ sönüm oranını göstermekte ve titreşimin tüm modları için aynı alınmaktadır. τ_i ise yer hareketinin belirli bir referans noktasından başlayıp i. mesnet noktasına veya bölgeye varış zamanını göstermektedir. Yer hareketinin mesnet noktalarına veya bölgelere varış zamanı τ , deprem dalgası yayılma hızına ve belirli bir referans noktasından itibaren uzaklığa bağlıdır. Denklem (4.15)'in sağ tarafında $\{r\}$ vektörü sayısı kadar terim olacaktır.

Bilinmeyen serbestlik derecelerinin toplam yer değiştirmesinin zahiri-statik bileşeni, v_{sr} ,

$$v_{sr} = r_1 v_{1g}(\tau_1, t) + r_2 v_{2g}(\tau_2, t) + \dots \quad (4.16)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Burada v_{ig} , yer hareketi ivme kayıtlarının yer değiştirmelerini göstermekte ve ivme kayıtlarının iki kez integrasyonu ile bulunmaktadır.

Gerilmelerin hesabında kullanılan toplam yer değiştirmeler, v_r , ise

$$v_r = v_{sr} + v_{dr} \quad (4.17)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Sistemdeki iç kuvvetler, toplam yer değiştirme vektörü her eleman için uygun rijitlik matrisi ile çarpılarak,

$$\{p\}=[K]\{v_r\} \quad (4.18)$$

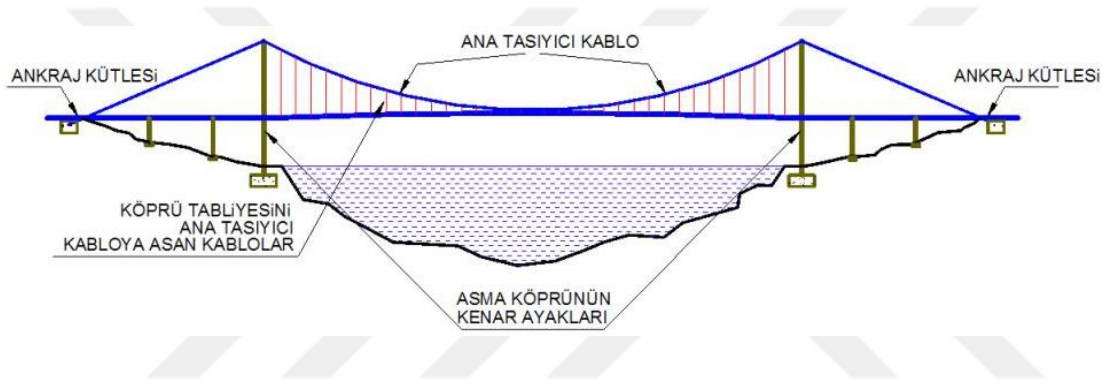
şeklinde hesaplanabilir. Burada $\{p\}$ kuvvet vektörünü gösterirken, $[K]$ rijitlik matrisini göstermektedir (Bayraktar, 1995; Dumanoglu ve Severn, 1984; Nazmy ve Abdel-Ghaffar, 1987).



5. KABLO DESTEKLİ KÖPRÜLER VE SONLU ELEMAN MODELLERİ

5.1. Asma Köprüler

Asma köprülerin çalışma prensibi Şekil 5.1’de basitçe açıklanmaya çalışılmıştır. Asma köprülerde iki taşıyıcı kenar ayak, iki ana taşıyıcı kablo ve ana taşıyıcı kabloların bağlandığı ankraj kütleleri bulunmaktadır. Araçların geçtiği tabliye, askı çubukları adı verilen ve genelde düşey konumda olan kablolar yardımıyla iki ana taşıyıcı kabloya asılmıştır İnternet: 1.



Şekil 5.1. Asma köprülerin çalışma prensibi

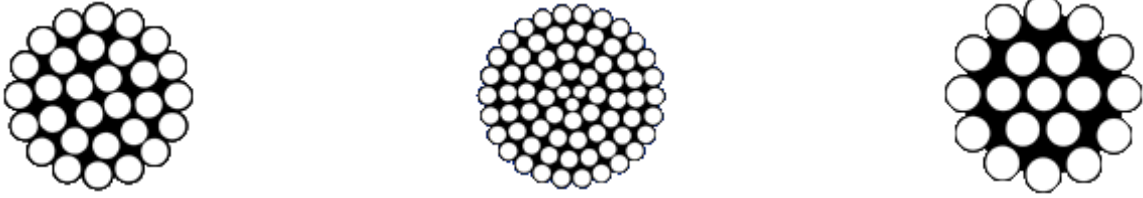
Kablolar

Asma sistemlerde kablo terimi, genel anlamda bükülebilir bir çekme elemanını ifade eden bir terimdir. Kabloların yapımında kullanılan teller, sıcakta haddelenmiş yüksek karbonlu çelik çubukların soğukta çekilmesi suretiyle üretilir. Korozyona karşı korunmalarını sağlamak için teller bir tabaka saf çinko ile kaplanarak galvanize edilir.

Örnek olarak; 15 Temmuz Şehitler Köprüsü’nün iki ana taşıyıcı kablosunun her birinde 5 mm çapında yüksek mukavemetli galvanize 10600 adet tel bulunmaktadır. Paralel tel grubu düzeninde yapılan söz konusu ana kablo 600 mm çapında bir görünüm sağlamaktadır. Asma köprü uygulamalarında kablo olarak kullanılan başlıca elemanlar aşağıda verilmiştir (İnternet: 1, 2017).

Tel grupları

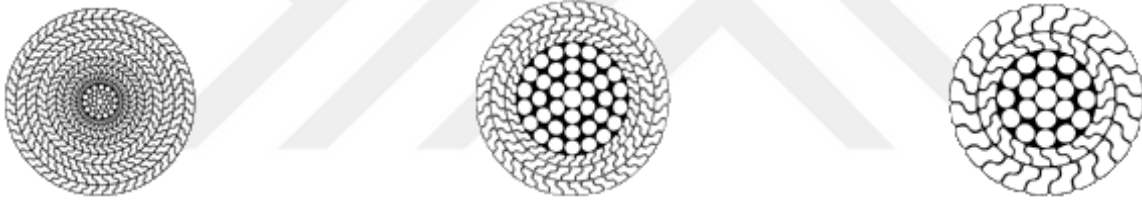
Bir merkez tel etrafında sarmal olarak sarılan bir ya da daha çok tabakalı telden oluşur.



Şekil 5.2. Tel grupları

Çelik halatlar

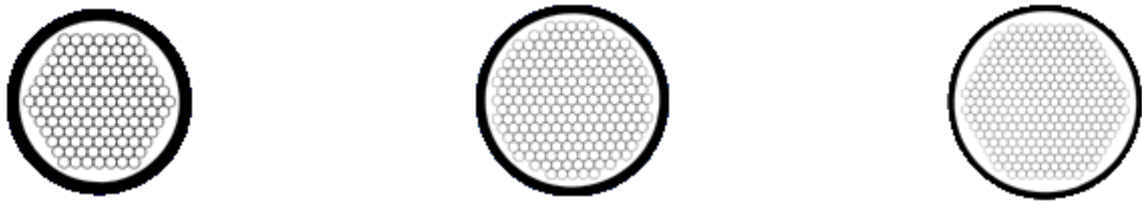
Tel gruplarının bir çekirdek etrafında sarmal olarak sarılmasıyla elde edilir.



Şekil 5.3. Çelik halatlar

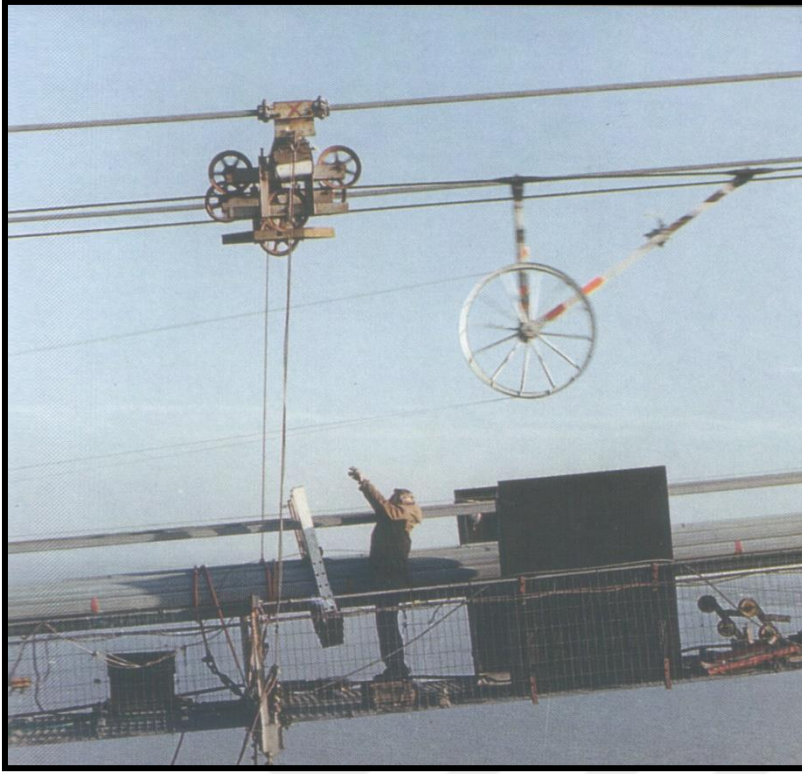
Paralel tel grupları

Tellerin sarmal olarak sarılmayıp, paralel bir düzende bir araya gelmesiyle elde edilir.



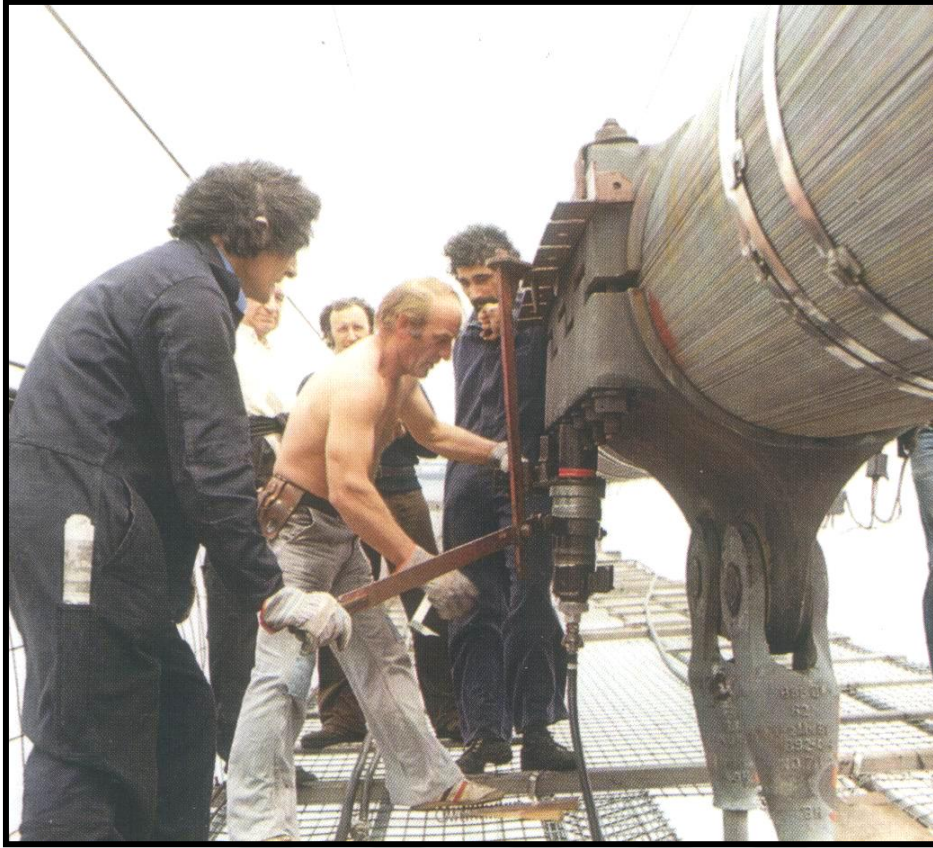
Şekil 5.4. Paralel tel grupları

Ana kablolar, Resim 5.1’de görüldüğü gibi yüksek mukavemetli, galvanizli, 5 mm çapında tellerin ayaklar arasında düzenlenen bir çıkırık mekanizması kullanılarak örülmesiyle oluşturulur.



Resim 5.1. Ana kabloların oluşturulması

Örölme işleminin tamamlanmasından sonra ana kablolar uygun aralıklarla çepeçevre sıkıştırılır ve tabliyeyi taşıyacak olan düşey kabloların bir ucu bu noktalara mesnetlenir (İnternet: 1, 2017).



Resim 5.2. Ana kablonun sıkıştırılması ve düşey kablonun bağlanması

Tabliye

Araçların kullanacağı tabliyenin taşıyıcı sistemini kutu kesitli çelik üniteler oluşturmaktadır. Bu üniteler güçlendirilmiş çelik levhaların, kutu kesiti meydana getirecek şekilde birbirine kaynakla birleştirilmesi ile üretilir. Resim 5.3’de de görüldüğü gibi platformu oluşturacak olan bu ünitelerin her biri, sırayla su seviyesinden gerekli yüksekliğe çıkartılarak bu seviyede daha önce kaldırılmış olan bir başka üniteye birleştirilir. Kaldırma işlemi ana kablolar arasında düzenlenmiş gezici bir vinç yardımıyla yapılır (İnternet: 1, 2017).



Resim 5.3. Tabliyenin oluşturulması

Kule

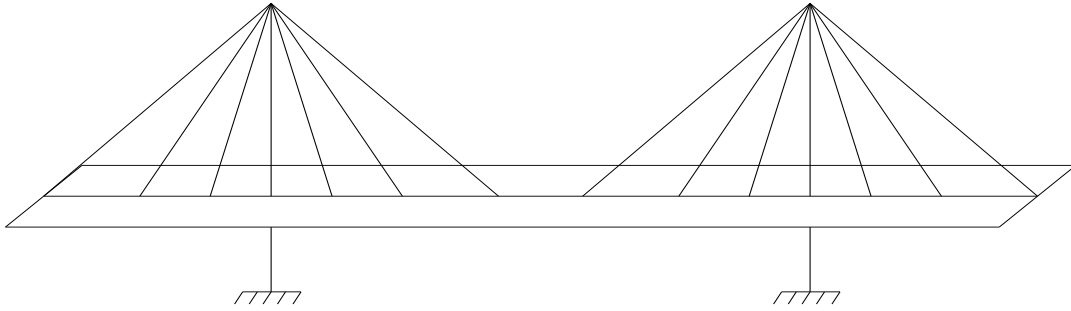
Beton, betonarme veya çelikten oluşmaktadır. Köprü enkesitinde kuleler kirişlerle bağlanır ve statik yönden çerçeve olarak çalışır. Mafsallı kulelerin avatanjları kablo düşey yüklerini kuleye merkezi olarak iletmesi, kule üst uçlarının sağ ve solunda kablo çekme kuvvetinin birbirine eşit olması ve kule temelini kısmen merkezi yük almasıdır. Maksimum açıklıkları 600 metreyi geçen asma köprülerde kuleler köprü ayaklarına ankre edilir ve üst uçta kablo üzerinde konulan semer biçimindeki dökme demir kapak cıvatalarla kuleye sıkıştırılarak kablo ile kule arasında sürtünme gerilimi ile sabit bir bağlantı elde edilir. Köprü yüküne göre kule uçlarında yatay yöndeki kablo kuvvetleri arasındaki fark kuleyi eğilmeye tabi tutar (İnternet: 2, 2017).

5.2. Eğik Kablo Askılı Köprüler

Eğik kablo askılı köprüler diğer köprülere oranla, bulunduğu çevreye uyum sağlayabilen çok değişik şekillerde tasarlanmaya elverişli yapılardır. Kabloların yerleşimi, kule tipleri ve tabliye tipi açısından tasarımcıya çok değişik seçenekler sunmaktadır. Bu çeşitlilik, köprünün bulunduğu ortam, üzerindeki trafik yükü, yapım şartları, malzeme gereksinimi, ekonomik etkenler açısından yapımçıya en optimum kararı vermesinde kolaylık sağlamaktadır.

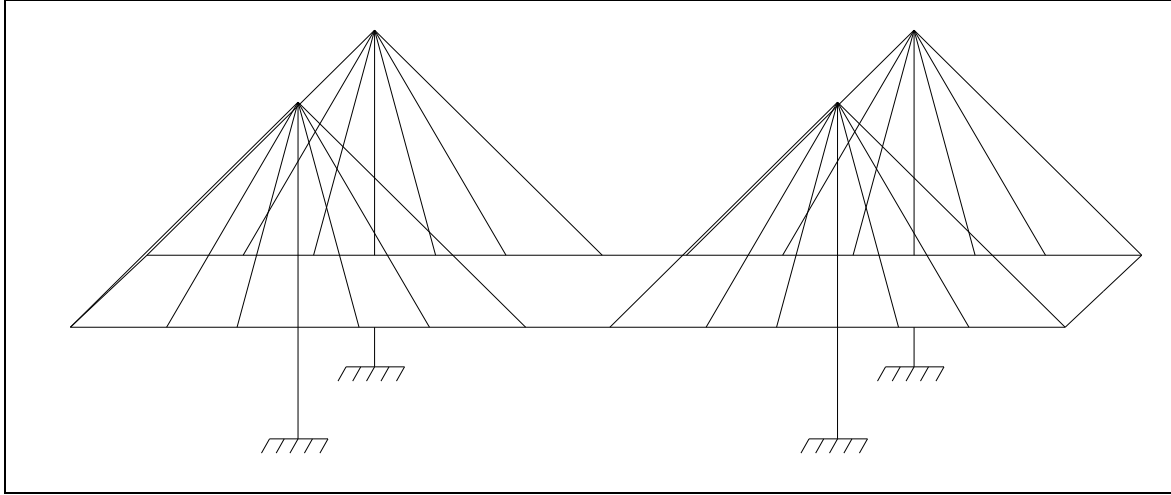
Kablo düzeni

Eğik kablo askılı köprüler, kabloların kulelere yerleşimine göre 3 şekilde tasarlanabilir. Bunlardan ilki “Tek Düzlemde Yerleşim”dir. Kabloların kuleye olan bağlantısı tek bir düzlemde olup tabliyenin ortasına bağlanarak taşıma işlemini gerçekleştirmektedir. Tabliye tek bir nokta üzerinde taşındığı için uç kısımlar konsol olarak çalışmakta, burulmadan kaynaklanan gerilmeler kritik olmakta ve bu da enleme kirişlerinin rijit olmasını gerektirmektedir (Çelik, 2010).



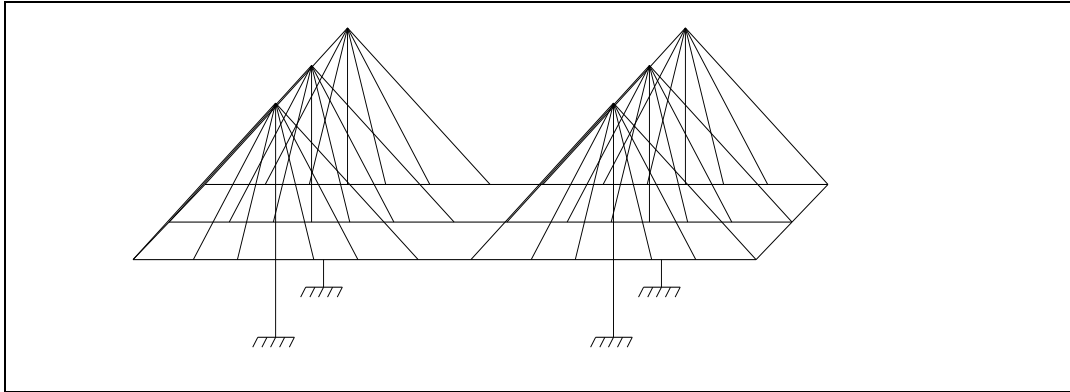
Şekil 5.5. Tekil düzlemde yerleşim

Estetik açıdan güzel görünse de kabloların yerleşimi taşıtların görüş alanını kısıtlayabilmektedir. Diğer yerleşim türü ise “İkili Düzlemde Yerleşim”dir. Bu yerleşim sisteminde kablolar, kulelerden iki düzlem halinde çıkarak tabliyenin iki uç noktasına bağlanır (Çelik, 2010).



Şekil 5.6. İkili düzlemde yerleşim

Simetrik bir sistem olduğu için yapısal stabilitesi daha uygun yapılardır. Aerodinamik açıdan daha uygun bir performans sergiler. Yoğun trafik yüküne maruz kalacak bazı köprülerde şerit sayısının veya tabliye genişliğinin artırılması gerektiğinde “Üçlü Düzlemde Yerleşim” tipinde köprüler tasarlanabilir. Bu yerleşim sisteminde tabliye hem ortadan hem de yanlardan kablolar ile kulelere bağlanır. Bu tasarım şekli pek ekonomik olmamakla birlikte ihtiyaçlara göre tasarlanabilir (Çelik, 2010).



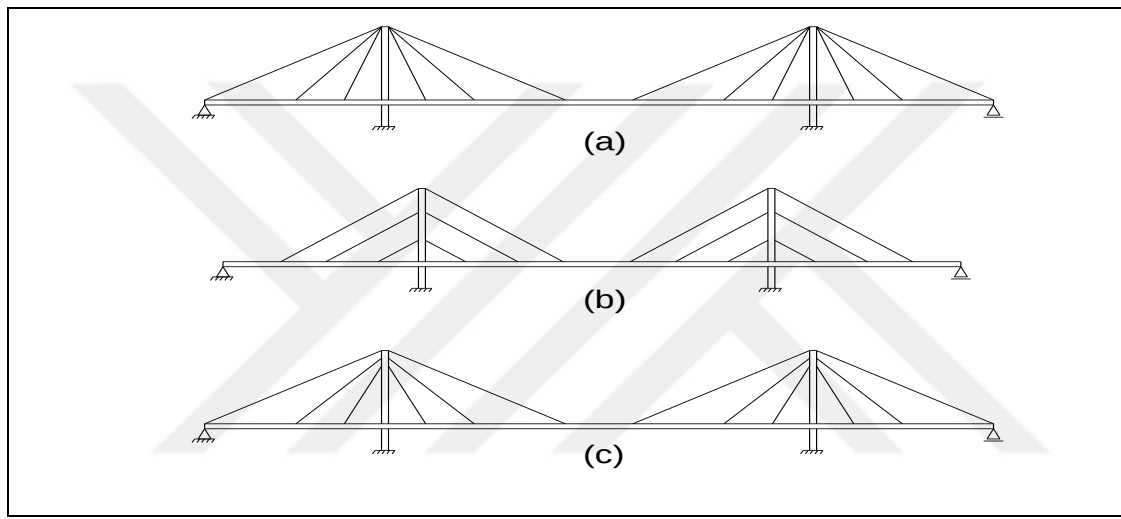
Şekil 5.7. Üçlü düzlemde yerleşim

Kablo ile kule bağlantısı

Kabloların kule ile bağlandığı yerdeki kablo dizilişine göre farklı türde kablo düzenleri ortaya çıkmaktadır. Bunların ilki “Yelpaze Sistem” adı verilen, kabloların kulenin tepesinde tek noktada toplandıkları sistemdir (Şekil 5.8.a). Bu dizilişle kablolar köprü

kirişlerinde maksimum açılar oluşturarak döşemedeki eksenel kuvvetleri azaltmaktadır. Bunun yanında tek noktaya toplanan kabloların, kule tasarımında özel çözümler gerektirdiği de bir gerçektir.

Diğer bir sistem ise “Paralel Sistem”dir. Bu sistemde kablolar kulenin tepesinden aşağı doğru eşit mesafelerde ve aynı açılarda kuleden çıkarak tabliyeye bağlanmaktadır (Şekil 5.8.b). Bu diziliş estetik açıdan güzeldir. Kabloların eşit mesafelere konulması, kule tasarımını ve yapı sisteminin inşasını kolaylaştırmıştır (Çelik, 2010).

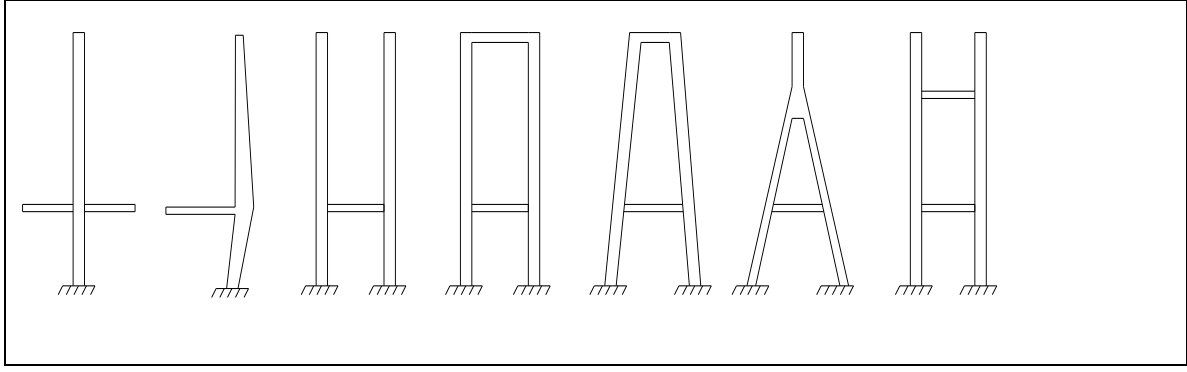


Şekil 5.8. Kablo - kule bağlantıları a) Yelpaze b) Paralel c) Radyal

“Radyal Sistem” ise diğer iki sistemin birleşimi olup hem değişik noktalardan hem de değişik açılarla kuleye bağlanarak diğer iki sistemi en etkin bir biçimde kullanmayı amaçlayan bir tasarımıdır. Bu tasarımda kule bağlantı detayları daha basittir (Şekil 5.8.c).

Kule tasarımları

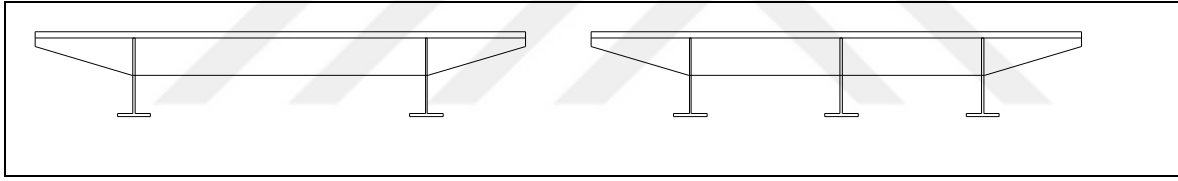
Kuleler, eğik kablo askılı köprülerin geniş tasarım türlerine bağlı olarak farklı şekillerde tasarlanabilmektedir. Malzeme olarak betonarme, çelik veya her ikisinin birleşimi olarak inşa edilmektedir. Kule yüksekliklerini belirleyen temel etkenler; tabliye uzunluğu ile tabliyenin taşıdığı yüküdür. Kule tipinin seçiminde bölgeye uyum, estetik, kablo bağlantı tipi ve ekonomik etkenler göz önünde bulundurulur. Buna bağlı olarak kuleler tek kolon, çift kolon, dikdörtgen veya eğik çerçeveler halinde veya üstten payandalı olarak tasarlanabilir (Çelik, 2010).



Şekil 5.9. Kule tipleri

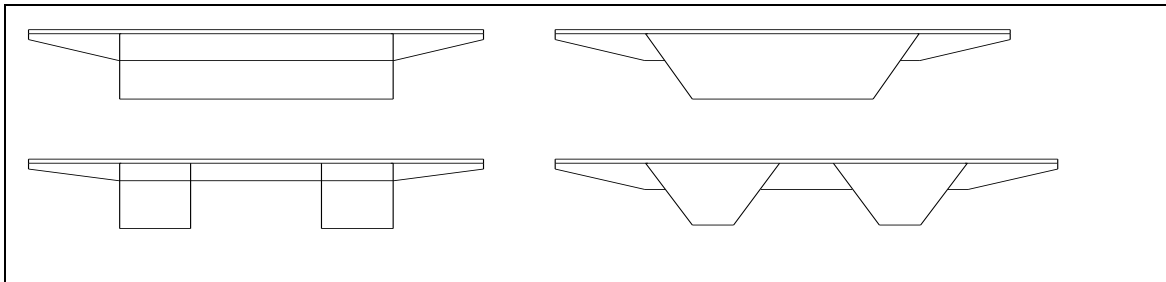
Üst yapı tabliye kesitleri

Üst yapı ve tabliye kesiti seçiminde trafik yükleri, ekonomi ve yapım metotları etkilidir. Çelik ve betonarme elemanlar ile buların birleşimi şeklindeki kesitler çok değişik şekillerde kullanılabilmektedir (Çelik, 2010).



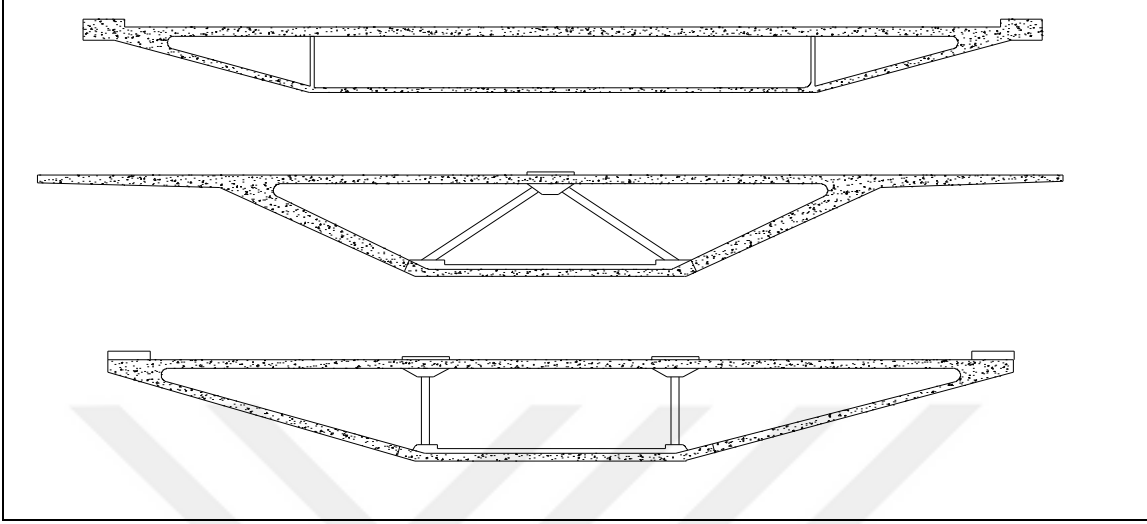
Şekil 5.10. Çelik tabliye tipleri

Şekil 5.10’de çelik ana kirişten oluşan tabliye kesiti görülmektedir. I kesitlerle desteklenmiş olan bu kesitler düşük burulma rijitliğine sahiptir. Eğik kablo askılı köprülerin tabliyelerinde, çelik malzemeden imal edilmiş kutu kesitler de kullanılmaktadır. Bunlar daha yaygın olarak kullanılmakta olup burulma rijitlikleri fazladır.



Şekil 5.11. Kutu kesitli çelik tabliye tipleri

Bunların yanında eğik kablo askılı köprülerde daha sık kullanılan kesitler ise betonarme kesitlerdir.

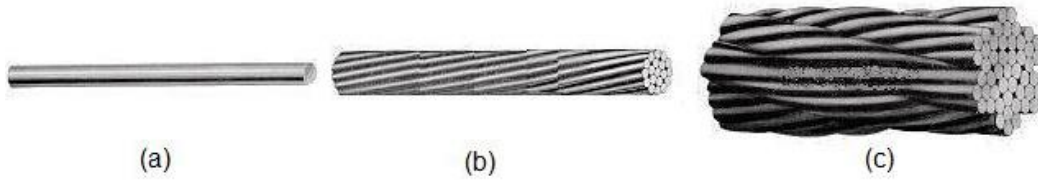


Şekil 5.12. Beton tabliye kesitleri

Eğik kablo askılı köprülerin tabliyeleri, çekme gerilmeleri kablolar ile azaltılmış tabliyeler olduğundan çekme gerilmelerinin karşılanmasında daha etkin olan betonarme elemanların kullanımı daha uygun olmaktadır. Bölümler halinde üretilen bu betonarme tabliyeler genellikle prefabrik olmakla birlikte yerinde döküm tekniği ile imal edilebilmektedir. Tabliye üretiminde diğer bir yapım tekniği ise çelik ve betonarme elemanların birlikte kullanıldığı kompozit kesit kullanımındır.

Kablolar

Tabliyeye belirli aralıklarla açılı olarak bağlanarak tabliyenin ağırlığını kulelere aktaran, tamamen çekmeye çalışan elemanlara kablo denir. Esnek olan bu elemanlar sıcakta haddelenen yüksek karbonlu çelikten imal edilen tellerin soğukta çekilmesiyle üretilir. Teller bir merkez etrafında sarmal olarak sarılarak yüksek dayanımlı tel gruplarını oluşturur. Dayanımı daha da artırmak için bu tel grupları da istenen dayanıma göre yeterli adette benzer yöntemle sarılarak çelik halatları yani kabloları oluşturur. Kablolar bazen tellerin sarmal olarak değil de paralel şekilde sarılmasıyla da üretilebilir (Çelik, 2010).



Şekil 5.13. (a) Çelik tel (b) Tel grubu (c) Çelik halat (Kablo)

5.3. Kablo Destekli Köprülerin Sonlu Eleman Modelleri

Yakın fay ve uzak fay yer hareketlerinin köprü sistemlerinin dinamik davranışı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla merkez açıklıkları birbirine yakın olan eğik kablo askılı ve asma köprü sistemleri seçilmiştir. Japonya’da inşa edilen Tatara Köprüsü eğik kablo askılı köprü modeli olarak seçilirken Türkiye’de inşa edilen Fatih Sultan Mehmet Köprüsü (FSM) asma köprü modeli olarak tercih edilmiştir. Tatara Köprüsü’nün toplam uzunluğu 1480 m, merkez açıklığı 890 m’dir. İstanbul’un Asya ve Avrupa kıtalarını birbirine bağlayan Fatih Sultan Mehmet Köprüsü’nün merkez açıklığı 1090 m’dir (Soyluk, Kartal ve Adanur, 2013).

5.3.1. Asma köprü (Fatih Sultan Mehmet Köprüsü)

Fatih Sultan Mehmet Köprüsü, İstanbul 11. Çevreyolu üzerinde 15 Temmuz Şehitler Köprüsü’nden yaklaşık 5 km kuzeyde, Boğazın Rumeli yakasında Hisarüstü ile Anadolu yakasında Kavacık mevkiileri arasında yer almaktadır. Bu kesimde Boğazın genişliği 800 m dir. Kule ayakları arasındaki orta açıklığı 1090 m olan Fatih Sultan Mehmet Köprüsü yapıldığı tarih itibariyle dünyadaki benzer köprüler arasında altınca durumdaydı. Köprüde uygulanan aerodinamik kutu şeklindeki asılı tabliye tasarımı, ilk olarak Freeman Fox adlı Partners Müşavirlik Mühendislik Firması tarafından geliştirilmiş ve sırası ile 1966, 1973 ve 1981 yıllarında yapımları tamamlanan Severn (orta açıklık 988 m), 15 Temmuz Şehitler (orta açıklık 1074 m), Humber (orta açıklık 1410 m) köprülerinde kullanmışlardır. Kule temelleri Boğaz’ın iki yakasındaki yamaçlara yerleştirilmiş olup, kuleler hemen hemen tabliye mesnet seviyesinden başlamaktadır. Köprünün deniz trafiği için düşey gabarisini uluslararası denizcilik standartlarına uygun olarak Boğaziçi Köprüsündeki gibi 64 m olarak almışlardır.

Projede aşamasında köprünün maruz kalacağı çeşitli yükler dikkate alınmıştır. Köprü açıklığı 360 m'den fazla olduğundan ağır vasıta şeridinde “Karayolları Yol Köprüleri Teknik Şartnamesinde” H30 S24 yük sınıfına tekabül eden eşdeğer yayılı yük 9 kN/m olarak alınmıştır. Her iki yönde ikişer şeridi ağır vasıta trafiğinin işgal edeceği ve diğer ikişer şeridin bu eşdeğer yükün 1/3'ü kadar hafif vasıta yükü ile yükleneceği kabul edilmiştir. Eşdeğer yayılı yükle birlikte ağır vasıta şeritleri için 240 kN; hafif vasıta şeritleri için 80 kN çizgisel yük hesaba katılmıştır. Köprünün projelendirilmesinde, köprüden standart yükler dışındaki araçların da geçebileceği göz önüne alınmıştır. Bu araçlar; 30,5 m aralıklarla hareket eden 1335 kN ağırlıktaki Tanklar (Tip A), 30,5 m aralıklarla hareket eden 1512 kN ağırlıktaki Treylerler (Tip B) ve 1800 kN ağırlıktaki tek araçlardır (Tip C). Köprü 45 m/sn (160 km/sa) hızındaki rüzgara göre projelendirilmiştir. Deprem hesaplarında deprem ivmesi yatayda 0,1 g, düşeyde 0,05 g olarak alınmıştır.

Köprünün iki ucunda taşıyıcı ana kablolardan gelen çekme yüklerini kaya zemine aktaran planda 50 m x 60 m boyutunda ve 35 m kadar derinlikte masif betonarme birer ankraj bloku yer almaktadır. Ankraj bloklarının içinde kabloların tesbit edildiği birer oda mevcuttur. Kablolar bu odalar girerken 36 adet büklüme ayrılmakta ve her bir büklüm ayrı ayrı tesbit edilerek daha geniş bir yüzeye yayılmaktadır.

Köprü kule temelleri planda 14 m x 18 m boyutunda ve ortalama 6 m yüksekliğindedir; ancak zemin durumuna göre yer yer kademeli olarak proje kotundan 20 m daha derine inmişlerdir. Temellerin üzerinde 14 m ye varan yükseklikte betonarme kaideler yer almakta ve çelik kuleler 5 m kadar bu kaidelerin içine ankre edilmiştir.

Köprünün ana bloklarına mesnet teşkil eden kuleler temel betonu üst kotundan itibaren 102,10 m yüksekliğinde olup, yüksek mukavemetli berkitmeli çelik panellerin birbirine bulonlanarak birleştirilmesi suretiyle 8 kademe halinde monte edilmiştir. Montajda 450 tonluk ve 650 tonluk kreynler kullanılmıştır. Kulelerin boyutları tabanda 5,00 x 4,00 m, tepede ise 3,00 x 4,00 m'dir. Düşey kuleler ikişer adet yatay kiriş ile birbirine bağlanmış olup köprünün taşıyıcı ana kabloları, her bir kulenin en üstünde yer alan kablo semeri üzerinden geçirilmiştir.

Köprünün ana kabloları gel-git çekim metodu ile teşkil edilmiş, her seferinde ve bir doğrultuda 4 tel taşıyan kasnağın özel düzenlemeleri 4 m/sn gibi çok yüksek bir hızda

çalışmasını sağlamışlardır. Her bir ana kablo, ankrajdan ankraja uzanan 32 adet büküm grubu ile ayrıca çelik kule tepesindeki semerle ankraj arasında yer alan 4 adet ek gergi bükümünden meydana gelmektedir. Her bir bükümde 504 adet ek bükümlerde ise 288 ve 264 adet çelik tel bulunmaktadır. Teller, çapı 5,38 mm olup galvanizli yüksek mukavemetli çeliktir. Ana kablolar tam boşluksuz kesit itibari ile % 78 oranında sıkıştırılarak dairesel şekle getirilmiştir. Tabliyelerin asılmasından sonra ana kablolarla sülyen boya sürülmesi ve üzerine 4 mm çapında galvanizli yumuşak çelik tel sarılması işlemleri yapılmıştır. Sargı telleri üzerine bir kat astar olmak üzere kauçuk esaslı 3 kat boya uygulanmıştır. Nihai durumda ana kablo çapı orta açıklıkta 0,77 m kenar açıklıklarda ise 0,80 m olmuştur (İnternet: 3, 2017).

Boyutlar ve miktarlarla ilgili özet bilgiler;

- Orta açıklık: 1 090 m
- Ankrajlar arası uzunluk: 1 510 m
- Deniz seviyesi üstündeki gabari: 64 m
- Taşıt yolu: (2 x 4) trafik şeridi ve yaya yolları
- Tabliye genişliği (yaya yolu dahil): 39,40 m
- Kule yüksekliği (temelden itibaren): 107,10 m
- Kule kesiti (tabanda): 5,00 m x 4,00 m
- Kule kesiti (tepede): 3,00 x 4,00 m
- Kuleler toplam ağırlığı: 7 000 ton
- Tel çapı: 5,38 mm
- Orta açıklıkta büküm sayısı: 32
- Kule-ankraj arasında büküm sayısı: 36
- Orta açıklıkta tel sayısı (504 x 32): 16 128
- Kule ankraj arasında tel sayısı: 17 232
- Toplam tel boyu: 51 486 km
- Toplam kablo ağırlığı (Askı halatlarıyla birlikte): 9 500 ton
- Tabliye Üniteleri 55 adet x 17,92 m: 985,60 m
- 62 ünitenin toplam boyu: 1 083 m
- Tabliye yüksekliği: 3,00 m
- Tabliye çelik levha kalınlığı (üst levha): 14 mm

- Tabliye elik levha kalınlığı (alt levha): 10 mm
- Ünite ağırlıkları: 115-230 ton
- Toplam tabliye ağırlığı: 13 600 ton
- Kule temelleri beton miktarı: 20 000 m³
- Kule temelleri donatı miktarı: 1 800 ton
- Ankraj blokları beton miktarı: 110 000 m³
- Ankraj blokları donatı miktarı: 12 000 ton
- elik Malzeme Kulelerde Yüksek mukavemetli modifiye elik: JIS G 3106 GRADE SM 50 YB Modify

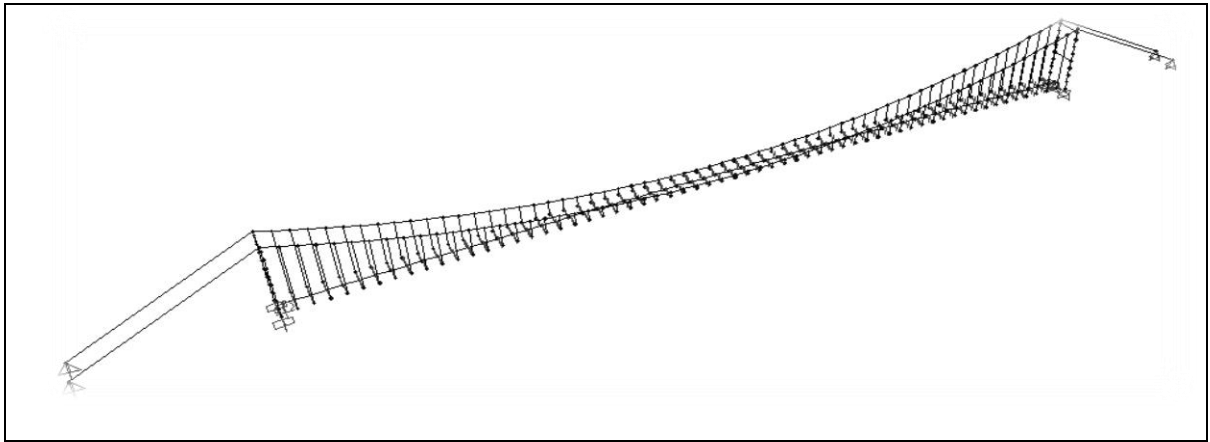
5.3.2. Asma köprü sonlu eleman modeli

Fatih Sultan Mehmet Köprüsü, ağırlığa ankrajlı; kenar açıklığı olmayan, elik kuleleri ve ikili olarak düzenlenmiş düşey askıları olan bir asma köprüdür. Kutu kesitli tabliye 33,80 m genişliğinde ve 3,00 m yüksekliğinde olup, her iki yanında 2,80 m genişliğinde konsol şeklinde yaya yolları yer almaktadır. Toplam genişlik 39,40 m'dir ve iki yönlü dört şeritli karayolunu taşımaktadır. elik kulelerin yer seviyesinden yüksekliği 110 m'dir. Askıda olan elik tabliye ortotropik, berkitmeli panellerden oluşan aerodinamik en kesitli kapalı kutu biçimindedir ve 62 üniteden oluşmaktadır. Bu üniteler yüksek mukavemetli elik, ortotropik panellerin Küçüksu montaj sahasında kaynakla birleştirilmesi sureti ile üretilmiştir. Çeşitli uzunlukta olan tabliye ünitelerinin ağırlıkları 115-230 ton arasında değişmektedir. Üniteler köprülerdeki yerlerin iz düşümlerine özel olarak yaptırılan bir şat ile birer birer denizden taşınarak getirilmiş ve kıyıdan kumandalı palanga sistemleri ile yukarı çekilerek yerlerine monte edilmiştir. Tabliye, askı halatları ile ana kabloya asılmıştır. Tabliye yolu, kulelerde temel seviyesinden 8 m yüksekliktedir. Tabliyenin kule ayaklarındaki hareketini sınırlamak amacı ile A şeklinde elik pandül (rocker) mesnetler kullanılmıştır. Deplasmanların maksimum olduğu tabliye uçlarında yol yüzeyinin sürekliliği özel genleşme derzleri ile sağlanmıştır. Tabliye kule birleşimi, tabliyenin köprü eksenine doğrultusundaki ötelenmesi ile enine doğrultudaki dönmesine imkan verecek şekilde düzenlenmiştir. Askılar tabliye ve kabloları mafsallı olarak bağlanmaktadır (Apaydın, 2010). FSM Köprüsü'nün gerçekçi deprem analizi için üç boyutlu bir analitik model dikkate alınmıştır (şekil 5.14).

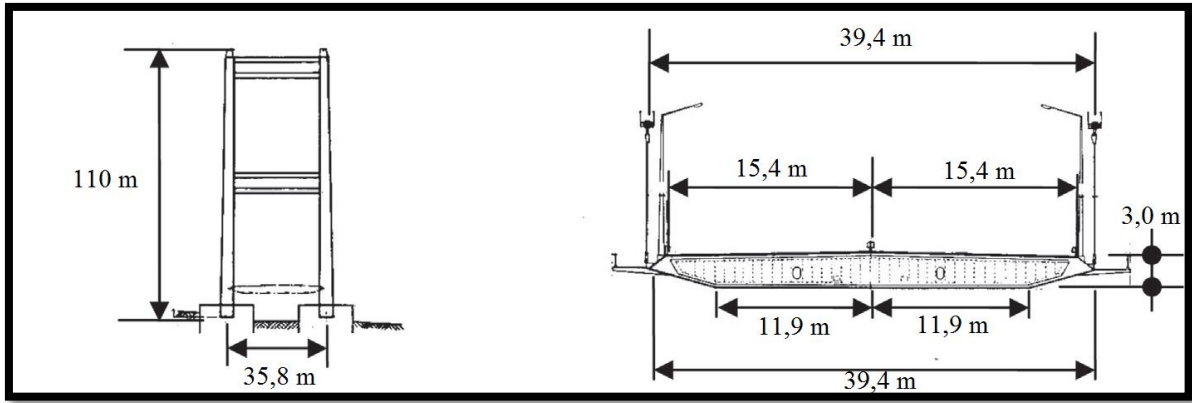
FSM Köprüsü'nün sonlu eleman modelinde köprü tabliyesi, kuleler ve kablolar çubuk elemanlarla modellenirken askılar kafes elemanlarla modellenmiştir. Köprü modelinin sonlu eleman modeli 346 düğüm noktası, 227 çubuk elemanı, 120 rijit bağlantı elemanı ve 120 kablo elemanından oluşmaktadır. Tabliye geometrisi rijit bağlantı elemanları vasıtasıyla modellenmiştir. Kütlesiz bağlantı elemanları, rijit cisim davranışını sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Seçilen sonlu eleman modeli 2048 serbestlik dereceli sistem olarak tanımlanmıştır ve hesaplarda %2 sönüm oranı kullanılmıştır. Gergi halatı, ana kablo ve askılar için P-delta etkisi tanımlanmıştır (Soyluk ve diğerleri, 2013).



Resim 5.4. Fatih Sultan Mehmet Köprüsü (İnternet: 4, 2017)



Şekil 5.14. Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'nün üç boyutlu sonlu eleman modeli



Şekil 5.15. Fatih Sultan Mehmet Köprüsü kule ve tabliye kesiti (Freeman, Fox ve Partners, 1988)

5.3.3. Eğik kablo askılı köprü (Tatara Köprüsü)

Tatara Köprüsü Japonya’da Ikuchijima Adası ile Ohmishima Adası’nı birbirine bağlayan ve yapıldığı 1999 yılında 1480 m ile dünyanın en uzun eğik kablo askılı köprü ünvanına sahip köprüdür. İlk olarak asma köprü olarak yapılması planlanan Tatara Köprüsü’nü ulusal park alanını çevreleyen bir bölgede yapılacak olması ve asma köprü’nün ankrajlarının çevreye zarar vereceği düşüncesiyle eğik kablo askılı köprü olarak tasarlanmıştır (Wilson, 2009). Köprü’nün toplam genişliği 30,6 m, gövde yüksekliği ise 2,7 m’dir. Toplam ağırlığı yaklaşık 37 000 ton olan köprü’nün yaklaşık 25 000 ton ağırlığını çelik oluşturmaktadır.

Boyutlar ve miktarlarla ilgili özet bilgiler (Yabuna ve diğerleri, 2003);

- Köprü tipi: Üç açıklıklı kompozit eğik kablo askılı köprü
- Köprü uzunluğu: 1480 m
- Açıklık uzunluğu: 270 m + 890 m + 320 m
- Tasarım hareketli yükü: B hareketli yük
- Yol özelliği: Kategori 1, Sınıf 3
- Tasarım hızı: 80 km/sa
- Şerit sayısı: 4 şerit (9,5 m x 2) + yürüme yolu (2,5 m x 2)
- Ana Kule şekli: Ters Y
- Ana Kule yüksekliği: 220 m
- Tabanda Ana Kule Kesit boyutu: $12^{TT} \times 8,5^{LL}$ (TT: Köprü aksına dik yönde)
- Üstte Ana Kule Kesit boyutu: $6^{TT} \times 6^{LL}$ (LL: Köprü aksı yönde)

- Çelik kiriş kesiti: 3 hücre çelik kutu kiriş
- Öngerilmeli beton kiriş kesiti: 3 hücre öngerilmeli beton kutu kiriş
- Ana kiriş yüksekliği: 2,7 m
- Ana kiriş toplam genişliği: 30,6 m
- Ana kiriş dış kenar gövde mesafesi: 21,8 m
- Ana kiriş kablo ankraj genişliği: 23 m
- Kablo şekli: İki düzlem 21 seviye şerbetsiz PWS (ϕ 7 mm toron)
- Yol kaplama tipi: Asfalt
- Anayol çelik kiriş kesitte yol kaplaması: 65 mm
- Anayol öngerilmeli beton kiriş kesitte yol kaplaması: 75 mm
- Yürüme yolu yol kaplaması: 30 mm
- Çelik kiriş kesitteki tabliye döşeme şekli: Çelik plaka tabliye
- Öngerilmeli beton kiriş kesitte tabliye döşeme şekli: Öngerilmeli beton döşeme
- Öngerilmeli beton kiriş elemanların standart tasarım dayanımı: 24 N/mm^2
- Kablo torono emniyet gerilmesi: 640 N/mm^2

5.3.4. Eğik kablo askılı köprü sonlu eleman modeli

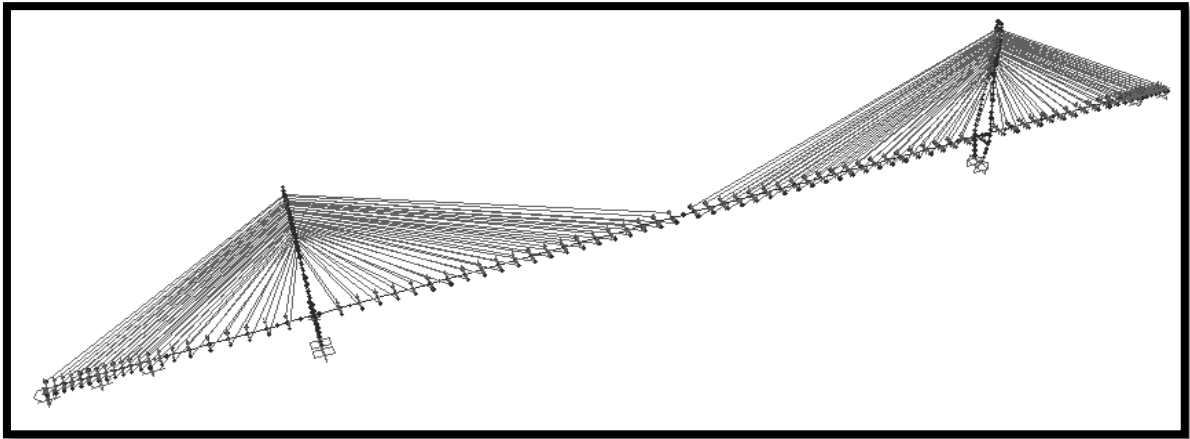
Merkez açıklığı 890 m olan Tatara Köprüsü'nün toplam uzunluğu 1480 m'dir. Kenar açıklıkları 270 m ve 320 m'dir. Köprü uzunluğu boyunca 1312 m'lik tabliye kesiti çelikten oluşmaktadır. Negatif reaksiyonları önlemek amacıyla 105,5 m ve 62,5 m'lik kenar açıklık kesitlerinde ön gerilmeli beton kullanılmıştır. Ana kule uzunluğu 220 m'dir ve ters Y şeklinde tasarlanmıştır. 21 seviyede monte edilen kablolar iki düzlemlidir. Sonlu eleman analizinde üç boyutlu analitik model dikkate alınmıştır (Şekil 5.16).

Sonlu eleman modelinde 450 düğüm noktası, 283 çubuk elemanı, 168 kafes elemanı ve 168 rijit bağlantı elemanı kullanılmıştır. Köprü tabliyesi ve kuleleri çubuk elemanlarla tanımlanmıştır. Kablolar ise kafes eleman olarak tanımlanmıştır. Kutu kesitli tabliye, tabliyenin ortasından geçen eşdeğer kiriş elemanı ile modellenmiştir. Tabliyenin her bir kablo bağlantı noktasında, kabloların tabliye merkezinden olan mesafelerini uygun şekilde dikkate alabilmek amacıyla, tabliye eksenine dik olacak şekilde yatay yönde rijit bağlantı elemanları yerleştirilmiştir. Kablolar rijit bağlantı elemanlarının dış noktalarına bağlanmıştır. Eşdeğer kiriş elemanları ve rijit bağlantı elemanlarının asıl görevi rijitlik

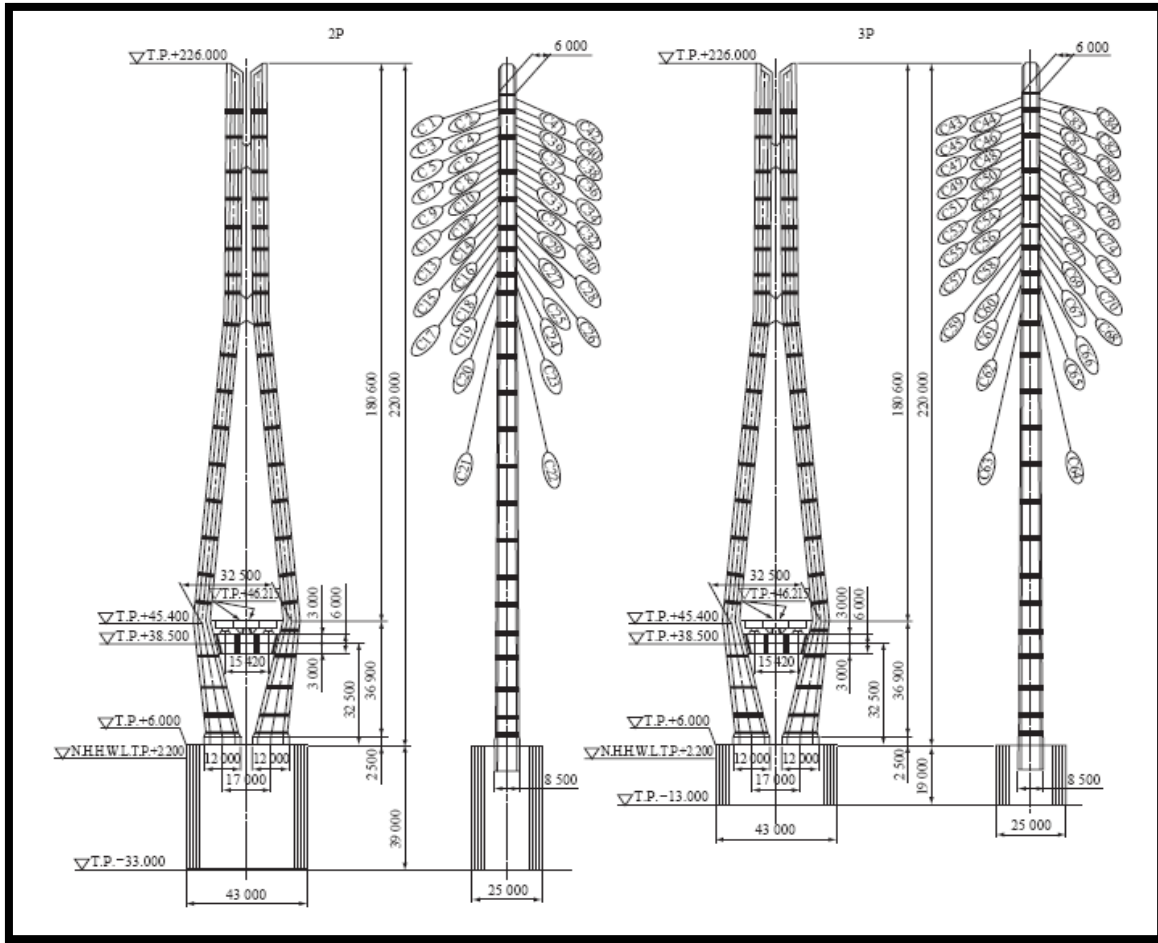
sağlamak olduğundan kütesiz olarak modellenmiştir (Wilson ve Gravelle, 1991). Tabliyenin kütlesi her bir rijit bağlantı elemanlarının dış uç noktasında toplanmıştır. Rijit bağlantı elemanları aynı zamanda tabliye çubuk elemanları ile kule çubuk elemanlarının birleşim noktalarında da kullanılmıştır. Bu bağlantı elemanları yatayda ve düşeyde sabit olup köprünün boyuna yönünde 20000 kN/m’lik rijitliğe sahiptir. Eşdeğer elastisite modülü kullanılarak kabloların doğrusal olmayan davranışları göz önünde bulundurulmuştur.



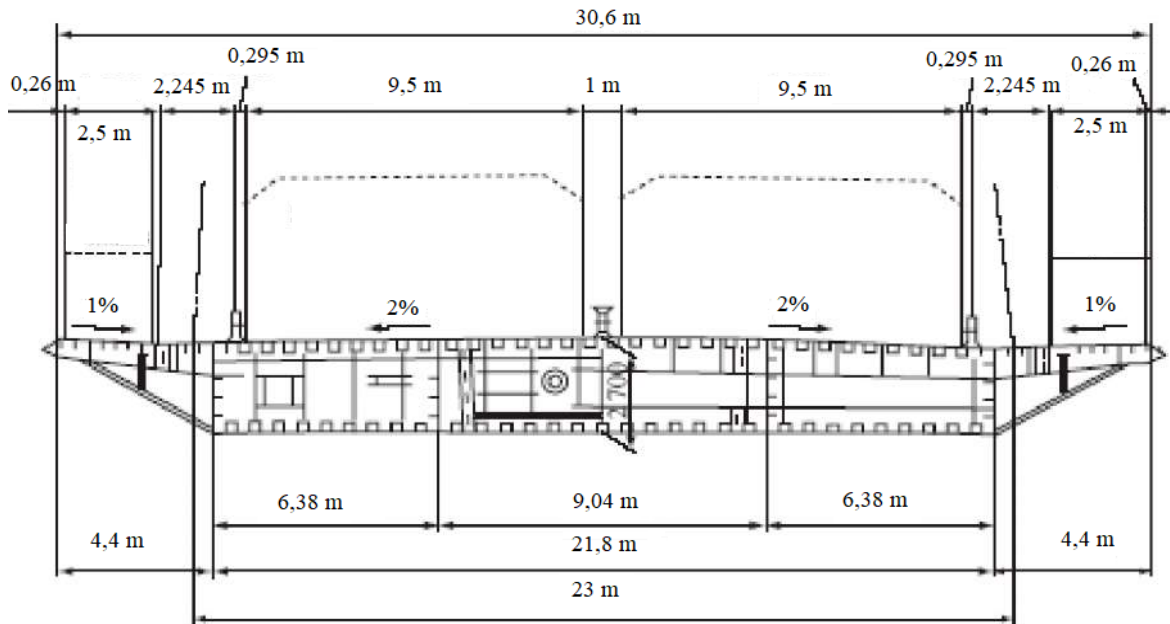
Resim 5.5. Tatar Köprüsü (İnternet: 5, 2017)



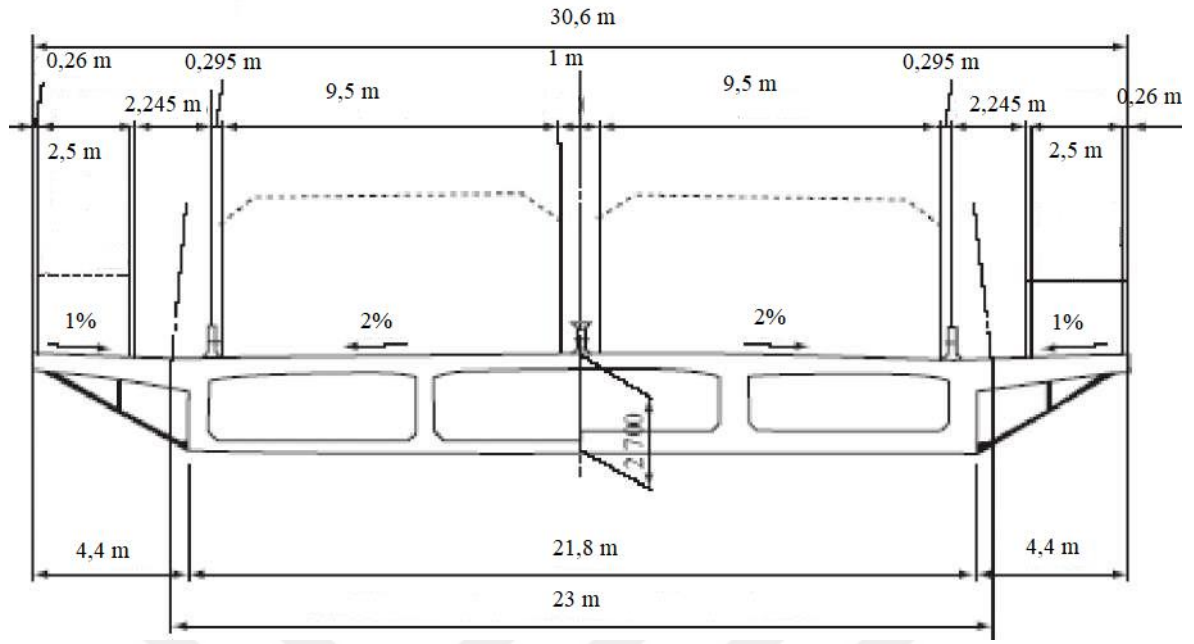
Şekil 5.16. Tatar Köprüsü’nün üç boyutlu sonlu elaman modeli



Şekil 5.17. Tatar Köprüsü kule kesitleri (Yabuna, Fujiwara, Sumi, Nose ve Suzuki, 2003)



Şekil 5.18. Tatar Köprüsü çelik tabliye enkesiti (Yabuna ve diğerleri, 2003)



Şekil 5.19. Tatara Köprüsü öngerilmeli beton enkesiti (Yabuna ve diğerleri, 2003)

6. SEÇİLEN YER HAREKETLERİ

6.1. Yer Hareketlerinin Seçimi

Darbe etkisi yakın fay yer hareketinin en önemli ayırt edici özelliğidir. Yakın fay yer hareketleri, yüksek enerjili yer hareketlerinin başlangıç safhasında yüksek darbe özellikleri göstermektedir ve darbe süresi genellikle 1 sn'den büyüktür. Son zamanlarda kaydedilmiş olan yer hareketlerinden Kobe 1995, Kocaeli 1999, Chi-Chi 1999 ve Düzce 1999 depremleri yakın fay yer hareketlerinin özelliklerini göstermektedir.

Tez çalışmasında kullanmak üzere bu dört deprem hareketi seçilmiştir. Pacific Earthquake Engineering Research Center (İnternet: 6, 2017) üzerinden kullanıcılara sunduğu deprem verilerinden faydalanılmıştır. Deprem verilerinin MÜLSAP yapısal analiz programına uygun formata dönüştürmek için MATLAB bilgisayar programında kod yazılarak her saniyeye karşılık gelen deprem verilerinin sıralaması yapılmıştır. Böylece gerçekçi analiz için verilerin doğru kullanımı sağlanmıştır.

Yakın fay yer hareketi özelliklerine sahip deprem kayıtlarını saptarken izlenen yol aşağıdaki gibidir;

1. Deprem kayıt istasyonunun faya uzaklığı 10 km'den küçük olmalıdır.
2. Deprem kayıtlarının hız-zaman grafiklerinden elde edilen darbe süreleri 1 sn'den büyük olmalıdır.
3. Maksimum yer hızının, maksimum yer ivmesine oranı (PGV/PGA) 0,1 sn'den büyük olmalıdır.

UBC-1997'de fay düzleminin yüzey izdüşümünün 10 km ve daha büyük derinlikteki sismik kaynakları kapsamına gerek görülmediği belirtilmiştir. Ayrıca, Alavi ve Krawinkler (2001), Cox ve Ashford (2002) ve Adanur ve diğerleri (2012) yakın fay yer hareketi kriterlerinden olan deprem kayıt istasyonunun faya uzaklığını 10 km olarak dikkate almışlardır.

Yukarıdaki kriterler dışında, deprem kayıt istasyonunun faya uzaklığı 10 km'den büyük olan, hız-zaman grafiklerinde darbe etkisi görülmeyen, PGV/PGA değeri 0,1 sn'den küçük olan deprem kayıtları uzak fay yer hareketi kaydı olarak nitelendirilmektedir.

Dört depremin yakın fay deprem kayıtlarının yanı sıra uzak fay deprem kayıtları da dahil olmak üzere toplamda 1494 veri incelenmiştir. Chi-Chi Depremi'nde kullanmak için TCU050 ve TCU054 yakın fay darbeleri deprem kayıtları, TCU089 yakın fay darbesiz deprem kaydı, HWA032 uzak fay deprem kaydı seçilmiştir. Düzce Depremi'nde kullanmak için 1058 ve 531 yakın fay darbeleri deprem kayıtları, 498 yakın fay darbesiz deprem kaydı, BOLU uzak fay deprem kaydı seçilmiştir. Düzce Depremi'nde uzak fay deprem kayıtlarının kısıtlı olması nedeniyle BOLU deprem kaydının en uygun uzak fay kaydı olabileceğine kanaat getirilmiştir. Kobe Depremi'nde kullanmak için PRI ve KBU yakın fay darbeleri deprem kayıtları, NIS yakın fay darbesiz deprem kaydı, CHY uzak fay deprem kaydı seçilmiştir. Kocaeli Depremi'nde kullanmak için ise YPT ve IZT yakın fay darbeleri deprem kayıtları, ERG uzak fay deprem kaydı seçilmiştir. Yakın fay deprem kayıtları arasında darbesiz bir deprem kaydına rastlanmamıştır.

Yakın fay ve uzak fay yer hareketlerinden elde edilen sonuçları uygun bir şekilde karşılaştırmak için ivme deprem kayıtlarının enine, boyuna ve düşey bileşenleri normalize edilmiştir. Yapılan normalizasyonlar Çizelge 6.1'de tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 6.1. Deprem kayıtları için yapılan normalizasyonlar

Depremler	Normalizasyon		
	Enine Yön	Boyuna Yön	Düşey Yön
Chi-Chi	0,35 g	0,35 g	0,20 g
Düzce	0,40 g	0,35 g	0,20 g
Kobe	0,55 g	0,50 g	0,40 g
Kocaeli	0,20 g	0,30 g	0,20 g

Seçilen deprem kayıtlarının özellikleri Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3'te yakın fay ve uzak fay deprem kayıtları için ayrı ayrı verilmiştir. Çizelgelerde kullanılan kısaltmaların açıklamaları simgeler ve kısaltmalar bölümünde verilmiştir.

Çizelge 6.2. Yakın fay yer hareketlerinin özellikleri

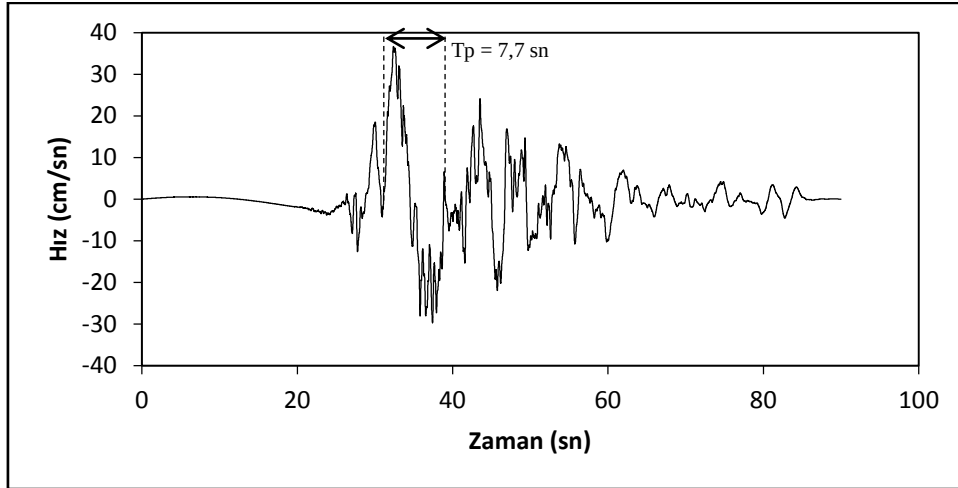
Deprem Kaydı	M _w	d (km)	PGA (g)	PGV (cm/sn)	PGV/PGA (sn)	T _p (sn)	Fay Mekanizması	Etki
Chi-Chi, TCU050, DB	7,62	9,49	0,14	36,67	0,27	7,7	TV	İY
Chi-Chi, TCU050, KG	7,62	9,49	0,13	43,28	0,34	7,8	TV	İY
Chi-Chi, TCU050, D	7,62	9,49	0,09	42,14	0,48	4,7	TV	İY
Chi-Chi, TCU054, DB	7,62	5,28	0,15	46	0,31	9,2	TV	İY
Chi-Chi, TCU054, KG	7,62	5,28	0,19	41,4	0,22	5,8	TV	İY
Chi-Chi, TCU054, D	7,62	5,28	0,13	30,13	0,24	5,7	TV	İY
Chi-Chi, TCU089, DB	7,62	9	0,35	34,97	0,1	Darbesiz	TV	Etkisiz
Chi-Chi, TCU089, KG	7,62	9	0,23	33,13	0,15	Darbesiz	TV	Etkisiz
Chi-Chi, TCU089, D	7,62	9	0,19	21,02	0,11	Darbesiz	TV	Etkisiz
Düzce, 1058, KG	7,14	0,21	0,08	14,28	0,18	6,1	YA	İY
Düzce, 1058, DB	7,14	0,21	0,11	15,81	0,15	2,9	YA	İY
Düzce, 1058, D	7,14	0,21	0,07	15,21	0,22	3,7	YA	İY
Düzce, 531, KG	7,14	8,03	0,16	10,87	0,07	4,8	YA	İY
Düzce, 531, DB	7,14	8,03	0,12	13,4	0,11	2,7	YA	İY
Düzce, 531, D	7,14	8,03	0,06	8,84	0,15	7,1	YA	İY
Düzce, 498, KG	7,14	3,58	0,4	24,15	0,06	Darbesiz	YA	Etkisiz
Düzce, 498, DB	7,14	3,58	0,35	25,22	0,07	Darbesiz	YA	Etkisiz
Düzce, 498, D	7,14	3,58	0,18	17,69	0,1	Darbesiz	YA	Etkisiz
Kobe, PRI, KG	6,9	3,31	0,35	90,62	0,26	2,2	YA	İY
Kobe, PRI, DB	6,9	3,31	0,29	51,11	0,18	2,7	YA	İY
Kobe, PRI, D	6,9	3,31	0,57	62,08	0,11	2,3	YA	İY
Kobe, KBU, KG	6,9	0,92	0,27	55,27	0,21	2,4	YA	İY
Kobe, KBU, DB	6,9	0,92	0,31	30,87	0,1	2,2	YA	İY
Kobe, KBU, D	6,9	0,92	0,45	18,57	0,04	1,7	YA	İY
Kobe, NIS, KG	6,9	7,08	0,48	46,8	0,1	Darbesiz	YA	Etkisiz
Kobe, NIS, DB	6,9	7,08	0,46	38,24	0,08	Darbesiz	YA	Etkisiz
Kobe, NIS, D	6,9	7,08	0,39	24,61	0,06	Darbesiz	YA	Etkisiz
Kocaeli, YPT, KG	7,51	4,83	0,23	69,68	0,31	4,4	YA	İY
Kocaeli, YPT, DB	7,51	4,83	0,32	71,85	0,23	4,7	YA	İY
Kocaeli, YPT, D	7,51	4,83	0,24	30,76	0,13	4,3	YA	İY
Kocaeli, IZT, KG	7,51	7,21	0,16	22,32	0,14	3,2	YA	İY
Kocaeli, IZT, DB	7,51	7,21	0,23	38,27	0,17	4,7	YA	İY
Kocaeli, IZT, D	7,51	7,21	0,14	12,38	0,09	3,1	YA	İY

Çizelge 6.3. Uzak fay yer hareketlerinin özellikleri

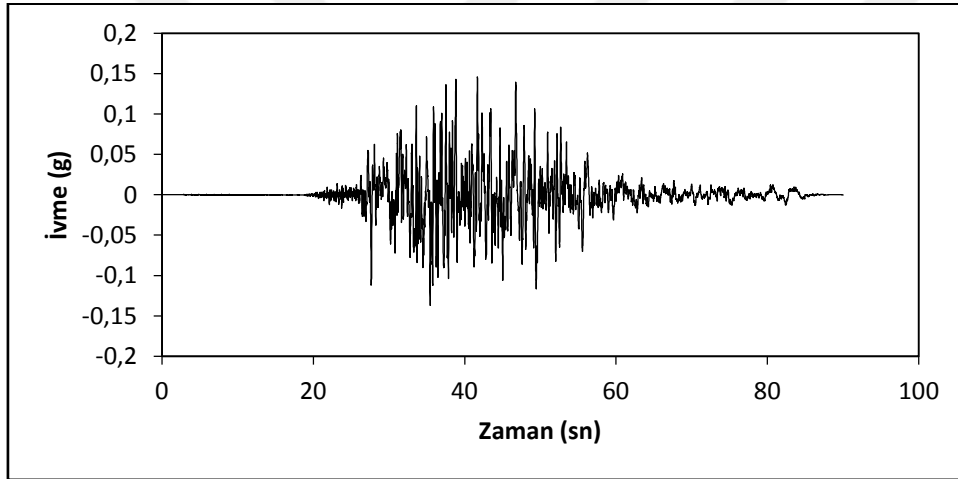
Deprem Kaydı	M _w	d (km)	PGA (g)	PGV (cm/sn)	PGV/PGA (sn)	Fay Mekanizması
Chi-Chi, HWA032, DB	7,62	47,31	0,15	8,2	0,06	TV
Chi-Chi, HWA032, KG	7,62	47,31	0,11	8,17	0,08	TV
Chi-Chi, HWA032, D	7,62	47,31	0,09	8,71	0,1	TV
Duzce, BOLU, KG	7,14	12,04	0,74	55,9	0,08	YA
Duzce, BOLU, DB	7,14	12,04	0,8	65,85	0,08	YA
Duzce, BOLU, D	7,14	12,04	0,2	23,46	0,12	YA
Kobe, CHY, KG	6,9	49,91	0,09	5,32	0,06	YA
Kobe, CHY, DB	6,9	49,91	0,11	4,12	0,04	YA
Kobe, CHY, D	6,9	49,91	0,07	2,43	0,04	YA
Kocaeli, ERG, KG	7,51	142,29	0,09	16,63	0,19	YA
Kocaeli, ERG, DB	7,51	142,29	0,1	10,91	0,11	YA
Kocaeli, ERG, D	7,51	142,29	0,06	3,98	0,07	YA

6.2. Chi-Chi Depremi

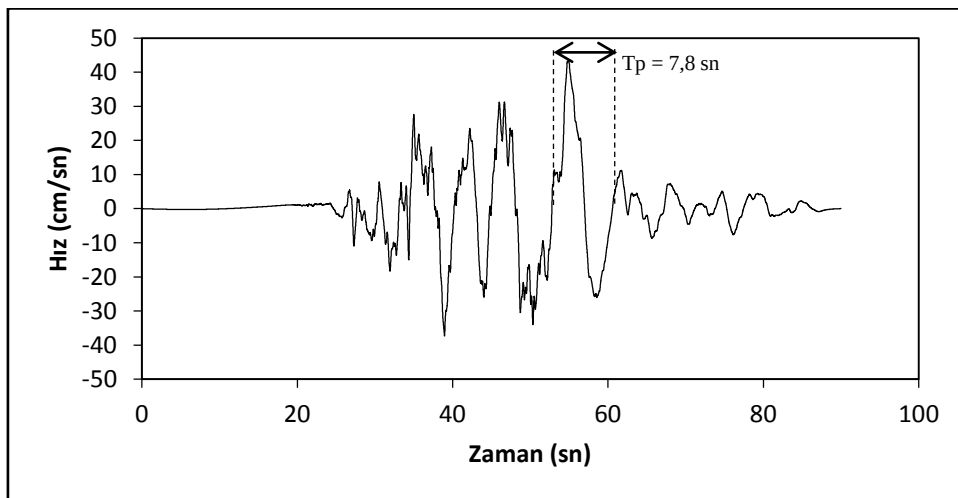
Yakın fay darbeli yer hareketini gösteren Chi-Chi TCU050 deprem kaydının üç bileşendeki hız-zaman grafikleri incelendiğinde darbe etkileri açıkça gözlenmektedir. Bu darbe etkileri deprem kaydının başlangıç aşamasında belirlediği için, deprem kayıtlarının ileri yönelme etkisi altında olduğu anlaşılmaktadır. Chi-Chi TCU050 deprem kaydının doğu-batı doğrultusundaki bileşeninin darbe süresi 7,7 sn, kuzey-güney doğrultusundaki bileşeninin darbe süresi 7,8 sn, düşey yöndeki bileşeninin darbe süresi 4,7 sn'dir. Doğubatı doğrultusundaki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,14 g ve 36,67 cm/sn, kuzey-güney doğrultusundaki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,13 g ve 43,28 cm/sn, düşey yöndeki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,09 g ve 42,14 cm/sn'dir (Şekil 6.1-6.6).



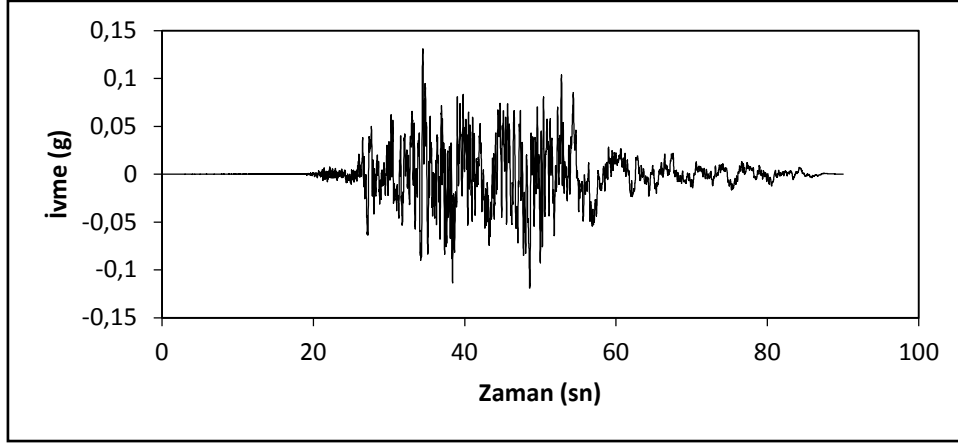
Şekil 6.1. Chi-Chi TCU050 kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği



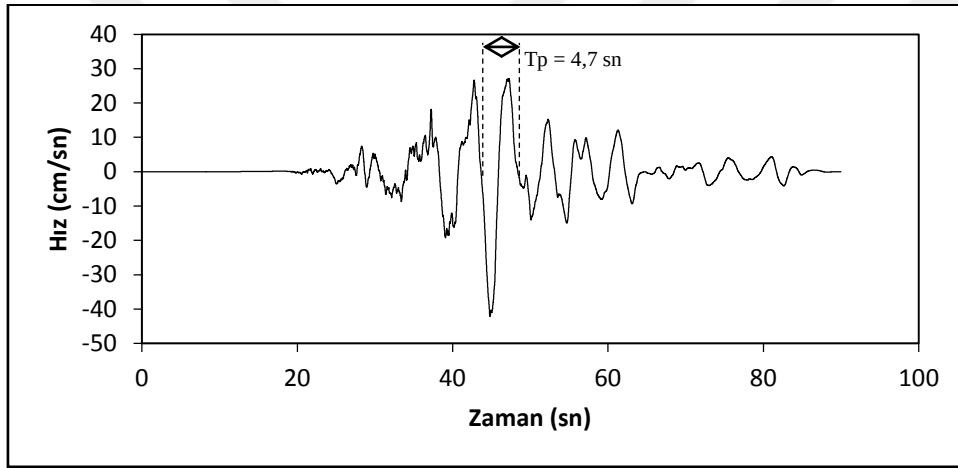
Şekil 6.2. Chi-Chi TCU050 kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği



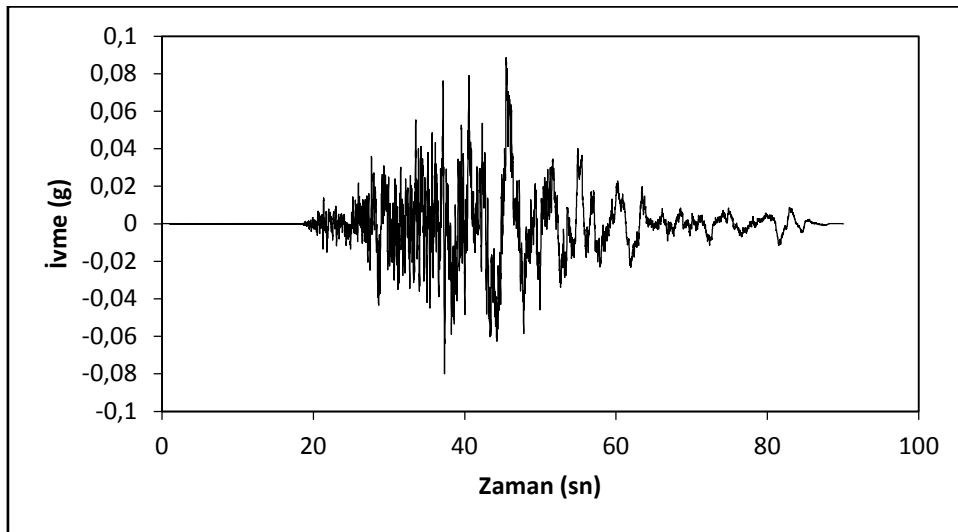
Şekil 6.3. Chi-Chi TCU050 kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği



Şekil 6.4. Chi-Chi TCU050 kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği

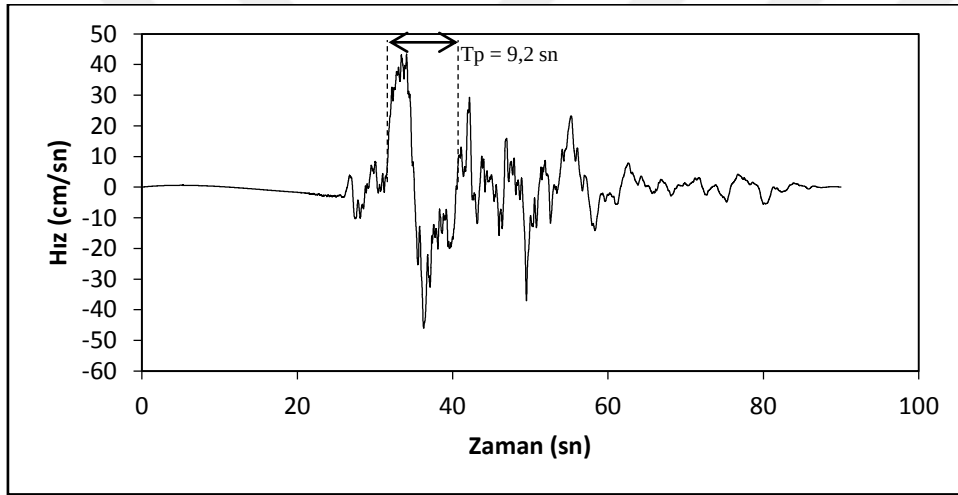


Şekil 6.5. Chi-Chi TCU050 kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği

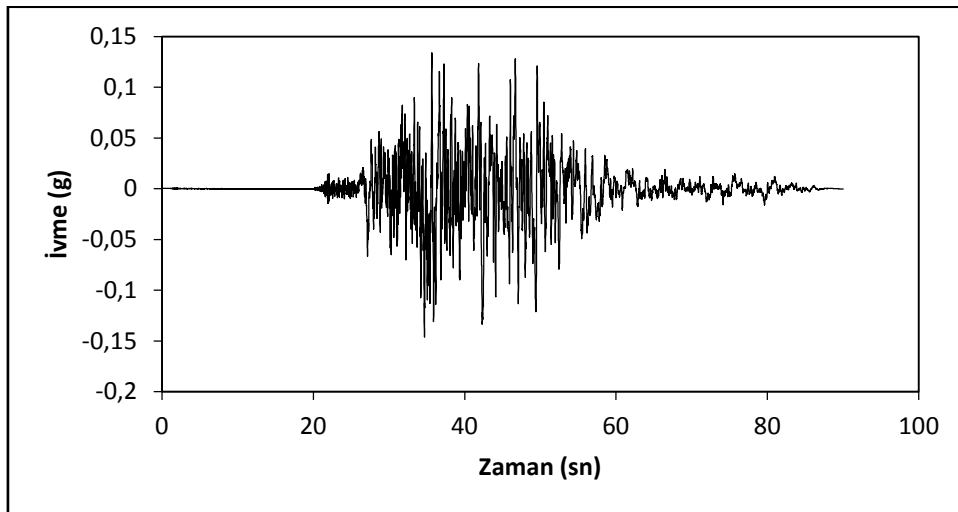


Şekil 6.6. Chi-Chi TCU050 kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği

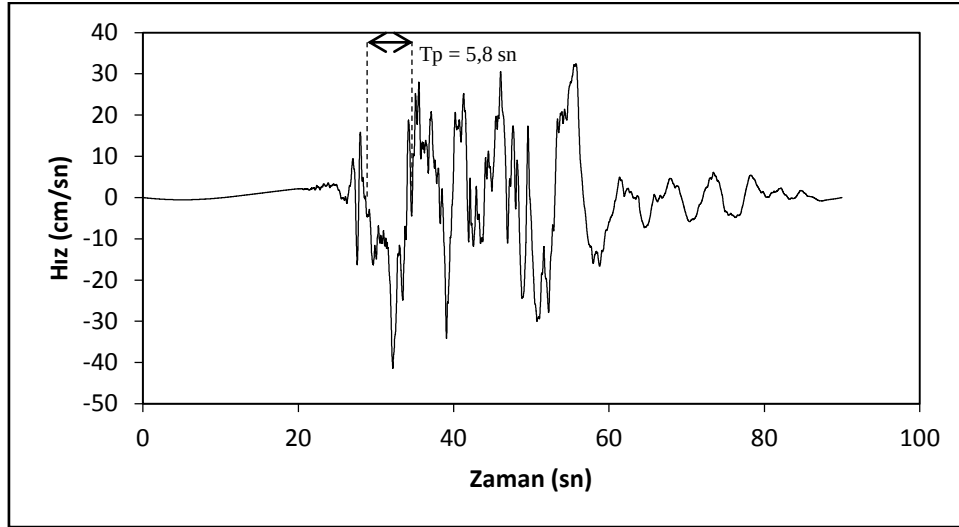
Yakın fay darbeli yer hareketini gösteren Chi-Chi TCU054 deprem kaydının üç bileşendeki hız-zaman grafikleri incelendiğinde darbe etkileri açıkça gözlenmektedir. Bu darbe etkileri deprem kaydının başlangıç aşamasında belirdiği için, deprem kayıtlarının ileri yönelme etkisi altında olduğu anlaşılmaktadır. Chi-Chi TCU054 deprem kaydının doğu-batı doğrultusundaki bileşeninin darbe süresi 9,2 sn, kuzey-güney doğrultusundaki bileşeninin darbe süresi 5,8 sn, düşey yöndeki bileşeninin darbe süresi 5,7 sn'dir. Doğubatı doğrultusundaki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,15 g ve 46 cm/sn, kuzey-güney doğrultusundaki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,19 g ve 41,4 cm/sn, düşey yöndeki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,13 g ve 30,13 cm/sn'dir (Şekil 6.7-6.12).



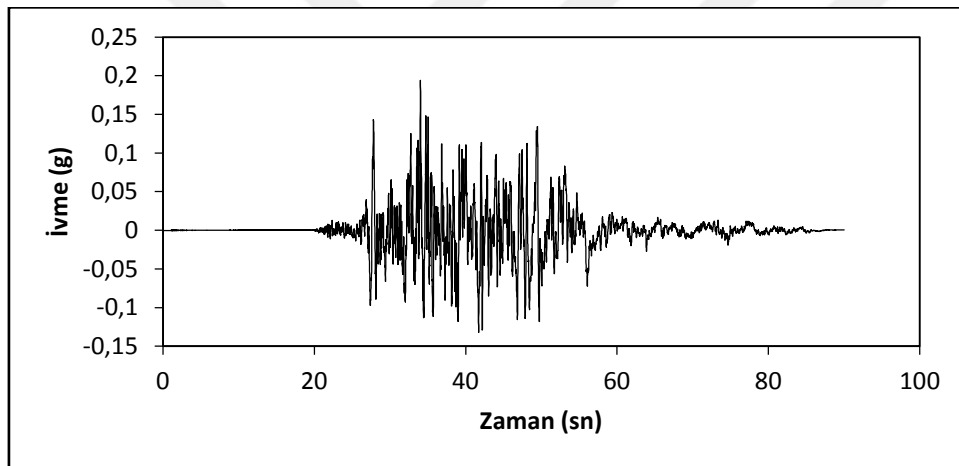
Şekil 6.7. Chi-Chi TCU054 kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği



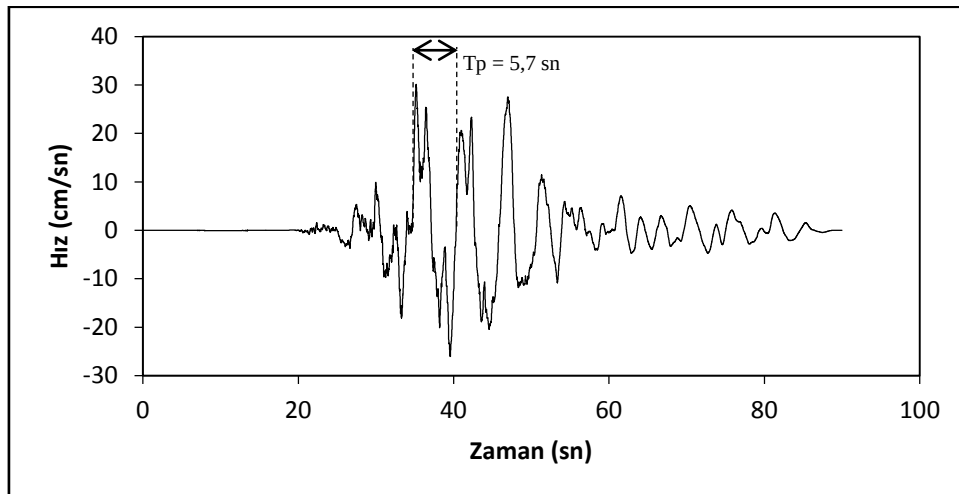
Şekil 6.8. Chi-Chi TCU054 kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği



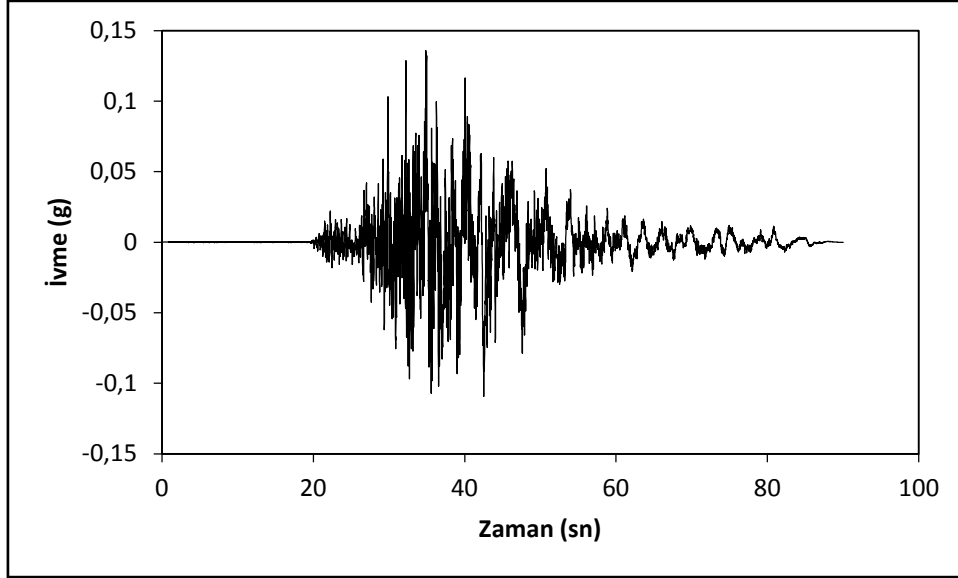
Şekil 6.9. Chi-Chi TCU054 kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği



Şekil 6.10. Chi-Chi TCU054 kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği

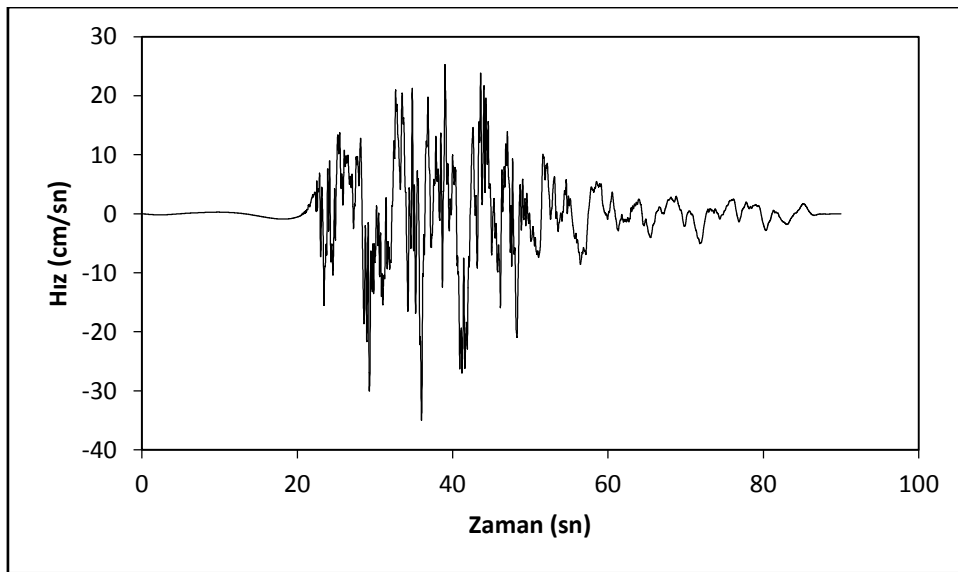


Şekil 6.11. Chi-Chi TCU054 kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği

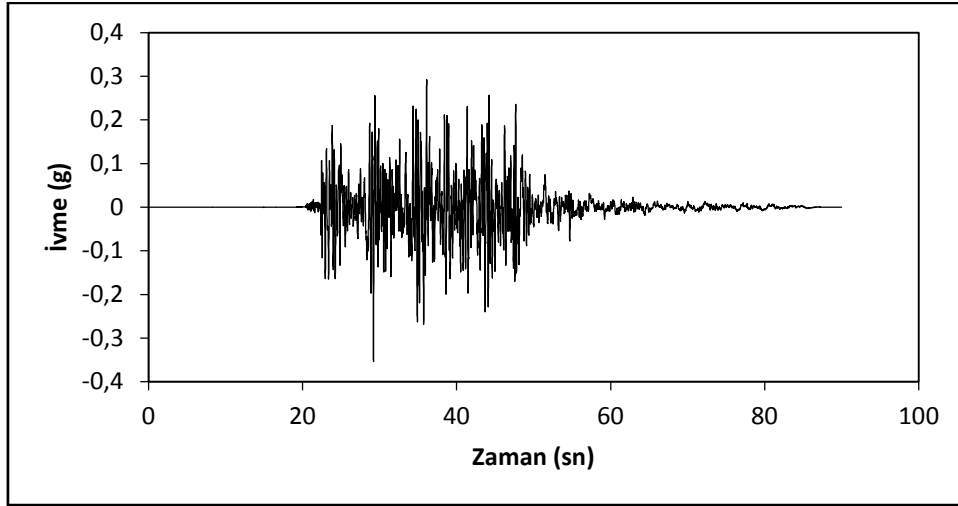


Şekil 6.12. Chi-Chi TCU054 kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği

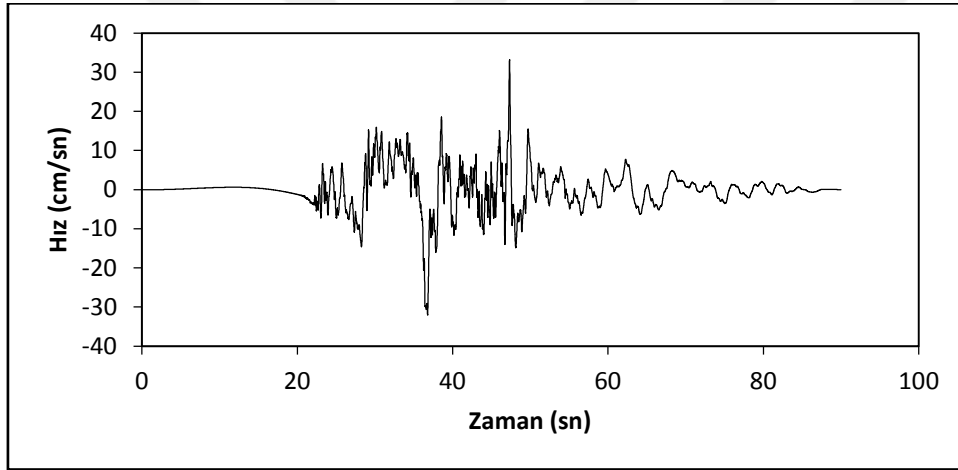
Yakın fay darbesiz yer hareketini gösteren Chi-Chi TCU089 deprem kaydının üç bileşendeki hız-zaman grafikleri incelendiğinde darbe etkileri gözlenmemektedir. Darbe etkilerinin mevcut olmaması nedeniyle deprem kayıtlarında herhangi bir yönelme etkisi de oluşmamıştır. Doğu-batı doğrultusundaki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,35 g ve 34,97 cm/sn, kuzey-güney doğrultusundaki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,23 g ve 33,13 cm/sn, düşey yöndeki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,19 g ve 21,02 cm/sn'dir (Şekil 6.13-6.18).



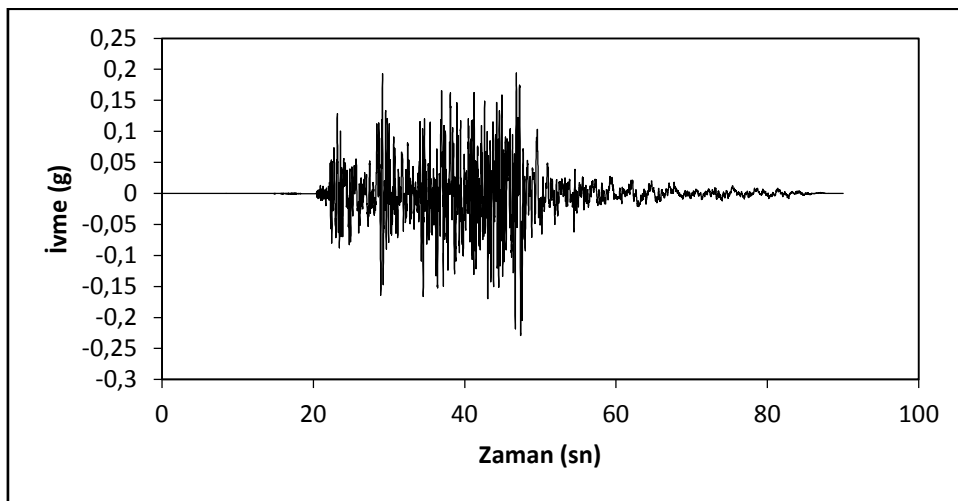
Şekil 6.13. Chi-Chi TCU089 kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği



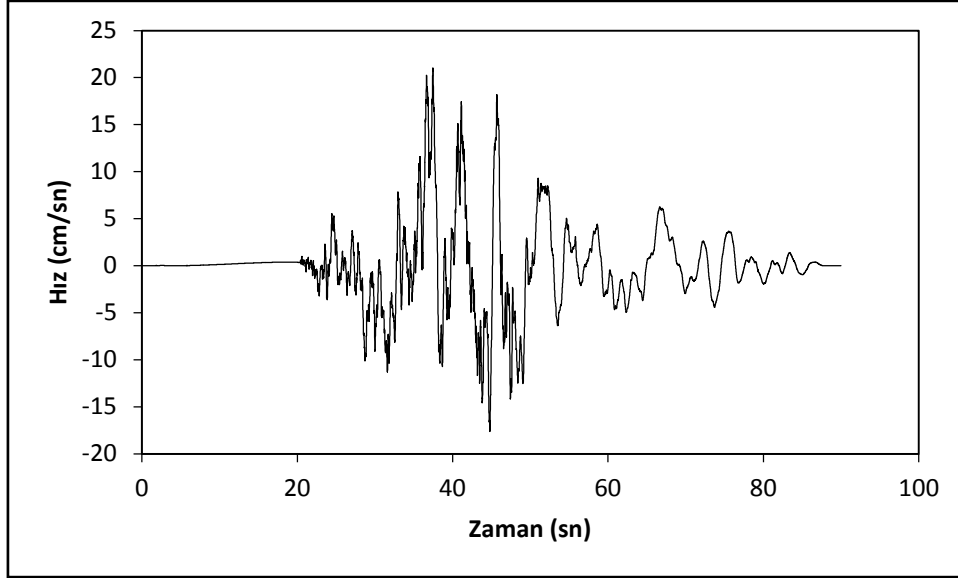
Şekil 6.14. Chi-Chi TCU089 kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği



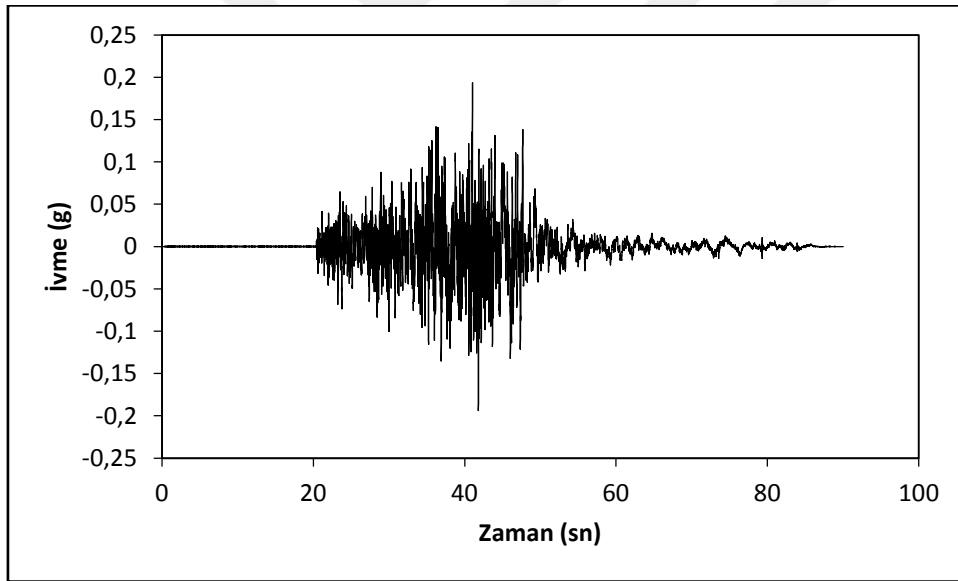
Şekil 6.15. Chi-Chi TCU089 kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği



Şekil 6.16. Chi-Chi TCU089 kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği

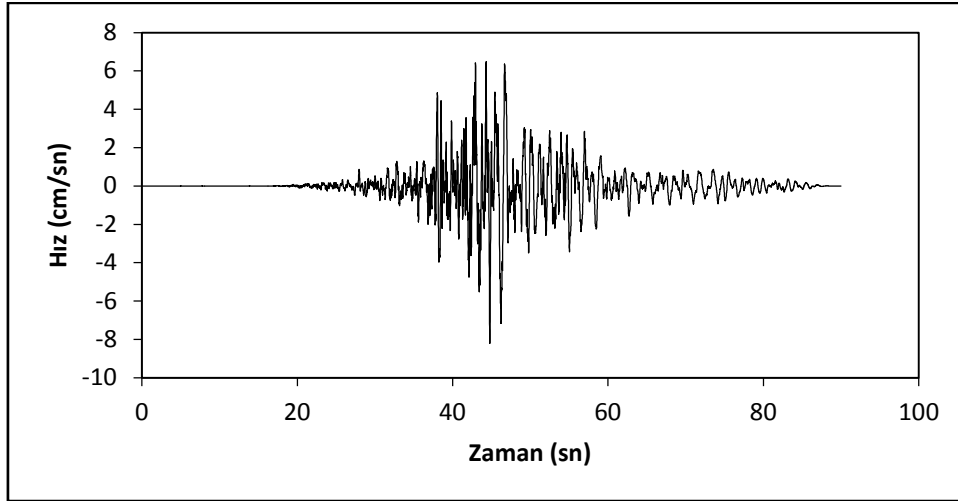


Şekil 6.17. Chi-Chi TCU089 kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği

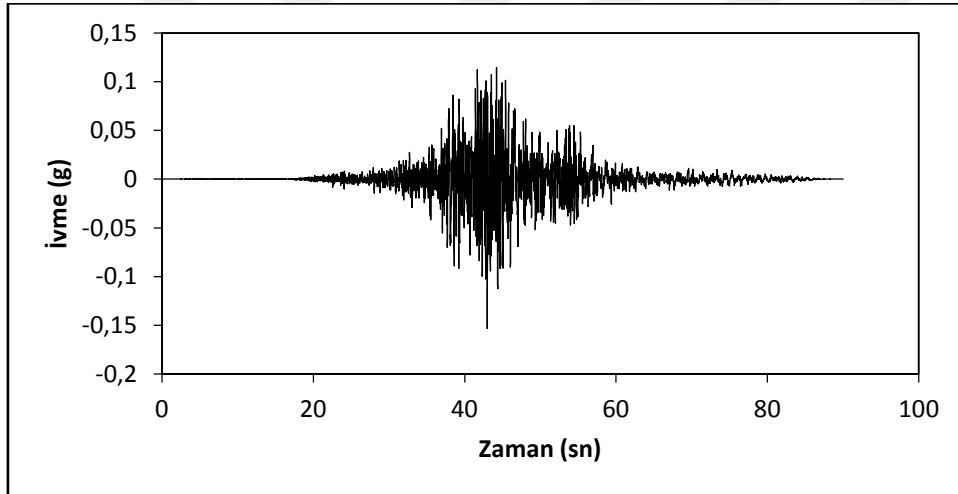


Şekil 6.18. Chi-Chi TCU089 kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği

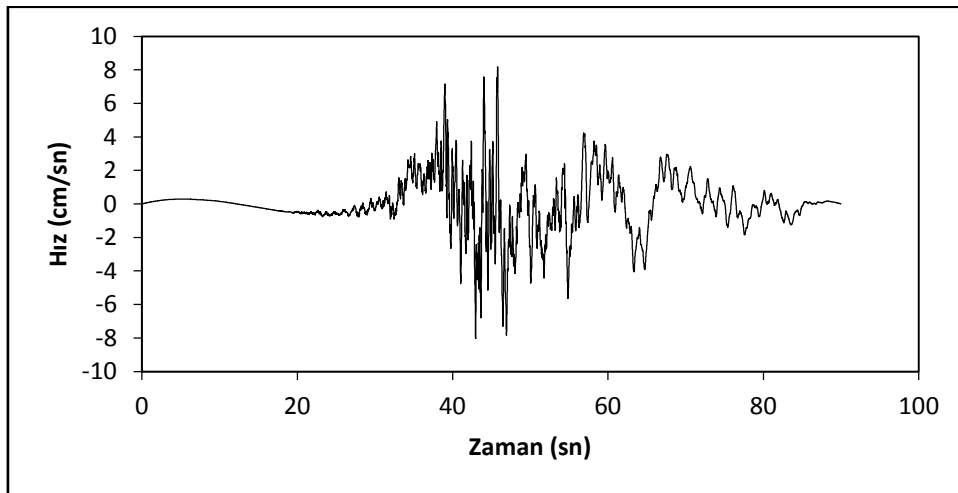
Uzak fay yer hareketini gösteren Chi-Chi HWA032 deprem kaydının üç bileşendeki hız-zaman grafikleri incelendiğinde darbe etkileri gözlenmemektedir. Darbe etkilerinin mevcut olmaması nedeniyle deprem kayıtlarında herhangi bir yönelme etkisi de oluşmamıştır. Doğu-batı doğrultusundaki bileşenin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,15 g ve 8,2 cm/sn, kuzey-güney doğrultusundaki bileşenin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,11 g ve 8,17 cm/sn, düşey yöndeki bileşenin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,09 g ve 8,71 cm/sn'dir (Şekil 6.19-6.24).



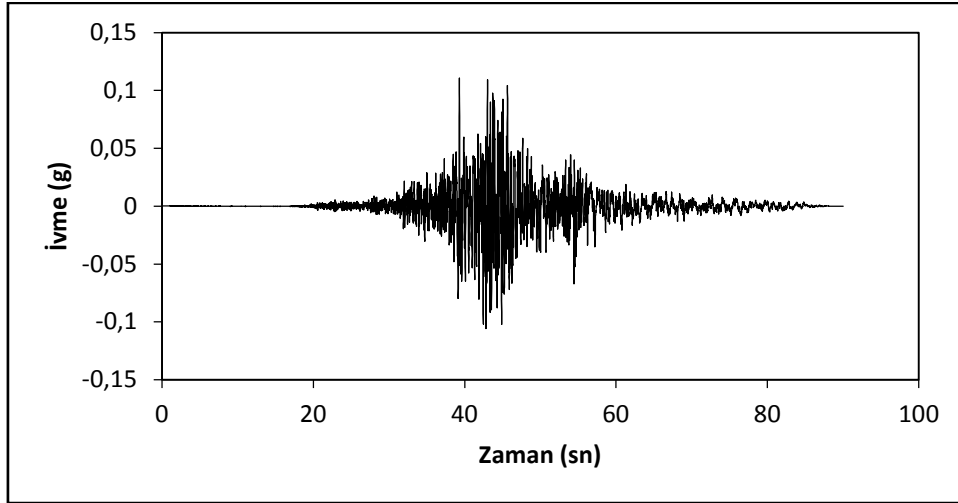
Şekil 6.19. Chi-Chi HWA032 kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği



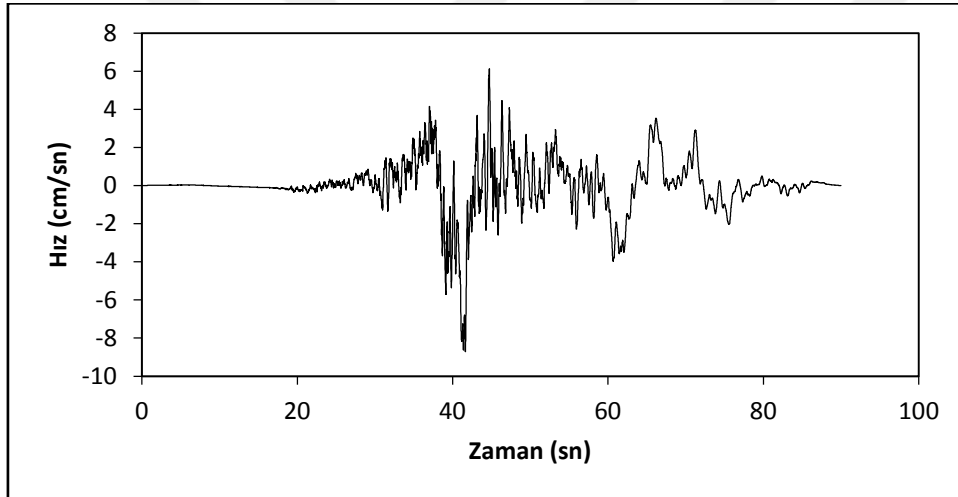
Şekil 6.20. Chi-Chi HWA032 kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği



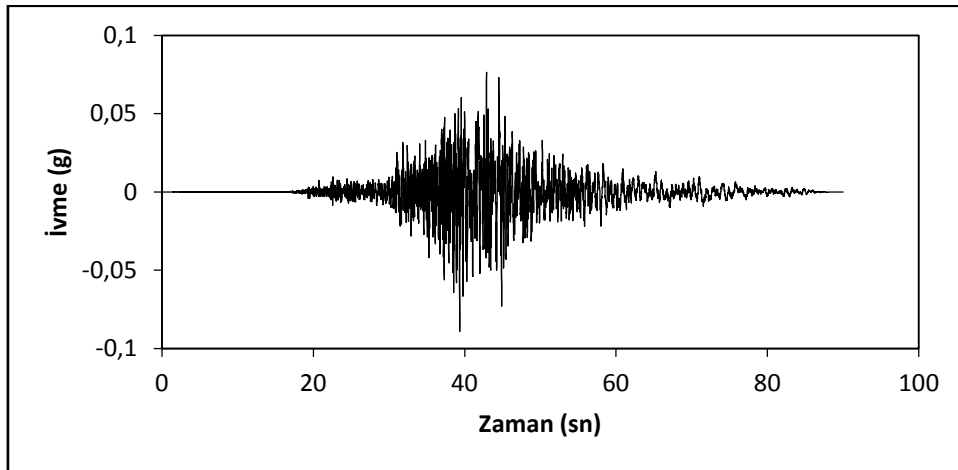
Şekil 6.21. Chi-Chi HWA032 kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği



Şekil 6.22. Chi-Chi HWA032 kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği



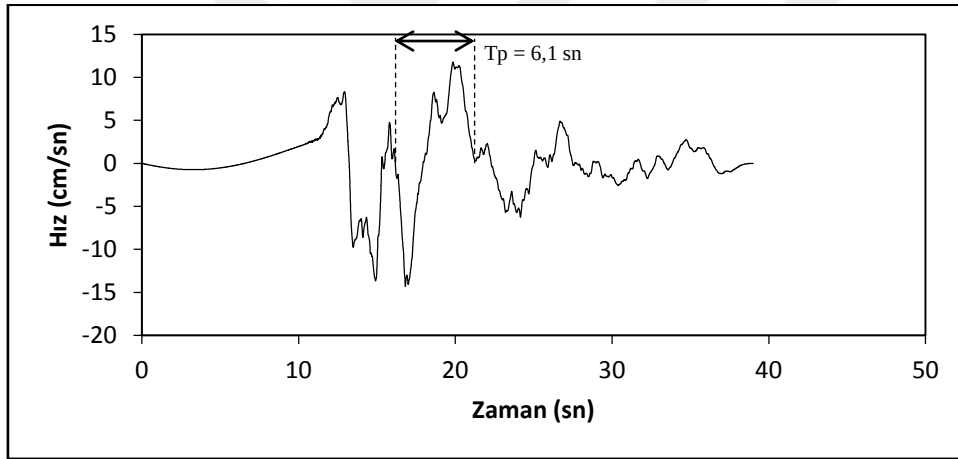
Şekil 6.23. Chi-Chi HWA032 kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği



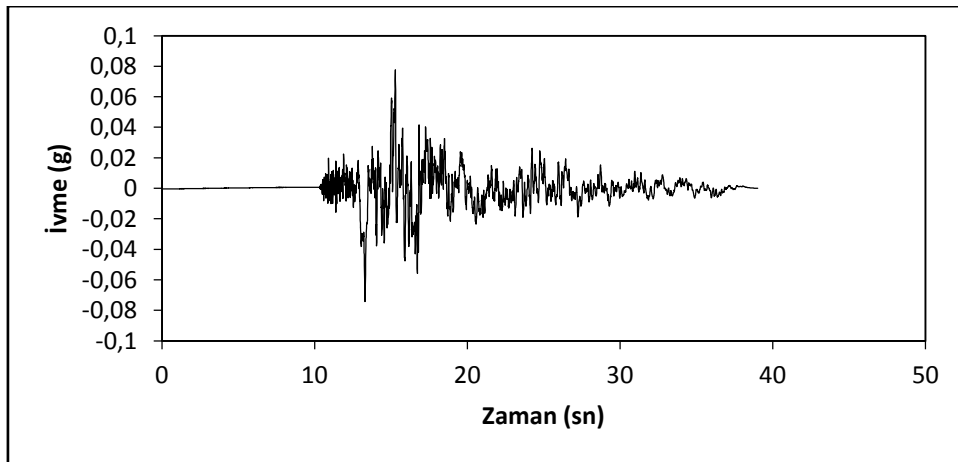
Şekil 6.24. Chi-Chi HWA032 kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği

6.3. Düzce Depremi

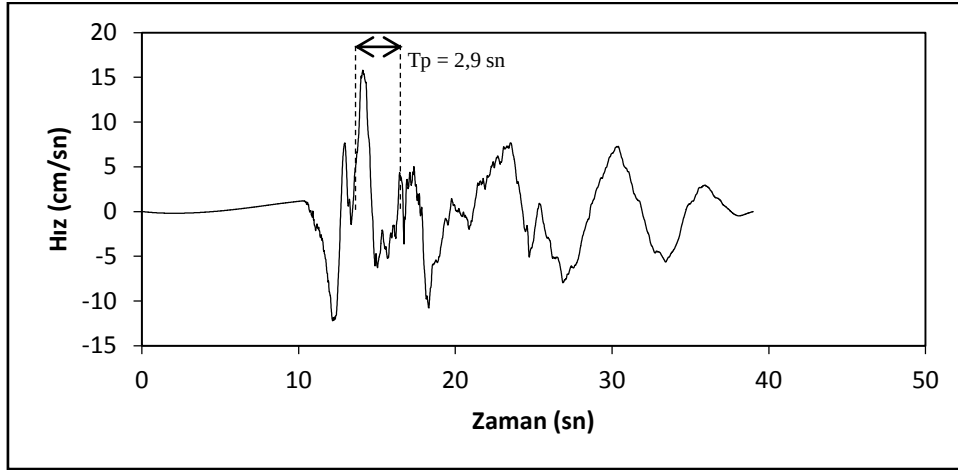
Yakın fay darbeleri yer hareketini gösteren Düzce 1058 deprem kaydının üç bileşendeki hız-zaman grafikleri incelendiğinde darbe etkileri açıkça gözlenmektedir. Bu darbe etkileri deprem kaydının başlangıç aşamasında belirlediği için, deprem kayıtlarının ileri yönelme etkisi altında olduğu anlaşılmaktadır. Düzce 1058 deprem kaydının kuzey-güney doğrultusundaki bileşeninin darbe süresi 6,1 sn, doğu-batı doğrultusundaki bileşeninin darbe süresi 2,9 sn, düşey yöndeki bileşeninin darbe süresi 3,7 sn'dir. Kuzey-güney doğrultusundaki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,08 g ve 14,28 cm/sn, doğu-batı doğrultusundaki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,11 g ve 15,81 cm/sn, düşey yöndeki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,07 g ve 15,21 cm/sn'dir (Şekil 6.25-6.30).



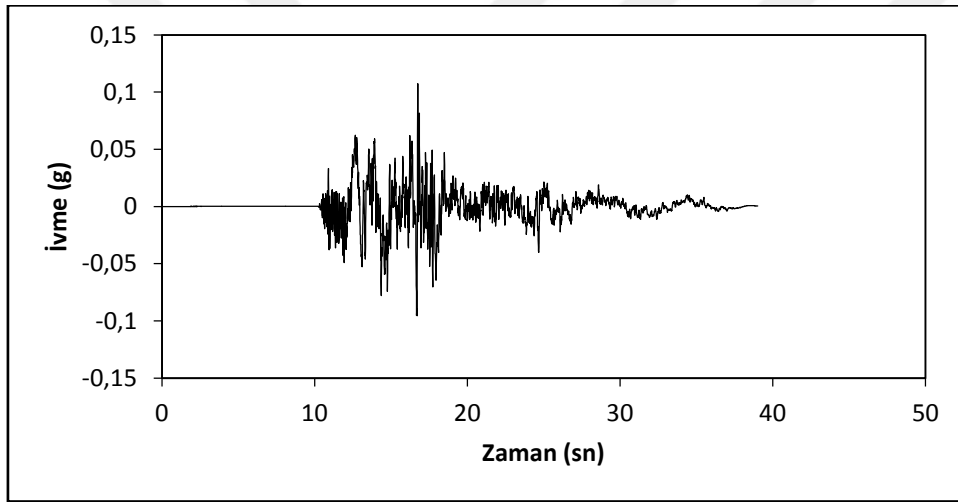
Şekil 6.25. Düzce 1058 kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği



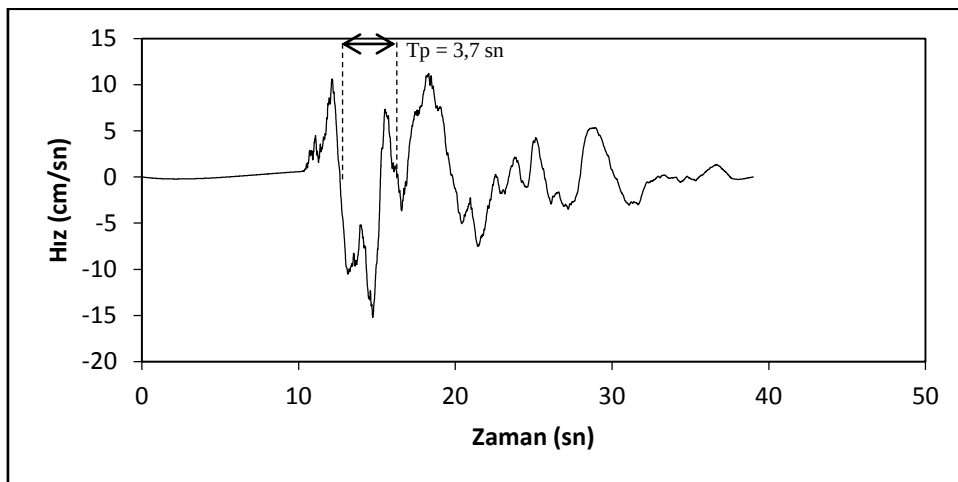
Şekil 6.26. Düzce 1058 kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği



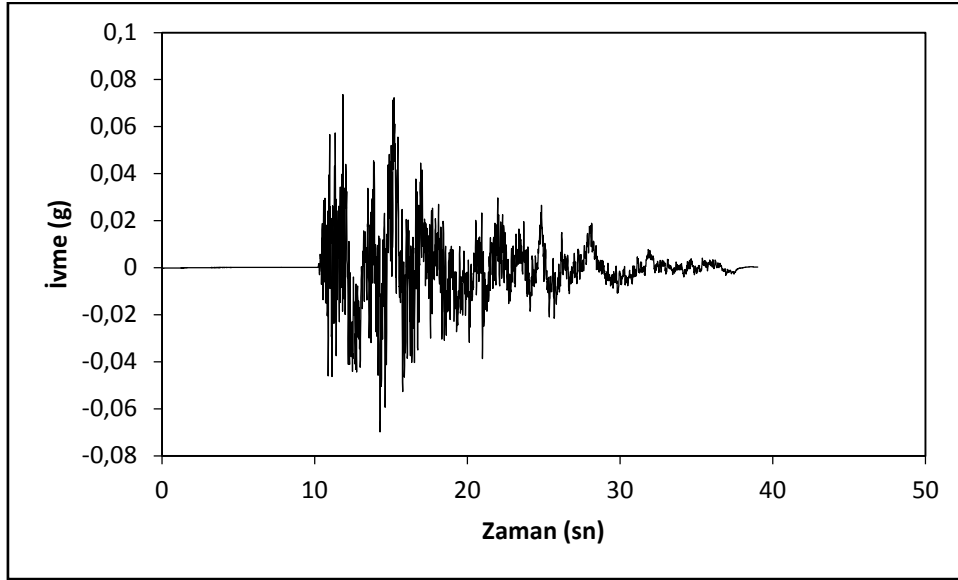
Şekil 6.27. Düzce 1058 kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği



Şekil 6.28. Düzce 1058 kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği

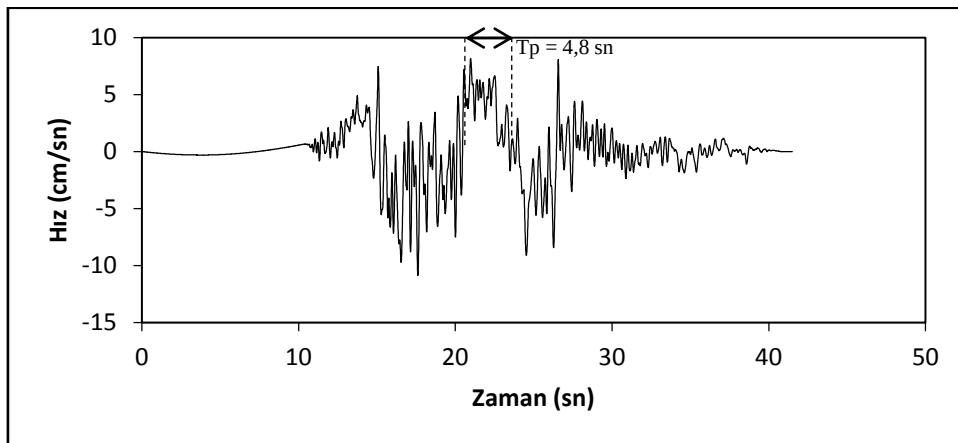


Şekil 6.29. Düzce 1058 kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği

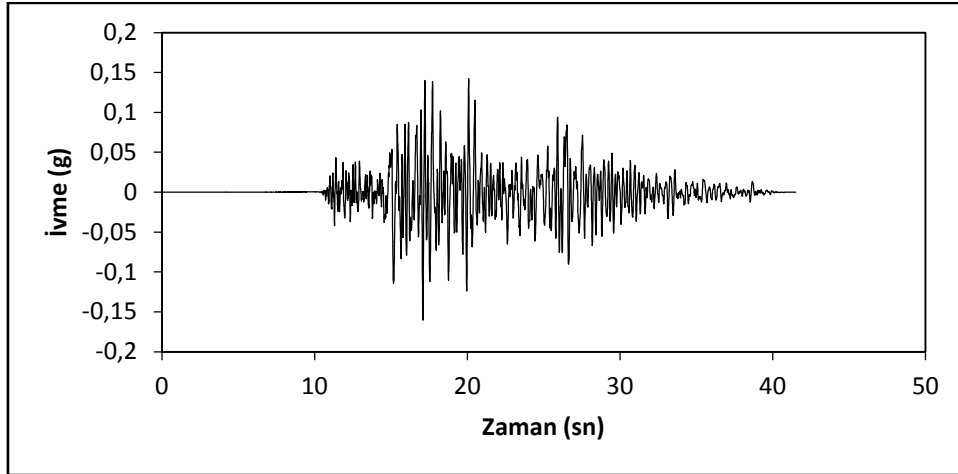


Şekil 6.30. Düzce 1058 kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği

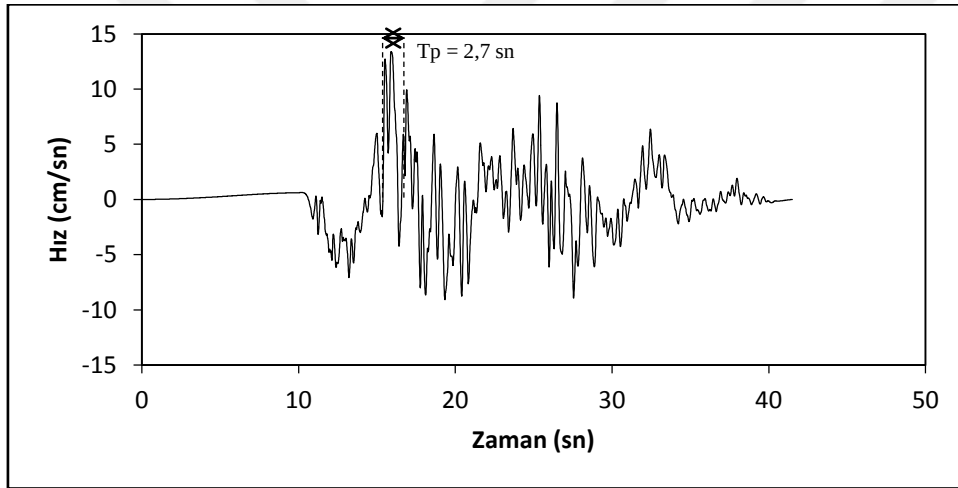
Yakın fay darbeleri yer hareketini gösteren Düzce 531 deprem kaydının üç bileşendeki hız-zaman grafikleri incelendiğinde darbe etkileri açıkça gözlenmektedir. Bu darbe etkileri deprem kaydının başlangıç aşamasında belirlediği için, deprem kayıtlarının ileri yönelme etkisi altında olduğu anlaşılmaktadır. Düzce 531 deprem kaydının kuzey-güney doğrultusundaki bileşeninin darbe süresi 4,8 sn, doğu-batı doğrultusundaki bileşeninin darbe süresi 2,7 sn, düşey yöndeki bileşeninin darbe süresi 7,1 sn'dir. Kuzey-güney doğrultusundaki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,16 g ve 10,87 cm/sn, doğu-batı doğrultusundaki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,12 g ve 13,4 cm/sn, düşey yöndeki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,06 g ve 8,84 cm/sn'dir (Şekil 6.31-6.36).



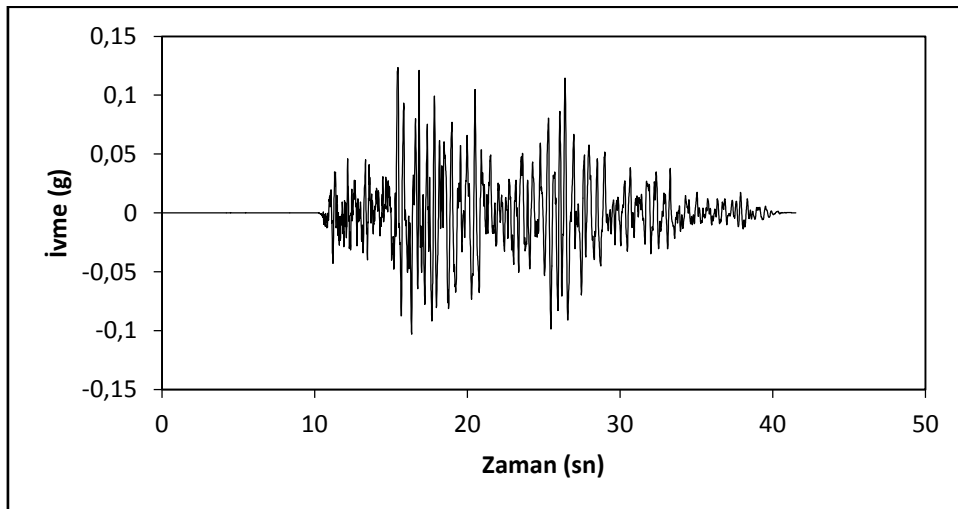
Şekil 6.31. Düzce 531 kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği



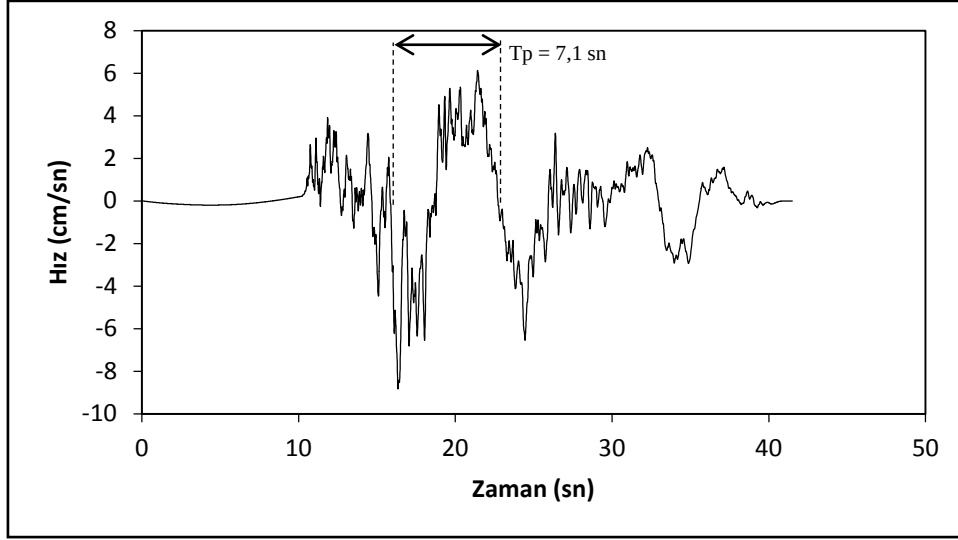
Şekil 6.32. Düzce 531 kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği



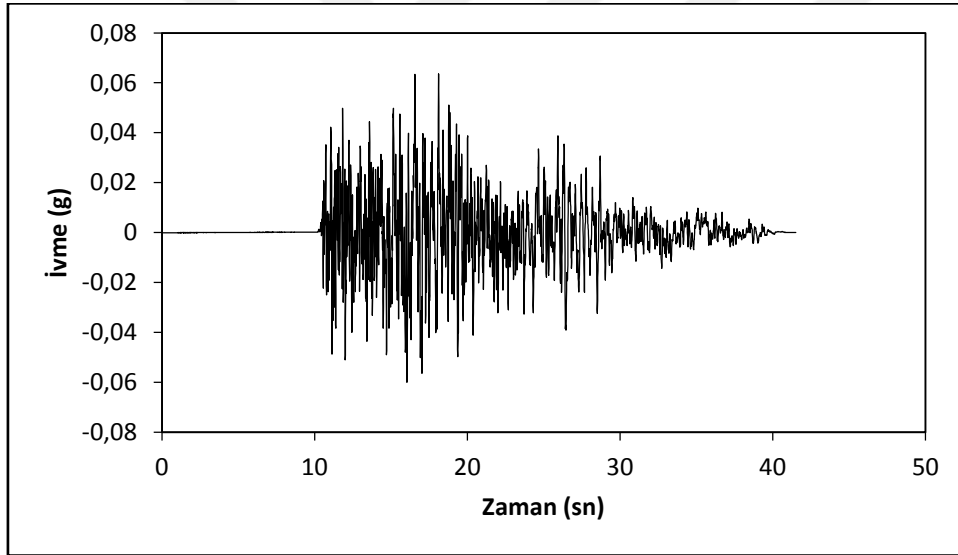
Şekil 6.33. Düzce 531 kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği



Şekil 6.34. Düzce 531 kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği

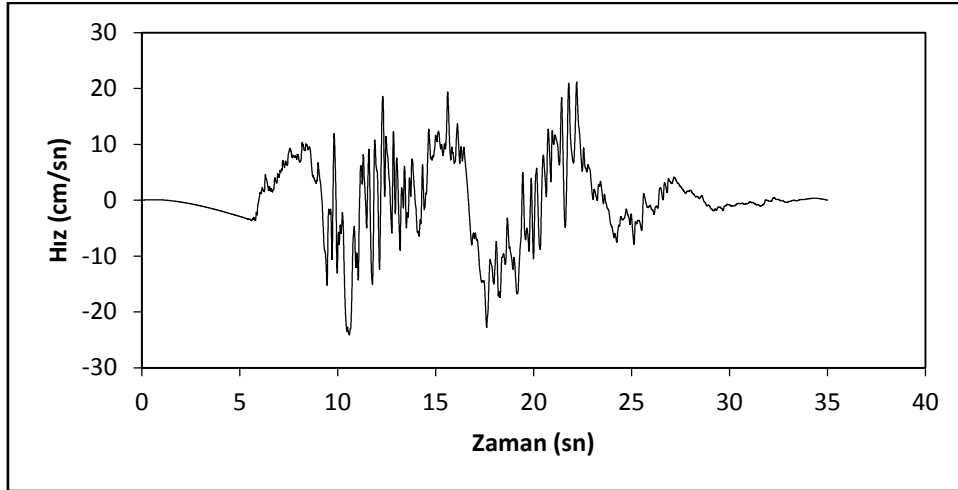


Şekil 6.35. Düzce 531 kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği

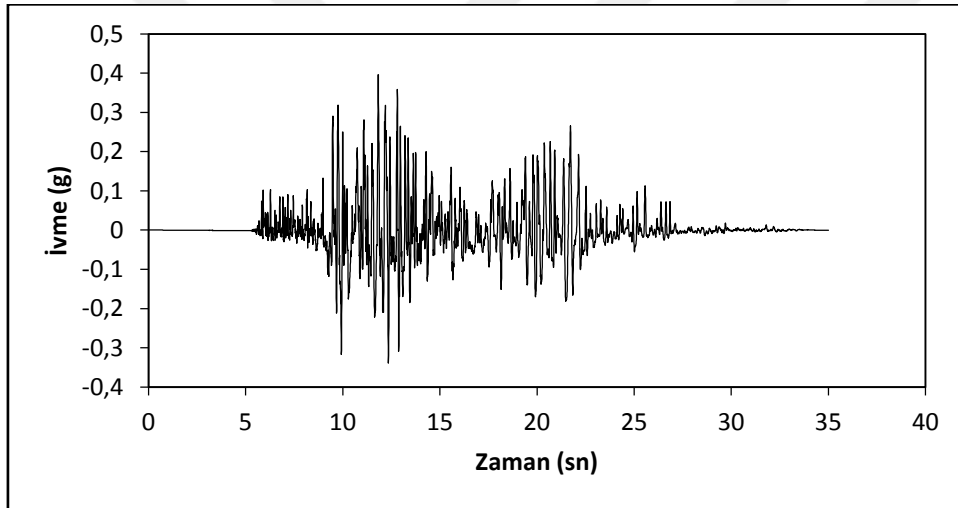


Şekil 6.36. Düzce 531 kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği

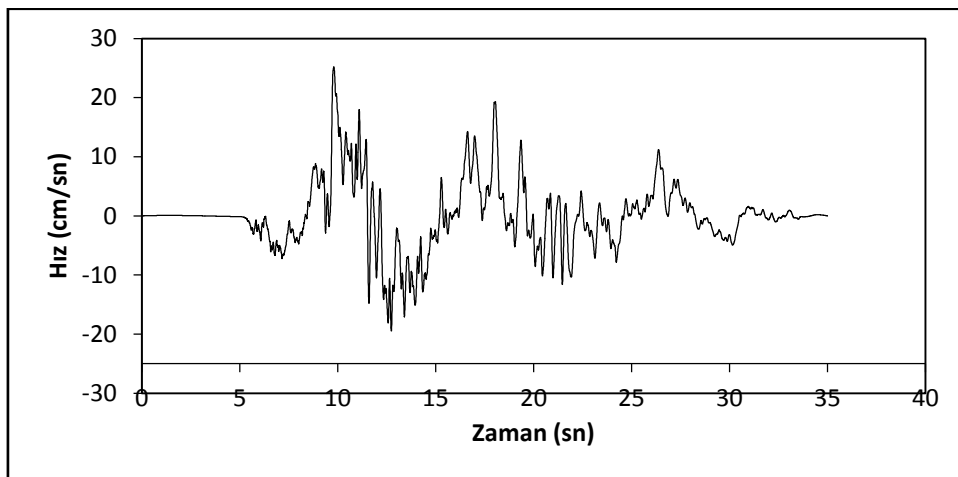
Yakın fay darbesiz yer hareketini gösteren Düzce 498 deprem kaydının üç bileşendeki hız-zaman grafikleri incelendiğinde darbe etkileri gözlenmemektedir. Darbe etkilerinin mevcut olmaması nedeniyle deprem kayıtlarında herhangi bir yönelme etkisi de oluşmamıştır. Kuzey-güney doğrultusundaki bileşenin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,4 g ve 24,15 cm/sn, doğu-batı doğrultusundaki bileşenin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,35 g ve 25,22 cm/sn, düşey yöndeki bileşenin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,18 g ve 17,69 cm/sn'dir (Şekil 6.37-6.42).



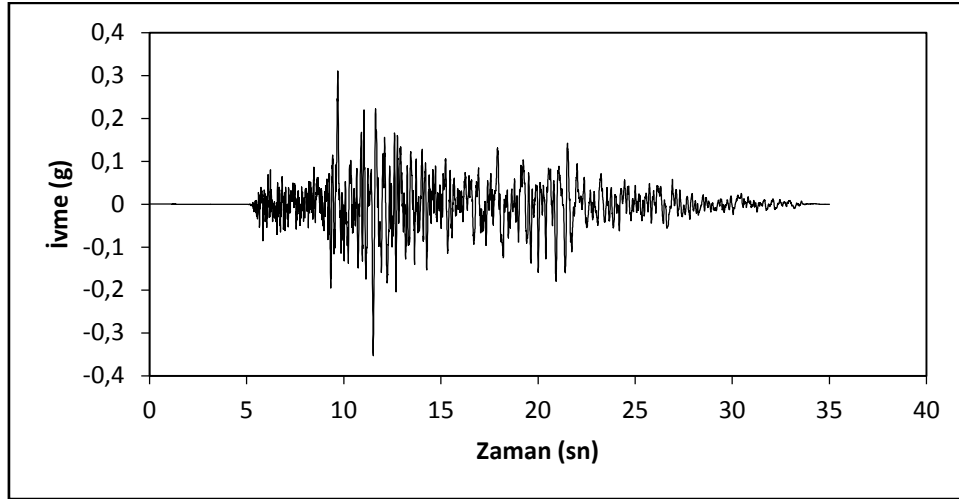
Şekil 6.37. Düzce 498 kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği



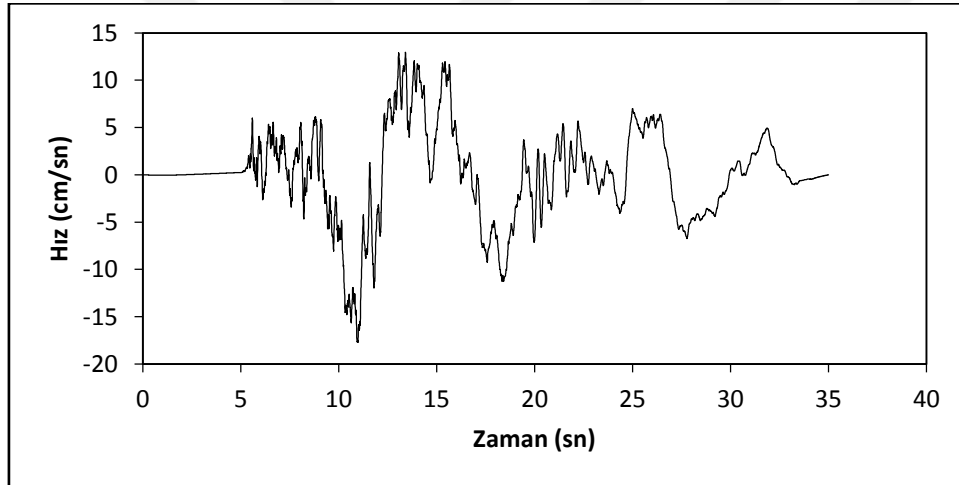
Şekil 6.38. Düzce 498 kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği



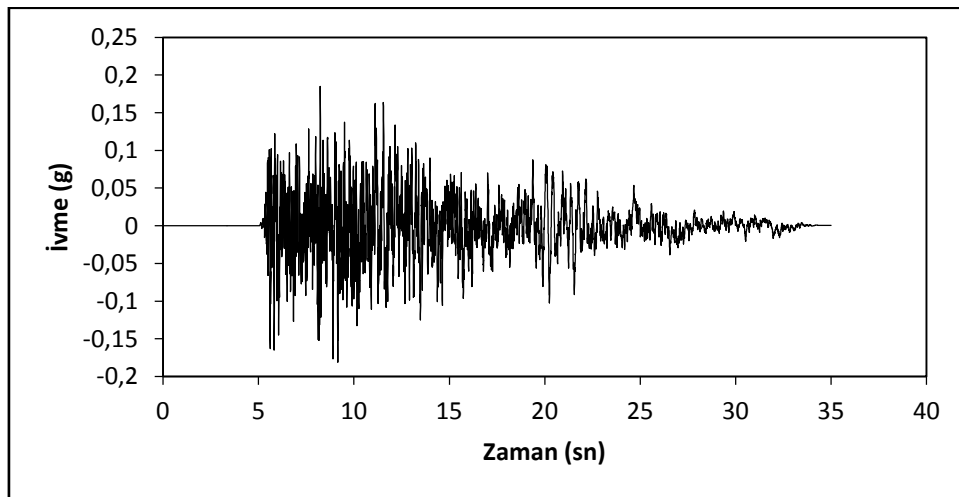
Şekil 6.39. Düzce 498 kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği



Şekil 6.40. Düzce 498 kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği

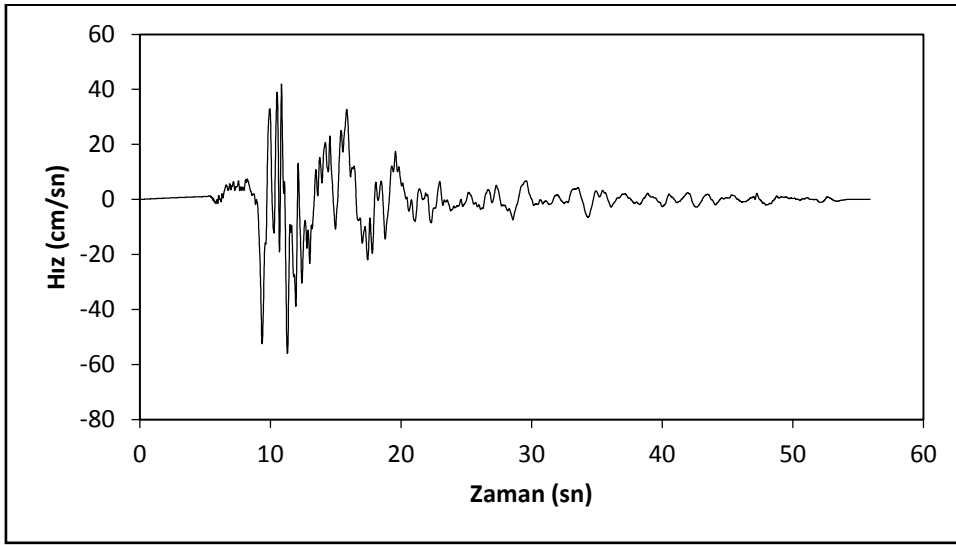


Şekil 6.41. Düzce 498 kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği

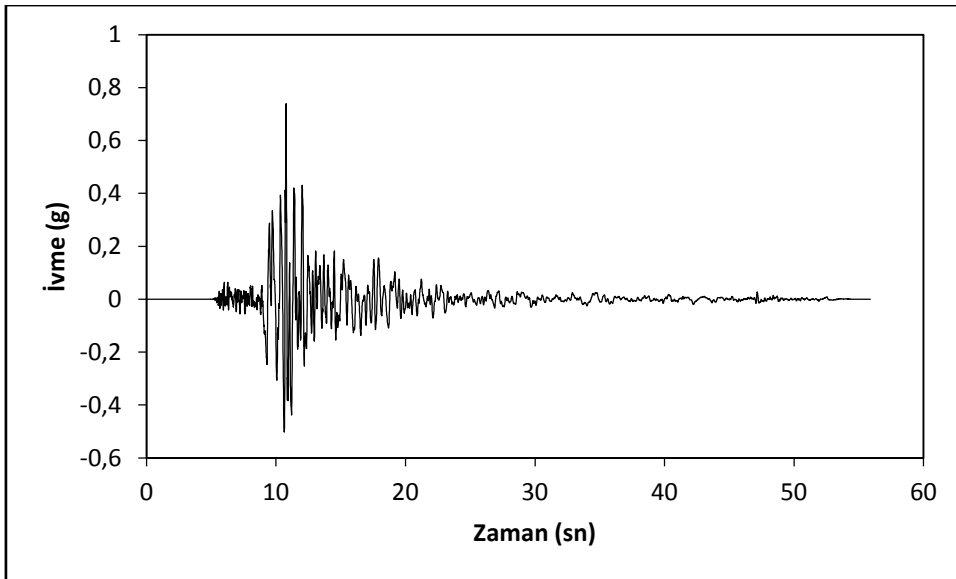


Şekil 6.42. Düzce 498 kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği

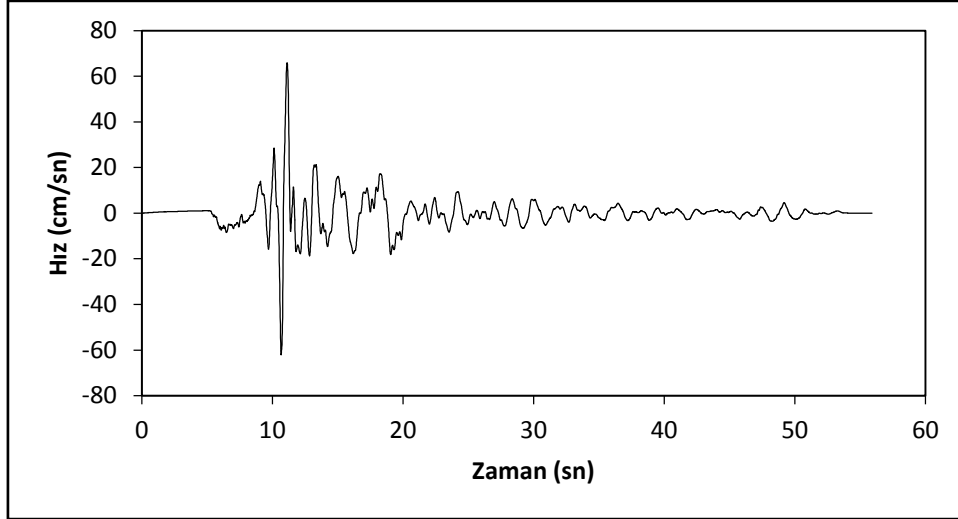
Uzak fay yer hareketini gösteren Düzce BOLU deprem kaydının üç bileşendeki hız-zaman grafikleri incelendiğinde darbe etkileri gözlenmemektedir. Darbe etkilerinin mevcut olmaması nedeniyle deprem kayıtlarında herhangi bir yönelme etkisi de oluşmamıştır. Kuzey-güney doğrultusundaki bileşenin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,74 g ve 55,9 cm/sn, doğu-batı doğrultusundaki bileşenin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,8 g ve 65,85 cm/sn, düşey yöndeki bileşenin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,2 g ve 23,46 cm/sn'dir (Şekil 6.43-6.48).



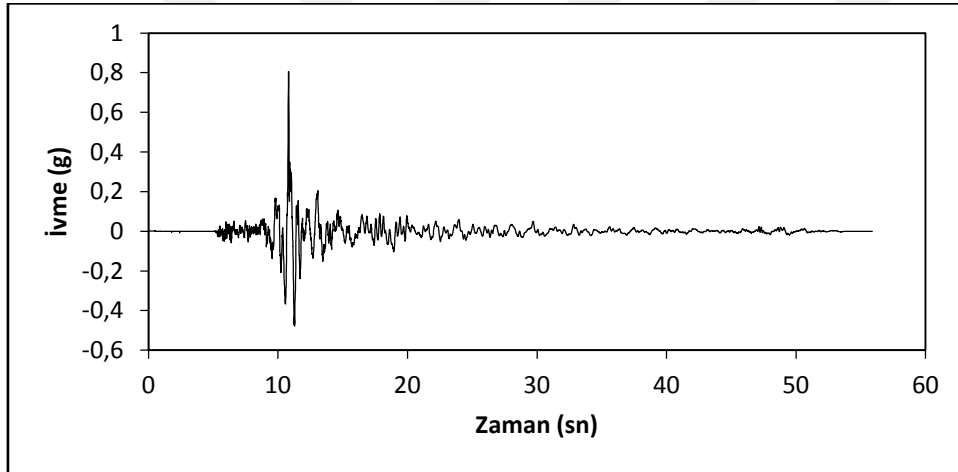
Şekil 6.43. Düzce BOLU kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği



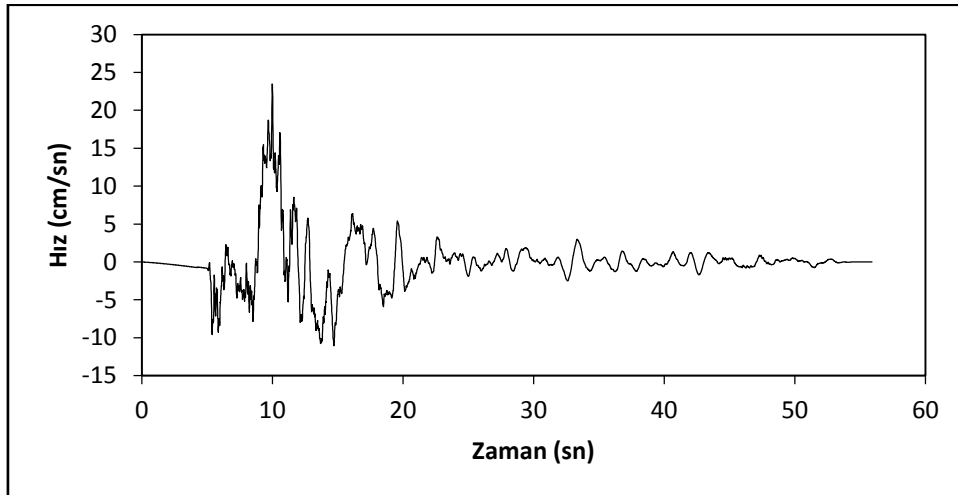
Şekil 6.44. Düzce BOLU kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği



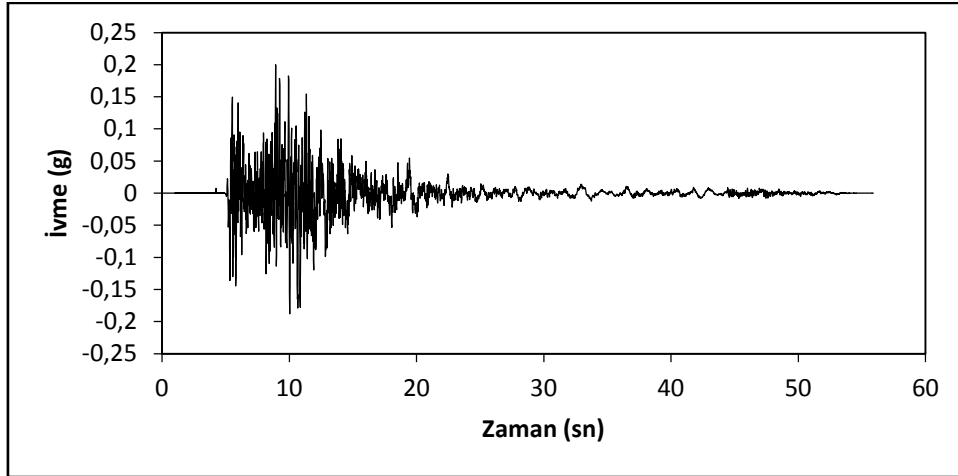
Şekil 6.45. Düzce BOLU kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği



Şekil 6.46. Düzce BOLU kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği



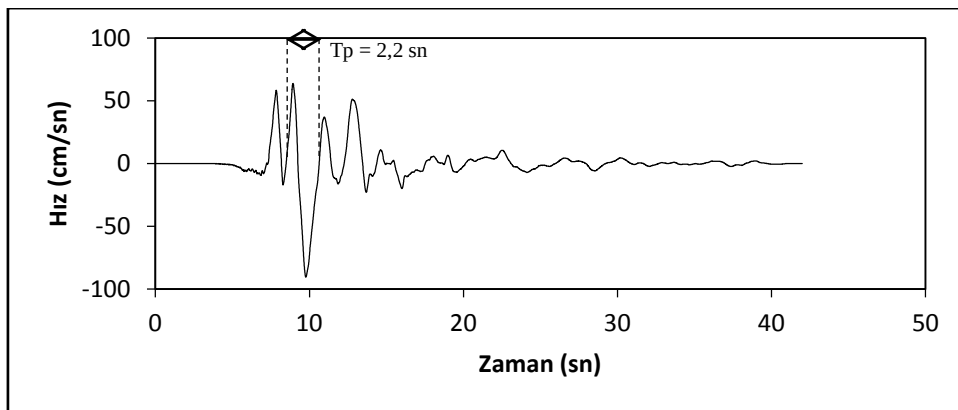
Şekil 6.47. Düzce BOLU kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği



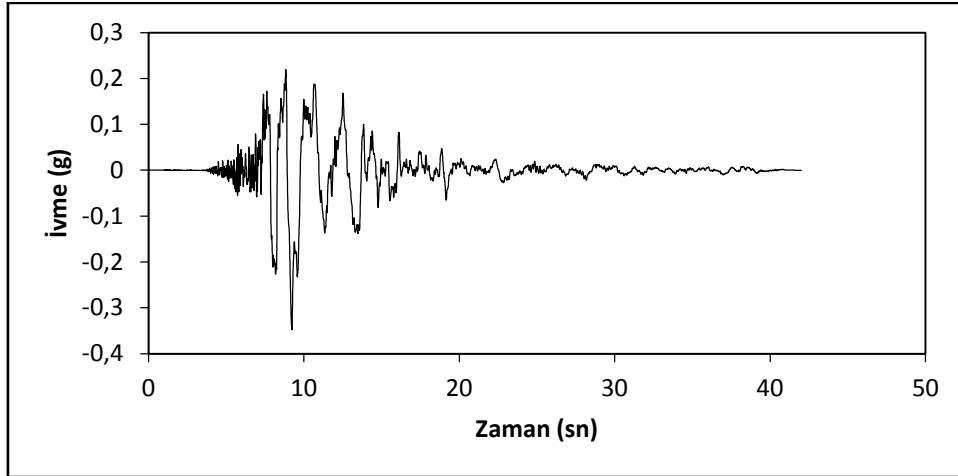
Şekil 6.48. Düzce BOLU kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği

6.4. Kobe Depremi

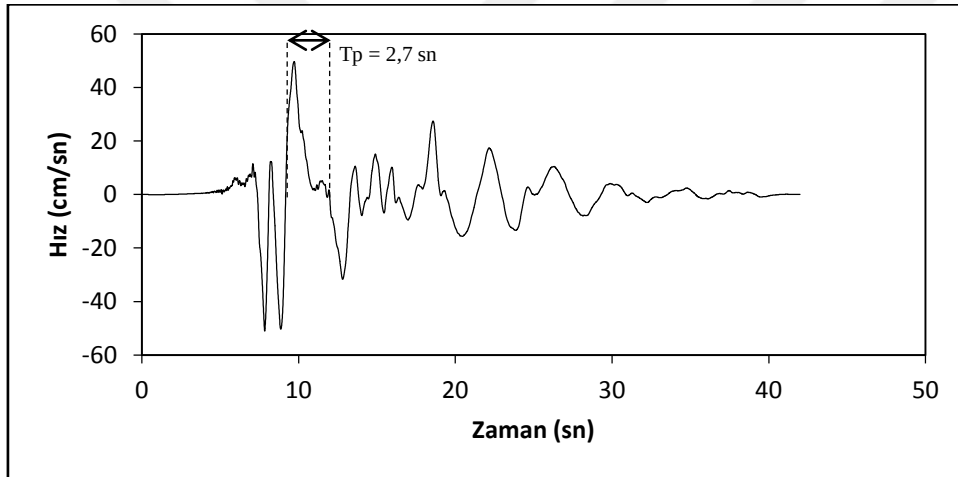
Yakın fay darbeleri yer hareketini gösteren Kobe PRI deprem kaydının üç bileşendeki hız-zaman grafikleri incelendiğinde darbe etkileri açıkça gözlenmektedir. Bu darbe etkileri deprem kaydının başlangıç aşamasında belirlediği için, deprem kayıtlarının ileri yönelme etkisi altında olduğu anlaşılmaktadır. Kobe PRI deprem kaydının kuzey-güney doğrultusundaki bileşeninin darbe süresi 2,2 sn, doğu-batı doğrultusundaki bileşeninin darbe süresi 2,7 sn, düşey yöndeki bileşeninin darbe süresi 2,3 sn'dir. Kuzey-güney doğrultusundaki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,35 g ve 90,62 cm/sn, doğu-batı doğrultusundaki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,29 g ve 51,11 cm/sn, düşey yöndeki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,57 g ve 62,08 cm/sn'dir (Şekil 6.49-6.54).



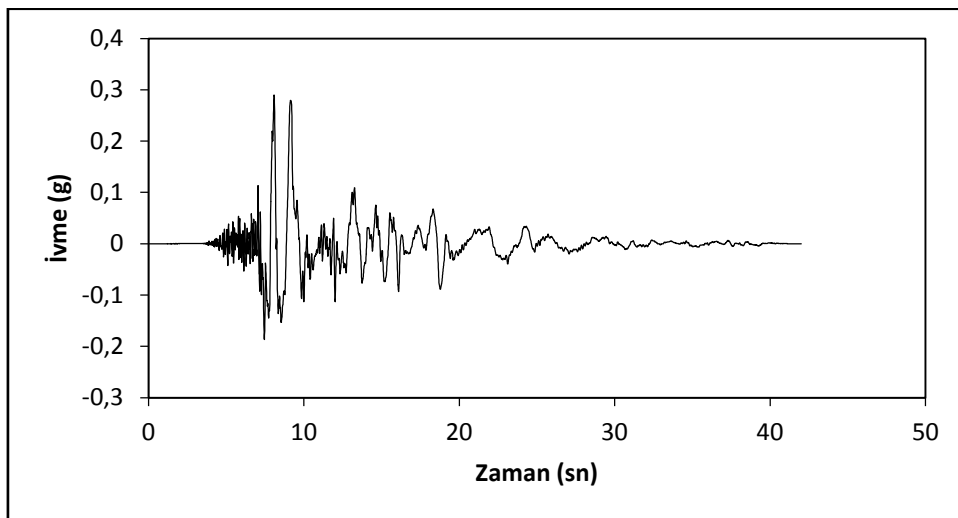
Şekil 6.49. Kobe PRI kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği



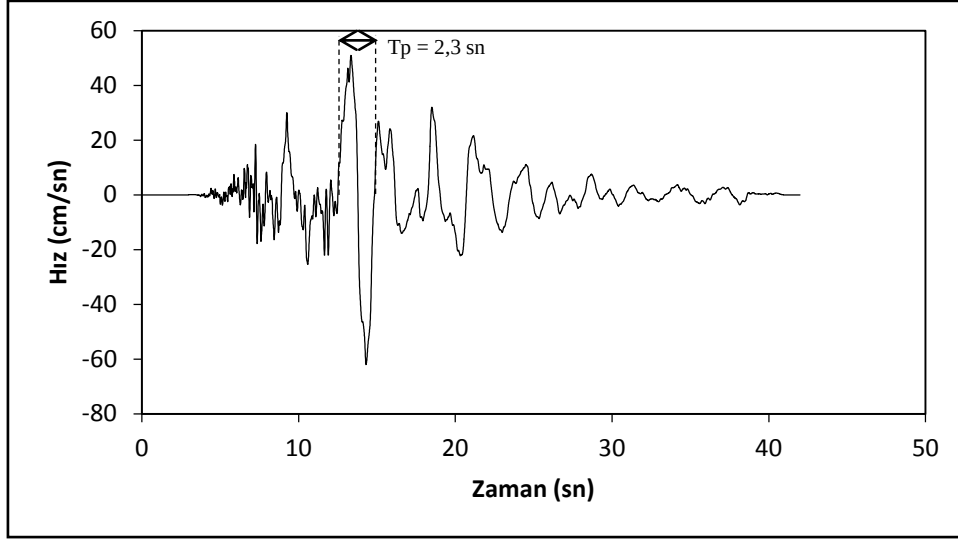
Şekil 6.50. Kobe PRI kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği



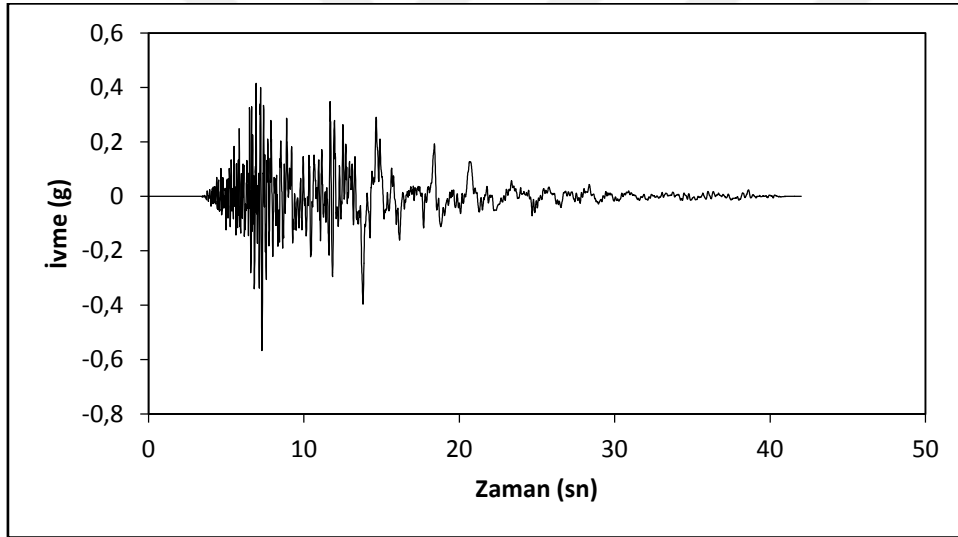
Şekil 6.51. Kobe PRI kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği



Şekil 6.52. Kobe PRI kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği



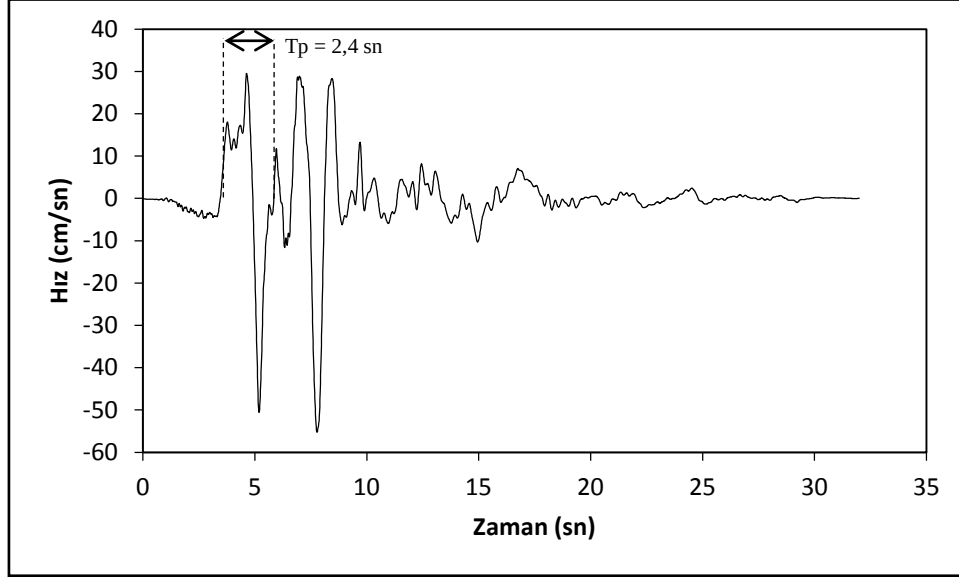
Şekil 6.53. Kobe PRI kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği



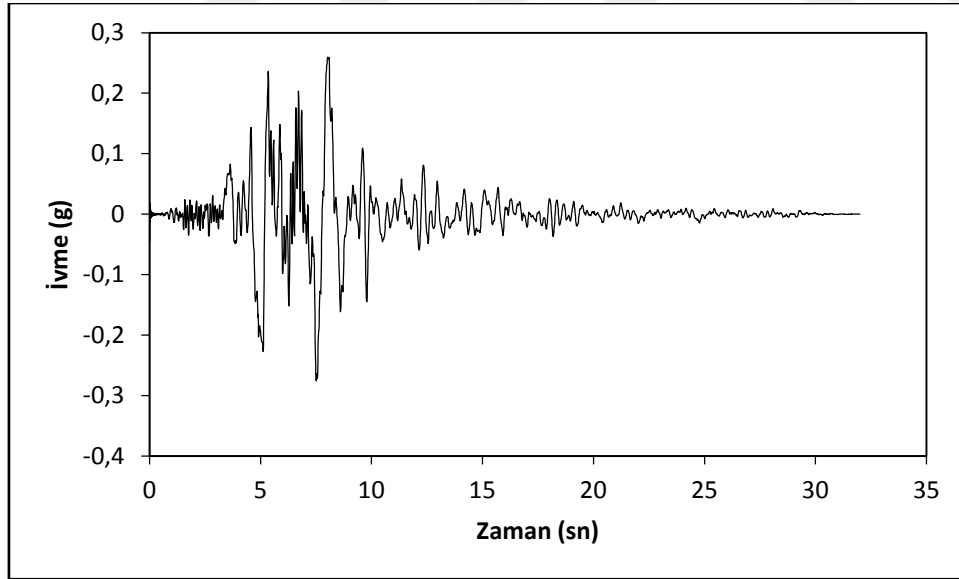
Şekil 6.54. Kobe PRI kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği

Yakın fay darbeleri yer hareketini gösteren Kobe KBU deprem kaydının üç bileşendeki hız-zaman grafikleri incelendiğinde darbe etkileri açıkça gözlenmektedir. Bu darbe etkileri deprem kaydının başlangıç aşamasında belirdiği için, deprem kayıtlarının ileri yönelme etkisi altında olduğu anlaşılmaktadır. Kobe KBU deprem kaydının kuzey-güney doğrultusundaki bileşeninin darbe süresi 2,4 sn, doğu-batı doğrultusundaki bileşeninin darbe süresi 2,2 sn, düşey yöndeki bileşeninin darbe süresi 1,7 sn'dir. Kuzey-güney doğrultusundaki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,27 g ve 55,27 cm/sn, doğu-batı doğrultusundaki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,31 g ve 30,87 cm/sn,

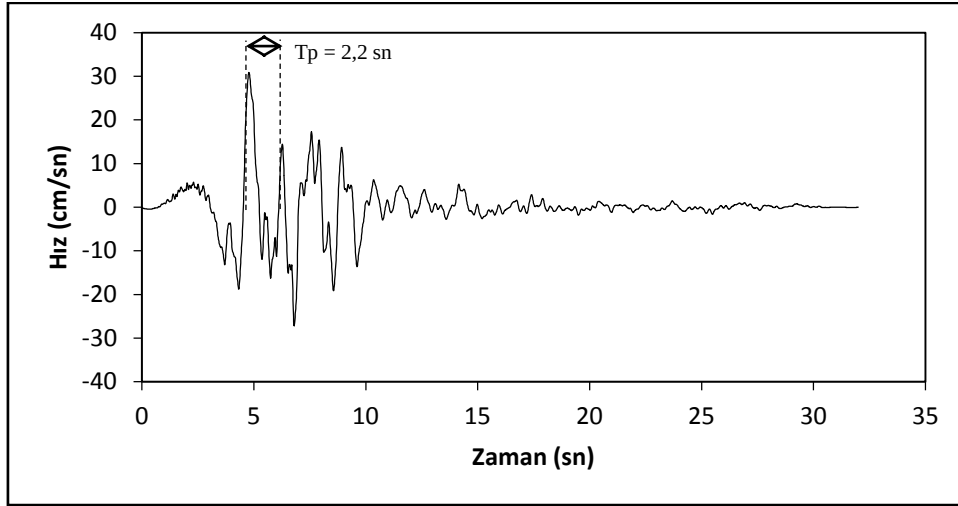
düşey yöndeki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,45 g ve 18,57 cm/sn'dir (Şekil 6.55-6.60).



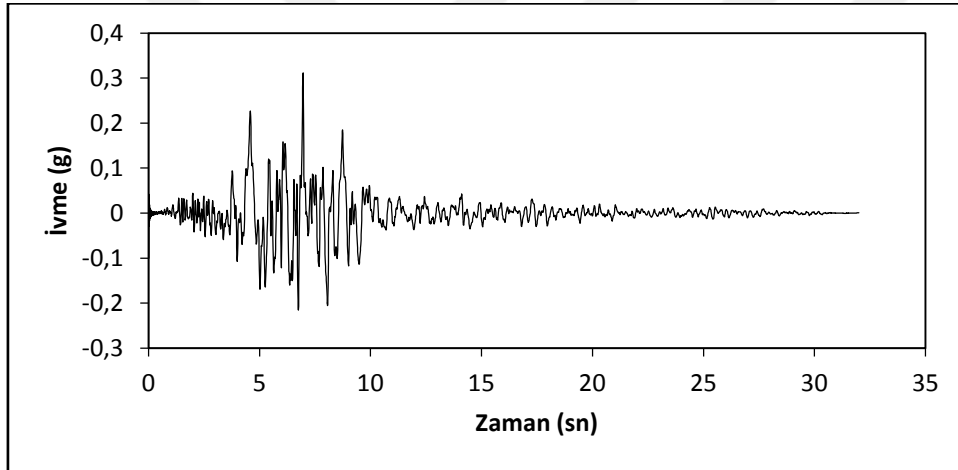
Şekil 6.55. Kobe KBU kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği



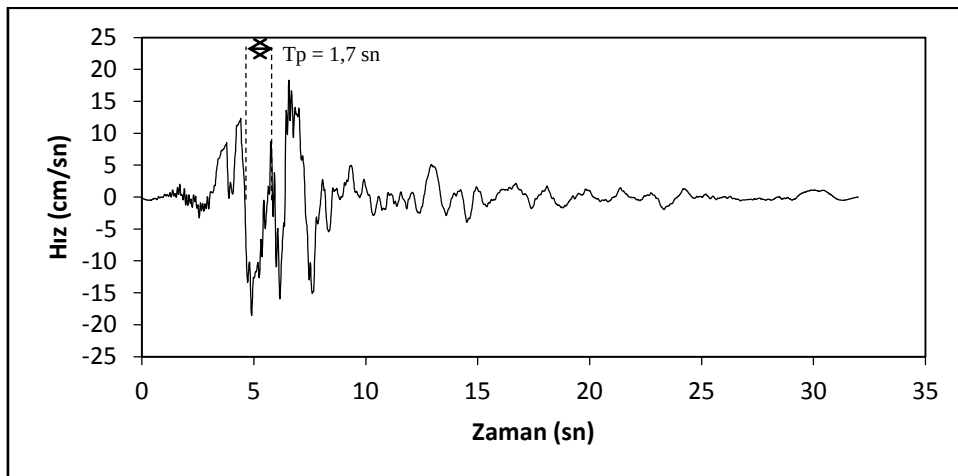
Şekil 6.56. Kobe KBU kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği



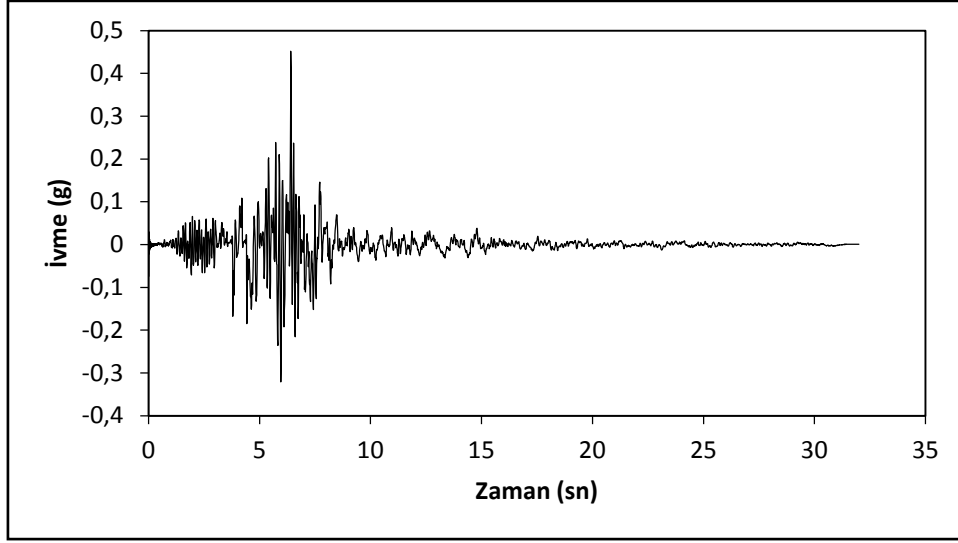
Şekil 6.57. Kobe KBU kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği



Şekil 6.58. Kobe KBU kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği

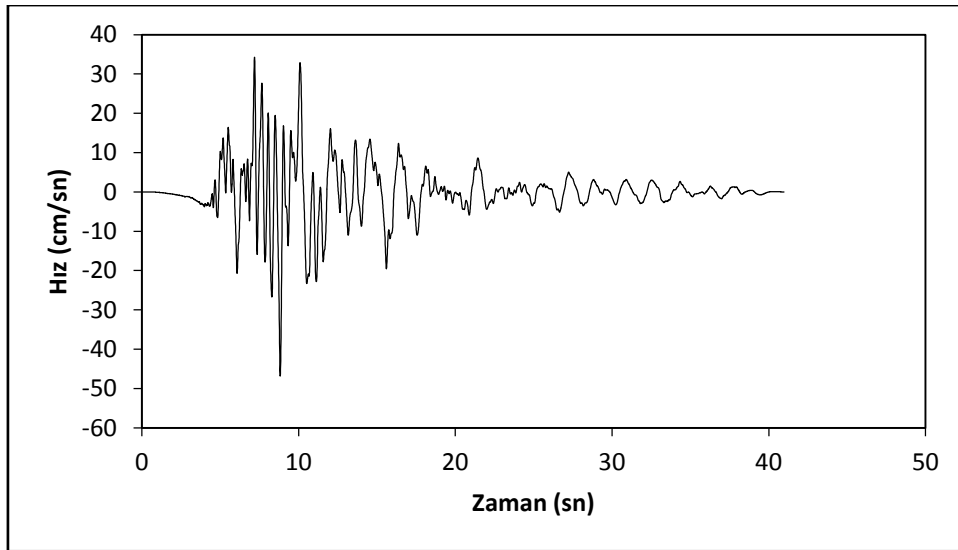


Şekil 6.59. Kobe KBU kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği

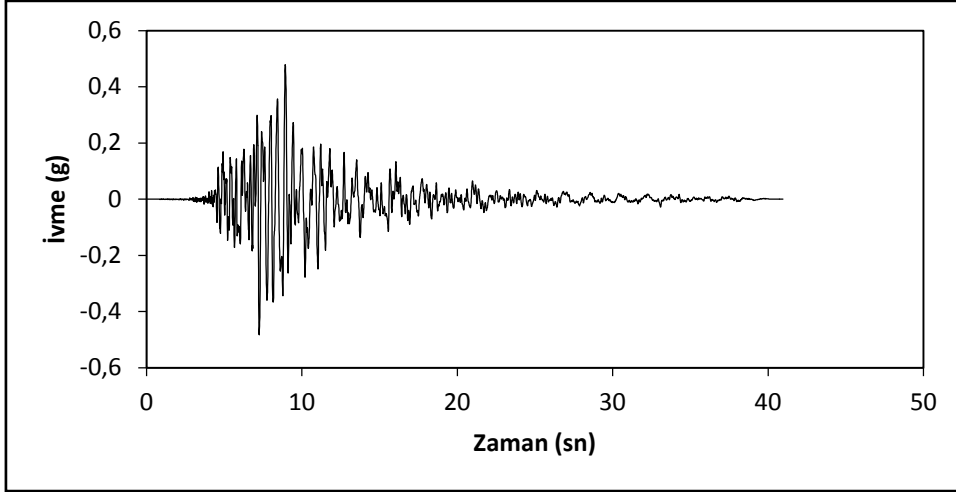


Şekil 6.60. Kobe KBU kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği

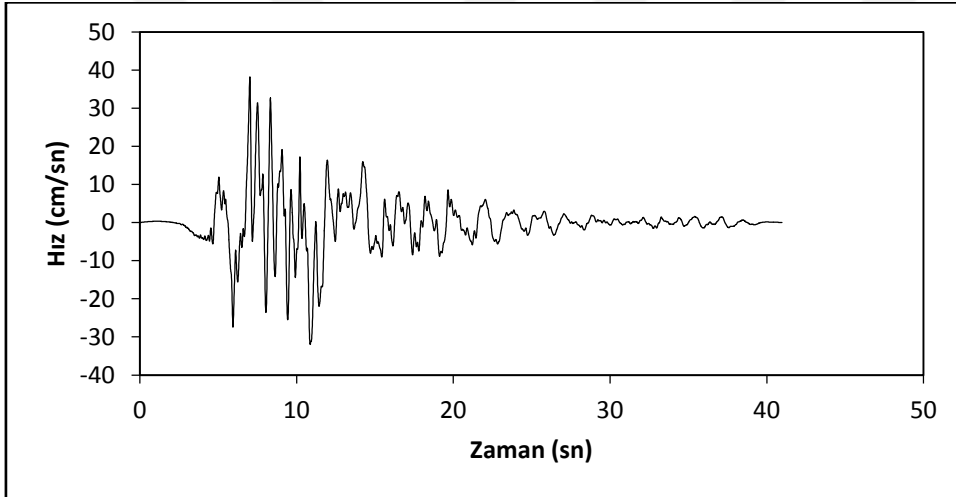
Yakın fay darbesiz yer hareketini gösteren Kobe NIS deprem kaydının üç bileşendeki hız-zaman grafikleri incelendiğinde darbe etkileri gözlenmemektedir. Darbe etkilerinin mevcut olmaması nedeniyle deprem kayıtlarında herhangi bir yönelme etkisi de oluşmamıştır. Kuzey-güney doğrultusundaki bileşenin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,48 g ve 46,8 cm/sn, doğu-batı doğrultusundaki bileşenin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,46 g ve 38,24 cm/sn, düşey yöndeki bileşenin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,39 g ve 24,61 cm/sn'dir (Şekil 6.61-6.66).



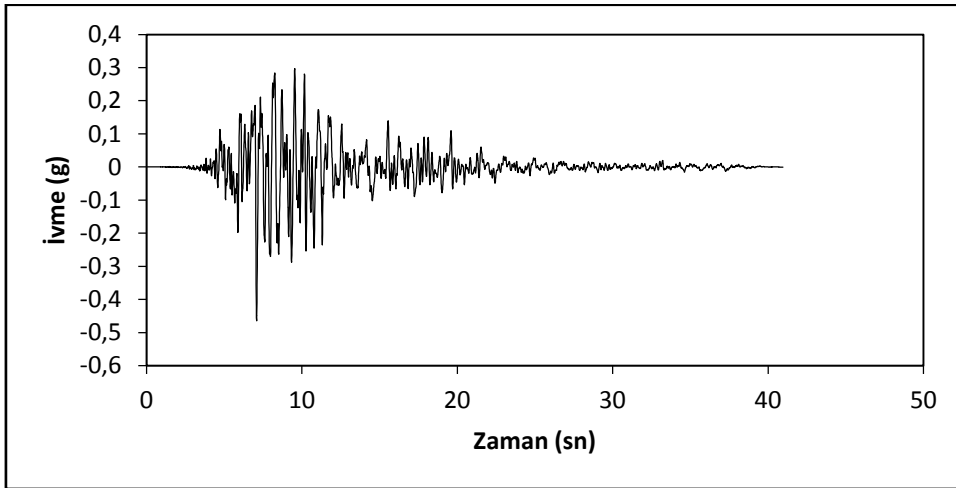
Şekil 6.61. Kobe NIS kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği



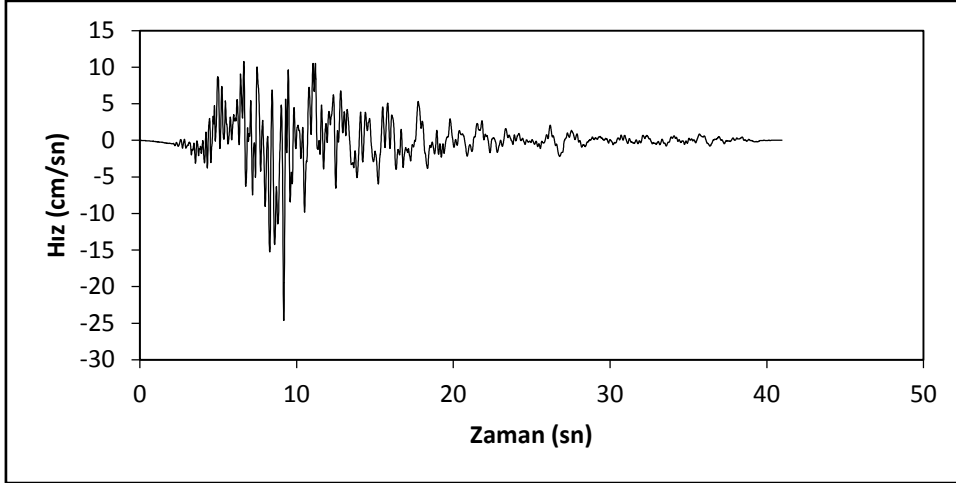
Şekil 6.62. Kobe NIS kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği



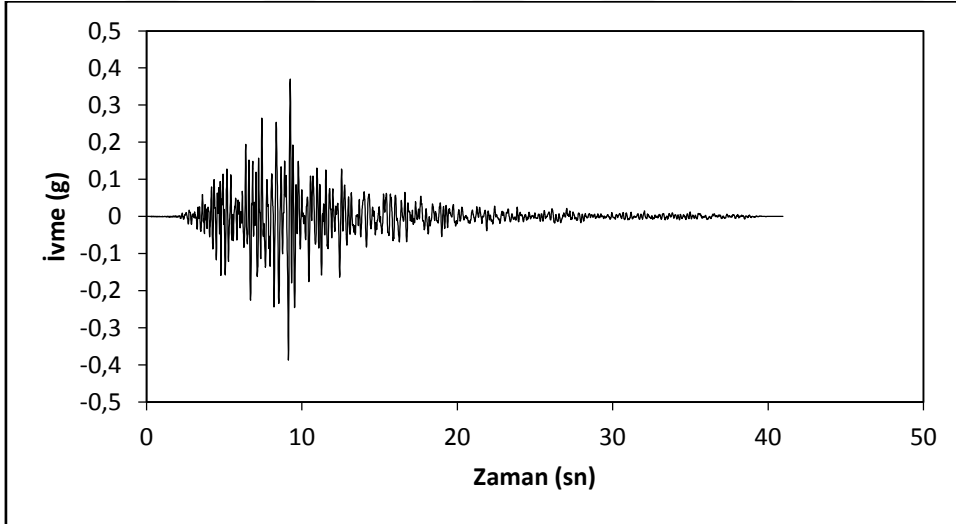
Şekil 6.63. Kobe NIS kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği



Şekil 6.64. Kobe NIS kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği

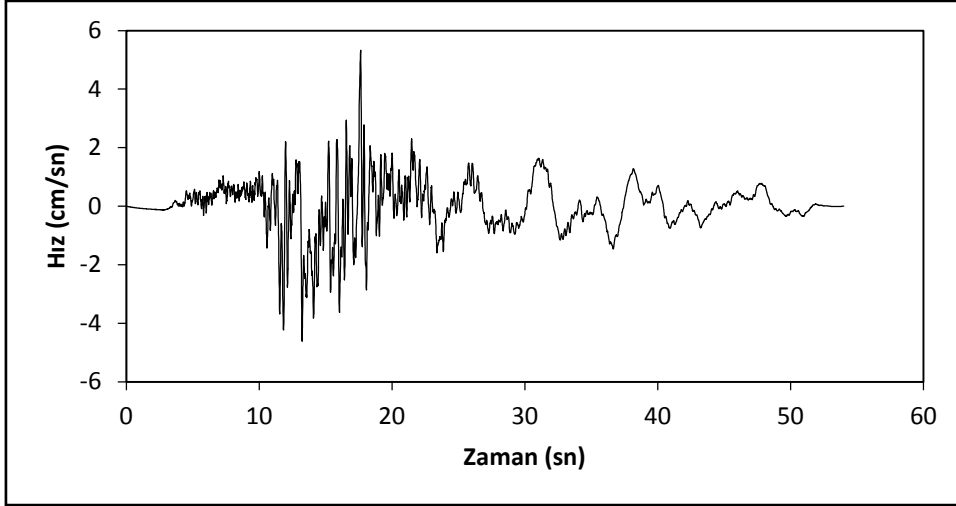


Şekil 6.65. Kobe NIS kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği

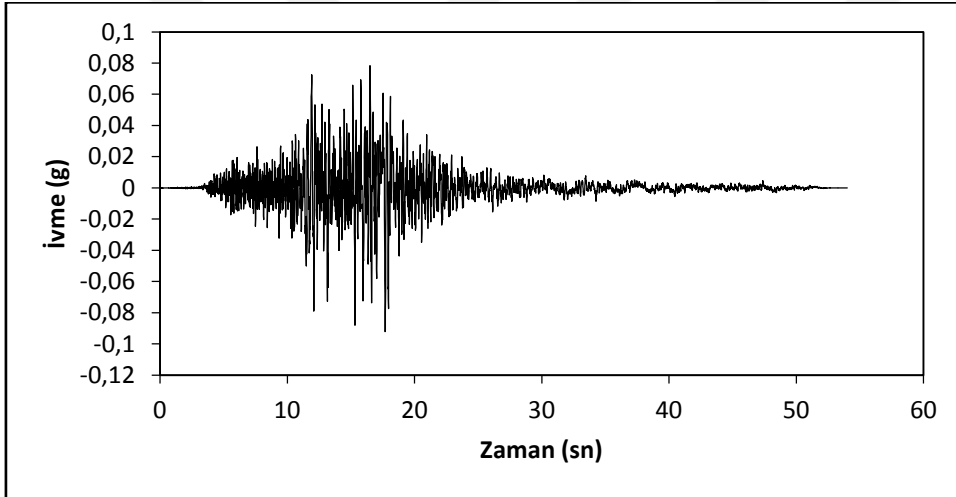


Şekil 6.66. Kobe NIS kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği

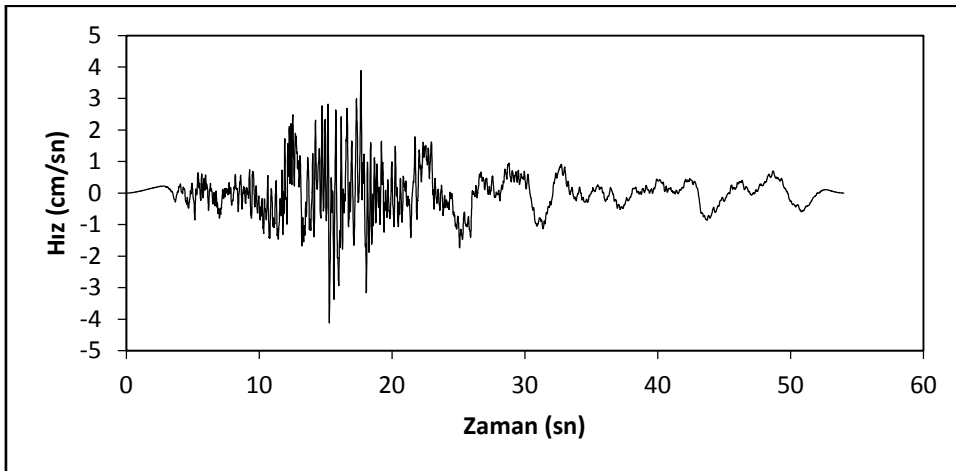
Uzak fay yer hareketini gösteren Kobe CHY deprem kaydının üç bileşendeki hız-zaman grafikleri incelendiğinde darbe etkileri gözlenmemektedir. Darbe etkilerinin mevcut olmaması nedeniyle deprem kayıtlarında herhangi bir yönelme etkisi de oluşmamıştır. Kuzey-güney doğrultusundaki bileşenin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,09 g ve 5,32 cm/sn, doğu-batı doğrultusundaki bileşenin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,11 g ve 4,12 cm/sn, düşey yöndeki bileşenin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,07 g ve 2,43 cm/sn'dir (Şekil 6.67-6.72).



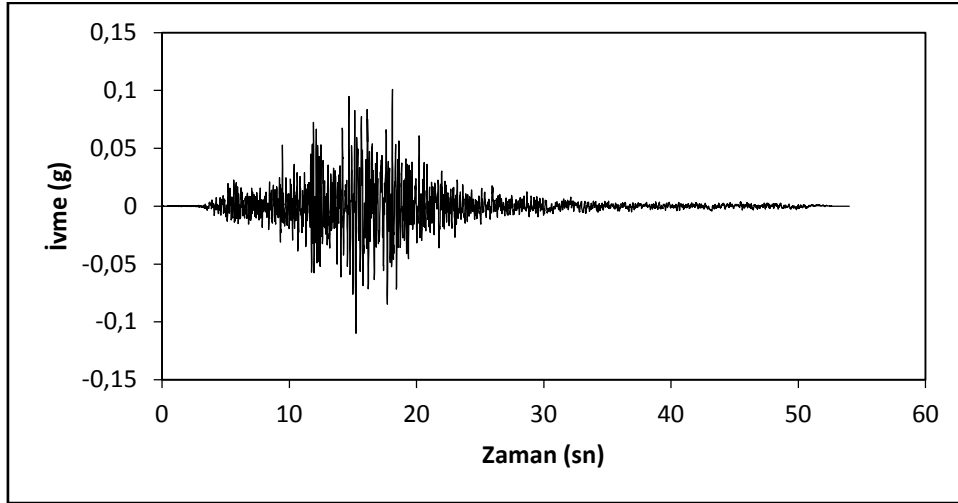
Şekil 6.67. Kobe CHY kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği



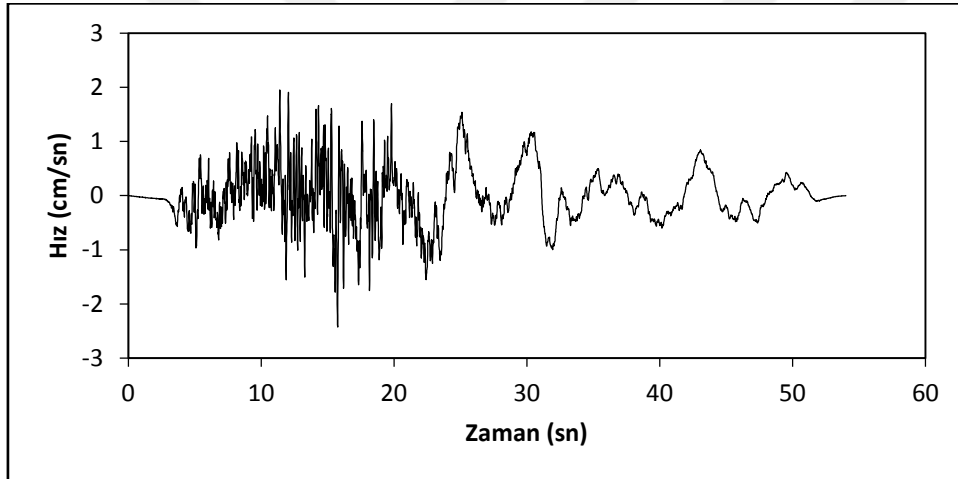
Şekil 6.68. Kobe CHY kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği



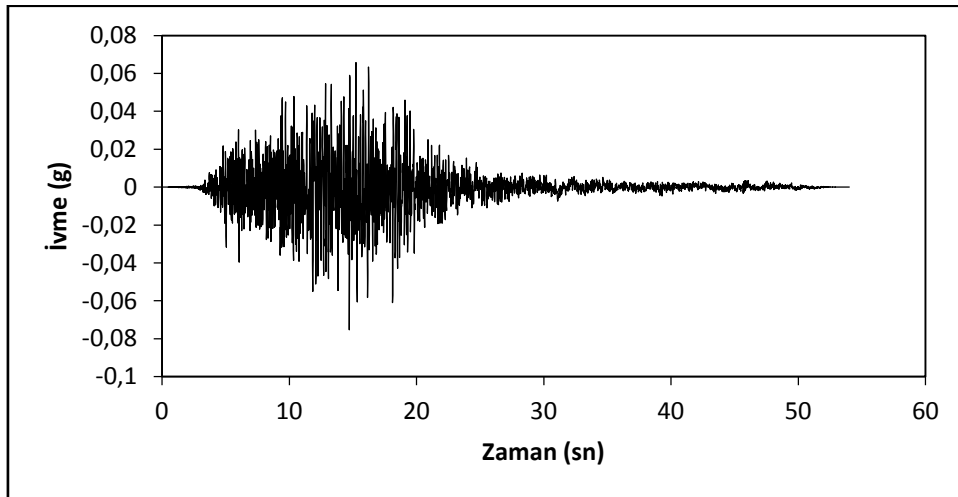
Şekil 6.69. Kobe CHY kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği



Şekil 6.70. Kobe CHY kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği



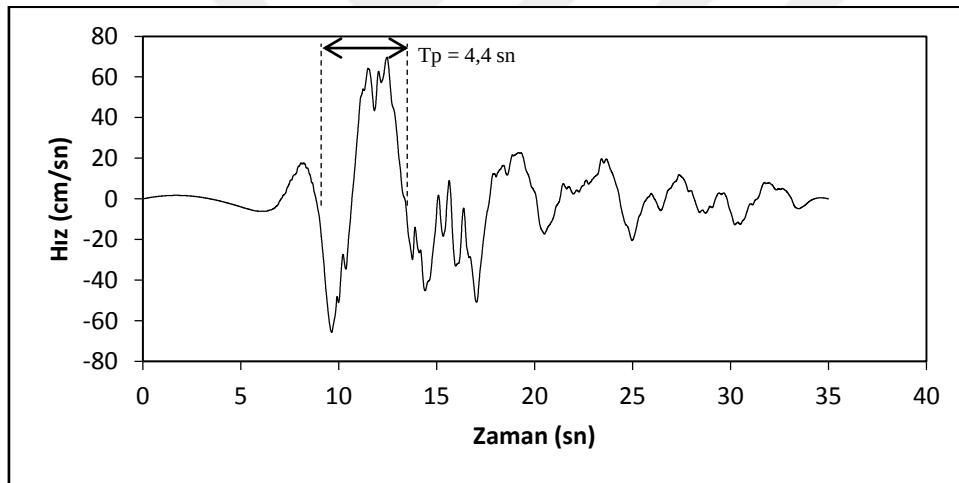
Şekil 6.71. Kobe CHY kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği



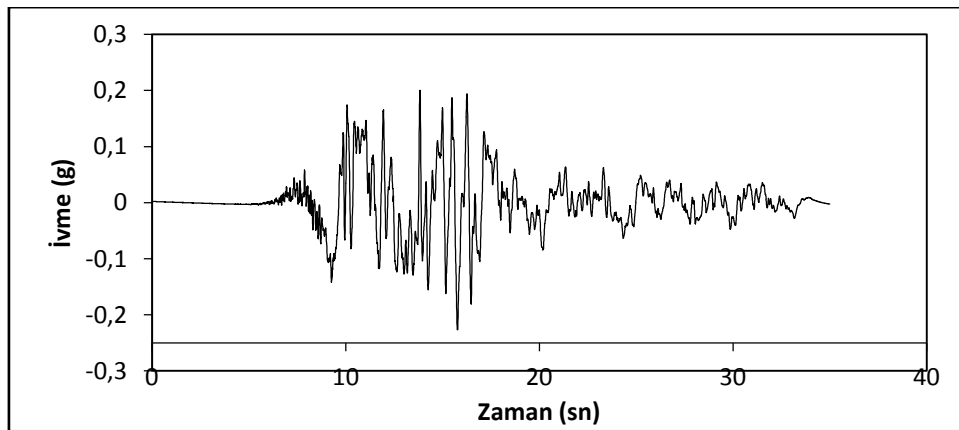
Şekil 6.72. Kobe CHY kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği

6.5. Kocaeli Depremi

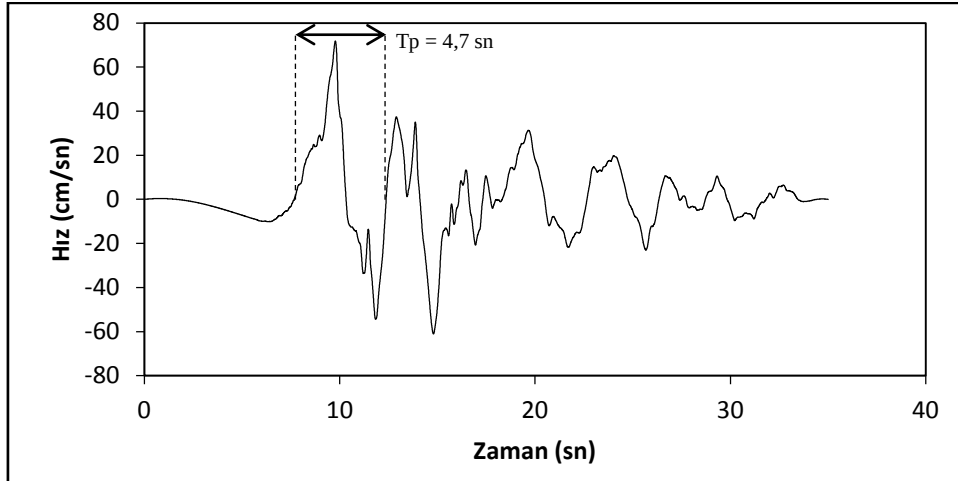
Yakın fay darbeleri yer hareketini gösteren Kocaeli YPT deprem kaydının üç bileşendeki hız-zaman grafikleri incelendiğinde darbe etkileri açıkça gözlenmektedir. Bu darbe etkileri deprem kaydının başlangıç aşamasında belirlediği için, deprem kayıtlarının ileri yönelme etkisi altında olduğu anlaşılmaktadır. Kocaeli YPT deprem kaydının kuzey-güney doğrultusundaki bileşeninin darbe süresi 4,4 sn, doğu-batı doğrultusundaki bileşeninin darbe süresi 4,7 sn, düşey yöndeki bileşeninin darbe süresi 4,3 sn'dir. Kuzey-güney doğrultusundaki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,23 g ve 69,68 cm/sn, doğu-batı doğrultusundaki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,32 g ve 71,85 cm/sn, düşey yöndeki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,24 g ve 30,76 cm/sn'dir (Şekil 6.73-6.78).



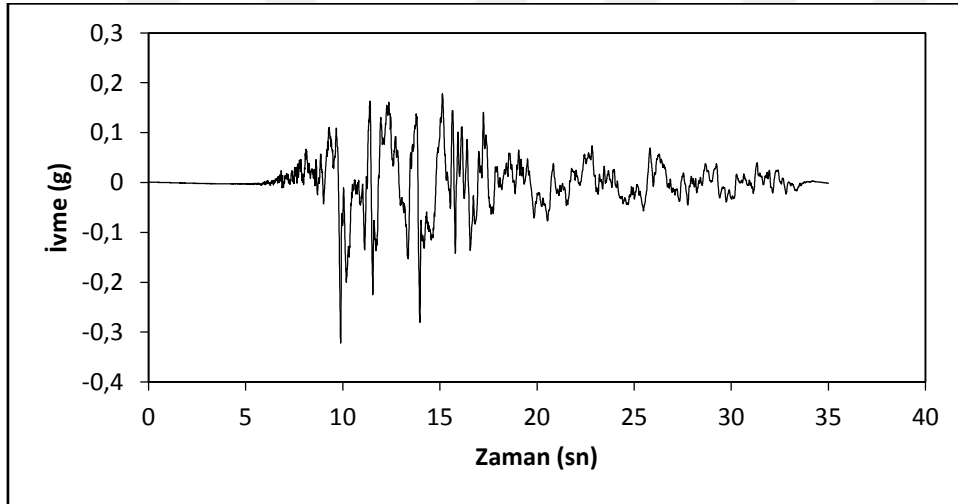
Şekil 6.73. Kocaeli YPT kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği



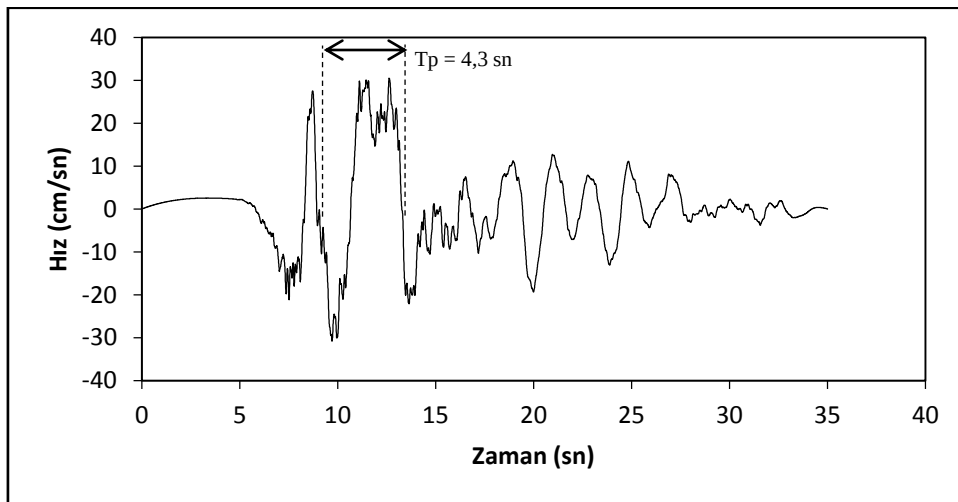
Şekil 6.74. Kocaeli YPT kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği



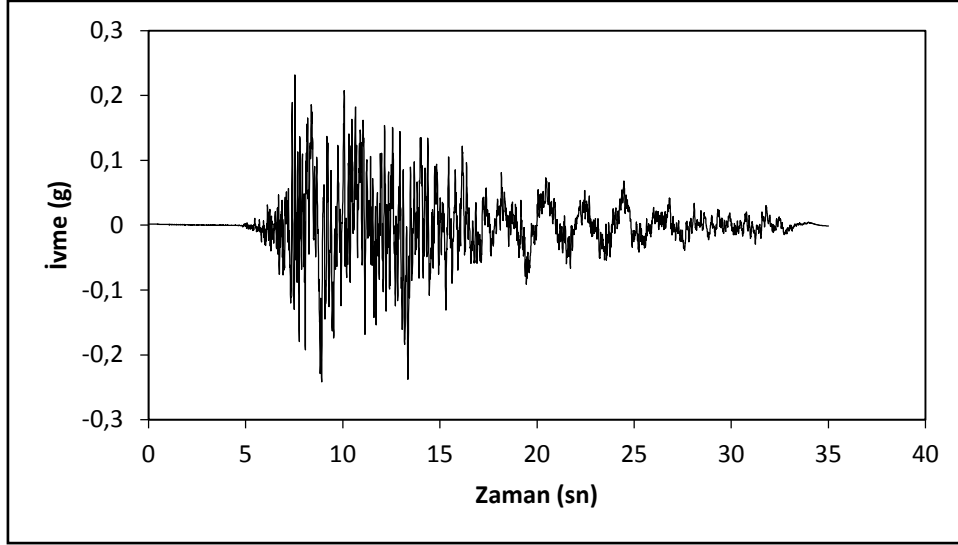
Şekil 6.75. Kocaeli YPT kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği



Şekil 6.76. Kocaeli YPT kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği

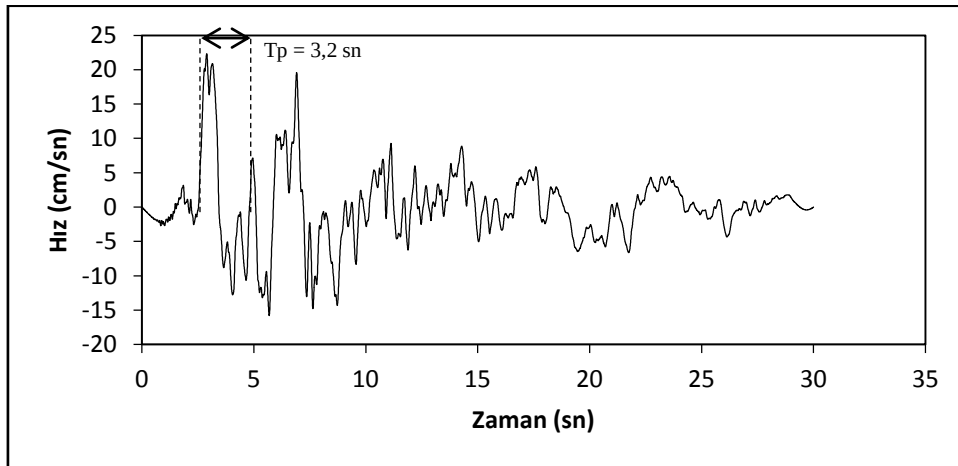


Şekil 6.77. Kocaeli YPT kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği

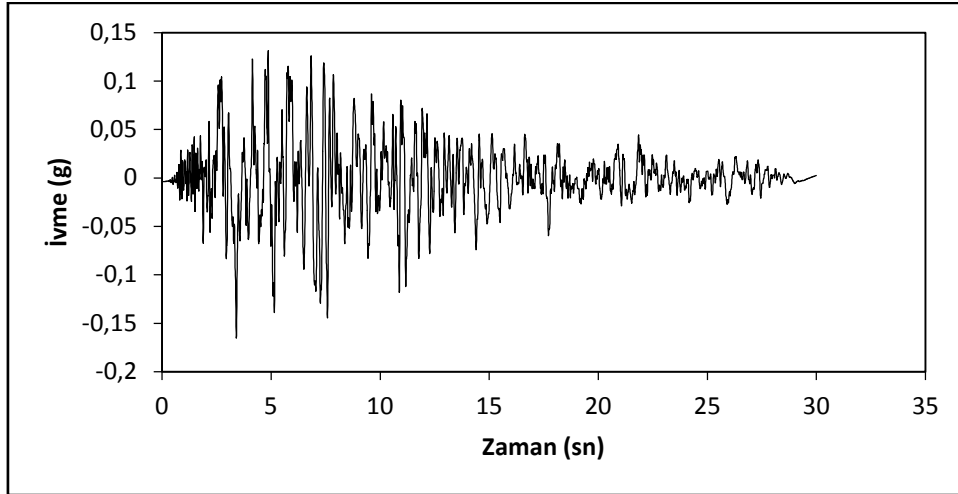


Şekil 6.78. Kocaeli YPT kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği

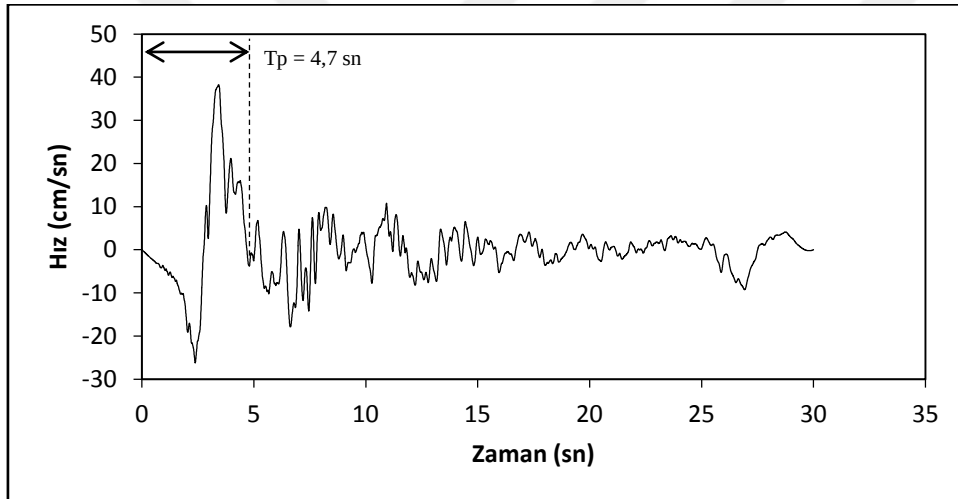
Yakın fay darbeleri yer hareketini gösteren Kocaeli IZT deprem kaydının üç bileşendeki hız-zaman grafikleri incelendiğinde darbe etkileri açıkça gözlenmektedir. Bu darbe etkileri deprem kaydının başlangıç aşamasında belirlediği için, deprem kayıtlarının ileri yönelme etkisi altında olduğu anlaşılmaktadır. IZT deprem kaydının kuzey-güney doğrultusundaki bileşeninin darbe süresi 3,2 sn, doğu-batı doğrultusundaki bileşeninin darbe süresi 4,7 sn, düşey yöndeki bileşeninin darbe süresi 3,1 sn'dir. Kuzey-güney doğrultusundaki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,16 g ve 22,32 cm/sn, doğu-batı doğrultusundaki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,23 g ve 38,27 cm/sn, düşey yöndeki bileşeninin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,14 g ve 12,38 cm/sn'dir (Şekil 6.79-6.84).



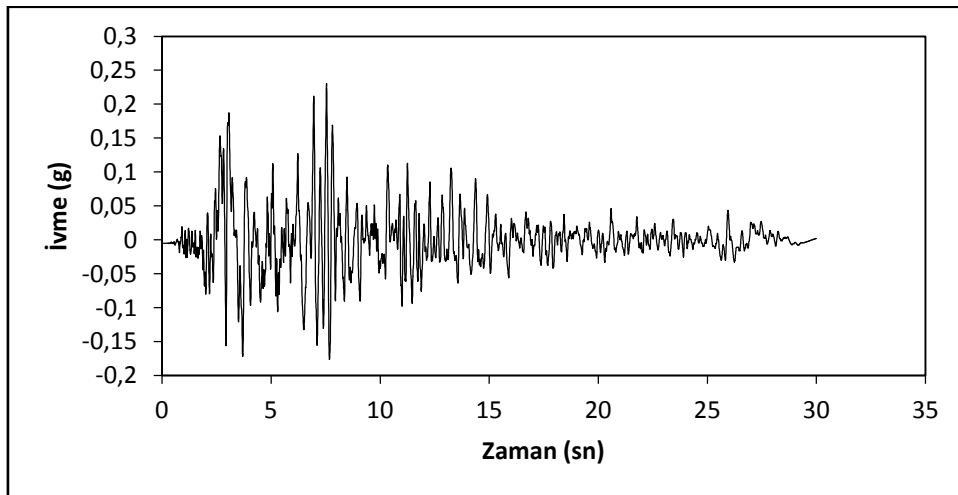
Şekil 6.79. Kocaeli IZT kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği



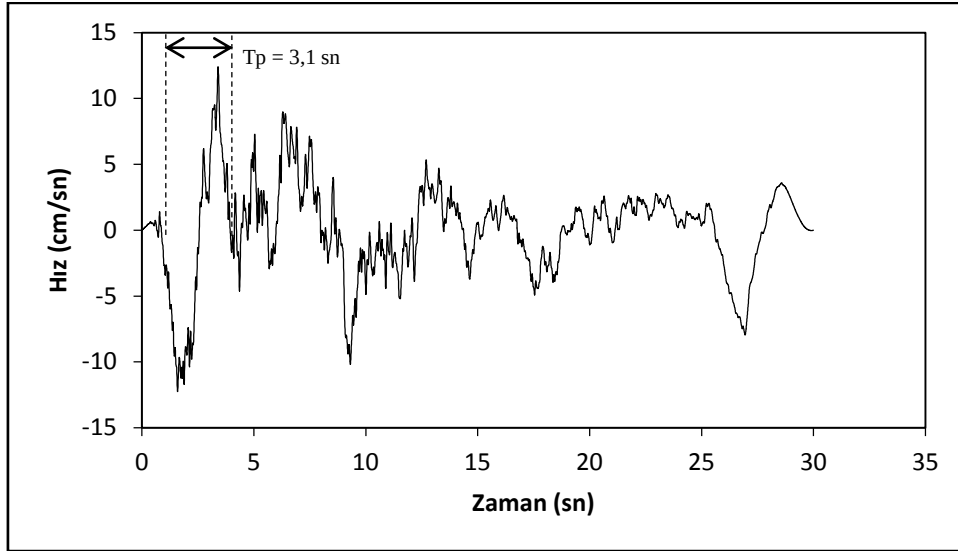
Şekil 6.80. Kocaeli IZT kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği



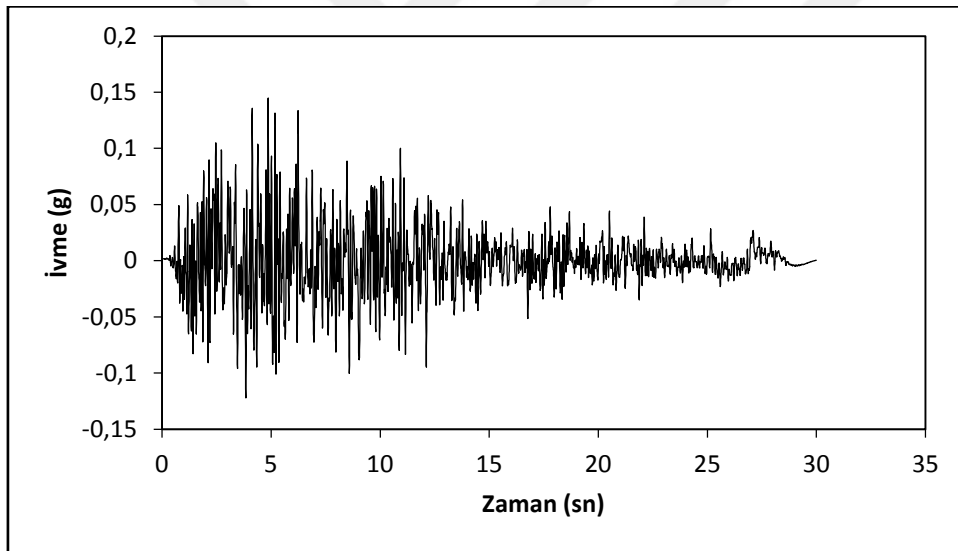
Şekil 6.81. Kocaeli IZT kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği



Şekil 6.82. Kocaeli IZT kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği

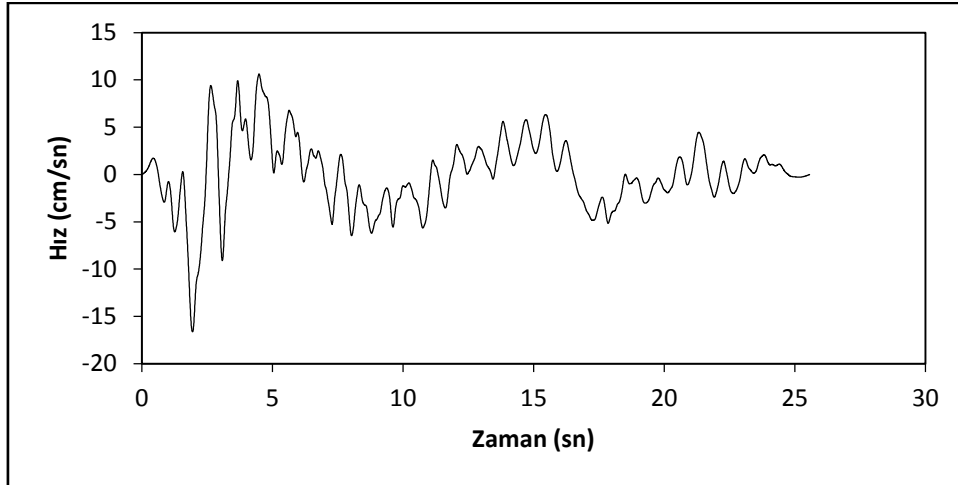


Şekil 6.83. Kocaeli IZT kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği

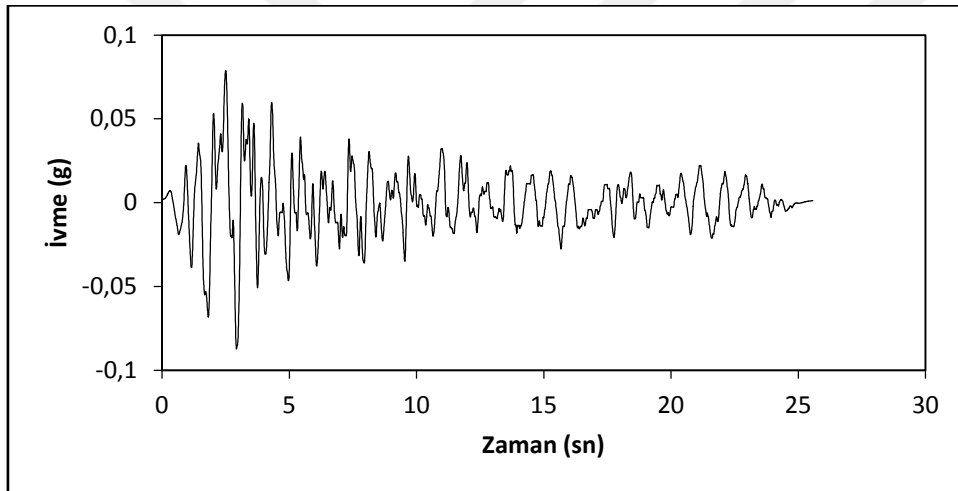


Şekil 6.84. Kocaeli IZT kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği

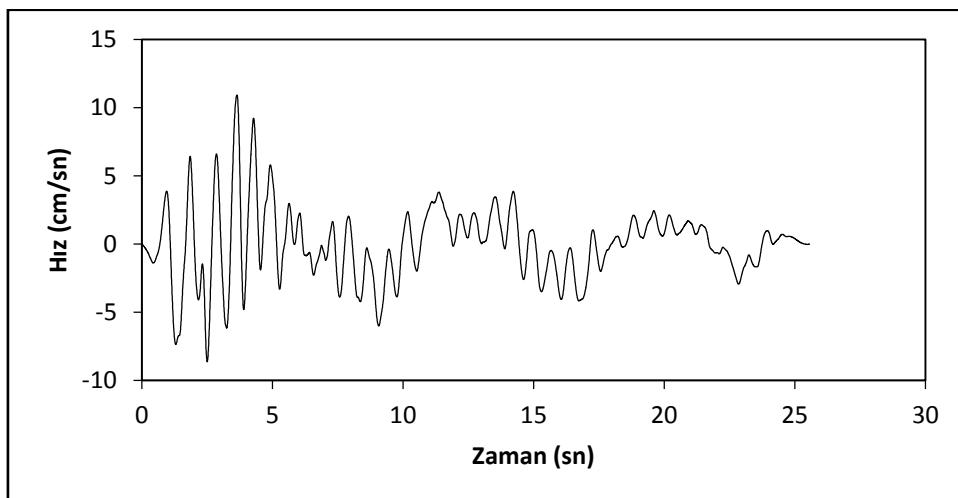
Uzak fay yer hareketini gösteren Kocaeli ERG deprem kaydının üç bileşendeki hız-zaman grafikleri incelendiğinde darbe etkileri gözlenmemektedir. Darbe etkilerinin mevcut olmaması nedeniyle deprem kayıtlarında herhangi bir yönelme etkisi de oluşmamıştır. Kuzey-güney doğrultusundaki bileşenin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,09 g ve 16,63 cm/sn, doğu-batı doğrultusundaki bileşenin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,1 g ve 10,91 cm/sn, düşey yöndeki bileşenin PGA ve PGV değerleri sırasıyla 0,06 g ve 3,98 cm/sn'dir (Şekil 6.85-6.90).



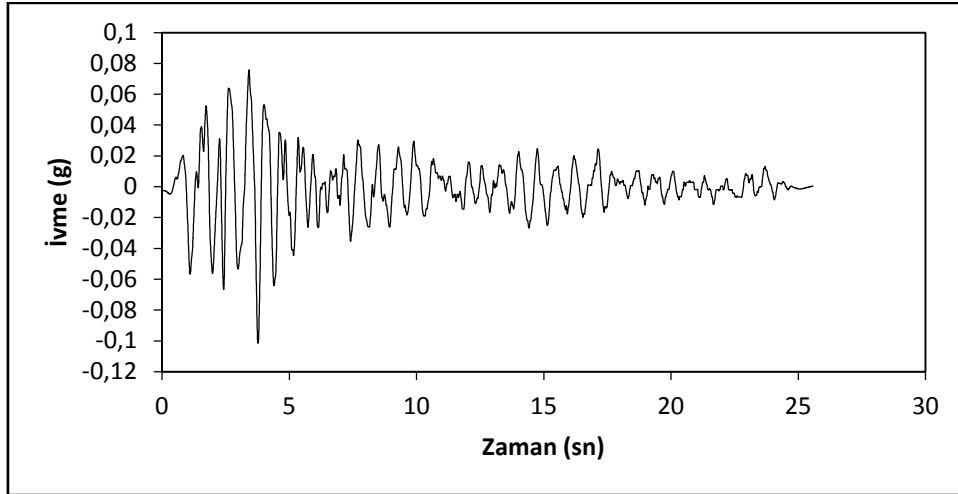
Şekil 6.85. Kocaeli ERG kaydı kuzey-güney doğrultusu hız-zaman grafiği



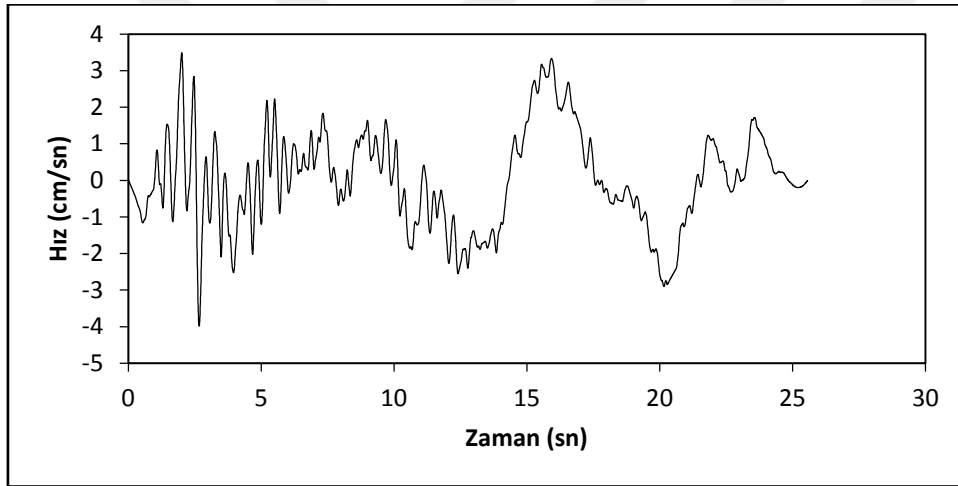
Şekil 6.86. Kocaeli ERG kaydı kuzey-güney doğrultusu ivme-zaman grafiği



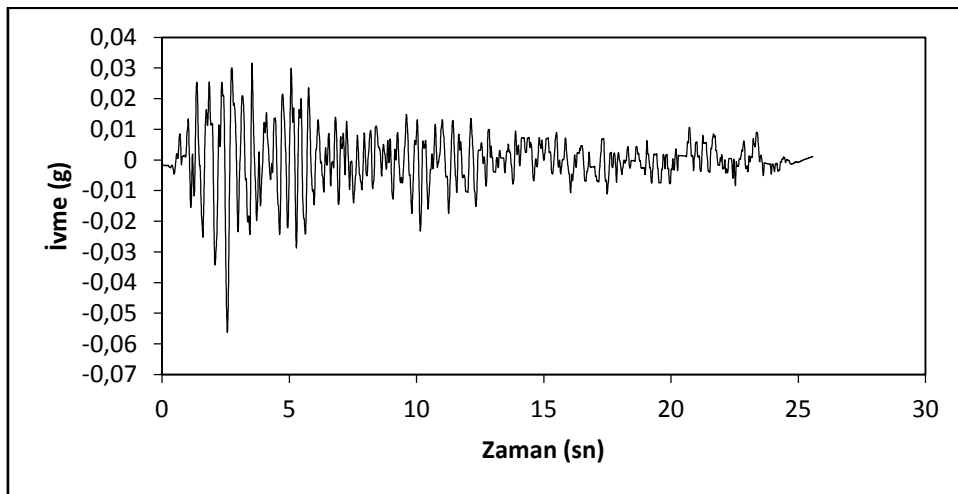
Şekil 6.87. Kocaeli ERG kaydı doğu-batı doğrultusu hız-zaman grafiği



Şekil 6.88. Kocaeli ERG kaydı doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği



Şekil 6.89. Kocaeli ERG kaydı düşey yöndeki hız-zaman grafiği



Şekil 6.90. Kocaeli ERG kaydı düşey yöndeki ivme-zaman grafiği



7. NÜMERİK ÇÖZÜMLER

Bu tez çalışmasında kablo destekli köprülerin dinamik davranışları üzerindeki yakın fay ve uzak fay yer hareketlerinin etkilerini belirlemek için karşılaştırmalı bir analiz yapılması amaçlanmıştır. Dikkate alınan köprü sistemlerinin üç boyutlu sonlu eleman modelleri, yakın fay ve uzak fay için seçilen deprem hareketlerinin üç bileşeni için zaman tanım alanında çözümlenmiştir. Sayısal hesaplamaları gerçekleştirmek için SAP4 (Bathe, Wilson ve Peterson, 1974) bilgisayar programının geliştirilmiş versiyonu olan Mulsap yapısal analiz programı kullanılmıştır.

7.1. Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'nün Dinamik Analizi

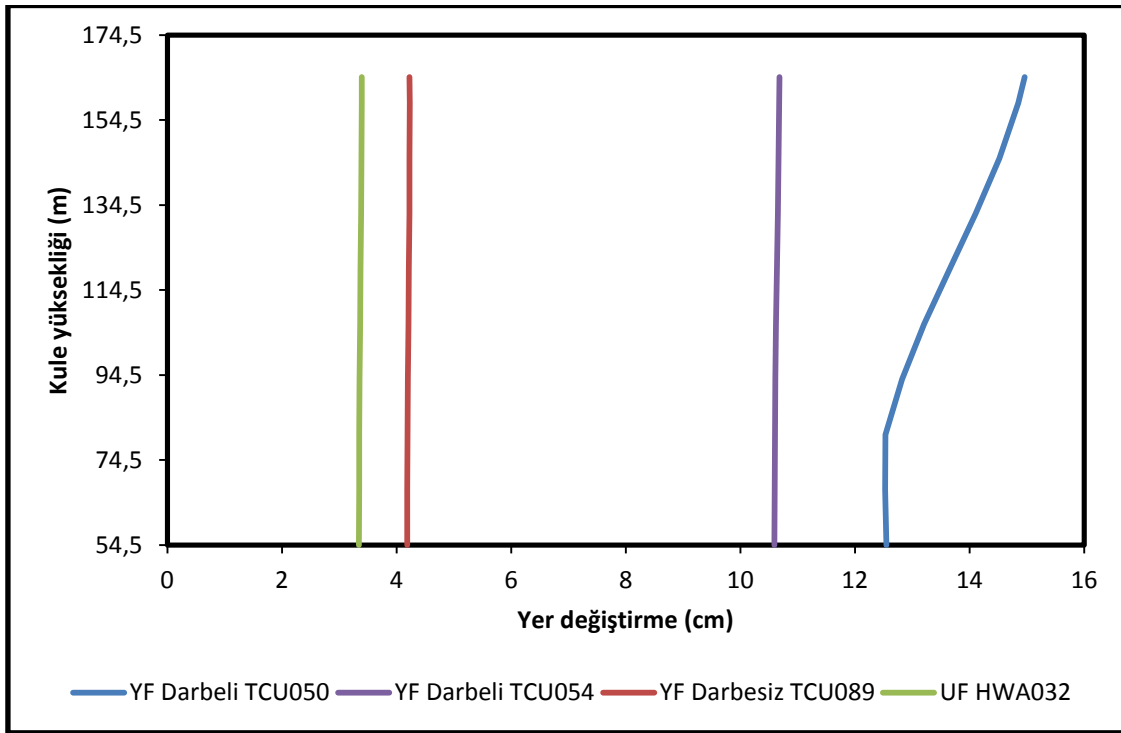
Bu tez çalışmasında asma köprü modeli olarak seçilen Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'nün Chi-Chi, Düzce, Kobe ve Kocaeli depremlerinin yakın fay darbeli, yakın fay darbesiz ve uzak fay olarak tanımlanan yer hareketi bileşenleri için gerçekleştirilen dinamik analizleri sonucu elde edilen tabliye ve kule tepki değerleri her bir deprem hareketi için ayrı ayrı ele alınmış ve değerlendirmesi yapılmıştır.

7.1.1. Chi-Chi Depremi için yapılan çözümlemeler

Chi-Chi Depremi dikkate alınarak yapılan analizlerde yakın fay darbeli deprem kaydı TCU050, yakın fay darbeli deprem kaydı TCU054, yakın fay darbesiz deprem kaydı TCU089 ve uzak fay deprem kaydı HWA032 kullanılmıştır. Bu dört deprem kaydı için kule yüksekliği ve köprü açıklığı boyunca elde edilen yer değiştirme, eğilme momenti, eksenel kuvvet ve kesme kuvveti değişimleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Kule yüksekliği boyunca yer değiştirme değerlerinin incelendiği Şekil 7.1'de yakın fay darbeli yer hareketini gösteren TCU050 kaydı için kule tepe noktasında en büyük yer değiştirme değeri (15 cm) elde edilmiştir. Diğer bir yakın fay darbeli yer hareketi olan TCU054 kaydından kule tepe noktasında 10,7 cm değerinde yer değiştirme elde edilmiştir. TCU050 ve TCU054 deprem kayıtları karşılaştırıldığında, yakın fay darbeli yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisini artıran parametrenin PGV/PGA değerinin olduğu değerlendirilmektedir. TCU050 deprem kaydının üç bileşeni için belirlenen PGV/PGA

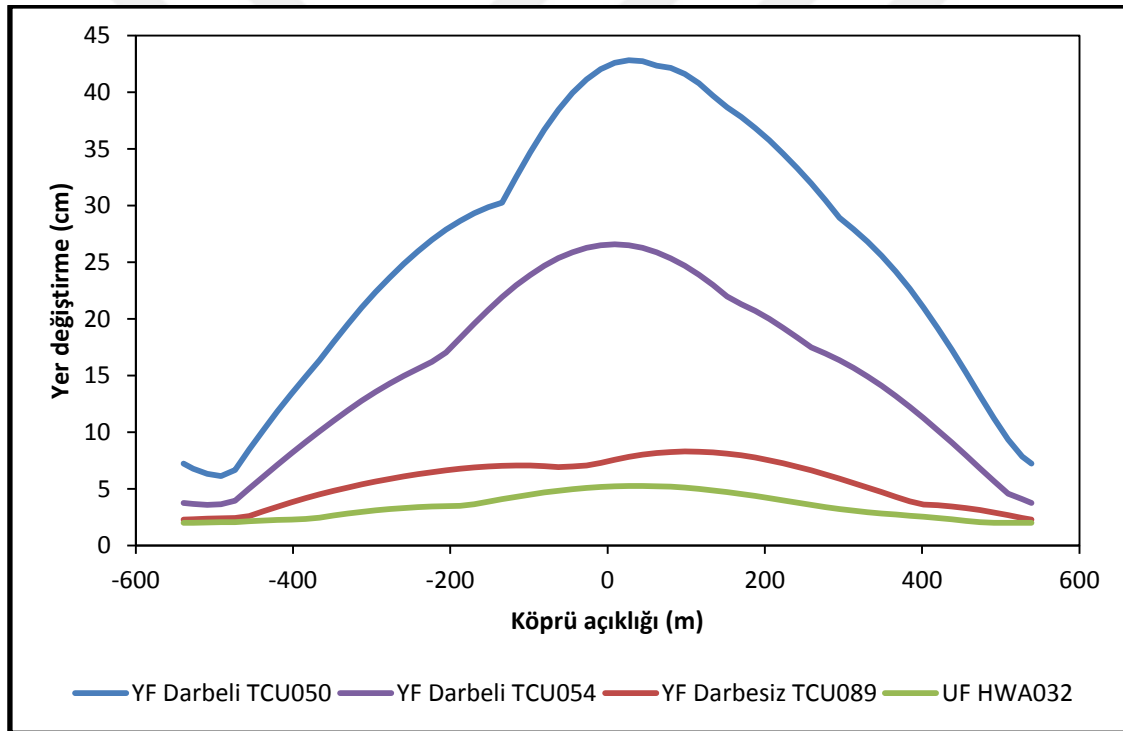
değerlerinin (0,27 sn, 0,34 sn, 0,48 sn), TCU054 deprem kaydı bileşenleri için belirlenen PGV/PGA değerlerinden (0,31 sn, 0,22 sn, 0,24 sn) daha büyük olmasının söz konusu farklılığın nedeni olduğu anlaşılmaktadır. Yakın fay darbesiz yer hareketi olarak tanımlanan TCU089 kaydı için kule tepe noktasında elde edilen yer değiştirme değeri (4,2 cm), uzak fay yer hareketi kaydı olarak alınan HWA032 kaydı için elde edilen yer değiştirmeden (3,4 cm) daha büyük bir değer vermiştir. Burada deprem kaydının darbe etkisine sahip olması durumunda köprü davranışı üzerindeki etkisi açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 7.1. Chi-Chi Depremi için FSM kule yatay yer değiştirmeleri

Şekil 7.2'de köprü açıklığı boyunca yer değiştirme değerleri karşılaştırılmıştır. TCU050, TCU054, TCU089 ve HWA032 Chi-Chi deprem kayıtları için tabliye açıklığının orta noktasında elde edilen yer değiştirme değerleri sırasıyla 42,3 cm, 26,5 cm, 7,2 cm ve 5,1 cm olarak belirlenmiştir. Yakın fay darbeli yer hareketi için elde edilen yer değiştirmelerin, yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı ve uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen yer değiştirmelerden önemli ölçüde büyük olduğu gözlenmiştir. Kulede olduğu gibi tabliyede de TCU050 darbeli yer hareketi kaydı için elde edilen tabliye yer değiştirmeleri, TCU054 darbeli yer hareketi kaydı için elde edilen yer değiştirmelerden daha büyük çıkmıştır. TCU050 kaydı için tabliye orta noktasında elde edilen yer değiştirme değeri TCU054

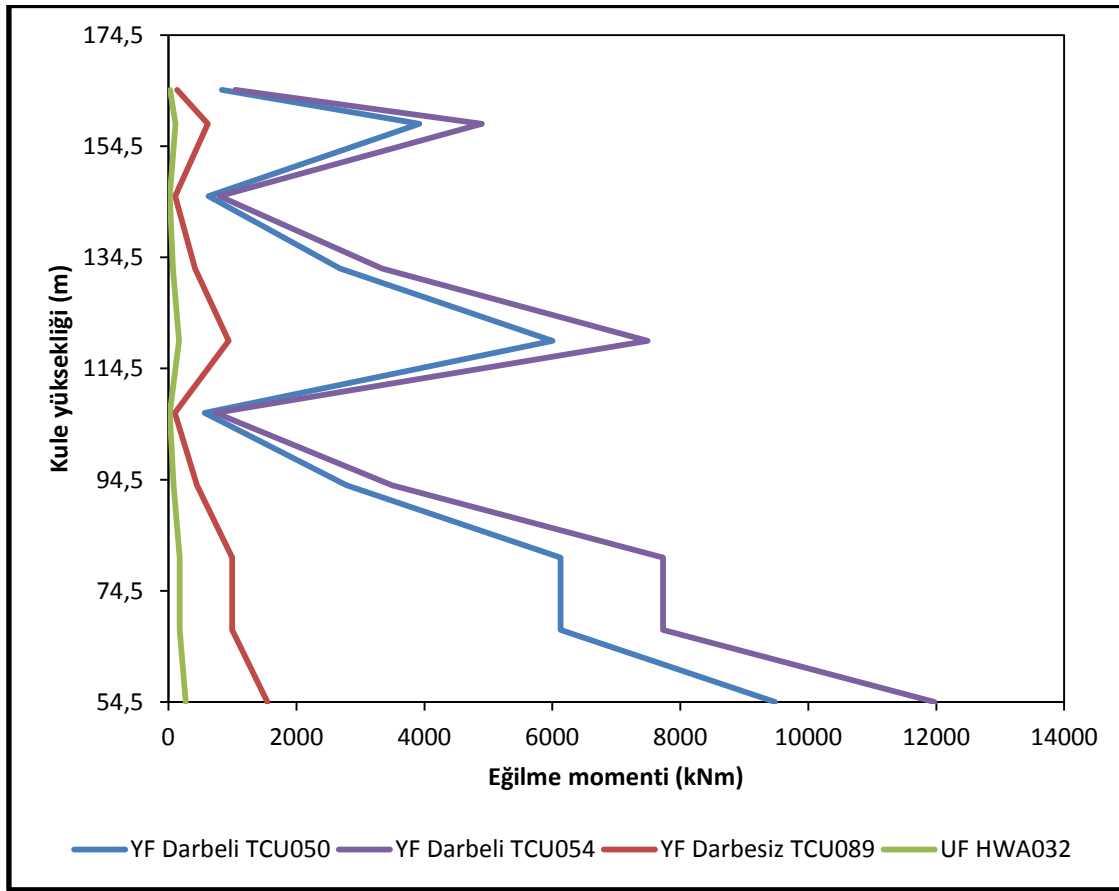
kaydı için bulunan yer değiştirme değerinden %60 daha büyük çıkmıştır. TCU050 deprem kaydının, TCU054 deprem kaydına göre daha büyük yer değiştirme değerlerine neden olmasının nedeninin TCU050 deprem kaydının PGV/PGA değerinin daha büyük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı TCU089 için elde edilen yer değiştirmeler de uzak fay yer hareketi kaydı HWA032 kaydı için belirlenen yer değiştirmelerden daha büyük çıkmıştır. TCU089 kaydı için tabliye orta noktasında elde edilen yer değiştirme değeri HWA032 kaydı için bulunan yer değiştirme değerinden %41 daha büyük çıkmıştır. Köprü tabliyesi için de yakın fay darbeleri yer hareketinin, yakın fay darbesiz yer hareketi ve uzak fay yer hareketine göre önemli oranda daha etkili olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 7.2. Chi-Chi Depremi için FSM tabliye düşey yer değiştirmeleri

Kule yüksekliği boyunca eğilme momenti değerlerinin incelendiği Şekil 7.3'de yakın fay darbeleri yer hareketini gösteren TCU054 kaydı için kule taban noktasında en büyük eğilme momenti değeri (11970 kNm) elde edilmiştir. Diğer bir yakın fay darbeleri yer hareketi olan TCU050 kaydından kule taban noktasında 9482 kNm değerinde eğilme momenti elde edilmiştir. Tabliye ve kulede yer değiştirme için elde edilen değişimden farklı olarak TCU054 kaydı için bulunan eğilme momentinin kule yüksekliği boyunca TCU050 deprem

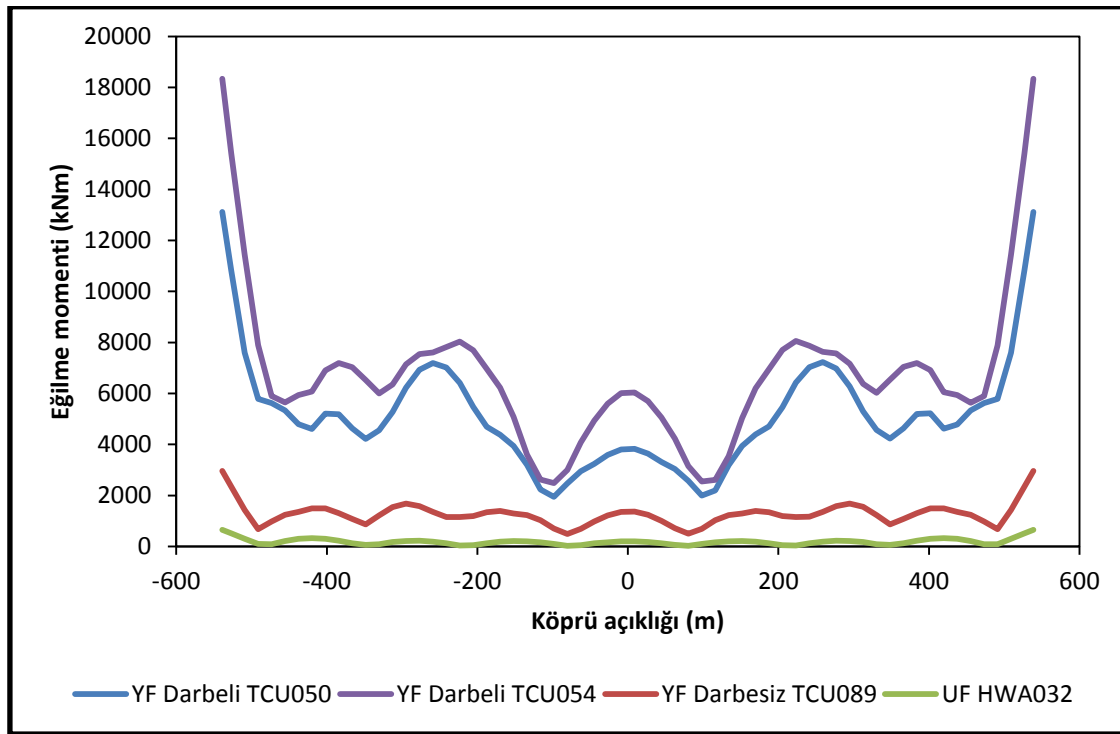
kaydı için elde edilenlerden biraz daha büyük eğilme momentlerine neden olduğu görülmüştür. Bu durumda, yakın fay darbeli yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisinin sadece PGV/PGA parametrik değerine bağlı olmadığı anlaşılmaktadır. Yakın fay darbesiz yer hareketi olarak tanımlanan TCU089 kaydı için kule taban noktasında elde edilen eğilme momenti değeri (1544 kNm), uzak fay yer hareketi kaydı olarak alınan HWA032 kaydı için elde edilen eğilme momentinden (272 kNm) daha büyük bir değer vermiştir. Yakın fay darbeli yer hareketinin köprü üzerindeki ayırt edici etkisi kule eğilme momentleri için de gözlenmiştir.



Şekil 7.3. Chi-Chi Depremi için FSM kule eğilme momentleri

Şekil 7.4'de köprü açıklığı boyunca eğilme momenti değerleri karşılaştırılmıştır. TCU054, TCU050, TCU089 ve HWA032 Chi-Chi deprem kayıtları için tabliye açıklığının orta noktasında elde edilen eğilme momenti değerleri sırasıyla 6025 kNm, 3817 kNm, 1357 kNm ve 195 kNm olarak belirlenmiştir. Yakın fay darbeli yer hareketi için elde edilen eğilme momentlerinin, yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı ve uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen eğilme momentlerinden önemli ölçüde büyük olduğu gözlenmiştir. Kulede

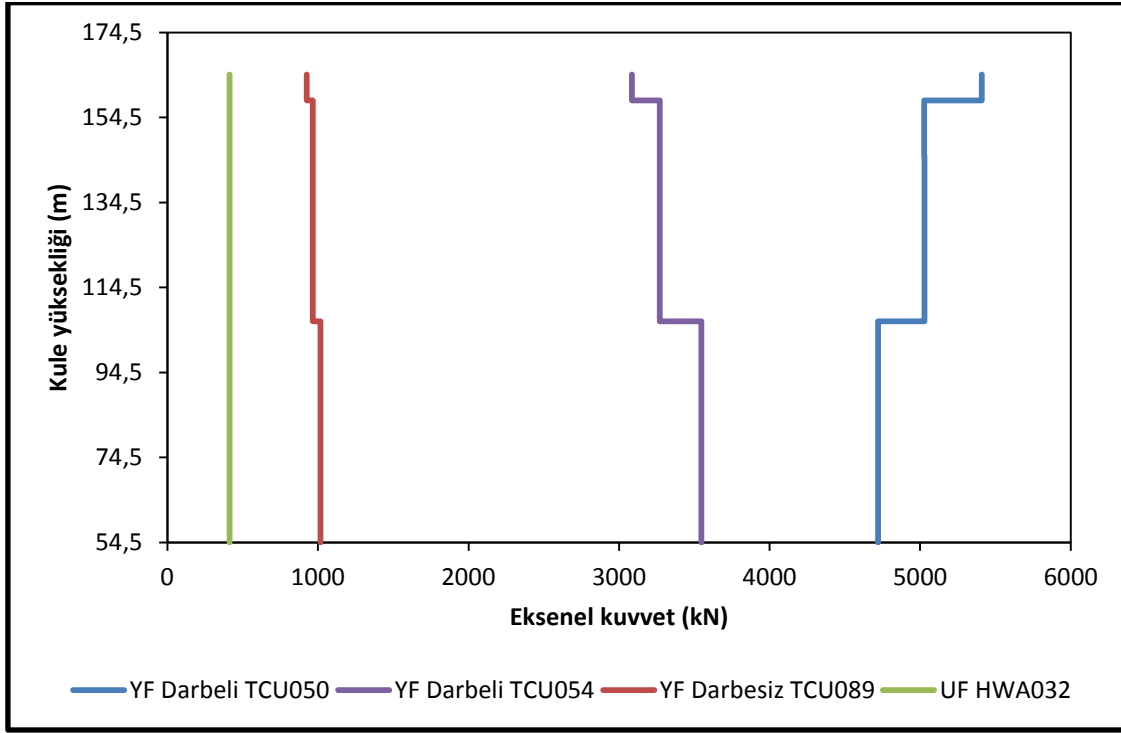
olduğu gibi tabliyede de TCU054 darbeleri yer hareketi kaydı için elde edilen tabliye eğilme momentleri, TCU050 darbeleri yer hareketi kaydı için elde edilen eğilme momentlerinden biraz daha büyük çıkmıştır. TCU054 kaydı için tabliye orta noktasında elde edilen eğilme momenti değeri TCU050 kaydı için bulunan eğilme momenti değerinden %58 daha büyük çıkmıştır. Yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı TCU089 için elde edilen eğilme momentleri de uzak fay yer hareketi kaydı HWA032 için belirlenen eğilme momentlerinden daha büyük çıkmıştır. Köprü tabliyesi için de yakın fay darbeleri yer hareketinin, yakın fay darbesiz yer hareketi ve uzak fay yer hareketine göre önemli oranda daha etkili olduğu görülmektedir.



Şekil 7.4. Chi-Chi Depremi için FSM tabliye eğilme momentleri

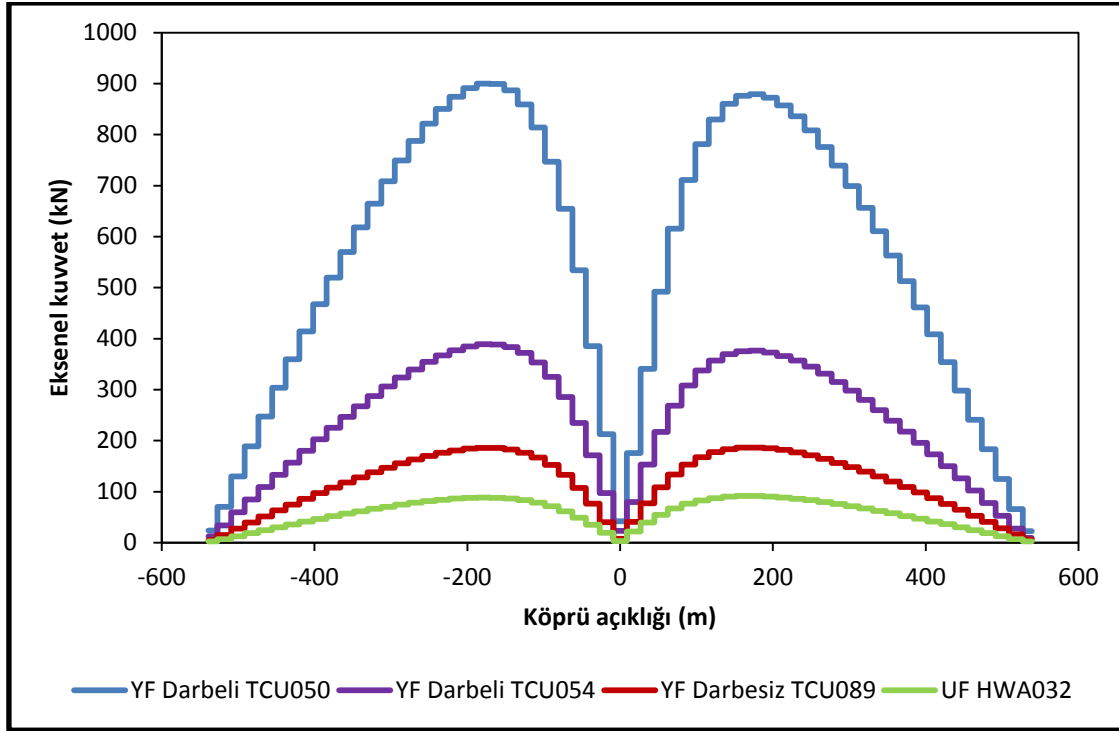
Kule yüksekliği boyunca aksenal kuvvet değişiminin incelendiği Şekil 7.5’de yakın fay darbeleri yer hareketini gösteren TCU050 kaydı için kule tepe noktasında en büyük aksenal kuvvet değeri (5409 kN) elde edilmiştir. Diğer bir yakın fay darbeleri yer hareketi olan TCU054 kaydı için kule tepe noktasında 3087 kN değerinde aksenal kuvvet elde edilmiştir. TCU050 ve TCU054 deprem kayıtları karşılaştırıldığında, burada da yakın fay darbeleri yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisini artıran parametrenin PGV/PGA değerinin olduğu değerlendirilmektedir. Yakın fay darbesiz yer hareketi olarak tanımlanan TCU089

kaydı için kule tepe noktasında elde edilen eksenel kuvvet değeri (925 kN), uzak fay yer hareketi kaydı olarak alınan HWA032 kaydı için elde edilen eksenel kuvvetten (412 kN) daha büyük bir değer vermiştir. Burada da deprem kaydının darbe etkisine sahip olması durumunda köprü davranışı üzerinde etkili olacağı açık bir şekilde görülmektedir.



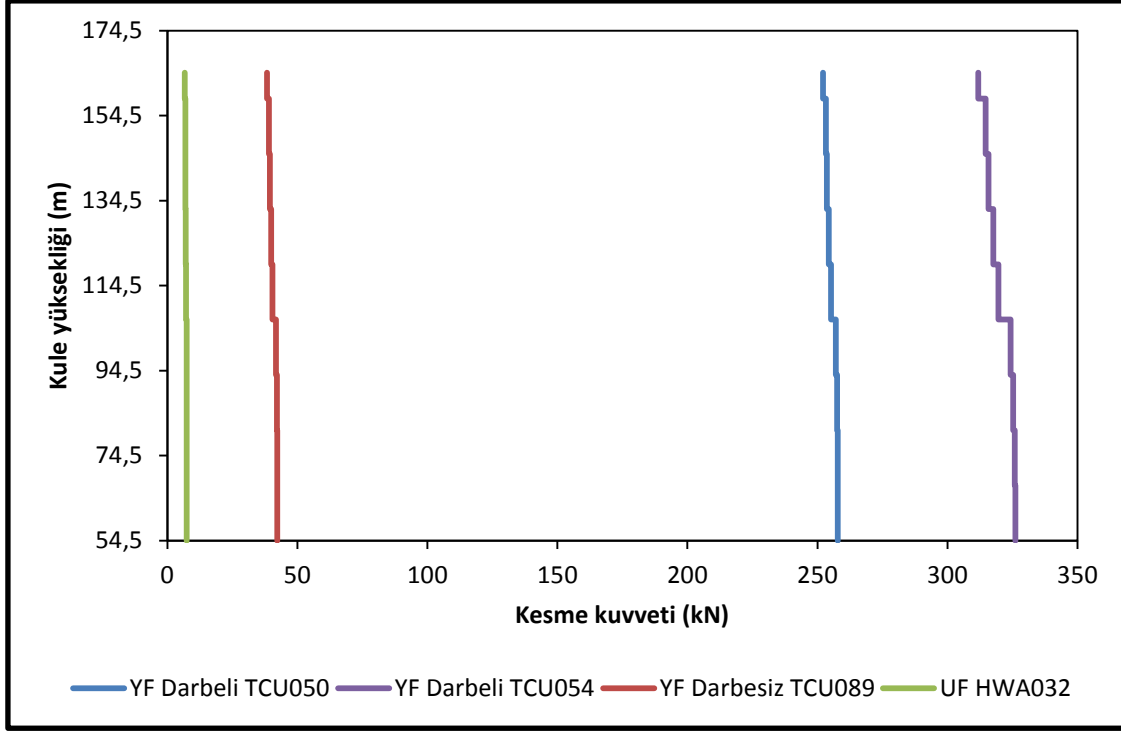
Şekil 7.5. Chi-Chi Depremi için FSM kule eksenel kuvvetleri

Şekil 7.6'da köprü açıklığı boyunca eksenel kuvvet değerleri karşılaştırılmıştır. Yakın fay darbeli yer hareketi kaydı TCU050 için tabliye açıklığı boyunca elde edilen eksenel kuvvetler diğer bir yakın fay darbeli yer hareketi kaydı olan TCU054 için bulunanlardan belirgin şekilde daha büyük değerler vermiştir. Bunun yanında yakın fay darbeli yer hareketi için elde edilen eksenel kuvvetlerin, yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı ve uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen eksenel kuvvetlerden önemli ölçüde büyük olduğu gözlenmiştir. TCU050 deprem kaydının, TCU054 deprem kaydına göre daha büyük eksenel kuvvet değerlerine neden olmasının nedeninin TCU050 deprem kaydının PGV/PGA değerinin daha büyük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı TCU089 için elde edilen eksenel kuvvetler de uzak fay yer hareketi kaydı HWA032 için belirlenen eksenel kuvvetlerden daha büyük çıkmıştır. Tabliye eksenel kuvvetleri için de yakın fay darbeli yer hareketinin, darbesiz yer hareketi ve uzak fay yer hareketine göre önemli oranda daha etkili olduğu anlaşılmaktadır.



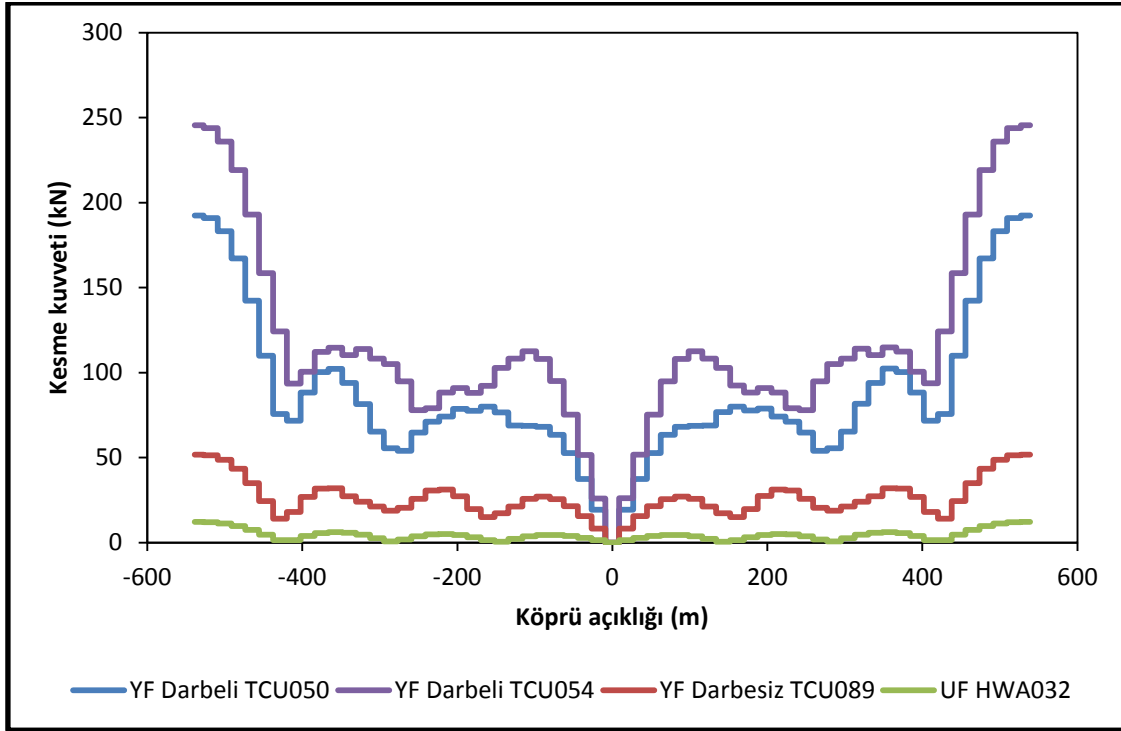
Şekil 7.6. Chi-Chi Depremi için FSM tabliye eksenel kuvvetleri

Kule yüksekliği boyunca kesme kuvveti değişiminin incelendiği Şekil 7.7’de yakın fay darbeli yer hareketini gösteren TCU054 kaydı için en büyük kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. TCU054 kaydı için bulunan kesme kuvvetlerinin kule yüksekliği boyunca TCU050 deprem kaydı için elde edilenlerden daha büyük kesme kuvvetlerine neden olduğu görülmüştür. Bu durumda, yakın fay darbeli yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisinin sadece PGV/PGA parametrik değerine bağlı olmadığı anlaşılmaktadır. Yakın fay darbesiz yer hareketi olarak tanımlanan TCU089 kaydı için kule yüksekliği boyunca elde edilen kesme kuvveti değerleri, uzak fay yer hareketi kaydı olarak alınan HWA032 kaydı için elde edilen kesme kuvveti değerlerinden daha büyük değerler vermiştir. Burada da yakın fay darbeli yer hareketinin köprü üzerindeki ayırt edici etkisi açık bir şekilde gözlenmiştir.



Şekil 7.7. Chi-Chi Depremi için FSM kule kesme kuvvetleri

Şekil 7.8’de köprü açıklığı boyunca kesme kuvveti değerlerinin değişimi incelenmiştir. Daha önce de gözlendiği gibi yakın fay darbeleri yer hareketi kayıtları TCU050 ve TCU054 için tabliye boyunca elde edilen kesme kuvvetleri en büyük çıkmıştır. Yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı TCU089 için elde edilen kesme kuvvetleri de uzak fay yer hareketi kaydı HWA032 için belirlenen kesme kuvvetlerinden daha büyük çıkmıştır. Burada da yakın fay darbeleri yer hareketinin, yakın fay darbesiz yer hareketi ve uzak fay yer hareketine göre kesme kuvvetleri üzerinde önemli etkisinin olduğu görülmektedir.

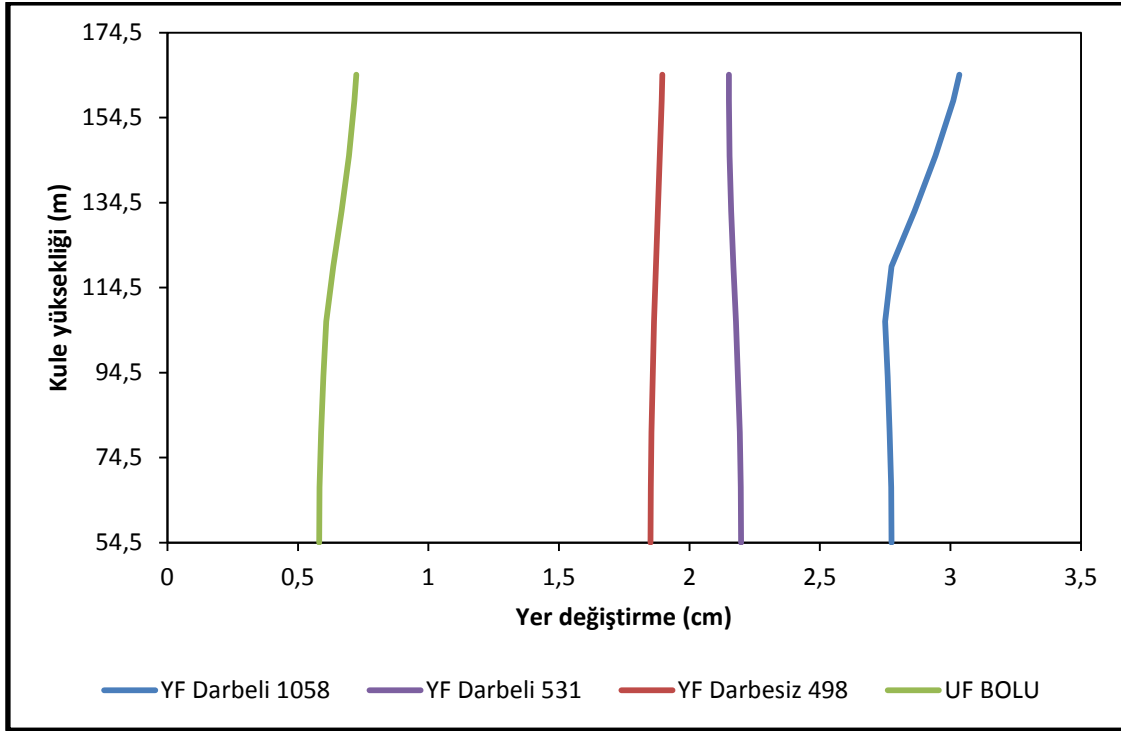


Şekil 7.8. Chi-Chi Depremi için FSM tabliye kesme kuvvetleri

7.1.2. Düzce Depremi için yapılan çözümlemeler

Düzce Depremi'nin analizinde yakın fay darbeli deprem kaydı 1058, yakın fay darbeli deprem kaydı 531, yakın fay darbesiz deprem kaydı 498 ve uzak fay deprem kaydı BOLU kullanılmıştır. Bu dört deprem kaydı için kule yüksekliği ve köprü açıklığı boyunca elde edilen yer değiştirme, eğilme momenti, aksenal kuvvet ve kesme kuvveti değişimleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

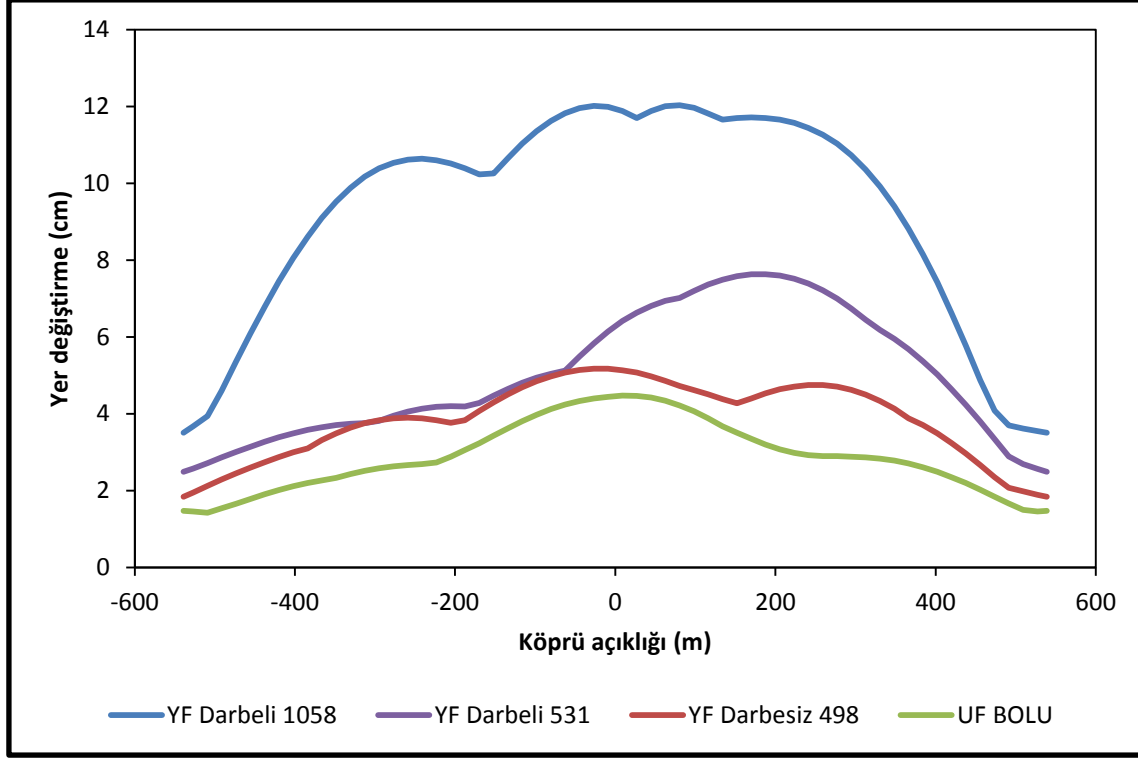
Kule yüksekliği boyunca yer değiştirme değerlerinin incelendiği Şekil 7.9'da tüm deprem kayıtları için elde edilen yer değiştirme değerlerinin oldukça küçük olduğu (0,5 cm-3 cm arasında) gözlenmiştir. Bunun yanında deprem kayıtları için elde edilen değişimin Chi-Chi Depremi için elde edilen değişimle benzer olduğu yani yakın fay darbeli yer hareketleri için elde edilen yer değiştirmelerin, yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı ve uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen yer değiştirmelerden büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 7.9. Düzce Depremi için FSM kule yatay yer değiştirmeleri

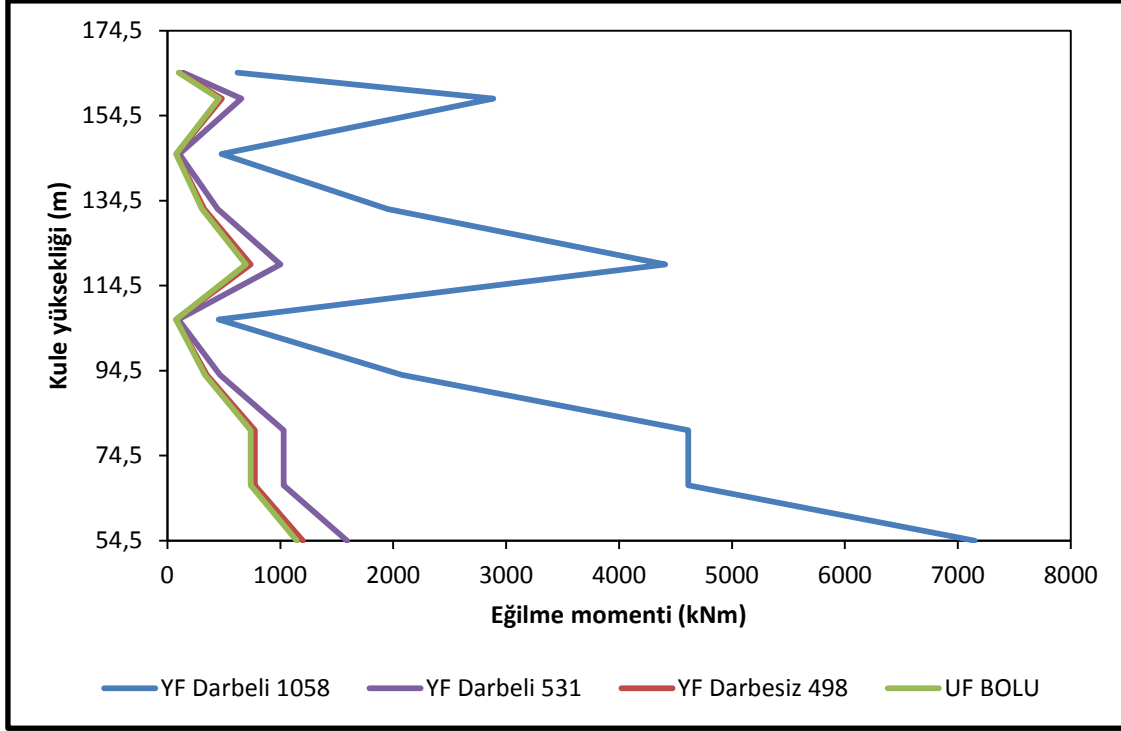
Şekil 7.10'da köprü açıklığı boyunca yer değiştirme değerleri karşılaştırılmıştır. 1058, 531, 498 ve BOLU deprem kayıtları için tabliye açıklığının orta noktasında elde edilen yer değiştirme değerleri sırasıyla 11,9 cm, 6,2 cm, 5,1 cm ve 4,4 cm olarak belirlenmiştir. Yakın fay darbeli yer hareketi için elde edilen yer değiştirmelerin, yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı ve uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen yer değiştirmelerden önemli ölçüde büyük olduğu gözlenmiştir. 1058 kaydı için tabliye orta noktasında elde edilen yer değiştirme değeri 531 kaydı için bulunan yer değiştirme değerinden %92 daha büyük çıkmıştır. 1058 deprem kaydının, 531 deprem kaydına göre daha büyük yer değiştirme değerlerine neden olmasının nedeninin 1058 deprem kaydının PGV/PGA değerinin daha büyük olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. 1058 deprem kaydının üç bileşeni için belirlenen PGV/PGA değerlerinin (0,18 sn, 0,15 sn, 0,22 sn), 531 deprem kaydı bileşenleri için belirlenen PGV/PGA değerlerinden (0,07 sn, 0,11 sn, 0,15 sn) daha büyük olmasının söz konusu farklılığın nedeni olduğu anlaşılmaktadır. Yakın fay darbesiz yer hareketi 498 kaydı için elde edilen yer değiştirmeler de uzak fay yer hareketi BOLU kaydı için belirlenen yer değiştirmelerden daha büyük çıkmıştır. 498 kaydı için tabliye orta noktasında elde edilen yer değiştirme değeri BOLU kaydı için bulunan yer değiştirme değerinden %16 daha büyük çıkmıştır. Burada köprü tabliyesi için yakın fay darbeli yer

hareketinin, yakın fay darbesiz yer hareketi ve uzak fay yer hareketine göre önemli oranda daha etkili olduğu anlaşılmaktadır.



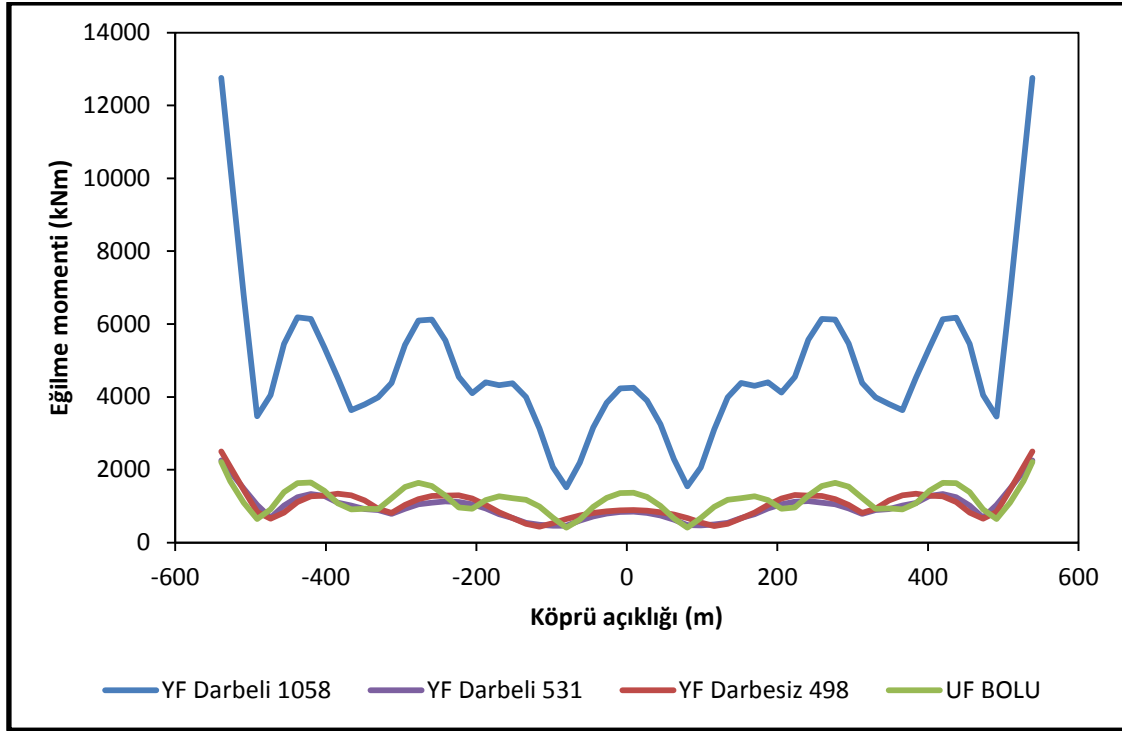
Şekil 7.10. Düzce Depremi için FSM tabliye düşey yer değiştirmeleri

Kule yüksekliği boyunca eğilme momenti değerlerinin incelendiği Şekil 7.11’de yakın fay darbeli yer hareketine karşılık gelen 1058 kaydı için kule taban noktasında en büyük eğilme momenti değeri (7152 kNm) elde edilmiştir. Diğer bir yakın fay darbeli yer hareketi olan 531 kaydı için kule taban noktasında 1591 kNm değerinde eğilme momenti elde edilmiştir. 531 yakın fay darbeli yer hareketi için kule yüksekliği boyunca belirlenen eğilme momentleri, 498 yakın fay darbesiz yer hareketi ile BOLU uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen değerlerden daha büyük olmakla birlikte sonuçların birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. 531 yakın fay darbeli yer hareketi için kule taban noktasında elde edilen eğilme momenti, 498 yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı için elde edilen eğilme momentinden %33, BOLU uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen eğilme momentinden %39 büyük çıkmıştır.



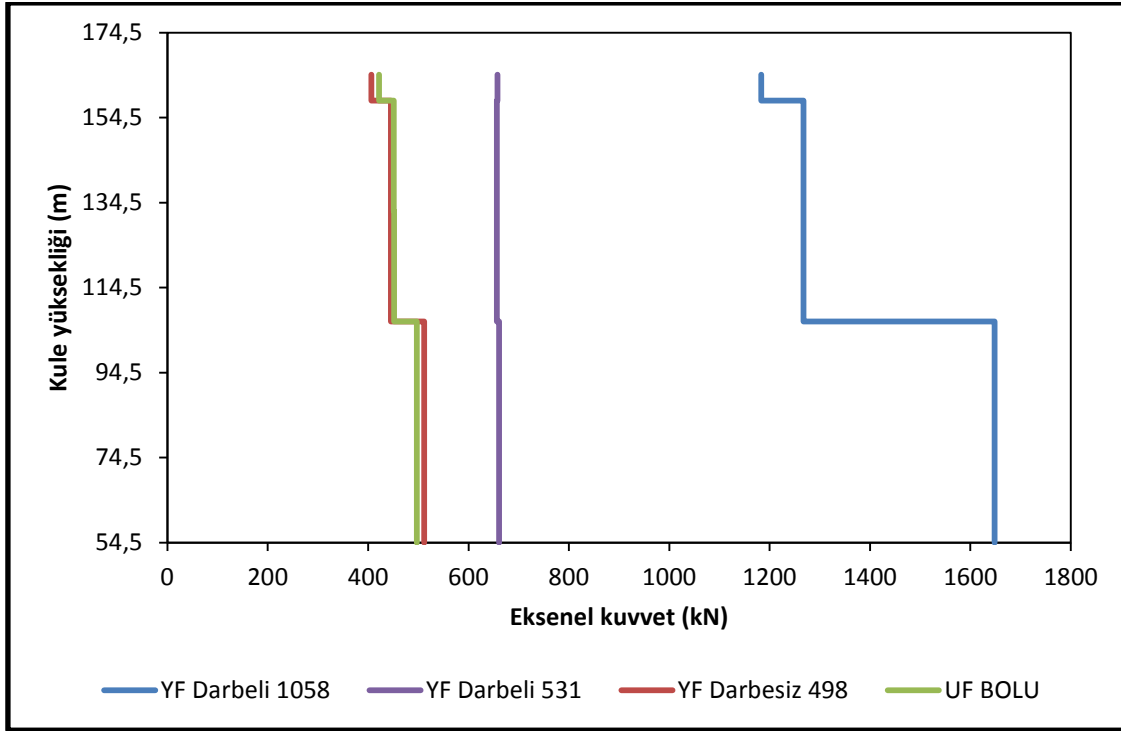
Şekil 7.11. Düzce Depremi için FSM kule eğilme momentleri

Şekil 7.12'de köprü açıklığı boyunca elde edilen eğilme momenti değerleri karşılaştırılmıştır. Burada 1058 yakın fay darbeli yer hareketi kaydı için elde edilen eğilme momentlerinin; 531 yakın fay darbeli yer hareketi kaydı, 498 yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı ve BOLU uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen eğilme momentlerinden önemli ölçüde büyük olduğu gözlenmiştir. Bunun yanında 531 yakın fay darbeli yer hareketi kaydı, 498 yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı ve BOLU uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen eğilme momentleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Burada 1058 kaydı için yakın fay darbeli yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisi açık olarak görülürken, 531 darbeli yer hareketi kaydı için bu etki görülmemiştir. Bu durumun nedeninin 531 kaydı için PGV/PGA değerlerinin küçük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



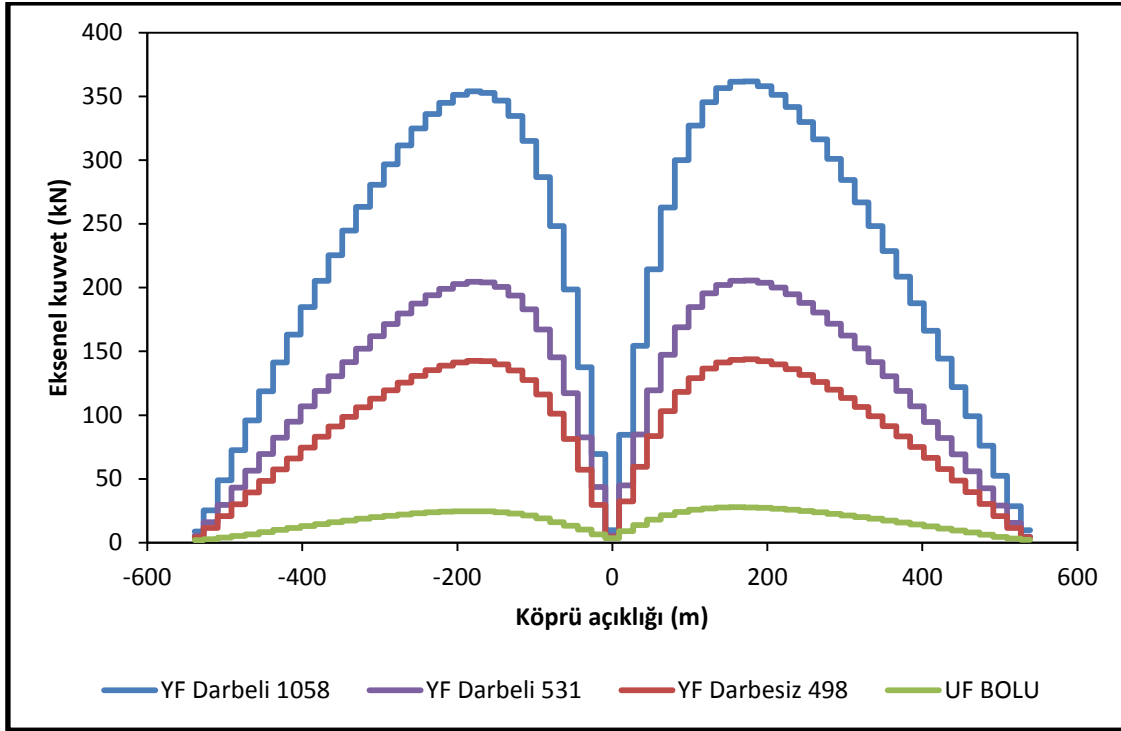
Şekil 7.12. Düzce Depremi için FSM tabliye eğilme momentleri

Kule yüksekliği boyunca eksenel kuvvet değişiminin incelendiği Şekil 7.13’de yakın fay darbeli yer hareketini gösteren 1058 kaydı için en büyük eksenel kuvvet değerleri elde edilmiştir. 1058 ve 531 deprem kayıtları karşılaştırıldığında, yakın fay darbeli yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisini artıran parametrenin PGV/PGA değerinin olduğu değerlendirilmiştir. Bunun yanında yakın fay darbesiz yer hareketi olarak tanımlanan 498 kaydı için elde edilen eksenel kuvvet değerleri, uzak fay yer hareketi kaydı olarak alınan BOLU kaydı için elde edilen eksenel kuvvetlere oldukça yakın çıkmıştır.



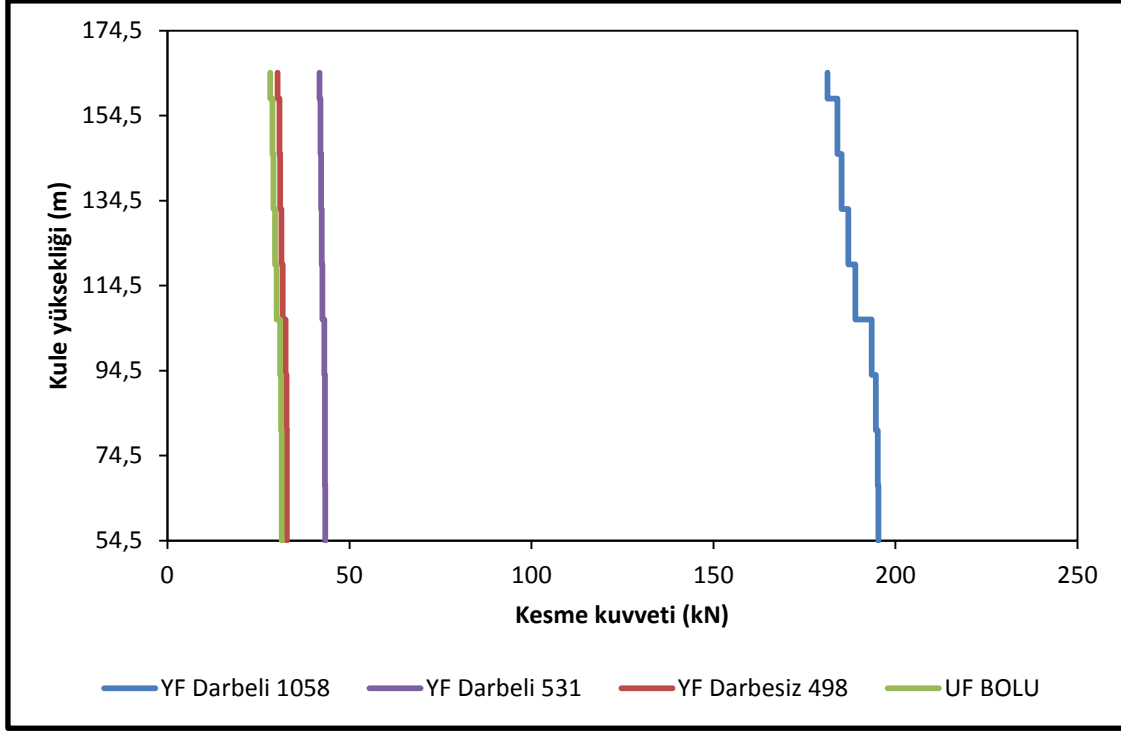
Şekil 7.13. Düzce Depremi için FSM kule eksenel kuvvetleri

Şekil 7.14'de köprü açıklığı boyunca eksenel kuvvet değerlerinin değişimi karşılaştırılmıştır. Yakın fay darbeli yer hareketi kaydı 1058 için tabliye açıklığı boyunca elde edilen eksenel kuvvetler diğer bir yakın fay darbeli yer hareketi kaydı olan 531 için bulunanlardan belirgin şekilde daha büyük değerler vermiştir. Bunun yanında yakın fay darbeli yer hareketi için elde edilen eksenel kuvvetlerin, yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı ve uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen eksenel kuvvetlerden önemli ölçüde büyük olduğu gözlenmiştir. 1058 deprem kaydının, 531 deprem kaydına göre daha büyük eksenel kuvvet değerlerine neden olmasının nedeninin 1058 deprem kaydının PGV/PGA değerinin daha büyük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yakın fay darbesiz yer hareketi 498 kaydı için elde edilen eksenel kuvvetler de uzak fay yer hareketi BOLU kaydı için belirlenen eksenel kuvvetlerden daha büyük çıkmıştır. Tabliye eksenel kuvvetleri için de yakın fay darbeli yer hareketinin, darbesiz yer hareketi ve uzak fay yer hareketine göre önemli oranda daha etkili olduğu anlaşılmaktadır.



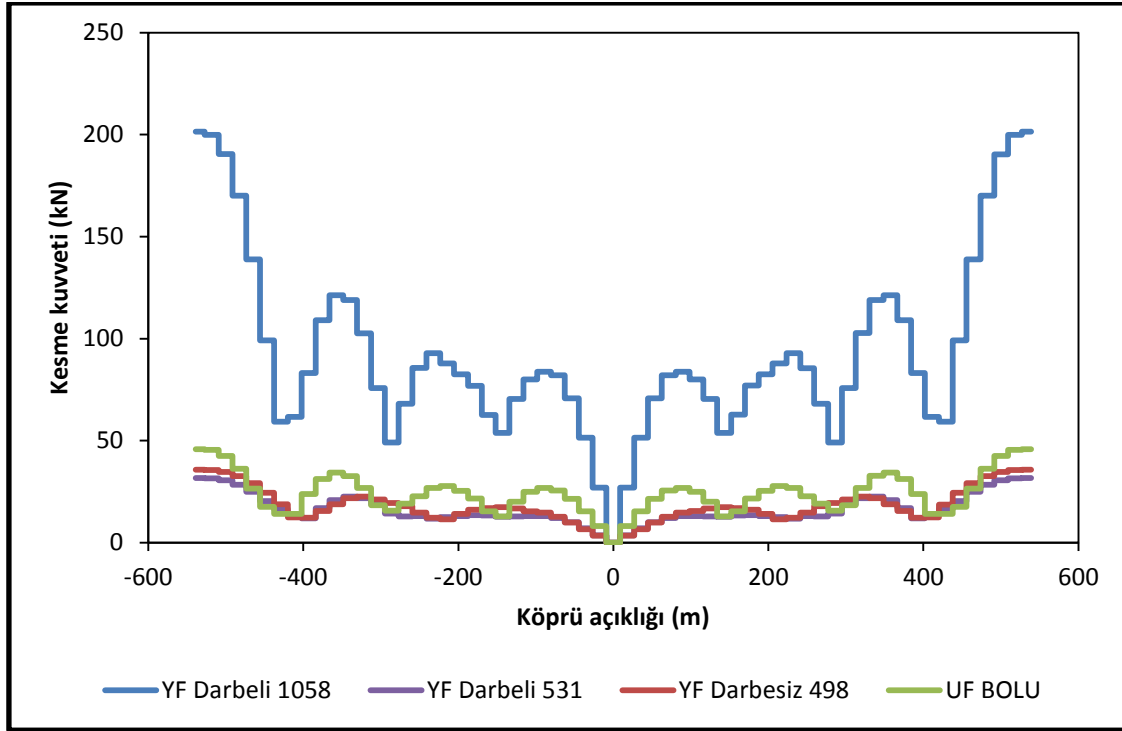
Şekil 7.14. Düzce Depremi için FSM tabliye eksenel kuvvetleri

Kule yüksekliği boyunca kesme kuvveti değişiminin incelendiği Şekil 7.15’de yakın fay darbeli yer hareketi kaydı 1058 için kule yüksekliği boyunca en büyük kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. 1058 kaydı için bulunan kesme kuvvetlerinin kule yüksekliği boyunca 531 deprem kaydı için elde edilenlerden daha büyük kesme kuvvetlerine neden olduğu görülmüştür. Yakın fay darbesiz yer hareketi olarak tanımlanan 498 kaydı için kule yüksekliği boyunca elde edilen kesme kuvveti değerleri, uzak fay yer hareketi kaydı olarak alınan BOLU kaydı için elde edilen kesme kuvvetlerine oldukça yakın çıkmıştır. Burada da yakın fay darbeli yer hareketinin köprü üzerindeki ayırt edici etkisi açık bir şekilde gözlenmiştir.



Şekil 7.15. Düzce Depremi için FSM kule kesme kuvvetleri

Şekil 7.16’da köprü açıklığı boyunca elde edilen kesme kuvveti değerleri karşılaştırılmıştır. Burada 1058 yakın fay darbeli yer hareketi kaydı için elde edilen kesme kuvvetlerinin; 531 yakın fay darbeli yer hareketi kaydı, 498 yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı ve BOLU uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen kesme kuvvetlerinden önemli ölçüde büyük olduğu gözlenmiştir. Bunun yanında 531 yakın fay darbeli yer hareketi kaydı, 498 yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı ve BOLU uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen kesme kuvvetleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Burada 1058 kaydı için yakın fay darbeli yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisi açık olarak gözlenirken, 531 darbeli yer hareketi kaydı için bu etki görülmemiştir. Bu durumun nedeninin 531 kaydı için PGV/PGA değerlerinin küçük olmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.



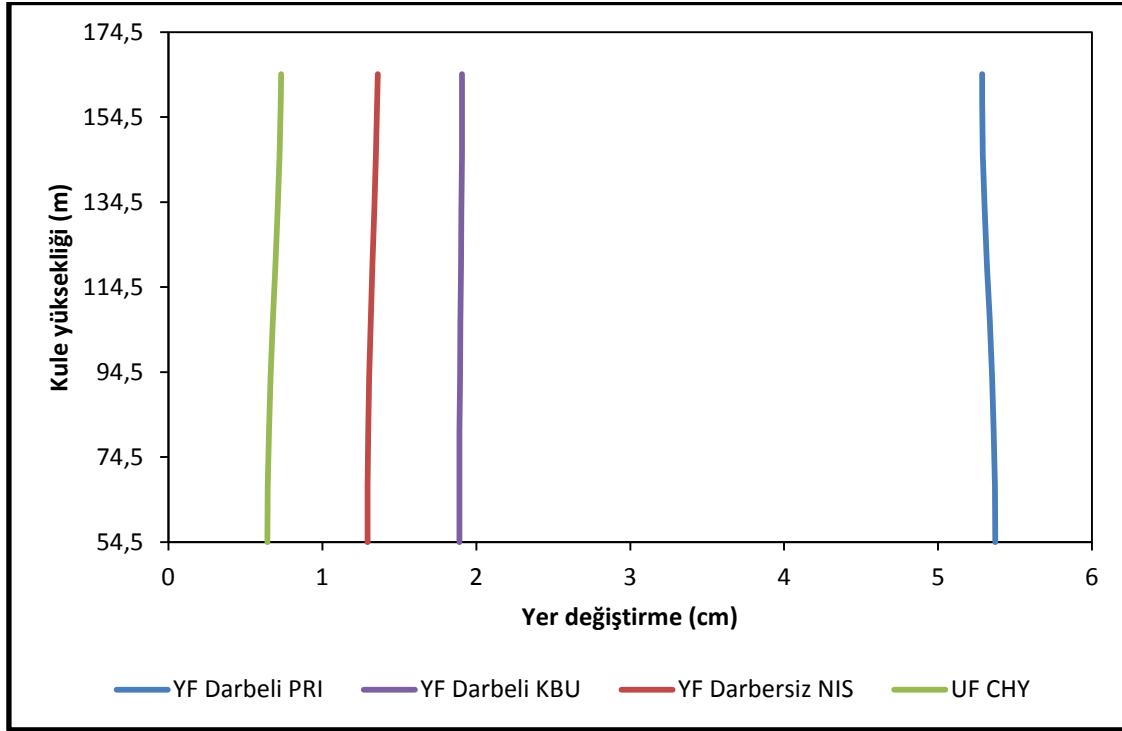
Şekil 7.16. Düzce Depremi için FSM tabliye kesme kuvvetleri

7.1.3. Kobe Depremi için yapılan çözümlemeler

Kobe Depremi dikkate alınarak yapılan analizlerde yakın fay darbeli deprem kayıtları PRI ve KBU, yakın fay darbesiz deprem kaydı NIS ve uzak fay deprem kaydı CHY kullanılmıştır. Bu dört deprem kaydı için kule yüksekliği ve köprü açıklığı boyunca elde edilen yer değiştirme, eğilme momenti, eksenel kuvvet ve kesme kuvveti değişimleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

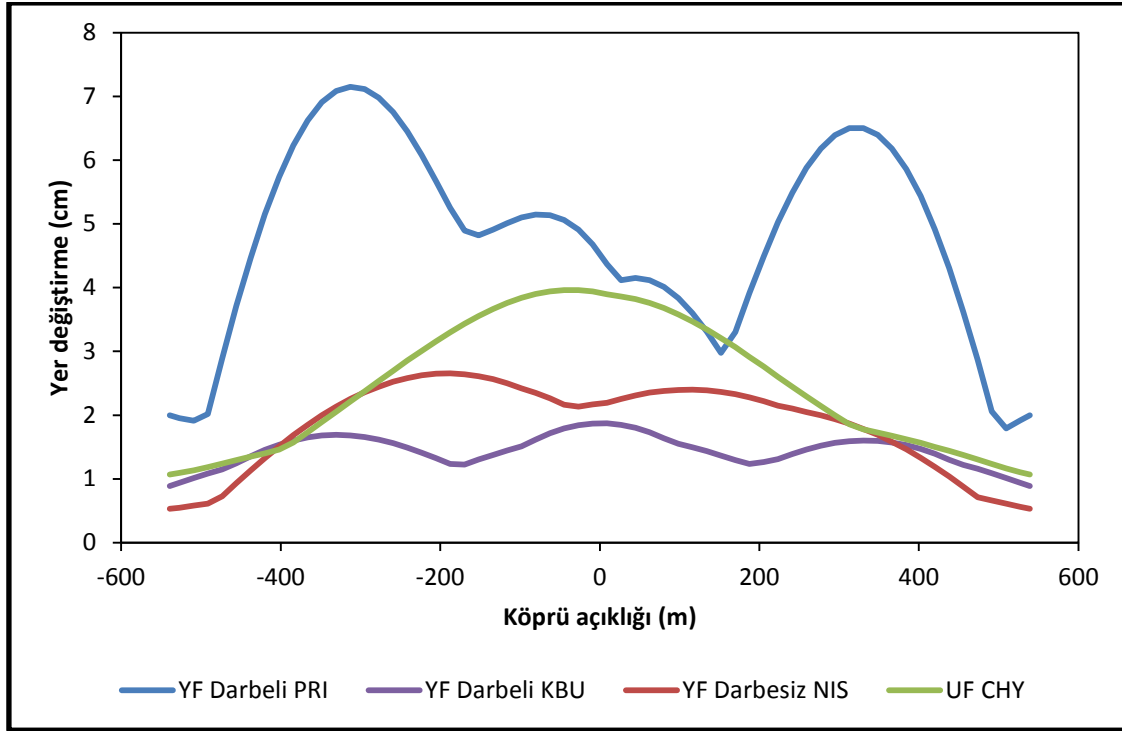
Kule yüksekliği boyunca yer değiştirme değerlerinin incelendiği Şekil 7.17’de yakın fay darbeli yer hareketini gösteren PRI kaydı için kule tepe noktasında en büyük yer değiştirme değeri (5,3 cm) elde edilmiştir. Diğer bir yakın fay darbeli yer hareketi olan KBU kaydından kule tepe noktasında 1,9 cm değerinde yer değiştirme elde edilmiştir. PRI ve KBU deprem kayıtları karşılaştırıldığında, yakın fay darbeli yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisini artıran parametrenin PGV/PGA değerinin olduğu değerlendirilmektedir. PRI deprem kaydının üç bileşeni için belirlenen PGV/PGA değerlerinin (0,26 sn, 0,18 sn, 0,11 sn), KBU deprem kaydı bileşenleri için belirlenen PGV/PGA değerlerinden (0,21 sn, 0,1 sn, 0,04 sn) daha büyük olmasının söz konusu

farklılığın nedeni olduğu anlaşılmaktadır. Yakın fay darbesiz yer hareketi olarak tanımlanan NIS kaydı için kule tepe noktasında elde edilen yer değiştirme değeri (1,4 cm), uzak fay yer hareketi kaydı olarak alınan CHY kaydı için elde edilen yer değiştirmeden (0,7 cm) daha büyük bir değer vermiştir. Burada deprem kaydının darbe etkisine sahip olması durumunda köprü davranışı üzerindeki etkisi açık bir şekilde görülmektedir.



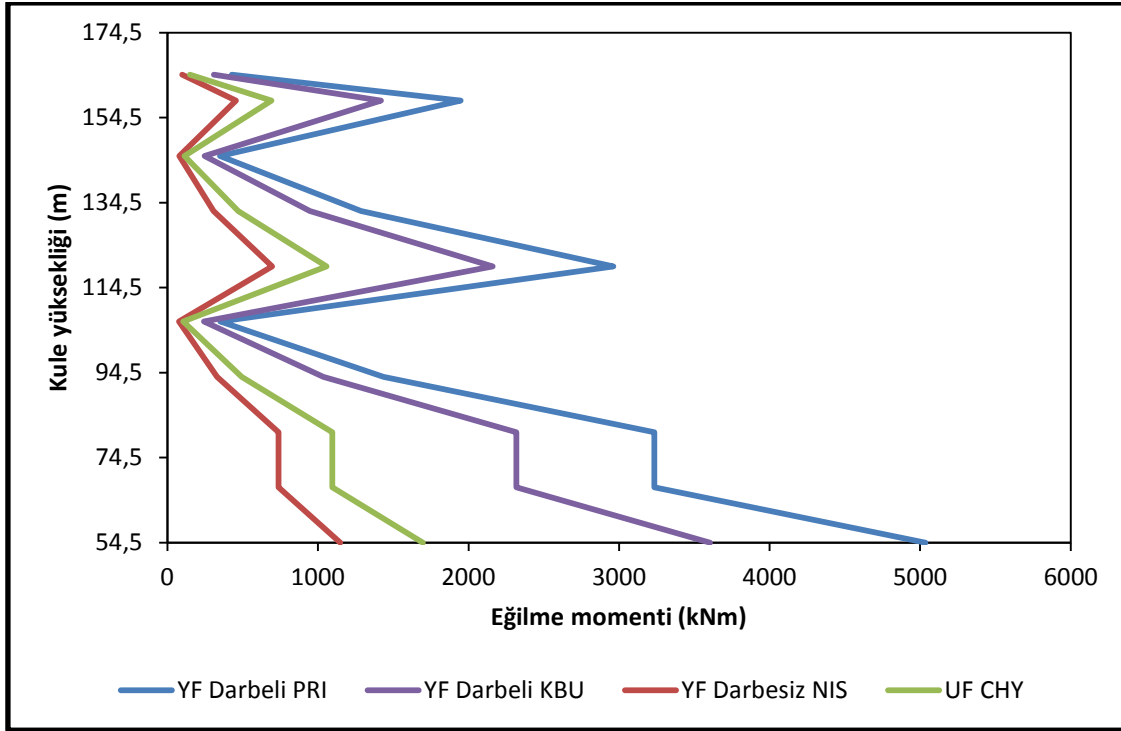
Şekil 7.17. Kobe Depremi için FSM kule yatay yer değiştirmeleri

Şekil 7.18’de köprü açıklığı boyunca yer değiştirme değerleri karşılaştırılmıştır. Burada PRI yakın fay darbeli yer hareketi kaydı için elde edilen yer değiştirmeler en büyük olurken KBU yakın fay darbeli yer hareketi kaydı, NIS yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı ve CHY uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen yer değiştirmeler küçük mertebelerde olup birbirine yakın sonuçlar ortaya çıkmıştır.



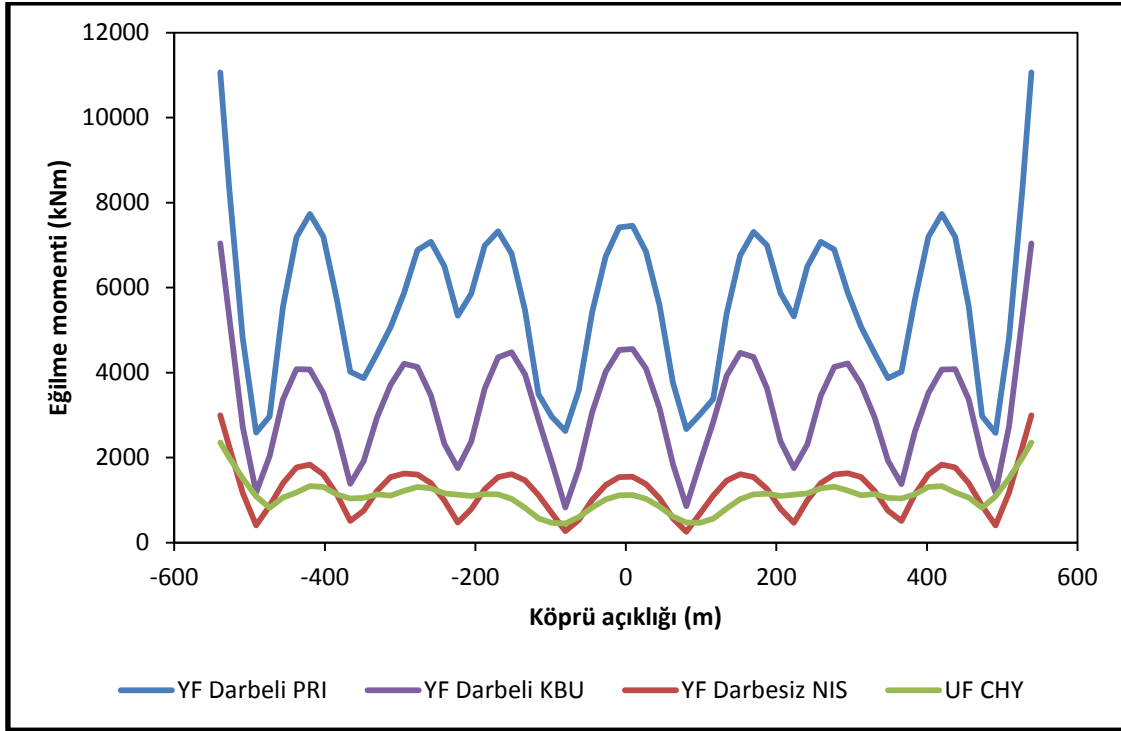
Şekil 7.18. Kobe Depremi için FSM tabliye düşey yer değiştirmeleri

Kule yüksekliği boyunca eğilme momenti değerlerinin incelendiği Şekil 7.19’da yakın fay darbeli yer hareketine karşılık gelen PRI kaydı için kule taban noktasında en büyük eğilme momenti değeri (5035 kNm) elde edilmiştir. Diğer bir yakın fay darbeli yer hareketi olan KBU kaydından kule taban noktasında 3604 kNm değerinde eğilme momenti elde edilmiştir. PRI kaydı için bulunan eğilme momentlerinin kule yüksekliği boyunca KBU deprem kaydı için elde edilenlerden daha büyük değerlerde olduğu görölmüştür. Bu durumda, yakın fay darbeli yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisini artıran parametrenin PGV/PGA değerinin olduğu değerlendirilmiştir. Burada daha önce dikkate alınan deprem hareketlerinden farklı olarak yakın fay darbesiz yer hareketi olarak tanımlanan NIS kaydı için kule taban noktasında elde edilen eğilme momenti değeri (1148 kNm), uzak fay yer hareketi kaydı olarak alınan CHY kaydı için elde edilen eğilme momentinden (1696 kNm) daha küçük bir değer vermiştir. Yakın fay darbeli yer hareketinin köprü üzerindeki ayırt edici etkisi kule eğilme momentleri için de gözlenmiştir.



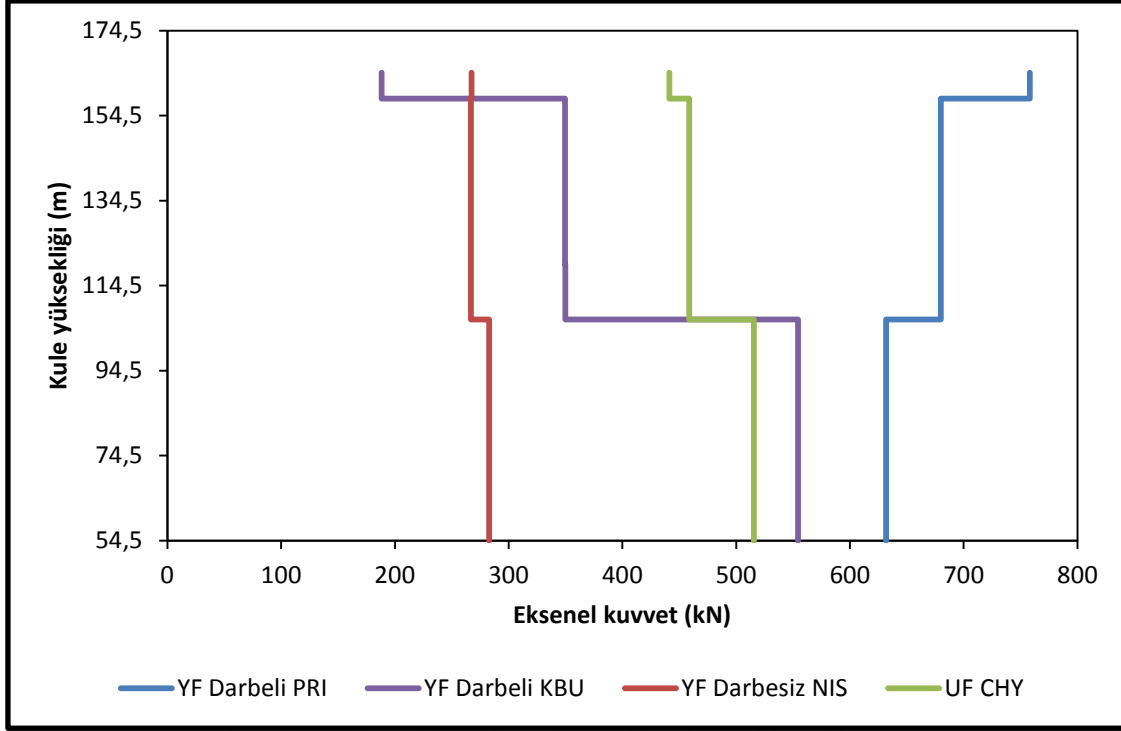
Şekil 7.19. Kobe Depremi için FSM kule eğilme momentleri

Şekil 7.20'de köprü açıklığı boyunca eğilme momenti değerleri karşılaştırılmıştır. PRI, KBU, NIS ve CHY deprem kayıtları için tabliye açıklığının orta noktasında elde edilen eğilme momenti değerleri sırasıyla 7437 kNm, 4542 kNm, 1544 kNm ve 1120 kNm olarak belirlenmiştir. Yakın fay darbeli yer hareketi için elde edilen eğilme momentlerinin, yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı ve uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen eğilme momentlerinden önemli ölçüde büyük olduğu gözlenmiştir. Kulede olduğu gibi tabliyede de PRI darbeli yer hareketi kaydı için elde edilen tabliye eğilme momentleri, KBU darbeli yer hareketi kaydı için elde edilen eğilme momentlerinden daha büyük çıkmıştır. PRI kaydı için tabliye orta noktasında elde edilen eğilme momenti değeri KBU kaydı için bulunan eğilme momenti değerinden %64 daha büyük çıkmıştır. Yakın fay darbesiz yer hareketi NIS kaydı için elde edilen eğilme momentleri de uzak fay yer hareketi CHY kaydı için belirlenen eğilme momentlerinden genellikle daha büyük çıkmıştır. NIS kaydı için tabliye orta noktasında elde edilen eğilme momenti değeri CHY kaydı için bulunan eğilme momenti değerinden %38 daha büyük çıkmıştır. Köprü tabliyesi eğilme momentleri için yakın fay darbeli yer hareketinin, yakın fay darbesiz yer hareketi ve uzak fay yer hareketine göre önemli oranda daha etkili olduğu görülmektedir.



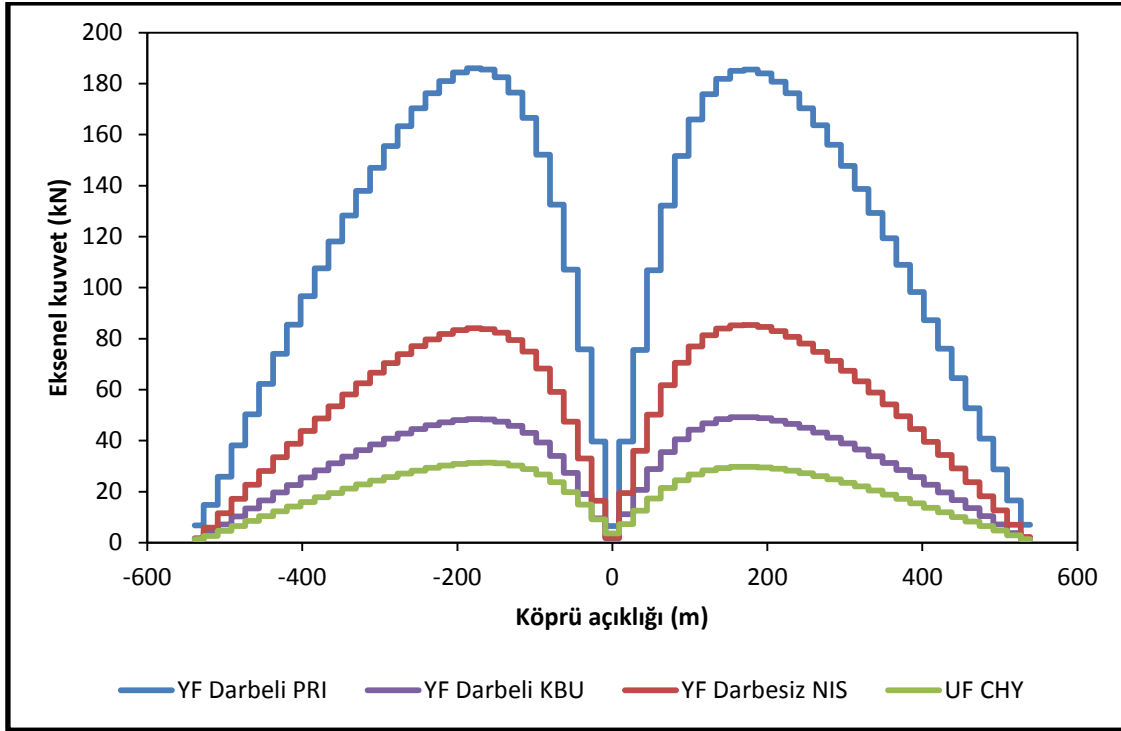
Şekil 7.20. Kobe Depremi için FSM tabliye eğilme momentleri

Kule yüksekliği boyunca eksenel kuvvet değerlerinin incelendiği Şekil 7.21’de yakın fay darbeli yer hareketi kaydı PRI için kule yüksekliği boyunca en büyük eksenel kuvvet değerleri elde edilmiştir. Bunun yanında KBU yakın fay darbeli yer hareketi kaydı, NIS yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı ve CHY uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen eksenel kuvvetlerin küçük mertebelerde olduğu ve elde edilen değişimin daha önce gözlemlenen değişimlerden farklı olduğu görülmüştür. Kule üst bölümünde CHY uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen eksenel kuvvetler, KBU yakın fay darbeli yer hareketi kaydı için elde edilen değerlerden daha büyük çıkmıştır.



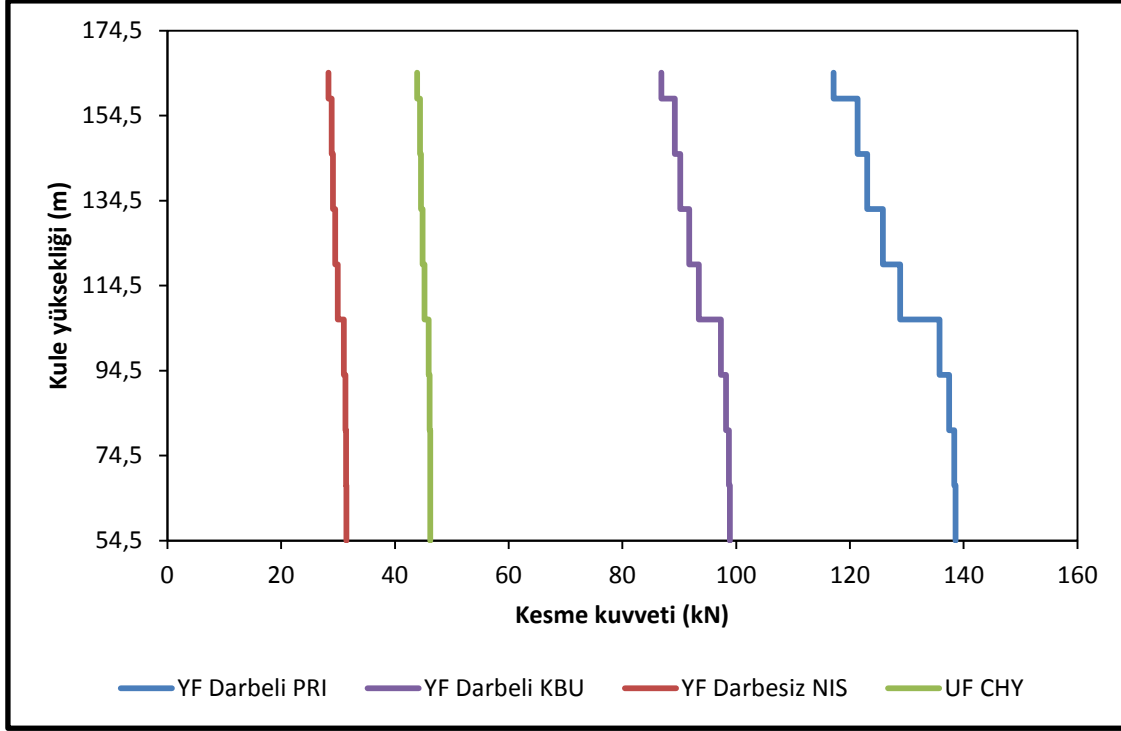
Şekil 7.21. Kobe Depremi için FSM kule eksenel kuvvetleri

Şekil 7.22’de köprü açıklığı boyunca eksenel kuvvetlerin değişimi karşılaştırılmıştır. Yakın fay darbeli yer hareketi kaydı PRI için tabliye açıklığı boyunca elde edilen eksenel kuvvetlerin diğer bir yakın fay darbeli yer hareketi kaydı olan KBU için bulunanlar ile yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı NIS ve uzak fay yer hareketi kaydı CHY için elde edilen eksenel kuvvetlerden önemli ölçüde büyük olduğu gözlenmiştir. Yine daha önce elde edilen değişimlerden farklı olarak yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı NIS için elde edilen eksenel kuvvetler yakın fay darbeli yer hareketi kaydı olan KBU için elde edilen eksenel kuvvet değerlerinden daha büyük çıkmıştır.



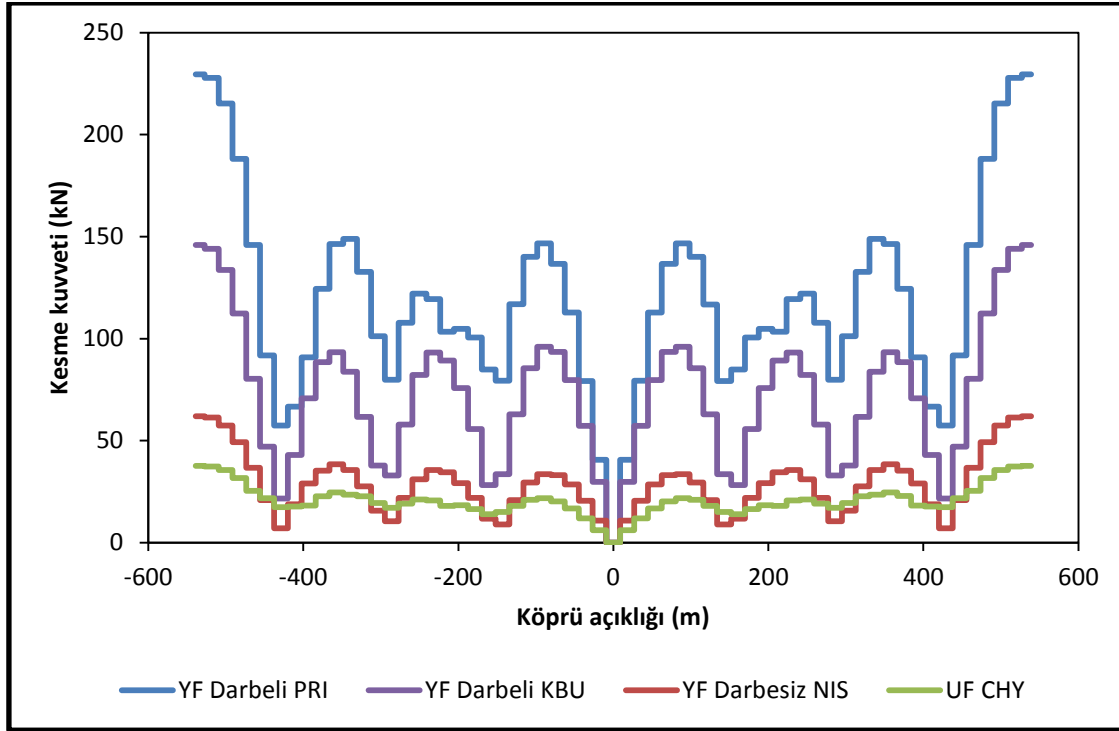
Şekil 7.22. Kobe Depremi için FSM tabliye eksenel kuvvetleri

Kule yüksekliği boyunca kesme kuvveti değişiminin incelendiği Şekil 7.23’de yakın fay darbeli yer hareketi kaydı PRI için en büyük kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. PRI kaydı için bulunan kesme kuvvetlerinin kule yüksekliği boyunca KBU deprem kaydı için elde edilenlerden daha büyük kesme kuvvetlerine neden olduğu görülmüştür. Yakın fay darbesiz yer hareketi olarak tanımlanan NIS kaydı için kule yüksekliği boyunca elde edilen kesme kuvveti değerleri, uzak fay yer hareketi kaydı olarak alınan CHY için elde edilen kesme kuvvetlerinden daha küçük çıkmıştır. Burada da yakın fay darbeli yer hareketinin kule kesme kuvveti üzerindeki ayırt edici etkisi açık bir şekilde gözlenmiştir.



Şekil 7.23. Kobe Depremi için FSM kule kesme kuvvetleri

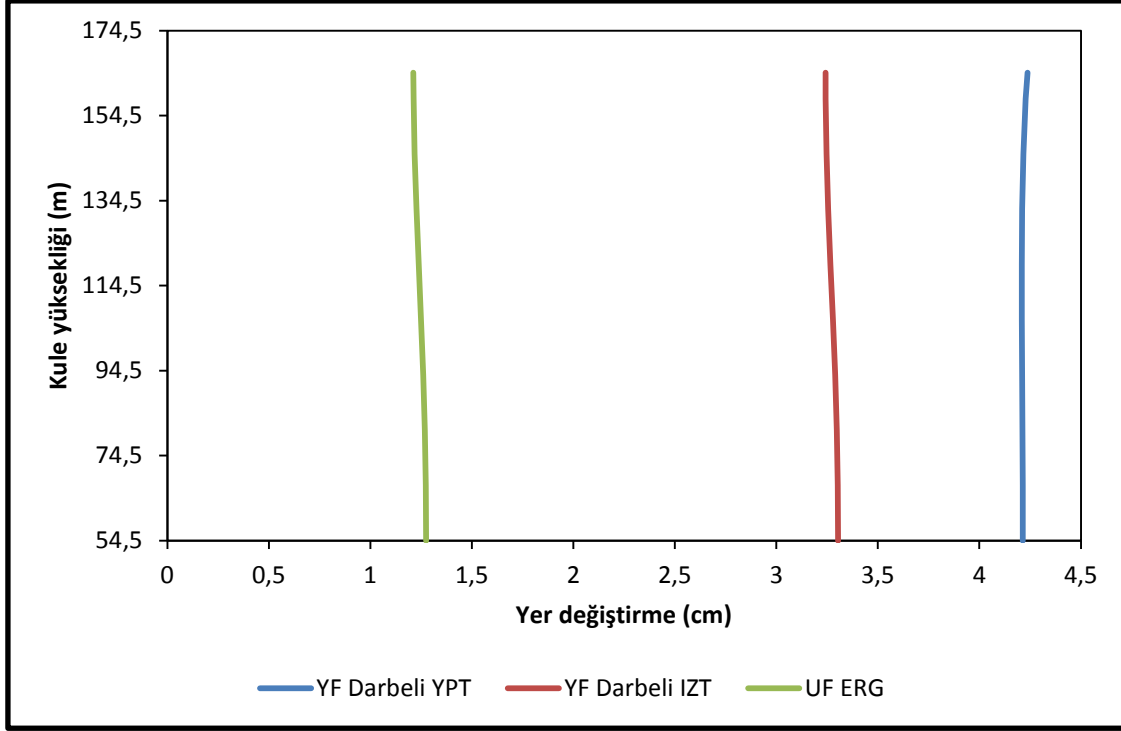
Şekil 7.24’de köprü açıklığı boyunca kesme kuvveti değerlerinin değişimi incelenmiştir. Daha önce de gözlendiği gibi yakın fay darbeli yer hareketi kayıtları PRI ve KBU için tabliye boyunca elde edilen kesme kuvvetleri en büyük çıkmıştır. Yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı NIS için elde edilen kesme kuvvetleri de uzak fay yer hareketi kaydı CHY için belirlenen kesme kuvvetlerinden daha büyük çıkmıştır. Burada da yakın fay darbeli yer hareketinin, yakın fay darbesiz yer hareketi ve uzak fay yer hareketine göre kesme kuvvetleri üzerinde önemli etkisinin olduğu gözlenmiştir.



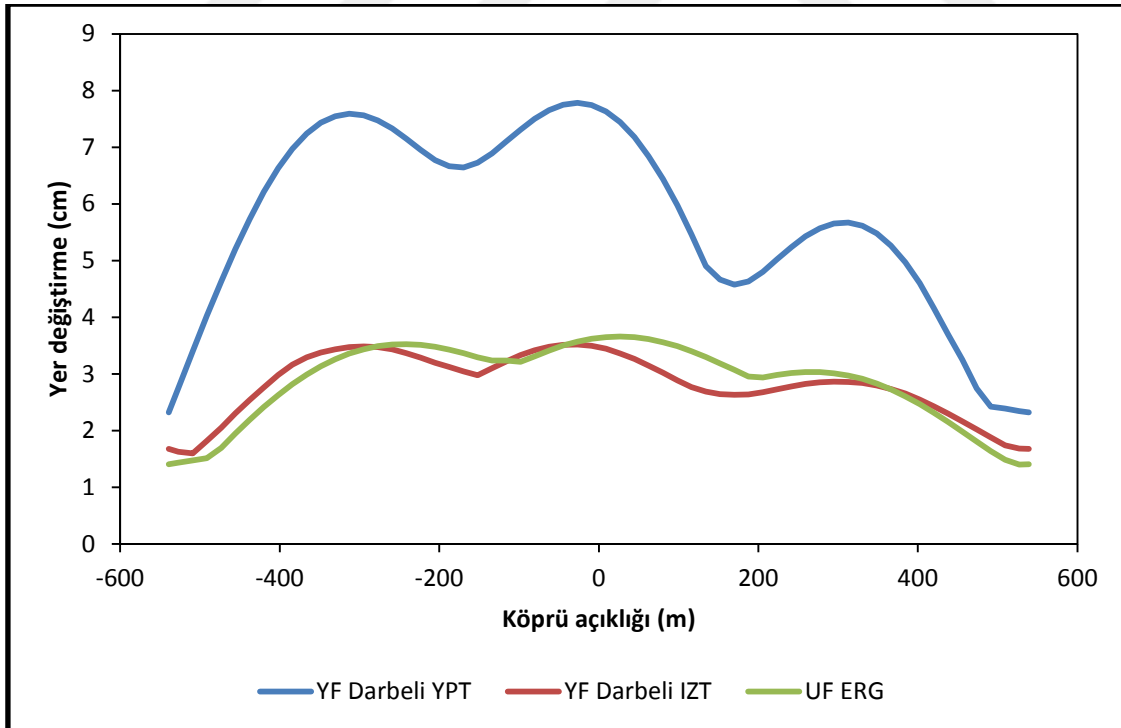
Şekil 7.24. Kobe Depremi için FSM tabliye kesme kuvvetleri

7.1.4. Kocaeli Depremi için yapılan çözümlemeler

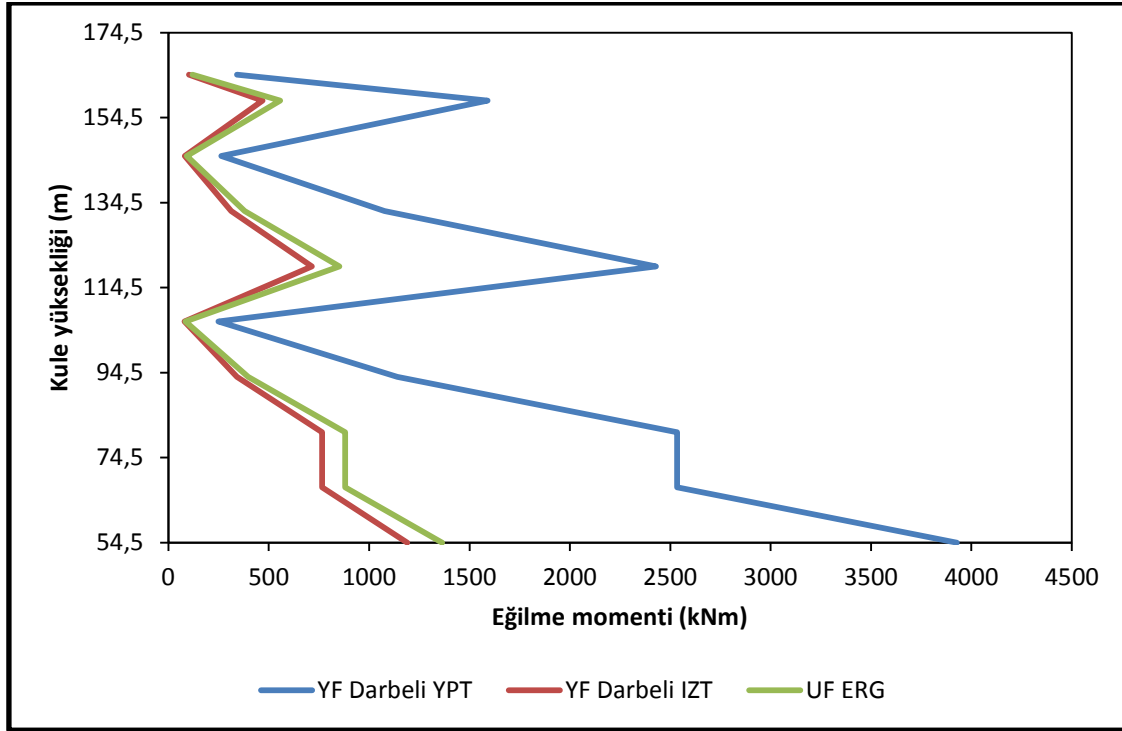
Kocaeli Depremi dikkate alınarak yapılan analizlerde yakın fay darbeli deprem kaydı YPT, yakın fay darbeli deprem kaydı IZT ve uzak fay deprem kaydı ERG kullanılmıştır. Bu üç deprem kaydı için kule yüksekliği ve köprü açıklığı boyunca elde edilen yer değiştirme, eğilme momenti, aksenal kuvvet ve kesme kuvveti değişimleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir (Şekil 7.25-7.32). Hem tabliye hem de kulede yakın fay darbeli yer hareketi kaydı YPT için elde edilen tepki değerlerinin, yakın fay darbeli yer hareketi kaydı IZT ve uzak fay yer hareketi kaydı ERG için elde edilen tepki değerlerinden önemli oranda daha büyük olduğu gözlenmiştir. Kocaeli Depremi'nin köprü sistemi üzerindeki yakın fay etkisi burada açık bir şekilde gözlenmiştir. Bunun yanında yakın fay darbeli yer hareketi kaydı IZT ve uzak fay yer hareketi kaydı ERG için elde edilen tepki değerleri genel olarak çok yakın çıkmıştır.



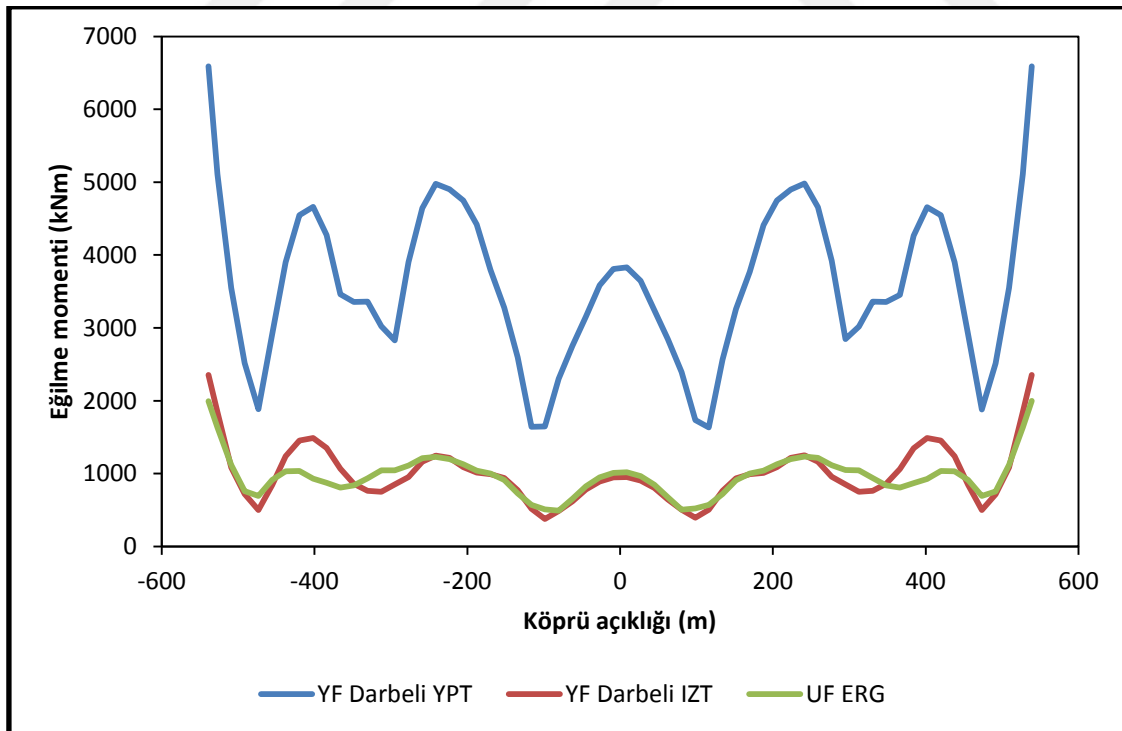
Şekil 7.25. Kocaeli Depremi için FSM kule yatay yer değiştirmeleri



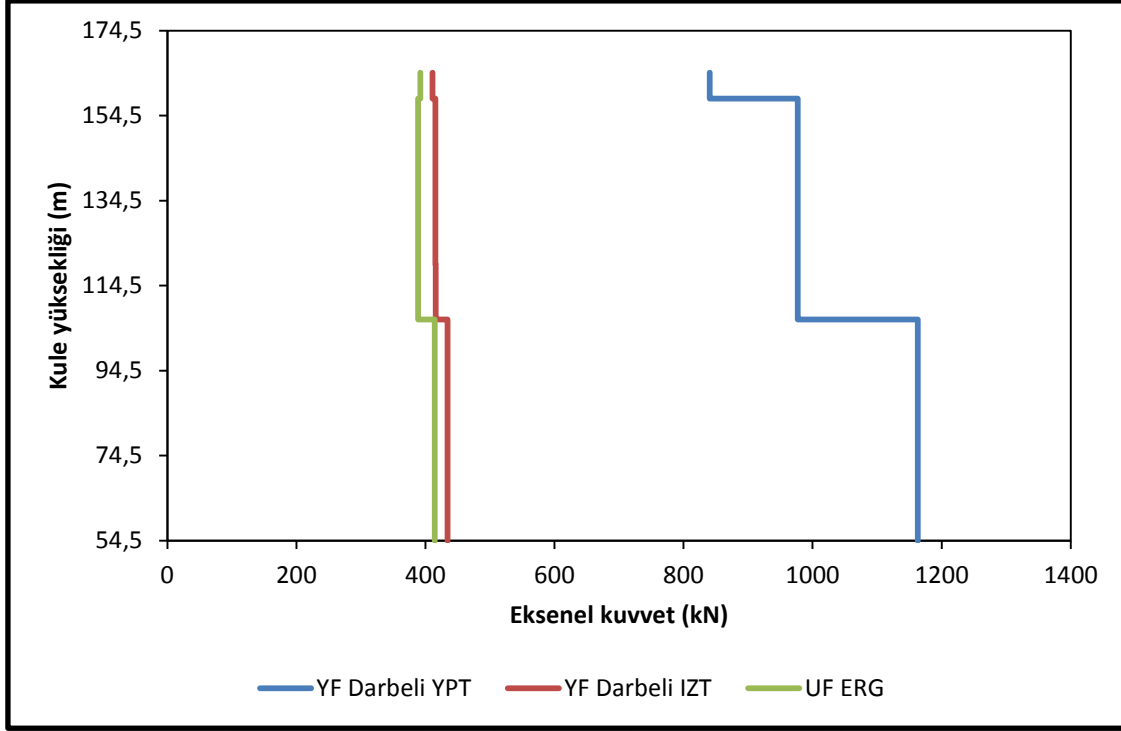
Şekil 7.26. Kocaeli Depremi için FSM tabliye düşey yer değiştirmeleri



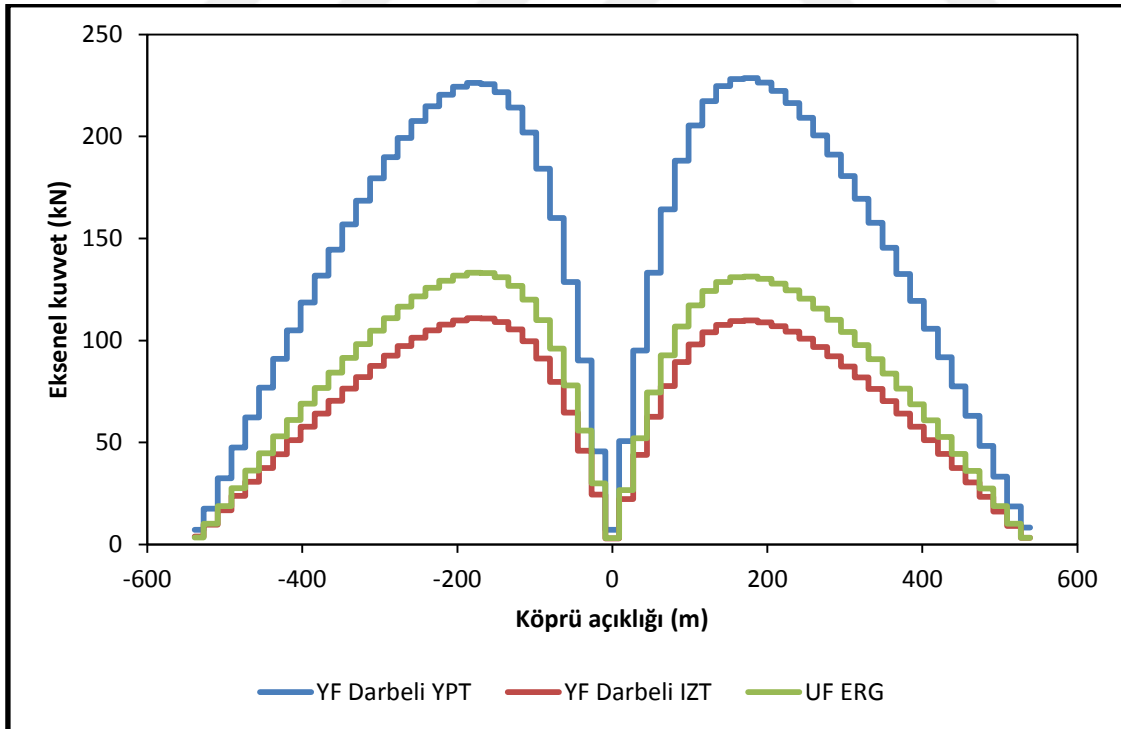
Şekil 7.27. Kocaeli Depremi için FSM kule eğilme momentleri



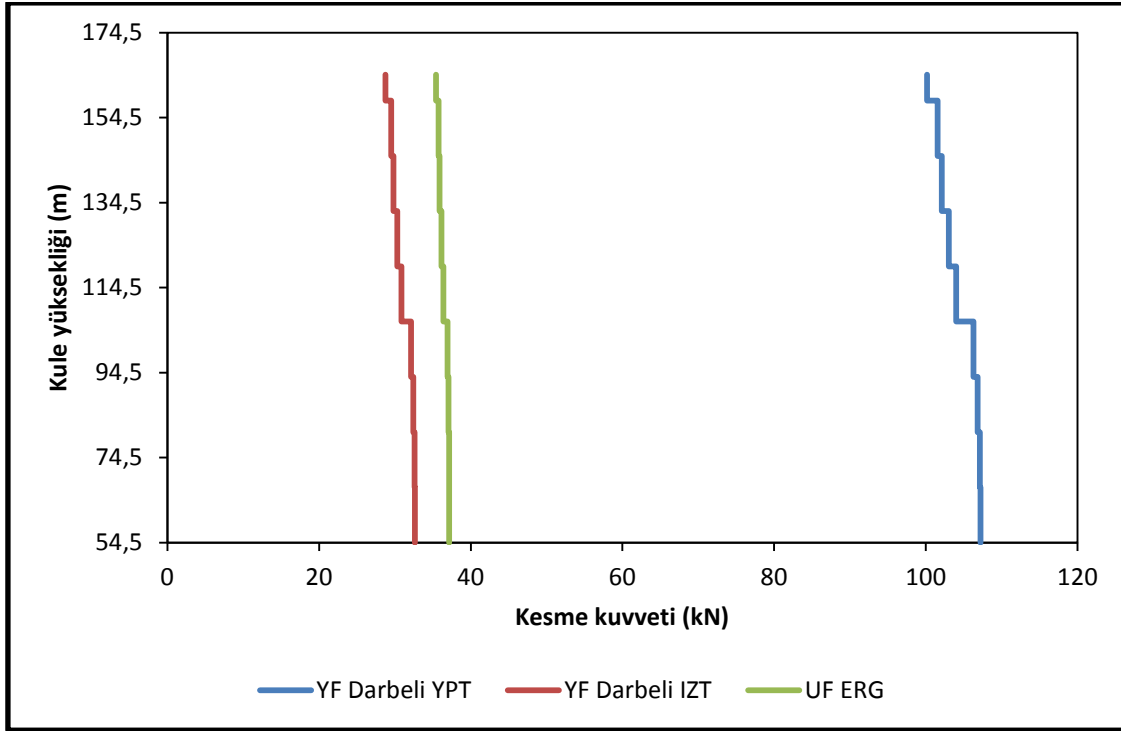
Şekil 7.28. Kocaeli Depremi için FSM tabliye eğilme momentleri



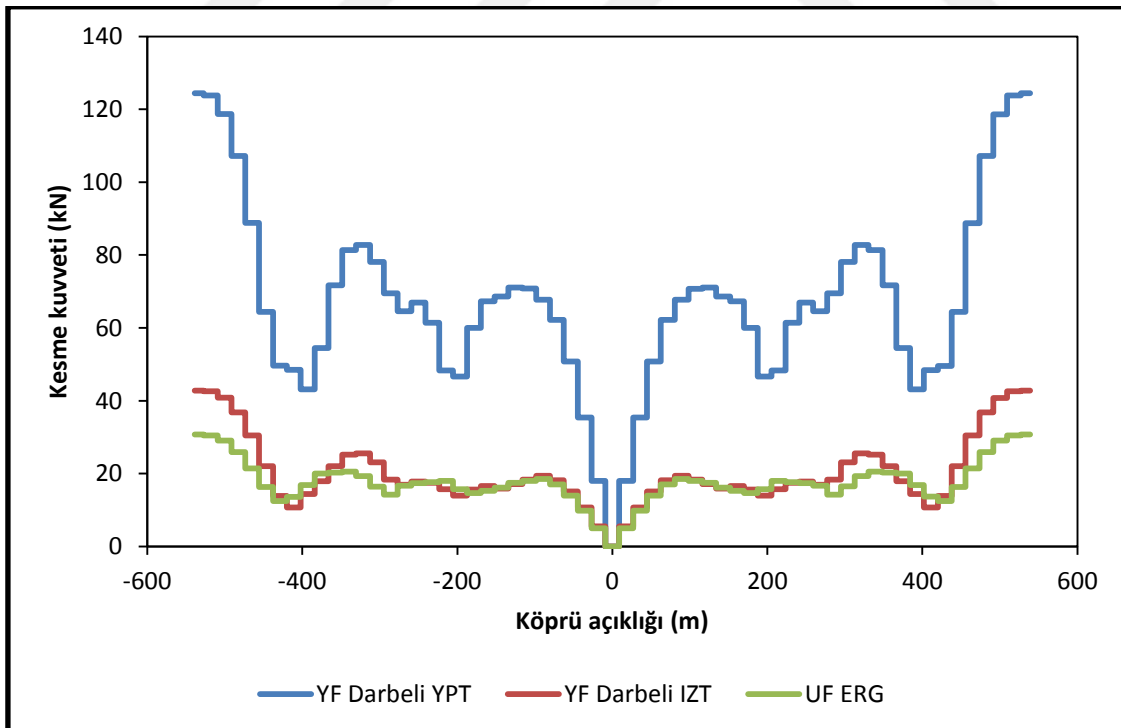
Şekil 7.29. Kocaeli Depremi için FSM kule eksenel kuvvetleri



Şekil 7.30. Kocaeli Depremi için FSM tabliye eksenel kuvvetleri



Şekil 7.31. Kocaeli Depremi için FSM kule kesme kuvvetleri



Şekil 7.32. Kocaeli Depremi için FSM tabliye kesme kuvvetleri

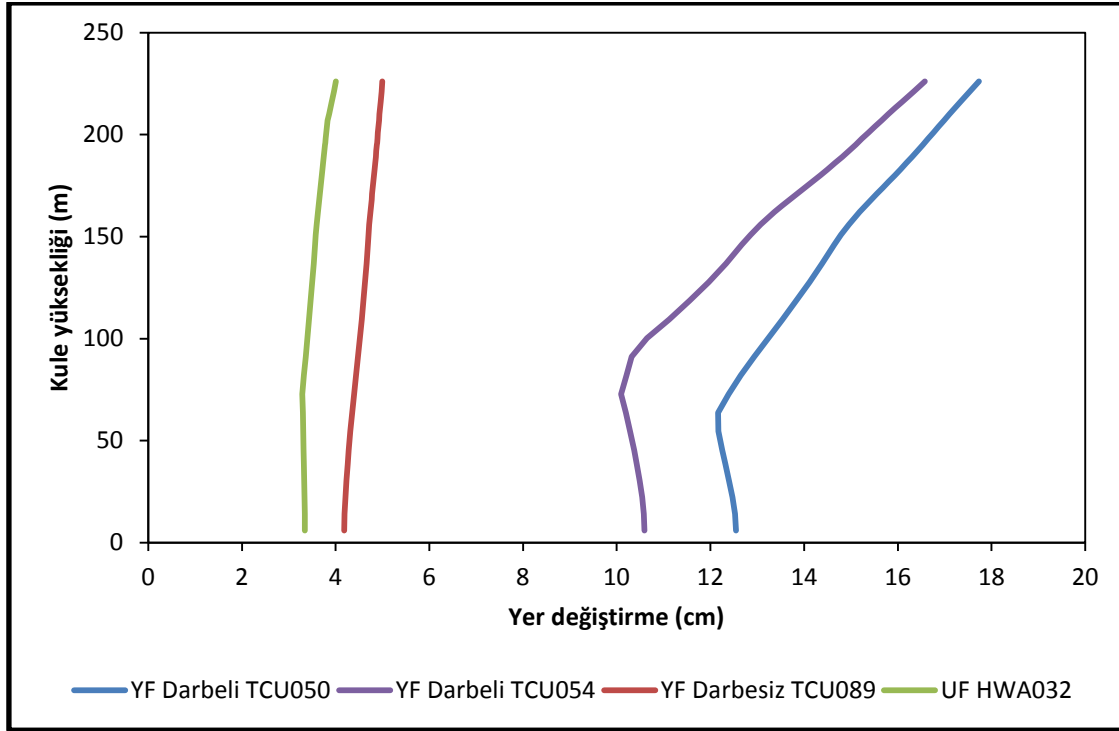
7.2. Tatara Köprüsü'nün Dinamik analizi

Bu tez çalışmasında eğik kablo askılı köprü modeli olarak seçilen Tatara Köprüsü'nün Chi-Chi, Düzce, Kobe ve Kocaeli depremlerinin yakın fay darbeli, yakın fay darbesiz ve uzak fay olarak tanımlanan yer hareketleri için gerçekleştirilen dinamik analizleri sonucu elde edilen tabliye ve kule tepki değerleri her bir deprem hareketi için ayrı ayrı ele alınmış ve değerlendirmesi yapılmıştır.

7.2.1. Chi-Chi Depremi için yapılan çözümlemeler

Chi-Chi Depremi dikkate alınarak yapılan analizlerde yakın fay darbeli deprem kaydı TCU050, yakın fay darbeli deprem kaydı TCU054, yakın fay darbesiz deprem kaydı TCU089 ve uzak fay deprem kaydı HWA032 kullanılmıştır. Bu dört deprem kaydı için kule yüksekliği ve köprü açıklığı boyunca elde edilen yer değiştirme, eğilme momenti, eksenel kuvvet ve kesme kuvveti değişimleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

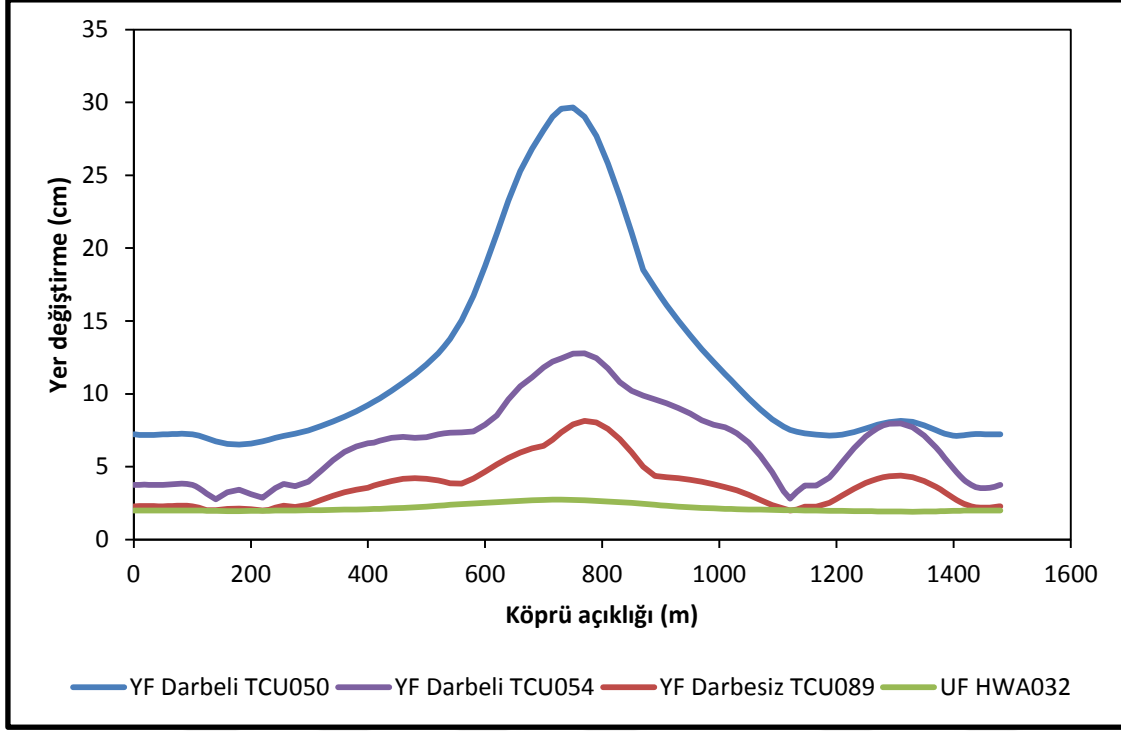
Kule yüksekliği boyunca yer değiştirme değerlerinin incelendiği Şekil 7.33'de yakın fay darbeli yer hareketini gösteren TCU050 kaydı için kule tepe noktasında en büyük yer değiştirme değeri (17,7 cm) elde edilmiştir. Diğer bir yakın fay darbeli yer hareketi olan TCU054 kaydından kule tepe noktasında 16,6 cm değerinde yer değiştirme elde edilmiştir. TCU050 ve TCU054 deprem kayıtları karşılaştırıldığında, yakın fay darbeli yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisini artıran parametrenin PGV/PGA değeri olduğu değerlendirilmektedir. TCU050 deprem kaydının üç bileşeni için belirlenen PGV/PGA değerlerinin (0,27 sn, 0,34 sn, 0,48 sn), TCU054 deprem kaydı bileşenleri için belirlenen PGV/PGA değerlerinden (0,31 sn, 0,22 sn, 0,24 sn) daha büyük olması söz konusu farklılığın nedeni olduğu anlaşılmaktadır. Yakın fay darbesiz yer hareketi olarak tanımlanan TCU089 kaydı için kule tepe noktasında elde edilen yer değiştirme değeri (5 cm), uzak fay yer hareketi kaydı olarak alınan HWA032 kaydı için elde edilen yer değiştirmeden (4 cm) daha büyük bir değer vermiştir. Burada deprem kaydının darbe etkisine sahip olması durumunda köprü davranışı üzerindeki etkisi açık bir şekilde görülmektedir.



şekil 7.33. Chi-Chi Depremi için Tatar kule yatay yer değiştirmeleri

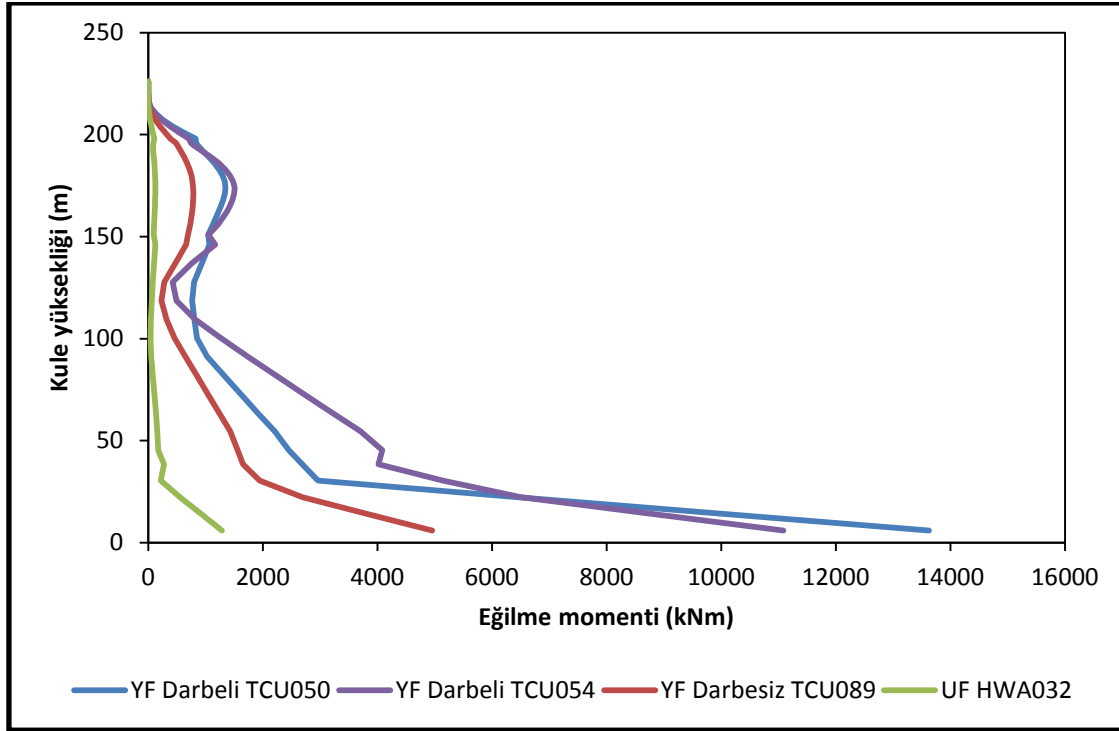
şekil 7.34’de köprü açıklığı boyunca yer değiştirme değerleri karşılaştırılmıştır. TCU050, TCU054, TCU089 ve HWA032 Chi-Chi deprem kayıtları için tabliye açıklığının orta noktasında elde edilen yer değiştirme değerleri sırasıyla 29,5 cm, 12,7 cm, 7,6 cm ve 2,7 cm olarak belirlenmiştir. Yakın fay darbeli yer hareketi için elde edilen yer değiştirmelerin, yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı ve uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen yer değiştirmelerden önemli ölçüde büyük olduğu gözlenmiştir. Kulede olduğu gibi tabliyede de TCU050 darbeli yer hareketi kaydı için elde edilen tabliye yer değiştirmeleri, TCU054 darbeli yer hareketi kaydı için elde edilen yer değiştirmelerden daha büyük çıkmıştır. TCU050 kaydı için tabliye orta noktasında elde edilen yer değiştirme değeri TCU054 kaydı için bulunan yer değiştirme değerinden %132 daha büyük çıkmıştır. TCU050 deprem kaydının, TCU054 deprem kaydına göre daha büyük yer değiştirme değerlerine neden olmasının nedeninin TCU050 deprem kaydının PGV/PGA değerinin daha büyük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı TCU089 için elde edilen yer değiştirmeler de uzak fay yer hareketi kaydı HWA032 için belirlenen yer değiştirmelerden daha büyük çıkmıştır. TCU089 kaydı için tabliye orta noktasında elde edilen yer değiştirme değeri HWA032 kaydı için bulunan yer değiştirme değerinden %181 daha büyük çıkmıştır. Köprü tabliyesi için de yakın fay darbeli yer

hareketinin, yakın fay darbesiz yer hareketi ve uzak fay yer hareketine göre önemli oranda daha etkili olduğu anlaşılmaktadır.



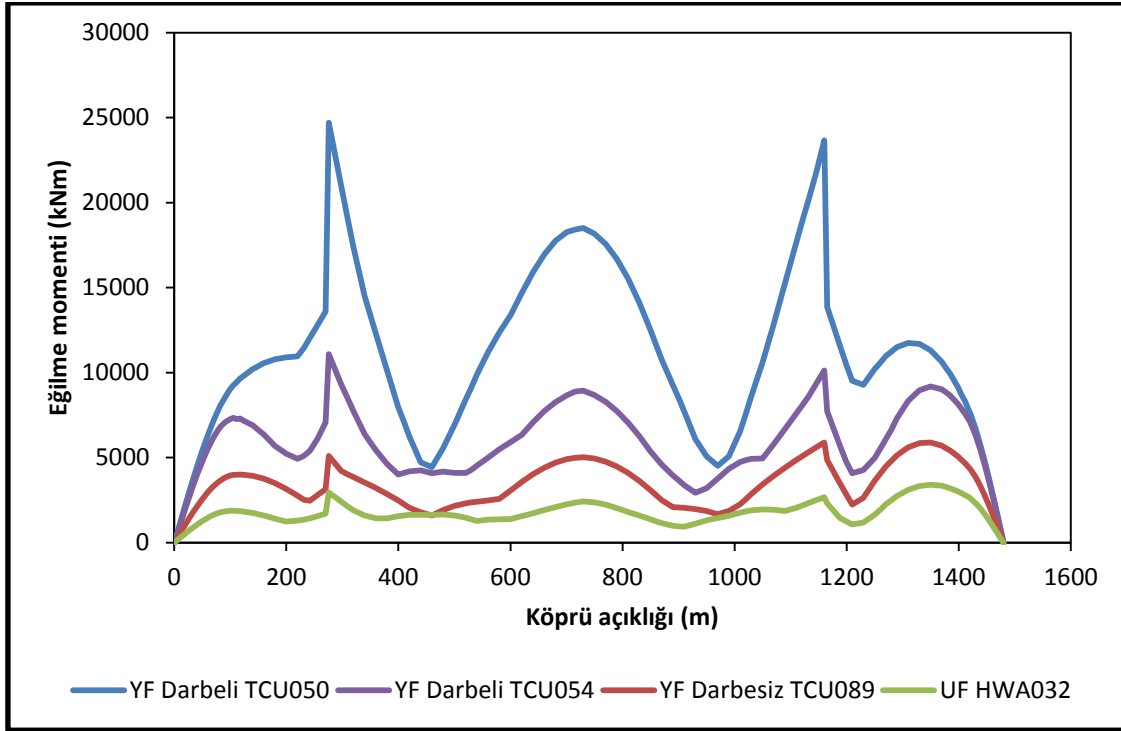
Şekil 7.34. Chi-Chi Depremi için Tatara tabliye düşey yer değiştirmeleri

Kule yüksekliği boyunca eğilme momenti değerlerinin incelendiği Şekil 7.35’de yakın fay darbeli yer hareketini gösteren TCU050 kaydı için kule taban noktasında en büyük eğilme momenti değeri (13627 kNm) elde edilmiştir. Diğer bir yakın fay darbeli yer hareketi olan TCU054 kaydından kule taban noktasında 11085 kNm değerinde eğilme momenti elde edilmiştir. TCU050 ve TCU054 deprem kayıtları karşılaştırıldığında, burada da yakın fay darbeli yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisini artıran parametrenin PGV/PGA değerinin olduğu değerlendirilmektedir. Yakın fay darbersiz yer hareketi olarak tanımlanan TCU089 kaydı için kule taban noktasında elde edilen eğilme momenti değeri (4959 kNm), uzak fay yer hareketi kaydı olarak alınan HWA032 kaydı için elde edilen eğilme momentinden (1287 kNm) daha büyük bir değer vermiştir. Yakın fay darbeli yer hareketinin köprü üzerindeki ayırt edici etkisi kule eğilme momentleri için de gözlenmiştir.



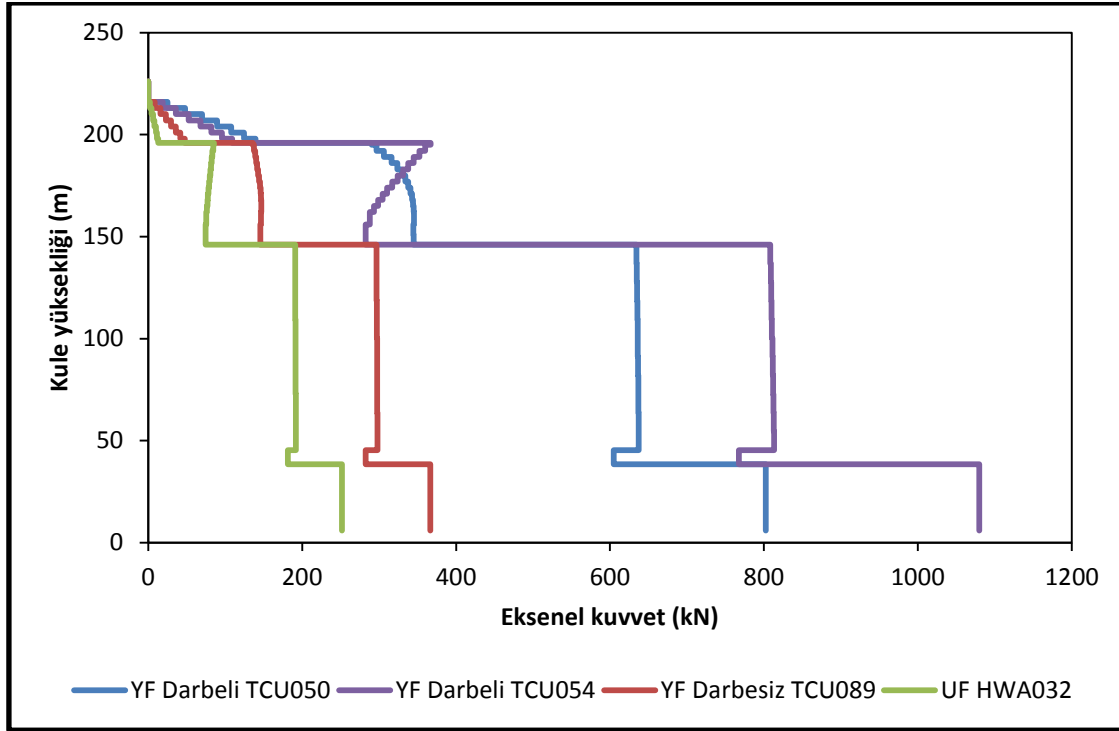
Şekil 7.35. Chi-Chi Depremi için Tatar kule eğilme momentleri

Şekil 7.36'da köprü açıklığı boyunca eğilme momenti değerleri karşılaştırılmıştır. TCU050, TCU054, TCU089 ve HWA032 Chi-Chi deprem kayıtları için tabliye açıklığının orta noktasında elde edilen eğilme momenti değerleri sırasıyla 18335 kNm, 8813 kNm, 4995 kNm ve 2397 kNm olarak belirlenmiştir. Yakın fay darbeli yer hareketi için elde edilen eğilme momentlerinin, yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı ve uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen eğilme momentlerinden önemli ölçüde büyük olduğu gözlenmiştir. Kulede olduğu gibi tabliyede de TCU050 darbeli yer hareketi kaydı için elde edilen tabliye eğilme momentleri, TCU054 darbeli yer hareketi kaydı için elde edilen eğilme momentlerinden daha büyük çıkmıştır. TCU050 kaydı için tabliye orta noktasında elde edilen eğilme momenti değeri TCU054 kaydı için bulunan eğilme momenti değerinden %108 daha büyük çıkmıştır. Yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı TCU089 için elde edilen eğilme momentleri de uzak fay yer hareketi kaydı HWA032 için belirlenen eğilme momentlerinden daha büyük çıkmıştır. Köprü tabliyesi için de yakın fay darbeli yer hareketinin, yakın fay darbesiz yer hareketi ve uzak fay yer hareketine göre önemli oranda daha etkili olduğu görülmektedir.



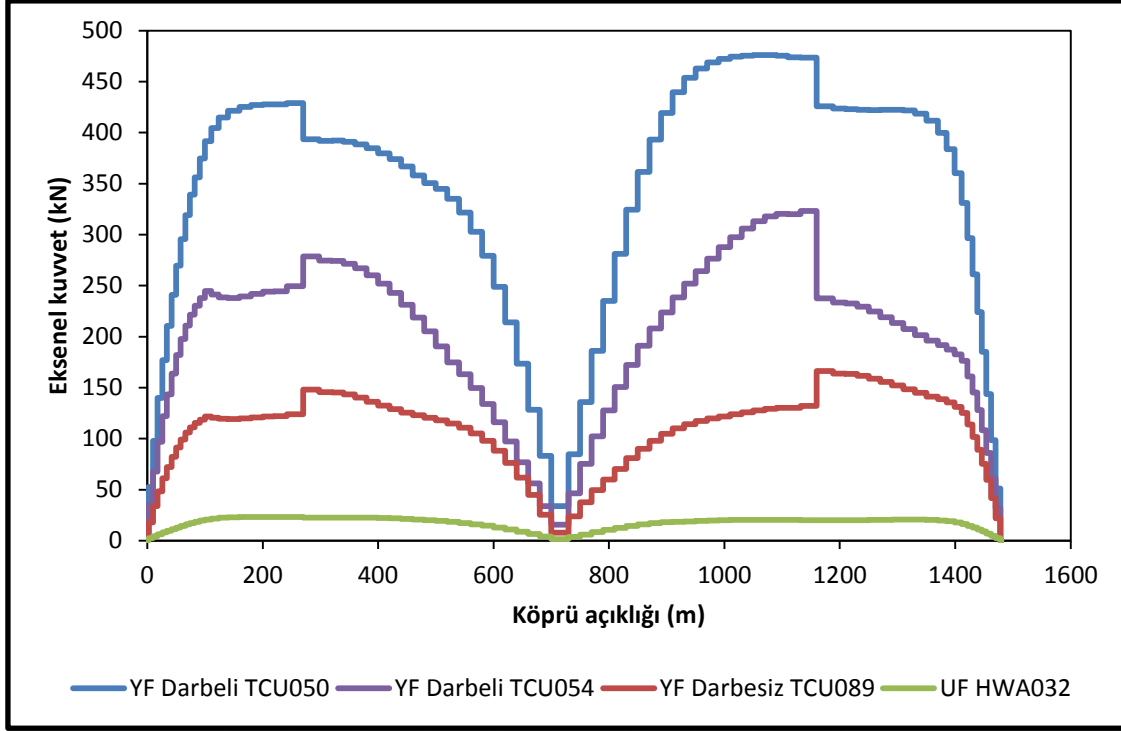
Şekil 7.36. Chi-Chi Depremi için Tatara tabliye eğilme momentleri

Kule yüksekliği boyunca eksenel kuvvet değişiminin incelendiği Şekil 7.37’de yakın fay darbeli yer hareketini gösteren TCU054 kaydı için kule taban noktasında en büyük eksenel kuvvet değeri (1080 kN) elde edilmiştir. Diğer bir yakın fay darbeli yer hareketi olan TCU050 kaydı için kule taban noktasında 803 kN değerinde eksenel kuvvet elde edilmiştir. Tabliye ve kulede eğilme momenti için elde edilen değişimden farklı olarak TCU054 kaydı için bulunan eksenel kuvvetin kule yüksekliği boyunca TCU050 deprem kaydı için elde edilenlerden biraz daha büyük eksenel kuvvetlere neden olduğu görülmüştür. Bu durumda, yakın fay darbeli yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisinin sadece PGV/PGA parametrik değerine bağlı olmadığı anlaşılmaktadır. Yakın fay darbesiz yer hareketi olarak tanımlanan TCU089 kaydı için kule taban noktasında elde edilen eksenel kuvvet değeri (366 kN), uzak fay yer hareketi kaydı olarak alınan HWA032 kaydı için elde edilen eksenel kuvvetten (252 kN) daha büyük bir değer vermiştir. Burada da deprem kaydının darbe etkisine sahip olması durumunda köprü davranışı üzerinde etkili olacağı açık bir şekilde görülmektedir.



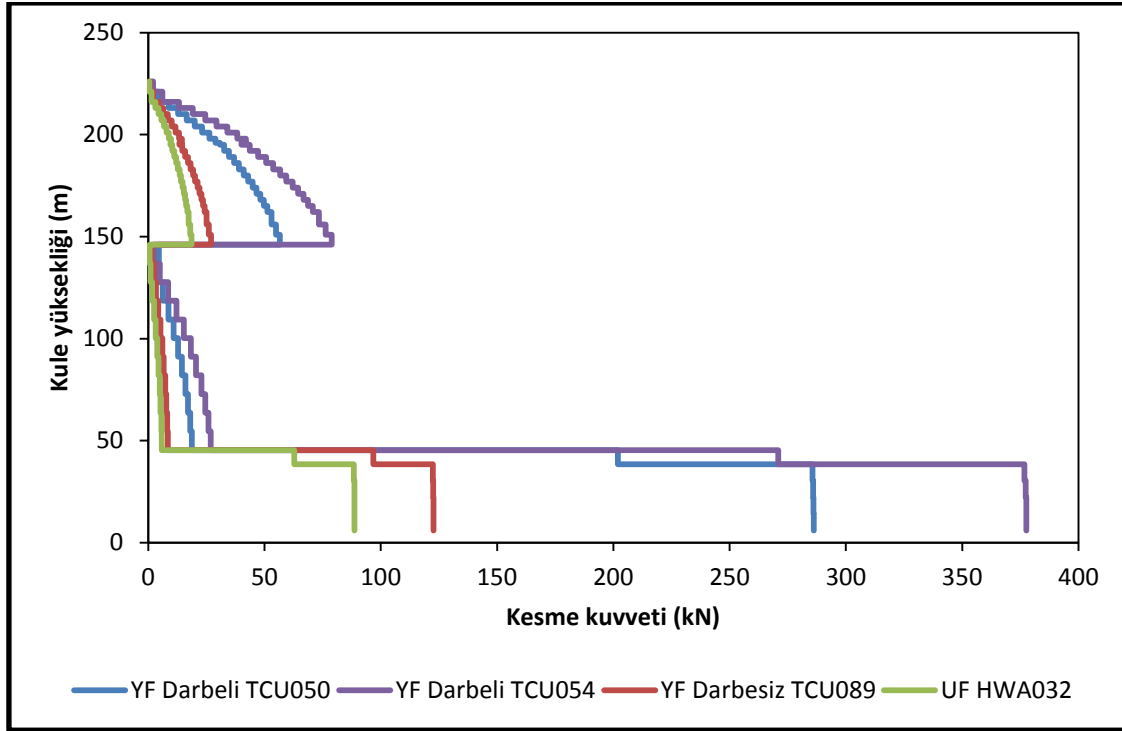
Şekil 7.37. Chi-Chi Depremi için Tatara kule eksenel kuvvetleri

Şekil 7.38'de köprü açıklığı boyunca eksenel kuvvet değerleri karşılaştırılmıştır. Yakın fay darbeli yer hareketi kaydı TCU050 için tabliye açıklığı boyunca elde edilen eksenel kuvvetler diğer bir yakın fay darbeli yer hareketi kaydı olan TCU054 için bulunanlardan belirgin şekilde daha büyük değerler vermiştir. Bunun yanında yakın fay darbeli yer hareketi için elde edilen eksenel kuvvetlerin, yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı ve uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen eksenel kuvvetlerden önemli ölçüde büyük olduğu gözlenmiştir. TCU050 deprem kaydının, TCU054 deprem kaydına göre daha büyük eksenel kuvvet değerlerine neden olmasının nedeninin TCU050 deprem kaydının PGV/PGA değerinin daha büyük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı TCU089 için elde edilen eksenel kuvvetler de uzak fay yer hareketi kaydı HWA032 için belirlenen eksenel kuvvetlerden daha büyük çıkmıştır. Tabliye eksenel kuvvetleri için de yakın fay darbeli yer hareketinin, darbesiz yer hareketi ve uzak fay yer hareketine göre önemli oranda daha etkili olduğu anlaşılmaktadır.



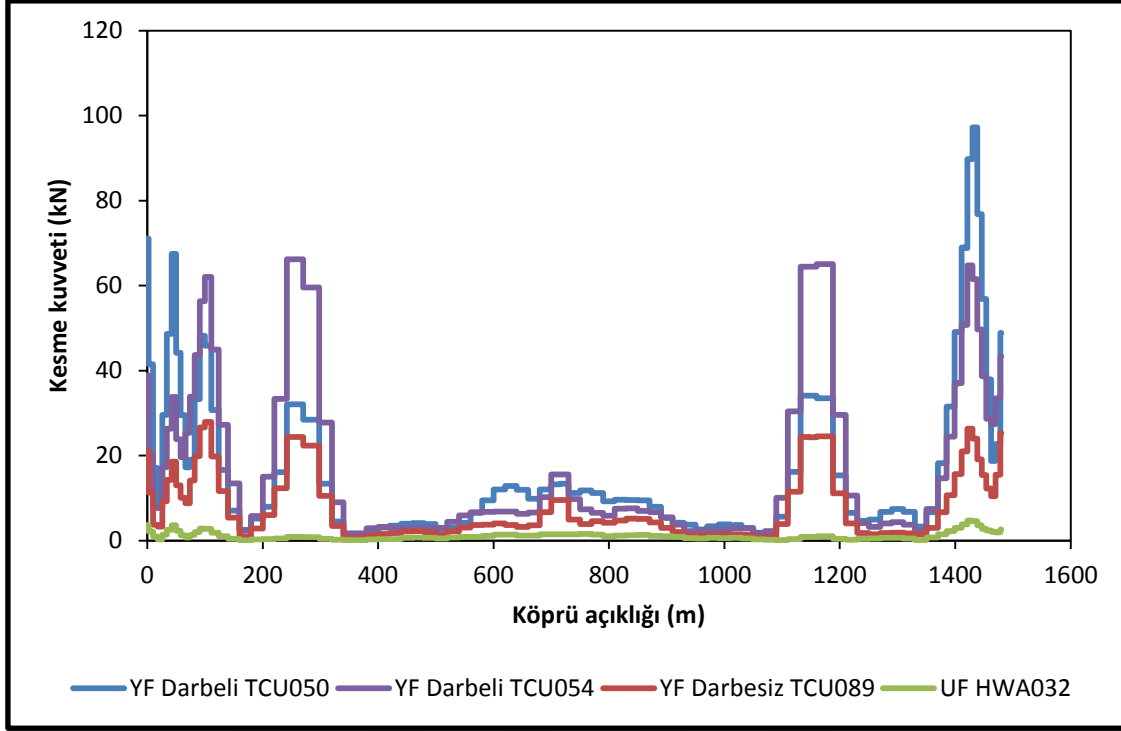
Şekil 7.38. Chi-Chi Depremi için Tatar tabliye eksenel kuvvetleri

Kule yüksekliği boyunca kesme kuvveti değişiminin incelendiği Şekil 7.39’da yakın fay darbeli yer hareketini gösteren TCU054 kaydı için en büyük kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. TCU054 kaydı için buluna kesme kuvvetlerinin kule yüksekliği boyunca TCU050 deprem kaydı için elde edilenlerden daha büyük kesme kuvvetlerine neden olduğu görülmüştür. Bu durumda, yakın fay darbeli yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisinin sadece PGV/PGA parametrik değerine bağlı olmadığı anlaşılmaktadır. Yakın fay darbesiz yer hareketi olarak tanımlanan TCU089 kaydı için kule yüksekliği boyunca elde edilen kesme kuvveti değerleri, uzak fay yer hareketi kaydı olarak alınan HWA032 kaydı için elde edilen kesme kuvveti değerlerinden daha büyük değerler vermiştir. Burada da yakın fay darbeli yer hareketinin köprü üzerindeki ayırt edici etkisi açık bir şekilde gözlenmiştir.



Şekil 7.39. Chi-Chi Depremi için Tatara kule kesme kuvvetleri

Şekil 7.40'da köprü açıklığı boyunca kesme kuvveti değerlerinin değişimi incelenmiştir. Daha önce de gözlendiği gibi yakın fay darbeleri yer hareketi kayıtları TCU050 ve TCU054 için tabliye boyunca elde edilen kesme kuvvetleri en büyük çıkmıştır. Yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı TCU089 için elde edilen kesme kuvvetleri de uzak fay yer hareketi kaydı HWA032 için belirlenen kesme kuvvetlerinden daha büyük çıkmıştır. Burada da yakın fay darbeleri yer hareketinin, yakın fay darbesiz yer hareketi ve uzak fay yer hareketine göre kesme kuvvetleri üzerinde önemli etkisinin olduğu görülmektedir.

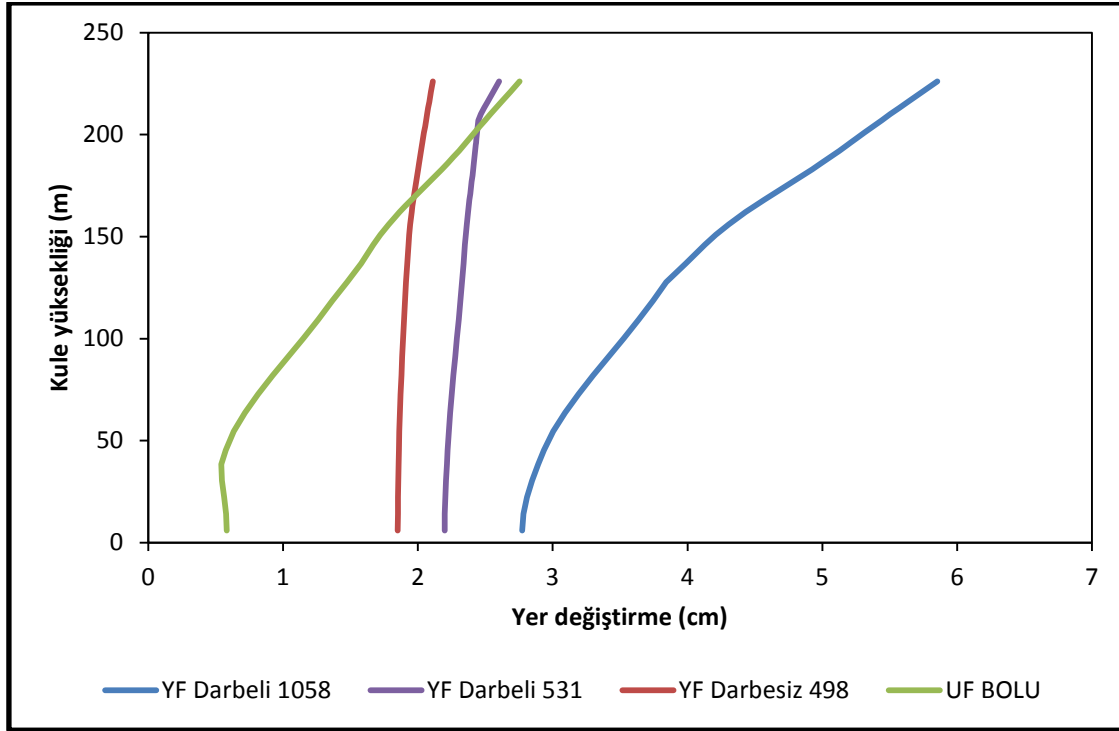


Şekil 7.40. Chi-Chi Depremi için Tatara tabliye kesme kuvvetleri

7.2.2. Düzce Depremi için yapılan çözümlemeler

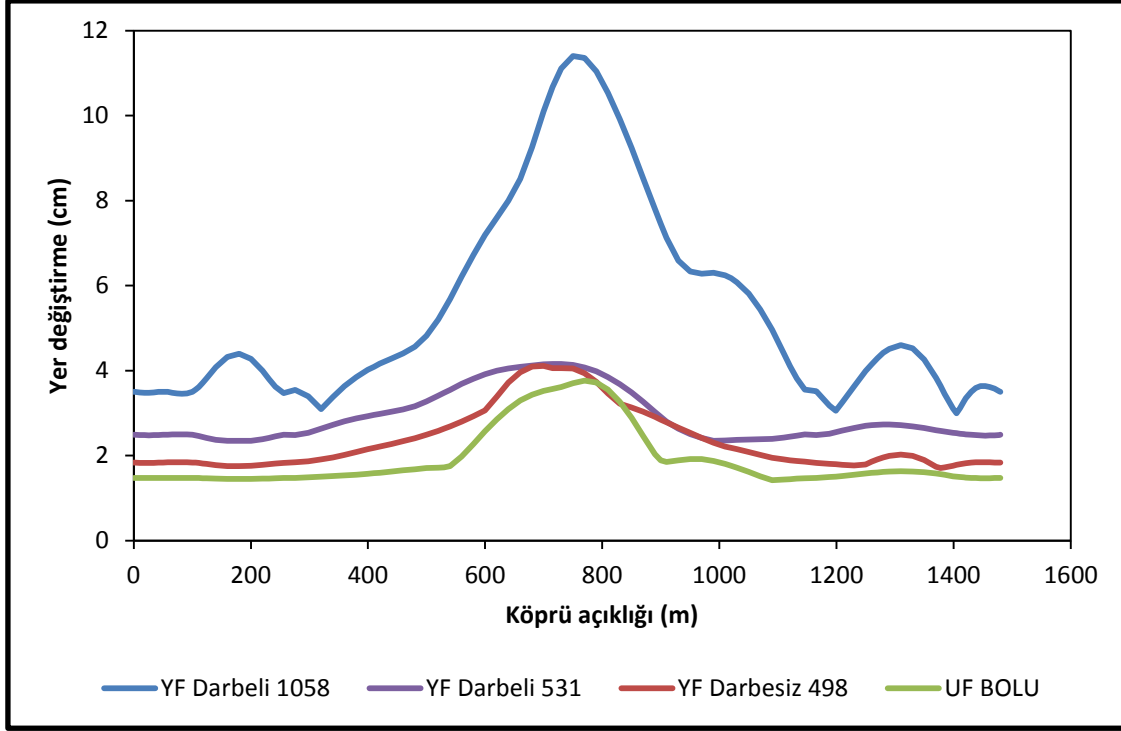
Düzce Depremi'nin analizinde yakın fay darbeli deprem kaydı 1058, yakın fay darbeli deprem kaydı 531, yakın fay darbesiz deprem kaydı 498 ve uzak fay deprem kaydı BOLU kullanılmıştır. Bu dört deprem kaydı için kule yüksekliği ve köprü açıklığı boyunca elde edilen yer değiştirme, eğilme momenti, aksenal kuvvet ve kesme kuvveti değişimleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Kule yüksekliği boyunca yer değiştirme değerlerinin incelendiği Şekil 7.41'de deprem kayıtları için kule tepe noktasında elde edilen yer değiştirme değerlerinin 2,1 cm-5,8 cm arasında olduğu gözlenmiştir. Yakın fay darbeli deprem kaydı 1058 için elde edilen yer değiştirmeler diğer bir yakın fay darbeli deprem kaydı 531 için elde edilen yer değiştirmelerden daha büyük çıkarken yakın fay darbesiz deprem kaydı 498 için elde edilen yer değiştirmeler kule alt bölümünde uzak fay deprem kaydı BOLU için bulunan yer değiştirmelerden daha büyük çıkmıştır. Kule üst bölümünde ise uzak fay deprem kaydı için bulunan yer değiştirmenin artarak 498 yakın fay darbesiz ve 531 yakın fay darbeli deprem kayıtları için bulunan yer değiştirmelerden daha büyük değerler verdiği görülmektedir.



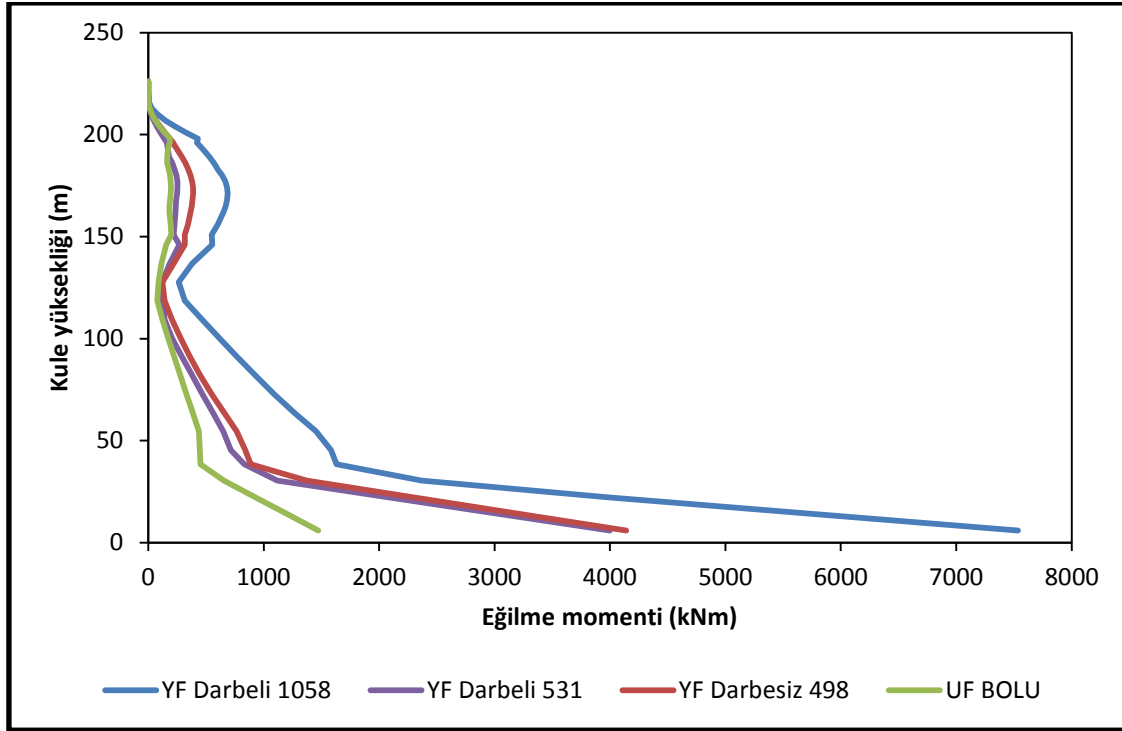
Şekil 7.41. Düzce Depremi için Tatar kule yatay yer değiştirmeleri

Şekil 7.42’de köprü açıklığı boyunca yer değiştirme değerleri karşılaştırılmıştır. 1058, 531, 498 ve BOLU deprem kayıtları için tabliye açıklığının orta noktasında elde edilen yer değiştirme değerleri sırasıyla 11,2 cm, 4,1 cm, 4 cm ve 3,7 cm olarak belirlenmiştir. Yakın fay darbeli yer hareketi kaydı 1058 için elde edilen yer değiştirmelerin, yakın fay darbeli yer hareketi kaydı 531, yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı 498 ve uzak yer hareketi kaydı BOLU için elde edilen yer değiştirmelerden önemli ölçüde büyük olduğu gözlenmiştir. 1058 kaydı için tabliye orta noktasında elde edilen yer değiştirme değeri 531, 498 ve BOLU kaydı için bulunan yer değiştirme değerinden %180 daha büyük çıkmıştır. 1058 deprem kaydının, diğer deprem kayıtlarına göre daha büyük yer değiştirme değerlerine neden olmasının nedeninin 1058 deprem kaydının PGV/PGA değerinin daha büyük olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. 1058 deprem kaydının üç bileşeni için belirlenen PGV/PGA değerlerinden (0,18 sn, 0,15 sn, 0,22 sn), diğer deprem kaydı bileşenleri için belirlenen PGV/PGA değerlerinden (0,07 sn, 0,11 sn, 0,15 sn; 0,06 sn, 0,07 sn, 0,1 sn; 0,08 sn, 0,08 sn, 0,12 sn) daha büyük olmasının söz konusu farklılığın nedeni olduğu anlaşılmaktadır. Burada köprü tabliyesi için yakın fay darbeli yer hareketinin, yakın fay darbesiz yer hareketi ve uzak fay yer hareketine göre önemli oranda daha etkili olduğu anlaşılmaktadır.



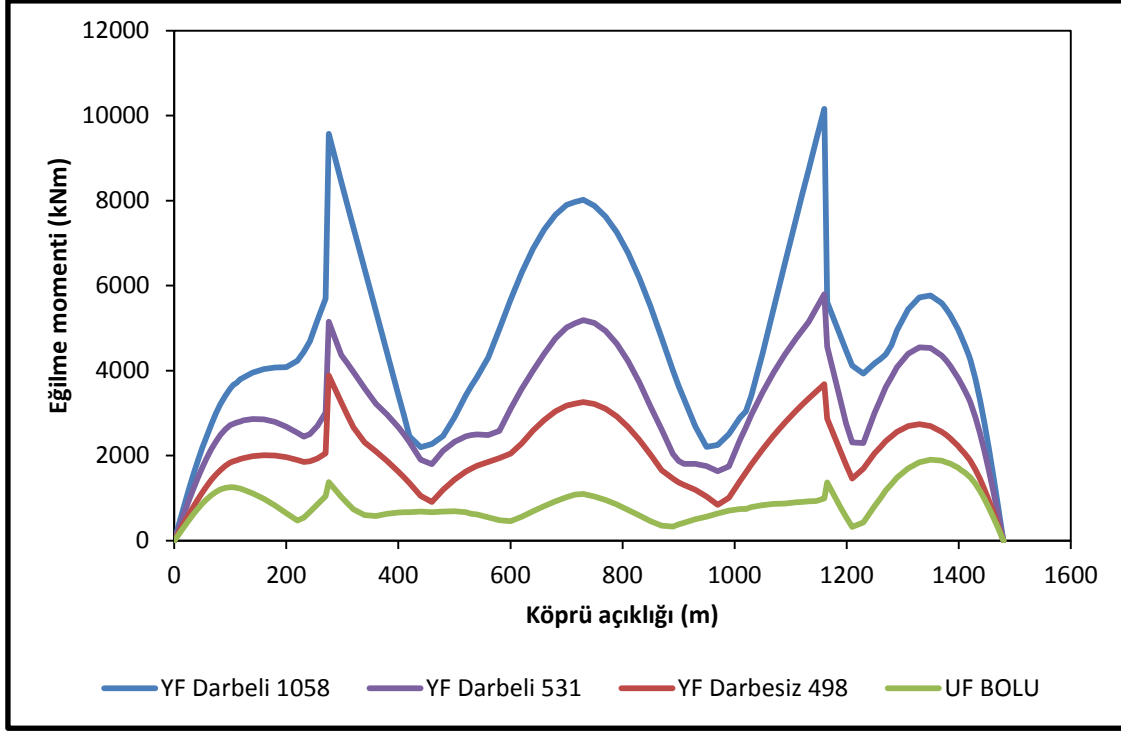
Şekil 7.42. Düzce Depremi için Tatar tabliye düşey yer değiştirmeleri

Kule yüksekliği boyunca eğilme momenti değerlerinin incelendiği Şekil 7.43’de yakın fay darbeli yer hareketini karşılık gelen 1058 kaydı için kule taban noktasında en büyük eğilme momenti değeri (7534 kNm) elde edilmiştir. Diğer bir yakın fay darbeli yer hareketi kaydı 531 ve yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı 498 için kule taban noktasında birbirine yakın eğilme momenti değeri (4000 kNm) elde edilmiştir. 1058 yakın fay darbeli yer hareketi için kule taban noktasında elde edilen eğilme momenti, 531 yakın fay darbeli yer hareketi ve 498 yakın fay darbesiz yer hareketi için elde edilen eğilme momentinden %88, BOLU uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen eğilme momentinden %411 büyük çıkmıştır.



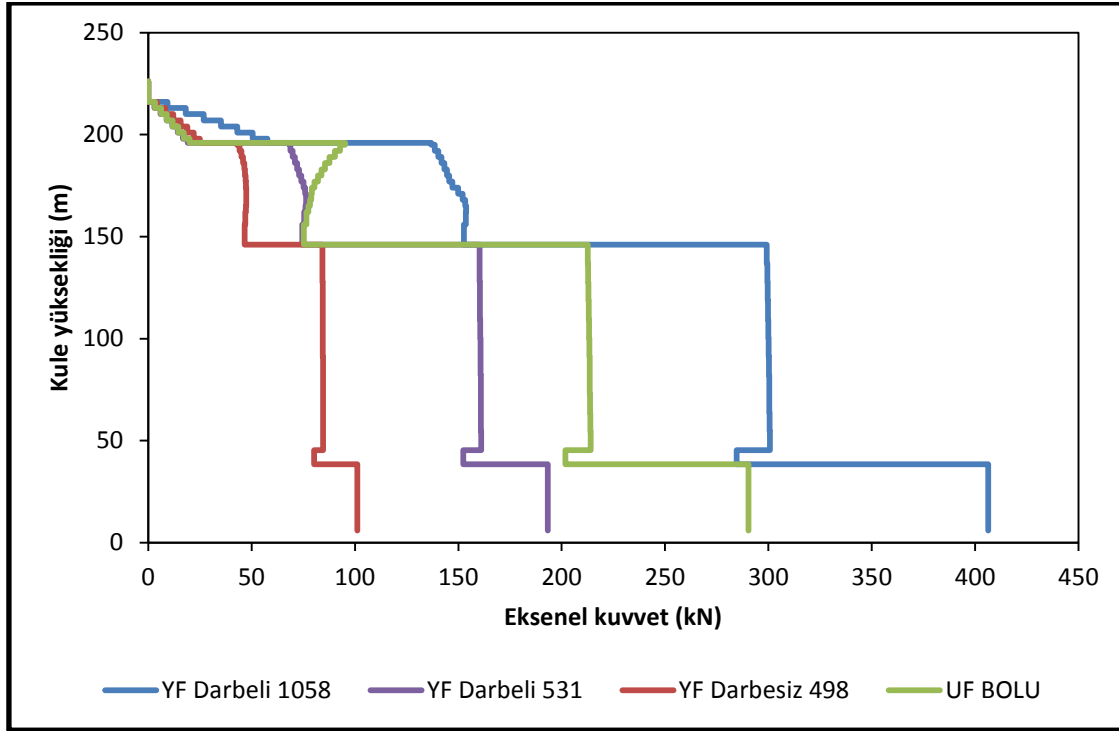
Şekil 7.43. Düzce Depremi için Tatara kule eğilme momentleri

Şekil 7.44'de köprü açıklığı boyunca elde edilen eğilme momenti değerleri karşılaştırılmıştır. 1058, 531, 498 ve BOLU deprem kayıtları için tabliye açıklığının orta noktasında elde edilen eğilme momenti değerleri sırasıyla 7948 kNm, 5155 kNm, 3238 kNm ve 1068 kNm olarak belirlenmiştir. Yakın fay darbeli yer hareketi için elde edilen eğilme momentlerinin, yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı ve uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen eğilme momentlerinden önemli ölçüde büyük olduğu gözlenmiştir. Kulede olduğu gibi tabliyede de 1058 darbeli yer hareketi kaydı için elde edilen tabliye eğilme momentleri, 531 darbeli yer hareketi kaydı için elde edilen eğilme momentlerinden daha büyük çıkmıştır. 1058 kaydı için tabliye orta noktasında elde edilen eğilme momenti değeri 531 kaydı için bulunan eğilme momenti değerinden %54 daha büyük çıkmıştır. 498 kaydı için tabliye orta noktasında elde edilen eğilme momenti değeri BOLU kaydı için bulunan eğilme momenti değerinden %203 daha büyük çıkmıştır. Köprü tabliyesi eğilme momentleri için yakın fay darbeli yer hareketinin, yakın fay darbesiz yer hareketi ve uzak fay yer hareketine göre önemli oranda daha etkili olduğu görülmektedir.



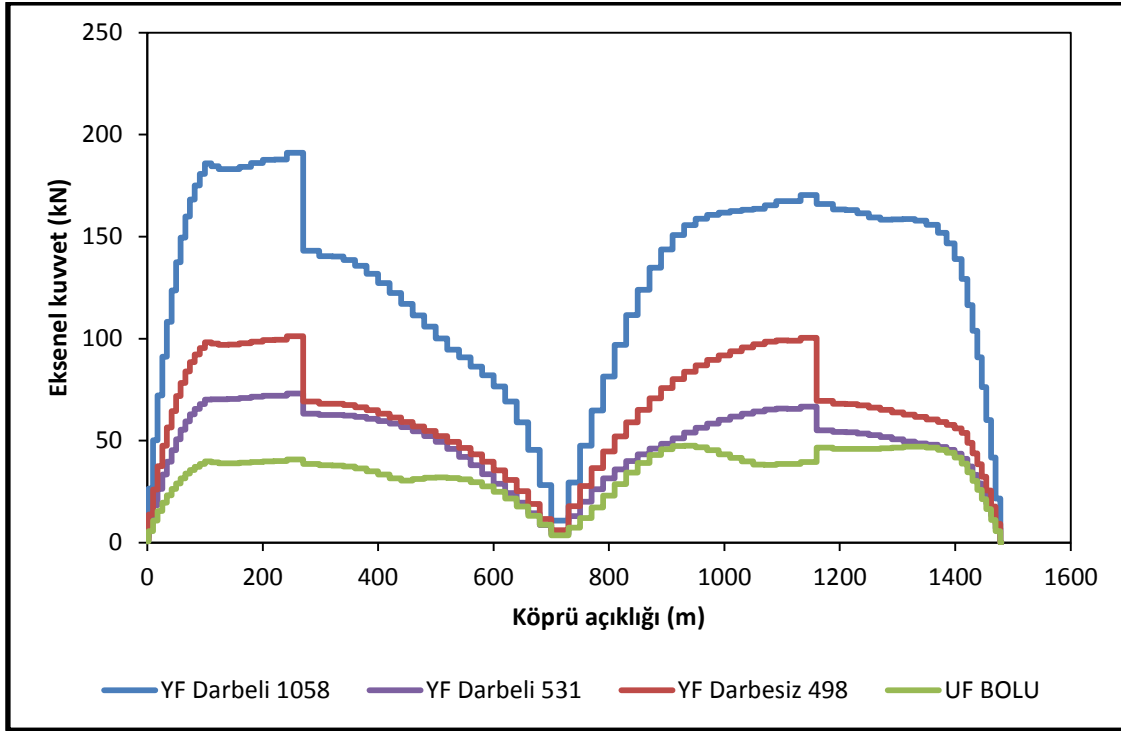
Şekil 7.44. Düzce Depremi için Tatar tabliye eğilme momentleri

Kule yüksekliği boyunca aksenal kuvvet değerlerinin incelendiği Şekil 7.45’de yakın fay darbeli yer hareketi kaydı 1058 için kule yüksekliği boyunca en büyük aksenal kuvvet değerleri elde edilmiştir. Bunun yanında 531 yakın fay darbeli yer hareketi, 498 yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı ve BOLU uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen değişimin daha önce gözlemlenen değişimlerden farklı olduğu görülmüştür. Kule taban noktasında BOLU uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen aksenal kuvvetler, 531 yakın fay darbeli yer hareketi kaydı için elde edilen değerlerden daha büyük çıkmıştır.



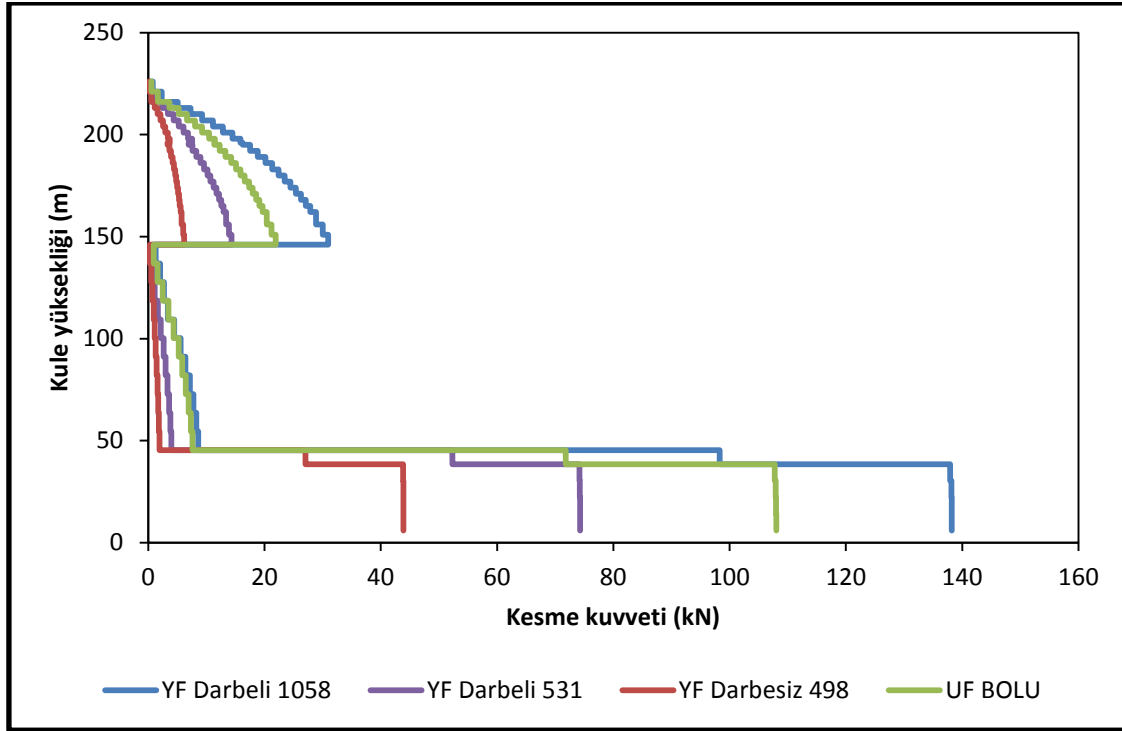
Şekil 7.45. Düzce Depremi için Tatar kule eksenel kuvvetleri

Şekil 7.46'da köprü açıklığı boyunca eksenel kuvvetlerin değişimi karşılaştırılmıştır. Yakın fay darbeli yer hareketi kaydı 1058 için tabliye açıklığı boyunca elde edilen eksenel kuvvetlerin, diğer bir yakın fay darbeli yer hareketi kaydı olan 531 için bulunanlar ile yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı 498 ve uzak fay yer hareketi kaydı BOLU için elde edilen eksenel kuvvetlerden önemli ölçüde büyük olduğu gözlenmiştir. Yine daha önce elde edilen değişimlerden farklı olarak yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı 498 için elde edilen eksenel kuvvetler yakın fay darbeli yer hareketi kaydı olan 531 için elde edilen eksenel kuvvet değerlerinden daha büyük çıkmıştır.



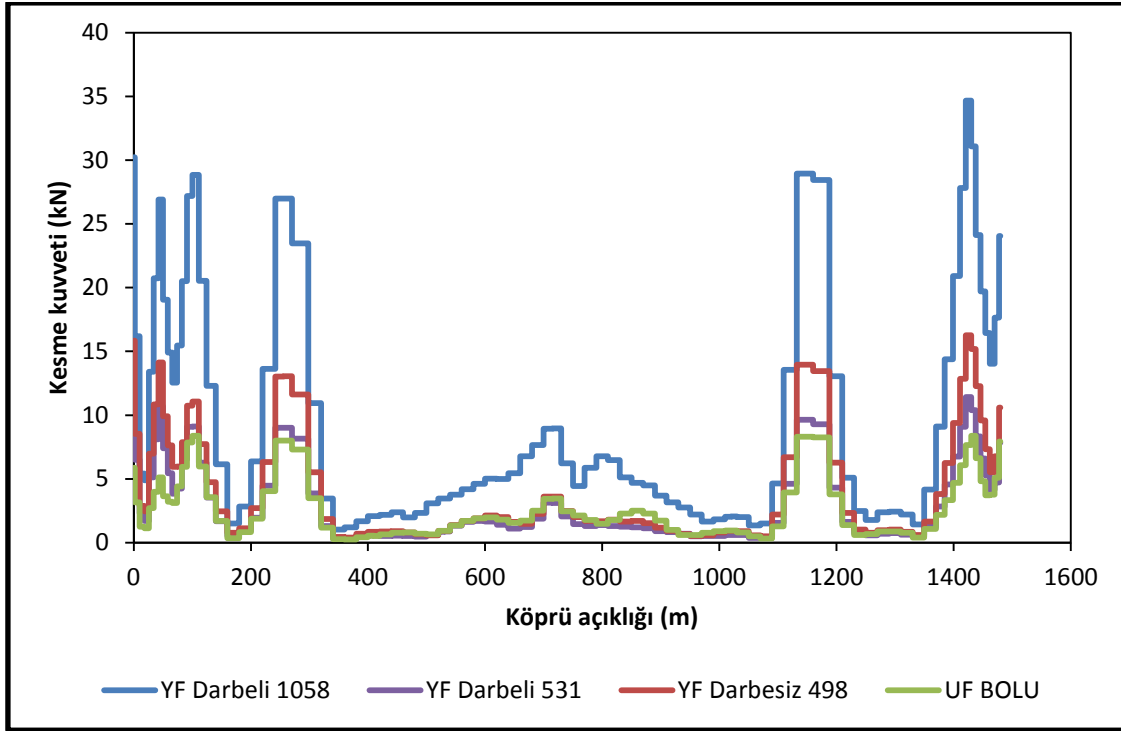
Şekil 7.46. Düzce Depremi için Tatara tabliye eksenel kuvvetleri

Kule yüksekliği boyunca kesme kuvveti değerlerinin incelendiği Şekil 7.47’de yakın fay darbeleri yer hareketi kaydı 1058 için en büyük kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. Daha önce gözlemlenen değişimlerden farklı olarak uzak fay yer hareketi kaydı BOLU için bulunan kesme kuvveti değerleri, 531 yakın fay darbeleri yer hareketi kaydı için bulunan kesme kuvvetlerinden daha büyük çıkmıştır. Yakın fay darbesiz yer hareketi olarak tanımlanan 498 kaydı için kule yüksekliği boyunca elde edilen kesme kuvveti değerleri, uzak fay yer hareketi kaydı olarak alınan BOLU için elde edilen kesme kuvvetlerinden daha küçük çıkmıştır. Burada da yakın fay darbeleri yer hareketinin kule kesme kuvveti üzerindeki ayırt edici etkisi açık bir şekilde gözlenmiştir.



Şekil 7.47. Düzce Depremi için Tatar kule kesme kuvvetleri

Şekil 7.48’de köprü açıklığı boyunca elde edilen kesme kuvveti değerleri karşılaştırılmıştır. Burada 1058 yakın fay darbeli yer hareketi kaydı için elde edilen kesme kuvvetlerinin; 531 yakın fay darbeli yer hareketi kaydı, 498 yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı ve BOLU uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen kesme kuvvetlerinden önemli ölçüde büyük olduğu gözlenmiştir. Bunun yanında 531 yakın fay darbeli yer hareketi kaydı, 498 yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı ve BOLU uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen kesme kuvvetleri birbirine genel olarak yakın çıkmıştır. Burada 1058 kaydı için yakın fay darbeli yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisi açık olarak gözlenirken, 531 darbeli yer hareketi kaydı için bu etki görülmemiştir. Bu durumun nedeninin 531 kaydı için PGV/PGA küçük olmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.



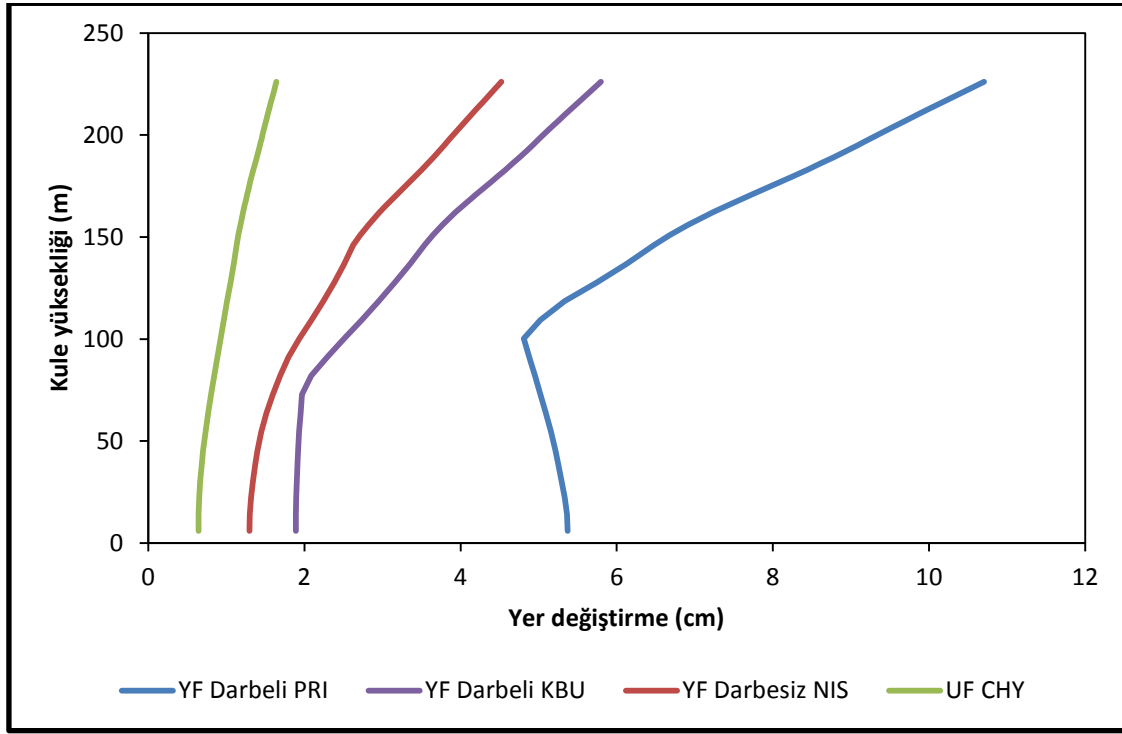
Şekil 7.48. Düzce Depremi için Tatar tabliye kesme kuvvetleri

7.2.3. Kobe Depremi için yapılan çözümlemeler

Kobe Depremi dikkate alınarak yapılan analizlerde yakın fay darbeli deprem kaydı PRI ve KBU, yakın fay darbesiz deprem kaydı NIS ve uzak fay deprem kaydı CHY kullanılmıştır. Bu dört deprem kaydı için kule yüksekliği ve köprü açıklığı boyunca elde edilen yer değiştirme, eğilme momenti, eksenel kuvvet ve kesme kuvveti değişimleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

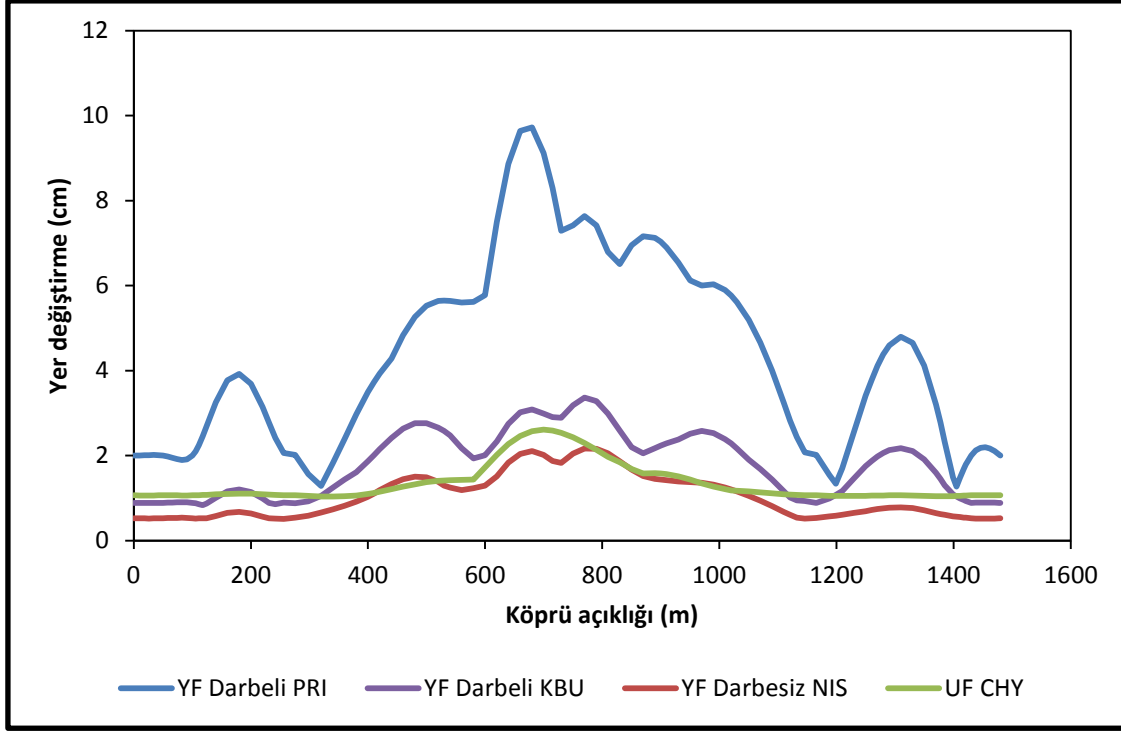
Kule yüksekliği boyunca yer değiştirme değerlerinin incelendiği Şekil 7.49'da yakın fay darbeli yer hareketini gösteren PRI kaydı için kule tepe noktasında en büyük yer değiştirme değeri (10,7 cm) elde edilmiştir. Diğer bir yakın fay darbeli yer hareketi olan KBU kaydından kule tepe noktasında 5,8 cm değerinde yer değiştirme elde edilmiştir. PRI ve KBU deprem kayıtları karşılaştırıldığında, yakın fay darbeli yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisini artıran parametrenin PGV/PGA değerinin olduğu değerlendirilmektedir. PRI deprem kaydının üç bileşeni için belirlenen PGV/PGA değerlerinin (0,26 sn, 0,18 sn, 0,11 sn), KBU deprem kaydı bileşenleri için belirlenen PGV/PGA değerlerinden (0,21 sn, 0,1 sn, 0,04 sn) daha büyük olmasının söz konusu farklılığın nedeni olduğu anlaşılmaktadır. Yakın fay darbesiz yer hareketi olarak

tanımlanan NIS kaydı için kule tepe noktasında elde edilen yer değiştirme değeri (4,5 cm), uzak fay yer hareketi kaydı olarak alınan CHY için elde edilen yer değiştirmeden (1,6 cm) daha büyük bir değer vermiştir. Burada deprem kaydının darbe etkisine sahip olması durumunda köprü davranışı üzerindeki etkisi açık bir şekilde görülmektedir.



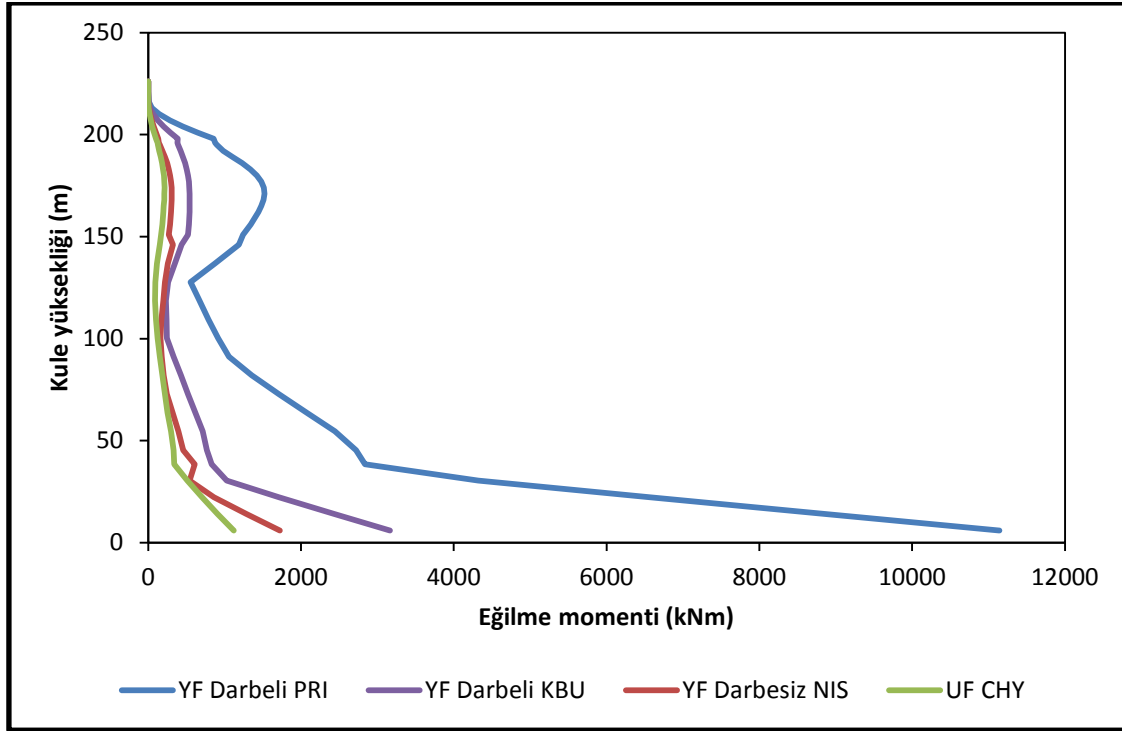
Şekil 7.49. Kobe Depremi için Tatar kule yatay yer değiştirmeleri

Şekil 7.50'de köprü açıklığı boyunca yer değiştirme değerleri karşılaştırılmıştır. Burada PRI yakın fay darbeli yer hareketi kaydı için elde edilen yer değiştirmeler en büyük olurken KBU yakın fay darbeli yer hareketi kaydı, NIS yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı ve CHY uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen yer değiştirmeler küçük mertebelerde olup birbirine yakın sonuçlar ortaya çıkmıştır.



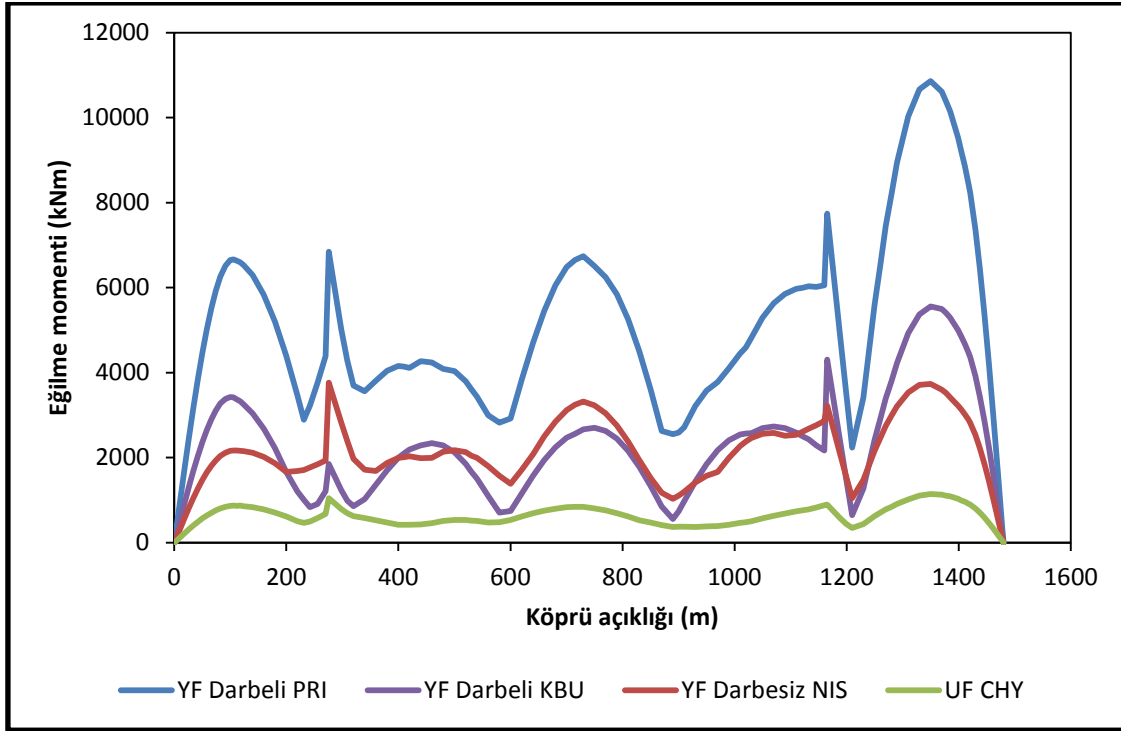
Şekil 7.50. Kobe Depremi için Tatar tabliye düşey yer değiştirmeleri

Kule yüksekliği boyunca eğilme momenti değerlerinin incelendiği Şekil 7.51’de yakın fay darbeli yer hareketine karşılık gelen PRI kaydından kule taban noktasında en büyük eğilme momenti değeri (11141 kNm) elde edilmiştir. Diğer bir yakın fay darbeli yer hareketi olan KBU kaydından kule taban noktasında 3164 kNm değerinde eğilme momenti elde edilmiştir. PRI kaydı için bulunan eğilme momentlerinin kule yüksekliği boyunca KBU deprem kaydı için elde edilenlerden daha büyük değerlerde olduğu görölmüştür. Bu durumda, yakın fay darbeli yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisini artıran parametrenin PGV/PGA değerinin olduğu değerlendirilmiştir. Kule taban noktasında yakın fay darbesiz yer hareketi NIS kaydı için elde edilen eğilme momenti değeri (1724 kNm), uzak fay yer hareketi CHY kaydı için elde edilen eğilme momentinden daha büyük bir değer vermiştir. Yakın fay darbeli yer hareketinin köprü üzerindeki ayırt edici etkisi kule eğilme momentleri için de gözlenmiştir.



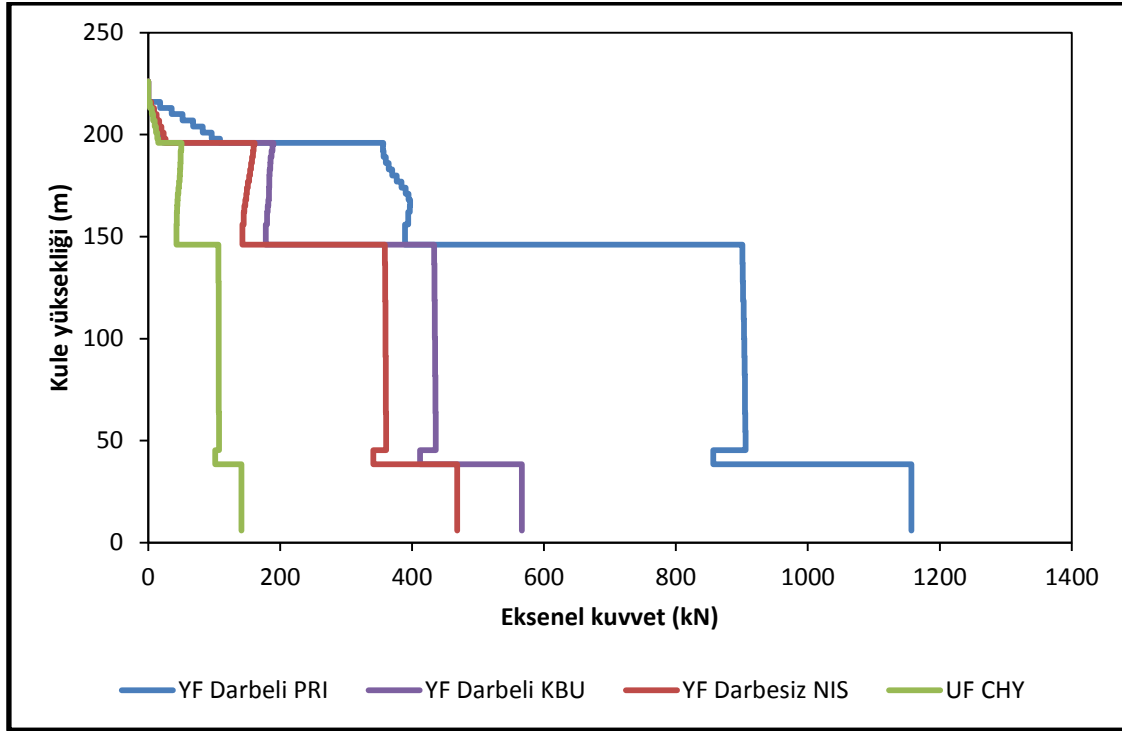
Şekil 7.51. Kobe Depremi için Tatar kule eğilme momentleri

Şekil 7.52'de köprü açıklığı boyunca eğilme momenti değerleri karşılaştırılmıştır. PRI, KBU, NIS ve CHY deprem kayıtları için tabliye açıklığının orta noktasında elde edilen eğilme momenti değerleri sırasıyla 6623 kNm, 2685 kNm, 3276 kNm ve 825 kNm olarak belirlenmiştir. Yakın fay darbeli yer hareketi kaydı PRI için elde edilen eğilme momentinin, yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı ve uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen eğilme momentlerinden önemli ölçüde büyük olduğu gözlenmiştir. Daha önce elde edilen değişimlerden farklı olarak yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı NIS için elde edilen eğilme momentleri yakın fay darbeli yer hareketi kaydı olan KBU için elde edilen eğilme momenti değerlerinden daha büyük çıkmıştır. PRI kaydı için tabliye orta noktasında elde edilen eğilme momenti değeri NIS kaydı için bulunan eğilme momenti değerinden %102 daha büyük çıkmıştır. Uzak fay yer hareketi CHY kaydı için belirlenen eğilme momentleri küçük mertebelerde çıkmıştır. Köprü tabliyesi eğilme momentleri için yakın fay darbeli yer hareketinin, yakın fay darbesiz yer hareketi ve uzak fay yer hareketine göre önemli oranda daha etkili olduğu görülmektedir.



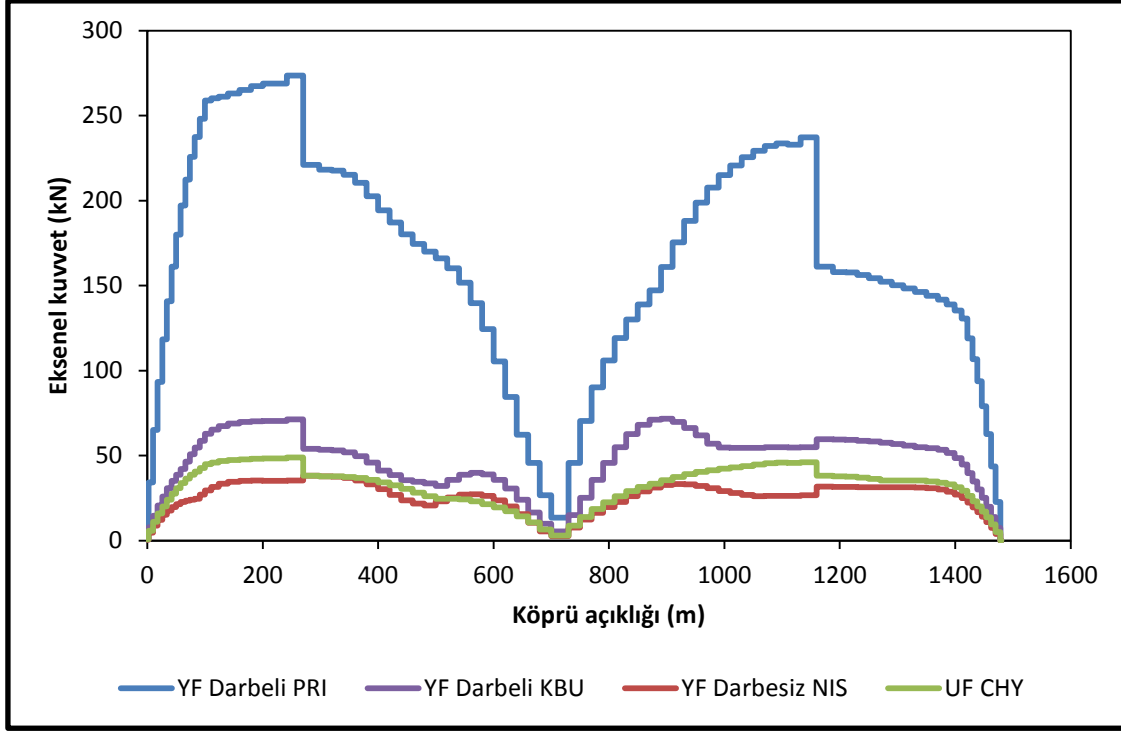
Şekil 7.52. Kobe Depremi için Tatar tabliye eğilme momentleri

Kule yüksekliği boyunca eksenel kuvvet değişiminin incelendiği Şekil 7.53’de yakın fay darbeli yer hareketini gösteren PRI kaydı için kule taban noktasında en büyük eksenel kuvvet değeri (1157 kN) elde edilmiştir. Diğer bir yakın fay darbeli yer hareketi olan KBU kaydı için kule taban noktasında 566 kN değerinde eksenel kuvvet elde edilmiştir. PRI ve KBU deprem kayıtları karşılaştırıldığında, yakın fay darbeli yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisini artıran parametrenin PGV/PGA değerinin olduğu değerlendirilmektedir. Yakın fay darbesiz yer hareketi olarak tanımlanan NIS kaydı için kule taban noktasında elde edilen eksenel kuvvet değeri (468 kN), uzak fay yer hareketi kaydı olarak alınan CHY kaydı için elde edilen eksenel kuvvetten (141 kN) daha büyük bir değer vermiştir. Deprem kaydının darbe etkisine sahip olması durumunda köprü davranışı üzerinde etkili olacağı açık bir şekilde görülmektedir.



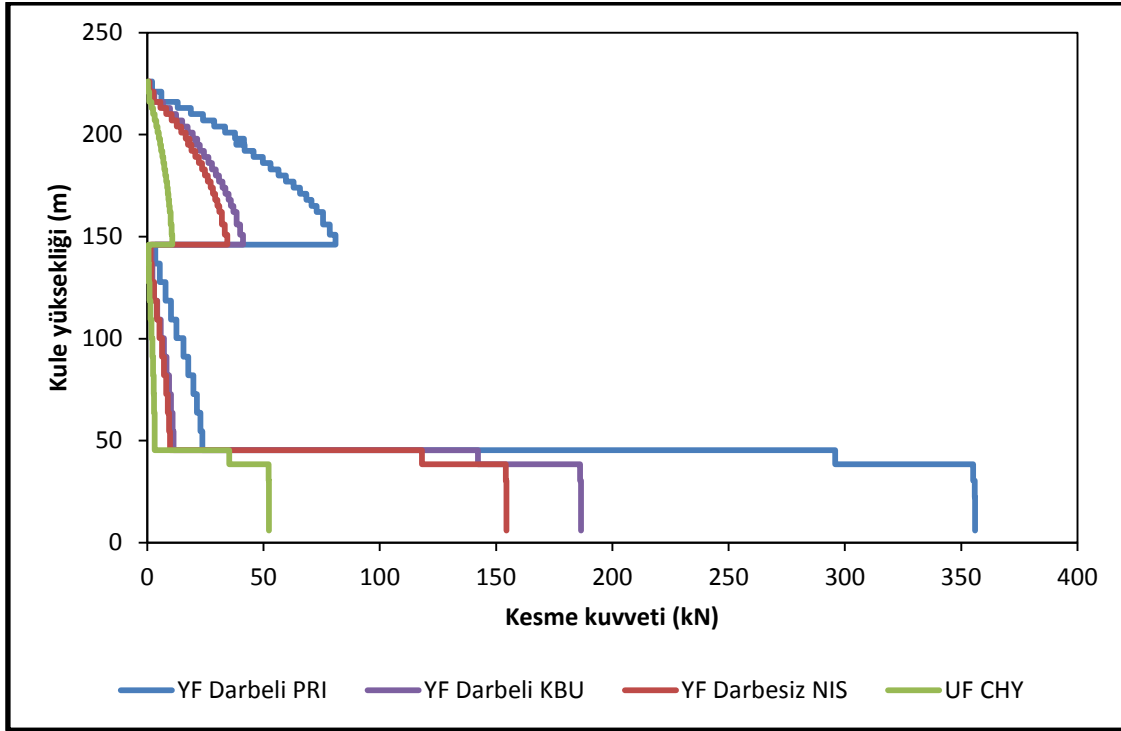
Şekil 7.53. Kobe Depremi için Tatar kule eksenel kuvvetleri

Şekil 7.54’de köprü açıklığı boyunca eksenel kuvvetlerinin değişimi karşılaştırılmıştır. Yakın fay darbeli yer hareketi kaydı PRI için tabliye açıklığı boyunca elde edilen eksenel kuvvetlerin, diğer bir yakın fay darbeli yer hareketi kaydı olan KBU için bulunanlar ile yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı NIS ve uzak fay yer hareketi kaydı CHY için elde edilen eksenel kuvvetlerden önemli ölçüde büyük olduğu gözlenmiştir. Bunun yanında KBU yakın fay darbeli yer hareketi kaydı, NIS yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı ve CHY uzak fay yer hareketi kaydı için elde edilen eksenel kuvvetler birbirine genel olarak yakın çıkmıştır. Burada PRI kaydı için yakın fay darbeli yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisi açık olarak gözlenirken, KBU darbeli yer hareketi kaydı için bu etki görülmemiştir. Bu durumun nedeninin KBU kaydı için PGV/PGA küçük olmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.



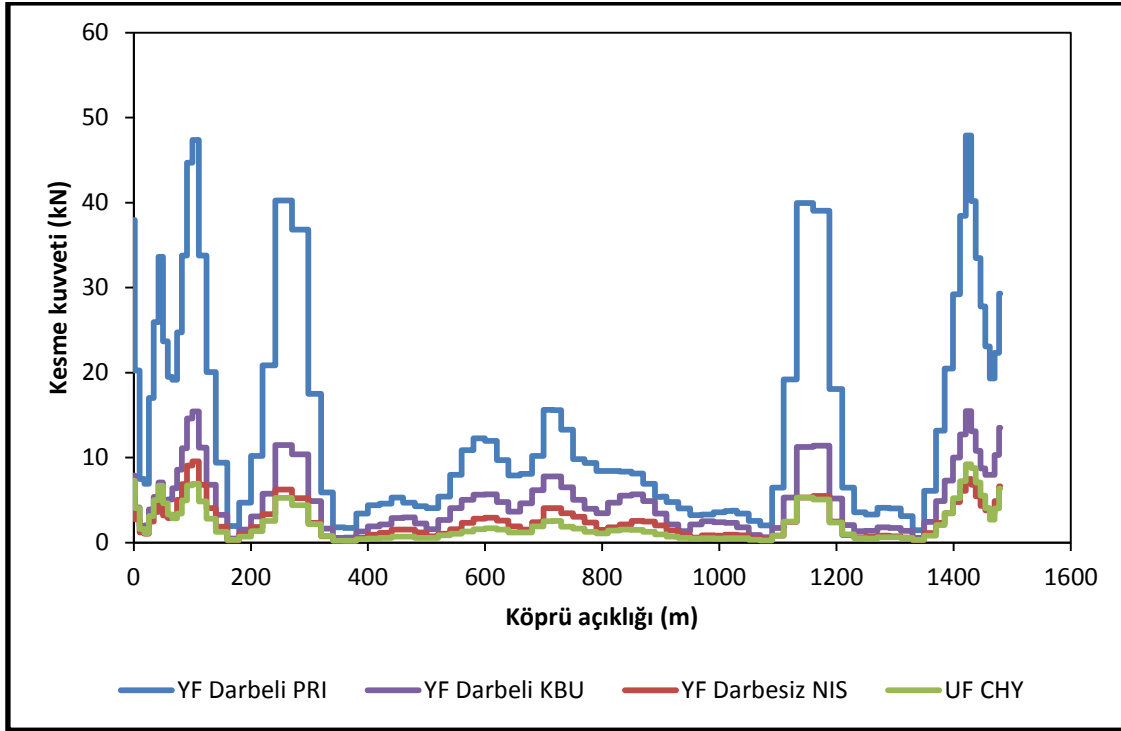
Şekil 7.54. Kobe Depremi için Tatar tabliye eksenel kuvvetleri

Kule yüksekliği boyunca kesme kuvveti değişiminin incelendiği Şekil 7.55’de kule taban noktasında yakın fay darbeleri yer hareketi kaydı PRI için 356 kN, diğer yakın fay darbeleri yer hareketi kaydı KBU için 187 kN, yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı NIS için 155 kN, uzak fay yer hareketi kaydı CHY için 52 kN kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. PRI ve KBU deprem kayıtları karşılaştırıldığında, yakın fay darbeleri yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisini artıran parametrenin PGV/PGA değerinin olduğu değerlendirilmektedir. Deprem kaydının darbe etkisine sahip olması durumunda köprü davranışı üzerinde etkili olacağı açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 7.55. Kobe Depremi için Tatar kule kesme kuvvetleri

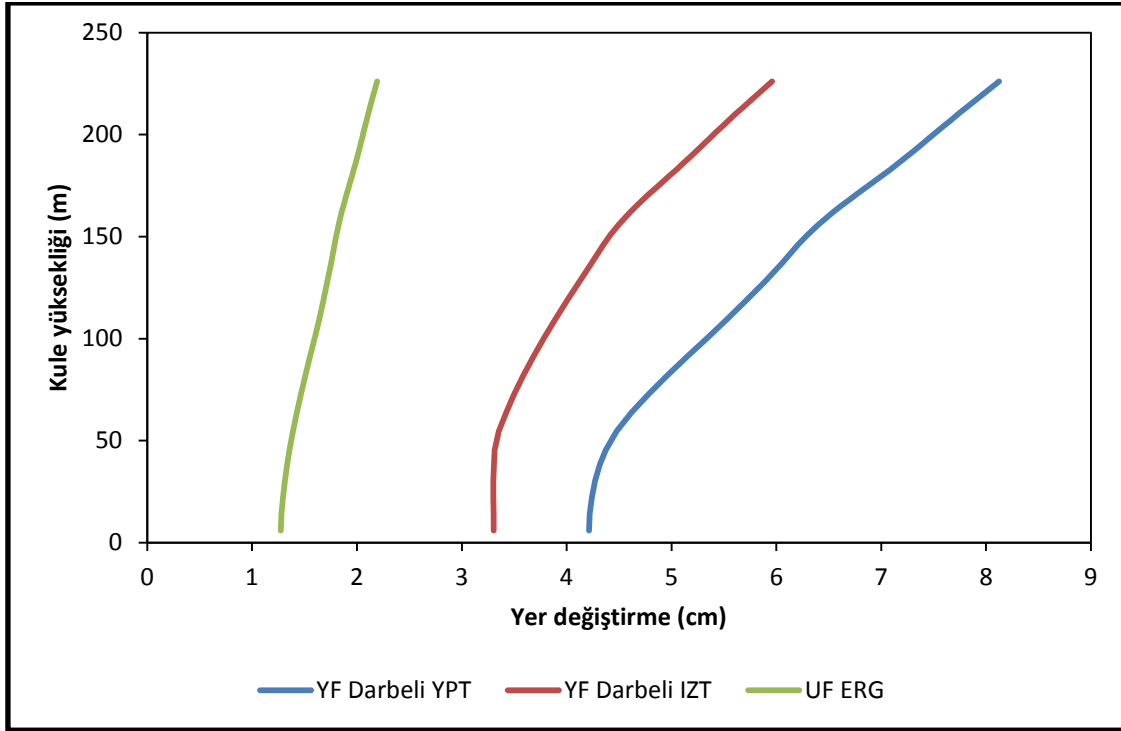
Şekil 7.56'da köprü açıklığı boyunca kesme kuvveti değerlerinin değişimi incelenmiştir. Daha önce de gözlendiği gibi yakın fay darbeli yer hareketi kayıtları PRI ve KBU için tabliye boyunca elde edilen kesme kuvvetleri en büyük çıkmıştır. Yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı NIS için elde edilen kesme kuvvetleri ile uzak fay yer hareketi CHY için belirlenen kesme kuvvetleri birbirine yakın çıkmıştır. Yakın fay darbeli yer hareketinin, yakın fay darbesiz yer hareketi ve uzak fay yer hareketine göre kesme kuvvetleri üzerinde önemli etkisinin olduğu gözlenmiştir.



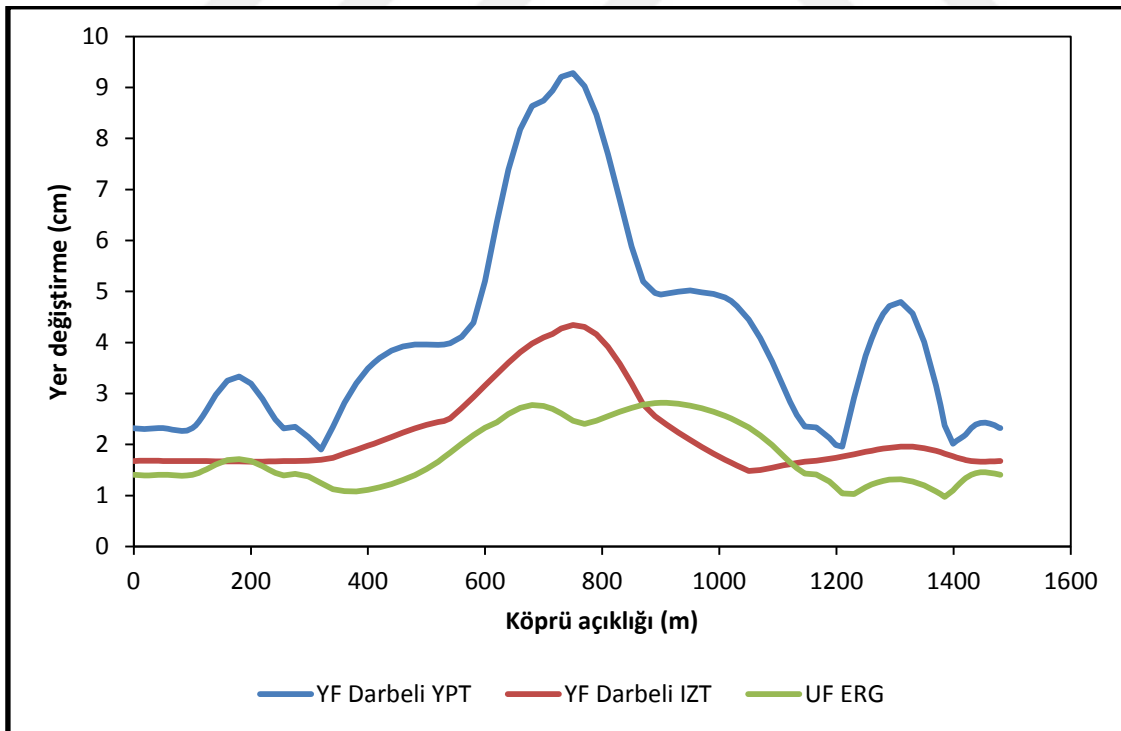
Şekil 7.56. Kobe Depremi için Tatar tabliye kesme kuvvetleri

7.2.4. Kocaeli Depremi için yapılan çözümlemeler

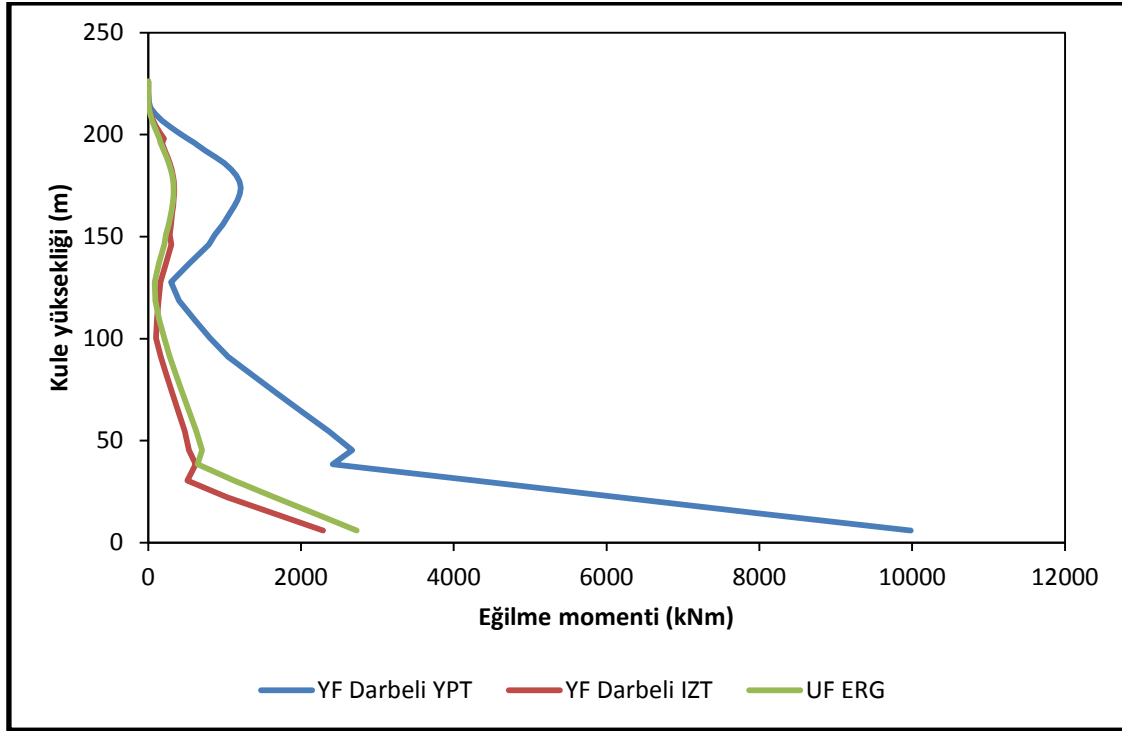
Kocaeli Depremi dikkate alınarak yapılan analizlerde yakın fay darbeli deprem kaydı YPT, yakın fay darbeli deprem kaydı IZT ve uzak fay deprem kaydı ERG kullanılmıştır. Bu üç deprem kaydı için kule yüksekliği ve köprü açıklığı boyunca elde edilen yer değiştirme, eğilme momenti, aksenal kuvvet ve kesme kuvveti değişimleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir (Şekil 7.57-7.64). Hem tabliye hem de kulede yakın fay darbeli yer hareketi kaydı YPT için elde edilen tepki değerlerinin, yakın fay darbeli yer hareketi kaydı IZT ve uzak fay yer hareketi kaydı ERG için elde edilen tepki değerlerinden genellikle daha büyük olduğu gözlenmiştir. Kocaeli Depremi'nin köprü sistemi üzerindeki yakın fay etkisi burada açık bir şekilde gözlenmiştir. Bunun yanında yakın fay darbeli yer hareketi kaydı IZT ve uzak fay yer hareketi kaydı ERG için elde edilen tepki değerleri genel olarak yakın çıkmıştır. Ancak kule aksenal kuvvetleri ve kesme kuvvetleri için uzak fay yer hareketi kaydı ERG için elde edilen tepki değerleri, yakın fay darbeli yer hareketi kaydı IZT için elde edilenlerden önemli oranda daha küçük çıkmıştır.



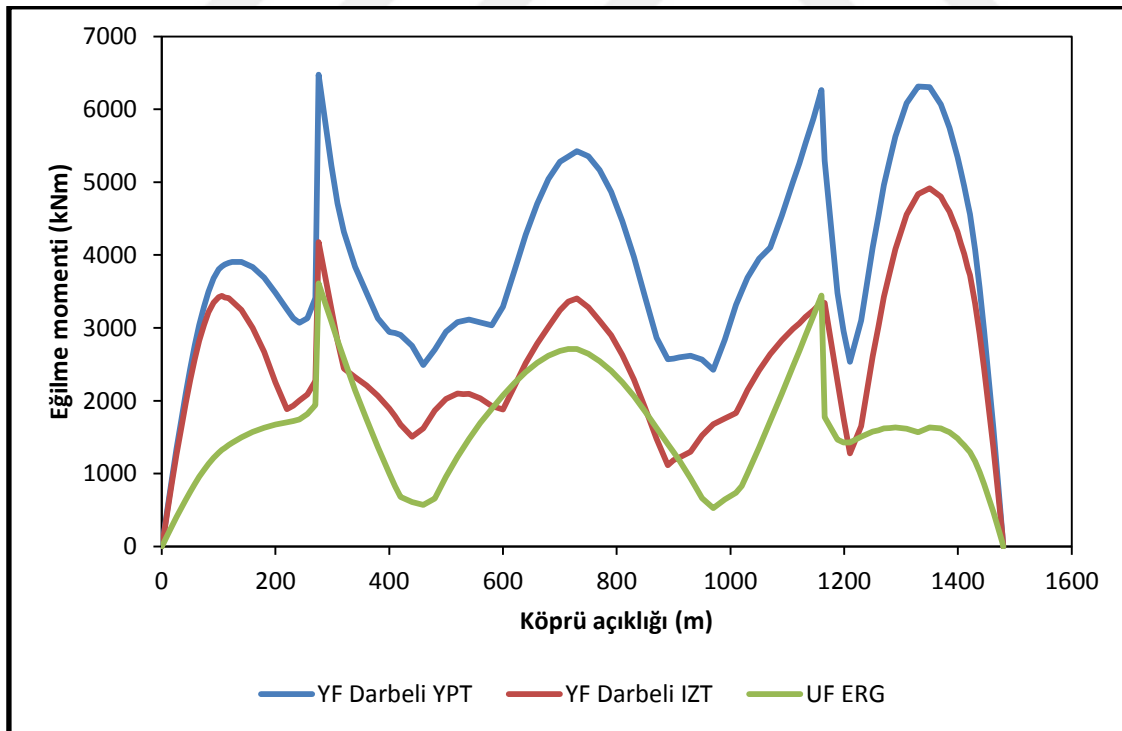
Şekil 7.57. Kocaeli Depremi için Tatar kule yatay yer değiştirmeleri



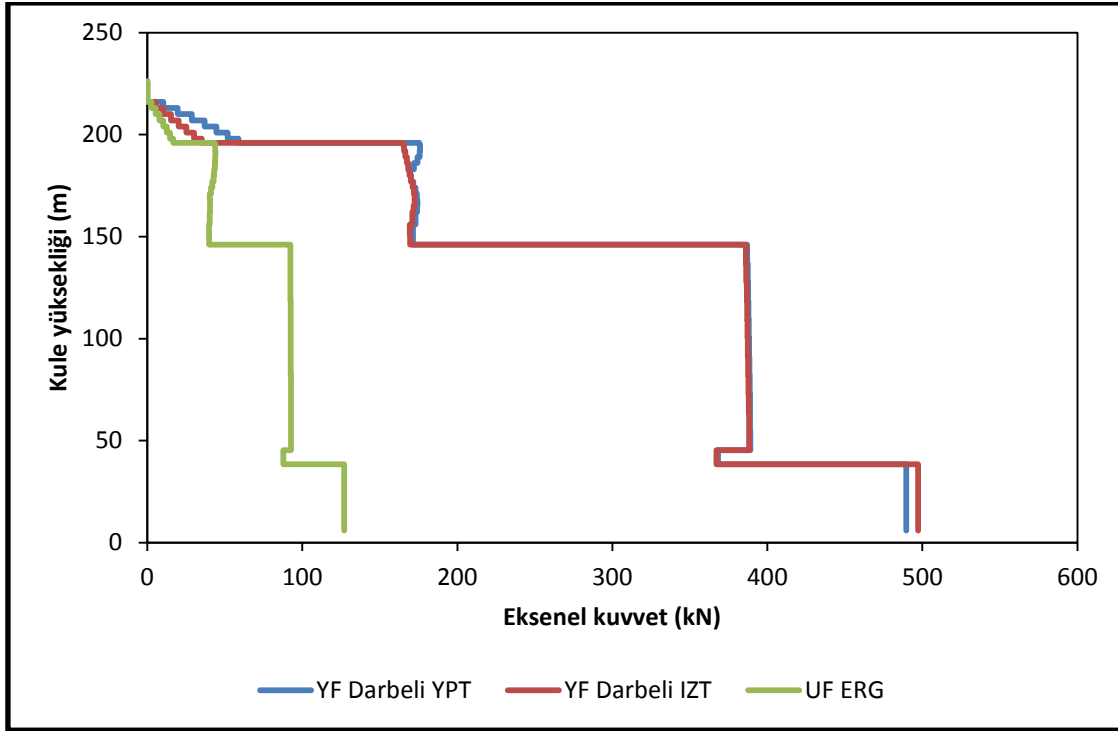
Şekil 7.58. Kocaeli Depremi için Tatar tabliye düşey yer değiştirmeleri



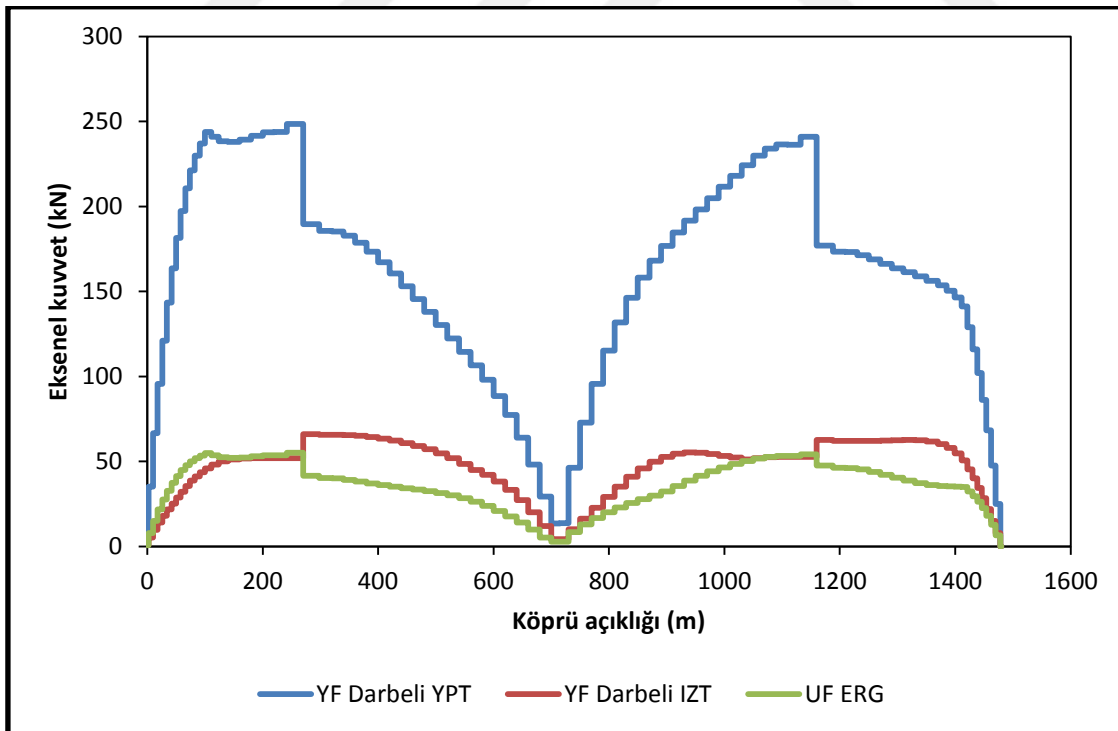
Şekil 7.59. Kocaeli Depremi için Tatar kule eğilme momentleri



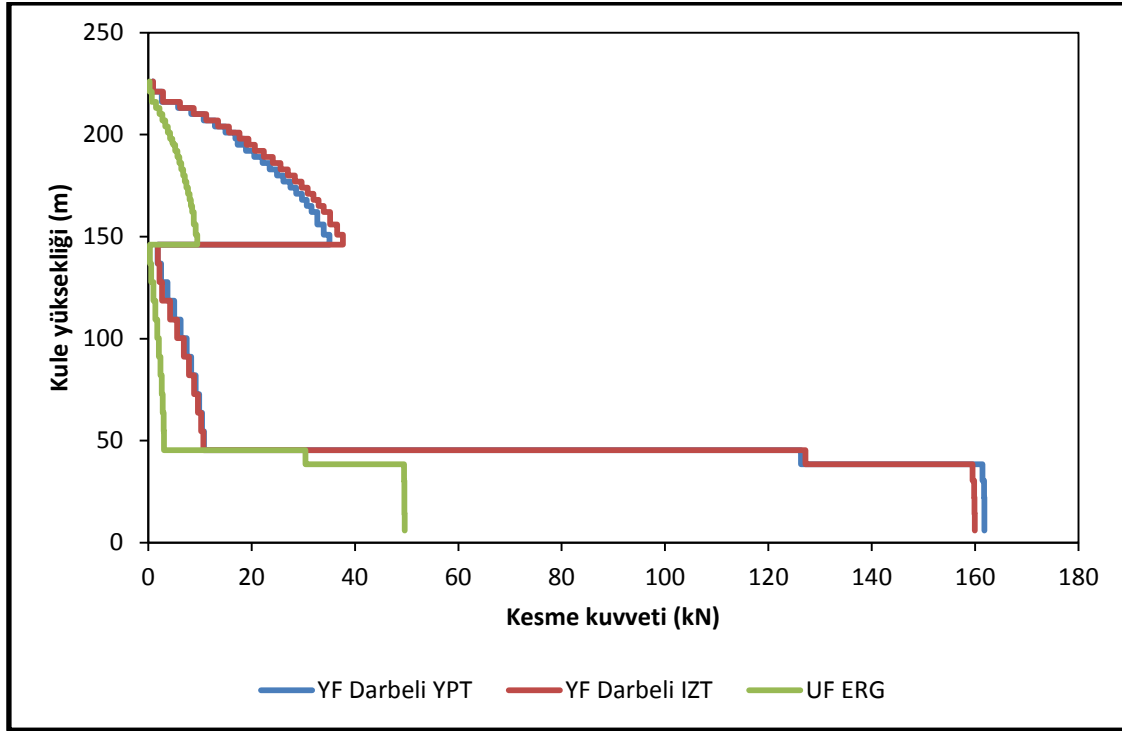
Şekil 7.60. Kocaeli Depremi için Tatar tabliye eğilme momentleri



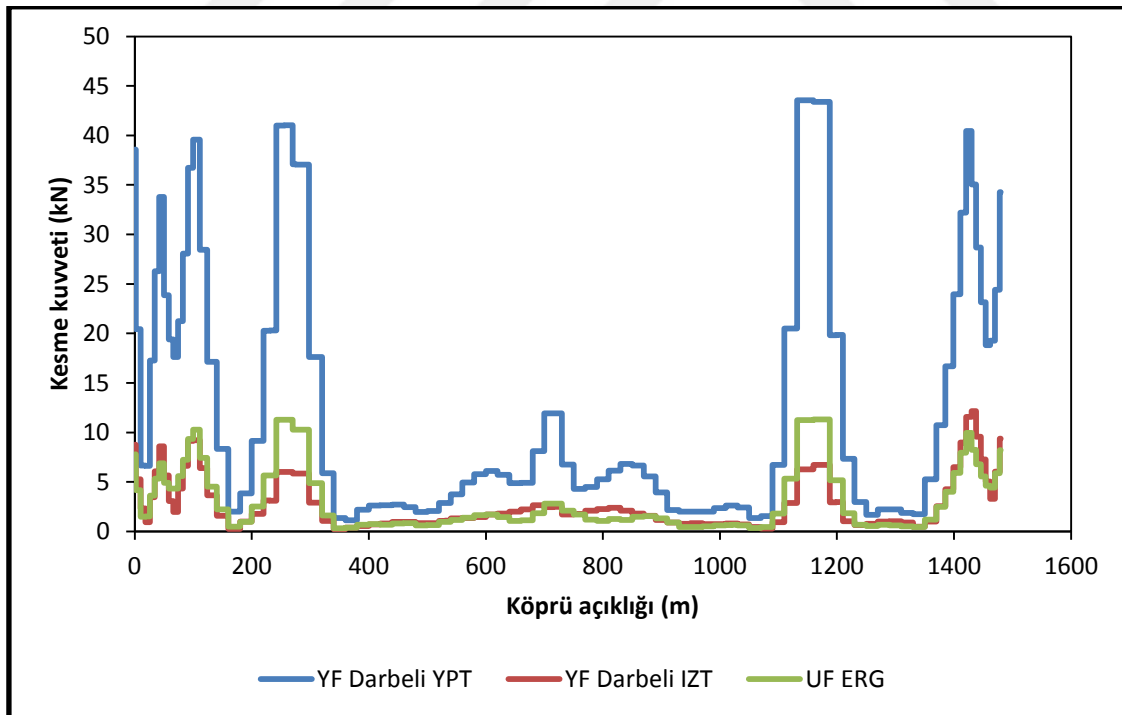
Şekil 7.61. Kocaeli Depremi için Tatara kule eksenel kuvvetleri



Şekil 7.62. Kocaeli Depremi için Tatara tabliye eksenel kuvvetleri



Şekil 7.63. Kocaeli Depremi için Tatar kule kesme kuvvetleri



Şekil 7.64. Kocaeli Depremi için Tatar tabliye kesme kuvvetleri

7.3. Dalga Yayılma Etkisi İçin Kablo Destekli Köprülerin Dinamik Analizi (Asinkronize Dinamik Analiz)

Değişerek yayılan yer hareketinin kablo destekli köprü sistemleri üzerindeki etkileri konusunda daha önce gerçekleştirilen çalışmaların önemli bir kısmı uzak fay yer hareketleri dikkate alınarak yapılmıştır. Ancak son yıllarda meydana gelen Northridge, Kobe ve Chi-Chi gibi depremler ile yer hareketindeki değişim ile yakın fay etkilerinin bir arada etkimesinden dolayı uzun açıklıklı köprü sistemlerinde önemli sismik taleplerin ortaya çıktığı gözlenmiştir (Yasrebi ve Ghafory-Ashtiany, 2014). Bu bakımdan deprem hareketindeki değişim ve yakın fay etkileri uzun açıklıklı kablo destekli köprülerin dinamik analizlerinde dikkate alınması gereken etkenlerdir. Bilindiği gibi deprem hareketinin kaynağından itibaren yayılması esnasındaki değişim genellikle dalga yayılma etkisi, korelasyon etkisi ve zemin etkisi parametrelerine bağlı olarak tanımlanmaktadır. Dalga yayılma etkisi deprem hareketinin bir mesnetten diğerine ulaşınca kadar geçen zaman farkından kaynaklanırken, korelasyon etkisi deprem hareketinin düzgün olmayan faylar boyunca çok değişik kaymalar sonucunda meydana gelmesi ve ortaya çıkan yer değiştirme dalgalarının rastgele sayılabilecek sayısız yansıma ve kırılmadan geçmesi ile açıklanmaktadır. Zemin etkisi ise mesnet noktalarındaki yerel zemin koşullarının farklılığından kaynaklanmaktadır.

Bu tez çalışmasında deprem hareketinin değişimini tanımlayan etkenlerden biri olan sonlu yayılma hızı ve yakın fay etkilerinin kablo destekli köprülerin dinamik tepkileri üzerindeki etkileri ele alınmaktadır. Yer hareketinin sonlu hızla yayılmasına bağlı olarak yer hareketi değişiminin kablo-destekli köprü sistemleri üzerindeki etkilerini yakın fay etkisini de dikkate alarak belirlemek amacıyla Chi-Chi Depremi'ne ait kayıtlar kullanılmıştır. Chi-Chi Depremi dikkate alınarak yapılan analizlerde yakın fay darbeli deprem kaydı TCU050, yakın fay darbesiz deprem kaydı TCU089 ve uzak fay deprem kaydı HWA032 dikkate alınmıştır. Köprü sistemlerinin üç boyutlu sonlu eleman modelleri, yakın fay ve uzak fay için seçilen TCU050, TCU089, HWA032 deprem kayıtlarının her birinin üç bileşeni dikkate alınarak zaman tanım alanında çözümlenmiştir. Bu üç deprem kaydı için deprem hareketi yayılma hızının zemin durumuna göre değişim gösteren farklı değerleri kullanılarak kule yüksekliği ve köprü açıklığı boyunca yakın fay ve uzak fay etkileri için elde edilen yer değiştirme, eğilme momenti, eksenel kuvvet ve kesme kuvveti değişimleri üniform ve asinkronize dinamik analiz için karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

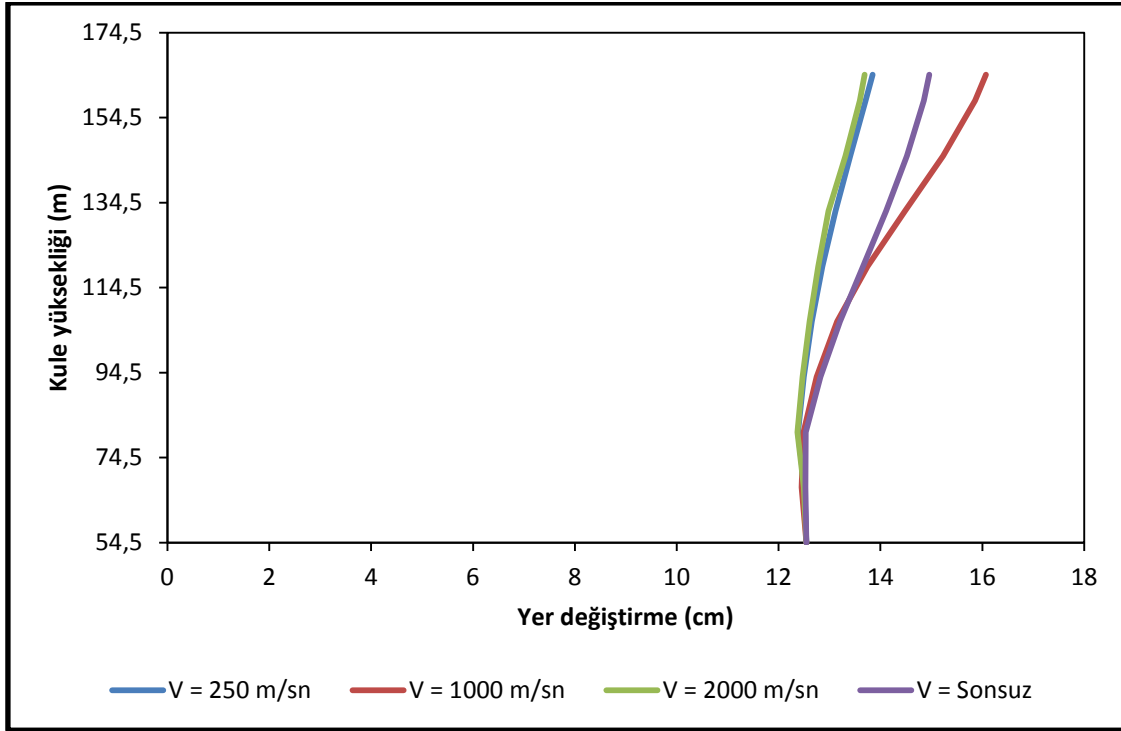
Yer hareketinin iki farklı bölge arasındaki değişimi esas olarak görünen dalga yayılma hızına (V_{app}) bağlı olarak belirlenmektedir. V_{app} , sismik dalgaların bölgeye geliş açısına ve zemin koşullarına bağlıdır. Deprem kayıtlarının incelenmesi neticesinde dalga yayılma hızı V_{app} 'nin frekansa bağlı ve oldukça karmaşık olduğu görülmüştür. Ancak gelen sismik dalgaların esas olarak S dalgalarından oluştuğu kabul edilebilir ki bu durumda V_{app} 'nin alt sınırı bölgenin kayma dalgası hızına (V_s) ve üst sınırı sonsuz dalga yayılma hızına eşit olacaktır (Chouw ve Hao, 2008; Yasrebi ve Ghafory-Ashtiany, 2014). Bu çalışmada $V_s = V_{app}$ olduğu kabul edilmiş ve zemin cinsine bağlı olarak deprem hareketi yayılma hızları için $V_{app} = 250$ m/sn, $V_{app} = 1000$ m/sn, $V_{app} = 2000$ m/sn ve $V_{app} = \text{Sonsuz}$ hız değerleri kullanılmıştır.

7.3.1. Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'nün dalga yayılma etkisi için dinamik analizi

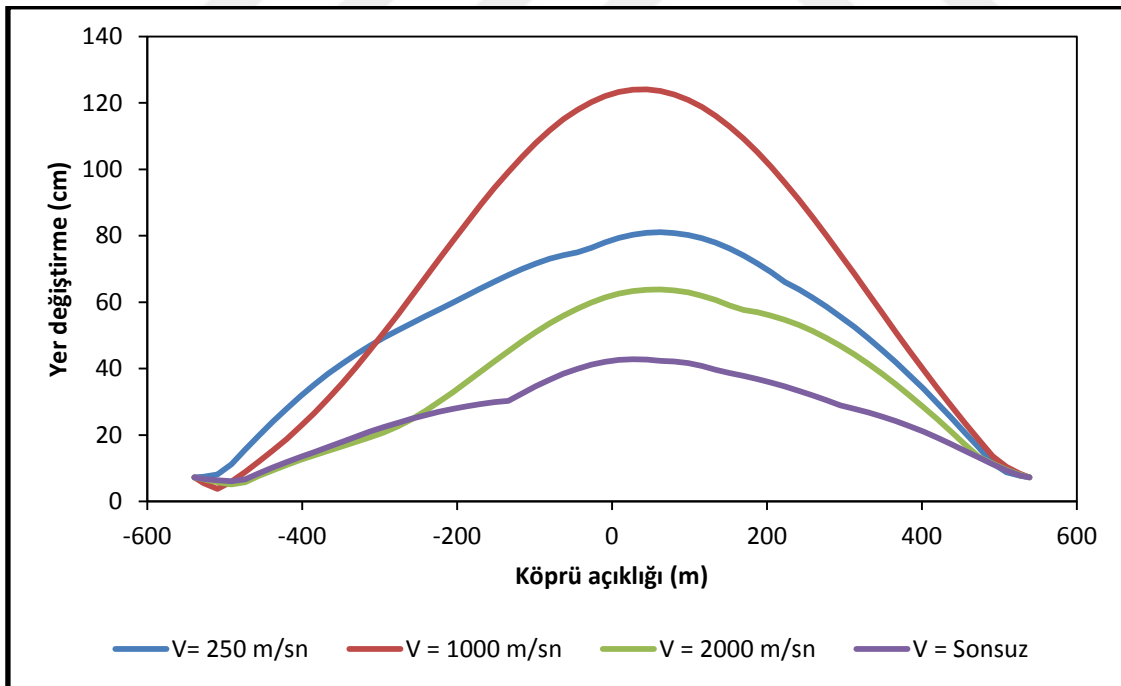
$V_{app} = 250$ m/sn, $V_{app} = 1000$ m/sn, $V_{app} = 2000$ m/sn ve $V_{app} = \text{Sonsuz}$ deprem hareketi yayılma hız değerleri için Chi-Chi Depremi yakın fay darbeli yer hareketi kaydı TCU050 dikkate alınarak gerçekleştirilen dinamik analiz sonucu elde edilen köprü tepkileri burada karşılaştırılmaktadır.

Kule yüksekliği boyunca yer değiştirme değişimin incelendiği Şekil 7.65'de kule tepe noktasında; $V = 250$ m/sn için 13,8 cm, $V = 1000$ m/sn için 16,1 cm, $V = 2000$ m/sn için 13,7 cm, $V = \text{Sonsuz}$ için 15 cm değerinde yer değiştirmeler elde edilmiştir. Burada 1000 m/sn hız ile yayılan deprem dalgasının köprü davranışına etkisi diğer deprem dalgalarına göre daha büyük çıkmıştır. Kule yer değiştirmeleri için elde edilen sonuçlar, deprem hareketi yayılma hızına bağlı olarak düzenli bir değişimin ortaya çıkmadığını göstermektedir.

Şekil 7.66'da köprü açıklığı boyunca yer değiştirme değerleri karşılaştırılmıştır. Tabliye açıklığının orta noktasındaki yer değiştirmeler; $V = 250$ m/sn için 78,6 cm, $V = 1000$ m/sn için 122,7 cm, $V = 2000$ m/sn için 61,9 cm ve $V = \text{Sonsuz}$ için 42,3 cm olarak elde edilmiştir. Kulede olduğu gibi tabliyede de 1000 m/sn hızındaki deprem dalgasının köprü davranışı üzerindeki etkisinin diğer deprem dalgası hızlarına göre daha büyük olduğu görülmüştür. Bunun yanında deprem dalgası yayılma hızının artması ile birlikte tabliye açıklığındaki yer değiştirmelerin genel olarak azaldığı gözlenmiştir.



Şekil 7.65. Dalg yayılma etkisi için FSM kule yatay yer değiştirmeleri



Şekil 7.66. Dalg yayılma etkisi için FSM tabliye düşey yer değiştirmeleri

Kule yüksekliği boyunca eğilme momenti değişiminin incelendiği Şekil 7.67’de deprem dalgası yayılma hızlarına bağlı olarak kule taban noktasında elde eğilme momentleri

değerleri $V = 250$ m/sn için 5640 kNm, $V = 1000$ m/sn için 8831 kNm, $V = 2000$ m/sn için 7887 kNm, ve $V = \text{Sonsuz}$ için 9482 kNm olarak belirlenmiştir. Kule eğilme momentlerinin deprem hareketinin yayılma hızındaki artışla birlikte arttığı görülmektedir. En büyük eğilme momentleri $V = \text{Sonsuz}$ hızındaki deprem dalgası için elde edilirken, en küçük eğilme momentleri $V = 250$ m/sn hızındaki deprem dalgası için elde edilmiştir.

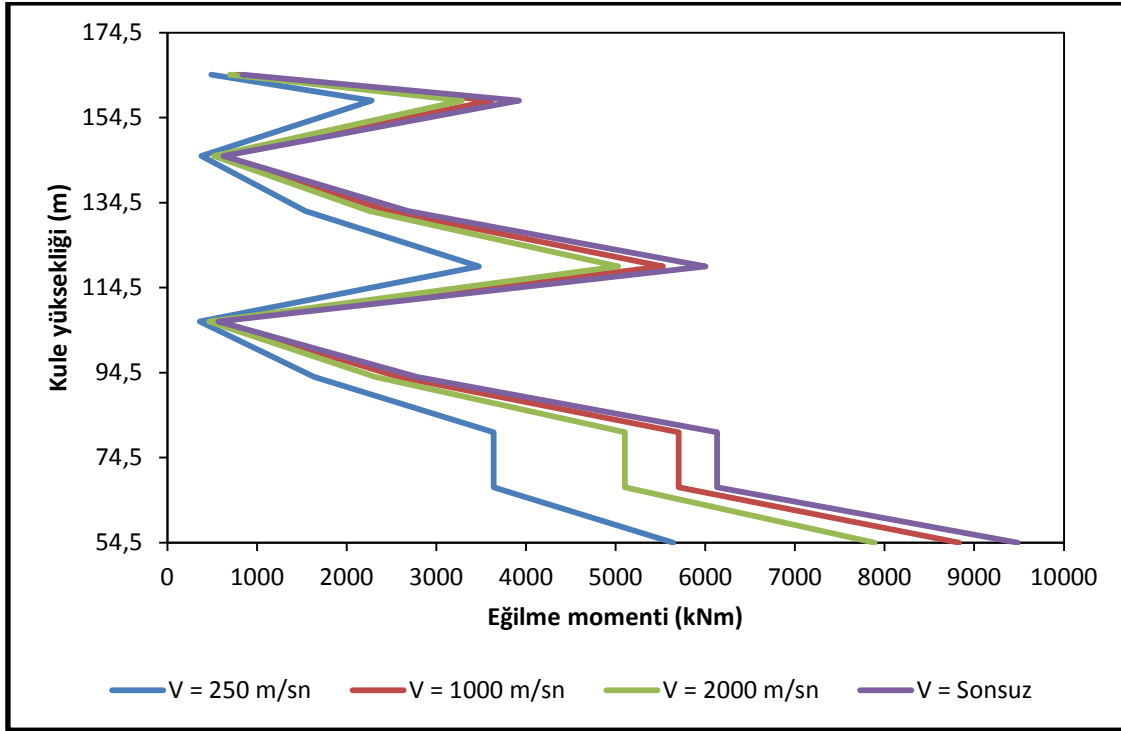
Şekil 7.68'de köprü açıklığı boyunca elde edilen eğilme momenti değerleri incelendiğinde, deprem hareketi yayılma hızına bağlı olarak düzenli bir değişimin ortaya çıkmadığı görülmüştür.

Şekil 7.69'da kule yüksekliği boyunca elde edilen eksenel kuvvet değerleri karşılaştırılmıştır. Kule tepe noktasındaki eksenel kuvvet değerleri; $V = 250$ m/sn için 8162 kN, $V = 1000$ m/sn için 12170 kN, $V = 2000$ m/sn için 6737 kN ve $V = \text{Sonsuz}$ için 5028 kN olarak elde edilmiştir. 1000 m/sn hızındaki deprem dalgasının köprü davranışını üzerindeki etkisinin diğer deprem dalgası hızlarına göre daha büyük olduğu görülmektedir. Bunun yanında deprem dalgası yayılma hızının artması ile birlikte kule eksenel kuvvetlerinin genel olarak azaldığı gözlenmiştir.

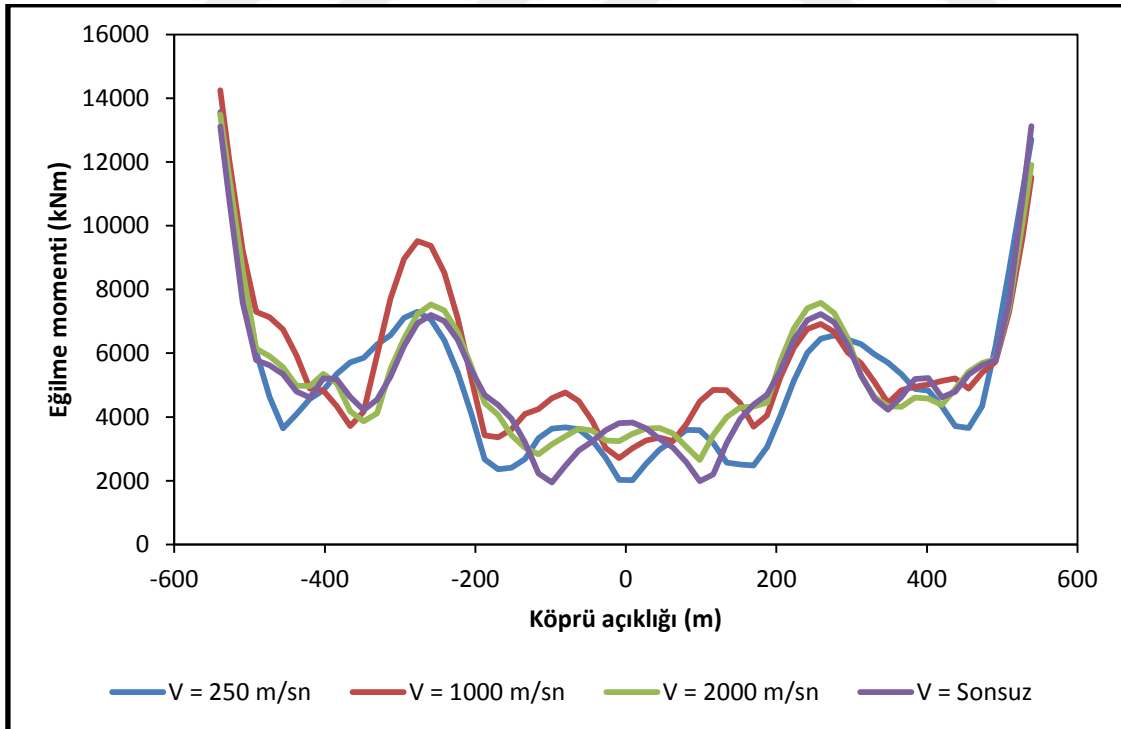
Şekil 7.70'de köprü açıklığı boyunca eksenel kuvvet değişimi karşılaştırılmıştır. En büyük eksenel kuvvet değerleri 2000 m/sn ve sonsuz hız değerleri için elde edilirken, en küçük hız değerleri 250 m/sn hız değeri için elde edilmiştir.

Kule yüksekliği boyunca kesme kuvveti değişiminin incelendiği Şekil 7.71'de deprem dalgası yayılma hızlarına bağlı olarak kule tepe noktasında elde kesme kuvveti değerleri; $V = 250$ m/sn için 143 kN, $V = 1000$ m/sn için 230 kN, $V = 2000$ m/sn için 213 kN ve $V = \text{Sonsuz}$ için 252 kN olarak belirlenmiştir. Kule eğilme momentlerinde olduğu gibi burada da deprem hareketinin yayılma hızındaki artışla birlikte kesme kuvvetlerinin de arttığı görülmektedir. En büyük kesme kuvveti değerleri $V = \text{Sonsuz}$ hızındaki deprem dalgası için elde edilirken, en küçük kesme kuvveti değerleri $V = 250$ m/s hızındaki deprem dalgası için elde edilmiştir.

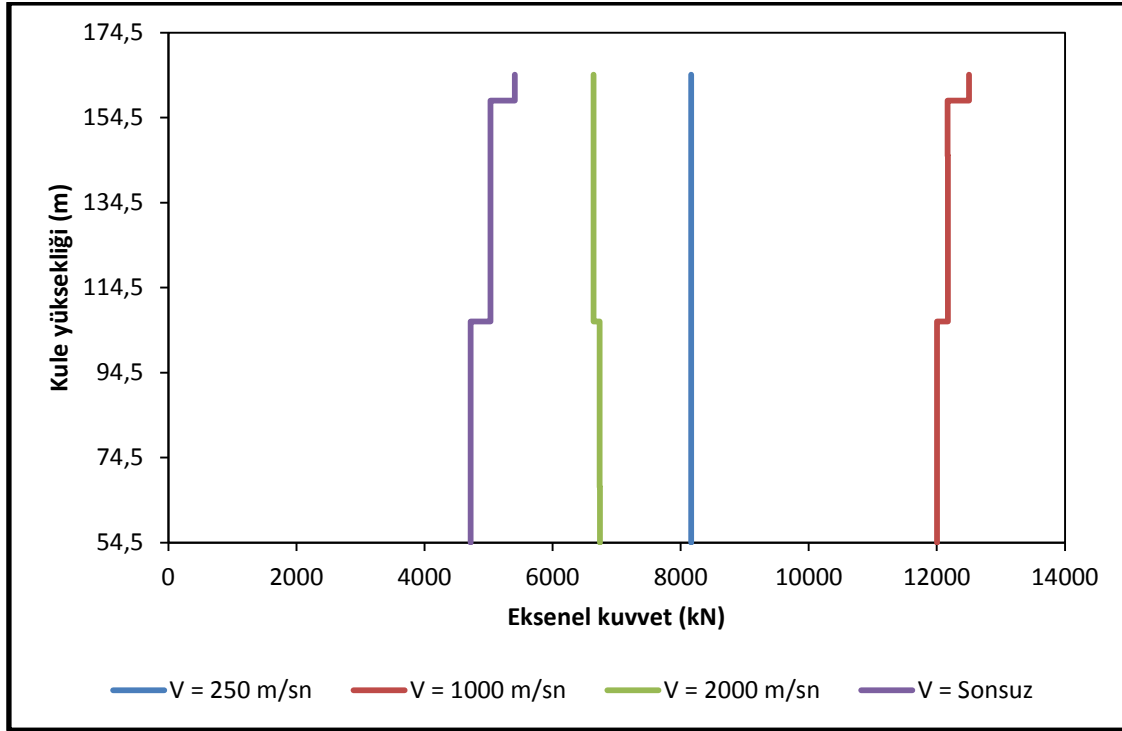
Şekil 7.72'de köprü açıklığı boyunca elde edilen kesme kuvveti değerleri incelendiğinde, deprem hareketi yayılma hızına bağlı olarak düzenli bir değişimin ortaya çıkmadığı görülmüştür.



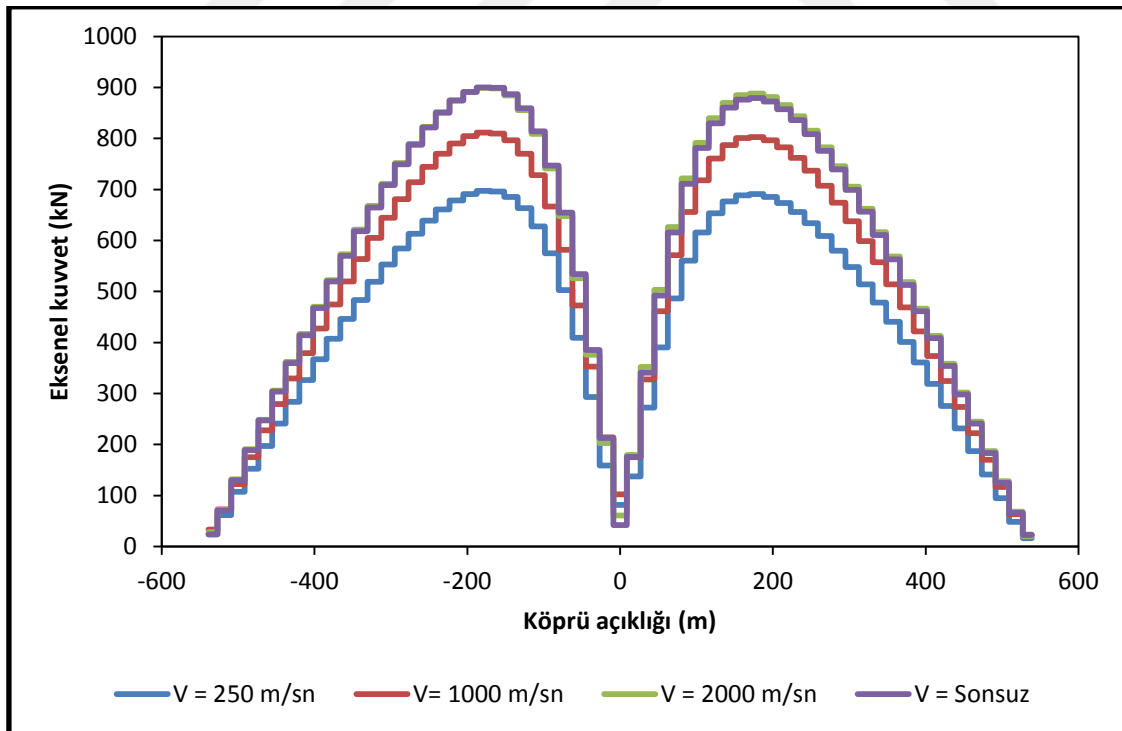
Şekil 7.67. Dalgı yayılma etkisi için FSM kule eğilme momentleri



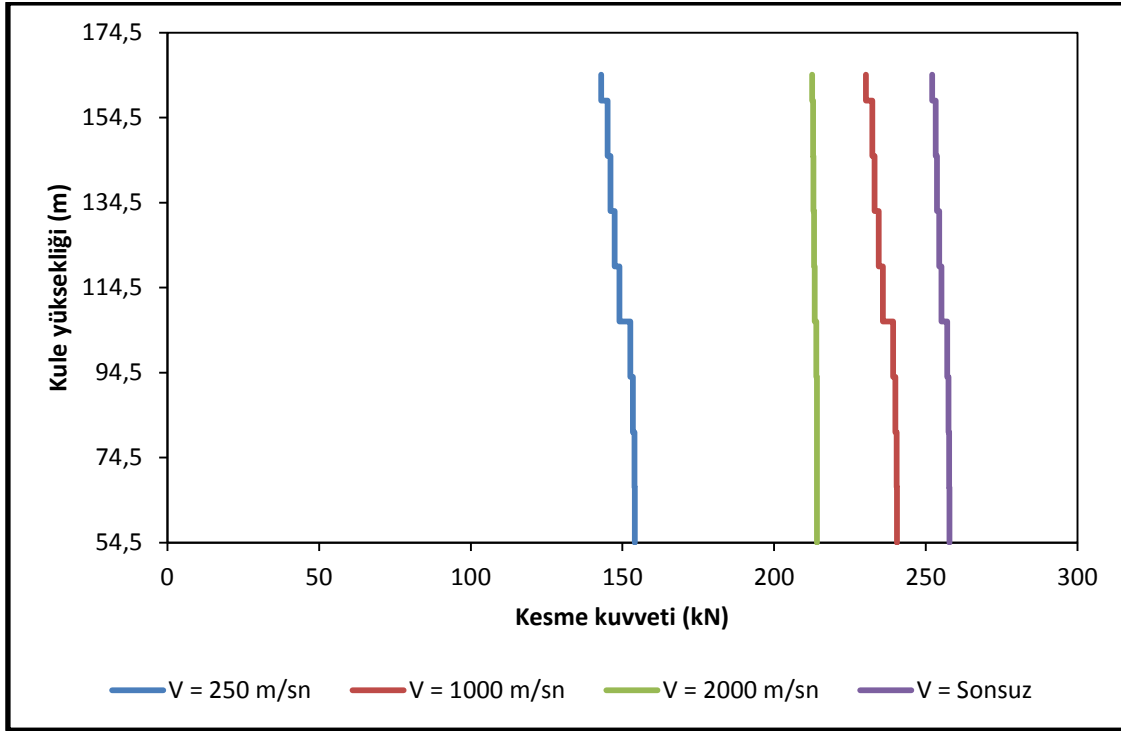
Şekil 7.68. Dalgı yayılma etkisi için FSM tabliye eğilme momentleri



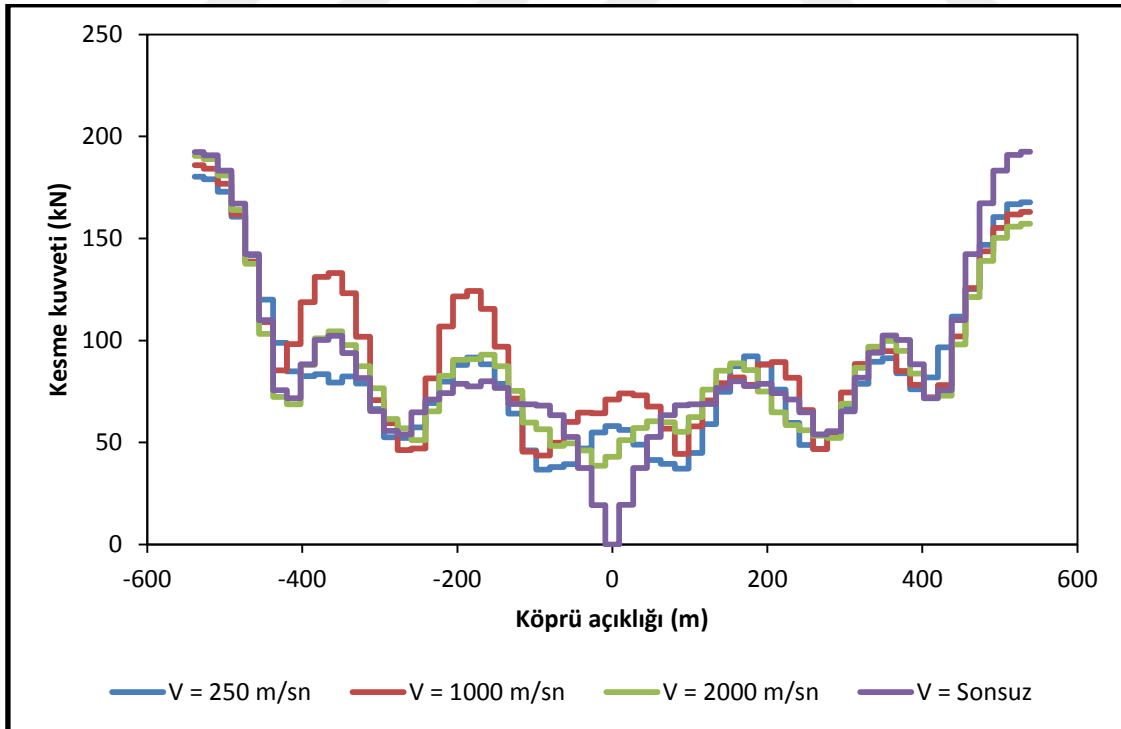
Şekil 7.69. Dalgı yayılma etkisi için FSM kule aksel kuvvetleri



Şekil 7.70. Dalgı yayılma etkisi için FSM tabliye aksel kuvvetleri



Şekil 7.71. Dalgı yayılma etkisi için FSM kule kesme kuvvetleri



Şekil 7.72. Dalgı yayılma etkisi için FSM tabliye kesme kuvvetleri

7.3.2. Tatara Köprüsü'nün dalga yayılma etkisi için dinamik analizi

$V_{app} = 250$ m/sn, $V_{app} = 1000$ m/sn, $V_{app} = 2000$ m/sn ve $V_{app} = \text{Sonsuz}$ deprem hareketi yayılma hız değerleri için Chi-Chi Depremi yakın fay darbeli yer hareketi kaydı TCU050 dikkate alınarak gerçekleştirilen dinamik analiz sonucu elde edilen eğik kablo askılı köprüye ait tepkiler burada karşılaştırılmaktadır.

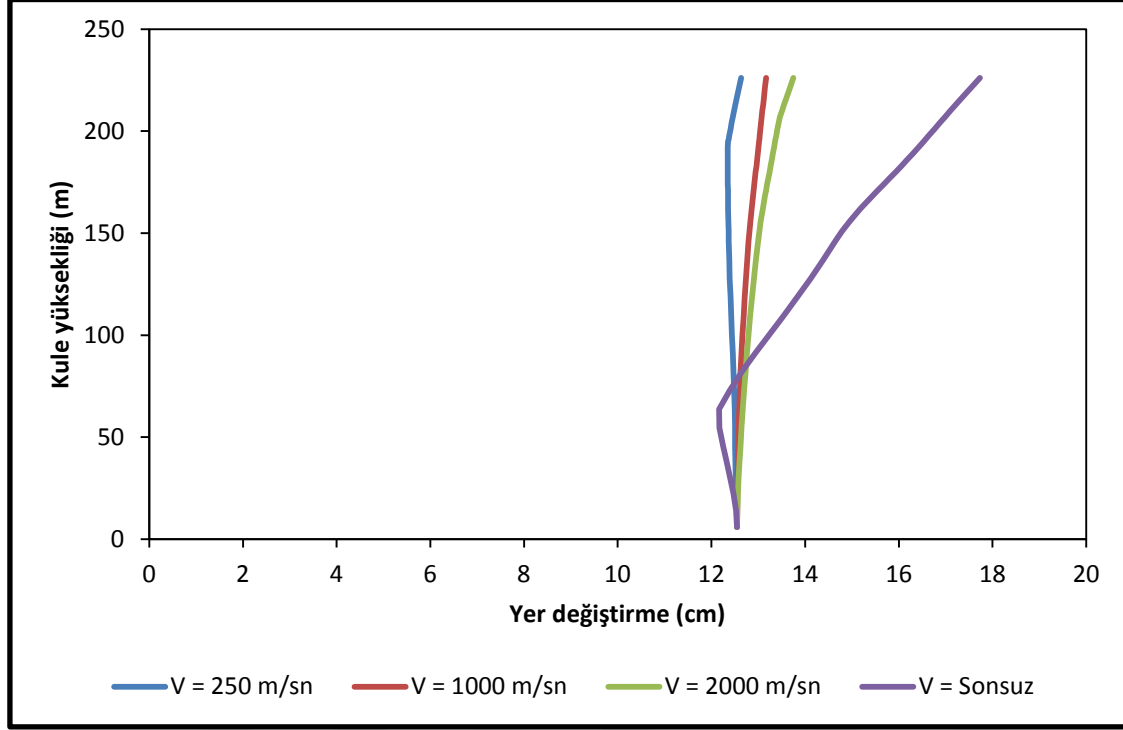
Kule yüksekliği boyunca yer değiştirme değişimin incelendiği Şekil 7.73'de kule tepe noktasında; $V = 250$ m/sn için 12,6 cm, $V = 1000$ m/sn için 13,2 cm, $V = 2000$ m/sn için 13,7 cm ve $V = \text{Sonsuz}$ için 17,7 cm değerinde yer değiştirmeler elde edilmiştir. Deprem dalgası yayılma hızının sonsuz olması durumunda en büyük yer değiştirmeler elde edilirken, 250 m/sn hız değeri için en küçük yer değiştirmeler elde edilmiştir. Deprem dalga yayılma hızının artmasına bağlı olarak kule yer değiştirmelerinin de arttığı anlaşılmaktadır.

Şekil 7.74'de köprü açıklığı boyunca yer değiştirme değerleri karşılaştırılmıştır. Tabliye açıklığının orta noktasına yakın noktadaki (600. metre) yer değiştirmeler; $V = 250$ m/sn için 41,5 cm, $V = 1000$ m/sn için 22,6 cm, $V = 2000$ m/sn için 19,3 cm ve $V = \text{Sonsuz}$ için 18,7 cm olarak elde edilmiştir. Kulede elde edilen değişimin tam tersine deprem dalgası yayılma hızının sonsuz olması durumunda en küçük yer değiştirmeler elde edilirken, 250 m/sn hız değeri için en büyük yer değiştirmeler elde edilmiştir. Deprem dalgası yayılma hızının azalması ile birlikte tabliye düşey yer değiştirmelerinin arttığı gözlenmektedir.

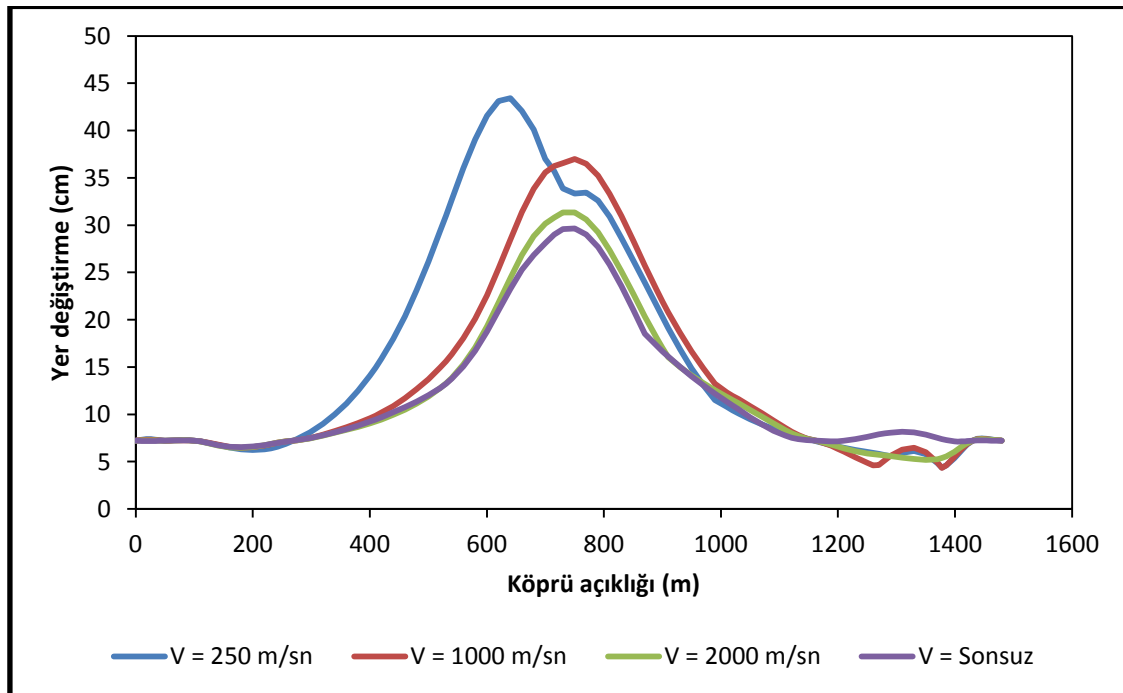
Kule yüksekliği boyunca eğilme momenti değişiminin incelendiği Şekil 7.75'de kule taban noktasında $V = 250$ m/sn için 7494 kNm, $V = 1000$ m/sn için 11442 kNm, $V = 2000$ m/sn için 11797 kNm ve $V = \text{Sonsuz}$ için 13627 kNm eğilme momenti değerleri elde edilmiştir. Burada $V = 1000$ m/sn, $V = 2000$ m/sn ve $V = \text{Sonsuz}$ hız değerleri için elde edilen moment değerleri genel olarak birbirine yakın çıkarken, $V = 250$ m/sn hız değeri için kule üst bölümünde en büyük momentler, kule alt bölümünde ise en küçük momentler ortaya çıkmıştır.

Şekil 7.76'da köprü açıklığı boyunca eğilme momenti değişimi karşılaştırılmıştır. Burada elde edilen değişim kule eğilme momenti için elde edilen değişime benzer olup, $V = 1000$ m/sn, $V = 2000$ m/sn ve $V = \text{Sonsuz}$ hız değerleri için elde edilen moment değerleri genel

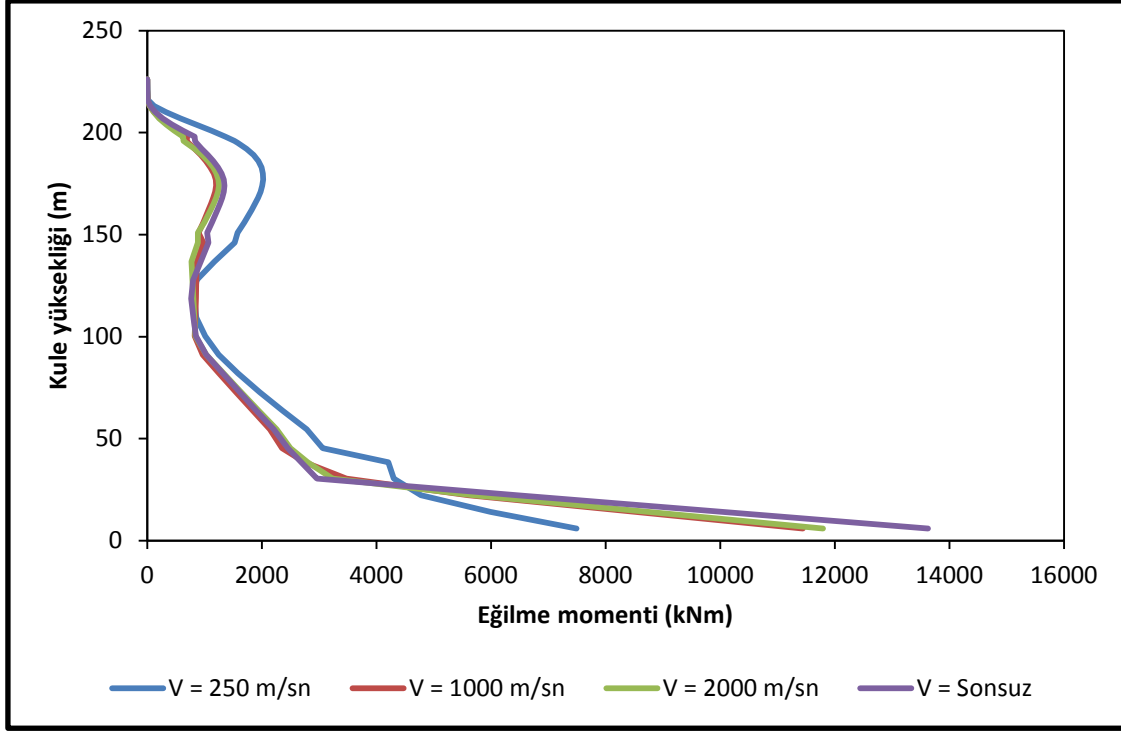
olarak birbirine yakın çıkarken, $V = 250$ m/sn hız değeri için genel olarak en küçük eğilme momentleri elde edilmiştir.



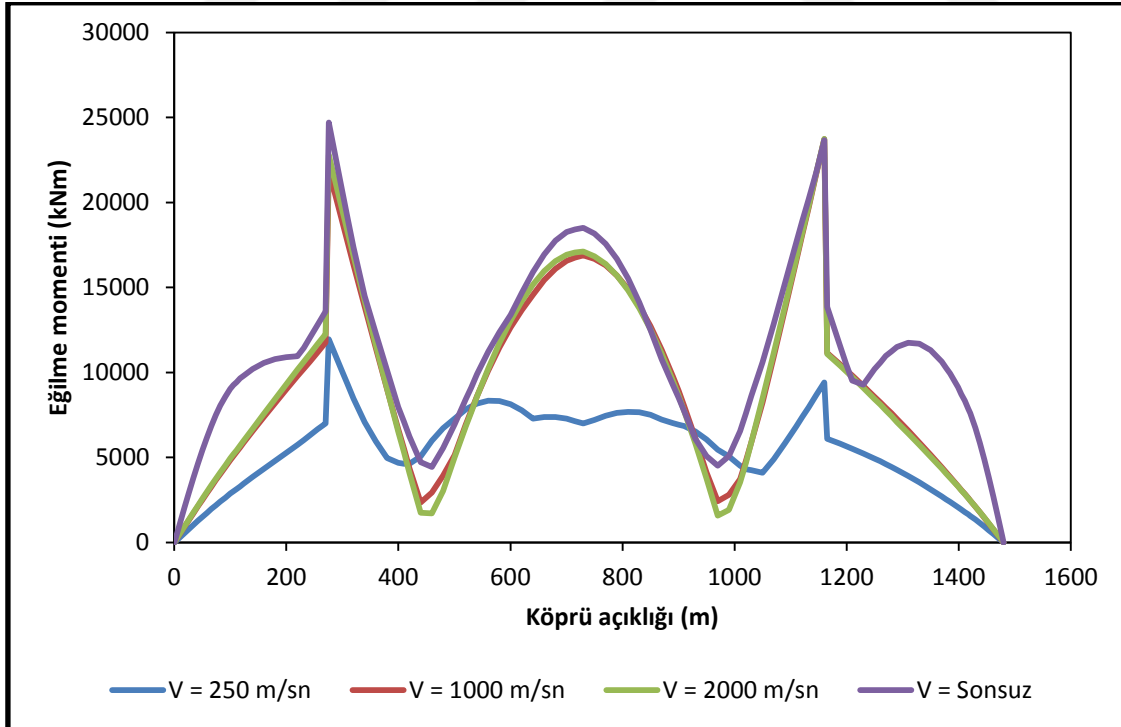
Şekil 7.73. Dalga yayılma etkisi için Tatara kule yatay yer değiştirmeleri



Şekil 7.74. Dalga yayılma etkisi için Tatara tabliye düşey yer değiştirmeleri



Şekil 7.75. Dalgı yayılma etkisi için Tatarı kule eğilme momentleri



Şekil 7.76. Dalgı yayılma etkisi için Tatarı tabliye eğilme momentleri

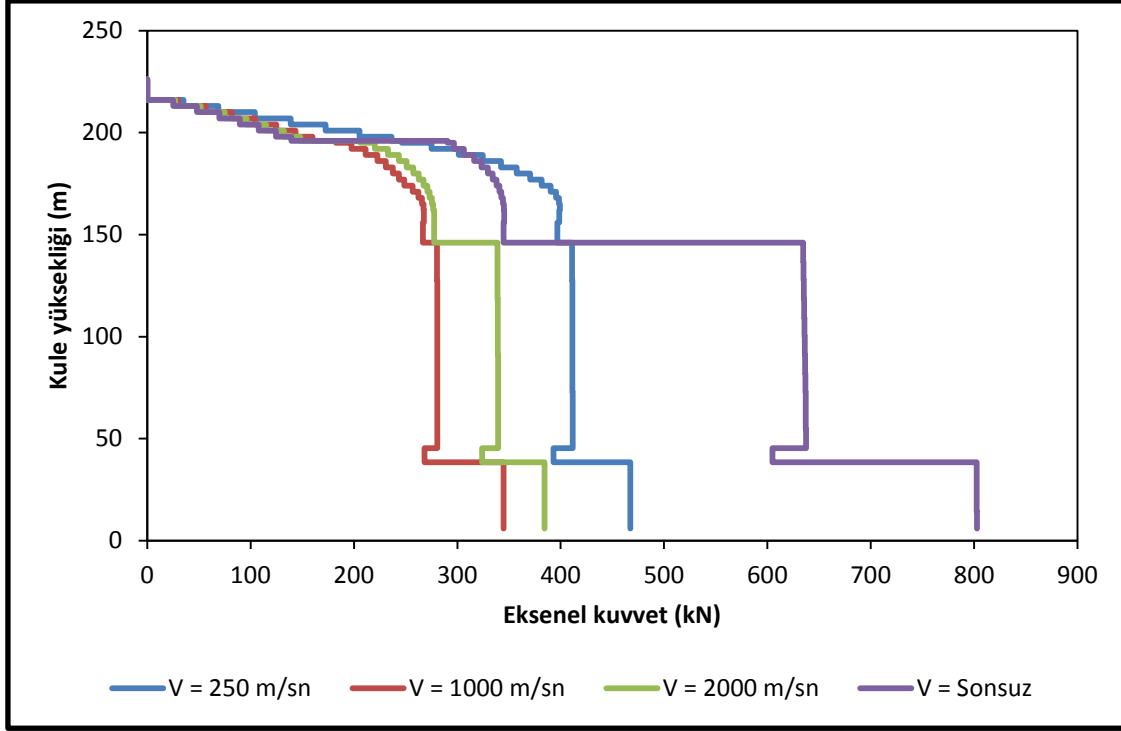
Kule yüksekliği boyunca aksenal kuvvet değişimin incelendiği Şekil 7.77'de kule taban noktasında $V = 250$ m/sn için 468 kN, $V = 1000$ m/sn için 345 kN, $V = 2000$ m/sn için 384

kN ve $V = \text{Sonsuz}$ için 803 kN eksenel kuvvet değerleri elde edilmiştir. Deprem dalgası yayılma hızının sonsuz olması durumunda genel olarak en büyük eksenel kuvvet değerleri elde edilirken, eksenel kuvvetlerin deprem dalgası yayılma hızına göre değişiminin düzenli olmadığı anlaşılmaktadır.

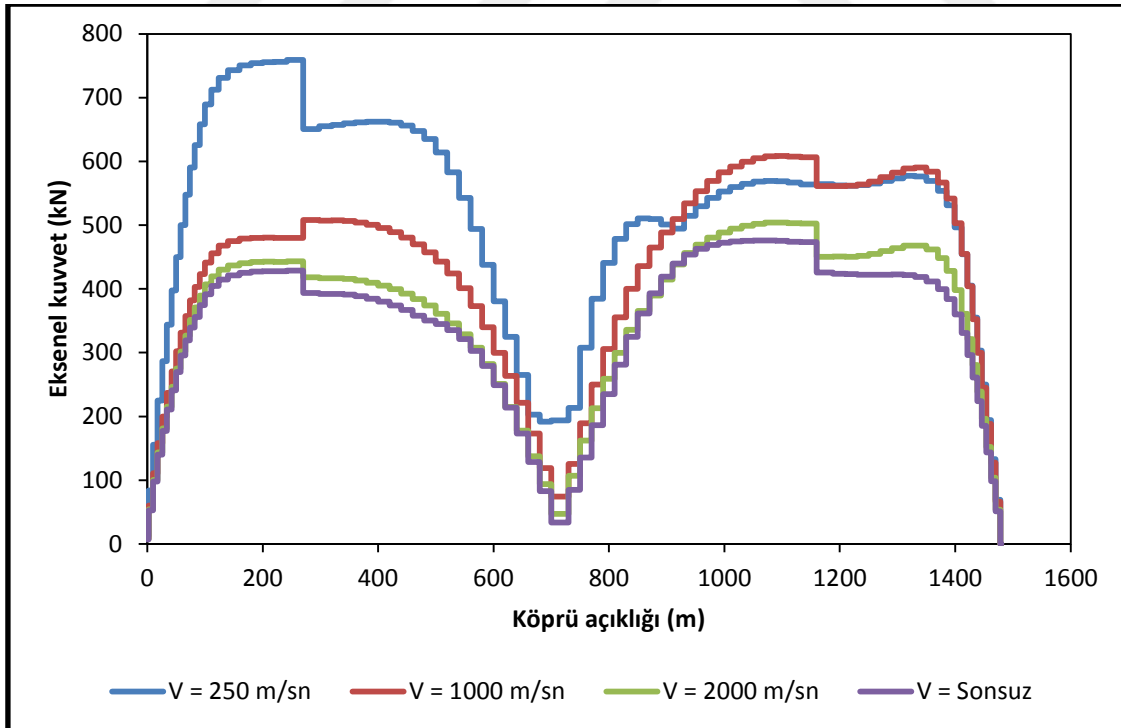
Şekil 7.78’de köprü açıklığı boyunca eksenel kuvvet değerleri karşılaştırılmıştır. Tabliye yer değiştirmelerine benzer olarak deprem dalgası yayılma hızının sonsuz olması durumunda en küçük eksenel kuvvetler elde edilirken, 250 m/sn hız değeri için genel olarak en büyük eksenel kuvvetler elde edilmiştir. Deprem dalgası yayılma hızının azalması ile birlikte tabliye eksenel kuvvetlerinin arttığı anlaşılmaktadır.

Kule yüksekliği boyunca kesme kuvveti değişimin incelendiği Şekil 7.79’da kule taban noktasında $V = 250$ m/sn için 80 kN, $V = 1000$ m/sn için 112 kN, $V = 2000$ m/sn için 129 kN ve $V = \text{Sonsuz}$ için 286 kN eksenel kuvvet değerleri elde edilmiştir. Kule yer değiştirmelerine benzer olarak deprem dalgası yayılma hızının sonsuz olması durumunda en büyük kesme kuvvetleri elde edilirken, 250 m/sn hız değeri için en küçük kesme kuvvetleri elde edilmiştir. Deprem dalga yayılma hızının artmasına bağlı olarak kule kesme kuvvetlerinin de arttığı anlaşılmaktadır.

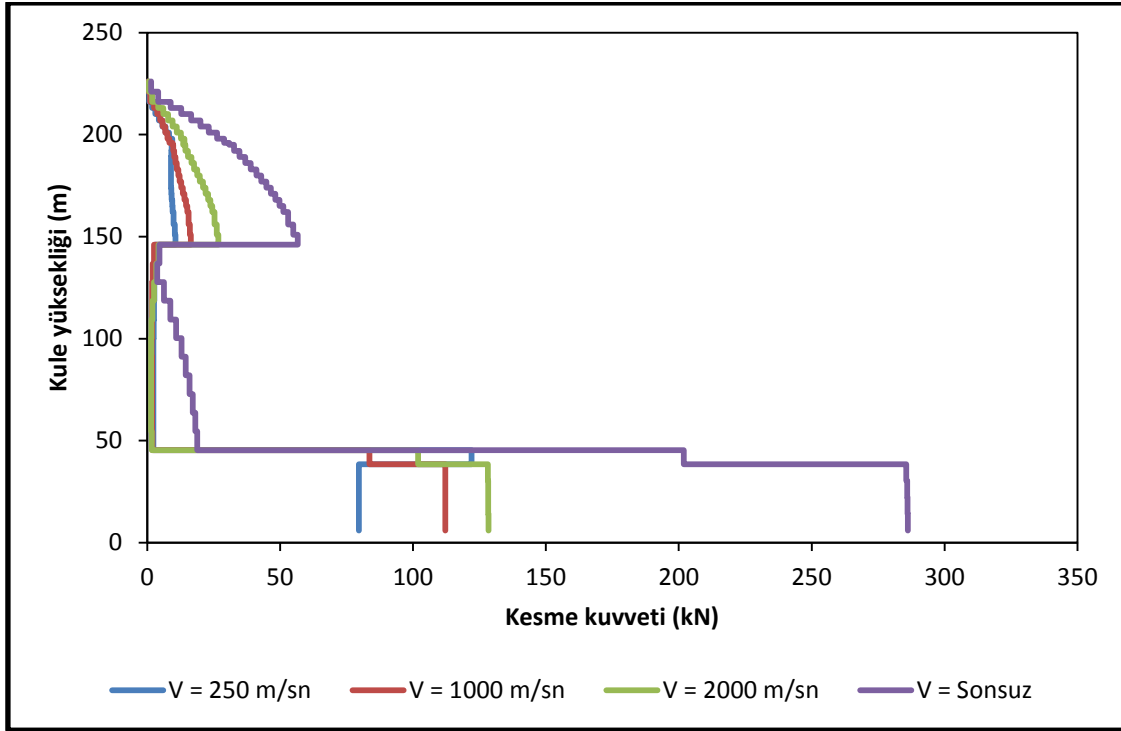
$V = 1000$ m/sn, $V = 2000$ m/sn ve $V = \text{Sonsuz}$ hız değerleri için elde edilen moment değerleri genel olarak birbirine yakın çıkarken, $V = 250$ m/sn hız değeri için genel olarak en büyük kesme kuvvetleri elde edilmiştir.



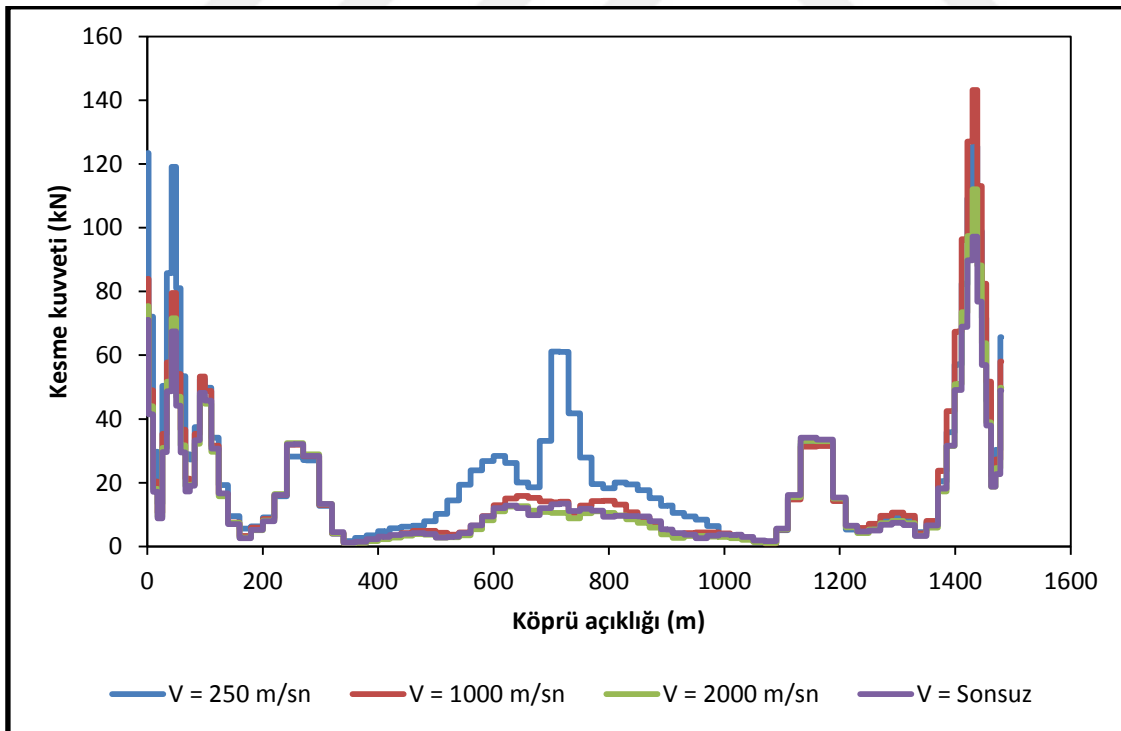
Şekil 7.77. Dalgı yayılma etkisi için Tatarı kule eksenel kuvvetleri



Şekil 7.78. Dalgı yayılma etkisi için Tatarı tabliye eksenel kuvvetleri



Şekil 7.79. Dalga yayılma etkisi için Tatar kule kesme kuvvetleri



Şekil 7.80. Dalga yayılma etkisi için Tatar tabliye kesme kuvvetleri

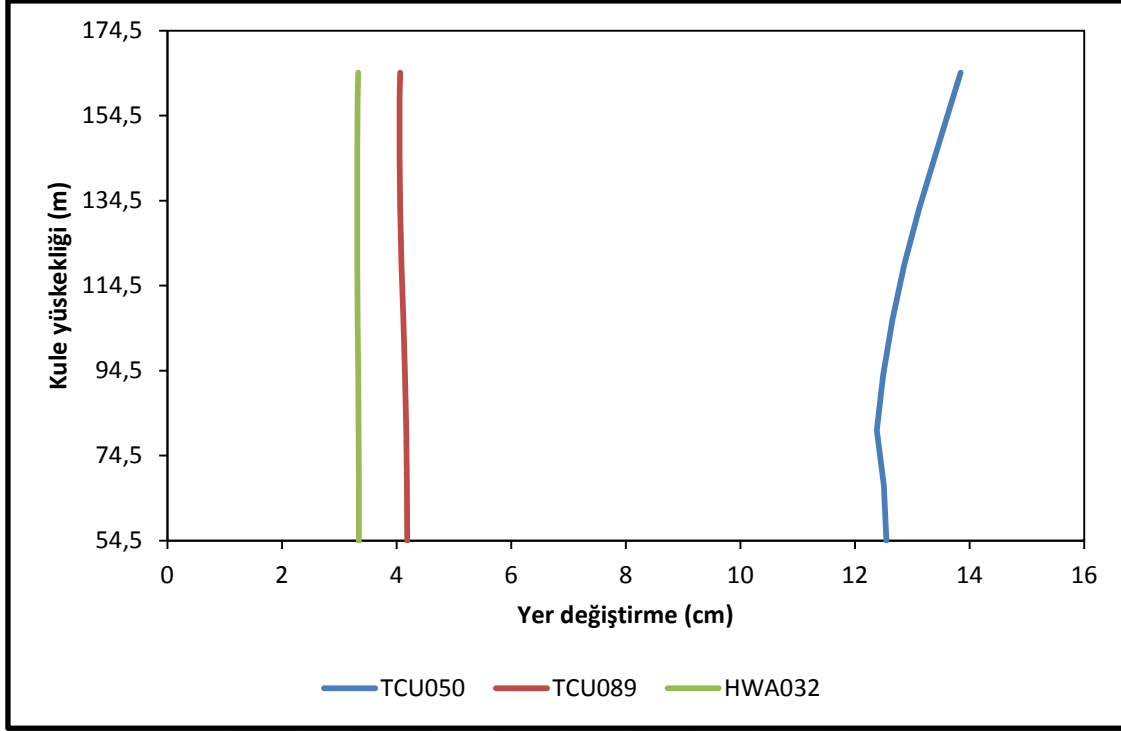
7.3.3. 250 m/sn dalga yayılma hızı için Fatih Sultan Mehmet Köprü'sünün dinamik analizi

Yer hareketinin sonlu hızla yayılmasına bağlı olarak yer hareketi değişiminin kablo destekli köprü sistemleri üzerindeki etkilerini yakın fay etkisini de dikkate alarak belirlemek amacıyla Chi-Chi Depremi'ne ait kayıtlar kullanılmıştır. Chi-Chi Depremi dikkate alınarak yapılan analizlerde yakın fay darbeli deprem kaydı TCU050, yakın fay darbesiz deprem kaydı TCU089 ve uzak fay deprem kaydı HWA032 dikkate alınmıştır. Köprü sistemlerinin üç boyutlu sonlu eleman modelleri, yakın fay ve uzak fay için seçilen TCU050, TCU089, HWA032 deprem kayıtlarının her birinin üç bileşeni dikkate alınarak zaman tanım alanında çözümlenmiştir. Bu üç deprem kaydı için deprem hareketi yayılma hızının $V = 250$ m/sn olması durumunda kule yüksekliği ve köprü açıklığı boyunca yakın fay ve uzak fay etkileri için elde edilen yer değiştirme, eğilme momenti, eksenel kuvvet ve kesme kuvveti değişimleri üniform ve asinkronize dinamik analiz için karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

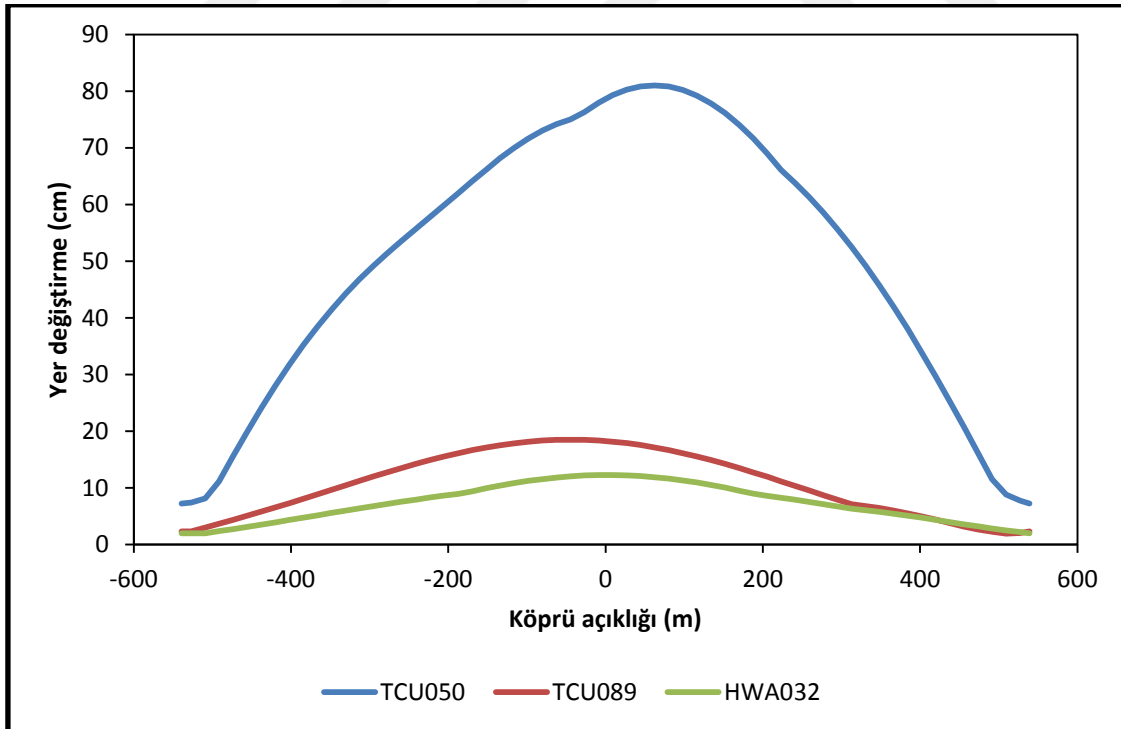
Deprem dalgası yayılma hızının 250 m/sn olması durumunda Chi-Chi Depremi'nin TCU050, TCU089 ve HWA032 kayıtları için Fatih Sultan Mehmet Köprü'sü'nün kule yüksekliği ve köprü açıklığı boyunca elde edilen yer değiştirme, eğilme momenti, eksenel kuvvet ve kesme kuvveti değişimleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir (Şekil 7.81.-7.88.). Deprem hareketinin sonsuz hızla yayılması durumunda; kule tepe noktasındaki yer değiştirmeler TCU050 ve TCU089 kayıtları karşılaştırıldığında TCU050 kaydı için %40, TCU089 ve HWA032 kayıtları karşılaştırıldığında TCU089 kaydı için %215 oranında daha büyük çıkmıştır. Tabliye açıklığı orta noktasındaki yer değiştirmeler TCU050 ve TCU089 kayıtları karşılaştırıldığında TCU050 kaydı için %488, TCU089 ve HWA032 kayıtları karşılaştırıldığında TCU089 kaydı için %41 oranında daha büyük çıkmıştır. Kule taban noktasındaki eğilme momentleri TCU050 ve TCU089 kayıtları karşılaştırıldığında TCU050 kaydı için %514, TCU089 ve HWA032 kayıtları karşılaştırıldığında TCU089 kaydı için %467 oranında daha büyük çıkmıştır. Kule tepe noktasındaki eksenel kuvvetler TCU050 ve TCU089 kayıtları karşılaştırıldığında TCU050 kaydı için %485, TCU089 ve HWA032 kayıtları karşılaştırıldığında TCU089 kaydı için %124 oranında daha büyük çıkmıştır. Deprem hareketinin 250 m/sn hızla yayılması durumunda; kule tepe noktasındaki yer değiştirmeler TCU050 ve TCU089 kayıtları karşılaştırıldığında TCU050 kaydı için %236, TCU089 ve HWA032 kayıtları karşılaştırıldığında TCU089 kaydı için

%24 oranında daha büyük çıkmıştır. Tabliye açıklığı orta noktasındaki yer değiştirmeler TCU050 ve TCU089 kayıtları karşılaştırıldığında TCU050 kaydı için %332, TCU089 ve HWA032 kayıtları karşılaştırıldığında TCU089 kaydı için %48 oranında daha büyük çıkmıştır. Kule taban noktasındaki eğilme momentleri TCU050 ve TCU089 kayıtları karşılaştırıldığında TCU050 kaydı için %249, TCU089 ve HWA032 kayıtları karşılaştırıldığında TCU089 kaydı için %469 oranında daha büyük çıkmıştır. Kule tepe noktasındaki eksenel kuvvetler TCU050 ve TCU089 kayıtları karşılaştırıldığında TCU050 kaydı için %373, TCU089 ve HWA032 kayıtları karşılaştırıldığında TCU089 kaydı için %53 oranında daha büyük çıkmıştır. Bazı karşılaştırmalarda deprem hareketinin sonsuz hızla yayılması durumundaki tepki değerleri daha büyük oranda iken, bazı karşılaştırmalarda da deprem hareketinin 250 m/sn hızla yayılması durumundaki tepki değerleri daha büyük oranda ortaya çıkmıştır. Buradan deprem dalgası yayılma hızına bağlı olarak düzenli bir değişimin ortaya çıkmadığı anlaşılmaktadır.

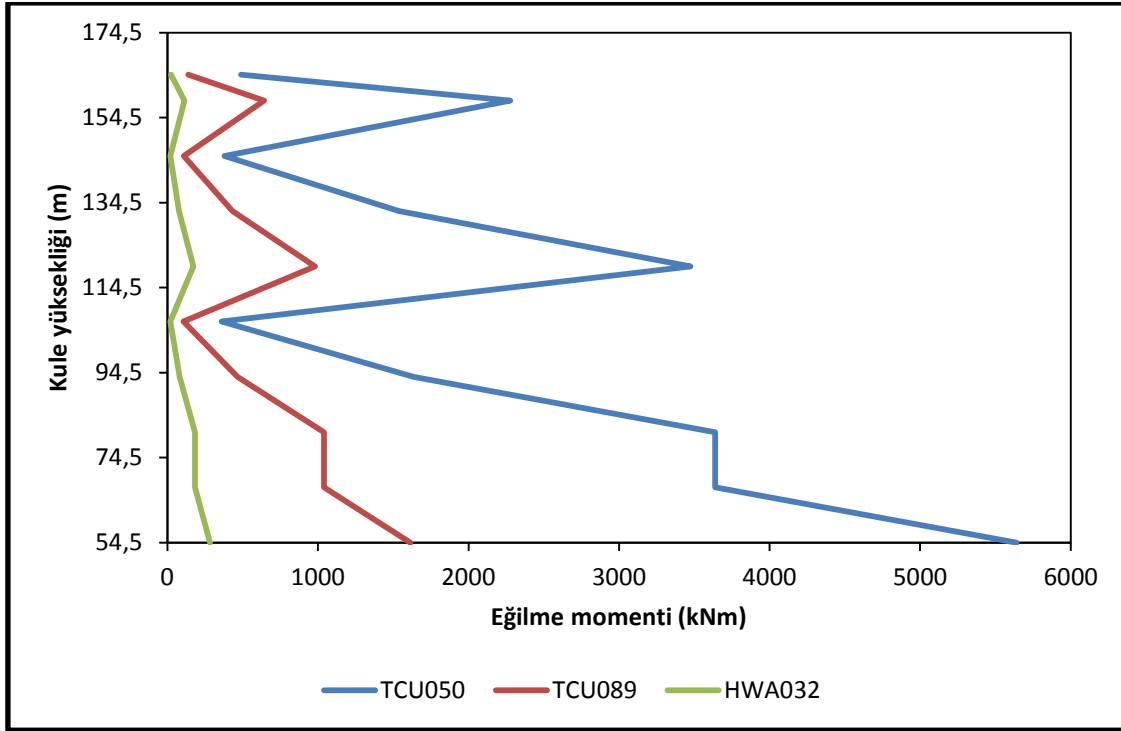
Deprem hareketinin sonsuz hızla yayılması durumunda gözlemlendiği gibi $V = 250$ m/sn olması durumunda da hem tabliye hem de kulede yakın fay darbeli yer hareketi kaydı TCU050 için elde edilen tepki değerlerinin, yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı TCU089 ve uzak fay yer hareketi kaydı HWA032 için elde edilen tepki değerlerinden önemli oranda daha büyük olduğu gözlenmiştir. Chi-Chi Depremi'nin köprü sistemi üzerindeki yakın fay etkisi burada açık bir şekilde gözlenmiştir. Bunun yanında yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı TCU089 için elde edilen tepki değerlerinin, uzak fay yer hareketi kaydı HWA032 için elde edilen tepki değerlerinden daha büyük olduğu belirlenmiştir.



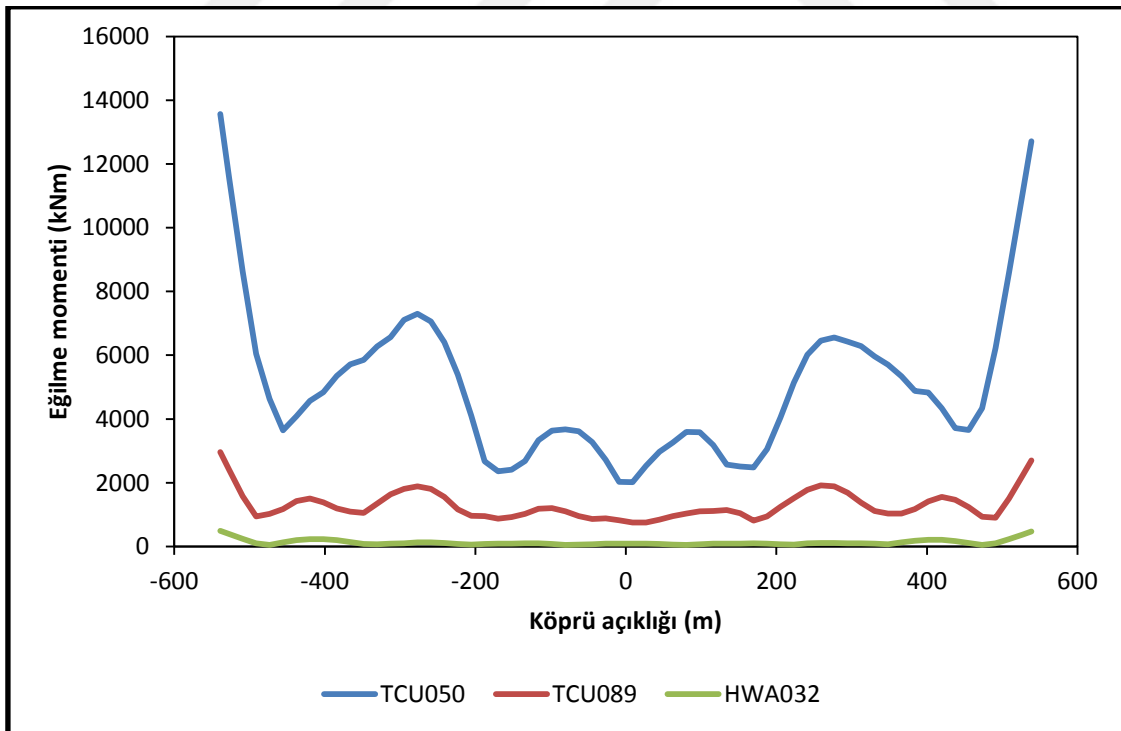
Şekil 7.81. 250 m/sn dalga yayılma hızı için FSM kule yatay yer değiştirmeleri



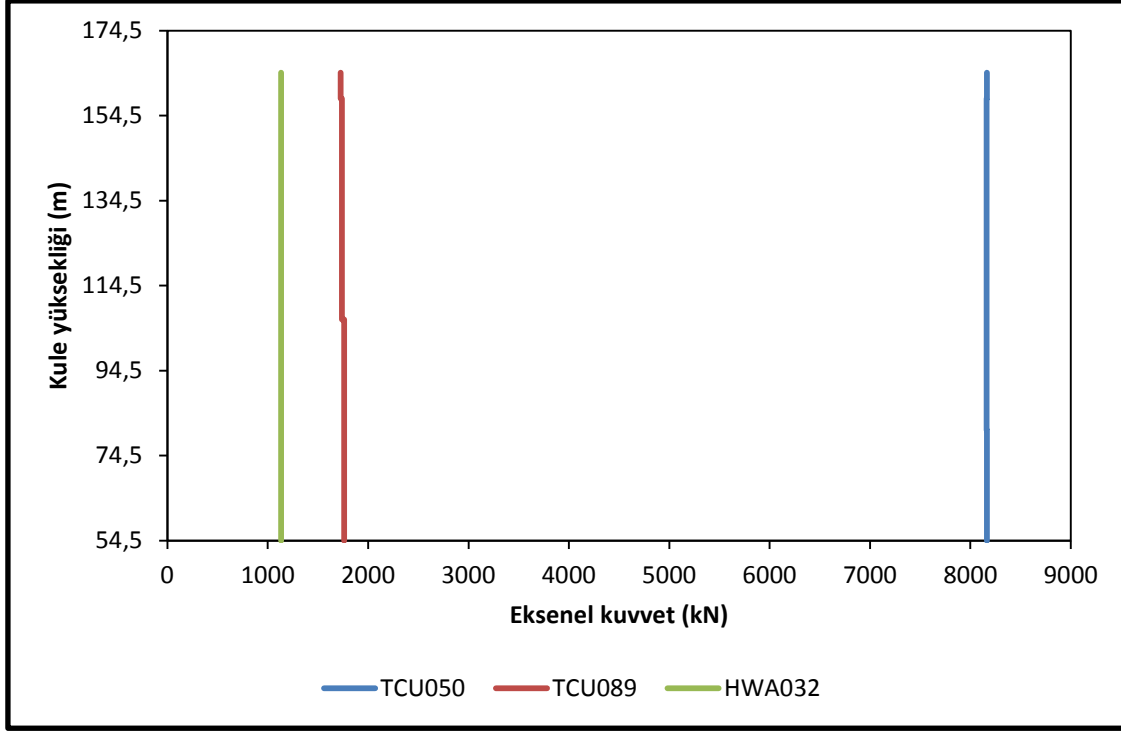
Şekil 7.82. 250 m/sn dalga yayılma hızı için FSM tabliye düşey yer değiştirmeleri



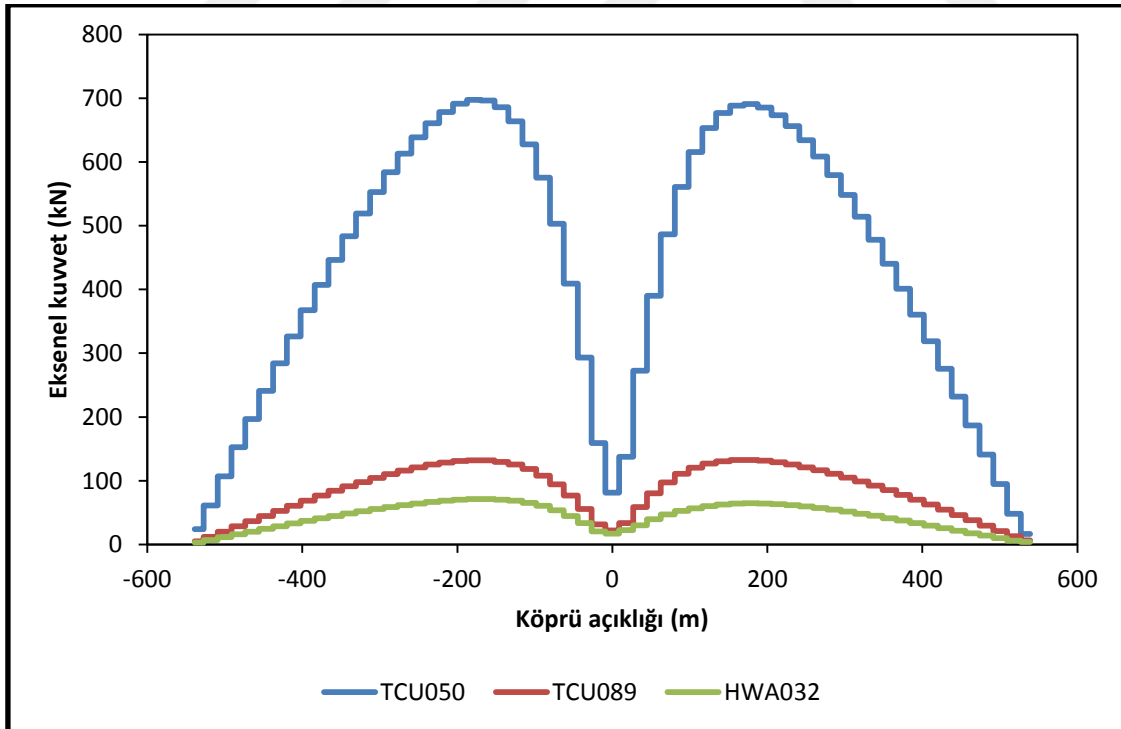
Şekil 7.83. 250 m/sn dalga yayılma hızı için FSM kule eğilme momentleri



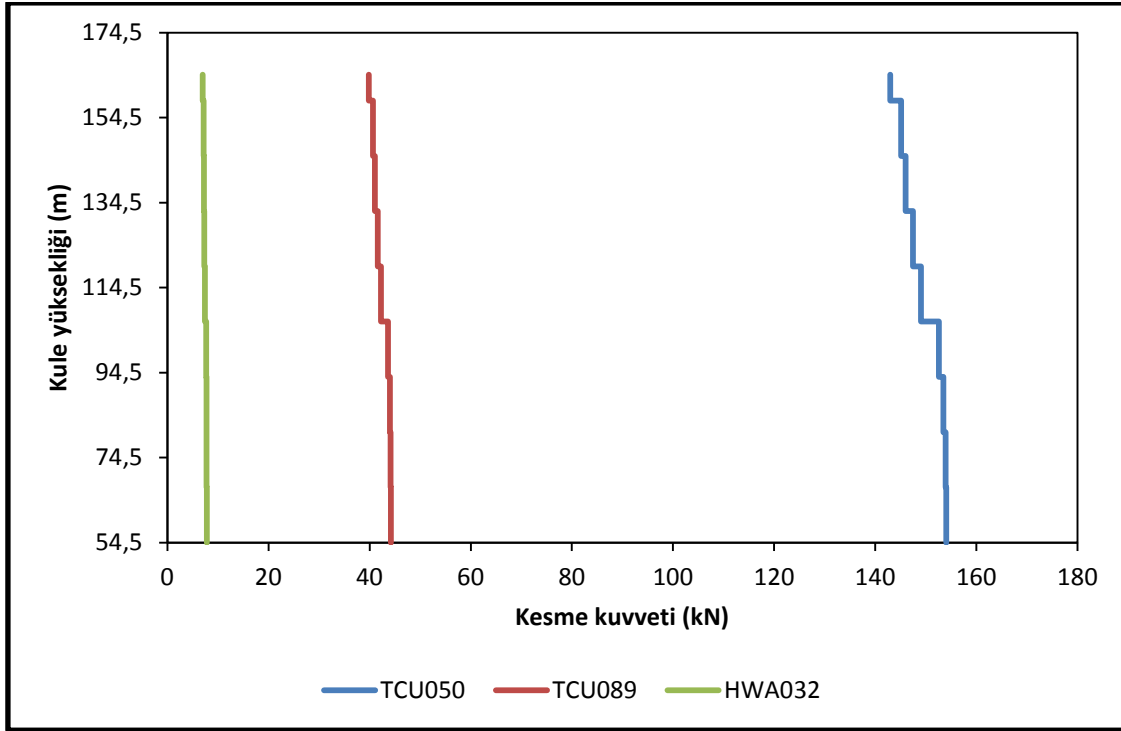
Şekil 7.84. 250 m/sn dalga yayılma hızı için FSM tabliye eğilme momentleri



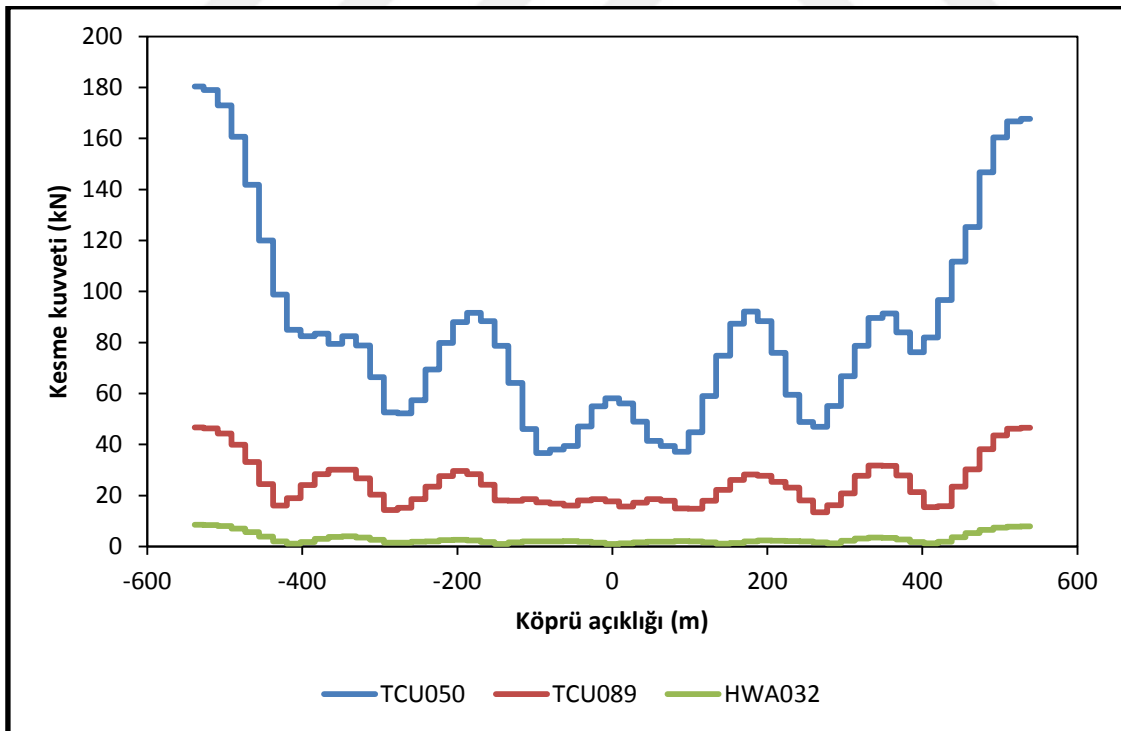
Şekil 7.85. 250 m/sn dalga yayılma hızı için FSM kule eksenel kuvvetleri



Şekil 7.86. 250 m/sn dalga yayılma hızı için FSM tabliye eksenel kuvvetleri



Şekil 7.87. 250 m/sn dalga yayılma hızı için FSM kule kesme kuvvetleri

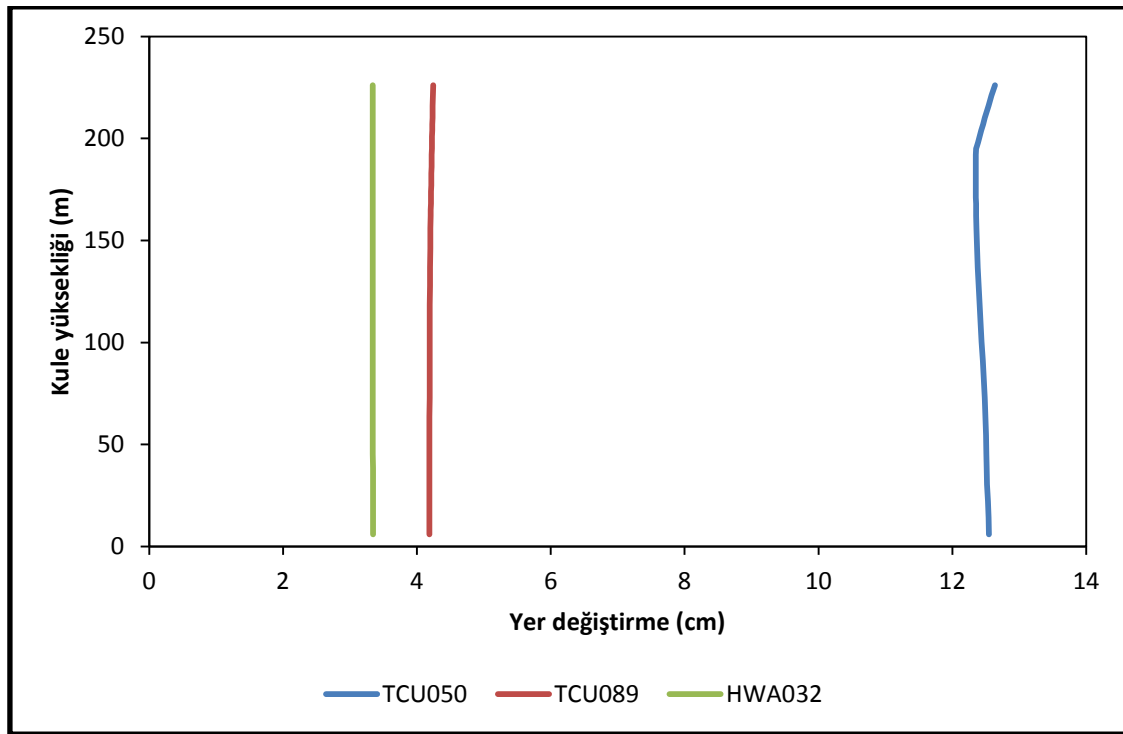


Şekil 7.88. 250 m/sn dalga yayılma hızı için FSM tabliye kesme kuvvetleri

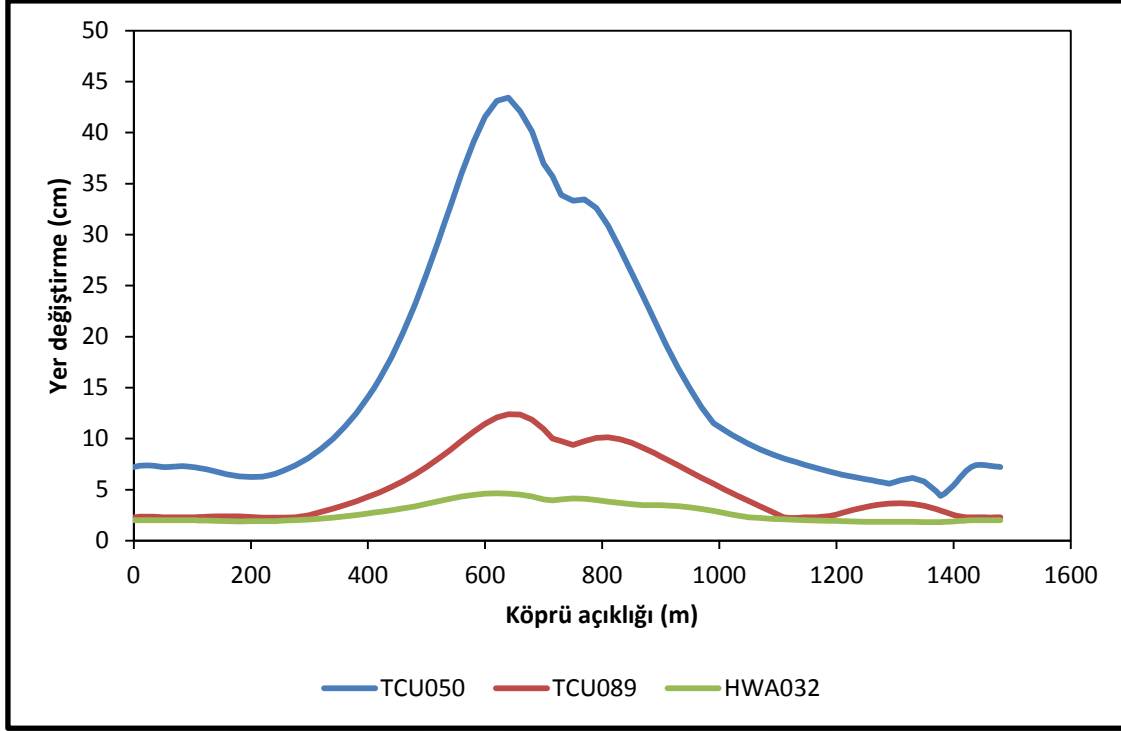
7.3.4. 250 m/sn dalga yayılma hızı için Tatara Köprüsü'nün dinamik analizi

Deprem dalgası yayılma hızının 250 m/sn olması durumunda Chi-Chi Depremi'nin TCU050, TCU089 ve HWA032 kayıtları için Tatara eğik kablo askılı Köprüsü'nün kule yüksekliği ve köprü açıklığı boyunca elde edilen yer değiştirme, eğilme momenti, eksenel kuvvet ve kesme kuvveti değişimleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir (Şekil 7.89.-7.96.). Deprem hareketinin sonsuz hızla yayılması durumunda; kule tepe noktasındaki yer değiştirmeler TCU050 ve TCU089 kayıtları karşılaştırıldığında TCU050 kaydı için %254, TCU089 ve HWA032 kayıtları karşılaştırıldığında TCU089 kaydı için %25 oranında daha büyük çıkmıştır. Tabliye açıklığı orta noktasındaki yer değiştirmeler TCU050 ve TCU089 kayıtları karşılaştırıldığında TCU050 kaydı için %288, TCU089 ve HWA032 kayıtları karşılaştırıldığında TCU089 kaydı için %181 oranında daha büyük çıkmıştır. Kule taban noktasındaki eğilme momentleri TCU050 ve TCU089 kayıtları karşılaştırıldığında TCU050 kaydı için %175, TCU089 ve HWA032 kayıtları karşılaştırıldığında TCU089 kaydı için %285 oranında daha büyük çıkmıştır. Kule taban noktasındaki eksenel kuvvetler TCU050 ve TCU089 kayıtları karşılaştırıldığında TCU050 kaydı için %119, TCU089 ve HWA032 kayıtları karşılaştırıldığında TCU089 kaydı için %45 oranında daha büyük çıkmıştır. Deprem hareketinin 250 m/sn hızla yayılması durumunda; kule tepe noktasındaki yer değiştirmeler TCU050 ve TCU089 kayıtları karşılaştırıldığında TCU050 kaydı için %200, TCU089 ve HWA032 kayıtları karşılaştırıldığında TCU089 kaydı için %27 oranında daha büyük çıkmıştır. Tabliye açıklığı orta noktasındaki yer değiştirmeler TCU050 ve TCU089 kayıtları karşılaştırıldığında TCU050 kaydı için %250, TCU089 ve HWA032 kayıtları karşılaştırıldığında TCU089 kaydı için %134 oranında daha büyük çıkmıştır. Kule taban noktasındaki eğilme momentleri TCU050 ve TCU089 kayıtları karşılaştırıldığında TCU050 kaydı için %164, TCU089 ve HWA032 kayıtları karşılaştırıldığında TCU089 kaydı için %170 oranında daha büyük çıkmıştır. Kule taban noktasındaki eksenel kuvvetler TCU050 ve TCU089 kayıtları karşılaştırıldığında TCU050 kaydı için %170, TCU089 ve HWA032 kayıtları karşılaştırıldığında TCU089 kaydı için %144 oranında daha büyük çıkmıştır. Bazı karşılaştırmalarda deprem hareketinin sonsuz hızla yayılması durumundaki tepki değerleri daha büyük oranda iken, bazı karşılaştırmalarda da deprem hareketinin 250 m/sn hızla yayılması durumundaki tepki değerleri daha büyük oranda ortaya çıkmıştır. Buradan deprem dalgası yayılma hızına bağlı olarak düzenli bir değişimin ortaya çıkmadığı anlaşılmaktadır.

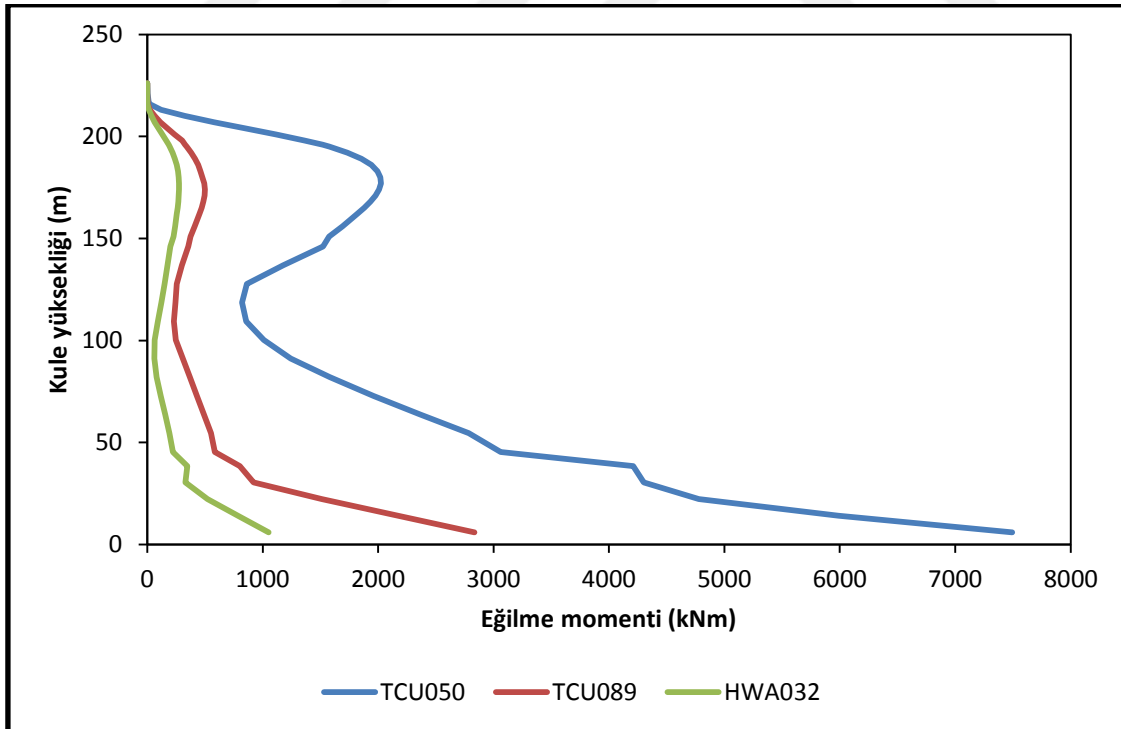
Deprem hareketinin sonsuz hızla yayılması durumunda gözlemlendiği gibi, $V = 250$ m/sn olması durumunda da hem tabliye hem de kulede yakın fay darbeli yer hareketi kaydı TCU050 için elde edilen tepki değerlerinin, yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı TCU089 ve uzak fay yer hareketi kaydı HWA032 için elde edilen tepki değerlerinden önemli oranda daha büyük olduğu gözlenmiştir. Chi-Chi Depremi'nin köprü sistemi üzerindeki yakın fay etkisi burada açık bir şekilde gözlenmiştir. Bunun yanında yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı TCU089 için elde edilen tepki değerlerinin, uzak fay yer hareketi kaydı HWA032 için elde edilen tepki değerlerinden daha büyük olduğu belirlenmiştir.



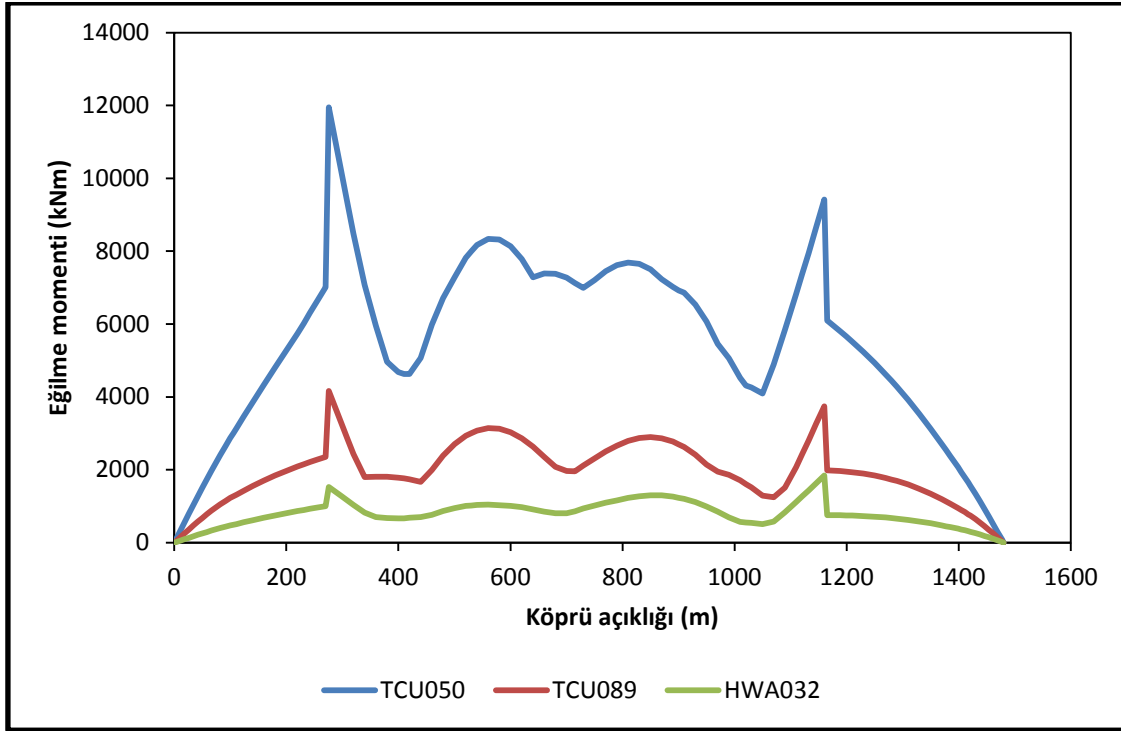
şekil 7.89. 250 m/sn dalga yayılma hızı için Tatar kule yatay yer değiştirmeleri



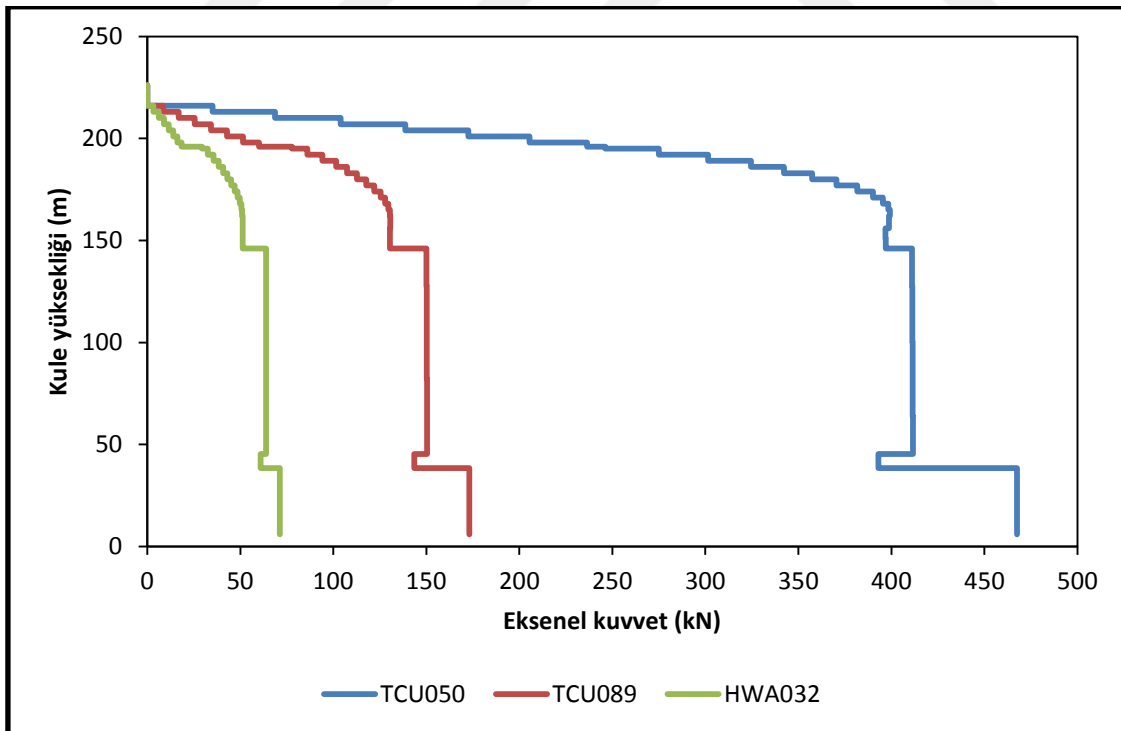
Şekil 7.90. 250 m/sn dalga yayılma hızı için Tatar tabliye düşey yer değiştirmeleri



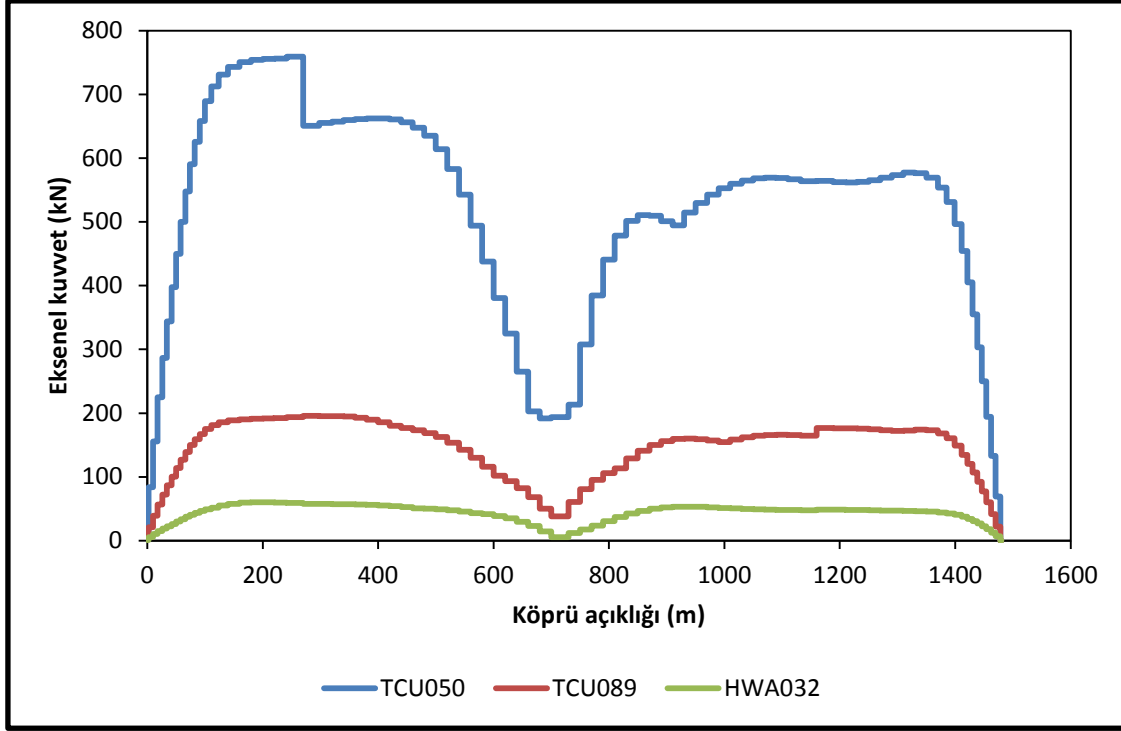
Şekil 7.91. 250 m/sn dalga yayılma hızı için Tatar kule eğilme momentleri



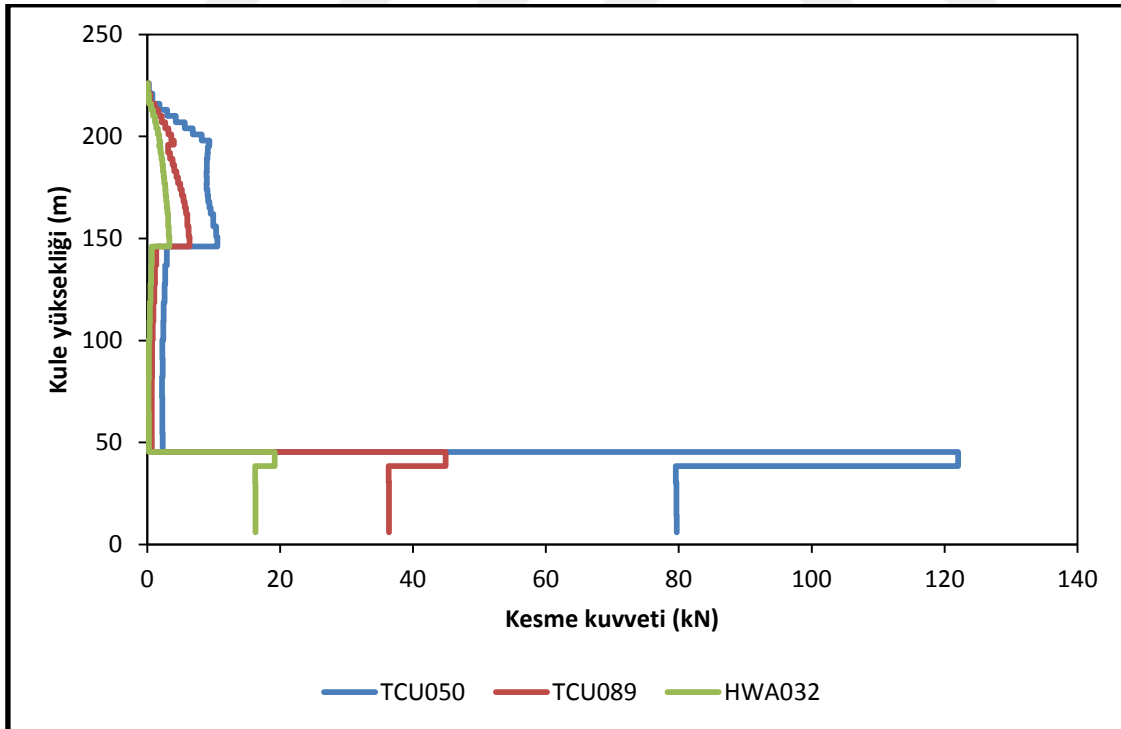
Şekil 7.92. 250 m/sn dalga yayılma hızı için Tatar tabliye eğilme momentleri



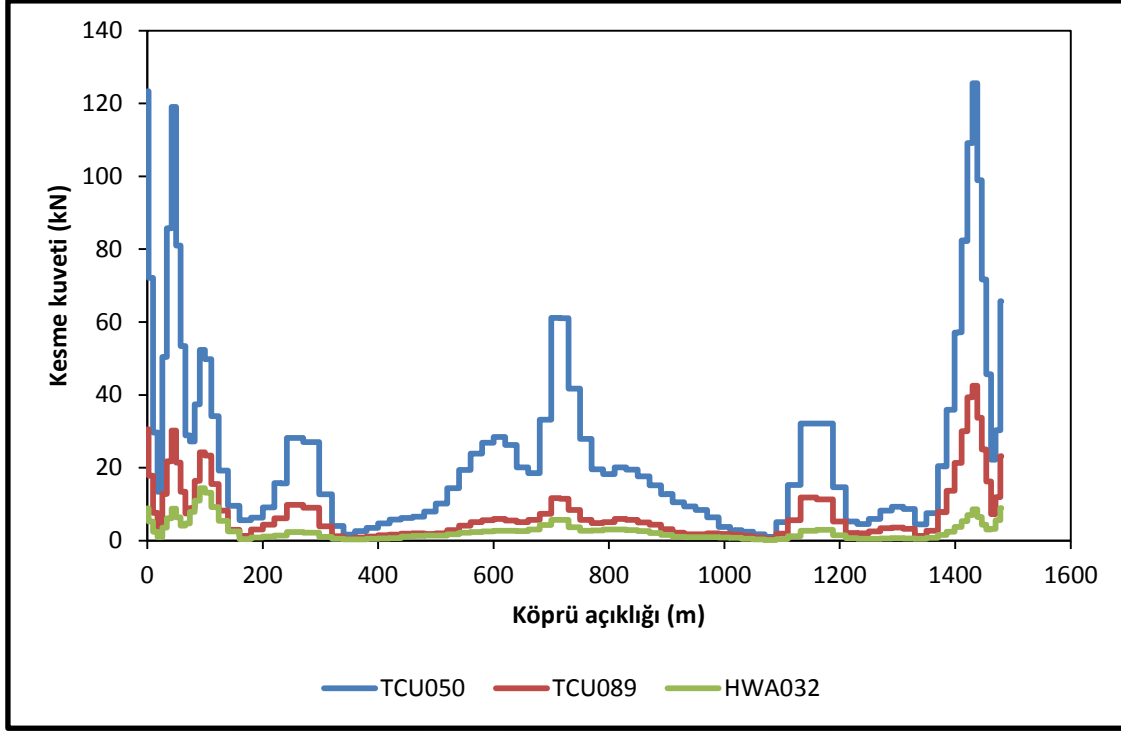
Şekil 7.93. 250 m/sn dalga yayılma hızı için Tatar kule eksenel kuvvetleri



Şekil 7.94. 250 m/sn dalga yayılma hızı için Tatar tabliye eksenel kuvvetleri



Şekil 7.95. 250 m/sn dalga yayılma hızı için Tatar kule kesme kuvvetleri



Şekil 7.96. 250 m/sn dalga yayılma hızı için Tatar tabliye kesme kuvvetleri



8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında yakın fay ve uzak fay yer hareketleri etkisindeki asma köprü ve eğik kablo askılı köprülerin üniform ve dalga yayılma etkileri için dinamik analizlerinin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)'ın veritabanı kullanılarak elde edilen deprem ivme kayıtları için enine, boyuna ve düşey yönlerde normalizasyon işlemi yapılarak yakın fay ve uzak fay yer hareketlerinden elde edilen sonuçlar uygun bir şekilde karşılaştırılabilmiştir. Darbe etkisine sahip olmayan uzak fay yer hareketlerinin yanında yakın fay yer hareketleri köprü sistemlerine darbeli ve darbesiz olarak uygulanmıştır.

Yer hareketinin sonlu hızla yayılmasına bağlı olarak yer hareketi değişiminin kablo destekli köprü sistemleri üzerindeki etkilerini yakın fay etkisini de dikkate alarak belirlemek amacıyla Chi-Chi Depremi'ne ait kayıtlar kullanılmıştır. Chi-Chi Depremi dikkate alınarak yapılan analizlerde yakın fay darbeli deprem kaydı TCU050, yakın fay darbesiz deprem kaydı TCU089 ve uzak fay deprem kaydı HWA032 dikkate alınmıştır. Köprü sistemlerinin üç boyutlu sonlu eleman modelleri, yakın fay ve uzak fay için seçilen TCU050, TCU089, HWA032 deprem kayıtlarının her birinin üç bileşeni dikkate alınarak zaman tanım alanında çözümlenmiştir. Bu üç deprem kaydı için deprem hareketi yayılma hızının zemin durumuna göre değişim gösteren farklı değerleri kullanılarak kule yüksekliği ve köprü açıklığı boyunca yakın fay ve uzak fay etkileri için elde edilen yerdeğiştirme, eğilme momenti, eksenel kuvvet ve kesme kuvveti değişimleri üniform ve asinkronize dinamik analiz için karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu çalışmada zemin cinsine bağlı olarak deprem hareketi yayılma hızları için $V_{app} = 250$ m/sn, $V_{app} = 1000$ m/sn, $V_{app} = 2000$ m/sn ve $V_{app} =$ Sonsuz hız değerleri kullanılmıştır.

Asma köprü modeli Fatih Sultan Mehmet Köprüsü için Chi-Chi, Düzce, Kobe ve Kocaeli depremleri kullanılarak klasik dinamik analize karşılık gelen üniform yer hareketi için dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan deprem hareketleri yakın fay darbeli, yakın fay darbesiz ve uzak fay yer hareketi olarak sınıflandırılmış ve her bir deprem kaydı için ayrı dinamik analizler yapılarak tabliye ve kulelerdeki yerdeğiştirme ve tepki değerleri belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Kule yüksekliği ve köprü açıklığı boyunca elde edilen yer değiştirme, eğilme momenti, eksenel kuvvet ve kesme kuvvetleri

karşılaştırıldığında; kullanılan deprem hareketlerinin hemen hemen tümünde (Chi-Chi, Düzce, Kocaeli ve Kobe), dikkate alınan yakın fay darbeleri yer hareketlerinin, yakın fay darbesiz yer hareketleri ile uzak fay yer hareketleri için elde edilen tepki değerlerinden daha büyük tepki değerlerine neden olduğu görülmüştür. Bunun yanında Chi-Chi, Düzce, Kobe ve Kocaeli depremlerinin her biri için iki farklı yakın fay darbeleri yer hareketi kullanılmış ve köprü tepkileri yakın fay darbeleri yer hareketlerinin etkisi açısından karşılaştırılmış ve genel olarak yakın fay darbeleri yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisini artıran temel parametrenin PGV/PGA değerinin olduğu değerlendirilmiştir. Ancak Chi-Chi Depremi için tabliye ve kulelerde elde edilen eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri, PGV/PGA değerleri daha küçük olan yakın fay darbeleri yer hareketi kaydı için (TCU054) daha büyük çıkmıştır. Bu durumda, yakın fay darbeleri yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisinin sadece PGV/PGA parametrik değerine bağlı olmadığı anlaşılmaktadır. Ayrıca dikkate alınan yakın fay darbesiz yer hareketleri için elde edilen köprü tepkilerinin genel olarak uzak fay yer hareketleri için elde edilen tepki değerlerinden daha büyük tepki değerlerine neden olduğu gözlenmiştir.

Eğik kablo askılı köprü modeli Tatara Köprüsü için de Chi-Chi, Düzce, Kobe ve Kocaeli depremleri kullanılarak üniform yer hareketi için dinamik analizler yapılmıştır. Tatara köprüsü için de analizlerde kullanılan deprem hareketleri yakın fay darbeleri, yakın fay darbesiz ve uzak fay yer hareketi olarak sınıflandırılmış ve her bir deprem kaydı için ayrı dinamik analizler yapılarak tabliye ve kulelerdeki yerdeğiştirme ve tepki değerleri belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Kule yüksekliği ve köprü açıklığı boyunca elde edilen yer değiştirme, eğilme momenti, aksenal kuvvet ve kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında; kullanılan deprem hareketlerinin hemen hemen tümünde (Chi-Chi, Düzce, Kocaeli ve Kobe), dikkate alınan yakın fay darbeleri yer hareketlerinin, yakın fay darbesiz yer hareketleri ile uzak fay yer hareketleri için elde edilen tepki değerlerinden daha büyük tepki değerlerine neden olduğu görülmüştür. Bunun yanında Chi-Chi, Düzce, Kobe ve Kocaeli depremlerinin her biri için iki farklı yakın fay darbeleri yer hareketi kullanılmış ve köprü tepkileri yakın fay darbeleri yer hareketlerinin etkisi açısından karşılaştırılmış ve genel olarak yakın fay darbeleri yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisini artıran temel parametrenin PGV/PGA değerinin olduğu değerlendirilmiştir. Ancak Chi-Chi Depremi için tabliye ve kulelerde elde edilen bazı tepki değerleri, PGV/PGA değerleri daha küçük olan yakın fay darbeleri yer hareketi kaydı için (TCU054) daha büyük çıkmıştır. Bu durumda, yakın fay darbeleri yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisinin sadece

PGV/PGA parametrik değerine bağlı olmadığı anlaşılmaktadır. Ayrıca dikkate alınan yakın fay darbesiz yer hareketleri için elde edilen köprü tepkilerinin genel olarak uzak fay yer hareketleri için elde edilen tepki değerlerinden daha büyük tepki değerlerine neden olduğu gözlenmiştir.

Deprem dalgası yayılma hızlarının farklı değerleri (250 m/sn, 1000 m/sn, 2000 m/sn ve sonsuz) için asma ve eğik kablo askılı köprülerin asinkronize dinamik analizleri Chi-Chi Depremi yakın fay darbeleri yer hareketi TCU050 deprem kaydı için ayrı ayrı yapılarak elde edilen köprü tepkileri karşılaştırılmış ve deprem dalgası yayılma hızına bağlı olarak düzenli bir değişimin ortaya çıkmadığı gözlenmiştir. Bazı durumlarda deprem hareketinin sonsuz hızla yayılması durumundaki tepki değerleri daha büyük çıkarken, bazı durumlarda da dikkate alınan en küçük dalga yayılma hızı olan 250 m/sn hız değeri için en büyük tepkiler ortaya çıkmıştır.

Deprem dalgası yayılma hızının 250 m/sn olması durumunda Chi-Chi Depremi'nin TCU050, TCU089 ve HWA032 kayıtları için asma ve eğik kablo askılı köprü sistemlerinin kule yüksekliği ve köprü açıklığı boyunca elde edilen tepki değerleri de karşılaştırılmış ve deprem hareketinin sonsuz hızla yayılması durumunda gözleendiği gibi, $V = 250$ m/sn olması durumunda da her iki köprü modelinde hem tabliye hem de kulede yakın fay darbeleri yer hareketi kaydı TCU050 için elde edilen tepki değerlerinin, yakın fay darbesiz yer hareketi kaydı TCU089 ve uzak fay yer hareketi kaydı HWA032 için elde edilen tepki değerlerinden önemli oranda daha büyük olduğu gözlenmiştir.

Bu tez çalışması sonucunda merkez açıklığı 1000 m'ye ulaşan ve dolayısıyla diğer yapı sistemlerine göre daha büyük titreşim periyotlarına sahip olan uzun açıklıklı kablo destekli köprü sistemlerinin, büyük genlikli ve uzun periyotlu darbe etkilerinin görüldüğü darbe içerikli yakın fay yer hareketlerine maruz kalması durumunda daha fazla hasar alma potansiyelinin olduğu gözlenmiştir. Bu durumda uzun açıklıklı kablo destekli köprü sistemlerinin güvenli tasarımı için yakın fay yer hareketlerinin dikkate alınması gereği açıktır.

Değişerek yayılan yer hareketinin kablo destekli köprü sistemleri üzerindeki etkileri konusunda daha önce gerçekleştirilen çalışmaların önemli bir kısmı uzak fay yer

hareketleri dikkate alınarak yapılmıştır. Ancak son yıllarda meydana gelen Northridge, Kobe ve Chi-Chi gibi depremler ile yer hareketindeki değişimin ve yakın fay etkilerinin birlikte söz konusu olması durumunda uzun açıklıklı köprü sistemlerinde önemli sismik taleplerin ortaya çıktığı gözlenmiştir. Bu bakımdan deprem hareketindeki değişim ve yakın fay etkileri uzun açıklıklı kablo destekli köprülerin dinamik analizlerinde dikkate alınması gereken etkenlerdir. Deprem yönetmeliğimize de yakın fay faktörleri dahil edilerek yapı sistemlerimizin depreme karşı daha güvenli hale gelmesi sağlanmalıdır.



KAYNAKLAR

- Adanur, S., Altunişik, A. C., Bayraktar, A., and Akköse, M. (2012). Comparison of near-fault and far-fault ground motion effects on geometrically nonlinear earthquake behavior of suspension bridges. *Natural Hazards*, 64(1), 593-614.
- Akkar, S., and Gülkan, P. (2000). *Comparative Performance Evaluation of Displacement Based Design Procedures for Near Field Earthquakes*. 12th World Earthquake Engineering Conference, Auckland.
- Akkar, S., and Gülkan, P. (2003). *A Near-Fault Design Spectrum and Its Drift Limits*. Fourth International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, 1-8.
- Akkar, S., Yazgan, U., and Gülkan, P. (2004). *Deformation Limits for Simple Non-Degrading Systems Subjected to Near-Fault Ground Motions*. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver.
- Akkar, S., Yazgan, U., and Gülkan, P. (2005). Drift estimates in frame buildings subjected to near-fault ground motions. *Journal of Structural Engineering*, 131(7), 1014-124.
- Alavi, B., and Krawinkler, H. (2001). Effects of near-fault ground motions on frame structures; TJABEEC 138. *Stanford*, 1-301.
- Anderson, J., C., and Bertero V., V. (1987). Uncertainties in establishing design earthquakes. *Journal of Structural Engineering*, 113(8), 1709-1724.
- Anderson, J., C., Bertero, V., V., and Bertero R., D. (1999). Performance improvement of long period building structures subjected to severe pulse-type ground motions; PEER 1999/09. Berkeley, California, 1-229.
- Apaydın, N., M. (2010). Earthquake performance assessment and retrofit investigations of two suspension bridges in Istanbul. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30, 702-710.
- Bathe, K.J., Wilson, E.L. and Peterson, F.E. (1974). SAP IV: A structural analysis program for static and dynamic response of linear systems, Report No: EERC-73-11, Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, California.
- Bayraktar, A. (1995). *Asinkronize Yer Hareketi Etkisindeki Baraj-Rezervuar-Temel Sistemlerinin Dinamik Davranışı*, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bayraktar, A., Altunişik, A., C., Sevim, B., Kartal, M., E., and Türker, T. (2008). Near-fault ground motion effects on the nonlinear response of dam-reservoir-foundation systems. *Structural Engineering and Mechanics*, 28(4), 411-442.

- Bayraktar, A., Altunişik, A. C., Sevim, B., Kartal, M. E., Türker, T., and Bilici, Y. (2009). Comparison of near- and far-fault ground motion effect on the nonlinear response of dam-reservoir-foundation systems. *Nonlinear Dynamics*, 58(4), 655-673.
- Bray, J., D., and Rodriguez-Marek, A. (2004). Characterization of forward-directivity ground motions in the near-fault region. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24(11), 815-828.
- Brown, A., and Saiidi, M., S. (2011). Investigation of effect of near-fault motions on substandard bridge structures. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 10(1), 1-11.
- Chouw, N., and Hao, H. (2008). Significance of SSI and nonuniform near-fault ground motions in bridge response I: Effect on response with conventional expansion joint. *Engineering Structures*, 30(1), 141-153.
- Consulting Engineers; Freeman, Fox and Partners (1988). SW.1 Second Bosphorus Bridge as Constructed Drawings, Westminster, London.
- Cox, K., E., and Ashford, S., A. (2002). Characterization of large velocity pulses for laboratory testing; PEER 2002/22. Berkeley, California, 1-60.
- Çelik, A. (2010). *İki ve Üç Boyutlu Olarak Modellenen Kablolu Köprülerin Dinamik Davranışlarının Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Dicleli, M., and Buddaram, S. (2007). Equivalent linear analysis of seismic-isolated bridges subjected to near-fault ground motions with forward rupture directivity effect. *Engineering Structures*, 29(1), 21-32.
- Dolati, A., Taghikhany, T., and Rahai, A. (2012). *Seismic Demands of the Case Study Highway Bridge under Near Fault Pulse-Like Ground Motion*. 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon.
- Dumanoğlu, A. A. and Severn, R. T. (1984). Dynamic response of dams and other structures to differential ground motions. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*. Part2, 77, 333-352.
- Gibson, N., Filiatrault, A., and Ashford, S., A. (2002). Performance of beam to column bridge joints subjected to a large velocity pulse; PEER 2002/24. Berkeley, California, 1-87.
- Hall, J., F., Heaton, T., H., Halling, M., W., and Wald, D., J. (1995). Near-source ground motion and its effects on flexible buildings, *Earthquake Spectra*, 11(4), 569-605.
- Hasgür, Z., ve Umut, Ö. (2007). *Yakın Fay Hareketli Depremlerin Yapılar Üzerindeki Etkisi ve Temel Ayırıcılı-Sıvı Sönümleyicilerin Bu Yapılardaki Etkinliği*. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 305-316.

Ismail, M., Casas, J., R., and Rodellar, J. (2013). Near-fault isolation of cable-stayed bridges using RNC isolator. *Engineering Structures*, 56, 327-342.

Iwan, W., D. (1997). Drift spectrum measure of demand for earthquake ground motions. *Journal of Structural Engineering*, 123(4), 397-404.

İnternet: 1. Karataş, Hasan; Kıymaz, Güven; Coşkun, Erdal. Asma Köprüler. <http://web.iku.edu.tr/~ecoskun/ASMA%20K%C3%96PR%C3%9CLER.doc>. 2017-0807. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fweb.iku.edu.tr%2F%2Fecoskun%2FASMA%2520K%25C3%2596PR%25C3%259CLER.doc&date=2017-08-07>, Son Erişim Tarihi: 07.08.2017.

İnternet: 2 Arslan, Ali. Asma Köprüler. <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/2976.pdf>. 2017-08-08. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.imo.org.tr%2Fresimler%2Fekutuphane%2Fpdf%2F2976.pdf&date=2017-08-08>, Son Erişim Tarihi: 08.08.2017.

İnternet: 3. KGM. Fatih Sultan Mehmet Köprüsü. <http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Bolgeler/1Bolge/FatihSultanMehmetTarihce.pdf>. 2017-08-07. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.kgm.gov.tr%2FSiteCollectionDocuments%2FKGMdocuments%2FBolgeler%2F1Bolge%2FFatihSultanMehmetTarihce.pdf&date=2017-08-07>, Son Erişim Tarihi: 07.08.2017.

İnternet: 4. Yazıcı, Murat. Otağtepe Fatih Sultan Mehmet Köprüsü. http://muratyazici.com.tr/dcim100mediadji_0002-jpg/. 2017-08-07. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fmuratyazici.com.tr%2Fdcim100mediadji_0002-jpg%2F&date=2017-08-07, Son Erişim Tarihi: 07.08.2017.

İnternet: 5. From character to personality. Tatara Broen. <http://broer.no/bro/index.php?ID=95>. 2017-08-07. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbroer.no%2Fbro%2Findex.php%3FID%3D95&date=2017-08-07>, Son Erişim Tarihi: 07.08.2017.

İnternet: 6. From character to personality. PEER. <http://peer.berkeley.edu/>. 2017-08-07. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fpeer.berkeley.edu%2F&date=2017-08-07>, Son Erişim Tarihi: 07.08.2017.

Jalali, R., S., Jokandan, M., B., and Trifunac, M., D. (2012). Earthquake response of a three-span, simply supported bridge to near-field pulse and permanent-displacement step. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 43, 380-397.

Jia, J., F., and Ou, J., P. (2008). *Seismic Analyses of Long-Span Cable-Stayed Bridges Subjected to Near-Fault Pulse-Type Ground Motions*. The 14 th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing.

- Jo'nsson, M., Bessason, B., and Haflidason, E. (2010). Earthquake response of a base-isolated bridge subjected to strong near-fault ground motion. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(6), 447-455.
- Kalkan, E., Adalier, K., and Pamuk, A. (2004). *Near Source Effects and Engineering Implications of Recent Earthquakes In Turkey*. Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, New York, 1-6.
- Liao, W. I., Loh, C. H., Wan, S., Jean, W. Y., and Chai, J. F. (2000). Dynamic responses of bridges subjected to near-fault ground motions. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 23(4), 455-464.
- Liao, W., I., Loh, C., H., and Lee, B., H. (2004). Comparison of dynamic response of isolated and non-isolated continuous girder bridges subjected to near-fault ground motions. *Engineering Structures*, 26(14), 2173-2183.
- Ling-kun, C., Li-zhong, J., Wei, G., Wen-shuo, L., Zhi-ping, Z., and Ge-wei, C. (2014). The seismic response of high-speed railway bridges subjected to near-fault forward directivity ground motions using a vehicle-track-bridge element. *Shock and Vibration*, 2014(2014), 1-17.
- Mahin, S., A., Bertero, V., V., Chopra, A., K., and Collins, R., G. (1976). Response of the Olive View Hospital main building during the San Fernando Earthquake; EERC 76-22. Berkeley, California, 1-239.
- Makris, N., and Chang, S.P. (1998). Effect of viscous, viscoplastic and friction damping on the response of seismic isolated structures. *ISET Journal of Earthquake Technology*, 35(4), 113-141.
- McCallen, D., B., Astaneh-Asl, A., Larsen, S., C., and Hutchings, L. (2006). *Dynamic Response of the Suspension Spans of the San Francisco-Oakland Bay Bridge*. 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, San Francisco.
- McCallen, D., B., Astaneh-Asl, A., Larsen, S., C., and Hutchings, L., J. (2009). *The Response of Long-Span Bridges to Low Frequency, Near-Fault Earthquake Ground Motions*, Proceedings of the 2009 Technical Conference on Lifeline Earthquake Engineering, Oakland.
- Megawati, K., Higashihara, H., and Koketsu, K. (2001). Derivation of near-source ground motions of the 1995 Kobe (Hyogo-ken Nanbu) Earthquake from vibration records of the Akashi Kaikyo Bridge and its implications. *Engineering Structures*, 23(10), 1256-1268.
- Mortezaei, A., and Ronagh, H., R. (2013). Plastic hinge length of reinforced concrete columns subjected to both far-fault and near-fault ground motions having forward directivity. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 22(12), 903-926.
- Mosleh, A., Razzaghi, M., S., Jara, J., and Varum, H. (2016). Seismic fragility analysis of typical pre-1990 bridges due to near and far-field ground motions. *International Journal of Advanced Structural Engineering*, 8(1), 1-9.

- Nazmy, A. S. and Abdel-Ghaffar, A.M. (1987). Seismic response analysis of cable stayed bridges subjected to uniform and multiple-support excitations. Report No, 87-SM-1, Department of Civil Engineering, Princeton University, *Princeton*.
- Orozco, G., L., and Ashford, S., A. (2002). Effects of large velocity pulses on reinforced concrete bridge columns; PEER 2002/23. Berkeley, *California*, 1-76.
- Park, S., W., Ghasemi, H., Shen, J., Somerville, P., G., Yen, W., P., and Yashinsky, M. (2004). Simulation of the seismic performance of the Bolu Viaduct subjected to near-fault ground motions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 33(13), 1249-1270.
- Park, S., Ghasemi, H., Shen, J., and Yen, P. (2002). *Bolu Viaduct-1 Subjected to Near-Fault Ground Motion. Wind and Seismic Effects: Proceedings of the 34th Joint Meeting*, Gaithersburg, Maryland.
- Sevim, B., Atamturktur, S., Altunışık, A. C., and Bayraktar, A. (2016). Ambient vibration testing and seismic behavior of historical arch bridges under near and far fault ground motions. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 14(1), 241-259.
- Shabestari, K., T., and Yamazaki, F. (2003). Near-fault spatial variation in strong ground motion due to rupture directivity and hanging wall effects from the Chi-Chi, Taiwan earthquake. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32(14), 2197-2219.
- Shrestha, B. (2015). Seismic response of long span cable-stayed bridge to near-fault vertical ground motions. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19(1), 180-187.
- Shrestha, B., and Tuladhar, R. (2012). The response of Karnali Bridge, Nepal to near-fault earthquakes. *Bridge Engineering*, 165(4), 223-232.
- Singh, J., P. (1985). Earthquake ground motions: Implications for designing structures and reconciling structural damage. *Earthquake Spectra*, 1(2), 239-270.
- Stewart, J., P., Chiou, S., J., Bray, J., D., Graves, R., W., Somerville, P., G., and Abrahamson, N., A. (2001). Ground motion evaluation procedures for performance-based design; PEER 2001/09. Berkeley, *California*, 1-229.
- Somerville, P. (2002). *Characterizing Near Fault Ground Motion for The Design and Evaluation of Bridges*. Proceedings of the 3rd National Seismic Conference and Workshop on Bridges and Highways, Portland, 137-148.
- Somerville, P. (1998). *Development of An Improved Representation of Near-Fault Ground Motions*. SMIP89 Seminar Proceedings, Oakland, 1-20.
- Somerville, P., G. (2003). Magnitude scaling of the near fault rupture directivity pulse. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 137(1-4), 201-212.
- Somerville, P., G., Smith, N., F., Graves, R., W., and Abrahamson, N., A. (1997). Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the

amplitude and duration effects of rupture directivity. *Seismological Research Letters*, 68(1), 199-222.

Soyluk, K., Kartal, H., and Adanur, S. (2013). *Comparison of Dynamic Behaviour of Long-Span Cable-Supported Bridges*. Vienna Congress on Recent Advances in Earthquake Engineering and Structural Dynamics 2013, Vienna, 1-10.

Umut, Ö. (2006). *Yakın Fay Hareketinin Yapılar Üzerindeki Etkisi ve İzolatör–Sıvı Sönümleyicilerle Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Uniform Building Code (1997). Uniform Building Code, 2, 1-469.

Wang, G., Q., Zhou, X., Y., Zhang, P., Z., and Igel, H. (2002). Characteristics of amplitude and duration for near fault strong ground motion from the 1999 Chi-Chi, Taiwan Earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22(1), 73-96.

Wilson, C. J. And Gravelle, W. (1991). Modelling of a cable-stayed bridge for dynamic analysis. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 20(8), 707-721.

Wilson, A. (2009). *A Critical Analysis of Tatara Bridge, Japan*. Proceedings of Bridge Engineering 2 Conference. Bath, UK.

Yabuna, M., Fujiwara, T., Sumi, K., Nose, T., and Suzuki, M. (2003). Design of Tatara Bridge. *IHI Engineering Review*, 36(2), 40-56.

Yasrebi, L., and Ghafory-Ashtiany, M. (2014). Inelastic response of a long span bridge under asynchronous near-field pulse-like and far-field excitations. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 16(2), 111-128.

Zhang, S., and Wang, G. (2013). Effects of near-fault and far-fault ground motions on nonlinear dynamic response and seismic damage of concrete gravity dams. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 53, 217-229.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KARACA, Hayrettin
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 26.07.1990, Kırıkkale
Medeni hali : Bekar
Telefon : 05374600686
E-Posta : hayrettin-karaca@hotmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Karadeniz Tek. Üniv. / İnşaat Mühendisliği	2012
Lise	Kırıkkale Atatürk Anadolu Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2016-Halen	Bozok Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2014-2016	Vergi Denetim Kurulu	Vergi Müfettiş Yar.

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-

Hobiler

-



GAZİ GELECEKTİR..