



**SONLU HIZLA YAYILAN YAKIN FAY YER HAREKETİ ETKİSİ İÇİN
ÇELİK KEMER KÖPRÜLERİN DİNAMİK ANALİZİ**

Dersu YILMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

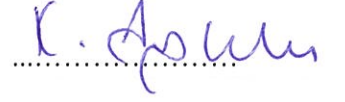
EKİM 2018

Dersu YILMAZ tarafından hazırlanan “SONLU HIZLA YAYILAN YAKIN FAY YER HAREKETİ ETKİSİ İÇİN ÇELİK KEMER KÖPRÜLERİN DİNAMİK ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Kurtuluş SOYLUK

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

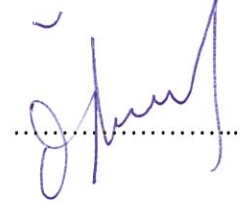
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Başkan: Prof. Dr. Özgür ANIL

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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



Üye: Dr. Öğr. Üye. Mahmut Cem Yılmaz

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

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



Tez Savunma Tarihi: 18/10/2018

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

.....
Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
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.

Dersu YILMAZ

18/10/2018

SONLU HIZLA YAYILAN YAKIN FAY YER HAREKETİ ETKİSİ İÇİN ÇELİK KEMER KÖPRÜLERİN DİNAMİK ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Dersu YILMAZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ekim 2018

ÖZET

Uzun hakim periyotlara sahip çelik kemer köprülerin yakın fay bölgelerinde yer alması, yakın fay etkileri altındaki sismik davranışlarının araştırılması ihtiyacını doğurmuştur. Yakın fay yer hareketlerinin önemli yıkıcı etkiler içermesi ve bu etkiler altında çelik kemer köprülerin sergiledikleri sismik davranışların yeterince anlaşılması amacıyla bu tez çalışması gerçekleştirilmiştir. Statik yer değiştirmeler meydana getiren sığrama ve uzun periyotlu yüksek genlikli darbe etkileri içeren yakın fay yer hareketlerinin uzun açıklıklı çelik kemer köprüleri üzerindeki sismik etkilerinin anlaşılması köprü tasarımı açısından oldukça önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında yakın fay yer hareketi olarak dikkate alınan Chi-Chi depremine ait yakın fay yer hareketleri için ABD’de bulunan New River Gorge (NRGB) Köprüsü’nün dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında yakın fay yer hareketleri üç farklı şekilde ele alınmıştır: Chi-Chi depremine ait yakın fay özelliği gösteren kayıtlar, Chi-Chi depremine ait yakın fay kayıtları kullanılarak üretilen kayıtlar, Chi-Chi depremine ait uzak fay kayıtları kullanılarak üretilen kayıtlar. Yakın fay etkisinin kemer köprü üzerindeki etkisini vurgulamak amacıyla, yakın fay etkisi için gerçekleştirilen çözümler uzak fay kayıtları için elde edilen çözümlerle karşılaştırılmıştır. Günümüze kadar dalga yayılma etkisi çoğunlukla uzak fay yer hareketleri için dikkate alınmış olup, bu çalışma kapsamında deprem hareketinin sonlu yayılma hızının etkisini incelemek amacıyla hem darbe etkili yakın fay kayıtlarının hem de sığrama etkili yakın fay kayıtlarının sonlu yayılma hızları için çözümler yapılarak elde edilen köprü tepkileri karşılaştırılmış ve yer hareketinin sonlu yayılma hızına bağlı olarak değerlendirmelerde bulunulmuştur. Söz konusu analizler SAP2000v14.1 sonlu eleman analiz programı ile gerçekleştirilmiş olup, dinamik analizler zaman tanım alanında yapılmıştır. Zaman tanım alanındaki analizler için deprem hareketleri yer değiştirme-zaman cinsinden köprü eksenine doğrultusunda mesnet noktalarından uygulanmıştır. Çalışma sonucunda yakın fay yer hareketi karakteristikleri olan sığrama ve yönelme etkileri ile deprem hareketinin sonlu hızla yayılmasına bağlı olarak ortaya çıkan dalga yayılma etkisinin, çelik kemer köprüleri üzerinde önemli etkilerinin olabileceği ortaya konulmuştur.

Bilim Kodu : 91104

Anahtar Kelimeler : Çelik Kemer Köprü, yakın fay yer hareketi, yönelme etkisi, sığrama etkisi, dalga yayılma etkisi, asinkronize dinamik analiz

Sayfa Adedi : 215

Danışman : Prof. Dr. Kurtuluş SOYLUK

DYNAMIC ANALYSIS OF STEEL ARCH BRIDGES FOR NEAR-FAULT GROUND
MOTIONS TRAVELLING WITH FINITE WAVE VELOCITY

(M. Sc. Thesis)

Dersu YILMAZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

October 2018

ABSTRACT

The presence of steel arch bridges with long fundamental periods in near fault zones has led to the need to investigate the seismic behavior of these bridges under near fault ground motions. Considering the destructive nature of near-fault ground motions this thesis has been carried out to understand the seismic behavior of steel arch bridges under these ground motions. Understanding the seismic effects of near-fault ground motions, which have fling-step and directivity characteristics showing static displacements and long-period high-amplitude impacts, respectively, on long-span steel arch bridges are very important in bridge design. In this thesis, dynamic analyses of the New River Gorge (NRGB) bridge in the USA are conducted for Chi-Chi earthquake which shows near-fault ground motion characteristics. Near-fault ground motions have been considered in three different ways: Records showing near-fault characteristics of Chi-Chi earthquake, records generated using the near-fault records of Chi-Chi earthquake, records generated using the far-fault records of Chi-Chi earthquake. In order to underline the effect of near fault effect on the steel arch bridge, the solutions for the near fault ground motions are compared with those of the far fault ground motions. So far the effect of wave propagation has been taken into account mainly for far fault ground motions. In order to investigate the travelling wave effect of earthquake ground motion, solutions are performed for near fault ground motions showing impact type and fling-step characteristics in this study and the resulting responses are compared and commented depending on the finite wave velocities. The mentioned analyses were carried out with SAP2000v14.1 finite element analysis program in the time history domain. For the time history analyses, earthquake motions were applied through the support points of the bridge in the longitudinal direction in terms of displacement-time history records. As a result of the study, it has been shown that the effects of fling-step and directivity, which are near fault ground motion characteristics, and the wave propagation effect due to the finite travelling nature of earthquake motions can have significant effects on steel arch bridges.

Science Code : 91104

Key Words : Steel Arch Bridge, near-fault ground motion, directivity effect, fling-step effect, wave-passage effect, asynchronous dynamic analysis

Page Number : 215

Supervisor : Prof. Dr. Kurtuluş SOYLUK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince bilimsel katkıları ile desteğini esirgemeyen, değerli yardım ve katkılarıyla yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Kurtuluş SOYLUK'a, mühendislik ve eğitim hayatıma yapmış olduğu katkılarından dolayı en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım. Bana maddi ve manevi her türlü desteği veren ailemin tüm fertlerine, en içten teşekkürlerimi sunarım. Bunun yanında eğitim hayatım boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygıyla anar, kendilerine minnettar olduğumu belirtmek isterim. Ayrıca tez çalışmamın devam edebilmesi noktasında sağladığı değerli katkılarından dolayı Prof. Dr. David M. Boore'a teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxi
1. GİRİŞ	1
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	3
2.1. Amaç	3
2.2. Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	3
2.2.1. Yakın fay etkisinin karakteristik özelliklerinin belirlenmesi üzerine yapılmış çalışmalar	3
2.2.2. Yakın fay etkisinin köprü dışındaki yapı sistemleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi üzerine yapılmış çalışmalar	7
2.2.3. Yakın fay etkisinin köprü sistemleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi üzerine yapılmış çalışmalar	10
2.2.4. Yakın fay etkisinin çelik kemer köprü sistemleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi üzerine yapılmış çalışmalar	15
2.3. Çalışmanın Kapsamı	16
3. YAKIN FAY YER HAREKETLERİ	19
3.1. Fayın Kırılma Mekanizması.....	23
3.2. Yönelme Etkisi.....	25
3.3. Sıçrama Etkisi	28
3.4. 1997-UBC Yönetmeliğine Göre Tasarımda Yakın Fay Yer Hareketleri.....	30
4. SEÇİLEN VE ÜRETİLEN YAKIN FAY YER HAREKETLERİ.....	35

	Sayfa
4.1. İntegre Edilen ve PEER’den Alınan Kayıtlar (Yöntem-1)	37
4.1.1. İşlenmemiş ivme kayıtlarının eksen düzeltmesi	38
4.1.2. Yer hareketi kayıtlarının integrasyonu	40
4.2. Yakın Fay Kayıtlarına Ait Veriler Kullanılarak Üretilen Kayıtlar (Yöntem-2).....	51
4.3. Uzak Fay Kayıtlarına Ait Veriler Kullanılarak Üretilen Kayıtlar (Yöntem-3)...	57
5. DALGA YAYILMA ETKİSİ	65
5.1. Giriş.....	65
5.2. Asinkronize Dinamik Analiz Bağlılıkları	66
6. ÇELİK KEMER KÖPRÜ VE SONLU ELEMAN MODELİ.....	73
6.1. New River Gorge Köprüsü	73
6.1.1. Kemer.....	76
6.1.2. Tabliye	80
6.1.3. Köprü ayakları	83
6.2. New River Gorge Köprüsü Sonlu Eleman Modeli	89
7. SAYISAL HESAPLAMALAR	93
7.1. Üretilen Yakın Fay Yer Hareketleri için Gerçekleştirilen Dinamik Analizler ...	93
7.2. Yakın Fay ve Uzak Fay Yer Hareketleri için Gerçekleştirilen Dinamik Analizler.....	114
7.3. Deprem Dalgasının Sonlu Yayılma Hızı için Gerçekleştirilen Asinkronize Dinamik Analizler.....	135
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	201
KAYNAKLAR	207
ÖZGEÇMİŞ	214

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Fay kırılma mekanizmalarına göre yakın fay etkileri.....	23
Çizelge 3.2. UBC 1999 Yönetmeliğine göre "Sismik kaynak tipleri"	31
Çizelge 3.3. UBC 1999 Yönetmeliğine göre "Kısa periyot ivme faktörü N_a "	31
Çizelge 3.4. UBC 1999 Yönetmeliğine göre "Orta periyot ivme faktörü N_v "	31
Çizelge 3.5. UBC 1999 Yönetmeliğine göre "Sismik katsayı, C_a "	32
Çizelge 3.6. UBC 1999 Yönetmeliğine göre "Sismik katsayı, C_v "	32
Çizelge 3.7. UBC 1999 Yönetmeliğine göre "Zemin profil tipleri"	33
Çizelge 3.8. 1999 Chi-Chi depremi kayıtlarına ait zemin özellikleri	33
Çizelge 4.1. Yakın ve uzak fay yer hareketlerinin özellikleri.....	36
Çizelge 7.1. Yakın fay kayıtlarına ait karakteristik özellikler	114
Çizelge 7.2. TCU129 yakın fay yer hareketi dikkate alınarak sonlu yayılma hızları için elde edilen köprü tepkileri	166
Çizelge 7.3. TCU102 yakın fay yer hareketi dikkate alınarak sonlu yayılma hızları için elde edilen köprü tepkileri	186
Çizelge 7.4. HWA032-KG uzak fay yer hareketi dikkate alınarak sonlu yayılma hızları için elde edilen köprü tepkileri	198

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Sıçrama ve yönelme etkilerinin ivme, hız ve yer değiştirme-zaman grafiklerindeki şematik gösterimi	20
Şekil 3.2. TCU068 istasyonu doğu-batı ivme-zaman kaydı	20
Şekil 3.3. TCU068 istasyonu darbe etkili doğu-batı hız-zaman kaydı	21
Şekil 3.4. TCU068 istasyonu doğu-batı yer değiştirme-zaman kaydı	21
Şekil 3.5. TCU068 istasyonu kuzey-güney ivme-zaman kaydı	22
Şekil 3.6. TCU068 istasyonu darbe etkili kuzey-güney hız-zaman kaydı	22
Şekil 3.7. TCU068 istasyonu sıçrama etkili kuzey-güney yer değiştirme-zaman kaydı.....	22
Şekil 3.8. Fay kırılma mekanizmaları (a) doğrultu atımlı fay, (b) eğim atımlı fay, (c) verev atımlı fay mekanizmaları	24
Şekil 3.9. Yakın fayın ileri yönelme, geri yönelme ve nötr darbe etkileri.....	26
Şekil 3.10. Landers Depremi' ne ait ileri ve geri yönelme bölgeleri	27
Şekil 3.11. Abrahamson tarafında önerilen yönelme etkisi modeli	28
Şekil 3.12. Doğrultu ve eğim atımlı fay mekanizmalarında yönelme ve sıçrama etkileri	29
Şekil 3.13. Yanal ve eğim atımlı fay mekanizmalarında yönelme ve sıçrama etkileri	30
Şekil 4.1. İvme-zaman kaydının eksen düzeltilmesi	40
Şekil 4.2. Lineer ivme yöntemi	41
Şekil 4.3. HWA032 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki ivme-zaman grafiği	42
Şekil 4.4. HWA032 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki hız-zaman grafiği	42
Şekil 4.5. HWA032 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki yer değiştirme-zaman grafiği.....	42
Şekil 4.6. HWA032 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki ivme-zaman grafiği.....	43
Şekil 4.7. HWA032 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki hız-zaman grafiği.....	43
Şekil 4.8. HWA032 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki yer değiştirme-zaman grafiği	43

Şekil	Sayfa
Şekil 4.9. TCU089 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki ivme-zaman grafiği.....	44
Şekil 4.10. TCU089 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki hız-zaman grafiği.....	44
Şekil 4.11. TCU089 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki yer değiştirme-zaman grafiği.....	44
Şekil 4.12. TCU089 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki ham ivme-zaman grafiği.....	45
Şekil 4.13. TCU089 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki integre edilmiş hız-zaman grafiği	45
Şekil 4.14. TCU089 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki eksen düzeltmesi uygulanmış hız-zaman grafiği	45
Şekil 4.15. TCU089 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki integre edilmiş yer değiştirme-zaman grafiği	46
Şekil 4.16. TCU102 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki ivme-zaman grafiği	46
Şekil 4.17. TCU102 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki hız-zaman grafiği.....	47
Şekil 4.18. TCU102 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki yer değiştirme-zaman grafiği.....	47
Şekil 4.19. TCU102 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki ham ivme-zaman grafiği.....	47
Şekil 4.20. TCU102 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki ntegre edilmiş hız-zaman grafiği	48
Şekil 4.21. TCU102 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki eksen düzeltmesi uygulanmış hız-zaman grafiği	48
Şekil 4.22. TCU102 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki integre edilmiş yer değiştirme-zaman grafiği	48
Şekil 4.23. TCU129 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki ivme-zaman grafiği	49
Şekil 4.24. TCU129 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki hız-zaman grafiği.....	49
Şekil 4.25. TCU129 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki yer değiştirme-zaman grafiği.....	50
Şekil 4.26. TCU129 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki ham ivme-zaman grafiği.....	50
Şekil 4.27. TCU129 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki integre edilmiş hız-zaman grafiği	50

Şekil	Sayfa
Şekil 4.28. TCU129 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki eksen düzeltmesi uygulanmış hız-zaman grafiği	51
Şekil 4.29. TCU129 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki integre edilmiş yer değiştirme-zaman grafiği	51
Şekil 4.30. TCU129 doğu-batı doğrultusu için üretilen yer hareketine ait ivme-zaman grafiği	55
Şekil 4.31. TCU129 doğu-batı doğrultusu için üretilen yer hareketine ait hız-zaman grafiği	55
Şekil 4.32. TCU129 doğu-batı doğrultusu için üretilen yer hareketine ait yer değiştirme-zaman grafiği	55
Şekil 4.33. TCU129 kuzey-güney doğrultusu için üretilen yer hareketine ait ivme-zaman grafiği	56
Şekil 4.34. TCU129 kuzey-güney doğrultusu için üretilen yer hareketine ait hız-zaman grafiği	56
Şekil 4.35. TCU129 kuzey-güney doğrultusu için üretilen yer hareketine ait yer değiştirme-zaman grafiği	56
Şekil 4.36. Normalize edilmiş HWA032 istasyonu doğu-batı ivme-zaman grafiği	58
Şekil 4.37. HWA032 istasyonu doğu-batı doğrultusu için üretilen yer hareketine ait ivme-zaman grafiği	58
Şekil 4.38. HWA032 istasyonu doğu-batı doğrultusu için üretilen toplanmış yer hareketine ait ivme-zaman grafiği	59
Şekil 4.39. Normalize edilmiş HWA032 istasyonu doğu-batı hız-zaman grafiği	59
Şekil 4.40. HWA032 istasyonu doğu-batı doğrultusu için üretilen yer hareketine ait hız-zaman grafiği	59
Şekil 4.41. HWA032 istasyonu doğu-batı doğrultusu için üretilen toplanmış yer hareketine ait hız-zaman grafiği	60
Şekil 4.42. Normalize edilmiş HWA032 istasyonu doğu-batı yer değiştirme-zaman grafiği.....	60
Şekil 4.43. HWA032 istasyonu doğu-batı doğrultusu için üretilen yer hareketine ait yer değiştirme-zaman grafiği	60
Şekil 4.44. HWA032 istasyonu doğu-batı doğrultusu için üretilen toplanmış yer hareketine ait yer değiştirme-zaman grafiği	61
Şekil 4.45. Normalize edilmiş HWA032 istasyonu kuzey-güney ivme-zaman grafiği.....	61

Şekil	Sayfa
Şekil 4.46. HWA032 istasyonu kuzey-güney doğrultusu için üretilen yer hareketine ait ivme-zaman grafiği	61
Şekil 4.47. HWA032 istasyonu kuzey-güney doğrultusu için üretilen toplanmış yer hareketine ait ivme-zaman grafiği	62
Şekil 4.48. Normalize edilmiş HWA032 istasyonu kuzey-güney hız-zaman.....	62
Şekil 4.49. HWA032 istasyonu kuzey-güney doğrultusu için üretilen yer hareketine ait hız-zaman grafiği	62
Şekil 4.50. HWA032 istasyonu kuzey-güney doğrultusu için üretilen toplanmış yer hareketine ait hız-zaman grafiği	63
Şekil 4.51. Normalize edilmiş HWA032 istasyonu kuzey-güney yer değiştirme-zaman	63
Şekil 4.52. HWA032 istasyonu kuzey-güney doğrultusu için üretilen yer hareketine ait yer değiştirme-zaman grafiği	63
Şekil 4.53. HWA032 istasyonu kuzey-güney doğrultusu için üretilen toplanmış yer hareketine ait yer değiştirme-zaman grafiği	64
Şekil 6.1. The New River Gorge Köprüsüne ait boyutlar	74
Şekil 6.2. Köprü genel görünüşü perspektif fotoğrafı	74
Şekil 6.3. Köprü genel görünüşü karşıdan çekilmiş fotoğrafı	75
Şekil 6.4. Köprü genel görünüşü.....	76
Şekil 6.5. Kemer kenar kafesleri	77
Şekil 6.6. Köprü tipik en kesiti	78
Şekil 6.7. Kemer yanal "K" çaprazları	79
Şekil 6.8. Kemer mesnetlerini gösteren detay.....	80
Şekil 6.9. Köprü mesnetlerini gösteren fotoğraf	80
Şekil 6.10. Köprü tabliyesi elemanları.....	81
Şekil 6.11. Tabliye alt başlık seviyesindeki yanal "X" çaprazların yerleşimi	82
Şekil 6.12. Merkez açıklık ile yaklaşım bölgeleri arasındaki genleşme derzi detayı	83
Şekil 6.13. Yaklaşım bölgelerinin genleşme derzi detayı.....	83
Şekil 6.14. 10 Numaralı köprü ayaklarına ait en kesit.....	84

Şekil	Sayfa
Şekil 6.15. 9 Numaralı kolon çiftine ait tipik en kesit	85
Şekil 6.16. Kolon üst uçlarının tabliye ile olan bağlantı detayı a) dönebilen, b) dönebilen ve kayıcı bağlantı detayı	86
Şekil 6.17. Köprü ayaklarının mevcut durumunu gösteren fotoğraf	87
Şekil 6.18. 12 numaralı kolonun köprü eksenini doğrultusunda bağlantı detayı.....	88
Şekil 6.19. 12 numaralı kolonun köprü eksenine dik bağlantı detayı.....	88
Şekil 6.20. Köprü analiz modelinin 3 boyutlu görünüşü	90
Şekil 6.21. Köprü modelinin 2 boyutlu görünüşü.....	92
Şekil 7.1. Darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen tabliye yatay yer değiştirmeleri	94
Şekil 7.2. Darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen kemer yatay yer değiştirmeleri	95
Şekil 7.3. Darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen tabliye düşey yer değiştirmeleri	96
Şekil 7.4. Darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen kemer düşey yer değiştirmeleri	97
Şekil 7.5. Darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen tabliye eksenel kuvvetleri	98
Şekil 7.6. Darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen kemer eksenel kuvvetleri	99
Şekil 7.7. Darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen tabliye eğilme momentleri	100
Şekil 7.8. Darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen kemer eğilme momentleri.....	101
Şekil 7.9. Darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen tabliye kesme kuvvetleri	102
Şekil 7.10. Darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen kemer kesme kuvvetleri...	103
Şekil 7.11. Sıçrama etkili kuzey-güney kayıtları için elde edilen tabliye yatay yer değiştirmeleri	104
Şekil 7.12. Sıçrama etkili kuzey-güney kayıtları için elde edilen kemer yatay yer değiştirmeleri	105

Şekil	Sayfa
Şekil 7.13. Sıçrama etkili kuzey-güney kayıtları için elde edilen tabliye düşey yer değiştirmeleri	106
Şekil 7.14. Sıçrama etkili kuzey-güney kayıtları için elde edilen kemer düşey yer değiştirmeleri	107
Şekil 7.15. Sıçrama etkili kuzey-güney kayıtları için elde edilen tabliye eksenel kuvvetleri	108
Şekil 7.16. Sıçrama etkili kuzey-güney kayıtları için elde edilen kemer eksenel kuvvetleri	109
Şekil 7.17. Sıçrama etkili kuzey-güney kayıtları için elde edilen tabliye eğilme momentleri	110
Şekil 7.18. Sıçrama etkili kuzey-güney kayıtları için elde edilen kemer eğilme momentleri	111
Şekil 7.19. Sıçrama etkili kuzey-güney kayıtları için elde edilen tabliye kesme kuvvetleri	112
Şekil 7.20. Sıçrama etkili kuzey-güney kayıtları için elde edilen kemer kesme kuvvetleri	113
Şekil 7.21. Tabliye yatay yer değiştirmeleri	115
Şekil 7.22. Kemer yatay yer değiştirmeleri	116
Şekil 7.23. Tabliye düşey yer değiştirmeleri	117
Şekil 7.24. Kemer düşey yer değiştirmeleri	118
Şekil 7.25. Tabliye eksenel kuvvetleri	119
Şekil 7.26. Kemer eksenel kuvvetleri	120
Şekil 7.27. Tabliye eğilme momentleri	121
Şekil 7.28. Kemer eğilme momentleri	122
Şekil 7.29. Tabliye kesme kuvvetleri	123
Şekil 7.30. Kemer kesme kuvvetleri	124
Şekil 7.31. Tabliye yatay yer değiştirmeleri	125
Şekil 7.32. Kemer yatay yer değiştirmeleri	126
Şekil 7.33. Tabliye düşey yer değiştirmeleri	127
Şekil 7.34. Kemer düşey yer değiştirmeleri	128

Şekil	Sayfa
Şekil 7.35. Tabliye eksenel kuvvetleri	129
Şekil 7.36. Kemer eksenel kuvvetleri	130
Şekil 7.37. Tabliye eğilme momentleri	131
Şekil 7.38. Kemer eğilme momentleri	132
Şekil 7.39. Tabliye kesme kuvvetleri	133
Şekil 7.40. Kemer kesme kuvvetleri	134
Şekil 7.41. Çelik kemer köprü kuzey ve güney mesnet grupları	136
Şekil 7.42. Darbe etkili TCU129-DB yakın fay yer hareketi için tanımlanan sonlu ve sonsuz hızlarla yayılan yer hareketlerine ait yük biçimleri	137
Şekil 7.43. Darbe etkili TCU129-DB yer hareketi için zaman tanım alanında dalga yayılma etkili yer hareketi kayıtlarının tanımlanması	138
Şekil 7.44. Sonsuz hızda yayılan üniform TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi kaydının tanımlanması	139
Şekil 7.45. Köprü güney mesnetlerine uygulanacak TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketinin tanımlanması	140
Şekil 7.46. Köprü kuzey mesnetleri için TCU129-DB darbe etkili 250 m/sn hızla yayılan yakın fay yer hareketinin tanımlanması	141
Şekil 7.47. Darbe etkili TCU129-EW-GÜNEY yer hareketi yük durumunun zaman tanım alanında dinamik yük durumu olarak tanımlanması	143
Şekil 7.48. 250 m/sn hızla yayılan darbe etkili TCU129-EW-250 yer hareketinin yük durumunun zaman tanım alanında dinamik yük durumu olarak tanımlanması	144
Şekil 7.49. Darbe etkili TCU129-DB yer hareketinin 250 m/sn hızla dalga yayılma etkisi için güney ve kuzey mesnetlere tanımlanan yük durumlarının birleştirilmesi	145
Şekil 7.50. TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye yatay yer değiştirmeleri	146
Şekil 7.51. TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer yatay yer değiştirmeleri	147
Şekil 7.52. TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye düşey yer değiştirmeleri	148

Şekil	Sayfa
Şekil 7.53. TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer düşey yer değiştirmeleri	149
Şekil 7.54. TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye eksenel kuvvetleri	150
Şekil 7.55. TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer eksenel kuvvetleri	151
Şekil 7.56. TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye eğilme momentleri	152
Şekil 7.57. TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer eğilme momentleri	153
Şekil 7.58. TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye kesme kuvvetleri	154
Şekil 7.59. TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer kesme kuvvetleri	155
Şekil 7.60. TCU129-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye yatay yer değiştirmeleri	156
Şekil 7.61. TCU129-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer yatay yer değiştirmeleri	157
Şekil 7.62. TCU129-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye düşey yer değiştirmeleri	158
Şekil 7.63. TCU129-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer düşey yer değiştirmeleri	159
Şekil 7.64. TCU129-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye eksenel kuvvetleri	160

Şekil	Sayfa
Şekil 7.65. TCU129-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer eksenel kuvvetleri	161
Şekil 7.66. TCU129-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye eğilme momentleri	162
Şekil 7.67. TCU129-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer eğilme momentleri	162
Şekil 7.68. TCU129-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye kesme kuvvetleri	163
Şekil 7.69. TCU129-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer kesme kuvvetleri	164
Şekil 7.70. TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye yatay yer değiştirmeleri	167
Şekil 7.71. TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer yatay yer değiştirmeleri	168
Şekil 7.72. TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye düşey yer değiştirmeleri	169
Şekil 7.73. TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer düşey yer değiştirmeleri	170
Şekil 7.74. TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye eksenel kuvvetleri	171
Şekil 7.75. TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer eksenel kuvvetleri	172
Şekil 7.76. TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye eğilme momentleri	173

Şekil	Sayfa
Şekil 7.77. TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer eğilme momentleri	174
Şekil 7.78. TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye kesme kuvvetleri	175
Şekil 7.79. TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer kesme kuvvetleri	176
Şekil 7.80. TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye yatay yer değiştirmeleri	177
Şekil 7.81. TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer yatay yer değiştirmeleri	178
Şekil 7.82. TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye düşey yer değiştirmeleri	179
Şekil 7.83. TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer düşey yer değiştirmeleri	180
Şekil 7.84. TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye eksenel kuvvetleri	181
Şekil 7.85. TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer eksenel kuvvetleri	181
Şekil 7.86. TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye eğilme momentleri	182
Şekil 7.87. TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer eğilme momentleri	183
Şekil 7.88. TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye kesme kuvvetleri	184

Şekil	Sayfa
Şekil 7.89. TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer kesme kuvvetleri	184
Şekil 7.90. HWA032-KG uzak fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye yatay yer değiştirmeleri	189
Şekil 7.91. HWA032-KG uzak fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer yatay yer değiştirmeleri	190
Şekil 7.92. HWA032-KG uzak fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye düşey yer değiştirmeleri	191
Şekil 7.93. HWA032-KG uzak fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer düşey yer değiştirmeleri	192
Şekil 7.94. HWA032-KG uzak fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye eksenel kuvvetleri	193
Şekil 7.95. HWA032-KG uzak fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer eksenel kuvvetleri	193
Şekil 7.96. HWA032-KG uzak fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye eğilme momentleri	194
Şekil 7.97. HWA032-KG uzak fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer eğilme momentleri	195
Şekil 7.98. HWA032-KG uzak fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye kesme kuvvetleri	196
Şekil 7.99. HWA032-KG uzak fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer kesme kuvvetleri	196

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

a(t)	Zaman bağlı ivme
v(t)	Zamana bağlı hız
d(t)	Zamana bağlı yer değiştirme
t	Süre (saniye)
N_a	Kısa periyot ivme faktörü
N_v	Orta periyot ivme faktörü
M	Masimum moment büyüklüğü
SR	Kayma oranı
C_a,C_v	Sismik katsayılar
d	Deprem kayıt istasyonunun faya olan uzaklığı
M_w	Deprem büyüklüğü
V	Deprem dalgasının yayılma hızı
g	Yer çekimi ivmesi
T_p	Darbe süresi

Kısaltmalar

Açıklamalar

DB	Deprem Kaydının Doğu-Batı Bileşeni
KG	Deprem Kaydının Kuzey-Güney Bileşeni
PEER	Pacific Earthquake Engineering Research Center
PGA	Peak Ground Acceleration (Maksimum Yer İvmesi)
PGV	Peak Ground Velocity (Maksimum Yer Hızı)
UBC	Uniform Building Code

1. GİRİŞ

Çeliğin yapı elemanı olarak kullanımının yaygınlaşması ve kemer formunun taşıyıcı sistemdeki verimi sayesinde çelik elemanlardan oluşan kemer türü köprüler son yüzyılda oldukça önemli yapıların ortaya çıkmasında rol almıştır. Çelik malzemelerden oluşan elemanların en etkili çalışma biçimi olan eksenel yük altındaki davranışlarından faydalanılarak kafes örgü sistemlerle 550~600 m merkez açıklığa sahip çelik kemer köprü sistemleri inşa edilmektedir. Bu tür uzun açıklıklı çelik kemer köprü türü yapılar uzun hakim periyotlarla sünek davranışlar sergilemektedir. Söz konusu yapılar ülkemizde ve dünyada aktif sismik bölgelerin birkaç kilometre kadar yakınlarında çok defa inşa edilmiş ve hizmet vermektedir. Buna ek olarak sismik faaliyetlerin aktif olduğu bölgelerin yakın çevrelerinde inşaatı devam eden projeler de sayıca oldukça fazladır. Yakın fay yer hareketi olarak tanımlanan etkilerin klasik deprem hesaplarında ele alınan uzak fay etkilerinden farklı sismik tepkiler meydana getirmesi nedeniyle yakın fayın karakteristik etkilerinin incelenmesi oldukça önem taşımaktadır. Uzun hakim periyotlara sahip çelik kemer köprülerin yakın fay bölgesinde yer alması yakın fay etkileri altındaki sismik davranışlarının araştırılması konusunu gerekli kılmıştır. Yakın fay yer hareketlerinin önemli yıkıcı etkiler içermesi ve bu etkiler altında çelik kemer köprülerin sergiledikleri sismik davranışların yeterince anlaşılması amacıyla bu tez çalışması yapılmıştır.

Yakın zamanda dünyada gerçekleşen büyük depremlerin yakın fay etkileri kayıtlara işlenebilmiştir. Uzak fay kayıtlarıyla karşılaştırıldığında uzun periyotlu, yüksek genlikli darbe ve statik yer değiştirmelerle yüksek sismik taleplere neden olan sıçrama etkileri yakın fay yer hareketlerinin yıkıcı etkileri olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun yanı sıra elde yakın fay kayıtlarının mevcut olmadığı durumlarda söz konusu yakın fay etkileri içeren yer hareketleri üretilebilmektedir. Burada bu etkiler ele alınmış ve yapay olarak üretilen yer hareketlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Deprem esnasında yer hareketinin değişim göstererek yayılması da uzun açıklıklı çelik kemer köprülerin sismik davranışları üzerinde önem taşımaktadır. Bu çalışmada deprem yer hareketindeki değişim dalga yayılma etkisi olarak farklı sonlu yayılma hızları için karşılaştırılmıştır. Bugüne kadar dalga yayılma etkisi çoğunlukla uzak fay yer hareketleri için uygulanmıştır. Bu çalışma kapsamındaki dinamik analizlerde ise yakın fayın darbe ve sıçrama etkileri ile birlikte depremin dalga yayılma etkisi birlikte ele alınmıştır.

Statik yer değiştirmeler meydana getiren sıçrama ve uzun periyotlu yüksek genlikli darbe etkileri içeren yakın fay yer hareketlerinin uzun açıklıklı elik kemer köprüler üzerindeki sismik etkilerinin anlaşılması köprü tasarımlarında oldukça önemlidir. Geleneksel yapıların birçoğunda görmeye alıştığımız boyutlara sahip yapılarda hakim periyotlar genellikle 5 saniyeden daha küçük olmaktadır. Söz konusu yapılar 5 saniyeden daha uzun periyoda sahip sismik dalgaların etkisinde rijit cisim davranışı göstermektedir. Ancak uzun periyotlu ve sünek özelliklere sahip uzun açıklıklı elik kemer köprü türü yapılarda hakim periyodun 5 saniyeden daha uzun olması kritik sismik tepkilere yol açabilmektedir. Yakın fay yer hareketlerinin sıçrame etkisinin elik kemer köprünün uzun açıklığa sahip olmasına bağlı olarak, darbe etkisinin ise yapının hakim periyodunun uzun olmasına bağlı olarak kritik olacağı düşünülmektedir (McCallen ve diğerleri, 2006). Bu nedenle köprü tasarımında yer alan mühendislerin yakın fay yer hareketlerini göz önünde bulundurmaları önem taşımaktadır. Yapılan alışmalar sonucunda yakın fay etkilerine 1997 Uniform Building Code gibi uluslararası yönetmeliklerde yer verilmektedir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Amaç

Bu tez çalışmasında yakın fay yer hareketi özelliklerinden sıçrama ve darbe etkilerini içeren yapay ve gerçek deprem kayıtlarının karşılaştırmalı dinamik analizi ile sıçrama ve darbe etkili yer hareketlerinin dalga yayılma etkisindeki karşılaştırmalı dinamik analizleri ele alınmıştır. Burada söz konusu yakın fay yer hareketleri özelliklerinin yapay ve gerçek kayıtlarla karşılaştırılmasının yanı sıra darbe ve sıçrama etkilerinin ayrı ayrı dalga yayılma etkisi ile birlikte ele alındığı bir çalışma olması hedeflenmiştir.

2.2. Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

2.2.1. Yakın fay etkisinin karakteristik özelliklerinin belirlenmesi üzerine yapılmış çalışmalar

Singh (1985), deprem dalgalarının yayılma kaynağının kinematikliğini, söz konusu kaynağın deprem dalgası genliği ve dalgaların biçimi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deprem dalgalarının yayılma yönünde kuvvetli frekansların meydana gelmesinin ileri yönelme etkisini, söz konusu yayılmanın ters ucunda daha düşük frekansların meydana gelmesinin ise geri yönelme etkisini oluşturduğunu ortaya koymuşlardır.

Iwan (1997), yapısal tasarımlarda davranış spektrumuna ek olarak yer değiştirme spektrumunu önermiştir. Böylelikle yakın fay yer hareketi etkisindeki yapıların sismik ölçümlerinin yapılabilmesi mümkün olabilmektedir. Yer değiştirme spektrumu yönteminde taban kesme kuvvetlerinin gerçekçi hesaplanamadığını ifade etmiştir.

Somerville, Smith, Graves ve Abrahamson (1997), kuvvetli yer hareketlerinin genlik ve periyotları üzerindeki darbe etkilerini hesaplamak amacıyla kuvvetli yer hareketlerinin etkilerini azaltan ve yakın fay verilerinin deneysel analizine dayanan bir çalışma yapmışlardır. Yakın fay yer hareketi şartlarını uygun biçimde yansıtan deprem kayıtlarının seçimini kolaylaştırmak amacıyla yakın fay parametrelerini içeren yakın fay kayıtlarını listelemişlerdir.

Somerville (1998), darbe etkilerinin oluşmasına neden olan yakın fay yer hareketi üzerine parametreler geliştirmiş, tepki spektrumuna ilave olarak, yakın fay darbe etkisini ifade eden zamana bağlı faktörlerden periyot ve genliğin etkisini incelemişlerdir. Deprem büyüklüğü ve deprem kayıt istasyonunun fay ile arasındaki mesafeye bağlı olarak bir ilişki kurmuş ve yakın fay yer hareketleri için uygun bir model geliştirmiştir.

Akkar ve Gülkan (2000), çerçeve türü yapılar üzerinde yer değiştirmeyi esas alan sismik tasarım yöntemlerinden Kapasite Spektrum Yöntemi'ni ve Yer Değiştirme Kapasite Spektrum Yöntemi'ni kullanarak yakın fay yer hareketi etkilerini incelemişlerdir. Yakın fay yer hareketinin lokal deformasyonları artırması nedeniyle lokal deformasyonların ele alındığı Yer Değiştirme Kapasite Spektrum Yöntemi'ni kullanmışlardır ve bu yöntemin daha güvenilir sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir.

Boore (2001), 1999 Chi-Chi Depremi'nde ivmeölçerlerden alınan kayıtların integrasyonu ile elde edilen yer değiştirme-zaman verilerinin eksen düzeltmesi işlemindeki "0" noktalarına bağlı olarak farklı statik yer değiştirmeler verdiğini ifade etmiştir. Meydana gelen farklılığın eksen düzeltmesinde hatalara neden olduğunu ancak söz konusu farklılığın 20 saniyeden kısa periyoda sahip tepki spektrumlarında etkili olmadığını vurgulamıştır. Yakın gelecekte daha gelişmiş ivmeölçer ve ağ üzerinden veri paylaşımı ile daha kesin veriler sunan sistemlerin kurulacağından bahsetmiştir.

Stewart, Chiou, Bray, Graves, Somerville ve Abrahamson (2001), yer hareketini değerlendirmek amacıyla performansa dayalı tasarıma bağlı olarak kullanılan bir yöntem üzerinde durmuşlardır. Söz konusu yöntemi üç aşamada ele almışlardır. İlk olarak, spektral ivme ya da periyot gibi klasik parametreler içeren yoğunluk ölçümleri ile yer hareketlerini değerlendirmişlerdir. Ardından, katlar arası yer değiştirme ve plastik mafsalları gibi ifadeleri tanımlayan parametreleri, sistem davranışı ya da hasar ölçümlerinin değerlendirilmesi amacıyla incelemişlerdir. Üçüncü aşamada ise hasar ölçümlerini dikkate alarak, söz konusu hasarların onarımları için gereken zaman konusunda bir değerlendirme yapmışlardır.

Wang, Zhou, Zhang ve Igel (2002), deprem mekanizması, kayıt istasyonunun faya uzaklığı, yerel bölge koşulları, fay kırılma doğrultusu gibi faktörlerin yakın fay yer hareketini etkilediğini ifade etmiştir. Chi-Chi Depremi'nin üç boyutlu dalga formunda modelini çıkarmışlardır.

Somerville (2002), yakın fay etkilerinin yüksek oranda ürettiği enerjiyi gerçekçi bir şekilde yansıtamadığı düşüncesiyle yakın fay özellikleri taşıyan tepki spektrumlarının tek başına yeterli olmayacağını belirtmiştir. Bu durumu gerçekçi kılmak amacıyla zaman tanım alanında lineer olmayan analizi önermiştir. Deprem büyüklüğü ile fay uzaklığının darbe hızına etkisini ifade eden bir denklem ortaya koymuştur.

Cox ve Ashford (2002), laboratuvar ortamında büyük hız darbeleri içeren yakın fay yer hareketinin özelliklerini incelemişlerdir. Söz konusu incelemeleri ölçeklendirilmiş betonarme kolon ve kolon kiriş birleşim bölgelerinin büyük hız darbe etkili yakın fay yer hareketi etkisinde deneysel olarak test edilmesi şeklinde yapmışlardır. Büyük hız darbe etkili yüklemelerin numuneler üzerindeki sonuçlarına bağlı olarak doğru modelleme ve tasarım verileri oluşturmuşlardır.

Akkar ve Gülkan (2003), çerçeve tipi yapıların katlar arası yer değiştirme talep ve limitlerini, yakın fay yer hareketlerinin uzaklık ve büyüklüğüne bağlı olarak incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçları Uniform Building Code yönetmeliğinin hükümleri ile karşılaştırmışlardır. Uniform Building Code hükümlerinin, 7.0'dan daha büyük ve 5 km'den daha yakın gerçek depremlerin oluşturduğu sismik taleplere göre oldukça küçük sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır.

Shabestari ve Yamazaki (2003), Chi-Chi Depremi'nin fay kırılma ve yönelme etkilerini temsil eden deneysel modeller oluşturmuşlardır. Yakın fay etkisi altında söz konusu modelleri, eğim atımlı fay sisteminde kullanarak, sığ ve büyük depremlere maruz kalan uzun periyotlu yapıların sismik tasarımında uygulamışlardır.

Somerville (2003), spektral genlik ile deprem büyüklüğünün arasındaki ilişkiye bağlı olarak yer hareketlerinin modellendiğini belirtmiştir. Ancak yakın fay etkilerinin deprem büyüklüğü üzerinde etkili olduğu ve bu etkinin de söz konusu ilişkide bir faktör olması gerektiğini belirtmiştir. Kaya ve toprak bölge şartları için söz konusu ilişkiyi kurarak farklı büyüklük değerlerine sahip depremler için spektral ivme değerleri elde etmiştir.

Akkar, Yazgan ve Gülkan (2004), yakın fay yer hareketinin yapısal sistemler üzerindeki etkilerinin maksimum elastik ve elastik olmayan deformasyon talepleri arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak araştırmışlardır. Darbe etkili yakın fay yer hareketinin önemli bir şekilde

etkilediği elastik olmayan deformasyonlar ile darbe içemeyen kayıtların etkisinde meydana gelen elastik olmayan deformasyonların daha doğru hesaplanabilmesini amaçlamışlardır.

Bray ve Rodriguez-Marek (2004), hız-zaman kayıtlarındaki genlik ve darbe periyotlarını basitleştirilmiş parametrelendirme ile ifade etmeyi amaçlayan bir çalışma yapmışlardır. Yakın fay yer hareketlerinin darbe etkili bileşeni için PGV ve darbe periyodunun tahmini için deneysel bağıntılar ortaya koymuşlardır. Bu çalışma sonucunda küçük depremlerin düşük darbe periyotlarının rijit yapılarda daha kritik tepkilere neden olduğunu ortaya koymuşlardır.

Mollaioli, Bruno, Decanini ve Panza (2005), yakın fay yer hareketinin darbe etkisinin yapılar üzerindeki hasarının belirlenmesini incelemişlerdir. Darbe etkisini yapının üzerinden kısa sürede geçen enerji olarak ifade etmişlerdir. Bu amaçla tek serbestlik derecesine sahip bir sistemin elastik ve elastik olmayan analizlerini yapmışlardır. Yakın fay darbe süresinin uzunluğuna bağılı olarak mevcut yönetmeliklerle karşılaştırıldığında inceledikleri yapı sistemlerinin oldukça büyük yer değiştirme ve enerji yutabilme gibi sismik tepkiler meydana getirdiğini tespit etmişlerdir.

Akkar, Yazgan ve Gülkan (2005), çerçeve tipi yapılardaki lokal yer değiştirmeleri tahmin edebilmek amacıyla elastik limitler tanımlamışlardır. Kolon kiriş rijitlik matrislerini ve spektral yer değiştirmeleri göz önünde bulundurarak zemin kattaki ve katlar arasındaki yer değiştirmeler hakkında fikir edinmişlerdir. Böylelikle darbe içermeyen yakın fay yer hareketi etkisinde 0.3 sn ve 1.5 sn hakim periyoda sahip çerçeve türü yapıların sismik davranışını izleyebilmişlerdir. Mevcut yapıların sismik davranışının incelenmesi ve yapılacak olan yeni yapıların tasarımında söz konusu yöntemin kullanışlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Dicleli ve Buddaram (2007), sismik izolasyona sahip köprülerin yakın fay yönelme etkisi altındaki tasarımı için eşdeğer lineer analizini ve zaman tanım alanında lineer olmayan analizini yaparak karşılaştırmalı olarak değerlendirmişlerdir. Eşdeğer lineer analizin sonuçlarının yakın fay yer hareketinin büyüklüğü, fayın yapıya olan uzaklığı ve izolatörün akma dayanımına bağılı olarak değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Sonuç olarak yakın fay bölgelerindeki köprülerin ön tasarım aşamasında eşdeğer lineer analiz

kullanılması gerektiğini ancak son tasarım aşamasında üç boyutlu olarak zaman tanım alanında lineer olmayan analizinin yapılmasının daha uygun olacağını önermişlerdir.

Mortezai ve Ronagh (2013), betonarme kolonların yakın ve uzak fay yer hareketi etkisindeki lineer olmayan davranışlarını ve plastik mafsallık uzunluklarını incelemişlerdir. Zaman tanım alanında 1316 adet elastik olmayan analiz yapmışlardır. Deneysel veriler ve sonlu elemanlar yöntemine göre hesaplanan sonuçların karşılaştırmalı değerlendirmesinde, yakın fay yer hareketi için betonarme kolonların plastik mafsallık uzunluklarının daha kısa olduğunu ifade etmişlerdir.

2.2.2. Yakın fay etkisinin köprü dışındaki yapı sistemleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi üzerine yapılmış çalışmalar

Mahin, Bertero, Chopra ve Collins (1976), Olive View Medical Center yapısında 1971 San Fernando Depremi yakın fay yer hareketi etkisinde oluşan hasarla ilgili bir rapor hazırlamışlardır. Şiddetli darbe etkilerine maruz kalan yapıda oldukça fazla kat ötelenmeleri gözlemlenmiştir. Ayrıca yakın fay yer hareketlerinin büyük süneklik talepleri meydana getirdiği buna karşın mevcut yönetmeliklerin yetersizliğini ve iyileştirilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir.

Anderson ve Bertero (1987), Imperial Valley Depremi yakın fay deprem kaydı için 10 katlı çelik çerçeve sistemden oluşan bir yapının lineer olmayan dinamik analizini yapmışlardır. Yakın fayın yıkıcı özelliklerinden yönelme etkisinin önemini belirtmişlerdir. Bina türü yapıların alt katlarında artan eksenel yük ve yakın fay yer hareketi etkisi ile yanal yer değiştirmelerin artmış olduğunu ifade etmişlerdir. Deprem yer hareketinin maksimum ivme değerine ek olarak maksimum hız ve maksimum yer değiştirme değerlerinin de yapıların dinamik davranışlarının tanımlanmasında önemli olduğunu vurgulamıştır. Rijit yapılarıdaki süneklik talebinin darbe periyodunun yapının doğal periyoduna oranının artmasına bağlı olarak artış gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

Hall, Heaton, Halling ve Wald (1995), 7.0 büyüklüğünde yakın fay yer hareketi etkisindeki 20 katlı çelik çerçeveden oluşan bir yapının sismik davranışını bilgisayar yardımıyla çözümlenmişlerdir. Yapıdaki kaynaklı çerçeve bağlantılarının yakın fay yer hareketinin şiddetli etkisinden dolayı yapıda göçme ihtimali oluşturacak zayıflıklar meydana getirdiği sonucunu ortaya koymuşlardır.

Makris ve Chang (1998), sıvı ve sürtünme etkili sönümleyicilerin ve taban izolatörlerinin yakın fay yer hareketleri etkisindeki performanslarını incelemişlerdir. Yakın fay yer hareketleri olarak yapay yer hareketleri üretmiş analizlerde de bunlara yer vermişlerdir. Söz konusu sistemlerin yapının yer değiştirmelerinde azaltıcı etki gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Anderson, V. Bertero ve R. Bertero (1999), çelik çerçeve ve betonarme yapıların yanal etkilere karşı sırasıyla yanal çalışan elemanlar ve perde duvarlar ile güçlendirilerek söz konusu yapıların dinamik davranışlarını incelemişlerdir. Darbe etkili yer hareketi için yapılan çözümlemede uzun periyoda sahip yapıların perde duvarlarla güçlendirilmesi ile sistemin rijitliğinin artırılmasının etkili bir önlem olmadığını ortaya koymuşlardır. Bu durumun yapı rijitliğinin artışına bağlı olarak sistemin periyodundaki azalma nedeniyle spektral ivme değerinin artış göstermesi ile açıklamışlardır.

Chopra, Chintanapakdee (2000), tek serbestlik derecesine sahip bir sistemin yakın ve uzak fay yer hareketi etkisi altındaki davranışını karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Karşılaştırmaların birçoğunda yakın fay yer hareketinin fay normal bileşeni etkisinde daha büyük yer değiştirmelerin oluştuğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca aynı süneklilik parametreleri için yakın fay yer hareketi etkisi altında daha kritik gerilmelerin meydana geldiğini vurgulamışlardır.

Alavi ve Krawinkler (2001), tek ve çok serbestlik derecesine sahip sistemlerin elastik ve elastik olmayan davranışlarını yakın fay yer hareketi etkisinde ele almışlardır. Temelinde mafsallı veya sabit duvarlar ile güçlendirmesi yapılmış çerçeve sistemleri karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucu mafsallı duvarlarla yapılan güçlendirmelerin daha etkin sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir.

Kalkan, Adalier ve Pamuk (2004), karayolu köprüleri, binalar, benzin istasyonları, su hattı ve hareketsiz taşıtlar üzerinde Kocaeli ve Düzce depremlerinin etkilerini incelemiş, yakın fay özelliklerinin önemli derecede etkili olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Yerel bölge koşullarının sismik tepkilerin artmasında önemli bir rol oynadığını ortaya koymuşlardır.

Umut (2006), yakın fay yer hareketleri etkisinde oluşan yer değiştirmelerin kritik seviyelere ulaşmasını engellemek amacıyla sıvı sönümleyiciler kullanmıştır. Yapay yakın

fay etkili ve yakın fay etkisi içermeyen yer hareketlerini izolatörlü köprü ve bina üzerinde incelemiştir. Bina sistemini ankastre, viskoz sönümleyicili, kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü ve kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün viskoz sönümleyicilerle birlikte kullanıldığı dört farklı durum için çözümlenmiştir. En etkin sonuç viskoz sönümleyicili sistem için elde edilmiştir.

Kalkan E. ve Kunnath K. (2006), 4, 6 ve 13 katlı çelik çerçeve sistemden oluşan bir yapı üzerinde, darbe ve sıçrama etkileri içeren üretilmiş yapay yer hareketlerinin gerçek yakın ve uzak fay kayıtlarıyla karşılaştırmalı dinamik analizlerini yapmışlardır. Yakın fay yer hareketlerinin darbe etkisinden ibaret olmadığı sıçrama etkileri ile birlikte daha yıkıcı sonuçlar meydana getirdiği sonuçlarını gözlemlemişlerdir.

Hasgür ve Umut (2007), temel izolatörlü 6 açıklığa sahip betonarme bir köprü ve 5 katlı betonarme bir binaya yakın fay etkisi içeren depremlerin etkilerini incelemişlerdir. Binayı mevcut hali, viskoz sönümleyicili, kurşun çekirdekli ve kauçuk izolatörlü ve kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün viskoz sönümleyicilerle birlikte kullanıldığı dört farklı durum için çözümlenmiştir. Yakın fay etkisinde yer değiştirme ve hız değerlerinin artış gösterirken, viskoz sönümleyicilerin bu değerleri oldukça azaltıcı etkiler gösterdiği sonucunu ortaya koymuşlardır.

Bayraktar, Altunışık, Sevim, Kartal ve Türker (2008), baraj rezervuar temel etkileşimini ağırlık, kemer, beton yüzeyli kaya dolgu ve kil çekirdekli kaya dolgu baraj sistemleri üzerinde yakın fay yer hareketi etkisinde ele almışlardır. Sonlu eleman analiz yöntemi ile yapılan çözümlmelerde yer değiştirme ve asal gerilmelerin yakın fay yer hareketi etkisinde oldukça artış gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Bayraktar, Altunışık, Sevim, Kartal, Türker, ve Bilici (2009), yakın ve uzak fay etkileri altında beton kemer ve beton yüzeyli kaya dolgu barajların baraj rezervuar temel sistemlerinin lineer olmayan analizlerini yapmışlardır. Sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen yer değiştirmeler ve asal gerilmeler yakın fay etkileri ile sıradan yer hareketleri için karşılaştırıldığında yakın fay etkisi için oldukça kritik sonuçların elde edildiğini gözlemlemişlerdir.

Bai, Hao ve Li (2010), uzun açıklıklı çelik kafes kemer taşıyıcı sisteme sahip hangar tipi bir yapının, yer hareketinin dalga yayılma, zemin ve korelasyon etkileri altındaki sismik davranışını incelemişlerdir. Karşılaştırmaları Çin Sismik Şartnamesi esasları ile yapmışlardır. Sonuçların kafes kemer formundaki sistem üzerinde düşey etkilerin yatay etkilerden daha kritik tesirler oluşturduğunu ifade etmişlerdir. Daha doğru tasarımlar için söz konusu yer hareketi değişimlerinin göz önünde bulundurulması gerektiğini önermişlerdir.

Hariri-Ardebili ve Mirzabozorg (2012), simetrik beton kemer baraj yapısı üzerinde yakın ve uzak fay yer hareketi etkisi altında performansını karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Rijit ve kütlesiz temel ile baraj etkileşimini lineer olarak inceledikleri çalışmada yakın fay yer hareketi etkisi altında daha büyük yer değiştirme ve gerilmelerin oluştuğunu ifade etmişlerdir.

Zhang ve Wang (2013), yakın ve uzak fay yer hareketi etkisinde Hindistan sınırları içerisinde yer alan Koyna beton ağırlık türü barajın baraj rezervuar temel etkileşimini lineer olmayan dinamik analizlerle karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda yakın fay yer hareketlerinin baraj üzerinde ve baraj rezervuar temel etkileşiminde oldukça büyük hasarlara neden olduğu sonucunu ortaya koymuşlardır.

2.2.3. Yakın fay etkisinin köprü sistemleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi üzerine yapılmış çalışmalar

Liao, Loh, Wan, Jean ve Chai (2000), yakın ve uzak fay yer hareketi etkisindeki bir karayolu köprüsünün sismik davranışını incelemişlerdir. Köprünün tabanında kesme kuvvetlerinin ve yapı genelinde sismik süneklik taleplerinin yakın fay yer hareketi etkisinde artış gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Megawati, Higashihara ve Koketsu (2001), Akashi Boğazı'ndaki fayların merkez üssü yakınında sismik verilerin elde edilememesinden dolayı fay kırılma süreci hakkında bilgi edinmek amacıyla kırılmaya ait detayları incelemişlerdir. Bu amaçla Akashi Kaikyo köprüsünün kulelerine ait titreşim kayıtlarından çıkarım yaparak köprü ayaklarında meydana gelen yakın fay yer hareketini tespit etmişlerdir. Ön analiz aşaması için söz konusu çıkarımın sorun teşkil etmediğini ancak Akashi Boğazı'nda sonradan meydana gelen fay kırılmasının beklenmeyen sismik sonuçlara neden olduğunu ortaya koymuşlardır.

Park, Ghasemi, Shen ve Yen (2002), yapay yakın fay yer hareketi etkisindeki izole edilmiş Bolu Viyadüğü-1'in lineer olmayan sonlu eleman analizini gerçekleştirmişlerdir. Mafsallarda ve enerji aktarım noktalarında sismik izolatörlerin tasarım kapasitelerinin aşılmasına bağlı olarak hasarlar gözlemlenmiştir. Köprü üst yapısının göçmesinde boyuna ve enine doğrultudaki deprem takozlarının önemli bir rol oynadığı sonucunu ifade etmişlerdir.

Gibson, Filiatrault ve Ashford (2002), köprü mafsallarının performansını ölçmek amacıyla 1:2 ölçekli 4 adet kolon-kiriş birleşim bölgesini yüksek hız darbeleri etkisinde incelemişlerdir. Söz konusu numunelerin 2 tanesini 1971 San Fernando Depremi öncesine göre tasarlarlarken, diğer 2 tanesini ise günümüz şartlarına göre tasarlamışlardır. 1971 San Fernando Depremi öncesine göre tasarlanan numunelerdeki hasar seviyesinin, günümüz şartlarına göre tasarlanan numunelerdeki hasar seviyesine göre oldukça fazla hasar gördüğünü ifade etmişlerdir.

Orozco ve Ashford (2002), büyük hız darbelerine maruz %22 ölçekli üç adet betonarme köprü kolonundan bir tanesini statik ve diğer iki tanesini dinamik yükleme altında deneysel olarak incelemişlerdir. Plastik mafsallık uzunluklarının köprü kolonu yarıçapına eşit değerlerde olduğunu ve %10~15 arasında değişen oranlarda gerilme artışının meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Köprü kolonlarının performansı üzerinde hız darbelerinin asgari düzeyde etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Park, Ghasemi, Shen, Somerville, Yen ve Yashinsky (2004), yakın fay yer hareketi etkisinde Bolu Viyadüğü'nün sismik davranışını araştırmışlardır. Köprü üst yapısında meydana gelen yer değiştirmelerin viyadük ayaklarına göre mafsallık kapasitelerini aşmış olduğunu belirlemişlerdir. Tabliye açıklıklarının göçmesinde boyuna ve enine doğrultudaki deprem takozlarının önemli bir rol oynadığı sonucunu ifade etmişlerdir.

Liao, Loh ve Lee (2004), bir karayolu köprüsünün izole edilmiş ve izole edilmemiş sistemler olarak yakın ve uzak fay yer hareketleri etkisindeki davranışlarını karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Yer hareketlerinin PGV/PGA değerlerinin izole edilmiş köprü'nün sismik davranışları üzerinde önemli bir faktör olduğu sonucunu ifade etmişlerdir.

McCallen ve diğerkleri (2006), yakın fay yer hareketinin etkilerini esnek asma köprü türü olan Oakland Bay Köprüsü üzerinde araştırmışlardır. Kablo destekli köprülerin lineer olmayan davranışını, yapısal simülasyon modeli geliştirerek incelemişlerdir. Düşük frekans ve dalga form özelliğindeki yakın fay hareketlerinin asma köprüler üzerinde önemli etkiler meydana getirdiğini tespit etmiş ve köprü tasarım aşamasında bu etkilerin göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmişlerdir.

Xinle, Huijuan ve Xi (2007), büyüklüğü 4.5 ile 8 arasında değişen ve 15 km'den daha yakında yer alan 130 farklı yakın fay yer hareketinin düşey bileşeninin bir karayolu viyadük sistemi üzerindeki sismik etkilerini incelemişlerdir. Yakın fay yer hareketinin darbe etkisine maruz köprüde uzak fay yer hareketi etkisi altındaki yer değiştirme ve taban kesme kuvvetlerinden oldukça büyük sonuçlar verdiğini buna karşın eğilme momenti değerinin daha az oranda artış gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Jia ve Ou (2008), darbe etkisi içeren yakın fay yer hareketinin etkilerini eğik kablo askılı bir köprü sistemi üzerinde incelemişlerdir. Uzun açıklıklı eğik askılı köprülerin sismik davranışını incelemek amacıyla zaman tanım alanındaki analiz yöntemini kullanmışlardır. Hakim periyodu uzun olan yapılar üzerinde darbe etkisinin oldukça şiddetli hasarlara neden olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca yer hareketinin spektral ivme ve spektral hız değerleri ve PGV/PGA oranı ile yapısal davranış arasında doğrusal bir ilişkinin olduğunu ifade etmişlerdir.

McCallen, Astaneh-Asl, Larsen ve Hutchings (2009), uzun açıklığa sahip asma köprülerin düşük frekanslı yakın yer hareketi etkisi altındaki davranışını nümerik olarak incelemişlerdir. Tabliye sistemine ait uzun dalga modlarının yakın fay yer hareketinden şiddetli bir şekilde etkilendiğini ifade etmişlerdir. Böylelikle geniş bantlı yakın fay yer hareketlerinin uzun açıklıklı kablo destekli köprü sistemleri üzerine oldukça etkili olduğu sonucuna varmışlardır.

Jónsson, Bessason ve Haflidason (2010), South Iceland Depremi'ni ele alarak Oseyrar Köprüsü'nün mevcut durumunun tespiti üzerine çalışmışlardır. Çalışma sonucunda köprü ayaklarının üst noktalarındaki beton tutucuların ezildiği ve köprü ayaklarındaki kenar duvarların hasar görmüş olduğu sonucunu ifade etmişlerdir. Gelecekte yakın fay yer hareketlerine karşı oluşabilecek tehlikeleri önlemeyi amaçlayan bir çalışma yapmışlardır.

Brown ve Saiidi (2011), 1:4 ölçekle modellemiş oldukları köprü ayaklarını sarsma tablasında yakın ve uzak fay yer hareketleri etkisiyle test etmiş, yaptıkları deneysel çalışmada köprüye ait dinamik davranışlara ulaşmayı amaçlamışlardır. Sonuç olarak yakın fay yer hareketi etkisinde daha yüksek mertebelerde kesit tesirleri ve yer değiştirme değerleri ve bunlara bağlı olarak önemli hasarların oluştuğunu saptamışlardır.

Shrestha ve Tuladhar (2012), yakın fay düşey yer hareketi etkisini Karnali eğik kablo askılı köprüsü üzerinde incelemişlerdir. Yakın fay yer hareketinin düşey bileşeninin köprünün kablo ve kule elemanlarının eksenel davranışını oldukça az etkilediği sonucuna varmışlardır. Ayrıca yapının doğal periyodunun hız darbe periyodunda küçük olduğu durumlarda yönelme etkisinin yapı üzerinde kritik etkiler meydana getirdiğini tespit etmişlerdir.

Dolati, Taghikhany ve Rahai (2012), yakın ve uzak fay yer hareketleri etkisinde üç boyutlu bir karayolu köprüsünün lineer olmayan analizini nümerik olarak incelemişlerdir. Yakın fay yer hareketlerinin uzak fay yer hareketlerine oranla oldukça yüksek sismik tepkiler verdiği sonucuna ulaşmışlardır. Yakın fay yer hareketlerinin deprem kaynağı, yerel bölgenin geometrik özellikleri ve yer hareketinin genliğine bağlı olarak daha şiddetli etkiler oluşturabileceğini ifade etmişlerdir.

Jalali, Jokandan, Trifunac (2012), eşit üç açıklığa sahip rijit tabliyeli bir köprünün yakın fay yer hareketi etkisi altındaki dinamik davranışını incelemişlerdir. Mafsal bölgelerindeki kesme kuvvetlerinin ve köprü ayaklarındaki yer değiştirmelerin, asinkronize yer hareketi için yapılan çözümlemelerde, düşük frekanslı rijit yapılarda azalma gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

Adanur, Altunışık, Bayraktar ve Akköse (2012), Boğaziçi ve Fatih Sultan Mehmet asma tipi köprülerinin yakın ve uzak fay yer hareketi etkisi altındaki geometrik olarak lineer olmayan dinamik analizini yapmışlardır. Köprü yer değiştirme ve kesit tesirlerini sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplamışlardır. Köprü sistemleri üzerinde yakın fay yer hareketlerinin uzak fay yer hareketlerinden daha kritik yer değiştirme ve kesit tesirlerine neden olduğunu ortaya koymuşlardır.

Ismail, Casas ve Rodellar (2013), yakın fay etkisi altındaki sismik davranışını incelemek amacıyla Bill Emerson Memorial eğik kablo askılı izolasyon sistemli köprüsünü ele almışlardır. Yapısal ivme ve yer değiştirme taleplerini kontrol etmek amacıyla izolasyon sistemini kullanmışlardır. Eğik kablo askılı köprülerin yakın fay yer hareketi etkilerinden, izolasyon sistemi ile korunabildiklerini ortaya koymuşlardır.

Yasrebi ve Ghafory-Ashtiany (2014), yakın ve uzak fay asinkronize yer hareketlerinin etkisi altında öngermeli kirişlere sahip betonarme bir köprünün lineer olmayan analizini yapmışlardır. Asinkronize yer hareketi etkisinde köprünün daha fazla sismik tepkiler ürettiğini gözlemlemişlerdir. Bu durumu yakın fay yer hareketinin darbe etkisinin yapının lineer olmayan davranışında etkili olmasıyla ilişkilendirmişlerdir.

Ling-kun, Li-Zhong, Wei, Wen-shuo, Zhi-ping ve Ge-wei (2014), darbe etkili yakın fay yer hareketi etkisinde yüksek hızlı demiryolu köprüsünün lineer olmayan analizini yapmışlardır. Sıradan deprem kayıtları ile karşılaştırıldığında köprü ayakları ve kirişlerinde daha yüksek sismik yer değiştirmelerin olduğu sonucuna varmışlardır.

Shrestha (2015), eğik kablo askılı Karnali Köprüsü'nü yakın fay yer hareketinin düşey bileşeni etkisi altında üç boyutlu köprü modeli için incelemiştir. Düşey etkinin yanında yakın fay yatay yöndeki yer hareketinin de aynı anda köprüye etkimesi durumunu da ele almıştır. Böylelikle yakın fay yer hareketinin düşey bileşeninin köprü sismik davranışı üzerindeki etkilerinin oldukça az olduğunu, yatay ve düşey bileşenin aynı anda etkimesi durumunun köprü sismik davranışı üzerindeki etkisinin daha da az olduğunu ifade etmiştir.

Sevim, Atamturktur, Altunışık ve Bayraktar (2016), yakın fay ve uzak fay yer hareketleri etkisinde tarihi kemer köprülerin sismik tepkilerini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Yakın fay yer hareketi etkisinde daha fazla yer değiştirme ve gerilmelerin olduğu kemer köprünün daha yüksek enerjiye maruz kaldığını ifade etmişlerdir.

Mosleh, Razzaghi, Jara ve Varum (2016), yakın fay yer hareketi etkisi altında betonarme bir köprünün kırılma zarfını elde ederek hasar görülebilirliğinin değerlendirilmesini yapmışlardır. Böylelikle köprünün deprem dayanımının yetersiz olduğunu belirlemişlerdir.

Karaca ve Soyluk (2017), Bir deprem fayı yakınında meydana gelen yer hareketlerinin, sismik kaynaktan uzakta kaydedilen yer hareketlerinden önemli ölçüde farklı olduğunu ifade etmişlerdir. Yakın zamanda gerçekleşen Northridge 1994, Kobe 1995, Chi-Chi 1999, Kocaeli 1999 depremlerinde yakın fay bölgesinde kaydedilen yer hareketlerinin başlangıç evresinde yapısal sistemlere yüksek enerji iletimi sağlayan darbe tipi karakteristikler gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Bu nedenle, yakın fay bölgelerindeki yer hareketlerinin özellikle büyük boyutlara sahip yapılar için dikkate alınması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Karaca ve Soyluk (2017), uzun açıklıklı eğik kablo askılı ve asma köprülerin yakın ve uzak fay yer hareketi etkisi altındaki sismik davranışını incelemişlerdir. Yakın fay yer hareketlerini darbe etkili ve darbesiz şeklinde sınıflandırmış, darbe etkili yer hareketlerinin yapıların sismik davranışı üzerinde önemli ölçüde etkili olduğu sonucuna varmışlardır.

2.2.4. Yakın fay etkisinin çelik kemer köprü sistemleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi üzerine yapılmış çalışmalar

Lee, Lichu ve Shide (2006), uzun açıklıklı çelik kemer köprü sistemi olan Lupu Köprüsü üzerinde yakın fay yer hareketi etkisi altındaki sismik davranışlarını incelemişlerdir. Bunun yanında Amerikan ve Çin sismik şartnamelerinin karşılaştırmalı incelemesini de ele almışlardır. Yakın fay yer hareketi etkisi altındaki çözümlemelerde köprünün büyük yer değiştirmelere ve kemer tepe noktasında hasar oluşturabilecek düşey yer değiştirmeleri elde etmişlerdir. Özellikle kemer eleman üzerinde eksenel yükte artış tespit etmişlerdir.

Yan X. ve Lee C.G. (2007), dalga yayılma ve yakın fay yer hareketlerinin çelik kemer köprüleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. 1994 Northridge ve 1999 Chi-Chi depremlerine ait kayıtları kullanmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda dalga yayılma etkisinin karmaşık bir değişkenlik gösterdiğini, yapıda en kritik etkilerin olduğu kısmın kemer olduğunu ve sıçrama etkisinin kritik yer değiştirmelere neden olduğunu göstermişlerdir.

Liu ve Zhang (2016), çelik kemer formunda beton dolgulu çelik tüp kesit elemanlardan oluşan kemer türü bir köprünün yakın fay yer hareketi dalga yayılma etkisi için narinlik analizini yapmışlardır. Yakın fay yer hareketi olarak 1999 Chi-Chi Depremi'ni ele almış, 280 m merkez açıklığa sahip köprü sisteminin ANSYS sonlu eleman programında çözümlemişlerdir. Söz konusu köprü modeli için narinlik (kırılgenlik) eğrisi

geliştirmişlerdir. Sonuç olarak yakın fay yer hareketinin dalga yayılma etkisinin açıkça daha yıkıcı sismik tepkilere neden olduğunu ortaya koymuşlardır.

2.3. Çalışmanın Kapsamı

Bu tez çalışmasında yakın fay yer hareketi özellikleri içeren yapay ve gerçek deprem kayıtları ile dalga yayılma etkisinin uzun açıklıklı çelik kemer bir köprü üzerindeki etkilerinin incelendiği dinamik analizler yapılmıştır. Deprem kayıtları Pacific Earthquake Engineering Research Center'dan ve Prof. D.M. Boore'dan işlenmemiş ham kayıtlar şeklinde temin edilmiştir. Söz konusu çalışma kapsamında elde edilen kayıtlardaki değerlere bağlı olarak yakın fay özelliklerinden sıçrama ve darbe etkilerini içeren yapay yer hareketleri üretilmiş ve gerçek deprem kayıtları ile karşılaştırmalı dinamik analizleri yapılmıştır. Dinamik analizlere esas alınan uzun açıklıklı çelik kemer köprü SAP2000v14.1 sonlu eleman analiz programı ile modellenmiş ve zaman tanım alanında dinamik analizi yapılmıştır. Zaman tanım alanında yüklemelerin tamamı sıçrama etkisinin bir sonucu olan statik yer değiştirmeleri kapsamı ve karşılaştırmaların objektif olması amacıyla yer değiştirme-zaman cinsinden yapılmış ve darbe etkisi ile sıçrama etkilerini yalın bir şekilde incelemek amacıyla yapının mesnet noktalarından köprü eksenine doğrultusunda ayrı ayrı uygulanmıştır. Yukarıda genel olarak ifade edilen çalışma kapsamı, aşağıda açıklanan bölümlerden oluşmaktadır.

Birinci bölümde tez çalışması hakkında bilgi verilmiş, konunun önemini ifade eden bilgiler sunulmuştur.

İkinci bölümde tez çalışmasının amacından ve kapsamından bahsedilmekte olup konu ile ilgili yapılmış benzer çalışmalar hakkında bilgilere yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde fayların kırılma mekanizmaları, türleri ve yakın fay bölgelerindeki etkileri hakkında bilgiler sunulmuştur. Yakın fay etkilerini esas alan uluslararası yönetmeliklere değinilerek konu hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde çalışma kapsamında ele alınan yakın fay etkileri içeren yer hareketlerinin doğu-batı doğrultusunda darbe ve kuzey-güney doğrultusunda sıçrama etkili bileşenleri verilmiştir. "Yöntem-1" olarak tanımlanan yer hareketlerinin gerçek deprem

kayıtları, “Yöntem-2” ve “Yöntem-3” olarak tanımlanan yer hareketlerinin ise yakın ve uzak fay kayıtları esas alınarak üretilen yapay yer hareketleri olduğu ifade edilmiştir. Bunların yanı sıra herhangi bir yer hareketinin yakın fay olabilmesi için taşınması gereken özelliklerden bahsedilmiştir. Son olarak kayıtlarda gözlemlenen en yüksek hız, ivme ve statik yer değiştirme gibi değerler özet olarak sunulmuştur.

Beşinci bölümde yer hareketinin değişimi hakkında bilgiler verilmiştir. Bu değişime neden olan faktörler ifade edilerek özellikle dalga yayılma etkisi üzerinde durulmuştur. Dinamik analizlerde dalga yayılma etkisini kapsayan teorik bilgiler ve asinkronize yer hareketinin çözümü için kullanılan denklemler verilmiştir.

Altıncı bölümde tez çalışmasına konu olan New River Gorge Kemer Köprüsü’nün teknik özellikleri hakkında bilgi ve görseller sunulmuştur. Bunun yanında oluşturulan sonlu eleman modeli tanımlanmış, kesitler ve yapının sonlu eleman modeli hakkında bilgiler verilmiştir.

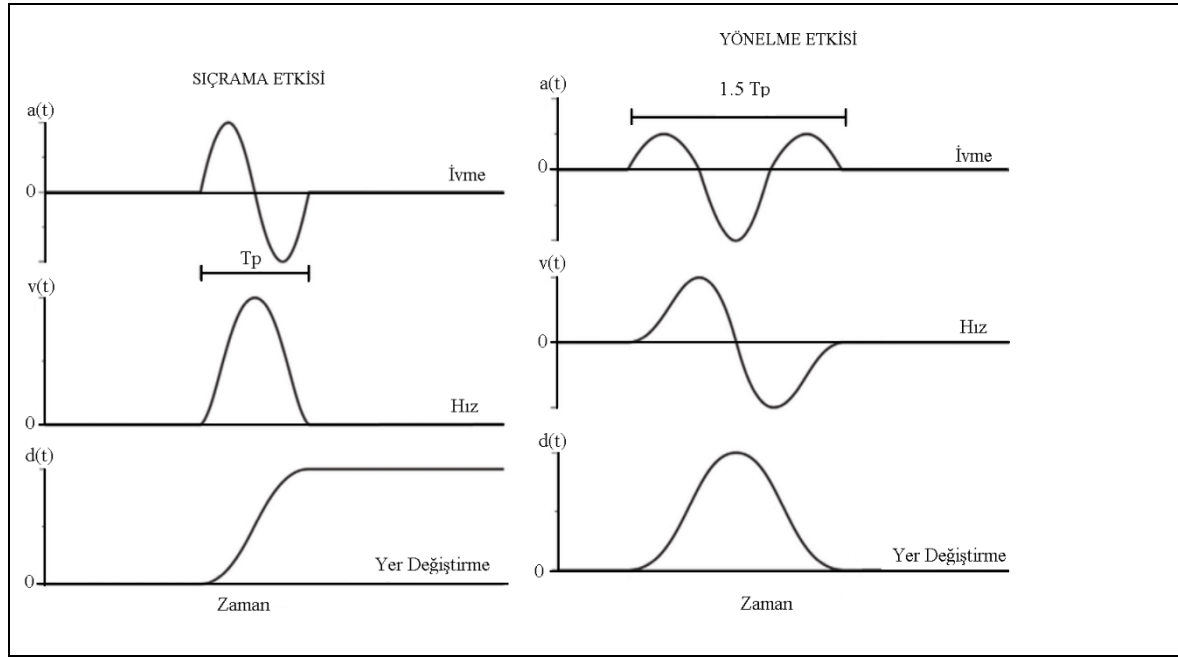
Yedinci bölümde dikkate alınan çelik kemer köprü modelinin, dinamik analizi, “Yöntem-1”, “Yöntem-2” ve “Yöntem-3” şeklinde tanımlanan gerçek ve yapay yakın fay yer hareketleri için çözümlenmiş ve elde edilen tepkiler karşılaştırmalı olarak verilmiştir. “Yöntem-1” şeklinde tanımlanan gerçek yakın fay yer hareketi kayıtlarının uzak fay yer hareketleri ve yakın fay etkilerinden darbe etkisi ile sıçrama etkisinin karşılaştırması da bu bölümde yapılmıştır. Bu bölümde ayrıca “Yöntem-1” şeklinde tanımlanan yakın fay ve HWA032 uzak fay yer hareketlerinin sonlu dalga yayılma hızları için dinamik analizleri yapılmış ve köprünün tabliye ve kemerine ait sismik tepkileri verilmiştir.

Sekizinci bölümde tez çalışması kapsamında yapılan çözümlemelerin sonuçları ve bu sonuçlara dayanılarak yapılan öneriler verilmiştir.

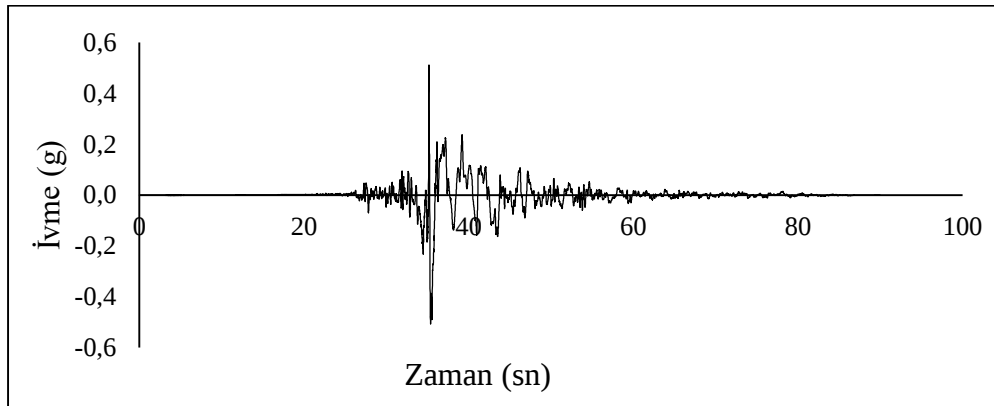
3. YAKIN FAY YER HAREKETLERİ

Depremi yapılar üzerindeki etkileri birçok faktöre bağılı olarak değişkenlik gösterir. Depremi büyüklüğü, bölgesel zemin özellikleri ve faya olan uzaklık en önemlilerindendir (Cox ve Ashford, 2002). Deprem esnasında faya yakın bölgelerde gerçekleşen yer hareketleri yakın fay yer hareketleri olarak tanımlanmaktadır (Choi ve diğerleri, 2003).

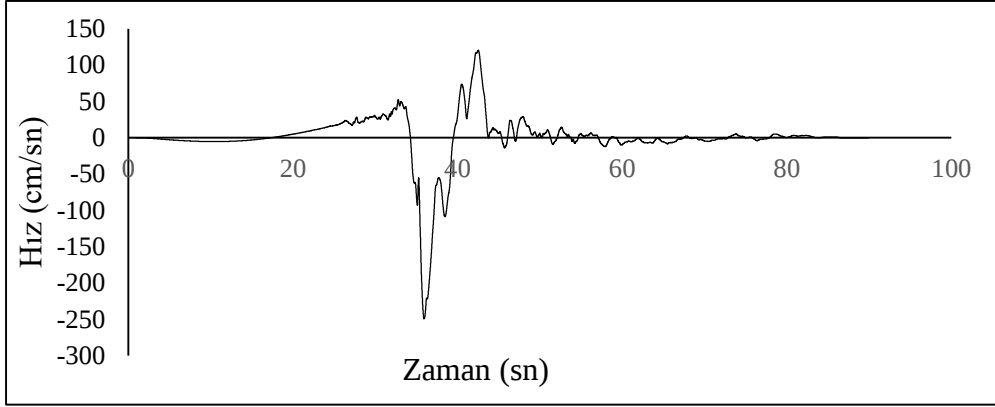
Yakın fay bölgesi olarak ifade edilen alan, kırılan faya 20-60 km uzaklıktaki bölge olarak tanımlanabilir. Bu bölgede elde edilen deprem kayıtları, daha uzak noktalarda elde edilen kayıtlardan oldukça farklı özellikler göstermektedir. Fayın kırılma mekanizması, tektonik özellikler ve fay kırığının yayılma hızına bağılı olarak yakın fay yer hareketlerinde “yönelme etkisi” ve “sıçrama etkisi” olarak adlandırılan yakın fay karakteristik özellikleri ortaya çıkmaktadır. Yakın fay bölgesindeki yapılar üzerinde önemli enerji yutma ve süreklilik talep eden bu özelliklerin dikkate alınması gerekmektedir (Steawart ve diğerleri, 2001). Yakın fay kayıtlarında yönelme ve sıçrama etkisi, genel olarak deprem kayıtlarının formundan anlaşılabilir. Farklı karakteristik özelliğe sahip yönelme ve sıçrama etkileri farklı biçimlerde kendini göstermektedir. Yönelme etkisi genel olarak ivme-zaman kayıtlarında açıkça gözlemlenememekte, ancak hız-zaman kaydı başlarında uzak fay kayıtlarına oranla önemli ölçüde büyük PGV değerlerine sahip olmaktadır. Ayrıca hız-zaman kaydı başlarında açıkça ani darbe etkisi görülmektedir (Bray ve Marek-Rodriguez, 2004). Söz konusu yönelme etkisi deprem esnasında kırılan faydan kayma dalgası hızı ve yayılan sismik enerjinin birikimli etkisi ile ortaya çıkmaktadır. İleri yönelme etkisi olarak ifade edilen bu olay, faya dik doğrultuda büyük genlikli darbe etkisine ve dik bileşene ait en büyük hız değerinin, paralel bileşene ait en büyük hız değerinden daha büyük olması sonucunu doğurmaktadır. (Somerville ve diğerleri, 1997).



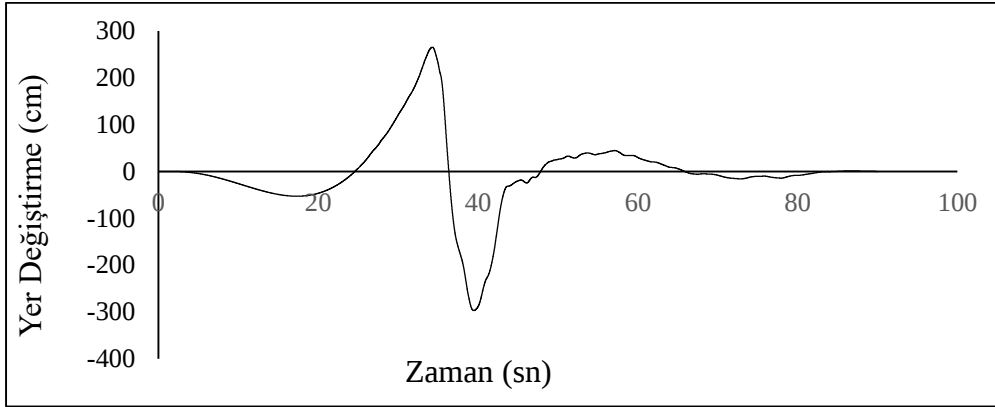
Şekil 3.1. Sıçrama ve yönelme etkilerinin ivme, hız ve yer değiştirme-zaman grafiklerindeki şematik gösterimi (Kalkan ve Kunnath, 2006)



Şekil 3.2. TCU068 istasyonu doğu-batı ivme-zaman kaydı



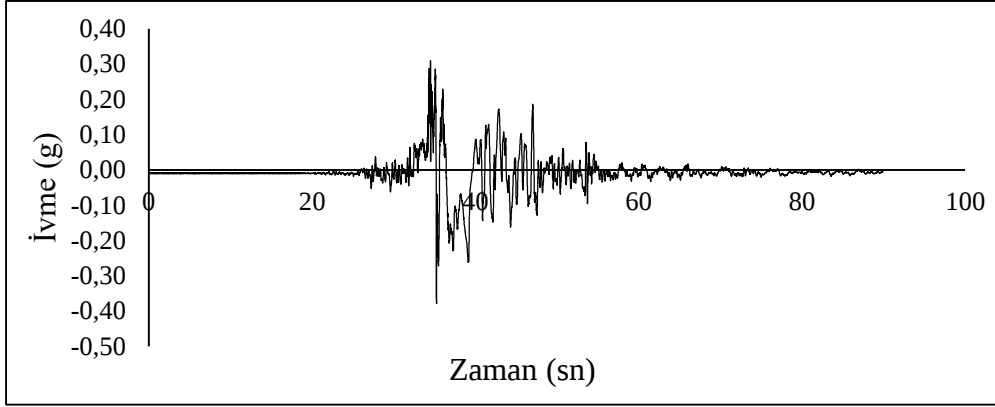
Şekil 3.3. TCU068 istasyonu darbe etkili doğu-batı hız-zaman kaydı



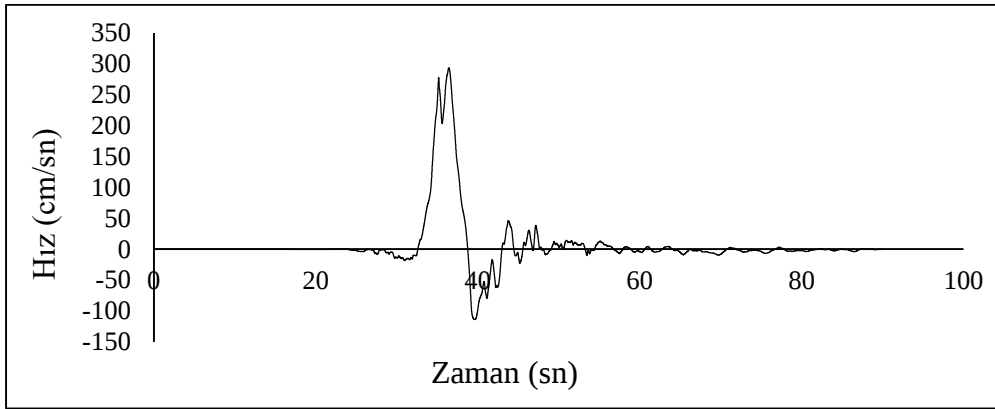
Şekil 3.4. TCU068 istasyonu doğu-batı yer değiştirme-zaman kaydı

Şekil 3.2, 3.3, ve 3.4'te gösterildiği gibi TCU068 istasyonu doğu-batı doğrultusu hız-zaman yakın fay yer hareketi kaydında darbe etkisi açıkça görülmektedir.

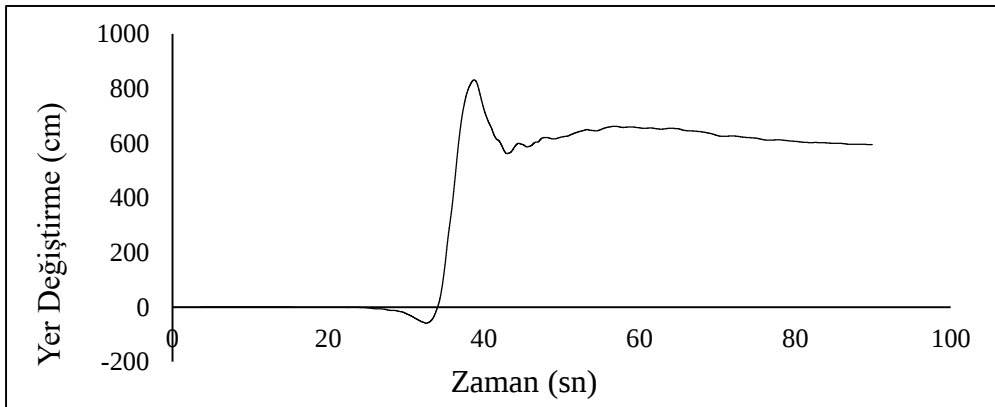
Yakın fay yer hareketinin önemli özelliklerinden diğeri de sıçrama etkisi olarak ifade edilen kalıcı yer değiştirmelere neden olan etkidir. Kırılan fayın iki tarafının deprem sonrası ilk konumlarına göre farklı noktalara gelmiş olmalarından kaynaklanan sıçrama etkisi, kalıcı yer değiştirmelere neden olmaktadır. Söz konusu kalıcı yer değiştirmeler, yapının üzerinde önemli ölçüde yer değiştirme talepleri hatta şiddetli sismik hasarlar ortaya çıkarmaktadır. Yönelme etkisi ile ortaya çıkan darbe fayın kırılma yönüne dik doğrultuda ve sıçrama etkisi ile ortaya çıkan kalıcı yer değiştirmeler ise fayın kırılma mekanizmasına bağlı olarak fayın kırılma yönüne dik veya paralel olmaktadır. (Park ve diğerleri, 2004).



Şekil 3.5. TCU068 istasyonu kuzey-güney ivme-zaman kaydı



Şekil 3.6. TCU068 istasyonu darbe etkili kuzey-güney hız-zaman kaydı



Şekil 3.7. TCU068 istasyonu sıçrama etkili kuzey-güney yer değiştirme-zaman kaydı

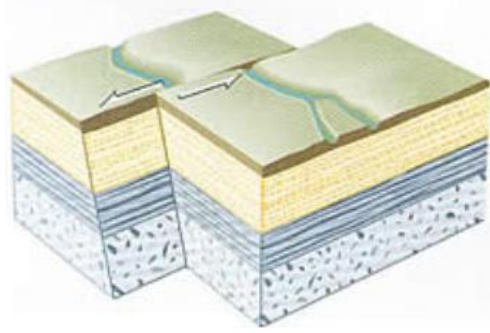
Şekil 3.5, 3.6, ve 3.7'te gösterildiği gibi TCU068 istasyonu kuzey-güney doğrultusu yer değiştirme-zaman yakın fay yer hareketi kaydında sıçrama etkisi açıkça görülmektedir.

3.1. Fayın Kırılma Mekanizması

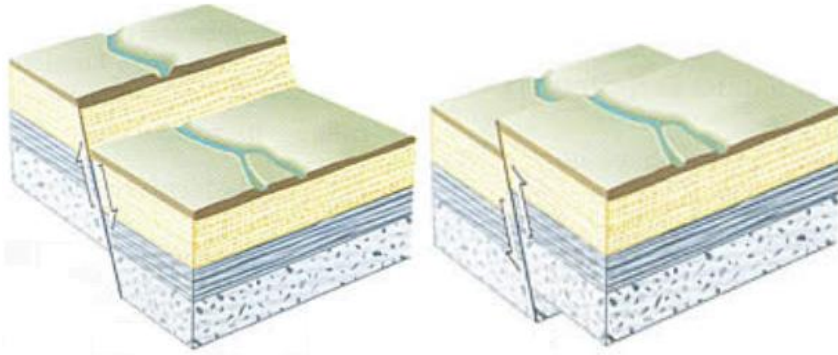
Yakın fay yer hareketleri, en belirgin özellikleri olan “Yönelme Etkisi” ve “Sıçrama Etkisi” ile ifade edilebilmektedir. Gelişen teknoloji ile yakın fay etkisi altında elde edilen kayıtlarda “Sıçrama Etkisi” olarak ifade edilen statik yer değiştirmelere, yer değiştirme-zaman kayıtları cinsinden ulaşılabilmektedir. Kırılma mekanizmaları bakımından doğrultu atımlı ve eğim atımlı fayların davranışları incelendiğinde, yönelme etkisinin ve sıçrama etkisinin fay mekanizmasına bağlı olarak farklı doğrultularda etkidiği bilinmektedir. Doğrultu atımlı mekanizmaya sahip bir fayda, yönelme etkisi fayın normal bileşeni doğrultusunda diğer bir deyişle faya dik doğrultuda ilerlerken, sıçrama etkisi fayın normaline dik diğer bir deyişle faya paralel doğrultuda ilerlemektedir. Doğrultu atımlı fay mekanizmasından farklı olarak, eğim atımlı mekanizmaya sahip bir fayda, sıçrama etkisi ile yönelme etkisi birlikte faya dik ortaya çıkmaktadır (Stewart ve diğerleri, 2001). Şekil 3.8’de doğrultu atımlı fay mekanizması, eğim atımlı fay mekanizması ve verev atımlı fay mekanizması gösterilmektedir. Doğrultu atımlı fay mekanizmasında darbe içeren ileri yönelme etkisi faya dik doğrultuda yayılmaktadır. Bu mekanizmada statik yer değiştirmeler faya paralel doğrultuda ortaya çıkmaktadır. Şekil üzerinde eğim atımlı fay mekanizması incelendiğinde, ileri yönelme etkisinin yine faya dik doğrultuda yayıldığı, ancak sıçrama etkisinin zemin en kesitinden anlaşılacağı üzere fayın hem dik hem de yatay bileşeninde gözlemlenmektedir (Somerville, 2002).

Çizelge 3.1. Fay kırılma mekanizmalarına göre yakın fay etkileri

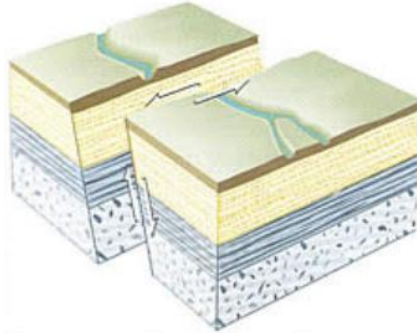
Fay Kırılma Mekanizması	Yönelme Etkisi	Sıçrama Etkisi
Doğrultu Atımlı Fay	Faya Dik	Faya Paralel
Eğim Atımlı Fay	Faya Dik	Faya Dik
Verev Atımlı Fay (hem eğim, hem doğrultu atımlı mekanizma)	Faya Dik	Faya Dik ve Paralel



3.8(a)



3.8(b)



3.8(c)

Şekil 3.8. Fay kırılma mekanizmaları (a) doğrultu atımlı fay, (b) eğim atımlı fay, (c) vevrev atımlı fay mekanizmaları (<http://tag.eng.ankara.edu.tr/deprem.htm>)

İleri yönelme etkisi, kırılma ve kayma yönlerinin çakıştığı doğrultuda oluşmaktadır. Öyle ki, kırılma esnasında kırılan fay parçasının hareketi ile kayma dalgalarının yayılma yönlerinin üst üste gelmesi ile ileri yönelme etkisi ortaya çıkmaktadır (Stewart ve diğerleri, 2001). İleri yönelme etkisi genellikle fay doğrultusuna dik, 2-3 saniyelik periyotlara sahip,

yıkıcı darbeler olarak görülmektedir. Zemin kayma dalgası hızının, faydaki kırılma hızı ile yakınsaklığına bağlı olarak bu durum ortaya çıkmaktadır (Hasgür ve Umut, 2007). Sıçrama etkisinin oluşturduğu darbeler ile yönelme etkisinin oluşturduğu darbeler birbirinden farklıdır. Kalıcı yer değiştirmelere neden olan sıçrama etkisi tek yönlü hız darbeleri ve statik yer değiştirmeler ile ortaya çıkmaktadır, ancak yönelme etkisinin neden olduğu darbeler iki yönlü, dinamik karakterde ve kalıcı yer değiştirmelere neden olmayan yer hareketleri olarak gözlemlenmektedir (Bray ve Marek-Rodriguez, 2004).

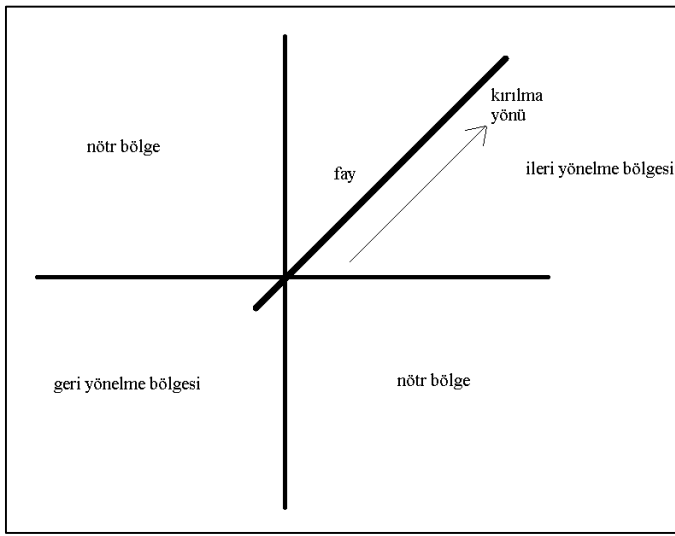
3.2. Yönelme Etkisi

Deprem mühendisliğinde temel prensip yapıya etkiyen kritik deprem etkilerinin bilinmesidir. Geçmiş deneyimler yakın fay yer hareketlerinin yönelme etkisinin yüksek seviyede enerji içerdiğini ve söz konusu enerjinin yapılar üzerinde ciddi hasarlara neden olduğunu ortaya koymuştur (Alavi ve Krawinkler, 2001). Yakın fay yer hareketinin önemli parametrelerinden biri olan yönelme etkisi büyük hız darbeleri içermektedir. Bu darbe etkileri ivme-zaman ve yer değiştirme-zaman kayıtlarında da gözlemlenebilir, ancak yüksek hız yüksek enerjiyi ifade ettiğinden ciddi hasarların oluşması noktasında hız-zaman kaydının darbe içerip içermemesi önem arz etmektedir (Cox ve Ashford, 2002). Hız-zaman kaydındaki titreşimin büyüklüğüyle ifade edilen darbeler yönelme etkisinin bir ölçüsüdür. Yönelme etkisi üç şekilde sınıflandırılır:

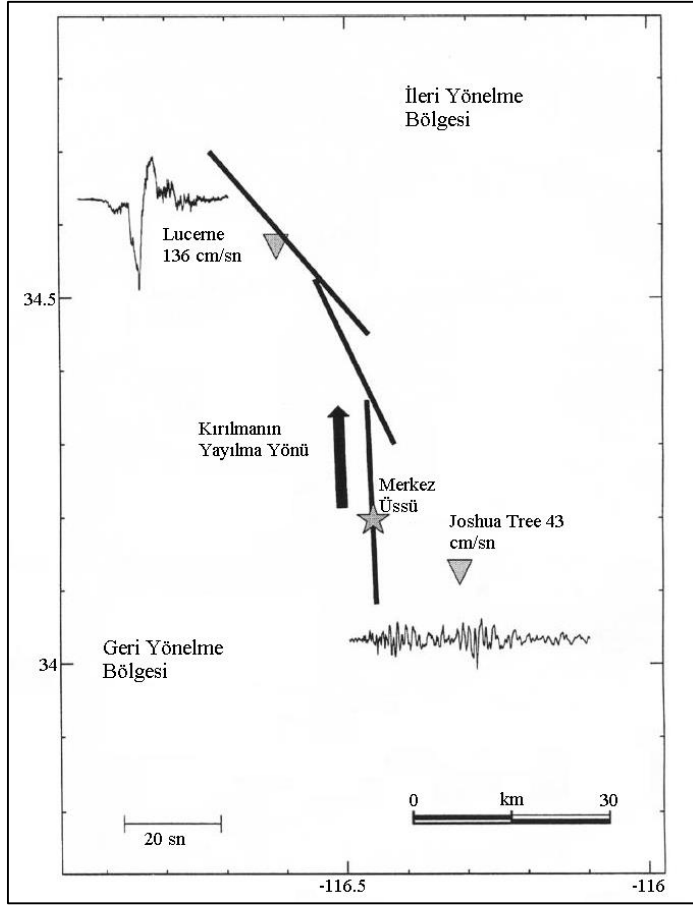
- İleri yönelme etkisi
- Geri yönelme etkisi
- Nötr titreşim

İleri yönelme etkisi, yakın fay yer hareketinin başladığı zemine ait kayma dalgası hızının, faydaki kırılma hızına yakın olması ile meydana gelmektedir. Yer hareketi kaydının başlarında, büyük titreşim hareketi olarak görülen dalga, kısa süreli, orta veya uzun periyoda sahip fakat büyük genlikli titreşim hareketi olarak ortaya çıkmaktadır (Hasgür ve Umut, 2007). Yakın fay yer hareketinin yönelme etkisinde oluşturduğu darbenin genellikle ileri yönelme etkisinden oluştuğu gözlemlenmiştir. Doğrultu atımlı mekanizmayla gerçekleşen bir depremde, depremin merkezinden yayılan enerji, fay doğrultusunda ilerleyen kırık boyunca, her kırılma düzleminde depremin başlangıcında ortaya çıkan ve fay doğrultusuna dik şekilde yayılan darbe etkisi ile ortaya çıkmaktadır. Bu darbe hız-zaman kaydı başlarındaki ani değişimle en belirgin şekilde gözlenmektedir. Deprem kaydı

sonlarında doğru, kırılmanın yayılması ile geri yönelme etkisi ortaya çıkmaktadır ve genellikle genliği küçük yer hareketi olarak gözlemlenmektedir (Stewart ve diğerleri, 2001). Düşey atımlı mekanizmayla gerçekleşen bir depremde ise, ileri yönelme etkisi fay kırığının çevresinde gerçekleşmektedir. Burada önemli noktalardan bir tanesi kırılma yönünün fay geometrisinden bağımsız olarak bilinmemesidir (Gibson ve diğerleri, 2002). Yukarıda tanımlanan ileri ve geri yönelme etkileri dışında kalan etki ise fay kırığına dik doğrultudaki alanda tespit edilen nötr yönelme etkisi olarak ortaya çıkmaktadır (Somerville ve diğerleri, 1997).



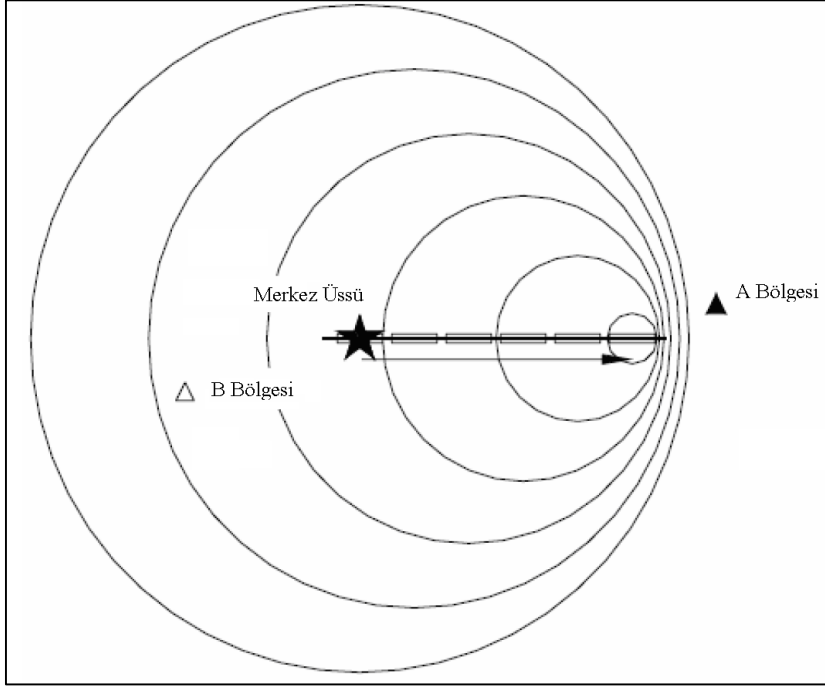
Şekil 3.9. Yakın fayın ileri yönelme, geri yönelme ve nötr darbe etkileri (Cox ve Ashford, 2002)



Şekil 3.10. Landers Depremi'ne ait ileri ve geri yönelme bölgeleri (Somerville ve diğerleri, 1997)

İleri yönelme etkisi genlik değeri büyük, kısa süreli yer hareketleri şeklinde ortaya çıkarken geri yönelme etkisi genlik değeri düşük, uzun süreli yer hareketleri şeklinde görülmektedir (Bray ve Marek-Rodriguez, 2004). Şekil 3.10'da Landers Depremi'nde farklı istasyonlardan alınan kayıtlarla ileri yönelme ve geri yönelme etkileri açıkça gözlenmiştir. Lucerne istasyonu deprem esnasında ölçülen yüksek hız nedeniyle ileri yönelme bölgesi, Joshua Tree istasyonu ise ölçülen en yüksek hız değerinin odak noktasına yakın olmasına rağmen Lucerne istasyonuna oranla oldukça düşük olması nedeniyle geri yönelme bölgesi olarak ifade edilmiştir (Somerville ve diğerleri, 1997). Abrahamson 1998'de ileri ve geri yönelme etkilerini Şekil 3.11'deki sistem üzerinden açıklamıştır. Söz konusu şekilde merkez üssü kaynağından yayılan fay "A" olarak ifade edilen bölgeye doğru yayılmaktadır. Daha önceden de belirtildiği gibi kayma dalgaları hızının fayın kırılma hızına yakın olması ile kısa zaman periyodunda ileri yönelme etkisi ortaya çıkmaktadır. Şekil 3.11'den görüleceği üzere A bölgesinde gözlemlenen kayıtlar, kısa periyot ve büyük genlik değerine sahip iken B bölgesinde gözlemlenen kayıtlar, dalgaların

B bölgesine daha geç ulaşmasıyla birlikte genlik değeri düşük ve uzun sürelerle sahiptir. (Gibson ve diğerleri, 2002).

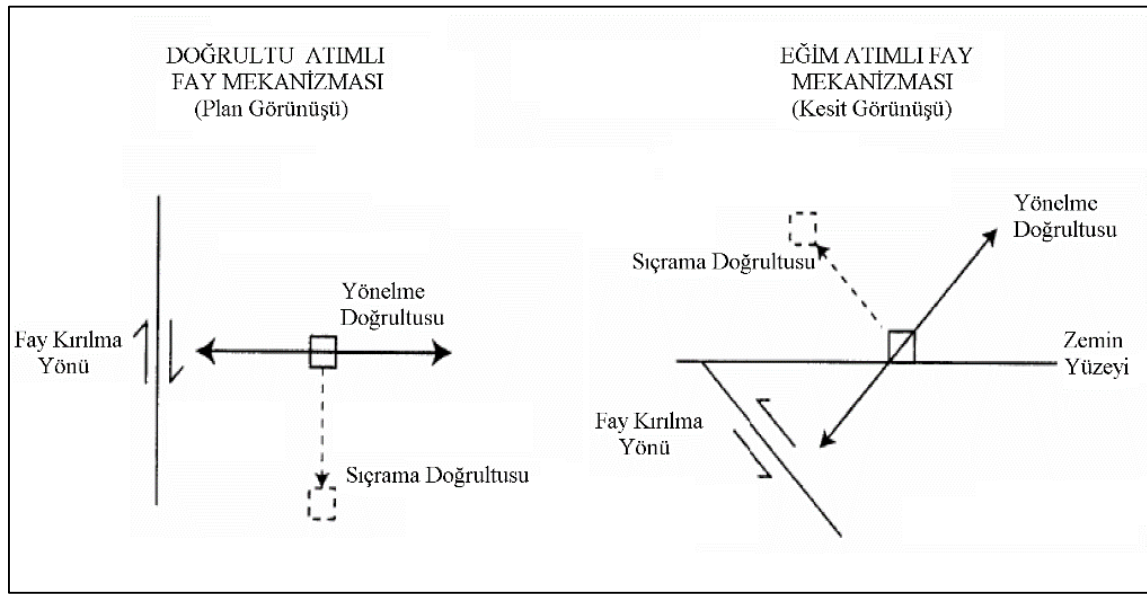


Şekil 3.11. Abrahamson tarafında önerilen yönelme etkisi modeli (Gibson ve diğerleri, 2002)

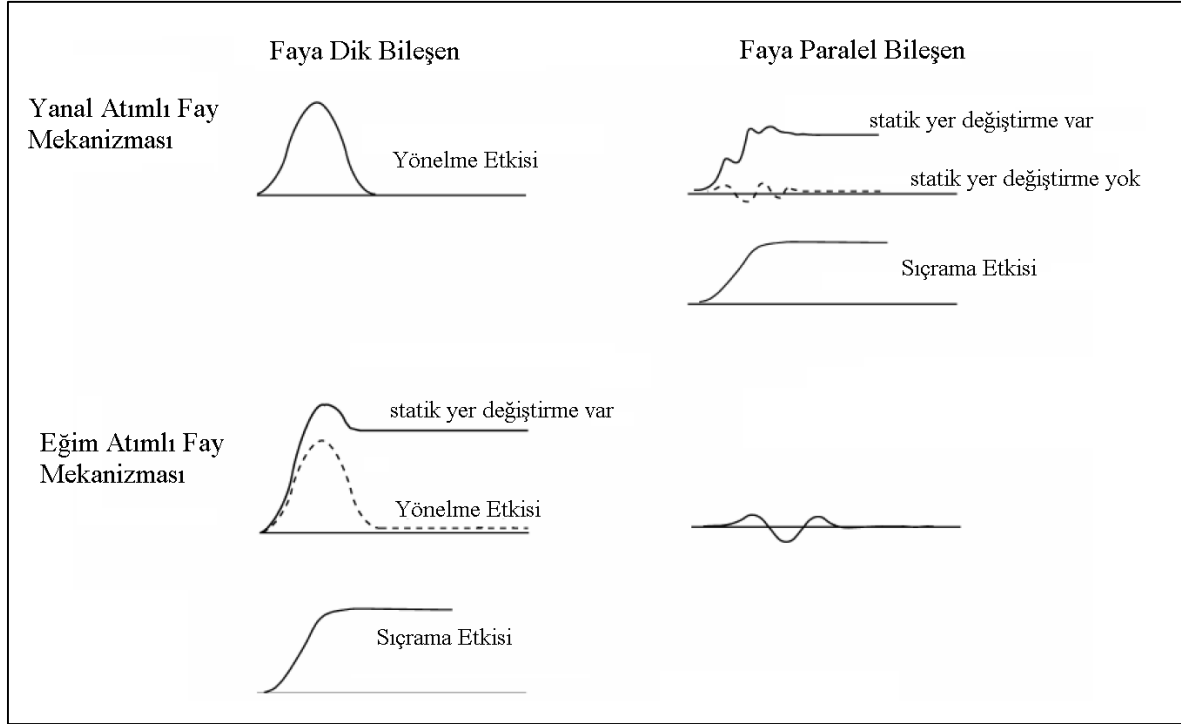
3.3. Sıçrama Etkisi

Yakın fay yer hareketinin en önemli özelliklerinden biri de kalıcı yer değiştirmelere neden olan sıçrama etkisidir. Başka bir ifadeyle deprem sırasında fay mekanizmasının üretmiş olduğu hız genliği yüksek yer hareketleri olarak da ifade edilebilir. Kalıcı yer değiştirmeler cinsinden ifade edilen sıçrama etkisi, kırılan fay parçalarının hareketi doğrultusunda gerçekleşir, bu nedenle yönelme etkisinin görüldüğü doğrultuya dik doğrultuda meydana gelir. Sıçrama etkisi yer değiştirme-zaman kayıtlarında açıkça kalıcı yer değiştirmeler şeklinde görülebildiği gibi, hız-zaman kayıtlarında da tek yönlü hız titreşimi biçiminde ayırt edilebilmektedir. Şekil-3.12 ve 3.13’de gösterildiği şekliyle yakın fay mekanizmasında gerçekleşen yönelme ve sıçrama etkisi birbirine dik doğrultularda meydana gelmektedir. Fayın mekanizmasına bağlı olarak eğim atımlı faylarda yönelme ve sıçrama etkisi faya dik, doğrultu atımlı faylarda yönelme etkisi faya dik, sıçrama etkisi ise faya paralel şekilde meydana gelmektedir (Stewart ve diğerleri, 2001).

Bugüne kadar birçok yapıda sıçrama etkisinin yeterli derecede göz önünde bulundurulmadığı ancak yapı üzerinde önemli etkilere neden olduğu bilinmektedir. Chi-Chi ve son yıllarda kaydedilen birçok depremde yakın fay özelliklerinden kalıcı yer değiştirmelerin olduca önemli olduğu görülmüştür. Birçok çalışmada ifade edildiği gibi (Byerly ve DeNoyer 1958, Bonilla 1970, Bray 1994 ve Lazarte 1994) önem arz eden yer değiştirmeler fay kırılma merkezinden uzakta da gerçekleşebilmektedir. Diğer bir deyişle, kalıcı yer değiştirmeler fay uzak noktalarda yer alan yapılar üzerinde de etkili olabilmektedir (Stewart ve diğerleri, 2001).



Şekil 3.12. Doğrultu ve eğim atımlı fay mekanizmalarında yönelme ve sıçrama etkileri (Stewart ve diğerleri, 2001)



Şekil 3.13. Yanal ve eğim atımlı fay mekanizmalarında yönelme ve sıçrama etkileri (Hasgür ve Umut, 2007)

3.4. 1997-UBC Yönetmeliğine Göre Tasarımda Yakın Fay Yer Hareketleri

Birçok araştırmacı yönetmeliklerin öngördüğü deprem tasarım kriterlerinin 1971 San Fernando, 1994 Northridge, 1995 Kobe gibi önemli depremlerde yakın fayın önemli etkilerinin eksikliğini ve bunun araştırılması gereken bir husus olduğunu tecrübe etmiştir. Bunun üzerine ilk defa 1997-UBC yönetmeliğinde yakın fay etkileri tasarımda kullanılacak deprem parametrelerine eklenmiştir (Cox ve Ashford, 2002). Buna göre 1997-UBC yönetmeliği yakın fay etkisi için, kısa periyot ivme N_a ve orta periyot hız N_v faktörlerini içermektedir. Fay tipine bağlı olarak, faya 15km'yi geçmeyen uzaklıklarda üç değişik fay türü için yakın fay faktörleri verilmiştir (Stewart ve diğerleri, 2001). 1997-UBC yönetmeliğine ait yakın fay faktörleri Çizelge 3.2'den 3.7'e kadar gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. UBC 1999 Yönetmeliğine göre "Sismik kaynak tipleri"

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 Aktivite Sahip Faylar	$M \geq 7,0$	$SR \geq 5$
B	Tip A ve C Haricindeki Faylar	$M \leq 7,0$ $M < 7,0$ $M \leq 6,5$	$SR < 5$ $SR > 2$ $SR < 2$
C	Büyük Magnitüde Deprem Üretebilen ve Düşük Sismik Aktivite Sahip Faylar	$M < 6,5$	$SR \leq 2$

Çizelge 3.3. UBC 1999 Yönetmeliğine göre "Kısa periyot ivme faktörü N_a "

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. UBC 1999 Yönetmeliğine göre "Orta periyot ivme faktörü N_v "

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

Çizelge 3.5. UBC 1999 Yönetmeliğine göre "Sismik katsayı, C_a "

Zemin Profil	Sismik Bölge Faktörü, Z				
Tipi	$Z = 0,075$	$Z = 0,15$	$Z = 0,2$	$Z = 0,3$	$Z = 0,4$
S_a	0,06	0,12	0,16	0,24	$0,32 N_a$
S_b	0,08	0,15	0,20	0,30	$0,40 N_a$
S_c	0,09	0,18	0,24	0,33	$0,40 N_a$
S_d	0,12	0,22	0,28	0,36	$0,44 N_a$
S_e	0,19	0,30	0,34	0,36	$0,36 N_a$
S_f	Bölgeye Özel Geoteknik Dinamik Davranış Analizi Yapılarak Bulunur				

Çizelge 3.6. UBC 1999 Yönetmeliğine göre "Sismik katsayı, C_v "

Zemin Profil	Sismik Bölge Faktörü, Z				
Tipi	$Z = 0,075$	$Z = 0,15$	$Z = 0,2$	$Z = 0,3$	$Z = 0,4$
S_a	0,06	0,12	0,16	0,24	$0,32 N_v$
S_b	0,08	0,15	0,20	0,30	$0,40 N_v$
S_c	0,13	0,25	0,32	0,45	$0,56 N_v$
S_d	0,18	0,32	0,40	0,54	$0,64 N_v$
S_e	0,26	0,50	0,64	0,84	$0,96 N_v$
S_f	Bölgeye Özel Geoteknik Dinamik Davranış Analizi Yapılarak Bulunur				

1999 UBC yönetmeliği hükümleri sismik kaynağa en yakın mesafeyi, fay düzleminin yüzey izdüşümü ile bölge arasındaki mesafenin minimum olanı şeklinde ifade etmiştir. Yüzey izdüşümünün 10 km'den daha derin kaynakları kapsamasına da gerek görülmemiştir (Uniform Building Code, 1997). Kısa periyot ivme ve orta periyot hız faktörlerine bağlı olarak C_a , C_v sismik bölge faktörleri bulunmaktadır. Ayrıca 1997-UBC yönetmeliğinde 4.derece deprem bölgesine ait tasarım spektrumu değerleri, N_a ve N_v değerlerine bağlı olarak büyütülmektedir. Yakın fay etkilerinin 1997-UBC yönetmeliğinde ifade edilen N_a ve N_v değerleri ile yeterince doğru sonuçlar verdiği Aagaard tarafından ortaya konmuştur (Erdik ve diğerleri, 2003). Fakat artırılmış spektrum esasına dayanan tasarımın, gerçek yakın fay etkilerinin karşılanmasında yeterli olmadığı görüşünü savunan Somerville, tasarım spektrumunun yapının faya olan mesafesine, lokal zemin koşullarına

ve depremin büyüklüğüne göre belirlenecek katsayılarla artırılmasının daha doğru olacağını ifade etmiştir (Gibson ve diğerleri, 2002).

Çizelge 3.7. UBC 1999 Yönetmeliğine göre "Zemin profil tipleri"

Zemin Profil Tipi	Zemin Profili	Kayma Dalga Hızı, V_s (m/sn)
S_a	Sert Kaya	$V_s > 1500$
S_b	Kaya	$760 < V_s < 1500$
S_c	Çok Yoğun Zemin ve Yumuşak Kaya	$360 < V_s < 760$
S_d	Sert Zemin	$180 < V_s < 360$
S_e	Yumuşak Zemin	$V_s < 180$
S_f	Bölgeye Özel Geoteknik Dinamik Davranış Analizi Yapılarak Bulunur	

Çizelge 3.7’de zemin inceleme etütleri sonucu belirlenen dalga kayma hızına bağlı olarak sınıflandırılan zemin profilleri gösterilmektedir. 1999 Uniform Building Code Yönetmeliği’nde sınıflandırılan zemin profillerine göre Çizelge 3.5 ve 3.6’dan yer hareketinin sismik katsayıları belirlenmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan yer hareketlerinin zemin profilleri, söz konusu yer hareketlerinin kayma dalgası hızları PEER’den alınarak Çizelge 3.8’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.8. 1999 Chi-Chi depremi kayıtlarına ait zemin özellikleri

Deprem Kaydı	Kayma Dalgası Hızı, V_s (m/sn)	Zemin Profil Tipi
Chi-Chi, TCU089	671.52	S_c
Chi-Chi, TCU102	714.27	S_c
Chi-Chi, TCU129	511.16	S_c
Chi-Chi, HWA032	573.04	S_c

4. SEÇİLEN VE ÜRETİLEN YAKIN FAY YER HAREKETLERİ

Yakın fay yer hareketleri genellikle büyük genlikli dinamik yer hareketleri ve kalıcı statik yer değiştirmeleri içermektedir. Kalıcı yer değiştirmeler sıçrama etkisinden kaynaklanmaktadır. İki farklı zemin plağının kırılma esnasında birbirine göre ilk konumlarından fayın kırılma yönünde uzaklaşmaları ile statik yer değiştirmeler meydana gelmektedir. Kırılmanın yayılması esnasında açığa çıkan enerjinin, kırık hattının zeminde karşılaştığı engellerle fay boyunca ve faya dik doğrultuda faydan uzaklaşarak zemin boyunca yayıldığı ifade edilebilir. Bu noktada kırılma güzergahındaki süreksiz bölgelerde yer alan köprü gibi yapılar söz konusu enerji etkisinde yüksek süneklik talep eder. Bunun yanında faya dik doğrultuda yönelme etkisinin meydana getirmiş olduğu darbe etkisiyle birlikte yakın fay yer hareketleri karakterize edilebilmektedir. Yönelme etkisinin doğurduğu darbe, hız-zaman kaydı başlarında, yüksek genlikli 2-3 saniyeli darbe süresine sahip hız değişimi ile görülmektedir. Bu darbe etkisi fay doğrultusuna dik yönde dalga karakterinde yayılmaktadır. Faya paralel doğrultudaki kalıcı yer değiştirmeler ve dik doğrultudaki yönelme etkisinden kaynaklanan darbe, deprem esnasında hemen hemen eşzamanlı gerçekleşir, bu nedenle bu iki etkinin birlikte etkidiği kabul edilebilir (Park ve diğerleri, 2004). Bu çalışmada yakın fay karakterindeki sıçrama ve yönelme etkilerinin detaylı olarak incelenmesi amacıyla dikkate alınan yakın fay yer hareketleri köprü eksenine doğrultusunda uygulanmıştır. Deprem kayıtlarının yakın fay özelliği taşıyıp taşımadığı bazı kriterlerle anlaşılabilir. Bir deprem kaydının yakın fay yer hareketi olarak tanımlanabilmesi için;

- Depreme ait kaydın ölçüm noktasının fay ile mesafesi 10 km'den daha uzak olmamalıdır.
- Hız-zaman kayıtlarının genellikle başlarında gözlemlenen yönelme etkisinden kaynaklanan darbe süresi 1 saniyeden daha kısa olmamalıdır.
- Hız-zaman grafiğindeki maksimum hız değerinin, ivme-zaman grafiğindeki maksimum ivme değerine oranı (PGV/PGA) 0.1 saniye değerinden küçük olmamalıdır.

İfade edilen sıçrama ve yönelme etkilerini içeren yer hareketleri, yakın fay yer hareketleri olarak ele alınmaktadır. Bu çalışmada 1999 Chi-Chi depremine ait kayıtlar kullanılmış, söz konusu kayıtlar PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center)'dan ve işlenmemiş ham kayıtlar olarak Prof. David M. Boore'dan temin edilmiştir. Fayın kırılma mekanizmasına bağlı olarak sıçrama ve yönelme etkileri birbirine dik doğrultularda veya

paralel doğrultularda görülmektedir. 1999 Chi-Chi depremi Şekil 3.8.(c)' de görüldüğü biçimde ters verev kırılma mekanizmasına (hem doğrultu hem eğim atımlı mekanizma) sahiptir, bu nedenle kuzey-güney doğrultusunda sıçrama etkisi ve doğu-batı doğrultusunda yönelme etkisi birbirine dik doğrultularda ele alınmıştır. 1999 Chi-Chi depreminde HWA032, TCU089, TCU102 ve TCU129 numaralı istasyonlara ait veriler kullanılmıştır. İstasyonlara ve kayıtlara ait detaylı bilgiler Çizelge 4.1' de verilmiştir. Doğru-batı doğrultusunda PEER'dan alınan kayıtlar kullanılmış, kuzey-güney doğrultusunda ise sıçrama etkisini incelemek amacıyla kalıcı yer değiştirmeleri içeren ham kayıtların integrasyonu ile elde edilen yer hareketleri kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında PEER'dan alınan ve integre edilerek elde edilen kayıtlar “Yöntem-1” başlığı altında bir grupta toplanmıştır. Trigonometrik denklemler yardımıyla üretilen ve yakın fay özellikleri taşıyan yer hareketleri ise “Yöntem-2” ve “Yöntem-3” olarak tanımlanan gruplarda verilmiştir. Böylelikle yakın faydan beklenen özellikleri taşıyan kayıtlar üç farklı şekilde elde edilmiştir.

Bu amaçla ilk olarak deprem ölçümlerinden alınan işlenmemiş ivme-zaman kayıtlarının integrasyonu ile elde edilen kayıtlar ve PEER'dan alınan kayıtlar “Yöntem-1” olarak gruplandırılmıştır. Ardından Jacobsen ve Ayre'nin 1958'de türettiği ve 1997'de Makris'in geliştirdiği trigonometrik denklemler yardımıyla yakın fay değerleri kullanılarak üretilen yer hareketleri “Yöntem-2” olarak gruplandırılmıştır. Son olarak da Makris'in geliştirdiği denklemler uzak fay kayıtlarına ait değerler kullanılarak üretilen yer hareketlerine, söz konusu uzak fay kayıtlarının eklenmesi ile elde edilen yer hareketleri de “Yöntem-3” olarak gruplandırılmıştır. Bu çalışma kapsamında söz konusu üç şekilde üretilen yer hareketlerinin analizine ve sonuçlarının birbiriyle karşılaştırılmasına da yer verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yakın ve uzak fay yer hareketlerinin özellikleri

Deprem Kaydı	Kayıt Şekli	Depremin Büyüklüğü M_w	Mesafe d (km)	PGA (g)	PGV (cm/sn)	PGV/PGA (sn)	Darbe Periyodu T_p (sn)	Statik Yer Değiştirme (cm)	Fay Mek.	Yakın Fay Özelliği
HWA032 DB	Yöntem-1	7,62	47,31	0,15	8,10	0,54	-	-	Ters Verev	-
HWA032 KG	Yöntem-1	7,62	47,31	0,11	8,30	0,75	-	-	Ters Verev	-
TCU089 DB	Yöntem-1	7,62	9	0,35	35,20	1,01	-	-	Ters Verev	Darbe Yok

Çizelge 4.1. (devam) Yakın ve uzak fay yer hareketlerinin özellikleri

Deprem Kaydı	Kayıt Şekli	Deprem Büyüklüğü M_w	Mesafe d (km)	PGA (g)	PGV (cm/sn)	PGV/PGA (sn)	Darbe Periyodu T_p (sn)	Statik Yer Değiştirme (cm)	Fay Mek.	Yakın Fay Özelliği
TCU089 KG	Yöntem-1	7,62	9	0,24	32,10	1,34	-	64	Ters Verev	Sıçrama Var
TCU102 DB	Yöntem-1	7,62	1,49	0,30	91,30	3,04	8,70	-	Ters Verev	Darbe Var
TCU102 KG	Yöntem-1	7,62	1,49	0,17	64,40	3,79	-	126	Ters Verev	Sıçrama Var
TCU129 DB	Yöntem-1	7,62	1,83	1,00	61,10	0,61	5,40	-	Ters Verev	Darbe Var
TCU129 KG	Yöntem-1	7,62	1,83	0,63	51,60	0,82	-	96	Ters Verev	Sıçrama Var
TCU129 DB	Yöntem-2	-	-	0,10	74,80	7,48	4,60	-	-	Darbe Var
TCU129 KG	Yöntem-2	-	-	0,04	49,90	12,48	-	105	-	Sıçrama Var
HWA032 DB	Yöntem-3	-	-	0,93	76,10	0,82	5,10	-	-	Darbe Var
HWA032 KG	Yöntem-3	-	-	0,61	48,00	0,79	-	84	-	Sıçrama Var

4.1. İntegre Edilen ve PEER'dan Alınan Kayıtlar (Yöntem-1)

Deprem esnasında kırılan faya yakın bölgelerde sıçrama etkisi olarak adlandırılan statik yer değiştirmeler meydana gelmektedir. Söz konusu statik yer değiştirmelerin genliği oldukça büyüktür ve dinamik hareket ile eş zamanlı gerçekleşir (Yan ve Lee, 2007). Ancak birçok depreme ait yer hareketlerinin hazır olarak sunulduğu PEER(Pacific Earthquake Engineering Research Center)'a ait deprem kaydı veri tabanındaki kayıtlarda, ivme-zaman verilerinin integrasyonu sırasında uygulanan eksen düzeltmesi işlemlerinden dolayı kalıcı yer değiştirmeler korunamamaktadır (Darragh, Silva ve Gregor). Bu nedenle sıçrama etkisini incelemek amacıyla statik yer değiştirmeleri içeren yer değiştirme-zaman grafiklerinin elde edilmesi için işlenmemiş deprem kayıtlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Söz konusu ham ivme-zaman kayıtları Prof. David M. Boore'dan temin edilmiş, gerekli işlemler bu ham kayıtlar üzerinde uygulanmıştır. Bilindiği üzere dinamik problemlerde ivmenin zamana bağlı fonksiyonunun zamana göre integrasyonu, hızın zamana bağlı fonksiyonunu vermektedir. Benzer şekilde aynı işlem hızın zamana bağlı fonksiyonuna uygulanırsa bu defa da yer değiştirmenin zamana bağlı fonksiyonuna ulaşılmaktadır.

Eldeki ham ivme-zaman kayıtlarına sırasıyla ifade edilen integrasyon işlemi uygulanmıştır. Ancak kayıt cihazlarının hassasiyetinden kaynaklanan teknik nedenler, ortamdaki deprem dışı ikincil titreşimler ve gürültü gibi etkenlerden dolayı kayıt verilerinin integrasyonundan elde edilen hız-zaman grafiği hareket sonunda sıfırlanmamaktadır. Deprem hareketinin son bulmasına rağmen kayıt sonundaki hızın sıfırdan farklı olması, verilerde düzeltme yapılması ihtiyacını doğurmaktadır. Bu nedenle ivme-zaman kaydının integrasyonu ile elde edilen hız-zaman verilerine eksen düzeltmesi (baseline correction) adı verilen işlem uygulanarak hareketin sıfırlandığı hız-zaman grafiği elde edilmiştir. Hareketin sıfır değeri ile son bulduğu hız-zaman verileri bir kez daha zamana göre integre edilerek kalıcı yer değiştirmeleri içeren yer değiştirme-zaman grafiklerine ulaşılmıştır. Statik yer değiştirmelerin kuzey-güney doğrultusunda, ileri yönelme etkisinin doğurduğu darbe etkisinin doğu-batı doğrultusunda gerçekleştiği göz önünde bulundurularak, doğu-batı doğrultusundaki kayıtlar PEER'dan temin edilmiştir. Kuzey-güney doğrultusunda ise integre edilerek elde edilen kayıtlar kullanılmıştır. Söz konusu işlemlerin uygulandığı veriler işlem adımlarına göre sırasıyla aşağıda gösterilmektedir.

4.1.1. İşlenmemiş ivme kayıtlarının eksen düzeltmesi

İvme zaman kaydı verilerinin integrasyonu sonunda kalıntı hız ve yer değiştirmeler oluşmaktadır. Söz konusu kalıntı yer değiştirmeler deprem etkisinde yapıda oluşacak gerilmeleri önemli derecede değiştiren ve sıçrama etkisi olarak tanımlanan yakın fay yer hareketi özelliklerinden biridir. Bu nedenle ivme-zaman kaydı verilerinde eksen düzeltmesi işleminin (base-line correction) yapılması kaçınılmazdır. Eksen düzeltilmesi işlemi bir eğri uydurularak gerçekleştirilmektedir. Söz konusu eğri uydurulması işleminde derecesi düşük polinomlardan faydalanılmaktadır (Şekil 4.1). Şekil 4.1'de gösterildiği gibi eksen düzeltilmesi yapılan ivme değerleri, $\ddot{v}_{cg}(t)$,

$$\ddot{v}_{cg}(t) = \ddot{v}_g(t) - P(t) \quad (4.1)$$

şeklinde bulunabilmektedir. Burada $\ddot{v}_g(t)$, eksen düzeltilmesi yapılmamış ivme değerlerini, $P(t)$ uydurulan eğriye ait polinomu ifade etmektedir. Söz konusu polinmun bir doğru olması durumunda,

$$P(t) = a + bt \quad (4.2)$$

şeklinde 1. dereceden bir eşitlik ile ifade edilmektedir. Denklem (4.1) ve (4.2) yerine yazılırsa,

$$\ddot{v}_{cg}(t) = \ddot{v}_g(t) - (a + bt) \quad (4.3)$$

eşitliği elde edilir. Burada a ve b sabitleri en küçük kareler metodu kullanılarak belirlenmektedir (Kreyszig, 1988). En küçük kareler metodunda, ivme değerlerinin uydurulan eğriye ait polinom ile aralarındaki uzaklıkların karelerinin toplamı minimum olmalıdır ve denklem (4.3) yardımıyla,

$$E = \int_0^{t_t} \{\ddot{v}_g(t) - (a + bt)\}^2 dt \quad (4.4)$$

biçiminde gösterilmektedir. Denklemde t_t ivme kaydının toplam süresini, E ise toplam hatayı göstermektedir. Söz konusu eşitlikte a ve b sabitleri toplam hatanın minimum olması koşuluyla bulunur. Denklem düzenlenirse,

$$\frac{\partial E}{\partial a} = -2 \int_0^{t_t} \{\ddot{v}_g(t) - (a + bt)\} dt \quad (4.5)$$

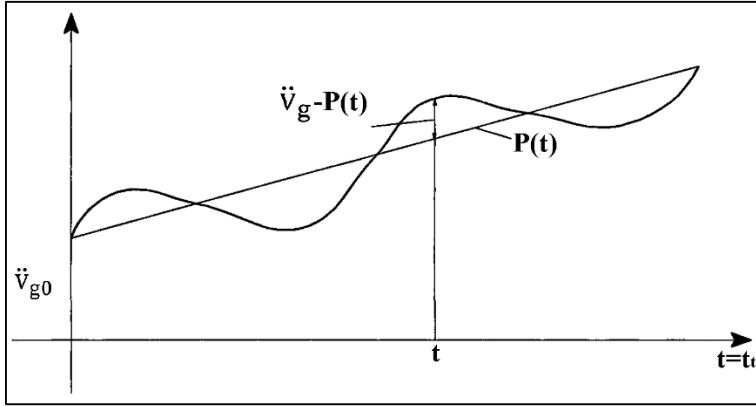
$$\frac{\partial E}{\partial b} = -2 \int_0^{t_t} \{t \ddot{v}_g(t) - (a + bt)t\} dt \quad (4.6)$$

olmaktadır. Denklem (4.5) ve (4.6) düzenlenerek a ve b sabitleri,

$$a = -\frac{1}{t_t} \int_0^{t_t} \ddot{v}_g(t) dt - \frac{t_t}{2} \quad (4.7)$$

$$b = -\frac{12}{t_t^3} \left\{ \int_0^{t_t} t \ddot{v}_g(t) dt - \frac{t_t}{2} \int_0^{t_t} \ddot{v}_g(t) dt \right\} \quad (4.8)$$

olarak elde edilmektedir. Burada a ve b sabitlerini veren denklem (4.7) ve (4.8), denklem (4.3)'te yerine yazıldığında, eksen düzeltilmesi yapılmış veriler elde edilir. Söz konusu işlemler yüksek dereceli polinomlarla da gerçekleştirilebilir, ancak birinci dereceden polinomlar yeterli doğrulukta sonuçlar vermektedir (Bayraktar, 1995). Burada eksen düzeltilmesi işlemleri OriginPro2017G bilgisayar yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1. İvme-zaman kaydının eksen düzeltmesi (Bayraktar, 1995)

4.1.2. Yer hareketi kayıtlarının integrasyonu

Yer hareketlerinin integrasyonunda genellikle doğrusal ivme yöntemi (linear acceleration method) tercih edilmektedir (Clough ve Penzien, 1975). Bu yöntemde zaman adımları aralığında değerlerin doğrusal değiştiği varsayılmaktadır (Şekil 4.2). Şekil 4.2’de gösterildiği gibi t anında yer hareketinin ivme değeri $\ddot{v}_g(t)$ iken, $t+\Delta t$ anında $\ddot{v}_g(t + \Delta t)$ değerini almaktadır. Benzer şekilde $t+\Delta t$ anında hız ve yer değiştirme değerleri sırasıyla $\dot{v}_g(t + \Delta t)$, $v_g(t + \Delta t)$ olmaktadır. Burada $f(t)$ olarak ifade edilen bir fonksiyonun Taylor açılımı,

$$f(t + \Delta t) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\Delta t^k}{k!} f^{(k)}(t) \quad (4.9)$$

biçiminde ifade edilmektedir. Denklemden $f^{(k)}(t)$, $f(t)$ fonksiyonunun k . türevini ifade etmektedir. Denklem (4.9) yardımıyla hız ve yer değiştirme sırasıyla $\dot{v}_g(t + \Delta t)$, $v_g(t + \Delta t)$ olarak Taylor açılımları,

$$\dot{v}_g(t + \Delta t) = \dot{v}_g(t) + \Delta t \ddot{v}_g(t) + \frac{1}{2} \Delta t^2 \ddot{\ddot{v}}_g(t) + \dots \quad (4.10)$$

$$v_g(t + \Delta t) = v_g(t) + \Delta t \dot{v}_g(t) + \frac{\Delta t^2}{2} \ddot{v}_g(t) + \frac{\Delta t^3}{6} \ddot{\dot{v}}_g(t) \dots \quad (4.11)$$

şeklinde bulunmaktadır. Şekil 4.2’de gösterilen şekilde, Δt zaman adımlarında ivme değerlerinin doğrusal değiştiği kabul edildiğinden,

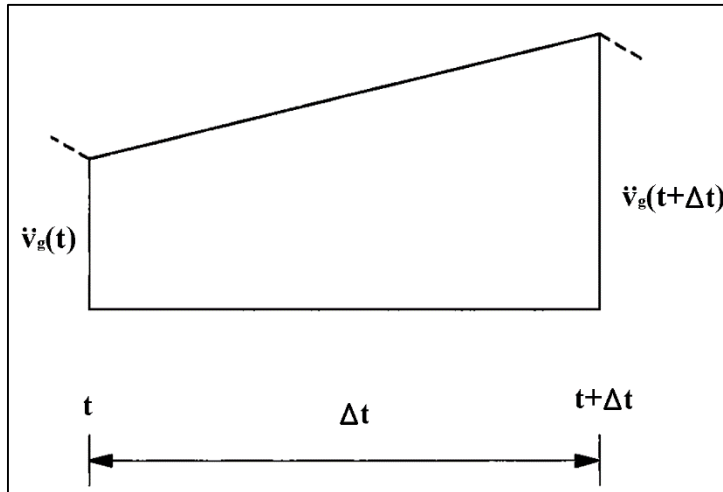
$$\dot{v}_g(t) = \frac{\ddot{v}_g(t+\Delta t) - \ddot{v}_g(t)}{\Delta t} \quad (4.12)$$

olarak gösterilebilir. Denklem (4.12) sabit kabul edildiğinde, denklem (4.10) ve (4.11)'deki dördüncü ve daha ileri türevler sıfır değerini alacaktır. Sabit kabul edilen denklem (4.12), denklem (4.10) ve (4.11)'deki ilgili ifadelerde yerine konulur ve gerekli düzenleme yapıldığında,

$$\dot{v}_g(t + \Delta t) = \dot{v}_g(t) + \frac{\Delta t}{2} \{ \ddot{v}_{g0}(t) + \ddot{v}_g(t + \Delta t) \} \quad (4.13)$$

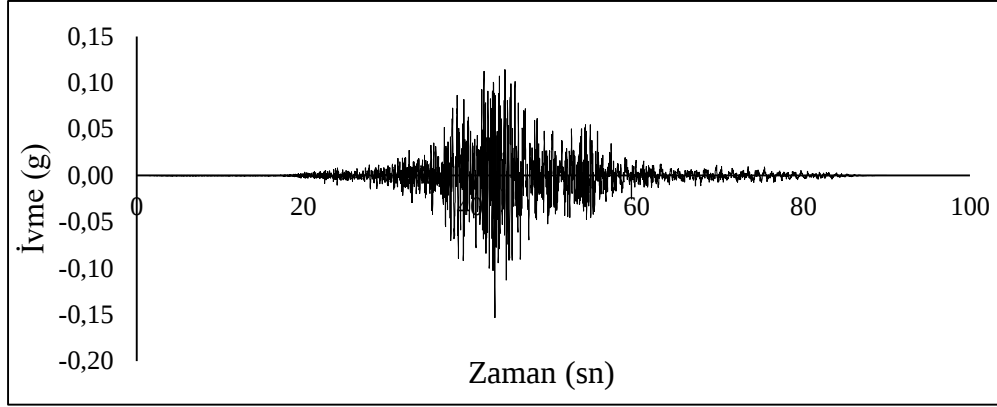
$$v_g(t + \Delta t) = v_g(t) + \Delta t \dot{v}_g(t) + \frac{\Delta t^2}{6} \{ 2\ddot{v}_g(t) + \ddot{v}_g(t + \Delta t) \} \quad (4.14)$$

eşitlikleri elde edilir. Yer hareketine ait ivme-zaman verileri ile denklem (4.13) ve (4.14) yardımıyla ilgili yer hareketine ait hız ve yer değiştirme-zaman değerleri kolayca elde edilebilmektedir (Bayraktar, 1995).

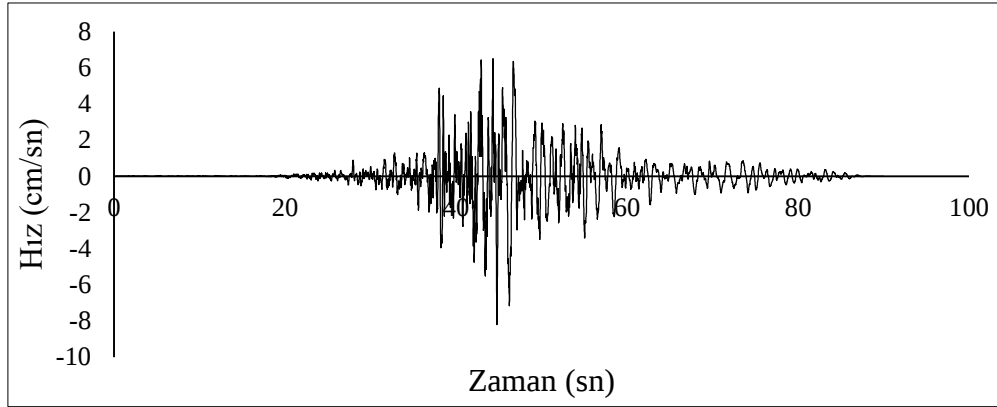


Şekil 4.2. Lineer ivme yöntemi (Bayraktar, 1995)

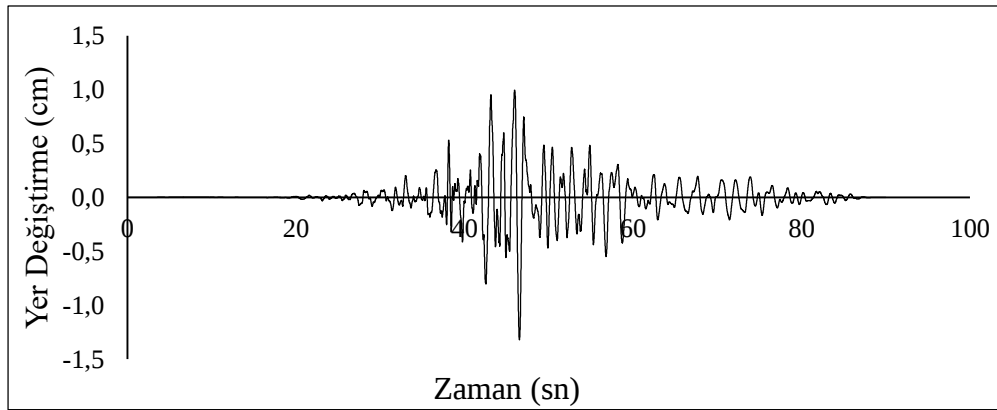
Chi-Chi depremi HWA032 istasyonu faya 47.31 km mesafede yer almaktadır. Bu nedenle uzak fay yer hareketi olarak incelenmektedir. Uzak fay yer hareketi olması nedeniyle yer değiştirme-zaman kayıtlarına bakıldığında sıçrama ve hız-zaman kayıtlarına bakıldığında da darbe etkileri görülmemektedir. Doğu-batı doğrultusundaki kayıtlarda PGA 43. saniyede 0.15g ve PGV 45. saniyede 8.1 cm/sn olarak okunmaktadır. Kuzey-güney doğrultusundaki kayıtlarda ise PGA 43. saniyede 0.11g ve PGV 46. saniyede 8.3 cm/sn olarak okunmaktadır.



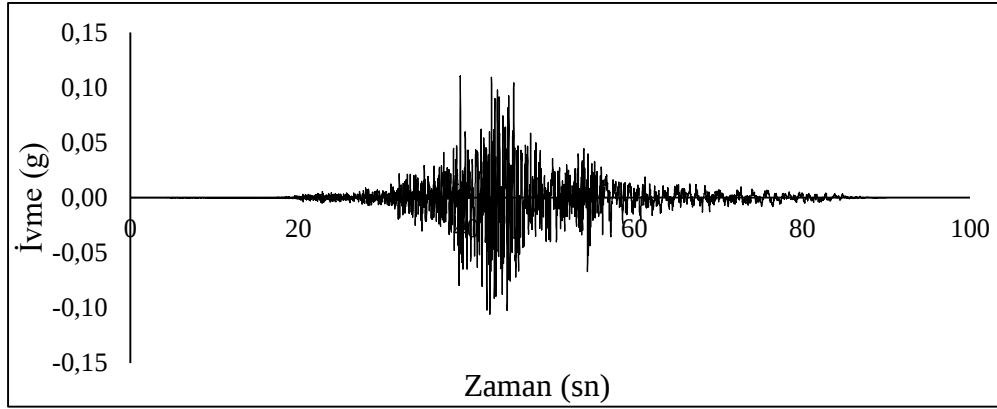
Şekil 4.3. HWA032 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki ivme-zaman grafiği



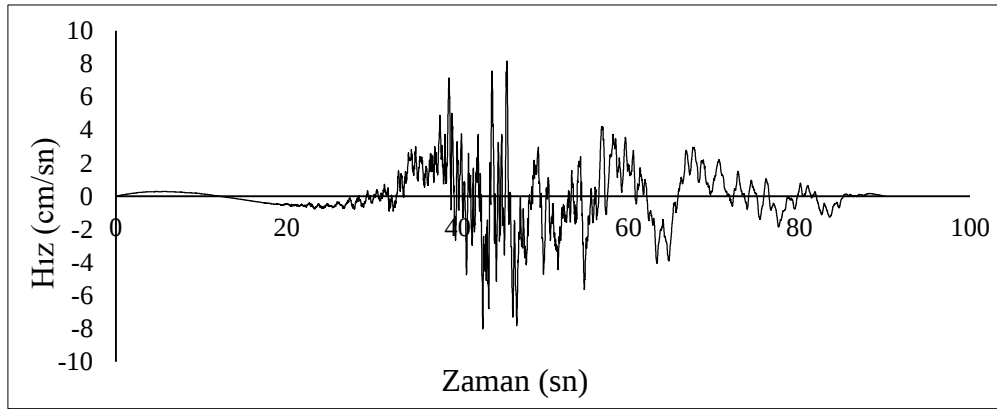
Şekil 4.4. HWA032 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki hız-zaman grafiği



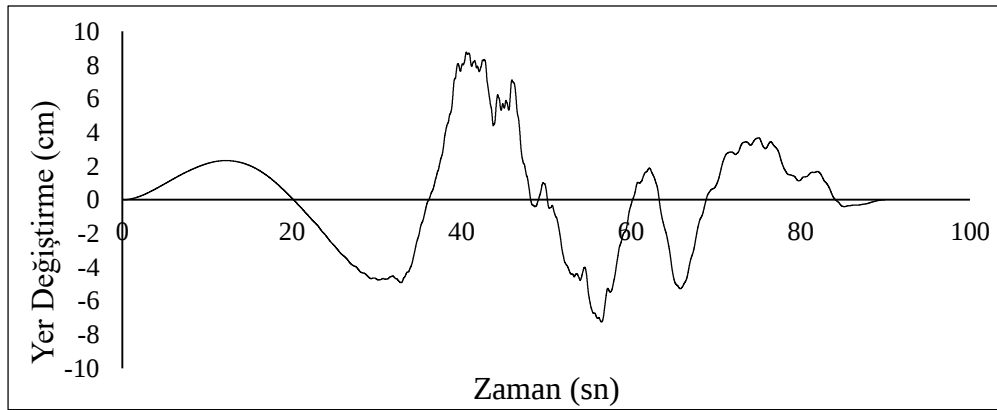
Şekil 4.5. HWA032 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki yer değiştirme-zaman grafiği



Şekil 4.6. HWA032 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki ivme-zaman grafiği



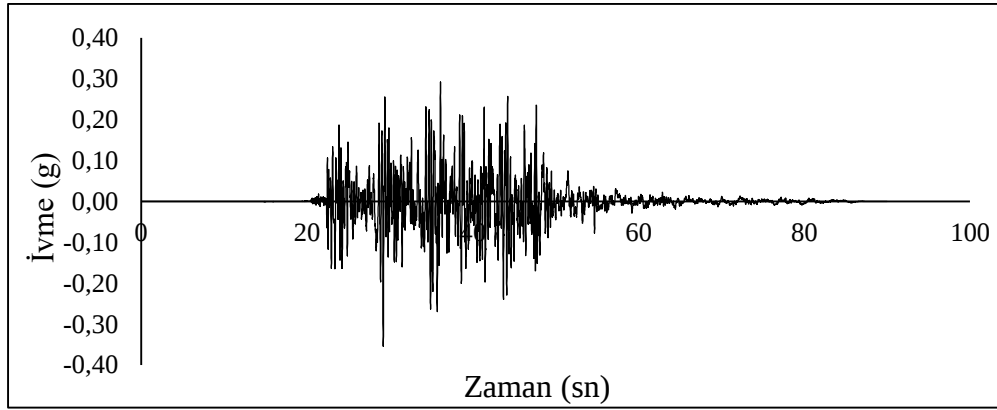
Şekil 4.7. HWA032 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki hız-zaman grafiği



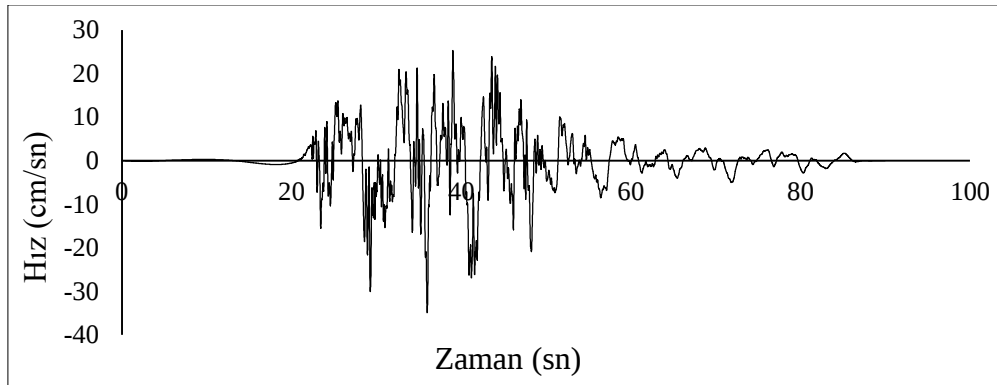
Şekil 4.8. HWA032 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki yer değiştirme-zaman grafiği

Chi-Chi depremi TCU089 istasyonu faya 9 km mesafede yer almaktadır. Bu nedenle yakın fay yer hareketi olarak ele alınmaktadır. Yakın fay yer hareketi olmasına karşın hız-zaman kayıtlarına bakıldığında darbe etkisi görülmemektedir. Ancak yer değiştirme-zaman kayıtlarına bakıldığında kuzey-güney doğrultusunda sıçrama etkisinin varlığı göze

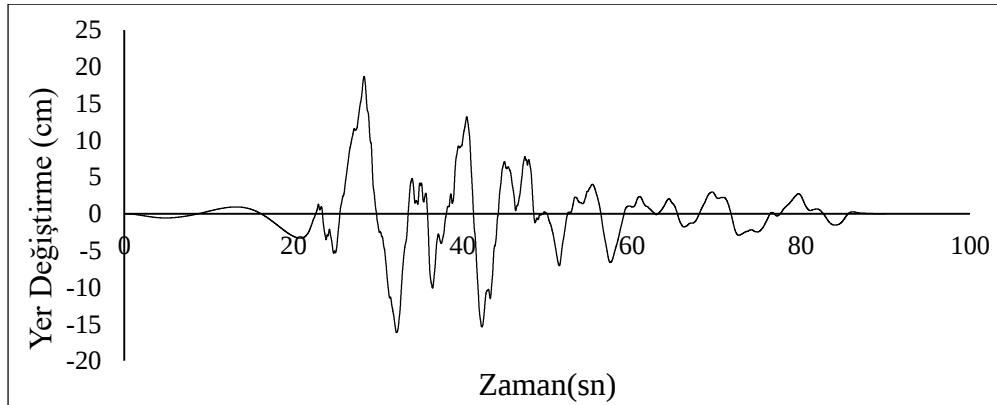
çarpmaktadır. Doğu-batı doğrultusundaki kayıtlarda PGA 29. saniyede 0.35g ve PGV 36. saniyede 35.2 cm/sn olarak okunmaktadır. Kuzey-güney doğrultusundaki kayıtlarda PGA 47. saniyede 0.24g ve PGV 47. saniyede 32.1 cm/sn olarak okunmaktadır. Sıçrama etkisinin sonucu olarak kaydın sonunda zeminde 64 cm'lik statik yer değiştirme olduğu gözlenmiştir.



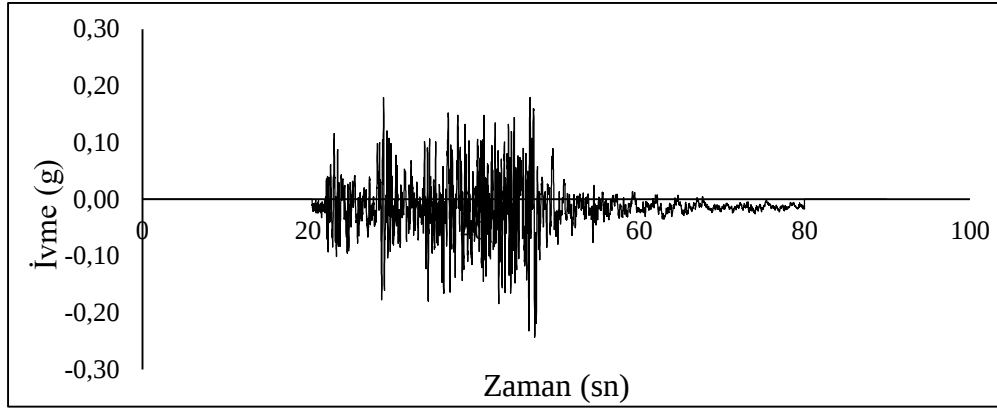
Şekil 4.9. TCU089 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki ivme-zaman grafiği



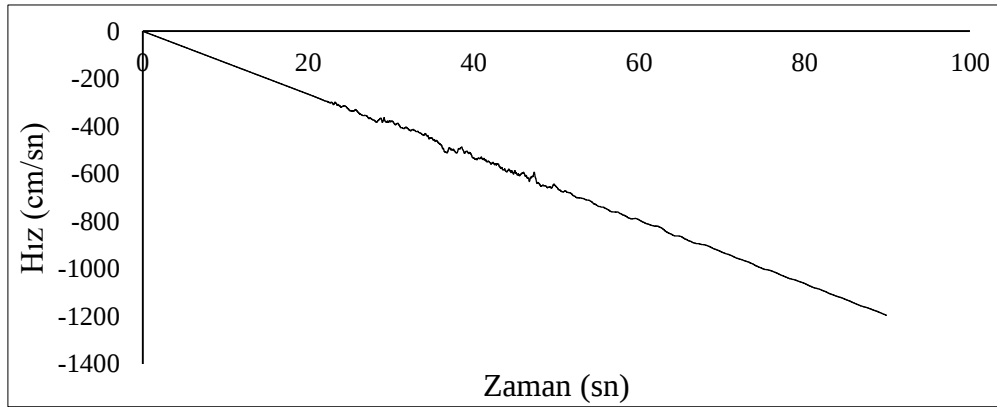
Şekil 4.10. TCU089 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki hız-zaman grafiği



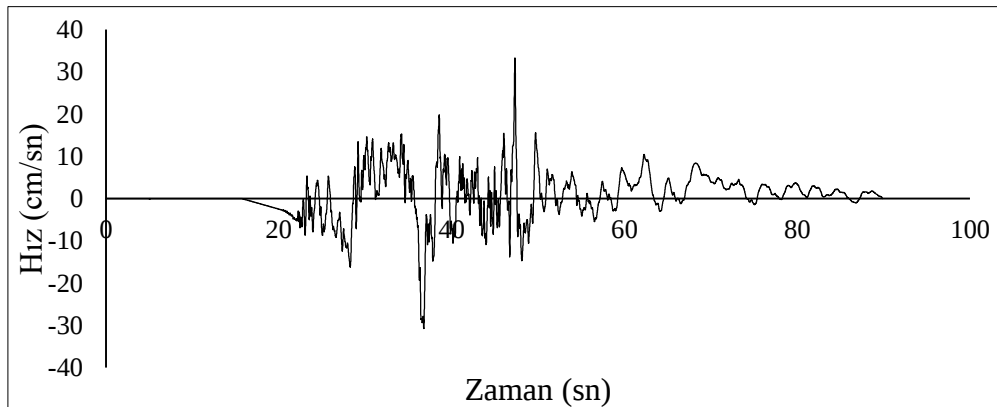
Şekil 4.11. TCU089 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki yer değiştirme-zaman grafiği



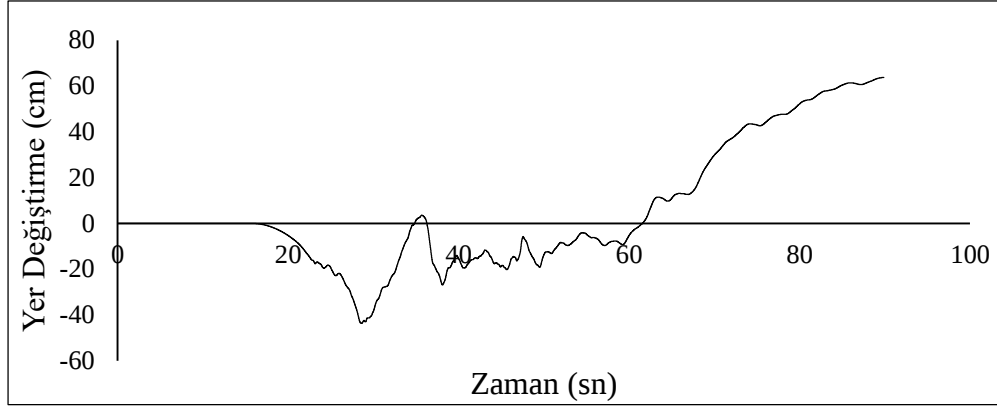
Şekil 4.12. TCU089 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki ham ivme-zaman grafiği



Şekil 4.13. TCU089 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki integre edilmiş hız-zaman grafiği

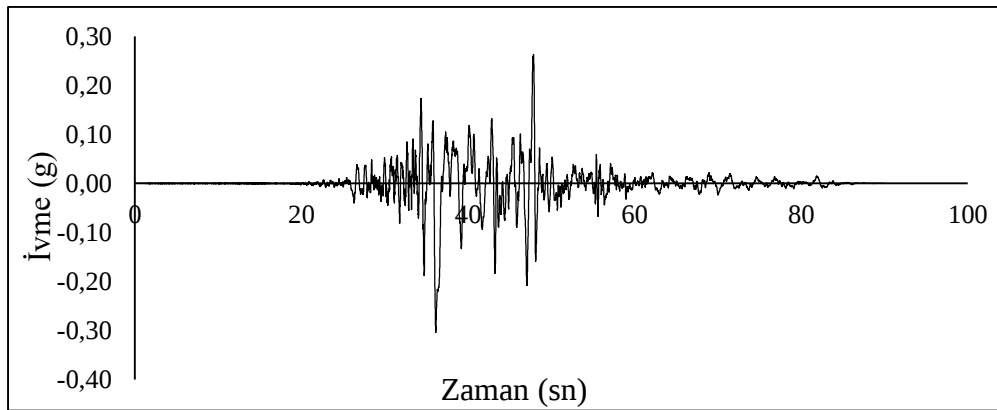


Şekil 4.14. TCU089 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki eksen düzeltmesi uygulanmış hız-zaman grafiği

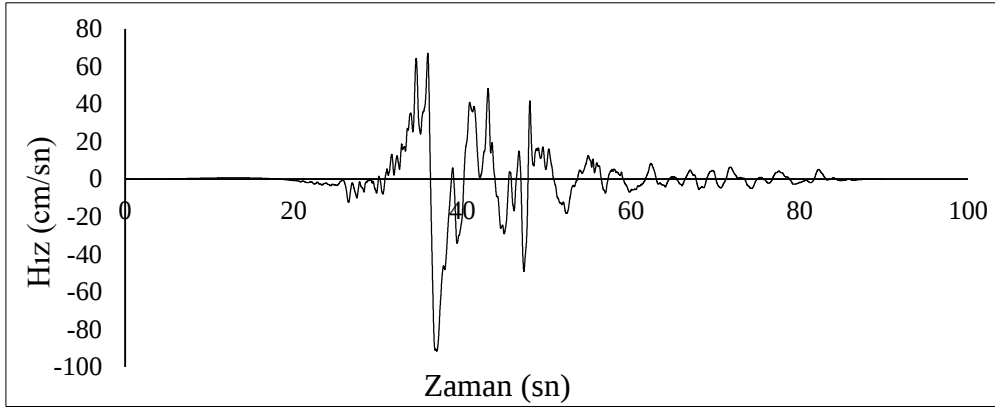


Şekil 4.15. TCU089 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki integre edilmiş yer değiştirme-zaman grafiği

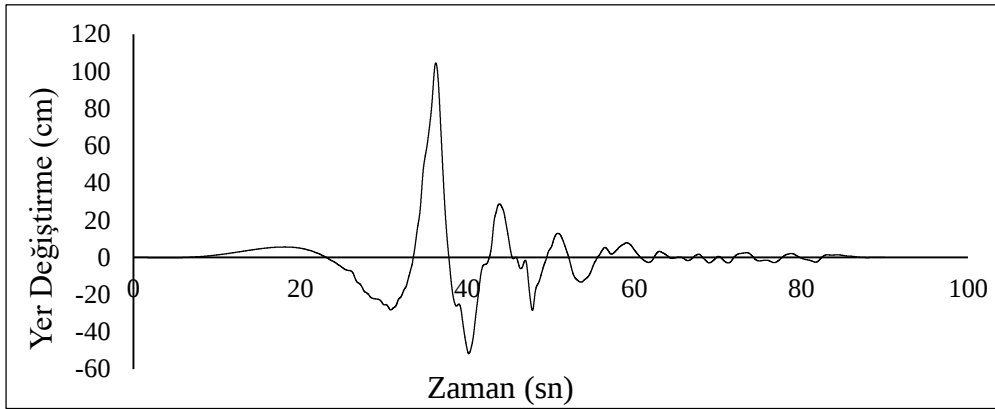
Chi-Chi depremi TCU102 istasyonu faya 1.49 km mesafede yer almaktadır. Bu nedenle yakın fay yer hareketi olarak ele alınmaktadır. Yakın fay yer hareketi olması nedeniyle hız-zaman kayıtlarına bakıldığında doğu-batı doğrultusunda darbe etkisi, yer değiştirme-zaman kayıtlarına bakıldığında kuzey-güney doğrultusunda sıçrama etkisinin varlığı göze çarpmaktadır. Doğru-batı doğrultusundaki kayıtlarda PGA 36. saniyede 0.30g ve PGV 37. saniyede 91.3 cm/sn olarak okunmaktadır. Kuzey-güney doğrultusundaki kayıtlarda PGA 38. saniyede 0.17g ve PGV 38. saniyede 64.4 cm/sn olarak okunmaktadır. Sıçrama etkisinin sonucu olarak kaydın sonunda zeminde 126 cm'lik statik yer değiştirme olduğu gözlenmiştir.



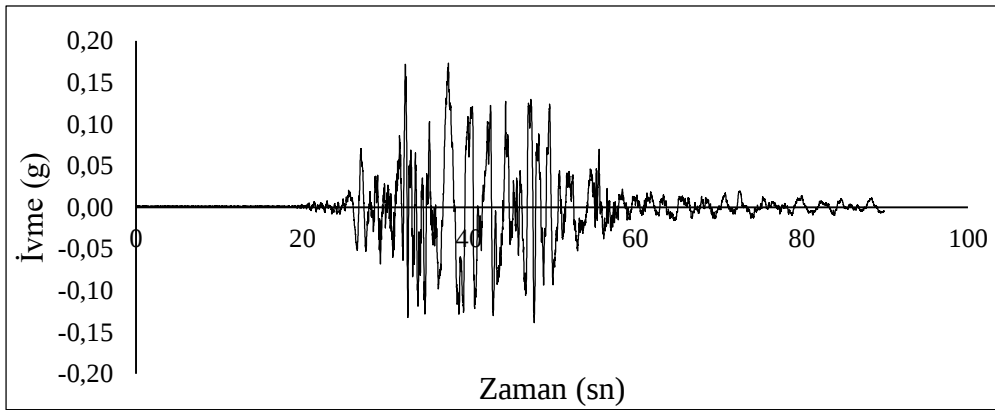
Şekil 4.16. TCU102 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki ivme-zaman grafiği



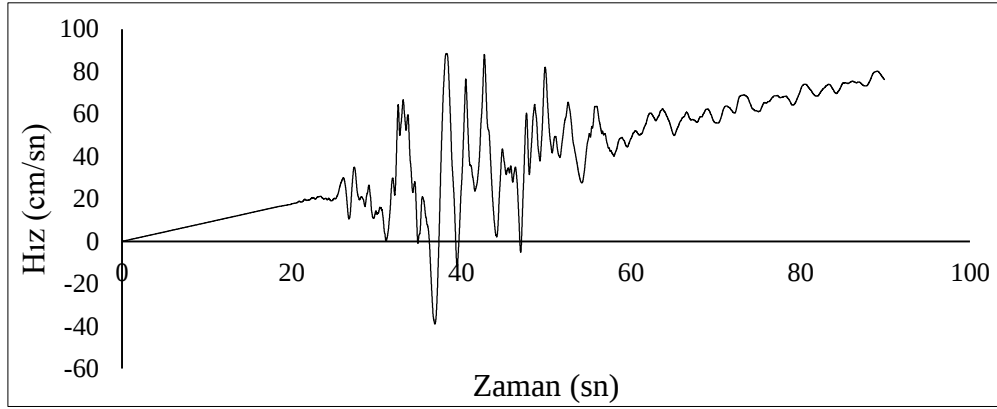
Şekil 4.17. TCU102 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki hız-zaman grafiği



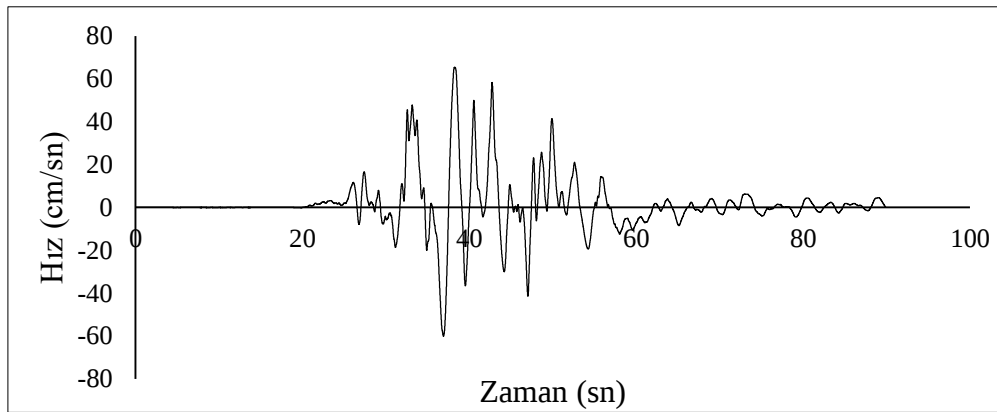
Şekil 4.18. TCU102 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki yer değiştirme-zaman grafiği



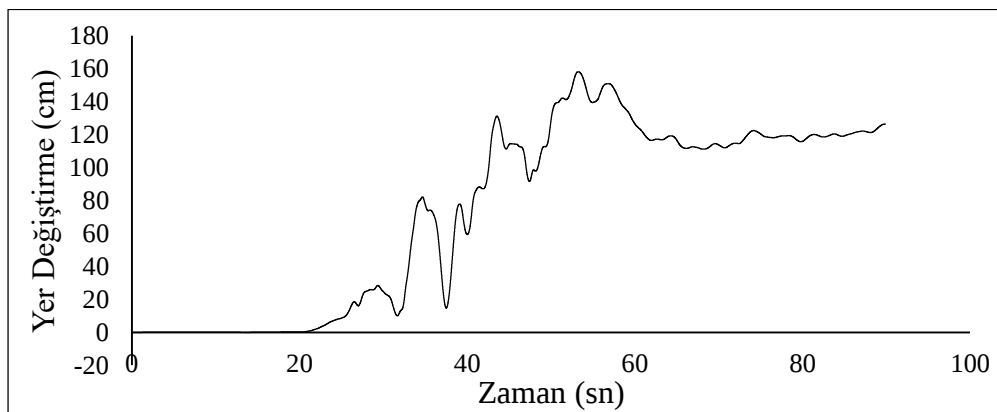
Şekil 4.19. TCU102 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki ham ivme-zaman grafiği



Şekil 4.20. TCU102 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki ntegre edilmiş hız-zaman grafiği



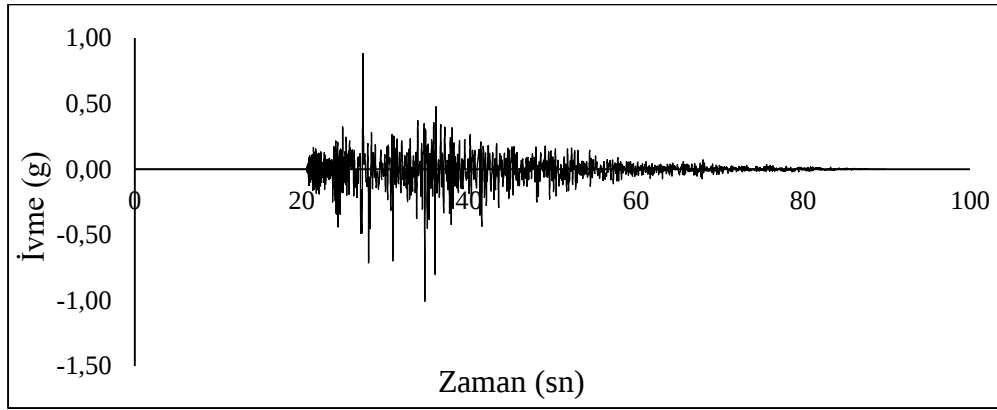
Şekil 4.21. TCU102 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki eksen düzeltmesi uygulanmış hız-zaman grafiği



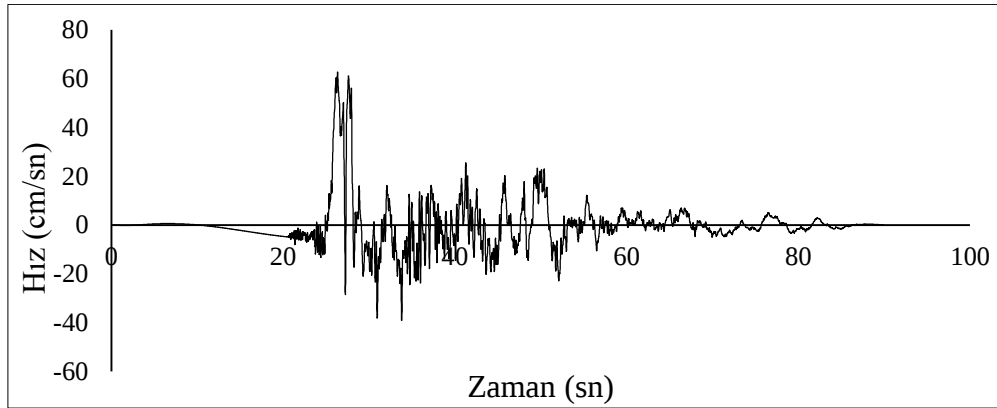
Şekil 4.22. TCU102 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki integre edilmiş yer değiştirme-zaman grafiği

Chi-Chi depremi TCU129 istasyonu faya 1.83 km mesafede yer almaktadır. Bu nedenle de yakın fay yer hareketi olarak ele alınmaktadır. Yakın fay yer hareketi olması nedeniyle hız-

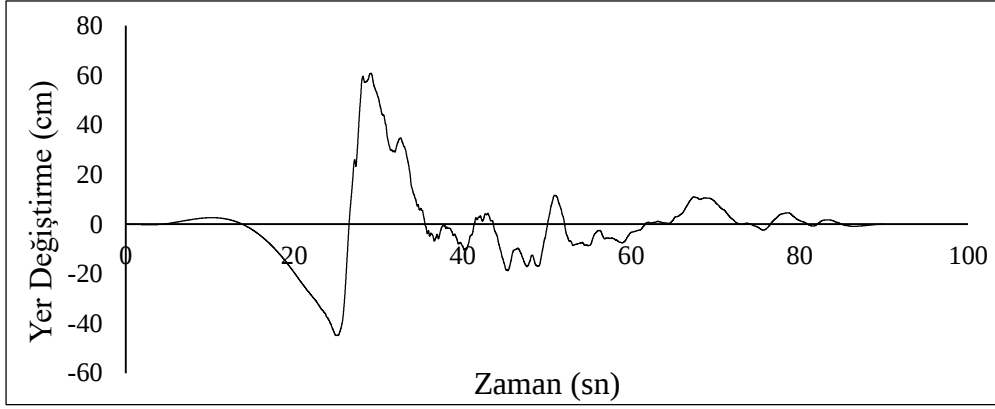
zaman kayıtlarına bakıldığında doğu-batı doğrultusunda darbe etkisi, yer değiştirme-zaman kayıtlarına bakıldığında kuzey-güney doğrultusunda sıçrama etkisinin varlığı göze çarpmaktadır. Doğru-batı doğrultusundaki kayıtlarda PGA 35. saniyede 1.00 g ve PGV 26. saniyede 61.1 cm/sn olarak okunmaktadır. Kuzey-güney doğrultusundaki kayıtlarda PGA 42. saniyede 0.63 g ve PGV 27. saniyede 51.6 cm/sn olarak okunmaktadır. Sıçrama etkisinin sonucu olarak kaydın sonunda zeminde 96 cm'lik statik yer değiştirme olduğu gözlenmiştir.



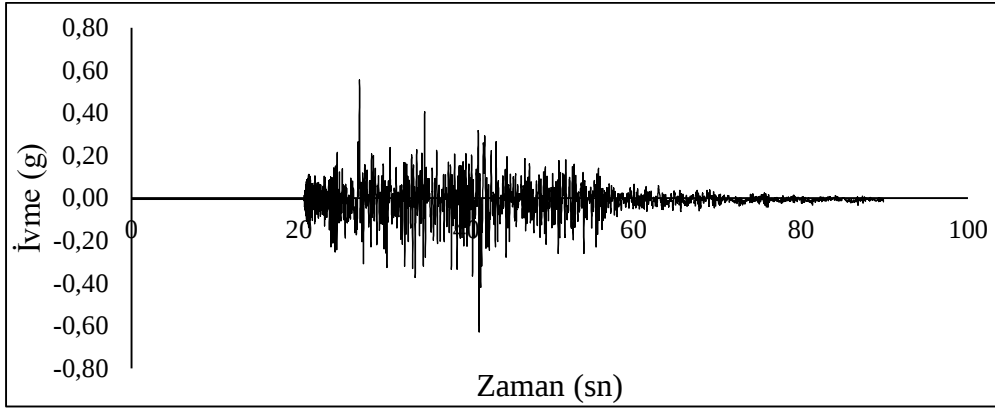
Şekil 4.23. TCU129 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki ivme-zaman grafiği



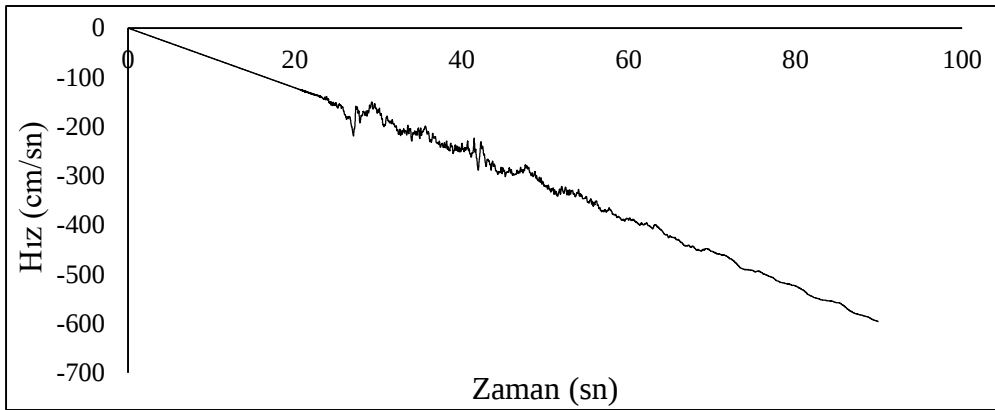
Şekil 4.24. TCU129 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki hız-zaman grafiği



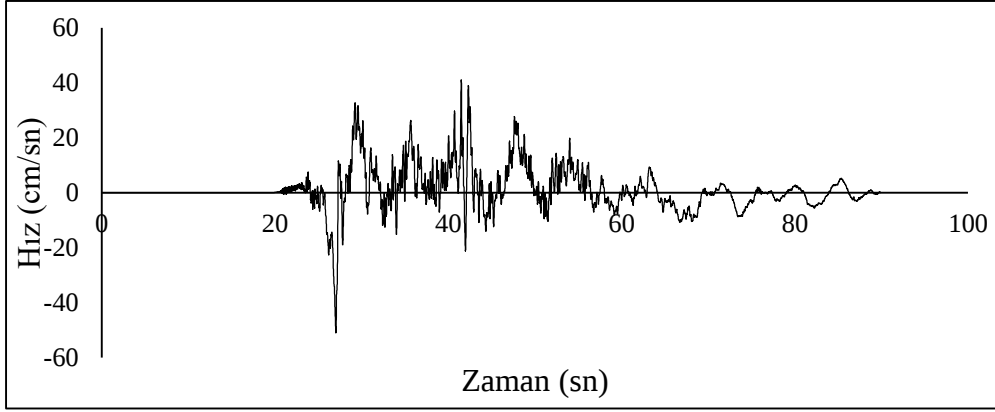
Şekil 4.25. TCU129 istasyonu doğu-batı doğrultusundaki yer değiştirme-zaman grafiği



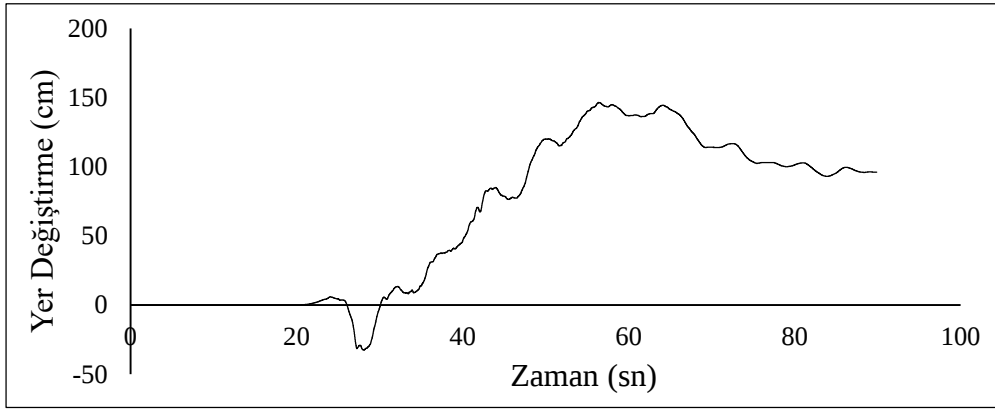
Şekil 4.26. TCU129 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki ham ivme-zaman grafiği



Şekil 4.27. TCU129 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki integre edilmiş hız-zaman grafiği



Şekil 4.28. TCU129 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki eksen düzeltmesi uygulanmış hız-zaman grafiği



Şekil 4.29. TCU129 istasyonu kuzey-güney doğrultusundaki integre edilmiş yer değiştirme-zaman grafiği

4.2. Yakın Fay Kayıtlarına Ait Veriler Kullanılarak Üretilen Kayıtlar (Yöntem-2)

Yakın fay yer hareketlerinin en belirgin özelliklerinden sıçrama ve yönelme etkileri, yapıların süneklik talepleri ve deprem tasarımları açısından kritik önem taşımaktadır. Deprem kayıt istasyonlarının aktif harekete sebep olan fayla aralarındaki mesafenin yeterli yakınlıkta olmadığı durumlarda veya yakın fay verilerine dayanılarak daha sadeleştirilmiş darbe ve sıçrama etkisi içeren yer hareketleri üretmek mümkün olmaktadır. Bu nedenle gerçekleşmiş veya gerçekleşmesi muhtemel depremlerden beklenen maksimum hız değerine ve bölgenin zemin özelliklerine bağlı olarak yapay yer hareketleri üretilebilmektedir. Söz konusu yer hareketleri Makris ve Chang'ın önermiş olduğu trigonometrik fonksiyonlar yardımıyla üretilebilmektedir.

Darbe etkisi içeren yer hareketi analitik olarak sırasıyla denklem (4.15), (4.16), (4.17)'te, ivme, hız ve yer değiştirme-zaman için kullanılacak trigonometrik fonksiyonlar ile verilmektedir (Makris ve Chang, 1998);

$$a(t) = \frac{2\pi V_d}{T_p} \cos\left(\frac{2\pi}{T_p}t\right), \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (4.15)$$

$$v(t) = V_d \sin\left(\frac{2\pi}{T_p}t\right), \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (4.16)$$

$$d(t) = \frac{T_p V_d}{2\pi} \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi}{T_p}t\right)\right], \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (4.17)$$

Burada $a(t)$, $v(t)$, $d(t)$ sırasıyla ivme, hız ve yer değiştirme-zaman grafiklerini veren fonksiyonlardır. Hız-zaman kaydına ait en büyük hız değeri V_d darbe etkisi içeren hız-zaman kaydından alınmaktadır ve darbe periyodu süresi T_p zemin şartları yumuşak zemin olan ve depremin büyüklüğüne bağlı olarak aşağıdaki fonksiyon ile ifade edilmektedir (Somerville, 2003);

$$\log_{10} T_p = -2.02 + 0.346 M_w \quad (4.18)$$

Sıçrama etkisi içeren yer hareketi analitik olarak sırasıyla denklem (4.19), (4.20), (4.21)'te, ivme, hız ve yer değiştirme-zaman için kullanılacak trigonometrik fonksiyonlar ile verilmektedir (Makris ve Chang, 1998);

$$a(t) = \frac{\pi V_f}{T_p} \sin\left(\frac{2\pi}{T_p}t\right), \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (4.19)$$

$$v(t) = \frac{V_f}{2} \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi}{T_p}t\right)\right], \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (4.20)$$

$$d(t) = \frac{V_f}{2} \left[t - \frac{T_p}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{T_p}t\right)\right], \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (4.21)$$

Burada $a(t)$, $v(t)$, $d(t)$ sırasıyla ivme, hız ve yer değiştirme-zaman grafiklerini veren fonksiyonlardır. Hız-zaman kaydına ait en büyük hız değeri V_f sıçrama etkisi içeren hız-zaman kaydından alınmaktadır ve darbe periyodu süresi T_p zemin şartları yumuşak zemin

olan ve depremin büyüklüğüne bağlı olarak denklem (4.18) ile ifade edilmektedir (Somerville, 2003).

Hız ve yer değiştirme kayıtlarındaki darbe sayısının birden fazla olduğu ve darbe sayısına bağlı olarak üretilecek yer hareketleri analitik olarak sırasıyla denklem (4.22), (4.23), (4.24)'te, ivme, hız ve yer değiştirme-zaman için kullanılacak trigonometrik fonksiyonlar ile verilmektedir (Makris ve Chang, 1998);

$$a(t) = \frac{2\pi V_d}{T_p} \cos\left(\frac{2\pi}{T_p}t + \varphi\right), \quad 0 \leq t \leq \left(n + \frac{1}{2} - \frac{\varphi}{\pi}\right) T_p \quad (4.22)$$

$$v(t) = V_d \sin\left(\frac{2\pi}{T_p}t + \varphi\right), \quad 0 \leq t \leq \left(n + \frac{1}{2} - \frac{\varphi}{\pi}\right) T_p \quad (4.23)$$

$$u(t) = -\frac{T_p V_d}{2\pi} \cos\left(\frac{2\pi}{T_p}t + \varphi\right) - V_d t \sin(\varphi) + \frac{T_p V_d}{2\pi} \cos(\varphi), \quad 0 \leq t \leq \left(n + \frac{1}{2} - \frac{\varphi}{\pi}\right) T_p \quad (4.24)$$

Burada $a(t)$, $v(t)$, $d(t)$ sırasıyla ivme, hız ve yer değiştirme-zaman grafiklerini veren fonksiyonlardır. Hız-zaman kaydına ait en büyük hız değeri V_d darbe etkisi içeren hız-zaman kaydından alınmaktadır ve darbe periyodu süresi T_p zemin şartları yumuşak zemin olan ve depremin büyüklüğüne bağlı olarak aşağıdaki fonksiyon ile ifade edilmektedir (Somerville, 2003);

$$\log_{10} T_p = -2.02 + 0.346 M_w \quad (4.18)$$

n sayıda titreşime sahip darbe hareketinin süresi;

$$T = \left(n + 0.5 - \frac{\varphi}{\pi}\right) T_p \quad (4.25)$$

Burada darbe etkisi ve sıçrama etkisi için kullanılan fonksiyonlardan farklı φ faz açısı faktörü dahil olmaktadır. Faz açısı hareketin bitiminde yer değiştirme değerinin sıfıra eşitlenmesiyle elde edilmektedir. Bu amaçla n sayıdaki titreşimin sonunda sıfır yer değiştirmesine ulaşmak için (Makris ve Chang, 1998);

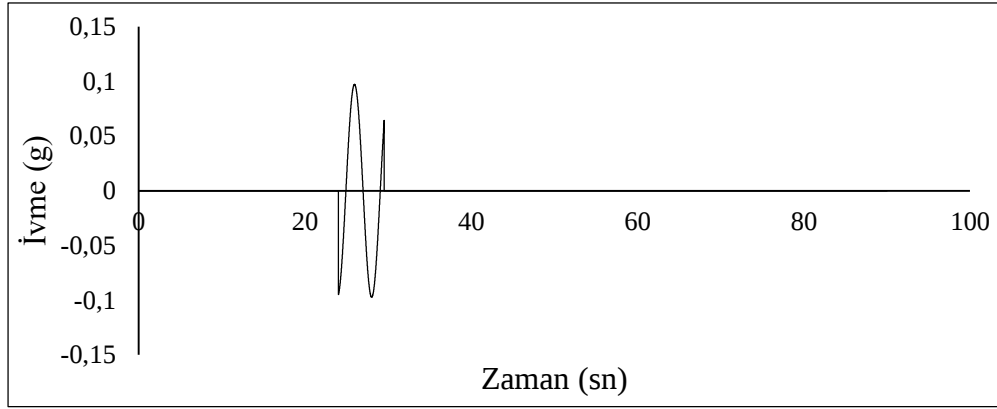
$$\int_0^{(n+0.5-\frac{\varphi}{\pi})T_p} v(t)dt = 0 \quad (4.26)$$

$$\cos[(2n+1)\pi - \varphi] + [(2n+1)\pi - 2\varphi]\sin\varphi - \cos\varphi = 0 \quad (4.27)$$

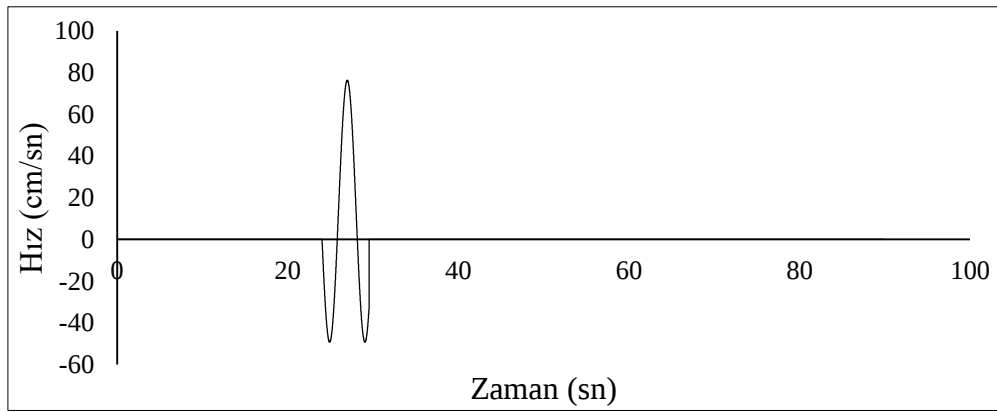
Üretilmek istenilen yer hareketine ait darbe sayısına bağlı olarak tek bilinmeyenli denklem(4.27)'nin çözümü ile φ faz açısı değeri elde edilmektedir. Örneğin, darbe sayısı ($n=1$) olarak üretilcek yer hareketi için $\varphi=0.0697\pi$, ($n=2$) için ise $\varphi=0.0410\pi$ olarak bulunmaktadır.

Yakın fay kaydı olarak Chi-Chi depremi faya 1.83 km uzaklıktaki TCU129 istasyonu kayıtları kullanılmış, bu kayıtlara ait maksimum hız verileri ile aşağıda gösterilen yer hareketleri üretilmiştir. Doğu-batı doğrultusunda en büyük hız 62.78 cm/sn, kuzey-güney doğrultusunda ise en büyük hız 50.98 cm/sn olarak alınmıştır. Kaydın kullanılacağı zemin yumuşak zemin olarak ele alınmış, depreme ait büyüklük 7.62 Mw alınmıştır.

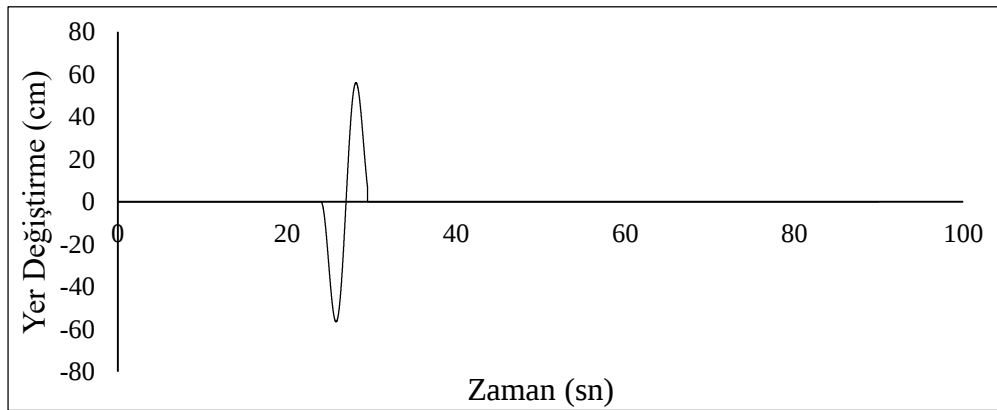
Chi-Chi depremi TCU129 istasyonu faya 1.83 km mesafede yer almaktadır. Bu nedenle yakın fay yer hareketi olarak ele alınmaktadır. TCU129 istasyonu doğu-batı kayıtları incelendiğinde iki titreşimli darbe etkisi gösterdiği görülmektedir. Bu nedenle denklem 4.8 ile 4.13 arasındaki bağıntılar yardımıyla yakın fay yer hareketi üretilmiştir. Burada TCU129 istasyonu kayıtlarının doğrultularına bağlı kalınarak doğu-batı doğrultusu hız-zaman kayıtlarında darbe etkisi, kuzey-güney doğrultusu yer değiştirme-zaman kayıtlarında sıçrama etkisini içeren kayıtlar üretilmiştir. Söz konusu üretilen kayıtlarda doğu-batı doğrultusunda PGA 0.1 g ve PGV 74.8 cm/sn olarak okunmaktadır. Kuzey-güney doğrultusunda PGA 0.04 g ve PGV 49.9 cm/sn olarak okunmaktadır. Sıçrama etkisinin sonucu olarak kaydın sonunda zeminde 105 cm'lik statik yer değiştirme olduğu gözlenmiştir.



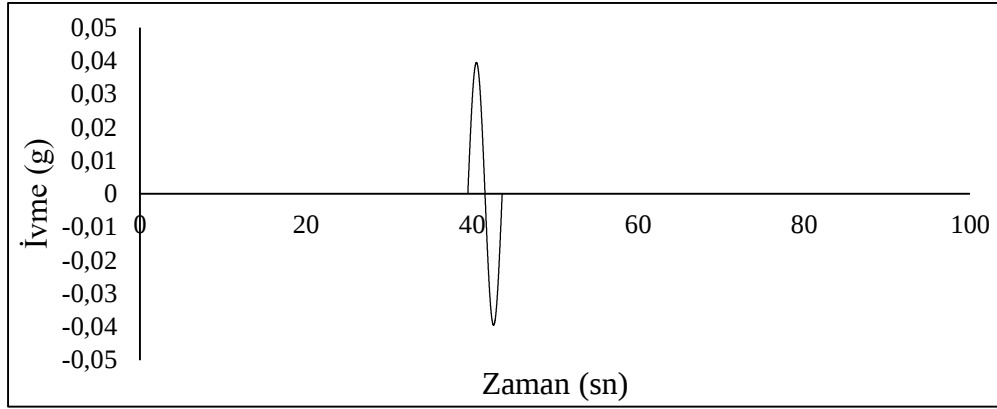
Şekil 4.30. TCU129 doğu-batı doğrultusu için üretilen yer hareketine ait ivme-zaman grafiği



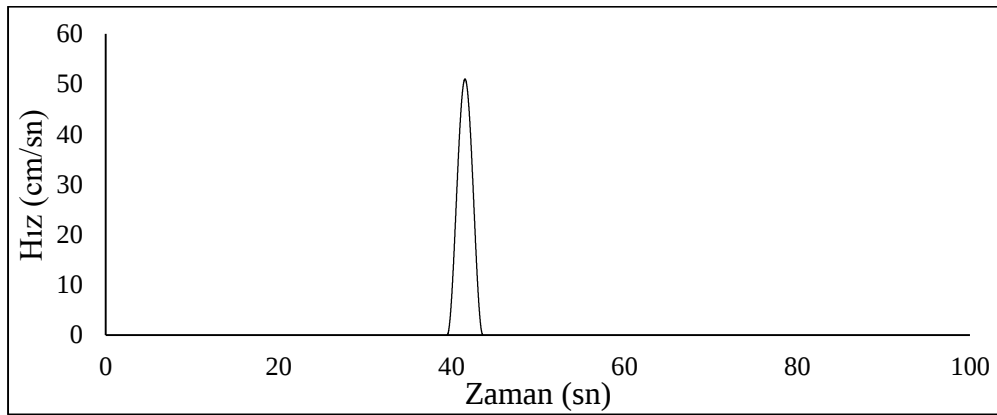
Şekil 4.31. TCU129 doğu-batı doğrultusu için üretilen yer hareketine ait hız-zaman grafiği



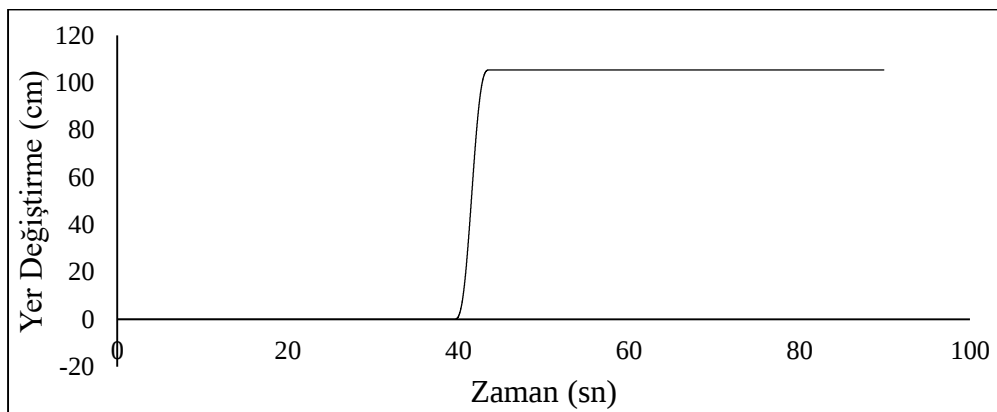
Şekil 4.32. TCU129 doğu-batı doğrultusu için üretilen yer hareketine ait yer değiştirme-zaman grafiği



Şekil 4.33. TCU129 kuzey-güney doğrultusu için üretilen yer hareketine ait ivme-zaman grafiği



Şekil 4.34. TCU129 kuzey-güney doğrultusu için üretilen yer hareketine ait hız-zaman grafiği



Şekil 4.35. TCU129 kuzey-güney doğrultusu için üretilen yer hareketine ait yer değiştirme-zaman grafiği

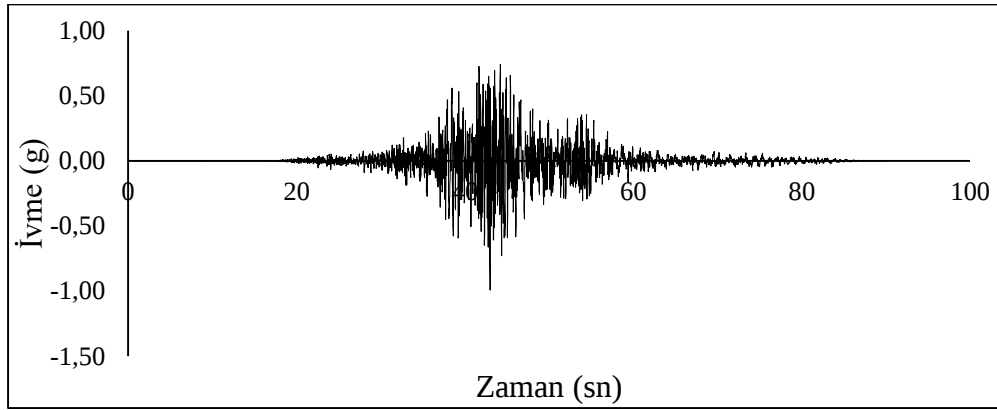
4.3. Uzak Fay Kayıtlarına Ait Veriler Kullanılarak Üretilen Kayıtlar (Yöntem-3)

Yakın fay sıçrama ve yönelme etkilerini uzak fay kayıtlarına eklemek veya elde yakın mesafe veri kaydı bulunmayan durumlarda yakın fay yer hareketlerini simüle edecek yer hareketleri üretmek amacıyla uzak fay kayıtları kullanılarak yakın fay yer hareketleri üretilmiştir. Bu amaçla uzak fay verileri üzerinden denklem (4.15)'ten denklem (4.27)'e kadar ifade edilen trigonometrik fonksiyonlar yardımıyla üretilen yer hareketlerine, uzak fay yer hareketinin kendisinin eklenmesi ile yakın fay özelliği gösteren yer hareketleri tanımlanmıştır. Söz konusu yer hareketleri bölüm 4.2'de tanımlanan fonksiyonlar yardımıyla üretilmiştir. Üretilen kayıtlar doğrultularına bağlı olarak darbe ve sıçrama etkisi özelliği göstermektedir. Uzak fay kaydında bulunmayan söz konusu yakın fay karakteristikleri uzak fay kaydına eklenerek yakın fay yer hareketinin göstereceği davranışın yakalanması amaçlanmıştır.

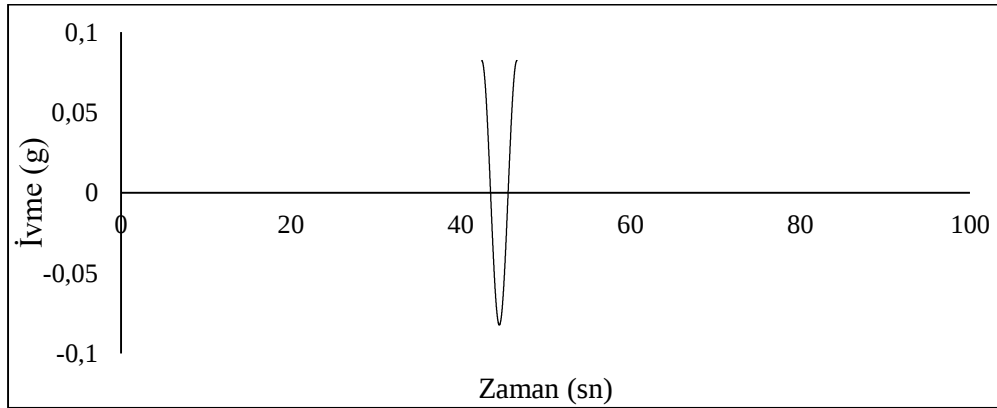
Uzak fay kaydı olarak Chi-Chi depremi faya 47.31 km uzaklıktaki HWA032 istasyonu kayıtları kullanılmış, bu kayıtlara ait maksimum hız verileri ile aşağıda gösterilen yer hareketleri üretilmiştir. Doğu-batı doğrultusunda en büyük hız 53.09 cm/sn, kuzey-güney doğrultusunda ise en büyük hız 40.87 cm/sn olarak alınmıştır. Kaydın kullanılacağı zemin yumuşak zemin olarak kabul edilmiş, depreme ait büyüklük 7.62 Mw alınmıştır. Söz konusu verilere bağlı olarak üretilen sıçrama ve darbe etkileri HWA032 kaydına eklenerek yakın fay davranışı gösteren yer hareketlerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. İvme-zaman verilerinin integre edilmesiyle hız ve yer değiştirme-zaman grafiklerinin belirlenmesi sırasında HWA032 ivme-zaman verileri, bu çalışma kapsamında karşılaştırılması yapılacak olan TCU129 ivme-zaman verilerinin en büyük değerine göre doğu-batı doğrultusunda 6.47 ile kuzey-güney doğrultusunda ise 5.04 ile çarpılıp büyütülerek karşılaştırmanın objektif yapılabilmesi amacıyla normalize edilmiştir. Aşağıda gösterilen HWA032 istasyonu kayıtları normalize edilmiş ivme-zaman kayıtlarının integrasyonu ile elde edilmiştir.

Chi-Chi depremi HWA032 istasyonu faya 47.31 km mesafede yer almaktadır. Bu nedenle uzak fay yer hareketi olarak ele alınmaktadır. HWA032 istasyonu doğu-batı kayıtları incelendiğinde tek titreşimli darbe etkili yer hareketi üretilmesi uygun görülmüştür. Bu nedenle denklem 4.1 ile 4.7 arasındaki bağıntılar yardımıyla yakın fay yer hareketleri üretilmiş, üretilen yer hareketleri karşılaştırmanın objektif yapılabilmesi için normalize

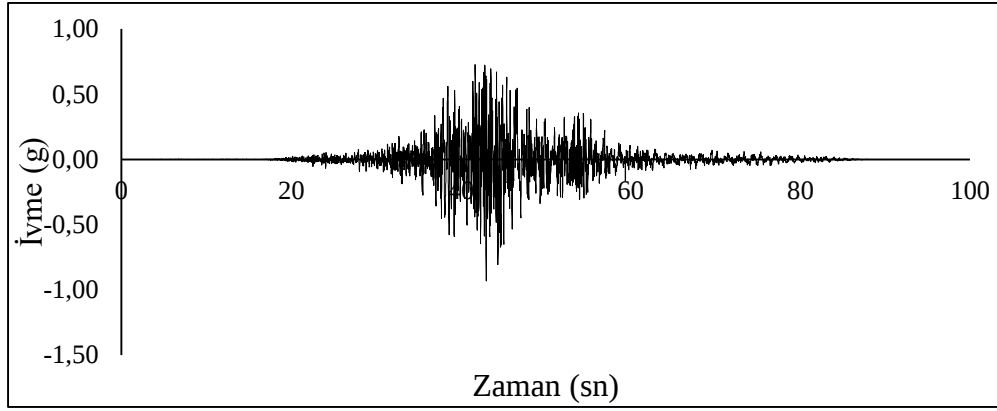
edilen HWA032 kaydı ile toplanmıştır. Burada HWA032 istasyonu kayıtlarının doğrultularına bağlı kalınarak doğu-batı doğrultusu hız-zaman kayıtlarında darbe etkisini, kuzey-güney doğrultusu yer değiştirme-zaman kayıtlarında ise sıçrama etkisini içeren kayıtlar üretilmiştir. Söz konusu toplanmış kayıtlarda doğu-batı doğrultusunda PGA 0.93 g ve PGV 76.1 cm/sn olarak okunurken kuzey-güney doğrultusunda PGA 0.61 g ve PGV 48 cm/sn olarak okunmaktadır. Sıçrama etkisinin sonucu olarak kaydın sonunda zeminde 84 cm'lik statik yer değiştirme olduğu gözlenmiştir.



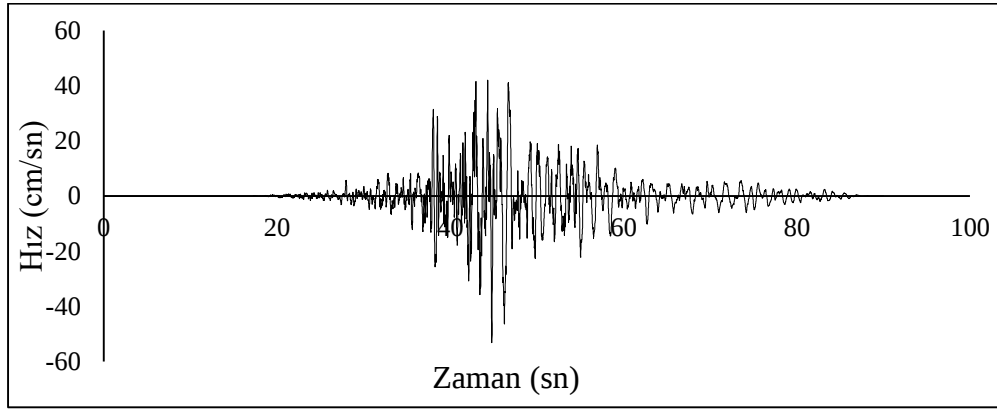
Şekil 4.36. Normalize edilmiş HWA032 istasyonu doğu-batı ivme-zaman grafiği



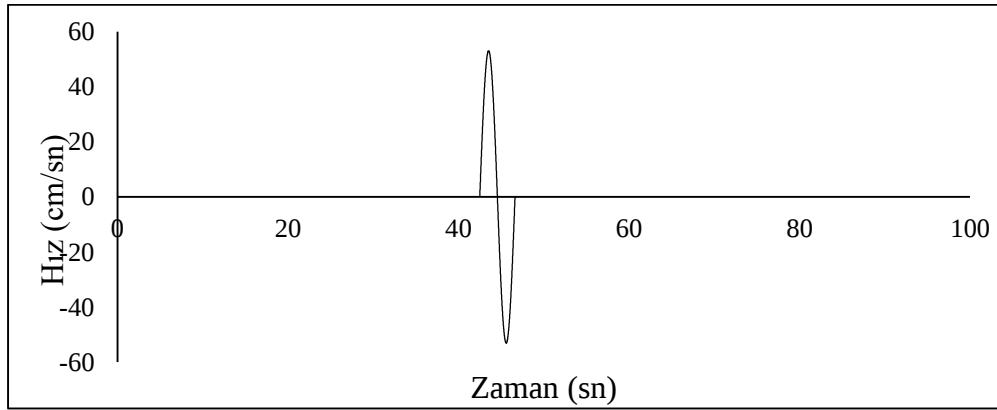
Şekil 4.37. HWA032 istasyonu doğu-batı doğrultusu için üretilen yer hareketine ait ivme-zaman grafiği



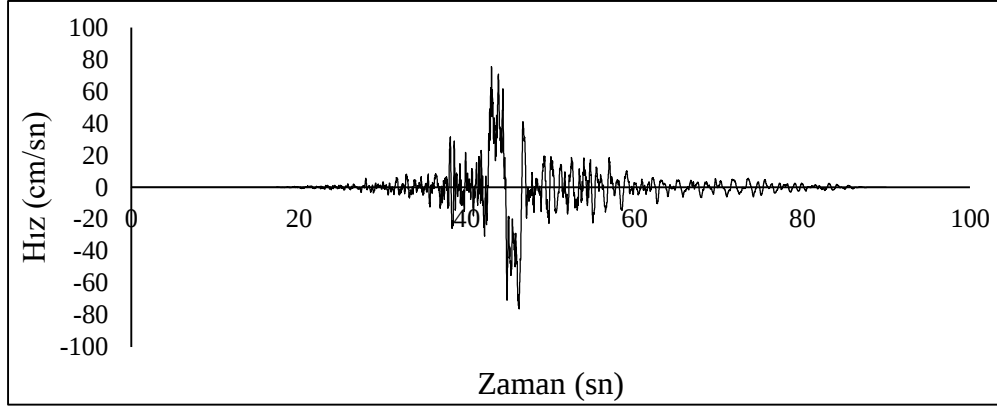
Şekil 4.38. HWA032 istasyonu doğu-batı doğrultusu için üretilen toplanmış yer hareketine ait ivme-zaman grafiği



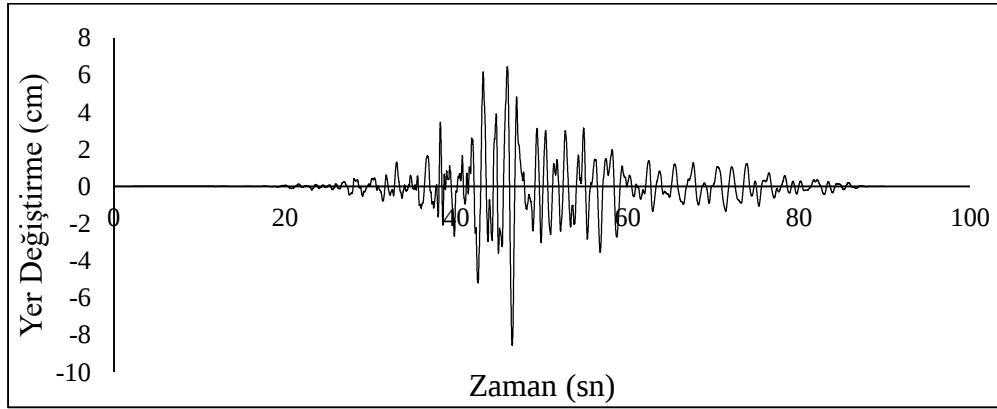
Şekil 4.39. Normalize edilmiş HWA032 istasyonu doğu-batı hız-zaman grafiği



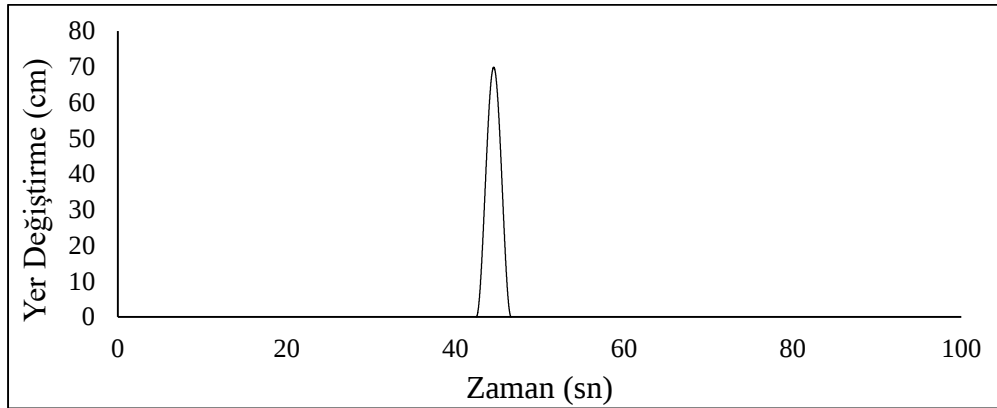
Şekil 4.40. HWA032 istasyonu doğu-batı doğrultusu için üretilen yer hareketine ait hız-zaman grafiği



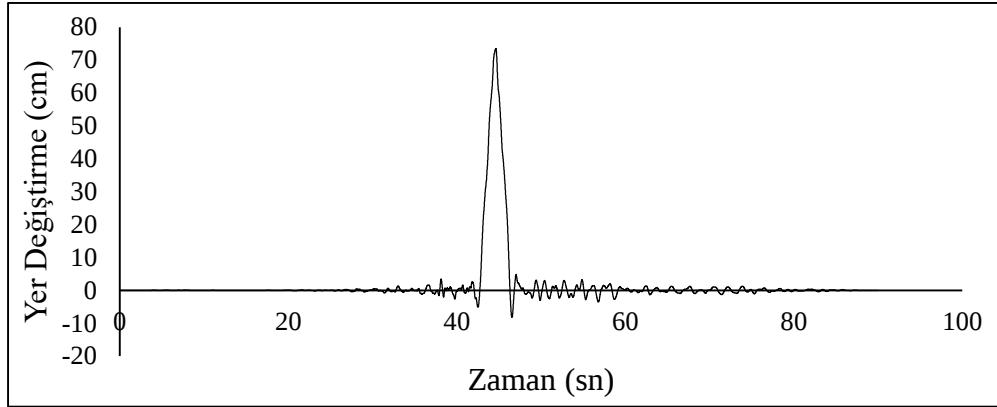
Şekil 4.41. HWA032 istasyonu doğu-batı doğrultusu için üretilen toplanmış yer hareketine ait hız-zaman grafiği



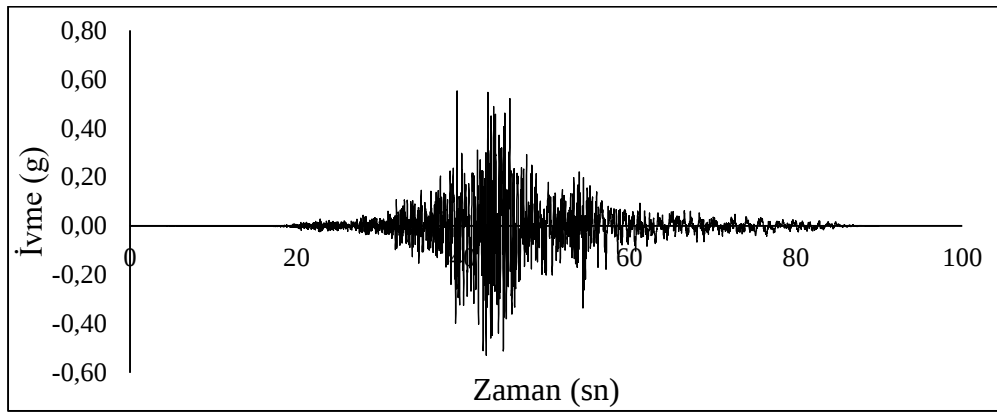
Şekil 4.42. Normalize edilmiş HWA032 istasyonu doğu-batı yer değiştirme-zaman grafiği



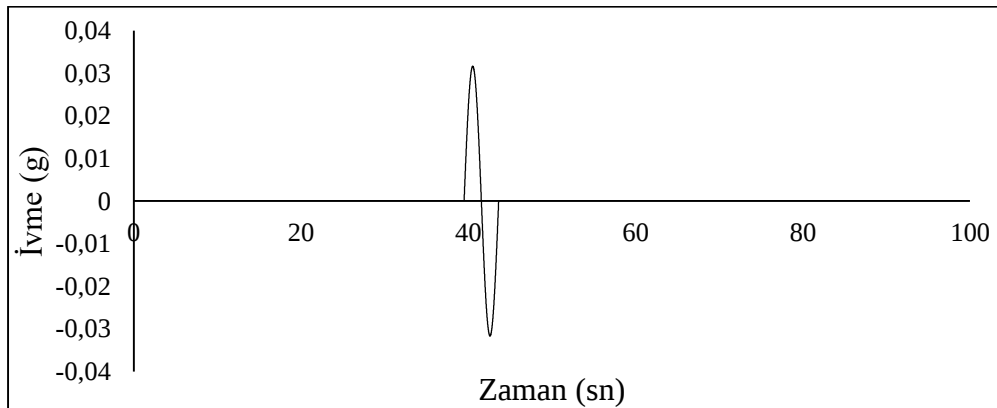
Şekil 4.43. HWA032 istasyonu doğu-batı doğrultusu için üretilen yer hareketine ait yer değiştirme-zaman grafiği



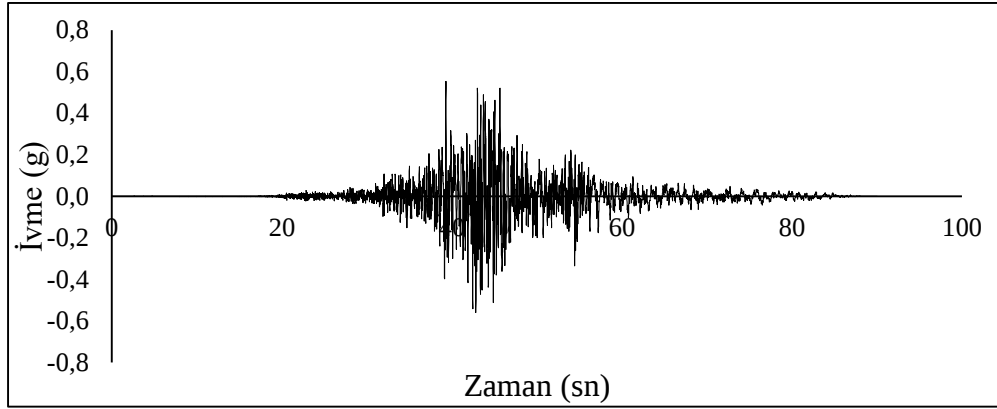
Şekil 4.44. HWA032 istasyonu doğu-batı doğrultusu için üretilen toplanmış yer hareketine ait yer değiştirme-zaman grafiği



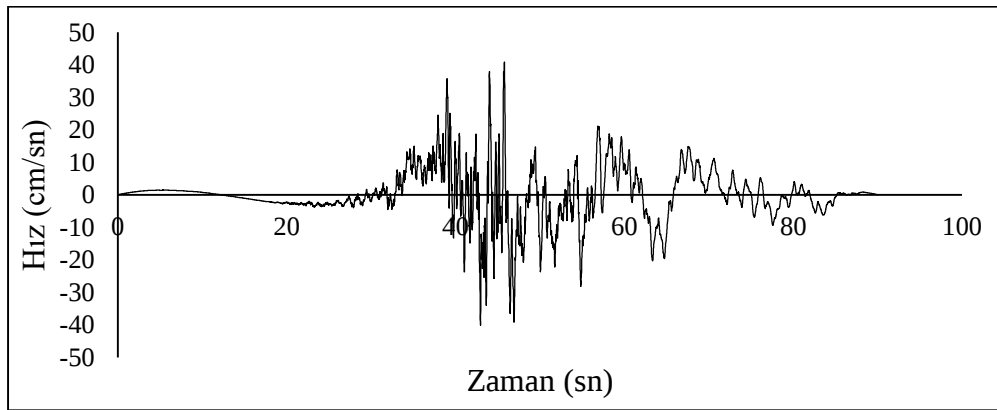
Şekil 4.45. Normalize edilmiş HWA032 istasyonu kuzey-güney ivme-zaman grafiği



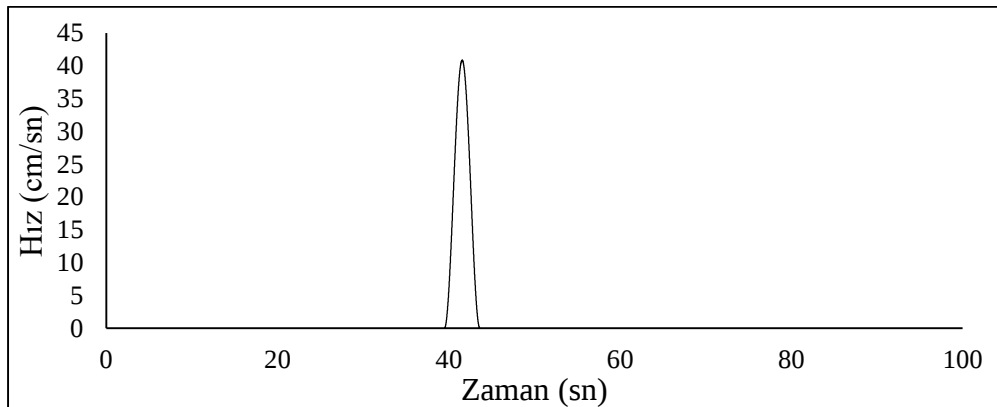
Şekil 4.46. HWA032 istasyonu kuzey-güney doğrultusu için üretilen yer hareketine ait ivme-zaman grafiği



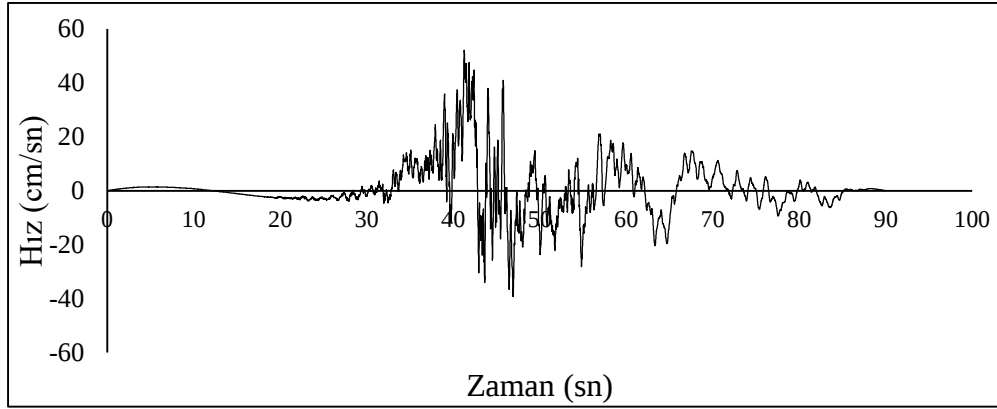
Şekil 4.47. HWA032 istasyonu kuzey-güney doğrultusu için üretilen toplanmış yer hareketine ait ivme-zaman grafiği



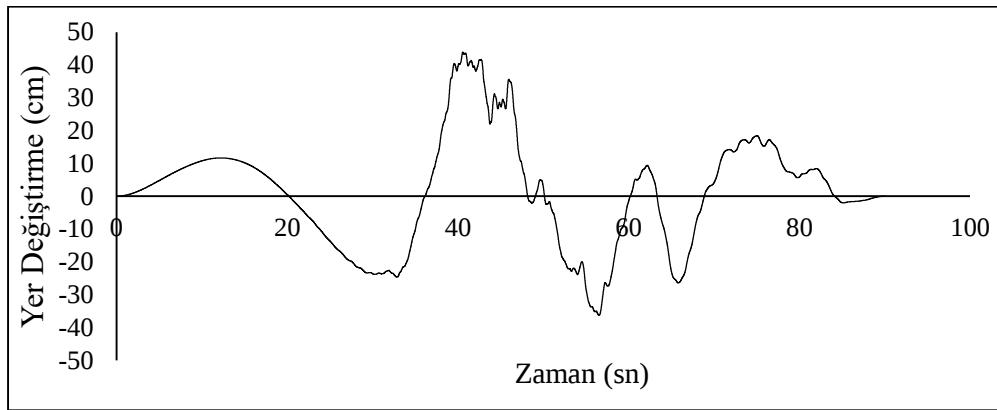
Şekil 4.48. Normalize edilmiş HWA032 istasyonu kuzey-güney hız-zaman



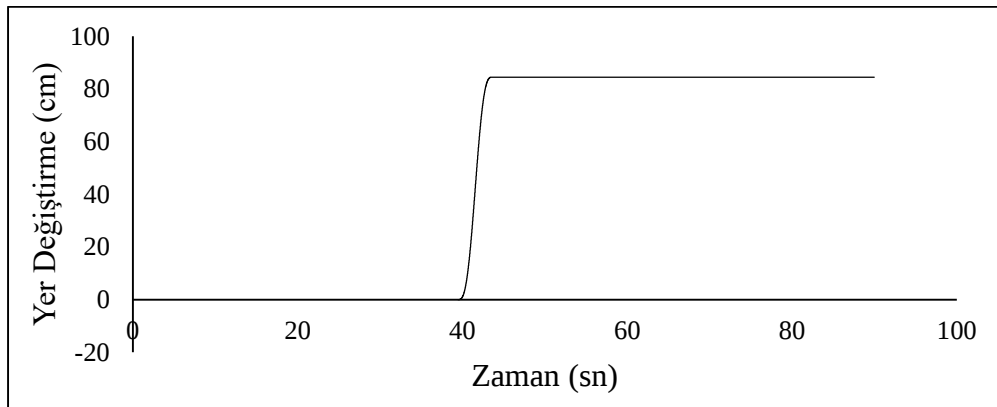
Şekil 4.49. HWA032 istasyonu kuzey-güney doğrultusu için üretilen yer hareketine ait hız-zaman grafiği



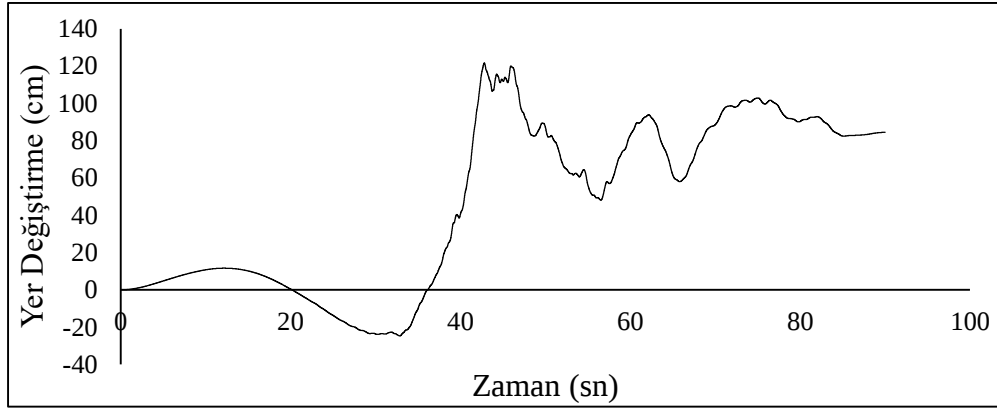
Şekil 4.50. HWA032 istasyonu kuzey-güney doğrultusu için üretilen toplanmış yer hareketine ait hız-zaman grafiği



Şekil 4.51. Normalize edilmiş HWA032 istasyonu kuzey-güney yer değiştirme-zaman



Şekil 4.52. HWA032 istasyonu kuzey-güney doğrultusu için üretilen yer hareketine ait yer değiştirme-zaman grafiği



Şekil 4.53. HWA032 istasyonu kuzey-güney doğrultusu için üretilen toplanmış yer hareketine ait yer değiştirme-zaman grafiği

Yöntem-1, Yöntem-2 ve Yöntem-3 olarak tanımlanan gruplarda deprem kayıtları, doğrudan integre edilerek veya kayıtlara ait veriler kullanılarak yakın fay özellikleri gösteren yapay yer hareketlerinin üretilmesi şeklinde elde edilmiştir. Yöntem-1’de gerçek deprem kayıtları integre edilerek elde edilirken, yapay yer hareketleri Yöntem-2’de yakın fay verileri kullanılarak, Yöntem-3’te ise uzak fay verileri kullanılarak üretilmiştir. Grafiklerde ifade edildiği üzere üretilen yer hareketlerinin formu, kayıtların integrasyonundan elde edilen grafik formlarıyla benzeşmekte değerleri itibariyle de yakınsaklık göstermektedir. Bu tez çalışması kapsamında üç yöntem ile üretilen yer hareketleri için dinamik analizler yapılmıştır.

Grafiklerde görüldüğü üzere yakın fay yer hareketlerine ait doğu-batı doğrultusundaki hız-zaman kayıtlarında darbe ve kuzey-güney doğrultusu yer değiştirme-zaman kayıtlarında statik yer değiştirmelerle ortaya çıkan sıçrama etkileri açıkça görülmektedir. Çalışma kapsamında yakın fay hareketlerinin darbe ve sıçrama etkileri, uzak fay yer hareketi karşılaştırılmaktadır. Bu amaçla yakın fay darbe etkili ve sıçrama etkisi içeren TCU102 ve TCU129 kayıtları, yakın fay darbesiz ve sıçrama etkisi içeren TCU089 kaydı, darbesiz ve sıçrama etkisi içermeyen uzak fay HWA032 kaydı kullanılmıştır. Söz konusu yakın ve uzak fayın etkilerinin ele alındığı analizlerde Yöntem-1 grubu olarak ifade edilen kayıtlar kullanılmış, yakın fay ve uzak fay etkileri ayrıca karşılaştırılmıştır.

5. DALGA YAYILMA ETKİSİ

5.1. Giriş

Yapıların deprem hesabına esas davranışları, yer hareketinin yapının zeminle bağlantıları olan tüm mesnetlerine eşzamanlı etkidiği kabulü ile ele alınmaktadır. Literatürde klasik dinamik analiz olarak tanımlanan bu analiz türünde, depremin oluşturduğu dalga boylarının genel yapı boyutları ile karşılaştırıldığında oldukça büyük olduğu bu nedenle deprem dalgalarının yapıya sonsuz yayılma hızıyla etkidiği kabul edilmektedir. Deprem davranışını daha gerçekçi yansıtmak amacıyla ikinci bir yöntem olarak depremin sonlu yayılma hızıyla etkidiği çözüm yöntemi, dalga yayılma etkisi olarak ele alınmaktadır. Bu çalışmada analizi yapılan uzun açıklığa sahip kemer türü köprü yapıları ve genel olarak asma ve eğik kablo askılı köprü yapıları gibi büyük boyutlara sahip yapılarda depremin tüm mesnet noktalarına eşzamanlı etkimeyeceği ve söz konusu durumun kritikliği önem kazanmaktadır. Diğer bir deyişle her iki ucundaki mesnetleri arasındaki mesafeden dolayı deprem esnasında yayılan yer hareketi her bir mesnete farklı zamanlarda etkiyecektir. Öyle ki köprü yapısının yaklaşım kenarındaki mesnetlere etkiyen deprem, uzaklaşma kenarındaki mesnetlere daha gecikmeli etkiyecektir. Bu durum sonlu yayılma hızına sahip dalga yayılma etkisi içeren yer hareketi olarak ifade edilmektedir (Nazmy ve Abdel-Ghaffar, 1987).

Deprem sırasında ortaya çıkan yer hareketi kırılmanın merkezinden başlayarak ilerlediği zemin özelliklerine göre 200-4000 m/sn hız aralığında, ilerlediği ortama bağlı olarak sürekli değişen frekans içeriği ve değişen genlik değeri ile yayılmaktadır. Yer hareketi dalgalarının frekans içeriği ve genliği değişerek yayılmakta ve köprü gibi büyük yapılarda farklı mesnetlere farklı anlarda etkilmektedir. Söz konusu etkinin yapılar üzerindeki tepkilerinin ne denli kritik seviyelerde olduğu, yapıların sahip olduğu boyutlar oranında önem kazanmaktadır. Dolayısıyla klasik dinamik çözümlemelerde yer hareketinin, bina türü yapıların yapı zemin etkileşimine bağlı olarak tüm mesnetlerine eşzamanlı etkidiği gerçekçi kabul edilebilir. Ancak uzun açıklıklı köprüler gibi büyük yapılarda yer hareketinin yapının mesnet noktalarının tümüne eşzamanlı etkidiği kabulü yer hareketlerinin dalga yayılma davranışı nedeniyle gerçeklikten oldukça uzaklaşmaktadır. Bu nedenle boyutları deprem dalga boylarına oranla küçük sayılmayacak yapılarda yer

hareketinin sonlu hızda yayıldığı gerçeğine dayanan çözümlemeler bir gereklilik haline gelmektedir (Dumanoglu ve Severn, 1984).

Dalga yayılma etkisini dikkate alarak yapılan çözümlemelerde klasik dinamik yer değiştirmelerin yanında ilave zahiri statik yer değiştirmeler ortaya çıkmaktadır. Bu durum klasik dinamik yer değiştirmelere atalet kuvvetlerinin neden olması ile ifade edilirken, zahiri statik yer değiştirmelere dalga yayılma etkisinin sonucu olarak mesnetlerin ayrı hareketlerinin neden olduğu şeklinde açıklanmaktadır. Zamana bağlı parametreler olarak karşımıza çıkan zahiri statik yer değiştirmeler, atalet kuvvetlerinin etkisindeki kesit tesirlerine ilave kesit tesirleri oluşturmaktadır.

5.2. Asinkronize Dinamik Analiz Bağlıları

Sonlu elemanlar yöntemine göre “n” sayıda serbestlik derecesine sahip sisteme ait hareket denklemi ;

$$[M]\{\ddot{v}\} + [C]\{\dot{v}\} + [K]\{v\} = \{F\} \quad (5.1)$$

olarak ifade edilmektedir. Denklemden $[M]$ kütle, $[C]$ sönüm, $[K]$ rijitlik matrislerini, $\{\ddot{v}\}$ ivme, $\{\dot{v}\}$ hız, $\{v\}$ yer değiştirme vektörlerini, $\{F\}$ dış kuvvet vektörünü göstermektedir. Sisteme etkiyen bir dış kuvvet söz konusu olmadı için $\{F\}$ kuvvet vektörü sıfır olmaktadır. Söz konusu denklemden yer hareketi etkisi ile sisteme ait serbestlik derecelerinin ivme değerleri ve bu ivme değerlerinin integrasyonu ile elde edilen hız ve yer değiştirmeler kuvvet vektörü yerine yer almaktadır.

Yapı zemin etkileşimi içerisinde olan serbestlik dereceleri bilinen serbestlik dereceleri olarak ele alınmaktadır. Bilinen serbestlik derecelerine ait ivme, hız ve yer değiştirmeler yapı zemin etkileşiminde olan ve yer hareketinin bilindiği serbestlik dereceleri. Bilinen serbestlik derecelerinin ivme, hız ve yer değiştirmelerine bağlı olarak bilinmeyen serbestlik derecelerinin ivme hız ve yer değiştirmeleri çözümlenmektedir. Denklem (5.1) olarak tanımlanan sistem hareket denklemi üzerinde bilinen ve bilinmeyen olarak serbestlik dereceleri ayrı ayrı gruplandırılmaktadır. Söz konusu gruplandırma bilinen serbestlik derecelerini “g” indisi ile, bilinmeyen serbestlik derecelerini ise “r” indisi ile ayırmaktadır.

Özetle bilinen serbestlik dereceleri $\{v_g\}$ ile, bilinmeyen serbestlik dereceleri $\{v_d\}$ ile gösterilmektedir. Bu durumda denklem (5.1) daha açık şekilde;

$$\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rg} \\ M_{gr} & M_{gg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_r \\ \ddot{v}_g \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{rr} & C_{rg} \\ C_{gr} & C_{gg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_r \\ \dot{v}_g \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{rr} & K_{rg} \\ K_{gr} & K_{gg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_r \\ v_g \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (5.2)$$

olarak ifade edilmektedir. Denklemde $[M_{rr}]$ bilinmeyen serbestlik derecelerine karşılık gelen kütle matrisini, $[C_{rr}]$ bilinmeyen serbestlik derecelerine karşılık gelen sönüm matrisini ve $[K_{rr}]$ bilinmeyen serbestlik derecelerine karşılık gelen rijitlik matrisini ifade etmektedir. $[M_{rg}]$, $[C_{rg}]$ ve $[K_{rg}]$ bilinen her bir zemin serbestlik derecelerinin birim hareketinden dolayı bilinmeyen serbestlik derecelerinde oluşan kuvvetleri temsil etmektedir. $[M_{gg}]$, $[C_{gg}]$ ve $[K_{gg}]$ olarak gösterilen matrisler bilinen her bir zemin serbestlik derecesinin birim yer değiştirmesiyle, bilinen serbestlik derecelerinde oluşan kuvvetleri göstermektedir. $[M_{gr}]$, $[C_{gr}]$ ve $[K_{gr}]$ matrisleri, $[M_{rg}]$, $[C_{rg}]$ ve $[K_{rg}]$ matrislerinin simetrik olması nedeniyle her birinin transpozesi şeklinde ifade edilmektedir. Denklem (5.2)'nin bilinenleri eşitliğin sağına alındığında;

$$[M_{rr}]\{\ddot{v}_r\} + [C_{rr}]\{\dot{v}_r\} + [K_{rr}]\{v_r\} = -[M_{rg}]\{\ddot{v}_g\} - [C_{rg}]\{\dot{v}_g\} - [K_{rg}]\{v_g\} \quad (5.3)$$

denklem (5.3) haline dönüşmektedir. Eşitliğin sağ tarafındaki ivme, hız ve yer değiştirmeler cinsinden yazılan ifadeler depremi temsil etmektedir. Eşitliği basitleştirmek amacıyla toplam yer değiştirme olarak ifade edilen $\{v_r\}$, iki ayrı ifadenin toplamı haline dönüştürülebilir. Bu iki ifadeden birincisi bilinen zemin serbestlik derecelerinde asinkronize yer hareketi etkisiyle oluşan yer değiştirmeler, ikincisi ise atalet kuvvetleri etkisiyle oluşan yer değiştirmeler olarak tanımlanmaktadır. Her bir düğüm noktasındaki ivme ve kütlenin çarpımına eşit olan atalet kuvvetleri, burada ikinci yer değiştirme bileşeni olarak tanımlanan şekilde $\{v_d\}$ ile ifade edilmektedir. Yer hareketinin üniform olması durumunda birinci yer değiştirme bileşeni olarak tanımlanan yapı zemin ilişkisine dayalı bilinen yer hareketleri rijit cisim hareketi şeklinde gerçekleştiğinden dolayı sistemde iç kuvvet meydana getirmemektedir. Bu nedenle dinamik hareket denklemlerine dahil edilmemektedir. Ancak üniform olmayan yer hareketi etkisinde bilinen her serbestlik derecesinde aynı olmayan yer değiştirmeler oluşacak dolayısıyla sistemde iç kuvvetler meydana gelecektir. Diğer bir ifadeyle asinkronize hareket etkisinde atalet kuvvetlerine ilave kuvvetler oluşacaktır. Söz konusu farklı yer değiştirmeler kütleden bağımsız ifade

edildiğinden zahiri statik yer değiştirmeler olarak adlandırılmakta “ v_s ” ile ifade edilmektedir. Bu bilgiler çerçevesinde yer değiştirme vektörlerinin bileşenlerine ayrılarak ifade edilmiş hali denklem (5.4)’te gösterilmektedir.

$$\begin{Bmatrix} v_r \\ v_g \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} v_{sr} \\ v_{sg} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} v_{dr} \\ v_{dg} \end{Bmatrix} \quad (5.4)$$

Denklemde “ v_{dg} ” sıfır, “ v_{sg} ” değeri “ v_g ” değerine eşit olmaktadır. “ v_{sr} ” zahiri statik yer değiştirmeleri, “ v_{dr} ” ise dinamik yer değiştirmeleri ifade etmektedir. Buradaki ifadeler denklem (4.3)’te yerine konulur ve yeni oluşan denklemde dinamik yer değiştirmeye bağlı bileşenler eşitliğin solunda, zahiri statik yer değiştirmeye bağlı bileşenler de eşitliğin sağında düzenlendiğinde;

$$[M_{rr}]\{\ddot{v}_{dr}\} + [C_{rr}]\{\dot{v}_{dr}\} + [K_{rr}]\{v_{dr}\} = \{F_{eff}\} \quad (5.5)$$

denklem (5.5)’ ulaşılır. Denklem (5.5)’te $\{F_{eff}\}$ bilinmeyen serbestlik derecelerine etkiyen kuvveti ifade etmektedir. Söz konusu kuvvet vektörü;

$$-[M_{rr} \quad M_{rg}]\begin{Bmatrix} \ddot{v}_{sr} \\ \ddot{v}_{sg} \end{Bmatrix} - [C_{rr} \quad C_{rg}]\begin{Bmatrix} \dot{v}_{sr} \\ \dot{v}_{sg} \end{Bmatrix} - [K_{rr} \quad K_{rg}]\begin{Bmatrix} v_{sr} \\ v_{sg} \end{Bmatrix} \quad (5.6)$$

olarak ifade edilmektedir. Dinamik denge denklemleri statik denge denklemlerini de kapsayan zamana bağlı denklemler olarak ifade edilip, denklem (5.5) ve denklem (5.6)’da zamana bağlı ifadeler denklemden çıkarıldığında, geriye denklem (5.6)’nın son terimi kalıp, söz konusu terim de sıfır olmaktadır. O halde denklem (5.6) olarak ifade edilen bağıntı;

$$\{F_{eff}\} = -[M_{rr} \quad M_{rg}]\begin{Bmatrix} \ddot{v}_{sr} \\ \ddot{v}_{sg} \end{Bmatrix} - [C_{rr} \quad C_{rg}]\begin{Bmatrix} \dot{v}_{sr} \\ \dot{v}_{sg} \end{Bmatrix} \quad (5.7)$$

Denklem (5.7)’deki eşitliğe dönüşmektedir. Sönüm matrisinin, rijitlik matrisi ile orantılı olduğu durumda sönüm matrisine ait değerler sıfır değerine eşit olmaktadır. Söz konusu orantılılığın mevcut olmadığı hallerde dahi sönüm terimlerine bağlı kuvvet değerleri, rijitlik terimlerine bağlı kuvvet değerlerinden oldukça küçük olduğundan sönüm kuvvetleri göz ardı edilebilir mertebelerde kalmaktadır. Bu nedenle sönüme bağlı terimler ihmal edilebilmektedir. Denklem (5.7)’nin sönüm terimlerinden ayrılmış hali;

$$\{F_{eff}\} = -[M_{rr} \quad M_{rg}]\begin{Bmatrix} \ddot{v}_{sr} \\ \ddot{v}_{sg} \end{Bmatrix} \quad (5.8)$$

eşitliğine dönüşmektedir. Denklem (5.8)'de $\{\ddot{v}_{sg}\}$ ile gösterilen terim bilinen serbestlik derecelerine etkiyen ivme olarak bilinmekte, $\{\ddot{v}_{sr}\}$ ile gösterilen terim ise bilinmeyen serbestlik derecelerinin ivmelerini ifade etmektedir. Bilindiği üzere denklem (5.6) bağıntısındaki son terimin sıfır olmasından;

$$[K_{rr}]\{v_{sr}\} = -[K_{rg}]\{v_{sg}\} \quad (5.9)$$

İfadesi çıkarılmaktadır. Söz konusu eşitlikten $\{v_{sr}\}$ terimi,

$$\{v_{sr}\} = -[K_{rr}]^{-1}[K_{rg}]\{v_{sg}\} = -[R_{rg}]\{v_{sg}\} \quad (5.10)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Denklemde $[R_{rg}]$ ile gösterilen terim, $[K_{rr}]^{-1}$ matrisinin $[K_{rg}]$ matrisi ile önden çarpımı şeklinde ifade edilmektedir. Denklem (5.10)'nun çözümüyle $\{v_{sr}\}$ terimi elde edilmektedir, ardından bu terimin zamana göre iki defa türevi $\{\ddot{v}_{sr}\}$ terimini vermektedir. Denklem (5.10) eşitliği, denklem (5.8) eşitliğinde yerine yazıldığında;

$$\{F_{eff}\} = -[M_{rr}R_{rg} + M_{rg}]\{\ddot{v}_{sg}\} \quad (5.11)$$

denklem (5.11) haline gelir. Çoğu kez $[M_{rg}]$ teriminde sıfır değeri oldukça fazladır. Bu nedenle depremin etkin kuvvet vektörüne katkısı oldukça az olmaktadır. Bu nedenle söz konusu terim göz ardı edilebilir. Ayrıca diyagonal kütle matrislerinde $[M_{rg}]$ terimi sıfır değerini almaktadır. Bu bilgiler ışığında denklem (5.5) ele alındığında denklemin düzenlenmiş hali;

$$[M_{rr}]\{\ddot{v}_{dr}\} + [C_{rr}]\{\dot{v}_{dr}\} + [K_{rr}]\{v_{dr}\} = -[M_{rr}] + [R_{rg}]\{\ddot{v}_{sg}\} \quad (5.12)$$

olarak ifade edilebilir. Üniform olmayan yer hareketi etkisi altında $\{v_{dr}\}$ bilinmeyen dinamik yer değiştirmeleri veren (5.12) eşitliği, üniform yer hareketi etkisi altındaki sistemlerde de kullanılabilir. Yapı zemin etkileşimiyle bilinen serbestlik derecelerinin tamamının üniform yer hareketi etkisi altındaki çözümünde $\{\ddot{v}_{sg}\}$ vektörü tekil olmakla

birlikte, $\{R_{rg}\}$ ise sıfır ve bir değerlerinin oluşturduğu doğrultu vektörü olarak karşımıza çıkmaktadır. Üniform olmayan yer hareketi etkisinde ise $[R_{rg}]$ terimi, zemin yer değiştirmelerinin şekil vektörleri şeklinde adlandırılan $\{r\}$ vektörlerinin oluşturduğu matris formunda bir terim haline gelmektedir. Zemin yer değiştirme vektörü $\{r\}$, bilinen zemin serbestlik derecelerinden herhangi bir tanesinin yatay ya da dikey doğrultuda bir birimlik yer değiştirmesi ile bilinen diğer zemin serbestlik derecelerinin tamamının sabit olduğu durumda sistemdeki şekil değiştirmeyi veren terimdir. Yer hareketine maruz tüm mesnetlerde $\{r\}$ vektörü bulunabilmektedir.

Denklem (5.12) bilinen nümerik çözümlerden olan nümerik integrasyon ya da mod birleştirme yöntemlerinden herhangi biriyle çözülebilir. Sistemin açısal frekans değeri w_i ve modlarına ilişkin modal vektörü $\{\phi_i\}$, denklem (5.13)'ün sönümsüz serbest titreşim bağıntılarıyla elde edilir.

$$[M_{rr}]\{\ddot{v}_{dr}\} + [K_{rr}]\{v_{dr}\} = 0 \quad (5.13)$$

Bilinmeyen serbestlik derecelerine ait yer değiştirmeler,

$$\{w_{dr}\} = \sum_i \{\phi_i\} Y_i(t) \quad (5.14)$$

eşitliğiyle elde edilmektedir. Burada $Y_i(t)$ terimi i. modal genliği ifade etmektedir. Söz konusu eşitlik, denklem (5.12)' de yerine yazıldığında;

$$\ddot{Y}_i(t) + 2\xi w_i \dot{Y}_i(t) + w_i^2 Y_i(t) = \left[-\frac{\phi_i^T M_{rr}}{\phi_i^T M_{rr} \phi_i} \right] [r_1 \ddot{v}_{1g}(\tau_1, t) + r_2 \ddot{v}_{2g}(\tau_2, t) + \dots] \quad (5.15)$$

eşitliğini vermektedir. Denklemde “ ξ ” sönüm oranını ifade etmektedir ve her titreşim modu için aynı değere sahip olmaktadır. Üniform olmayan yer hareketinin referans bir noktadan başlayarak i. mesnet noktasına varış süresini ifade eden τ_i terimi, deprem dalgalarının yayılma hızına ve söz konusu uzaklığa göre değerler almaktadır. Eşitliğin sağında $\{r\}$ vektörü sayısı kadar terim yer almaktadır.

Bilinmeyen serbestlik derecelerine ait zahiri statik yer değiştirmeler “ v_{sr} ”,

$$v_{sr} = r_1 v_{1g}(\tau_1, t) + r_2 v_{2g}(\tau_2, t) + \dots \quad (5.16)$$

bağıntısıyla bulunmaktadır. Denklemde v_{ig} , yer hareketine ait ivme teriminin iki defa integre edilmesiyle bulunan yer değiştirme terimini ifade etmektedir.

Kesit tesirleri hesaplarında kullanılacak olan toplam yer değiştirme, v_r ,

$$v_r = v_{sr} + v_{dr} \quad (5.17)$$

eşitliğiyle elde edilmektedir. Sistemde oluşan kesit tesirleri, toplam yer değiştirmenin rijitlik matrisi ile çarpımından,

$$\{p\} = [K]\{v_r\} \quad (5.18)$$

denklem (5.18)'de ifade edilen şekilde hesaplanmaktadır. Denklemde $\{p\}$ kuvvet vektörü, $[K]$ rijitlik matrisi olarak tanımlanmaktadır (Bayraktar, 1995; Dumanoglu ve Severn, 1984; Nazmy ve Abdel-Ghaffar, 1987).

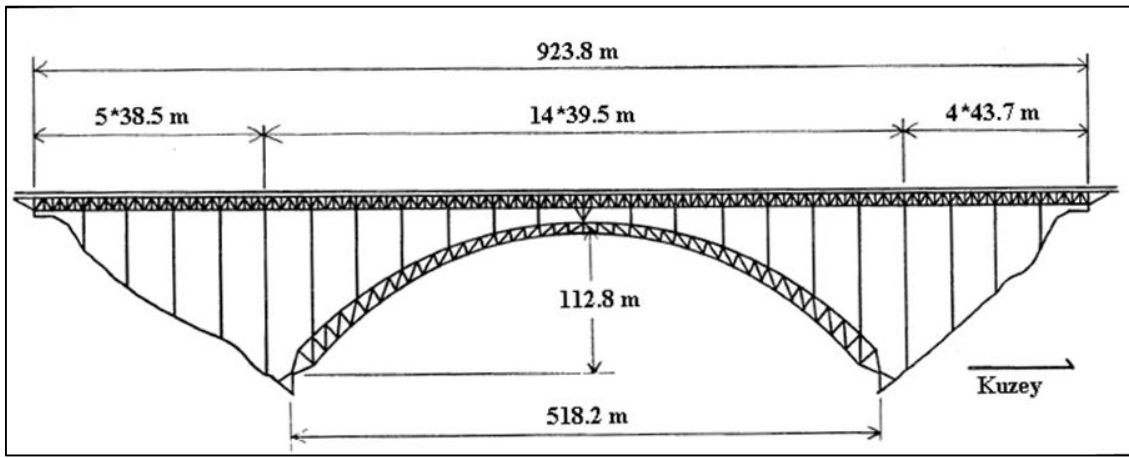
6. ÇELİK KEMER KÖPRÜ VE SONLU ELEMAN MODELİ

6.1. New River Gorge Köprüsü

Köprüler bir engeli geçmek amacı ile inşa edilen, uzun yıllar hizmet verecek şekilde tasarlanan sanat yapıları olarak tanımlanmaktadır. Çalışma prensibi esas olarak sabit yükler altında basınç kuvvetine çalışan, bu nedenle de basınç dayanımı yüksek elemanlardan oluşan kemer formu, köprülerde eski zamanlardan günümüze değin tercih edilmektedir. Kemer türü köprülerde düşey yükler altında kemer elemanı basınç alacak şekilde tasarlanmaktadır. Söz konusu basınç kuvvetleri kemer vasıtasıyla mesnetlere aktarılmakta ve buradan da temel ile kuvvetin zemin gerilmesi tarafından karşılanması sağlanmaktadır. Kemerlerde çekme kuvvetlerinin olmayışı eğilme etkisindeki kirişlere göre çok daha fazla açıklıkların aşılabileceği ve çekme dayanımı olmayan malzemeler ile inşa edilebileceği anlamına gelmektedir. Çeliğin yapı elemanı olarak kullanımının yaygınlaşması ile kemer formundaki köprülerin yapımında basınca çalışan, çelik yapı sistemleri de tercih edilmektedir. Bu sayede ekonomik çözümler sağlayan büyük açıklıklara sahip 550~600 m uzunlukta çelik kemer köprüler inşa edilmiştir. Düşey yükler altında genel olarak ifade edilen davranışı sergileyen kemer türü uzun açıklıklı çelik köprülerin dinamik davranışları hakkında da bilgi sahibi olunması önem arz etmektedir. Bu amaçla çalışma kapsamında özellikle yakın fay ve asinkronize yer hareketleri etkisindeki davranışları ayrı ayrı incelenmektedir.

Bu tez çalışmasında Amerika Birleşik Devletleri sınırları içerisinde yer alan Batı Virginia eyaletinin Fayetteville bölgesinde bulunan New River Gorge Köprüsü (NRGB) uzun açıklıklı çelik kemer köprü modeli olarak seçilmiştir. New River Gorge Köprüsü çelik kafes kemer türü bir köprüdür. Söz konusu köprü, inşa edildiği dönemde dünyanın en uzun açıklığa sahip çelik kemer köprüsü olarak 22 Ekim 1977 tarihinde trafiğe açılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri sınırları içerisinde yer alan Batı Virginia eyaletinin, Fayetteville bölgesinde inşa edilmiş olan köprü, Batı Virginia eyaletinin Appalchian Karayolu ağında Route 19 olarak tanımlana kısım üzerinde yer almaktadır. Yapımına Haziran 1974'te başlanan köprünün inşaatı 22 Ekim 1977'de tamamlanmıştır. Ön tasarım aşamalarında çeşitli köprü türleri düşünülmüş, ancak çelik bir kemer inşa etme kararı maliyet ve estetik unsurların bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. 923.6 m uzunluğundaki köprü, 518.2 m merkez açıklığa sahiptir. Güney yaklaşım bölgesinde 38.5 m, açıklık

kısımında 39.5 m ve kuzey yaklaşımında ise 43.7 m uzunluklardaki sürekli kafeslerin oluşturduğu panel adı verilen segmentlerden oluşan köprü tabliyesi, 4 şeritli trafik güzergahı ile toplamda 21.95 m genişliğindedir. Tabliyenin New River nehri su seviyesinden yüksekliği 267 m olarak bilinmektedir. Çelik kafeslerden oluşan tabliyenin üzerinde betonarme plak yer almaktadır. Günümüzde yıllık ortalama 16200 motorlu araç köprü üzerinden geçiş yapmaktadır. Köprünün yapımında 15.422 ton çelik kullanılmıştır (Tsui, 2007). Bugün hala hizmet veren köprü 50 yılını henüz doldurmamış olmasına karşın, Ulusal Tarihi Yerler listesine eklenmiştir.



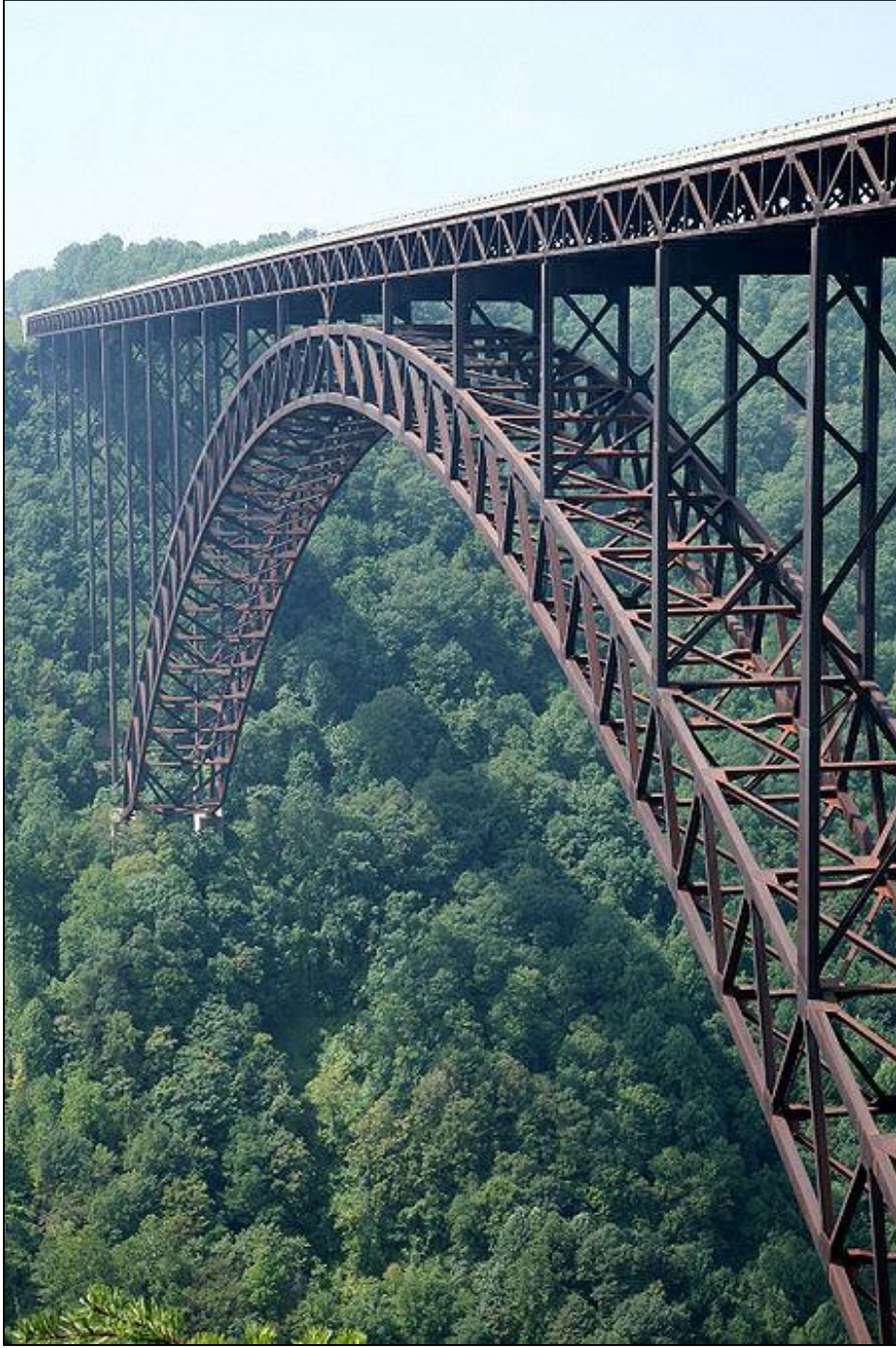
Şekil 6.1. The New River Gorge Köprüsüne ait boyutlar (Dessau, 1985)



Şekil 6.2. Köprü genel görünüşü perspektif fotoğrafı (Sakowski and Mueller, 2010)



Şekil 6.3. Köprü genel görünüşü karşıdan çekilmiş fotoğrafı (Sakowski and Mueller, 2010)

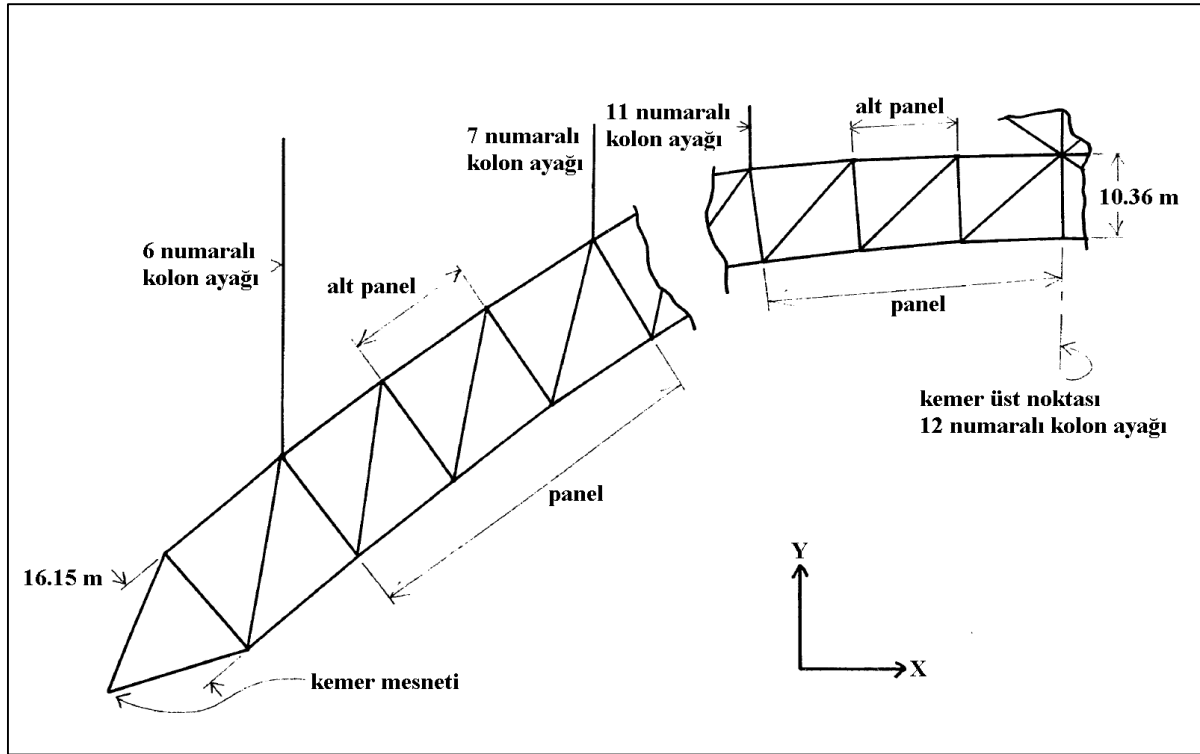


Şekil 6.4. Köprü genel görünüşü (Sakowski and Mueller, 2010)

6.1.1. Kemer

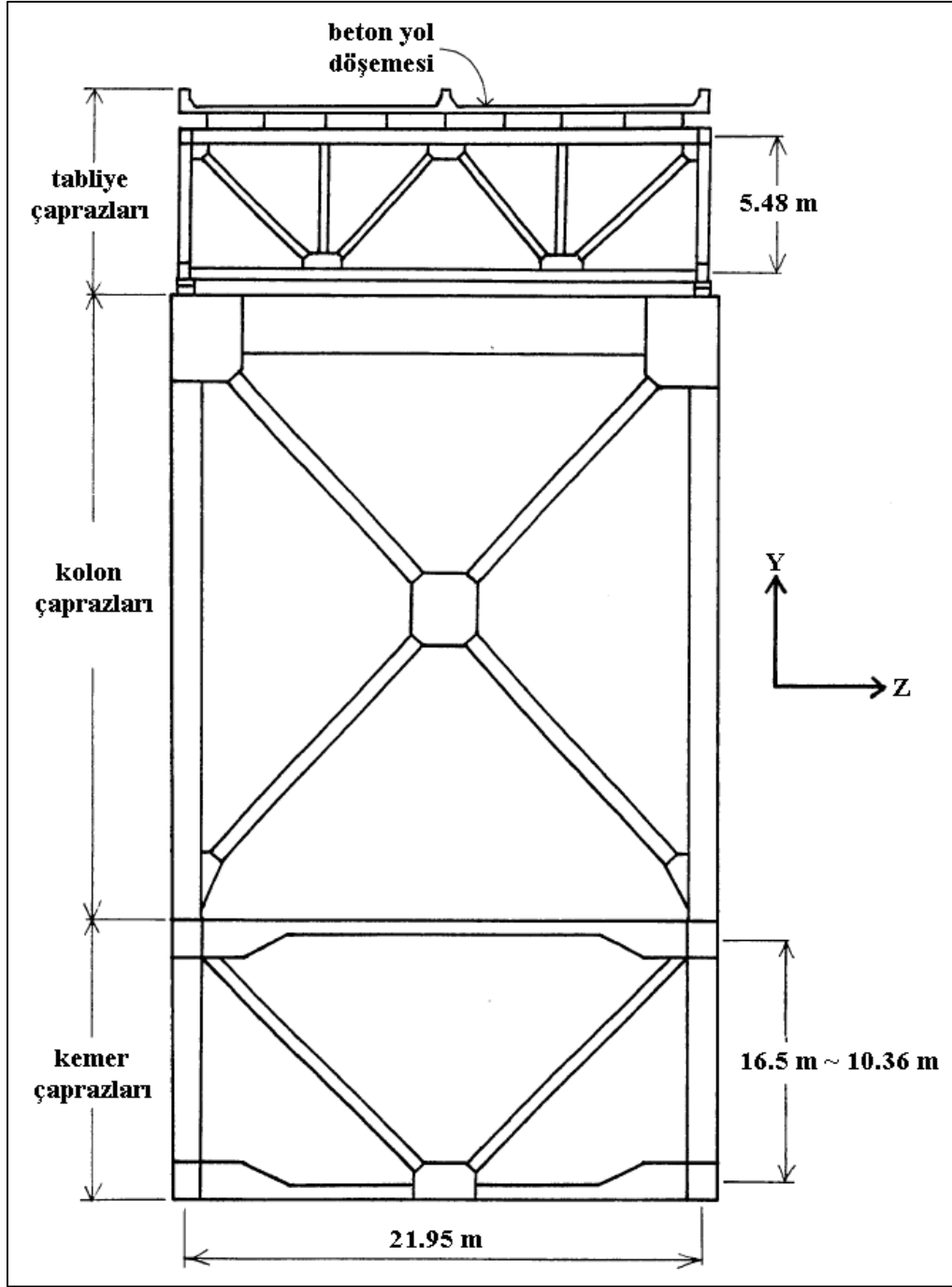
Köprü kemeri değişken yarıçapı ile kendine özgü bir forma sahiptir. Kemer 1473.2 mm yükseklik 990.6 mm genişlikte dört adet kutu kesitli değişken et kalınlığına sahip elemanlardan oluşmaktadır. Bu elemanlar düşey doğrultuda “V” şeklinde, yatay doğrultuda ise “K” şeklinde yerleştirilmiş kafes elemanlarla birbirine bağlanmıştır. Kemer oluşturan

elemanların alt ikilisine ait kutu kesitlerin gövde kalınlıkları mesnet bölgesinde 82.55 mm iken kemerin tepe noktasında bu kalınlık 50.8 mm, başlık kalınlıkları ise 34.925 mm'den 30.1625 mm'ye düşecek biçimde değişkenlik göstermektedir. Benzer şekilde kemeri oluşturan elemanların üst ikilisine ait kutu kesitlerin gövde kalınlıkları mesnet bölgesinde 101.6 mm iken kemerin tepe noktasında bu kalınlık 69.85 mm'ye, başlık kalınlıkları ise 38.1 mm'den 30.1625 mm'ye düşecek biçimde değişkenlik göstermektedir.



Şekil 6.5. Kemer kenar kafesleri (Dessau, 1985)

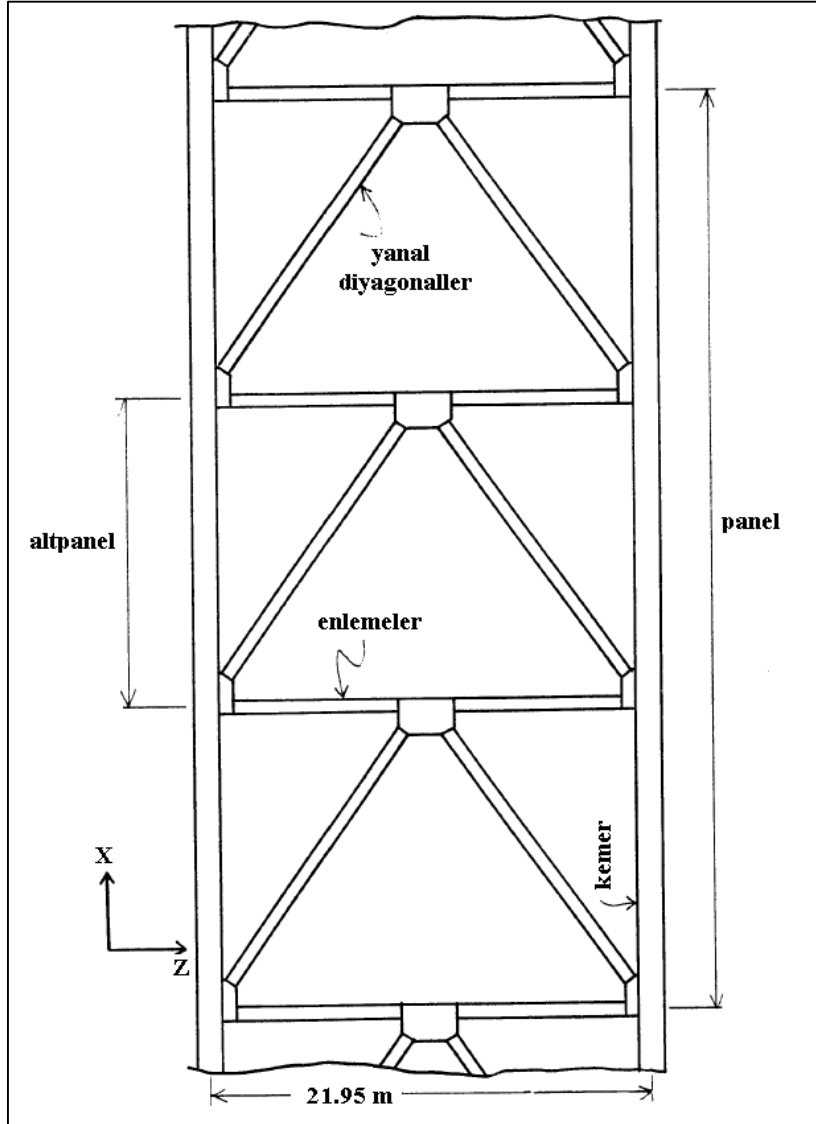
Şekil 6.5.'de kemer elemanların düşey kafes örgüleri gösterilmektedir. Kemer elemanlar arasındaki köprü eksenine dik mesafe 21.95 m sabit devam ederken, düşey mesafe mesnet bölgelerinde 16.15 m'den, kemer tepe noktasında 10.36 m'ye düşmektedir.



Şekil 6.6. Köprü tipik en kesiti (Dessau, 1985)

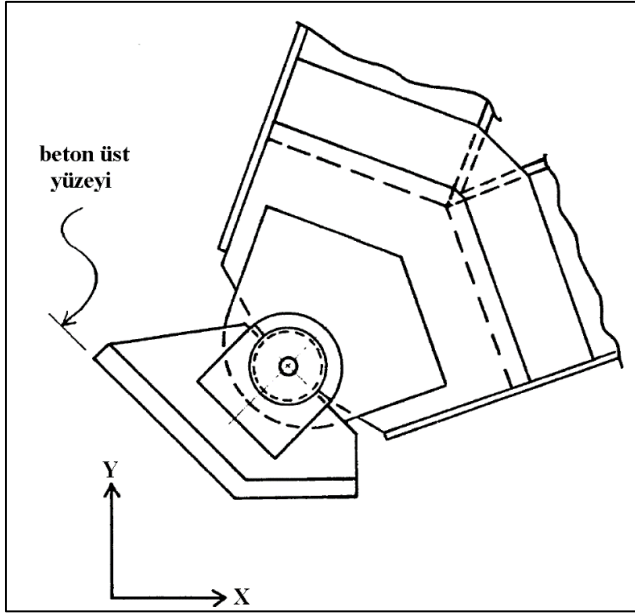
Kemer yanal dikme ve diyagonalleri “V” şeklinde kafes olarak bağlanmış 1003.3 mm yükseklik 482.6 mm genişlikte, sırasıyla 11.1125 mm gövde ve 12.7 mm başlık et kalınlığına sahip kutu kesitli elemanlardan oluşmaktadır. Kemerin üst ve alt yanal kafes sistemini oluşturan elemanlar “K” şeklinde bağlanmıştır (Şekil 6.7). “K” formunu oluşturan yanıl enlemeler 666.75 mm yükseklik 533.4 mm genişlikte, sırasıyla 14.2875 mm gövde ve 15.875 mm başlık et kalınlığına sahip kutu kesitli elemanlardan

oluşmaktadır. Yatay diyagonaller ise 622.3 mm yükseklik 654.05 mm genişlikte, sırasıyla 17.3355 mm gövde ve 14.2875 mm başlık et kalınlığına sahip kutu kesitli elemanlardan oluşmaktadır (Dessau, 1985).



Şekil 6.7. Kemer yanal "K" çaprazları (Dessau, 1985)

Kemerin şekil düzlemine dik doğrultusunda "V" şeklinde bağlanan kafes elemanları mesnet bölgelerinde 488.95 mm yükseklik 508 mm genişlikte, sırasıyla 11.1125 mm gövde ve 22.225 mm başlık et kalınlığına sahip kutu kesitli elemanlardan oluşurken, kemer tepe noktasında bu elemanlar 495.3 mm yükseklik 457.2 mm genişlikte, sırasıyla 11.1125 mm gövde ve 19.05 mm başlık et kalınlığına sahip kutu kesitli elemanlardan oluşmaktadır. Temelde kemer elemanlar dönme serbestliği olan sabit mesnetlerle desteklenmektedir (Dessau, 1985).



Şekil 6.8. Kemer mesnetlerini gösteren detay (Dessau, 1985)

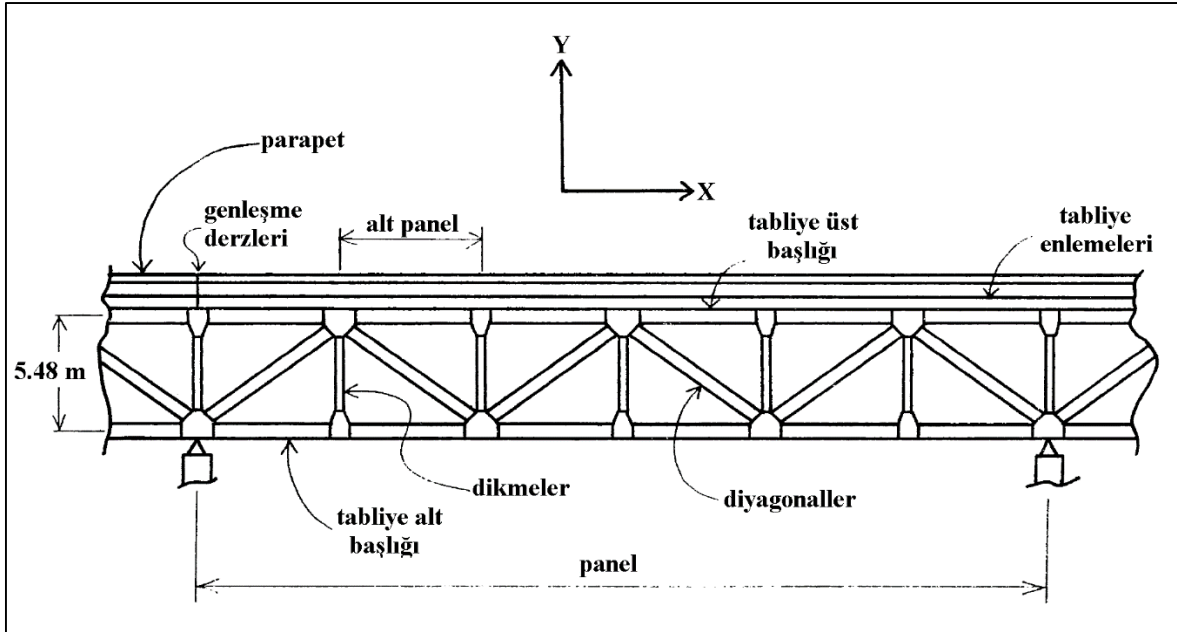


Şekil 6.9. Köprü mesnetlerini gösteren fotoğraf (Sakowski and Mueller, 2010)

6.1.2. Tabliye

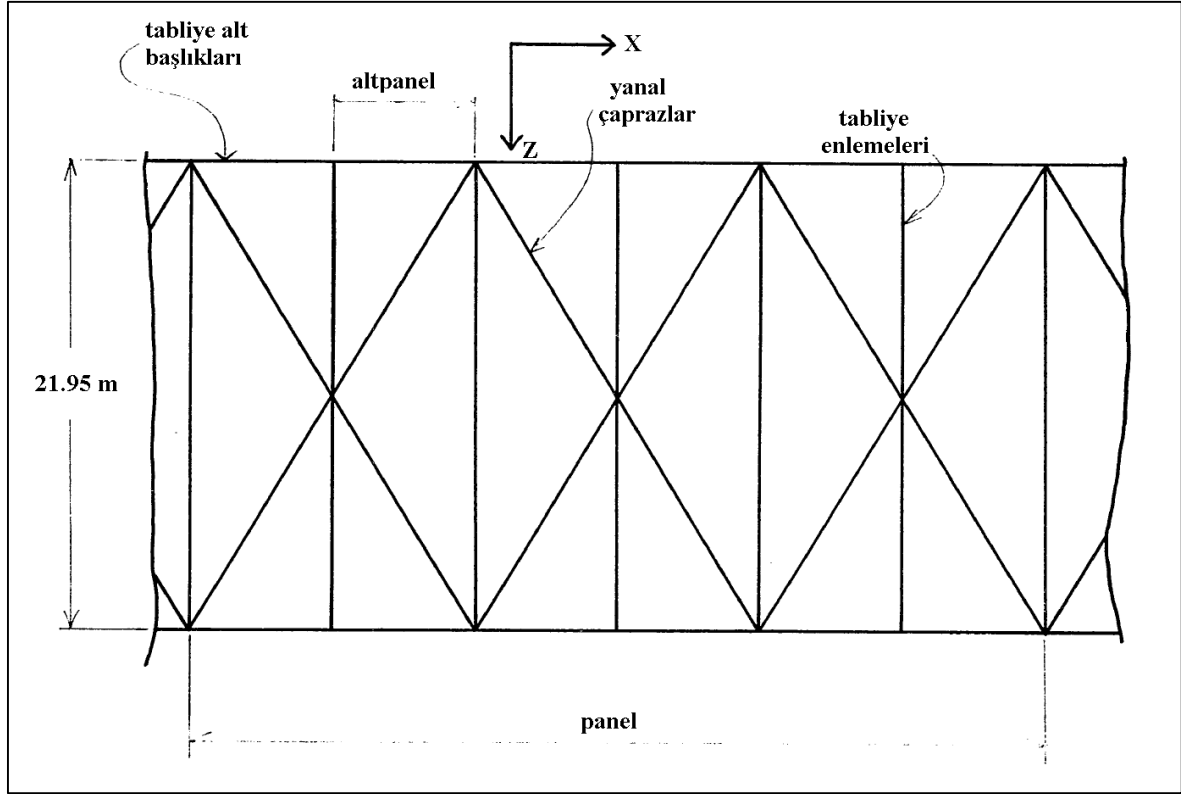
Tabliye, alt ve üst başlık kirişlerinden, bunların arasında tabliyenin iki kenarında devam eden kafes sistemden, tabliye alt başlıkları seviyesinde yatay “X” çaprazlardan, tabliye üst başlığı seviyesinde enine kirişlerden, iki kenar tabliye kafeslerini birbirine bağlayan enine kafes sistemden ve üst yapının 400 mm kalınlığındaki beton plağından oluşmaktadır. Söz konusu tabliye, uçlarında genişleme derzleri bırakılmış tekrarlı her 7 alt paneli ifade etmektedir. Tabliyeyi oluşturan ana kirişlerin yan yüzeylerinde devam eden kafes 5.48 m yükseklikte ve 6 alt panelin yan yana birleşmesi ile oluşmaktadır. Alt panellerin birleşerek

iki ana ayak arasında oluşturduğu kafes panelleri, köprü merkez açıklığında 39.55 m, güney yaklaşımında 38.5 m, kuzey yaklaşımında ise 43.7 m boyutlara sahiptir. Tabliye alt ve üst başlığını oluşturan ana kirişler 508 mm yükseklik 330.2 mm genişlikte, sırasıyla 12.7~31.75 mm arasında değişen gövde ve 9.525 mm başlık et kalınlığına sahip kutu kesitli elemanlardan oluşmaktadır. Tabliye üst ve alt başlıkları arasında köprü eksenine boyunca devam eden yan dikme ve diyagonalleri 304.8 mm yükseklik 457.2 mm genişlikte, sırasıyla 9.525~15.875 mm arasında değişen gövde ve 22.225~12.7 mm arasında değişen başlık et kalınlığına sahip kutu kesitli elemanlardan ve/veya W14x53, W14x61, W14x87 profillerden oluşmaktadır.



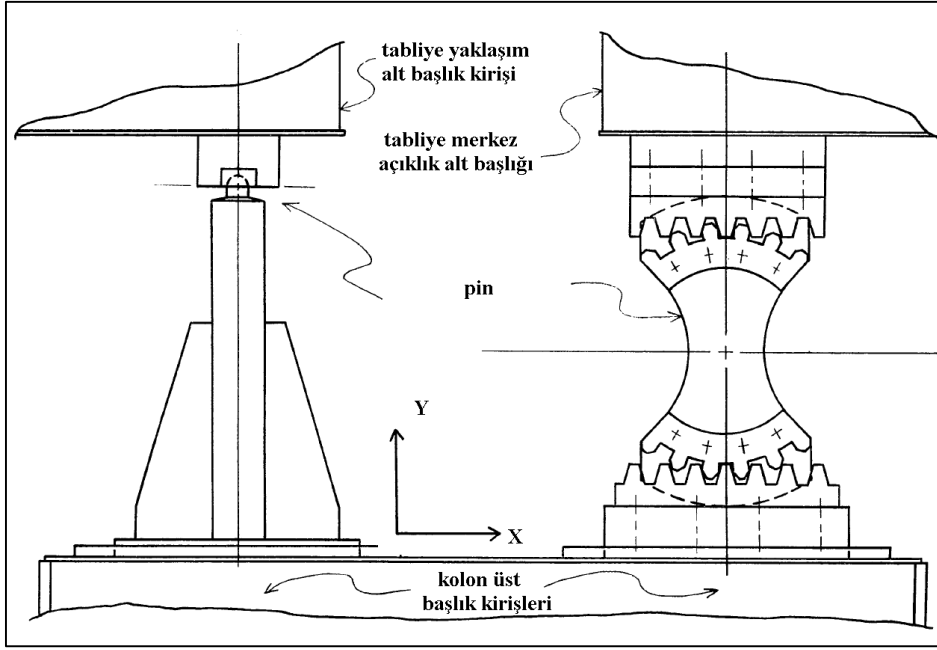
Şekil 6.10. Köprü tabliyesi elemanları (Dessau, 1985)

Tabliye alt başlığı seviyesindeki yatay “X” çaprazları her panelin kendi içerisinde üç adet “X” oluşturacak şekilde bağlanmıştır (Şekil 6.11). Bu çapraz elemanlar merkez açıklıkta 279.4 mm yükseklik 266.7 mm genişlikte, sırasıyla 7.9375 mm gövde ve 12.7 mm başlık et kalınlığına sahip kutu kesitli elemanlardan oluşurken, yaklaşım açıklıklarında 285.75 mm yükseklik 266.7 mm genişlikte, sırasıyla 7.9375 mm gövde ve 9.525 mm başlık et kalınlığına sahip kutu kesitli elemanlardan oluşmaktadır (Dessau, 1985).

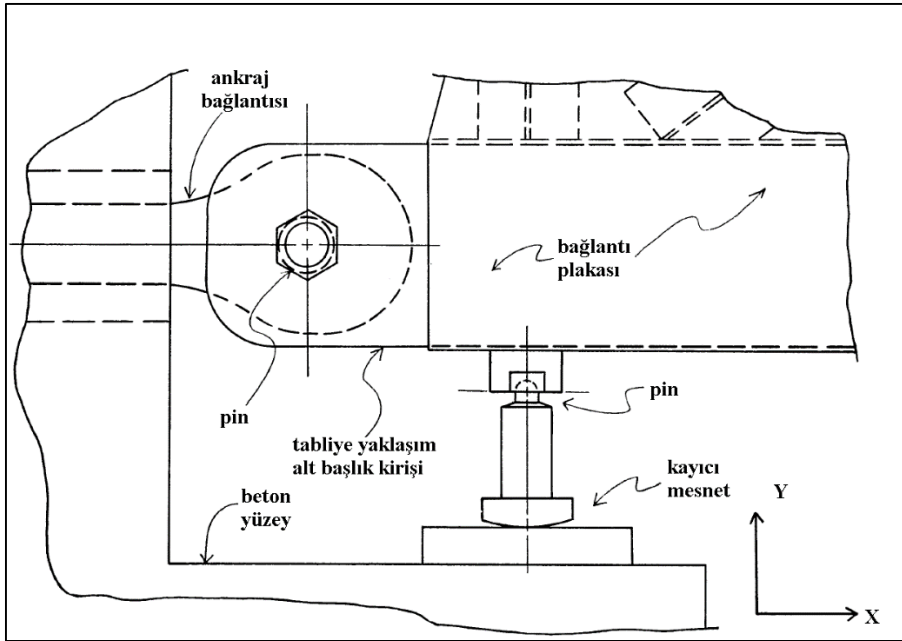


Şekil 6.11. Tabliye alt başlık seviyesindeki yanal "X" çaprazların yerleşimi (Dessau, 1985)

5.48 m yüksekliğindeki tabliyenin üst ve alt başlık kirişleri arasında köprü enine doğrultusunda tabliye enine kafes sistemi yer almaktadır. Bu kafes sistemin üst başlığını oluşturan köprü enine kirişleri 508 mm yükseklik, üst başlığında 533.4 mm genişlikte ve alt başlığında 381 mm genişlikte, sırasıyla 15.875 mm gövde, 15.875 mm üst başlık ve 22.225 mm alt başlık et kalınlığına sahip kutu kesitli elemanlardan oluşmaktadır. Söz konusu kafes sistemin alt başlığını oluşturan köprü enine kirişler ise 355.6 mm yükseklik 304.8 mm genişlikte, sırasıyla 14.2875 mm gövde ve 9.525 mm başlık et kalınlığına sahip kutu kesitli elemanlardan oluşmaktadır. Bu alt ve üst başlığın arasında kalan kafesi oluşturan iç diyagonaller W12x58, dikmeler W12x53 ve dış diyagonaller de W12x65 profillerinden oluşmaktadır (Şekil 6.6). Panel birleşim yerlerindeki genleşme derzleri dönme, yaklaşım derzlerindeki birleşimler ise hem dönme hem ötelenmeye serbest şekilde tasarlanmıştır (Dessau, 1985) (Şekil 6.12 ve 6.13).



Şekil 6.12. Merkez açıklık ile yaklaşım bölgeleri arasındaki genişleme derzi detayı (Dessau, 1985)

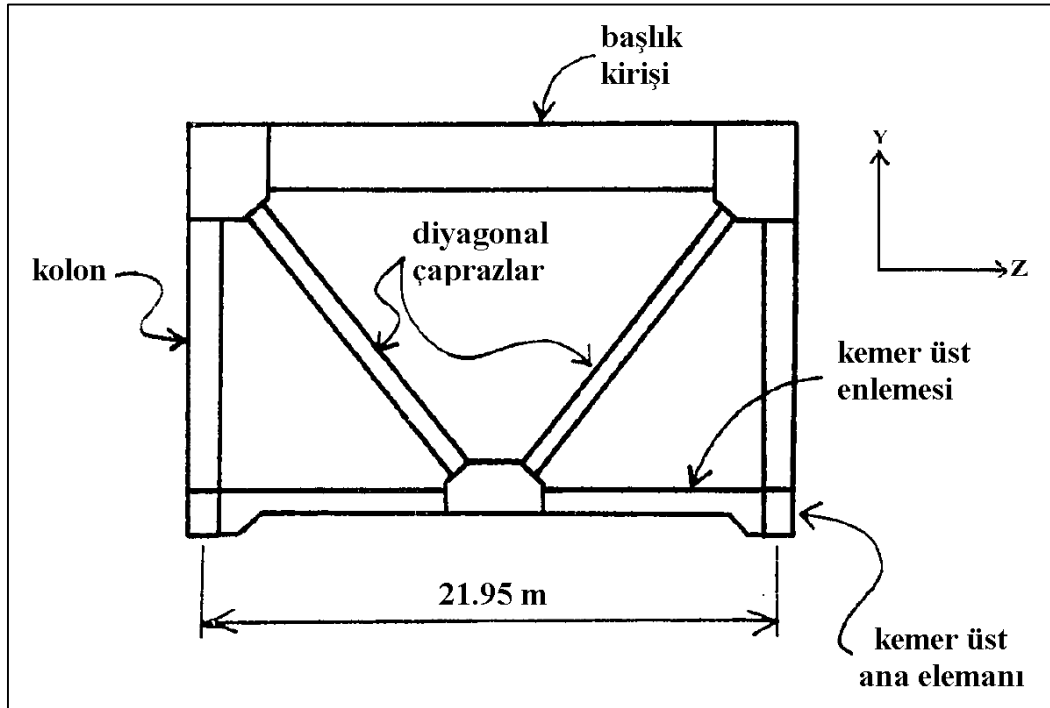


Şekil 6.13. Yaklaşım bölgelerinin genişleme derzi detayı (Dessau, 1985)

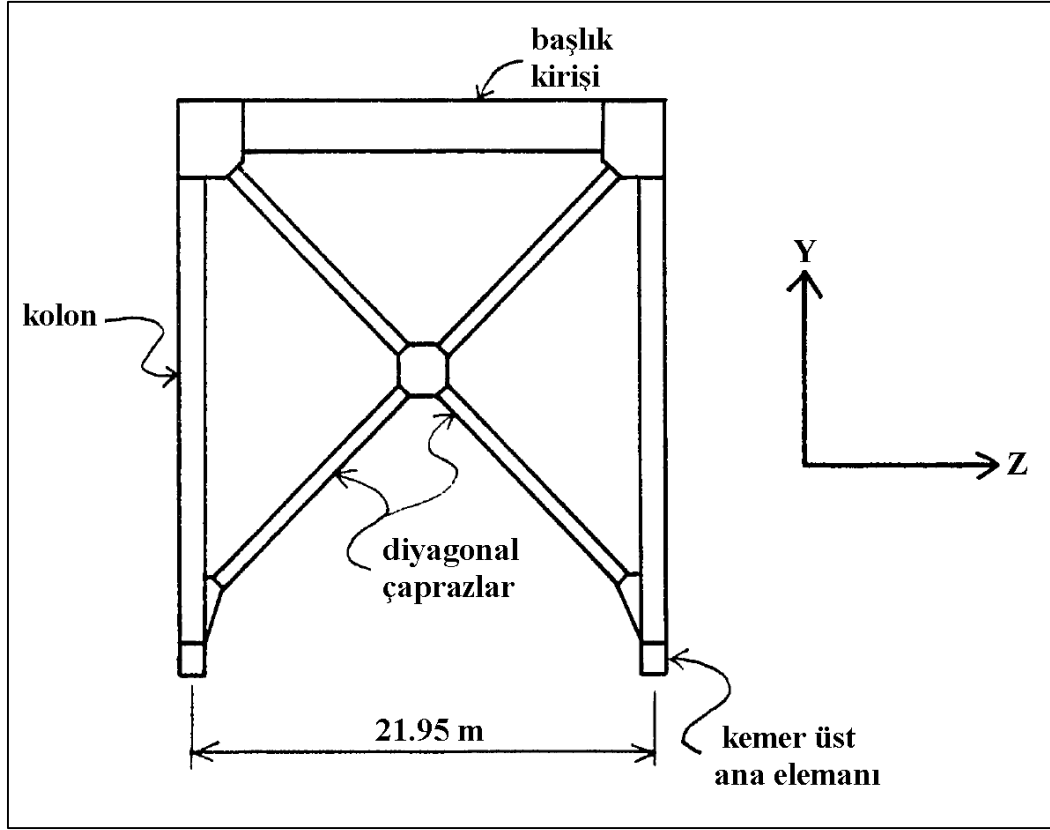
6.1.3. Köprü ayakları

Köprü, uzun eksenini boyunca güney yaklaşımından başlayarak 1'den 5'e kadar, merkez açıklığında 6'dan 18'e kadar ve kuzey yaklaşımında ise 19'dan 22'ye kadar numaralandırılarak toplamda 22 çift ayağa sahiptir. Yaklaşım bölgelerinde yer alan köprü

ayakları alt uçlarında mesnetlerine bulonlu, merkez açıklıkta bulunanlar ise alt uçlarında kemer üst noktalarına kaynaklı olarak bağlanmıştır. Köprü ayakları iki adet değişken kesitli kolondan, bu kolonların üst uçlarını birbirine bağlayan başlık kirişinden ve köprü eksenine dik doğrultuda bağlanmış olan çapraz “X” elemanlardan oluşmaktadır. Söz konusu kolonlar mesnet bölgelerinde 3619.5 mm yükseklik ve 1035.05 mm genişlikte, sırasıyla 25.4 mm gövde ve 31.75 mm başlık et kalınlığına sahip iken kolon üst uçlarında yüksekliği 1206.5 mm, genişliği 1016 mm, sırasıyla 15.875 mm gövde ve 31.75 mm başlık kalınlığına sahip değişken kutu kesitli elemanlardan oluşmaktadır. Burada bahsedilen değişken kesitli kolonlar 12 numaralı kolon çifti haricindeki elemanları kapsamaktadır, 12 numaralı kolon çifti sabit kesitli elemanlardan oluşmaktadır. Kolon üst uçlarını birleştiren başlık kirişi ise 2438.4 mm yükseklik 1193.8 mm genişlikte, sırasıyla 19.05 mm gövde ve 12.7 mm başlık et kalınlığına sahip kutu kesitli elemanlardan oluşmaktadır (Dessau, 1985).

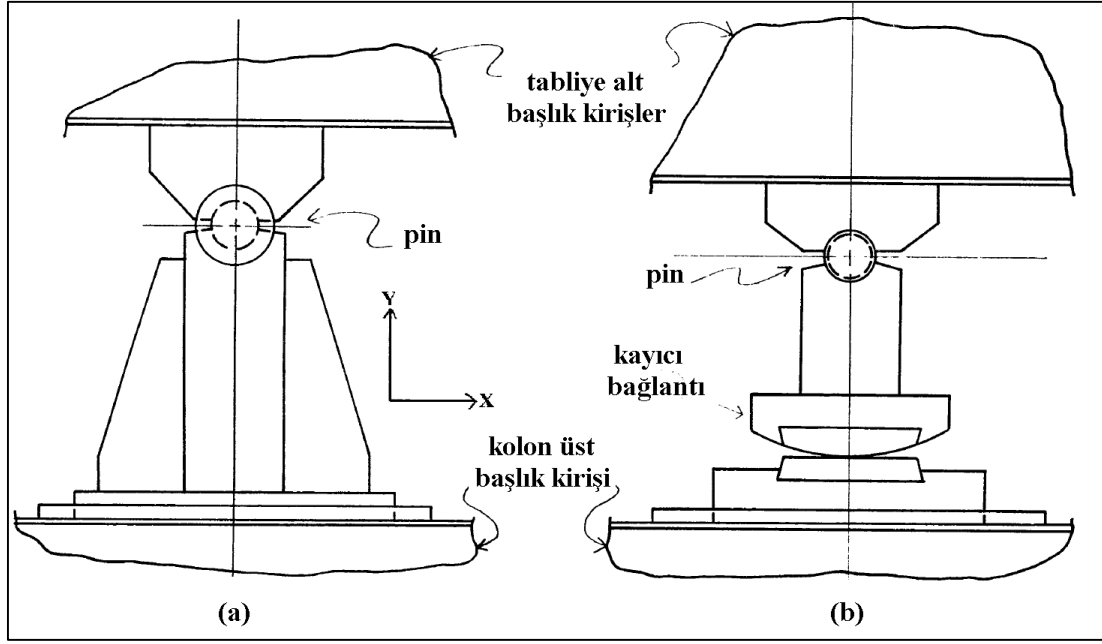


Şekil 6.14. 10 Numaralı köprü ayaklarına ait en kesit (Dessau, 1985)



Şekil 6.15. 9 Numaralı kolon çiftine ait tipik en kesit (Dessau, 1985)

Köprü eksenine dik doğrultuda kolonlar arasına bağlanan çaprazlar yardımıyla yanal stabilite sağlanmış, ancak bu elemanlar değişen kolon yüksekliklerine bağlı olarak farklı şekillerde uygulanmıştır. Kolon çiftleri arasındaki çapraz elemanlar 685.8 mm yükseklik 558.8 mm genişlikte, sırasıyla 17.4625 mm gövde ve 25.4 mm başlık et kalınlığına sahip kutu kesitli elemanlardan oluşmaktadır. 11, 12 ve 13 numaralı kolon çiftleri arasındaki çapraz bağlantıları “V” şeklinde tasarlanmış, söz konusu çaprazların üst uçları kolon üst başlık kirişlerinin uçlarına ve alt uçları ise kemer üst ikilisi arasında kalan enleme elemanının ortasına bağlanmıştır (Şekil 6.14). Şekil 6.15’de gösterilen “X” çaprazlar 1, 9, 15 ve 22 numaralı kolon çiftleri arasında bir adet, 2, 3, 7, 8, 16, 17 ve 21 numaralı kolon çiftleri arasında iki adet, 4, 6, 18 ve 20 numaralı kolon çiftleri arasında üç adet, 5 ve 19 numaralı kolon çiftleri arasında dört adet “X” çaprazı olarak sisteme bağlanmıştır (Dessau, 1985).



Şekil 6.16. Kolon üst uçlarının tabliye ile olan bağlantı detayı a) dönebilen, b) dönebilen ve kayıcı bağlantı detayı (Dessau, 1985)

Kolon üst uçlarının tabliye alt başlığı ile bağlantıları dönen ve hem kayıcı hem dönen olmak üzere iki şekilde tasarlanmıştır. Dönme serbestliğine sahip bağlantılar pin olarak, dönme ve kayma serbestliğine sahip bağlantılar ise kayıcı olarak adlandırılmaktadır. Burada 5 ve 19 numaralı kolon çiftlerinin üst uçları genleşme derzleri nedeniyle kayıcı, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 16, 17, 18, 20, 21, 22 numaralı kolon çiftlerinin üst uçları pin, 10, 11, 13, 14, numaralı kolon çiftlerinin üst uçları da yine kayıcı ve dönebilen bağlantılarla teşkil edilmiştir (Şekil 6.16). 12 numaralı kolon üst ucu ise pin bağlanmış ancak çaprazlarla her iki ekseninde de desteklenmiştir (Dessau, 1985) (Şekil 6.18 ve 6.19).



Şekil 6.17. Köprü ayaklarının mevcut durumunu gösteren fotoğraf (Sakowski and Mueller, 2010)

New River Gorge Köprüsü'ne ait özellikler;

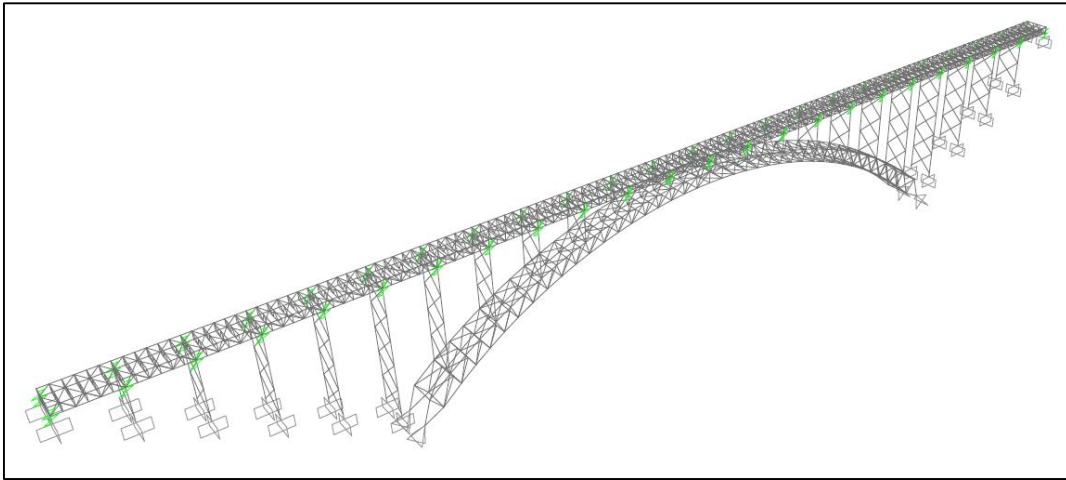
- Köprü yeri: Batı Virginia eyaleti, Fayetteville bölgesi, Appalchian Karayolu, Route 19, Amerika Birleşik Devletleri
- Köprü tipi: Çelik kafes kemer köprü
- Yapım süresi: 1974~1977, 3 yıl
- Açılış tarihi: 22 Ekim 1977
- Yaklaşım açıklıkları: Güney yaklaşım açıklığı 192.5 m, kuzey yaklaşım açıklığı 174.8 m
- Merkez açıklık: 553 m
- Merkez kemer açıklığı: 518.2 m
- Toplam uzunluk: 923.6 m
- Nehir su seviyesinden yükseklik: 267 m
- Köprü genişliği: 21.95 m
- Beton plak kalınlığı: 400mm
- Taşıt yolu: 4 adet trafik şeridi
- Kaynak malzemesi: E80 elektrot kaynağı (atölyede)
- Tüm taşıyıcı sistem çelik malzeme: ASTM A588 sınıfı çelik
- Yerinde ve atölyede yapılan bağlantı bulonları: ASTM A325 Tip-3
- Yıllık ortalama araç trafiği: 16200 araç / yıl
- Köprü yapımında kullanılan çelik miktarı: 15422 ton

6.2. New River Gorge Köprüsü Sonlu Eleman Modeli

New River Gorge Köprüsü, taşıyıcı sistemi tamamen çelik elemanların kafes ve kemer formunda düzenlenmesinden oluşan, çelik bir kemer köprüdür. Esas olarak kemer ve kafes sistemlerin kombinasyonu şeklinde ortaya çıkan köprü sistemi tamamen çelik elemanlardan oluşan taşıyıcı bir sisteme sahiptir. Köprü taşıyıcı sistemi çelik levhaların kaynaklı birleşimi ile üretilen çeşitli boyutlarda kutu kesitli ve hadde profil elemanlardan oluşmaktadır. Etkin kemer davranışını yansıtmak amacıyla bilgisayar yazılımları yardımıyla belirlenmiş olan kemer geometrisi mesnet kısmından tepe notasına değişkenlik göstermektedir. Zaman tanım alanında dinamik analizi yapılan köprü modeli SAP2000v14.1 sonlu eleman programı kullanılarak modellenmiş, seçilen ve üretilen yakın fay yer hareketleri köprüye eksenî doğrultusunda yer değiştirme-zaman cinsinden

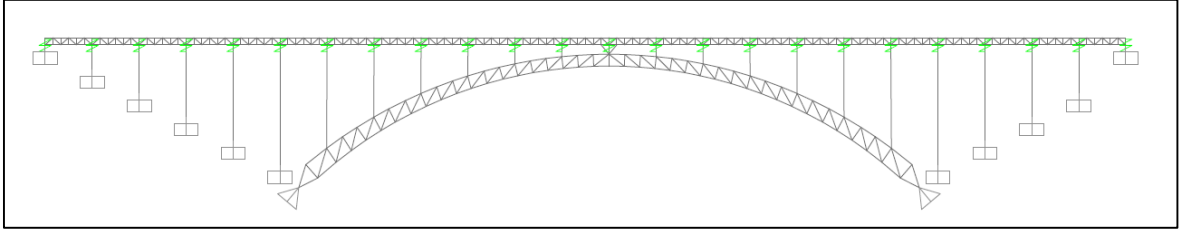
uygulanmıştır. Söz konusu model toplamda 2576 çubuk, 48 link eleman ve 1737 düğüm noktasından oluşmaktadır.

Değişken kutu kesit ve değişen aralığa sahip dört adet çelik kemer, kendi düzlemleri içerisinde ve düzlemlerine dik doğrultularda kafes prensibi ile çalışan elemanlarla birbirine bağlanmaktadır. Söz konusu kemerin alt ikilisi 1473.2 mm yükseklik, 990.6 mm genişlikte ve mesnet bölgesinden kemer tepe noktasına gövde kalınlıkları 82.55 mm'den 50.8 mm'ye, başlık kalınlıkları ise 34.925 mm'den 30.1625 mm'ye düşecek şekilde değişken kesit olarak tanımlanırken, kemerin üst ikilisi 1473.2 mm yükseklik, 990.6 mm genişlikte ve mesnet bölgesinden kemer tepe noktasına gövde kalınlıkları 101.6 mm'den 69.85 mm'ye, başlık kalınlıkları ise 38.1 mm'den 30.1625 mm'ye düşecek şekilde değişken kesitli elemanlar olarak modellenmiştir. Ana kemer kirişleri arasında oluşturulan düşey kafes sistem elemanlarının uçlarına moment serbestliği atanarak, 1003.3 mm yükseklik 482.6 mm genişlikte, 11.1125 mm gövde ve 12.7 mm başlık et kalınlığına sahip kutu kesitli elemanlarla modellenmiştir. Kemer elemanlarını şekil düzlemine dik doğrultuda bağlayan yatay kafes sistem elemanlarının uçlarına moment serbestliği atanarak, "K" formundaki kafesin diyagonalleri 622.3 mm yükseklik 654.05 mm genişlikte, 17.3355 mm gövde ve 14.2875 mm başlık et kalınlığına sahip kutu kesitli elemanlarla modellenirken, enlemeleri 666.75 mm yükseklik 533.4 mm genişlikte, 14.2875 mm gövde ve 15.875 mm başlık et kalınlığına sahip kutu kesitli elemanlarla modellenmiştir. Kemer mesnetlerinin lokal eksenleri uygun açıyla döndürülerek sabit mesnetler şeklinde modellenmiştir.



Şekil 6.20. Köprü analiz modelinin 3 boyutlu görünüşü

Köprünün beton tabliye kısmı ulaşım sistemi olarak 4 şeritli yol ile toplamda 22.4 m genişliğe sahiptir. Ancak sistemin taşıyıcı kısmı 21.95 m genişliktedir. Köprü tabliyesi sürekli devam eden, 6 m aralıkla alt ve üst kirişlerin enine, boyuna ve yatay kafes elemanlarla bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Tabliye sistemi söz konusu kafes, alt kiriş ve üst kirişten oluşan 40 m’lik paneller şeklinde modellenmiştir. Her panel birleşim noktasında üst kirişler uçlarında dönme serbestliğine sahip, alt kirişler kolon üst uçlarında yer alan bağlantıların link eleman olarak atanmasıyla sistem davranışını yansıtacak şekilde modellenmiştir. Kirişler 508 mm yükseklik 330.2 mm genişlikte, 31.75 mm gövde ve 9.525 mm başlık et kalınlığına sahip kutu kesitli elemanlarla modellenmiştir. Tabliyeyi oluşturan ana kirişlerin yan yüzeylerinde devam eden kafes 6 m yükseklikte ve 6 alt panelin yan yana birleşmesi ile oluşturulmuştur. Söz konusu kiriş yan yüzeylerindeki kafes elemanların dikme ve diyagonalleri W14x61 profillerle modellenmiştir. Tabliye alt başlığı seviyesindeki “X” çaprazları her panelin kendi içerisinde üç adet “X” oluşturacak şekilde bağlanmış, bu çapraz elemanlar 279.4 mm yükseklik 266.7 mm genişlikte, sırasıyla 7.9375 mm gövde ve 12.7 mm başlık et kalınlığına sahip kutu kesitli elemanlarla modellenmiştir. Kirişler arasında köprü eksenine dik doğrultuda yer alan kafes sistemin üst başlığını oluşturan tabliye üst enlemeleri 508 mm yükseklik, üst başlığında 533.4 mm genişlikte ve alt başlığında 381 mm genişlikte, sırasıyla 15.875 mm gövde, 15.875 mm üst başlık ve 22.225 mm alt başlık et kalınlığına sahip kutu kesitli elemanlarla modellenmiştir. Benzer şekilde tabliye alt enlemeleri 355.6 mm yükseklik 304.8 mm genişlikte, sırasıyla 14.2875 mm gövde ve 9.525 mm başlık et kalınlığına sahip kutu kesitli elemanlarla modellenmiştir. Söz konusu köprü eksenine dik doğrultuda tabliye kirişleri arasında yer alan kalan kafesi oluşturan iç ve dış dikme ve diyagonaller W12x53 profillerle modellenmiş, uçlarına moment serbestliği atanmıştır. Panel birleşim noktalarında üst kirişlerin uçlarına dönme serbestliği tanımlanmış alt kirişlere ise kolon üst noktalarından bağlanan link elemanlar ile dönme ve ötelenme serbestlikleri tanınmıştır. Burada iki tip link eleman tanımlanmış olup link1 olarak yalnızca dönme serbestliği sağlamaktadır. Link2 olarak tanımlanan eleman ise hem dönme hem de köprü ekseni doğrultusunda ötelenmeye izin vermektedir. Söz konusu link elemanlar köprünün esas yapısına sadık kalınarak 10, 11, 13, 14 numaralı kolon çiftlerinin üst noktalarında ve yaklaşım bölgelerinin köprü bitimindeki tabliye alt noktalarına kayıcılığı ve dönmeyi sağlaması amacıyla link2 olarak, diğer kolon çiftlerinin üst noktalarında link1 olarak atanmıştır. Tabliye üst noktalarına beton plak kütlesi noktasal kütle olarak atanmış ve yapının modal analizlerine dahil edilmesi sağlanarak yapının sahip olduğu gerçek kütle rijitlik oranının yakalanması amaçlanmıştır.



Şekil 6.21. Köprü modelinin 2 boyutlu görünüşü

Tabliyeye mesnet görevi gören kolon üst uçları, tabliye ile kolon arasındaki yük aktarımını temsil eden mesnetler olarak, farklı serbestliklere sahip link elemanlarla modellenmiştir. Bu sayede kolonların yalnızca eksenel yük alan elemanlar gibi davranması amaçlanmıştır. Alt uçlarında zemine oturan kolonlar alt uçlarında ankastre mesnetlerle modellenirken, kemere bağlanan kolonlar ise alt uçlarında kaynaklı birleşimlerinden dolayı moment aktaran birleşimlerle modellenmiştir. Yapıda tabliye ile kemer arasındaki bağlantıyı ve tabliye yüklerini zemine aktarma görevini üstlenen kolonlar, değişken kesit ve yaklaşık 7 m ile 100 m aralığında değişen uzunluklarla modellenmiştir. Yaklaşım derzi noktasında en büyük uzunluğa ulaşan kolonlar kemer üst noktasında en kısa uzunluktadır. Köprü doğrultusunda değişken kesit boyutları ile modellenen kolonlar, köprü doğrultusuna dik yönde sabit kesit boyutları ile modele girilmiştir. Kolonlar köprü eksenine dik doğrultuda kutu kesitli çaprazlarla desteklenecek şekilde modellenmiştir. Söz konusu kolon çiftleri arasındaki çapraz elemanlar 685.8 mm yükseklik 558.8 mm genişlikte, 17.4625 mm gövde ve 25.4 mm başlık et kalınlığına sahip kutu kesitli elemanlarla modellenmiştir. Kolon üst uçlarını birleştiren başlık kirişi ise 2438.4 mm yükseklik 1193.8 mm genişlikte, sırasıyla 19.05 mm gövde ve 12.7 mm başlık et kalınlığına sahip kutu kesitli elemanlarla modellenmiştir. Kolonlar mesnetlerine ankastre bağlı olarak modellenmiş, üst uçlarında ise bahsedilen link elemanlar ile tabliyeye bağlantısı köprünün esas yapısını yansıtacak şekilde oluşturulmuştur.

7. SAYISAL HESAPLAMALAR

Bu tez çalışmasında Chi-Chi depremine ait yakın fay yer hareketleri için çelik bir kemer köprü'nün dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında yakın fay yer hareketleri üç farklı şekilde ele alınmıştır. Söz konusu yer hareketleri,

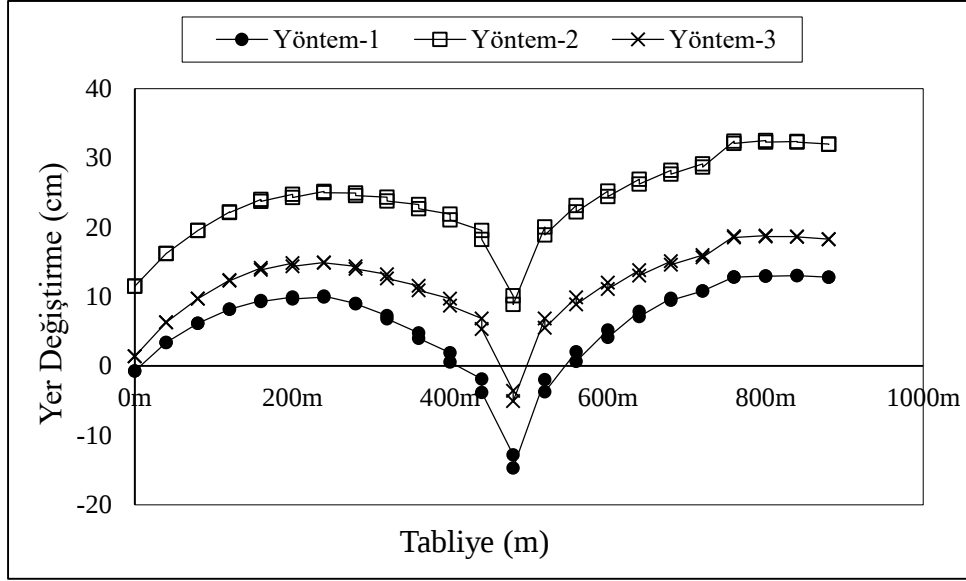
- Chi-Chi depremine ait yakın fay özelliği gösteren kayıtlar
- Chi-Chi depremine ait yakın fay kayıtları kullanılarak üretilen kayıtlar
- Chi-Chi depremine ait uzak fay kayıtları kullanılarak üretilen kayıtlar

şeklinde ele alınmıştır. Bunun yanında yakın fay etkisinin kemer köprü üzerindeki etkisini vurgulamak amacıyla, yakın fay etkisi için gerçekleştirilen çözümler uzak fay kayıtları için elde edilen çözümlerle karşılaştırılmıştır. Daha sonra da deprem hareketinin sonlu yayılma hızının etkisini incelemek amacıyla hem darbe etkili yakın fay kayıtlarının hem de sıçrama etkili yakın fay kayıtlarının sonlu yayılma hızları için çözümler yapılarak elde edilen köprü tepkileri karşılaştırılmış ve yer hareketinin sonlu yayılma hızına bağlı olarak değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Söz konusu analizler SAP2000v14.1 sonlu eleman analiz programı ile gerçekleştirilmiş olup, dinamik analizler zaman tanım alanında yapılmıştır. Zaman tanım alanındaki analizler için deprem hareketleri yer değiştirme-zaman cinsinden köprü eksenine doğrultusunda mesnet noktalarından uygulanmıştır.

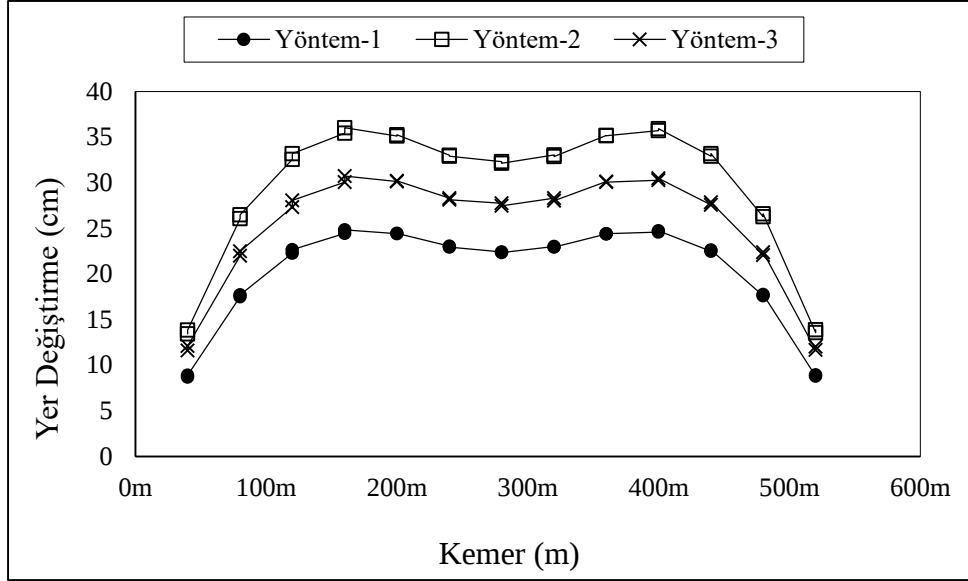
7.1. Üretilen Yakın Fay Yer Hareketleri için Gerçekleştirilen Dinamik Analizler

1999 Chi-Chi depremi TCU129 istasyonuna ait kayıtlar “Yöntem-1”, TCU129 yakın fay kaydı kullanılarak üretilen ve yakın fay özellikleri taşıyan yer hareketleri “Yöntem-2” ve uzak fay kaydı olarak ele alınan HWA032 kaydı kullanılarak uzak fay kaydından üretilen yakın fay yer hareketleri ise “Yöntem-3” olarak tanımlanmıştır. Söz konusu yer hareketlerinin sıçrama etkisi gösteren kuzey-güney ve yönelme etkisini gösteren doğu-batı kayıtları köprü eksenine doğrultusunda ayrı ayrı uygulanarak kemer köprü sisteminin dinamik analizleri yapılmış ve elde edilen yapısal tepkiler karşılaştırılmıştır.



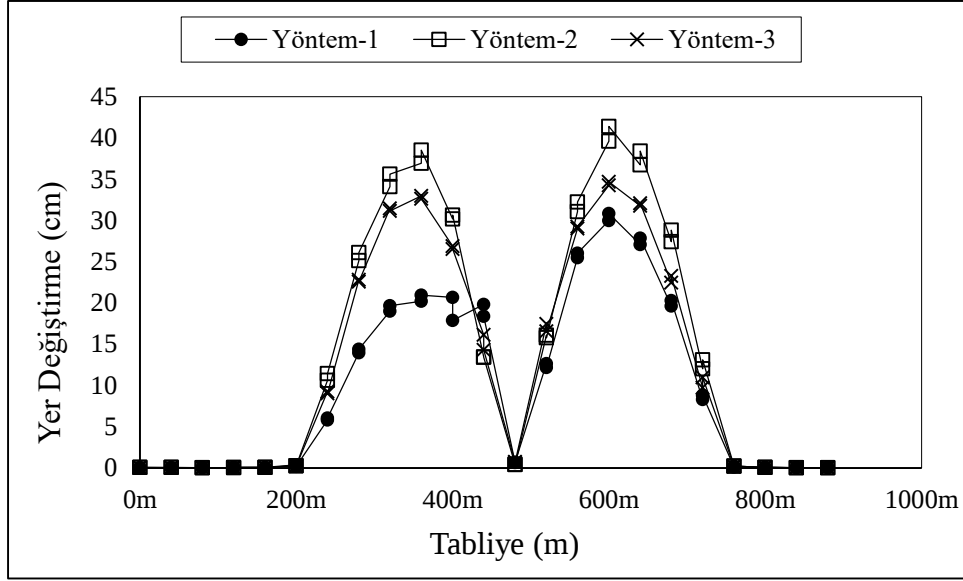
Şekil 7.1. Darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen tabliye yatay yer değiştirmeleri

Şekil 7.1’de köprü tabliyesi boyunca yönelme etkisi gösteren darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen yatay yer değiştirme değerleri karşılaştırılmaktadır. “Yöntem-1” olarak tanımlanan darbe etkili TCU129-DB kaydı için tabliyede elde edilen en büyük yatay yer değiştirme değeri 13.1 cm olurken, “Yöntem-2” olarak tanımlanan yakın fay TCU129-DB verileri esas alınarak üretilen darbe etkili yer hareketi için bu değer 32.3 cm ve “Yöntem-3” olarak tanımlanan uzak fay HWA032-DB kaydına ait verilerle üretilen darbe etkili yer hareketi etkisi için elde edilen değer 18.2 cm olarak belirlenmiştir. Burada köprü tabliyesi için en kritik yatay yer değiştirme değeri “Yöntem-2” ile elde edilen yakın fay yer hareketinin dinamik analizinden bulunurken elde edilen değer, “Yöntem-1” ve “Yöntem-3” ile elde edilen değerlerden sırasıyla %59 ve %44 daha büyük çıktığı gözlemlenmiştir.



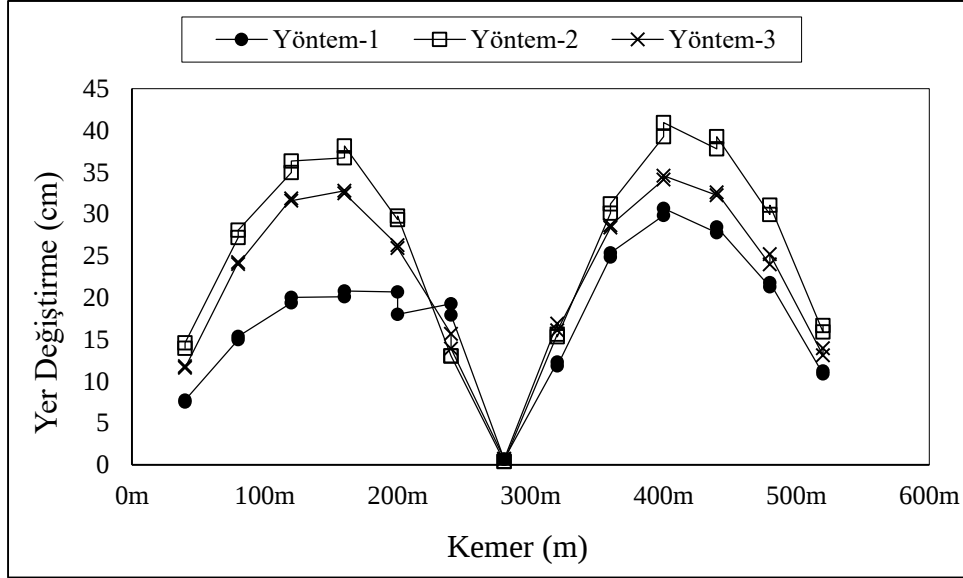
Şekil 7.2. Darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen kemer yatay yer değiştirmeleri

Köprü kemeri üzerindeki yatay yer değiştirme değerlerinin gösterildiği Şekil 7.2’de “Yöntem-1” olarak tanımlanan darbe etkili TCU129-DB kaydı için kemerde elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 24.5 cm olarak belirlenirken, “Yöntem-2” olarak tanımlanan yakın fay TCU129-DB verileri esas alınarak üretilen darbe etkili yer hareketi için elde edilen değer 35.7 cm ve “Yöntem-3” olarak tanımlanan uzak fay HWA032-DB kaydına ait verilerle üretilen darbe etkili yer hareketi etkisi için elde edilen değer 35.3 cm olarak belirlenmiştir. Burada köprü kemeri için en kritik yatay yer değiştirme değeri “Yöntem-2” ile elde edilen yakın fay yer hareketinin dinamik analizinden bulunurken elde edilen değer, “Yöntem-1” ve “Yöntem-3” ile elde edilen değerlerden sırasıyla %31 ve %1 daha büyük çıktığı gözlemlenmiştir.



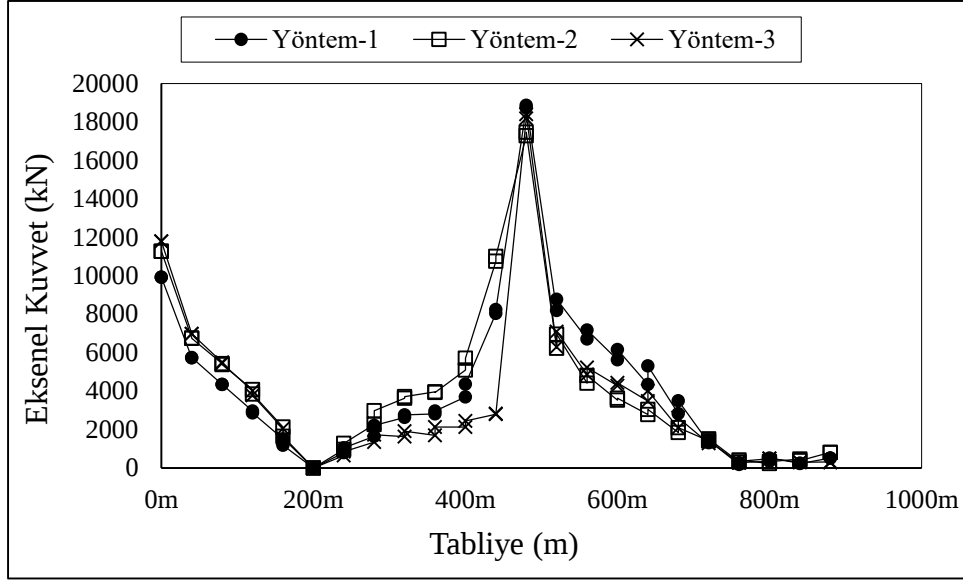
Şekil 7.3. Darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen tabliye düşey yer değiştirmeleri

Şekil 7.3'te köprü tabliyesi boyunca yönelme etkisi gösteren darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen düşey yer değiştirme değerleri karşılaştırılmaktadır. “Yöntem-1” olarak tanımlanan darbe etkili TCU129-DB kaydı için tabliyede elde edilen en büyük düşey yer değiştirme değeri 29.9 cm olurken, “Yöntem-2” olarak tanımlanan yakın fay TCU129-DB verileri esas alınarak üretilen darbe etkili yer hareketi için bu değer 39.6 cm ve “Yöntem-3” olarak tanımlanan uzak fay HWA032-DB kaydına ait verilerle üretilen darbe etkili yer hareketi etkisi için elde edilen değer 34.3 cm olarak belirlenmiştir. Burada köprü tabliyesi için en kritik düşey yer değiştirme değeri “Yöntem-2” ile elde edilen yakın fay yer hareketinin dinamik analizinden bulunurken elde edilen değer, “Yöntem-1” ve “Yöntem-3” ile elde edilen değerlerden sırasıyla %24 ve %14 daha büyük çıktığı gözlemlenmiştir.



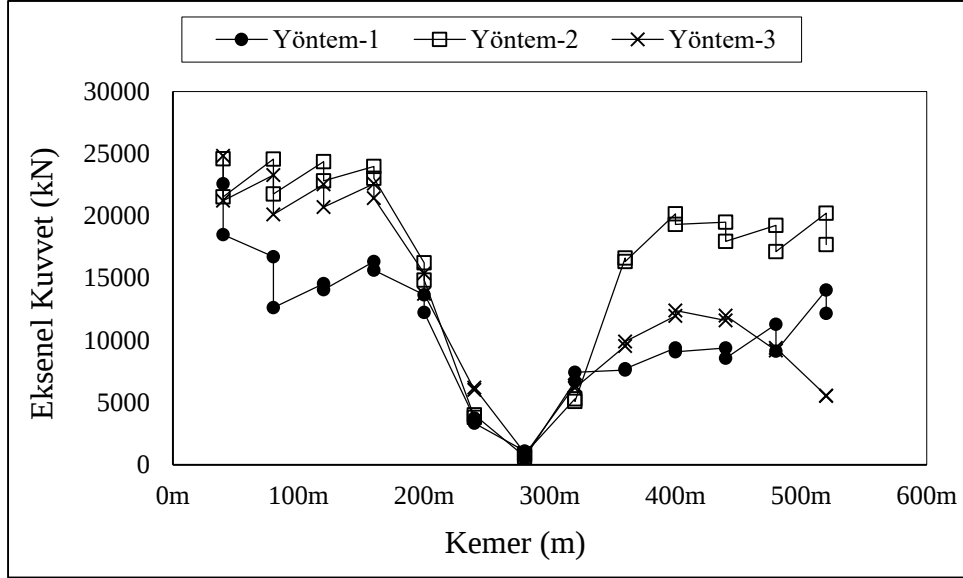
Şekil 7.4. Darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen kemer düşey yer değiştirmeleri

Köprü kemeri üzerindeki düşey yer değiştirme değerlerinin gösterildiği Şekil 7.4'te “Yöntem-1” olarak tanımlanan darbe etkili TCU129-DB kaydı için kemerde elde edilen en büyük düşey yer değiştirme 29.8 cm olarak belirlenirken, “Yöntem-2” olarak tanımlanan yakın fay TCU129-DB verileri esas alınarak üretilen darbe etkili yer hareketi için elde edilen değer 39.3 cm ve “Yöntem-3” olarak tanımlanan uzak fay HWA032-DB kaydına ait verilerle üretilen darbe etkili yer hareketi etkisi için elde edilen değer 34.1 cm olarak belirlenmiştir. Burada köprü kemeri için en kritik düşey yer değiştirme değeri “Yöntem-2” ile elde edilen yakın fay yer hareketinin dinamik analizinden bulunurken elde edilen değer, “Yöntem-1” ve “Yöntem-3” ile elde edilen değerlerden sırasıyla %24 ve %13 daha büyük çıktığı gözlemlenmiştir.



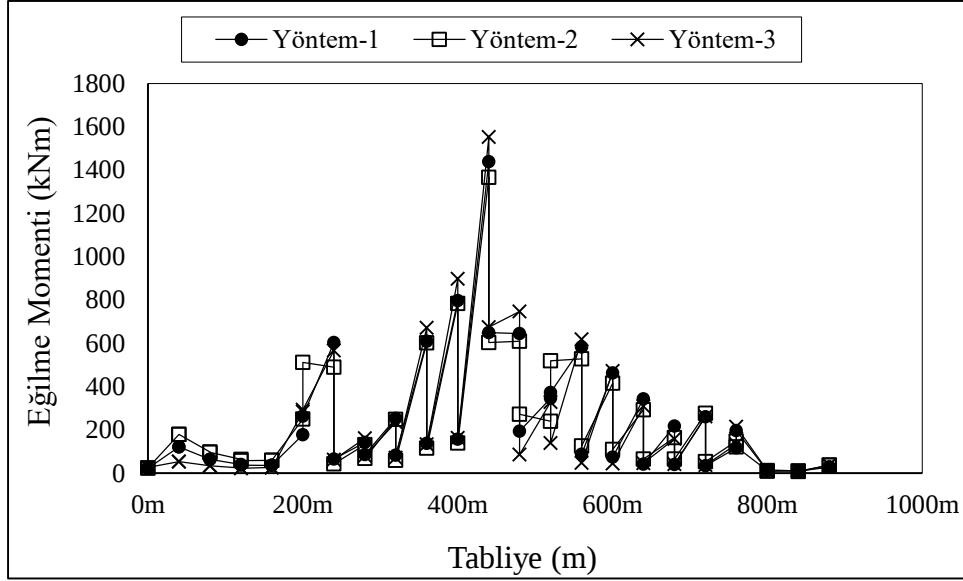
Şekil 7.5. Darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen tabliye eksenel kuvvetleri

Şekil 7.5’te köprü tabliyesi boyunca yönelme etkisi gösteren darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen eksenel kuvvet değerleri karşılaştırılmaktadır. “Yöntem-1” olarak tanımlanan darbe etkili TCU129-DB kaydı için tabliyede elde edilen en büyük eksenel kuvvet değeri 18729 kN olurken, “Yöntem-2” olarak tanımlanan yakın fay TCU129-DB verileri esas alınarak üretilen darbe etkili yer hareketi için bu değer 17285 kN ve “Yöntem-3” olarak tanımlanan uzak fay HWA032-DB kaydına ait verilerle üretilen darbe etkili yer hareketi etkisi için elde edilen değer 18173 kN olarak belirlenmiştir. Burada köprü tabliyesi için en kritik eksenel kuvvet değeri “Yöntem-1” ile elde edilen yakın fay yer hareketinin dinamik analizinden bulunurken elde edilen değer, “Yöntem-2” ve “Yöntem-3” ile elde edilen değerlerden sırasıyla %7 ve %3 daha büyük çıktığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte her bir yöntem için elde edilen eksenel kuvvetlerin genel olarak birbirine yakın olduğu gözlemlenmektedir.



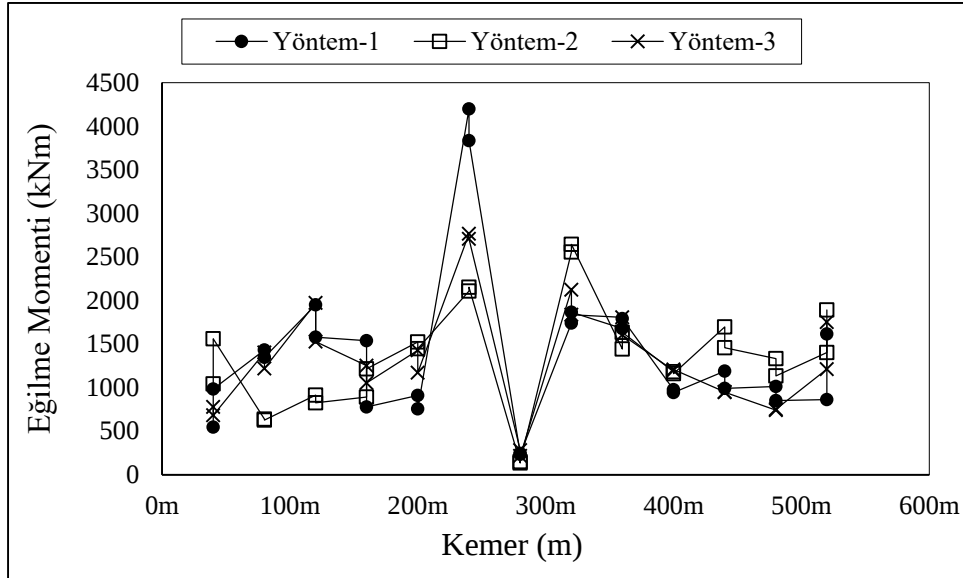
Şekil 7.6. Darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen kemer eksenel kuvvetleri

Köprü kemeri üzerindeki eksenel kuvvet değerlerinin gösterildiği Şekil 7.6’da “Yöntem-1” olarak tanımlanan darbe etkili TCU129-DB kaydı için kemerde elde edilen en büyük eksenel kuvvet değeri 22586 kN olarak belirlenirken, “Yöntem-2” olarak tanımlanan yakın fay TCU129-DB verileri esas alınarak üretilen darbe etkili yer hareketi için elde edilen değer 24592 kN ve “Yöntem-3” olarak tanımlanan uzak fay HWA032-DB kaydına ait verilerle üretilen darbe etkili yer hareketi etkisi için elde edilen değer 24811 kN olarak belirlenmiştir. Burada köprü kemeri için en kritik eksenel kuvvet değeri “Yöntem-3” ile elde edilen yakın fay yer hareketinin dinamik analizinden bulunurken elde edilen değerin, “Yöntem-1” ve “Yöntem-2” ile elde edilen değerlerden sırasıyla %9 ve %1 daha büyük çıktığı gözlemlenmiştir.



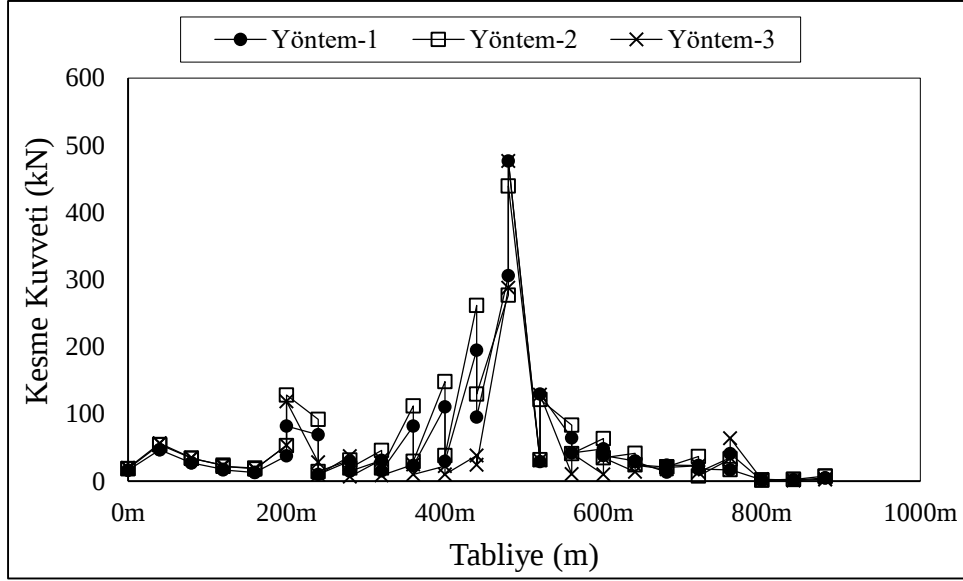
Şekil 7.7. Darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen tabliye eğilme momentleri

Şekil 7.7’de köprü tabliyesi boyunca yönelme etkisi gösteren darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen eğilme momenti değerleri karşılaştırılmaktadır. “Yöntem-1” olarak tanımlanan darbe etkili TCU129-DB kaydı için tabliyede elde edilen en büyük eğilme momenti değeri 1439 kNm olurken, “Yöntem-2” olarak tanımlanan yakın fay TCU129-DB verileri esas alınarak üretilen darbe etkili yer hareketi için bu değer 1366 kNm ve “Yöntem-3” olarak tanımlanan uzak fay HWA032-DB kaydına ait verilerle üretilen darbe etkili yer hareketi etkisi için elde edilen değer 1552 kNm olarak belirlenmiştir. Burada köprü tabliyesi için en kritik eğilme momenti değeri “Yöntem-3” ile elde edilen yakın fay yer hareketinin dinamik analizinden bulunurken elde edilen değer, “Yöntem-1” ve “Yöntem-2” ile elde edilen değerlerden sırasıyla %7 ve %12 daha büyük çıktığı ve sonuçların genel olarak birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir.



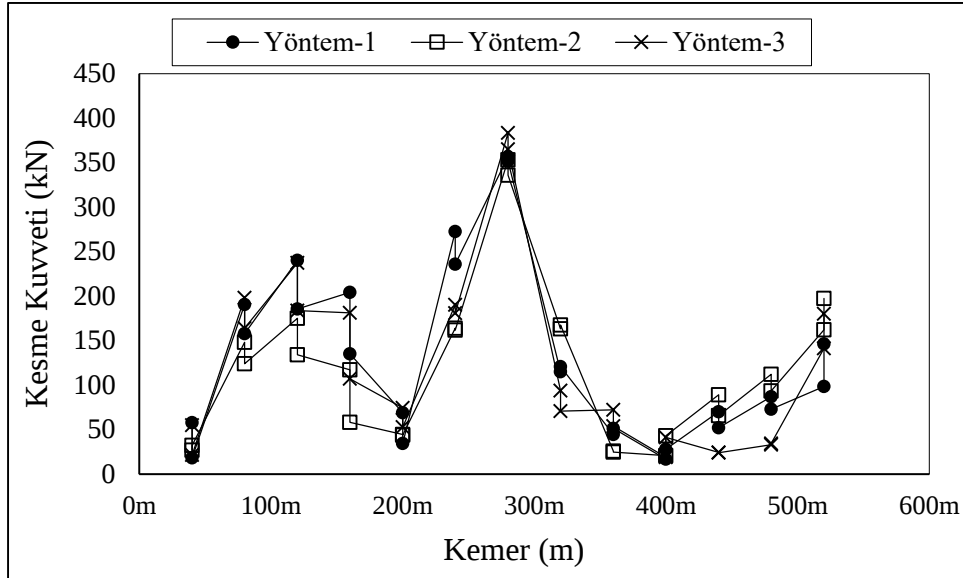
Şekil 7.8. Darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen kemer eğilme momentleri

Köprü kemeri üzerindeki eğilme momenti değerlerinin gösterildiği Şekil 7.8’de “Yöntem-1” olarak tanımlanan darbe etkili TCU129-DB kaydı için kemerde elde edilen en büyük eğilme momenti değeri 4199 kNm olarak belirlenirken, “Yöntem-2” olarak tanımlanan yakın fay TCU129-DB verileri esas alınarak üretilen darbe etkili yer hareketi için elde edilen değer 2556 kNm ve “Yöntem-3” olarak tanımlanan uzak fay HWA032-DB kaydına ait verilerle üretilen darbe etkili yer hareketi etkisi için elde edilen değer 2708 kNm olarak belirlenmiştir. Burada köprü kemeri için en kritik eğilme momenti değeri “Yöntem-1” ile elde edilen yakın fay yer hareketinin dinamik analizinden bulunurken elde edilen değerin, “Yöntem-2” ve “Yöntem-3” ile elde edilen değerlerden sırasıyla %39 ve %35 daha büyük çıktığı gözlemlenmiştir.



Şekil 7.9. Darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen tabliye kesme kuvvetleri

Şekil 7.9’da köprü tabliyesi boyunca kesme kuvveti değerleri gösterilmektedir. En kritik değerler “Yöntem-3” ve “Yöntem-1” olarak tanımlanan darbe etkili yakın fay yer hareketleri etkisinde hemen hemen eşit değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. “Yöntem-1” olarak tanımlanan darbe etkili TCU129-DB kaydı için tabliyede elde edilen en büyük kesme kuvveti değeri 476 kN olurken, “Yöntem-2” olarak tanımlanan yakın fay TCU129-DB verileri esas alınarak üretilen darbe etkili yer hareketi için bu değer 440 kN ve “Yöntem-3” olarak tanımlanan uzak fay HWA032-DB kaydına ait verilerle üretilen darbe etkili yer hareketi etkisi için elde edilen değer 477 kN olarak belirlenmiştir. Burada köprü tabliyesi için en kritik kesme kuvveti değerleri “Yöntem-1” ve “Yöntem-3” ile elde edilen yer hareketlerinin dinamik analizlerinden bulunurken elde edilen değerlerin, “Yöntem-2” ile elde edilen değerden %7 daha büyük çıktığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte tabliye boyunca her bir yöntem için elde edilen değerlerin genel olarak birbirine yakın olduğu anlaşılmaktadır.



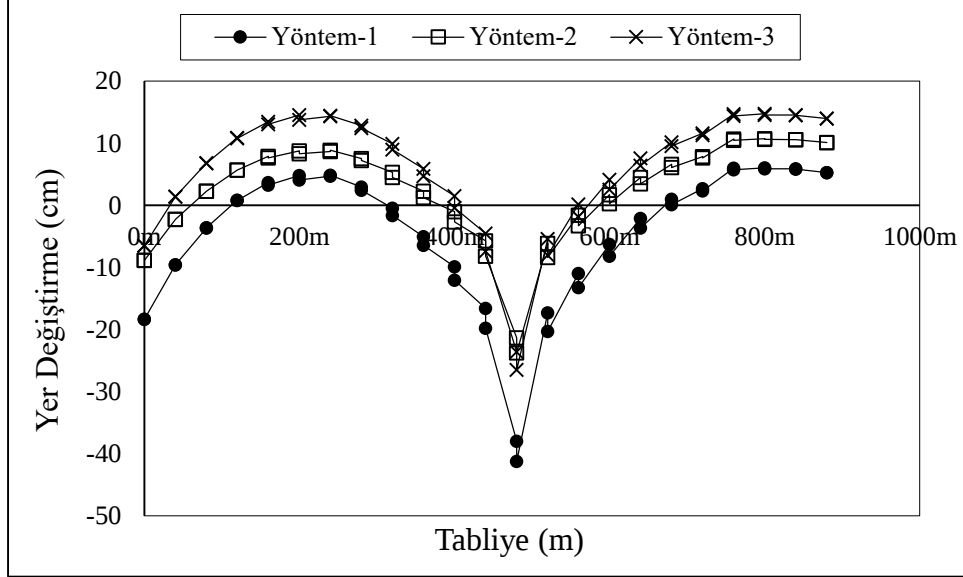
Şekil 7.10. Darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen kemer kesme kuvvetleri

Köprü kemeri üzerindeki eğilme momenti değerlerinin gösterildiği Şekil 7.10’da “Yöntem-1” olarak tanımlanan darbe etkili TCU129-DB kaydı için kemerde elde edilen en büyük kesme kuvveti değeri 351 kN olarak belirlenirken, “Yöntem-2” olarak tanımlanan yakın fay TCU129-DB verileri esas alınarak üretilen darbe etkili yer hareketi için elde edilen değer 353 kN ve “Yöntem-3” olarak tanımlanan uzak fay HWA032-DB kaydına ait verilerle üretilen darbe etkili yer hareketi etkisi için elde edilen değer 383 kN olarak belirlenmiştir. Burada köprü kemeri için en kritik kesme kuvveti değeri “Yöntem-3” ile elde edilen yakın fay yer hareketinin dinamik analizinden bulunurken elde edilen değer, “Yöntem-1” ve “Yöntem-2” ile elde edilen değerlerden sırasıyla %8 ve %7 daha büyük çıktığı gözlemlenmiştir.

Chi-Chi depreminin yönelme etkisi gösteren darbe etkili doğu-batı kayıtları için elde edilen kemer köprü tepkilerinin genel olarak aşağıda belirtilen değişimi gösterdiği gözlemlenmiştir;

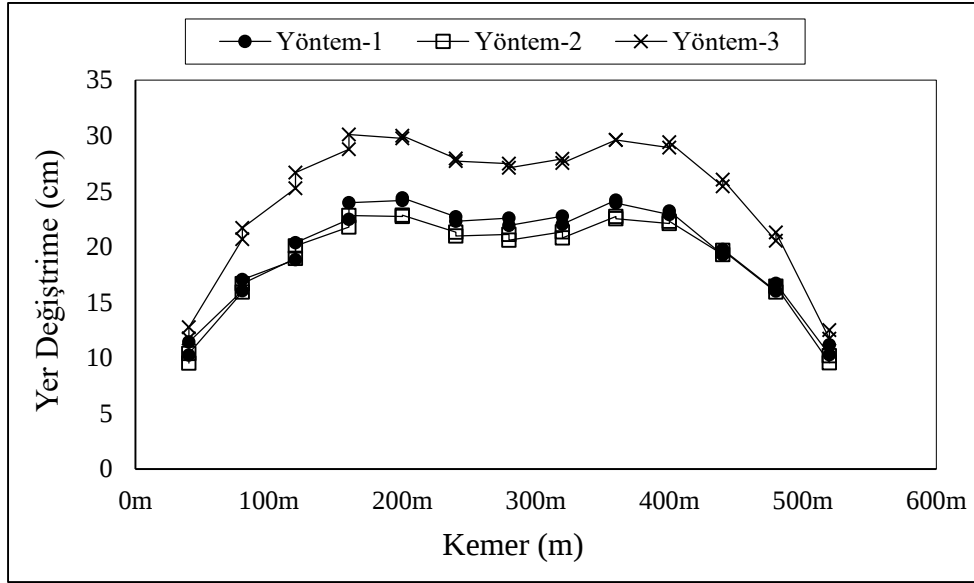
- TCU129-DB yakın fay kaydı kullanılarak üretilen ve yakın fay özellikleri gösteren yer hareketleri (Yöntem-2) kullanılarak tabliye ve kemerde elde edilen yer değiştirmeler, genel olarak HWA032-DB uzak fay kaydı kullanılarak elde edilen yer hareketleri (Yöntem-3) ile TCU129-DB yakın fay yer hareketi için elde edilen yer değiştirmelerden daha büyük çıkmıştır. TCU129-DB yakın fay yer hareketi kaydı için belirlenen yer değiştirmeler genel olarak en küçük çıkmıştır.

- Gerek tabliye gerekse de kemerde dikkate alınan üç yöntem kullanılarak elde edilen eleman kuvvetlerindeki değişim çok belirgin olmayıp genel olarak eksenel kuvvet, eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri birbirine yakın çıkmıştır.



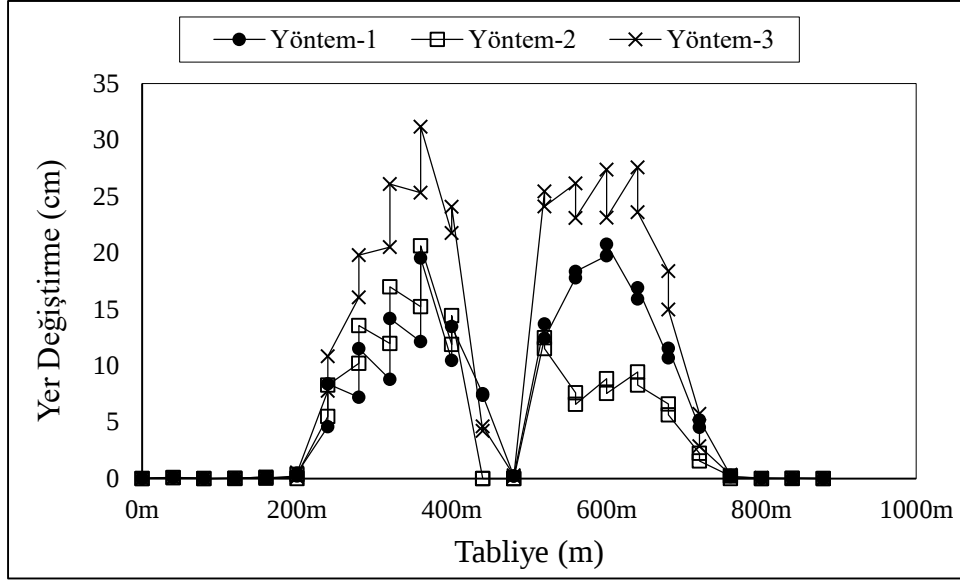
Şekil 7.11. Sıçrama etkili kuzey-güney kayıtları için elde edilen tabliye yatay yer değiştirmeleri

Şekil 7.11’de köprü tabliyesi boyunca sıçrama etkisi gösteren kuzey-güney kayıtları için elde edilen yatay yer değiştirme değerleri karşılaştırılmaktadır. “Yöntem-1” olarak tanımlanan TCU129-KG kaydı için tabliyede elde edilen en büyük yatay yer değiştirme değeri 41.1 cm olurken, “Yöntem-2” olarak tanımlanan yakın fay TCU129-KG verileri esas alınarak üretilen yer hareketi için bu değer 24.3 cm ve “Yöntem-3” olarak tanımlanan uzak fay HWA032-KG kaydına ait verilerle üretilen yakın fay yer hareketi etkisi için elde edilen değer 26.2 cm olarak belirlenmiştir. Burada köprü tabliyesi için en kritik yatay yer değiştirme değeri “Yöntem-1” ile elde edilen yakın fay yer hareketinin dinamik analizinden bulunurken elde edilen değer, “Yöntem-2” ve “Yöntem-3” ile elde edilen değerlerden sırasıyla %41 ve %36 daha büyük çıktığı gözlemlenmiştir.



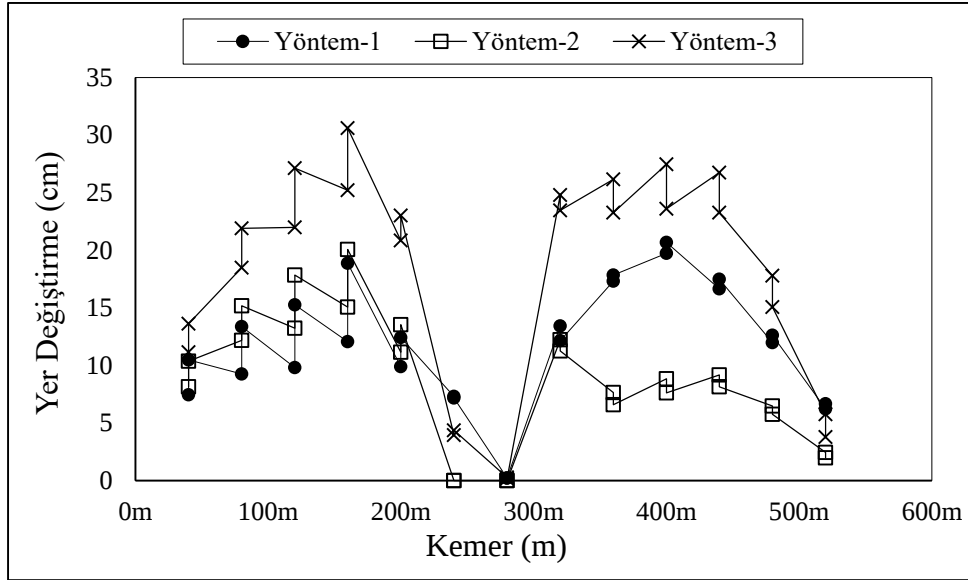
Şekil 7.12. Sıçrama etkili kuzey-güney kayıtları için elde edilen kemer yatay yer değiştirmeleri

Köprü kemberi üzerindeki yatay yer değiştirme değerlerinin gösterildiği Şekil 7.12’de “Yöntem-1” olarak tanımlanan TCU129-KG kaydı için kemberde elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 23.9 cm olarak belirlenirken, “Yöntem-2” olarak tanımlanan yakın fay TCU129-KG verileri esas alınarak üretilen yer hareketi için elde edilen değer 21.7 cm ve “Yöntem-3” olarak tanımlanan uzak fay HWA032-KG kaydına ait verilerle üretilen yakın fay yer hareketi etkisi için elde edilen değer 30.1 cm olarak belirlenmiştir. Burada köprü kemberi için en kritik yatay yer değiştirme değeri “Yöntem-3” ile elde edilen yakın fay yer hareketinin dinamik analizinden bulunurken elde edilen değer, “Yöntem-1” ve “Yöntem-2” ile elde edilen değerlerden sırasıyla %21 ve %28 daha büyük çıktığı gözlemlenmiştir.



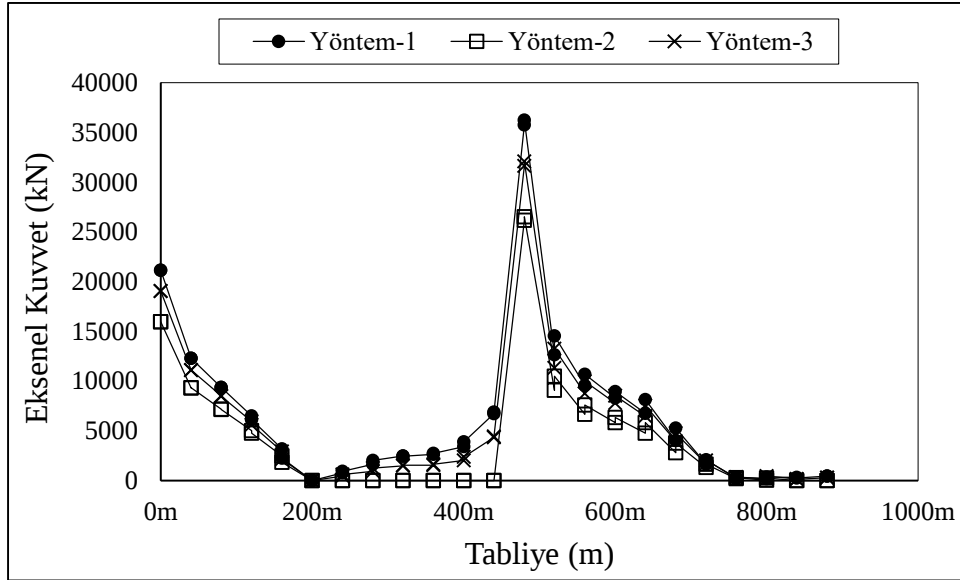
Şekil 7.13. Sıçrama etkili kuzey-güney kayıtları için elde edilen tabliye düşey yer değiştirmeleri

Şekil 7.13'te köprü tabliyesi boyunca sıçrama etkisi gösteren kuzey-güney kayıtları için elde edilen düşey yer değiştirme değerleri karşılaştırılmaktadır. “Yöntem-1” olarak tanımlanan TCU129-KG kaydı için tabliyede elde edilen en büyük düşey yer değiştirme değeri 20.7 cm olurken, “Yöntem-2” olarak tanımlanan yakın fay TCU129-KG verileri esas alınarak üretilen yer hareketi için bu değer 20.6 cm ve “Yöntem-3” olarak tanımlanan uzak fay HWA032-KG kaydına ait verilerle üretilen yakın fay yer hareketi etkisi için elde edilen değer 31.1 cm olarak belirlenmiştir. Burada köprü tabliyesi için en kritik düşey yer değiştirme değeri “Yöntem-3” ile elde edilen yakın fay yer hareketinin dinamik analizinden bulunurken elde edilen değer, “Yöntem-1” ve “Yöntem-2” ile elde edilen değerlerden %33 daha büyük çıktığı gözlemlenmiştir.



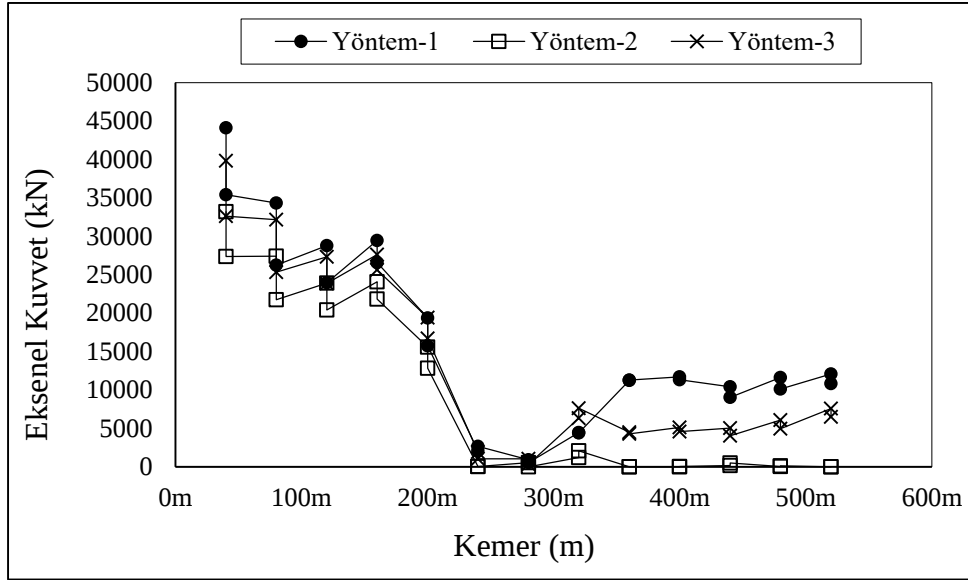
Şekil 7.14. Sıçrama etkili kuzey-güney kayıtları için elde edilen kemer düşey yer değiştirmeleri

Köprü kemeri üzerindeki düşey yer değiştirme değerlerinin gösterildiği Şekil 7.14'te “Yöntem-1” olarak tanımlanan TCU129-KG kaydı için kemerde elde edilen en büyük düşey yer değiştirme 20.6 cm olarak belirlenirken, “Yöntem-2” olarak tanımlanan yakın fay TCU129-KG verileri esas alınarak üretilen yer hareketi için elde edilen değer 20.1 cm ve “Yöntem-3” olarak tanımlanan uzak fay HWA032-KG kaydına ait verilerle üretilen yakın fay yer hareketi etkisi için elde edilen değer 30.6 cm olarak belirlenmiştir. Burada köprü kemeri için en kritik düşey yer değiştirme değeri “Yöntem-3” ile elde edilen yakın fay yer hareketinin dinamik analizinden bulunurken elde edilen değer, “Yöntem-1” ve “Yöntem-2” ile elde edilen değerlerden sırasıyla %38 ve %34 daha büyük çıktığı gözlemlenmiştir.



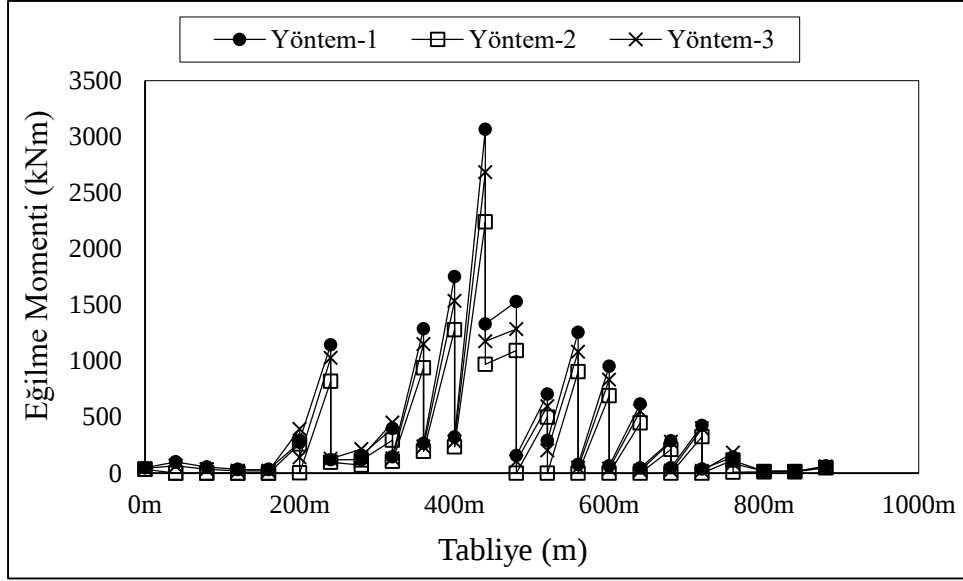
Şekil 7.15. Sıçrama etkili kuzey-güney kayıtları için elde edilen tabliye eksenel kuvvetleri

Şekil 7.15'te köprü tabliyesi boyunca sıçrama etkisi gösteren kuzey-güney kayıtları için elde edilen eksenel kuvvet değerleri karşılaştırılmaktadır. “Yöntem-1” olarak tanımlanan TCU129-KG kaydı için tabliyede elde edilen en büyük eksenel kuvvet değeri 35751 kN olurken, “Yöntem-2” olarak tanımlanan yakın fay TCU129-KG verileri esas alınarak üretilen yer hareketi için bu değer 26513 kN ve “Yöntem-3” olarak tanımlanan uzak fay HWA032-KG kaydına ait verilerle üretilen yakın fay yer hareketi etkisi için elde edilen değer 32089 kN olarak belirlenmiştir. Burada köprü tabliyesi için en kritik eksenel kuvvet değeri “Yöntem-1” ile elde edilen yakın fay yer hareketinin dinamik analizinden bulunurken elde edilen değer, “Yöntem-2” ve “Yöntem-3” ile elde edilen değerlerden sırasıyla %25 ve %10 daha büyük çıktığı gözlemlenmiştir.



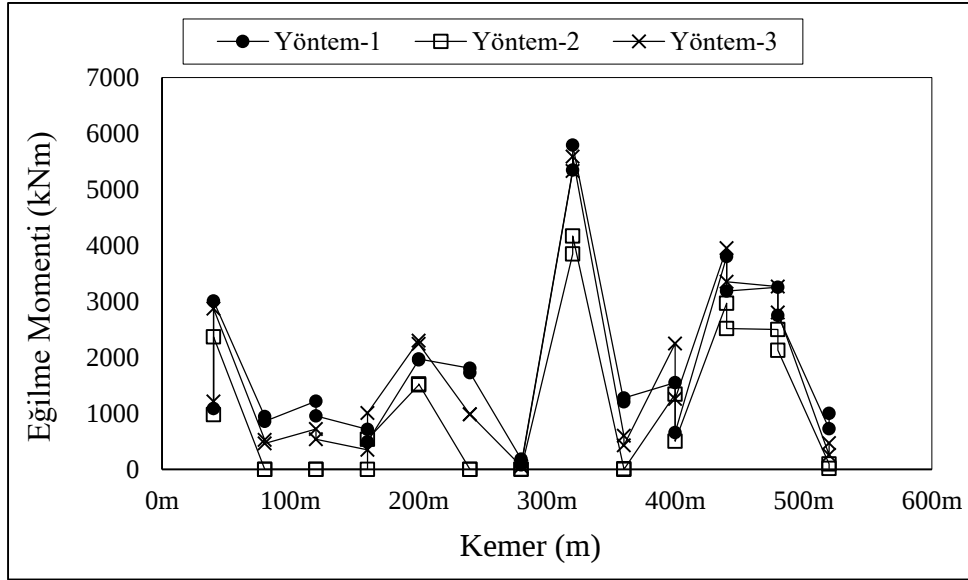
Şekil 7.16. Sıçrama etkili kuzey-güney kayıtları için elde edilen kemer eksenel kuvvetleri

Köprü kemeri üzerindeki eksenel kuvvet değerlerinin gösterildiği Şekil 7.16’da “Yöntem-1” olarak tanımlanan TCU129-KG kaydı için kemerde elde edilen en büyük eksenel kuvvet değeri 44120 kN olarak belirlenirken, “Yöntem-2” olarak tanımlanan yakın fay TCU129-KG verileri esas alınarak üretilen yer hareketi için elde edilen değer 33203 kN ve “Yöntem-3” olarak tanımlanan uzak fay HWA032-KG kaydına ait verilerle üretilen yakın fay yer hareketi etkisi için elde edilen değer 39826 kN olarak belirlenmiştir. Burada köprü kemeri için en kritik eksenel kuvvet değeri “Yöntem-1” ile elde edilen yakın fay yer hareketinin dinamik analizinden bulunurken elde edilen değerin, “Yöntem-2” ve “Yöntem-3” ile elde edilen değerlerden sırasıyla %24 ve %9 daha büyük değerler vermiştir.



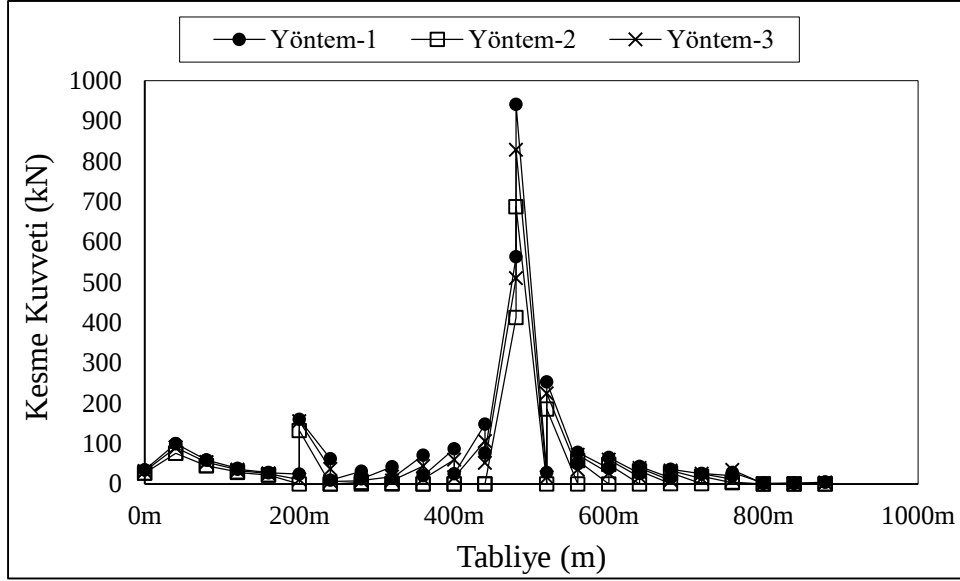
Şekil 7.17. Sıçrama etkili kuzey-güney kayıtları için elde edilen tabliye eğilme momentleri

Şekil 7.17’de köprü tabliyesi boyunca sıçrama etkisi gösteren doğu-batı kayıtları için elde edilen eğilme momenti değerleri karşılaştırılmaktadır. “Yöntem-1” olarak tanımlanan TCU129-KG kaydı için tabliyede elde edilen en büyük eğilme momenti değeri 3066 kNm olurken, “Yöntem-2” olarak tanımlanan yakın fay TCU129-KG verileri esas alınarak üretilen yer hareketi için bu değer 2242 kNm ve “Yöntem-3” olarak tanımlanan uzak fay HWA032-KG kaydına ait verilerle üretilen yakın fay yer hareketi etkisi için elde edilen değer 2686 kNm olarak belirlenmiştir. Burada köprü tabliyesi için en kritik eğilme momenti değeri “Yöntem-1” ile elde edilen yakın fay yer hareketinin dinamik analizinden bulunurken elde edilen değer, “Yöntem-2” ve “Yöntem-3” ile elde edilen değerlerden sırasıyla %26 ve %12 daha büyük çıktığı ve sonuçların genel olarak birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir.



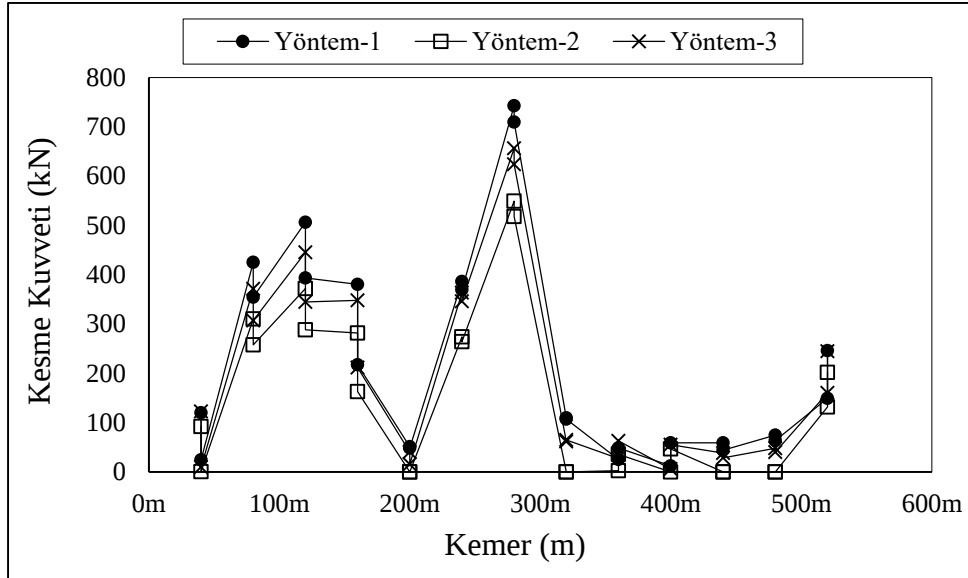
Şekil 7.18. Sıçrama etkili kuzey-güney kayıtları için elde edilen kemer eğilme momentleri

Köprü kemeri üzerindeki eğilme momenti değerlerinin gösterildiği Şekil 7.18’de “Yöntem-1” olarak tanımlanan TCU129-KG kaydı için kemerde elde edilen en büyük eğilme momenti değeri 5793 kNm olarak belirlenirken, “Yöntem-2” olarak tanımlanan yakın fay TCU129-KG verileri esas alınarak üretilen yer hareketi için elde edilen değer 4167 kNm ve “Yöntem-3” olarak tanımlanan uzak fay HWA032-KG kaydına ait verilerle üretilen yakın fay yer hareketi etkisi için elde edilen değer 5585 kNm olarak belirlenmiştir. Burada köprü kemeri için en kritik eğilme momenti değeri “Yöntem-1” ile elde edilen yakın fay yer hareketinin dinamik analizinden bulunurken elde edilen değer, “Yöntem-2” ve “Yöntem-3” ile elde edilen değerlerden sırasıyla %28 ve %3 daha büyük çıktığı gözlemlenmiştir.



Şekil 7.19. Sıçrama etkili kuzey-güney kayıtları için elde edilen tabliye kesme kuvvetleri

Şekil 7.19’da köprü tabliyesi boyunca sıçrama etkisi gösteren kuzey-güney kayıtları için elde edilen kesme kuvveti değerleri karşılaştırılmaktadır. “Yöntem-1” olarak tanımlanan TCU129-KG kaydı için tabliyede elde edilen en büyük kesme kuvveti değeri 945 kN olurken, “Yöntem-2” olarak tanımlanan yakın fay TCU129-KG verileri esas alınarak üretilen yer hareketi için bu değer 688 kN ve “Yöntem-3” olarak tanımlanan uzak fay HWA032-KG kaydına ait verilerle üretilen yakın fay yer hareketi etkisi için elde edilen değer 829 kN olarak belirlenmiştir. Burada köprü tabliyesi için en kritik kesme kuvveti “Yöntem-1” ile elde edilen yakın fay yer hareketinin dinamik analizinden bulunurken elde edilen değer, “Yöntem-2” ve “Yöntem-3” ile elde edilen değerlerden sırasıyla %27 ve %11 daha büyük çıktığı ve sonuçların genel olarak birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 7.20. Sıçrama etkili kuzey-güney kayıtları için elde edilen kemer kesme kuvvetleri

Köprü kemeri üzerindeki kesme kuvveti değerlerinin gösterildiği Şekil 7.20’de “Yöntem-1” olarak tanımlanan TCU129-KG kaydı için kemerde elde edilen en büyük kesme kuvveti değeri 743 kN olarak belirlenirken, “Yöntem-2” olarak tanımlanan yakın fay TCU129-KG verileri esas alınarak üretilen yer hareketi için elde edilen değer 550 kN ve “Yöntem-3” olarak tanımlanan uzak fay HWA032-KG kaydına ait verilerle üretilen yer hareketi etkisi için elde edilen değer 656 kN olarak belirlenmiştir. Burada köprü kemeri için en kritik kesme kuvveti değeri “Yöntem-1” ile elde edilen yakın fay yer hareketinin dinamik analizinden bulunurken elde edilen değer, “Yöntem-2” ve “Yöntem-3” ile elde edilen değerlerden sırasıyla %26 ve %14 daha büyük çıktığı gözlemlenmiştir.

Chi-Chi depreminin sıçrama etkisi gösteren kuzey-güney kayıtları için elde edilen kemer köprü tepkilerinin genel olarak aşağıda belirtilen değişimi gösterdiği gözlemlenmiştir;

- HWA032-KG uzak fay kaydı kullanılarak elde edilen yakın fay yer hareketleri (Yöntem-3) için elde edilen tabliye ve kemer yer değiştirmeleri, genel olarak TCU129-KG yakın fay yer hareketi kullanılarak üretilen yakın fay yer hareketleri (Yöntem-2) ile TCU129-KG yakın fay yer hareketi (Yöntem-1) için elde edilen yer değiştirmelerden daha büyük çıkmıştır.
- Yöntem-1 ve Yöntem-2 için elde edilen yer değiştirmeler genel olarak birbirine yakın çıkarken, zaman zaman Yöntem-1 için bulunan yer değiştirmelerin zaman zaman da Yöntem-2 için bulunan yer değiştirmelerin daha büyük çıktığı görülmüştür.

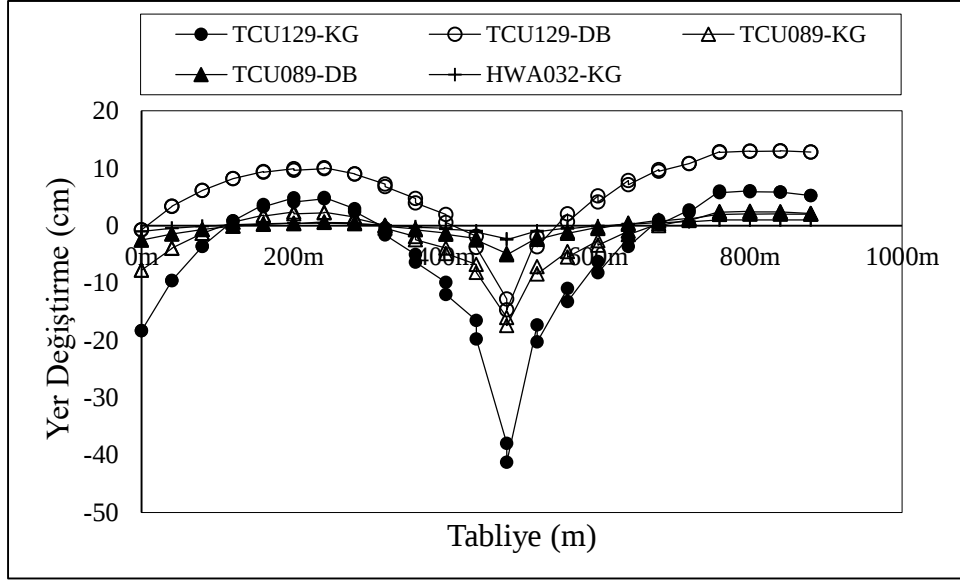
- Tabliye ve kemerde Yöntem-1 için elde edilen eleman kuvvetlerinin (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) Yöntem-2 ve Yöntem-3 için elde edilen eleman kuvvetlerinden, Yöntem-3 için elde edilen eleman kuvvetlerinin de Yöntem-2 için elde edilen eleman kuvvetlerinden daha büyük çıktığı gözlenmekle birlikte, elde edilen sonuçların genel olarak yakın olduğu anlaşılmıştır.

7.2. Yakın Fay ve Uzak Fay Yer Hareketleri için Gerçekleştirilen Dinamik Analizler

Bu bölümde “Yöntem-1” olarak adlandırılan, doğu-batı doğrultusunda darbe etkisi içeren kayıtların PEER’den, kuzey-güney doğrultusunda ise sığrama etkisi içeren kayıtların ivme-zaman verilerinin integrasyonundan elde edilen yakın ve uzak fay yer hareketleri köprü eksenini doğrultusunda uygulanarak karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır. Söz konusu analizlerde darbe ve sığrama etkilerinin her ikisini de içeren TCU102 ve TCU129 kayıtları ile darbe etkisi içermeyen ancak sığrama etkisi içeren TCU089 yakın fay yer hareketleri için elde edilen çözümler HWA032 uzak fay yer hareketi için elde edilen çözümlerle karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda öncelikle TCU129 yakın fay yer hareketi kayıtları ile darbesiz sığrama etkili yakın fay yer hareketi olan TCU089 kaydı için elde edilen çözümler uzak fay yer hareketi olarak ele alınan HWA032 kuzey-güney bileşeni için elde edilen çözümlerle karşılaştırılmış, ardından benzer şekilde TCU102 yakın fay yer hareketi kayıtları ile darbesiz sığrama etkili yakın fay yer hareketi olan TCU089 için elde edilen çözümler uzak fay yer hareketi olarak ele alınan HWA032 kuzey-güney bileşeni için elde edilen çözümlerle karşılaştırılmıştır. Böylelikle yakın fay yer hareketinin kemer köprü üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun yanında yakın fay yer hareketi karakteristikleri olan yönelme ve sığrama etkilerinin de karşılaştırılması hedeflenmiştir. Dikkate alınan kayıtlara ait yakın fay karakteristikleri Çizelge 7.1’de verilmiştir.

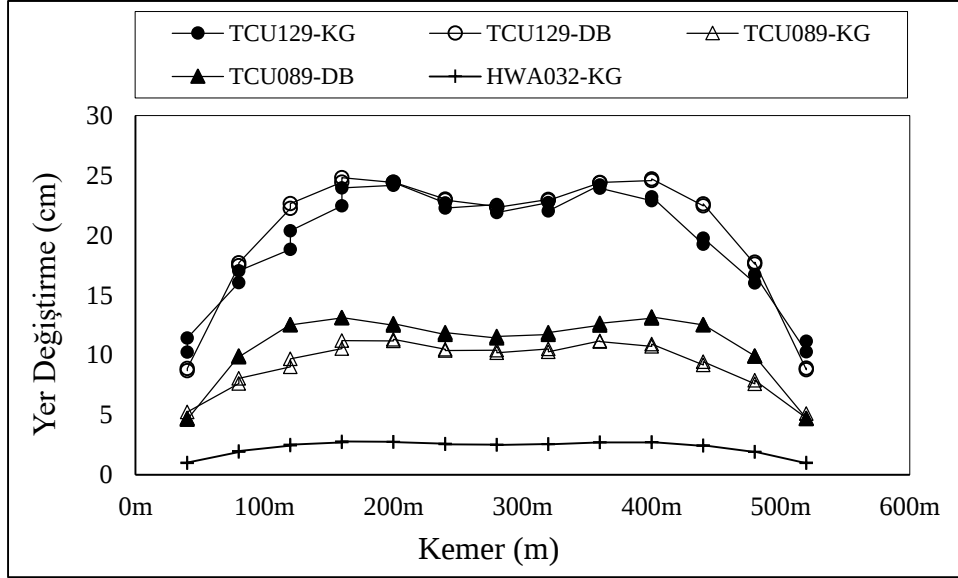
Çizelge 7.1. Yakın fay kayıtlarına ait karakteristik özellikler

Deprem Kaydı	Bileşen	Yakın Fay Karakteristiği
TCU129	KG	Sığrama Etkisi
TCU129	DB	Yönelme Etkisi
TCU102	KG	Sığrama Etkisi
TCU102	DB	Yönelme Etkisi
TCU089	KG	Sığrama Etkisi
TCU089	DB	-
HWA032	KG	-



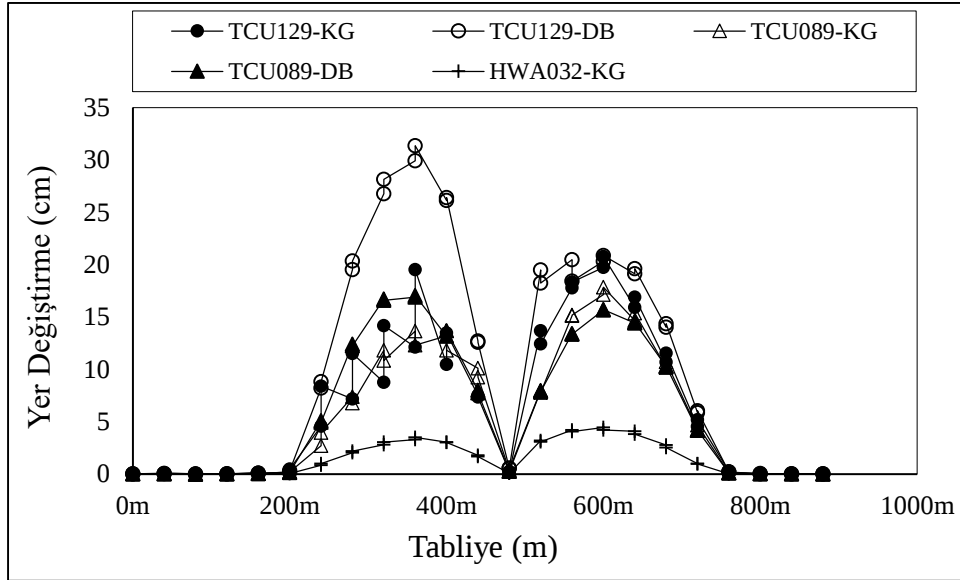
Şekil 7.21. Tabliye yatay yer değiştirmeleri

TCU129 darbe etkili ve sığrama etkili yakın fay, TCU089 darbesiz ancak sığrama etkili yakın fay ve referans alınan HWA032-KG uzak fay yer hareketleri için köprü tabliyesi boyunca elde edilen yatay yer değiştirmeleri gösteren Şekil 7.21’de en büyük yatay yer değiştirme sığrama etkili yakın fay yer hareketi olan TCU129-KG için 41.1 cm olarak belirlenmiştir. TCU089’un sığrama etkili bileşeni için 17.3 cm, TCU129-DB darbe etkili bileşeni için 15.2 cm, darbesiz TCU089-DB bileşeni için 5.6 cm ve HWA032-KG uzak fay yer hareketi için 2.9 cm yer değiştirme değerleri bulunmuştur. Burada TCU129 yakın fay yer hareketinin sığrama etkili bileşeni için elde edilen yatay yer değiştirme değeri darbe etkili bileşen için elde edilen yatay yer değiştirme değerinden %63 daha büyük çıkmıştır. TCU129 sığrama etkili kuzey-güney ve darbe etkili doğu-batı bileşenlerinin köprü tabliyesi boyunca en kritik yatay yer değiştirmelere neden olduğu gözlemlenmiştir.



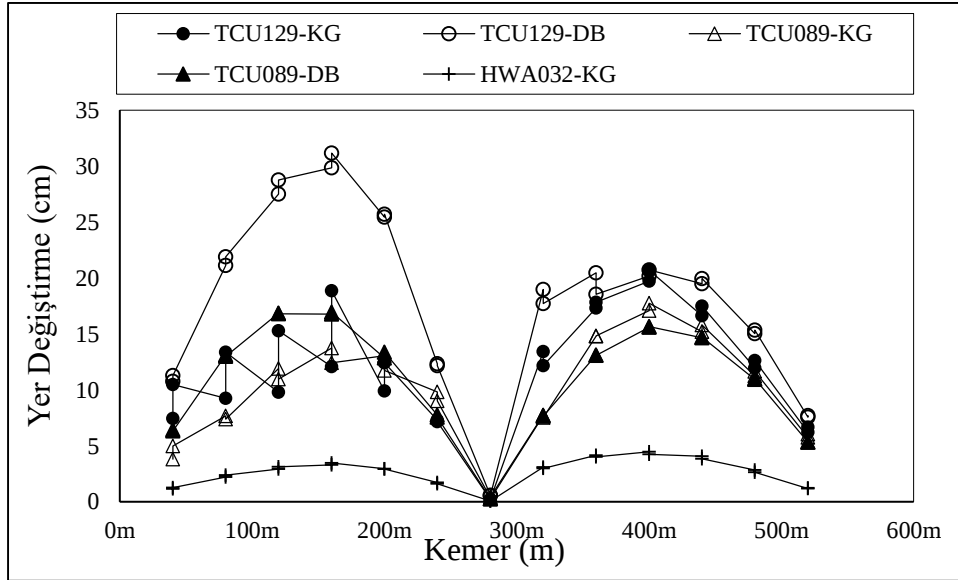
Şekil 7.22. Kemer yatay yer değiştirmeleri

Köprü kemeri üzerinde darbe ve sığrama etkili TCU129 yakın fay, darbesiz sığrama etkili TCU089 yakın fay ve HWA032 uzak fay yer hareketleri için kemer boyunca elde edilen yatay yer değiştirme değerleri Şekil 7.22.'de karşılaştırılmaktadır. Burada en kritik yatay yer değiştirme değeri darbe etkili TCU129-DB etkisi için 24.8 cm olarak elde edilirken sığrama etkili TCU129-KG bileşeni için de 23.9 cm'lik yakın bir değer bulunmuştur. Darbesiz yakın fay yer hareketi bileşeni TCU089-DB, sığrama etkili yakın yakın fay yer hareketi bileşeni TCU089-KG ve HWA032-KG uzak fay yer hareketi için sırasıyla 13.2 cm, 11.2 cm, 2.8 cm'lik yatay yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Analiz sonuçları TCU129 yer hareketinin sığrama ve darbe etkili bileşenlerinin köprü kemeri için en kritik yatay yer değiştirmelere neden olduğunu ortaya koymaktadır. Burada TCU129 yakın fay yer hareketinin darbe etkili bileşeni sığrama etkili bileşeninden %3 daha büyük sonuç vermiştir. Bunun yanında yakın fay yer hareketleri için elde edilen sonuçların uzak fay yer hareketi için elde edilen sonuçlardan oldukça büyük sismik tepkilere neden olduğu da açıkça görülmektedir.



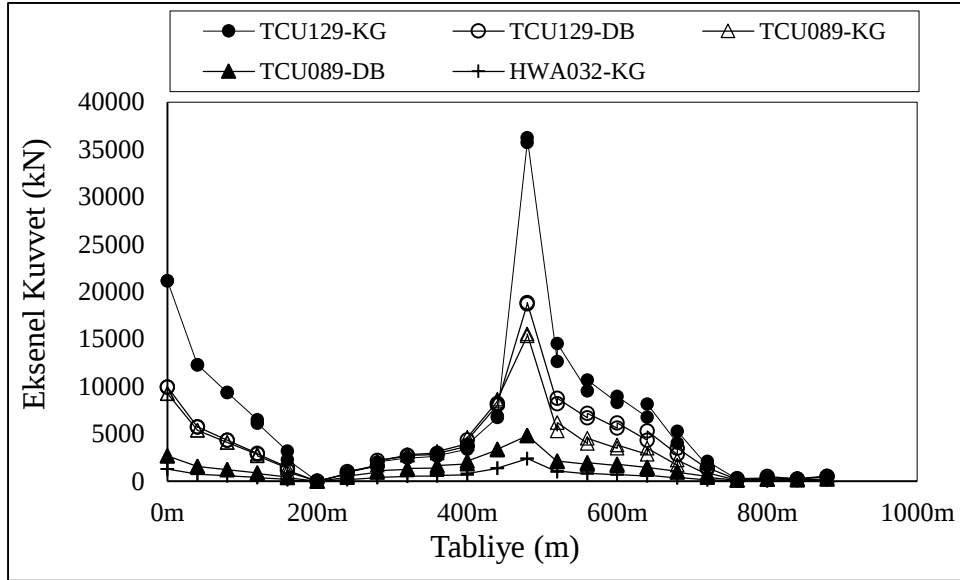
Şekil 7.23. Tabliye düşey yer değiştirmeleri

Köprü tabliyesi boyunca elde edilen düşey yer değiştirme değerleri Şekil 7.23.'de karşılaştırılmıştır. Tabliye boyunca en büyük düşey yer değiştirme darbe etkili yakın fay yer hareketi olan TCU129-DB için 31.3 cm olarak elde edilmiştir. TCU129'un sıçrama etkili bileşeni için 20.7 cm düşey yer değiştirme elde edilirken, darbesiz TCU089-DB bileşeni için 16.9 cm, sıçrama etkili TCU089-KG bileşeni için 17.1 cm ve HWA032-KG uzak fay yer hareketi için 4.4 cm düşey yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Yakın fay yer hareketleri için elde edilen sonuçların uzak fay yer hareketi için elde edilen sonuçlardan belirgin olarak daha büyük düşey yer değiştirmelere neden olduğu açıkça görülmektedir. Köprü tabliyesinin güney yaklaşımını temsil eden sol tarafında darbe etkili TCU129-DB bileşeni etkin olurken, sağ tarafında TCU129 yakın fay yer hareketinin darbe ve sıçrama etkili bileşenleri etkili olmuştur.



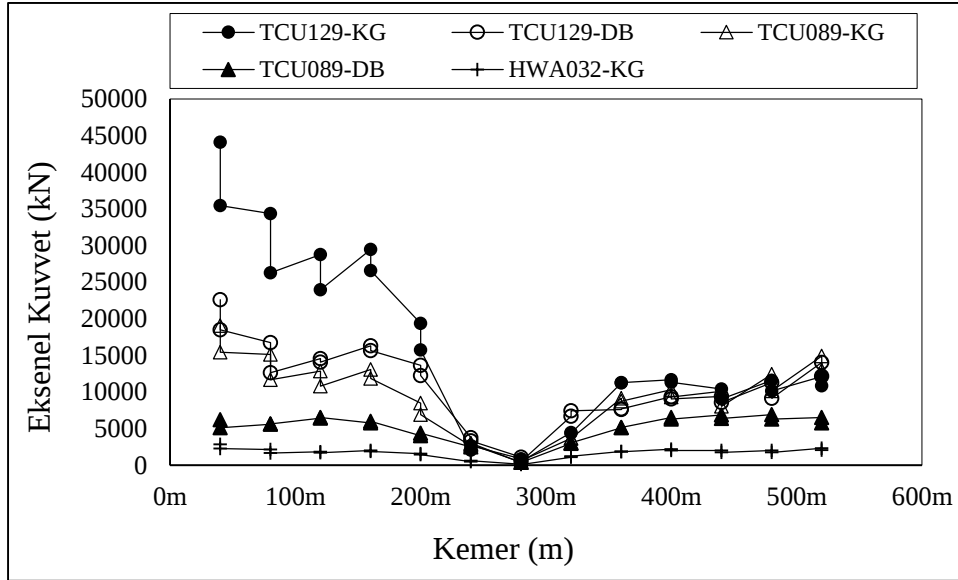
Şekil 7.24. Kemer düşey yer değiştirmeleri

Köprü kemeri üzerinde darbe ve sıçrama etkili TCU129 yakın fay, darbesiz sıçrama etkili TCU089 yakın fay ve HWA032 uzak fay yer hareketleri için kemer boyunca elde edilen düşey yer değiştirme değerleri Şekil 7.24.'te karşılaştırılmaktadır. Burada en kritik düşey yer değiştirme değeri darbe etkili TCU129-DB bileşeni için 31.1 cm olarak elde edilirken, sıçrama etkili TCU129-KG bileşeni için 18.9 cm olarak elde edilmiştir. Darbesiz yakın fay yer hareketi TCU089-DB, sıçrama etkili yakın fay yer hareketi TCU089-KG ve HWA032 uzak fay yer hareketleri için sırasıyla 16.8cm, 13.7cm, 4.4cm yatay yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Köprü kemeri boyunca en kritik düşey yer değiştirme TCU129 yer hareketinin darbe etkili bileşeni için elde edilmiştir. Darbe etkili TCU129 yakın fay yer hareketi için elde edilen düşey yer değiştirme değeri, TCU129 sıçrama etkili bileşeni için elde edilen düşey yer değiştirme değerinden %39 daha büyük çıkmıştır. Söz konusu yakın fay yer hareketleri için elde edilen sonuçların uzak fay yer hareketi için elde edilen sonuçlardan daha büyük düşey yer değiştirmelere neden olduğu da açıkça görülmektedir.



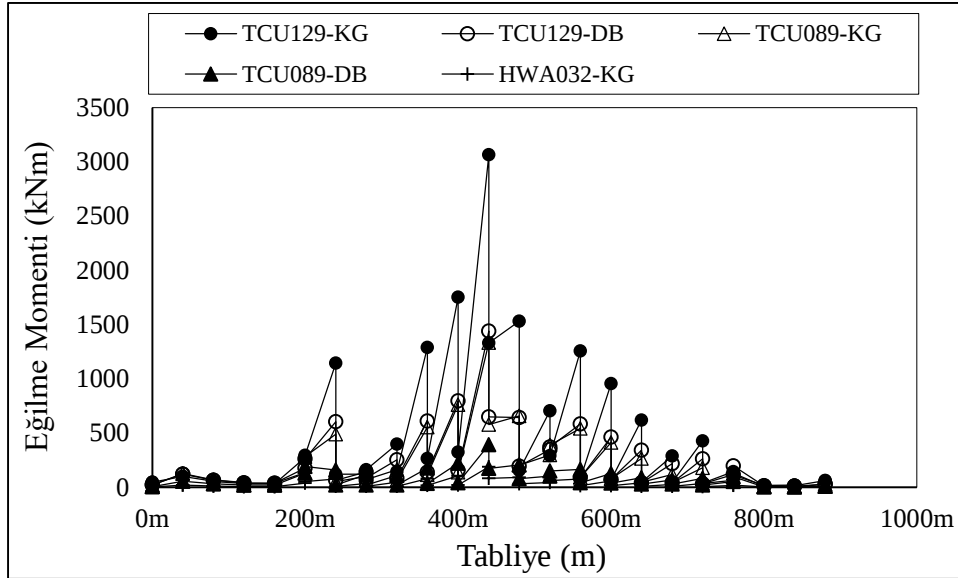
Şekil 7.25. Tabliye eksenel kuvvetleri

Şekil 7.25.'de köprü tabliyesi boyunca TCU129 darbe etkili ve sığrama etkili yakın fay, TCU089 darbesiz sığrama etkili yakın fay ve referans alınan HWA032-KG uzak fay yer hareketleri için elde edilen eksenel kuvvet değerleri karşılaştırılmıştır. Tabliye boyunca en büyük eksenel kuvvet değeri sığrama etkili yakın fay yer hareketi olan TCU129-KG bileşeni için 36255 kN olarak elde edilmiştir. Darbe etkili TCU129-DB bileşeni için 18729 kN olarak elde edilirken, sığrama etkili TCU089-KG bileşeni için 15336 kN, darbesiz TCU089-DB bileşeni için 4794 kN ve uzak fay yer hareketi olan HWA032-KG bileşeni için 2385 kN olarak elde edilmiştir. Köprü tabliyesi boyunca en kritik eksenel kuvvet TCU129 yakın fay yer hareketinin sığrama etkili bileşeni için elde edilmiştir. Söz konusu eksenel kuvvet, TCU129-DB darbe etkili bileşeni için elde edilen eksenel kuvvet değerinden %48 daha büyük çıkmıştır.



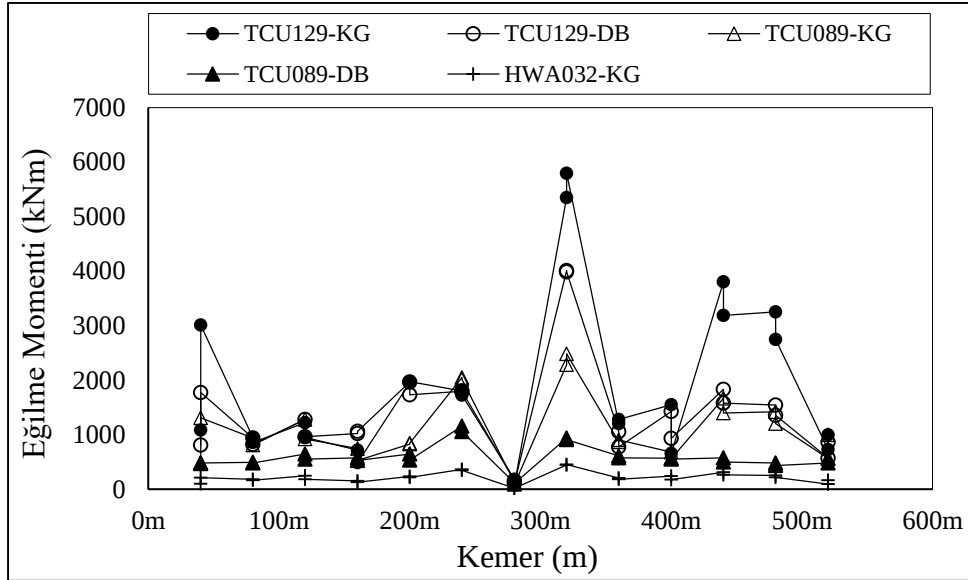
Şekil 7.26. Kemer eksenel kuvvetleri

Köprü kemeri üzerinde darbe ve sığrama etkili TCU129 yakın fay, darbesiz sığrama etkili TCU089 yakın fay ve HWA032 uzak fay yer hareketleri için kemer boyunca elde edilen eksenel kuvvet değerleri Şekil 7.26.'da karşılaştırılmaktadır. En büyük eksenel kuvvet değeri sığrama etkili TCU129-KG bileşeni için 44120 kN olarak elde edilirken, darbe etkili TCU129-DB bileşeni için 22586 kN olarak elde edilmiştir. Sığrama etkili yakın fay yer hareketi TCU089-KG, darbesiz yakın fay yer hareketi TCU089-DB ve HWA032 uzak fay yer hareketleri için sırasıyla 19081 kN, 6204 kN, 2843 kN eksenel kuvvet değerleri elde edilmiştir. Köprü kemeri boyunca en kritik eksenel kuvvet, TCU129 yakın fay yer hareketinin sığrama etkili bileşeni için elde edilmiştir. Sığrama etkili TCU129-KG bileşeni için elde edilen eksenel kuvvet değeri, TCU129-DB darbe etkili bileşeni için elde edilen eksenel kuvvet değerinden %49 daha büyük çıkmıştır.



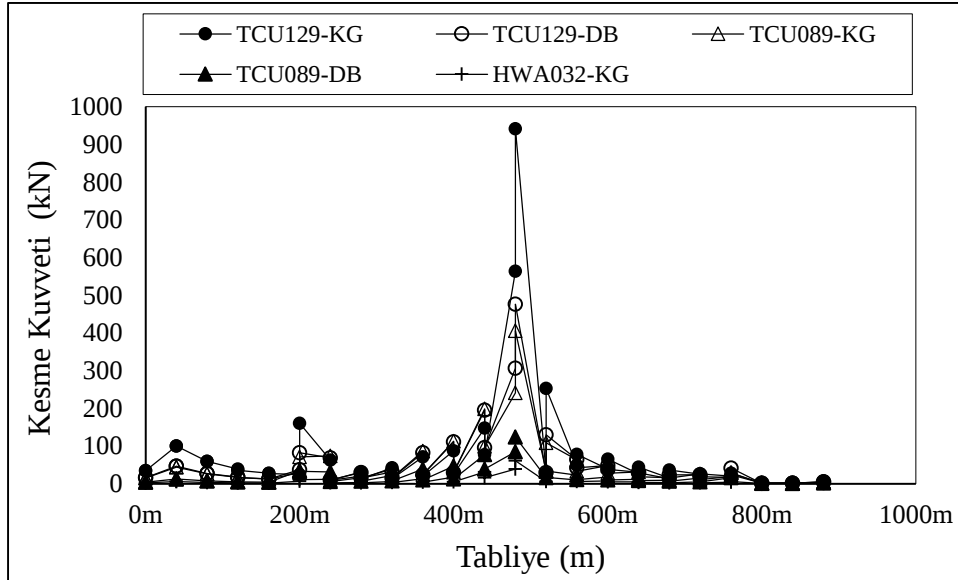
Şekil 7.27. Tabliye eğilme momentleri

Köprü tabliyesi boyunca elde edilen eğilme momenti değerleri Şekil 7.27.'de, TCU129 darbe etkili ve sığrama etkili yakın fay, TCU089 darbesiz sığrama etkili yakın fay ve referans alınan HWA032-KG uzak fay yer hareketleri için karşılaştırılmıştır. Tabliye boyunca en büyük eğilme momenti sığrama etkili yakın fay yer hareketi olan TCU129-KG bileşeni için 3066 kNm olarak elde edilmiştir. Darbe etkili TCU129-DB bileşeni için 1439 kNm eğilme momenti elde edilirken, sığrama etkili TCU089-KG bileşeni için 1333 kNm, darbesiz TCU089-DB bileşeni için 393 kNm ve uzak fay yer hareketi olan HWA032-KG bileşeni için 187 kNm olarak elde edilmiştir. Köprü tabliyesi boyunca en kritik eğilme momenti değeri TCU129 yakın fay yer hareketinin sığrama etkili bileşeni için elde edilmiştir. Söz konusu eğilme momenti değeri, TCU129-DB darbe etkili bileşeni için elde edilen eğilme momenti değerinden %53 daha büyük çıkmıştır.



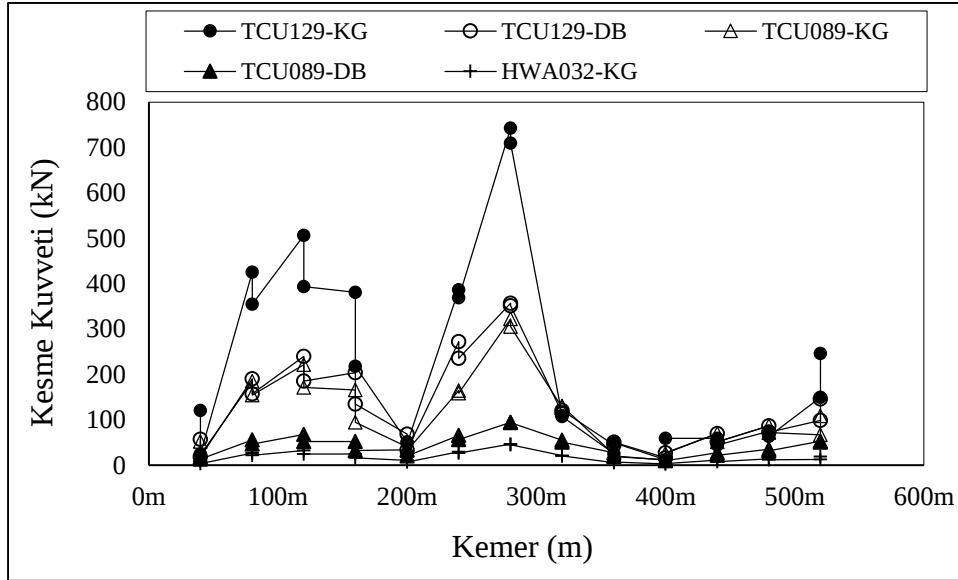
Şekil 7.28. Kemer eğilme momentleri

Köprü kemeri üzerinde darbe ve sığrama etkili TCU129 yakın fay, darbesiz sığrama etkili TCU089 yakın fay ve HWA032 uzak fay yer hareketleri için kemer boyunca elde edilen eğilme momenti değerleri Şekil 7.28.'de karşılaştırılmıştır. Burada en kritik eğilme momenti değeri sığrama etkili TCU129-KG bileşeni için 5793 kNm olarak elde edilirken, darbe etkili TCU129-DB bileşeni için 4009 kNm olarak elde edilmiştir. Sığrama etkili yakın fay yer hareketi TCU089-KG, darbesiz yakın fay yer hareketi TCU089-DB ve HWA032 uzak fay yer hareketleri için sırasıyla 2485 kNm, 1155 kNm, 450 kNm eğilme momenti değerleri elde edilmiştir. Köprü kemeri boyunca en kritik eğilme momenti değeri TCU129 yakın fay yer hareketinin sığrama etkili bileşeni için elde edilmiştir. Söz konusu eğilme momenti değeri, TCU129-DB darbe etkili bileşeni için elde edilen eğilme momenti değerinden %31 büyük çıkmıştır.



Şekil 7.29. Tabliye kesme kuvvetleri

Köprü tabliyesi boyunca kesme kuvveti değerleri Şekil 7.29.'da, TCU129 darbe etkili ve sığrama etkili yakın fay, TCU089 darbesiz sığrama etkili yakın fay ve referans alınan HWA032-KG uzak fay yer hareketleri için karşılaştırılmıştır. Tabliye boyunca en büyük kesme kuvveti değeri sığrama etkili yakın fay yer hareketi olan TCU129-KG bileşeni için 942 kN olarak elde edilmiştir. Darbe etkili TCU129-DB bileşeni için 476 kN kesme kuvveti elde edilirken, sığrama etkili TCU089-KG bileşeni için 406 kN, darbesiz TCU089-DB bileşeni için 124 kN ve uzak fay yer hareketi HWA032-KG bileşeni için 61 kN olarak elde edilmiştir. Köprü tabliyesi boyunca en kritik kesme kuvveti değeri TCU129 yakın fay yer hareketinin sığrama etkili bileşeni için elde edilmiştir. TCU129-KG sığrama etkili bileşen için elde edilen kesme kuvveti değerinin, TCU129-DB darbe etkili bileşeni için elde edilen kesme kuvveti değerinden %49 daha büyük çıktığı gözlemlenmiştir.



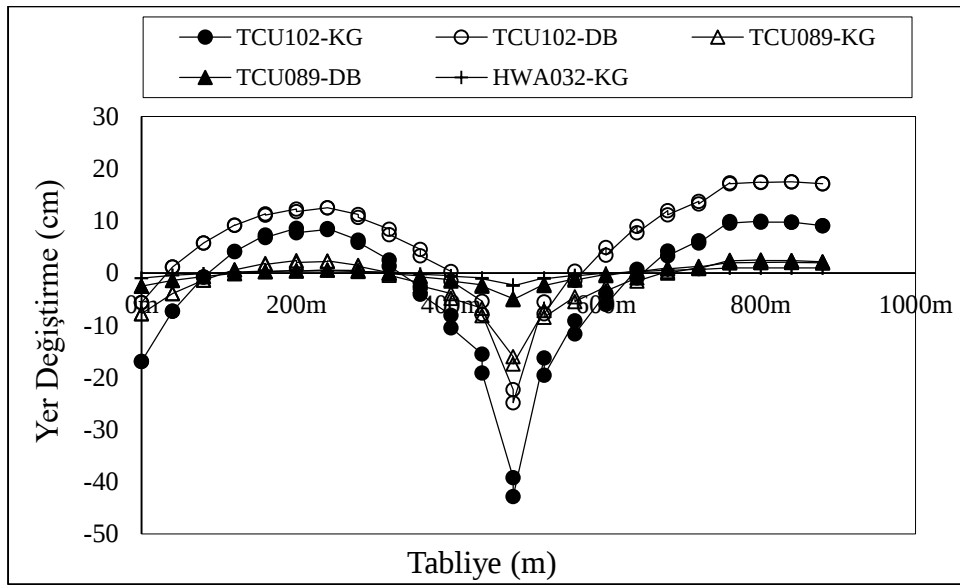
Şekil 7.30. Kemer kesme kuvvetleri

Köprü kemeri üzerinde darbe ve sığrama etkili TCU129 yakın fay, darbesiz sığrama etkili TCU089 yakın fay ve HWA032 uzak fay yer hareketleri için kemer boyunca elde edilen kesme kuvveti değerleri Şekil 7.30.'da karşılaştırılmaktadır. Burada en kritik kesme kuvveti değeri sığrama etkili TCU129-KG bileşeni için 743 kN olarak elde edilirken, darbe etkili TCU129-DB bileşeni için 356 kN olarak elde edilmiştir. Sığrama etkili yakın fay yer hareketi TCU089-KG, darbesiz yakın fay yer hareketi TCU089-DB ve HWA032 uzak fay yer hareketleri için sırasıyla 323 kN, 95 kN, 47 kN kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. Köprü kemeri boyunca en kritik kesme kuvveti TCU129 yakın fay yer hareketinin sığrama etkili bileşeni için elde edildiği gözlemlenmiştir. Söz konusu kesme kuvveti değeri, TCU129-DB darbe etkili bileşeni elde edilen kesme kuvveti değerinden %52 daha büyük çıkmıştır.

Dikkate alınan yakın ve uzak fay yer hareketleri için elde edilen köprü tepkilerinin genel olarak aşağıda belirtilen değişimi gösterdiği anlaşılmıştır;

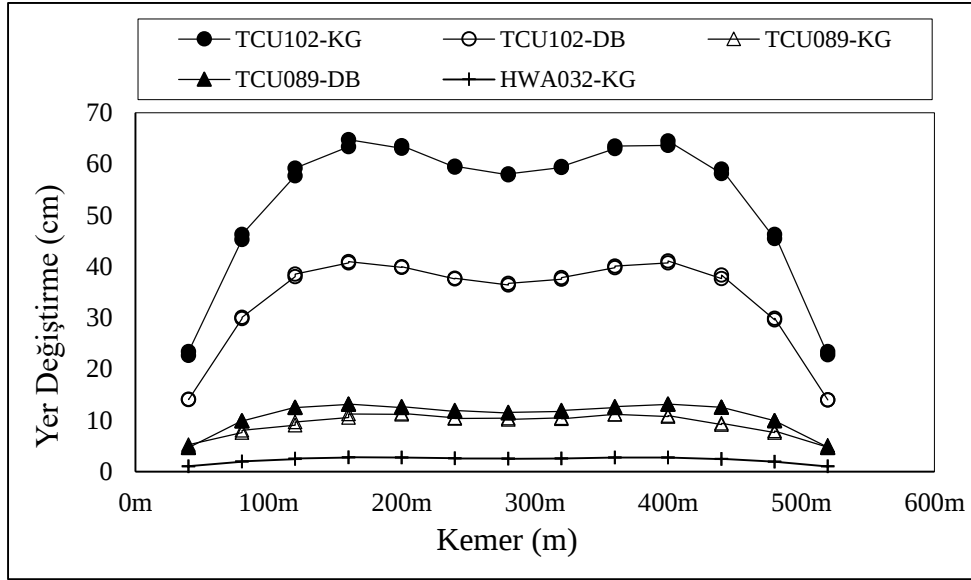
- Tabliye ve kederde en büyük yer değiştirmelere genel olarak darbe etkili TCU129 bileşeni neden olurken, zaman zaman sığrama etkili TCU129 bileşeni de en büyük yer değiştirmelere neden olmuştur.
- Tabliye ve kederde oluşan en büyük eleman kuvvetleri (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) sığrama etkili TCU129 için elde edilmiştir.

- İç kuvvetler (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) için en kritik değerler sığrama etkili TCU129 bileşeni için elde edilirken, yer değiştirmeler için en kritik değerler darbe etkili TCU129 bileşeni elde edilmiştir.
- Yakın fay yer hareketi bileşenleri için elde edilen tepkiler uzak fay yer hareketi için elde edilen tepkilerden belirgin şekilde daha büyük çıkmıştır.
- TCU089 kaydının sığrama etkili bileşeni için elde edilen sismik tepkiler, aynı kaydın darbesiz bileşeni için elde edilen tepkilerden daha büyük çıkmıştır.



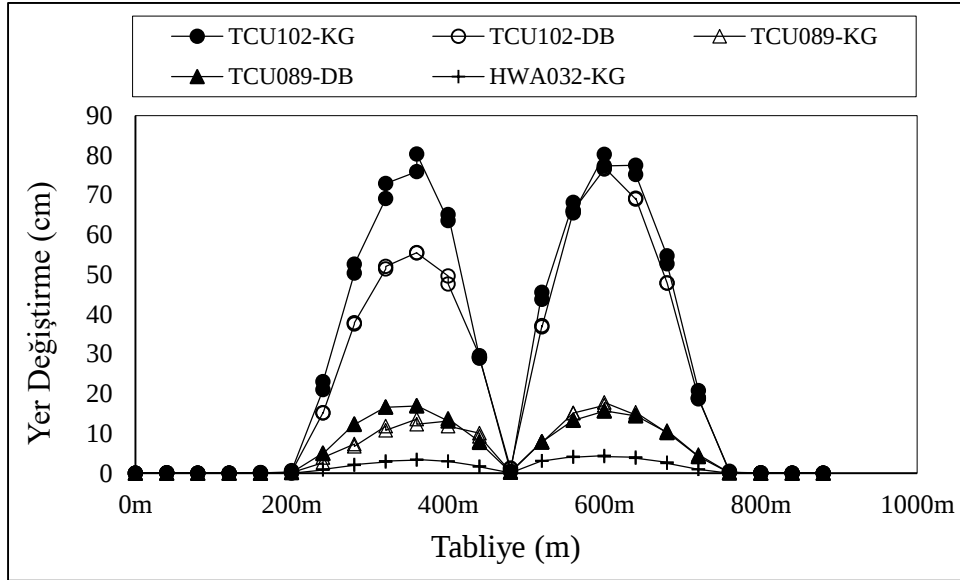
Şekil 7.31. Tabliye yatay yer değiştirmeleri

TCU102 darbe etkili ve sığrama etkili yakın fay, TCU089 darbesiz ancak sığrama etkili yakın fay ve referans alınan HWA032-KG uzak fay yer hareketleri için köprü tabliyesi boyunca yatay yer değiştirmeler Şekil 7.31'de karşılaştırılmıştır. En büyük yatay yer değiştirme sığrama etkili yakın fay yer hareketi olan TCU102-KG bileşeni için 43.1 cm olarak elde edilmiştir. Darbe etkili TCU102-DB bileşeni için 25.3 cm'lik yatay yer değiştirme değeri elde edilirken, sığrama etkili TCU089-KG bileşeni için 17.3 cm, darbesiz TCU089-DB bileşeni için 5.6 cm ve uzak fay yer hareketi olan HWA032-KG bileşeni için 2.9 cm olarak elde edilmiştir. Tabliye boyunca TCU102 darbe ve sığrama etkili bileşenleri için en kritik yatay yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Söz konusu TCU102 yer hareketinin sığrama etkili bileşeni için elde edilen yatay yer değiştirme değeri, darbe etkili bileşeninden elde edilen yatay yer değiştirme değerinden %42 daha büyük çıkmıştır.



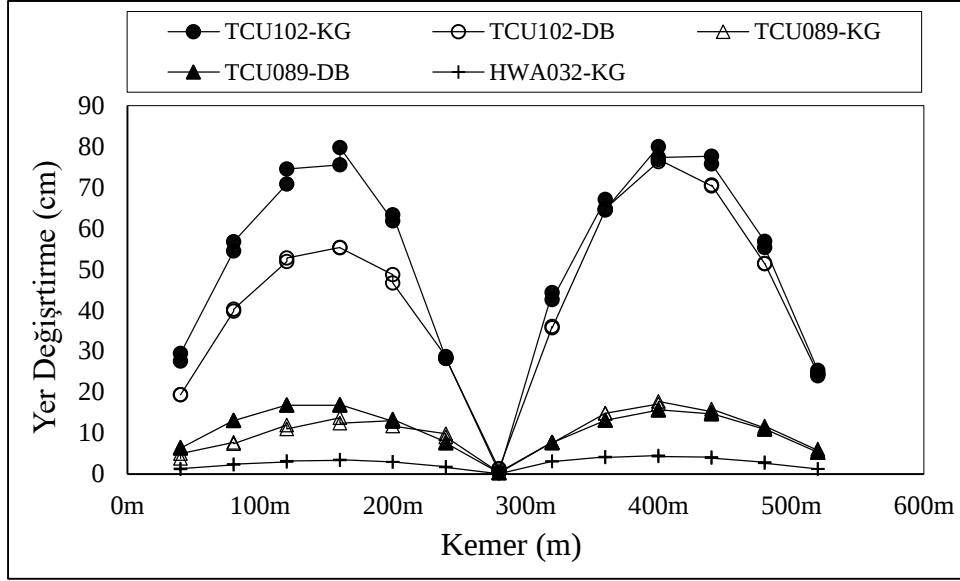
Şekil 7.32. Kemer yatay yer değiştirmeleri

Köprü kemeri üzerinde darbe ve sığrama etkili TCU102 yakın fay, darbesiz sığrama etkili TCU089 yakın fay ve HWA032 uzak fay yer hareketleri için kemer boyunca elde edilen yatay yer değiştirme değerleri Şekil 7.32.'de karşılaştırılmaktadır. Burada en kritik yatay yer değiştirme değeri sığrama etkili TCU102 bileşeni için 64.8 cm olarak elde edilirken, darbe etkili TCU102 bileşeni için 40.7 cm olarak elde edilmiştir. Darbesiz yakın fay yer hareketi TCU089-DB, sığrama etkili yakın yakın fay yer hareketi TCU089-KG ve HWA032 uzak fay yer hareketleri için sırasıyla 13.2cm, 11.2cm, 2.8cm yatay yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Burada TCU102 yer hareketinin sığrama etkili bileşeni için elde edilen yatay yer değiştirme değeri, darbe etkili bileşeni için elde edilen yatay yer değiştirme değerinden %37 daha büyük çıkmıştır. Bunun yanında yakın fay yer hareketleri için elde edilen sonuçların uzak fay yer hareketi için elde edilen sonuçlardan belirgin şekilde daha büyük sismik tepkilere neden olduğu da açıkça görülmektedir.



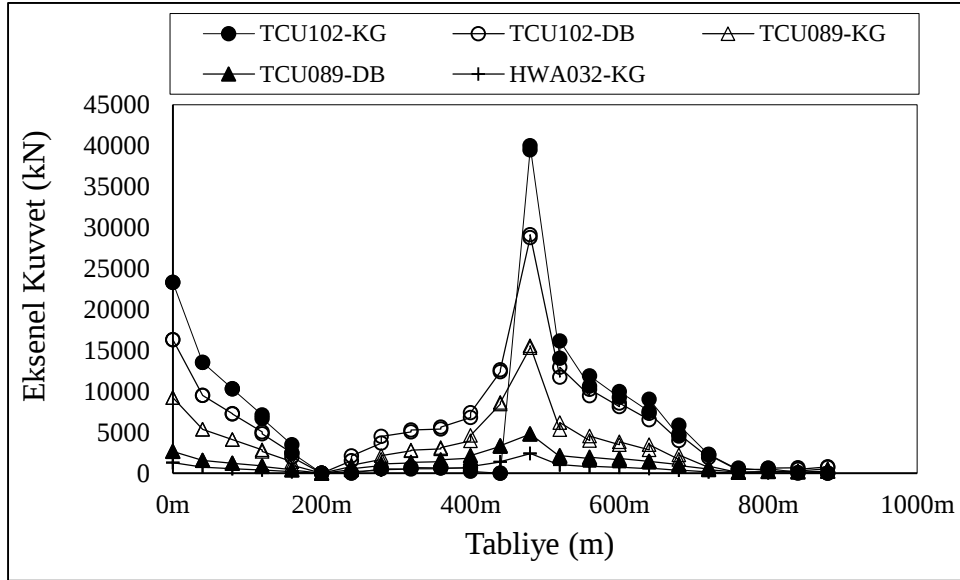
Şekil 7.33. Tabliye düşey yer değiştirmeleri

Köprü tabliyesi boyunca düşey yer değiştirme değerleri Şekil 7.33.'de, TCU102 darbe etkili ve sıçrama etkili yakın fay, TCU089 darbesiz sıçrama etkili yakın fay ve referans alınan HWA032-KG uzak fay yer hareketleri için karşılaştırılmıştır. Tabliye boyunca en büyük düşey yer değiştirme sıçrama etkili yakın fay yer hareketi olan TCU102-KG bileşeni için 80.2 cm olarak elde edilmiştir. Darbe etkili TCU102 bileşeni için 76.4 cm'lik düşey yer değiştirme elde edilirken, sıçrama etkili TCU089-KG bileşeni için 17.1cm, darbe etkili TCU089-DB bileşeni için 16.9cm ve uzak fay yer hareketi HWA032-KG bileşeni için 4.2 cm olarak elde edilmiştir. Köprü tabliyesi boyunca en kritik düşey yer değiştirme TCU102 yer hareketinin sıçrama etkili bileşeni için elde edilmiştir. TCU102 yakın fay yer hareketinin sıçrama etkili bileşeni için elde edilen düşey yer değiştirme değeri, darbe etkili bileşen için elde edilen düşey yer değiştirme değerinden %5 daha büyük çıkmıştır.



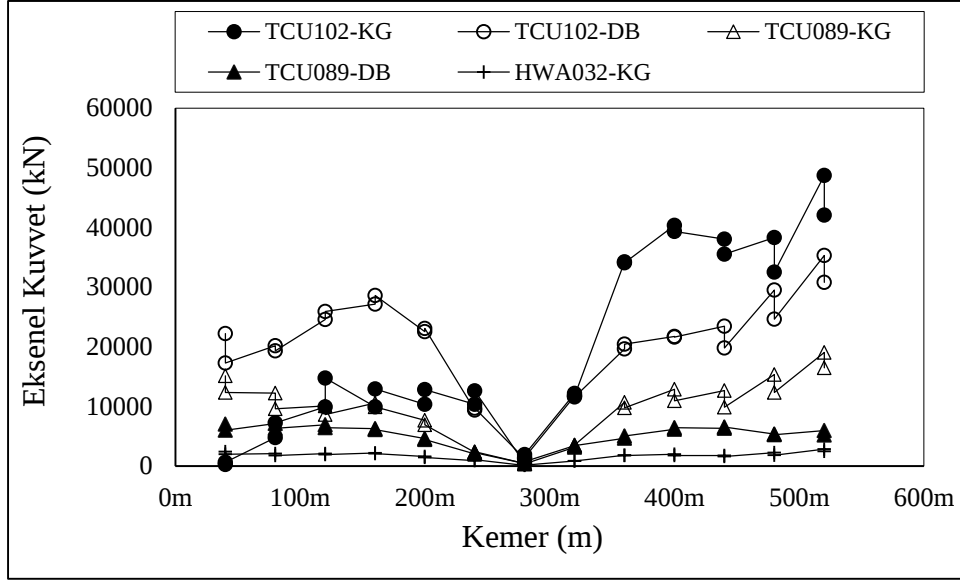
Şekil 7.34. Kemer düşey yer değiştirmeleri

Köprü kemeri üzerinde darbe ve sığrama etkili TCU102 yakın fay, darbesiz sığrama etkili TCU089 yakın fay ve HWA032 uzak fay yer hareketleri için kemer boyunca elde edilen düşey yer değiştirme değerleri Şekil 7.34.'te karşılaştırılmaktadır. Burada en kritik düşey yer değiştirme değeri sığrama etkili TCU102-KG bileşeni için 79.9 cm olarak elde edilirken, darbe etkili TCU102-DB bileşeni için 76.3 cm olarak elde edilmiştir. Sığrama etkili yakın fay yer hareketi TCU089-KG, darbesiz yakın fay yer hareketi TCU089-DB ve HWA032 uzak fay yer hareketleri için sırasıyla 17.1 cm, 15.6 cm, 4.2 cm düşey yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Köprü kemeri boyunca en kritik düşey yer değiştirme TCU102 yakın fay yer hareketinin darbe etkili bileşeni için elde edilmiştir. Söz konusu yakın fay yer hareketleri için elde edilen sonuçların uzak fay yer hareketi için elde edilen sonuçlardan daha büyük değerlerde düşey yer değiştirmelere neden olduğu sonucu da gözlemlenmiştir.



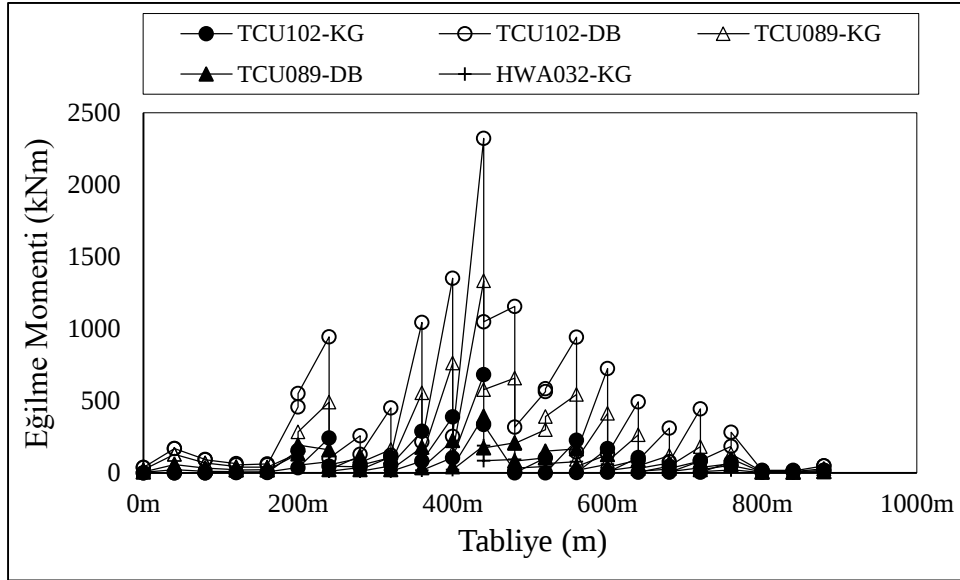
Şekil 7.35. Tabliye eksenel kuvvetleri

Köprü tabliyesi boyunca karşılaştırmalı olarak eksenel kuvvet değerleri Şekil 7.35.'de, TCU102 darbe etkili ve sıçrama etkili yakın fay, TCU089 darbesiz sıçrama etkili yakın fay ve referans alınan HWA032-KG uzak fay yer hareketleri için karşılaştırılmıştır. Tabliye boyunca en büyük eksenel kuvvet sıçrama etkili yakın fay yer hareketi olan TCU102-KG bileşeni için 40023 kN olarak elde edilmiştir. Darbe etkili TCU102-DB bileşeni için 29129 kN olarak eksenel kuvvet değeri elde edilirken, sıçrama etkili TCU089-KG bileşeni için 15336 kN, darbesiz TCU089-DB bileşeni için 4794 kN ve uzak fay yer hareketi HWA032-KG bileşeni için 2385 kN olarak elde edilmiştir. Köprü tabliyesi boyunca en kritik eksenel kuvvet TCU102 yakın fay yer hareketinin sıçrama etkili bileşeni için elde edilmiştir. Söz konusu eksenel kuvvet değeri, TCU102-DB darbe etkili bileşeni için elde edilen eksenel kuvvet değerinden %27 daha büyük çıkmıştır.



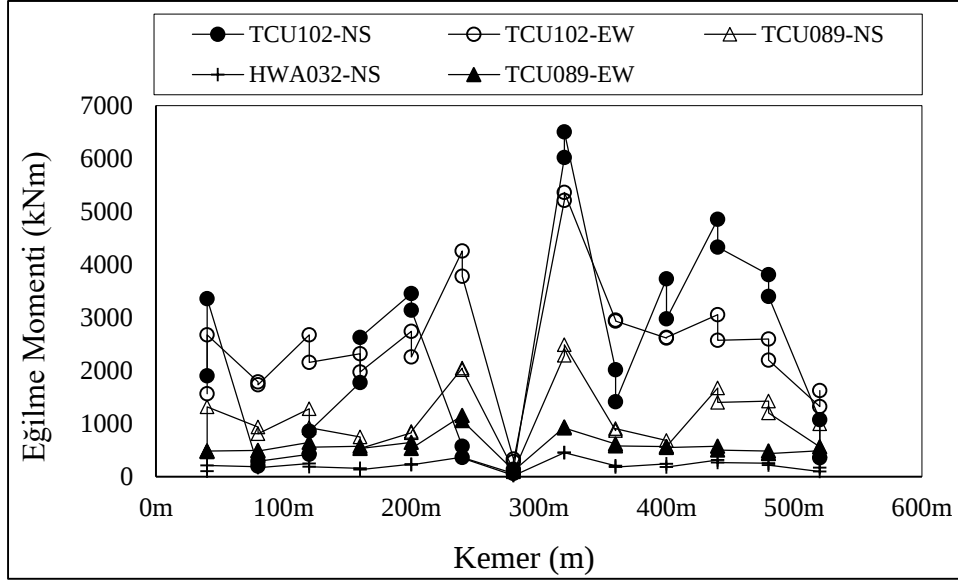
Şekil 7.36. Kemer eksenel kuvvetleri

Köprü kemeri üzerinde darbe ve sığrama etkili TCU102 yakın fay, darbesiz sığrama etkili TCU089 yakın fay ve HWA032 uzak fay yer hareketleri için kemer boyunca elde edilen eksenel kuvvet değerleri Şekil 7.36.'da karşılaştırılmaktadır. Burada en kritik eksenel kuvvet değeri sığrama etkili TCU102-KG bileşeni için 48749 kN olarak elde edilirken, darbe etkili TCU102-DB bileşeni için 35316 kN olarak elde edilmiştir. Sığrama etkili yakın fay yer hareketi TCU089-KG, darbesiz yakın fay yer hareketi TCU089-DB ve HWA032 uzak fay yer hareketleri için sırasıyla 19048 kN, 6999 kN, 2822 kN eksenel kuvvet değerleri elde edilmiştir. Köprü kemeri boyunca en kritik eksenel kuvvet TCU102 yakın fay yer hareketinin sığrama etkili bileşeni için elde edilmiştir. TCU102 sığrama etkili bileşen için elde edilen eksenel kuvvet değeri, TCU102 darbe etkili bileşeni için elde edilen eksenel kuvvet değerinden %27 daha büyük çıkmıştır.



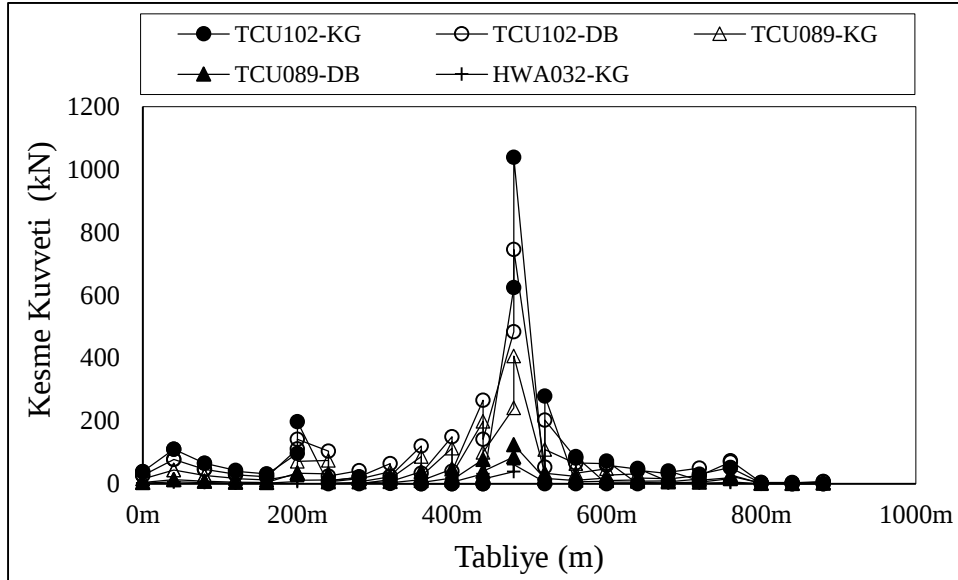
Şekil 7.37. Tabliye eğilme momentleri

Şekil 7.37.'de köprü tabliyesi boyunca eğilme momenti değerleri, TCU102 darbe etkili ve sığrama etkili yakın fay, TCU089 darbesiz sığrama etkili yakın fay ve referans alınan HWA032-KG uzak fay yer hareketleri için karşılaştırılmıştır. Tabliye boyunca en büyük eğilme momenti darbe etkili yakın fay yer hareketi olan TCU102-DB bileşeni için 2323 kNm olarak elde edilmiştir. Sığrama etkili TCU089-KG bileşeni için 1333 kNm'lik eğilme momenti değeri elde edilirken, sığrama etkili TCU102-KG bileşeni için 682 kNm, darbesiz TCU089-DB bileşeni için 393 kNm ve uzak fay yer hareketi HWA032-KG bileşeni için 187 kNm olarak elde edilmiştir. Köprü tabliyesi boyunca en kritik eğilme momenti TCU102 yakın fay yer hareketinin darbe etkili bileşeni için elde edilmiştir. Söz konusu eğilme momenti değeri, TCU102-KG darbe etkili bileşeni için elde edilen eğilme momenti değerinden %70 daha büyük çıkmıştır.



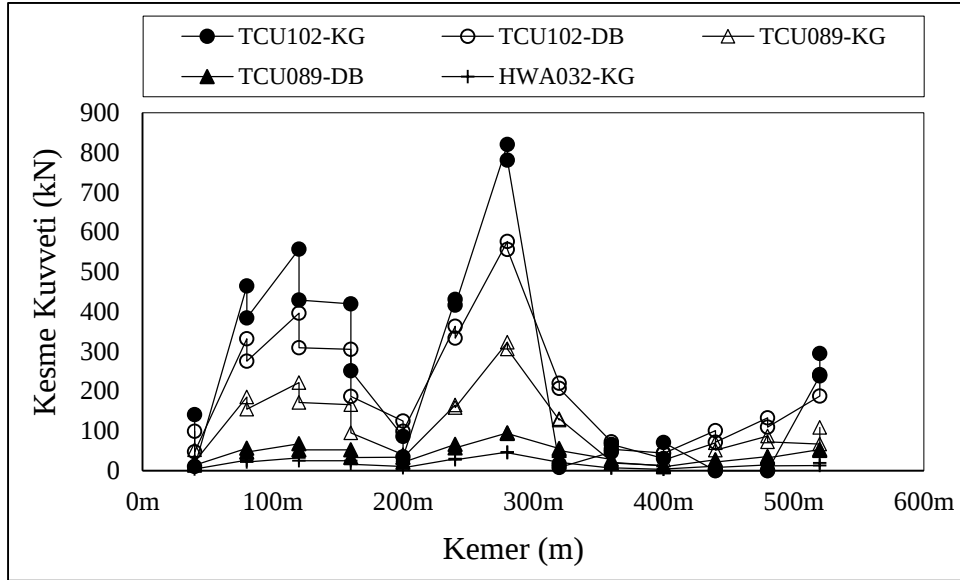
Şekil 7.38. Kemer eğilme momentleri

Köprü kemeri üzerinde darbe ve sıçrama etkili TCU102 yakın fay, darbesiz sıçrama etkili TCU089 yakın fay ve HWA032 uzak fay yer hareketleri için kemer boyunca elde edilen eğilme momenti değerleri Şekil 7.38.'de karşılaştırılmaktadır. Burada en kritik eğilme momenti değeri, sıçrama etkili TCU129-KG bileşeni için 6503 kNm olarak elde edilirken, darbe etkili TCU102-DB bileşeni için 5360 kNm olarak elde edilmiştir. Sıçrama etkili yakın fay yer hareketi TCU089-KG, darbesiz yakın yakın fay yer hareketi TCU089-DB ve HWA032 uzak fay yer hareketleri için sırasıyla 2485 kNm, 1155 kNm, 450 kNm eğilme momenti değerleri elde edilmiştir. Köprü kemeri boyunca en kritik eğilme momenti TCU102 yakın fay yer hareketinin sıçrama etkili bileşeni için elde edilmiştir. Söz konusu eğilme momenti değerinin, TCU129-DB darbe etkili bileşeni için elde edilen eğilme momenti değerinden %17 daha büyük çıktığı tespit edilmiştir.



Şekil 7.39. Tabliye kesme kuvvetleri

Köprü tabliyesi boyunca kesme kuvveti değerleri Şekil 7.39.'da, TCU102 darbe etkili ve sığrama etkili yakın fay, TCU089 darbesiz sığrama etkili yakın fay ve referans alınan HWA032-KG uzak fay yer hareketleri için karşılaştırılmıştır. Tabliye boyunca en büyük kesme kuvveti sığrama etkili yakın fay yer hareketi olan TCU102-KG bileşeni için 1039 kN olarak elde edilmiştir. Darbe etkili TCU102-DB bileşeni için 746 kN değerinde kesme kuvveti elde edilirken, sığrama etkili TCU089-KG bileşeni için 406 kN, darbesiz TCU089-DB bileşeni için 124 kN ve uzak fay yer hareketi HWA032-KG bileşeni için 61 kN olarak elde edilmiştir. Köprü tabliyesi boyunca en kritik kesme kuvveti TCU102 yakın fay yer hareketinin sığrama etkili bileşeni için elde edilmiştir. Söz konusu kesme kuvveti değeri, TCU102-DB darbe etkili bileşeni için elde edilen kesme kuvveti değerinden %28 daha büyük çıkmıştır.



Şekil 7.40. Kemer kesme kuvvetleri

Köprü kemeri üzerinde darbe ve sığrama etkili TCU102 yakın fay, darbesiz sığrama etkili TCU089 yakın fay ve HWA032 uzak fay yer hareketleri için kemer boyunca elde edilen kesme kuvveti değerleri Şekil 7.40.'ta karşılaştırılmaktadır. Burada en kritik kesme kuvveti değeri, sığrama etkili TCU102-KG bileşeni için 820 kN olarak elde edilirken, darbe etkili TCU102-DB bileşeni için 576 kN olarak elde edilmiştir. Sığrama etkili yakın fay yer hareketi TCU089-KG, darbesiz yakın fay yer hareketi TCU089-DB ve HWA032 uzak fay yer hareketleri için sırasıyla 323 kN, 95 kN, 47 kN kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. Köprü kemeri boyunca en kritik kesme kuvveti TCU102 yakın fay yer hareketinin sığrama etkili bileşeni için elde edilmiştir. Söz konusu kesme kuvveti değeri, TCU102-DB darbe etkili bileşeni için elde edilen kesme kuvveti değerinden %29 daha büyük çıkmıştır.

Dikkate alınan yakın ve uzak fay yer hareketleri için elde edilen köprü tepkilerinin genel olarak aşağıda belirtilen değişimi gösterdiği anlaşılmıştır;

- Tabliye ve kemerde en büyük yer değiştirmelere genel olarak sığrama etkili TCU102 bileşeni neden olmuştur.
- Tabliye ve kemerde oluşan en büyük eleman kuvvetleri (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) genel olarak sığrama etkili TCU102 için elde edilirken zaman zaman da darbe etkili bileşen için elde edilen eleman kuvvetlerinin daha kritik olduğu gözlemlenmiştir.

- Yakın fay yer hareketi bileşenleri için elde edilen tepkiler uzak fay yer hareketi için elde edilen tepkilerden belirgin şekilde daha büyük çıkmıştır.
- TCU089 kaydı sıçrama etkili bileşeni için elde edilen yer değiştirmeler aynı kaydın darbesiz bileşeni için elde edilen yer değiştirmelere yakın çıkarken, eleman kuvvetleri için sıçrama etkili bileşen için elde edilen tepkiler daha büyük çıkmaktadır.

7.3. Deprem Dalgasının Sonlu Yayılma Hızı için Gerçekleştirilen Asinkronize Dinamik Analizler

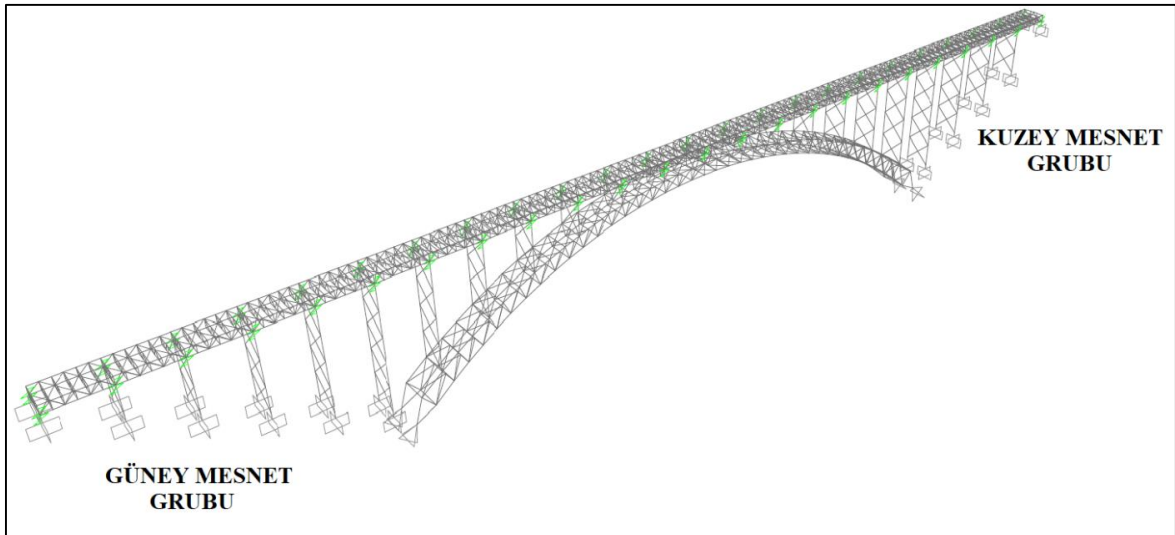
Uzun açıklıklı köprü sistemlerinde değişim göstererek yayılan yer hareketleri daha önce uzak fay kayıtları ele alınarak incelenmiştir. Fakat yakın zamanda meydana gelen Chi-Chi, Kobe, Northridge gibi depremlerde yakın fay etkileri ile birlikte değişim göstererek yayılan yer hareketlerinin uzun açıklıklı köprü sistemlerinde önemli sismik talepler meydana getirebileceği tespit edilmiştir (Yasrebi Ghafory-Ashtiany, 2014). Bu nedenle yer hareketinin değişim göstererek yayılması ile birlikte yakın fay etkileri uzun açıklığa sahip köprü sistemlerinde üzerinde durulması gereken konulardandır. Deprem esnasında yer hareketi; dalga yayılma, korelasyon ve zemin etkisi faktörlerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Dalga yayılma etkisi deprem esnasında yer hareketinin yapının bir mesnetinden diğerine ulaşması esnasında oluşan zaman farkından dolayı yapının üniform olmayan yer hareketine maruz kalması ile açıklanmaktadır.

Çalışmanın bu kısmında yer hareketinin değişerek yayılma özelliğini tanımlayan etkenlerden biri olan dalga yayılma etkisi üzerinde durulmuş olup çeşitli sonlu yayılma hız değerleri için yakın ve uzak fay yer hareketlerinin çelik kemer köprü üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Dalga yayılma etkisinin incelendiği analizlerde Chi-Chi depremi verileri kullanılmış, darbe ve sıçrama etkilerinin her ikisini de içeren TCU102 ve TCU129 kayıtları yakın fay yer hareketi olarak, HWA032 kuzey-güney bileşeni ise uzak fay yer hareketi olarak ele alınmıştır.

Dalga yayılma etkisinin incelenmesinde yer hareketinin sonlu yayılma hızına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu hız değeri V_{app} olarak tanımlanmakta ve sismik dalgaların bölgeye geliş açısına, yapının bulunduğu zeminin şartlarına ve deprem kayıtlarının frekanslarına bağlı olarak oldukça karmaşık bir değişim göstermektedir. Burada, yer hareketi yayılma hızı V_{app} 'nin belirlenmesi oldukça karmaşık olduğundan sismik dalgaların ikincil (secondary) dalgalar olarak adlandırılan S dalgalarından oluştuğu kabul edilerek V_{app} 'nin en küçük

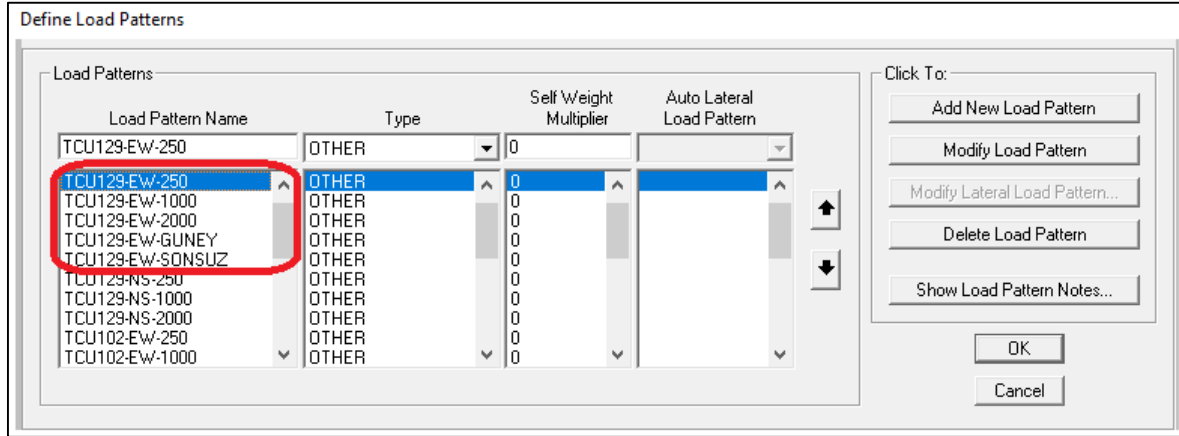
değeri olarak bölgeye ait kayma dalgası hızı olan V_s değeri, en büyük değeri olarak da sonsuz dalga yayılma hızı dikkate alınmaktadır (Chouw ve Hao, 2008, Yasrebi Ghafory-Ashtiany, 2014). Bu tez çalışmasında $V_s=V_{app}$ kabulü ile yapının bulunduğu zeminin şartlarına bağlı olarak yer hareketi dalga yayılma hızları $V_{app}=250\text{m/sn}$, $V_{app}=1000\text{m/sn}$, $V_{app}=2000\text{m/sn}$ ve $V_{app}=\text{sonsuz}$ alınmış ve bu hız değerleri için dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde SAP2000v14.1 sonlu eleman analiz programı kullanılmış, köprü sisteminin güney mesnet grubu merkezi esas alınarak, kuzey mesnet grubu merkezine olan mesafe bahsedilen sonlu yayılma hızlarına göre gecikme süreleri şeklinde hesaplanmış ve bu gecikmeye bağlı olarak yer hareketleri kuzey grubu mesnetlerine gecikmeli süreyle başlayan zaman tanımlamaları olarak uygulanmıştır. Deprem hareketinin güney mesnet grubundan başlayarak kuzey mesnet grubuna doğru köprü eksenini boyunca ilerlediği kabul edilerek söz konusu dinamik analizler gerçekleştirilmiştir (Şekil 7.41).

Güney mesnet grubu ile kuzey mesnet grubu merkez noktaları arasındaki mesafeye ve dikkate alınan yer hareketi yayılma hızına bağlı olarak yer hareketinin kuzey mesnet grubuna ulaşması için gereken gecikme süreleri belirlenmiş ve çelik kemer köprüünün asinkronize dinamik analizi bu gecikme süreleri esas alınarak gerçekleştirilmiştir. SAP2000v14.1 sonlu eleman analiz programı kullanılarak gerçekleştirilen analiz adımları aşağıda TCU129-DB yakın fay yer hareketi için açıklanmıştır.



Şekil 7.41. Çelik kemer köprü kuzey ve güney mesnet grupları

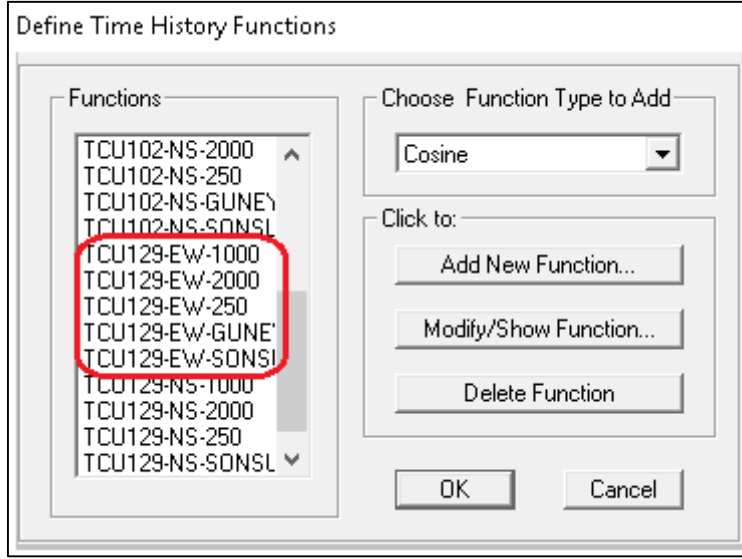
İlk olarak darbe etkili TCU129-DB yakın fay yer hareketi için 0 m/sn, 250 m/sn, 1000 m/sn, 2000 m/sn ve sonsuz dalga yayılma hızlarına bağlı olarak sonlu (asinkronize dinamik analiz) ve sonsuz (üniform dinamik analiz) yer hareketi kayıtlarına ait yük biçimleri tanımlanmıştır. Söz konusu yük biçimlerinin tanımlanması aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 7.42. Darbe etkili TCU129-DB yakın fay yer hareketi için tanımlanan sonlu ve sonsuz hızlarla yayılan yer hareketlerine ait yük biçimleri

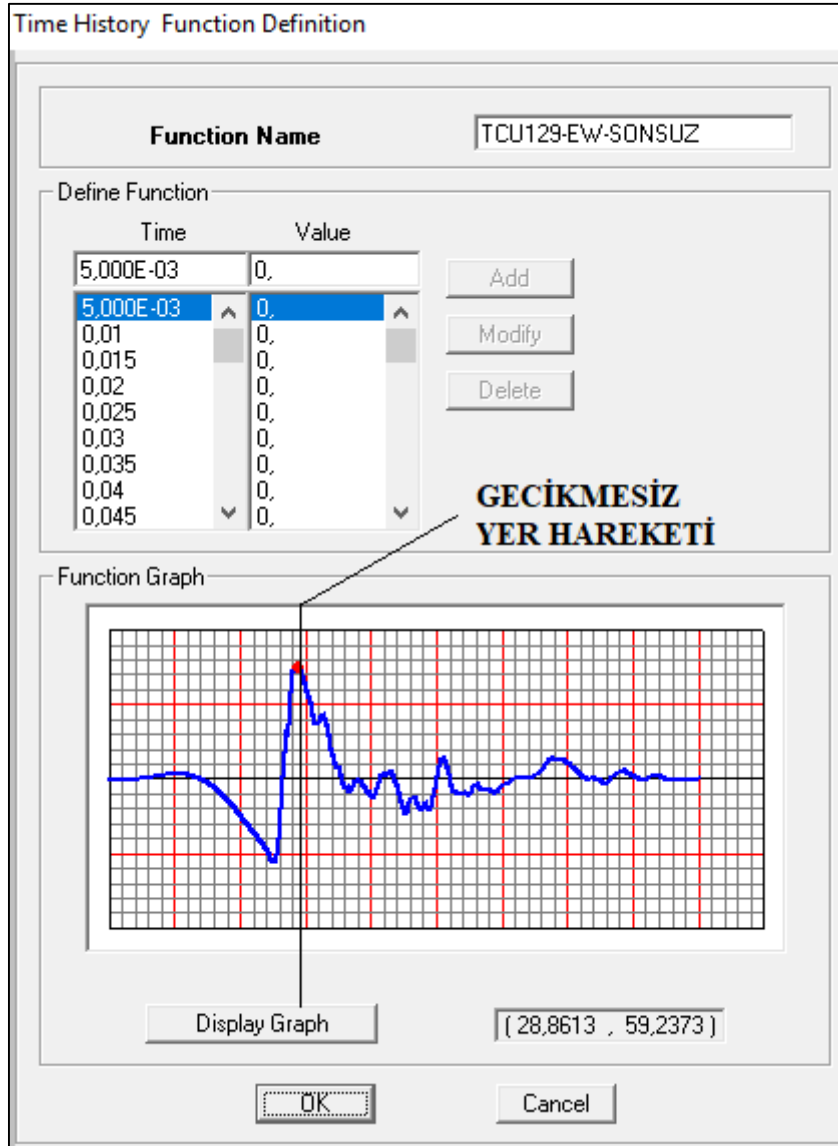
Burada TCU129-EW-250, TCU129-EW-1000, TCU129-EW-2000; sırasıyla 250 m/sn, 1000 m/sn ve 2000 m/sn sonlu yayılma hızları için oluşturulmuş gecikmeli yer hareketi kayıtlarının yük biçimlerini ifade etmektedir. TCU129-EW-GUNEY, herhangi bir gecikme olmaksızın güney mesnetlere uygulanacak yük biçimini ifade ederken, TCU129-EW-SONSUZ ise yine herhangi bir gecikme olmaksızın tüm mesnetlere uygulanacak ve tüm mesnetlere eşzamanlı bir şekilde ulaşan üniform yer hareketi için tanımlanan yük biçimini ifade etmektedir.

Yukarıda ifade edilen yük biçimlerine ait yer değiştirme-zaman kayıtları zaman tanım alanında birer fonksiyon olarak tanımlanmıştır. Söz konusu fonksiyonların tanımlanması aşağıda gösterilmektedir.

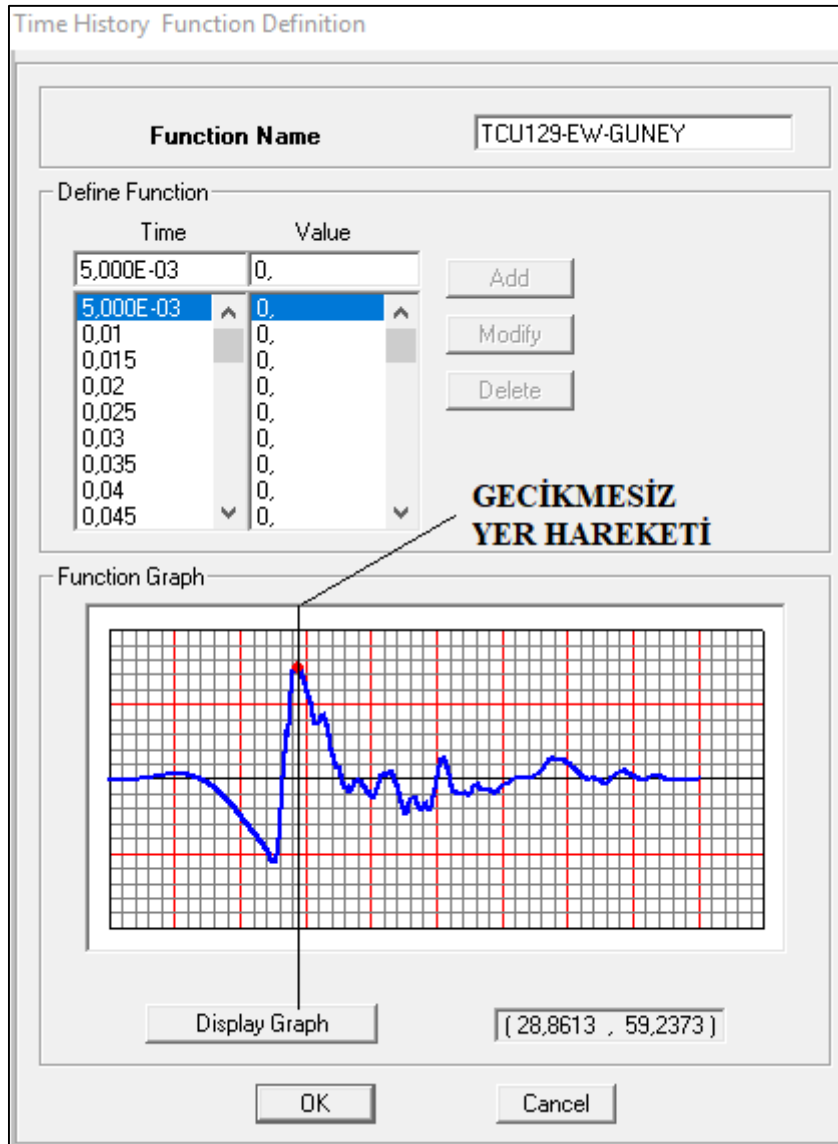


Şekil 7.43. Darbe etkili TCU129-DB yer hareketi için zaman tanım alanında dalga yayılma etkili yer hareketi kayıtlarının tanımlanması

Şekil 7.43’de gösterilen TCU129-EW-250, TCU129-EW-1000, TCU129-EW-2000 zaman tanım alanında yer değiştirme-zaman fonksiyonları, TCU129-DB yer hareketinin sırasıyla 250 m/sn, 1000 m/sn ve 2000 m/sn sonlu yayılma hızlarına göre düzenlenmiş yer hareketlerini ifade etmektedir. TCU129-EW-GUNEY ve TCU129-EW-SONSUZ şeklinde ifade edilen fonksiyonlar ise herhangi bir gecikme içermeyen yer hareketi kayıtları olarak tanımlanmıştır. TCU-EW-250, TCU-EW-1000, TCU-EW-2000 yer hareketi kayıtları dalga yayılma hızı ve kuzey-güney mesnetler arasındaki mesafeye bağlı olarak hesaplanan yer hareketinin bir mesnet grubundan diğerine ulaşma süresinin, söz konusu yer hareketlerinin başlangıç zamanlarına gecikme süresi olarak eklenmesi ve kaydın bu süre kadar ötelenmiş yer hareketlerine dönüştürülmesiyle elde edilmiştir. Mesnetler arası mesafe güney mesnet grubu merkezi ile kuzey mesnet grubu merkezi arasındaki mesafe olarak kabul edilmiştir. Burada ifade edilen açıklamaya ait görseller aşağıda sırasıyla TCU-EW-SONSUZ, TCU-EW-GUNEY ve TCU-EW-250 kayıtları için gösterilmektedir.

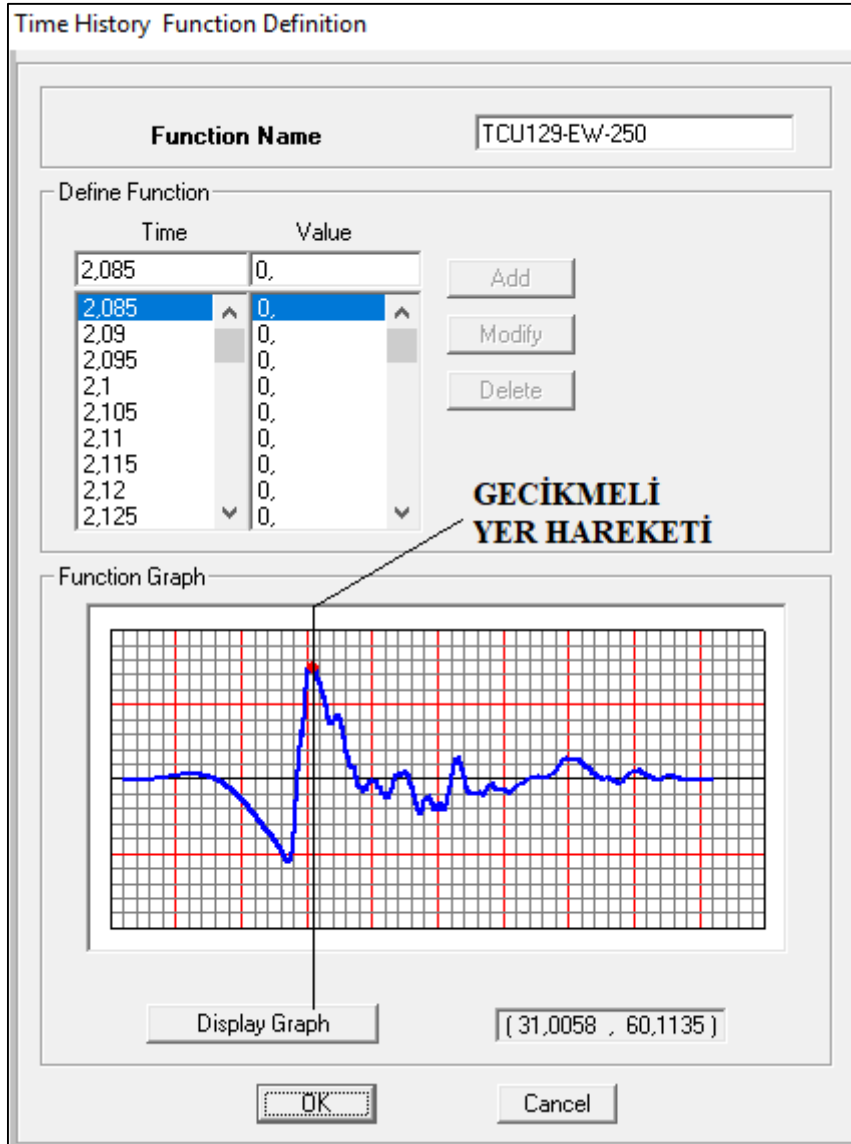


Şekil 7.44. Sonsuz hızda yayılan üniform TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi kaydının tanımlanması



Şekil 7.45. Köprü güney mesnetlerine uygulanacak TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketinin tanımlanması

Darbe etkili TCU129-DB bileşenini köprü güney mesnetlerine uygulamak amacıyla tanımlanan yer hareketi kaydı görüldüğü üzere sonsuz hızda yayılan yer hareketinin aynısıdır. Burada köprü güney mesnetleri için uygulanacak yer hareketinin ayırt edilebilmesi amacıyla ayrı isimle tanımlanmıştır.



Şekil 7.46. Köprü kuzey mesnetleri için TCU129-DB darbe etkili 250 m/sn hızla yayılan yakın fay yer hareketinin tanımlanması

Şekil 7.46.'da darbe etkili TCU129-DB bileşeninin 250 m/sn sonlu yayılma hızı için tanımlanan yer hareketi kaydı gösterilmektedir. Söz konusu kayıt için uygulanmış olan gecikme şekil üzerinde belirtilen referans çizgi yardımıyla ayırt edilebilmektedir.

Gecikme içeren 1000 m/sn ve 2000 m/sn sonlu yayılma hızlarına sahip TCU129-EW-1000 ve TCU129-EW-2000 zaman tanım alanında yer değiştirme-zaman fonksiyonları da benzer şekilde tanımlanmıştır. Bu şekilde zaman tanım alanında yer değiştirme-zaman fonksiyonlarının tanımlanması işlemi tamamlanmıştır.

Böylece tanımlanan yük biçimleri ve zaman tanım alanında yer değiştirme-zaman fonksiyonlarının ardından, çelik kemer köprü güney mesnet grubuna TCU129-EW-GUNEY isimli yük biçimi adı altında güneyden kuzeye yönelecek doğrultuda bir birimlik yer değiştirmeler uygulanırken, kuzey mesnet grubuna ise 250 m/sn, 1000 m/sn ve 2000 m/sn sonlu yayılma hızlarını uygulamak amacıyla sırasıyla TCU129-EW-250, TCU129-EW-1000 ve TCU129-EW-2000 isimli yük biçimleri adı altında güneyden kuzeye yönelecek doğrultuda bir birimlik yer değiştirmeler uygulanmıştır. Çelik kemer köprüünün üniform yer hareketi için elde edilecek tepkilerini incelemek amacıyla sonsuz hızla yayılan yer hareketi ise tüm mesnetlere TCU129-EW-SONSUZ isimli yük biçimi adı altında güneyden kuzeye yönelecek doğrultuda bir birimlik yer değiştirmeler uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Köprü güney yaklaşımından başlayarak kuzeye doğru gecikmeli yer hareketlerinin gecikme süresi sonunda dinamik analize dahil edilebilmesi amacıyla söz konusu birim yer değiştirmeler ayrı ayrı uygulanmıştır. Böylelikle hareketin başladığı sıfır anından itibaren gecikme olarak tanımlanan sürenin sonuna kadar yer hareketi köprü güney mesnetlerinde başlarken, bu sürenin sonunda kuzey mesnetlerindeki yer hareketi de başlamış olmaktadır.

Mesnetlere bir birimlik yer değiştirmeler atanarak uygulanan yük biçimlerinin zaman tanım alanında yükleme durumu şeklinde tanımlanması gerekmektedir. Söz konusu yük biçimlerinin zaman tanım alanında yük durumları olarak tanımlanması işlemi açıklama ve görsellerle aşağıda ifade edilmektedir.

Load Case Data - Linear Modal History

Load Case Name: TCU129-EW-GUNEY [Set Def Name] [Modify/Show...]

Load Case Type: Time History [Design...]

Initial Conditions:

☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☐ Continue from State at End of Modal History []

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case:

Use Modes from Case: MODAL []

Analysis Type:

☒ Linear

☐ Nonlinear

Time History Type:

☒ Modal

☐ Direct Integration

Time History Motion Type:

☒ Transient

☐ Periodic

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Load Pattern	TCU129-EW	TCU129-EW	1.
Load Pattern	TCU129-EW-GL	TCU129-EW-GL	1.

[Add] [Modify] [Delete]

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

Number of Output Time Steps: 18000

Output Time Step Size: 5,000E-03

Other Parameters:

Modal Damping: Constant at 0,05 [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 7.47. Darbe etkili TCU129-EW-GUNEY yer hareketi yük durumunun zaman tanım alanında dinamik yük durumu olarak tanımlanması

Şekil 7.47’de TCU129-EW-GUNEY olarak tanımlanan yük biçimi öncelikle zaman tanım alanında dinamik yük durumu şeklinde tanımlanmıştır. Bu işlemin ardından TCU129-EW-GUNEY yük biçimi TCU129-EW-GUNEY yer değiştirme-zaman fonksiyonu ile eşleştirilmiş ve 90 saniyelik yer hareketi kaydı için 18000 adımda 0.005 saniyelik zaman aralıklarıyla çözümleme yapılacağı belirtilmiştir.

Load Case Data - Linear Modal History

Load Case Name: TCU129-EW-250

Notes:

Load Case Type: Time History

Initial Conditions:

☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☐ Continue from State at End of Modal History

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case:

Use Modes from Case: MODAL

Analysis Type:

☒ Linear ☐ Nonlinear

Time History Type:

☒ Modal ☐ Direct Integration

Time History Motion Type:

☒ Transient ☐ Periodic

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Load Pattern	TCU129-EW	TCU129-EW	1,
Load Pattern	TCU129-EW-25	TCU129-EW-25	1,

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

Number of Output Time Steps: 18000

Output Time Step Size: 5,000E-03

Other Parameters:

Modal Damping: Constant at 0,05

Şekil 7.48. 250 m/sn hızla yayılan darbe etkili TCU129-EW-250 yer hareketinin yük durumunun zaman tanım alanında dinamik yük durumu olarak tanımlanması

Şekil 7.48’de gecikmeli yer hareketi olan TCU129-EW-250 yük biçimi de benzer şekilde öncelikle zaman tanım alanında dinamik yük durumu şeklinde tanımlanmıştır. Bu işlemin ardından TCU129-EW-250 yük biçimi TCU129-EW-250 yer değiştirme-zaman fonksiyonu ile eşleştirilmiş ve 90 saniyelik yer hareketi kaydı için 18000 adımda 0.005 saniyelik zaman aralıklarıyla çözümleme yapılacağı belirtilmiştir.

Load Case Data - Linear Modal History

Load Case Name: WAVE-TCU129-EW250

Notes:

Load Case Type: Time History

Initial Conditions:

☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☐ Continue from State at End of Modal History

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case:

Use Modes from Case: MODAL

Analysis Type:

☒ Linear ☐ Nonlinear

Time History Type:

☒ Modal ☐ Direct Integration

Time History Motion Type:

☒ Transient ☐ Periodic

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Load Pattern	TCU129-EW	TCU129-EW	1,
Load Pattern	TCU129-EW-GL	TCU129-EW-GL	1,
Load Pattern	TCU129-EW-25	TCU129-EW-25	1,

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

Number of Output Time Steps: 18000

Output Time Step Size: 5,000E-03

Other Parameters:

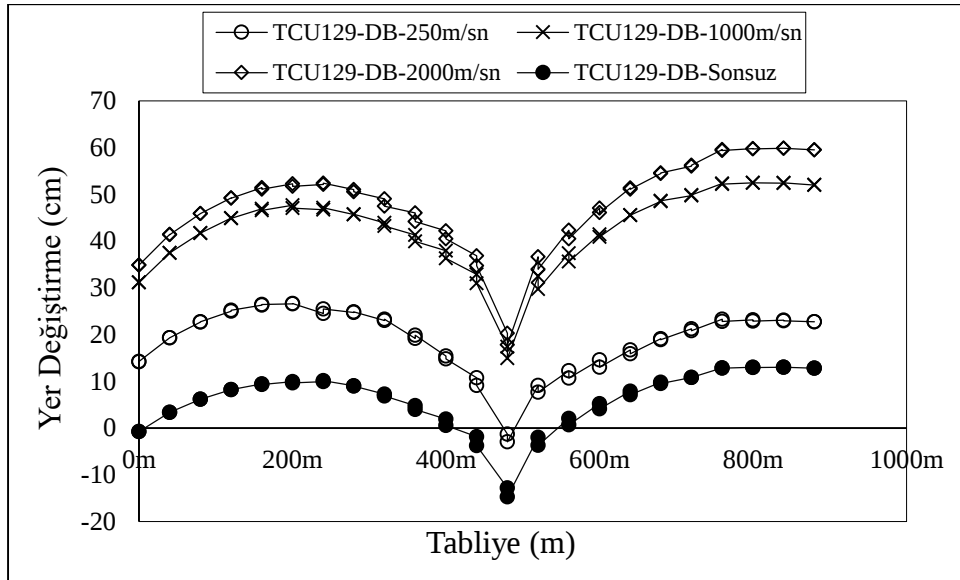
Modal Damping: Constant at 0,05

Şekil 7.49. Darbe etkili TCU129-DB yer hareketinin 250 m/sn hızla dalga yayılma etkisi için güney ve kuzey mesnetlere tanımlanan yük durumlarının birleştirilmesi

Daha sonra Şekil 7.49’da gösterildiği gibi ilk olarak güney mesnetlerindeki yer hareketinin başlayıp, gecikme süresi sonunda ise kuzey mesnetlerindeki yer hareketinin başlaması şeklinde, güneyden kuzeye yayılan yer hareketinin köprü mesnetlerine sonlu hızla yayılan dinamik yer hareketi olarak uygulanması amacıyla, güney ve kuzey mesnetlere uygulanan dinamik yük durumları birlikte tanımlanmıştır. Bu işlem 250 m/sn sonlu yayılma hızı için TCU129-EW-GUNEEY isimli yük durumu ile TCU129-EW-250 isimli yük durumunun birlikte uygulanması şeklinde tanımlanırken benzer şekilde 1000 m/sn ve 2000 m/sn sonlu yayılma hızları için TCU129-EW-GUNEEY isimli yük durumu sırasıyla, TCU129-EW-1000 ve TCU129-EW-2000 isimli yük durumları ile ayrı ayrı tanımlanarak uygulanmıştır.

Böylece darbe etkili yakın fay yer hareketi olan TCU129-DB için sonlu hızla yayılan yer hareketleri uygulanmıştır.

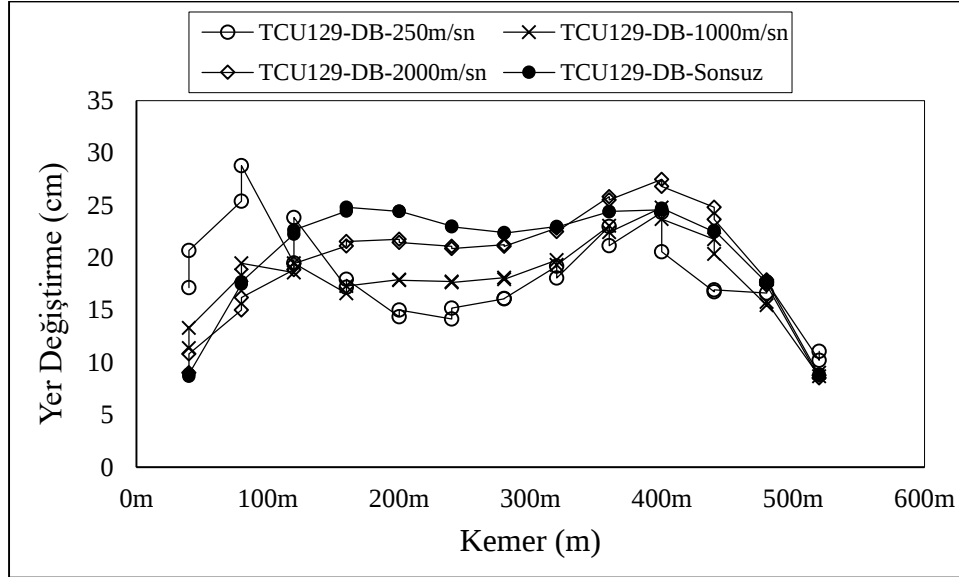
Burada darbe etkili TCU129-DB yakın fay yer hareketi için dalga yayılma etkisinin SAP2000v14.1 sonlu eleman programındaki uygulaması açıklanmıştır. Dalga yayılma hızının 250 m/sn, 1000 m/sn, 2000 m/sn ve sonsuz olması durumlarında sıçrama etkili yakın fay TCU129-KG, darbe etkili yakın fay TCU102-DB, sıçrama etkili yakın fay TCU102-KG ve uzak fay HWA032-KG yer hareketleri için de benzer şekilde uygulanmıştır. Bunun yanında yukarıda da belirtildiği gibi sonsuz hızla yayılan yer hareketi için gerçekleştirilen analizlerde, deprem kayıtları üniform olarak tüm mesnetlerde aynı anda başlayan yer hareketi şeklinde uygulanmıştır.



Şekil 7.50. TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye yatay yer değiştirmeleri

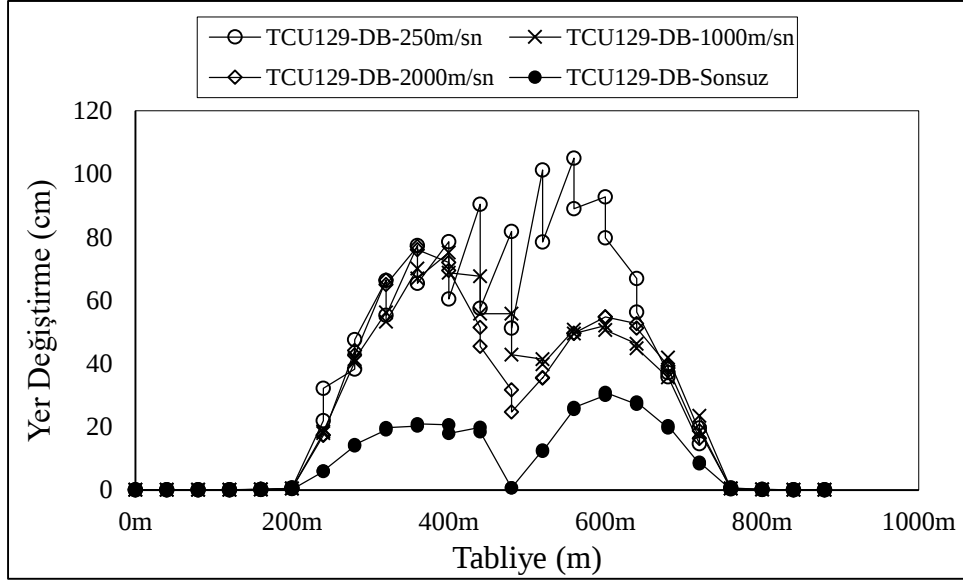
TCU-129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için elde edilen köprü tabliyesi yatay yer değiştirme değerleri Şekil 7.50.'de görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en büyük yer değiştirme değerleri $V=2000$ m/sn için elde edilmiş olup, hız değerlerinin azalması ($V=1000$ m/sn ve $V=250$ m/sn) ile yer değiştirme değerlerinin de azaldığı anlaşılmaktadır. Bunun yanında dalga yayılma hızının $V=$ sonsuz olması durumuna karşılık gelen üniform yer hareketi için en küçük yer değiştirmeler elde edilmiştir. En büyük yatay yer değiştirme değerinin elde edildiği tabliye noktasında ($X=880$ m) $V=2000$ m/sn için elde edilen yer değiştirme değeri $V=1000$ m/sn,

$V=250$ m/sn ve $V=\infty$ hız değerleri için elde edilen yer değiştirmelerden sırasıyla %11, %61, %77 daha büyük çıkmıştır.



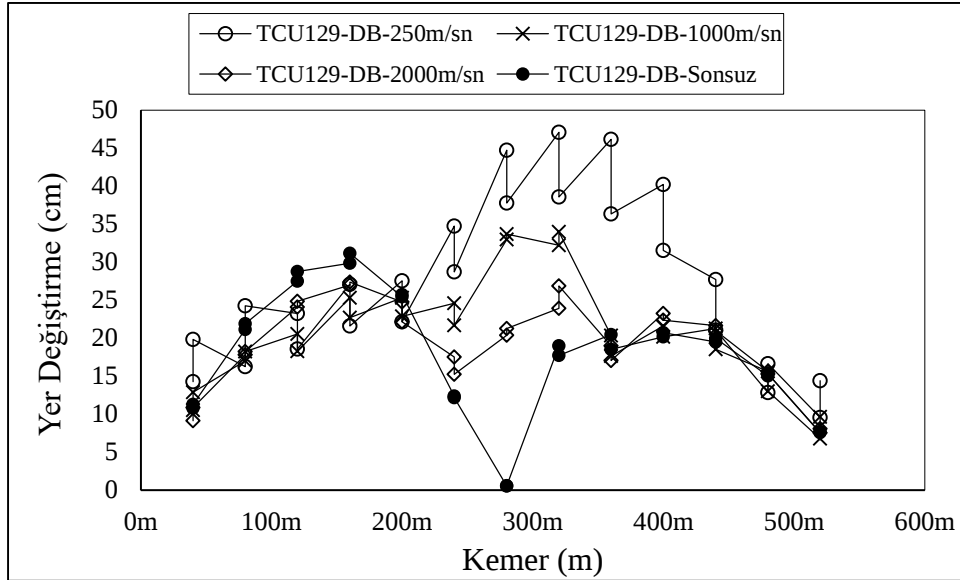
Şekil 7.51. TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer yatay yer değiştirmeleri

Darbe etkili TCU129-DB yakın fay yer hareketinin dalga yayılma etkisi için gerçekleştirilen dinamik analiz sonucu elde edilen kemer yatay yer değiştirmeleri karşılaştırmalı olarak Şekil 7.51.'de gösterilmektedir. Özellikle kemer orta bölgesinde yer hareketinin sonsuz hızla yayılması durumunda elde edilen yer değiştirmeler en büyük olurken, azalan dalga yayılma hızına bağlı olarak yer değiştirmeler azalmakta ve $V=250$ m/sn için en küçük yer değiştirmeler elde edilmektedir. Bunun yanında kemerin kenar bölümlerinde elde edilen yatay yer değiştirmeler, dalga yayılma hızına bağlı olarak değişkenlik göstermekte, zaman zaman en küçük hız değeri için en büyük yer değiştirmeler elde edilebilmektedir.



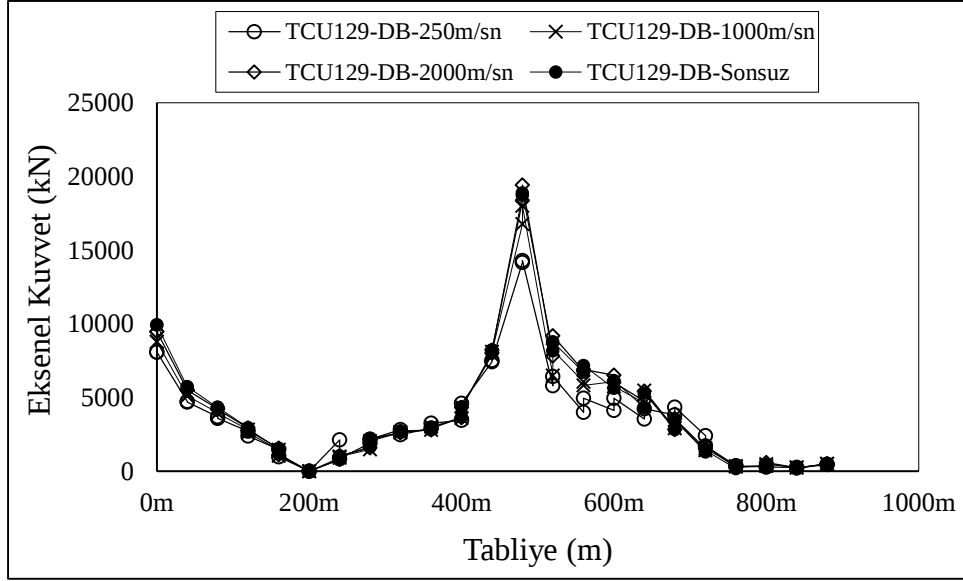
Şekil 7.52. TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye düşey yer değiştirmeleri

TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için elde edilen köprü tabliyesi düşey yer değiştirmeleri Şekil 7.52.'de görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en büyük yer değiştirmeler $V=250$ m/sn hız değeri için elde edilmiştir. $V=1000$ m/sn ve $V=2000$ m/sn için elde edilen yer değiştirme değerleri birbirine yakın olup, $V=\text{sonsuz}$ hız değeri için en küçük yer değiştirmeler elde edilmiştir. En büyük yer değiştirme değerinin elde edildiği tabliye noktasında ($X=560$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen yer değiştirme, $V=2000$ m/sn, $V=1000$ m/sn ve sonsuz hız değerleri için elde edilen yer değiştirmelerden sırasıyla %55, %50, %71 daha büyük çıkmıştır.



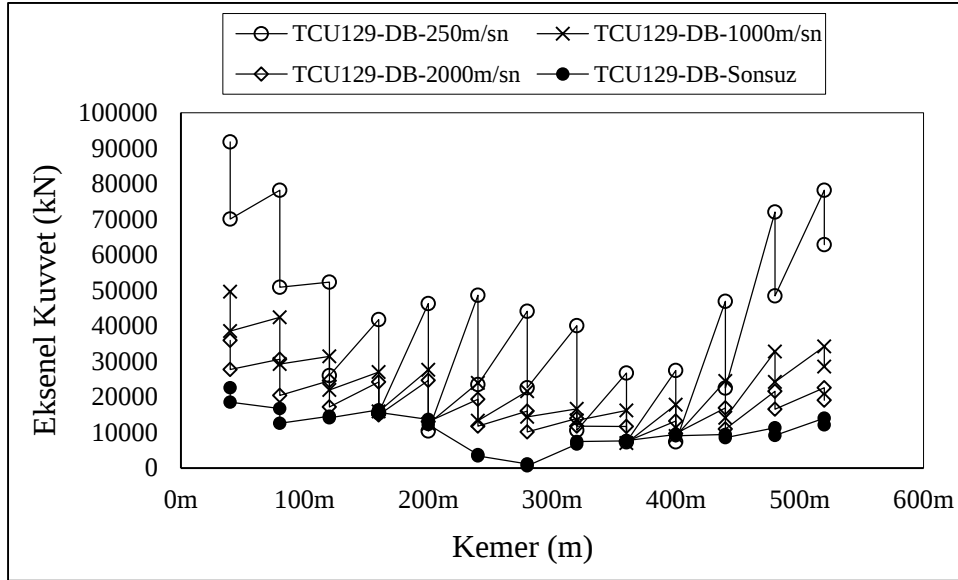
Şekil 7.53. TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer düşey yer değiştirmeleri

Darbe etkili TCU129-DB yakın fay yer hareketinin sonlu hızlarla yayılması durumu için köprü kemeri boyunca elde edilen düşey yer değiştirme değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 7.53.'de gösterilmektedir. Kemerin 200-500 m'lik bölümü için elde edilen değişimin, tabliye düşey yer değiştirmeleri için elde edilen değişimle benzer olduğu, bunun yanında kemerin ilk 200 m'lik bölümündeki değişimin belirgin olmadığı, zaman zaman $V=250$ m/sn hız değeri için en büyük yer değiştirmelerin zaman zaman da $V=\text{sonsuz}$ hız değeri için en büyük yer değiştirmelerin bulunduğu gözlemlenmiştir. En büyük düşey yer değiştirme değerinin elde edildiği kemer noktasında ($X=320$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen yer değiştirme değeri $V=2000$ m/sn, $V=1000$ m/sn ve $V=\text{sonsuz}$ hız değerleri için elde edilen yer değiştirmelerden sırasıyla %43, %28, %59 daha büyük çıkmıştır.



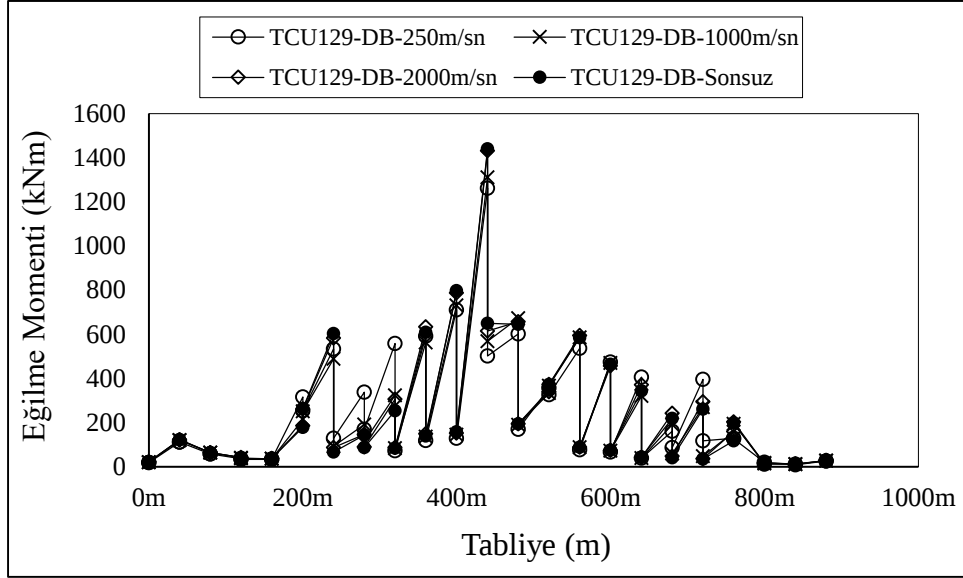
Şekil 7.54. TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye eksenel kuvvetleri

Köprü tabliyesi boyunca TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketinin sonlu dalga yayılma hızları için elde edilen eksenel kuvvet değerlerinin gösterildiği Şekil 7.54.'de, genel olarak eksenel kuvvet değerlerinin birbirine yakın çıktığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında tabliye orta noktasında $V=2000$ m/sn hız değeri için en büyük eksenel kuvvet elde edilmiş olup söz konusu eksenel kuvvet değeri $V=1000$ m/sn, $V=250$ m/sn ve $V=\text{sonsuz}$ hız değerleri için elde edilen eksenel kuvvet değerlerinden sırasıyla %7, %27, %3 daha büyük çıkmıştır.



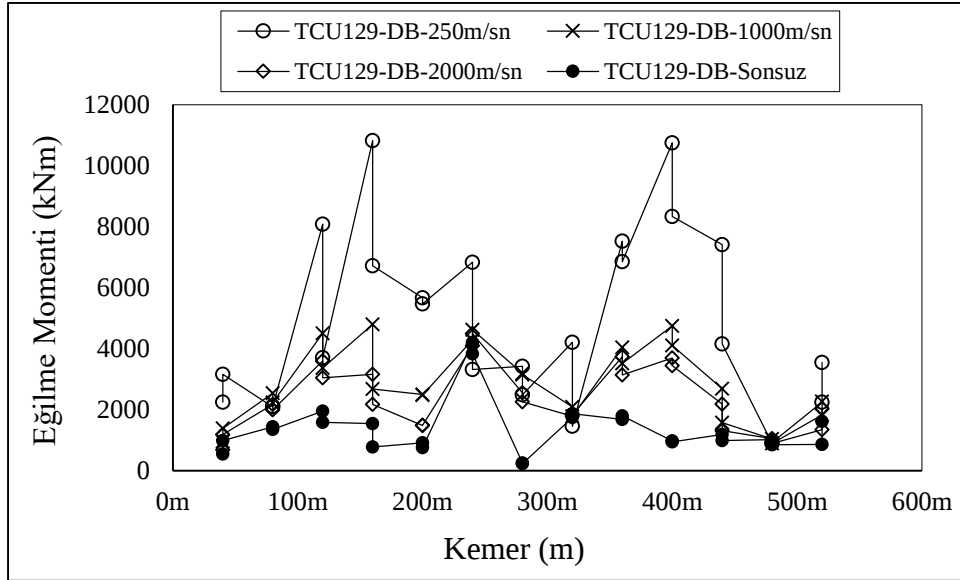
Şekil 7.55. TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer eksenel kuvvetleri

TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için elde edilen köprü kemeri eksenel kuvvetleri Şekil 7.55.'de görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en büyük eksenel kuvvet değerleri $V=250$ m/sn hız değeri için elde edilmiştir. $V=1000$ m/sn ve $V=2000$ m/sn için elde edilen eksenel kuvvet değerleri birbirine yakın olup, $V=\text{sonsuz}$ hız değeri için en küçük eksenel kuvvet değerleri elde edilmiştir. En büyük eksenel kuvvet değerinin elde edildiği kemer noktasında ($X=40$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen eksenel kuvvet değeri, $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve sonsuz hız değerleri için elde edilen eksenel kuvvet değerlerinden sırasıyla %46, %61, %75 daha büyük çıkmıştır.



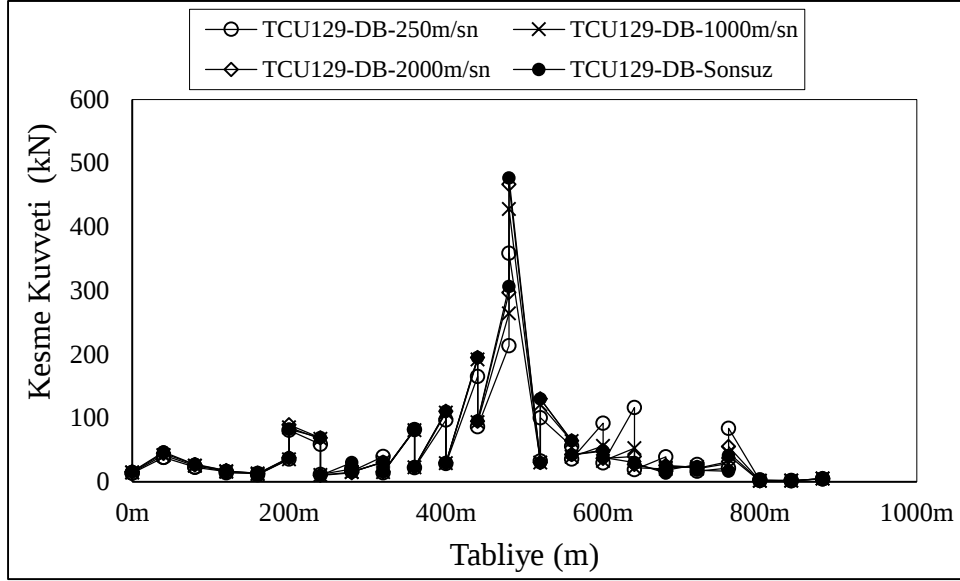
Şekil 7.56. TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye eğilme momentleri

Köprü tabliyesi boyunca TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketinin sonlu dalga yayılma hızları için elde edilen eğilme momenti değerlerinin gösterildiği Şekil 7.56.'da, genel olarak eğilme momenti değerlerinin birbirine yakın çıktığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında tabliye orta noktasında $V=\text{sonsuz}$ hız değeri için en büyük eğilme momenti elde edilmiş olup söz konusu eğilme momenti değerinin $V=2000$ m/sn, $V=1000$ m/sn ve $V=250$ m/sn hız değerleri için elde edilen eğilme momenti değerlerinden sırasıyla %0.6, %9, %12 daha büyük çıktığı gözlemlenmiştir.



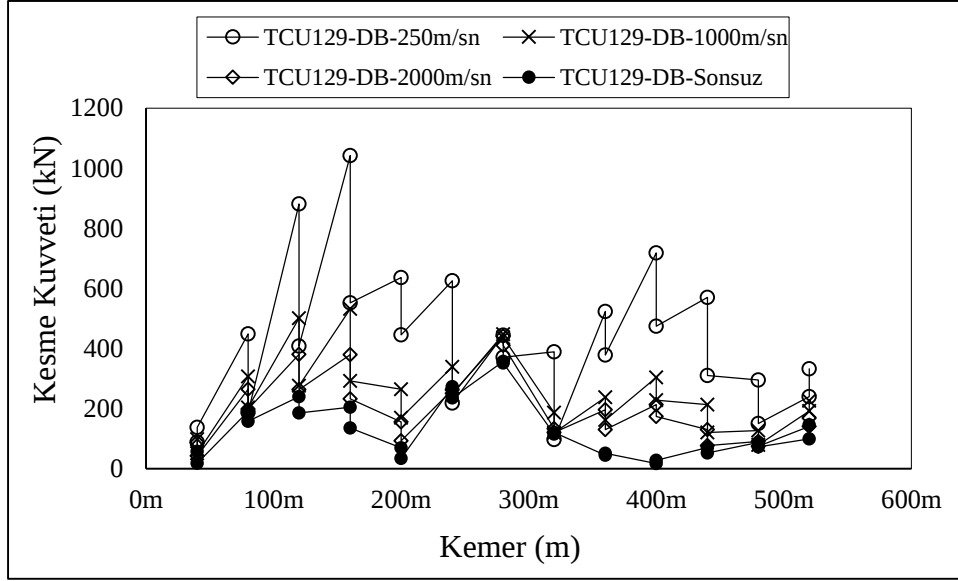
Şekil 7.57. TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer eğilme momentleri

TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için elde edilen köprü kemeri eğilme momenti değerleri Şekil 7.57.'de görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en büyük eğilme momenti değerleri $V=250$ m/sn hız değeri için elde edilmiştir. $V=1000$ m/sn ve $V=2000$ m/sn için elde edilen eğilme momenti değerleri birbirine yakın olup, $V=\text{sonsuz}$ hız değeri için en küçük eğilme momenti değerleri elde edilmiştir. En büyük eğilme momenti değerinin elde edildiği kemer noktasında ($X=160$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen eğilme momenti değeri, $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve sonsuz hız değerleri için elde edilen eğilme momenti değerlerinden sırasıyla %56, %71, %86 daha büyük çıkmıştır. Ayrıca kemer orta noktasında üniform yer hareketinin eğilme momenti oluşturmadığı, ancak yayılma hızının azalmasına bağlı olarak kemer orta noktasında eğilme momenti değerlerinin artış gösterdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 7.58. TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye kesme kuvvetleri

Köprü tabliyesi boyunca TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketinin sonlu dalga yayılma hızları için elde edilen kesme kuvveti değerlerinin gösterildiği Şekil 7.58.'de, genel olarak kesme kuvveti değerlerinin birbirine yakın çıktığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında tabliye orta noktasında $V=\infty$ hız değeri için en büyük kesme kuvveti elde edilmiş olup söz konusu kesme kuvveti değeri $V=250$ m/sn, $V=1000$ m/sn ve $V=2000$ m/sn hız değerleri için elde edilen kesme kuvveti değerlerinden sırasıyla %25, %11, %2 daha büyük çıkmıştır.



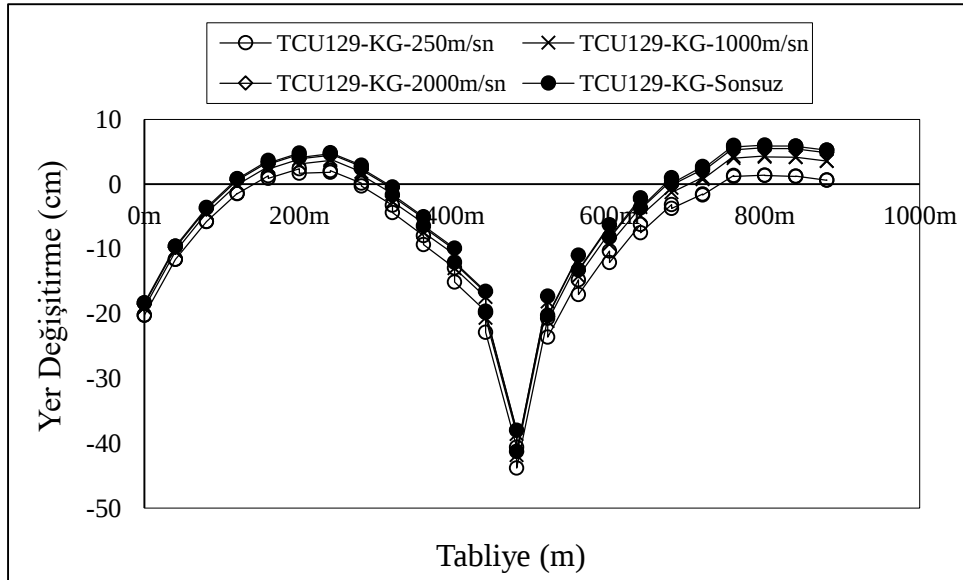
Şekil 7.59. TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer kesme kuvvetleri

TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için elde edilen köprü kemeri kesme kuvveti değerleri Şekil 7.59.'da görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en büyük kesme kuvveti değerleri $V=250$ m/sn hız değeri için elde edilmiştir. $V=1000$ m/sn ve $V=2000$ m/sn için elde edilen kesme kuvveti değerleri birbirine yakın olup, $V=\text{sonsuz}$ hız değeri için en küçük kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. En büyük kesme kuvveti değerinin elde edildiği kemer noktasında ($X=160$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen kesme kuvveti değeri, $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve sonsuz hız değerleri için elde edilen kesme kuvveti değerlerinden sırasıyla %49, %64, %80 daha büyük çıkmıştır.

TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için gerçekleştirilen asinkronize dinamik analizler sonucu elde edilen köprü tepkileri ile ilgili olarak aşağıdaki genel değerlendirmeler yapılabilir;

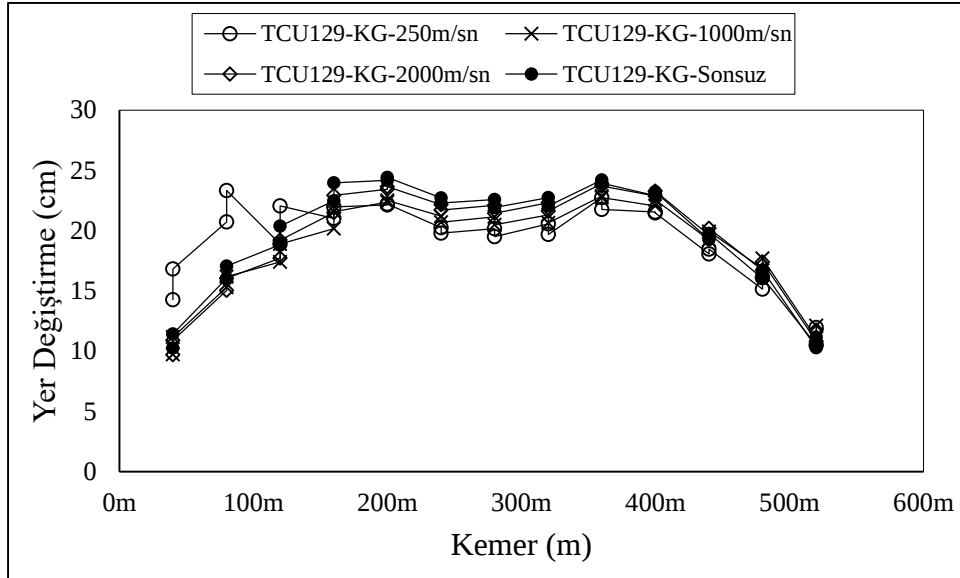
- Tabliye ve kederde dalga yayılma hızının yüksek değerleri için genel olarak en büyük yatay yer değiştirmeler elde edilmiştir. Yatay yer değiştirmelerin azalan hız değerleri ile birlikte genel olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında yer hareketi yayılma hızının sonsuz olması durumuna karşılık gelen üniform yer hareketi için en küçük tabliye yatay yer değiştirmelerinin elde edildiği görülmüştür.

- Tabliye ve kemer düşey yer değiştirmeleri için dalga yayılma hızının küçük değerleri için en büyük yer değiştirmeler elde edilmiştir. Düşey yer değiştirmeler artan hız değerleri ile birlikte azalmıştır.
- Tabliyede elde edilen eleman kuvvetleri (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) farklı dalga yayılma hızları için genel olarak yakın çıkmıştır. Burada dalga yayılma etkisinin çok etkili olmadığı gözlenmiştir.
- Kemerde en büyük eleman kuvvetleri en küçük hız değeri için elde edilirken, artan hız değerleri ile birlikte eleman kuvvetlerinin (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) azaldığı gözlemlenmiştir.



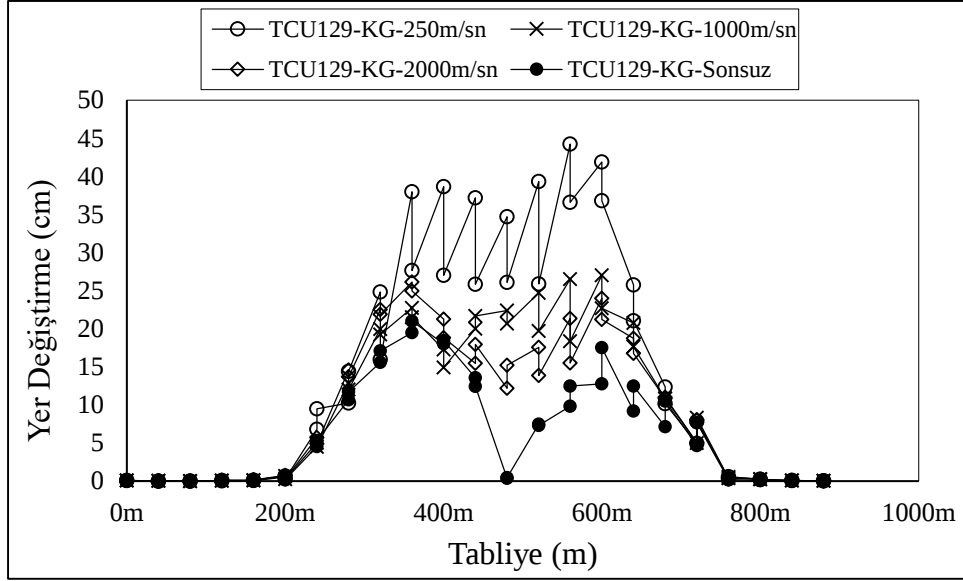
Şekil 7.60. TCU129-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye yatay yer değiştirmeleri

Köprü tabliyesi boyunca TCU129-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketinin sonlu dalga yayılma hızları için elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinin gösterildiği Şekil 7.60.'da, genel olarak yer değiştirme değerlerinin birbirine yakın çıktığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında tabliye orta noktasında $V=250$ m/sn hız değeri için en büyük yer değiştirme elde edilmiş olup söz konusu yer değiştirme değeri $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve $V=\infty$ hız değerleri için elde edilen yer değiştirme değerlerinden sırasıyla %7, %8, %8 daha büyük çıkmıştır. Burada dalga yayılma hızında meydana gelen değişimin tabliye yatay yer değiştirmeleri üzerindeki etkisinin oldukça sınırlı olduğu anlaşılmaktadır.



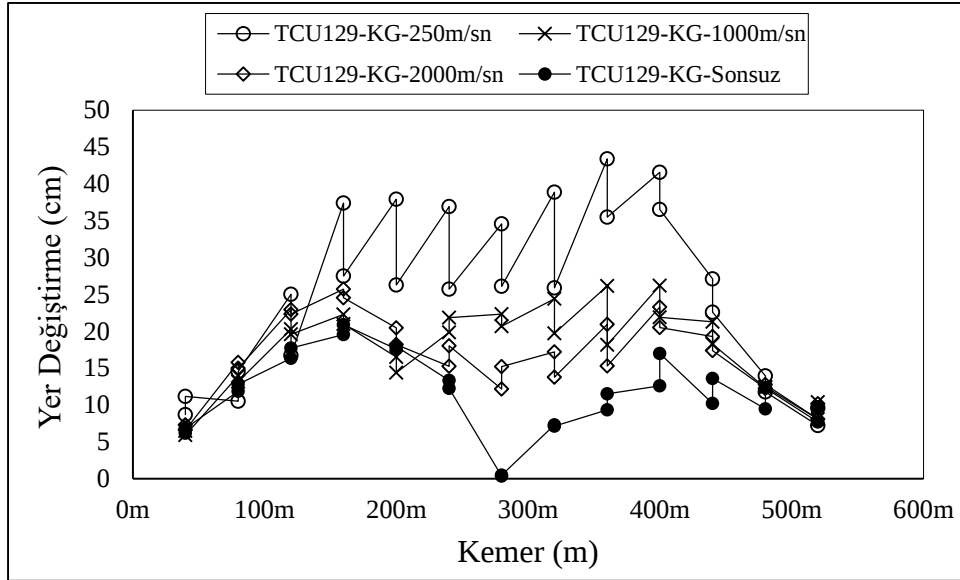
Şekil 7.61. TCU129-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer yatay yer değiştirmeleri

Sıçrama etkili TCU129-KG yakın fay yer hareketinin dalga yayılma etkisi için gerçekleştirilen dinamik analizi sonucu elde edilen kemer yatay yer değiştirmeleri karşılaştırmalı olarak Şekil 7.61.'de gösterilmektedir. Genel olarak yer değiştirme değerleri birbirine yakın çıkmakla beraber yer hareketinin sonsuz hızla yayılması durumunda elde edilen yer değiştirmeler genellikle en büyük olurken, azalan dalga yayılma hızına bağlı olarak yer değiştirmeler azalmakta ve $V=250$ m/sn için en küçük yer değiştirmeler elde edilmektedir. Bunun yanında özellikle kemerin güney bölümünde en küçük hız değeri olan $V=250$ m/sn sonlu yayılma hızı için en büyük yer değiştirmeler elde edilmektedir.



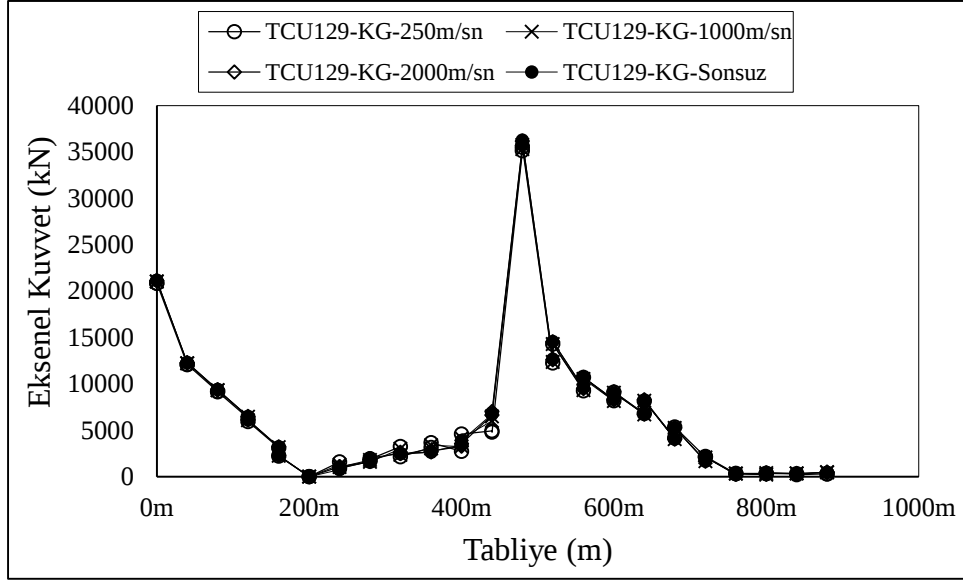
Şekil 7.62. TCU129-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye düşey yer değiştirmeleri

TCU129-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için elde edilen köprü tabliyesi düşey yer değiştirmeleri Şekil 7.62.'de görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en büyük yer değiştirmeler $V=250$ m/sn hız değeri için elde edilmiştir. $V=1000$ m/sn ve $V=2000$ m/sn için elde edilen yer değiştirme değerleri genel olarak birbirine yakın olup, $V=\text{sonsuz}$ hız değeri için en küçük yer değiştirmeler elde edilmiştir. En büyük yer değiştirme değerinin elde edildiği tabliye noktasında ($X=560$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen yer değiştirme, $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve sonsuz hız değerleri için elde edilen yer değiştirmelerden sırasıyla %38, %52, %70 daha büyük çıkmıştır. Ayrıca kemer orta noktasında üniform yer hareketinin düşey yer değiştirmelere neden olmadığı, ancak yayılma hızının azalmasına bağlı olarak kemer orta noktasında yer değiştirme değerlerinin artış gösterdiği gözlemlenmiştir.



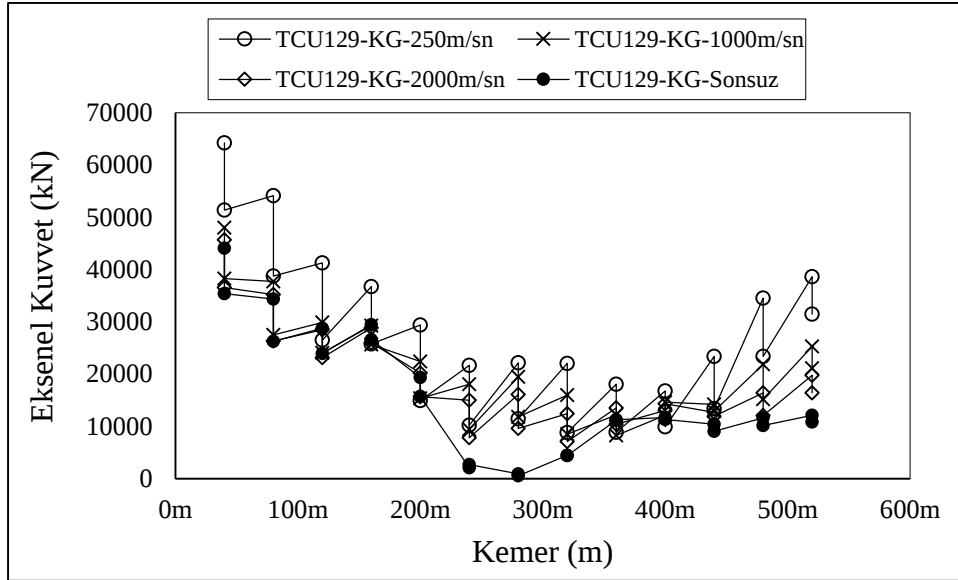
Şekil 7.63. TCU129-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer düşey yer değiştirmeleri

Sıçrama etkili TCU129-KG yakın fay yer hareketinin sonlu hızlarla yayılması durumu için köprü kemeri boyunca elde edilen düşey yer değiştirme değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 7.63.'de gösterilmektedir. Kemerin 160-450 m'lik bölümü için elde edilen değişimin, tabliye düşey yer değiştirmeleri için elde edilen değişimle benzer olduğu, bunun yanında kemerin ilk 160 m'lik bölümündeki değişimin belirgin olmadığı, zaman zaman $V=250$ m/sn hız değeri için en büyük yer değiştirmeler elde edilirken zaman zaman da $V=2000$ m/sn hız değeri için en büyük yer değiştirmelerin bulunduğu gözlemlenmiştir. En büyük düşey yer değiştirme değerinin elde edildiği kemer noktasında ($X=360$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen yer değiştirme değeri $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve $V=\text{sonsuz}$ hız değerleri için elde edilen yer değiştirmelerden sırasıyla %39, %51, %72 daha büyük çıkmıştır.



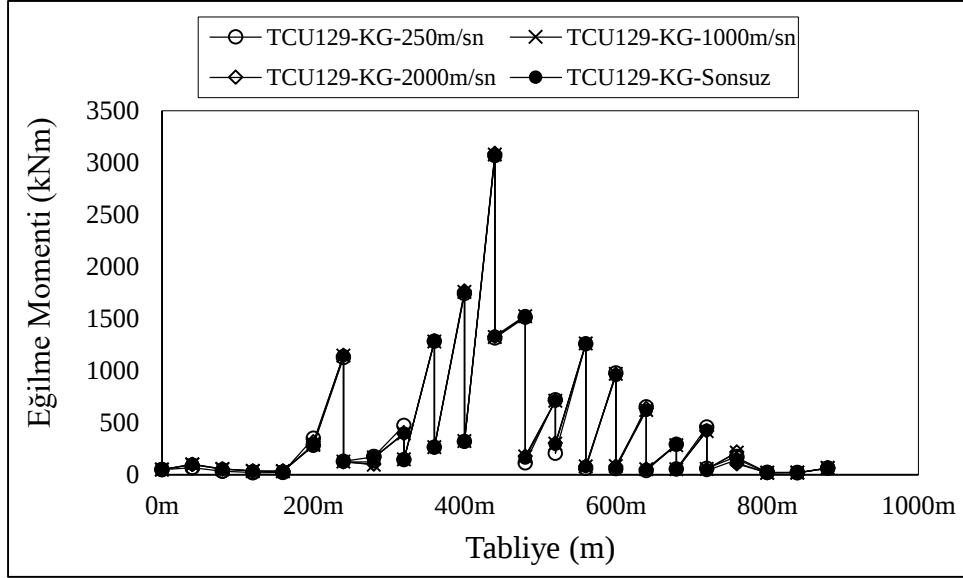
Şekil 7.64. TCU129-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye eksenel kuvvetleri

Köprü tabliyesi boyunca TCU129-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketinin sonlu dalga yayılma hızları için elde edilen eksenel kuvvet değerlerinin gösterildiği Şekil 7.64.'de, tüm hız değerleri için belirlenen eksenel kuvvetlerin birbirine çok yakın çıktığı ve dolayısıyla da sonlu dalga yayılma hızlarının tabliye eksenel kuvvetleri üzerindeki etkisinin oldukça az olduğu gözlemlenmiştir.



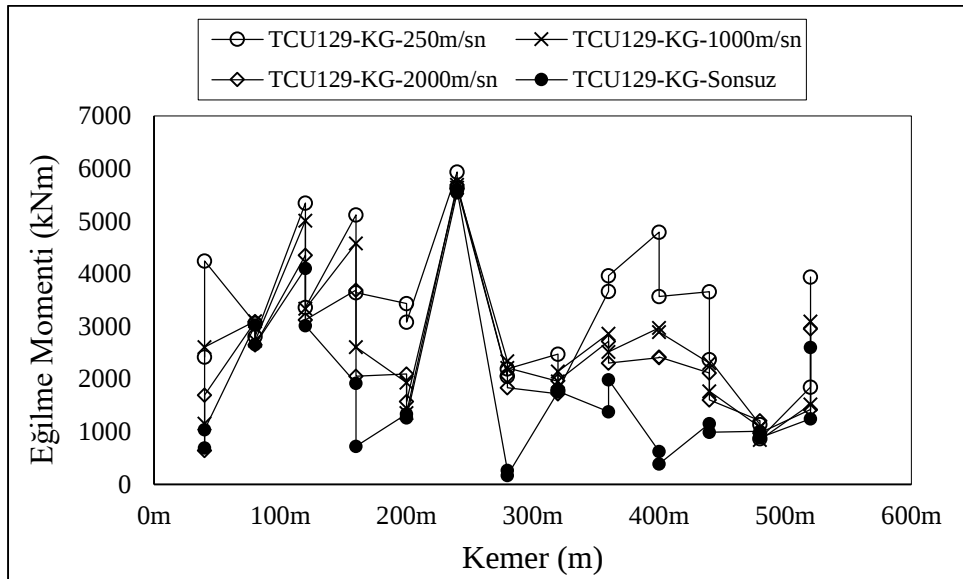
Şekil 7.65. TCU129-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer eksenel kuvvetleri

TCU129-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için elde edilen köprü kemeri eksenel kuvvetleri Şekil 7.65.'de görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en büyük eksenel kuvvet değerleri $V=250$ m/sn hız değeri için elde edilmiştir. $V=1000$ m/sn ve $V=2000$ m/sn için elde edilen eksenel kuvvet değerleri birbirine yakın olup, $V=\text{sonsuz}$ hız değeri için en küçük eksenel kuvvet değerleri elde edilmiştir. En büyük eksenel kuvvet değerinin elde edildiği kemer noktasında ($X=40$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen eksenel kuvvet değeri, $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve sonsuz hız değerleri için elde edilen eksenel kuvvet değerlerinden sırasıyla %25, %29, %31 daha büyük çıkmıştır.



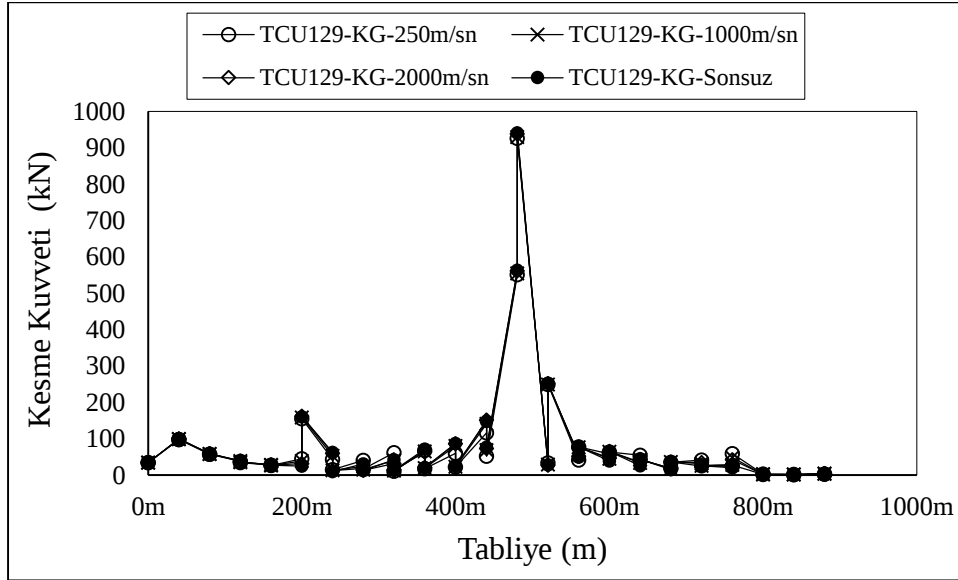
Şekil 7.66. TCU129-KG sığrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye eğilme momentleri

Köprü tabliyesi boyunca TCU129-KG sığrama etkili yakın fay yer hareketinin sonlu dalga yayılma hızları için elde edilen eğilme momenti değerlerinin gösterildiği Şekil 7.66.'da, tüm hız değerleri için belirlenen eğilme momentlerinin birbirine çok yakın çıktığı ve dolayısıyla da sonlu dalga yayılma hızlarının tabliye eğilme momentleri üzerindeki etkisinin oldukça az olduğu gözlemlenmiştir.



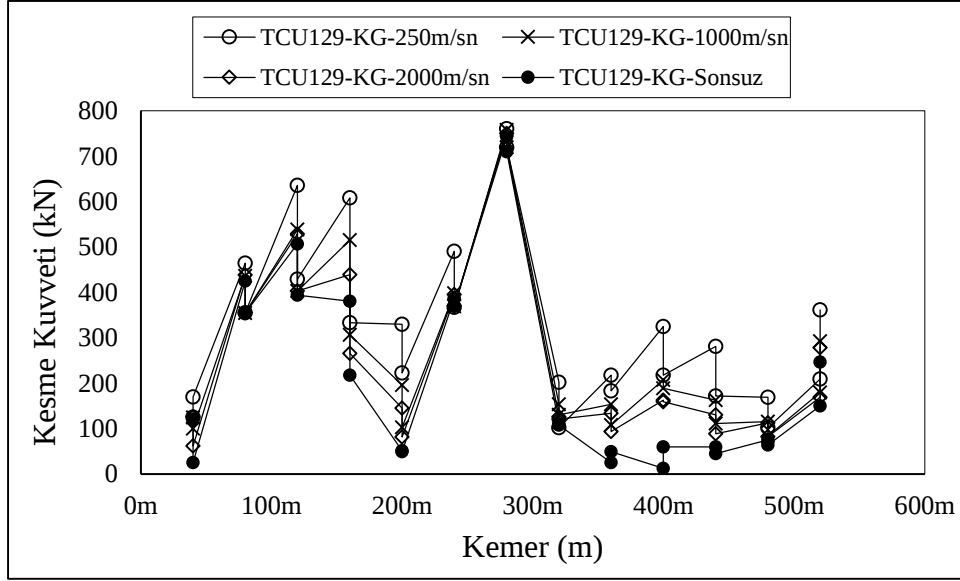
Şekil 7.67. TCU129-KG sığrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer eğilme momentleri

TCU129-KG sığrama etkili yakın fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için elde edilen köprü kemeri eğilme momenti değerleri Şekil 7.67.'de görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en büyük eğilme momenti değerleri $V=250$ m/sn hız değeri için elde edilmiştir. $V=1000$ m/sn ve $V=2000$ m/sn için elde edilen eğilme momenti değerleri birbirine yakın olup, $V=\infty$ hız değeri için en küçük eğilme momenti değerleri elde edilmiştir. En büyük eğilme momenti değerinin elde edildiği kemer noktasında ($X=240$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen eğilme momenti değeri, $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve sonsuz hız değerleri için elde edilen eğilme momenti değerlerinden sırasıyla %4, %5, %6 daha büyük çıkmıştır. Ayrıca kemer orta noktasında üniform yer hareketinin eğilme momenti oluşturmadığı, ancak yayılma hızının azalmasına bağlı olarak kemer orta noktasında eğilme momenti değerlerinin artış gösterdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 7.68. TCU129-KG sığrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye kesme kuvvetleri

Köprü tabliyesi boyunca TCU129-KG sığrama etkili yakın fay yer hareketinin sonlu dalga yayılma hızları için elde edilen kesme kuvveti değerlerinin gösterildiği Şekil 7.68.'de, tüm hız değerleri için belirlenen kesme kuvveti değerlerinin birbirine çok yakın çıktığı ve buna bağlı olarak da sonlu dalga yayılma hızlarının tabliye kesme kuvvetleri üzerindeki etkisinin oldukça az olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 7.69. TCU129-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer kesme kuvvetleri

TCU129-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için elde edilen köprü kemeri kesme kuvveti değerleri Şekil 7.69.'da görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en büyük kesme kuvveti değerleri $V=250$ m/sn hız değeri için elde edilmiştir. $V=1000$ m/sn ve $V=2000$ m/sn için elde edilen kesme kuvveti değerleri birbirine yakın olup, $V=\text{sonsuz}$ hız değeri için en küçük kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. En büyük kesme kuvveti değerinin elde edildiği kemer noktasında ($X=280$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen kesme kuvveti değeri, $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve sonsuz hız değerleri için elde edilen kesme kuvveti değerlerinden sırasıyla %0.4, %1, %2 daha büyük çıkmıştır.

TCU129-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için gerçekleştirilen asinkronize dinamik analizler sonucu elde edilen köprü tepkileri ile ilgili olarak aşağıdaki genel değerlendirmeler yapılabilir;

- Tabliye ve kemer yatay yer değiştirmelerinin farklı yayılma hız değerleri için birbirine yakın çıktığı gözlemlenmiştir. Dalga yayılma hızının yatay yer değiştirmeler üzerindeki etkisinin göreceli olarak daha az olduğu görülmüştür.
- Tabliye ve kemer düşey yer değiştirmeleri için dalga yayılma hızının küçük değerleri için en büyük yer değiştirmeler elde edilmiştir. Düşey yer değiştirmeler artan hız değerleri ile birlikte azalmıştır.

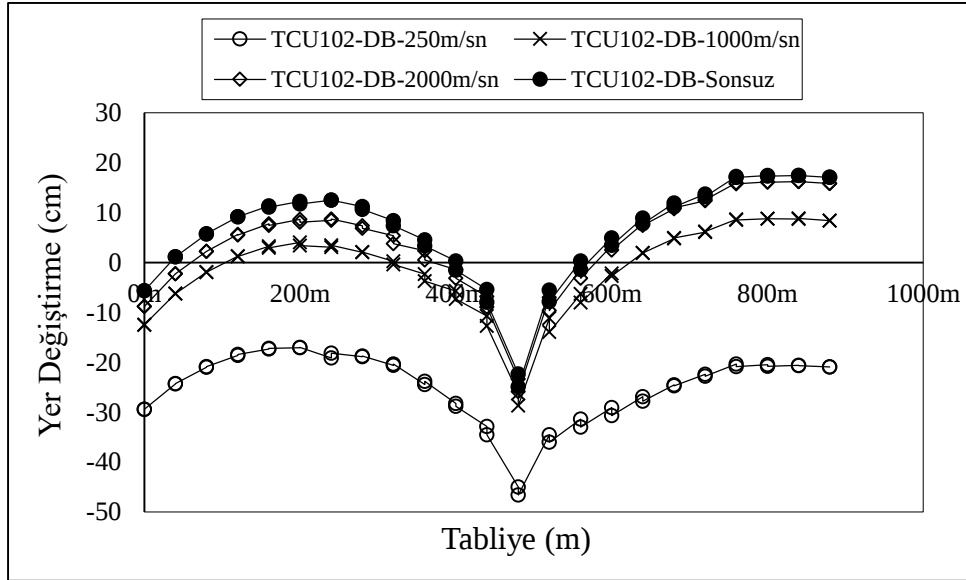
- Tabliyede elde edilen eleman kuvvetleri (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) farklı dalga yayılma hızları için oldukça benzer sonuçlar vermiştir. Burada dalga yayılma etkisinin sıçrama etkili yakın fay yer hareketi üzerinde bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir.
- Kemerde en büyük eleman kuvvetleri en küçük hız değeri için elde edilirken, artan hız değerleri ile birlikte eleman kuvvetlerinin (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) değerlerinin genel olarak azaldığı gözlemlenmiştir.

Genel olarak dalga yayılma etkisinin hem darbe etkili yakın fay yer hareketi üzerinde hem de sıçrama etkili yakın fay yer hareketi üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Ancak sıçrama etkili yakın fay yer hareketi için farklı yayılma hızları için elde edilen köprü tepkileri, genel olarak darbe etkili yakın fay yer hareketi için elde edilen tepkilere göre daha yakın çıkmış olup, bu durum dalga yayılma etkisinin darbe etkili yakın fay yer hareketi üzerinde daha etkili olduğunu göstermektedir.

Darbe etkili TCU129-DB ve sıçrama etkili TCU129-KG yakın fay yer hareketleri için farklı sonlu yayılma hızları dikkate alınarak elde edilen çelik kemer köprü tepkileri özet olarak Çizelge 7.2.'de sunulmuştur. Burada birimi ile birlikte sayısal değerler şeklinde ifade edilen veriler söz konusu tepki türü içinde en kritik değeri gösterirken, yüzdesel veriler ise belirtilen en kritik değere bağlı olarak rölatif değerleri göstermektedir. Çizelgenin ilk satırı incelendiğinde darbe etkili TCU129-DB yakın fay yer hareketi için en kritik yatay yer değiştirme değeri, yer hareketinin 2000 m/sn sonlu yayılma hızı için 59 cm olarak elde edilirken, bu değer 250 m/sn, 1000 m/sn ve sonsuz yayılma hızları için elde edilen değerlerden sırasıyla %61, %11 ve %77 daha büyük çıktığı görülmektedir. Çizelgeden görüleceği üzere dalga yayılma etkisinin darbe etkili yakın fay yer hareketi üzerinde genellikle daha etkili olduğu anlaşılmaktadır.

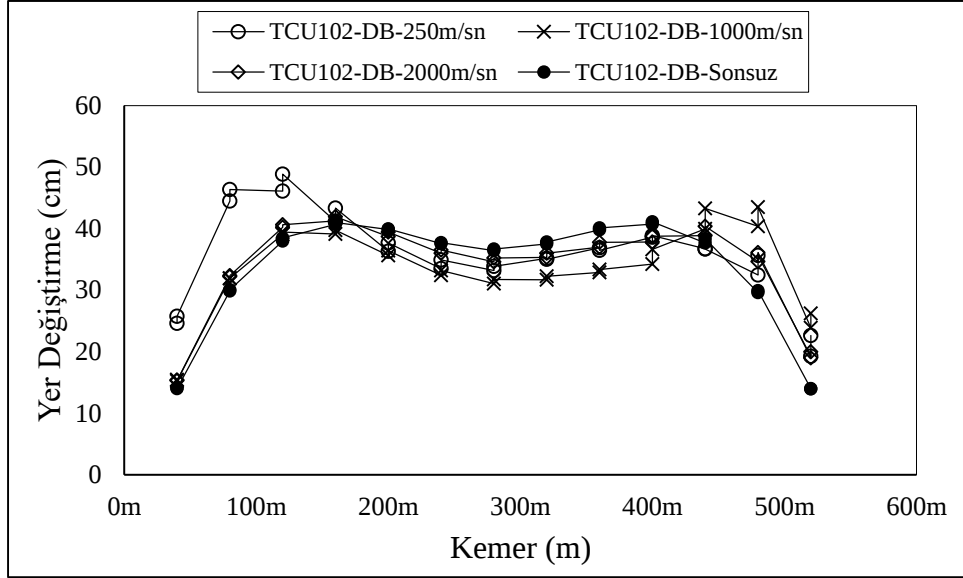
Çizelge 7.2. TCU129 yakın fay yer hareketi dikkate alınarak sonlu yayılma hızları için elde edilen köprü tepkileri

Yer Hareketi	Yakın Fay Özelliği	Köprü Kısım	Köprü Tepki Türü	250 m/sn	1000 m/sn	2000 m/sn	Sonsuz
TCU129-DB	Darbe Etkili	Tabliye	Yatay Yer Değiştirme	%61	%11	59 cm	%77
TCU129-KG	Sıçrama Etkili	Tabliye	Yatay Yer Değiştirme	44 cm	%7	%8	%8
TCU129-DB	Darbe Etkili	Kemer	Yatay Yer Değiştirme	%42	%25	%12,5	24 cm
TCU129-KG	Sıçrama Etkili	Kemer	Yatay Yer Değiştirme	%12,5	%8	%4	24 cm
TCU129-DB	Darbe Etkili	Tabliye	Düşey Yer Değiştirme	105 cm	%50	%55	%71
TCU129-KG	Sıçrama Etkili	Tabliye	Düşey Yer Değiştirme	44 cm	%38	%52	%70
TCU129-DB	Darbe Etkili	Kemer	Düşey Yer Değiştirme	47 cm	%28	%43	%59
TCU129-KG	Sıçrama Etkili	Kemer	Düşey Yer Değiştirme	43 cm	%39	%51	%72
TCU129-DB	Darbe Etkili	Tabliye	Eksenel Kuvvet	%27	%7	18871 kN	%3
TCU129-KG	Sıçrama Etkili	Tabliye	Eksenel Kuvvet	%1	%0,6	%0,5	36255 kN
TCU129-DB	Darbe Etkili	Kemer	Eksenel Kuvvet	91811 kN	%46	%61	%75
TCU129-KG	Sıçrama Etkili	Kemer	Eksenel Kuvvet	64245 kN	%25	%29	%31
TCU129-DB	Darbe Etkili	Tabliye	Eğilme Momenti	%0,6	%9	%12	1440 kNm
TCU129-KG	Sıçrama Etkili	Tabliye	Eğilme Momenti	%0,8	%0,4	3092 kNm	%0,4
TCU129-DB	Darbe Etkili	Kemer	Eğilme Momenti	10826 kNm	%56	%71	%86
TCU129-KG	Sıçrama Etkili	Kemer	Eğilme Momenti	5934 kNm	%4	%5	%6
TCU129-DB	Darbe Etkili	Tabliye	Kesme Kuvveti	%25	%11	%2	477 kN
TCU129-KG	Sıçrama Etkili	Tabliye	Kesme Kuvveti	%2	%0,8	%0,7	941 kN
TCU129-DB	Darbe Etkili	Kemer	Kesme Kuvveti	1042 kN	%49	%64	%80
TCU129-KG	Sıçrama Etkili	Kemer	Kesme Kuvveti	760 kN	%0,4	%1	%2



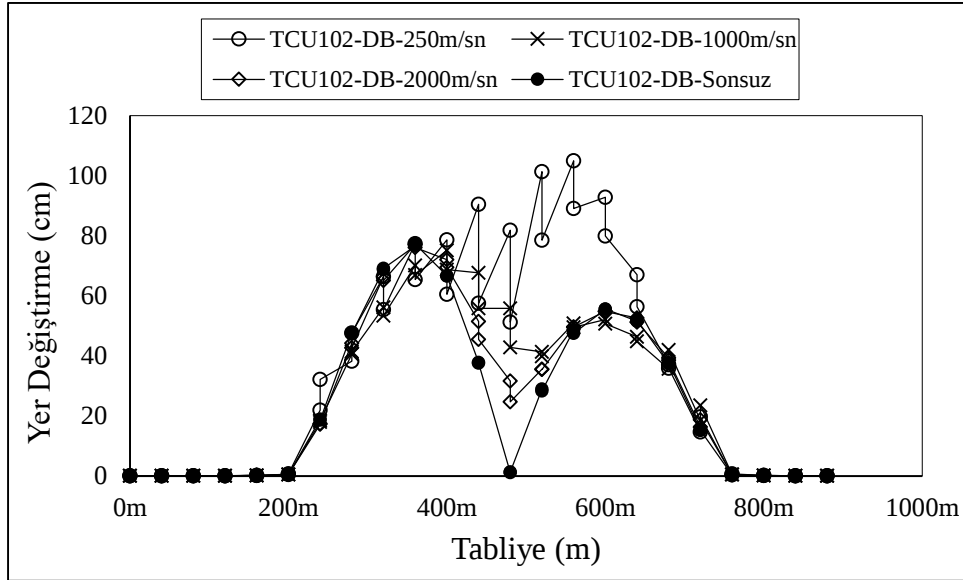
Şekil 7.70. TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye yatay yer değiştirmeleri

TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için elde edilen köprü tabliyesi yatay yer değiştirme değerleri Şekil 7.70.'de görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en büyük yer değiştirme değerleri $V=250$ m/sn için elde edilmiş olup, hız değerlerinin artması ($V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve $V=\text{sonsuz}$) ile yer değiştirme değerlerinin de azaldığı anlaşılmaktadır. En büyük yatay yer değiştirme değerinin elde edildiği tabliye noktasında ($X=480$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen yer değiştirme değeri $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve $V=\text{sonsuz}$ hız değerleri için elde edilen yer değiştirmelerden sırasıyla %38, %45, %47 daha büyük çıkmıştır.



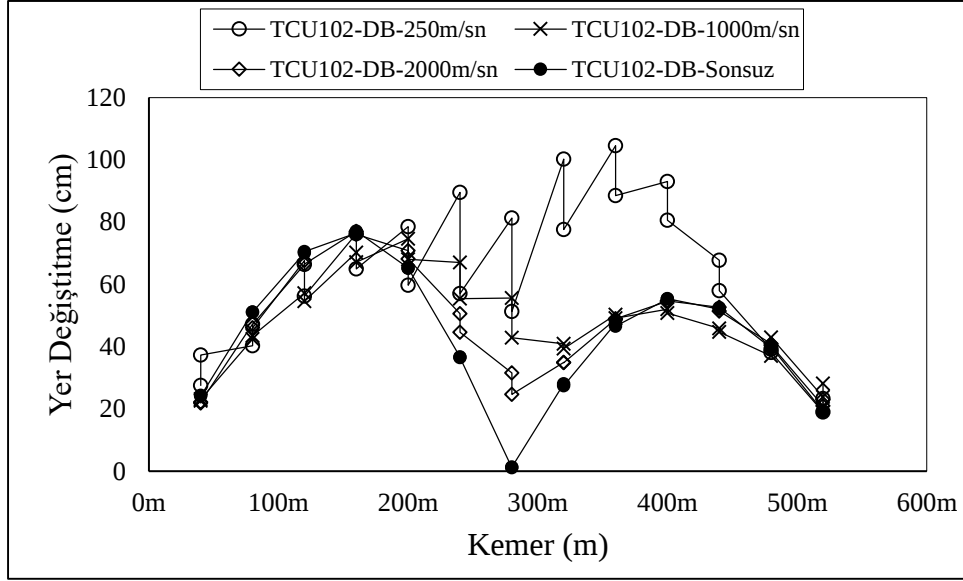
Şekil 7.71. TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer yatay yer değiştirmeleri

Darbe etkili TCU102-DB yakın fay yer hareketinin dalga yayılma etkisi için gerçekleştirilen dinamik analizi sonucu elde edilen kemer yatay yer değiştirmeleri karşılaştırmalı olarak Şekil 7.71.'de gösterilmektedir. Özellikle kemer orta bölgesinde yer hareketinin sonsuz hızla yayılması durumunda elde edilen yer değiştirmeler en büyük olurken, güney kemer bölgesinde 250 m/sn hız değeri için, kuzey kemer bölgesinde de 1000 m/sn hız değeri için en büyük yer değiştirmeler elde edilmiştir. Burada yer değiştirmelerin hıza bağlı değişiminin çok belirgin olmadığı anlaşılmaktadır.



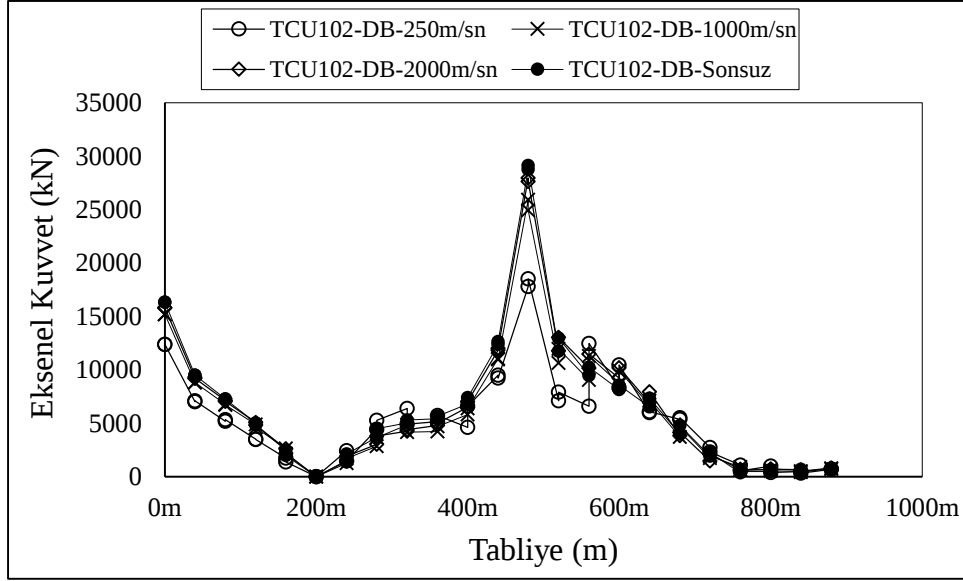
Şekil 7.72. TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye düşey yer değiştirmeleri

TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için elde edilen köprü tabliyesi düşey yer değiştirmeleri Şekil 7.72.'de görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en büyük yer değiştirmeler özellikle tabliye orta bölgesinde $V=250$ m/sn hız değeri için elde edilmiştir. $V=1000$ m/sn ve $V=2000$ m/sn için elde edilen yer değiştirme değerleri birbirine yakın olup, $V=\text{sonsuz}$ hız değeri için en küçük yer değiştirmeler elde edilmiştir. En büyük yer değiştirme değerinin elde edildiği tabliye noktasında ($X=560$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen yer değiştirme, $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve sonsuz hız değerleri için elde edilen yer değiştirmelerden sırasıyla %51, %53, %54 daha büyük çıkmıştır.



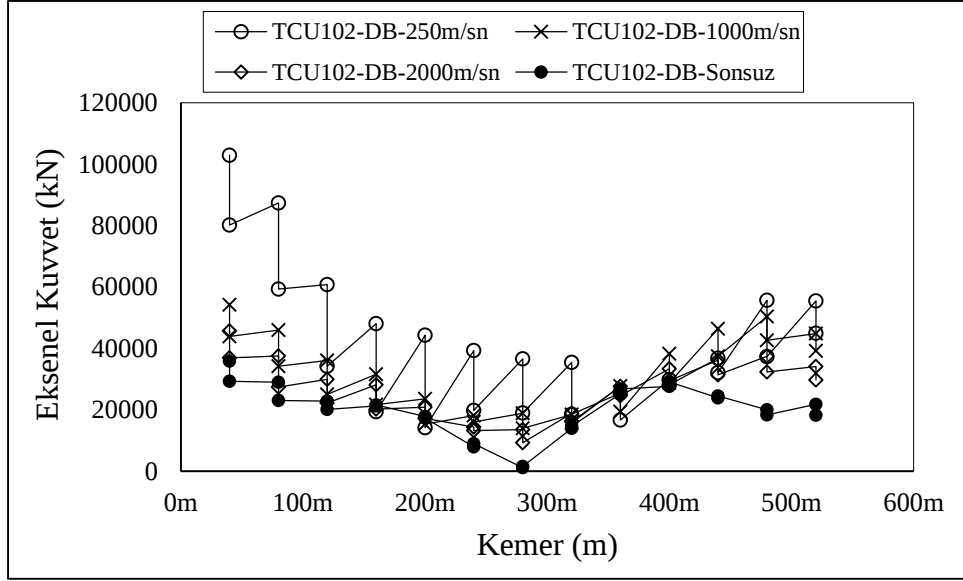
Şekil 7.73. TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer düşey yer değiştirmeleri

Darbe etkili TCU102-DB yakın fay yer hareketinin sonlu hızlarla yayılması durumu için köprü kemeri boyunca elde edilen düşey yer değiştirme değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 7.73.'de gösterilmektedir. Kemerin 240-440 m'lik bölümü için elde edilen değişimin, tabliye düşey yer değiştirmeleri için elde edilen değişimle benzer olduğu, bunun yanında kemerin ilk 240 m'lik bölümündeki değişimin belirgin olmadığı, zaman zaman $V=250$ m/sn hız değeri için en büyük yer değiştirmelerin zaman zaman da $V=\text{sonsuz}$ hız değeri için en büyük yer değiştirmelerin bulunduğu gözlemlenmiştir. En büyük düşey yer değiştirme değerinin elde edildiği kemer noktasında ($X=360$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen yer değiştirme değeri $V=2000$ m/sn, $V=1000$ m/sn ve $V=\text{sonsuz}$ hız değerleri için elde edilen yer değiştirmelerden sırasıyla %53, %53, %56 daha büyük çıkmıştır.



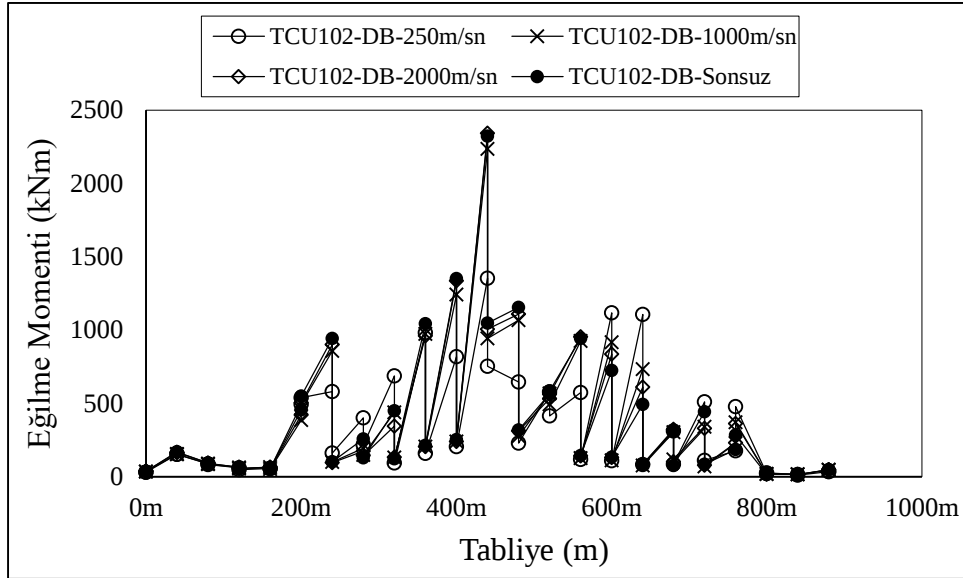
Şekil 7.74. TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye eksenel kuvvetleri

Köprü tabliyesi boyunca TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketinin sonlu dalga yayılma hızları için elde edilen eksenel kuvvet değerlerinin gösterildiği Şekil 7.74.'de, genel olarak eksenel kuvvet değerlerinin birbirine yakın çıktığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında tabliye orta noktasında $V=\infty$ hız değeri için en büyük eksenel kuvvet elde edilmiş olup söz konusu eksenel kuvvet değeri $V=250$ m/sn, $V=1000$ m/sn ve $V=2000$ m/sn hız değerleri için elde edilen eksenel kuvvet değerlerinden sırasıyla %36, %11, %4 daha büyük çıkmıştır.



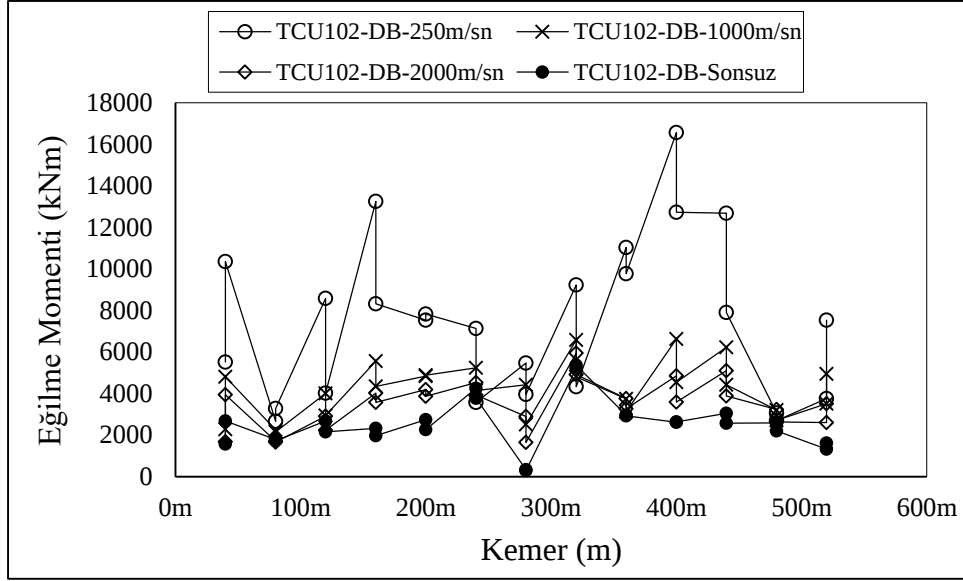
Şekil 7.75. TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer eksenel kuvvetleri

TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için elde edilen köprü kemeri eksenel kuvvetleri Şekil 7.75.'de görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en büyük eksenel kuvvet değerleri $V=250$ m/sn hız değeri için elde edilmiştir. $V=1000$ m/sn ve $V=2000$ m/sn için elde edilen eksenel kuvvet değerleri birbirine yakın olup, $V=\text{sonsuz}$ hız değeri için en küçük eksenel kuvvet değerleri elde edilmiştir. En büyük eksenel kuvvet değerinin elde edildiği kemer noktasında ($X=40$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen eksenel kuvvet değeri, $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve sonsuz hız değerleri için elde edilen eksenel kuvvet değerlerinden sırasıyla %47, %56, %65 daha büyük çıkmıştır.



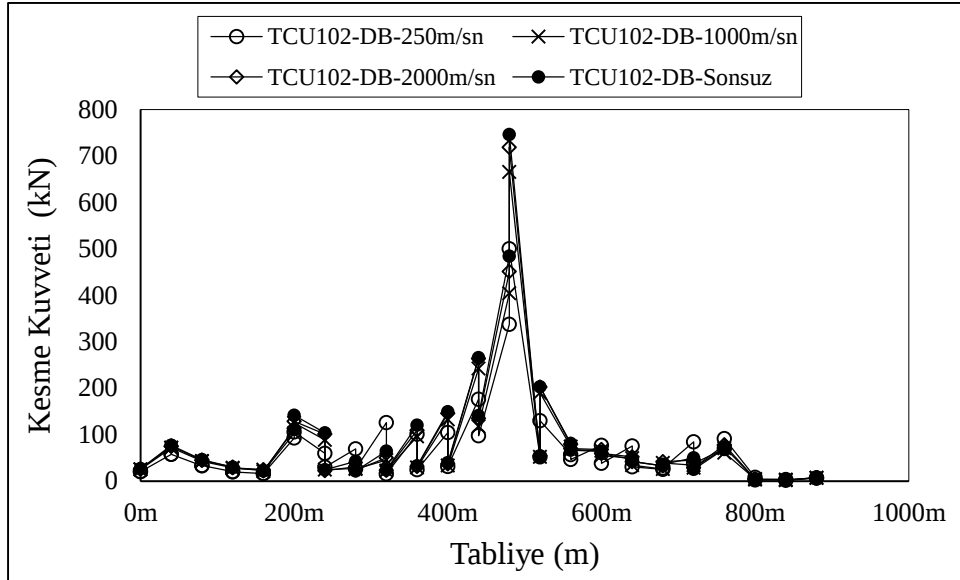
Şekil 7.76. TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye eğilme momentleri

Köprü tabliyesi boyunca TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketinin sonlu dalga yayılma hızları için elde edilen eğilme momenti değerlerinin gösterildiği Şekil 7.76.'da, genel olarak eğilme momenti değerlerinin birbirine yakın çıktığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında tabliye orta noktasında $V=\text{sonsuz}$ hız değeri için en büyük eğilme momenti elde edilmiş olup söz konusu eğilme momenti değerinin $V=2000$ m/sn, $V=1000$ m/sn ve $V=250$ m/sn hız değerleri için elde edilen eğilme momenti değerlerinden sırasıyla %0.6, %4, %55 daha büyük çıktığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında köprü tabliyesinin güney bölümünde en düşük dalga yayılma hız değeri olan $V=250$ m/sn için elde edilen eğilme momentleri en kritik sonucu vermektedir.



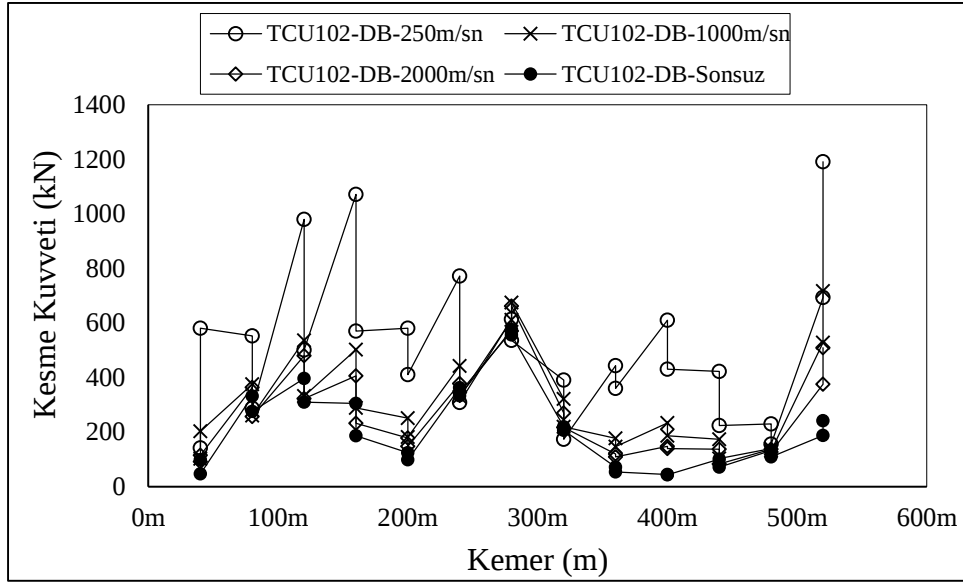
Şekil 7.77. TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer eğilme momentleri

TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için elde edilen köprü kemeri eğilme momenti değerleri Şekil 7.77.'de görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en büyük eğilme momenti değerleri $V=250$ m/sn hız değeri için elde edilmiştir. $V=1000$ m/sn ve $V=2000$ m/sn için elde edilen eğilme momenti değerleri birbirine yakın olup, $V=\text{sonsuz}$ hız değeri için en küçük eğilme momenti değerleri elde edilmiştir. En büyük eğilme momenti değerinin elde edildiği kemer noktasında ($X=400$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen eğilme momenti değeri, $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve sonsuz hız değerleri için elde edilen eğilme momenti değerlerinden sırasıyla %60, %70, %84 daha büyük çıkmıştır. Ayrıca kemer orta noktasında üniform yer hareketinin eğilme momenti oluşturmadığı, ancak yayılma hızının azalmasına bağlı olarak kemer orta noktasında eğilme momenti değerlerinin artış gösterdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 7.78. TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye kesme kuvvetleri

Köprü tabliyesi boyunca TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketinin sonlu dalga yayılma hızları için elde edilen kesme kuvveti değerlerinin gösterildiği Şekil 7.78.'de, genel olarak kesme kuvveti değerlerinin birbirine yakın çıktığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında tabliye orta noktasında $V=\infty$ hız değeri için en büyük kesme kuvveti elde edilmiş olup söz konusu kesme kuvveti değeri $V=2000$ m/sn, $V=1000$ m/sn ve $V=250$ m/sn hız değerleri için elde edilen kesme kuvveti değerlerinden sırasıyla %4, %11, %35 daha büyük çıkmıştır.



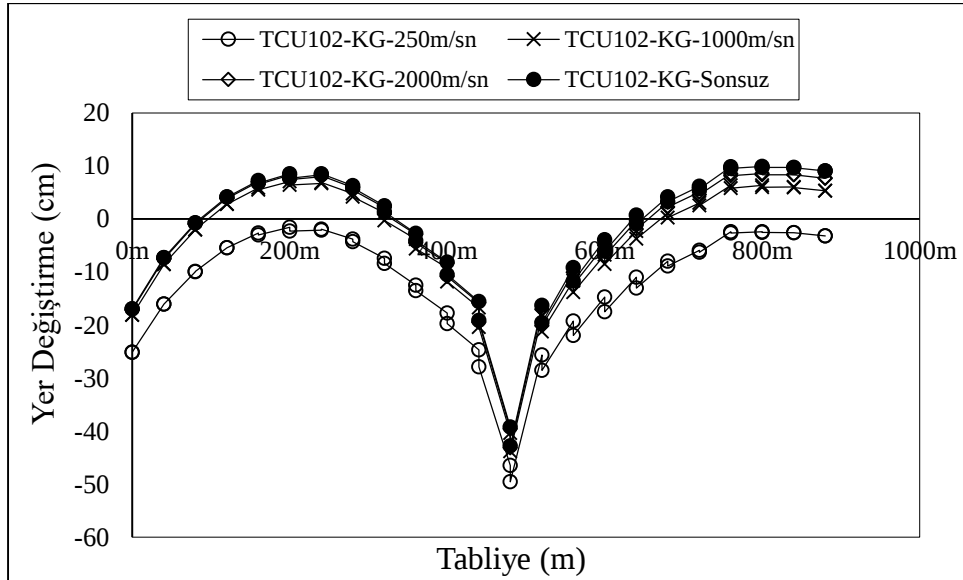
Şekil 7.79. TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer kesme kuvvetleri

TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için elde edilen köprü kemeri kesme kuvveti değerleri Şekil 7.79.'da görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en büyük kesme kuvveti değerleri $V=250$ m/sn hız değeri için elde edilmiştir. $V=1000$ m/sn ve $V=2000$ m/sn için elde edilen kesme kuvveti değerleri birbirine yakın olup, $V=\text{sonsuz}$ hız değeri için en küçük kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. En büyük kesme kuvveti değerinin elde edildiği kemer noktasında ($X=520$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen kesme kuvveti değeri, $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve sonsuz hız değerleri için elde edilen kesme kuvveti değerlerinden sırasıyla %39, %57, %79 daha büyük çıkmıştır.

TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için gerçekleştirilen asinkronize dinamik analizler sonucu elde edilen köprü tepkileri ile ilgili olarak aşağıdaki genel değerlendirmeler yapılabilir;

- Tabliye ve kemerde yatay yer değiştirmeler için düzenli bir değişim gözlenmemiş, zaman zaman yer hareketinin yayılma hızının sonsuz olması durumundaki üniform yer hareketi için en büyük yatay yer değiştirmeler elde edilirken, zaman zaman da en küçük dalga yayılma hızı olan 250 m/sn için en büyük yer değiştirmeler elde edilmiştir.

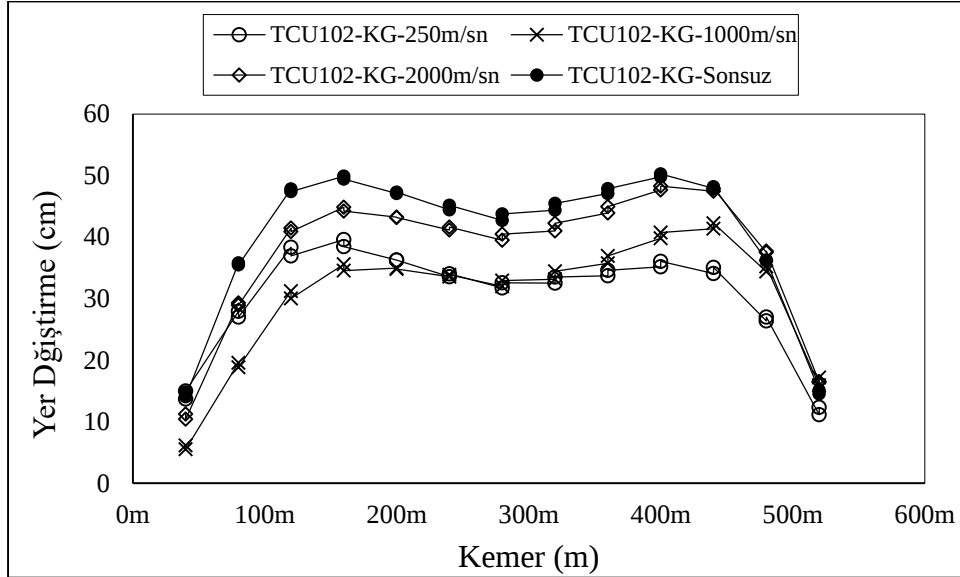
- Tabliye ve kemerde dalga yayılma hızının küçük değerleri için en büyük düşey yer değiştirmeler elde edilmiştir. Düşey yer değiştirmeler artan hız değerleri ile birlikte azalmıştır.
- Tabliyede elde edilen eleman kuvvetleri (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) farklı dalga yayılma hızları için genel olarak yakın çıkmıştır. Burada genel olarak dalga yayılma hızının köprü tabliyesi eleman kuvvetleri üzerindeki etkisinin sınırlı olduğu gözlenmiştir.
- Kemerde en büyük eleman kuvvetleri en küçük hız değeri için elde edilirken, artan hız değerleri ile birlikte eleman kuvvetlerinin (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 7.80. TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye yatay yer değiştirmeleri

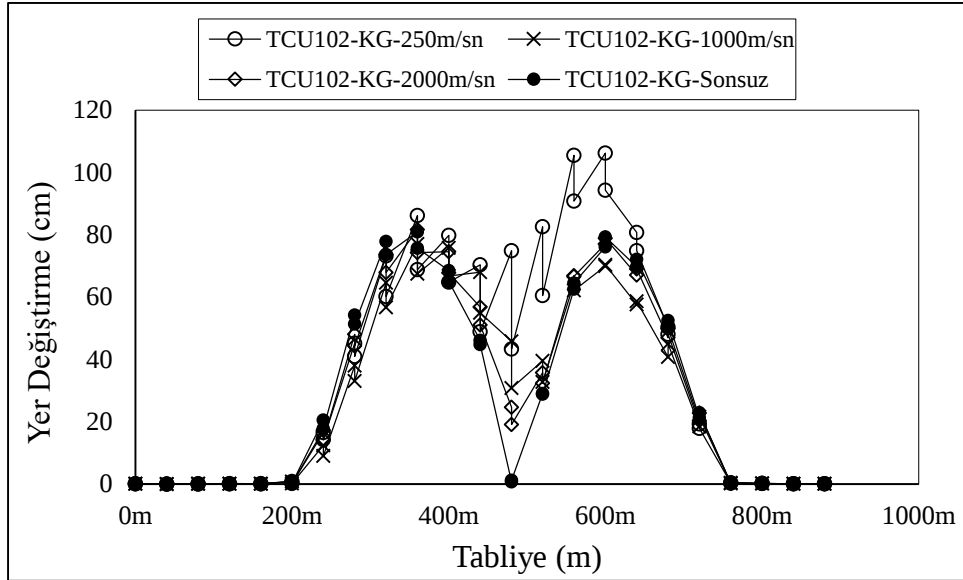
Köprü tabliyesi boyunca TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketinin sonlu dalga yayılma hızları için elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinin gösterildiği Şekil 7.80.'de $V=250$ m/sn sonlu yayılma hızı dışındaki hız değerleri için elde edilen yer değiştirme değerlerinin birbirine genel olarak yakın çıktığı gözlemlenmiştir. $V=250$ m/sn hız değeri için genel olarak en büyük yer değiştirme değerleri elde edilmiş olup tabliye orta noktasında $V=250$ m/sn hız değeri için elde edilen yer değiştirme değeri $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve $V=\text{sonsuz}$ hız değerleri için elde edilen yer değiştirme değerlerinden sırasıyla %12, %14, %14 daha büyük çıkmıştır. Burada dalga yayılma hızında meydana

gelen değişimin tabliye yatay yer değiştirmeleri üzerindeki etkisinin sınırlı olduğu anlaşılmaktadır.



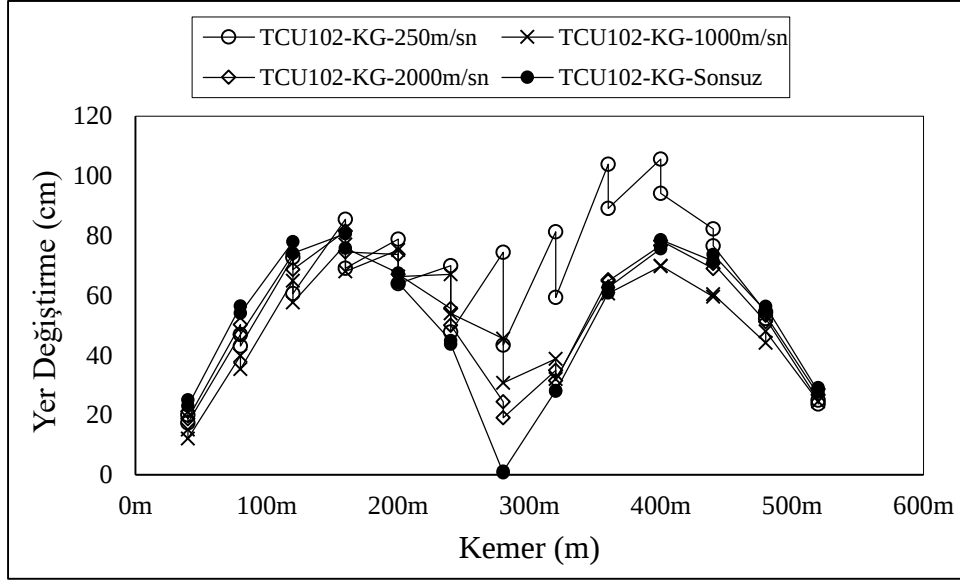
Şekil 7.81. TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer yatay yer değiştirmeleri

Sıçrama etkili TCU102-KG yakın fay yer hareketinin dalga yayılma etkisi için gerçekleştirilen dinamik analizi sonucu elde edilen kemer yatay yer değiştirmeleri karşılaştırmalı olarak Şekil 7.81.'de gösterilmektedir. Yer hareketinin sonsuz hızla yayılması durumunda elde edilen yer değiştirmeler en büyük olurken, azalan dalga yayılma hızına bağlı olarak yer değiştirmeler azalmakta ve $V=250$ m/sn ve $V=1000$ m/sn için en küçük yer değiştirmeler elde edilmektedir. En büyük yatay yer değiştirme değerinin elde edildiği kemer noktasında ($X=400$ m) $V=\text{sonsuz}$ için elde edilen yer değiştirme değeri, $V=2000$ m/sn, $V=1000$ m/sn ve $V=250$ m/sn hız değerleri için elde edilen yer değiştirme değerlerinden sırasıyla %6, %18, %20 daha büyük çıkmıştır.



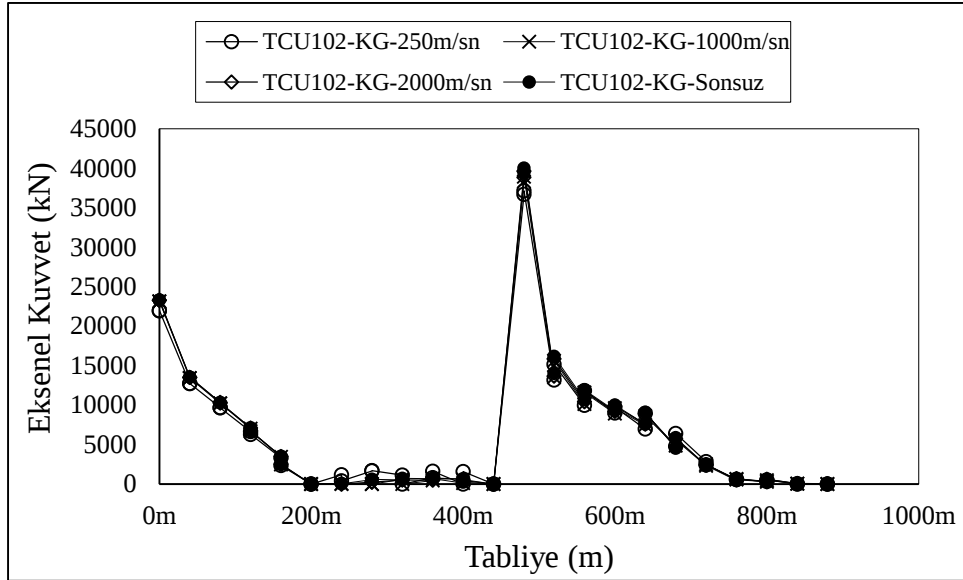
Şekil 7.82. TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye düşey yer değiştirmeleri

TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için elde edilen köprü tabliyesi düşey yer değiştirmeleri Şekil 7.82.'de görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en büyük yer değiştirmeler $V=250$ m/sn hız değeri için elde edilmiştir. $V=1000$ m/sn ve $V=2000$ m/sn için elde edilen yer değiştirme değerleri genel olarak birbirine yakın çıkmıştır. En büyük yer değiştirme değerinin elde edildiği tabliye noktasında ($X=600$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen yer değiştirme, $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve sonsuz hız değerleri için elde edilen yer değiştirmelerden sırasıyla %34, %25, %25 daha büyük çıkmıştır. Bunun yanında kemer orta noktasında üniform yer hareketinin düşey yer değiştirmelere neden olmadığı, ancak yayılma hızının azalmasına bağlı olarak kemer orta noktasında yer değiştirme değerlerinin artış gösterdiği gözlemlenmiştir.



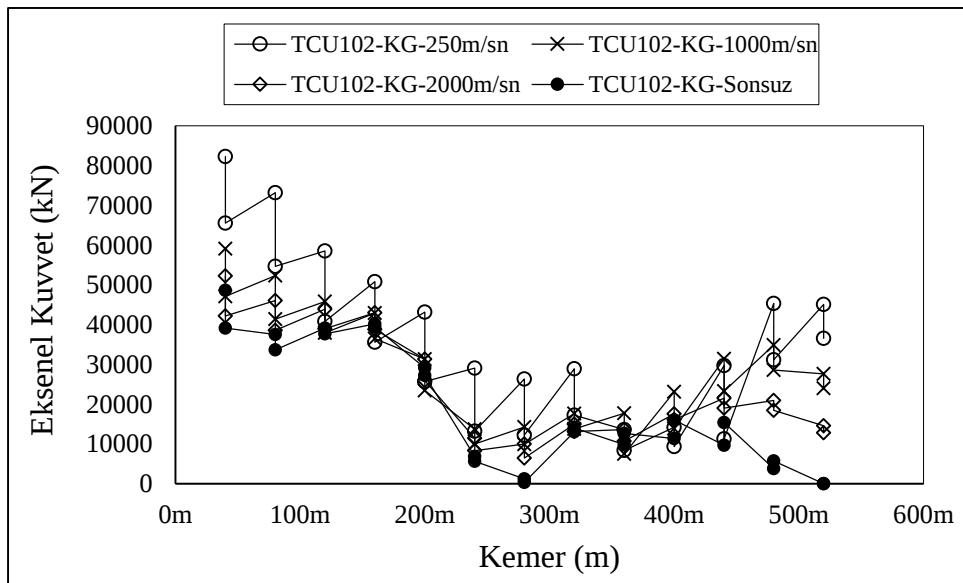
Şekil 7.83. TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer düşey yer değiştirmeleri

Sıçrama etkili TCU102-KG yakın fay yer hareketinin sonlu hızlarla yayılması durumu için köprü kemeri boyunca elde edilen düşey yer değiştirme değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 7.83.'de gösterilmektedir. Kemerin 200-480 m'lik bölümü için elde edilen değişimin, tabliye orta bölgesindeki düşey yer değiştirmeler için elde edilen değişimle benzer olduğu gözlemlenmiştir. En büyük düşey yer değiştirme değerinin elde edildiği kemer noktasında (X=400 m) $V=250$ m/sn için elde edilen yer değiştirme değeri $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve $V=\text{sonsuz}$ hız değerleri için elde edilen yer değiştirmelerden sırasıyla %34, %27, %25 daha büyük çıkmıştır.



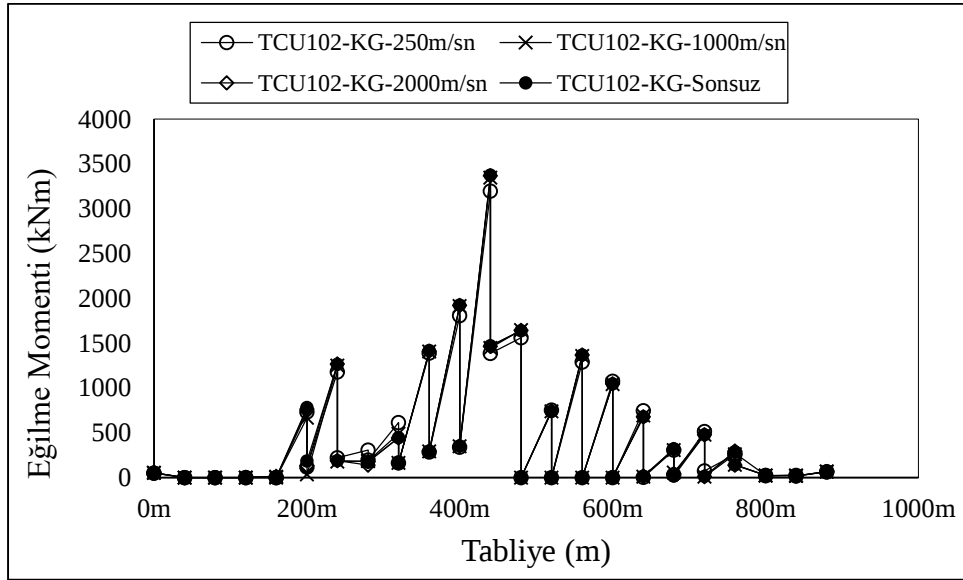
Şekil 7.84. TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye eksenel kuvvetleri

Köprü tabliyesi boyunca TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketinin sonlu dalga yayılma hızları için elde edilen eksenel kuvvet değerlerinin gösterildiği Şekil 7.84.'de, tüm hız değerleri için belirlenen eksenel kuvvetlerin birbirine çok yakın çıktığı ve dolayısıyla da sonlu dalga yayılma hızlarının tabliye eksenel kuvvetleri üzerindeki etkisinin oldukça az olduğu gözlemlenmiştir.



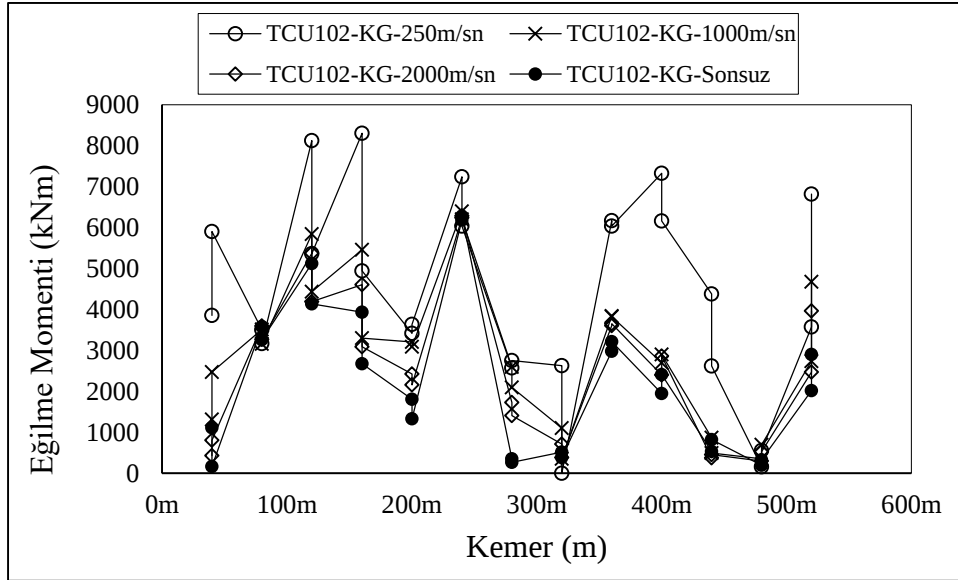
Şekil 7.85. TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer eksenel kuvvetleri

TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için elde edilen köprü kemeri eksenel kuvvetleri Şekil 7.85.'de görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en büyük eksenel kuvvet değerleri $V=250$ m/sn hız değeri için elde edilmiştir. $V=1000$ m/sn ve $V=2000$ m/sn için elde edilen eksenel kuvvet değerleri birbirine yakın olup, $V=\infty$ hız değeri için en küçük eksenel kuvvet değerleri elde edilmiştir. En büyük eksenel kuvvet değerinin elde edildiği kemer noktasında ($X=40$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen eksenel kuvvet değeri, $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve sonsuz hız değerleri için elde edilen eksenel kuvvet değerlerinden sırasıyla %28, %36, %41 daha büyük çıkmıştır.



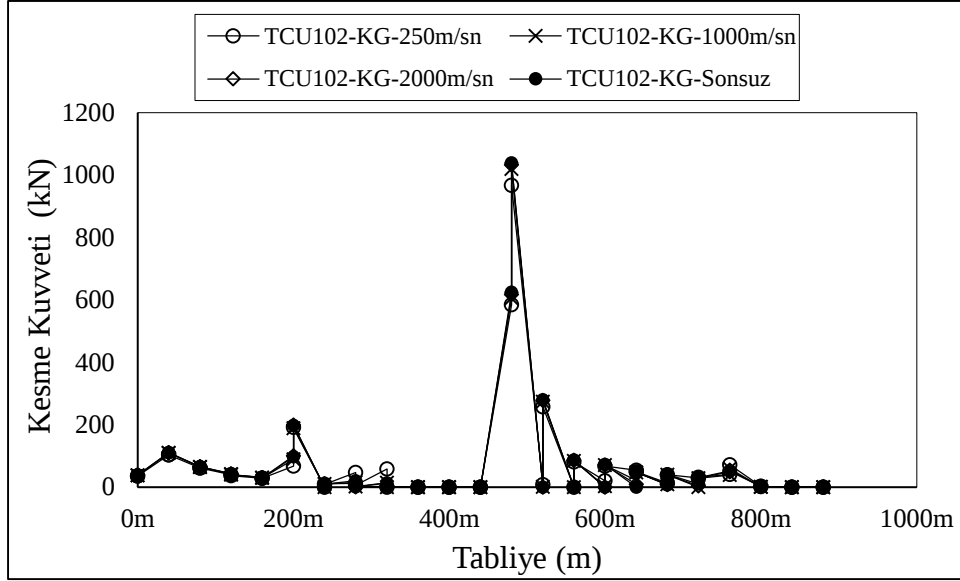
Şekil 7.86. TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye eğilme momentleri

Köprü tabliyesi boyunca TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketinin sonlu dalga yayılma hızları için elde edilen eğilme momenti değerlerinin gösterildiği Şekil 7.86.'da, tüm hız değerleri için belirlenen eğilme momentlerinin birbirine çok yakın çıktığı ve dolayısıyla da sonlu dalga yayılma hızlarının tabliye eğilme momentleri üzerindeki etkisinin oldukça az olduğu gözlemlenmiştir.



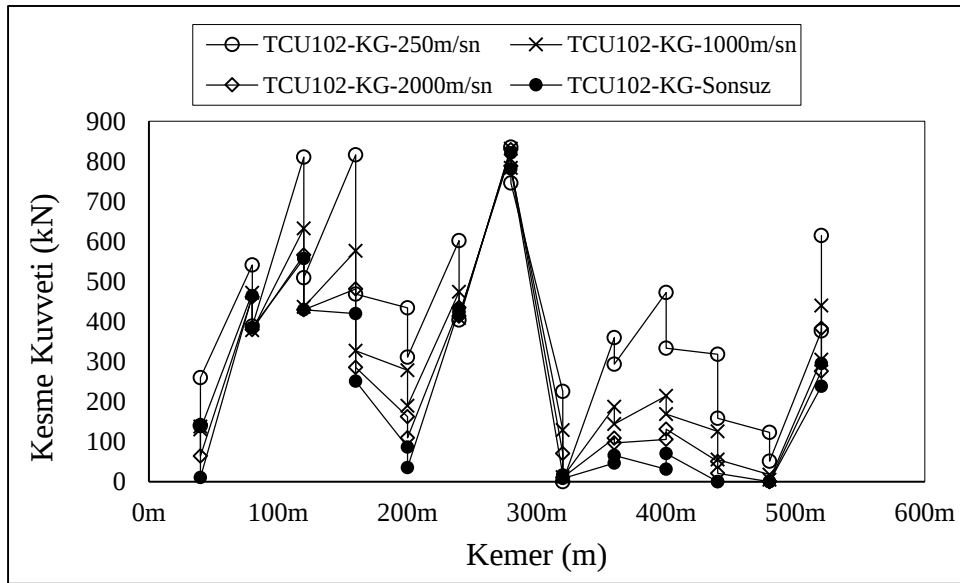
Şekil 7.87. TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer eğilme momentleri

TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için elde edilen köprü kemeri eğilme momenti değerleri Şekil 7.87.'de görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en büyük eğilme momenti değerleri $V=250$ m/sn hız değeri için elde edilmiştir. $V=1000$ m/sn ve $V=2000$ m/sn için elde edilen eğilme momenti değerleri birbirine yakın olup, $V=\text{sonsuz}$ hız değeri için en küçük eğilme momenti değerleri elde edilmiştir. En büyük eğilme momenti değerinin elde edildiği kemer noktasında ($X=160$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen eğilme momenti değeri, $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve sonsuz hız değerleri için elde edilen eğilme momenti değerlerinden sırasıyla %34, %44, %53 daha büyük çıkmıştır. Ayrıca kemer orta noktasında üniform yer hareketinin eğilme momenti oluşturmadığı, ancak yayılma hızının azalmasına bağlı olarak kemer orta noktasında eğilme momenti değerlerinin artış gösterdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 7.88. TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye kesme kuvvetleri

Köprü tabliyesi boyunca TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketinin sonlu dalga yayılma hızları için elde edilen kesme kuvveti değerlerinin gösterildiği Şekil 7.88.'de, tüm hız değerleri için belirlenen kesme kuvveti değerlerinin birbirine çok yakın çıktığı ve buna bağlı olarak da sonlu dalga yayılma hızlarının tabliye kesme kuvvetleri üzerindeki etkisinin oldukça az olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 7.89. TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer kesme kuvvetleri

TCU102-KG sığrama etkili yakın fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için elde edilen köprü kemeri kesme kuvveti değerleri Şekil 7.89.'da görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en büyük kesme kuvveti değerleri $V=250$ m/sn hız değeri için elde edilmiştir. $V=1000$ m/sn ve $V=2000$ m/sn için elde edilen kesme kuvveti değerleri birbirine yakın olup, $V=\infty$ hız değeri için en küçük kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. En büyük kesme kuvveti değerinin elde edildiği kemer noktasında ($X=280$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen kesme kuvveti değeri, $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve sonsuz hız değerleri için elde edilen kesme kuvveti değerlerinden sırasıyla %0.5, %1, %2 daha büyük çıkmıştır.

TCU102-KG sığrama etkili yakın fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için gerçekleştirilen asinkronize dinamik analizler sonucu elde edilen köprü tepkileri ile ilgili olarak aşağıdaki genel değerlendirmeler yapılabilir;

- Kemerde dalga yayılma hızının yüksek değerleri için en büyük yatay yer değiştirmeler elde edilirken tabliyede göreceli olarak birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Yatay yer değiştirmeler azalan hız değerleri ile birlikte genelde azalmıştır.
- Tabliye ve kemer düşey yer değiştirmeleri için dalga yayılma hızının küçük değerleri için en büyük yer değiştirmeler elde edilmiştir. Düşey yer değiştirmeler artan hız değerleri ile birlikte azalmıştır.
- Tabliyede elde edilen eleman kuvvetleri (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) farklı dalga yayılma hızları için oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Burada dalga yayılma etkisinin sığrama etkili yakın fay yer hareketi üzerinde oldukça sınırlı bir etkisinin olduğu gözlenmiştir.
- Kemerde en büyük eleman kuvvetleri en küçük hız değeri için elde edilirken, artan hız değerleri ile birlikte eleman kuvvetlerinin (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) genel olarak azaldığı gözlemlenmiştir.

Genel olarak dalga yayılma etkisinin hem darbe etkili yakın fay yer hareketi üzerinde hem de sığrama etkili yakın fay yer hareketi üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Ancak sığrama etkili yakın fay yer hareketi için farklı yayılma hızları için elde edilen köprü tepkileri, genel olarak darbe etkili yakın fay yer hareketi için elde edilen tepkilere göre daha yakın çıkmış olup, bu durum dalga yayılma etkisinin darbe etkili yakın fay yer hareketi üzerinde daha etkili olduğunu göstermektedir.

Darbe etkili TCU102-DB ve sığrama etkili TCU102-KG yakın fay yer hareketi için farklı sonlu yayılma hızları dikkate alınarak elde edilen çelik kemer köprü tepkileri özet olarak Çizelge 7.3.'de sunulmuştur. Burada birimi ile birlikte sayısal değerler şeklinde ifade edilen veriler söz konusu tepki türü içinde en kritik değeri gösterirken, yüzdesel veriler ise belirtilen en kritik değere bağlı olarak rölatif değerleri göstermektedir. Çizelgenin ilk satırı incelendiğinde darbe etkili TCU102-DB yakın fay yer hareketi için en kritik yatay yer değiştirme değeri, yer hareketinin 250 m/sn sonlu yayılma hızı için 47 cm olarak elde edilirken, bu değer 1000 m/sn, 2000 m/sn ve sonsuz yayılma hızları için elde edilen değerlerden sırasıyla %38, %45 ve %47 daha büyük çıktığı görülmektedir. Çizelgeden görüleceği üzere dalga yayılma etkisinin darbe etkili yakın fay yer hareketi üzerinde genellikle daha etkili olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 7.3. TCU102 yakın fay yer hareketi dikkate alınarak sonlu yayılma hızları için elde edilen köprü tepkileri

Yer Hareketi	Yakın Fay Özelliği	Köprü Kısımı	Köprü Tepki Türü	250 m/sn	1000 m/sn	2000 m/sn	Sonsuz
TCU102-DB	Darbe Etkili	Tabliye	Yatay Yer Değiştirme	47 cm	%38	%45	%47
TCU102-KG	Sığrama Etkili	Tabliye	Yatay Yer Değiştirme	50 cm	%12	%14	%14
TCU102-DB	Darbe Etkili	Kemer	Yatay Yer Değiştirme	%10	%17,5	%7,5	40 cm
TCU102-KG	Sığrama Etkili	Kemer	Yatay Yer Değiştirme	%20	%18	%6	49 cm
TCU102-DB	Darbe Etkili	Tabliye	Düşey Yer Değiştirme	105 cm	%51	%53	%54
TCU102-KG	Sığrama Etkili	Tabliye	Düşey Yer Değiştirme	106 cm	%34	%25	%25
TCU102-DB	Darbe Etkili	Kemer	Düşey Yer Değiştirme	105 cm	%53	%53	%56
TCU102-KG	Sığrama Etkili	Kemer	Düşey Yer Değiştirme	105 cm	%34	%27	%25
TCU102-DB	Darbe Etkili	Tabliye	Eksenel Kuvvet	%36	%11	%4	29129 kN
TCU102-KG	Sığrama Etkili	Tabliye	Eksenel Kuvvet	%7	%3	%3	40023 kN
TCU102-DB	Darbe Etkili	Kemer	Eksenel Kuvvet	102934 kN	%47	%56	%65
TCU102-KG	Sığrama Etkili	Kemer	Eksenel Kuvvet	82280 kN	%28	%36	%41
TCU102-DB	Darbe Etkili	Tabliye	Eğilme Momenti	%55	%4	%0,6	2323 kNm
TCU102-KG	Sığrama Etkili	Tabliye	Eğilme Momenti	%5	%0,9	%0,2	3376 kNm
TCU102-DB	Darbe Etkili	Kemer	Eğilme Momenti	16577 kNm	%60	%70	%84
TCU102-KG	Sığrama Etkili	Kemer	Eğilme Momenti	9303 kNm	%34	%44	%53
TCU102-DB	Darbe Etkili	Tabliye	Kesme Kuvveti	%35	%11	%4	746 kN
TCU102-KG	Sığrama Etkili	Tabliye	Kesme Kuvveti	%7	%2	%0,6	1039 kN
TCU102-DB	Darbe Etkili	Kemer	Kesme Kuvveti	1191 kN	%39	%57	%79
TCU102-KG	Sığrama Etkili	Kemer	Kesme Kuvveti	835 kN	%0,5	%1	%2

TCU129 ve TCU102 darbe ve sıçrama etkili yakın fay yer hareketlerinin sonlu dalga yayılma hızları için gerçekleştirilen dinamik çözümlerinden elde edilen sonuçlar genel olarak benzer bir değişim göstermiş, yer hareketinin dalga yayılma etkisinin hem darbe etkili hem de sıçrama etkili yakın fay yer hareketleri üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir.

TCU129-DB ve TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketleri dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için gerçekleştirilen asinkronize dinamik analizler sonucu elde edilen köprü tepkileri ile ilgili olarak aşağıdaki genel değerlendirmeler yapılabilir;

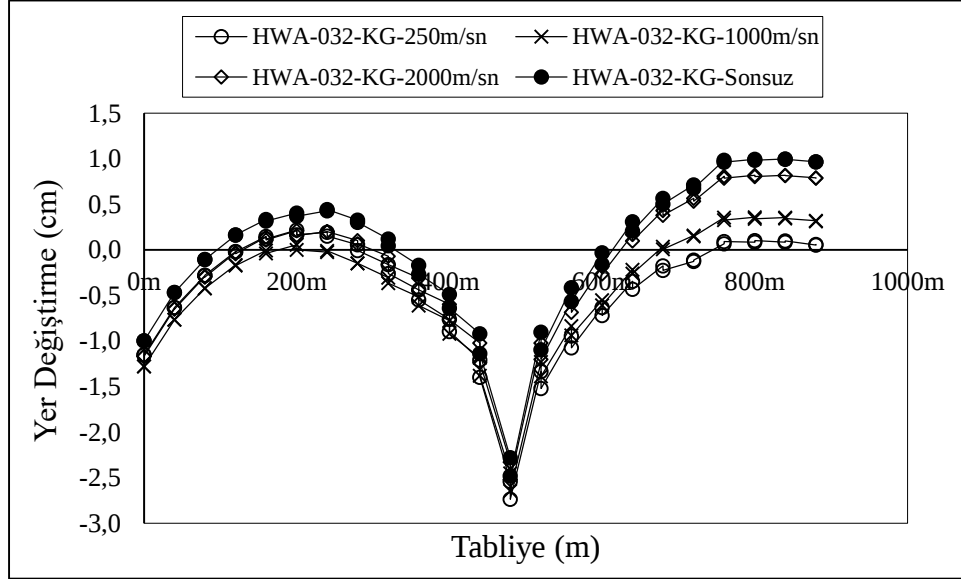
- TCU129-DB darbe etkili yakın fay yer hareketinin sonlu dalga yayılma hızları için yapılan dinamik çözümlemede tabliye ve kemerde dalga yayılma hızının yüksek değerleri için genel olarak en büyük yatay yer değiştirmeler elde edilmiştir. Yatay yer değiştirmelerin azalan hız değerleri ile birlikte genel olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında yer hareketi yayılma hızının sonsuz olması durumuna karşılık gelen üniform yer hareketi için en küçük tabliye yatay yer değiştirmelerinin elde edildiği görülmüştür. TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketinin sonlu dalga yayılma hızları için yapılan dinamik çözümlemede ise tabliye ve kemerde yatay yer değiştirmeler için düzenli bir değişim gözlenmemiş, zaman zaman yer hareketinin yayılma hızının sonsuz olması durumundaki üniform yer hareketi için en büyük yatay yer değiştirmeler elde edilirken, zaman zaman da en küçük dalga yayılma hızı olan 250 m/sn için en büyük yer değiştirmeler elde edilmiştir.
- TCU129-DB ve TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketlerinin her ikisi için de sonlu dalga yayılma hızları için yapılan dinamik çözümlemede tabliye ve kemer düşey yer değiştirmeleri için dalga yayılma hızının küçük değerleri için en büyük yer değiştirmeler elde edilmiştir. Düşey yer değiştirmeler artan hız değerleri ile birlikte azalmıştır.
- Benzer şekilde TCU129-DB ve TCU102-DB darbe etkili yakın fay yer hareketlerinin her ikisi için de sonlu dalga yayılma hızları için yapılan dinamik çözümlemede tabliyede elde edilen eleman kuvvetleri (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) farklı dalga yayılma hızları için genel olarak yakın çıkmıştır. Burada dalga yayılma etkisinin çok etkili olmadığı gözlenmiştir.
- Kemerde en büyük eleman kuvvetleri en küçük hız değeri için elde edilirken, artan hız değerleri ile birlikte eleman kuvvetlerinin (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) azaldığı gözlemlenmiştir.

TCU129-KG ve TCU102-KG sığrama etkili yakın fay yer hareketleri dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için gerçekleştirilen asinkronize dinamik analizler sonucu elde edilen köprü tepkileri ile ilgili olarak aşağıdaki genel değerlendirmeler yapılabilir;

- TCU129-KG sığrama etkili yakın fay yer hareketinin sonlu dalga yayılma hızları için yapılan dinamik çözümlemede tabliye ve kemer yatay yer değiştirmelerinin farklı yayılma hız değerleri için birbirine yakın çıktığı gözlemlenmiştir. Dalga yayılma hızının yatay yer değiştirmeler üzerindeki etkisinin göreceli olarak daha az olduğu görülmüştür. Buna karşın TCU102-KG sığrama etkili yakın fay yer hareketinin sonlu dalga yayılma hızları için yapılan dinamik çözümlemede ise kemerde dalga yayılma hızının yüksek değerleri için en büyük yatay yer değiştirmeler elde edilirken tabliyede göreceli olarak birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Yatay yer değiştirmeler azalan hız değerleri ile birlikte genelde azalmıştır.
- TCU129-KG ve TCU102-KG sığrama etkili yakın fay yer hareketlerinin her ikisi için de sonlu dalga yayılma hızları için yapılan dinamik çözümlemede tabliye ve kemer düşey yer değiştirmeleri için dalga yayılma hızının küçük değerleri için en büyük yer değiştirmeler elde edilmiştir. Düşey yer değiştirmeler artan hız değerleri ile birlikte azalmıştır.
- TCU129-KG ve TCU102-KG sığrama etkili yakın fay yer hareketlerinin her ikisi için de sonlu dalga yayılma hızları için yapılan dinamik çözümlemede tabliyede elde edilen eleman kuvvetleri (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) farklı dalga yayılma hızları için genel olarak yakın çıkmıştır. Burada genel olarak dalga yayılma hızının köprü tabliyesi eleman kuvvetleri üzerindeki etkisinin sınırlı olduğu gözlenmiştir.
- TCU129-KG ve TCU102-KG sığrama etkili yakın fay yer hareketlerinin her ikisi için de sonlu dalga yayılma hızları için yapılan dinamik çözümlemede kemerde en büyük eleman kuvvetleri en küçük hız değeri için elde edilirken, artan hız değerleri ile birlikte eleman kuvvetlerinin (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) genel olarak azaldığı gözlemlenmiştir.

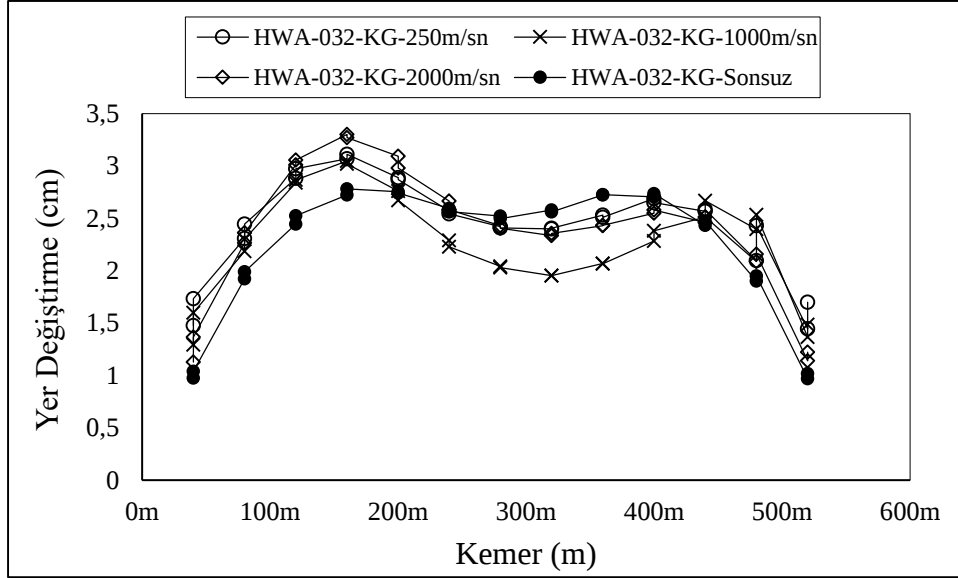
Genel olarak dalga yayılma etkisinin hem darbe etkili yakın fay yer hareketi üzerinde hem de sığrama etkili yakın fay yer hareketi üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Ancak sığrama etkili yakın fay yer hareketi için farklı yayılma hızları için elde edilen köprü tepkileri,

genel olarak darbe etkili yakın fay yer hareketi için elde edilen tepkilere göre daha yakın çıkmış olup, bu durum dalga yayılma etkisinin darbe etkili yakın fay yer hareketi üzerinde daha etkili olduğunu göstermektedir.



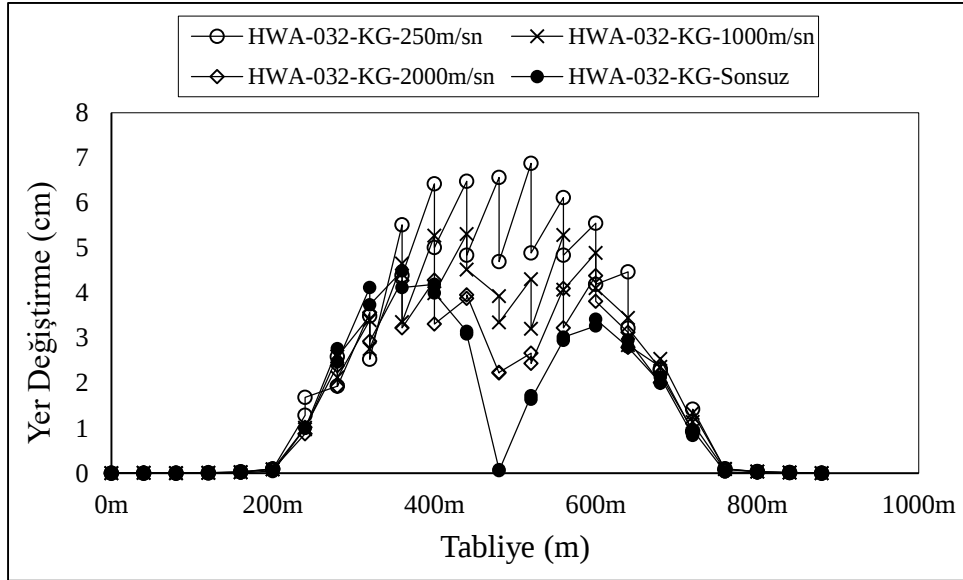
Şekil 7.90. HWA032-KG uzak fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye yatay yer değiştirmeleri

Köprü tabliyesi boyunca HWA032-KG uzak fay yer hareketinin sonlu dalga yayılma hızları için elde edilen yatay yer değiştirme değerlerinin gösterildiği Şekil 7.90.'da, genel olarak yer değiştirme değerleri birbirine yakın olmakla birlikte özellikle güney tabliye bölümünde sonsuz hız değeri için en büyük yer değiştirme elde edilirken azalan hız değerleri ile birlikte yer değiştirme değerleri de azalmıştır. Tabliye orta noktasında $V=250$ m/sn hız değeri için en büyük yer değiştirme elde edilmiş olup söz konusu yer değiştirme değeri $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve $V=\text{sonsuz}$ hız değerleri için elde edilen yer değiştirme değerlerinden sırasıyla %4, %7, %14 daha büyük çıkmıştır.



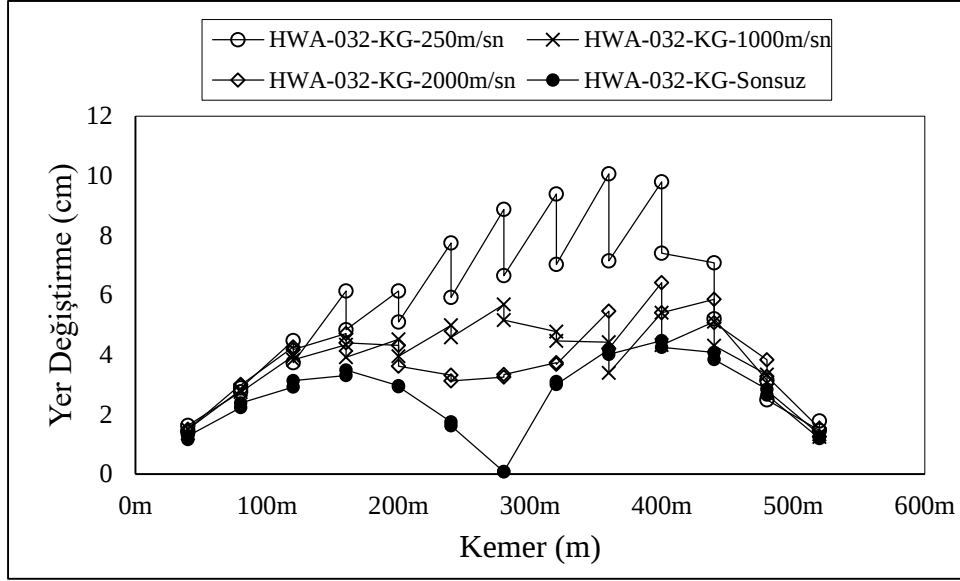
Şekil 7.91. HWA032-KG uzak fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer yatay yer değiştirmeleri

HWA032-KG uzak fay yer hareketinin dalga yayılma etkisi için gerçekleştirilen dinamik analizi sonucu elde edilen kemer yatay yer değiştirmeleri karşılaştırmalı olarak Şekil 7.91.'de gösterilmektedir. Dalga yayılma hızına bağlı değişimin çok belirgin olmadığı kemer yatay yer değiştirmelerinin genel olarak birbirine yakın çıktığı gözlemlenmiştir. Kemer ($X=160$ m) noktasında $V=2000$ m/sn hız değeri için en büyük yer değiştirme elde edilmiş olup söz konusu yer değiştirme değeri $V=250$ m/sn, $V=1000$ m/sn ve $V=\infty$ hız değerleri için elde edilen yer değiştirme değerlerinden sırasıyla %7, %10, %15 daha büyük çıkmıştır.



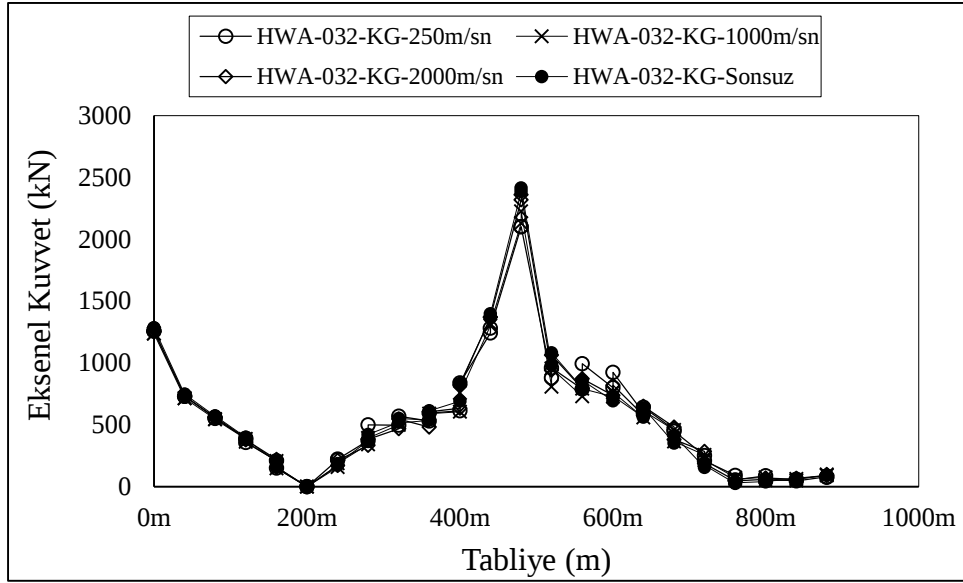
Şekil 7.92. HWA032-KG uzak fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye düşey yer değiştirmeleri

HWA032-KG uzak fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için elde edilen köprü tabliyesi düşey yer değiştirmeleri Şekil 7.92.'de görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en büyük yer değiştirmeler $V=250$ m/sn hız değeri için elde edilmiştir. $V=1000$ m/sn için elde edilen yer değiştirmeler $V=2000$ m/sn için elde edilen yer değiştirme değerlerinden büyük olup, $V=\text{sonsuz}$ hız değeri için en küçük yer değiştirmeler elde edilmiştir. En büyük yer değiştirme değerinin elde edildiği tabliye noktasında ($X=520$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen yer değiştirme, $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve sonsuz hız değerleri için elde edilen yer değiştirmelerden sırasıyla %38, %61, %76 daha büyük çıkmıştır. Bunun yanında kemer orta noktasında üniform yer hareketinin düşey yer değiştirmelere neden olmadığı, ancak yayılma hızının azalmasına bağlı olarak kemer orta noktasında yer değiştirme değerlerinin artış gösterdiği gözlemlenmiştir.



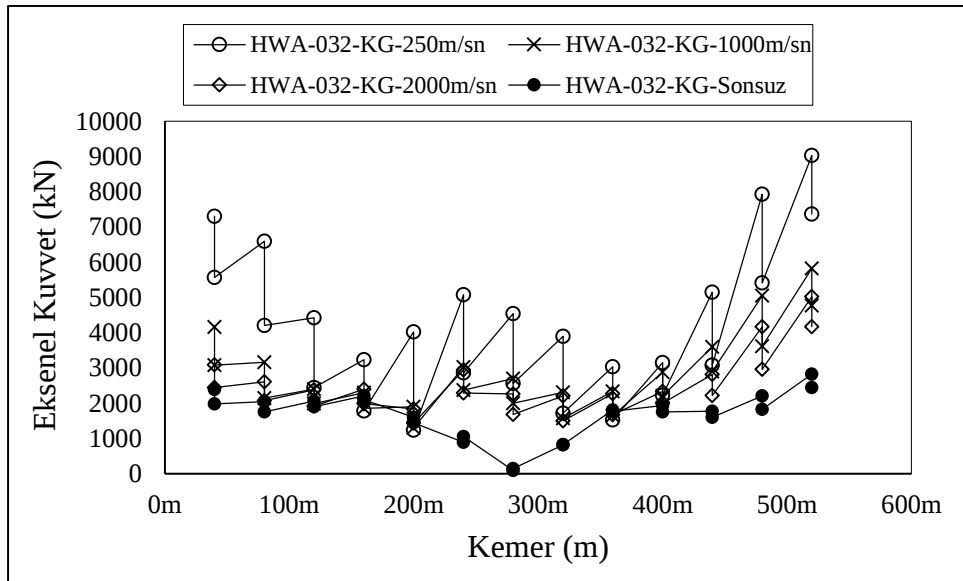
Şekil 7.93. HWA032-KG uzak fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer düşey yer değiştirmeleri

HWA032-KG uzak fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için elde edilen köprü kemeri düşey yer değiştirme değerleri Şekil 7.93.'de görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en büyük düşey yer değiştirme değerleri $V=250$ m/sn hız değeri için elde edilmiştir. $V=1000$ m/sn ve $V=2000$ m/sn için elde edilen düşey yer değiştirme değerleri birbirine yakın olup, $V=\text{sonsuz}$ hız değeri için en küçük yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. En büyük yer değiştirme değerinin elde edildiği kemer noktasında ($X=360$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen eğilme momenti değeri, $V=2000$ m/sn, $V=1000$ m/sn ve sonsuz hız değerleri için elde edilen eğilme momenti değerlerinden sırasıyla %46, %56, %58 daha büyük çıkmıştır. Ayrıca kemer orta noktasında üniform yer hareketinin yer değiştirme oluşturmadığı, ancak yayılma hızının azalmasına bağlı olarak kemer orta noktasında yer değiştirme değerlerinin artış gösterdiği gözlemlenmiştir.



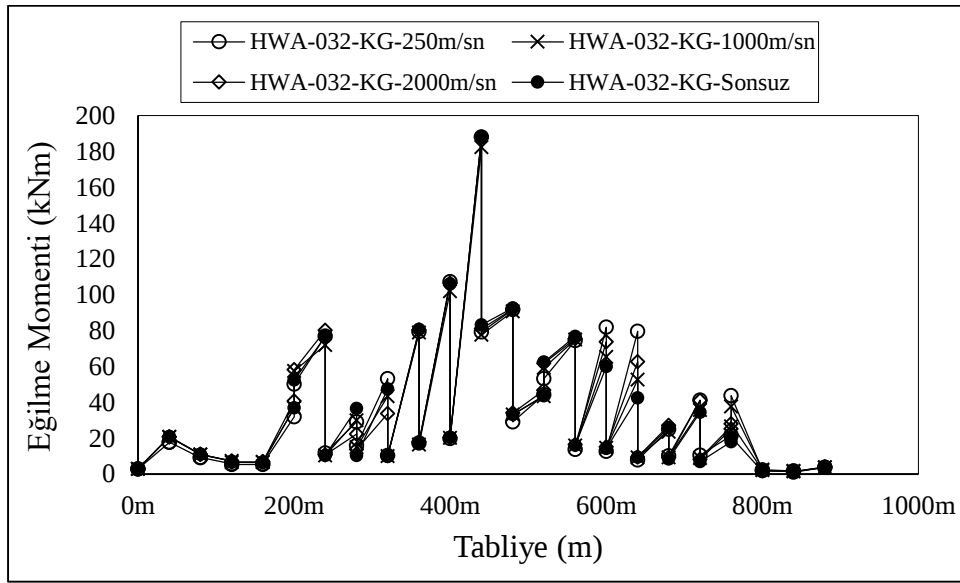
Şekil 7.94. HWA032-KG uzak fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye eksenel kuvvetleri

Köprü tabliyesi boyunca HWA032-KG uzak fay yer hareketinin sonlu dalga yayılma hızları için elde edilen eksenel kuvvet değerlerinin gösterildiği Şekil 7.94.'de, tüm hız değerleri için belirlenen eksenel kuvvetlerin birbirine çok yakın çıktığı ve dolayısıyla da sonlu dalga yayılma hızlarının tabliye eksenel kuvvetleri üzerindeki etkisinin oldukça az olduğu gözlemlenmiştir.



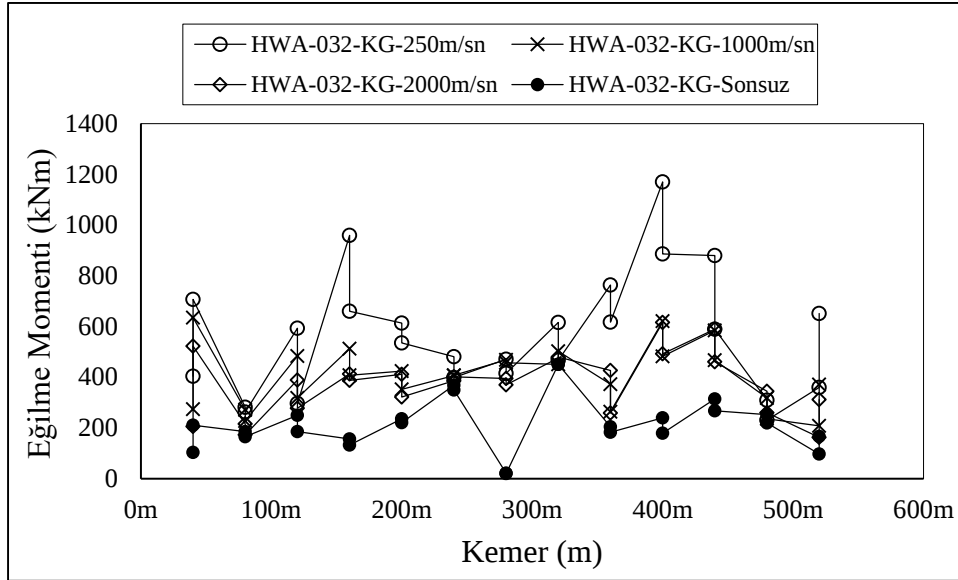
Şekil 7.95. HWA032-KG uzak fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer eksenel kuvvetleri

HWA032-KG uzak fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için elde edilen köprü kemeri aksenal kuvvetleri Şekil 7.95.'de görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en büyük aksenal kuvvet değerleri $V=250$ m/sn hız değeri için elde edilmiştir. $V=1000$ m/sn ve $V=2000$ m/sn için elde edilen aksenal kuvvet değerleri birbirine yakın olup, $V=\infty$ hız değeri için en küçük aksenal kuvvet değerleri elde edilmiştir. En büyük aksenal kuvvet değerinin elde edildiği kemer noktasında ($X=520$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen aksenal kuvvet değeri, $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve sonsuz hız değerleri için elde edilen aksenal kuvvet değerlerinden sırasıyla %35, %44, %69 daha büyük çıkmıştır.



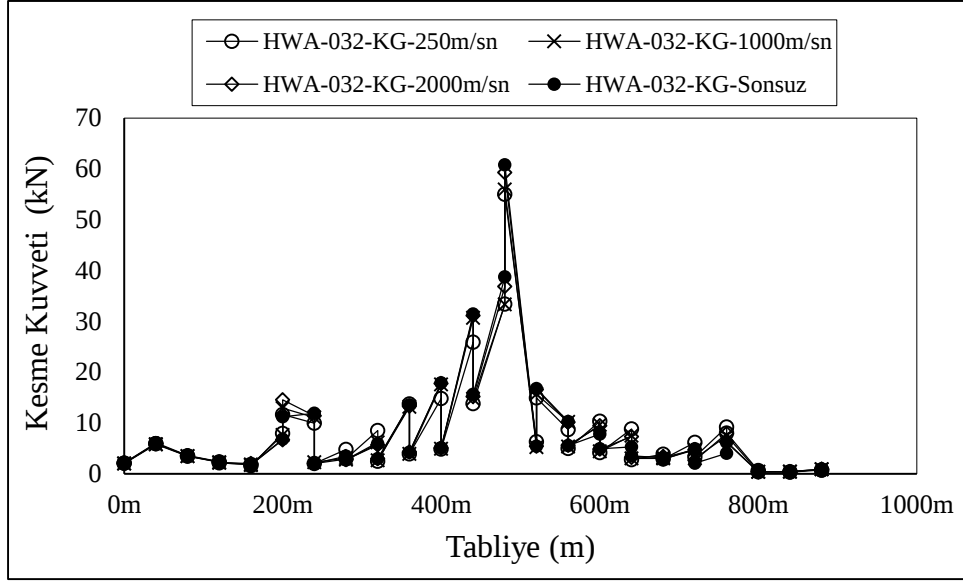
Şekil 7.96. HWA032-KG uzak fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye eğilme momentleri

Köprü tabliyesi boyunca HWA032-KG uzak fay yer hareketinin sonlu dalga yayılma hızları için elde edilen eğilme momenti değerlerinin gösterildiği Şekil 7.96.'da, tüm hız değerleri için belirlenen eğilme momentlerinin birbirine çok yakın çıktığı ve dolayısıyla da sonlu dalga yayılma hızlarının tabliye eğilme momentleri üzerindeki etkisinin oldukça az olduğu gözlemlenmiştir.



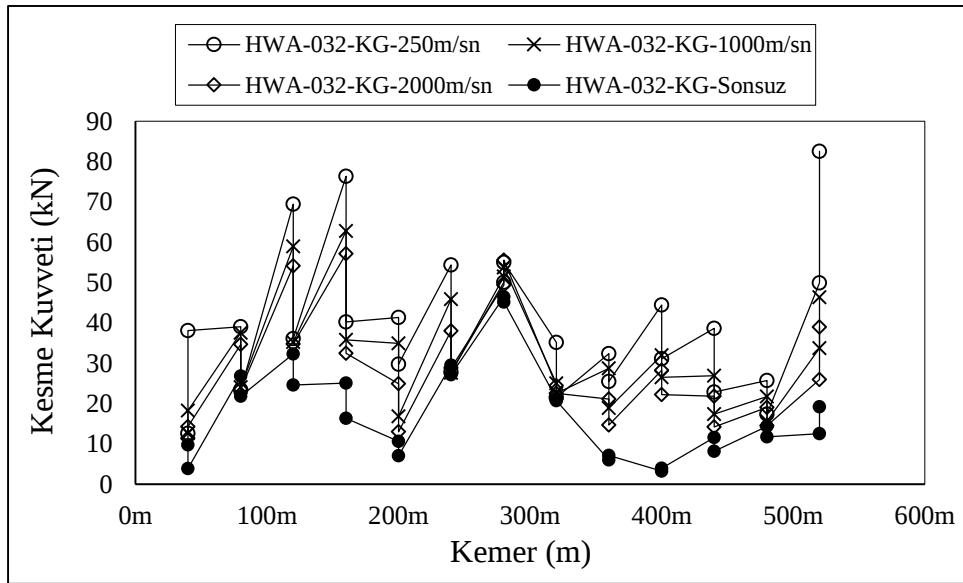
Şekil 7.97. HWA032-KG uzak fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer eğilme momentleri

HWA032-KG uzak fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için elde edilen köprü kemeri eğilme momenti değerleri Şekil 7.97.'de görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en büyük eğilme momenti değerleri $V=250$ m/sn hız değeri için elde edilmiştir. $V=1000$ m/sn ve $V=2000$ m/sn için elde edilen eğilme momenti değerleri birbirine yakın olup, $V=\text{sonsuz}$ hız değeri için en küçük eğilme momenti değerleri elde edilmiştir. En büyük eğilme momenti değerinin elde edildiği kemer noktasında ($X=400$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen eğilme momenti değeri, $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve sonsuz hız değerleri için elde edilen eğilme momenti değerlerinden sırasıyla %47, %49, %79 daha büyük çıkmıştır.



Şekil 7.98. HWA032-KG uzak fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen tabliye kesme kuvvetleri

Köprü tabliyesi boyunca HWA032-KG uzak fay yer hareketinin sonlu dalga yayılma hızları için elde edilen kesme kuvveti değerlerinin gösterildiği Şekil 7.98.'de, tüm hız değerleri için belirlenen kesme kuvveti değerlerinin birbirine çok yakın çıktığı ve dolayısıyla da sonlu dalga yayılma hızlarının tabliye kesme kuvvetleri üzerindeki etkisinin oldukça az olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 7.99. HWA032-KG uzak fay yer hareketi esas alınarak gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz ile belirlenen kemer kesme kuvvetleri

HWA032-KG uzak fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için elde edilen köprü kemeri kesme kuvveti değerleri Şekil 7.99.'da görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere en büyük kesme kuvveti değerleri $V=250$ m/sn hız değeri için elde edilmiştir. $V=1000$ m/sn ve $V=2000$ m/sn için elde edilen kesme kuvveti değerleri birbirine yakın olup, $V=\infty$ hız değeri için en küçük kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. En büyük kesme kuvveti değerinin elde edildiği kemer noktasında ($X=520$ m) $V=250$ m/sn için elde edilen kesme kuvveti değeri, $V=1000$ m/sn, $V=2000$ m/sn ve sonsuz hız değerleri için elde edilen kesme kuvveti değerlerinden sırasıyla %44, %52, %77 daha büyük çıkmıştır.

HWA032-KG uzak fay yer hareketi dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için gerçekleştirilen asinkronize dinamik analiz sonucu elde edilen köprü tepkileri ile ilgili olarak aşağıdaki genel değerlendirmeler yapılabilir;

- Tabliyede ve kederde elde edilen yatay yer değıştirme değeri genel olarak birbirine yakın çıkmış olup, yer hareketinin sonlu yayılma hızına bağı olarak elde edilen değışimin çok belirgin olmadığı anlaşılmıştır.
- Tabliye ve kemer düşey yer değıştirmeleri için dalga yayılma hızının küçük değeri için en büyük yer değıştirmeler elde edilmiştir. Düşey yer değıştirmeler artan hız değeri ile birlikte azalmıştır.
- Tabliyede elde edilen eleman kuvvetleri (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) farklı dalga yayılma hızları için oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Dalga yayılma etkisinin sıçrama etkili yakın fay yer hareketi üzerinde sınırlı bir etkisinin olduğu gözlemlenmiştir.
- Kederde en büyük eleman kuvvetleri en küçük hız değeri için elde edilirken, artan hız değeri ile birlikte eleman kuvvetlerinin (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) genel olarak azaldığı gözlemlenmiştir.

HWA032-KG uzak fay yer hareketi dikkate alınarak farklı sonlu yayılma hızları için elde edilen çelik kemer köprü tepkileri özet olarak Çizelge 7.4.'de sunulmuştur. Burada birimi ile birlikte sayısal değeri şeklinde ifade edilen veriler söz konusu tepki türü içinde en kritik değeri gösterirken, yüzdesel veriler ise belirtilen en kritik değere bağı olarak rölatif değeri göstermektedir. Çizelgenin ilk satırı incelendiğinde darbe etkili HWA032-KG uzak fay yer hareketi için en kritik yatay yer değıştirme değeri, yer hareketinin 250 m/sn sonlu yayılma hızı için 3 cm olarak elde edilirken, bu değeri 1000 m/sn, 2000 m/sn ve

sonsuz yayılma hızları için elde edilen değerlerden sırasıyla %4, %7 ve %14 daha büyük çıktığı görülmektedir.

Çizelge 7.4. HWA032-KG uzak fay yer hareketi dikkate alınarak sonlu yayılma hızları için elde edilen köprü tepkileri

Yer Hareketi	Fay Özelliği	Köprü Kısım	Köprü Tepki Türü	250 m/sn	1000 m/sn	2000 m/sn	Sonsuz
HWA032-KG	Uzak Fay	Tabliye	Yatay Yer Değiştirme	3 cm	%4	%7	%14
HWA032-KG	Uzak Fay	Kemer	Yatay Yer Değiştirme	%7	%10	3 cm	%15
HWA032-KG	Uzak Fay	Tabliye	Düsey Yer Değiştirme	7 cm	%38	%61	%76
HWA032-KG	Uzak Fay	Kemer	Düsey Yer Değiştirme	10 cm	%46	%56	%58
HWA032-KG	Uzak Fay	Tabliye	Eksenel Kuvvet	%13	%8	%4	2413 kN
HWA032-KG	Uzak Fay	Kemer	Eksenel Kuvvet	9023 kN	%35	%44	%69
HWA032-KG	Uzak Fay	Tabliye	Eğilme Momenti	%1	%3	%0,1	188 kNm
HWA032-KG	Uzak Fay	Kemer	Eğilme Momenti	1170 kNm	%47	%49	%79
HWA032-KG	Uzak Fay	Tabliye	Kesme Kuvveti	%9	%8	%3	61 kN
HWA032-KG	Uzak Fay	Kemer	Kesme Kuvveti	83 kN	%44	%52	%77

TCU129-DB ve TCU102-DB darbe etkili yakın fay, TCU129-KG ve TCU102-KG sıçrama etkili yakın fay ve HWA032-KG uzak fay yer hareketleri dikkate alınarak farklı dalga yayılma hızları için gerçekleştirilen asinkronize dinamik analizler sonucu elde edilen köprü tepkileri ile ilgili olarak aşağıdaki genel değerlendirmeler yapılabilir;

- Darbe etkili yakın fay yer hareketinin sonlu yayılma hızları için yapılan dinamik çözümlemelerde tabliye ve kemerde yatay yer değiştirmeler için düzenli bir değişim görülememekle beraber dalga yayılma hızının yüksek değerleri için genel olarak en büyük yatay yer değiştirmeler elde edilirken, sıçrama etkili yakın fay yer hareketinin farklı sonlu yayılma hızları için yapılan çözümlemelerde genel olarak tabliye ve kemer yatay yer değiştirmelerinin farklı yayılma hız değerleri için birbirine yakın çıktığı gözlemlenmiştir. HWA032-KG uzak fay yer hareketinin farklı sonlu yayılma hızları için yapılan çözümlemelerde ise tabliyede ve kemerde elde edilen yatay yer değiştirme değerleri genel olarak birbirine yakın çıkmış olup, yer hareketinin sonlu yayılma hızına bağlı olarak elde edilen değişimin çok belirgin olmadığı anlaşılmıştır. Farklı yayılma hızları için yapılan dinamik çözümlemelerde hız değişiminin tabliyede ve kemerde

darbe etkili yer hareketi için elde edilen değerlerde, sıçrama etkili yer hareketi için elde edilen değerlerden daha fazla artışa neden olduğu gözlemlenmiştir.

- Darbe etkili yakın fay, sıçrama etkili yakın fay ve uzak fay yer hareketlerinin farklı sonlu yayılma hızları için yapılan dinamik çözümlemelerde tabliye ve kemer düşey yer değiştirmelerinde dalga yayılma hızının küçük değerleri için en büyük yer değiştirmeler elde edilmiştir. Düşey yer değiştirmeler artan hız değerleri ile birlikte azalmıştır. Elde edilen değerler incelendiğinde en kırıtk düşey yer değiştirme değerinin en küçük sonlu yayılma hızı olan $V=250$ m/sn hız değeri için elde edildiği gözlemlenmiştir.
- Darbe etkili yakın fay, sıçrama etkili yakın fay ve uzak fay yer hareketleri için farklı sonlu yayılma hızları dikkate alınarak yapılan dinamik çözümlemelerde tabliyede elde edilen eleman kuvvetleri (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) farklı dalga yayılma hızları için oldukça yakın sonuçlar vermiştir.
- Darbe etkili yakın fay, sıçrama etkili yakın fay ve uzak fay yer hareketlerinin farklı sonlu yayılma hızları için yapılan dinamik çözümlemelerde ise kemerde en büyük eleman kuvvetleri en küçük hız değeri için elde edilirken, artan hız değerleri ile birlikte eleman kuvvetlerinin (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) genel olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Farklı yayılma hızları için yapılan dinamik çözümlemelerde tabliyede en kritik eleman kuvvetlerinin (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) genel olarak sonsuz hız değeri için elde edildiği görülürken, kemer de ise en küçük hız değeri olan $V=250$ m/sn hız değeri için en büyük eleman kuvvetlerinin (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) elde edildiği gözlemlenmiştir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında uzun açıklıklı çelik kemer köprülerin sismik davranışlarını daha iyi araştırmak amacıyla, ilk olarak yakın fay yer hareketi özelliklerinden darbe ve sıçrama etkilerini içeren üretilmiş yapay yer hareketleri için gerçekleştirilen dinamik analizler ile gerçek yakın fay deprem kayıtları için gerçekleştirilen dinamik analizlere karşılaştırmalı olarak yer verilmiştir. Daha sonra darbe etkili ve sıçrama etkili yakın fay ile uzak fay yer hareketleri için elde edilen köprü sismik tepkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Son olarak da yakın ve uzak fay yer hareketleri için sonlu hızlarla yayılan yer hareketleri için dinamik analizler yapılmıştır. Yakın fay yer hareketleri olarak 1999 Chi-Chi depremi kayıtları Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)'dan ve işlenmemiş ham kayıtlar şeklinde Prof. M. Dave Boore'dan temin edilmiştir. Dinamik analizlerin tamamı, sıçrama etkisinin incelenebilmesi ve sıçrama etkisi için elde edilen değerlerin darbe etkisi için elde edilen değerlerle daha anlaşılır bir şekilde karşılaştırılabilmesi amacıyla köprü eksenine doğrultusunda zaman tanım alanında yer değiştirme-zaman cinsinden yapılmıştır. Söz konusu dinamik analizler darbe ve sıçrama etkileri içeren yakın fay, darbe etkisi içermeyen yakın fay ve uzak fay yer hareketleri için gerçekleştirilmiştir.

Yapay yer hareketleri Makris ve Chang'ın önerdiği trigonometrik denklemler yardımıyla 1999 Chi-Chi depremi TCU129 yakın fay ve HWA032 uzak fay verileri kullanılarak iki farklı şekilde üretilmiştir. Söz konusu yapay yer hareketleri, üretilme yöntemlerine göre isimlendirilerek “Yöntem-2” ve “Yöntem-3” şeklinde gruplandırılmıştır. “Yöntem-2” ve “Yöntem-3” olarak gruplandırılan yer hareketleri için elde edilen sonuçlar, “Yöntem-1” olarak tanımlanan gerçek deprem kayıtları için elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Yukarıda bahsedilen yakın ve uzak fay yer hareketleri için yapılan dinamik analizler, 1999 Chi-Chi depremine ait TCU129 darbe ve sıçrama etkili yakın fay, TCU102 darbe ve sıçrama etkili yakın fay, TCU089 sıçrama etkili yakın fay ve HWA032 uzak fay yer hareketi kayıtları kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sonuçları karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

Bunun yanında TCU129 sıçrama ve darbe etkili yakın fay, TCU102 sıçrama ve darbe etkili yakın fay ve HWA032 uzak fay yer hareketleri için sonlu hızla yayılan yer hareketi etkisi

için dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Burada depremin sonlu yayılma hızları 250 m/sn, 1000 m/sn, 2000 m/sn ve sonsuz hızla yayılan yer hareketleri şeklinde ele alınmış, söz konusu hız değerleri için elde edilen çelik kemer köprü sismik tepkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Burada ifade edilen tüm dinamik analizler zaman tanım alanında yer değiştirme-zaman cinsinden köprü eksenini doğrultusunda ve yer hareketlerinin yatay doğrultulardaki bileşenleri için ayrı ayrı yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında yapılan dinamik analizlere ait sonuçlar, köprü tabliyesi ve kemeri boyunca sırasıyla yatay yer değiştirmeler, düşey yer değiştirmeler, eksenel kuvvetler, eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri şeklinde gösterilmiştir.

1999 Chi-Chi depremi TCU129 yakın fay ve HWA032 uzak fay yer hareketi kaydı verileriyle üretilen yapay yer hareketleri için elde edilen sonuçların, TCU129 gerçek deprem kaydı için elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığı analizlerde, New River Gorge Köprüsü “Yöntem-1”, “Yöntem-2” ve “Yöntem-3” olarak tanımlanan yakın fay yer hareketleri için üniform yer hareketi etkisinde klasik dinamik analiz şeklinde çözümlenmiştir. Chi-Chi depreminin darbe etkili doğu-batı doğrultusundaki bileşeni için TCU129-DB yakın fay kaydı kullanılarak üretilen ve yakın fay özellikleri gösteren yer hareketleri (Yöntem-2) kullanılarak tabliye ve kemerde elde edilen yer değiştirmeler, genel olarak HWA032-DB uzak fay kaydı kullanılarak elde edilen yer hareketleri (Yöntem-3) ile TCU129-DB yakın fay yer hareketi için elde edilen yer değiştirmelerden daha büyük çıkmıştır. TCU129-DB yakın fay yer hareketi kaydı için belirlenen yer değiştirmeler genel olarak en küçük çıkmıştır. Gerek tabliye gerekse de kemerde dikkate alınan üç yöntem kullanılarak elde edilen eleman kuvvetlerindeki değişim çok belirgin olmayıp genel olarak eksenel kuvvet, eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Chi-Chi depreminin sıçrama etkili kuzey-güney doğrultusundaki bileşeni için HWA032-KG uzak fay kaydı kullanılarak elde edilen yakın fay yer hareketleri (Yöntem-3) için elde edilen tabliye ve kemer yer değiştirmeleri, genel olarak TCU129-KG yakın fay yer hareketi kullanılarak üretilen yakın fay yer hareketleri (Yöntem-2) ile TCU129-KG yakın fay yer hareketi (Yöntem-1) için elde edilen yer değiştirmelerden daha büyük çıkmıştır. Yöntem-1 ve Yöntem-2 için elde edilen yer değiştirmeler genel olarak birbirine yakın çıkarken, zaman zaman Yöntem-1 için bulunan yer değiştirmelerin zaman zaman da Yöntem-2 için bulunan yer değiştirmelerin daha büyük çıktığı görülmüştür. Tabliye ve

kemerde Yöntem-1 için elde edilen eleman kuvvetlerinin (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) Yöntem-2 ve Yöntem-3 için elde edilen eleman kuvvetlerinden, Yöntem-3 için elde edilen eleman kuvvetlerinin de Yöntem-2 için elde edilen eleman kuvvetlerinden daha büyük çıktığı gözlenmekle birlikte, elde edilen sonuçların genel olarak yakın olduğu anlaşılmıştır.

“Yöntem-1” olarak tanımlanan darbe ve sığrama etkili yakın fay TCU102, TCU129, sığrama etkili darbesiz TCU089 ve uzak fay HWA032 gerçek deprem kayıtları için gerçekleştirilen üniform yer hareketi etkisinde klasik dinamik analizlerinde yakın ve uzak fay etkileri ve yakın fay özelliklerinden darbe ve sığrama etkileri için elde edilen çelik kemer köprü sismik tepkileri karşılaştırılmıştır. TCU129 yakın fay yer hareketinin, darbesiz sığrama etkili TCU089 yakın fay ve HWA032-KG uzak fay yer hareketleri ile karşılaştırıldığı çözümlemede, tabliye ve kemerde en büyük yer değiştirmelere genel olarak TCU129 yakın fay yer hareketinin darbe etkili bileşeni neden olurken, zaman zaman TCU129 yakın fay yer hareketinin sığrama etkili bileşeni de en büyük yer değiştirmelere neden olmuştur. Tabliye ve kemerde oluşan en büyük eleman kuvvetleri (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) sığrama etkili TCU129 için elde edilmiştir. İç kuvvetler (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) için en kritik değerler sığrama etkili TCU129 bileşeni için elde edilirken, yer değiştirmeler için en kritik değerler darbe etkili TCU129 bileşeni elde edilmiştir. Yakın fay yer hareketi bileşenleri için elde edilen tepkiler uzak fay yer hareketi için elde edilen tepkilerden belirgin şekilde daha büyük çıkmıştır. TCU089 kaydının sığrama etkili bileşeni için elde edilen sismik tepkiler, aynı kaydın darbesiz bileşeni için elde edilen tepkilerden daha büyük çıkmıştır. TCU102 yakın fay yer hareketinin, darbesiz sığrama etkili TCU089 yakın fay ve HWA032-KG uzak fay yer hareketleri ile karşılaştırıldığı çözümlemede, tabliye ve kemerde en büyük yer değiştirmelere genel olarak sığrama etkili TCU102 bileşeni neden olmuştur. Tabliye ve kemerde oluşan en büyük eleman kuvvetleri (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) genel olarak sığrama etkili TCU102 için elde edilirken zaman zaman da darbe etkili bileşen için elde edilen eleman kuvvetlerinin daha kritik olduğu gözlemlenmiştir. Yakın fay yer hareketi bileşenleri için elde edilen tepkiler uzak fay yer hareketi için elde edilen tepkilerden belirgin şekilde daha büyük çıkmıştır. TCU089 kaydı sığrama etkili bileşeni için elde edilen yer değiştirmeler aynı kaydın darbesiz bileşeni için elde edilen yer değiştirmelere yakın çıkarken, eleman kuvvetleri için sığrama etkili bileşen için elde edilen tepkiler daha büyük çıkmıştır.

Bu tez çalışmasında yer hareketinin değişerek yayılma özelliğini tanımlayan etkenlerden biri olan dalga yayılma etkisi de incelenmiş olup çeşitli sonlu yayılma hız değerleri için yakın ve uzak fay yer hareketlerinin çelik kemer köprü üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Darbe etkili yakın fay yer hareketinin sonlu yayılma hızları için yapılan dinamik çözümlemede tabliye ve kemerde yatay yer değiştirmeler için düzenli bir değişim görülememekle beraber dalga yayılma hızının yüksek değerleri için genel olarak en büyük yatay yer değiştirmeler elde edilirken, sıçrama etkili yakın fay yer hareketinin farklı sonlu yayılma hızları için yapılan çözümlemede genel olarak tabliye ve kemer yatay yer değiştirmelerinin farklı yayılma hız değerleri için birbirine yakın çıktığı gözlemlenmiştir. HWA032-KG uzak fay yer hareketinin farklı sonlu yayılma hızları için yapılan çözümlemede ise tabliyede ve kemerde elde edilen yatay yer değiştirme değerleri genel olarak birbirine yakın çıkmış olup, yer hareketinin sonlu yayılma hızına bağlı olarak elde edilen değişimin çok belirgin olmadığı anlaşılmıştır. Darbe etkili yakın fay, sıçrama etkili yakın fay ve uzak fay yer hareketlerinin farklı sonlu yayılma hızları için yapılan dinamik çözümlemelerde tabliye ve kemer düşey yer değiştirmelerinde dalga yayılma hızının küçük değerleri için en büyük yer değiştirmeler elde edilmiştir. Düşey yer değiştirmeler artan hız değerleri ile birlikte azalmıştır. Elde edilen değerler incelendiğinde en kırıktır düşey yer değiştirme değerinin en küçük sonlu yayılma hızı olan $V=250$ m/sn hız değeri için elde edildiği gözlemlenmiştir. Darbe etkili yakın fay, sıçrama etkili yakın fay ve uzak fay yer hareketleri için farklı sonlu yayılma hızları dikkate alınarak yapılan dinamik çözümlemelerde tabliyede elde edilen eleman kuvvetleri (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) farklı dalga yayılma hızları için oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Darbe etkili yakın fay, sıçrama etkili yakın fay ve uzak fay yer hareketlerinin farklı sonlu yayılma hızları için yapılan dinamik çözümlemede ise kemerde en büyük eleman kuvvetleri en küçük hız değeri için elde edilirken, artan hız değerleri ile birlikte eleman kuvvetlerinin (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) genel olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Farklı yayılma hızları için yapılan dinamik çözümlemelerde tabliyede en kritik eleman kuvvetlerinin (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) genel olarak sonsuz hız değeri için elde edildiği görülürken, kemer de ise en küçük hız değeri olan $V=250$ m/sn hız değeri için en büyük eleman kuvvetlerinin (eksenel kuvvet, eğilme momenti, kesme kuvveti) elde edildiği gözlemlenmiştir. Farklı yayılma hızları için yapılan dinamik çözümlemede hız değişiminin tabliyede ve kemerde darbe etkili yer hareketi için elde edilen değerlerde, sıçrama etkili yer hareketi için elde edilen değerlerden daha fazla artışa neden olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak dalga yayılma etkisinin hem darbe etkili yakın

fay yer hareketi üzerinde hem de sıçrama etkili yakın fay yer hareketi üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Ancak sıçrama etkili yakın fay yer hareketi için farklı yayılma hızları için elde edilen köprü tepkileri, genel olarak darbe etkili yakın fay yer hareketi için elde edilen tepkilere göre daha yakın çıkmış olup, bu durum dalga yayılma etkisinin darbe etkili yakın fay yer hareketi üzerinde daha etkili olduğunu göstermektedir.

Bu tez çalışması sonucunda yakın fay yer hareketlerinin karakteristik özelliklerinden büyük genlikli uzun periyotlu darbe ve deprem esnasında yakın fay bölgelerinde statik yer değiştirmelere neden olan sıçrama etkilerinin uzun açıklıklı çelik kemer bir köprüde oldukça yıkıcı etkiler meydana getirebileceği gözlemlenmiştir. Bu nedenle uzun açıklıklı çelik kemer köprülerin tasarımında yakın fay etkilerinin dikkate alınması gerekmektedir. Yakın fay kayıtlarının bulunmadığı durumlarda bu tez çalışması kapsamında incelenen yöntemler yardımıyla yapay yer hareketleri üretilebilmektedir. Böylece gerçek deprem kayıtları ile benzer sonuçlar veren yapay yakın fay yer hareketleri ile sismik tasarım yapmak mümkün olabilmektedir. Yer hareketinin değişerek yayılmasını temsil eden özelliklerden dalga yayılma etkisinin yakın fay etkileri ile birlikte incelendiği çalışma sayısı oldukça azdır. Ancak bu tez çalışmasında söz konusu iki etki birlikte ele alınmış ve buna bağlı olarak da uzun açıklıklı çelik kemer köprü sistemi üzerinde oldukça önemli sismik talepler meydana getirdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen değerlerin konuyla ilgili yapılan analizlerin sayısı ile orantılı olarak değerlendirilmesi gerektiği ve söz konusu analizlerin daha fazla sayıda yapılması durumunda sonuçların daha gerçekçi yorumlara zemin oluşturacağı unutulmamalıdır. Burada ifade edilen nedenlerden dolayı deprem esnasında yer hareketinde meydana gelen değişim ve yakın fay etkileri, uzun açıklıklı çelik kemer bir köprü tasarımının dinamik analizlerinde göz önünde bulundurulması gereken unsurlardandır. Köprü tasarımlarında yer alan mühendislerin söz konusu etkileri dikkate almaları oldukça önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Adanur, S., Altunışık, 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 System 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), 1014-1024.
- Alavi, B., and Kranwinkel, 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, 1-229.
- Bai, F. L., Hao, H., and Li, H. N. (2010). Seismic response of a steel trussed arch structure to spatially varying earthquake ground motions including site effects. *Advances in Structural Engineering*, 13(6), 1089-1103.
- Bayraktar, A. (1995). *Asinkronize yer hareketi etkisindeki baraj-rezervuar-temel sistemlerinin dinamik davranışı*. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bayraktar, A., Altunışık, A. C., Sevim, B., Kartal, M. E., and Türker, T. (2008). Near-fault ground motion effects on nonlinear response of dam-reservoir-foundation systems. *Structural Engineering and Mechanics*, 28(4), 411-442.
- Bayraktar, A., Altunışık, A. C., Sevim, B., Kartal, M. E., Türker, T. and Bilici, Y. (2009). Comparison of near-fault and far-fault ground motion effect on the nonlinear response of dam-reservoir-foundation systems. *Nonlinear Dynamics*, 54(8), 655-673.
- Boore, D. M., Christopher, D. S., and Willam, B. J. (2002). Comments on baseline correction of digital strong-motion data: examples from the 1999 Hector Mine,

- California Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(2), 1543-1560.
- Boore, M. (2001). Effect of baseline correction on displacements and response spectra for several recordings of the 1999 Chi-Chi, Taiwan, Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 91(5), 1199-1211.
- Bray, J., 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., Saiidi, M. S. (2011). Investigation of effect of near-fault motions on substandard bridge structure. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 10(1), 1-11.
- Choi, I. K., Choun, Y. S., and Seo, J. M. (2003). *Scenario earthquake for korean nuclear power plant site considering active faults*. Transition of the 17th International Conference on Structure Mechanisms in Reactor Technology, Prague.
- Chopra, A. K., and Chintanapakdee, C. (2001). Comparing response of SDF systems to near-fault and far-fault earthquake motions in the context of spectral regions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30, 1769-1789.
- Clough, R. W., and Penzien, J. (1975). *Dynamics of structures*. Singapore: McGraw-Hill Book Company.
- Cox, E., and Ashford, S. A. (2002). Characterization of large velocity pulses for laboratory testing; PEER 2002/22, Berkeley, 1-60.
- Dessau, R. A. (1985). *Unequal Seismic Support Motions of Steel Deck Arch Bridges*, Doctor of Philosophy, Michigan State University Department of Civil and Environmental Engineering, East Lansing.
- Dicleli M., and Budarram, S. (2007). Equivalent linear analysis of seismic-isolated bridges subjected to near-fault ground motions with forward 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.
- Dumanoglu, 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.
- Erdik, M., Durukal, E., ve Siyahi, B. (2003). *Depreme dayanıklı yapı tasarımında deprem yer hareketinin belirlenmesi*. Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.
- 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, 1-87.

- Hall, J. F., Heaton, T. H., Halling, M. W., and Wald, D. J. (1995). Near-source ground motion and its effect on flexible buildings, *Earthquake Spectra*, 11(4), 569-605.
- Hariri, M. A., and Mirzabozorg, H. (2012). Effects of near-fault ground motions in seismic performance evaluation of a symmetric arch dam. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 49(5), 192-199.
- 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 isloator. *Engineering Structural*, 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: Darragh, B., Silva, W., and Gregor, N. Strong Motion Record for the PEER Center. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.cosmos-eq.org%2Fprojects%2Fdarragh_silva_gregor_paper.pdf&date=2018-07-11, Son Erişim Tarihi: 11.07.2018.
- İnternet: Demirtaş, R., Erkmén, C. Tektonik Araştırma Grubu. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ftag.eng.ankara.edu.tr%2Fdeprem.htm&date=2018-07-11>, Son Erişim Tarihi: 11.07.2018.
- İnternet: Knudsen, C. V., Cain, J. F. The Design and Construction of the New River Gorge Bridge. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fonlinepubs.trb.org%2FOnlinepubs%2Ftr%2F1978%2F665v2%2F665v2-017.pdf&date=2018-07-11>, Son Erişim Tarihi: 11.07.2018.
- İnternet: OriginLab Corporation. *OriginPro2017G*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.originlab.com%2F&date=2018-12-14>, Son Erişim Tarihi: 12.06.2018.
- İnternet: Sakowski, E. and Mueller, N. (2010). New River Gorge Bridge Fayetteville, West Virginia, United States 876 feet high / 267 meters high 1,700 foot span / 518 meter span 1977. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.highestbridges.com%2Fwiki%2Findex.php%3Ftitle%3DNew_River_Gorge_Bridge&date=2018-07-11, Son Erişim Tarihi: 11.07.2018.
- İnternet: Computers and Structures. *SAP2000v14.1*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.csiamerica.com%2Fsupport%2Fdownloads&date=2018-12-14>, Son Erişim Tarihi: 12.06.2018
- Jacobsen, L. S., and Ayre, R. S. (1958). *Engineering vibrations*. New York: McGraw-Hill Book Company.

- 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., and Ou, J. P., (2008). *Seismic analysis of long-span cable-stayed bridges subjected to near-fault pulse-type ground motions*. The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing.
- Jónsson, 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 implication of recent earthquakes In Turkey*. Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, New York, 1-6.
- Kalkan, E., Kunnath, K. S. (2006). Effects of fling step and forward directivity on seismic response of buildings. *Earthquake Spectra*, 22(2), 367-390.
- Karaca, H., Soyluk, K. (2017). *Yakın fay ve uzak fay yer hareketlerinin eğik kablo askılı köprüler üzerindeki etkileri*. 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir, Türkiye.
- Kreyszig, E. (1988). *Advanced engineering mathematics* (Sixth Edition). New York: John Wiley and Sons.
- Liao, W. I., Loh, C. H., Wan, S., Jean, W. Y., and Chai, J. F. (2000). Dynamics responses of bridges subjected to near-fault ground motions. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 23(4), 455-464.
- Ling-Kun, C., Li-Zhong, J., Wei, G., Wen-Shou, L., 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.
- Liu, Z., and Zhang, Z. (2016). Fragility analysis of concrete-filled steel tube arch bridge subjected to near-fault ground motion considering the wave passage effect. *Smart Structure Systems*, 19(4), 415-429.
- 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, 1-239.
- Makris, N., and Black, C. J. (2004). Dimensional analysis of rigid-plastic and elastoplastic structures under pulse-type excitations. *Journal of Engineering Mechanics*, 130(9), 1006-1018.
- Makris, N., and Black, J. C. (2004). Evaluation of peak ground velocity as a “Good” intensity measure for near-source ground motions. *Journal of Engineering Mechanics*, 130(9), 1032-1044.

- Makris, N., and Chang, S. P. (1998). Effects 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. J. (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.
- Mollaioli, F., Bruno, S., Decanini, L. D., and Panza, G. F. (2005). Characterization of the Dynamic Response of Structures to damaging pulse-type near-fault ground motions. *Meccanica*, 41, 23-46.
- 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 the 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-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. Princeton University. Dept. of Civil and Geological Engineering, *Princeton*, 338.
- Orozco, G. L., and Ashford, S. A. (2002). Effects of large velocity pulses on reinforced concrete bridge columns; PEER 2002/23, *Berkeley*, 1-76.
- Park, S. W., 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.
- 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.
- 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 subjected 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.
- Somerville, P. G. (1998). *Development of an improved representation of near-fault ground motions*. SMIP89 Seminar Proceedings, Oakland, 1-20.
- Somerville, P. G. (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. 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. and Karaca H. (2017). Near-fault and far-fault ground motion effects on cable-supported bridges. *X International Conference on Structural Dynamics, Procedia Engineering, EUROLYN 2017*, 199(2017), 3077-3082.
- Soyluk, K., Karaca, H. (2017). *Yakın fay etkisindeki uzun açıklıklı köprü sistemlerinin dinamik analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Soyluk, K., Kartal, H., and Adanur, S. (2013). *Comparison of dynamic behavior of long-span cable-supported bridges*. Vienna Congress on Recent Advances in Earthquake Engineering and Structural Dynamics 2013, Vienna, 1-10.
- Stewart, J. P., Chiou, S. J., Bray, J. D., Graves, R. W., Somerville, P. G., and Abrahamson, N. A. (2001). Ground motions evaluation procedures for performance-based design; PEER 2001/09, *Berkeley*, 1-229.
- Tsui, Y. C. (2007). *A structural review of the new river gorge bridge*. 2nd Proceedings of Bridge Engineering Conference, Bath, United Kingdom.
- Umut, Ö. (2006). *Yakın fay hareketinin yapılar üzerindeki etkisi ve izolatör-sıvı sönmüleyicilerle depreme dayanıklı yapı tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Uniform Building Code. (1997). Uniform Building Code, 2i 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.
- Xinle, L., Huijan, D., and Xi, Z. (2007). Engineering characteristics of near-fault vertical ground motions and their effect on the seismic response of bridges. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 6(4), 345-350.
- Yan, X., and Lee, G. C. (2007). Traveling wave effect on the seismic response of a steel arch bridge subjected to near fault ground motions. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 6(3), 246-257.
- Yan, X., Lee, G. C., Lichu, F., and Shide, H. (2006). A comparative study between China and U.S. on seismic design philosophy and practice of a long span arch bridge. *Earthquake Engineering and Vibration*, 5(1), 62-69.
- Yang, J., Li, J. B., and Lin, G. (2006). A simple approach to integration of acceleration data for dynamic soil-structure interaction analysis. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 26, 725-734.
- 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 : YILMAZ, Dersu
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 07.06.1989, Ankara
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (535) 306 06 51
 e-mail : yilmazdersu@gmail.com



Eğitim Bilgileri

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Karadeniz Tek. Üniv / İnşaat Mühendisliği	2016
Önlisans	Kırıkkale Üniversitesi / İnşaat Teknolojisi	2011
Lise	Haymana Çok Programlı Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-2018	METCON Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şti.	İnşaat Mühendisi
2016-2017	KÖGE Yapı Ltd. Şti.	İnşaat Mühendisi

Yabancı Dil

Almanca – İngilizce

Yayınlar

- Yılmaz, D. and Soyluk, K. (2018). *Dynamic responses of steel arch bridges under near-fault ground motion characteristics of directivity-pulse and fling-step effects*. 3. International Conference on Civil and Environmental Engineering, İzmir.
- Yılmaz, D. and Soyluk, K. (2018). *Directivity-pulse and fling-step effects on steel arch bridges*. 13. International Congress on Advances in Civil Engineering, İzmir.

Hobiler

-



GAZİ GELECEKTİR..