

**KABLOLU KÖPRÜLERİN DİNAMİK DAVRANIŞININ
DEPREM VE TRAFİK YÜKLERİ AÇISINDAN İNCELENMESİ**

Hüseyin KARTAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2012

ANKARA

Hüseyin KARTAL tarafından hazırlanan KABLOLU KÖPRÜLERİN DİNAMİK DAVRANIŞININ DEPREM VE TRAFİK YÜKLERİ AÇISINDAN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Kurtuluş SOYLUK

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Özgür ANIL

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Kurtuluş SOYLUK

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Oğuzhan HASANÇEBİ

İnşaat Mühendisliği, ODTÜ

Tarih: 16 / 01 / 2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Hüseyin KARTAL

KABLOLU KÖPRÜLERİN DİNAMİK DAVRANIŞININ DEPREM VE TRAFİK YÜKLERİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hüseyin KARTAL

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ocak2012

ÖZET

Bu çalışmada, kablolu köprülerde deprem ve trafik yüklerinin meydana getirdiği dinamik etkiler incelenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemine göre hazırlanan üç boyutlu kablolu köprü modeli, deprem yüklemesi olarak üniform ve mesnetlerinden farklı yer hareketi uygulamaları için çözümlenirken, trafik yüklemesi için de üniform yayılı sabit ve hareketli trafik yüklemeleri için çözümlenmiştir. İki farklı zemin grubuna ait ivme kayıtları için yapılan analizler neticesinde, kritik deprem ve trafik yüklemeleri belirlendikten sonra, deprem ve trafik yüklerinin birlikte düşünüldüğü kombinasyonlar oluşturulup, gerekli analizler yapılmıştır. Çalışma sonucunda, kablolu köprüler için mesnetlerinden farklı yer hareketi ve hareketli trafik yükü uygulamalarının daha kritik olduğu görülmüştür. Aynı zamanda, kablolu köprülerin tasarımında sadece deprem etkilerini veya sadece trafik yükü etkilerini incelemenin yetersiz olacağı , deprem ve trafik yüklerinin birlikte düşünülmesi gerektiği vurgulanması gereken diğer bir noktadır.

Bilim Kodu : 911.1.144
Anahtar Kelimeler : Kablolu Köprü, Farklı Yer Hareketi, Trafik Yükleme
Sayfa Adedi : 158
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Kurtuluş SOYLUK

**INVESTIGATION OF THE DYNAMIC BEHAVIOUR OF
CABLE - STAYED BRIDGES WITH RESPECT TO THE
EARTHQUAKE AND TRAFFIC LOADS
(M.Sc. Thesis)**

Hüseyin KARTAL

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
January 2012**

ABSTRACT

In this study, the effects of earthquake and traffic loadings on cable -stayed bridges are investigated and the results obtained from the analyses are compared. While the multi support and uniform ground motion applications are considered as earthquake loadings, the moving traffic loading and the uniform distributed static loading applications are considered as traffic loadings for the solution of the 3D finite element modal of the bridge. Depending on the analyses results obtained for the acceleration motions recorded as two different soil conditions, the most critical earthquake and traffic loadings are determined and the required analysis are conducted considering the earthquake and traffic loading combinations. The results show that the multi support and moving traffic loadings are more critical for cable stayed bridges. On the other hand, it should be also underlined that the earthquake and traffic loadings should be considered together while designing cable - stayed bridges.

Science Code	: 911.1.144
Key Words	: Cable - Stayed Bridges, Multi Support Excitation, Traffic Loading
Page Number	: 158
Adviser	: Assoc. Prof. Dr. Kurtuluş SOYLUK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca, değerli yardım ve katkılarıyla bana yol gösteren danışman hocam Doç. Dr. Kurtuluş SOYLUK'a, engin bilgi ve deneyimleri ile mühendislik hayatımda olduğu gibi eğitim hayatımda da her daim desteğini gördüğümüşverenim Salih Bilgin AKMAN'a, sürekli müzakerelerde bulunduğum mesai arkadaşım Okan DERİNÖZ ile yardımları için Araştırma Görevlisi Mahmut Cem YILMAZ ve dostum İnşaat Mühendisi Yağmur ŞAŞMAZ'a ve hayatım boyunca olduğu gibi çalışmalarım esnasında da bana verdikleri büyük manevi destek için çok değerli aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxi
1. GİRİŞ	1
2. TEORİK FORMÜLASYON	10
2.1. Farklı Yer Hareketi Uygulaması	10
2.2. Taşıt Köprü Etkileşimi	16
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR	20
3.1. Giriş	20
3.2. Tatar Kablolu Köprüsünün Genel Özellikleri	20
3.3. Deprem Hareketinin Tanımlanması	25
3.4. Trafik Yükleme	40
3.5. Köprünün Sonlu Elemanlar Modeli	43
3.6.1. Deprem hareketinin tanımlanması	49
3.6.2. Taşıt yüklemesi tanımlanması	56
4. BULGULAR VE ANALİZLER	62
4.1. Modal Analiz Sonuçları	62
4.2. Deprem Yükleme Altında Kablolu Köprü Davranışı	66
4.2.1. Deplasmanlar	66
4.2.2. Eğilme momentleri	70
4.2.3. Kesme kuvvetleri	77
4.2.4. Eksenel kuvvetler	85
4.3. Trafik Yükleme Altında Kablolu Köprü Davranışı	98
4.3.1. Deplasmanlar	98
4.3.2. Eğilme momentleri	102

4.3.3. Kesme kuvvetleri.....	106
4.3.4. Eksenel kuvvetler	110
4.4. Trafik ve Deprem Yüklemleri Altında Kablolu Köprü Davranışı	117
4.4.1. Deplasmanlar.....	118
4.4.2. Eğilme momentleri	125
4.4.3. Kesme kuvvetleri.....	132
4.4.4. Eksenel kuvvetler	139
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	151
KAYNAKLAR	154
ÖZGEÇMİŞ	158

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Tatar Köprüsü tasarım özellikleri	24
Çizelge 3.2. Köprünün mesnetlenme koşulları	47
Çizelge 4.1. Mod Kütle katılım oranları	64
Çizelge 4.2. Modal analiz sonuçları özet tablosu	65
Çizelge 4.3. Deprem yüklemeleri neticesinde köprü açıklığının ortasında oluşan deplasmanların köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan deplasmanlara oranları	68
Çizelge 4.4. Deprem yüklemeleri neticesinde ana kulenin tepe noktasında oluşan deplasmanların köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan deplasmanlara oranları	70
Çizelge 4.5. Deprem yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan momentlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan momentlere oranları	73
Çizelge 4.6. Deprem yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan momentlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan momentlere oranları	77
Çizelge 4.7. Deprem yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan kesme kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan kesme kuvvetlerine oranları	81
Çizelge 4.8. Deprem yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan kesme kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan kesme kuvvetlerine oranları	85
Çizelge 4.9. Deprem yüklemeleri neticesinde tabliyenin ana kuleye mesnetlendiği bölgede oluşan eksenel kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları	89

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.10. Deprem yüklemeleri neticesinde ana kulenin zemine mesnetlendiği noktada oluşan eksenel kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları.....	92
Çizelge 4.11. Deprem yüklemeleri neticesinde 42 numaralı kabloda oluşan eksenel kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları.....	97
Çizelge 4.12. Trafik yüklemeleri neticesinde köprü açıklığının ortasında oluşan deplasmanların köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan deplasmanlara oranları.....	99
Çizelge 4.13. Trafik yüklemeleri neticesinde ana kulenin tepe noktasında oluşan deplasmanların köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan deplasmanlara oranları.....	102
Çizelge 4.14. Trafik yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan momentlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan momentlere oranları.....	105
Çizelge 4.15. Trafik yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan momentlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan momentlere oranları.....	106
Çizelge 4.16. Trafik yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan kesme kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan kesme kuvvetlerine oranları.....	108
Çizelge 4.17. Trafik yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan kesme kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan kesme kuvvetlerine oranları.....	110
Çizelge 4.18. Trafik yüklemeleri neticesinde tabliyenin ana kuleye mesnetlendiği bölgede oluşan oluşan eksenel kuvvetlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları.....	111

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.19. Trafik yüklemeleri neticesinde ana kulenin zemine mesnetlendiği noktada oluşan eksenel kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları.....	114
Çizelge 4.20. Trafik yüklemeleri neticesinde 42 numaralı kabloda oluşan eksenel kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları.....	116
Çizelge 4.21. Trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde köprü açıklığının ortasında oluşan deplasmanların köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan deplasmanlara oranları.....	121
Çizelge 4.22. Trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde ana kulenin tepe noktasında oluşan deplasmanların köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan deplasmanlara oranları.....	125
Çizelge 4.23. Trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan momentlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan momentlere oranları.....	129
Çizelge 4.24. Trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan momentlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan momentlere oranları.....	132
Çizelge 4.25. Trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan kesme kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan kesme kuvvetlerine oranları.....	136
Çizelge 4.26. Trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde kabloların ana kuleye bağlandığı bölgede oluşan kesme kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan kesme kuvvetlerine oranları.....	139
Çizelge 4.27. Trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde tabliyenin ana kuleye mesnetlendiği bölgede oluşan eksenel kuvvetlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları.....	143

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.28. Trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde ana kulenin zemine mesnetlendiği noktada oluşaneksenel kuvvetlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşaneksenel kuvvetlere oranları.....	146
Çizelge 4.29. Trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde 42 numaralı kabloda oluşan eksenel kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları.....	150

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Hareketli yük modeli.....	16
Şekil 2.2. Hareketli kütle modeli.....	16
Şekil 2.3. Hareketli yaylı kütle modeli.....	17
Şekil 2.4. Köprü taşıt etkileşim elemanı analitik modeli.....	18
Şekil 3.1. Tatar Köprüsü genel yerleşimi.....	21
Şekil 3.2. Çelik tabliye enkesiti.....	22
Şekil 3.3. Öngerilmeli beton enkesiti.....	22
Şekil 3.4. Ana kuleler ve kablo yerleşimi.....	23
Şekil 3.5. Ana kulelerin yerleşimi.....	27
Şekil 3.6. Mecidiyeköy Doğu Yönünde İvme - Zaman Kaydı.....	28
Şekil 3.7. Mecidiyeköy Kuzey Yönünde İvme - Zaman Kaydı.....	28
Şekil 3.8. Mecidiyeköy Düşey Yönde İvme - Zaman Kaydı.....	29
Şekil 3.9. Yıldız Doğu Yönünde İvme - Zaman Kaydı.....	29
Şekil 3.10. Yıldız Kuzey Yönünde - İvme-Zaman Kaydı	30
Şekil 3.11. Yıldız Düşey Yönde İvme - Zaman Kaydı.....	30
Şekil 3.12. Chi-1 Doğu Yönünde İvme - Zaman Kaydı.....	31
Şekil 3.13. Chi-1 Kuzey Yönünde İvme - Zaman Kaydı.....	31
Şekil 3.14. Chi-1 Düşey Yönde İvme - Zaman Kaydı.....	32

Şekil	Sayfa
Şekil 3.15. Chi-2 Doğu Yönünde İvme - Zaman Kaydı.....	32
Şekil 3.16. Chi-2 Kuzey Yönünde - İvme-Zaman Kaydı	33
Şekil 3.17. Chi-2 Düşey Yöndeİvme - Zaman Kaydı.....	33
Şekil 3.18. Mecidiyeköy Doğu Yönünde Deplasman - Zaman Kaydı.....	34
Şekil 3.19. Mecidiyeköy Kuzey YönündeDeplasman - Zaman Kaydı.....	34
Şekil 3.20. Mecidiyeköy Düşey Yönde Deplasman - Zaman Kaydı.....	35
Şekil 3.21. Yıldız Doğu Yönünde Deplasman - Zaman Kaydı	35
Şekil 3.22. Yıldız Kuzey YönündeDeplasman - Zaman Kaydı.....	36
Şekil 3.23. Yıldız Düşey Yönde Deplasman - Zaman Kaydı.....	36
Şekil 3.24. Chi-1 Doğu Yönünde Deplasman - Zaman Kaydı.....	37
Şekil 3.25. Chi-1 Kuzey YönündeDeplasman - Zaman Kaydı.....	37
Şekil 3.26. Chi-1 Düşey Yönde Deplasman - Zaman Kaydı.....	38
Şekil 3.27. Chi-2 Doğu Yönünde Deplasman - Zaman Kaydı.....	38
Şekil 3.28. Chi-2 Kuzey YönündeDeplasman - Zaman Kaydı.....	39
Şekil 3.29. Chi-2 Düşey Yönde Deplasman - Zaman Kaydı.....	39
Şekil 3.30. HS 20-44 kamyonu ölçüleri ve yük değerleri	41
Şekil 3.31. H 20-44 kamyonu ölçüleri ve yük değerleri.....	41
Şekil 3.32. Tatara Köprüsü bilgisayar modeli 3 – boyutlu görüntüsü.....	43
Şekil 3.33. Tatara Köprüsü bilgisayar modeli boy kesit görüntüsü	43

Şekil	Sayfa
Şekil 3.34. Kesit dağılımı	45
Şekil 3.35. A tipi çelik kesit	46
Şekil 3.36. Öngerilmeli beton kesit	46
Şekil 3.37. Tabliyenin ana kuleye bağlantısı	47
Şekil 3.38. Kabloların bağlantı noktası ve rijit bağlantı elmanları	48
Şekil 3.39. Tabliye kütlesi tanımı	48
Şekil 3.40. Mecidiyeköy doğu yönünde ivme - zaman kaydının bilgisayar modelinde fonksiyon olarak tanımlanması	51
Şekil 3.41. Mecidiyeköy ivme - zaman kayıtları kullanılarak bilgisayar modelinde üniform yer ivmesi tanımlanması	52
Şekil 3.42. Yıldız ivme - zaman kayıtları kullanılarak bilgisayar modelinde üniform yer ivmesi tanımlanması	52
Şekil 3.43. Mecidiyeköy doğu yönünde deplasman - zaman kaydının bilgisayar modelinde fonksiyon olarak tanımlanması	53
Şekil 3.44. Mecidiyeköy ve Yıldız deplasman - zaman kayıtları kullanılarak bilgisayar modelinde çoklu mesnet uyarılmasının tanımlanması	55
Şekil 3.45. Chi-1 ve Chi-2 deplasman - zaman kayıtları kullanılarak bilgisayar modelinde çoklu mesnet uyarılmasının tanımlanması	55
Şekil 3.46. Köprü'nün tamamına üniform yayılı trafik yükü uygulanması modeli	57
Şekil 3.47. Tabliye çubuk elemanlarının tamamına üniform yayılı statik yük uygulanması	57
Şekil 3.48. Çok adımlı köprü hareketli yükü oluşturma modülü (HS20-44)	58

Şekil	Sayfa
Şekil 3.49. Çok adımlı köprü hareketli yükü oluşturma modülü (H20-44)	58
Şekil 3.50. HSn-44 kamyonu genel özellikleri	59
Şekil 3.51. H20-44 kamyonu genel özellikleri	60
Şekil 3.52. Şerit tarfilemesi	60
Şekil 3.53. Hareketli trafik yüklemesi analiz tanımı	61
Şekil 4.1. 1. Mod, Periyot : 8.07 sn	62
Şekil 4.2. 2. Mod, Periyot : 5.95 sn	63
Şekil 4.3. 3. Mod, Periyot : 4.05 sn	63
Şekil 4.4. 4. Mod, Periyot : 3.37 sn	63
Şekil 4.5. 5. Mod, Periyot : 2.94 sn	63
Şekil 4.6. Deprem yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan düşey deplasmanlar.....	67
Şekil 4.7. Deprem yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan yatay deplasmanlar.....	69
Şekil 4.8. Deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde tabliyede oluşan eğilme momentleri.....	71
Şekil 4.9. Deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde tabliyede oluşan eğilme momentleri.....	72
Şekil 4.10. Deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde ana kulede oluşan eğilme momentleri.....	75
Şekil 4.11. Deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde ana kulede oluşan eğilme momentleri.....	76

Şekil	Sayfa
Şekil 4.12. Deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde tabliyede oluşan kesme kuvvetleri	79
Şekil 4.13. Deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde tabliyede oluşan kesme kuvvetleri	80
Şekil 4.14. Deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde ana kulede oluşan kesme kuvvetleri	83
Şekil 4.15. Deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde ana kulede oluşan kesme kuvvetleri	84
Şekil 4.16. Deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde tabliyede oluşan aksenal kuvvetler	87
Şekil 4.17. Deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde tabliyede oluşan aksenal kuvvetler	88
Şekil 4.18. Deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde ana kulede oluşan aksenal kuvvetler	90
Şekil 4.19. Deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde ana kulede oluşan aksenal kuvvetler	91
Şekil 4.20. Kablo numaraları yerleşimi	94
Şekil 4.21. Deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde 1 - 21 numaralı orta açıklık kablolarında oluşan aksenal kuvvetler	95
Şekil 4.22. Deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde 22 - 42 numaralı kenar açıklık kablolarında oluşan aksenal kuvvetler	95
Şekil 4.23. Deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde 1 - 21 numaralı orta açıklık kablolarında oluşan aksenal kuvvetler	96

Şekil	Sayfa
Şekil 4.24. Deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde 22 - 42 numaralı kenar açıklık kablolarında oluşan aksenal kuvvetler	96
Şekil 4.25. Trafik yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan düşey deplasmanlar...	99
Şekil 4.26. Trafik yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan yatay deplasmanlar.....	101
Şekil 4.27. Trafik yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan eğilme momentleri...	103
Şekil 4.28. Trafik yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan eğilme momentleri...	105
Şekil 4.29. Trafik yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan kesme kuvvetleri.....	107
Şekil 4.30. Trafik yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan kesme kuvvetleri.....	109
Şekil 4.31. Trafik yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan aksenal kuvvetler.....	111
Şekil 4.32. Trafik yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan aksenal Kuvvetler.....	113
Şekil 4.33. Trafik yüklemeleri neticesinde 1 - 21 numaralı orta açıklık kablolarında oluşan aksenal kuvvetler.....	115
Şekil 4.34. Trafik yüklemeleri neticesinde 22 - 42 numaralı kenar açıklık kablolarında oluşan aksenal kuvvetler.....	116
Şekil 4.35. Trafik + deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde tabliyede oluşan deplasmanlar.....	120
Şekil 4.36. Trafik + deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde tabliyede oluşan deplasmanlar.....	120
Şekil 4.37. Trafik + deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde ana kulede oluşan yatay deplasmanlar.....	123

Şekil	Sayfa
Şekil 4.38. Trafik + deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde ana kulede oluşan yatay deplasmanlar.....	124
Şekil 4.39. Trafik + deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde tabliyede oluşan eğilme momentleri.....	127
Şekil 4.40. Trafik + deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde tabliyede oluşan eğilme momentleri.....	128
Şekil 4.41. Trafik + deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde ana kulede oluşan eğilme momentleri.....	129
Şekil 4.42. Trafik + deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde ana kulede oluşan eğilme momentleri.....	131
Şekil 4.43. Trafik + deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde tabliyede oluşan kesme kuvvetleri.....	134
Şekil 4.44. Trafik + deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde tabliyede oluşan kesme kuvvetleri	135
Şekil 4.45. Trafik + deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde ana kulede oluşan kesme kuvvetleri	137
Şekil 4.46. Trafik + deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde ana kulede oluşan kesme kuvvetleri	138
Şekil 4.47. Trafik + deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde tabliyede oluşan eksenel kuvvetler	141
Şekil 4.48. Trafik + deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde tabliyede oluşan eksenel kuvvetler	142

Şekil	Sayfa
Şekil 4.49. Trafik + deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde ana kulede oluşan aksenal kuvvetler	145
Şekil 4.50. Trafik + deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde ana kulede oluşan aksenal kuvvetler	145
Şekil 4.51. Trafik + deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde 1-21 numaralı orta açıklık kablolarında oluşan aksenal kuvvetler.....	148
Şekil 4.52. Trafik + deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde 22-42 numaralı kenar açıklık kablolarında oluşan aksenal kuvvetler.....	148
Şekil 4.53. Trafik + deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde 1-21 numaralı orta açıklık kablolarında oluşan aksenal kuvvetler	149
Şekil 4.54. Trafik + deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde 22-42 numaralı kenar açıklık kablolarında oluşan aksenal kuvvetler.....	149

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
$[C]$	: Sistem sönüm matrisi
$[C_{rr}]$	: DSD ile ilgili sönüm matrisi
$\{F\}$	: Dış kuvvet vektörü
$\{F_{eff}\}$	: DSD'ni etkileyen etkili kuvvet vektörü
$[K]$	: Sistem rijitlik matrisi
$[K_{rr}]$	: DSD ile ilgili rijitlik matrisi
$[M]$	: Sistem kütle matrisi
$[M_{rr}]$	: DSD ile ilgili kütle matrisi
$[M_{rg}], [C_{rg}], [K_{rg}]$	: BZSD'nin birim hareketinden dolayı DSD'de meydana gelen kuvvetler
$[M_{gg}], [C_{gg}], [K_{gg}]$	: BZSD'nin birim hareketinden dolayı BZSD'de meydana gelen kuvvetler
p	: Yer hareketinin fonksiyonu olan maksimum büyüklük faktörü
$\{P(t)\}$	: Kuvvet vektörü
$\{r\}$	: Zemin yerdeğiştirmelerinin şekil vektörü

Simgeler	Açıklama
$[R_{rg}]$	: r vektörlerinin oluşturduğu matris
T	: Zaman
$\{v\}$	: Toplam yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{v}\}$	: Toplam hız vektörü
$\{\ddot{v}\}$	: Toplam ivme vektörü
$\{v_{dr}\}$	: Dinamik yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{v}_{dr}\}$	: Dinamik hız vektörü
$\{\ddot{v}_{dr}\}$	: Dinamik ivme vektörü
$\{v_g\}$	: BZSD'nin toplam yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{v}_g\}$	: BZSD'nin toplam hız vektörü
$\{\ddot{v}_g\}$	: BZSD'nin toplam ivme vektörü
$\{v_r\}$	: DSD'nin toplam yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{v}_r\}$	: DSD'nin toplam hız vektörü
$\{\ddot{v}_r\}$	: DSD'nin toplam ivme vektörü
$\{v_{sr}\}$	: Zahiri-statik yerdeğiştirme vektörü
w	: Dairesel Frekans
Y	: Rastgele değişken
$\{Y\}$	: Modal koordinat vektörü
$Y_i(t)$	: Zamana bağlı i. modal genlik

Simgeler	Açıklama
$Y_r(t)$	: Modal koordinat
$\{\phi_i\}$	: i. Mod vektörü
τ_j	: Yer hareketinin belirli bir referans noktasından başlayıp i.mesnet noktasına veya bölgeye varış zamanı
ξ	: Sönüm oranı
c_v	: Süspansiyon sönümleme katsayısı
$[c_b]$	: Köprü elemanı sönümleme matrisi
f_c	: Taşıt ve köprü elemanı arasındaki temas kuvveti
g	: Yerçekimi ivmesi
$[k_b]$	: Köprü elemanı rijitlik matrisi
k_B	: Köprü kirişi rijitliği
k_v	: Süspansiyon rijitlik katsayısı
m_w	: Tekerlek kütlesi
$[m_b]$	: Köprü elemanı kütle matrisi
M_v	: Taşıttan gelen kütle
$\{N_c\}$	: Kübik Hermitian interpolasyon fonksiyonlarını içeren vektör
p	: Tekerlek kütlesi ve taşıttan gelen kütlelerin toplam ağırlığı
$\{p_b\}$	: Köprü üzerinde hareket eden dış noktasal kuvvetler
r_c	: Yüzey düzensizliği
$r(x)$	: Yüzey düzensizliği
$\{u_b\}$	: Kiriş elemana ait düğüm noktası yerdeğiştirmesi

Simgeler**Açıklama**

x_c	: Taşıtın etkime noktasına ait koordinat
$\{z\}$	: Noktasal düşey yerdeğiştirme

Kısaltmalar**: Açıklama****AASHTO**

: American Association of State Highway and Transportation Officials

1.GİRİŞ

Kablolu köprüler uzun açıklıkların geçilmesinde kullanılan köprü türleridir. Estetik görüntüleri ve diğer köprü türlerine göre daha az inşaat maliyeti gerektirmeleri tercih edilmelerinde büyük etkindir. 20. yüzyıl öncesi yapılan kablolu köprülerin çoğu yanlış analiz edilmeleri ve yapım tekniklerinin doğru olmaması nedeniyle uzun açıklıkların geçilmesinde başarısız olmuştur. Fakat 20. yüzyıldan sonra gelişen yapım teknolojileri ve yapılan doğru analizler neticesinde güvenilir ve yaygın olarak kullanılan köprü türü haline gelmişlerdir.

İlk modern kablolu köprülerin trafik yükleri altında oldukça rijit davranması, estetik olarak hoş görülmesi, ekonomik ve yapımın kolay olması kablolu köprü sistemlerinin uygulama alanını arttırmıştır. Yeni sistem kablolu köprüler önce Alman mühendisler arasında, daha sonrada birçok ülkede kabul görmüştür [1].

Ülkemizde deBoğaziçi ve Fatih Sultan Mehmet köprüleri gibi uzun açıklıkların geçilmesinde kullanılmış asma türü köprü örnekleri mevcuttur. Özellikle Marmara Bölgesi'nde artan trafik yoğunluğu nedeniyle daha fazla uzun açıklıklı köprülerin yapımına ihtiyaç duyulmaktadır. Marmara bölgesi gibi aktif fay hatlarının üzerinde bulunan yerlerde yapılacak uzun açıklıklı bir köprü için trafik yoğunluğunun yanı sıra deprem etkilerini de göz önünde bulundurmak son derece önem taşımaktadır.

Kablolu köprülerin deprem etkileri altındaki dinamik davranışını belirlemek için yapılan analizlerde genellikle tüm mesnet noktalarının aynı anda ve aynı yer hareketine maruz kaldığı kabul edilmekte ve yer hareketi üniform olarak nitelendirilmektedir. Ancak köprü ayakları arasındaki mesafenin fazla olması nedeniyle uzun açıklıklı bir kablolu köprünün deprem süresince üniform olmayan yer hareketine maruz kalacağı da dikkate alınmalıdır.

Trafik yüklemesinin de uzun açıklıklı kablolu köprülerin dinamik davranışı üzerinde önemli etkilerinin olacağı düşünülerek, söz konusu köprülerin trafik yüklerine bağlı olarak analizi yapılırken, köprünün ağır taşıtlar ile tam dolu olması veya üzerinden belirli aralıklar ve sabit hızlarla taşıtların geçmesi durumlarının incelenmesi yanında, taşıtların değişik konumlarda hareket halinde olduğu durumların da incelenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı kablolu köprülerde, deprem ve trafik yüklerinin meydana getirdiği dinamik etkileri belirlemek ve karşılaştırmaktır. Bu amaçla oluşturulan tez çalışması için aşağıda belirtilen analiz durumları dikkate alınmıştır.

Dikkate alınan kablolu köprü örneğinde kritik deprem yüklemesini belirlemek için köprü modeline, sağlam kayave orta derecede sağlam kaya olmak üzere iki ayrı zemin grubunda kaydedilmişuygulanarak, üniform yer hareketi ve mesnetlerinden farklı yer hareketi uygulaması yapılmıştır. Köprü ayakları arası mesafe göz önünde bulundurularak, birbirine yakınıstasyonların kayıtları dikkate alınmıştır. Bu istasyonların ivme – zaman kayıtları kullanılarak köprünün üniform yer hareketi için dinamik analizi yapılırken, farklı istasyonlardan alınan deplasman – zaman kayıtları farklı mesnet noktalarına uygulanarak mesnetlerinden farklı yer hareketi uygulaması yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde elde edilen sonuçlar karşılaştırılıp, iki ayrı zemin grubu için kritik olan deprem yüklemeleri belirlenmiştir.

Kablolu köprü örneğinde, kritik trafik yüklemesini belirlemek için, köprü modeline ağır ve orta derece ağır kamyonların kullanıldığı iki ayrı durum için trafik yüklemeleri yapılmıştır. Her bir kamyon türü için köprüye, hareketli trafik yüklemesi ile üniform yayılı sabit trafik yüklemesi uygulanmıştır. Yapılan analizler neticesinde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, kritik olan trafik yüklemesi belirlenmiştir.

Bunun yanında, trafik ile deprem yüklerinin birlikte düşünüldüğü kombinasyonlar oluşturulup köprüye uygulanmıştır. Sağlam zemin grubuna ait kayıtlar kullanılarak uygulanan deprem yüklemesi ile, orta derece ağırlıkta taşıtların kullanıldığı trafik yüklemesi durumları birlikte ve ayrı ayrı düşünülerek karşılaştırmaları yapılmıştır. Benzer şekilde orta derecede sağlam zemin grubuna ait kayıtlar kullanılarak uygulanan deprem yüklemesi ile, ağır taşıtların kullanıldığı trafik yüklemesi durumları beraber ve ayrı ayrı düşünülerek karşılaştırmaları yapılmış, sonuçlar araştırmacıların ve uygulamacıların kullanımına sunulmuştur.

Mesnetlerinden uygulanan üniform olmayan yer hareketleri için kablolu köprülerin dinamik analizi konusunda daha önce yapılmış çalışmalardan bazıları aşağıda kısaca anlatılmıştır.

Garevski ve arkadaşları tarafından belirli bir hızla yayılan asinkronize yer hareketi için kablolu bir köprünün dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan çeşitli deterministik yöntemler ile yapının dinamik davranışı belirlenmiştir. Çalışma sonunda kablolu köprüler yüzlerce metre uzunluğunda olduğundan, yer hareketinin bir mesnetten diğerine saniyeler sonra ulaşacağı ve böylece yapının dinamik etkiler yanında zahiri statik etkilere de maruz kalacağı belirtilmekte ve her iki etkininde analizlerde dikkate alınması gereği vurgulanmaktadır[2].

Nazmy ve Abdel-Ghaffar deprem hareketi etkisindeki üç boyutlu, uzun açıklıklı, kablolu köprülerin lineer olmayan dinamik davranışını incelemişlerdir. Çalışmalarda üniform yer hareketi yanında mesnetlerinden farklı dinamik etkiler için de kablolu köprülerin dinamik davranışı belirlenmiştir. Kablolu köprülerde söz konusu olan lineer olmayan etkilerde analizlerde dikkate alınmıştır. Çalışma sonucunda, bu tür uzun, kompleks ve üç boyutlu yapıların deprem analizi yapılırken, üniform olmayan yer hareketlerinin önemli etkilerinin olabileceği ve analizlerde dikkate alınması gereği vurgulanmaktadır[3-4].

Fan, Hu ve Yuan çalışmalarında kendileri tarafından geliştirilen bilgisayar programı ile kablolu köprülerin lineer olmayan dinamik davranışları üzerinde durmuşlardır. Çalışmada kablolu köprülerin üç boyutlu lineer ve lineer olmayan analizleri ile zemin-yapı etkileşimi dikkate alınmıştır. Ayrıca köprü mesnetlerinin farklı dinamik etkilere maruz kalması durumu ile deprem hareketi dalga yayılma etkisi de analizlerde dikkate alınmıştır [5].

Nazmy çalışmasında kablolu köprülerin dinamik davranışı ile ilgili problemleri tanımlamıştır. Üç boyutlu 1000 m uzunluğundaki analitik model kullanılarak çeşitli çözümler üzerinde durulmuştur. Önerilen çözümlerin incelenmesi amacıyla mesnetlerinden farklı dinamik etkilere maruz köprünün lineer olmayan dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda kablolu köprülerin 1000 m'ye kadar olan açıklıklar için ekonomik olacağı belirtilmektedir [6].

Nazmy çalışmasında uzun açıklıklı asma, kablolu ve kemer köprülerin dinamik davranışını incelemiştir. Söz konusu köprü modelleri üç boyutlu olarak modellendirilmiş olup analizlerde lineer olmayan etkiler de dikkate alınmıştır. Ayrıca çalışmada yer hareketindeki değişim de dikkate alınmaktadır. Çalışma sonucunda, söz konusu köprü sistemlerinin üç boyutlu lineer olmayan analizlerinin dikkate alınması gereği vurgulanmaktadır. Bunun yanında bu tür köprüler için değişen yer hareketinin analizlerde dikkate alınmasının gerçeğe daha yakın olacağı belirtilmektedir [7].

Schemmann ve arkadaşları çalışmalarında kablolu köprülerin modellendirilmesi ile ilgili kompleks durumların aktif kontrol tasarımlarının etkinliğini ne derece etkileyebileceği üzerinde durmaktadırlar. Kompleks durumların köprünün lineer olmayan davranışından, yüksek birleşik modların köprünün dinamik davranışına olan katkısından ve mesnetlerdeki farklı dinamik etkilerden kaynaklandığı belirtilmektedir. Çalışmada mesnetlere etkiyen farklı dinamik etkilerin, üniform yer hareketinden farklı modlar üzerinde etkili olduğu belirtilmekte ve dolayısıyla yapı sisteminin dinamik davranışı üzerinde farklı bir etkisinin olduğu belirtilmektedir. Çalışma sonucunda mesnetlere etkiyen farklı dinamik etkilerin, üniform harekete

oranla tepki değerlerinin büyümesine neden olacağından, analizlerde dikkate alınması gereği vurgulanmaktadır [8, 9].

Soyluk ve Dumanoglu çalışmalarında kablolu köprülerin stokastik, asinkronize ve antisinkronize analizlerini ayrı ayrı gerçekleştirmişlerdir. Uygulama amacı ile Güney Kore’de inşa edilen Jindo Kablolu Köprüsü seçilmiştir. Asinkronize ve antisinkronize analiz için çeşitli yer hareketi yayılma hızları dikkate alınmıştır. Her bir analiz ile elde edilen yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Çalışmaların sonucunda yer hareketinin sonlu yayılma hızının sonuçlar üzerinde önemli etkilerinin olduğu belirlenmiştir [10, 11].

Allam ve Datta çalışmalarında mesnetlerindeki yer hareketleri arasındaki korelasyon etkilerinin dikkate alındığı rasgele yer hareketi etkisindeki kablolu köprülerin stokastik analizini çalışmışlardır. Rasgele yer hareketi, spektral yoğunluk fonksiyonu ve korelasyon etkisi ile ifade edilmiştir. Bunun yanında kablolu köprülerin dinamik davranışını belirlemek amacıyla kapsamlı bir parametrik çalışma yapılmıştır. Çalışma sonucunda korelasyon etkilerinin kablolu köprüler için dikkate alınması gereği belirtilmektedir [12].

Dumanoglu ve Soyuk mesnetlerinden farklı dinamik etkilere maruz kablolu köprülerin stokastik analizi üzerinde çalışmışlardır. Yer hareketi olarak Clough-Penzien tarafından geliştirilen filtre edilmiş beyaz gürültü modeli kullanılmıştır. Çalışmalarda zemin şartlarındaki değişim dikkate alınmak sureti ile aralarında korelasyon olmayan farklı yer hareketleri için söz konusu köprünün stokastik analizi yapılmış ve farklı yer hareketlerinin köprünün dinamik davranış üzerinde önemli etkilerinin olduğu gözlenmiştir [13].

Allam ve Datta çalışmalarında mesnetlerdeki yer hareketleri arasındaki korelasyon etkilerinin dikkate alındığı rasgele yer hareketi etkisindeki kablolu köprüleri davranış spektrum yöntemi ile incelemişlerdir. Söz konusu yöntem esas itibarı ile yer hareketine ait davranış spektrumu ve spektral yoğunluk fonksiyonu arasındaki ilişki ile rasgele titreşim teorisinin temellerine dayanmaktadır. Yöntemin uygulanabilirliği,

davranış spektrum yöntemi ile elde edilen tepki bileşenleri frekans alanındaki spektral analiz yöntemi ile bulunan sonuçlarla karşılaştırılmak suretiyle tahkik edilmektedir. Çalışma sonucunda her iki yöntemle elde edilen tepki değerlerinin birbirleri ile uygunluk içerisinde oldukları belirtilmektedir[14].

Lin ve arkadaşları çalışmalarında yüksek dereceden stokastik diferansiyel denklemlerin çözümü için zahiri etki metodu (PEM) olarak tanımlanan bir yöntem ortaya koymuş ve uzun açıklıklı kablolu köprülerin dinamik analizini değişen yer hareketi durumu için incelemişlerdir. Zahiri etki yöntemi ile, yer hareketinin sonlu hızla yayılma etkisi ile, modlar ve mesnetlere uygulanan yer hareketleri arasındaki korelasyon etkileri de dikkate alınmıştır. Çalışma sonucunda deprem hareketi değişim etkilerinin ve özellikle de dalga-yayılma etkisinin uzun açıklıklı köprülerin güvenlik değerlendirmesi açısından oldukça önemli olduğu vurgulanmıştır[15].

Jian-Hu ve Li çalışmalarında çok mesnetli titreşim etkisi altındaki yapıların sismik davranış analizi için bir davranış spektrum metodu geliştirmişlerdir. Bu metod ile çok mesnetli titreşim etkisi altındaki yapıların sismik güvenlik analizinde, davranış spektrum yönteminin uygulamasını mümkün kılmaktadır. Hesaplamalarında basit işlemler içeren bu metod,iki açıklıklık mütemadi bir giriş için ve Monte Carlo simulasyonu kullanılarak hazırlanan iki kuleye sahipbir kablolu köprü için uygulanmıştır. Davranış spektrum metoduna dayalı sonuçların, Monte Carlo simulasyon sonuçları ile uyumlu olduğu ve çok mesnetli davranış spektrum metodu olan MSRS metodu ile karşılaştırıldığında, önerilen metodun büyük seviyede hesap kolaylığına sahip olduğu görülmüştür[16].

Miguel ve Jaoa çalışmalarında farklı yer hareketi etkisindeki kablolu köprülerin zaman alanında analizi için yapılması gereken işlemleri ele almışlardır.İlk olarak deprem hareketini yansıtan korele edilmiş deplasman serilerinin yapay sentezi ele alınmıştır. Daha sonra Uluslararası Guadiana Köprüsü'nün 3 boyutlu modeline sismik analiz testleri uygulamıştır. Farklı yayılma hızları ve farklı jeolojik koşullarda oluşan sismik dalgaların oluşturduğu etkiler karşılaştırılmıştır. Çalışmalarının sonucunda, farklı yer hareketinin uygulamasıile üniform yer hareketi uygulaması için

yapılan analizler arasındaki farklılıkların bazı yerdeğiştirmeler ve iç kuvvetler için önemli olabileceğivurgulanmıştır[17].

Soyluk ve Sıcacık kablolu köprülerde, değişen yer hareketi bileşenleri için zemin - yapı etkileşimi analizi gerçekteştirmişlerdir. Çalışmalarında zemin – yapı etkileşiminin ihmal edildiği köprü modeli ile zemin – yapı etkileşimini içeren köprü modeli oluşturulup köprü davranışları incelenmiştir. Çalışma sonucunda kablolu köprülerin dinamik analizi için farklı yer hareketi ve zemin - yapı etkileşiminin dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır [18].

Son yıllarda dünyada hızlı taşıtların ve büyük açıklıklı köprülerin artışıyla birlikte taşıt köprü etkileşimi kaynaklı köprü dinamik davranışının irdelenmesi önem kazanmıştır. Taşıt hareketinden kaynaklanan kablolu köprülerin dinamik analizi farklı araştırmacılar tarafından ele alınmıştır.

Meisenholder ve Weidlinger kablolu köprüleri elastik zemine oturan kiriş olarak ele almış ve yüksek hızlı araçların kablolu köprülerde oluşturacağı dinamik etkilerin modellenmesinde kullanılabilecek bir yöntem ortaya koymuşlardır [19].

Khalifa trafik yükleri için kablolu köprülerin dinamik tepkilerini, geliştirdikleri bir bilgisayar programı ile belirlemişlerdir. Çalışmada kablo titreşimi, sönüm, taşıt-köprü etkileşimi, köprü tabliyesi pürüzlülüğü, açıklık uzunlukları ve taşıt hızı etkileri parametrik bir bakış açısıyla incelemişlerdir [20].

Zaman ve arkadaşları hareketli taşıt yükleri etkisindeki kablolu köprülerin dinamik davranışını analiz etmek için yapısal bir algoritma geliştirmişlerdir. Tabliyeyi elastik plaka olarak, kabloları idealleştirilmiş yay olarak , taşıtları da farklı hız ve ivmelerde hareket eden kütleler olarak modellemişlerdir. Köprünün statik ve dinamik analizi için kapsamlı bir bilgisayar programı olan CABLESIM kullanılmıştır. Nümerik işlemler ve bilgisayar uygulamaları, mevcut analitik ve deneysel sonuçlar kullanılarak doğrulanmıştır. Çalışmalarının sonucunda araçların hızının, kiriş

derinliğinin, farklı kablo tipi ve düzenleri ile trafik yükünün, tabliyenin dinamik davranışı üzerinde önemli etkisinin olduğu tespit edilmiştir [21].

Yang ve Fonder kabloların lineer olmayan özelliklerini dikkate alarak oluşturdukları bir kablolu köprü modeli ile hareketli yükler etkisindeki kablolu köprülerin dinamik davranışını araştırmışlardır [22].

Bruno ve arkadaşları hareketli trafik yüklerine maruz kalan uzun açıklıklı kablolu köprülerin dinamik davranışını incelemişlerdir. Analizlerin yapıldığı köprü modelinde, kablo aralıkları köprü uzunluğuna oranla küçük tutularak tabliye kirişi, kuleler ve kablo sistemi arasındaki etkileşim kuvvetleri mütemadi yayılı fonksiyonlar olarak tanımlanmıştır. Denge denklemleri direk integrasyon yöntemi ile çözülüp, deplasman ve dinamik etki faktörünü ölçmek için sayısal sonuçlar sunulmuştur. Bunlara ilave olarak, köprü deformasyonları ve hareketli yükler arasındaki bağlantıyı sayısal olarak belirlemek için yapılan analizlerde genellikle ihmal edilmiş koşullar olan merkezci ve Coriolis kuvvetleri üzerine odaklanılmış ve sonuçlar eksantrik kuvvetlere göre sunulmuştur. Hareketli sistemin kütlesi tarafından oluşturulan etkileri vurgulayan dinamik etki faktörleri ile, “A” ve “H” kule tiplerinin köprünün dinamik davranışı üzerindeki etkileri için duyarlılık analizleri yapmışlardır [23].

Cengiz ve arkadaşları taşıt kaynaklı kablolu köprü titreşimlerinin değerlendirilmesinde, dikkate alınması gereken önemli parametrelerden biri olan hız parametresinin farklı taşıt yüklemeleri altında irdelemesini yapmışlardır. Çalışmalarında üç farklı taşıt hızı için iki farklı trafik kombinasyonu oluşturulmuş ve kablolu köprü sistemlerinin hıza bağlı dinamik davranışı incelenmiştir. Yapılan incelemeler neticesinde en büyük tepki kuvvetlerinin genellikle düşük hızlarda meydana geldiği görülmüştür. Ancak, taşıtlar açıklık ortasından ayrıldıktan sonra açıklık ortasında en büyük tepki kuvvetleri yüksek hızlar altında meydana gelmeye başladığı görülmüştür [24].

Bu çalışmada, öncelikle kablolu köprülere etkiyen deprem ve trafik yüklerinden ve bu konularda daha önce yapılmış çalışmalardan kısaca bahsedilmiş, farklı yer hareketi uygulamasının ve taşıt köprü etkileşiminin matematik modeline ait formülasyonlara ikinci bölümde yer verilmiştir.

Üçüncü bölüm yapılan çalışmalar kısmına ayrılmıştır. Bu bölümde ilk olarak çalışmaya konu olan dünyanın ikinci büyük açıklığa sahip Tatara Kablolu köprüsünün genel özellikleri tanıtılırken, daha sonra köprünün sonlu elemanlar modelinin oluşturulması ve uygulanan deprem ve trafik yüklerinin tanımlanması yapılmıştır.

Yapılan analizlere ve elde edilen bulgulara dördüncü bölümde değinilmiştir. Köprü modelinin iki farklı zemin sınıfı için trafik ve deprem yükleri altında analizleri yapıp, analizler neticesinde, köprü elemanlarında oluşan deplasman ve kesit tesirleri incelenmiştir.

Beşinci bölümde önceki bölümlerde yapılan irdellemeler ve analizler sonucunda elde edilen sonuçlar aktarılmış ve elde edilen sonuçların bundan sonra konu hakkındayapılacak yeni çalışmalara yol gösterici olması amaçlanmıştır.

2. TEORİK FORMÜLASYON

2.1. Farklı Yer Hareketi Uygulaması

N serbestlik dereceli bir sistemin hareket denklemi,

$$[M]\{\ddot{v}\} + [C]\{\dot{v}\} + [K]\{v\} = \{F\} \quad (2.1)$$

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

Sistemin serbestlik derecelerini bilinen ve bilinmeyen diye iki gruba ayırmak mümkündür. Bilinen serbestlik dereceleri yer hareketinin bilindiği yapı-zemin etkileşim yüzeyi ile ilgili serbestlik derecelerinin ivme, hız ve yerdeğiştirmeleridir. Bilinmeyen serbestlik dereceleri yapı-zemin sisteminin diğer noktaları ile ilgili serbestlik derecelerinin ivme, hız ve yerdeğiştirmeleridir. Eş. 2.1'deki bilinen ve bilinmeyen serbestlik derecelerini birbirinden ayırmak için, bilinen serbestlik dereceleri $\{v_g\}$, bilinmeyen serbestlik dereceleri ise $\{v_r\}$ vektörleri ile gösterilmektedir. Bu ifadelerdeki g indisi Bilinen Zemin Serbestlik Derecelerini (BZSD), r indisi ise sistemin diğer deplasmanlarına karşılık gelen Deplasman Serbestlik Derecelerini (DSD) göstermektedir. Eş. 2.1, DSD ve BZSD cinsinden alt kısımlara bölünerek,

$$\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rg} \\ M_{gr} & M_{gg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_r \\ \ddot{v}_g \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{rr} & C_{rg} \\ C_{gr} & C_{gg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_r \\ \dot{v}_g \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{rr} & K_{rg} \\ K_{gr} & K_{gg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_r \\ v_g \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2.2)$$

formunda yazılabilir. Burada $[M_{rr}]$, $[C_{rr}]$ ve $[K_{rr}]$ DSD ile ilgili sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini göstermektedir. $[M_{rg}]$, $[C_{rg}]$ ve $[K_{rg}]$ her BZSD'nin birim hareketinden dolayı DSD'de meydana gelen kuvvetleri; $[M_{gg}]$, $[C_{gg}]$ ve $[K_{gg}]$ ise her BZSD'nin birim hareketinden dolayı BZSD'de meydana gelen kuvvetleri ifade etmektedir. $[M_{gr}]$, $[C_{gr}]$ ve $[K_{gr}]$ ise sırasıyla $[M_{rg}]$, $[C_{rg}]$ ve $[K_{rg}]$ ifadelerinin transpozelerine karşılık gelmektedir. $\{\ddot{v}_r\}$, $\{\dot{v}_r\}$, $\{v_r\}$ sırasıyla DSD'nin toplam ivme, hız ve yerdeğiştirme vektörlerini; $\{\ddot{v}_g\}$, $\{\dot{v}_g\}$, $\{v_g\}$ ise BZSD'nin toplam ivme, hız ve yerdeğiştirme vektörlerini göstermektedir. Eş. 2.2'den DSD denklemlerine karşılık gelen ilk satır çıkartılıp bilinenler sağ tarafa atılırsa,

$$[M_{rr}]\{\ddot{v}_r\} + [C_{rr}]\{\dot{v}_r\} + [K_{rr}]\{v_r\} = -[M_{rg}]\{\ddot{v}_g\} - [C_{rg}]\{\dot{v}_g\} - [K_{rg}]\{v_g\} \quad (2.3)$$

ifadesi elde edilir. Eş. 2.3'ün sağ tarafında deprem etkisi; ivme, hız ve yerdeğiştirmeler cinsinden ifade edilmektedir. 2.3 nolu eşitliği daha basit hale getirmek için, toplam yerdeğiştirme v_r iki bileşenin toplamı olarak yazılabilir. Bunlardan biri, BZSD'nin asinkronize hareketinden diğeri ise atalet kuvvetlerinin etkisinden kaynaklanmaktadır. Atalet kuvvetleri düğüm noktaları ivme ve kütlelerinin çarpımından ibaret olduğu için, ikinci yerdeğiştirme bileşeni dinamik olarak tanımlanıp v_d ile gösterilecektir. Birinci yerdeğiştirme bileşeni üniform yer hareketi durumunda rijit cisim hareketi olarak oluştuğundan ve yapıda iç etki meydana getirmediğinden hareket denklemlerinden çıkartılmaktadır. Fakat, asinkronize yer hareketi durumunda farklı serbestlik derecelerinde farklı yerdeğiştirmeler gözlenecek ve bundan dolayı iç kuvvetler oluşacaktır. Bu yerdeğiştirmelerin hesaplanmasında kütlelerin etkisi dikkate alınmadığından, söz konusu yerdeğiştirmeler zahiri-statik olarak isimlendirilmekte ve v_s ile gösterilmektedir. Bu durumda 2.2 nolu eşitliğindeki yerdeğiştirme vektörleri,

$$\begin{Bmatrix} v_r \\ v_g \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} v_{sr} \\ v_{sg} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} v_{dr} \\ v_{dg} \end{Bmatrix} \quad (2.4)$$

şeklinde yazılabilir. Burada v_{dg} sıfır, v_{sg} ise v_g 'ye eşittir. v_{sr} ve v_{dr} ise sırasıyla zahiri-statik ve dinamik yerdeğiştirmeleri göstermektedir. Eş. 2.4, Eş. 2.3'de yerine yazılıp zahiri-statik bileşenlerle ilgili terimler sağ tarafta toplanırsa,

$$[M_{rr}]\{\ddot{v}_{dr}\} + [C_{rr}]\{\dot{v}_{dr}\} + [K_{rr}]\{v_{dr}\} = \{F_{eff}\} \quad (2.5)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifadede $\{F_{eff}\}$ DSD'ni etkileyen etkili kuvvet vektörünü göstermekte ve

$$-\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_{sr} \\ \ddot{v}_{sg} \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} C_{rr} & C_{rg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_{sr} \\ \dot{v}_{sg} \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} K_{rr} & K_{rg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_{sr} \\ v_{sg} \end{Bmatrix} \quad (2.6)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Dinamik denge denklemleri statik denge denklemlerini içerdüğinden, 2.6 nolu eşitlik önemli derecede basitleştirilebilir. Eğer Eş. 2.5 ve Eş.2.6'dan zamana bağılı terimler çıkartılırsa, sadece Eş.2.6'nın son terimi kalmakta ve bu terimde sıfıra eşit olmaktadır. Böylece 2.6 nolu eşitlik,

$$\{F_{eff}\} = -\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_{sr} \\ \ddot{v}_{sg} \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} C_{rr} & C_{rg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_{sr} \\ \dot{v}_{sg} \end{Bmatrix} \quad (2.7)$$

şeklinde yazılabilir. Sönüm matrisi rijitlik matrisi ile orantılı ise Eş. 2.7'nin sönümle ilgili terimleri sıfır olmaktadır. Sönümün rijitlikle orantılı olmaması durumunda bile sönüm kuvvetleri, rijitlik kuvvetleri ile karşılaştırıldığında çok küçük kalmakta ve ihmal edilebilmektedir. Bu durumda Eş. 2.7 tekrar düzenlenirse,

$$\{F_{eff}\} = -\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_{sr} \\ \ddot{v}_{sg} \end{Bmatrix} \quad (2.8)$$

ifadesi elde edilmektedir. Eş. 2.8'deki $\ddot{v}_{sg}$, BZSD'ne uygulanan ivmeleri gösterdiğinden bilinmekte; $\ddot{v}_{sr}$ ise bilinmemektedir. Daha önce belirtildiği gibi, Eş. 2.6'nın son terimi sıfıra eşit olduğundan,

$$[K_{rr}]\{v_{sr}\} = -[K_{rg}]\{v_{sg}\} \quad (2.9)$$

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

$$\{v_{sr}\} = -[K_{rr}]^{-1}[K_{rg}]\{v_{sg}\} = -[R_{rg}]\{v_{sg}\} \quad (2.10)$$

olarak belirlenebilir. Burada $[R_{rg}]$; $[K_{rr}]^{-1}$ ve $[K_{rg}]$ alt matrislerinin çarpımını göstermektedir. Eş.2.10'dan yararlanılarak $\{\ddot{v}_{sr}\}$ türevle bulunabilmektedir. Eş. 2.10, Eş. 2.8'de yerine konursa,

$$\{F_{eff}\} = -[M_{rr}R_{rg} + M_{rg}]\{\ddot{v}_{sg}\} \quad (2.11)$$

şeklinde elde edilir. Bir çok durumlarda $[M_{rg}]$ matrisinin sıfırdan farklı terimleri çok azdır. Dolayısıyla, depremden dolayı meydana gelen etkili kuvvet vektörüne katkısı çok az olacağından ihmal edilebilir. Özellikle diyagonal kütle matrisler için $[M_{rg}]$ matrisi sıfır olmaktadır. Yukarıdaki açıklamalardan sonra Eş. 2.5 tekrar düzenlenirse,

$$[M_{rr}]\{\ddot{v}_{dr}\} + [C_{rr}]\{\dot{v}_{dr}\} + [K_{rr}]\{v_{dr}\} = -[M_{rr}][R_{rg}]\{\ddot{v}_{sg}\} \quad (2.12)$$

şeklinde yazılabilir.

Mesnetlerden uygulanan farklı yer hareketi durumunda DSD'nin $\{v_{dr}\}$ dinamik yerdeğiştirme bileşenlerinin bulunmasında kullanılan (12) ifadesi, klasik dinamik analiz içinde geçerlidir. Şöyleki, BZSD'nin tümünde aynı ivme kullanıldığında $\{\ddot{v}_{sg}\}$ tekil bir terim olup, $\{R_{rg}\}$ ise sıfır ve birlerden oluşan bir vektördür. Söz konusu vektör klasik dinamik analizde doğrultu vektörü olarak adlandırılır. Mesnetlerden etkiyen farklı yer hareketi durumunda ise $[R_{rg}]$, $\{r\}$ vektörlerinden oluşan bir matristir. $\{r\}$ vektörü, zahiri-statik etki katsayı vektörü veya zemin yerdeğiştirmelerinin şekil vektörü olarak isimlendirilmektedir. $\{r\}$ vektörleri, BZSD'nin birine yatay veya düşey yönde birim yerdeğiştirme verilip diğer tüm

BZSD tutulmak suretiyle yapının yapmış olduğu şekli gösterir. Yer hareketinin etkidiği her mesnet noktası için $\{r\}$ vektörleri hesaplanabilir. $\{r\}$ vektörleri, sistem rijitlik matrisindeki $[K_{rr}]^{-1}$ ve $[K_{rg}]$ alt matrislerinin çarpımından direkt olarak hesaplanabilir. Fakat, $[K_{rr}]$ ve $[K_{rg}]$ alt matrislerinin elde edilmesi için sistem rijitlik matrisini alt matrislere ayıran programlar gerekmektedir. Bunun yerine, $\{r\}$ vektörü tanımından hareketle, sistem rijitlik matrisini alt kısımlara ayırmaktan kaçınılabilir. Bu işlem için ceza metodu kullanılmaktadır. Şöyleki, sistem rijitlik matrisinde $\{r\}$ vektörünün hesaplanacağı BZSD'ne karşılık gelen diyagonal terime büyük bir rijitlik eklenmekte ve bu rijitliğe eşit bir yük söz konusu serbestlik derecesine uygulanarak statik analiz yapılmaktadır. Böylece, BZSD'deki yerdeğiştirme seçilen rijitliğin artırılmasıyla birim değere yaklaşmaktadır. Her bir BZSD veya bölge için hesaplanan $\{r\}$ vektörlerinin sistemin her düğüm noktasındaki toplamı yer hareketi yönünde birim olmalıdır.

Eş. 2.12'deki $\{\ddot{v}_{sg}\}$ ise her BZSD'ne uygulanan ivme vektörünü göstermektedir. Eş. 2.12'nin çözümü, standart sayısal analiz işlemlerinden olan direkt sayısal integrasyon veya modların süperpozisyonu yaklaşımıyla bulunabilir. Burada, modların süperpozisyonu yöntemi kullanılmaktadır. Açısal frekans w_i ve mod vektörleri $\{\phi_i\}$,

$$[M_{rr}]\{\ddot{v}_{dr}\} + [K_{rr}]\{v_{dr}\} = 0 \quad (2.13)$$

ifadesiyle verilen sönümsüz serbest titreşim denklemlerinden elde edilmektedir. Analizlerde dikkate alınacak mod sayısı yapı tipine göre değişmektedir. Binalar için üç mod yeterli olurken, kablolu köprüler için onbeş mod yeterli olmaktadır.

DSD'nin dinamik yerdeğiştirme bileşeni, $\{v_{dr}\}$,

$$\{v_{dr}\} = \sum_i \{\phi_i\} Y_i(t) \quad (2.14)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Eş. 2.14'de $Y_i(t)$ zamana bağlı i . modal genliği göstermektedir. Eş. 2.14, Eş. 2.12'de yerine konur ve gerekli düzenlemeler yapılsa

$$\ddot{Y}_i(t) + 2\xi w_i \dot{Y}_i(t) + w_i^2 Y_i(t) = \left[-\frac{\phi_i^T M_{rr}}{\phi_i^T M_{rr} \phi_i} \right] \left[r_1 \ddot{v}_{1g}(\tau_1, t) + r_2 \ddot{v}_{2g}(\tau_2, t) + \dots \right] \quad (2.15)$$

bağıntısı elde edilmektedir. Burada ξ sönüm oranını göstermekte ve titreşimin tüm modları için aynı alınmaktadır. τ_i ise yer hareketinin belirli bir referans noktasından başlayıp i . mesnet noktasına veya bölgeye varış zamanını göstermektedir. Yer hareketinin mesnet noktalarına veya bölgelere varış zamanı τ , deprem dalgası yayılma hızına ve belirli bir referans noktasından itibaren uzaklığa bağlıdır. Eş. 2.15'in sağ tarafında $\{r\}$ vektörü sayısı kadar terim olacaktır. Eş. 2.15 ifadesindeki $Y_i(t)$, sayısal integrasyon tekniklerinden Wilson- θ metodu kullanılarak her mod için hesaplanmaktadır.

DSD'nin toplam yerdeğiştirmesinin zahiri-statik bileşeni, v_{sr} ,

$$v_{sr} = r_1 v_{1g}(\tau_1, t) + r_2 v_{2g}(\tau_2, t) + \dots \quad (2.16)$$

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

Gerilmelerin hesabında kullanılan toplam yerdeğiştirmeler, v_r , ise

$$v_r = v_{sr} + v_{dr} \quad (2.17)$$

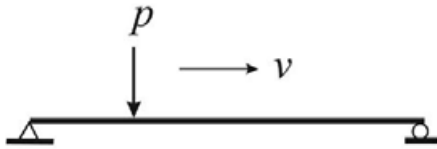
bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Sistemdeki iç kuvvetler, toplam yerdeğiştirme vektörü her eleman için uygun rijitlik matrisi ile çarpılarak,

$$\{p\} = [K] \{v_r\} \quad (2.18)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada $\{p\}$ kuvvet vektörünü gösterirken, $[K]$ rijitlik matrisini göstermektedir [25, 26].

2.2. Taşıt Köprü Etkileşimi

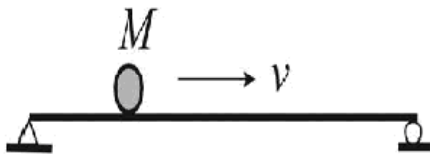
Birçok durumda özellikle de taşıt kütlesinin köprü kütlesine oranının düşük olduğu durumlarda, daha basit modeller oluşturulabilmesi için taşıtın elastik ve ataletsel etkileri ihmal edilebilir. Hareketli yük modeli olarak tanımlanan bu modelde, köprü üzerinde hareket halinde olan taşıt Şekil 2.1.'deki gibi hareketli tekil yük olarak dikkate alınmaktadır [27].



Şekil 2.1. Hareketli yük modeli [27]

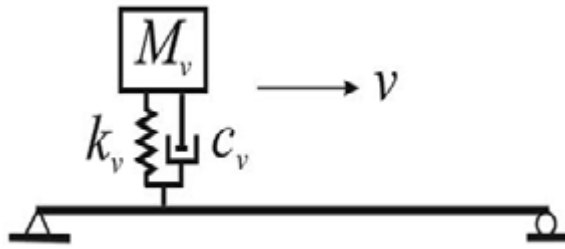
Köprü taşıt etkileşiminin ihmal edildiği bu durumda, hareketli yük modeli sadece büyük sistemin (köprü) tepkisinin hesaplanmasında kullanılabilir. Hareketli yük modeli, taşıt kaynaklı köprü titreşimlerinin irdelenmesinde kullanılan en basit modelledir. Bu modelde her ne kadar temas kuvvetleri ihmal edilse de, hareketli yükler altında köprünün temel dinamik karakteristikleri yeterli doğrulukta elde edilebilir. Bu nedenle, hareketli yük modeli taşıt kütlesinin köprü kütlesine oranının çok küçük olduğu ve sadece köprü davranışının incelendiği durumlarda iyi bir modeldir.

Taşıt ataletinin ihmal edilemeyeceği durumlarda hareketli yük modeli yerine Şekil 2.2.'deki hareketli kütle modeli kullanılmalıdır.



Şekil 2.2. Hareketli kütle modeli [27]

Hareketli kütle modelinde hareketli kütlenin köprü üzerindeki sıçraması dikkate alınamamaktadır. Yüzey pürüzlülüğü ve yol düzensizliklerinin söz konusu olması durumunda ve köprü üzerinden yüksek hızlı taşıtların geçmesi durumunda, sıçrama etkisinin önemli olması beklenmektedir. Bu durumdaki taşıt modeli Şekil 2.3.'de görülen yay-sönümleyici birimi ile desteklenen hareketli yaylı kütle modelidir [27].



Şekil 2.3. Hareketli yaylı kütle modeli [27]

Daha karmaşık taşıt modellerinin seçilmesi daha gerçekçi sonuçların elde edilmesini sağlasa da, bazı zorluklara da neden olmaktadır. Basit bir modelin seçilmesi taşıt hareketleri nedeniyle köprüde meydana gelen etkilerin belirlenmesini kolaylaştırmaktadır.

Taşıt köprü sisteminin dinamik tepkisi araştırılırken, birincisi köprü ikincisi de taşıt için olmak üzere iki hareket denklemi yazılabilir. Taşıt ve köprünün temas ettiği noktalarda yazılan hareket denklemleribirbiriyle bağlantılı ve non-lineerdir. Etkileşim kuvvetlerinin zamana ve mesafeye bağlı olması nedeniyle, temas kuvvetlerinin fonksiyonu olan sistem matrisleri her zaman dilimi için zaman-tanım alanında analizlerle güncellenmeli ve çarpanlarla arttırılmalıdır. Bu hareket denklemlerinin çözümü genellikle iteratif bir yapıya sahip yöntemlerle gerçekleştirilmektedir [27].

Köprünün kiriş eleman ve köprü üzerinden sabit v hızı ile geçen taşıtın hareketli yaylı kütle modeli ile tanımlandığı Şekil 2.4.'deki köprü taşıt etkileşim elemanı için $r(x)$ yüzey düzensizliğini, k_B ise köprü kirişi rijitliğini tanımlamaktadır.

olarak ifade edilmektedir. Burada $\{u_b\}$ kiriş elemana ait düğüm noktası yerdeğiştirmesini ve r_c, x_c temas noktasındaki yüzey düzensizliğini ifade etmektedir. Hareketli yaylı kütle sistemi ile etkileşim halindeki bir köprü elemanının hareket denklemi ise aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$[m_b]\{\ddot{u}_b\} + [c_b]\{\dot{u}_b\} + [k_b]\{u_b\} = \{p_b\} - \{N_c\}f_c \quad (2.21)$$

Burada , $[m_b]$, $[c_b]$ ve $[k_b]$ sırasıyla, köprü elemanının kütle, sönüm ve rijitlik matrisini göstermektedir. $\{p_b\}$ ise köprü üzerinde hareket eden dış noktasal kuvvetleri temsil etmektedir [27].

3.YAPILAN ÇALIŞMALAR

3.1.Giriş

Kablolu köprülerin deprem hareketi ve trafik yüklemelerine bağlı dinamik davranışını belirlemek amacıyla bu çalışmada Tatar Kablolu Köprüsü örnek olarak seçilmiştir. Japonya’da inşa edilen Tatar Köprüsü, yapıldığı tarihte 890 m lik merkez açıklıkla dünyanın en uzun kablolu köprüsü ünvanına sahiptir. Köprü’nün 3 boyutlu sonlu elemanlar modeli, SAP 2000 Advanced V14.1.0 programı kullanılarak oluşturulmuştur.

Ana kuleler arasındaki mesafenin fazla olmasından dolayı, köprüye üniform yer hareketi yanısıra mesnetlerinden farklı yer hareketi uygulaması da yapılmıştır. Yer hareketi olarak, orta derecede sağlam kaya ile sağlam kaya sınıfına ait zemin grupları için elde edilmiş iki ayrı deprem kaydı kullanılmıştır.

Trafik yüklemesinde ise, her bir köprü kesitinde maksimum tesirleri elde etmek amacıyla üniform trafiki yüklemeleri ile beraber, hareketli trafik yüklemesi de yapılmıştır. Taşıt sınıfı olarak AASHTO da tanımlı ağır kamyon tipi olan HS20-44 ile orta ağırlıkta kamyon tipi olan H20-44 kamyon sınıfları seçilmiştir.

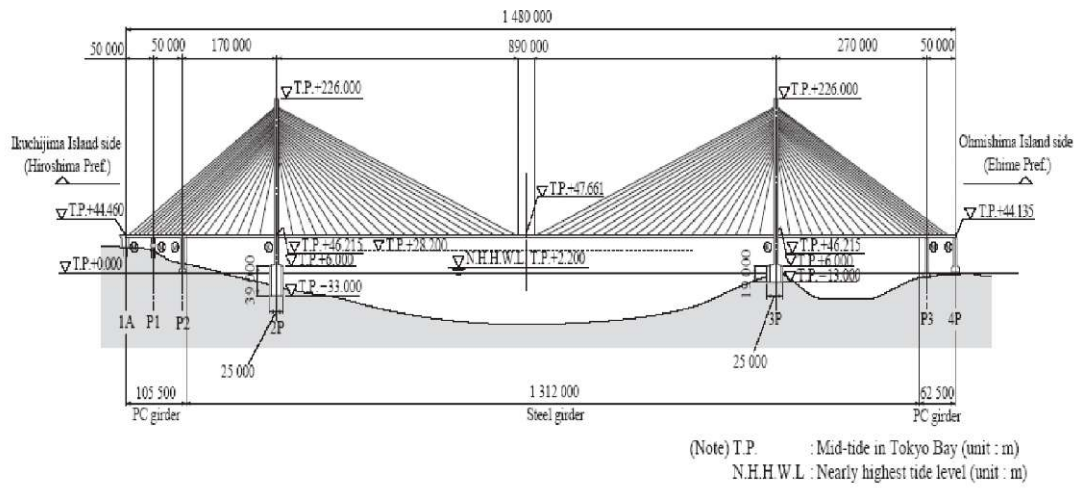
Kablolu köprü’nün doğrusal olmayan davranışına bağlı olarak, köprü’nün zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi gerçekleştirilmiştir. Doğrusal olmayan analiz, köprü’nün kendi ağırlığını da kapsayacak şekilde uygulanmıştır.

3.2. Tatar Kablolu Köprüsü’nün Genel Özellikleri

Tatar Köprüsü Japonya’da Ikuchijima Adası ile Ohmishima Adası’nı birbirine bağlayan ve yapıldığı yılda (1999) dünyanın en uzun kablolu köprüsü ünvanına sahip köprüdür. 2009 yılında Çin’de Sutong Köprüsü’nün yapımı tamamlanınca dünyanın en büyük ikinci kablolu köprüsü olmuştur.

İlk olarak asma köprü olmasındüşünülen Tatar Köprüsü, ulusal park alanını çevreleyen bir bölgede yapılacak olması ve asma köprü'nün ankrajlarının çevreye zarar vereceği düşüncesiyle kablolu köprü olarak yeniden tasarlanmıştır. Estetik ve yapım süresinin daha az olması da, tercihinin diğer bir nedenidir[28].

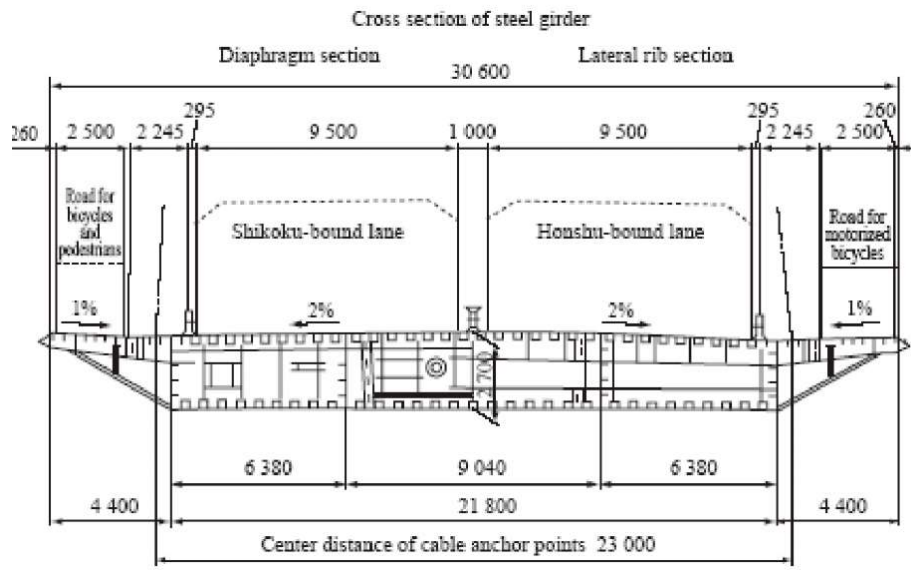
Tatar Köprüsü'nün toplam uzunluğu 1480m olup, merkez açıklığı 890 m, kenar açıklık mesafeleri ise 270 m ve 320 m dir. Orta açıklık tabliyesi çelikten, kenar açıklık tabliyeleri ise çelik ve öngerilmeli betondan oluşmaktadır. Şekil 3.1.'de köprü'nün genel yerleşimi gösterilmiştir.



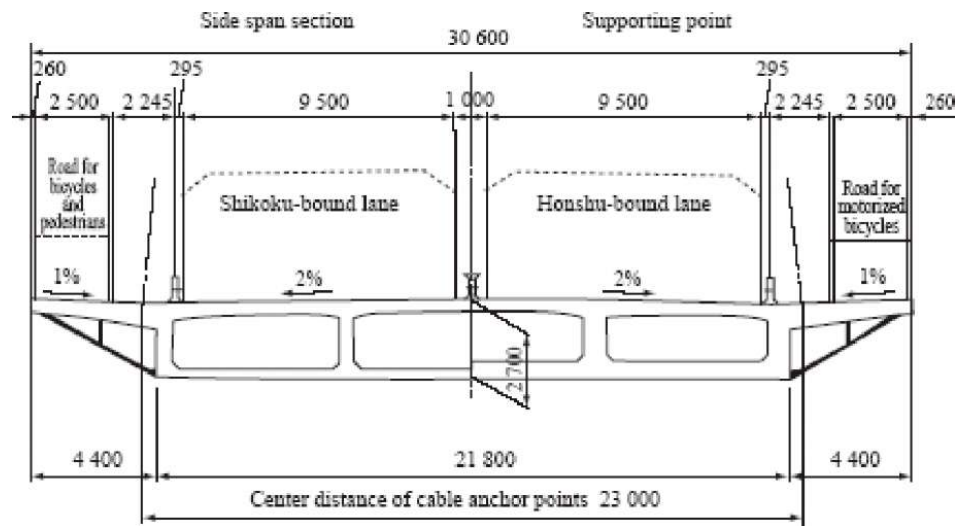
Şekil 3.1. Tatar Köprüsü genel yerleşimi [29]

Tabliye kesiti orta kısımda 1312m boyunca çelik olup, negatif reaksiyonu engellemek için her iki 105,5 m ve 62,5 m lik kenar kısımlarda öngerilmeli beton kullanılmıştır. Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.'te çelik ve öngerilmeli beton kesitler gösterilmiştir.

Köprü'nün toplam genişliği motorlu bisiklet ve yayalara ait yollar dahil 30,6 m, gövde yüksekliği ise 2,7 m dir. 25 000 ton'u çelik olmak üzere köprü'nün toplam ağırlığı yaklaşık 37 000 ton'dur [29]. Köprü'nün tasarım özellikleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

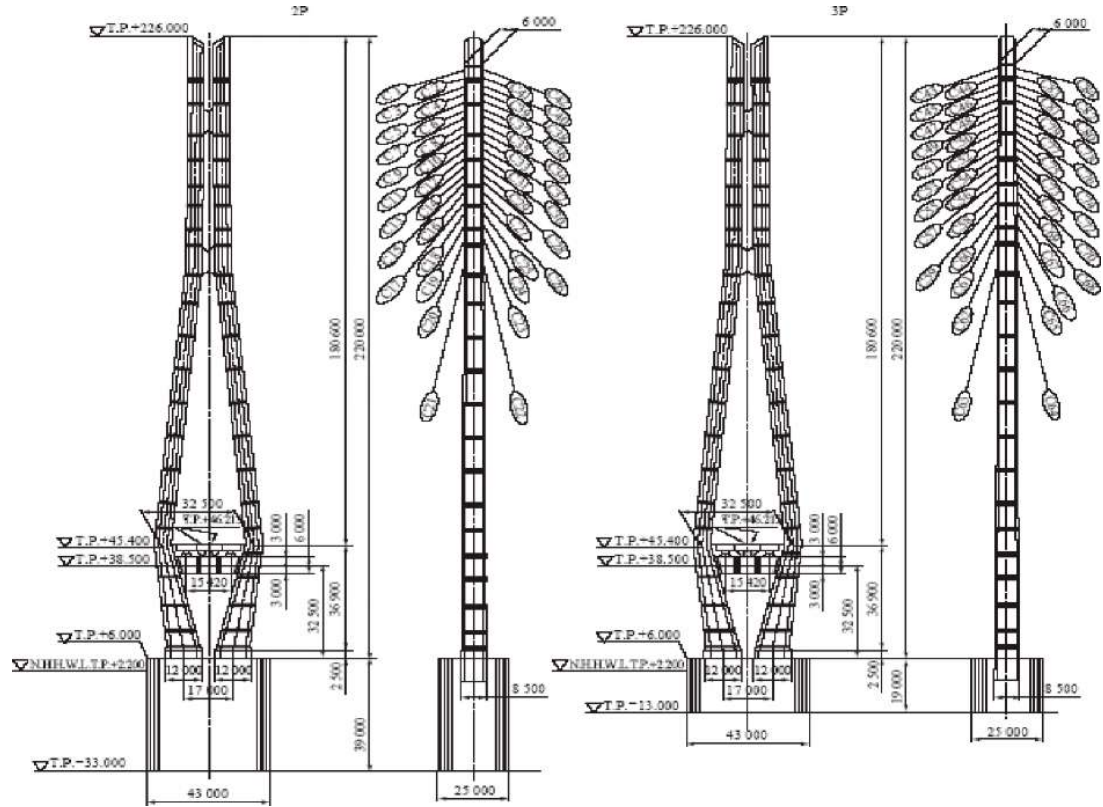


Şekil 3.2. Çelik tabliye enkesiti [29]



Şekil 3.3. Öngerilmeli beton enkesiti [29]

Ana kule 220 m yüksekliğinde ve ters Y şeklinde tasarlanmış olup, kablo yerleşim şekli yelpaze sistem olarak düşünülmüştür. Bu şekil yerleşimde kablolarınıyatay düzlem ile yaptığı açı düşey düzlem ile yaptığı açıdan daha fazla olduğundan, yatay yer hareketlerine karşı köprünün esnekliği de fazla olmaktadır.21 seviyede monte edilen kablolar iki düzlemli olup,maksimum kablo uzunluğu yaklaşık 460 m dir. Şekil 3.4’de ana kuleler ve kablo yerleşimi gösterilmiştir [29].



Şekil 3.4. Ana kuleler ve kablo yerleşimi [29]

Çizelge 3.1 Tatar Köprüsü tasarım  zellikleri [29]

ELEMAN		TANIM
Köprü adı		Tatara Köprüsü
Köprü tipi		Üç açıklıklı kompozit kablolu köprü
Köprü uzunluğu (m)		L = 1480
Açıklık uzunluğu (m)		L = 270+890+320
Tasarım hareketli yükü		B hareketli yük (Otoyol Köprüleri Şartnamesi) Şubat,1994
Yol özelliği		Kategori 1 , Sınıf 3
Tasarım hızı (km/sa)		V = 80
Şerit sayısı		4 şerit (9.5 m x 2) + yürüme yolu (2.5mx2)
Ana Kule	Şekil	Ters Y
	Kule yüksekliği (m)	220m
	Kesit boyutu (m)	Tabanda 12 ^{TT} x8,5 ^{LL} Üstte 6 ^{TT} x6 ^{LL} (LL = Köprü aksı yönünde TT = Köprü aksına dik yönünde)
Ana Kiriş	Şekil	Çelik kiriş kesiti : 3-hücre çelik kutu kiriş
		Öngerilmeli beton kiriş kesiti : 3-hücre öngerilmeli beton kutu kiriş
	Kiriş yüksekliği (m)	H = 2,7
	Kiriş genişliği (m)	Toplam genişlik : 30.6 Dışkenar gövde mesafesi : 21.8 Kablo ankraj genişliği : 23.0
	Kablo şekli	
		İki-düzlem 21 seviye şerbetsiz PWS (Φ 7 mm toron)
Yol kaplaması	Tipi	Asfalt kaplama
	Anayol (mm)	Çelik kiriş kesitte : 65 Öngerilmeli beton kiriş kesitte : 75
	Yürüme yolu (mm)	30
Tabliye döşeme şekli		Çelik kiriş kesit : Çelik plaka tabliye ÖB kiriş kesitte : ÖB döşeme
Öngerilmeli beton kiriş elemanların standart tasarım dayanımı (N/mm ²)		24
Kablo toronu emniyet gerilmesi (N/mm ²)		640

3.3. Deprem Hareketinin Tanımlanması

Tatara Köprüsü'ne uygulanacak yer hareketinin modellemesinde 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi (Türkiye) ile 21 Eylül 1999 Chi Chi Depremi (Tayvan) kayıtları kullanılmıştır. Kocaeli Depremi kayıtları sağlam kaya zemin sınıfından, Chi Chi Depremi kayıtları ise orta sertlikteki kaya zemin sınıfından elde edilmiş kayıtlardır. Köprü üniform yer hareketleri ve mesnetlerinden farklı yer hareketleri uygulanarak inceleneceğinden, iki farklı yer hareketi kaydına ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle 1999 Kocaeli Depremi'nin İstanbul'un Mecidiyeköy ve Yıldız semtlerinde ölçülmüş kayıtları, 1999 Chi Chi Depremi'nin de Tayvan'da birbirine yakın bölgelerden ölçülmüş kayıtları seçilmiştir. Bu kayıtlar California Üniversitesi, Berkeley'e ait PEER (Pacific Earthquake Engineering Research) Strong Motion Database [30] veritabanından alınmıştır.

Mecidiyeköy kaydının maksimum yer ivmesi değerleri düşey yönde 0,028 g , kuzey yönünde 0,068 g, doğu yönünde 0,054 g dir. Maksimum yer değiştirme değerleri ise düşeyde 46,8 mm, kuzey yönünde 101,1 mm, doğu yönünde 47,5 mm dir.

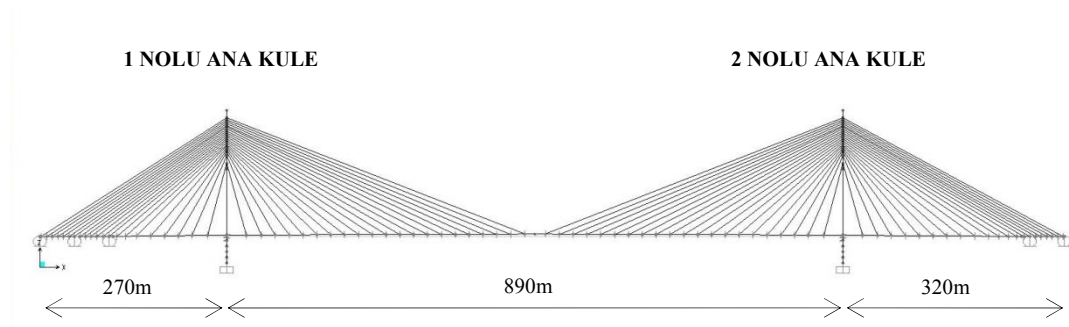
Yıldız kaydının maksimum yer ivmesi değerleri düşey yönde 0,035 g , kuzey yönünde 0,053 g, doğu yönünde 0,044 g dir. Maksimum yer değiştirme değerleri ise düşeyde 64,4 mm, kuzey yönünde 82,2 mm, doğu yönünde 126,7 mm dir.

Chi-1 kaydının maksimum yer ivmesi değerleri düşey yönde 0,165 g , kuzey yönünde 0,416 g, doğu yönünde 0,303 g dir. Maksimum yer değiştirme değerleri ise düşeyde 173,9 mm, kuzey yönünde 353,7 mm, doğu yönünde 314,7 mm dir.

Chi-2 kaydının maksimum yer ivmesi değerleri düşey yönde 0,281 g , kuzey yönünde 0,44 g, doğu yönünde 0,353 g dir. Maksimum yer değiştirme değerleri ise düşeyde 197,3 mm, kuzey yönünde 387,5 mm, doğu yönünde 452,8 mm dir.

Kocaeli Depremi kayıtları kullanılarak köprüye 3 ayrı yer hareketi uygulanmıştır. İlk olarak Mecidiyeköy ivme-zaman kayıtları kullanılarak köprüye enine, boyuna ve düşey yönde olmak üzere üç yönlü üniform yer hareketi uygulanmıştır. İkinci olarak Yıldız ivme-zaman kayıtları kullanılarak köprüye enine, boyuna ve düşey yönde olmak üzere üç yönlü üniform yer hareketi uygulanmıştır. Üçüncü olarak da, ana kuleler arasındaki mesafenin fazla olmasından dolayı köprüye mesnetlerinden farklı yer hareketi uygulanmıştır. Mesnetlerinden farklı yer hareketi uygulamasında her iki taraftaki mesnetlere farklı yer hareketi uygulanmıştır. 1 nolu ana kule mesnetine ve köprünün bu yakasındaki diğer üç mesnete Mecidiyeköy deplasman-zaman kayıtları kullanılarak enine, boyuna ve düşey yönde olmak üzere üç yönlü yer hareketi, 2 nolu ana kule mesnetine ve köprünün bu yakasındaki diğer iki mesnete ise Yıldız deplasman-zaman kayıtları kullanılarak enine, boyuna ve düşey yönde olmak üzere üç yönlü yer hareketi uygulanmıştır. Ana kule mesnetleri harici diğer mesnetler köprünün boyuna yönde kayar mesnet olduklarından bu mesnetlere boyuna yönde mesnetlerinden farklı yer hareketi uygulanmamıştır.

Aynı şekilde Chi Chi Depremi kayıtları kullanılarak da köprüye 3 ayrı yer hareketi uygulanmıştır. İlk olarak Chi-1 ivme-zaman kayıtları kullanılarak köprüye enine, boyuna ve düşey yönde olmak üzere üç yönlü üniform yer hareketi uygulanmıştır. İkinci olarak Chi-2 ivme-zaman kayıtları kullanılarak köprüye enine, boyuna ve düşey yönde olmak üzere üç yönlü üniform yer hareketi uygulanmıştır. Üçüncü olarak da, 1 nolu ana kule mesnetine ve köprünün bu yakasındaki diğer üç mesnete Chi-1 deplasman-zaman kayıtları kullanılarak enine, boyuna ve düşey yönde olmak üzere üç yönlü yer hareketi, 2 nolu ana kule mesnetine ve köprünün bu yakasındaki diğer iki mesnete ise Chi-2 deplasman-zaman kayıtları kullanılarak enine, boyuna ve düşey yönde olmak üzere üç yönlü yer hareketi uygulanmıştır. Ana kulelerin yerleşimi Şekil 3.5’ de gösterilmiştir.

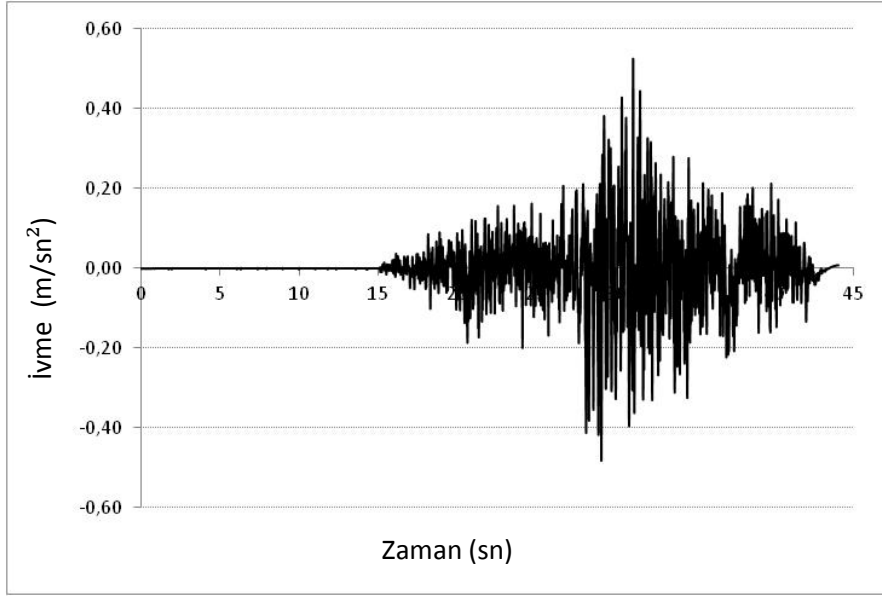


Şekil 3.5. Ana kulelerin yerşelimi

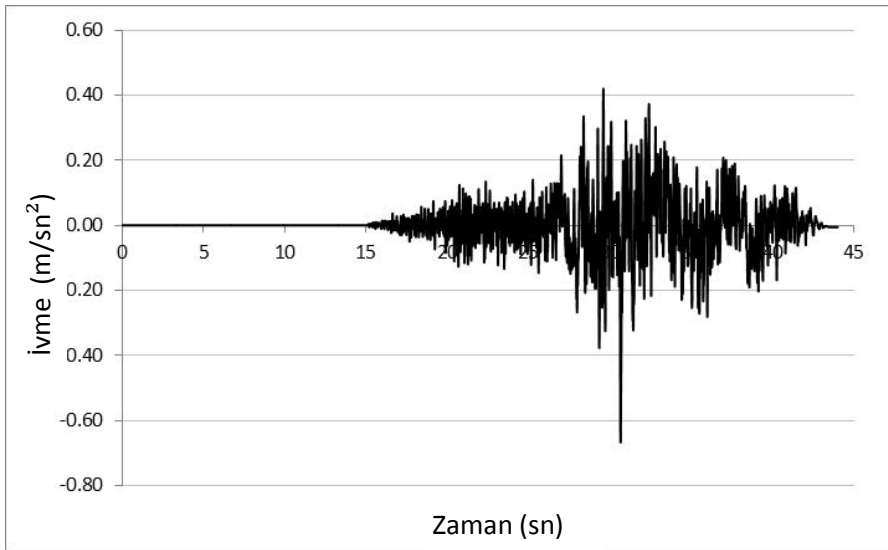
Köprüye üniform yer hareketi verilirken Mecidiyeköy, Yıldız, Chi-1 ve Chi-2 kayıtlarının düşey yöndeki ivme - zaman değerleri köprüye düşey yönde, kuzey yönündeki ivme - zaman değerleri enine yönde ve doğu yönündeki ivme - zaman değerleri boyuna yönde uygulanmıştır. Mecidiyeköy, Yıldız, Chi-1 ve Chi-2 ye ait ivme - zaman kayıtları Şekil 3.6. - Şekil 3.17.'de gösterilmiştir.

Köprüye mesnetlerinden farklı yer hareketleri uygulanırken Mecidiyeköy, Yıldız, Chi-1 ve Chi-2 kayıtlarının düşey yöndeki deplasman - zaman değerleri köprüye düşey yönde, kuzey yönündeki deplasman - zaman değerleri enine yönde ve doğu yönündeki deplasman - zaman değerleri boyuna yönde uygulanmıştır. Mecidiyeköy, Yıldız, Chi-1 ve Chi-2 ye ait deplasman - zaman kayıtları Şekil 3.18. - Şekil 3.29.'da gösterilmiştir.

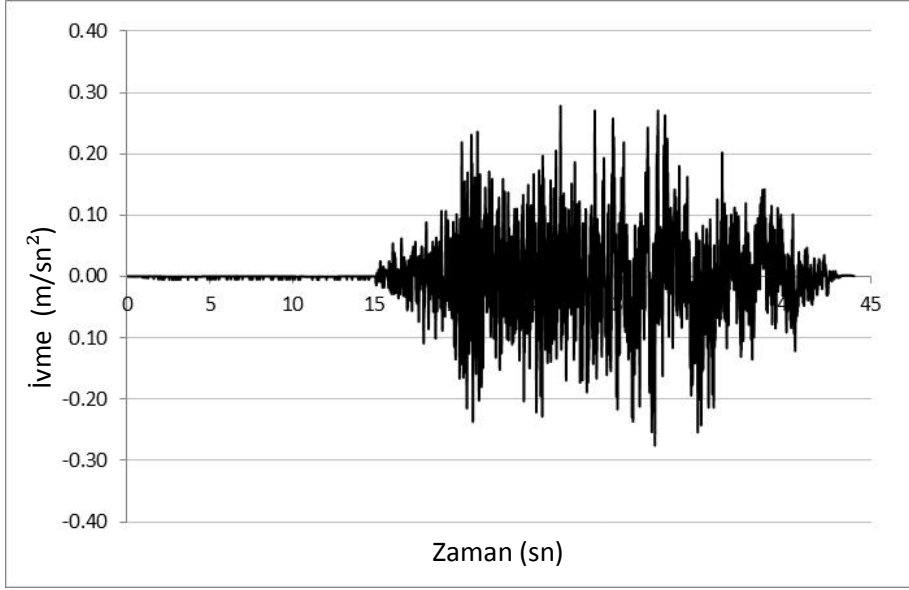
Deprem yüklemeleri için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılmış olup yapılan bu doğrusal olmayan analizlerde köprünün kendi ağırlığı da göz önünde bulundurulmuştur.



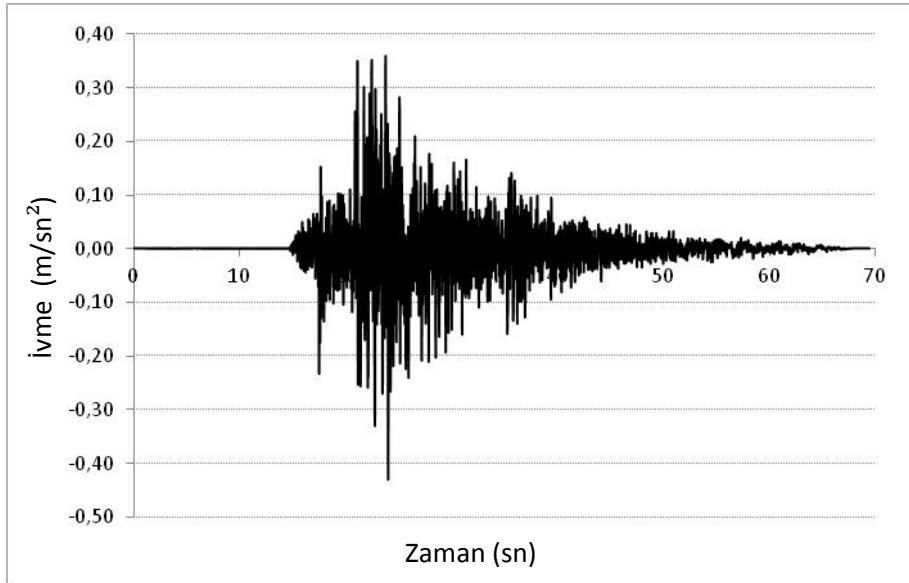
Şekil 3.6. Mecidiyeköy Doğu Yönünde İvme-Zaman Kaydı



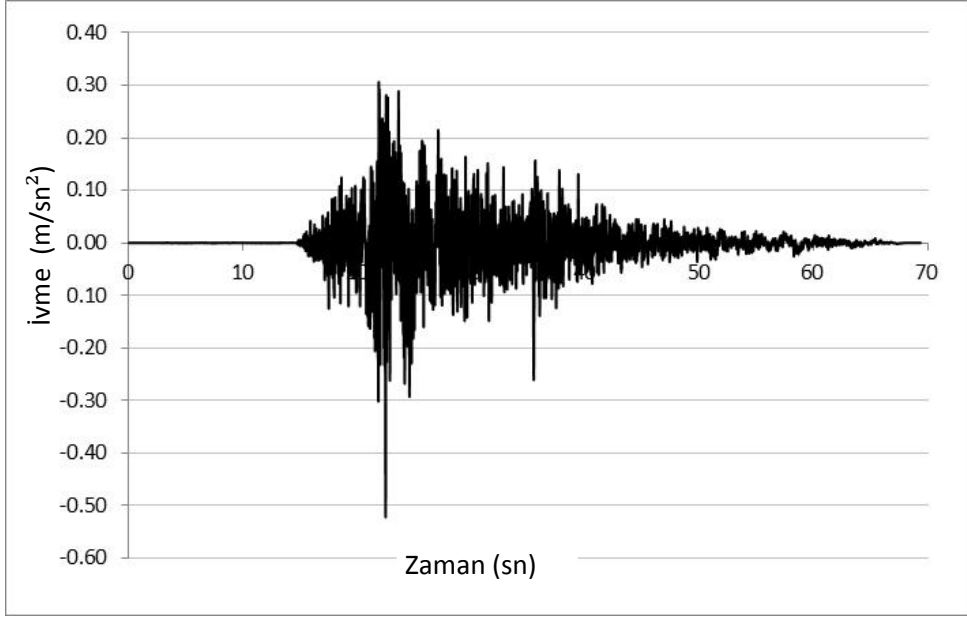
Şekil 3.7. Mecidiyeköy Kuzey Yönünde İvme-Zaman Kaydı



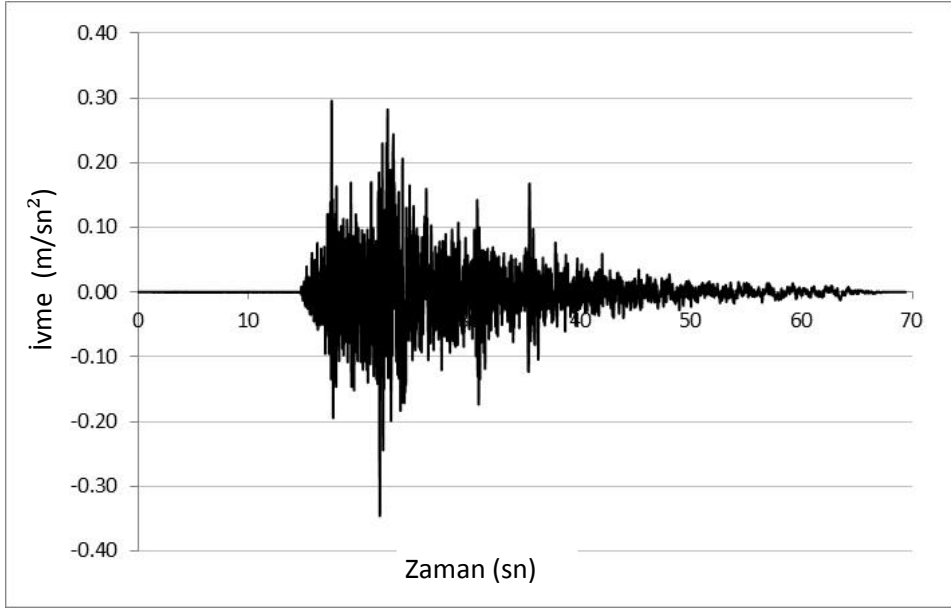
Şekil 3.8. Mecidiyeköy Düşey Yönde İvme-Zaman Kaydı



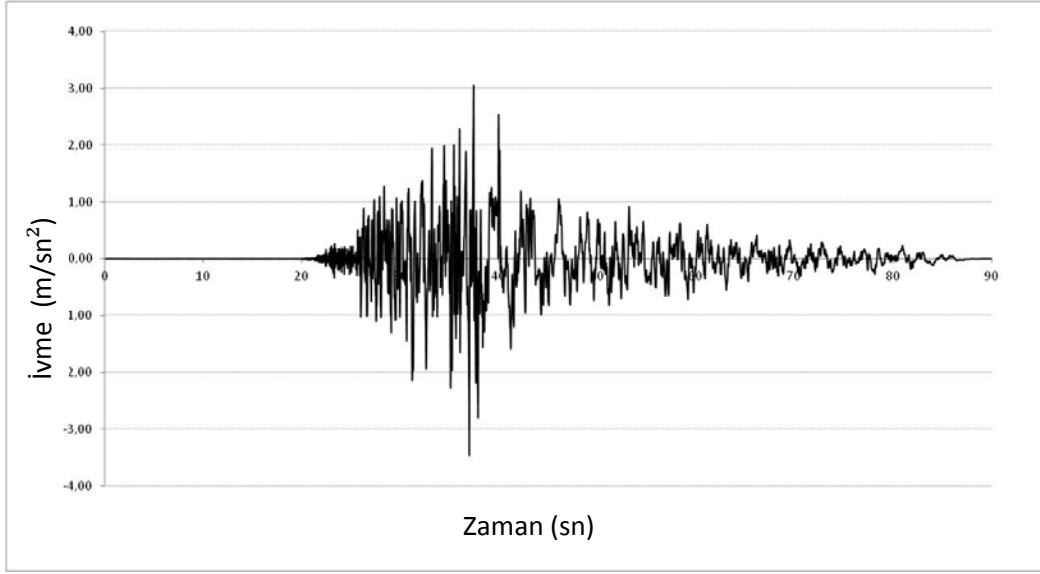
Şekil 3.9. Yıldız Doğu Yönünde İvme-Zaman Kaydı



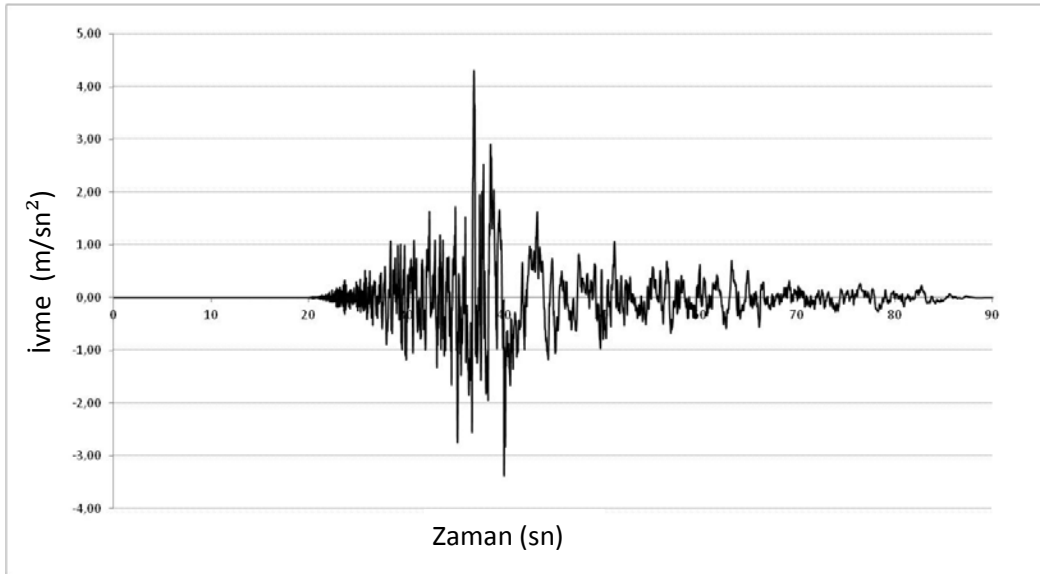
Şekil 3.10. Yıldız Kuzey Yönünde - İvme-Zaman Kaydı



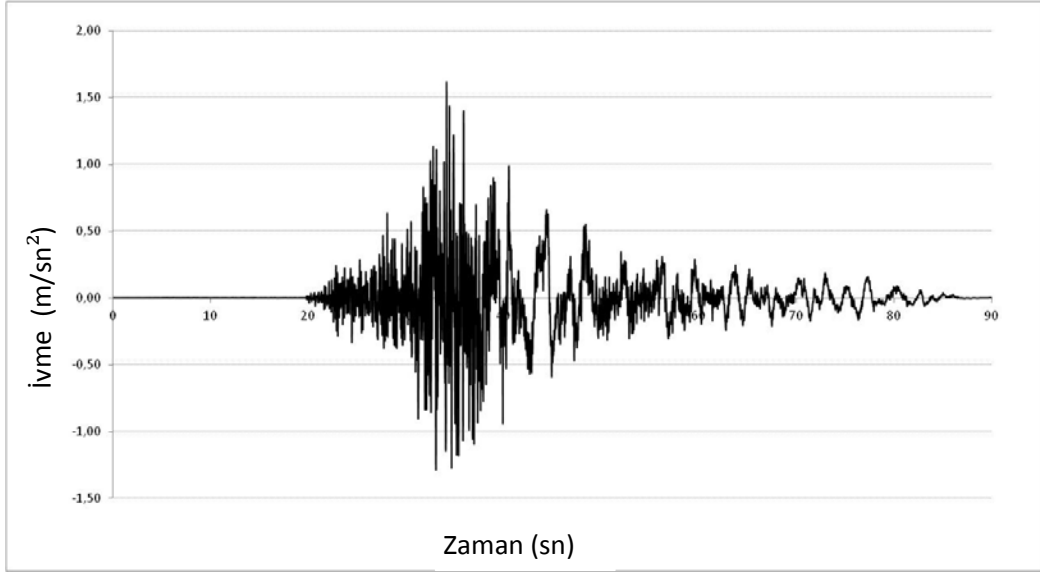
Şekil 3.11. Yıldız Düşey Yönde İvme-Zaman Kaydı



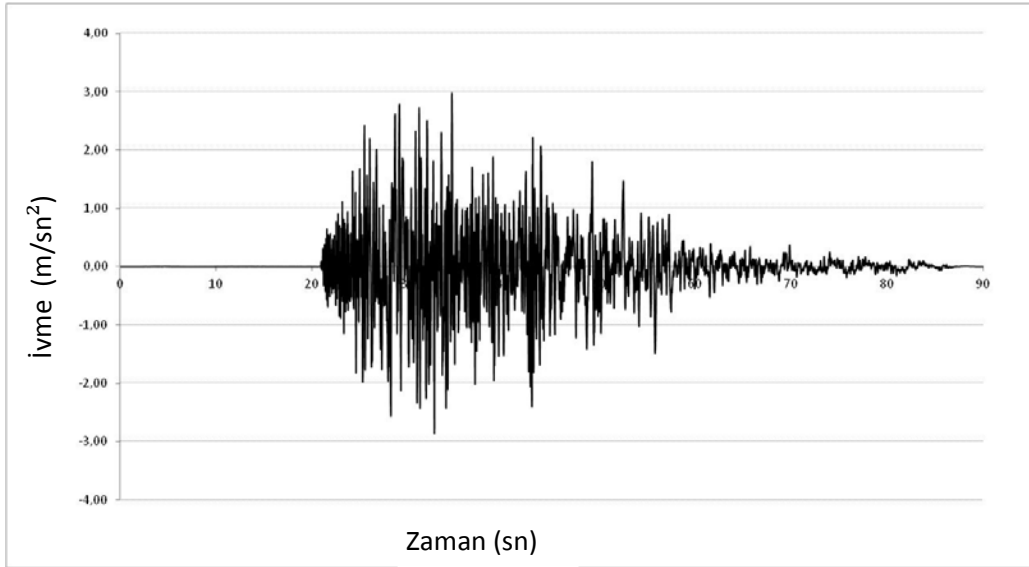
Şekil 3.12. Chi-1 Doğu Yönünde İvme - Zaman Kaydı



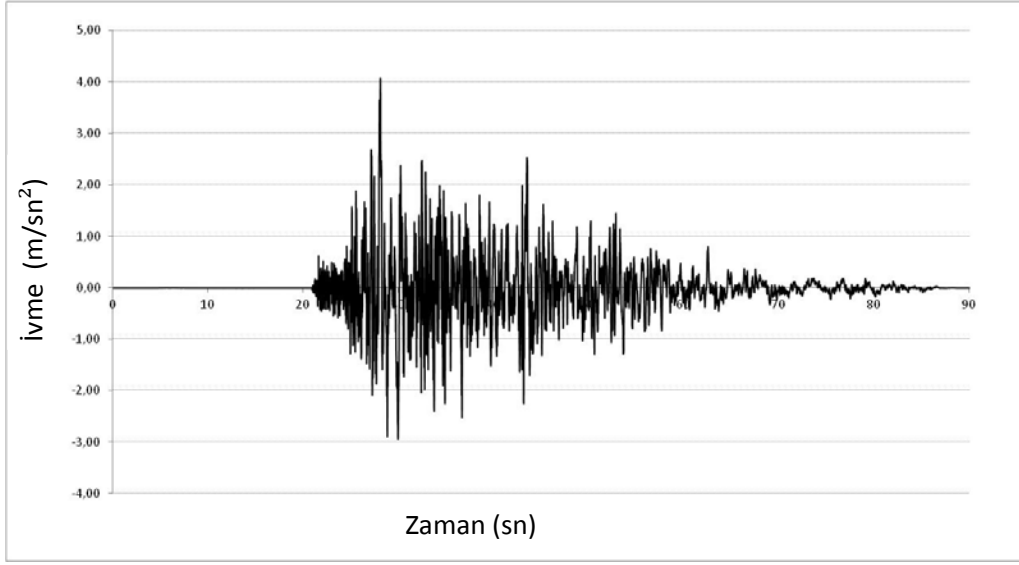
Şekil 3.13. Chi-1 Kuzey Yönünde İvme - Zaman Kaydı



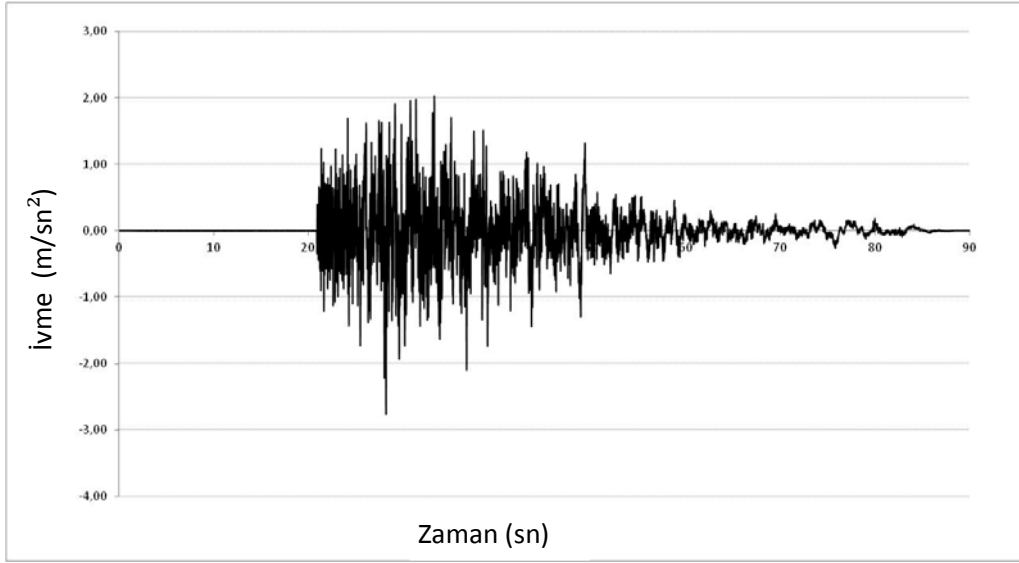
Şekil 3.14. Chi-1 Düşey Yönde İvme - Zaman Kaydı



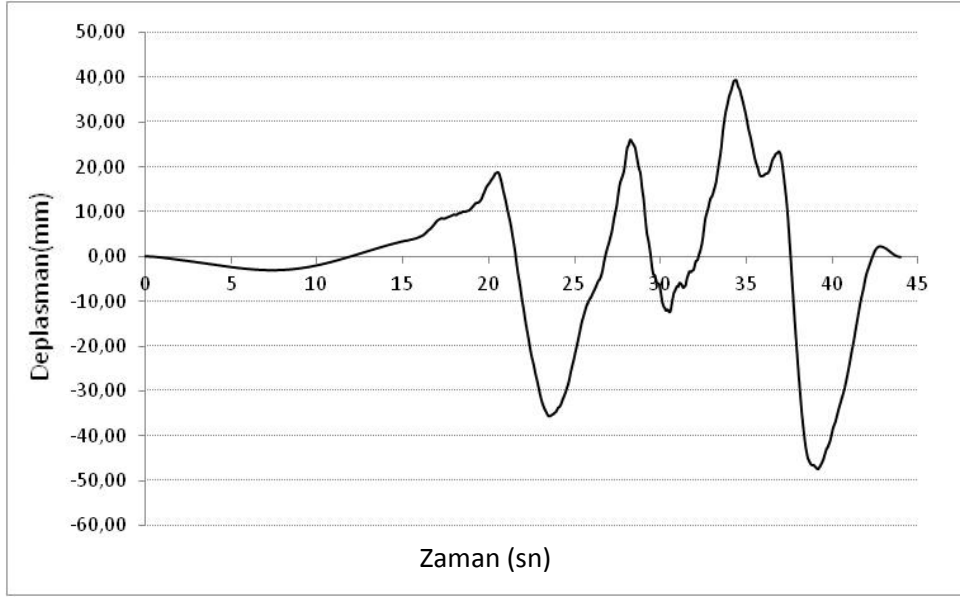
Şekil 3.15. Chi-2 Doğu Yönünde İvme - Zaman Kaydı



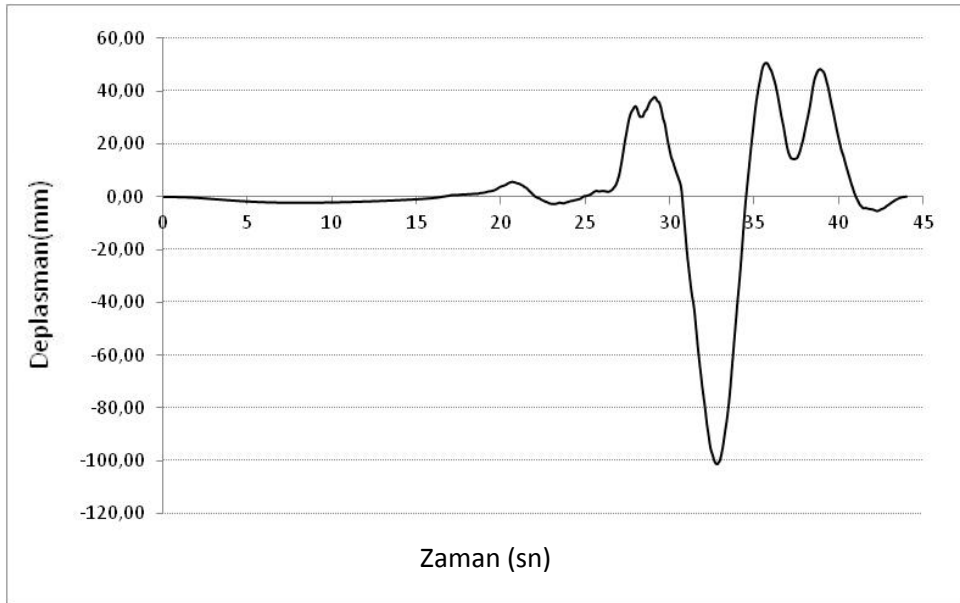
Şekil 3.16. Chi-2 Kuzey Yönünde - İvme-Zaman Kaydı



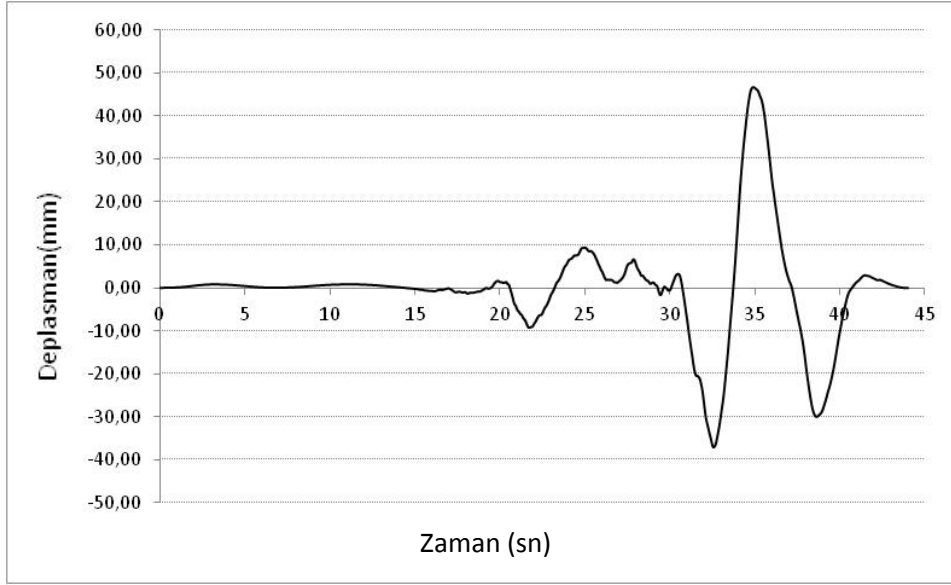
Şekil 3.17. Chi-2 Düşey Yönde İvme - Zaman Kaydı



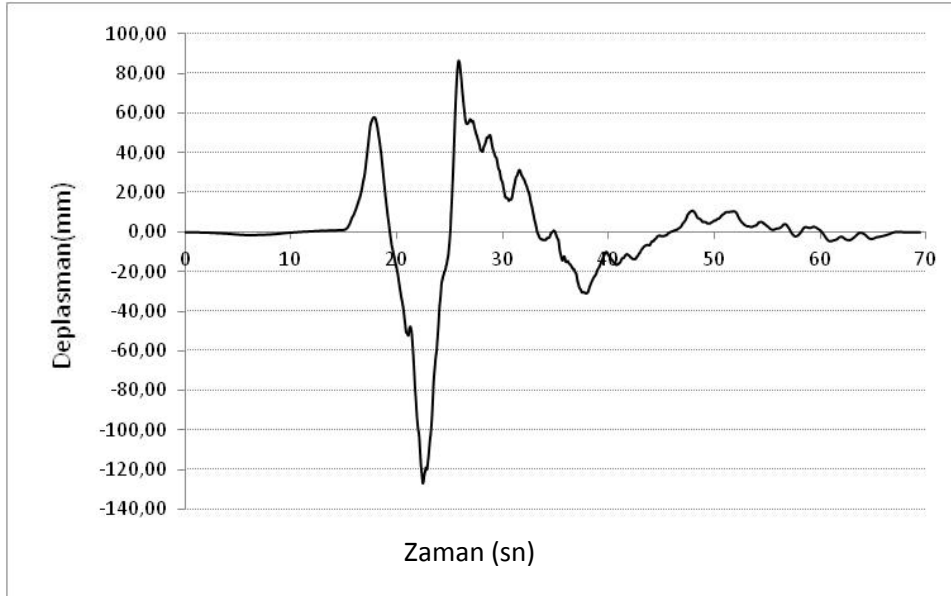
Şekil 3.18. Mecidiyeköy Doğu Yönünde Deplasman - Zaman Kaydı



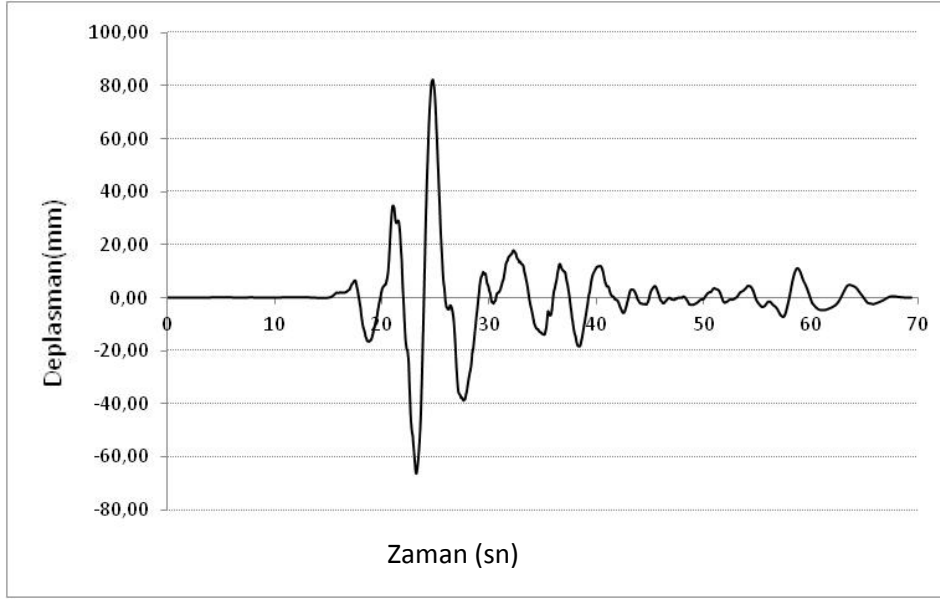
Şekil 3.19. Mecidiyeköy Kuzey Yönünde Deplasman - Zaman Kaydı



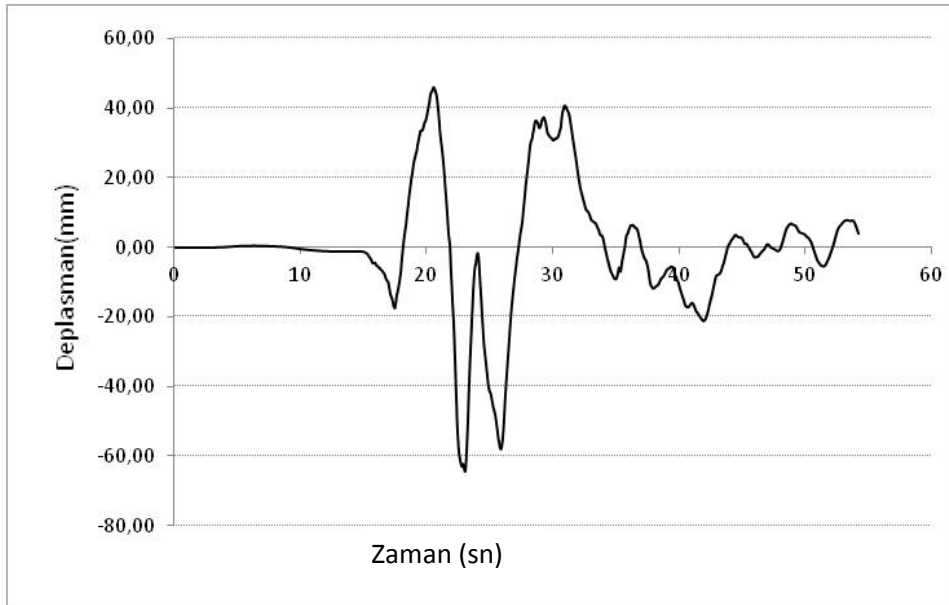
Şekil 3.20. Mecidiyeköy Düşey Yönde Deplasman - Zaman Kaydı



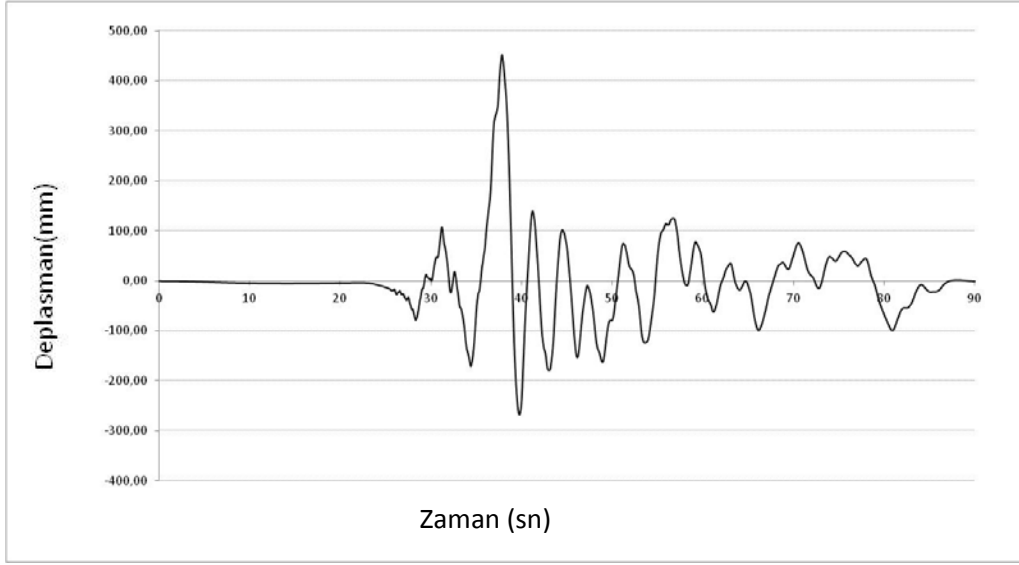
Şekil 3.21. Yıldız Doğu Yönünde Deplasman - Zaman Kaydı



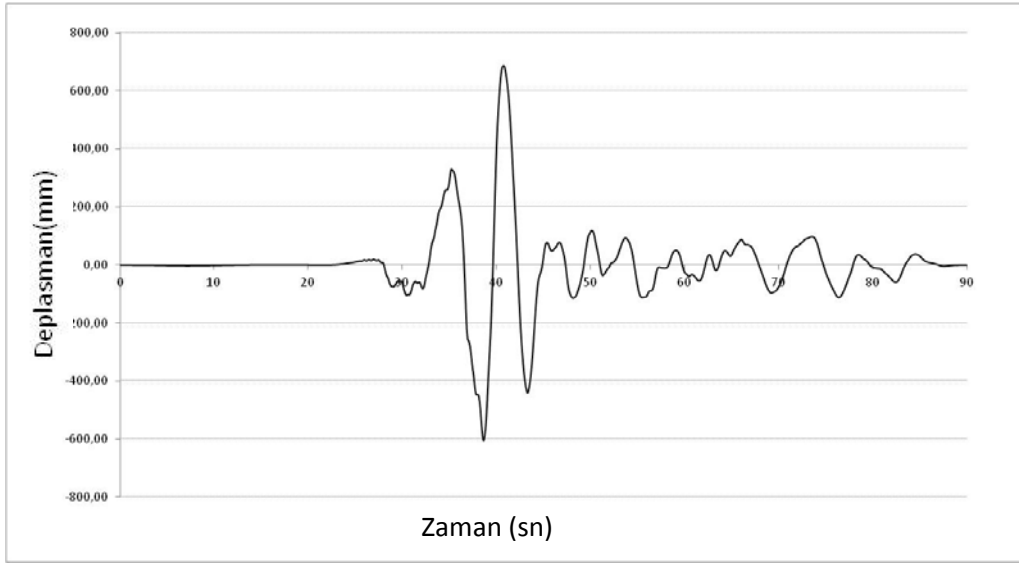
Şekil 3.22. Yıldız Kuzey Yönünde Deplasman - Zaman Kaydı



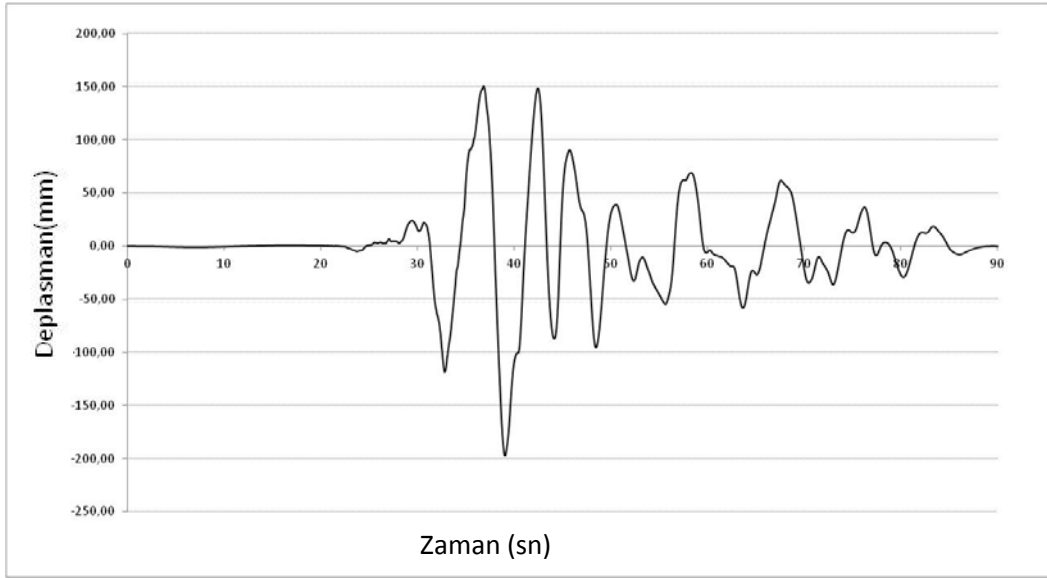
Şekil 3.23. Yıldız Düşey Yönde Deplasman - Zaman Kaydı



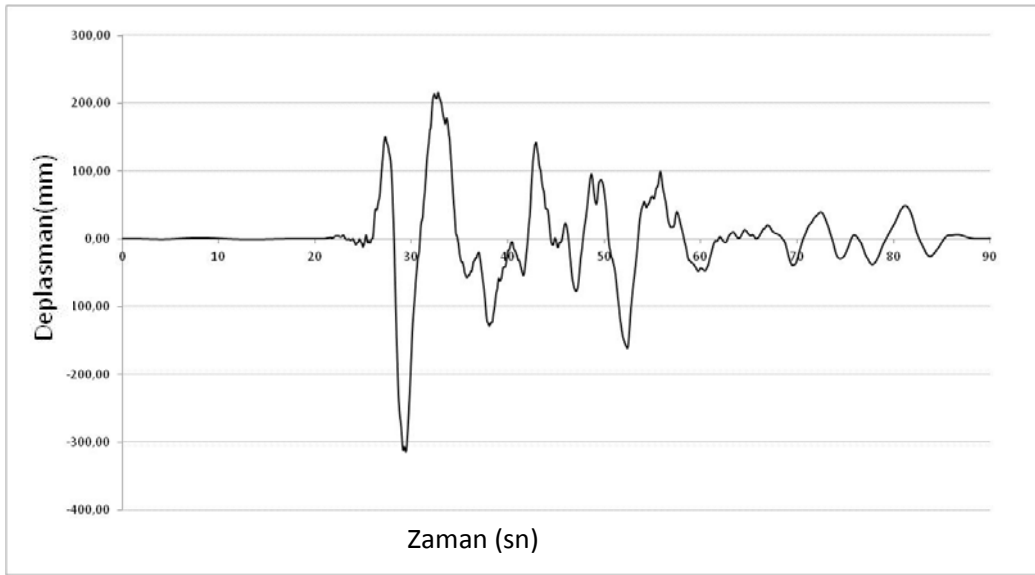
Şekil 3.24. Chi-1 Doğu Yönünde Deplasman - Zaman Kaydı



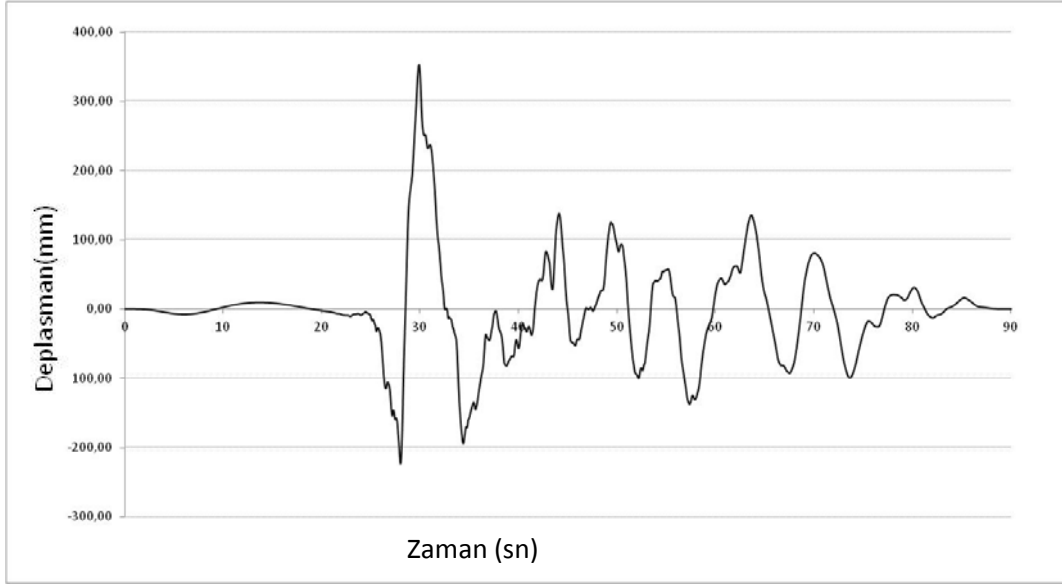
Şekil 3.25. Chi-1 Kuzey Yönünde Deplasman - Zaman Kaydı



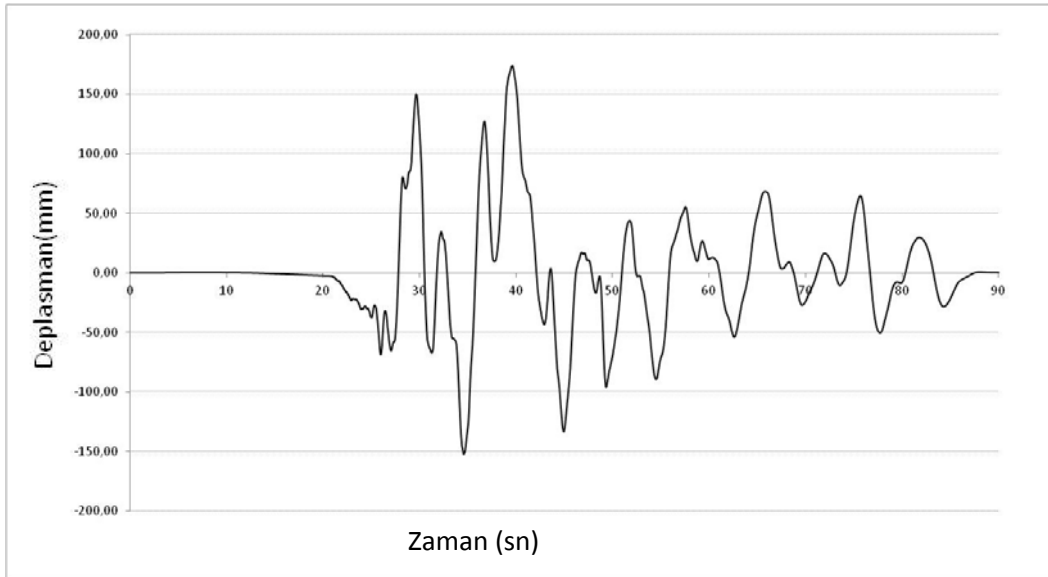
Şekil 3.26. Chi-1 Düşey Yönde Deplasman - Zaman Kaydı



Şekil 3.27. Chi-2 Doğu Yönünde Deplasman - Zaman Kaydı



Şekil 3.28. Chi-2 Kuzey Yönünde Deplasman - Zaman Kaydı



Şekil 3.29. Chi-2 Düşey Yönde Deplasman - Zaman Kaydı

3.4. Trafik Yükleme

Bu çalışmada dikkate alınan taşıt kütlelerinin köprü kütlelerine oranının düşük olması ve sadece köprü dinamik davranışının incelenmesi nedeniyle, trafik yüklerinin köprü sistemine uygulanabilmesi için daha önce belirtilen yöntemlerden hareketli yük modeli seçilmiştir

Tatara Köprüsü'nün trafik yükü altındaki davranışı incelenirken köprü elemanlarında maksimum tepkilereneden olacak yükleme durumlarını oluşturmak amacıylaüç ayrı yükleme durumu dikkate alınmıştır. İlk olarak ağır kamyon tipi olan HS20-44 kamyon sınıfı kullanılarak hareketli taşıt yükü uygulaması yapılmıştır.Daha sonra ağır kamyon sınıfı yük değerleri kullanılarak köprünün tamamına üniform yayılı sabit trafik yükü uygulanmıştır.Son olarak da orta ağırlıkta bir kamyon tipi olan H20-44 kamyon sınıfı yük değerleri kullanılarak, köprünün tamamına üniform yayılı sabit trafik yükü uygulanmıştır.

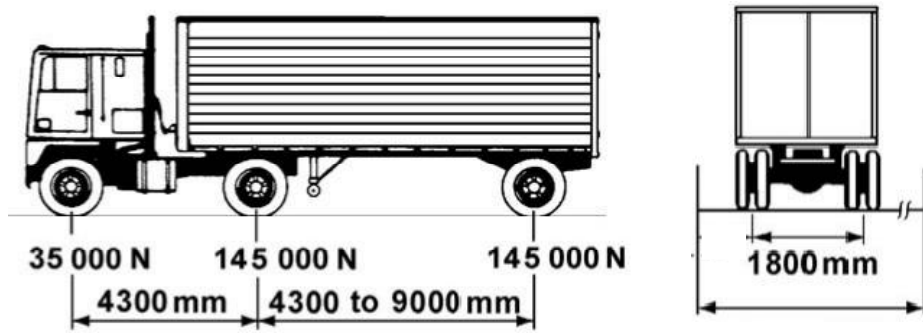
Hareketli yük uygulamasında taşıtlar köprüye belirli zaman aralıklarıyla girmekte ve belirlenen toplam süre boyunca seçilen şeritler üzerinde hareket etmektedirler.Bu nedenle hareketli trafik yükü uygulamasında zaman – tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılmıştır.

Tatara Köprüsü iki adet gidiş yönünde ve iki adet de dönüş yönünde olmak üzere toplam 4 şeritli bir köprüdür [29]. Hareketli trafik yükü uygulamasında köprünün 2'şer şeridi karşılıklı olarak yüklenmeye başlanmış ve hareket süresi tamamlandığında köprü boyunca 4 şeritin de tamamen dolu olması sağlanmıştır. Böylelikle değişik mesafelerde yüklemeler yapılabildiğinden bir çok kritik durum analiz edilebilmiştir.

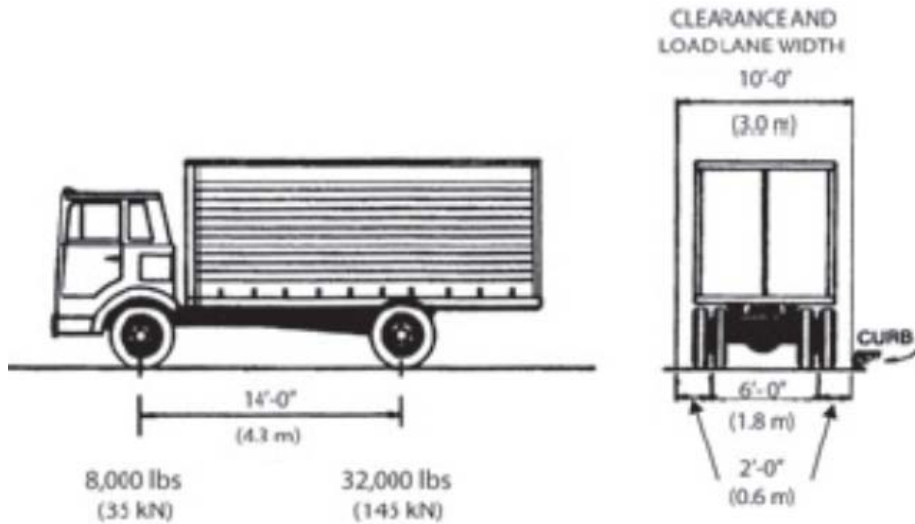
Tatara Köprüsü'nün boyu 1480 m olup, tasarım hızı 80 km/s (22 m/sn) dir [29]. Analiz süresi, köprüye 80 km/s hızla giren taşıtların köprüden ayrılışına kadar geçen süre olup, 68sn olarak hesaplanmıştır.Bu süre köprü boyunun (1480 m) tasarım hızına (22 m/sn) bölünmesi ile elde edilmiştir.

Bunun yanında köprünün tamamına üniform yayılı sabit trafik yükü uygulaması yapılırken, köprü boyunca 4 şeridin tamamının taşıt ile dolu olduğu durumlarda incelenmiştir.

Trafik yüklemesinde taşıt tipi olarak AASHTO'da [31] tarifli kamyonlar kullanılmıştır. Ağır kamyon sınıfı olarak HS 20-44, orta ağırlıkta kamyon sınıfı olarak da H 20-44 seçilmiştir. HS 20-44 ve H 20-44 tipi kamyonların ölçüleri ve yük değerleri Şekil 3.30. ve 3.31.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.30. HS 20-44 kamyonu ölçüleri ve yük değerleri [31]



Şekil 3.31. H 20-44 kamyonu ölçüleri ve yük değerleri [31]

Taşıtların birbirleri arasındaki mesafe, köprüye uygulanacak trafik yüklemesinin büyüklüğünü belirleyen önemli bir unsurdur. Uzun açıklıklı köprülerde bu mesafe köprünün kullanım amacına ve yoğunluğuna göre değişmektedir. Örneğin Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'nün tasarımında, aşırı hareketli yük kombinasyonu için taşıtlar arası mesafe 25 m olarak alınmıştır [32]. Bu çalışmada da hareketli ve yayılı trafik yüklemesi için taşıtlar arası mesafe 25 m olarak kabul edilmiştir. Kamyon boyu ise en elverişsiz durumu oluşturmak için 9 m olarak kabul edilmiştir. Taşıtlar arası mesafe 25 m ve kamyon boyu 9 m olduğunda iki kamyon aksı arası mesafe 34 m olmaktadır. Toplam kamyon ağırlığı HS 20-44 sınıfı kamyon için 325 kN olduğundan ard arda sıralı kamyonlar için yayılı yük her bir şerit için yaklaşık 10kN/m olmaktadır. Toplam ağırlığı 200kN olan H 20-44 sınıfı kamyon için ise bu değer 6 kN/m dir.

Köprünün tamamına ağır kamyon sınıfı yük değerleri kullanılarak üniform yayılı sabit trafik yükü uygulamasında köprü boyunca 4 şeridin de tamamının taşıt ile dolu olduğu düşünüldüğünden, 40kN/m yayılı yük köprü tabliyesinin tamamına uygulanmıştır. Bunun yanında köprünün tamamına orta ağırlıkta kamyon sınıfı yük değerleri kullanılarak üniform yayılı sabit trafik yükü uygulamasında da köprü boyunca 4 şeridin de tamamının taşıt ile dolu olduğu düşünüldüğünden, 24 kN/m yayılı yük köprü tabliyesinin tamamına uygulanmıştır.

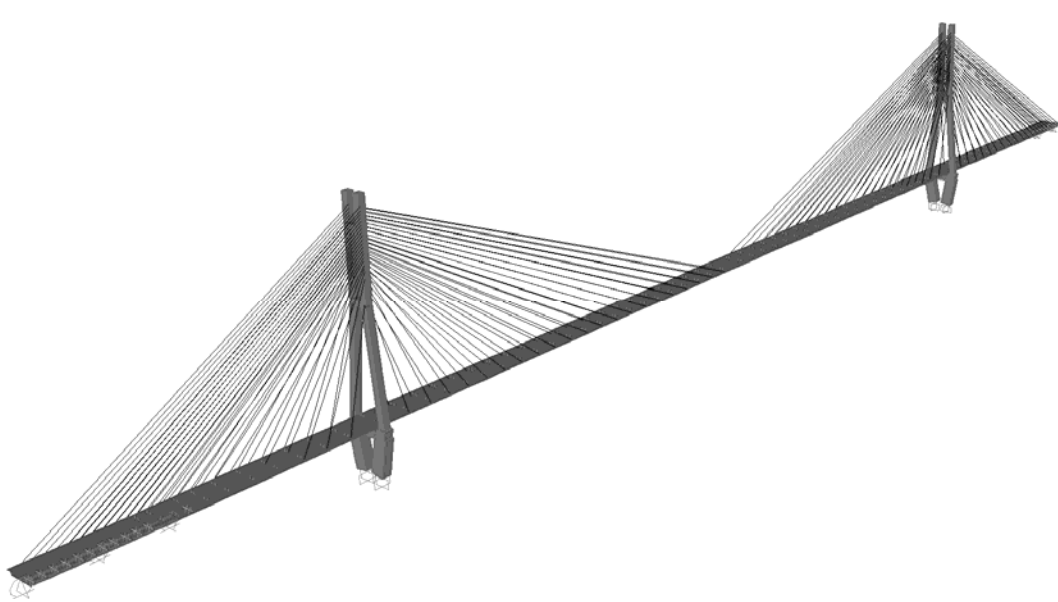
Kamyonların hızı 22 m/sn olduğundan hareketli trafik yükü uygulamasında taşıtlar köprüde 1,5 sn aralıklarla hareket ettirilmiştir. Böylelikle yayılı trafik yüklemelerinde iki kamyon aksı arası mesafe olarak seçilen 34 m, hareketli trafik yüklemesinde de elde edilmiştir.

Üniform yayılı sabit trafik yüklemesi yapılırken, doğrusal olmayan statik yükleme yapılmıştır.

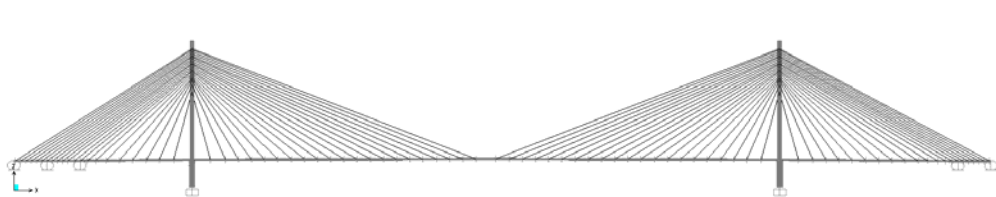
3.5. Köprünün Sonlu Elemanlar Modeli

Tatara Köprüsü'nün 3-boyutlu sonlu elemanlar modeli SAP 2000 Advanced 14.1.0 sonlu elemanlar programı kullanılarak oluşturulmuştur.

Köprü tabliyesi ve ana kuleler çubuk eleman olarak, kablolar ise SAP 2000 programının içinde mevcut bulunan özel kablo elemanları ile tanımlanmıştır. Modelde toplam 381 düğüm noktası, 214 çubuk eleman, 168 adet kablo eleman ve 170 adet bağlantı elemanı kullanılmıştır. Şekil 3.31. ve Şekil 3.32.' de köprünün bilgisayar modeli oluşturulurken 3 boyutlu modeli ile boy kesiti gösterilmiştir.

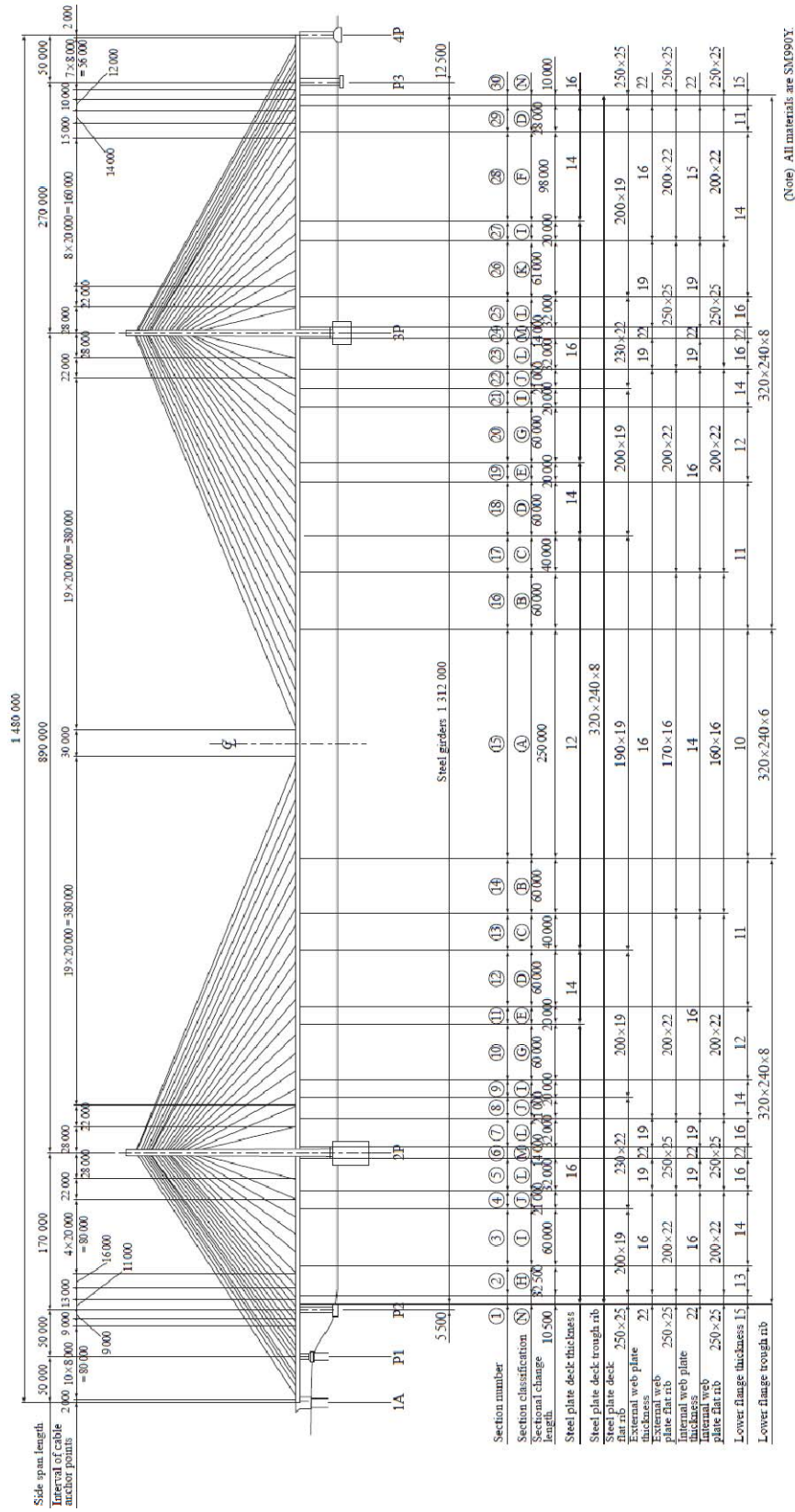


Şekil 3.32. Tatara Köprüsü 3 – boyutlu bilgisayar modeli

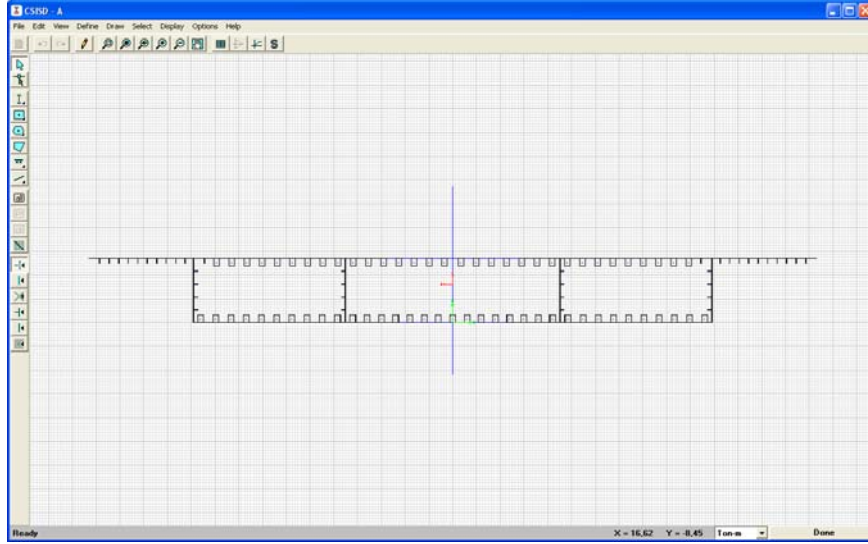


Şekil 3.33. Tatara Köprüsü bilgisayar modeli boy kesit görüntüsü

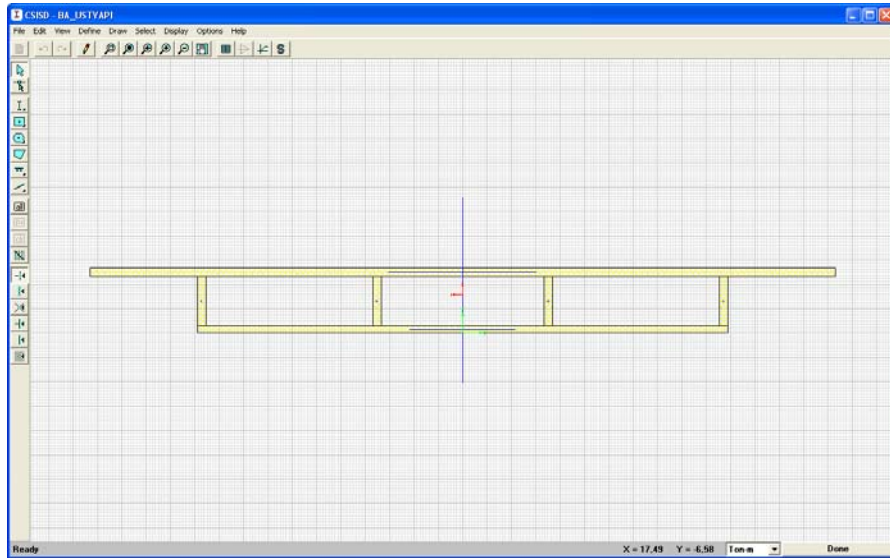
Tatara Köprüsü'nün orta açıklığı 890 m olup toplam boyu 1480 m dir. Tabliyenin ilk 105,5 m lik kısmı öngerilmeli beton kesit, 1312 m lik orta kısmı çelik kesit ve son 62,5 m lik kısmı da öngerilmeli beton kesitten oluşmaktadır. Çelik kesitler köprü boyunca değişiklik göstermektedir. Tabliye kesitleri bilgisayar modelinde, Şekil 3.34.' de gösterilen dağılıma göre tanımlanmıştır. Çelik kesitlere örnek olarak A tipi çelik kesit ve öngerilmeli beton kesit için bilgisayar modelinde oluşturulan kesitler Şekil 3.35. ve Şekil 3.36.' da gösterilmiştir.



Tabliye genişliği 30,6 m, tabliye yüksekliği de 2,7 m dir. Kabloların tabliyeye bağlantı noktaları arası mesafe 23 m dir [29].



Şekil 3.35. A tipi çelik kesit



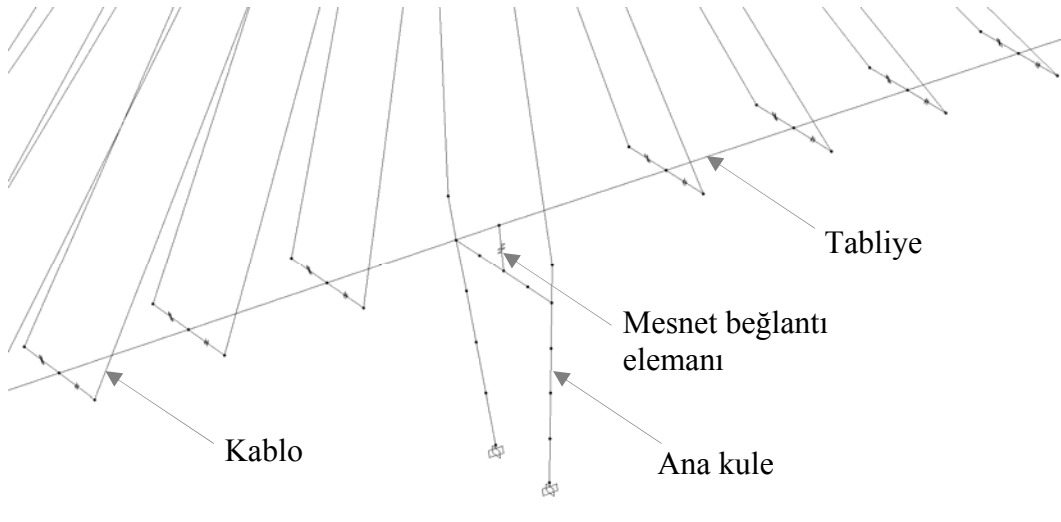
Şekil 3.36. Öngerilmeli beton kesit

Tabliye çubuk elemanlarının ana kule çubuk elemanlarına mesnetlendiği noktalarda bağlantı elemanları kullanılmıştır. Bu bağlantı elemanları düşeyde ve enine yönde sabit olup, köprü boyuna yönünde 20000kN/m'lik rijitliğe sahiptir [33]. Şekil 3.37.' de tabliyenin ana kuleye bağlantısı gösterilmiştir. Köprünün diğer mesnetlerdeki mesnet koşulları ise Çizelge 3.2.' de özetlenmiştir.

Çizelge 3.2 Köprünün mesnetlenme koşulları [29]

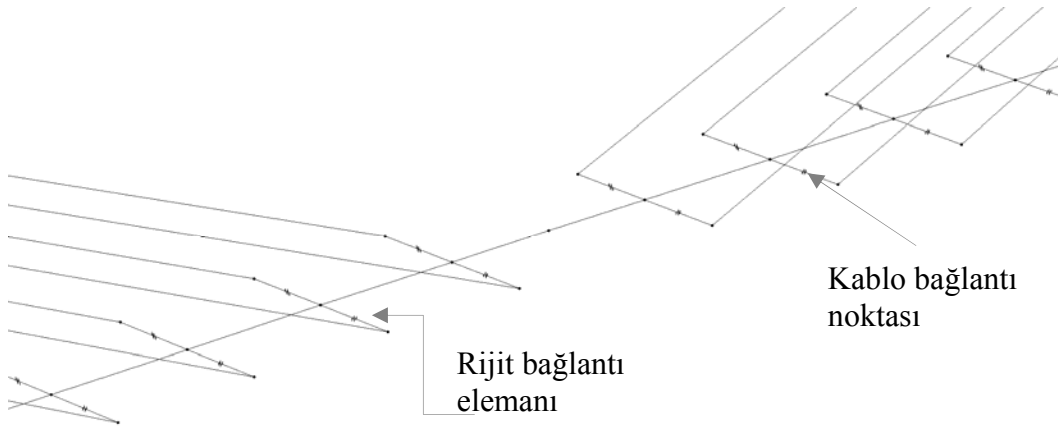
	1A	P1	P2	2P	3P	P3	4P
Düşey doğrultu	S	S	S	S	S	S	S
Köprü enine doğrultusu	S	H	H	S	S	H	S
Köprü boyuna doğrultusu	H	H	H	2000kN/m	20000kN/m	H	H

(S: sabit H: hareketli)



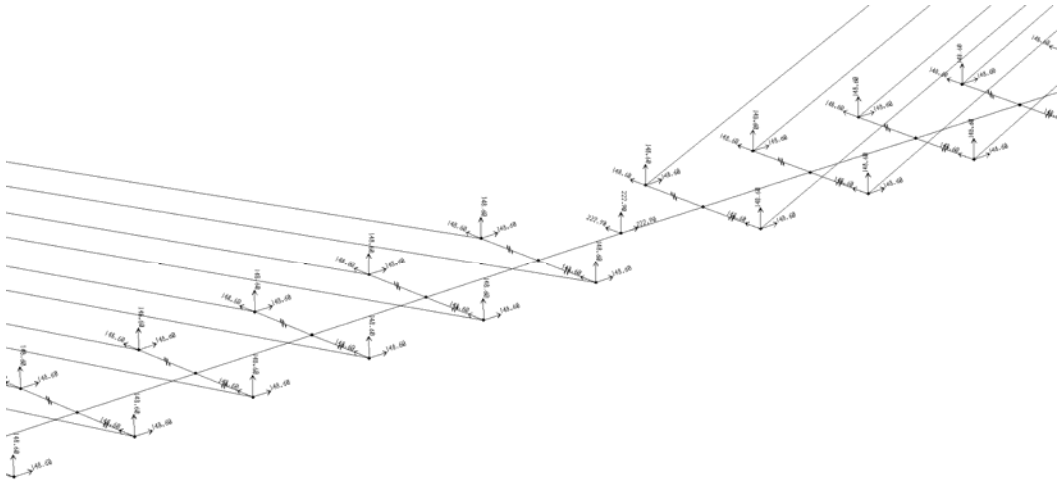
Şekil 3.37. Tabliyenin ana kuleye bağlantısı

Modelde tabliye çubuk elemanları ile kablolar arasına rijit bağlantı elemanları tanımlanarak gerçekte bulunan ölçülere göre tabliye ile kablo bağlantısı sağlanmıştır. Şekil 3.38.' de kabloların bağlantı noktası ve rijit bağlantı elemanları gösterilmiştir[34].



Şekil 3.38. Kabloların bağlantı noktası ve rijit bağlantı elmanları

Tabliyenin kütlesi tabliye kenar uçlarında kabloların bağlandığı noktalarında toplanmıştır [35]. Tabliyenin kütlesi hesaplanırken, kesitin kendi kütlesine Çizelge 3.1.' de belirtilen ölçülere göre anayol ve yaya yolu kaplamalarının kütlesi de eklenmiştir. Kütller köprünün enine, boyuna ve düşey yönünde tanımlanmıştır. Şekil 3.39.' da kütle tanımlanması gösterilmiştir.



Şekil 3.39. Tabliye kütlesi tanımı

Kablolar SAP 2000 programının içinde mevcut bulunan özel kablo elemanları ile tanımlanırken, eğilme rijitlikleri ihmal edilmiştir. Kablolarda oluşan sehim nedeniyle kablo elastisite modülü azalmaktadır. Azalan elastisite modülü eşdeğer elastisite modülü ile dikkate alınmaktadır. Eşdeğer elastisite modülü Eş.3.1’de gösterilen H. J. Ernst denklemi ile elde edilmiştir [29].

$$E_{eq} = \frac{E_0}{1 + \frac{\gamma^2 \cdot L^2 \cdot E_0}{12\sigma^3}} \quad (3.1)$$

E_0 = Kablonun sehim olmadan önceki elastisite modülü (2×10^5 N/mm²)

γ = (ω / A) Kablonun birim hacim ağırlığı (N/mm²)

L = Kablonun yatay boyu (mm)

σ = Kablodaki çekme gerilmesi (kendi ağırlığı + öngerilme kuvveti neticesinde)

ω = Kablonun birim ağırlığı (N/mm)

T = Kablodaki çekme kuvveti (N)

A = Kablo kesit alanı (mm²)

Kabloların yataydaki boyları ve çapları değişkenlik gösterdiğinden her bir kablo için eşdeğer elastisite modülü hesaplanmıştır [36]. Köprü modeli oluşturulduktan sonra deprem hareketi ve taşıt yüklemesi tanımlanmıştır.

3.6.1. Deprem hareketinin tanımlanması

Köprü modeline Kocaeli Depremi kayıtları kullanılarak üç ayrı yer hareketi uygulanmıştır. Bunlardan ilk ikisi Mecidiyeköy ve Yıldız ivme-zaman kayıtları kullanılarak köprüye enine, boyuna ve düşey yönde üniform yer hareketi uygulaması, diğeri ise Mecidiyeköy ve Yıldız deplasman-zaman kayıtları kullanılarak mesnetlerinden farklı yer hareketi uygulamasıdır.

Aynı şekilde Chi Chi Depremi kayıtları kullanılarak da üç ayrı yer hareketi uygulanmıştır. Bunlardan ilk ikisi Chi-1 ve Chi-2 ivme-zaman kayıtları kullanılarak

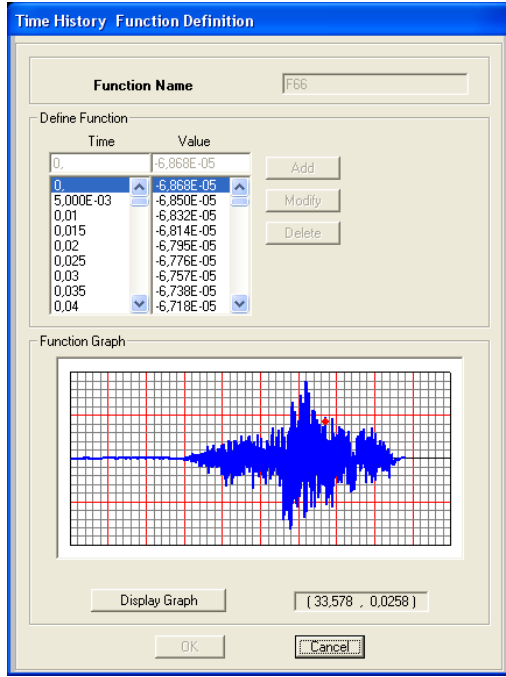
köprüye enine, boyuna ve düşey yönde üniform yer hareketi uygulanması, diğeri ise Chi-1 ve Chi-2 deplasman-zaman kayıtları kullanılarak mesnetlerinden farklı yer hareketi uygulamasıdır.

Bu bölümde SAP 2000 Advanced 14.1.0 programı kullanılarak üniform yer hareketi için köprü modeline uygulanan üniform yer ivmesinin ve mesnetlerinden farklı yer hareketi için köprü modeline uygulanan çok mesnetli titreşim etkisinin (multi - support excitation) açıklaması yapılmıştır.

Bilgisayar programında üniform yer hareketleri tariflenirken, ivme – zaman kayıtları zaman tanım alanında birer fonksiyon olarak tanımlanmıştır. Köprünün enine, boyuna ve düşey yönlerinin her biri için Bölüm 3.3.’ de belirtilen kayıtlar ayrı birer fonksiyon olarak tanımlanmıştır.Örnek olarak, Mecidiyeköy doğu yönünde ivme - zaman kaydının bilgisayar modelinde fonksiyon olarak tanımlanmasıŞekil 3.40.’ da gösterilmiştir.

Tanımlanan fonksiyonlar kullanılarak köprüye üç yönde üniform yer hareket ivmesi uygulanmıştır Her bir üniform yer hareket ivmesi için, o yöne ait fonksiyon kullanılmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan direk integrasyon yöntemi ile analizler yapılmıştır. Kayıtlarda kullanılan ivme değerleri yerçekimi (g) cinsinden olduğundan uygulanan üniform yer hareket ivmeleri $9,81 \text{ m/sn}^2$ ile ölçeklendirilmiştir.

Zaman adımı kayıtlarda olduğu gibi 0,05 sn seçilmiştir.Kocaeli Depremi kayıtları için toplam kayıt süreleri yaklaşık 50 sn olduğu için 1000 adımlık analiz yapılmıştır. Chi Chi Depremi kayıtlarının toplam kayıt süreleri ise 89 sn olduğu için 1780 adımlık analiz yapılmıştır.Örnek olarak,Şekil 3.41. ve Şekil 3.42.’ deMecidiyeköy ve Yıldız ivme - zaman kayıtları kullanılarak bilgisayar modelinde üniform yer hareket ivmesinin tanımlanması gösterilmiştir.



Şekil 3.40. Mecidiyeköy doğu yönünde ivme - zaman kaydının bilgisayar modelinde fonksiyon olarak tanımlanması

Daha önce Bölüm 3.3. de belirtildiği gibi köprüye üniform yer hareketi verilirken Mecidiyeköy, Yıldız, Chi-1 ve Chi-2 kayıtlarının düşey yöndeki ivme - zaman değerleri köprüye düşey yönde, kuzey yönündeki ivme - zaman değerleri enine yönde ve doğu yönündeki ivme - zaman değerleri boyuna yönde uygulanmıştır.

Üniform yer hareketi analizleri, köprü zati yüklemesini takiben başlatılmıştır. Böylelikle köprünün zati yükler altında yapmış olduğu deformasyonlar sonucu değişen rijitliği de göz önüne alınmıştır.

Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History

Load Case Name: IVME_MECIDIYE Set Def Name Modify/Show...

Notes: Modify/Show...

Load Case Type: Time History Design...

Initial Conditions:

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case OLU

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

Model Load Case: Use Modes from Case MODAL

Analysis Type:

☐ Linear

☒ Nonlinear

Time History Type:

☐ Modal

☒ Direct Integration

Geometric Nonlinearity Parameters:

☒ None

☐ P-Delta

☐ P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	F66	9.81
Accel	U1	F66	9.81
Accel	U2	F77	9.81
Accel	U3	F55	9.81

Add Modify Delete

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

Number of Output Time Steps: 1000

Output Time Step Size: 0.05

Time History Motion Type:

☒ Transient

☐ Periodic

Other Parameters:

Damping: Proportional Damping Modify/Show...

Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor Modify/Show...

Nonlinear Parameters: Default Modify/Show...

OK Cancel

Şekil 3.41. Mecidiyeköy ivme - zaman kayıtları kullanılarak bilgisayar modelinde üniform yer ivmesinin tanımlanması

Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History

Load Case Name: IVME_YILDIZ Set Def Name Modify/Show...

Notes: Modify/Show...

Load Case Type: Time History Design...

Initial Conditions:

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case OLU

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

Model Load Case: Use Modes from Case MODAL

Analysis Type:

☐ Linear

☒ Nonlinear

Time History Type:

☐ Modal

☒ Direct Integration

Geometric Nonlinearity Parameters:

☒ None

☐ P-Delta

☐ P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U2	F88	9.81
Accel	U2	F88	9.81
Accel	U1	F99	9.81
Accel	U3	F1010	9.81

Add Modify Delete

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

Number of Output Time Steps: 1000

Output Time Step Size: 0.05

Time History Motion Type:

☒ Transient

☐ Periodic

Other Parameters:

Damping: Proportional Damping Modify/Show...

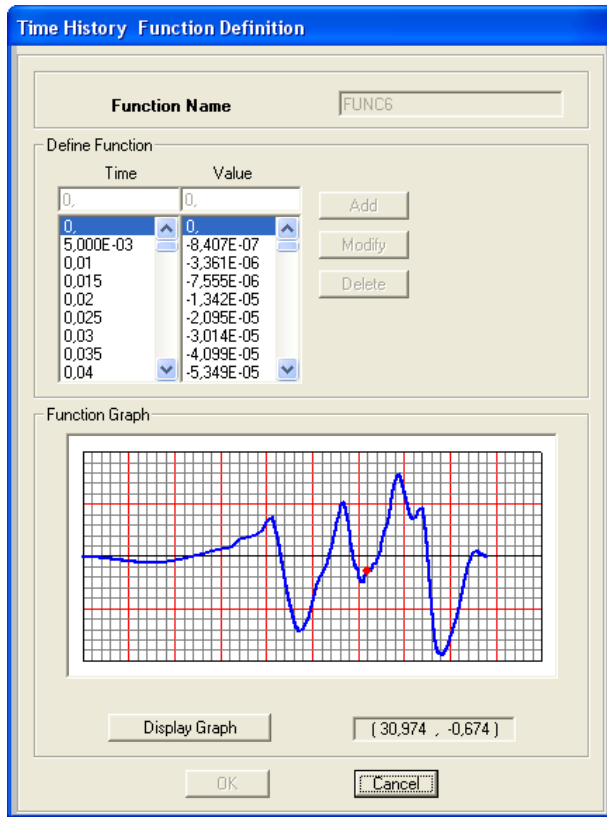
Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor Modify/Show...

Nonlinear Parameters: Default Modify/Show...

OK Cancel

Şekil 3.42. Yıldız ivme - zaman kayıtları kullanılarak bilgisayar modelinde üniform yer hareket ivmesinin tanımlanması

Bilgisayar programında çok mesnetli titreşim etkisi (multi - support excitation) tanımlanırken, deplasman – zaman kayıtları zaman tanım alanında fonksiyon olarak girilmiştir. Köprünün enine, boyuna ve düşey yönlerinin her biri için Bölüm 3.3. de belirtilen kayıtlar ayrı birer fonksiyon olarak tanımlanmıştır. Örnek olarak Mecidiyeköy doğu yönünde deplasman - zaman kaydının bilgisayar modelinde fonksiyon olarak tanımlanması Şekil 3.43.' de gösterilmiştir.



Şekil 3.43. Mecidiyeköy doğu yönünde deplasman - zaman kaydının bilgisayar modelinde fonksiyon olarak tanımlanması

Köprünün 1 nolu ana kule mesnetine ve 1 nolu ana kule tarafındaki diğer iki mesnete köprünün enine, boyuna ve düşey yönünde olmak üzere üç ayrı yön için birer birimlik deplasmanlar uygulanmıştır. Bu deplasmanların her biri yükleme olarak tanımlanmıştır.

Boyuna yönde 1 birimlik deplasman olarak verilen yükleme ile Mecidiyeköy doğu yönündeki deplasman – zaman fonksiyonu kullanılarak, zaman tanım alanında yeni bir yükleme durumu oluşturulmuştur. Aynı şekilde enine yönde 1 birimlik deplasman olarak verilen yükleme ile Mecidiyeköy kuzey yönündeki deplasman – zaman fonksiyonu kullanılarak, zaman tanım alanında yeni bir yükleme durumu daha oluşturulmuştur. Son olarak düşey yönde 1 birimlik deplasman olarak verilen yükleme ile Mecidiyeköy düşey yönündeki deplasman – zaman fonksiyonu kullanılarak zaman tanım alanında diğer bir yükleme durumu oluşturulmuştur.

Üç farklı yönden bu şekilde yapılan yükleme durumu 2 nolu ana kule mesneti ve 2 nolu ana kule tarafındaki diğer üç mesnet içinde aynı yöntemle fakat Yıldız deplasman – zaman fonksiyonları kullanılarak yapılmıştır. Neticede, toplam 6 adet yükleme durumu oluşturulmuştur. Aynı şekilde Chi Chi Depremi için de 1 nolu ana kule mesneti ve 1 nolu ana kule tarafındaki diğer iki mesnete Chi-1 kayıtları uygulanarak , 2 nolu ana kule mesneti ve 2 nolu ana kule tarafındaki diğer üç mesnete de Chi-2 kayıtları uygulanarak mesnetlerinden farklı yer hareketi uygulaması yapılmıştır.

Böylelikle, Mecidiyeköy ve Chi-1'e ait farklı yönlerde sahip üç ayrı yer hareketi 1 nolu ana kule tarafındaki mesnetlere, Yıldız ve Chi-2 'ye ait farklı yönlerde sahip üç ayrı yer hareketi ise 2 nolu ana kule tarafındaki mesnetlere uygulanmıştır. Şekil 3.44. ve Şekil 3.45.' de Mecidiyeköy ve Yıldız ile Chi-1 ve Chi-2 deplasman - zaman kayıtları kullanılarak bilgisayar modelinde çok mesnetli titreşim etkisinin oluşturulması gösterilmiştir.

Mesnetlerinden farklı yer hareketi analizi, köprü zati yüklemesi ardından başlatılmıştır. Böylelikle köprünün zati yükler altında yapmış olduğu deformasyonlar sonucu değişen rijitliği de göz önüne alınmıştır.

Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History

Load Case Name: MULT1_1 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 Nonlinear Case OLU

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

Geometric Nonlinearity Parameters:

☒ None

☐ P-Delta

☐ P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Load Pattern	SAP_1_D_D	FUNC5	1.
Load Pattern	SAP_1_D_DUS	FUNC5	1.
Load Pattern	SAP_2_D_DUS	FUNC10	1.
Load Pattern	SAP_1_D_DOG	FUNC6	1.
Load Pattern	SAP_2_D_DOG	FUNC9	1.
Load Pattern	SAP_1_D_KUZ	FUNC7	1.
Load Pattern	SAP_2_D_KUZ	FUNC8	1.

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

Number of Output Time Steps: 1000

Output Time Step Size: 0.05

Time History Motion Type:

☒ Transient

☐ Periodic

Other Parameters:

Damping: Proportional Damping Modify/Show...

Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor Modify/Show...

Nonlinear Parameters: Default Modify/Show...

OK Cancel

Şekil 3.44. Mecidiyeköy ve Yıldız deplasman - zaman kayıtları kullanılarak bilgisayar modelinde çok mesnetli titreşim etkisinin tanımlanması

Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History

Load Case Name: MULT1_1 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 Nonlinear Case OLU

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

Geometric Nonlinearity Parameters:

☒ None

☐ P-Delta

☐ P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Load Pattern	SAP_1_D_D	C1	1.
Load Pattern	SAP_1_D_DUS	C1	1.
Load Pattern	SAP_2_D_DUS	C4	1.
Load Pattern	SAP_1_D_DOG	C3	1.
Load Pattern	SAP_2_D_DOG	C6	1.
Load Pattern	SAP_1_D_KUZ	C2	1.
Load Pattern	SAP_2_D_KUZ	C5	1.

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

Number of Output Time Steps: 1780

Output Time Step Size: 0.05

Time History Motion Type:

☒ Transient

☐ Periodic

Other Parameters:

Damping: Proportional Damping Modify/Show...

Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor Modify/Show...

Nonlinear Parameters: Default Modify/Show...

OK Cancel

Şekil 3.45. Chi-1 ve Chi-2 deplasman - zaman kayıtları kullanılarak bilgisayar modelinde çok mesnetli titreşim etkisinin tanımlanması

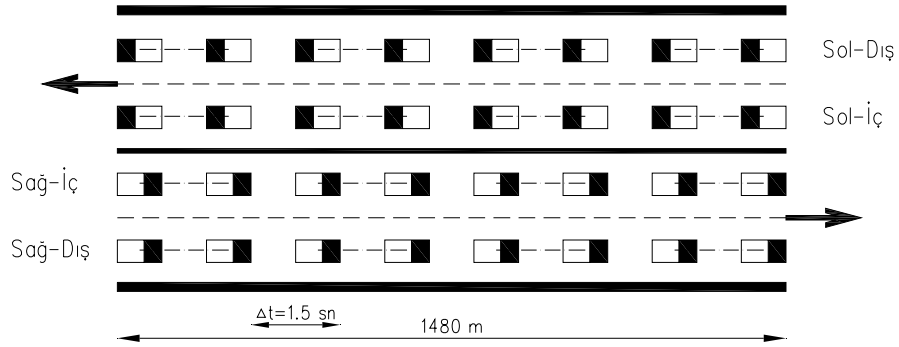
3.6.2. Taşıt yükleme tanımlanması

Tatara Köprüsü'nün trafik yükü altında davranışı incelenirken üç ayrı yükleme yapılmıştır. Bunlar sırasıyla, HS20-44 kamyon sınıfı kullanılarak hareketli taşıt yükü uygulaması, HS20-44 ve H20-44 sınıfı yük değerleri kullanılarak köprünün tamamına üniform yayılı sabit trafik yükü uygulamasıdır.

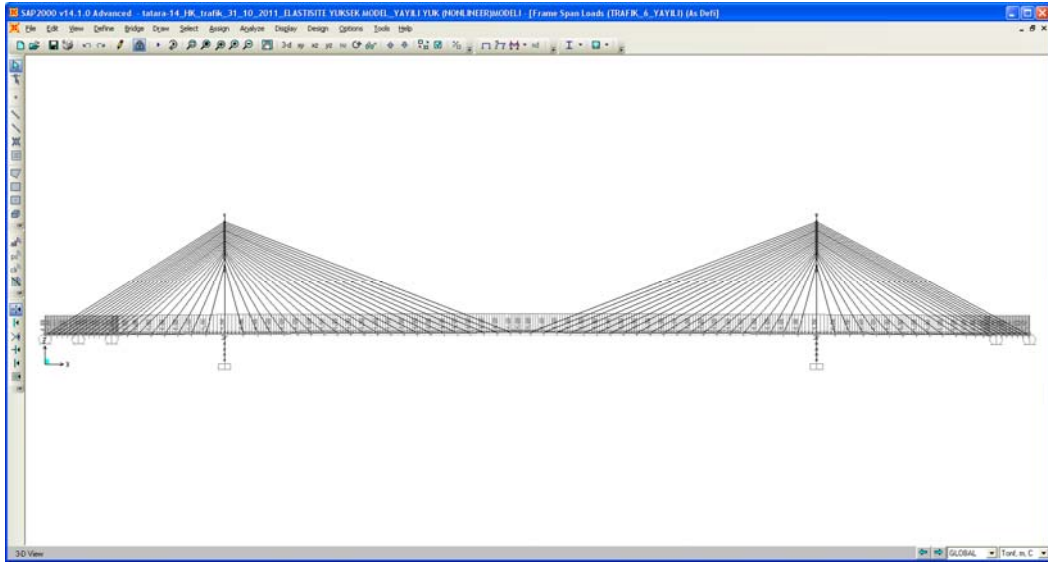
Bunun yanında sağlam zemin grubuna ait kayıtlar kullanılarak uygulanan deprem yüklemesi ile orta derece ağırlıkta taşıtların kullanıldığı trafik yüklemesi durumlarının karşılaştırmaları yapılacağından, köprü modeline ayrıca H20-44 kamyon sınıfı kullanılarak hareketli taşıt yükü uygulanıp analizleri yapılmıştır.

Bilgisayar programında köprünün tamamına üniform yayılı sabit trafik yükü uygulamasında köprü modelinin bütün tabliye çubuk elemanlarına üniform yayılı statik yükleme yapılmıştır. Şekil 3.46.' da köprünün tamamına üniform yayılı sabit trafik yükü uygulaması gösterilmiştir.

Tabliye çubuk elemanlarına H20-44 ve HS20-44 kamyon sınıfları kullanılarak oluşturulan üniform yayılı statik yükleme durumları ile, köprünün zati ağırlığını içeren yükleme durumu birleştirilerek kombinasyonlar oluşturulmuş ve gerekli analizler yapılmıştır. Böylelikle, köprünün zati yükler altında yapmış olduğu deformasyonlar sonucu değişen rijitliği de göz önüne alınmıştır. Şekil 3.47.' de tabliye çubuk elemanlarının tamamına üniform yayılı statik yük uygulaması gösterilmiştir.

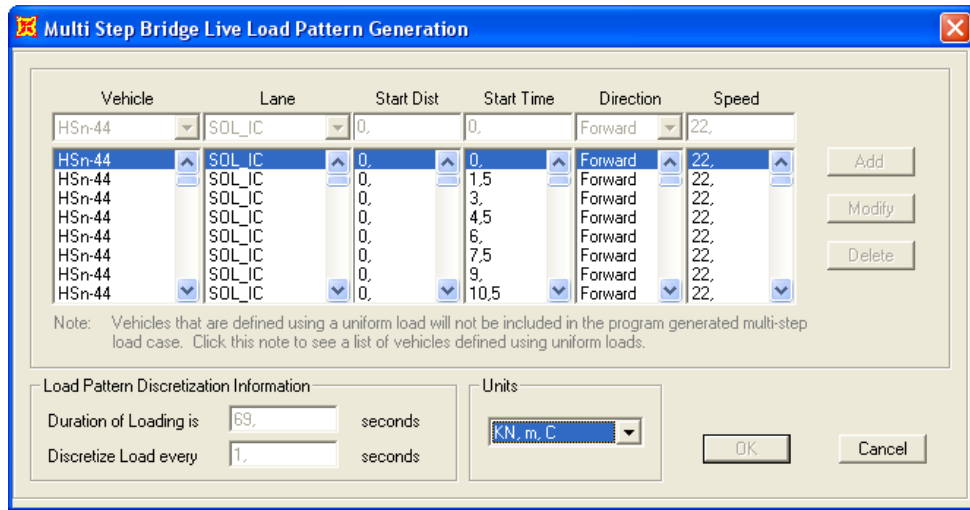


Şekil 3.46. Köprünün tamamına üniform yayılı trafik yükü uygulaması

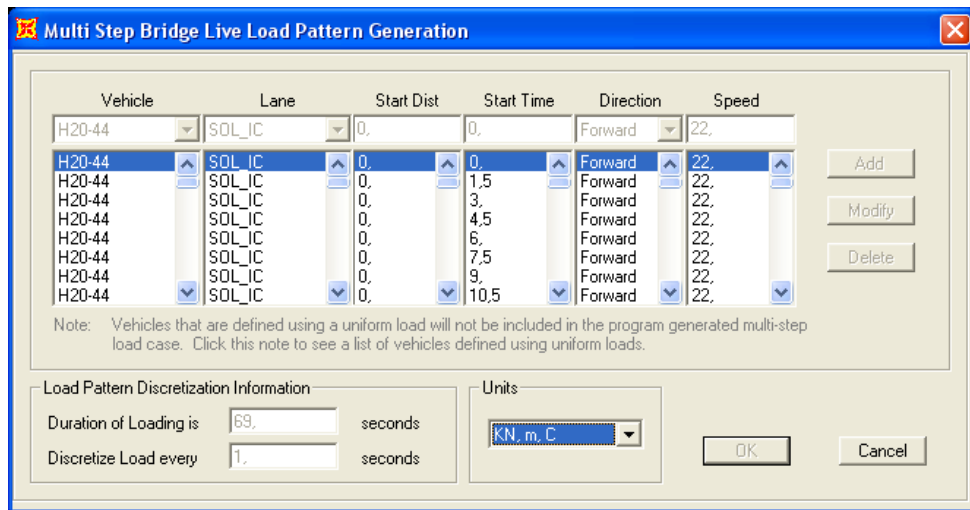


Şekil 3.47. Tabliye çubuk elemanlarının tamamına üniform yayılı statik yük uygulaması

Bilgisayar programında, köprüye hareketli taşıt yükü uygulamasında, SAP 2000 programında mevcut olan “çok adımlı köprü hareketli yük paterni oluşturma” modülü kullanılmıştır. Bu modülde taşıtların tipi, hangi şeritlerde hareket ettirildiği, harekete başlama ve bitiş zamanları, hareket yönleri ve hızları tanımlanmıştır. Şekil 3.48. ve Şekil 3.49.’da HS20-44 ve H20-44 kamyon sınıfları kullanılarak çok adımlı köprü hareketli yükü oluşturma modülleri gösterilmiştir.



Şekil 3.48. Çok adımlı köprü hareketli yükü oluşturma modülü (HS20-44)



Şekil 3.49. Çok adımlı köprü hareketli yükü oluşturma modülü (H20-44)

Hareketli taşıt yüklemede taşıt tipi olarak AASHTO'da tarifli kamyonlar kullanılmıştır. Ağır kamyon sınıfı olarak HS 20-44, orta ağırlıkta kamyon sınıfı olarak da H 20-44 seçilmiştir. HS 20-44 kamyonu SAP 2000 programında mevcut tariflenmiş olan HSn-44 kamyonudur. H20-44 kamyonu ise SAP 2000 programında mevcut olmadığından AASHTO'da tanımlı ölçü ve dingil yüklerine göre programda oluşturulmuştur. Şekil 3.50. ve Şekil 3.51.' de HSn-44 ve H 20-44 kamyonları genel özellikleri gösterilmiştir.

Tatara köprüsü iki adet gidiş yönünde ve iki adet de dönüş yönünde olmak üzere toplam 4 şeritli olduğundan, bilgisayar modelinde de 4 adet şerit tanımlanıp tüm şeritlerde taşıtlar hareket ettirilmiştir. Şekil 3.52.' de şerit tanımlanması gösterilmiştir.

Taşıtlar köprüye sol ve sağ şeritlerinden 1,5 sn aralıklar ile karşılıklı olarak girip köprü'nün sonuna kadar hareket ettirilmiştir. Hareket süresi tamamlandığında köprü'nün tamamı taşıt ile dolmuştur.

Hareketli trafik yüklemesi analizi zaman tanım alanında doğrusal olmayan doğrudan integrasyon yöntemi ile yapılmıştır. Şekil 3.53.' de hareketli trafik yüklemesi analiz tanımlanması gösterilmiştir.

General Vehicle Data

Vehicle name: HS44 Units: KN, m, C

Floating Axle Loads

For Lane Moments: Value: 0, Width Type: One Point, Axle Width: 0

For Other Responses: Value: 0, Width Type: One Point, Axle Width: 0

☐ Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage

☒ Lane Negative Moments at Supports

☒ Interior Vertical Support Forces

☒ All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load

Lane Exterior Edge: 0,3048

Lane Interior Edge: 0,6096

Length Effects

Axle: None, Uniform: None

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		0	Fixed Width	3,048	35,5858	Two Points	1,8288
Leading Load	Infinite		0	Fixed Width	3,048	35,5858	Two Points	1,8288
Fixed Length	4,2672		0	Fixed Width	3,048	142,3431	Two Points	1,8288
Variable Length	4,2672	9,144	0	Fixed Width	3,048	142,3431	Two Points	1,8288

Buttons: Add, Insert, Modify, Delete

☐ Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only Straddle Reduction Factor: 0

☐ Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

OK Cancel

Şekil 3.50. HS44 kamyonu genel özellikleri

General Vehicle Data

Vehicle name: H20-44 Units: kN, m, C

Floating Axle Loads

Value Width Type Axle Width

For Lane Moments: 0, One Point

For Other Responses: 0, One Point

☐ Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage

☒ Lane Negative Moments at Supports

☒ Interior Vertical Support Forces

☒ All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load

Lane Exterior Edge: 0,3048

Lane Interior Edge: 0,6096

Length Effects

Axle: None Modify/Show...

Uniform: None Modify/Show...

Load Plan

Load Elevation

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		0,	Fixed Width	3,048	39,2266	Two Points	1,8288
Leading Load	Infinite		0,	Fixed Width	3,048	39,2266	Two Points	1,8288
Fixed Length	4,2672		0,	Fixed Width	3,048	156,9064	Two Points	1,8288

Add Insert Modify Delete

☐ Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only

☐ Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

Straddle Reduction Factor:

OK Cancel

Şekil 3.51. H 20-44 kamyonu genel özellikleri

Bridge Lane Data

Lane Name: SOL_IC Coordinate System: GLOBAL Units: kN, m, C

Maximum Lane Load Discretization Lengths

Along Lane: 50

Across Lane: 3,5

Additional Lane Load Discretization Parameters Along Lane

☒ Discretization Length Not Greater Than 1/ 4, of Span Length

☒ Discretization Length Not Greater Than 1/ 10, of Lane Length

Lane Data

Bridge Layout Line	Station m	Centerline Offset m	Lane Width m
BLL1	0,	-2,875	4,5
BLL1	0,	-2,875	4,5
BLL1	1480,	-2,875	4,5

Move Lane... Add Insert Modify Delete

Plan View (X-Y Projection)

North

Layout Line Station Bearing Radius Grade X Y Z

☒ Snap To Layout Line

☐ Snap To Lane

Objects Loaded By Lane

☐ Program Determined

☒ Group

DECK

Lane Edge Type

Left Edge: Interior

Right Edge: Interior

Display Color:

OK Cancel

Şekil 3.52. Şerit tanımlanması

Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History

Load Case Name: TRAFIK_6 Set Def Name Modify/Show... Notes: Modify/Show...

Load Case Type: Time History Design...

Initial Conditions:

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case DLU

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

Modal Load Case:

Use Modes from Case: MODAL

Analysis Type:

☐ Linear ☐ Modal

☒ Nonlinear ☒ Direct Integration

Geometric Nonlinearity Parameters:

☒ None ☐ P-Delta ☐ P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Load Pattern	TRAFIK_6	FUNC1	1.
Load Pattern	TRAFIK_6	FUNC1	1.

Add Modify Delete

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

Number of Output Time Steps: 75

Output Time Step Size: 1.

Time History Motion Type:

☒ Transient ☐ Periodic

Other Parameters:

Damping: Proportional Damping Modify/Show...

Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor Modify/Show...

Nonlinear Parameters: Default Modify/Show...

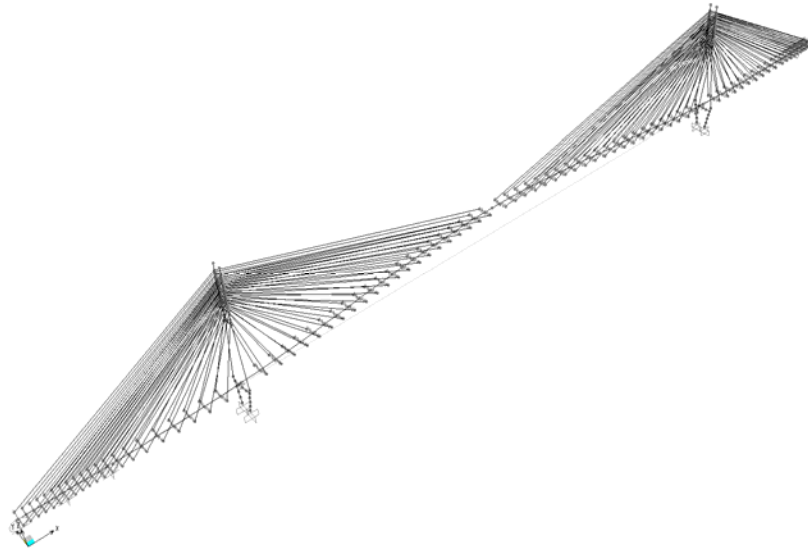
OK Cancel

Şekil 3.53. Hareketli trafik yüklemesi analizi tanımlanması

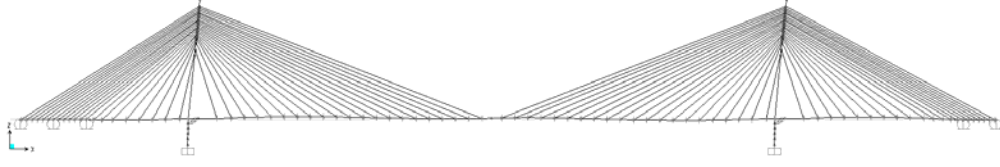
4. BULGULAR VE ANALİZLER

4.1. Modal Analiz Sonuçları

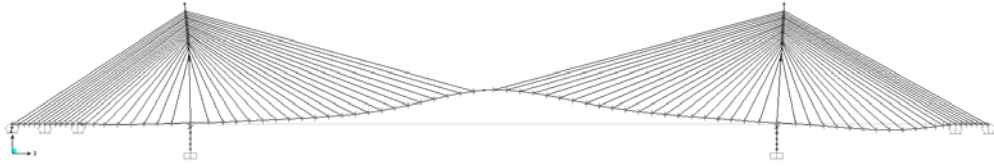
Analizlerde 50 mod dikkate alınmış olup, kütle katılımı boyuna yönde % 92, enine yönde % 81 olarak gerçekleşmiştir(Çizelge4.1.). Köprünün modal analizi sonucunda elde edilen ilk beş mod şekilleri Şekil 4.1. - Şekil 4.5.' de, modal analiz sonuçları özet tablosu da Çizelge 4.2.' de gösterilmiştir. Köprünün 1. modu yatay yöndeki eğilme modudur ve 8.07 sn'lik doğal periyota sahiptir. 2. modu boyuna yöndeki salınım modudur ve 5,95 sn'lik periyota sahiptir. 3. modu düşey yöndeki eğilme modudur ve 4,05 sn'lik periyota sahiptir. 4. modu düşey yöndeki burulma modudur ve 3,37 sn'lik periyota sahiptir. 5. modu ise yatay yöndeki burulma modudur ve 2,94 sn'lik periyota sahiptir. Diğer modlar burulma modları olup periyodları da çok yakın olduğundan burada gösterilmemiştir.



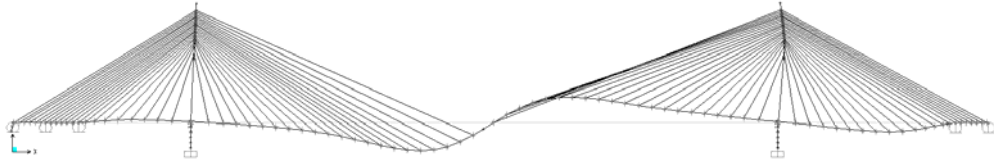
Şekil 4.1. 1. Mod, Periyot : 8,07 sn



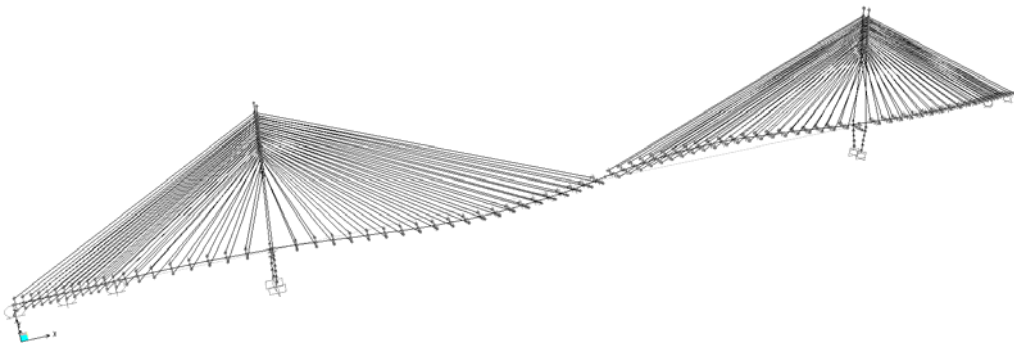
Şekil 4.2. 2. Mod, Periyot : 5,95 sn



Şekil 4.3. 3. Mod, Periyot : 4,05 sn



Şekil 4.4. 4. Mod, Periyot : 3,37 sn



Şekil 4.5. 5. Mod, Periyot : 2,94 sn

Çizelge4.1.Mod Kütle katılım oranları

Analiz Durumu	Mod Numarası	Periyot (sn)	X Yönünde Kütle Katılım Oranı	Y Yönünde Kütle Katılım Oranı
MODAL	1	8,07	0,00	0,22
MODAL	2	5,96	0,90	0,22
MODAL	3	4,06	0,90	0,22
MODAL	4	3,27	0,90	0,22
MODAL	5	2,94	0,90	0,23
MODAL	6	2,62	0,90	0,23
MODAL	7	2,49	0,90	0,23
MODAL	8	2,26	0,90	0,26
MODAL	9	2,19	0,90	0,38
MODAL	10	2,13	0,90	0,41
MODAL	11	2,07	0,91	0,41
MODAL	12	1,90	0,91	0,51
MODAL	13	1,74	0,91	0,51
MODAL	14	1,70	0,91	0,55
MODAL	15	1,55	0,91	0,55
MODAL	16	1,55	0,91	0,55
MODAL	17	1,45	0,91	0,55
MODAL	18	1,38	0,91	0,55
MODAL	19	1,28	0,91	0,77
MODAL	20	1,23	0,91	0,77
MODAL	21	1,18	0,91	0,77
MODAL	22	1,11	0,91	0,77
MODAL	23	1,06	0,91	0,77
MODAL	24	1,01	0,91	0,77
MODAL	25	0,98	0,91	0,77
MODAL	26	0,96	0,91	0,77
MODAL	27	0,93	0,91	0,77
MODAL	28	0,90	0,91	0,77
MODAL	29	0,88	0,91	0,77
MODAL	30	0,81	0,91	0,78
MODAL	31	0,81	0,92	0,78
MODAL	32	0,79	0,92	0,78
MODAL	33	0,78	0,92	0,78
MODAL	34	0,77	0,92	0,79
MODAL	35	0,75	0,92	0,79
MODAL	36	0,71	0,92	0,79
MODAL	37	0,71	0,92	0,79
MODAL	38	0,68	0,92	0,79
MODAL	39	0,66	0,92	0,79
MODAL	40	0,63	0,92	0,79
MODAL	41	0,62	0,92	0,80
MODAL	42	0,61	0,92	0,82
MODAL	43	0,61	0,92	0,82
MODAL	44	0,59	0,92	0,82
MODAL	45	0,57	0,92	0,82
MODAL	46	0,55	0,92	0,82
MODAL	47	0,54	0,92	0,82
MODAL	48	0,54	0,92	0,82
MODAL	49	0,50	0,92	0,82
MODAL	50	0,50	0,92	0,82

Çizelge4.2. Modal analiz sonuçları özet tablosu

Analiz Durumu	Mod Numarası	Periyot (sn)	Frekans (devir/sn)	Dairesel Frekans (rad/sn)	Özdeğer (rad2/sec2)
MODAL	1	8,07	0,12	0,78	0,61
MODAL	2	5,96	0,17	1,05	1,11
MODAL	3	4,06	0,25	1,55	2,40
MODAL	4	3,27	0,31	1,92	3,69
MODAL	5	2,94	0,34	2,14	4,57
MODAL	6	2,62	0,38	2,40	5,76
MODAL	7	2,49	0,40	2,53	6,39
MODAL	8	2,26	0,44	2,78	7,74
MODAL	9	2,19	0,46	2,87	8,22
MODAL	10	2,13	0,47	2,95	8,72
MODAL	11	2,07	0,48	3,04	9,26
MODAL	12	1,90	0,53	3,31	10,99
MODAL	13	1,74	0,57	3,61	13,05
MODAL	14	1,70	0,59	3,71	13,74
MODAL	15	1,55	0,65	4,06	16,50
MODAL	16	1,55	0,65	4,06	16,51
MODAL	17	1,45	0,69	4,33	18,78
MODAL	18	1,38	0,72	4,55	20,68
MODAL	19	1,28	0,78	4,91	24,15
MODAL	20	1,23	0,81	5,10	26,02
MODAL	21	1,18	0,85	5,34	28,48
MODAL	22	1,11	0,90	5,65	31,97
MODAL	23	1,06	0,94	5,92	35,01
MODAL	24	1,01	0,99	6,20	38,40
MODAL	25	0,98	1,02	6,44	41,45
MODAL	26	0,96	1,05	6,58	43,24
MODAL	27	0,93	1,08	6,76	45,64
MODAL	28	0,90	1,11	6,95	48,27
MODAL	29	0,88	1,13	7,12	50,64
MODAL	30	0,81	1,23	7,75	60,12
MODAL	31	0,81	1,24	7,78	60,46
MODAL	32	0,79	1,26	7,94	63,09
MODAL	33	0,78	1,28	8,02	64,34
MODAL	34	0,77	1,30	8,19	67,01
MODAL	35	0,75	1,34	8,41	70,72
MODAL	36	0,71	1,40	8,80	77,52
MODAL	37	0,71	1,41	8,88	78,77
MODAL	38	0,68	1,46	9,18	84,27
MODAL	39	0,66	1,51	9,47	89,66
MODAL	40	0,63	1,59	9,96	99,18
MODAL	41	0,62	1,61	10,14	102,85
MODAL	42	0,61	1,64	10,29	105,78
MODAL	43	0,61	1,64	10,33	106,71
MODAL	44	0,59	1,69	10,62	112,69
MODAL	45	0,57	1,74	10,96	120,13
MODAL	46	0,55	1,81	11,38	129,51
MODAL	47	0,54	1,85	11,64	135,43
MODAL	48	0,54	1,87	11,74	137,72
MODAL	49	0,50	1,98	12,46	155,18
MODAL	50	0,50	2,01	12,63	159,50

4.2. Deprem Yükleme Altında Kablolü Köprü Davranışı

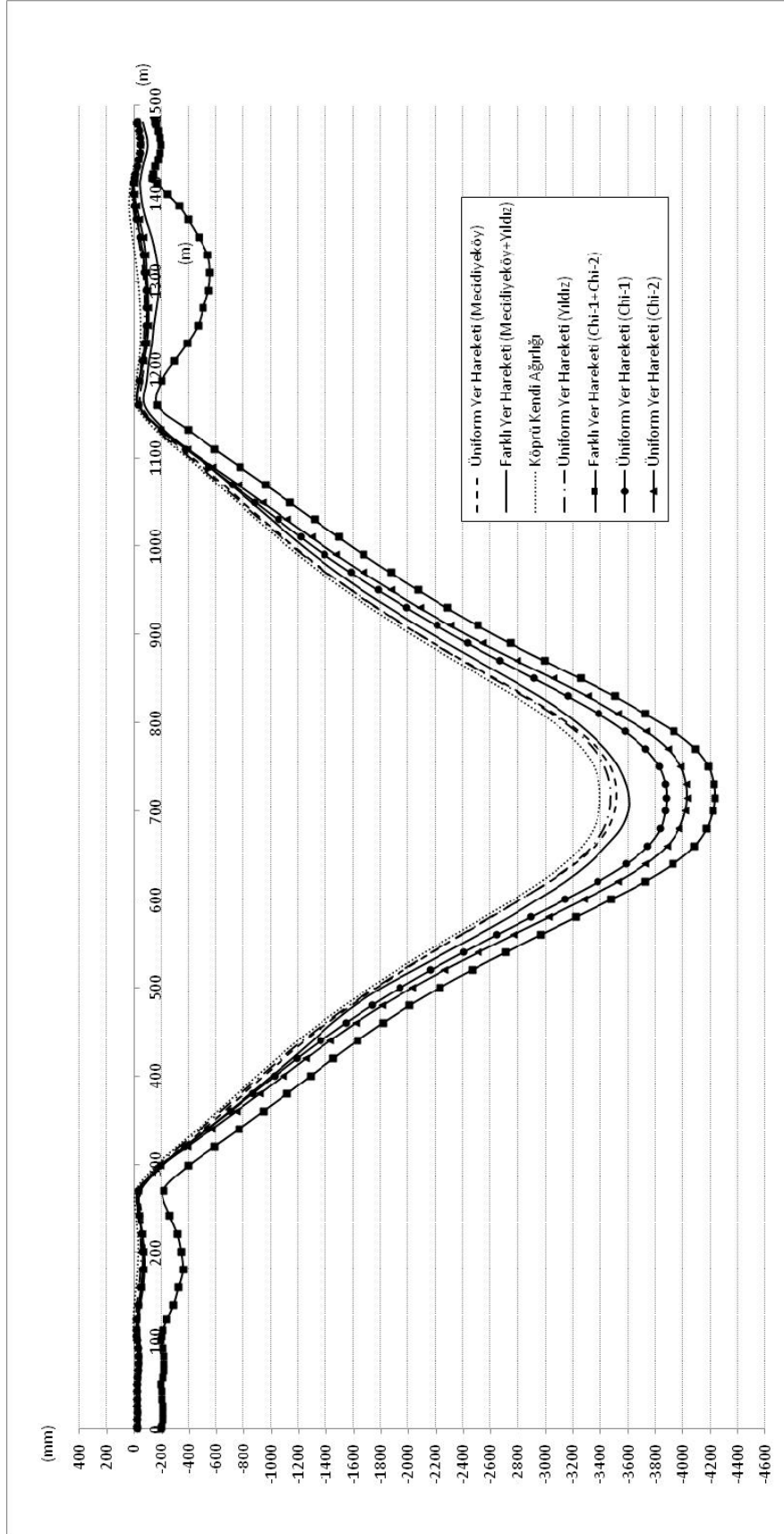
Analizler sonucunda deprem yüklemeleri neticesinde ana kuleler de, tabliyede ve kablolarda oluşan deplasman ve kesit tesirleri elde edilip karşılaştırmaları yapılmıştır. Köprünün simetrik ve ana kulelerin aynı ölçülere sahip olması nedeniyle sadece 1 nolu ana kuleye ait analiz sonuçları irdelenmiştir.

4.2.1. Deplasmanlar

Şekil 4.6.'daher iki zemin sınıfı için uygulanan deprem yüklemeleri neticesinde 1480m uzunluğundaki tabliyede oluşan deplasman değerleri görülmektedir. Şekilden görüleceği gibi, gerek üniform yer hareketi ve gerekse de farklı yer hareketi uygulamalarında, orta sertlikteki zemin sınıfına karşılık gelen deprem kayıtlarının kullanıldığı ChiChi depremi için elde edilen tabliye düşey deplasman değerleri, sert zemin sınıfına karşılık gelen deprem kayıtlarının kullanıldığı Kocaeli depremi için belirlenen deplasmanlardan beklenildiği gibi daha büyük çıkmıştır. Bunun yanında, hem ChiChi depremi hem de Kocaeli depremi için farklı yer hareketi uygulaması ile belirlenen deplasman değerlerinin, üniform yer hareketi için elde edilen deplasmanlardan daha büyük olduğu gözlenmektedir.

Deplasmanlar bilgisayar modelinde tabliye genişliğinin orta noktasında okunan değerlerdir. En fazla düşey deplasman köprü açıklığının orta noktasında gözlenmiş olup, deprem yüklemeleri neticesinde köprü açıklığının ortasında oluşan deplasman değerleri ile bu deplasmanların köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan deplasmanlara oranları Çizelge 4.3.' de gösterilmiştir. Köprü mesnetlerinden farklı yer hareketi uygulanması neticesinde, tabliye orta noktasında elde edilen deplasman değerleri, köprünün zati ağırlığından kaynaklanan deplasman değerine oranla Kocaeli depremi için %6, ChiChi depremi için %27 daha büyük çıkmıştır.

Grafiklerdeki deplasman değerleri zati ağırlık ile birlikte oluşan değerlerdir.



Şekil 4.6. Deprem yüklemeleri neticesinde tabliye de oluşan düşey desplazmanlar

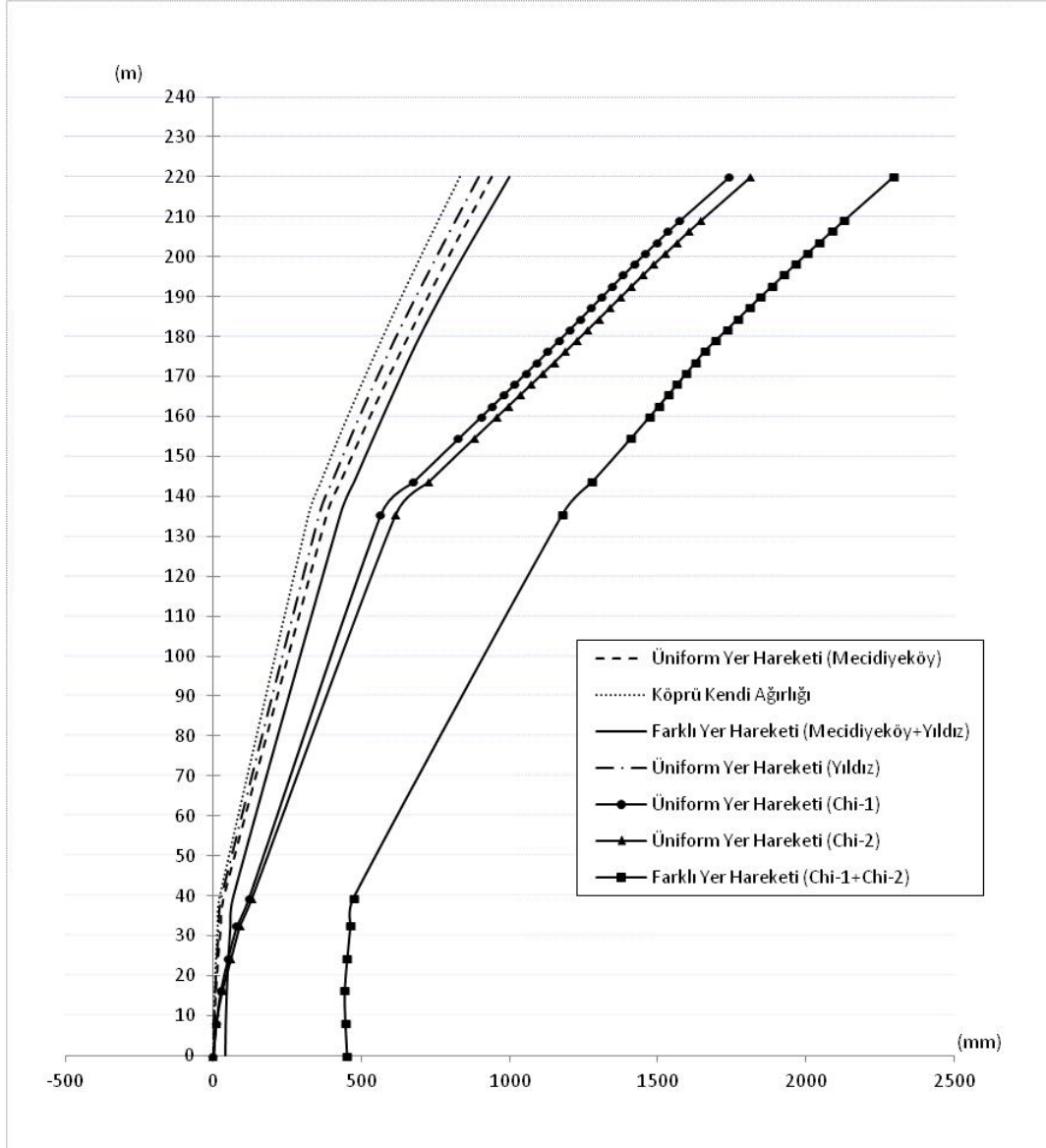
Çizelge 4.3 Deprem yüklemeleri neticesinde köprü açıklığının ortasında oluşan deplasmanların köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan deplasmanlara oranları

	Yer Hareketi	Köprü Açıklığının Orta Noktasında Oluşan Deplasmanlar (mm)	Zati Ağırlığa Göre Oran	Yıldız Kayıtına Göre Oran	Chi-1 Kayıtına Göre Oran
	Köprü Kendi Ağırlığı	3391	1,00		
Kocaeli Depremi	Üniform Yer Hareketi (Yıldız)	3470	1,02	1,00	
	Üniform Yer Hareketi (Mecidiye)	3513	1,04	1,01	
	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	3602	1,06	1,04	
Chi-Chi Depremi	Üniform Yer Hareketi (Chi-1)	3878	1,14		1,00
	Üniform Yer Hareketi (Chi-2)	4029	1,19		1,04
	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	4304	1,27		1,11

Şekil 4.7.'de her iki zemin sınıfı için uygulanan deprem yüklemeleri neticesinde 220m uzunluğundaki ana kulede oluşan deplasman değerleri görülmektedir. En fazla deplasmanlar kulenin tepe noktasında ve köprünün boyuna yönünde oluşmaktadır. Deprem yüklemeleri neticesinde ana kulenin tepe noktasında oluşan deplasman değerleri ve bu deplasmanların köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan deplasmanlara oranları Çizelge 4.4' de gösterilmiştir.

Kule yatay deplasmanları için de üniform ve farklı yer hareketi uygulamalarında, orta sertlikteki zemin sınıfına karşılık gelen deprem kayıtlarının kullanıldığı Chi-Chi depremi için elde edilen kule yatay deplasman değerleri, sert zemin sınıfına karşılık gelen deprem kayıtlarının kullanıldığı Kocaeli depremi için belirlenen deplasmanlardan çok daha büyük çıkmıştır. Ayrıca, hem Kocaeli depremi hem de özellikle Chi-Chi depremi için farklı yer hareketi uygulaması ile belirlenen deplasman değerlerinin, üniform yer hareketi için elde edilen deplasmanlardan daha büyük olduğu gözlenmektedir. Nitekim, farklı yer hareketi uygulaması neticesinde, kule tepe noktasında Kocaeli depremi için elde edilen deplasman değeri, Yıldız üniform yer hareketi için elde edilen deplasman değerinden %7 daha büyük çıkarken, Chi-Chi depremi için farklı yer hareketi uygulaması ile elde edilen deplasman değeri Chi-1 üniform yer hareketi için belirlenen deplasman değerinden %32 daha fazla çıkmıştır. Buradan, farklı yer hareketi uygulaması açısından, orta sertlikteki zemin sınıfına

karşılık gelen ChiChi deprem kayıtlarının, sert zemin sınıfına karşılık gelen Kocaeli deprem kayıtlarından daha etkin olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.7. Deprem yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan yatay deplasmanlar

Çizelge 4.4 Deprem yüklemeleri neticesinde ana kulenin tepe noktasında oluşan deplasmanların köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan deplasmanlara oranları

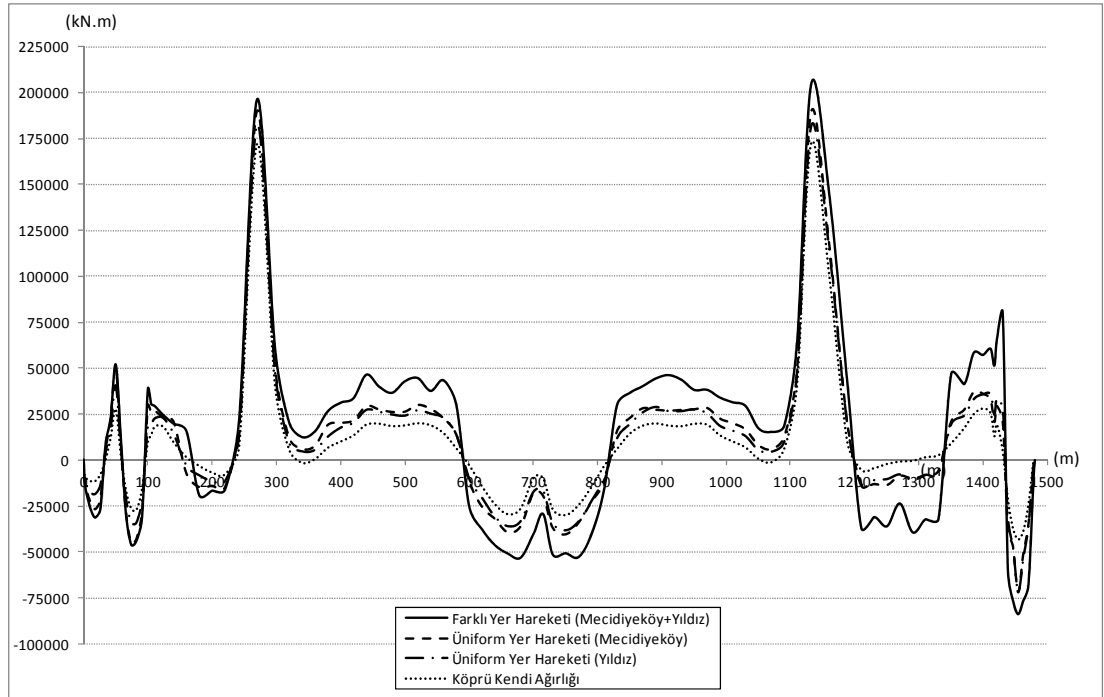
	Yer Hareketi	Ana Kulenin Tepe Noktasında Oluşan Deplasmanlar (mm)	Zati Ağırlığa Göre Oran	Yıldız Kaydına Göre Oran	Chi-1 Kaydına Göre Oran
	Köprü Kendi Ağırlığı	831	1,00		
Kocaeli Depremi	Üniform Yer Hareketi (Yıldız)	895	1,08	1,00	
	Üniform Yer Hareketi (Mecidiye)	940	1,13	1,05	
	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	960	1,16	1,07	
Chi-Chi Depremi	Üniform Yer Hareketi (Chi-1)	1742	2,10		1,00
	Üniform Yer Hareketi (Chi-2)	1814	2,18		1,04
	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	2297	2,76		1,32

4.2.2. Eğilme momentleri

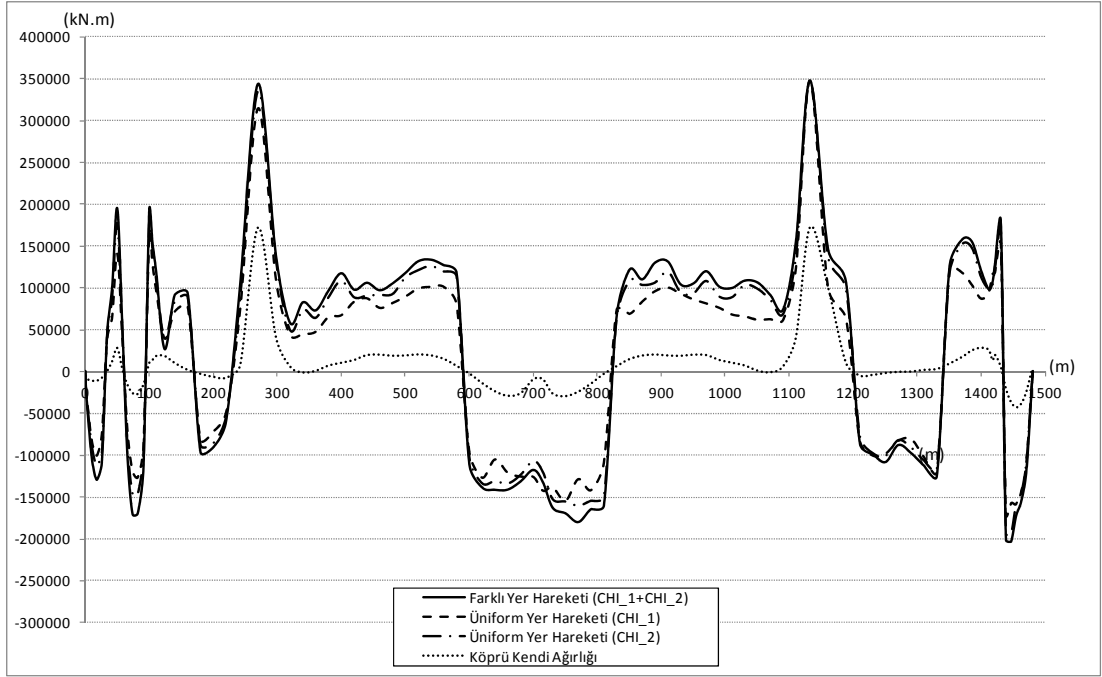
Şekil 4.8. ve Şekil 4.9.'daher iki zemin sınıfı için uygulanan deprem yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan eğilme momenti değerleri görülmektedir. En büyük mesnet momentleri tabliyenin kulelere mesnetlendiği bölgede, açıklık momentleri ise köprü açıklığı ortasında ve tabliyenin öngerilmeli beton kesite sahip olduğu kenar kısımlarında oluşmaktadır. Betonarme kesitin ağırlığının fazla olması küçük açıklıklarda büyük açıklık momentlerinin oluşmasında etkili olmuştur. Deprem yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan moment değerleri ve bu momentlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan momentlere oranları Çizelge 4.5' de gösterilmiştir.

Her iki zemin grubuna ait deprem kayıtları için farklı yer hareketi uygulaması ile belirlenen tabliye eğilme momenti değerlerinin, üniform yer hareketi için elde edilen eğilme momentlerinden daha büyük olduğu gözlenmektedir. Ayrıca, ChiChi deprem kayıtları için elde edilen eğilme momentlerinin, Kocaeli deprem kayıtlarına oranla köprünün zati ağırlığından kaynaklanan eğilme momentlerini çok daha fazla arttırdığı görülmektedir. Çizelge 4.5.'den de anlaşılacağı üzere, farklı yer hareketi uygulaması neticesinde, tabliye açıklık ortasında, kenar açıklıkta ve tabliyenin ana

kuleye mesnetlendiği noktada Kocaeli depremi için elde edilen maksimum eğilme momenti değerleri, Yıldız üniform yer hareketi için elde edilen eğilme momenti değerlerinden sırasıyla %32, %20 ve %12 daha büyük çıkarken, ChiChi depremi için farklı yer hareketi uygulaması ile elde edilen eğilme momenti değerleri Chi-1 üniform yer hareketi için belirlenen eğilme momenti değerlerinden sırasıyla %17, %18 ve %9 daha fazla çıkmıştır.



Şekil 4.8. Deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde tabliyede oluşan eğilme momentleri



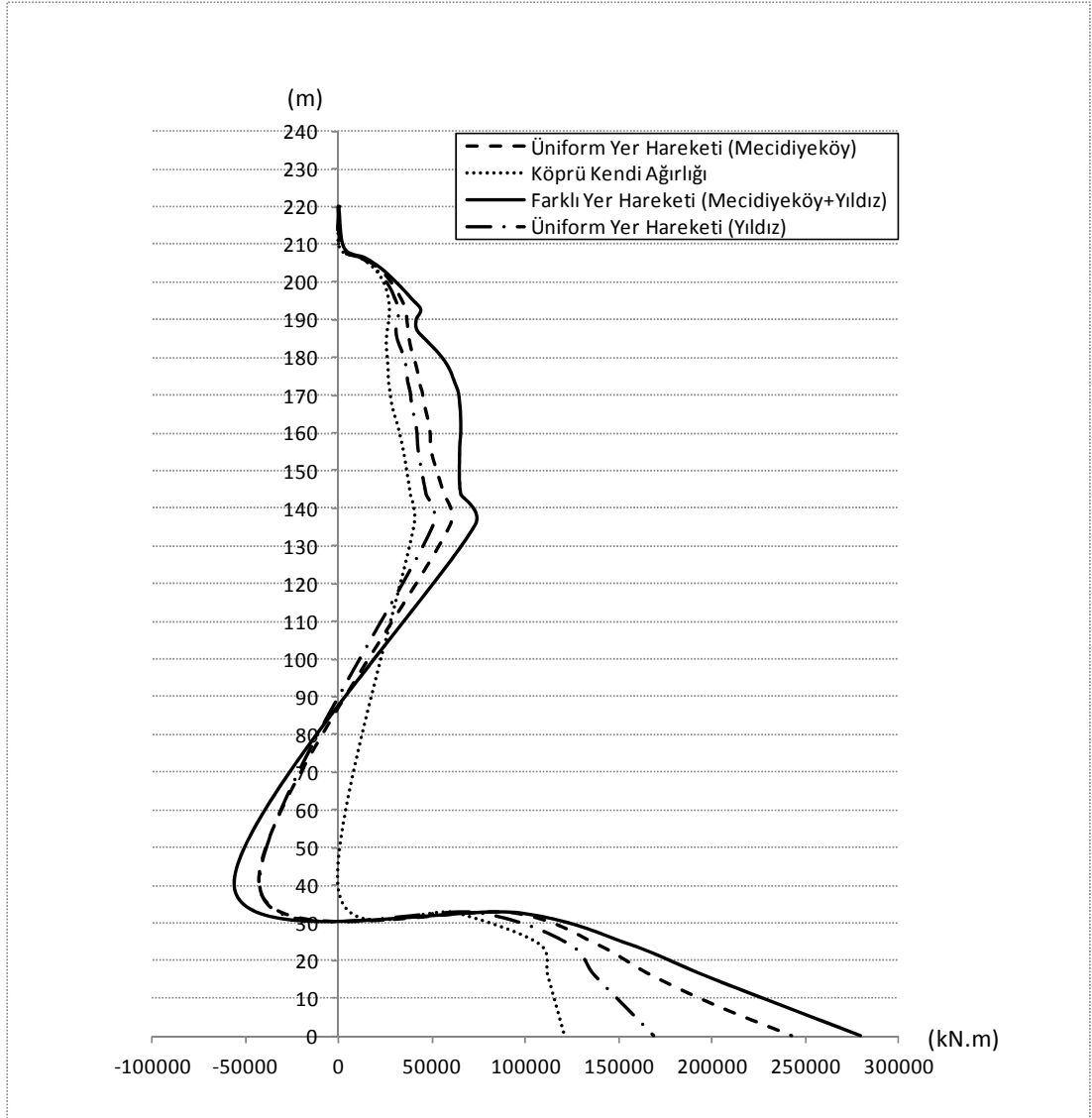
Şekil 4.9. Deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde tabliyede oluşan eğilme momentleri

Çizelge 4.5. Deprem yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan momentlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan momentlere oranları

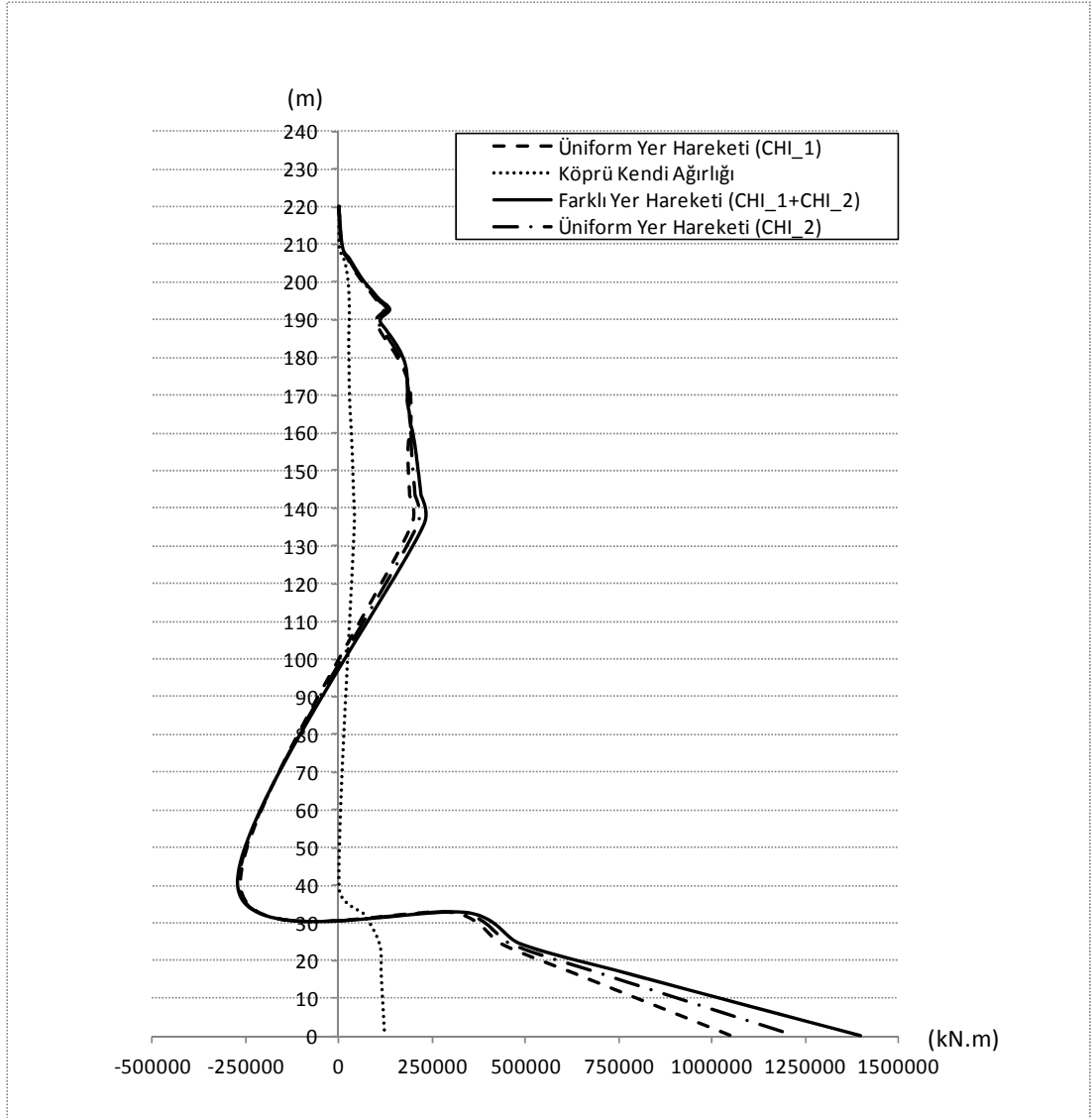
	Yer Hareketi	Köprü Açıklığının Orta Noktasında Oluşan Momentler (kN.m)	Zati Ağırlığa Göre Oran	Yıldız Kayıdına Göre Oran	Chi-1 Kayıdına Göre Oran
Kocaeli Depremi	Köprü Kendi Ağırlığı	29891	1,00		
	Üniform Yer Hareketi (Yıldız)	38406	1,28	1,00	
	Üniform Yer Hareketi (Mecidiye)	40349	1,35	1,05	
	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	50698	1,70	1,32	
Chi-Chi Depremi	Üniform Yer Hareketi (Chi-1)	154066	5,15		1,00
	Üniform Yer Hareketi (Chi-2)	160884	5,38		1,04
	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	179670	6,01		1,17
	Yer Hareketi	Tabliyenin Kenar Kısımında Oluşan Momentler (kN.m)	Zati Ağırlığa Göre Oran	Yıldız Kayıdına Göre Oran	Chi-1 Kayıdına Göre Oran
Kocaeli Depremi	Köprü Kendi Ağırlığı	43184	1,00		
	Üniform Yer Hareketi (Yıldız)	69769	1,62	1,00	
	Üniform Yer Hareketi (Mecidiye)	71927	1,67	1,03	
	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	83817	1,94	1,20	
Chi-Chi Depremi	Üniform Yer Hareketi (Chi-1)	171381	3,97		1,00
	Üniform Yer Hareketi (Chi-2)	194729	4,51		1,14
	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	203067	4,70		1,18
	Yer Hareketi	Köprü Tabliyesinin Ana Kuleye Mesnetlendiği Noktada Oluşan Momentler (kN.m)	Zati Ağırlığa Göre Oran	Yıldız Kayıdına Göre Oran	Chi-1 Kayıdına Göre Oran
Kocaeli Depremi	Köprü Kendi Ağırlığı	172087	1,00		
	Üniform Yer Hareketi (Yıldız)	182113	6,09	1,00	
	Üniform Yer Hareketi (Mecidiye)	190373	6,37	1,05	
	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	204646	6,85	1,12	
Chi-Chi Depremi	Üniform Yer Hareketi (Chi-1)	314901	10,53		1,00
	Üniform Yer Hareketi (Chi-2)	335012	11,21		1,06
	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	344096	11,51		1,09

Şekil 4.10. ve Şekil 4.11.'de her iki zemin sınıfı için uygulanan deprem yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan eğilme momenti değerleri görülmektedir. En büyük momentler ana kulenin zemine mesnetlendiği kısımda ve kulenin orta noktasında oluşmaktadır. Ayrıca, deprem yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan moment değerleri ve bu momentlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan momentlere oranları Çizelge 4.6.'da gösterilmiştir.

Kule eğilme momentleri için üniform ve farklı yer hareketi uygulamalarında, orta sertlikteki zemin sınıfına karşılık gelen deprem kayıtlarının kullanıldığı ChiChi depremi için elde edilen kule eğilme momenti değerleri, sert zemin sınıfına karşılık gelen deprem kayıtlarının kullanıldığı Kocaeli depremi için belirlenen eğilme momentlerinden çok daha büyük çıkmıştır. Ayrıca, her iki zemin grubuna karşılık gelen deprem kayıtları için farklı yer hareketi uygulaması ile belirlenen eğilme momenti değerlerinin, üniform yer hareketi için elde edilen eğilme momentlerinden daha büyük olduğu gözlenmektedir. Nitekim, farklı yer hareketi uygulaması neticesinde, kulenin zemine mesnetlendiği noktada Kocaeli depremi için elde edilen eğilme momenti değeri, Yıldız üniform yer hareketi için elde edilen eğilme momenti değerinden %66 daha büyük çıkarken, ChiChi depremi için farklı yer hareketi uygulaması ile elde edilen eğilme momenti değeri Chi-1 üniform yer hareketi için belirlenen eğilme momenti değerinden %33 daha fazla çıkmıştır. Buradan, farklı yer hareketi uygulaması açısından, sert zemin sınıfına karşılık gelen Kocaeli deprem kayıtlarının, orta sertlikteki zemin sınıfına karşılık gelen ChiChi deprem kayıtlarından daha etkin olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.10. Deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde ana kulede oluşan eğilme momentleri



Şekil 4.11. Deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde ana kulede oluşan eğilme momentleri

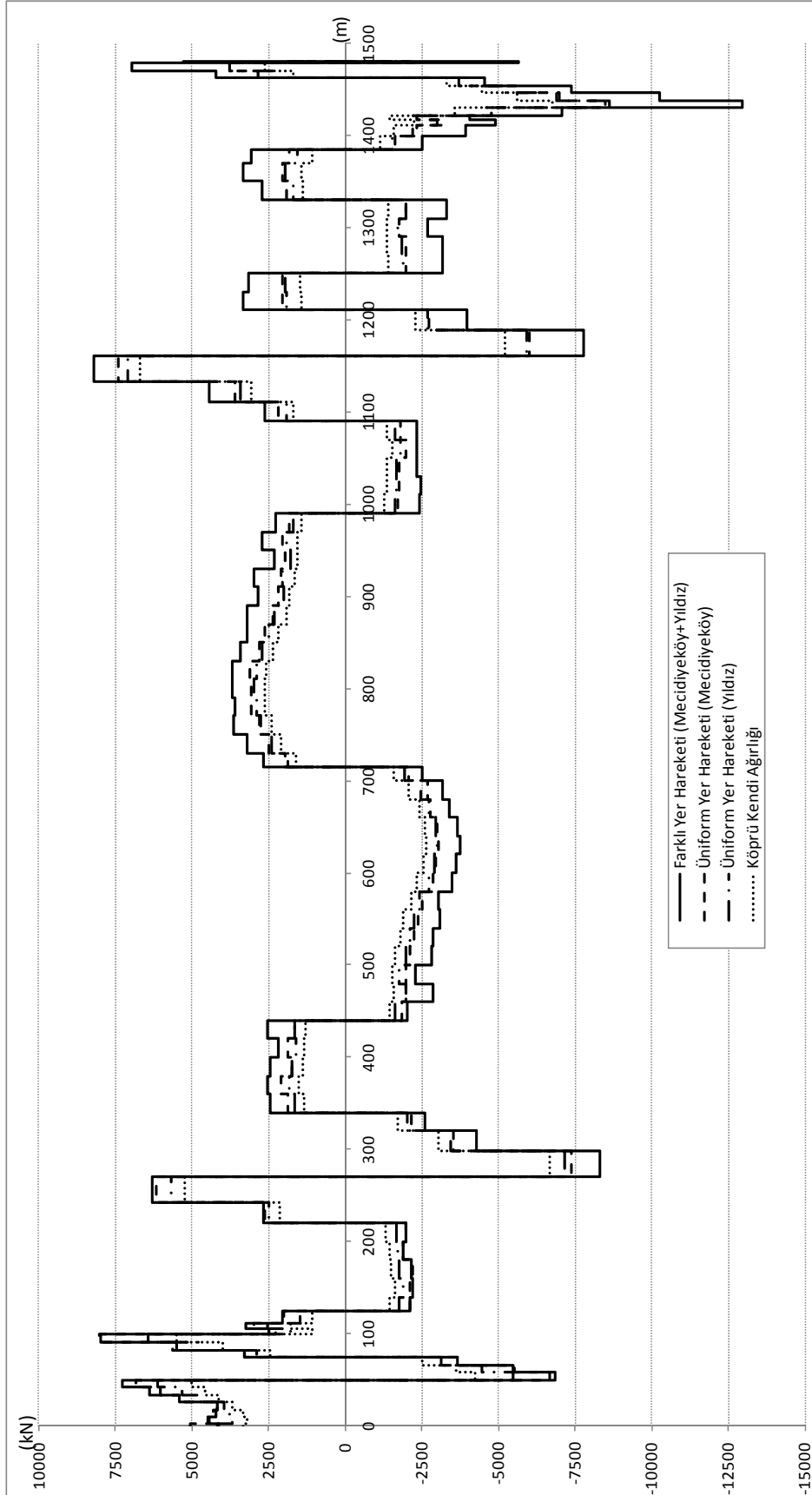
Çizelge 4.6. Deprem yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan momentlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan momentlere oranları

	Yer Hareketi	Ana Kulenin Orta Noktasında Oluşan Momentler (kN.m)	Zati Ağırlığa Göre Oran	Yıldız Kayıdına Göre Oran	Chi-1 Kayıdına Göre Oran
Kocaeli Depremi	Köprü Kendi Ağırlığı	39701	1,00		
	Üniform Yer Hareketi (Yıldız)	50757	1,28	1,00	
	Üniform Yer Hareketi (Mecidiye)	59969	1,51	1,18	
	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	73212	1,84	1,44	
Chi-Chi Depremi	Üniform Yer Hareketi (Chi-1)	194503	4,90		1,00
	Üniform Yer Hareketi (Chi-2)	211199	5,32		1,09
	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	227896	5,74		1,17
	Yer Hareketi	Ana Kulenin Zemine Mesnetlendiği Noktada Oluşan Momentler (kN.m)	Zati Ağırlığa Göre Oran	Yıldız Kayıdına Göre Oran	Chi-1 Kayıdına Göre Oran
Kocaeli Depremi	Köprü Kendi Ağırlığı	120663	1,00		
	Üniform Yer Hareketi (Yıldız)	168614	1,40	1,00	
	Üniform Yer Hareketi (Mecidiye)	242905	2,01	1,44	
	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	280036	2,32	1,66	
Chi-Chi Depremi	Üniform Yer Hareketi (Chi-1)	1049768	8,70		1,00
	Üniform Yer Hareketi (Chi-2)	1223925	10,14		1,17
	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	1398072	11,59		1,33

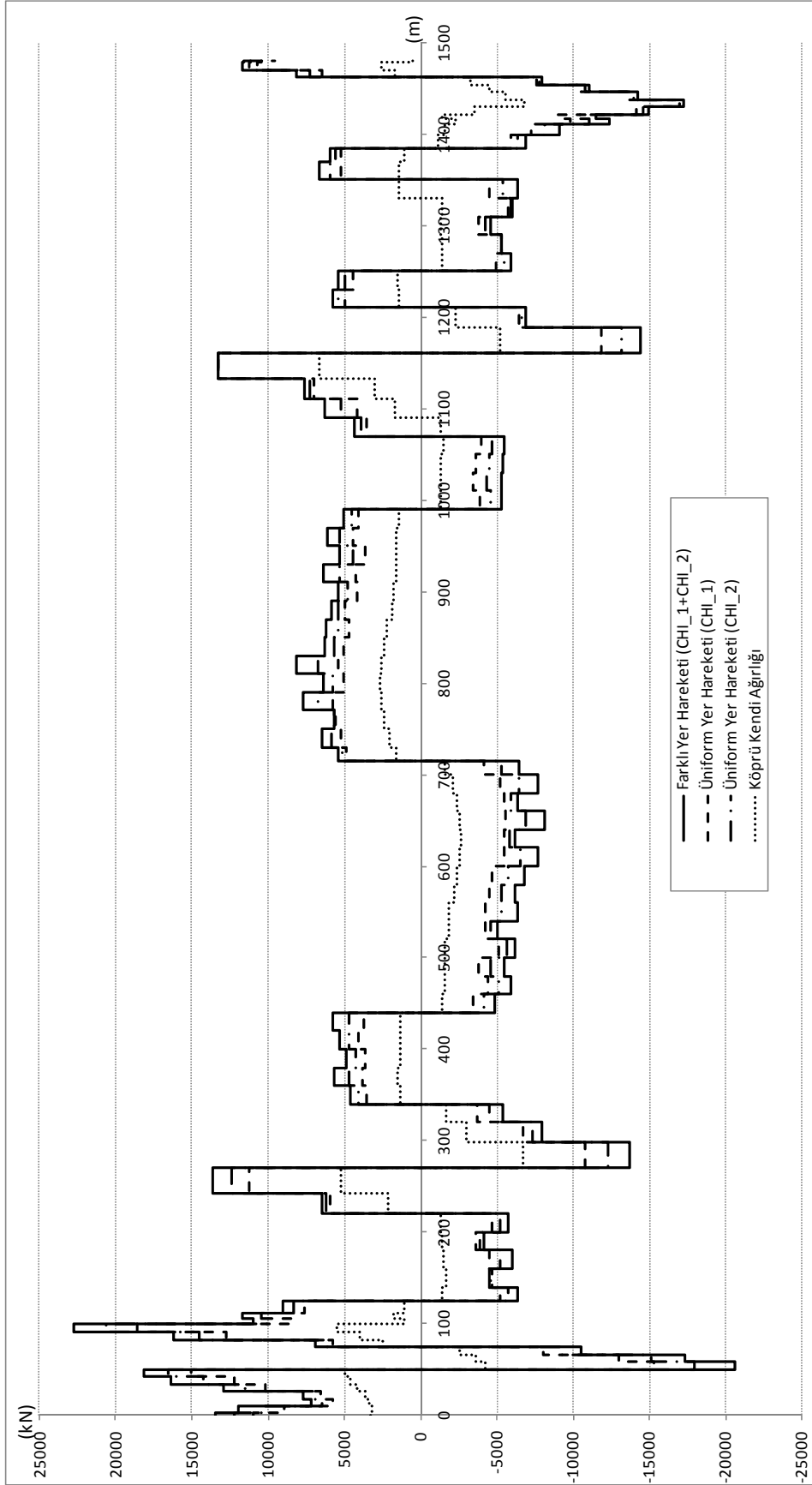
4.2.3. Kesme kuvvetleri

Şekil 4.12. ve Şekil 4.13.'de her iki zemin sınıfı için uygulanan deprem yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan kesme kuvveti değerleri görülmektedir. En büyük kesme kuvvetleri tabliyenin kulelere mesnetlendiği bölgede, köprü açıklığı ortasında ve tabliyenin öngerilmeli beton kesite sahip olduğu kenar kısımlarındaki mesnet bölgelerinde oluşmaktadır. Betonarme kesitin ağırlığının fazla olması köprünün kenar kısımlarında büyük kesme kuvvetlerinin oluşmasında etkili olmuştur. Deprem yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan kesme kuvveti değerleri ve bu kesme kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan kesme kuvvetlerine oranları Çizelge 4.7.' de gösterilmiştir.

Daha önce tabliye deplasman ve eğilme momentleri için elde edilen genel değişime paralel olarak, her iki zemin grubuna ait deprem kayıtları için farklı yer hareketi uygulaması ile belirlenen tabliye kesme kuvveti değerlerinin, üniform yer hareketi için elde edilen kesme kuvvetlerinden daha büyük olduğu gözlenmektedir. Ayrıca, ChiChi deprem kayıtları için elde edilen kesme kuvvetlerinin, Kocaeli deprem kayıtlarına oranla köprünün zati ağırlığından kaynaklanan kesme kuvvetlerini daha fazla arttırdığı gözlemlenen diğer bir husustur.



Şeki
l
4.12.
Depr
em
yükl
eme
si
(Koc
aeli
Depr
emi)
netic
esin
de
tabli
yede
oluş
an
kes
me
kuvv
etler
i



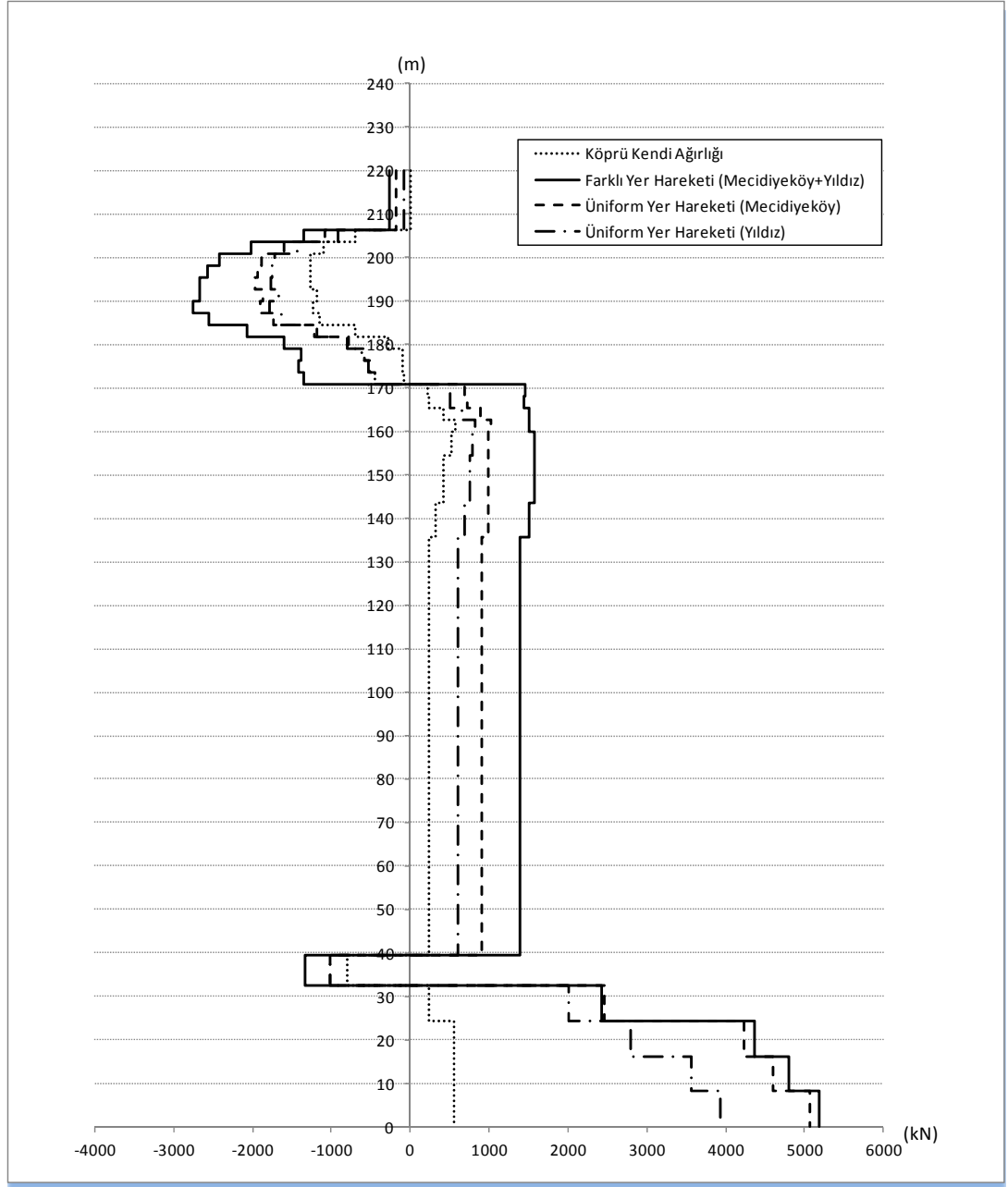
Şeki
l
4.13.
Depr
em
yük
leme
si
(Chi
Chi
Depr
emi)
netic
esin
de
tabli
yede
oluş
an
kes
me
kuvv
etler

Çizelge 4.7. Deprem yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan kesme kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan kesme kuvvetlerine oranları

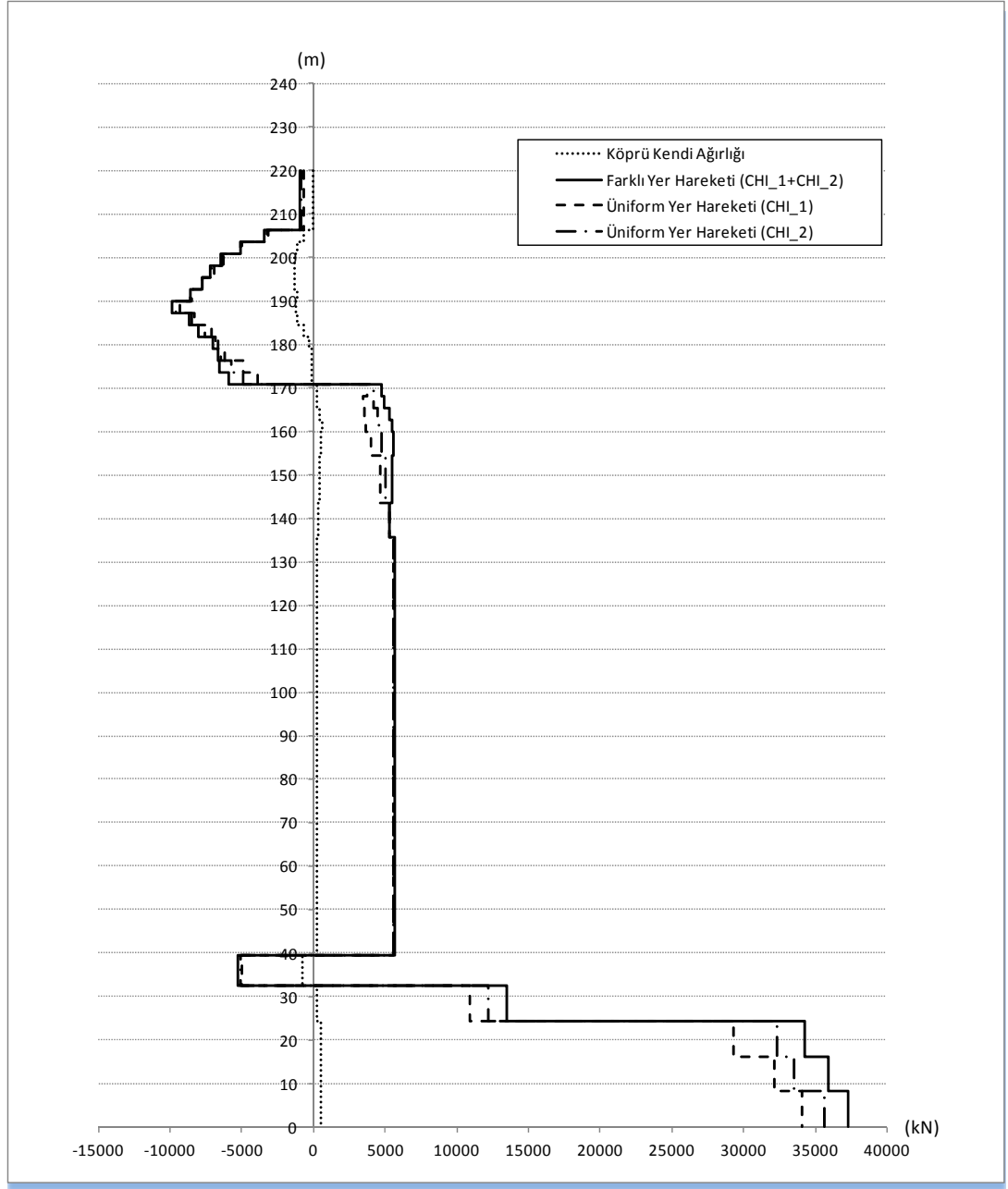
	Yer Hareketi	Köprü Açıklığının Ortasında Oluşan Kesme Kuvvetleri (kN)	Zati Ağırlığa Göre Oran	Yıldız Kayıdına Göre Oran	Chi-1 Kayıdına Göre Oran
Kocaeli Depremi	Köprü Kendi Ağırlığı	2639	1,00		
	Üniform Yer Hareketi (Yıldız)	2982	1,13	1,00	
	Üniform Yer Hareketi (Mecidiye)	3630	1,38	1,22	
	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	3669	1,39	1,23	
Chi-Chi Depremi	Üniform Yer Hareketi (Chi-1)	5788	2,19		1,00
	Üniform Yer Hareketi (Chi-2)	6759	2,56		1,17
	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	8162	3,09		1,41
	Yer Hareketi	Tabliyenin Kenar Kısımında Oluşan Kesme Kuvvetleri (kN)	Zati Ağırlığa Göre Oran	Yıldız Kayıdına Göre Oran	Chi-1 Kayıdına Göre Oran
Kocaeli Depremi	Köprü Kendi Ağırlığı	6769	1,00		
	Üniform Yer Hareketi (Yıldız)	8476	1,25	1,00	
	Üniform Yer Hareketi (Mecidiye)	8613	1,27	1,02	
	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	12949	1,91	1,53	
Chi-Chi Depremi	Üniform Yer Hareketi (Chi-1)	16677	2,46		1,00
	Üniform Yer Hareketi (Chi-2)	16952	2,50		1,02
	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	17217	2,54		1,03
	Yer Hareketi	Köprü Tabliyesinin Ana Kuleye Mesnetlendiği Noktada Oluşan Kesme Kuvvetleri (kN)	Zati Ağırlığa Göre Oran	Yıldız Kayıdına Göre Oran	Chi-1 Kayıdına Göre Oran
Kocaeli Depremi	Köprü Kendi Ağırlığı	6681	1,00		
	Üniform Yer Hareketi (Yıldız)	7083	1,06	1,00	
	Üniform Yer Hareketi (Mecidiye)	7387	1,11	1,04	
	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	8211	1,23	1,16	
Chi-Chi Depremi	Üniform Yer Hareketi (Chi-1)	13145	1,97		1,00
	Üniform Yer Hareketi (Chi-2)	13253	1,98		1,01
	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	14421	2,16		1,10

Şekil 4.14. ve Şekil 4.15.'de her iki zemin sınıfı için uygulanan deprem yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan kesme kuvveti değerleri görülmektedir. En büyük kesme kuvvetleri ana kulenin zemine mesnetlendiği bölgede vekabloların ana kuleye bağlandığı kule üst kısmının ortasında oluşmaktadır. Deprem yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan kesme kuvveti değerleri ve bu kesme kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan kesme kuvvetlerine oranları Çizelge 4.8.' de gösterilmiştir.

Daha önce kule deplasman ve eğilme momentleri için elde edilen genel değişime paralel olarak, her iki zemin grubuna ait deprem kayıtları için farklı yer hareketi uygulaması ile belirlenen kule kesme kuvveti değerlerinin, üniform yer hareketi için elde edilen kesme kuvvetlerinden daha büyük olduğu gözlenmektedir. Ayrıca, ChiChi deprem kayıtları için elde edilen kesme kuvvetlerinin, Kocaeli deprem kayıtlarına oranla köprünün zati ağırlığından kaynaklanan kesme kuvvetlerini daha fazla arttırdığı gözlemlenen diğer bir husustur. Farklı yer hareketi uygulaması neticesinde, kabloların ana kuleye bağlandığı bölgede ve ana kulenin zemine mesnetlendiği noktada Kocaeli depremi için elde edilen kesme kuvveti değerleri, Yıldız üniform yer hareketi için elde edilen kesme kuvveti değerlerinden sırasıyla %40 ve %32 daha büyük çıkarken, ChiChi depremi için farklı yer hareketi uygulaması ile elde edilen kesme kuvveti değerleri Chi-1 üniform yer hareketi için belirlenen kesme kuvveti değerlerinden sırasıyla %6 ve %10 daha fazla çıkmıştır. Buradan, farklı yer hareketi uygulaması açısından, sert zemin sınıfına karşılık gelen Kocaeli deprem kayıtlarının, orta sertlikteki zemin sınıfına karşılık gelen ChiChi deprem kayıtlarından daha etkin olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.14. Deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde ana kulede oluşan kesme kuvvetleri



Şekil 4.15. Deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde ana kulede oluşan kesme kuvvetleri

Çizelge 4.8. Deprem yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan kesme kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan kesme kuvvetlerine oranları

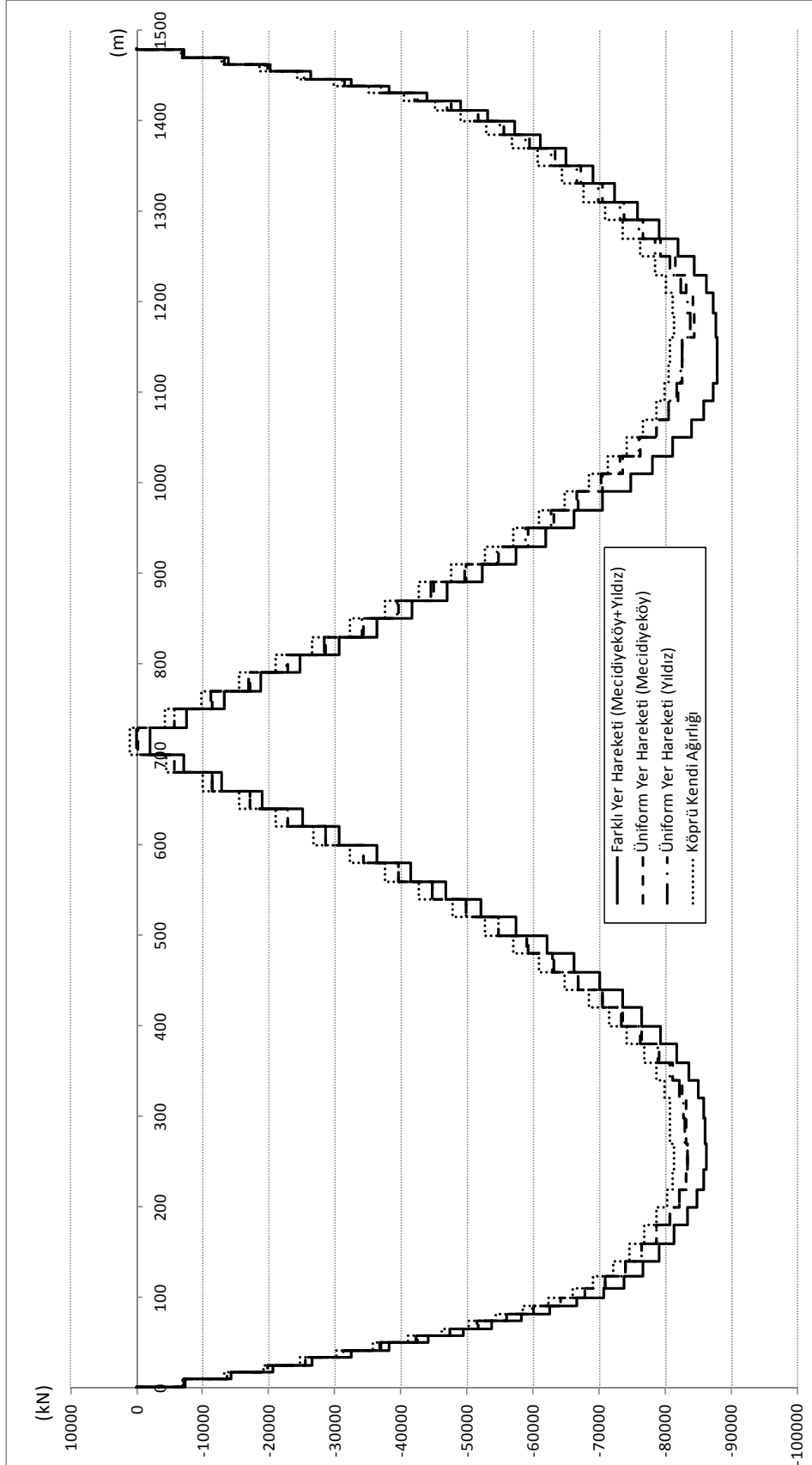
	Yer Hareketi	Kabloların Ana Kuleye Bağlandığı Bölgede Oluşan Kesme Kuvvetleri (kN)	Zati Ağırlığa Göre Oran	Yıldız Kayıdına Göre Oran	Chi-1 Kayıdına Göre Oran
Kocaeli Depremi	Köprü Kendi Ağırlığı	1236	1,00		
	Üniform Yer Hareketi (Yıldız)	1962	1,59	1,00	
	Üniform Yer Hareketi (Mecidiye)	1785	1,44	0,91	
	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	2747	2,22	1,40	
Chi-Chi Depremi	Üniform Yer Hareketi (Chi-1)	9280	7,51		1,00
	Üniform Yer Hareketi (Chi-2)	9584	7,75		1,03
	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	9879	7,99		1,06
	Yer Hareketi	Ana Kulenin Zemine Mesnetlendiği Noktada Oluşan Kesme Kuvvetleri (kN)	Zati Ağırlığa Göre Oran	Yıldız Kayıdına Göre Oran	Chi-1 Kayıdına Göre Oran
Kocaeli Depremi	Köprü Kendi Ağırlığı	56	1,00		
	Üniform Yer Hareketi (Yıldız)	400	7,14	1,00	
	Üniform Yer Hareketi (Mecidiye)	516	9,21	1,29	
	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	528	9,43	1,32	
Chi-Chi Depremi	Üniform Yer Hareketi (Chi-1)	3470	61,96		1,00
	Üniform Yer Hareketi (Chi-2)	3636	64,93		1,05
	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	3802	67,89		1,10

4.2.4.Eksenel kuvvetler

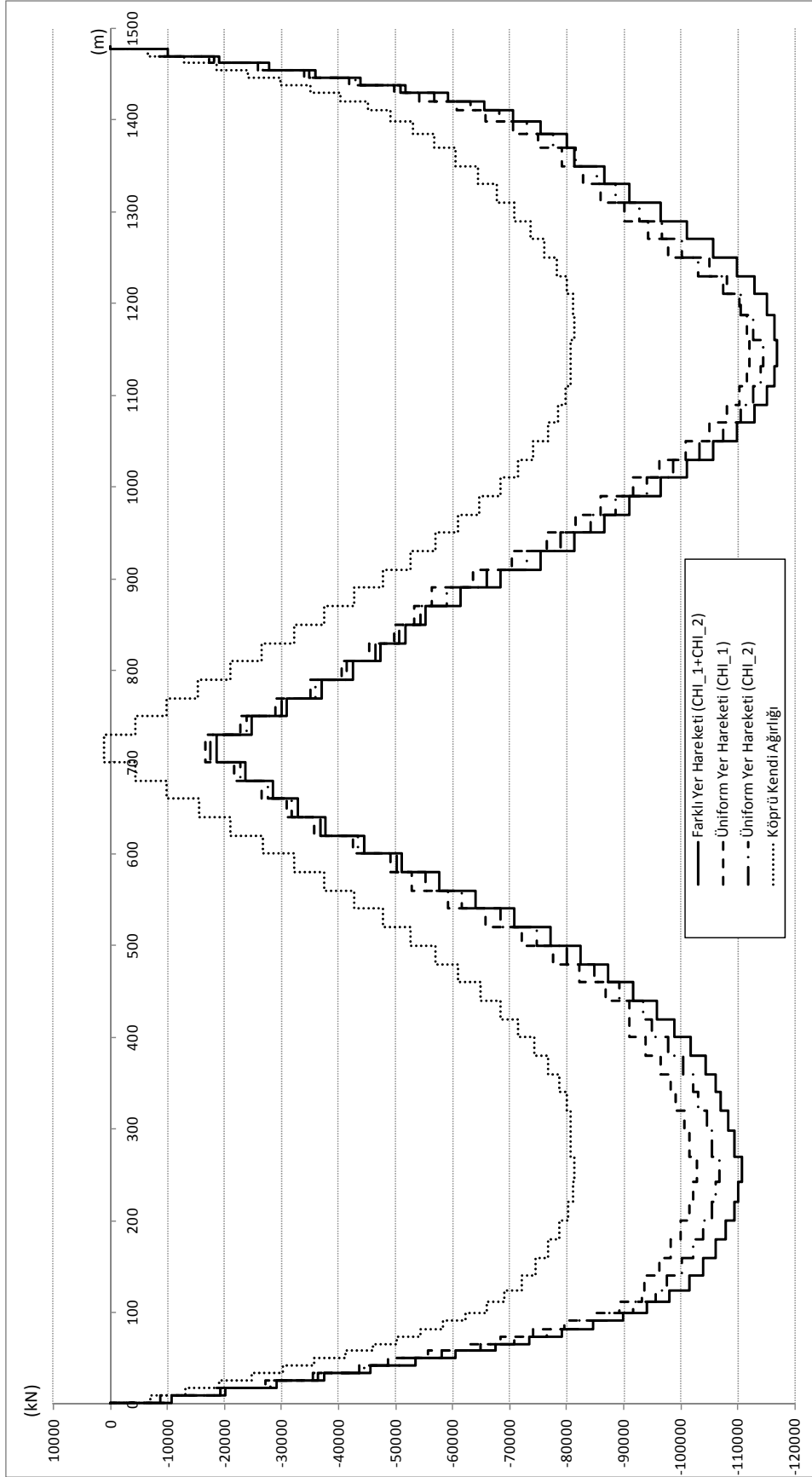
Şekil 4.16. ve Şekil 4.17.'de her iki zemin sınıfı için uygulanan deprem yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan eksenel kuvvet değerleri görülmektedir. Görüldüğü gibi, en büyük eksenel kuvvetler tabliyenin kulelere mesnetlendiği bölgede oluşmaktadır. Deprem yüklemeleri neticesinde tabliyenin ana kuleye mesnetlendiği bölgede oluşan eksenel kuvvet değerleri ve bu eksenel kuvvetlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları da Çizelge 4.9.' da gösterilmiştir.

Tabliye eksenel kuvvetleri için elde edilen değişim, daha önce tabliye ve kule kesit tesirleri için elde edilen değişime benzerdir. Farklı yer hareketi etkisi için elde edilen eksenel kuvvetler, üniform yer hareketi için elde edilen eksenel kuvvetlerden daha büyük olurken, orta sertlikteki zemin sınıfına karşılık gelen deprem kayıtlarının kullanıldığı ChiChi depremi için elde edilen eksenel kuvvet değerleri, sert zemin

sınıfına karşılık gelen deprem kayıtlarının kullanıldığı Kocaeli depremi için belirlenen eksenel kuvvetlerden daha büyük çıkmıştır. Köprü mesnetlerinden farklı yer hareketi uygulanması neticesinde, tabliye-kule birleşim bölgesine denk gelen mesnet noktasında elde edilen eksenel kuvvet değerleri, köprünün zati ağırlığından kaynaklanan eksenel kuvvet değerine oranla Kocaeli depremi için %8, ChiChi depremi için %44 daha büyük olarak elde edilmiştir.



Şeki
l
4.16.
Depr
em
yükl
eme
si
(Koc
aeli
Depr
emi)
netic
esin
de
tabli
yede
oluş
anek
sene
l
kuvv
etler



Şeki
l
4.17.
Depr
em
yükl
eme
si
(Chi
Chi
Depr
emi)
netic
esin
de
tabli
yede
oluş
anek
sene
l
kuvv
etler

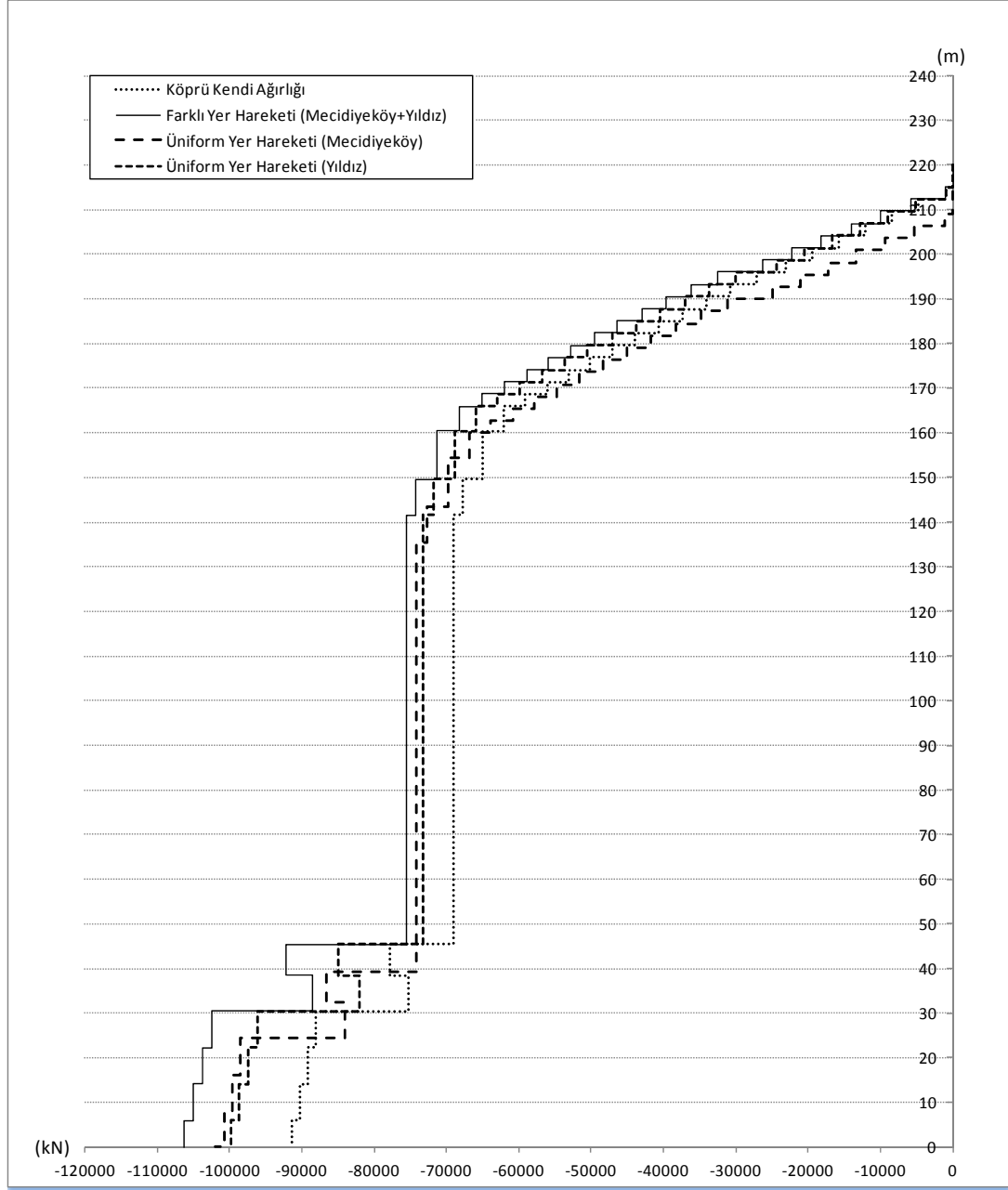
Çizelge 4.9. Deprem yüklemeleri neticesinde tabliyenin ana kuleye mesnetlendiği bölgede oluşan eksenel kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları

	Yer Hareketi	Tabliyenin Ana Kuleye Mesnetlendiği Bölgede Oluşan Eksenel Kuvvetler (kN)	Zati Ağırlığa Göre Oran
	Köprü Kendi Ağırlığı	81345	1,00
Kocaeli Depremi	Üniform Yer Hareketi (Yıldız)	83679	1,03
	Üniform Yer Hareketi (Mecidiye)	84337	1,04
	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	87780	1,08
Chi-Chi Depremi	Üniform Yer Hareketi (Chi-1)	111942	1,38
	Üniform Yer Hareketi (Chi-2)	114394	1,41
	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	116847	1,44

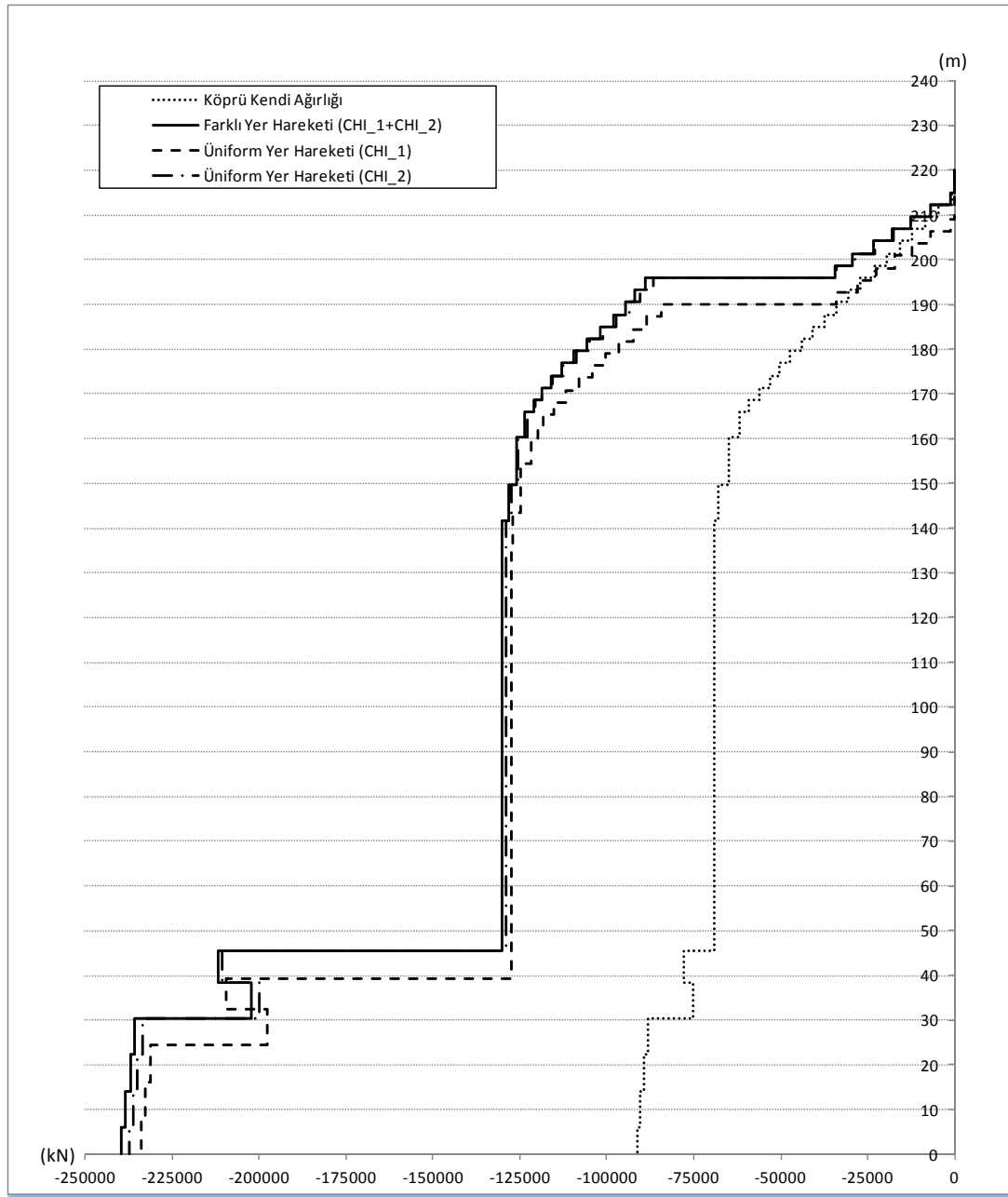
Şekil 4.18. ve Şekil 4.19.’ da her iki zemin sınıfı için uygulanan deprem yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan eksenel kuvvet değerleri görülmektedir. Görüldüğü gibi, en büyük eksenel kuvvetler ana kulenin zemine mesnetlendiği kısımda oluşmaktadır. Deprem yüklemeleri neticesinde ana kulenin zemine mesnetlendiği noktada oluşan eksenel kuvvet değerleri ve bu eksenel kuvvetlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları da Çizelge 4.10.’ da gösterilmiştir.

Daha önce kule eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri için elde edilen genel değişime paralel olarak, her iki zemin grubuna ait deprem kayıtları için farklı yer hareketi uygulaması ile belirlenen kule eksenel kuvvet değerlerinin, üniform yer hareketi için elde edilen eksenel kuvvetlerden daha büyük olduğu gözlenmektedir. Ayrıca, ChiChi deprem kayıtları için elde edilen eksenel kuvvetlerin, Kocaeli deprem kayıtlarına oranla köprünün zati ağırlığından kaynaklanan eksenel kuvvetleri daha fazla arttırdığı gözlemlenen diğer bir husustur. Farklı yer hareketi uygulaması neticesinde, mesnet bölgesinde Kocaeli depremi için elde edilen eksenel kuvvet değeri, Yıldız üniform yer hareketi için elde edilen eksenel kuvvet değerinden %6 daha büyük çıkarken, ChiChi depremi için farklı yer hareketi uygulaması ile elde

edilen aksenal kuvvet değeri Chi-1 üniform yer hareketi için belirlenen aksenal kuvvet değerinden %2 daha fazla çıkmıştır.



Şekil 4.18. Deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde ana kulede oluşan aksenal kuvvetler



Şekil 4.19. Deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde ana kulede oluşan aksenal kuvvetler

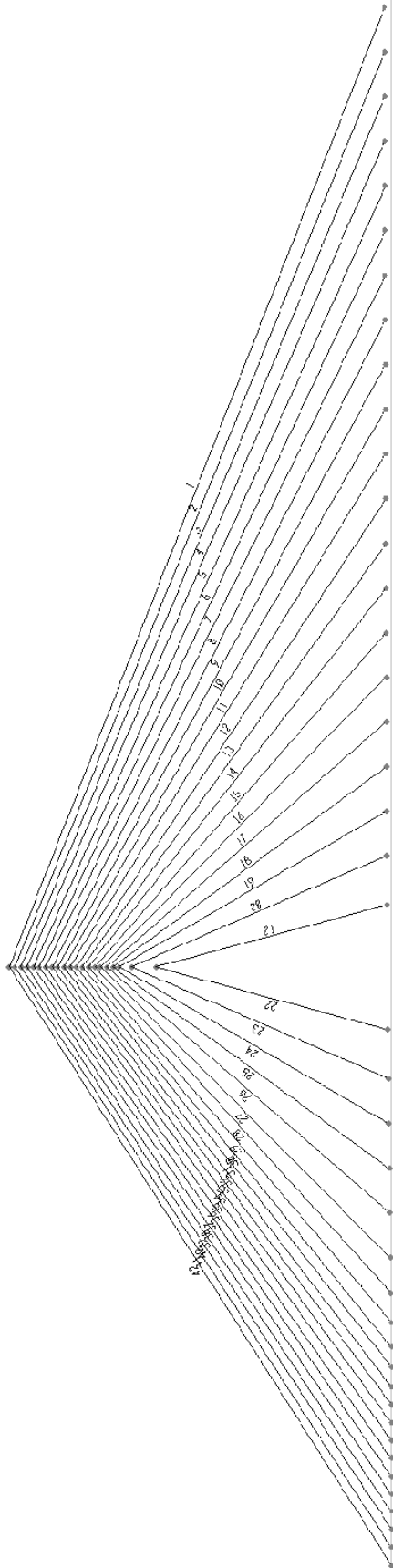
Çizelge 4.10. Deprem yüklemeleri neticesinde ana kulenin zemine mesnetlendiği noktada oluşan eksenel kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları

	Yer Hareketi	Ana Kulenin Zemine Mesnetlendiği Noktada Oluşan Eksenel Kuvvetler (kN)	Zati Ağırlığa Göre Oran	Yıldız Kayıdına Göre Oran	Chi-1 Kayıdına Göre Oran
	Köprü Kendi Ağırlığı	91370	1,00		
Kocaeli Depremi	Üniform Yer Hareketi (Yıldız)	99787	1,09	1,00	
	Üniform Yer Hareketi (Mecidiye)	101916	1,12	1,02	
	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	106203	1,16	1,06	
Chi-Chi Depremi	Üniform Yer Hareketi (Chi-1)	235175	2,57		1,00
	Üniform Yer Hareketi (Chi-2)	237314	2,60		1,01
	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	239452	2,62		1,02

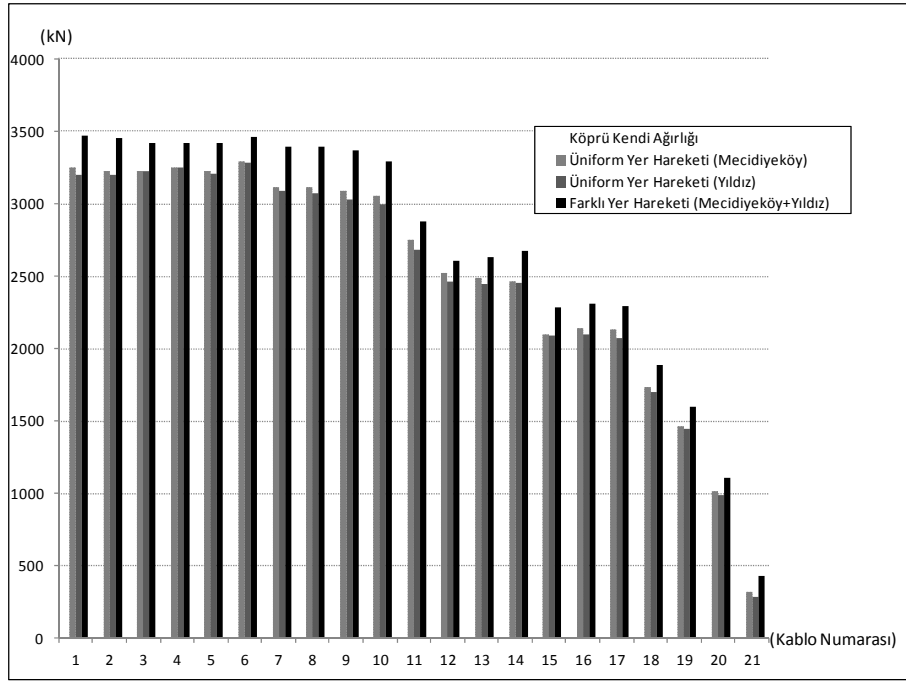
Kablo yerleşimi simetrik olduğu için, Şekil 4.21.- Şekil 4.24.'de sadece 1 nolu kuleye bağlanan kabloların her iki zemin sınıfı için uygulanan deprem yüklemeleri neticesinde oluşan maksimum eksenel kuvvet değerleri verilmiştir. 1-21 numaraları arası kablolar orta açıklık kablolarını gösterirken, 22-42 numaraları arası kablolar kenar açıklık kablolarını göstermektedir. Kablo numarası yerleşimi Şekil 4.20.'de gösterilmiştir. Görüleceği gibi, orta açıklık kabloları için ana kuleden tabliye ortasına doğru ilerledikçe eksenel kuvvetler artmaktadır. Benzer şekilde kuvvet dengesi gereği, kenar açıklık kabloları için de ana kuleden kenar uç kısmına doğru ilerledikçe eksenel kuvvetler artmaktadır. En büyük eksenel kuvvetler kenar açıklık kabloları için ana kulenin tepesinden tabliyenin en kenarına bağlanan kabloda oluşurken, orta açıklık kabloları için ana kulenin tepesinden tabliyenin ortasına bağlanan kabloda oluşmuştur.

Tabliye ve kulede elde edilen kesit tesirlerine paralel olarak, kablo eksenel kuvvetleri için de en büyük değerler, farklı yer hareketi uygulaması durumunda elde edilmiştir. Köprü mesnetlerinden farklı yer hareketi uygulanması neticesinde, ana kule tepe noktasından kenar açıklık uç noktasına uzanan kablo (42 numaralı kablo) için elde edilen eksenel kuvvet değerleri, köprünün zati ağırlığından kaynaklanan eksenel kuvvet değerine oranla Kocaeli depremi için %7, Chi-Chi depremi için %55 daha büyük olarak elde edilmiştir.

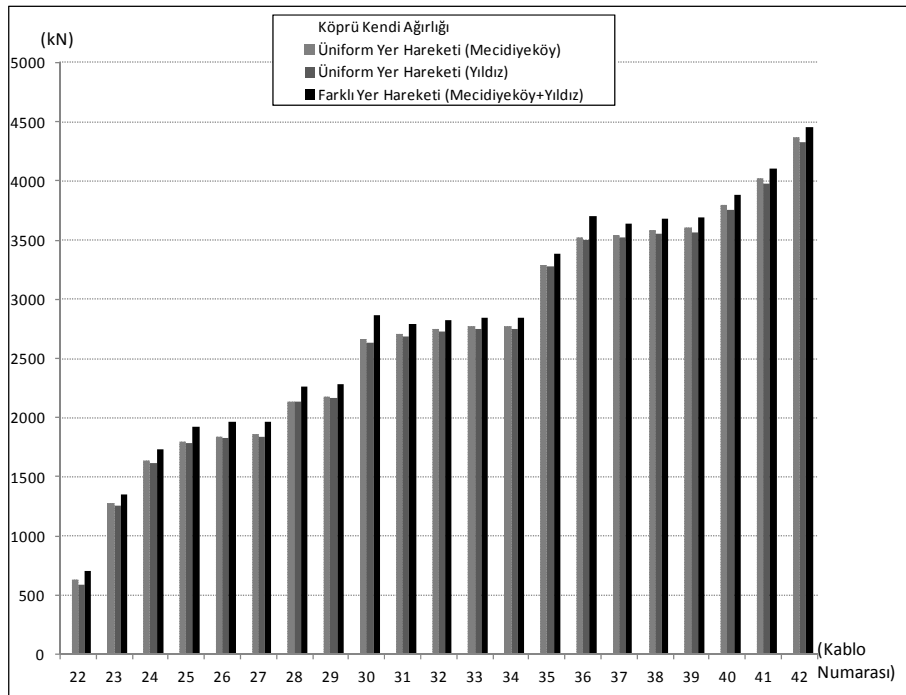
Deprem yüklemeleri neticesinde en büyüksenel kuvvetin oluştuğu 42 numaralı kabloda oluşan aksenel kuvvet değeri ve bu aksenel kuvvetlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan aksenel kuvvetlere oranları Çizelge 4.11.' de gösterilmiştir.



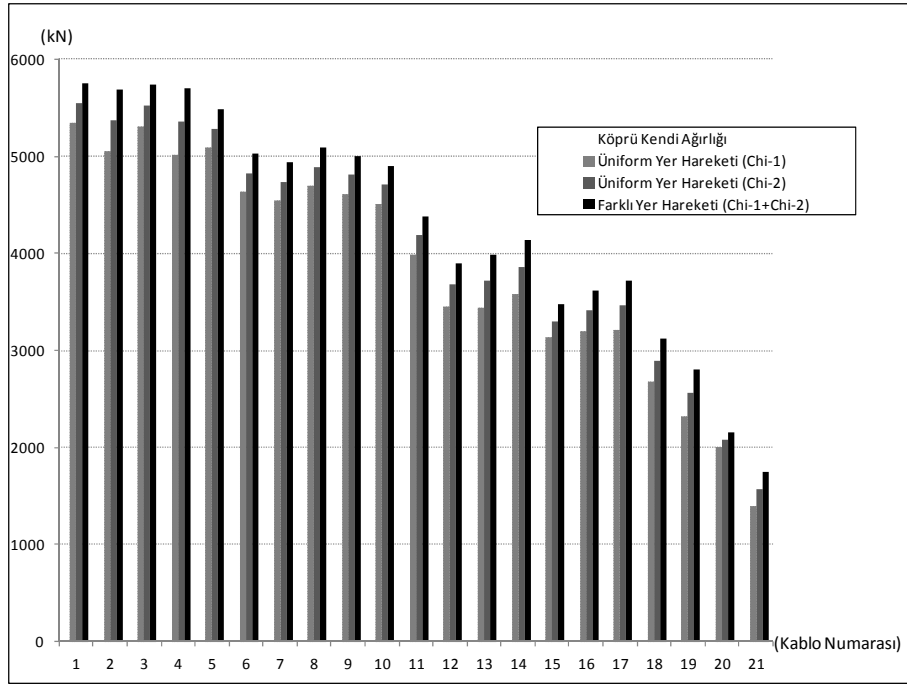
Şeki
l
4.20.
Kabl
o
num
arala
rı
yerle
şimi



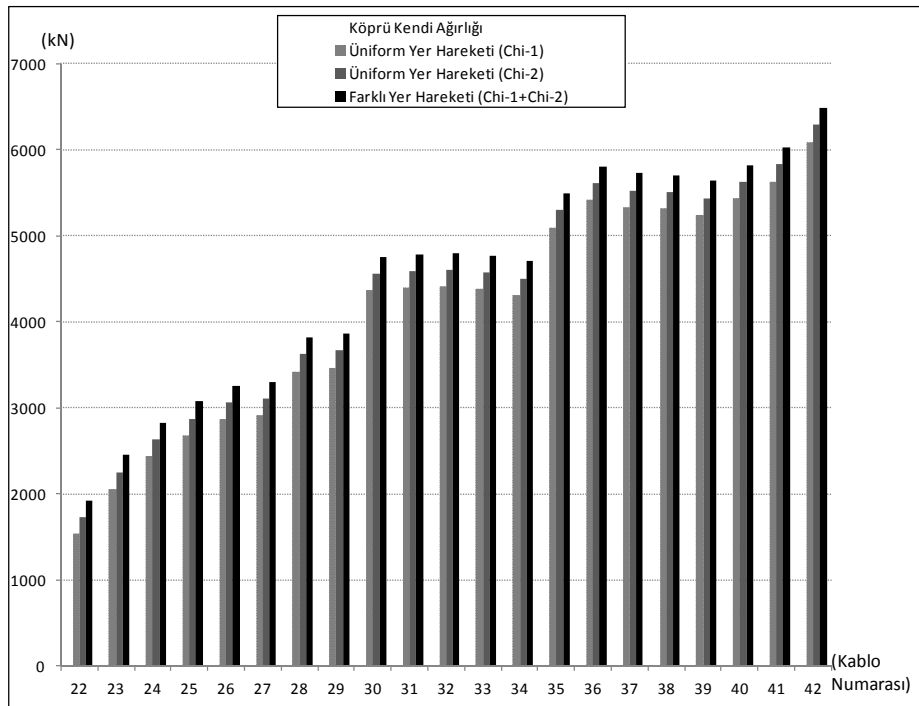
Şekil 4.21. Deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde 1 - 21 numaralı orta açıklık kablolarında oluşan eksenel kuvvetler



Şekil 4.22. Deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde 22 - 42 numaralı kenar açıklık kablolarında oluşan eksenel kuvvetler



Şekil 4.23. Deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde 1 - 21 numaralı orta açıklık kablolarında oluşan eksenel kuvvetler



Şekil 4.24. Deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde 22 - 42 numaralı kenar açıklık kablolarında oluşan eksenel kuvvetler

Çizelge 4.11. Deprem yüklemeleri neticesinde 42 numaralı kabloda oluşan eksenel kuvvetlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları

	Yer Hareketi	42 Numaralı Kabloda Oluşan Eksenel Kuvvetler (kN)	Zati Ağırlığa Göre Oran
Kocaeli Depremi	Köprü Kendi Ağırlığı	4179	1,00
	Üniform Yer Hareketi (Yıldız)	4326	1,04
	Üniform Yer Hareketi (Mecidiye)	4365	1,04
	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	4454	1,07
Chi-Chi Depremi	Üniform Yer Hareketi (Chi-1)	6092	1,46
	Üniform Yer Hareketi (Chi-2)	6298	1,51
	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	6475	1,55

4.3. Trafik Yükleme Altında Kablolu Köprü Davranışı

Köprünün trafik yükleri altındaki davranışını incelemek için üç ayrı trafik yüklemesi oluşturulmuştur. Ağır kamyon tipi olan HS20-44 kamyon sınıfı kullanılarak oluşturulan hareketli taşıt yükü uygulanması, HS20-44 kamyon sınıfı kullanılarak oluşturulan köprünün tamamına üniform yayılı sabit trafik yükü uygulaması ve orta ağırlıkta kamyon tipi olan H20-44 kamyon sınıfı yük değerleri kullanılarak köprünün tamamına üniform yayılı sabit trafik yükü uygulaması dikkate alınacak trafik yüklemesi uygulamalarıdır.

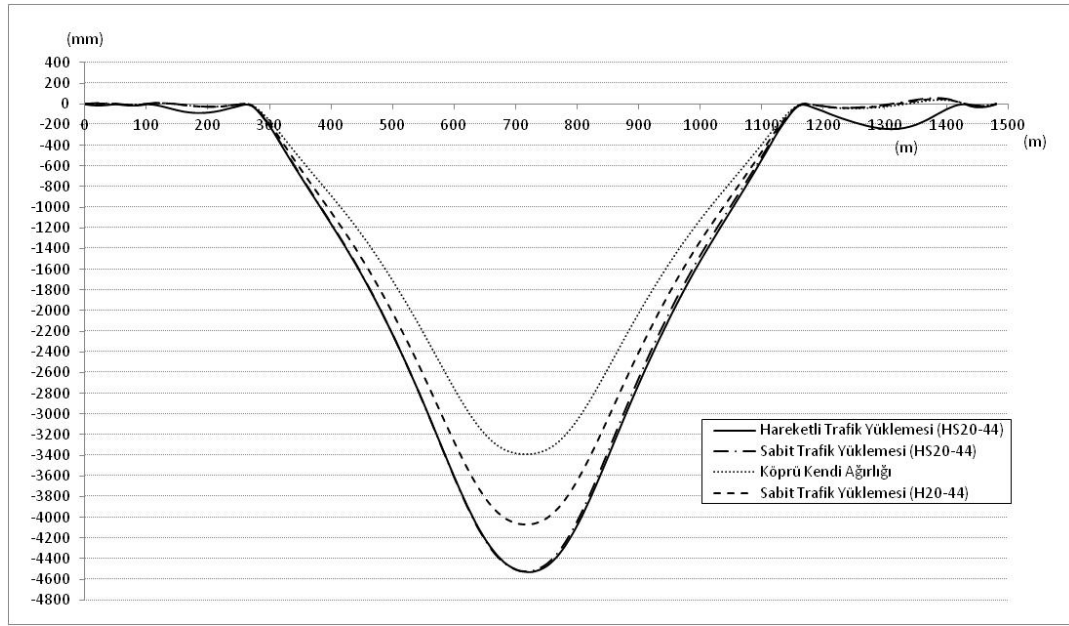
Trafik yüklemelerine bağlı olarak gerçekleştirilen analizler neticesinde ana kulelerde, tabliyede ve kablolarda elde edilen deplasman ve kesit tesirleri karşılaştırılmaktadır. Köprünün simetrik ve ana kulelerin aynı ölçülere sahip olması nedeniyle, sadece 1 nolu ana kuleye ait analiz sonuçları irdelenmiştir.

4.3.1. Deplasmanlar

Şekil 4.25.'de tabliyeye ait her üç trafik yüklemesi neticesinde elde edilen deplasman değerleri görülmektedir. Deplasmanlar bilgisayar modelinde tabliyenin orta noktasında okunan değerlerdir. En fazla düşey deplasman köprü açıklığının ortasında oluşmaktadır. Trafik yüklemeleri neticesinde köprü açıklığının ortasında oluşan deplasman değerleri ve bu deplasmanların köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan deplasmanlara oranları Çizelge 4.12.'de gösterilmiştir.

Trafik yüklemesine bağlı olarak tabliyede elde edilen en büyük düşey deplasmanlar, HS20-44 ağır kamyon sınıfına karşılık gelen hareketli trafik yükü uygulaması için elde edilmiştir. Bunun yanında, söz konusu ağır kamyon yükünün sabit yayılı trafik yükü olarak uygulanması ile elde edilen deplasman değerleri, hareketli trafik yükü uygulaması için elde edilen değerlerle oldukça uyumlu çıkmıştır. Ayrıca, HS20-44 sınıfı ağır kamyon için tabliye orta noktasında elde edilen düşey deplasman değeri, köprü zati ağırlığından kaynaklanan deplasman değerinden %33 daha büyük

çıkarken, H20-44 sınıfı orta ağırlıktaki kamyon için aynı noktada elde edilen deplasman değeri, köprü zati ağırlığından kaynaklanan deplasman değerinden %20 daha büyük çıkmıştır.



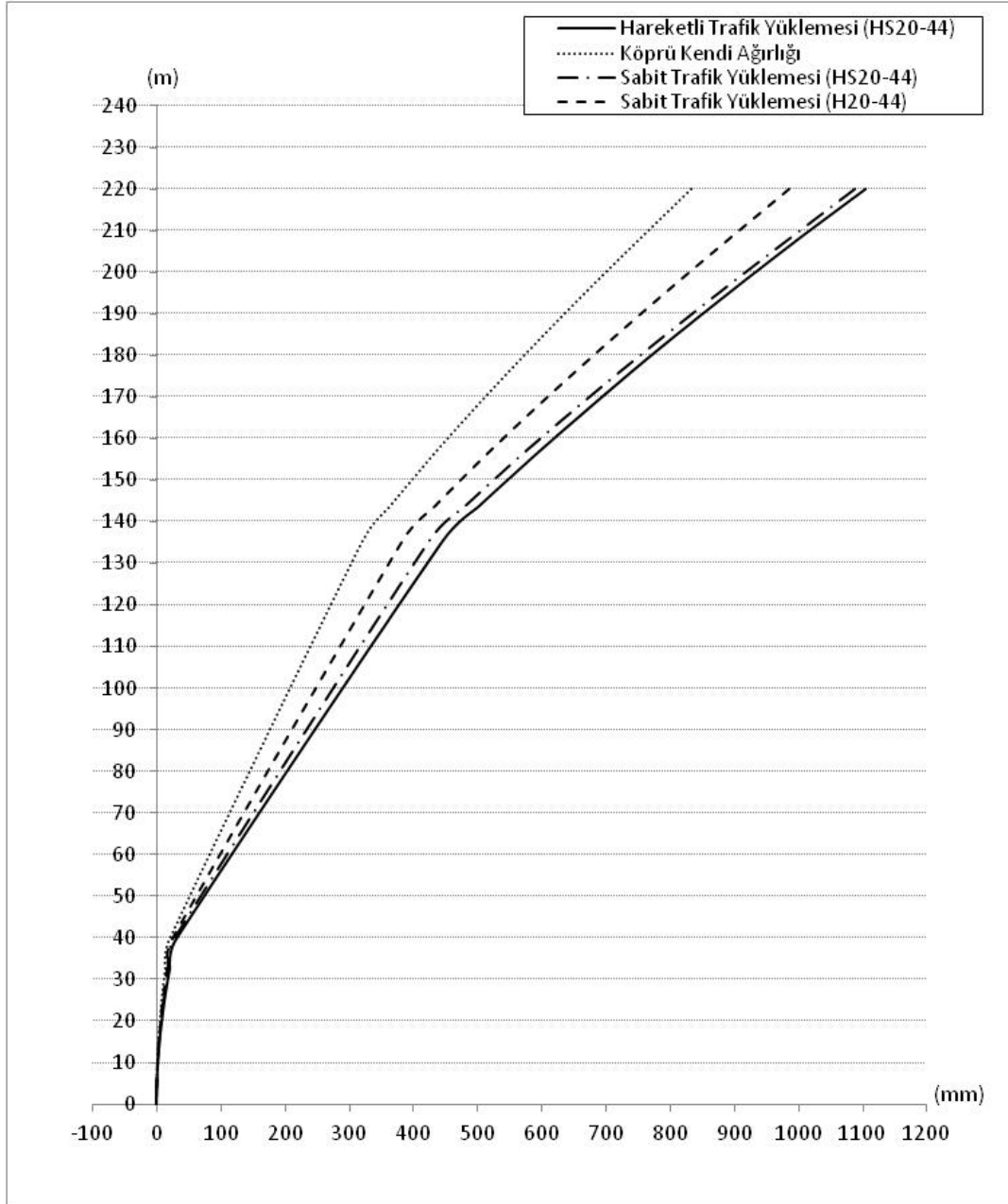
Şekil 4.25. Trafik yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan düşey deplasmanlar

Çizelge 4.12. Trafik yüklemeleri neticesinde köprü açıklığının ortasında oluşan deplasmanların köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan deplasmanlara oranları

Trafik Yüklemesi	Köprü Açıklığının Orta Noktasında Oluşan Deplasmanlar	Oran
Köprü Kendi Ağırlığı	3391	1,00
Sabit Trafik Yüklemesi (H20-44)	4070	1,20
Sabit Trafik Yüklemesi (HS20-44)	4523	1,33
Hareketli Trafik Yüklemesi (HS20-44)	4528	1,34

Şekil 4.26.'da ana kuleye ait her üç trafik yüklemesine bağlı olarak elde edilendeplasman değerleri karşılaştırılmaktadır. Görüldüğü gibi en fazla deplasmanlar kulenin tepe noktasında ve köprünün boyuna yönünde oluşmaktadır. Trafik yüklemeleri neticesinde ana kulenin tepe noktasında oluşan deplasman değerleri ve bu deplasmanların köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan deplasmanlara oranları Çizelge 4.13.' de gösterilmiştir.

Köprü tabliyesi için elde edilen değişimde olduğu gibi, trafik yüklemesine bağlı olarak kulede elde edilen en büyük yatay deplasmanlar, HS20-44 ağır kamyon sınıfına karşılık gelen hareketli trafik yükü uygulaması için elde edilmiştir. Bunun yanında, söz konusu ağır kamyon yükünün sabit yayılı trafik yükü olarak uygulanması ile elde edilen deplasman değerleri, hareketli trafik yükü uygulaması için elde edilen değerlerle hemen hemen aynı çıkmıştır. HS20-44 sınıfı ağır kamyon için kule tepe noktasında elde edilen yatay deplasman değeri, köprü zati ağırlığından kaynaklanan deplasman değerinden %31 daha büyük çıkarken, H20-44 sınıfı orta ağırlıktaki kamyon için aynı noktada elde edilen deplasman değeri, köprü zati ağırlığından kaynaklanan deplasman değerinden %18 daha büyük çıkmıştır.



Şekil 4.26. Trafik yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan yatay deplasmanlar

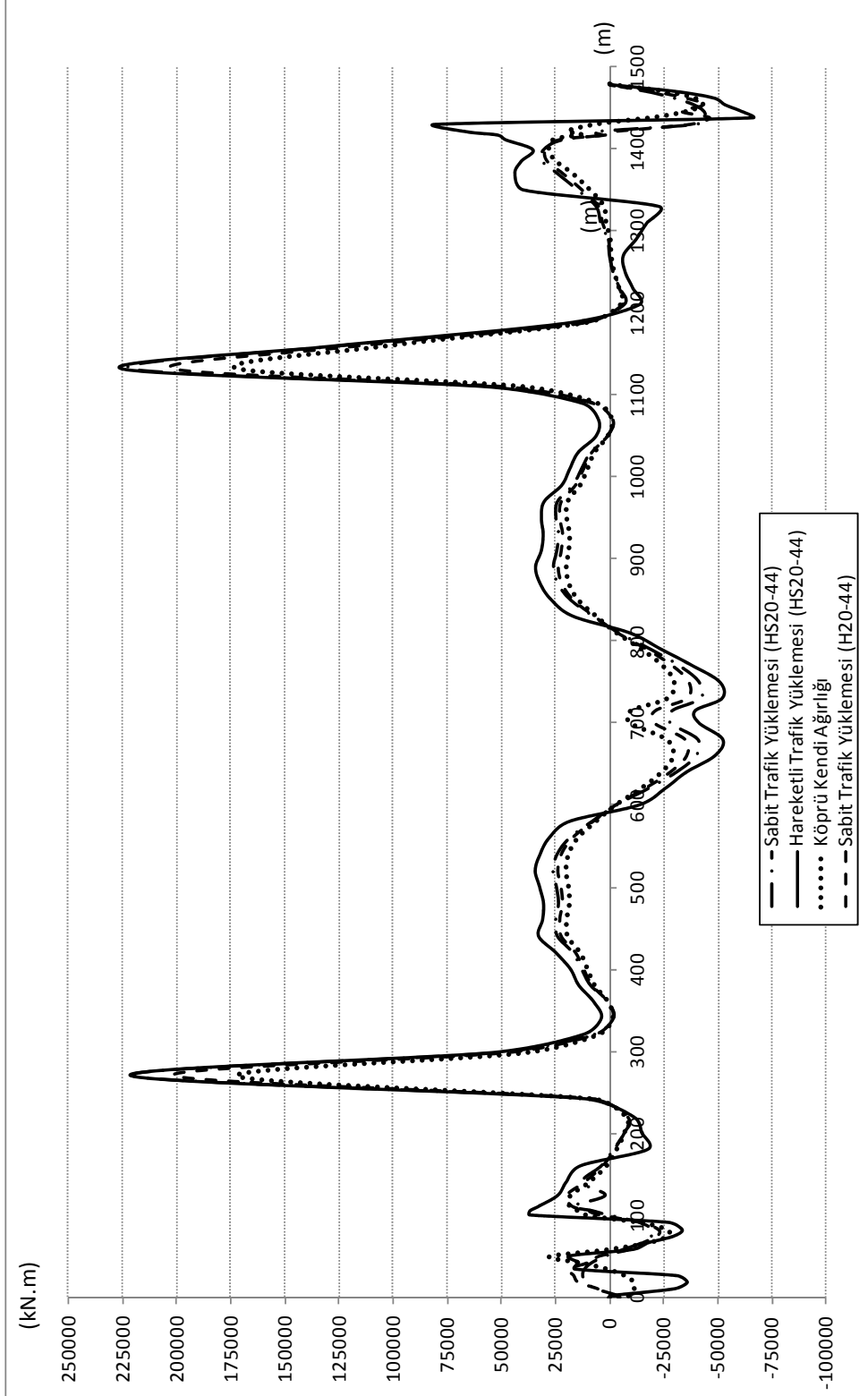
Çizelge 4.13. Trafik yüklemeleri neticesinde ana kulenin tepe noktasında oluşan deplasmanların köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan deplasmanlara oranları

Trafik Yükleme	Ana Kulenin Tepe Noktasında Oluşan Deplasmanlar (mm)	Oran
Köprü Kendi Ağırlığı	831	1,00
Sabit Trafik Yükleme (H20-44)	984	1,18
Sabit Trafik Yükleme (HS20-44)	1086	1,31
Hareketli Trafik Yükleme (HS20-44)	1104	1,33

4.3.2. Eğilme momentleri

Şekil 4.27.'de tabliyeye ait her üç trafik yüklemesine bağlı olarak elde edilen eğilme momenti değerleri karşılaştırılmaktadır. En büyük mesnet momentleri tabliyenin kulelere mesnetlendiği bölgede, açıklık momentleri ise köprü açıklığı ortasında ve tabliyenin öngerilmeli beton kesite sahip olduğu kenar kısımlarında oluşmaktadır. Betonarme kesitin ağırlığının fazla olması küçük açıklıklarda büyük açıklık momentlerinin oluşmasında etkili olmuştur. Trafik yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan moment değerleri ve bu momentlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan momentlere oranları Çizelge 4.14.' de gösterilmiştir.

Tabliye ve kule yerdeğiştirmelerinde olduğu gibi, trafik yüklemesine bağlı olarak elde edilen en büyük eğilme momentleri, HS20-44 ağır kamyon sınıfına karşılık gelen hareketli trafik yükü uygulaması için elde edilmiştir. Ancak, deplasmanlar için elde edilen değişimden farklı olarak, söz konusu ağır kamyon yükünün sabit yayılı trafik yükü olarak uygulanması ile elde edilen deplasman değerleri, hareketli trafik yükü uygulaması için elde edilen değerlerden bir miktar daha küçük çıkmıştır. Nitekim, açıklık ortasında, kenar açıklıkta ve mesnet bölgesinde elde edilen maksimum eğilme momentleri arasında sırasıyla %24, %51 ve %2 fark değerler ortaya çıkmıştır.



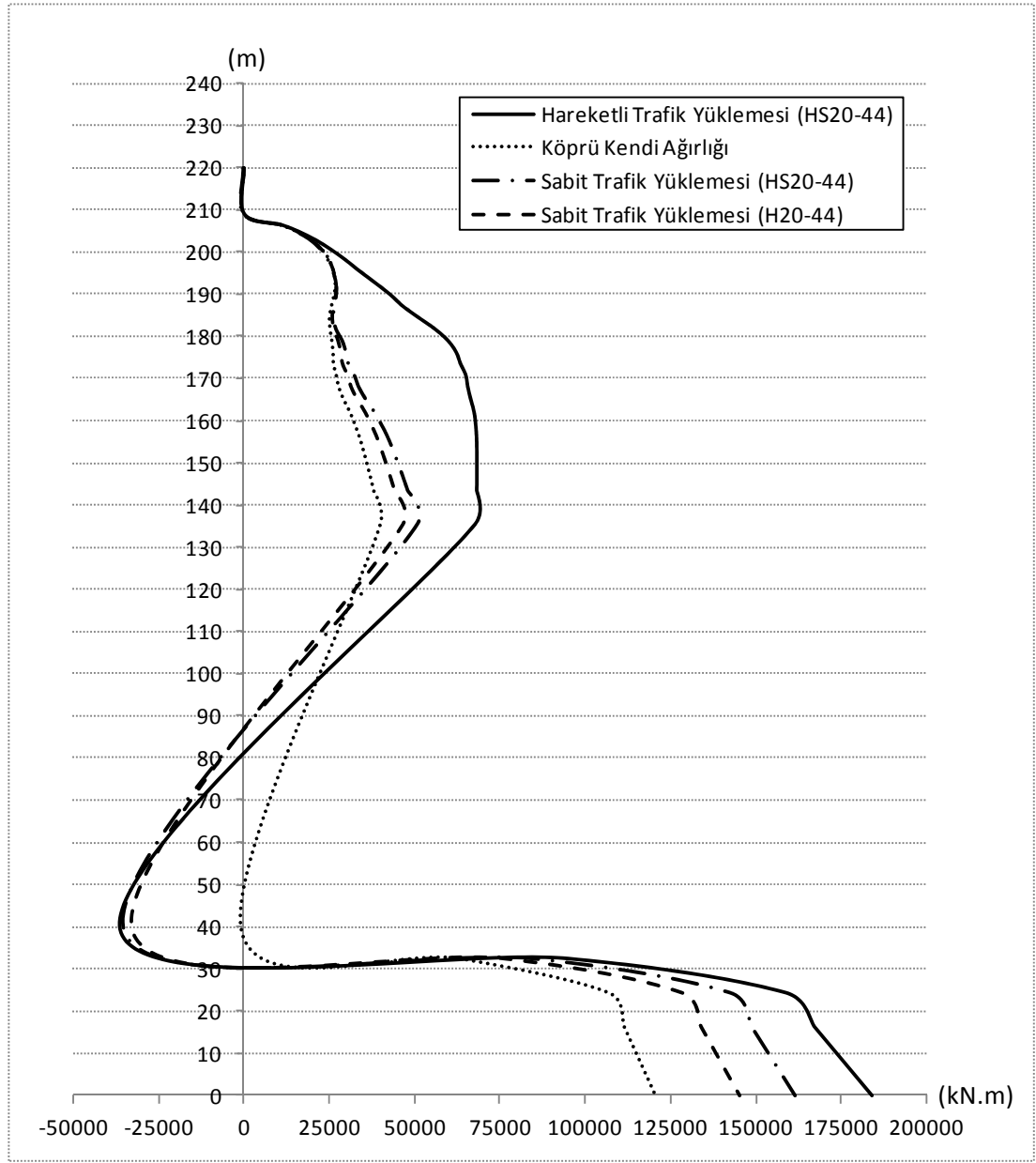
Şeki
l
4.27. Trafi
k
yük
l
em
el
eri
netic
esin
de
tabli
yede
oluş
an
eğil
me
mo
ment
leri

Çizelge 4.14. Trafik yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan momentlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan momentlere oranları

Trafik Yükleme	Köprü Açıklığının Orta Noktasında Oluşan Momentler (kN.m)	Oran	Tabliyenin Kenar Kısımında Oluşan Momentler (kN.m)	Oran	Köprü Tabliyesinin Ana Kuleye Mesnetlendiği Noktada Oluşan Momentler (kN.m)	Oran
Köprü Kendi Ağırlığı	29891	1,00	43184	1,00	172087	1,00
Sabit Trafik Yükleme (H20-44)	36768	1,23	41693	0,97	196543	1,14
Sabit Trafik Yükleme (HS20-44)	42026	1,41	43910	1,02	221588	1,29
Hareketli Trafik Yükleme (HS20-44)	52248	1,75	66267	1,53	225002	1,31

Şekil 4.28.'de ana kuleye ait her üç trafik yüklemesine bağlı olarak elde edilen eğilme momenti değerleri karşılaştırılmaktadır. Görüldüğü gibi, en büyük momentler ana kulenin zemine mesnetlendiği kısımda ve kulenin orta noktasında oluşmaktadır. Tabliyenin ana kuleye bağlandığı noktada kuledeki eğilme momentleri yön değiştirmektedir. Trafik yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan moment değerleri ve bu momentlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan momentlere oranları Çizelge 4.15.' de gösterilmiştir.

Kule eğilme momentleri için elde edilen değişim, tabliye eğilme momentleri için elde edilen değişimle paralellik göstermektedir. Burada da, HS20-44 ağır kamyon yükünün sabit yayılı trafik yükü olarak uygulanması ile elde edilen eğilme momenti değerleri, hareketli trafik yükü uygulaması için elde edilen değerlerden bir miktar daha küçük çıkmıştır. Kule yüksekliği ortasında ve mesnet bölgesinde elde edilen maksimum eğilme momentleri arasında sırasıyla %33 ve %14 fark değerler ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.28. Trafik yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan eğilme momentleri

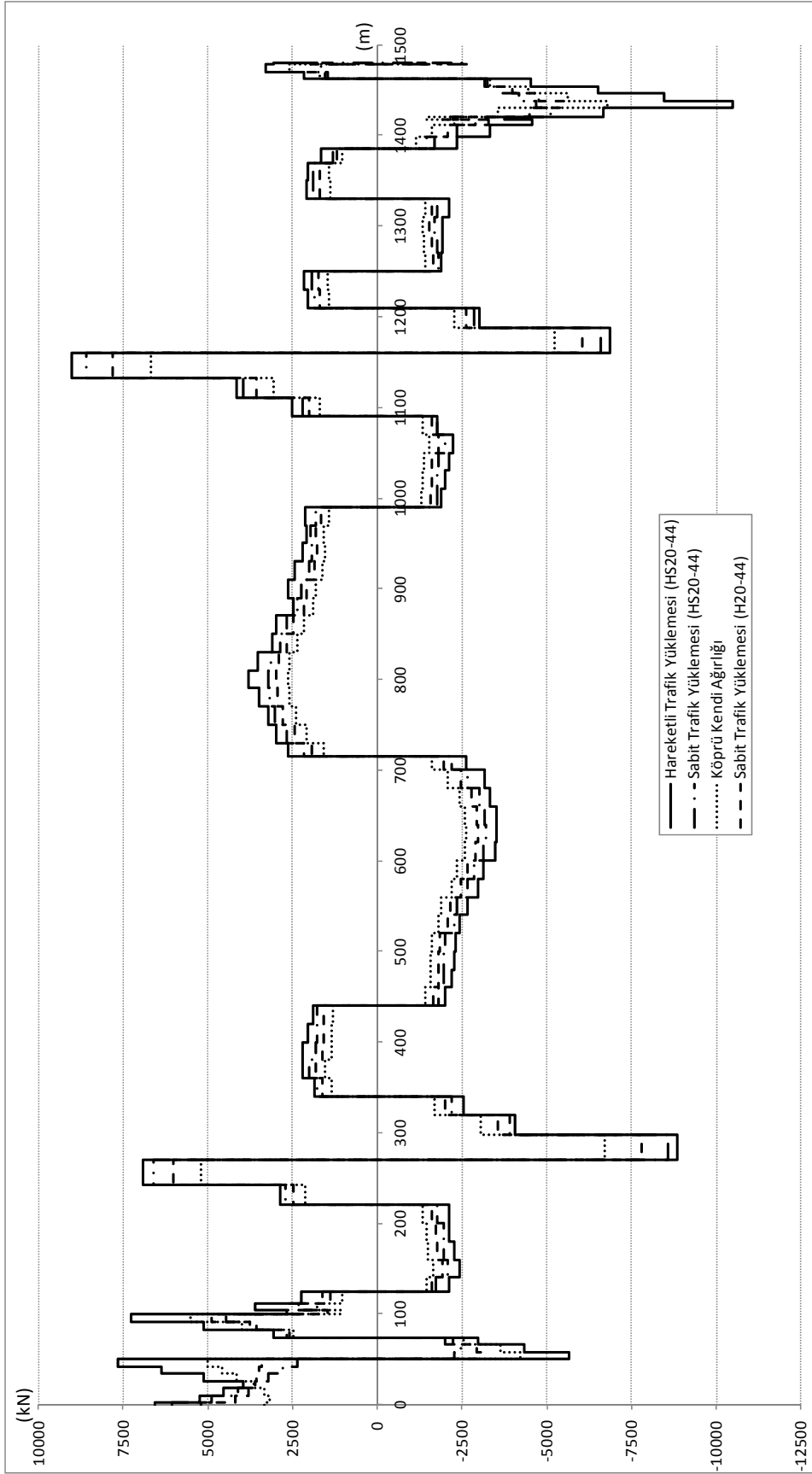
Çizelge 4.15. Trafik yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan momentlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan momentlere oranları

Trafik Yükleme	Ana Kulenin Orta Noktasında Oluşan Momentler (kN.m)	Oran	Ana Kulenin Zemine Mesnetlendiği Noktada Oluşan Momentler (kN.m)	Oran
Köprü Kendi Ağırlığı	39701	1,00	120663	1,00
Sabit Trafik Yükleme (H20-44)	46499	1,17	145021	1,20
Sabit Trafik Yükleme (HS20-44)	50845	1,28	161267	1,34
Hareketli Trafik Yükleme (HS20-44)	67611	1,70	183751	1,52

4.3.3. Kesme kuvvetleri

Şekil 4.29.'da tabliyeye ait her üç trafik yüklemesine bağlı olarak elde edilen kesme kuvveti değerleri karşılaştırılmaktadır. Şekilden görüleceği gibi en büyük kesme kuvvetleri tabliyenin kulelere mesnetlendiği bölgede, köprü açıklığı ortasında ve tabliyenin öngerilmeli beton kesite sahip olduğu kenar kısımlarındaki mesnet bölgelerinde oluşmaktadır. Betonarme kesitin ağırlığının fazla olması köprünün kenar kısımlarında büyük kesme kuvvetlerinin oluşmasında etkili olmuştur. Trafik yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan kesme kuvveti değerleri ve bu kesme kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan kesme kuvvetlerine oranları Çizelge 4.16.' da gösterilmiştir.

Tabliye kesme kuvvetleri için elde edilen değişim, tabliye eğilme momentleri için elde edilen değişimle paralellik içerisinde. Burada da, HS20-44 ağır kamyon yükünün sabit yayılı trafik yükü olarak uygulanması ile elde edilen kesme kuvveti değerleri, hareketli trafik yükü uygulaması için elde edilen değerlerden daha küçük çıkmıştır. Bu çerçevede, açıklık ortasında, kenar açıklıkta ve mesnet bölgesinde elde edilen maksimum kesme kuvvetleri arasında sırasıyla %18, %104 ve %5 fark değerler ortaya çıkmıştır.



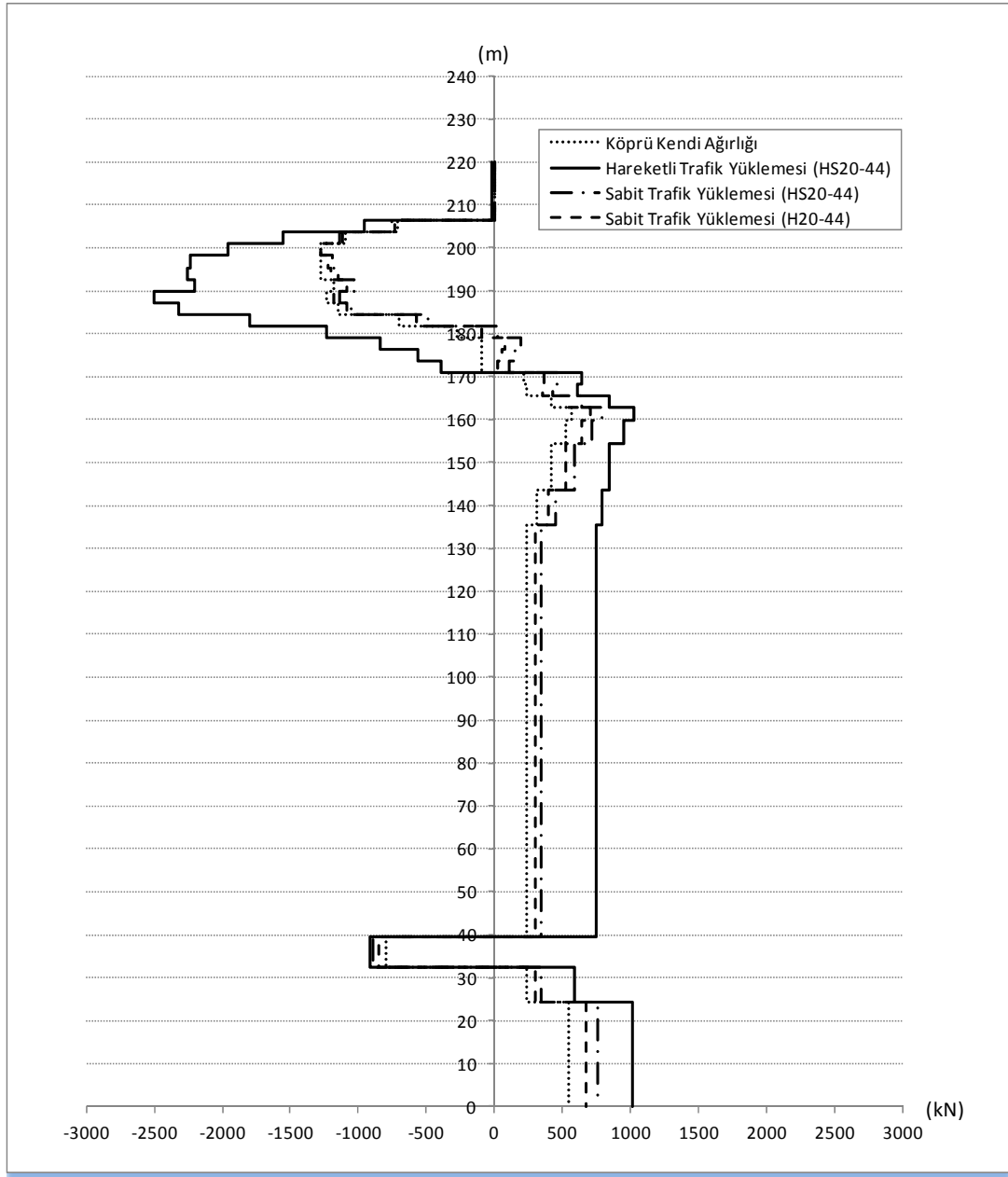
Şeki
l
4.29. Trafi
k
yük
l
em
el
eri
net
ic
esi
nde
tab
li
yede
oluş
an
kes
me
kuv
vet
ler
i

Çizelge 4.16. Trafik yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan kesme kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan kesme kuvvetlerine oranları

Trafik Yükleme	Köprü Açıklığının Ortasında Oluşan Kesme Kuvvetleri (kN)	Oran	Tabliyenin Kenar Kısımında Oluşan Kesme Kuvvetleri (kN)	Oran	Köprü Tabliyesinin Ana Kuleye Mesnetlendiği Noktada Oluşan Kesme Kuvvetleri (kN)	Oran
Köprü Kendi Ağırlığı	2639	1,00	6769	1,00	6681	1,00
Sabit Trafik Yükleme (H20-44)	2982	1,13	5513	0,81	7809	1,17
Sabit Trafik Yükleme (HS20-44)	3208	1,22	5121	0,76	8564	1,28
Hareketli Trafik Yükleme (HS20-44)	3787	1,43	10467	1,55	9006	1,35

Şekil 4.30.'da ana kuleye ait her üç trafik yüklemesine bağlı olarak elde edilen kesme kuvveti değerleri görülmektedir. En büyük kesme kuvvetleri ana kulenin zemine mesnetlendiği bölgede ve kabloların ana kuleye bağlandığı kule üst kısmının ortasında oluşmaktadır. Trafik yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan kesme kuvveti değerleri ve bu kesme kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan kesme kuvvetlerine oranları Çizelge 4.17.' de gösterilmiştir.

Kule kesme kuvvetleri için elde edilen değişim, kule eğilme momentleri için elde edilen değişimle paralellik içerisinde. Burada da, HS20-44 ağır kamyon yükünün sabit yayılı trafik yükü olarak uygulanması ile elde edilen kesme kuvveti değerleri, hareketli trafik yükü uygulaması için elde edilen değerlerden daha küçük çıkmıştır. Bu çerçevede, kablo bağlantı bölgesi ile mesnet bölgesinde elde edilen maksimum kesme kuvvetleri arasında sırasıyla %96 ve %35 fark değerler ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.30. Trafik yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan kesme kuvvetleri

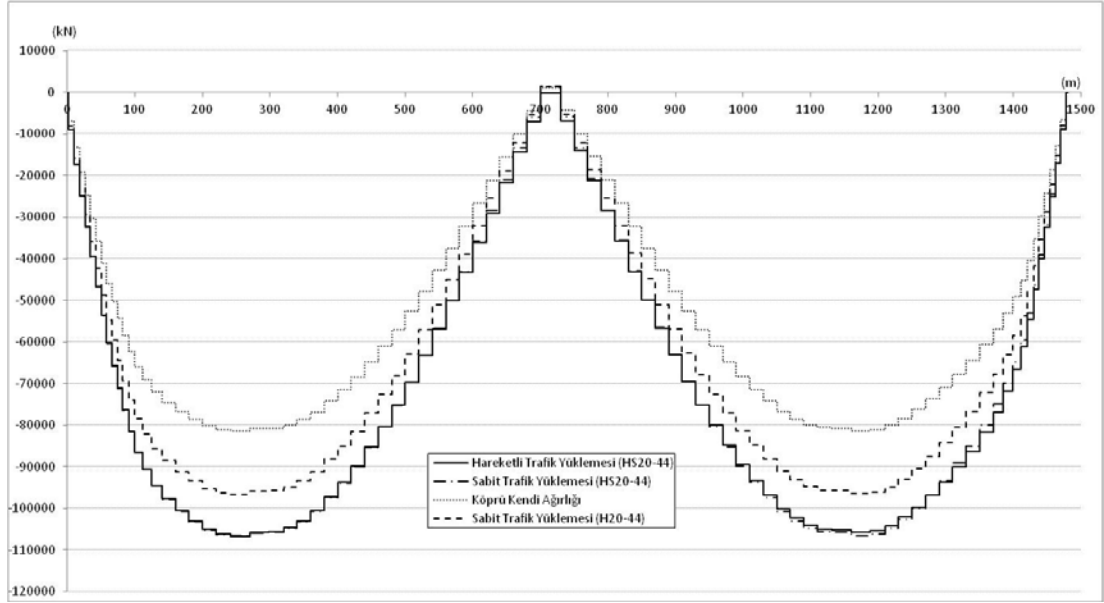
Çizelge 4.17. Trafik yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan kesme kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan kesme kuvvetlerine oranları

Trafik Yükleme	Kabloların Ana Kuleye Bağlandığı Bölgede Oluşan Kesme Kuvvetleri (kN)	Oran	Ana Kule'nin Zemine Mesnetlendiği Noktada Oluşan Kesme Kuvvetleri (kN)	Oran
Köprü Kendi Ağırlığı	1236	1,00	549	1,00
Sabit Trafik Yükleme (H20-44)	1236	1,00	677	1,23
Sabit Trafik Yükleme (HS20-44)	1275	1,03	755	1,38
Hareketli Trafik Yükleme (HS20-44)	2502	2,02	1020	1,86

4.3.4. Eksenel kuvvetler

Şekil 4.31.'de tabliyeye ait her üç trafik yüklemesine bağlı olarak elde edilen eksenel kuvvet değerleri karşılaştırılmaktadır. Görüldüğü üzere büyük eksenel kuvvetler tabliyenin kulelere mesnetlendiği bölgede oluşmuştur. Trafik yüklemeleri neticesinde tabliyenin ana kuleye mesnetlendiği bölgede oluşan eksenel kuvvet değerleri ve bu eksenel kuvvetlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları Çizelge 4.18.' de gösterilmiştir.

Trafik yüklemesine bağlı olarak tabliyede elde edilen en büyük eksenel kuvvetler, HS20-44 ağır kamyon sınıfına karşılık gelen hareketli trafik yükü uygulaması için elde edilmiştir. Bunun yanında, söz konusu ağır kamyon yükünün sabit yayılı trafik yükü olarak uygulanması ile elde edilen eksenel kuvvet değerleri, hareketli trafik yükü uygulaması için elde edilen değerlerle oldukça uyumlu çıkmıştır. Ayrıca, HS20-44 sınıfı ağır kamyon için ana kule-tabliye mesnet noktasında elde edilen eksenel kuvvet değeri, köprü zati ağırlığından kaynaklanan eksenel kuvvet değerinden %31 daha büyük çıkarken, H20-44 sınıfı orta ağırlıktaki kamyon için aynı noktada elde edilen eksenel kuvvet değeri, köprü zati ağırlığından kaynaklanan eksenel kuvvet değerinden %19 daha büyük çıkmıştır.



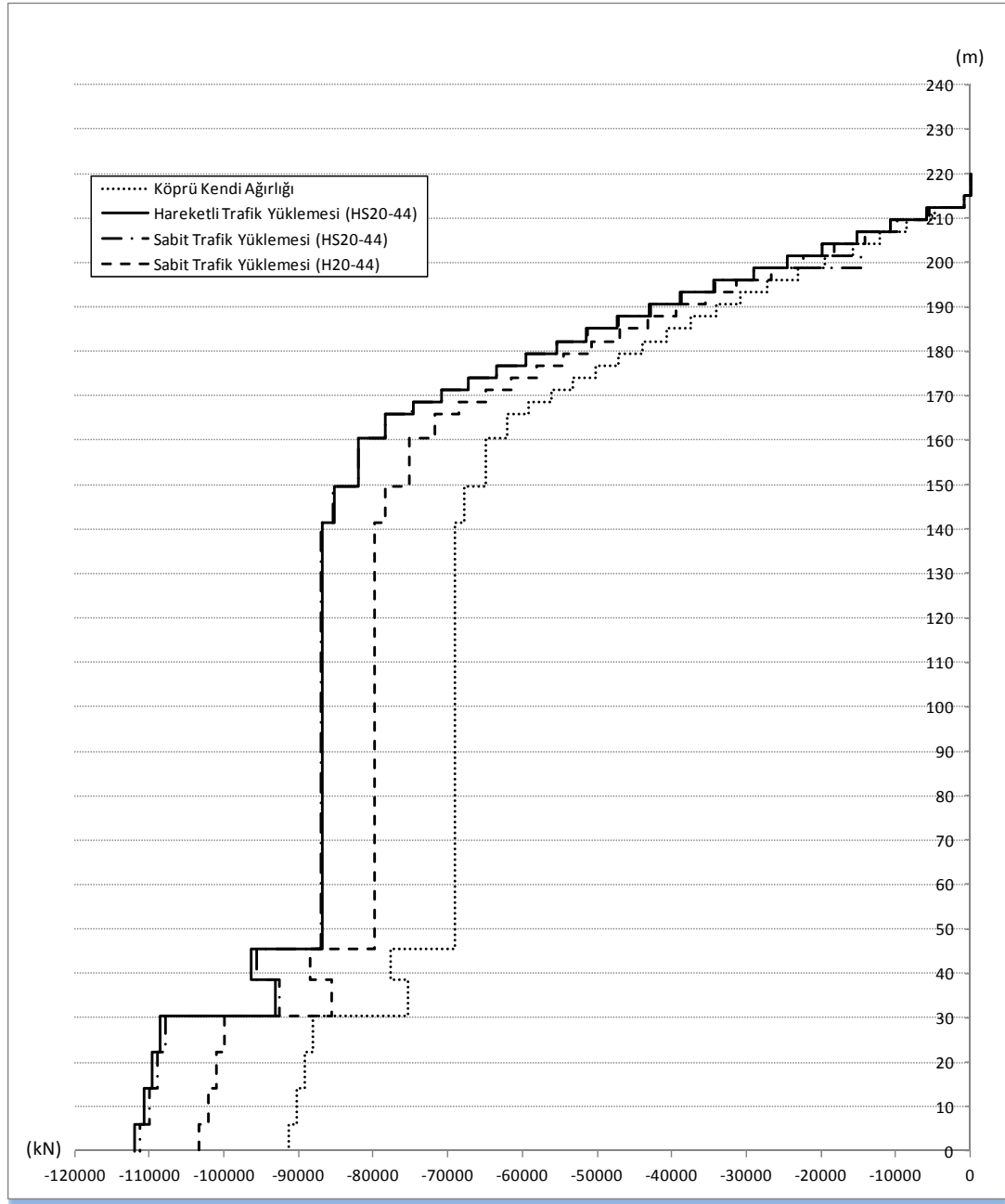
Şekil 4.31. Trafik yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan eksenel kuvvetler

Çizelge 4.18. Trafik yüklemeleri neticesinde tabliyenin ana kuleye mesnetlendiği bölgede oluşan eksenel kuvvetlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları

Trafik Yükleme	Tabliyenin Ana Kuleye Mesnetlendiği Bölgede Oluşan Eksenel Kuvvetler (kN)	Oran
Köprü Kendi Ağırlığı	81345	1,00
Sabit Trafik Yükleme (H20-44)	96570	1,19
Sabit Trafik Yükleme (HS20-44)	106468	1,31
Hareketli Trafik Yükleme (HS20-44)	106713	1,31

Şekil 4.32.'de ana kuleye ait her üç trafik yüklemesine bağlı olarak elde edilen eksenel kuvvet değerleri karşılaştırılmaktadır. En büyük eksenel kuvvetler ana kulenin zemine mesnetlendiği kısımda oluşmuştur. Trafik yüklemeleri neticesinde ana kulenin zemine mesnetlendiği noktada oluşan eksenel kuvvet değerleri ve bu eksenel kuvvetlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları Çizelge 4.19.' da gösterilmiştir.

Köprü tabliyesi için elde edilen değişimde olduğu gibi, trafik yüklemesine bağlı olarak kulede elde edilen en büyük eksenel kuvvetler, HS20-44 ağır kamyon sınıfına karşılık gelen hareketli trafik yükü uygulaması için elde edilmiştir. Bunun yanında, söz konusu ağır kamyon yükünün sabit yayılı trafik yükü olarak uygulanması ile elde edilen eksenel kuvvet değerleri, hareketli trafik yükü uygulaması için elde edilen değerlerle hemen hemen aynı çıkmıştır. HS20-44 sınıfı ağır kamyon için kule mesnet bölgesinde elde edilen eksenel kuvvet değeri, köprü zati ağırlığından kaynaklanan eksenel kuvvet değerinden %22 daha büyük çıkarken, H20-44 sınıfı orta ağırlıktaki kamyon için aynı noktada elde edilen eksenel kuvvet değeri, köprü zati ağırlığından kaynaklanan eksenel kuvvet değerinden %13 daha büyük çıkmıştır.



Şekil 4.32. Trafik yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan aksenal kuvvetler

Çizelge 4.19. Trafik yüklemeleri neticesinde ana kulenin zemine mesnetlendiği noktada oluşan eksenel kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları

Trafik Yükleme	Ana Kulenin Zemine Mesnetlendiği Noktada Oluşan Eksenel Kuvvetler (kN)	Oran
Köprü Kendi Ağırlığı	91370	1,00
Sabit Trafik Yükleme (H20-44)	103250	1,13
Sabit Trafik Yükleme (HS20-44)	111167	1,22
Hareketli Trafik Yükleme (HS20-44)	111883	1,22

Şekil 4.33. ve Şekil 4.34.' de kabloların her üç trafik yüklemesine bağlı olarak elde edilen maksimum eksenel kuvvet değerleri karşılaştırılmaktadır. Kablo numarası yerleşimi Şekil 4.20.ve Şekil 4.21.'de daha önce gösterilmiştir.

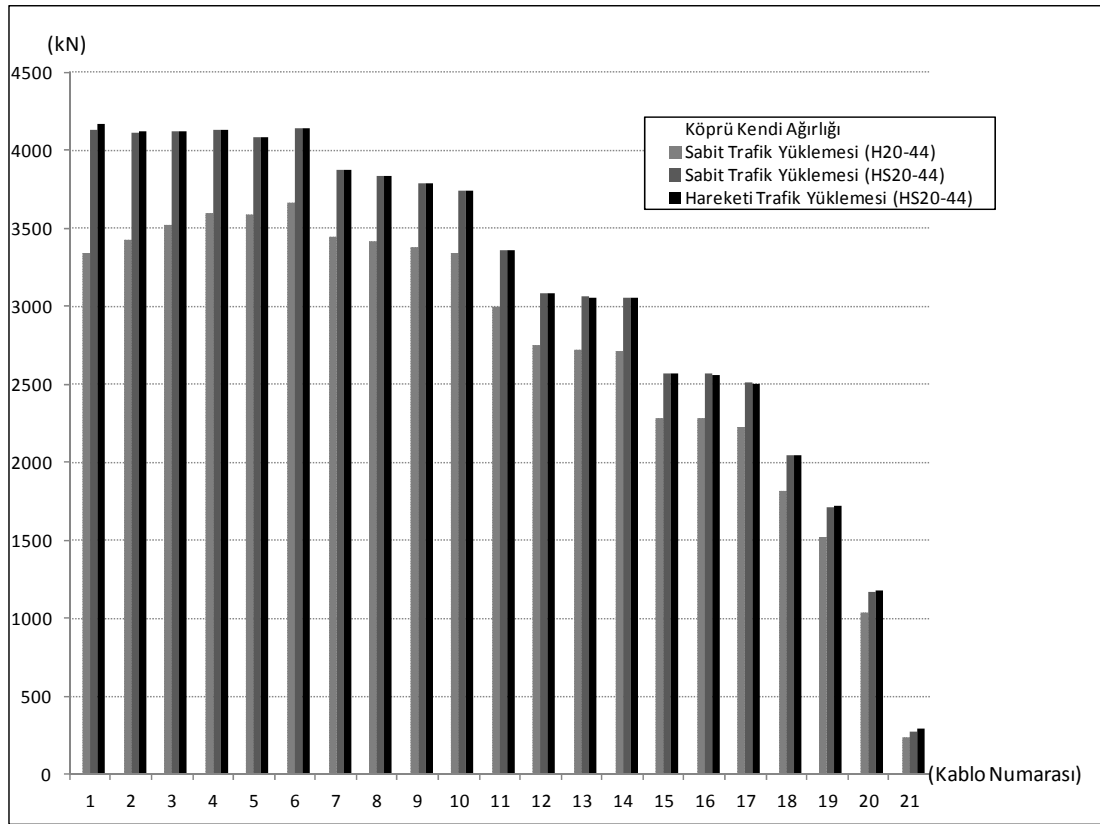
Orta açıklık kabloları için, ana kuleden tabliye ortasına doğru ilerledikçe eksenel kuvvetler artmıştır. Aynı şekilde, kuvvet dengesi gereği, kenar açıklık kabloları için ana kuleden kenar uç kısmına doğru ilerledikçe eksenel kuvvetler artmıştır.

En büyük eksenel kuvvetler kenar açıklık kabloları için ana kulenin tepesinden tabliyenin en uç kısmına bağlanan kabloda, orta açıklık kabloları için ise ana kulenin tepesinden tabliyenin ortasına bağlanan kabloda oluşmuştur.

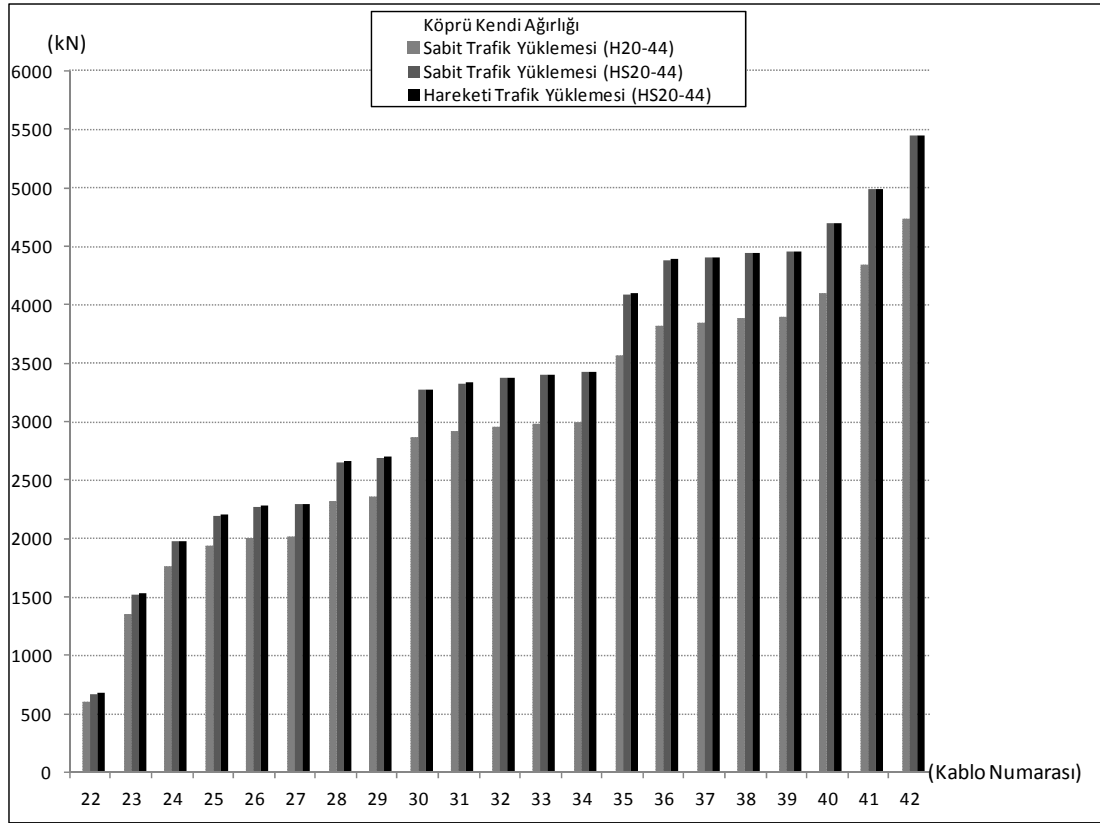
Trafik yüklemeleri neticesinde en büyük eksenel kuvvetin olduğu 42 numaralı kabloda oluşan eksenel kuvvet değerleri ve bu eksenel kuvvetlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları Çizelge 4.20.' de gösterilmiştir.

Trafik yüklemesine bağlı olarak kablolarda elde edilen en büyük eksenel kuvvetler, HS20-44 ağır kamyon sınıfına karşılık gelen hareketli trafik yükü uygulaması için elde edilmiştir. Bunun yanında, söz konusu ağır kamyon yükünün sabit yayılı trafik

yükü olarak uygulanması ile elde edilen eksenel kuvvet değerleri, hareketli trafik yükü uygulaması için elde edilen değerlerle oldukça uyumlu çıkmıştır. Ayrıca, HS20-44 sınıfı ağır kamyon için en büyük eksenel kuvvetin elde edildiği 42 numaralı kabloda elde edilen eksenel kuvvet değeri, köprü zati ağırlığından kaynaklanan eksenel kuvvet değerinden %30 daha büyük çıkarken, H20-44 sınıfı orta ağırlıktaki kamyon için elde edilen eksenel kuvvet değeri, köprü zati ağırlığından kaynaklanan eksenel kuvvet değerinden %13 daha büyük çıkmıştır.



Şekil 4.33. Trafik yüklemeleri neticesinde 1 - 21 numaralı orta açıklık kablolarında oluşan eksenel kuvvetler



Şekil 4.34. Trafik yüklemeleri neticesinde 22 - 42 numaralı kenar açıklık kablolarında oluşan eksenel kuvvetler

Çizelge 4.20. Trafik yüklemeleri neticesinde 42 numaralı kabloda oluşan eksenel kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları

Trafik Yükleme	42 Numaralı Kabloda Oluşan Eksenel Kuvvetler (kN)	Oran
Köprü Kendi Ağırlığı	4179	1,00
Sabit Trafik Yükleme (H20-44)	4728	1,13
Sabit Trafik Yükleme (HS20-44)	5445	1,30
Hareketli Trafik Yükleme (HS20-44)	5445	1,30

4.4. Trafik ve Deprem Yüklemleri Altında Kablolü Köprü Davranışı

Bu bölümde, deprem esnasında köprüde trafik yükünün de olacağı göz önünde bulundurularak, Tatara Köprüsü'nün trafik ve deprem yüklerinin birlikte düşünüldüğü kombinasyonlar altındaki davranışı incelenmiştir. Trafik ve deprem yüklerinin beraber düşünülmesi durumu, her iki zemin sınıfına ait deprem yüklemeleri için ayrı ayrı incelenmiştir. Böylelikle, maksimum yer ivmesi değeri büyük olan deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) ile ağır taşıtların kullanıldığı trafik yüklemesinin, maksimum yer ivmesi değeri küçük olan deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) ile de orta derecede ağır taşıtların kullanıldığı trafik yüklemesinin karşılaştırmaları yapılmıştır.

Analizler sonucunda trafik ve deprem yüklerinin birlikte düşünüldüğü yüklemeler neticesinde ana kulede, tabliyede ve kablolarda oluşan deplasman ve kesit tesirleri elde edilip, daha önce Bölüm 4.2. ve Bölüm 4.3. da elde edilen maksimum tepkiler ile karşılaştırmaları yapılmıştır.

Bölüm 4.2.' de elde edilen analiz sonuçlarına bakıldığında, her iki zemin sınıfı için uygulanan deprem yüklemeleri içinde deplasman ve kesit tesirlerinin büyük değerlerinin mesnetlerinden farklı yer hareketi uygulaması durumunda ortaya çıktığı görülmüştür.

Bölüm 4.3.' de yapılan analiz sonuçlarına bakıldığında ise, trafik yüklemeleri için deplasman ve kesit tesirlerinin büyük değerlerinin hareketli trafik yüklemesi sonucu oluştuğu görülmüştür. Ayrıca, köprü tam dolu olacak şekilde trafik yükünün sabit yayılı olarak yüklenmesi ile, hareketli trafik yüklemesi durumunun analiz sonuçlarının birbirine genellikle yakın olduğu görülmüştür.

Hareketli trafik yüklemesi ile mesnetlerinden farklı yer hareketi uygulanması zaman tanım alanında yapılan analizler olduğundan ve maksimum tepkileri farklı zamanlarda verdiklerinden deprem ve trafik yüklerinin beraber düşünüldüğü bir kombinasyon için hareketli trafik yüklemesi uygun görülmemiştir.

Bu nedenle, hareketli trafik yüklemesi ile yaklaşık olarak benzer analiz sonuçlarına sahip olan ve köprünün tam dolu olmasına karşılık gelen trafik yükünün yayılı statik yük olarak uygulanması durumu, mesnetlerinden farklı yer hareketi durumu ile birleştirilerek her bir zemin sınıfı için trafik + deprem kombinasyonu oluşturulmuştur.

Kombinasyon olarak sağlam ve orta derecede sağlam kaya zemin sınıfları için belirlenen mesnetlerinden farklı yer hareketi yükleme durumları ile, orta derece ağırlıkta taşıtların (H20-44) kullanıldığı ve köprünün tamamının üniform yayılı olarak yüklendiği trafik yüklemesi durumu birleştirilmiştir.

Tatara Köprüsü'nün tasarım kriterlerine ve AASHTO'ya [32] bakıldığında, deprem ile trafik yüklemesinin aynı anda incelendiği durumda trafik yüklemesinin yarısı hesaba katılmaktadır. Bu nedenle trafik ve deprem yüklerinin beraber düşünüldüğü durumlarda, trafik yükü olarak sadece H20-44 kamyonu kullanılmıştır.

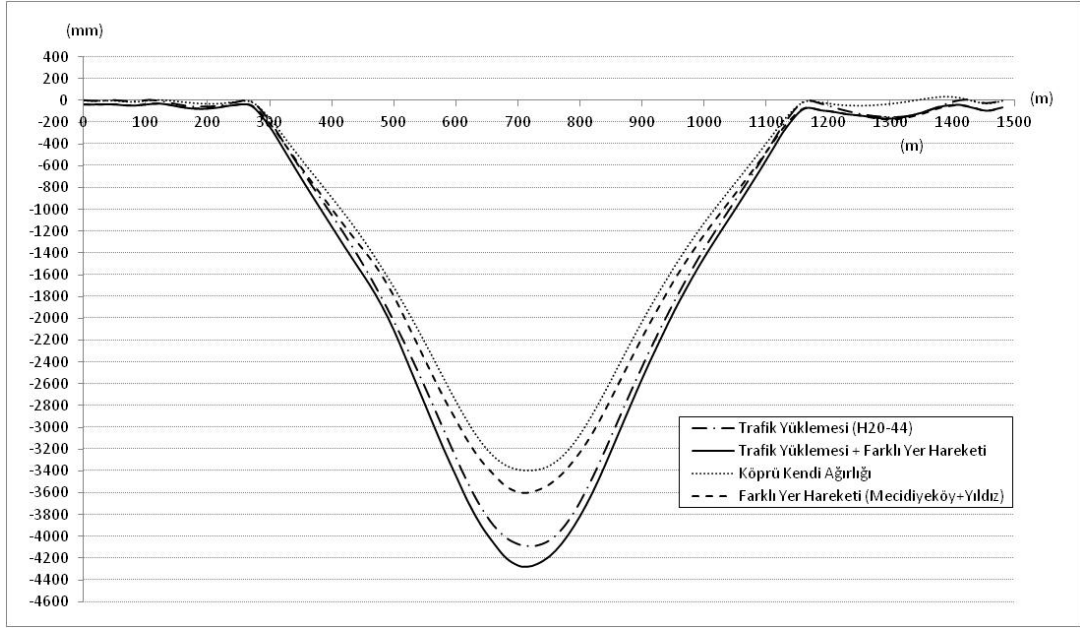
4.4.1. Deplasmanlar

Sağlam ve orta derecede sağlam zemin sınıfları için belirlenen farklı yer hareketi uygulamaları ile HS20-44 ve H20-44 kamyon sınıfları için köprü tabliyesinin tamamının üniform yayılı sabit trafik yükü ile yüklenmesi durumlarında elde edilen tabliye düşey deplasmanları Şekil 4.35. ve Şekil 4.36.'da, köprünün zati ağırlığından kaynaklanan deplasmanlar ile karşılaştırılmaktadır. Ayrıca, her iki zemin grubuna ait deprem kayıtları ve trafik yüklemeleri için tabliye orta noktasında elde edilen deplasman değerleri ile, bu değerlerin köprünün zati ağırlığından kaynaklanan deplasman değerlerine oranları Çizelge 4.21.'de verilmektedir.

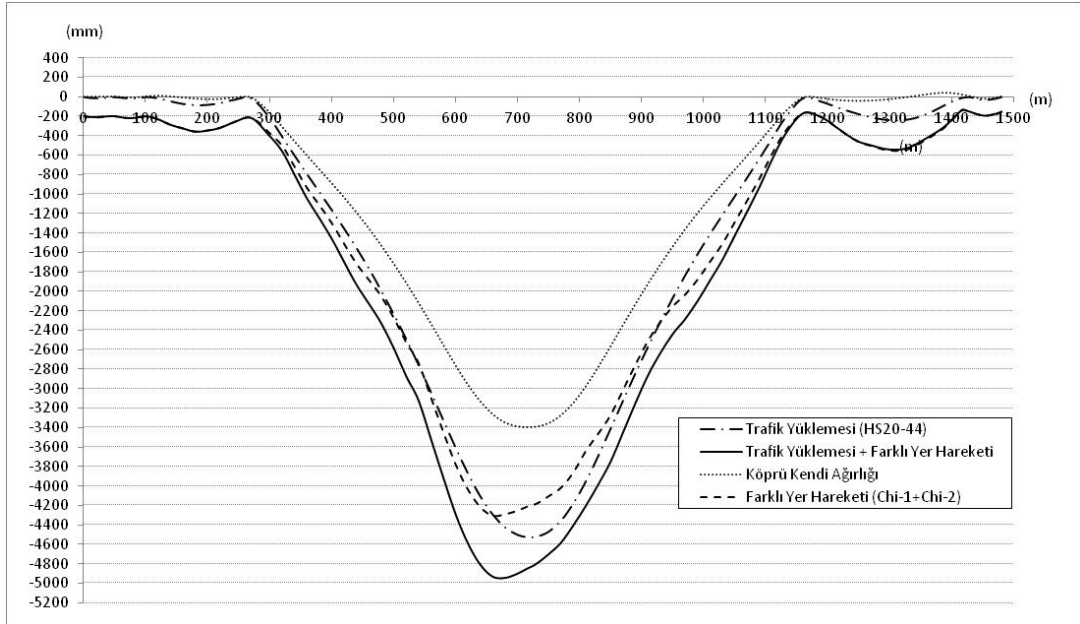
Kocaeli deprem kayıtlarının kullanıldığı farklı yer hareketi uygulaması ile, H20-44 orta ağırlıktaki kamyon sınıfı trafik yüklemesinin birlikte düşünüldüğü yük kombinasyonu için elde edilen tabliye deplasman değerleri, beklenildiği gibi söz konusu deprem ve trafik yüklemelerinin ayrı ayrı etki ettirilmesi ile elde edilen deplasman değerlerinden daha büyük çıkmıştır. Bunun yanında, trafik yüklemesi için

elde edilen deplasmanların, farklı yer hareketi uygulaması ile elde edilen değerlerden daha büyük çıkması dikkat çeken bir nokta olmuştur. Nitekim, tabliye orta noktasındaki deplasman değerleri karşılaştırıldığında, trafik ve farklı yer hareketi uygulaması için elde edilen deplasman değerlerinin, köprünün zati ağırlığından kaynaklanan deplasman değerine oranla sırasıyla %20 ve %6 daha büyük olduğu görülmektedir.

ChiChi deprem kayıtlarının kullanıldığı farklı yer hareketi uygulaması ile, HS20-44 ağır kamyon sınıfı trafik yüklemesinin birlikte düşünüldüğü yük kombinasyonu için elde edilen tabliye deplasman değerleri karşılaştırıldığında, yine beklenildiği gibi kombinasyon yüklemesi ile elde edilen deplasmanların, deprem ve trafik yüklemelerinin ayrı ayrı etki ettirilmesi ile elde edilen deplasman değerlerinden daha büyük çıktığı görülmektedir. Trafik yüklemesi için elde edilen deplasmanlar ile, farklı yer hareketi uygulaması için elde edilen deplasman değerleri nispeten yakın çıkmakla birlikte, özellikle tabliyenin orta bölümünde trafik yüklemesi için elde edilen deplasmanların daha büyük çıktığı görülmektedir. Tabliye orta noktasında, trafik ve farklı yer hareketi uygulaması için elde edilen deplasman değerleri, köprünün zati ağırlığından kaynaklanan deplasman değerine oranla sırasıyla %34 ve %27 daha büyük çıkmıştır.



Şekil 4.35. Trafik + deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde tabliyede oluşan deplasmanlar



Şekil 4.36. Trafik + deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde tabliyede oluşan deplasmanlar

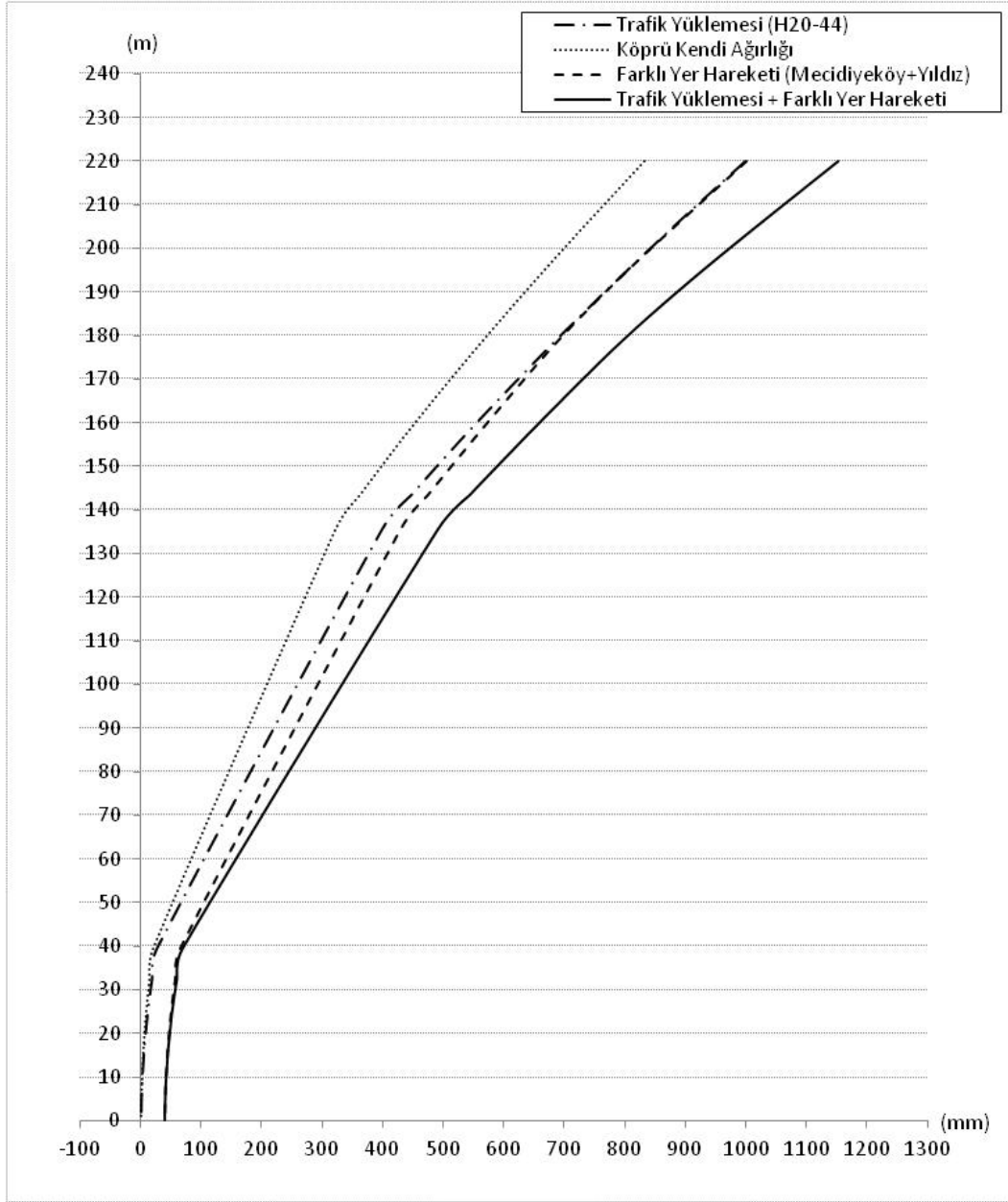
Çizelge 4.21. Trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde köprü açıklığının ortasında oluşan deplasmanların köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan deplasmanlara oranları

	Trafik ve Deprem Yükleme	Köprü Açıklığının Orta Noktasında Oluşan Deplasmanlar (mm)	Oran
	Köprü Kendi Ağırlığı	3391	1,00
Kocaeli Depremi	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	3602	1,06
	Hareketli Trafik Yükleme (H20-44)	4070	1,20
	Trafik + Deprem Yükleme	4281	1,26
Chi-Chi Depremi	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	4304	1,27
	Hareketli Trafik Yükleme (HS20-44)	4528	1,34
	Trafik + Deprem Yükleme	4944	1,46

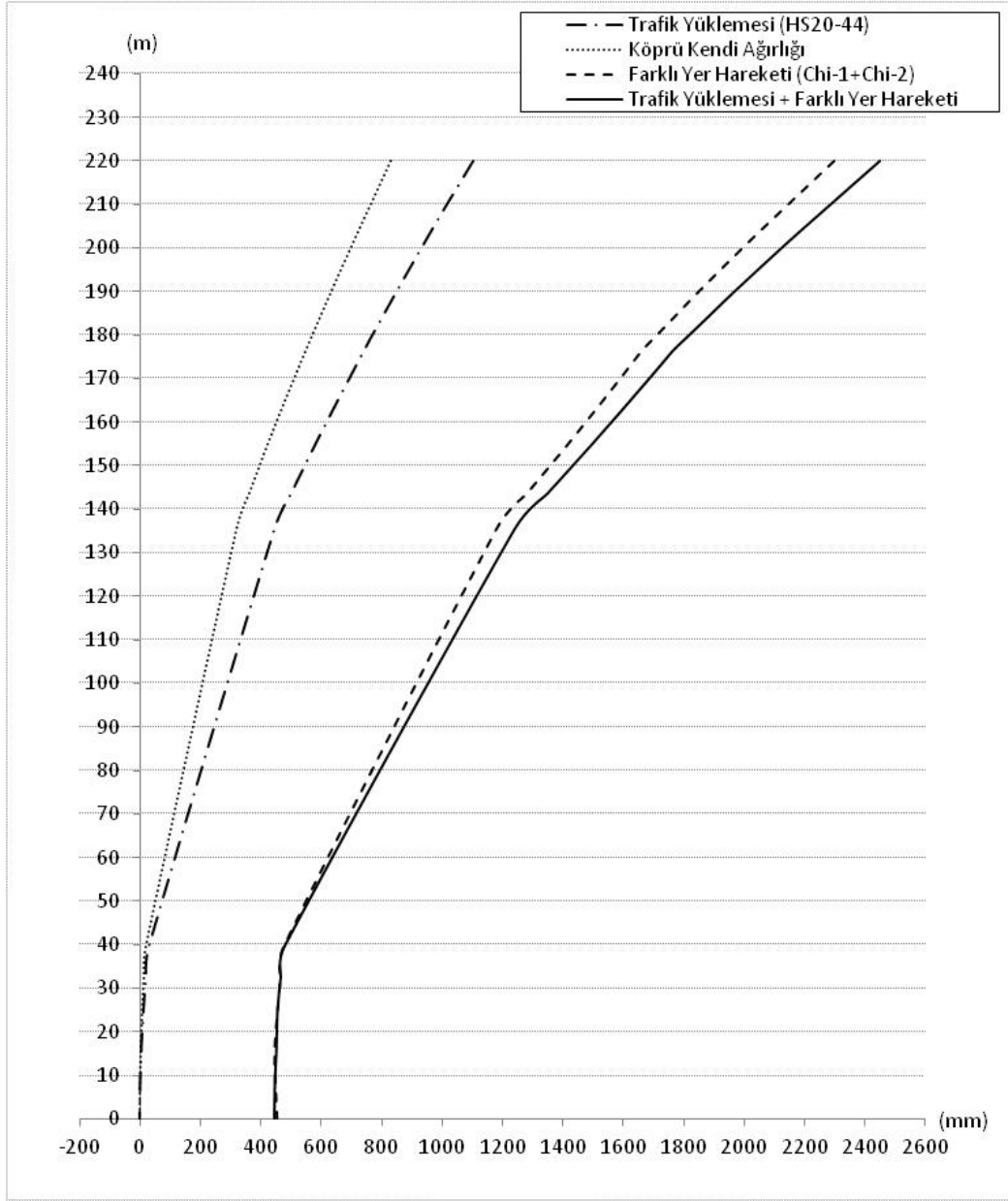
Trafik ve deprem yüklemelerine bağlı olarak elde edilen ana kule yatay deplasmanları Şekil 4.37. ve Şekil 4.38.'de karşılaştırılmaktadır. Ayrıca, her iki zemin grubuna ait deprem kayıtları ve trafik yüklemeleri için kule tepe noktasında elde edilen deplasman değerleri ile, bu değerlerin köprünün zati ağırlığından kaynaklanan deplasman değerlerine oranları Çizelge 4.22.'de verilmektedir.

Kocaeli deprem kayıtlarının kullanıldığı farklı yer hareketi uygulaması ile, H20-44 orta ağırlıktaki kamyon sınıfı trafik yüklemesinin birlikte düşünüldüğü yük kombinasyonu için elde edilen tabliye deplasman değerleri, beklenildiği gibi söz konusu deprem ve trafik yüklemelerinin ayrı ayrı etki ettirilmesi ile elde edilen deplasman değerlerinden daha büyük çıkmıştır. Bunun yanında, trafik yüklemesi için elde edilen deplasmanlar ile, farklı yer hareketi uygulaması için elde edilen deplasman değerleri oldukça yakın çıkmıştır. Nitekim, kule tepe noktasındaki deplasman değerleri karşılaştırıldığında, trafik ve farklı yer hareketi uygulaması için elde edilen deplasman değerlerinin, köprünün zati ağırlığından kaynaklanan deplasman değerine oranla sırasıyla %20 ve %16 daha büyük olduğu görülmektedir.

Orta sertlikteki zemin grubuna karşılık gelen ChiChi deprem kayıtlarının kullanıldığı farklı yer hareketi uygulaması ile, HS20-44 ağır kamyon sınıfı trafik yüklemesinin birlikte düşünüldüğü yük kombinasyonu için elde edilen kule deplasman değerleri karşılaştırıldığında, tabliye deplasman değerleri için elde edilen değişiminden farklı olarak, deprem hareketi için elde edilen deplasman değerlerinin, trafik yüklemesi için belirlenen deplasman değerinden belirgin bir şekilde daha büyük olduğu görülmüştür. Nitekim, kule tepe noktasında farklı yer hareketi uygulaması yüklemesi için elde edilen deplasman değeri, trafik yüklemesi için elde edilen deplasman değerinden %108 daha büyük çıkmıştır.



Şekil 4.37. Trafik + deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde ana kulede oluşan deplasmanlar



Şekil 4.38. Trafik + deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde ana kulede oluşan deplasmanlar

Çizelge 4.22. Trafikve deprem yüklemeleri neticesinde ana kulenin tepe noktasında oluşan deplasmanların köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan deplasmanlara oranları

	Trafik ve Deprem Yükleme	Ana Kulenin Tepe Noktasında Oluşan Deplasmanlar (mm)	Oran
	Köprü Kendi Ağırlığı	831	1,00
Kocaeli Depremi	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	960	1,16
	Hareketli Trafik Yükleme (H20-44)	998	1,20
	Trafik + Deprem Yükleme	1153	1,39
Chi-Chi Depremi	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	2297	2,76
	Hareketli Trafik Yükleme (HS20-44)	1104	1,33
	Trafik + Deprem Yükleme	2450	2,95

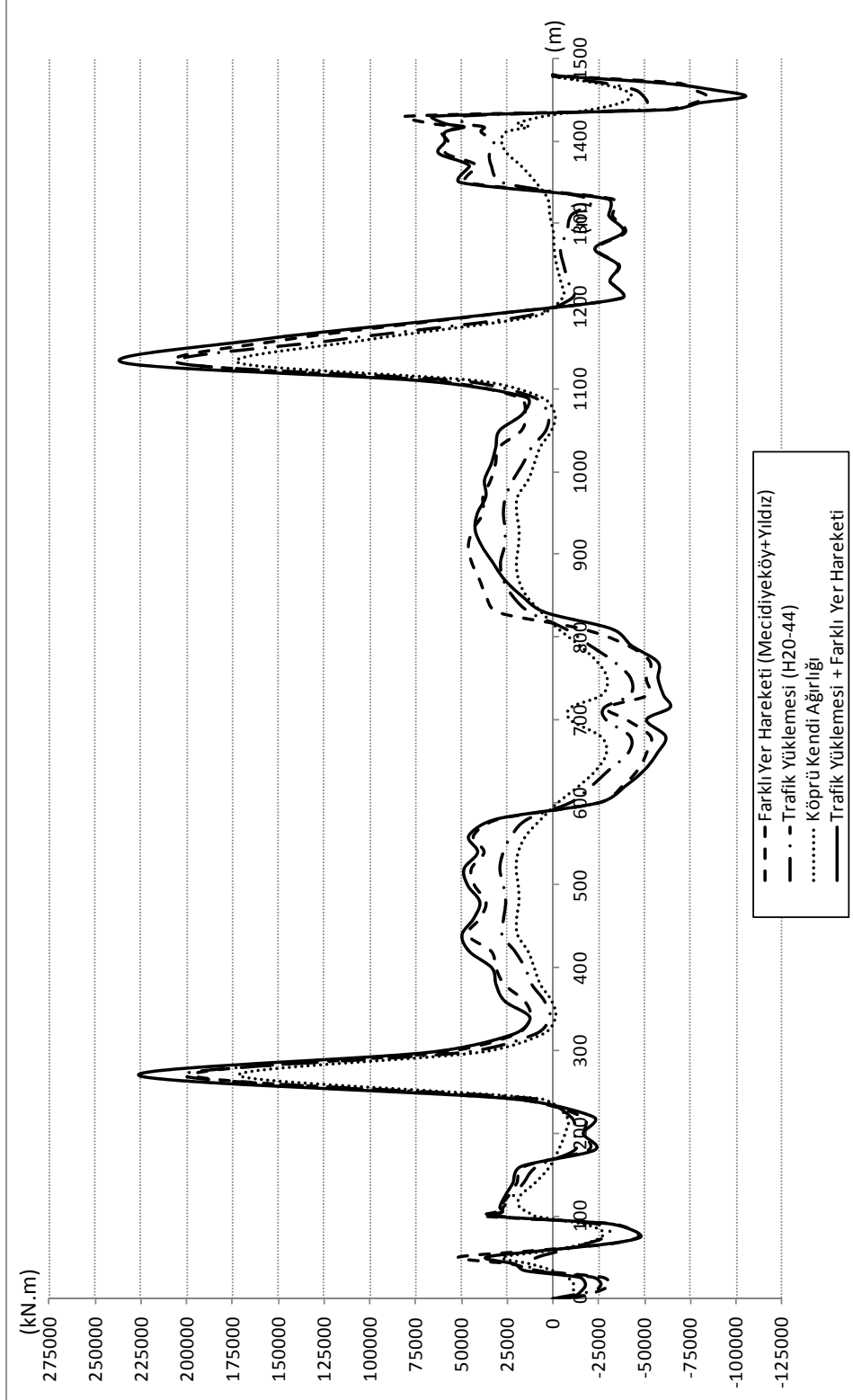
4.4.2. Eğilme momentleri

Şekil 4.39. ve Şekil 4.40.' da her iki zemin sınıfı için trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan eğilme momenti değerleri görülmektedir. En büyük mesnet momentleri tabliyenin kulelere mesnetlendiği bölgede, açıklık momentleri ise köprü açıklığı ortasında ve tabliyenin öngerilmeli beton kesite sahip olduğu kenar kısımlarında oluşmaktadır. Her iki zemin sınıfı için, trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan moment değerleri ve bu momentlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan momentlere oranları Çizelge 4.23.' de gösterilmiştir.

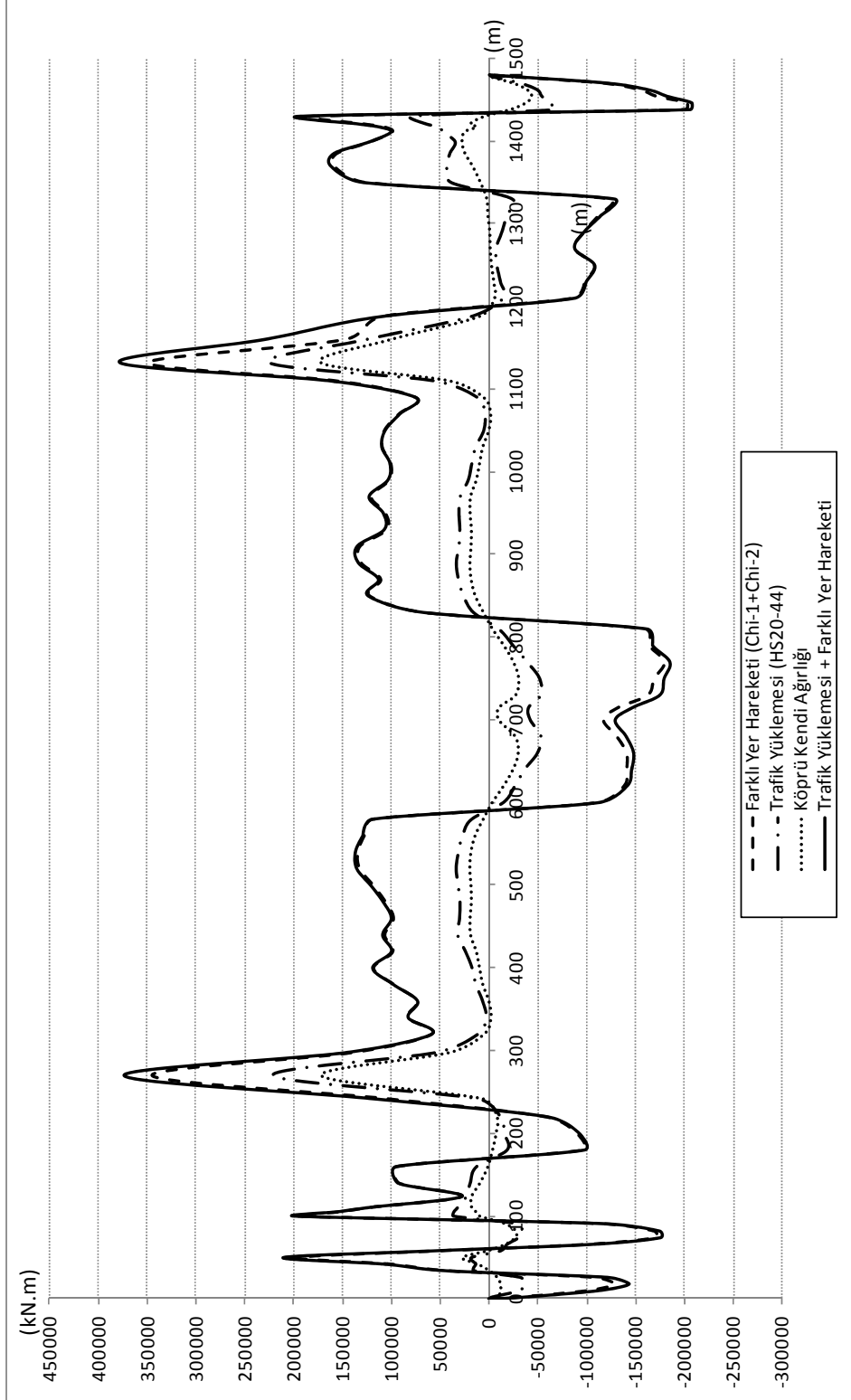
Kocaeli deprem kayıtlarının ve H20-44 trafik yüklemesinin birlikte düşünüldüğü yük kombinasyonu için elde edilen tabliye eğilme momenti değerleri, deprem ve trafik yüklemelerinin ayrı ayrı etki ettirilmesi ile elde edilen değerlerden daha büyük çıkarken, deprem hareketi için elde edilen eğilme momenti değerlerinin, trafik yüklemesi için belirlenen eğilme momentlerinden daha büyük olduğu görülmüştür. Çizelge 4.23.'den de anlaşılacağı üzere, farklı yer hareketi uygulaması neticesinde, tabliye açıklık ortasında, kenar açıklıkta ve tabliyenin ana kuleye mesnetlendiği

noktada elde edilen maksimum eğilme momenti değerleri, trafik yüklemesi için elde edilen eğilme momenti değerlerinden sırasıyla %20, %61 ve %1 daha büyük çıkmıştır.

Orta sertlikteki zemin grubuna karşılık gelen ChiChi deprem kayıtlarından oluşan farklı yer hareketi uygulaması ile HS20-44 ağır trafik yüklemesi sonucu elde edilen tabliye eğilme momenti değerleri karşılaştırıldığında, deprem hareketi için elde edilen eğilme momenti değerlerinin, trafik yüklemesi için belirlenen eğilme momentlerinden çok daha büyük olduğu görülmektedir. Nitekim, farklı yer hareketi uygulaması neticesinde, tabliye açıklık ortasında, kenar açıklıkta ve tabliyenin ana kuleye mesnetlendiği noktada elde edilen maksimum eğilme momenti değerleri, trafik yüklemesi için elde edilen eğilme momenti değerlerinden sırasıyla %244, %206 ve %53 daha büyük çıkmıştır.



Şeki
l
4.39.
Trafik
k +
depr
em
yük
leme
si
(Koc
aeli
Depr
emi)
netic
esin
de
tabli
yede
oluş
an
eğil
me
mo
ment
leri



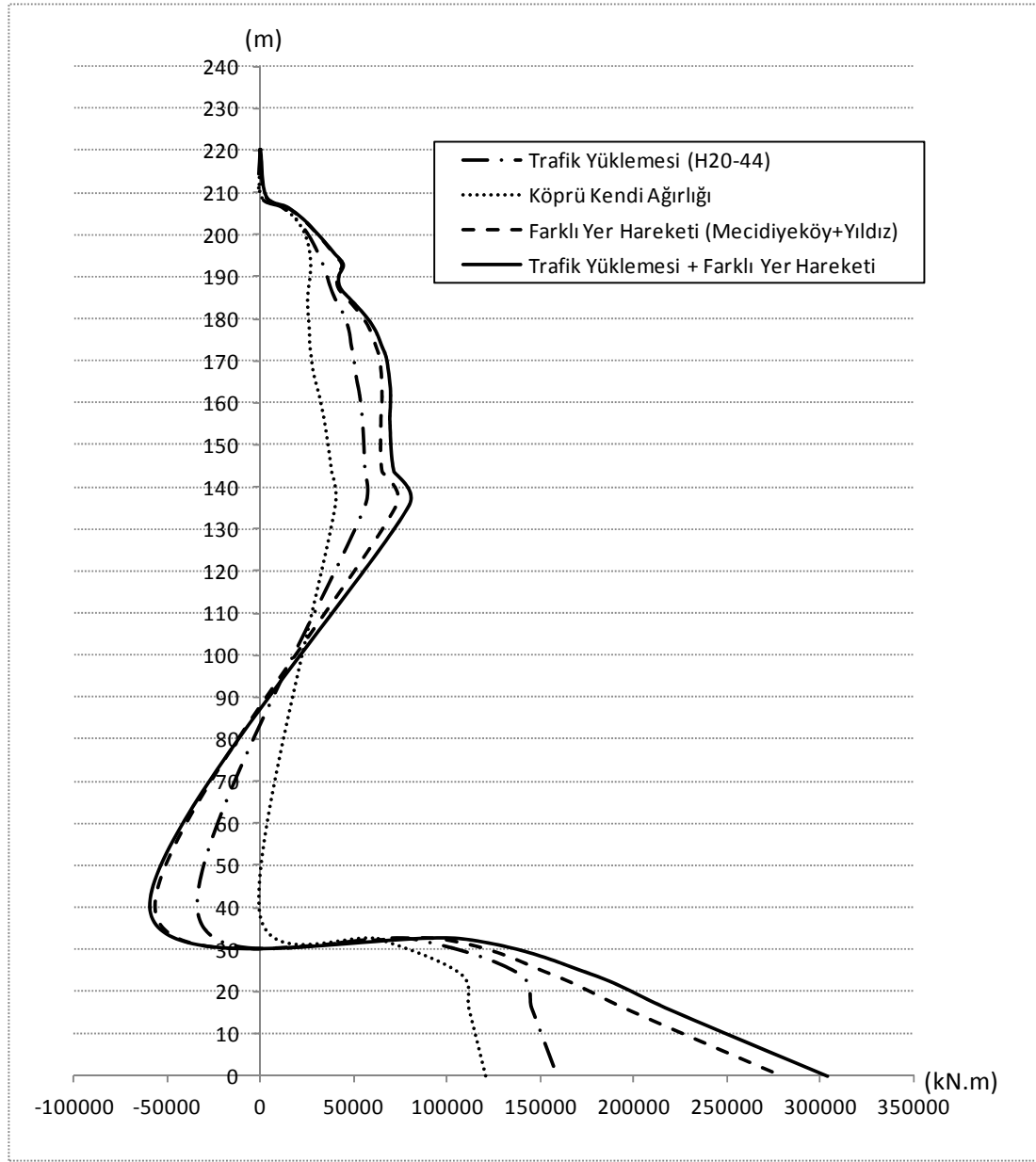
Şeki
l
4.40. Trafi
k + de
pr
em
yükl
eme
si
(Chi
Chi
Depr
emi)
netic
esin
de
tabli
yede
oluş
an
eğil
me
mo
ment
leri

Çizelge 4.23. Trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan momentlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan momentlere oranları

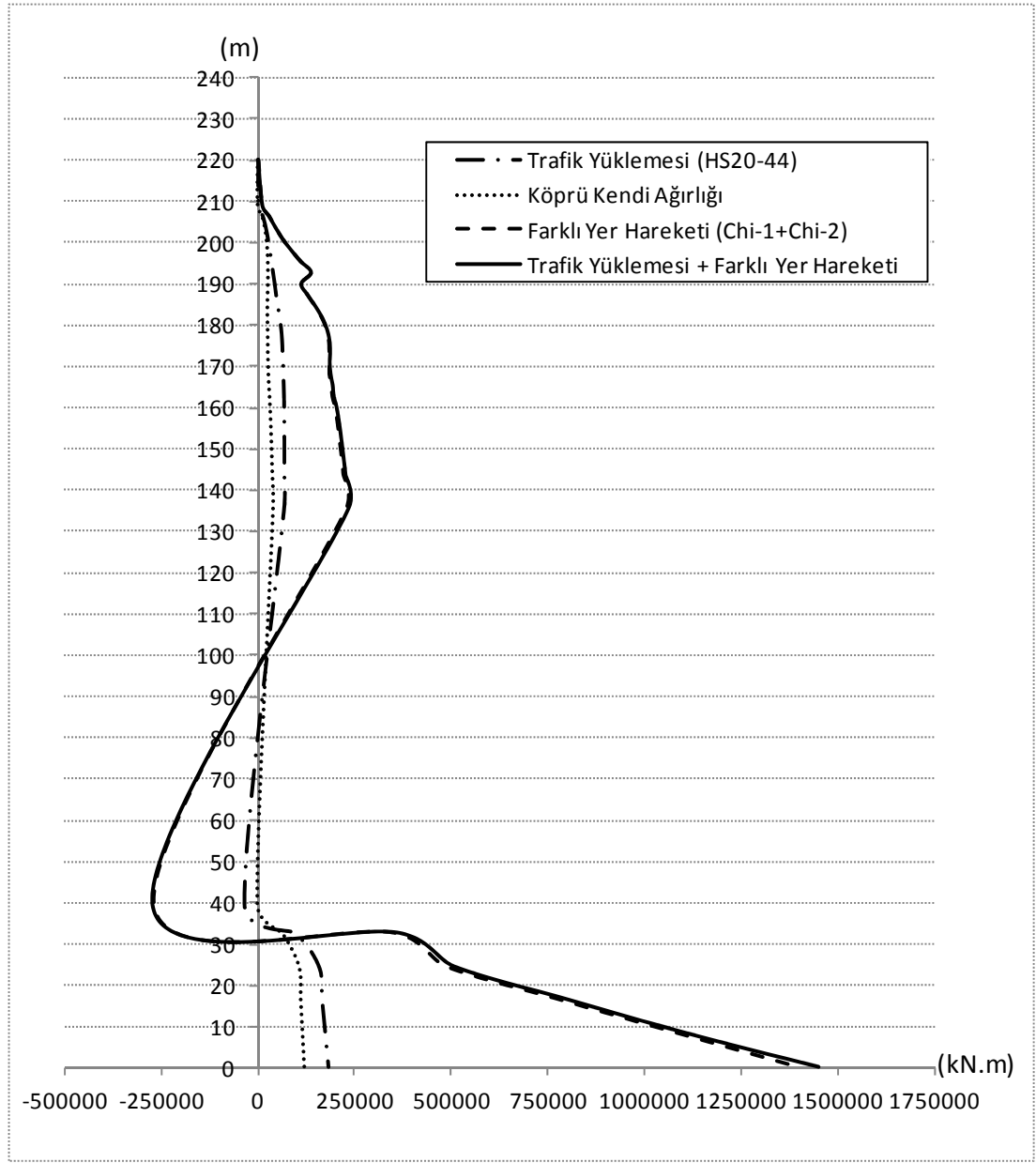
	Trafik ve Deprem Yükleme	Köprü Açıklığının Orta Noktasında Oluşan Momentler (kN.m)	Oran	Tabliyenin Kenar Kısımında Oluşan Momentler (kN.m)	Oran	Köprü Tabliyesinin Ana Kuleye Mesnetlendiği Noktada Oluşan Momentler (kN.m)	Oran
	Köprü Kendi Ağırlığı	29891	1,00	43184	1,00	172087	1,00
Kocaeli Depremi	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	50698	1,70	83817	1,94	204646	1,19
	Hareketli Trafik Yükleme (H20-44)	42379	1,42	51748	1,20	202675	1,18
	Trafik + Deprem Yükleme	64128	2,15	87446	2,02	234341	1,36
ChiChi Depremi	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	179670	6,01	203067	4,70	344096	2,00
	Hareketli Trafik Yükleme (HS20-44)	52248	1,75	66267	1,53	225002	1,31
	Trafik + Deprem Yükleme	184271	6,16	206844	4,79	377773	2,20

Şekil 4.41. ve Şekil 4.42.' de her iki zemin sınıfı için trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan eğilme momenti değerleri görülmektedir. Görüleceği gibi en büyük momentler ana kulenin zemine mesnetlendiği kısımda ve kulenin orta noktasında oluşmaktadır. Trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan moment değerleri ve bu momentlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan momentlere oranları Çizelge 4.24.' de gösterilmiştir.

Gerek Kocaeli deprem kayıtlarından ve gerekse de ChiChi deprem kayıtlarından oluşan farklı yer hareketi uygulamaları ile, H20-44 ve HS20-44 trafik yüklemeleri sonucunda elde edilen kule eğilme momentleri karşılaştırıldığında, deprem hareketi için elde edilen eğilme momenti değerlerinin, trafik yüklemesi için belirlenen eğilme momentlerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Özellikle ChiChi deprem kaydı için elde edilen momentler çok daha büyük çıkmıştır. Çizelge 4.24'den de anlaşılacağı üzere, farklı yer hareketi uygulaması neticesinde, kule orta noktasında ve kulenin zemine mesnetlendiği noktada Kocaeli depremi için elde edilen maksimum eğilme momenti değerleri, H20-44 trafik yüklemesi için elde edilen eğilme momenti değerlerinden sırasıyla %30 ve %76 daha büyük çıkarken, ChiChi depremi için farklı yer hareketi uygulaması ile elde edilen eğilme momenti değerleri, HS20-44 trafik yüklemesi için belirlenen eğilme momenti değerlerinden sırasıyla %237 ve %660 daha fazla çıkmıştır.



Şekil 4.41. Trafik + deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde ana kulede oluşan eğilme momentleri



Şekil 4.42. Trafik + deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde ana kulede oluşan eğilme momentleri

Çizelge 4.24. Trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan momentlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan momentlere oranları

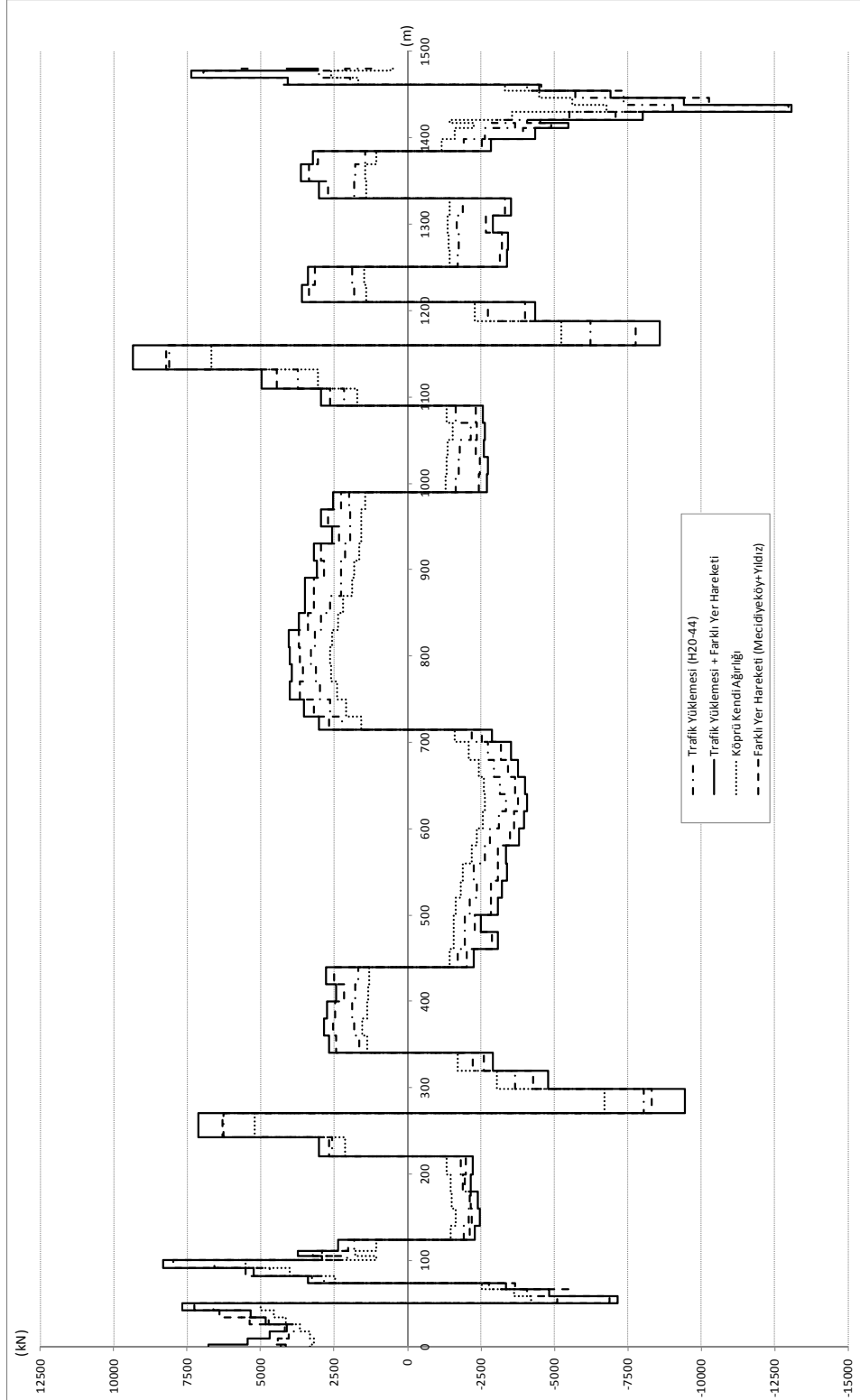
	Trafik ve Deprem Yükleme	Ana Kulenin Orta Noktasında Oluşan Momentler (kN.m)	Oran	Ana Kulenin Zemine Mesnetlendiği Noktada Oluşan Momentler (kN.m)	Oran
	Köprü Kendi Ağırlığı	39701	1,00	120663	1,00
Kocaeli Depremi	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	73212	1,84	280036	2,32
	Hareketli Trafik Yükleme (H20-44)	56251	1,42	159148	1,32
	Trafik + Deprem Yükleme	79755	2,01	304404	2,52
Chi-Chi Depremi	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	227896	5,74	1398072	11,59
	Hareketli Trafik Yükleme (HS20-44)	67611	1,70	183751	1,52
	Trafik + Deprem Yükleme	244230	6,15	1451880	12,03

4.4.3. Kesme kuvvetleri

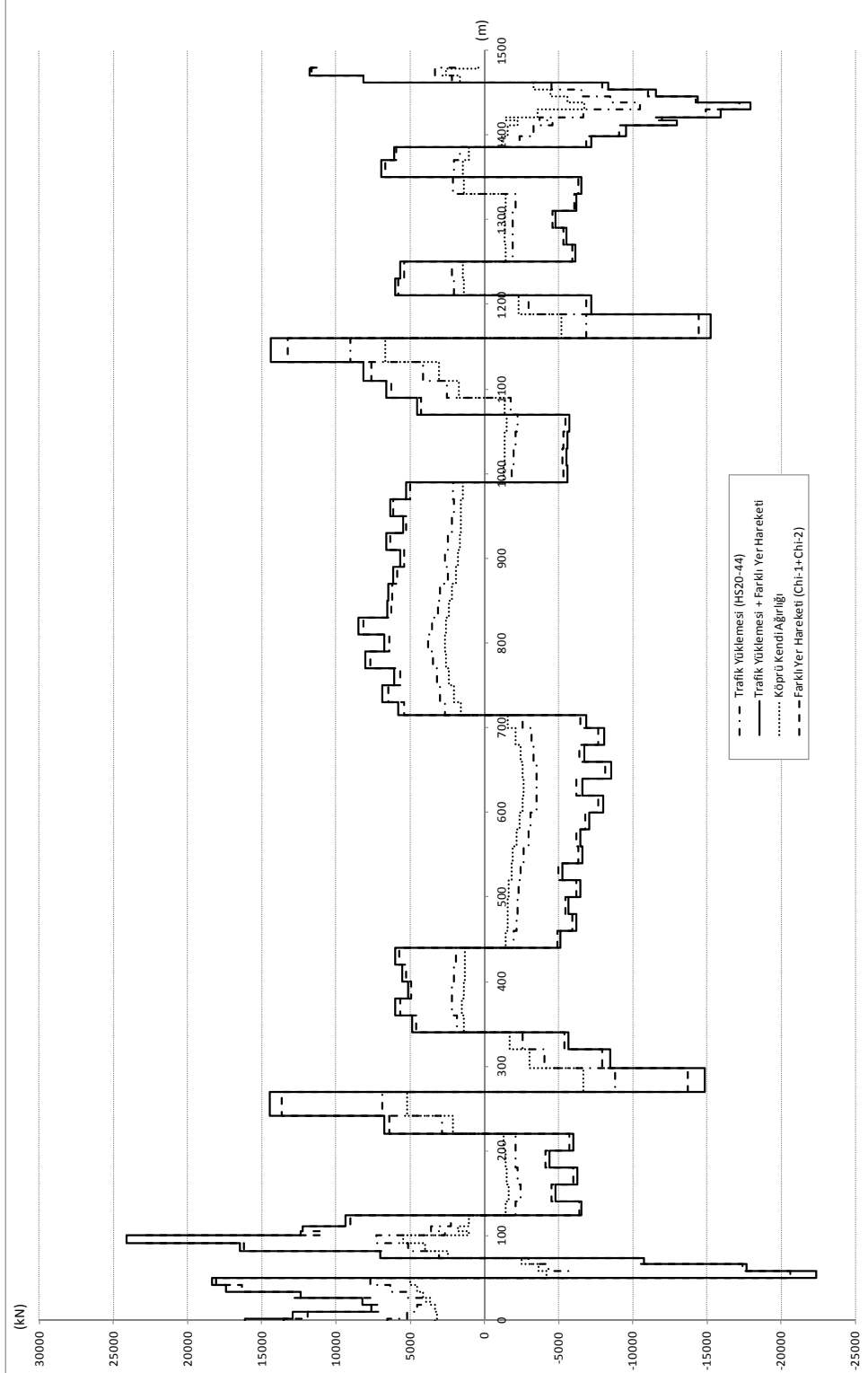
Şekil 4.43. ve Şekil 4.44.'de her iki zemin sınıfı için uygulanan trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan kesme kuvveti değerleri görülmektedir. En büyük kesme kuvvetleri tabliyenin kulelere mesnetlendiği bölgede, köprü açıklığı ortasında ve tabliyenin öngerilmeli beton kesite sahip olduğu kenar kısımlarındaki mesnet bölgelerinde oluşmaktadır. Trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan kesme kuvveti değerleri ve bu kesme kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan kesme kuvvetlerine oranları Çizelge 4.25.' de gösterilmiştir.

Tabliye kesme kuvvetleri için elde edilen değişim, tabliye eğilme momenleri için elde edilen değişimle benzerdir. Gerek Kocaeli deprem kayıtlarından ve gerekse de ChiChi deprem kayıtlarından oluşan farklı yer hareketi uygulamaları ile, H20-44 ve HS20-44 trafik yüklemeleri sonucunda elde edilen tabliye kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında, deprem hareketi için elde edilen kesme kuvveti değerlerinin, trafik yüklemesi için belirlenen kesme kuvvetlerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Özellikle ChiChi deprem kaydı için elde edilen kesme kuvvetleri çok daha büyük çıkmıştır. Çizelge 4.25'den görülebileceği üzere, farklı yer hareketi

uygulaması neticesinde, tabliye açıklık ortasında, kenar açıklıkta ve tabliyenin ana kuleye mesnetlendiği noktada Kocaeli depremi için elde edilen maksimum kesme kuvveti değerleri, H20-44 trafik yüklemesi için elde edilen kesme kuvveti değerlerinden sırasıyla %11, %20 ve %1 daha büyük çıkarken, ChiChi depremi için farklı yer hareketi uygulaması ile elde edilen kesme kuvveti değerleri, HS20-44 trafik yüklemesi için belirlenen kesme kuvveti değerlerinden sırasıyla %115, %64 ve %60 daha fazla çıkmıştır.



Şeki
l
4.43.
Trafik +
deprem
yüklemesi
(Kocaeli
Depr
emi)
netic
esin
de
tabli
yede
oluş
an
kes
me
kuvv
etler
i



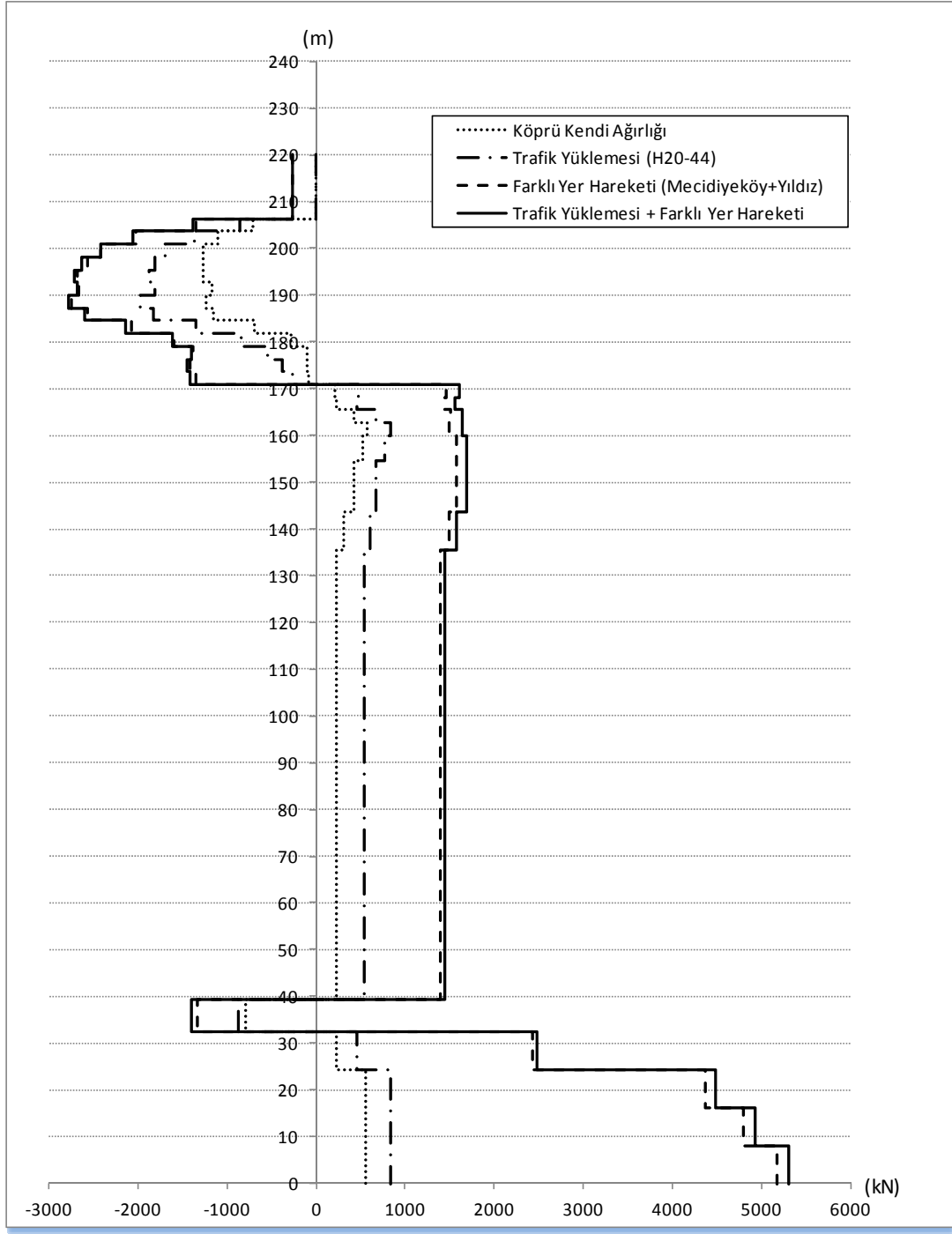
Şeki
l
4.44. Trafi
k + depr
em
yük
leme
si
(Chi
Chi
Depr
emi)
netic
esin
de
tabli
yede
oluş
an
kes
me
kuvv
etler
i

Çizelge 4.25. Trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan kesme kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan kesme kuvvetlerine oranları

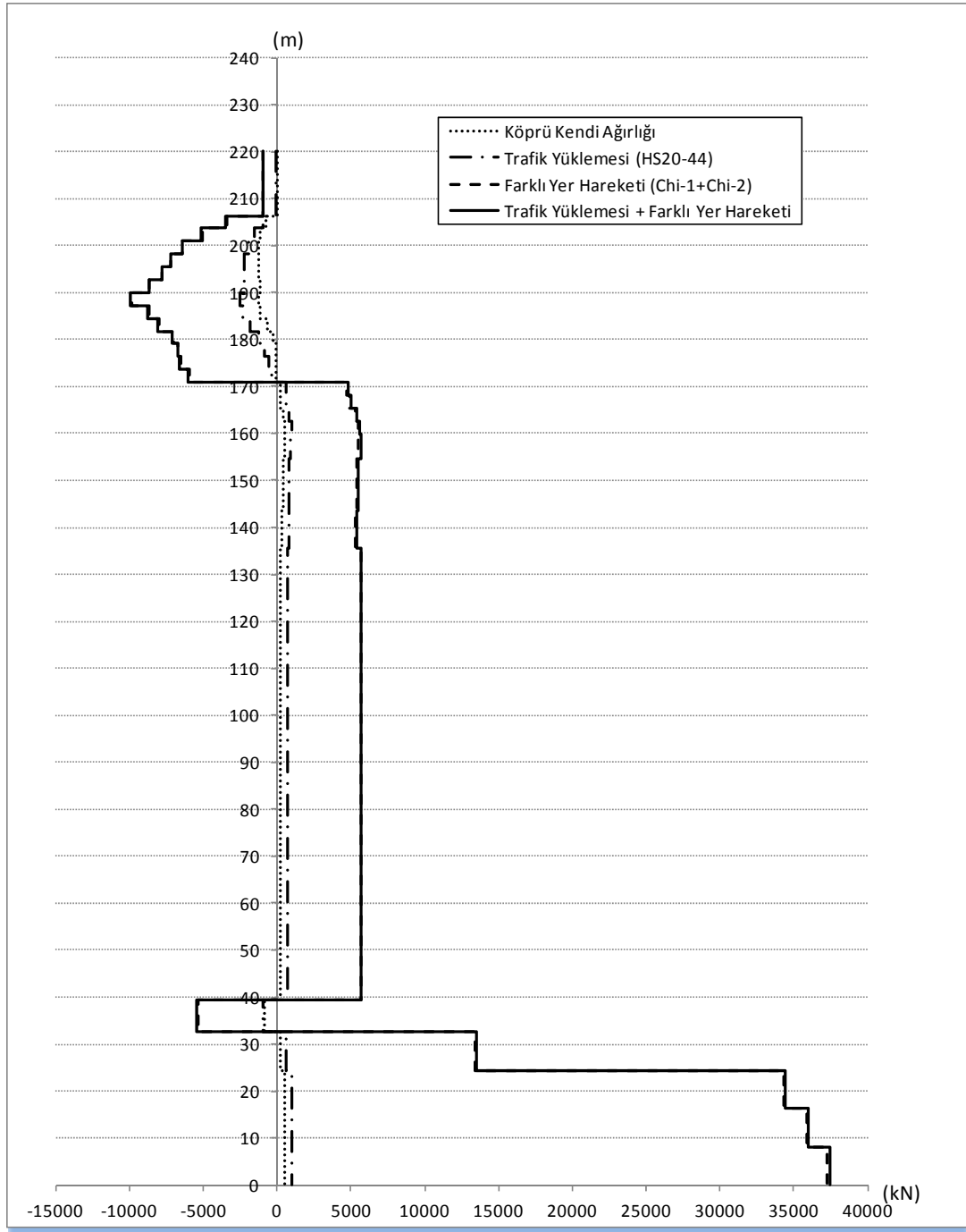
	Trafik ve Deprem Yükleme	Köprü Açıklığının Ortasında Oluşan Kesme Kuvvetleri (kN)	Oran	Tabliyenin Kenar Kısımında Oluşan Kesme Kuvvetleri (kN)	Oran	Köprü Tabliyesinin Ana Kuleye Mesnetlendiği Noktada Oluşan Kesme Kuvvetleri (kN)	Oran
	Köprü Kendi Ağırlığı	2639	1,00	6769	1,00	6681	1,00
Kocaeli Depremi	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	3669	1,39	10860	1,60	8211	1,23
	Hareketli Trafik Yükleme (H20-44)	3296	1,25	9025	1,33	8103	1,21
	Trafik + Deprem Yükleme	4022	1,52	13067	1,93	9339	1,40
Chi-Chi Depremi	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	8162	3,09	17217	2,54	14421	2,16
	Hareketli Trafik Yükleme (HS20-44)	3787	1,43	10467	1,55	9006	1,35
	Trafik + Deprem Yükleme	8495	3,22	17923	2,65	15235	2,28

Şekil 4.45. ve Şekil 4.46.'da her iki zemin sınıfı için uygulanan trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan kesme kuvveti değerleri görülmektedir. En büyük kesme kuvvetleri ana kulenin zemine mesnetlendiği bölgede ve kabloların ana kuleye bağlandığı kule üst kısmının ortasında oluşmaktadır. Trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde, kabloların ana kuleye bağlandığı bölgede oluşan kesme kuvveti değerleri ve bu kesme kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan kesme kuvvetlerine oranları Çizelge 4.26.' da gösterilmiştir.

Gerek Kocaeli deprem kayıtlarından ve gerekse de ChiChi deprem kayıtlarından oluşan farklı yer hareketi uygulamaları ile, H20-44 ve HS20-44 trafik yüklemeleri sonucunda elde edilen kule kesme kuvveti değerleri karşılaştırıldığında, deprem hareketi için elde edilen kesme kuvveti değerlerinin, trafik yüklemesi için belirlenen kesme kuvvetlerinden çok daha büyük olduğu görülmektedir. ChiChi deprem kaydı için, elde edilen kesme kuvvetleri daha da büyümüştür. Çizelge 4.26'dan görülebileceği üzere, farklı yer hareketi uygulaması neticesinde, kablo bağlantı bölgesinde Kocaeli depremi için elde edilen kesme kuvveti değeri, H20-44 trafik yüklemesi için elde edilen kesme kuvveti değerinden %75 daha büyük çıkarken, ChiChi depremi için farklı yer hareketi uygulaması ile elde edilen kesme kuvveti değeri, HS20-44 trafik yüklemesi için belirlenen kesme kuvveti değerinden %294 daha fazla çıkmıştır.



Şekil 4.45. Trafik + deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde ana kulede oluşan kesme kuvvetleri



Şekil 4.46. Trafik + deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde ana kulede oluşan kesme kuvvetleri

Çizelge 4.26.Trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde kabloların ana kuleye bağlandığı bölgede oluşan kesmekuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan kesme kuvvetlerine oranları

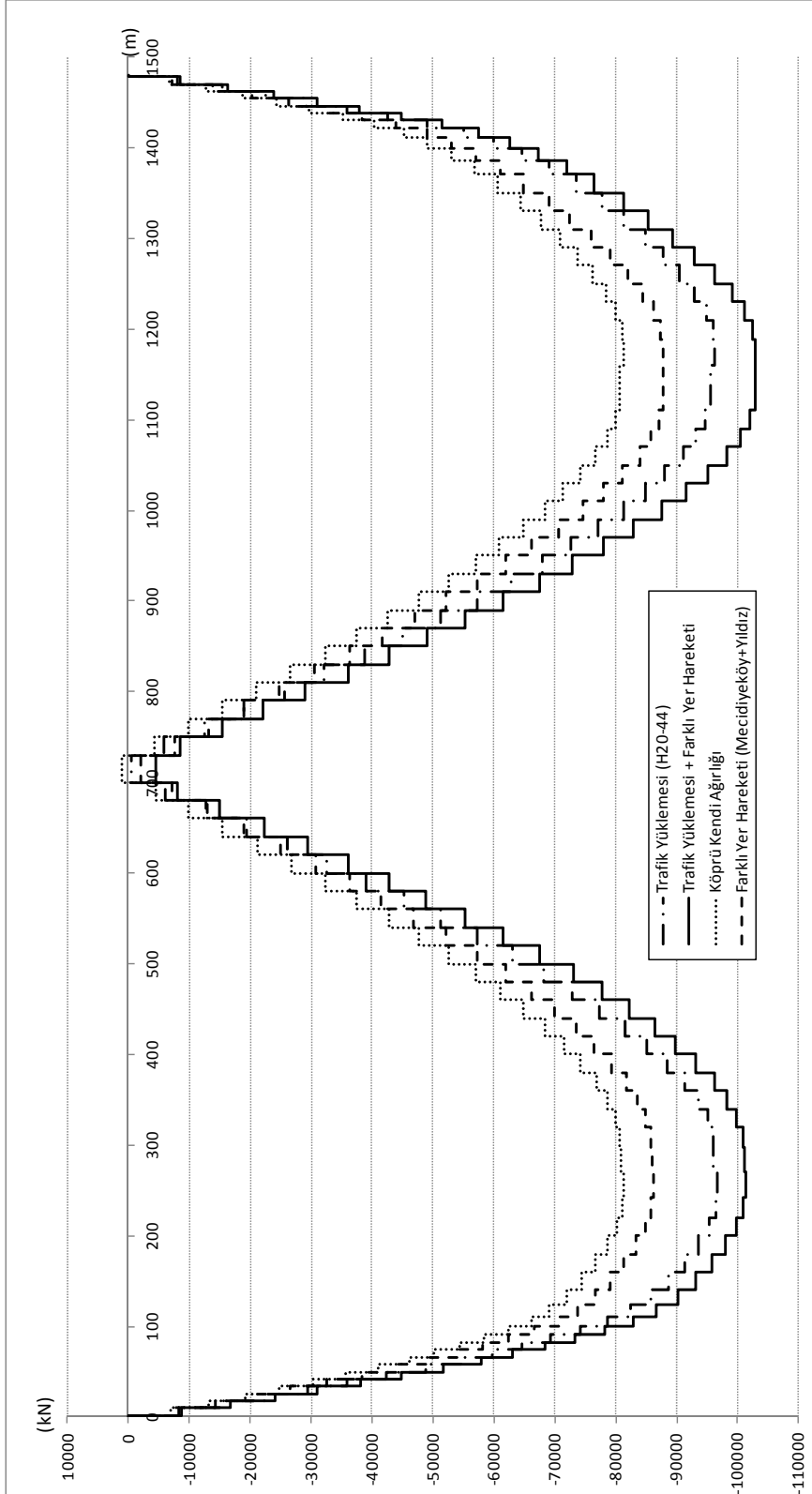
Trafik ve Deprem Yükleme		Kabloların Ana Kuleye Bağlandığı Bölgede Oluşan Kesme Kuvvetleri (kN)	Oran
Kocaeli Depremi	Köprü Kendi Ağırlığı	1236	1,00
	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	2570	2,08
	Hareketli Trafik Yükleme (H20-44)	1472	1,19
	Trafik + Deprem Yükleme	2776	2,25
Chi-Chi Depremi	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	9879	3,56
	Hareketli Trafik Yükleme (HS20-44)	2502	0,90
	Trafik + Deprem Yükleme	10889	3,92

4.4.4. Eksenel kuvvetler

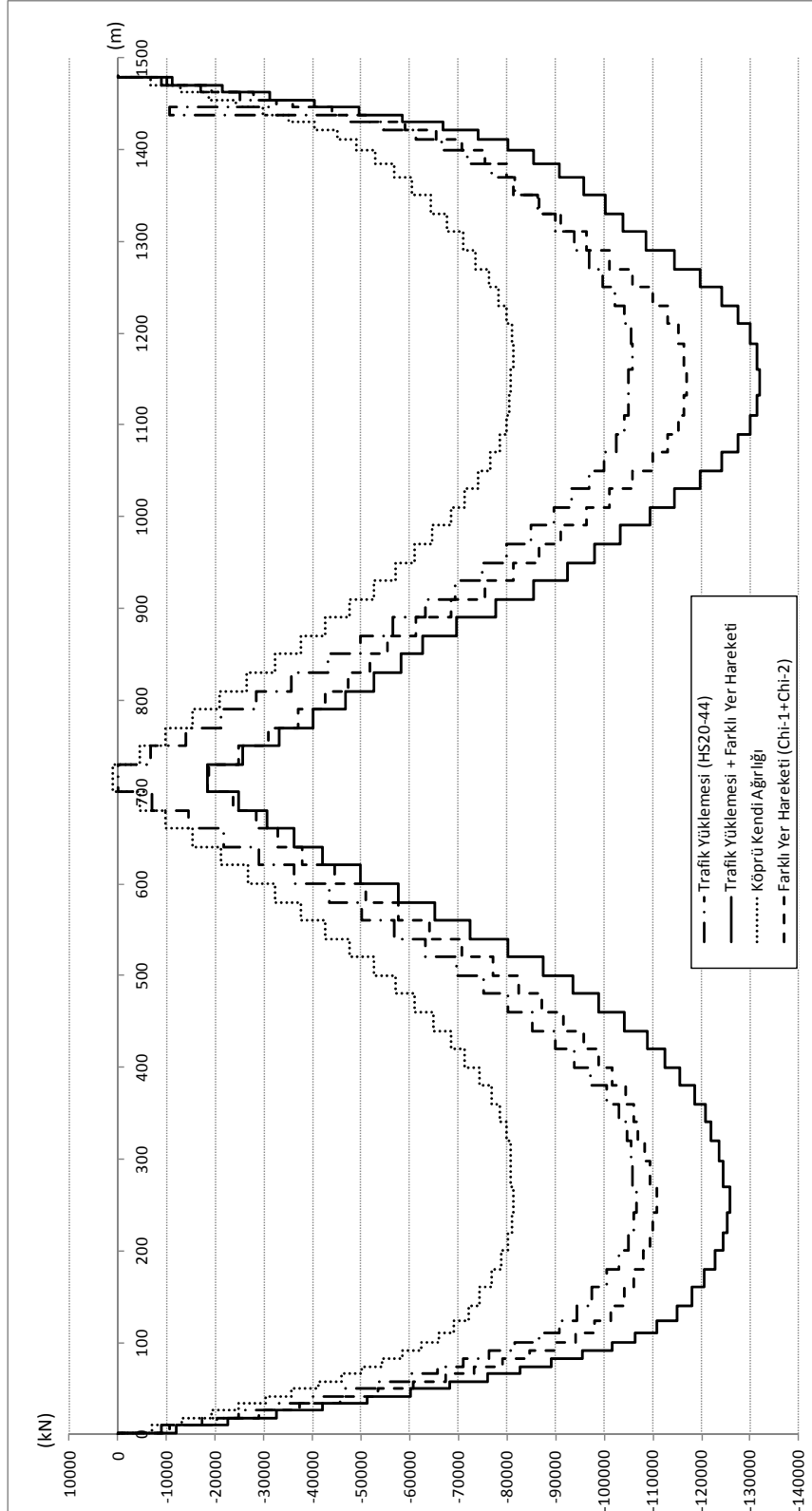
Şekil 4.47. ve Şekil 4.48.'de her iki zemin sınıfı için uygulanan trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde tabliyede oluşan eksenel kuvvet değerleri görülmektedir. Görüleceği gibi en büyük eksenel kuvvetler tabliyenin kulelere mesnetlendiği bölgede oluşmaktadır.Trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde tabliyenin ana kuleye mesnetlendiği bölgede oluşan eksenel kuvvet değerleri ve bu eksenel kuvvetlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları Çizelge 4.27.' de gösterilmiştir.

Tabliye deplasman değişimine benzer olarak, Kocaeli deprem kayıtlarının kullanıldığı farklı yer hareketi uygulaması ile elde edilen tabliye eksenel kuvvet değerleri, H20-44 orta ağırlıktaki kamyon sınıfı trafik yüklemesi için elde edilen eksenel kuvvetlerden daha küçük çıkmıştır. Nitekim, H20-44 sınıfı kamyon için ana kule-tabliye mesnet noktasında elde edilen eksenel kuvvet değeri, farklı yer hareketi uygulaması için elde edilen eksenel kuvvet değerinden %10 daha büyük çıkmıştır.

ChiChi deprem kayıtlarının kullanıldığı farklı yer hareketi uygulaması ile elde edilen tabliye eksenel kuvvet değerleri ise, HS20-44 ağır kamyon sınıfı trafik yüklemesi için elde edilen eksenel kuvvetlerden daha büyük çıkmıştır. Farklı yer hareketi uygulaması için ana kule-tabliye mesnet noktasında elde edilen eksenel kuvvet değeri, trafik yüklemesi için elde edilen eksenel kuvvet değerinden %9 daha büyük çıkmıştır.



Şeki
l
4.47.
Trafik +
depr
em
yükle
me
si
(Koc
aeli
Depr
emi)
netic
esin
de
tabli
yede
oluş
an
ekse
nel
kuvv
etler



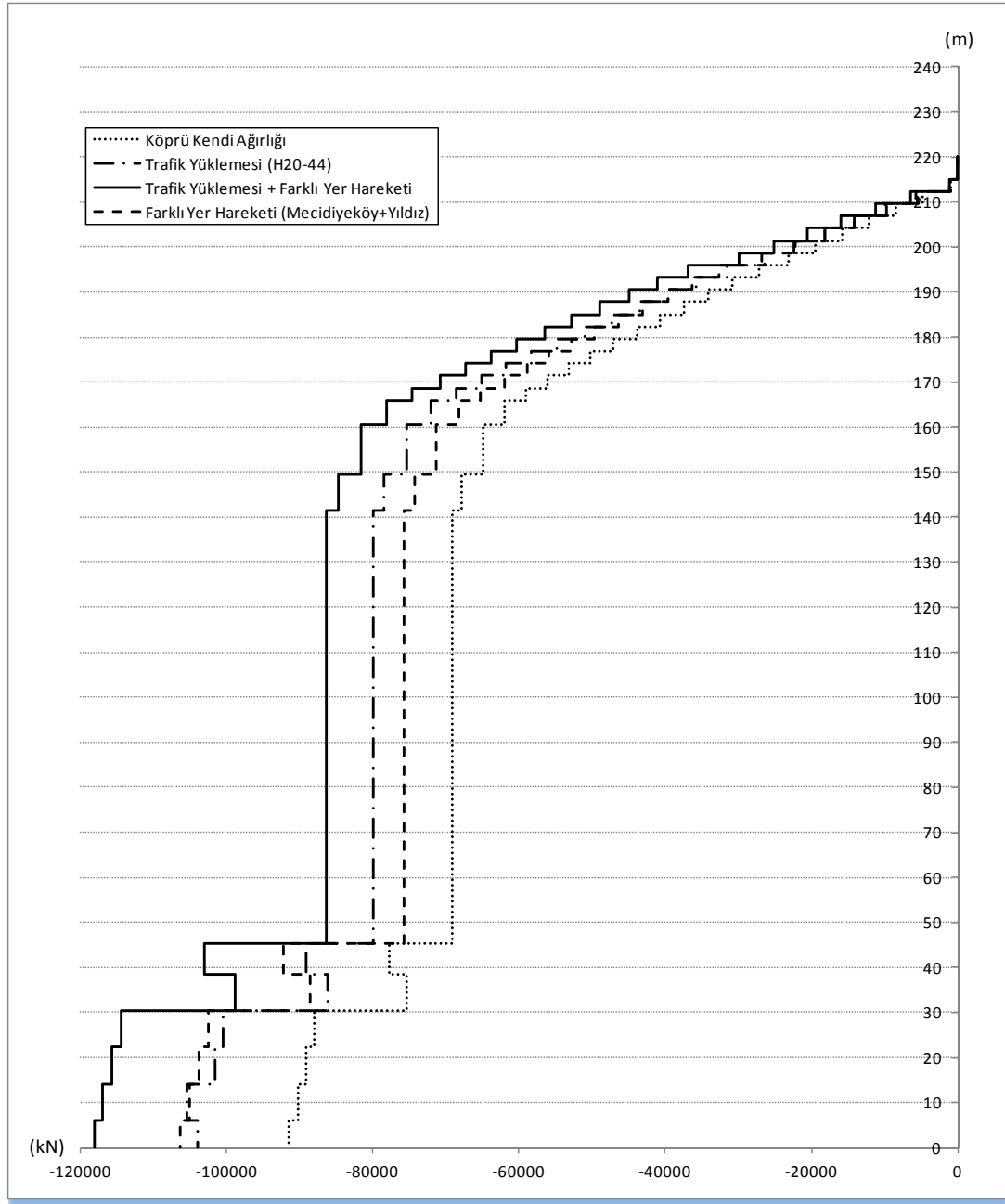
Şeki
l
4.48.
Trafik +
deprem
yüklemesi
(Chi-1+Chi-2)
neticesinde
tabli yede
oluşan
eksenel
kuvvetler

Çizelge 4.27. Trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde tabliyenin ana kuleye mesnetlendiği bölgede oluşan oluşan eksenel kuvvetlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları

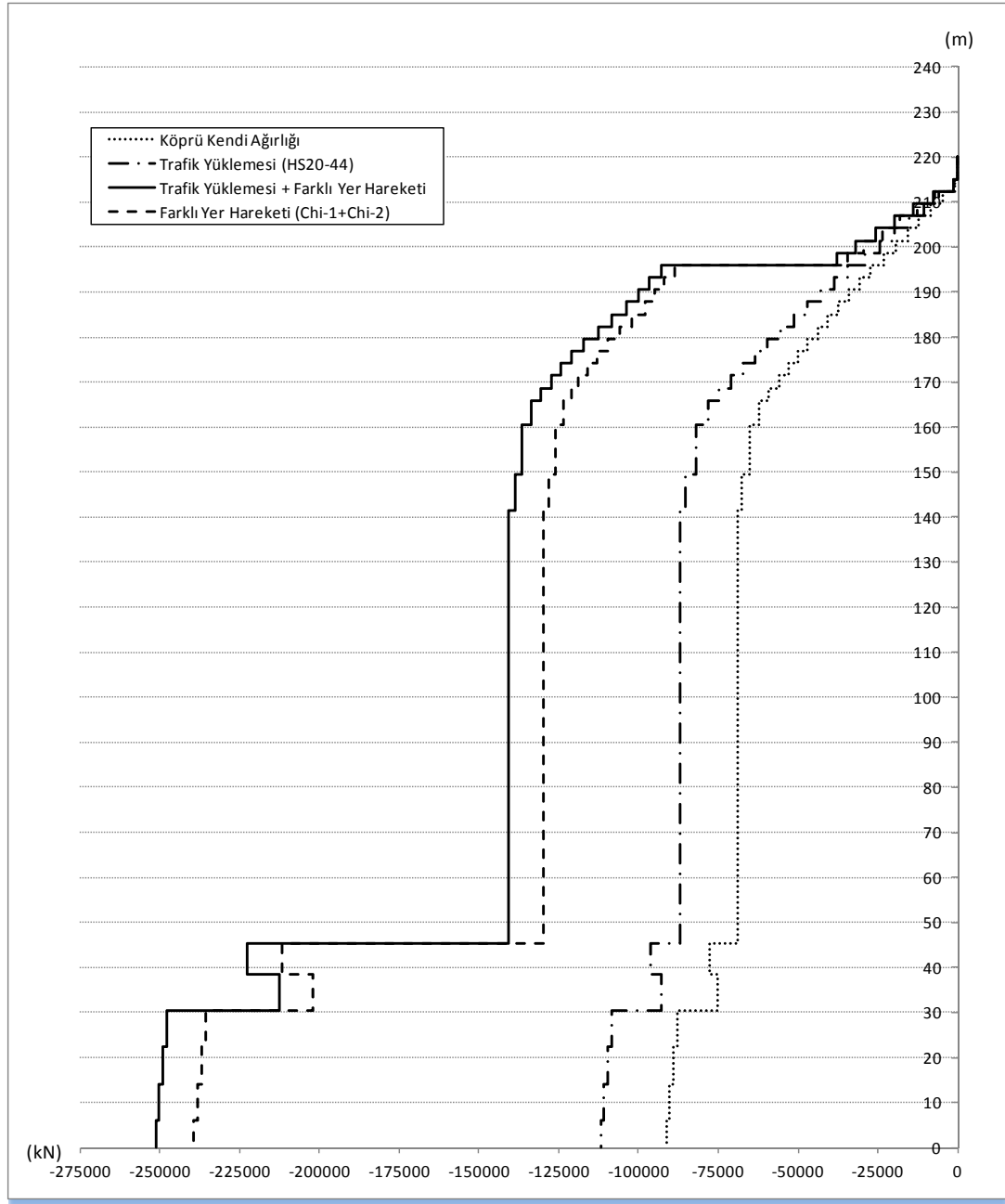
	Trafik ve Deprem Yükleme	Tabliyenin Ana Kuleye Mesnetlendiği Bölgede Oluşan Eksenel Kuvvetler (kN)	Oran
	Köprü Kendi Ağırlığı	81345	1,00
Kocaeli Depremi	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	87780	1,08
	Hareketli Trafik Yükleme (H20-44)	96727	1,19
	Trafik + Deprem Yükleme	102809	1,26
Chi-Chi Depremi	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	116847	1,44
	Hareketli Trafik Yükleme (HS20-44)	106713	1,31
	Trafik + Deprem Yükleme	131778	1,62

Şekil 4.49. ve Şekil 4.50.’ de her iki zemin sınıfı için uygulanan trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde ana kulede oluşan eksenel kuvvet değerleri görülmektedir. En büyük eksenel kuvvetler ana kulenin zemine mesnetlendiği kısımda oluşmuştur. Trafik ve deprem neticesinde ana kulenin zemine mesnetlendiği noktada oluşan eksenel kuvvet değerleri ve bu eksenel kuvvetlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları Çizelge 4.28.’ de gösterilmiştir.

Kocaeli deprem kayıtlarının kullanıldığı farklı yer hareketi uygulaması ile elde edilen kule eksenel kuvvet değerleri, tabliyede olduğu gibi H20-44 orta ağırlıktaki kamyon sınıfı trafik yüklemesi için elde edilen eksenel kuvvetlerden daha küçük çıkmıştır. Bunun yanında, yine tabliye eksenel kuvvetleri için gözlemlendiği gibi, ChiChi deprem kayıtlarının kullanıldığı farklı yer hareketi uygulaması ile elde edilen kule eksenel kuvvet değerleri ise, HS20-44 ağır kamyon sınıfı trafik yüklemesi için elde edilen eksenel kuvvetlerden çok daha büyük çıkmıştır. Farklı yer hareketi uygulaması için kulenin zemine mesnetlendiği mesnet noktasında elde edilen eksenel kuvvet değeri, trafik yüklemesi için elde edilen eksenel kuvvet değerinden %114 daha büyük çıkmıştır.



Şekil 4.49. Trafik + deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde ana kulede oluşan aksenal kuvvetler



Şekil 4.50. Trafik + deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde ana kulede oluşan aksenal kuvvetler

Çizelge 4.28. Trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde ana kulenin zemine mesnetlendiği noktada oluşan eksenel kuvvetlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları

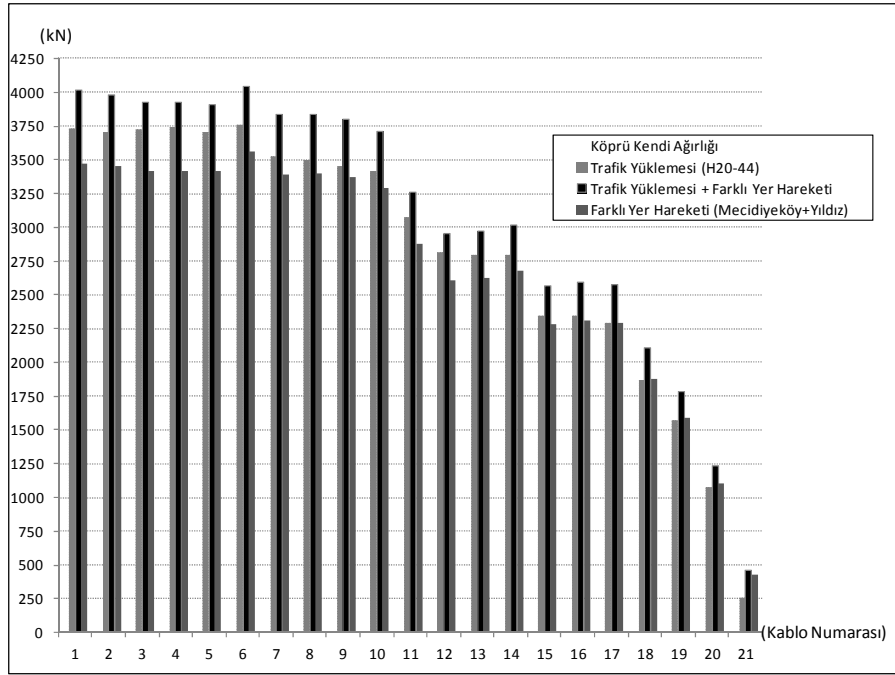
	Trafik ve Deprem Yükleme	Ana Kulenin Zemine Mesnetlendiği Noktada Oluşan Eksenel Kuvvetler (kN)	Oran
	Köprü Kendi Ağırlığı	91370	1,00
Kocaeli Depremi	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	106203	1,16
	Hareketli Trafik Yükleme (H20-44)	103849	1,14
	Trafik + Deprem Yükleme	118083	1,29
Chi-Chi Depremi	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	239452	2,62
	Hareketli Trafik Yükleme (HS20-44)	111883	1,22
	Trafik + Deprem Yükleme	251332	2,75

Şekil 4.51. - Şekil 4.54.' deher iki zemin sınıfı için uygulanan trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde oluşan maksimum kablo eksenel kuvvet değerleri verilmiştir. 1-21 numaraları arası kablolar orta açıklık kabloları, 22-42 numaraları arası kablolar kenar açıklık kablolarıdır. Kablo numarası yerleşimi Şekil 4.16.'da daha önce gösterilmiştir.En büyük eksenel kuvvetler kenar açıklık kabloları için ana kulenin tepesinden tabliyenin en kenarına bağlanan kabloda, orta açıklık kabloları için ise ana kulenin tepesinden tabliyenin ortasına bağlanan kabloda oluşmuştur.Trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde,42 numaralı kabloda oluşan eksenel kuvvetlerin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları Çizelge 4.29.' da gösterilmiştir.

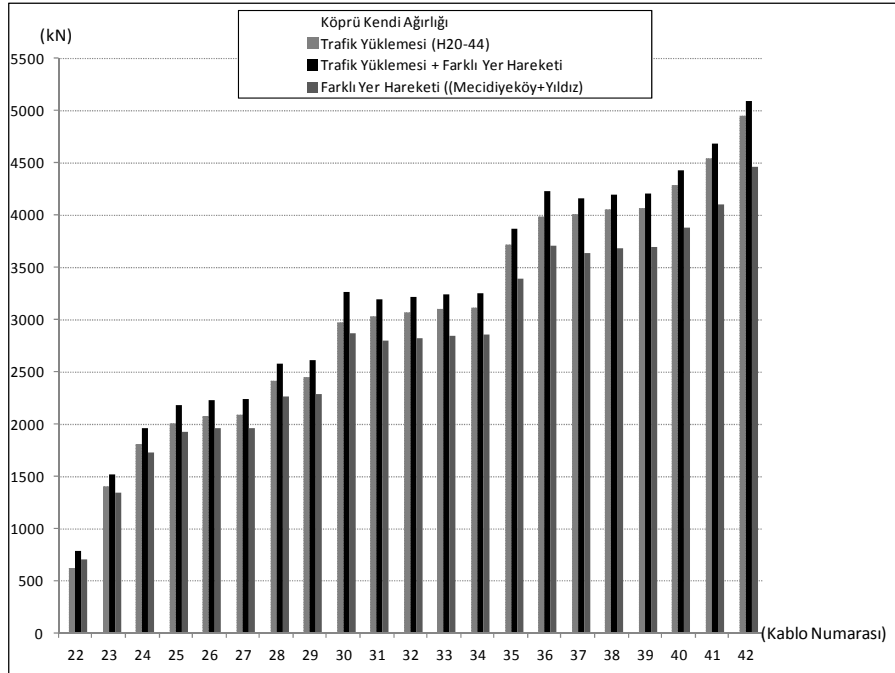
Orta açıklık kabloları için ana kuleden tabliye orta bölgesine doğru ilerledikçe eksenel kuvvetler artarken, kenar açıklık kablolarına ait eksenel kuvvetler de, kuvvetler dengesi gereği, ana kuleden kenar uç kısmına doğru ilerledikçe artmaktadır.

Kocaeli deprem kayıtlarının kullanıldığı farklı yer hareketi uygulaması ile, H20-44 orta ağırlıktaki kamyon sınıfı trafik yüklemesinin birlikte düşünüldüğü yük kombinasyonu için elde edilen kablo eksenel kuvvet değerleri, beklenildiği gibi söz konusu deprem ve trafik yüklemelerinin ayrı ayrı etki ettirilmesi ile elde edilen eksenel kuvvet değerlerinden daha büyük çıkmıştır. Bunun yanında, trafik yüklemesi için elde edilen eksenel kuvvetlerin, farklı yer hareketi uygulaması ile elde edilen eksenel kuvvetlerden daha büyük çıkması dikkat çeken bir noktadır. En büyük eksenel kuvvetin elde edildiği 42 numaralı kabloda, trafik yüklemesinden dolayı elde edilen eksenel kuvvet değeri, farklı yer hareketi uygulaması ile elde edilen eksenel kuvvet değerinden %11 daha büyük çıkmıştır.

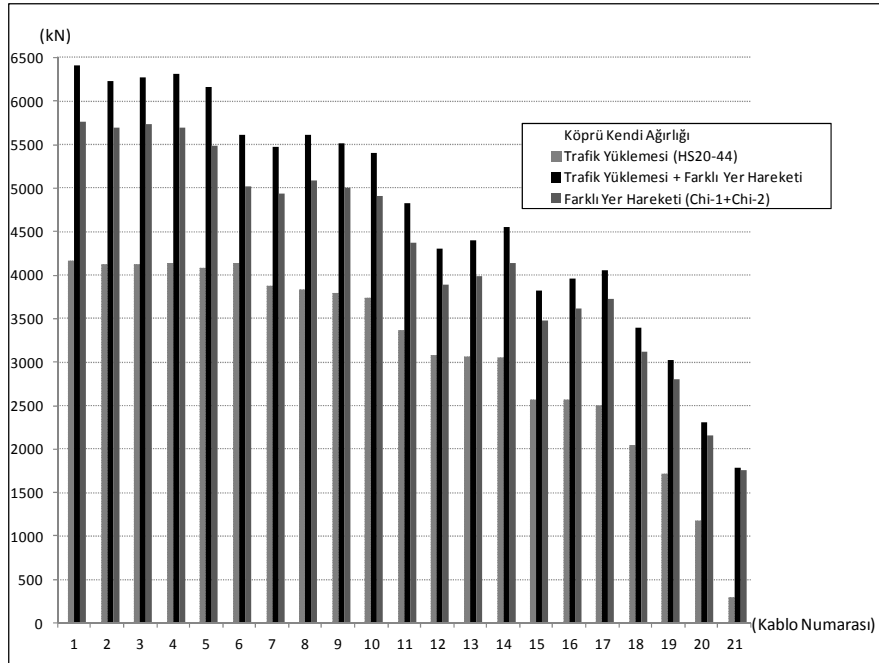
ChiChi deprem kayıtlarının kullanıldığı farklı yer hareketi uygulaması ile, HS20-44 ağır kamyon sınıfı trafik yüklemesinin birlikte düşünüldüğü yük kombinasyonu için elde edilen kablo eksenel kuvvet değerleri karşılaştırıldığında, yine beklenildiği gibi kombinasyon yüklemesi ile elde edilen eksenel kuvvetlerin, deprem ve trafik yüklemelerinin ayrı ayrı etki ettirilmesi ile elde edilen eksenel kuvvet değerlerinden daha büyük çıktığı görülmektedir. Bunun yanında, farklı yer hareketi uygulaması için elde edilen eksenel kuvvetler değerlerinin, trafik yüklemesi için elde edilen eksenel kuvvetlerden daha büyük çıktığı görülmektedir. En büyük eksenel kuvvetin elde edildiği 42 numaralı kabloda, farklı yer hareketi uygulaması ile elde edilen eksenel kuvvet değeri, trafik yüklemesinden dolayı elde edilen eksenel kuvvet değerinden %19 daha büyük çıkmıştır.



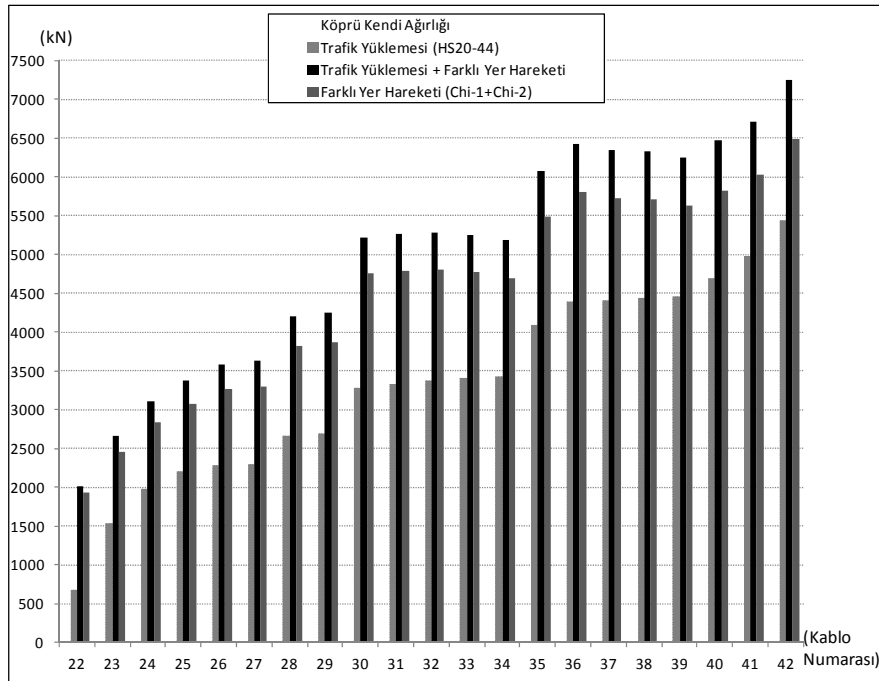
Şekil 4.51. Trafik + deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde 1 - 21 numaralı orta açıklık kablolarında oluşan aksenal kuvvetler



Şekil 4.52. Trafik + deprem yüklemesi (Kocaeli Depremi) neticesinde 22 - 42 numaralı kenar açıklık kablolarında oluşan aksenal kuvvetler



Şekil 4.53. Trafik + deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde 1 - 21 numaralı orta açıklık kablolarında oluşan aksenal kuvvetler



Şekil 4.54. Trafik + deprem yüklemesi (Chi Chi Depremi) neticesinde 22 - 42 numaralı kenar açıklık kablolarında oluşan aksenal kuvvetler

Çizelge 4.29. Trafik ve deprem yüklemeleri neticesinde 42 numaralı kabloda oluşan eksenel kuvvetlerinin köprünün zati ağırlığından dolayı oluşan eksenel kuvvetlere oranları

	Trafik ve Deprem Yükleme	42 Numaralı Kabloda Oluşan Eksenel Kuvvetler (kN)	Oran
	Köprü Kendi Ağırlığı	4179	1,00
Kocaeli Depremi	Farklı yer hareketi (Mecidiyeköy+Yıldız)	4454	1,07
	Hareketli Trafik Yükleme (H20-44)	4954	1,19
	Trafik + Deprem Yükleme	5091	1,22
Chi-Chi Depremi	Farklı yer hareketi (Chi-1+Chi-2)	6475	1,55
	Hareketli Trafik Yükleme (HS20-44)	5445	1,30
	Trafik + Deprem Yükleme	7240	1,73

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kablolu köprülerin davranışında, deprem ve trafik yüklerinin etkilerini belirlemek ve karşılaştırmak amaçlanmıştır. Kablolu köprülerin tasarımında deprem ve trafik yüklerinin büyük önemi olduğundan kablolu köprülerin deprem ve trafik yükleri altındaki davranışları ayrı ayrı incelendikten sonra, her iki yüklemenin aynı anda olduğu durum da incelenmiştir. Kablolu köprü modeli olarak dünyanın ikinci büyük kablolu köprüsü olan Tatar Köprüsü seçilmiştir. Analizler SAP 2000 Advanced 14.1.0 programı ile 3 boyutlu model oluşturularak gerçekleştirilmiştir.

Köprünün deprem yüklemesi altındaki davranışını incelemek için, köprüye sağlam kaya ve orta derecede sağlam kaya olmak üzere iki ayrı zemin grubuna ait kayıtlar kullanılarak oluşturulan üniform yer hareketi ve mesnetlerinden farklı yer hareketi uygulanıp, zaman – tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. Köprünün ayakları arasındaki mesafe göz önünde bulundurularak birbirine yakın istasyonlardan alınmış kayıtlar kullanılmıştır. Analizler neticesinde köprü tabliyesi ile ana kulelerde oluşan deplasmanlar ve kesit tesirleri hesaplanmış, sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Deprem hareketinin etkisi için yapılan analizler sonucunda köprünün tabliye, ana kule ve kablolarındaki maksimum deplasmanların ve kesit tesirlerinin iki zemin sınıfı için de mesnetlerinden farklı yer hareketi uygulanması neticesinde olduğu gözlenmiştir. Bu durumda kablolu köprülerin yer hareketi etkisi altındaki davranışlarını incelerken sadece üniform yer hareketi uygulanmasının yeterli olmadığı, her bir mesnete farklı yer hareketi verilerek de analizlerinin yapılması gerektiği görülmüştür.

Köprünün trafik yükleri altındaki davranışını incelemek için, ağır kamyon sınıfı kullanılarak hareketli trafik yüklemesi ile, ağır ve orta derecede ağır kamyon sınıfı yük değerleri kullanılarak köprünün tamamına üniform yayılı sabit trafik yükü uygulanması dikkate alınmıştır.

Yapılan analizler sonucunda köprünün tabliye, ana kule ve kablolarındaki maksimum deplasmanların ve kesit tesirlerinin ağır kamyon sınıfının kullanıldığı hareketli trafik yüklemesi neticesinde olduğu gözlenmiştir. Ağır kamyon sınıfı yük değerleri kullanılarak köprünün tamamına üniform yayılı sabit trafik yükü uygulanması neticesinde tabliye ve ana kulede oluşan deplasman değerleri ile, kesitlerdeki eksenel kuvvet değerleri hareketli trafik yüklemesi neticesinde oluşan değerler ile yaklaşık aynı çıkmıştır. Kesitlerdeki moment ve kesme kuvveti değerlerinin ise hareketli trafik yüklemesi durumunda, köprünün tamamına üniform yayılı sabit trafik yükü uygulanması durumuna oranla daha büyük çıktığı görülmüştür. Bu durumda, uzun açıklıklı kablolu köprülerin trafik yükleri altındaki davranışlarını incelerken, sadece üniform statik yükleme yapmanın yeterli olmadığı, bir çok taşıt konumunu içeren hareketli trafik yüklemesi uygulanarak analizlerin yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Gerek sağlam zemin sınıfında kaydedilen Kocaeli depremi ve gerekse de orta derecede sağlam zemin sınıfında kaydedilen ChiChi deprem kayıtlarının kullanıldığı farklı yer hareketi uygulamaları ile, trafik yüklemesinin birlikte düşünüldüğü yük kombinasyonu için elde edilen tepki değerleri, söz konusu deprem ve trafik yüklemelerinin ayrı ayrı etki ettirilmesi ile elde edilen tepki değerlerinden daha büyük çıkmıştır. Bunun yanında, Kocaeli depremi için tabliye ve kulelerde farklı yer hareketi uygulaması ile elde edilen moment ve kesme kuvvetleri, trafik yüklemesi için elde edilen değerlerden büyük çıkarken, deplasman ve eksenel kuvvet değerleri için trafik yüklemesi ile elde edilen tepkiler, farklı yer hareketi uygulaması ile elde edilen tepkilerden daha büyük çıkmıştır. ChiChi deprem kayıtları için ise, tabliye ve kulelerde farklı yer hareketi uygulaması ile elde edilen tepki değerlerinin, trafik yüklemesi ile elde edilen tepki değerlerinden neredeyse tamamen büyük çıktığı görülmüştür.

Bu durumda, kablolu köprülerin tasarımı yapılırken sadece trafik veya sadece deprem yüklemeleri altında incelemenin yeterli olmadığı, trafik ve deprem yüklemelerinin aynı anda dikkate alınması gerektiği görülmüştür. Ayrıca, köprünün yapılacağı bölgedeki zemin sınıfında köprünün deprem yükleri altındaki davranışı üzerinde büyük etkisinin olduğu görülmüştür.

Bundan sonraki çalışmalarda, bu çalışmada dikkate alınan deprem ve trafik yüklemelerine ilave olarak, rüzgar yükü de eklenerek karşılaştırmalar yapılabilir veya kablolu köprülerin deprem ve trafik etkileri altındaki davranışı, bir diğer uzun açıklıklı köprü olan asma köprülerin deprem ve trafik etkileri altındaki davranışı ile karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Soyluk, K., "Değişerek Yayılan Yer Hareketleri Etkisindeki Kablolu Köprülerin Stokastik Analizi", Doktora Tezi , **Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Trabzon, 7-10, 11-15 (2002).
2. Garevski, M., Dumanoglu, A.A., Severn, R.T., "Dynamic Charecteristics and Seismic Behaviour of Jindo Bridge, South Korea", **Structural Engineering Review 1**, 141-149 (1988).
3. Nazmy, A.S., Abdel-Ghaffar, A.M., "Seismic Response Analysis of Cable Stayed Bridges Subjected to Uniform and Multiple-Support Excitations", Report No. 87-SM-1, **Department of Civil Engineering, Princeton University**, Princeton, N. J.,1-20(1987).
4. Nazmy, A.S., Abdel-Ghaffar, A.M., "Effects of Ground Motion Spatial Variability on the Response of Cable-Stayed Bridges", **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, 21 : 1-20 (1992).
5. Fan, L., Hu, S., Yuan, W., "Nonlinear seismic response analysis of long-span cable-stayed bridges", **Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering**, Madrid, 4815-4820 (1992).
6. Nazmy, A. S., "Solutions for the seismic problems of superlong cable-stayed bridges, Restructuring: America and Beyond", **Proceedings of Structures Congress XIII, American Society of Civil Engineers**, New York, 465-468 (1995).
7. Nazmy, Aly S., "Seismic performance of long-span bridges: issues and solutions", **Sixth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Inst.**, Oakland, 2-8(1998).
8. Schemmann, A. G., Smith, H. A., "Vibration control of cable-stayed bridges, Part 1: Control analyses", **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, 27 : 825-843 (1998).
9. Schemmann, A. G., Smith, H. A., "Vibration control of cable-stayed bridges, Part 2: Control analyses", **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, 27 : 825-843 (1998).

10. Soyluk, K., Dumanoglu, A. A., "Comparison of Asynchronous and Stochastic Dynamic Response of a Cable-Stayed Bridge", *Engineering Structures*, 22 : 435-445 (2000).
11. Dumanoglu, A. A., Soyluk, K., "Kablolu Köprülerin Asinkronize, Antisinkronize ve Stokastik Karşılaştırmalı Dinamik Analizleri", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, *Teknik Dergi*, 11 (2) : 2121-2137 (2000).
12. Allam, S. M., Datta, T. K., "Seismic Behaviour of Cable-Stayed Bridges Under Multi-Component Random Ground Motion", *Engineering Structures*, 22 : 62-74 (1999).
13. Dumanoglu, A. A., Soyluk, K., "Mesnetlerinden Farklı Dinamik Etkilere Maruz Kablolu Köprülerin Stokastik Analizi", *Teknik Rapor*, TDV/TR, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul 032-54 (2000).
14. Allam, S. M., Datta, T. K., "Analysis of Cable-Stayed Bridges Under Multi-Component Random Ground Motion by Response Spectrum Method", *Engineering Structures*, 22 : 1367-1377 (2000).
15. Lin, J. H., Zhang, Y. H., Li, Q. S., Williams, F. W., "Seismic Spatial Effects for Long-Span Bridges, Using the Pseudo Excitation Method", *Engineering Structures*, (26) : 1207-1216 (2004).
16. Jian, L., Jie, L., "A Response Spectrum Method For Seismic Response Analysis of Structures Under Multi-Support Excitations", *Structural Engineering and Mechanics*, An International Journal, (21) : 1-21 (2005).
17. Ferreira, M. P., Negrao, J. H., " Effects of Spatial Variability of Earthquake Ground Motion in Cable – Stayed Bridge ", *Structural Engineering and Mechanics*, An International Journal, (23) : 1-21 (2006).
18. Soyluk, K., Sıcacık E. A., "Soil-Structure Interaction Analysis of Cable-Stayed Bridges for Spatially Varying Ground Motion Components", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, (35) : 80-90 (2012).
19. Meisenholder, S. G., Weidlinger, P., "Dynamic Interaction Aspects of Cable-Stayed Guideways for High Speed Ground Transportation", *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, ASME, 180 - 192 (1974).
20. Khalifa, M.A., "Parametric Study of Cable-Stayed Bridge Response due to Traffic-Induced Vibration", *Computers and Structures*, 321-339 (1993).

21. Zaman, M., Taheri, M. R., Khanna, A., "Dynamic Response of Cable-Stayed Bridges to Moving Vehicles Using the Structural Impedence Method", *Applied Mathematical Modeling*, (20) : 877-889 (1996).
22. Yang, F., Fonder, G. A., "Dynamic Response of Cable-Stayed Bridges Under Moving Loads", *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE, 195-215 (1998).
23. Bruno, D., Greco, F., Lonetti, P., "Dynamic Impact Analysis of Cable-Stayed Bridges Under Moving Loads", *Engineering Structures*, (30) : 1160-1177 (2008).
24. Cengiz A., Soyluk, K., Sıcacık E. A., "Kablolu Köprülerde Trafik Yüklerinin Neden Olduğu Dinamik Etkiler", *Gazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Ankara, 26 (1) : 243-252 (2011).
25. Dumanoglu, A. A., Severn, R. T., "Dynamic Response of Dams and Other structures to Differential Ground Motions", *Tproc. Instn. Civ. Engrs*, Part 2, 77 : 333-352 (1984).
26. Bayraktar, A., "Asinkronize Yer Hareketi Etkisindeki Baraj – Rezervuar-Temel Sistemlerinin Dinamik Davranışı", Doktora Tezi , *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 11-15 (1995).
27. Yang, J. B., Yang, Y. D. ve Wu, Y.S., "Vehicle Bridge Interaction Dynamics", *World Scientific* , Singapore, 149-155 (2004).
28. Wilson, A., "A Critical Analysis of Tatara Bridge, Japan", *Proceedings of Bridge Engineering 2 Conference*, University of Bath, UK1-15 (2009).
29. Yabuna, M., Fujiwara, T., Sumi., K., Nose, T., Suzuki, M., "Design of Tatara Bridge", *IHI Engineering Review*, Japan, 87-102 (2001).
30. İnternet : "PEER (Pacific Earthquake Engineering Research) Strong Motion Database" <http://peer.berkeley.edu/smcat> (2000).
31. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, *American Association of State Highway And Transportation Officials*, 4.th Edition, 23-24 (2007).
32. Dost, Y., Dedeoğlu, E., "Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'nün Projelendirme ve Yapım Aşamaları", *Karayolları Genel Müdürlüğü*, 37-38 (2008).

33. Endo, T., Iijima, T., Okukawa, A., Ito., M., "The technical challenge of a long cable-stayed bridge – Tatara Bridge", *Cable-Stayed Bridges : Recent Developments and Their Future : Proceedings of the Seminar*, Yokohama, Japan, 417-436 (1991).
34. Cengiz, A., “Büyük Açıklıklı Kablolu Köprülerde Trafik Yüklerinin Meydana Getirdiği Dinamik Etkilerin İncelenmesi” Yüksek Lisans , *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*,Ankara, 60-61 (2009).
35. Wilson, C. J., Gravelle, W., “Modelling of A Cable – Stayed Bridge For Dynamic Analysis *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 20 : 707-721 (1991).
36. Satou, Y., Hirahara, N., Murata., T., Asano, M., "Erection of Tatara Bridge", *IHI Engineering Review*,Japan, 110-127 (2001).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KARTAL, Hüseyin
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 18.04.1981 Ankara
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 3309960
 e-mail : kartalhuseyin@hotmail.com

Eğitim Derece

Eğitim Birimi

Mezuniyet Tarihi

Lisans

ODTÜ /İnşaat Mühendisliği
Bölümü

2003

Lise

Kırıkkale Fen Lisesi

1998

İş Deneyimi Yıl

Yer

Görev

2006-2011

Es Proje Ltd. Şti.

İnşaat Mühendisi

2003-2006

Limak İnşaat Tic. Ltd. Şti.

İnşaat Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Spor