

**ASINKRONİZE VE ANTİSINKRONİZE YER HAREKETİ
ETKİSİNDEKİ KEMER KÖPRÜLERİNİN
STOKASTİK ANALİZİ**

Kürşat YÜCEL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2006
ANKARA**

Kürşat YÜCEL tarafından hazırlanan ASİNKRONİZE VE ANTİSİNKRONİZE YER HAREKETİ ETKİSİNDEKİ KEMER KÖPRÜLERİNİN STOKASTİK ANALİZİ adlı bu tezin Yüksek Lisans olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Kurtuluş SOYLUK

Tez Yöneticisi

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

Başkan: :Prof. Dr. Mehmet Emin TUNA

Üye : Prof. Dr. Tekin GÜLTOP

Üye : Yrd. Doç. Dr. Meral BEĞİMGİL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Özgür ANIL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Kurtuluş SOYLUK

Tarih : 22/09/2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

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

Kürşat YÜCEL

**ASINKRONİZE VE ANTİSINKRONİZE YER HAREKETİ
ETKİSİNDEKİ KEMER KÖPRÜLERİNİN
STOKASTİK ANALİZİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Kürşat YÜCEL

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Eylül 2006**

ÖZET

Bu çalışmada, yer hareketindeki değişim etkisi için kemer çelik köprülerin stokastik davranışının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Yer hareketindeki değişimler, bu çalışmada dalga yayılma etkisi ve zemin özelliklerinin yer hareketine etkisi ile dikkate alınmaktadır. Yer tabakasının karmaşık yapısı, yapı sistemlerinin analizinde farklı noktalardaki yer hareketlerinin değişiminden doğan etkilerin deprem analizinde dikkate alınmasını gerekli yapar. Bu amaçla çalışmanın ilk kısmında kemer kafes köprülerin asinkronize ve antisinkronize stokastik dinamik analizleri yapılmaktadır. Asinkronize ve antisinkronize dinamik analizlerde deprem dalgasının çeşitli hızlarla yayıldığı kabul edilmektedir. Çalışmanın ikinci kısmında ise stokastik analizde yer hareketinin tanımlandığı filtre edilmiş beyaz gürültü modelinin tahkiki yapılmaktadır. Bu amaçla Chi-Chi, Taiwan depremine ait değişik kayıtlara ait spektral yoğunluk fonksiyonları için elde edilen çözümler, filtre edilmiş beyaz gürültü modeli ile elde edilen çözümlerle karşılaştırılmaktadır. Bu amaçlarla hazırlanan tez aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır. Birinci bölümde temel kavramlar verilmekte olup, konunun öneminden ve bu konuda daha önce yapılmış çalışmalardan bahsedilmektedir. İkinci bölüm, hareket denklemlerinin sonlu eleman formülasyonu ile rasgele titreşim analizi durumundaki temel bağıntılar

da bu bölümde verilmektedir. Üçüncü bölümde çalışmada kullanılacak olan yer hareketi modeli üzerinde durulmaktadır. Dördüncü bölümde yer hareketinin değişimi dikkate alınarak kemer köprü örneğinin analizi ile elde edilen tepki bileşenleri irdelenmektedir. Beşinci bölümde çalışmadan çıkarılabilecek sonuçlar ile öneriler verilirken, bu bölümü kaynaklar izlemektedir.

Bilim Kodu :911.1.029
Anahtar Kelimeler :Asinkronize Dinamik Analiz, Antisinkronize Dinamik Analiz, Spektral Yoğunluk Fonksiyonu, Filtre Edilmiş Beyaz Gürültü
Sayfa Adedi :112
Tez Yöneticisi :Yrd. Doç. Dr. Kurtuluş SOYLUK

**STOCHASTIC ANALYSIS OF ARCH BRIDGES SUBJECTED TO
ASYNCHRONOUS AND ANTISYNCHRONOUS GROUND MOTIONS**

(M.Sc. Thesis)

Kürşat YÜCEL

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

September 2006

ABSTRACT

Stochastic analysis considering the variation of ground motion to correlated support motions is performed on arch steel bridges. The ground motion model used in this study accounts for the spatial variability of ground motions, including the effects of, wave passage, and spatially varying site response. Because of the complex nature of earth crust, the spatial variability of ground motions should be taken into account in the dynamic analysis of long span structures. In the first part of this study asynchronous and antisynchronous stochastic dynamic analyses of deck arch bridges are carried out. Asynchronous and antisynchronous analysis are performed for various wave velocities. In the second part of the study the filtered white noise ground motion model used to describe the ground motion is verified. With this purpose the results obtained for the spectral density functions of recordings of Chi-Chi, Taiwan earthquake are compared with those of the results obtained for the filtered white noise ground motion model. The thesis prepared with this scope includes the following chapters. In the first chapter, general information, the importance of the matter, previous studies about the subject are given. In the second chapter, the finite element formulation of the equations of motion and the basic relations for the random vibration analysis are presented. In the third chapter, the ground motion model used in this study is given along. In the fourth chapter, response values

obtained from the spatially varying ground motions are discussed in detail. While the conclusions and suggestions are given in chapter five, this chapter is followed by the references.

Science Code :911.1.029

Key Words :Asynchronous Dynamic Analysis, Antisynchronous Dynamic Analysis, Spectral Density Function, Filtered White Noise

Page Number:112

Adviser :Asist.Prof.Dr. Kurtuluş SOYLUK

TEŞEKKÜR

Çalışma sırasında bilimsel katkıları ile bana yardımcı olan, eğitimim süresince yardımlarını esirgemeyen, tez danışmanım ve hocam G. Ü. Müh. Mim. Fak. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Bölüm Başkan Yardımcısı Sayın Yrd. Doç. Dr. Kurtuluş SOYLUK’a en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım. Bana maddi ve manevi her türlü desteği veren ailemin tüm fertlerine, en içten teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım. Eğitim hayatım boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygıyla anar, kendilerine minnettar olduğumu belirtmek isterim. Ayrıca çalışmalarına katkılarından dolayı Murat Cem’e teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	7
2.1. Formülasyonlar	7
2.1.1. Hareket denklemlerinin sonlu eleman formülasyonu	7
2.1.2. Rasgele titreşim analizi	11
2.1.3. Dinamik tepki bileşeninin varyansı	12
2.1.4. Zahiri-statik tepki bileşeninin varyansı	13
2.1.5. Zahiri-statik ve dinamik bileşenlerin kovaryans fonksiyonu	14
2.1.6. Toplam tepki bileşeninin varyansı	14
2.1.7. Ortalama maksimum değer ve oluşma frekansı	15
2.2. Beyaz Gürültü	16
2.3. Filtre Edilmiş Beyaz Gürültü	16
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR	19
3.1. Köprülerin Tanımlanması	19
3.1.1. Kemer köprüler	19
3.1.2. Kemer köprülerin sınıflandırılması	19

Sayfa

3.2. Çalışmaya Konu Olan Kemer Köprü Sistemleri.....	25
3.3. Çalışmanın Tanımı	26
3.3.1 Yer hareketi modeli.....	26
4. İRDELEME	32
4.1. Yer Hareketinin Eş ve Zıt Fazlı Olmasında Tepki Değerlerinin Karşılaştırılması	32
4.2. Asinkronize ve Antisinkronize Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	44
4.3. Yer Hareketi Yayılma Hızının Sonuçlar Üzerindeki Etkileri	69
4.4. Farklı Zemin Cinslerinin Köprüler Üzerinde Etkilerinin Karşılaştırılması	77
4.4.1. CSCB köprü modelinde hızın 1000m/sn durumu için gerçek yer hareketi etkisindeki farklı zemin cinslerinde sonuçların irdelemesi	79
4.4.2. CSCB köprü modelinde hızın sonsuz durumu için gerçek yer hareketi etkisindeki farklı zemin cinslerinde sonuçların irdelemesi	81
4.4.3. NRGB köprü modelinde hızın 1000m/sn durumu için gerçek yer hareketi etkisindeki farklı zemin cinslerinde sonuçların irdelemesi	82
4.4.4. NRGB köprü modelinde hızın sonsuz durumu için gerçek yer hareketi etkisindeki farklı zemin cinslerinde sonuçların irdelemesi	84
4.5. Filtre Edilmiş Yer Hareketi ile Gerçek Yer Hareketinin Farklı Zeminlerde Karşılaştırılması	85
4.5.1. CSCB köprü modelinde hızın 1000m/sn olması durumu için farklı zemin cinslerinde sonuçların irdelemesi	86
4.5.2. CSCB köprü modelinde hızın sonsuz olması durumu için farklı zemin cinslerinde sonuçların irdelemesi	91
4.5.3. NRGB köprü modelinde hızın 1000m/sn olması durumu için farklı zemin cinslerinde sonuçların irdelemesi	96
4.5.4. NRGB köprü modelinde hızın sonsuz olması durumu için farklı zemin cinslerinde sonuçların irdelemesi	100
5. SONUÇLAR	105
KAYNAKLAR	108

Sayfa

ÖZGEÇMİŞ	112
----------------	-----

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Çeşitli zemin türleri için S_0 parametreleri.....	28
Çizelge 4.1. Farklı zeminlere göre genlik değerleri ve bunların filtre parametreleri	28

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Asinkronize düşey yer hareketine maruz kablolu köprü sistemi	2
Şekil 1.2. Antisinkronize düşey yer hareketine maruz kablolu köprü sistemi	3
Şekil 2.1. Beyaz gürültü işlemi için spektral yoğunluk fonksiyonu.....	16
Şekil 2.2. Filtre edilmiş beyaz gürültü için güç spektral yoğunluk fonksiyonu.....	17
Şekil 2.3. Beyaz gürültü işlemine ait bir örnek fonksiyon	17
Şekil 2.4. Beyaz gürültü işlemi için otokorelasyon fonksiyonu.....	18
Şekil 3.1. Şose köprüsü en kesidi.....	20
Şekil 3.2. Ana kirişlerin kafes sistem olan basit kiriş şeklindeki demiryol köprüsü ...	20
Şekil 3.3. Çok açıklıklı demiryol köprüsü.....	21
Şekil 3.4. Gerber sistem köprüler	21
Şekil 3.5. Üç mafsallı kemer köprü	21
Şekil 3.6. İki mafsallı kemer köprü.....	21
Şekil 3.7. Ankastre veya mafsalsız kemer köprü	22
Şekil 3.8. Rijitlik kirişi ile rijit bir hale getirilmiş çubuk kemerli köprü	22
Şekil 3.9. Mesnetlerin biri hareketli diğeri sabit basit kirişli köprü.....	22
Şekil 3.10. Rijitlik kirişi ile hem rijit ve hem de basit kirişli köprüler	23
Şekil 3.11. Kemerli köprülerin birçok mesnetler üzerinden mütemadi bir sistemi	23
Şekil 3.12. Asma köprü.....	23
Şekil 3.13. Ana kirişleri dolu gövdeli olan köprüler.....	23
Şekil 3.14. Ana kiriş gövdesi sık kafes olan köprüler.....	24
Şekil 3.15. Kafes kiriş köprüler	24
Şekil 3.16. Dik köprüler.....	24
Şekil 3.17. Verve köprüler.....	24

Şekil	Sayfa
Şekil 3.18. İki ana kirişli köprüler.....	24
Şekil 3.19. İki den fazla ana kirişli köprüler.....	25
Şekil 3.20. CSCB köprü sisteminin elemanları.....	25
Şekil 3.21. NRGB köprü sisteminin elemanları	26
Şekil 3.22. Chi-Chi depremi ve FWN modeline ait ivme yoğunluk fonksiyonları.....	31
Şekil 3.23. Erzincan depremine ait ivme spektral yoğunluk fonksiyonu.....	31
Şekil 4.1. CSCB için $v=\infty$ da dinamik bileşenler için yerdeğiştirme.....	32
Şekil 4.2. CSCB için $v=\infty$ da dinamik bileşenler için a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği.....	33
Şekil 4.3. CSCB için $v=\infty$ da zahiri-statik bileşenler için yerdeğiştirme.....	34
Şekil 4.4. CSCB için $v=\infty$ da zahiri-statik bileşenler için a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği.....	35
Şekil 4.5. CSCB için $v=\infty$ da toplam bileşenler için yerdeğiştirme.....	36
Şekil 4.6. CSCB için $v=\infty$ da toplam bileşenler için a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği.....	37
Şekil 4.7. NRGB için $v=\infty$ da zahiri-statik bileşenleri yerdeğiştirme.....	38
Şekil 4.8. NRGB için $v=\infty$ da zahiri-statik bileşenler için a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği.....	39
Şekil 4.9. NRGB için $v=\infty$ da dinamik bileşenler için yerdeğiştirme.....	40
Şekil 4.10. NRGB için $v=\infty$ da dinamik bileşenler için a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği.....	41
Şekil 4.11. NRGB için $v=\infty$ da toplam bileşenlerin yerdeğiştirmesi	42
Şekil 4.12. NRGB için $v=\infty$ da toplam bileşenler için a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği.....	43
Şekil 4.13. CSCB için $v=1000\text{m/s}$ de zahiri-statik bileşenin yerdeğiştirme.....	45

Şekil	Sayfa
Şekil 4.14. CSCB için $v=1000\text{m/s}$ de zahiri-statik bileşenler için a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği ..	45
Şekil 4.15. CSCB için $v=1000\text{ m/s}$ de dinamik bileşenlerin yerdeğiştirme.....	47
Şekil 4.16. CSCB için $v=1000\text{ m/s}$ de dinamik bileşenler için a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği ..	47
Şekil 4.17. CSCB için $v=1000\text{ m/s}$ de toplam bileşenlerin yerdeğiştirme.....	49
Şekil 4.18. CSCB için $v=1000\text{ m/s}$ de toplam bileşenler için a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği ..	49
Şekil 4.19. CSCB için $v=500\text{ m/s}$ de zahiri-statik bileşenin yerdeğiştirme	51
Şekil 4.20. CSCB için $v=500\text{ m/s}$ de toplam bileşenler için a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği	51
Şekil 4.21. CSCB için $v=500\text{ m/s}$ de dinamik bileşenin yerdeğiştirme	53
Şekil 4.22. CSCB için $v=500\text{ m/s}$ de dinamik bileşenlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği	53
Şekil 4.23. CSCB için $v=500\text{ m/s}$ de toplam bileşenin yerdeğiştirme	55
Şekil 4.24. CSCB için $v=500\text{ m/s}$ de toplam bileşenin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği	55
Şekil 4.25. NRGB için $v=1000\text{m/s}$ de zahiri-statik bileşenin yerdeğiştirme	57
Şekil 4.26. NRGB için $v=1000\text{m/s}$ de zahiri-statik bileşenler için a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği	57
Şekil 4.27. NRGB için $v=500\text{ m/s}$ de zahiri-statik yerdeğiştirme	59
Şekil 4.28. NRGB için $v=500\text{ m/s}$ de zahiri-statik bileşenler için a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği	59
Şekil 4.29. NRGB için $v=1000\text{ m/s}$ de dinamik bileşenin yerdeğiştirmesi	61
Şekil 4.30. NRGB için $v=1000\text{ m/s}$ de dinamik bileşenler için a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği	61
Şekil 4.31. NRGB için $v=500\text{ m/s}$ de dinamik bileşenin yerdeğiştirme.....	63

Şekil	Sayfa
Şekil 4.32. NRGB için $v=500$ m/s de dinamik bileşenler için a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği.....	63
Şekil 4.33. NRGB için $v=1000$ m/s de toplam bileşenin yerdeğiştirme	65
Şekil 4.34. NRGB için $v=1000$ m/s de toplam bileşenler için a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği	65
Şekil 4.35. NRGB için $v=500$ m/s de toplam bileşenin yerdeğiştirme	67
Şekil 4.36. NRGB için $v=500$ m/s de tabliyede toplam bileşenler için a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği	67
Şekil 4.37. CSCB için $v=\text{sonsuz}, 1000, 500$ m/s asinkronize yerdeğiştirme	69
Şekil 4.38. CSCB için $v=\text{sonsuz}, 1000, 500$ m/s de asinkronize a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği	70
Şekil 4.39. NRGB için $v=\text{sonsuz}, 1000, 500$ m/s asinkronize yerdeğiştirme	71
Şekil 4.40. NRGB için $v=\text{sonsuz}, 1000, 500$ m/s de asinkronize a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği	72
Şekil 4.41. NRGB için $v=\text{sonsuz}, 1000, 500$ m/s antisinkronize yerdeğiştirme.....	73
Şekil 4.42. NRGB için $v=\text{sonsuz}, 1000, 500$ m/s antisinkronize a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği	74
Şekil 4.43. CSCB için $v=\text{sonsuz}, 1000, 500$ m/s antisinkronize yerdeğiştirme.....	75
Şekil 4.44. CSCB için $v=\text{sonsuz}, 1000, 500$ m/s antisinkronize a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği	76
Şekil 4.45.a Chi-Chi depremi sert zemin spektral yoğunluk fonksiyonu kaydı.....	78
Şekil 4.46. CSCB için $v=1000$ m/s de toplam yerdeğiştirirler	80
Şekil 4.47. CSCB için $v=1000$ m/s de toplam eğilme momenti grafiği.....	80
Şekil 4.48. CSCB için $v=\text{sonsuz}$ da toplam yerdeğiştirmeler	81
Şekil 4.49. CSCB için $v=\text{sonsuz}$ da toplam eğilme momenti grafiği	82
Şekil 4.50. NRGB için $v=1000$ m/s de toplam yerdeğiştirirler	83

Şekil	Sayfa
ekil 4.51. NRGB için $v=1000$ m/s de toplam eğilme momenti grafiği	83
Şekil 4.52. NRGB için $v=\infty$ da toplam yerdeğiştirler	84
Şekil 4.53. NRGB için $v=\infty$ da toplam eğilme momenti grafiği.....	85
Şekil 4.54. CSCB için sert zeminde ve $v=1000$ m/s de toplam yerdeğiştirler	87
Şekil 4.55. CSCB için sert zeminde ve $v=1000$ m/s de toplam M grafiği	87
Şekil 4.56. CSCB için orta zeminde ve $v=1000$ m/s de toplam yerdeğiştirler	88
Şekil 4.57. CSCB için orta zeminde ve $v=1000$ m/s de toplam M grafiği.....	89
Şekil 4.58. CSCB için yumuşak zeminde ve $v=1000$ m/s toplam yerdeğiştirler	90
Şekil 4.59. CSCB için yumuşak zeminde ve $v=1000$ m/s de toplam M grafiği	90
Şekil 4.60. CSCB için sert zeminde ve $v=\infty$ da toplam yerdeğiştirler	91
Şekil 4.61. CSCB için sert zeminde ve $v=\infty$ da toplam M grafiği.....	92
Şekil 4.62. CSCB için orta zeminde ve $v=\infty$ da toplam yerdeğiştirler	93
Şekil 4.63. CSCB için orta zeminde ve $v=\infty$ da toplam M grafiği	93
Şekil 4.64. CSCB için yumuşak zeminde ve $v=\infty$ da toplam yerdeğiştirler	94
Şekil 4.65. CSCB için yumuşak zeminde ve $v=\infty$ da toplam M grafiği	95
Şekil 4.66. NRGB için sert zeminde ve $v=1000$ m/s de toplam yerdeğiştirler	96
Şekil 4.67. NRGB için sert zeminde ve $v=1000$ m/s de toplam M grafiği	96
Şekil 4.68. NRGB için orta zeminde ve $v=1000$ m/s de toplam yerdeğiştirler.....	97
Şekil 4.69. NRGB için orta zeminde ve $v=1000$ m/s de toplam M grafiği.....	98
Şekil 4.70. NRGB için yumuşak zeminde ve $v=1000$ m/s toplam yerdeğiştirler	99
Şekil 4.71. NRGB için yumuşak zeminde ve $v=1000$ m/s de toplam M grafiği	99
Şekil 4.72. NRGB için sert zeminde ve $v=\infty$ da toplam yerdeğiştirler	100
Şekil 4.73. NRGB için sert zeminde ve $v=\infty$ da toplam M grafiği	101

Şekil	Sayfa
Şekil 4.74. NRGB için orta zeminde ve $v=\infty$ da toplam yerdeğiştirler	102
Şekil 4.75. NRGB için orta zeminde ve $v=\infty$ da toplam M grafiği.....	102
Şekil 4.76. NRGB için yumuşak zeminde ve $v=\infty$ toplam yerdeğiştirler	103
Şekil 4.77. NRGB için yumuşak zeminde ve $v=\infty$ da toplam M grafiği	104

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
$[A]$	Mesnet noktalarının birim hareketinin neden olduğu statik yerdeğiştirme veya eleman kuvvetleri matrisi
$[C]$	Sönüm matrisi
$Cov(z^{qs}, z^d)$	Zahiri-statik ve dinamik tepki bileşenleri arasındaki kovaryans fonksiyonu
$[Crr]$	Bilinmeyen serbestlik dereceleri ile ilgili sönüm matrisi
d_{lm}	Mesnet noktaları arasındaki mutlak yatay uzaklık
d_{lm}^L	Dalga yayılma doğrultusunda mesnet noktaları arasındaki yatay izdüşüm uzaklığı
E_i	Kablo eşdeğer elastisite modülü
$e(t)$	Deterministik çarpım faktörü
$\{F\}$	Dış kuvvet vektörü
$H(w, t)$	Zamana bağlı frekans davranış fonksiyonu
$H(w)$	Frekans davranış fonksiyonu
$ H_g(w) ^2$	Kanai-Tajimi filtre fonksiyonu
$ H_{f<w}) ^2$	Clough-Penzien filtre fonksiyonu
I_m	Rijitlik matrisi
$[K]$	Bilinmeyen serbestlik dereceleri ile ilgili rij itlik matrisi
$[K_r]$	Kütle matrisi
$[M]$	Bilinmeyen serbestlik dereceleri ile ilgili kütle matrisi
$[M_r]$	Bilinen serbestlik derecelerinin birim hareketinden dolayı
$[M_{rg}], [C_{rg}], [K_{rg}]$	Bilinmeyen serbestlik derecelerinde meydana gelen kütle, sönüm ve rij itlik matrisleri
$[M_{gg}], [C_{gg}], [K_{gg}]$	Bilinen serbestlik derecelerinin birim hareketinden dolayı meydana gelen kütle, sönüm ve rijitlik matrisleri

Simgeler	Açıklama
n	Mod sayısı
p	Yer hareket ivmesinin fonksiyonu olan maksimum büyüklük faktörü
q	Sıfır seviyesinin ortalama geçiş sayısının fonksiyonu olan maksimum büyüklük faktörü
r	Yer hareket ivmesinin etkidiği mesnet serbestlik derecesi sayısı
$\{r\}$	Zemin yerdeğıştirmelerinin şekil vektörü
$[R_{rg}]$	r vektörlerinin oluşturduğu matris
$[R_z(\tau)]$	$z(t)$ tepki işleminin otokorelasyon fonksiyonu
$[R_z^{qs}(\tau)]$	$z(t)$ tepki işlemi zahiri-statik bileşeninin otokorelasyon fonksiyonu
$[R_z^d(\tau)]$	$z(t)$ tepki işlemi dinamik bileşeninin otokorelasyon fonksiyonu
$[R_z^{qs,d}(\tau)]$	$z(t)$ tepki işlemi zahiri-statik ve dinamik bileşenleri arasındaki karşıt korelasyon fonksiyonu
$S_{v_g}(w)$	Yerdeğıştirme spektral yoğunluk fonksiyonu
$S_{\ddot{x}_g}(w)$	Yer hareket ivmesinin spektral yoğunluk fonksiyonu
$S_{\ddot{x}_l, \ddot{x}_m}(w)$	1 ve m mesnet noktalarındaki yer hareket ivmelerinin karşıt spektral yoğunluk fonksiyonu
$[S_z(w)]$	$z(t)$ tepki işleminin spektral yoğunluk fonksiyonu
$[S_z^{qs}(w)]$	$z(t)$ tepki işlemi zahiri-statik bileşeninin spektral yoğunluk fonksiyonu
$[S_z^d(w)]$	$z(t)$ tepki işlemi dinamik bileşeninin spektral yoğunluk fonksiyonu
$[S_z^{qs,d}(w)]$	$z(t)$ tepki işlemi zahiri-statik ve dinamik bileşenleri arasındaki karşıt spektral yoğunluk fonksiyonu
S_0	Spektral yoğunluk fonksiyonu genlik değeri
T	Hareket süresi
$\ddot{x}(t)$	Yer hareket ivmesi

Simgeler	Açıklama
$\{v\}$	Toplam yerdeğiştirme vektörü
$\{v\}$	Toplam hız vektörü
$\{a\}$	Toplam ivme vektörü
$\{v_{dg}\}$	Bilinen serbestlik derecelerinin dinamik yerdeğiştirme vektörü
$\{v_{dg}\}$	Bilinen serbestlik derecelerinin dinamik hız vektörü
$\{a_{dg}\}$	Bilinen serbestlik derecelerinin dinamik ivme vektörü
$\{v_{dr}\}$	Bilinmeyen serbestlik derecelerinin dinamik yerdeğiştirme vektörü
$\{v_{dr}\}$	Bilinmeyen serbestlik derecelerinin dinamik hız vektörü
$\{v_g\}$	Bilinen serbestlik derecelerinin toplam yerdeğiştirme vektörü
$\{v_g\}$	Bilinen serbestlik derecelerinin toplam hız vektörü
$\{a_g\}$	Bilinen serbestlik derecelerinin toplam ivme vektörü
$\{v_r\}$	Bilinmeyen serbestlik derecelerinin toplam yerdeğiştirme vektörü
$\{v_r\}$	Bilinmeyen serbestlik derecelerinin toplam hız vektörü
$\{a_r\}$	Bilinmeyen serbestlik derecelerinin toplam ivme vektörü
$\{v_{sg}\}$	Bilinen serbestlik derecelerinin zahiri-statik yerdeğiştirme vektörü
$\{v_{sg}\}$	Bilinen serbestlik derecelerinin zahiri-statik hız vektörü
$\{a_{sg}\}$	Bilinen serbestlik derecelerinin zahiri-statik ivme vektörü
$\{v_{sr}\}$	Bilinmeyen serbestlik derecelerinin zahiri-statik yerdeğiştirme vektörü
$\{v_{sr}\}$	Bilinmeyen serbestlik derecelerinin zahiri-statik hız vektörü
$\{a_{sr}\}$	Bilinmeyen serbestlik derecelerinin zahiri-statik ivme vektörü
v_s	Kayma dalgası hızı
w	Dairesel doğal frekans (rad/s)
w_j	Moda ait doğal frekans
w_g	Birinci filtreye ait doğal frekans
w_f	İkinci filtreye ait doğal frekans

Simgeler	Açıklama
$z^{qs}(t)$	$z(t)$ tepki işlemine ait zahiri-statik bileşen
$z^d(t)$	$z(t)$ tepki işlemine ait dinamik bileşen
$[\Gamma]$	Modal katkı faktörü
$\{\Phi\}$	Modal vektör
∞	Korelasyon faktörü
γ_c	Kablo birim hacim ağırlığı
$\gamma_{lm}(w)$	Korelasyon fonksiyonu
$ \gamma_{lm}(w) $	Mesnetlere etkiyen yer hareketleri arasındaki korelasyon etkisi
μ	Ortalama maksimum değer
v_e	Sıfır seviyesinin indirgenmiş ortalama geçiş sayısı
v_0	Oluşma frekansı
$\theta_{lm}(w)^d$	Dalga yayılma etkisi
$\theta_{lm}(w)^z$	Zemin etkisi
σ	Kablo çekme gerilmesi
σ_z	$z(t)$ işleminin standart sapması
$\sigma_{\dot{z}}$	$z(t)$ işleminin türevinin standart sapması
σ_z^2	$z(t)$ tepki işleminin varyansı
$\sigma_z^{2^{qs}}$	$z(t)$ tepki işlemi zahiri-statik bileşeninin varyansı
$\sigma_z^{2^d}$	$z(t)$ tepki işlemi dinamik bileşeninin varyansı
τ	Saniye cinsinden zaman farkı
ξ_j	Moda ait sönüm oranı
ξ_g	Birinci filtreye ait sönüm oranı
$[\psi]$	Özvektör matrisi veya özvektörlerin neden olduğu eleman kuvvetleri matrisi
$z(t)$	Herhangi bir yapı tepki

1 . GİRİŞ

Bu tez çalışmasında yer hareketindeki değişim dikkate alınarak çelik kemer köprülerin stokastik davranışının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu anlamda asinkronize ve antisinkronize analizler için sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Ayrıca filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modeli gerçek bir yer hareketine ait spektral yoğunluk fonksiyonu kullanılmak suretiyle tahkik edilmektedir.

Deprem hareketi gibi dinamik yüklemeler önceden belirlenemediğinden deterministik yaklaşımlar yeterli doğrulukta sonuçlar vermemektedir. Bunun yanında stokastik analiz de daha güvenilir ve gerçekçi sonuçlar elde edilmesi mümkündür. Stokastik analiz ile projelendirme için diğer yöntemlere oranla daha çok bilgi edinilmektedir. Ayrıca yapı tepkilerinin oluşma frekansları ve olasılık dağılımları hakkında bilgi edinilmektedir.

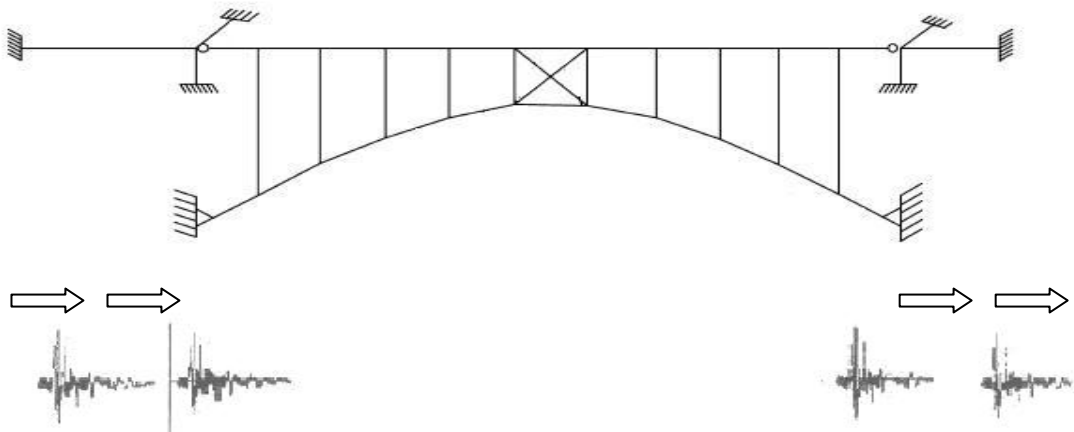
Stokastik analizde yer hareketi için ergodiklik kabulü yapılarak problemin incelenmesinde tek bir deprem kaydı kullanılmakta ve istatistiksel özelliklerin zamandan bağımsız olduğu stasyonerlik kabulü yapılarak hem hesaplar kolaylaştırılmakta hem de uygun sonuçlar elde edilmektedir. Deprem hareketi gibi farklı zamanlarda farklı istatistiklere sahip rasgele işlemler tüm hareket süresi boyunca stasyoner değildir. Ancak en büyük yapı tepkilerinin oluştuğu saniyeler boyunca stasyonerlik kabulü yapılabilir.

Klasik bir dinamik analizde yer hareketinin üniform olduğu ve köprünün tüm mesnetlerinde yer hareketinin aynı anda etkidiği kabul edilmektedir.

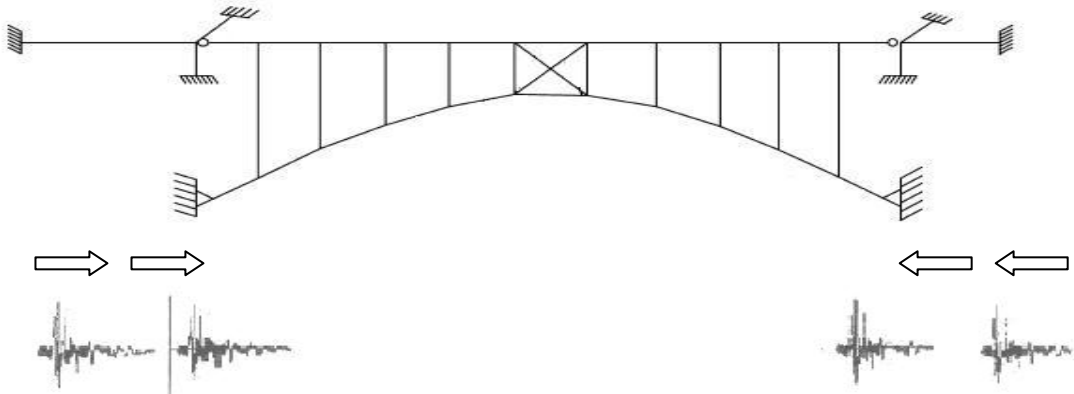
Köprülerin uzunlukları çok fazla olduğundan dolayı deprem hareketinin doğuracağı dinamik etkiler köprünün bir mesnetinden diğerine saniyeler sonra ulaşacaktır. Bu durumda mesnet noktalarının hareketinden dolayı oluşacak yer değiştirme bileşenleri köprünün her noktasında aynı olmayacaktır. Deprem hareketinin sonlu hızından dolayı, mesnet noktaları birbirlerine göre izafi olarak hareket edecektir. Dinamik yer değiştirmelere ek olarak bu hareketten dolayı köprüde ek eğilme momentleri ve

kesme kuvvetleri oluşacaktır. Dolayısıyla yer hareketinin sonlu hızla yayıldığı dikkate alınır, toplam yer değiştirmeler dikkate alınmalıdır. Uzunluğu yüzlerce metreyi bulan kemer köprülerde deprem dalgaları mesnetlerin birinden diğerine ulaşınca kadar belirli bir zaman geçmekte ve bu zaman içinde de dinamik etkinin şiddeti ve yönü değişebilmektedir. Deprem dalgalarının sonlu yayılma hızını dikkate alan, ancak etki doğrultusunu da aynı alan analiz asinkronize dinamik analiz olarak tanımlanır (Bkz. Şekil 1.1).

Asinkronize ve antisinkronize dinamik analizler ile yer değiştirmeler, zahiri-statik ve dinamik yer değiştirmelerin toplanması ile toplam yer değiştirmeler cinsinden; çeşitli hızlar için hesaplanmaktadır.



Şekil 1.1. Asinkronize düşey yer hareketine maruz kablolu köprü sistemi



Şekil 1.2. Antisinkronize düşey yer hareketine maruz kablolu köprü sistemi

Bunun yanında etki yönünün değişimini içeren analiz antisinkronize dinamik analiz olarak isimlendirilir. Benzer şekilde mesnet noktalarının farklı yönlerdeki hareketini dikkate alan, ancak yer hareketinin sonsuz hızla yayıldığını kabul eden analiz de zıtfazlı yer hareketi olarak adlandırılmaktadır (Bkz. Şekil 1.2).

Yapılan Çalışmalar

Der Kiureghian ve Neuenhofer

Değişen yer hareketi modeli için rastgele titreşim teorisine dayalı yeni bir davranış spektrum yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntemde dalga yayılma etkisi, artan mesafe ile birlikte azalan korelasyon etkisi, artan mesafe ile birlikte azalan korelasyon etkisi ve zemin şartlarındaki değişimden kaynaklanan yer hareketi değişimi dikkate alınmıştır [1,2].

Hawwari

Golden Gate Asma Köprüsünün yer hareketleri arasındaki korelasyon etkilerini ve deprem dalgasının yayılma hızını dikkate alarak stokastik davranışını incelemiştir[3].

Hyun, Yun ve Lee

Asma köprülerin stasyoner olmayan davranış için korelasyon etkilerini incelemiştir. Zamana bağlı olarak değişen bir zarf fonksiyon ile stasyoner olmayan etkiyi dikkate alan bir yöntem geliştirmişlerdir [4].

Hao

Değişen yer hareketi etkisindeki dairesel kemerlerin stokastik analizi üzerinde çalışmıştır. Çalışmasında malzeme özellikleri ve kemer açıklığı değiştirilmek sureti ile korelasyon ve dalga yayılma etkilerini dikkate almıştır. Sonuç olarak yapının ve yer hareketinin özelliklerine, tepki büyüklüğünün hesaplanacağı noktaya bağlı olarak

yer hareketindeki değişiminin ihmal edilmesinin tepkilerin olduğundan küçük veya büyük çıkmasına neden olabileceği belirtilmektedir [5].

Harichandran, Hawwari ve Sweidan

Golden Gate Asma Köprüsü ve iki tane kemer köprünün stasyoner ve stasyoner olmayan tepkileri için üniform ve değişen yer hareketi durumları için bir karşılaştırma yapmışlardır. Çalışma sonucunda asma köprülerin analizinde stasyoner olmayan etkilerin irdelenmesinin büyük önem gerektirdiğini vurgulamış ve uzun açıklıklı köprüler için üniform yer hareketi durumlarının sağlıklı sonuçlar vermediği gösterilmiştir [6].

Zerva

Yaptığı çalışmada deprem esnasında yer hareketindeki değişimin belirlenmesini sağlayan analitik bir yöntem geliştirmiştir. Önerilen model işe elde edilen spektral yoğunluk fonksiyonlarının gerçek bir deprem hareketi ile karşılaştırılması sonucu geliştirilen modelin uygunluğu gösterilmektedir. Çalışma sonucunda değişen yer hareketinin sonuçlar üzerinde etkili olduğu vurgulanmaktadır [7].

Harichandran ve Wang

Yapı mesnetlerindeki yer hareketleri arasındaki korelasyon ve deprem dalgası yayılma hızını dikkate alan bir çalışma yapmışlardır [8-11].

Sweidan

Değişen yer hareketi etkisindeki kemer köprülerin stokastik analizi üzerinde çalışmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile rasgele titreşim teorisini kullanarak mesnet noktalarındaki yer hareketleri arasındaki korelasyon etkilerini ve deprem dalgası yayılma hızını dikkate almıştır. Sonuç olarakta yer hareketi parametrelerinin ve yer hareketi yayılma hızında önemini vurgulamıştır. Kemer köprülerin stasyoner

olmayan davranışı da incelenmiş olup, stasyoner duruma yakın sonuçlar bulunduğu belirtilmektedir [12].

Allam ve Datta

Çalışmalarında yer hareketine ait davranış spektrumu ve spektral yoğunluk fonksiyonu arasındaki ilişki ile rasgele titreşim teorisinin temellerine dayanan yöntem ile incelemelerde bulunmuşlardır. Yöntemin uygulanabilirliği, davranış spektrum yöntemi ile elde edilen tepki bileşenleri frekans alanındaki spektral analiz yöntemi ile bulunan sonuçlarla karşılaştırılmak suretiyle tahkik edilmektedir [13,14].

Monti, Nuti ve Pinto

Mesnetlerinden farklı yer hareketleri etkisindeki köprülerin lineer olmayan stokastik davranışını incelemişlerdir. Üniform olmayan yer hareketi için değişik rijitlik ve süreklilikte köprülerin projelendirilmesi incelenmiştir. İncelenen köprülerde merkez ayaklardaki kuvvetler fazla çıkarken, kenar ayaklara yakın noktalarda tersi durum gözlenmiştir [15].

Zembaty

Değişen yer hareketi davranışını rasgele titreşim teorisine bağlı olarak zahiri-statik ve dinamik bileşenleri dikkate alarak çalışmıştır. Sonuçta yer değiştirmelerin üniform harekete oranla yayılma hızı ve açısının eleman kuvvetlerini nasıl etkilediği vurgulanmıştır [16,17].

Allam ve Datta

Değişen yer hareketi etkisindeki kablolu köprülerin stokastik analizi üzerinde çalışmışlardır. Rasgele yer hareketi, spektral yoğunluk fonksiyonu ve korelasyon etkisi ile ifade edilmiştir. Çalışma sonucunda korelasyon etkilerinin önemi vurgulanmıştır [18].

Dumanoğlu ve Soyluk

Mesnetlerden farklı yer hareketi etkisindeki kablolu köprülerin stokastik analizini incelemişlerdir. Yer hareketi olarak filtre edilmiş beyaz gürültü (FWD) modeli kullanılmıştır. Çalışmalarda zemin şartlarındaki değişim dikkate alınmak suretiyle aralarında korelasyon olmayan farklı yer hareketi için köprünün dinamik davranışı üzerindeki önemli etkileri vurgulanmıştır [19-21].

Soyluk, Dumanoğlu ve Bayraktar, Soyluk ve Dumanoğlu ve Dumanoğlu ve Soyluk

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 yer değiştirme ve eleman kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Çalışmaların sonucunda yer hareketinin sonlu yayılma hızının sonuçlar üzerinde önemli etkilerinin olduğu belirlenmiştir [22-27].

Dusseau, R. A.

Çelik kemer köprülerin sismik analizi üzerine çalışmıştır. Bu amaçla LINSTRUC adlı bir sonlu eleman programı geliştirmiştir. Çalışmasında üniform ve üniform olmayan yer hareketi için kemer köprülerin zaman tanımı alanında çözümlerini gerçekleştirmiştir [28].

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Formülasyonlar

Bu bölümle üniform olmayan yer hareketi için stokastik analiz formülasyonu verilmektedir. Hareket denklemlerinin sonlu eleman formülasyonu ile rasgele titreşim analizi için söz konusu olan spektral yoğunluk fonksiyonu, varyans ve kovaryans ifadeleri yanında, tepki bileşenlerine ait ortalama maksimum değer ve oluşma frekansı için gerekli denklemler elde edilmektedir.

2.1.1. Hareket denklemlerinin sonlu eleman formülasyonu

N serbestlik dereceli bir sistemin hareket denklemi,

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

$[M]$: Kütle Matrisi	$\{\ddot{v}\}$: İvme vektörü
$[C]$: Sönüm Matrisi	$\{\dot{v}\}$: Hız vektörü
$[K]$: Rijitlik Matrisi	$\{v\}$: Yer değiştirme vektörü
$\{F\}$: Dış kuvvet	

Burada dış kuvvet sıfırdır, yapı-zemin etkileşim yüzeyi boyunca mevcut serbestlik dereceleri ile ilgili yer değiştirme, hız ve ivmeler bilinmektedir. Burada yer hareketinin bilinen ve bilinmeyen yapı-zemin etkileşim yüzeyi ile ilgili serbestlik derecelerinin ivme, hız ve yer değiştirmeleri olarak iki bileşene ayırırsak denklem iki gruptan oluşacaktır. Burada $\{v_r\}$ bilinmeyen serbestlik dereceleri vektörleri, $\{v_g\}$ ise bilinen serbestlik dereceleri vektörleri ile gösterilirse;

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

formunda bir matematiksel ifade elde edilir.

Dolayısıyla,

$[M_{rr}]$, $[C_{rr}]$, $[K_{rr}]$; bilinmeyen serbestlik derecelerinden oluşan, sırasıyla kütle, sönüm, rijitlik matrislerini,

$[M_{rg}]$, $[C_{rg}]$, $[K_{rg}]$; her bilinen serbestlik derecesinin birim hareketinden dolayı bilinmeyen serbestlik derecelerinde meydana gelen kütle, sönüm, rijitlik matrislerini,

$[M_{gg}]$, $[C_{gg}]$, $[K_{gg}]$; her bilinen serbestlik derecesinin birim hareketinden dolayı bilinen serbestlik derecelerinde meydana gelen kütle, sönüm, rijitlik matrislerini,

$[M_{gr}]$, $[C_{gr}]$, $[K_{gr}]$; sırası ile $[M_{rg}]$, $[C_{rg}]$, $[K_{rg}]$ ifadelerinin transpozelerine karşılık gelmektedir.

$\{\ddot{v}_r\}$, $\{\dot{v}_r\}$, $\{v_r\}$; bilinmeyen serbestlik derecelerinin sırasıyla toplam ivme, hız, ve yer değiştirme vektörleri

$\{\ddot{v}_g\}$, $\{\dot{v}_g\}$, $\{v_g\}$; bilinen serbestlik derecelerinin sırasıyla toplam ivme, hız, ve yer değiştirme vektörleri şeklinde gösterilirse Eş. 2.3 den bilinmeyen serbestlik derecelerine 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. Bu denklemi daha basit hale getirmek için, toplam yer değiştirme, v_r ,iki bileşenin toplamı olarak yazılabilir. Bunlardan biri bilinen serbestlik derecelerinin farklı hareketinden diğeri ise atalet kuvvetlerinin etkisinden kaynaklanmaktadır. Atalet kuvvetleri düğüm noktaları ivme ve kütlelerinin etkisinden kaynaklanmaktadır. Atalet kuvvetleri düğüm noktaları ivme ve kütlelerinin çarpımından ibaret olduğu için, ikinci yer değiştirme bileşeni dinamik olarak tanımlanıp v_d ile gösterilecektir. Birinci yer değiştirme bileşeninin hesaplanmasında kütlenin etkisi dikkate alınmadığından, söz konusu yer değiştirme zahiri-statik olarak isimlendirilmekte ve v_s ile gösterilmektedir. bu durumda Eş.2.2

deki denklemdeki yer değiştirme vektörleri,

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

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

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

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

$$- [M_{rr} M_{rg}] \begin{Bmatrix} \ddot{x}_{sr} \\ \ddot{x}_{sg} \end{Bmatrix} - [C_{rr} C_{rg}] \begin{Bmatrix} \dot{x}_{sr} \\ \dot{x}_{sg} \end{Bmatrix} - [K_{rr} K_{rg}] \begin{Bmatrix} v_{sr} \\ v_{sg} \end{Bmatrix} \quad (2.6)$$

şeklinde yazılabilir. Sönüm matrisi rijitlik matrisi ile orantılı ise yukarıdaki denklemde sönüm kuvvetleri, rijitlik ve atalet kuvvetleri ile karşılaştırıldığında çok küçük kalmakta ve ihmal edilebilmektedir. Bu durumda;

$$\{F_{eff}\} = - [M_{rr} \quad M_{rg}] \begin{Bmatrix} \ddot{x}_{sr} \\ \ddot{x}_{sg} \end{Bmatrix} \quad (2.7)$$

İfadesi elde edilmektedir. Eş. 2.6.'nın son terimi sıfıra eşit olduğundan,

$$[K_{rr}]\{v_{sr}\} = - [K_{rg}]\{v_{sg}\} \quad (2.8)$$

şeklinde yazılabilir. Birçok durumda $[M_{rg}]$ matrisinin sıfırdan farklı terimleri çok azdır. Dolayısıyla, depremden dolayı meydana gelen etkili kuvvet vektörüne katkısı

çok az olacağından ihmal edilebilir. Özellikle diyagonal kütle metrisleri için $[M_{rg}]$ matrisi sıfır olmaktadır. Bu durumda denklem tekrar düzenlenirse,

$$[M_{rr}]\{\ddot{\mathbf{x}}_{dr}\} + [C_{rr}]\{\dot{\mathbf{x}}_{dr}\} + [K_{rr}]\{\mathbf{x}_{dr}\} = -[M_{rr}][R_{rg}]\{\ddot{\mathbf{x}}_{sg}\} \quad (2.9)$$

ifadesi yazılabilir. Burada $\{\ddot{\mathbf{x}}_{sg}\}$ her bilinen serbeslik derecesine uygulanan ivme vektörünü göstermektedir. Eş. 2.9 un çözümü için, modların süpersozisyonu yöntemi kullanılmaktadır. Açısal frekans w_i ve mod vektörleri $\{\Phi\}$,

$$[M_{rr}]\{\ddot{\mathbf{x}}_{dr}\} + [K_{rr}]\{\mathbf{x}_{dr}\} = 0 \quad (2.10)$$

ifadesiyle sönümsüz serbest titreşim denklemlerinden elde edilmektedir.

Bilinmeyen serbestlik derecelerinin dinamik yer değiştirme bileşeni, $\{\mathbf{v}_{dr}\}$,

$$\{\mathbf{v}_{dr}\} = [\phi]\{Y\} \quad (2.11)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Burada $\{Y\}$ modal genliği göstermektedir. Eş. 2.11, Eş. 2.10 denkleminde yerine konur ve gerekli düzenlemeler yapılırsa

$$\ddot{Y}_i + 2\xi_i w_i \dot{Y}_i + w_i^2 Y_i = -\frac{P_i}{M_i} \quad (2.12)$$

bağıntısı elde edilmektedir. Burada ξ_i sönüm oranını gösterirken,

$$\xi_i = \frac{C_i}{2\sqrt{K_i M_i}} \quad w_i = \sqrt{\frac{K_i}{M_i}} \quad (2.13)$$

$$M_i = \{\phi_i\}^T [M_{rr}] \{\phi_i\} \quad (2.14)$$

$$P_i = \{\phi_i\}^T [M_{rr}][R_{rg}]\{\ddot{\mathbf{x}}_{sg}\} \quad (2.15)$$

Eşitlikleri yazılabilmektedir. Daha önce de tanımlandığı gibi $\{\ddot{\mathbf{x}}_{sg}\} = \{\ddot{\mathbf{x}}_g\}$ eşitliği kullanılır ve modal katkı faktörü,

$$\{\Gamma_i\} = [M_{rr}] [R_{rg}] \{\phi_i\} \quad (2.16)$$

şeklinde tanımlanırsa Eş. 2.15 denklemi,

$$P_i = \{\Gamma_i\}^T \{\ddot{x}_g\} \quad (2.17)$$

şeklinde yazılabilir. P_i kuvvetleri vektör şeklinde ve modal katkı faktörleri matris formda gösterilirse Eş. 2.17 denklemi,

$$\{P\} = [\Gamma]^T \{\ddot{x}_g\} \quad (2.18)$$

şeklinde elde edilir.

2.1.2. Rasgele titreşim analizi

$z(t)$: herhangi bir yapı tepkisi

$z(t)$ 'nin otokorelasyon fonksiyonu:

$$[R_z(\tau)] = E[\{z(t)\} \{z(t+\tau)\}] \quad (2.19)$$

$z(t)$ tepkisi zahiri-statik ve dinamik bileşenlere ayrılırsa,

$$z(t) = z^{ps}(t) + z^d(t) \quad (2.20)$$

Burada $z^{ps}(t)$ zahiri statik tepki bileşenleri, $z^d(t)$ dinamik tepki bileşenleri göstermektedir. Eş. 2.10 ifadesi Eş. 2.21 ifadesinde yerine yazılırsa;

$$[R_z(\tau)] = E[\{z^{qs}(t)\} \{z^d(t)\} \{z^{qs}(t+\tau)\} \{z^d(t+\tau)\}] \quad (2.21)$$

$$[R_z(\tau)] = [R_z^{qs}(\tau)] + [R_z^d(\tau)] + [R_z^{qs^d}(\tau)] + [R_z^{qs^d}(\tau)] \quad (2.22)$$

elde edilir. Burada;

$[R_z^{qs}(\tau)]$: zahiri statik tepki bileşeni

$[R_z^d(\tau)]$: dinamik tepki bileşeni

$[R_z^{qs^d}(\tau)]$ ve $[R_z^{qs^{qs}}(\tau)]$: zahiri-statik ve dinamik tepki bileşenleri arasındaki karşıt korelasyon fonksiyonunu göstermektedir.

Denklem Eş. 2.13 te forier dönüşümü alınırsa $z(t)$ spektral yoğunluk fonksiyonu elde edilir.

$$[S_z(w)] = [S_z^{qs}(w)] + [S_z^d(w)] + [S_z^{qs^d}(w)] + [S_z^{qs^{qs}}(w)] \quad (2.23)$$

$[S_z^{qs}(w)]$: zahiri-statik tepki bileşeni

$[S_z^d(w)]$: dinamik tepki bileşeni

$[S_z^{qs^d}(w)] + [S_z^{qs^{qs}}(w)]$ zahiri-statik ve dinamik tepki bileşenleri arasındaki karşıt spektral yoğunluk fonksiyonu ile ifade edilmektedir. Zahiri-statik ve dinamik tepki bileşenleri arasındaki karşıt spektral yoğunluk fonksiyonu için;

$$[S_z^{qs^d}(w)] + [S_z^{*qs^{qs}}(w)] \quad (2.24)$$

eşitliği yazılabilir. Burada, * kompleks eşleniği göstermektedir.

2.1.3. Dinamik tepki bileşeninin varyansı

Dinamik tepki bileşeninin spektral yoğunluk fonksiyonu;

$$S_{z_i}^d(w) = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^r \sum_{m=1}^r \Psi_{ij} \Psi_{ik} \Gamma_{lj} \Gamma_{mk} H_j(-w) H_k(w) S_{\xi_l \xi_m}^{\xi_l \xi_m}(w) \quad (2.25)$$

İfadesiyle tanımlanır. Burada, n dikkate alınan mod sayısını gösterirken, r yer hareket ivmesinin etkilediği mesnet serbestlik derecesi sayısını, Γ_{lj} modal katkı faktörünün l.elemanını, φ_{ij} j.modun neden olduğu z_i tepkisini, $S_{\mathbf{g}_l \mathbf{g}_m}(w)$ l ve m mesnet noktalarındaki yer hareket ivmelerinin karşıt spektral yoğunluk fonksiyonunu göstermektedir. Ayrıca bu ifadede tanımlanan frekans davranış fonksiyonu,

$$H_j(w) = \frac{1}{w_j^2 - w^2 + 2i\xi_j w_j w} \quad (2.26)$$

Şeklinde ifade edilmektedir. Burada w_j ve ξ_j sırası ile j.moda ait doğal frekansı ve sönüm oranını göstermektedir.

2.1.4. Zahiri-statik tepki bileşeninin varyansı

Zahiri-statik tepki bileşeni,

$$\{z^{qs}(t)\} = [A] \{v_g\} \quad (2.27)$$

Burada, $[A] = [R_{rg}] = -[K_{rr}]^{-1}[K_{rg}]$ statik yer değiştirmeleri ifade ederken $[A]$, mesnet noktalarının birim hareketinden ötürü meydana gelen eleman kuvvetlerini ifade etmektedir.

$z^{qs}(t)$ tepki bileşenlerinin spektral yoğunluk fonksiyonu,

$$S_{z_i}^{qs}(w) = \frac{1}{w^4} \sum_{l=1}^r \sum_{m=1}^r A_{il} A_{im} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{w^4} S_{\mathbf{g}_l \mathbf{g}_m}(w) \quad (2.28)$$

ifadesi ile elde edilmektedir. Burada A_{il} 1 mesnet serbeslik derecesinin birim hareketinin neden olduğu z_i tepkisini göstermektedir.

$z^{qs}(t)$ 'nin varyansı,

$$\sigma_{z_i}^{2qs}(w) = \sum \sum A_{il} A_{im} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{w^4} s_{\mathbf{z}_l \mathbf{z}_m} (w) dw \quad (2.29)$$

ifadesi ile hesaplanabilir.

2.1.5. Zahirî-statik ve dinamik tepki bileşenleri arasındaki kovaryans fonksiyonu

$z^{qs}(t)$ ve $z^d(t)$ tepki işlemleri arasındaki karşıt spektral yoğunluk fonksiyonu,

$$S_{z_i z_i}^{qs d}(w) = -\frac{1}{w^2} \sum \sum \sum \Psi_{ij} A_{il} \Gamma_{mj} H_j(w) s_{\mathbf{z}_l \mathbf{z}_m} (w) \quad (2.30)$$

Zahirî-statik ve dinamik bileşenler arasındaki kovaryans fonksiyonu denklemi integre edilmek suretiyle

$$Cov(z_i^{qs}, z_i^d) = \text{Re} \left[\int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i z_i}^{qs d}(w) dw \right] = \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^r \sum_{m=1}^r \Psi_{ij} A_{il} \Gamma_{mj} \left[- \int \frac{1}{w^2} H_j(w) s_{\mathbf{z}_l \mathbf{z}_m} (w) dw \right] \quad (2.31)$$

ifadesi ile hesaplanır.

2.1.6. Toplam tepki bileşeninin varyansı

Toplam varyans değeri, zahirî-statik, dinamik ve kovaryans terimlerinin toplanması ile

$$\sigma_{z_i}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i}^{qs}(w) dw + \int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i}^d(w) dw + 2 \text{Re} \left[\int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i}^{qs d}(w) dw \right] \quad (2.32)$$

$$\sigma_{z_i}^2 = \sigma_{z_i}^{2qs} + \sigma_{z_i}^{2d} + 2Cov(z_i^{qs}, z_i^d) \quad (2.33)$$

Burada Re , gerçel kısmı gösterirken $\sigma_{z_i}^{2qs}$ ve $\sigma_{z_i}^d$ sırasıyla zahirî-statik ve dinamik

tepki bileşenlerinin varyansını, $Cov(z_i^{qs}, z_i^d)$ ise zahiri-statik ve dinamik tepki arasındaki kovaryansı göstermektedir.

2.1.7. Ortalama maksimum değer ve oluşma frekansı

Stokastik analizde ortalama maksimum değer, maksimum büyüklük faktörüne ve $z(t)$ işleminin standart sapmasına (σ_z) bağlı olarak ifade edilmektedir.

$$\mu = p\sigma_z \quad (2.34)$$

Standart sapma varyansın karekökü alınmak suretiyle hesaplanmaktadır. μ 'nün standart sapması ise,

$$\sigma = q\sigma_z \quad (2.35)$$

Burada p ve q sırası ile, yer hareketinin ivmesinin ve sıfır seviyesinin ortalama geçiş sayısının fonksiyonu olmak üzere;

$$p = \sqrt{(2\ln \nu_e T)} + \frac{0,5772}{\sqrt{(2\ln \nu_e T)}} \quad (2.36)$$

$$q = \frac{1,2}{\sqrt{(2\ln \nu_e T)}} - \frac{5,4}{13 + (2\ln \nu_e T)^{3,2}} \quad (2.37)$$

şeklinde ifade edilir.

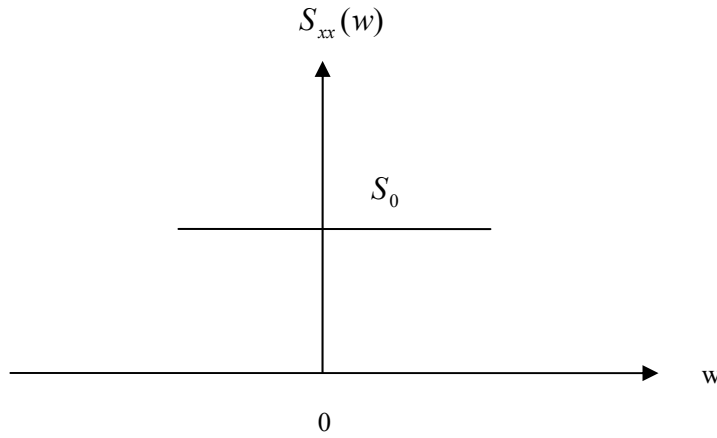
ν_0 oluşma frekansı ise;

$$\nu_0 = \frac{1}{\pi} \frac{\sigma_z}{\sigma_z} = \frac{1}{\pi} \left(\frac{\int_{-\infty}^{\infty} w^2 S_z(w) dw}{\int_{-\infty}^{\infty} S_z(w) dw} \right)^{1/2} \quad (2.36)$$

şeklinde elde edilir.

2.2. Beyaz Gürültü

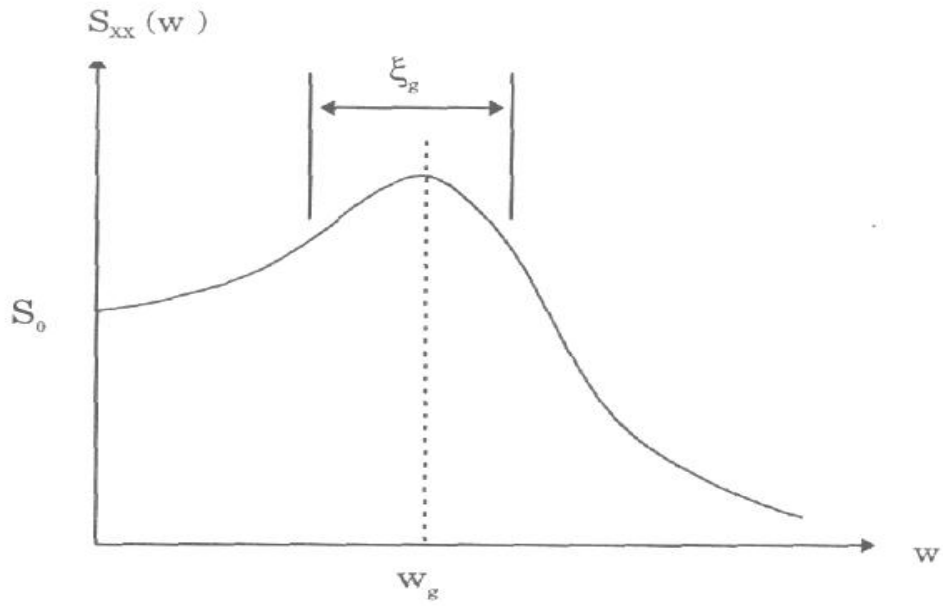
Frekans bandı genişliği sonsuz olan işlem beyaz gürültü işlemi olarak adlandırılır. Böylece, bir işlemde tüm frekans değerleri eşit bir şekilde temsil edilmiş olur. Güç spektral yoğunluk fonksiyonu, beyaz ışıpta olduğu gibi tüm frekans bölgesini yaklaşık olarak üniform bir şekilde kapladığından, beyaz gürültü olarak isimlendirilmiştir. Fiziksel olarak beyaz gürültü mümkün değildir. Çünkü bir ifade ile beyaz gürültü sonsuz güç içermektedir (Bkz. Şekil 2.1).



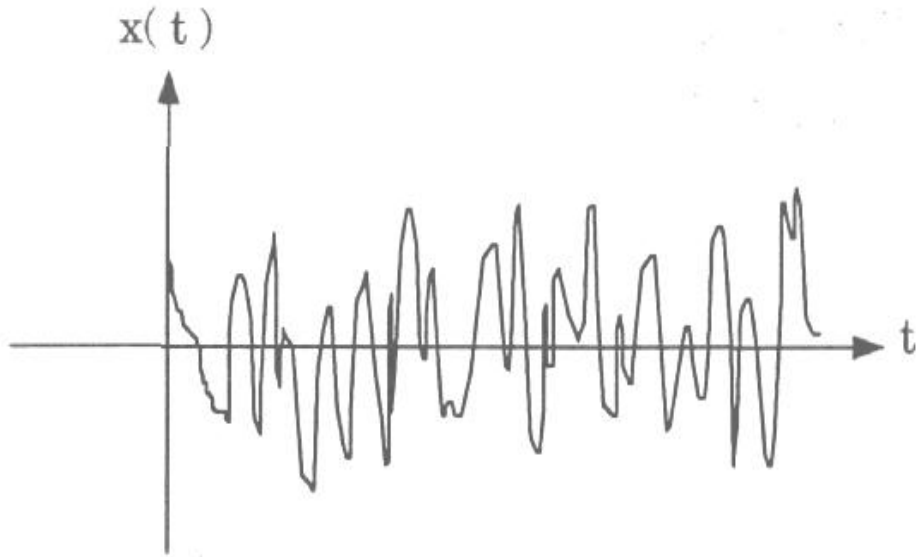
Şekil 2.1. Beyaz gürültü işlemi için spektral yoğunluk fonksiyonu

2.3. Filtre Edilmiş Beyaz Gürültü

Beyaz gürültüden farklı olarak, diğer bir stasyonær girdi modeli de filtre edilmiş beyaz gürültüdür. Aşağıda filtre edilmiş beyaz gürültü için güç spektral yoğunluk fonksiyonu ve beyaz gürültü işlemine ait bir örnek fonksiyon gösterilmiştir (Bkz. Şekil 2.2, Şekil 2.3).



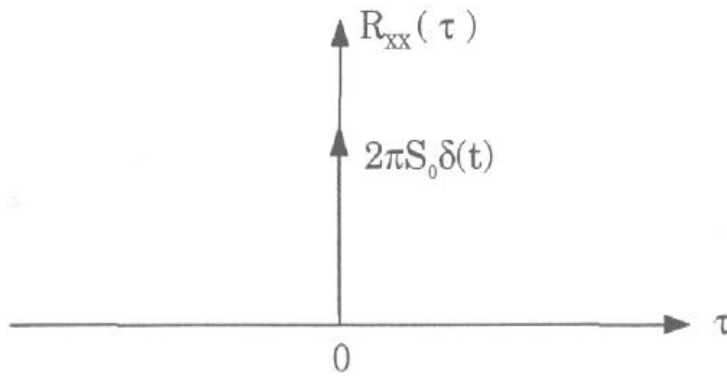
Şekil 2.2. Filtre edilmiş beyaz gürültü için güç spektral yoğunluk fonksiyonu



Şekil 2.3. Beyaz gürültü işlemine ait bir örnek fonksiyon

Beyaz gürültü işlemleri genelde fiziksel olarak gerçek gözükmemelerine rağmen, matematiksel analizleri önemli ölçüde kolaylaştıran özelliklere sahiptirler ve birçok rastgele fiziksel olayı modellemede geniş ölçüde kullanılmaktadırlar. Beyaz gürültü

tüm T 'lar için otokorelasyon fonksiyonunun sıfır olmasını gerektirdiğinden, t ve $(t+1)$ 'daki rastgele değişkenler arasındaki istatistiksel bağımsızlığı göstermektedir. İdeal beyaz gürültü, rastgele işlemin karesel ortalamasının sonsuz olmasına neden olduğundan, fiziksel olarak mümkün değildir. Bununla birlikte sistemde bir miktar sönüm olması durumunda, etkinin karesel ortalaması sonsuz olsa bile, tepkinin karesel ortalaması sonlu olacaktır (Bkz. Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Beyaz gürültü işlemi için otokorelasyon fonksiyonu

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

3.1. Köprülerin Tanımlanması

3.1.1. Kemer köprüler

Bu bölümümde, kemer yapılarının temel özellikleri ile bunların sınıflandırılması ele alınmaktadır.

Çelik ve takviyeli betondan yapılmış olan kemer köprüler, tüm Dünyada ulaştırma şebekeleri kapsamında kullanılmaktadır. Yapı çeliğinin kullanılması ile, uzunlukları asgari yaklaşık 60 m ile azami 550 m arasında değişen uzun mesafeli kemer köprüleri ekonomik olarak yapmak mümkün olmaktadır. Mevcut yüksek dayanımlı çelikler ve uygun zemin koşulları ile yaklaşık 610 m uzunluğundaki mesafeler, ekonomik kemer yapımı için mümkün olmaktadır.

Kemer kesitleri, eksenel kuvvet, eğilme momenti ve kesme kuvvetine göre projelendirilir; bunların güçleri, basınç hattının yerine (uygulanan yüklerin halat poligonu) bağlı olur, aynı biçimde yüklenmiş parabolik kemerlerde olduğu gibi. Basınç hattının, kemer eksenine ile kesişmesi halinde, tüm kesitler, her hangi bir moment ya da kesme olmadan sıkıştırma işlemine tutulur. Basınç hattının, kısmın çekirdeğine rastlaması halinde, moment ya da kesmeye bağlı olarak itme meydana gelecektir fakat kesit üzerinde her hangi bir gerilme olmayacaktır. Son olarak, yapı biçiminin basınç hattından değişik olması halinde ise, moment hakim durumda olabilir.

3.1.2. Kemer köprülerin sınıflandırılması

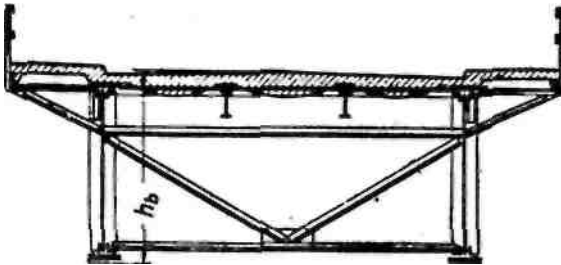
Kemer köprüler, takviyeli ya da katı pervazlı olarak sınıflandırılır. Yatay itkinin, tepki noktaları arasında yapı bağları ile alınması halinde, bu takdirde söz konusu kemere bağlı kemer denir.

Kemerler aynı zamanda, statik belirsizlik derecelerine göre de sınıflandırılır. Uçlarda

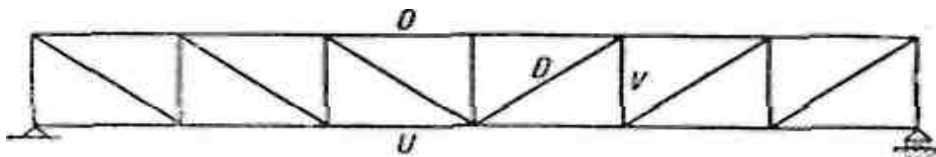
dönmenin engellendiği sabit bir kemer, üç dereceli belirsiz yapı olmaktadır. Tek menteşeli bir kemer, iki dereceli bir belirsiz yapı olmaktadır. İki menteşeli ve üç menteşeli kemerler ise, sırası ile, bir ve sıfır dereceli belirsiz yapılar olmaktadır.

Ayrıca, kemer köprüler, kemerler tamamen tabliye altında olduğu durumlarda, “tabliye yapım” olarak sınıflandırılır; kemer tamamen tabliye üstünde ve bağlantı tabliye seviyesinde ise, o zaman kemer köprü “kemer geçmeli” olarak sınıflandırılır; tabliyenin, yay tertibatı ile baş kısmı arasında ara yüksekliğinde olması durumunda, kemer köprüye “yarı kemer geçmeli” denir.

Bu incelemede, tabliyeli kemer köprüleri üzerinde durulmaktadır, çünkü köprü kütlesi, yay düzeneğinden yüksek bir irtifada tabliye üzerinde odaklanmaktadır. Bu ise, diğer kemer köprü türlerine oranla, tabliyeli kemer köprülerini, sismik yer hareketlerine karşı oldukça hassas bir konuma sokar. Aşağıdaki şekillerde tipik tabliyeli kemer köprü sistemleri gösterilmektedir.



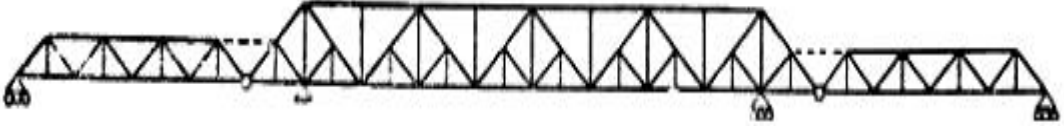
Şekil 3.1. Şose köprüsü en kesidi



Şekil 3.2. Ana kirişlerin kafes sistem olan basit kiriş şeklindeki çelik demiryol köprüsü

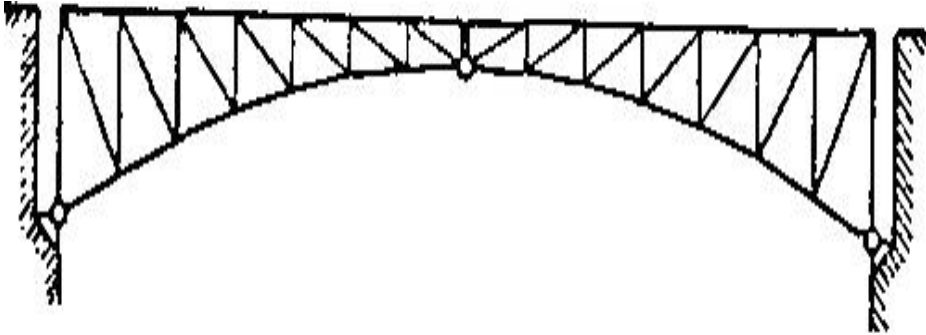


Şekil 3.3. Çok açıklıklı demiryol köprüsü (Kafes sistem veya dolu gövdeli olabilir)

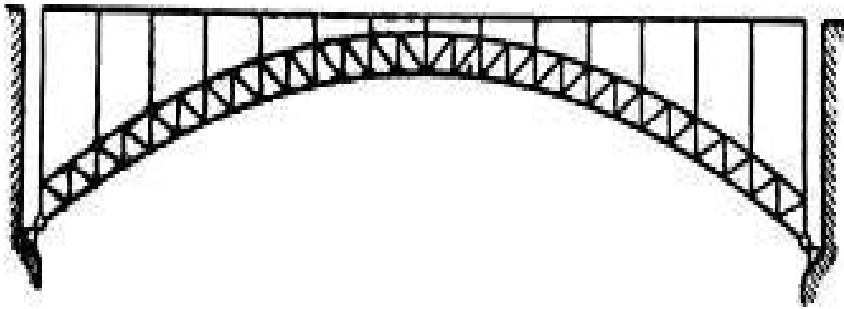


Şekil 3.4. Gerber sistem köprüler (Dolu gövde kafes sistem olabilir)

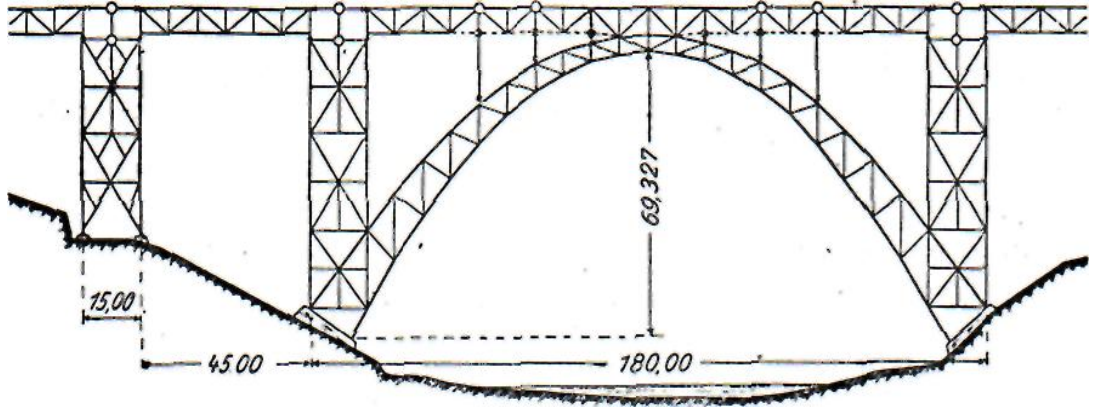
Kemer köprüler



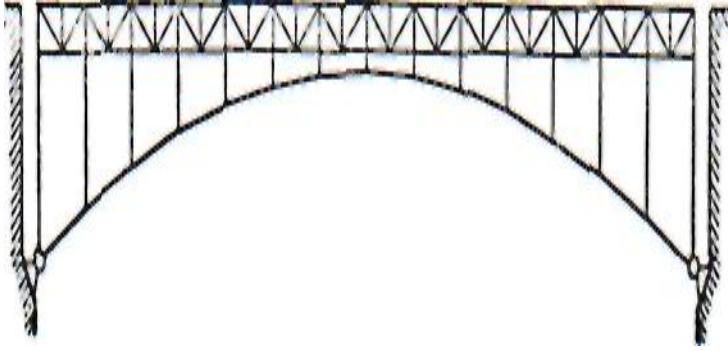
Şekil 3.5. Üç mafsallı kemer köprü



Şekil 3.6. İki mafsallı kemer köprü

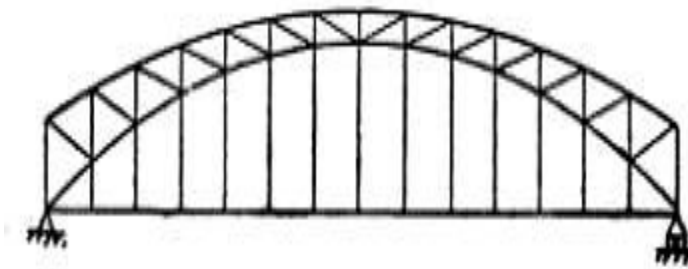


Şekil 3.7. Ankastre veya mafsalsız kemer köprü

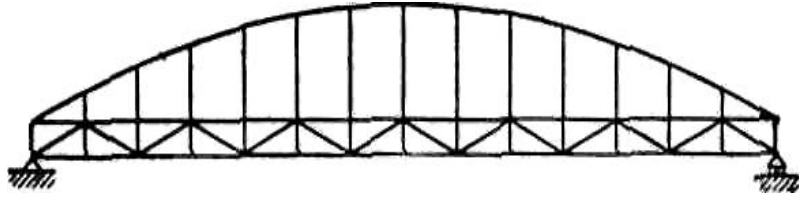


Şekil 3.8. Rijitlik kirişi ile rijit bir hale getirilmiş çubuk kemerli köprü

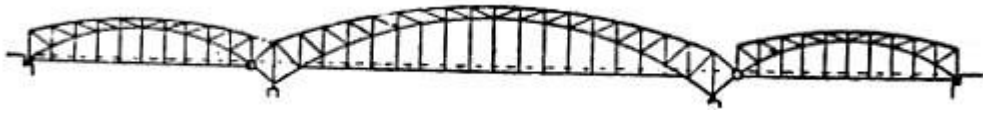
Gergi çubuklu kemer köprüler



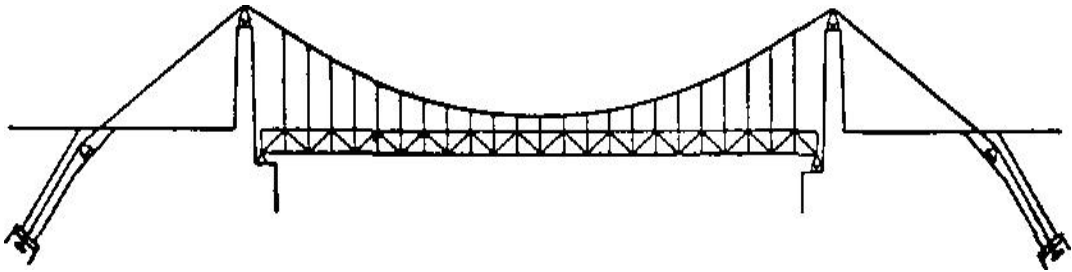
Şekil 3.9. Mesnetlerin biri hareketli diğeri sabit basit kirişli köprü



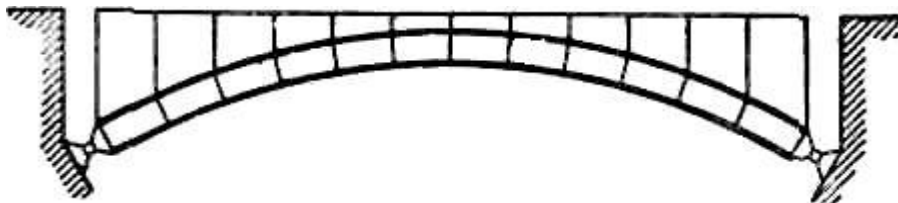
Şekil 3.10. Rijitlik kirişi ile hem rijit bir hale getirilmiş ve hem de mesnet bakımından basit kirişli köprüler



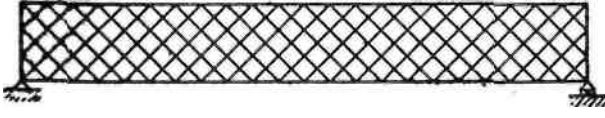
Şekil 3.11. Kemerli köprülerin ana kemerleri bir çok mesnetler üzerinden mütemadi bir sistem olarak aşılabılır. Uygun yerlere mafsal koyarak bu mütemadiliği bozulabilir



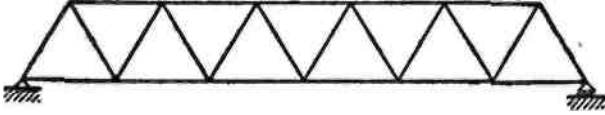
Şekil 3.12. Asma köprü



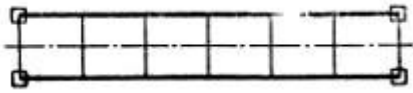
Şekil 3.13. Ana kirişleri dolu gövdeli olan köprüler (Bkz. Şekil 3.9 da bu sınıfa girebilir)



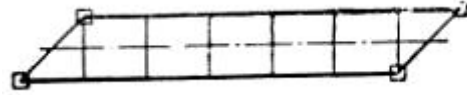
Şekil 3.14. Ana kiriş gövdesi sık kafes olan köprüler



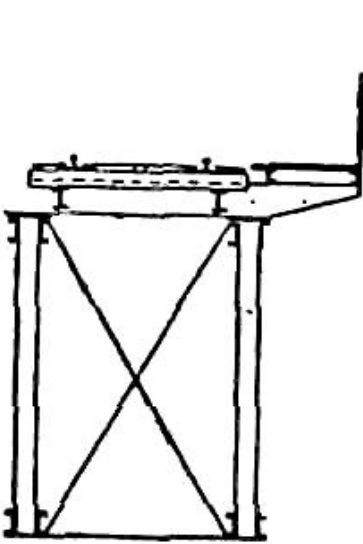
Şekil 3.15. Kafes kiriş köprüler



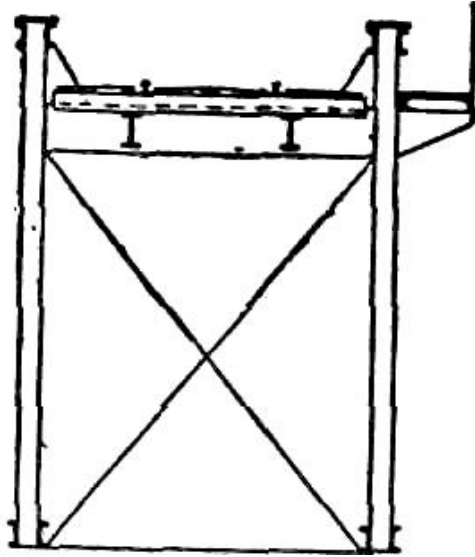
Şekil 3.16. Dik köprüler



Şekil 3.17. Verve köprüler

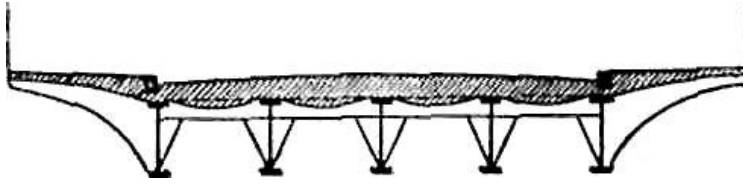


(a)



(b)

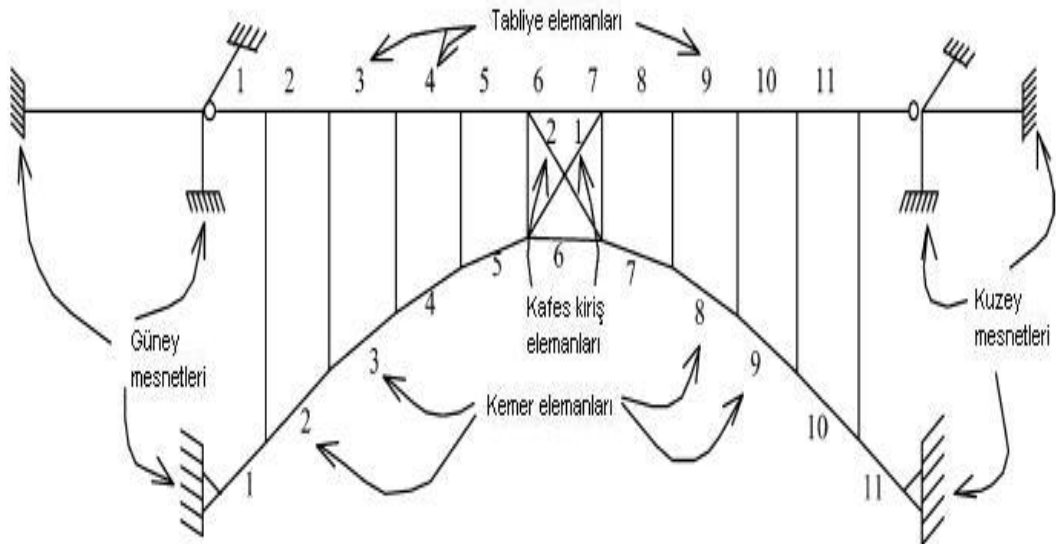
Şekil 3.18. (a) İki ana kirişli köprüler (b) İki ana kirişli köprüler



Şekil 3.19. İkidenden fazla ana kirişli köprüler

3.2. Çalışmaya Konu Olan Kemer Köprü Sistemleri

Uygulama amacıyla Kaliforniya'daki Cold Spring Canyon Köprüsü (CSCB) ve Batı Virginia'daki New River Gorge Köprüsü (NRGB) seçilmiştir. CSCB ve NRGB köprüleri kemer kafes köprülerdir. CSCB toplam köprü açıklığı 371 m, kemer bölgesinin toplam açıklığı 213 m'dir. NRGB ise kuzey yaklaşım açıklığı 175 m, güney yaklaşımı 193 m ve ana açıklığı 554 m olup toplam açıklığı 924 m'dir. Söz konusu köprülerin rasgele olan deprem etkisinden oluşacak stokastik davranışını belirlemek amacıyla iki boyutlu analizi üzerinde durulmuştur.



Şekil 3.20. CSCB köprü sisteminin elemanları

Şekline dönüşebilir. Burada $S_{\xi_g \xi_m}(w)$ l ve m mesnet noktaları arasındaki yer hareket ivmelerine ait karşıt spektral yoğunluk fonksiyonunu göstermektedir. $\xi_g(t)$ yer hareket ivmesini temsil etmek üzere, bu çalışmada Clough ve Penzien [27] tarafından düzeltilerek elde edilen Filtre Edilmiş Beyaz Gürültü spektral yoğunluk fonksiyonu kullanılmaktadır ki, bu da

$$S_{\xi_g}(W) = S_o |H_g(w)|^2 |H_f(w)|^2 \quad (3.3)$$

Burada,

$$|H_g(w)|^2 = \frac{w_g^4 + 4\xi_g^2 w_g^2 w^2}{(w_g^2 - w^2)^2 + 4\xi_g^2 w_g^2 w^2} \quad (3.4)$$

$$|H_f(w)|^2 = \frac{w^4}{(w_f^2 - w^2)^2 + 4\xi_f^2 w_f^2 w^2} \quad (3.5)$$

zemine ait filtre fonksiyonlarını gösterirken, w_g ve ξ_g sırasıyla birinci filtreye ait doğal frekansı ve sönüm oranını, w_f ve ξ_f ikinci filtreye ait doğal frekansı ve sönüm oranını, S_o beyaz gürültü işleminin spektral yoğunluk fonksiyonu genlik değerini göstermektedir.

Sert, orta ve yumuşak zemin durumları için filtre parametreleri olarak Çizelge 3.1’de verilen değerler önerilmektedir.

Çizelge 3.1. Çeşitli zemin türleri için spektral yoğunluk fonksiyonu filtre parametreleri

Zemin Cinsi	$w_g (rad / s)$	ξ_g	$w_f (rad / s)$	ξ_f
Sert	15,0	0,6	1,5	0,6
Orta	10,0	0,4	1,0	0,6
Yumuşak	5,0	0,2	0,5	0,6

Bu çalışmada zemin cinsi olarak orta ve sert zemin cinsleri seçilmiş olup Der Kiureghian tarafından önerilen yer ivmesi spektral yoğunluk fonksiyonu parametreleri kullanılmaktadır.

S_o değeri,

$$S_o = \frac{\sigma_{\ddot{u}_g}^2}{\int_0^\infty |H_g(w)|^2 |H_f(w)|^2 dw} = \frac{\sigma_{\ddot{u}_g}^2}{\Phi} \quad (3.6)$$

İfadesi ile elde edilebilmektedir. Burada $\sigma_{\ddot{u}_g}^2$ yer hareket ivmesinin varyansını göstermektedir.

$$S_{v_g} = \frac{S_{\ddot{u}_g}}{w^4} \quad (3.7)$$

Eş 3.1 denkleminde kullanılan korelasyon fonksiyonu $\gamma_{lm}(w)$, yer hareketinin değişimini frekans alanında tanımlar ve aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [30].

$$\gamma_{lm}(w) = |\gamma_{lm}(w)|^k \gamma_{lm}(w)^d \gamma_{lm}(w)^z = |\gamma_{lm}(w)|^k \exp[i(\theta_{lm}(w)^d + \theta_{lm}(w)^z)] \quad (3.8)$$

Korelasyon fonksiyonu boyutsuz olup kompleks bir ifadedir. $0 \leq |\gamma_{lm}(w)| \leq 1$ aralığında kalmaktadır ve $\ddot{u}_g(t)$ ve $\ddot{u}_m(t)$ işlemleri arasındaki istatistiksel bağımlılığı ifade etmektedir. $\gamma_{lm}(w)=1$ iki işlem arasındaki bağımlılığın lineer olduğunu ifade ederken, $\gamma_{lm}(w)=0$ iki işlem arasındaki istatistiksel bağımsızlığı vurgulamaktadır. Bu denklemde $\gamma_{lm}(w)$ terimlerinin üsleri şeklinde gösterilen k, d, z harfleri sırası ile korelasyon etkisini, dalga yayılma etkisini ve zemin etkisini ifade etmektedir. $\gamma_{lm}(w)^d$ ve $\gamma_{lm}(w)^z$ sırası ile dalga yayılma etkisini ve mesnetlerdeki farklı zemin etkilerini gösteren korelasyon değerleri olup bu bölümün sonlarında Eş. 3.12 ve Eş. 3.13 denklemleri ile tanımlanmaktadır.

Eş. 3.8 denkleminde kullanılan $\gamma_{lm}(w)^k$, mesnetlere etkiyen yer hareketleri arasındaki korelasyon etkisini ifade etmektedir. Korelasyon etkisi, deprem hareketinin düzgün olmayan faylar boyunca çok değişik kaymalar sonucunda meydana gelmesi ve ortaya çıkan yer değiştirme dalgalarının rasgele sayılabilecek sayısız yansıma ve kırılmadan geçmesi ile açıklanmaktadır. Harichandran ve Vanmarcke tarafından geliştirilen korelasyon modeli,

$$\left| \gamma_{lm}(w)^k = A e^{\frac{-2d_{lm}}{\alpha\theta(w)}(1-A+\alpha A)} + (1-A) e^{\frac{-d_{lm}}{\theta(w)}(1-A+\alpha A)} \right| \quad (3.9)$$

ifadesi ile tanımlanmaktadır [31]. Burada;

$$\theta(w) = k \left[1 + \left(\frac{w}{2\pi f_0} \right)^b \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (3.10)$$

ifadesi ile verilirken, d_{lm} mesnetler arasındaki mutlak yatay uzaklığı göstermektedir. A , α , k , f_0 ve b ampirik sabitlerdir. Bu çalışmada Harichandran [22] tarafından önerilen değerler ($A=0,636$, $a=0,0186$, $k=31200$, $f_0=1,51$ Hz ve $b=2,95$) kullanılmıştır. Luco ve Wong [33] tarafından geliştirilen korelasyon modeli ise,

$$|\gamma_{lm}(w)|^k = \exp\left(-(\alpha d_{lm} w / v_s)^2\right) \quad (3.11)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada α boyutsuz bir korelasyon parametresini, d_{lm} mesnetler arasındaki mutlak yatay uzaklığı ve v_s kayma dalgası hızını göstermektedir. Bu çalışmada Luco ve Wong [33] ve Luco ve Mita [34] tarafından önerilen $\alpha / v_s = 2 * 10^{-4}$ s/m değeri kullanılmıştır.

Eş. 3.8 denkleminde üstel olarak gösterilen ikinci terim aşağıda ifade edildiği gibi yer hareketinin yayılma etkisini içermektedir. Dalga yayılma etkisi deprem hareketinin bir mesnetten diğerine ulaşınca kadar geçen zaman farkından doğmaktadır [35, 36].

$$\theta_{lm}(w)^d = -\frac{wd_{lm}^L}{v_{app}} \quad (3.12)$$

Burada v_{app} görünen dalga yayılma hızını gösterirken, d_{lm}^L dalga yayılma doğrultusunda mesnetler arasındaki yatay izdüşüm uzaklığını göstermektedir. Bu çalışmada yer hareketi dalga yayılma hızı için $v_{app}=200-1800$ m/s arasında değişen hız değerleri ile üniform yer hareketine karşılık olarak sonsuz hız değeri kullanılmaktadır.

Eş. 3.8 denkleminde gösterilen son terim ise yerel zemin etkisini ifade etmektedir. Zemin etkisi farklı mesnet noktalarındaki yerel zemin şartlarının farklılığından kaynaklanmaktadır ve aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [37-38].

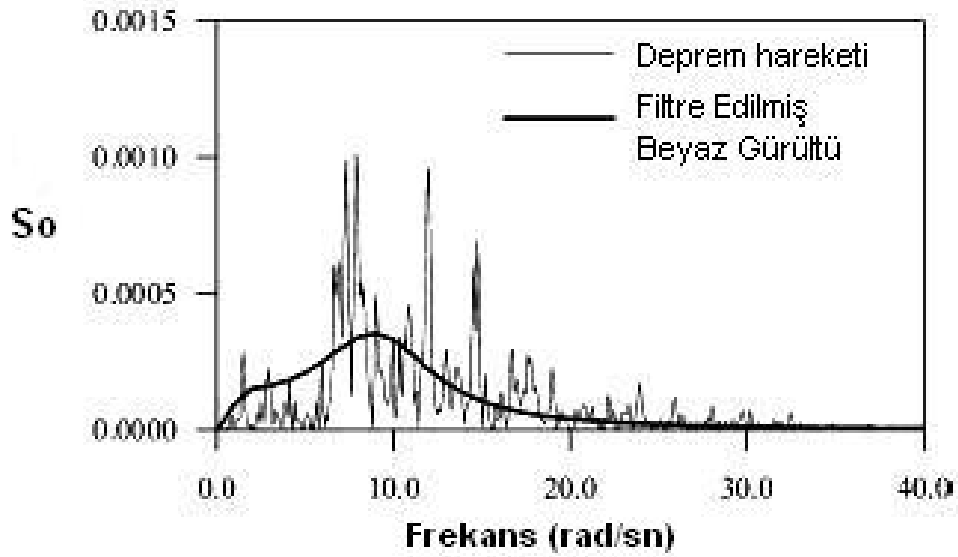
$$\theta_{lm}(w)^z = \tan^{-1} \frac{\text{Im}[H_l(w)H_m(-w)]}{\text{Re}[H_l(w)H_m(-w)]} \quad (3.13)$$

Burada, $H_l(w)$ ve $H_m(-w)$ 1 ve m mesnet noktalarındaki zemine ait filtre fonksiyonlarını, im ve Re sırasıyla fonksiyonun sanal ve reel kısımlarını göstermektedir. 1 mesnet noktasındaki zemin filtre fonksiyonu için

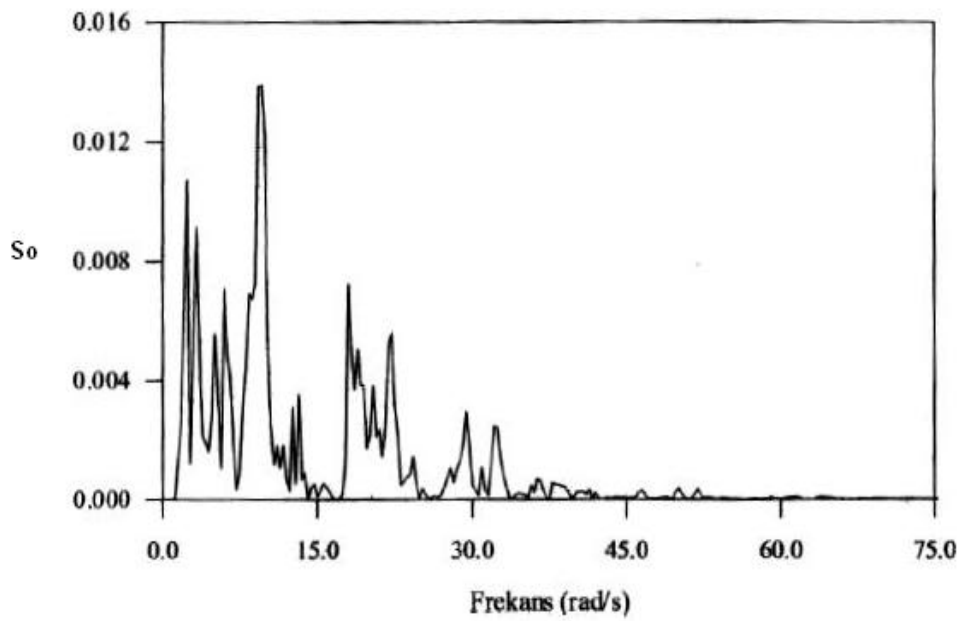
$$H_l(w) = \frac{w_l^2 + 2i\xi_l w_l w}{w_l^2 - w^2 + 2i\xi_l w_l w} \quad (3.14)$$

bağıntısı kullanılmaktadır. Burada w_l ve ξ_l filtreye ait doğal frekansı ve sönüm oranını ifade etmektedir.

Bu çalışmada yer hareketi modeli olarak Erzincan Depremine ait ve Chi-Chi depremine ait spektral yoğunluk fonksiyonları kullanılmıştır (Bkz. Şekil 3.3, Şekil 3.4).



Şekil 3.22. Chi-Chi depremi HWA033N kaydı ve filtre edilmiş beyaz gürültü modeline ait ivme spektral yoğunluk fonksiyonları



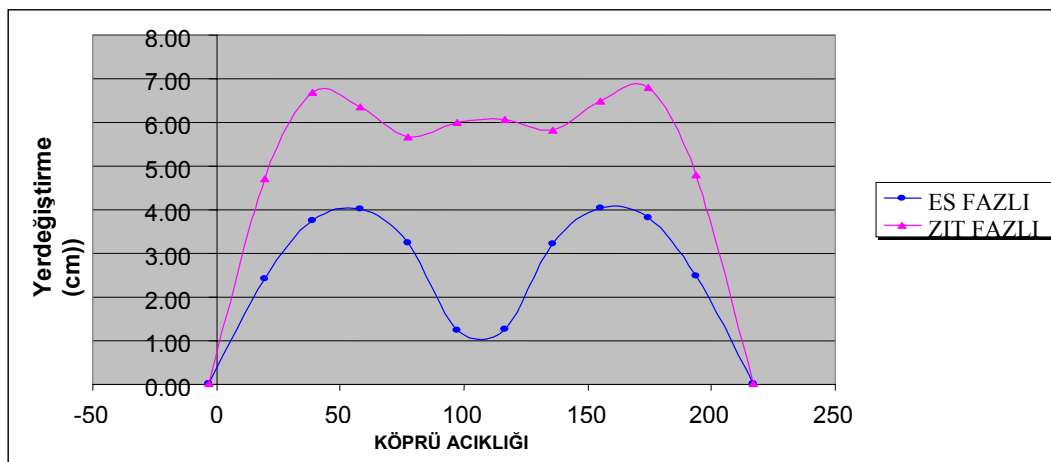
Şekil 3.23. Erzincan depremine ait ivme spektral yoğunluk fonksiyonu

4.İRDELEME

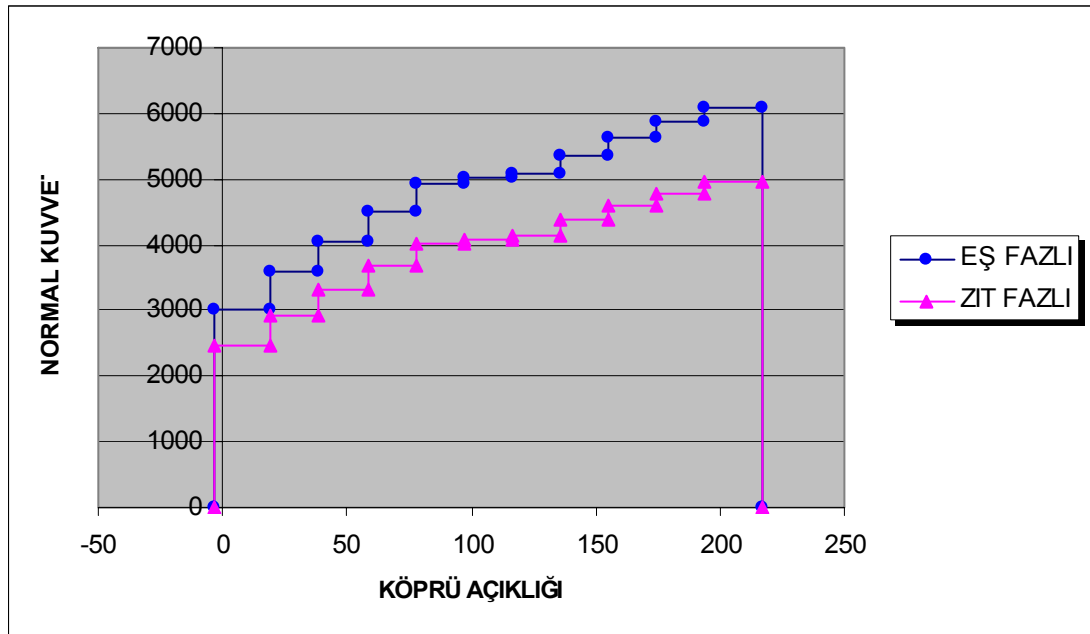
4.1. Yer Hareketinin Eş Fazlı ve Zıt Fazlı Olması Durumundaki Tepki Değerlerinin Karşılaştırılması

Deprem dalgalarının sonsuz hızla yayıldığı kabul edildiği ve etki doğrultusunda aynı alındığı analiz eş fazlı yer hareketi olarak adlandırılmaktadır. Benzer şekilde yer hareketini sonsuz hızla yayıldığı kabul eden, ancak mesnet noktalarının farklı yönlerdeki hareketini dikkate alan analiz zıt fazlı yer hareketi olarak adlandırılmaktadır.

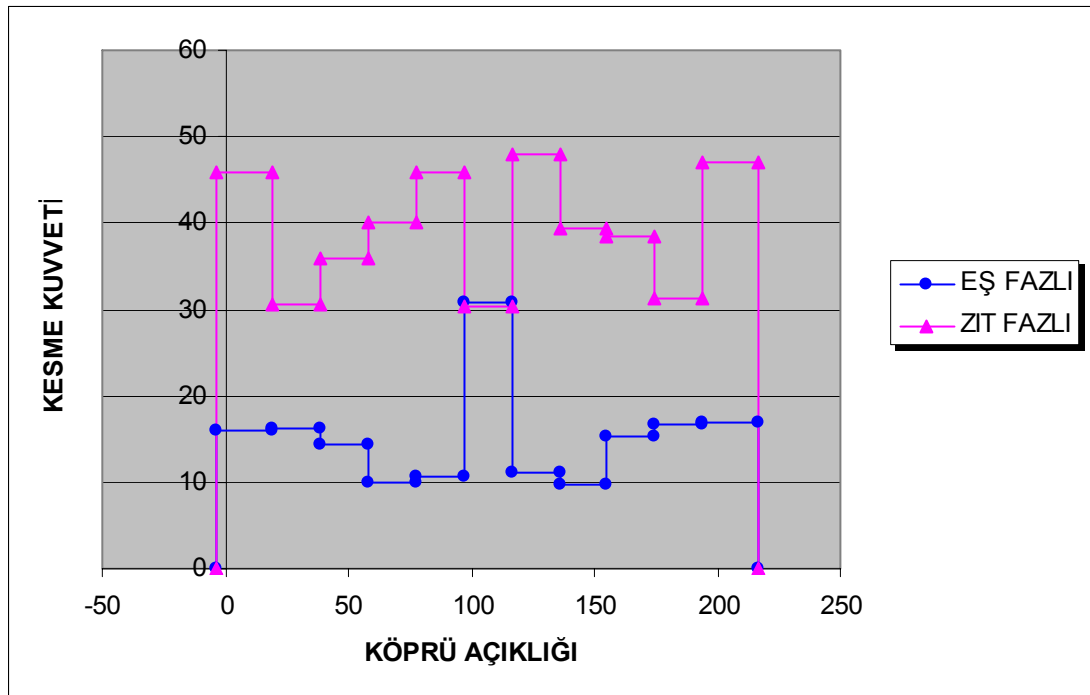
Nümerik çözümler için CSCB ve NRGB kemer köprüleri kullanılmaktadır. Analizlerde yer hareketi olarak Erzincan depreminin doğu-batı bileşeni dikkate alınmakta ve kemer köprü sistemlerinde yatay doğrultuda etki ettirilmektedir. Eş fazlı ve zıt fazlı yer hareketleri için yer değiştirme ve eleman kuvvetlerine ait zahiri-statik, dinamik ve toplam bileşenler karşılaştırılmaktadır. (Şekil 4.1, Şekil 4.2)'de CSCB tabliyede elde edilen düşey yer değiştirme, normal kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti dinamik bileşenleri karşılaştırılmaktadır. Görüleceği gibi normal kuvvet dışında, zıt fazlı yer hareketi için elde edilen sonuçlar daha büyük çıkmaktadır.



Şekil 4.1. CSCB için $v=\infty$ da tabliyede meydana gelen dinamik bileşenler için meydana gelen yer değiştirme

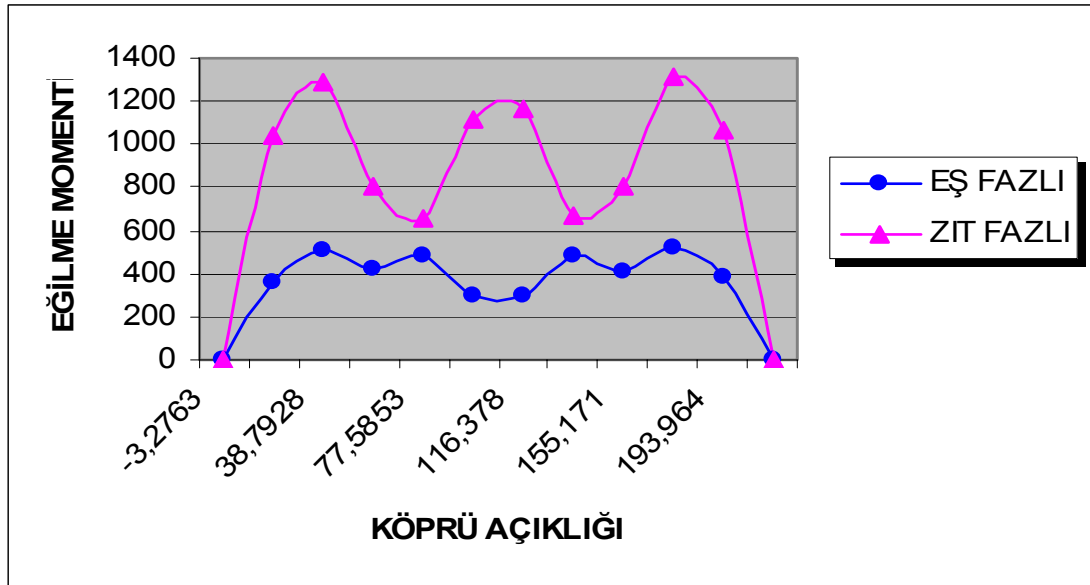


(a)



(b)

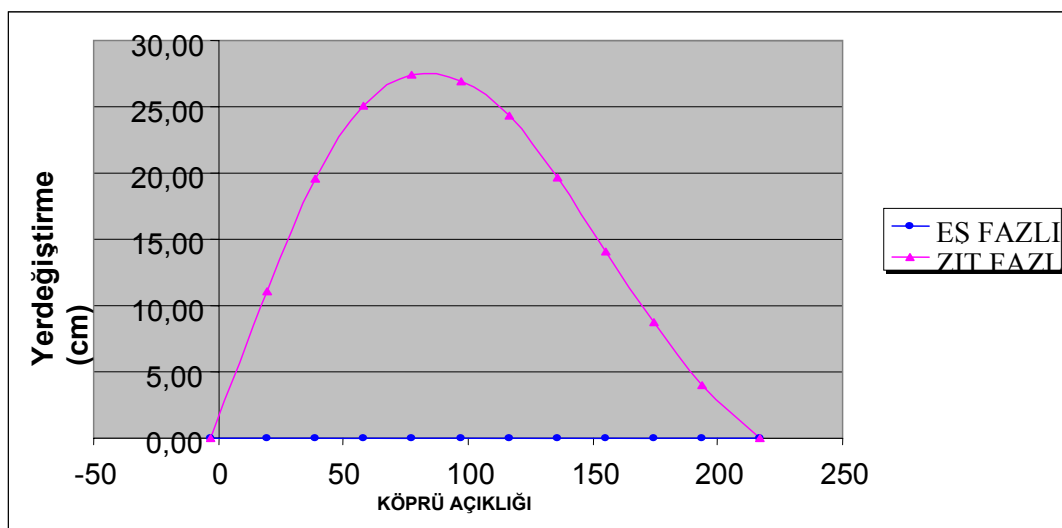
Şekil 4.2. CSCB için $v=\infty$ da tabliyede dinamik bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği



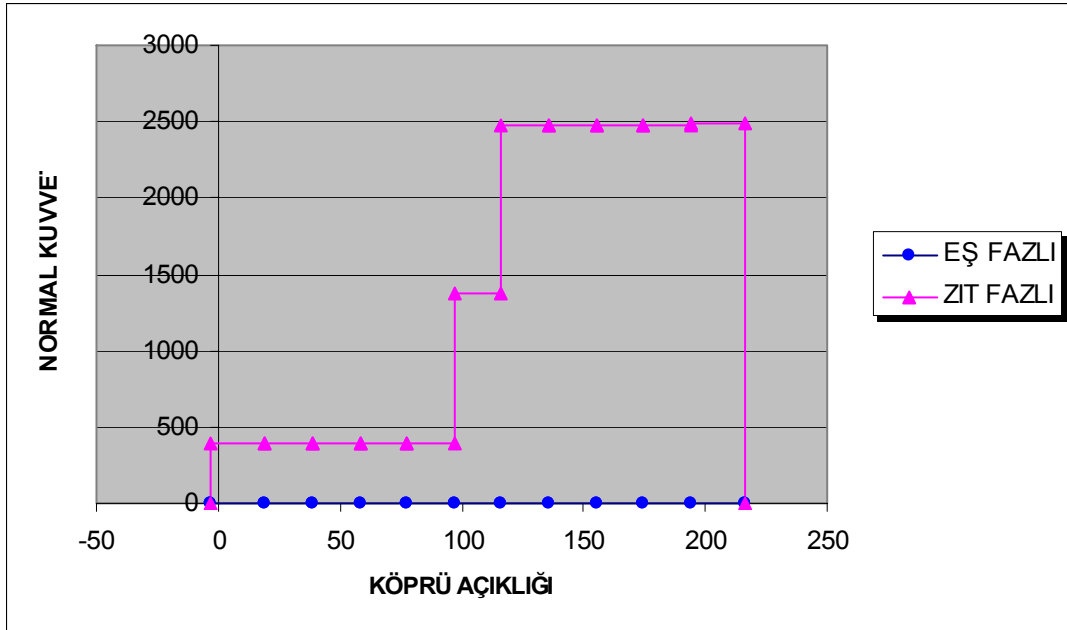
(c)

Şekil 4.2.(Devam) CSCB için $v=\infty$ da tabliyede dinamik bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

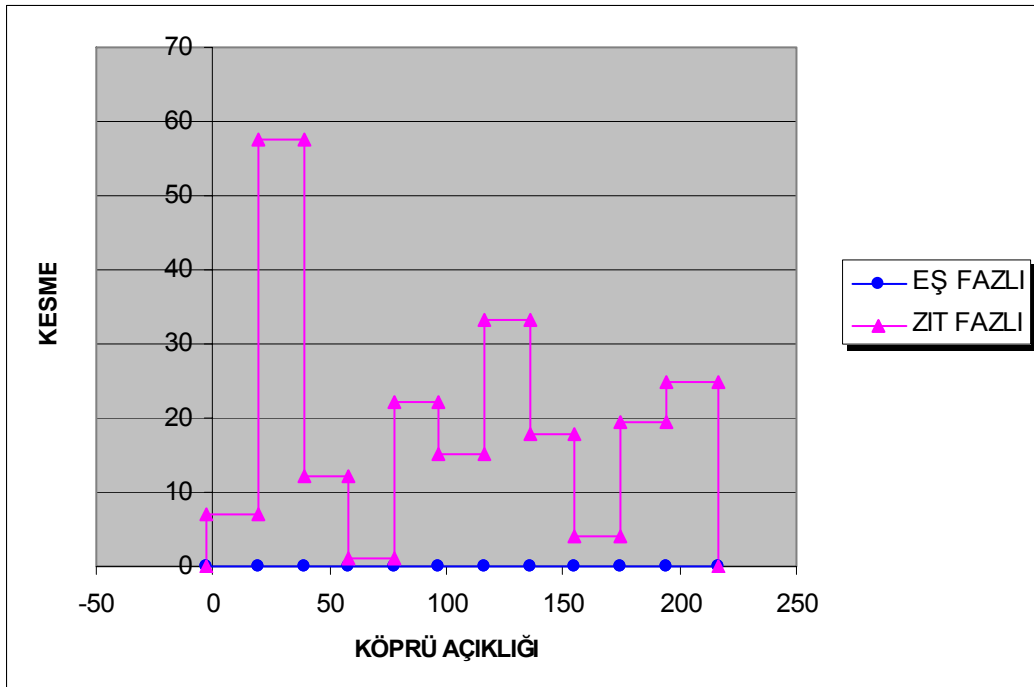
Aynı tepki birleşenlerine ait zahiri-statik bileşenler de (Şekil 4.3, Şekil 4.4)'de gösterilmektedir. Yatay yönde uygulanan yer hareketi nedeni ile eş-fazlı yer hareketi için düşey doğrultudaki zahiri-statik yer değiştirmeler sıfır olurken, rijit cisim hareketi sonucu eleman kuvvetleri de sıfır olmaktadır.



Şekil 4.3. CSCB için $v=\infty$ da tabliyede meydana gelen zahiri-statik bileşenler için meydana gelen yer değiştirme

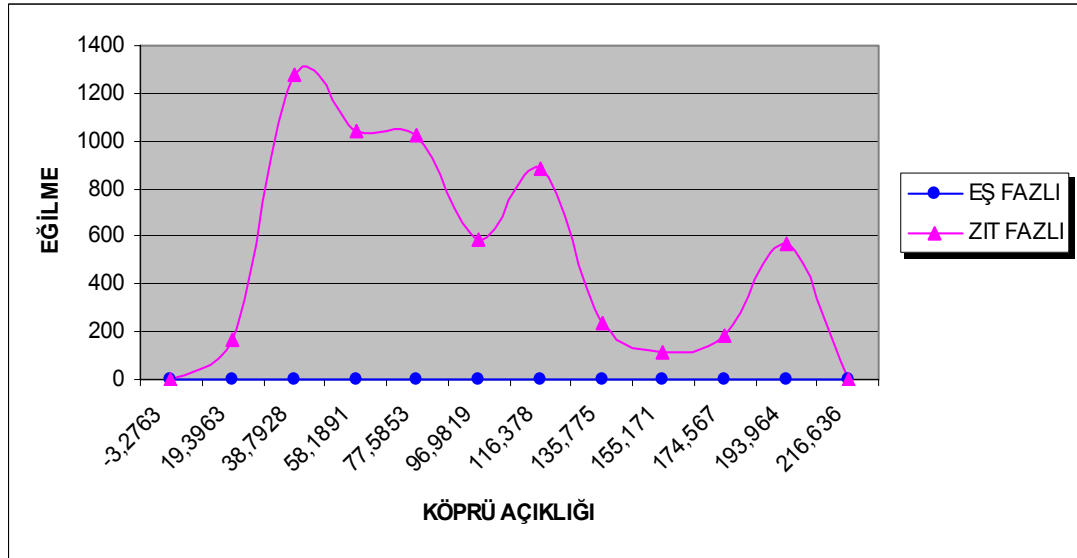


(a)



(b)

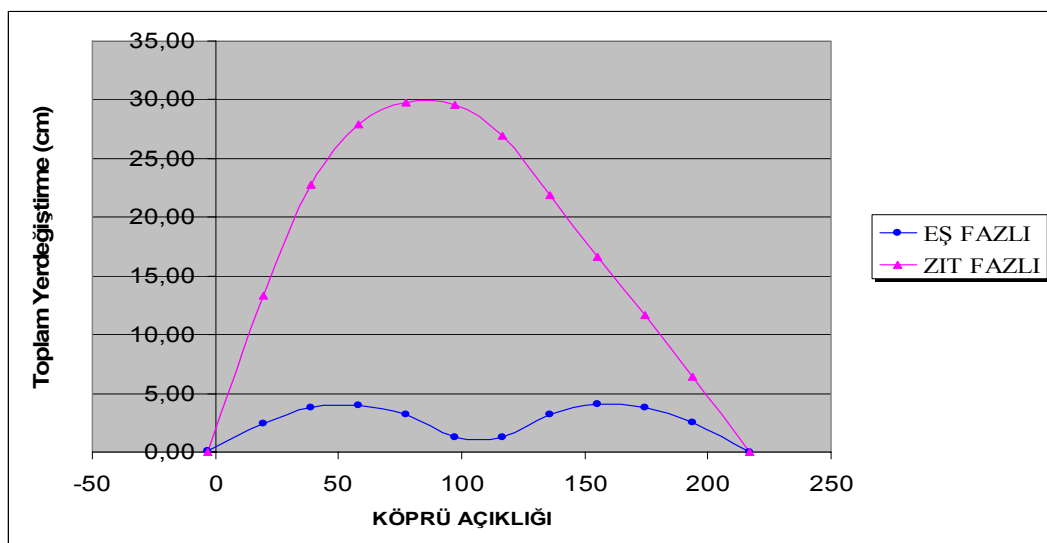
Şekil 4.4. CSCB için $v=\infty$ da tabliyede zahiri-statik bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği



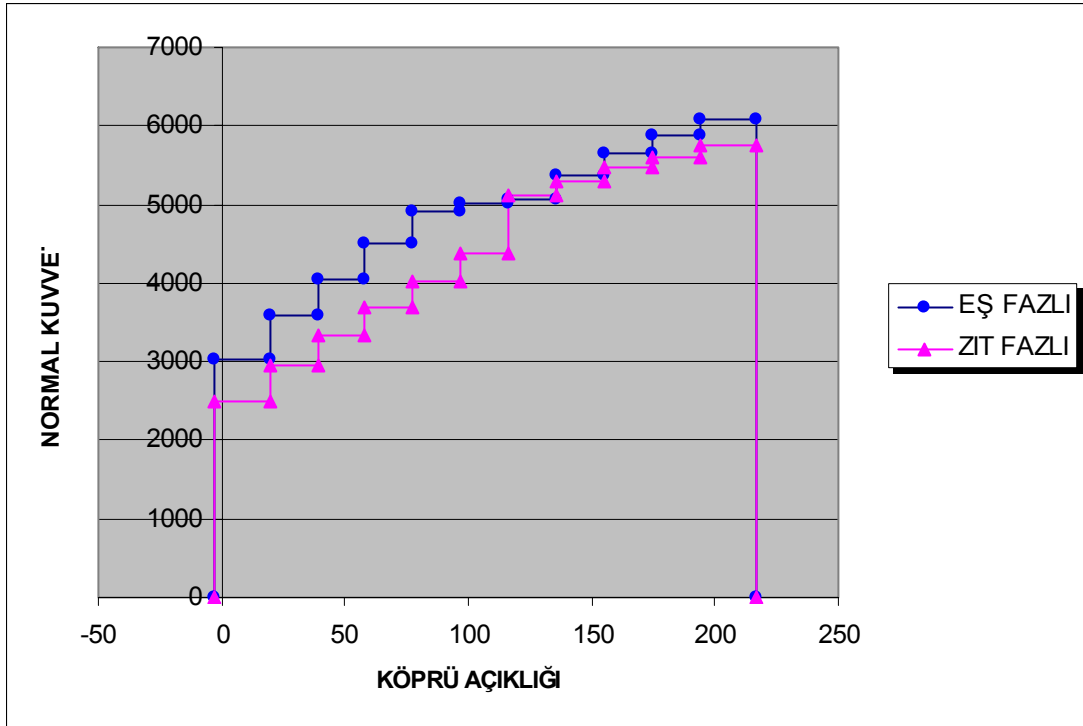
(c)

Şekil 4.4.(Devam) CSCB için $v=\infty$ da tabliyede zahiri-statik bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

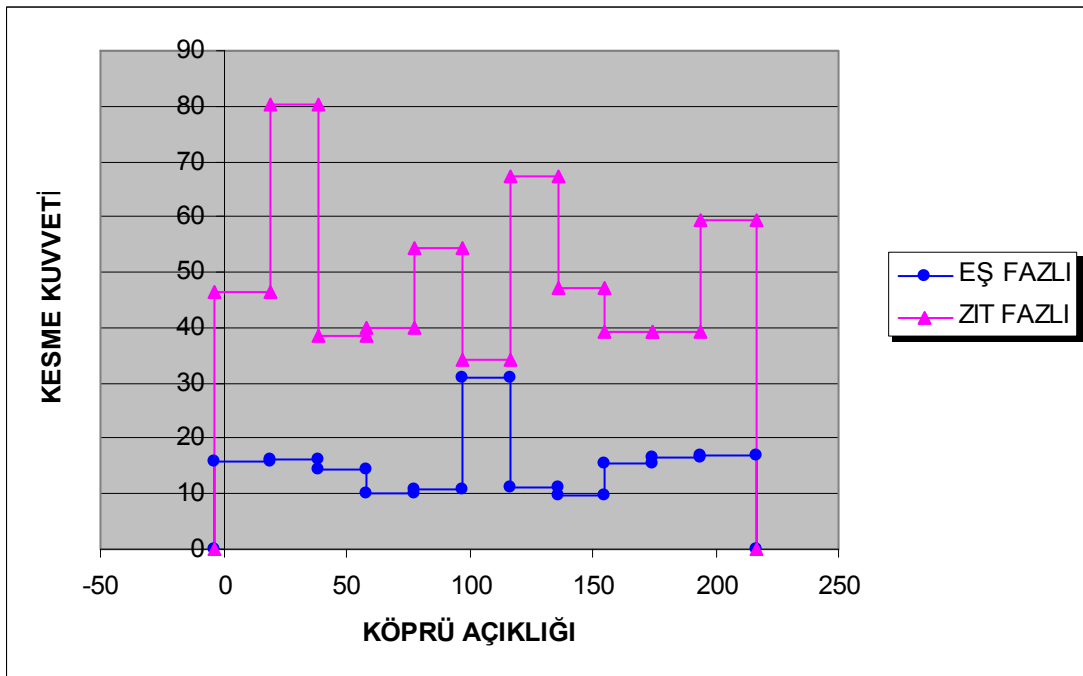
Zıt-fazlı yer hareketi durumunda böyle bir durum söz konusu olmadığından, sonuçlar sıfırdan farklı olmaktadır. Zahiri-statik ve dinamik tepkilerin toplam ile elde edilen toplam tepki değeri de, normal kuvvet dışında zıt-fazlı yer hareketi için en büyük olmaktadır (Şekil 4.5, Şekil 4.6).



Şekil 4.5. CSCB için $v=\infty$ da tabliyede meydana gelen toplam bileşenler için meydana gelen yer değiştirme

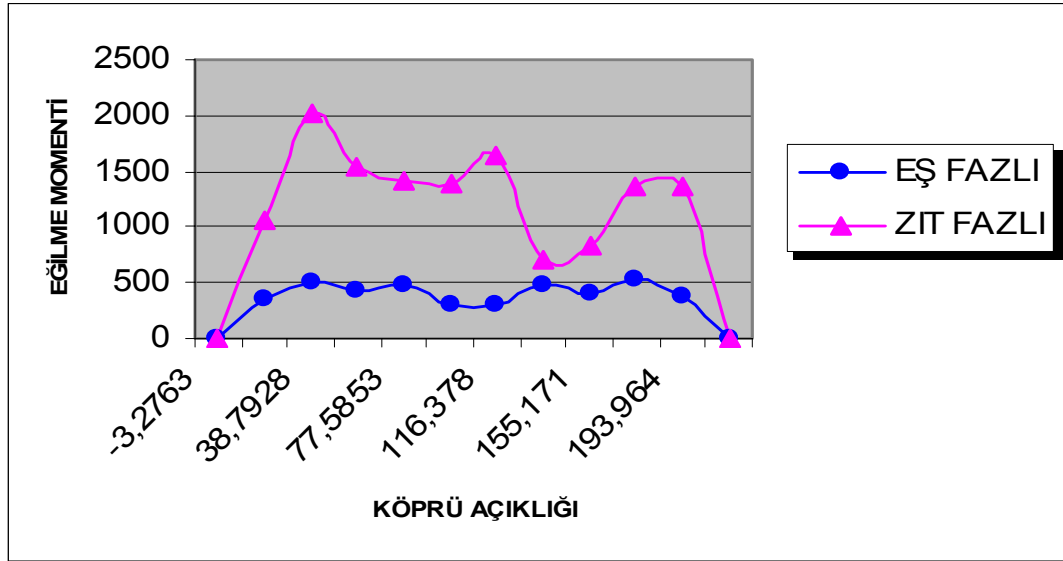


(a)



(b)

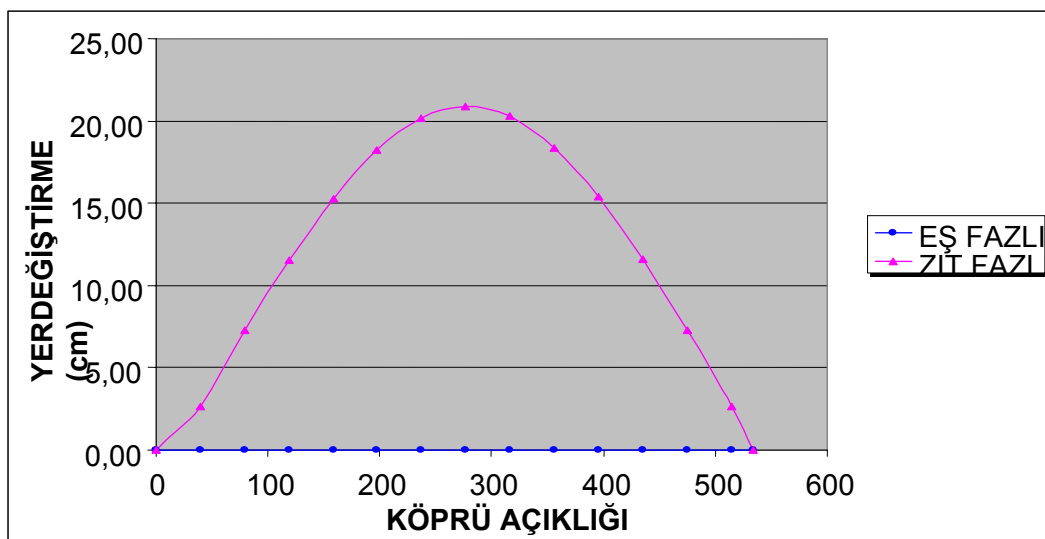
Şekil 4.6. CSCB için $v=\infty$ da tabliyede toplam bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği



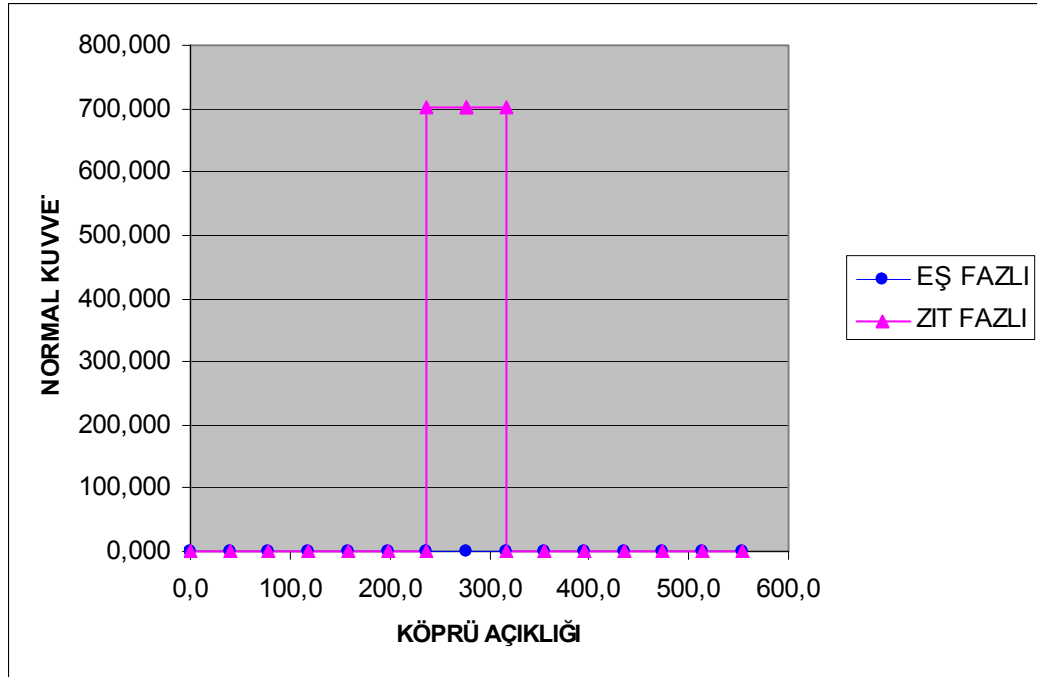
(c)

Şekil 4.6.(Devam) CSCB için $v=\infty$ da tabliyede toplam bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

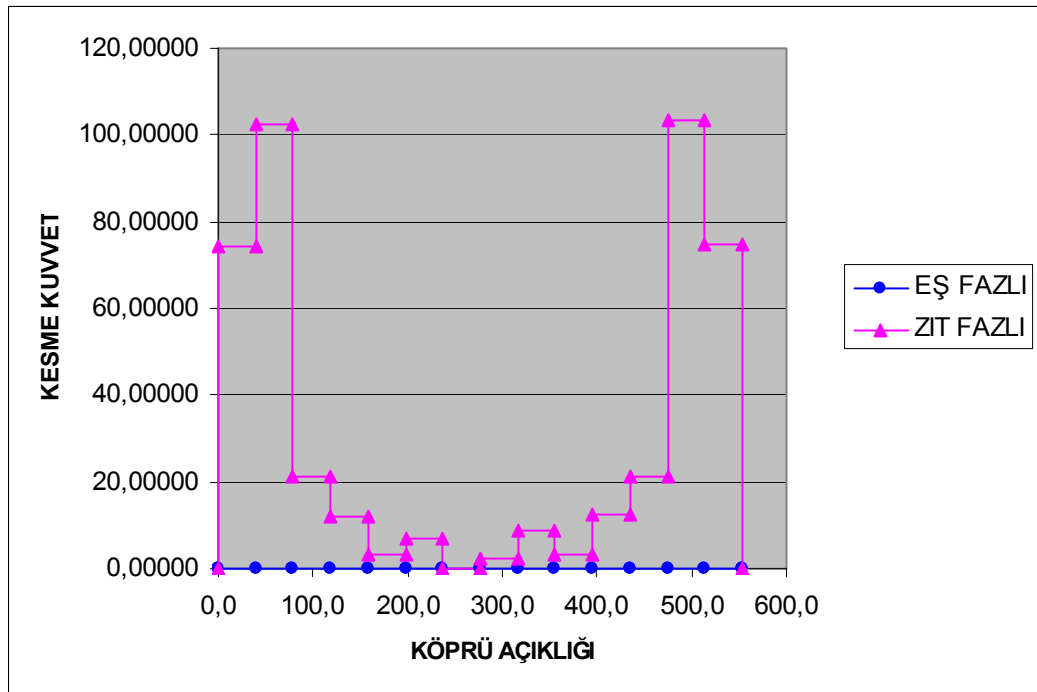
CSCB kemer köprü modeli için gerçekleştirilen analizler NRGB içinde gerçekleştirilmiştir. Eş fazlı durumda elde edilen zahiri-statik tepkiler rijit cisim hareketi nedeni ile sıfır olurken, zıt fazlı yer hareketi durumunda sıfırdan farklı olmaktadır (Şekil 4.7, Şekil 4.8).



Şekil 4.7. NRGB için $v=\infty$ da tabliyede meydana gelen zahiri-statik bileşenler için meydana gelen yer değiştirme

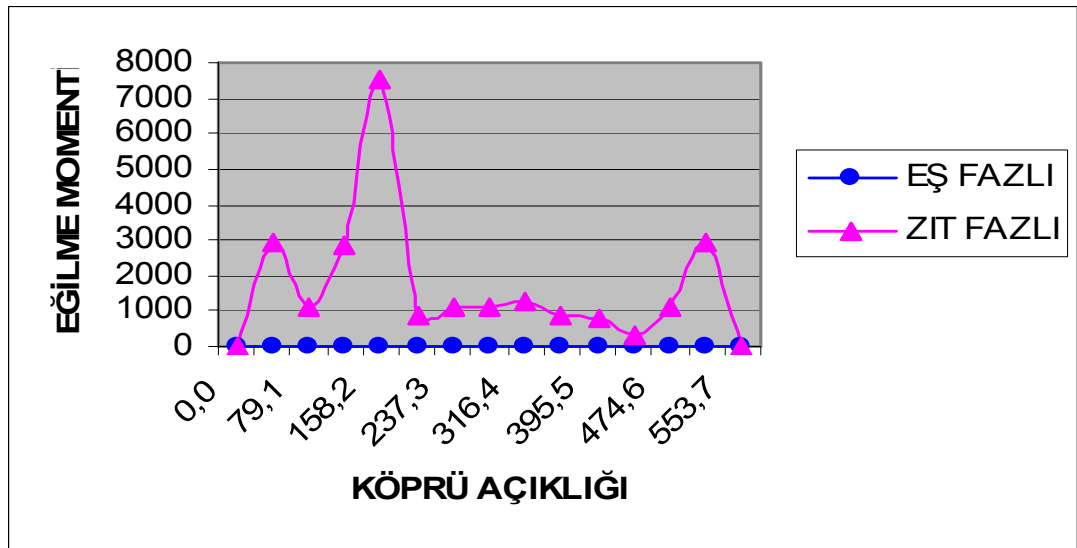


(a)



(b)

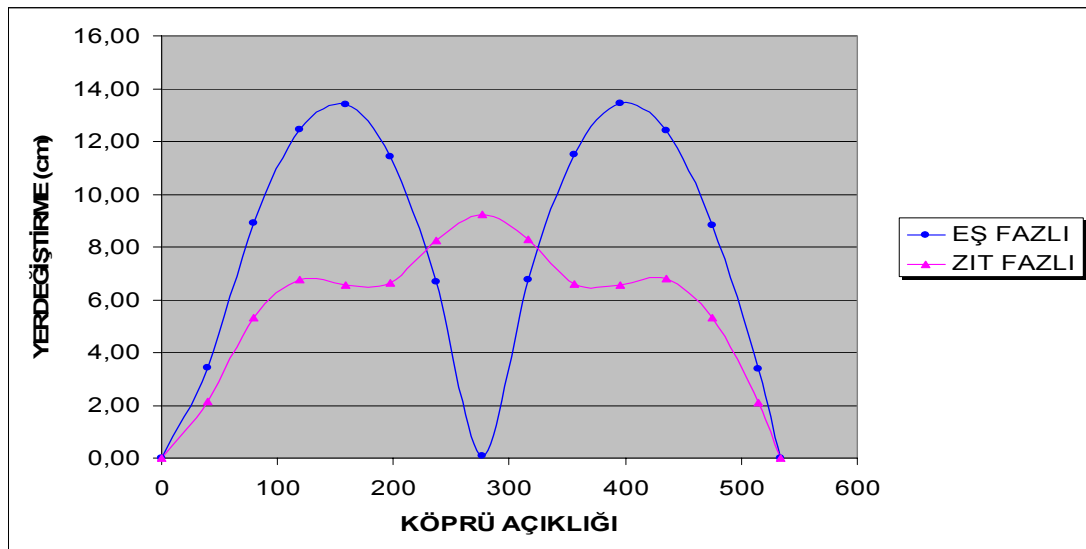
Şekil 4.8. NRGB için $v=\infty$ da tabliyede zahiri-statik bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği



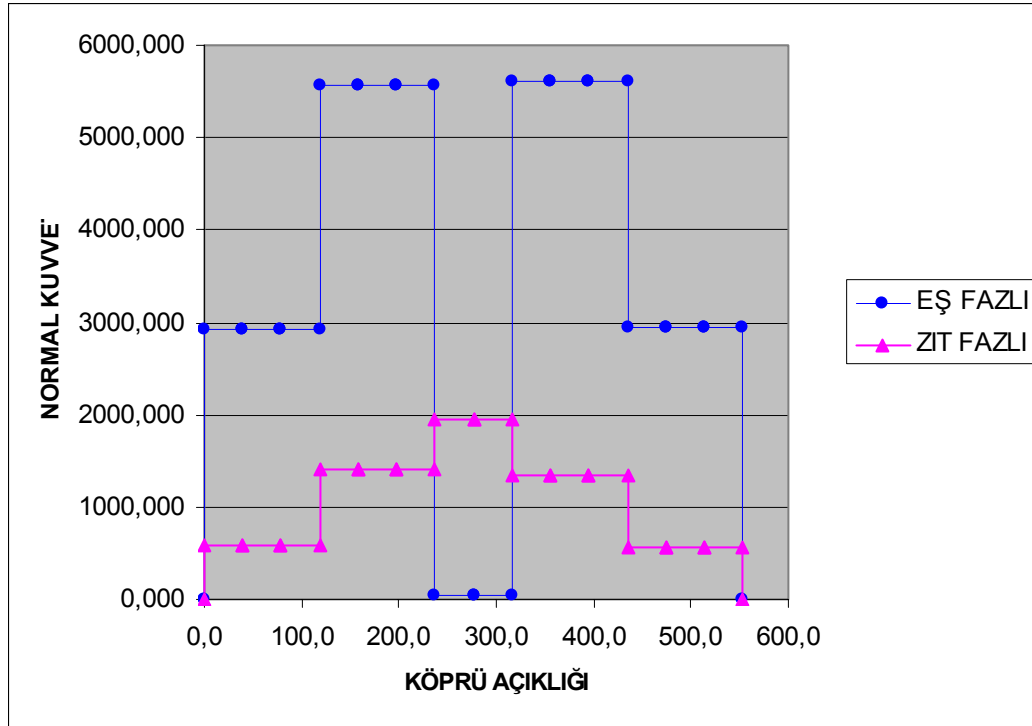
(c)

Şekil 4.8.(Devam) NRGB için $v=\infty$ da tabliyede zahiri-statik bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

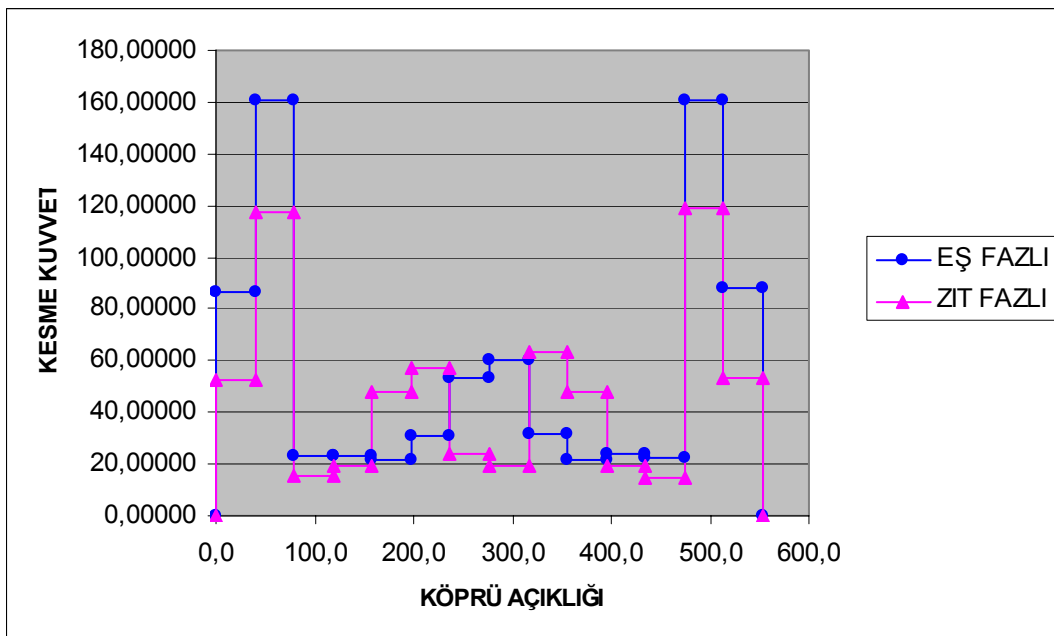
Dinamik tepki bileşenleri için elde edilen değişim ise CSCB modeli için elde edilen değişimden farklıdır. Burada belli bölgelerde eş fazlı yer hareketi sonuçları büyük çıkarken, belli bölgelerde de zıt fazlı yer hareketi durumundaki sonuçlar daha büyük çıkmaktadır (Şekil 4.9, Şekil 4.10).



Şekil 4.9. NRGB için $v=\infty$ da tabliyede meydana gelen dinamik bileşenler için meydana gelen yer değiştirme

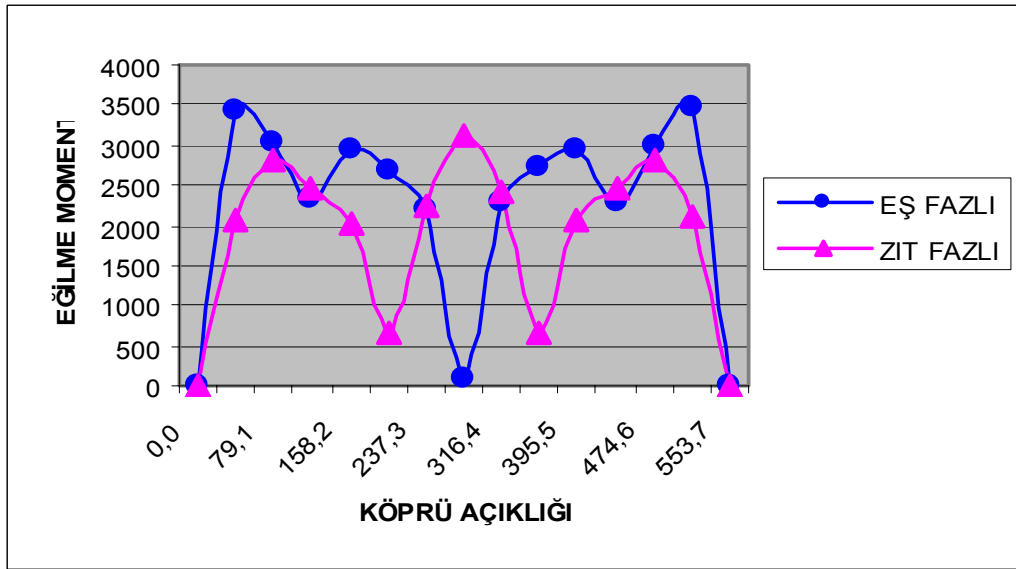


(a)



(b)

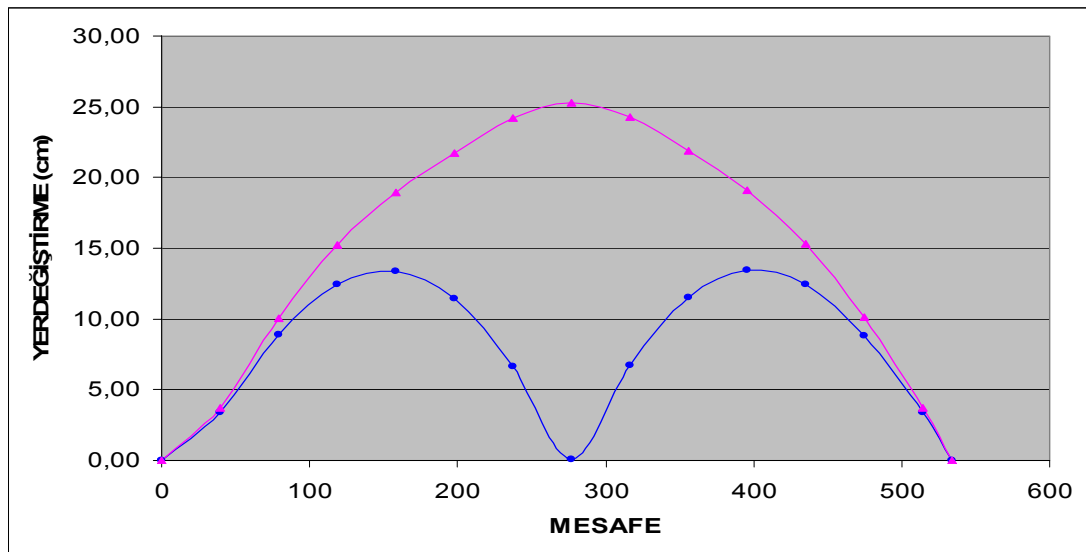
Şekil 4.10. NRGB için $v=\infty$ da tabliyede dinamik bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği



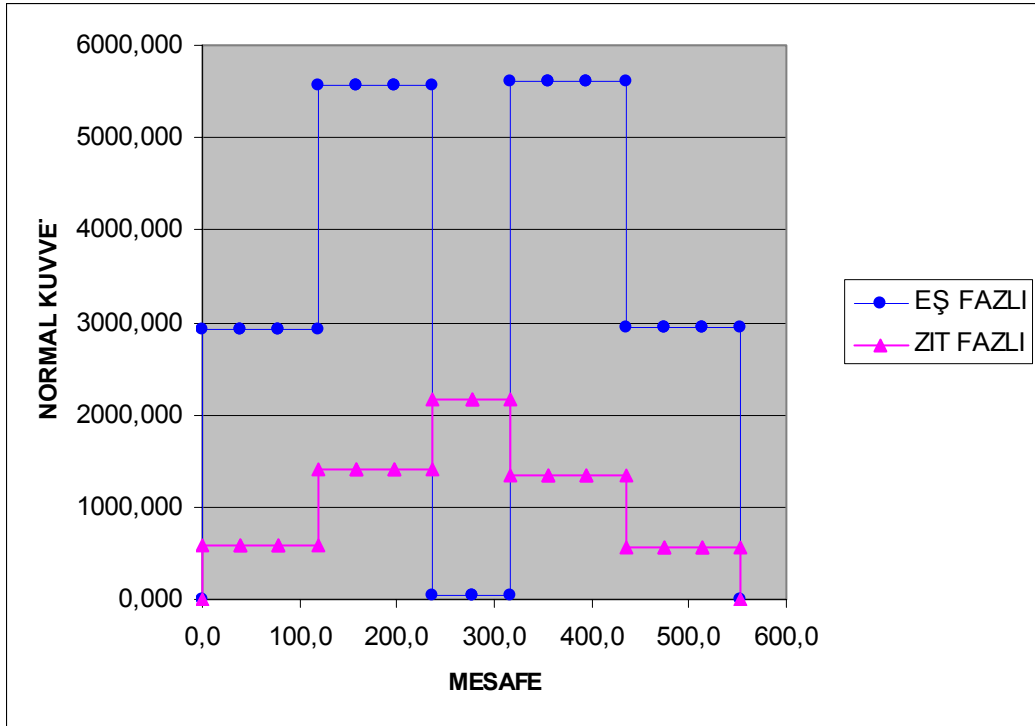
(c)

Şekil 4.10.(Devam) NRGB için $v=\infty$ da tabliyede dinamik bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

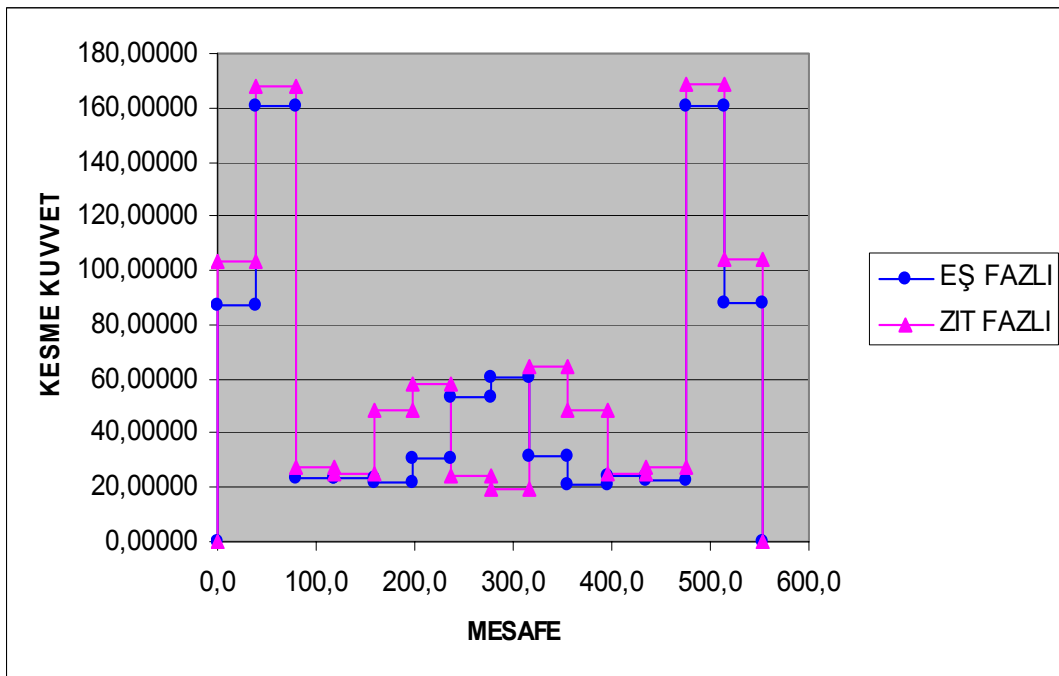
Zahiri-statik ve dinamik tepkilerin toplanmasıyla elde edilen toplam tepkilerdeki değişim, dinamik bileşen için elde edilen değişimle paralellik göstermektedir (Şekil 4.11, Şekil 4.12).



Şekil 4.11. NRGB için $v=\infty$ da tabliyede meydana gelen toplam bileşenler için meydana gelen yer değiştirme

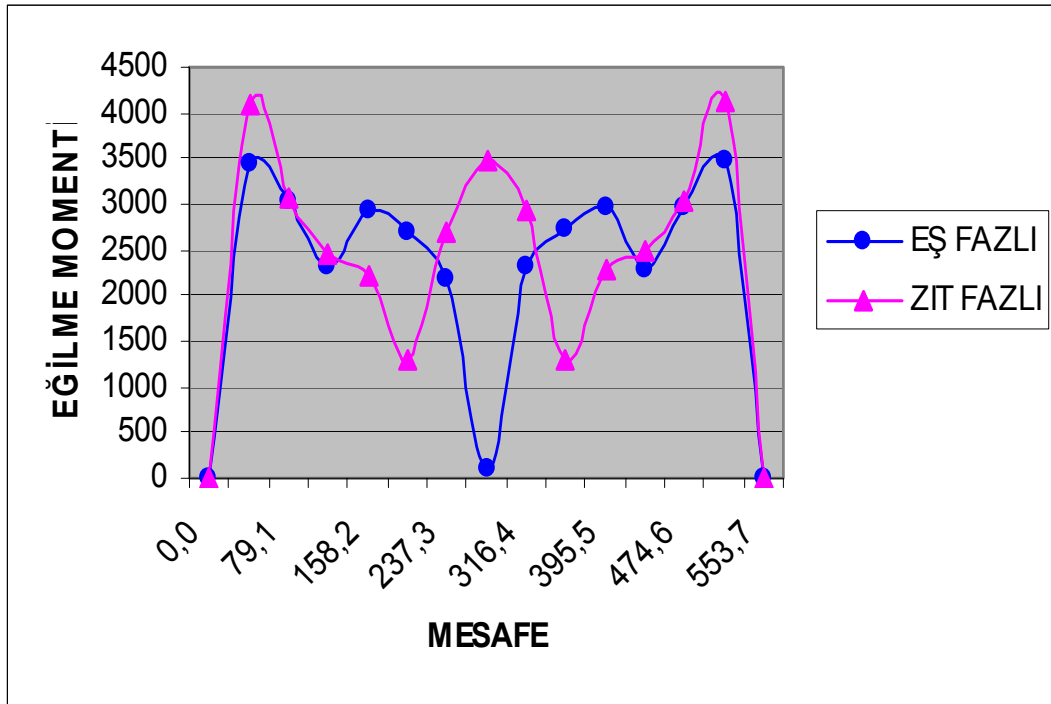


(a)



(b)

Şekil 4.12. NRGB için $v=\infty$ da tabliyyede dinamik bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği



(c)

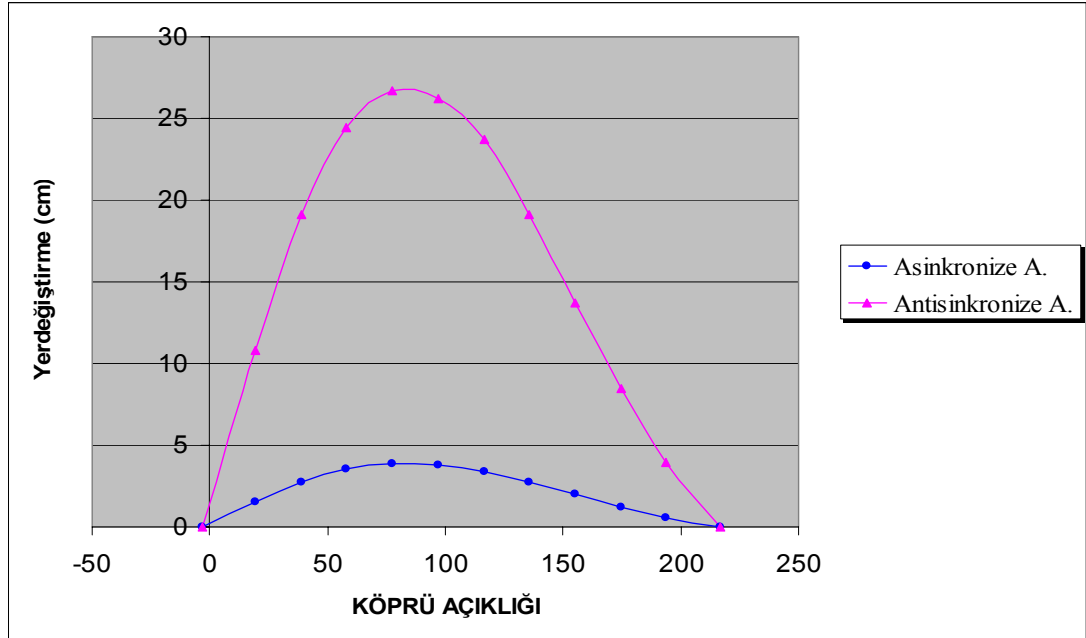
Şekil 4.12.(Devam) NRGB için $v=\infty$ da tabliyede toplam bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin N, T, M grafikleri

4.2. Asinkronize ve Antisinkronize Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

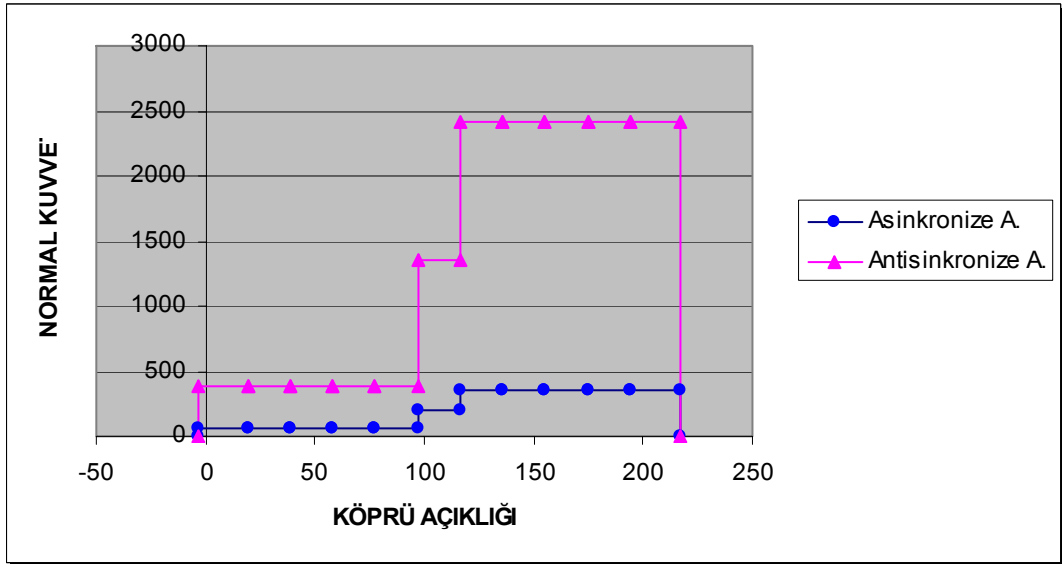
Deprem dalgalarının sonlu yayılma hızını dikkate alan, ancak etki doğrultusu da aynı alan analiz asinkronize dinamik analiz olarak tanımlanır. Bunun yanında etki yönünün değişimini içeren analiz antisinkronize dinamik analiz olarak isimlendirilmektedir.

Bu çalışmada asinkronize ve antisinkronize dinamik analizler ile yer değiştirmeler, eğilme momentleri, kesme kuvvetleri ve normal kuvvetler zahiri-statik, dinamik ve toplam tepkiler cinsinden; 500 m/sn ve 1000 m/sn deprem dalgası yayılma hızları için karşılaştırmaktadır. (Şekil 4.13, Şekil 4.14)'de CSCB köprü sistemine ait zahiri-statik tepki değerleri $v=1000$ m/sn için karşılaştırılmaktadır. Yer hareketi hızının sonsuz olması durumundan farklı olarak, burada zahiri-statik tepkiler asinkronize analiz içinde sıfırdan farklı olmaktadır. Burada yine etki yönünün değişimini içeren

antisinkronize analiz sonuçları daha büyük çıkmaktadır.

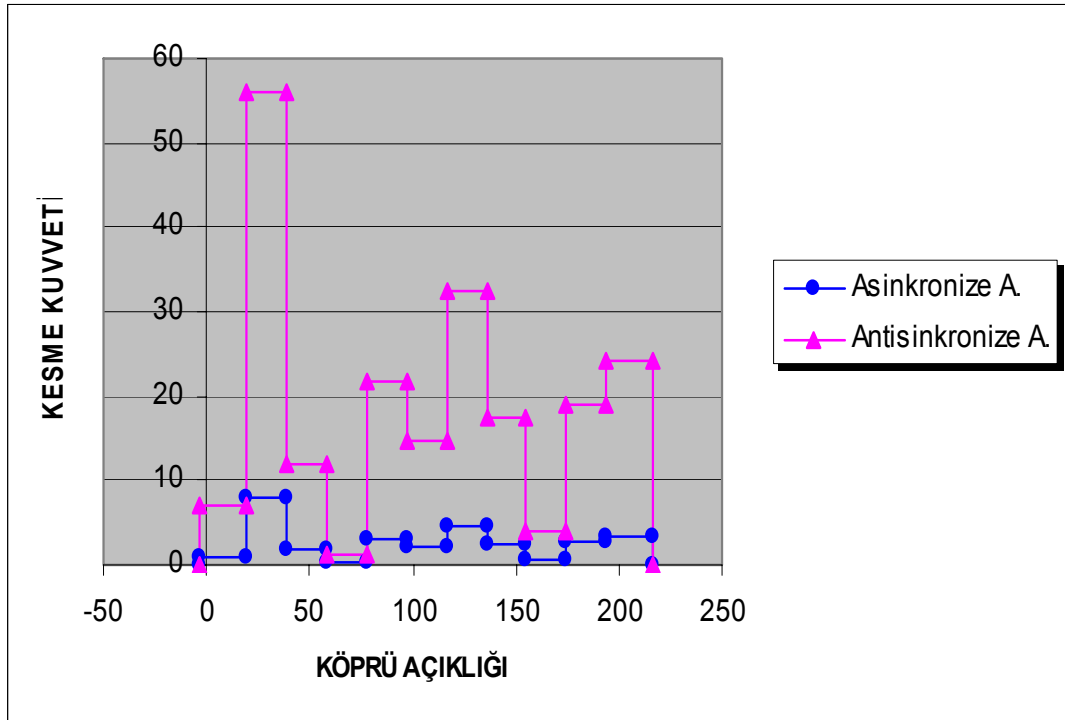


Şekil 4.13. CSCB için $v=1000$ m/sn de tabliyede meydana gelen zahiri-statik bileşenler için meydana gelen yer değiştirme

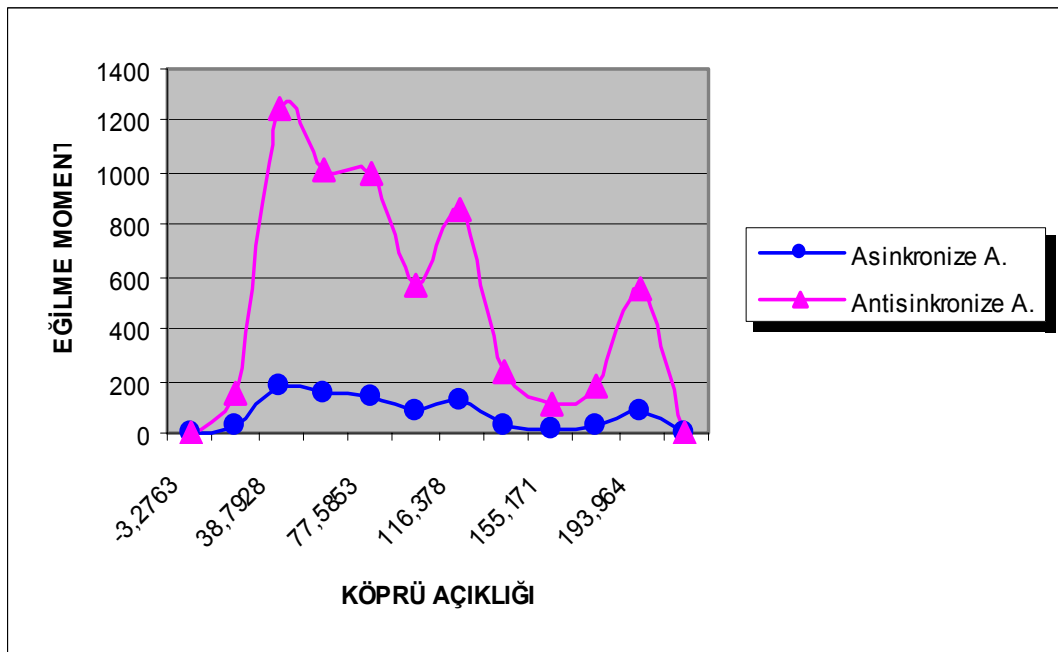


(a)

Şekil 4.14. CSCB için $v=1000$ m/sn de tabliyede zahiri-statik bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği



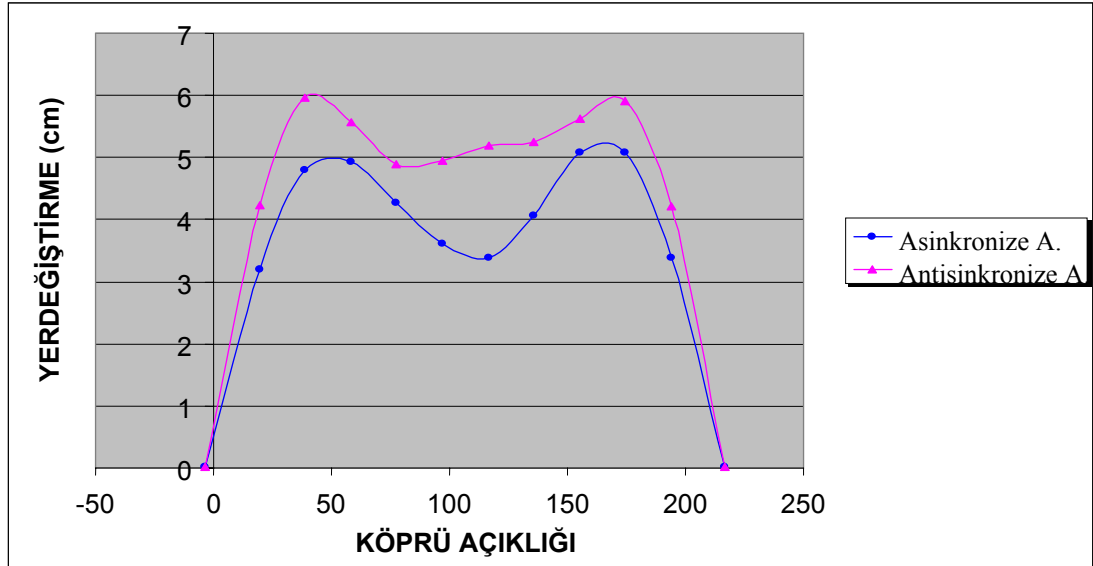
(b)



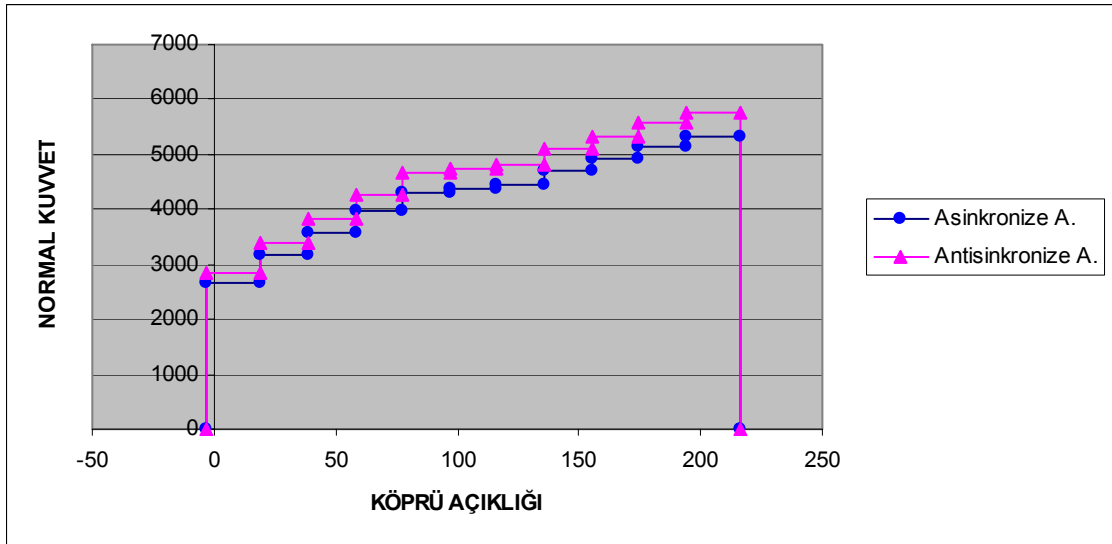
(c)

Şekil 4.14.(Devam) CSCB için $v=1000$ m/sn de tabliyede zahiri-statik bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği Benzer şekilde dinamik tepki bileşenleri (Şekil 4.15, Şekil 4.16) ve toplam tepki

bileşenleri içinde (Şekil 4.17, Şekil 4.18) antisinkronize analiz sonuçları daha büyük çıkmaktadır.

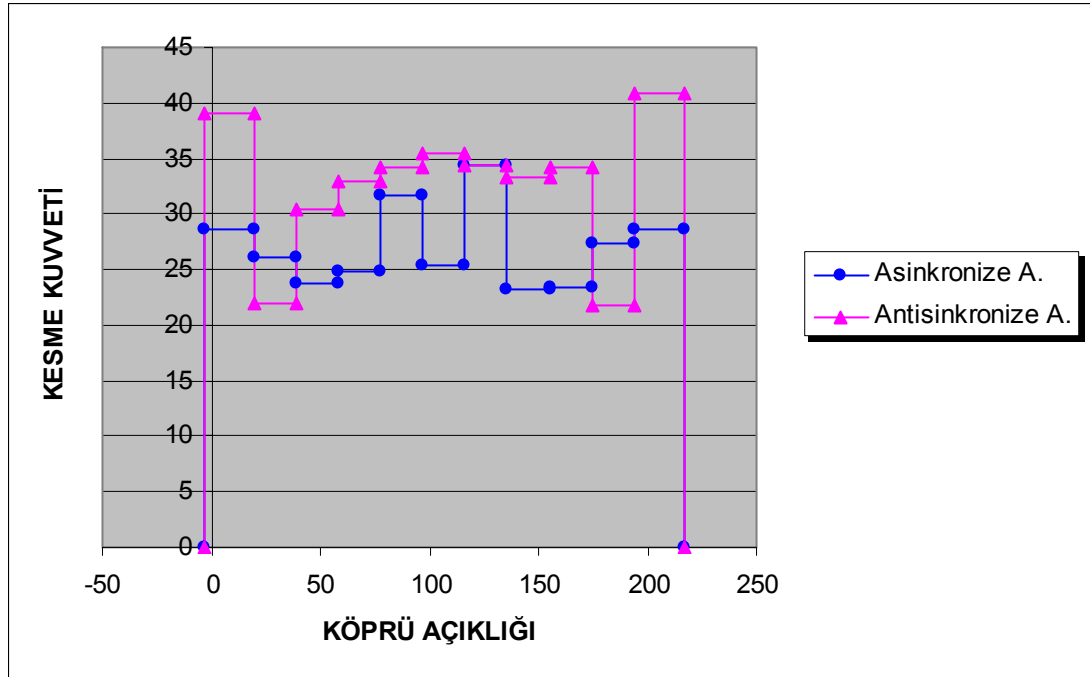


Şekil 4.15. CSCB için $v=1000$ m/sn de tabliyede meydana gelen dinamik bileşenler için meydana gelen yer değiştirme

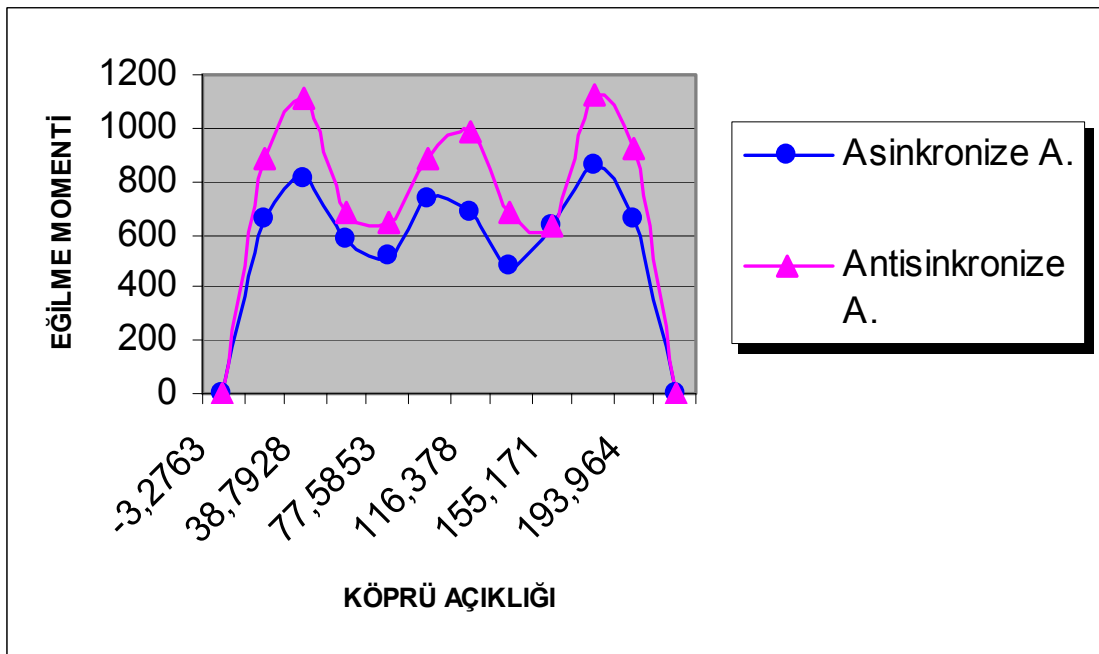


(a)

Şekil 4.16. CSCB için $v=1000$ m/sn de tabliyede dinamik bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

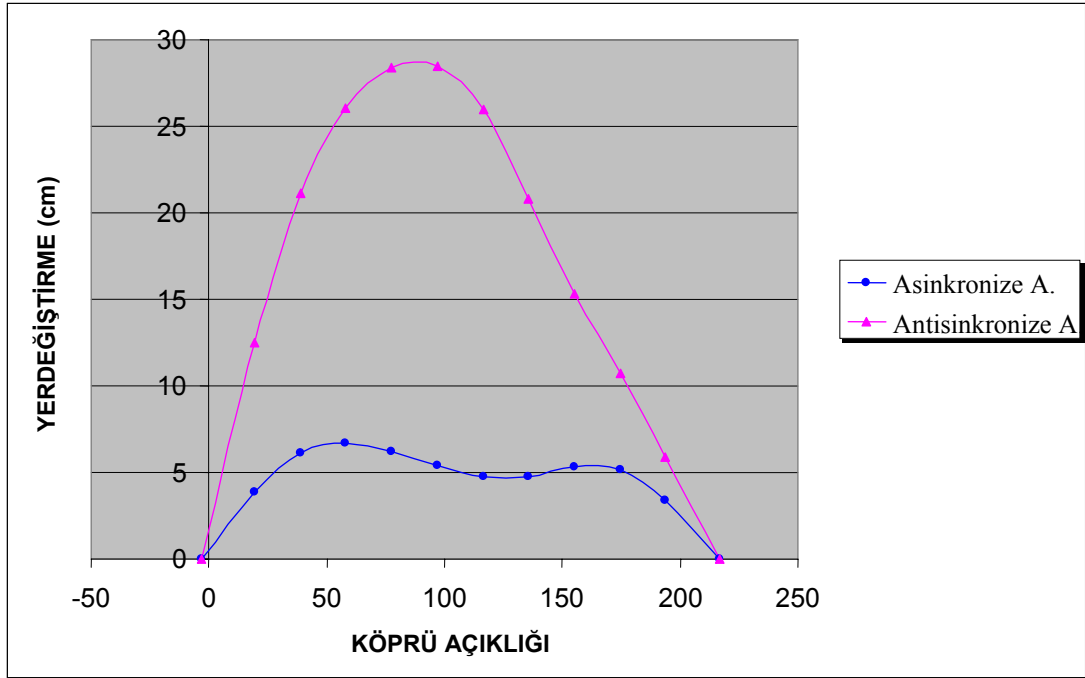


(b)

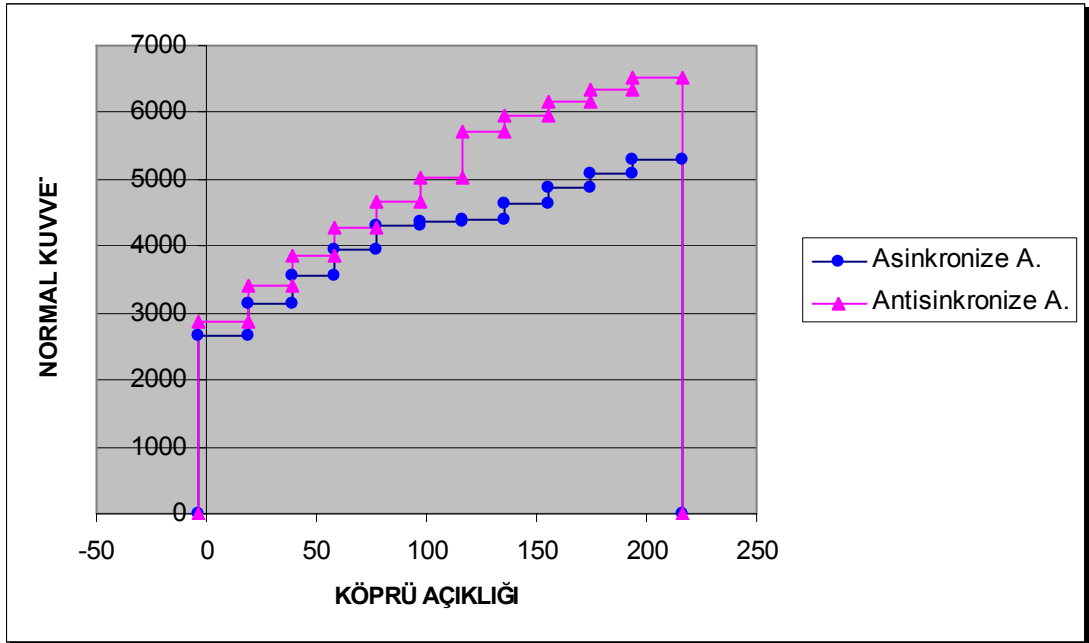


(c)

Şekil 4.16.(Devam) CSCB için $v=1000$ m/sn de tabliyede dinamik bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

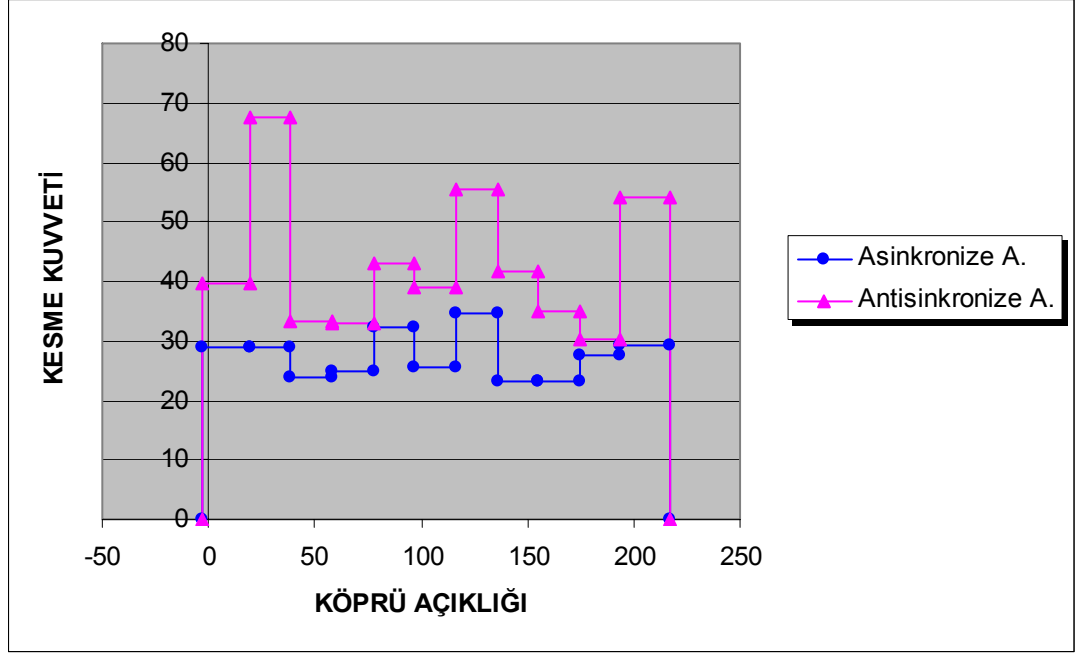


Şekil 4.17. CSCB için $v=1000$ m/sn de tabliyede meydana gelen toplam bileşenler için meydana gelen yer değiştirme

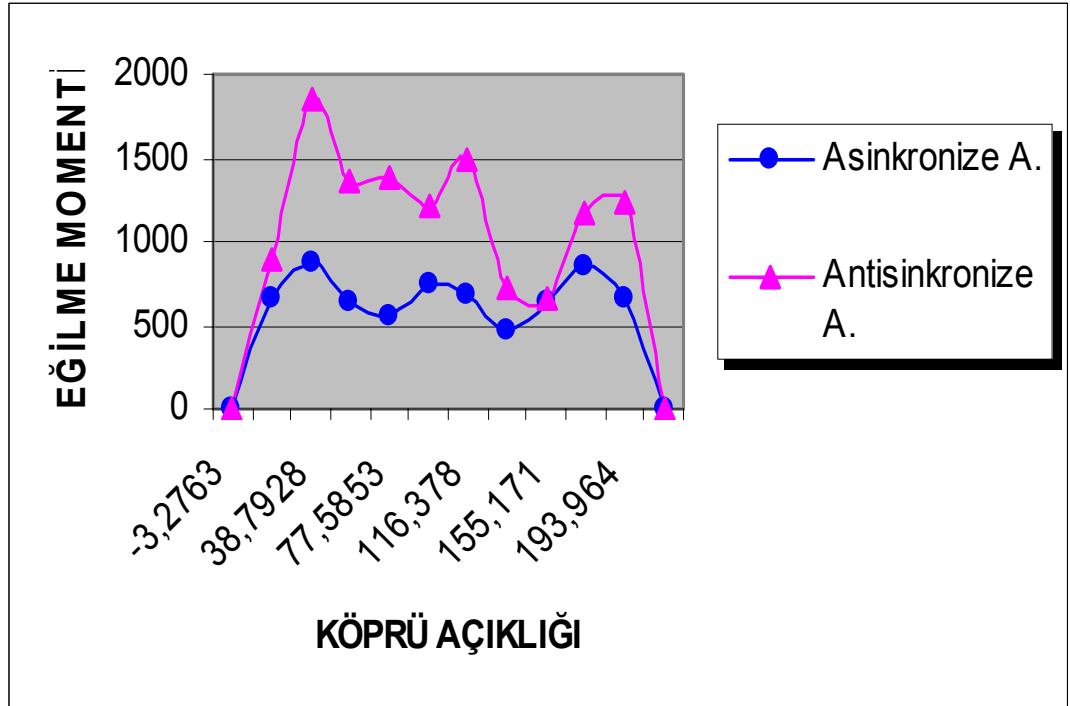


(a)

Şekil 4.18. CSCB için $v=1000$ m/sn de tabliyede toplam bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği



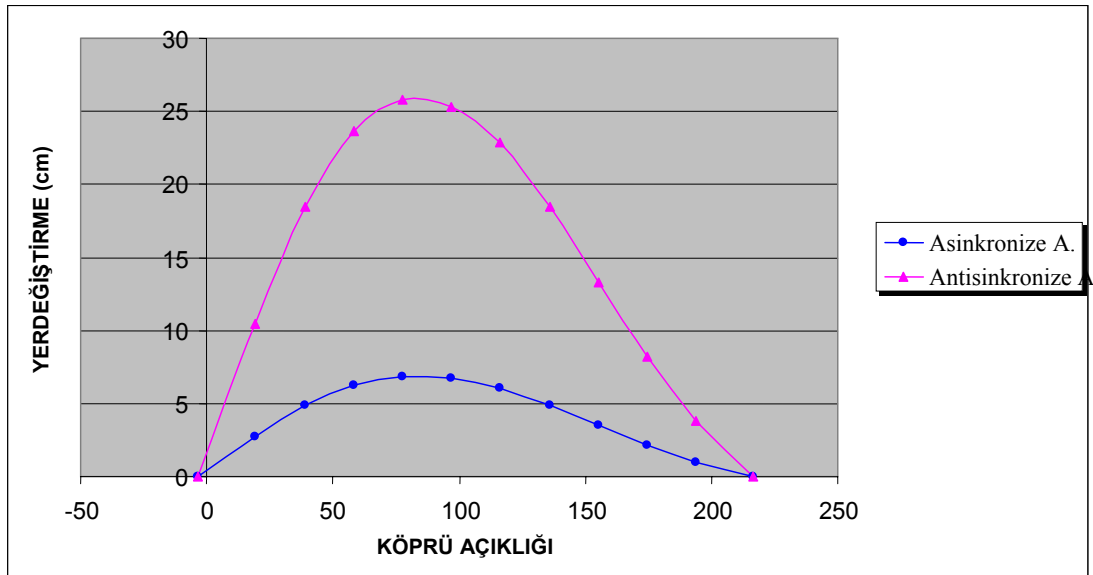
(b)



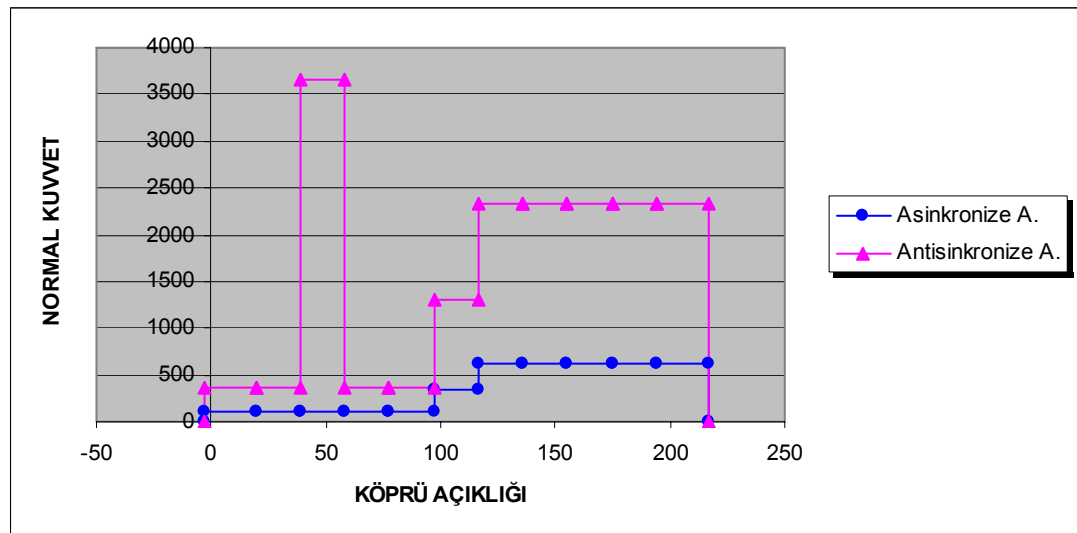
(c)

Şekil 4.18.(Devam) CSCB için $v=1000$ m/sn de tabliyede toplam bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

Yer hareketi yayılma hızının daha da azalarak $V=500$ m/sn olması durumunda zahiri-statik bileşenler için elde edilen değişim $V=1000$ m/sn olması durumundaki değişimle benzerdir (Şekil 4.19, Şekil 4.20).

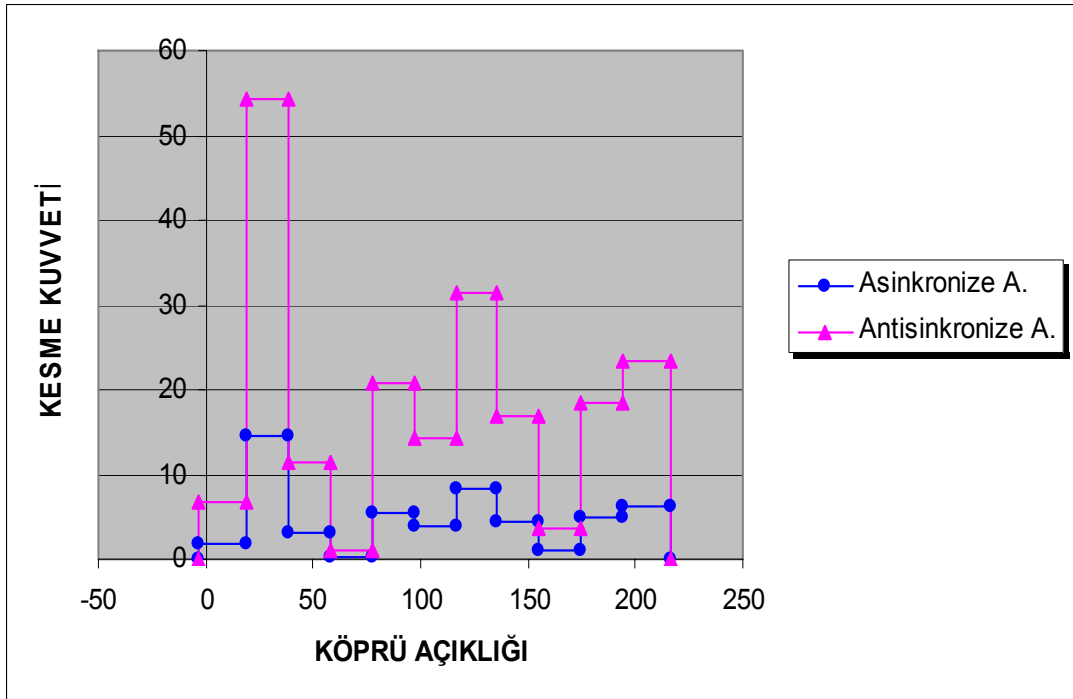


Şekil 4.19. CSCB için $v=500$ m/sn de tabliyede meydana gelen zahiri-statik bileşenler için meydana gelen yer değiştirme

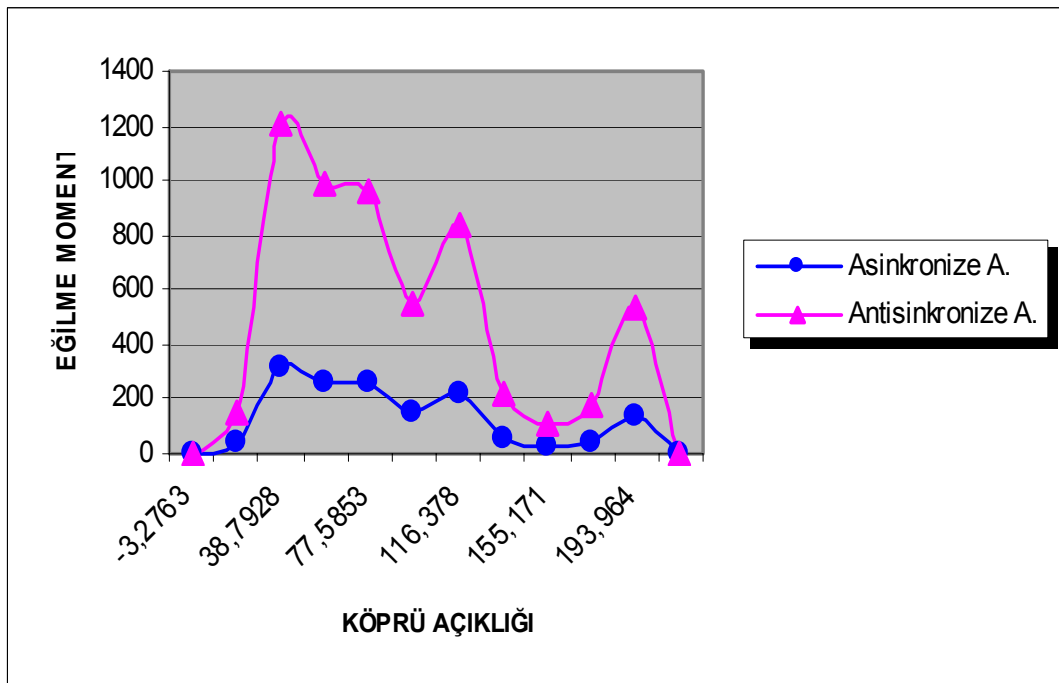


(a)

Şekil 4.20. CSCB için $v=500$ m/sn de tabliyede toplam bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği



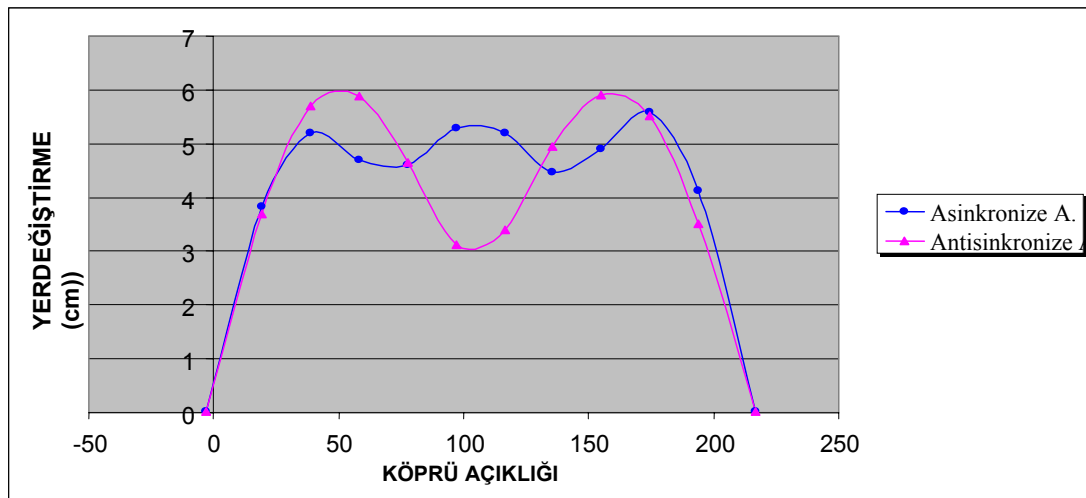
(b)



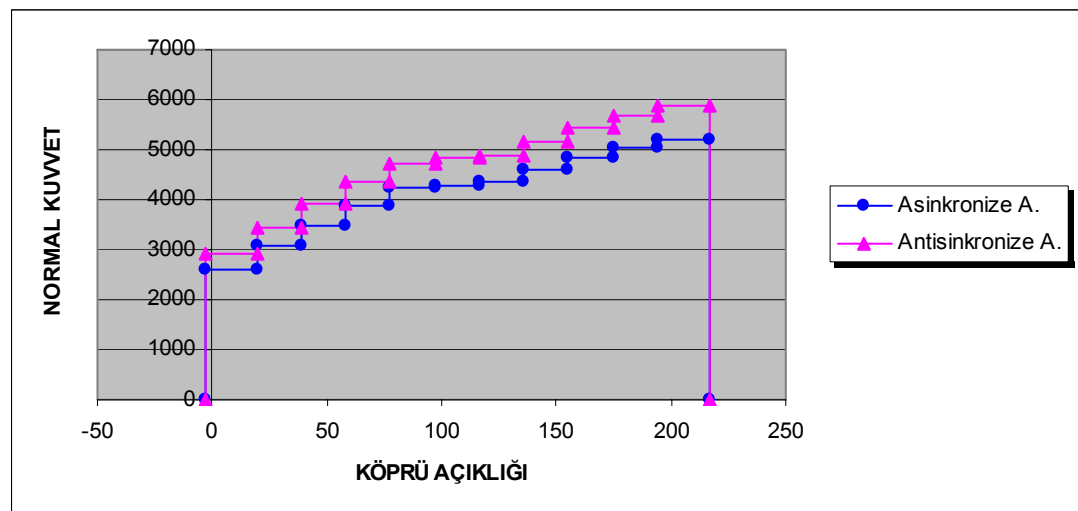
(c)

Şekil 4.20.(Devam) CSCB için $v=500$ m/sn de tabliyede toplam bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

Ancak dinamik ve toplam bileşenler için elde edilen değişim biraz daha farklı olmaktadır. Özellikle dinamik tepki bileşenleri için elde edilen değişime dikkat edilirse, belli bölgelerde asinkronize analiz sonuçlarının, belli bölgelerde de antisinkronize analiz sonuçlarının daha büyük çıktığı gözlenmektedir (Şekil 4.21, Şekil 4.22).

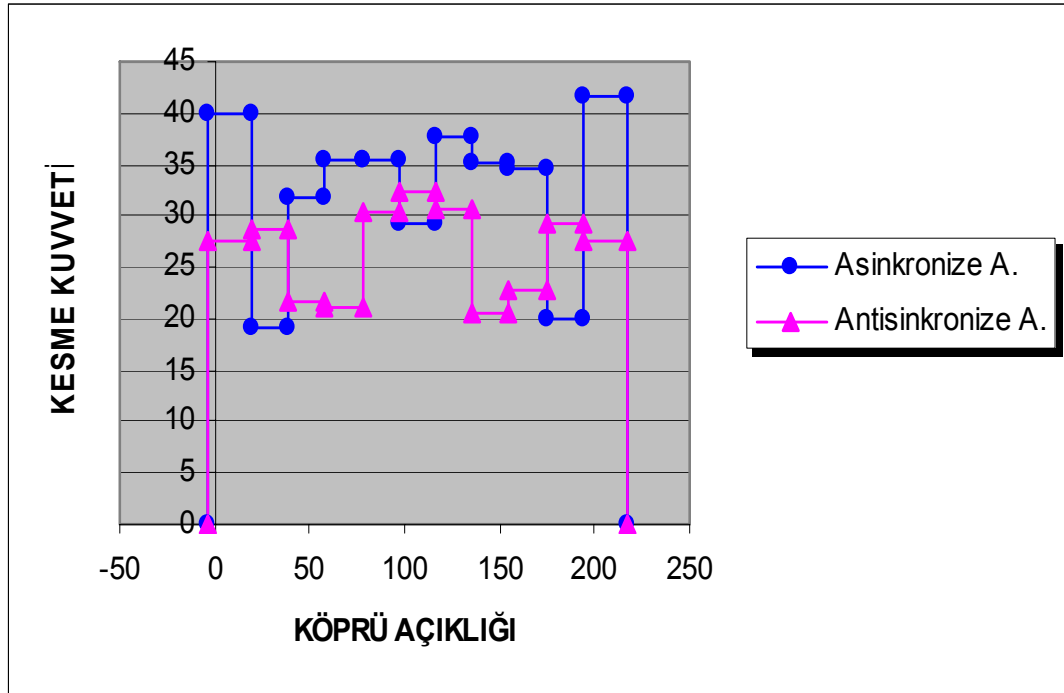


Şekil 4.21. CSCB için $v=500$ m/sn de tabliyede meydana gelen dinamik bileşenler için meydana gelen yer değiştirme

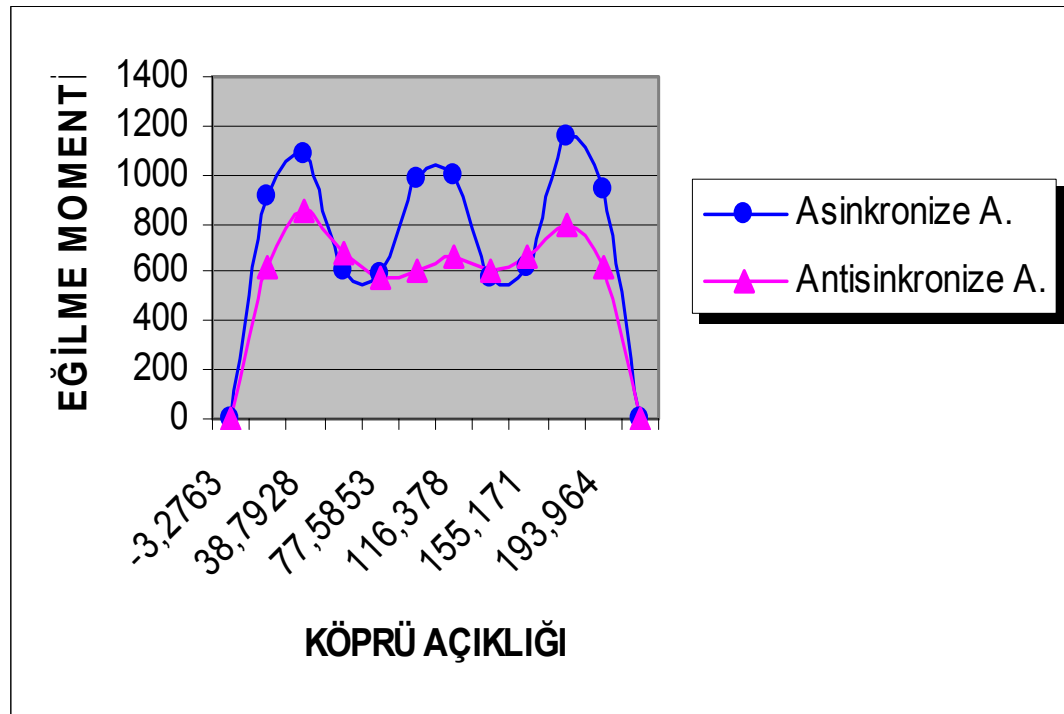


(a)

Şekil 4.22. CSCB için $v=500$ m/sn de tabliyede meydana gelen dinamik bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği



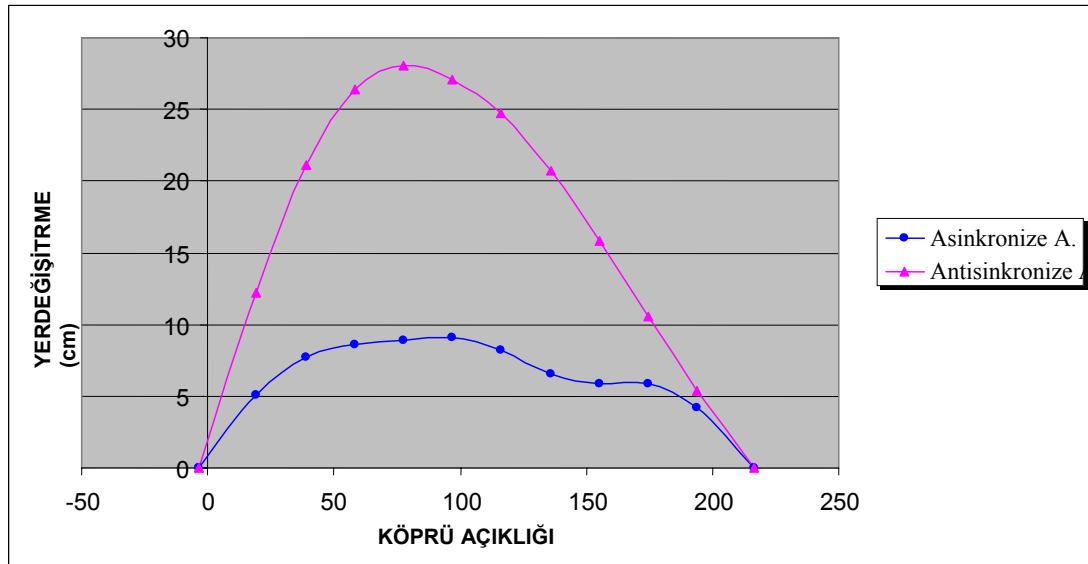
(b)



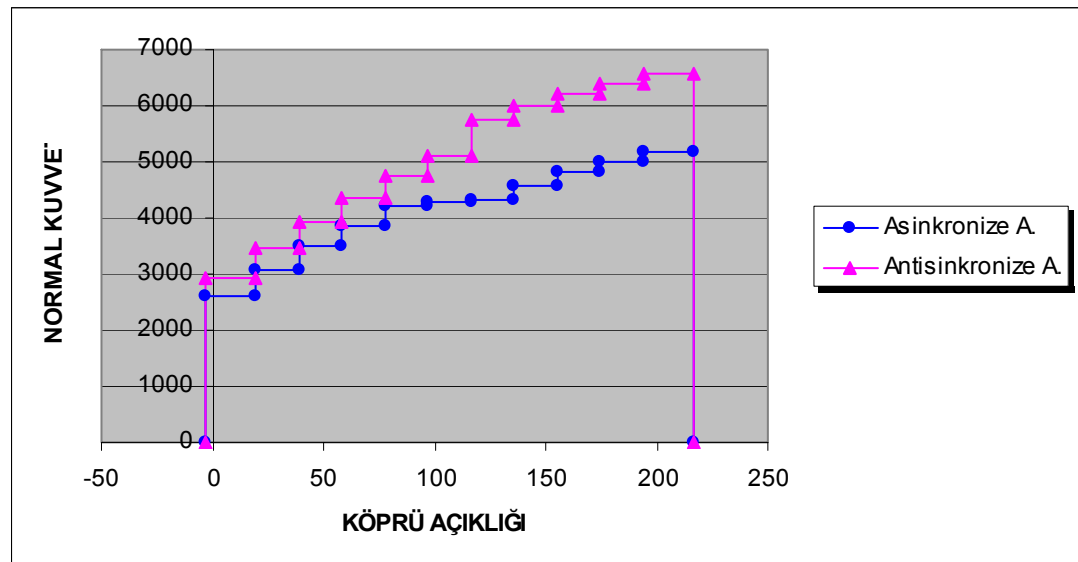
(c)

Şekil 4.22.(Devam) CSCB için $v=500$ m/sn de tabliyede dinamik bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

Ancak toplam tepki için elde edilen değişimde özellikle zahiri-statik tepkilerin katkılarıyla antisinkronize analiz sonuçları daha büyük çıkmaktadır (Şekil 4.23, Şekil 4.24).

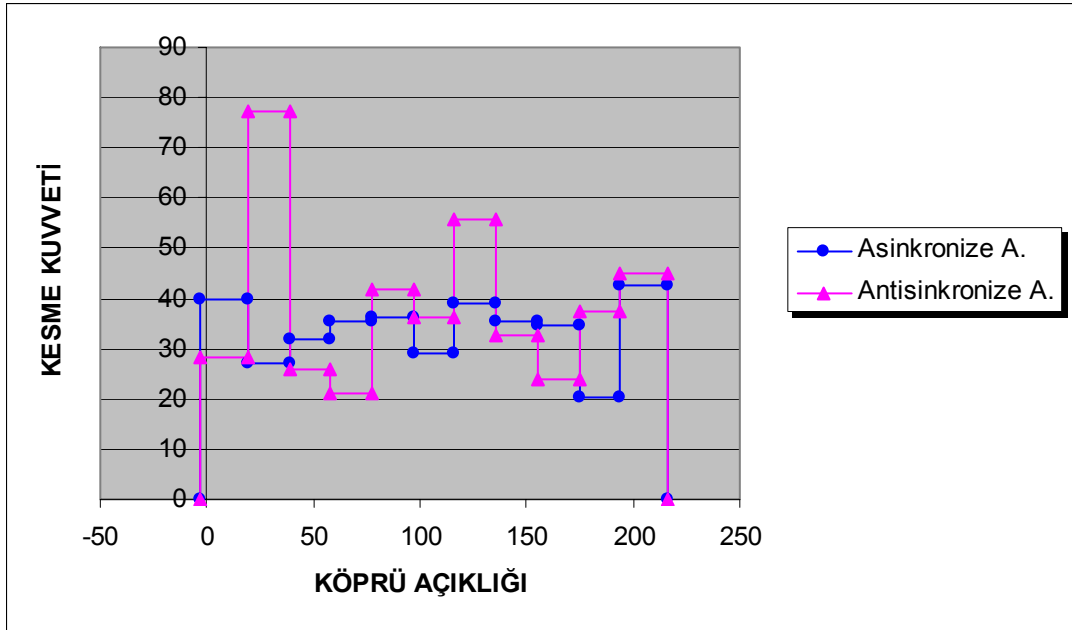


Şekil 4.23. CSCB için $v=500$ m/sn de tabliyede meydana gelen toplam bileşenler için meydana gelen yer değiştirme

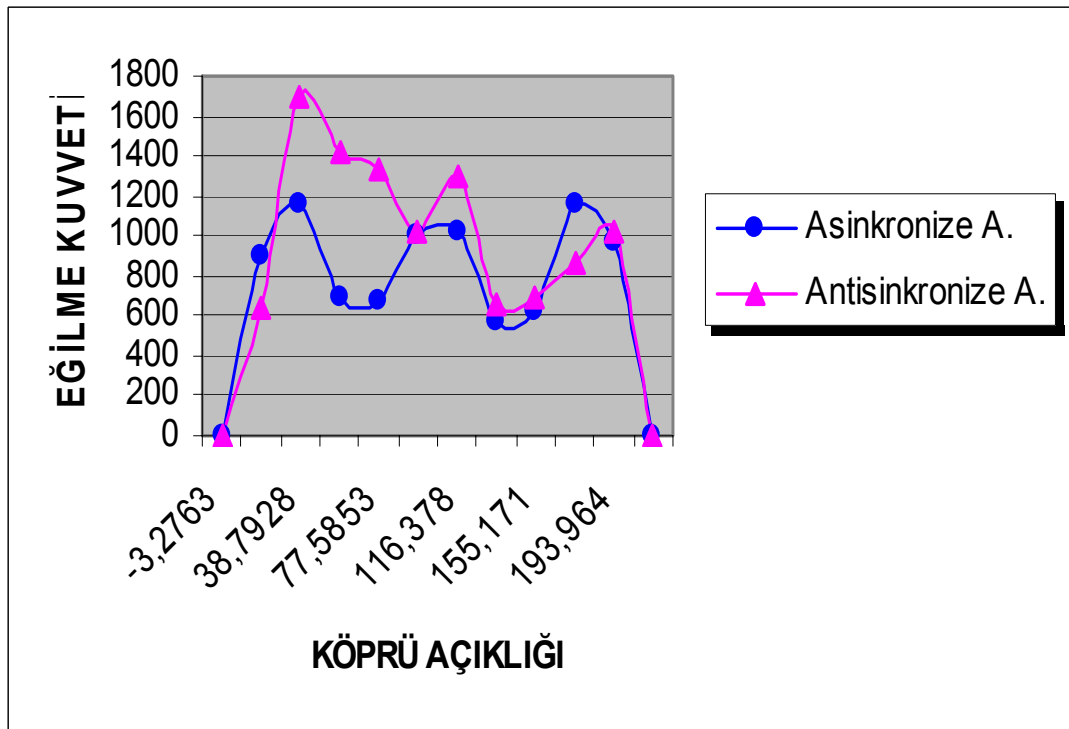


(a)

Şekil 4.24. CSCB için $v=500$ m/sn de tabliyede toplam bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği



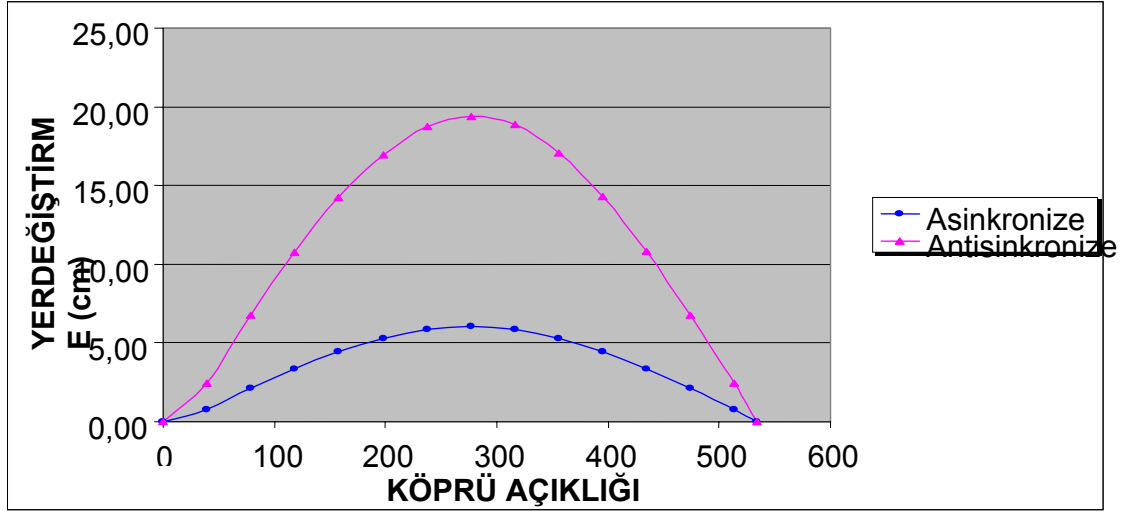
(b)



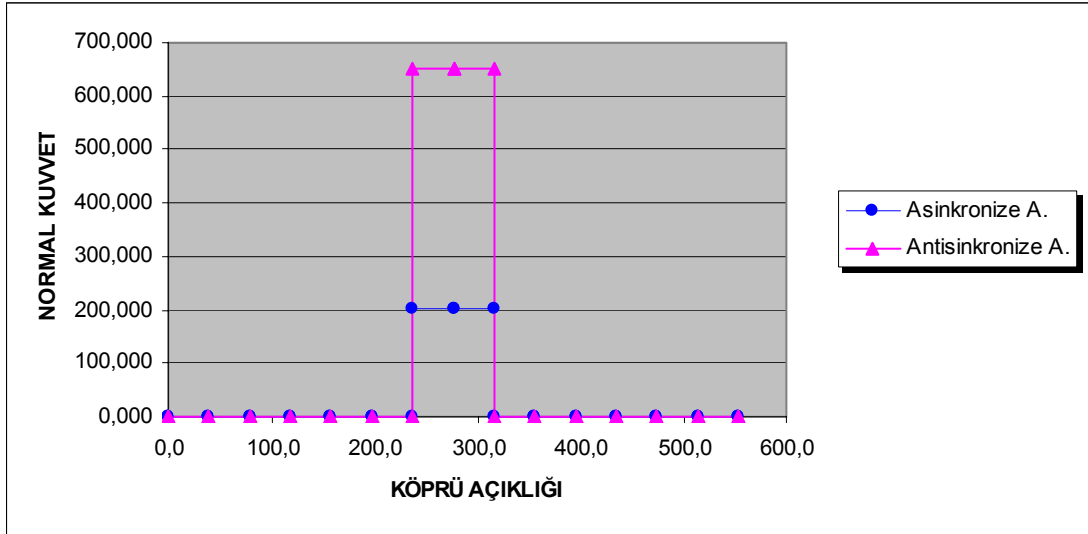
(c)

Şekil 4.24.(Devam) CSCB için $v=500$ m/sn de tabliyede toplam bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

Benzer analizler $V=500$ m/sn ve $V=1000$ m/sn için NRGB köprü sistemi için de gerçekleştirilmiştir. Her iki hız durumunda da antisinkronize analiz ile belirlenen tepkiler daha büyük olurken (Şekil 4.25 - Şekil 4.28), dinamik tepki bileşenler için özellikle $V=1000$ m/sec için, asinkronize analiz sonuçlarının genellikle daha büyük olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.29 - Şekil 4.32).

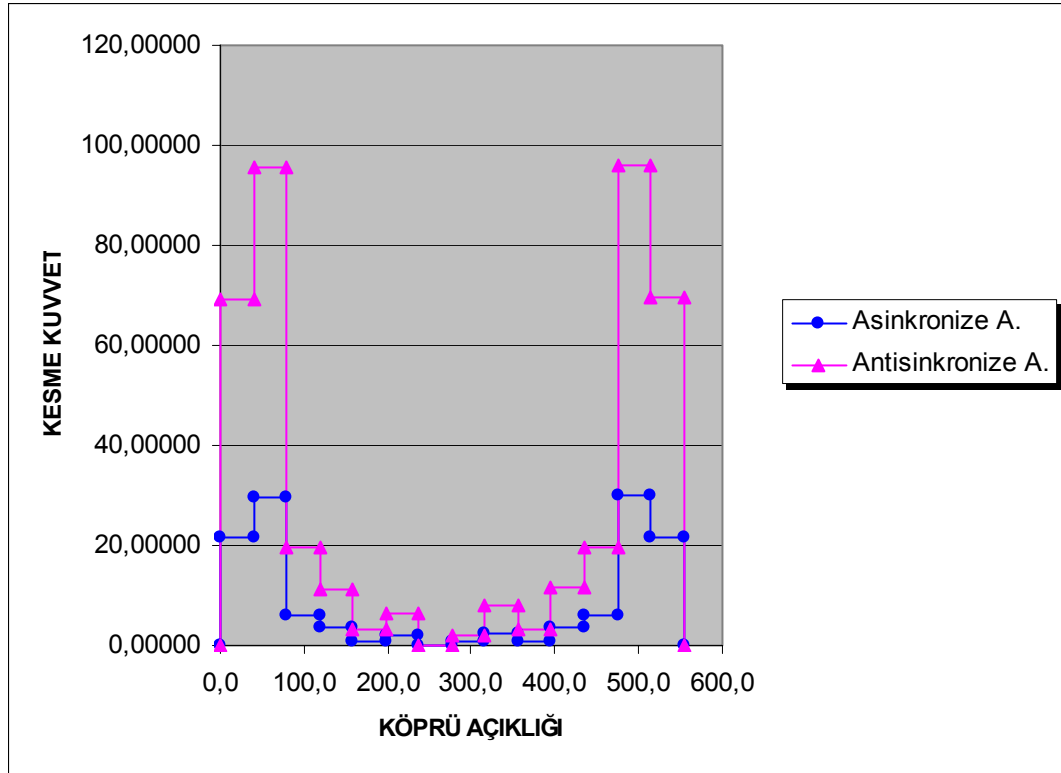


Şekil 4.25. NRGB için $v=1000$ m/sn de tabliyede meydana gelen zahiri-statik bileşenler için meydana gelen yer değiştirme

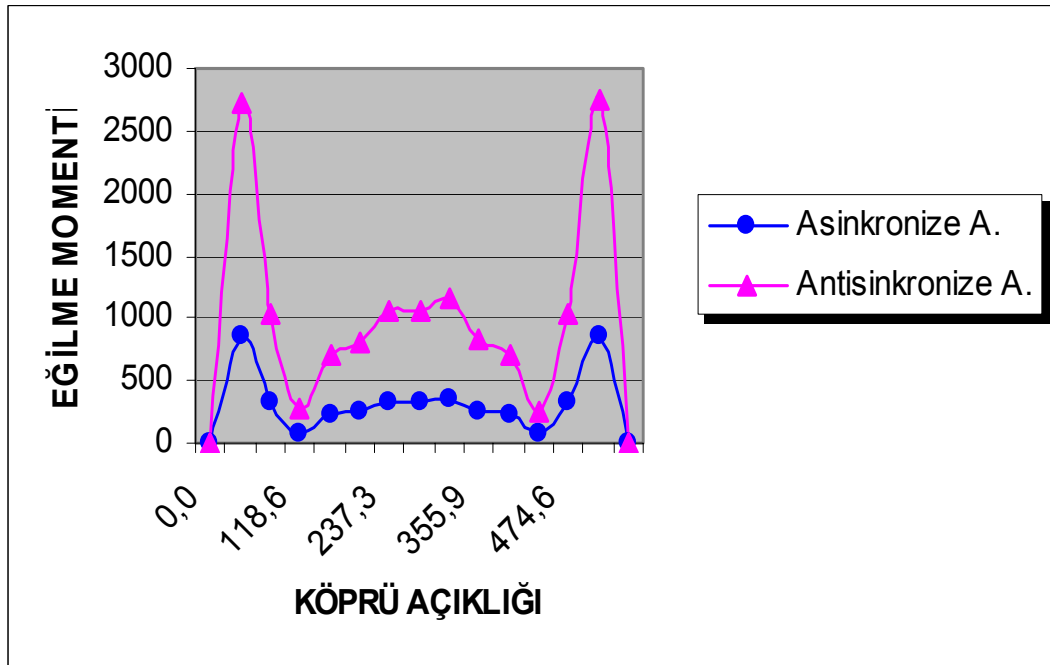


(a)

Şekil 4.26. NRGB için $v=1000$ m/sn de tabliyede zahiri-statik bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

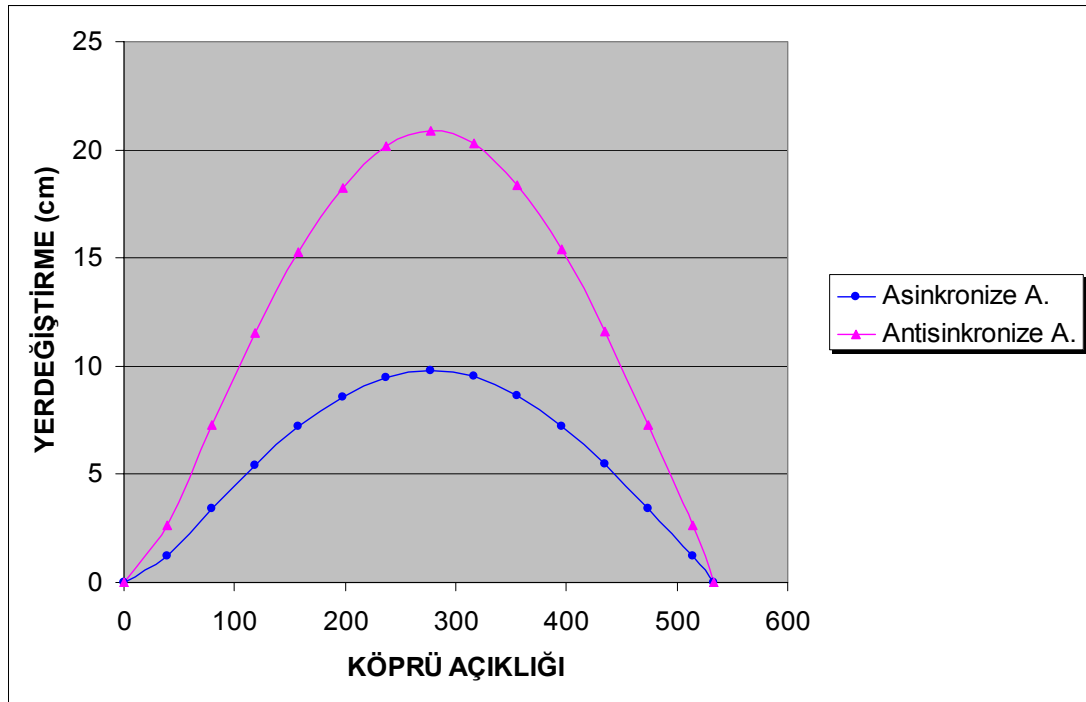


(b)

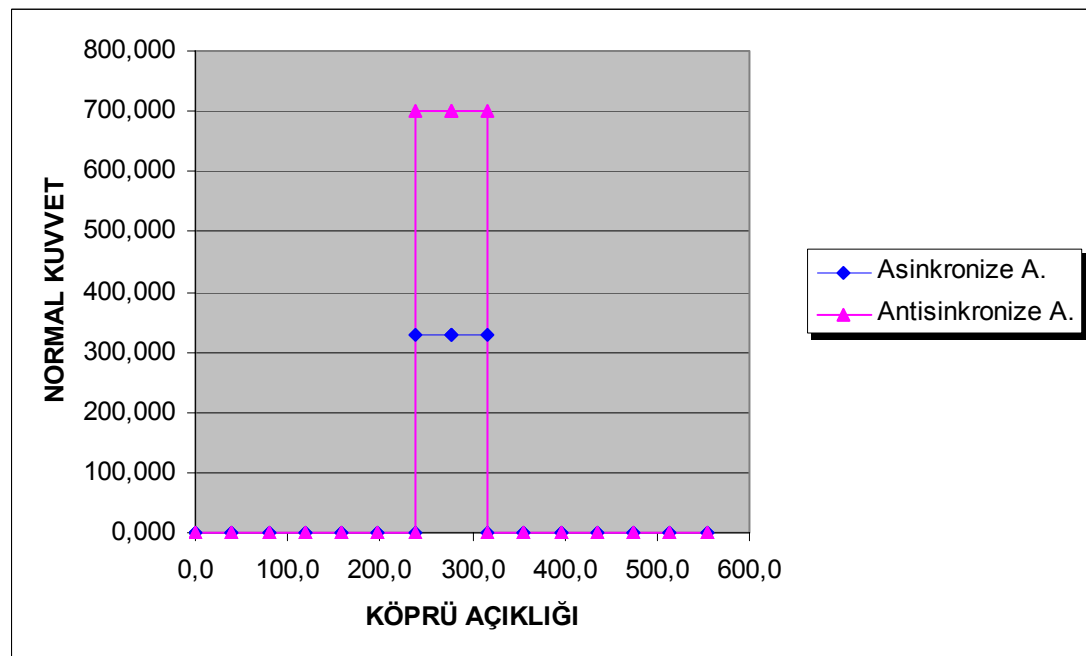


(c)

Şekil 4.26.(Devam) NRGB için $v=1000$ m/sn de tabliyede zahiri-statik bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

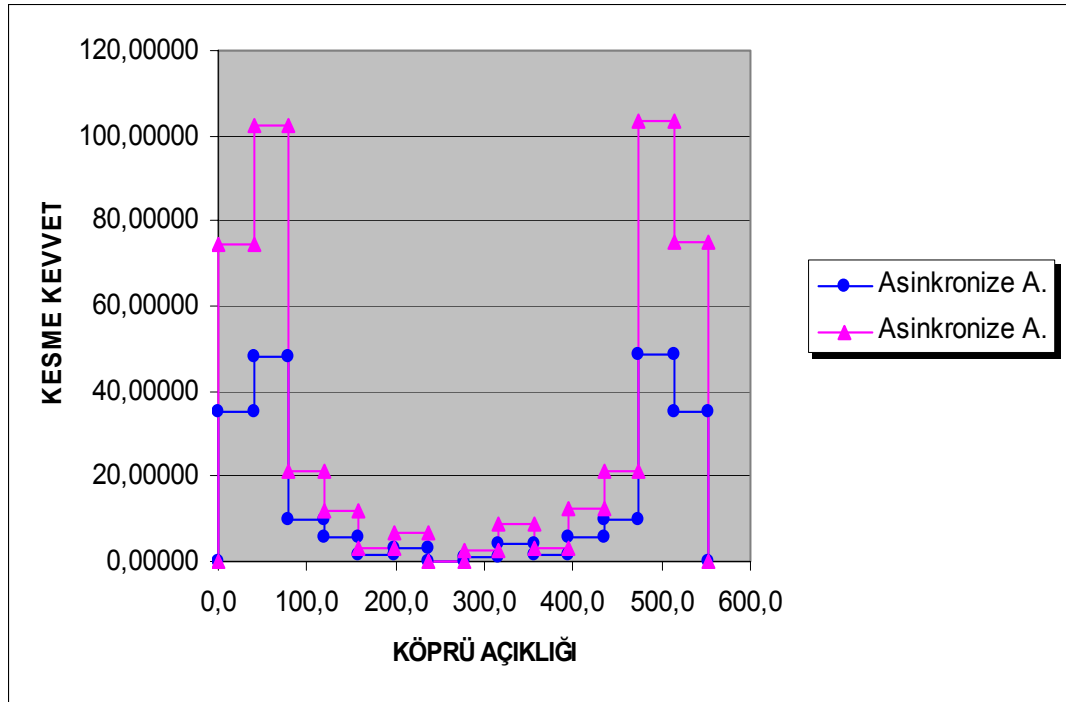


Şekil 4.27. NRGB için $v=500$ m/sn de tabliyede meydana gelen zahiri-statik bileşenler için meydana gelen yer değiştirme

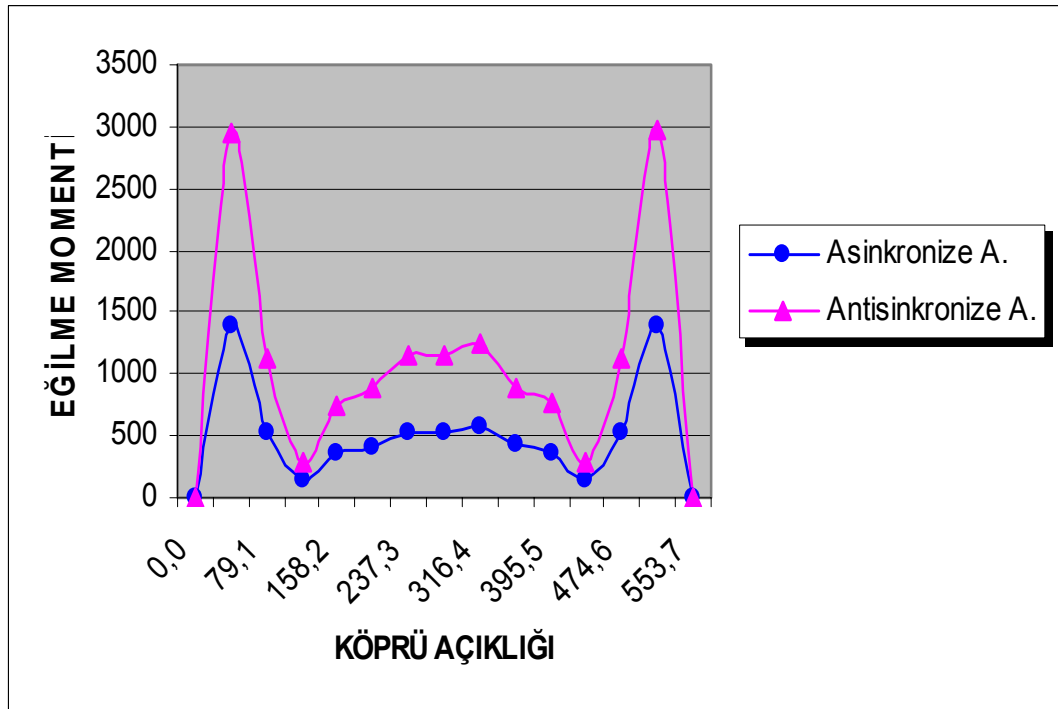


(a)

Şekil 4.28. NRGB için $v=500$ m/sn de tabliyede zahiri-statik bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

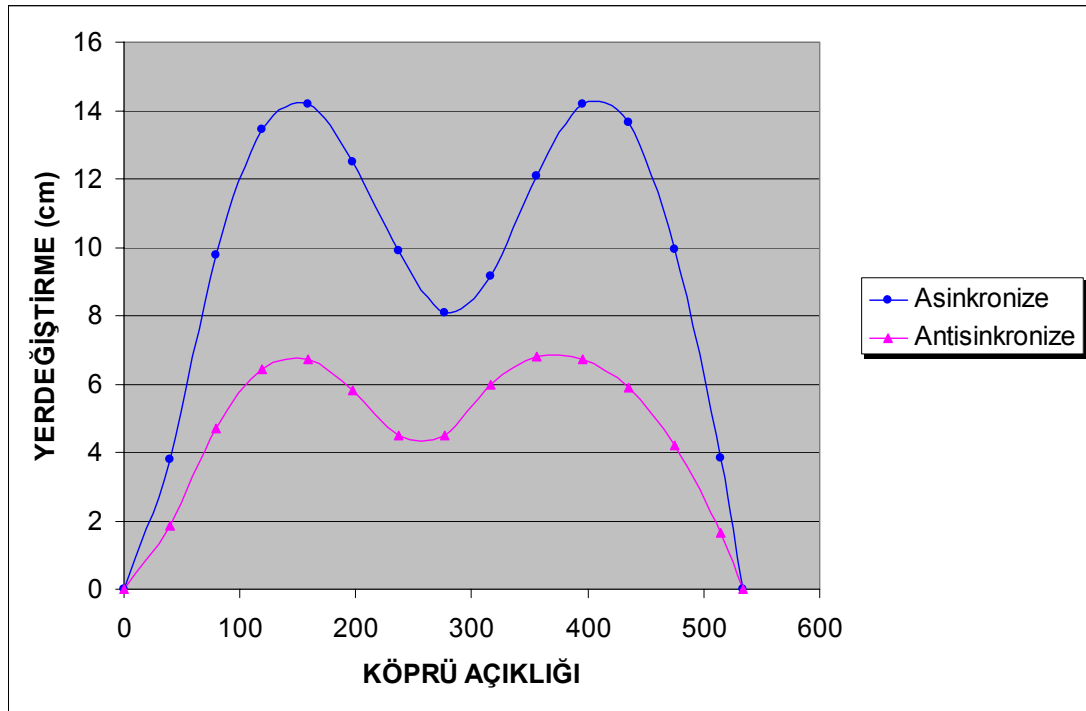


(b)

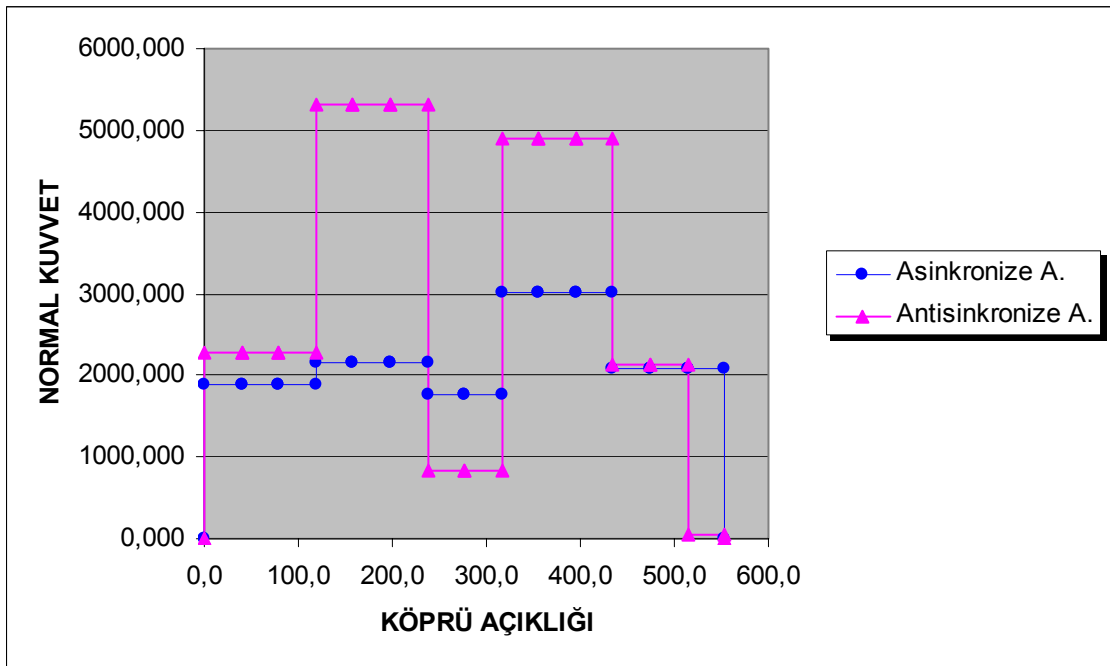


(c)

Şekil 4.28.(Devam) NRGB için $v=500$ m/sn de tabliyede zahiri-statik bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

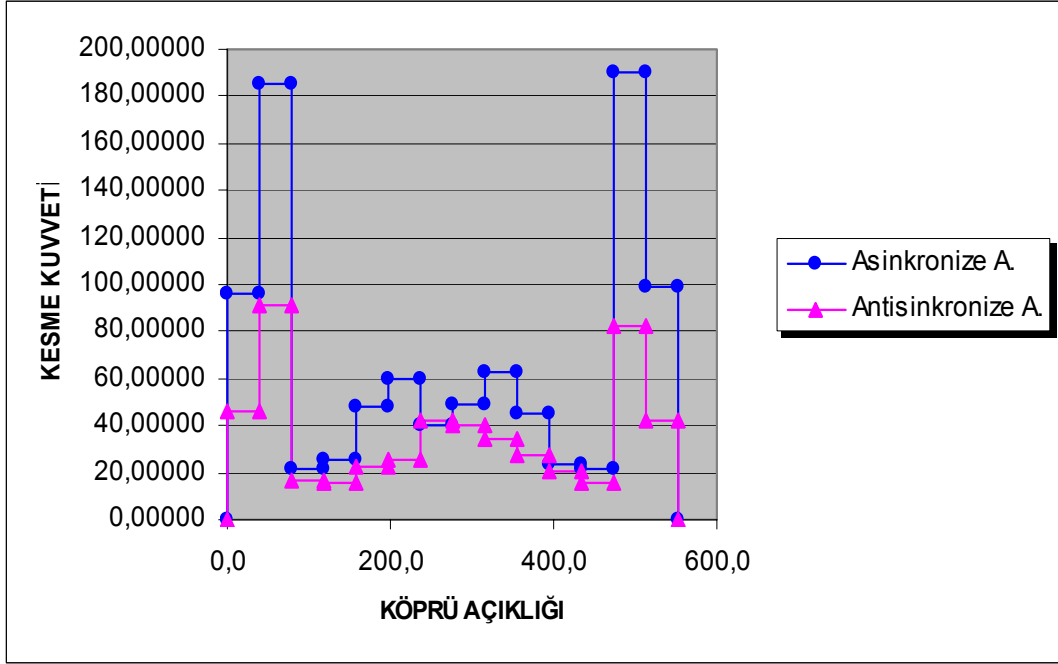


Şekil 4.29. NRGB için $v=1000$ m/sn de tabliyede meydana gelen dinamik bileşenler için meydana gelen yer değiştirme

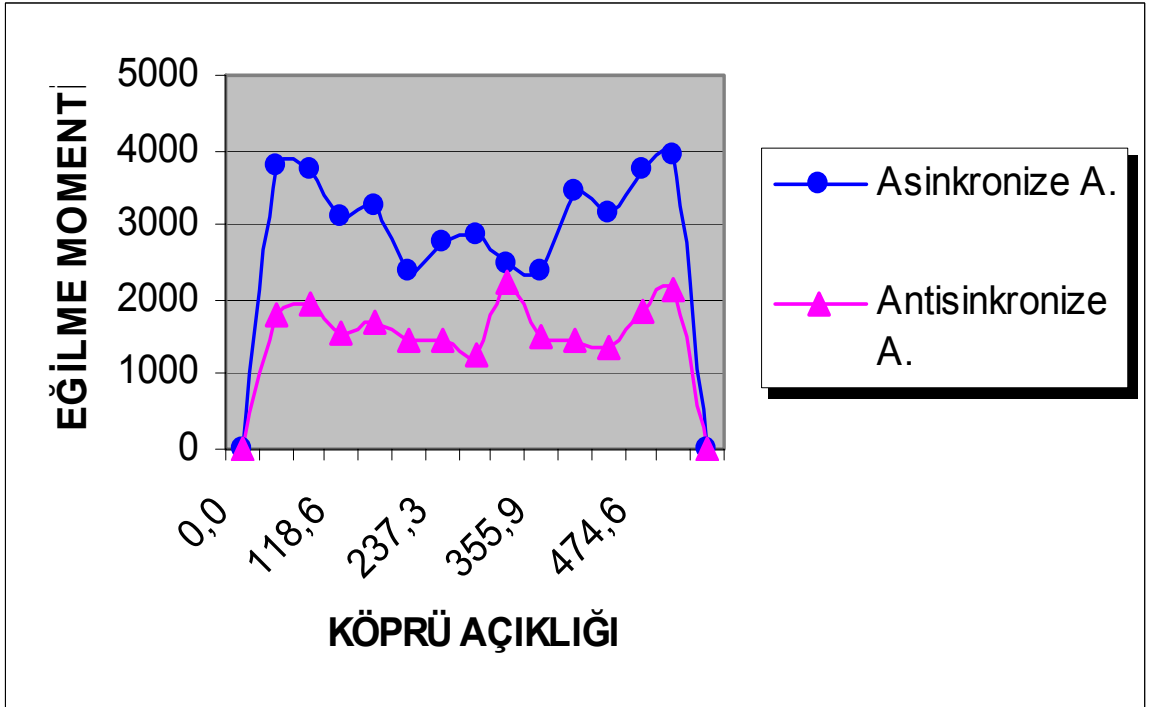


(a)

Şekil 4.30. NRGB için $v=1000$ m/sn de tabliyede dinamik bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

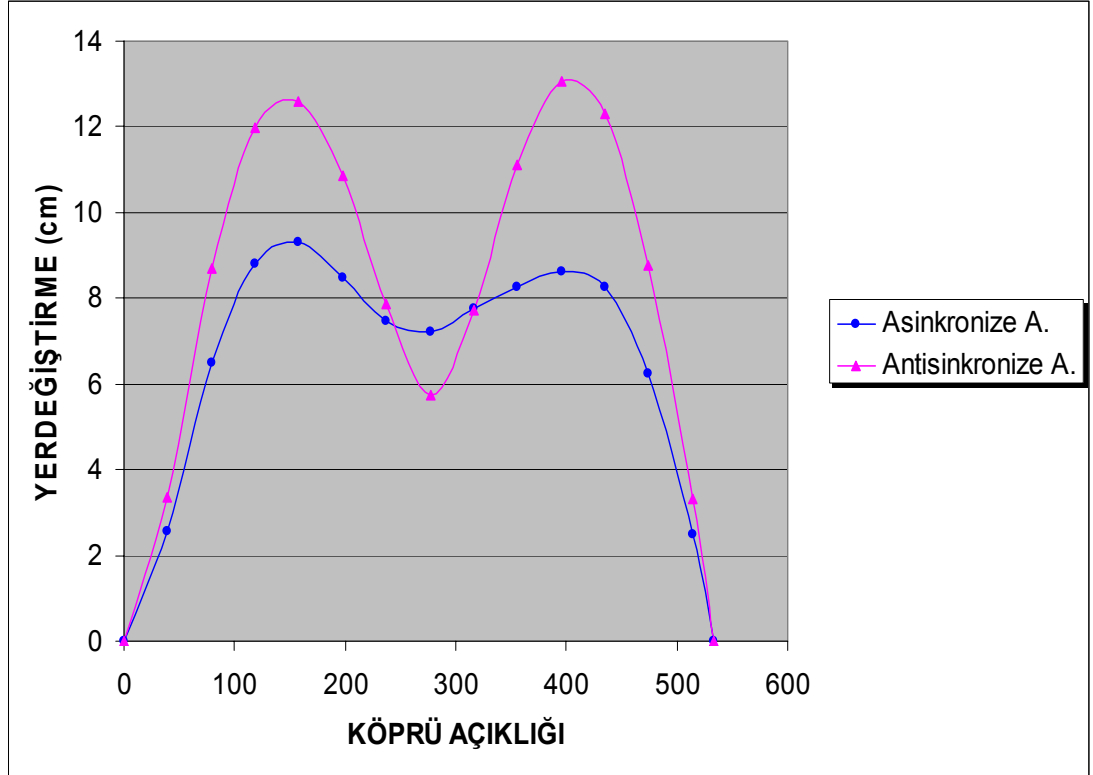


(b)

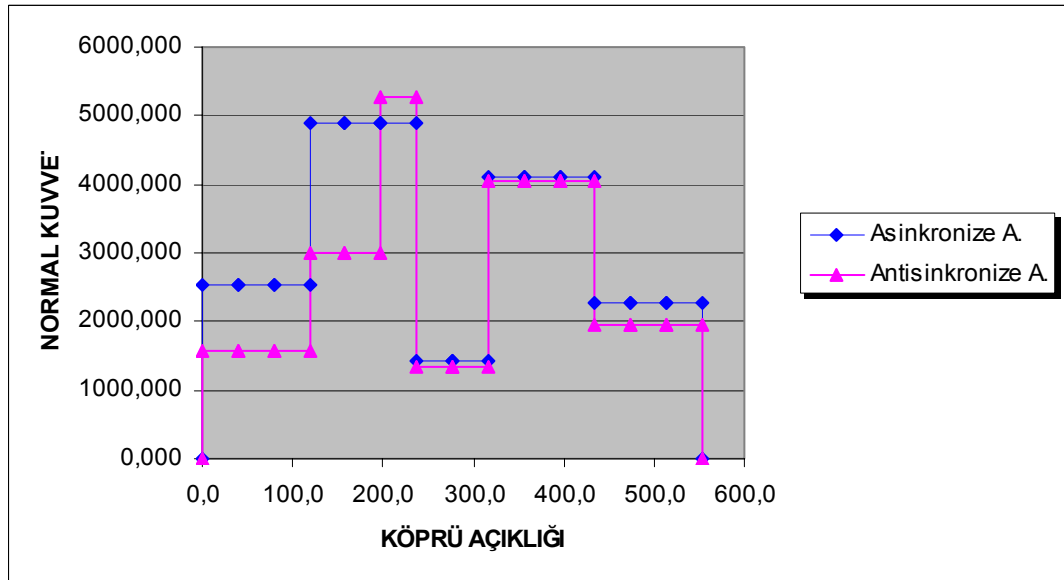


(c)

Şekil 4.30.(Devam) NRGB için $v=1000$ m/sn de tabliyede dinamik bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

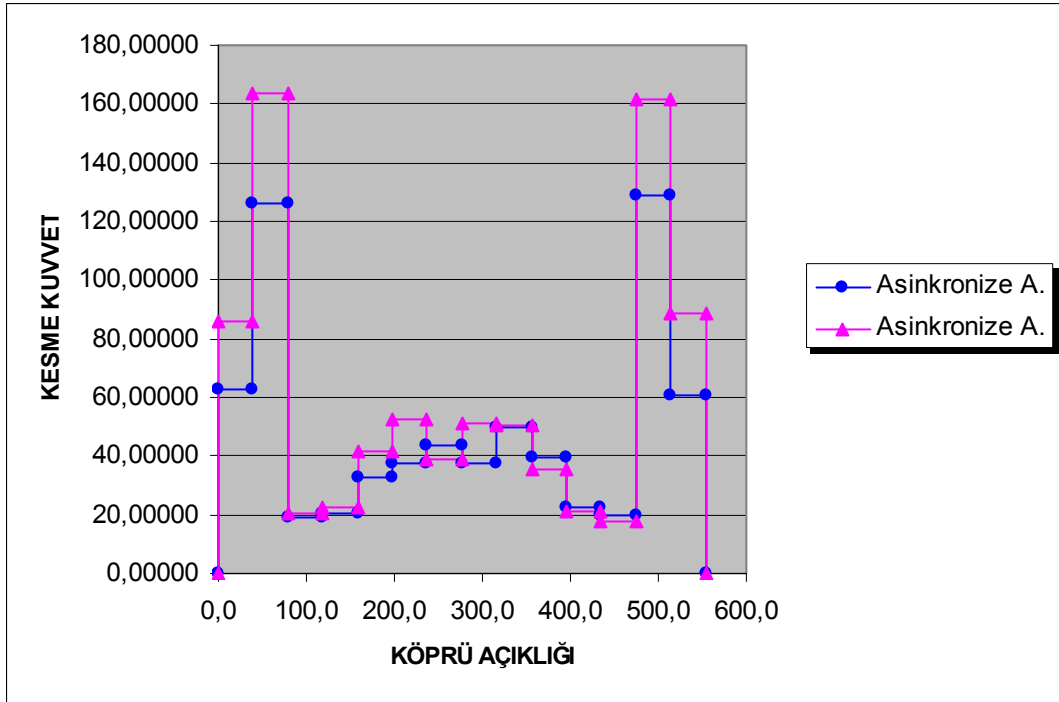


Şekil 4.31. NRGB için $v=500$ m/sn de tabliyede meydana gelen dinamik bileşenler için meydana gelen yer değiştirme

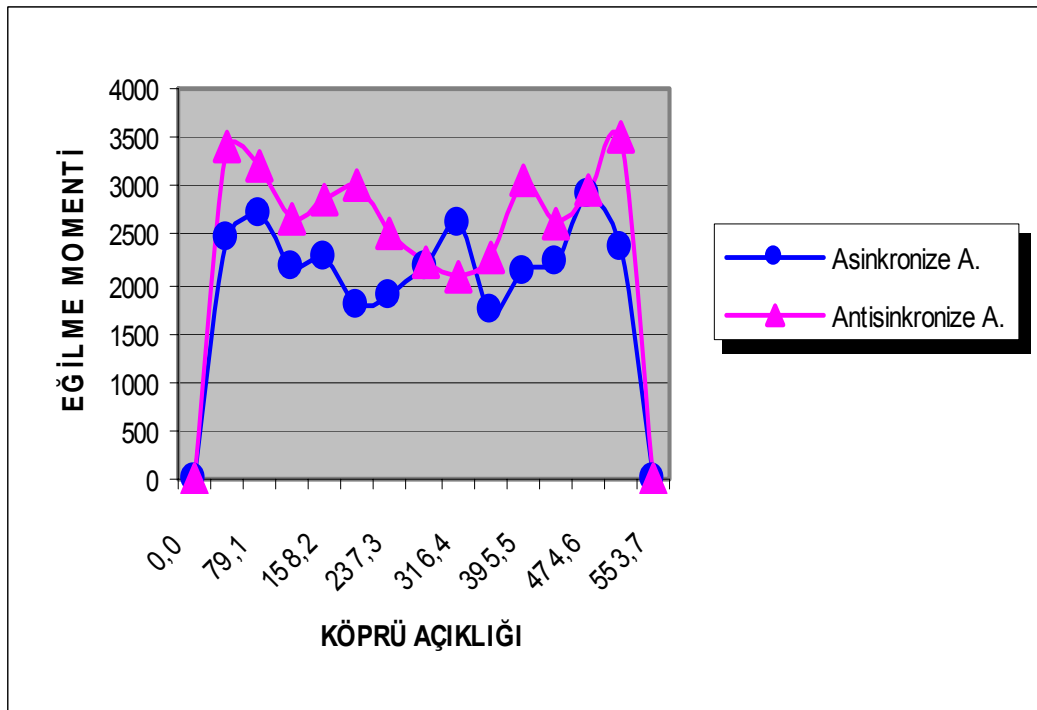


(a)

Şekil 4.32. NRGB için $v=500$ m/sn de tabliyede dinamik bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği



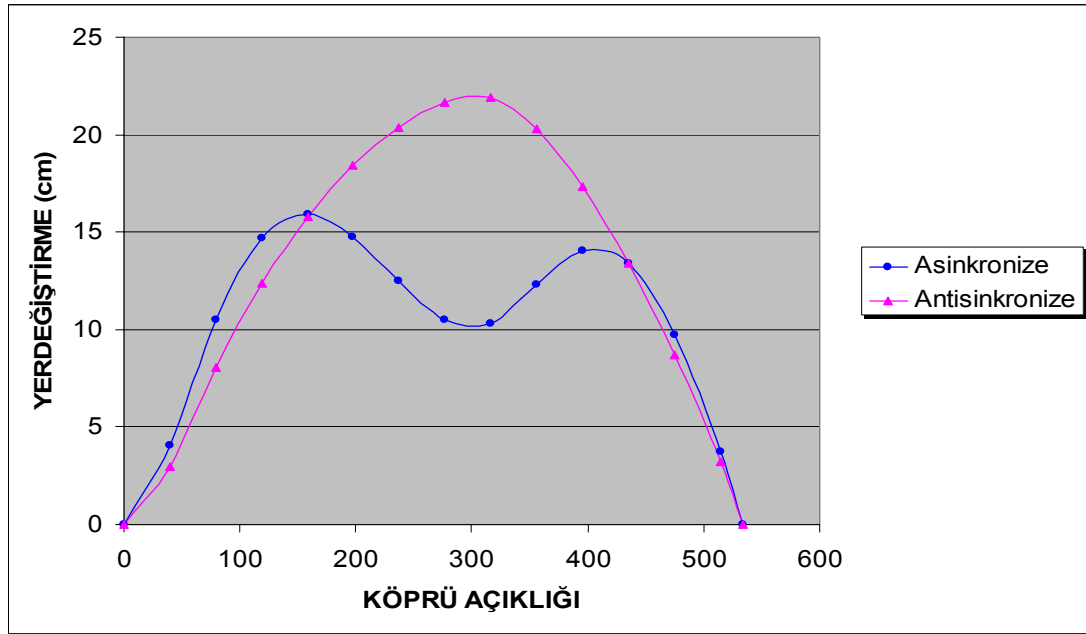
(b)



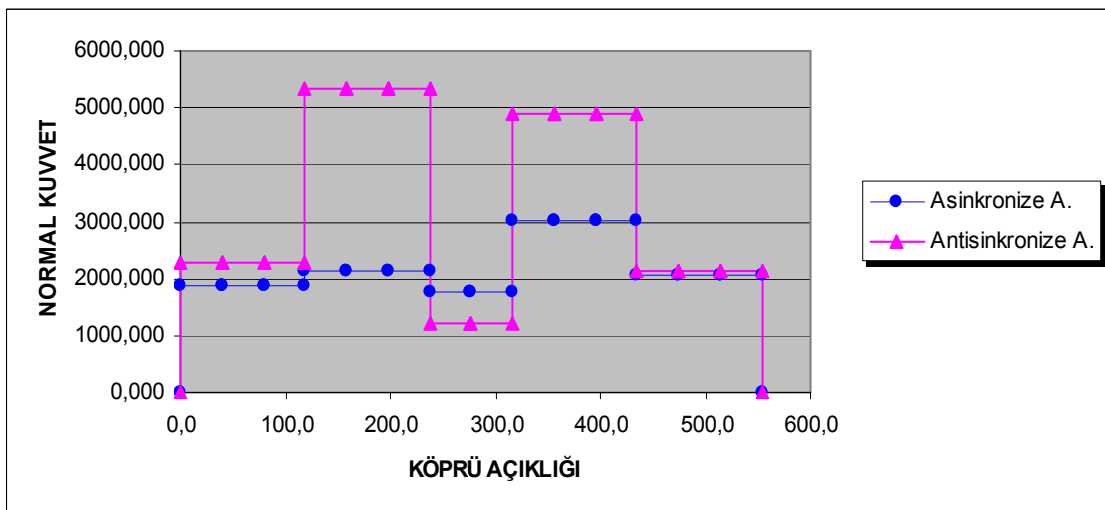
(c)

Şekil 4.32.(Devam) NRGB için $v=500$ m/sn de tabliyede dinamik bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

Zahiri-statik ve dinamik tepkilerin toplanmasıyla elde edilen toplam tepkiler için ise, belli bölgelerde asinkronize analiz sonuçlarının, belli bölgelerde de antisinkronize analiz sonuçlarının büyük çıktığı gözlenmektedir (Şekil 4.33 - Şekil 4.36).

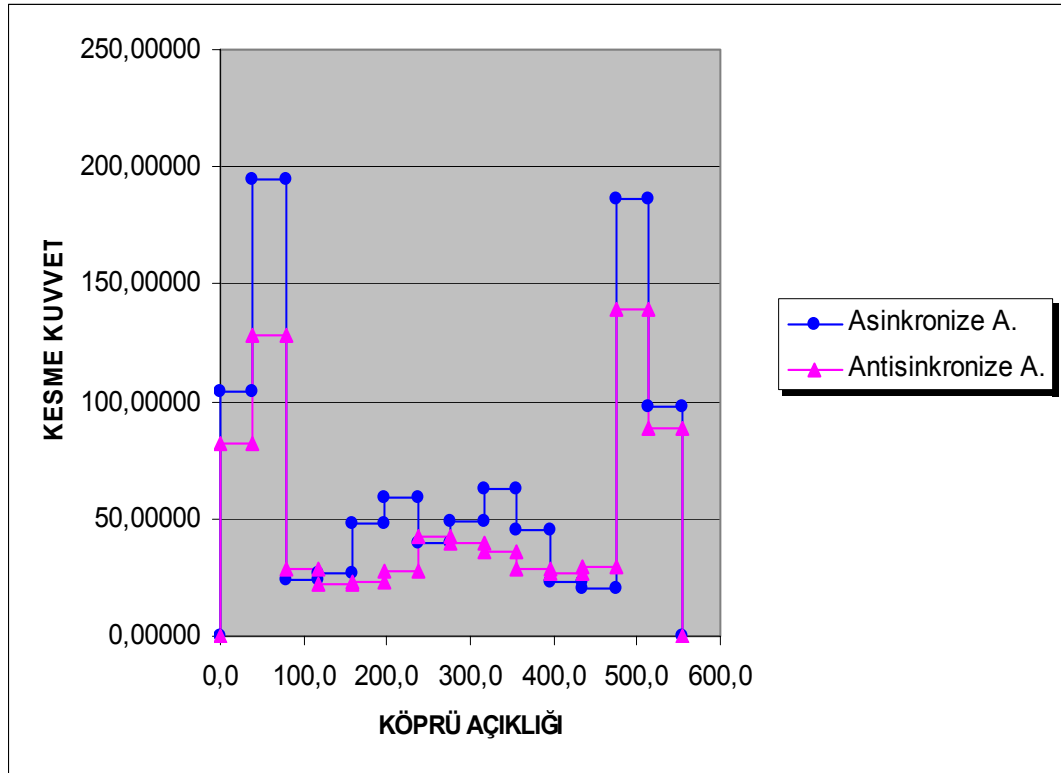


Şekil 4.33. NRGB için $v=1000$ m/sn de tabliyede meydana gelen toplam bileşenler için meydana gelen yer değiştirme

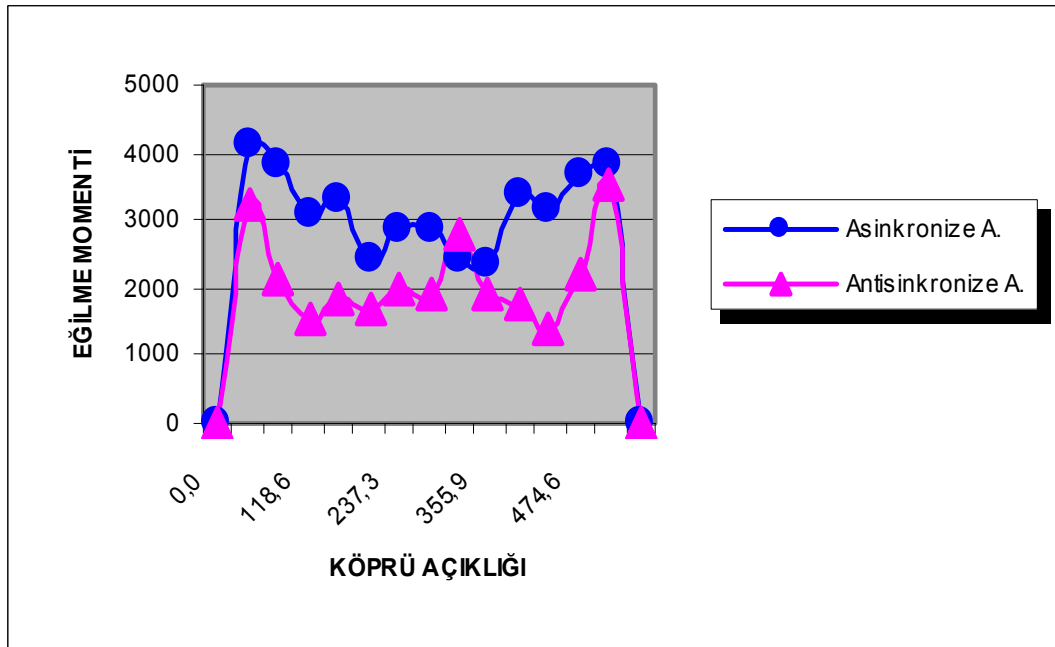


(a)

Şekil 4.34. NRGB için $v=1000$ m/sn de tabliyede toplam bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

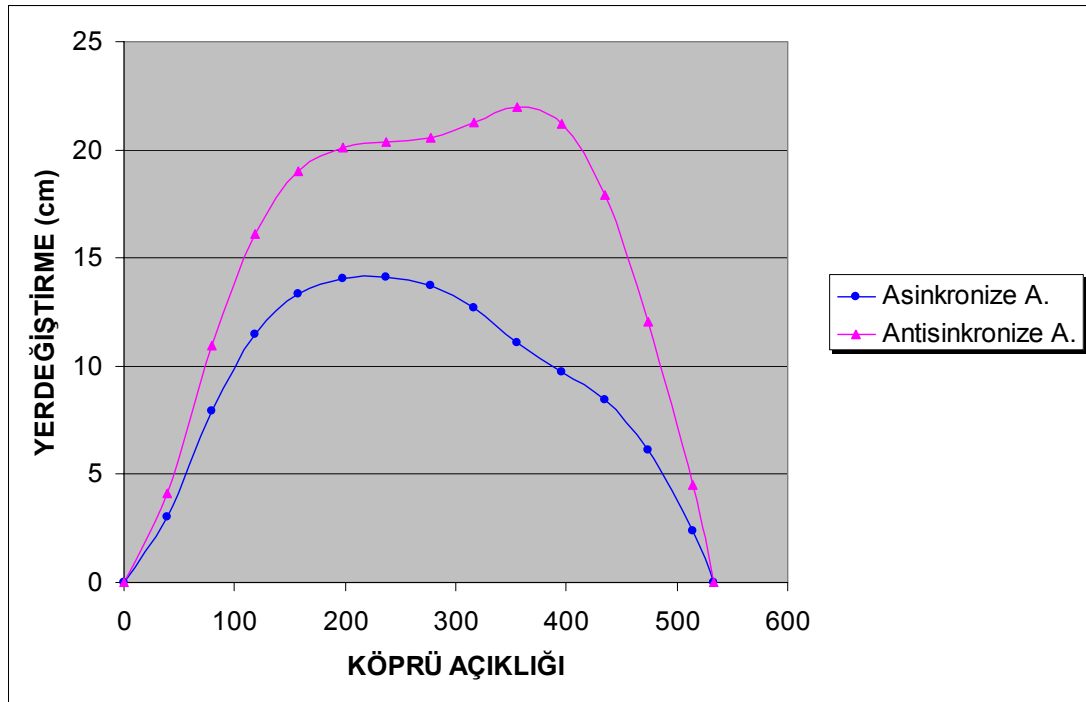


(b)

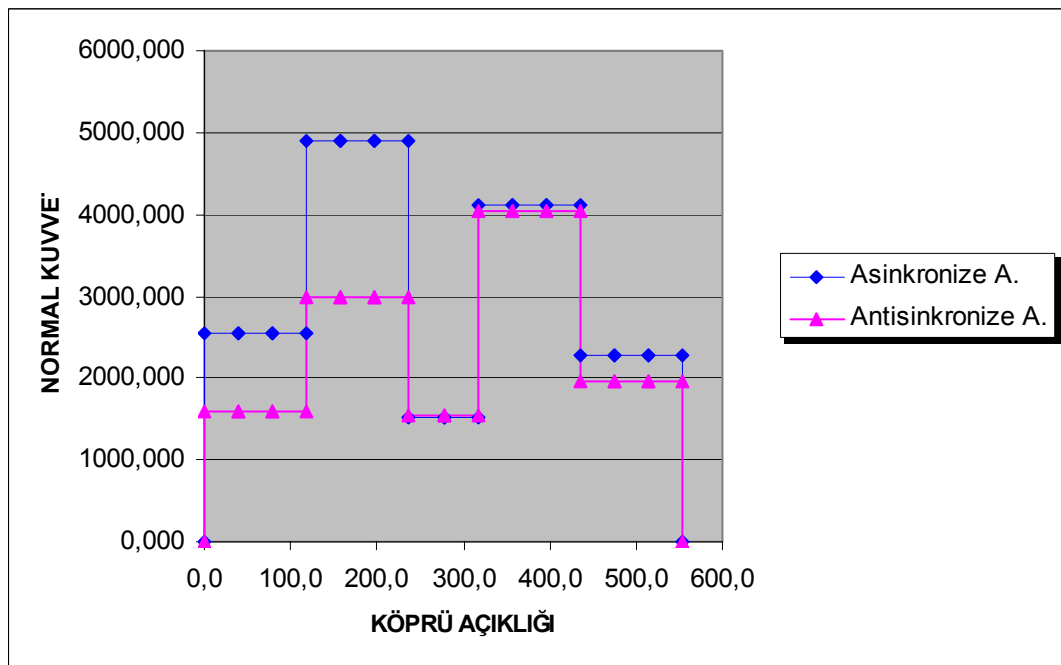


(c)

Şekil 4.34.(Devam) NRGB için $v=1000$ m/sn de tabliyede toplam bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

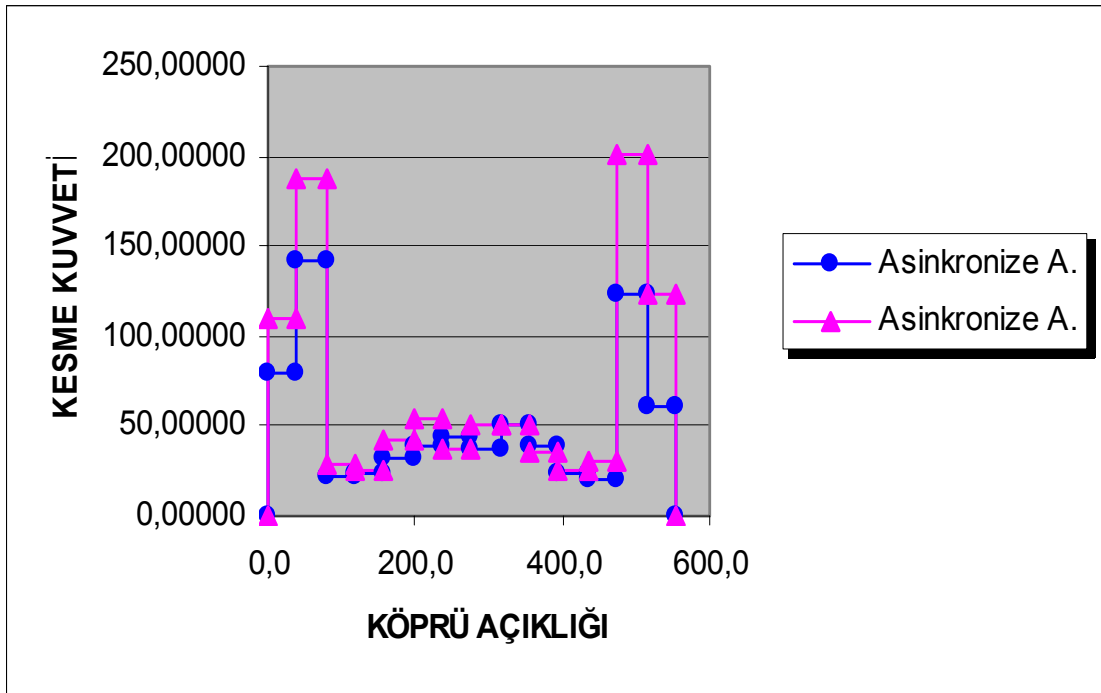


Şekil 4.35. NRGB için $v=500$ m/sn de tabliyede meydana gelen toplam bileşenler için meydana gelen yer değiştirme

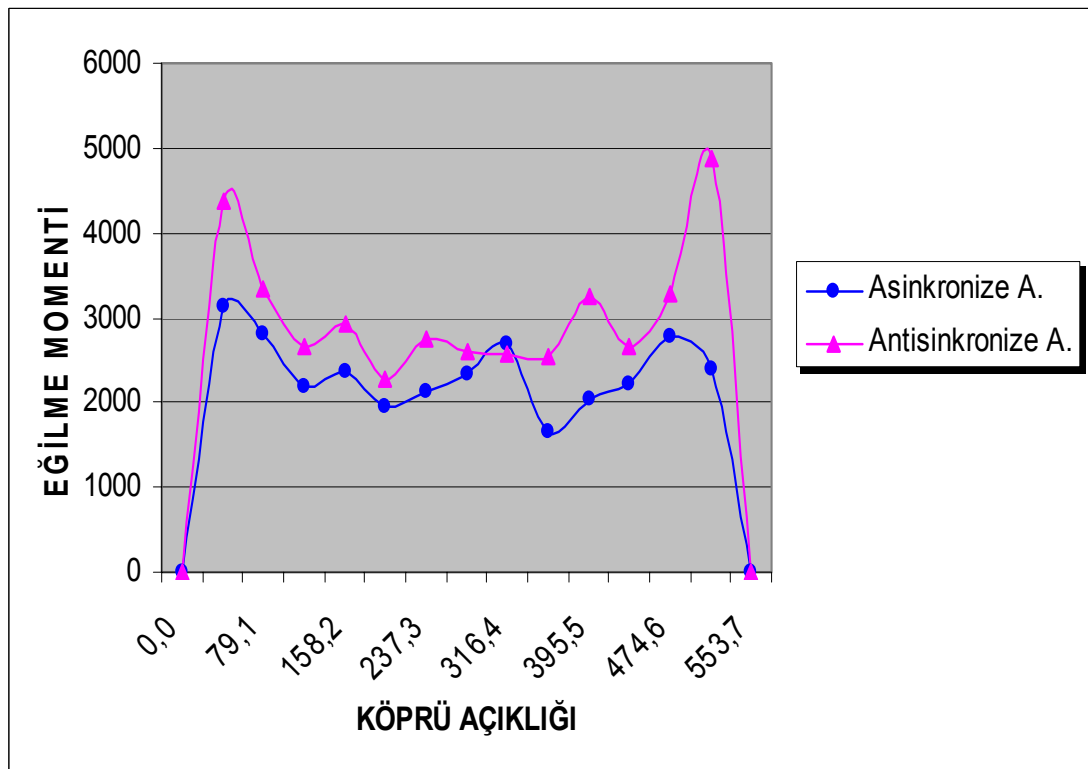


(a)

Şekil 4.36. NRGB için $v=500$ m/sn de tabliyede toplam bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği



(b)

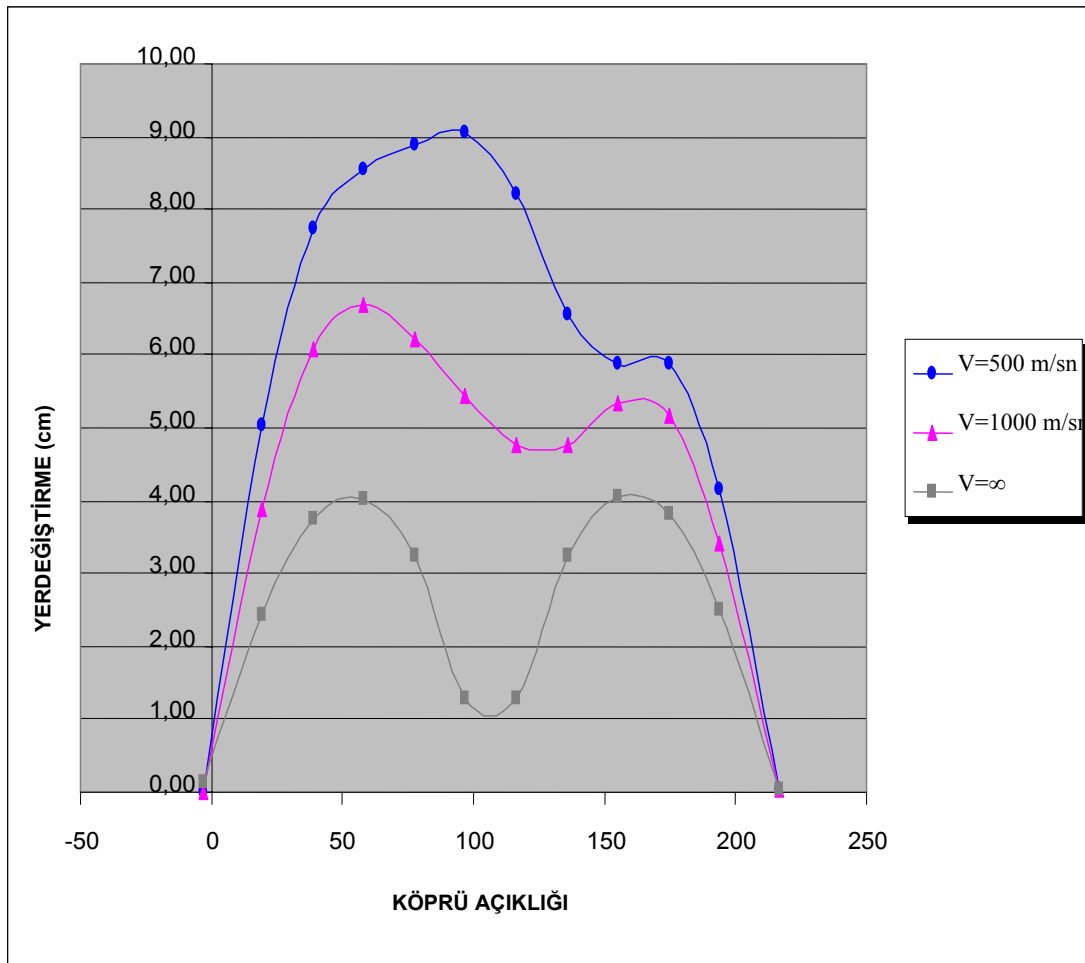


(c)

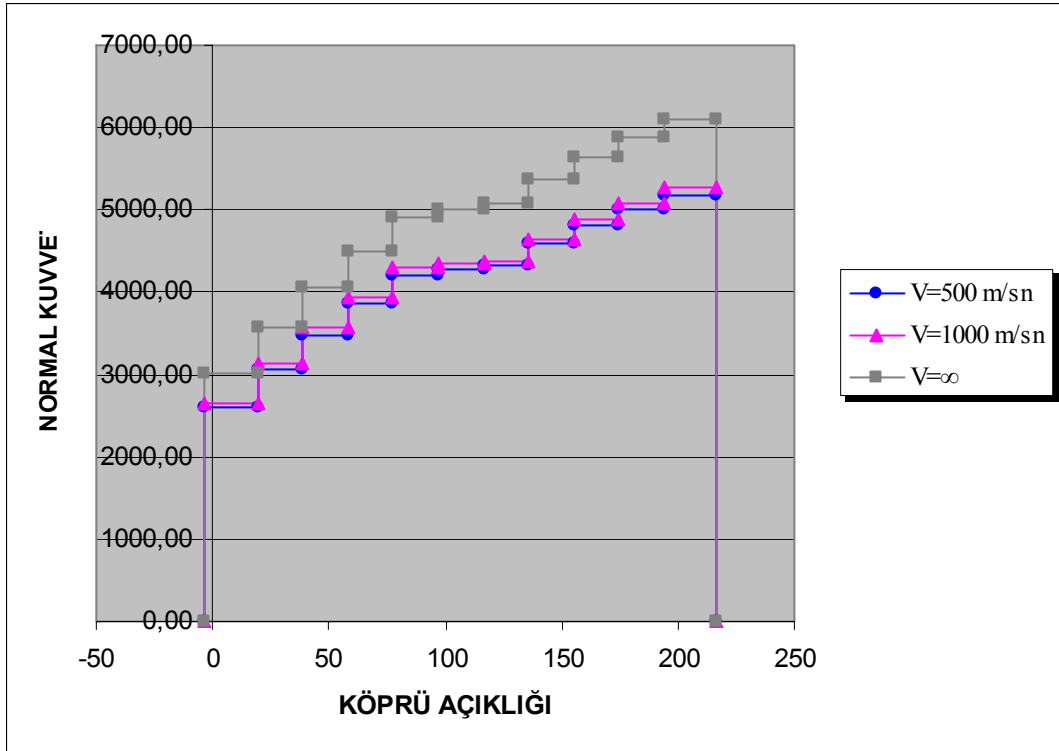
Şekil 4.36.(Devam) NRGB için $v=500$ m/sn de tabliyede toplam bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

4.3. Yer Hareketi Yayılma Hızının Sonuçlar Üzerindeki Etkileri

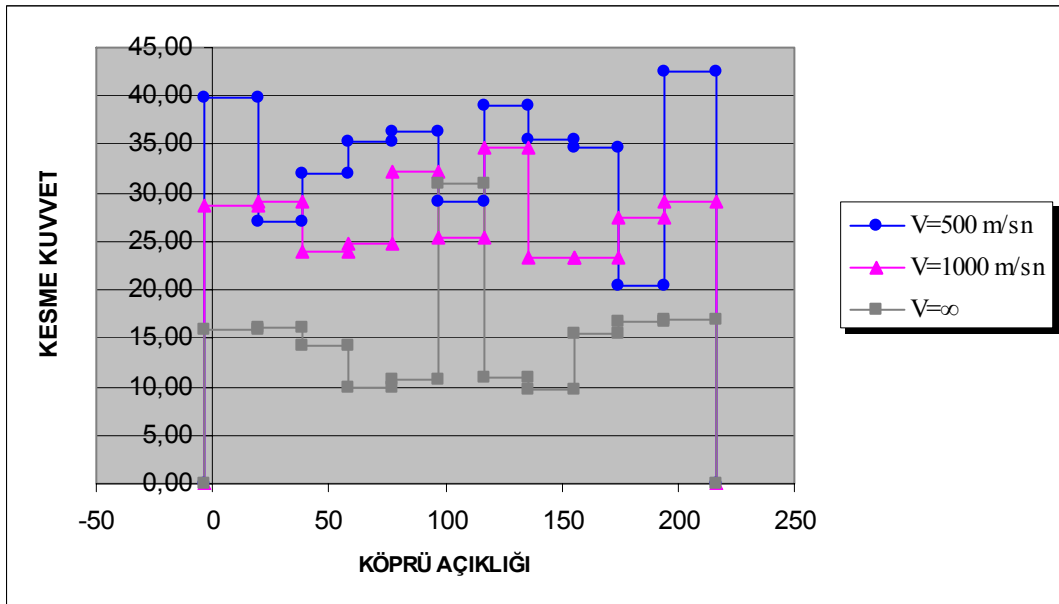
Bu bölümde çalışmada dikkate alınan her iki köprü modelinin asinkronize ve antisinkronize analizi farklı yayılma hızları için gerçekleştirilmektedir. Yer hareketi yayılma hızı olarak 500 m/sn, 1000 m/sn, ve sonsuz hız değerleri kullanılmaktadır. (Şekil 4.37, Şekil 4.38)'de CSCB köprü sistemlerinin asinkronize analizi ile elde edilen sonuçları karşılaştırılmaktadır. Yer değiştirme kesme kuvveti ve eğilme momenti için en büyük değerler $V=500$ m/sn için elde edilirken, artan hız değerleri için tepki değerleri azalmaktadır. Normal kuvvet için ise tam tersi bir durum söz konusu olmaktadır.



Şekil 4.37. CSCB için $v=\infty$, 1000 m/sn ve 500 m/sn de asinkronize analiz de tabliyede toplam bileşenler için meydana gelen yer değiştirme

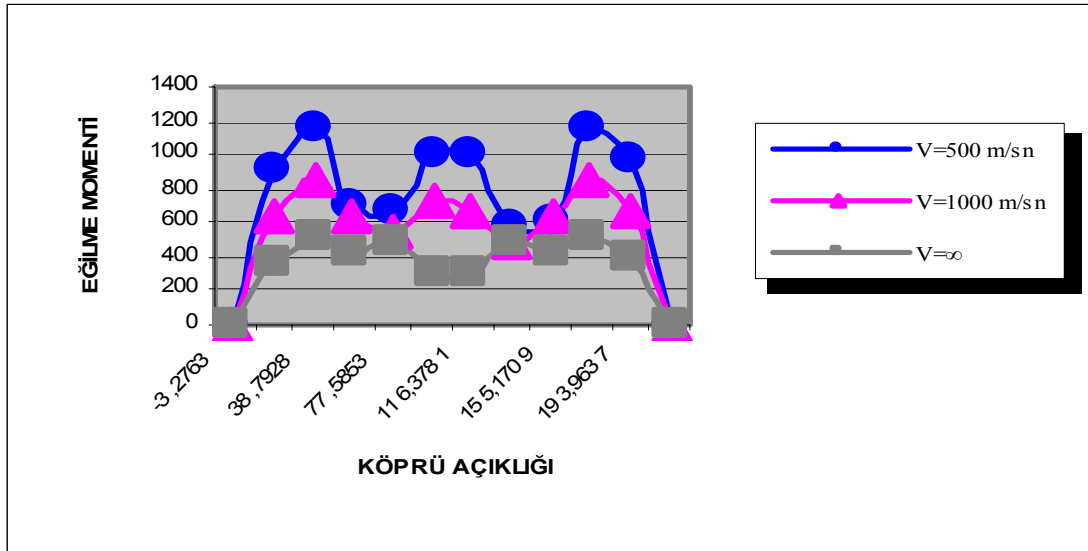


(a)



(b)

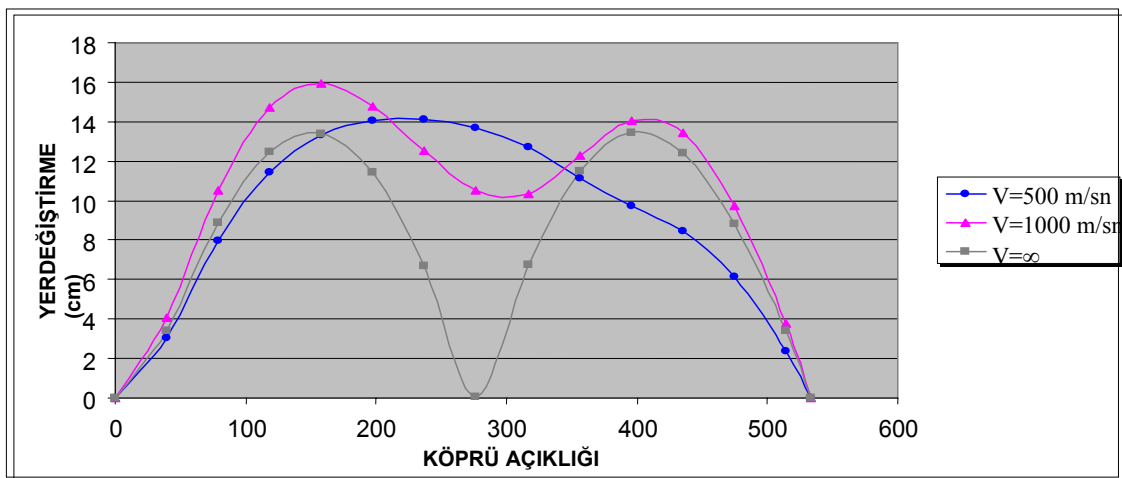
Şekil 4.38. CSCB için $v=\infty$, 1000 m/sn ve 500 m/sn de asinkronize analiz de tabliye de toplam bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği



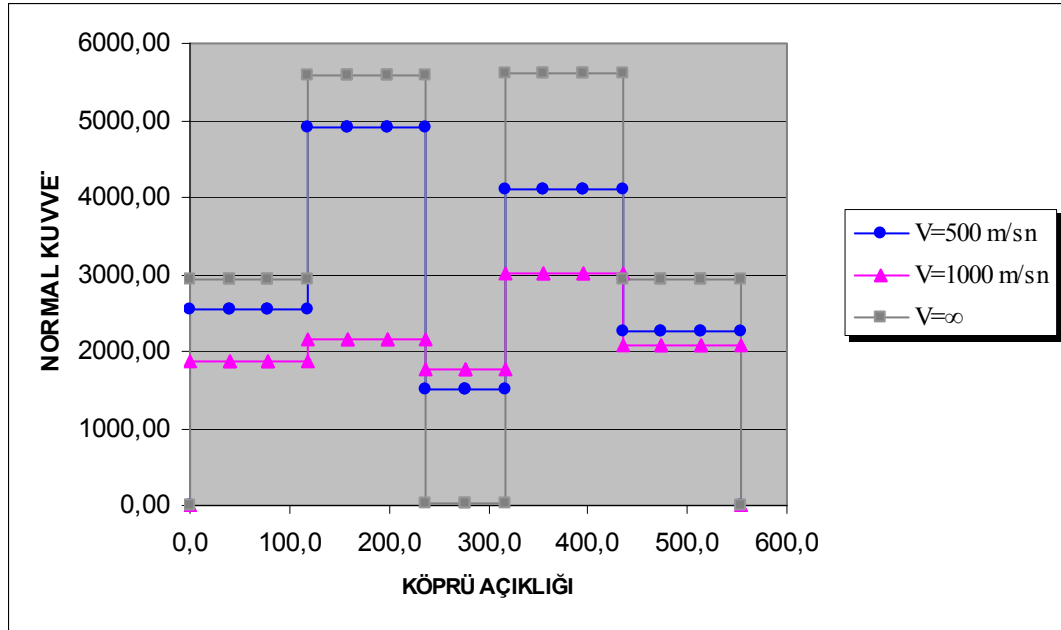
(c)

Şekil 4.38.(Devam) CSCB için $v=\infty$, 1000 m/sn ve 500 m/sn de asinkronize analiz de tabliyede toplam bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

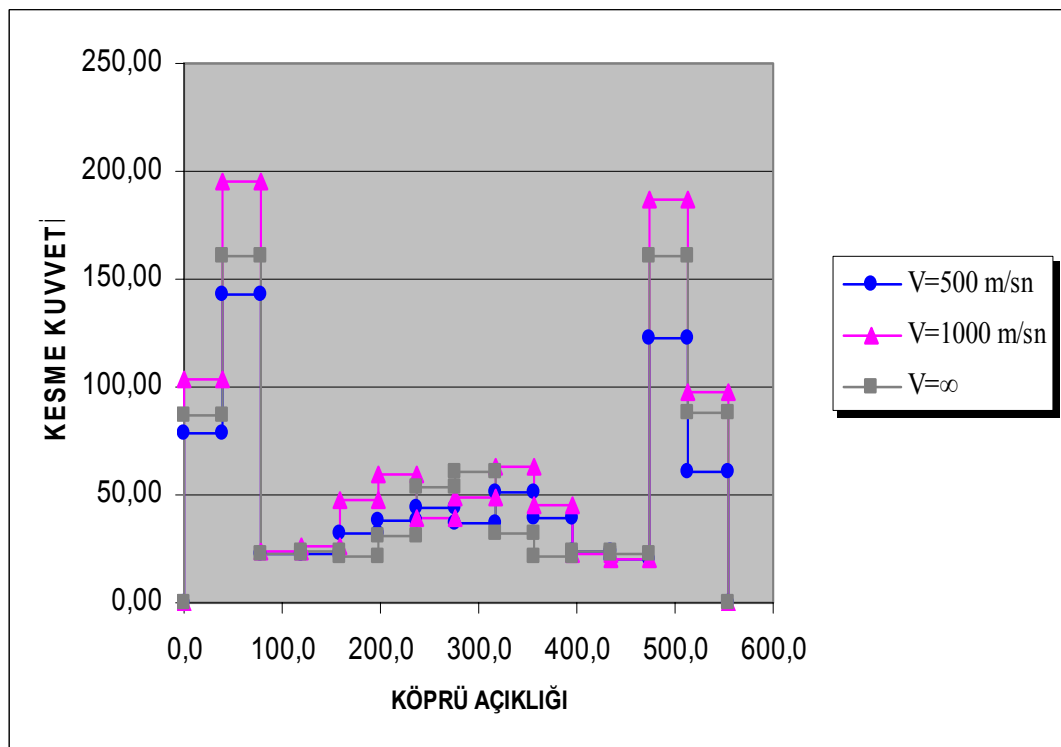
NRGB köprü sistemi için asinkronize analiz ile elde edilen tepkiler (Şekil 4.39, Şekil 4.40)'da karşılaştırılmaktadır. Buradaki yer hareketi yayılma hızına bağlı olarak elde edilen değişim tam olarak belirgin değildir. Dikkate alınan bölgeye bağlı olarak her bir hız için elde edilen tepki değeri en küçük olabileceği gibi en büyükte olabilmektedir.



Şekil 4.39. NRGB için $v=\infty$, 1000 m/sn ve 500 m/sn de asinkronize analiz de tabliyede toplam bileşenler için meydana gelen yer değiştirme

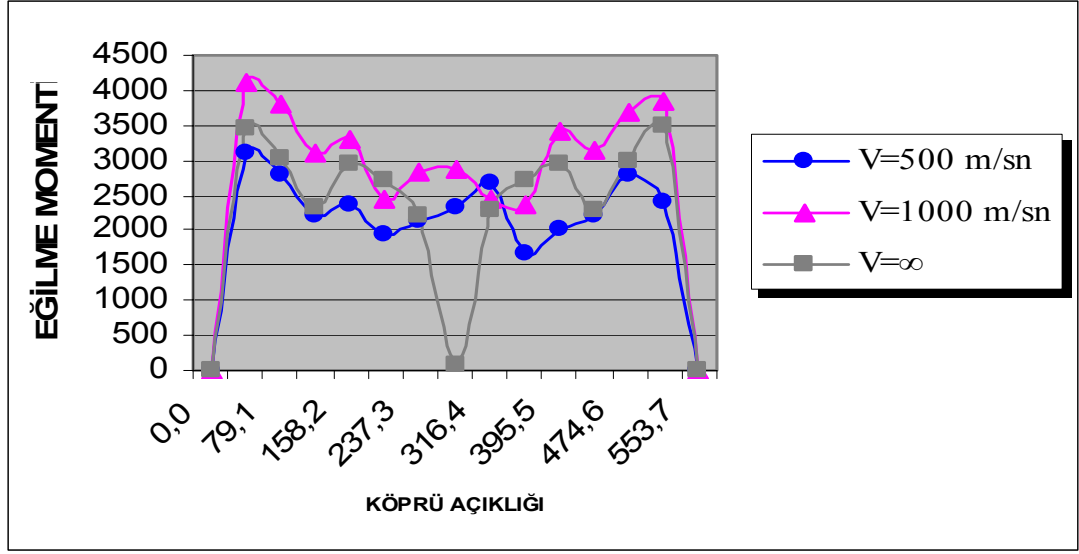


(a)



(b)

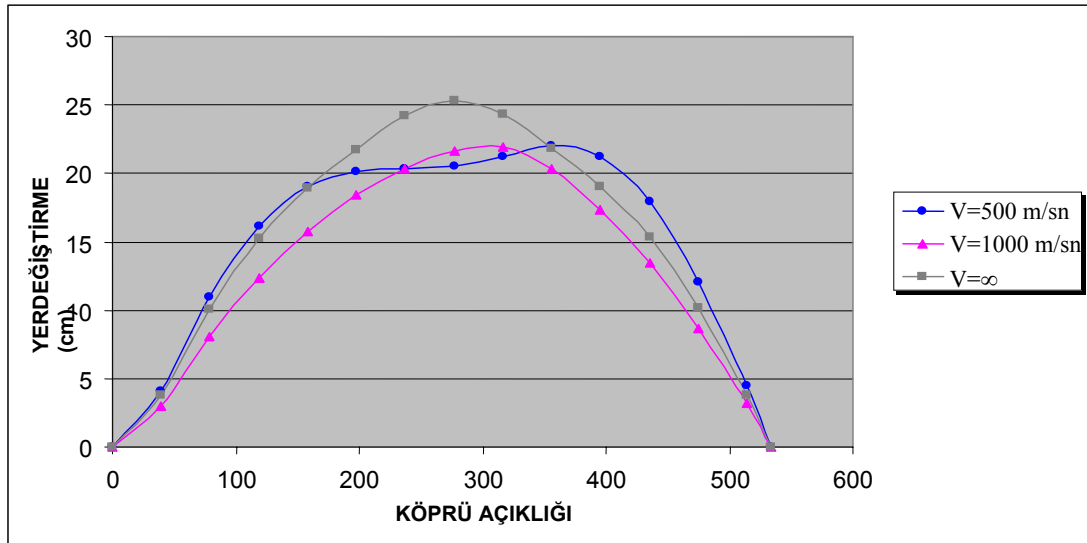
Şekil 4.40. NRGB için $v=\infty$, 1000 m/s ve 500 m/s de asinkronize analiz de tabliye de toplam bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği



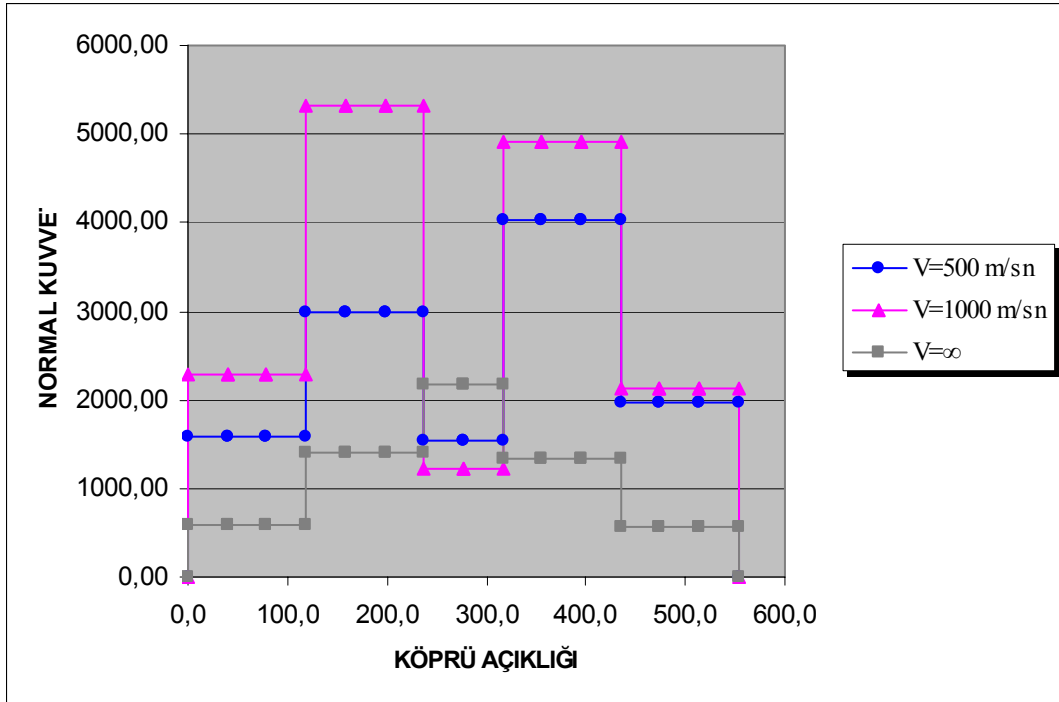
(c)

Şekil 4.40.(Devam) NRGB için $v=\infty$, 1000 m/sn ve 500 m/sn de asinkronize analiz de tabliyede toplam bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

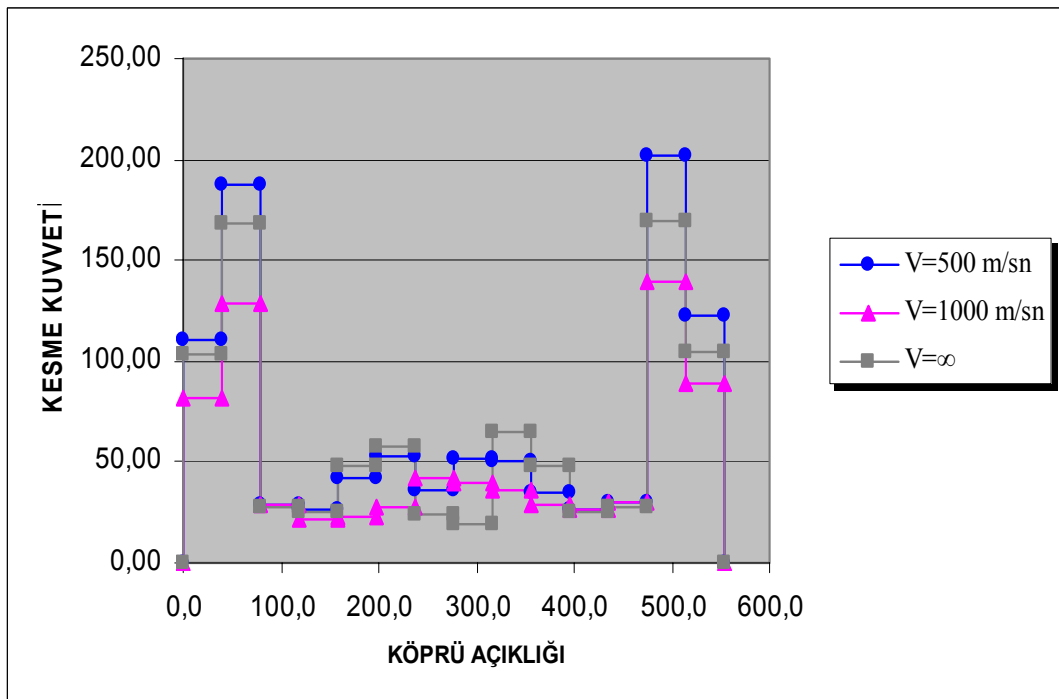
Aynı köprü modeli için antisinkronize analiz sonuçları(Şekil 4.41, Şekil 4.42)'de irdelenmektedir. Burada da asinkronize analizdekine benzer olarak, yayılma hızına bağlı değişim belirgin değildir.



Şekil 4.41. NRGB için $v=\infty$, 1000 m/sn ve 500 m/sn de antisinkronize analiz de tabliyede toplam bileşenler için meydana gelen yer değiştirme

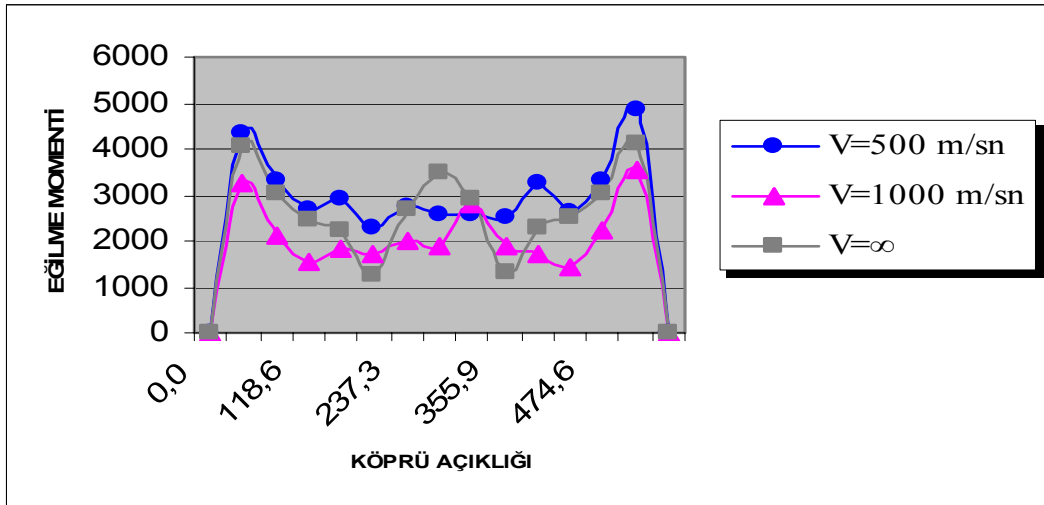


(a)



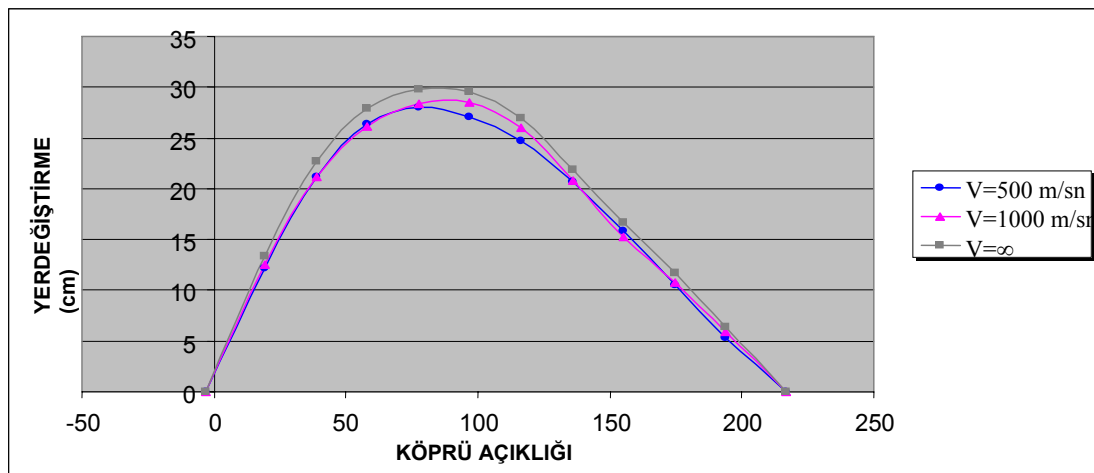
(b)

Şekil 4.42. NRGB için $v=\infty$, 1000 m/sn ve 500 m/sn de antisinkronize analiz de tabliyede toplam bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

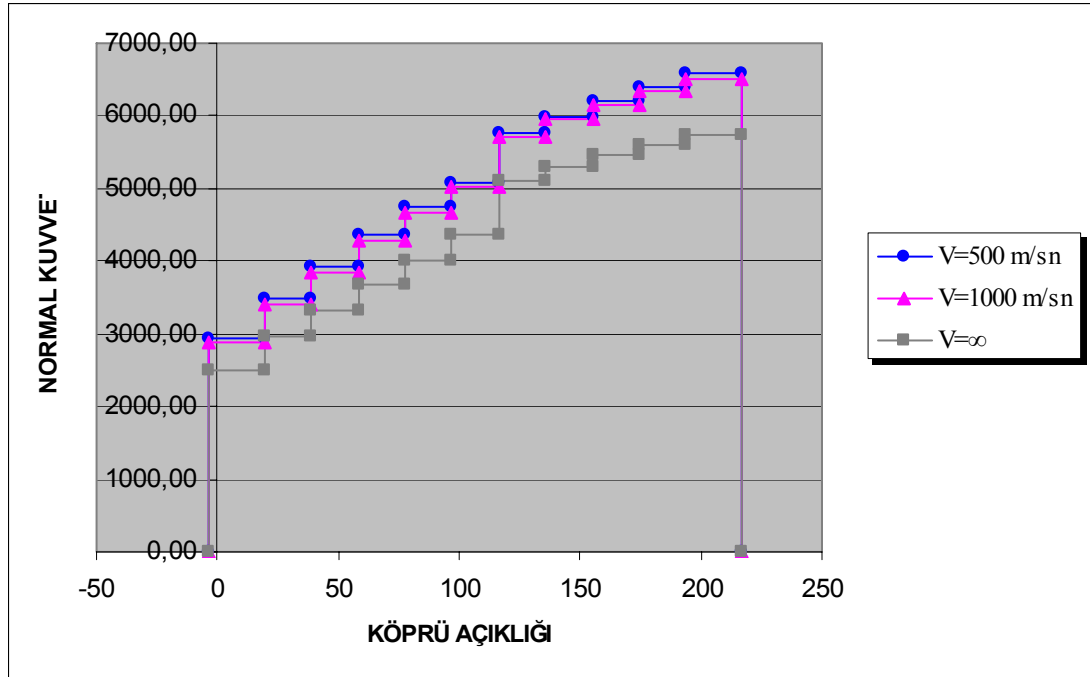


Şekil 4.42.(Devam) NRGB için $v=\infty$, 1000 m/sn ve 500 m/sn de antisinkronize analiz de tabliyede toplam bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

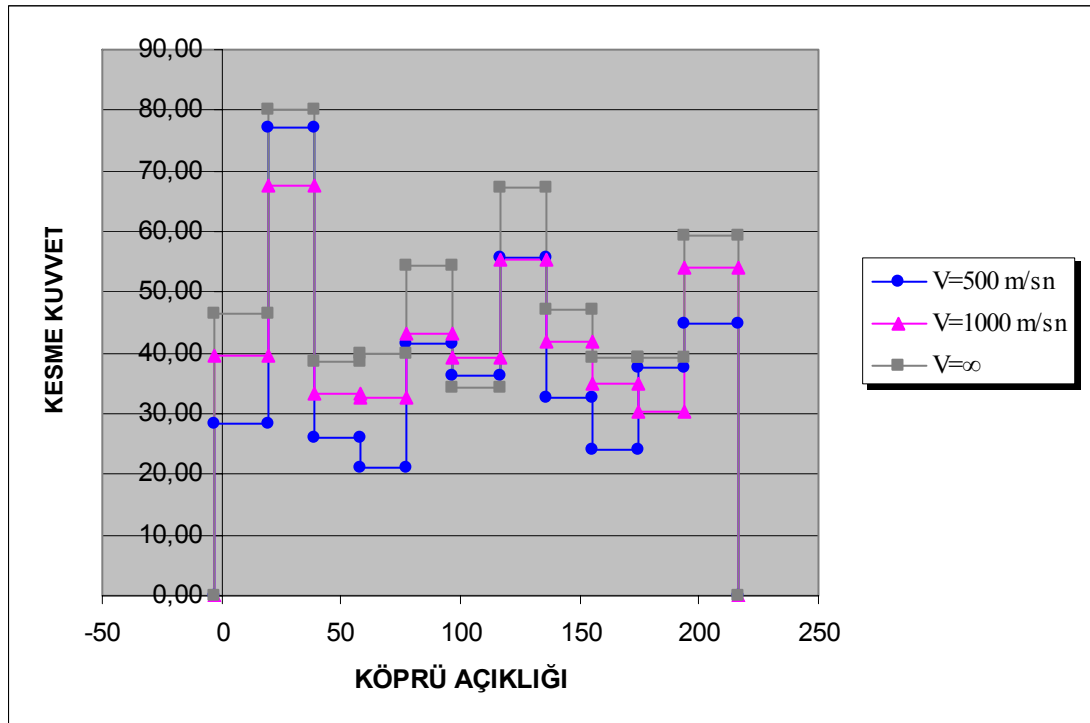
CSCB köprü modelinin antisinkronize analizi ile belirlenen sonuçlar (Şekil 4.43, Şekil 4.44)'de karşılaştırılmaktadır. Burada da daha önce NRGB köprü örneği için elde edilen değişimden farklı olarak yer değiştirme, eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri sonsuz hız için genellikle en büyük olurken, hızın azalması ile birlikte tepki değerleri de azalmaktadır. Normal kuvvet için ise sonuçlar yakın olmakla birlikte $V=500$ m/sn için elde edilen normal kuvvetler daha büyük $V=\infty$ için elde edilen normal kuvvetler daha küçük çıkmaktadır.



Şekil 4.43. CSCB için $v=\infty$, 1000 m/sn ve 500 m/sn de antisinkronize analiz de tabliyede toplam bileşenler için meydana gelen yer değiştirme

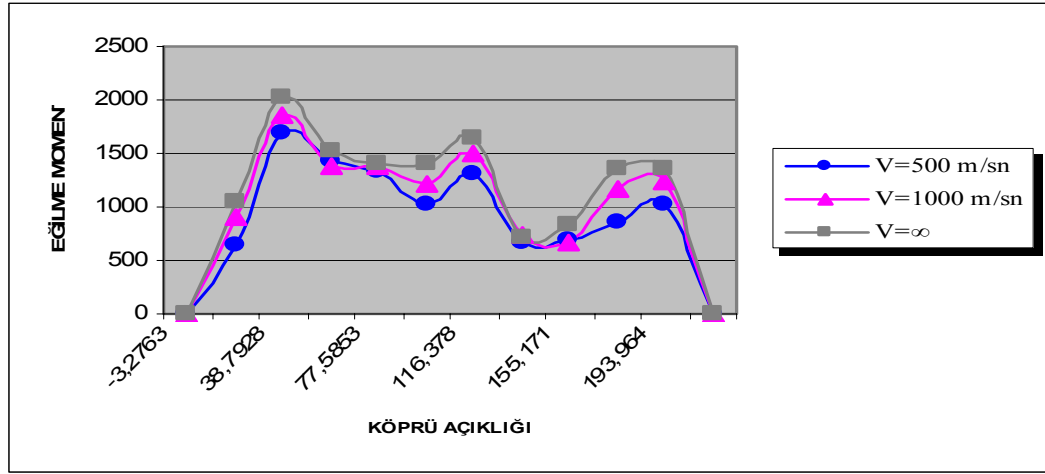


(a)



(b)

Şekil 4.44. CSCB için $v=\infty$, 1000 m/sn ve 500 m/sn de antisinkronize analiz de tabliyyede toplam bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği



(c)

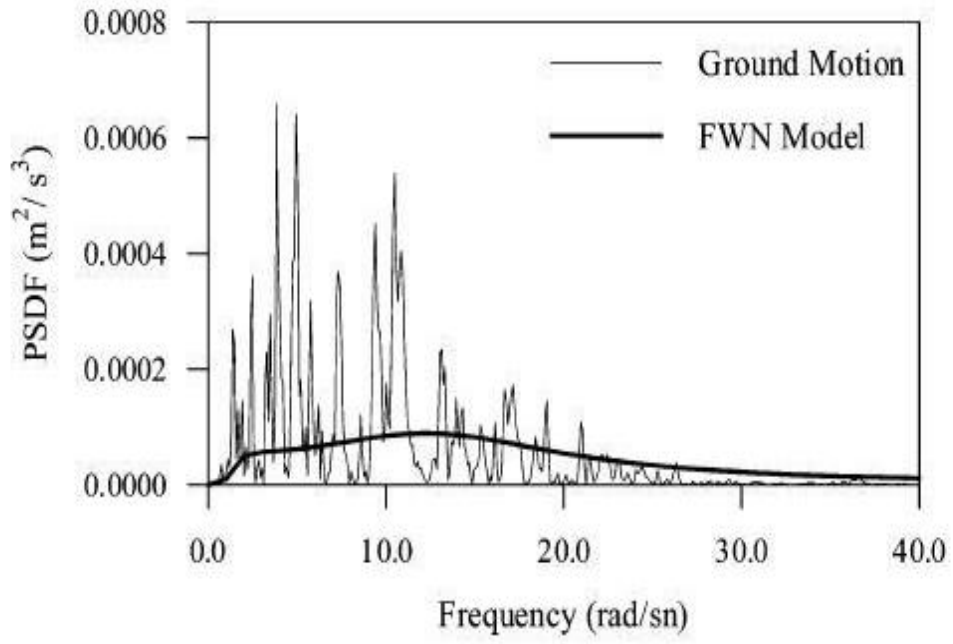
Şekil 4.44.(Devam) CSCB için $v=\infty$, 1000 m/sn ve 500 m/sn de antisinkronize analiz de tabliyede toplam bileşenler için meydana gelen kuvvetlerin a) N grafiği b) T grafiği c) M grafiği

4.4. Farklı Zemin Cinslerinin Köprüler Üzerinde Etkilerinin Karşılaştırılması

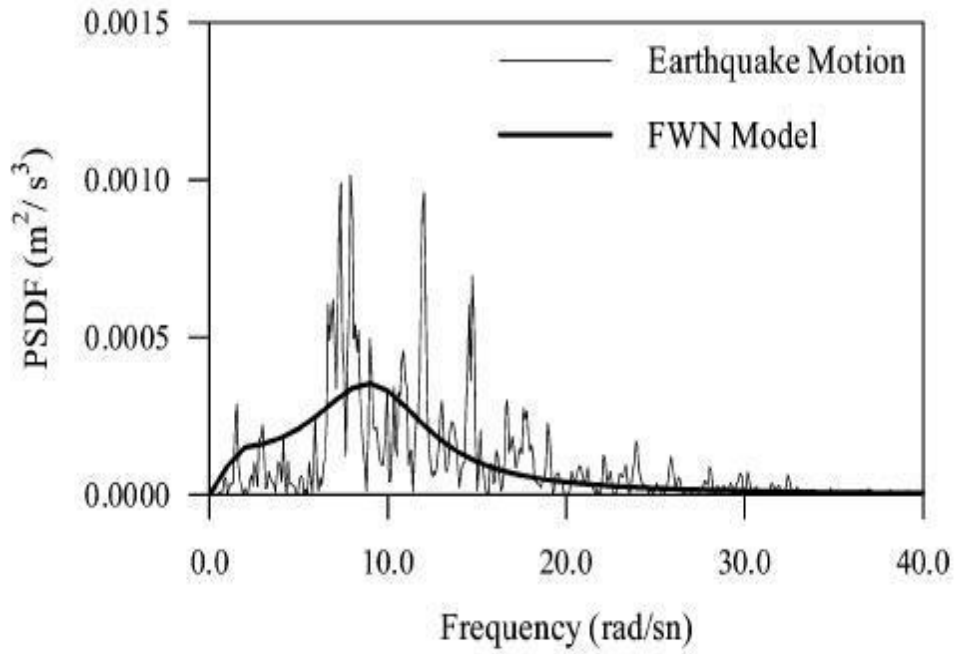
Çalışmanın bu bölümünde yumuşak, orta ve sert zemin üzerine oturan iki tür kemer köprü sisteminde yatay doğrultuda etkiyen deprem hareketinin deprem hızının sonsuz olması durumunda ve deprem hızının 1000 m/sn olması durumunda meydana gelen toplam yer değiştirmeler incelenmektedir. Bu amaçla 20 Eylül 1999, Tayvan Chi-Chi depremine ait ILA027E, HWA033N ve TAP051W kayıtları kullanılmıştır (Bkz. Şekil 4.45, Şekil 4.46, Şekil 4.47). Bu kayıtlar sırasıyla sert, orta ve yumuşak zemin cinslerinde elde edilmiş kayıtlardır. Çözümlemelerde yumuşak, orta ve sert zemin durumları için filtre parametreleri olarak Çizelge 4.1’de verilen değerler kullanılmıştır. Deprem süresi olarak 70,00 sn alınmıştır.

Çizelge 4.1. Farklı zemin cinslerine göre S_0 genlik değerleri ve bunlara ait filtre parametreleri

Zemin Cinsi	$w_g (rad/s)$	ξ_g	$w_f (rad/s)$	ξ_f	S_0
Sert	15,0	0,6	1,5	0,6	0,0000485
Orta	10,0	0,4	1,0	0,6	0,000128
Yumuşak	5,0	0,2	0,5	0,6	0,0000933

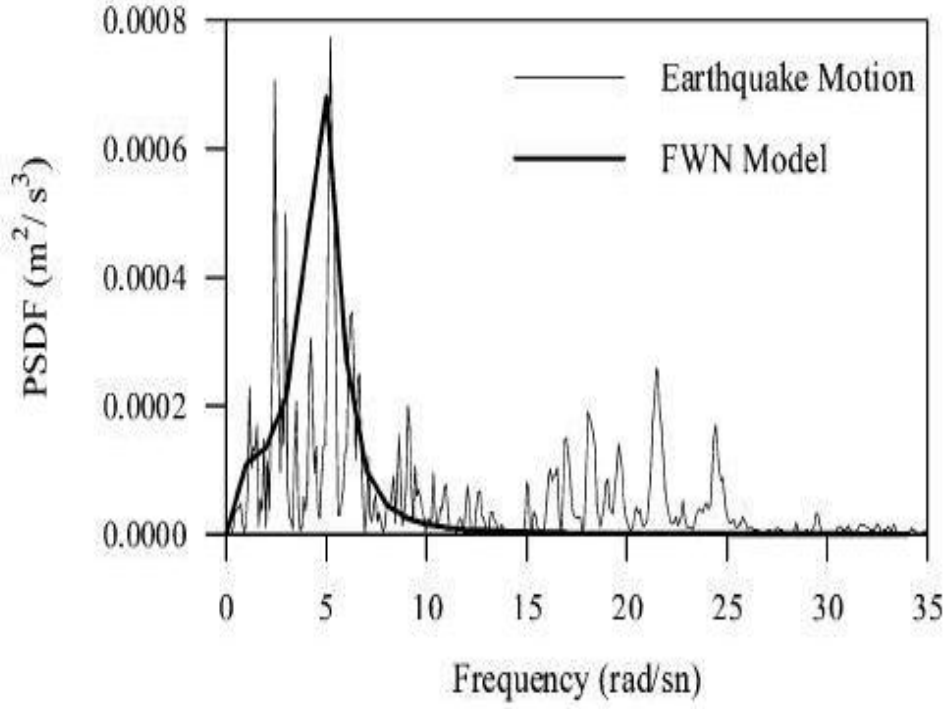


(a)



(b)

Şekil 4.45. Tayvan Chi-Chi depreminde spektral yoğunluk fonksiyonu (a) sert zemine ait ILA027E kaydı (b) orta zemine ait HWA033N kaydı (c) yumuşak zemine ait TAP051W kaydı

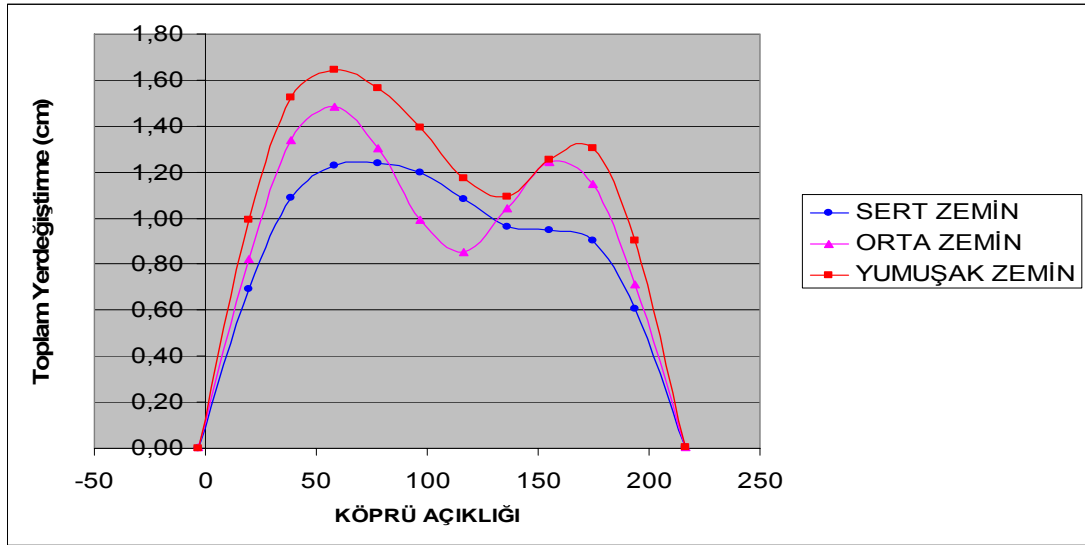


(c)

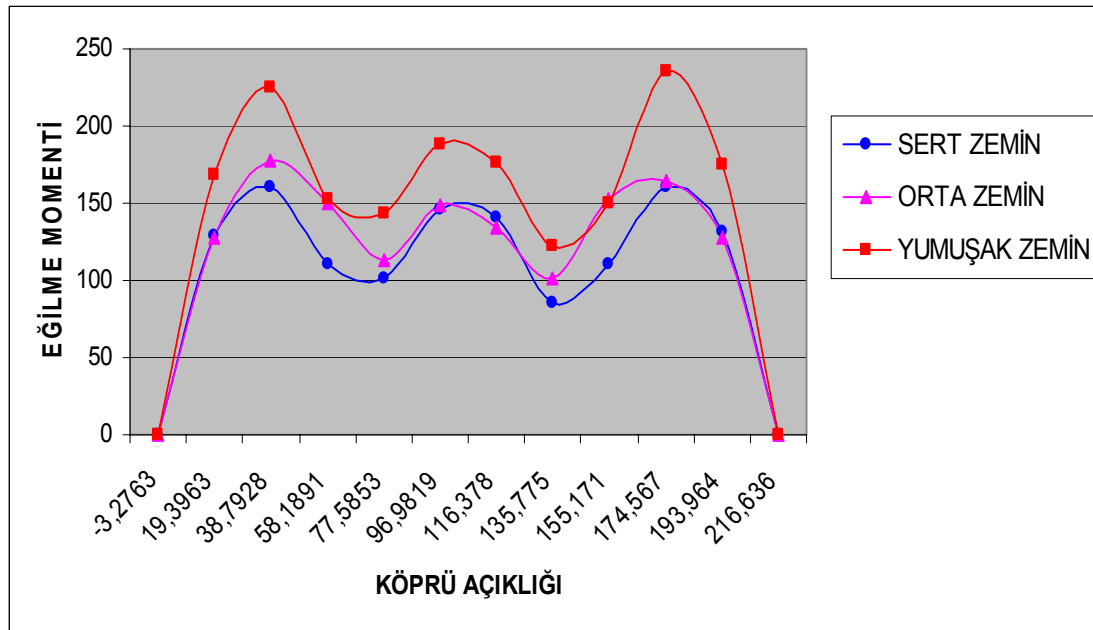
Şekil 4.45.(Devam) Tayvan Chi-Chi depreminde spektral yoğunluk fonksiyonu (a) sert zemine ait ILA027E kaydı (b) orta zemine ait HWA033N kaydı (c) yumuşak zemine ait TAP051W kaydı

4.4.1 CSCB köprü modelinde hız 1000 m/sn için gerçek yer hareketi etkisindeki farklı zemin cinslerinde sonuçların irdelemesi

ChiChi depremine ait kayıtlar için CSCB köprü sisteminde hızın 1000 m/sn olması durumunda çeşitli zeminlerde (Sert zemin, orta zemin ve yumuşak zemin cinslerinde) gerçek yer hareketine ait spektral yoğunluk fonksiyonu için elde edilen çözümler (Şekil 4.46, Şekil 4.47)'da asinkronize yer hareketi durumu için karşılaştırılmaktadır. Görüleceği gibi yumuşak zemin cinsi üzerinde en büyük toplam tepkiler elde edilirken sırasıyla orta zemin ve sert zeminde toplam tepkiler azalmaktadır. Analiz sonuçlarında toplam tepkiler arasındaki farklar yumuşak zemine göre; orta zemin yaklaşık olarak %10 daha küçük, sert zemin ise yaklaşık olarak %30 daha küçüktür.



Şekil 4.46. CSCB köprü modelinde $v=1000$ m/sn de tabliyedeki toplam yer değiştirmeler

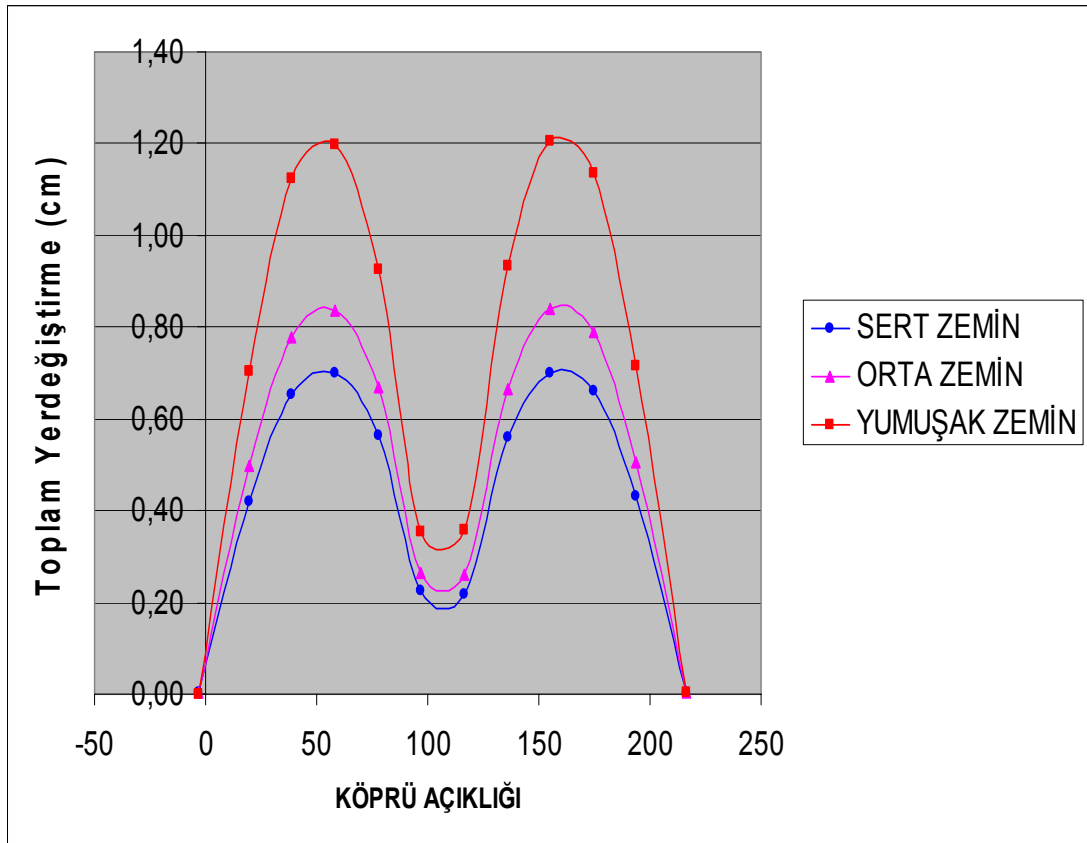


Şekil 4.47. CSCB köprü modelinde $v=1000$ m/sn de tabliyedeki toplam eğilme momenti grafikleri

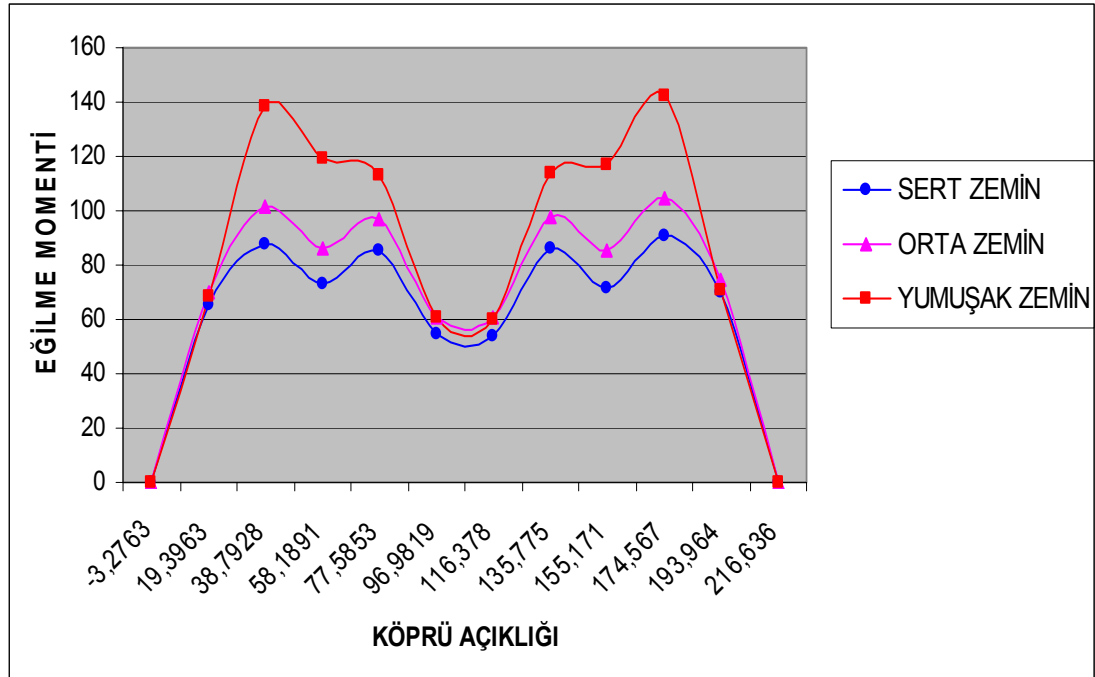
Analiz sonuçlarında toplam tepkiler arasındaki farklar yumuşak zemine göre; orta zemin yaklaşık olarak %25 daha küçük, sert zemin ise yaklaşık olarak %30 daha küçüktür

4.4.2 CSCB köprü modelinde hız sonsuz için gerçek yer hareketi etkisindeki farklı zemin cinslerinde sonuçların irdelemesi

ChiChi depremine ait kayıtlar için CSCB köprü sisteminde hızın sonsuz olması durumunda çeşitli zeminlerde (Sert zemin, orta zemin ve yumuşak zemin cinslerinde) elde edilen tepki değerleri (Şekil 4.48, Şekil 4.49)'de asinkronize yer hareketi durumunda toplam bileşenlerin gerçek yer hareketi sonuçlarında karşılaştırmalı grafikleri aşağıda verilmiştir. Analiz sonuçlarında toplam tepkiler arasındaki farklar yumuşak zemine göre; orta zemin yaklaşık olarak %30 daha küçük, sert zemin ise yaklaşık olarak %40 daha küçüktür



Şekil 4.48. CSCB köprü modelinde $v=\infty$ da tabliyedeki toplam yer değiştirmeler

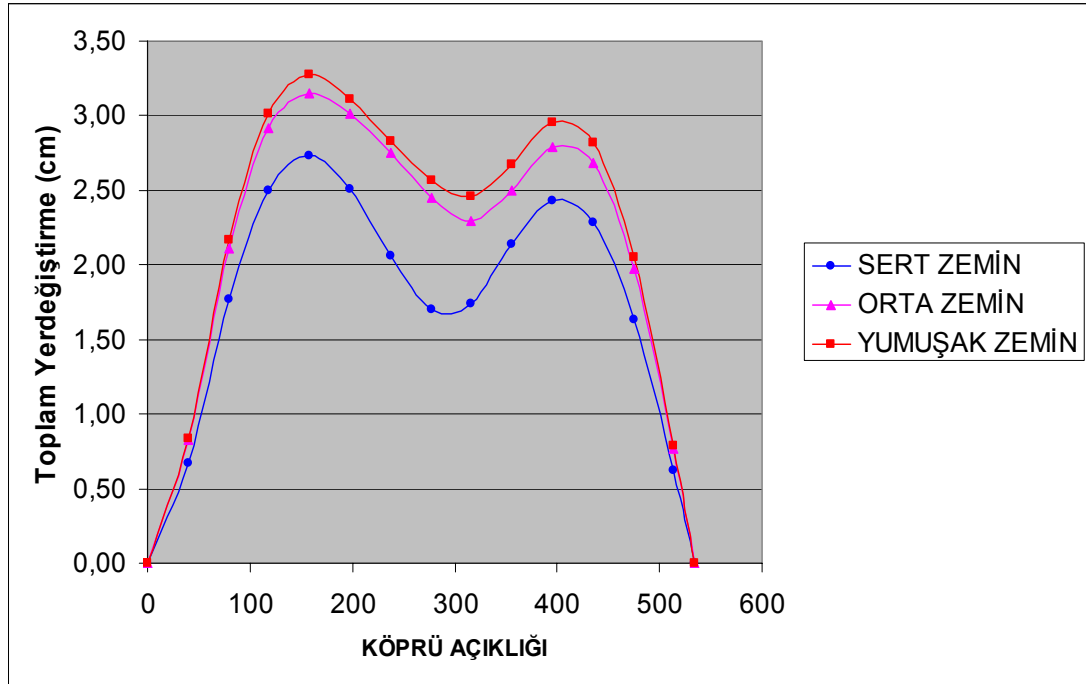


Şekil 4.49. CSCB köprü modelinde $v=\infty$ tabliyedeki toplam eğilme momenti grafikleri

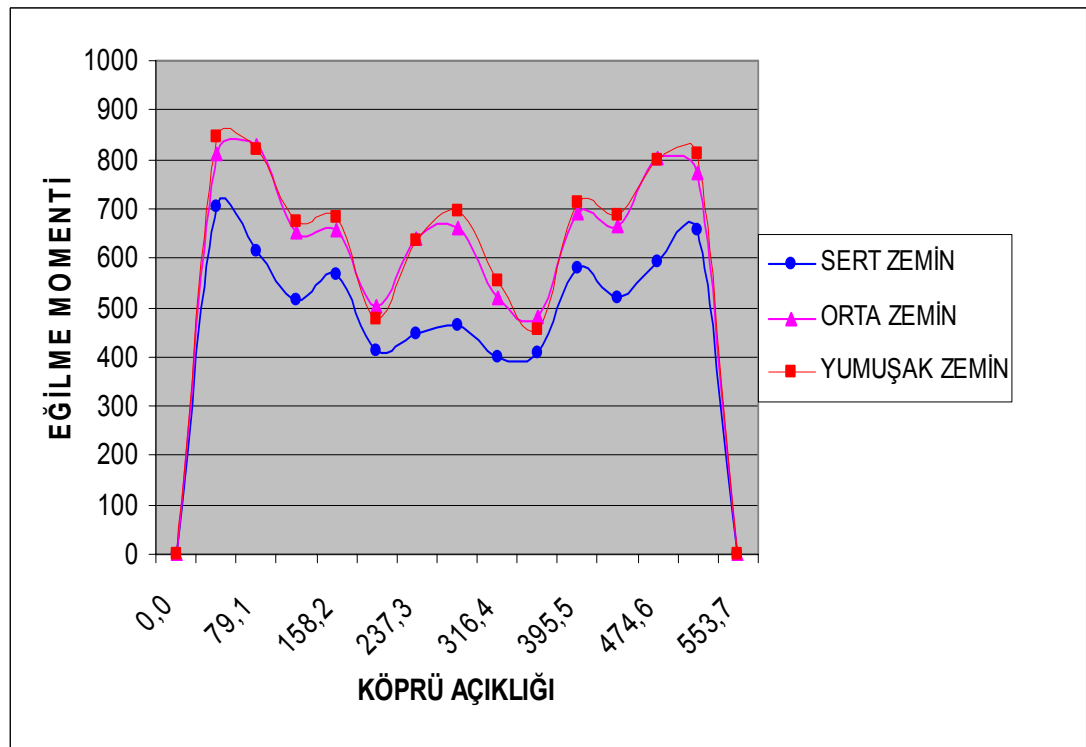
Görüleceği gibi CSCB köprü modelinde hızın sonsuz olması durumunda en büyük tepkiler sırasıyla yumuşak zeminde, orta zeminde ve sert zeminde elde edilmiştir ve sonuçlar paralellik göstermektedir. Analiz sonuçlarında toplam tepkiler arasındaki farklar yumuşak zemine göre; orta zemin yaklaşık olarak %70 daha küçük, sert zemin ise yaklaşık olarak %40 daha küçüktür.

4.4.3. NRGB köprü modelinde hız 1000 m/sn için gerçek yer hareketi etkisindeki farklı zemin cinslerinde sonuçların irdelemesi

ChiChi depremine ait kayıtlar için NRGB köprü sisteminde hızın 1000 m/sn olması durumunda çeşitli zeminlerde (Sert zemin, orta zemin ve yumuşak zemin cinslerinde) elde edilen tepki değerleri (Şekil 4.50, Şekil 4.51)'de asinkronize yer hareketi durumunda toplam bileşenlerin gerçek yer hareketi sonuçlarında karşılaştırmalı grafikleri aşağıda verilmiştir. Analiz sonuçlarında toplam tepkiler arasındaki farklar yumuşak zemine göre; orta zemin yaklaşık olarak %5 daha küçük, sert zemin ise yaklaşık olarak %30 daha küçüktür.



Şekil 4.50. NRGB köprü modelinde $v=1000$ m/sn de tabliyedeki toplam yer değiştirmeler

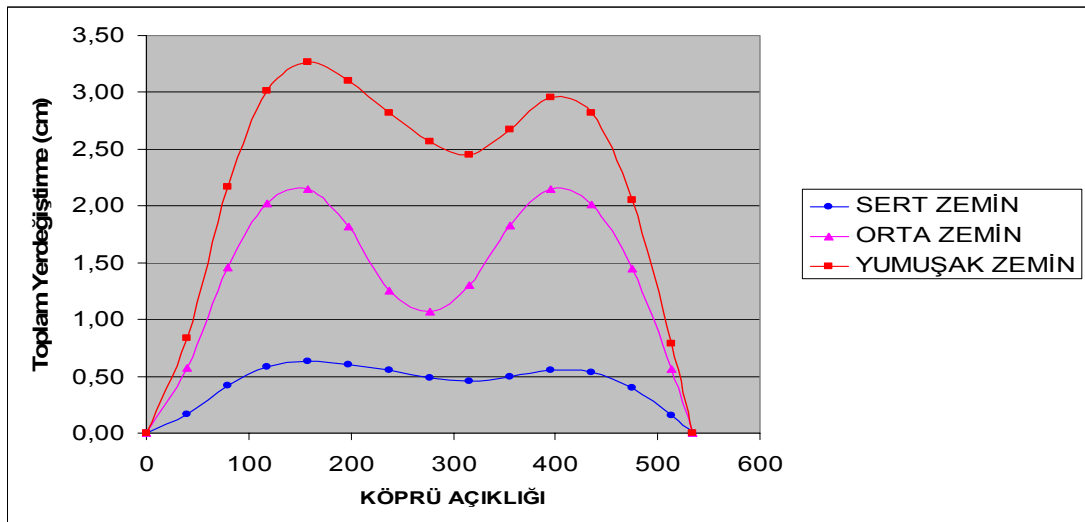


Şekil 4.51. NRGB köprü modelinde $v=1000$ m/sn de tabliyedeki toplam eğilme momenti grafikleri

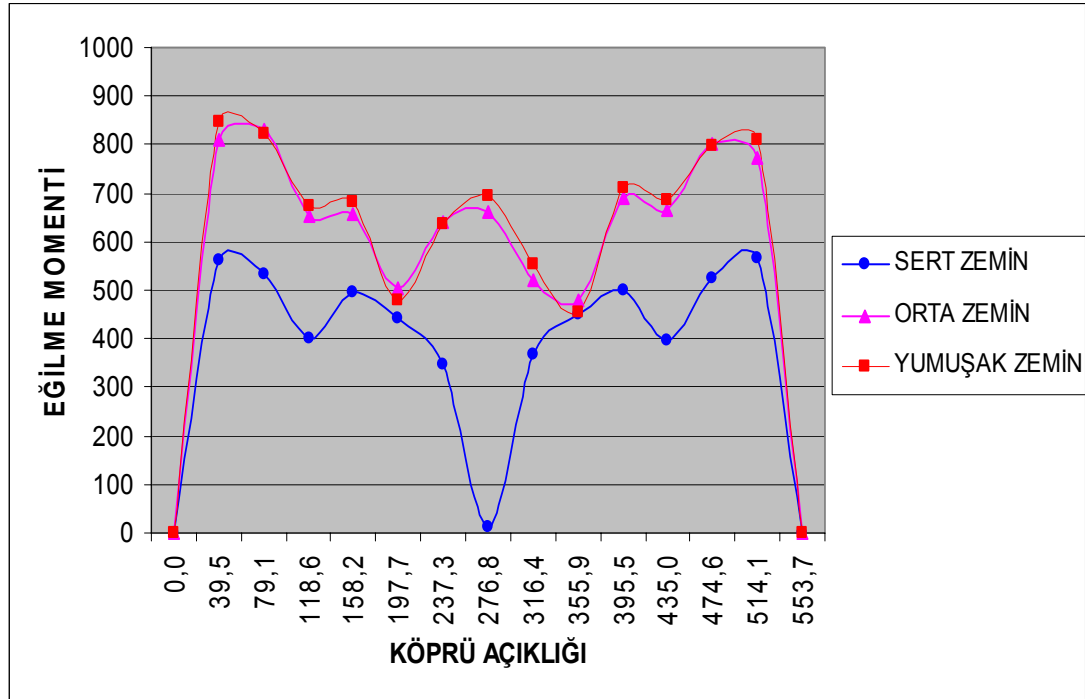
NRGB köprü modeli üzerinde hızın 1000 m/sn olması durumunda en büyük tepkiler sırasıyla yumuşak zemin, orta zemin ve sert zemin üzerinde gözlenmiştir. Aynı şekilde hızın sonsuz olması durumunda en büyük tepkiler sırasıyla yumuşak zemin, orta zemin ve sert zemin üzerinde gözlenmiştir. Ancak hızın 1000 m/sn olması durumunda hızın sonsuz olması durumuna göre daha büyük tepkiler verdiği gözlenmiştir. Analiz sonuçlarında toplam tepkiler arasındaki farklar yumuşak zemine göre; orta zemin yaklaşık olarak %5 daha küçük, sert zemin ise yaklaşık olarak %30 daha küçüktür.

4.4.4. NRGB köprü modelinde hız sonsuz için gerçek yer hareketi etkisindeki farklı zemin cinslerinde sonuçların irdelemesi

ChiChi depremine ait kayıtlar için NRGB köprü sisteminde hızın sonsuz olması durumunda çeşitli zeminlerde (Sert zemin, orta zemin ve yumuşak zemin cinslerinde) elde edilen tepki değerleri (Şekil 4.52, Şekil 4.53)'de asinkronize yer hareketi durumunda toplam bileşenlerin gerçek yer hareketi sonuçlarında karşılaştırmalı grafikleri aşağıda verilmiştir. Analiz sonuçlarında toplam tepkiler arasındaki farklar yumuşak zemine göre; orta zemin yaklaşık olarak %40 daha küçük, sert zemin ise yaklaşık olarak %80 daha küçüktür.



Şekil 4.52. NRGB köprü modelinde $v=\infty$ da tabliyedeki toplam yer değiştirmeler



Şekil 4.53. NRGB köprü modelinde $v=\infty$ da tabliyedeki toplam eğilme momenti grafikleri

NRGB köprü modeli üzerinde hızın sonsuz olması durumunda en büyük tepkiler sırasıyla yumuşak zemin, orta zemin ve sert zemin üzerinde gözlenmiştir. Analiz sonuçlarında toplam tepkiler arasındaki farklar yumuşak zemine göre; orta zemin yaklaşık olarak %5 daha küçük, sert zemin ise yaklaşık olarak %35 daha küçüktür

4.5. Filtre Edilmiş Yer Hareketi ile Gerçek Yer Hareketinin Karşılaştırılması

Bu bölümde NRGB köprü modeli ve CSCB köprü modeli üzerinde hızın sonsuz ve 1000 m/s olması durumları, hem gerçek spektral yoğunluk fonksiyonu ile hem de filtre edilmiş beyaz gürültü modeli ile çözümler; homojen ve tek tip zemin cinsleri üzerinde, asinkronize-eşfazlı analiz durumları için yapılmıştır. Bu amaçla 20 Eylül 1999, Tayvan Chi-Chi depremine ait ILA027E, HWA033N ve TAP051W kayıtları çalışmanın bu bölümünde de kullanılmıştır (Bkz. Şekil 4.45.a-b-c). Çizelge 4.1'deki çeşitli zemin sınıflarına göre verilen parametreler çalışmanın bu bölümünde de kullanılmıştır.

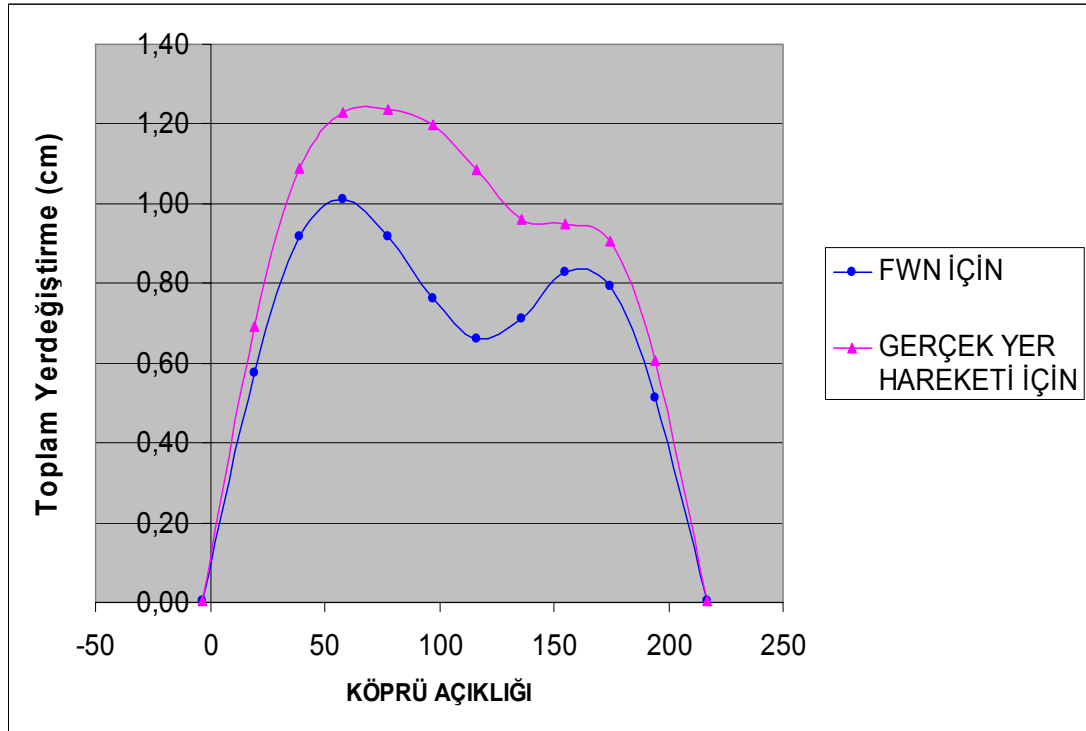
Her bir zemin için filtre parametre değerleri olarak Der Kiureghian ve Neuenhofer tarafından önerilen değerler kullanılmıştır. Gerçekçi bir karşılaştırma yapmak amacıyla beyaz gürültü genlik değeri S_0 , Eş. 4.1 denklemine ait yer hareket ivmesi varyans değeri, her bir zemin cinsi için Chi-Chi deprem ivmesine ait varyans değerine eşitlenmek suretiyle elde edilmiştir.

$$G_{\text{***}}(w) = S_0 \frac{w_g^4 + 4\zeta_g^2 w_g^2 w^2}{(w_g^2 - w^2)^2 + 4\zeta_g^2 w_g^2 w^2} * \frac{w^4}{(w_f^2 - w^2)^2 + 4\zeta_f^2 w_f^2 w^2} \quad (4.1)$$

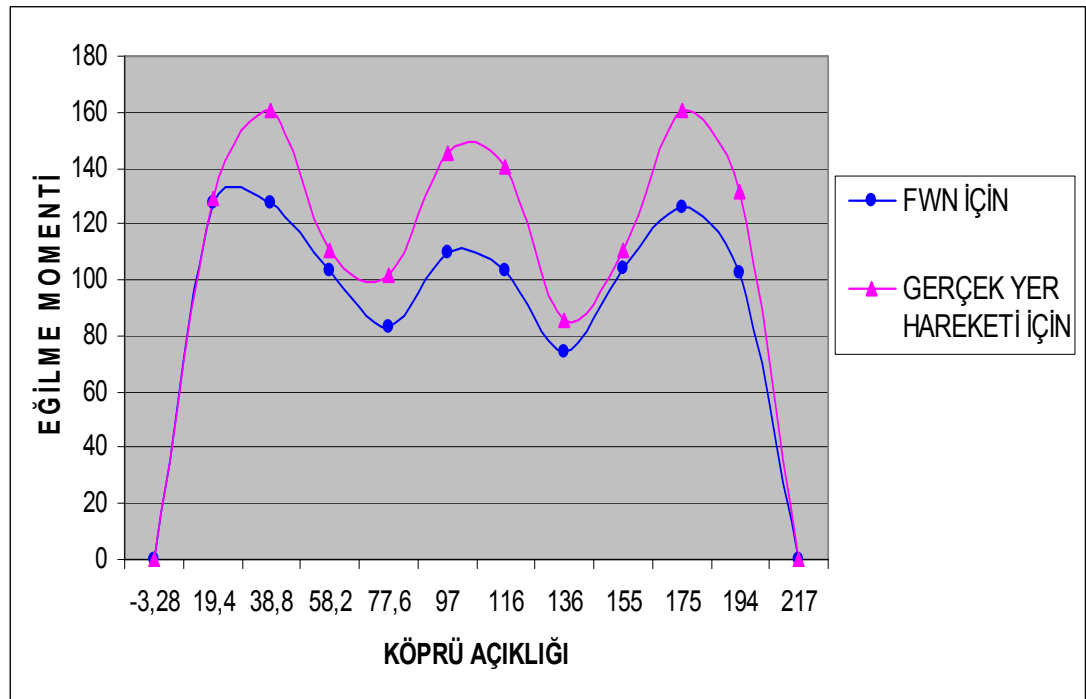
Bu çalışmada orta zeminde elde edilen kayıt için NRGB ve CSCB köprü sistemlerinin $v=\text{sonsuz}$ ve $v=1000$ m/sn hız değerleri için, hem Chi-Chi depremine ait gerçek spektral yoğunluk fonksiyonu ile hem de filtre edilmiş beyaz gürültü modeli ile çözümler yapılmıştır.

4.5.1. CSCB köprü modelinde hızın 1000 m/sn olması durumlarında ve farklı zemin cinslerinde filtre edilmiş yer hareketi ve gerçek yer hareketi sonuçlarının irdelemesi

Sert zemin cinsinde ChiChi depremine ait kayıtlar için CSCB köprü sisteminde hızın 1000 m/sn olması durumunda elde edilen tepki değerleri (Şekil 4.54, Şekil 4.55)'de asinkronize yer hareketi durumunda toplam bileşenler için filtre edilmiş yer hareketi ve gerçek yer hareketi sonuçlarının karşılaştırmalı grafiği aşağıda verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde filtre edilmiş beyaz gürültü modeli, gerçek yer hareketinden %35 daha küçük değerler vermektedir.



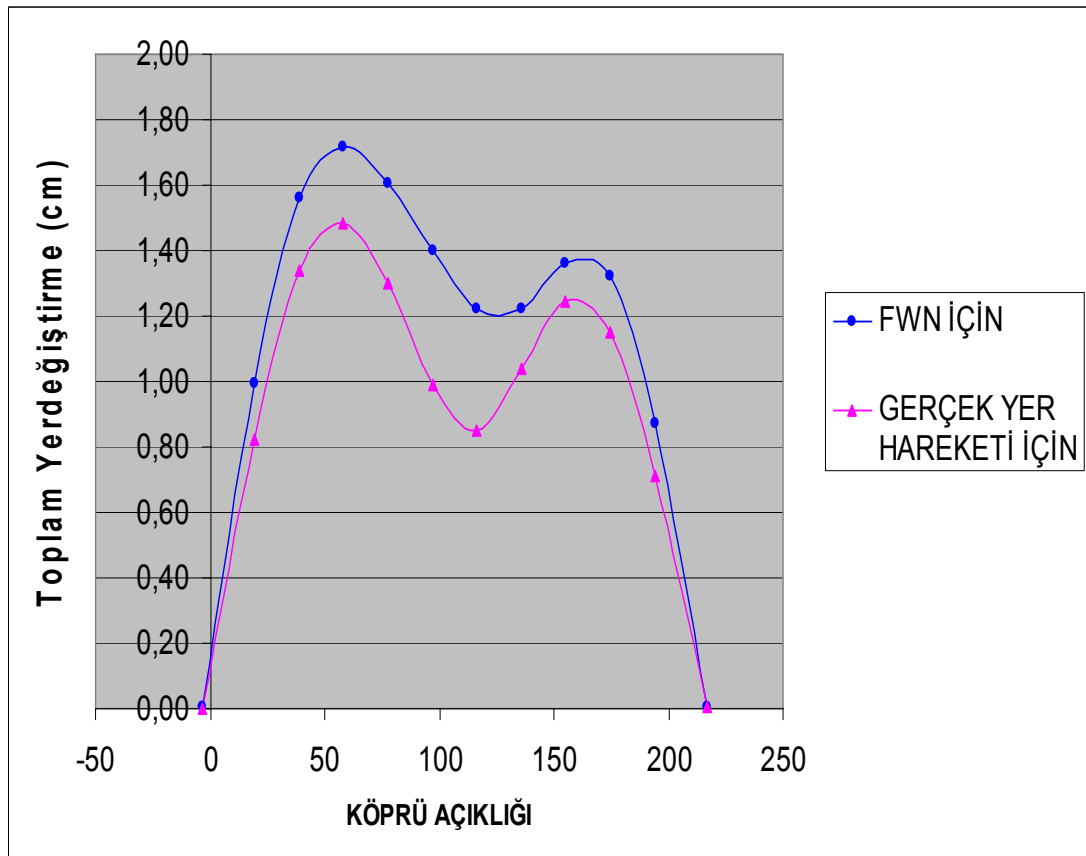
Şekil 4.54. Sert zemin cinsi için CSCB köprü modelinde $v=1000$ m/sn de tabliyedeki toplam yer değiştirmeler



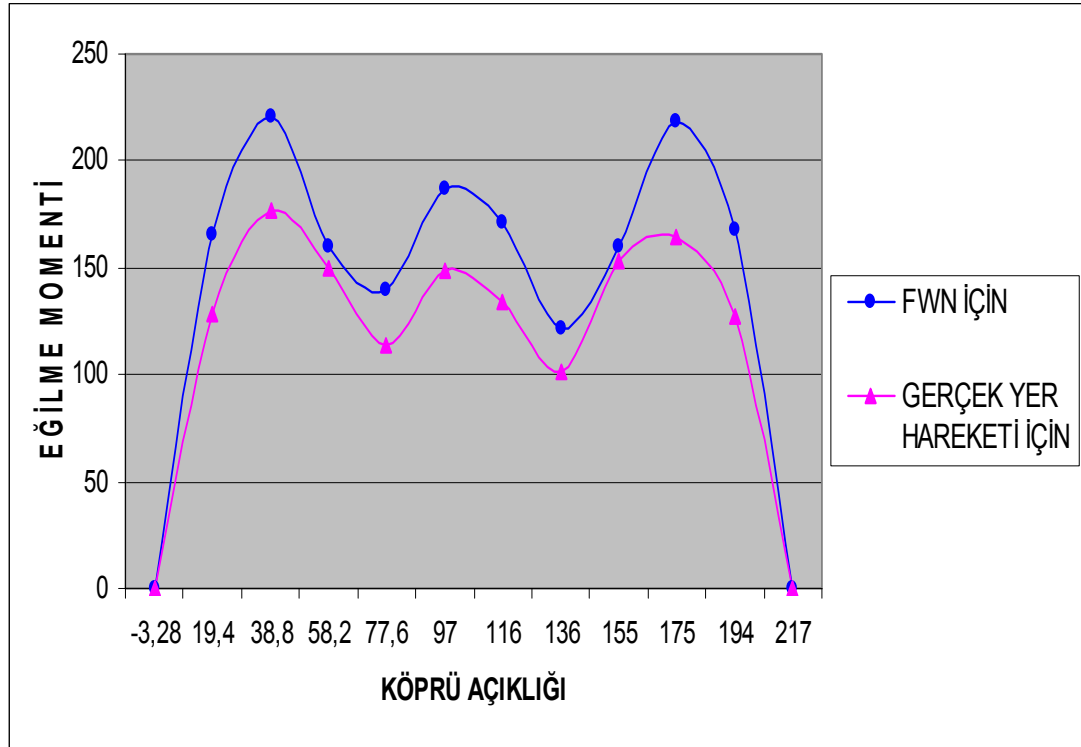
Şekil 4.55. Sert zemin cinsi için CSCB köprü modelinde $v=1000$ m/sn de tabliyedeki toplam eğilme momentleri grafikleri

Sonuçlarda ChiChi depreminin CSCB köprü modelinde sert zemin cinsi üzerinde deprem hızının 1000 m/sn olması durumunda asinkronize yer hareketi etkisindeki analizleri incelendiğinde filtre edilmiş beyaz gürültü modeli, gerçek yer hareketinden %20 daha küçük değerler vermektedir.

Orta zemin cinsinde ChiChi depremine ait kayıtlar için CSCB köprü sisteminde hızın 1000 m/sn olması durumunda elde edilen tepki değerleri (Şekil 4.56, Şekil 4.57)'de asinkronize yer hareketi durumunda toplam bileşenler için filtre edilmiş yer hareketi ve gerçek yer hareketi sonuçlarının karşılaştırmalı grafiği aşağıda verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde gerçek yer hareketi, filtre edilmiş beyaz gürültü modelinden %30 daha küçük değerler vermektedir.



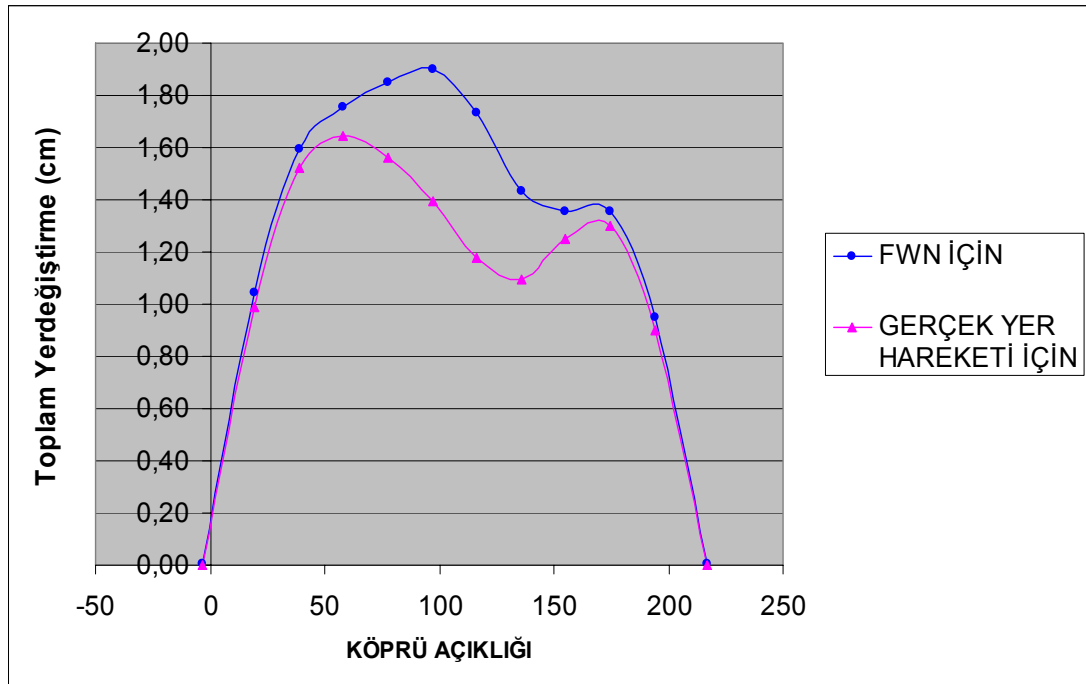
Şekil 4.56. Orta zemin cinsi için CSCB köprü modelinde $v=1000$ m/sn de tabliyedeki toplam yer değiştirmeler



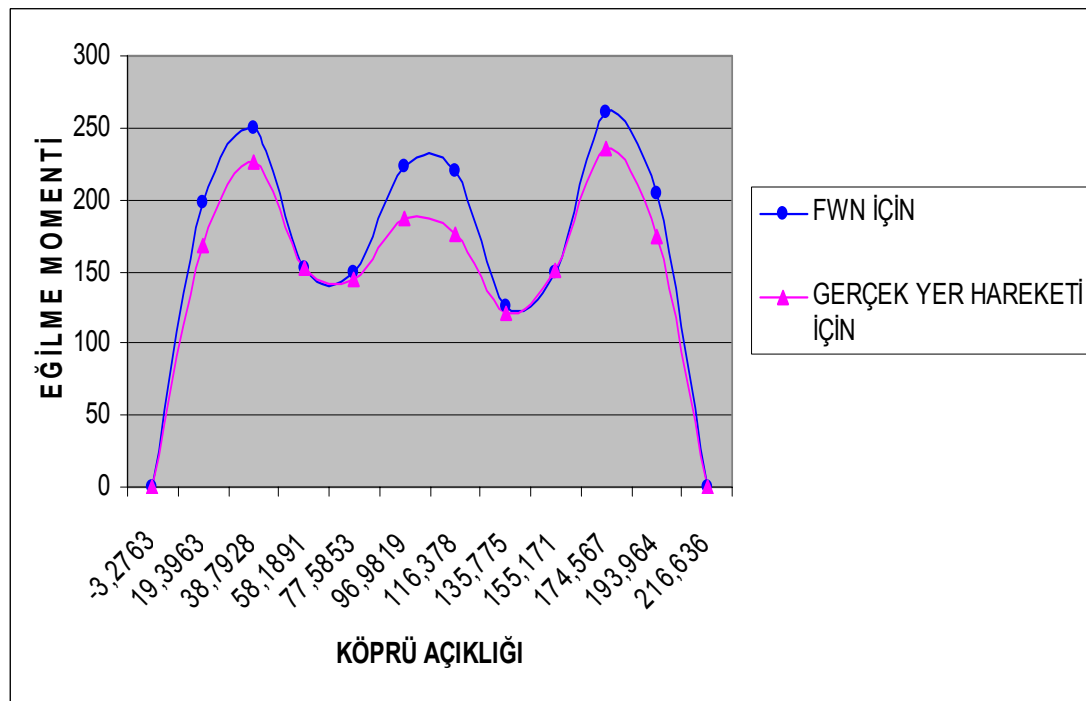
Şekil 4.57. Orta zemin cinsi için CSCB köprü modelinde $v=1000$ m/sn de tabliyedeki toplam eğilme momenti grafikleri

Sonuçlarda ChiChi depreminin CSCB köprü modelinde orta zemin cinsi üzerinde deprem hızının 1000 m/sn olması durumunda asinkronize yer hareketi etkisindeki analizleri incelendiğinde gerçek yer hareketi, filtre edilmiş beyaz gürültü modelinden %30 daha küçük değerler vermektedir.

Yumuşak zemin cinsine ait kayıtlar için CSCB köprü sisteminde hızın 1000 m/sn olması durumunda elde edilen tepki değerleri (Şekil 4.58, Şekil 4.59)'de asinkronize yer hareketi durumunda toplam bileşenler için filtre edilmiş yer hareketi ve gerçek yer hareketi sonuçlarının karşılaştırmalı grafiği aşağıda verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde gerçek yer hareketi, filtre edilmiş beyaz gürültü modelinden %25 daha küçük değerler vermektedir.



Şekil 4.58. Yumuşak zemin cinsi için CSCB köprü modelinde $v=1000$ m/sn de tabliyedeki toplam yer değiştirmeler

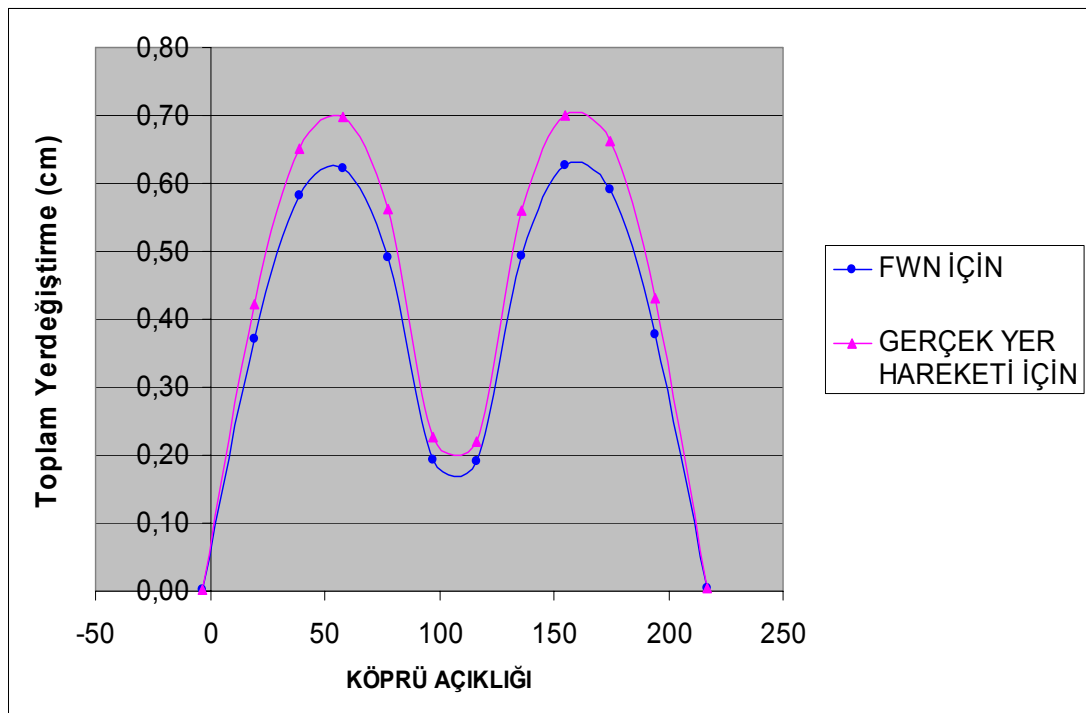


Şekil 4.59. Yumuşak zemin cinsi için CSCB köprü modelinde $v=1000$ m/sn de tabliyedeki toplam eğilme momenti grafikleri

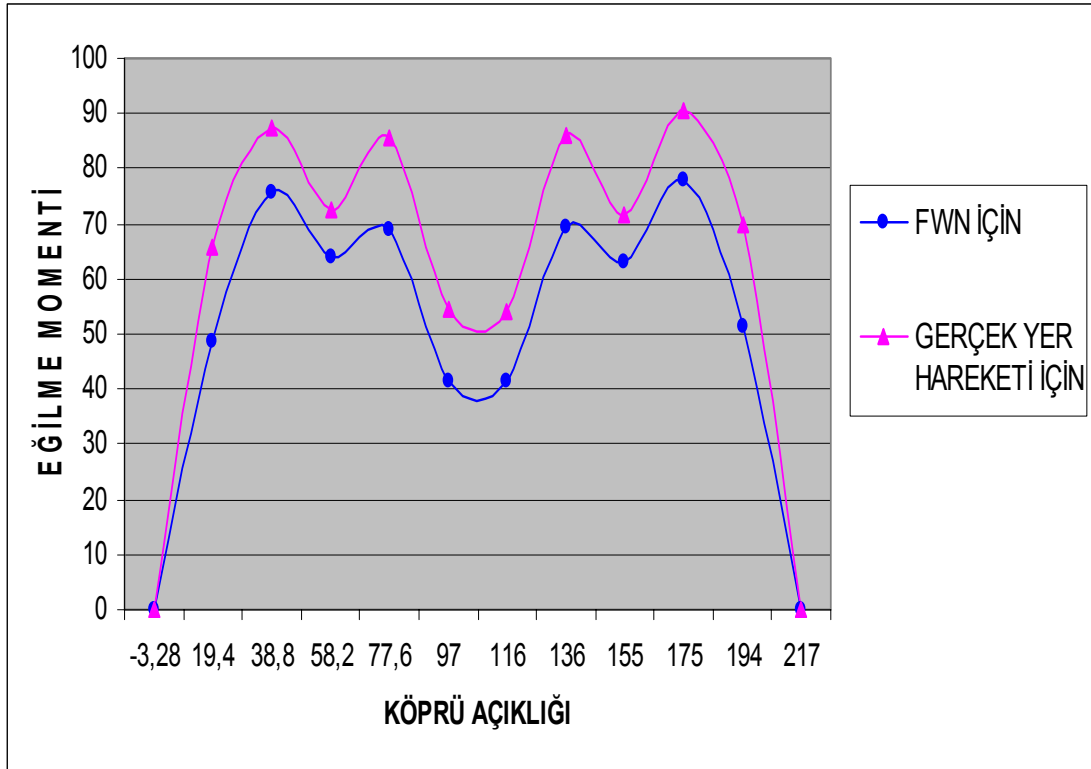
Sonuçlarda ChiChi depreminin CSCB köprü modelinde yumuşak zemin cinsi üzerinde deprem hızının 1000 m/sn olması durumunda asinkronize yer hareketi etkisindeki analizleri incelendiğinde gerçek yer hareketi, filtre edilmiş beyaz gürültü modelinden %25 daha küçük değerler vermektedir.

4.5.2. CSCB köprü modelinde hızın sonsuz olması durumlarında ve farklı zemin cinslerinde filtre edilmiş yer hareketi ve gerçek yer hareketi sonuçlarının irdelenmesi

Sert zemin cinsine ait kayıtlar için CSCB köprü sisteminde hızın sonsuz olması durumunda elde edilen tepki değerleri (Şekil 4.60, Şekil 4.61)'de asinkronize yer hareketi durumunda toplam bileşenler için filtre edilmiş yer hareketi ve gerçek yer hareketi sonuçlarının karşılaştırmalı grafiği aşağıda verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde filtre edilmiş beyaz gürültü modeli, gerçek yer hareketinden %10 daha küçük değerler vermektedir.



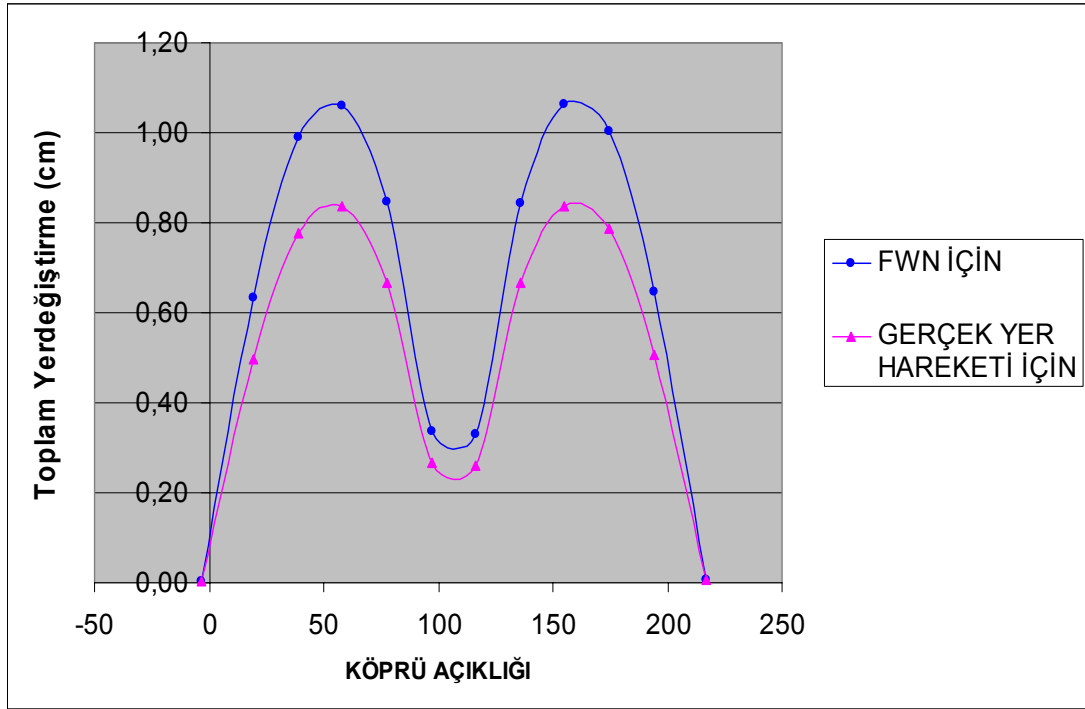
Şekil 4.60. Sert zemin cinsi için CSCB köprü modelinde $v=\infty$ da tabliyedeki toplam yer değiştirmeler



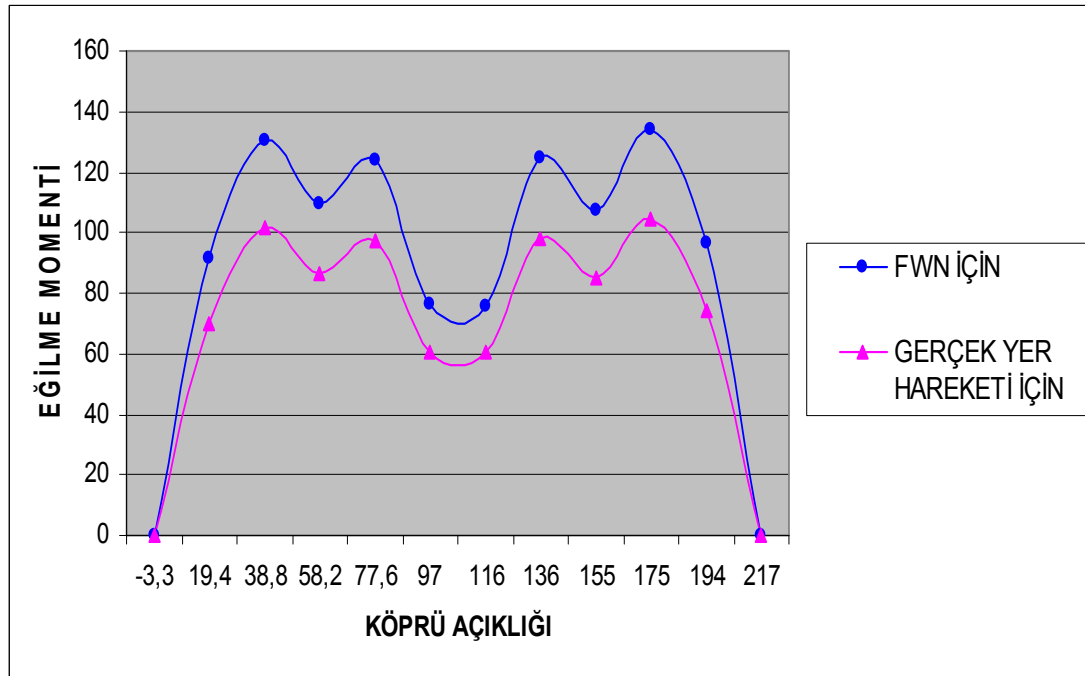
Şekil 4.61. Sert zemin cinsi için CSCB köprü modelinde $v=\infty$ da tabliyedeki toplam eğilme momenti grafikleri

Sonuçlarda ChiChi depreminin CSCB köprü modelinde sert zemin cinsi üzerinde deprem hızının sonsuz olması durumunda asinkronize yer hareketi etkisindeki analizleri incelendiğinde filtre edilmiş beyaz gürültü modeli, gerçek yer hareketinden %25 daha küçük değerler vermektedir.

Orta zemin cinsine ait kayıtlar için CSCB köprü sisteminde hızın sonsuz olması durumunda elde edilen tepki değerleri (Şekil 4.62, Şekil 4.63)'de asinkronize yer hareketi durumunda toplam bileşenler için filtre edilmiş yer hareketi ve gerçek yer hareketi sonuçlarının karşılaştırmalı grafiği aşağıda verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde gerçek yer hareketi, filtre edilmiş beyaz gürültü modelinden %20 daha küçük değerler vermektedir.



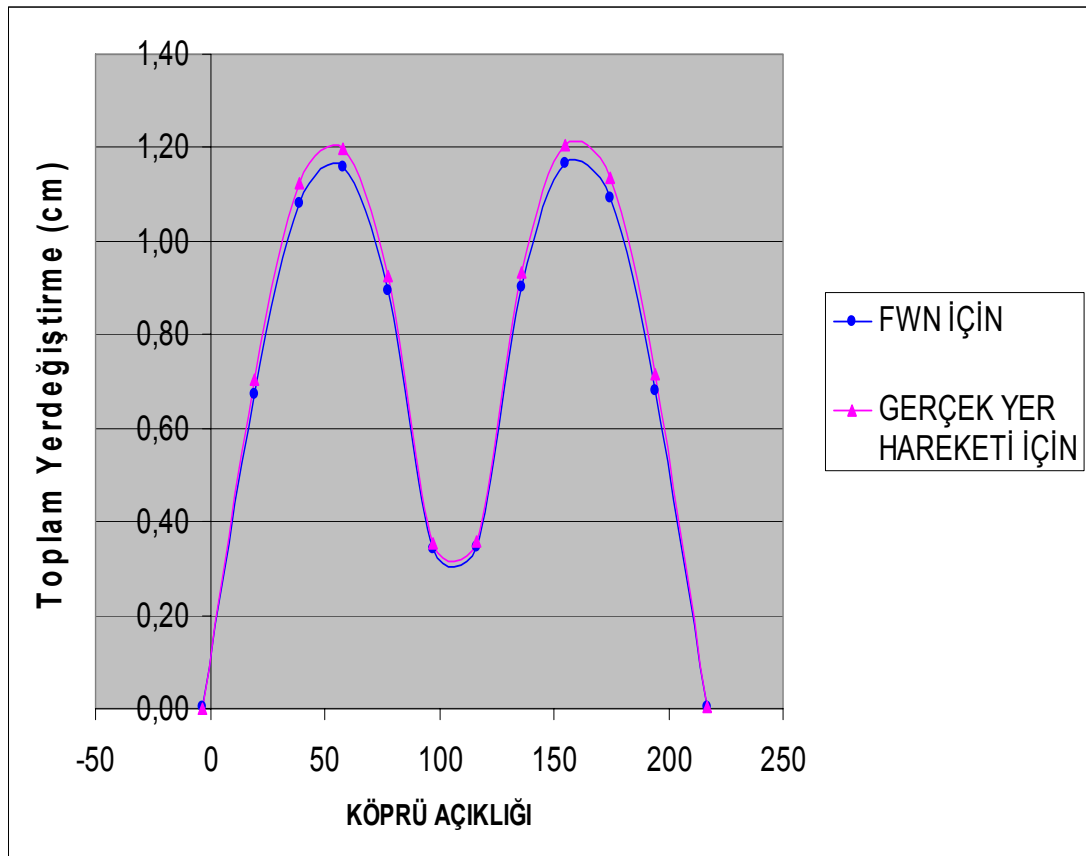
Şekil 4.62. Orta zemin cinsi için CSCB köprü modelinde $v=\infty$ da tabliyedeki toplam yer değiştirmeler



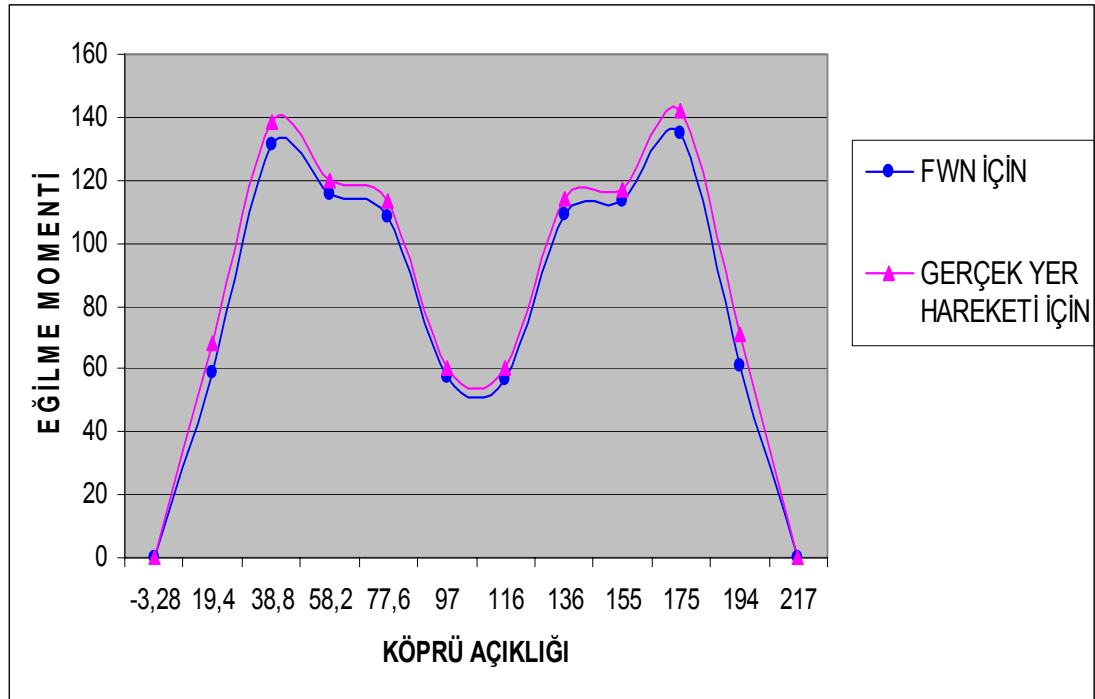
Şekil 4.63. Orta zemin cinsi için CSCB köprü modelinde $v=\infty$ da tabliyedeki toplam eğilme momenti grafikleri

Sonuçlarda ChiChi depreminin CSCB köprü modelinde orta zemin cinsi üzerinde deprem hızının sonsuz olması durumunda asinkronize yer hareketi etkisindeki analizleri incelendiğinde gerçek yer hareketi, filtre edilmiş beyaz gürültü modelinden %20 daha küçük değerler vermektedir.

Yumuşak zemin cinsine ait kayıtlar için CSCB köprü sisteminde hızın sonsuz olması durumunda elde edilen tepki değerleri (Şekil 4.64, Şekil 4.65)'de asinkronize yer hareketi durumunda toplam bileşenler için filtre edilmiş yer hareketi ve gerçek yer hareketi sonuçlarının karşılaştırmalı grafiği aşağıda verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde filtre edilmiş beyaz gürültü modeli, gerçek yer hareketinden %5 daha küçük değerler vermektedir.



Şekil 4.64. Yumuşak zemin cinsi için CSCB köprü modelinde $v=\infty$ da tabliyedeki toplam yer değiştirmeler

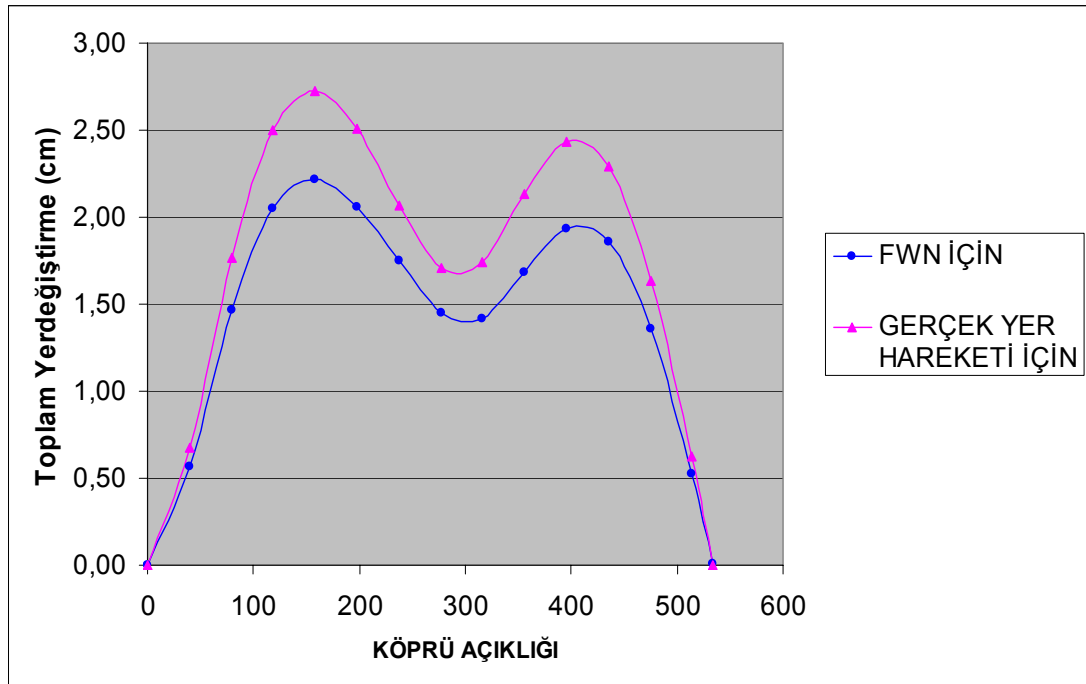


Şekil 4.65. Yumuşak zemin cinsi için CSCB köprü modelinde $v=\infty$ da tabliyedeki toplam eğilme momenti grafikleri

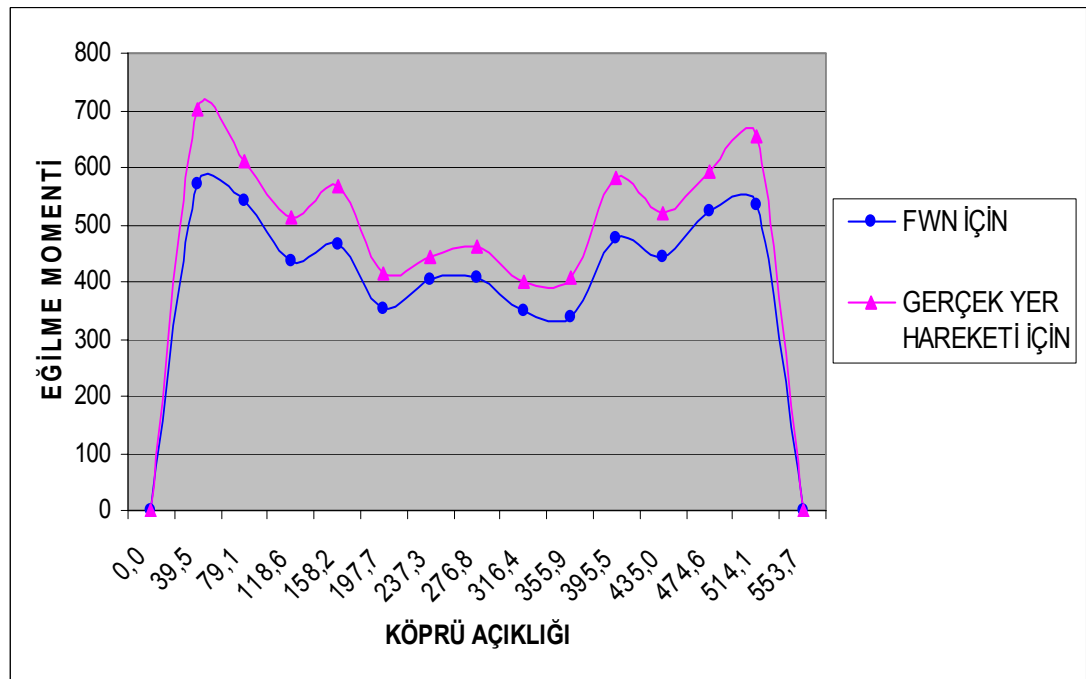
Sonuçlarda ChiChi depreminin CSCB köprü modelinde yumuşak zemin cinsi üzerinde deprem hızının sonsuz olması durumunda asinkronize yer hareketi etkisindeki analizleri incelendiğinde filtre edilmiş beyaz gürültü modeli, gerçek yer hareketinden %5 daha küçük değerler vermektedir.

4.5.3. NRGB köprü modelinde hızın 1000 m/sn olması durumlarında ve farklı zemin cinslerinde filtre edilmiş yer hareketi ve gerçek yer hareketi sonuçlarının irdelemesi

Sert zemin cinsinde ChiChi depremine ait kayıtlar için NRGB köprü sisteminde hızın 1000 m/sn olması durumunda elde edilen tepki değerleri (Şekil 4.66, Şekil 4.67)'de asinkronize yer hareketi durumunda toplam bileşenler için filtre edilmiş yer hareketi ve gerçek yer hareketi sonuçlarının karşılaştırmalı grafiği aşağıda verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde filtre edilmiş beyaz gürültü modeli, gerçek yer hareketinden %20 daha küçük değerler vermektedir.



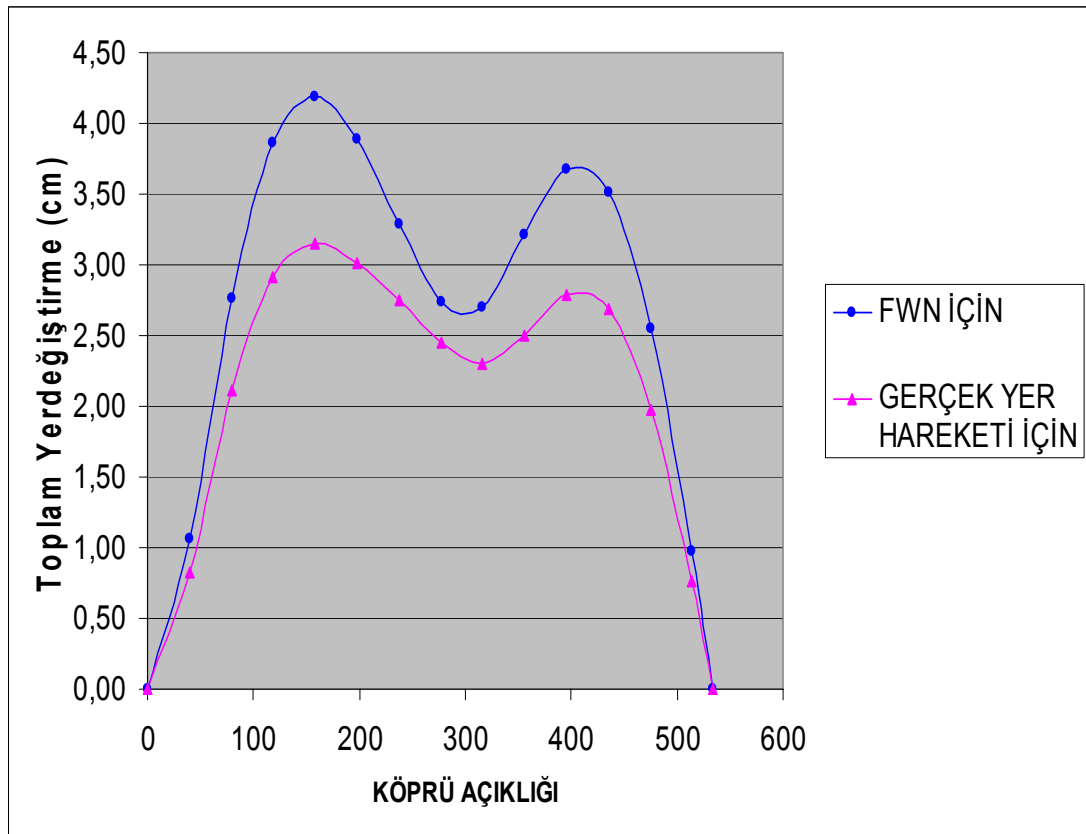
Şekil 4.66. Sert zemin cinsi için NRGB köprü modelinde $v=1000$ m/sn de tabliyedeki toplam yer değiştirmeler



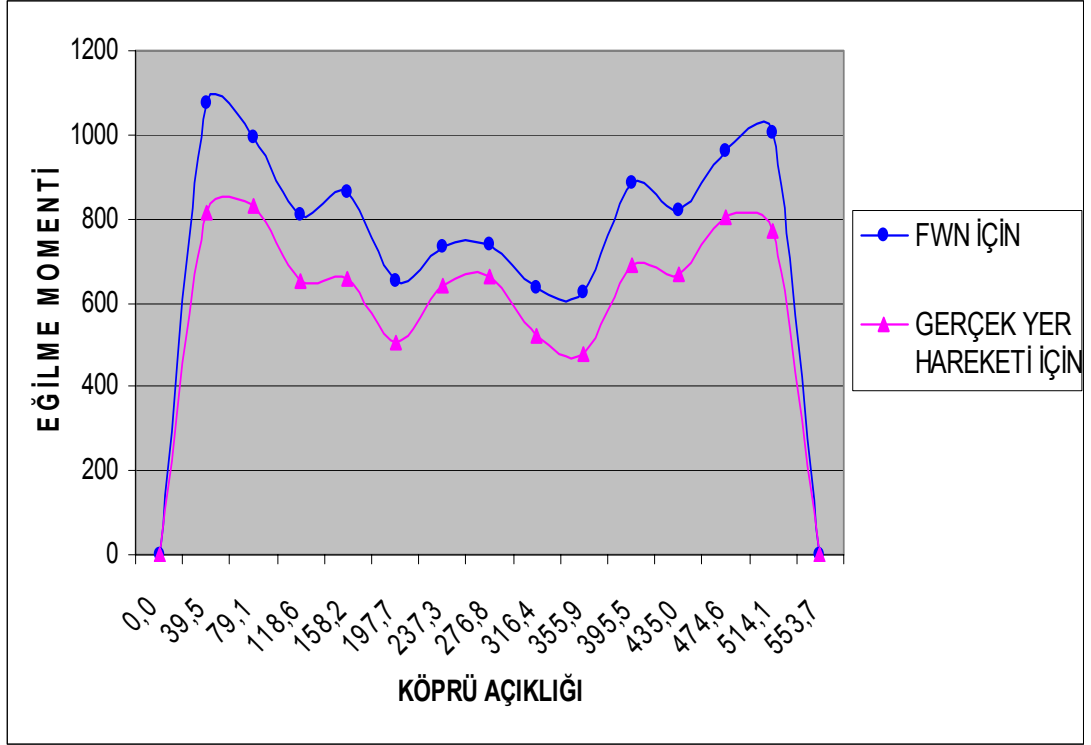
Şekil 4.67. Sert zemin cinsi için NRGB köprü modelinde $v=1000$ m/sn de tabliyedeki toplam eğilme momenti grafikleri

Sonuçlarda ChiChi depreminin NRGB köprü modelinde sert zemin cinsi üzerinde deprem hızının 1000 m/sn olması durumunda asinkronize yer hareketi etkisindeki analizleri incelendiğinde filtre edilmiş beyaz gürültü modeli, gerçek yer hareketinden %15 daha küçük değerler vermektedir.

Orta zemin cinsinde ChiChi depremine ait kayıtlar için NRGB köprü sisteminde hızın 1000 m/sn olması durumunda elde edilen tepki değerleri (Şekil 4.68, Şekil 4.69)'de asinkronize yer hareketi durumunda toplam bileşenler için filtre edilmiş yer hareketi ve gerçek yer hareketi sonuçlarının karşılaştırmalı grafiği aşağıda verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde gerçek yer hareketi, filtre edilmiş yer hareketinden %25 daha küçük değerler vermektedir.



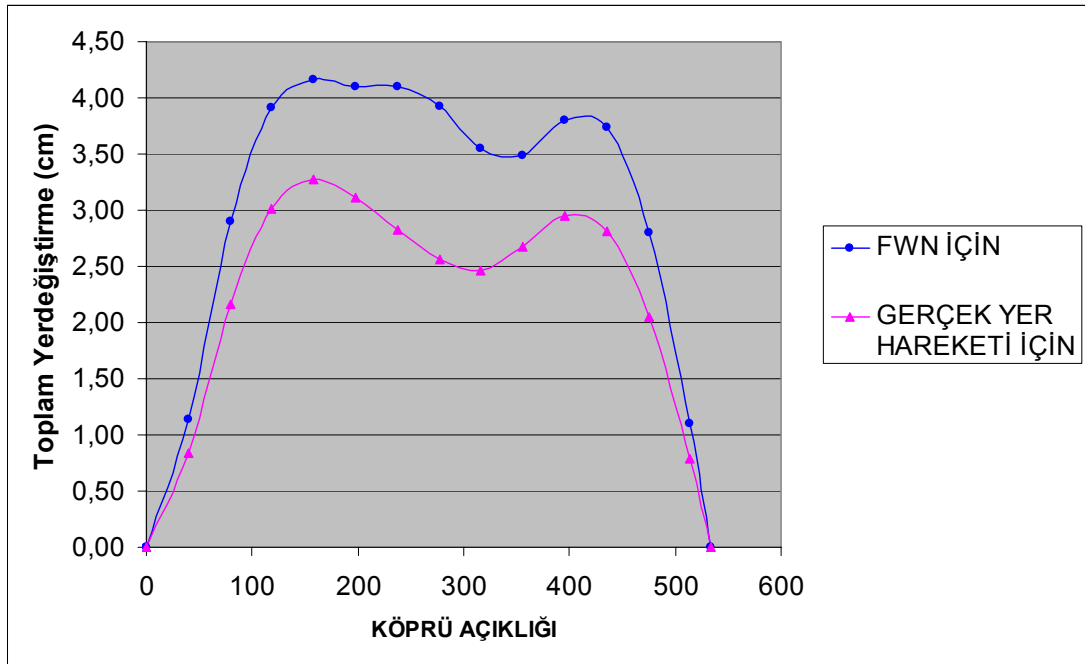
Şekil 4.68. Orta zemin cinsi için NRGB köprü modelinde $v=1000$ m/sn de tabliyedeki toplam yer değiştirmeler



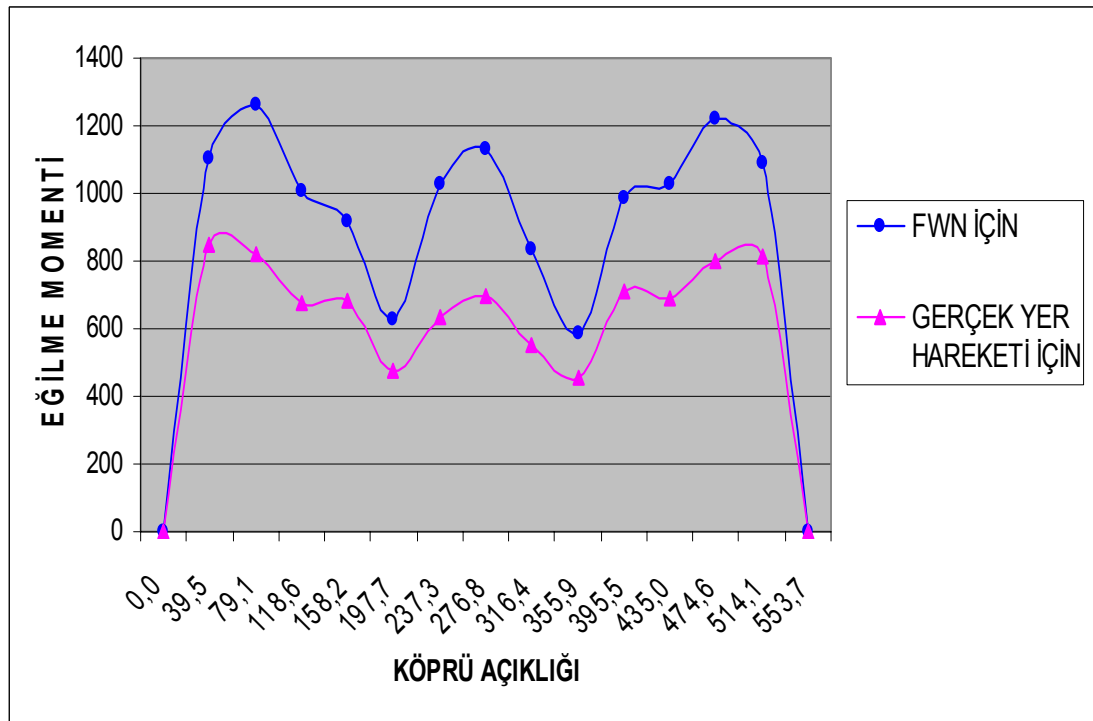
Şekil 4.69. Orta zemin cinsi için NRGB köprü modelinde $v=1000$ m/sn de tabliyedeki toplam eğilme momenti grafikleri

Sonuçlarda ChiChi depreminin NRGB köprü modelinde orta zemin cinsi üzerinde deprem hızının 1000 m/sn olması durumunda asinkronize yer hareketi etkisindeki analizleri incelendiğinde gerçek yer hareketi, filtre edilmiş yer hareketinden %25 daha küçük değerler vermektedir.

Yumuşak zemin cinsine ait kayıtlar için NRGB köprü sisteminde hızın 1000 m/sn olması durumunda elde edilen tepki değerleri (Şekil 4.70, Şekil 4.71)'de asinkronize yer hareketi durumunda toplam bileşenler için filtre edilmiş yer hareketi ve gerçek yer hareketi sonuçlarının karşılaştırmalı grafiği aşağıda verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde gerçek yer hareketi, filtre edilmiş yer hareketinden %35 daha küçük değerler vermektedir.



Şekil 4.70. Yumuşak zemin cinsi için NRGB köprü modelinde $v=1000$ m/sn de tabliyedeki toplam yer değiştirmeler

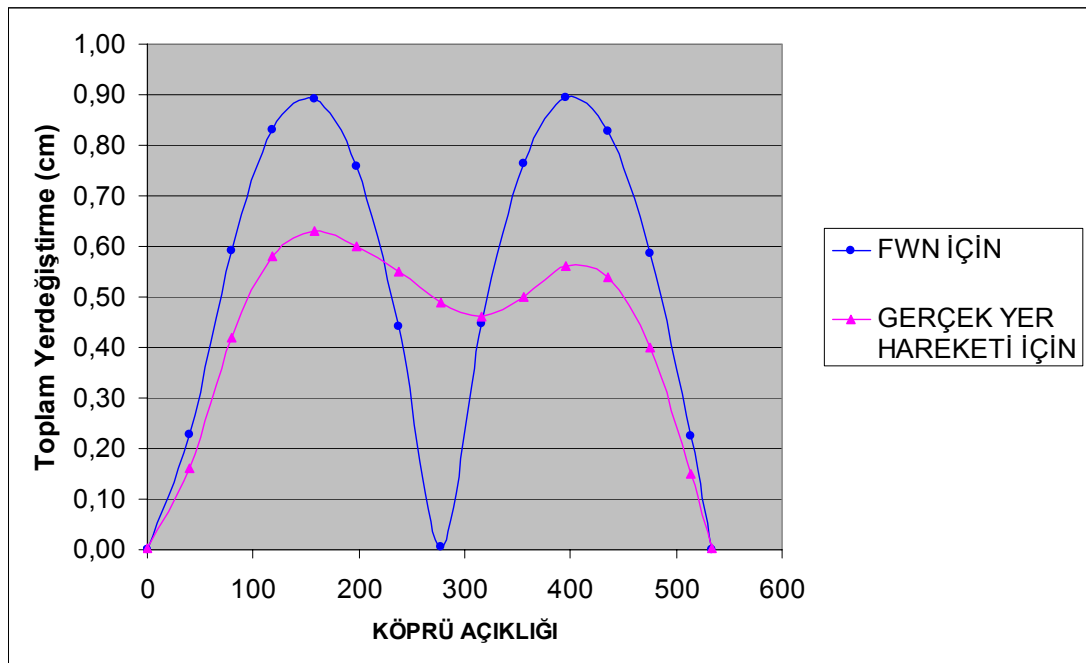


Şekil 4.71. Yumuşak zemin cinsi için NRGB köprü modelinde $v=1000$ m/sn de tabliyedeki toplam eğilme momenti grafikleri

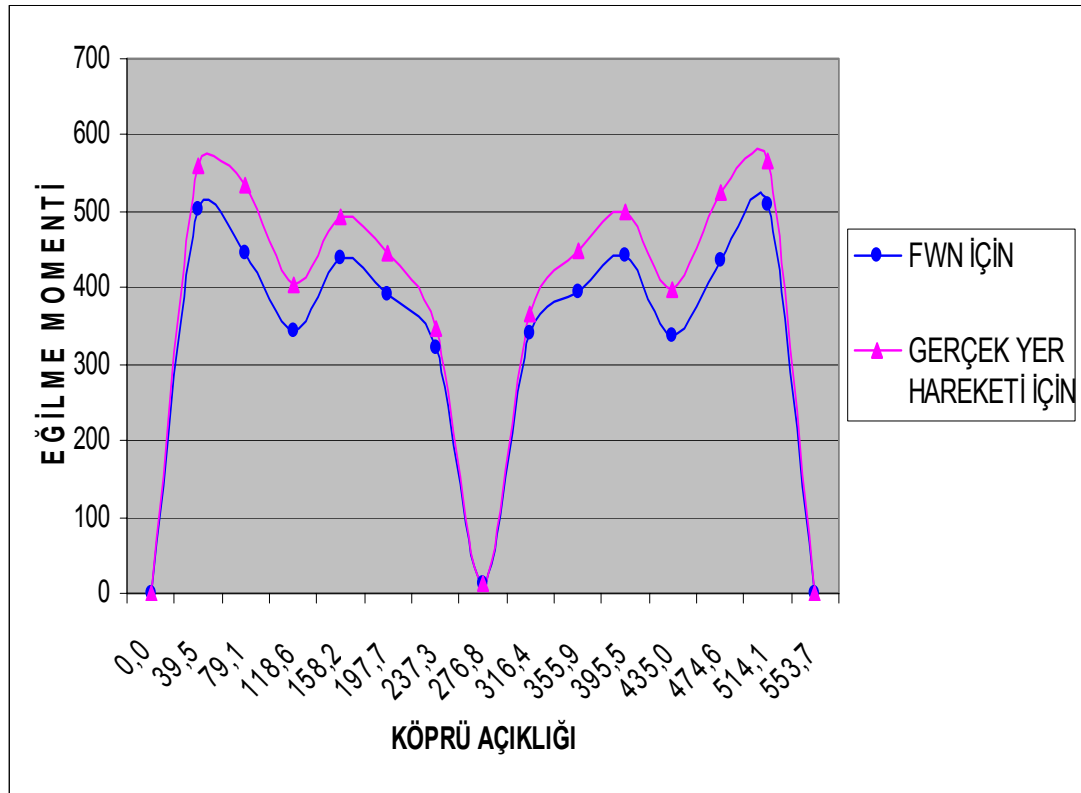
Sonuçlarda ChiChi depreminin NRGB köprü modelinde yumuşak zemin cinsi üzerinde deprem hızının 1000 m/sn olması durumunda asinkronize yer hareketi etkisindeki analizleri incelendiğinde gerçek yer hareketi, filtre edilmiş yer hareketinden %35 daha küçük değerler vermektedir.

4.5.4. NRGB köprü modelinde hızın sonsuz olması durumlarında ve farklı zemin cinslerinde filtre edilmiş yer hareketi ve gerçek yer hareketi sonuçlarının irdelemesi

Sert zemin cinsine ait kayıtlar için NRGB köprü sisteminde hızın sonsuz olması durumunda elde edilen tepki değerleri (Şekil 4.72, Şekil 4.73)'de asinkronize yer hareketi durumunda toplam bileşenler için filtre edilmiş yer hareketi ve gerçek yer hareketi sonuçlarının karşılaştırmalı grafiği aşağıda verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde gerçek yer hareketi, filtre edilmiş yer hareketinden %35 daha küçük değerler vermektedir.



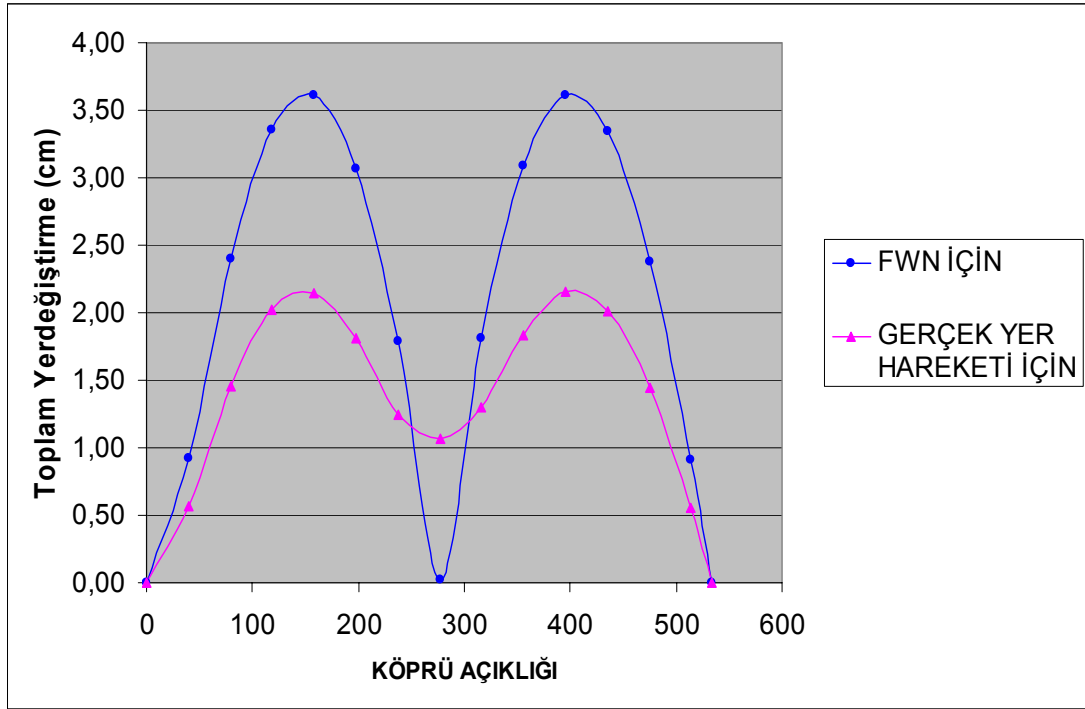
Şekil 4.72. Sert zemin cinsi için NRGB köprü modelinde $v=\infty$ da tabliyedeki toplam yer değiştirmeler



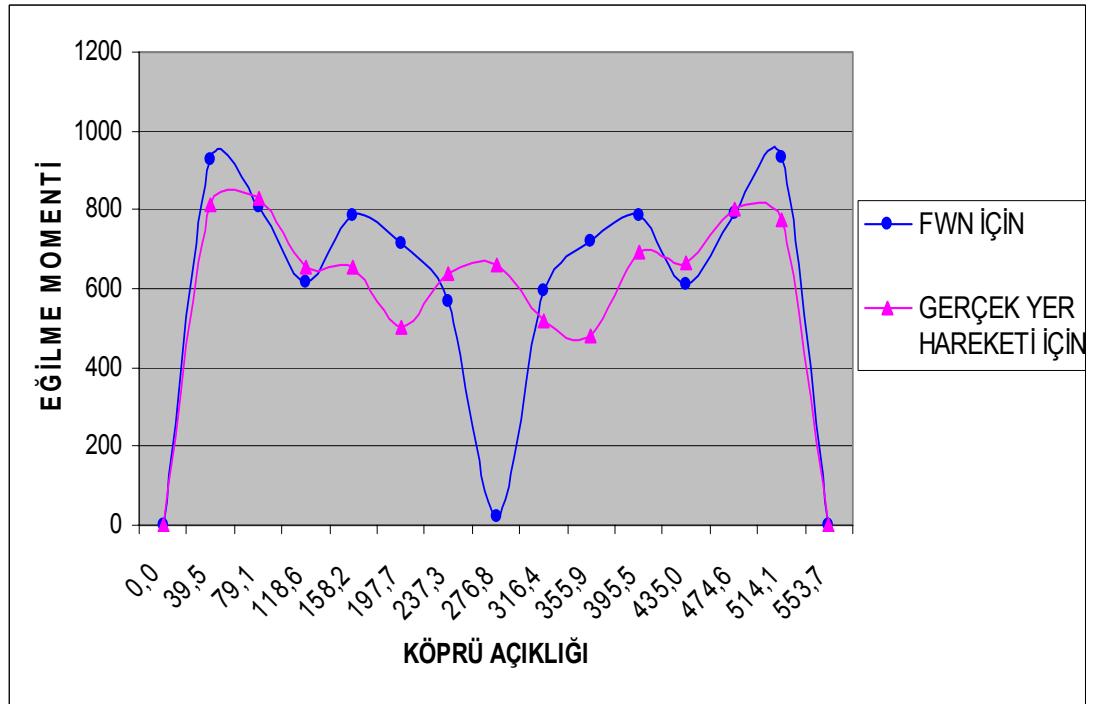
Şekil 4.73. Sert zemin cinsi için NRGB köprü modelinde $v=\infty$ da tabliyedeki toplam eğilme momenti grafikleri

Sonuçlarda ChiChi depreminin NRGB köprü modelinde sert zemin cinsi üzerinde deprem hızının sonsuz olması durumunda asinkronize yer hareketi etkisindeki analizleri incelendiğinde filtre edilmiş yer hareketi, gerçek yer hareketinden %10 daha küçük değerler vermektedir.

Orta zemin cinsine ait kayıtlar için NRGB köprü sisteminde hızın sonsuz olması durumunda elde edilen tepki değerleri (Şekil 4.74, Şekil 4.75)'de asinkronize yer hareketi durumunda toplam bileşenler için filtre edilmiş yer hareketi ve gerçek yer hareketi sonuçlarının karşılaştırmalı grafiği aşağıda verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde gerçek yer hareketi, filtre edilmiş yer hareketinden %40 daha küçük değerler vermektedir.



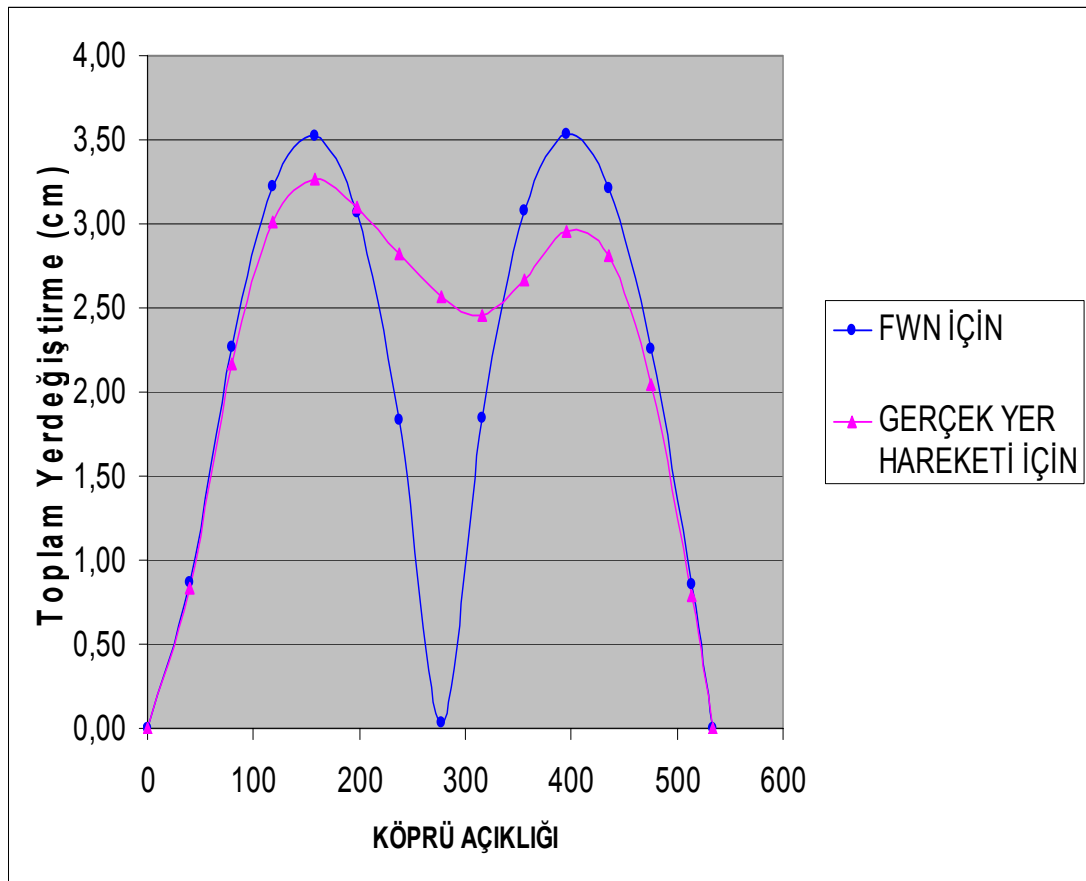
Şekil 4.74. Orta zemin cinsi için NRGB köprü modelinde $v=\infty$ da tabliyedeki toplam yer değiştirmeler



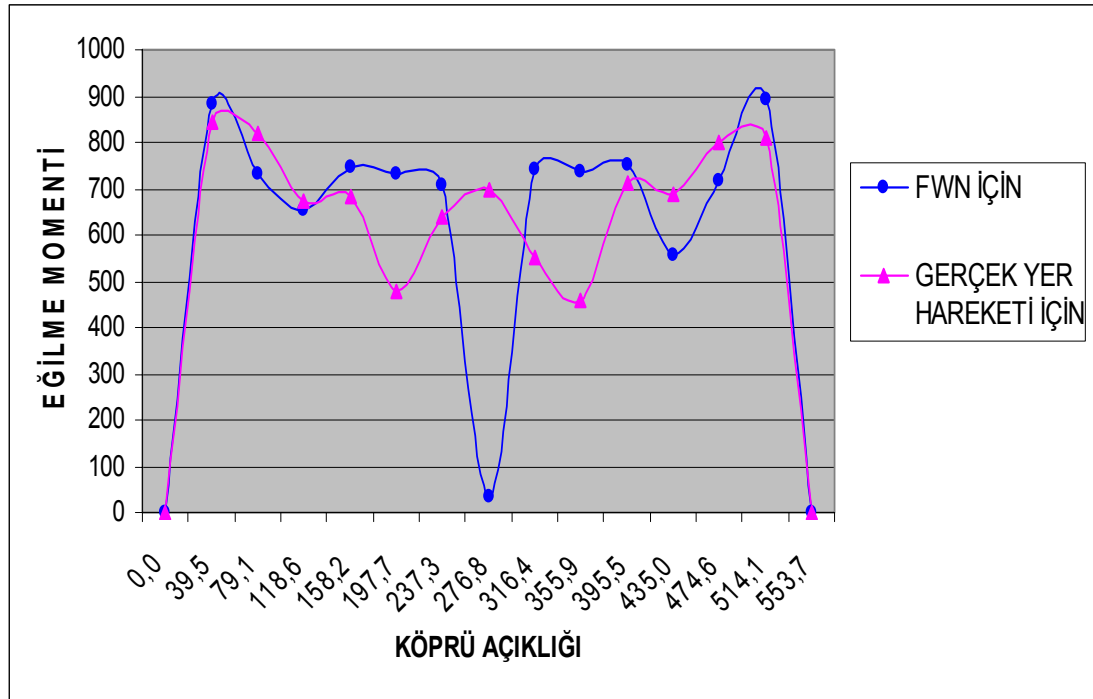
Şekil 4.75. Orta zemin cinsi için NRGB köprü modelinde $v=\infty$ da tabliyedeki toplam eğilme momenti grafikleri

Sonuçlarda ChiChi depreminin NRGB köprü modelinde orta zemin cinsi üzerinde deprem hızının sonsuz olması durumunda asinkronize yer hareketi etkisindeki analizleri incelendiğinde gerçek yer hareketi, filtre edilmiş yer hareketinden %30 daha küçük değerler vermektedir.

Yumuşak zemin cinsine ait kayıtlar için NRGB köprü sisteminde hızın sonsuz olması durumunda elde edilen tepki değerleri (Şekil 4.76-77)'de asinkronize yer hareketi durumunda toplam bileşenler için filtre edilmiş yer hareketi ve gerçek yer hareketi sonuçlarının karşılaştırmalı grafiği aşağıda verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde gerçek yer hareketi, filtre edilmiş yer hareketinden %15 daha küçük değerler vermektedir.



Şekil 4.76. Yumuşak zemin cinsi için NRGB köprü modelinde $v=\infty$ da tabliyedeki toplam yer değiştirmeler



Şekil 4.77. Yumuşak zemin cinsi için NRGB köprü modelinde $v=\infty$ da tabliyedeki toplam eğilme momenti grafikleri

Sonuçlarda ChiChi depreminin NRGB köprü modelinde yumuşak zemin cinsi üzerinde deprem hızının sonsuz olması durumunda asinkronize yer hareketi etkisindeki analizleri incelendiğinde gerçek yer hareketi, filtre edilmiş yer hareketinden %35 daha küçük değerler vermektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada yer hareketindeki değişim etkisi için kemer köprü sistemlerinin stokastik analizinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Stokastik analizde yer hareketi rasgele işlem olarak spektral yoğunluk fonksiyonu ile ifade edilirken, yer hareketinin değişimi dalga yayılma etkisi ve zemin şartlarındaki değişim ile dikkate alınmıştır.

Yer hareketi olarak Clough-Penzien [27] tarafından düzeltilerek elde edilen filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modeli kullanılmıştır. Zemin etkisi için ise kemer kafes köprünün üzerine inşa edildiği zeminin orta zemin olması durumu dikkate alınmıştır.

Uygulama amacıyla Kaliforniyadaki Cold Spring Canyon Köprüsü (CSCB) ve Batı Virginia'daki New River Gorge Köprüsü (NRGB) seçilmiştir. CSCB ve NRGB köprüleri kemer kafes köprülerdir. CSCB toplam köprü açıklığı 371 m, kemer bölgesinin toplam açıklığı 213 m'dir. NRGB ise kuzey yaklaşım açıklığı 175 m, güney yaklaşımı 193 m ve ana açıklığı 554 m olup toplam açıklığı 924 m'dir. Söz konusu köprülerin rasgele olan deprem etkisinden oluşacak stokastik davranışını belirlemek amacıyla iki boyutlu analizi üzerinde durulmuştur.

Değişen yer hareketi için kablolu köprünün stokastik analizini yapmak amacıyla, üniform yer hareketi etkisindeki yapı sistemlerinin stokastik analizini yapan STOCAL [28] bilgisayar programı temel alınarak gerekli analizleri yapabilecek şekilde geliştirilmiş ve SVEM programı hazırlanmıştır.

Analizlerde yer hareketi olarak Erzincan depreminin doğu-batı bileşeninin dikkate alınması ve kemer köprü sistemlerine yatay doğrultuda etki ettirilmesi sonucunda; CSCB köprü sisteminde sonsuz hızda ve dinamik bileşenler için eş-fazlı, zıt-fazlı yer hareketi durumları karşılaştırılmıştır. Aynı tepki bileşenine ait zahiri-statik bileşenler de eş-fazlı yer hareketi için düşey doğrultudaki yer değiştirmeler sıfır olurken, rijit cisim hareketi sonucu eleman kuvvetleri de sıfır olmaktadır. Zahiri-statik ve dinamik tepkilerin toplamı ile elde edilen toplam tepki değeri de, normal kuvvet dışında zıt-fazlı yer hareketi için büyük olmaktadır.

CSCB kemer köprü modeli için gerçekleştirilen analizler NRGB içinde gerçekleştirilmiştir ve sonsuz hızda eş-fazlı durumda elde edilen zahiri-statik tepkiler rijit cisim hareketi nedeni ile sıfır olurken, zıt-fazlı yer hareketi durumunda sıfırdan farklı olmaktadır. NRGB kemer köprü modelinde CSCB köprü modelinden farklı olarak dinamik tepki bileşenlerinde belli bölgelerde eş-fazlı yer hareketi sonuçları büyük çıkmaktadır. Toplam bileşenler için ise dinamik bileşenlerde elde edilen değişime paralellik gözlenmektedir.

CSCB köprü sisteminde $v=1000$ m/s olması durumunda hızın sonsuz olması durumundan farklı olarak, zahiri-statik tepki değerleri asinkronize analiz için sıfırdan farklı olmaktadır. Burada yine etki yönünün değişimini içeren antisinkronize analiz sonuçları daha büyük çıkmaktadır. Benzer olarak $v=1000$ m/s için dinamik tepki bileşenleri ve toplam tepki bileşenleri için de antisinkronize analiz sonuçları daha büyük çıkmaktadır.

CSCB köprü sisteminde yer hareketi yayılma hızının daha da azalarak zahiri-statik bileşenler için $v=500$ m/s olması durumunda elde edilen değişim $v=1000$ m/s durumundaki değişimle benzerdir. Ancak dinamik ve toplam bileşenler için elde edilen değişim biraz daha farklı olmaktadır. Özellikle dinamik tepki bileşenleri için elde edilen değişim incelendiğinde, belli bölgelerde asinkronize analiz sonuçlarının, belli bölgelerde de antisinkronize analiz sonuçlarının daha büyük çıktığı gözlenmektedir. Ancak toplam tepki için elde edilen değişimde özellikle zahiri-statik tepkilerin katkılarıyla antisinkronize analiz sonuçları daha büyük çıkmaktadır.

NRGB köprü sistemi için $v=500$ m/s ve $v=1000$ m/s de antisinkronize analiz ile belirlenen tepkiler daha büyük olurken dinamik tepkiler için, özellikle $v=1000$ m/s için, asinkronize analiz sonuçlarının genellikle daha büyük olduğu gözlenmektedir. Toplam tepkiler için ise, belli bölgelerde asinkronize analiz sonuçlarının, belli bölgelerde de antisinkronize analiz sonuçlarının büyük çıktığı gözlenmektedir.

CSCB köprü sisteminin asinkronize analizi ile elde edilen sonuçlarda yer değiştirme, kesme kuvveti ve eğilme momenti için en büyük değerler $v=500$ m/s için elde

edilirken artan hız değerleri için tepki değerleri azalmaktadır.

NRGB köprü sistemi için asinkronize analiz ile elde edilen tepkilerde yer hareketi yayılma hızının etkisi tam olarak belirgin değildir.

Çalışmanın son bölümünde çeşitli homojen zeminlerde gerçek yer hareketi sonuçlarına göre karşılaştırmalar yapılmıştır ve her zemin cinsi için filtre edilmiş beyaz gürültü modeli ile gerçek yer hareketinin karşılaştırmaları yapılmıştır.

Analizler neticesinde yumuşak zemin cinsi üzerinde en büyük toplam tepkiler elde edilirken sırasıyla orta zemin ve sert zeminde toplam tepkiler azalmaktadır.

Homojen zemin cinsleri üzerinde filtre edilmiş yer hareketi ile gerçek yer hareketi karşılaştırıldığında bazı durumlarda filtre edilmiş yer hareketi büyük çıkarken bazı durumlarda da gerçek yer hareketi büyük çıkmaktadır. Gerçek yer hareketi ile filtre edilmiş yer hareketi arasındaki farkların %5-35 arasında değişmekte olduğu gözlenmiştir.

Analiz sonuçlarında filtre edilmiş yer hareketi ile gerçek yer hareketi birbirine paralellik içerisinde olup gerçek yer hareketinin zmlmeleri filtre edilmiş yer hareketinin çözümlmelerine göre daha çok formülasyon ve işlemler gerektirmektedir. Analizler için gerçek yer hareketi kullanılabileceği gibi filtre edilmiş yer hareketi de kullanılabilir.

KAYNAKLAR

1. Der Kiureghian, A., Neuenhofer, A., A Response Spectrum Method for Multiple-support Seismic Excitations, Report No. UCB/EERC-91/08, Earthquake Engineering Research Center, **College of Engineering, University of California**, Berkeley, CA., 20-150 (1991).
2. Der Kiureghian, A., Neuenhofer, A., Response Spectrum Method for Multiple-support Seismic Excitations, **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, 21: 713-740 (1992).
3. Hawwari, A. R., Suspension Bridge Response to Spatially Varying Ground Motion, **Michigan State University**, Michigan, 1-150 (1992).
4. Hyun, C. H., Yun, C.B., Lee D.G., Nonstationary Response Analysis of Suspension Bridges for Multiple Support Excitations, **Probabilistic Engineering Mechanics**, 7: 27-35 (1992).
5. Hao, H. Arch Responses to Correlated Multiple Exicitations, **Eartquake Engineering and Structural Dynamics**, 22: 389-404 (1993).
6. Harichandran, R. S., Hawwari, A., Sweiden, B. N., Response of Long-Span Bridges to Spatially Varying Ground Morion, **Journal of Structural Engineering**, 122 (5): 476-484 (1996).
7. Zerva, A., Stochastic Differantial Ground Motion and Structural Response, Doktora Tezi, **University of Illinois**, Illinois, 30-90 (1982).
8. Harichandran, R. S., Wang, W., Response of Simple Beam to Spatially Varying Earthquake Excitation, **Journal of Engineering Mechanics**, 114 (9): 1526-1541 (1988).
9. Harichandran, R. S., Wang, W., Response of One- and Two-Span Beams to Spatially Varying Seismic Excitation, Report to the National Science Foundation MSU-ENGR-88-002, College of Engineering, **Michigan State University**, Michigan, 20-50 (1988).
10. Harichandran, R. S., Wang, W., Response of Indeterminate Two-Span Beam to Spatially Varying Seismic Excitation, **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, 19: 173-187 (1990).
11. Sweidan, B. N., Stochastic Response of Deck Arch Bridges to Correlated Support Excitations, Doktora Tezi, **Michigan State University**, Michigan, 35-100 (1990).

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. 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).
14. Monti, G., Nuti, C., Pinto, P. E., Nonlinear Response of Bridges Under Multisupport Excitation, *Journal of Structural Engineering*, 122 (10): 1147-1159 (1996).
15. Zembaty, Z., Rutenberg, A., On the Sensivity of Bridge Seismic Response With Local Soil Amplification, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 27 (10): 1095-1099 (1998).
16. Zembaty, Z., Rutenberg, A., Sensivity Analysis of Spatial Seismic Effects from Local Soil Amplification, , Balkema, Rotterdam, Computer File, *11* European Conference on Earthquake Engineering*, Singapore, 20-45 (1998).
17. Allam, S. M., Datta, T. K., Seismic Behaviour of Cable-Stayed Bridges Under Multi-Component Random Ground Motion, *Engineering Structures*, 22: 62-74 (1999).
18. Dumanoglu, A. A., Soyluk, K., Mesnetlerinden Farklı Dinamik Etkilere Maruz Kablolü Köprülerin Stokastik Analizi, Teknik Rapor, *TDV/TR 032-54, Türkiye Deprem Vakfı*, İstanbul, 3-50 (2000).
19. Soyluk, K., Dumanoglu, A. A., Stochastic Analysis of Cable-Stayed Bridges Subjected to Multiple-Support Excitation, Advances in Civil Engineering, *IV. International Congress*, Gazimagusa, 3: 1249-1258 (2000).
20. Dumanoglu, A. A., Soyluk, K., Kablolü Köprülerin Stokastik ve Asinkronize Dinamik Analizi, Teknik Rapor, *TDV/TR 98-013, Türkiye Deprem Vakfı*, İstanbul, 8-47 (1998).
21. Soyluk, K., Dumanoglu, A. A., Bayraktar, A., Comparison of Stochastic and Asynchronous Response of Cable Stayed Bridges, *Eighth International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, İstanbul, 250-251 (1997).
22. Soyluk, K., Dumanoglu, A. A., Kablolü Köprülerin Karşılaştırmalı Dinamik Analizleri: Asinkronize, Antisinkronize ve Stokastik, *III. Ulusal Hesaplama Mekanik Konferansı*, İstanbul, 449-456 (1998).

23. Soyluk, K., Dumanoglu, A. A., Comparison of Asynchronous and Stochastic Dynamic Response of a Cable-Stayed Bridge, *Engineering Structures*, 22: 435-445 (2000).
24. 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).
25. Dumanoglu, A. A., Soyluk, K., Mesnetlerinden Farklı Dinamik Etkilere Maruz Kablolu Köprülerin Stokastik Analizi, Teknik Rapor, *TDV/TR 032-54, Türkiye Deprem Vakfı*, İstanbul, 3-72 (2000).
26. Dumanoglu, A. A., Soyluk, K., Kablolu Köprülerin Stokastik ve Asinkronize Dinamik Analizi, Teknik Rapor, *TDV/TR 98-013, Türkiye Deprem Vakfı*, İstanbul, 32-120 (1998).
27. Clough, R.W., Penzien, J., Dynamics of Structures, Second Edition, *McGraw Hill, Inc.*, Singapore, 126-147 (1993).
28. Button, M. R., Der Kiureghian, A., Wilson, E. L., Report No UCB/SEMM-81/2, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley, *STOCAL-User Information Manual*, CA., 64-76 (1981).
29. Dussea, R. A. Unequal Seismic Support Motions of Steel Deck Arch Bridges, Doktora Tezi, *Michigan State University*, Michigan, 23-122 (1985).
30. Der Kiureghian, A., A Coherency Model for Spatially Varying Ground Motions, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 25: 99-111 (1996).
31. Santa-Cruz, S., Heredia-Zavoni, E., Harichandran, R. S., Low-Frequency Behavior of Coherency for Strong Ground Motions in Mexico City and Japan, *Proc. of the 12WCEE*, New Zealand, 5469-5474 (2000).
32. Harichandran, R. S., Hawwari, A., Sweiden, B. N., Response of Long-Span Bridges to Spatially Varying Ground Motion, *Journal of Structural Engineering*. 122 (5): 476-484 (1996).
33. Luco, J. E., Wong, H. L., Response of A Rigid Foundation to a Spatially Random Ground Motion, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 14: 891-908 (1986).
34. Luco, J. E., Mita, A., Response of Circular Foundation to Spatially Random Ground Motion, *Journal of Engineering Mechanics*. 113: 1-16 (1987).
35. Zerva, A., Effect of Spatial Variability and Propagation of Seismic Ground Motions on the Response of Multiply Supported Structures, *Probabilistic Engineering Mechanics*. 6: 212-221 (1991).

36. Zerva, A., Differential Response Spectra for the Seismic Response of Lifelines, *Proc. of the Fourth European Conference on Structural Dynamics*, Prague, 2: 1153-1158 (1999).
37. Der Kiureghian, A., Keshishian, P., Effect of Site Response on Spatial Variability of Ground Motion, *IIth World Conference on Earth. Eng.*, Oxford, 2: 705 (1996).
38. Der Kiureghian, A., Keshishian, P., Hakobian, A., Multiple Support Response Spectrum Analysis of Bridges including the Site-Response Effect and MSRS Code, Report No. *UCB/EERC-97/02, Earthquake Engineering Research Center*, College of Engineering, University of California, Berkeley, CA., 5-149 (1997).
39. Dumanoglu, A. A., Severn, R. T., Dynamic Response of Dams and Other Structures to Differential Ground Motions, *Proc. Instn. Civ. Engrs.*, 2 (77) 333-352 (1984).
40. Dumanoglu, A. A., Severn, R.T., Seismic Response of Modern Suspension Bridges to Asynchronous Vertical Ground Motion, *Proc. Instn. Civ. Engrs.*, 2 (83): 701-730 (1987).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YÜCEL, Kürşat
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 25.05.1980 Stuttgart
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 434 56 80
Faks : 0 (312) 428 21 36
e-mail : kursatyucel@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /İnş. Bölümü	2006
Lisans	Süleyman Demirel Üni./İnş. Böl.	2003
Lise	Kurtuluş Lisesi	1997

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Yüzme, Bilgisayar teknolojileri, Kitap okumak, Seyahat, Scuba