

756067

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SÜRTÜNME Lİ SARKAÇ SİSTEMİ İLE İZOLASYONLU KARAYOLU
KÖPRÜLERİNİN DEĞİŞEREK YAYILAN YER HAREKETİ İÇİN
STOKASTİK ANALİZİ

İnş. Yük. Müh. Şevket ATEŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Doktor”

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18.05.2004

Tezin Savunma Tarihi : 08.07.2004

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Alemdar BAYRAKTAR

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Sami KARADENİZ

Jüri Üyesi : Prof. Dr. H. Faruk KARADOĞAN

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Adem DOĞANGÜN

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Yusuf AYVAZ

Bayraktar
Durmuş
Karadeniz
Karadoğan
Doğangün
Ayvas

Trabzon 2004

ÖNSÖZ

“Sürtünmeli Sarkaç Sistemi ile İzolasyonlu Karayolu Köprülerinin Değişerek Yayılan Yer Hareketleri için Stokastik Analizi” konusunu içeren bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Önemli ve orijinal olan bu konuya yönelmemi sağlayan, çalışmamın her aşamasında benimle yakından ilgilenip, bana araştırma zevki veren ve bilimsel düşünce disiplini aşılayan, engin bilgi ve tecrübelerimden daima yararlandığım ilk Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. A. Aydın DUMANOĞLU’na minnet ve şükranlarımı sunmayı zevkli bir görev sayarım.

İlk Danışman Hocamın 3 Kasım 2002 tarihindeki seçimlerde Trabzon Milletvekili olması nedeniyle yoğun işlerine rağmen Danışman Hocam olmayı kabul edip, doktora çalışmamın devamını sağlayan, çalışmalarımı titizlikle inceleyip bilgilerini benimle paylaşan ve doktora çalışmamı bitirmemde büyük emekleri olan Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Alemdar BAYRAKTAR’a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamı inceleyerek bilgi ve tavsiyelerini paylaşan Sayın Hocalarım Prof. Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ’a, Prof. Dr. H. Faruk KARADOĞAN’a, Prof. Dr. Sami KARADENİZ’e ve Doç. Dr. Adem DOĞANGÜN’e ayrı ayrı teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Kurtuluş SOYLUK’a, Araş. Gör. Dr. Süleyman ADANUR’a, Araş. Gör. Dr. Mehmet AKKÖSE’ye, Araş. Gör. Kemal HACİEFENDİOĞLU’na teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım süresince bana her türlü imkan ve desteği sağlayan babam Yüksel ATEŞ ve annem Mahfiriz ATEŞ olmak üzere ailemin tüm fertlerine teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, tüm desteğiyle yanımda olan eşim Nalan CÖMERT ATEŞ’e göstermiş olduğu sabırdan dolayı teşekkür eder, bu çalışmanın ülkemize faydalı olmasını temenni ederim.

Şevket ATEŞ

Trabzon 2004

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XXIV
SEMBOLLER DİZİNİ	XXV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Konu ile İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar.....	2
1.3. Çalışmanın Kapsamı.....	20
1.4. Değişerek Yayılan Yer Hareketi için Stokastik Analiz Formülasyonu	21
1.4.1. Dinamik Bileşenin Varyansı.....	28
1.4.2. Zahirî-Statik Tepki Bileşenin Varyansı	30
1.4.3. Zahirî-Statik ve Dinamik Bileşenler Arasındaki Kovaryans Fonksiyonu	30
1.4.4. Toplam Bileşenin Varyansı	31
1.4.5. Ortalama Maksimum Değer ve Oluşma Frekansı	32
1.5. İzolasyon Sistemleri.....	33
1.5.1. Tabakalı Kauçuk Mesnet Sistemi	34
1.5.2. Yeni Zelanda Mesnet Sistemi.....	34
1.5.3. Sürtünmeli Mesnet Sistemi.....	35
1.5.4. Elastik Sürtünmeli Mesnet Sistemi.....	36
1.5.5. Fransız Elektrik Mesnet Sistemi.....	37
1.5.6. Kayıcı Elastik Sürtünmeli Mesnet Sistemi	38
1.5.7. Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet Sistemi	39
1.5.8. Sürtünmeli Sarkaç Mesnet Sistemi	39
1.5.8.1. Sürtünmeli Sarkaç Mesnet Sisteminin Parametreleri	41
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	45

2.1.	Yer Hareketi Modeli.....	45
2.1.1.	Tutarsızlık Etkisi.....	54
2.1.2.	Dalga Yayılma Etkisi.....	57
2.1.3.	Yerel Zemin Etkisi.....	57
2.2.	Karayolu Köprüsünün Analitik Modeli.....	61
2.3.	Sürtünmeli Sarkaç Mesnetin Tasarımı.....	64
2.3.1.	Sürtünme Katsayısı.....	64
2.3.2.	Sürtünmeli Sarkaç Mesnetinin Yarıçapı.....	65
2.3.3.	Sürtünmeli Sarkaç Mesnetinin Rijitliği.....	65
2.3.4.	Sürtünmeli Sarkaç Mesnetinin Eşdeğer Sönüm Oranı.....	65
2.3.5.	Sürtünmeli Sarkaç Mesneti Yerdeğiştirme Kapasitesinin Belirlenmesi.....	67
2.3.6.	Sürtünmeli Sarkaç Mesnetinin Plan Boyutları.....	67
2.4.	Çalışmada Kullanılan Bilgisayar Programı.....	69
2.5.	Serbest Titreşim Analizi.....	69
2.6.	Beyaz Gürültü Yer Hareketi Modelinin Tahkiki.....	77
3.	BULGULAR ve İRDELEMELER.....	80
3.1.	İzolasyonsuz ve İzolasyonlu Karayolu Köprüsünün Değişerek Yayılan Yer Hareketi için Stokastik Analizleri.....	80
3.1.1.	Sadece Dalga Yayılma Etkisinin Dikkate Alınması Durumunda Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının İncelenmesi.....	80
3.1.1.1.	Homojen Yumuşak Zemin Durumu.....	80
3.1.1.2.	Homojen Sert Zemin Durumu.....	95
3.1.2.	Sadece Tutarsızlık Etkilerinin Dikkate Alınması Durumunda Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının İncelenmesi.....	109
3.1.2.1.	Homojen Yumuşak Zemin Durumu.....	109
3.1.2.2.	Homojen Sert Zemin Durumu.....	123
3.1.3.	Dalga Yayılma ve Tutarsızlık Etkilerinin Birlikte Dikkate Alınması Durumunda Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının İncelenmesi.....	137
3.1.3.1.	Ortalama Maksimum Yerdeğiştirme ve Eleman Kuvvetlerinin İncelenmesi.....	138
3.1.3.2.	Yerdeğiştirme ve Eleman Kuvveti Varyanslarının İncelenmesi.....	152
3.1.3.2.1.	Yerdeğiştirme Varyanslarının İncelenmesi.....	152
3.1.3.2.2.	Eleman Kuvveti Varyanslarının İncelenmesi.....	153
3.1.3.2.2.1.	Eğilme Momenti Varyanslarının İncelenmesi.....	153
3.1.3.2.2.2.	Kesme Kuvveti Varyanslarının İncelenmesi.....	155

3.1.3.2.2.3.	Normal Kuvvet Varyanslarının İncelenmesi	156
3.1.4.	Dalga Yayılma, Tutarsızlık ve Zemin Etkilerinin Birlikte Dikkate Alınması Durumunda Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının İncelenmesi	174
3.1.4.1.	Ortalama Maksimum Yerdeğiştirme ve Eleman Kuvvetlerinin İncelenmesi	177
3.1.4.2.	Yerdeğiştirme ve Eleman Kuvveti Varyanslarının İncelenmesi.....	177
3.1.4.2.1.	Yerdeğiştirme Varyanslarının İncelenmesi	177
3.1.4.2.2.	Eleman Kuvveti Varyanslarının İncelenmesi	178
3.1.4.2.2.1.	Eğilme Momenti Varyanslarının İncelenmesi	178
3.1.4.2.2.2.	Kesme Kuvveti Varyanslarının İncelenmesi	179
3.1.4.2.2.3.	Normal Kuvvet Varyanslarının İncelenmesi	180
4.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	210
5.	KAYNAKLAR	215
	ÖZGEÇMİŞ	231

ÖZET

Bu çalışmada, sürtünmeli sarkaç sistemi ile izolasyonlu karayolu köprülerinin değişerek yayılan yer hareketleri için stokastik davranışlarının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Yer hareketindeki değişimler; dalga yayılma, tutarsızlık ve zemin özelliklerinin etkilerini içermektedir. Yer kürenin karmaşık yapısı nedeniyle, yer hareketlerinin farklı noktalardaki değişiminden hasıl olan etkilerin köprüler gibi uzun açıklıklı yapıların stokastik analizlerinde göz önünde bulundurulması gerekli olmaktadır.

Köprüler ulaşım ağının can damarı olan yapılardır. Depremlerden dolayı oluşabilecek hasarlar ulaşım açısından önemli sonuçlara sebep olmaktadır. Köprülerin periyodu uzatılırsa veya enerji yutma kapasiteleri artırılırsa bu gibi yapılar üzerindeki sismik kuvvetler azaltılmış olacaktır. Bu da, alternatif bir tasarım olan ve güçlü depremlerin yıkıcı etkilerinden köprüleri koruyan sismik izolasyon sistemlerinin kullanılmasıyla mümkün olmaktadır. Bu amaçlar dikkate alınarak hazırlanan tez aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, konunun öneminden bahsedilmekte ve daha önce bu konuda yapılmış olan çalışmalar verilmektedir. Ayrıca, izolasyonsuz ve izolasyonlu karayolu köprülerinin stokastik analiz formülasyonu değişerek yayılan yer hareketi göz önünde bulundurulurken sunulmaktadır.

İkinci bölümde, stokastik analizlerde kullanılan yer hareketi modeli tanımlanmaktadır. Ayrıca, analizlerde kullanılacak olan örnek köprü ve analitik modeli verilmektedir. Bu bölümün sonunda, izolasyonsuz ve izolasyonlu köprünün serbest titreşim davranışı da verilmektedir.

Üçüncü bölümde, değişerek yayılan yer hareketine maruz izolasyonsuz ve izolasyonlu köprünün stokastik analizlerinden elde edilen tepki değerleri irdelenmektedir.

Dördüncü bölümde, çalışmadan çıkarılabilecek sonuçlar ve öneriler verilmekte ve bu bölümü kaynaklar takip etmektedir.

Çalışma sonucunda, köprüler gibi uzun açıklıklara sahip yapıların değişerek yayılan yer hareketi için stokastik davranışlarının belirlenmesinde izolasyon etkilerinin tepkileri önemli derecede azalttığı vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Taban İzolasyonu, Sürtünmeli Sarkaç Mesnet Sistemi, Stokastik Analiz, Karayolu Köprüsü, Filtre Edilmiş Beyaz Gürültü, Tutarsızlık Etkisi, Dalga Yayılma Etkisi, Zemin Etkisi, Güç Spektral Yoğunluk Fonksiyonu, Değişerek Yayılma.

SUMMARY

Stochastic Analyses of Base Isolated Highway Bridges to Spatially Varying Ground Motions by Using Friction Pendulum System

In this study, stochastic response of base isolated highway bridges subjected to spatially varying ground motions by using friction pendulum system are investigated. The ground motion model includes the effects of wave passage, incoherence and site response. Due to the complex nature of earth crust, the spatial variability of ground motions should be included in the stochastic analyses of bridges that have long span. Bridges are lifeline structures. In addition, the failure of bridges during earthquakes causes seriously consequences. The seismic forces on such structures can be reduced if the fundamental period of bridges is lengthened or if the energy dissipating capacity of bridges is increased. Therefore, the seismic isolation is an alternative design of bridges to protect from damages caused by strong earthquakes. 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. Besides, the formulation of stochastic analyses of non-isolated and isolated structures considering spatially varying ground motions is also presented.

In the second chapter, the ground motion model used in the stochastic analyses is described. In addition, the analytical model of the highway bridge chosen as an example is taken place. The end of this chapter, the frequencies and mode shapes obtained from free vibration analysis of the bridge without and with isolation are presented.

In the third chapter, response values obtained from stochastic analyses of non-isolated and isolated bridge to spatially varying ground motion are discussed. As the results and recommendations are given in the fourth chapter, the references are presented in the fifth chapter.

As a conclusion it can be observed that base isolation and spatially variability of the ground motion have significant effects on base isolated bridges. So, these effects should be considered in the analyses of bridges with long span.

Keywords: Base Isolation, Friction Pendulum System, Stochastic Analysis, Highway Bridge, Filtered White Noise, Incoherence Effect, Wave-Passage Effect, Site-Response Effect, Power Spectral Density Function, Spatially Variability.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Tabakalı kauçuk mesnet sistemi	34
Şekil 1.2. Yeni Zelanda mesnet sistemi	35
Şekil 1.3. Sürtünmeli mesnet sistemi.....	36
Şekil 1.4. Elastik sürtünmeli mesnet sistemi	37
Şekil 1.5. Fransız elektrik mesnet sistemi.....	38
Şekil 1.6. Kayıcı elastik sürtünmeli mesnet sistemi	38
Şekil 1.7. Yüksek sönümlü kauçuk mesnet sistemi	39
Şekil 1.8. Basit sarkaç hareketinin sürtünmeli sarkaç mesnet sistemine dönüşü.....	40
Şekil 1.9. Sürtünmeli sarkaç mesnet sistemi.....	41
Şekil 2.1. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi Yarımca istasyonu Kuzey-Güney bileşeni ivme kaydı	47
Şekil 2.2. 9 Şubat 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı S16E bileşeni ivme kaydı	47
Şekil 2.3. 1999 Kocaeli depremi Yarımca istasyonu Kuzey-Güney bileşeni ivme kaydına ait ivme spektral yoğunluk fonksiyonu.....	51
Şekil 2.4. 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı S16E bileşeni ivme kaydına ait ivme spektral yoğunluk fonksiyonu.....	51
Şekil 2.5. 1999 Kocaeli depremi Yarımca istasyonu Kuzey-Güney bileşeni ivme kaydı için filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modeline ait ivme spektral yoğunluk fonksiyonu.....	52
Şekil 2.6. 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı S16E bileşeni ivme kaydı için filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modeline ait ivme spektral yoğunluk fonksiyonu.....	52
Şekil 2.7. 1999 Kocaeli depremi Yarımca istasyonu Kuzey-Güney bileşeni ivme kaydı için filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modeline ait yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonu.....	53
Şekil 2.8. 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı S16E bileşeni ivme kaydı için filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modeline ait yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonu.....	53
Şekil 2.9. Harichandran ve Vanmarcke (1986) tutarsızlık modeli etkisinin açısız frekansa bağlı olarak değişimi	56
Şekil 2.10. Uscinski (1977) tutarsızlık modeli etkisinin açısız frekansa bağlı olarak değişimi.....	56

Şekil 2.11.	Zemin etkisinin açışal frekansa bağılı olarak değişimi.....	60
Şekil 2.12.	Analizlerde kullanılan karayolu köprüsünün iki boyutlu analitik modeli	62
Şekil 2.13.	Sürtünme katsayısının mesnet basıncı ile değişimi	65
Şekil 2.14.	Sürtünmeli sarkaç mesnetine ait tasarım parametreleri	68
Şekil 2.15.	İzolasyonsuz köprü modeline ait 1-5 mod şekilleri, frekanslar ve periyotlar.....	71
Şekil 2.16.	İzolasyonsuz köprü modeline ait 6-10 mod şekilleri, frekanslar ve periyotlar.....	72
Şekil 2.17.	İzolasyonsuz köprü modeline ait 10-15 mod şekilleri, frekanslar ve periyotlar.....	73
Şekil 2.18	İzolasyonlu köprü modeline ait 1-5 mod şekilleri, frekanslar ve periyotlar.....	74
Şekil 2.19	İzolasyonlu köprü modeline ait 6-10 mod şekilleri, frekanslar ve periyotlar.....	75
Şekil 2.20.	İzolasyonlu köprü modeline ait 10-15 mod şekilleri, frekanslar ve periyotlar.....	76
Şekil 2.21.	Üniform yer hareketine maruz karayolu köprüsünün analitik modeli	78
Şekil 2.22.	1999 Kocaeli depremi için izolasyonlu köprü tabliye yatay yerdeğiştirmeleri	79
Şekil 2.23.	1971 San Fernando depremi için izolasyonlu köprü tabliye yatay yerdeğiştirmeleri	79
Şekil 3.1.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen karayolu köprüsünün analitik modeli	82
Şekil 3.2.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri.....	83
Şekil 3.3.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri	83
Şekil 3.4.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik yatay yerdeğiştirmeleri	84
Şekil 3.5.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik yatay yerdeğiştirmeleri	84
Şekil 3.6.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam yatay yerdeğiştirmeleri	85

Şekil 3.7.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam yatay yerdeğiştirmeleri	85
Şekil 3.8.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri statik eğilme momentleri	86
Şekil 3.9.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri statik eğilme momentleri	86
Şekil 3.10.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik eğilme momentleri	87
Şekil 3.11.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik eğilme momentleri	87
Şekil 3.12.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam eğilme momentleri	88
Şekil 3.13.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam eğilme momentleri	88
Şekil 3.14.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri- statik kesme kuvvetleri	89
Şekil 3.15.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri- statik kesme kuvvetleri	89
Şekil 3.16.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik kesme kuvvetleri	90
Şekil 3.17.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik kesme kuvvetleri	90
Şekil 3.18.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam kesme kuvvetleri	91
Şekil 3.19.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam kesme kuvvetleri	91
Şekil 3.20.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri- statik normal kuvvetleri	92

Şekil 3.21.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik normal kuvvetleri.....	92
Şekil 3.22.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik normal kuvvetleri.....	93
Şekil 3.23.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik normal kuvvetleri.....	93
Şekil 3.24.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam normal kuvvetleri.....	94
Şekil 3.25.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam normal kuvvetleri.....	94
Şekil 3.26.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen karayolu köprüsünün analitik modeli	96
Şekil 3.27.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri.....	97
Şekil 3.28.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri	97
Şekil 3.29.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik yatay yerdeğiştirmeleri	98
Şekil 3.30.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik yatay yerdeğiştirmeleri	98
Şekil 3.31.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam yatay yerdeğiştirmeleri	99
Şekil 3.32.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam yatay yerdeğiştirmeleri	99
Şekil 3.33.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik eğilme momentleri	100
Şekil 3.34.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik eğilme momentleri	100

Şekil 3.35.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik eğilme momentleri	101
Şekil 3.36.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik eğilme momentleri	101
Şekil 3.37.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam eğilme momentleri	102
Şekil 3.38.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam eğilme momentleri	102
Şekil 3.39.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri- statik kesme kuvvetleri	103
Şekil 3.40.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri- statik kesme kuvvetleri	103
Şekil 3.41.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik kesme kuvvetleri	104
Şekil 3.42.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik kesme kuvvetleri	104
Şekil 3.43.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam kesme kuvvetleri	105
Şekil 3.44.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam kesme kuvvetleri	105
Şekil 3.45.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri- statik normal kuvvetleri	106
Şekil 3.46.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri- statik normal kuvvetleri	106
Şekil 3.47.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik normal kuvvetleri	107
Şekil 3.48.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik normal kuvvetleri	107

Şekil 3.49.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam normal kuvvetleri.....	108
Şekil 3.50.	Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam normal kuvvetleri.....	108
Şekil 3.51.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz yumuşak zemine mesnetlenen karayolu köprüsünün analitik modeli	110
Şekil 3.52.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri- statik yatay yerdeğiştirmeleri.....	111
Şekil 3.53.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri- statik yatay yerdeğiştirmeleri	111
Şekil 3.54.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik yatay yerdeğiştirmeleri	112
Şekil 3.55.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik yatay yerdeğiştirmeleri	112
Şekil 3.56.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam yatay yerdeğiştirmeleri	113
Şekil 3.57.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam yatay yerdeğiştirmeleri	113
Şekil 3.58.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri- statik eğilme momentleri	114
Şekil 3.59.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri- statik eğilme momentleri	114
Şekil 3.60.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik eğilme momentleri	115
Şekil 3.61.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik eğilme momentleri	115
Şekil 3.62.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam eğilme momentleri	116

Şekil 3.63.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam eğilme momentleri	116
Şekil 3.64.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik kesme kuvvetleri	117
Şekil 3.65.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik kesme kuvvetleri	117
Şekil 3.66.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik kesme kuvvetleri	118
Şekil 3.67.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik kesme kuvvetleri	118
Şekil 3.68.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam kesme kuvvetleri	119
Şekil 3.69.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam kesme kuvvetleri	119
Şekil 3.70.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik normal kuvvetleri	120
Şekil 3.71.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik normal kuvvetleri	120
Şekil 3.72.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik normal kuvvetleri	121
Şekil 3.73.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik normal kuvvetleri	121
Şekil 3.74.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam normal kuvvetleri	122
Şekil 3.75.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam normal kuvvetleri	122
Şekil 3.76.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen karayolu köprüsünün analitik modeli	124

Şekil 3.77.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri- statik yatay yerdeğiştirmeleri.....	125
Şekil 3.78.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri- statik yatay yerdeğiştirmeleri	125
Şekil 3.79.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik yatay yerdeğiştirmeleri	126
Şekil 3.80.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik yatay yerdeğiştirmeleri	126
Şekil 3.81.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam yatay yerdeğiştirmeleri	127
Şekil 3.82.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam yatay yerdeğiştirmeleri	127
Şekil 3.83.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri- statik eğilme momentleri	128
Şekil 3.84.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri- statik eğilme momentleri	128
Şekil 3.85.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik eğilme momentleri	129
Şekil 3.86.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik eğilme momentleri	129
Şekil 3.87.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam eğilme momentleri	130
Şekil 3.88.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam eğilme momentleri	130
Şekil 3.89.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri- statik kesme kuvvetleri	131
Şekil 3.90.	Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri- statik kesme kuvvetleri	131

Şekil 3.91. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik kesme kuvvetleri.....	132
Şekil 3.92. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik kesme kuvvetleri.....	132
Şekil 3.93. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam kesme kuvvetleri.....	133
Şekil 3.94. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam kesme kuvvetleri.....	133
Şekil 3.95. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik normal kuvvetleri	134
Şekil 3.96. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik normal kuvvetleri	134
Şekil 3.97. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik normal kuvvetleri.....	135
Şekil 3.98. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik normal kuvvetleri.....	135
Şekil 3.99. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam normal kuvvetleri.....	136
Şekil 3.100. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam normal kuvvetleri.....	136
Şekil 3.101. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen karayolu köprüsünün analitik modeli.....	139
Şekil 3.102. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri.....	140
Şekil 3.103. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri	140
Şekil 3.104. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik yatay yerdeğiştirmeleri	141
Şekil 3.105. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik yatay yerdeğiştirmeleri	141
Şekil 3.106. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam yatay yerdeğiştirmeleri.....	142

Şekil 3.107. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam yatay yerdeğiştirmeleri	142
Şekil 3.108. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik eğilme momentleri	143
Şekil 3.109. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik eğilme momentleri	143
Şekil 3.110. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik eğilme momentleri	144
Şekil 3.111. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik eğilme momentleri	144
Şekil 3.112. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam eğilme momentleri	145
Şekil 3.113. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam eğilme momentleri	145
Şekil 3.114. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik kesme kuvvetleri	146
Şekil 3.115. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik kesme kuvvetleri	146
Şekil 3.116. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik kesme kuvvetleri	147
Şekil 3.117. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik kesme kuvvetleri	147
Şekil 3.118. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam kesme kuvvetleri	148
Şekil 3.119. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam kesme kuvvetleri	148
Şekil 3.120. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik normal kuvvetleri	149
Şekil 3.121. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik normal kuvvetleri	149
Şekil 3.122. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik normal kuvvetleri	150
Şekil 3.123. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik normal kuvvetleri	150
Şekil 3.124. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam normal kuvvetleri	151
Şekil 3.125. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam normal kuvvetleri	151
Şekil 3.126. Üniform yer hareketine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları (V _{app} =sonsuz)	158

Şekil 3.127. Üniform yer hareketine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları (V _{app} =sonsuz).....	158
Şekil 3.128. Sadece dalga yayılma etkisine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları (V _{app} =200 m/s).....	159
Şekil 3.129. Sadece dalga yayılma etkisine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları (V _{app} =200 m/s).....	159
Şekil 3.130. Sadece tutarsızlık etkisine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları.....	160
Şekil 3.131. Sadece tutarsızlık etkisine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları.....	160
Şekil 3.132. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları (V _{app} =200 m/s).....	161
Şekil 3.133. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları (V _{app} =200 m/s).....	161
Şekil 3.134. Üniform yer hareketine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları (V _{app} =sonsuz).....	162
Şekil 3.135. Üniform yer hareketine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları (V _{app} =sonsuz).....	162
Şekil 3.136. Sadece dalga yayılma etkisine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları (V _{app} =200 m/s).....	163
Şekil 3.137. Sadece dalga yayılma etkisine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları (V _{app} =200 m/s).....	163
Şekil 3.138. Sadece tutarsızlık etkisine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları.....	164
Şekil 3.139. Sadece tutarsızlık etkisine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları.....	164
Şekil 3.140. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları (V _{app} =200 m/s).....	165
Şekil 3.141. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları (V _{app} =200 m/s).....	165

Şekil 3.142. Üniorm yer hareketine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları (V _{app} =sonsuz).....	166
Şekil 3.143. Üniorm yer hareketine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları (V _{app} =sonsuz).....	166
Şekil 3.144. Sadece dalga yayılma etkisine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları (V _{app} =200 m/s).....	167
Şekil 3.145. Sadece dalga yayılma etkisine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları (V _{app} =200 m/s).....	167
Şekil 3.146. Sadece tutarsızlık etkisine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları	168
Şekil 3.147. Sadece tutarsızlık etkisine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları	168
Şekil 3.148. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları (V _{app} =200 m/s).....	169
Şekil 3.149. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları (V _{app} =200 m/s).....	169
Şekil 3.150. Üniorm yer hareketine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları (V _{app} =sonsuz).....	170
Şekil 3.151. Üniorm yer hareketine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları (V _{app} =sonsuz).....	170
Şekil 3.152. Sadece dalga yayılma etkisine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları (V _{app} =200 m/s).....	171
Şekil 3.153. Sadece dalga yayılma etkisine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları (V _{app} =200 m/s).....	171
Şekil 3.154. Sadece tutarsızlık etkisine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları	172
Şekil 3.155. Sadece tutarsızlık etkisine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları	172
Şekil 3.156. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları (V _{app} =200 m/s).....	173

Şekil 3.157. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları ($V_{app}=200$ m/s).....	174
Şekil 3.158. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen karayolu köprüsünün analitik modeli	176
Şekil 3.159. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri	182
Şekil 3.160. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri	182
Şekil 3.161. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün dinamik yatay yerdeğiştirmeleri	183
Şekil 3.162. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün dinamik yatay yerdeğiştirmeleri	183
Şekil 3.163. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün toplam yatay yerdeğiştirmeleri	184
Şekil 3.164. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün toplam yatay yerdeğiştirmeleri	184
Şekil 3.165. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün zahiri-statik eğilme momentleri	185
Şekil 3.166. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün zahiri-statik eğilme momentleri	185
Şekil 3.167. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün dinamik eğilme momentleri	186
Şekil 3.168. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün dinamik eğilme momentleri	186
Şekil 3.169. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün toplam eğilme momentleri	187
Şekil 3.170. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün toplam eğilme momentleri	187
Şekil 3.171. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün zahiri-statik kesme kuvvetleri	188
Şekil 3.172. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün zahiri-statik kesme kuvvetleri	188
Şekil 3.173. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün dinamik kesme kuvvetleri	189
Şekil 3.174. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün dinamik kesme kuvvetleri	189
Şekil 3.175. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün toplam kesme kuvvetleri	190
Şekil 3.176. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün toplam kesme kuvvetleri	190

Şekil 3.177. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün zahiri-statik normal kuvvetleri.....	191
Şekil 3.178. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün zahiri-statik normal kuvvetleri.....	191
Şekil 3.179. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün dinamik normal kuvvetleri.....	192
Şekil 3.180. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün dinamik normal kuvvetleri.....	192
Şekil 3.181. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün toplam normal kuvvetleri.....	193
Şekil 3.182. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün toplam normal kuvvetleri.....	193
Şekil 3.183. Homojen orta zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları (A durumu-OOO).....	194
Şekil 3.184. Homojen orta zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları (A durumu-OOO).....	194
Şekil 3.185. Homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları (B durumu-SSS).....	195
Şekil 3.186. Homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları (B durumu-SSS).....	195
Şekil 3.187. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları (C durumu-SYS).....	196
Şekil 3.188. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları (C durumu-SYS).....	196
Şekil 3.189. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları (D durumu-SOS).....	197
Şekil 3.190. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları (D durumu-SOS).....	197
Şekil 3.191. Homojen orta zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları (A durumu-OOO).....	198
Şekil 3.192. Homojen orta zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları (A durumu-OOO).....	198

Şekil 3.193. Homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları (B durumu-SSS).....	199
Şekil 3.194. Homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları (B durumu-SSS).....	199
Şekil 3.195. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları (C durumu-SYS).....	200
Şekil 3.196. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları (C durumu-SYS).....	200
Şekil 3.197. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları (D durumu-SOS).....	201
Şekil 3.198. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları (D durumu-SOS).....	201
Şekil 3.199. Homojen orta zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları (A durumu-OOO).....	202
Şekil 3.200. Homojen orta zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları (A durumu-OOO).....	202
Şekil 3.201. Homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları (B durumu-SSS).....	203
Şekil 3.202. Homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları (B durumu-SSS).....	203
Şekil 3.203. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları (C durumu-SYS).....	204
Şekil 3.204. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları (C durumu-SYS).....	204
Şekil 3.205. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları (D durumu-SOS).....	205
Şekil 3.206. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları (D durumu-SOS).....	205

Şekil 3.207. Homojen orta zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları (A durumu-OOO).....	206
Şekil 3.208. Homojen orta zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları (A durumu-OOO).....	206
Şekil 3.209. Homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları (B durumu-SSS).....	207
Şekil 3.210. Homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları (B durumu-SSS).....	207
Şekil 3.211. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları (C durumu-SYS).....	208
Şekil 3.212. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları (C durumu-SYS).....	208
Şekil 3.213. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları (D durumu-SOS).....	209
Şekil 3.214. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları (D durumu-SOS).....	209

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Çeşitli zemin türleri için spektral yoğunluk fonksiyonu filtre parametreleri.....	50
Tablo 2.2. Çeşitli zemin türleri için hesaplanan Φ değerleri.....	50
Tablo 2.3. Çeşitli zemin türleri için hesaplanan beyaz gürültü işleminin spektral yoğunluk fonksiyonu genlik, S_o , değerleri.....	50
Tablo 2.4. Zemin etkisinin açısal frekansa bağlı olarak değişimi.....	59
Tablo 2.5. Karayolu köprüsü elemanlarına ait kesit ve malzeme özellikleri.....	63
Tablo 2.6. Karayolu köprüsü düğüm noktalarındaki kütleler	63
Tablo 2.7. Çeşitli zemin türleri ve yer hareketleri için sürtünmeli sarkaç mesneti hız varyansının ortalamaları	66
Tablo 2.8. Çeşitli zemin türleri ve yer hareketleri için sürtünmeli sarkaç mesneti eşdeğer sönüm sabitleri	66
Tablo 2.9. Çeşitli zemin türleri ve yer hareketleri için sürtünmeli sarkaç mesneti eşdeğer sönüm oranları.....	66
Tablo 2.10. Sürtünmeli sarkaç mesnetine ait tasarım boyutları.....	68
Tablo 2.11. İzolasyonsuz ve izolasyonlu köprüye ait açısal frekanslar ve periyotlar.....	70

SEMBOLLER DİZİNİ

- a : Sürtünme katsayısının maksimum ile minimum değerleri arasındaki geçişini kontrol eden ve hıza bağlı olan bir katsayı
- A : Kesit alanı
- $[A]$: Mesnet noktalarının birim hareketinin neden olduğu statik yerdeğiştirme veya eleman kuvvetleri matrisi
- $[C]$: Sönüm matrisi
- c_b : İzolasyon sisteminin sönüm katsayısı
- c_e : İzolasyon sisteminin eşdeğer sönüm katsayısı
- $\text{Cov}(z^{qs}, z^d)$: Zahiri-statik ve dinamik bileşenler arasındaki kovaryans fonksiyonu
- $[C_{rr}]$: Bilinmeyen serbestlik dereceleri ile ilgili sönüm matrisi
- $[\bar{C}_{rr}]$: İzolasyonlu yapı sisteminin bilinmeyen serbestlik dereceleri ile ilgili sönüm matrisi
- $d_{\ell m}$: Mesnet noktaları arasındaki mutlak yatay uzaklık
- $d_{\ell m}^L$: Dalga yayılma doğrultusunda mesnet noktaları arasındaki yatay izdüşüm uzaklığı
- E : Elastisite modülü
- F : Sürtünmeli sarkaç mesnet sisteminde yatay doğrultuda oluşan kuvvet
- $\{F\}$: Dış kuvvet vektörü
- g : Yerçekimi ivmesi
- f_{\max} : Maksimum sürtünme katsayısı
- f_{\min} : Minimum sürtünme katsayısı
- $f_{\max o}$: Mesnet basıncının yaklaşık olarak sıfır olması durumunda maksimum sürtünme katsayısı
- $f_{\max p}$: Maksimum mesnet basıncı için sürtünme katsayısı

$H(\omega)$: Frekans davranış fonksiyonu
$H_f(\omega)$: Zemine ait birinci filtre fonksiyonu
$H_g(\omega)$: Zemine ait ikinci filtre fonksiyonu
$h_{\ell m}(\omega)$: Düzlem dalga faktörü
$H_\ell(\omega)$: ℓ mesnetindeki zemin filtre fonksiyonu
$[K]$: Rijitlik matrisi
$[K_{rr}]$: Bilinmeyen serbestlik dereceleri ile ilgili rijitlik matrisi
$[\bar{K}_{rr}]$: İzolasyonlu yapı sisteminin bilinmeyen serbestlik dereceleri ile ilgili rijitlik matrisi
$[M]$: Kütle matrisi
$[M_{rr}]$: Bilinmeyen serbestlik dereceleri ile ilgili kütle matrisi
$[\bar{M}_{rr}]$: İzolasyonlu yapı sisteminin bilinmeyen serbestlik dereceleri ile ilgili kütle matrisi
$[M_{rg}], [C_{rg}], [K_{rg}]$: Bilinen serbestlik derecelerinin birim hareketinden dolayı bilinmeyen serbestlik derecelerinde meydana gelen tesir katsayı matrisleri
$[M_{gg}], [C_{gg}], [K_{gg}]$: Bilinen serbestlik derecelerinin birim hareketinden dolayı bilinen serbestlik derecelerinde meydana gelen tesir katsayı matrisleri
P	: Sürtünmeli sarkaç mesnet basıncı
$\{r\}$: Zemin yerdeğiştirmelerinin Şekil vektörü
$[\bar{R}_{rg}]$: Zahiri-statik etki katsayı vektörü
$[R_z(\tau)]$: $z(t)$ işleminin özilişki fonksiyonu
$[R_z^{qs}(\tau)]$: $z(t)$ işleminin zahiri-statik bileşeninin özilişki fonksiyonu
$[R_z^d(\tau)]$: $z(t)$ işleminin dinamik bileşeninin özilişki fonksiyonu
$[R_z^{qs d}(\tau)]$: $z(t)$ işleminin zahiri-statik ve dinamik bileşenlerinin çapraz ilişki fonksiyonu

$\left[R_{z z}^{d qs}(\tau) \right]$: z(t) işleminin dinamik ve zahiri-statik bileşenlerinin çapraz ilişki fonksiyonu
S_a	: Spektral ivme
S_d	: Spektral yerdeğiştirme
$S_{v_g}(\omega)$: Yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonu
$S_{\ddot{v}_g}(\omega)$: Yer hareket ivmesinin spektral yoğunluk fonksiyonu
$S_{\ddot{v}_{g\ell} \ddot{v}_{g_m}}(\omega)$: ℓ ve m mesnet noktalarındaki yer hareket ivmelerinin çapraz spektral yoğunluk fonksiyonu
$\left[S_z(\omega) \right]$: z(t) işleminin spektral yoğunluk fonksiyonu
$\left[S_z^{qs}(\omega) \right]$: z(t) işleminin zahiri-statik bileşeninin spektral yoğunluk fonksiyonu
$\left[S_z^d(\omega) \right]$: z(t) işleminin dinamik bileşeninin spektral yoğunluk fonksiyonu
$\left[S_z^{qs d}(\omega) \right]$: z(t) işleminin zahiri-statik ve dinamik bileşenleri arasındaki çapraz spektral yoğunluk fonksiyonu
S_o	: Spektral yoğunluk fonksiyonu genlik değeri
$\{v\}$: Toplam yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{v}\}$: Toplam hız vektörü
\dot{v}_b	: Sürtünmeli sarkaç mesnet sisteminin kayma hızı
$(\dot{v}_b)_y, (\dot{v}_b)_z$: Sürtünmeli sarkaç mesnet sisteminin y ve z doğrultularındaki kayma hızı
v_b	: Sürtünmeli sarkaç mesnet sisteminin yatay yerdeğiştirmesi
$\{\ddot{v}\}$: Toplam ivme vektörü
$\{v_{dg}\}$: Bilinen serbestlik derecelerinin dinamik yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{v}_{dg}\}$: Bilinen serbestlik derecelerinin dinamik hız vektörü
$\{\ddot{v}_{dg}\}$: Bilinen serbestlik derecelerinin dinamik ivme vektörü
$\{v_{dr}\}$: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin dinamik yerdeğiştirme vektörü

- $\{\bar{v}_{dr}\}$: İzolasyonlu yapı sisteminin bilinmeyen serbestlik derecelerinin dinamik yerdeğiştirme vektörü
- $\{\dot{v}_{dr}\}$: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin dinamik hız vektörü
- $\{\bar{\ddot{v}}_{dr}\}$: İzolasyonlu yapı sisteminin bilinmeyen serbestlik derecelerinin dinamik hız vektörü
- $\{\ddot{v}_{dr}\}$: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin dinamik ivme vektörü
- $\{\bar{\ddot{\ddot{v}}}_{dr}\}$: İzolasyonlu yapı sisteminin bilinmeyen serbestlik derecelerinin dinamik ivme vektörü
- $\{v_g\}$: Bilinen serbestlik derecelerinin toplam yerdeğiştirme vektörü
- $\{\dot{v}_g\}$: Bilinen serbestlik derecelerinin toplam hız vektörü
- $\{\ddot{v}_g\}$: Bilinen serbestlik derecelerinin toplam ivme vektörü
- $\{v_r\}$: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin toplam yerdeğiştirme vektörü
- $\{\dot{v}_r\}$: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin toplam hız vektörü
- $\{\ddot{v}_r\}$: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin toplam ivme vektörü
- v_s : Kayma dalgası hızı
- $\{v_{sg}\}$: Bilinen serbestlik derecelerinin zahiri-statik yerdeğiştirme vektörü
- $\{\dot{v}_{sg}\}$: Bilinen serbestlik derecelerinin zahiri-statik hız vektörü
- $\{\ddot{v}_{sg}\}$: Bilinen serbestlik derecelerinin zahiri-statik ivme vektörü
- $\{\bar{\ddot{\ddot{v}}}_{sg}\}$: İzolasyonlu yapı sisteminin bilinen serbestlik derecelerinin zahiri-statik ivme vektörü
- $\{v_{sr}\}$: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin zahiri-statik yerdeğiştirme vektörü
- $\{\dot{v}_{sr}\}$: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin zahiri-statik hız vektörü
- $\{\ddot{v}_{sr}\}$: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin zahiri-statik ivme vektörü
- ω_f : Birinci filtreye ait doğal frekans
- ξ_f : Birinci filtreye ait sönüm oranı

ω_g	: İkinci filtreye ait doğal frekansı
ξ_g	: İkinci filtreye ait sönüm oranı
ω_b	: İzolasyon sisteminin doğal frekansı
ξ_b	: İzolasyon sisteminin sönüm oranı
$\{Y\}$: Modal genlik
$z^{qs}(t)$: $z(t)$ işlemine ait zahiri-statik bileşen
$z^d(t)$: $z(t)$ işlemine ait dinamik bileşen
$[\Gamma]$: Modal katkı faktörü
$\{\Phi\}$: Modal vektör
ϵ	: Maksimum sürtünme katsayısının yüksek ve düşük basınçlar arasındaki geçişini kontrol eden bir katsayısı
$\gamma_{\ell m}(\omega)$: Tutarlılık fonksiyonu
$ \gamma_{\ell m}(\omega) ^k$: Tutarsızlık etkisi
$\gamma_{\ell m}(\omega)^d$: Dalga yayılma etkisi
$\gamma_{\ell m}(\omega)^z$: Mesnetlerdeki farklı zemin etkisi
μ	: Ortalama maksimum değer
μ_s	: Sürtünme katsayısı
v_e	: Sıfır seviyesinin indirgenmiş ortalama geçiş sayısı
v_o	: Oluşma frekansı
$\theta_{\ell m}(\omega)^d$: Yer hareketi yayılma etkisi
$\theta_{\ell m}(\omega)^z$: Zemin etkisi
σ_z	: $z(t)$ işleminin standart sapması
$\sigma_{\dot{z}}$: $z(t)$ işleminin türevinin standart sapması
σ_z^2	: $z(t)$ işleminin varyansı
σ_z^{2qs}	: $z(t)$ işleminin zahiri-statik bileşen varyansı

$\sigma_z^2 d$: z(t) işleminin dinamik bileşen varyansı
$\sigma_{\dot{v}_g}^2$: Yer hareketi ivmesinin varyansı
$\sigma_{\dot{v}_b}$: Sürtünmeli sarkaç mesnetine ait hız varyansının ortalama karekökü
$[\psi]$: Eleman kuvvetleri matrisi
ν	: Poisson oranı
ω	: Açısal frekans (rad/s)
ξ	: Sönüm oranı
α	: Boyutsuz parametre
γ_c	: Betonun birim hacim ağırlığı
ω_j	: Moda ait doğal frekans
I_{11}	: Burulma atalet momenti
I_{22}	: Yanal eğilmedeki atalet momenti
I_{33}	: Düşey eğilmedeki atalet momenti
Im	: Sanal kısım
k_b	: Sürtünmeli sarkaç mesnetinin kaymaya başladıktan sonraki rijitliği
k_e	: Sürtünmeli sarkaç mesnetinin kaymaya başlamadan önceki rijitliği
$k_{eş}$: Sürtünmeli sarkaç mesnetinin eşdeğer rijitliği
m	: Birim boy kütlesi
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	: Sürtünmeli sarkaç mesnetinin küresel yüzey eğrilik yarıçapı
Re	: Reel kısım
T	: Hareket süresi
t	: Zaman
T_b	: Taban izolasyon sisteminin periyodu
V_{app}	: Görünen dalga yayılma hızı
W	: Sürtünmeli sarkaç mesnetinin taşıdığı toplam ağırlık
W_c	: Birim boy ağırlığı
$z(t)$: Herhangi bir yapı davranışı
ESM	: Elastik sürtünmeli mesnet
FBG	: Filtre edilmiş beyaz gürültü
FEM	: Fransız elektrik mesnet
KESM	: Kayıcı elastik sürtünmeli mesnet
SM	: Sürtünmeli mesnet
SSM	: Sürtünmeli sarkaç mesnet
TKM	: Tabakalı kauçuk mesnet
YSKM	: Yüksek sönümlü kauçuk mesnet
YZM	: Yeni Zelanda mesnet

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Ülkemizin aktif deprem kuşağı üzerinde olması, yapı sistemlerinin projelendirilmesinde ve uygulanmasında depremin önemli bir parametre olarak dikkate alınmasını zorunlu kılmaktadır. Yapıların deprem davranışını değiştiren ve yenilikçi yaklaşımlardan biri olarak kabul edilen taban izolasyon sistemleri deprem mühendisliği alanında çalışmakta olan araştırmacıların ve mühendislerin giderek yoğunlaşan bir şekilde ilgisini çekmektedir.

Zemin-yapı arasındaki etkileşimden dolayı, yer hareketleri yapılar üzerinde büyük hasarlara ve can kayıplarına neden olabilmektedir. Yapıyı yerden ayırmak amacıyla kullanılan izolasyon teknikleri deprem hareketinin yapı üzerindeki etkilerini oldukça azaltabilmektedir.

Son yıllarda taban izolasyonu deprem mühendisliğinde kabul edilebilir bir teknik olmuştur. Binaların, köprülerin, önemli kimyasal sıvı depolarının, nükleer güç santrallerinin ve benzeri yapıların deprem izolasyonunda sıkça kullanılmaktadır. Kauçuk ve sürtünmeli sistemler olarak başlıca iki çeşit izolasyon sistemi mevcuttur. Yapılarda taban izolasyonu yapılmasının en önemli faydalarından bir tanesi, izolasyon işlemi yardımıyla yapı periyodunun artırılabilmesidir. Buna bağlı olarak ivme spektrumunun azalan bölgesine ulaşılmaktadır. Böylece, yer hareketinden dolayı yapıya aktarılan ivmeler küçülmekte ve tepkileri de buna bağlı olarak azalmaktadır. Diğer bir önemli faydası ise, yerdeğiştirmeler daha çok izolatörde meydana geldiğinden, üst yapı rölatif olarak rijit kalarak, yapının deprem dayanımını artırabilmektedir.

Mühendislik yapılarının analizinde deterministik ve stokastik olmak üzere iki analiz yöntemi mevcuttur. Deterministik analizlerde, önceden belirlenmiş yüke göre yapının analizi yapılmaktadır. Yapı dinamiği problemlerinin deterministik olarak ele alınışında sistemin tüm dinamik parametrelerinin, başlangıç koşullarının ve zorlayıcı etkinin tamamen bilindiği kabul edilmektedir. Bütün parametrelerin tamamen bilinmesi sonucu, sistemin davranışı herhangi bir belirsizlik olmaksızın hesaplanabilir.

Dinamik yük önceden tamamen bilinmiyor, fakat istatistiksel olarak ifade edilebiliyorsa, söz konusu dinamik yük rasgele olarak adlandırılmaktadır. Rasgele yükü dikkate alarak yapılan analizlerde stokastik analiz olarak bilinmektedir.

Rasgele etkiler altındaki dinamik sistemleri konu alan rasgele titreşim teorisi, rasgele yüklere karşı koymaya çalışan araç, malzeme ve yapıların güvenliğini artırmak için sağlam bir temel oluşturmaktır. Rasgele titreşim teorisi problemlerinin çözümündeki zorluk, rasgele etkilerin olasılık özellikleri hakkındaki yetersiz bilgidir. Deprem hareketinin rasgele olması iki ana kaynağa bağlıdır. Birincisi, her bir deprem ayrı ayrı rasgele bir olaydır. Merkez üssü, odak derinliği, açığa çıkan enerji, enerjinin çıkış süresi gibi bütün bunlar depremi karakterize eden stokastik değişkenlerdir. İkincisi ise, deprem hareketinin düzgün olmayan faylar boyunca çok değişik kaymalar sonucunda meydana gelmesi ve ortaya çıkan yerdeğiştirme dalgalarının rasgele denebilecek kadar sayısız yansıma ve kırılmalardan geçmesidir.

Deprem hareketi gibi dinamik yükler rasgele olduğundan, dinamik yüklerin tamamen belirli olduğu deterministik yaklaşım ile dinamik analiz yapılması pek gerçekçi olmayabilir. Deprem hareketinin belirsizliğinin dikkate alındığı, istatistik ve olasılık terimleriyle ifade edilen stokastik yaklaşım bu aşamada daha doğru bir yaklaşım sayılabilir. Stokastik yaklaşım yapı tepkileri için istatistiksel bir değerlendirme imkanı sağlamakta ve gelecekte olması muhtemel yer hareketlerinin de düşünülmesi gereken projelendirme aşamasında oldukça önemli olmaktadır.

Önemli mühendislik yapılarından olan köprüler, deprem sonrasında aktif olarak kullanılabilir. Bu ise, köprüler gibi uzun açıklıklı yapıların projelendirilmesinde deprem mühendisliği alanında yenilikçi yaklaşımlardan olan taban izolasyonu ile birlikte yer hareketinin dalga yayılma, tutarsızlık ve zemin etkilerini de dikkate alan stokastik yaklaşımların kullanılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

1.2. Konu ile İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Taban izolasyonlu yapılar ve taban izolasyon sistemleri konusunda en kapsamlı literatür araştırması Kelly (1986), Buckle ve Mayes (1990), Jangid ve Data (1995) ve Kunde ve Jangid (2003) tarafından yapılmıştır.

Modern anlamda taban izolasyonuna sahip yapılar, yapının temeli ve tabanı arasında yerleştirilen yatay yönde esnek, düşey yönde ise rijit olan taşıyıcılarla yapılabilmektedir. Bu taşıyıcılar, izolasyon aletleri veya izolatör sistemleri olarak bilinmektedir.

Kauçuk mesnetler; yapıların sismik izolasyonunda ilk defa Yugoslavya'nın Skopje şehrinde bulunan bir ilk okul binasında kullanılmıştır (Kelly, 1990; Jangid ve Data, 1995). Bu bina 3 katlı bir betonarme yapı olup 1969 yılında tamamlanmıştır. Mesnet sistemi olarak doğal kauçuk bloklar kullanılmıştır. Kauçuk içerisine çelik plakalar yerleştirilmediğinden düşey yönde istenen rijitlik elde edilememiştir. Zira, kauçuk blokların yanlara doğru şişmesi söz konusu olmuştur. Sistemin düşey yöndeki rijitliği yaklaşık olarak yatay yöndeki rijitliğe eşit olduğundan deprem hareketi esnasında bina ileriye veya geriye doğru sallanıp yukarıya doğru sıçrayabilmektedir. Mesnetler çelik plakalarla takviye edilerek yukarıda karşılaşılan zorlukların üstesinden gelmiştir.

Sismik izolasyon sisteminde kullanılmak amacıyla, uygun özelliklere sahip olan kauçuklar geliştirilmiştir. Taban izolasyonu için önemli olan kauçuk mesnetlerin özellikleri Kadir (1982), Stanton ve Roeder (1982) ve Roeder ve Stanton (1983) tarafından araştırılmıştır. Ayrıca, kauçuk mesnetlerin stabilitesi, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak test edilmiştir (Simo ve Kelly, 1984; Stanton vd., 1990).

Buckle, Nagarajaiah ve Ferrel (2002); kauçuk mesnetlerin stabilitesini belirlemek için, deneysel çalışmalar ile analitik çözümleri karşılaştırmışlardır. Kauçuk mesnetler depremler esnasında yüksek kesme şekildeğiştirmeleri karşısında kararlı olmalıdırlar. Bu nedenle, kauçuk mesnetlerin tasarımı aşamasında kritik eksenel yüklerin belirlenmesi önemli rol oynamaktadır. Yaptıkları deneysel çalışma ile; kauçuk mesnetlerin stabilitesi üzerinde etkili olan kritik eksenel yükü belirlemek ve bu eksenel yükü değiştirerek büyük şekil değıştirmeleri göz önünde bulunduracak yaklaşık bir düzeltme faktörü elde etmeyi amaçlamışlardır. Ayrıca, analitik olarak hesapladıkları yaklaşık düzeltme faktörünü deneysel olarak da test etmişlerdir. Buna ilave olarak, düşük şekildeğiştirmelere sahip kauçuk mesnetlerin davranışlarını da deneysel olarak test etmişlerdir. Artan yatay yerdeğiştirme ve kesme şekil değıştirmesinin kritik yüklemeyi azalttığı test sonuçlarından görülmüştür. Deneysel olarak elde edilen kritik yükleme, kauçuk mesnetin sonlu eleman analiziyle elde edilen analitik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Kritik yükleme üzerinde etkili olan yatay yerdeğiştirmenin doğru bir şekilde tahmin edilebileceğini göstermişlerdir.

Skinner vd. (1975a, 1975b) tarafından yapılan çalışmalarda, söndürücüler olarak adlandırılan özel elemanlara sahip mekanizmaların kullanılmasıyla birlikte binaların

depreme karşı dayanımlarının artırılabilirdiğini ortaya koymuşlardır. Bu söndürücüler, orta şiddetteki depremler esnasında yapısal şekildeğişirmeleri azaltmaya yarayan rijit aletler olarak görev yaparken, güçlü depremler esnasında ise yapısal şekildeğişirmeleri sınırlayan enerji yutucular olarak görev yapabilmektedirler.

Lee ve Medland (1979), El-Centro depremine maruz ve Yeni Zelanda kauçuk mesnet sistemini kullanarak, bu kauçuk mesnedin iki boyutlu çok katlı bir kayma çerçevesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu izolatörün kuvvet-yerdeğiştirme davranışını, iki lineer doğrudan oluşan lineer olmayan davranış olarak modellemiştir.

Taban izolasyonlu yapıların dinamik analizinde burulma etkilerini de dikkate alan pek çok çalışma yapılmıştır (Dumanoğlu ve Ateş, 1999a; Jangid ve Data, 1992; Jangid ve Data, 1993; Jangid ve Data, 1994).

Pan ve Kelly (1983), El-Centro depremine maruz ve kauçuk mesnet sistemine sahip taban izolasyonlu burulmalı bir yapının tepkisini hesaplamışlardır. Yapıyı rijit bir kütle olarak idealize eden araştırmacılar, kütle merkeziyle rijitlik merkezi arasındaki eksantirisiteyi dikkate alarak burulma etkilerini araştırmışlardır. Sistemin tepkisini ifade etmek amacıyla Duhamel integralini ve davranış ivme spektrumunu kullanarak analiz yapmışlardır. Hem sönümlü hem de sönümsüz salınışları ifade edebilmek amacıyla Green fonksiyonundan yararlanmışlardır.

Pan ve Kelly (1984), düşey yönde deprem hareketine maruz iki boyutlu taban izolasyonlu bir çerçevenin deprem davranışları konusunda araştırmalar yapmışlardır.

Yapılan ilk çalışmalarda genellikle yapılar ya kayma çerçevesi yada rijit bloklar halinde modellenmiş ve kauçuk yada sürtünmeli izolatörlerden bir tanesi tercih edilmiştir. Yapılan analitik çalışmaların çoğunda yapılar iki boyutlu olarak modellenmiştir. Fakat, son yıllarda yapılan çalışmalarda üç boyutlu sistemler düşünülmüştür (Lee, 1980; Nagarajaiah vd. 1991a; Nagarajaiah vd. 1993; Dumanoğlu ve Ateş, 1999b; Ateş ve Dumanoğlu, 2000).

Constantinou ve Tadjbakhsh (1985a), beyaz gürültü olarak ifade edilen rasgele yer hareketine maruz, kauçuk mesnet ile izolasyonu yapılmış iki boyutlu bir kayma çerçevesinin dinamik analizlerini yapmışlardır. Sistemin karesel ortalama tepkisini elde edebilmek amacıyla frekans alanında spektral analizi kullanmışlardır.

Constantinou ve Tadjbakhsh (1985b), Kanai-Tajimi yer ivme spektrumuna maruz, Yeni Zelanda kauçuk mesnet sistemini kullanarak iki boyutlu bir kayma çerçevesinin dinamik analizlerini yapmışlardır. İzolatörün kuvvet-yerdeğiştirme davranışını, lineer

olmayan diferansiyel denklemler kullanarak modellemişlerdir. Tepkinin hem durağan hem de durağan olmayan değişimlerini elde etmişlerdir.

Shenton ve Lin (1993), yer hareketi olarak 18 tane deprem kaydının ortalama değerlerinden faydalanarak bir tasarım spektrum eğrisi ile ankastre ve taban izolasyonlu sistemlerin dinamik davranışlarını karşılaştırmışlardır. Taşıyıcı sistemi kayma çerçevesi ve perdeli olarak düşünmüşlerdir. İzolatörün kuvvet-yerdeğiştirme davranışını iki lineer doğrudan oluşan lineer olmayan davranış olarak modellemişlerdir.

Chen ve Ahmadi (1992), taban izolasyonlu kesme kirişi olarak modellenen bir yapı sisteminde ikincil sistemlerin stokastik tepkilerini araştırmışlardır. Stokastik modeller için yer hareketi olarak 1940 El-Centro ve 1985 Mexico City depremlerini kullanmışlardır. Eşdeğer lineerleştirme tekniğini kullanan araştırmacılar, birincil ve ikincil yapının tepkisini elde etmek için kareler toplamının karekökünü tercih etmişlerdir. Kauçuk mesnet sistemleriyle yapılan izolasyonda, ikincil sistemlerin tepkilerindeki azalmaların oldukça etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Fan ve Ahmadi (1990a) çalışmalarında sinüzoidal ve sismik yer hareketine maruz taban izolasyonlu çok katlı yapıların kat tepkilerini inceleyen çalışmada çeşitli izolasyon sistemlerini kullanarak analizleri gerçekleştirmişlerdir. Kat tepkilerini elde etmek amacıyla 1940 El-Centro, 1971 San Fernando ve 1985 Mexico City depremlerine ait ivme kayıtlarını kullanmışlardır. Farklı izolasyonların kullanılmasıyla elde edilen sonuçları ankastre tabanlı yapılar ile karşılaştırmışlardır.

Fan ve Ahmadi (1990b), sürtünmeli mesnet sistemini kullanılarak izolasyonu yapılan rijit bir yapının frekans alanında beyaz gürültü hareketine karşı tepkisini belirlemişlerdir. Lineer olmayan tepkiyi elde etmek amacıyla; eşdeğer lineerleştirme ve stokastik ortalama yöntemleri uygulamışlardır. Sürtünmenin küçük değerleri için yaklaşımların uygun olabileceğini ileri sürmüşlerdir. Ancak, daha büyük sürtünme katsayıları için lineerleştirme yöntemi doğruluğunun azalmakta olduğunu göstermişlerdir.

Mostaghel ve Tanbakuchi (1983), çalışmasında deprem ve harmonik harekete maruz kayıcı izolasyon sistemleri ile mesnetlenen tek katlı bir binanın analizlerini yapmışlardır. Hareket denklemlerinin lineer olmamasına rağmen, bu denklemler kayan ve kaymayan durumlar için Duhamel integrali kullanılarak çözülmüştür.

Constantinou ve Tadjakhsh (1984a), kauçuk ve sürtünmeli taşıyıcılardan oluşan sismik izolasyonlu iki boyutlu kayma çerçevelerinin analizlerini yapmışlardır. Birinci titreşim modu için lineer olmayan hareket denklemlerini çözmüşlerdir. Taban izolasyon

sistemleri olarak yaylar veya söndürücü aletleri kullanmışlardır. Bu söndürücülerin yatay yönde lineer ve viskoz bir sönüm sağlamadığı kabul edilmiştir.

Taban izolasyonlu yapılarda hafif iç elemanların tepkilerinin teorik analizlerini Kelly ve Tsai (1985) yapmışlardır. Binanın kauçuk mesnetlerle izolasyonunu yapan bu araştırmacılar, sistem davranışını elde etmek amacıyla davranış spektrumunu kullanmışlardır. Ayrıca, Tsai ve Kelly (1989a), izolasyonlu yapıda bulunan donanımın tepkisini de elde etmişlerdir. Aynı araştırmacılar başka bir çalışmalarında (Tsai ve Kelly, 1989b) ise, klasik mod birleştirme yöntemini kullanarak iç donanımlı sınıflandırılmamış sönümlü taban izolasyonlu bir binanın uygun bir doğrulukta çözülebileceğini de göstermişlerdir.

Koh ve Balendra (1989), mesnetlerdeki P- Δ etkilerini dikkate alan taban izolasyonlu yapıların analizini yapmışlardır. Mesnet üzerindeki basıncın etkisi ilave edildiğinde tabanda dönme serbestlik derecesi de analize dahil edilmektedir. Üst yapı ve temel için hareket denklemleri ayrı ayrı yazılmıştır. Sistemin tepki analizi adım adım sayısal integrasyon tekniği kullanılarak elde edilmiştir. İzolatörün burkulma güvenlik katsayısı küçük ise P- Δ etkisinin ihmal edilmesinin önemli hatalara yol açabileceğini göstermişlerdir. Sayısal sonuçları, taban izolasyonlu beş katlı kesme türü yapıdan elde etmişlerdir. Bina ve taşıyıcı mesnetler için sönüm oranlarını sırasıyla 0.05 ve 0.10, taşıyıcı mesnetler için izolasyon periyodunu 2 saniye olarak kabul etmişlerdir.

Kauçuk mesnetlerin kuvvet-yerdeğiştirme davranışını tanımlamak için bir Kelvin modeli Koh ve Kelly (1990) tarafından sunulmuştur. Taban izolasyonlu yapılara ait hareket denklemlerinin çözümü için sayısal integrasyon uygulamışlardır. Yapılan sayısal örnekler geliştirilen algoritmanın iyi bir yaklaşım olduğunu göstermiştir. Ayrıca, sarsma tablası üzerinde yapılan deneysel çalışmalardan Kelvin modelinin kabul edilebilir olduğu gösterilmiştir.

Henderson ve Novak (1989), 2.4 metre genişliğinde ve 24.4 metre uzunluğundaki rüzgar tüneline taban izolasyonlu bir binanın ani esen rüzgara karşı tepkisini elde etmişlerdir. Bu binayı esnek temelli ve bu temelin esnekliğini ise iki doğrudan oluşan lineer olmayan kuvvet-yerdeğiştirme davranışına sahip izolatörün başlangıç rijitliğine bağlı olduğunu kabul etmişlerdir.

Zemin-yapı etkileşiminin analojisi taban izolasyonlu yapıların dinamik davranışlarına benzetilebilmektedir. Bunun için esnek zemin üzerinde mesnetlenmiş taban izolasyonlu yapıların analizi için basitleştirilmiş bir yöntem Constantinou (1987) tarafından

sunulmuştur. Yapı sistemi, tek katlı üstyapıdan, rijit bir tabandan ve visko-elastik yarı yüzey homojen zemin üzerinde bir daire temelden oluşmaktadır. İzolasyon sistemi ise, temel ile yapı tabanı arasına yerleştirilen kauçuk taşıyıcılardır. Basitleştirilmiş bu yöntemde, rijit zemin üzerinde bulunan sönümlü tek serbestlik dereceli sistem gerçek yapı sistemini ifade etmektedir. Yapının dinamik davranışları için gerekli dinamik özellikler olan doğal frekans ve sönüm faktörü tek serbestlik dereceli sistemden elde edilmektedir.

Siddiqui ve Constantinou (1989) çalışmalarında ise yukarıda sunulan basitleştirilmiş yöntemi çok katlı yapılara uygulamışlardır. Basitleştirilmiş yöntem ile elde edilen taban kesme kuvveti ve yerdeğiştirmeler, çok serbestlik dereceli sistemden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalardan, sonuçların yeterli yaklaşıklıkta olduğu gösterilmiştir.

Zemin-yapı etkileşimini içeren taban izolasyonlu yapıların dinamik davranışları pek çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Kauçuk mesnetler ile izolasyonlu bir yapının analizinde zemin-yapı etkileşiminin ele alınışı sadece üst yapı frekansının taban izolasyonu frekansına oranının 15'ten küçük olması ve kayma dalgasının hızına, üst yapının doğal frekansına ve yapı yüksekliğine bağlı olarak tanımlanan deprem dalgası parametresinin 10'dan küçük olması durumları için izin verilebileceği Constantinou ve Kneifati (1988) tarafından yapılan çalışmada gösterilmektedir. Bununla birlikte, taban izolasyonlu yapılarda zemin-yapı etkileşiminin ankastre tabanlı yapılardaki kadar önemli olmadığı belirtilmiştir.

Novak ve Henderson (1989) yapmış oldukları çalışmalarında, izolasyon sisteminin esnekliği zeminin esnekliğinden 10 kat veya daha fazla olduğunda sismik kuvvetler ve modal özellikler üzerinde zemin-yapı etkileşiminin etkilerinin küçük olduğunu elde etmişlerdir. Ancak, izolasyon sisteminin ve zeminin esneklikleri yakın olması durumunda zeminin yapı davranışı üzerinde etkili olduğu belirtilmektedir.

Ateş ve Dumanoglu (2003) çalışmalarında, zemin esnekliğinin taban izolasyonlu binaların dinamik davranışı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla sürtünmeli sarkaç mesnet modeli ile taban izolasyonu yapılan yedi katlı ve iki boyutlu bir bina çerçeve sisteminin dinamik analizleri gerçekleştirmişlerdir. Bu dinamik analizlerde; 18 Mayıs 1940 El-Centro depreminin kuzey-güney bileşeni ve 13 Mart 1992 Erzincan depreminin doğu-batı bileşeni kullanılmıştır. Sonuç olarak, geleneksel ankastre mesnetli çerçeve modellerinde zemin eğilebilirliğinin etkisi önemli olurken, taban izolasyonu yapılan

çerçeve modellerinde zemin eğilebilirliği etkisinin önemli değişimlere neden olmadığını göstermişlerdir.

Taban izolasyonlu bir nükleer güç santral binasının lineer olmayan deprem analizleri frekans-zaman alanında Darbre (1990) tarafından yapılmıştır. Kayıcı özelliğe sahip taban izolatörleri üzerinde bulunan santral binasının yarı sonsuz zemin modeliyle birlikte zemin-yapı etkileşimi incelenmiştir. Bu çalışmada, zemin dinamik rijitlik matrisi sınır elemanlar yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Zemin-yapı karşılıklı etkileşimi için hareket denklemleri frekans-zaman alanında elde edilmiştir. Bu yöntemin avantajları hem sönüm oranı yüksek olan zemin ortamının dikkate alınması hem de çözümün frekans alanında yapılmasıdır.

Nagarajaiah (1990), 3-boyutlu taban izolasyonlu yapıların lineer olmayan dinamik analizlerini gerçekleştirmiştir. Lineer olmayan bir çözüm algoritması geliştirmiştir. Ayrıca, bu amaçla 3D-BASIS isimli bir bilgisayar programı da hazırlamışlardır (Nagarajaiah, Reinhorn, ve Constantinou, 1991b). Daha sonra, yapıların statik ve dinamik analizlerini yapabilen ETABS programına taban izolasyonunu ekleyerek 3D-BASIS-ETABS isimli bilgisayar programını geliştirmişlerdir (Reinhorn vd., 1994).

Tsopelas vd. (1994a), ortak temel alanına sahip çoklu taban izolasyonlu binaların dinamik analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla bir bilgisayar programı da hazırlamışlardır (Tsopelas vd., 1994b).

Deprem hareketine maruz taban izolasyonlu bir binanın tepkileri Lin, Tadjbakhsh ve Papageorgiou (1989) tarafından belirlenmiştir. Yer hareketi olarak Clough-Penzien tarafından geliştirilen filtre edilmiş beyaz gürültü modelini kullanmışlardır.

Lin ve Hone (1990) tarafından önerilen izolasyon sisteminde; yapı temeli altında karşılıklı ortogonal olarak yerleştirilen serbest dönebilen çubuklar kullanılmıştır. Sürtünme katsayısı artarken yapı tepkisinin arttığı gözlenmiştir.

Çeşitli izolasyon teknikleri kullanılarak pek çok deneysel çalışma yapılmıştır (Constantinou, John, ve Haris, 1987; Mokha, Constantinou ve Reinhorn, 1991; Nagarajaiah, Reinhorn ve Constantinou, 1992; Pirrotta ve Ibrahim, 1997).

Constantinou, Mokha ve Reinhorn (1990), sürtünmeli sistemlerde sürtünme katsayısını elde etmek amacıyla teflon-çelik ara yüzeyi üzerinde deneysel çalışmalar yapıp ara yüzeyin sürtünme özelliklerini elde etmiştir. Yapılan bu deneysel çalışmalarda teflon ve çelik arasındaki sürtünme, hareket ivmesinin artmasıyla birlikte artmış ve mesnetteki basıncın artmasıyla azalmıştır. Teflon-çelik ara yüzey, düşük ivmelerde dahi, sürekli olarak

kaymaya eğilimli olduğundan Coulomb sürtünme yasası bu ara yüzey için kullanılamamıştır.

Mokha, Constantinou ve Reinhorn (1993) çalışmalarında altı katlı çeyrek ölçekli bir yapının sarsma tablası üzerinde sürtünmeli sarkaç modeli ile taban izolasyonunu yaparak deprem ivmelerine maruz bırakmışlardır. Yapının farklı frekanslara sahip güçlü deprem kuvvetlerine karşı koyabilecek durumda olduğunu ve önemli derecede taban yerdeğiştirmelerinin azalmış olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, aynı yapı sistemi sarsma tablası üzerinde teflon mesnetler ve helisel çelik yaylar kullanılarak da Mokha, Constantinou ve Reinhorn (1991) tarafından çalışılmıştır.

Constantinou vd. (1991b); teflon mesnetlerde sürtünme özelliklerini ve mesnedin performansını incelemişlerdir. İki eksenli harekete maruz teflon kayıcı mesnetler üzerinde deneysel çalışmalarını yaparak mesnet ara yüzeyindeki sürtünme kuvvetlerinin dik bileşenleri arasında bir etkileşimin var olduğunu göstermişlerdir. Bu etkileşimin ihmal edilmesi izolasyon yerdeğiştirmelerinin az ve yapısal kesme kuvvetlerinin fazla olarak tahmin edilmesine neden olabileceğini ortaya koymuşlardır.

İzolasyonlu yapıların farklı modellenme kavramları sürtünmeli sarkaç sistemler kullanılarak Almazan, Llera ve Inaudi (1998) tarafından yapılmıştır. Dört katlı bir bina çerçevesi ve tek katlı yapılar için sürtünmeli sarkaç sistemlerinin farklı yapısal modelleri geliştirilerek test edilmiştir. Ayrıca, sürtünmeli sarkaç sistemlerin kuvvet-yerdeğiştirme arasındaki ilişkiyi temsil eden formülasyonu da sunmuşlardır. Kelly (1990), iki ve çok serbestlik dereceli taban izolasyonlu yapıların hareket denklemlerini lineer teoriye göre çıkartarak çözüm işlemlerini gerçekleştirmiştir.

Ahmadi (1983) çalışmasında, kayıcı mesnetler üzerine oturan yapıların stokastik deprem davranışlarını elde etmiştir. Kayıcı mesnette Coulomb sürtünmesinin mevcut olduğunu ve üst yapının rijit bir kütle olarak davrandığını kabul etmiştir. Deprem yer hareketi olarak da durağan olmayan beyaz gürültü modelini kullanmıştır. Sistem davranışını eşdeğer lineerleştirme yöntemini kullanarak araştırmıştır. Sonuçları durağan sonuçlar ile karşılaştırmıştır.

Constantinou ve Tadjbakhsh (1984b), Monte-Carlo tekniğini kullanarak sürtünmeli taban izolasyonlu bir rijit yapının stokastik davranışını incelemişlerdir.

Fan ve Ahmadi (1990) tarafından yapılan çalışmada, rasgele yer hareketine maruz sürtünmeli taban izolasyonlu sistemin davranışı incelemiştir. Eşdeğer lineerleştirme ve stokastik ortalama yöntemlerini kullanarak analizler gerçekleştirilmiştir. Stokastik ortalama

yöntemiyle elde edilen sonuçların eşdeğer lineerleştirme yöntemi sonuçlarıyla uyum içerisinde olduğunu belirtmişlerdir. Eşdeğer lineerleştirme ve ortalama stokastik yöntem hakkında bir çok çalışma yapılmıştır (Spanos, 1981; Crandall ve Zhu, 1983; Nigam, 1983; Roberts, 1984 ve Roberts ve Spanos, 1986).

Kulkarni ve Jangid (2002) çalışmalarında taban izolasyonlu yapılarda, izolasyon sistemine oranla üst yapının oldukça rijit olduğunu ifade etmişlerdir. Bu nedenle, üst yapıyı rijit kabul edip, taban izolasyonlu bir yapıyı tek serbestlik dereceli bir sistem olarak ele almışlardır. Bu yaklaşım, hesaplarda büyük bir kolaylık sağlamıştır. Çok serbestlik dereceli bir yapıyı da hem rijit hem de esnek kabul ederek çözüm yapmışlardır. İzolasyon sistemi olarak ta kauçuk ve kayıcı mesnet tiplerini seçmişlerdir. Çalışma sonunda, üst yapının rijit ve esnek olması durumunda kauçuk ve kayıcı mesnetlerde yer değiştirmeler yaklaşık olarak aynı çıkmıştır. İzolasyonlu rijit yapı kat ivmeleri kauçuk mesnetler kullanılması halinde esnek yapı kat ivmelerine yakın sonuçlar verirken, kayıcı mesnetler kullanılması halinde yakın sonuçlar elde edilememiştir.

Deprem mühendisliği alanında köprülerin sismik tehlikesini azaltan yenilikçi yaklaşımlar; enerji dağılımını ve sismik izolasyonu içermektedir. Köprülerin elastik kapasitesini artırmak veya sismik ataletlerin kuvvetlerini azaltmak taban izolatörlerinin görevlerindedir. Böylece, üst yapıda meydana gelebilecek hasarlar azaltılabilir veya yok edilebilir. Yeni Zelanda ve Amerika Birleşik Devletlerinde köprüler için güçlü döngüsel kuvvetlere sahip taban izolasyonu sistemleri kullanılmaktadır.

Amerika Birleşik Devletlerinde 75'den fazla köprü izolasyonlu olarak yapılmış ve yapılmaktadır. İtalyan mühendisler elasto-plastik davranış gösteren izolasyon sistemleri kullanarak 150'den fazla köprü inşa etmişlerdir. Bu köprülerin büyük bir çoğunluğu sadece aksenal doğrultularında izole edilmiştir (Kunde ve Jangid, 2003). Genellikle, bu izolasyon sistemleri dairesel çelik çubukların yağlanması ile oluşturulan kayıcı mesnetlerden ibarettir.

Kauçuk mesnetleri ve sönümleyicileri içeren izolasyon sistemlerini köprü eksenine doğrultusunda kullanarak tipik üç açıklıklı bir köprünün davranışı Li (1989) tarafından çalışılmıştır. Titreşimin ilk üç modu için lineer olmayan hareket denklemini çözmüştür. Filtre edilmiş beyaz gürültü yer ivmesi için stokastik davranışı eşdeğer lineerleştirme tekniğini kullanarak elde etmiştir. Sönümleyicilerin çok iyi görev yaptığı ortaya koyulmuştur. Fakat, sönümleyiciler tarafından mesnetlenen yapının esnekliğinin artması durumunda sönümleyicinin etkisi azalmaktadır. Ayrıca, izin verilen izolatör

yerdeğiştirmesi ne kadar büyük olursa izolasyon sistemi de o kadar etkili bir şekilde çalıştığı vurgulanmıştır.

Ghobarah ve Ali (1988) tarafından yapılan çalışmada; izolasyonlu karayolu köprüleri için davranış ivme spektrum yaklaşımını kullanarak mesnetlere aktarılan kesme kuvvetleri ile izin verilen tabliye yerdeğiştirmeleri arasında optimum dengeyi amaçlayan basit bir tasarım işlemi önerilmektedir. Yeni yapılacak köprülerin tasarımlarında kullanılabilecek basitleştirilmiş tablolar sunulmuştur. Bu tablolar aynı zamanda mevcut köprülerin güncelleştirilmesi ve izolasyonlarının yapılmasında da kullanılabilmektedir. Yöntemin basit ve oldukça iyi sonuç verdiği görölmektedir. Köprü ayaklarının esnekliği dikkate alındığından yönetmelik türündeki yaklaşımlar içinde uygun olmaktadır.

Briseghella vd. (1989), taban izolasyon teknolojisini tipik orta büyüklükteki açıklıklara sahip sürekli beton tabliyeli köprülere uygulamak için bir tasarım yaklaşımını sunmuşlardır. Bu yaklaşıma göre rijit plastik sistemlerin lineer olmayan davranış spektrumu için dayanım-yerdeğiştirme ilişkisinin elastik periyoda bağlı olmaksızın elde edildiği bölge çalışmada açıklanmaktadır.

Constantinou vd. (1991a) yapmış oldukları çalışmalarında, yerdeğiştirme kontrol araçları ve çok yönlü kayan teflon mesnetleri içeren bir izolasyon sistemini önermektedirler. Yerdeğiştirme kontrol araçları, kullanım yükleri altındaki rijitliği, deprem esnasındaki yerdeğiştirmeyi ve yeniden merkezlenmeyi sağlamaktadır. Bu araçların, köprü tabliyesine ağırlığının %5 oranına kadar olan kullanım yükleri için rijitlik, yerdeğiştirme kontrolü ve güçlü yer hareketlerinde önemli derecede enerji sönümleme imkanı verdiği belirtilmiştir. Kayıcı disk şeklindeki mesnet ve yerdeğiştirme kontrol aletleri birleşiminden oluşan izolasyon sisteminin kullanılması durumunda tabliye kesit etkilerinin geleneksel tasarıma göre 2.5 kat azaldığı gözlenmiştir.

Tsopelas vd. (1996a), izolasyonlu ve izolasyonsuz olarak bir köprünün sarsma tablasında dinamik tepkilerini deneysel olarak elde etmişlerdir. Esnek ayaklardan oluşan köprü, sarsma tablasında maksimum ivmeleri 0.1g-1.1g arasında değişen çeşitli depremler için test edilmiştir. İzolasyonlu köprü tabliyesi 4 adet sürtünmeli sarkaç mesnet sistemi ile mesnetlenmiştir. Bu mesnetlerde, sürtünme katsayısı 0.07-0.12 arasında alınmıştır.

Constantinou vd. (1991), köprüler için izolasyon sistemlerini sarsma tablasında test etmişlerdir. Bu çalışmalarında sismik izolasyon sistemi olarak teflon diskler ve yerdeğiştirme kontrol aletlerini kullanmışlardır. Bu izolasyon sistemleri, deprem hareketi esnasında köprünün merkezlenmesi için döngüsel kuvvetlerin oluşumuna ilave olarak,

rijitlik ve enerji dağılımını sağlamaktadır. İzolasyon sistemi özelliklerinin etkisi, köprü ayaklarının esnekliği, köprü tabliyesinin esnekliği, izolasyon elemanlarının dağılımı ve deprem tipi ile ilgili parametreleri araştırmışlardır. Sonuç olarak, izolasyonlu köprüler için yönetmeliğe bağlı analiz metotları sunulmuştur.

Constantinou vd. (1993) diğer bir çalışmalarında ise, köprülerin izolasyonunda kullanılan sürtünmeli sarkaç sisteminin davranışlarını deneysel olarak elde etmişlerdir. Deprem simülasyon testlerini sürtünmeli sarkaç kullanılarak izolasyonu yapılan bir köprü modeline bağlı olarak yapmışlardır. Bu deneysel çalışmanın ışığında tüm şartlar altında izolasyonlu köprünün deprem dayanım kapasitesinin arttığı gözlenmiştir. Sistemin davranışını tahmin etmek amacıyla analitik metotlar kullanmışlardır ve elde edilen sonuçların deneysel çalışmayla oldukça benzer olduğunu rapor etmişlerdir.

Tsopelas vd. (1994c), köprü izolasyonunda sönümleyici sıvıları, merkezlenmeyi sağlayan kauçukları ve düz kayıcı mesnetleri kullanarak çeşitli deneysel çalışmalar yapmışlardır. Bu izolasyon sistemleri kullanılarak izolasyonlu ve izolasyonsuz köprü modelleri üzerinde deprem simülasyon testlerinden elde edilen sonuçları sunmuşlardır. Tüm şartlar altında depreme dayanan izolasyonlu köprülerin deprem dayanım kapasitelerinin arttığını vurgulamışlardır. Ayrıca, deneysel çalışmalarını analitik tekniklerle elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak deneysel ve analitik çözümlerin bir birine yakın sonuçlar verdiğini rapor etmişlerdir.

Tsopelas ve Constantinou (1994), benzer şekilde dairesel çubuk şeklindeki çelik sönümleyiciler ve yağlanmış düz kayıcı mesnetlerden oluşan izolasyon sistemlerinin kullanılmasıyla izolasyonu yapılan köprülerin deneysel çalışma sonuçlarını vermişlerdir.

Constantinou vd. (1999), sismik izolasyonlu köprülerin tasarımı ve sismik izolasyon sistemlerinin analizlerinde kullanılan parametreler hakkında çalışmışlardır. Yüklemin etkisi, çevresel şartlar ve izolasyon sistemlerinin yorulması gibi özellikleri göz önünde bulunduran bu çalışmalarında, çoğunlukla sürtünmeli ve kauçuk mesnetleri kullanmışlardır. Sürtünmeli izolasyon sistemlerine sahip köprülerin deneysel çalışmaları Tsopelas (1996a; 1996b) tarafından elde edilmiştir.

Mayes vd. (1992) yapmış oldukları çalışmalarında sismik izolasyon tasarım ilkelerini, temel kavramlarını ve AASHTO (1991) kurallarındaki mantığı genel olarak incelemişlerdir. Ayrıca, farklı sönüm oranlarına sahip izolasyon sistemlerinin karşılaştırılmasıyla elde edilen bulguları sunmuşlardır.

Maragakis ve Saiidi (1993), taban izolasyonlu köprülere ait dört adet lineer tek eksenli modeli karşılaştırmışlardır. Köprüler için bu dört modelden hareketle basitleştirilmiş lineer modeller geliştirmişlerdir. Bu modelleri izolasyonlu köprüler için üç boyutlu lineer olmayan bir modelin geliştirilmesinde kullanmışlardır. Aynı zamanda, bu modellerin köprü ayaklarının sünekliliği üzerindeki etkilerini de incelemişlerdir.

Mahin (1993) çalışmasında, yapısal davranışın kısa ve uzun periyotlar arasındaki dağılımında yerdeğiştirme ve enerjiye bağlı kayıcı mesnet sistemleri ile izolasyonu yapılan basit bir köprünün sismik tasarımını yapmak amacıyla ön hazırlık çalışmalarında kullanılabilecek bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yaklaşımda, köprü tabliyesi yerdeğiştirmelerinin tahmini üzerinde durulmaktadır. Yer hareketi, izolatör ve yapısal özelliklerdeki değişiklikleri içeren davranışı, parametrik incelemeleri ve bu yaklaşımın yeterliliğini değerlendirmek amacıyla hareket denkleminin özel bir halini elde etmiştir.

Hwang ve Sheng (1993, 1994), AASHTO (1991)'ya göre merkezi çekirdeğe sahip kauçuk mesnetli bir köprünün eşdeğer elastik sistemi için eşdeğer bir sönüm oranı ve bu sönüm oranının etkisini değerlendirmişlerdir. AASHTO (1991) kullanılarak belirlenen eşdeğer sönüm oranının, merkezi çekirdeğe sahip kauçuk mesnetin lineer olmayan şekildeğiştirmesinin artmasına göre azalabileceğini vurgulamışlardır.

Hwang vd. (1994) çalışmalarında, Kaliforniya Köprü Birimi (CALTRANS) tarafından köprülerin izolasyonunda kullanılan eşdeğer lineer köprü modelini test ederek doğrulamışlardır.

Wang ve Gould (1994) çalışmalarında iki açıklıklı, sürekli tabliyeli ve kayıcı mesnetli bir köprünün ayaklarındaki yukarı kalkma etkilerinin üzerinde durmuşlardır.

Jangid ve Banerji (1995) yapmış oldukları çalışmalarında; köprü uzun eksenli doğrultusunda sürtünmeli izolasyon sistemi ile izolasyonu yapılan köprünün davranışını belirlemişlerdir. Sürtünmeli izolasyon sisteminin davranışını rijit-plastik olarak modellemişlerdir. Alt yapı ile üst yapı arasına yerleştirilen sürtünmeli izolasyon sistemi köprü ayaklarındaki kesme kuvvetini oldukça azaltmıştır. Bu izolasyon sisteminin en önemli sakıncası, yeniden merkezlenebilme mekanizmasının olmayışıdır. Bunun sonucunda da büyük ve kalıcı yerdeğiştirmeler meydana gelmektedir.

Ateş vd. (2004) çalışmalarında, sürtünmeli sarkaç mesnet modeli ile taban izolasyonu yapılan köprülerin deprem davranışının belirlenmesi için üç açıklıklı bir köprü modelini ele almışlardır. 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Kocaeli depreminin Yarımca istasyonundan ölçülen kayıtları kullanarak; köprü eksenli doğrultusunda bu yer hareketinin

doğu-batı bileşeni, köprü yanal doğrultusunda ise kuzey-güney bileşeni uygulamıştır. İzolasyonlu ve izolasyonsuz köprü modellerinin deprem analizlerinden elde edilen periyotları, yerdeğiştirmeleri, ivmeleri ve kesme kuvvetleri karşılaştırmışlardır. İzolasyonlu köprünün periyotlarının izolasyonsuza göre oldukça büyüdüğü, ivme ve taban kesme kuvvetlerinin ise oldukça azaldığını yaptıkları deprem analizlerinden elde etmişlerdir.

Tongaokar ve Jangid (2000, 2002, 2003) çalışmalarında kayıcı ve kauçuk mesnetler kullanarak köprülerin depreme karşı izolasyonlarını incelemişlerdir. İzolasyonlu köprülerin farkını ortaya koyabilmek amacıyla izolasyonlu ve izolasyonsuz köprülerin deprem davranışlarını karşılaştırmalı olarak yapmışlardır. Ayrıca kayıcı ve kauçuk mesnetlerin parametrelerinin köprü deprem davranışı üzerindeki etkilerini de araştırmışlardır.

Karayolu köprülerinin izolasyonlu ve izolasyonsuz olarak yapılması durumları karşılaştırmalı olarak bir çok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Mutobe ve Cooper, 1999; Park vd., 2002; Chaudhary vd., 2001, 2002). Bu çalışmalardan da karayolu köprülerinin depreme göre izolasyonunun önemi vurgulanmaktadır.

Yatay iki doğrultuda deprem hareketine maruz, kauçuk mesnetler ile izolasyonu yapılan köprülerin deprem davranışı Jangid (2004) tarafından incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan kauçuk mesnet; iki eksenli kuvvet-şekildeğiştirme eğrisi ve yatay iki doğrultuda yenilenme kuvvetleri arasında etkileşimin var olduğu kabulüyle modellenmiştir. Yazar bu çalışmasında, köprülerin deprem davranışı üzerinde izolatörlerin etkisini araştırmayı amaçlamıştır. Kütlelerin düğüm noktalarında toplandığı kabulüne göre hareket denklemini adım-adım integrasyon yöntemiyle çözerek izolasyonlu köprülerin davranışını belirlemiştir. İzolasyonlu ve izolasyonsuz köprülerin davranışlarını karşılaştırmalı olarak vermiştir. İzolasyonlu köprülerin deprem davranışı üzerinde kauçuk mesnetin yatay iki doğrultudaki yenilenme kuvvetlerinin etkileşiminin dikkate alınması gerektiğini çalışma sonucunda belirtmiştir.

Monti vd. (1995) çalışmalarında asinkronize yer hareketinin izolasyonlu köprülerin davranışları üzerindeki etkilerini ortaya koymuşlardır. Bu amaçla altı açıklıklı, sürekli tabliyeli ve izolasyonlu bir köprü modeli tercih edilmiştir. Köprünün her bir mesnetinden farklı yer hareketine maruz bırakılarak dinamik analizleri yapılmıştır. Analizlerde asinkronize yer hareketinin de dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır.

Monti vd. (1996) tarafından mesnetlerinden farklı dinamik etkilere maruz köprülerin lineer olmayan dinamik davranışı için nümerik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Üniform ve üniform olmayan yer hareketleri için değişen rijitlik ve süneklikte köprüler projelendirilmiş

ve incelenmiştir. Üniform yer hareketi için projelendirilen ve üniform olmayan hareket için incelenen köprünün orta ayaklarındaki kuvvetler fazla çıkarken, kenar ayaklarına yakın kesitlerde ise tersi durum gözlenmiştir.

Jangid ve Banerji (1998) lineer olmayan taban izolasyonlu binaların stokastik davranışları üzerinde izolatörlerin sönüm oranının etkisini araştırdıkları çalışmalarında; sürtünmeli kayıcı izolatörlerdeki sönüm oranlarını dikkate alarak ve stokastik eşdeğer lineer tekniğini kullanarak ivme tepkilerini minimum yapacak olan izolatör sönüm oranını belirlemişlerdir.

Zerva (1982) deprem esnasında yer hareketindeki değişimin belirlenebilmesini sağlayan analitik bir yöntem geliştirmiştir. Önerilen model ile elde edilen güç spektral yoğunluk fonksiyonlarının gerçek bir deprem hareketi ile karşılaştırılması sonucu geliştirilen modelin uygunluğu gösterilmektedir. Ayrıca, yapı sistemlerinin dinamik analizleri de gerçekleştirilmiş olup, değişen yer hareketinin boru hattı ve uzun açıklıklı izolasyonsuz kiriş sistemlere olan etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda değişen yer hareketinin sonuçlar üzerinde etkili olduğu vurgulanmaktadır.

Dumanoğlu vd. (1986) ile Dumanoğlu ve Severn (1987, 1989), 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı S16E bileşeni ivme kaydını kullanarak, uzun açıklıklı asma köprülerin mesnet noktaları arasındaki sismik etkilerin sonlu hızlarla hareketi sırasındaki etkilerini incelemişlerdir. Hız değerlerinin 250 m/s ile 2000 m/s arasında değiştiği kabul edilmiştir. Uygulama olarak aerodinamik forma sahip çelik kutu kesitli tabliyeleri, eğik askıları ve narin kuleleri ile modern asma köprülere örnek olan Boğaziçi ve Humber köprüleri seçilmiştir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlarla, sonsuz hızla yayılan yer hareketi kullanılarak yapılmış analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda sonlu yayılma hızı kullanılarak elde edilen yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin genellikle sonsuz yayılma hızı kullanılarak elde edilen değerlerden daha büyük olduğu görülmüştür.

Dumanoğlu (1988), yayılan deprem dalgalarına maruz yapıların dinamik davranışını incelemiştir. Yer hareketinin yapının bir mesnetinden diğer mesnetlerine sonlu hızla yayıldığı ve genliğinde bir değişiklik olmadan ulaştığı kabul edilmiştir. Barajların ve asma köprülerin dinamik davranışlarının asinkronize dinamik analizleri çeşitli deprem dalgası yayılma hızları kullanılarak yapılmıştır. Bu yapıların dinamik analizlerinde asinkronize analizin gerekli olduğu vurgulanmıştır.

Harichandran ve Wang (1988a, 1988b, 1990) değişen yer hareketi etkisindeki bir ve iki açıklıklı kirişlerin stokastik davranışı üzerinde çalışmışlardır. Mesnetlerdeki yer hareketleri arasındaki tutarsızlık ve dalgası yayılma etkilerini dikkate alan bir deprem yer hareketi modeli kullanılmış ve sonuçlar çeşitli basitleştirilmiş yer hareketi modelleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda yer hareketindeki değişimin uzun açıklıklı kirişlerin davranışı üzerinde önemli etkilerinin olduğu vurgulanmaktadır. Ayrıca, üniform yer hareketi etkisi için bulunan sonuçların üniform olmayan yer hareketine göre bazı kiriş tepki değerleri için küçük, bazıları için ise büyük değerler verdiği belirtilmektedir.

Zerva (1990) değişen yer hareketi etkisindeki izolasyonsuz sürekli kirişlerin davranışını araştırmıştır. Mesnetlere etkileyen yer hareketleri stokastik olarak ifade edilmiş olup, mesnet hareketleri arasındaki etkileşimin dikkate alındığı tutarsızlık etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda üniform yer hareketinin, yapının dinamik özelliklerine, hesaplanacak olan tepki büyüklüğüne, tepki büyüklüğünün hesaplanacağı noktaya, yapının doğal frekansı ile yer hareketinin doğal frekansı arasındaki ilişkiye ve mesnet hareketleri arasındaki ilişkinin derecesine bağlı olarak, tutarsızlık etkisinin dikkate alındığı duruma oranla daha küçük veya daha büyük tepki değerleri verebileceği gösterilmektedir.

Perotti (1990) değişen yer hareketi etkisindeki büyük boyutlu yapıların dinamik davranışını rasgele titreşim teorisi yaklaşımı ile ele almıştır. Yer hareketinin durağan olmadığı dikkate alınarak, yer hareketinin değişimini tanımlamak için tutarsızlık ve dalga yayılma etkilerini dikkate alan bir model kullanılmıştır. 800 m uzunluğunda izolasyonsuz bir viyadük uygulama amacı ile seçilmiştir. Çalışma sonucunda tutarsızlık etkisinin dalga yayılma etkisine oranla daha önemli olduğu ortaya konmaktadır.

Sweidan (1990) çalışmasında değişen yer hareketi etkisindeki kemer köprülerin stokastik analizi üzerinde durmuştur. Yer hareketi olarak mesnet noktalarındaki yer hareketleri arasındaki tutarsızlık etkisini ve deprem dalgasının yayılma etkisini dikkate alan bir model kullanılmıştır. Yapı davranışı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak geliştirilen rasgele titreşim teorisi ile belirlenmiştir. Mesnetlere etkileyen yer hareketlerinin çeşitli özel durumları için çözümler yapılarak karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, yer hareketinin değişiminin yapı davranışı üzerinde önemli etkilerinin olduğu ifade edilirken, yer hareketi parametrelerinin ve yer hareketi yayılma hızının da sonuçları etkilediği vurgulanmaktadır. Kemer köprülerin durağan olmayan davranışı da incelenmiş olup, durağan duruma yakın sonuçlar bulunduğu belirtilmektedir.

Zerva (1991) değişen yer hareketi etkisindeki izolasyonsuz sürekli kiriş sistemlerini, mesnetlerdeki yer hareketleri arasındaki tutarsızlık ve dalga yayılma etkilerini dikkate alan bir stokastik yer hareketi modeli kullanarak incelemiştir. Çalışma sonucunda dalga yayılma hızının üniform harekete oranla küçük yada büyük tepki değerleri verebileceği ifade edilmektedir.

Der Kiureghian ve Neuenhofer (1991, 1992) değişen yer hareketi etkisindeki çok serbestlik dereceli sistemlerin dinamik analizi için rasgele titreşim teorisine dayalı yeni bir davranış spektrum yöntemi geliştirmişlerdir. Dalga yayılma etkisi, artan mesafe ile birlikte azalan tutarsızlık etkisi ve zemin şartlarındaki değişimi içeren yer hareketi modeli dikkate alınmıştır. Geliştirilen yöntem iki açıklıklı izolasyonsuz bir kiriş sistemi üzerinde uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, değişen yer hareketi durumunda elde edilen tepki değerlerinin üniform harekete oranla daha küçük tepki değerleri oluşturduğu ifade edilmekle birlikte, rijit yapılarda ve ani tutarsızlık etkisi kaybının olduğu durumlarda zahiri-statik bileşenlerdeki artış nedeniyle farklı sonuçların elde edilebileceği belirtilmektedir.

Zerva (1992a, 1992b) çalışmalarında yapı sistemlerinin mesnetlerine etkiyen yer hareketleri arasındaki ilişki ifadesi için iki farklı tutarsızlık modeli kullanarak sonuçlardaki farklılıkları incelemiştir. Çalışma sonucunda iki model için elde edilen tepkilerin farklı olduğu belirtilirken, uzaklık ve frekansın sonuçlar üzerinde etkili olduğu vurgulanmaktadır.

Hao (1989, 1993, 1994) çalışmalarında tutarsızlık ve dalga yayılma etkilerinin dikkate alındığı değişen yer hareketi etkisindeki dairesel izolasyonsuz kemerlerin stokastik analizi üzerinde durmuştur. Malzeme özellikleri ve kemer açıklığı değiştirilmek sureti ile değişen yer hareketinin kemerlere olan etkisi irdelenmiştir. Çalışma sonucunda yapının ve yer hareketinin özelliklerine, tepki büyüklüğünün hesaplanacağı noktaya ve dikkate alınan tepki cinsine bağlı olarak, yer hareketindeki değişiminin ihmal edilmesinin tepkilerin olduğundan küçük veya büyük çıkmasına neden olabileceği belirtilmektedir.

Hao (1991) tutarsızlık ve dalga yayılma etkilerinin dikkate alındığı değişen yer hareketi etkisindeki rijit plakları inceleyerek, yer hareketindeki değişimin analizlerde dikkate alınması gereğini vurgulamaktadır.

Der Kiureghian ve Keshishian (1996) ve Der Kiureghian, Keshishian ve Hakobian (1997) çalışmalarında farklı mesnetlerdeki zemin şartlarının değişiminden kaynaklanan etkiyi ayrıntılı olarak incelemiştir. Zemin etkisinden kaynaklanan yer hareketindeki

değişim için yeni bir bileşen elde edilmiştir. Bunun yanında zemin frekans davranış fonksiyonu için de çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Uygulama amacı ile iki köprü örneği kullanılmış ve yer hareketinin değişiminin yapı davranışı üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir.

Zembaty (1997) değişen yer hareketi etkisindeki dört açıklıklı izolasyonsuz bir köprü sistemini rasgele titreşim teorisine bağlı olarak incelemiş ve zahiri-statik ve dinamik bileşenlerin etkilerini araştırmıştır. Dinamik etkilerin temel parametreleri tanımlanmış ve bunların yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda yerdeğiştirmelerin üniform harekete oranla daha küçük bulunduğu belirtilirken, eleman kuvvetlerinin dalga yayılma hızına ve açısına bağlı olarak daha küçük veya daha büyük tepki değerleri verebileceği ifade edilmektedir.

Zembaty ve Rutenberg (1998a, 1998b) çalışmalarında yerel zeminin yapı davranışı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla iki mesnetten her birinin ayrı bir zemine oturduğu düşünülen tek serbestlik dereceli bir sistem ile farklı zemine oturan bir köprünün rasgele titreşim analizi gerçekleştirilmiştir. Yer hareketi için Kanai-Tajimi spektral yoğunluk fonksiyonu ile Der Kiureghian (1996) tarafından önerilen ve zemin etkisini içeren bir modeli kullanılmıştır. Çalışma sonucunda; farklı zemin cinsleri için elde edilen tepki değerlerinin doğal frekansa ve zemin türüne bağlı olarak üniform yer hareketine oranla arttığı gözlenmiştir.

Zerva (1999) değişen yer hareketi durumunda dikkate alınan tutarsızlık etkisinin yapı sistemlerinin dinamik davranışları üzerindeki etkisini incelemiştir. Yapı sistemine ait zahiri-statik ve dinamik bileşenleri elde edilmiştir. Düşük frekanslarda kısmi bir ilişkinin söz konusu olduğu yer hareketinin en büyük zahiri-statik kuvvetlere neden olduğu belirtilirken, tutarsızlık etkisinin yavaşça azaldığı durumda da dinamik bileşene en büyük katkıyı sağladığı ifade edilmektedir.

Adanur ve Dumanoğlu (1998, 2002), Dumanoğlu ve Adanur (2000), Adanur vd. (2000) izolasyonsuz asma köprülerin; Soyluk vd. (1997), Soyluk ve Dumanoğlu (1998; 2000), Dumanoğlu ve Soyluk (1998, 2002a, 2002b) ise izolasyonsuz kablolu köprülerin stokastik, asinkronize ve antisinkronize analizlerini ayrı ayrı gerçekleştirmişlerdir. Asinkronize ve antisinkronize analiz için çeşitli yer hareketi yayılma hızları dikkate alınmıştır. Her bir analiz ile elde edilen yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda yer hareketinin sonlu yayılma hızının sonuçlar üzerinde önemli etkilerinin olduğu belirlenmiştir.

Adanur vd. (2002) izolasyonsuz asma köprülerin; Dumanoglu ve Soyluk (2002b) ise izolasyonsuz kablolu köprülerin tutarsızlık ve dalga yayılma etkileri dikkate alınarak durağan ve durağan olmama durumları için analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalar sonucunda durağan olmama durumunda hesaplanan değerlerin belirli bir zamandan sonra durağanlık kabulüyle elde edilen değerlere yaklaştığı görülmüştür.

Soyluk ve Dumanoglu (2002) yapmış oldukları çalışmalarında; zemin şartlarındaki ve yer hareketi dalga yayılma hızındaki değişime bağlı olarak kablolu izolasyonsuz bir köprünün stokastik davranışını incelemişlerdir. Yapmış oldukları bu çalışmalarında, yer hareketini güç spektral yoğunluk fonksiyonu ile tanımlamışlardır. Yer hareketi modelinde; tutarsızlık etkisi, dalga yayılma etkisi ve zemin şartlarındaki değişim dikkate alınmıştır. Yer hareketinin yayılma hızının zemin cinsine bağlı olarak değişiminin dikkate alınması ile elde edilen tepki değerlerini dalga yayılma hızının sabit olması durumunda bulunan değerler ile karşılaştırılmışlardır. Çalışma sonucunda, yer hareketi yayılma hızının zemin cinsine göre değişiminin dikkate alınmasının yapının dinamik davranışı üzerinde önemli etkisinin olduğunu belirtmişlerdir.

Soyluk ve Dumanoglu (2003) yapmış oldukları çalışmalarında; tutarsızlık, dalga yayılma ve bölgesel zemin etkilerini dikkate alarak izolasyonsuz bir kablolu köprünün stokastik analizini yapmışlardır. Değişerek yayılan yer hareketinden elde edilen ortalama maksimum ve varyans değerleri, yer hareketinin özelleştirilmiş durumlarının aynı değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, büyük açıklıklı yapıların stokastik analizinde bu değişkenlerin göz önünde bulundurulmasının kaçınılmaz olduğunu belirtmişlerdir.

Soyluk ve Dumanoglu (2004) yapmış oldukları çalışmalarında; değişerek yayılan yer hareketine maruz izolasyonsuz bir kablolu köprünün stokastik analizini gerçekleştirmişlerdir. Yer hareketini, spektral yoğunluk fonksiyonu ile tanımlamışlardır. Yer hareketinin değişerek yayılmasını ise dalga yayılma ve tutarsızlık etkileri dikkate almışlardır. Dalga yayılma etkisinde çeşitli dalga yayılma hızlarına ve yerel zemin etkisinde ise köprü ayaklarının oturduğu homojen zeminin sert, orta ve yumuşak olmasına göre dinamik davranışı incelemişlerdir. Değişerek yayılan yer hareketiyle elde edilen sonuçlar, yer hareketinin özelleştirilmiş durumlarıyla karşılaştırılmıştır. Yer hareketinin değişerek yayılma etkisinin köprünün dinamik davranışı üzerinde önemli etkilere neden olduğunu belirterek kablolu köprülerin stokastik analizinde yer hareketinin değişiminin dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır.

1.3. Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışmada, değişerek yayılan yer hareketine maruz izolasyonsuz ve izolasyonlu karayolu köprülerinin stokastik analizleri gerçekleştirilerek dinamik davranışlarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi amaçlanmaktadır. İzolasyon sistemi olarak sürtünmeli sarkaç mesnet sistemi kullanılmaktadır. Bu amaçla oluşturulan tezin bölüm içerikleri özet olarak aşağıda verilmektedir.

Birinci bölümde genel bilgiler üzerinde durulmakta olup, konunun önemi ve bu konuda daha önce yapılmış çalışmalar verilmektedir. Yapıların izolasyonunda kullanılan izolasyon sistemleri hakkında genel bilgiler verilerek çalışmada kullanılacak olan sürtünmeli sarkaç mesnet sistemleri üzerinde durulmuştur. Değişerek yayılan yer hareketine göre stokastik analiz formülasyonu bu bölümde verilmektedir. İzolasyonlu yapı sistemlerinin analizi için gerekli olan hareket denklemleri lineerleştirilmiş formda stokastik formülasyonuna dahil edilmiştir. Köprülerin depreme karşı izolasyonunun yapılması halinde, sürtünmeli sarkaç mesnet sisteminin hareketinden dolayı oluşan sürtünme kuvveti izolasyon sistemine ait hareket denkleminin lineerliğini bozmaktadır. Lineer olmayan bu hareket denklemi ise eşdeğer lineerleştirme yöntemi kullanılarak lineer hale dönüştürülmüştür. Stokastik analiz için söz konusu olan güç spektral yoğunluk fonksiyonu, varyans ve kovaryans ifadeleri ile tepki bileşenlerine ait ortalama maksimum değer ve oluşma frekansı da yine bu bölümde sunulmaktadır.

İkinci bölümde stokastik analizlerde kullanılacak olan yer hareketi modeli ile yer hareketindeki değişimi ifade eden dalga yayılma, tutarsızlık ve zemin etkileri için gerekli olan ifadeler verilmektedir. Ayrıca, uygulama olarak seçilen karayolu köprüsünün özellikleri ve analitik modeli bu bölümde sunulmaktadır. İkinci bölümün sonunda köprünün serbest titreşim analizi ile elde edilen frekans ve mod şekilleri gösterilmekte, dikkate alınan yer hareketi modelinin tahkiki üzerinde durulmaktadır.

Üçüncü bölümde değişerek yayılan yer hareketi etkilerine maruz izolasyonsuz ve izolasyonlu karayolu köprüsünün stokastik analizinden elde edilen tabliye yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri üzerinde durulmaktadır. İzolasyonsuz ve izolasyonlu köprünün stokastik analizleri; sadece dalga yayılma etkisi; sadece tutarsızlık etkisi; dalga yayılma ve tutarsızlık etkileri birlikte; dalga yayılma, tutarsızlık ve zemin etkileri birlikte dikkate alınarak yapılmaktadır. Bu analizlerde, yer hareketinin üniform ve değişerek yayıldığı ayrı ayrı kabul edilerek karşılaştırmalı olarak göz önünde bulundurulmuştur.

Dördüncü bölümde çalışmadan çıkarılabilecek sonuçlar ve öneriler verilirken, bu bölümü kaynaklar ve özgeçmiş izlemektedir.

1.4. Değişerek Yayılan Yer Hareketi için Stokastik Analiz Formülasyonu

N serbestlik dereceli izolasyonsuz bir yapı sisteminin matris formda hareket denklemini,

$$[M]\{\ddot{v}\} + [C]\{\dot{v}\} + [K]\{v\} = \{F\} \quad (1.1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $[M]$, $[C]$ ve $[K]$ sırasıyla sistemin kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini; $\{\ddot{v}\}$, $\{\dot{v}\}$, $\{v\}$ sırasıyla toplam ivme, hız ve yerdeğiştirme vektörlerini, $\{F\}$ dış kuvvet vektörünü göstermektedir. Hareket denkleminde sisteme direkt olarak uygulanan dış kuvvet olmadığında $\{F\}$ sıfır vektörüdür.

Sistemin serbestlik derecelerini bilinen ve bilinmeyen olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. Bilinen serbestlik dereceleri; yer hareketinin bilindiği zemin-yapı etkileşim yüzeyi ile ilgili serbestlik derecelerinin ivme, hız ve yerdeğiştirmeleridir. Bilinmeyen serbestlik dereceleri ise yapı-zemin sisteminin diğer noktaları ile ilgili serbestlik derecelerinin ivme, hız ve yerdeğiştirmeleridir. (1.1) nolu denklem; bilinen serbestlik dereceleri $\{v_g\}$ ve bilinmeyen serbestlik dereceleri $\{v_r\}$ cinsinden alt matrislere bölünerek,

$$\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rg} \\ M_{gr} & M_{gg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_r \\ \dot{v}_g \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{rr} & C_{rg} \\ C_{gr} & C_{gg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_r \\ \dot{v}_g \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{rr} & K_{rg} \\ K_{gr} & K_{gg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_r \\ v_g \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (1.2)$$

formunda yazılabilir (Clough ve Penzien, 1993). Bu denklem bir çok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Abdel-Ghaffar ve Stringfellow, 1984; Dumanoğlu ve Severn, 1984; Gazis, 1985; Dumanoğlu ve Severn, 1987; Bayraktar, 1995; Bayraktar vd., 1996; Bayraktar ve Dumanoğlu, 1998; Soyuluk, 2001). Burada $[M_{rr}]$, $[C_{rr}]$ ve $[K_{rr}]$ bilinmeyen serbestlik dereceleri ile ilgili sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini göstermektedir. $[M_{rg}]$,

$[C_{rg}]$ ve $[K_{rg}]$ her bilinen serbestlik derecesinin birim hareketinden dolayı bilinmeyen serbestlik derecelerinde meydana gelen tesir katsayı matrislerini; $[M_{gg}]$, $[C_{gg}]$ ve $[K_{gg}]$ her bilinen serbestlik derecesinin birim hareketinden dolayı bilinen serbestlik derecelerinde meydana gelen tesir katsayı matrislerini ifade etmektedir. $[M_{gr}]$, $[C_{gr}]$ ve $[K_{gr}]$ sırasıyla $[M_{rg}]$, $[C_{rg}]$ ve $[K_{rg}]$ ifadelerinin transpozelerine karşılık gelmektedir. $\{\ddot{v}_r\}$, $\{\dot{v}_r\}$, $\{v_r\}$ sırasıyla bilinmeyen serbestlik derecelerinin toplam ivme, hız ve yerdeğiştirme vektörlerini; $\{\ddot{v}_g\}$, $\{\dot{v}_g\}$, $\{v_g\}$ bilinen serbestlik derecelerinin toplam ivme, hız ve yerdeğiştirme vektörlerini göstermektedir. (1.2) denkleminde bilinmeyen serbestlik derecelerine karşılık gelen ilk satır çıkartılıp bilinenler sağ tarafa atılırsa,

$$[M_{rr}] \{\ddot{v}_r\} + [C_{rr}] \{\dot{v}_r\} + [K_{rr}] \{v_r\} = -[M_{rg}] \{\ddot{v}_g\} - [C_{rg}] \{\dot{v}_g\} - [K_{rg}] \{v_g\} \quad (1.3)$$

ifadesi elde edilir. (1.3) denklemini daha basit hale getirmek için, toplam yerdeğiştirme, v_r , iki bileşenin toplamı olarak yazılabilir. Bunlardan biri, bilinen serbestlik derecelerinin farklı hareketinden diğeri ise atalet kuvvetlerinin etkisinden kaynaklanmaktadır. Birinci yerdeğiştirme bileşeninin hesaplanmasında kütlelerin etkisi dikkate alınmadığından, söz konusu yerdeğiştirme zahiri-statik olarak isimlendirilmekte ve v_s ile gösterilmektedir. Atalet kuvvetleri; ivme ve kütlelerin çarpımından ibaret olduğu için, ikinci yerdeğiştirme bileşeni dinamik olarak tanımlanmakta ve v_d ile gösterilmektedir. Bu durumda (1.2) denklemindeki yerdeğiştirme vektörleri,

$$\begin{Bmatrix} v_r \\ v_g \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} v_{sr} \\ v_{sg} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} v_{dr} \\ v_{dg} \end{Bmatrix} \quad (1.4)$$

şeklinde yazılabilir. Burada v_{dg} sifıra eşittir. v_{sr} ve v_{dr} ise sırasıyla zahiri-statik ve dinamik yerdeğiştirmeleri göstermektedir. (1.4) denklemini (1.3) denkleminde yerine yazılıp zahiri-statik bileşenlerle ilgili terimler sağ tarafta toplanırsa,

$$[M_{rr}] \{\ddot{v}_{dr}\} + [C_{rr}] \{\dot{v}_{dr}\} + [K_{rr}] \{v_{dr}\} = \{F_{eff}\} \quad (1.5)$$

ifadesi elde edilir. Burada $\{F_{\text{eff}}\}$ bilinmeyen serbestlik derecelerini etkileyen etkili kuvvet vektörünü göstermekte olup;

$$\{F_{\text{eff}}\} = -[M_{rr} \quad M_{rg}] \begin{Bmatrix} \ddot{v}_{sr} \\ \ddot{v}_{sg} \end{Bmatrix} - [C_{rr} \quad C_{rg}] \begin{Bmatrix} \dot{v}_{sr} \\ \dot{v}_{sg} \end{Bmatrix} - [K_{rr} \quad K_{rg}] \begin{Bmatrix} v_{sr} \\ v_{sg} \end{Bmatrix} \quad (1.6)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır (Bayraktar, 1995; Soyluk, 2001). Dinamik denge denklemleri statik denge denklemlerini içerdiğinden, (1.6) denklemi önemli derecede basitleştirilebilir. Eğer (1.6) denkleminde zamana bağlı terimler çıkartılırsa, rijitlikle ilgili son terimi kalmakta ve sifıra eşit olmaktadır. Böylece (1.6) denklemi,

$$\{F_{\text{eff}}\} = -[M_{rr} \quad M_{rg}] \begin{Bmatrix} \ddot{v}_{sr} \\ \ddot{v}_{sg} \end{Bmatrix} - [C_{rr} \quad C_{rg}] \begin{Bmatrix} \dot{v}_{sr} \\ \dot{v}_{sg} \end{Bmatrix} \quad (1.7)$$

şeklinde yazılabilir. Sönüm matrisi rijitlik matrisi ile orantılı ise denklem (1.7)'in sönümle ilgili terimleri sıfır olmaktadır (Clough ve Penzien, 1993). Sönümün rijitlikle orantılı olmaması durumunda bile sönüm kuvvetleri, rijitlik ve atalet kuvvetleri ile karşılaştırıldığında çok küçük kalmakta ve ihmal edilebilmektedir. Bu durumda (1.7) nolu denklem tekrar düzenlenirse,

$$\{F_{\text{eff}}\} = -[M_{rr} \quad M_{rg}] \begin{Bmatrix} \ddot{v}_{sr} \\ \ddot{v}_{sg} \end{Bmatrix} \quad (1.8)$$

ifadesi elde edilmektedir. Denklem (1.8)'deki \ddot{v}_{sg} , bilinen serbestlik derecelerine uygulanan ivmeleri gösterdiğinden bilinmekte; \ddot{v}_{sr} ise bilinmemektedir. Daha önce belirtildiği gibi, denklem (1.6)'nın son terimi sifıra eşit olduğundan,

$$[K_{rr}]\{v_{sr}\} = -[K_{rg}]\{v_{sg}\} \quad (1.9)$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifadeden zahiri-statik yerdeğiştirme, $\{v_{sr}\}$,

$$\{v_{sr}\} = -[K_{rr}]^{-1}[K_{rg}]\{v_{sg}\} = [R_{rg}]\{v_{sg}\} \quad (1.10)$$

olarak belirlenebilir (Harichandran, 1992; Clough ve Penzien, 1993; Harichandran, 1993; Kumarasena ve Stroh, 1995). Burada $[R_{rg}]$; $[K_{rr}]^{-1}$ ve $[K_{rg}]$ alt matrislerinin çarpımından elde edilmekte ve zahiri-statik etki katsayısı vektörü olarak adlandırılmaktadır.

Bir çok durumda, $[M_{rg}]$ matrisinin sıfırdan farklı terimleri çok azdır. Dolayısıyla, depremden dolayı meydana gelen etkili kuvvet vektörüne katkısı çok az olacağından ihmal edilebilir (Clough ve Penzien, 1993). Özellikle diyagonal kütle matrisler için $[M_{rg}]$ matrisi sıfır olmaktadır. Yukarıdaki açıklamalara dayanarak (1.10) denkleminin türevi, (1.8) denkleminde yerine yazılır ve (1.5) nolu denklem tekrar düzenlenirse,

$$[M_{rr}]\{\ddot{v}_{dr}\} + [C_{rr}]\{\dot{v}_{dr}\} + [K_{rr}]\{v_{dr}\} = -[M_{rr}][R_{rg}]\{\ddot{v}_{sg}\} \quad (1.11)$$

ifadesi yazılabilir (Burdisso ve Singh, 1987; Clough ve Penzien, 1993). Buradaki $\{\ddot{v}_{sg}\}$ bilinen her bir serbestlik derecesine uygulanan ivme vektörünü göstermektedir.

Köprü'nün depreme karşı izolasyonu yapılması halinde, izolasyon sisteminin hareket denklemleri;

$$m_b \ddot{v}_b + c_b \dot{v}_b + \mu_s W \text{sign}(\dot{v}_b) + k_b v_b = -m_b \ddot{v}_{sg} \quad (1.12)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Lin vd., 1989; Fan ve Ahmadi, 1990b; Jangid ve Banerji, 1998; Kulkarni ve Jangid, 2002). Burada m_b , c_b ve k_b sırasıyla izolasyon sisteminin kütlelerini, sönümünü ve rijitliğini; \ddot{v}_b , \dot{v}_b ve v_b sırasıyla izolatör olarak kullanılan sürtünmeli sarkaça ait ivme, hız ve yerdeğiştirmeleri; μ_s , sürtünmeli sarkaç mesnetinin sürtünme katsayısını ve W ise sürtünmeli sarkaç mesnetinin taşıdığı ağırlığı göstermektedir. (1.12) denklemleri, sürtünmeli sarkaçtaki sürtünme ifadesinden dolayı lineer değildir. Sürtünmeli sarkaç mesnet ile oluşturulan izolasyon sistemi için (1.12) ifadesi ile

verilen hareket denkleminin yer hareketine maruz olması durumunda eşdeğer lineerleştirilmiş formu;

$$m_b \ddot{v}_b + c_e \dot{v}_b + k_b v_b = -m_b \ddot{v}_{sg} \quad (1.13)$$

halini almaktadır (Jangid ve Banerji, 1998; Kulkarni ve Jangid, 2002). Burada c_e izolasyon sistemine ait eşdeğer lineer sönüm sabitidir. Bu sönüm sabiti;

$$c_e = c_b + \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{\mu_s W}{\sigma_{\dot{v}_b}} \quad (1.14)$$

olarak tanımlanmaktadır (Jangid ve Banerji, 1998). Burada c_b izolasyon sisteminin sönüm katsayısı ve $\sigma_{\dot{v}_b}$, sürtünmeli sarkaç mesnetine ait hız varyansının ortalama karekökü olup,

$$\sigma_{\dot{v}_b} = \frac{\mu_s g}{2\sqrt{2\pi} \xi_b \omega_b} \left(\sqrt{1 + \frac{4\pi^2 \xi_b S_0}{(\mu_s g)^2}} - 1 \right) \quad (1.15)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Jangid ve Banerji, 1998). (1.15) denkleminde, ξ_b ve ω_b sırasıyla sürtünmeli sarkaç mesnedinin sönüm oranı ve doğal frekansını; S_0 beyaz gürültü işleminin spektral yoğunluk fonksiyonu genlik değeri olup 2. Bölümde daha detaylı olarak açıklanacaktır. (1.13) denkleminin ilgili bilinmeyen serbestlik derecelerine karşılık gelecek şekilde (1.11) denkleminin toplanarak aşağıdaki matris formu;

$$[\bar{M}_{rr}] \{\ddot{v}_{dr}\} + [\bar{C}_{rr}] \{\dot{v}_{dr}\} + [\bar{K}_{rr}] \{v_{dr}\} = -[\bar{M}_{rr}] [\bar{R}_{rg}] \{\ddot{v}_{sg}\} \quad (1.16)$$

elde edilebilir. Burada, $[\bar{M}_{rr}] = [M_{rr} + m_b]$, $[\bar{C}_{rr}] = [C_{rr} + c_b]$ ve $[\bar{K}_{rr}] = [K_{rr} + k_b]$ izolasyonlu yapı sisteminin bilinmeyen serbestlik dereceleri ile ilgili sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini; \bar{v}_{dr} , $\dot{\bar{v}}_{dr}$, $\ddot{\bar{v}}_{dr}$ ve \bar{v}_{sg} sırasıyla izolasyonlu yapı sisteminin dinamik ivmesini, hızını, yerdeğiştirmesini ve bilinen serbestlik derecelerine uygulanan ivmesini göstermektedir. (1.16) nolu denklemin çözümü için, modların süperpozisyonu yöntemi

kullanılmaktadır (Paz, 1991; Celep ve Kumbasar, 1992; Clough ve Penzien, 1993; Chopra, 2001). Açısal frekans ω_i ve mod vektörleri $\{\phi_i\}$,

$$[\bar{M}_{rr}]\{\ddot{v}_{dr}\} + [\bar{K}_{rr}]\{v_{dr}\} = 0 \quad (1.17)$$

ifadesiyle verilen sönümsüz serbest titreşim denklemlerinden elde edilmektedir. İzolasyonlu yapı sistemi bilinmeyen serbestlik derecelerinin dinamik yerdeğiştirme bileşeni, $\{v_{dr}\}$,

$$\{v_{dr}\} = [\phi]\{Y\} \quad (1.18)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Burada $\{Y\}$ modal genliği, $[\phi]$ ise mod şekilleri matrisini göstermektedir. (1.18) denklemi, (1.17) denkleminde yerine yazılıp gerekli düzenlemeler yapılırsa,

$$\ddot{Y}_i + 2\xi_i\omega_i\dot{Y}_i + \omega_i^2 Y_i = -\frac{P_i}{M_i} \quad (1.19)$$

bağıntısı elde edilmektedir (Clough ve Penzien, 1993; Chopra, 2001). Burada ξ_i sönüm oranını göstermekte ve,

$$\xi_i = \frac{C_i}{2\sqrt{K_i M_i}}, \quad \omega_i = \sqrt{\frac{K_i}{M_i}} \quad (1.20)$$

$$\left. \begin{aligned} M_i &= \{\phi_i\}^T [\bar{M}_{rr}] \{\phi_i\} \\ C_i &= \{\phi_i\}^T [\bar{C}_{rr}] \{\phi_i\} \\ K_i &= \{\phi_i\}^T [\bar{K}_{rr}] \{\phi_i\} \end{aligned} \right\} \quad (1.21)$$

$$P_i = \{\phi_i\}^T [\bar{M}_{rr}] [\bar{R}_{rg}] \{\bar{v}_{sg}\} \quad (1.22)$$

eşitlikleri yazılabilmektedir. $\{\bar{v}_{sg}\} = \{\ddot{v}_g\}$ eşitliği kullanılır ve modal katkı faktörü,

$$\{\Gamma_i\} = [\bar{M}_{rr}] [\bar{R}_{rg}] \{\phi_i\} \quad (1.23)$$

şeklinde tanımlanırsa genelleştirilmiş yük P_i ,

$$P_i = \{\Gamma_i\}^T \{\ddot{v}_g\} \quad (1.24)$$

şeklinde yazılabilir. P_i vektör şeklinde, modal katkı faktörleri ise matris formda gösterilirse (1.24) denklemi,

$$\{P\} = [\Gamma]^T \{\ddot{v}_g\} \quad (1.25)$$

şeklinde elde edilir.

$z(t)$, herhangi bir yapı davranışını göstermek üzere, $z(t)$ 'nin özilişki (otokorelasyon) fonksiyonu,

$$[R_z(\tau)] = E[\{z(t)\}\{z(t+\tau)\}] \quad (1.26)$$

denklemindeki gibi ifade edilir (Newland, 1983; Augisti vd., 1984; Yang, 1986; Peebles, 1987). $z(t)$ zahiri-statik ve dinamik bileşenlere ayrılırsa,

$$z(t) = z^{qs}(t) + z^d(t) \quad (1.27)$$

ifadesi bulunur. Burada, $z^{qs}(t)$ ve $z^d(t)$ sırasıyla zahiri-statik ve dinamik bileşenleri göstermektedir. (1.27) denklemi (1.26) denkleminde yerine yazılırsa;

$$[R_z(\tau)] = E \left[\left\{ \left\{ z^{qs}(t) \right\} + \left\{ z^d(t) \right\} \right\} \left\{ \left\{ z^{qs}(t+\tau) \right\} + \left\{ z^d(t+\tau) \right\} \right\} \right] \quad (1.28)$$

bağıntısı elde edilir. Denklem (1.28) düzenlenirse,

$$[R_z(\tau)] = [R_z^{qs}(\tau)] + [R_z^d(\tau)] + [R_z^{qs d}(\tau)] + [R_z^d qs(\tau)] \quad (1.29)$$

ifadesi bulunur. Burada, $[R_z^{qs}(\tau)]$ ve $[R_z^d(\tau)]$ sırasıyla zahiri-statik ve dinamik bileşenlerinin özilişki fonksiyonunu, $[R_z^{qs d}(\tau)]$ ve $[R_z^d qs(\tau)]$ zahiri-statik ve dinamik bileşenleri arasındaki çapraz ilişki fonksiyonunu göstermektedir.

(1.29) denkleminin Fourier dönüşümü alınırsa $z(t)$ davranışının spektral yoğunluk fonksiyonu;

$$[S_z(\omega)] = [S_z^{qs}(\omega)] + [S_z^d(\omega)] + [S_z^{qs d}(\omega)] + [S_z^d qs(\omega)] \quad (1.30)$$

elde edilir. Burada, $[S_z^{qs}(\omega)]$ ve $[S_z^d(\omega)]$ sırasıyla zahiri-statik ve dinamik bileşenlerin güç spektral yoğunluk fonksiyonunu gösterirken, $[S_z^{qs d}(\omega)]$ ve $[S_z^d qs(\omega)]$ zahiri-statik ve dinamik bileşenler arasındaki çapraz güç spektral yoğunluk fonksiyonunu ifade etmektedir. Zahiri-statik ve dinamik bileşenler arasındaki çapraz güç spektral yoğunluk fonksiyonu için,

$$[S_z^d qs(\omega)] = [S_z^{* qs d}(\omega)] \quad (1.31)$$

eşitliği yazılabilir. Burada, * kompleks eşleniği göstermektedir (Sweidan, 1990).

1.4.1. Dinamik Bileşenin Varyansı

Herhangi bir yapı davranışının dinamik bileşeni $z^d(t)$;

$$\{z^d(t)\} = [\Psi]\{Y\} \quad (1.32)$$

denklemini ile belirlenmektedir. Yerdeğiştirme bileşeni için, $[\Psi] = [\Phi]$ modal vektörlere eşit olurken, eleman uç kuvvetleri için $[\Psi] = [K][\Phi]$ öz vektörlerin neden olduğu eleman kuvvetlerine eşit olmaktadır. Burada $[K]$ eleman rijitlik matrisidir.

(1.32) denklemini, (1.26) denkleminde yerine yazılırsa elde edilen özilişki fonksiyonunun Fourier dönüşümü (Kreyszig, 1993) dinamik bileşenin spektral yoğunluk fonksiyonuna eşit olup;

$$S_{z_i}^d(\omega) = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{\ell=1}^r \sum_{m=1}^r \Psi_{ij} \Psi_{ik} \Gamma_{\ell j} \Gamma_{mk} H_j(-\omega) H_k(\omega) S_{\ddot{v}_{g\ell} \ddot{v}_{g_m}}(\omega) \quad (1.33)$$

denklemini ile tanımlanmaktadır (Harichandran ve Wang, 1990). Burada, n dikkate alınan mod sayısını gösterirken, r yer hareketi ivmesinin etkidiği mesnet sayısını, $\Gamma_{\ell j}$ modal katkı faktörünün ℓ . elemanını, Ψ_{ij} j . modun neden olduğu z_i kuvvetini, $\left[S_{\ddot{v}_{g\ell} \ddot{v}_{g_m}}(\omega) \right]$ ℓ ve m mesnet noktalarındaki yer hareket ivmelerinin çapraz güç spektral yoğunluk fonksiyonunu göstermektedir. $H_j(\omega)$ ise frekans davranış fonksiyonu olup;

$$H_j(\omega) = \frac{1}{\omega_j^2 - \omega^2 + 2i\xi_j \omega_j \omega} \quad (1.34)$$

denklemini ile ifade edilmektedir. Dinamik bileşenin $(z^d(t))$ varyansı, (1.28) denkleminin integrasyonu alınarak hesaplanmakta ve (1.35) denklemini ile ifade edilmektedir (Hawwari, 1992).

$$\begin{aligned} \sigma_{z_i}^2 &= \int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i}^d(\omega) d\omega \\ &= \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{\ell=1}^r \sum_{m=1}^r \Psi_{ij} \Psi_{ik} \Gamma_{\ell j} \Gamma_{mk} \int_{-\infty}^{\infty} H_j(-\omega) H_k(\omega) S_{\ddot{v}_{g\ell} \ddot{v}_{g_m}}(\omega) d\omega \end{aligned} \quad (1.35)$$

1.4.2. Zahiri-Statik Bileşenin Varyansı

Zahiri-statik bileşen;

$$\{z^{qs}(t)\} = [A]\{v_g\} \quad (1.36)$$

ile elde edilmektedir. Burada $[A]$ yerdeğiştirmeler için, $[A] = [\bar{R}_{rg}] = -[\bar{K}_{rr}]^{-1}[\bar{K}_{rg}]$ statik yerdeğiştirmeleri ifade ederken; eleman uç kuvvetleri için, mesnet noktalarının birim hareketinden dolayı meydana gelen eleman kuvvetlerini ifade etmektedir.

Zahiri-statik bileşenin özilişki fonksiyonunun Fourier dönüşümü alınarak bu bileşene ait spektral yoğunluk fonksiyonu hesaplanır ve (1.37) denklemi ile ifade edilir (Sweidan, 1990).

$$S_{z_i}^{qs}(\omega) = \frac{1}{\omega^4} \sum_{\ell=1}^r \sum_{m=1}^r A_{i\ell} A_{im} S_{\ddot{v}_{g\ell} \ddot{v}_{gm}}(\omega) \quad (1.37)$$

Burada $A_{i\ell}$, ℓ mesnet serbestlik derecesinin birim hareketinden dolayı meydana gelen z_i kuvvetini göstermektedir.

Zahiri-statik bileşenin ($z^{qs}(t)$) varyansı, (1.37) denklemi integre edilerek hesaplanmakta ve;

$$\sigma_{z_i}^{2qs} = \int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i}^{qs}(\omega) d\omega = \sum_{\ell=1}^r \sum_{m=1}^r A_{i\ell} A_{im} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\omega^4} S_{\ddot{v}_{g\ell} \ddot{v}_{gm}}(\omega) d\omega \quad (1.38)$$

ifadesindeki gibi olmaktadır (Sweidan, 1990).

1.4.3. Zahiri-Statik ve Dinamik Bileşenler Arasındaki Kovaryans Fonksiyonu

(1.29) denklemde ifade edilen zahiri-statik ve dinamik bileşenler arasındaki çapraz ilişki fonksiyonu, (1.32) ve (1.36) denklemleri kullanılarak elde edilmektedir. Elde edilen

çapraz öz ilişki fonksiyonunun Fourier dönüşümü alınarak zahiri-statik ve dinamik tepki bileşenleri arasındaki çapraz spektral yoğunluk fonksiyonu;

$$S_{z_i z_i}^{qs d}(\omega) = -\frac{1}{\omega^2} \sum_{j=1}^n \sum_{\ell=1}^r \sum_{m=1}^r \Psi_{ij} A_{i\ell} \Gamma_{mj} H_j(\omega) S_{\ddot{v}_{g\ell} \ddot{v}_{g_m}}(\omega) \quad (1.39)$$

ile ifade edilmektedir (Sweidan, 1990). Zahiri-statik ve dinamik bileşenler arasındaki kovaryans fonksiyonu, (1.39) denkleminin integre edilmesiyle aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Harichandran ve Wang, 1988a, 1988b).

$$\begin{aligned} \text{Cov}(z_i^{qs}, z_i^d) &= \text{Re} \left[\int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i z_i}^{qs d}(\omega) d\omega \right] \\ &= \sum_{j=1}^n \sum_{\ell=1}^r \sum_{m=1}^r \Psi_{ij} A_{i\ell} \Gamma_{mj} \left(- \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\omega^2} H_j(\omega) S_{\ddot{v}_{g\ell} \ddot{v}_{g_m}}(\omega) d\omega \right) \end{aligned} \quad (1.40)$$

1.4.4. Toplam Bileşenin Varyansı

i. tepki bileşeninin toplam varyans değeri, zahiri-statik ve dinamik bileşenlerinin varyansları ile zahiri-statik ve dinamik bileşenler arasındaki kovaryans bileşenin toplanmasıyla elde edilir. Elde edilen toplam tepkiye ait varyans değeri;

$$\sigma_{z_i}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i}^{qs}(\omega) d\omega + \int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i}^d(\omega) d\omega + 2 \text{Re} \left[\int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i z_i}^{qs d}(\omega) d\omega \right] \quad (1.41)$$

$$\sigma_{z_i}^2 = \sigma_{z_i}^{2qs} + \sigma_{z_i}^{2d} + 2 \text{Cov}(z_i^{qs}, z_i^d) \quad (1.42)$$

denklemleri ile hesaplanabilir (Sweidan, 1990). Burada Re, gerçel kısmı, $\sigma_{z_i}^{2qs}$ ve $\sigma_{z_i}^{2d}$ sırasıyla zahiri-statik ve dinamik bileşenlerinin varyansını göstermektedir. $\text{Cov}(z_i^{qs}, z_i^d)$ ise, zahiri-statik ve dinamik bileşenler arasındaki kovaryansı ifade etmektedir.

1.4.5. Ortalama Maksimum Değer ve Oluşma Frekansı

Stokastik analizde ortalama maksimum değer, maksimum büyüklük faktörü p 'ye ve $z(t)$ işleminin standart sapması σ_z 'ye bağlı olarak;

$$\mu = p\sigma_z \quad (1.43)$$

denklemindeki gibi ifade edilmektedir (Button vd., 1981; Button, 1981; Dumanoğlu ve Severn, 1990). Standart sapma, varyansın karekökü alınmak suretiyle hesaplanmaktadır. Ortalama maksimum değerlerin standart sapması ise;

$$\sigma = q\sigma_z \quad (1.44)$$

şeklinde belirlenmektedir. Burada p ve q sırası ile, yer hareket ivmesinin ve sıfır seviyesinin ortalama geçiş sayısının fonksiyonu olup maksimum büyüklük faktörleri;

$$p = \sqrt{(2 \ln v_e T)} + \frac{0.5772}{\sqrt{(2 \ln v_e T)}} \quad (1.45)$$

$$q = \frac{1.2}{\sqrt{(2 \ln v_e T)}} - \frac{5.4}{13 + (2 \ln v_e T)^{3.2}} \quad (1.46)$$

denklemleri ile tanımlanabilir (Der Kiureghian, 1980; Wung ve Der Kiureghian, 1989). (1.45) ve (1.46) nolu denklemlerde T hareket süresini göstermektedir. v_e ise sıfır seviyesinin indirgenmiş ortalama geçiş sayısı olup;

$$v_e = (1.9\xi^{0.15} - 0.73)v_o \quad (1.47)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. Yukarıdaki denklemde ξ sönüm oranını ifade etmektedir. v_o oluşma frekansını göstermekte olup;

$$v_o = \frac{1}{\pi} \frac{\sigma_{\dot{z}}}{\sigma_z} = \frac{1}{\pi} \left(\frac{\int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 S_z(\omega) d\omega}{\int_{-\infty}^{\infty} S_z(\omega) d\omega} \right)^{1/2} \quad (1.48)$$

ifadesi ile tanımlanmaktadır. Burada $S_z(\omega)$, $z(t)$ işleminin spektral yoğunluk fonksiyonunu, $\sigma_{\dot{z}}$ ve σ_z ise sırasıyla $z(t)$ işlemi ve türevinin standart sapmasını göstermektedir (Lee ve Penzien, 1980; 1983).

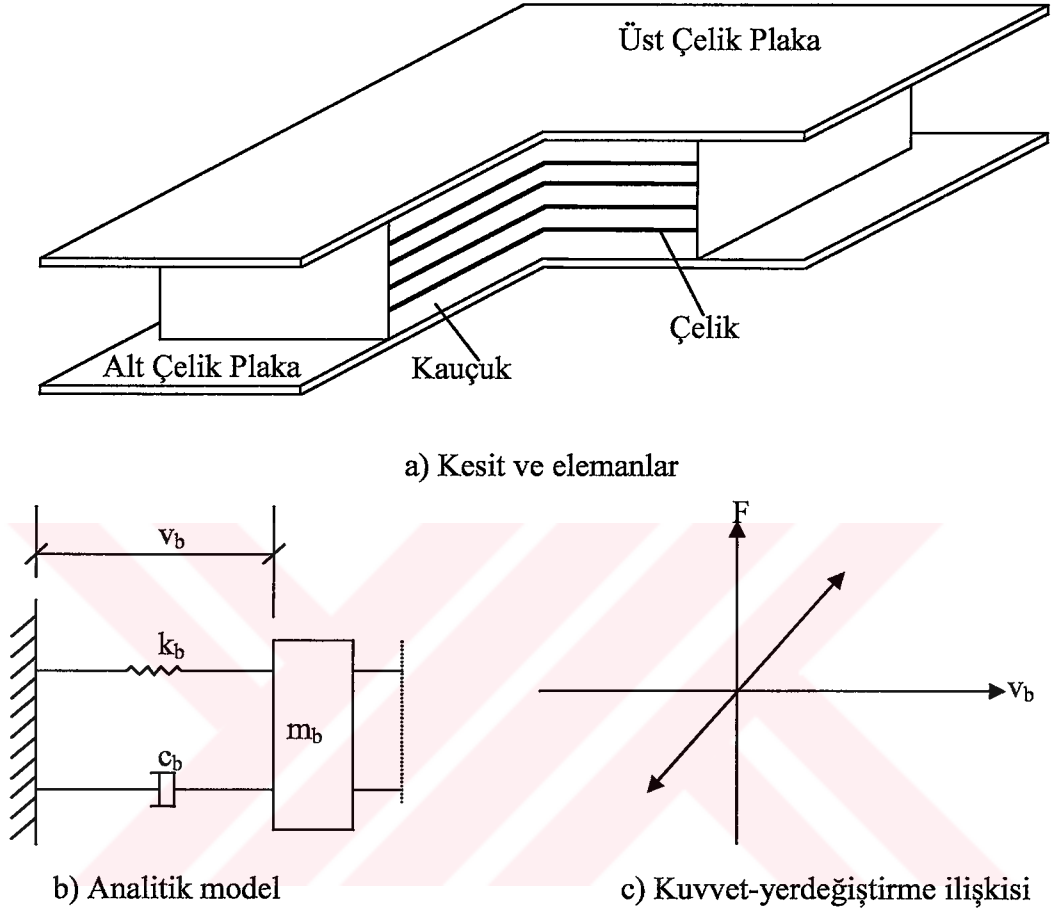
1.5. İzolasyon Sistemleri

Modern anlamda taban izolasyonlu yapılar, yapının temeli ve tabanı arasına yerleştirilen, yatay yönde esnek ve düşey yönde ise rijit olan taşıyıcılarla yapılabilmektedir. Bu taşıyıcılar, izolasyon aletleri veya izolatör sistemleri olarak bilinmektedir. Yapıların taban izolasyonunun gerçekleştirilmesi amacıyla önerilen izolasyon sistemleri aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

1.5.1. Tabakalı Kauçuk Mesnet Sistemi

Tabakalı kauçuk mesnet (TKM) sistemi, taban izolasyonunda en yaygın olarak kullanılanlardan biridir. Bu sistemin temel öğeleri tabakalar halinde kullanılmakta olan çelik ve kauçuk plakalardır. Ayrıca, sönümün ve rijitliğin paralel etkileri bu sistemin en önemli özelliğidir. TKM sistemi genellikle yatayda esneklik ve düşeyde rijitlik özelliği ile yüksek sönüm kapasitesi göstermektedir. Bu mesnet sistemi, doğal frekans ve sönüm sabiti ile tanımlanmaktadır. Ayrıca, sönüm sabiti mesnetin şekil değiştirmesine bağlıdır. Bu sonuç Tracis (1984) tarafından yapılan deneysel çalışmalardan elde edilmiştir. Tracis (1984) çalışmasında, mesnetin sönüm oranı mesnetin şekil değiştirmesine bağlı olduğunu belirtmiştir. Şekil değiştirme %2 iken sönüm oranı 0.18 ve şekildeğiştirme %50 iken sönüm oranı 0.10 olduğu deneysel olarak görülmüştür. Sonuç olarak, TKM sisteminin kullanılması halinde taban izolasyonlu yapının periyodu 2 saniye iken $\omega_b = \pi$ rad/s ve

$\xi_b = 0.10$ olarak tavsiye edilmiştir (Tracis, 1984). TKM sisteminin kesiti ve elemanları, analitik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 1.1’de verilmektedir.

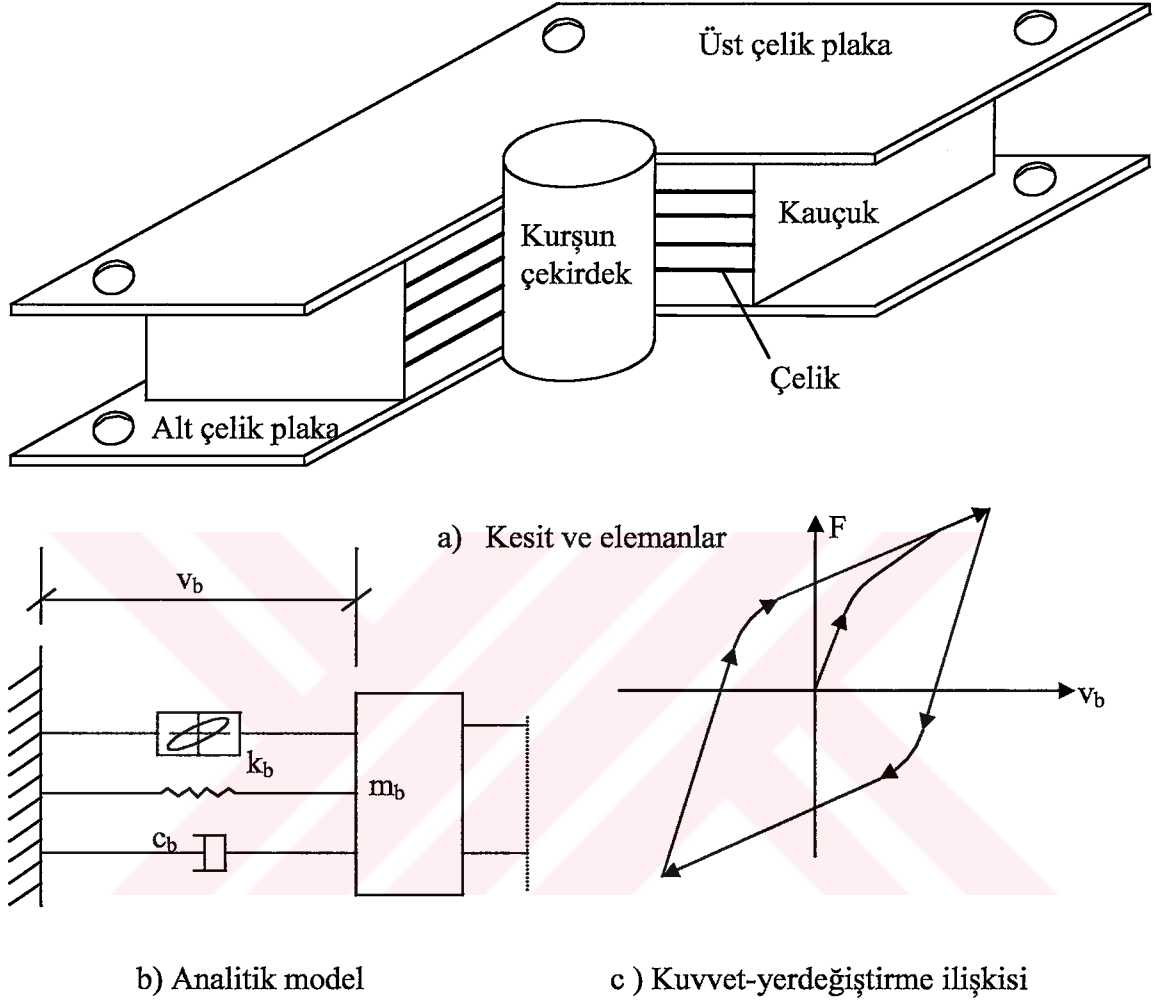


Şekil 1.1. Tabakalı kauçuk mesnet sistemi

1.5.2. Yeni Zelanda Mesnet Sistemi

Yeni Zelanda mesnet sistemi (YZM), TKM sisteminin benzeridir. Fakat, enerji dağılımı artırmak amacıyla kurşun bir çekirdek kullanılmıştır. Bu kurşun çekirdeğin enerji absorbe edebilme kapasitesi izolatörün yatay yerdeğiştirmesini azaltmaktadır. Bu sistem prensip olarak histeretik söndürücü aletler gibi davranmaktadır (Skinner vd., 1975a; Skinner vd., 1975b). Histeretik söndürücü aletin kuvvet-yerdeğiştirme özelliği gerçekçi olarak lineer olmayan diferansiyel denklemler kurularak tanımlanmaktadır (Constantinou ve Tadjbakhsh, 1985a). Bu mesnet sisteminin en önemli sakıncası; güçlü yer hareketinden sonra kurşun çekirdeğin zarar görüp görmediğinin dışarıdan tespit edilememesidir. YZM

sisteminin kesiti ve elemanları, analitik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 1.2'de gösterilmektedir.

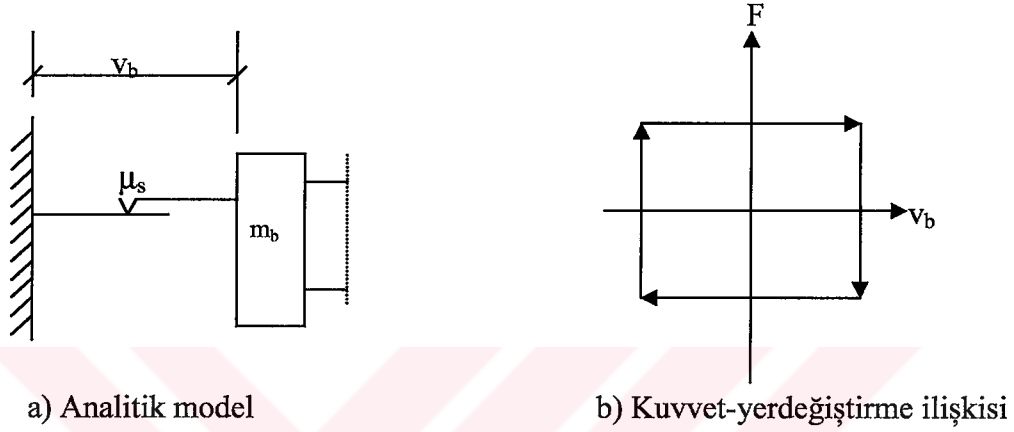


Şekil 1.2. Yeni Zelanda mesnet sistemi

1.5.3. Sürtünmeli Mesnet Sistemi

Sürtünmeli mesnet (SM) sistemi, prensipte bir sürtünmeli kayan mekanizmadır (Su vd., 1989a, 1990; Jangid, 1997). Yatay sürtünme kuvvetleri, enerjii yok eder ve harekete karşı koyar. Bina temelinde bir silindir veya bir kum tabakası kullanımı bu sisteme verilebilecek en basit örnektir. Çin'de az katlı yapıları depreme karşı korumak amacıyla geliştirilmiştir. Mostaghel ve Tanbakuchi (1983a, 1983b), Kelly ve Beucke (1983) sürtünmeli mesnet sistemin deprem ve sinüzoidal hareketler altındaki davranışlarını

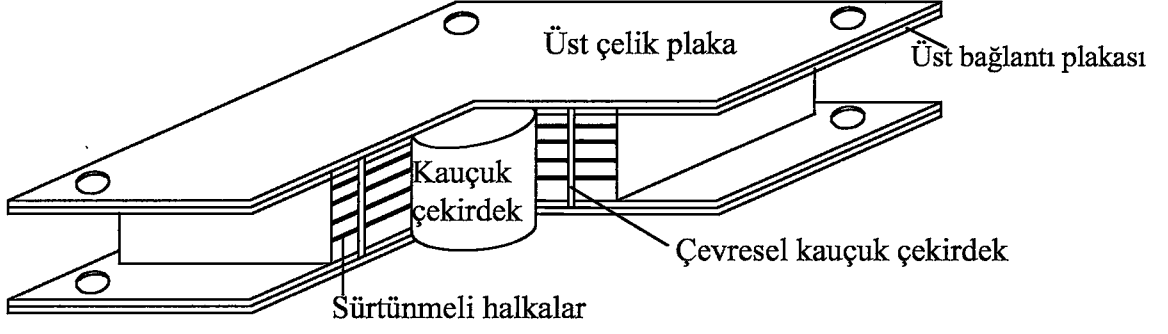
incelemişlerdir. Bu sürtünmeli izolasyon sistemi, geniş frekans dağılımı için etkili olabilmektedir. Sürtünme kuvveti temelde meydana gelirken kayan mesnetin rijitlik merkezi ve kütle merkezi yapının kütlesiyle orantılı olabilmektedir. Bunun sonucu olarak, simetrik olmayan yapılarda meydana gelen burulma etkileri azalmaktadır. SM sisteminin analitik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 1.3’de gösterilmektedir.



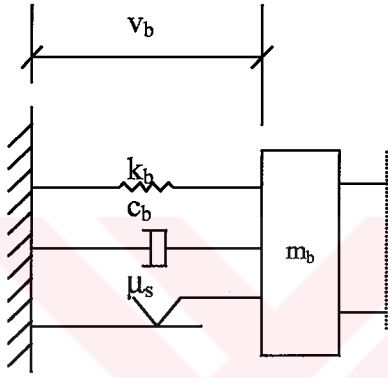
Şekil 1.3. Sürtünmeli mesnet sistemi

1.5.4. Elastik Sürtünmeli Mesnet Sistemi

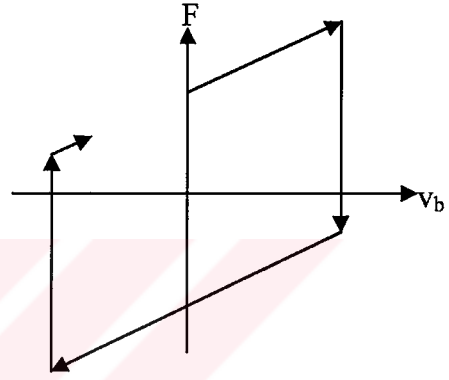
Elastik sürtünmeli mesnet (ESM) sistemi, son yıllarda Mostaghel ve Khodaverdian (1987, 1988) tarafından önerilmiştir. Bu mesnet sistemi, birbirleriyle sürtünmeli olarak temas eden teflon kaplamalı eşit merkezli daireler halindeki plakalardan ve merkezi bir kauçuk çekirdekten oluşmaktadır. Plakaların birleşimleri sürtünme özelliği nedeni ile sönümü artırmaktadır. Merkezi kauçuk çekirdek, mesnet yerdeğiştirmesi ve hızını mesnet yüksekliği boyunca dağıtılmasını sağlamaktadır. Ayrıca, sistem tepki kuvveti, sönüm ve sürtünme kuvvetinin davranışları birbirine paraleldir ve karakteristik özellikleri; doğal frekans (ω_b), sönüm sabiti (ξ_b) ve sürtünme katsayısı (μ_s)’dır. Bu parametreler için; Mostaghel ve Khodaverdian (1987, 1988) $\omega_b = \pi/2$ rad/s, $\xi_b = 0.10$ ve $0.03 \leq \mu_s \leq 0.05$ değerlerinin alınmasını tavsiye etmişlerdir. ESM sisteminin kesiti ve elemanları, analitik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 1.4’de gösterilmiştir



a) Kesit ve elemanlar



b) Analitik model

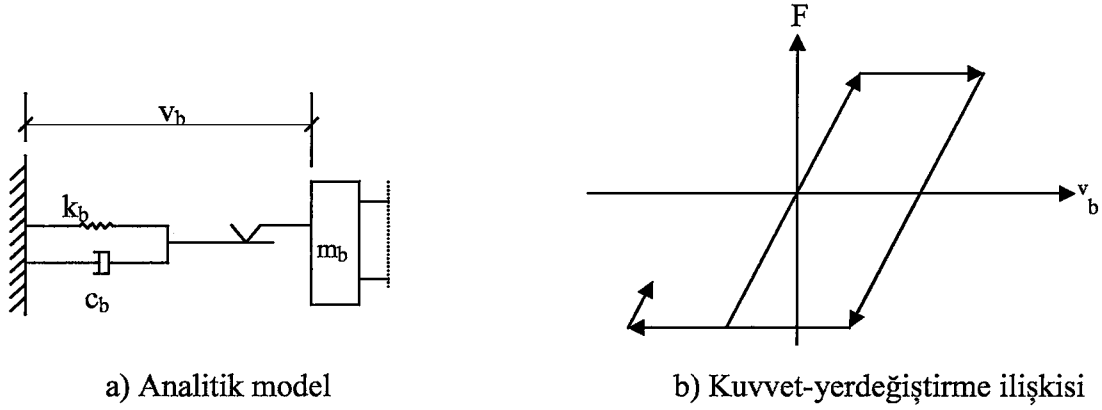


c) Kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi

Şekil 1.4. Elastik sürtünmeli mesnet sistemi

1.5.5. Fransız Elektrik Mesnet Sistemi

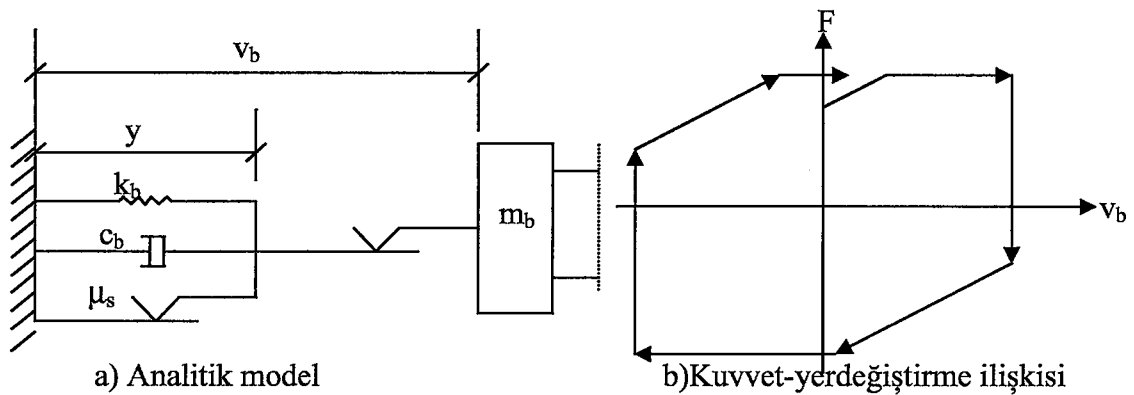
Önemli bir sürtünmeli taban izolasyon sistemi olan Fransız elektrik mesnet (FEM) sistemi, Fransız Elektrik Kurumu'nun desteği ile geliştirilmiş ve deprem bölgelerindeki nükleer güç santralleri için standartlaştırılmıştır. FEM sisteminin kesiti TKM sistemiyle aynıdır. İzolasyon sisteminin işlem ömrü boyunca sürtünme katsayısı 0.2 alınarak tasarlanmıştır. FEM sisteminin analitik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 1.5'de gösterilmektedir.



Şekil 1.5. Fransız elektrik mesnet sistemi

1.5.6. Kayıcı Elastik Sürtünlü Mesnet Sistemi

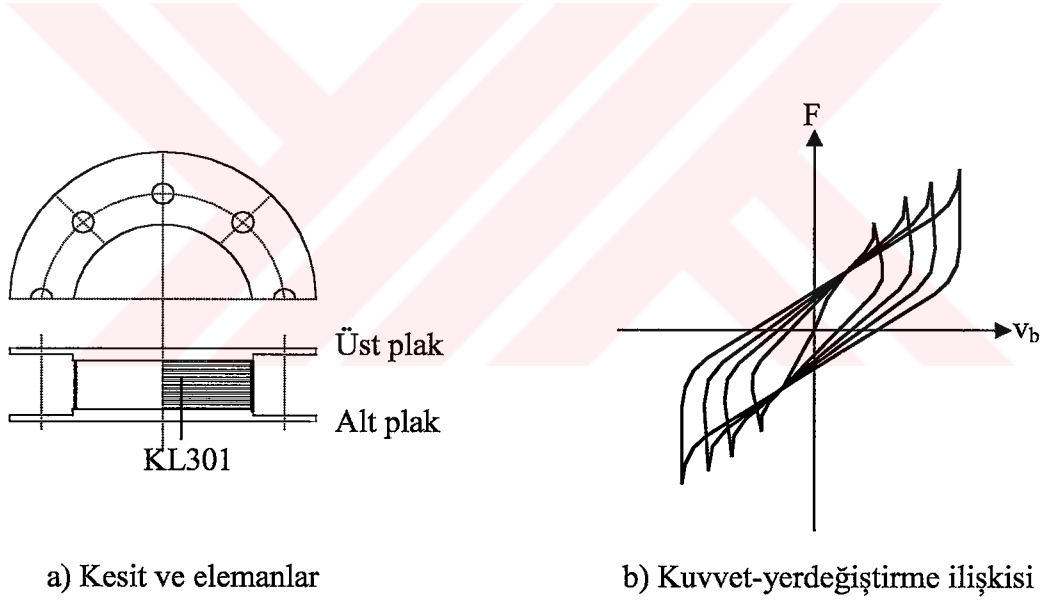
Kayıcı elastik sürtünlü mesnet (KESM) sistemi, Su vd. (1989b) tarafından önerilmiştir. Bu izolatör sistemi ESM ve FEM sistemlerinin özelliklerini içermektedir. ESM sisteminin üst yüzeyine sürtünlü bir tabaka yerleştirilmektedir. Bunun sonucunda FEM sisteminde olduğu gibi, yapı temelini üzerinde kayabilmektedir. Sismik hareketin en düşük olması durumu için sistem ESM gibi davranmaktadır. Yer ivmesinin yüksek olması durumunda ise üst sürtünlü plakada kayma meydana gelebilmektedir. Bu durumda, beklenmedik şiddetli yer hareketleri için ilave güvenlik sağlamaktadır. KESM sisteminin analitik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 1.6'da gösterilmektedir.



Şekil 1.6. Kayıcı elastik sürtünlü mesnet sistemi

1.5.7. Yüksek Sönümlü Kauçuk Mesnet Sistemi

Yüksek sönümlü kauçuk mesnet (YSKM) sistemi, doğal kauçuktan yapılmaktadır. KL301 adı verilen yüksek sönümlü elastik bir maddenin karışımından Japonya'da bulunan Bridgestone firması tarafından üretilmektedir (Jangid ve Data, 1995). KL301'in çok küçük şekil değiştirmelerde kesme modülü; 4300 kPa, %50 şekil değiştirmede 650 kPa, %100 şekil değiştirmede 430 kPa ve %150 şekil değiştirmede 340 kPa'dır. Mesnetler 2 mm kalınlığında olan 20 adet kauçuk tabakasından oluşmakta olup altta ve üstte 2 mm kalınlığında birer çelik levha bulunmaktadır. Eksenel hesap basıncı 3.23 MPa'dır. Bu mesnet modeli, üst yapıyla temel arasında kolay bir birleşim yapabilmek amacıyla yanlarında kulakçıklar yapılmıştır. Bu şekilde tasarlanan 15 tane YSKM sistemi Kelly (1992) tarafından test edilmiş ve uygun sonuçlar verdiği gözlenmiştir. YSKM sisteminin kesiti, elemanları ve kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 1.7'de görülmektedir.



Şekil 1.7. Yüksek sönümlü kauçuk mesnet sistemi

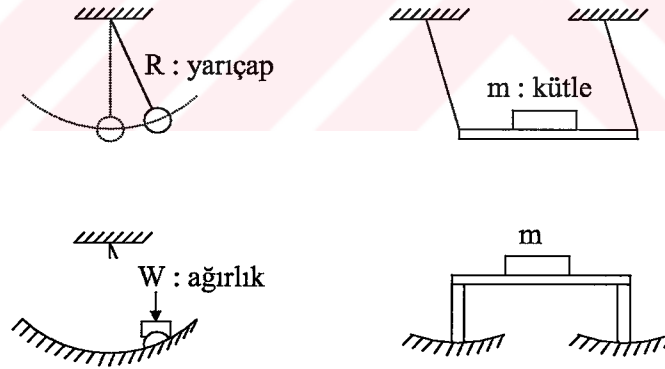
1.5.8. Sürtünlü Sarkaç Mesnet Sistemi

Yeni bir sismik izolasyon sistemi olan sürtünlü sarkaç mesnet (SSM) sistemi yukarıda tanımlanan sistemlere göre üretimi kolay ve dayanıklıdır. SSM sisteminde, arzu edilen sismik izolasyon sonuçlarının elde edilebilmesi için sarkacın taşıdığı ağırlıktan ve

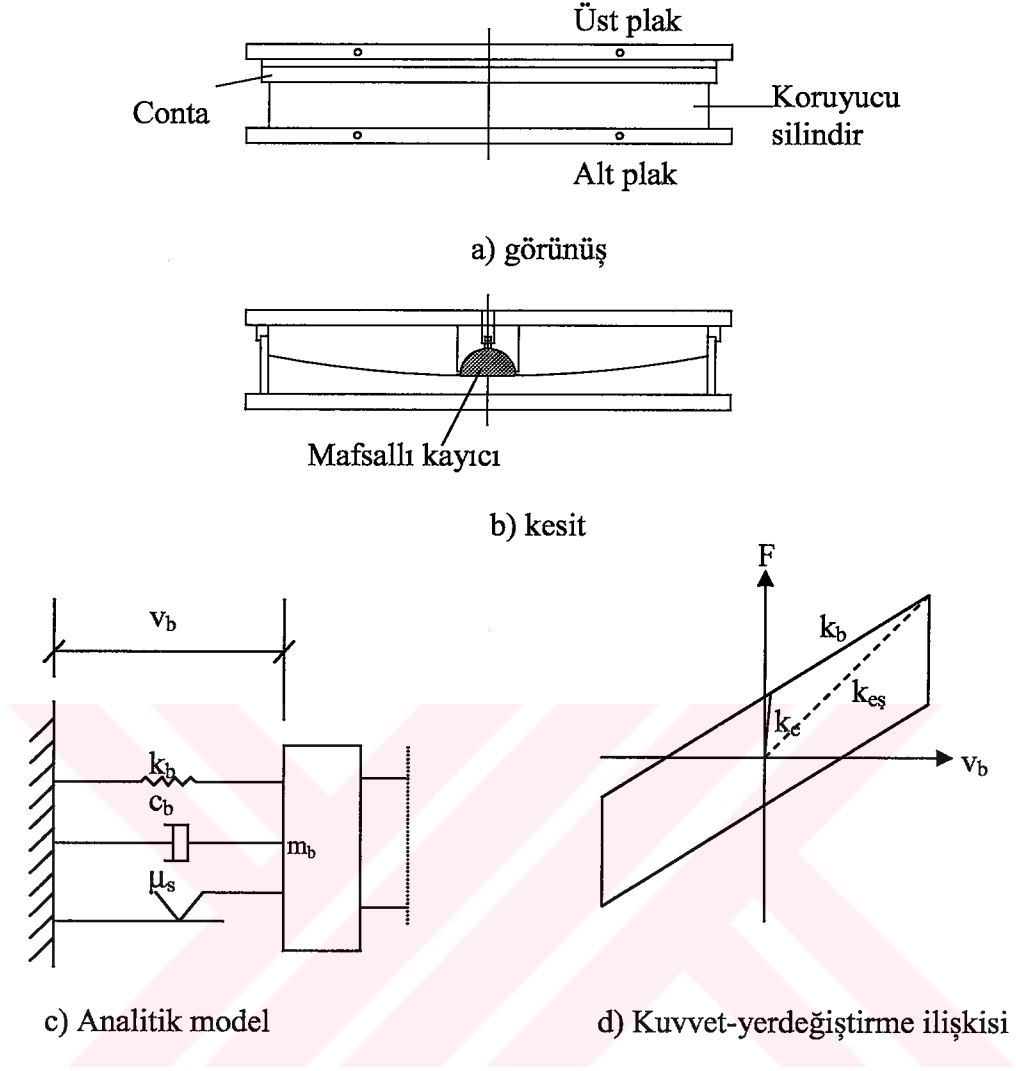
sarkacın geometrisinden yararlanılmaktadır. Çevresel etkilere karşı dayanıklı ve uzun ömürlüdür (Zayas vd., 1989, 1990).

SSM'de sarkaç hareketinin mühendislik prensiplerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Zira, bu sistemle mesnetlenen yapı, deprem hareketlerine karşı küçük genlikli sarkaç hareketi ile tepki vermektedir. Ayrıca, sistemin sürtünmeli olması özelliği deprem enerjisini yutmada fayda sağlamaktadır (Zayas vd., 1989, 1990).

SSM sisteminin prensipleri Zayas vd. (1989), Mokha vd. (1990a, 1990b, 1991) ve Constantinou vd. (1990a, 1990b) tarafından verilmiş olup bu prensipler bütün sürtünmeli küresel kayıcı mesnetler için de geçerlidir. SSM sisteminin en önemli parametreleri geometrisi ve taşıdığı ağırlıktır. Bu mesnet sistemi, kayıcı olup silindirik içbükey yüzey üzerinde kayabilen ve yüzeyi bir kauçuk mesnet malzemesi ile kaplanan mafsalı bir kayıcıdan oluşmaktadır. Bu mesnet malzemesi yüksek basınç mukavemetine sahiptir. Basit bir sarkaç hareketinden SSM sistemine dönüşüm, Şekil 1.8'de görülmektedir. Mesnetin küresel yüzeyi aşağı veya yukarıya yönelik olabilir. Bu her iki türde sistem aynı davranışı göstermektedir. SSM sisteminin görünüşü, kesiti, analitik modeli ve kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 1.9'da verilmiştir.



Şekil 1.8. Basit sarkaç hareketinin sürtünmeli sarkaç mesnet sistemine dönüşü



Şekil 1.9. Sürtünlü sarkaç mesnet sistemi

1.5.8.1. Sürtünlü Sarkaç Mesnet Sisteminin Parametreleri

SSM sisteminde meydana gelen yatay kuvvetler, enine ve boyuna doğrultularda düzlem hareketlere sahiptir. y ve z yatay eksenleri göstermek üzere, SSM sisteminde hareketi engelleyici kuvvetlerin doğrultusu hareketin doğrultusuna ters olmaktadır. Buna bağlı olarak kayma hızı;

$$\dot{v}_b = \sqrt{[(\dot{v}_b)_y]^2 + [(\dot{v}_b)_z]^2} \quad (1.49)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada, $(\dot{v}_b)_y$ ve $(\dot{v}_b)_z$ sırası ile sürtünmeli sarkaç mesnetinin y ve z doğrultularındaki kayma hızlarını göstermektedir. Sürtünme katsayısı ise;

$$\mu_s = f_{\max} - (f_{\max} - f_{\min})e^{(a|\dot{v}_b|)} \quad (1.50)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada, f_{\max} sürtünme katsayısının maksimum değerini, f_{\min} ise sürtünme katsayısının minimum değerini göstermektedir. a sürtünme katsayısının maksimum ile minimum değerleri arasındaki geçişi kontrol eden ve hıza bağlı olan bir katsayıdır (Mokha vd., 1991a, 1991b).

Sürtünmeli sarkaç mesnet sistemi olarak kullanılan izolatörler, yapının periyodunun değiştirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Öyle ki, SSM sisteminin doğal periyodu;

$$T_b = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \quad (1.51)$$

şeklinde ifade edilebilir (Zayas vd., 1989, 1990). Burada, R küresel yüzeyin eğrilik yarıçapını ve g yerçekimi ivmesini ifade etmektedir. (1.51) ifadesinden de görülebileceği gibi titreşim periyodu kütlede bağımsız, fakat küresel yüzeyin eğrilik yarı çapı ile doğru orantılıdır. Bundan dolayı, yapının periyodunun değiştirilmesi oldukça kolay olabilmektedir. Ayrıca, yapının ağırlığının değişmesi halinde ilk doğal periyodu değişmeyecektir. Bu periyot, hem sürtünmeli sarkaç mesnet üzerinde kayan bir kütle için periyodu hem de sürtünmeli sarkaç mesnet üzerinde mesnetlenen rijit bir yapının izolasyonlu periyodudur. SSM sisteminde, sürtünme kuvveti aşıldığında izolasyonlu periyot hakim olmaktadır. Kayma hareketi başladığında aktif olan sürtünme kuvveti, mesnet malzemesinin seçilmesiyle kontrol edilmektedir. Deprem kuvvetleri sürtünme kuvvetinden az olduğu sürece sürtünmeli sarkaç sistemleriyle mesnetlenen yapı, titreşimin izolasyonsuz periyodunda geleneksel yöntemlerle mesnetlenen bir yapı gibi tepki vermektedir. Sürtünme kuvvetleri aşıldığı zaman dinamik tepkiler SSM tarafından kontrol edilmektedir. Ayrıca, yapı, titreşimin izolasyonlu periyoduna karşılık gelen tepkiyi gösterecektir. Herhangi bir doğrultuda sürtünmeli sarkaç sistemin kuvvet-yerdeğiştirme arasındaki ilişkisi;

$$F = \frac{W}{R} v_b + \mu_s W \text{Sign}(\dot{v}_b) \quad (1.52)$$

şeklinde açıklanabilir. Burada μ_s , W , R , v_b ve \dot{v}_b sırası ile sarkaç yüzeyindeki sürtünmeyi, mesnedin taşıdığı toplam ağırlığı, sarkacın yarı çapını, sarkacın yerdeğiştirmesini ve sarkacın hızını ifade etmektedir. Sign ise, -1 ile +1 değerlerini alan işaret fonksiyonudur. SSM sisteminin kayma esnasındaki yatay rijitliği (Şekil 1.9.d);

$$k_b = \frac{W}{R} \quad (1.53)$$

şeklindedir. (1.53) denkleminde de görüldüğü gibi rijitlik taşınan ağırlık ile doğru orantılıdır. SSM sisteminin diğer bir özelliği ise, mesneti belli bir ölçüde kayıcı mesnet haline getirmesidir. Ayrıca, bu mesnetin eşdeğer rijitliği, $k_{eş}$ ise (Şekil 1.9.d);

$$k_{eş} = \frac{W}{R} + \frac{f_{\min} W}{(v_b)_{\max}} \quad (1.54)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir (Scheller ve Constantinou, 1999). Burada $(v_b)_{\max}$, SSM sistemine izin verilen maksimum yerdeğiştirmedir. Bu SSM sisteminin kaymaya başlamadan önceki rijitliği ise (Şekil 1.9.d);

$$k_e = \frac{f_{\min} W}{v_b} \quad (1.55)$$

ile hesaplanmaktadır. Burada v_b , sürtünmeli sarkaç mesnetinin yerdeğiştirmesidir. Sürtünmeli sarkaç mesnetinin doğal açısal frekansı;

$$\omega_b = \frac{2\pi}{T_b} = \sqrt{\frac{k_b g}{W}} \quad (1.56)$$

olarak ifade edilir. Sönüm oranı ise;

$$\zeta_b = \frac{c_b g}{2W} \quad (1.57)$$

şeklindedir. Burada c_b izolasyon sisteminin sönüm katsayısını göstermektedir.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Yer Hareketi Modeli

Bu çalışmada yapılan stokastik analizlerde, yer hareketi olarak 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Kocaeli depreminin Yarımca istasyonu ivme kaydı Kuzey-Güney bileşeninin ilk 35 s'lik kısmı ve 9 Şubat 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı ivme kaydı S16E bileşeninin 13.5 s'lik kısmı dikkate alınmıştır. Söz konusu deprem kayıtlarına ait ivme-zaman grafikleri Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de verilmektedir. Analizleri gerçekleştirilecek olan köprüye bu ivme kayıtları köprü boyuna doğrultusunda uygulanmıştır.

Stokastik analizde yapı sisteminin mesnetlerine etkiyen yer hareketi; tutarlılık fonksiyonu ile ℓ ve m mesnet noktaları arasındaki yer hareket ivmesinin çapraz güç spektral yoğunluk fonksiyonuna bağlı olarak;

$$S_{\ddot{v}_{g_\ell} \ddot{v}_{g_m}}(\omega) = \gamma_{\ell m}(\omega) \sqrt{S_{\ddot{v}_{g_\ell} \ddot{v}_{g_\ell}}(\omega) S_{\ddot{v}_{g_m} \ddot{v}_{g_m}}(\omega)} \quad (2.1)$$

şeklinde tanımlanmaktadır (Oliveira vd., 1991; Abrahamson vd 1991; Schneider vd 1992; Abrahamson, 1993; Heredia-Zavoni ve Vanmarcke, 1994). Burada, $\gamma_{\ell m}(\omega)$ tutarlılık fonksiyonunu göstermektedir. Zeminin homojen olması halinde;

$$S_{\ddot{v}_{g_\ell} \ddot{v}_{g_\ell}}(\omega) = S_{\ddot{v}_{g_m} \ddot{v}_{g_m}}(\omega) = S_{\ddot{v}_g}(\omega) \quad (2.2)$$

olmaktadır. Bu durumda (2.1) ifadesi;

$$S_{\ddot{v}_{g_\ell} \ddot{v}_{g_m}}(\omega) = \gamma_{\ell m}(\omega) S_{\ddot{v}_g}(\omega) \quad (2.3)$$

şekline dönüşebilir. Burada, $S_{\ddot{v}_{g_\ell} \ddot{v}_{g_m}}(\omega)$, ℓ ve m mesnet noktaları arasındaki yer hareket ivmelerine ait çapraz güç spektral yoğunluk fonksiyonunu ve $S_{\ddot{v}_g}(\omega)$ yer hareket

ivmesinin güç spektral yoğunluk fonksiyonunu göstermektedir. Bu çalışmada, Kanai ve Tajimi tarafından önerilen, Clough ve Penzien (1993) tarafından düzeltilerek elde edilen filtre edilmiş beyaz gürültü spektral yoğunluk fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu fonksiyon,

$$S_{\ddot{v}_g}(\omega) = S_o |H_f(\omega)|^2 |H_g(\omega)|^2 \quad (2.4)$$

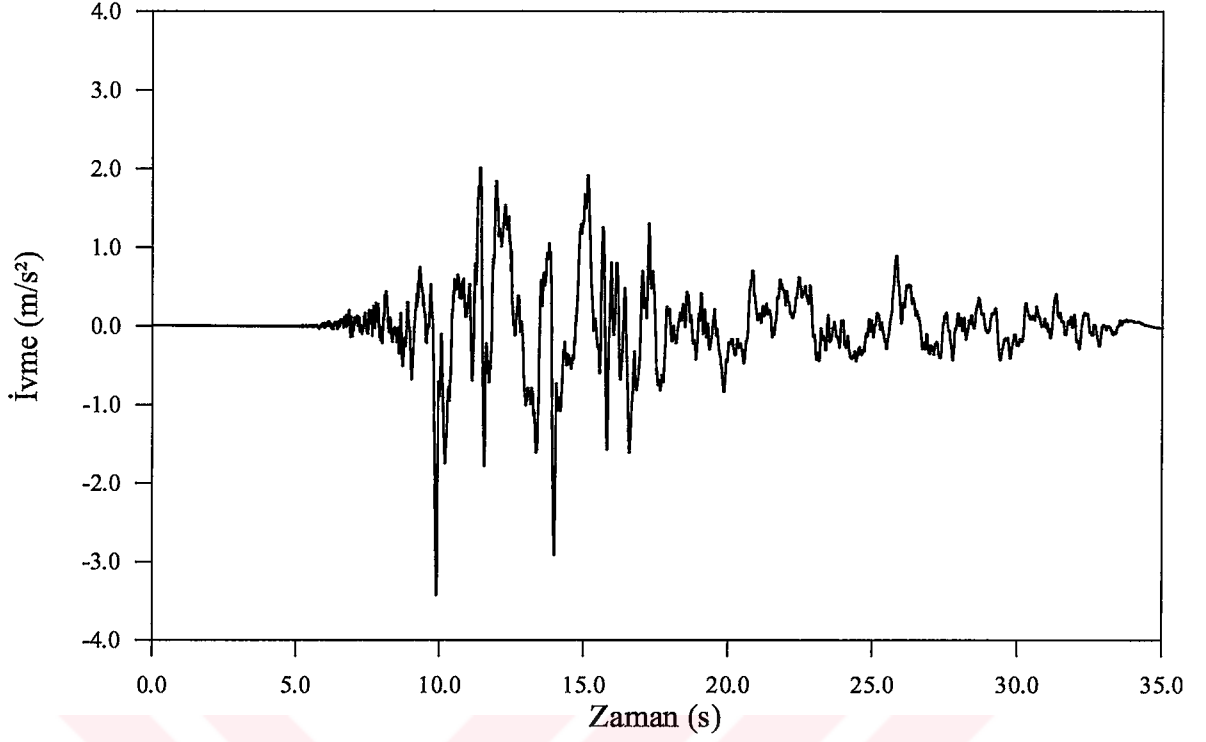
şeklinde ifade edilmektedir. Burada, S_o beyaz gürültü işleminin spektral yoğunluk fonksiyonu genlik değerini, $H_f(\omega)$ ve $H_g(\omega)$ zemine ait birinci ve ikinci filtre fonksiyonlarını göstermekte olup,

$$|H_f(\omega)|^2 = \frac{\omega_f^4 + 4\xi_f^2 \omega_f^2 \omega^2}{(\omega_f^2 - \omega^2)^2 + 4\xi_f^2 \omega_f^2 \omega^2} \quad (2.5)$$

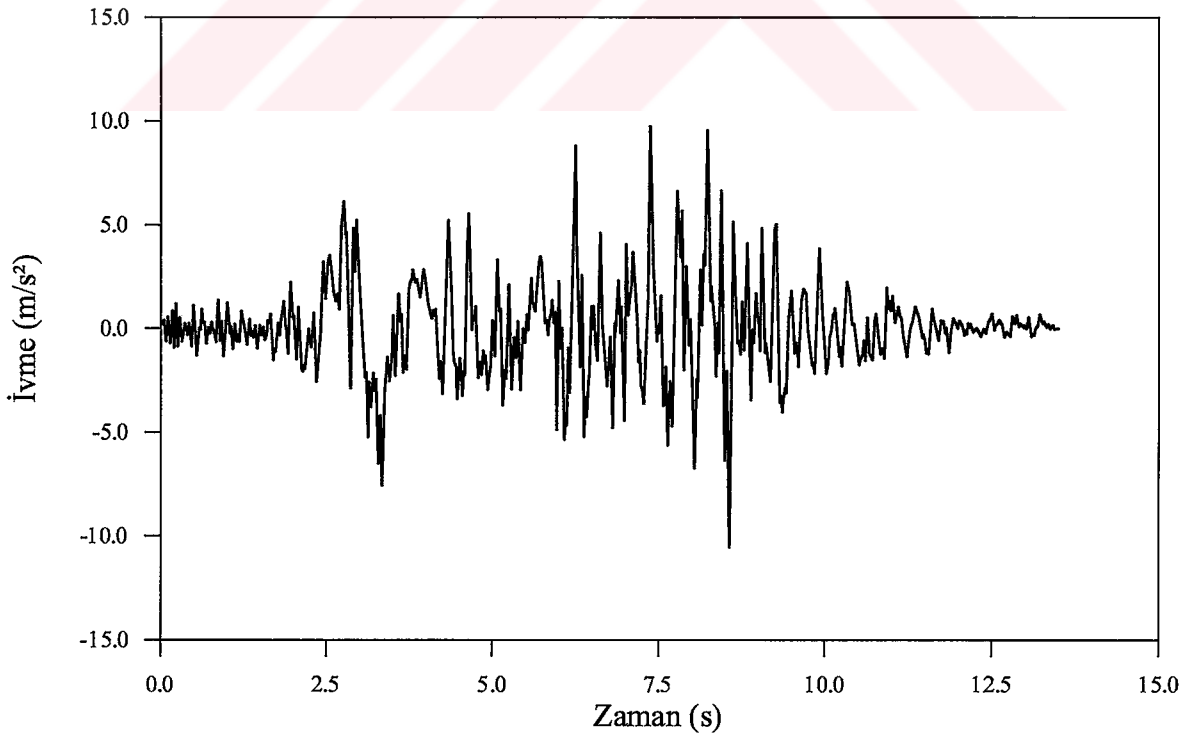
ve

$$|H_g(\omega)|^2 = \frac{\omega^4}{(\omega_g^2 - \omega^2)^2 + 4\xi_g^2 \omega_g^2 \omega^2} \quad (2.6)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır (Hindy ve Novak, 1980; Datta ve Mashaly, 1986; Der Kiureghian ve Neuenhofer, 1991; Alam ve Datta, 1999, 2000). Burada; ω_f , ξ_f ve ω_g , ξ_g sırasıyla birinci ve ikinci filtreye ait doğal frekansı ve sönüm oranını göstermektedir.



Şekil 2.1. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi Yarımca istasyonu Kuzey-Güney bileşeni ivme kaydı



Şekil 2.2. 9 Şubat 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı S16E bileşeni ivme kaydı

Der Kiureghian ve Neuenhofer (1991) tarafından sert, orta ve yumuşak zemin durumları için filtre parametreleri olarak Tablo 2.1’de verilen değerler önerilmektedir. Bu çalışmada zemin cinsi olarak sert, orta ve yumuşak zemin cinsleri seçilmiş olup Der Kiureghian ve Neuenhofer (1991) tarafından önerilen spektral yoğunluk fonksiyonu filtre parametreleri kullanılmaktadır.

Beyaz gürültü işleminin spektral yoğunluk fonksiyonu genlik değeri, S_o ,

$$S_o = \frac{\sigma_{\ddot{v}_g}^2}{\int_0^{\infty} |H_f(\omega)|^2 |H_g(\omega)|^2 d\omega} = \frac{\sigma_{\ddot{v}_g}^2}{\Phi} \quad (2.7)$$

denklemleri ile elde edilebilmektedir (Hindy ve Novak, 1980; Datta ve Mashaly, 1986; Der Kiureghian ve Neuenhofer, 1991; Alam ve Datta, 1999, 2000). Burada $\sigma_{\ddot{v}_g}^2$ yer hareket ivmesinin varyansını göstermektedir. (2.7) denkleminde verilen S_o değeri, her bir zemin cinsi için yer hareket ivmesinin spektral yoğunluk fonksiyonu, seçilen deprem kayıtlarının enerjisine ayrı ayrı eşitlenerek belirlenmektedir. 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Kocaeli depreminin Yarımca istasyonu Kuzey-Güney bileşeni ve 9 Şubat 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı S16E bileşenine ait güç spektral yoğunluk fonksiyonları Şekil 2.3 ve Şekil 2.4’te verilmektedir.

STOCAL-II (Wung ve Der Kiureghian, 1989) bilgisayar programı kullanılarak 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Kocaeli depreminin Yarımca istasyonu ivme kaydı Kuzey-Güney bileşenine ait varyans ifadesi $\sigma_{\ddot{v}_g}^2 = 0,076886 \text{ m}^2/\text{s}^4$ ve 9 Şubat 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı ivme kaydı S16E bileşenine ait varyans ifadesi $\sigma_{\ddot{v}_g}^2 = 1,0295 \text{ m}^2/\text{s}^4$ olarak elde edilmiştir.

Der Kiureghian ve Neuenhofer (1991) tarafından sert, orta ve yumuşak zeminler için Tablo 2.1’de verilen filtre parametreleri kullanılarak Φ değerleri bu üç farklı türdeki zemin için Tablo 2.2’deki gibi bulunmuştur.

(2.7) denklemleri kullanılarak 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Kocaeli depreminin Yarımca istasyonu ivme kaydı Kuzey-Güney bileşeni ve 9 Şubat 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı ivme kaydı S16E bileşeni varyans değerleri, farklı

zemin türleri için elde edilen Φ değerlerine bölünmek suretiyle beyaz gürültü işleminin spektral yoğunluk fonksiyonu genlik, S_0 , değerleri Tablo 2.3'deki gibi elde edilmiştir.

Clough ve Penzien (1993) tarafından önerilen yer hareketi modeli denklem (2.4) kullanılarak Kocaeli ve San Fernando depremleri için hesaplanmış çeşitli zemin türlerine ait ivme spektral yoğunluk fonksiyonları Şekil 2.5-2.6'da verilmektedir.

Yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonu ise ivme spektral yoğunluk fonksiyonuna bağlı olarak;

$$S_{v_g} = \frac{S_{\ddot{v}_g}}{\omega^4} \quad (2.8)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Zerva, 1992a). (2.8) ifadesi kullanılarak elde edilen Kocaeli ve San Fernando deprem kayıtlarının yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonları Şekil 2.7-2.8'de görülmektedir.

İvme kayıtlarına ait varyans değeri ivme spektral yoğunluk fonksiyonunun alanından, yerdeğiştirme varyans değeri ise yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonunun alanından hesaplanmaktadır. Her bir zemin cinsi için Şekil 2.5-2.6'da verilen ivme spektral yoğunluk fonksiyonlarının varyans değerleri birbirine eşit olup Kocaeli depremi Kuzey-Güney bileşeni için $0,076886 \text{ m}^2/\text{s}^4$, benzer şekilde; San Fernando depremi S16E bileşeni için $1,0295 \text{ m}^2/\text{s}^4$ olarak daha önce hesaplanmıştır. Şekil 2.7-2.8'den elde edilen yer hareketi yerdeğiştirme varyans değerleri ise her bir zemin cinsi için farklı olmaktadır. Bu durum; ivmelerin, yerdeğiştirme değerlerinin türevi olmasından kaynaklanmaktadır (Peebles, 1987).

Tablo 2.1. Çeşitli zemin türleri için spektral yoğunluk fonksiyonu filtre parametreleri

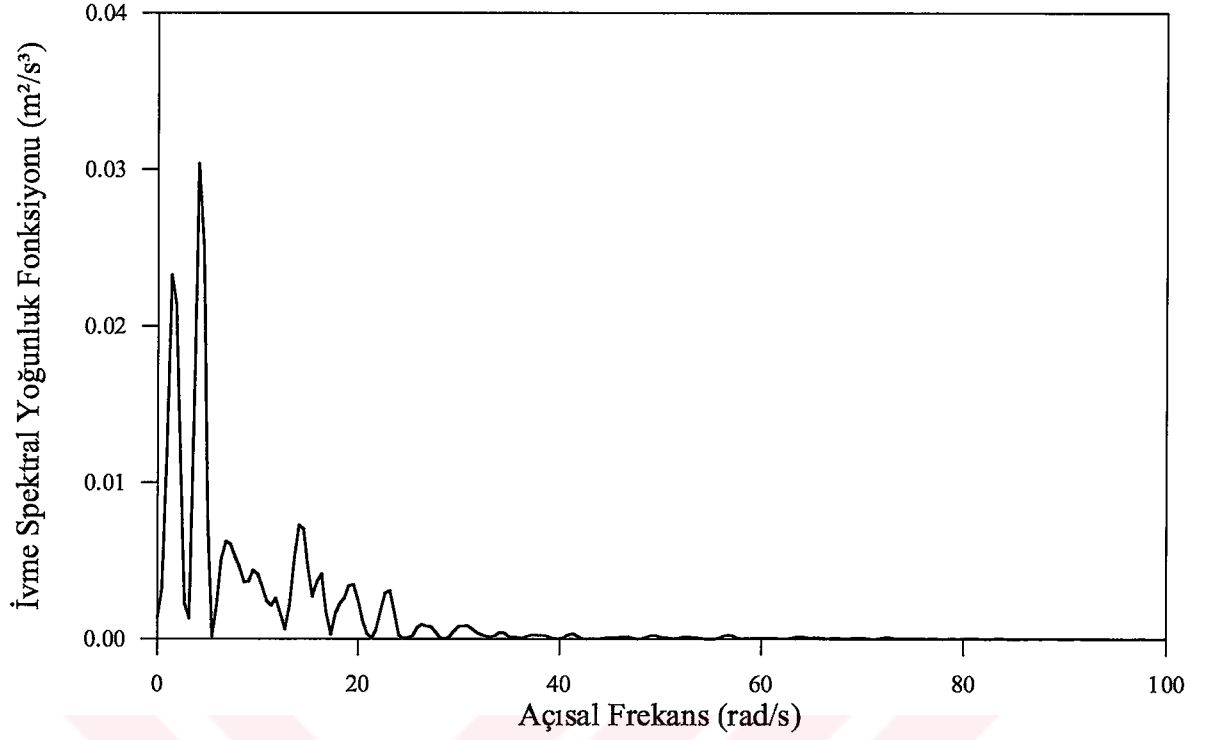
Zemin Cinsi	ω_f (rad/s)	ξ_f	ω_g (rad/s)	ξ_g
Sert	15,0	0,6	1,5	0,6
Orta	10,0	0,4	1,0	0,6
Yumuşak	5,0	0,2	0,5	0,6

Tablo 2.2. Çeşitli zemin türleri için hesaplanan Φ değerleri

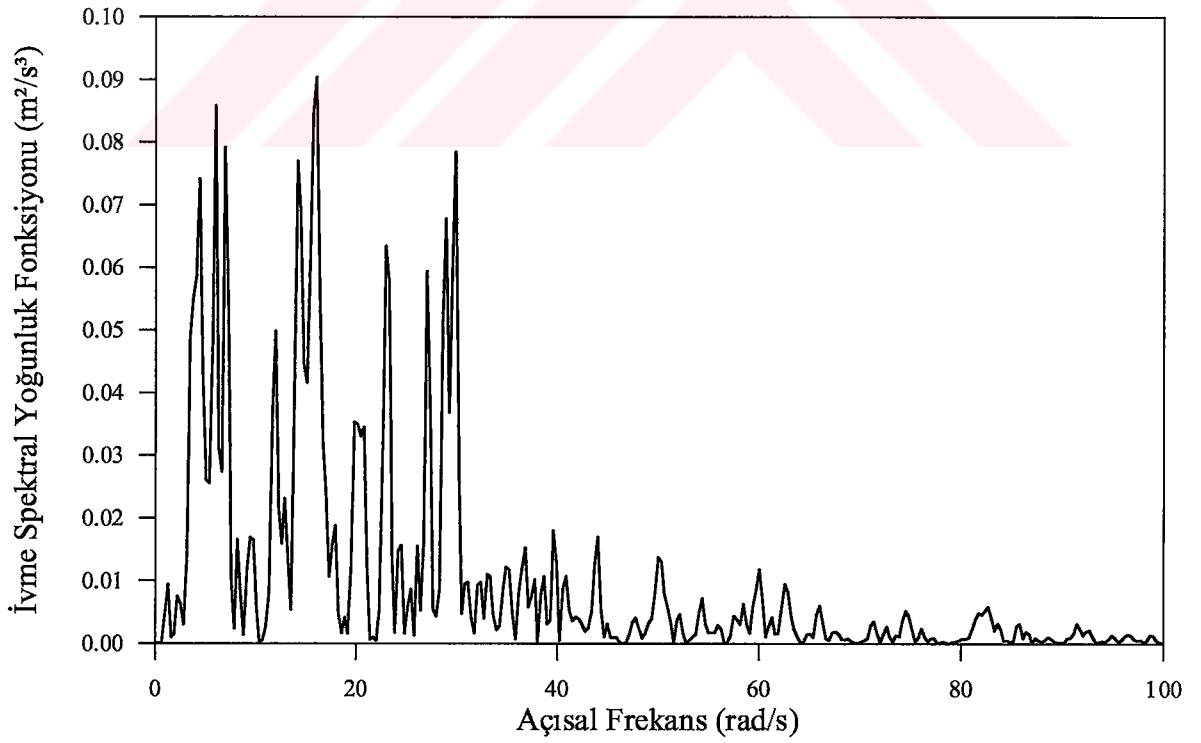
Zemin Cinsi	Φ (1/s)
Sert	47,109
Orta	31,703
Yumuşak	22,581

Tablo 2.3. Çeşitli zemin türleri için hesaplanan beyaz gürültü işleminin spektral yoğunluk fonksiyonu genlik, S_o , değerleri

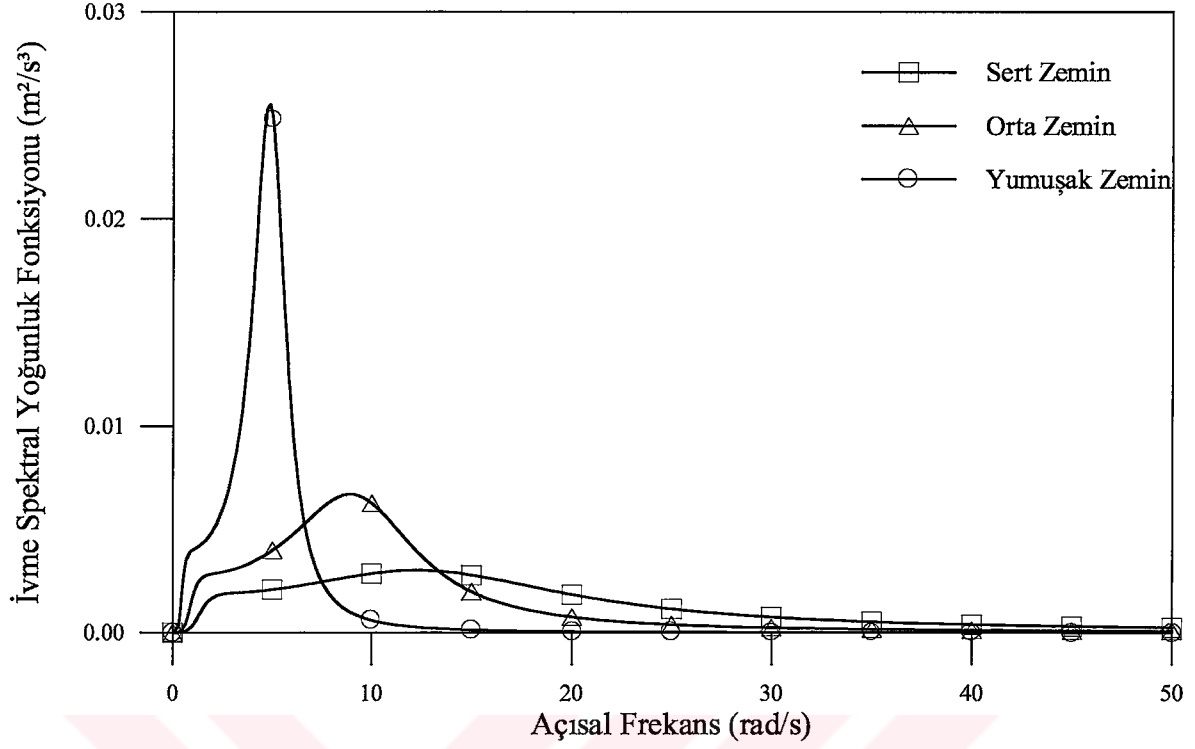
Zemin Cinsi	S_o (m^2/s^3)	
	Kocaeli Depremi	San Fernando Depremi
Sert	0,001632	0,021854
Orta	0,002425	0,032473
Yumuşak	0,003404	0,045591



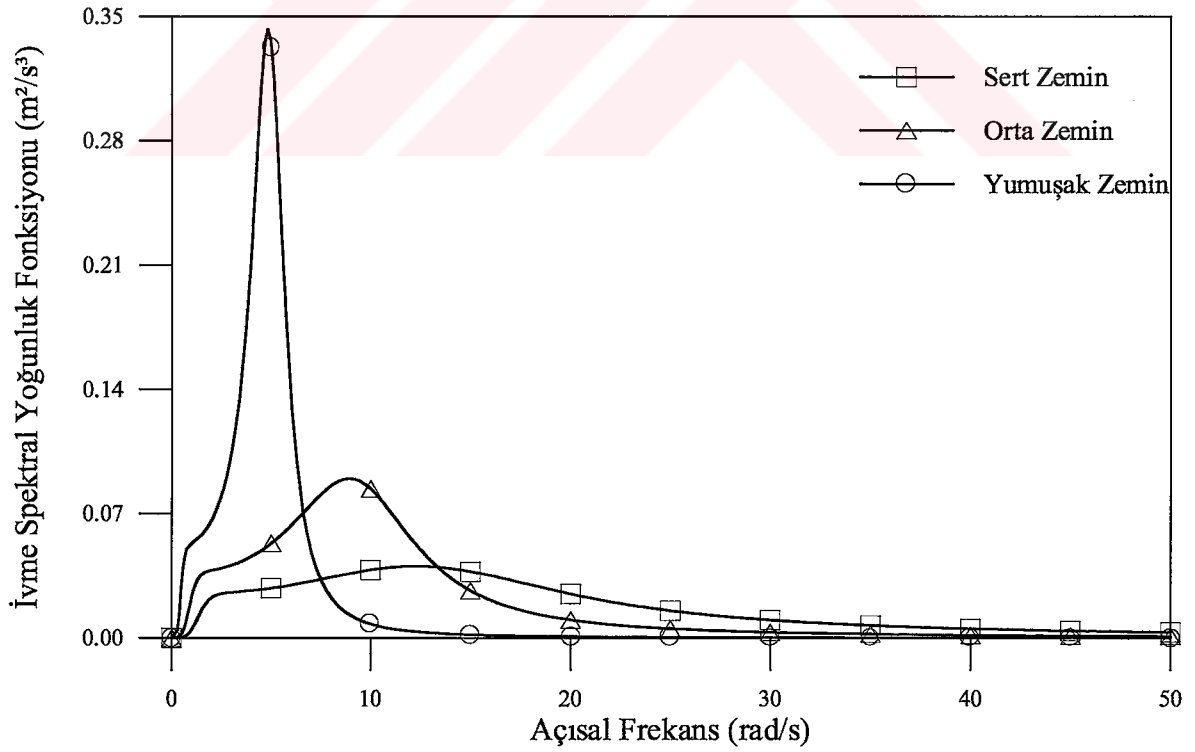
Şekil 2.3. 1999 Kocaeli depremi Yarımca istasyonu Kuzey-Güney bileşeni ivme kaydına ait ivme spektral yoğunluk fonksiyonu



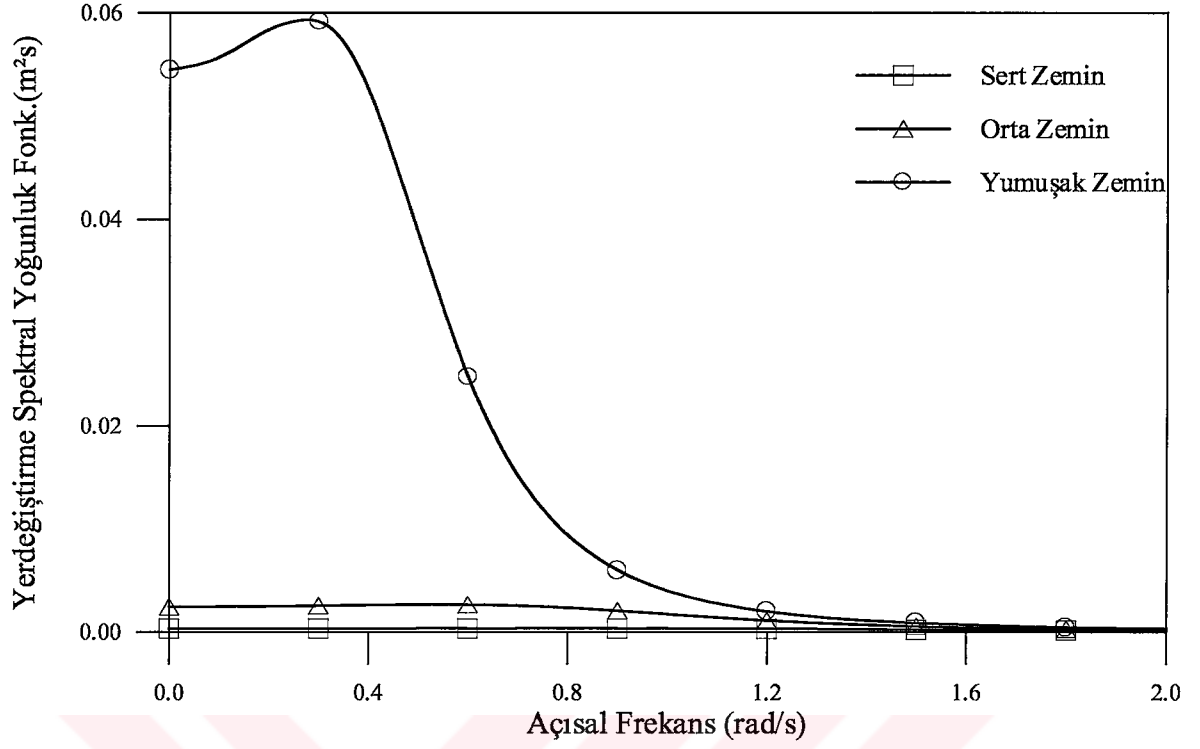
Şekil 2.4. 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı S16E bileşeni ivme kaydına ait ivme spektral yoğunluk fonksiyonu



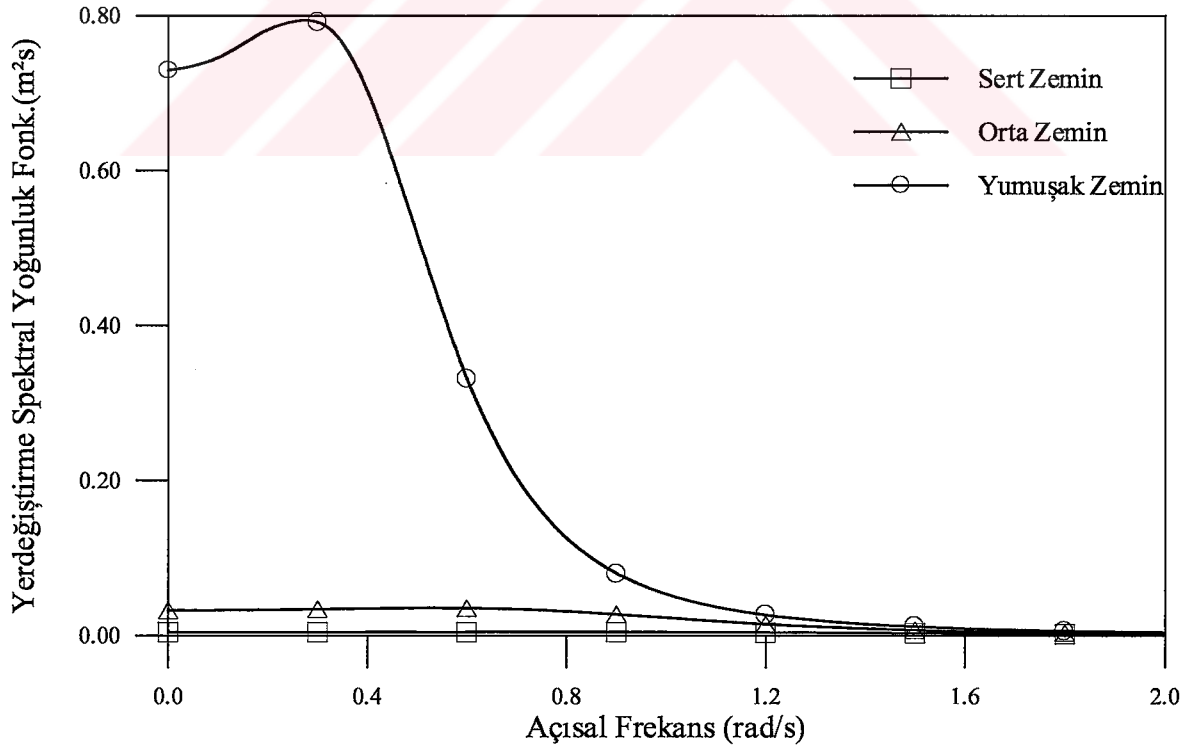
Şekil 2.5. 1999 Kocaeli depremi Yarımca istasyonu kuzey-güney bileşeni ivme kaydı için filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modeline ait ivme spektral yoğunluk fonksiyonu



Şekil 2.6. 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı S16E bileşeni ivme kaydı için filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modeline ait ivme spektral yoğunluk fonksiyonu



Şekil 2.7. 1999 Kocaeli depremi Yarımca istasyonu Kuzey-Güney bileşeni ivme kaydı için filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modeline ait yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonu



Şekil 2.8. 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı S16E bileşeni ivme kaydı için filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modeline ait yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonu

(2.1) denkleminde verilen tutarlılık fonksiyonu, $\gamma_{\ell m}(\omega)$, yer hareketinin değişimini frekans alanında tanımlamakta olup;

$$\gamma_{\ell m}(\omega) = |\gamma_{\ell m}(\omega)|^k \gamma_{\ell m}(\omega)^d \gamma_{\ell m}(\omega)^z = |\gamma_{\ell m}(\omega)|^k \exp \left[i \left(\theta_{\ell m}(\omega)^d + \theta_{\ell m}(\omega)^z \right) \right] \quad (2.9)$$

denklemini ile ifade edilmektedir (Der Kiureghian, 1996). Tutarlılık fonksiyonu boyutsuz ve kompleks bir ifade olup $0 \leq |\gamma_{\ell m}(\omega)| \leq 1$ aralığında değerler almakta ve $\ddot{v}_\ell(t)$ ve $\ddot{v}_m(t)$ işlemleri arasındaki istatistiksel bağımlılığı ifade etmektedir. $\gamma_{\ell m}(\omega) = 1$, iki işlem arasındaki lineer bağımlılığı, $\gamma_{\ell m}(\omega) = 0$ ise iki işlem arasındaki istatistiksel bağımsızlığı ifade etmektedir. (2.9) denkleminde $|\gamma_{\ell m}(\omega)|^k$ mesnetlere etkileyen yer hareketleri arasındaki tutarsızlık etkisini, $\gamma_{\ell m}(\omega)^d$ dalga yayılma etkisini ve $\gamma_{\ell m}(\omega)^z$ ise farklı mesnetlerdeki farklı zemin etkisini ifade etmektedir.

2.1.1. Tutarsızlık Etkisi

Tutarsızlık etkisi, deprem hareketinin düzgün olmayan faylar boyunca çok değişik kaymalar sonucunda meydana gelmesi ve ortaya çıkan yerdeğiştirme dalgalarının rasgele sayılabilecek sayısız yansıma ve kırılmadan geçmesi ile açıklanmaktadır. Bu çalışmada (2.9) denklemindeki mesnetlere etkileyen yer hareketleri arasındaki tutarsızlık etkisi, $|\gamma_{\ell m}(\omega)|^k$, literatürde kullanılmakta olan iki farklı tutarsızlık modeli dikkate alınmaktadır. Bunlardan birincisi;

- ❖ Tayvan'daki SMART-1 deprem kayıtlarının analizi ile Harichandran ve Vanmarcke (1986) tarafından belirlenen model,

$$|\gamma_{\ell m}(\omega)|^k = A \exp \left[-\frac{2d_{\ell m}}{\alpha\theta(\omega)} (1-A + \alpha A) \right] + (1-A) \exp \left[-\frac{2d_{\ell m}}{\theta(\omega)} (1-A + \alpha A) \right] \quad (2.10)$$

denklemini ile tanımlanmaktadır. Burada $d_{\ell m}$ mesnetler arasındaki mutlak yatay uzaklığı göstermektedir. Ayrıca $\theta(\omega)$ ise,

$$\theta(\omega) = k \left[1 + \left(\frac{\omega}{2\pi f_0} \right)^b \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2.11)$$

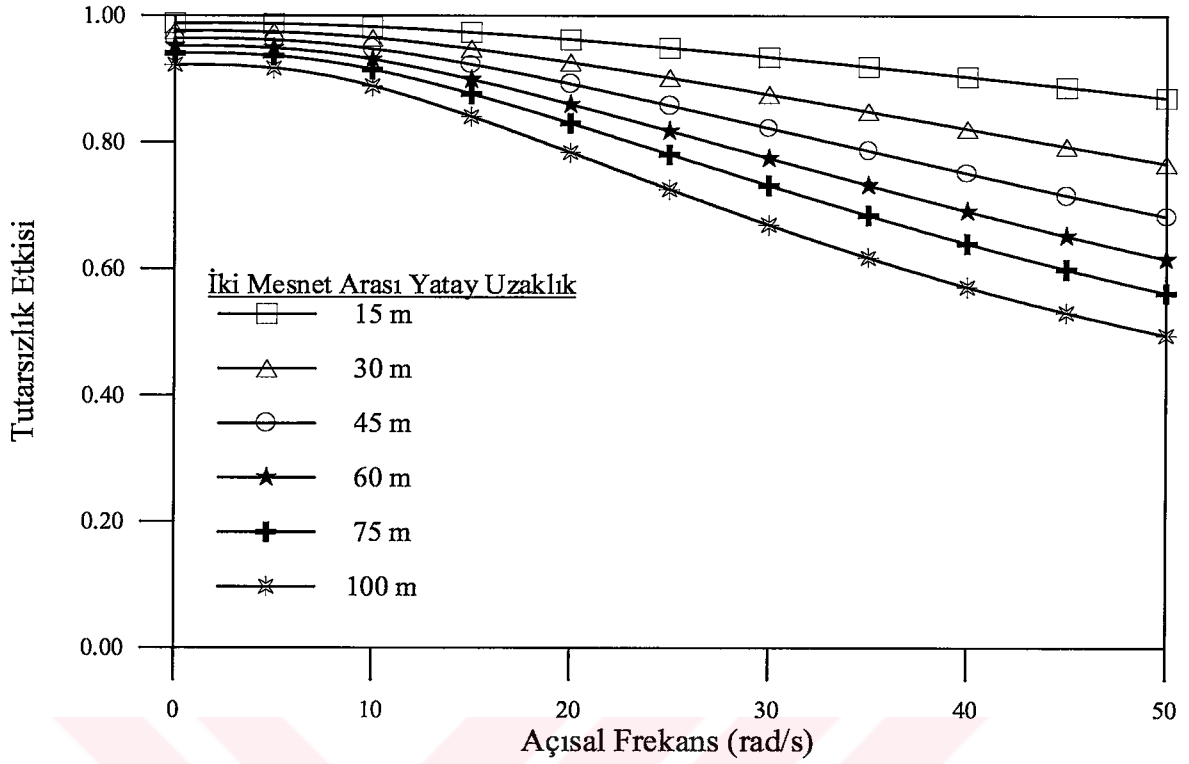
şeklinde açıklanmaktadır. (2.10) ve (2.11) denklemlerindeki A , α , k , f_0 ve b ampirik sabitlerdir. Bu sabitler, $A=0.636$, $\alpha=0.0186$, $k=31200$, $f_0=1.51$ Hz ve $b=2.95$ olarak Harichandran, Hawwari ve Sweidan (1996) tarafından önerilmektedir. Bu çalışmada da bu değerler kullanılmaktadır. İkinci model;

- ❖ Rasgele ortamda kayma dalgalarının yayılmalarını dikkate alarak belirlenen ve Uscinski (1977) tarafından geliştirilen model olup;

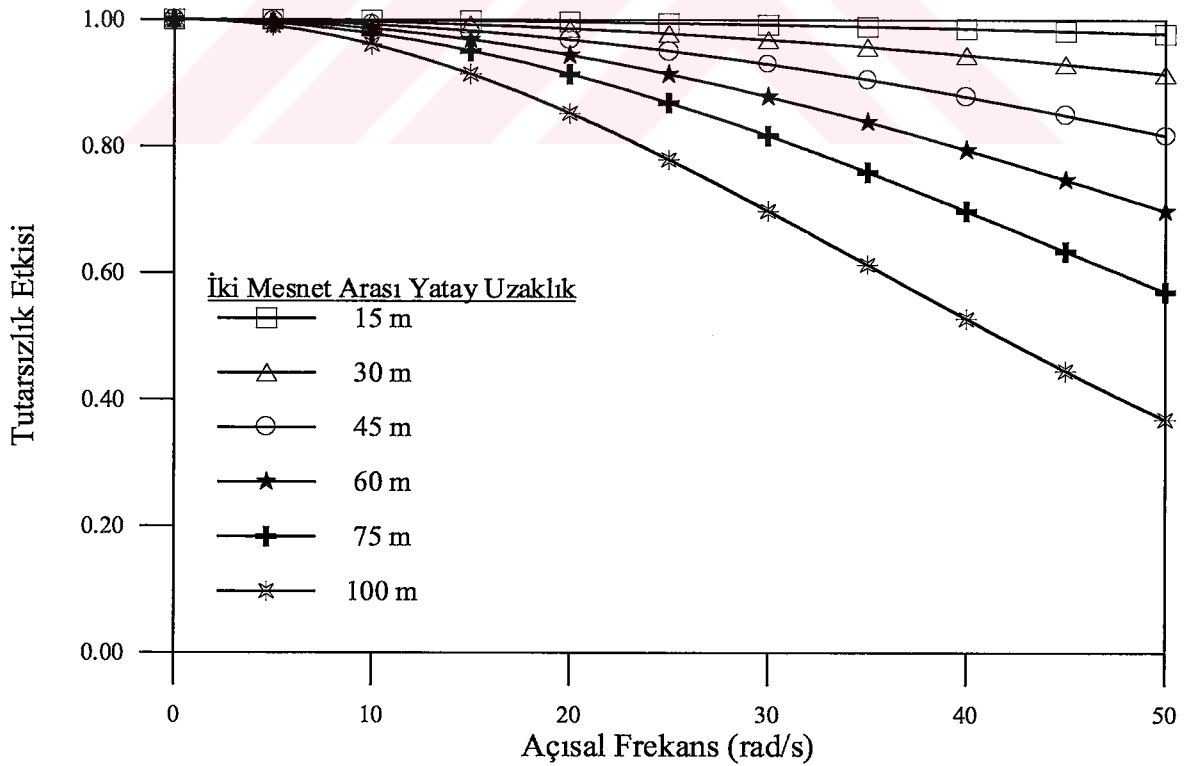
$$|\gamma_{\ell m}(\omega)|^k = \exp \left[- \left(\frac{\alpha d_{\ell m} \omega}{v_s} \right)^2 \right] \quad (2.12)$$

denklemindeki gibi ifade edilmektedir. Bu model ilk defa Luco ve Wong (1986) tarafından kullanıldığı için literatürde genellikle Luco ve Wong modeli olarak bilinmektedir. (2.12) denkleminde α boyutsuz bir parametreyi, v_s kayma dalgası hızını göstermektedir. Bu çalışmada $\frac{\alpha}{v_s} = 2 \times 10^{-4}$ s/m değeri kullanılmaktadır (Luco ve Wong, 1986; Luco ve Mita, 1987).

Şekil 2.9-Şekil 2.10'da yukarıda açıklanan iki tutarsızlık modeli için elde edilen tutarsızlık etkisinin frekansa bağlı olarak değişimi görülmektedir. Bu iki şekilden görüleceği gibi; Harichandran ve Vanmarcke (1986) tarafından önerilen tutarsızlık modelinde açısal frekansın sıfır değeri için dahi kısmi tutarsızlık söz konusu olmaktadır. Uscinski (1977) tutarsızlık modelinde ise, düşük açısal frekanslarda tam tutarsızlık gözlenmektedir. Ayrıca, tutarsızlık etkisi açısal frekansın ve mesafenin artması ile azalmaktadır. Üniorm yer hareketinde, tutarsızlık etkisi tüm açısal frekans ve mesafeler için $|\gamma_{\ell m}(\omega)|^k = 1$ olarak alınmaktadır.



Şekil 2.9. Harichandran ve Vanmarcke (1986) tutarsızlık modeli etkisinin açısal frekansa bağlı olarak değişimi



Şekil 2.10. Uscinski (1977) tutarsızlık modeli etkisinin açısal frekansa bağlı olarak değişimi

2.1.2. Dalga Yayılma Etkisi

(2.9) denkleminde yer hareketinin dalga yayılma etkisi;

$$\gamma_{\ell m}(\omega)^d = e^{i\theta_{\ell m}(\omega)^d} \quad (2.13)$$

ile ifade edilmektedir. Burada;

$$\theta_{\ell m}(\omega)^d = -\frac{\omega d_{\ell m}^L}{V_{\text{app}}} \quad (2.14)$$

olarak tanımlanmaktadır. Dalga yayılma etkisi, deprem hareketinin yapının bir mesnetten diğerine ulaşmaya kadar geçen zaman farkından doğmaktadır (Zerva, 1991; Zerva, 1999). (2.14) ifadesinde V_{app} görünen dalga yayılma hızını, $d_{\ell m}^L$ dalga yayılma doğrultusunda mesnetler arasındaki yatay izdüşüm uzaklığını göstermektedir. Bu çalışmada, zemin türüne göre yer hareketi dalga yayılma hızı için $V_{\text{app}} = 100, 200, 400, 700, 1000, 2000, 3000 \text{m/s}$ ve sonsuz değerler seçilmiştir. Sonsuz hız değeri; yer hareketinin köprünün bir mesnetinden diğer mesnetine ulaşmaya kadar geçen zamanın sıfır olmasına karşılık gelmektedir.

2.1.3. Yerel Zemin Etkisi

(2.9) denkleminde yerel zemin etkisi;

$$\gamma_{\ell m}(\omega)^z = e^{i\theta_{\ell m}(\omega)^z} \quad (2.15)$$

ile ifade edilmektedir. Burada;

$$\theta_{\ell m}(\omega)^z = \tan^{-1} \frac{\text{Im}[H_{\ell}(\omega)H_m(-\omega)]}{\text{Re}[H_{\ell}(\omega)H_m(-\omega)]} \quad (2.16)$$

ile tanımlanmaktadır. Zemin etkisi, farklı mesnet noktalarındaki yerel zemin şartlarının farklılığından kaynaklanmaktadır (Der Kiureghian, 1996; Der Kiureghian vd., 1997). $H_\ell(\omega)$ ve $H_m(-\omega)$ ℓ ve m mesnetlerindeki filtre davranış fonksiyonlarını, Im ve Re sırasıyla fonksiyonun sanal ve reel kısımlarını göstermektedir. ℓ mesnetindeki zemin filtre fonksiyonu için;

$$H_\ell(\omega) = \frac{\omega_\ell^2 + 2i\xi_\ell\omega_\ell\omega}{\omega_\ell^2 - \omega^2 + 2i\xi_\ell\omega_\ell\omega} \quad (2.17)$$

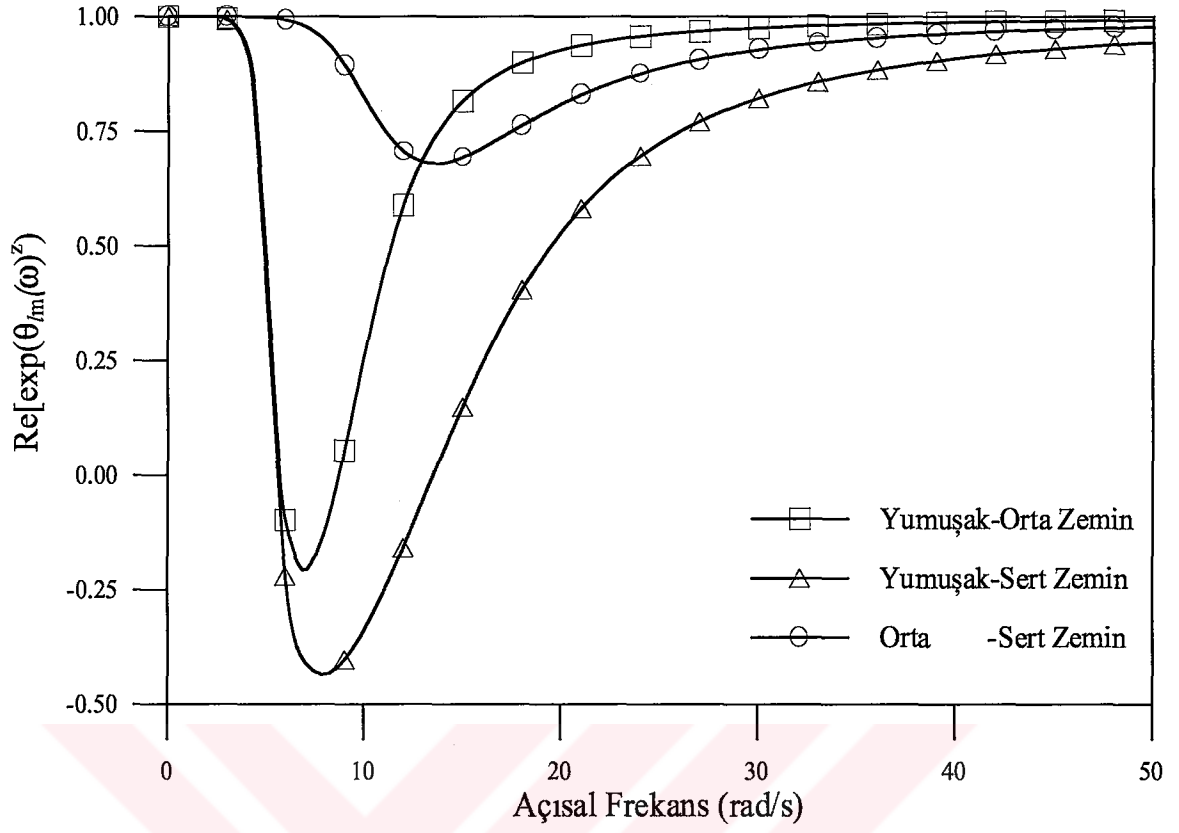
bağıntısı kullanılmaktadır. Burada ω_ℓ ve ξ_ℓ , ℓ mesnetindeki filtreye ait doğal frekansı ve sönüm oranını ifade etmektedir.

ℓ ve m mesnet noktalarındaki zemin cinsleri olarak yumuşak-orta, yumuşak-sert ve orta-sert zemin seçilmiştir. (2.16) denkleminde verilen zemin etkisinin reel kısmının açısal frekansa bağlı olarak değişimi Tablo 2.4 ve Şekil 2.11'de sunulmaktadır. Zemine ait parametre değerleri için Tablo 2.1'de verilen ω_f ve ξ_f değerleri kullanılmıştır. Yumuşak-sert zemin cinsi durumunda zemin etkisi en etkili olurken, orta-sert zemin cinsi durumunda zemin etkisinin en az olduğu gözlenmektedir. Yani zemin özellikleri arasındaki farklılık arttıkça zemin etkisi daha önemli olmaktadır. Ayrıca, farklı mesnetlerde zemin cinslerinin aynı olması durumunda zemin etkisi bire eşit olacaktır ($\gamma_{\ell m}(\omega)^z = 1$).

Köprüler gibi uzun açıklıklı yapı sistemlerine ait açısal frekansların 5-15 rad/s arasında önemli modlara sahip olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla, köprü tipindeki mühendislik yapılarının dinamik analizlerinde göz önüne alınan yer hareketi modelleri zemin etkilerini içermelidir.

Tablo 2.4. Zemin etkisinin açısıl frekansa bağılı olarak değişimi

Açısıl Frekans (rad/s)	Re[exp(iθ _{ℓm} (ω) ^z)]		
	ℓ=yumuşak, m=orta	ℓ=yumuşak, m=sert	ℓ=orta, m=sert
0	1.0000000	1.0000000	1.0000000
1	0.9999969	0.9999956	0.9999999
2	0.9997339	0.9996424	0.9999933
3	0.9949133	0.9935327	0.9999170
4	0.9349552	0.9230435	0.9994811
5	0.4705882	0.4103647	0.9977494
6	-0.0982872	-0.2209624	0.9922779
7	-0.2090747	-0.4090368	0.9778702
8	-0.1227623	-0.4365510	0.9464664
9	0.0529662	-0.4037792	0.8921856
10	0.2576627	-0.3395000	0.8213700
11	0.4435287	-0.2555032	0.7531887
12	0.5881532	-0.1590809	0.7048867
13	0.6921123	-0.0562377	0.6817248
14	0.7649274	0.0477089	0.6798769
15	0.8161367	0.1483404	0.6925318
16	0.8528004	0.2424381	0.7134085
17	0.8796543	0.3280712	0.7378790
18	0.8997880	0.4044436	0.7629623
19	0.9152200	0.4716005	0.7869484
20	0.9272887	0.5301180	0.8089902
21	0.9368988	0.5808452	0.8287730
22	0.9446751	0.6247246	0.8462850
23	0.9510577	0.6626821	0.8616692
24	0.9563633	0.6955690	0.8751362
25	0.9608236	0.7241379	0.8869140
26	0.9646114	0.7490386	0.8972234
27	0.9678571	0.7708234	0.9062651
28	0.9706613	0.7899579	0.9142167
29	0.9731018	0.8068327	0.9212317
30	0.9752399	0.8217753	0.9274415
31	0.9771248	0.8350595	0.9329579
32	0.9787954	0.8469151	0.9378759
33	0.9802838	0.8575355	0.9422757
34	0.9816161	0.8670835	0.9462255
35	0.9828136	0.8756968	0.9497831
36	0.9838945	0.8834922	0.9529979
37	0.9848736	0.8905696	0.9559118
38	0.9857636	0.8970139	0.9585606
39	0.9865752	0.9028985	0.9609756
40	0.9873175	0.9082862	0.9631831
41	0.9879984	0.9132314	0.9652063
42	0.9886245	0.9177815	0.9670649
43	0.9892017	0.9219776	0.9687765
44	0.9897350	0.9258557	0.9703560
45	0.9902289	0.9294473	0.9718170
46	0.9906871	0.9327801	0.9731708
47	0.9911132	0.9358786	0.9744279
48	0.9915102	0.9387644	0.9755973
49	0.9918805	0.9414567	0.9766869
50	0.9922267	0.9439724	0.9777039

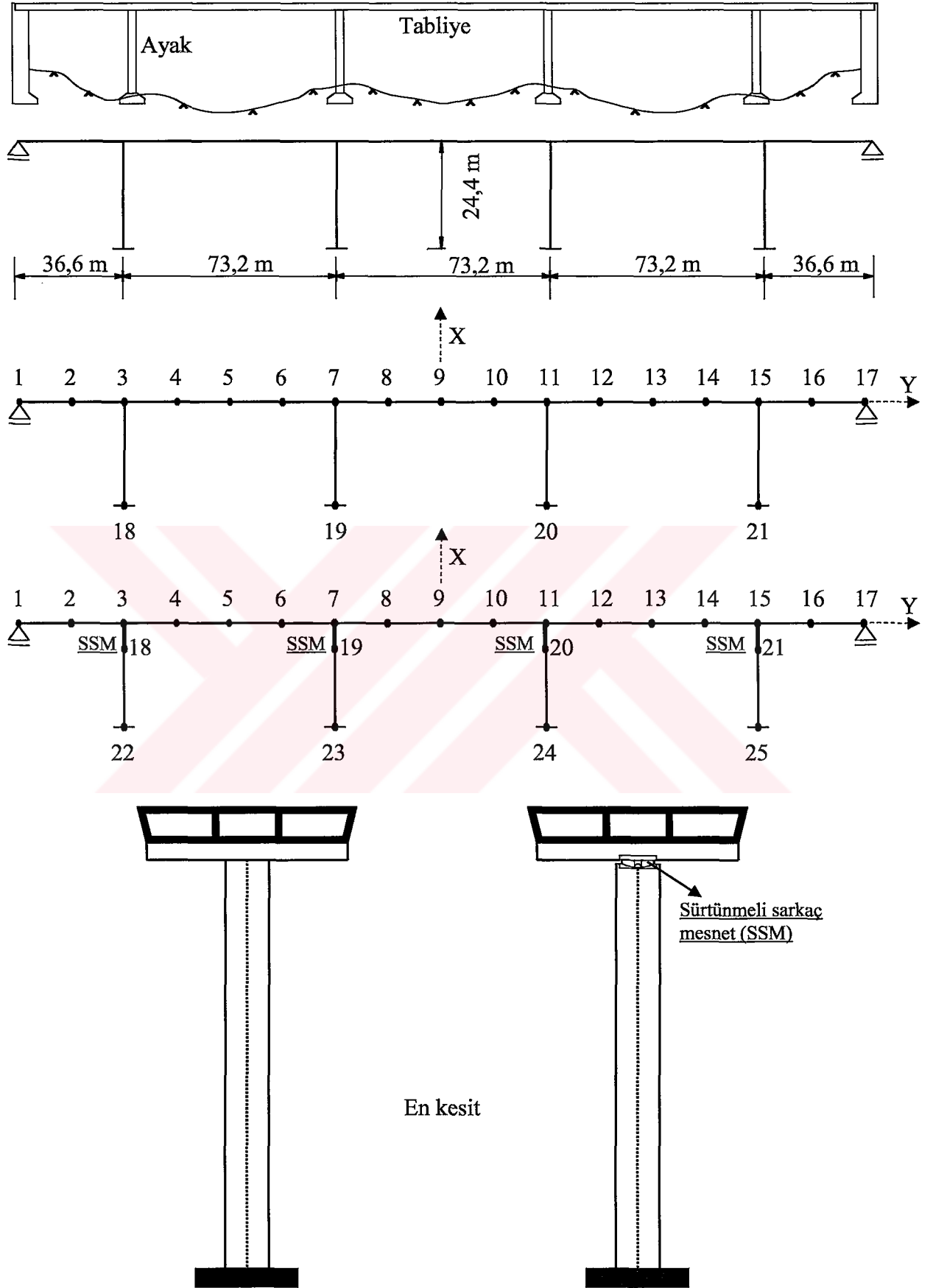


Şekil 2.11. Zemin etkisinin açısal frekansa bağlı olarak değişimi

2.2. Karayolu Köprüsünün Analitik Modeli

Bu çalışmada uygulama olarak, Der Kiureghian, Keshishian ve Hokabian (1997) tarafından daha önce kullanılmış olan bir karayolu köprü modeli seçilmiştir. Köprü; beş açıklıktan oluşmakta olup, toplam uzunluğu 292,8 metredir. Kenar açıklıklar; 36,6 metre, orta açıklıklar ise 73,2 metredir. Köprü ayakları; 24,4 metre yüksekliğinde ve çapı 2,5 metre olan dairesel kesitlidir. Köprü tabliyesi ise, kutu kesitlidir. Bu karayolu köprüsünün izolasyonsuz olması durumunda iki boyutlu modeli 21 düğüm noktası ve 20 kiriş elemandan; izolasyonlu olması durumunda ise, iki boyutlu modeli 25 düğüm noktasından, 20 kiriş elemandan ve 4 sürtünmeli sarkaç mesnet elemanından oluşmaktadır (Şekil 2.12).

Seçilen iki boyutlu analitik model, izolasyonsuz durumda 53 ve izolasyonlu durumda 65 serbestlik derecesi ile temsil edilmiştir. Düğüm noktaları, iki öteleme ve bir dönme serbestlik derecelerini içermektedir. Köprü elemanlarına ait kesit ve malzeme özellikleri Tablo 2.5'te verilmektedir. Ayrıca, köprü düğüm noktalarında hesaplanan kütleler ise Tablo 2.6'da verilmektedir.



Şekil 2.12. Analizlerde kullanılan karayolu köprüsünün iki boyutlu analitik modeli

Tablo 2.5. Karayolu köprüsü elemanlarına ait kesit ve malzeme özellikleri

Eleman	Değişken	Değer
Tabliye	Elastisite Modülü (E)	32.000.000 kN/m ²
	Kesit alanı (A)	6,9000 m ²
	Düşey eğilmedeki atalet momenti (I ₃₃)	4,2459 m ⁴
	Yanal eğilmedeki atalet momenti (I ₂₂)	79,1824 m ⁴
	Burulma atalet momenti (I ₁₁)	14,1824 m ⁴
	Poisson oranı (ν)	0,25
	Birim ağırlığı (γ _c)	25 kN/m ³
	Birim boyunun ağırlığı (W _c)	165,60 kN/m
	Birim boyunun kütlesi (m)	16880,7 kg
Ayaklar	Elastisite Modülü (E)	32.000.000 kN/m ²
	Kesit alanı (A)	4,9087 m ²
	Düşey eğilmedeki atalet momenti (I ₃₃)	1,9175 m ⁴
	Yanal eğilmedeki atalet momenti (I ₂₂)	1,9175 m ⁴
	Burulma atalet momenti (I ₁₁)	3,835 m ⁴
	Poisson oranı (ν)	0,25
	Birim ağırlığı (γ _c)	25 kN/m ³
	Birim boyunun ağırlığı (W)	122,75 kN/m
	Birim boyunun kütlesi (m)	12512,7 kg

Tablo 2.6. Karayolu köprüsü düğüm noktalarındaki kütleler

Düğüm Noktası Numarası	Düşey doğrultuda	Yatay doğrultuda
1	-	154460 kg
2-16	308920 kg	308920 kg
17	-	154460 kg

2.3. Sürtünmeli Sarkaç Mesnetin Tasarımı

2.3.1. Sürtünme Katsayısı

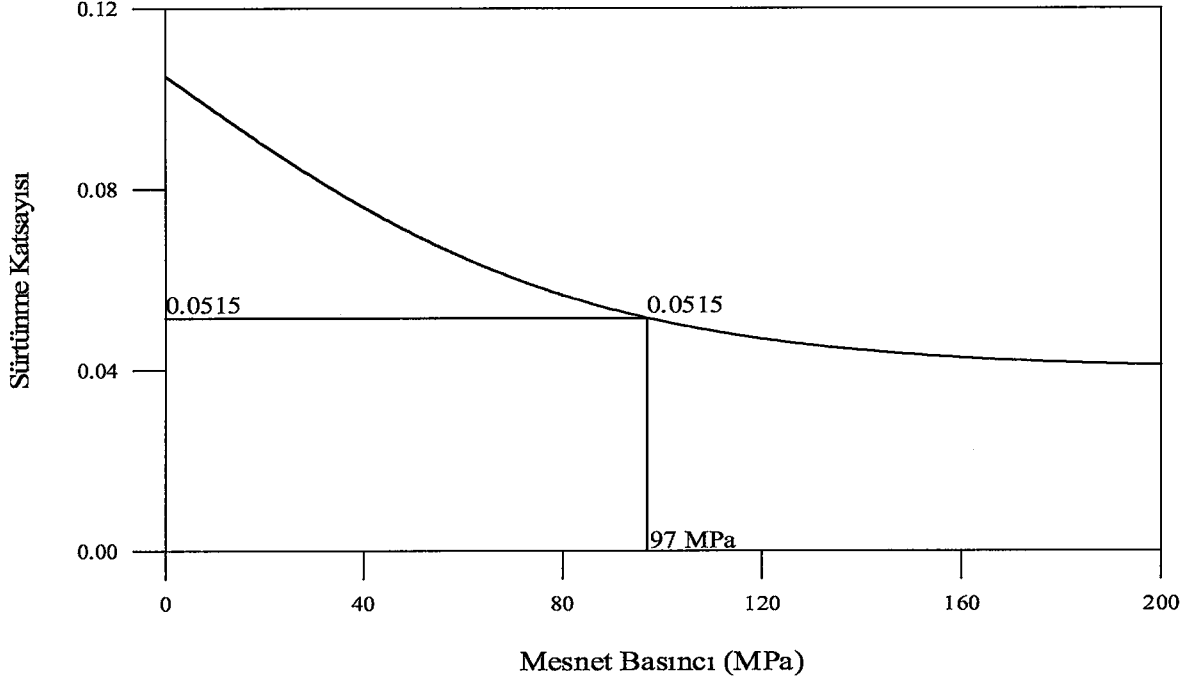
Sürtünme katsayısı mesnet basıncına bağlı olarak değişmekte ve (1.49) denklemini kullanılarak hesaplanmaktadır. Söz konusu denklemdaki maksimum sürtünme katsayısı;

$$f_{\max} = f_{\max o} - (f_{\max o} - f_{\max p}) \tanh(\varepsilon P) \quad (2.18)$$

şeklinde ifade edilebilir (Constantinou vd., 1990a, 1990b). Burada $f_{\max o}$, mesnet basıncının yaklaşık olarak sıfır olması durumunda maksimum sürtünme katsayısı, $f_{\max p}$ ise mesnet basıncının maksimum olması durumunda maksimum sürtünme katsayısıdır. ε , maksimum sürtünme katsayısının yüksek ve düşük basınçlar arasındaki geçişini kontrol eden bir katsayıyı ve P ise mesnet basıncını göstermektedir. Sürtünme katsayısının mesnet basıncına bağlı olarak değişimi Şekil 2.13'de verilmiştir (Tsopelas vd., 1994b).

Bu çalışmada, mesnet basıncı $P = 97$ MPa için $\varepsilon = 0.012$, $f_{\max o} = 0.105$ ve $f_{\max p} = 0.041$ alınmakta olup (Tsopelas vd., 1994b) maksimum sürtünme katsayısı $f_{\max} = 0.0515$ olarak hesaplanmıştır. Minimum sürtünme katsayısı ise $f_{\min} = 0.03$ olarak alınmıştır (Tsopelas vd., 1994b).

Mesnet basıncı, kolon yükünün temas alanına bölünmesiyle elde edilen değerdir. Temas alanı ise yarım küre şeklindeki mafsalı kayıcının iç bükey yüzeyle temas eden dairesel bölgenin alanıdır. Ayrıca, sürtünme katsayısının maksimum ile minimum değerleri arasındaki geçişi kontrol eden a katsayı 31.5 s/m ve akma yerdeğiştirmesi 0.000508 m olarak alınmıştır (Constantinou vd., 1990a, 1990b).



Şekil 2.13. Sürtünme katsayısının mesnet basıncı ile değişimi

2.3.2. Sürtünmeli Sarkaç Mesnetinin Yarıçapı

İzolasyon periyodu, T_b , 3 saniye alınarak ve (1.52) denkleminde faydalanarak sürtünmeli sarkacın içbükey yüzey yarı çapı $R=2.25$ m olarak hesaplanmıştır.

2.3.3. Sürtünmeli Sarkaç Mesnetinin Rijitliği

Sürtünmeli sarkaç mesnedinin rijitliği, (1.54), (1.55) ve (1.56) denklemlerinden hesaplanmaktadır.

2.3.4. Sürtünmeli Sarkaç Mesnetinin Eşdeğer Sönüm Oranı

Sürtünmeli sarkaç mesnetine ait sönüm oranı 0.10 olarak alınmıştır (Jangid ve Banerji, 1998; Scheller ve Constantinou, 1999). Buna bağlı olarak (1.14) ve (1.15) denklemleri kullanılmak suretiyle çeşitli zemin türleri ve yer hareketleri için hesaplanan sürtünmeli sarkaç mesneti hız varyansının ortalamaları Tablo 2.7'de, eşdeğer sönüm sabitleri ve sönüm oranları ise sırasıyla Tablo 2.8 ve Tablo 2.9'da verilmektedir.

Tablo 2.7. Çeşitli zemin türleri ve yer hareketleri için sürtünmeli sarkaç mesneti hız varyansının ortalamaları

Zemin Cinsi	$\sigma_{\dot{v}_b}$ (m/s)	
	Kocaeli Depremi	San Fernando Depremi
Sert	0,006	0,075
Orta	0,009	0,109
Yumuşak	0,012	0,147

Tablo 2.8. Çeşitli zemin türleri ve yer hareketleri için sürtünmeli sarkaç mesneti eşdeğer sönüm sabitleri

Zemin Cinsi	c_e (kNs/m)	
	Kocaeli Depremi	San Fernando Depremi
Sert	103905	8910
Orta	70347	6385
Yumuşak	50483	4881

Tablo 2.9. Çeşitli zemin türleri ve yer hareketleri için sürtünmeli sarkaç mesneti eşdeğer sönüm oranları

Zemin Cinsi	ξ_e (%)	
	Kocaeli Depremi	San Fernando Depremi
Sert	16,062	1,377
Orta	10,874	0,987
Yumuşak	7,804	0,755

2.3.5. Sürtünlü Sarkaç Mesneti Yerdeğiştirme Kapasitesinin Belirlenmesi

Sürtünlü sarkaç mesnetine izin verilen yerdeğiştirme; izolasyonu yapılacak olan yapının bulunduğu bölgede daha önce meydana gelen 50 yıllık deprem kayıtlarından aşılma olasılığı %10 olacak şekilde düzenlenen tasarım ivme spektrumundan faydalanılarak belirlenmektedir (Hart ve Wong, 2000). İzolasyonlu yapının periyoduna karşılık gelen spektral ivme, S_a , bu tasarım ivme spektrumundan elde edilir. Hesaplanan bu ivmeden tasarım yerdeğiştirmesi,

$$S_d = \frac{1}{\omega^2} S_a \quad (2.19)$$

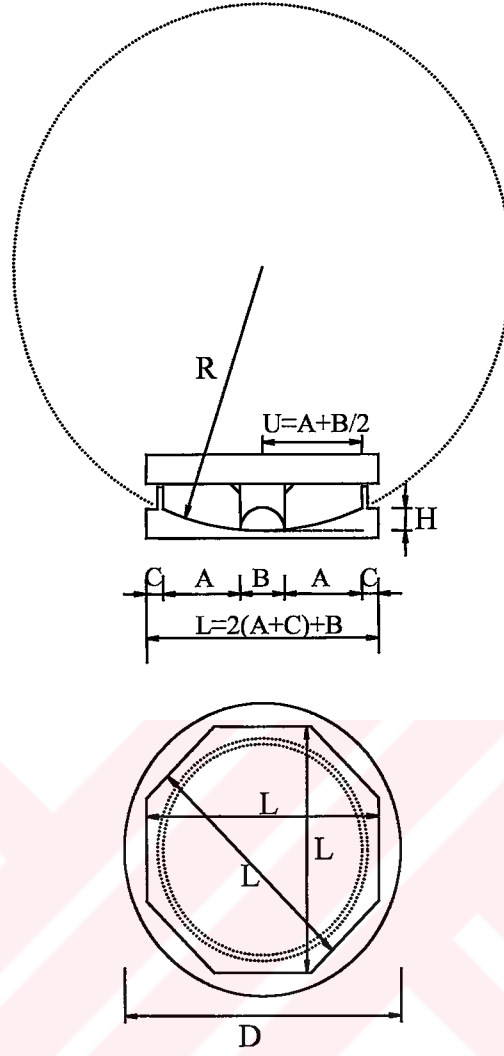
ifadesi ile bulunur (Hart ve Wong, 2000).

Bu çalışmada sarkaç yerdeğiştirmesi, 1999 Kocaeli depreminin tasarım ivme spektrumundan izolasyonlu köprünün periyodunun 3 saniye olmasına karşılık $S_a = 3.0713 \text{ m/s}^2$ olarak bulunmuştur. (2.19) denkleminde sürtünlü sarkaca ait tasarım yerdeğiştirmesi 70 cm olarak hesaplanmıştır.

2.3.6. Sürtünlü Sarkaç Mesnetinin Plan Boyutları

Sürtünlü sarkaca ait parametreler, yani sarkacın yarıçapı, periyodu ve izin verilen yerdeğiştirme belirlendikten sonra sarkacın boyutlandırılmasına geçilmektedir. Bu boyutlandırma işlemi analizlerde dikkate alınmamaktadır. Sadece uygulama aşamasında gerekli olmaktadır. Analizlerde; sarkaç periyodu, yarıçapı, küresel yüzeyin sürtünme katsayısı ve sarkacın taşıdığı ağırlık kullanılmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan sarkaca ait tasarım parametreleri ve boyutları Şekil 2.14'de ve Tablo 2.10'da verilmektedir.



Şekil 2.14. Sürtümlü sarkaç mesnetine ait tasarım parametreleri

Tablo 2.10. Sürtümlü sarkaç mesnetine ait tasarım boyutları

Boyutlar (cm)	Mesnet Numarası	
	3 ve 15	7 ve 11
A	70	70
B	35	40
C	15	15
D	250	250
U	87,5	90
H	17,71	18,78
L	205	210
R	225	225

2.4. Çalışmada Kullanılan Bilgisayar Programı

Bu çalışmada dalga yayılma etkisi, tutarsızlık etkisi ve zemin etkisi ile tanımlanan yer hareketindeki değişimi dikkate alabilen SVEM programı (Dumanoğlu ve Soyluk, 2002a) yapı sistemlerinin izolasyonunu yapacak şekilde düzenlenmiştir. Bu amaçla SVEM programına sürtünmeli sarkaç mesnet sisteminin davranışını temsil eden SSM elemanı geliştirilerek eklenmiştir. Değiştirilen bilgisayar programı Fortran Visual Workbench ortamında çalışmaktadır.

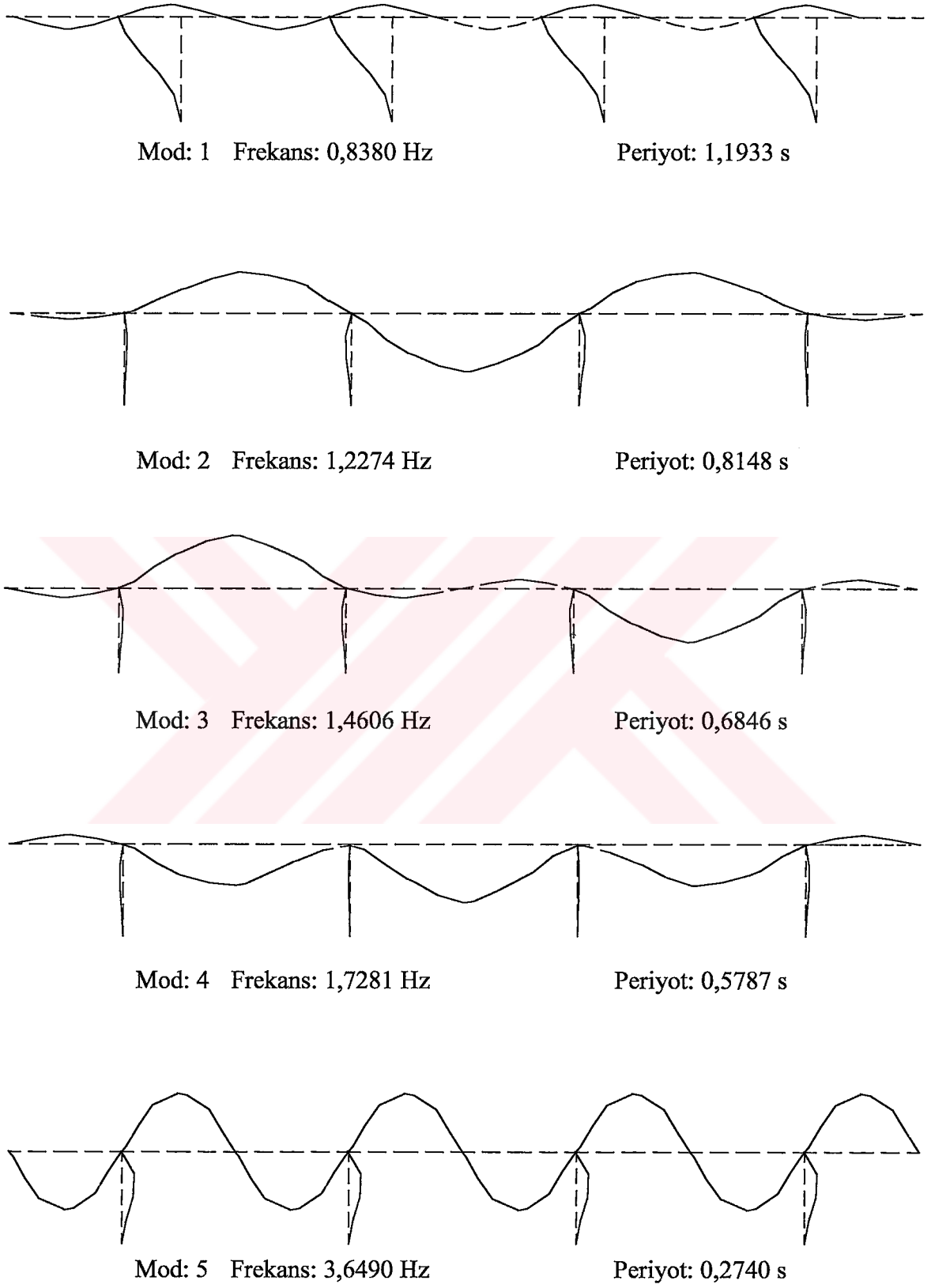
2.5. Serbest Titreşim Analizi

Dinamik analizlerde yapı davranışının doğru olarak belirlenebilmesi, yeterli sayıda mod sayısının dikkate alınması ile mümkündür. Binalarda ilk üç mod, barajlarda ise ilk altı modun dikkate alınması yeterli olabilmektedir. Köprüler değişik davranış gösteren elemanlardan oluştukları için, bina ve barajlara göre daha fazla mod sayısının dikkate alınması gerekmektedir (Dumanoğlu ve Severn, 1987). Bu çalışmada ilk 15 mod dikkate alınmıştır.

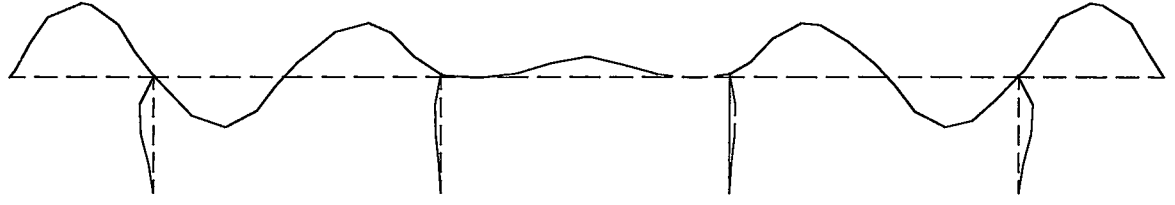
İzolasyonsuz ve izolasyonlu köprünün iki boyutlu modeli dikkate alınarak stokastik analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda elde edilen ilk 15 açısız frekans ve periyotlar Tablo 2.11’de sunulmaktadır. Ayrıca, izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü için elde edilen mod şekilleri Şekil 2.15-2.20’de verilmektedir.

Tablo 2.11. İzolasyonsuz ve izolasyonlu köprüye ait açısal frekanslar ve periyotlar

Mod	İzolasyonsuz köprü		İzolasyonlu köprü	
	Açısal Frekans (rad/s)	Periyot (s)	Açısal Frekans (rad/s)	Periyot (s)
1	5,2673	1,1933	2,2059	2,8494
2	7,7148	0,8148	6,1375	1,0241
3	9,1810	0,6846	8,1858	0,7679
4	10,8623	0,5787	10,5390	0,5964
5	22,9368	0,2740	20,8342	0,3017
6	23,9858	0,2621	22,5570	0,2787
7	26,6916	0,2355	26,0657	0,2411
8	29,4094	0,2137	29,6727	0,2118
9	30,6493	0,2051	31,4133	0,2001
10	37,0084	0,1698	36,6003	0,1717
11	46,2920	0,1358	45,6262	0,1378
12	48,2869	0,1302	48,4730	0,1297
13	49,9517	0,1258	50,7327	0,1239
14	72,8781	0,0862	72,6779	0,0865
15	107,867	0,0583	107,7211	0,0584

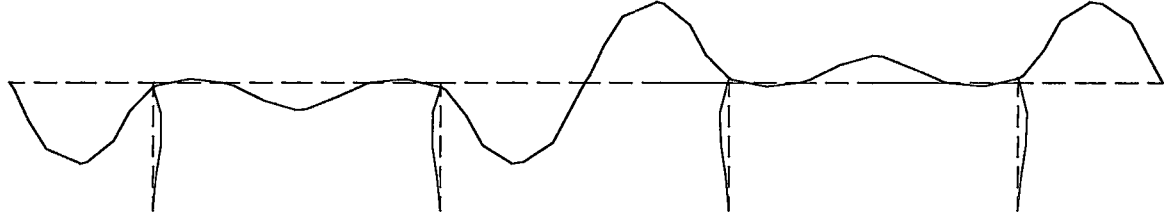


Şekil 2.15. İzolasyonsuz köprü modeline ait 1-5 mod şekilleri, frekanslar ve periyotlar



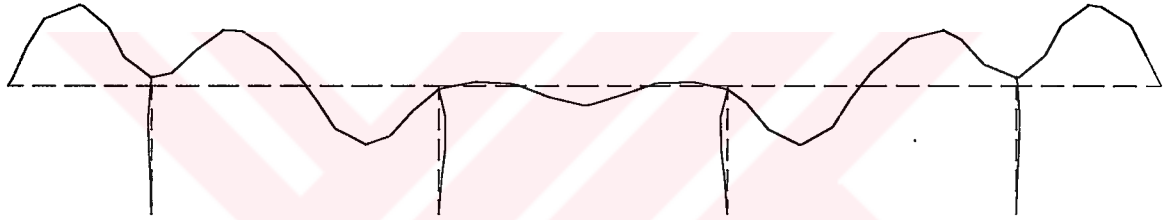
Mod: 6 Frekans: 3,8159 Hz

Periyot: 0,2621 s



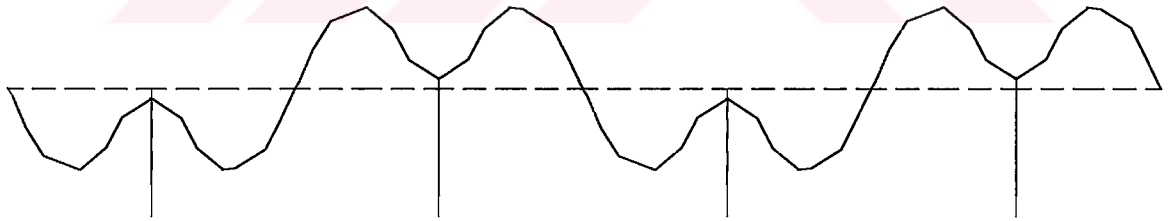
Mod: 7 Frekans: 4,2464 Hz

Periyot: 0,2355 s



Mod: 8 Frekans: 4,6788 Hz

Periyot: 0,2137 s



Mod: 9 Frekans: 4,8760 Hz

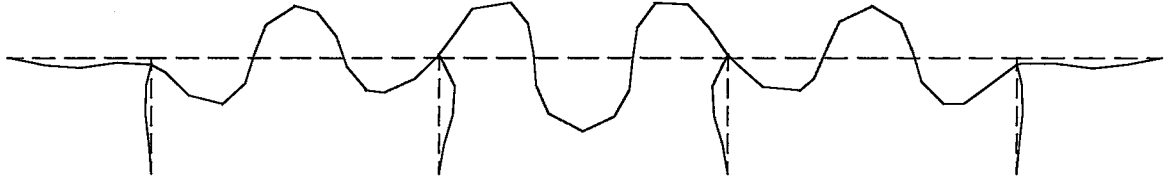
Periyot: 0,2051 s



Mod: 10 Frekans: 5,8877 Hz

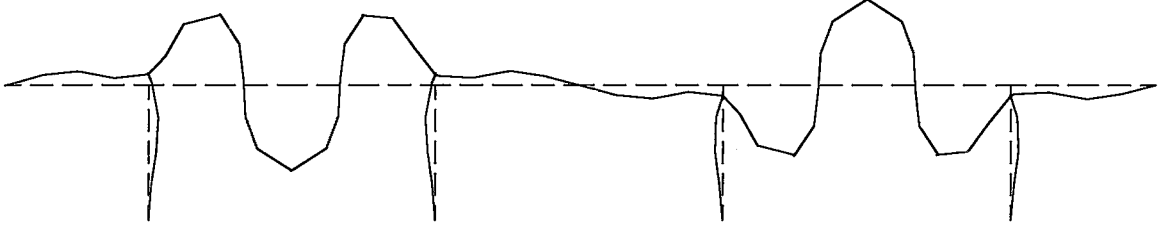
Periyot: 0,1698 s

Şekil 2.16. İzolasyonsuz köprü modeline ait 6-10 mod şekilleri, frekanslar ve periyotlar



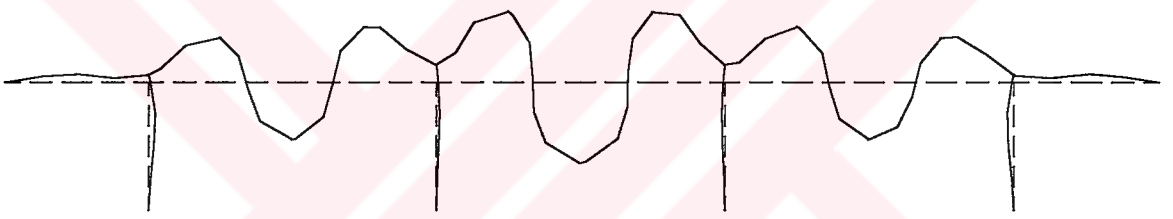
Mod: 11 Frekans: 7,3646 Hz

Periyot: 0,1358 s



Mod: 12 Frekans: 7,6820 Hz

Periyot: 0,1302 s



Mod: 13 Frekans: 7,9469 Hz

Periyot: 0,1258 s



Mod: 14 Frekans: 11,5942 Hz

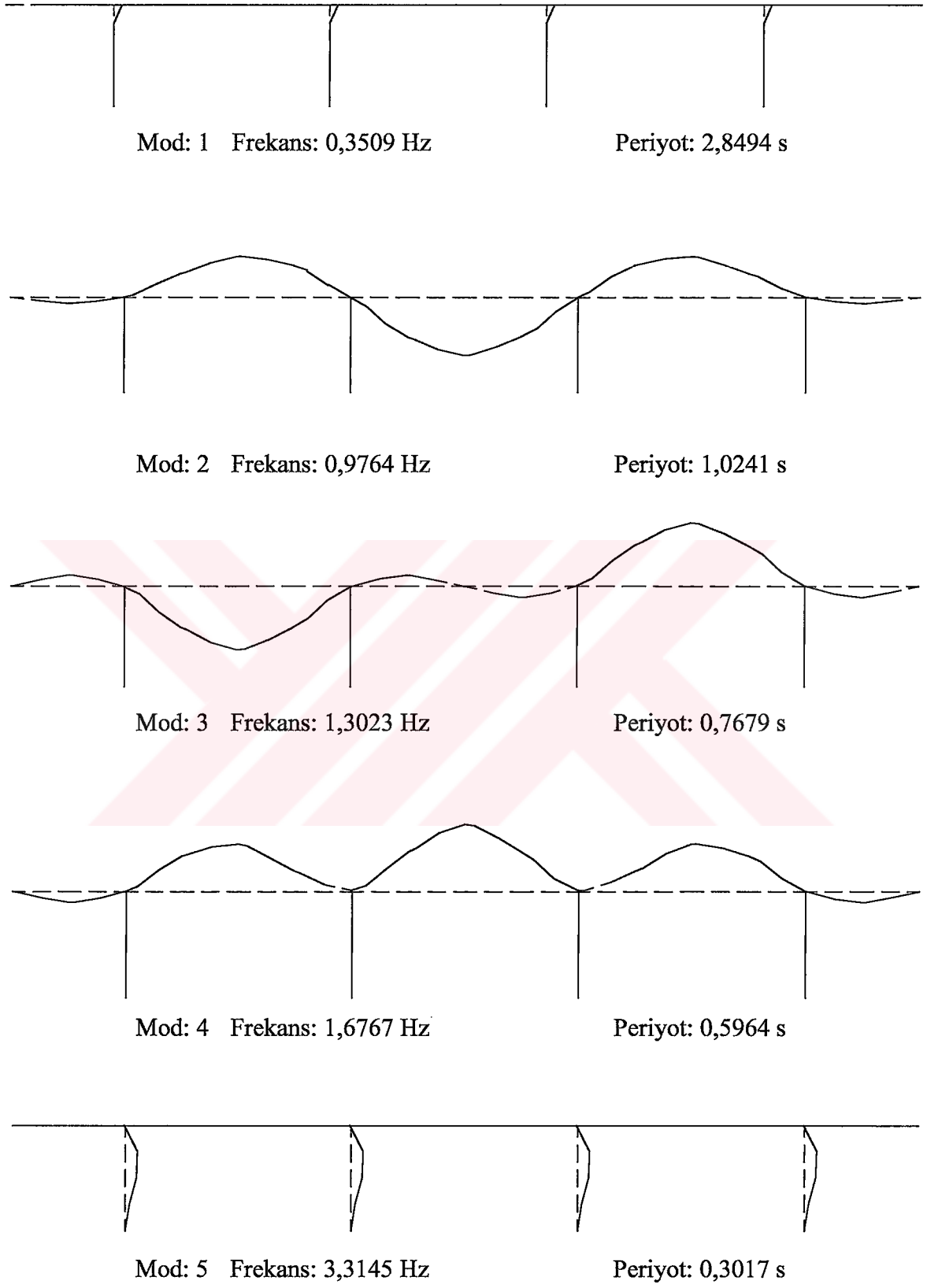
Periyot: 0,0862 s



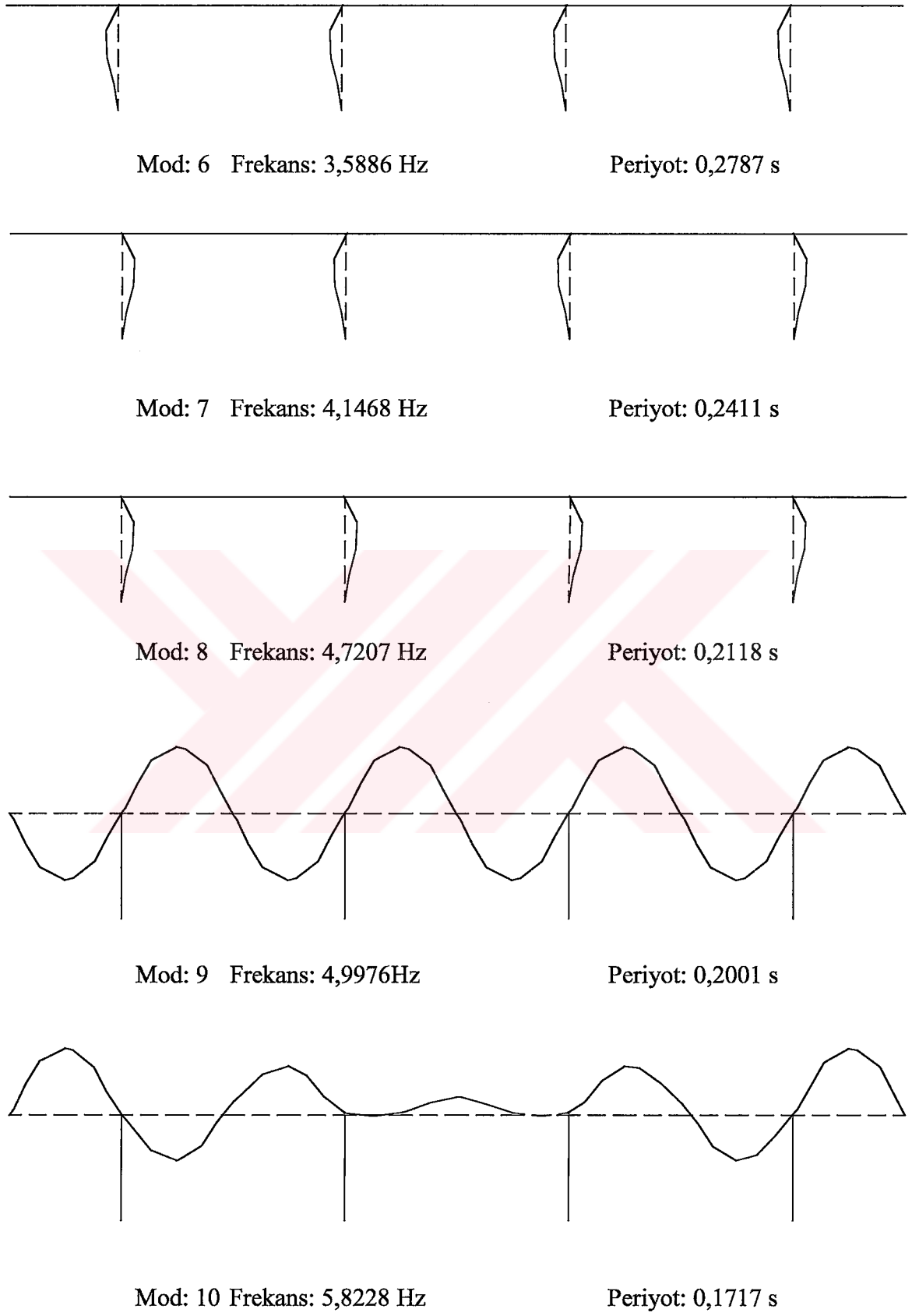
Mod: 15 Frekans: 17,1607 Hz

Periyot: 0,0583 s

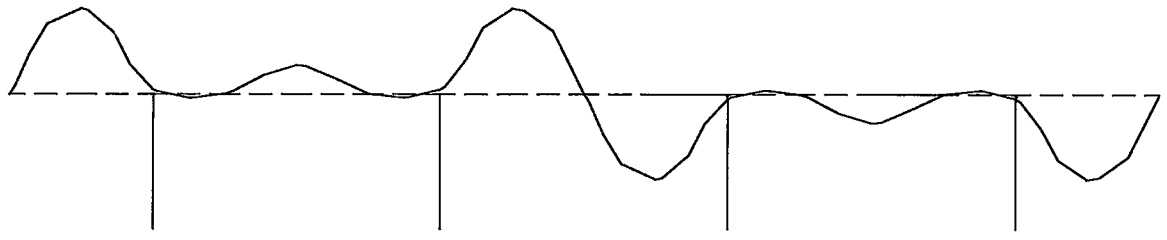
Şekil 2.17. İzolasyonsuz köprü modeline ait 10-15 mod şekilleri, frekanslar ve periyotlar



Şekil 2.18 İzolasyonlu köprü modeline ait 1-5 mod şekilleri, frekanslar ve periyotlar

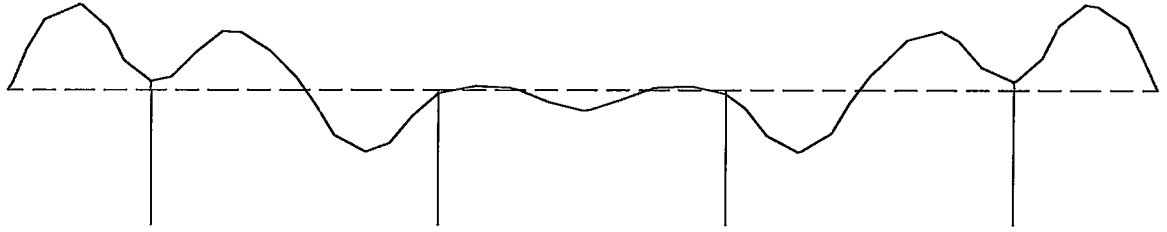


Şekil 2.19 İzolasyonlu köprü modeline ait 6-10 mod şekilleri, frekanslar ve periyotlar



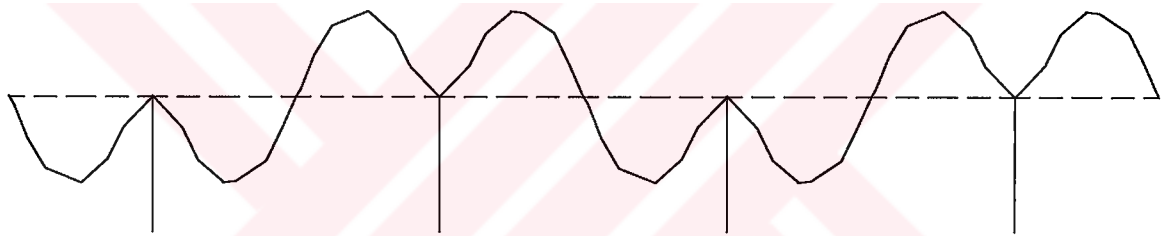
Mod: 11 Frekans: 7,2587 Hz

Periyot: 0,1378 s



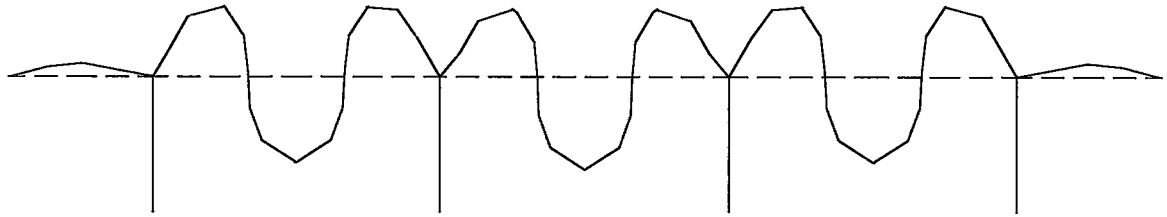
Mod: 12 Frekans: 7,7116 Hz

Periyot: 0,1297 s



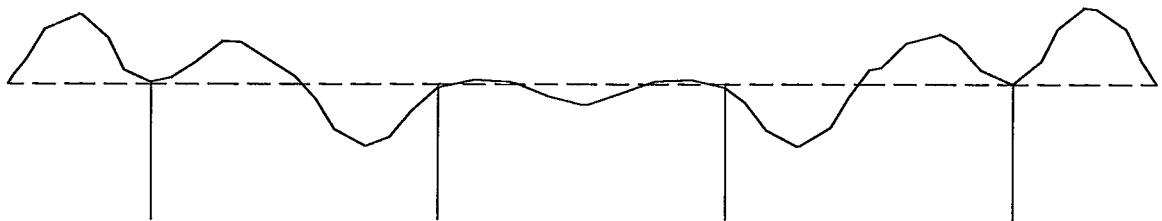
Mod: 13 Frekans: 8,0711 Hz

Periyot: 0,1239 s



Mod: 14 Frekans: 11,5624 Hz

Periyot: 0,0865 s



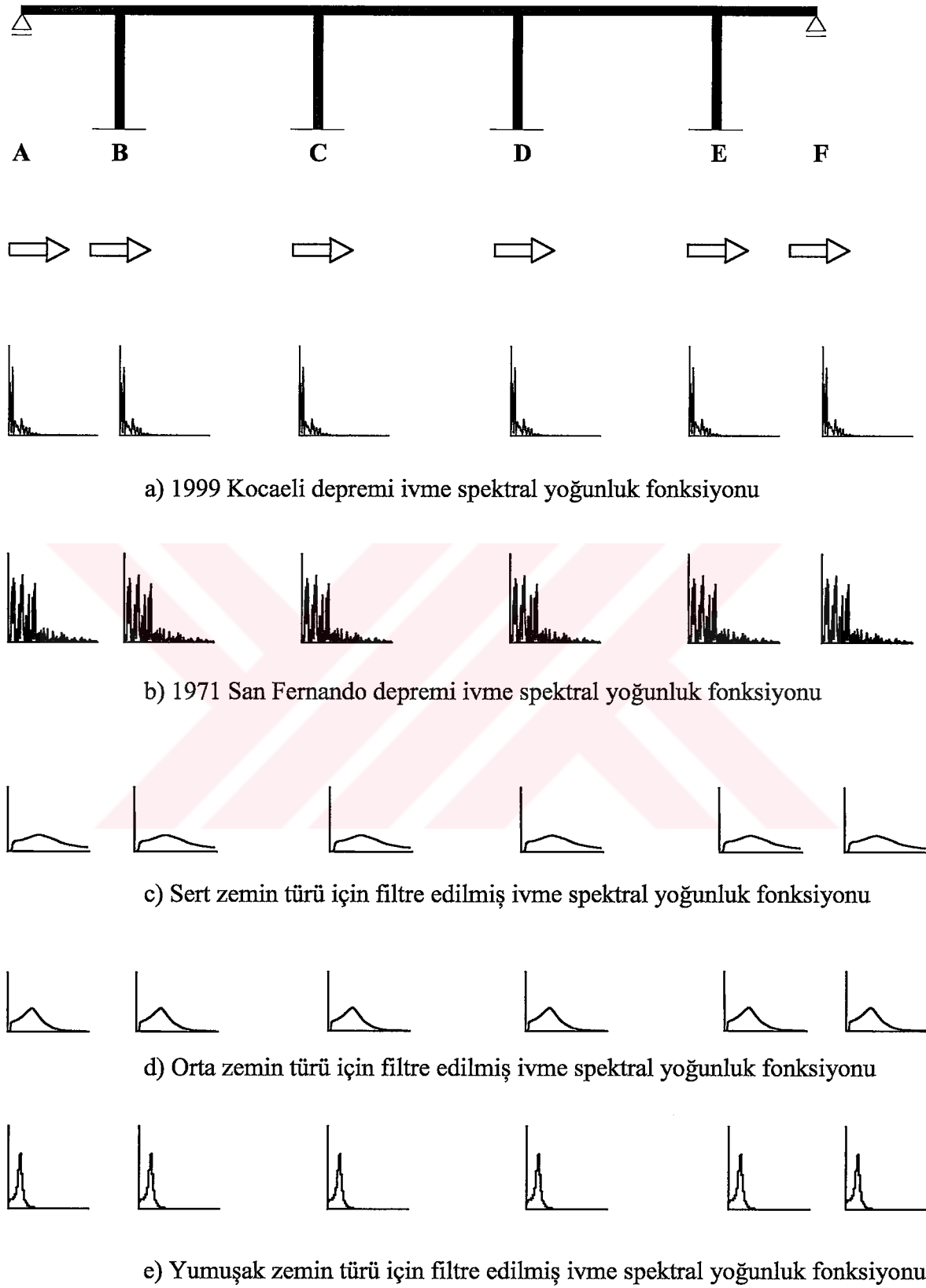
Mod: 15 Frekans: 17,1377 Hz

Periyot: 0,0584 s

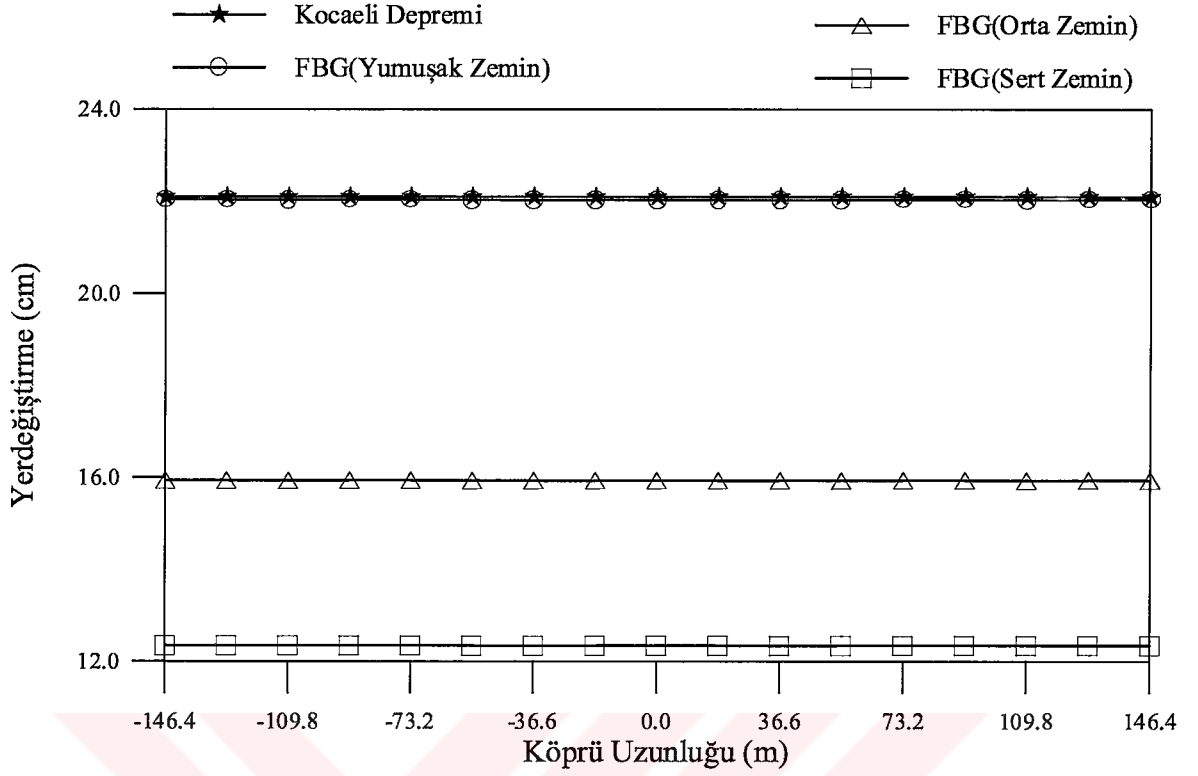
Şekil 2.20. İzolasyonlu köprü modeline ait 10-15 mod şekilleri, frekanslar ve periyotlar

2.6. Beyaz Gürültü Yer Hareketi Modelinin Tahkiki

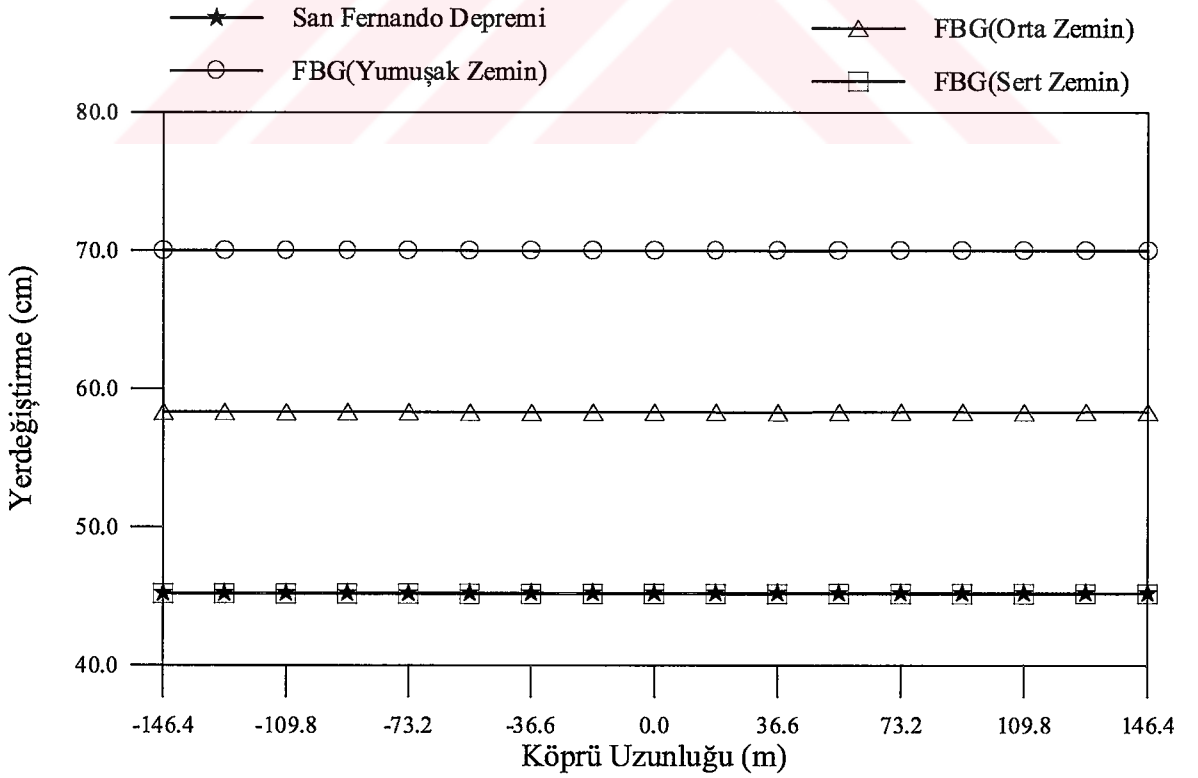
Bu çalışmada yapılan stokastik analizlerde yer hareketi için kullanılacak olan filtre edilmiş beyaz gürültü modeli, gerçek bir yer hareketi ile karşılaştırılmak suretiyle incelenmektedir. Bunun için (2.4) denkleminde verilen filtre edilmiş beyaz gürültü(FBG) spektral yoğunluk fonksiyonu; farklı zemin türleri için Tablo 2.1'de verilen filtre parametreleri kullanılarak elde edilmektedir. Beyaz gürültü işleminin spektral yoğunluk fonksiyonu genlik değerleri ise her bir zemin cinsi için 1999 Kocaeli depremi Yarımca istasyonu ivme kaydı Kuzey-Güney bileşeninin ve 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı ivme kaydı S16E bileşeninin enerjisine bağlı olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte gerçek yer hareketi olarak 1999 Kocaeli depremi Yarımca istasyonu ivme kaydı Kuzey-Güney bileşeni ve 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı ivme kaydı S16E bileşeni dikkate alınarak yer hareketi spektral yoğunluk fonksiyonu hesaplanmaktadır. Clough ve Penzien (1993) tarafından geliştirilen FBG modeli ile sert, orta ve yumuşak zemin türleri için elde edilen yer hareketi modeli ile 1999 Kocaeli ve 1971 San Fernando depremleri etkisindeki izolasyonlu köprü modeli Şekil 2.21'de görülmektedir. Farklı zemin türleri için uniform yer hareketi durumunda (1.43) denklemi kullanılarak elde edilen ortalama maksimum yerdeğiştirme değerleri, gerçek 1999 Kocaeli depremi ivme spektral yoğunluk fonksiyonu için bulunan sonuçlarla karşılaştırılmaktadır. Şekil 2.22'den görüldüğü üzere yumuşak zemin türü için FBG modeli ile elde edilen tabliye yerdeğiştirmeleri, genelde gerçek 1999 Kocaeli depremi ivme spektral yoğunluk fonksiyonu için bulunan sonuçlarla birbirine yakın çıkmaktadır. 1999 Kocaeli depremi ivme spektral yoğunluk fonksiyonu için bulunan sonuçlar, FBG modeli ile sert ve orta zemin türü için elde edilen sonuçlardan daha büyük olmaktadır. FBG ile sert zemin türü için elde edilen yerdeğiştirmeler en az çıkmaktadır. Şekil 2.23'den görüldüğü üzere sert zemin türü için FBG modeli ile elde edilen tabliye yerdeğiştirmeleri, genelde gerçek 1971 San Fernando depremi ivme spektral yoğunluk fonksiyonu için bulunan sonuçlarla birbirine yakın çıkmaktadır. 1971 San Fernando depremi ivme spektral yoğunluk fonksiyonu için bulunan sonuçlar, FBG modeli ile yumuşak ve orta zemin türü için elde edilen sonuçlardan daha küçük olmaktadır. FBG ile yumuşak zemin türü için elde edilen yerdeğiştirmeler en büyük çıkmaktadır. Elde edilen sonuçlardan Clough ve Penzien tarafından önerilen filtre edilmiş beyaz gürültü modelinin, gerçek yer hareketini oldukça iyi karakterize edebildiği gözlenmektedir.



Şekil 2.21. Üniform hareketine maruz karayolu köprüsünün analitik modeli



Şekil 2.22. 1999 Kocaeli depremi için izolasyonlu köprü tabliye yatay yerdeğiştirmeleri



Şekil 2.23. 1971 San Fernando depremi için izolasyonlu köprü tabliye yatay yerdeğiştirmeleri

3. BULGULAR ve İRDELEMELER

3.1. İzolasyonsuz ve İzolasyonlu Karayolu Köprüsünün Değişerek Yayılan Yer Hareketi için Stokastik Analizleri

Bu bölümde durağanlık (stasyonerlik) kabulü yapılarak, dalga yayılma, tutarsızlık ve zemin etkilerini içeren değişerek yayılan yer hareketleri için izolasyonsuz ve izolasyonlu karayolu köprülerinin stokastik analizleri gerçekleştirilmiştir. Durağanlık; istatistiksel özelliklerin zamandan bağımsız olmasıdır (Yang, 1986; Peebles, 1987). Deprem hareketleri gibi farklı zamanlarda farklı istatistiklere sahip rasgele işlemler tüm hareket süresi boyunca durağan değildir. Ancak, yapı tepkilerinin en büyük olduğu zamanlarda durağanlık kabulü yapılabilmektedir. Durağan bir modelin kullanılması işlemleri önemli ölçüde kolaylaştırdığı gibi bulunan sonuçlarda daha gerçekçi olmaktadır (Yang, 1986; Peebles, 1987). Durağan işlem için (1.34) denklemi ile ifade edilen frekans davranış fonksiyonu kullanılmaktadır. Analizler sonucunda, köprü tabliyesine ait ortalama maksimum yerdeğiştirme ve ortalama maksimum eleman kuvvetleri elde edilmiştir. Analiz sonuçlarının incelenmesinde, köprü tabliyesini oluşturan çubuk elemanların düğüm noktalarında elde edilen ortalama maksimum yatay yerdeğiştirmeler ve ortalama maksimum eleman kuvvetleri dikkate alınmıştır. Elde edilen ortalama maksimum yatay yerdeğiştirmeler ve ortalama maksimum eleman kuvvetleri; zahiri-statik, dinamik ve toplam bileşenlerinden oluşmaktadır. Ayrıca, köprü tabliyesine ait ortalama maksimum yerdeğiştirme ve ortalama maksimum eleman kuvvetlerinin bileşenlerine ait normalleştirilmiş varyans değerleri de elde edilmiştir.

3.1.1. Sadece Dalga Yayılma Etkisinin Dikkate Alınması Durumunda Köprü'nün Stokastik Analiz Sonuçlarının İncelenmesi

3.1.1.1. Homojen Yumuşak Zemin Durumu

Karayolu köprüsünün mesnetlendiği zeminin homojen ve yumuşak olduğu kabul edilerek; tutarsızlık etkileri ihmal edilip sadece deprem dalgasının yayılma etkisi dikkate alınarak izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü'nün stokastik analizleri yapılmıştır. Bu durum;

(2.9) denklemindeki tutarsızlık etkisinin $|\gamma_{\ell m}(\omega)|^k = 1$, zemin etkisinin $\gamma_{\ell m}(\omega)^Z = 1$ ve dalga yayılması etkisinin $\gamma_{\ell m}(\omega)^d \neq 1$ olmasına karşılık gelmektedir. Yumuşak zemin için dalga yayılma hızları sırasıyla 100, 200, 400 m/s ve sonsuz olarak seçilmiştir (T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1998). Sonsuz hız durumu üniform yer hareketine karşılık gelmekte olup, yer hareketinin köprünün bir mesnetinden diğer mesnetine ulaşınca kadar geçen zamanın sıfır olmasıdır. Yer hareketi olarak, yumuşak zeminlerde kaydedilen 1999 Kocaeli depremi Yarımca istasyonu Kuzey-Güney bileşeni dikkate alınmaktadır. Şekil 3.1'de homojen yumuşak zemine mesnetlenen, yatay dalga yayılma etkisine maruz karayolu köprüsü görülmektedir.

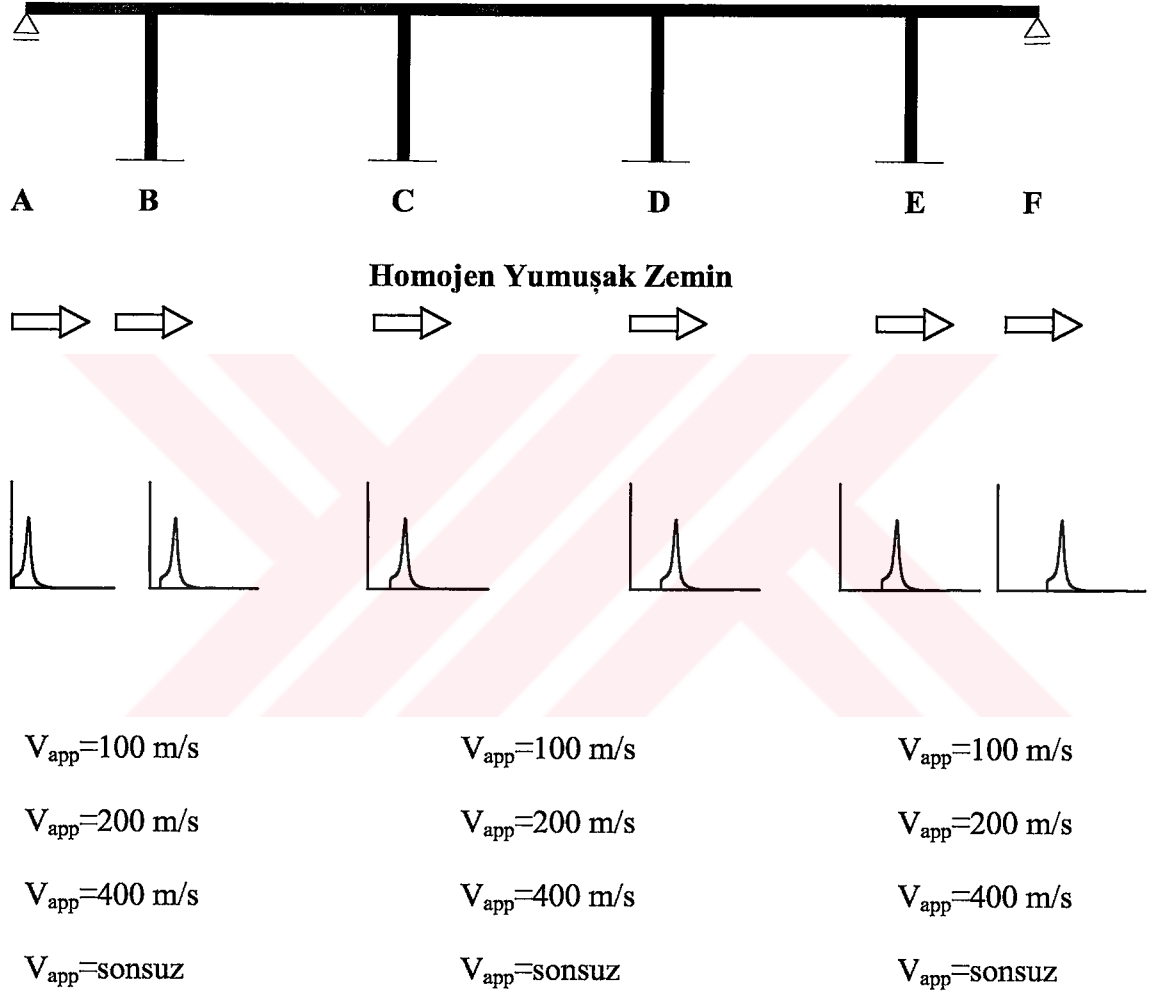
Şekil 3.2-Şekil 3.25'de izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü tabliyesinde elde edilen ortalama maksimum yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri görülmektedir. Bu grafikler, yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin zahiri-statik, dinamik ve toplam değerlerinden oluşmaktadır.

Şekil 3.2-3.7'den dalga yayılma hızının artması durumunda hem izolasyonsuz hem de izolasyonlu köprüde; zahiri-statik, dinamik ve toplam yerdeğiştirmelerin arttığı gözlenmektedir. Üniform yer hareketine karşılık gelen sonsuz hız değeri için en büyük değerler elde edilmektedir. Ayrıca, izolasyonlu köprüde zahiri-statik, dinamik ve toplam yerdeğiştirmelerin ortalama maksimum değerleri izolasyonsuz duruma göre daha büyük çıkmaktadır.

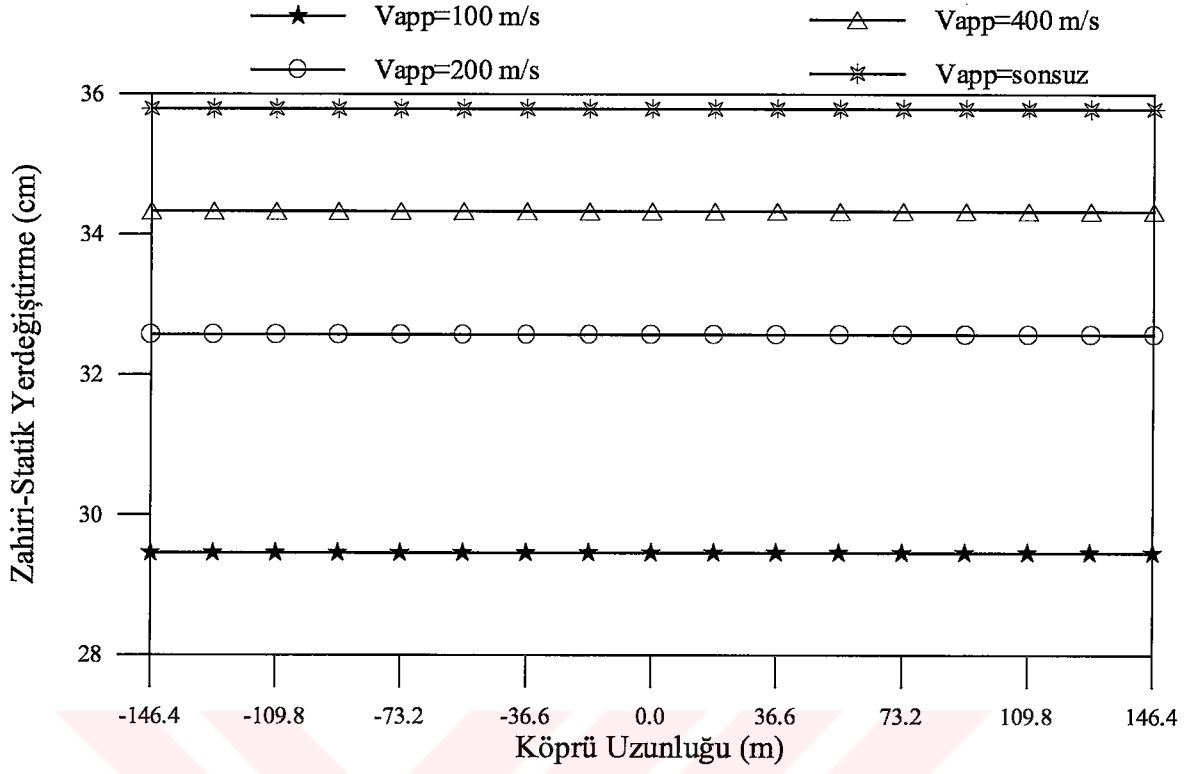
Hem izolasyonsuz hem de izolasyonlu köprüde dalga yayılma hızının artmasıyla; zahiri-statik ve toplam eğilme momentleri azalırken dinamik eğilme momentleri artmaktadır (Şekil 3.8-3.13). Köprünün izolasyonlu yapılması eğilme momentinin ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam değerlerini köprü boyunca oldukça azaltmaktadır.

Dalga yayılma hızının artması durumunda, hem izolasyonsuz hem de izolasyonlu köprüde; zahiri-statik ve toplam normal ve kesme kuvvetleri azalırken dinamik normal ve kesme kuvvetlerinin arttığı Şekil 3.14-3.25'ten görülmektedir. Ayrıca, eğilme momentlerine benzer olarak köprünün izolasyonlu yapılması normal ve kesme kuvvetlerinin ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam değerlerini izolasyonsuz duruma göre oldukça azalttığı görülmektedir. Üniform yer hareketine karşılık gelen hızın sonsuz olması durumunda köprü rijit cisim hareketi yapmaktadır. Buna bağlı olarak da tabliyede oluşan zahiri-statik eğilme momenti, normal ve kesme kuvvetlerinin

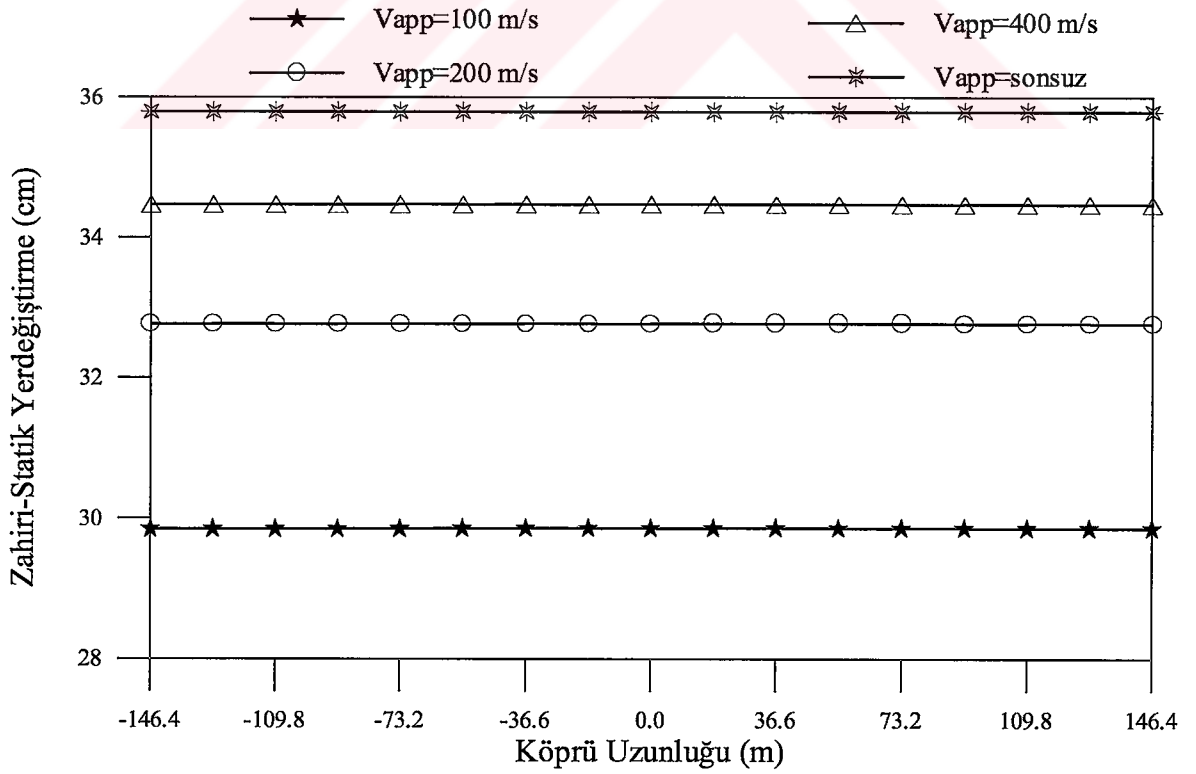
sıfır olduğu Şekil 3.8, Şekil 3.14 ve Şekil 3.20'den görülmektedir. Bu durum, analiz sonuçlarının doğruluğunu göstermektedir. Genel olarak, izolasyonlu köprü tabliyesi eleman kuvvetleri izolasyonsuz köprü tabliyesi eleman kuvvetleri ile karşılaştırıldığında homojen yumuşak zeminde yer hareketinin sadece dalga yayılma etkisi için eleman kuvvetlerinde yaklaşık %60-%80 oranında bir azalma söz konusu olmaktadır.



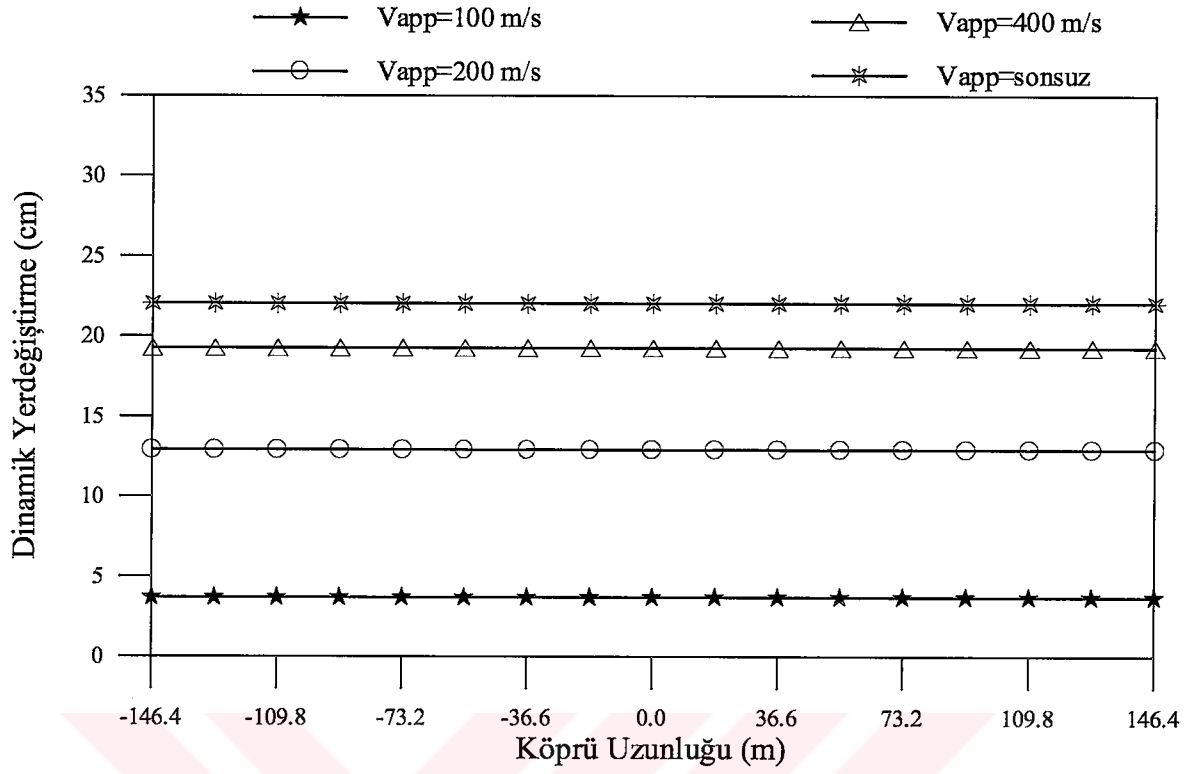
Şekil 3.1. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen karayolu köprüsünün analitik modeli



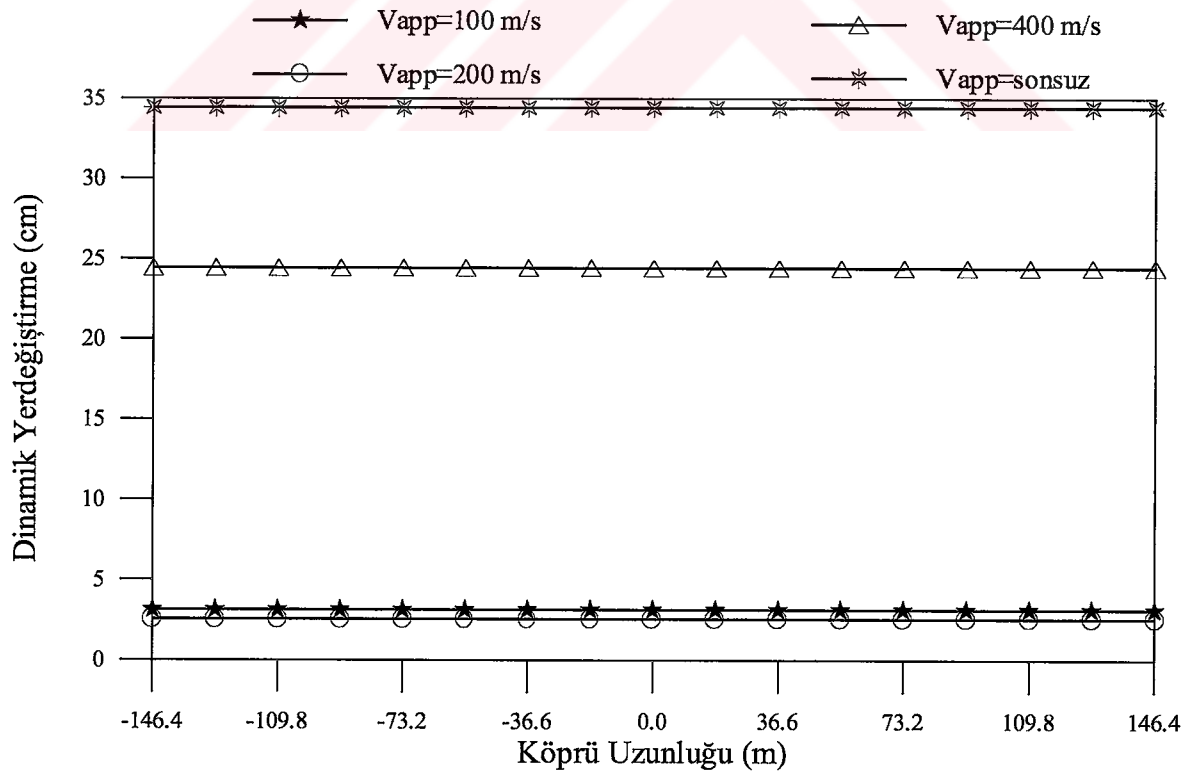
Şekil 3.2. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabiiye zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri



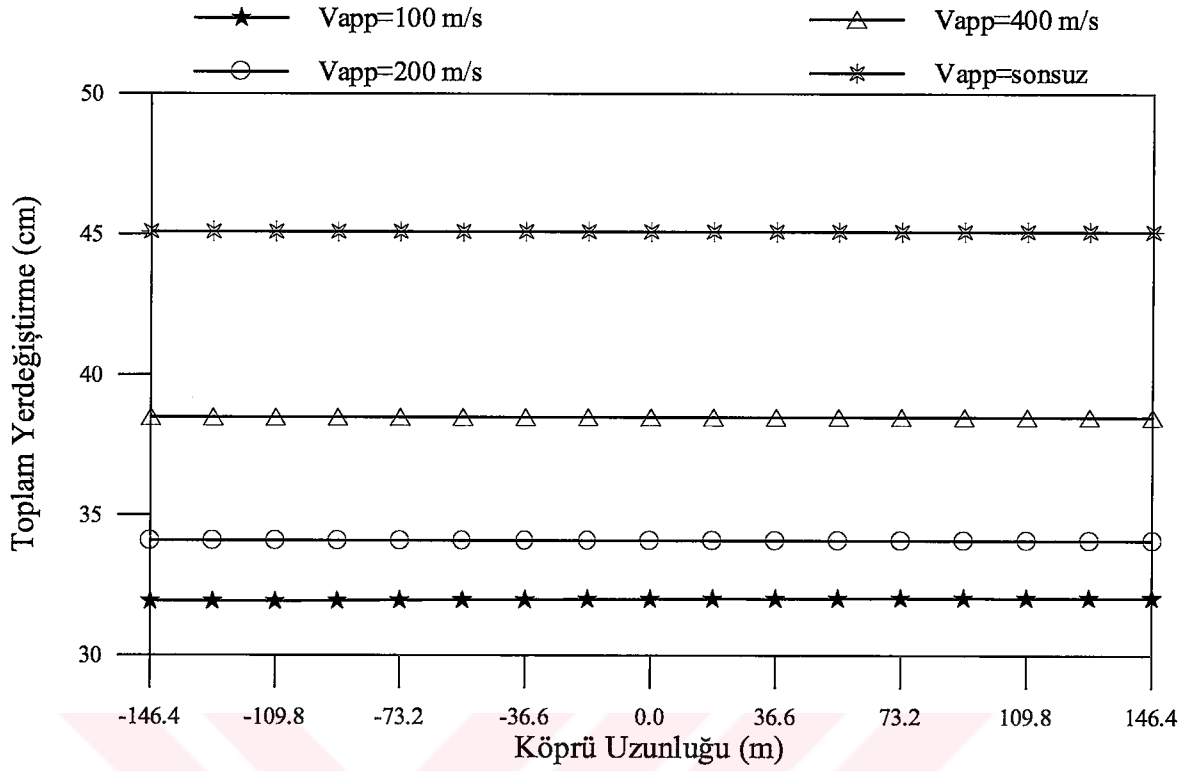
Şekil 3.3. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabiiye zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri



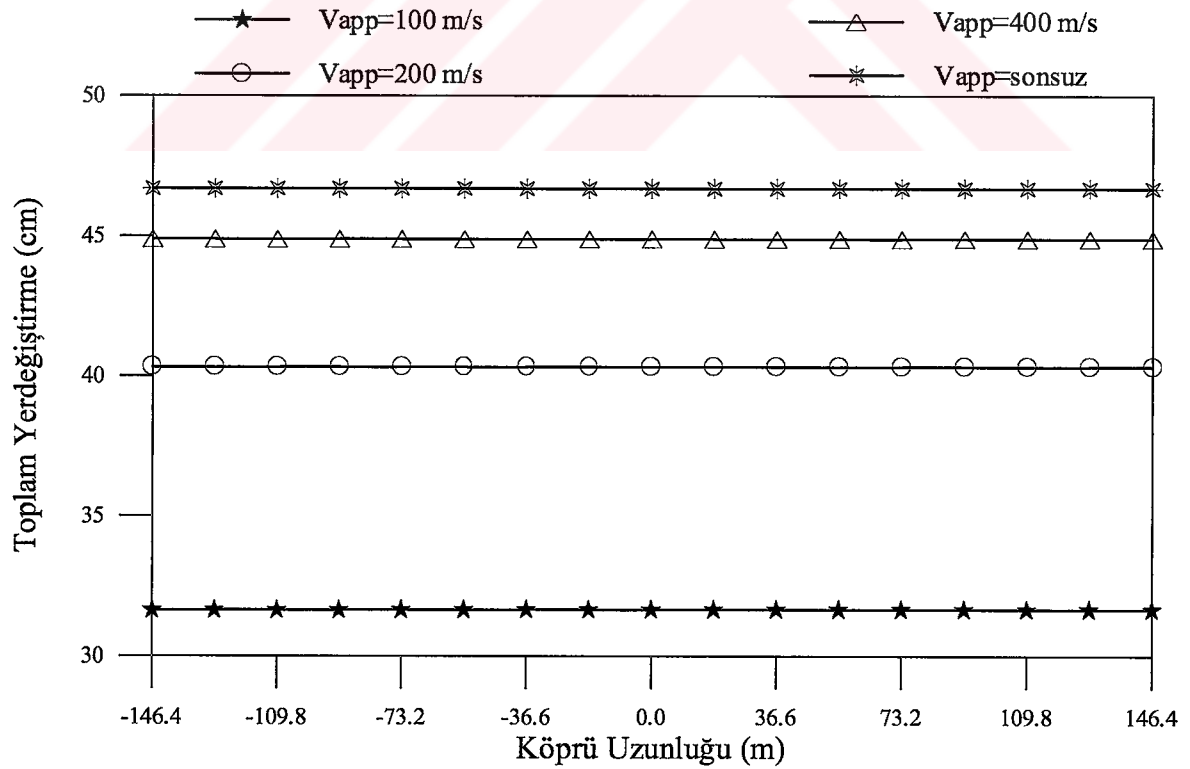
Şekil 3.4. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik yatay yerdeğiştirmeleri



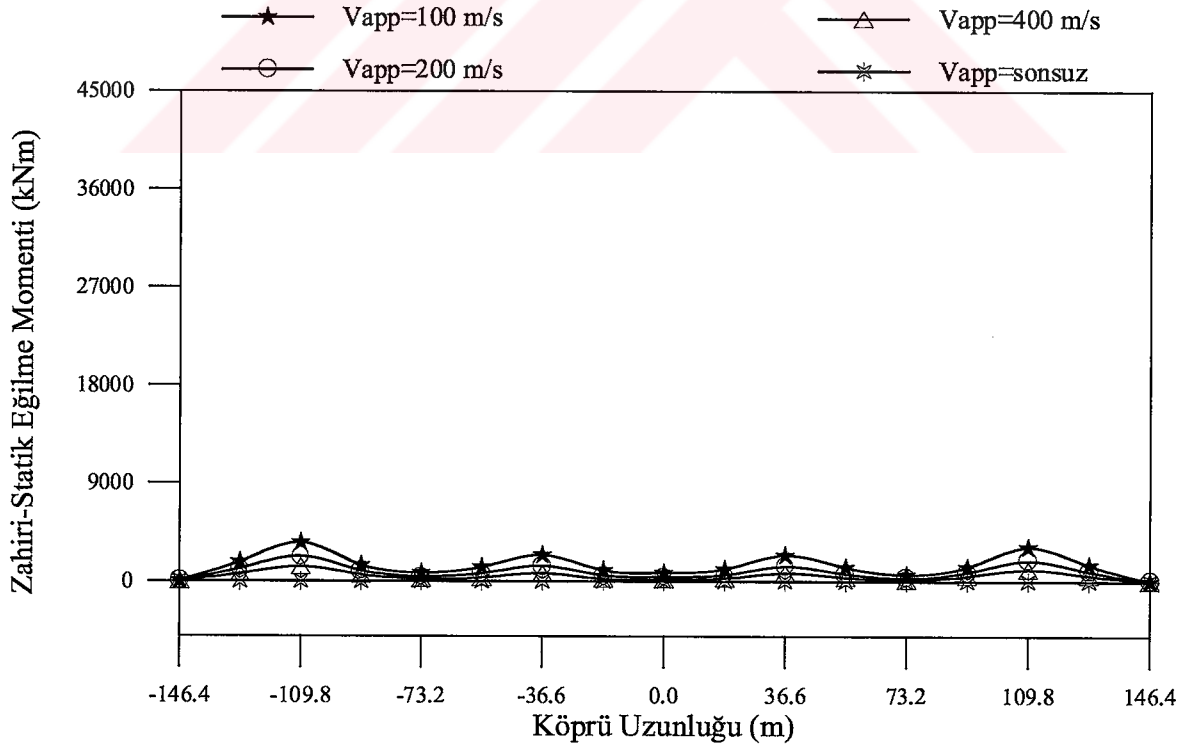
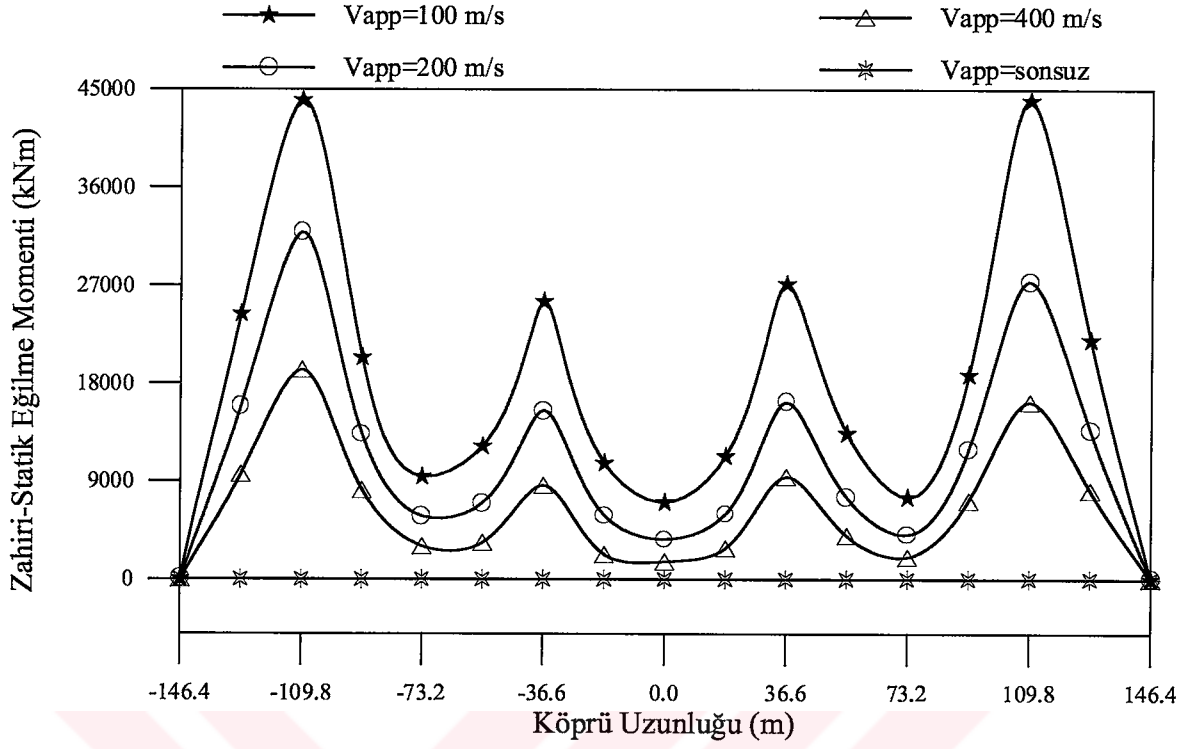
Şekil 3.5. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik yatay yerdeğiştirmeleri

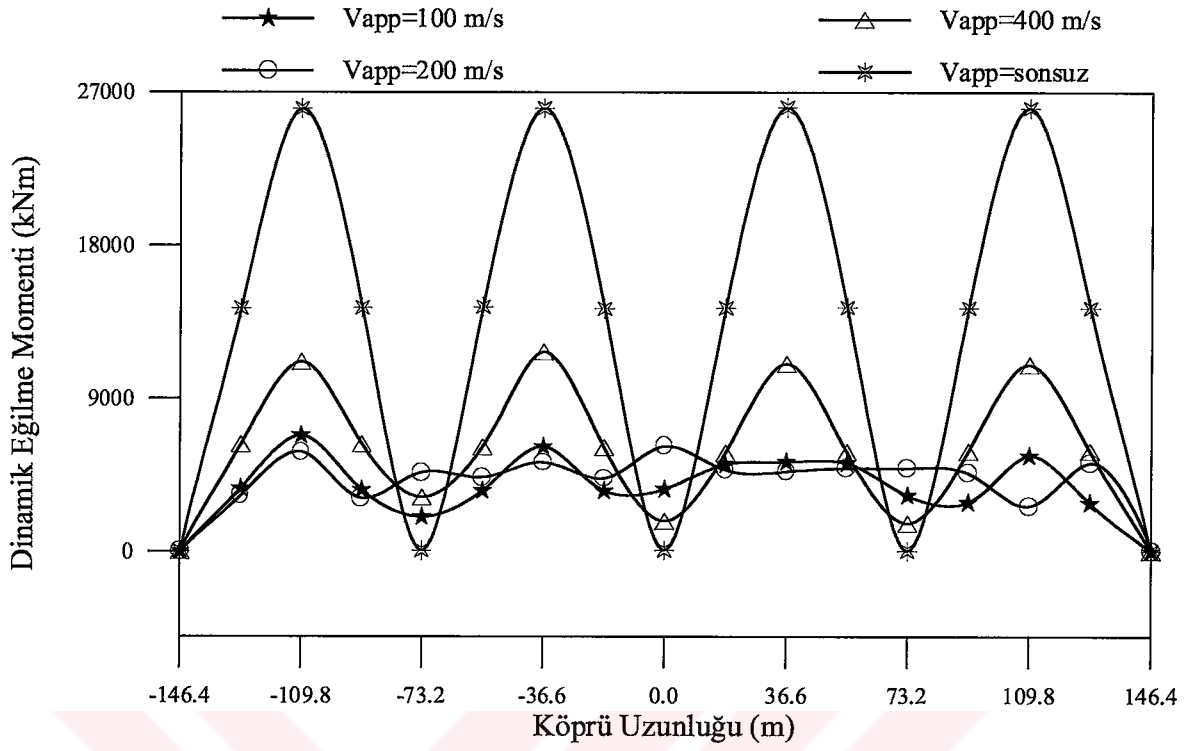


Şekil 3.6. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam yatay yerdeğiştirmeleri

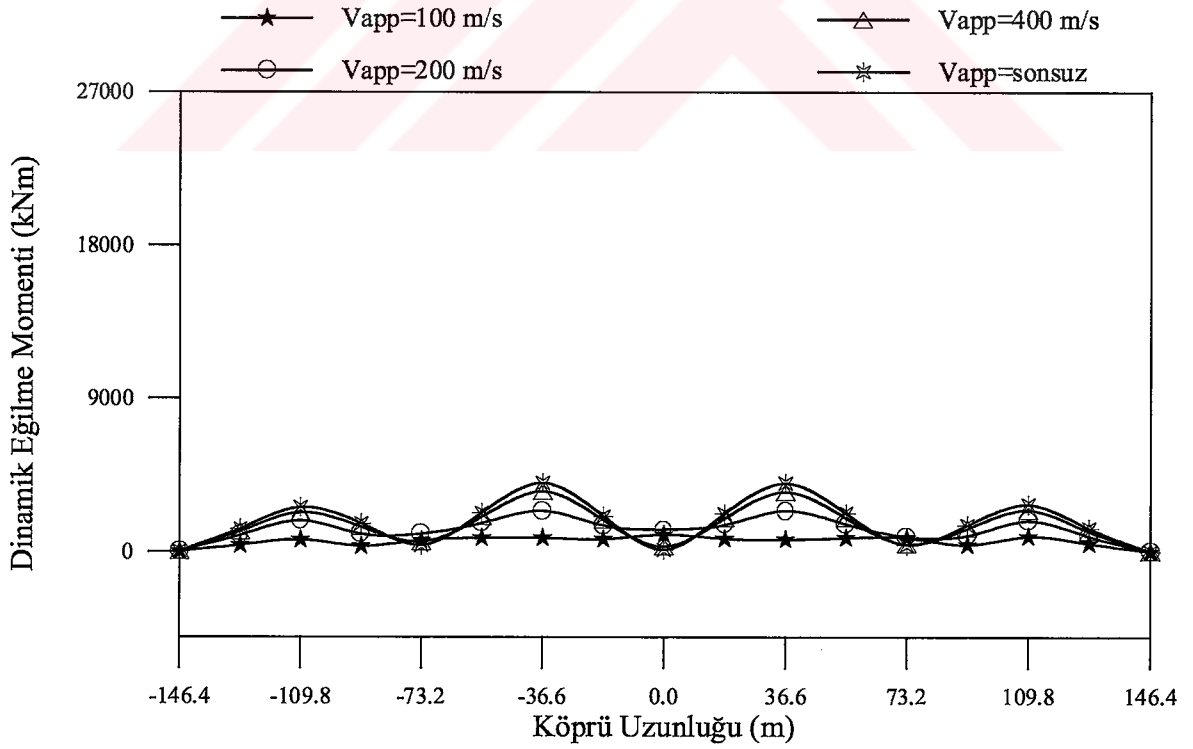


Şekil 3.7. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam yatay yerdeğiştirmeleri

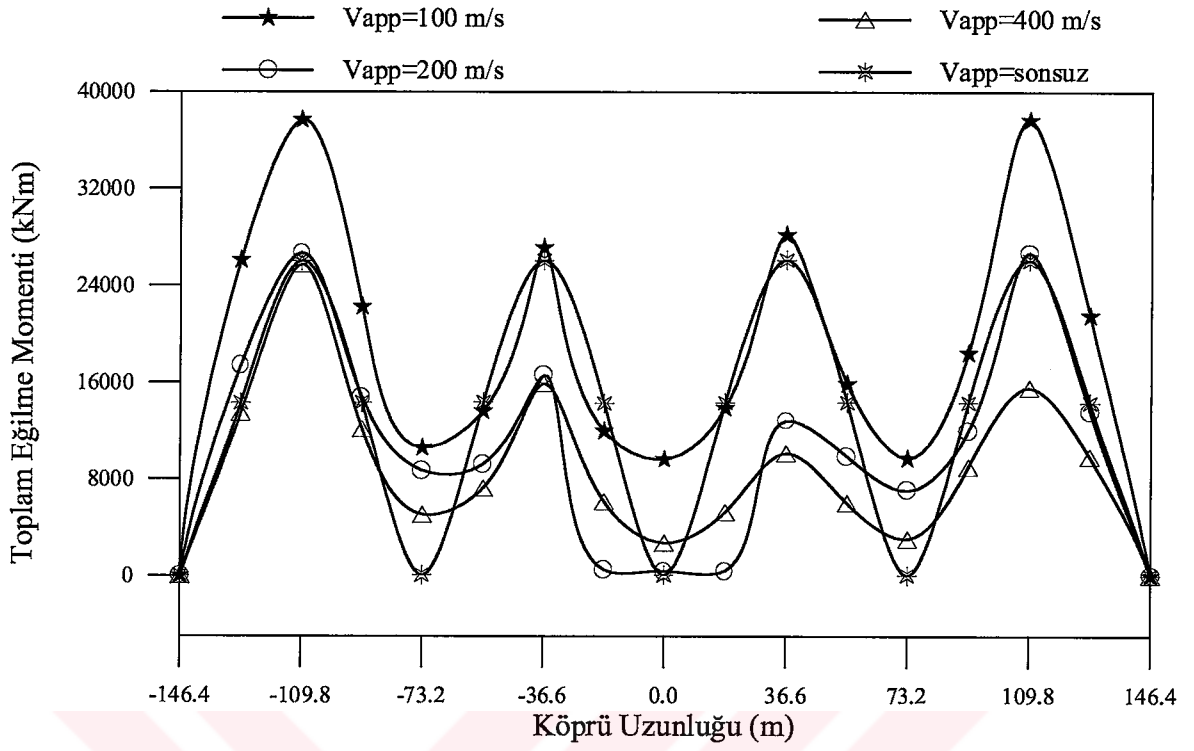




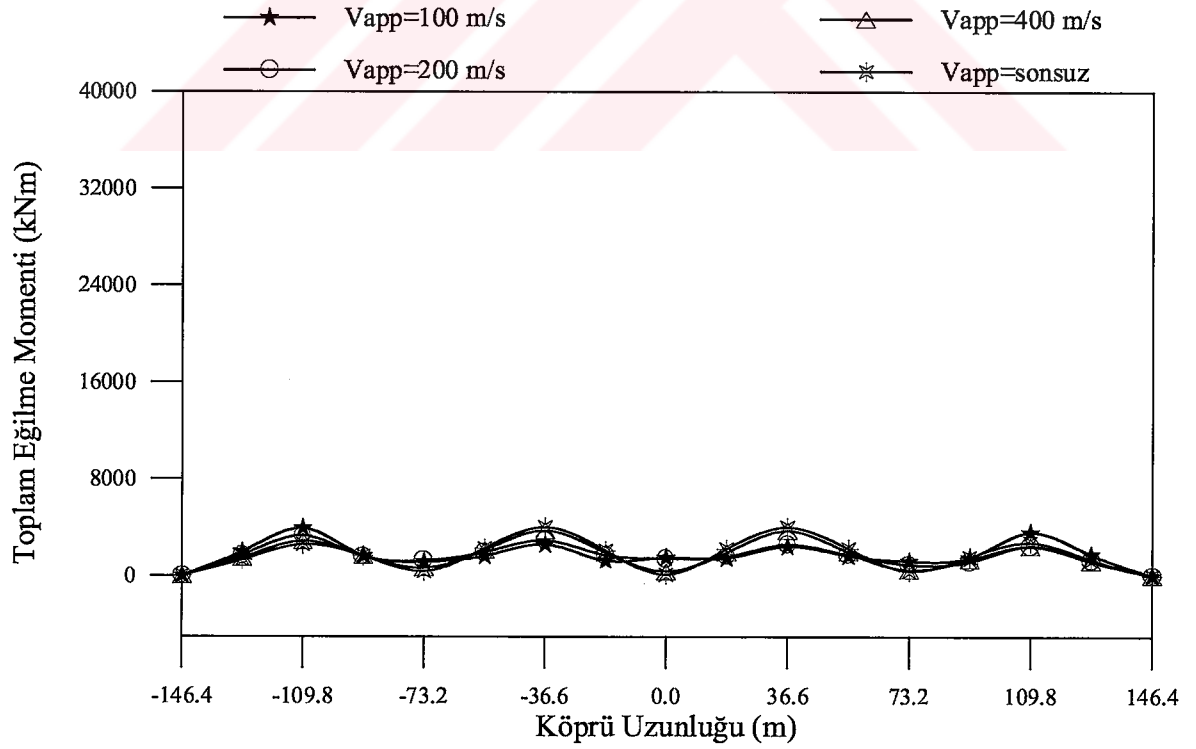
Şekil 3.10. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik eğilme momentleri



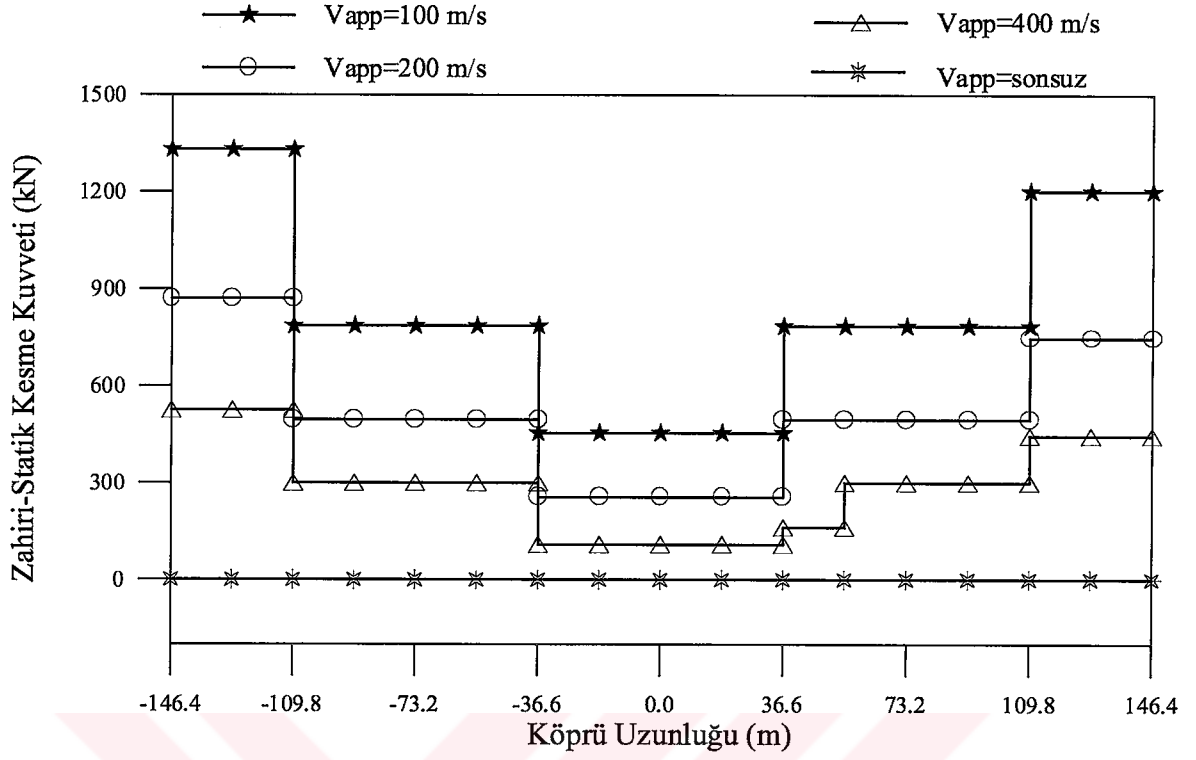
Şekil 3.11. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik eğilme momentleri



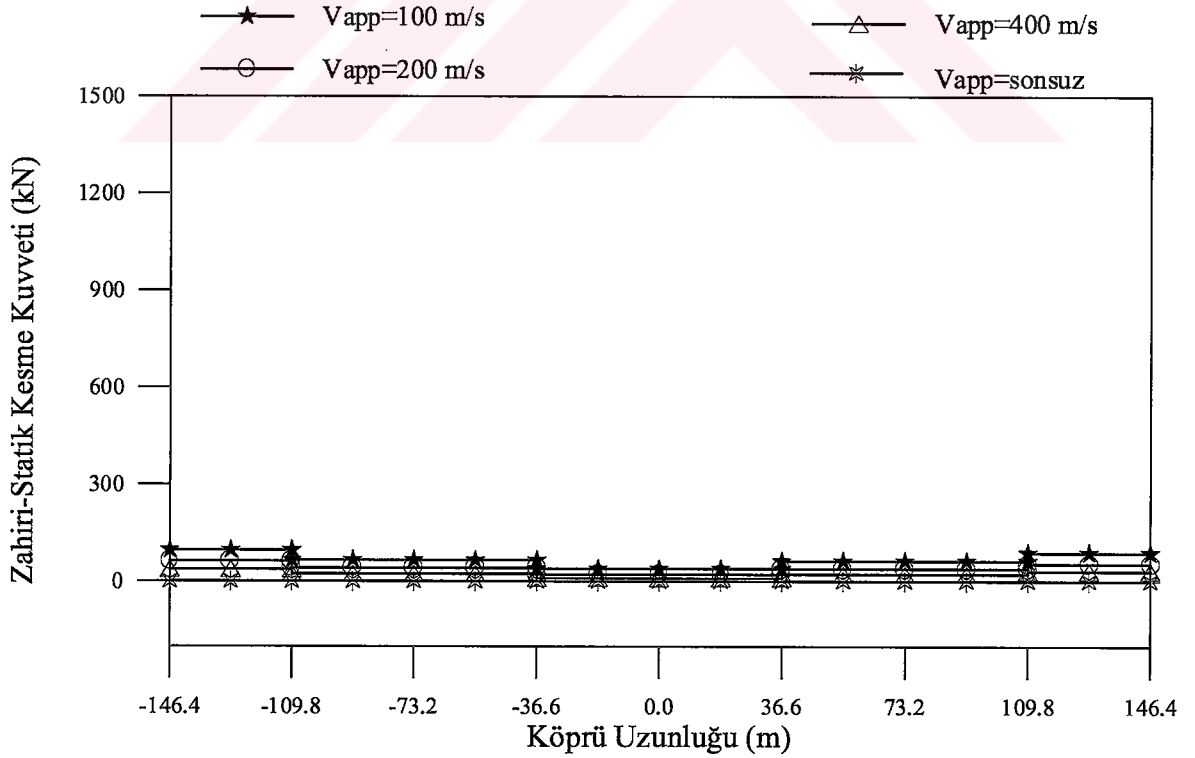
Şekil 3.12. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam eğilme momentleri



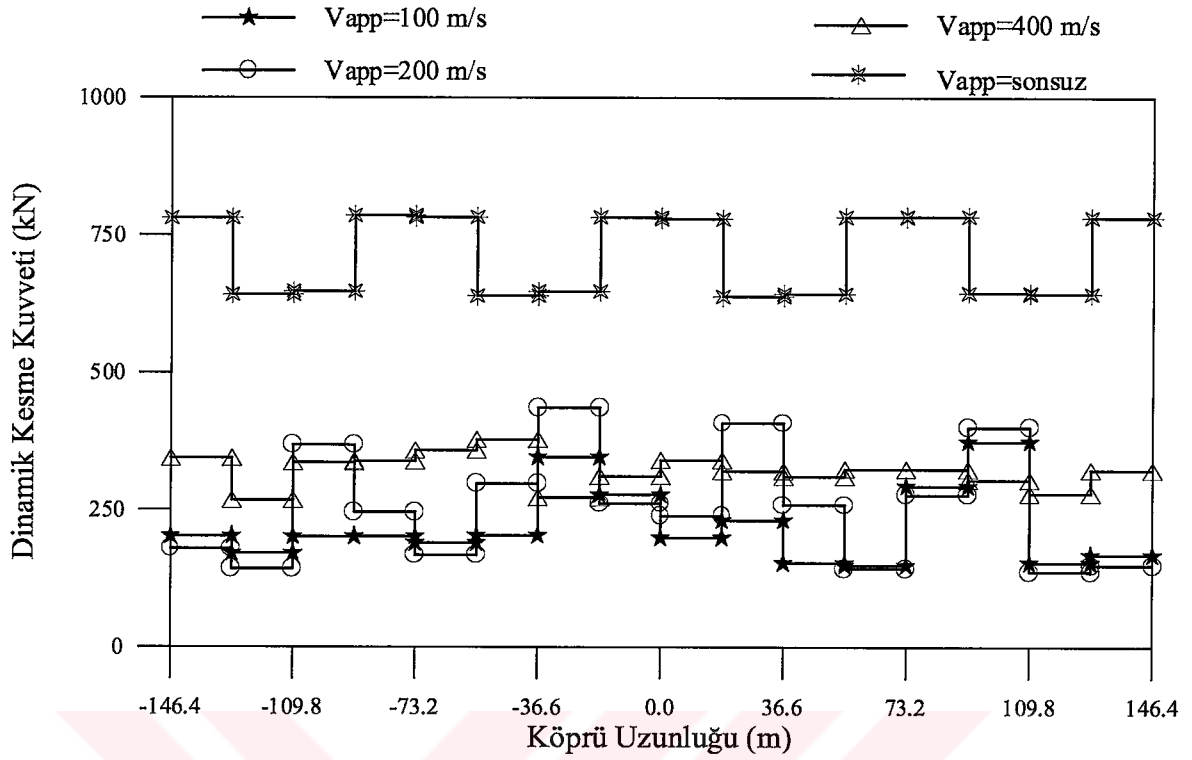
Şekil 3.13. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam eğilme momentleri



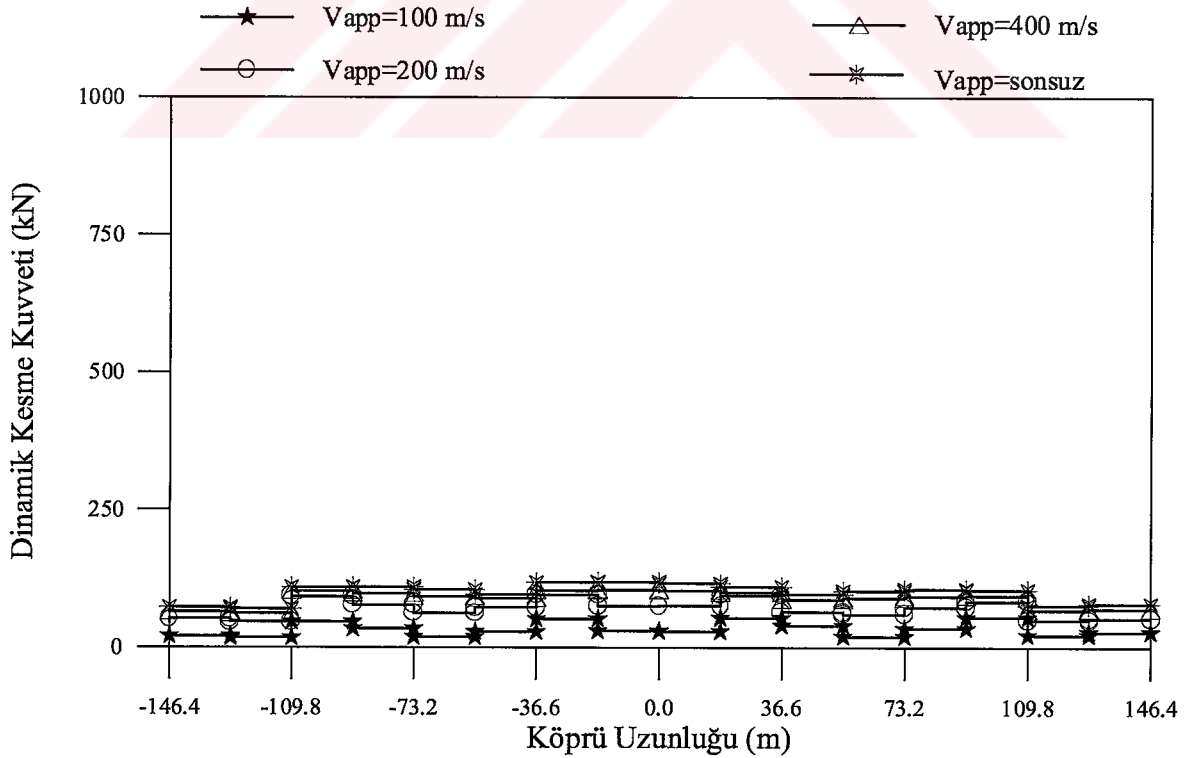
Şekil 3.14. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik kesme kuvvetleri



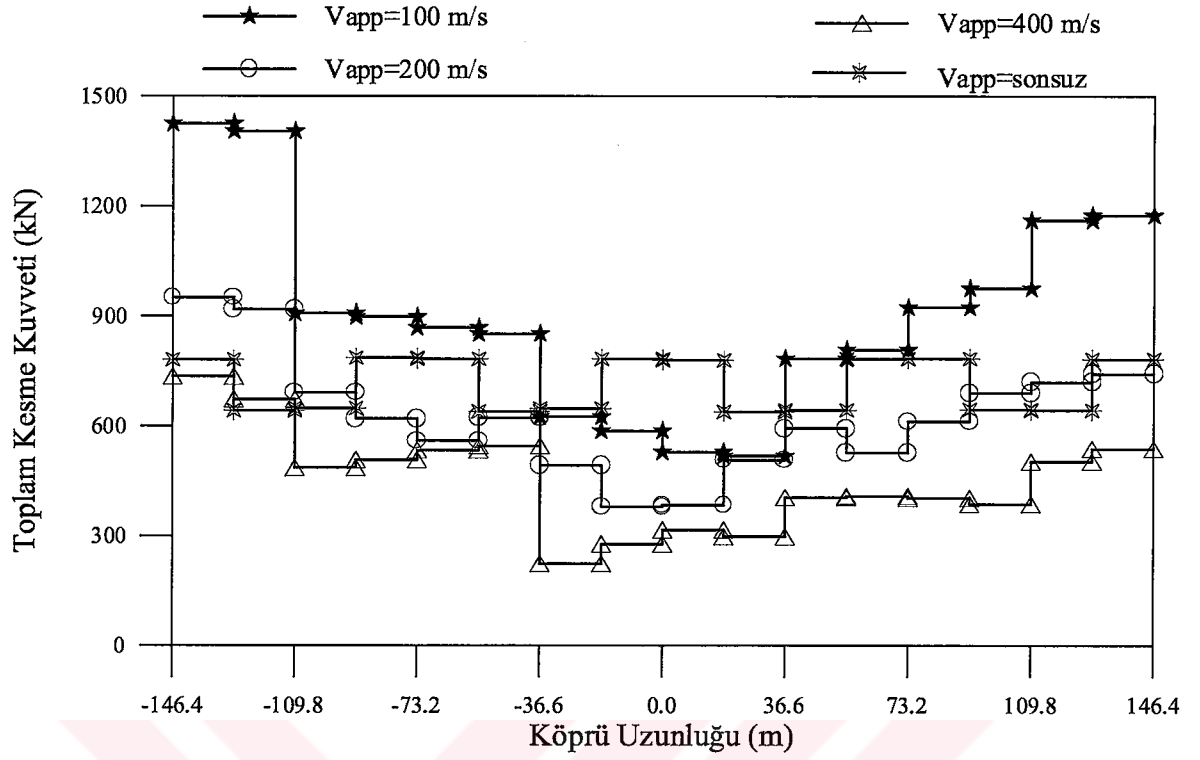
Şekil 3.15. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik kesme kuvvetleri



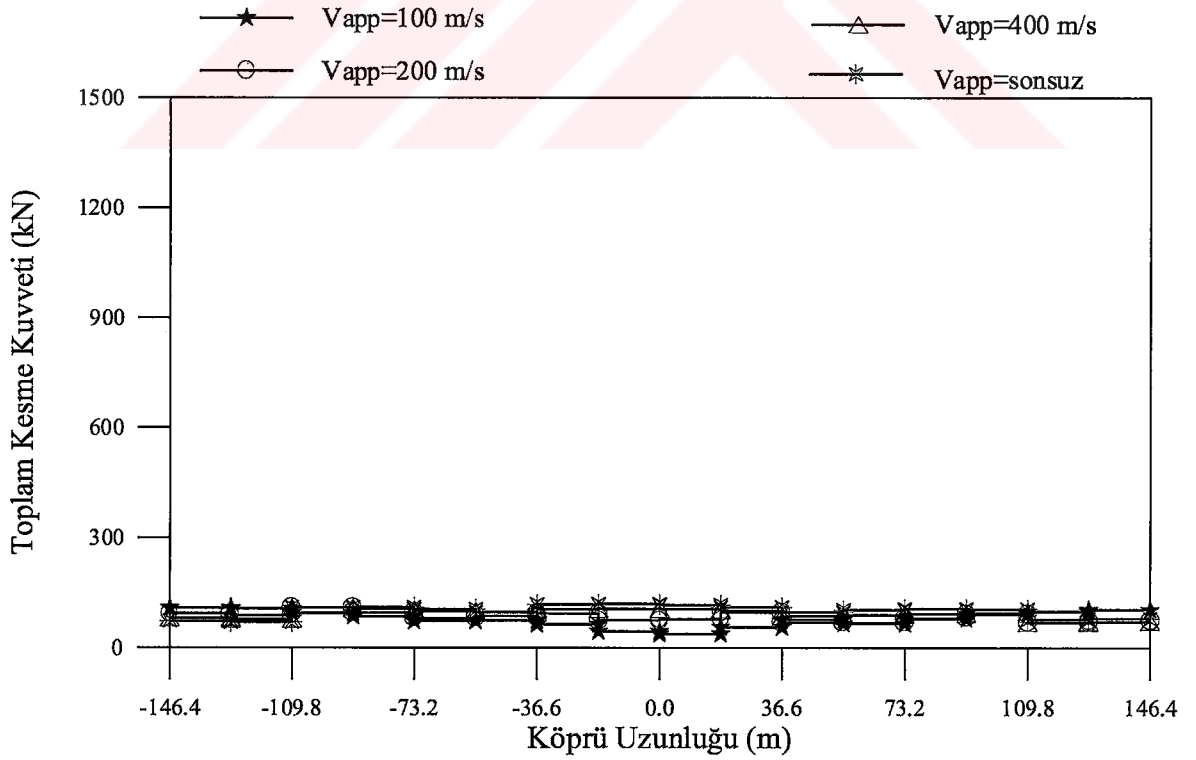
Şekil 3.16. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik kesme kuvvetleri



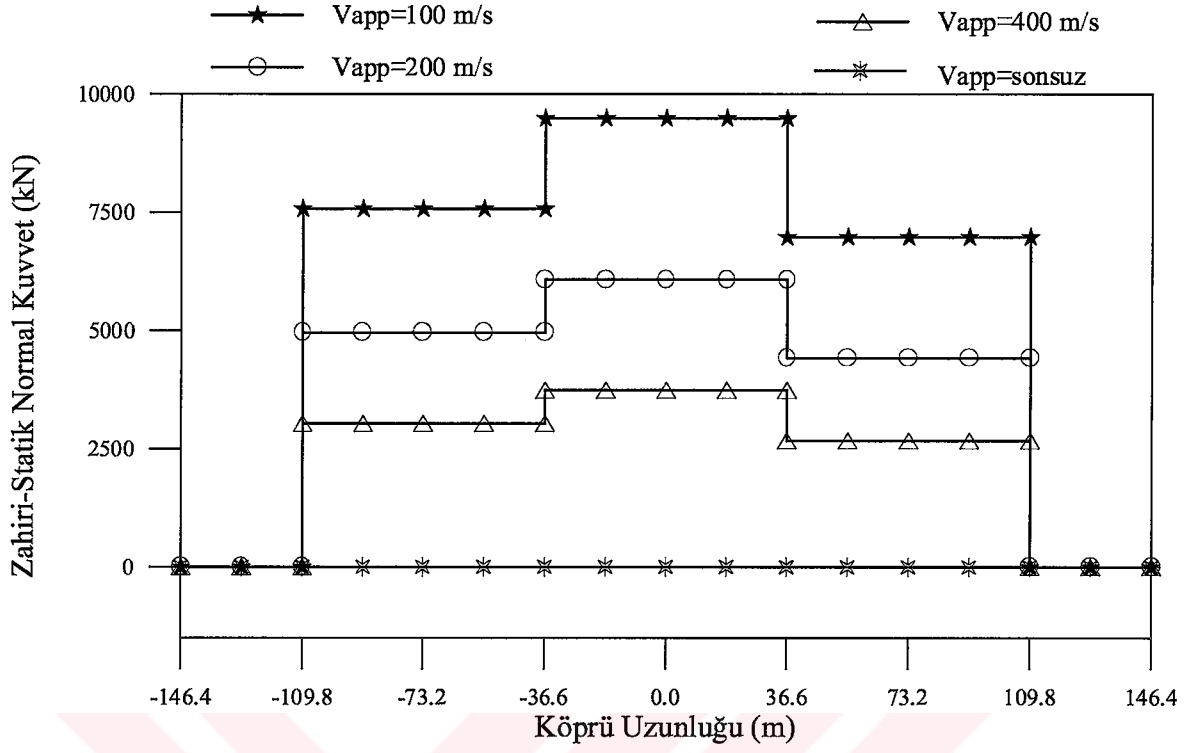
Şekil 3.17. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik kesme kuvvetleri



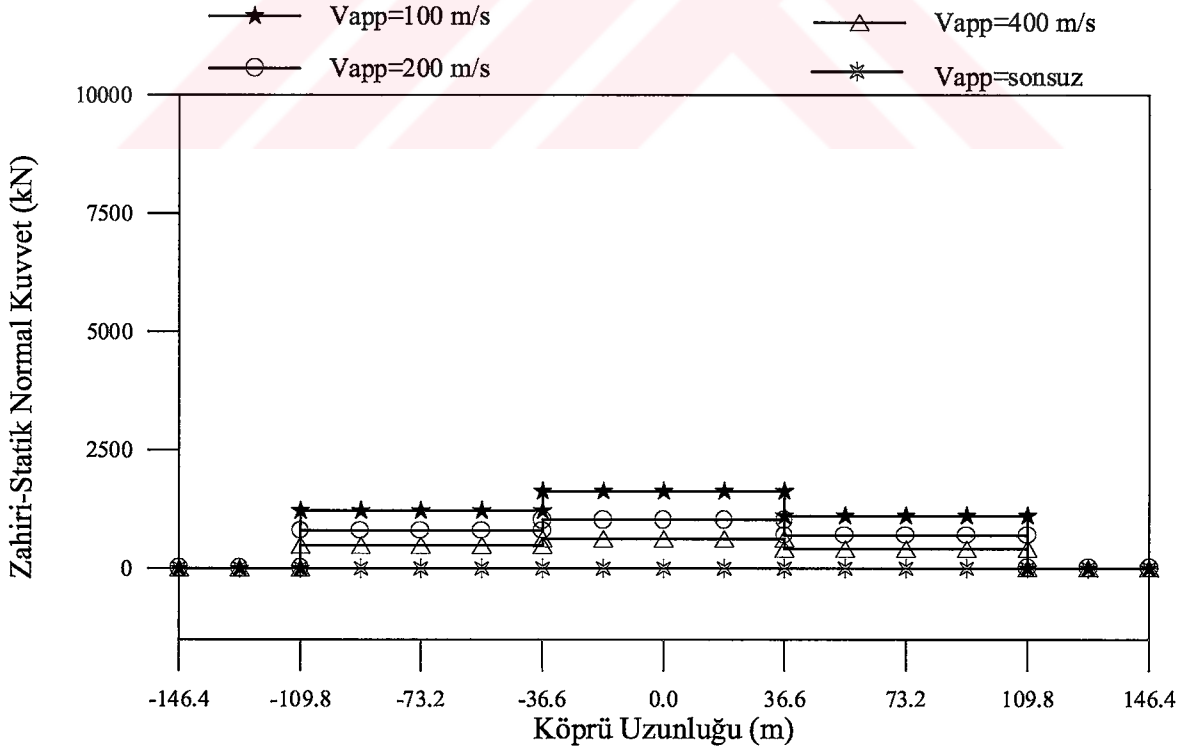
Şekil 3.18. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam kesme kuvvetleri



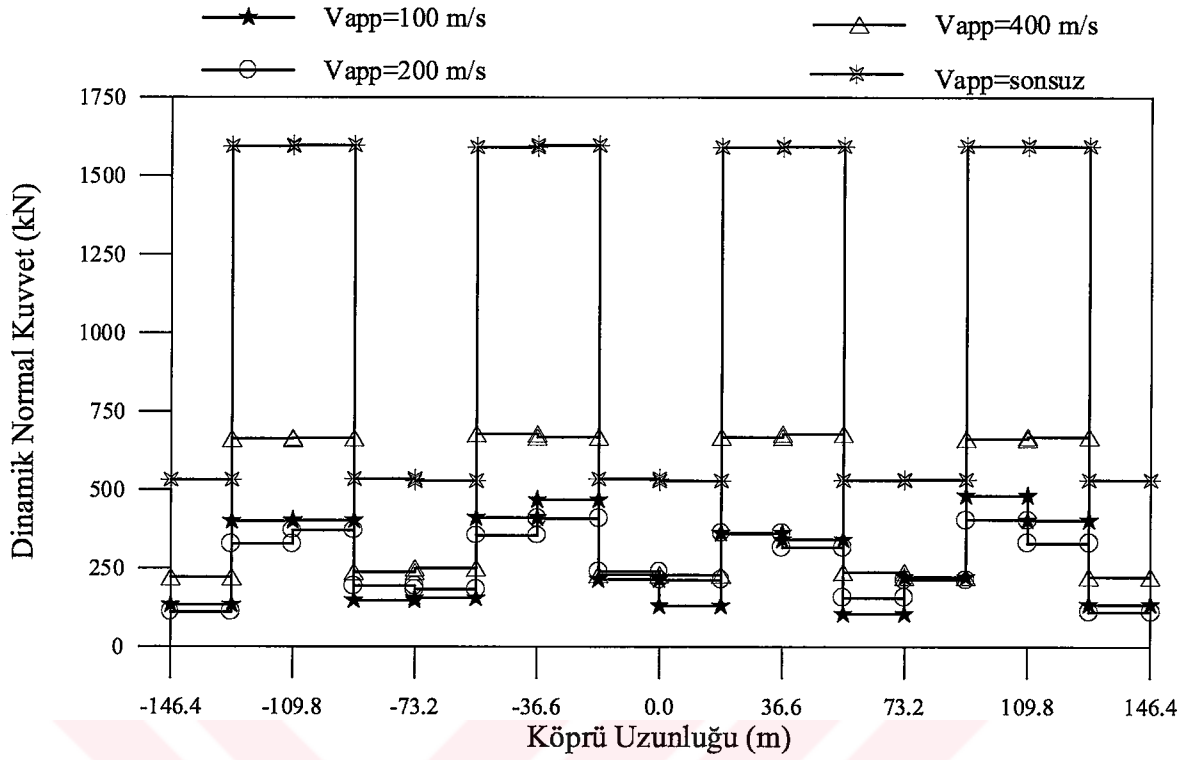
Şekil 3.19. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam kesme kuvvetleri



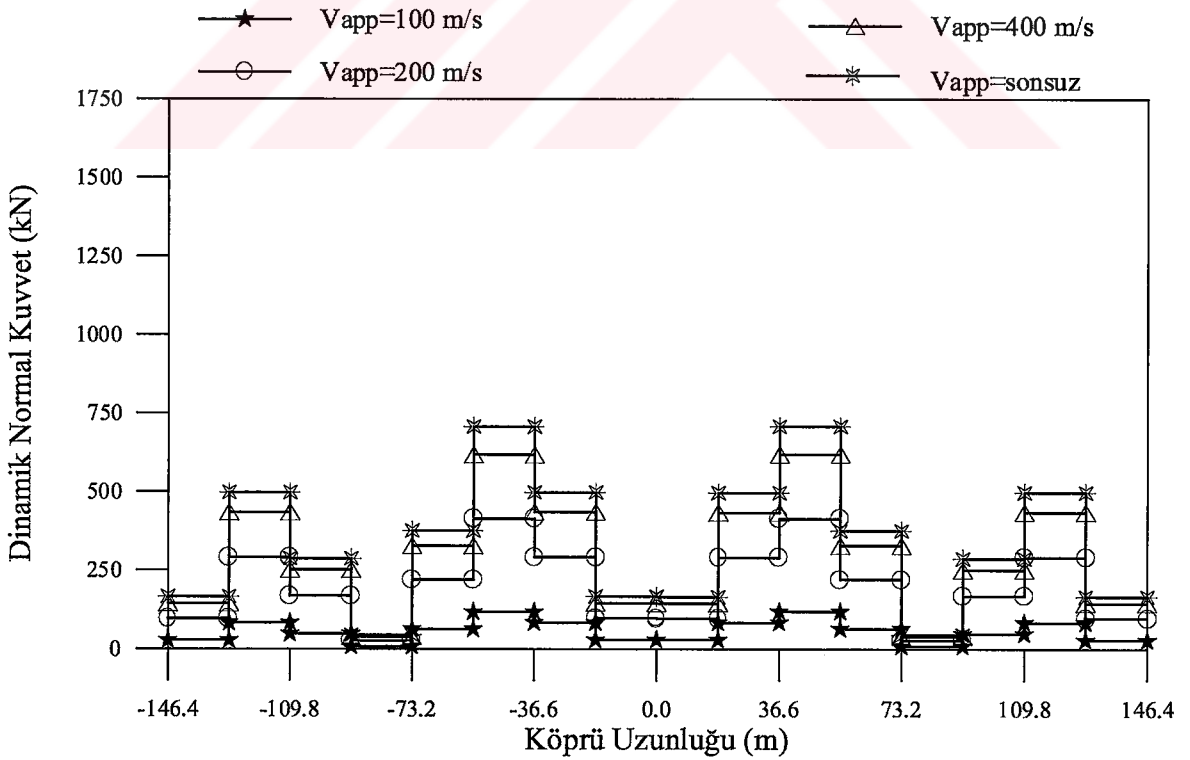
Şekil 3.20. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik normal kuvvetleri



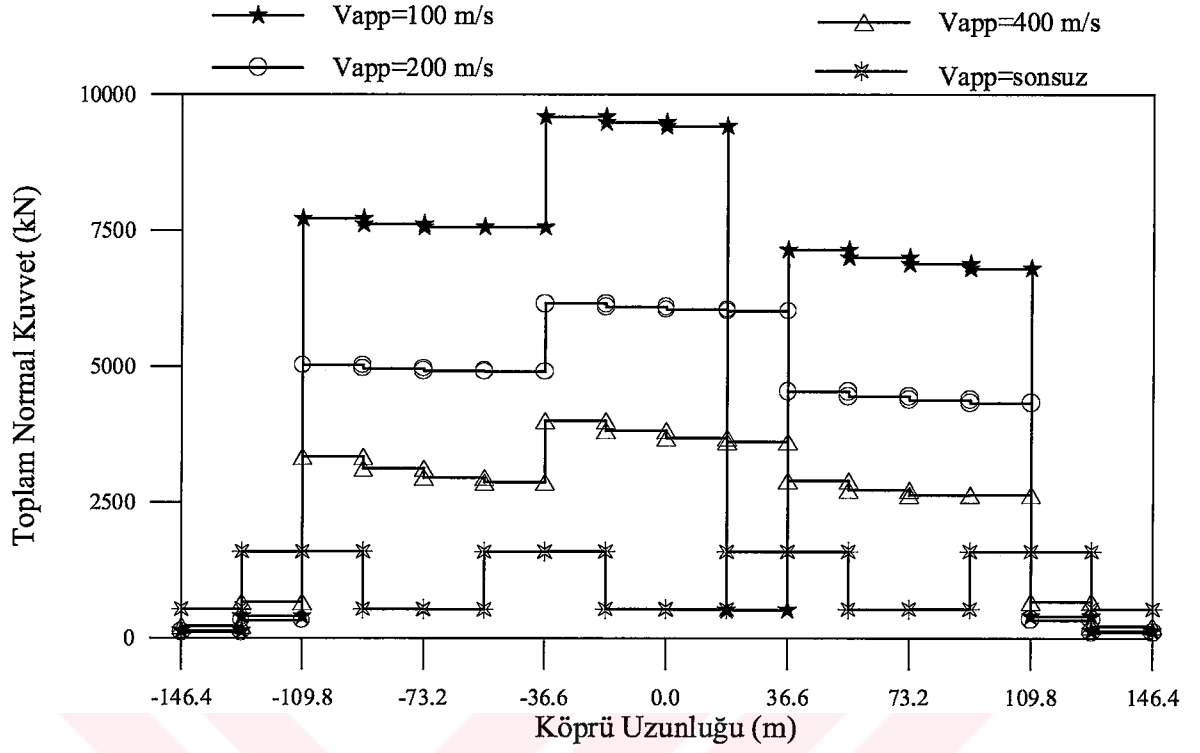
Şekil 3.21. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik normal kuvvetleri



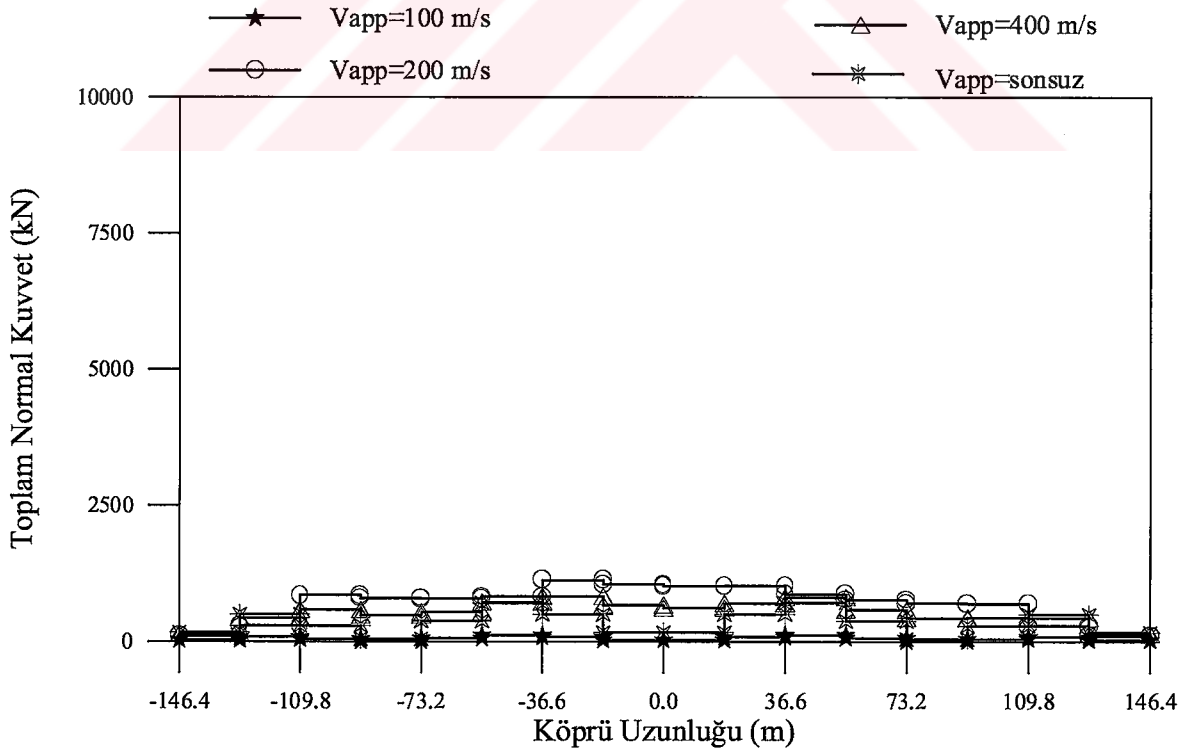
Şekil 3.22. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik normal kuvvetleri



Şekil 3.23. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik normal kuvvetleri



Şekil 3.24. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam normal kuvvetleri



Şekil 3.25. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam normal kuvvetleri

3.1.1.2. Homojen Sert Zemin Durumu

Karayolu köprüsünün mesnetlendiği zeminin homojen ve sert olduğu kabul edilerek; tutarsızlık etkileri ihmal edilip sadece deprem dalgasının yayılma etkisi dikkate alınarak izolasyonsuz ve izolasyonlu köprünün stokastik analizleri yapılmıştır. Bu durum; (2.9) denklemindeki tutarsızlık etkisinin $|\gamma_{\ell_m}(\omega)|^k = 1$, zemin etkisinin $\gamma_{\ell_m}(\omega)^Z = 1$ ve dalga yayılması etkisinin $\gamma_{\ell_m}(\omega)^d \neq 1$ olmasına karşılık gelmektedir. Sert zemin için dalga yayılma hızları sırasıyla 1000, 2000, 3000 m/s ve sonsuz olarak seçilmiştir (T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1998). Sonsuz hız durumu üniform yer hareketine karşılık gelmektedir. Yer hareketi olarak, sert zeminlerde kaydedilen 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı S16E bileşeni dikkate alınmaktadır. Şekil 3.26'da homojen sert zemine oturan, yatay dalga yayılma etkisine maruz karayolu köprüsü görülmektedir.

Şekil 3.27-3.50' de izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü tabliyesinde elde edilen ortalama maksimum yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri görülmektedir. Bu grafikler, yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin zahiri-statik, dinamik ve toplam değerlerinden oluşmaktadır.

İzolasyonlu köprü tabliyesinde meydana gelen zahiri-statik, dinamik ve toplam yatay yerdeğiştirmeler, izolasyonsuz köprü tabliyesi yerdeğiştirmelerinden büyük olduğu Şekil 3.27-3.32'den görülmektedir. Bu durum, sürtünmeli sarkaç mesnetine izin verilen yerdeğiştirme kapasitesinden kaynaklanmaktadır. Dalga yayılma hızının artması durumunda, homojen sert zemine mesnetlenen hem izolasyonsuz hem de izolasyonlu köprüde; zahiri-statik, dinamik ve toplam yerdeğiştirmeler artmıştır.

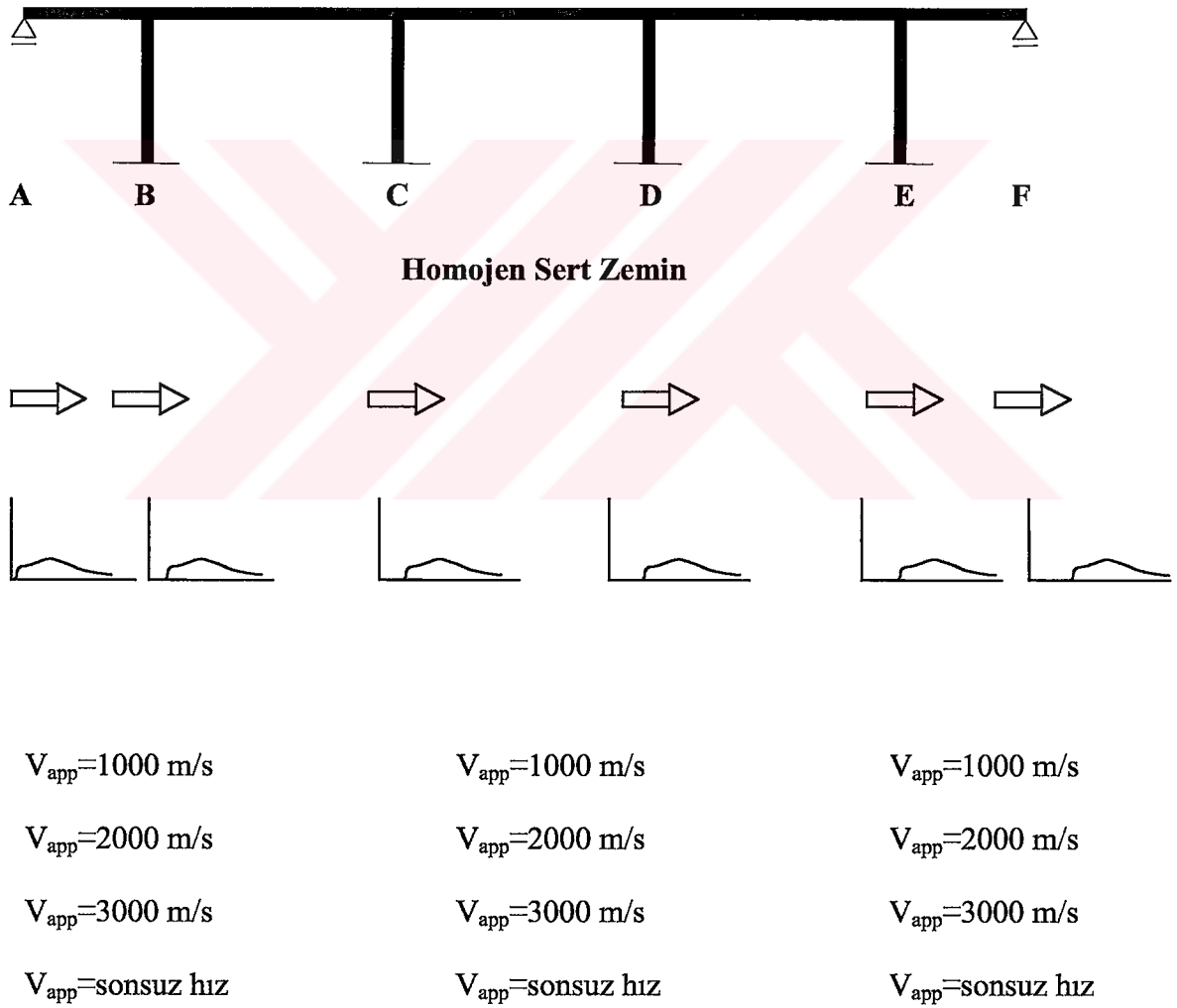
Şekil 3.33-3.34'ten dalga yayılma hızının artmasıyla, hem izolasyonsuz hem de izolasyonlu köprü tabliyesinde oluşan zahiri-statik eğilme momentlerinin azaldığı görülmektedir. Dalga yayılma hızının artması durumunda, izolasyonsuz köprünün her bir açıklık ortasındaki dinamik ve toplam eğilme momentlerinde azalma gözlenirken, her bir mesnetteki dinamik ve toplam eğilme momentlerinde bir artma söz konusu olmaktadır (Şekil 3.36-3.37) Buna karşılık, izolasyonlu köprü tabliyesinde meydana gelen dinamik ve toplam eğilme momentlerinde fazla bir değişim gözlenmemektedir (Şekil 3.36-3.38).

Üniform yer hareketine karşılık gelen hızın sonsuz olması durumunda tabliyede oluşan zahiri-statik eğilme momenti, kesme ve normal kuvvetlerinin sıfır olduğu Şekil

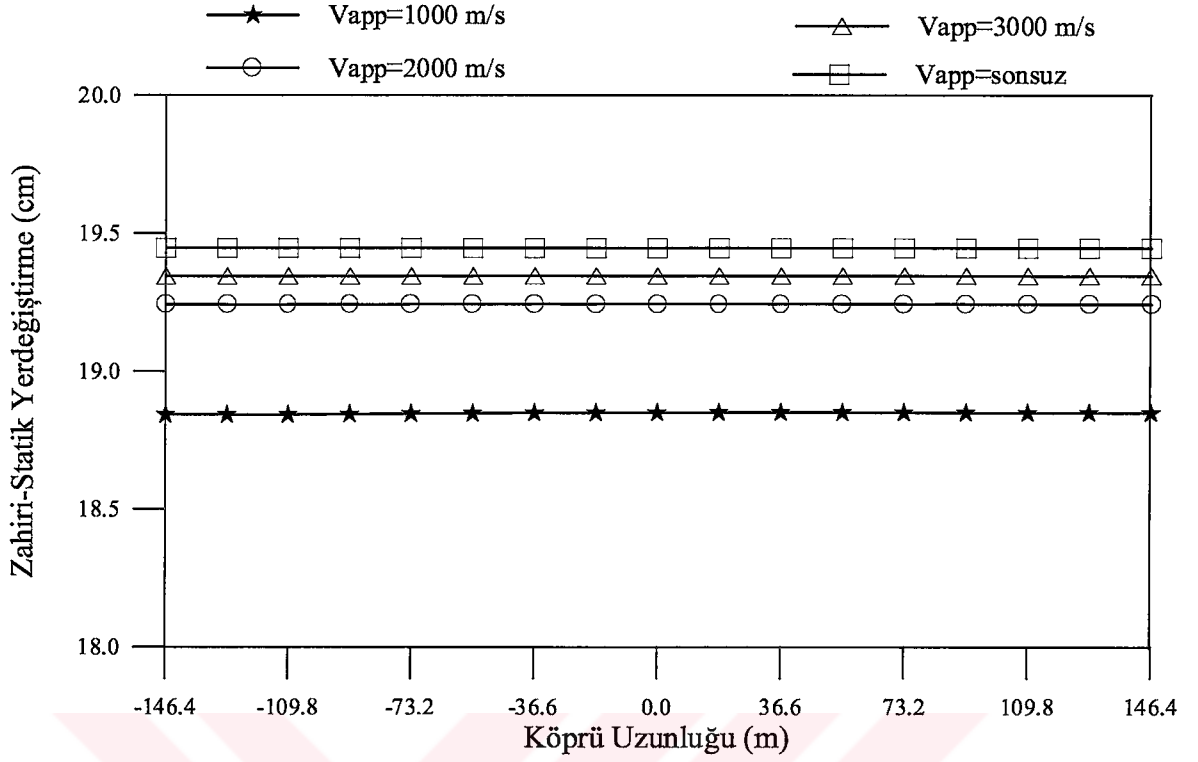
3.33, Şekil 3.39 ve Şekil 3.45'den görülmektedir. Bu durum, analiz sonuçlarının doğruluğu hakkında bilgi vermektedir.

Şekil 3.39-3.40 ve Şekil 3.43-3.44' den dalga yayılma hızının artmasıyla, sert zemine mesnetlenen hem izolasyonsuz hem de izolasyonlu köprüde; zahiri-statik ve toplam kesme kuvvetleri azalırken dinamik kesme kuvveti artığı görülmektedir. Benzer durum normal kuvvetlerde de gözlenmektedir (Şekil 3.45-3.46 ve Şekil 3.49-3.50)

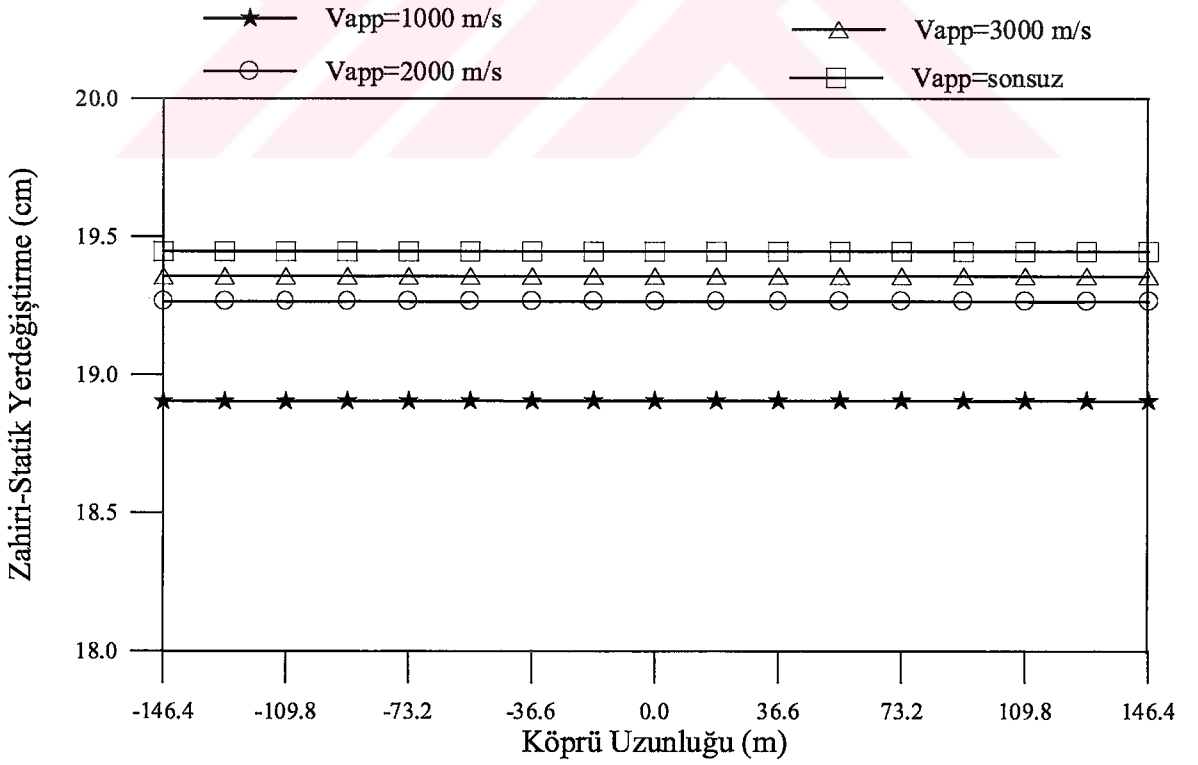
Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen köprünün stokastik analizinde izolasyon dikkate alınması eğilme momenti, keme kuvveti ve normal kuvvetleri genel olarak %60-%80 oranında azaltmaktadır.



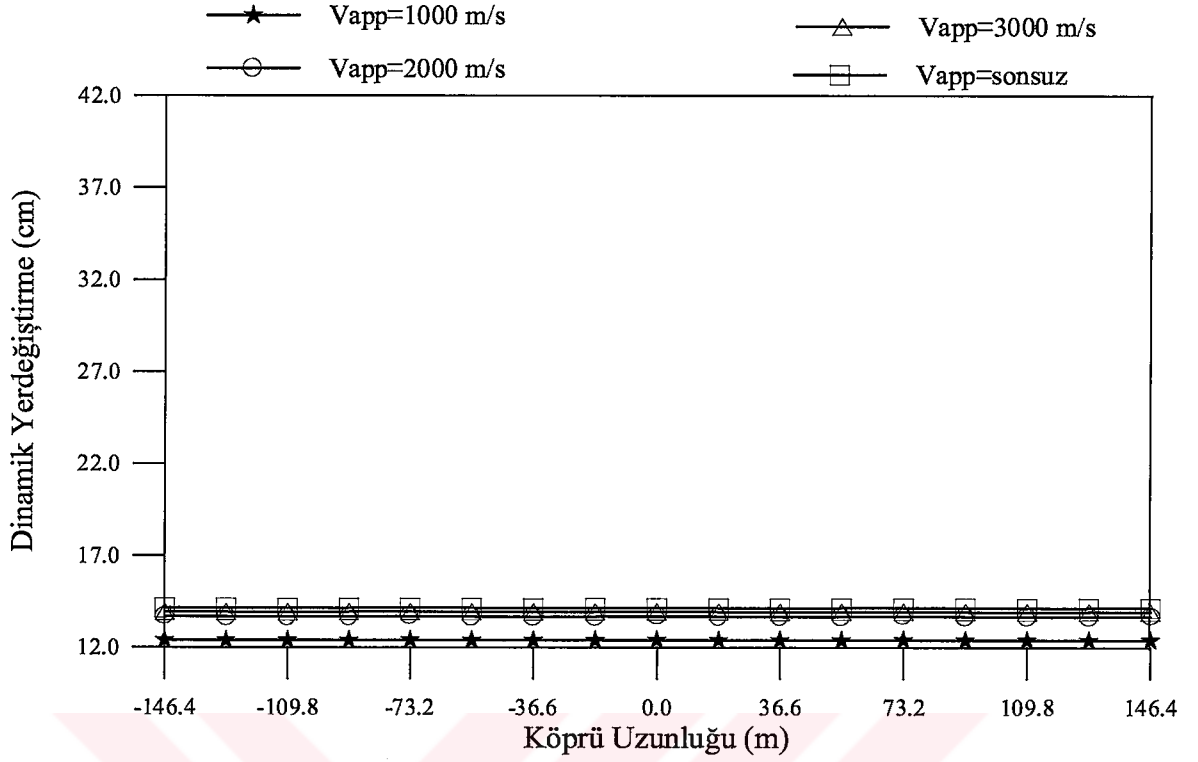
Şekil 3.26. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen karayolu köprüsünün analitik modeli



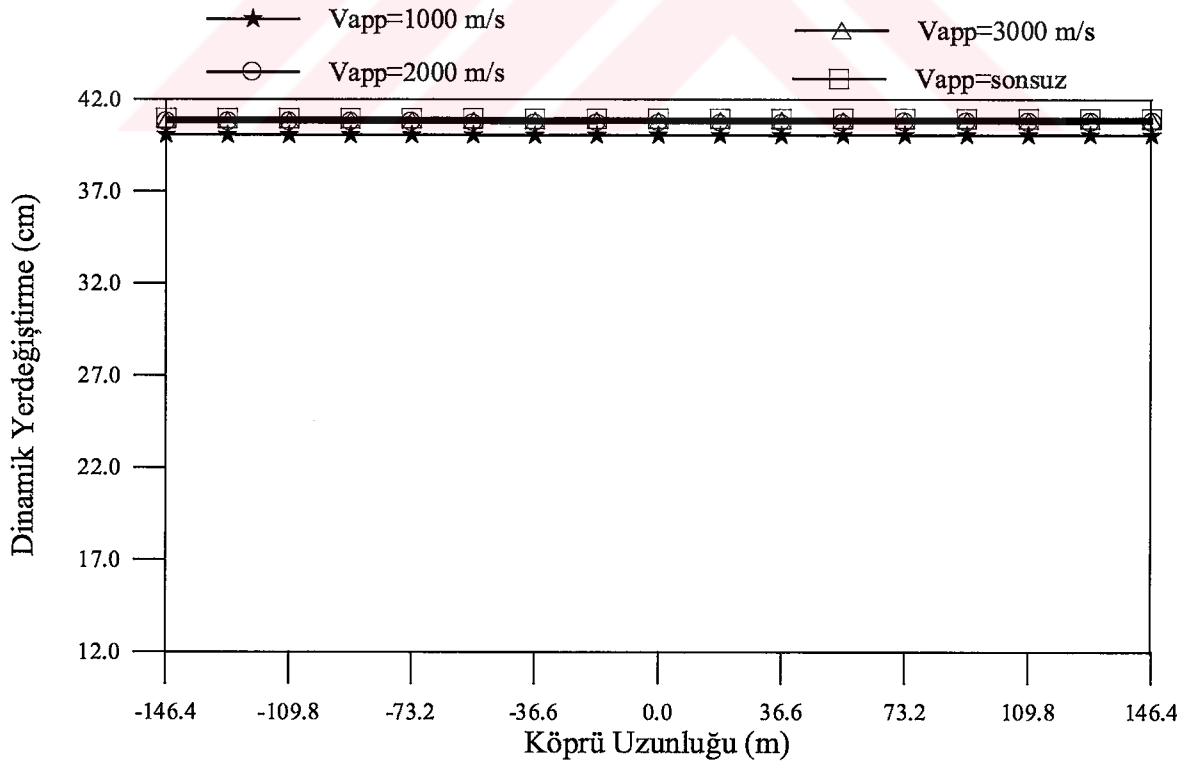
Şekil 3.27. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri



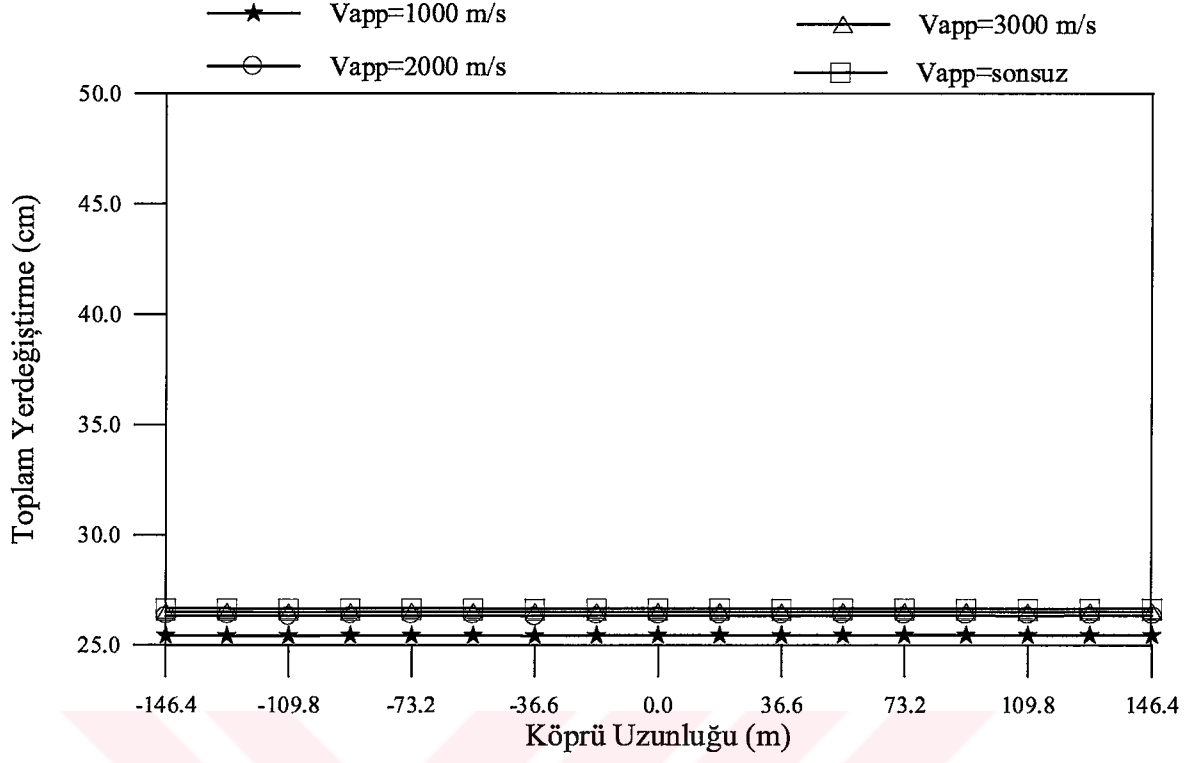
Şekil 3.28. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri



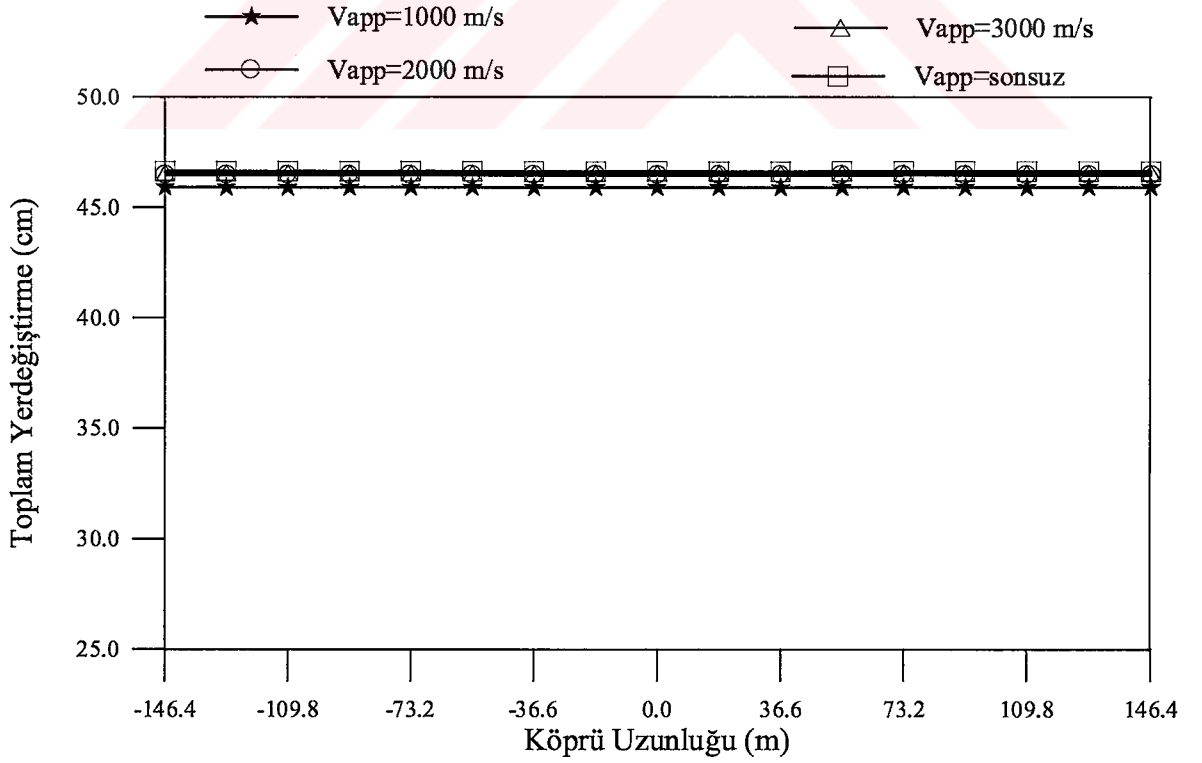
Şekil 3.29. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik yatay yerdeğiştirmeleri



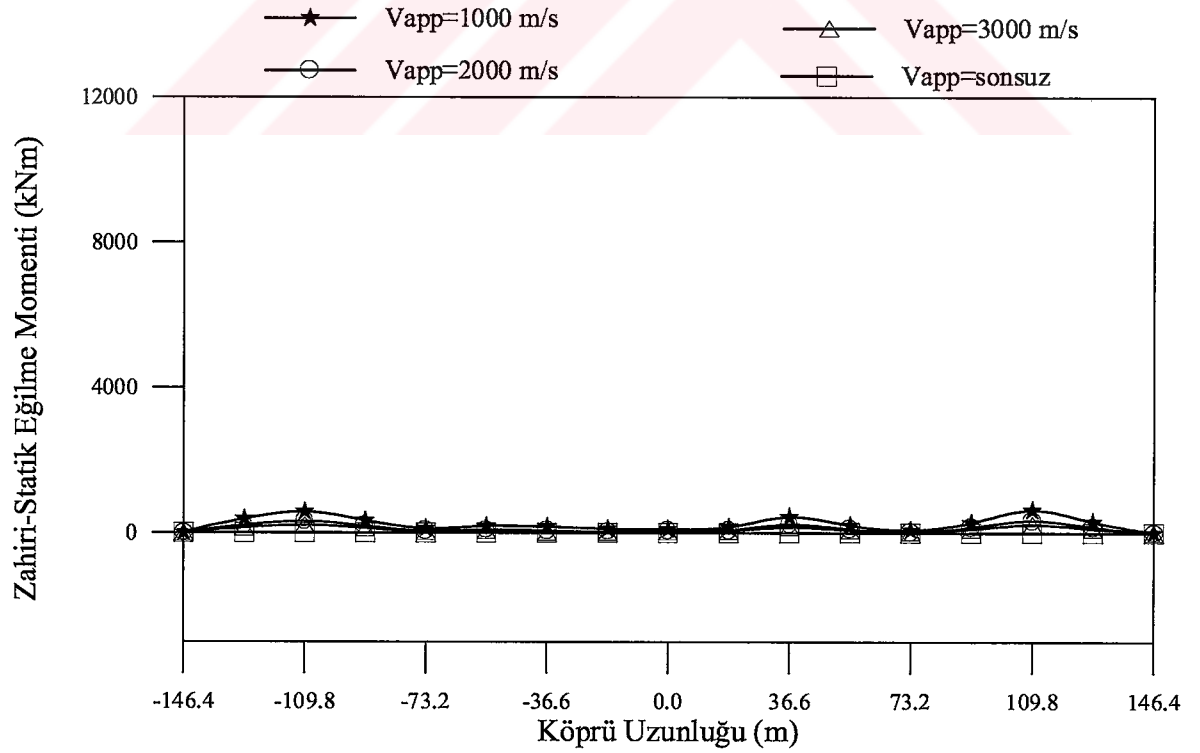
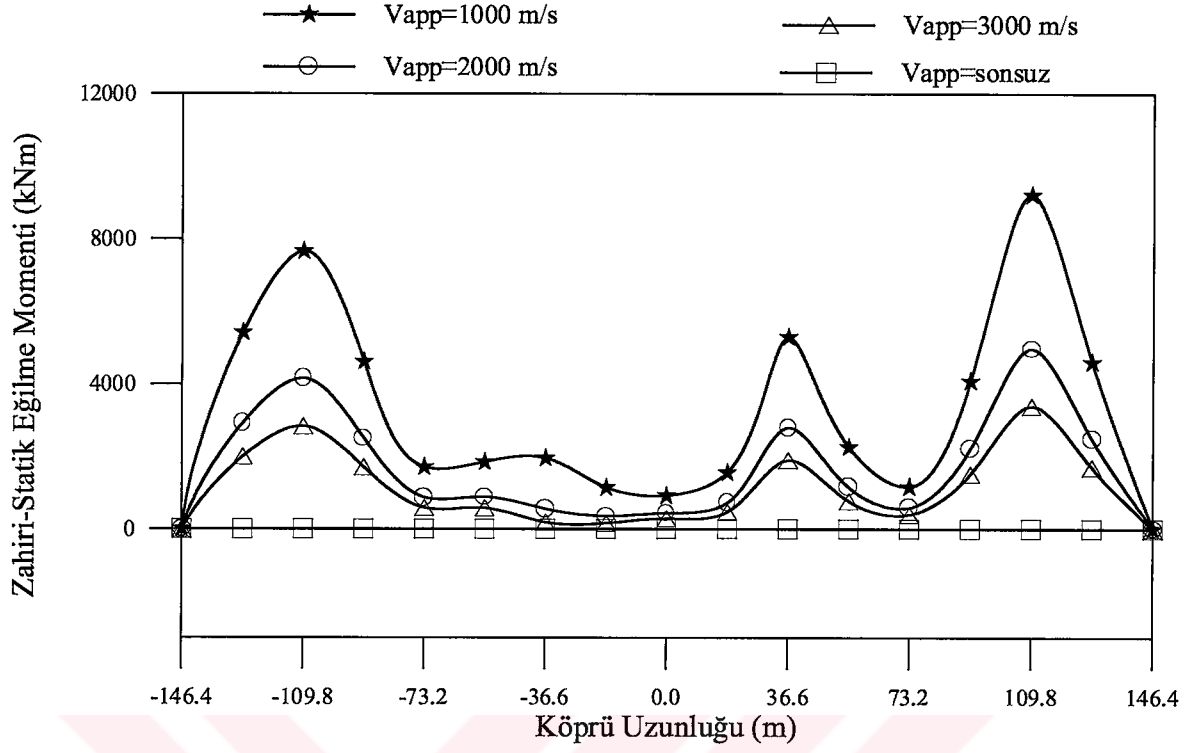
Şekil 3.30. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik yatay yerdeğiştirmeleri

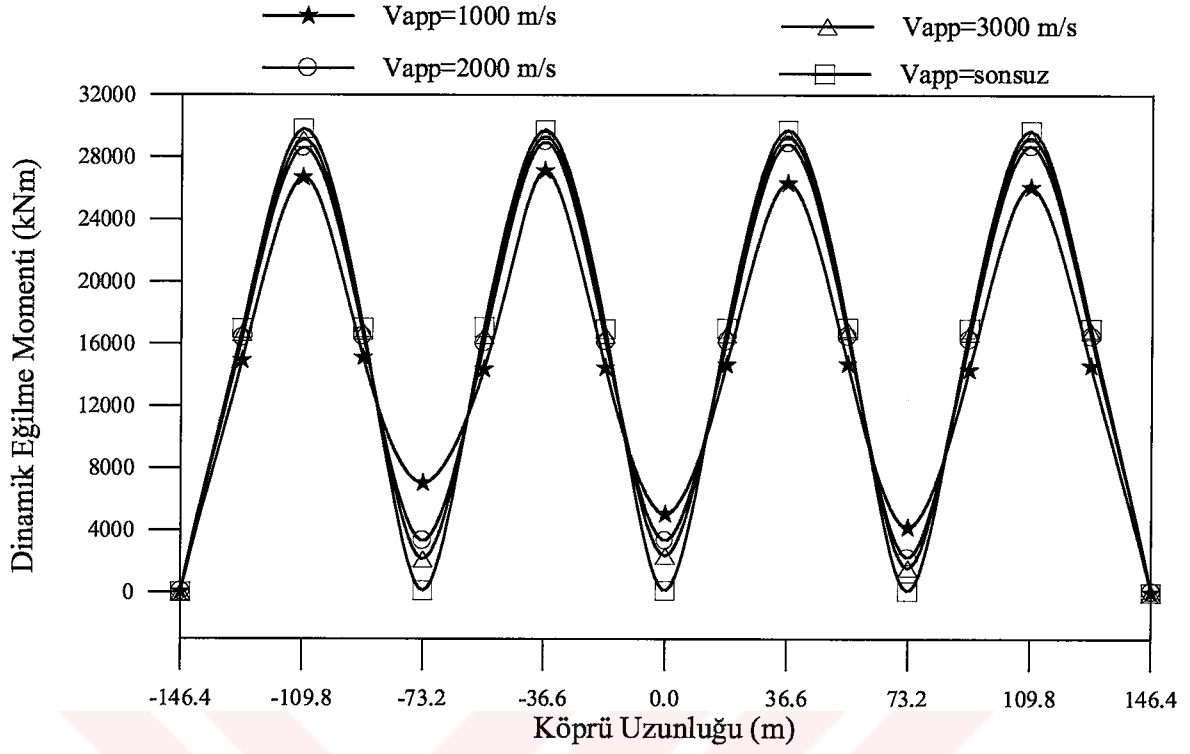


Şekil 3.31. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam yatay yerdeğiştirmeleri

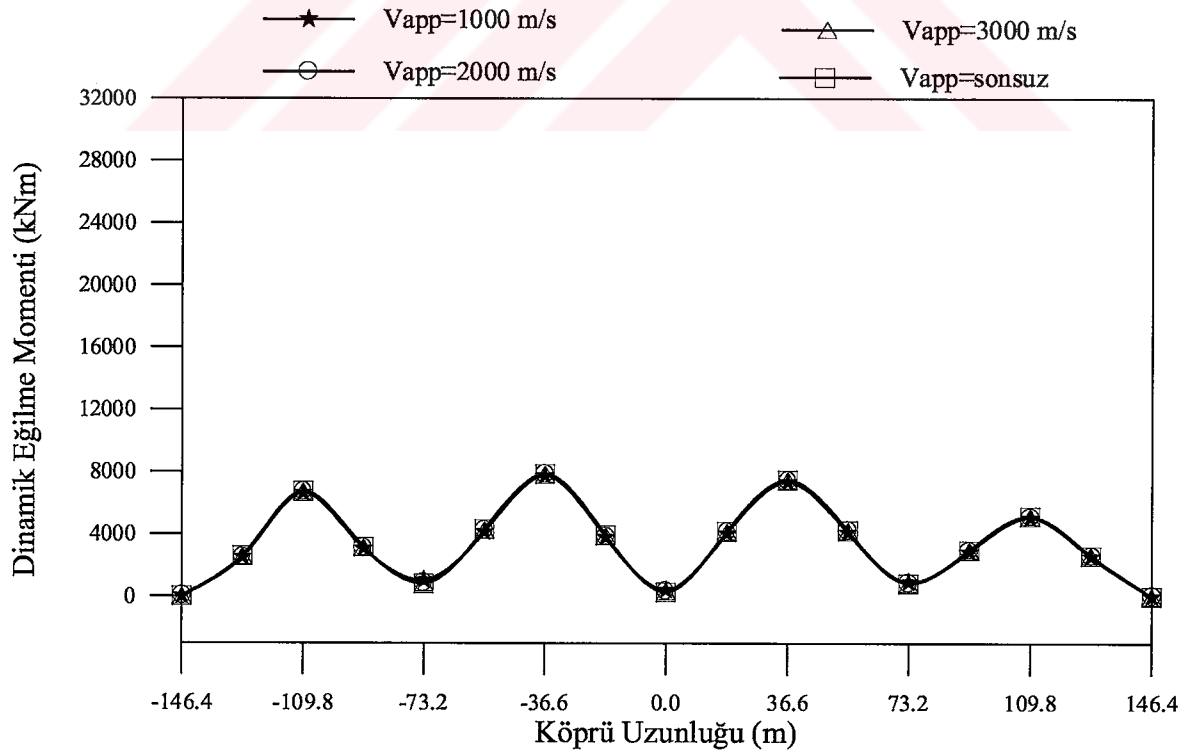


Şekil 3.32. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam yatay yerdeğiştirmeleri

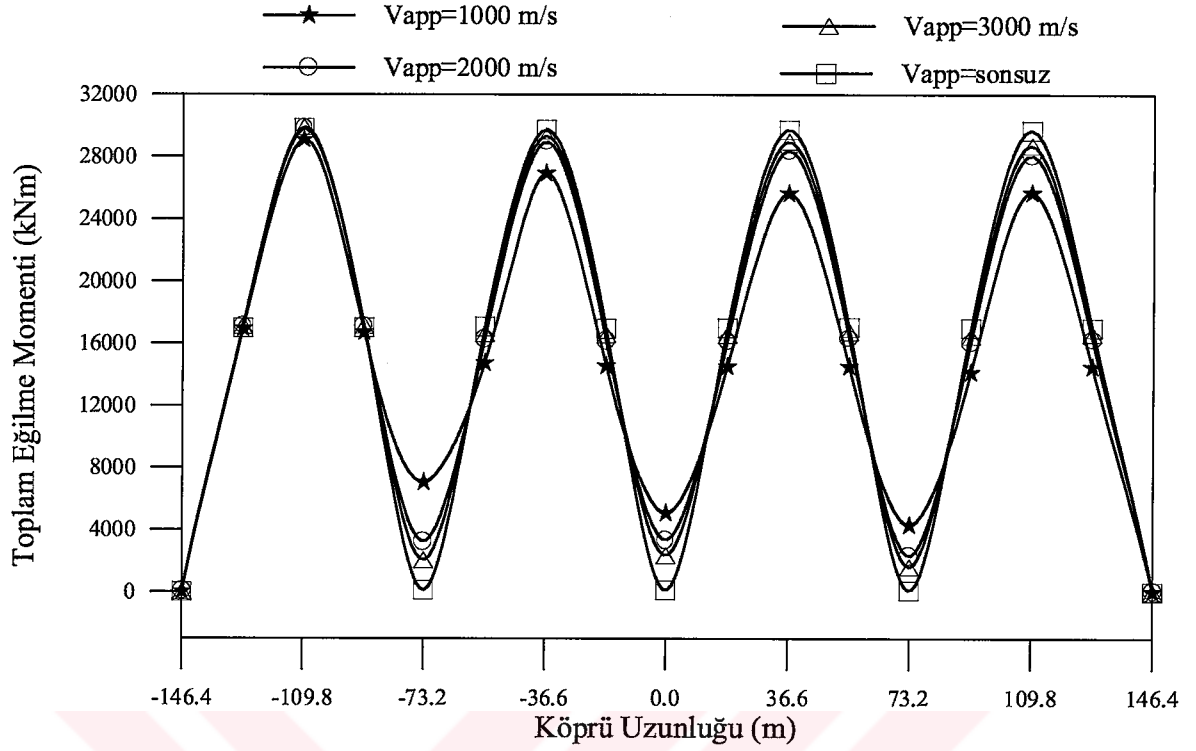




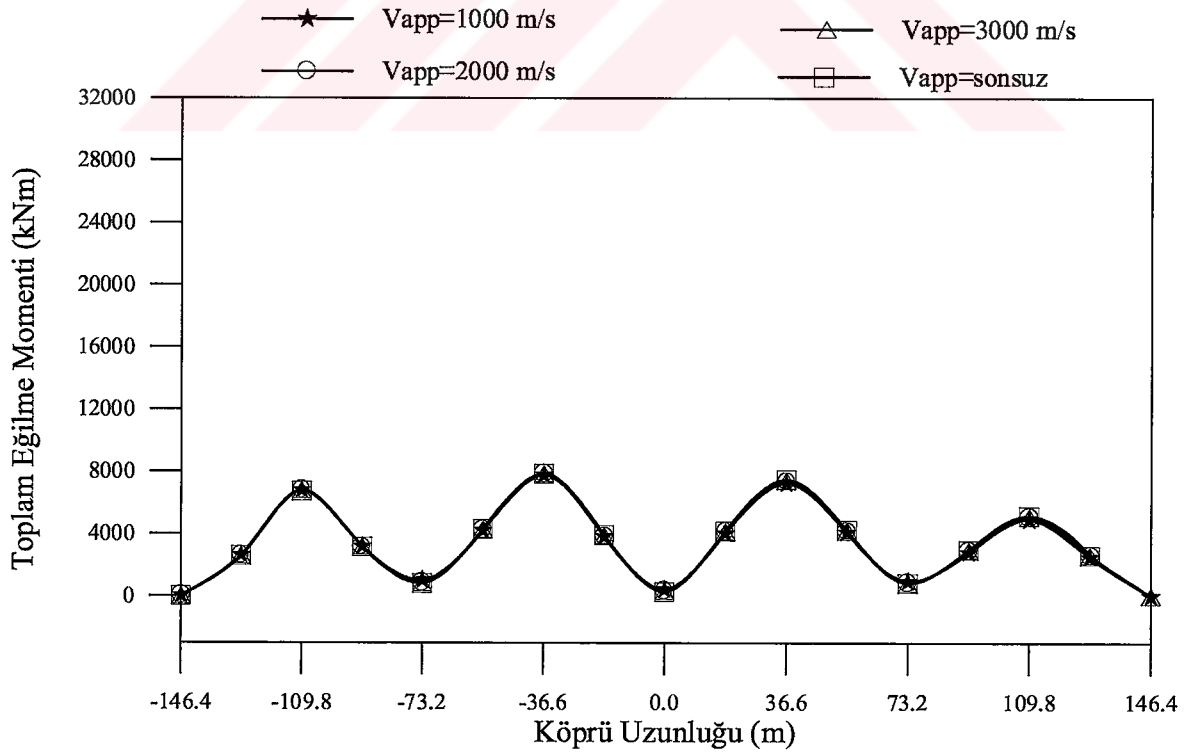
Şekil 3.35. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik eğilme momentleri



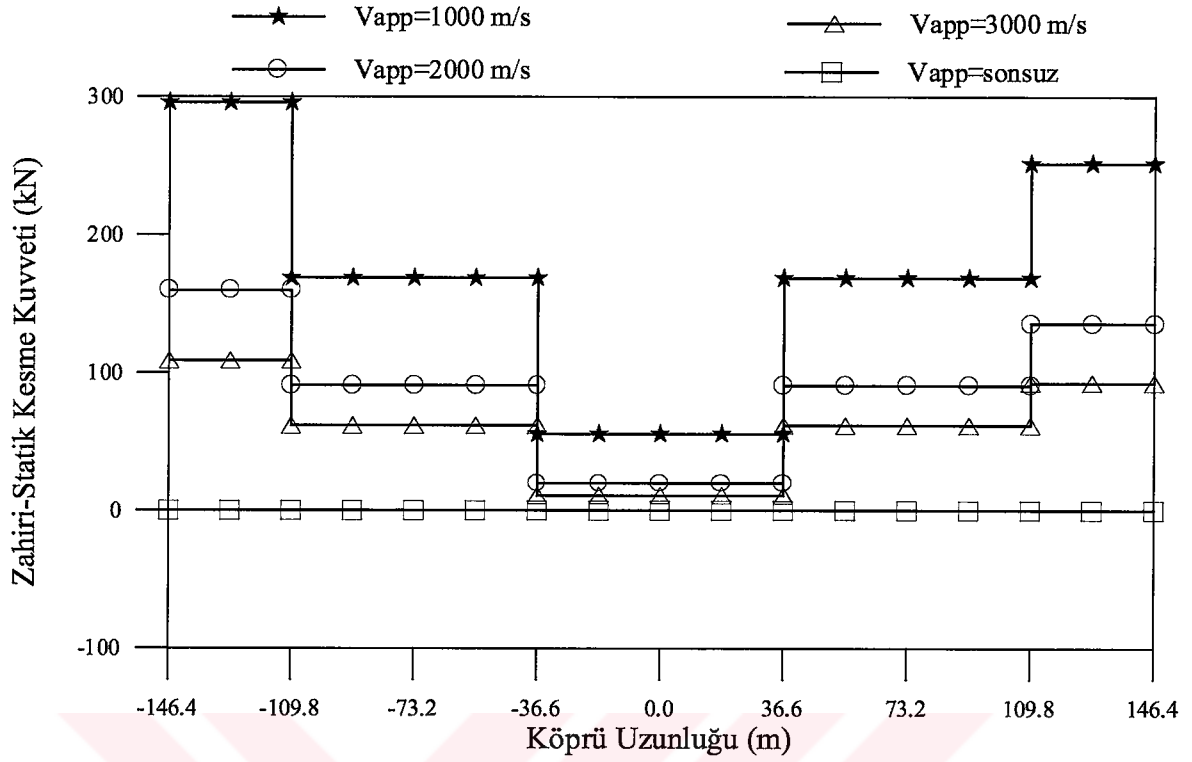
Şekil 3.36. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik eğilme momentleri



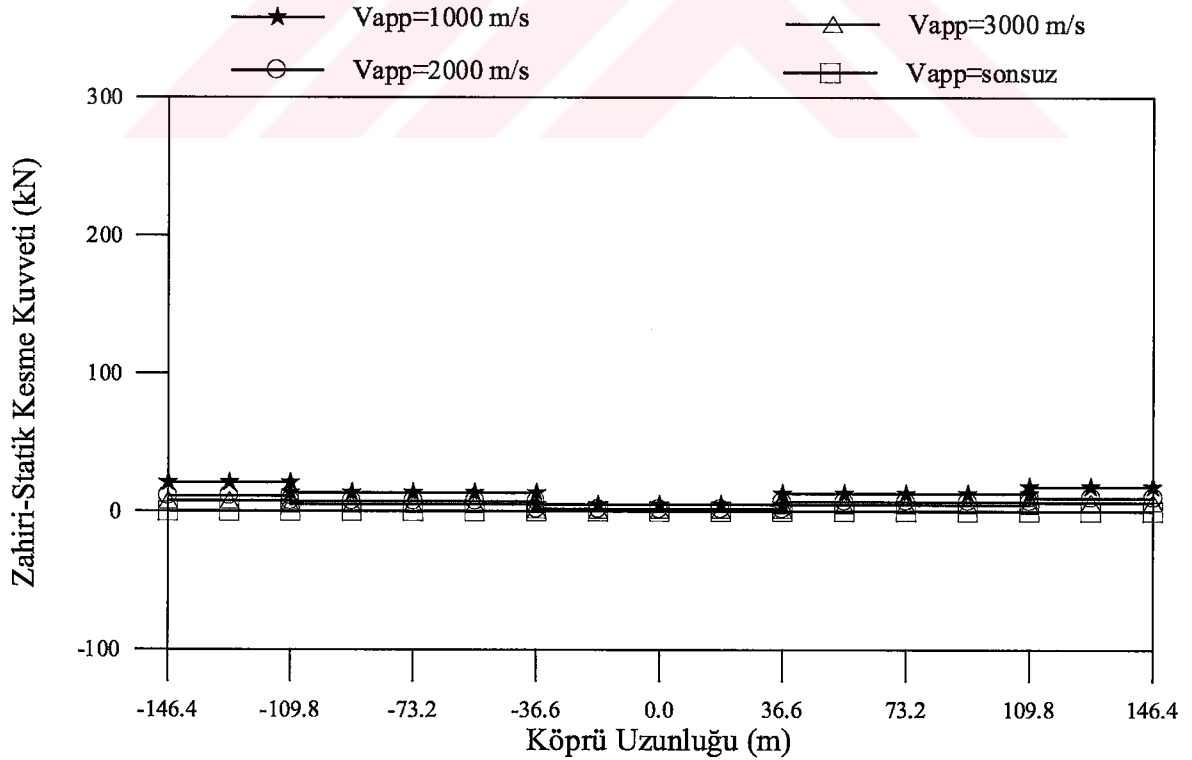
Şekil 3.37. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam eğilme momentleri



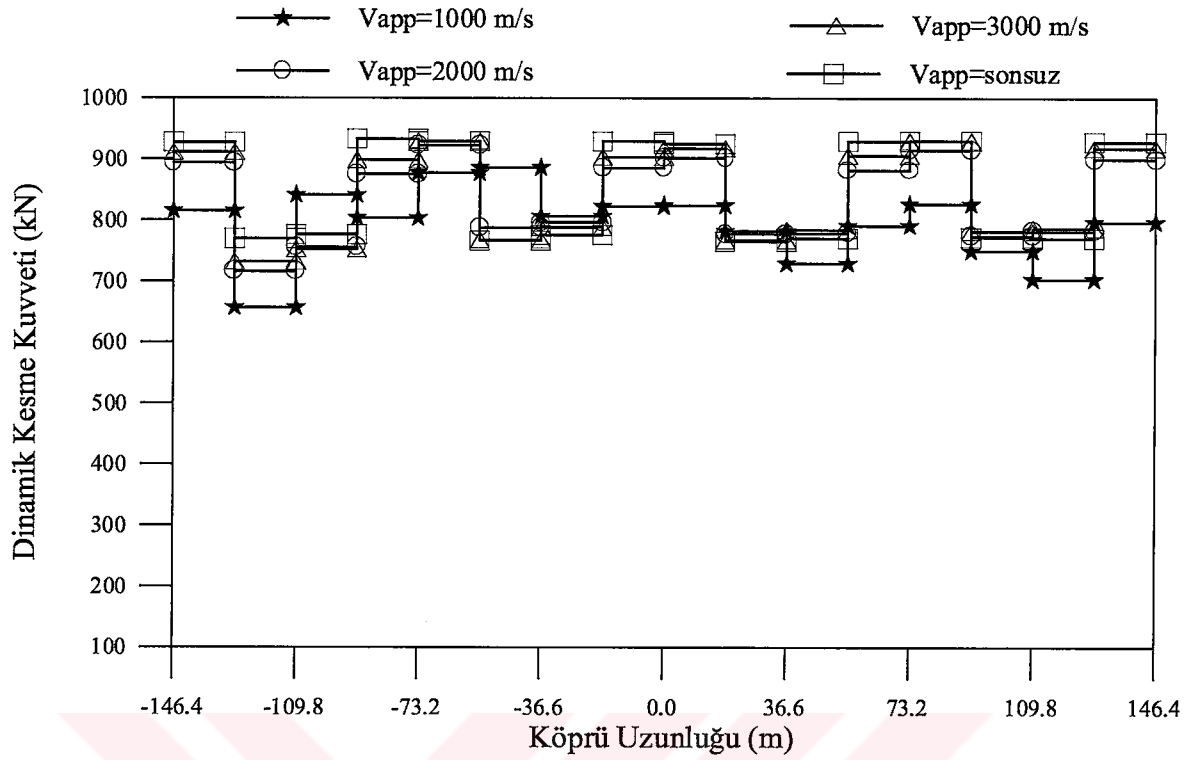
Şekil 3.38. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam eğilme momentleri



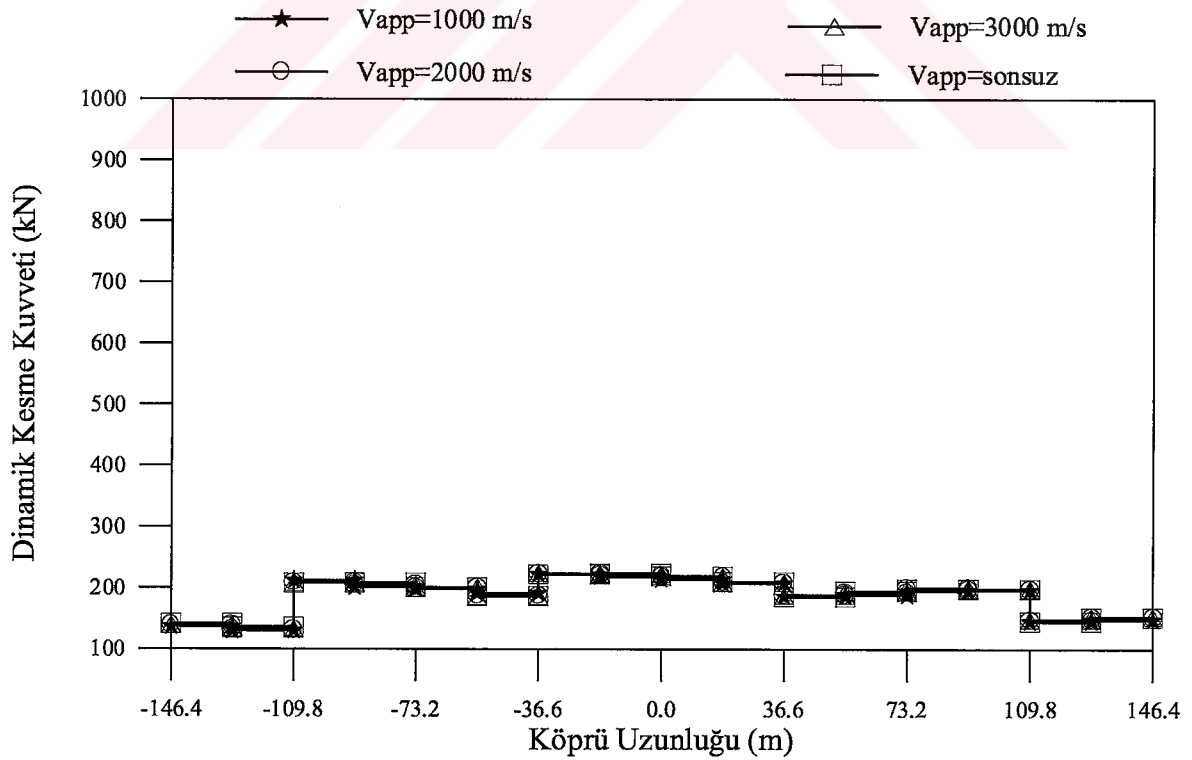
Şekil 3.39. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik kesme kuvvetleri



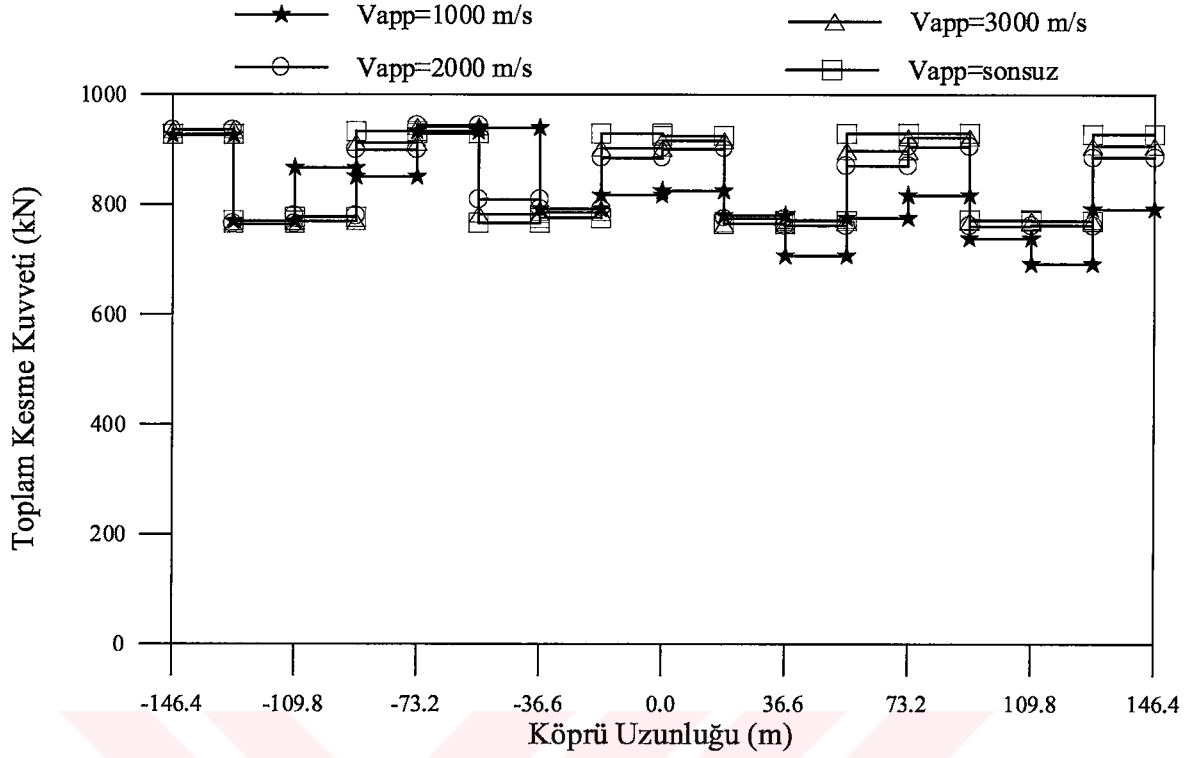
Şekil 3.40. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik kesme kuvvetleri



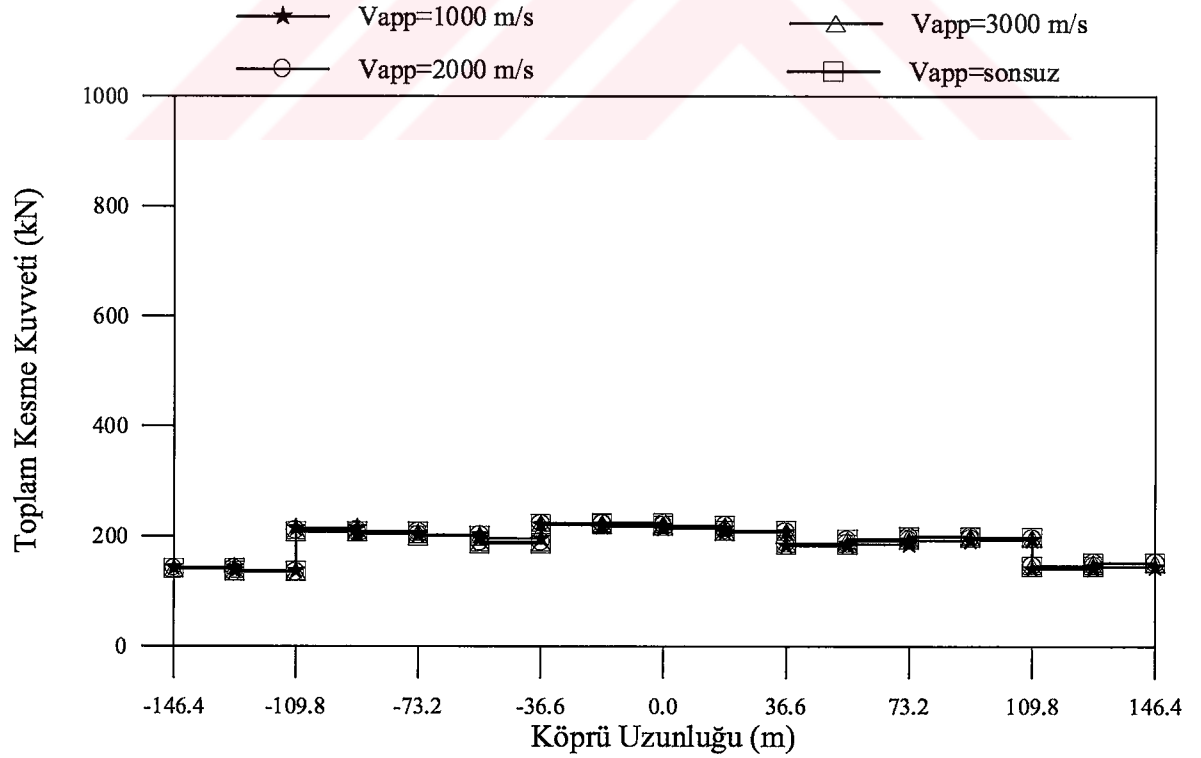
Şekil 3.41. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik kesme kuvvetleri



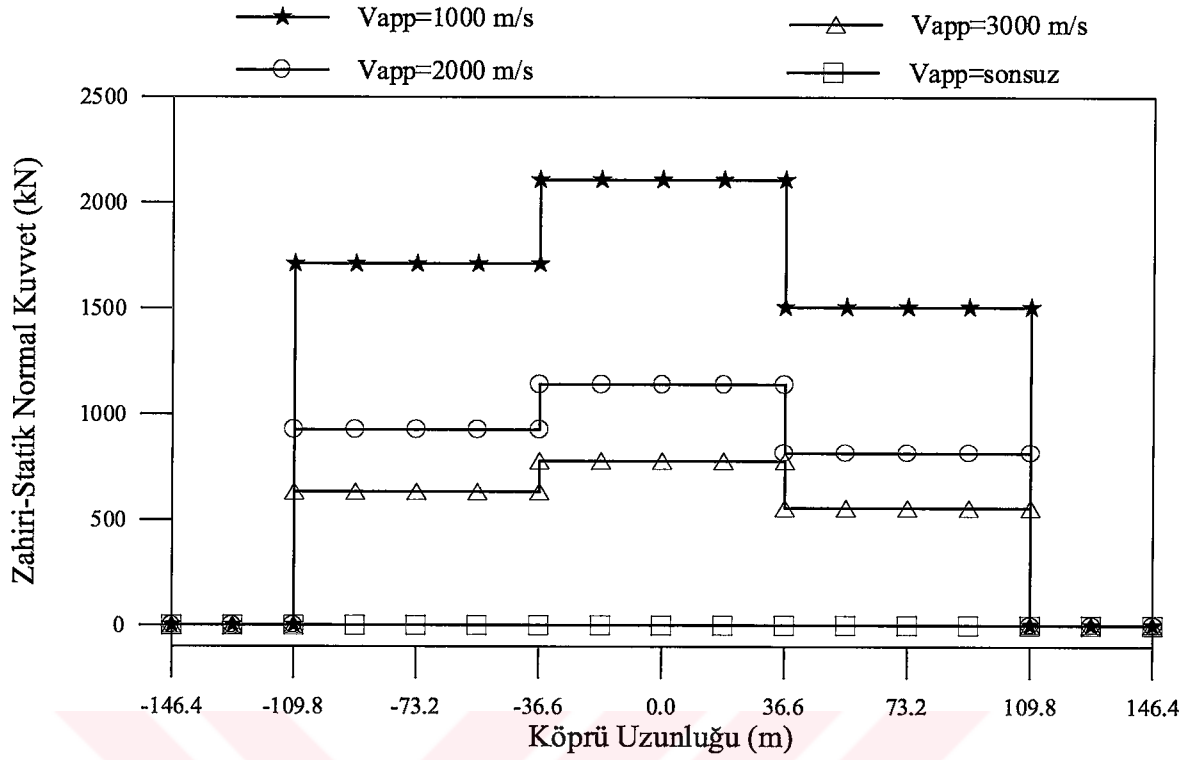
Şekil 3.42. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik kesme kuvvetleri



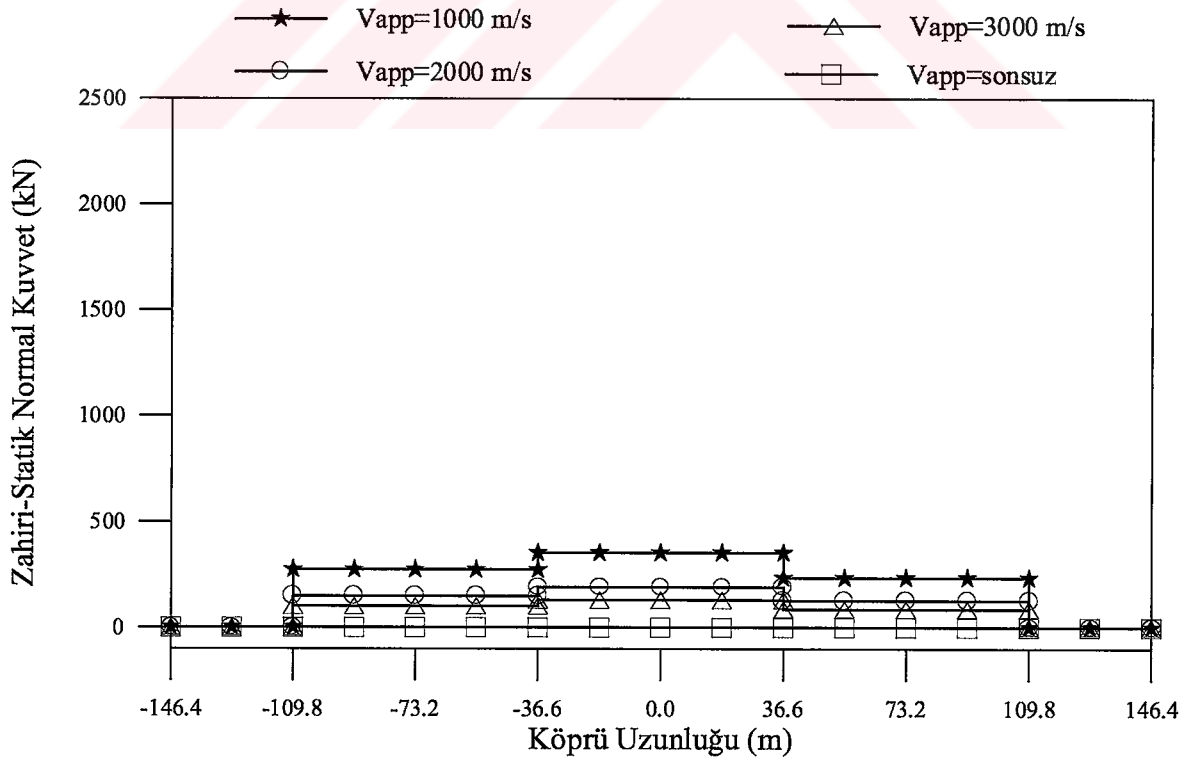
Şekil 3.43. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam kesme kuvvetleri



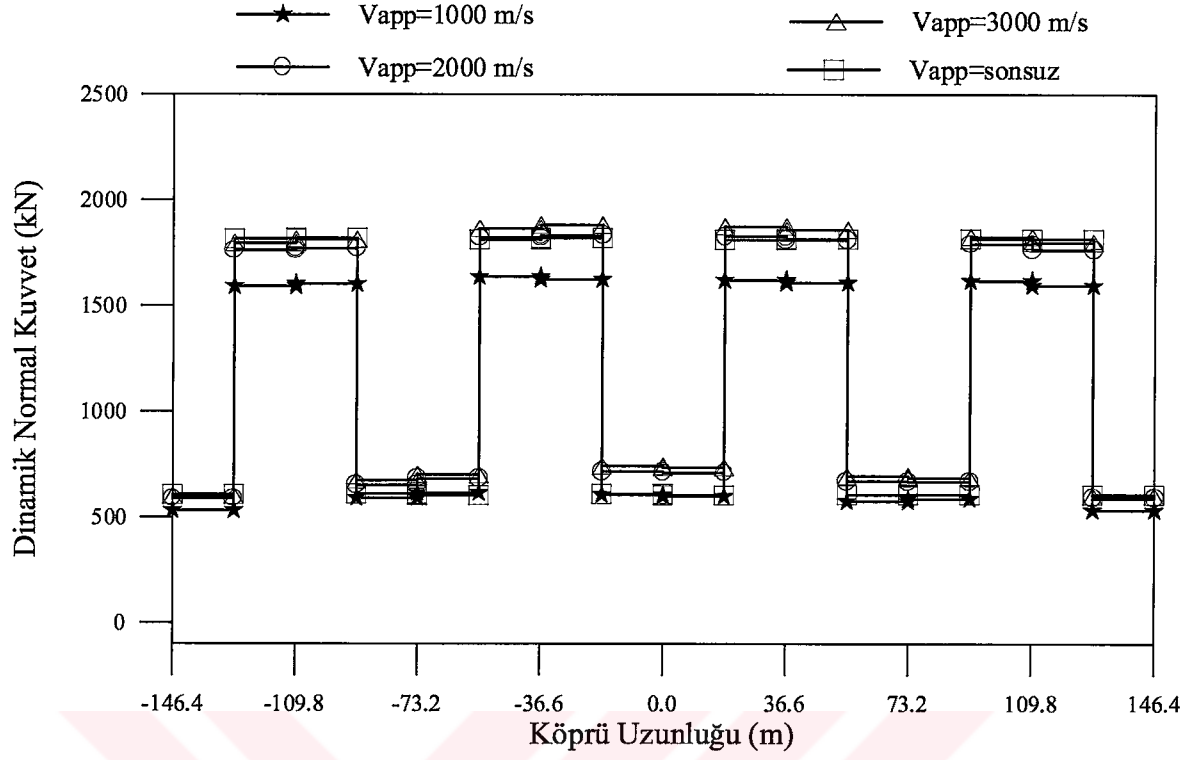
Şekil 3.44. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam kesme kuvvetleri



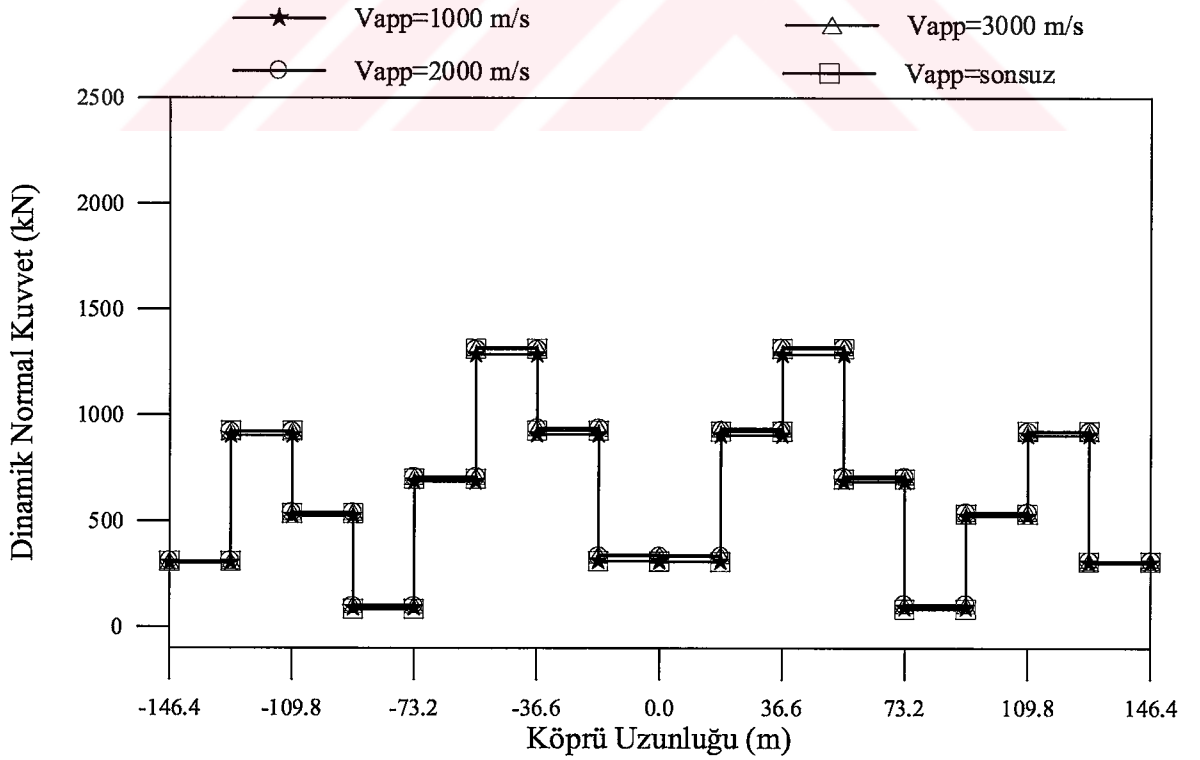
Şekil 3.45. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik normal kuvvetleri



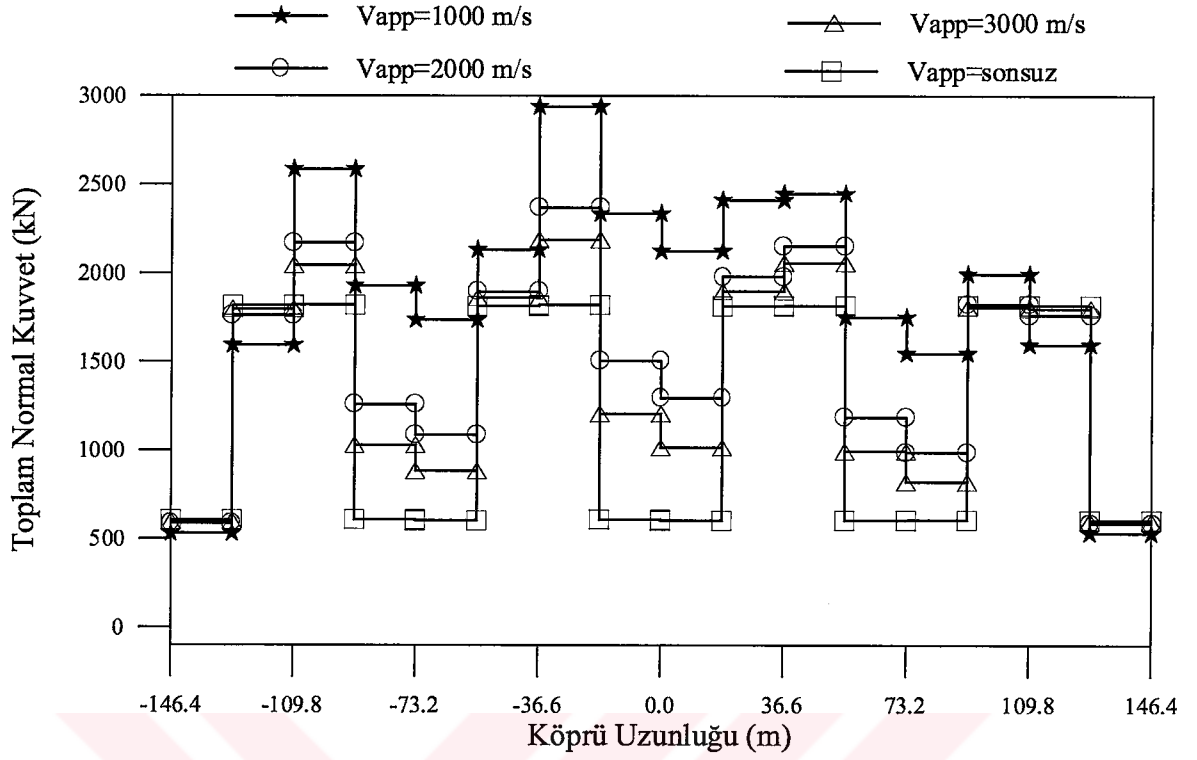
Şekil 3.46. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik normal kuvvetleri



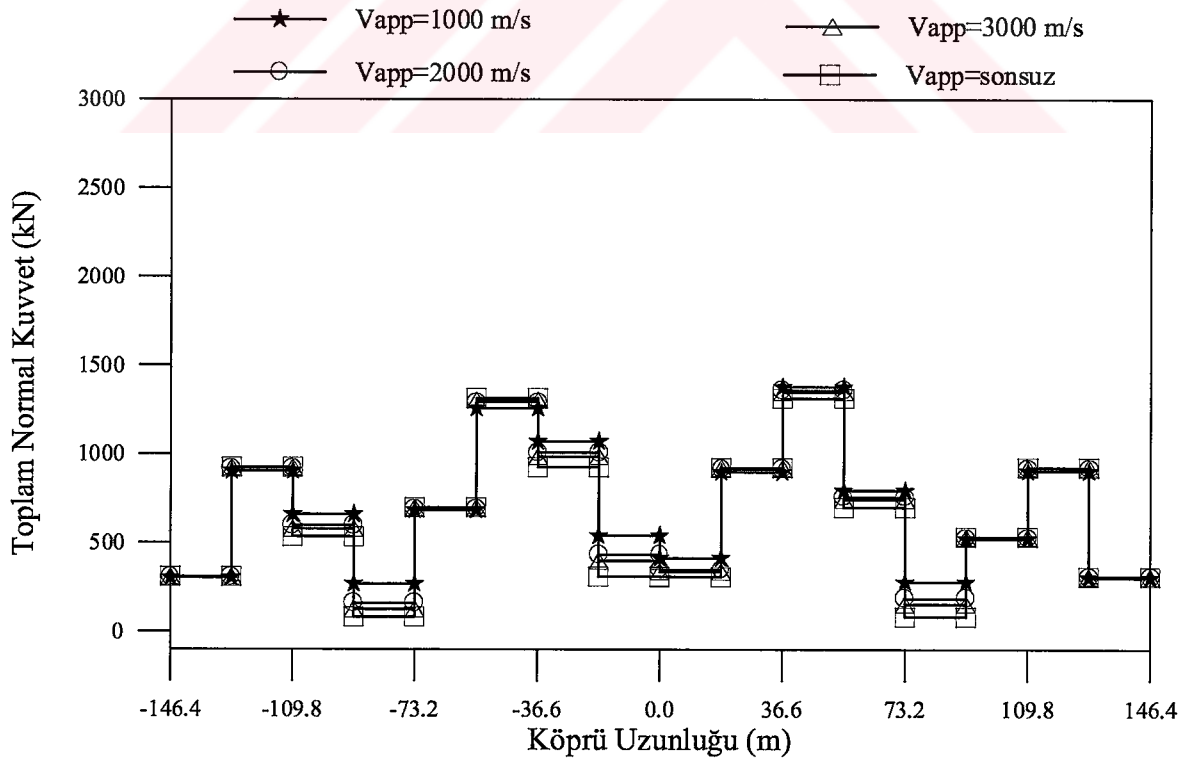
Şekil 3.47. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik normal kuvvetleri



Şekil 3.48. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik normal kuvvetleri



Şekil 3.49. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam normal kuvvetleri



Şekil 3.50. Sadece dalga yayılma etkisine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam normal kuvvetleri

3.1.2. Sadece Tutarsızlık Etkilerinin Dikkate Alınması Durumunda Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının İncelenmesi

3.1.2.1. Homojen Yumuşak Zemin Durumu

Karayolu köprüsünün mesnetlendiği zeminin homojen ve yumuşak olduğu kabul edilerek; deprem dalgasının yayılma etkisi ihmal edilip sadece tutarsızlık etkisi dikkate alınarak izolasyonsuz ve izolasyonlu köprünün stokastik analizleri yapılmıştır. Bu durum; (2.9) denklemindeki tutarsızlık etkisinin $|\gamma_{\ell m}(\omega)|^k \neq 1$, zemin etkisinin $\gamma_{\ell m}(\omega)^Z = 1$ ve dalga yayılması etkisinin $\gamma_{\ell m}(\omega)^d = 1$ olmasına karşılık gelmektedir. Tutarsızlık etkisini dikkate almak için Bölüm 2.1.1' de verilen iki farklı tutarsızlık modeli kullanılmıştır. Bunlar (2.10) denklemi ile ifade edilen Harichandran ve Vanmarcke (1986) ve (2.12) denklemi ile ifade edilen Uscinski (1977) tutarsızlık modelleridir. Yer hareketi olarak yumuşak zeminlerde kaydedilen 1999 Kocaeli depremi Yarımca istasyonu Kuzey-Güney bileşeni dikkate alınmaktadır. Şekil 3.51'de sadece tutarsızlık etkilerine maruz ve homojen yumuşak zemine mesnetlenen karayolu köprüsü görülmektedir.

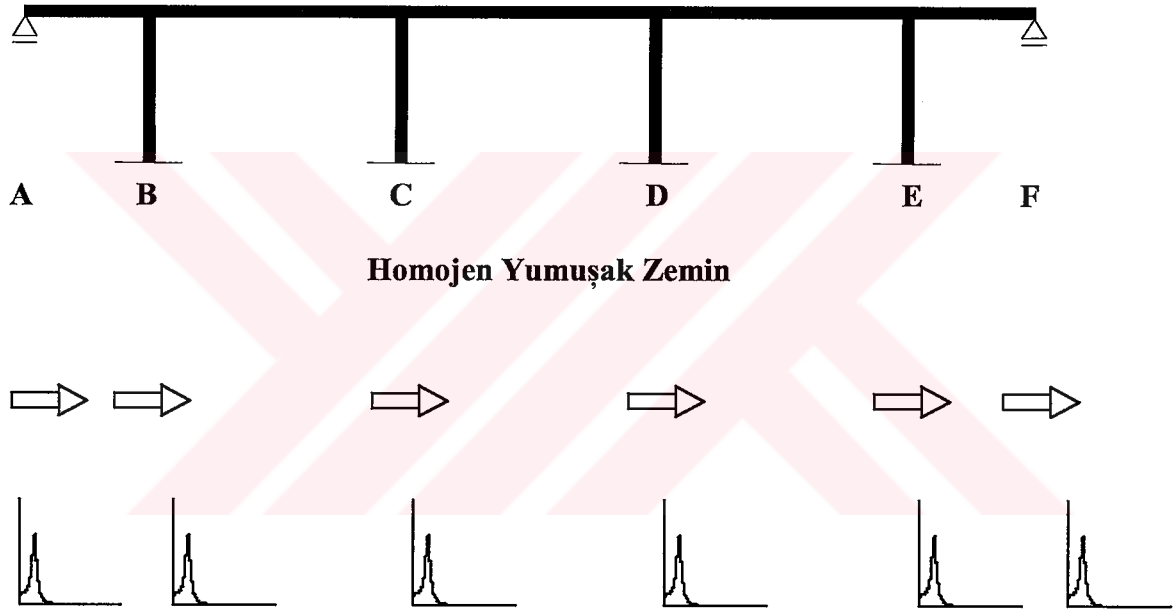
Farklı tutarsızlık modelleri kullanılarak gerçekleştirilen stokastik analizler sonucunda izolasyonsuz ve izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinde elde edilen ortalama maksimum yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri Şekil 3.52-Şekil 3.75'de görülmektedir. Bu grafikler, yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin zahiri-statik, dinamik ve toplam değerlerinden oluşmaktadır. Ayrıca, tutarsızlık etkisinin dikkate alınmadığı üniform yer hareketi olması durumundaki analiz sonuçları da karşılaştırma yapabilmek amacıyla verilmiştir.

Şekil 3.52-3.57'den izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü tabliyesi zahiri-statik, dinamik ve toplam yerdeğiştirmeleri incelendiğinde, yer hareketinin üniform olması durumunda elde edilen değerler en büyük olmaktadır. Uscinski tutarsızlık modeli ile elde edilen yerdeğiştirmeler yer hareketinin üniform olması durumu ile benzer sonuçlar verirken Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli ile elde edilen yerdeğiştirmeler daha küçük olmaktadır.

Yer hareketi köprüye yatay doğrultuda etki ettirilmiştir. Üniform yer hareketi için yani hızın sonsuz olması durumunda köprü rijit cisim hareketi yapmaktadır. Buna bağlı olarak ta tabliyedeki zahiri-statik eleman kuvvetleri sıfır olduğu Şekil 3.58-3.59, Şekil 3.64-3.65 ve Şekil 3.70-3.71' den görülmektedir.

İzolasyonsuz ve izolasyonlu köprü tabliyesi eleman kuvvetlerinde ise, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli ile elde sonuçlar genellikle büyük çıktığı Şekil 3.58-3.75' den görülmektedir.

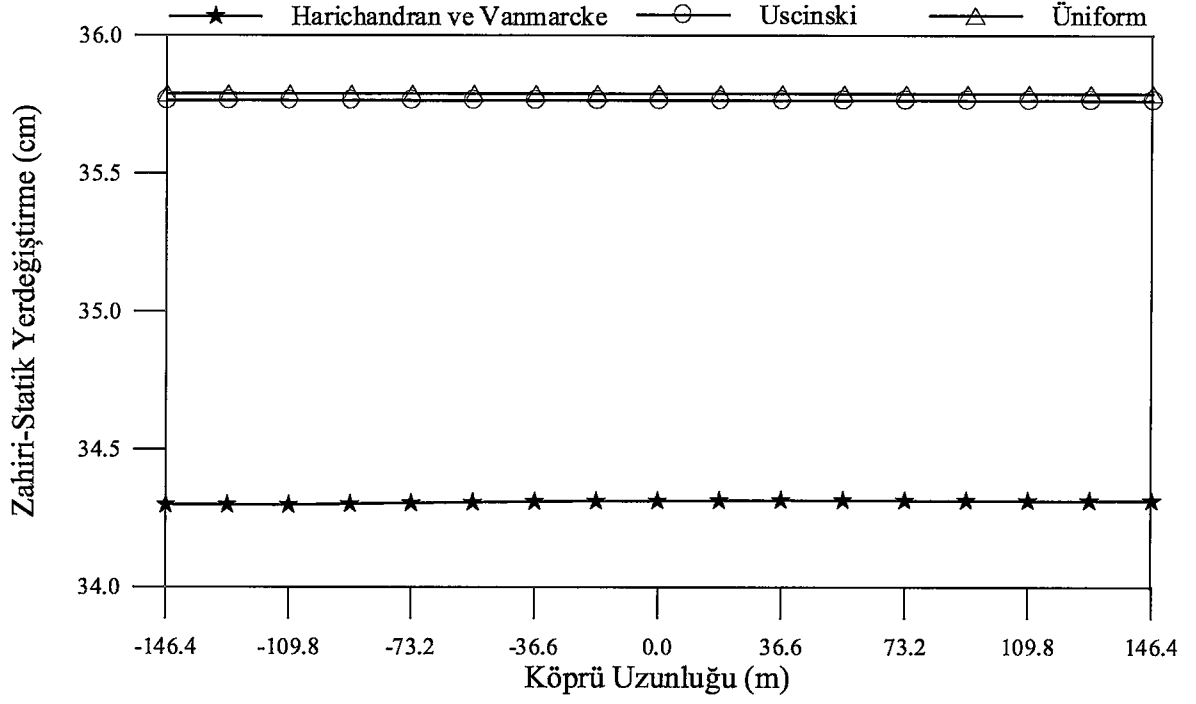
İzolasyonlu köprü tabliyesindeki yerdeğişmeler; köprü tabliyesinin izolasyonunda kullanılan sürtünmeli sarkaç mesnet sistemine izin verilen yerdeğiştirme kabiliyetinden dolayı izolasyonsuz köprü tabliyesi yerdeğişmelerinden daha büyük olarak elde edilmektedir. Dolayısıyla, genel olarak izolasyonlu köprü tabliyesi eleman kuvvetleri izolasyonsuz köprü tabliyesi eleman kuvvetleri ile karşılaştırıldığında eleman kuvvetlerinde yaklaşık %60-%80 oranında bir azalma söz konusu olmaktadır.



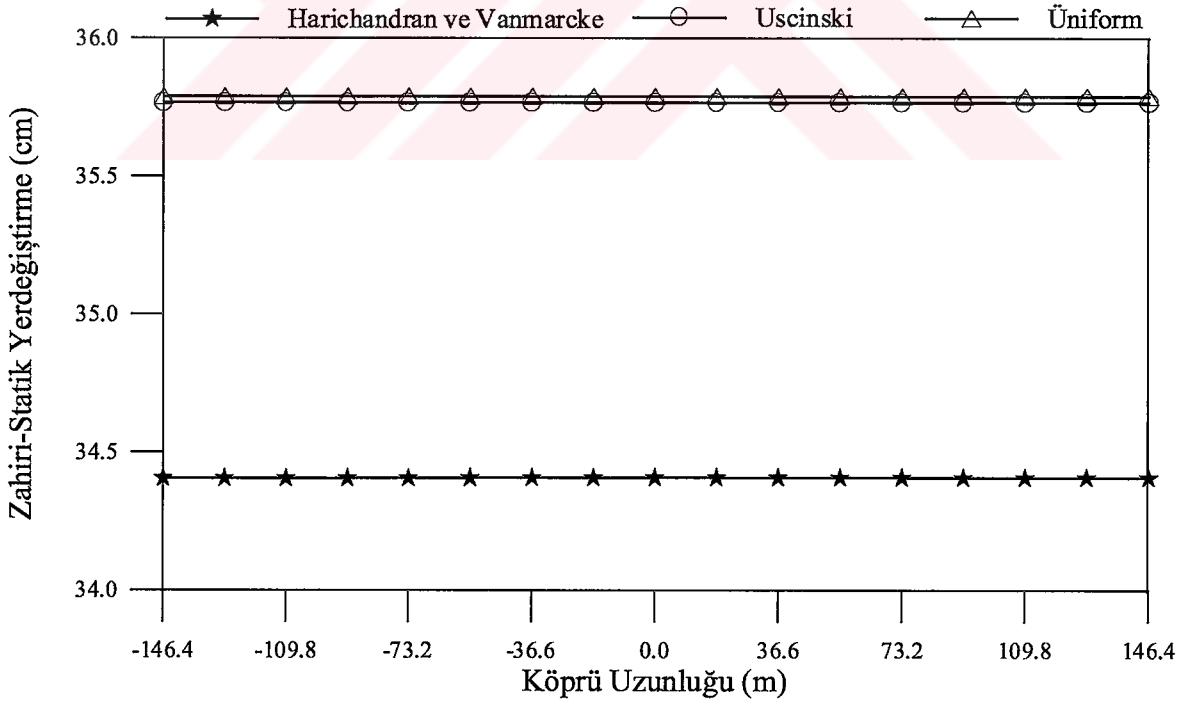
Harichandran ve Vanmarcke (1986) tutarsızlık modeli

Uscinski (1977) tutarsızlık modeli

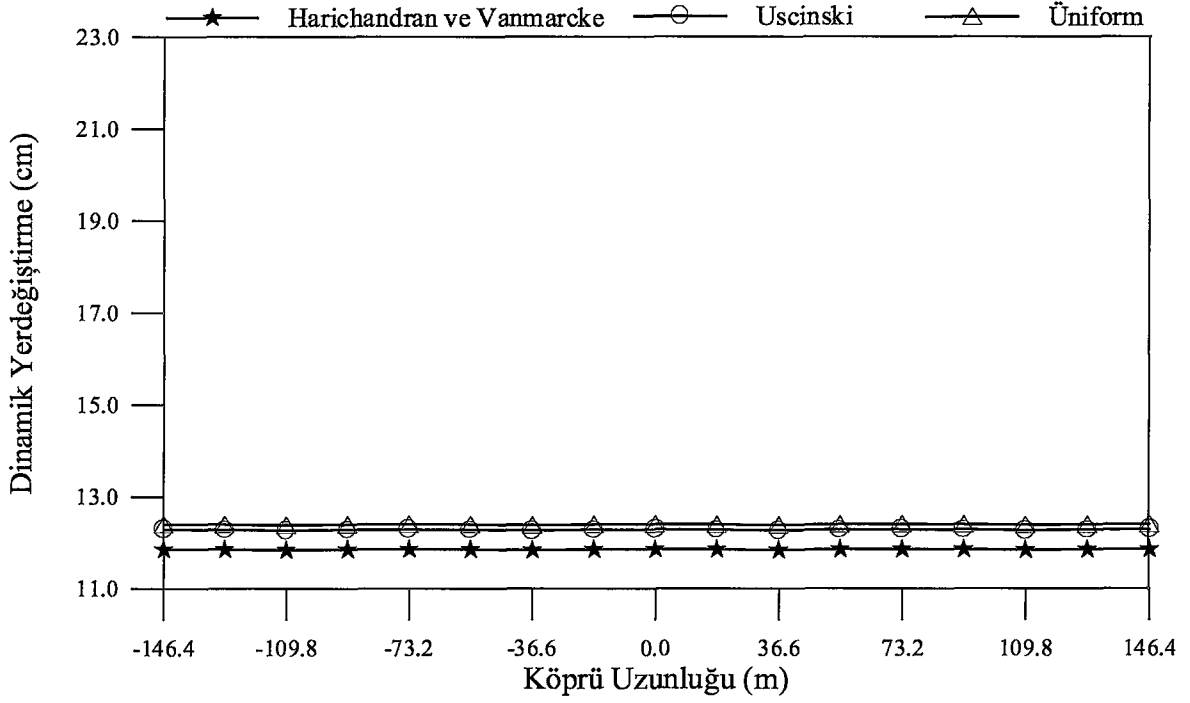
Şekil 3.51. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz yumuşak zemine mesnetlenen karayolu köprüsünün analitik modeli



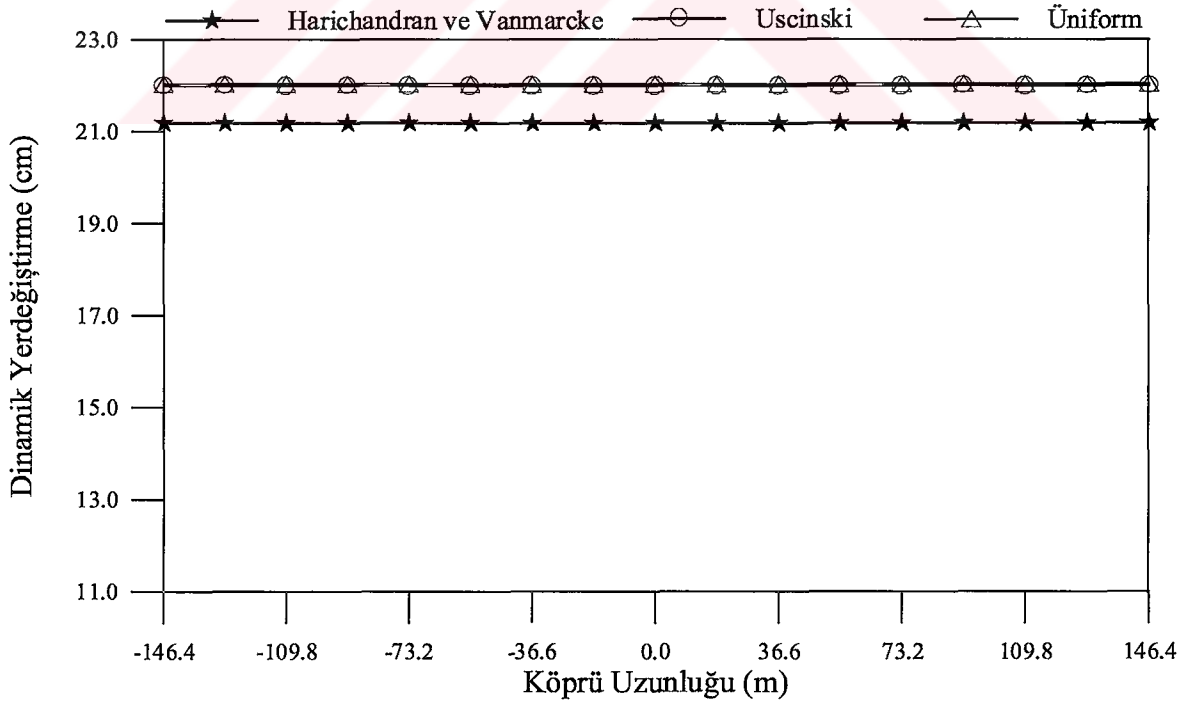
Şekil 3.52. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri



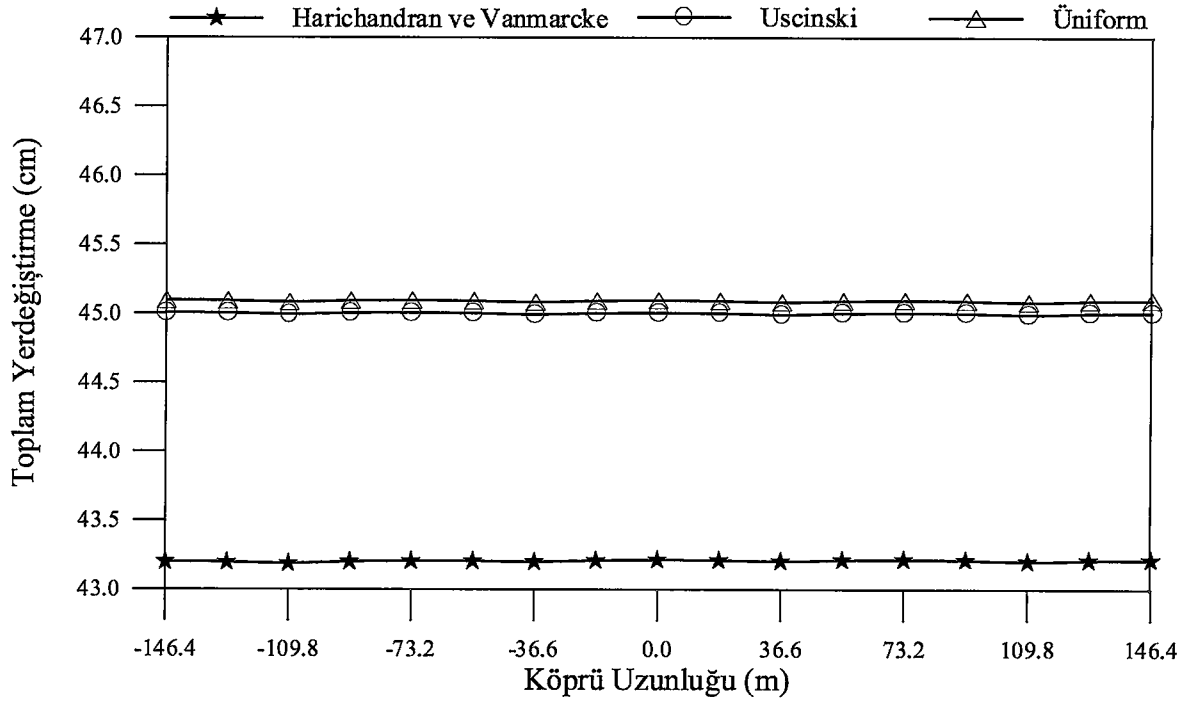
Şekil 3.53. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri



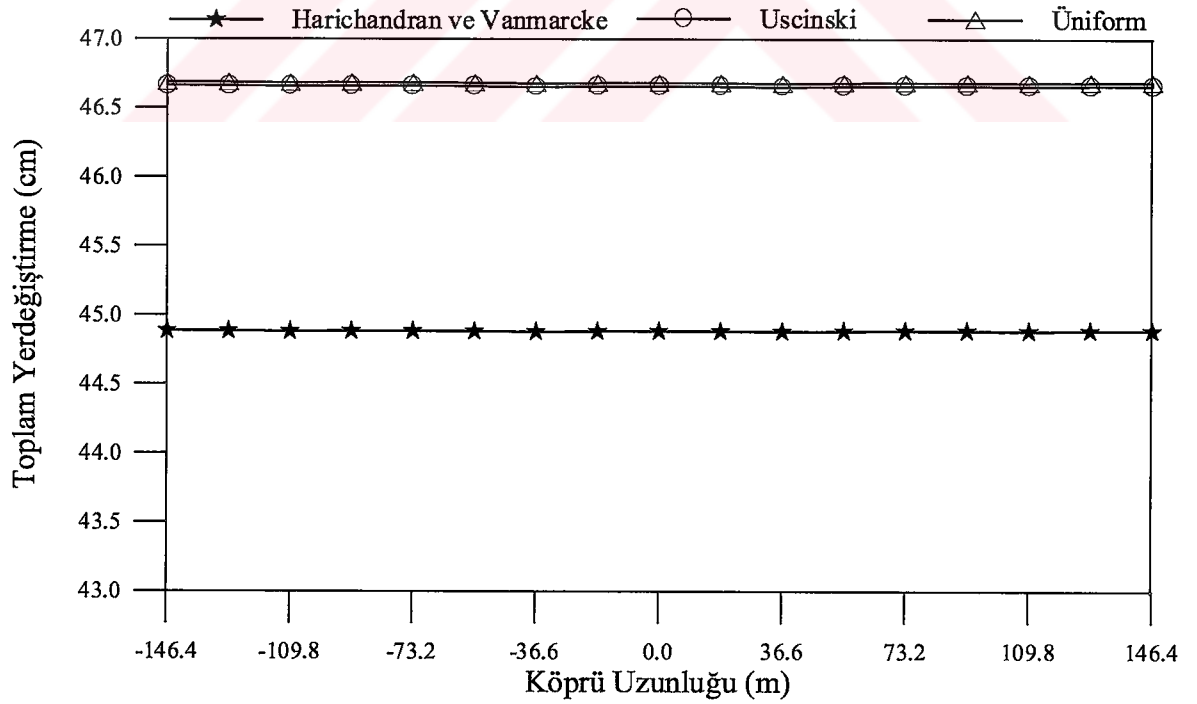
Şekil 3.54. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik yatay yerdeğiştirmeleri



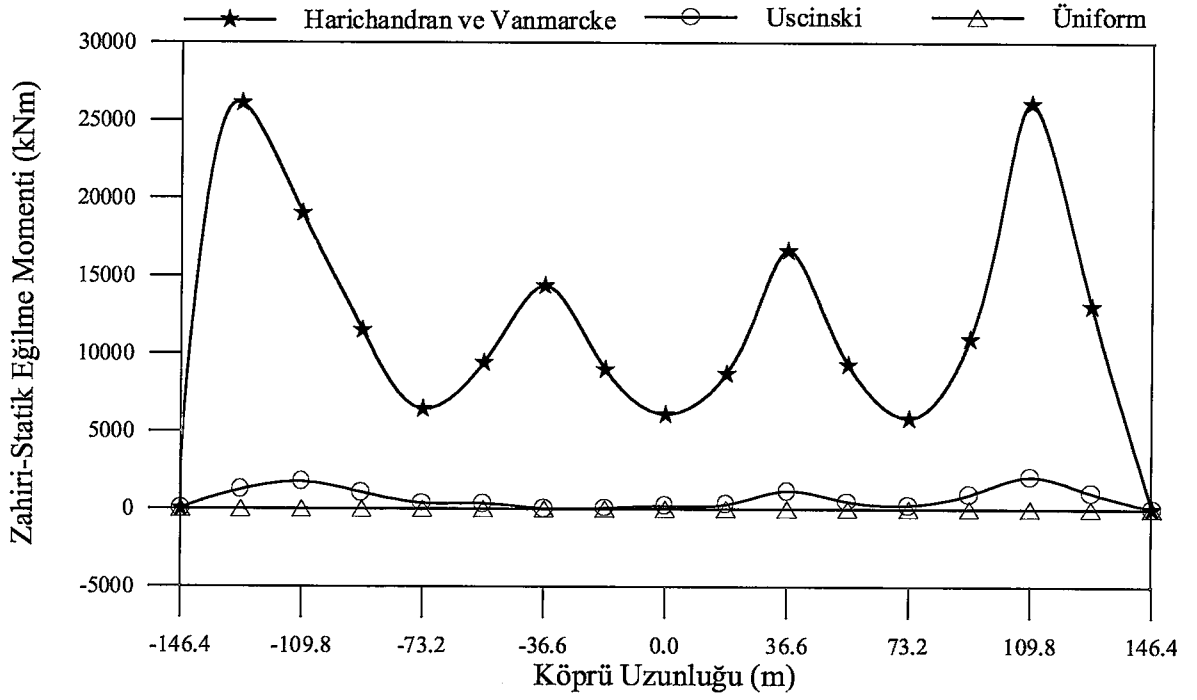
Şekil 3.55. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik yatay yerdeğiştirmeleri



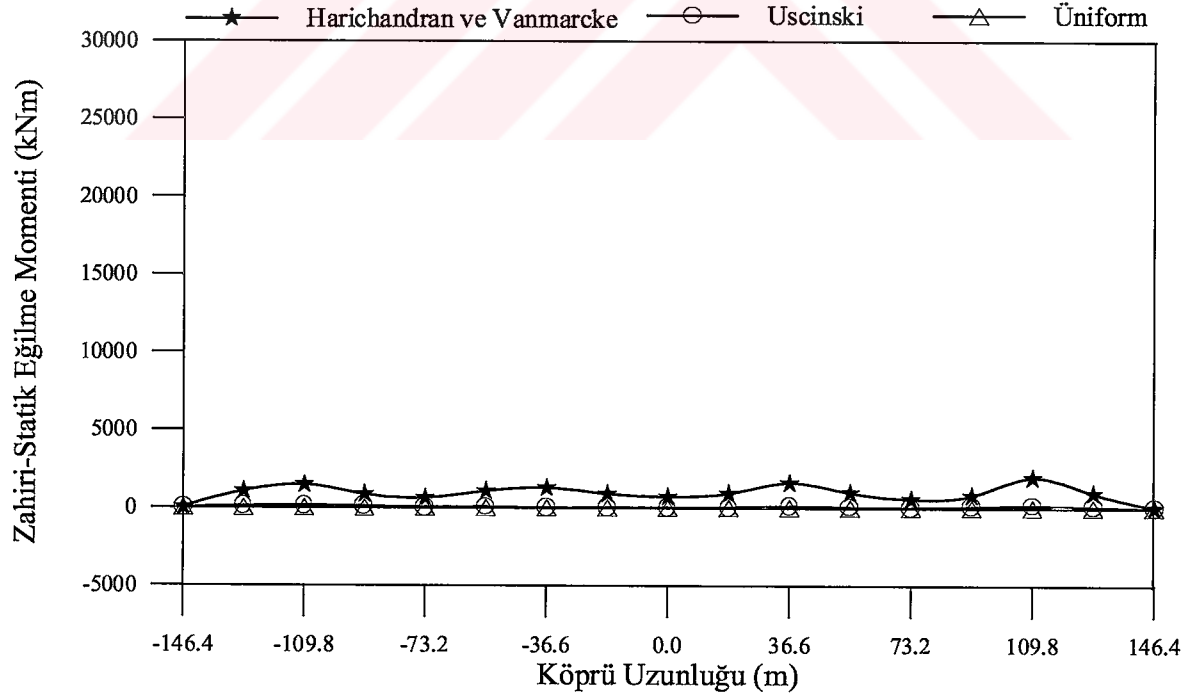
Şekil 3.56. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam yatay yerdeğiştirmeleri



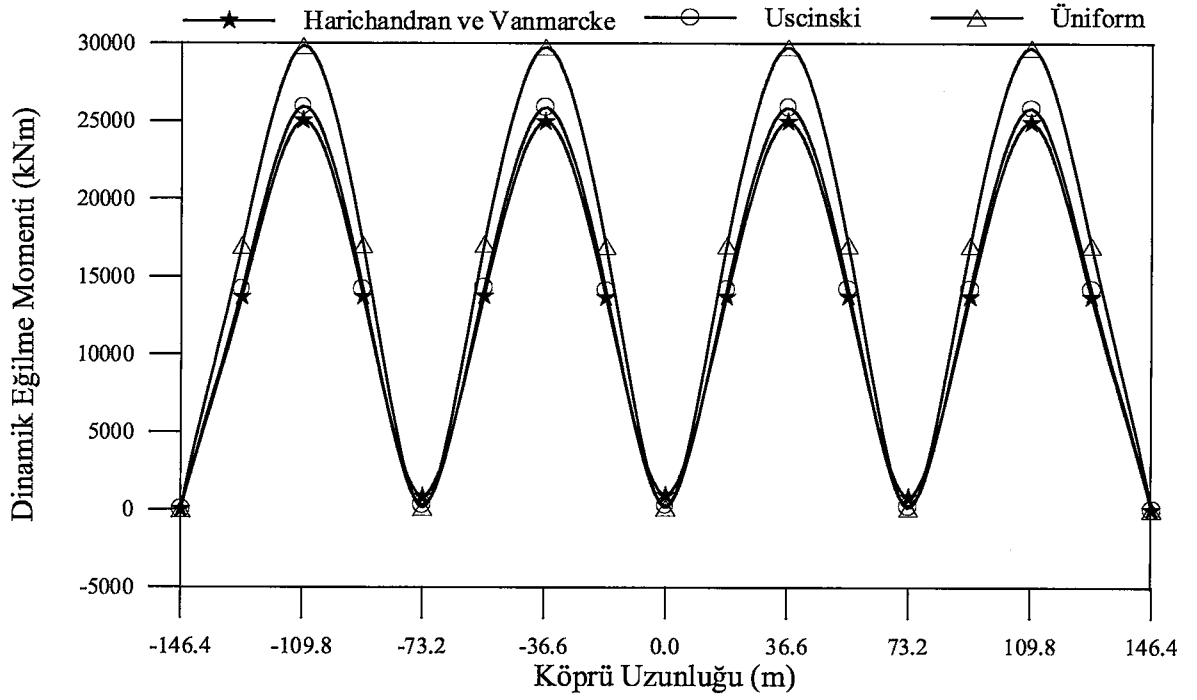
Şekil 3.57. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam yatay yerdeğiştirmeleri



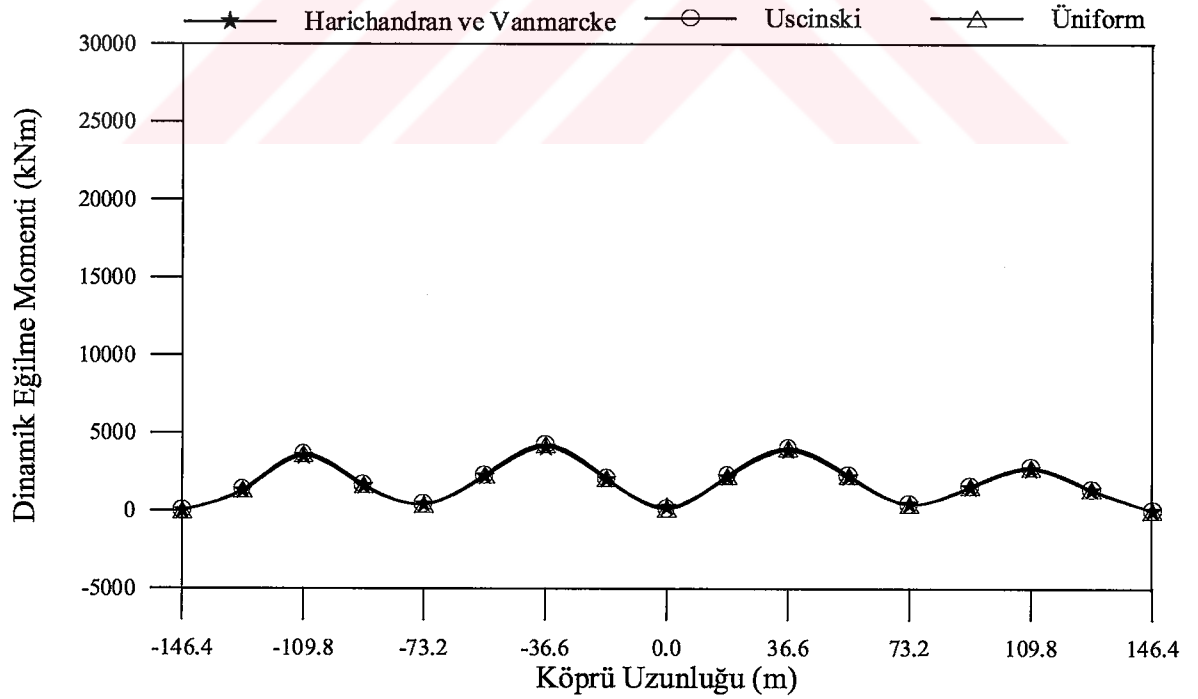
Şekil 3.58. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik eğilme momentleri



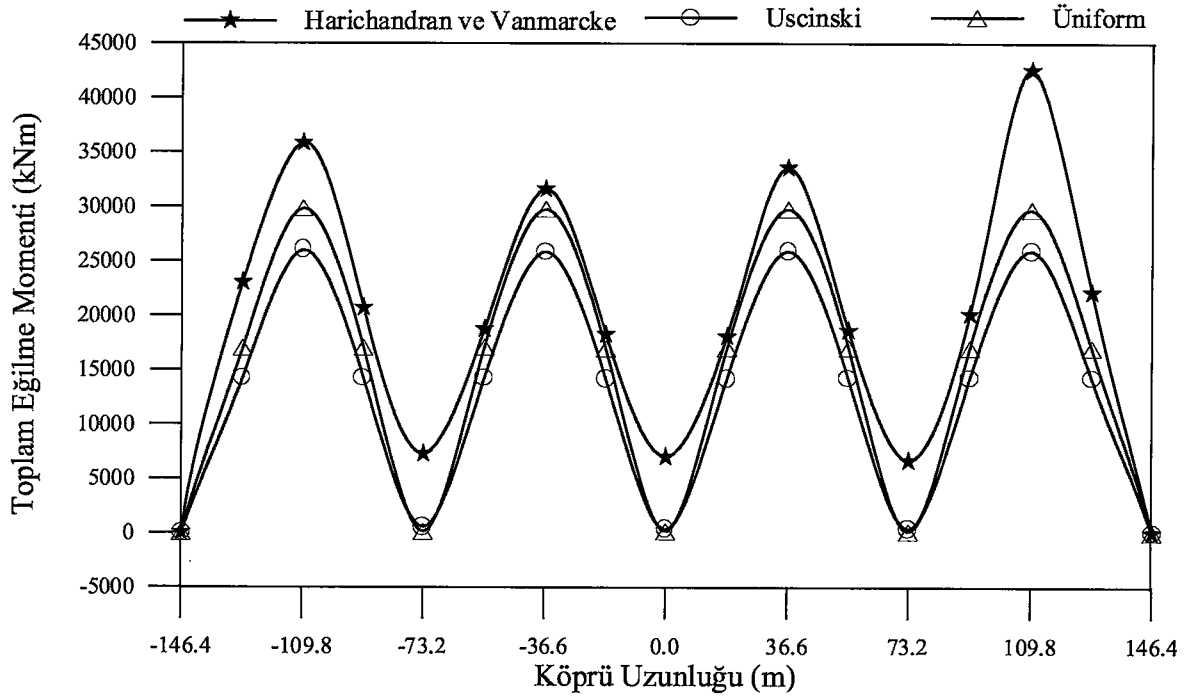
Şekil 3.59. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik eğilme momentleri



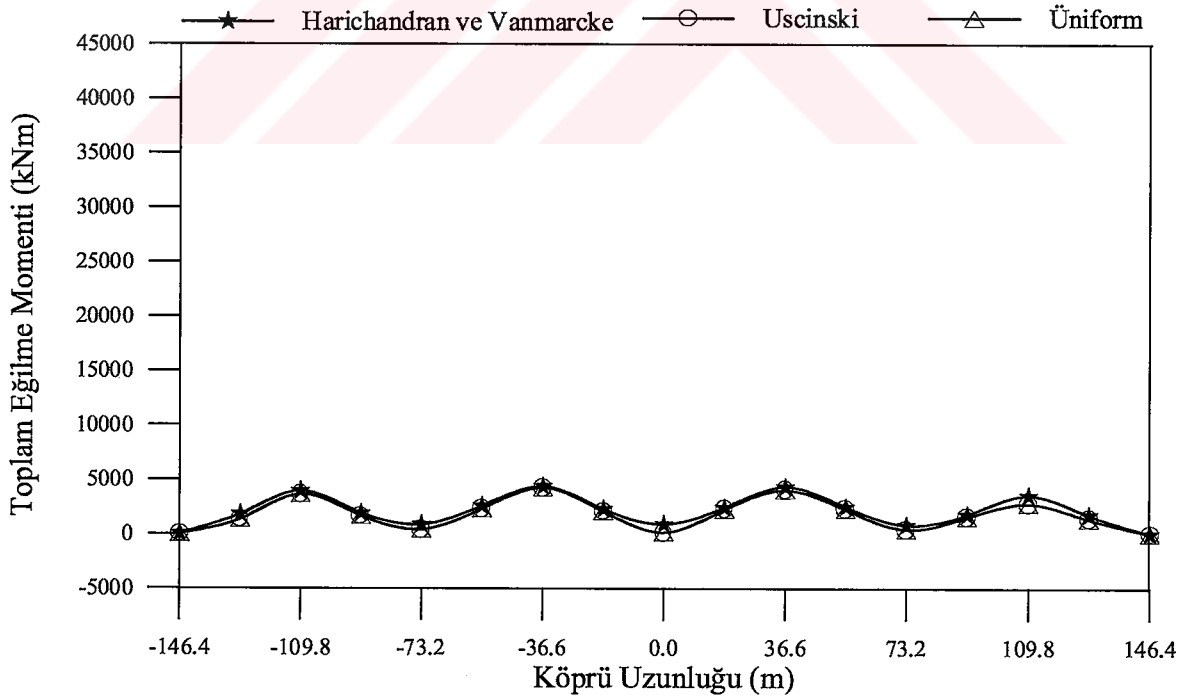
Şekil 3.60. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik eğilme momentleri



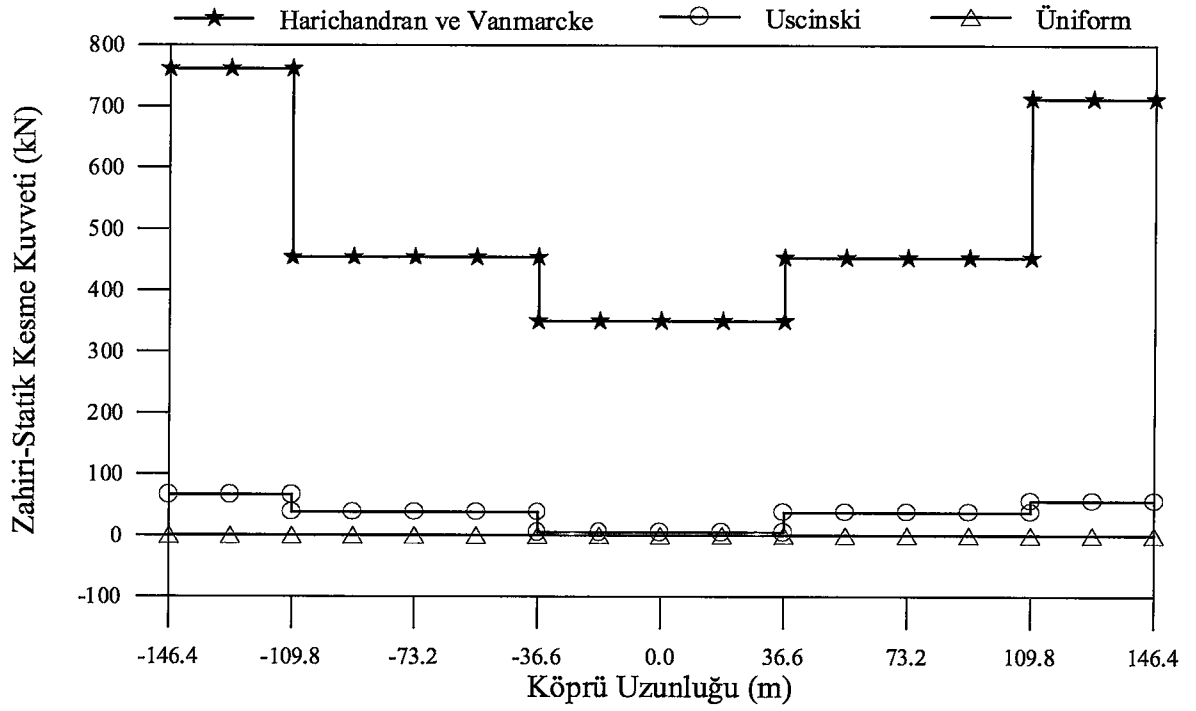
Şekil 3.61. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik eğilme momentleri



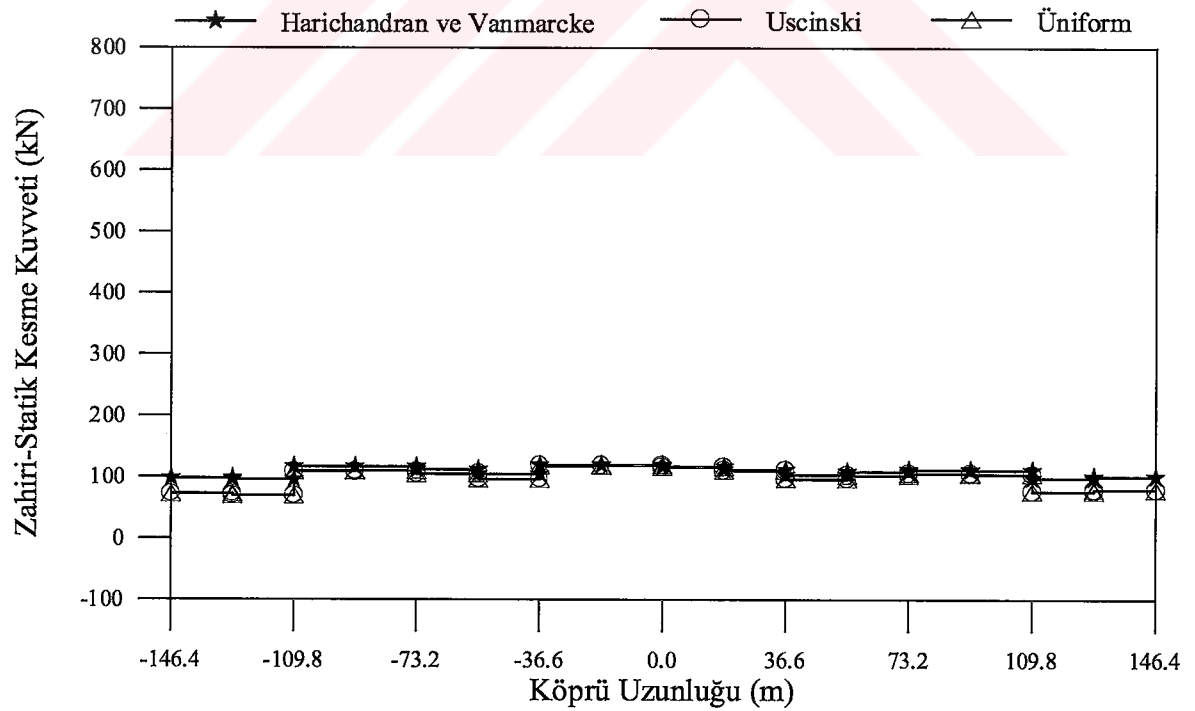
Şekil 3.62. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam eğilme momentleri



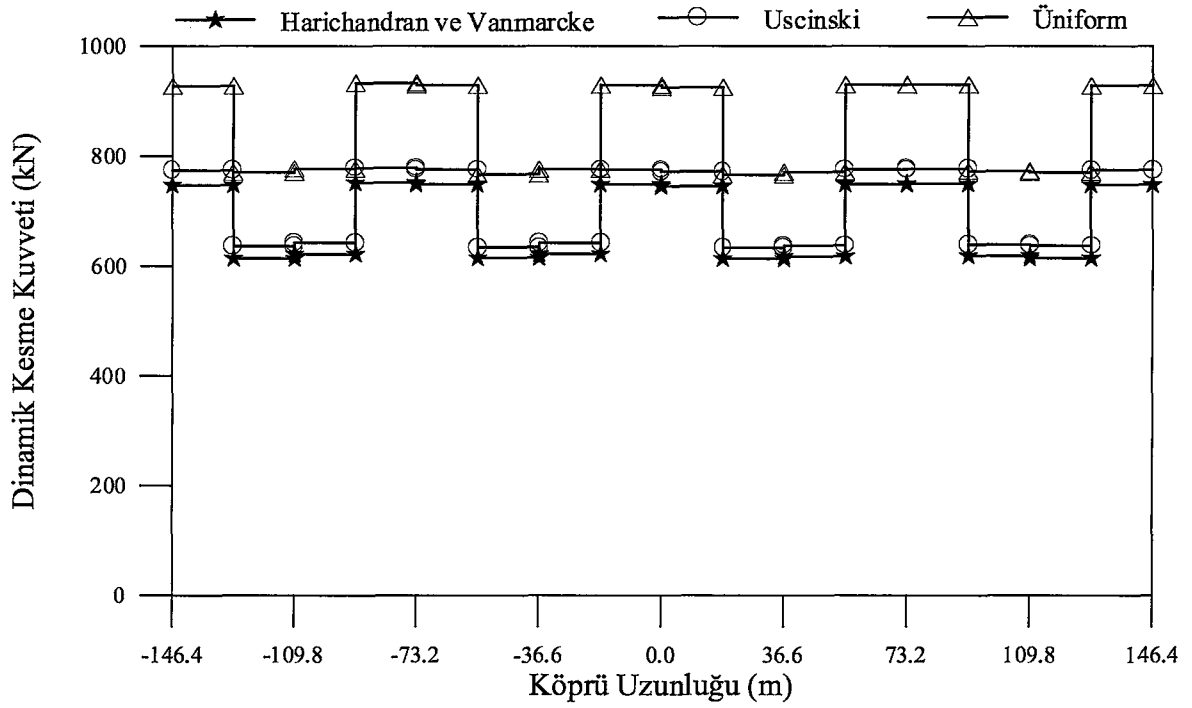
Şekil 3.63. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam eğilme momentleri



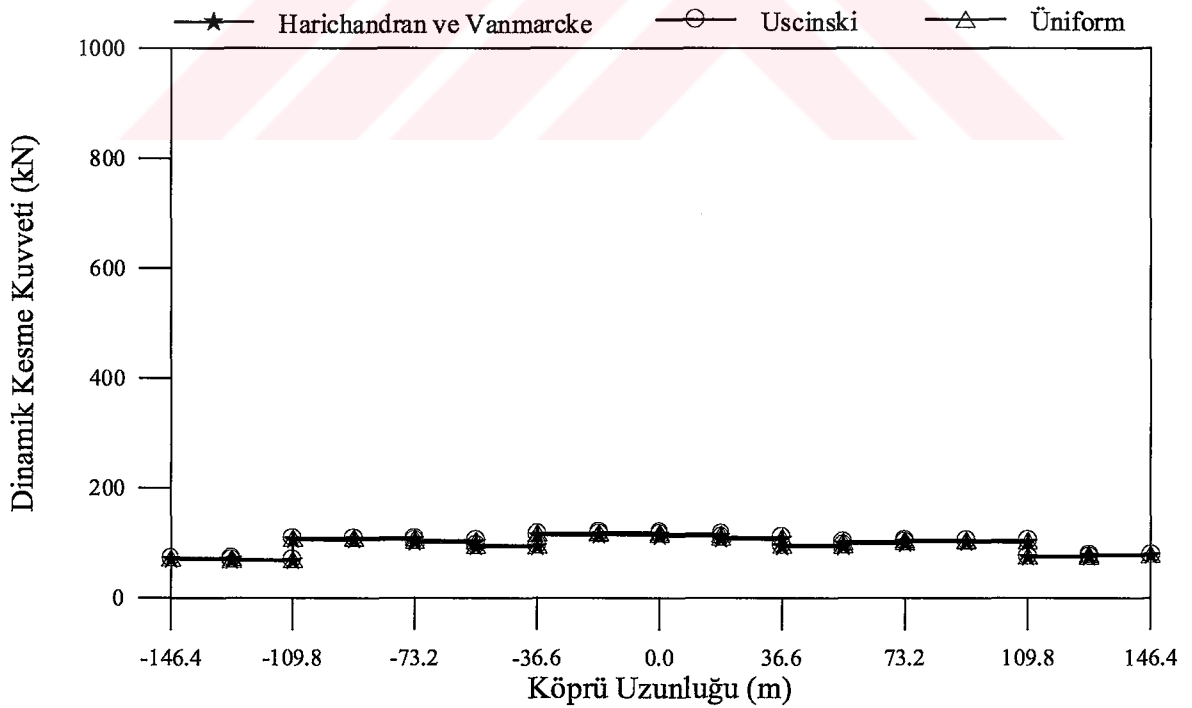
Şekil 3.64. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik kesme kuvvetleri



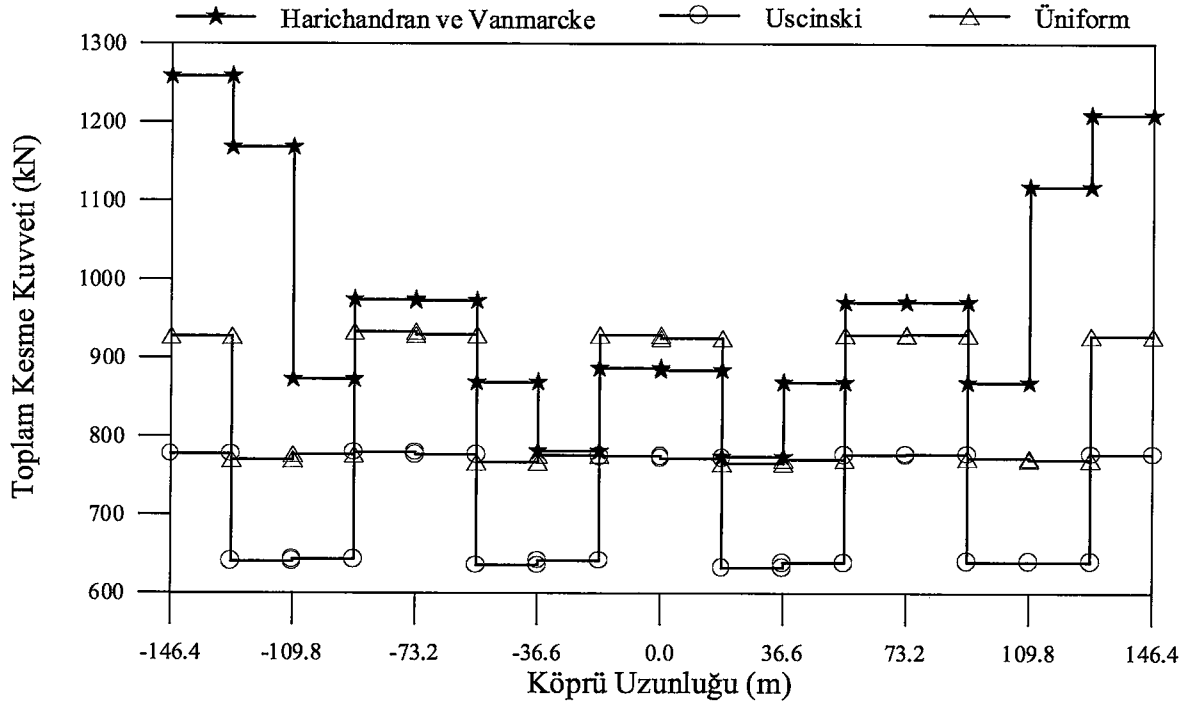
Şekil 3.65. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik kesme kuvvetleri



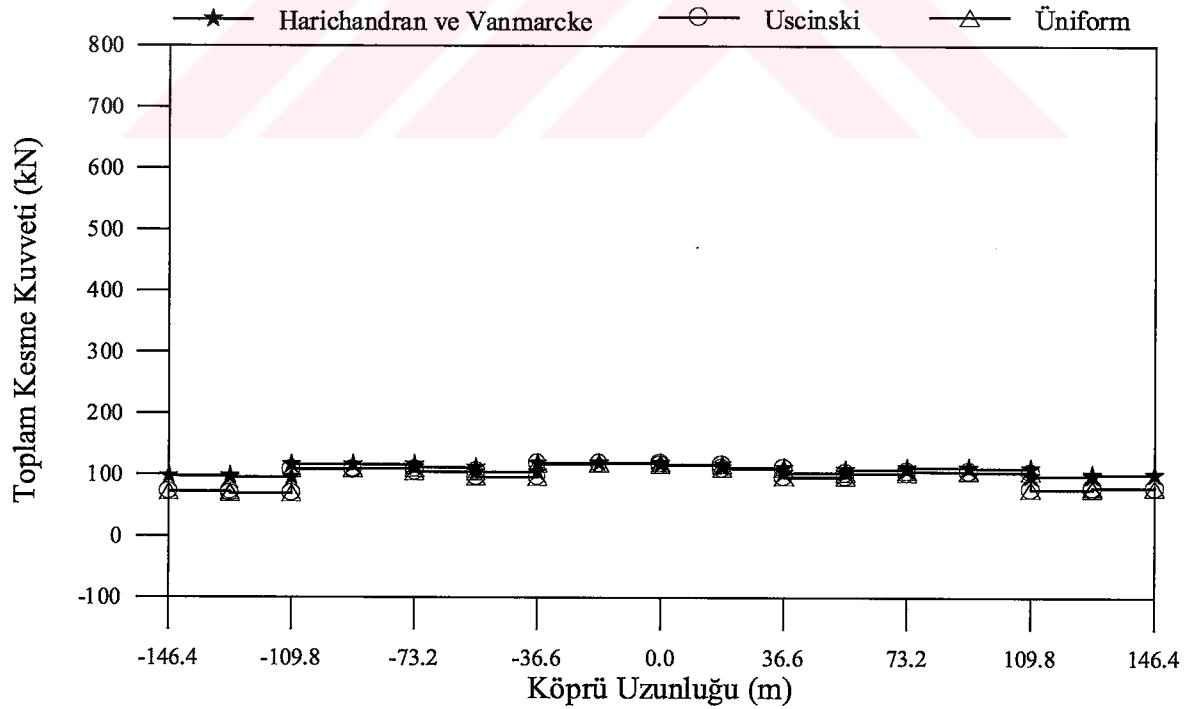
Şekil 3.66. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabiiye dinamik kesme kuvvetleri



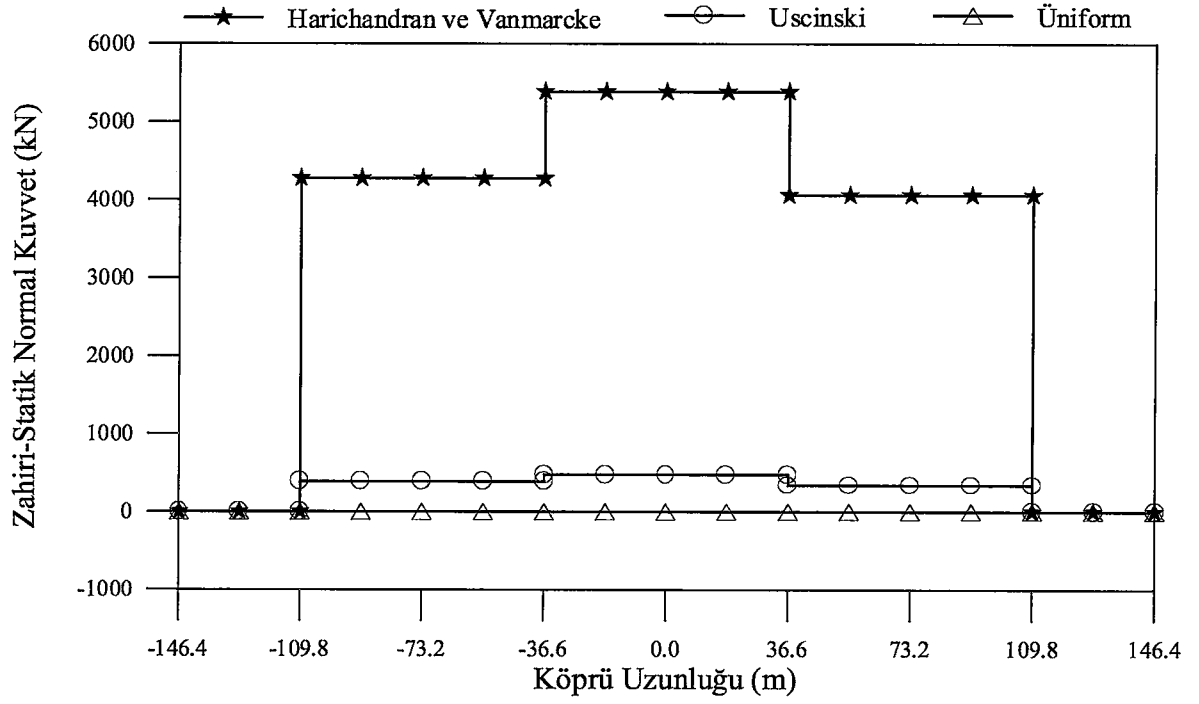
Şekil 3.67. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabiiye dinamik kesme kuvvetleri



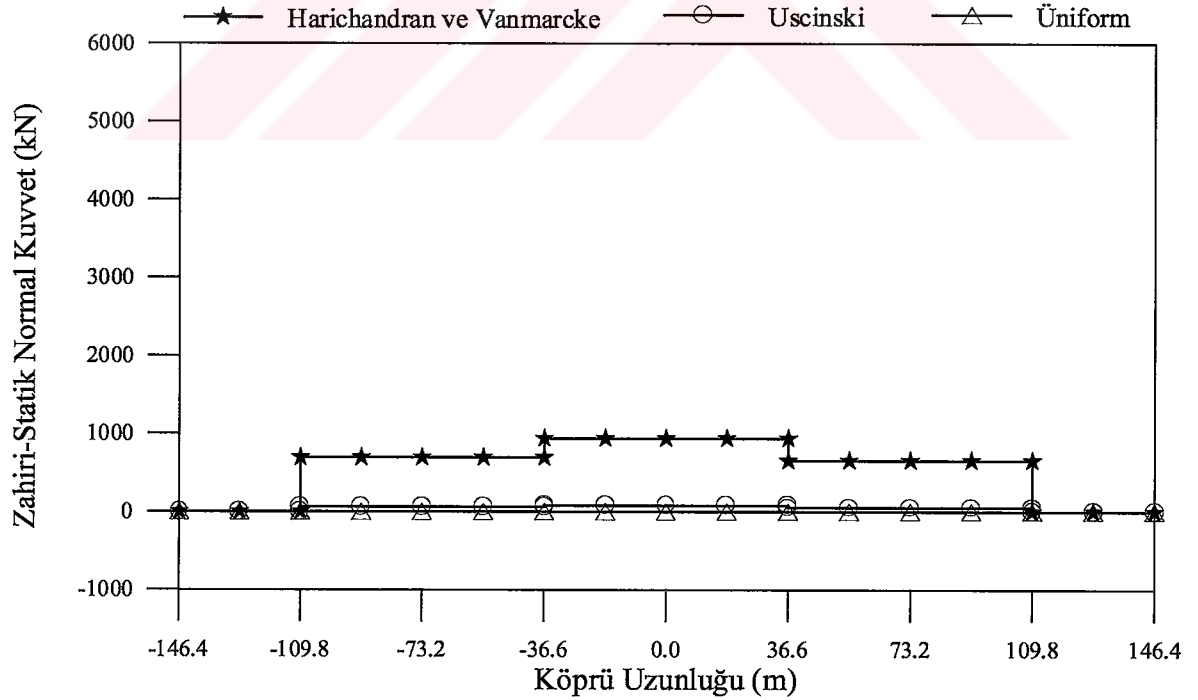
Şekil 3.68. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam kesme kuvvetleri



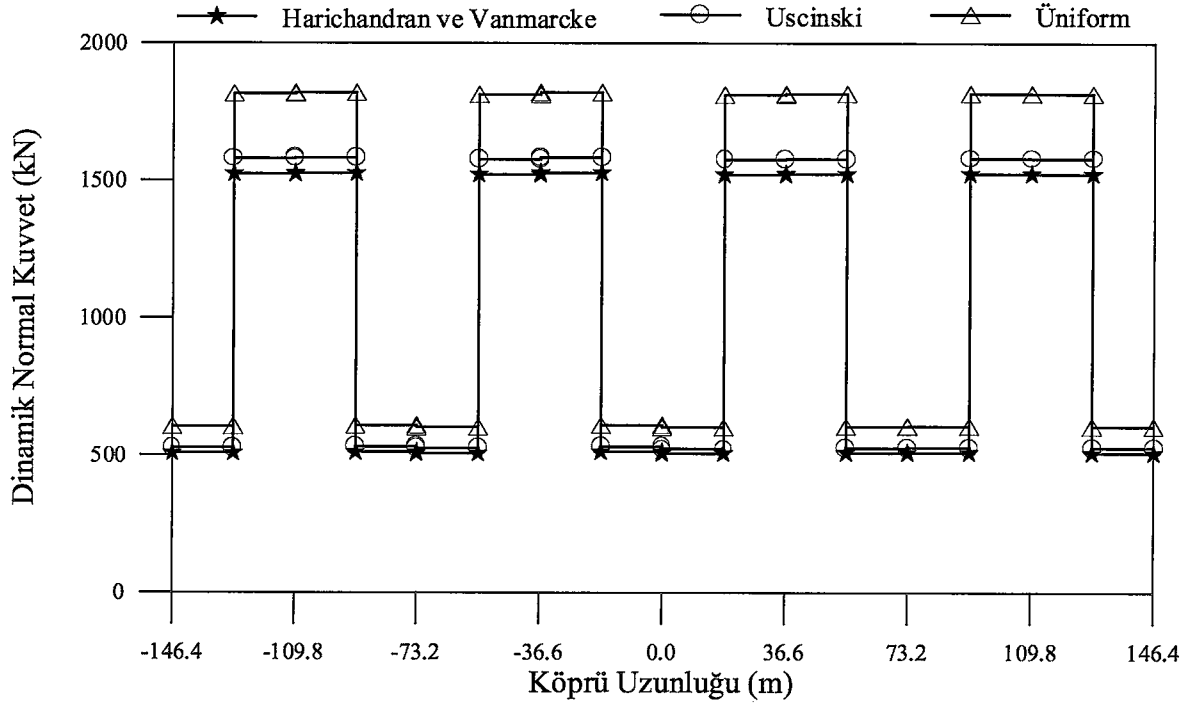
Şekil 3.69. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam kesme kuvvetleri



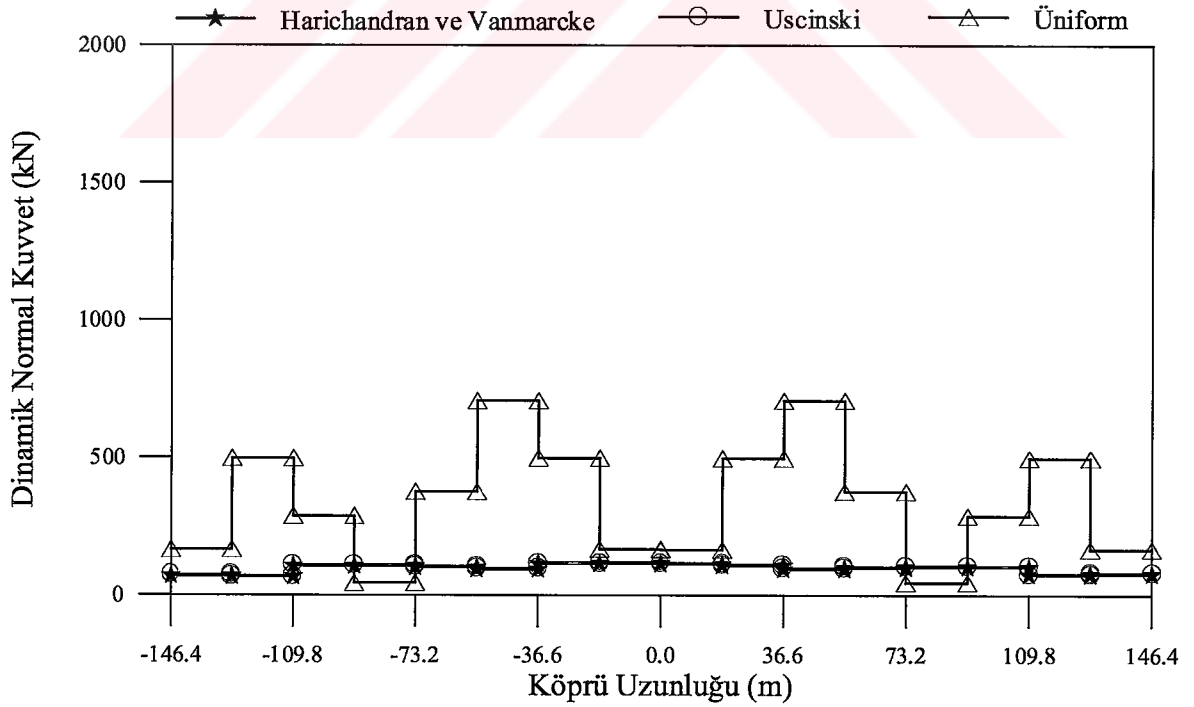
Şekil 3.70. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik normal kuvvetleri



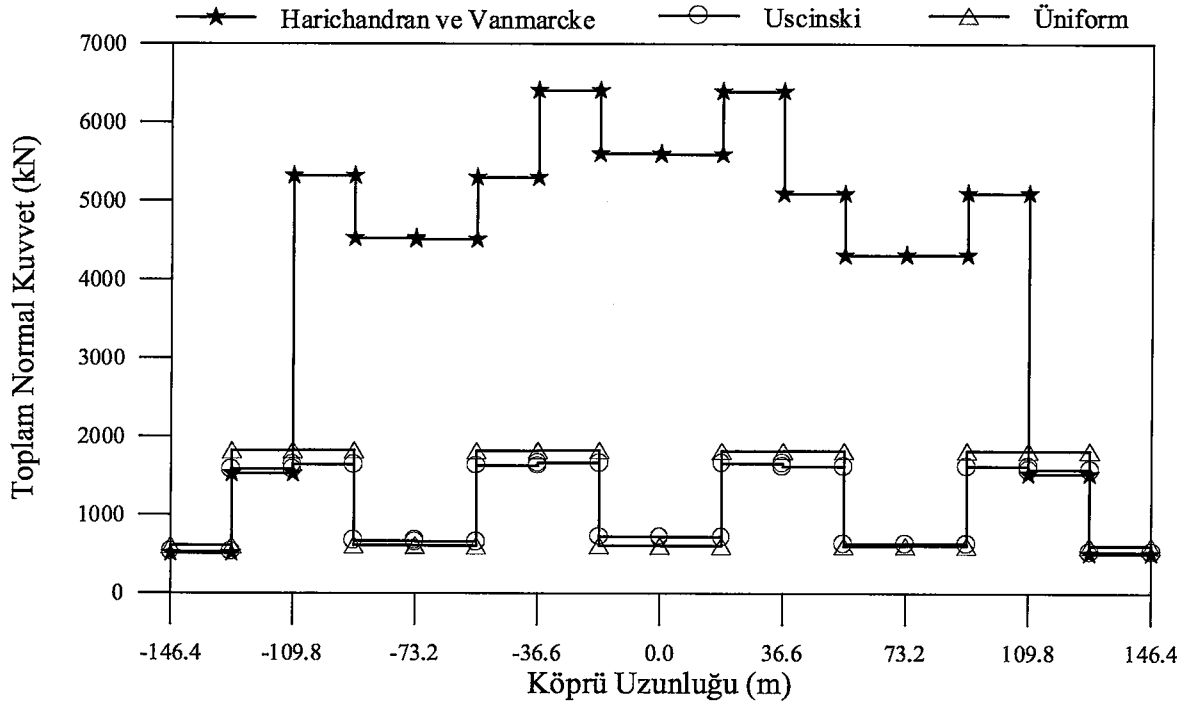
Şekil 3.71. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik normal kuvvetleri



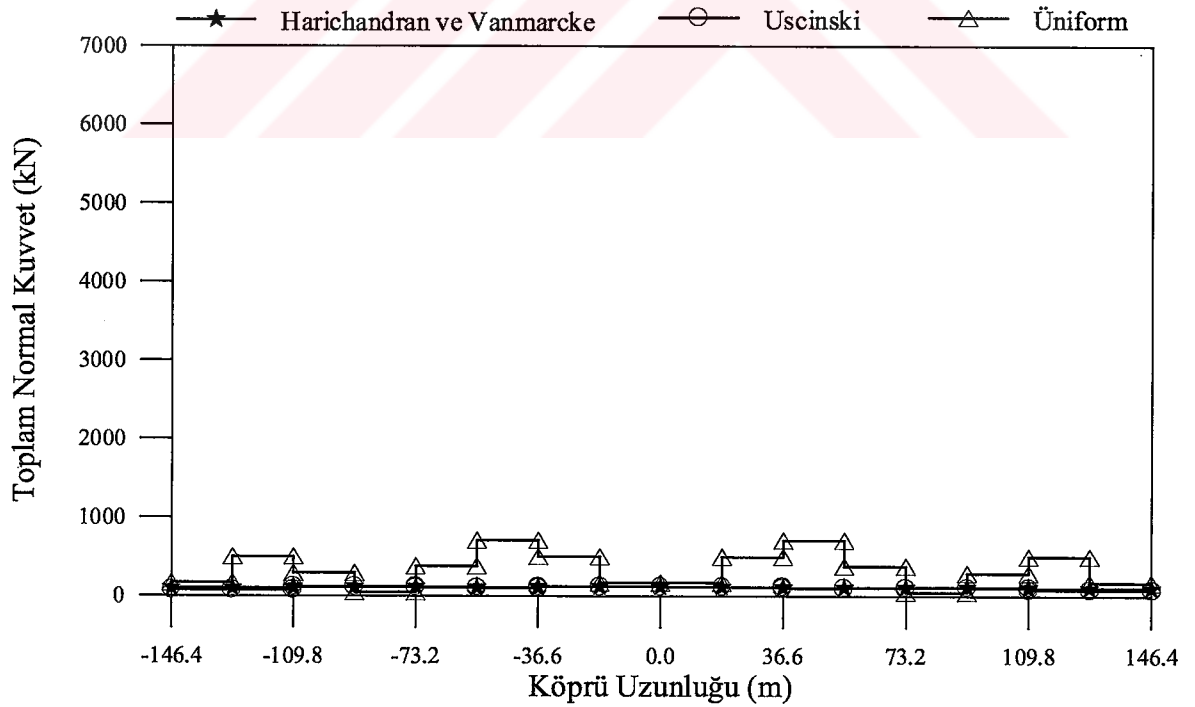
Şekil 3.72. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik normal kuvvetleri



Şekil 3.73. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik normal kuvvetleri



Şekil 3.74. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabiiye toplam normal kuvvetleri



Şekil 3.75. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabiiye toplam normal kuvvetleri

3.1.2.2. Homojen Sert Zemin Durumu

Karayolu köprüsünün mesnetlendiği zeminin homojen sert olduğu kabul edilerek; deprem dalgasının yayılma etkisi ihmal edilip sadece tutarsızlık etkileri dikkate alınarak izolasyonsuz ve izolasyonlu köprünün stokastik analizleri yapılmıştır. Bu durum; (2.9) denklemindeki tutarsızlık etkisinin $|\gamma_{\ell_m}(\omega)|^k \neq 1$, zemin etkisinin $\gamma_{\ell_m}(\omega)^z = 1$ ve dalga yayılması etkisinin $\gamma_{\ell_m}(\omega)^d = 1$ olmasına karşılık gelmektedir. Tutarsızlık etkisini ifade etmek için Bölüm 2.1.1’de verilen iki farklı tutarsızlık modeli kullanılmıştır. Bunlar (2.10) denklemleri ile ifade edilen Harichandran ve Vanmarcke (1986) ve (2.12) denklemleri ile ifade edilen Uscinski (1977) tutarsızlık modelleridir. Yer hareketi olarak sert zeminlerde kaydedilen 1971 San Fernando Depremi Pacoima Barajı S16E bileşeni dikkate alınmaktadır. Şekil 3.76’da sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen karayolu köprüsü görülmektedir.

Şekil 3.77-3.100’de verilen grafikler; izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü tabliyesinde oluşan ortalama maksimum yatay yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin zahiri-statik, dinamik ve toplam değerlerinden oluşmaktadır.

Şekil 3.77-3.82 incelendiğinde izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü tabliyesi zahiri-statik, dinamik ve toplam yerdeğiştirmeler incelendiğinde, yer hareketinin üniform olması ve Uscinski tutarsızlık modeli kullanılması durumunda elde edilen değerler en büyük olmaktadır. Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli ile elde edilen yerdeğiştirmeler en az olmaktadır. Üniform yer hareketi ile Uscinski tutarsızlık modelinin kullanılması ile elde edilen sonuçlar birbirine yakın çıkmaktadır.

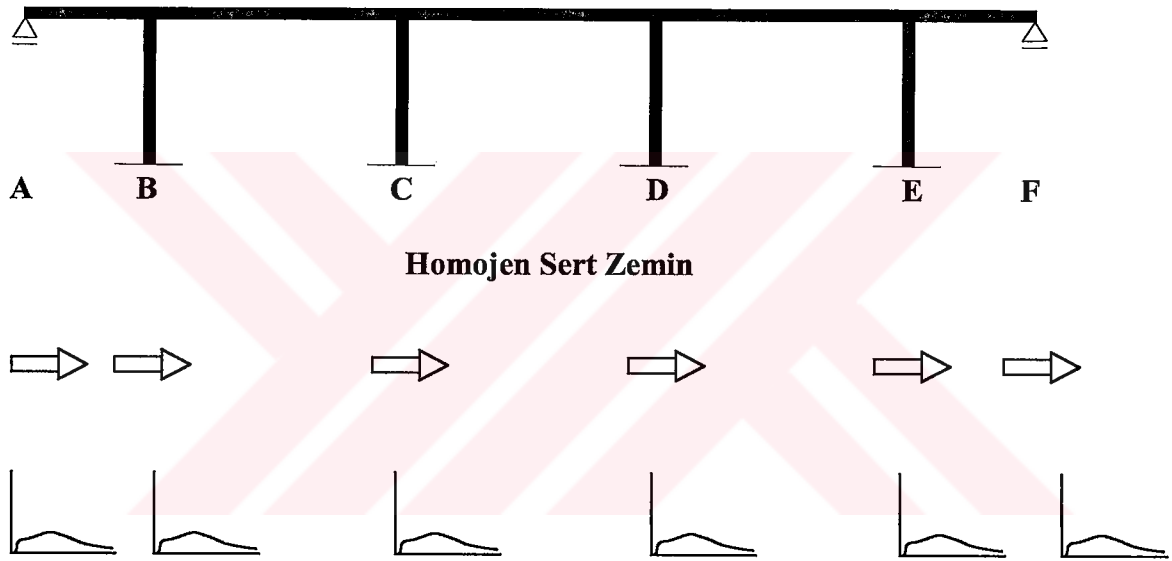
Yer hareketi köprüye yatay doğrultuda etki ettirilmiştir. Üniform yer hareketi için yani hızın sonsuz olması durumunda köprü rijit cisim hareketi yapmaktadır. Buna bağlı olarak da tabliyedeki zahiri-statik eleman kuvvetleri sıfır olduğu Şekil 3.83-3.84, Şekil 3.89-3.90 ve Şekil 3.95-3.96’ den görülmektedir.

Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli kullanılarak elde edilen izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü tabliyesi zahiri-statik eleman kuvvetleri diğerlerine göre genellikle daha büyük çıktığı Şekil 3.83-3.84, Şekil 3.89-3.90 ve Şekil 3.95-3.96’ dan görülmektedir. Dinamik ve toplam eleman kuvvetlerinde ise Uscinski tutarsızlık modeli ile elde sonuçlar genellikle büyük çıkmaktadır (Şekil 3.85-3.88, Şekil 3.91-3.94 ve Şekil 3.97-3.100). Bazı

durumlarda izolasyonlu köprü için elde edilen sonuçlar incelendiğinde tutarsızlık etkilerinin çok fazla değişim göstermediği görülmektedir (Şekil 3.86 ve Şekil 3.88).

İzolasyonlu köprü tabliyesindeki yerdeğiştirmeler; köprü tabliyesinin izolasyonunda kullanılan sürtünmeli sarkaç mesnet sistemine izin verilen yerdeğiştirme kabiliyetinden dolayı izolasyonsuz köprü tabliyesi yerdeğiştirmelerinden daha büyük olarak elde edilmektedir.

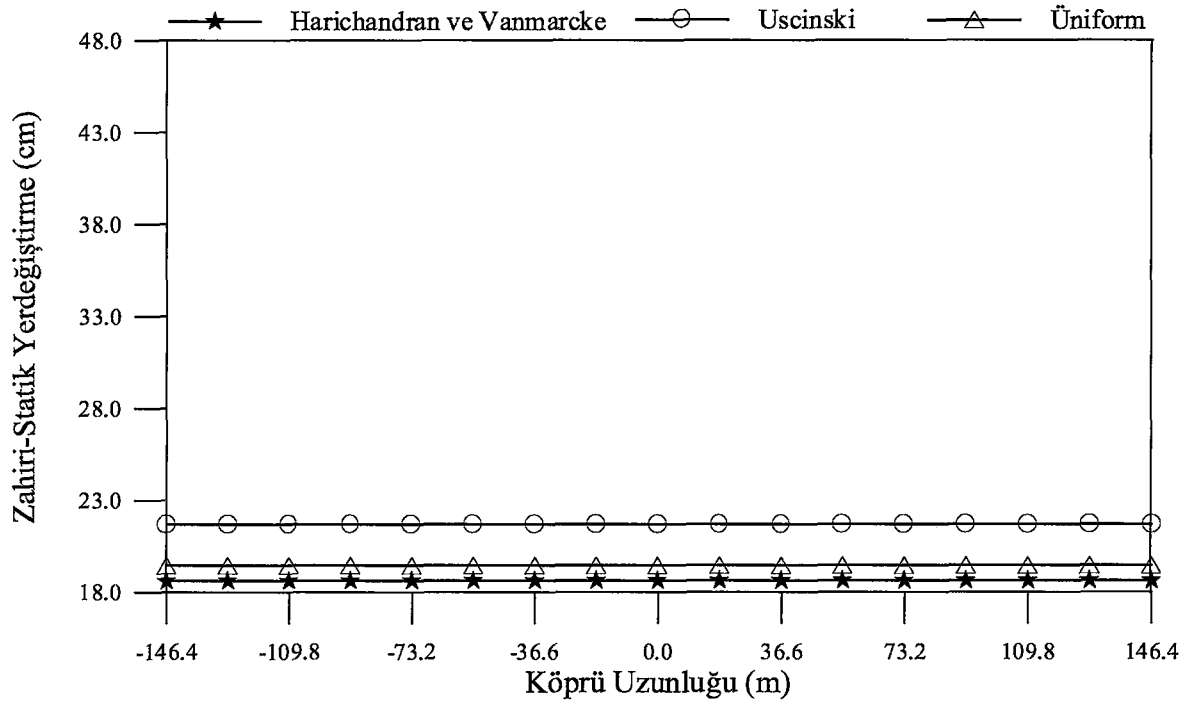
Genel olarak, izolasyonlu köprü tabliyesi eleman kuvvetleri izolasyonsuz köprü tabliyesi eleman kuvvetleri ile karşılaştırıldığında eleman kuvvetlerinde yaklaşık %60-%80 oranında bir azalma söz konusu olmaktadır.



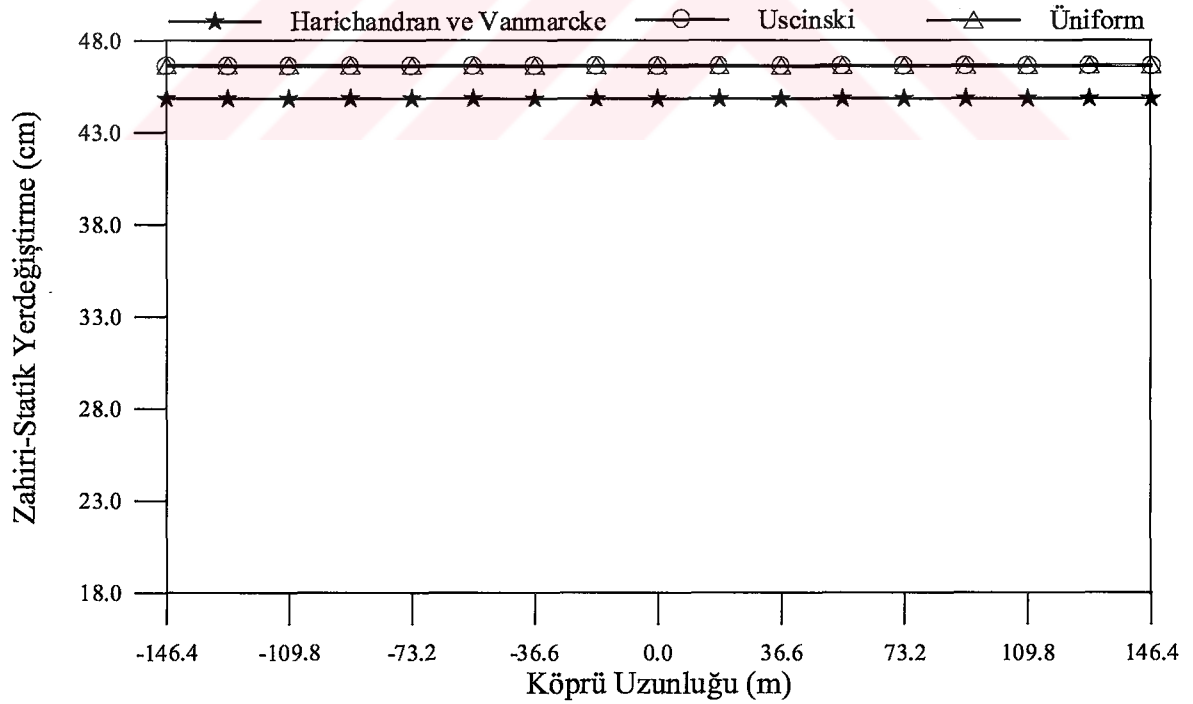
Harichandran ve Vanmarcke (1986) tutarsızlık modeli

Uscinski (1977) tutarsızlık modeli

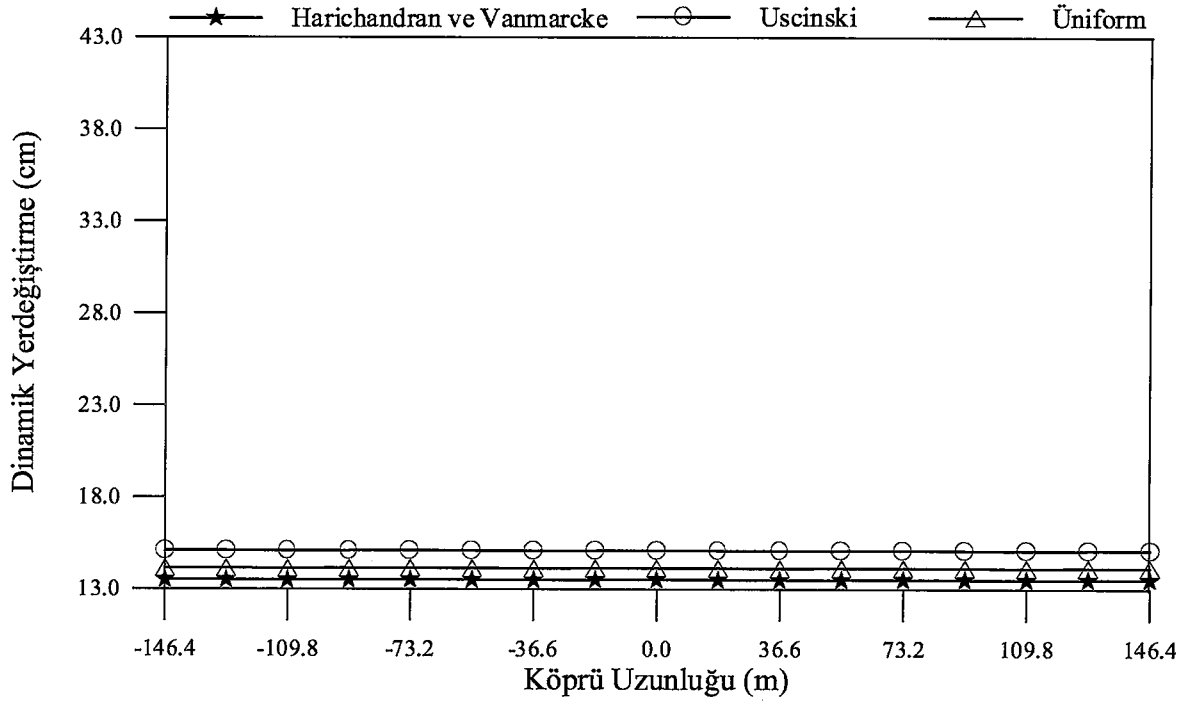
Şekil 3.76. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen karayolu köprüsünün analitik modeli



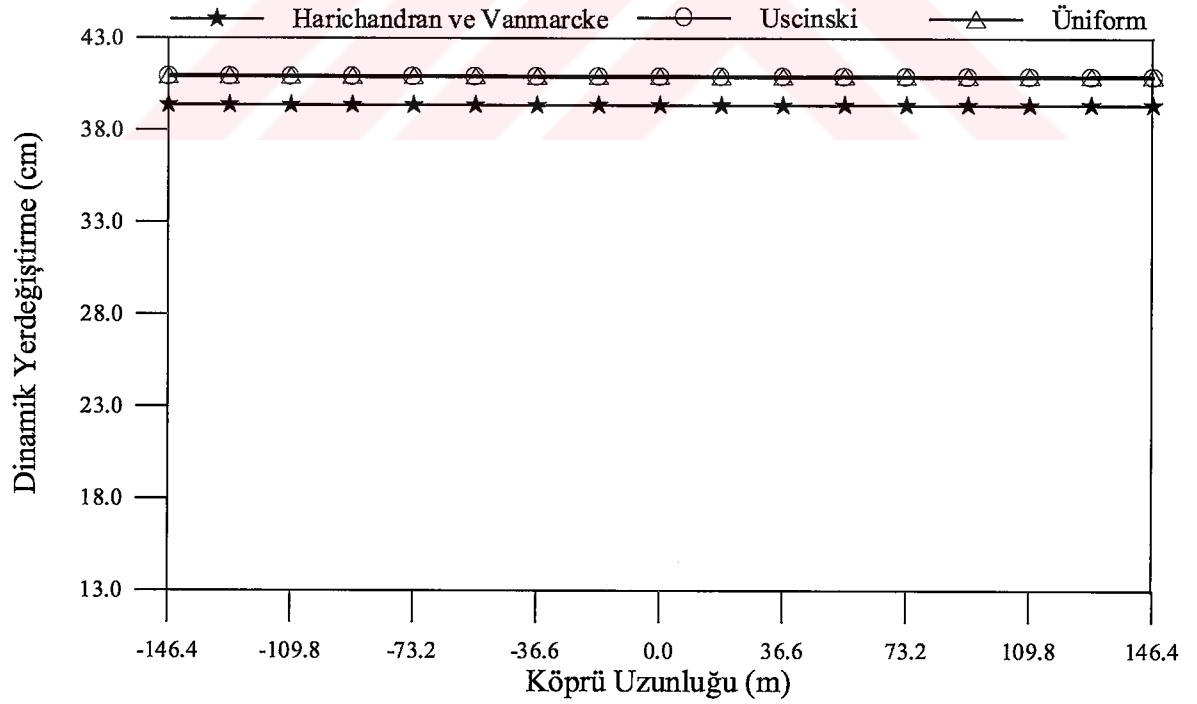
Şekil 3.77. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri



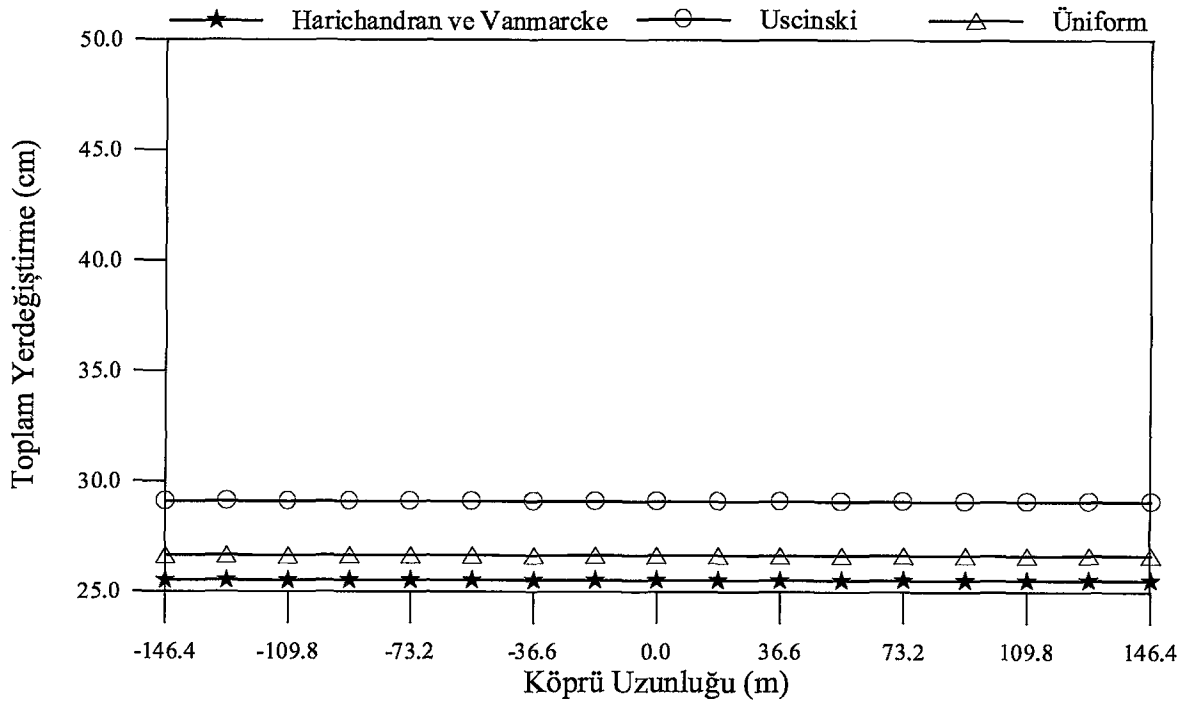
Şekil 3.78. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri



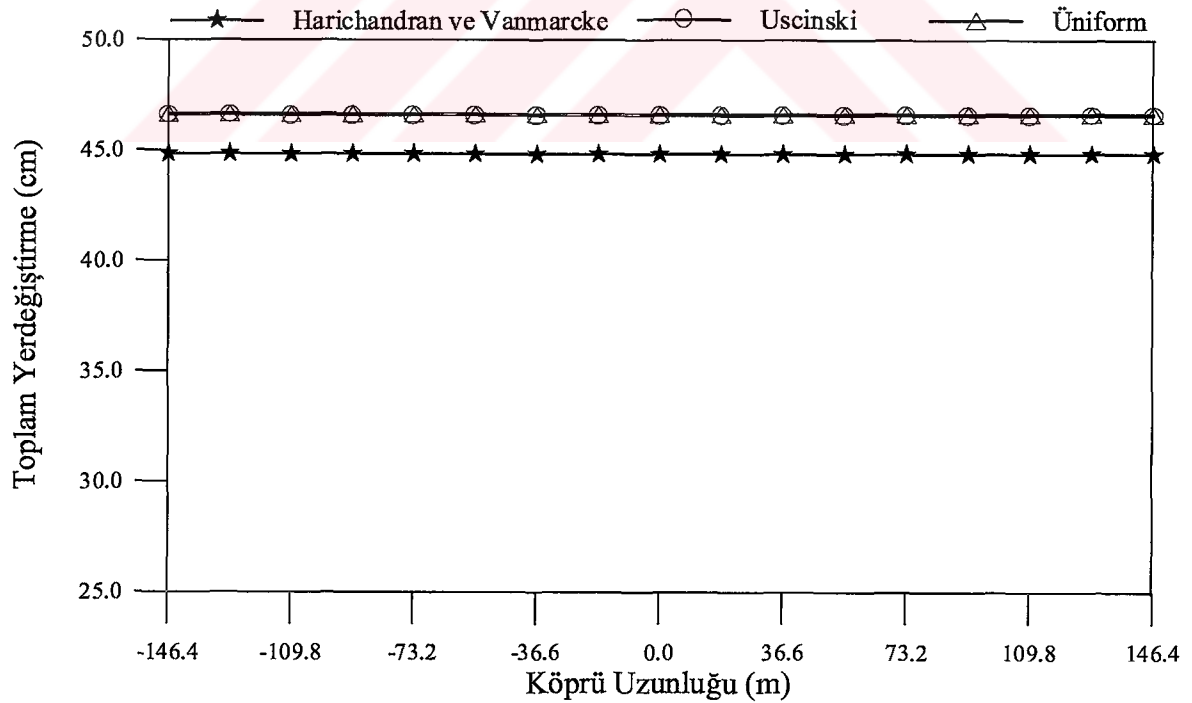
Şekil 3.79. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik yatay yerdeğiştirmeleri



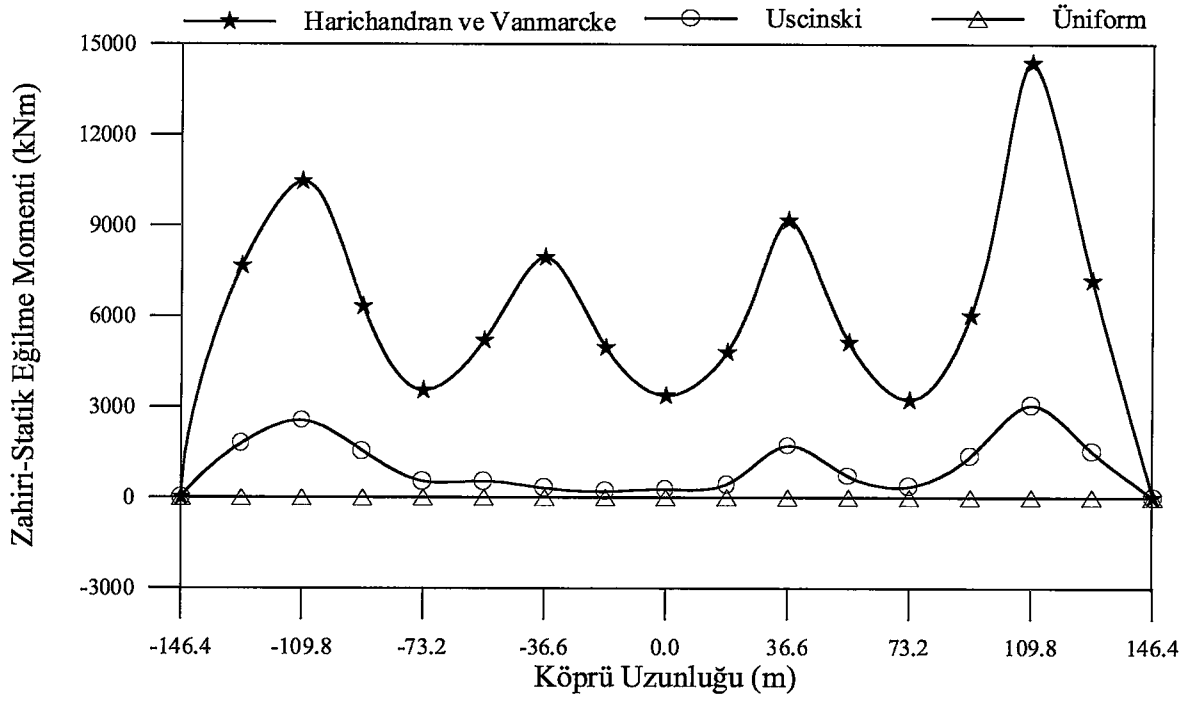
Şekil 3.80. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik yatay yerdeğiştirmeleri



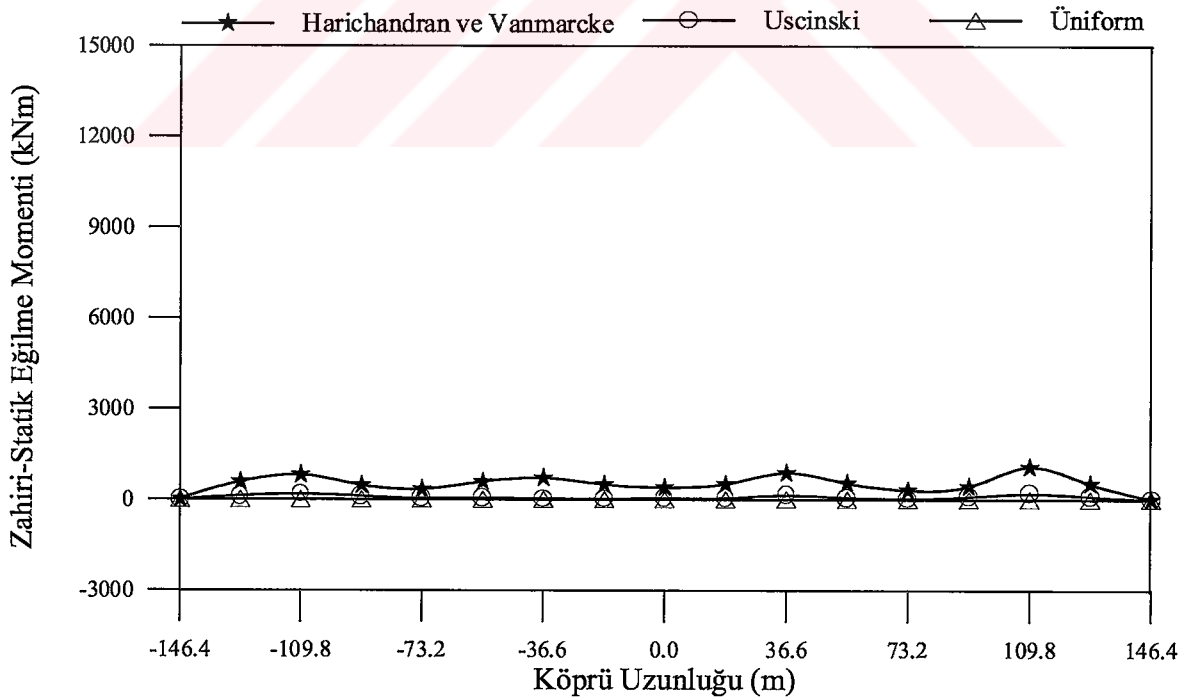
Şekil 3.81. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam yatay yerdeğiştirmeleri



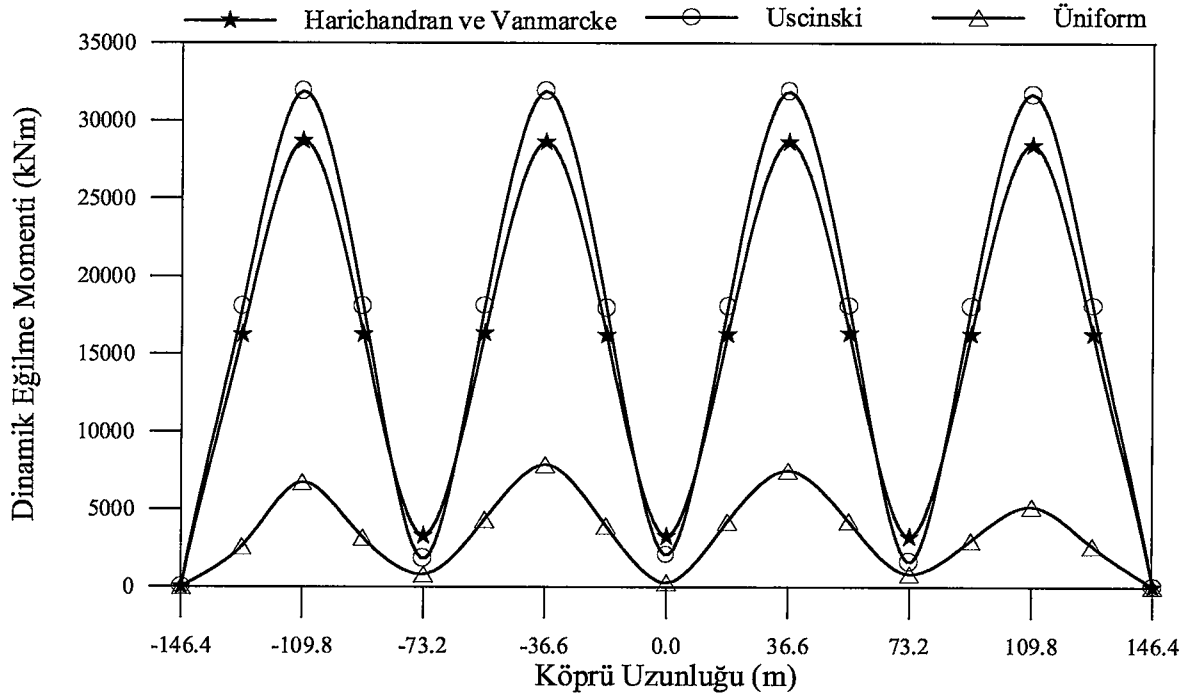
Şekil 3.82. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam yatay yerdeğiştirmeleri



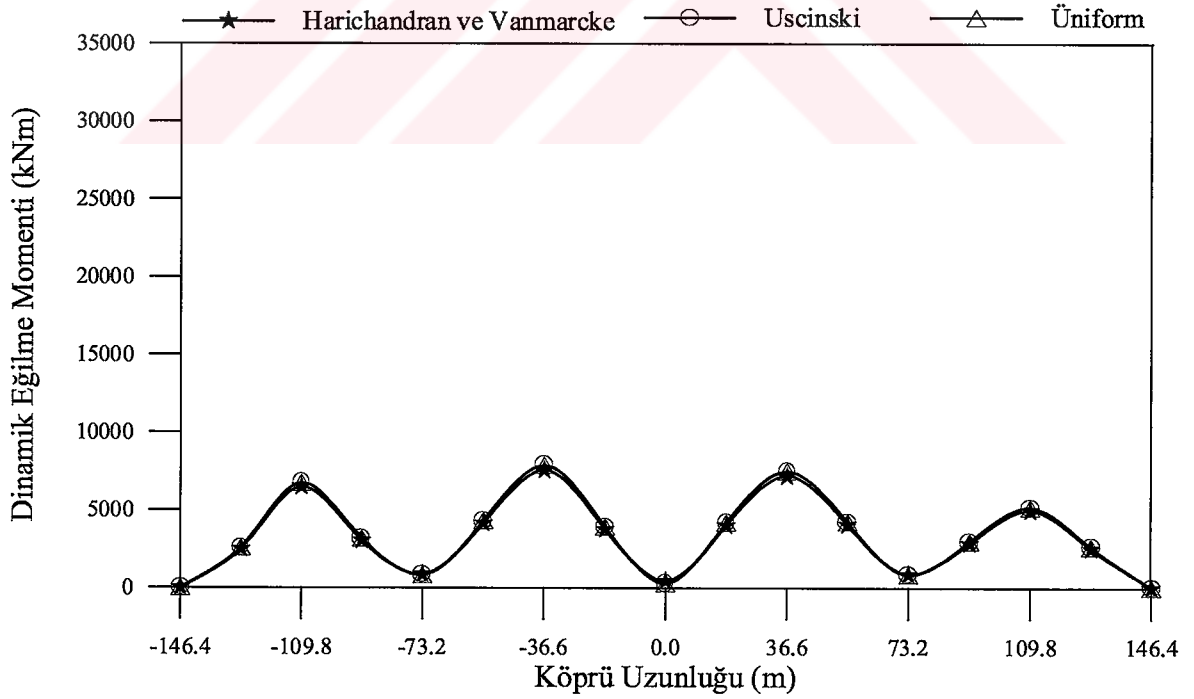
Şekil 3.83. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik eğilme momentleri



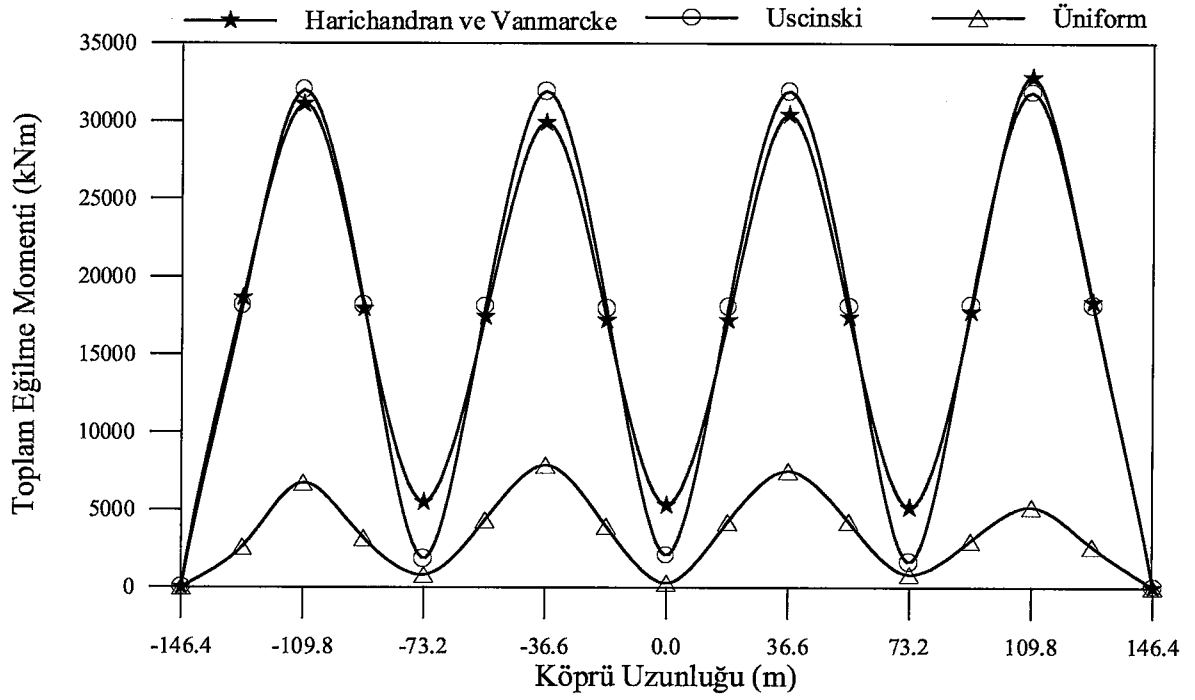
Şekil 3.84. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik eğilme momentleri



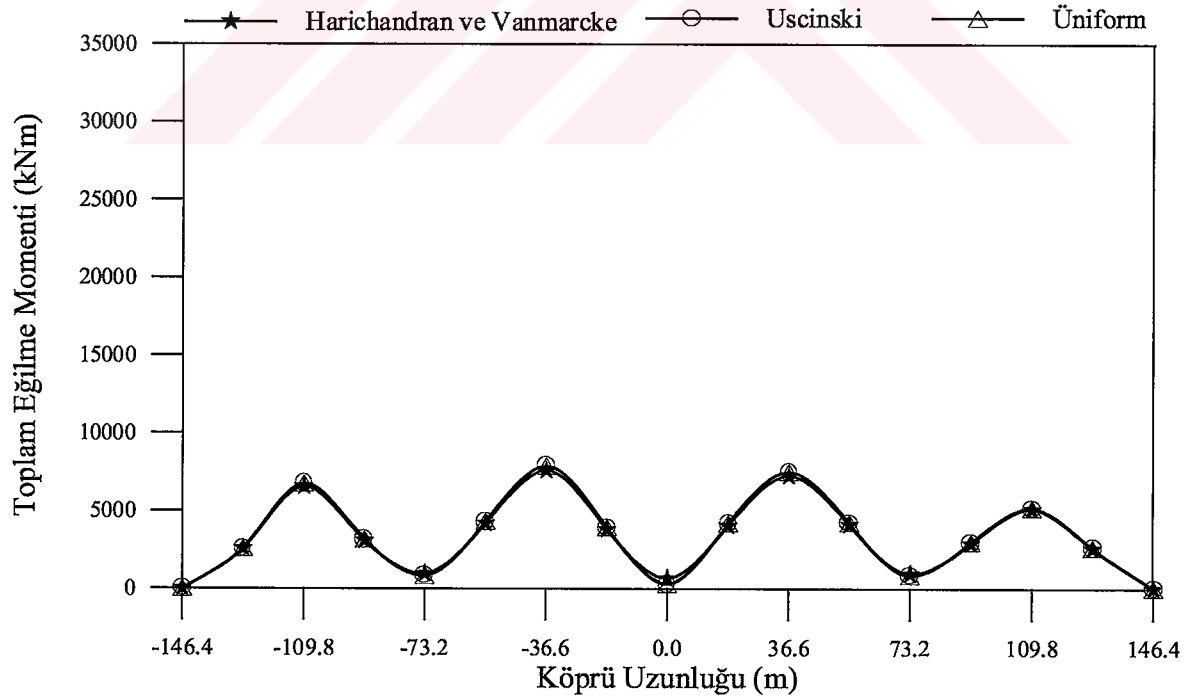
Şekil 3.85. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik eğilme momentleri



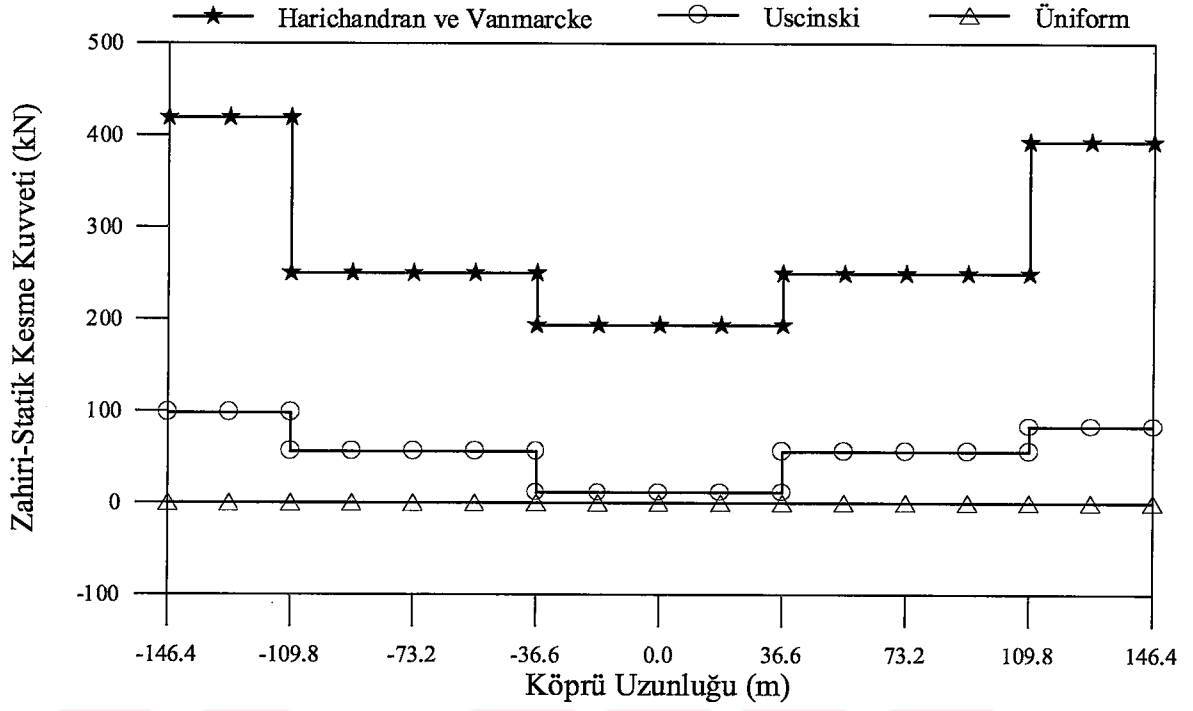
Şekil 3.86. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik eğilme momentleri



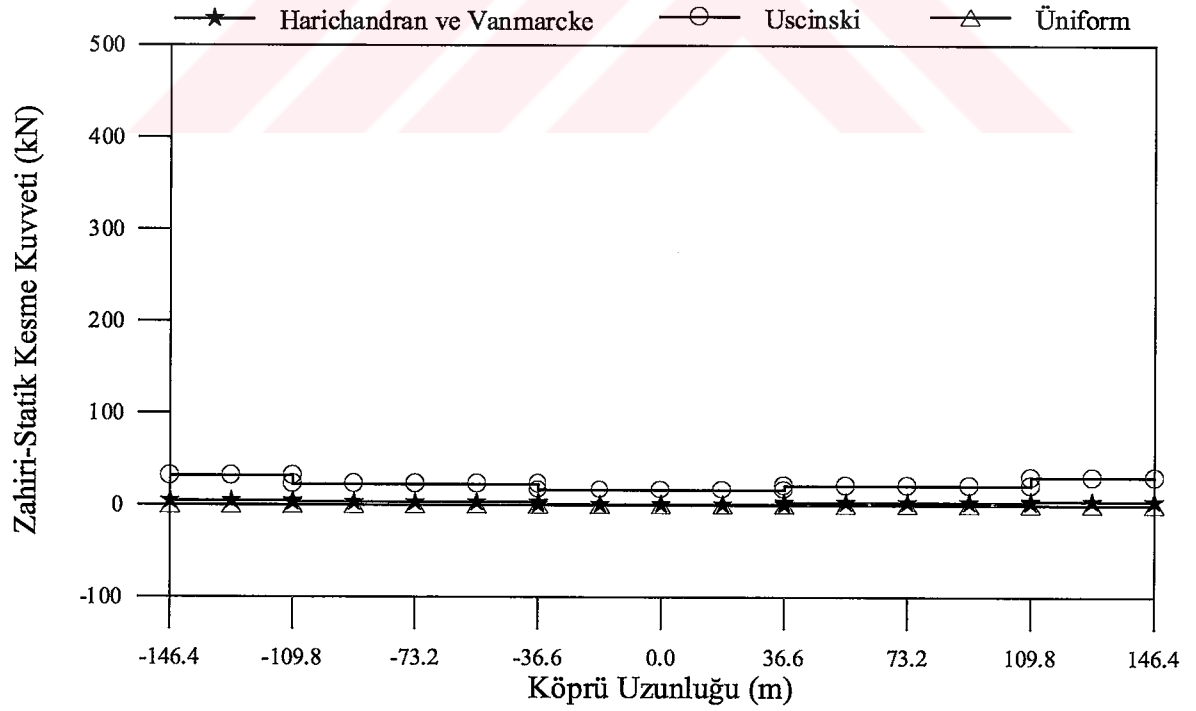
Şekil 3.87. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam eğilme momentleri



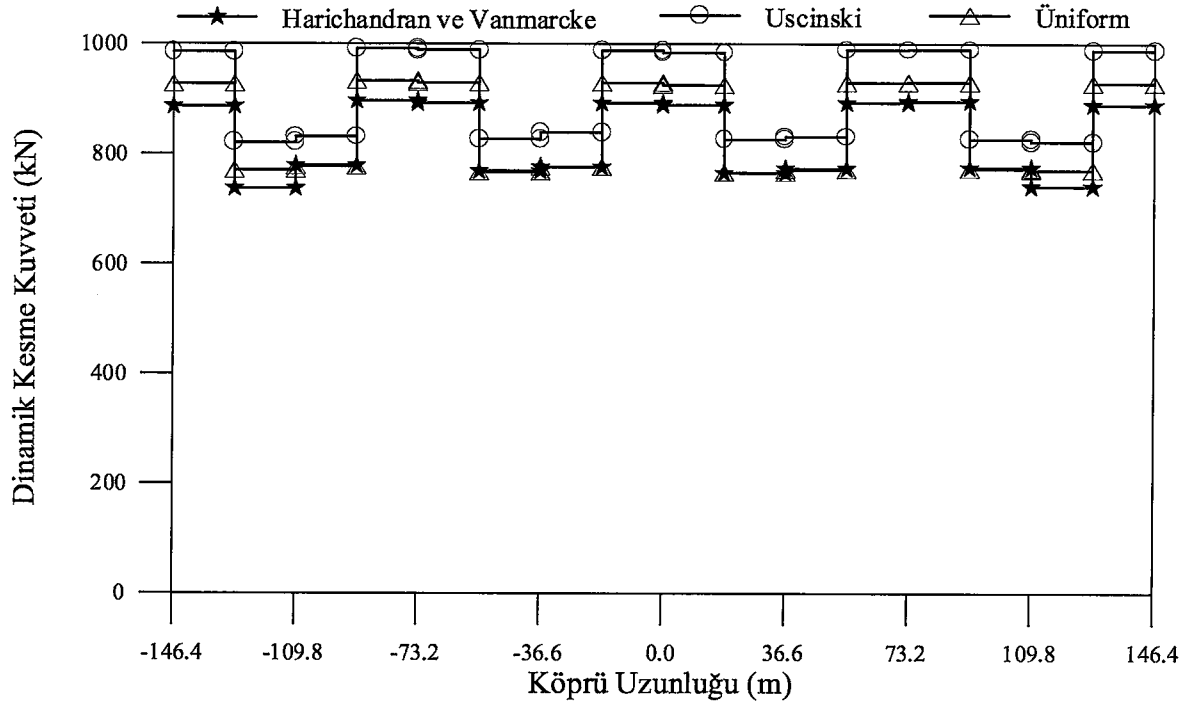
Şekil 3.88. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam eğilme momentleri



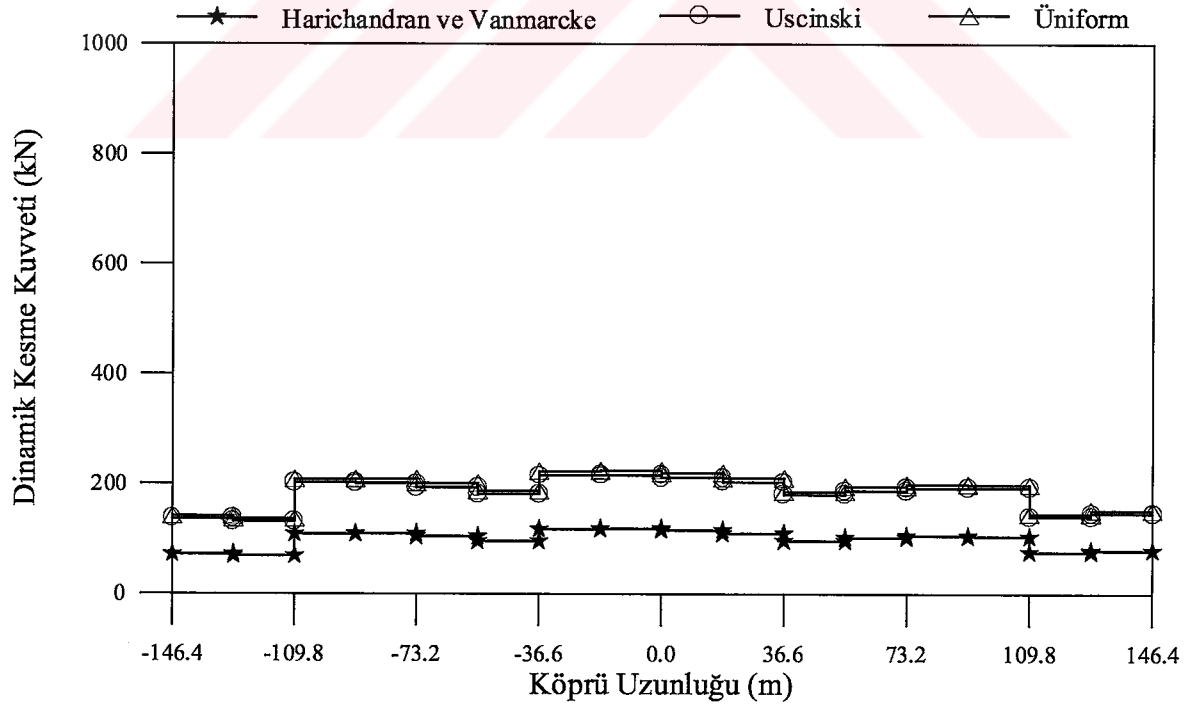
Şekil 3.89. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik kesme kuvvetleri



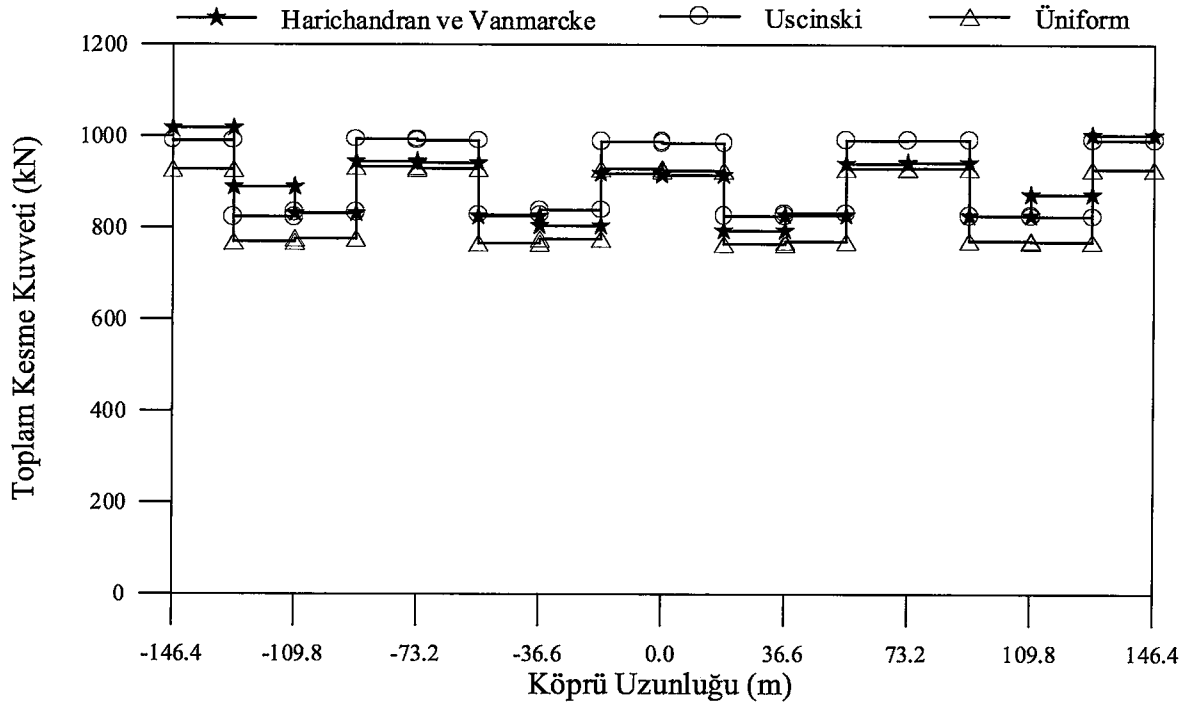
Şekil 3.90. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik kesme kuvvetleri



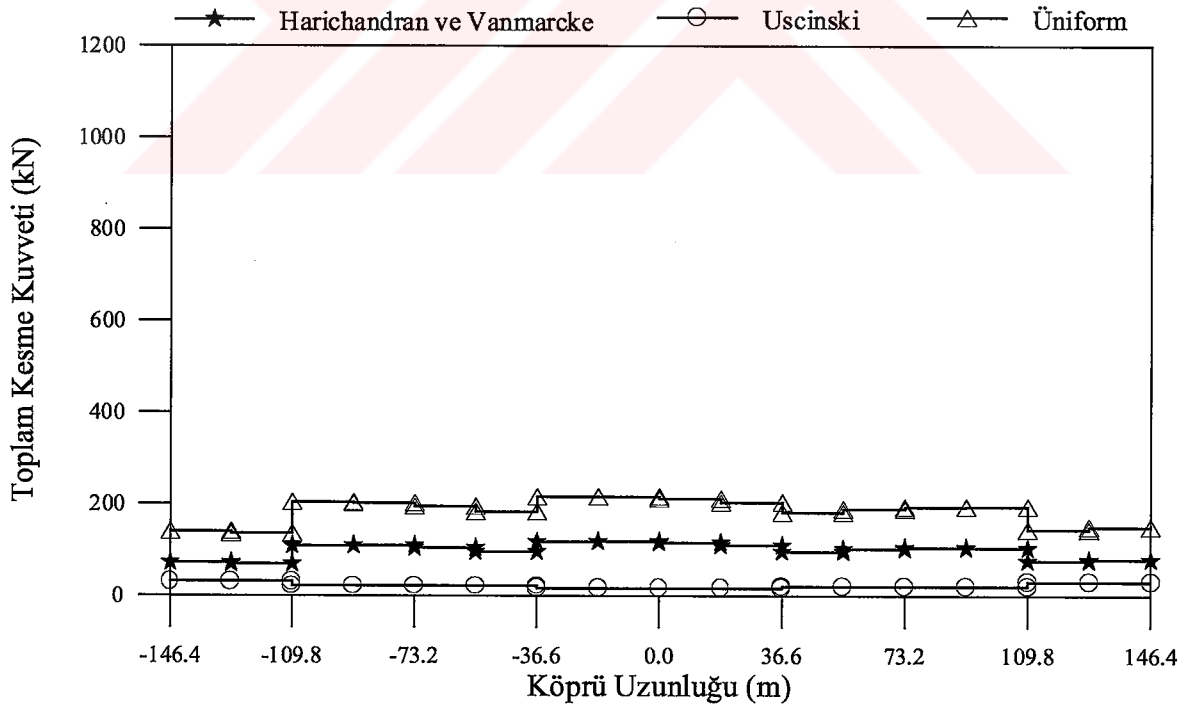
Şekil 3.91. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik kesme kuvvetleri



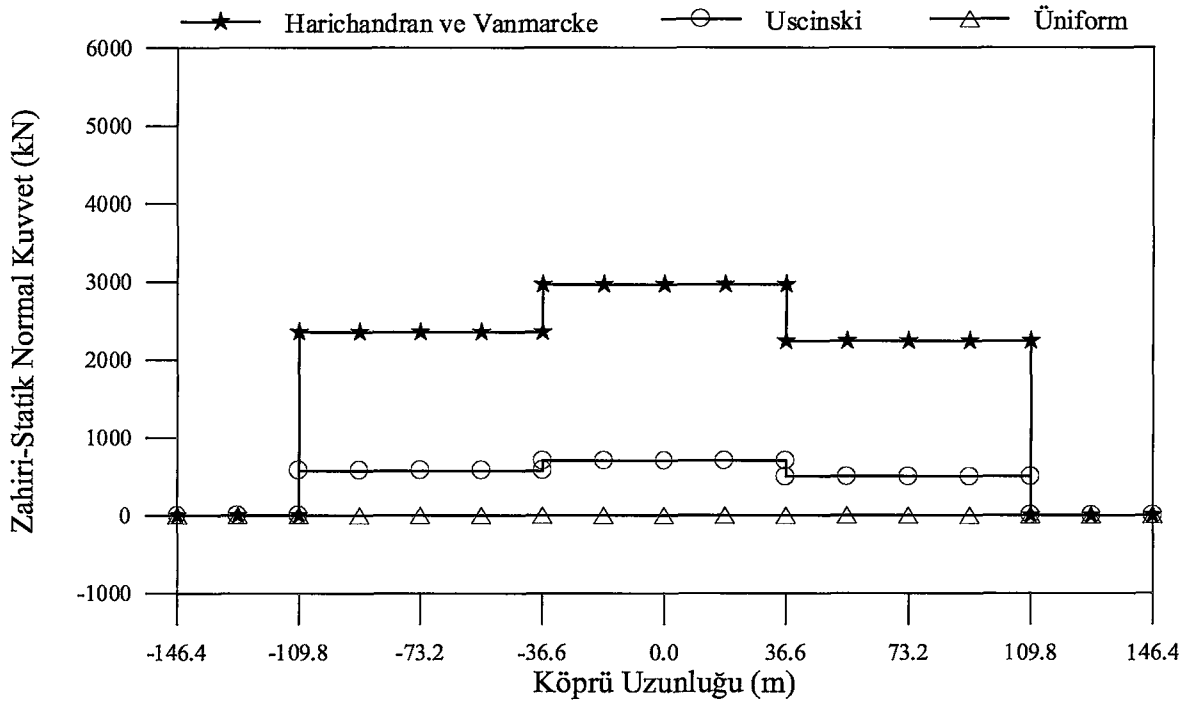
Şekil 3.92. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik kesme kuvvetleri



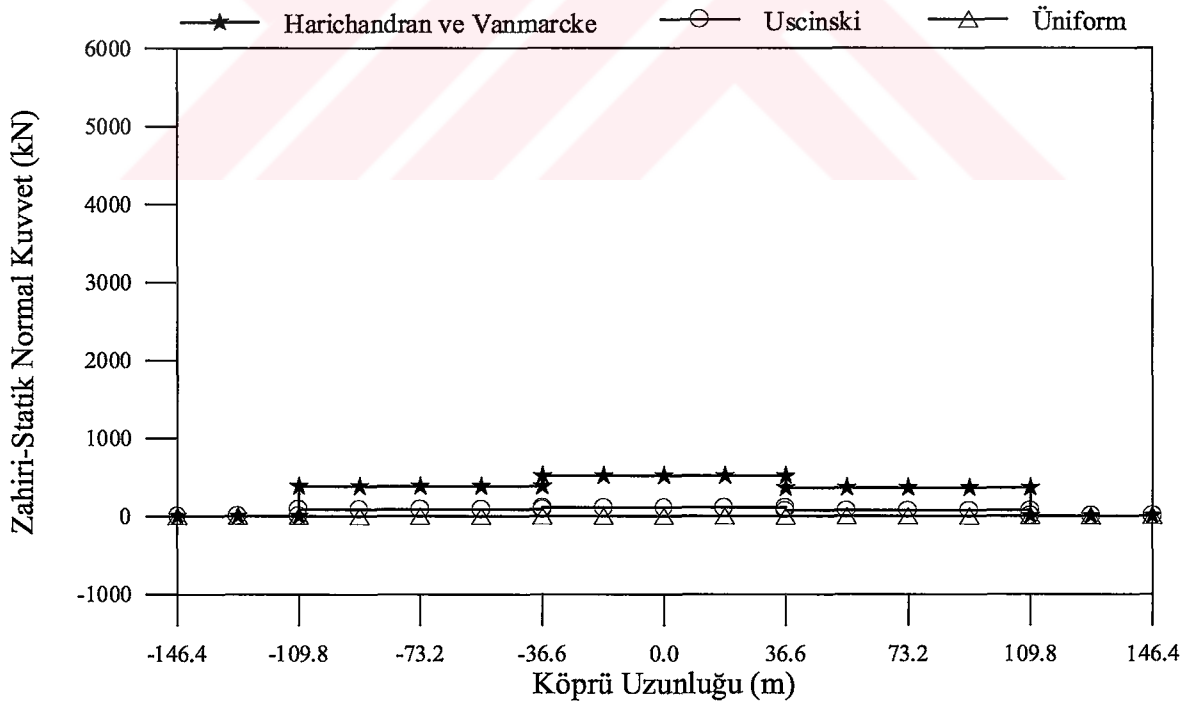
Şekil 3.93. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam kesme kuvvetleri



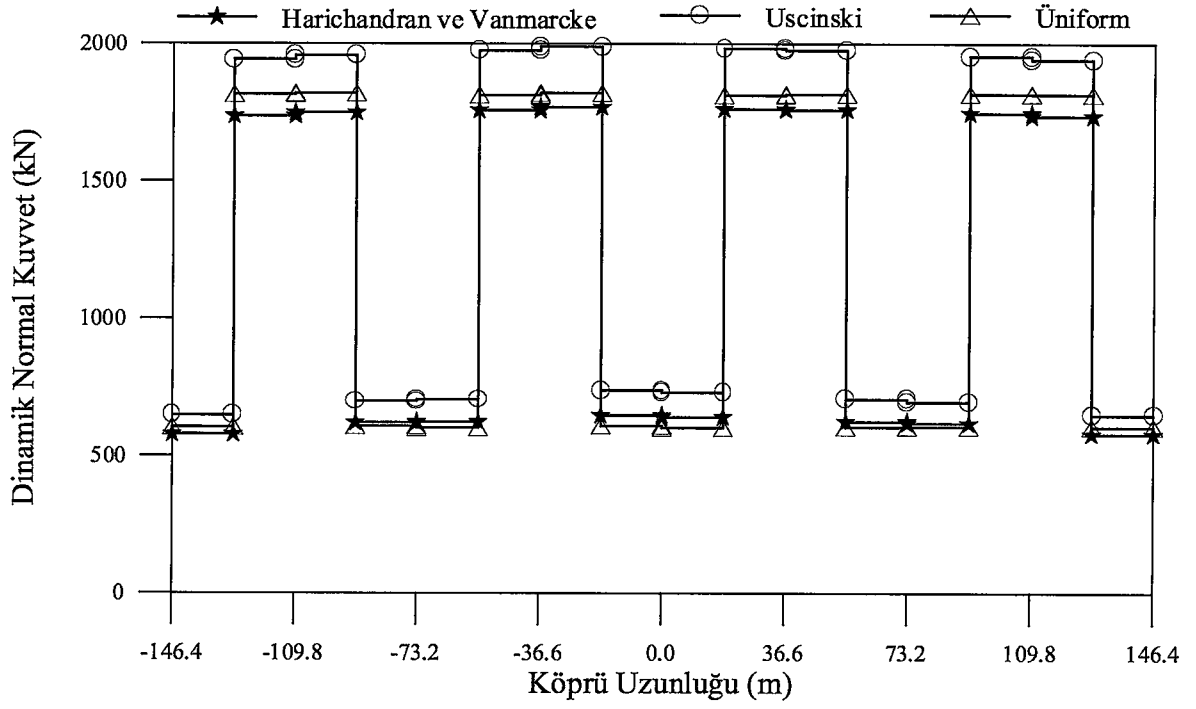
Şekil 3.94. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam kesme kuvvetleri



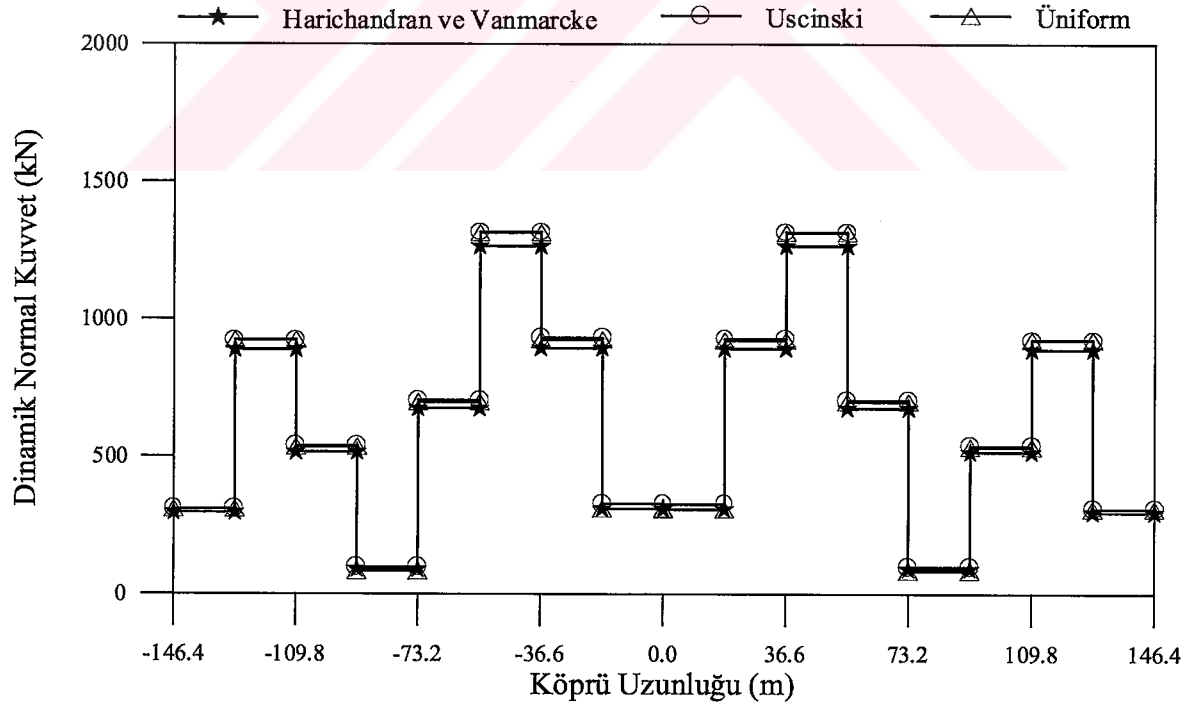
Şekil 3.95. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik normal kuvvetleri



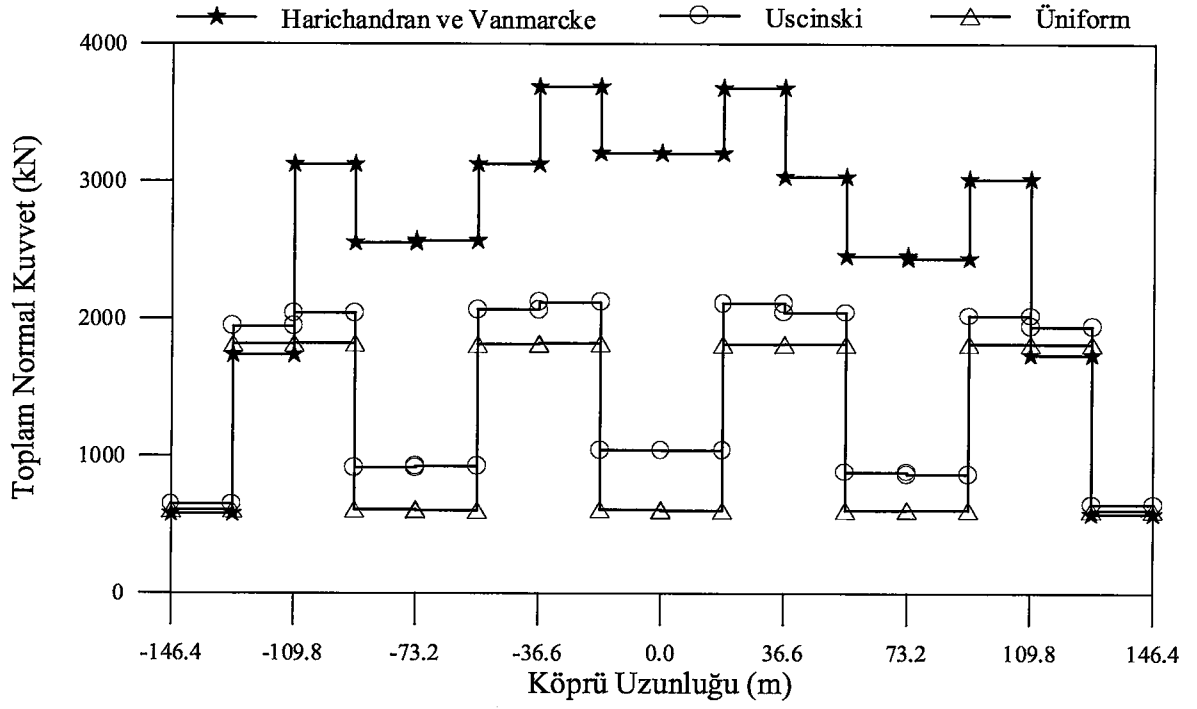
Şekil 3.96. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik normal kuvvetleri



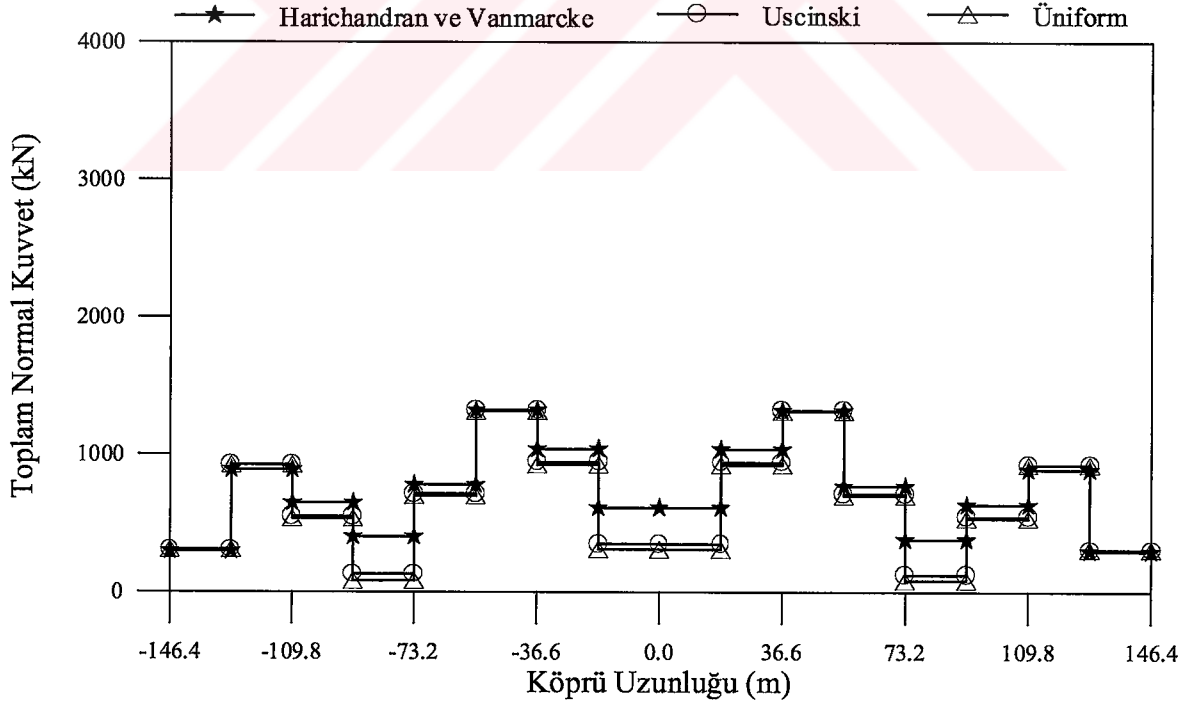
Şekil 3.97. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik normal kuvvetleri



Şekil 3.98. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik normal kuvvetleri



Şekil 3.99. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam normal kuvvetleri



Şekil 3.100. Sadece tutarsızlık etkilerine maruz homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam normal kuvvetleri

3.1.3. Dalga Yayılma ve Tutarsızlık Etkilerinin Birlikte Dikkate Alınması Durumunda Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının İncelenmesi

Bu alt bölümde karayolu köprüsünün mesnetlendiği zeminin homojen yumuşak olması durumunda; dalga yayılma ve tutarsızlık etkileri birlikte dikkate alınarak izolasyonsuz ve izolasyonlu karayolu köprüsünün stokastik analizleri gerçekleştirilmiştir. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerinin birlikte dikkate alınmasıyla elde edilen analiz sonuçları, dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerinin dikkate alınmadığı durum olan üniform yer hareketi ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, sadece dalga yayılma etkisinin ve sadece tutarsızlık etkisinin dikkate alındığı stokastik analiz sonuçları da grafikler halinde sunulmuştur. Yapılan bu karşılaştırmalarda dikkate alınan dört durum aşağıda ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır.

Üniform yer hareketi durumu : Yer hareketi dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerinin dikkate alınmadığı, yer hareketinin sonsuz hızda yayıldığı ve köprünün her bir mesnetine aynı yer hareketinin ektiği kabul edilmektedir. Bu durum; (2.9) denklemdeki tutarsızlık etkisinin $|\gamma_{\ell m}(\omega)|^k = 1$, zemin etkisinin $\gamma_{\ell m}(\omega)^Z = 1$ ve dalga yayılması etkisinin $\gamma_{\ell m}(\omega)^d = 1$ olmasına karşılık gelmektedir.

Dalga yayılma etkisi durumu : Bölüm 3.1.1'de gerçekleştirilen ve sadece yer hareketi yayılma etkisinin dikkate alındığı durumdur. Bu durum; (2.9) denklemdeki tutarsızlık etkisinin $|\gamma_{\ell m}(\omega)|^k = 1$, zemin etkisinin $\gamma_{\ell m}(\omega)^Z = 1$ ve dalga yayılması etkisinin $\gamma_{\ell m}(\omega)^d \neq 1$ olmasına karşılık gelmektedir. Yumuşak zemin için dalga yayılma hızı olarak 200 m/s ve yer hareketi olarak da 1999 Kocaeli depremi Yarımca istasyonu kuzey-güney bileşeni dikkate alınmaktadır.

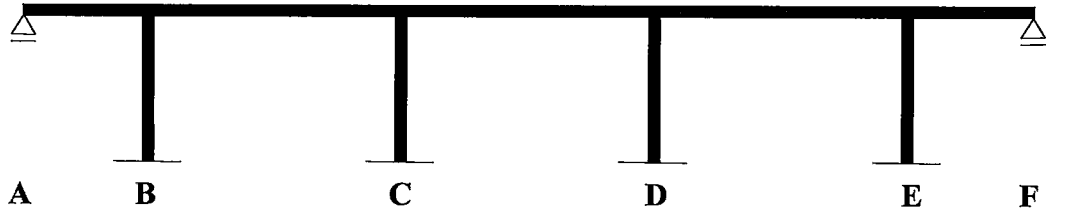
Tutarsızlık etkisi durumu : Bölüm 3.1.2'de gerçekleştirilen ve sadece tutarsızlık etkisinin dikkate alındığı durumdur. Bu durum; (2.9) denklemdeki tutarsızlık etkisinin $|\gamma_{\ell m}(\omega)|^k \neq 1$, zemin etkisinin $\gamma_{\ell m}(\omega)^Z = 1$ ve dalga yayılması etkisinin $\gamma_{\ell m}(\omega)^d = 1$ olmasına karşılık gelmektedir. Tutarsızlık modeli olarak; Harichandran ve Vanmarcke (1986) tutarsızlık modeli kullanılmıştır.

Genel durum : Dalga yayılma ve tutarsızlık etkileri birlikte dikkate alınmakta olup, köprünün homojen yumuşak zemine mesnetlendiği kabul edilmiştir. Bu durum; (2.9) denklemdeki tutarsızlık etkisinin $|\gamma_{\ell m}(\omega)|^k \neq 1$, zemin etkisinin $\gamma_{\ell m}(\omega)^Z = 1$ ve dalga

yayıması etkisinin $\gamma_{\ell m}(\omega)^d \neq 1$ olmasına karşılık gelmektedir. Şekil 3.101’de dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen karayolu köprüsü görülmektedir.

3.1.3.1. Ortalama Maksimum Yerdeğiştirme ve Eleman Kuvvetlerinin İncelenmesi

Yapılan stokastik analizler sonucunda; köprü tabliyesinde elde edilen ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri Şekil 3.102-3.125’de görülmektedir. Hem izolasyonsuz hemde izolasyonlu köprü tabliyesinde oluşan zahiri-statik, dinamik ve toplam yatay yerdeğiştirmelerin ortalama maksimum değerleri dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerinin birlikte dikkate alındığı genel durumda en küçük çıktığı Şekil 3.102-3.107’den görülmektedir. Bununla birlikte, üniform yer hareketi için hesaplanan yerdeğiştirme değerleri en küçük olmaktadır. Şekil 3.108-3.125’ den köprü tabliyesinde oluşan dinamik ve toplam eğilme momenti, kesme kuvveti ve normal kuvvetler üzerinde tutarsızlık etkisinin dalga yayılma etkisine göre daha etkili olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, zahiri-statik eğilme momenti, kesme kuvveti ve normal kuvvetler üzerinde ise dalga yayılma etkisinin tutarsızlık etkisine göre daha etkili olduğu görülmektedir. Hem izolasyonsuz hem de izolasyonlu köprü tabliyesi toplam eğilme momentleri ve toplam kesme kuvvetleri sadece tutarsızlık etkisi durumunda en büyük değerleri alırken, toplam normal kuvvetler genel durumda en büyük olmaktadır. Ayrıca, söz konusu şekillerden izolasyonlu köprüye ait tabliye eleman kuvvetlerinin izolasyonsuza göre oldukça küçük olduğu da görülmektedir.



Homojen Yumuşak Zemin



Harichandran ve Vanmarcke (1986) tutarsızlık modeli

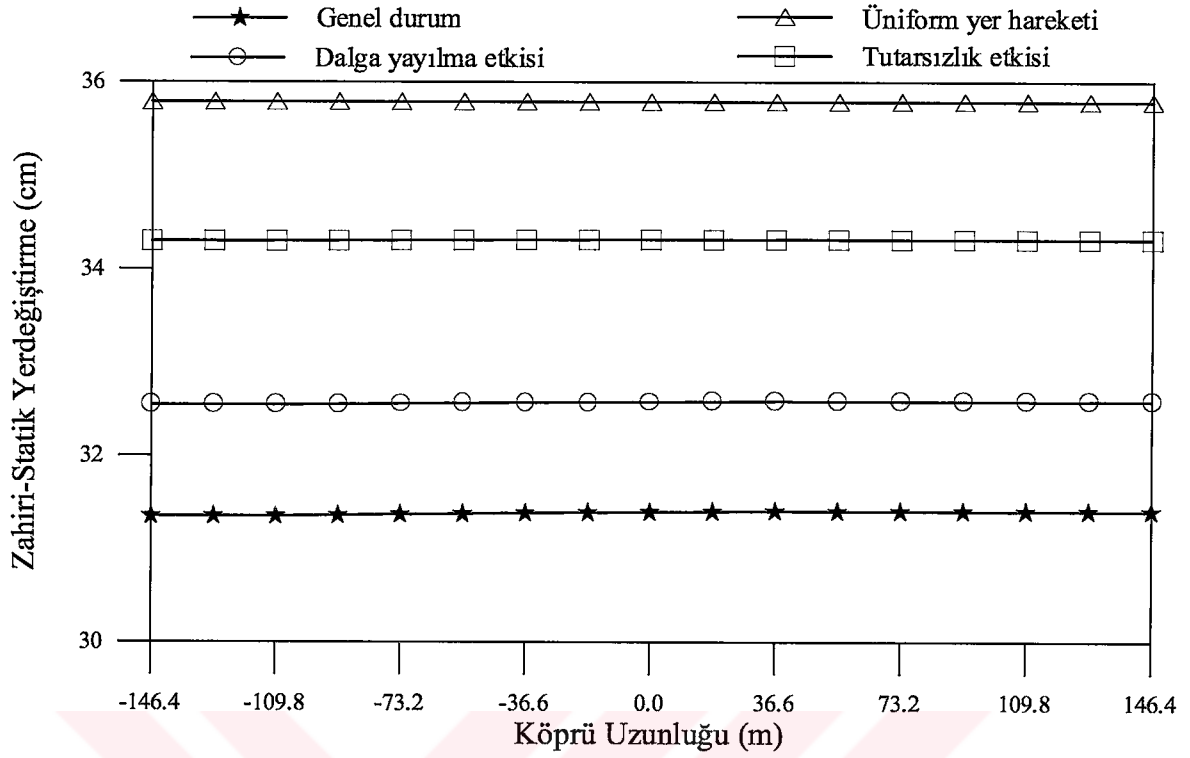


$V_{app}=200$ m/s

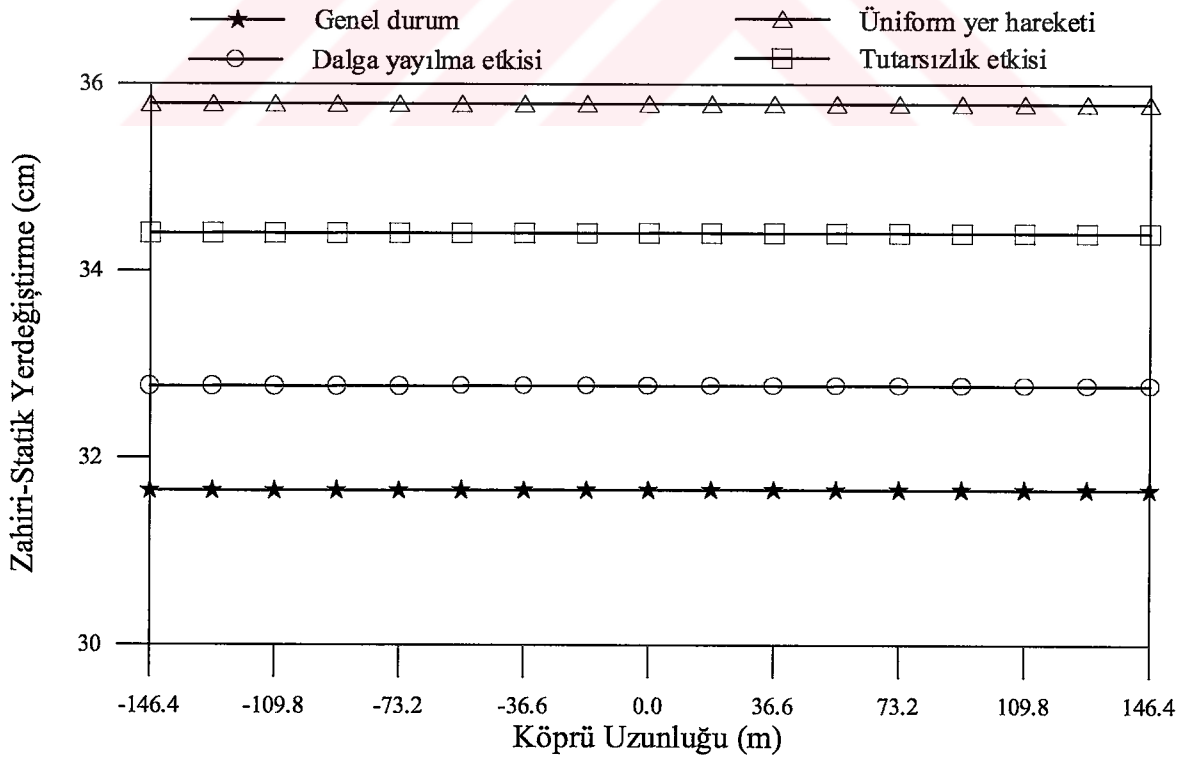
$V_{app}=200$ m/s

$V_{app}=200$ m/s

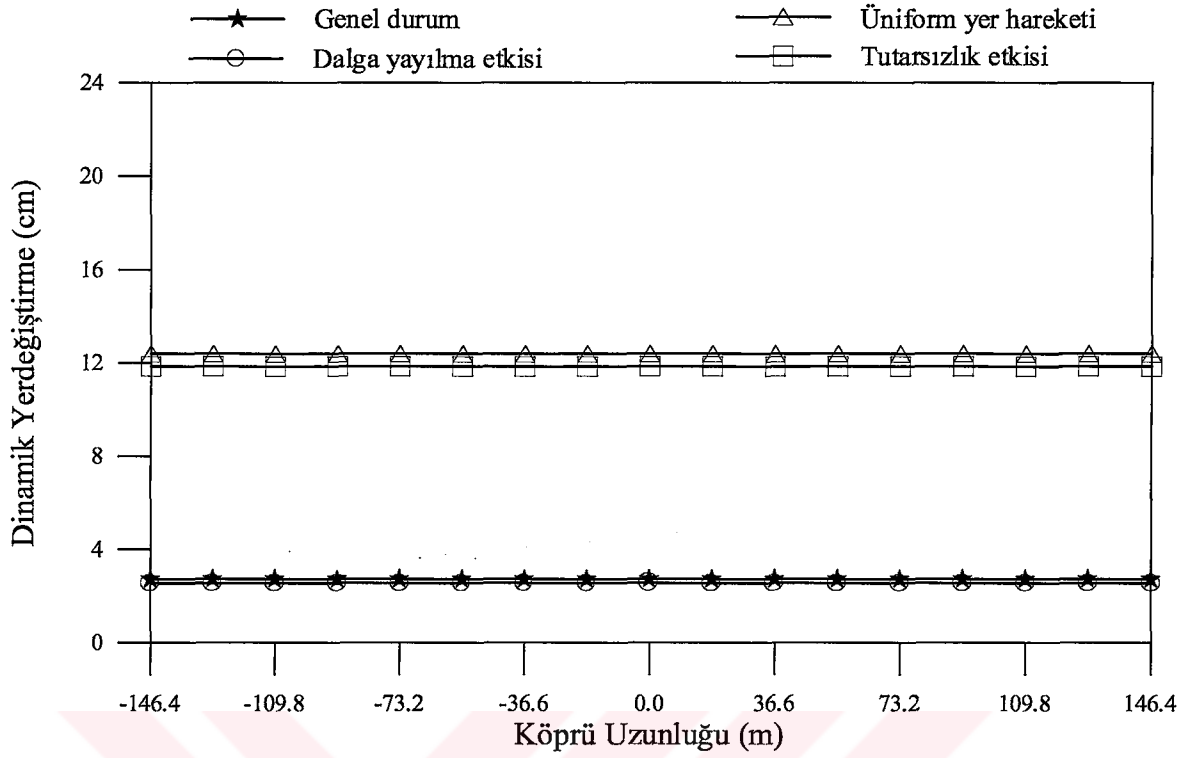
Şekil 3.101. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz homojen yumuşak zemine mesnetlenen karayolu köprüsünün analitik modeli



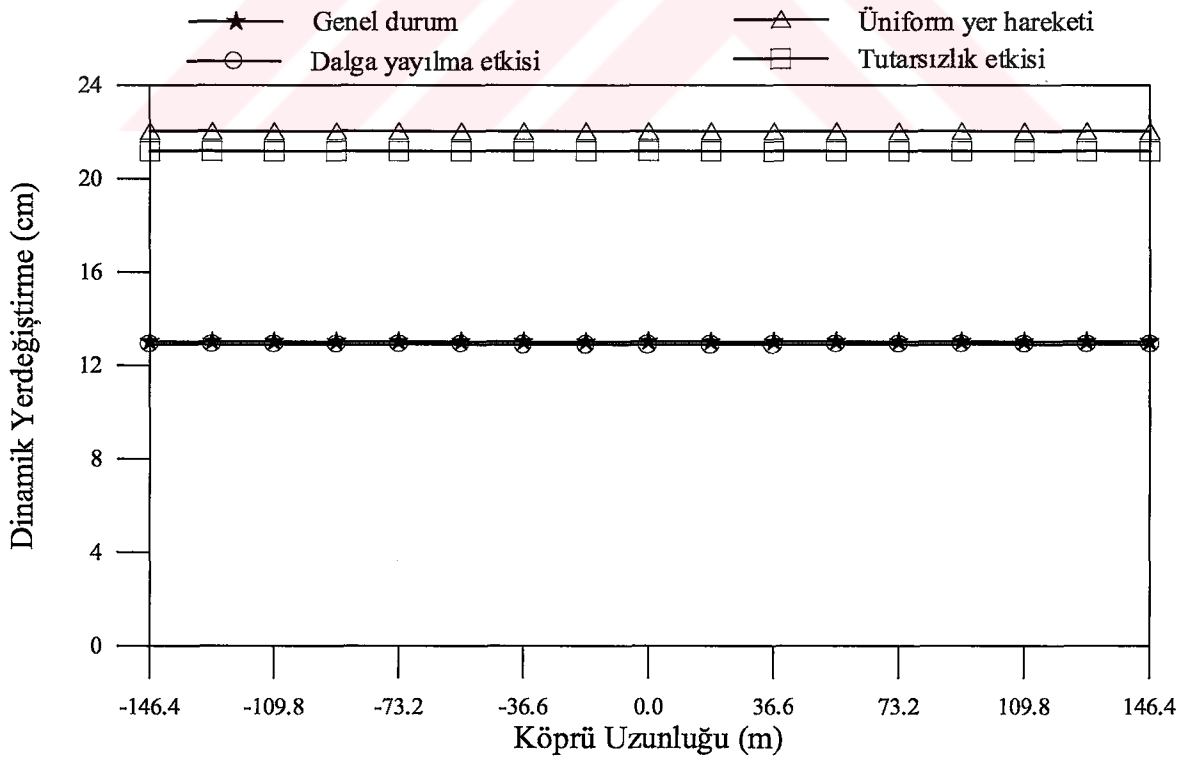
Şekil 3.102. Dalgaya yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri



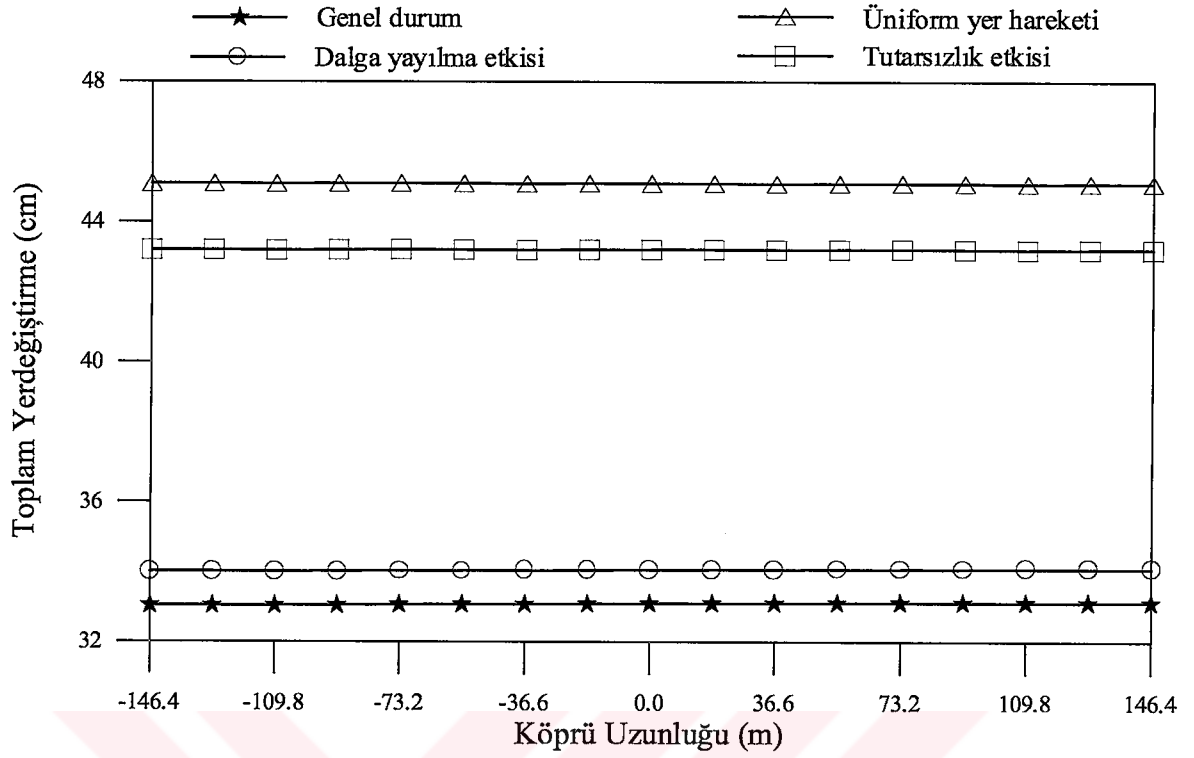
Şekil 3.103. Dalgaya yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri



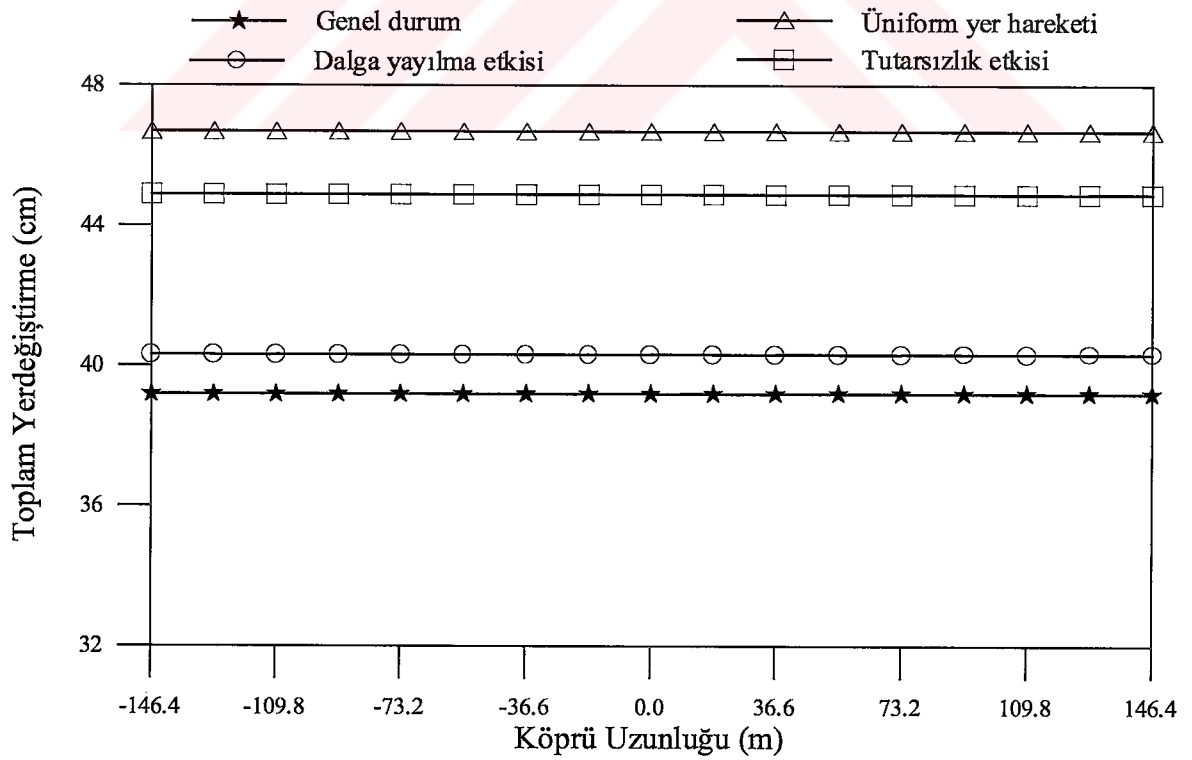
Şekil 3.104. Dalgaya yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik yatay yerdeğiştirmeleri



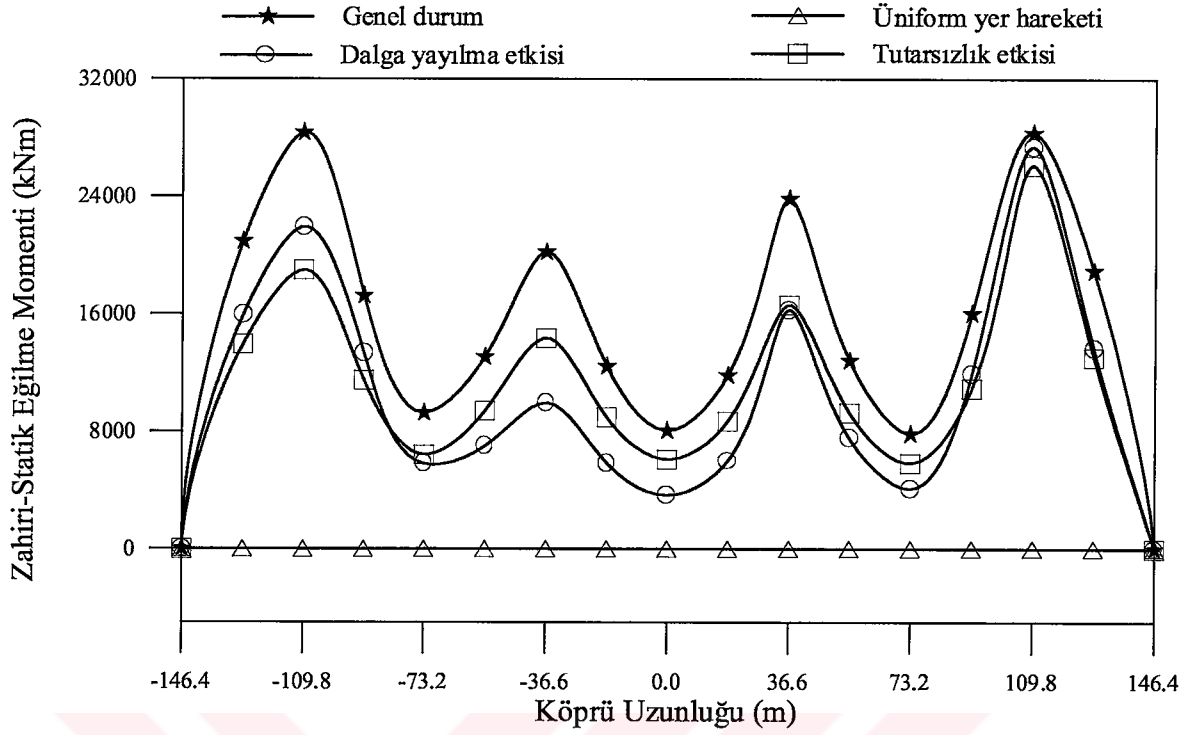
Şekil 3.105. Dalgaya yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik yatay yerdeğiştirmeleri



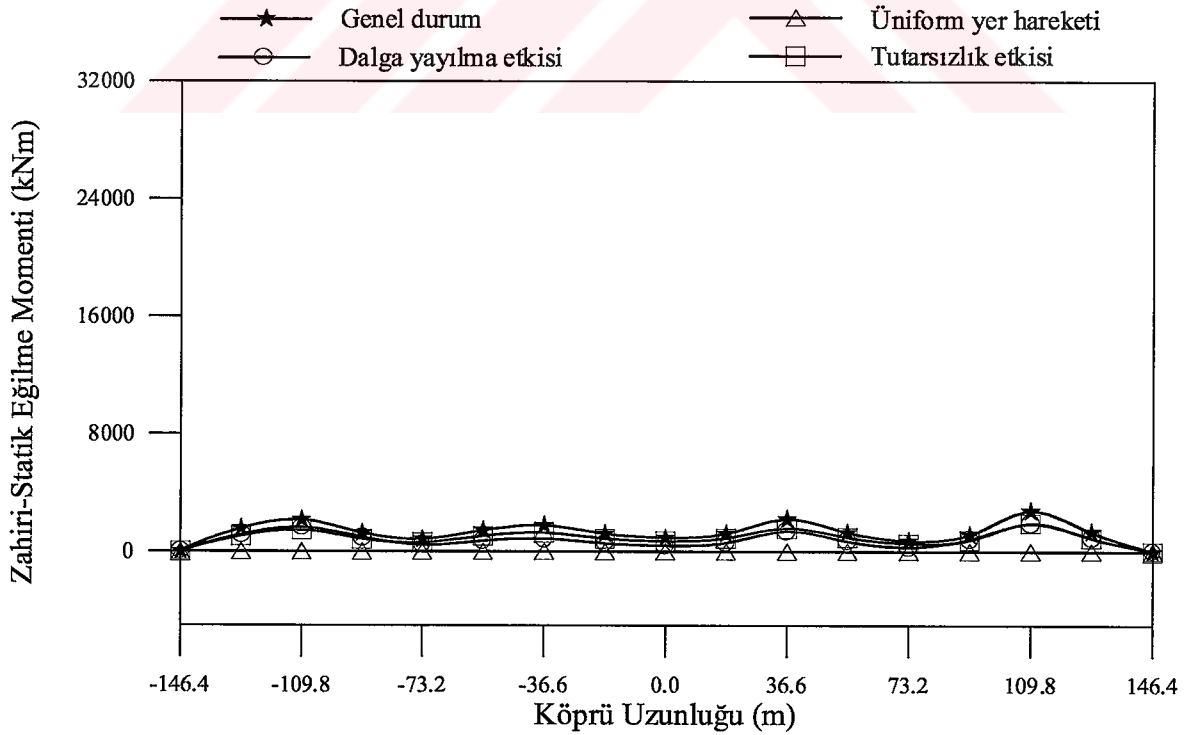
Şekil 3.106. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam yatay yerdeğiştirmeleri



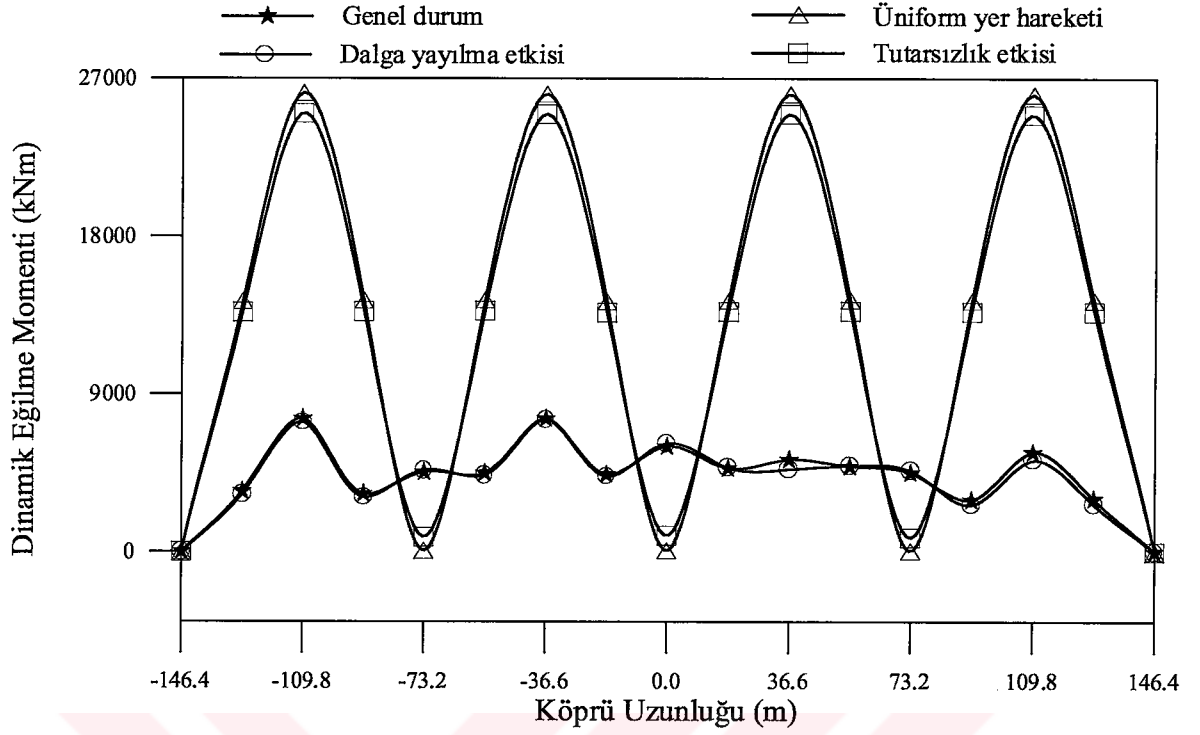
Şekil 3.107. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam yatay yerdeğiştirmeleri



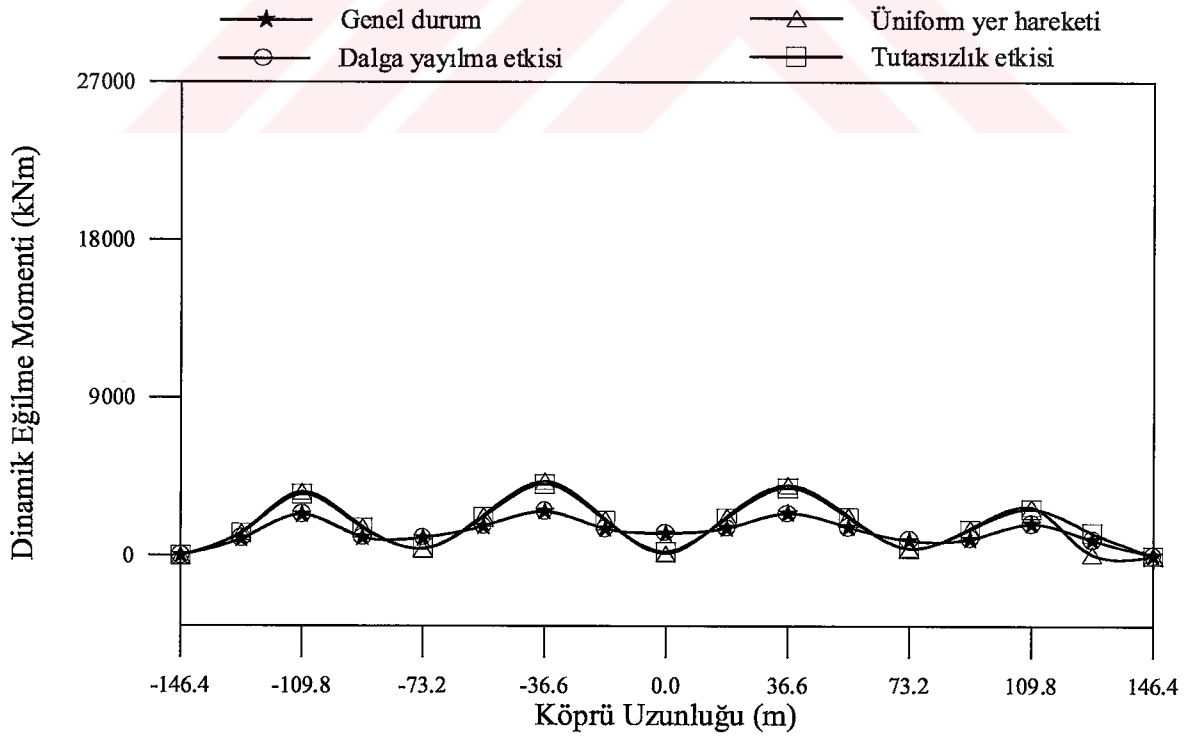
Şekil 3.108. Dalgı yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tablıye zahırı-statık eğılme momentleri



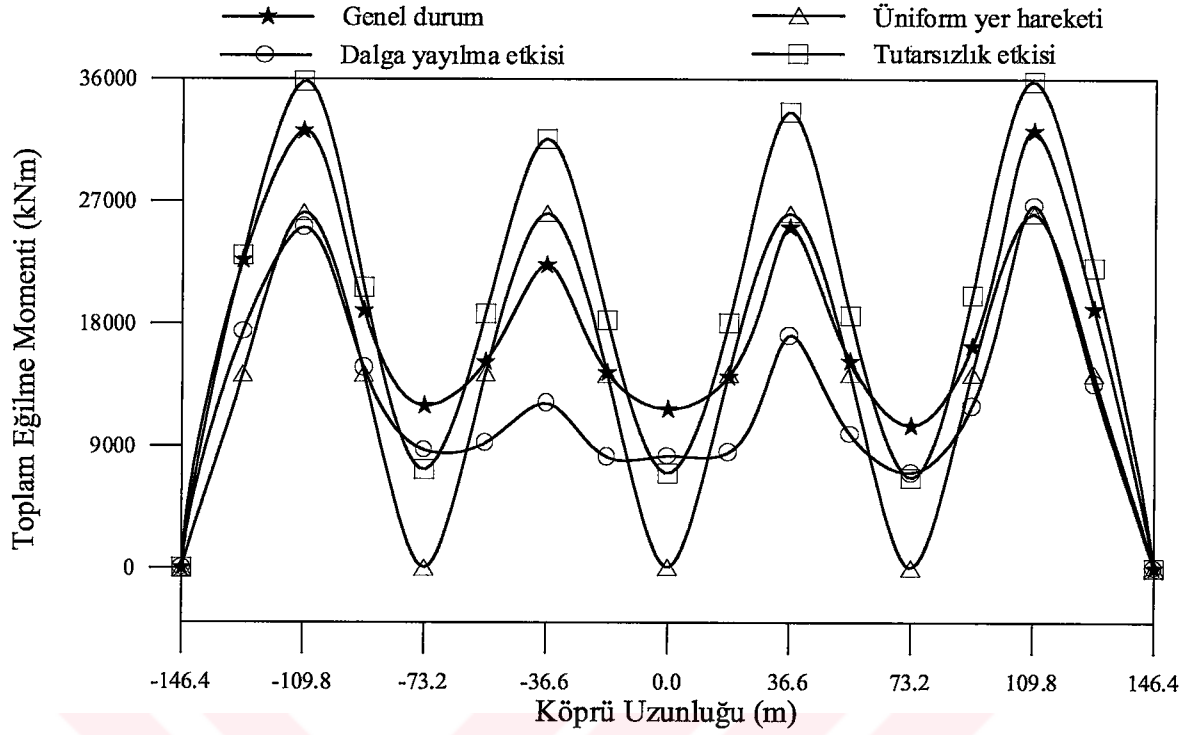
Şekil 3.109. Dalgı yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tablıye zahırı-statık eğılme momentleri



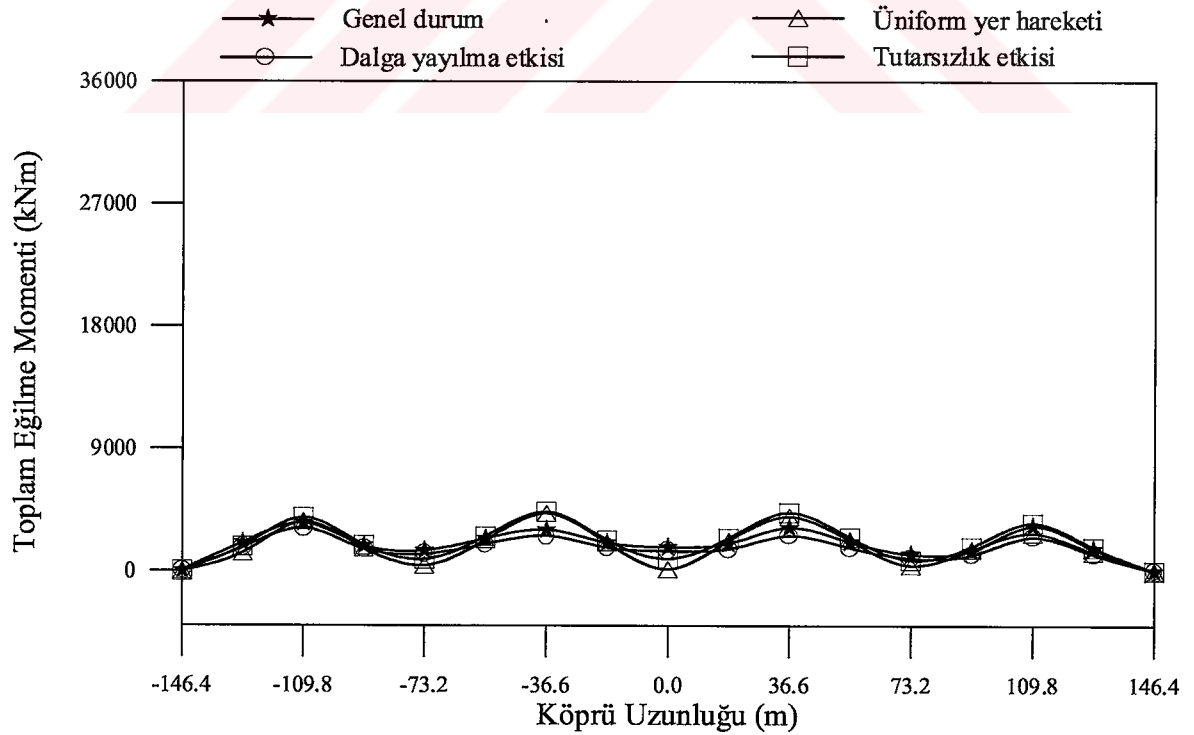
Şekil 3.110. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik eğilme momentleri



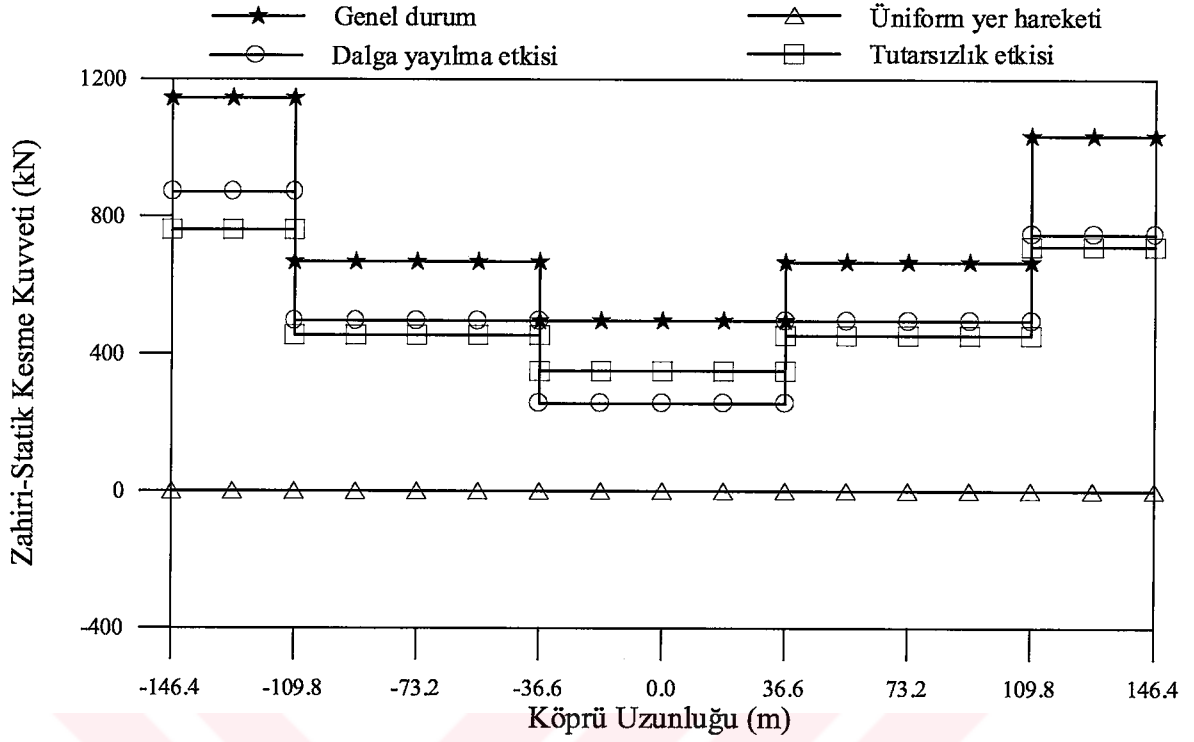
Şekil 3.111. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik eğilme momentleri



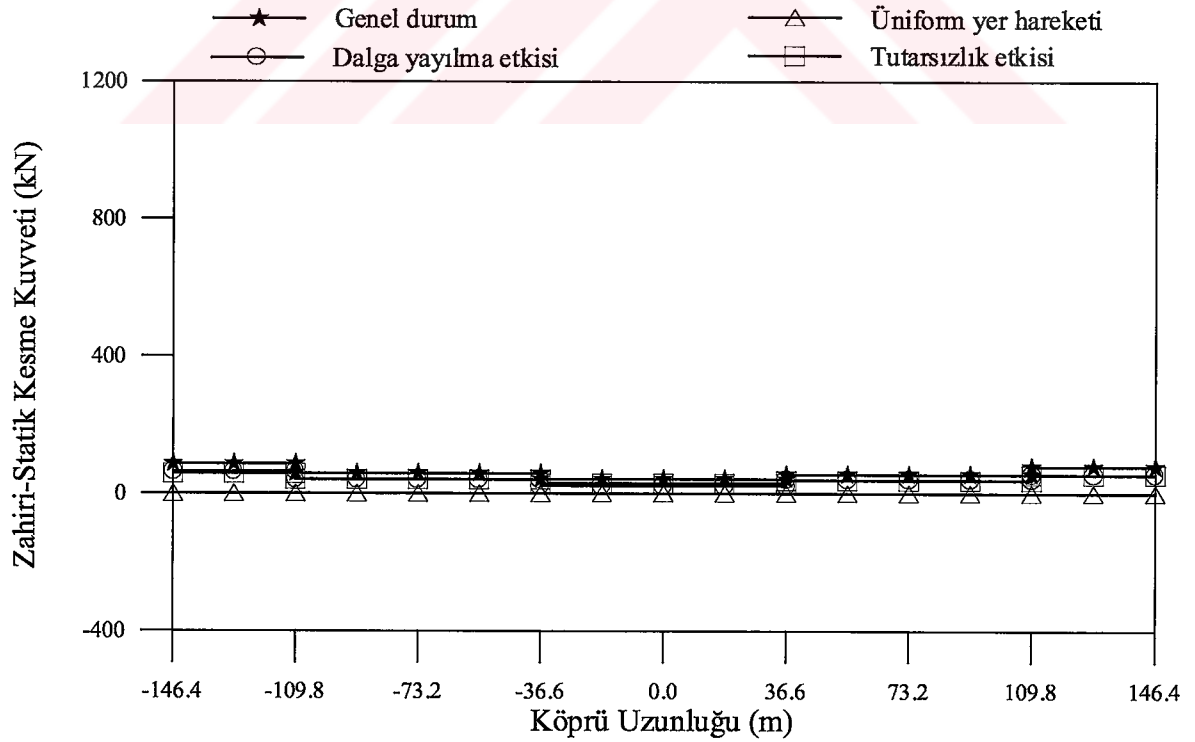
Şekil 3.112. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam eğilme momentleri



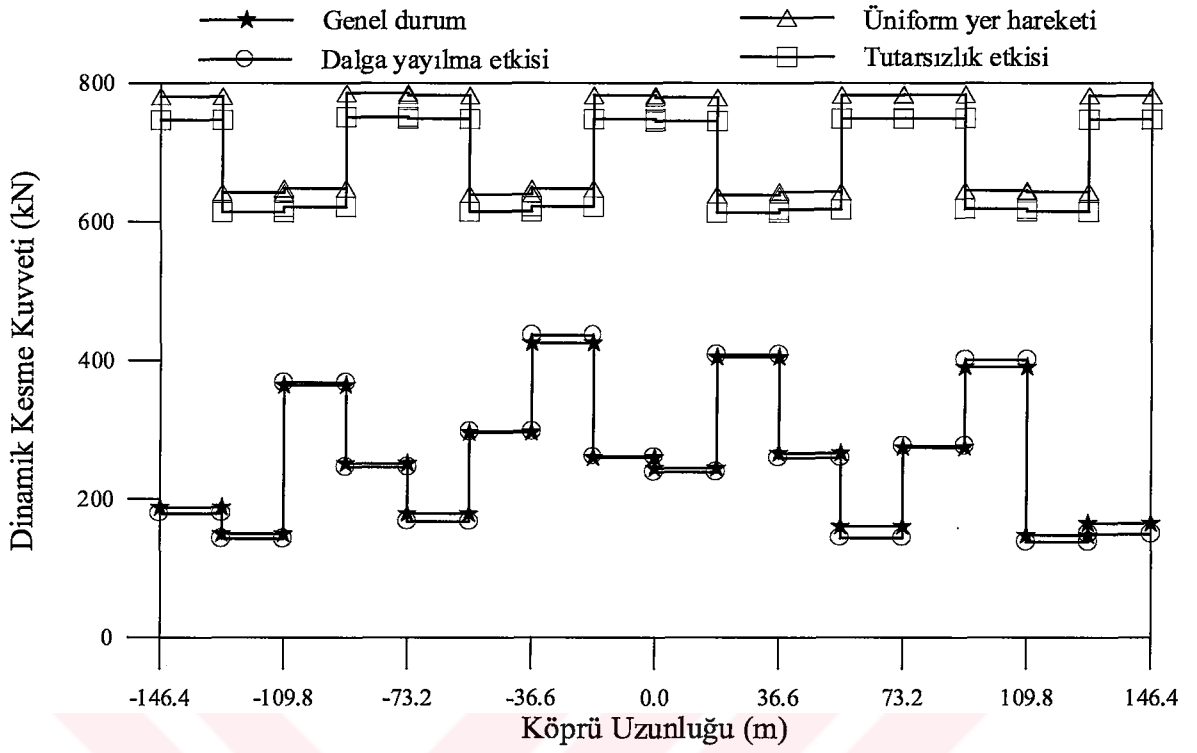
Şekil 3.113. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam eğilme momentleri



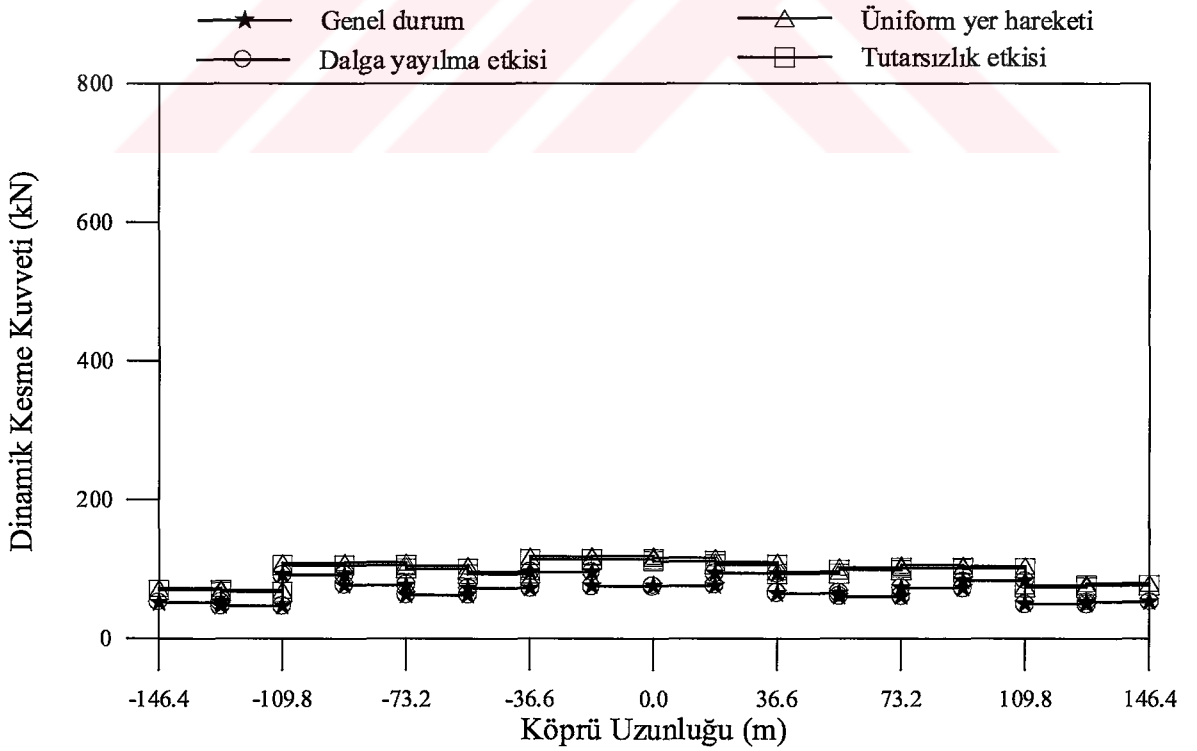
Şekil 3.114. Dalgı yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tablıye zahırı-statık kesme kuvvetleri



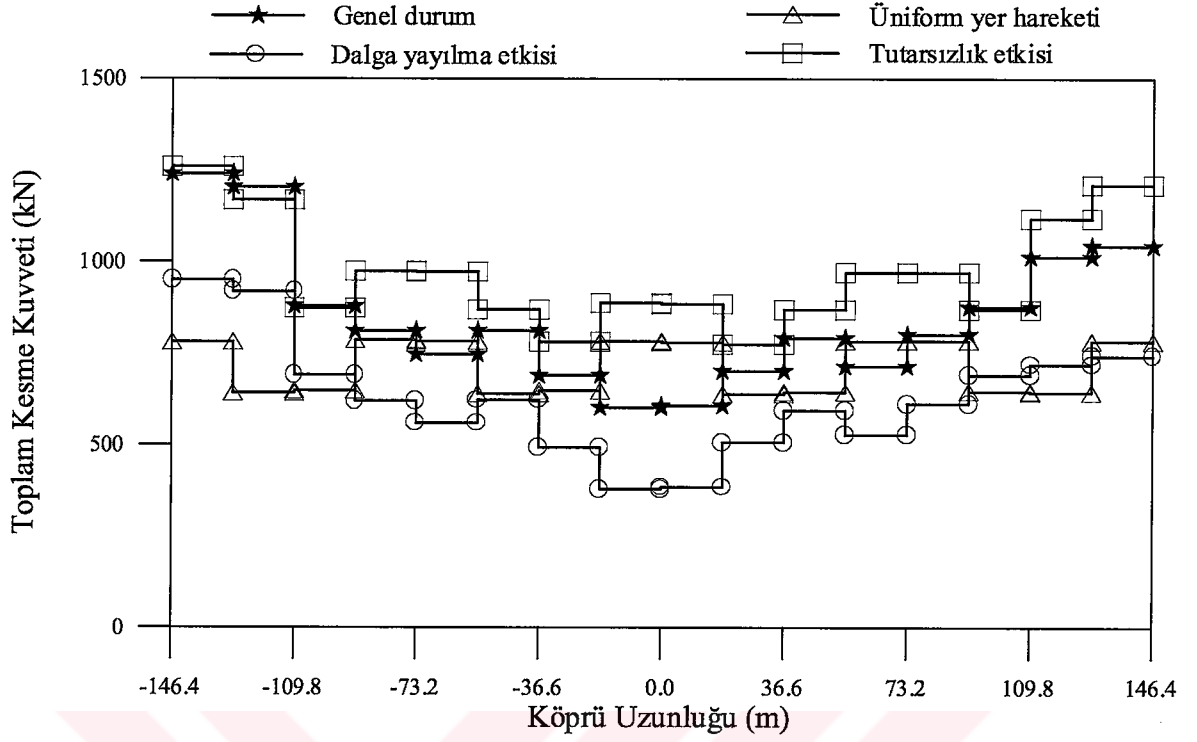
Şekil 3.115. Dalgı yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tablıye zahırı-statık kesme kuvvetleri



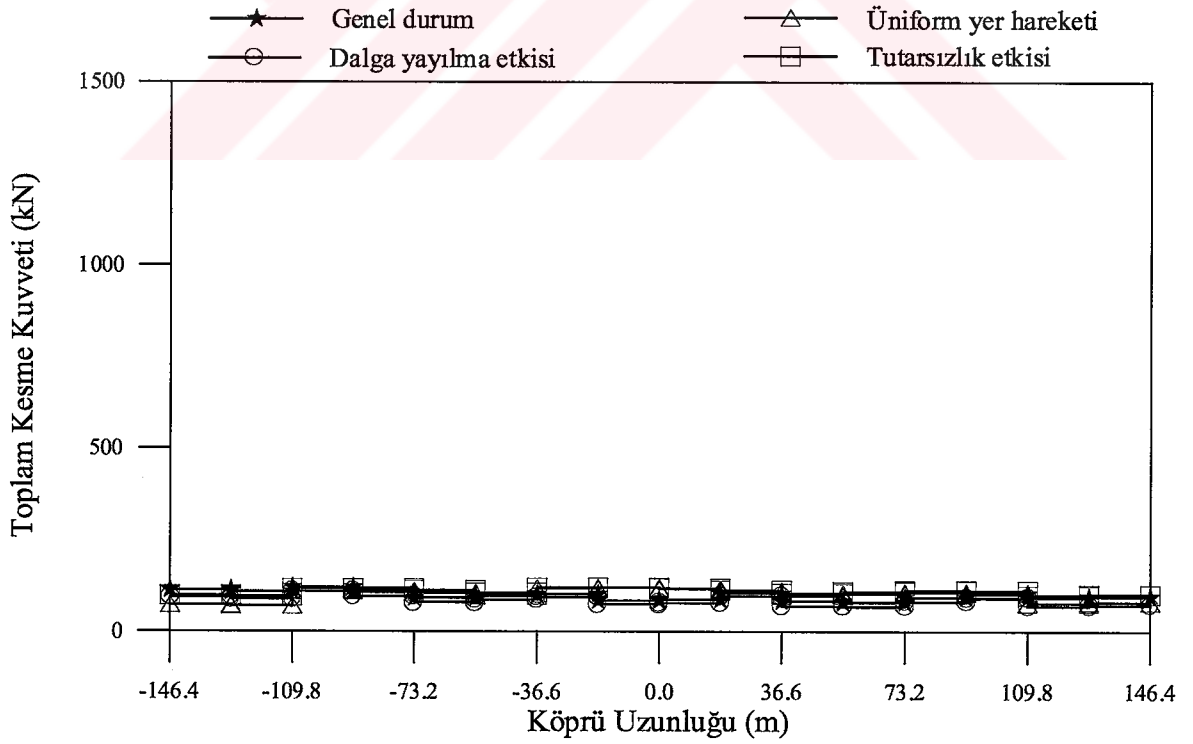
Şekil 3.116. Dalgı yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tablıye dınamik kesme kuvvetleri



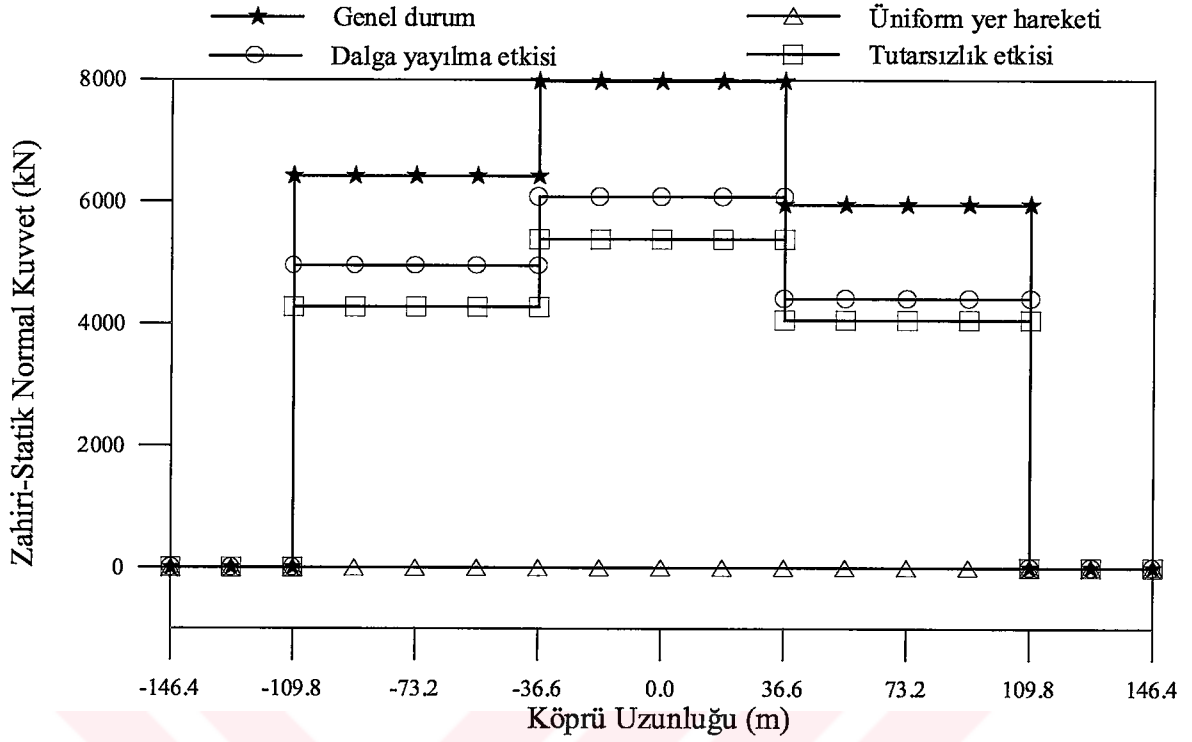
Şekil 3.117. Dalgı yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tablıye dınamik kesme kuvvetleri



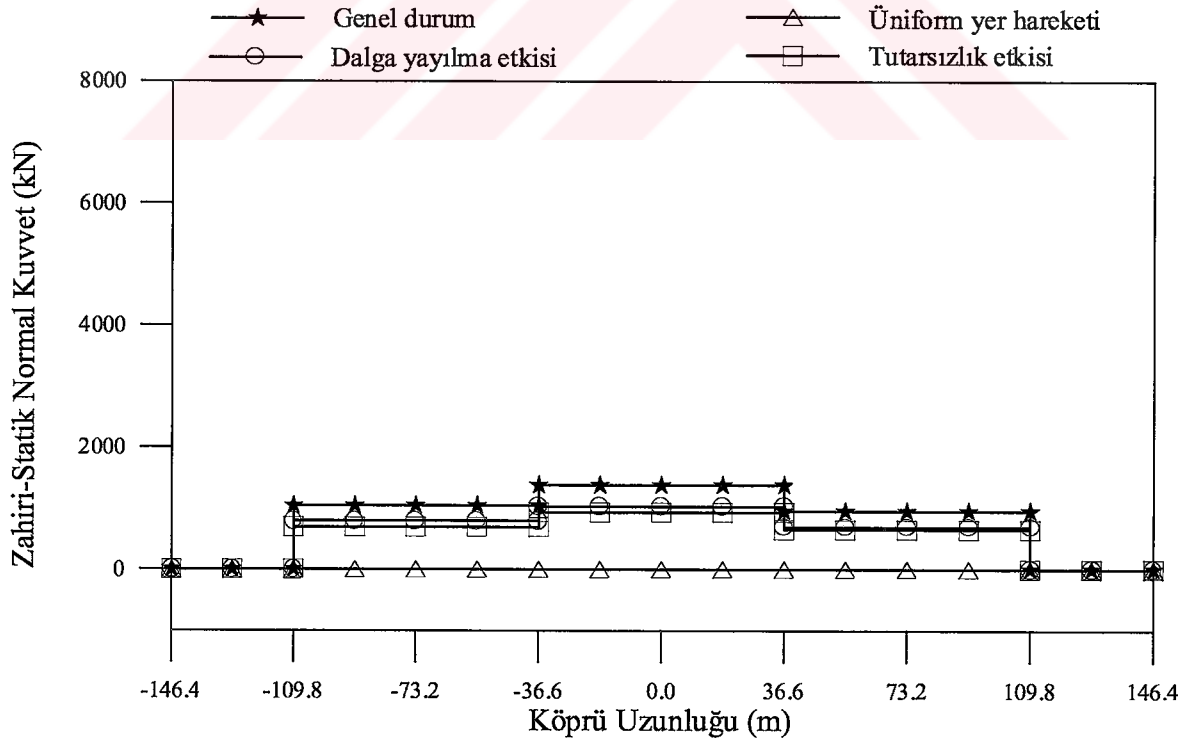
Şekil 3.118. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam kesme kuvvetleri



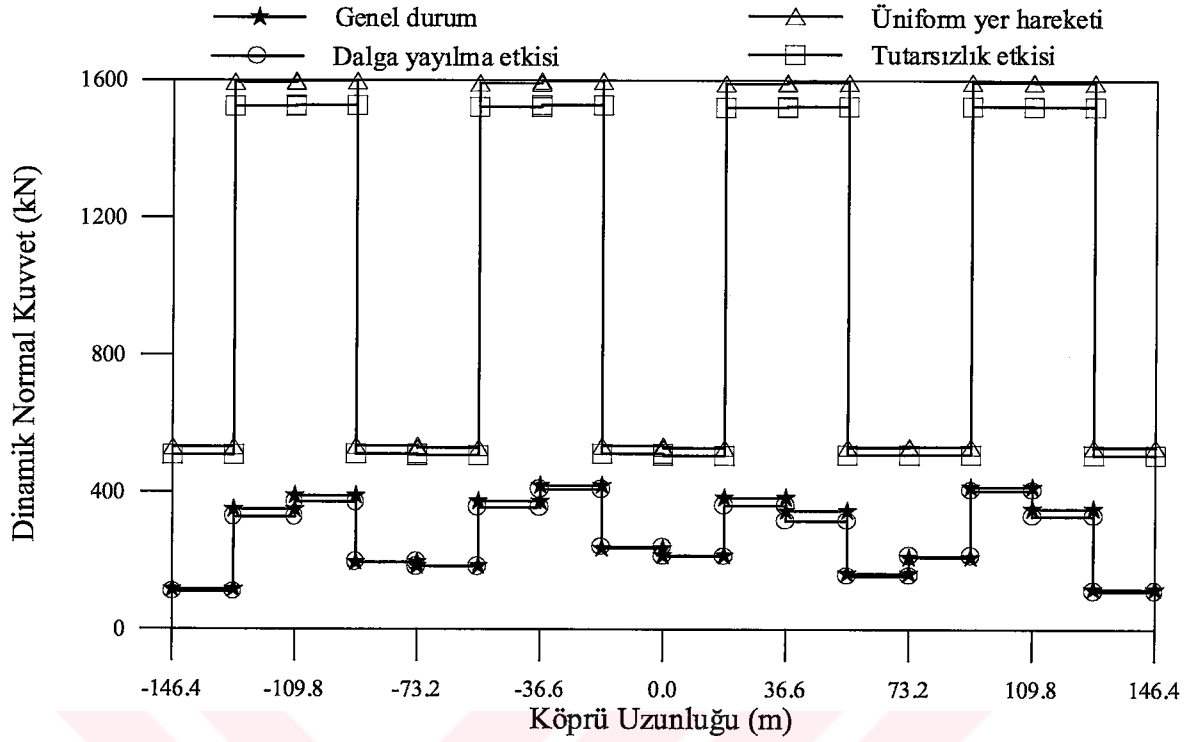
Şekil 3.119. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam kesme kuvvetleri



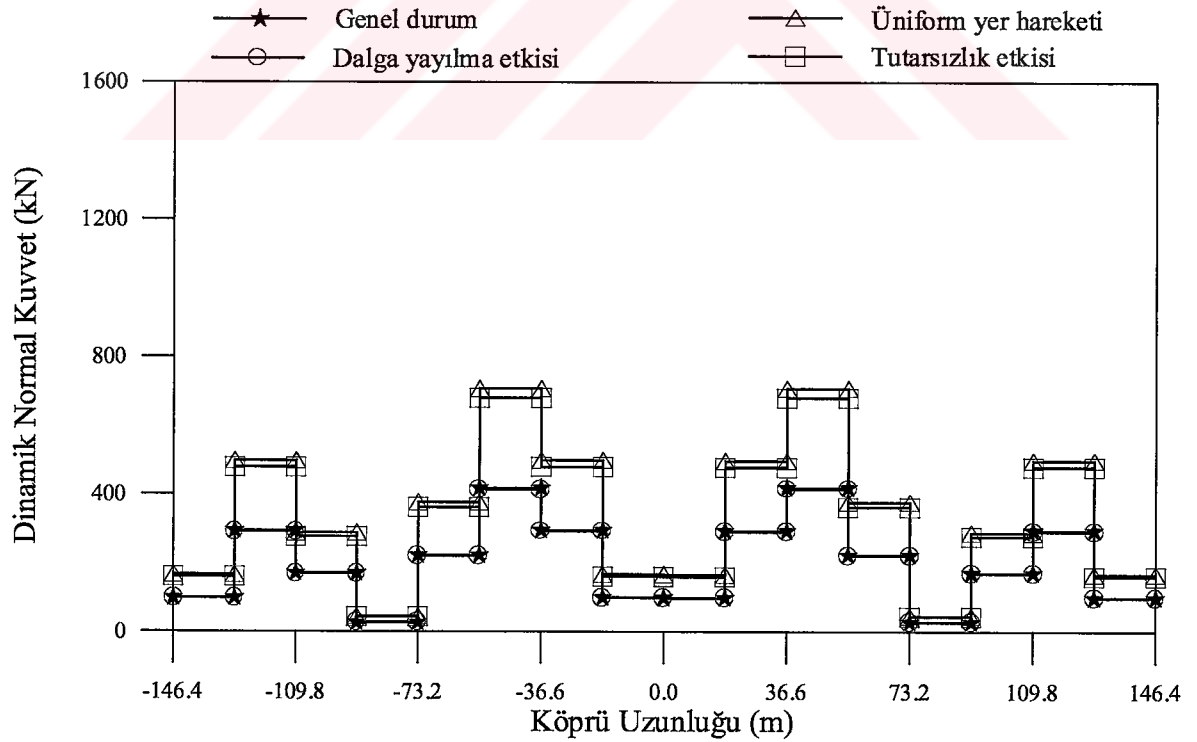
Şekil 3.120. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik normal kuvvetleri



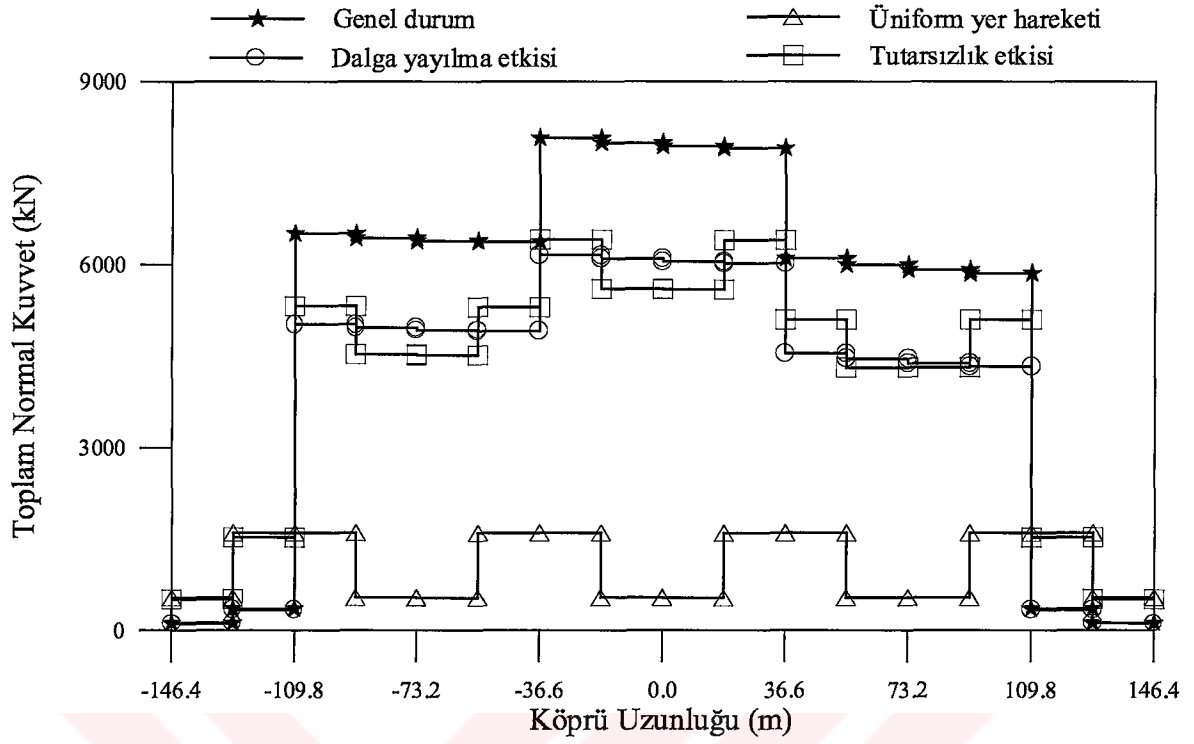
Şekil 3.121. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye zahiri-statik normal kuvvetleri



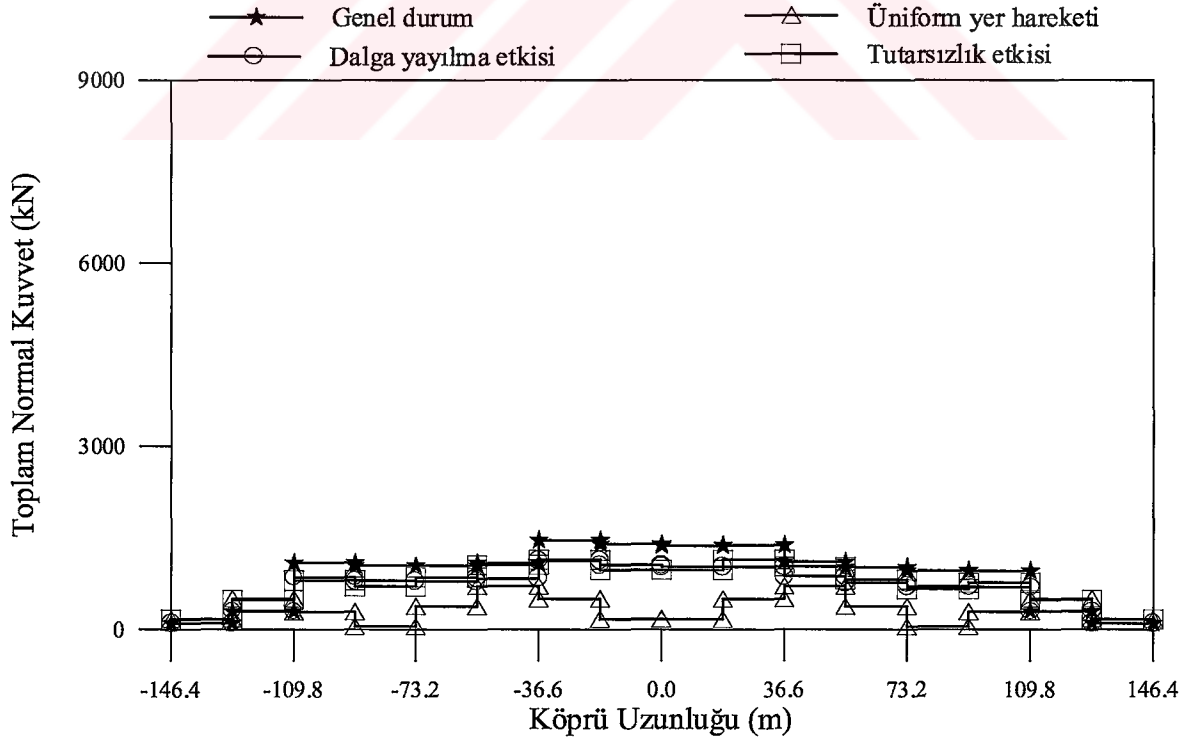
Şekil 3.122. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye dinamik normal kuvvetleri



Şekil 3.123. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye dinamik normal kuvvetleri



Şekil 3.124. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprüsünün tabliye toplam normal kuvvetleri



Şekil 3.125. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprüsünün tabliye toplam normal kuvvetleri

3.1.3.2. Yerdeğiştirme ve Eleman Kuvveti Varyanslarının İncelenmesi

Őekil 3.126-3.157'de üniform yer hareketi, dalga yayılma etkisi, tutarsızlık etkisi ve genel durum (dalga yayılma ve tutarsızlık etkisi birlikte) için izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü tabliyesinde meydana gelen yatay yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerine ait normalleştirilmiş varyans dağılımları görölmektedir. Spektral yoğunluk fonksiyonunun alanına eřit olan varyans değerleri bu fonksiyonun integrasyonu ile hesaplanmaktadır. Toplam varyans değerı (1.42); zahiri-statik, dinamik ve kovaryans bileşenlerinin toplamından oluşmaktadır. Normalleřtirme işlemi; varyans değerlerinin maksimum toplam varyans değerine bölünmesiyle gerçekleştirilmektedir. Burada her bir tepki bileşenin toplam tepkiye olan katkıları üzerinde durulacaktır. Köprünün mesnetlendiği zeminin homojen yumuşak olduğu kabul edilmektedir. Yer hareketi olarak yumuşak zeminlerde kaydedilen 1999 Kocaeli depremi Yarımca istasyonu Kuzey-Güney bileşenini sečilmiřtir. Dalga yayılma hızı 200 m/s alınmıştır. Üniform yer hareketi durumunda dalga yayılma hızı sonsuzdur. Tutarsızlık modeli olarak Harichandran ve Vanmarcke (1986) modeli kullanılmıştır.

3.1.3.2.1. Yerdeğiştirme Varyanslarının İncelenmesi

Şekil 3.126-Şekil 3.133'de üniform yer hareketi, dalga yayılma etkisi, tutarsızlık etkisi ve genel durumda (dalga yayılma ve tutarsızlık etkisi birlikte) izolasyonsuz ve izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinde elde edilen yatay yerdeğiştirmelere ait varyans dağılımları verilmiştir.

Üniform yer hareketi olması durumunda (Şekil 3.126-3.127); izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü için toplam yatay yerdeğiştirmeye en büyük katkıyı zahiri-statik bileşen sağlamaktadır. Zahiri-statik bileşen yer hareketinin sonsuz hızlı olması nedeniyle her bir düğüm noktasında aynı yatay yerdeğiştirmeyi yapmaktadır. En az katkıyı ise sırasıyla kovaryans ve dinamik bileşenleri sağlamaktadır. İzolasyonsuz köprü tabliye toplam yatay yerdeğiştirmesine zahiri-statik bileşenin katkısı %92.8, dinamik bileşenin katkısı %4.98 ve kovaryans bileşeninin katkısı ise %2.54 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam yatay yerdeğiştirmesine zahiri-statik bileşenin katkısı %76.71, dinamik bileşenin katkısı %16.37 ve kovaryans bileşeninin katkısı ise %6.92 olmaktadır.

Sadece dalga yayılma etkisi durumunda (Şekil 3.128-3.129); izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü için toplam yatay yerdeğiştirmeye en büyük katkıyı zahiri-statik bileşen sağlamaktadır. En az katkıyı ise sırasıyla kovaryans ve dinamik bileşenleri sağlamaktadır. İzolasyonsuz köprü tabliye toplam yatay yerdeğiştirmesine zahiri-statik bileşenin katkısı %98.40, dinamik bileşenin katkısı %0.23 ve kovaryans bileşeninin katkısı ise %1.37 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam yatay yerdeğiştirmesine zahiri-statik bileşenin katkısı %85.29, dinamik bileşenin katkısı %6.72 ve kovaryans bileşeninin katkısı ise %7.99 olmaktadır.

Sadece tutarsızlık etkisi durumunda (Şekil 3.130-3.131); izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü için toplam yatay yerdeğiştirmeye en büyük katkıyı zahiri-statik bileşen sağlamaktadır. En az katkıyı ise dinamik ve kovaryans bileşenleri sağlamaktadır. İzolasyonsuz köprü tabliye toplam yatay yerdeğiştirmesine zahiri-statik bileşenin katkısı %92.51, dinamik bileşenin katkısı %4.95 ve kovaryans bileşeninin katkısı ise %2.54 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam yatay yerdeğiştirmesine zahiri-statik bileşenin katkısı %76.71, dinamik bileşenin katkısı %16.36 ve kovaryans bileşeninin katkısı ise %6.93 olmaktadır.

Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerinin birlikte dikkate alındığı genel durumda (Şekil 3.132-3.133); izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü için toplam yatay yerdeğiştirmeye en büyük katkıyı zahiri-statik bileşen sağlamaktadır. En az katkıyı ise dinamik ve kovaryans bileşenleri sağlamaktadır. İzolasyonsuz köprü tabliye toplam yatay yerdeğiştirmesine zahiri-statik bileşenin katkısı %98.30, dinamik bileşenin katkısı %0.29 ve kovaryans bileşeninin katkısı ise %1.41 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam yatay yerdeğiştirmesine zahiri-statik bileşenin katkısı %84.73, dinamik bileşenin katkısı %7.31 ve kovaryans bileşeninin katkısı ise %7.95 olmaktadır.

3.1.3.2.2. Eleman Kuvveti Varyanslarının İncelenmesi

3.1.3.2.2.1. Eğilme Momenti Varyanslarının İncelenmesi

Şekil 3.134-Şekil 3.141'de üniform yer hareketi, dalga yayılma etkisi, tutarsızlık etkisi ve genel durumda (dalga yayılma ve tutarsızlık etkisi birlikte) izolasyonsuz ve izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinde elde edilen eğilme momentlerine ait varyans dağılımları verilmiştir.

Üniform yer hareketi olması durumunda (Şekil 3.134-3.135); izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü için toplam eğilme momentine en büyük katkıyı dinamik bileşen sağlamaktadır. Zahiri-statik bileşen yer hareketinin sonsuz hızlı olması nedeniyle her bir düğüm noktasında aynı yatay yerdeğiştirmeyi yapmaktadır. Buna bağlı olarak da eleman kuvvetleri sıfır çıkmaktadır. Üniform yer hareketi durumunda zahiri-statik ve kovaryans bileşenlerinin toplam eğilme momentine katkısı yoktur. İzolasyonsuz köprü tabliye toplam eğilme momentine zahiri-statik bileşenin katkısı %0.00, dinamik bileşenin katkısı %100 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %0.00 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam eğilme momentine zahiri-statik bileşenin katkısı %0.00, dinamik bileşenin katkısı %100 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %0.00 olmaktadır.

Sadece dalga yayılma etkisi durumunda (Şekil 3.136-3.137); izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü için toplam eğilme momentine en büyük katkıyı zahiri-statik bileşen sağlamaktadır. En az katkıyı ise sırasıyla kovaryans ve dinamik bileşenleri sağlamaktadır. İzolasyonsuz köprü tabliye toplam eğilme momentine zahiri-statik bileşenin katkısı %98.40, dinamik bileşenin katkısı %0.23 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %1.37 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye eğilme momentine zahiri-statik bileşenin katkısı %85.29, dinamik bileşenin katkısı %6.72 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %7.99 olmaktadır.

Sadece tutarsızlık etkisi durumunda (Şekil 3.138-3.139); izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü için toplam eğilme momentine en fazla katkıyı zahiri-statik bileşen sağlamaktadır. En az katkıyı ise sırasıyla kovaryans ve dinamik bileşenleri sağlamaktadır. İzolasyonsuz köprü tabliye toplam eğilme momentine zahiri-statik bileşenin katkısı %92.51, dinamik bileşenin katkısı %4.95 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %2.54 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam eğilme momentine zahiri-statik bileşenin katkısı %76.71, dinamik bileşenin katkısı %16.36 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %6.93 olmaktadır.

Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerinin birlikte dikkate alındığı genel durumda (Şekil 3.140-3.141); izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü için toplam eğilme momentine en büyük katkıyı zahiri-statik bileşen sağlamaktadır. En az katkıyı ise kovaryans ve dinamik bileşenleri sağlamaktadır. İzolasyonsuz köprü tabliye toplam eğilme momentine zahiri-statik bileşenin katkısı %98.30, dinamik bileşenin katkısı %0.29 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %1.41 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam eğilme momentine zahiri-statik bileşenin katkısı %84.73, dinamik bileşenin katkısı %7.31 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %7.95 olmaktadır.

3.1.3.2.2.2. Kesme Kuvveti Varyanslarının İncelenmesi

Şekil 3.142-Şekil 3.149' da üniform yer hareketi, dalga yayılma etkisi, tutarsızlık etkisi ve genel durumda (dalga yayılma ve tutarsızlık etkisi birlikte) izolasyonlu ve izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinde elde edilen kesme kuvvetlerine ait varyans dağılımları verilmiştir.

Üniform yer hareketi olması durumunda (Şekil 3.142-3.143); izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü için toplam kesme kuvvetine en büyük katkıyı dinamik bileşen sağlamaktadır. Zahiri-statik bileşen yer hareketinin sonsuz hızlı olması nedeniyle her bir düğüm noktasında aynı yatay yerdeğiştirmeyi yapmaktadır. Buna bağlı olarak da eleman kuvvetleri sıfır çıkmaktadır. Üniform yer hareketi durumunda zahiri-statik ve kovaryans bileşenlerinin toplam kesme kuvvetine katkısı yoktur. İzolasyonsuz köprü tabliye toplam kesme kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %0.00, dinamik bileşenin katkısı %100 ve kovaryans bileşeninin katkısı ise %0.00 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam kesme kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %0.00, dinamik bileşenin katkısı %100 ve kovaryans bileşeninin katkısı ise %0.00 olmaktadır.

Sadece dalga yayılma etkisi durumunda (Şekil 3.144-3.145); izolasyonsuz köprü için toplam kesme kuvvetine en büyük katkıyı zahiri-statik bileşen sağlamaktadır. En az katkıyı ise dinamik ve kovaryans bileşenleri sağlamaktadır. İzolasyonlu köprü için toplam kesme kuvvetine en büyük katkıyı dinamik bileşen sağlamaktadır. En az katkıyı ise sırasıyla kovaryans ve zahiri-statik bileşenleri sağlamaktadır. İzolasyonsuz köprü tabliye toplam kesme kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %91.33, dinamik bileşenin katkısı %2.54 ve kovaryans bileşeninin katkısı ise %5.53 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam kesme kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %18.27, dinamik bileşenin katkısı %68.82 ve kovaryans bileşeninin katkısı ise %12.91 olmaktadır.

Sadece tutarsızlık etkisi durumunda (Şekil 3.146-3.147); izolasyonsuz köprü için toplam kesme kuvvetine en büyük katkıyı zahiri-statik bileşen sağlamaktadır. En az katkıyı ise dinamik ve kovaryans bileşenleri sağlamaktadır. İzolasyonlu köprü için toplam kesme kuvvetine en büyük katkıyı dinamik bileşen sağlamaktadır. En az katkıyı ise sırasıyla kovaryans ve zahiri-statik bileşenleri sağlamaktadır. İzolasyonsuz köprü tabliye toplam kesme kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %69.26, dinamik bileşenin katkısı %29.99 ve kovaryans bileşeninin katkısı ise %0.75 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye kesme

kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %10.72, dinamik bileşenin katkısı %90.08 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %-0.80 olmaktadır.

Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerinin birlikte dikkate alındığı genel durumda (Şekil 3.148-3.149); izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü için toplam kesme kuvvetine en büyük katkıyı genel olarak zahiri-statik bileşen sağlamaktadır. En az katkıyı ise sırasıyla kovaryans ve dinamik bileşenleri sağlamaktadır. İzolasyonsuz köprü tabliye toplam kesme kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %95.41, dinamik bileşenin katkısı %1.48 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %3.11 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam kesme kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %70.85 dinamik bileşenin katkısı %17.61 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %11.55 olmaktadır.

3.1.3.2.2.3. Normal Kuvvet Varyanslarının İncelenmesi

Şekil 3.150-Şekil 3.157'de üniform yer hareketi, dalga yayılma etkisi, tutarsızlık etkisi ve genel durumda (dalga yayılma ve tutarsızlık etkisi birlikte) izolasyonsuz ve izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinde elde edilen normal kuvvetlere ait varyans dağılımları verilmiştir.

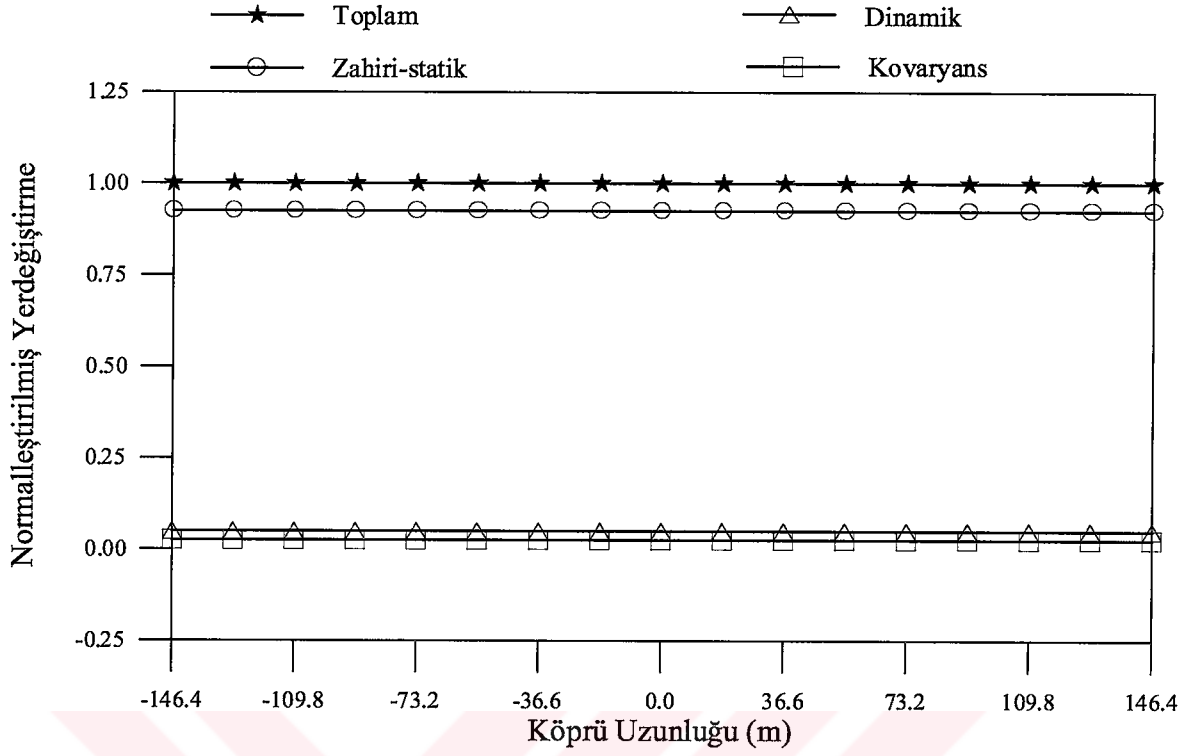
Üniform yer hareketi olması durumunda (Şekil 3.150-3.151); izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü için toplam normal kuvvetlere en büyük katkıyı dinamik bileşen sağlamaktadır. Zahiri-statik bileşen yer hareketinin sonsuz hızlı olması nedeniyle her bir düğüm noktasında aynı yatay yerdeğiştirmeyi yapmaktadır. Buna bağlı olarak da eleman kuvvetleri sıfır çıkmaktadır. Üniform yer hareketi durumunda zahiri-statik ve kovaryans bileşenlerinin toplam normal kuvvetlere katkısı yoktur. İzolasyonsuz köprü tabliye toplam normal kuvvetlerine zahiri-statik bileşenin katkısı %0.00, dinamik bileşenin katkısı %100 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %0.00 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam normal kuvvetlerine zahiri-statik bileşenin katkısı %0.00, dinamik bileşenin katkısı %100 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %0.00 olmaktadır.

Sadece dalga yayılma etkisi durumunda (Şekil 3.152-3.153); izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü için toplam normal kuvvetlere en büyük katkıyı zahiri-statik bileşen sağlamaktadır. En az katkıyı ise sırasıyla kovaryans ve dinamik bileşenleri sağlamaktadır. İzolasyonsuz köprü tabliye toplam normal kuvvetlerine zahiri-statik bileşenin katkısı %99.12, dinamik bileşenin katkısı %0.28 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %0.60 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye normal kuvvetlerine zahiri-statik bileşenin katkısı

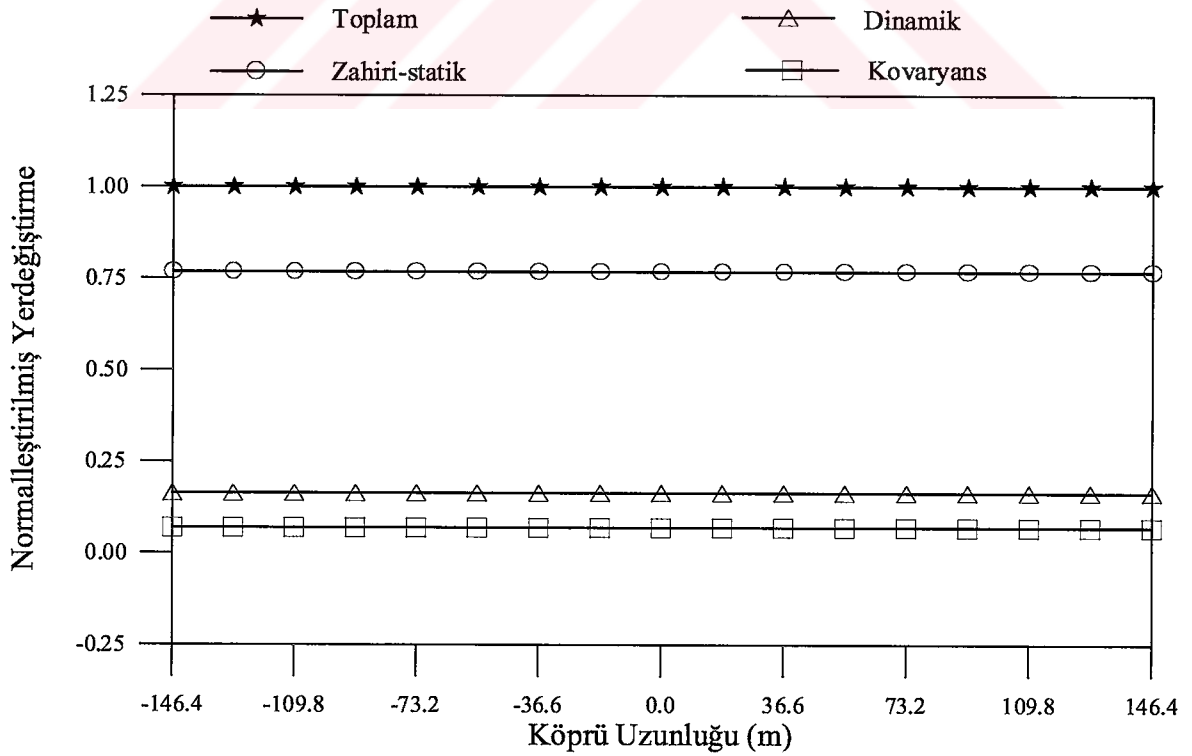
%86.35, dinamik bileşenin katkısı %5.88 ve kovaryans bileşeninin katkısı ise %7.77 olmaktadır.

Sadece tutarsızlık etkisi durumunda (Şekil 3.154-3.155); izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü için toplam normal kuvvetlere en büyük katkıyı zahiri-statik bileşen sağlamaktadır. En az katkıyı ise sırasıyla kovaryans ve dinamik bileşenleri sağlamaktadır. İzolasyonsuz köprü tabliye toplam normal kuvvetlerine zahiri-statik bileşenin katkısı %96.45, dinamik bileşenin katkısı %3.49 ve kovaryans bileşeninin katkısı ise %0.06 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam normal kuvvetlerine zahiri-statik bileşenin katkısı %86.95, dinamik bileşenin katkısı %12.86 ve kovaryans bileşeninin katkısı ise %0.19 olmaktadır.

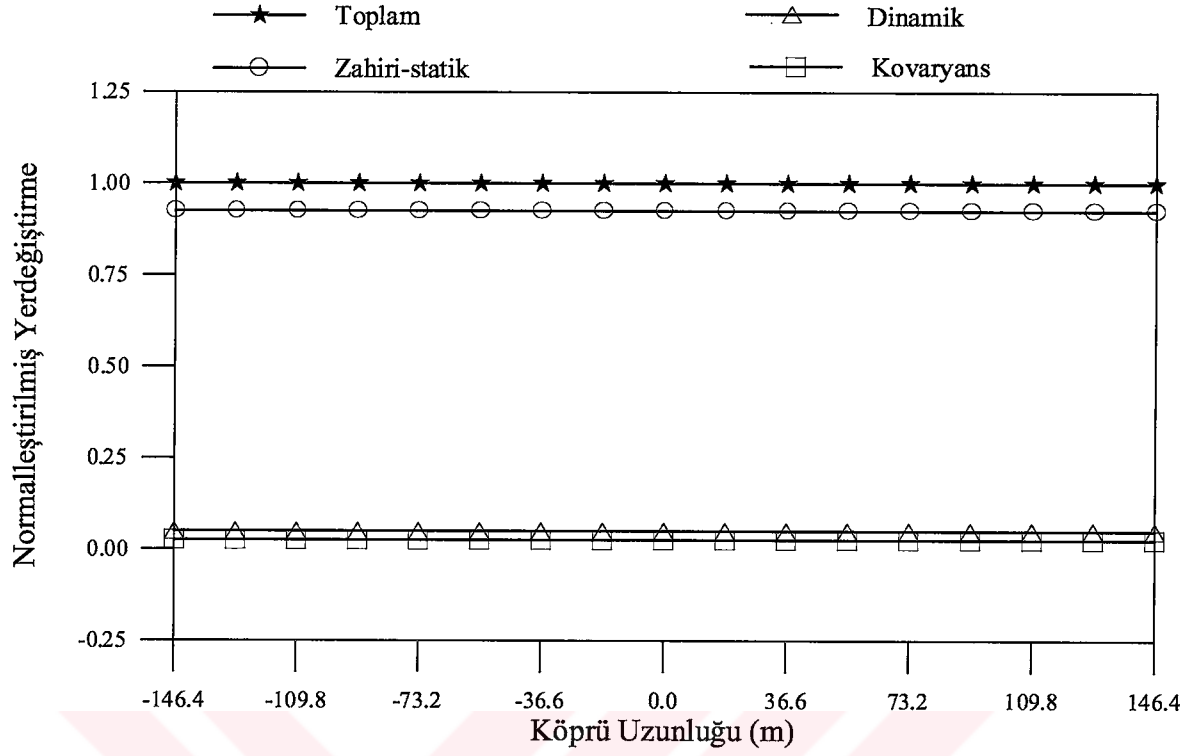
Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerinin birlikte dikkate alındığı genel durumda (Şekil 3.156-3.157); izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü için toplam normal kuvvetlere en büyük katkıyı zahiri-statik bileşen sağlamaktadır. En az katkıyı ise sırasıyla kovaryans ve dinamik bileşenleri sağlamaktadır. İzolasyonsuz köprü tabliye toplam normal kuvvetlerine zahiri-statik bileşenin katkısı %99.52, dinamik bileşenin katkısı %0.15 ve kovaryans bileşeninin katkısı ise %0.33 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam normal kuvvetlerine zahiri-statik bileşenin katkısı %86.95, dinamik bileşenin katkısı %12.86 ve kovaryans bileşeninin katkısı ise %0.19 olmaktadır.



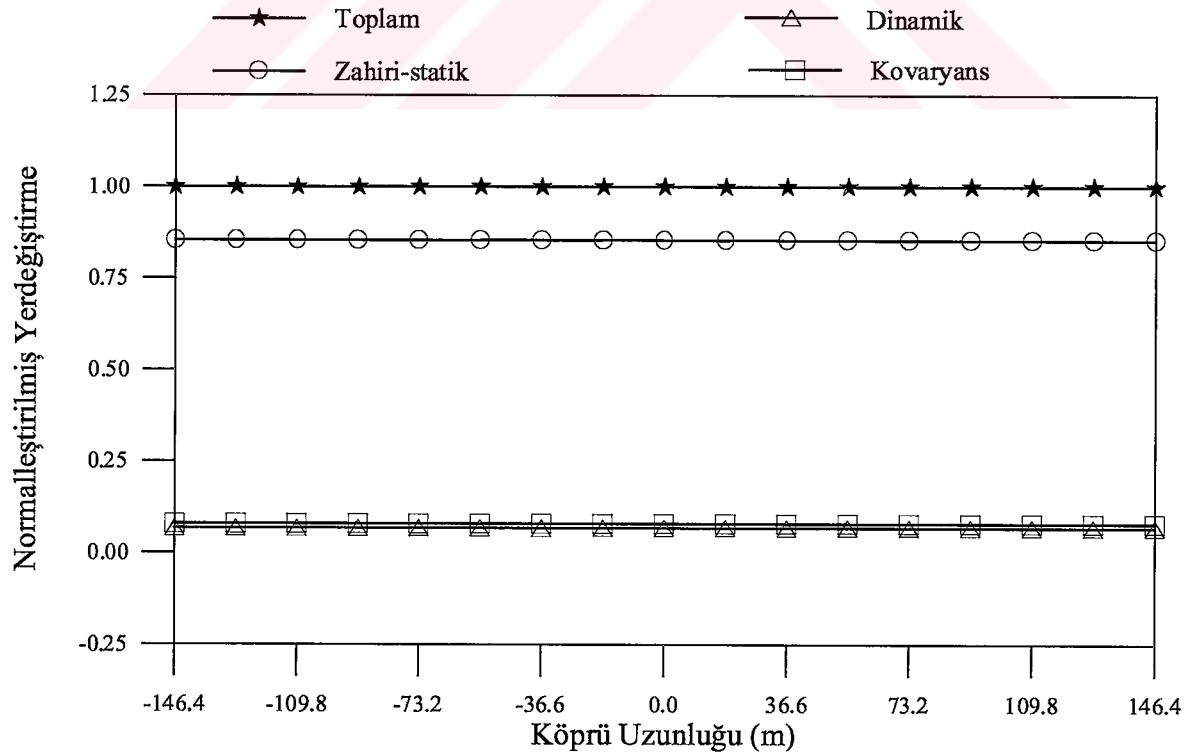
Şekil 3.126. Üniorm yer hareketine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları ($V_{app}=\text{sonsuz}$)



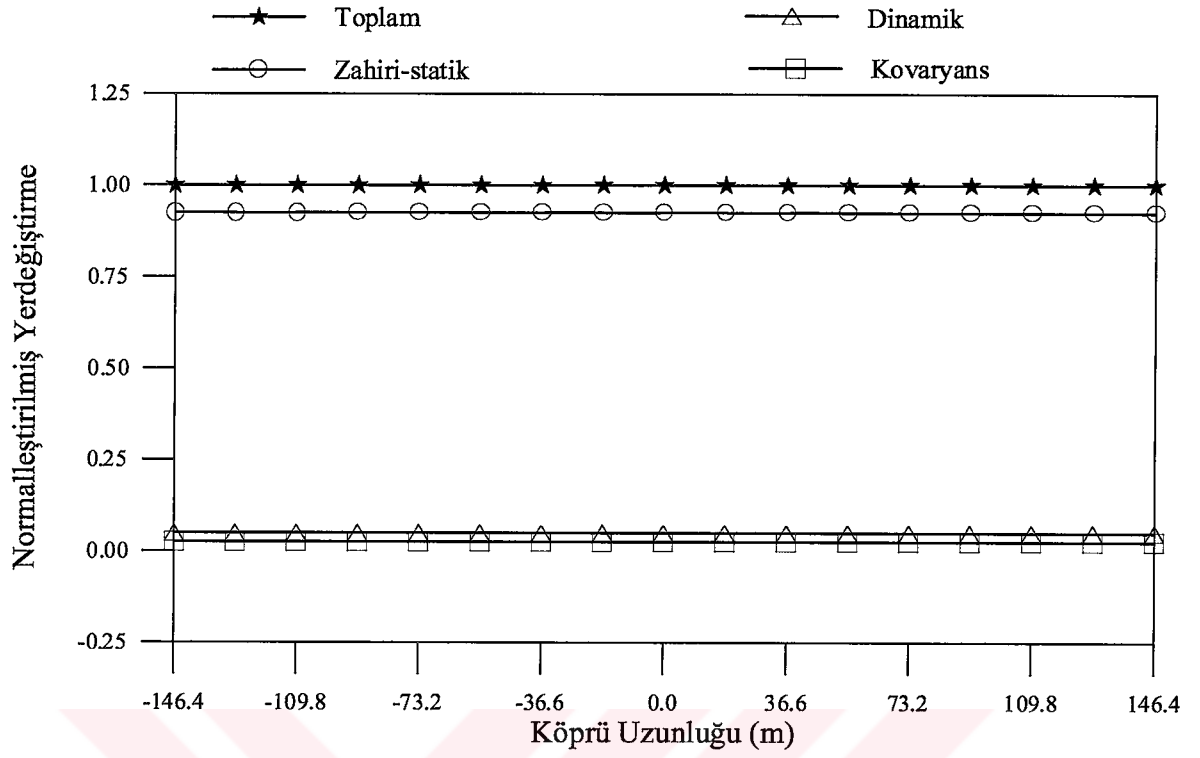
Şekil 3.127. Üniorm yer hareketine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları ($V_{app}=\text{sonsuz}$)



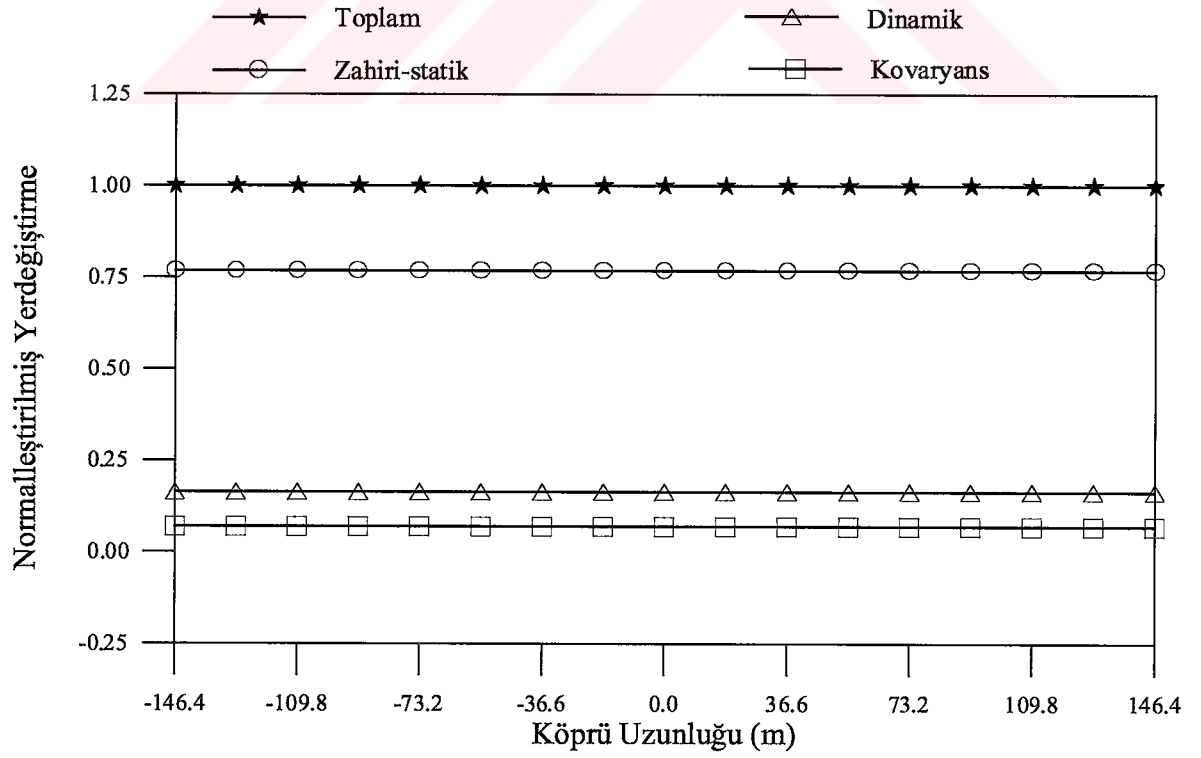
Şekil 3.128. Sadece dalga yayılma etkisine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları ($V_{app}=200$ m/s)



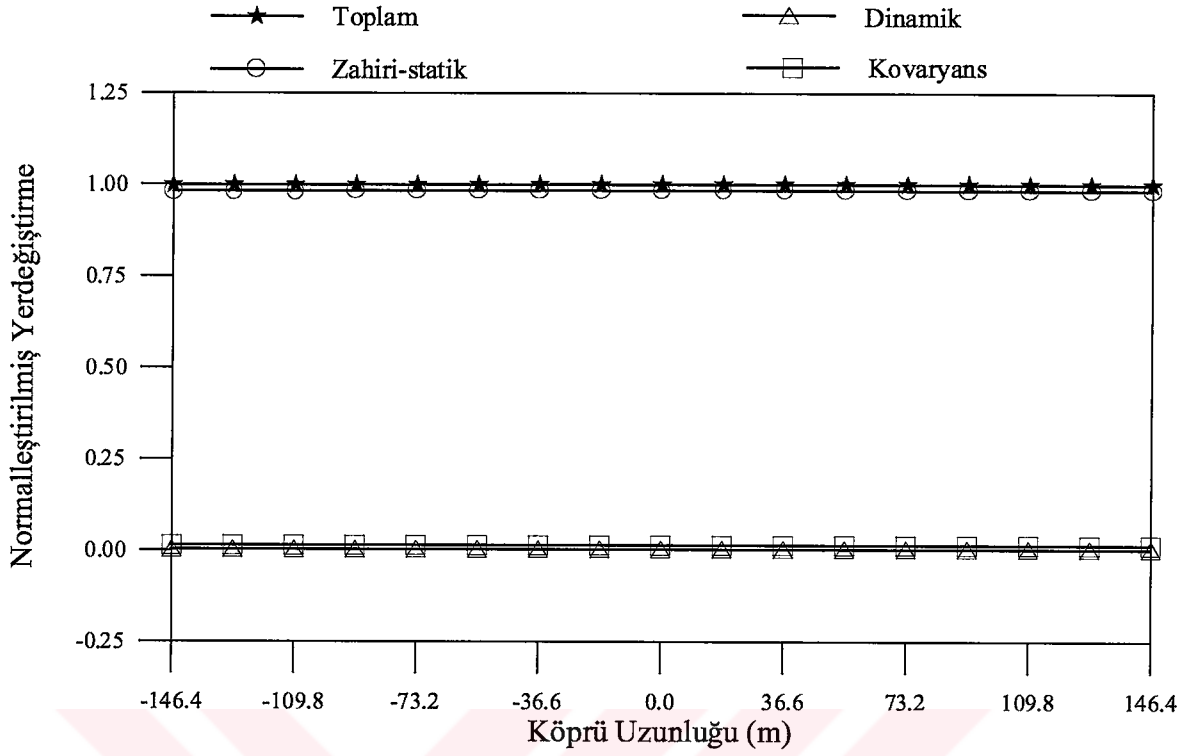
Şekil 3.129. Sadece dalga yayılma etkisine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları ($V_{app}=200$ m/s)



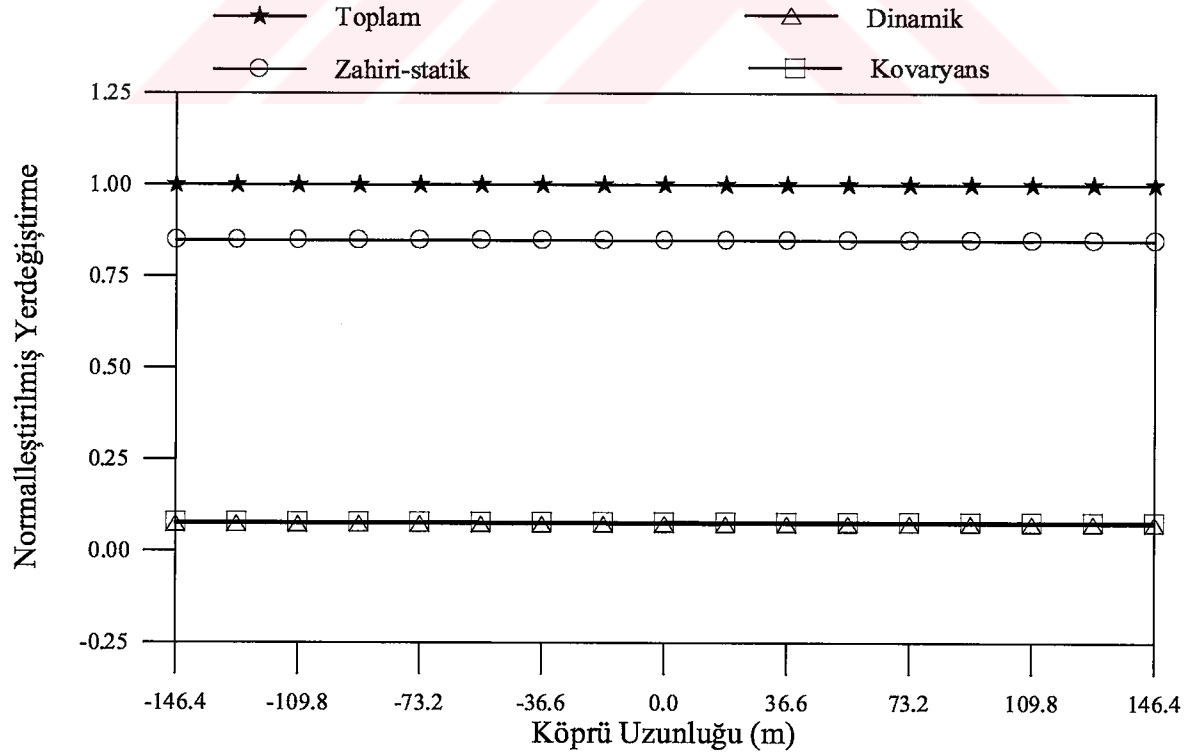
Şekil 3.130. Sadece tutarsızlık etkisine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları



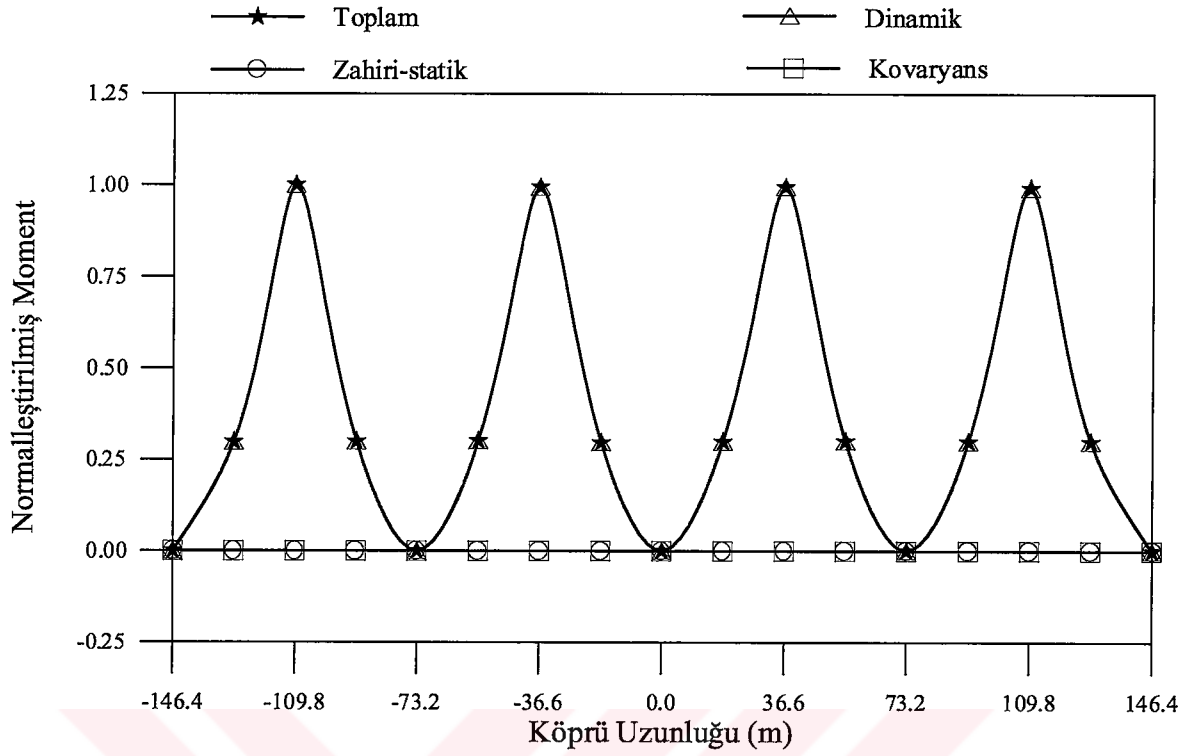
Şekil 3.131. Sadece tutarsızlık etkisine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları



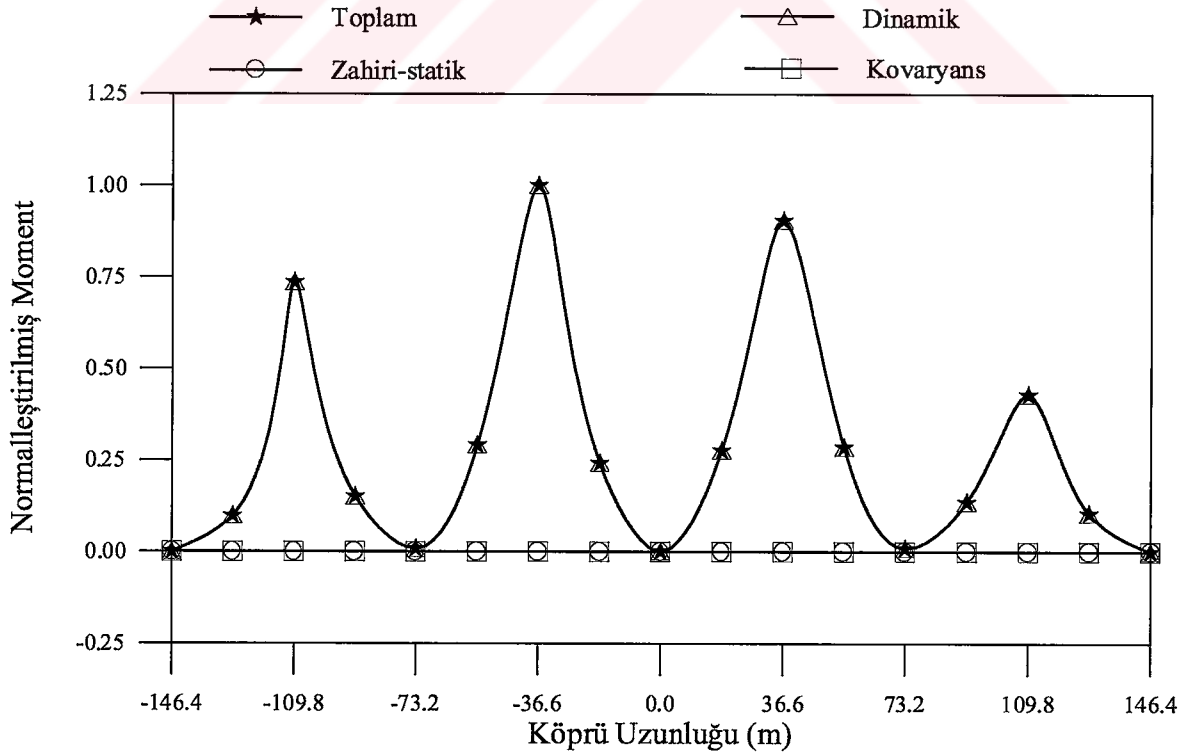
Şekil 3.132. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları ($V_{app}=200$ m/s)



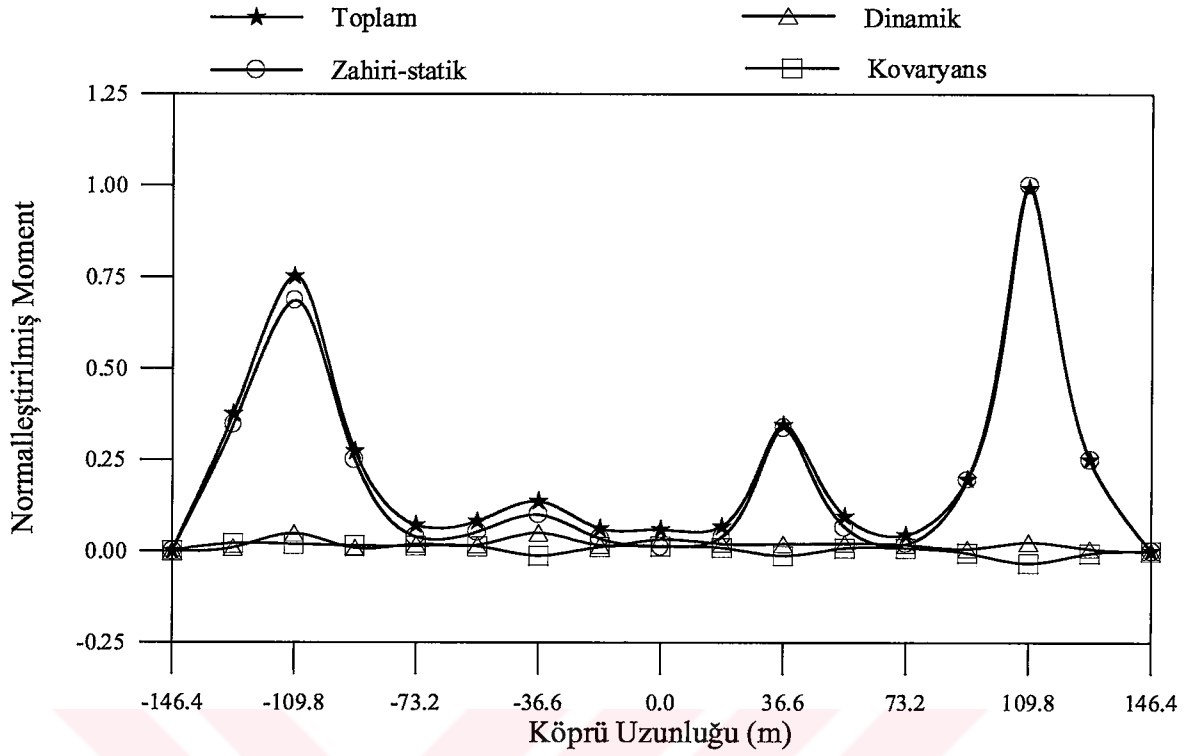
Şekil 3.133. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları ($V_{app}=200$ m/s)



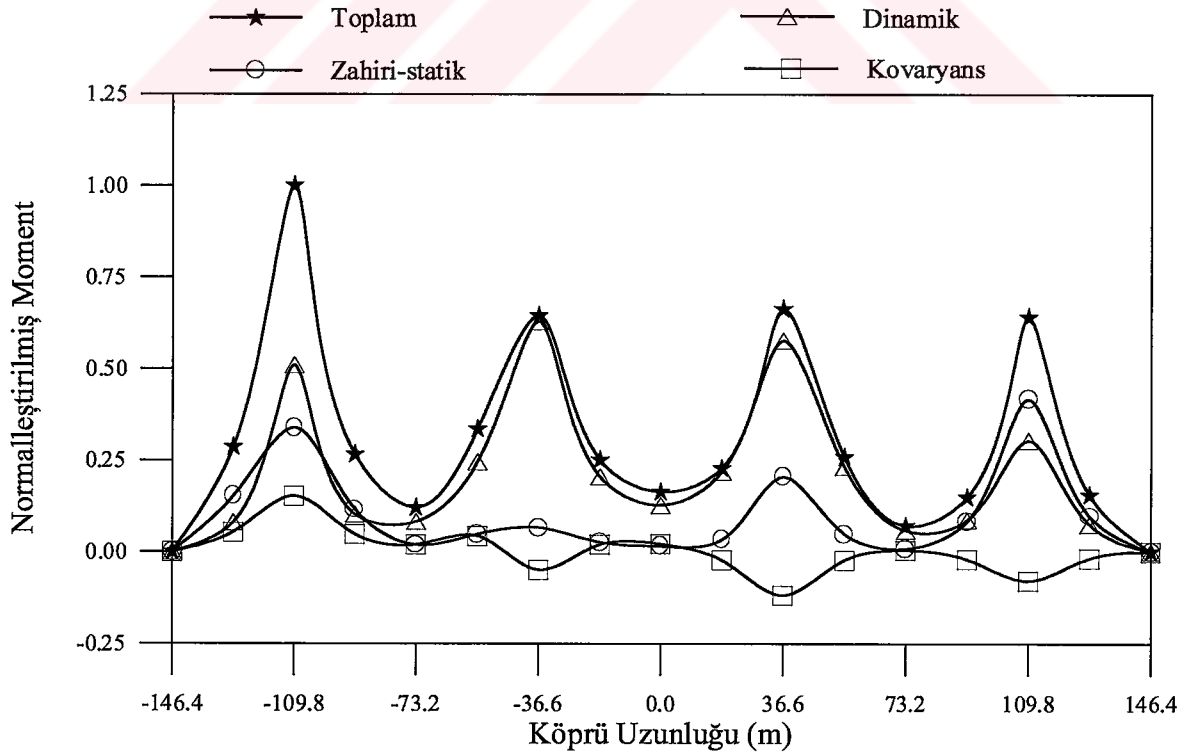
Şekil 3.134. Ünlorm yer hareketine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları ($V_{app}=\text{sonsuz}$)



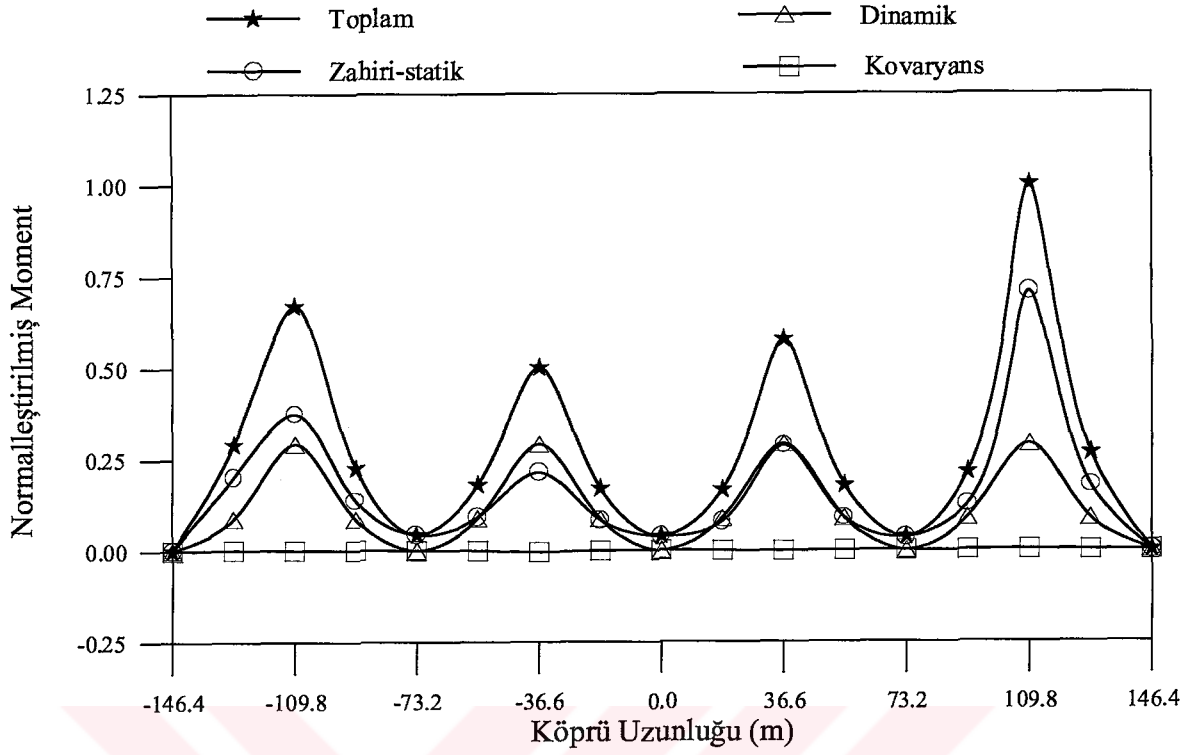
Şekil 3.135. Ünlorm yer hareketine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları ($V_{app}=\text{sonsuz}$)



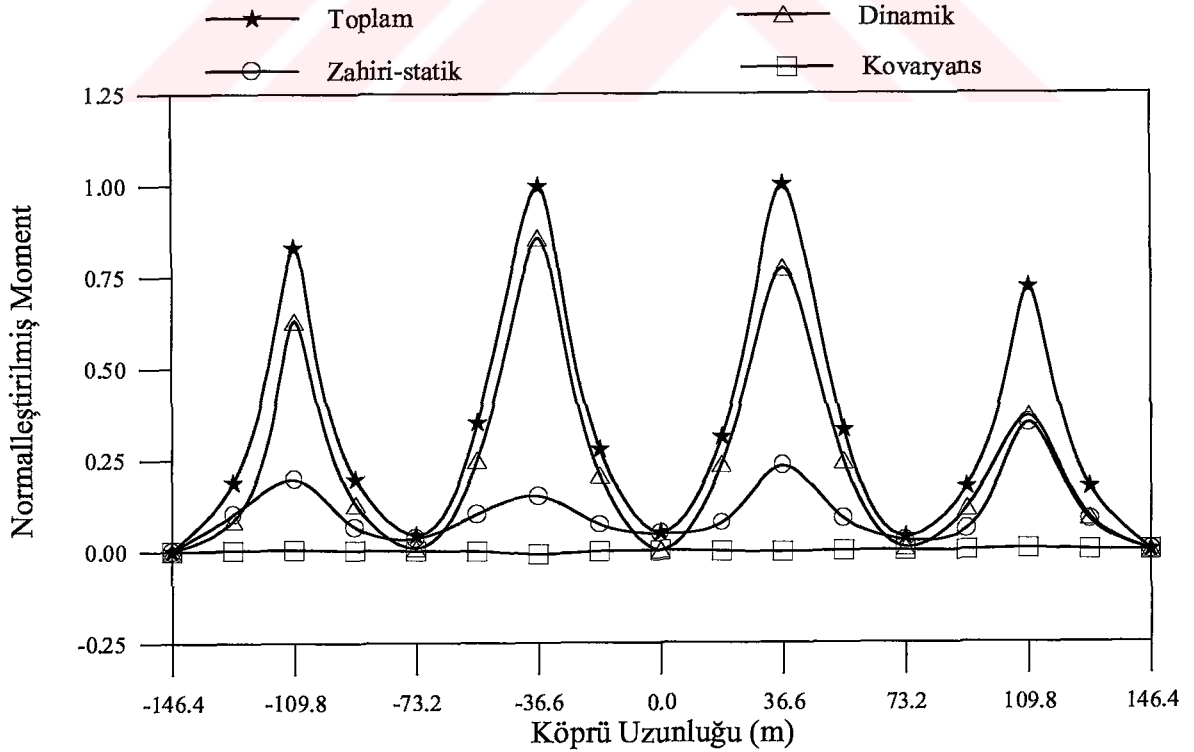
Şekil 3.136. Sadece dalga yayılma etkisine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları ($V_{app}=200$ m/s)



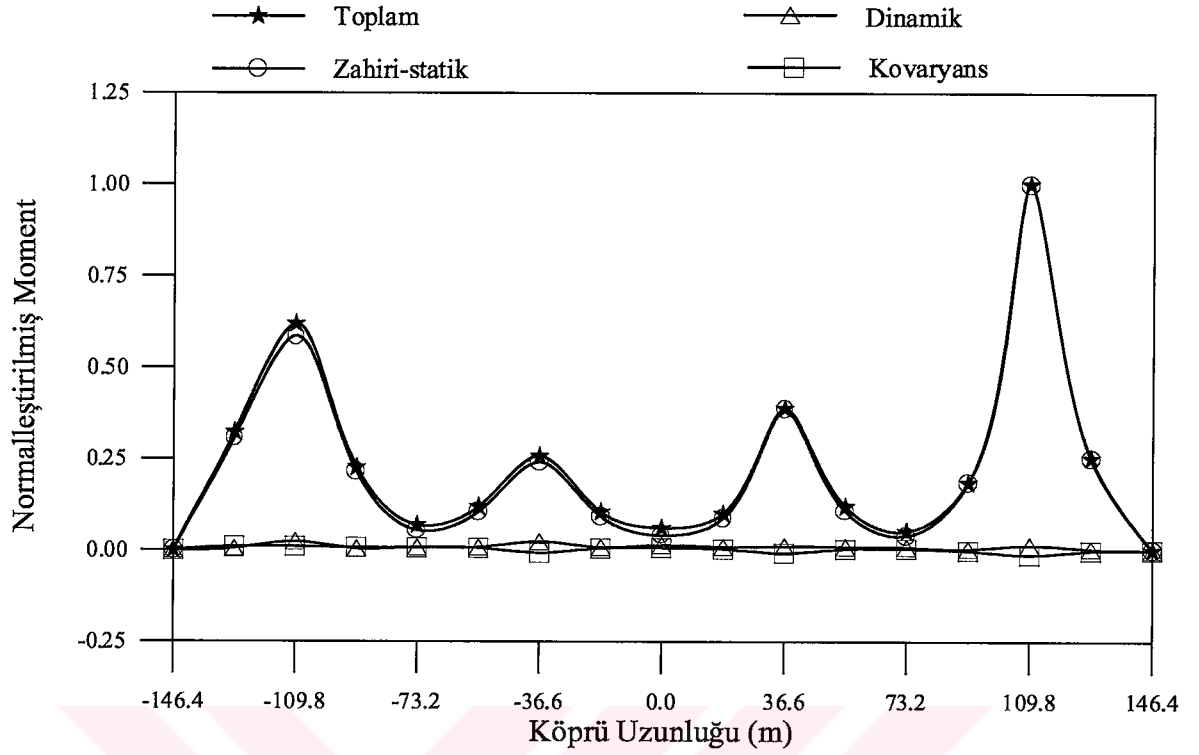
Şekil 3.137. Sadece dalga yayılma etkisine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları ($V_{app}=200$ m/s)



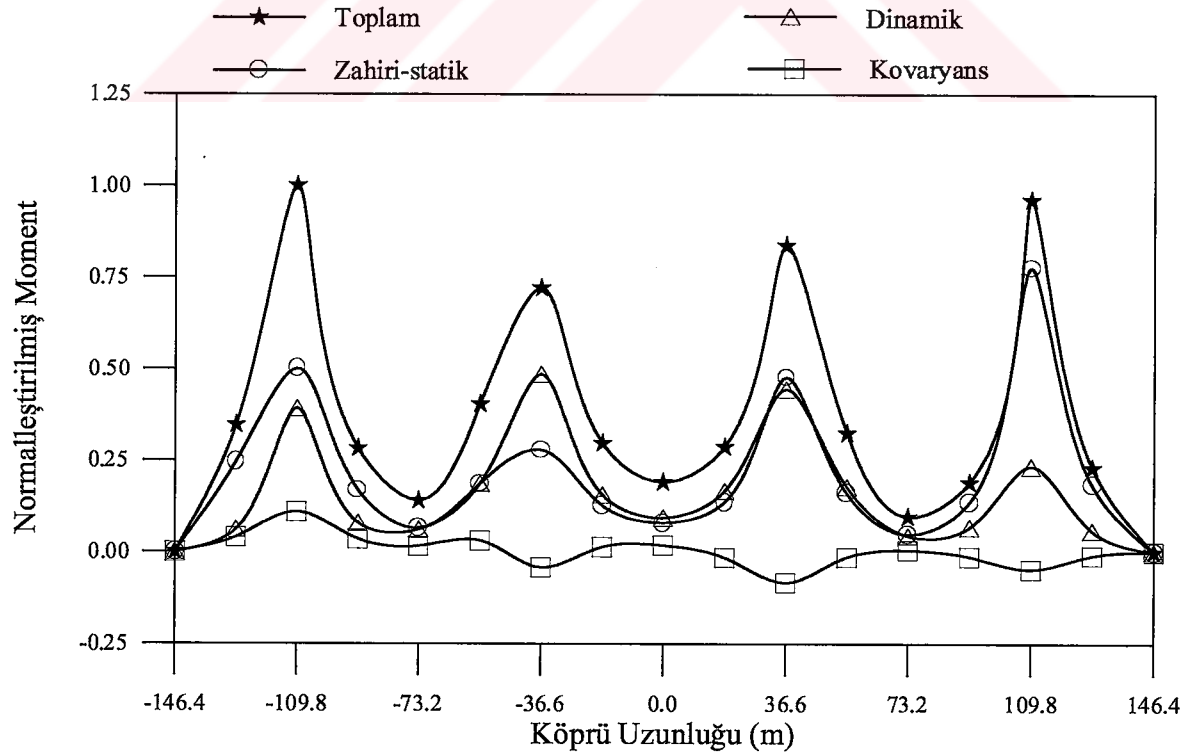
Şekil 3.138. Sadece tutarsızlık etkisine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları



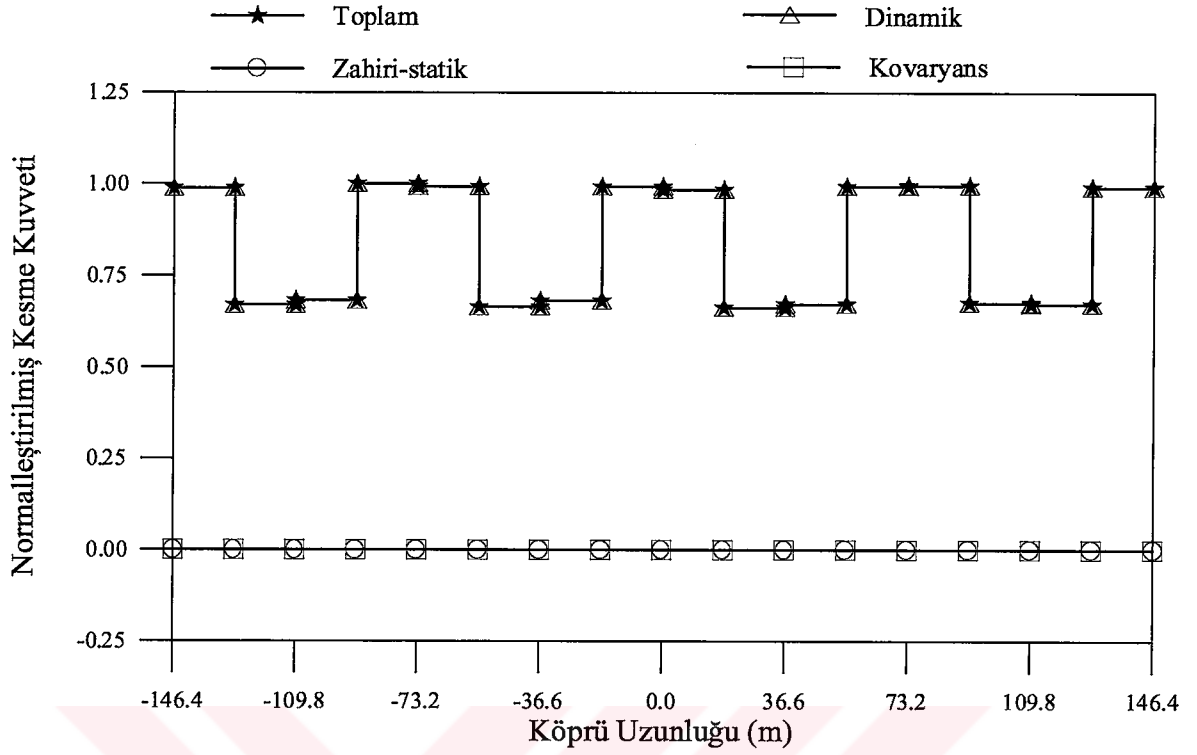
Şekil 3.139. Sadece tutarsızlık etkisine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları



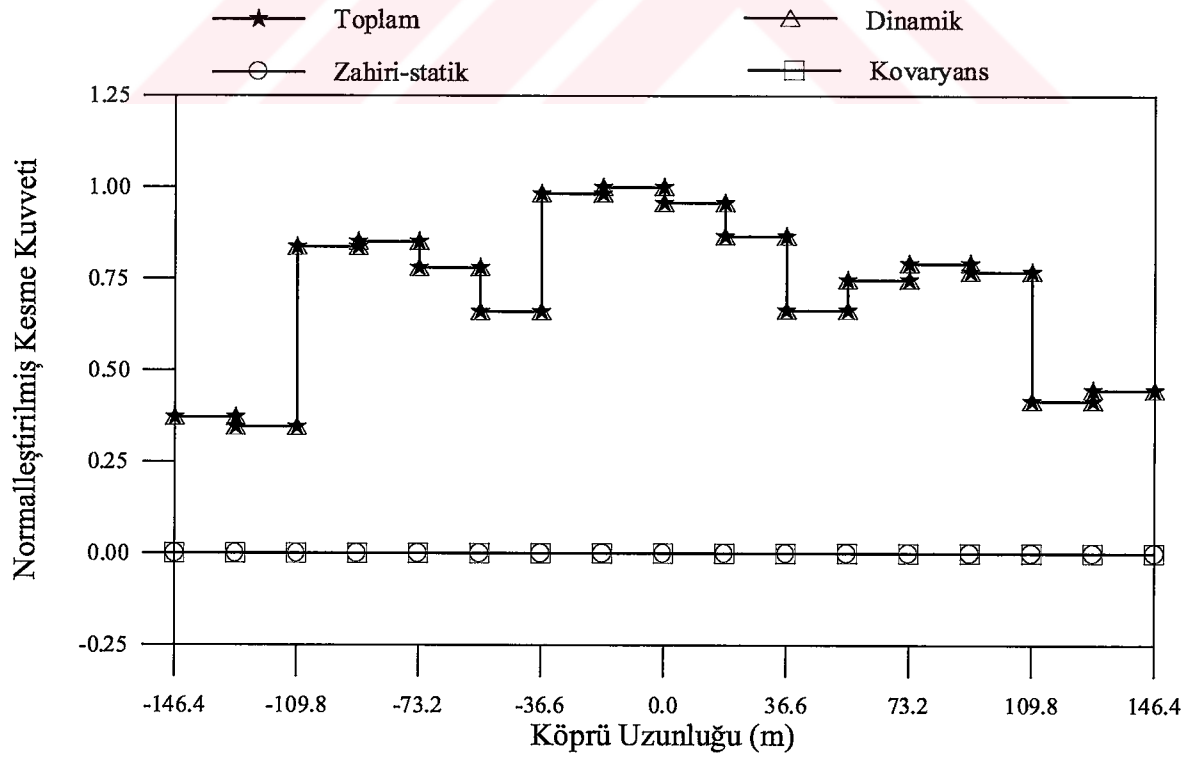
Şekil 3.140. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları ($V_{app}=200$ m/s)



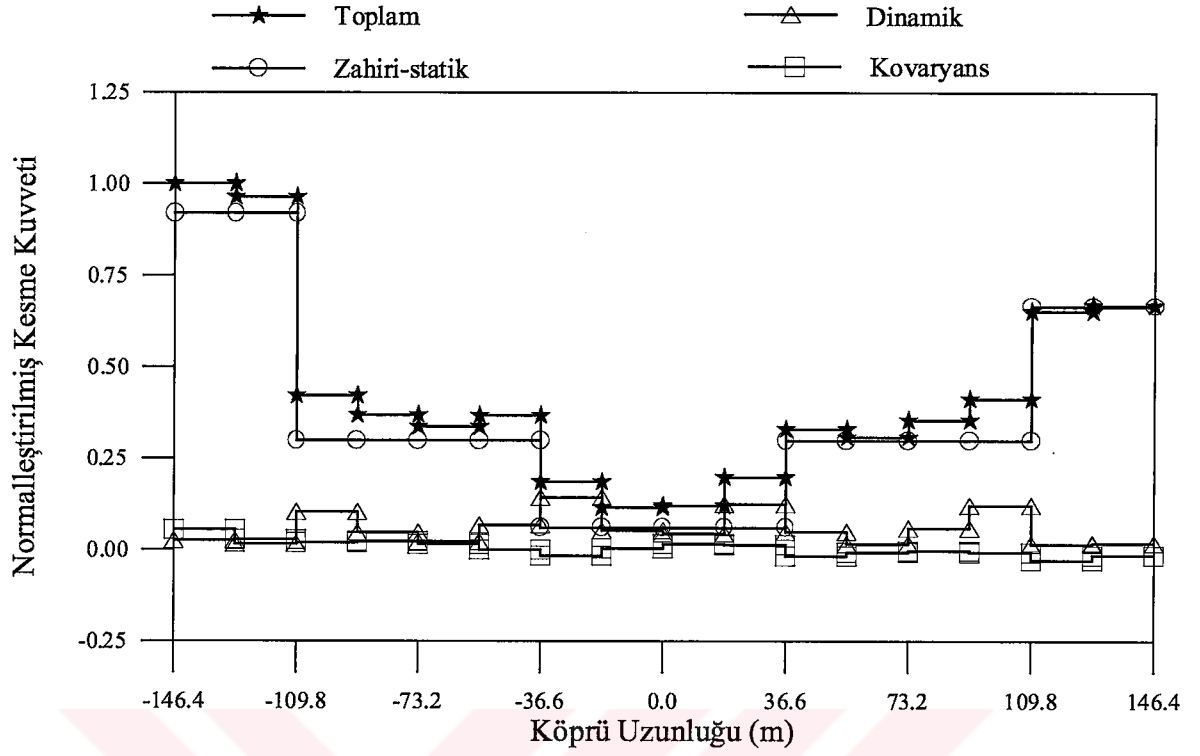
Şekil 3.141. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları ($V_{app}=200$ m/s)



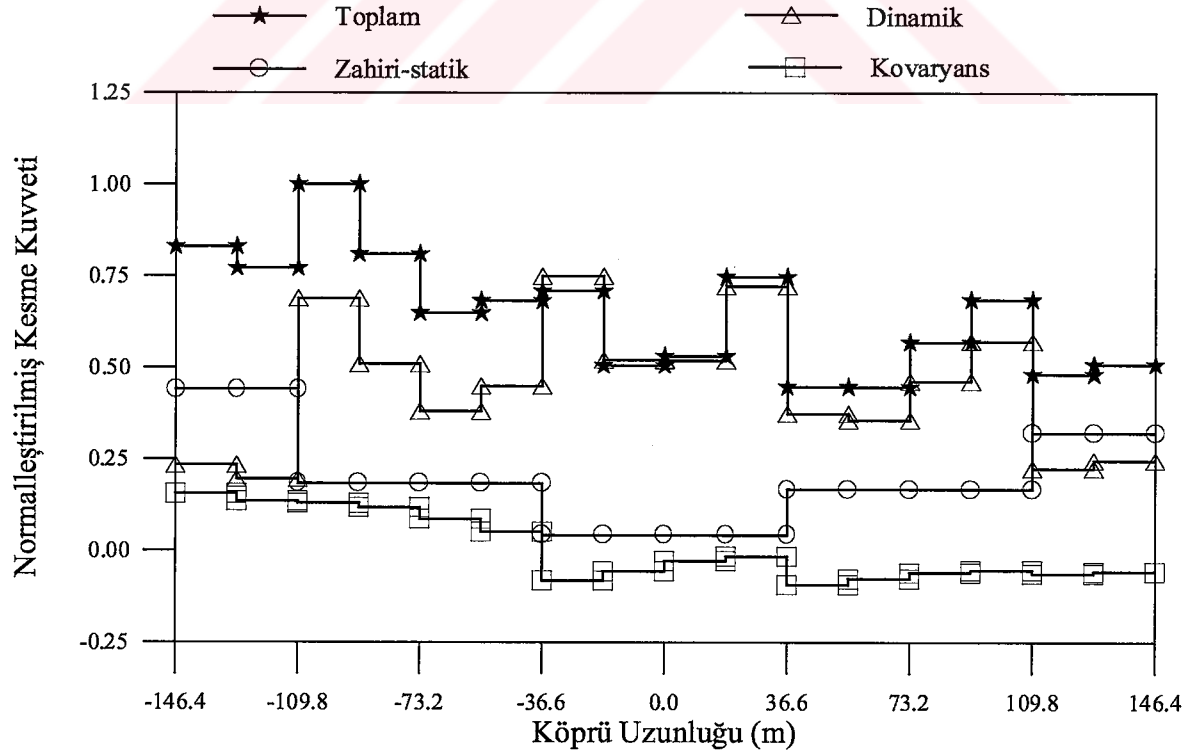
Şekil 3.142. Üniorm yer hareketine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları ($V_{app}=\text{sonsuz}$)



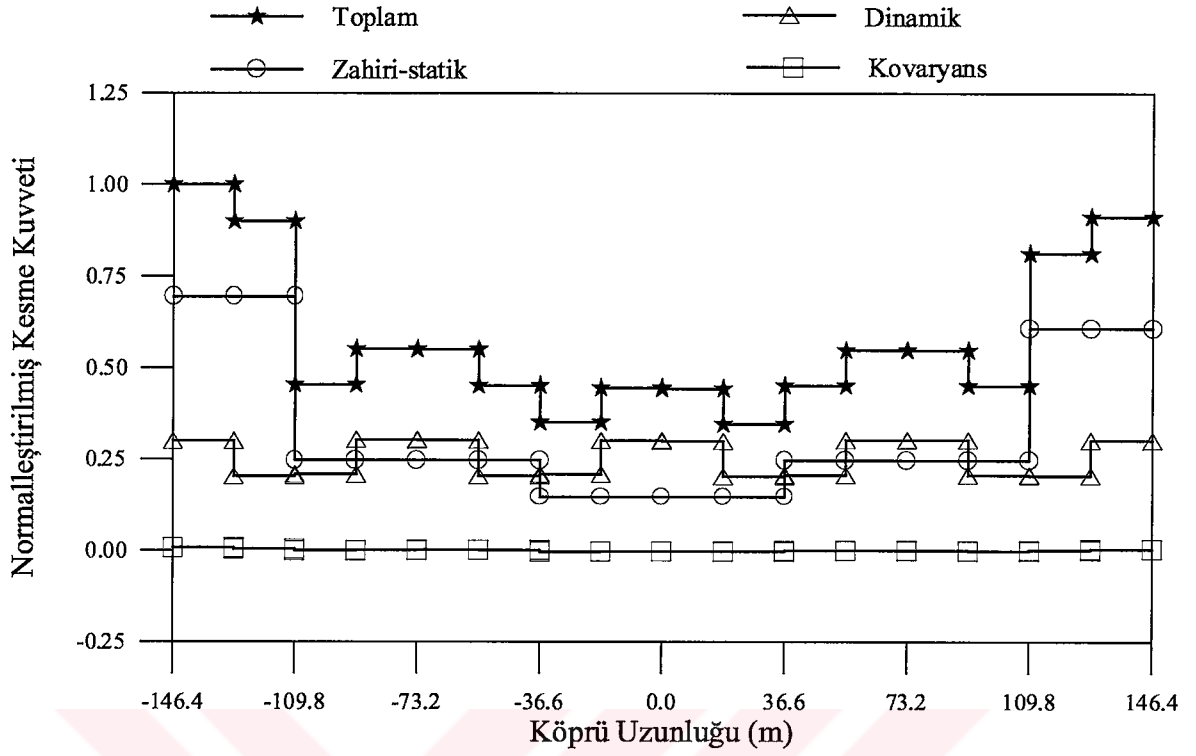
Şekil 3.143. Üniorm yer hareketine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları ($V_{app}=\text{sonsuz}$)



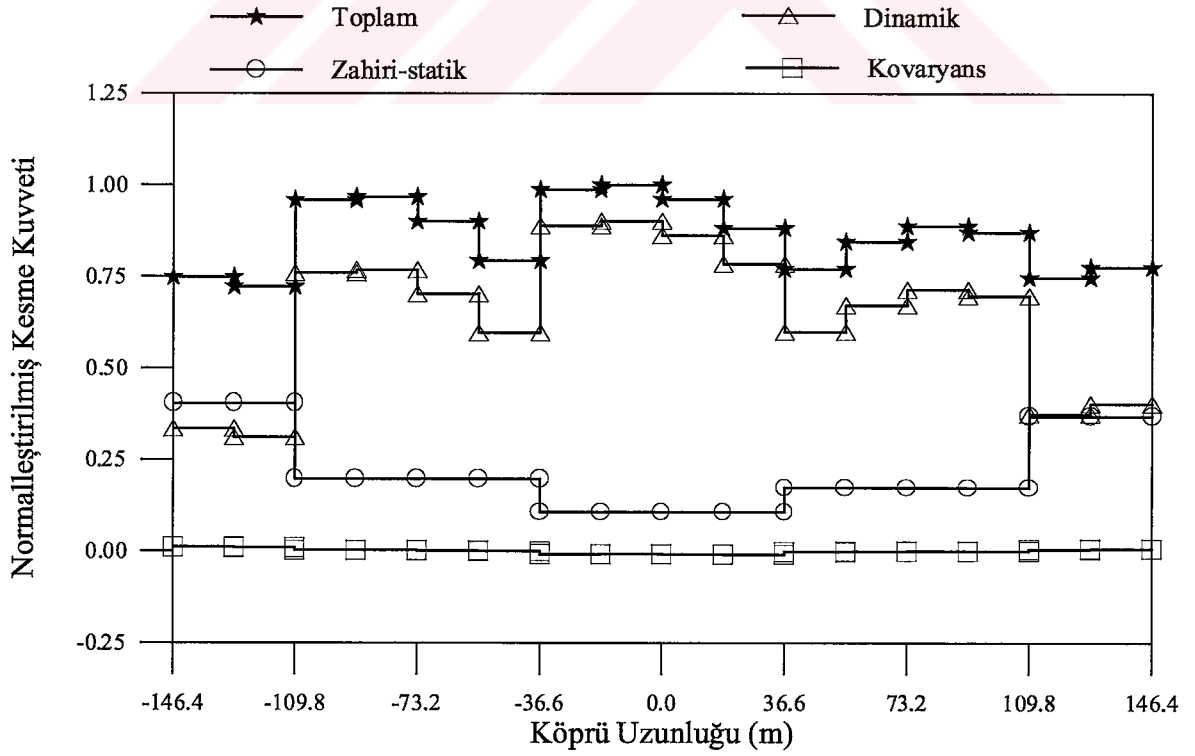
Şekil 3.144. Sadece dalga yayılma etkisine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları ($V_{app}=200$ m/s)



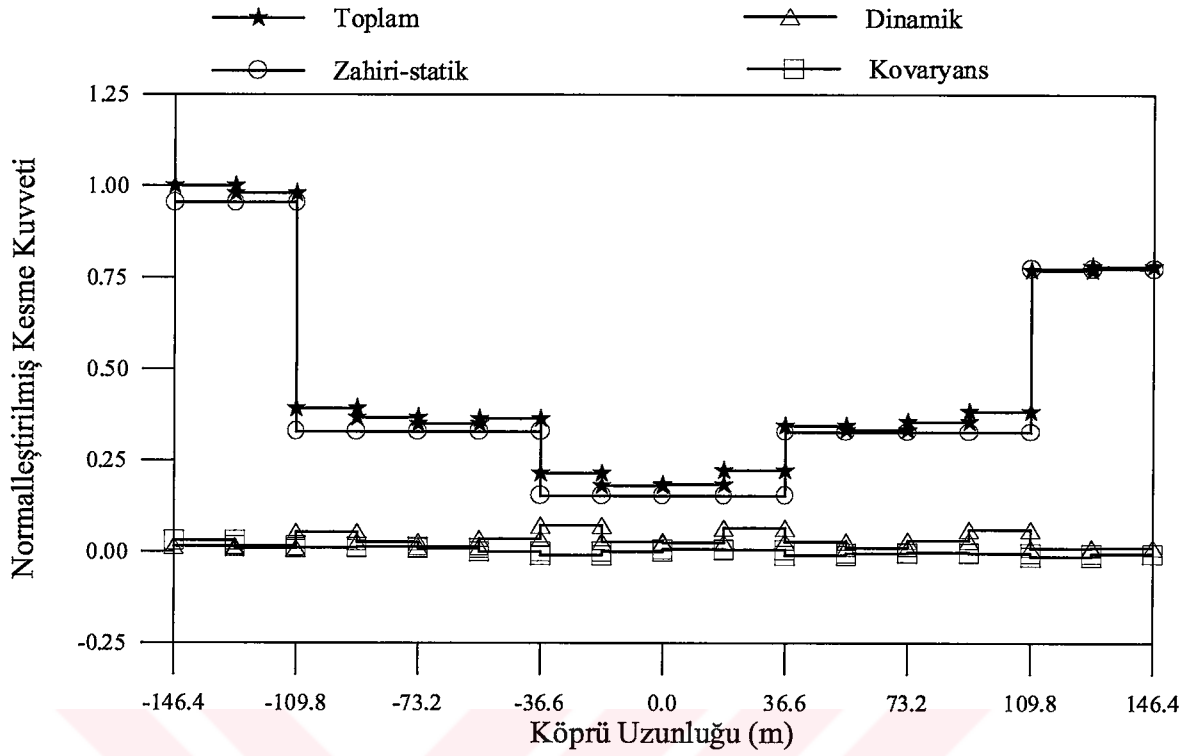
Şekil 3.145. Sadece dalga yayılma etkisine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları ($V_{app}=200$ m/s)



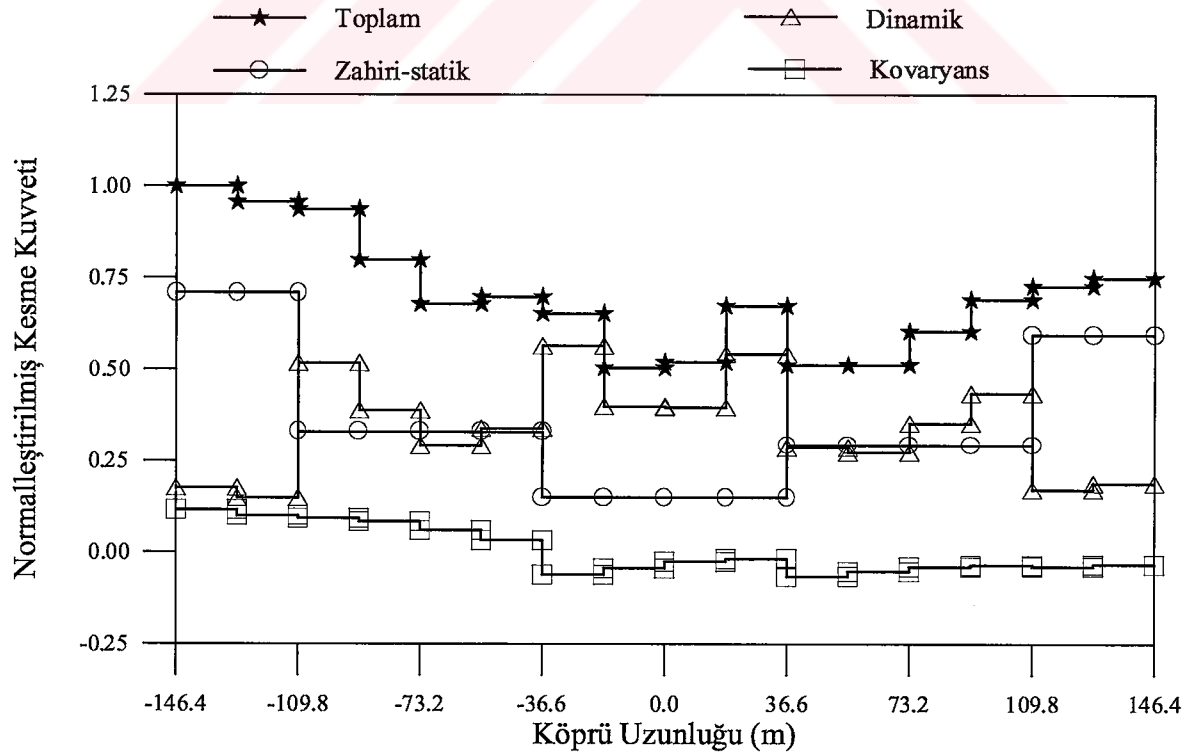
Şekil 3.146. Sadece tutarsızlık etkisine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları



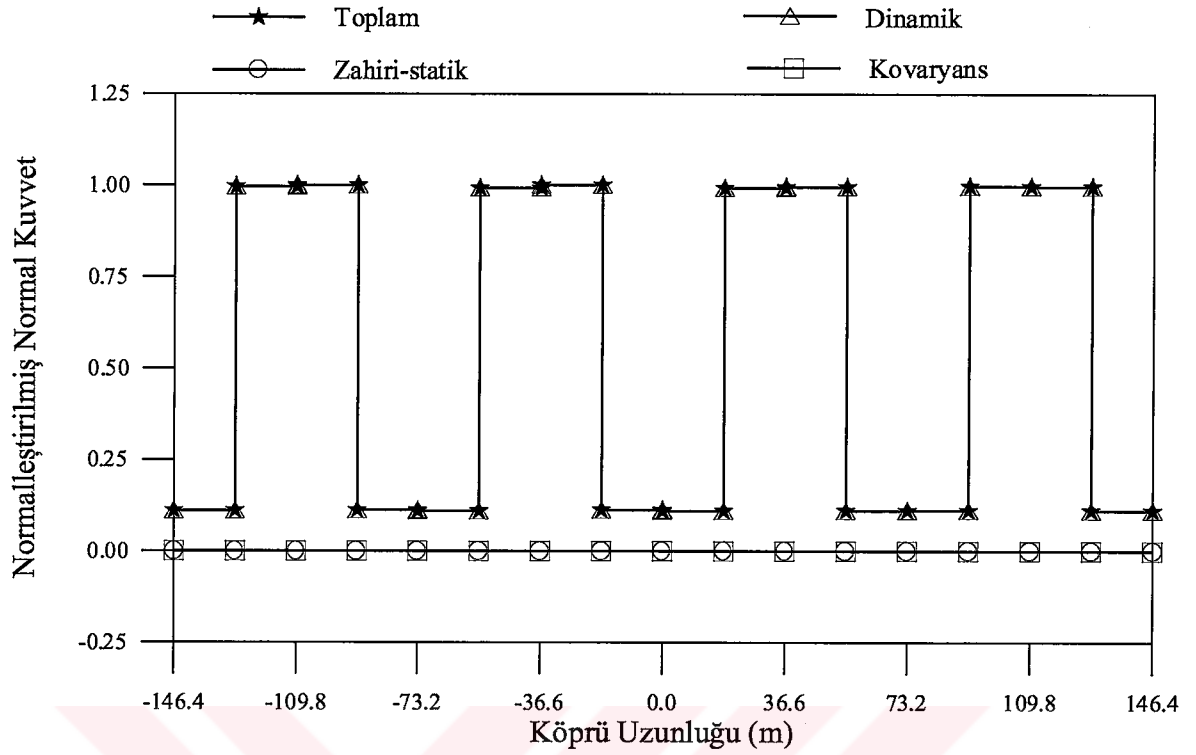
Şekil 3.147. Sadece tutarsızlık etkisine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları



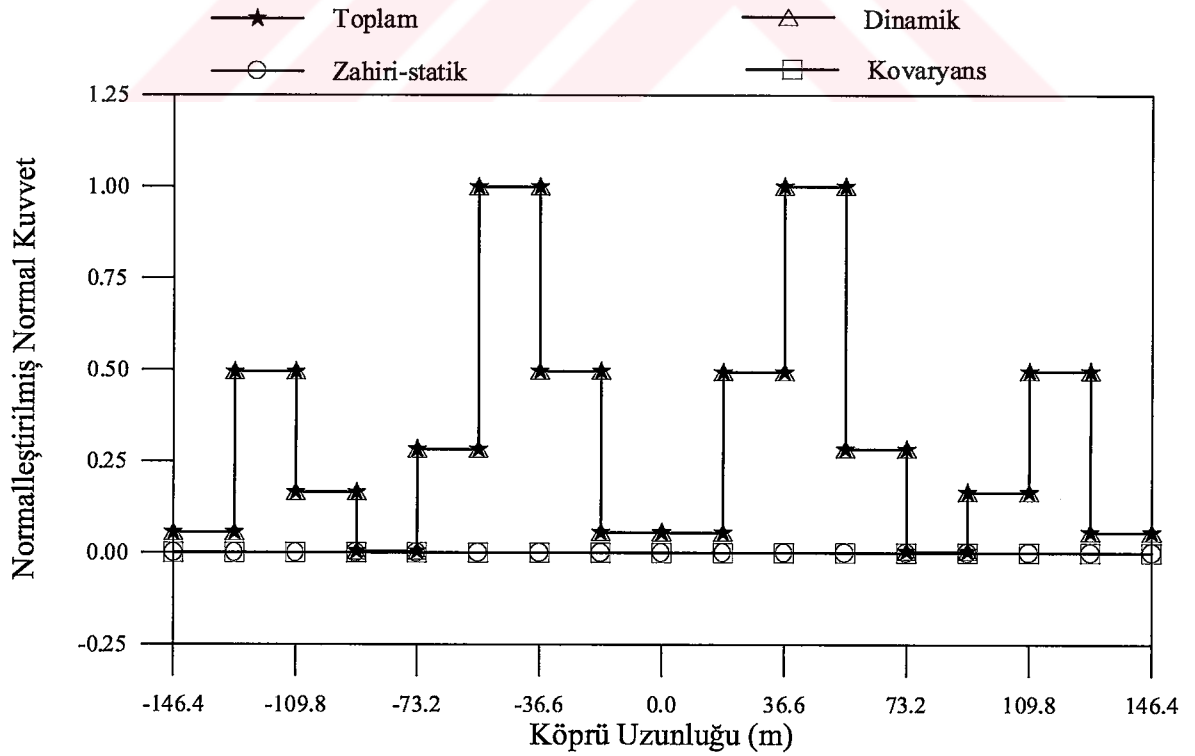
Şekil 3.148. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları ($V_{app}=200$ m/s)



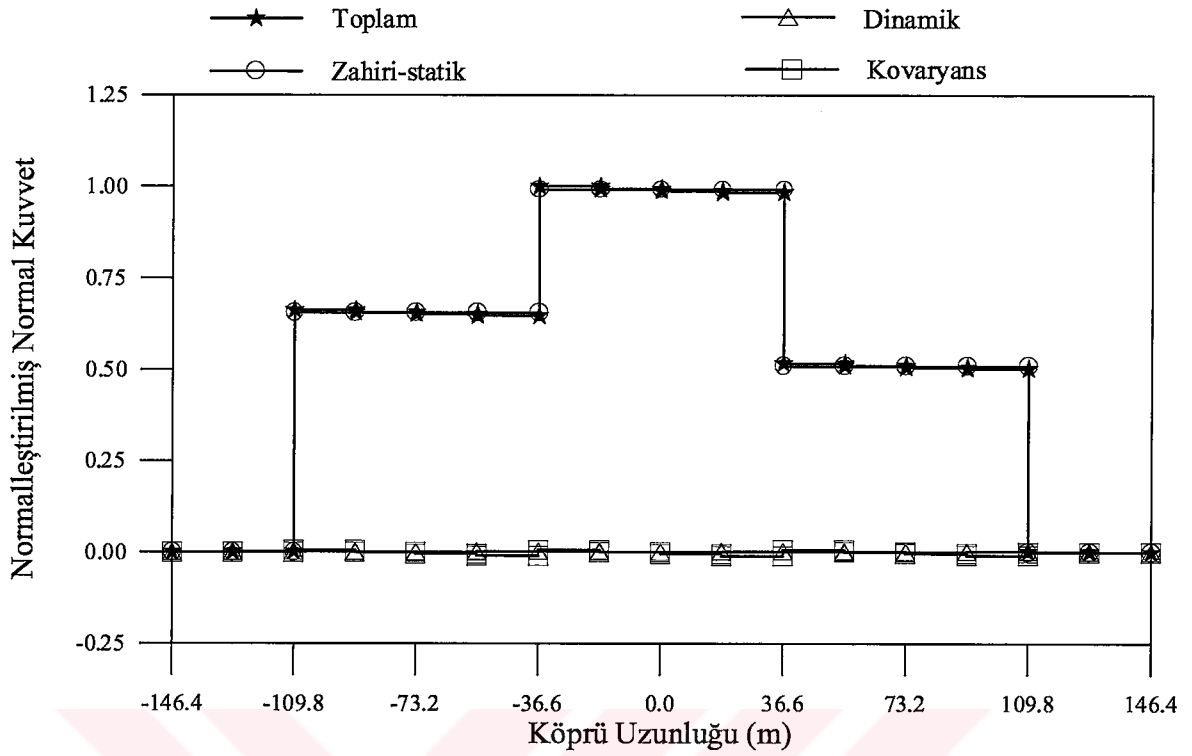
Şekil 3.149. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları ($V_{app}=200$ m/s)



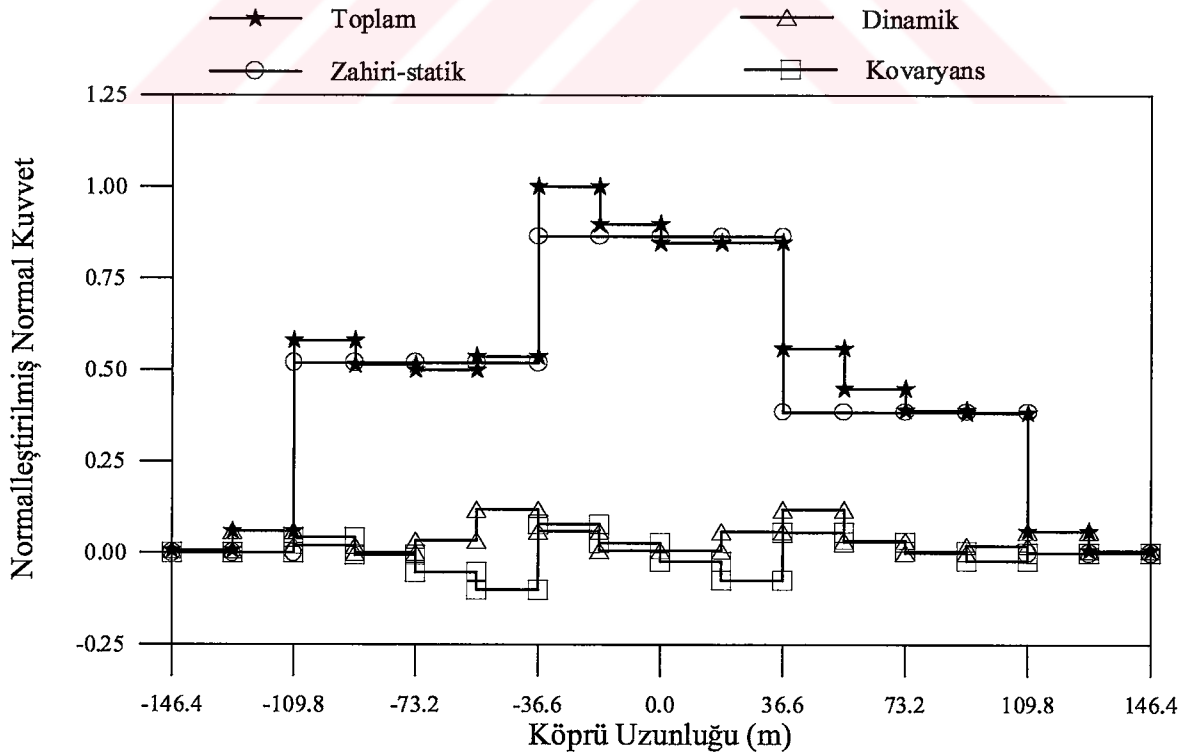
Şekil 3.150. Ünlform yer hareketine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları ($V_{app}=\text{sonsuz}$)



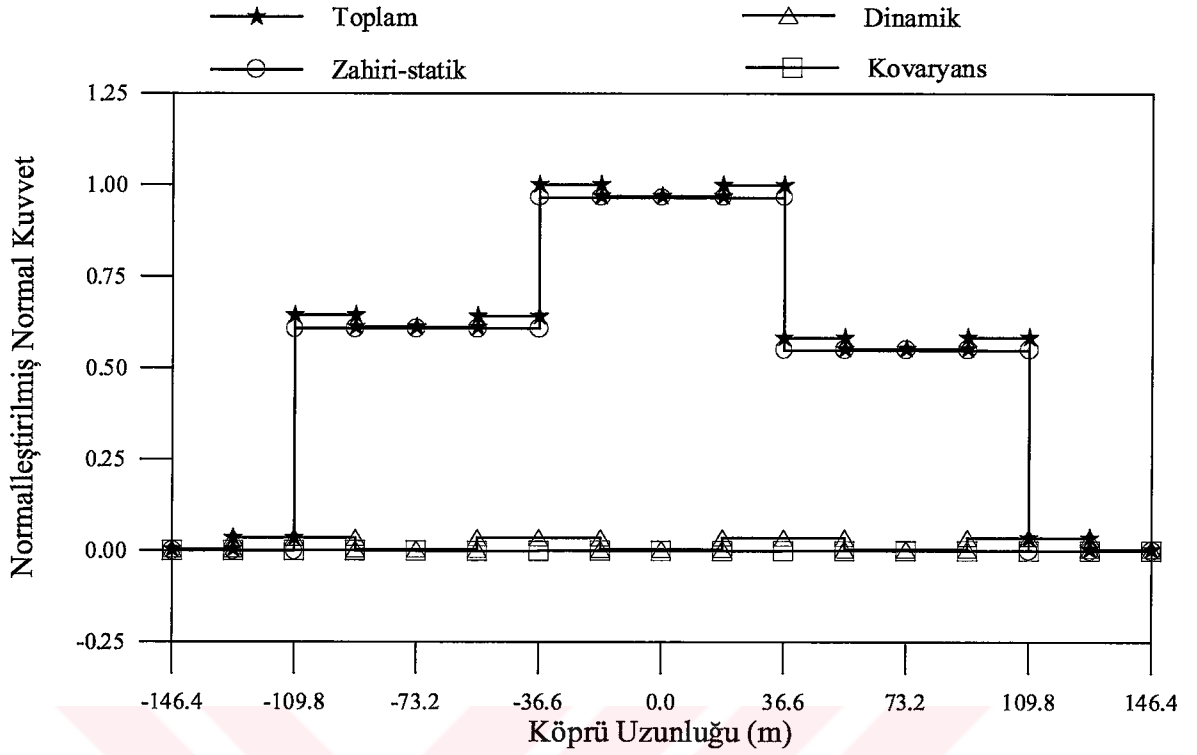
Şekil 3.151. Ünlform yer hareketine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları ($V_{app}=\text{sonsuz}$)



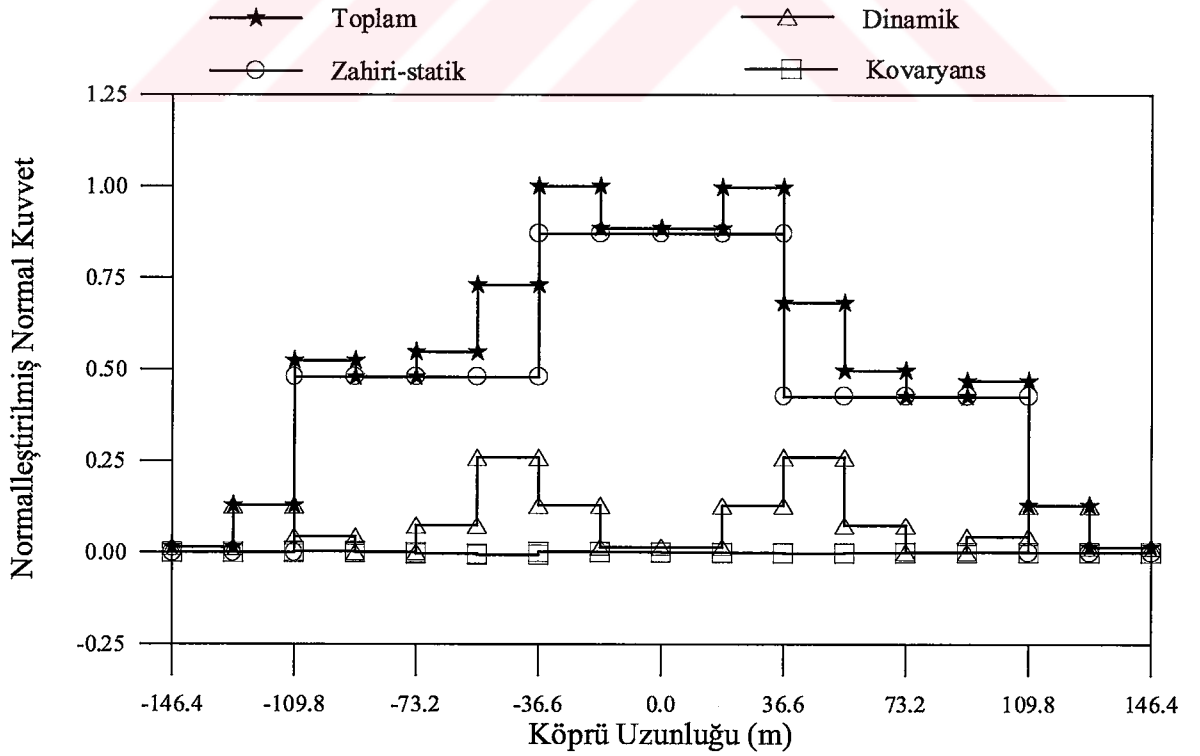
Şekil 3.152. Sadece dalga yayılma etkisine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları ($V_{app}=200$ m/s)



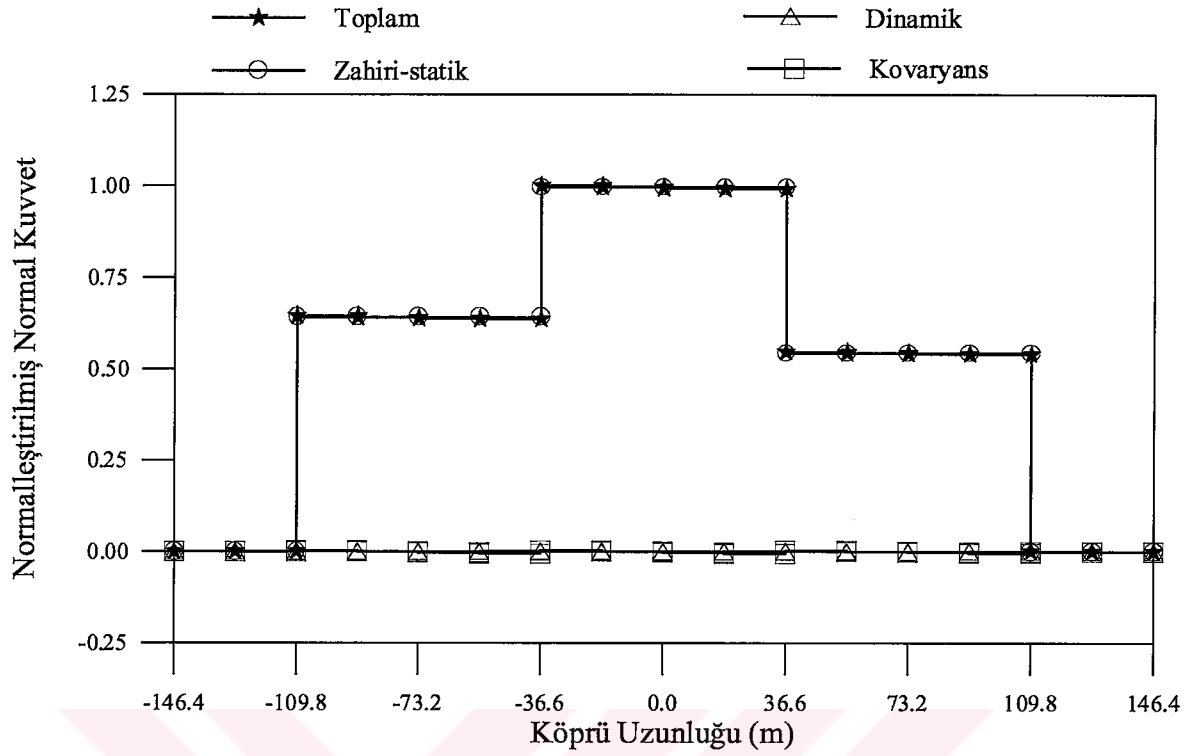
Şekil 3.153. Sadece dalga yayılma etkisine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları ($V_{app}=200$ m/s)



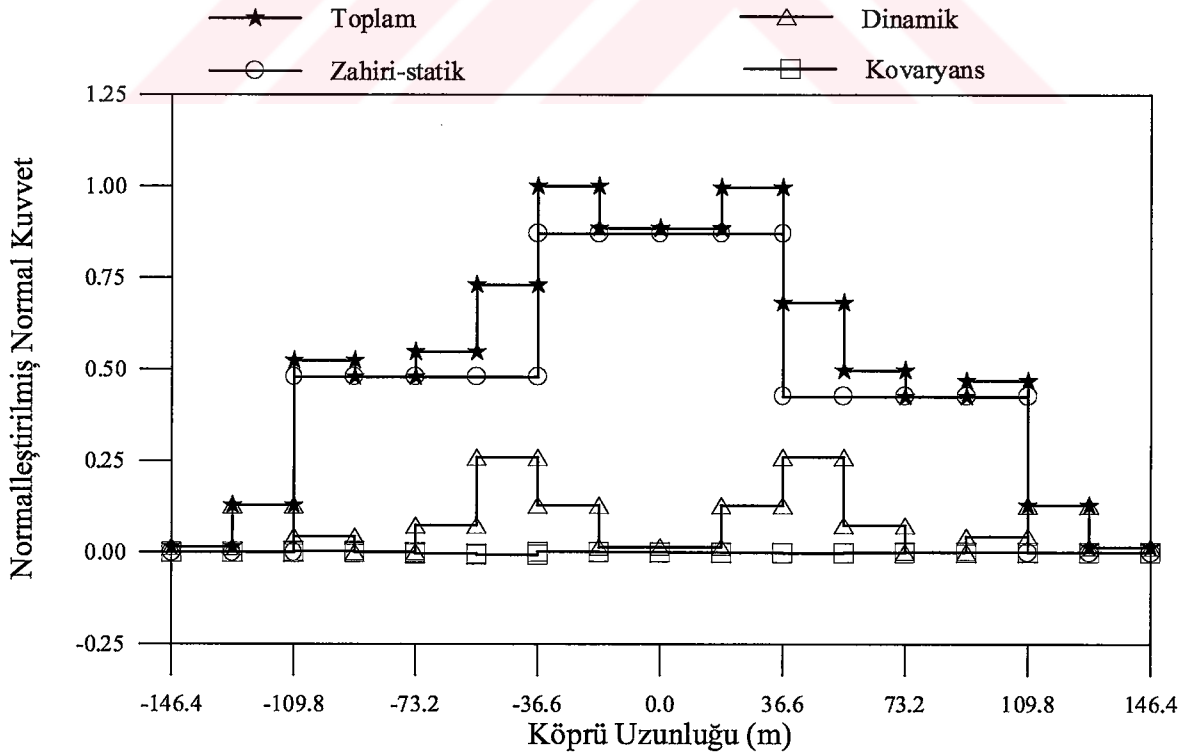
Şekil 3.154. Sadece tutarsızlık etkisine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları



Şekil 3.155. Sadece tutarsızlık etkisine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları



Şekil 3.156. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonsuz karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları ($V_{app}=200$ m/s)



Şekil 3.157. Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerine maruz izolasyonlu karayolu köprü tabliyesinin normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları ($V_{app}=200$ m/s)

3.1.4. Dalga Yayılma, Tutarsızlık ve Zemin Etkilerinin Birlikte Dikkate Alınması Durumunda Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının İncelenmesi

Bu alt bölümde karayolu köprüsünün mesnetlendiği zeminin homojen olmaması durumunda tutarsızlık, dalga yayılma ve zemin etkileri birlikte dikkate alınarak izolasyonsuz ve izolasyonlu karayolu köprünün stokastik analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan stokastik analizlerde kullanılan karayolu köprü modelinin mesnetlendiği zemin üç bölge olarak ele alınmaktadır (Şekil 3.158). Karşılaştırmalarda dikkate alınacak olan dört durum Şekil 3.158’de verilmekte ve aşağıda ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır. İncelemeye konu olan bu dört durumda yumuşak zemin türü “Y”, orta zemin türü “O” ve sert zemin türü “S” olarak ifade edilmiştir.

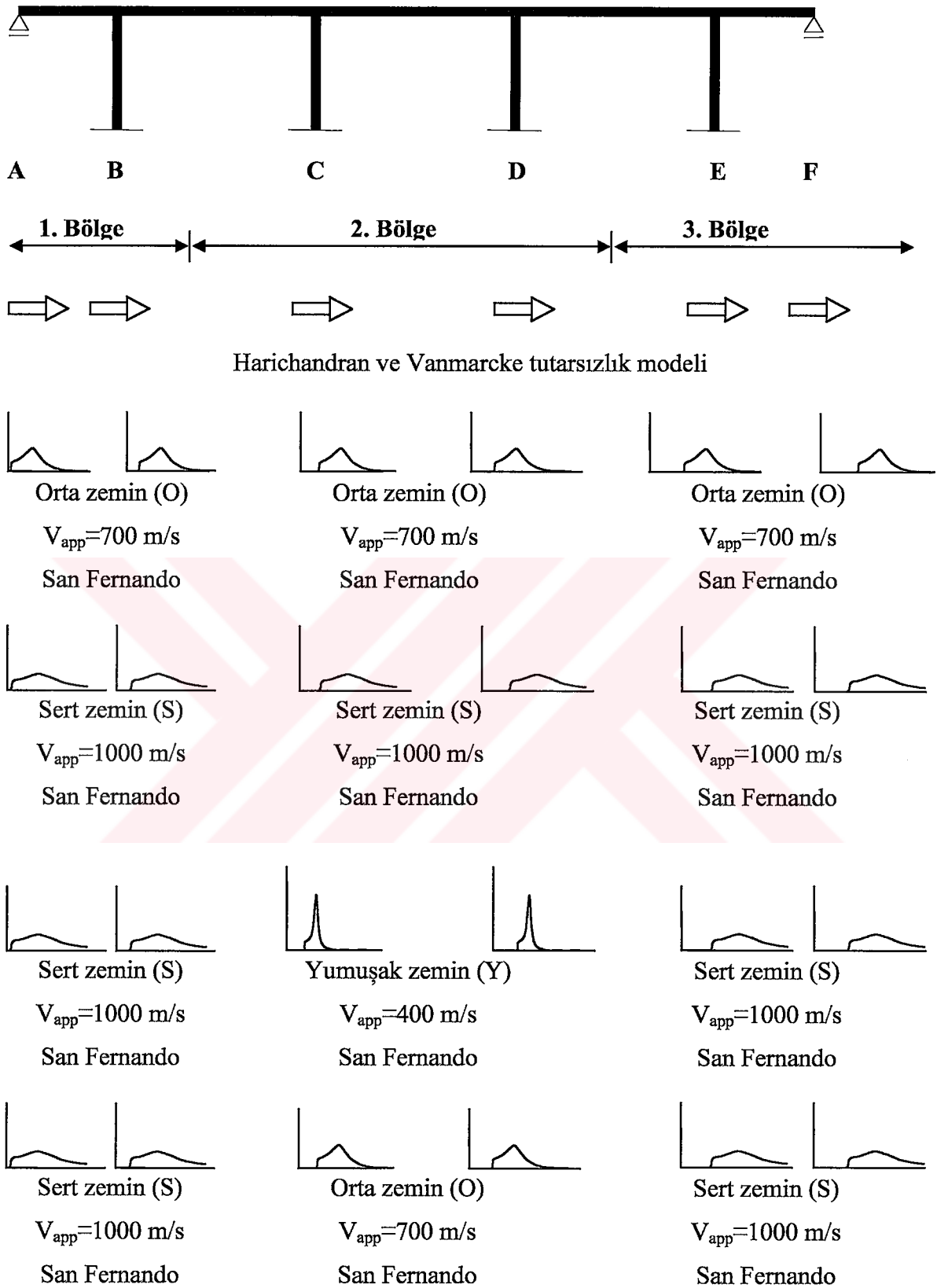
A Durumu : Dalga yayılma ve tutarsızlık etkileri birlikte dikkate alınmakta, köprü tüm mesnetlerinin oturduğu zemin homojen orta sınıf olarak kabul edilmektedir. Farklı mesnetlerdeki farklı zemin etkileri göz önüne alınmamıştır. Bu durum; (2.9) denklemindeki dalga yayılması etkisinin $\gamma_{\ell m}(\omega)^d \neq 1$, tutarsızlık etkisinin $|\gamma_{\ell m}(\omega)|^k \neq 1$ ve zemin etkisinin $\gamma_{\ell m}(\omega)^Z = 1$ olmasına karşılık gelmektedir. Dalga yayılma hızı $V_{app}=700$ m/s olarak alınmıştır. Ayrıca tutarsızlık etkisi olarak Harichandran ve Vanmarcke (1986) tutarsızlık modeli kullanılmıştır. Yer hareketi olarak da 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı ivme kayıdı S16E bileşeni seçilmiştir.

B Durumu : Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerinin birlikte dikkate alınmakta, köprü tüm mesnetlerinin oturduğu zemin homojen sert sınıf olarak kabul edilmektedir. Farklı mesnetlerdeki farklı zemin etkileri göz önüne alınmamıştır. Bu durum; (2.9) denklemindeki dalga yayılması etkisinin $\gamma_{\ell m}(\omega)^d \neq 1$, tutarsızlık etkisinin $|\gamma_{\ell m}(\omega)|^k \neq 1$ ve zemin etkisinin $\gamma_{\ell m}(\omega)^Z = 1$ olmasına karşılık gelmektedir. Dalga yayılma hızı $V_{app}=1000$ m/s olarak alınmıştır. Ayrıca tutarsızlık etkisi olarak Harichandran ve Vanmarcke (1986) tutarsızlık modeli kullanılmıştır. Yer hareketi olarak da 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı ivme kayıdı S16E bileşeni dikkate alınmaktadır.

C Durumu : Köprünün kenar ayakları (A, B, E ve F mesnetleri) sert zemine orta ayakları ise (C ve D mesnetleri) yumuşak zemine oturmaktadır. Dalga yayılma hızı sert zemin için $V_{app}=1000$ m/s ve yumuşak zemin için $V_{app}=400$ m/s olarak alınmıştır. Ayrıca tutarsızlık etkisi olarak Harichandran ve Vanmarcke (1986) tutarsızlık modeli

kullanılmıştır. Bu durum; (2.9) denklemindeki dalga yayılması etkisinin $\gamma_{\ell m}(\omega)^d \neq 1$, tutarsızlık etkisinin $|\gamma_{\ell m}(\omega)|^k \neq 1$ ve zemin etkisinin $\gamma_{\ell m}(\omega)^z \neq 1$ olmasına karşılık gelmektedir. Yer hareketi olarak da 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı ivme kaydı S16E bileşeni dikkate alınmaktadır.

D Durumu : Köprünün kenar ayakları (A, B, E ve F mesnetleri) sert zemine orta ayakları ise (C ve D mesnetleri) orta zemine oturmaktadır. Dalga yayılma hızı sert zemin için $V_{app}=1000$ m/s ve orta zemin için $V_{app}=700$ m/s olarak alınmıştır. Ayrıca tutarsızlık etkisi olarak Harichandran ve Vanmarcke (1986) tutarsızlık modeli kullanılmıştır. Bu durum; (2.9) denklemindeki dalga yayılması etkisinin $\gamma_{\ell m}(\omega)^d \neq 1$, tutarsızlık etkisinin $|\gamma_{\ell m}(\omega)|^k \neq 1$ ve zemin etkisinin $\gamma_{\ell m}(\omega)^z \neq 1$ olmasına karşılık gelmektedir. Yer hareketi olarak da 1971 San Fernando depremi Pacoima Barajı ivme kaydı S16E bileşeni dikkate alınmaktadır



Şekil 3.158. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen karayolu köprüsünün analitik modeli

3.1.4.1. Ortalama Maksimum Yerdeğiştirme ve Eleman Kuvvetlerinin İncelenmesi

Yapılan stokastik analizler sonucunda; izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü tabliyesinde elde edilen ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri Şekil 3.159-3.182'de verilmektedir. Şekillerden görüleceği üzere; C durumundaki zemin ortamı için hesaplanan yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri en büyük çıkmaktadır. B durumundaki zemin ortamı için ise yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin en küçük olmaktadır. Köprünün mesnetlendiği zemin ortamındaki değişimin dikkate alınmasında yani mesnetlerin farklı zeminlere oturması durumunda zemin türleri arasındaki farklılığın artması ile birlikte yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri de artmaktadır. Zemin türleri birbirine yaklaşıkça yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri de buna bağlı olarak azalmaktadır. Köprünün izolasyonlu olması durumu ile izolasyonsuz olması durumunda yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerindeki değerler hemen hemen aynı değişimlere sahiptir. Fakat köprünün izolasyonlu olarak yapılması durumunda elde edilen eleman kuvvetleri; köprünün izolasyonsuz yapılmasına göre %60-%80 arasında azalmaktadır.

3.1.4.2. Yerdeğiştirme ve Eleman Kuvveti Varyanslarının İncelenmesi

Şekil 3.183-3.214'de karayolu köprüsünün mesnetlendiği zeminin homojen ve homojen olmaması durumlarında tabliyede oluşan yatay yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerine ait normalleştirilmiş varyans dağılımları görülmektedir. Spektral yoğunluk fonksiyonunun alanına eşit olan varyans değerleri bu fonksiyonun integrasyonu ile hesaplanmaktadır. Toplam varyans değerleri zahiri-statik, dinamik ve kovaryans bileşenlerinin toplamından oluşmaktadır. Normalleştirme işlemi; varyans değerlerinin maksimum toplam varyans değerine bölünmesiyle gerçeleştirilmektedir.

3.1.4.2.1. Yerdeğiştirme Varyanslarının İncelenmesi

Bölüm 3.1.4'de açıklanan dört durum (A, B, C ve D Durumları) için izolasyonsuz ve izolasyonlu karayolu köprü tabliyesine ait yatay yerdeğiştirme varyans dağılımları Şekil 3.183-Şekil 3.190'da verilmektedir.

İzolasyonsuz köprü için toplam yatay yerdeğiştirmeye en büyük katkıyı zahiri-statik bileşen sağlamaktadır. İzolasyonlu köprü için ise, toplam yatay yerdeğiştirmeye en büyük katkıyı bazen zahiri-statik bileşen bazen de dinamik bileşen sağlamaktadır. A durumunda (Şekil 3.183-3.184); izolasyonsuz köprü tabliye toplam yatay yerdeğiştirmesine zahiri-statik bileşenin katkısı %86.78, dinamik bileşenin katkısı %7.14 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %6.08 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam yatay yerdeğiştirmesine zahiri-statik bileşenin katkısı %39.77, dinamik bileşenin katkısı %47.24 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %12.99 olmaktadır. B durumunda (Şekil 3.185-3.186); izolasyonsuz köprü tabliye toplam yatay yerdeğiştirmesine zahiri-statik bileşenin katkısı %70.30, dinamik bileşenin katkısı %19.11 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %10.59 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam yatay yerdeğiştirmesine zahiri-statik bileşenin katkısı %19.34, dinamik bileşenin katkısı %71.78 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %8.88 olmaktadır. C durumunda (Şekil 3.187-3.188); izolasyonsuz köprü tabliye toplam yatay yerdeğiştirmesine zahiri-statik bileşenin katkısı %93.21, dinamik bileşenin katkısı %3.75 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %3.03 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam yatay yerdeğiştirmesine zahiri-statik bileşenin katkısı %69.78, dinamik bileşenin katkısı %22.47 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %7.75 olmaktadır. D durumunda (Şekil 3.189-3.190); izolasyonsuz köprü tabliye toplam yatay yerdeğiştirmesine zahiri-statik bileşenin katkısı %81.55, dinamik bileşenin katkısı %11.10 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %7.35 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam yatay yerdeğiştirmesine zahiri-statik bileşenin katkısı %32.73, dinamik bileşenin katkısı %55.55 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %11.72 olmaktadır.

3.1.4.2.2. Eleman Kuvveti Varyanslarının İncelenmesi

3.1.4.2.2.1. Eğilme Momenti Varyanslarının İncelenmesi

A, B, C ve D durumları için izolasyonsuz ve izolasyonlu karayolu köprü tabliyesine ait eğilme momenti varyans dağılımları Şekil 3.191-3.198'de verilmektedir.

İzolasyonsuz köprü için toplam eğilme momentine genellikle en büyük katkıyı zahiri-statik bileşen sağlamaktadır. İzolasyonlu köprü için ise, toplam eğilme momentine en büyük katkıyı genellikle dinamik bileşen sağlamaktadır. A durumunda (Şekil 3.191-3.192); izolasyonsuz köprü tabliye toplam eğilme momentine zahiri-statik bileşenin katkısı

%70.49, dinamik bileşenin katkısı %35.80 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %-6.29 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam eğilme momentine zahiri-statik bileşenin katkısı %3.26, dinamik bileşenin katkısı %97.47 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %-0.73 olmaktadır. B durumunda (Şekil 3.193-3.194); izolasyonsuz köprü tabliye toplam eğilme momentine zahiri-statik bileşenin katkısı %22.70, dinamik bileşenin katkısı %70.31 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %6.99 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam eğilme momentine zahiri-statik bileşenin katkısı %1.07, dinamik bileşenin katkısı %99.20 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %-0.27 olmaktadır. C durumunda (Şekil 3.195-3.196); izolasyonsuz köprü tabliye toplam eğilme momentine zahiri-statik bileşenin katkısı %94.32, dinamik bileşenin katkısı %3.52 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %2.16 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam eğilme momentine zahiri-statik bileşenin katkısı %75.74, dinamik bileşenin katkısı %29.87 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %-5.61 olmaktadır. D durumunda (Şekil 3.197-3.198); izolasyonsuz köprü tabliye toplam eğilme momentine zahiri-statik bileşenin katkısı %72.29, dinamik bileşenin katkısı %26.34 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %1.37 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam eğilme momentine zahiri-statik bileşenin katkısı %14.86, dinamik bileşenin katkısı %91.54 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %-6.40 olmaktadır.

3.1.4.2.2.2. Kesme Kuvveti Varyanslarının İncelenmesi

A, B, C ve D durumları için izolasyonsuz ve izolasyonlu karayolu köprü tabliyesine ait kesme kuvveti varyans dağılımları Şekil 3.199-Şekil 3.206'da verilmektedir.

İzolasyonsuz köprü için toplam kesme kuvvetine en büyük katkıyı genellikle A durumunda zahiri-statik ve dinamik bileşenler, B durumunda dinamik bileşen, C durumunda zahiri-statik bileşen ve D durumunda zahiri-statik bileşen sağlamaktadır. İzolasyonlu köprü için ise, toplam kesme kuvvetine en büyük katkıyı genellikle A durumunda dinamik bileşen, B durumunda dinamik bileşen, C durumunda zahiri-statik bileşen ve D durumunda ise dinamik bileşen sağlamaktadır. A durumunda (Şekil 3.199-3.200); izolasyonsuz köprü tabliye toplam kesme kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %55.55, dinamik bileşenin katkısı %32.72 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %9.73 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam kesme kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %2.29 dinamik bileşenin katkısı %98.97 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %-1.26 olmaktadır. B durumunda (Şekil 3.201-3.202); izolasyonsuz köprü tabliye toplam

kesme kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %32.07, dinamik bileşenin katkısı %57.40 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %10.53 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam kesme kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %95.41, dinamik bileşenin katkısı %1.48 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %3.11 olmaktadır. C durumunda (Şekil 3.203-3.204); izolasyonsuz köprü tabliye toplam kesme kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %93.78, dinamik bileşenin katkısı %3.87 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %2.35 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam kesme kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %82.32 dinamik bileşenin katkısı %13.58 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %4.10 olmaktadır. D durumunda (Şekil 3.205-3.206); izolasyonsuz köprü tabliye toplam kesme kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %63.18, dinamik bileşenin katkısı %27.13 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %9.69 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam kesme kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %13.50, dinamik bileşenin katkısı %93.68 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %7.18 olmaktadır.

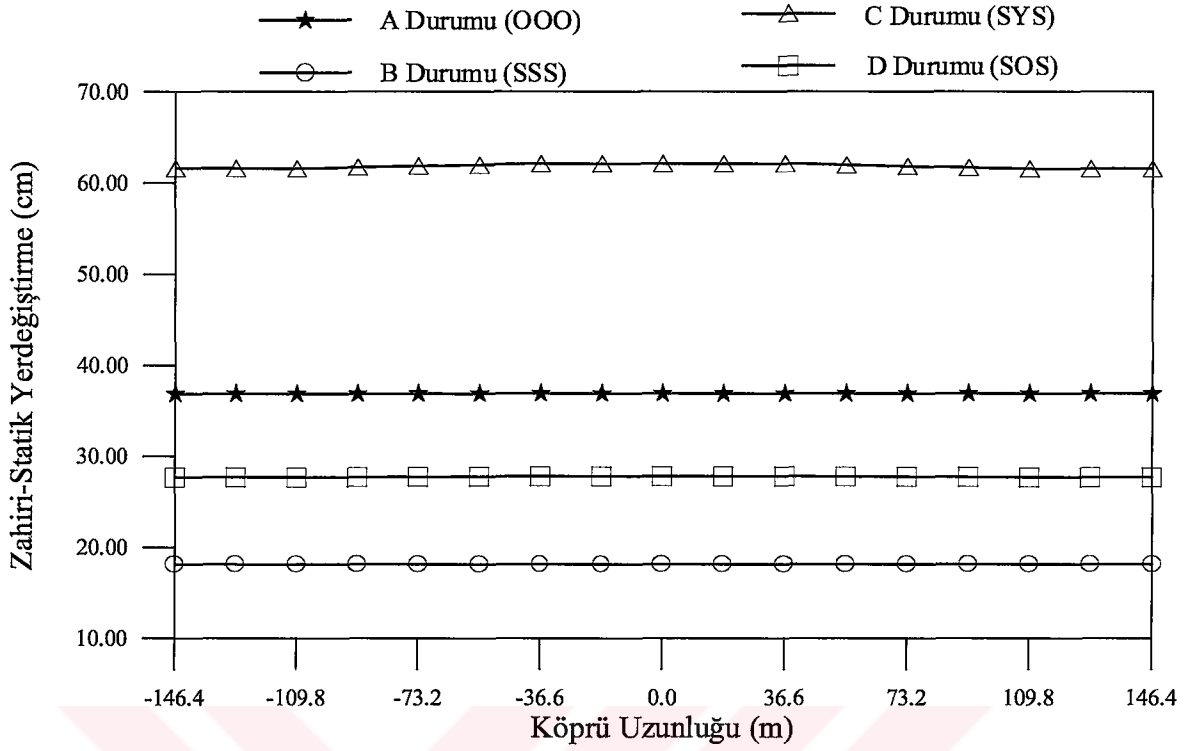
3.1.4.2.2.3. Normal Kuvvet Varyanslarının İncelenmesi

A, B, C ve D durumları için izolasyonsuz ve izolasyonlu karayolu köprü tabliyesine ait normal kuvvet varyans dağılımları Şekil 3.207-Şekil 3.214'de verilmektedir.

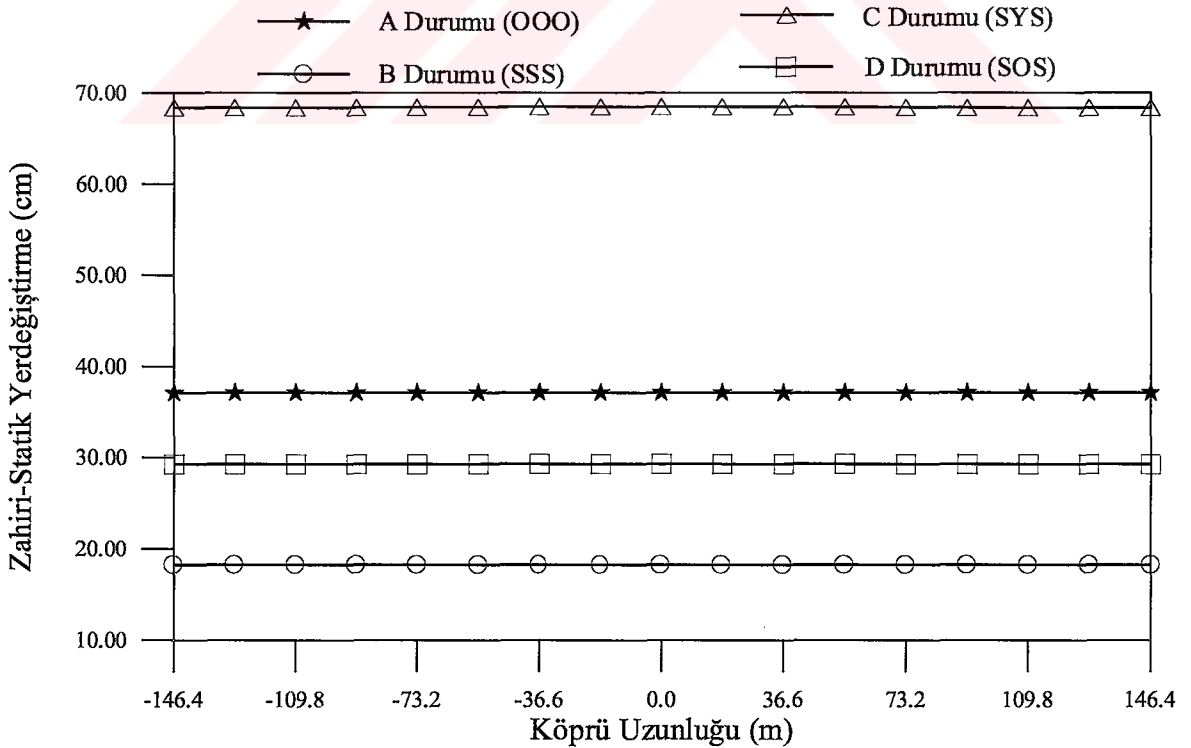
İzolasyonsuz köprü tabliye toplam normal kuvvetine en büyük katkıyı A, B, C ve D durumları için genellikle zahiri-statik bileşen sağlamaktadır. İzolasyonlu köprü için ise, tabliye toplam normal kuvvetine en büyük katkıyı genellikle A durumunda zahiri-statik ve dinamik bileşenler, B durumunda dinamik bileşen, C durumunda zahiri-statik bileşen ve D durumunda zahiri-statik ve dinamik bileşenler sağlamaktadır. A durumunda (Şekil 3.207-3.208); izolasyonsuz köprü tabliye toplam normal kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %92.68, dinamik bileşenin katkısı %4.03 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %3.29 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam normal kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %24.61, dinamik bileşenin katkısı %66.99 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %8.40 olmaktadır. B durumunda (Şekil 3.209-3.210); izolasyonsuz köprü tabliye toplam normal kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %82.03, dinamik bileşenin katkısı %11.62 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %6.35 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam normal kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %9.85, dinamik bileşenin katkısı %82.73 ve kovaryans bileşenin katkısı ise %7.42 olmaktadır. C durumunda (Şekil 3.211-3.212); izolasyonsuz köprü tabliye toplam normal kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %98.16,

dinamik bileşenin katkısı %0.81 ve kovaryans bileşeninin katkısı ise %1.03 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam normal kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %90.56, dinamik bileşenin katkısı %8.87 ve kovaryans bileşeninin katkısı ise %0.57 olmaktadır. D durumunda (Şekil 3.213-3.214); izolasyonsuz köprü tabliye toplam normal kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %88.56, dinamik bileşenin katkısı %6.40 ve kovaryans bileşeninin katkısı ise %5.04 olmaktadır. İzolasyonlu köprü tabliye toplam normal kuvvetine zahiri-statik bileşenin katkısı %34.54, dinamik bileşenin katkısı %67.67 ve kovaryans bileşeninin katkısı ise %-2.21 olmaktadır.

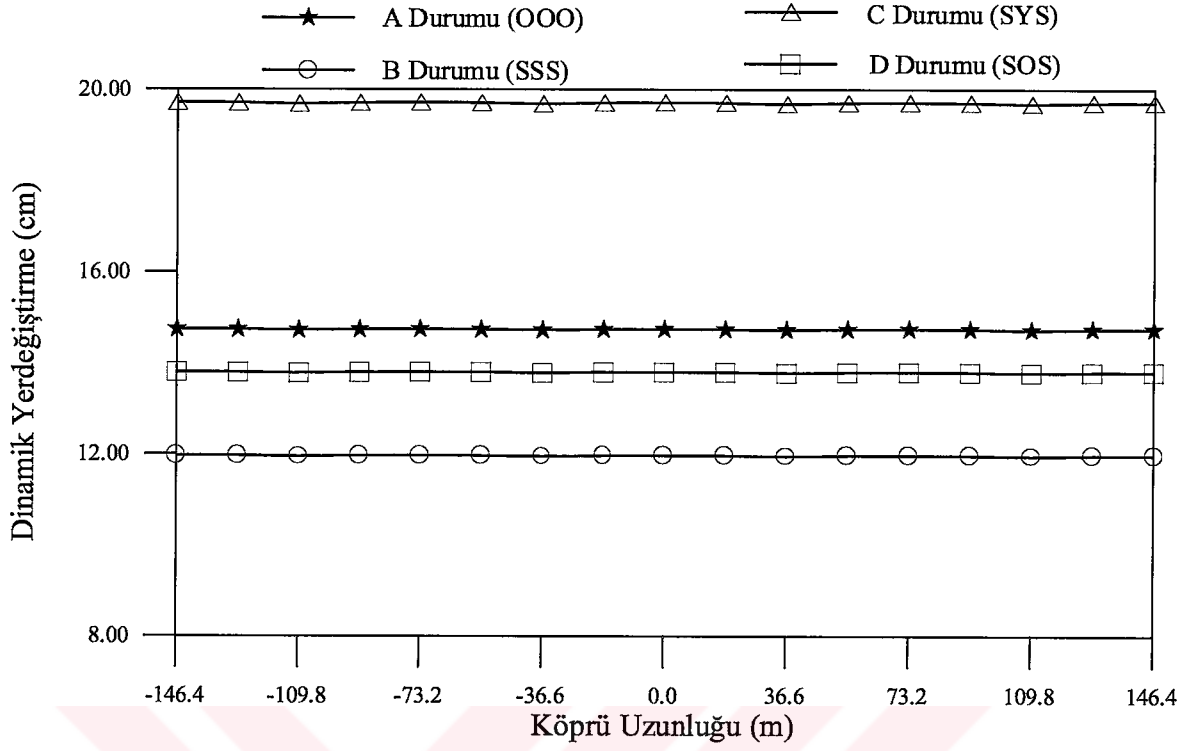




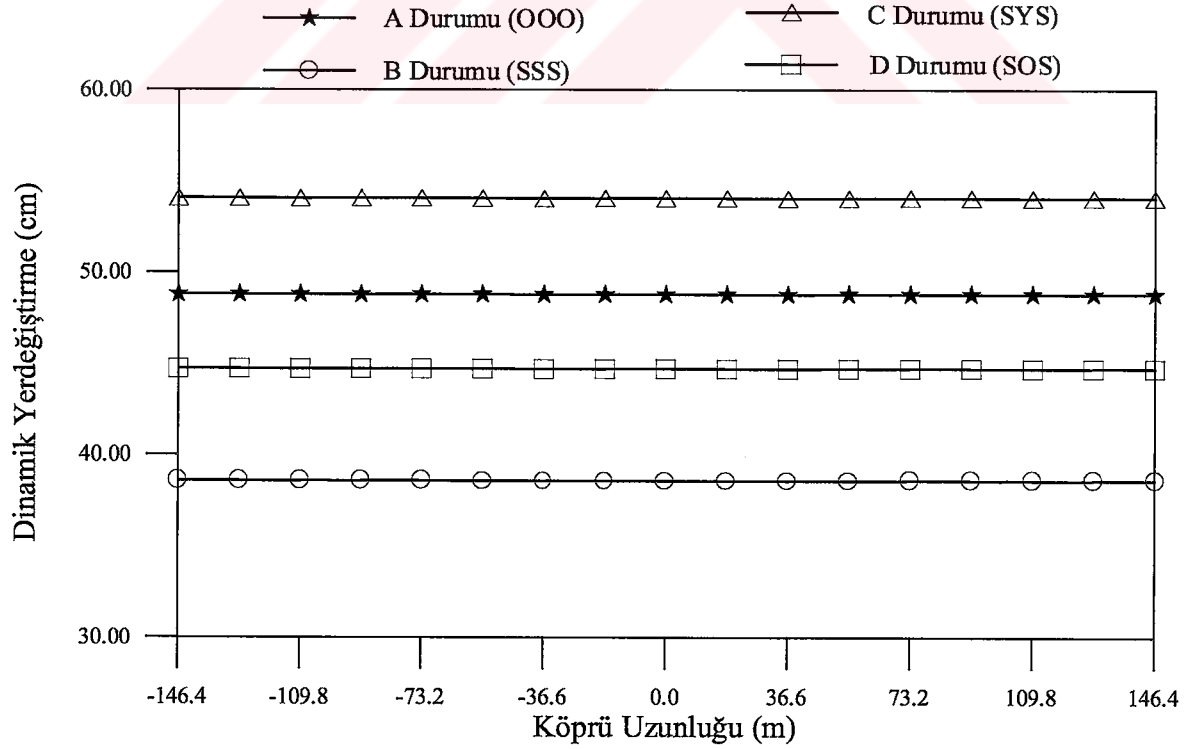
Şekil 3.159. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri



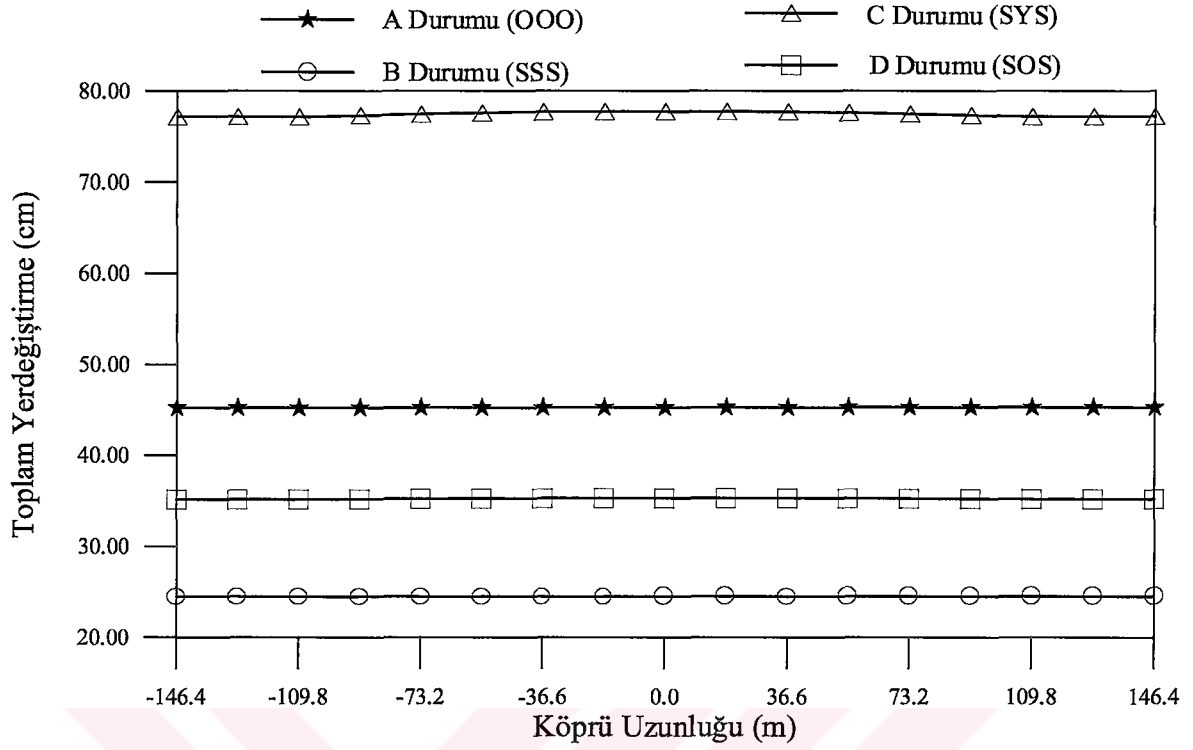
Şekil 3.160. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri



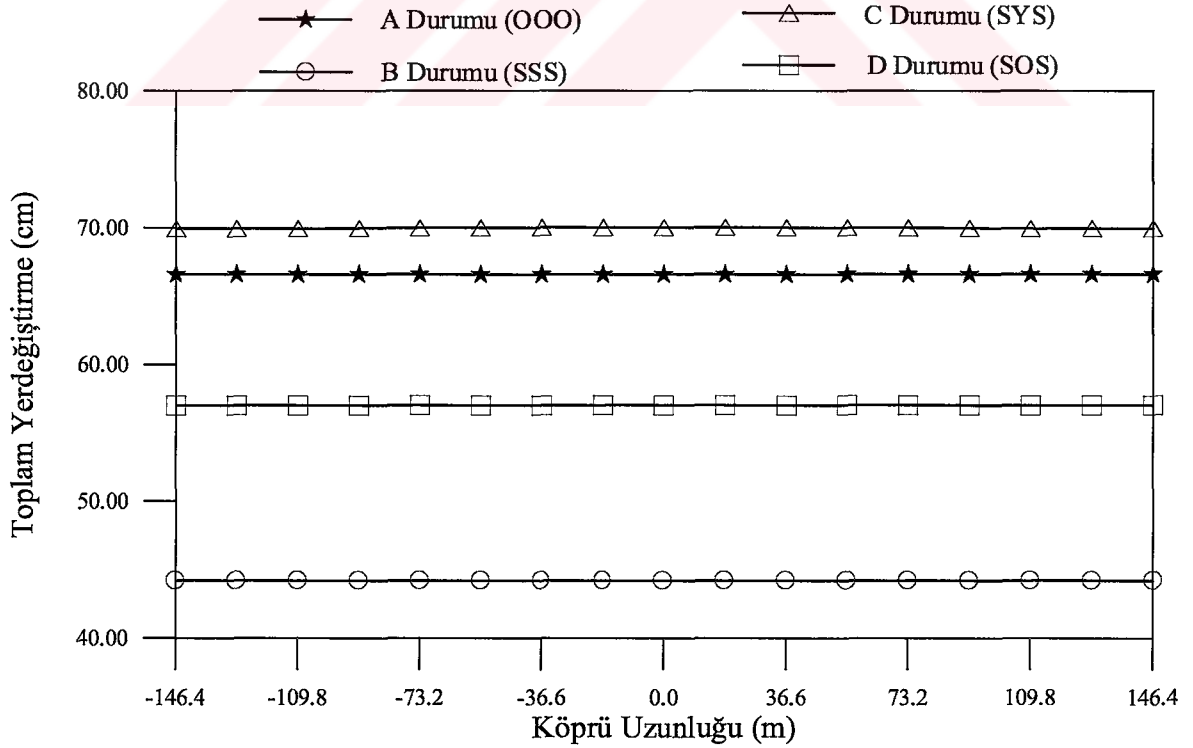
Şekil 3.161. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün dinamik yatay yerdeğiştirmeleri



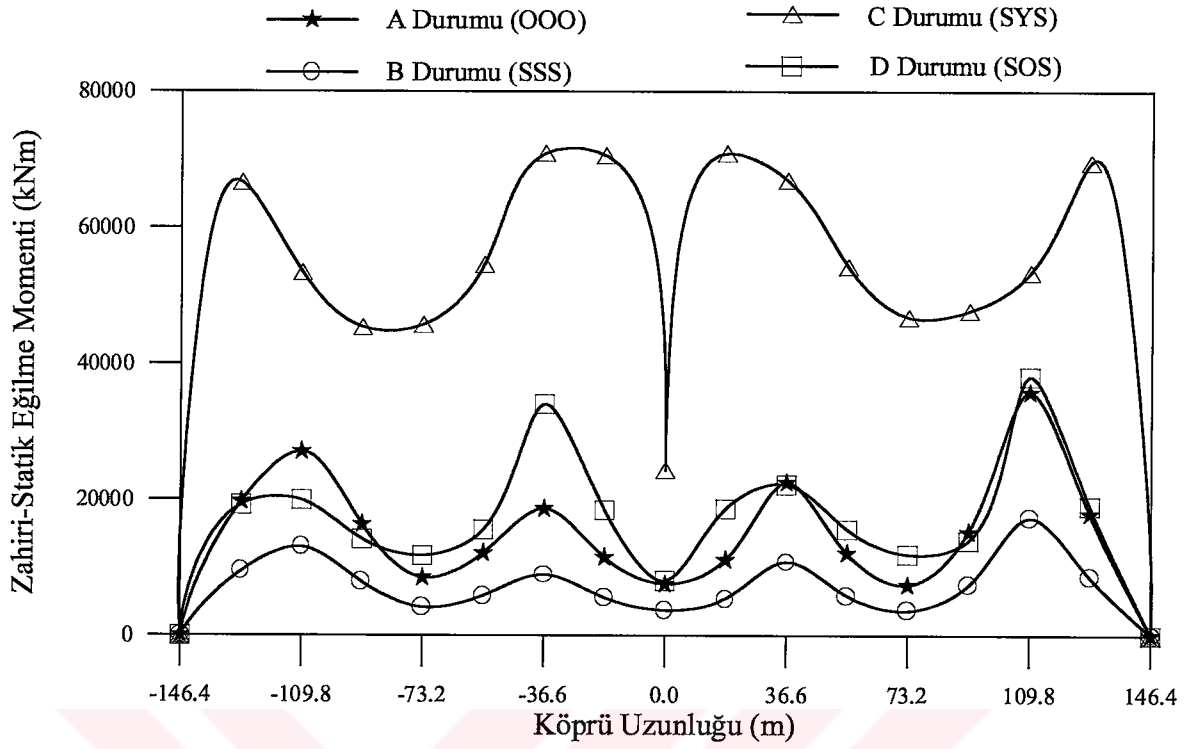
Şekil 3.162. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün dinamik yatay yerdeğiştirmeleri



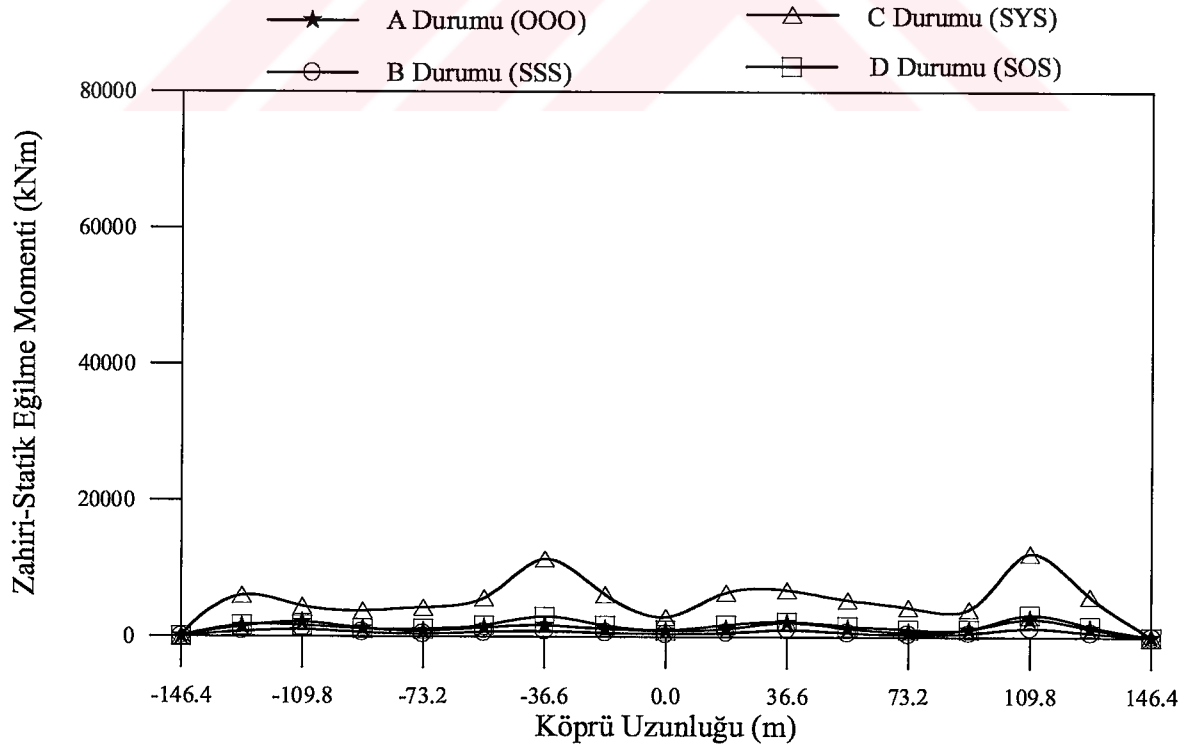
Şekil 3.163. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün toplam yatay yerdeğiştirmeleri



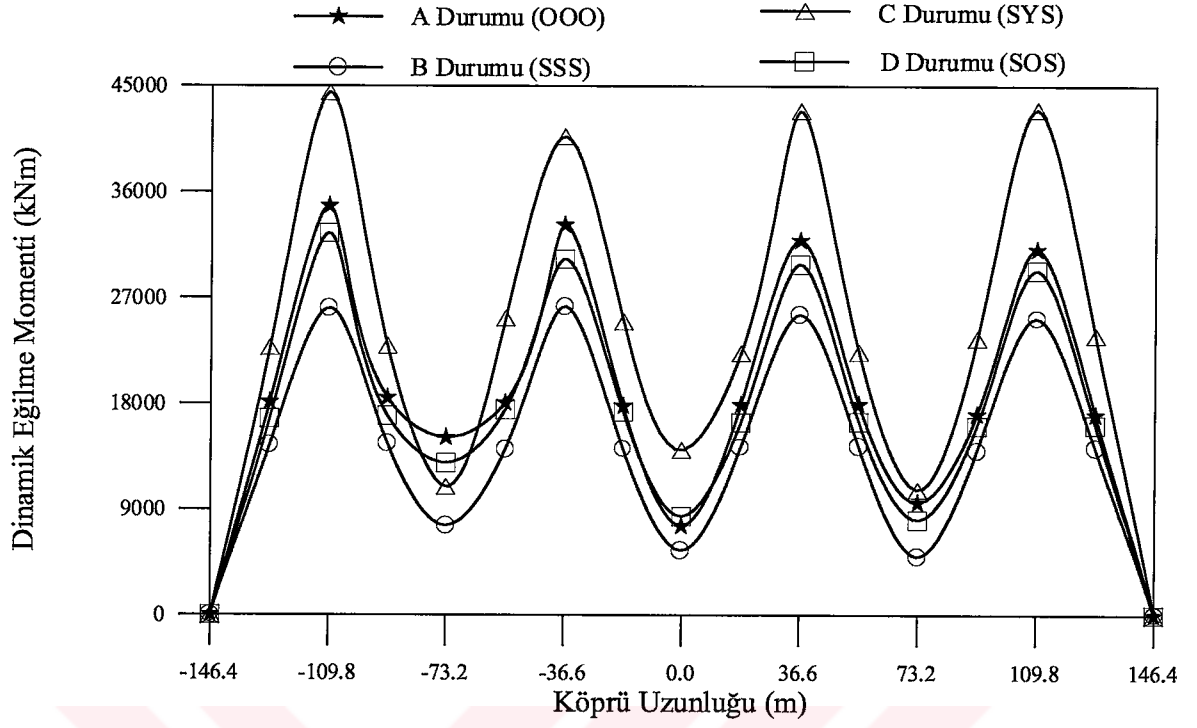
Şekil 3.164. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün toplam yatay yerdeğiştirmeleri



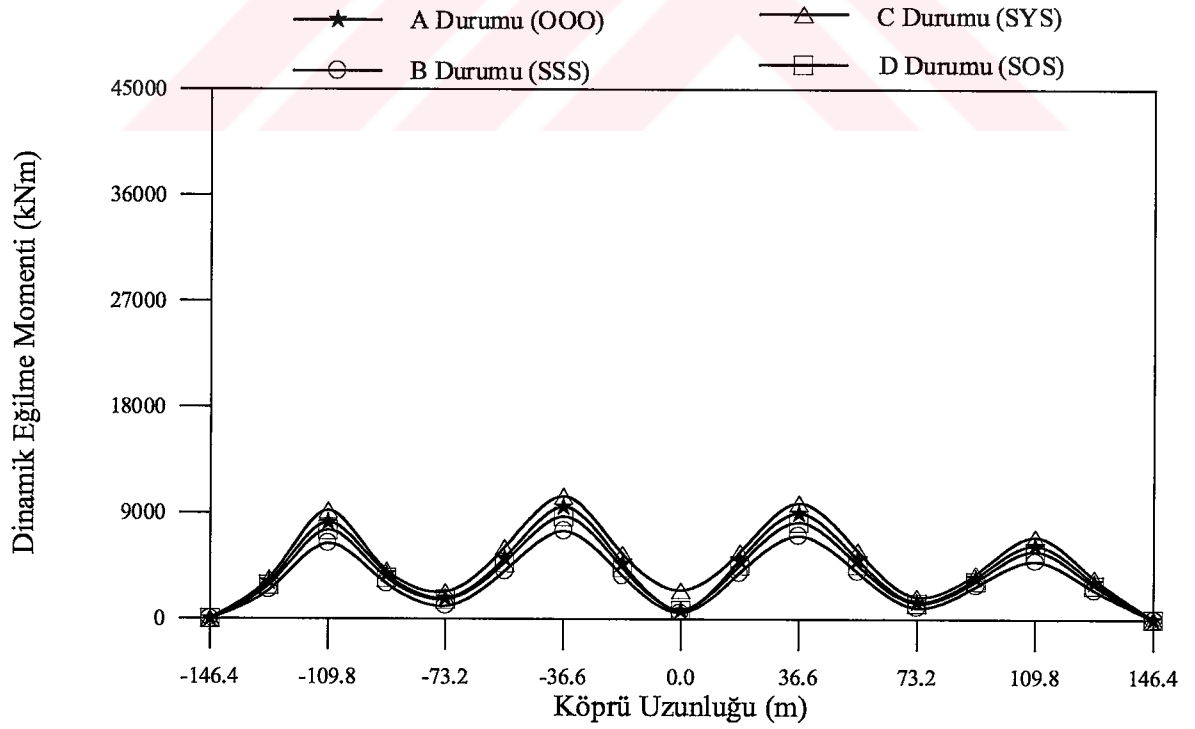
Şekil 3.165. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün zahiri-statik eğilme momentleri



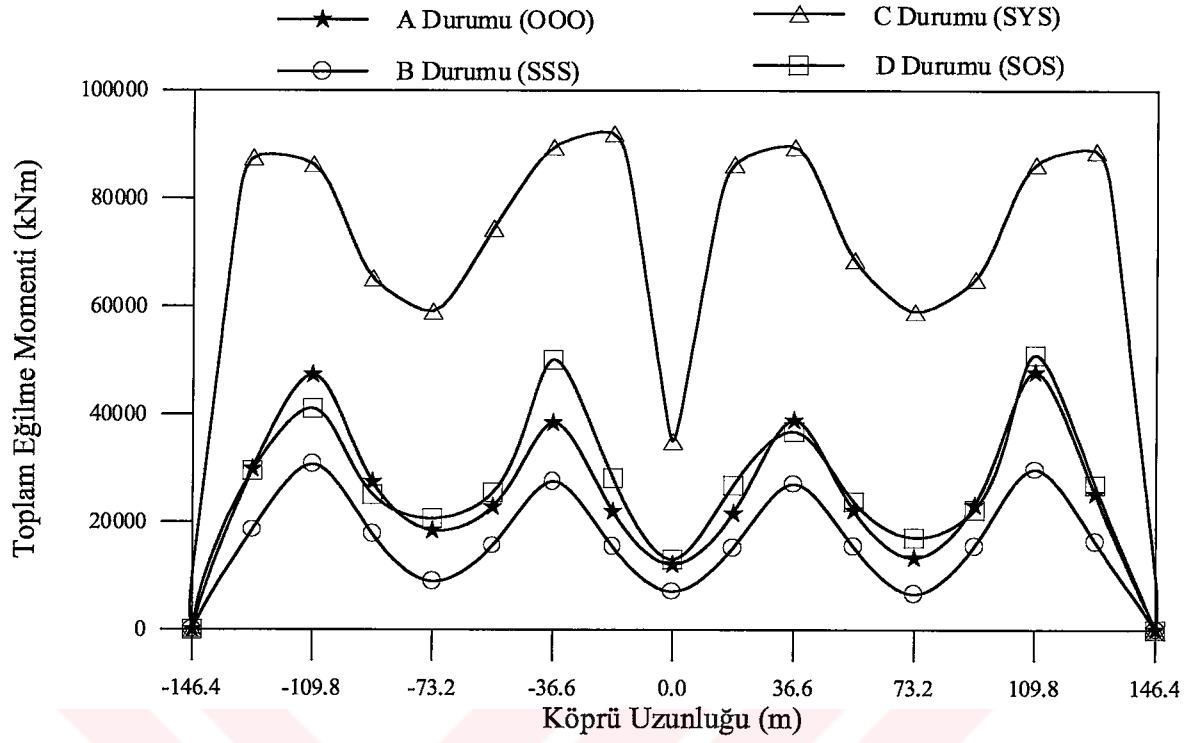
Şekil 3.166. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün zahiri-statik eğilme momentleri



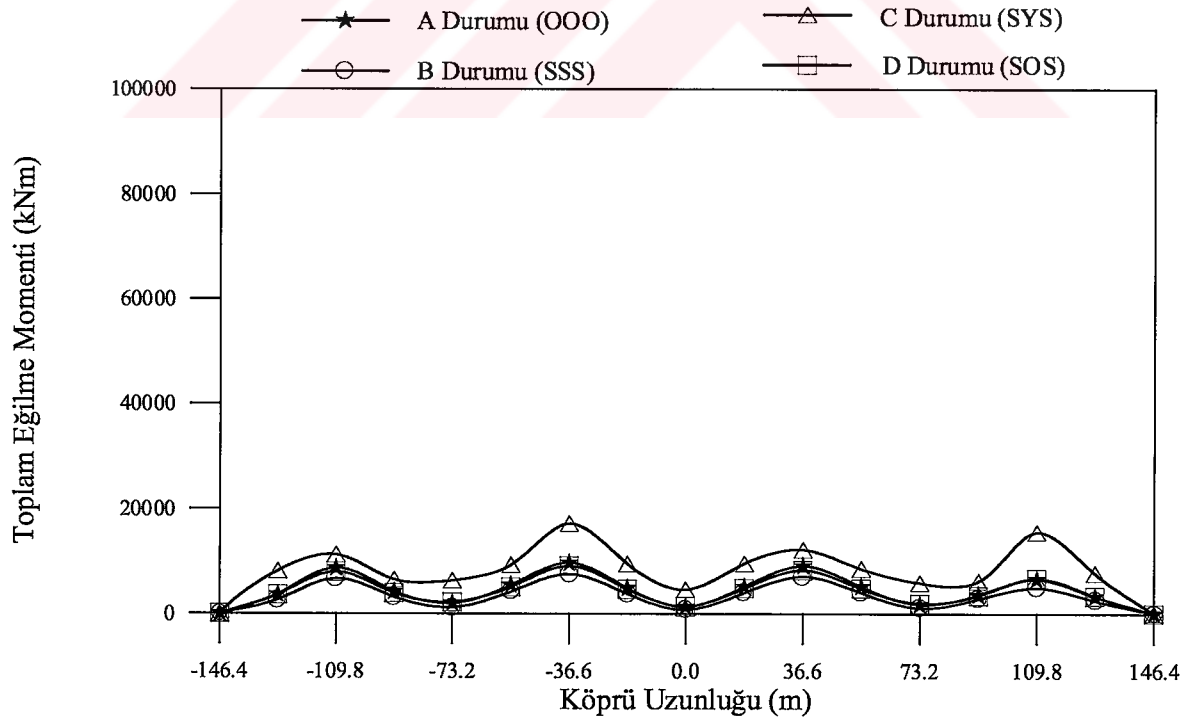
Şekil 3.167. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün dinamik eğilme momentleri



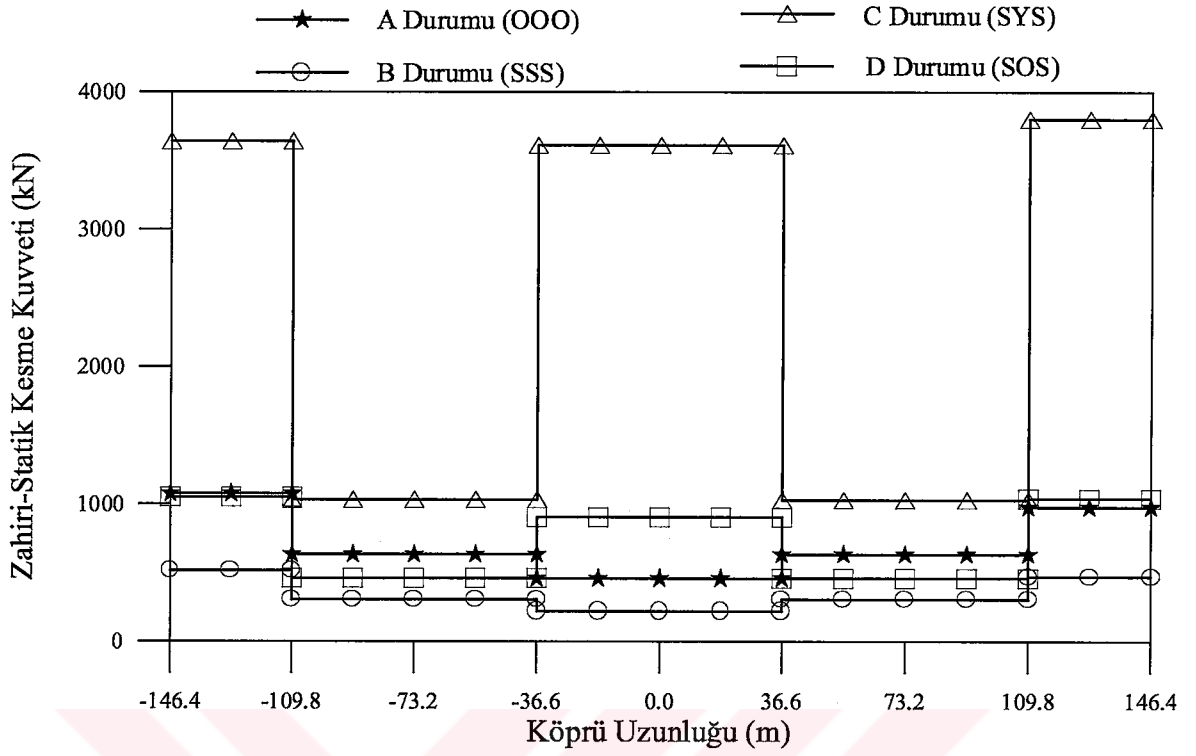
Şekil 3.168. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün dinamik eğilme momentleri



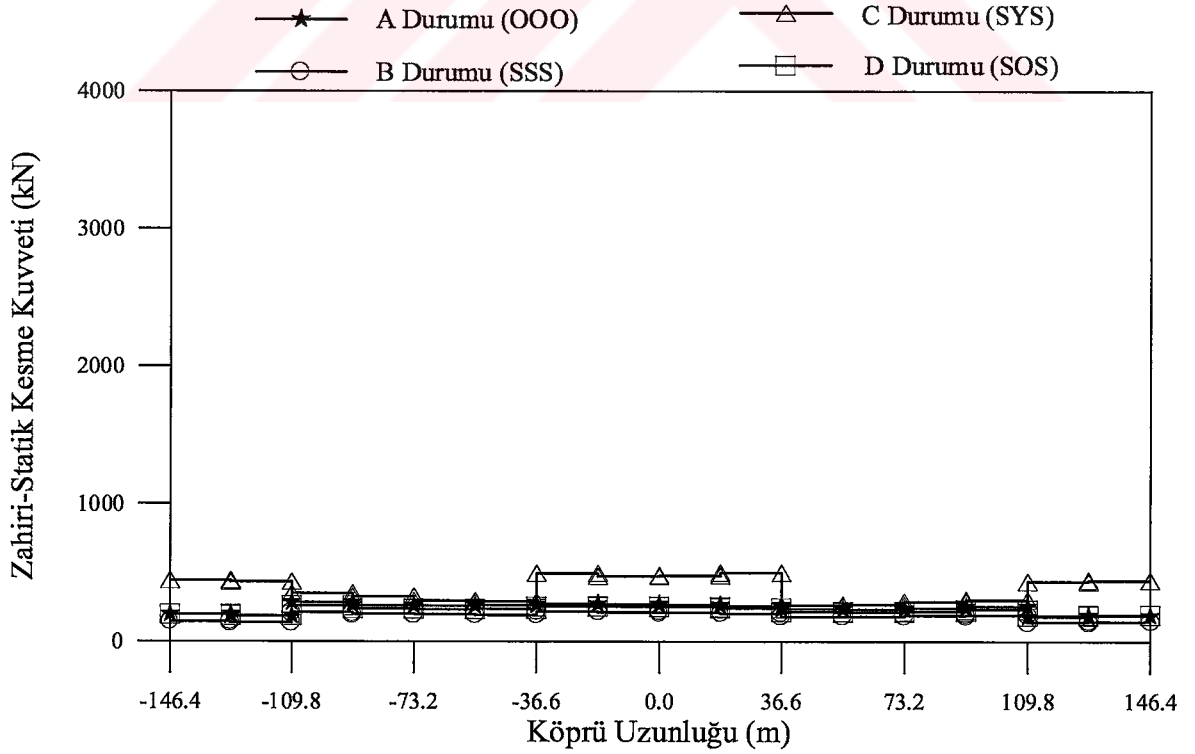
Şekil 3.169. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün toplam eğilme momentleri



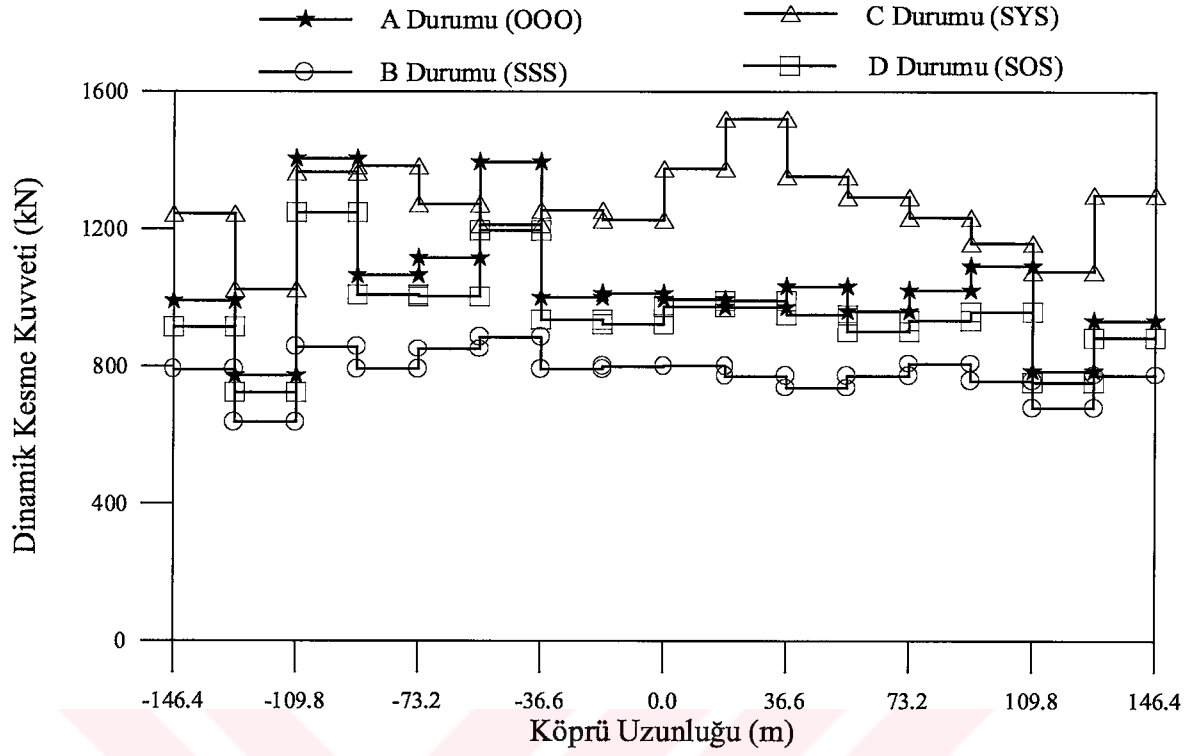
Şekil 3.170. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün toplam eğilme momentleri



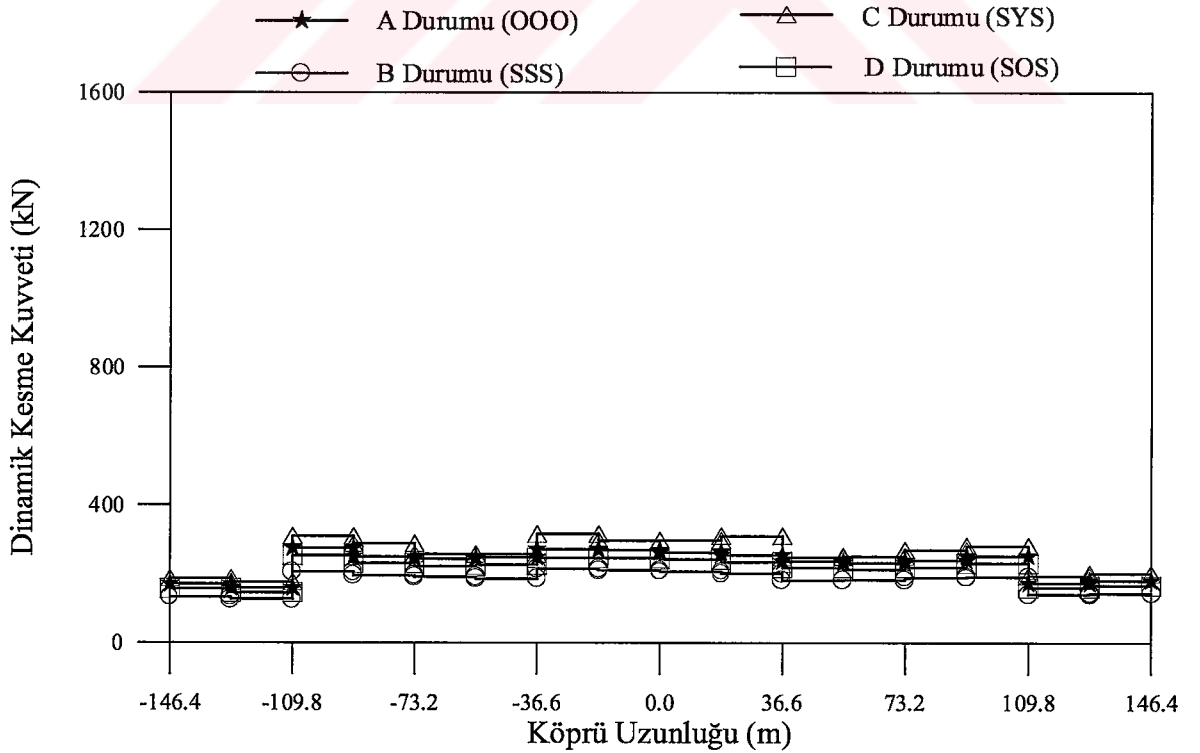
Şekil 3.171. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün zahiri-statik kesme kuvvetleri



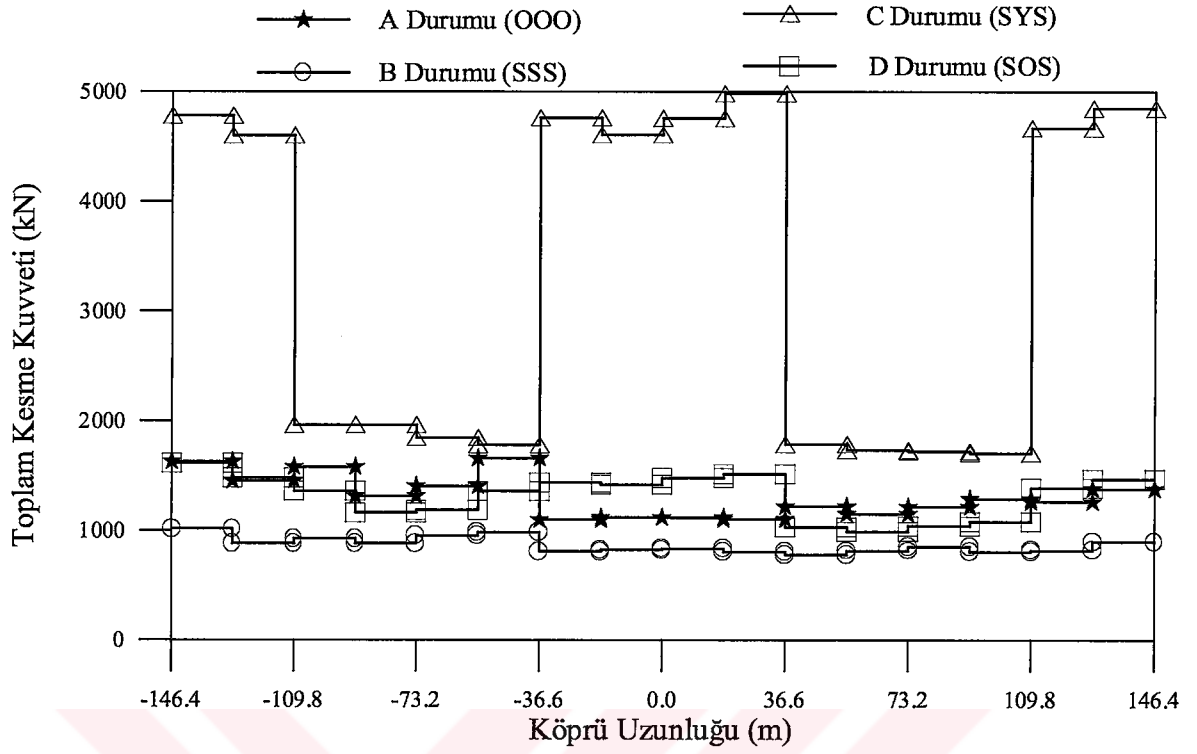
Şekil 3.172. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün zahiri-statik kesme kuvvetleri



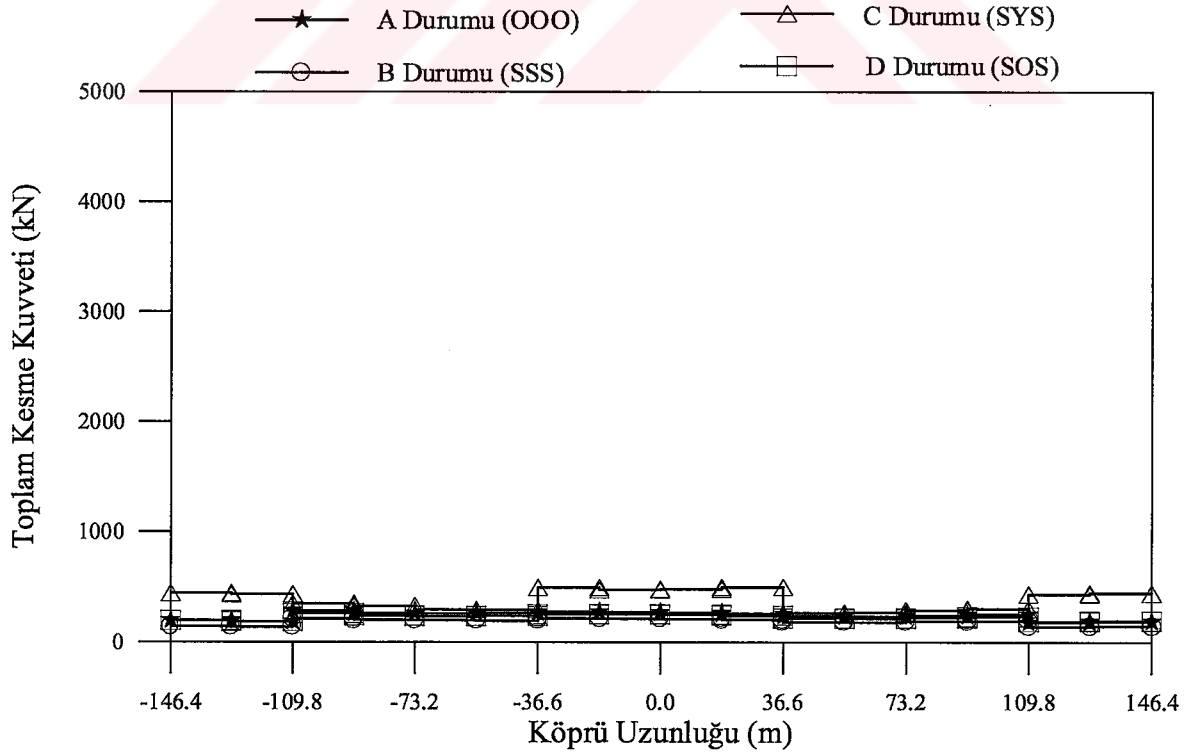
Şekil 3.173. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün dinamik kesme kuvvetleri



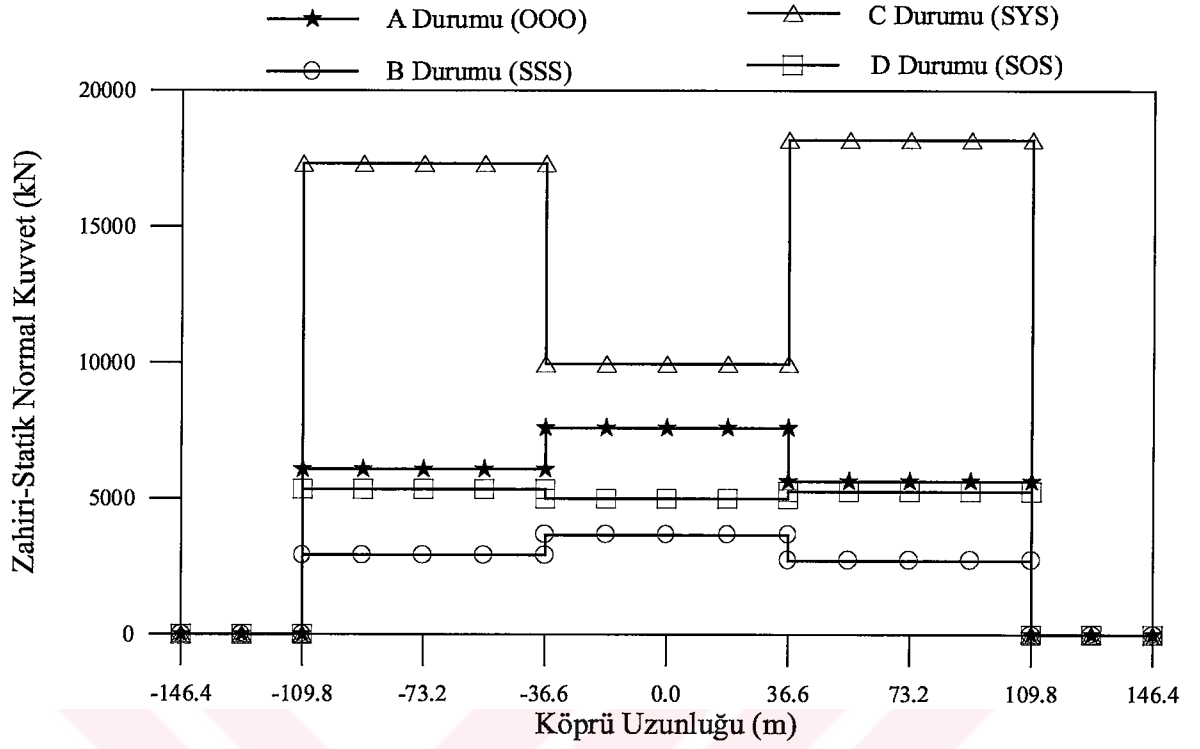
Şekil 3.174. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün dinamik kesme kuvvetleri



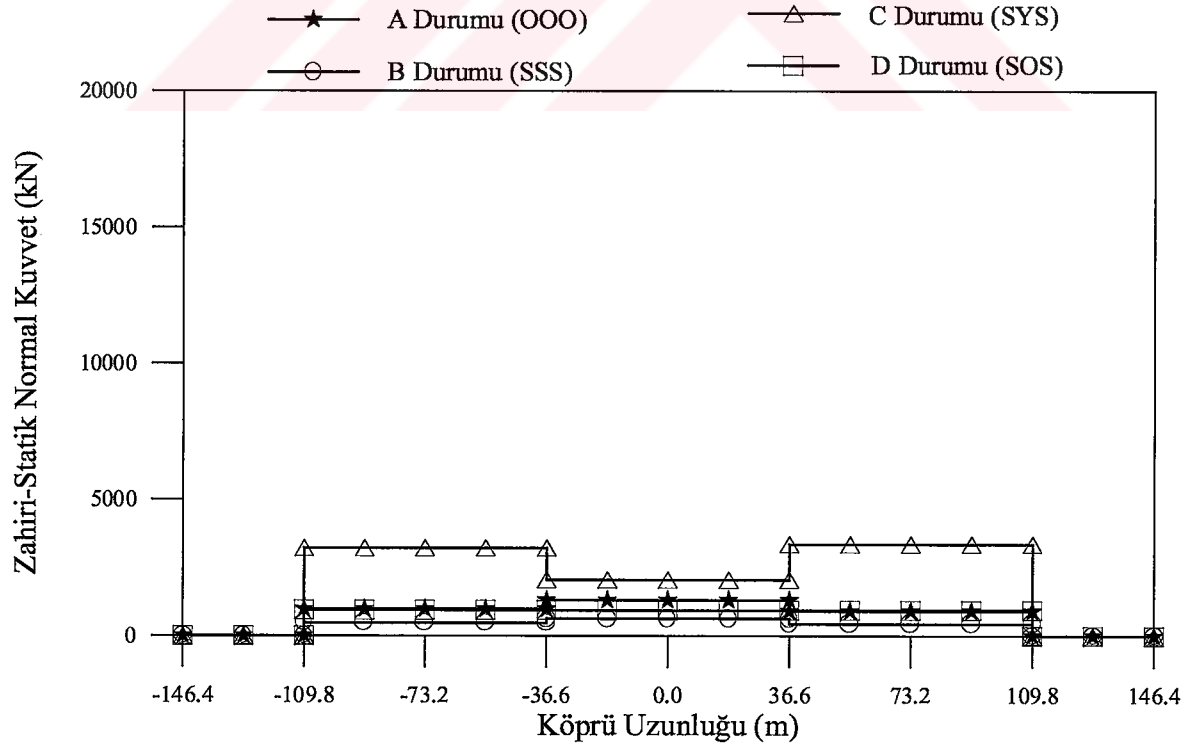
Şekil 3.175. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün toplam kesme kuvvetleri



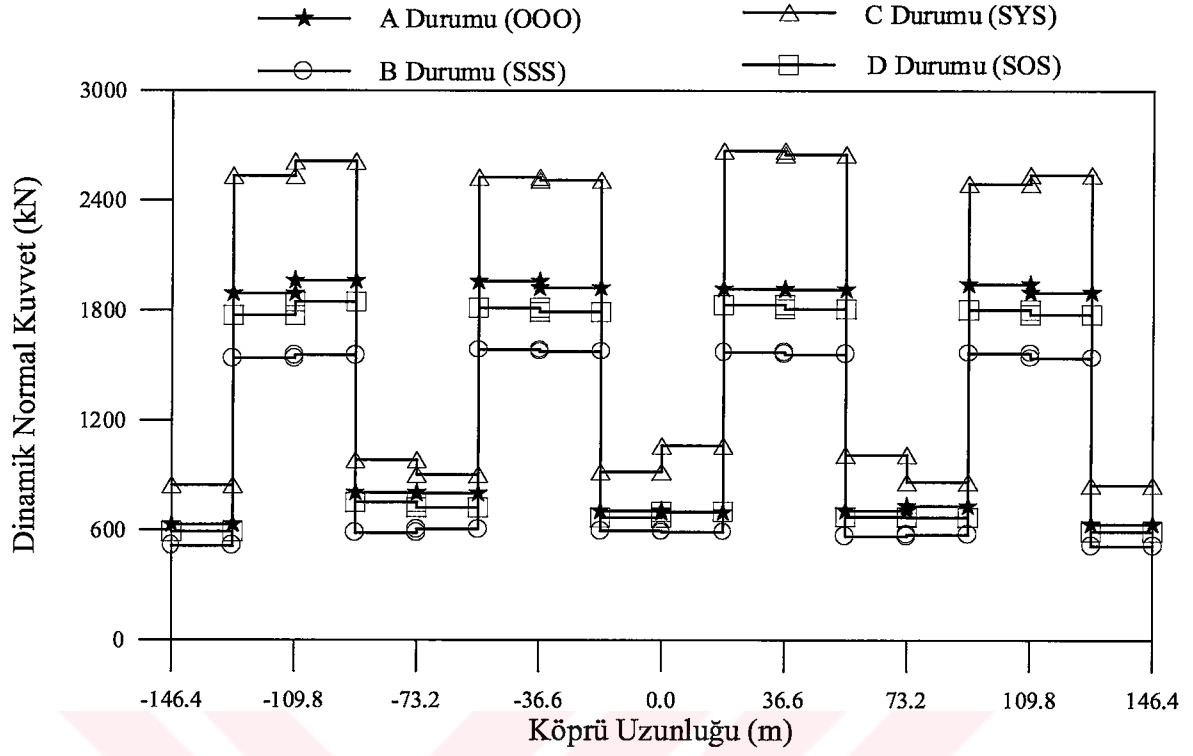
Şekil 3.176. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün toplam kesme kuvvetleri



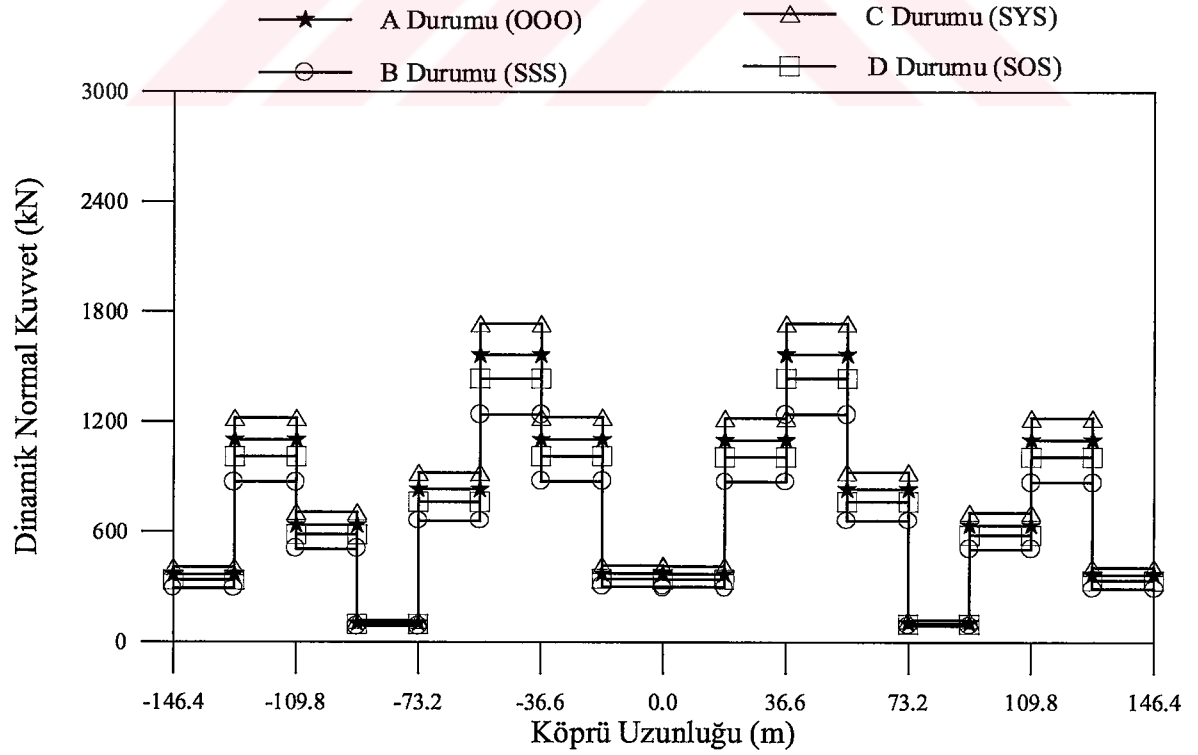
Şekil 3.177. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün zahiri-statik normal kuvvetleri



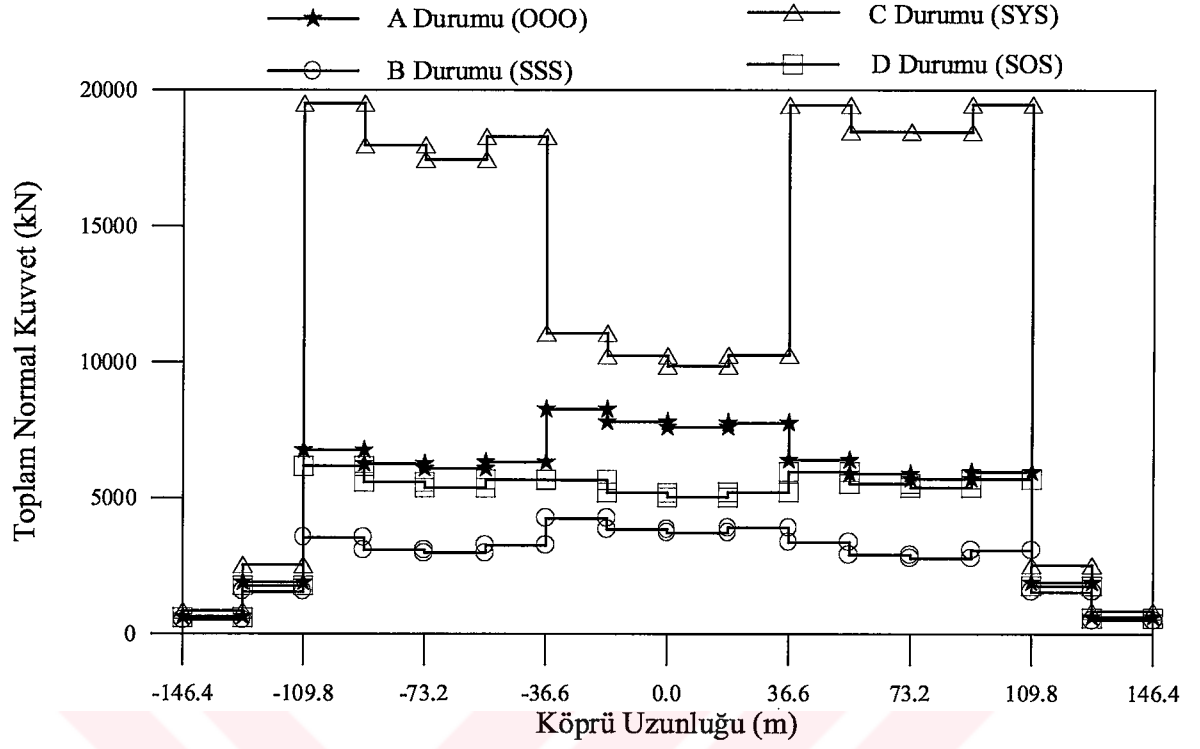
Şekil 3.178. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün zahiri-statik normal kuvvetleri



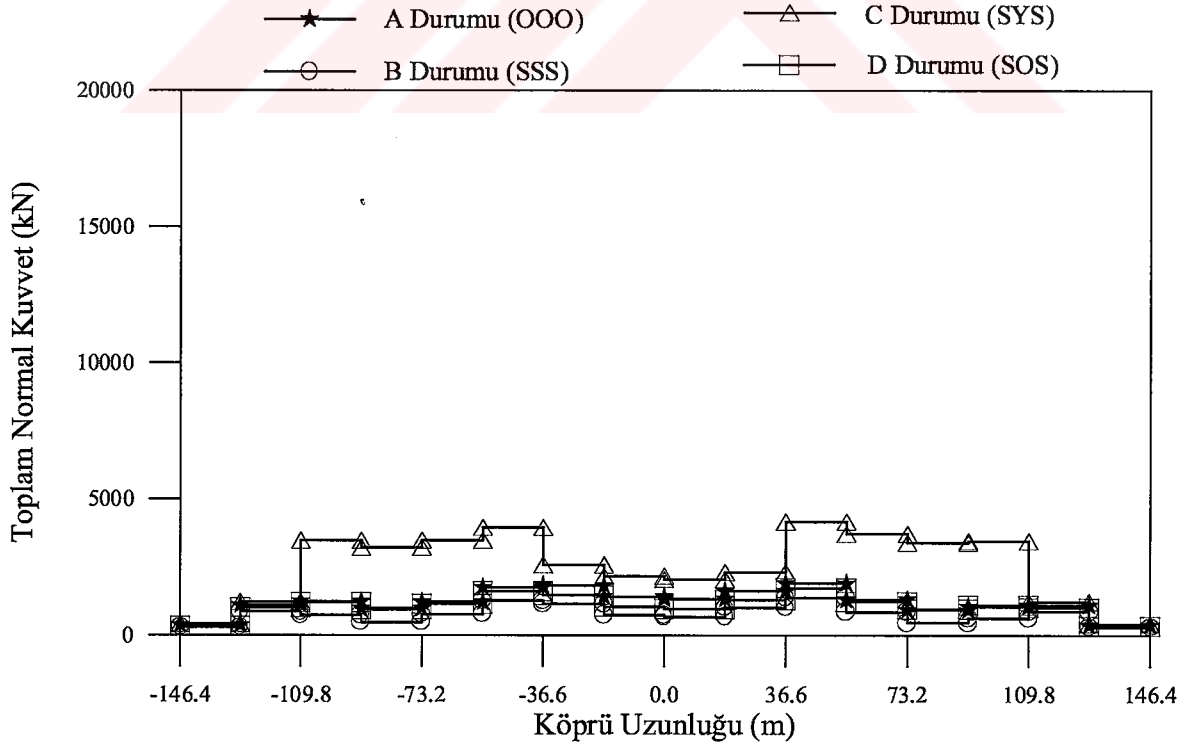
Şekil 3.179. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün dinamik normal kuvvetleri



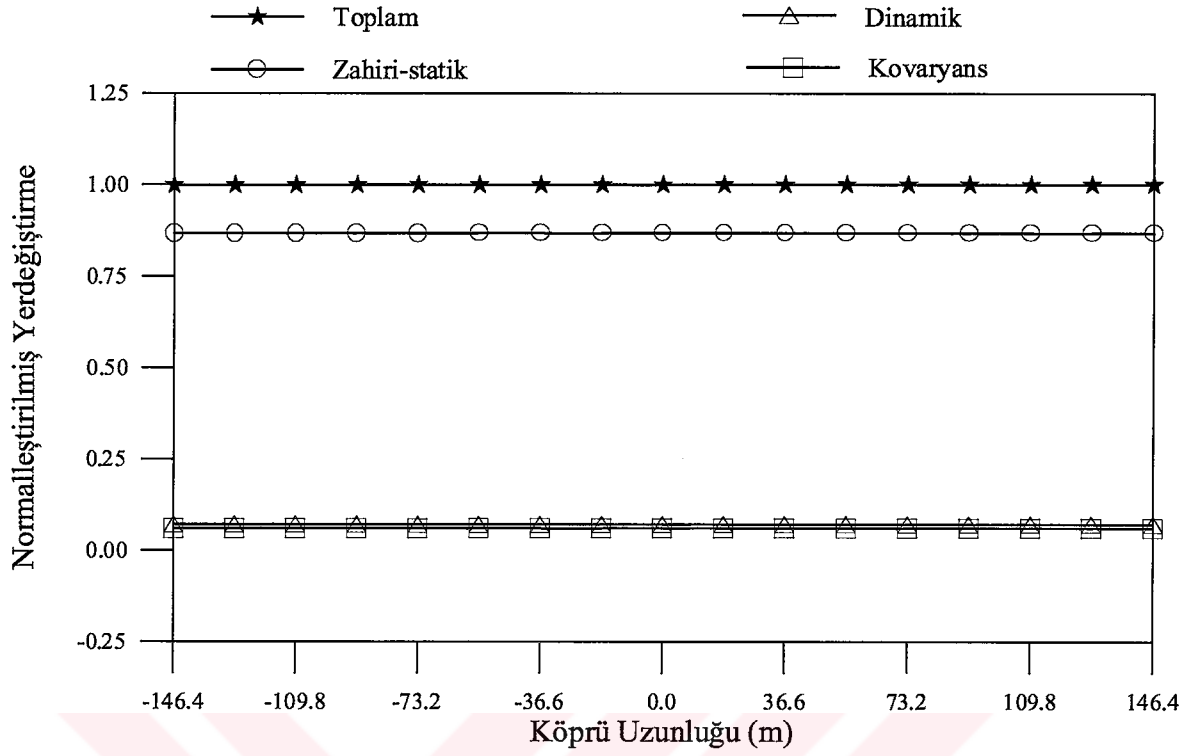
Şekil 3.180. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün dinamik normal kuvvetleri



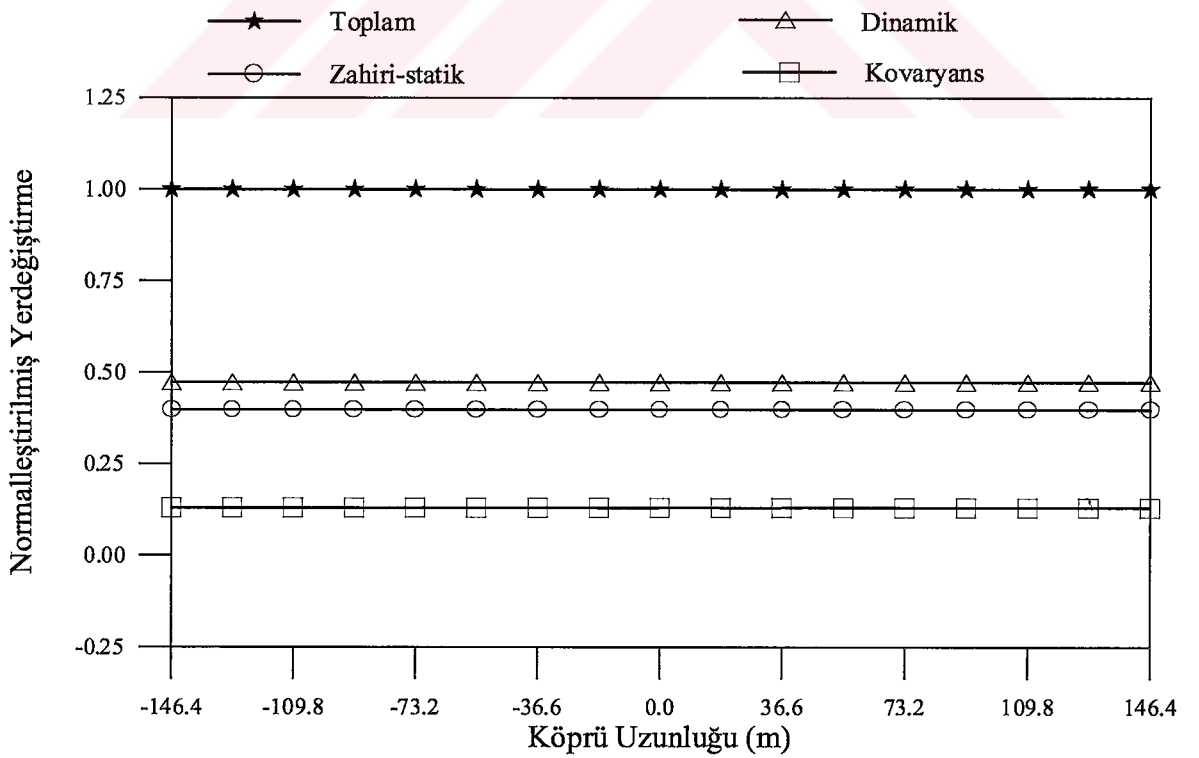
Şekil 3.181. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün toplam normal kuvvetleri



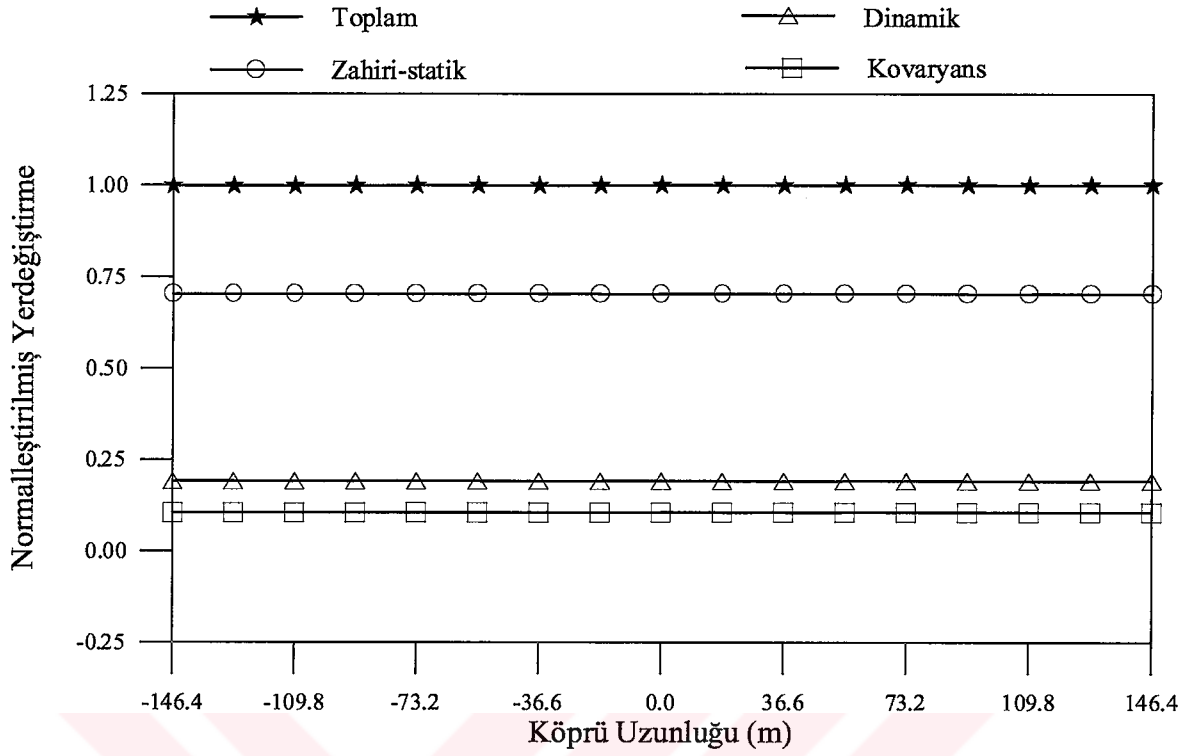
Şekil 3.182. Homojen ve homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün toplam normal kuvvetleri



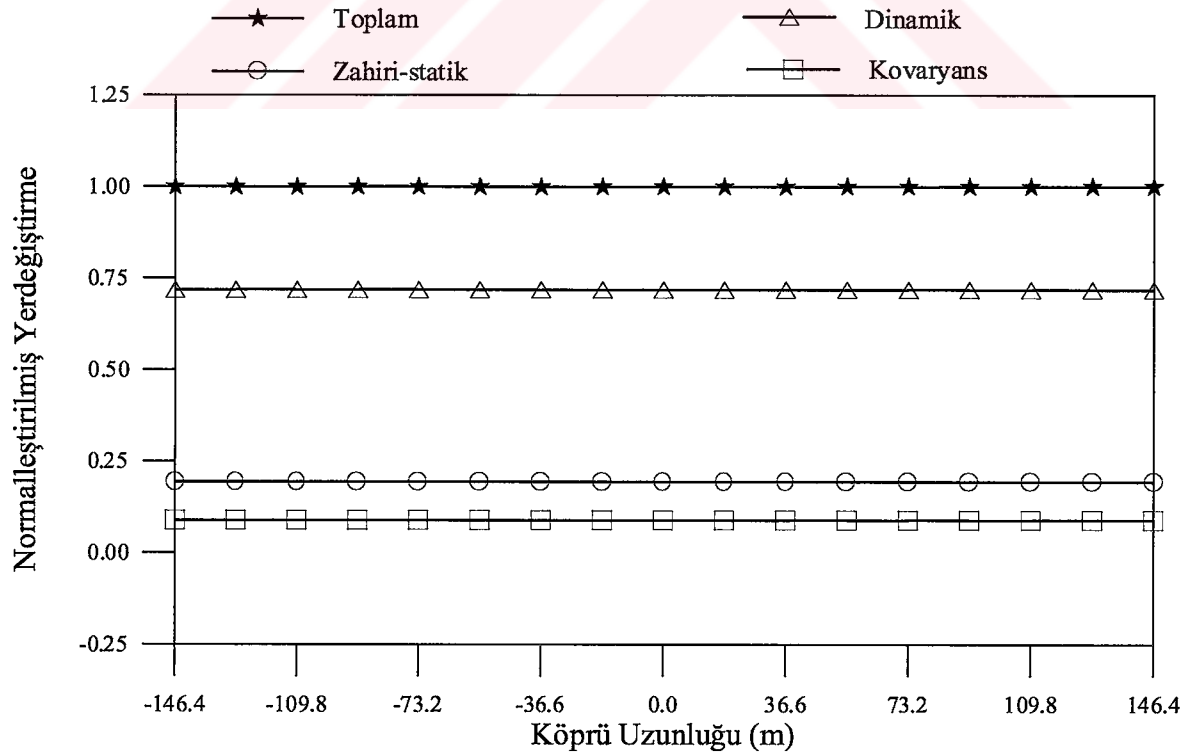
Şekil 3.183. Homojen orta zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları (A durumu-OOO)



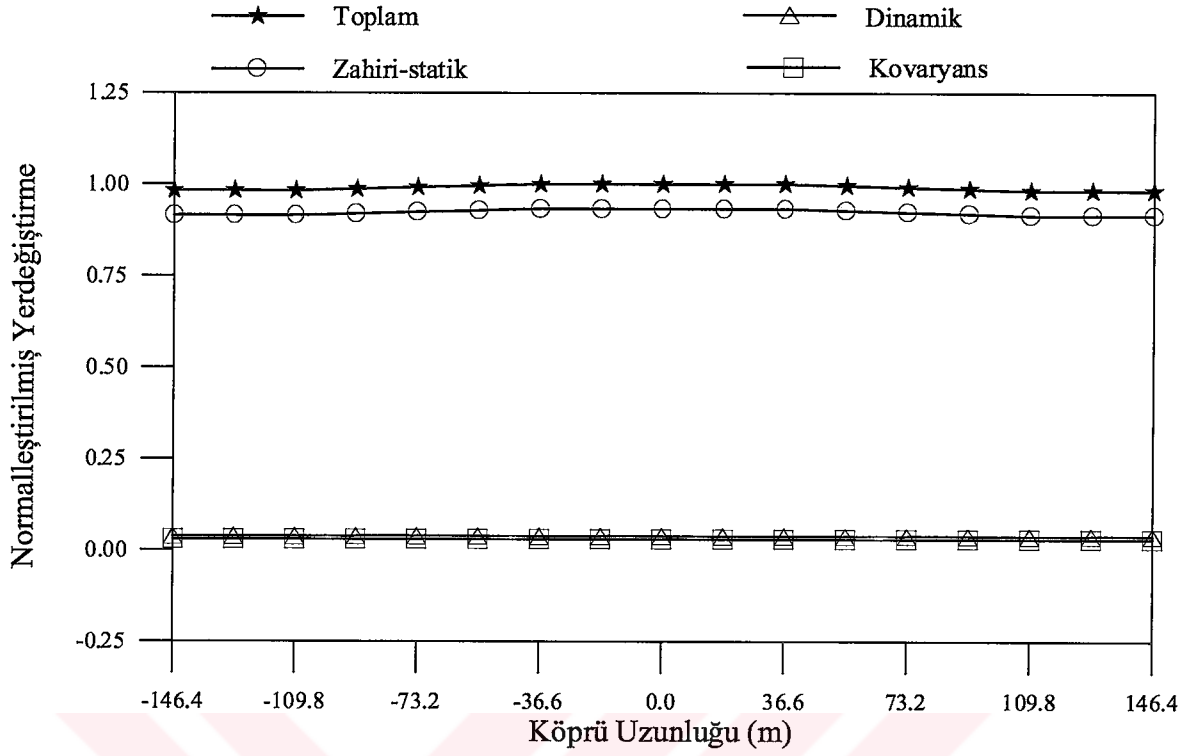
Şekil 3.184. Homojen orta zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları (A durumu-OOO)



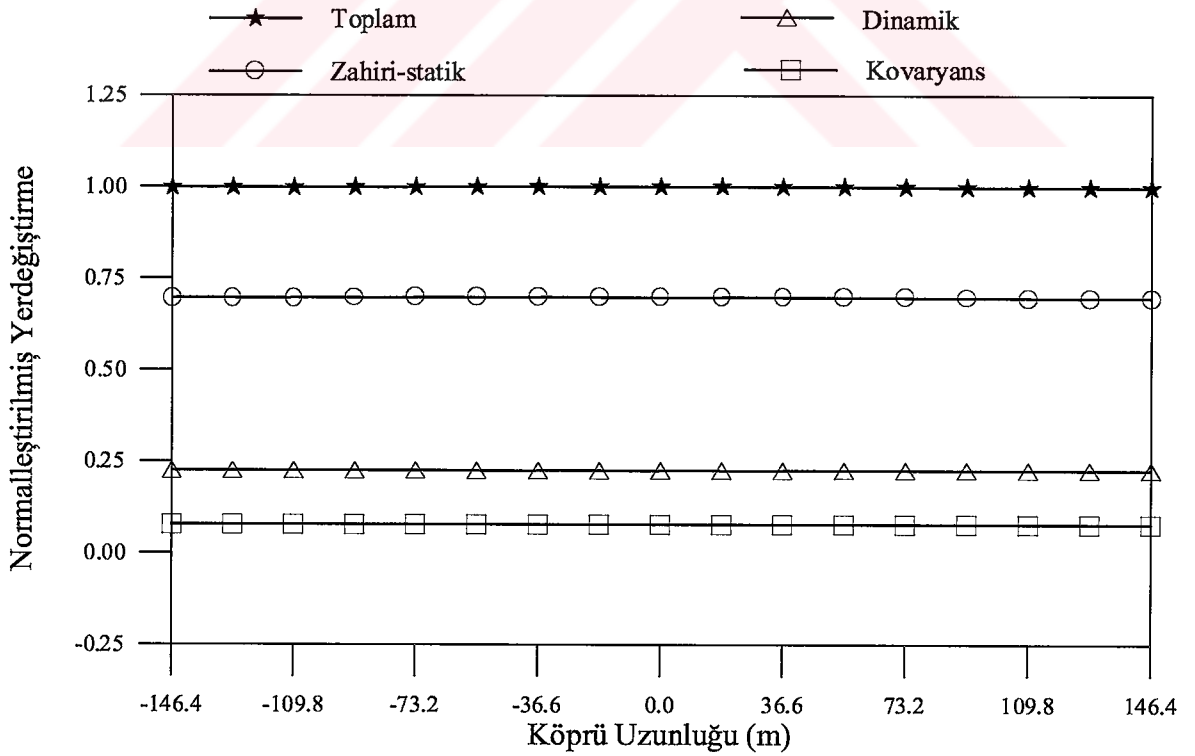
Şekil 3.185. Homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları (B durumu-SSS)



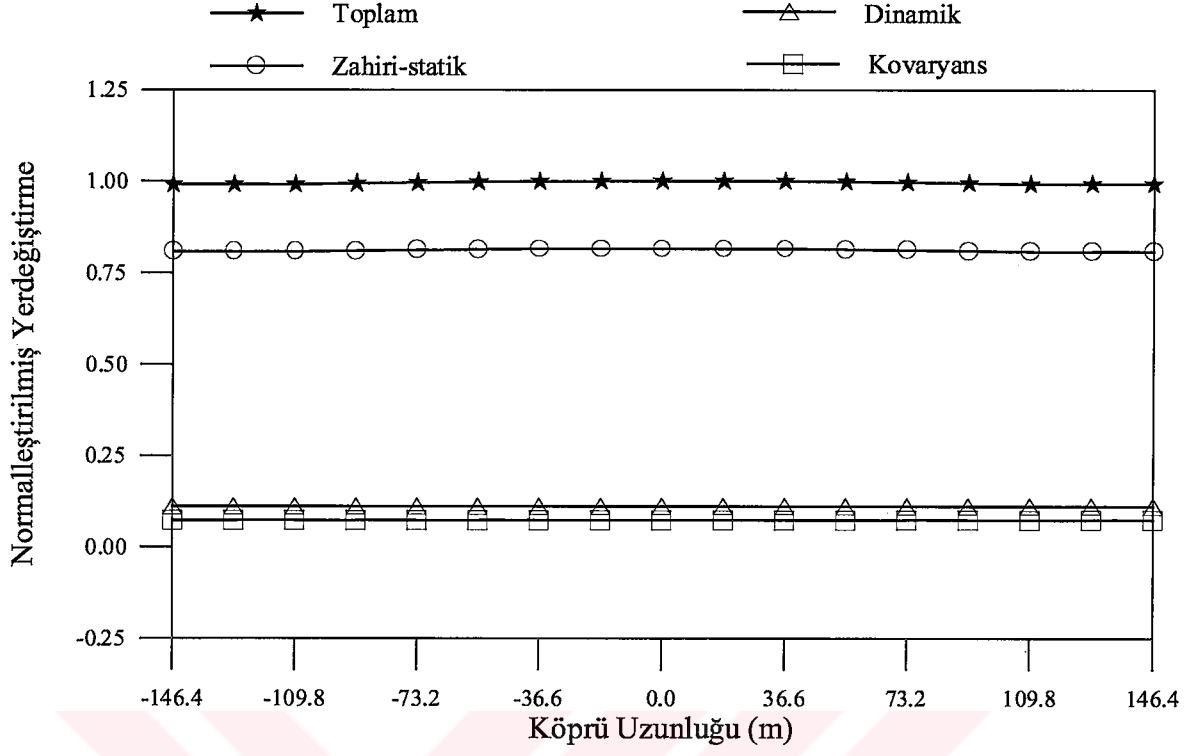
Şekil 3.186. Homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları (B durumu-SSS)



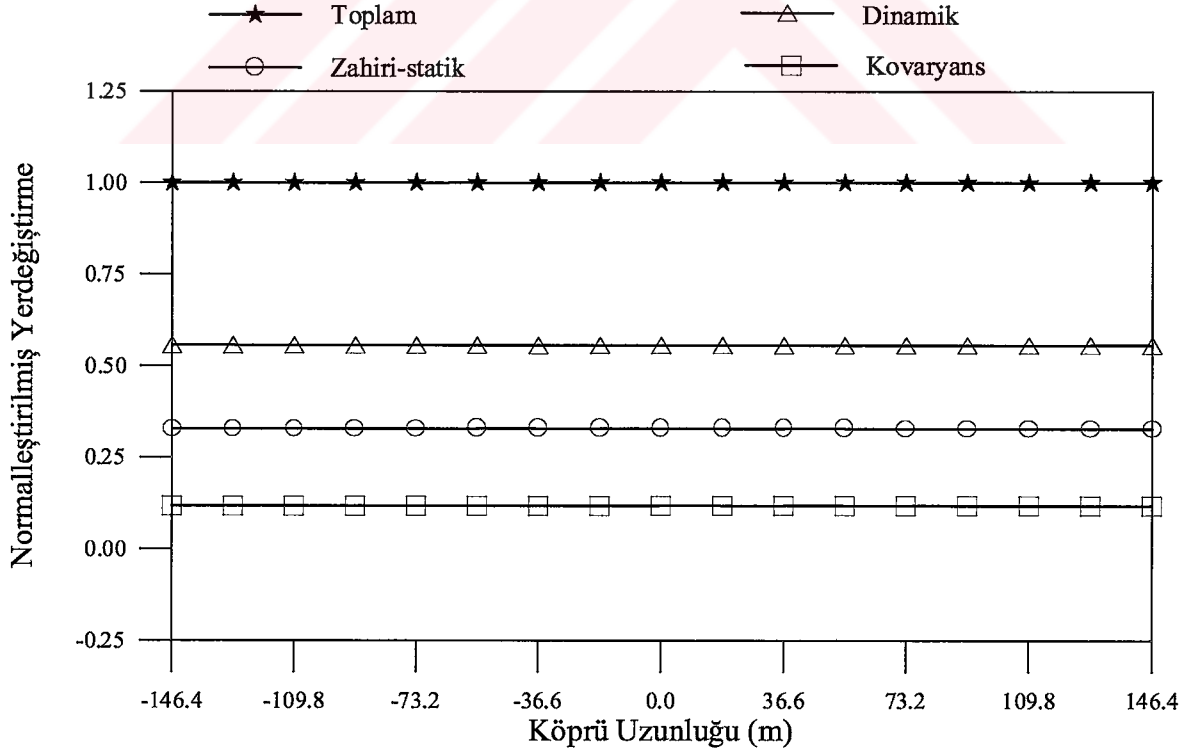
Şekil 3.187. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları (C durumu-SYS)



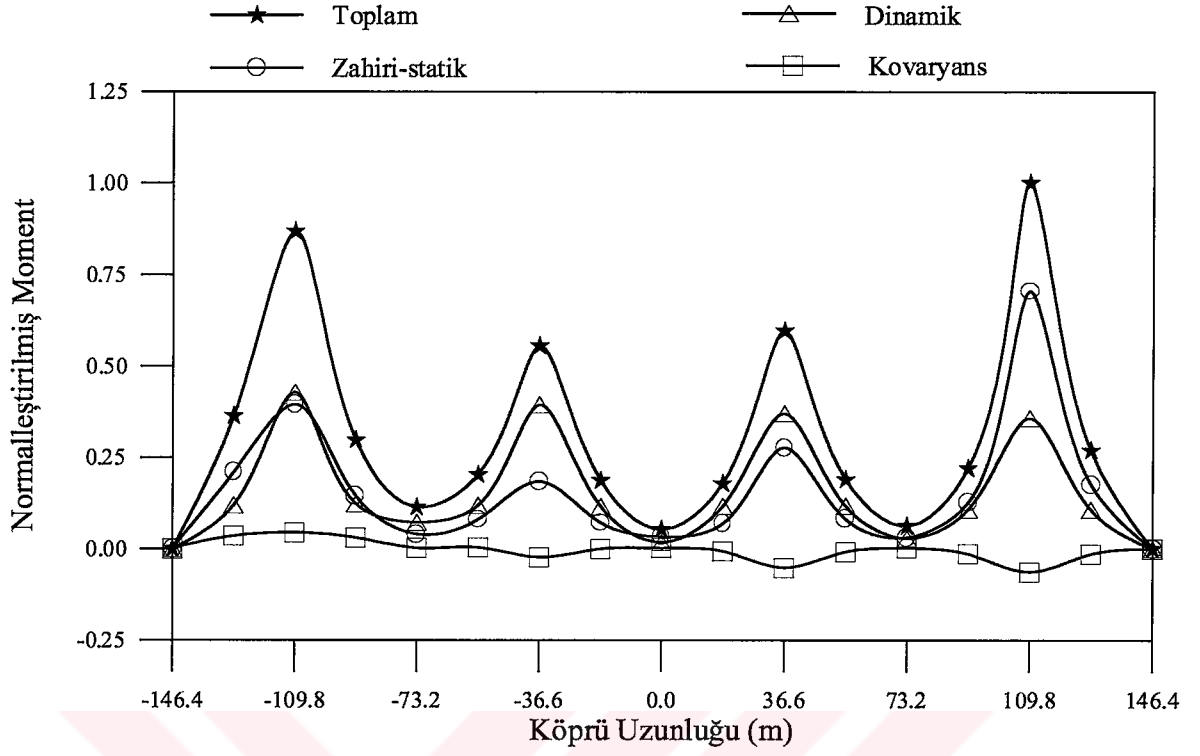
Şekil 3.188. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları (C durumu-SYS)



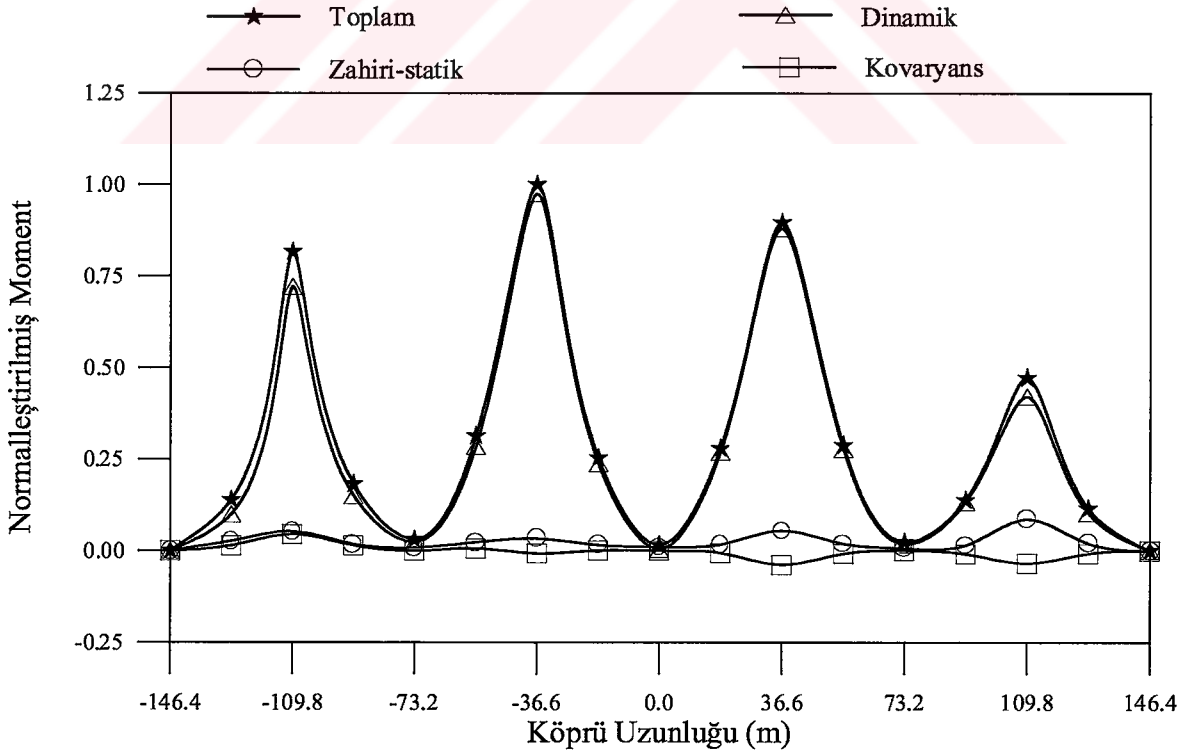
Şekil 3.189. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları (D durumu-SOS)



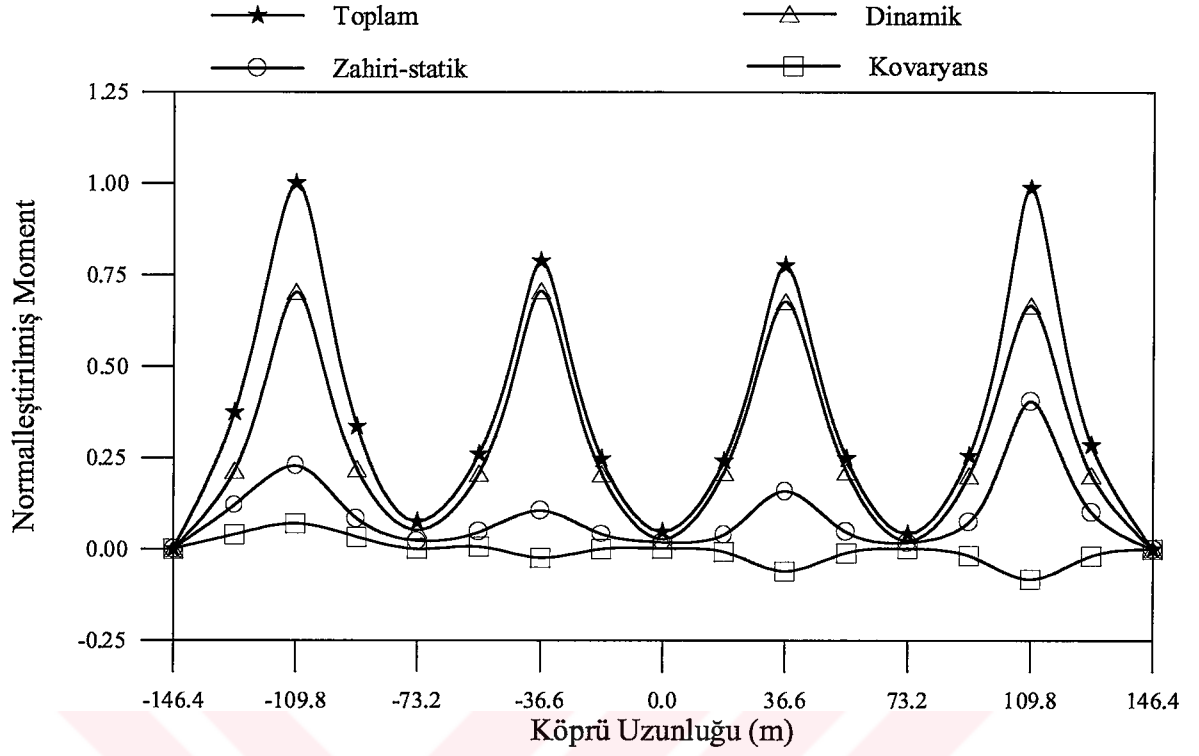
Şekil 3.190. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş yatay yerdeğiştirme varyansları (D durumu-SOS)



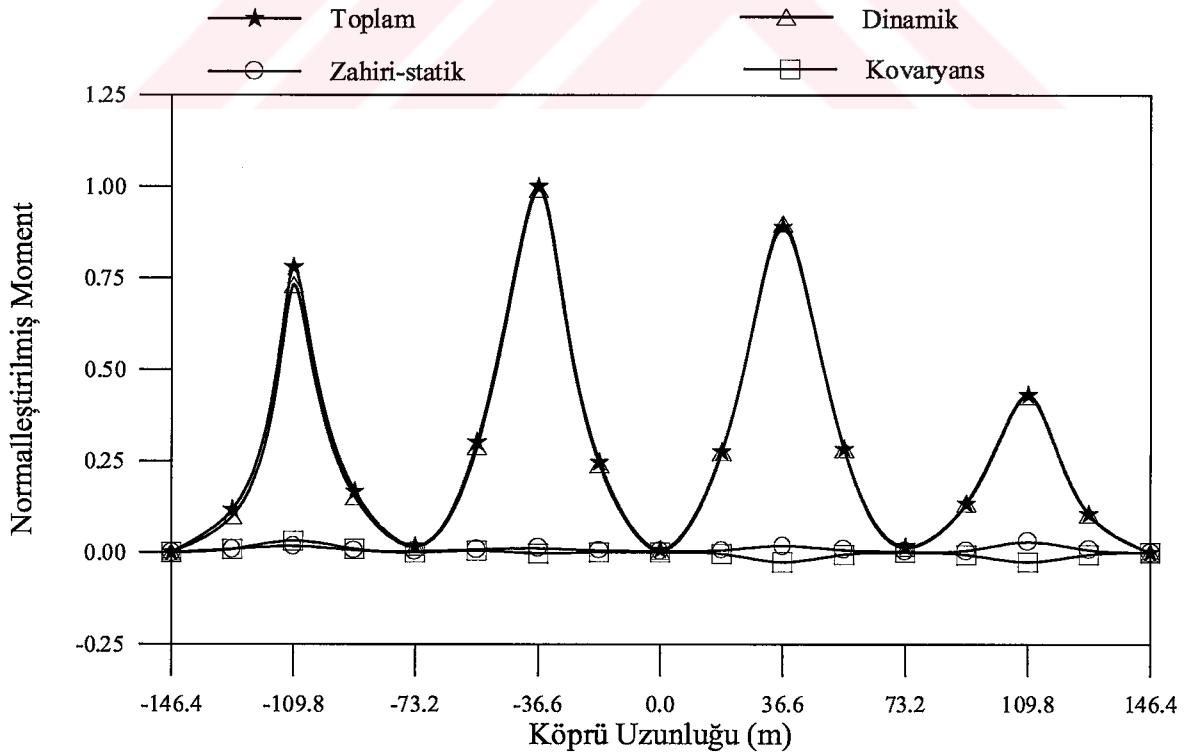
Şekil 3.191. Homojen orta zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları (A durumu-OOO)



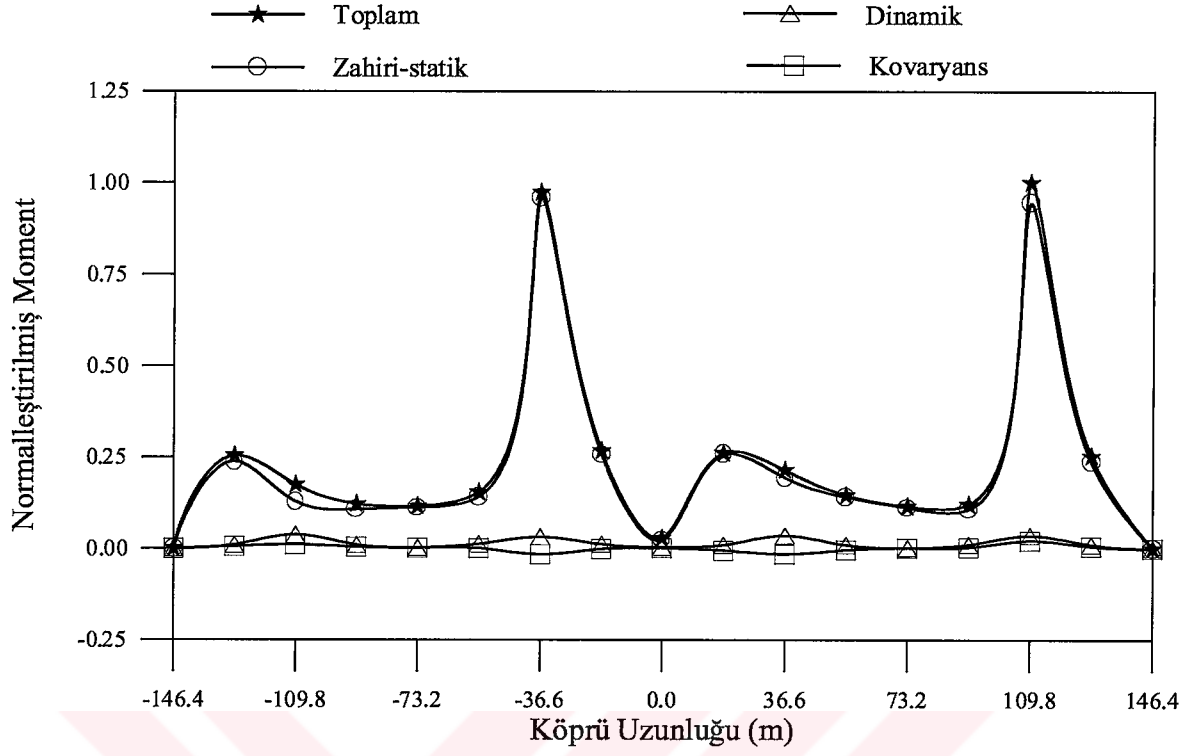
Şekil 3.192. Homojen orta zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları (A durumu-OOO)



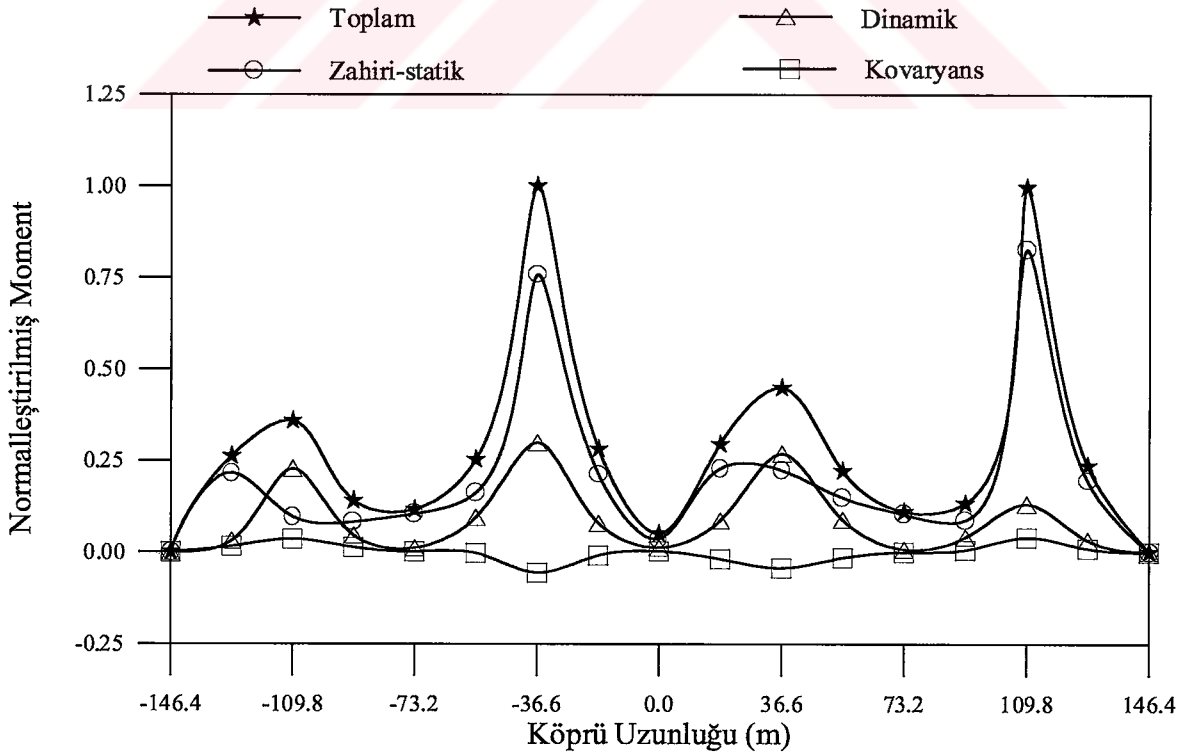
Şekil 3.193. Homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları (B durumu-SSS)



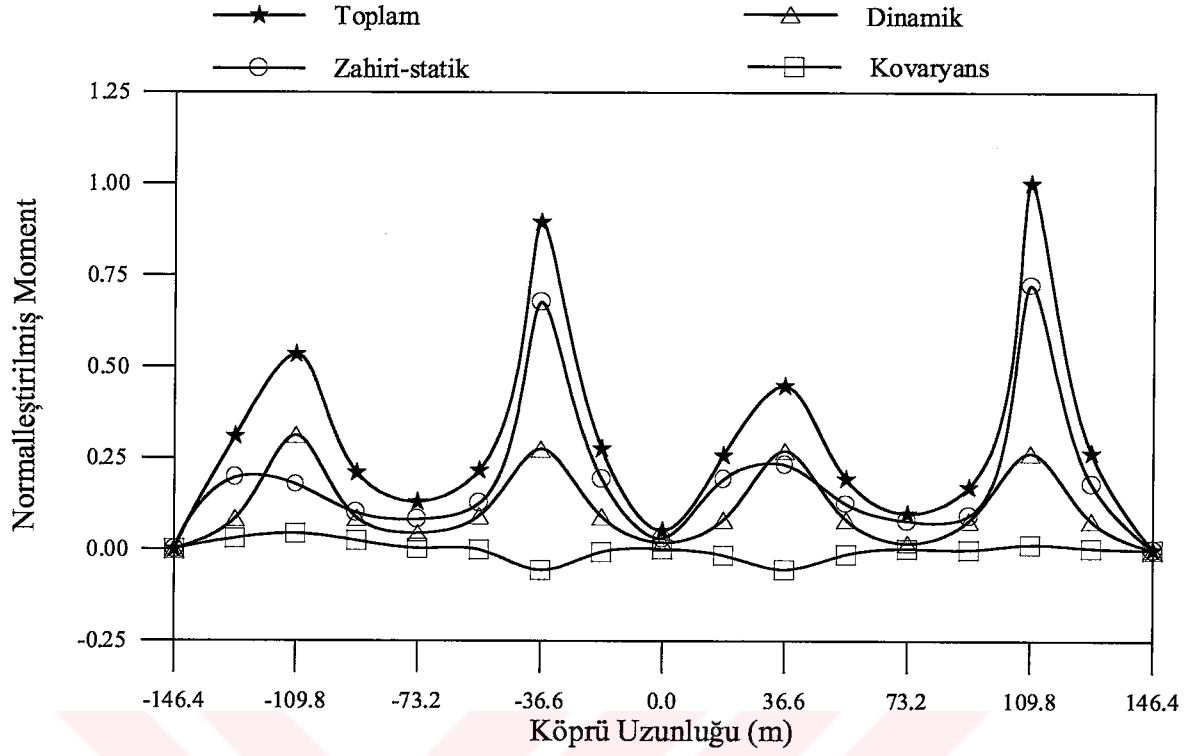
Şekil 3.194. Homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları (B durumu-SSS)



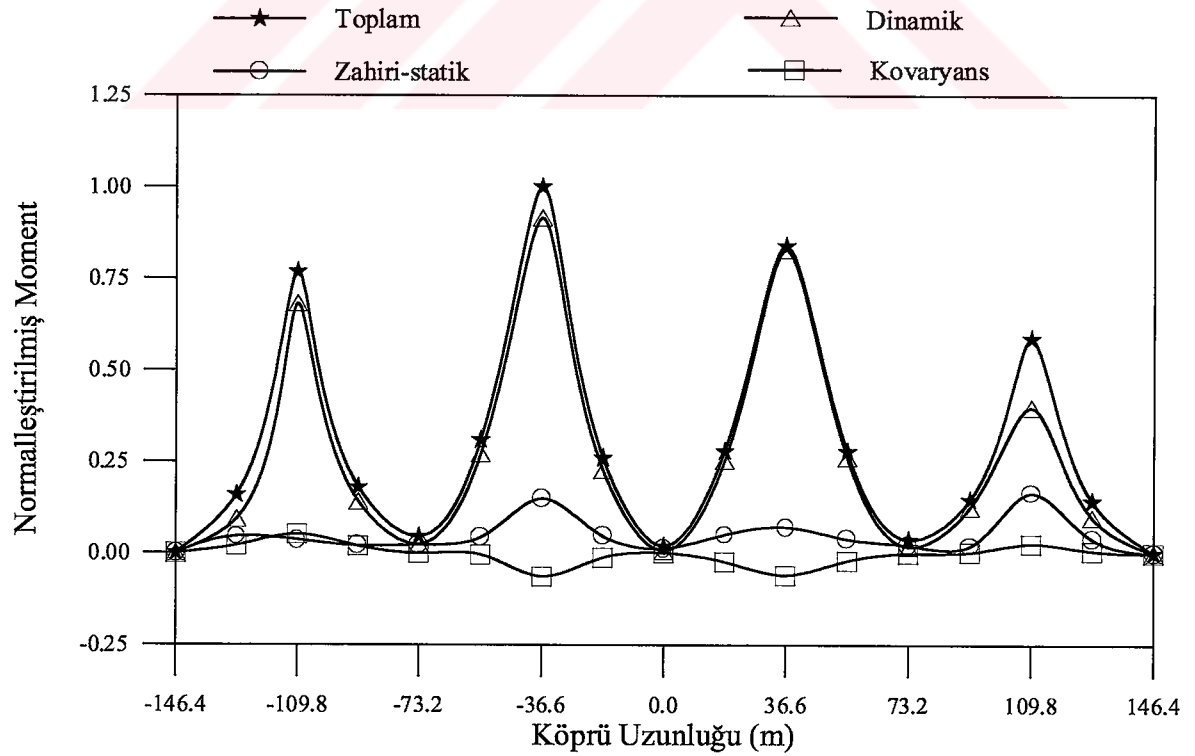
Şekil 3.195. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları (C durumu-SYS)



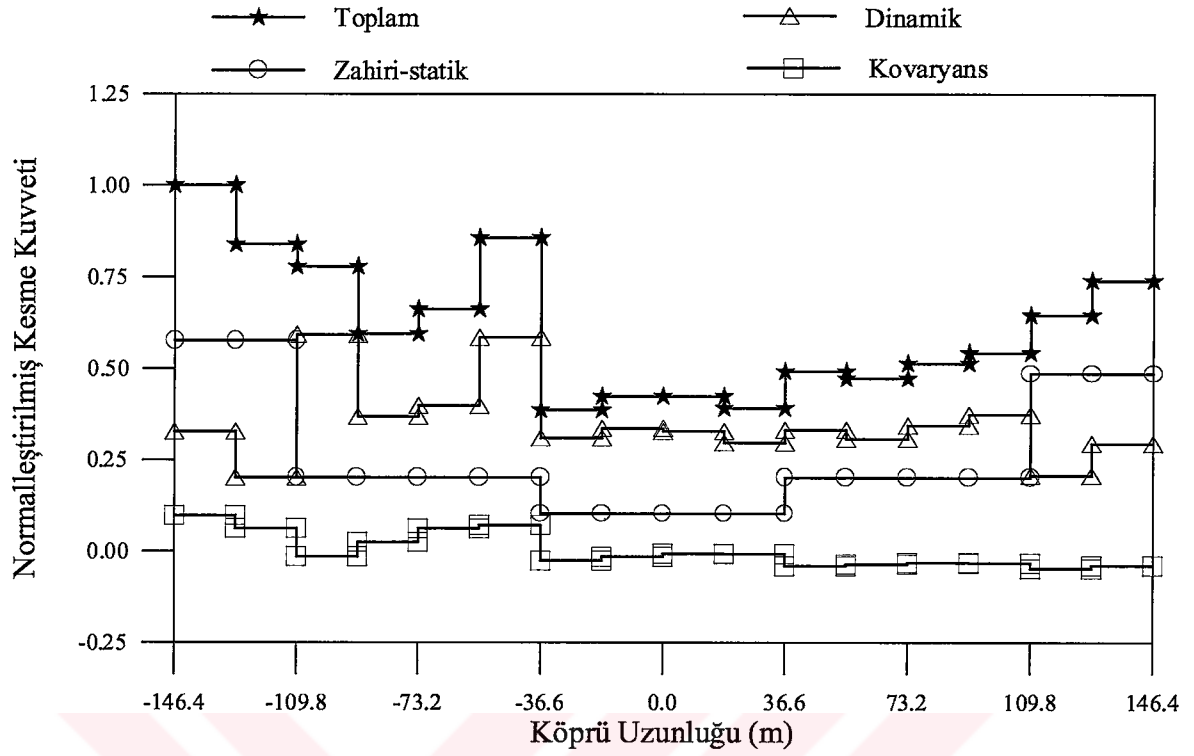
Şekil 3.196. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları (C durumu-SYS)



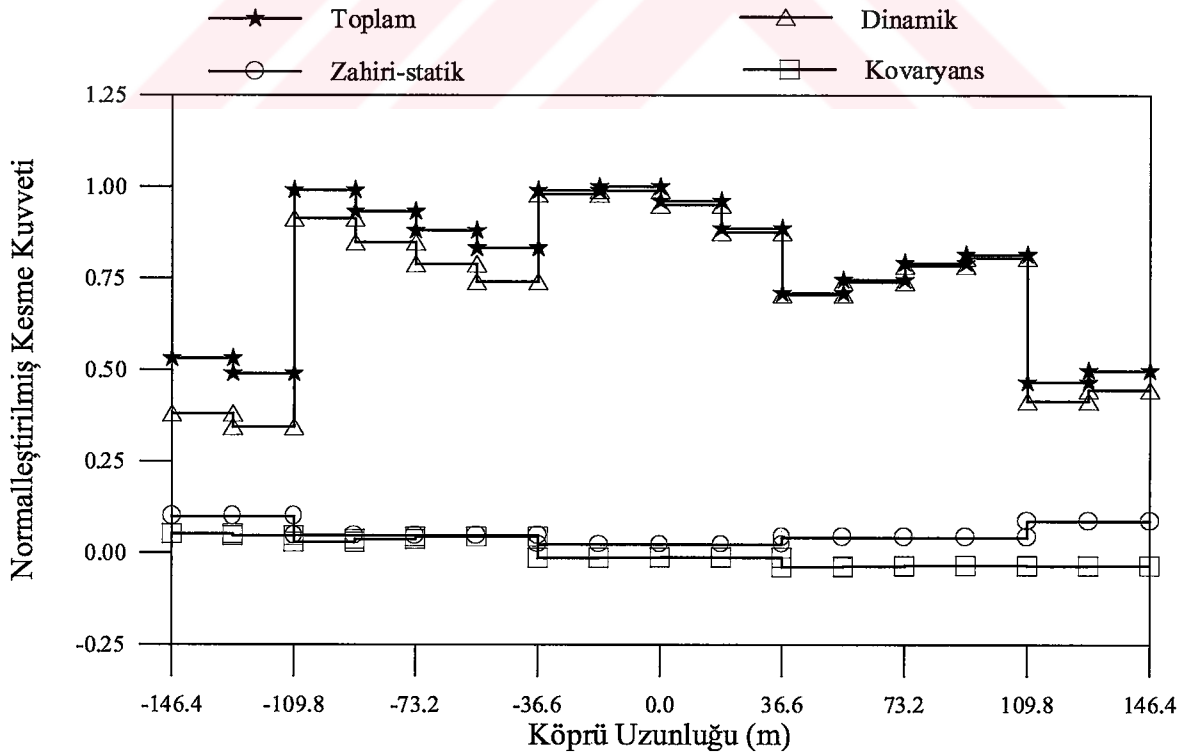
Şekil 3.197. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları (D durumu-SOS)



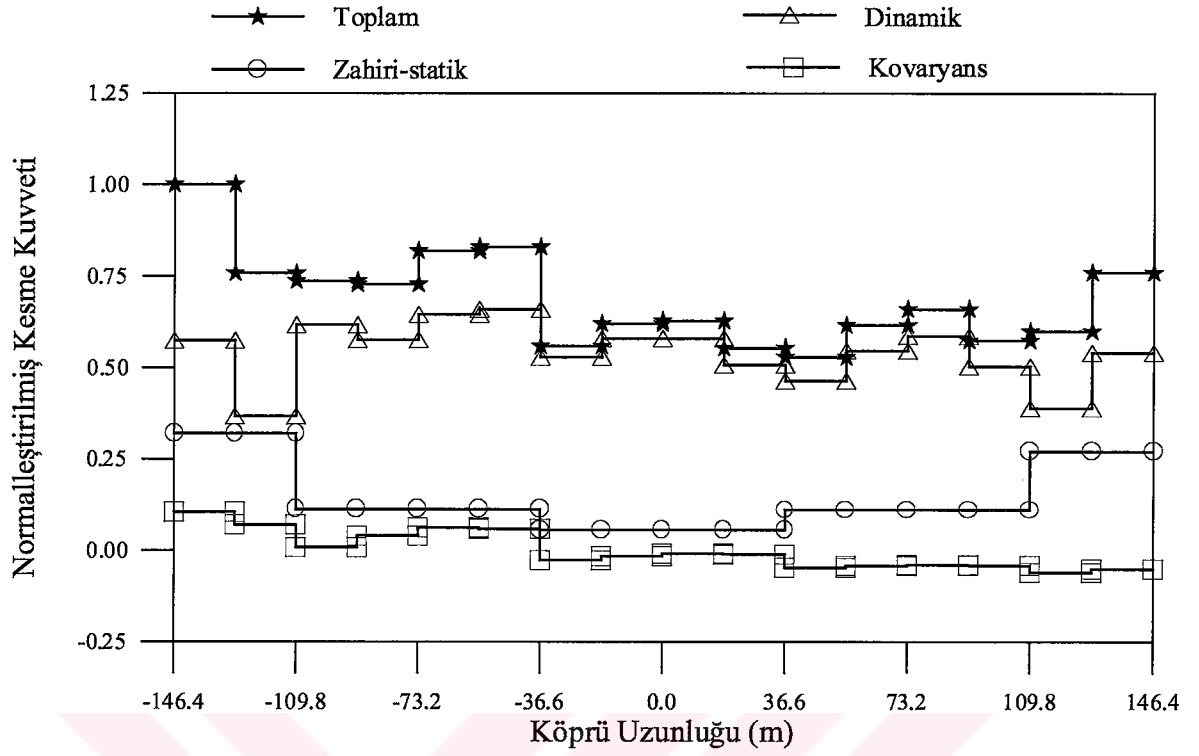
Şekil 3.198. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş eğilme momenti varyansları (D durumu-SOS)



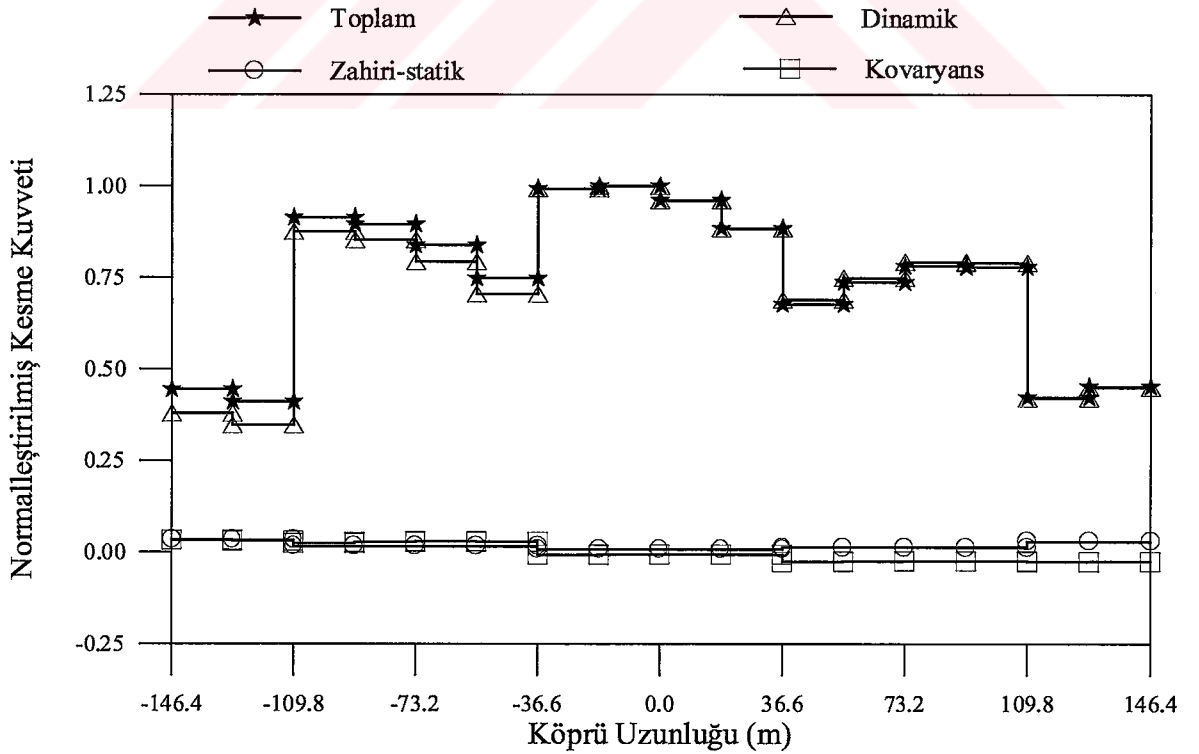
Şekil 3.199. Homojen orta zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları (A durumu-OOO)



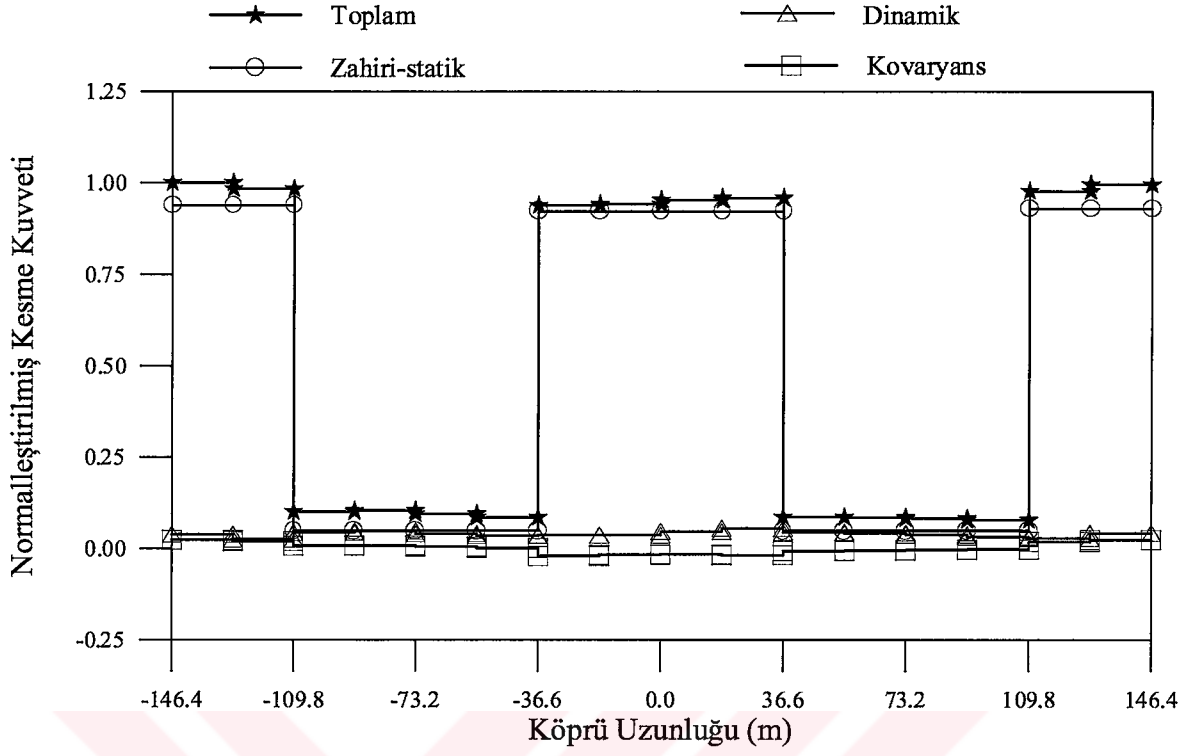
Şekil 3.200. Homojen orta zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları (A durumu-OOO)



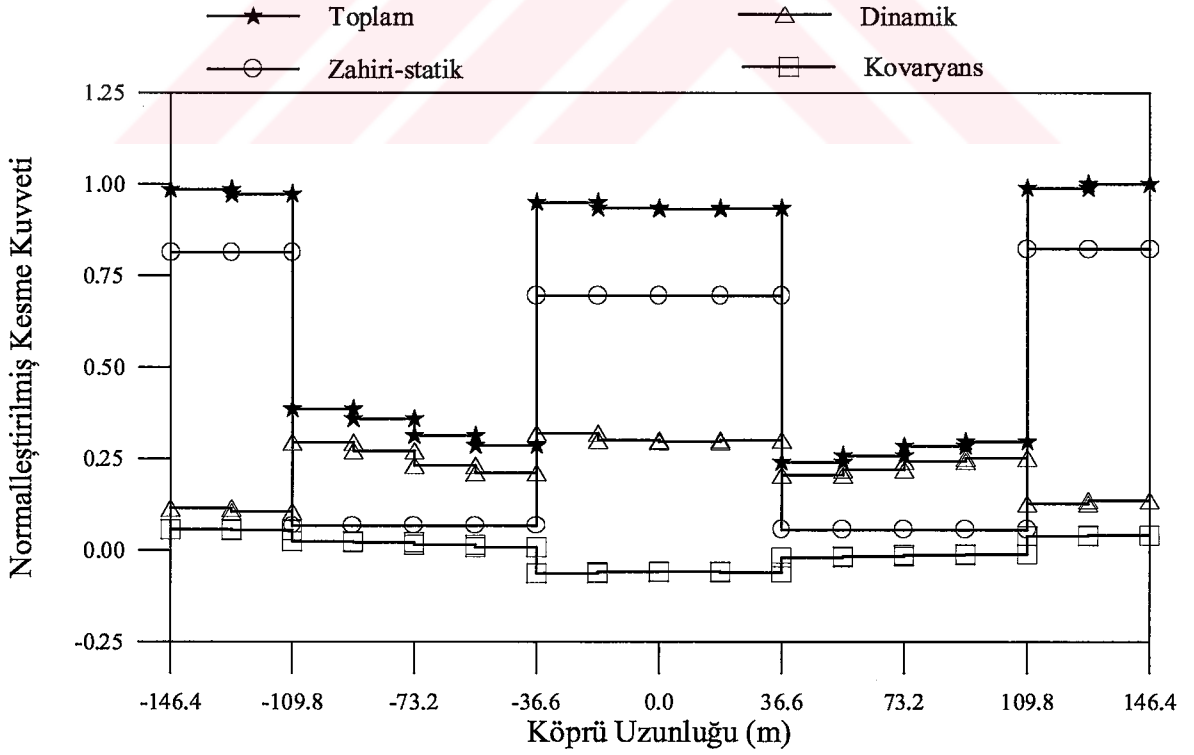
Şekil 3.201. Homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları (B durumu-SSS)



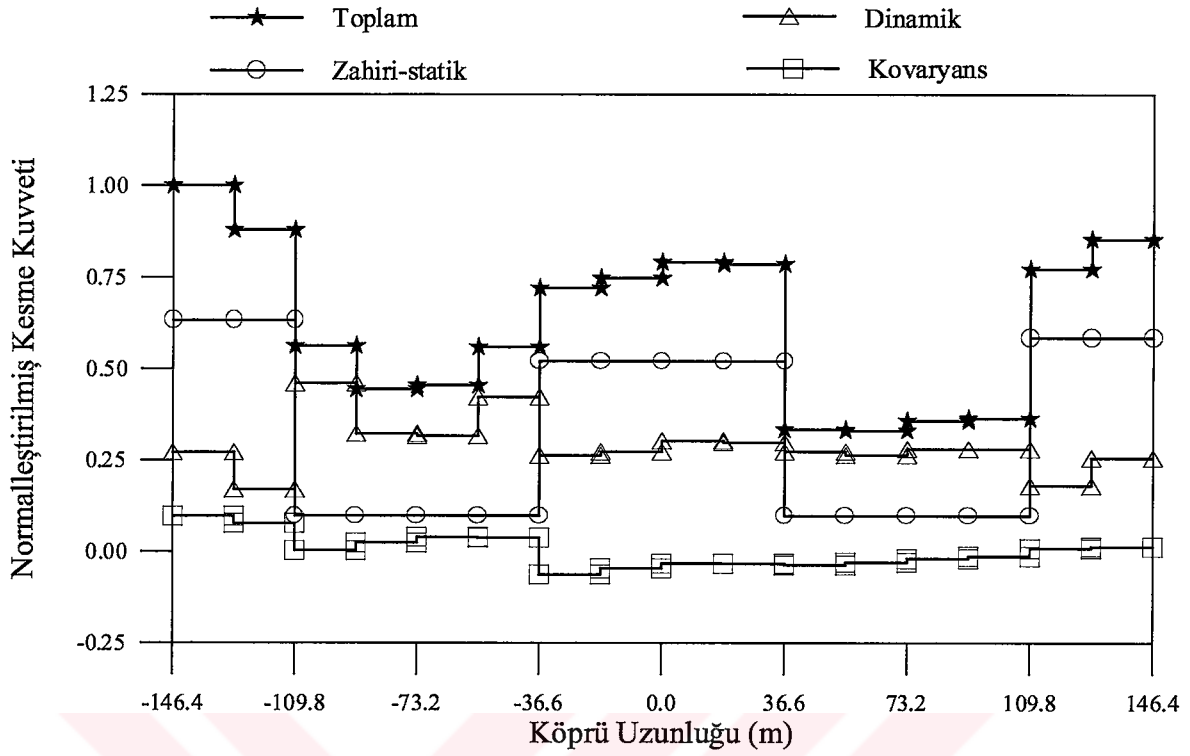
Şekil 3.202. Homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları (B durumu-SSS)



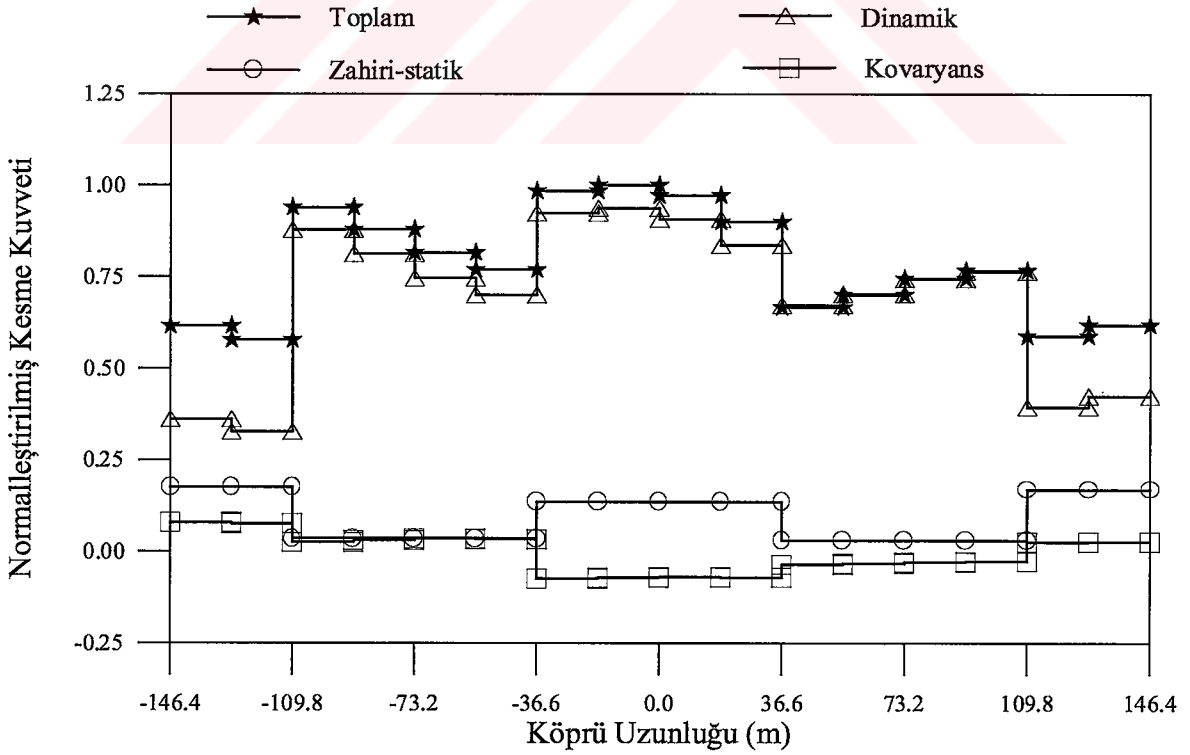
Şekil 3.203. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları (C durumu-SYS)



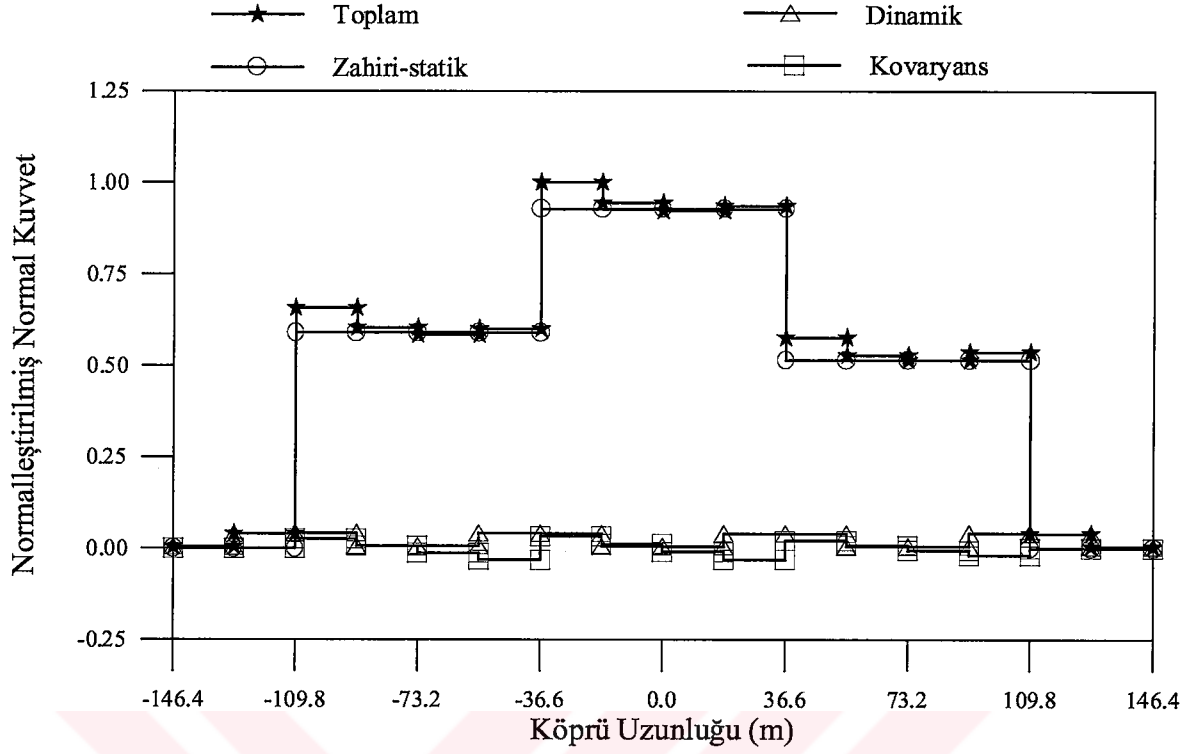
Şekil 3.204. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları (C durumu-SYS)



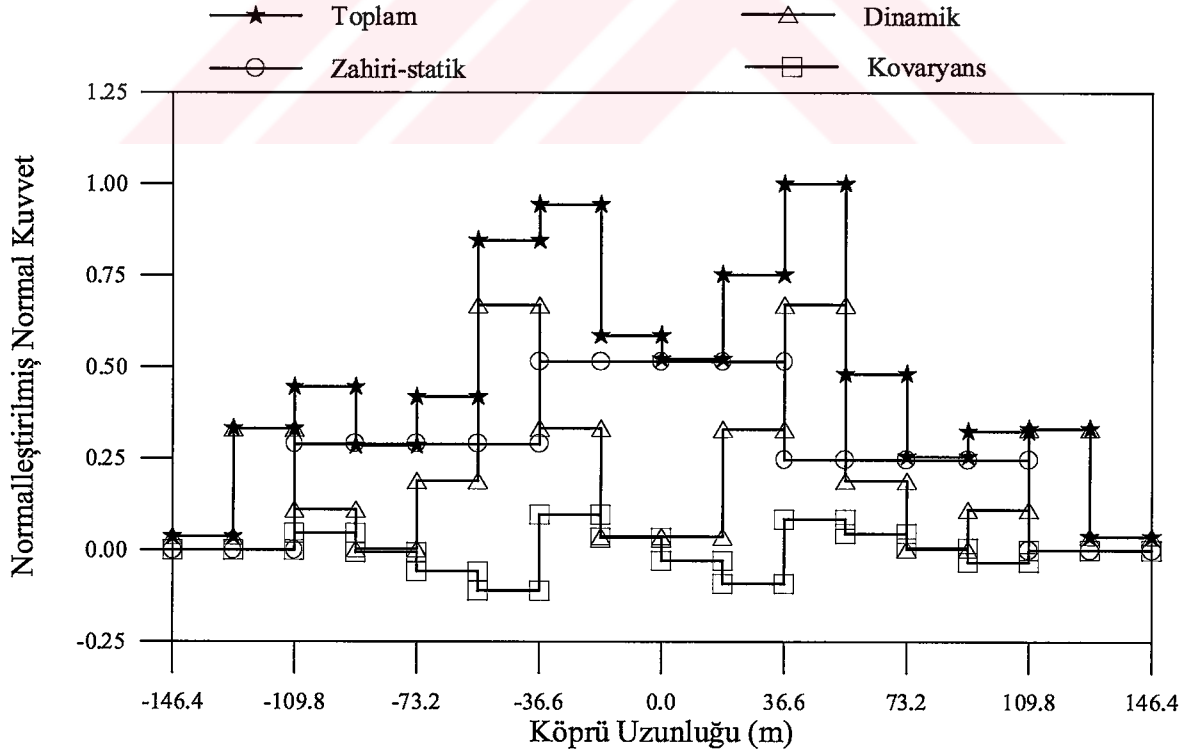
Şekil 3.205. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları (D durumu-SOS)



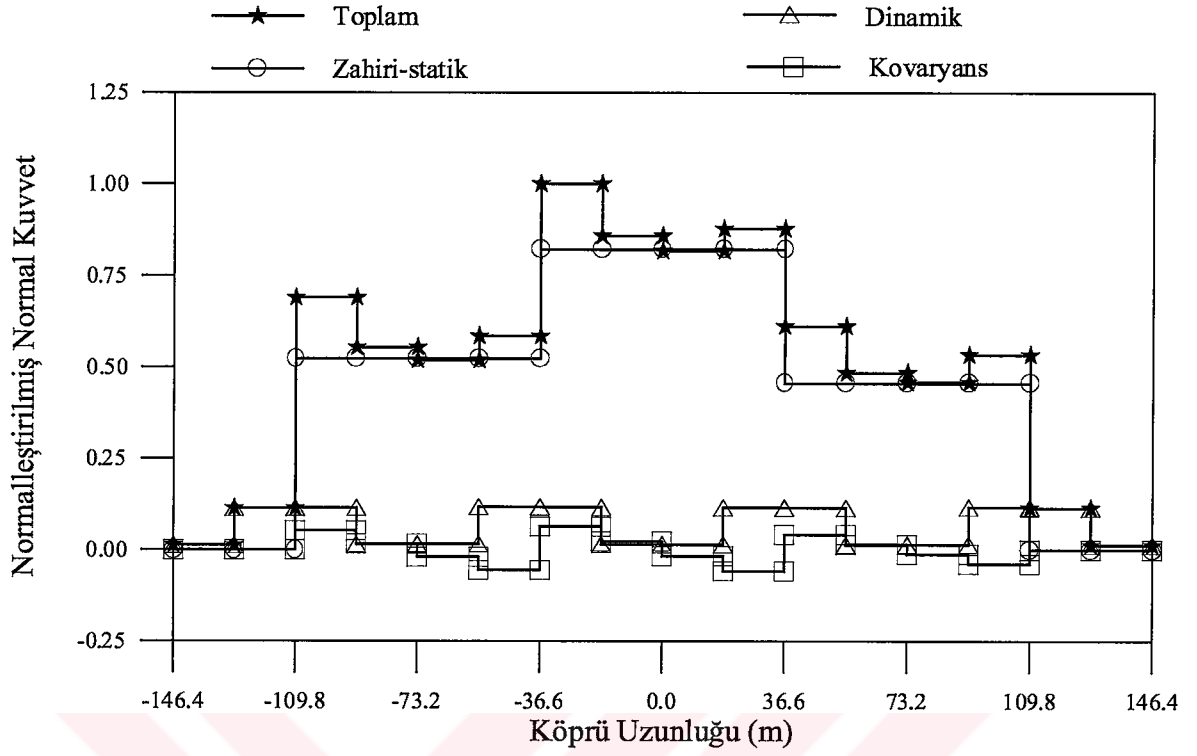
Şekil 3.206. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş kesme kuvveti varyansları (D durumu-SOS)



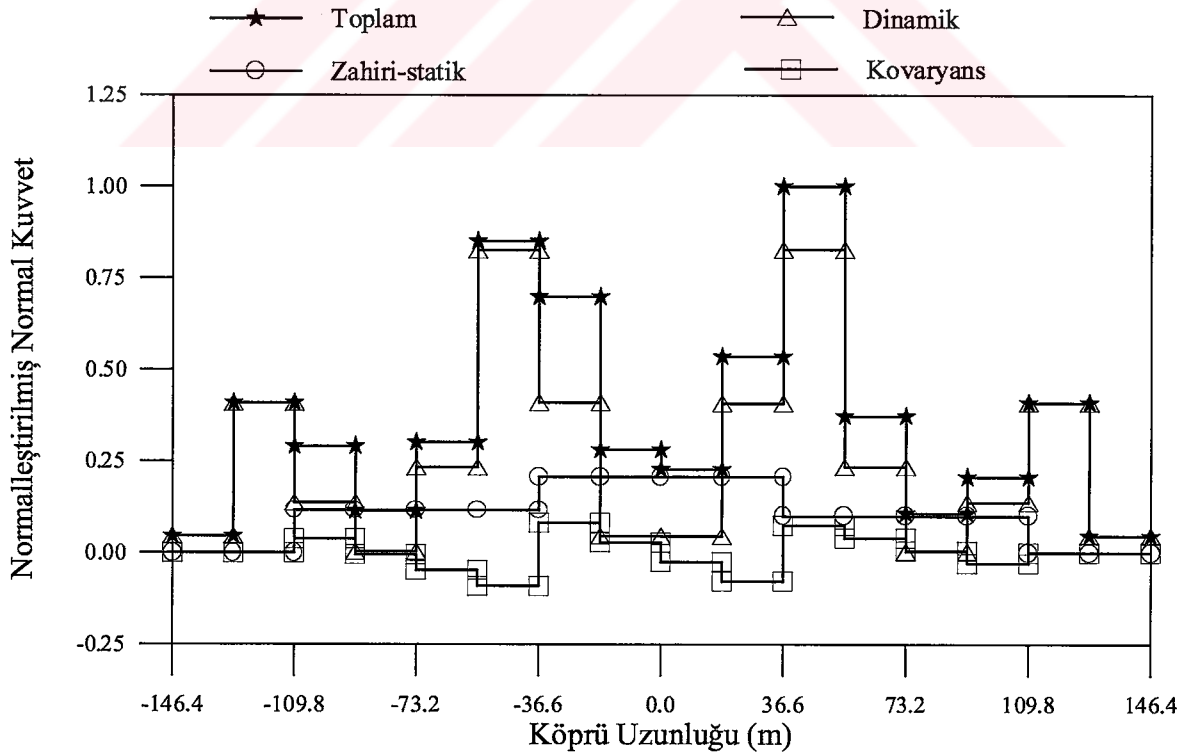
Şekil 3.207. Homojen orta zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları (A durumu-OOO)



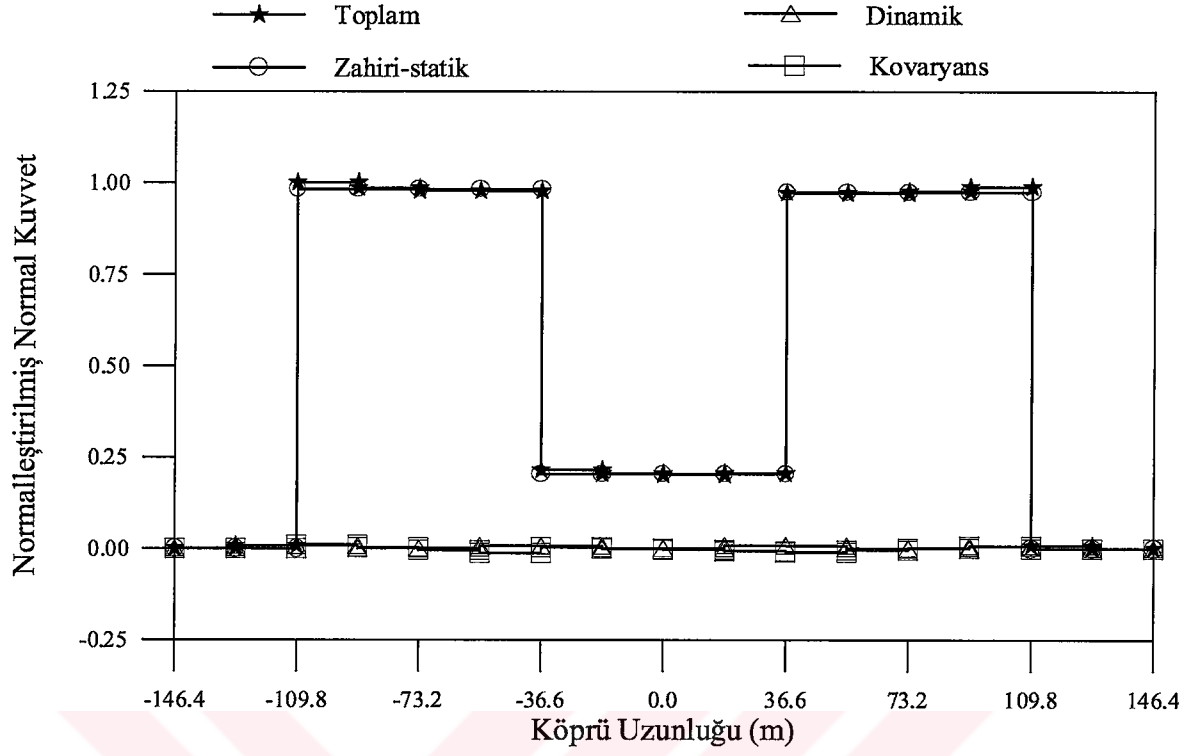
Şekil 3.208. Homojen orta zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları (A durumu-OOO)



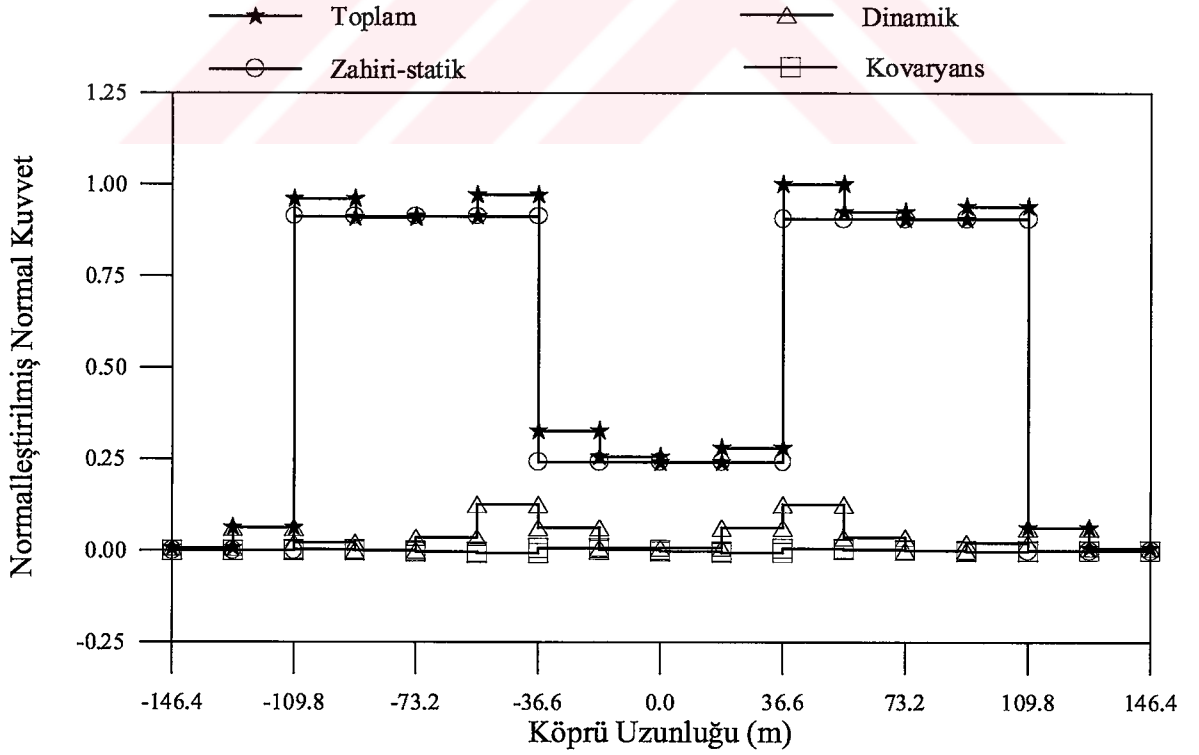
Şekil 3.209. Homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları (B durumu-SSS)



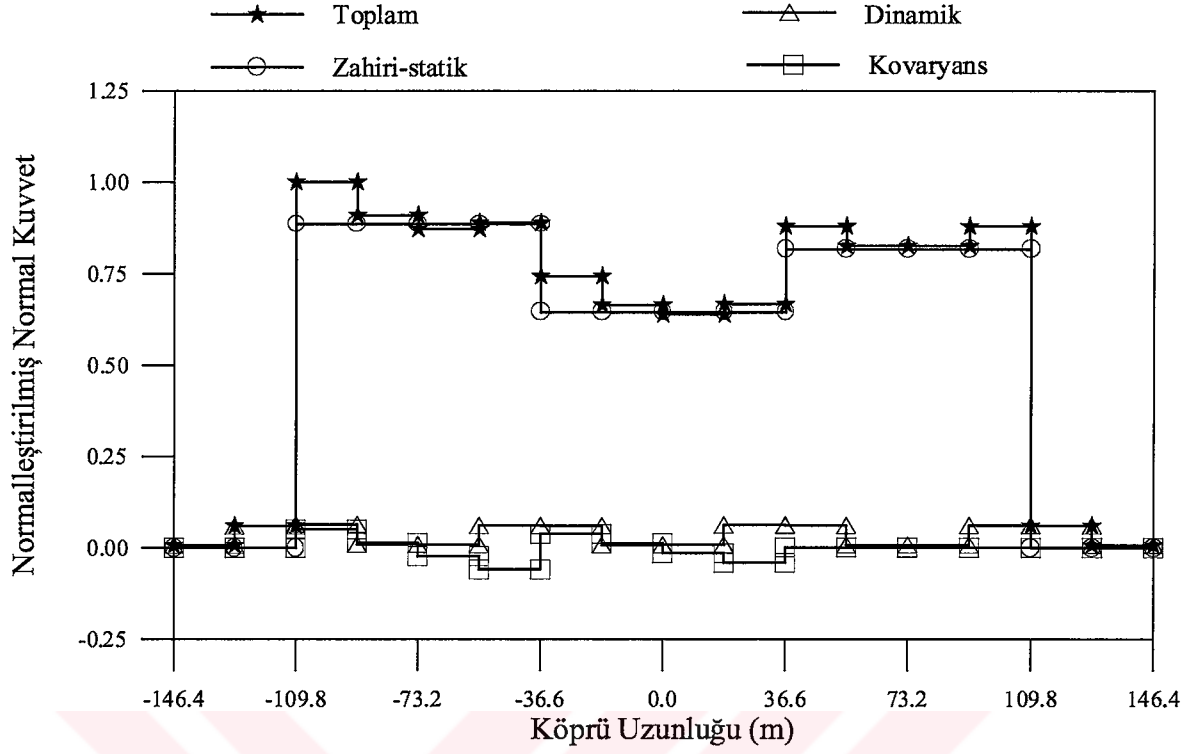
Şekil 3.210. Homojen sert zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları (B durumu-SSS)



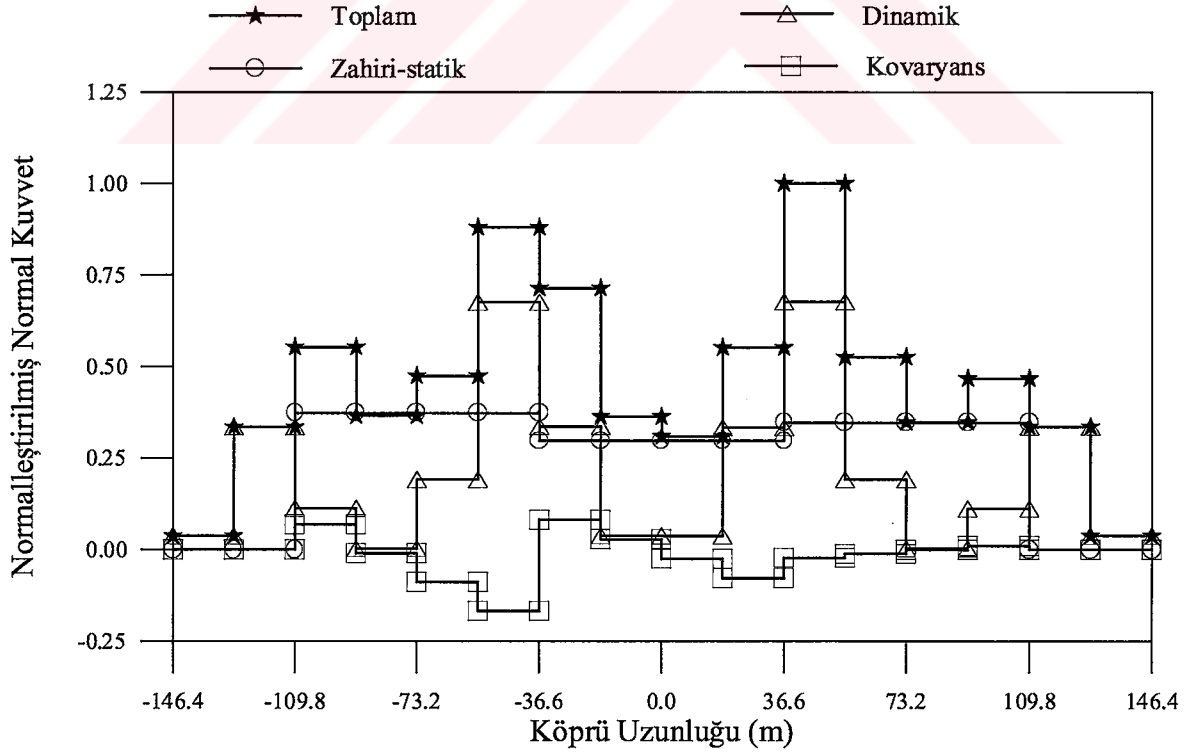
Şekil 3.211. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları (C durumu-SYS)



Şekil 3.212. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları (C durumu-SYS)



Şekil 3.213. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonsuz karayolu köprüsünün normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları (D durumu-SOS)



Şekil 3.214. Homojen olmayan zemine mesnetlenen izolasyonlu karayolu köprüsünün normalleştirilmiş normal kuvvet varyansları (D durumu-SOS)

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada sürtünmeli sarkaç sistemi ile izolasyonlu karayolu köprülerinin değişerek yayılan yer hareketi için stokastik analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan stokastik analizlerde, yer hareketi rasgele işlem olarak güç spektral yoğunluk fonksiyonu ile ifade edilmiş ve en büyük tepkilerin olduğu saniyeler boyunca istatistiksel özelliklerin zamandan bağımsız olduğu durağanlık (stasyonerlik) kabulü yapılmıştır. Yer hareketi modelinde; dalga yayılma etkisi, tutarsızlık etkisi ve zemin şartlarındaki değişim dikkate alınmıştır.

İzolasyonsuz ve izolasyonlu köprülerin stokastik davranışları; sadece dalga yayılma etkisi, sadece tutarsızlık etkisi, dalga yayılma ve tutarsızlık etkileri birlikte, dalga yayılma, tutarsızlık ve zemin etkileri birlikte dikkate alınarak ayrı ayrı belirlenmiştir.

Clough ve Penzien (1993) tarafından düzeltilerek elde edilen filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modeli stokastik analizlerde kullanılmıştır. Yer hareketi olarak yumuşak zeminler için 1999 Kocaeli depremi Yarımca istasyonu Kuzey-Güney bileşeni, sert zeminler için 1971 San Fernando depremi Pacoima barajı S16E bileşeni seçilmiştir. Söz konusu kayıtlar köprüye boyuna doğrultusunda uygulanmıştır. Köprü ayaklarının mesnetlendiği zeminin yumuşak cins olması durumlarında dalga yayılma etkisi incelenirken; dalga yayılma hızları olarak $V_{app}=100, 200, 400$ m/s ve sonsuz değerleri alınmıştır. Sonsuz hız değeri; yer hareketinin köprünün bir mesnetinden diğer mesnetine ulaşmaya kadar geçen sürenin sıfır olmasına karşılık gelmektedir. Aynı zamanda, hızın sonsuz olması üniform yer hareketi durumudur. Köprü ayaklarının mesnetlendiği zeminin orta cins olması durumlarında dalga yayılma etkisi incelenirken; dalga yayılma hızı $V_{app}=700$ m/s olarak alınmıştır. Köprü ayaklarının mesnetlendiği zeminin sert cins olması durumlarında dalga yayılma etkisi incelenirken; dalga yayılma hızları olarak $V_{app}=1000, 2000, 3000$ m/s ve sonsuz değerleri kullanılmıştır. Tutarsızlık etkileri incelenirken; Harichandran ve Vanmarcke (1986) ve Uscinski (1977) tutarsızlık modelleri kullanılmıştır. Zemin etkisi incelenirken; köprünün mesnetlendiği zeminin orta cins (OOO), sert cins (SSS) ve farklı cins (SYS-SOS) (Der Kiureghian ve Neuenhofer, 1991) olması durumları dikkate alınmıştır.

Der Kiureghian, Keshishian ve Hokabian (1997) tarafından daha önce üzerinde çalışılmış olan bir karayolu köprü modeli, bazı değişiklikler yapılarak uygulama amacıyla

kullanılmıştır. Köprü, beş açıklıktan oluşmakta olup, toplam uzunluğu 292,8 metredir. Kenar açıklıklar, 36,6 metre, orta açıklıklar ise 73,2 metredir. Köprü ayakları; çapı 2,5 metre olan dairesel kesitlidir. Köprü tabliyesi ise, kutu kesitlidir.

Bu çalışmada yapılan analizler sonucunda elde edilen bulgulardan aşağıdaki sonuçlara ve önerilere ulaşılmıştır:

- 1) Uygulamadaki köprülerin periyotları genellikle 0.2 ile 1.2 saniye arasında değişmektedir. Sürtünmeli sarkaç mesnet sistemi kullanılarak köprü periyodu uzatılabilmekte ve buna bağlı olarak da deprem dayanımları artırılabilir.
- 2) İzolasyonsuz ve izolasyonlu köprünün stokastik analizlerinde kullanılan Clough ve Penzien (1993) tarafından düzeltilerek elde edilen filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modelinin gerçek bir yer hareketi ile karşılaştırılması sonucunda yer hareketini oldukça iyi temsil ettiği görülmüştür.
- 3) Dalga yayılma hızının sonsuz olmasına karşılık gelen üniform yer hareketi için izolasyonsuz ve izolasyonlu köprünün stokastik analizleri sonucunda; diğer hız durumlarıyla karşılaştırılınca sonsuz hız durumunda elde edilen yatay yerdeğiştirme değerleri genellikle en büyük olmuştur.
- 4) Dalga yayılma hızının sonsuz olmasına karşılık gelen üniform yer hareketi için izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü tabliyesinde oluşan zahiri-statik eğilme momentinin, kesme kuvvetinin ve normal kuvvetin sıfır olarak elde edilmesi analiz sonuçlarının doğruluğu hakkında bilgi vermektedir. Dolayısıyla, üniform yer hareketi durumunda zahiri-statik ve kovaryans bileşenlerinin toplam eğilme momentine, kesme kuvvetine ve normal kuvvete katkısı yoktur. Toplam eleman kuvvetleri sadece dinamik bileşenden oluşmaktadır.
- 5) Yumuşak veya sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz ve izolasyonlu köprüde dalga yayılma hızının artmasıyla; zahiri-statik, dinamik ve toplam yerdeğiştirmelerin arttığı gözlenmiştir.
- 6) Yumuşak zemine mesnetlenen hem izolasyonsuz hem de izolasyonlu köprüde dalga yayılma hızının artmasıyla; zahiri-statik ve toplam eğilme momentleri azalırken dinamik eğilme momentleri artmıştır. Ayrıca, köprünün izolasyonlu yapılması eğilme momentinin ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam değerlerini köprü boyunca oldukça azaltmıştır.

- 7) Dalga yayılma hızının artması durumunda, yumuşak zemine mesnetlenen hem izolasyonsuz hem de izolasyonlu köprüde; zahiri-statik ve toplam kesme kuvvetleri ve normal kuvvetleri azalırken dinamik kesme kuvvetlerinin ve normal kuvvetlerin arttığı görülmüştür. Ayrıca, eğilme momentlerine benzer olarak köprünün izolasyonlu yapılması, kesme kuvvetlerinin ve normal kuvvetlerin ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam değerlerini izolasyonsuz duruma göre oldukça azaltmıştır.
- 8) Dalga yayılma hızının artması durumunda, yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz köprü tabliyesinde oluşan yerdeğiştirmeler ve eleman kuvvetleri, sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz köprü tabliyesinde oluşan yerdeğiştirmelere ve eleman kuvvetlerine benzer dağılım göstermektedir. Fakat, yumuşak zemin durumunda elde edilen yerdeğiştirmeler ve eleman kuvvetleri genellikle daha büyük olmaktadır. Sert zemine mesnetlenen köprünün izolasyonlu olarak yapılması durumunda yatay yerdeğiştirmeler ve eleman kuvvetleri köprünün mesnetlendiği zeminin yumuşak olması durumuna göre daha büyük olarak elde edilmiştir.
- 9) Dalga yayılma hızının artmasıyla, sert zemine mesnetlenen hem izolasyonsuz hem de izolasyonlu köprü tabliyesinde oluşan zahiri-statik eğilme momentlerinin azaldığı görülmektedir. İzolasyonsuz köprünün her bir açıklık ortasındaki dinamik ve toplam eğilme momentlerinde azalma gözlenirken, her bir mesnetteki dinamik ve toplam eğilme momentlerinde bir artma söz konusu olmaktadır. Buna karşılık, izolasyonlu köprü tabliyesinde meydana gelen dinamik ve toplam eğilme momentlerinde fazla bir değişim gözlenmemiştir.
- 10) Dalga yayılma hızının artmasıyla, sert zemine mesnetlenen hem izolasyonsuz hem de izolasyonlu köprüde; zahiri-statik ve toplam kesme kuvvetleri azalırken dinamik kesme kuvveti artmıştır. Benzer durum normal kuvvetlerde de gözlenmiştir.
- 11) Sadece tutarsızlık etkisi dikkate alınarak yumuşak ve sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü tabliyesinde Uscinski tutarsızlık modeli ile elde edilen yatay yerdeğiştirme değerleri yer hareketinin üniform olması durumu ile benzer sonuçlar verirken Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli ile elde edilen yerdeğiştirme değerlerinden daha büyük çıkmıştır. Ayrıca, Harichandran ve Vanmarcke tutarsızlık modeli kullanılarak elde edilen izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü tabliyesi eleman kuvvetleri genellikle daha büyük olmuştur.

- 12) Farklı tutarsızlık modelleri kullanılarak gerçekleştirilen stokastik analizler sonucunda; yumuşak zemine mesnetlenen izolasyonsuz köprü tabliyesinde oluşan yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri, sert zemine mesnetlenen izolasyonsuz köprü tabliyesinde oluşan yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerine benzer dağılım göstermektedir. Fakat, yumuşak zemin durumunda elde edilen yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri genellikle daha büyük olmaktadır. Sert zemine mesnetlenen köprünün izolasyonlu olarak yapılması durumunda yatay yerdeğiştirmeler ve eleman kuvvetleri köprünün mesnetlendiği zeminin yumuşak olması durumuna göre daha büyük olarak elde edilmiştir.
- 13) Dalga yayılma ve tutarsızlık etkilerinin birlikte dikkate alınmasıyla izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü tabliyesinde elde edilen yerdeğiştirmeler, bu etkilerin ayrı ayrı dikkate alınması durumlarına göre daha büyük çıkarken eleman kuvvetleri genelde daha büyük olarak elde edilmiştir.
- 14) Dalga yayılma, tutarsızlık ve farklı zemin etkilerinin birlikte dikkate alınmasıyla birlikte izolasyonsuz ve izolasyonlu köprünün mesnetlendiği zeminin homojen ve homojen olmaması durumlarında; zemin şartlarındaki farklılığın artması ile yani sert zemin ortamından yumuşak zemin ortamına doğru gidildikçe elde edilen tepki değerleri artmıştır. Bütün mesnetlerin homojen sert zemine oturması durumunda hesaplanan değerler en küçük çıkmıştır.
- 15) Dalga yayılma etkisi, tutarsızlık etkisi ve zemin etkisi; izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü tabliye yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri üzerinde etkili olmakla beraber, en büyük etki zemin şartlarındaki değişimden kaynaklanmıştır. Yani mesnetlerin farklı zeminlere oturması durumunda zemin türleri arasındaki farklılığın artması ile birlikte izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü tabliyesinde oluşan yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri artmıştır.
- 16) Tüm durumlar için izolasyonlu köprü tabliyesi yatay yerdeğiştirmeleri; köprü tabliyesinin izolasyonunda kullanılan sürtünmeli sarkaç mesnet sistemine izin verilen yerdeğiştirme kabiliyetinden dolayı izolasyonsuz köprü tabliyesi yerdeğiştirmelerinden daha büyük olarak elde edilmiştir.
- 17) Tüm durumlar için izolasyonsuz köprü için yerdeğiştirmelere ve eleman kuvvetlerine en büyük katkıyı zahiri-statik bileşen sağlarken izolasyonlu köprü için yerdeğiştirmelere ve eleman kuvvetlerine en büyük katkıyı bazen zahiri-statik bileşen bazen de dinamik bileşen sağladığı belirlenmiştir.

- 18) Köprüler gibi uzun açıklıklı yapı sistemlerine ait dairesel frekansların 5-15 rad/s arasında önemli modlara sahip olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla, köprü tipindeki mühendislik yapılarının dinamik analizlerinde göz önüne alınan yer hareketi modelleri zemin etkilerini içermelidir.
- 19) İzolasyonlu köprü tabliyesinde oluşan eleman kuvvetleri izolasyonsuz köprü tabliyesinde oluşan eleman kuvvetlerine göre oldukça azaldığı gözlenmiştir.
- 20) İzolasyonlu köprü tabliyesi eleman kuvvetleri izolasyonsuz köprü tabliyesi eleman kuvvetleri ile karşılaştırıldığında eleman kuvvetlerinde yaklaşık %60-%80 oranında bir azalma söz konusu olmaktadır. Bu durum ise, köprülerin depreme karşı dayanımlarını artırmak için izolasyonlarının yapılmasını kaçınılmaz kılmaktadır.
- 21) İzolasyonlu köprüde elde edilen eleman kuvvetleri her ne kadar izolasyonsuz köprü eleman kuvvetlerinden çok az çıksa da yer hareketi dalga yayılma, tutarsızlık ve zemin etkilerinin izolasyonlu köprülerde de göz önünde bulundurulması gerekli olmaktadır.
- 22) Bu doktora tezinde yapılan stokastik analizler, istatistiksel özelliklerin zamandan bağımsız olduğu durağanlık kabulü yapılarak gerçekleştirilmiştir. Durağan olmayan durum dikkate alınarak analizler tekrarlanabilir.
- 23) Değişerek yayılan yer hareketine maruz izolasyonlu karayolu köprülerinin stokastik analizlerinde zemin-yapı etkileşimi de dikkate alınabilir.
- 24) Bu çalışmada yer hareketinin stokastik olma özelliği göz önünde bulundurulmuştur. Malzeme özellikleri açısından da stokastik özellik düşünülerek analizler yapılabilir.

5. KAYNAKLAR

- AASHTO, 1991. Guide Specifications for Seismic Isolation Design, American Association of State Highway and Transport Officials, Washington, D.C.
- Abdel-Ghaffar, A.M. ve Stringfellow, R.G., 1984. Response of Suspension Bridges to Travelling Earthquake Excitations, Part 2: Lateral Response, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 3, 2, 72-81.
- Abrahamson, N.A., 1993. Spatial Variation of Multiple Support Inputs, Proc. of the First U. S. Seminar, Seismic Evaluation and Retrofit of Steel Bridges, October 1993, 1-34, San Francisco.
- Abrahamson, N.A., Schneider, J.F. ve Step, J.C., 1991. Empirical Spatial Coherency Functions for Application to Soil-Structure Interaction Analyses, Earthquake Spectra, 7, 1, 1-27.
- Adanur, S. ve Dumanoglu, A.A., 1998. Zıt-Fazla Yayılan Dinamik Etkiler için Asma Köprülerin Analizi, Üçüncü Ulusal Hesaplamalı Mekanik Konferansı, 16-18 Kasım, 1998, 41-48, İstanbul.
- Adanur, S., Dumanoglu, A.A. ve Soyluk, K., 2000. Comparison of Asynchronous, Antisynchronous and Stochastic Dynamic Analyses of Suspension Bridges, Fourth International Congress on Advances in Civil Engineering, 1-3 November 2000, 1, 177-184, Gazimagusa, Northern Cyprus.
- Adanur, S. ve Dumanoglu, A.A., 2002. Stochastic Dynamic Analyses of Suspension Bridges Subjected to Asynchronous Ground Motions, Fifth International Congress on Advances in Civil Engineering, 25-27 September 2002, 1, 597-606, İstanbul, Turkey.
- Adanur, S., Dumanoglu, A.A. ve Soyluk, K., 2002. Stochastic Analyses of Suspension Bridges: Stationary and Transient, Fifth European Conference on Structural Dynamics, EURO DYN 2002, 2-5 September 2002, 2, 1035-1040, Munich, Germany.
- Ahmadi, G., 1983. Stochastic Earthquake Response of Structures on Sliding Foundation, International Journal of Engineering Science, 21, 2, 93-102.
- Allam, S.M. ve Datta, T.K., 1999. Seismic Behaviour of Cable-Stayed Bridges Under Multi-Component Random Ground Motion, Engineering Structures, 21, 62-74.
- Allam, S.M. ve Datta, T.K., 2000. Analysis of Cable-Stayed Bridges Under Multi-Component Random Ground Motion by Response Spectrum Method, Engineering Structures, 22, 1367-1377.

- Almazan, J.L., Llera, J.C.D. ve Inaudi, J.A., 1998. Modelling Aspects of Structures Isolated with the Frictional Pendulum System, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 27, 845-867.
- Ateş, Ş. ve Dumanoğlu, A.A., 2000. Nonlinear Dynamic Analysis of 3D-Base Isolated Buildings, *Advances in Civil Engineering*, 3, 1259-1267, Gazimağusa, Kıbrıs.
- Ateş, Ş. ve Dumanoğlu A.A., 2003. Taban İzolasyonlu Binaların Dinamik Davranışına Zemin Eğilebilirliğinin Etkisi, XIII. Ulusal Mekanik Kongresi, 165-174, Gaziantep.
- Ateş, Ş., Bayraktar, A. ve Dumanoğlu, A.A., 2004. Sürtünmeli Sarkaç Mesnet Modeli ile Taban İzolasyonu Yapılan Köprülerin Deprem Davranışının Belirlenmesi, Türkiye İnşaat Mühendisliği On Yedinci Teknik Kongre ve Sergisi, Bildiriler Metni (CD), Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Augisti, G., Baratta, A. ve Casciati, F., 1984. Probabilistic Methods in Structural Engineering, First Edition, Chapman and Hall Ltd., New York.
- Bayraktar, A., 1995. Asinkronize Yer Hareketi Etkisindeki Baraj-Rezervuar-Temel Sistemlerinin Dinamik Davranışı, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Bayraktar, A., Dumanoğlu, A.A. ve Calayir, Y., 1996. Asynchronous Dynamic Analysis of Dam-Reservoir-Foundation Systems by the Lagrangian Approach, *Computer and Structures* 58, 925-935.
- Bayraktar, A. ve Dumanoğlu, A.A., 1998. The Effect of the Asynchronous Ground Motion on Hydrodynamic Pressures, *Computer and Structures*, 68, 271-282.
- Briseghella, L., Gori, R. ve Negro P., 1989. Seismic Isolation of Pier Bridges, *Proceedings of 9th World Conference on Earthquake Engineering*, 5, 621-626.
- Buckle, I.G. ve Mayes R.L., 1990. Seismic Isolation: History, Application, and Performance- A World View, *Earthquake Spectra*, 6, 2, 161-201.
- Buckle, I., Nagarajaiah, S. ve Ferrell, K., 2002. Stability of Elastomeric Isolation Bearings: Experimental Study, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 128(1), 3-11.
- Burdisso, R.A. ve Singh, M.P., 1987. Multiply Supported Secondary Systems Part I: Response Spectrum Analysis, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 15, 53-72.
- Button, M.R., 1981. Numerical Techniques for Dynamic Stochastic Structural Analysis, Doktora Tezi, University of California, Berkeley.

- Button, M.R., Der Kiureghian, A. ve Wilson, E.L., 1981. STOCAL-User Information Manual, Report No UCB/SEMM-81/2, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley, CA.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N., 1992. Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş, Birinci Baskı, Sema Matbaacılık, İstanbul.
- Chaudhary, M.T.A, Abe, M. ve Fujino, Y., 2001. Performance Evaluation of Base-Isolated Yama-age Bridge with High Damping Rubber Bearings Using Recorded Seismic Data, Engineering Structures, 23, 902-910.
- Chaudhary, M.T.A, Abe, M. ve Fujino, Y., 2002. Investigation of Atypical Seismic Response of a Base-Isolated Bridge, Engineering Structures, 24, 945-953.
- Chen, Y. ve Ahmadi, G., 1992. Stochastic Earthquake Response of Secondary Systems in Base-Isolated Structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 21, 1039-1057.
- Chopra, A.K., 2001. Dynamics of Structures, Second Edition, Prentice Hall, New Jersey.
- Clough, R.W. ve Penzien, J., 1993. Dynamics of Structures, Second Edition, McGraw Hill, Inc., Singapore.
- Constantinou, M.C. ve Tadjbakhsh, I.G., 1983. Probabilistic Optimum Base Isolation of Structures, Journal of Structural Engineering, ASCE, 109, 676-689.
- Constantinou, M.C. ve Tadjbakhsh, I.G., 1984a. The Optimum Design of a Base-Isolation System with Frictional Element, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 12, 203-214.
- Constantinou, M.C. ve Tadjbakhsh, I.G., 1984b. Response of a Sliding Structure to Filtered Random Excitation, Journal of Structural Mechanics, 12, 3, 401-418.
- Constantinou, M.C. ve Tadjbakhsh, I.G., 1985a. Hysteretic Dampers in Base Isolation: Random Approach, Journal of Structural Engineering, ASCE, 111, 705-721.
- Constantinou, M.C. ve Tadjbakhsh, I.G., 1985b. Optimum Characteristic of Isolated Structures, Journal of Structural Engineering, ASCE, 111, 2733-2750.
- Constantinou, M.C., 1987. A Simplified Analysis Procedure for Base-Isolated Structures on Flexible Foundation, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 15, 963-983.
- Constantinou, M.C., John, C. ve Harris G.H., 1987. Frictional Characteristics of Teflon-Steel Inter-faces under Dynamic Conditions, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 5, 751-759.

- Constantinou, M.C. ve Kneifati C.M., 1988. Dynamic of Soil-Base-Isolated-Structure Systems, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 114, 211-221.
- Constantinou, M.C., Mokha, A.S. ve Reinhorn, A.M., 1990a. Teflon Bearings in Base Isolation I: Modeling, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 116, 455-474.
- Constantinou, M.C., Mokha, A. ve Reinhorn, A.M., 1990b. Teflon Bearing in Base Isolation II: Modeling, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 116, 455-474.
- Constantinou, M.C., Reinhorn, A.M., Mokha, A. ve Watson, R., 1991a. Displacement Control Device for Base Isolation of Bridges, *Earthquake Spectra*, 7, 179-200.
- Constantinou, M.C., Kartoum, A., Reinhorn, A.M. ve Bradford, P., 1991b. Experimental and Theoretical Study of a Sliding Isolation System for Bridges, Technical Report MCEER-91-0027, State University of New York at Buffalo.
- Constantinou, M.C, Tsopelas, P., Kim, Y.S. ve Okamoto, S., 1993. Taisei Corporation Research Program on sliding Seismic Isolation Systems for Bridges: Experimental and Analytical Study of Friction Pendulum system, Technical Report MCEER-93-0020, State University of New York at Buffalo.
- Constantinou, M.C, Tsopelas, P., Kasalanti, A. ve Wolf, E., 1999. Property Modification Factors for Seismic Isolation Bearings, Technical Report MCEER-99-0012, State University of New York at Buffalo.
- Crandall, S.H. ve Zhu, W.Q., 1983. Random Vibration: A Survey of Recent Developments, *Journal of Applied Mechanics*, 50, 953-962.
- Darbre, G.R., 1990. Seismic Analysis of Non-linearly Base-Isolated Soil-Structure Interacting Reactor Building by way of the Hybrid Frequency-Time Domain Procedure, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 19, 725-738.
- Datta, T.K. ve Mashaly, E.A., 1986. Pipeline Response to Random Ground Motion by Discrete Model, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 14, 559-572.
- Der Kiureghian, A., 1980. Structural Response to Stationary Excitation, *Journal of the Engineering Mechanics Division*, 106, 1195-1213.
- Der Kiureghian, A. ve Neuenhofer, A., 1991. 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.
- Der Kiureghian, A. ve Neuenhofer, A., 1992. Response Spectrum Method for Multiple-Support Seismic Excitations, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 21, 713-740.

- Der Kiureghian, A. ve Keshishian, P., 1996. Effect of Site Response on Spatial Variability of Ground Motion, 11th World Conference on Earth. Eng., Oxford, Disc 2, Paper No. 705.
- Der Kiureghian, A., 1996. A Coherency Model for Spatially Varying Ground Motions, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 25, 99-111.
- Der Kiureghian, A., Keshishian, P. ve Hakobian, A., 1997. 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.
- Dumanoğlu, A.A. ve Severn, R.T., 1984. Dynamic Response of Dams and Other Structures to Differential Ground Motions, Proc. Instn. Civ. Engrs., Part2, 77, 333-352.
- Dumanoğlu, A.A., Severn, R.T. ve Brownjohn, J.M.W., 1986. Asynchronous Seismic Analysis of Bosporus and Humber Suspension Bridges, Proceedings the Eighth European Conference on Earthquake Engineering, 3, 1-8, Lisbon.
- Dumanoğlu, A.A. ve Severn, R.T., 1987. Seismic Response of Modern Suspension Bridges to Asynchronous Vertical Ground Motion, Proc. Instn. Civ. Engrs., Part 2, 83, 701-730.
- Dumanoğlu, A.A. ve Severn, R.T., 1989. Seismic Response of Modern Suspension Bridges to Asynchronous Longitudinal and Lateral Ground Motion, Proc. Instn. Civ. Engrs., Part 2, 87, 73-86.
- Dumanoğlu, A.A. ve Severn, R.T., 1990. Stochastic Response of Suspension Bridges to Earthquake Forces, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 19, 133-152.
- Dumanoğlu, A.A. ve Soyluk, K., 1998. Kablolu Köprülerin Stokastik ve Asinkronize Dinamik Analizi, Türkiye Deprem Vakfi, TDV/TR 98-013, İstanbul.
- Dumanoğlu, A.A. ve Ateş, Ş., 1999a. Dynamic Response Analysis of 3D-Base Isolated Asymmetric Building Structures, European Association of Earthquake Engineering Task Group 8, Asymmetric and Irregular Structures, 1, 181-194, İTU, İstanbul.
- Dumanoğlu, A.A. ve Ateş, Ş., 1999b. Taban İzolasyonu Binaların Lineer Olmayan Deprem Analizi, Teknik Rapor, No: TDV/TR 026-42, Türkiye Deprem Vakfi, İstanbul.
- Dumanoğlu, A.A. ve Soyluk, K., 2000. Kablolu Köprülerin Asinkronize, Antisinkronize ve Stokastik Karşılaştırmalı Dinamik Analizleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, 11, 2, 2121-2137.
- Dumanoğlu, A.A. ve Adanur, S., 2000. Asma Köprülerin Antisinkronize Dinamik Analizi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, 11, 3, 2179-2197.

- Dumanoğlu, A.A. ve Soyluk, K., 2002a. SVEM, A Stochastic Structural Analysis Program for Spatially Varying Earthquake Motions, Turkish Earthquake Foundation, TDV/KT 023-76, İstanbul.
- Dumanoğlu, A.A. ve Soyluk, K., 2002b. Comparison of Stationary and Transient Responses of Cable-Stayed Bridges, Fifth International Congress on Advanced in Civil Engineering, 25-27 September 2002, 233-242, İstanbul, Turkey.
- Fan, F.G. ve Ahmadi, G. 1990a. Floor Response Spectra for Base-Isolated Multi-Storey Structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 19, 377-388.
- Fan, F.G. ve Ahmadi, G., 1990b. Random Response of Frictional Base Isolation System, Journal of Engineering Mechanics, 116, 9, 1881-1901.
- Gazis, G.D., 1985. Dynamic Responses of Structures to Multiple Support Seismic Excitations- A Random Vibration Time History Analysis, Doktora Tezi, University of Illinois at Chicago, Chicago.
- Ghobarah, A. ve Ali, H.M., 1988. Seismic Performance of Highway Bridges, Engineering Structures, 10, 157-166.
- Hao, H., 1989. Effects of Spatial Variation of Ground Motions on Large Multiply-Supported Structures, Report No. UCB/EERC-89/06, Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, CA.
- Hao, H., 1991. Response of Multiply Supported Rigid Plate to Spatially Correlated Seismic Excitations, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 20, 821-838.
- Hao, H., 1993. Arch Responses to Correlated Multiple Excitations, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 22, 389-404.
- Hao, H., 1994. Ground-Motion Spatial Variation Effects on Circular Arch Responses, Journal of Engineering Mechanics, 120, 11, 2326-2341.
- Harichandran, R. S. ve Vanmarcke, E.H., 1986. Stochastic Variation of Earthquake Ground Motion in Space and Time, Journal of Engineering Mechanics, 112, 2, 154-174.
- Harichandran, R.S. ve Wang, W., 1988a. Response of One- and Two-Span Beams to Spatially Varying Seismic Excitation, College of Engineering, Report to the National Science Foundation, MSU-ENGR-88-002, Michigan State University, Michigan.
- Harichandran, R. S. ve Wang, W., 1988b. Response of Simple Beam to Spatially Varying Earthquake Excitation, Journal of Engineering Mechanics, 114, 9, 1526-1541.

- Harichandran, R. S. ve Wang, W., 1990. Response of Indeterminate Two-Span Beam to Spatially Varying Seismic Excitation, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 19, 173-187.
- Harichandran, R.S., 1992. Random Vibration under Propagating Excitation: Closed-Form Solutions, *Journal of Engineering Mechanics*, 118, 3, 575-586.
- Harichandran, R.S., 1993. An Efficient, Adaptive Algorithm for Large-Scale Random Vibration Analysis, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 22, 151-165.
- Harichandran, R.S., Hawwari A. ve Sweidan B.N., 1996. Response of Long-Span Bridges to Spatially Varying Ground Motion, *Journal of Structural Engineering*, 122, 5, 476-484.
- Hart, G.C. ve Wong, K., 2000. *Structural Dynamics for Structural Engineers*, John Wiley and Sons, Inc., USA:
- Hawwari, A.R., 1992. *Suspension Bridge Response to Spatially Varying Ground Motion*, Doktora Tezi, Michigan State University, Michigan.
- Henderson, P. ve Novak, M., 1989. Response of Base Isolated Buildings to Wind Loading, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 18, 1201-1217.
- Heredia-Zavoni, E. ve Vanmarcke, E.H., 1994. Seismic Random-Vibration Analysis of Multisupport-Structural Systems, *Journal of Engineering Mechanics*, 120, 5, 1107-1127.
- Hindy, A. ve Novak, M., 1980. Pipeline Response to Random Ground Motion, *Journal of Engineering Mechanics Division*, 106, 2, 339-360.
- Hwang, J.S. ve Sheng, L.H., 1993. Effective Stiffness and Equivalent Damping of Base Isolated Bridges, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 119, 3094-3101.
- Hwang, J.S. ve Sheng, L.H., 1994. Practical Analysis of Bridges on Isolation Bearings with Bilinear Hysteresis Characteristics, *Earthquake Spectra*, 10, 705-727.
- Hwang, J.S., Sheng, L.H. ve Gates, J.H., 1994. Equivalent Elastic Seismic Analysis of Base Isolated Bridges with Lead Rubber Bearings, *Engineering Structures*, 16, 201-209.
- Jangid, R.S. ve Datta, T.K., 1992. Seismic Behaviour of Torsionally Coupled Base Isolated Structure, *European Earthquake Engineering*, 3, 2-13.
- Jangid, R.S. ve Datta, T.K., 1993. Seismic Response of a Torsionally Coupled System with a Sliding Support, *Proc. Instn Civil Engineers Structures and Buildings*, 99, 271-280.

- Jangid, R.S. ve Datta, T.K., 1994. Non-linear Response of Torsionally Coupled Base Isolated Structure, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 120, 1-22.
- Jangid, R.S. ve Datta, T. K., 1995. Seismic Behaviour of Base-Isolated Buildings: A State of Art Review, *Proc. Instn. Civil Engineers Structures and Buildings*, 110, 186-203.
- Jangid, R.S. ve Banerji, P., 1995. Seismic Response of Bridges with Nonlinear Supports, *Second International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, Tehran*, 1, 561-568.
- Jangid, R.S., 1997. Response of Pure-Friction Sliding Structures to Bi-directional Harmonic Ground Motion, *Engineering Structures*, 19,2 , 97-104.
- Jangid R.S. ve Banerji, P., 1998. Effects of Isolation Damping on Stochastic Response of Structures with Nonlinear Base Isolators, *Earthquake Spectra*, 14,1, 95-114.
- Jangid, R.S., 2004. Seismic Response of Isolated Bridges, *Journal of Bridge Engineering, ASCE*, 9(2), 156-166.
- Kadir, A., 1982. Rubber Properties Important in the Design of Bearings, *International Conference on Natural Rubber for Earthquake Protection of Building and Vibration Isolation, Kuala Lumpur*, 211-227.
- Kelly, J.M. ve Beucke 1983. A Friction Damped Base Isolation System with Fail-Safe Characteristics, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 11, 33-56.
- Kelly, J.M. ve Tsai, H.C., 1985. Seismic Response of Light Internal Equipment in Base Isolated Structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 13, 711-732.
- Kelly, J.M., 1986. Aseismic Base Isolation: A Review and Bibliography, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 5, 202-216.
- Kelly, J.M., 1990. Base Isolation: Linear Theory and Design, *Earthquake Spectra*, 6, 2, 223-244.
- Kelly, J.M., 1992. The Implementation of Base Isolation in the United States, Report No.UCB/EERC 92-13, University of California, Berkeley.
- Koh, C.G. ve Balendra, T., 1989. Seismic Response of Base Isolated Buildings Including P- Δ Effects of Isolation Bearings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 18, 461-473.
- Koh, C.G. ve Kelly, J.M., 1990. Application of Fractional Derivatives to Seismic Analysis of Base-Isolated Models, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 19, 229-241.

- Kreyszig, E., 1993. *Advanced Engineering Mathematics, Seventh Edition*, John Wiley and Sons, Inc., Singapore.
- Kulkarni, J.A. ve Jangid, R.S., 2002. Rigid Body Response of Base-Isolated Structures, *Journal of Structural Control*, 9, 171-188.
- Kumarasena, T. ve Stroh, S.L., 1995. Multiple-Support Excitation Analysis Simplified, *Proceedings of the National Seismic Conference on Bridges and Highways*, December 1995, 10-23, San Diego, California.
- Kunde, M.C. ve Jangid, R.S., 2003. Seismic Behavior of Isolated Bridges: A State of Art Review, *Electronic Journal of Structural Engineering*, 3, 2003.
- Lee, D.M. ve Medland, I.C., 1979. Base Isolation Systems for Earthquake Protection of Multi-storey Shear Structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 7, 555-568.
- Lee, D.M., 1980. Base Isolation for Torsion Reduction in Asymmetric Structures under Earthquake Loading, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 8, 349-359.
- Lee, M.C. ve Penzien, J., 1980. Stochastic Seismic Analysis of Nuclear Power Plant Structures and Piping Systems Subjected to Multiple Support Excitations, Report No. UCB/EERC-80/19, Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, CA.
- Lee, M.C. ve Penzien, J., 1983. Stochastic Analysis of Structures and Piping Systems Subjected to Stationary Multiple Support Excitations, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 11, 91-110.
- Li, X.M., 1989. Optimisation of Stochastic Response of a Bridge Isolation System with Hysteretic Dampers, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 18, 951-964.
- Lin, B.C., Tadjbakhsh, I.G. ve Papageorgiou, 1989. Response of Base-Isolated Buildings to Random Excitations Described by the Clough-Penzien Spectral Model, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 18, 49-62.
- Lin, T. ve Hone, C., 1990. Base Isolation by Free Rolling Rods under Basement, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 19, 377-388.
- Luco, J.E. ve Wong, H.L., 1986. Response of a Rigid Foundation to a Spatially Random Ground Motion, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 14, 891-908.
- Luco, J.E. ve Mita, A., 1987. Response of Circular Foundation to Spatially Random Ground Motion, *Journal of Engineering Mechanics*, 113, 1-16.

- Mahin, S.A., 1993. A Simplified Preliminary Design Approach for Base Isolated Bridges, Proceedings of the Second U.S.-Japan Workshop on Earthquake Protective Systems for Bridges, Public Work Research Institute, Japan, 311-320.
- Maragakis, E. ve Saiidi, M., 1993. Development and Application of Simple Analytical Models of Lead Rubber Base Isolated Bridges, Proceedings of the Second U.S.-Japan Workshop on Earthquake Protective Systems for Bridges, Public Work Research Institute, Japan, 275-284.
- Mayes, R.L., Buckle, I.G., Kelly, T.E. ve Jones, L.R., 1992. AASHTO Seismic Isolation Design Requirements for Highway Bridges, Journal of Structural Engineering, ASCE, 118, 284-304.
- Mokha, A.S., Constantinou, M.C. ve Reinhorn, A.M. 1990a. Teflon Bearings in Base Isolation I: Testing. Journal of Structural Engineering, 116, 2, 438-454.
- Mokha, A.S., Constantinou, M.C. ve Reinhorn, A.M. 1990b. Experimental Study and Analytical Prediction of Earthquake Response of a Sliding Isolation System with Spherical Surface. Technical Report NCEER-90-0020, State University of New York at Buffalo.
- Mokha, A., Constantinou, M.C. ve Reinhorn, A.M., 1991a. Experimental Study of Friction-Pendulum Isolation System, Journal of Structural Engineering, ASCE, 117, 1201-1217.
- Mokha, A.S., Constantinou, M.C. ve Reinhorn, A.M., 1991b. Further Results on Frictional Properties of Teflon Bearings, Journal of Structural Engineering, ASCE, 117, 622-626.
- Mokha, A.S, Constantinou, M.C. ve Reinhorn, A.M., 1993, Verification of Model of Teflon Bearings under Triaxial Load, Journal of Structural Engineering, ASCE, 119, 240-261.
- Monti, G., Pinto, P.E. ve Nuti, C., 1995. Response of Conventional and Isolated Bridges under Non-synchronous Seismic Motion, Proceedings of the Fifth SECED Conference, Rotterdam, 117-124.
- Monti, G., Nuti, C. ve Pinto, P.E., 1996. Nonlinear Response of Bridges under Multi-support Excitation, Journal of Structural Engineering, 122, 10, 1147-1159.
- Mostaghel, N. ve Tanbakuchi, J., 1983a. Response of Sliding Structures to Earthquake Support Motion, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 11, 729-783.
- Mostaghel, N. ve Tanbakuchi, J., 1983b. Response of Sliding Structures to Harmonic Support Motion, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 11, 355-366.

- Mostaghel, N. ve Khodaverdian, M., 1987. Dynamics of Resilient-Friction Base Isolator (R-FBI), *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 15, 379-390.
- Mostaghel, N. ve Khodaverdian, M., 1988. Seismic Response Structures Supported on R-FBI System, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 16, 839-854.
- Mutobe, R.M., ve Cooper, T.R., 1999. Nonlinear Analysis of a Large Bridge with Isolation Bearings, *Computers and Structures*, 72, 279-292.
- Nagrajaiah, S. 1990. Nonlinear Dynamic Analysis of Three Dimensional Base Isolated Structures, Doktora Tezi, State University of New York at Buffalo.
- Nagrajaiah, S., Reinhorn, A.M. ve Constantinou, M.C., 1991a. Nonlinear Dynamic Analysis of 3D Base-Isolated Structures, *Journal of Structural Engineering*, 117, 2035-2054.
- Nagrajaiah, S., Reinhorn, A.M. ve Constantinou, M.C., 1991b. 3D-BASIS, Nonlinear Dynamic Analysis of Three Dimensional Base Isolated Structures: Part II, Technical Report NCEER-91-0005, State University of New York at Buffalo.
- Nagrajaiah, S., Reinhorn, A.M. ve Constantinou, M.C., 1992. Experimental Study on Sliding Isolated Structure with Uplift Restraint, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 118, 1666-1682.
- Nagrajaiah, S., Reinhorn, A.M. ve Constantinou, M.C., 1993. Torsional Coupling in Sliding Base-Isolated Structures, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 119, 130-149.
- Newland, D.E., 1983. *An Introduction to Random Vibrations and Spectral Analysis*, Fifth Edition, Longman Inc., New York.
- Nigam, N.C., 1983. *Introduction to Random Vibrations*, The M.I.T. Press, Cambridge, Mass.
- Novak, M. ve Henderson, P., 1989. Base Isolated Building with Soil-Structure Interaction, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 18, 751-765.
- Oliveira, C.S., Hao, H. ve Penzien, J., 1991. Ground Motion Modeling for Multiple-Input Structural Analysis, *Structural Safety*, 10, 79-93.
- Pan, T.C. ve Kelly, J.M., 1983. Seismic Response of Torsionally Coupled Base Isolated Building, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 11, 749-770.
- Pan, T.C. ve Kelly, J.M., 1984. Seismic Response of Base Isolated Structures with Vertical Rocking Coupling, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 12, 681-702.

- Park, K. S., Jung, H. J. ve Lee, I.W., 2002. A Comparative Study on Seismic Performances of Base Isolation Systems for Multi-Span Continuous Bridge, *Engineering Structures*, 24, 1001-1013.
- Park, Y.J., Wen, Y.K. ve Ang, A.H.S., 1986. Random Vibration of Hysteretic Systems under Bidirectional Ground Motions, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 14, 543-557.
- Paz, M., 1991. *Structural Dynamics*, Third Edition, Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York.
- Peebles, P.Z., 1987. *Probability, Random Variables and Random Signal Principles*, Second Edition, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Perotti, F., 1990. Structural Response to Nonstationary Multiple-Support Random Excitation, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 19, 513-527.
- Pirrotta, A. ve Ibrahim, R.A., 1997. Experimental Investigation of Friction-Base Isolation, *Probabilistic Engineering Mechanics*, 12, 3, 125-136.
- Reinhorn, A.M., Nagarajaiah, S., Constantinou, M.C., Tsopelas, P. ve Li, R., 1994. 3D-BASIS-TABS, Computer Program for Nonlinear Dynamic Analysis of Three Dimensional Base Isolated Structures, Technical Report NCEER-94-0018, State University of New York at Buffalo.
- Roberts, J.B., 1984. Techniques for Nonlinear Random Vibration Problems, *Shock and Vibration Digest*, 16, 3-14.
- Roberts, J.B. ve Spanos P.T.D., 1986. Stochastic Averaging: An Approximate Method of Solving Random Vibration Problems, *International Journal of Nonlinear Mechanics*, 21, 111-134.
- Roeder, C.W. ve Stanton, J.F., 1983. Elastomeric Bearings: State of the Art, *Journal of Structural Engineering*, 109, 12, 2853-2871.
- Scheller, J. ve Constantinou, M.C., 1999. Response History Analysis of Structures with Seismic Isolation and Energy Dissipation Systems: Verification Examples for SAP2000, Technical Report MCEER-99-0002, Buffalo.
- Schneider, J.F., Step, J.C. ve Abrahamson, N.A., 1992. The Spatial Variation of Earthquake Ground Motion and Effects of Local Site Conditions, *Advances in Civil Engineering*, Proc. 10th WCEE, July 1992, 967-972, Madrid.
- Shenton, H.W. ve Lin, A.N., 1993. Relative Performance of Fixed-Base and Base-Isolated Concrete Frames, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 119, 2592-2968.

- Siddiqui, F.M. ve Constantinou, M.C., 1989. Simplified Analysis Method for Multistorey Base-Isolated Structures on Viscoelastic Halfspace, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 18, 163-77.
- Simo, J.C. ve Kelly J.M., 1984. Finite Element Analysis of the Stability of Multi-layer Elastomeric Bearings, *Engineering Structures*, 6, 3, 162-174.
- Skinner, R.I., Beckand J.L. ve Bycroft, G.N., 1975a. A Practical System for Isolating Structures from Earthquake Attack, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 3, 297-309.
- Skinner, R.I., Kelly, J.M. ve Heine, A.J., 1975b. Hysteretic Dampers for Earthquake Resistant Structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 3, 287-296.
- Soyluk, K., Dumanoğlu, A.A. ve Bayraktar, A., 1997. Comparison of Stochastic and Asynchronous Response of Cable Stayed Bridges, *Eighth International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, July 1997, 250-251. İstanbul.
- Soyluk, K. ve Dumanoğlu, A.A., 1998. Kablolü Köprülerin Karşılaştırmalı Dinamik Analizleri: Asinkronize, Antisinkronize ve Stokastik, III. Ulusal Hesaplamalı Mekanik Konferansı, Eylül 1998, 449-456, İstanbul.
- Soyluk, K. ve Dumanoğlu, A.A., 2000a. Comparison of Asynchronous and Stochastic Dynamic Response of a Cable-Stayed Bridge, *Engineering Structures*, 22, 435-445.
- Soyluk, K. ve Dumanoğlu, A.A., 2000b. Stochastic Analysis of Cable-Stayed Bridges Subjected to Multiple-Support Excitation, *Fourth International Congress on Advances in Civil Engineering*, 1-3 November 2000, 3, 1249-1258, Gazimagusa, North Cyprus.
- Soyluk, K., 2001. Değişerek Yayılan Yer Hareketi Etkisindeki Kablolü Köprülerin Stokastik Analizi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Soyluk, K. ve Dumanoğlu, A.A., 2002. The Effects of Local Soil Conditions and Wave Velocities to the Stochastic Response of Cable-Stayed Bridges, *ECAS2002, International Symposium on Structural and Earthquake Engineering*, 134-141, METU, Ankara.
- Soyluk, K. ve Dumanoğlu, A.A., 2003. A Stochastic Analysis of Long Span Structures Subjected to Spatially Varying Ground Motions Including the Site-Response Effect, *Engineering Structures*, 25, 1301-1310.
- Soyluk, K. ve Dumanoğlu, A.A., 2004. Spatial Variability Effects of Ground Motions on Cable-Stayed Bridges, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24, 241-250.

- Spanos P.T.D., 1981. Stochastic Linearization in Structure Dynamics Journal of Applied Mechanics, 34, 1-8.
- Stanton, J.F. ve Roeder, C.W., 1982. Elastomeric Bearings: Design, Construction and Materials, NCHRP Reports 248, Transportation Research Board, Washinhton, D.C.
- Stanton, J.F., Scroggins, G., Taylor, A.W ve Roeder, C.W, 1990. Stability of Laminated Elastomeric Bearings, Journal of Structural Engineering, 116, 1351-1371.
- Su, L., Ahmadi, G. ve Tadjbakhsh, I.G., 1989a. A Comparative Study of Performances of Various Base Isolation Systems, Part I: Shear Beam Structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 18 (1989) 11-32.
- Su, L., Ahmadi, G. ve Tadjbakhsh, I.G., 1989b. Performance of Sliding Resillient-Friction Base Isolation System, Journal of Structural Engineering, 117, 165-181.
- Su, L., Ahmadi, G. ve Tadjbakhsh, I.G., 1990. A Comparative Study of Performances of Various Base Isolation Systems, Part II: Sensitivity Analysis, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 19, 21-33.
- Sweidan, B.N., 1990. Stochastic Response of Deck Arch Bridges to Correlated Support Excitations, Doktora Tezi, Michigan State University, Michigan.
- T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayın No:25, İzmir.
- Tongaokar, N.P. ve Jangid, R.S., 2000. Earthquake Response of Seismically Isolated Bridges, Journal of European Association for Earthquake Engineering, 1, 48-58.
- Tongaokar, N.P. ve Jangid, R.S., 2002. Earthquake Response of Bridges with Sliding Systems, Journal of European Association for Earthquake Engineering, 2, 19-33.
- Tongaokar, N.P. ve Jangid, R.S., 2003. Seismic Response of Isolated Bridges with Soil-Structure Interaction, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 23, 287-302.
- Tracis, A.C., 1984. The Implementation of Base Isolation for Foothill Communities Law and Justice Center, Report NSF and Country of San Bernardino, San Francisco.
- Tsai, H.C. ve Kelly, J.M., 1989a. Non-Classical Damping in Dynamic Analysis of Base-Isolated Structures with Internal Equipment, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 16, 29-43.
- Tsai, H.C. ve Kelly, J.M., 1989b. Seismic Response of the Superstructure and Attached Equipment in Base-Isolated, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 18, 551-564.

- Tsopelas, P. ve Constantinou, M.C., 1994. Taisei Corporation Research Program on sliding Seismic Isolation Systems for Bridges: Experimental and Analytical Study of System Consisting of Lubricated PTFE Sliding Bearing and Mild Steel Dampers, Technical Report MCEER-94-0022, State University of New York at Buffalo.
- Tsopelas, P.C., Constantinou, M.C. ve Reinhorn, A.M., 1994a. 3D-BASIS-ME, Computer Program for Nonlinear Dynamic Analysis of Seismically Isolated Single and Multiple Structures and Liquid Storage Tanks, Technical Report NCEER-94-0010, State University of New York at Buffalo.
- Tsopelas, P.C., Nagarajaiah, S., Constantinou, M.C. ve Reinhorn, A.M., 1994b. Nonlinear Dynamic Analysis of Multiple Building Base Isolated Structures, *Computers and Structures*, 50, 1, 47-57.
- Tsopelas, P., Okamoto, S., Constantinou, M.C., Ozaki, D. ve Fujii, S., 1994c. Taisei Corporation Research Program on sliding Seismic Isolation Systems for Bridges: Experimental and Analytical Study of System Consisting of Sliding Bearing, Rubber Res. Force De., Technical Report MCEER-94-0002, State University of New York at Buffalo.
- Tsopelas, P., Constantinou, M.C., Kim, Y.S. ve Okamoto, S., 1996a. Experimental study of FPS System in Bridge Seismic Isolation, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 25, 65-78.
- Tsopelas, P., Constantinou, M.C., Kim, Y.S. ve Okamoto, S., 1996b. Experimental study of Bridge Seismic Sliding Isolation Systems, *Engineering Structures*, 18(4), 301-310.
- Uscinski, B.J., 1977. *The Elements of Wave Propagation in Random Media*, McGraw-Hill, New York.
- Wang, X.F. ve Gould, P.L, 1994. Effects of Pier Uplift and Sliding Isolation on Seismic Performance of Highway Bridges, *Fifth U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, EERI, California, 1, 871-880.
- Wung, C.D. ve Der Kiureghian, A., 1989. STOCAL-II: Computer-Assisted Learning System for Stochastic Dynamic Analysis of Structures, Part I Theory and Development, Report No. UCB/SEMM-89/10, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley, CA.
- Yang, C.Y., 1986. *Random Vibration of Structures*, First Edition, John Wiley, Inc., New York.
- Zayas, V.A., Low, S.S., Mahin, S.A. ve Bozzo L., 1989. Feasibility and Performance Studies on Improving the Earthquake Resistance of New Existing Building Using the Friction Pendulum System, Report No. UCB/EERC 89-09, University of California, Berkeley.

- Zayas, V.A., Low, S.S. ve Mahin, S.A., 1990. A Simple Pendulum Technique for Achieving Seismic Isolation, *Earthquake Spectra*, 6, 2, 317-333.
- Zembaty, Z., 1997. Vibrations of Bridge Structure under Kinematics Wave Excitations, *Journal of Structural Engineering*, 123, 4, 479-487.
- Zembaty, Z. ve Rutenberg, A., 1998a. On the Sensitivity of Bridge Seismic Response with Local Soil Amplification, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 27, 10, 1095-1099.
- Zembaty, Z. ve Rutenberg, A., 1998b. Sensitivity Analysis of Spatial Seismic Effects from Local Soil Amplification, *Eleventh European Conference on Earthquake Engineering*, Balkema, Rotterdam.
- Zerva, A., 1982. Stochastic Differential Ground Motion and Structural Response, Doktora Tezi, University of Illinois, Illinois.
- Zerva, A., 1990. Response of Multiple-Span Beams to Spatially Incoherent Seismic Ground Motions, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 19, 819-832.
- Zerva, A., 1991. Effect of Spatial Variability and Propagation of Seismic Ground Motions on the Response of Multiply Supported Structures, *Probabilistic Engineering Mechanics*, 6, 212-221.
- Zerva, A., 1992a. Seismic Loads Predicted by Spatial Variability Models, *Structural Safety*, 11, 227-243.
- Zerva, A., 1992b. Development of Differential Response Spectra From Spatial Variability Models, *Proc. of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering*, July 1992, 9, 5469-5474, Madrid, Spain.
- Zerva, A., 1999. Differential Response Spectra for the Seismic Response of Lifelines, *Proc. of the Fourth European Conference on Structural Dynamics*, 2, 1153-1158, Prague.

ÖZGEÇMİŞ

Şevket ATEŞ, 1972 yılında Gümüşhane Kelkit’de doğdu. İlk öğrenimini 1978-1983, orta ve lise öğrenimini ise 1983-1989 yılları arasında Trabzon’da tamamladı. 1992 yılında başlamış olduğu Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden 5 Temmuz 1996 tarihinde onur öğrencisi olarak mezun oldu. Ekim 1996’da mezun olduğu bölümde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Aralık 1997’te Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanlığı, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Daha sonra, Ağustos 1999’da hazırladığı “Viskoelastik Taban İzolasyonlu Binaların Lineer Olmayan Dinamik Analizi” isimli tez ile Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. Ekim 1999’da Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora çalışmalarına başladı. 17 Aralık 2002-17 Aralık 2003 tarihleri arasında Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında bir yıl 50/d kadrosunda Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. Evli ve bir çocuk babası olan **Şevket ATEŞ**, İngilizce bilmektedir.