

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELASTİK ZEMİNE OTURAN KABLOLU KÖPRÜLERİN STOKASTİK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Zeliha KUYUMCU

**OCAK 2011
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELASTİK ZEMİNE OTURAN KABLOLU KÖPRÜLERİN STOKASTİK ANALİZİ

İnş. Müh. Zeliha KUYUMCU

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İnşaat Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 31.12.2010
Tezin Savunma Tarihi : 19.01.2011**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Şevket ATEŞ
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Süleyman ADANUR
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Mustafa KAVRAZ**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Trabzon 2011

ÖNSÖZ

‘‘Elastik Zemine Oturan Kablolü Köprülerin Stokastik Analizi’’ konusunu kapsayan bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Kablolu köprülerin son yıllarda deprem olasılığı yüksek olan bölgelerde inşa edilmesi bir deprem bölgesi olan ülkemizde kablolu köprülerin etkin tasarımını önemli hale getirmiştir. Bu çalışmanın önümüzdeki yıllarda proje ve uygulayıcı inşaat mühendislerine yararlı olması arzusundayım.

Değerli hocam, danışmanım, Sayın Yrd. Doç. Dr. Şevket Ateş, tez çalışmasının gerçekleştirilmesi için gerekli ortamı hazırlamış, çalışmanın sonuca ulaştırılmasında ve karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında yol gösterici olmuştur.

Kendisine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Her konuda yardımlarını ve zamanını esirgemeyen, görüş ve önerilerinden yararlandığım Sayın Gökhan TONYALI'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca bana emeği geçen, beni bilgilendiren ve yönlendiren bütün hocalarımı saygıyla anar, kendilerine ömür boyu minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Yaşamım boyunca, hayatın her aşamasında benden desteğini esirgemeyen ve elinden geldiği her imkânı önüme sunan babam İ.Hakkı KUYUMCU ve annem Emine KUYUMCU'ya teşekkürü borç bilir ve bu çalışmanın ülkemize faydalı olmasını temenni ederim.

Zeliha KUYUMCU
Trabzon 2011

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XXVII
SEMBOLLER DİZİNİ	XXVIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı.....	1
1.2. Stokastik Analizin Temel İlkeleri.....	3
1.3. Kablolü Köprüler Hakkında Genel Bilgiler.....	6
1.3.1. Kablolü Köprülerin Tarihçesi ve Gelişimi	6
1.3.2. Kablolü Köprülerin Temel Özellikleri.....	7
1.3.3. Kablolü Köprülerin Yapısal Elemanları	9
1.3.3.1. Kablolü	10
1.3.3.2. Kuleler	12
1.3.3.3. Asal Kiriş.....	13
1.4. Kazık Temel Sistemi Hakkında Genel Bilgiler	14
1.4.1. Kazık Temellerin Kullanıldığı Yerler.....	17
1.4.2. Kazık Temel Çeşitleri	19
1.4.2.1. Zemine Yük aktarma Mekanizmasına Göre Kazıklar	20
1.4.2.1.1. Uç Kazıkları.....	20
1.4.2.1.2. Sürtünme Kazıkları.....	21
1.4.2.1.3. Çekme Kazıkları	22
1.4.2.1.4. Ankraj Kazıkları	23
1.4.2.1.5. Kompaksiyon Kazıkları	23
1.4.2.1.6. Eğik Kazıklar	24
1.5. Daha Önce Yapılmış Çalışmalar	24

2.	DEĞİŞEREK YAYILAN YER HAREKETİ İÇİN STOKASTİK ANALİZ FORMULASYONU	46
2.1.	Rastgele Titreşim Analizi	51
2.1.1.	Dinamik Tepki Bileşeni Varyansı	52
2.1.2.	Zahiri-Statik Tepki Bileşeni Varyansı	53
2.1.3.	Zahiri-Statik ve Dinamik Tepki Bileşenleri Arasındaki Kovaryans Fonksiyonu	54
2.1.4.	Toplam Tepki Bileşeninin Varyansı	55
2.1.5.	Ortalama Maksimum Değer ve Oluşma Frekansı	55
3.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	58
3.1.	Yer Hareketi Modeli	58
3.2.	Korelasyon Etkisi.....	64
3.3.	Dalga Yayılma Etkisi.....	66
3.4.	Yerel Zemin Etkisi.....	66
3.5.	Quincy Bay-view Kablolu Köprüsünün Yapısal Özellikleri	67
3.6.	Kablolu Köprünün Analitik Modeli.....	68
3.7.	Çalışmada Kullanılan Bilgisayar Programı	74
3.8.	Modal analiz	74
3.9.	Zemin-Kazık-Yapı Etkileşimi	76
3.10.	Elastik Kiriş Winkler Yöntemi	78
3.11.	Eşdeğer Düşey Kiriş Analojisi.....	79
3.12.	Zemin-Kazık Sisteminin Modellenmesi	81
4.	BULGULAR VE İRDELEMELER	86
4.1.	Kablolu Köprünün Değişerek Yayılan Yer Hareketi için Zemin-Yapı Etkileşimi Dikkate Alınmayan Stokastik Analizleri.....	86
4.1.1.	Sadece Dalga Yayılma Etkisinin Dikkate Alınması Durumunda Zemin- Yapı Etkileşimi Dikkate Alınmayan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının İrdelenmesi	86
4.1.2.	Sadece Korelasyon Etkisinin Dikkate Alınması Durumunda Zemin Yapı- Etkileşimi Dikkate Alınmayan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının İncelenmesi.....	98
4.1.3.	Sadece Uniform Yer Hareketi Etkisinin Dikkate Alınması Durumunda Zemin Yapı-Etkileşimi Dikkate alınmayan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının İncelenmesi	110
4.1.4.	Dalga Yayılma, Korelasyon ve Uniform Yer Hareketi Etkilerinin Dikkate Alınması Durumunda Zemin Yapı-Etkileşimi Dikkate Alınmayan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının İrdelenmesi	121

4.2.	Kablolu Köprünün Değişerek Yayılan Yer Hareketi için Zemin-Yapı Etkileşimi Dikkate Alınan Stokastik Analizleri.....	132
4.2.1.	Sadece Dalga Yayılma Etkisinde Zemin-Yapı Etkileşimi Dikkate Alınan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının İncelenmesi.....	132
4.2.2.	Sadece Korelasyon Etkisinin Dikkate Alınması Durumunda Zemin Yapı Etkileşimi Dikkate Alınan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının İrdelenmesi.....	144
4.2.3.	Sadece Uniform Yer Hareketi Etkisinin Dikkate Alınması Durumunda Zemin Yapı-Etkileşimi Dikkate Alınan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının İrdelenmesi.....	155
4.2.4.	Dalga Yayılma, Korelasyon ve Uniform Yer Hareketi Etkilerinin Dikkate alınması Durumunda Zemin Yapı-Etkileşimi Dikkate Alınan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının İncelenmesi.....	166
4.3.	Zemin-Yapı Etkileşimi Dikkate Alınan ve Alınmayan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	177
4.3.1.	Sadece Dalga Yayılma Etkisinin Dikkate Alınması Durumunda Zemin Yapı Etkileşimi Dikkate Alınan ve Alınmayan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	177
4.3.2	Sadece Korelasyon Etkisinin Dikkate Alınması Durumunda Zemin Yapı Etkileşimi Dikkate Alınan ve Alınmayan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	186
4.3.3.	Sadece Uniform Yer Hareketi Etkisinin Dikkate Alınması Durumunda Zemin-Yapı Etkileşimi Dikkate Alınan ve Alınmayan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	195
4.3.4.	Dalga Yayılma, Korelasyon ve Uniform Yer Hareketi Etkilerinin Dikkate Alınması Durumunda Zemin-Yapı Etkileşimi Dikkate Alınan ve Alınmayan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	204
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	213
6.	KAYNAKLAR.....	219
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Bu çalışma, değişerek yayılan yer hareketine maruz kablolu köprülerde zemin-yapı etkileşiminin stokastik davranışlar üzerindeki etkilerini içermektedir. Kablolu köprünün sonlu eleman modeli; köprü tabliyesi, kuleler ve kazık temel gruplarından oluşmaktadır. Zemin ise elastik kiriş Winkler modeli ile temsil edilmiştir. Yer tabakasının karmaşık yapısı, yapı sistemlerinin analizinde farklı noktalardaki deprem hareketinin değişiminden doğan etkilerin dinamik analizde dikkate alınmasını gerekli yapar. Bu amaçla hazırlanan çalışma aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır.

Çalışmanın ilk bölümünde genel olarak kablolu köprülerin tarihsel gelişiminden, yapısal bileşenlerinin özelliklerinden ve kazık temel sisteminden ve konu ile ilgili çalışmalardan bahsedilmiştir.

İkinci bölümde stokastik analiz formülasyonu, yer hareketinin değişerek yayılması göz önünde bulundurularak sunulmaktadır.

Üçüncü bölümde stokastik analizde kullanılan yer hareket modeli tanımlanmaktadır. Ayrıca, zemin-kazık etkileşimi ve uygulama amacı olarak seçilen Quincy Bay-view köprüsünün analitik modelinden bahsedilmektedir.

Dördüncü bölümde değişerek yayılan deprem etkileri için zemin-yapı etkileşimini içeren ve içermeyen kablolu köprünün analizi ile elde edilen tepki bileşenleri irdelenmektedir. Beşinci bölümde çalışmadan çıkarılabilecek sonuçlar ve öneriler verilirken, bu bölümü kaynaklar izlemektedir.

Çalışma sonucunda zemin-yapı etkileşimi ve deprem hareketindeki değişimi tanımlayan korelasyon, dalga yayılma ve üniform yer hareketi etkilerinin kablolu köprünün dinamik davranışı üzerinde önemli etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir. bu yüzden, söz konusu etkilerin kablolu köprü gibi uzun açıklıklı yapı sistemlerinin dinamik analizinde dikkate alınması gereği ifade edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kablolu Köprü, Korelasyon Etkisi, Dalga Yayılma Etkisi, Zemin-Yapı Etkileşimi, Elastik Kiriş Winkler Modeli, Kazıklı Temel, Üniform Yer Hareketi, Stokastik Analiz.

SUMMARY

Stochastic Response Analysis of Cable-Stayed Bridge Founded on Elastic Foundation

Soil conditions have a great deal to do with damage to structures during earthquakes. In this study, stochastic responses of a cable-stayed bridge which supported on vertical pile groups subjected to the spatially varying earthquake ground motion are investigated by the finite element method with and without soil-structure interaction (SSI) effects. Because of the complex nature of earth crust, the spatially of earthquake motion should be taken into account in the dynamic analysis of long span structures. The study prepared with this scope includes the following chapters.

In the first chapter of the study is mentioned historical evolution and structural components of cable stayed bridges, pile foundation systems and previous researches which related with this study.

In the second chapter, the formulation of stochastic analysis of the considering spatially varying ground motions is presented.

In the third chapter, the ground motion used in the stochastic analyses is described. In addition, the analytical model of the selected Quincy Bay-view Bridge and soil-pile interaction are obtained.

In the fourth chapter, response values obtained from the stochastic analyses with and without soil-structure interaction effects are examined. Results and recommendations are given in the fifth chapter, the references are presented in the next chapter.

As a result, it is observed that the soil-structure interaction effects and incoherence, wave-passage and uniform ground motion effects which define spatially varying of the ground motions, have significant effects on the dynamic behavior of cable-stayed bridge. So, these effects should be taken into account for dynamic analysis of long structural systems like cable-stayed bridges.

Key Words: Cable-Stayed Bridge, Incoherence Effect, Wave-Passage Effect, Uniform Ground Motion Effect, Soil-Structure Interaction, Pile Foundation, Stochastic Analysis

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Kablolü köprünün temel elemanları	9
Şekil 1.2. Kablolü köprünün yük taşıma prensibi.....	10
Şekil 1.3. Kablolü köprülerde farklı kablo şekilleri.....	11
Şekil 1.4. Kablolü köprülerde çeşitli kule tipleri, a) Tekil kule, b) ve c) H şekilli kule, d) A şekilli kule, e) Elmas şekilli kule, f) Ters Y şekilli kule.....	13
Şekil 1.5. Deprem hareketi nedeniyle kazıklarda zorlama mekanizmaları.....	17
Şekil 1.6. Kazıklı temellerin kullanım yerleri.....	19
Şekil 1.7. Uç kazığı	21
Şekil 1.8. Sürtünme kazığı	21
Şekil 1.9. Çekme kazığı	22
Şekil 1.10. Ankraj kazığı	23
Şekil 1.11. Kompaksiyon kazığı	23
Şekil 1.12. Eğik Kazıklar	24
Şekil 3.1. 1999 Kocaeli depremi Düzce istasyonu DZC270 bileşeni ivme kaydı	59
Şekil 3.2. 1999 Kocaeli depremi Düzce İstasyonu DZC270 bileşeni ivme kaydına ait ivme spektral yoğunluk fonksiyonu.....	62
Şekil 3.3. 1999 Kocaeli Depremi DZC270 bileşeni için filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareket modeline ait ivme spektral yoğunluk fonksiyonu	63
Şekil 3.4. 1999 Kocaeli Depremi DZC270 bileşeni için filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareket modeline ait yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonu	63
Şekil 3.5. Quincy Bay-view Köprüsü	67
Şekil 3.6. Quincy Bay-view köprüsünün iki boyutlu matematik modeli.....	71
Şekil 3.7. Quincy Bay-view köprüsüne ait düğüm noktası numaraları	72
Şekil 3.8. Quincy Bay-view köprüsüne ait tabliye eleman numaraları.....	72
Şekil 3.9. Quincy Bay-view köprüsüne ait kablo eleman numaraları.....	73
Şekil 3.10. Kule sonlu eleman modeli	73
Şekil 3.11. Gruplandırılmış kazık- zemin sistemi.....	80

Şekil 3.12.	Aktif kazık uzunluğu	80
Şekil 3.13.	Kablolu köprünün zemin-kazık sisteminin iki boyutlu sonlu eleman modeli ve düğüm noktası numaraları.....	81
Şekil 3.14	Eşdeğer düşey giriş modeli.....	82
Şekil 4.1	Sadece dalga yayılma etkisine maruz köprünün modeli.....	87
Şekil 4.2.	Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin toplam normal kuvvetleri	90
Şekil 4.3.	Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin dinamik normal kuvvetleri	90
Şekil 4.4.	Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin zahiri-statik normal kuvvetleri	90
Şekil 4.5.	Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin toplam kesme kuvvetleri	91
Şekil 4.6.	Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin dinamik kesme kuvvetleri	91
Şekil 4.7.	Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri	91
Şekil 4.8.	Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin toplam eğilme momentleri.....	92
Şekil 4.9.	Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin dinamik eğilme momentleri.....	92
Şekil 4.10.	Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri	92
Şekil 4.11.	Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin sert zemindeki yerdeğiştirmeleri	93
Şekil 4.12.	Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin orta zemindeki yerdeğiştirmeleri	93
Şekil 4.13.	Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki yerdeğiştirmeleri	93
Şekil 4.14.	Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin toplam normal kuvvetleri.....	94
Şekil 4.15.	Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin dinamik normal kuvvetleri	94
Şekil 4.16.	Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin zahiri-statik normal kuvvetler	94
Şekil 4.17.	Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin toplam kesme kuvvetleri.....	95
Şekil 4.18.	Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin dinamik kesme kuvvetleri	95
Şekil 4.19.	Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri	95

Şekil 4.20.	Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin toplam eğilme momentleri.....	96
Şekil 4.21.	Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin dinamik eğilme momentleri.....	96
Şekil 4.22.	Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin zahiri-statik eğilme momentleri.....	96
Şekil 4.23.	Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin toplam yerdeğiştirmeler	97
Şekil 4.24.	Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin dinamik yerdeğiştirmeler	97
Şekil 4.25.	Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin zahiri-statik yerdeğiştirmeler	97
Şekil 4.26.	Sadece korelasyon etkisine maruz köprünün modeli.....	98
Şekil 4.27.	Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin toplam normal kuvvetleri.....	102
Şekil 4.28.	Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin dinamik normal kuvvetleri	102
Şekil 4.29.	Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin zahiri-statik normal kuvvetleri	102
Şekil 4.30.	Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin toplam kesme kuvvetleri	103
Şekil 4.31.	Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin dinamik kesme kuvvetleri.....	103
Şekil 4.32.	Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri	103
Şekil 4.33.	Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin toplam eğilme momentleri.....	104
Şekil 4.34.	Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin dinamik eğilme momentleri.....	104
Şekil 4.35.	Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin zahiri statik eğilme momentleri.....	104
Şekil 4.36.	Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin sert zemindeki yerdeğiştirmeleri	105
Şekil 4.37.	Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin orta zemindeki yerdeğiştirmeleri	105
Şekil 4.38.	Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki yerdeğiştirmeleri	105
Şekil 4.39.	Korelasyon etkisinde köprü kulesinin toplam normal kuvvetleri.....	106
Şekil 4.40.	Korelasyon etkisinde köprü kulesinin dinamik normal kuvvetler	106
Şekil 4.41.	Korelasyon etkisinde köprü kulesinin zahiri-statik normal kuvvetler	106
Şekil 4.42.	Korelasyon etkisinde köprü kulesinin toplam kesme kuvvetleri.....	107
Şekil 4.43.	Korelasyon etkisinde köprü kulesinin dinamik kesme kuvvetleri.....	107

Şekil 4.44.	Korelasyon etkisinde köprü kulesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri	107
Şekil 4.45.	Korelasyon etkisinde köprü kulesinin toplam eğilme momentleri	108
Şekil 4.46.	Korelasyon etkisinde köprü kulesinin dinamik eğilme momentleri	108
Şekil 4.47.	Korelasyon etkisinde köprü kulesinin zahiri-statik eğilme momentleri	108
Şekil 4.48.	Korelasyon etkisinde köprü kulesinin toplam yerdeğiştirmeleri	109
Şekil 4.49.	Korelasyon etkisinde köprü kulesinin dinamik yerdeğiştirmeleri	109
Şekil 4.50.	Korelasyon etkisinde köprü kulesinin zahiri-statik yerdeğiştirmeleri	109
Şekil 4.51.	Sadece uniform yer hareketi etkisine maruz köprünün modeli	110
Şekil 4.52.	Uniform yer hareketinde köprü tabliyesinin toplam normal kuvvetleri	113
Şekil 4.53.	Uniform yer hareketinde köprü tabliyesinin dinamik normal kuvvetleri	113
Şekil 4.54.	Uniform yer hareketinde köprü tabliyesinin zahiri-statik normal kuvvetleri	113
Şekil 4.55.	Uniform yer hareketinde köprü tabliyesinin toplam kesme kuvvetleri	114
Şekil 4.56.	Uniform yer hareketinde köprü tabliyesinin dinamik kesme kuvvetleri	114
Şekil 4.57.	Uniform yer hareketinde köprü tabliyesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri	114
Şekil 4.58.	Uniform yer hareketinde köprü tabliyesinin toplam eğilme momentleri	115
Şekil 4.59.	Uniform yer hareketinde köprü tabliyesinin dinamik eğilme momentleri	115
Şekil 4.60.	Uniform yer hareketinde köprü tabliyesinin zahiri-statik eğilme momentleri	115
Şekil 4.61.	Uniform yer hareketinde köprü tabliyesinin sert zemindeki yerdeğiştirmeleri	116
Şekil 4.62.	Uniform yer hareketinde köprü tabliyesinin orta zemindeki yerdeğiştirmeleri	116
Şekil 4.63.	Uniform yer hareketinde köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki yerdeğiştirmeleri	116
Şekil 4.64.	Uniform yer hareketinde köprü kulesinin toplam normal kuvvetler	117
Şekil 4.65.	Uniform yer hareketinde köprü kulesinin dinamik normal kuvvetler	117

Şekil 4.66.	Uniform yer hareketinde köprü kulesinin zahiri-statik normal kuvvetler	117
Şekil 4.67.	Uniform yer hareketinde köprü kulesinin toplam kesme kuvvetleri	118
Şekil 4.68.	Uniform yer hareketinde köprü kulesinin dinamik kesme kuvvetleri	118
Şekil 4.69.	Uniform yer hareketinde köprü kulesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri	118
Şekil 4.70.	Uniform yer hareketinde köprü kulesinin toplam eğilme momentleri	119
Şekil 4.71.	Uniform yer hareketinde köprü kulesinin dinamik eğilme momentleri	119
Şekil 4.72.	Uniform yer hareketinde köprü kulesinin dinamik eğilme momentleri	119
Şekil 4.73.	Uniform yer hareketinde köprü kulesinin toplam yerdeğiştirmeler	120
Şekil 4.74.	Uniform yer hareketinde köprü kulesinin dinamik yerdeğiştirmeler	120
Şekil 4.75.	Uniform yer hareketinde köprü kulesinin zahiri-statik yerdeğiştirmeler	120
Şekil 4.76.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisine maruz köprünün modeli	121
Şekil 4.77.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin toplam normal kuvvetleri	124
Şekil 4.78.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin dinamik normal kuvvetleri	124
Şekil 4.79.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin zahiri-statik normal kuvvetleri	124
Şekil 4.80.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin toplam kesme kuvvetleri	125
Şekil 4.81.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin dinamik kesme kuvvetleri	125
Şekil 4.82.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri	125
Şekil 4.83.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin toplam eğilme momentleri	126
Şekil 4.84.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin dinamik eğilme momentleri	126
Şekil 4.85.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin zahiri-statik eğilme momentleri	126
Şekil 4.86.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin sert zemindeki yerdeğiştirmeleri	127

Şekil 4.87.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin orta zemindeki yerdeğiştirmeleri	127
Şekil 4.88.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki yerdeğiştirmeleri	127
Şekil 4.89.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin toplam normal kuvvetleri.....	128
Şekil 4.90.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin dinamik normal kuvvetleri.....	128
Şekil 4.91.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin dinamik normal kuvvetleri.....	128
Şekil 4.92.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin toplam kesme kuvvetleri.....	129
Şekil 4.93.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin dinamik kesme kuvvetleri.....	129
Şekil 4.94.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri.....	129
Şekil 4.95.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin toplam eğilme momentleri.....	130
Şekil 4.96.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin dinamik eğilme momentleri.....	130
Şekil 4.97.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin zahiri-statik eğilme momentleri.....	130
Şekil 4.98.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin toplam yerdeğiştirmeleri.....	131
Şekil 4.99.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin dinamik yerdeğiştirmeleri.....	131
Şekil 4.100.	Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin zahiri-statik yerdeğiştirmeleri.....	131
Şekil 4.101.	Dalga yayılma etkisine maruz zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprünün analitik modeli.....	133
Şekil 4.102.	Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam normal kuvvetleri.....	136
Şekil 4.103.	Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik normal kuvvetleri.....	136
Şekil 4.104.	Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik normal kuvvetleri.....	136
Şekil 4.105.	Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam kesme kuvvetleri.....	137
Şekil 4.106.	Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik kesme kuvvetleri.....	137

Şekil 4.107. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik normal kuvvetleri.....	137
Şekil 4.108. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam eğilme momentleri.....	138
Şekil 4.109. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik eğilme momentleri.....	138
Şekil 4.110. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik eğilme momentleri.....	138
Şekil 4.111. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin sert zemindeki yerdeğiştirmeleri.....	139
Şekil 4.112. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin orta zemindeki yerdeğiştirmeleri.....	139
Şekil 4.113. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki yerdeğiştirmeleri.....	139
Şekil 4.114. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesindeki toplam normal kuvvetler.....	140
Şekil 4.115. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesindeki dinamik normal kuvvetler.....	140
Şekil 4.116. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesindeki zahiri-statik normal kuvvetler.....	140
Şekil 4.117. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesindeki toplam kesme kuvvetleri.....	141
Şekil 4.118. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesindeki dinamik kesme kuvvetleri.....	141
Şekil 4.119. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesindeki zahiri-statik kesme kuvvetleri.....	141
Şekil 4.120. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesindeki toplam eğilme momentleri.....	142
Şekil 4.121. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesindeki dinamik eğilme momentleri.....	142
Şekil 4.122. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesindeki zahiri-statik eğilme momentleri.....	142
Şekil 4.123. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesindeki toplam yerdeğiştirmeler.....	143
Şekil 4.124. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesindeki dinamik yerdeğiştirmeler.....	143
Şekil 4.125. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesindeki zahiri-statik yerdeğiştirmeler.....	143
Şekil 4.126. Sadece korelasyon etkisine maruz zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprünün modeli.....	144

Şekil 4.127. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam normal kuvvetleri	147
Şekil 4.128. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik normal kuvvetleri	147
Şekil 4.129. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik normal kuvvetleri	147
Şekil 4.130. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam kesme kuvvetleri	148
Şekil 4.131. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik kesme kuvvetleri	148
Şekil 4.132. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri	148
Şekil 4.133. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam eğilme momentleri	149
Şekil 4.134. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik eğilme momentleri	149
Şekil 4.135. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik eğilme momentleri	149
Şekil 4.136. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin sert zemindeki yerdeğiştirmeleri	150
Şekil 4.137. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin orta zemindeki yerdeğiştirmeleri	150
Şekil 4.138. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki yerdeğiştirmeleri	150
Şekil 4.139. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam normal kuvvetleri	151
Şekil 4.140. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin dinamik normal kuvvetleri	151
Şekil 4.141. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik normal kuvvetleri	151
Şekil 4.142. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam kesme kuvvetleri	152
Şekil 4.143. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin dinamik kesme kuvvetleri	152
Şekil 4.144. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri	152
Şekil 4.145. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam eğilme momentleri	153
Şekil 4.146. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin dinamik eğilme momentleri	153

Şekil 4.147	Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik eğilme momentleri	153
Şekil 4.148.	Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam yerdeğiştirmeleri	154
Şekil 4.149.	Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin dinamik yerdeğiştirmeleri	154
Şekil 4.150.	Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik yerdeğiştirmeleri	154
Şekil 4.151.	Sadece uniform yer hareketi etkisine maruz zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprünün modeli	155
Şekil 4.152.	Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam normal kuvvetleri	158
Şekil 4.153.	Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik normal kuvvetleri	158
Şekil 4.154.	Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik normal kuvvetleri	158
Şekil 4.155.	Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam kesme kuvvetleri	159
Şekil 4.156.	Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik kesme kuvvetleri	159
Şekil 4.157.	Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri	159
Şekil 4.158.	Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam eğilme momentleri	160
Şekil 4.159.	Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik eğilme momentleri	160
Şekil 4.160.	Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik eğilme momentleri	160
Şekil 4.161.	Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin sert zemindeki yerdeğiştirmeleri	161
Şekil 4.162.	Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin orta zemindeki yerdeğiştirmeleri	161
Şekil 4.163.	Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki yerdeğiştirmeleri	161
Şekil 4.164.	Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam normal kuvvetleri	162
Şekil 4.165	Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam kesme kuvvetleri	162
Şekil 4.166.	Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik normal kuvvetleri	162

Şekil 4.167. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam kesme kuvvetleri	163
Şekil 4.168. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin dinamik kesme kuvvetleri	163
Şekil 4.169. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri	163
Şekil 4.170. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam eğilme momentleri	164
Şekil 4.171. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin dinamik eğilme momentleri	164
Şekil 4.172. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik eğilme momentler	164
Şekil 4.173. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam yerdeğiştirmeleri	165
Şekil 4.174. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin dinamik yerdeğiştirmeleri	165
Şekil 4.175. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik yerdeğiştirmeleri	165
Şekil 4.176. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisine maruz zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprünün modeli.....	166
Şekil 4.177. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam normal kuvvetleri.....	169
Şekil 4.178. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik normal kuvvetleri.....	169
Şekil 4.179. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik normal kuvvetleri	169
Şekil 4.180. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam kesme kuvvetleri	170
Şekil 4.181. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik kesme kuvvetleri	170
Şekil 4.182. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri	170
Şekil 4.183. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam eğilme momentleri	171

Şekil 4.184. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik eğilme momentleri	171
Şekil 4.185. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik eğilme momentleri	171
Şekil 4.186. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin sert zemindeki yerdeğiştirmeleri	172
Şekil 4.187. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin orta zemindeki yerdeğiştirmeleri	172
Şekil 4.188. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki yerdeğiştirmeleri	172
Şekil 4.189. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam normal kuvvetleri.....	173
Şekil 4.190. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin dinamik normal kuvvetleri.....	173
Şekil 4.191. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik normal kuvvetleri.....	173
Şekil 4.192. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam kesme kuvvetleri	174
Şekil 4.193. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin dinamik kesme kuvvetleri	174
Şekil 4.194. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri	174
Şekil 4.195. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam eğilme momentleri	175
Şekil 4.196. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin dinamik eğilme momentleri	175
Şekil 4.197. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik eğilme momentleri	175

Şekil 4.198. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam yerdeğiştirmeleri	176
Şekil 4.199. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin dinamik yerdeğiştirmeleri	176
Şekil 4.200. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik yerdeğiştirmeleri	176
Şekil 4.201. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam normal kuvvetleri	178
Şekil 4.202. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam normal kuvvetleri	178
Şekil 4.203. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam normal kuvvetleri	178
Şekil 4.204. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam kesme kuvvetleri	179
Şekil 4.205. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam kesme kuvvetleri	179
Şekil 4.206. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam kesme kuvvetleri	179
Şekil 4.207. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam eğilme momentleri	180
Şekil 4.208. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam eğilme momentleri	180
Şekil 4.209. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam eğilme momentleri	180
Şekil 4.210. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri	181
Şekil 4.211. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri	181

Şekil 4.212. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri	181
Şekil 4.213. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam normal kuvvetleri	182
Şekil 4.214. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam normal kuvvetleri	182
Şekil 4.215. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam normal kuvvetleri	182
Şekil 4.216. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam kesme kuvvetleri	183
Şekil 4.217. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam kesme kuvvetleri	183
Şekil 4.218. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam kesme kuvvetleri	183
Şekil 4.219. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam eğilme momentleri	184
Şekil 4.220. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam eğilme momentleri	184
Şekil 4.221. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam eğilme momentleri	184
Şekil 4.222. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri	185
Şekil 4.223. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri	185
Şekil 4.224. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri	185
Şekil 4.225. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam normal kuvvetleri	187

Şekil 4.226. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam normal kuvvetleri	187
Şekil 4.227. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam normal kuvvetleri	187
Şekil 4.228. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam kesme kuvvetleri	188
Şekil 4.229. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam kesme kuvvetleri	188
Şekil 4.230. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam kesme kuvvetleri	188
Şekil 4.231. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam eğilme momentleri	189
Şekil 4.232. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam eğilme momentleri	189
Şekil 4.233. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam eğilme momentleri	189
Şekil 4.234. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri	190
Şekil 4.235. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri	190
Şekil 4.236. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri	190
Şekil 4.237. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam normal kuvvetleri	191
Şekil 4.238. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam normal kuvvetleri	191
Şekil 4.239. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam normal kuvvetleri	191

Şekil 4.240. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam kesme kuvvetleri	192
Şekil 4.241. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam kesme kuvvetleri	192
Şekil 4.242. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam kesme kuvvetleri	192
Şekil 4.243. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam eğilme momentleri	193
Şekil 4.244. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam eğilme momentleri	193
Şekil 4.245. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam eğilme momentleri	193
Şekil 4.246. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri	194
Şekil 4.247. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri	194
Şekil 4.248. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri	194
Şekil 4.249. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam normal kuvvetleri	196
Şekil 4.250. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam normal kuvvetleri	196
Şekil 4.251. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam normal kuvvetleri	196
Şekil 4.252. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam kesme kuvvetleri	197
Şekil 4.253. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam kesme kuvvetleri	197

Şekil 4.254. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam kesme kuvvetleri	197
Şekil 4.255. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam eğilme momentleri	198
Şekil 4.256. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam eğilme momentleri	198
Şekil 4.257. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam eğilme momentleri	198
Şekil 4.258. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri	199
Şekil 4.259. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri	199
Şekil 4.260. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri	199
Şekil 4.261. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam normal kuvvetleri	200
Şekil 4.262. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam normal kuvvetleri	200
Şekil 4.263. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam normal kuvvetleri	200
Şekil 4.264. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam kesme kuvvetleri	201
Şekil 4.265. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam kesme kuvvetleri	201
Şekil 4.266. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam kesme kuvvetleri	201
Şekil 4.267. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam eğilme momentleri	202

Şekil 4.268. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam eğilme momentleri.....	202
Şekil 4.269. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam eğilme momentleri.....	202
Şekil 4.270. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri.....	203
Şekil 4.271. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri.....	203
Şekil 4.272. Uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri.....	203
Şekil 4.273. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam normal kuvvetleri.....	205
Şekil 4.274. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam normal kuvvetleri.....	205
Şekil 4.275. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam normal kuvvetleri.....	205
Şekil 4.276. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam kesme kuvvetleri.....	206
Şekil 4.277. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam kesme kuvvetleri.....	206
Şekil 4.278. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam kesme kuvvetleri.....	206
Şekil 4.279. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam eğilme momentleri.....	207
Şekil 4.280. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam eğilme momentleri.....	207
Şekil 4.281. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam eğilme momentleri.....	207

Şekil 4.282. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri	208
Şekil 4.283. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri	208
Şekil 4.284. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri.....	208
Şekil 4.285. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam normal kuvvetleri.....	209
Şekil 4.286. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam normal kuvvetleri.....	209
Şekil 4.287. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam normal kuvvetleri	209
Şekil 4.288. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam kesme kuvvetleri.....	210
Şekil 4.289. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam kesme kuvvetleri	210
Şekil 4.290. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam kesme kuvvetleri	210
Şekil 4.291. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam eğilme momentleri.....	211
Şekil 4.292. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam eğilme momentleri	211
Şekil 4.293. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam eğilme momentleri	211
Şekil 4.294. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri.....	212
Şekil 4.295. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri	212

Şekil 4.296. Dalga yayılma, korelasyon ve uniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri	212
--	-----

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Çeşitli zemin türleri için spektral yoğunluk fonksiyonu filtre parametreleri	61
Tablo 3.2. Çeşitli zemin türleri için hesaplanan Φ değerleri	61
Tablo 3.3. Çeşitli zemin türleri için hesaplanan beyaz gürültü işleminin spektral yoğunluk fonksiyonu genlik, S_0 , değerleri	62
Tablo 3.4. Kule ve köprü tabliyesi kesit özellikleri	70
Tablo 3.5. Kablo özellikleri	70
Tablo 3.6. Kablo köprünün özdeğer, açısal frekans ve periyot değerleri	75
Tablo 3.7. Zemin cinslerin göre yatak katsayısı değerleri	83
Tablo 3.8. Farklı derinliklerdeki Yumuşak, Orta ve Sert zeminlerin dinamik özellikleri	85

SEMBOLLER DİZİNİ

$[M]$: Kütle matrisi
$[C]$: Sönüm matrisi
$[K]$: Rijitlik matrisi
$\{v\}$: Toplam yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{v}\}$: Toplam hız vektörü
$\{\ddot{v}\}$: Toplam ivme vektörü
$\{F\}$: Dış kuvvet vektörü
$\{v_g\}$: Bilinen serbestlik derecelerinin toplam yerdeğiştirme vektörü
$\{v_r\}$: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin toplam yerdeğiştirme vektörü
$[M_{rr}]$: Bilinmeyen serbestlik dereceleri ile ilgili kütle matrisi
$[C_{rr}]$: Bilinmeyen serbestlik dereceleri ile ilgili sönüm matrisi
$[K_{rr}]$: Bilinmeyen serbestlik dereceleri ile ilgili rijitlik 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
$\{\ddot{v}_r\}$: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin toplam ivme vektörü
$\{\dot{v}_r\}$: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin toplam hız vektörü
$\{v_r\}$: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin toplam yerdeğiştirme vektörü
$\{\ddot{v}_g\}$: Bilinen serbestlik derecelerinin toplam ivme vektörü
$\{\dot{v}_g\}$: Bilinen serbestlik derecelerinin toplam hız vektörü
$\{v_g\}$: Bilinen serbestlik derecelerinin toplam yerdeğiştirme vektörü

v_s	: Zahiri-statik yerdeğiştirme
v_d	: Dinamik yerdeğiştirme
$\{\ddot{v}_{dg}\}$: Bilinen serbestlik derecelerinin dinamik ivme vektörü
$\{\dot{v}_{dg}\}$: Bilinen serbestlik derecelerinin dinamik hız vektörü
$\{v_{dg}\}$: Bilinen serbestlik derecelerinin dinamik yerdeğiştirme vektörü
$\{\ddot{v}_{sg}\}$: Bilinen serbestlik derecelerinin zahiri-statik ivme vektörü
$\{\dot{v}_{sg}\}$: Bilinen serbestlik derecelerinin zahiri-statik hız vektörü
$\{v_{sg}\}$: Bilinen serbestlik derecelerinin zahiri-statik yerdeğiştirme vektörü
$\{\ddot{v}_{dr}\}$: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin dinamik ivme vektörü
$\{\dot{v}_{dr}\}$: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin dinamik hız vektörü
$\{v_{dr}\}$: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin dinamik yerdeğiştirme vektörü
$\{\ddot{v}_{sr}\}$: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin zahiri-statik ivme vektörü
$\{\dot{v}_{sr}\}$: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin zahiri-statik hız vektörü
$\{v_{sr}\}$: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin zahiri-statik yerdeğiştirme vektörü
$\{F_{eff}\}$: Bilinmeyen serbestlik derecelerini etkileyen etkili kuvvet vektörü
$[R_{rg}]$: Zahiri-statik etki katsayısı
ω	: Açısal frekans
$\{Y\}$: Modal genlik
$[\phi]$: Mod Şekilleri matrisi
ξ	: Sönüm oranı
$\{\Gamma\}$: Modal katkı faktörü
$z(t)$: Herhangi bir yapı davranışı
$z^{qs}(t)$: Yapı davranışına ait zahiri-statik bileşen
$z^d(t)$: Yapı davranışına ait dinamik bileşen

$[R_z(\tau)]$: Yapı davranışına ait özilişki fonksiyonu
$[R_z^d(\tau)]$: Yapı davranışına ait dinamik bileşenin özilişki fonksiyonu
$[R_z^{qs}(\tau)]$: Yapı davranışına ait zahiri-statik bileşenin özilişki fonksiyonu
$[R_z^{d, qs}(\tau)]$: Yapı davranışına ait dinamik ve zahiri-statik bileşenlerinin çapraz ilişki fonksiyonu
$[R_z^{qs, d}(\tau)]$: Yapı davranışına ait zahiri-statik ve dinamik bileşenlerinin çapraz ilişki fonksiyonu
$[S_z(\omega)]$: Yapı davranışına ait spektral yoğunluk fonksiyonu
$[S_z^d(\omega)]$: Yapı davranışına ait dinamik bileşenin spektral yoğunluk fonksiyonu
$[S_z^{qs}(\omega)]$: Yapı davranışına ait zahiri-statik bileşenin spektral yoğunluk fonksiyonu
$[S_z^{d, qs}(\omega)]$: Yapı davranışına ait dinamik ve zahiri-statik bileşenleri arasındaki çapraz spektral yoğunluk fonksiyonu
$[S_z^{qs, d}(\omega)]$: Yapı davranışına ait zahiri-statik ve dinamik bileşenleri arasındaki çapraz spektral yoğunluk fonksiyonu
S_o	: Spektral yoğunluk fonksiyonu genlik değeri
$[\Psi]$: Eleman kuvvetleri matrisi
$S_{\ddot{v}_{gl} \ddot{v}_{gm}}(\omega)$: l ve m mesnet noktalarındaki yer hareket ivmelerinin karşıt güç spektral yoğunluk fonksiyonu
$H(\omega)$: Frekans davranış fonksiyonu
σ_z	: Yapı tepkisinin standart sapması
$\sigma_{\dot{z}}$: Yapı tepkisinin türevinin standart sapması
σ_z^2	: Yapı tepkisinin varyansı
$\sigma_z^{2, qs}$: Yapı tepkisinin zahiri-statik bileşen varyansı
$\sigma_{z_i}^{2, d}$: Yapı tepkisinin dinamik bileşen varyansı
$\sigma_{\ddot{v}_g}^2$: Yer hareket ivmesinin varyansı
ω_j	: j .moda ait doğal frekans
ξ_j	: j .moda ait sönüm oranı

$[A]$: Mesnet noktalarının birim hareketinin neden olduğu statik yerdeğiştirme veya eleman kuvvetleri matrisi
$Cov(z^{qs}, z^d)$: Zahiri-statik ve dinamik bileşenler arasındaki kovaryans fonksiyonu
μ	: Ortalama maksimum değer
p	: Yer hareket ivmesinin fonksiyonu olan maksimum büyüklük faktörü
q	: Sıfır seviyesinin ortalama geçiş sayısının fonksiyonu olan maksimum büyüklük faktörü
ν_e	: Sıfır seviyesinin indirgenmiş ortalama geçiş sayısı
ν_0	: Oluşma frekansı
$\ddot{z}(t)$: Stasyonier olmayan işlem için yer hareketi ivmesi
$\ddot{u}(t)$: Stasyonier işlem için yer hareket ivmesi
$e(t)$: Deterministik çarpım faktörü
$Y_j(t)$: j. mod için genelleştirilmiş yerdeğiştirme tepkisi
$h_j(t)$: j. mod için impuls tepki fonksiyonu
$H_j(\omega, t)$: Stasyonier olmayan davranış için frekans davranış fonksiyonu
$H_j(\omega)$: Stasyonier davranış için frekans davranış fonksiyonu
$S_{\dot{v}_{g_l} \dot{v}_{g_m}}(\omega)$: l ve m mesnet noktaları arasındaki yer hareketinin çapraz güç spektral yoğunluk fonksiyonu
$\gamma_{lm}(\omega)$: Korelasyon fonksiyonu
$ \gamma_{lm}(\omega) ^k$: Korelasyon etkisi
$\gamma_{lm}(\omega)^d$: Dalga yayılma etkisi
$\gamma_{lm}(\omega)^z$: Mesnetlerdeki farklı zemin etkisi
$H_f(\omega)$: Zemine ait birinci filtre fonksiyonu
$H_g(\omega)$: Zemine ait ikinci filtre fonksiyonu
$h_{lm}(\omega)$: Düzlem dalga faktörü
$H_l(\omega)$: l mesnetindeki zemin filtre fonksiyonu

ω_f	: Birinci filtreye ait doğal frekans
ξ_f	: Birinci filtreye ait sönüm oranı
ω_g	: İkinci filtreye ait doğal frekans
ξ_g	: İkinci filtreye ait sönüm oranı
d_{lm}	: Mesnetler arasındaki mutlak yatay uzaklık
α	: Boyutsuz parametre
v_s	: Kayma dalgası hızı
$\theta_{lm}(\omega)^d$: Yer hareketi yayılma etkisi
$\theta_{lm}(\omega)^z$: Zemin etkisi
V_{app}	: Görünen dalga yayılma hızı
$\gamma_{lm}(\omega)^z$: Yerel zemin etkisi
$H_l(\omega), H_m(-\omega)$: l ve m mesnetlerindeki filtre davranış fonksiyonları
Im	: Sanal kısım
Re	: Reel kısım
E_i	: Eşdeğer elastisite modülü
E_c	: Düz kablonun elastisite modülü
l_k	: Kablonun yatay izdüşüm uzaklığı
γ_c	: Kablonun birim hacim ağırlığı
σ_k	: Kablodaki çekme gerilmesi
A_G	: Eşdeğer dikey kirişin etkili kesit alanı
L_a	: Aktif kazık uzunluğu
E_s	: Zeminin elastisite modülü
G_s	: Zeminin kayma modülü
μ_s	: Zeminin poisson oranı
k	: Zemin yay katsayısı
k_s	: Yatak katsayısı
l	: Etkili mesafe

D	: Eşdeğer kazık çapı
ρ_s	: Zeminin kütle yoğunluğu
ξ_s	: Zeminin sönüm oranı
τ_s	: Kesme dayanımı

1.GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı

İnşaat mühendisliğinin insanlık tarihi içinde farklı bir yeri vardır. Mağaralardan modern yaşam tarzına ulaşan medeniyetlerin oluşmasında en etkin rol inşaat mühendislerinin olmuştur. Pek çok yaşamsal konuyla beraber, insanların en önemli ihtiyacı olan barınma ulaşım gibi ihtiyaçlarına çözüm bulup hayat koşullarının iyileşmesi sağlanmıştır. Dünyanın her yanında tarihin gelişimini yansıtan yapılar, belirli bir mühendislik birikimi ve gelişimi sayesinde oluşmuştur. Gelişen bilim ve teknoloji sayesinde günümüz modern yaşam şekline ulaşılırken, yeni mühendislik dalları oluşturup, özel konularla ilgilenmek medeniyetin gelişimini hızlandırmıştır.

Son yıllarda köprülerin deprem tesirlerine karşı tasarımında oldukça yoğun çalışmalar ve bilinçlenme vardır. Her türlü tabii ve insan yapısı engellerin aşılması için kullanılan köprüler, kara ve demiryolu ulaşım şebekesinin önemli ve kaçınılmaz parçalarıdır. Bir depremden sonra can ve mal güvenliğinin sağlanması acil yardım götüren trafiğin aksamadan akışına bağlı olduğundan, köprülerin bir şahdamarı olarak görev yapmaları vazgeçilmez olmaktadır.

Tarih içerisinde görülen depremlerde yapıların hasar görmesi ya da yıkılması, insanları yapıların depremdeki davranışını incelemeye, depreme dayanıklı inşaat teknikleri geliştirmeye yöneltmiştir. Gelişen teknolojiyle beraber inşa edilen çok katlı binalar, kuleler, barajlar, köprüler, nükleer santraller vb. yapıların depreme karşı dayanıklı tasarımı önemli bir konu haline gelmiştir. Yapılan araştırmalarda zeminin deprem sırasında yapının davranışına etkilerini inceleyen dinamik yapı-zemin etkileşiminin bu tür yapılarda önemli olabileceği ortaya konulmuştur.

Ülkemizin aktif deprem bölgesi olması, yapı sistemlerinin projelendirilmesindeki ve uygulanmasındaki önemini artırmaktadır. Büyük deprem kuvvetlerinden dolayı yapılarda meydana gelebilecek hasarı azaltmak için bu konu üzerinde yoğunlaşp yenilikçi yaklaşımlar geliştirmek uzmanların hedefi olmalıdır.

Yapı mühendisliğinin ilgilendiği alanlardan birisi de yapı-temel-zemin dinamik etkileşimidir. Bilindiği gibi bir yapı-temel sistemini, zemin koşullarını göz ardı ederek

belirlemek mümkün değildir. Ancak, temel sisteminin seçimi ve boyutlandırılmasında; zemin özelliklerinin yanı sıra, üst yapıdan gelen yüklerin de çok önemli bir yer tuttuğu kesinlikle unutulmamalıdır. Deprem sırasında, yapı ve zemin birbirini etkileyecek şekilde titreşirler. Bu etkileşim yapı-zemin dinamik etkileşimi olarak adlandırılır. Yapı ve zemin özellikleriyle beraber deprem karakteristikleri de zemin-yapı dinamik etkileşiminin belirlenmesinde önemlidir. Zemin-yapı etkileşiminden dolayı, yer hareketleri yapılar üzerinde büyük hasarlara ve can kayıplarına neden olmaktadır.

Zemin-yapı etkileşiminin yapının hareketlerini etkileme derecesi, zeminin rijitliğine, yapının rijitlik ve kütle özelliklerine, seçilen temel sistemine göre değişir. Etkileşim yapının zeminle temasta olduğu bölgelerde mevcuttur. Makine temelleri, hareketli trafik yükleri, zemin sıkıştırmaları gibi inşaat aktiviteleri sebebi ile, yer yüzeyinde meydana gelen titreşim zemin içinde yayılan çeşitli tipte dalgalar oluşturmaktadır. Titreşim kaynağı yakınında yüksek olan genlikler, geometri ve malzeme sönümleri nedeni ile, kaynaktan uzaklaştıkça azalmaktadır. Böylece, yüzeyden gelen etkiler zemin içinde belli bir derinliğe gömülü olarak inşa edilen yapılarda, tabii olarak küçülmektedir. Deprem sırasında oluşan dalga hareketi temelin altına ulaştıkça, temelden yapının içine geçen ve ilerleyen dalgalarla, temelden zemine geri yansıyan dalgalar olarak ikiye bölünürler. Yapının içinde ilerleyen dalgalar yapının tepesine ulaştıkça titreşim hareketi oluşturup geri yansıyarak temele doğru harekete geçer. Temele gelen dalgalardan bir kısmı zemine geçerken, diğer kısmı tekrar yapının tepesine doğru hareket etmek üzere yansır. Yapıdan zemine kaçan dalgalar radyasyon dalgaları olarak adlandırılır. Eğer radyasyon dalgaları az miktardaysa, deprem dalgalarından yapıya geçen kısım yapının içinde kalmaya ve yapı titreşmeye uzun süre devam eder. Yapısal sönüm nedeniyle hareket belirli süre sonunda sönümlenerek biter. Deprem dalgalarının yapıya geçen kısmının tekrar zemine kaçışıyla oluşan sönüm de radyasyon sönümü olarak adlandırılır (Kobori, 1990).

Mühendislik yapılarının analizinde deterministik ve stokastik analiz olmak üzere iki analiz yöntemi mevcuttur. Deterministik analizde, yapının analizi önceden belirlenmiş dinamik yüklere göre 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 sayesinde herhangi bir belirsizlik olmaksızın sistemin davranışı hesaplanabilir.

Dinamik yüklerin önceden tamamen bilinmiyor fakat istatistiksel olarak ifade edilebiliyorsa, söz konusu dinamik yük rasgele dinamik yük olarak adlandırılmaktadır.

Rasgele dinamik yük dikkate alınarak yapılan analizler de stokastik analiz olarak ifade edilmektedir. Deprem hareketinin belirsizliğinin dikkate alındığı stokastik yaklaşım daha doğru sonuçlar veren bir yaklaşım kabul edilebilir. Stokastik yaklaşım, yapı tepkileri için istatistiksel bir değerlendirme imkânı sağlamakta ve gelecekte olması gerek yer hareketlerinin de düşünülmesi gereken projelendirme aşamasında oldukça önemli olmaktadır.

Rasgele etkiler altındaki dinamik sistemleri inceleyen rasgele titreşim teorisi, rasgele yüklere karşı yapıların güvenilirliğini artırmak için sağlam bir temel oluşturmaktadır. Rasgele titreşim teorisindeki temel zorluk rasgele etkilerin olasılık özellikleri hakkında yetersiz bilgiden kaynaklanmaktadır. Deprem hareketinin rasgele olması iki ana kaynağa bağlıdır. Bunlardan ilki, her bir deprem ayrı ayrı rasgele bir olaydır. Merkez üssü, açığa çıkan enerji, enerjinin çıkış süresi, odak derinliği gibi özellikler depremi karakterize eden stokastik değişkenlerdir. Diğer 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.

Köprüler büyük açıklıklı yapılar olduğundan mesnet noktalarına etkiyen yüklerde farklı olacaktır. Diğer bir deyişle, deprem dalgasının sonsuz hızda yayılması durumunda dahi farklı mesnet noktalarındaki yer hareketleri bölgenin zemin ve topolojik özelliklerine bağlı olarak farklı olacaktır. Dolayısıyla, deprem dalgasının yayılması esnasında frekans içeriği ve genliği değişmekte ve farklı mesnet noktalarına farklı zamanlarda ulaşmaktadır. Bu değişimin yapının dinamik davranışı üzerinde etkili olup olmayacağı veya etkisinin ne kadar olacağı yapı-zemin etkileşim noktalarının konumuna bağlıdır. Bu nedenle kablolu köprü gibi büyük açıklıklı yapılar yer hareketindeki değişime duyarlı olacağından dolayı, yer hareketindeki değişim kablolu köprü sistemlerinin analizinde dikkate alınmalıdır.

1.2. Stokastik Analizin Temel İlkeleri

Eğer dinamik yük önceden tamamen belirlenemiyor ancak istatistiksel olarak ifade edilebiliyorsa, söz konusu dinamik yük rasgele olarak adlandırılır. Rasgele dinamik yükler rüzgârdan, yer hareketinden, dalga hareketinden, dalgalı bir denizdeki dalga yüksekliğinden, vb. kaynaklanabilir. Rasgele yük dikkate alınarak yapılan analizde stokastik analiz olarak adlandırılmaktadır.

Rasgele yükler matematik ifadelerle tanımlanamayan işlemlerdir. Rasgele işlemlerin geçmişteki değerleri için bir matematik denklem yazılsa bile, gelecekteki değerlerinin tam olarak belirlenmesi mümkün değildir. Dolayısıyla rasgele bir işlemi bir denklem ile ifade etmek mümkün değildir. Söz konusu işlemler rasgele işlemlerdir ve kesin denklemler yerine olasılık terimleriyle ve istatistiksel ortalamalarla tanımlanabilirler. Rasgele etkiyi temsil eden bir denklem yazılmadığından, zamanın fonksiyonu olan bir tepki de bulmak mümkün değildir.

Dinamik yükleme altındaki gerçek bir yapı sistemindeki temel belirsizliklerden birisi yapının sahip olduğu özelliklerinden kaynaklanan belirsizliklerdir. Diğer belirsizlik ise yapının etkisinde kaldığı deprem hareketi, rüzgâr etkisi gibi dinamik yükten kaynaklanan belirsizliktir. Dinamik analizde en önemli adım dinamik yükün belirlenmesi aşamasıdır. Çünkü dinamik yük belirlenebiliyorsa, yapının dinamik tepki kuvvetleri de belirlenmiş olur.

Stokastik analizde yer hareketi rasgele işlem olarak spektral yoğunluk fonksiyonu ile temsil edilirken, yer hareketinin değişimi korelasyon etkisi, dalga yayılma etkisi ve zemin şartlarındaki değişim ile dikkate alınmaktadır. Yer tabakasının karmaşık yapısı nedeni ile yapı sistemlerinin dinamik analizinde farklı noktalardaki yer hareketleri için dalga yayılma etkisi, korelasyon etkisi ve zemin etkisi dikkate alınmalıdır. Korelasyon 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 açıklanabilir. Dalga yayılma etkisi deprem hareketinin bir mesnetten diğerine ulaşmaya kadar geçen zaman farkından dolayı doğmaktadır. Zemin etkisi ise farklı mesnet noktalarındaki yerel zemin şartlarının farklılığından kaynaklanmaktadır. Değişen yer hareketi dikkate alınmak sureti ile yapı sistemlerinin analizi sonucu elde edilecek tepki değerleri, yapı sisteminin ve yer hareketinin karakteristiklerine bağlı olarak uniform hareket için bulunan sonuçlardan küçük veya büyük olabilmektedir. Kablolu köprü gibi büyük açıklıklı sistemler yer hareketindeki söz konusu değişime duyarlı olacağından, yer hareketindeki değişimin kablolu köprü sistemlerinin analizinde dikkate alınması gereği açıktır.

Yapı analizlerinde dinamik yükler için temel zorluk, bu yüklerin belirlenmesindeki zorluktan kaynaklanmaktadır. Dinamik yüklerin belirsizliğini anlamak için belirli bir bölgedeki deprem hareketi ele alınırsa, bu hareketlerin tamamı sadece bir olayın yer ivmesi ile temsil edilmektedir. Halbuki bir sonraki depremde belirli bir yeri etkileyecek depremin

ivme kaydını önceden bilmek imkansızdır. Dolayısı ile bir yapıyı, geçmişte farklı bir yerde olmuş bir depreme göre analiz ederek projelendirmek doğru değildir. Bununla birlikte, ileride olabilecek hareketlerin muhtemel frekans içerikleri hakkında belirli tahminler yapılabilir ve hareketlerin tümü için frekans alanında bir gösterim mümkün olabilir. Bu hareket gösterimi ele alınırsa, analizler tepki büyüklükleri için tek bir değer oluşturmazlar. Daha ziyade her tepkinin maksimum değeri için bir olasılık dağılımı oluştururlar. Olasılık dağılımı, ortalama maksimum değer ve maksimum değerın standart sapması ile ifade edilir (Button, 1981).

Rasgele titreşim teorisinin temel problemlerinin çözümü, malzemenin elastik özelliklerin uygunluğundan dolayı bir zorluk içermez. Asıl zorluk, deprem gibi rasgele etkilerin olasılık özellikleri hakkındaki yetersiz bilgidir. Buradaki en önemli adım, rasgele kuvvetin matematiksel tanımı için uygun metodun seçilmesidir. Deprem hareketinin rasgele olması iki ana kaynağa bağlıdır. Bunlardan ilki, her bir deprem ayrı ayrı rasgele bir olaydır. Merkez üstü, odak derinliği, açığa çıkan enerji, enerjinin çıkış süresi vb. bütün bunlar depremi karakterize eden stokastik değişkenlerdir. Diğerisi ise, deprem hareketinin düzgün olmayan faylar boyunca çok değişik kaymalar sonucunda meydana gelmesi ve ortaya çıkan yerdeğiştirme dalgalarının rasgele sayılabilecek sayısız yansıma ve kırılmalardan geçmesidir.

Rasgele değişkene ait parametreler bilinse bile, belirli bir olayın oluşma olasılığı kesin olarak belirlenemez. Bir olayın sadece bir olasılıkla gerçekleşebileceği söylenebilir. Bu belirsizlikler, olayın rasgele olmasında kaynaklandığı gibi parametrelerin bulunmasındaki hatalardan da kaynaklanabilir. Yeterince veri yoksa hesaplanan ortalama ve varyans doğru olmayacağı gibi, mümkün olan verilerden belirlenen dağılım fonksiyonu da uygun olmayabilir.

Kablolu köprülerin dinamik analizleri konusunda çeşitli çalışmalar yapılmış olmasına rağmen, sismik etkiler altında kablolu köprülerin stokastik analizleri yeterince ele alınmamıştır. Kablolu köprülerde dahil olmak üzere yapı sistemlerinin analizlerinde halen deterministik yöntemler büyük oranda kullanılmaktadır. Deterministik yöntemler, geçmişte kaydedilen yük fonksiyonun gelecekte de aynı şekilde tekrarlanacağını kabul etmektedir. Dinamik analizlerde başlangıç koşulları, yapı özellikleri ve dinamik yüklerin kesin bilindiği duruma karşı gelen davranışın maksimum tasarım yükü gibi çeşitli ölçütlerle belirlenmesi deterministik çözüm olarak yeterli olurken, etkiyen yüklerin rasgele olması durumunda davranış belirsizlikler içerir ve deterministik olmayan rasgele titreşim teorisi

analizi, davranışın daha iyi şekilde ortaya çıkarılmasını sağlamaktadır. Ancak deprem hareketi gibi etkiler rasgele olacağından, dinamik analizde kullanılan metod dinamik yüklemenin bu belirsizliğini de hesaba katmalıdır. Diğer bir ifadeyle, dinamik bir analiz gelecekte olması muhtemel dinamik yükleri de hesaba katmalıdır. Dolayısıyla dinamik analiz sonucu mantıklı sonuçlar elde edilmek isteniyorsa; yüklerin önceden tamamen belirlenemeyip istatistiksel olarak beklenildiği stokastik analiz ile incelenmelidir. Yapılara etkiyen deprem rüzgar gibi yüklerin rasgele olmasından dolayı, mühendislik sistemlerinde kullanılan stokastik analiz yönteminde deterministik yaklaşıma göre daha güvenilir sonuçlar elde edilmektedir.

Asma köprülerin stokastik analiz konusunda Dumanoğlu ve Severn (1990), Dumanoğlu, Brownjohn ve Severn (1992) tarafından yapılan çalışmalar vardır. Ayrıca kablolu köprülerin stokastik analizleri konusunda Sungur (1993) tarafından yapılmış bir çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda yapı sistemlerinin dinamik davranışlarını hesaplamak için stokastik analizden yararlanılmıştır. Stokastik yöntemin etkinliğini vurgulamak için, uygulamalar tabii periyodu büyük olan kablolu ve asma köprüler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda ayrıca stokastik analiz ile bulunan sonuçlar, deterministik yöntemler ile bulunan sonuçlar ile karşılaştırılarak, stokastik yaklaşımın geçerliliği gösterilmeye çalışılmıştır.

Deprem hareketi gibi dinamik etkilerin rasgele olacağı bilindiğinden, analizlerde dinamik yüklemenin belirsizliğini dikkate alacak bir metoda ihtiyaç vardır. Dolayısıyla anlamlı sonuçlar çıkarılmak isteniyorsa, problemler stokastik olarak incelenmelidir (Newland, 1975).

1.3. Kablolu Köprüler Hakkında Genel Bilgiler

1.3.1. Kablolu Köprülerin Tarihçesi ve Gelişimi

Köprüler belki de insanlığın varlığından bu yana farklı malzemelerle bir engeli aşmak için kullanılmışlardır. Önceleri bir vadiyi ya da bir nehri aşmak için ağaçları köprü olarak kullanan insanoğlu, teknolojiye bağlı olarak, taştan, demirden, beton ve betonarmeden köprüler inşa etmiştir. Teknolojinin gelişimi ve nüfusun artması ile daha büyük açıklıkların geçilmesi gerekli olmuş ve böylece kablolu köprülerin yapımı hız kazanmıştır.

İlk inşa edilen kablolu köprülerin çoğu yıkılmış olup, 20. yüzyıla kadar başarılı bir şekilde uygulanamamışlardır. Yıkılma sebepleri, kablolu köprülerin gerçek yapı davranışının yanlış anlaşılmasından ve yapım aşamasındaki bazı hatalardır. Kablolu köprülerdeki hatalar üzerine çalışan ve kablolu köprü inşası yerine asma köprüleri öneren Navier olmuştur. Navier'in önerisi ile köprü mühendisliğinde asma köprü inşasına yönelim olmuştur (Soyluk, 1997).

Modern anlamdaki kablolu köprüler ilk olarak 19.yüzyıl başlarında tasarlanmış ve inşa edilmişlerdir. Günümüzde kablolu köprülerin yapımı özellikle yüksek dayanımlı kabloların ve yapı elemanlarının imal edilebilmesi ile mümkün olmuş, teknolojinin ve özellikle malzeme bilimi ile bilgisayar teknolojisi alanlarındaki gelişmeler ile her geçen gün kablolu köprülerin geçebildiği açıklıklar artmıştır ve artmaya devam etmektedir.

1.3.2. Kablolu Köprülerin Temel Özellikleri

Kablolu köprüler, üstün yük taşıma kapasiteleri, düşük maliyetleri, estetik görünümleri ve inşa sürelerinin kısalığı nedeniyle dünya çapında son yıllarda orta ve uzun açıklıkların geçilmesi amacıyla tercih edilmektedirler.

Kablolu köprülerin temel yapısal karakteristiği, kulelerin tepelerinden asal kirişlere uzanan öngerilmeli ya da sonradan çekme verilmiş kablolar ile, asal kirişlerin bir bütün olarak çalışmasıdır. Çekmeye çalışan kablolardan gelen yatay basınç kuvvetlerinin kirişler tarafından alınması, alt yapıda önemli bir ekonomi sağlamaktadır. Kablolu köprülerdeki kulelerin ve asal kirişin, kabloların neden olduğu büyük aksenal basınç kuvvetleri ile birlikte eğilmeye maruz kalması kablolu köprülerin ayırt edici özelliğidir (Yiu ve Brotton, 1988; Khalil vd., 1983).

Uzun açıklıklı kablolu köprülerin hakim periyodu genellikle 2 sn ile 5 sn arasında değişmektedir. Hakim periyodun büyük olması, kablolu köprülerin yüksek dereceden deforme olabilen yapı sistemleri grubuna dahil olduğunu gösterir.

Kablolu köprüler genelde yumuşak zemin üzerine inşa edilmektedirler. Eğer yüzeyin doğal hakim periyodu 1-2 sn civarında ise, söz konusu periyot köprünün alt yapısının ve diğer kısımlarının doğal periyoduna yakın olabilir. Böyle bir durumda zeminin ve köprünün titreşimleri arasındaki etkileşim dikkate alınmalıdır (Nazmy ve Abdel-Ghaffar, 1987).

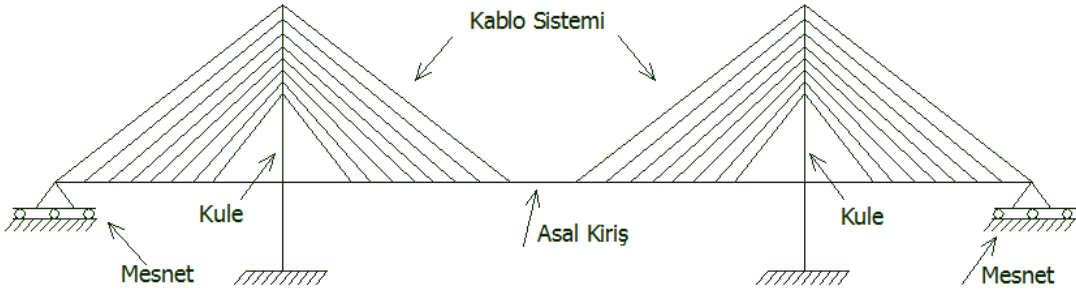
Kablolu köprü sistemlerine ait elemanları oluşturan malzemeler lineer elastik davranış göstermesine rağmen, köprünün proje yükleri altında yük-yerdeğiştirme ilişkisi lineer olmayacaktır. Lineer olmayan bu davranış aşağıdaki sebeplerden kaynaklanmaktadır

1. Kabloların öz ağırlıklarından kaynaklanan sehimlerden dolayı, lineer olmayan aksenal kuvvet-deformasyon ilişkisi. Kendi öz ağırlığı ve aksenal çekme altındaki her kablo bir eğri şeklinde sehim yapacaktır. Kablolu köprülerde kablolardan kaynaklanan bu lineer olmayan davranış, bu sehimden kaynaklanmaktadır. Sehimin değişmesi ile kablonun aksenal rijitliği de değişecektir. Geleneksel çekme elemanları için kendi ağırlığından kaynaklanan sehim güvenilir bir şekilde ihmal edilebilirken, kablo elemanları için doğru bir analiz yapılmak isteniyorsa sehim dikkate alınmak zorundadır.
2. Eğilme ve aksenal kuvvet etkisindeki kule ve uzunlamasına doğrultudaki kiriş elemanları için, lineer olmayan aksenal kuvvet-deformasyon ve eğilme momenti-deformasyon ilişkisi. Herhangi bir yapı sisteminde küçük deformasyon kabulü yapıyor ise, eğilme elemanlarının aksenal kuvvet ve eğilme rijitliklerinin genelde bağımsız oldukları düşünülür. Ancak deformasyonlar küçük değil ise, aksenal kuvvet ve eğilme momenti etkisindeki elemanların aksenal ve eğilme deformasyonları arasında bir etkileşim vardır. Çoğu geleneksel lineer yapı sistemleri için eğilme momenti ve aksenal kuvvet arasındaki etkileşim ihmal edilebilir. Fakat kablolu köprü elemanlarında oluşabilecek büyük deformasyonlardan dolayı, bu etkileşim önemli olabilir ve tüm lineer olmayan hesaplarda dikkate alınmalıdır.
3. Bu tür yapılar için servis yükleri altında olabileceği gibi, çevresel yüklerden de kaynaklanabilecek büyük yerdeğiştirmelerin neden olduğu geometri değişimleri. Lineer yapı analizlerinde; yük etkisindeki yapı sisteminin düğüm noktalarındaki yerdeğiştirmeler, orijinal düğüm noktası koordinatları yanında ihmal edilebilmektedir. Böylece yapıdaki geometri değişimleri ihmal edilmekte ve şekil değiştirmiş yapı sisteminin rijitliğinin, şekil değiştirmemiş yapı sisteminin rijitliğine eşit olduğu kabul edilmektedir. Fakat kablolu köprülerde normal servis yükleri altında büyük yerdeğiştirmeler ve dolayısıyla köprü geometrisinde önemli değişimler olabilir. Böyle bir durumda, köprünün rijitliği yapının yeni geometrisi ile hesaplanmalıdır.

1.3.3. Kablolu Köprülerin Yapısal Elemanları

Kablolu köprülerin diğer tip köprülerden temel farkı, isminden de anlaşılacağı gibi, taşıyıcı sistemin bir bölümünün de kablolardan oluşmasıdır. Kablolu köprülerde temel taşıyıcı sistem kablolar tarafından taşınan bir tabliye ile tabliyeyi taşıyan kabloların bağlandığı kulelerden oluşmaktadır. Kablolu köprülerde tabliye kalınlığının açıklığa oranı küçüktür ve bu durum yapıya oldukça estetik bir görünüm kazandırmaktadır. En genel ifade biçimi ile köprü, iki ucunda iki kenar ayağa ve varsa orta ayaklara oturan bir tabliyeden ibaret bir sanat yapısıdır. Kablolu köprüler için yapı sistemleri genellikle Şekil 1.1.'de görüldüğü gibi dört temel bileşene ayrılabilir.

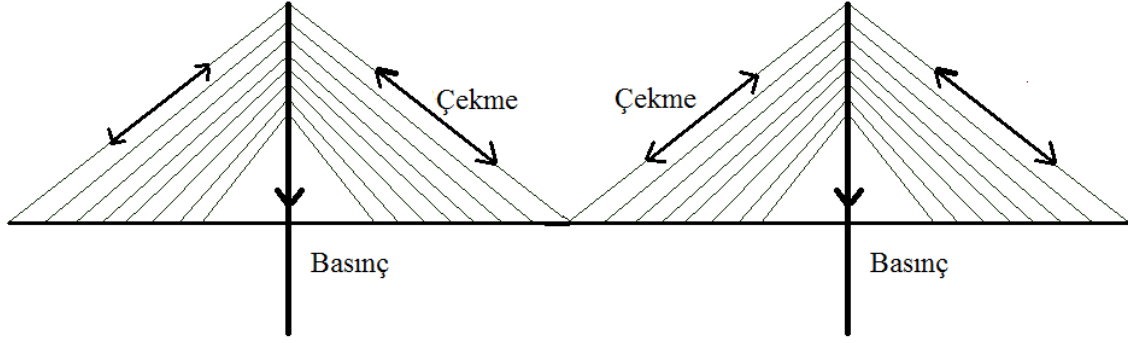
1. Döşeme ile birlikte çalışan ana kiriş
2. Ana kirişi destekleyen kablo sistemi
3. Kabloları taşıyan kuleler
4. Kabloları düşey veya yatay olarak destekleyen mesnetler



Şekil 1.1. Kablolu köprünün temel elemanları

Kablolu köprüler; kabloların ana kirişe bağlandıkları noktalardan, kablolar ile elastik olarak desteklenen lineer olmayan sistemlerdir. Modern kablolu köprüler ana kirişlerden, enleme ve boylamalardan, ortotropik tipteki döşemeden ve destekleyici kısımları olan basınca çalışan kuleler ile çekmeye çalışan kablolardan oluşan üç boyutlu sistemlerdir. Kablolu köprülerin temelde üç yapısal elemanı mevcuttur. Bunlar kablolar, tabliye ve kulelerdir. Kablolu köprülerin yük taşıma prensibinde; tabliye ve tabliye üzerindeki yükler kablolarla asılmaktadırlar. Kablolar bu yüklerden oluşan çekme kuvvetlerini kulelere basınç kuvveti olarak aktarırlar. Oluşan bu basınç kuvvetleri kuleler tarafından zemine iletilirler. Kablolardaki bu çekme kuvvetleri aynı zamanda tabliyede

yüksek basınç kuvvetleri oluşturur. Şekil 1.2’de bir kablolu köprünün bu yük taşıma prensibi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Kablolu köprünün yük taşıma prensibi

1.3.3.1. Kablolar

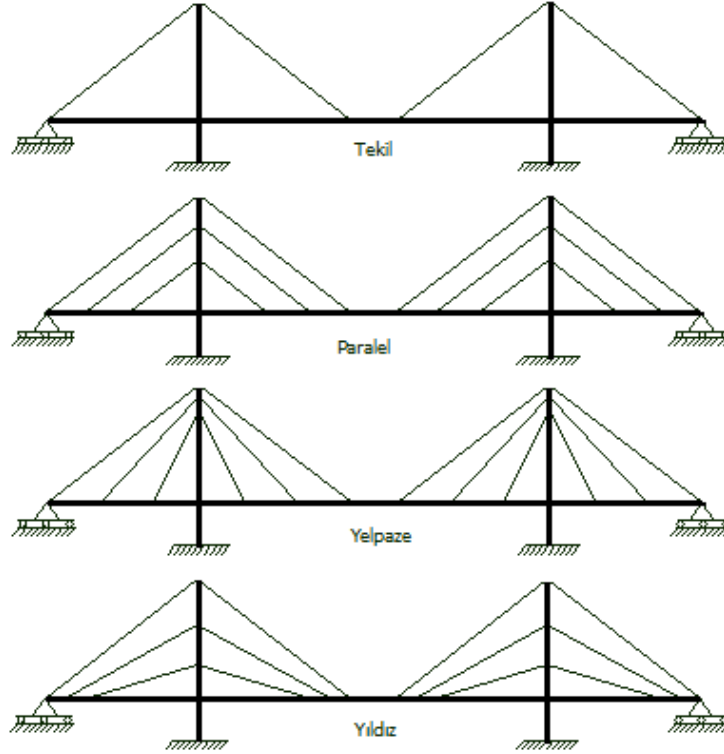
Kablolu köprüleri diğer geleneksel köprülerden ayıran en temel özelliği, taşıyıcı sistemin bir parçasını kabloların oluşturmasıdır. Kablolu köprülerde kablolar tabliyeye ve kulelere belirli bir açıyla bağlanırlar. Kablolar bu tür köprülerin doğrusal olmayan davranış gösteren en önemli elemanlarıdır. Kabloları oluşturan aksel çekme kuvveti etkisiyle, serbest haldeki geometrisi değişir. Bu durum rijitliğinin etkilenmesine neden olur.

Kablolu köprülerde kullanılan kablolar genelde yüksek dayanımlı çelikten imal edilirler ve akma dayanımları 1860 MPa ve daha yüksektir. Bu kabloların kopma uzama oranları %3.5 mertebesindedir. Özellikle tabliye ve kabloların tasarımında, kabloların bu aksel yük altındaki uzamasının göz önüne alınması önemlidir. Kablo boyları belirlenirken bu uzama oranları oldukça etkindir. Kullanılan kabloların korozyondan ve nemin diğer etkilerinden korunması gerekmektedir. Bunun için en etkin yöntemler galvanizleme, kabloların çeşitli polietilen esaslı katmanlarla sarılması ve son yıllarda geliştirilmekte olan ve nem oranını kontrol altında tutmak amacıyla halatlar içine kuru hava üflenmesiyle korozyona engel olma yöntemleridir. Bu tür koruma sistemi genelde asma köprülerde de kullanılmaktadır.

Kablolar temel yük taşıyıcı elemanlar olup, kulelere ve ana kirişlere bağlanmıştır. Dolayısı ile kabloların ana kirişlere, kulelere ve altyapıya bağlantısı son derece önemlidir.

Kablo bağlantıları yüklerin tam transferini sağlamalıdır ve iklim şartlarına karşı korunmalıdır.

Kablolar kulelere ve tabliyeye çok çeşitli şekillerde mafsallı olarak bağlanırlar. Geometrik olarak estetik ve statik kaygılarla oluşturulmuş çeşitli bağlantı türleri Şekil 1.3’de gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Kablolu köprülerde farklı kablo şekilleri

Kablo sistemi için iki temel konfigürasyon vardır, radyal sistem (yelpaze ve yıldız) ve paralel sistem. Radyal sistem üçgenlerden meydana geldiği için en çok tercih edilen konfigürasyondur. Paralel sistem dörtgenlerden teşkil edildiği için lineer olmayan köprü yüklerini karşılayabilmesi için büyük kiriş kesitlerine ve rijitliği büyük kulelere ihtiyaç duyulmaktadır (İnternet, 2009).

Radyal sistemde, her ne kadar tüm kablo uçlarının tek noktaya bağlanması karışıklığa neden olsa da bütün kablolar Şekil 2.4.a.’da gösterildiği gibi kulenin en tepe noktasında tek bir yerden çıkmaktadır. Bu sorunu engellemek amacıyla, kablolar Şekil.2.4.b.’de gösterildiği gibi yerleştirilerek yelpaze sistemi geliştirilmiştir.

Modern kablolu köprülerde, kablo sistemi genellikle birçok tek kablonun bir araya gelerek meydana getirdiği kablolardan meydana gelmektedir. Bu kabloların birlikte çalışmalarını sağlamak için tekli kabloların çok sık aralıklarla ve çok sayıda olması gerekmektedir. Kabloların kirişe bağlandıkları noktalar arası mesafe genellikle 10-20m arasındadır.

1.3.3.2. Kuleler

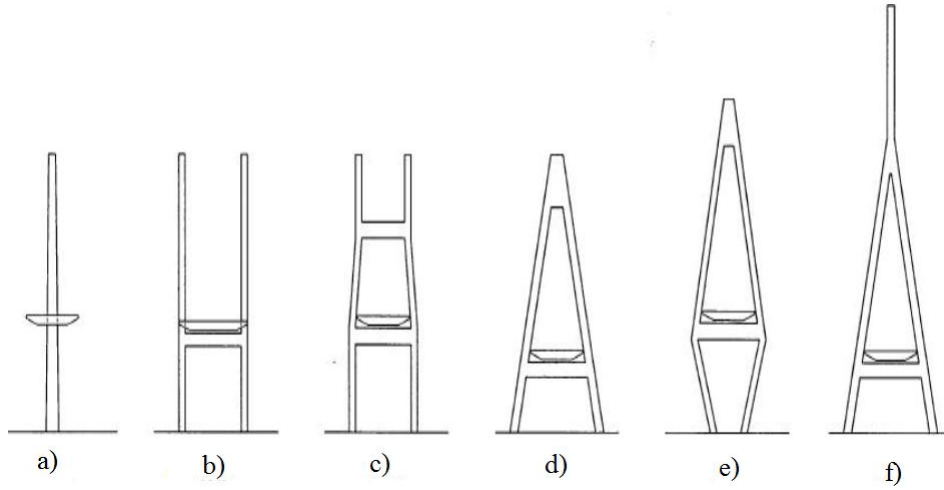
Kablolu köprülerde kuleler kablolardan gelen yüksek çekme kuvvetinin oluşturacağı basınç kuvveti ile birlikte eğilme momenti ve deprem sırasında meydana gelen ek yatay kuvvetleri de karşılayan önemli elemanlardır. Kuleler yüksek miktarda basınç kuvveti etkisindeki elemanlardır. Bu yüksek basınç kuvveti nedeniyle kulelerde burkulma etkisi kritik olabilmektedir. Özellikle çelik kulelerde bu durum daha önemli hale gelmektedir. Kuleler, yine kablolar gibi yüksek dayanımlı çelikten veya yüksek dayanımlı beton kullanılarak oluşturulan betonarme kesitlerden meydana gelirler. Betonarme kesitlerde ard germe de kullanılabilmektedir.

Kuleler genelde birkaç bin ton kadar olan ağır yükleri taşımak zorundadırlar. Bundan dolayı, kutu kesitleri kullanılarak minimum malzemeye burkulmaya karşı güvenlik sağlanmaya çalışılmaktadır. Kuleler çelikten, betondan veya ön gerilmeli betondan yapılabilirler. Çelik kulelerin avantajı hızlı yapımıdır. Bununla birlikte büyük kablolu köprülerde kulelerin betonla inşası, çeliğe oranla %40 ekonomi sağlar.

Kulelerin davranışı; kablolar, döşemeye ve ayaklara bağlantı sekline göre değişir. Bağlantılar eğilme momentini indirgeyecek şekilde yapılabilirler. Kablo ile ana giriş arasındaki eğimin açısı arttıkça, kablolardaki gerilmeler azalır. Bununla birlikte kulenin yüksekliği arttıkça, kablo uzunlukları ve dolayısıyla eksenel deformasyonlar da artar. Kuleler köprü ağırlığını taşımanın yanında rüzgârdan veya depremden dolayı oluşacak yatay kuvvetlere de karşı koyabilmelidir. Kule, kablo kuvvetlerini temele itebilecek şekilde projelendirilmelidir. Kuleler enlemesine ve uzunlamasına doğrultuda farklı şekillerde olabilirler.

Çelik olan kuleler özellikle fabrika ortamında oluşturulduklarından yapım hızı yüksektir; buna karşılık betonarmenin basınç altında davranışı çelikten daha iyi olduğu için, ekonomik çözümler sağlama yönünden betonarme kesitler de kullanılmaktadır. Kuleler ayrıca tabliyenin mesnetlendiği elemanlardır. Bu mesnetlenme şekli moment

aktaran veya aktarmayan türde olabilmektedir. Kablolar kulelere mafsallı şekilde bağlıdır. Kulelerin rijitliği tabliyenin yapacağı sehim açısından da önemlidir. Kulelerin köprü eksenini içeren düşey düzlemdeki rijitliği arttıkça tabliyenin yapacağı sehim azalmaktadır. Kulelerin şekli temel olarak kablo sistemiyle yakından ilgilidir, çünkü kulelerin temel amacı kabloları desteklemektir. Kuleler en kesitte tek konsol, iki adet paralel konsol, iki adet eğik konsol veya enine doğrultuda portal kirişlerle oluşturulan çerçeveler şeklinde olabilmektedir. Kuleler kablolardan gelen eksenel kuvvetlerin etkisini taşıdığı gibi, aynı zamanda rüzgâr ve deprem etkilerine de karşı koymaktadırlar. En kesitte çeşitli şekilde düzenlenen ve bazı kule tipleri Şekil 1.4’de şematik olarak verilmişlerdir.



Şekil 1.4. Kablolu köprülerde çeşitli kule tipleri, a) Tekil kule, b) ve c) H şekilli kule, d) A şekilli kule, e) Elmas şekilli kule, f) Ters Y şekilli kule

1.3.3.3. Asal Kiriş

Kablolu köprülerde tabliye kablolarla desteklenmesine rağmen, bu tür köprüler büyük açıklıklı köprüler olduğu için, yüksek eğilme momenti yanında kablolardan gelen yüksek basınç kuvvetleri etkisi altındadır. Kablolardan gelen bu yüksek basınç kuvvetleri kulelere doğru artmaktadır. Kule yakınlarındaki tabliyede yüksek eğilme momentleri ve basınç kuvvetleri etkindir

Tüm elemanları her zaman çekmeye çalışan kablo sisteminin tersine, asal kiriş çekme ve basınç etkilerine maruz kalabilmektedir.

Kablolu köprülerin döşeme sistemine ait ana kirişler, genelde eğilme momentleri ve kablolardan gelen normal kuvvet bileşenleri etkisi altındadırlar. Ana kirişler bu moment ve kuvvetlere bağlı olarak projelendirilmelidirler.

1.4. Kazık Temel Sistemi Hakkında Genel Bilgiler

Kazıklı temeller esasen, arazide mevcut zemin koşullarının güvenli ve ekonomik bir yüzeysel temelin teşkiline olanak vermediği durumlarda tercih edilen bir derin temel çeşididir. Bir kazıklı temel sisteminin tasarımı yapılırken, söz konusu sistemi çevreleyen temel zemini özelliklerinin önceden belirlenmiş olması ve eğer varsa alternatif çözümlerin geoteknik ve ekonomik açılarından yeteri kadar etüt edilmiş olması gerekmektedir. Gelişen teknoloji imkânlarının kazıklı temel imalat koşullarını olumlu yönde etkilemesi sonucunda, kazıklar uygulamada yaygın olarak kullanılır hale gelmişlerdir.

Üst yapı yüklerini kısmen ya da tamamen zemin yüzeyinden daha derinlerdeki tabakalara aktaran ‘‘temel derinliği / temel genişliği’’ oranı en az 5 veya daha büyük olan sistemler ‘‘derin temeller’’ olarak adlandırılmaktadır. Derin temeller arasında kazıklı temeller, keson temeller ve derin kazılar içine yerleştirilen yapı temelleri düşünülebilir (Yıldırım, 2004).

Sınır şartları belirlenen bir yapının temel sisteminin geoteknik analizinde öncelikle inşa edilmeleri basit ve ucuz olduğundan, mümkün olan durumlarda sığ (yüzeysel) temel alternatifi irdelenir. Üst yapı yükleri, yüzeysel temel ile taşıma ve oturma kriterlerini sağlayacak şekilde zemin tabakalarına aktarılamaz ise diğer seçeneklere göz önüne alınır. Bu seçeneklerden biri de derin temel uygulamasıdır. Derin temellerin başlıca türü kazıklı temellerdir.

Kazıkların ana fonksiyonu yapı temelinden zemine intikal eden yükleri gevşek ve yumuşak zemin tabakalarının altında yer alan taşıma gücü yüksek, sıkışabilirliği az sağlam zemin tabakalarına aktarmaktır. Ancak kazıklar petrol platformu vb. deniz yapılarında ve yatay yük etkisine maruz yapılarda doğrudan üst yapı yüklerini taşımak amacıyla kullanılabilirler. Düşey yüklere maruz kalan bir kazığın nihai taşıma gücü, kısmen kazık ucunda oluşan noktasal direncin de kazık shaftı ile temas halinde olan zemin yüzeyi ile kazık yüzeyi arasında gelişen aderansla ilintilendirilen yüzeysel sürtünme direniminin bileşkesi olmaktadır (Poulos ve Davis, 1980). Ortam koşullarına bağlı olarak ‘uç taşıma’ ve ‘yüzeysel taşıma’ kuvvetlerinin nihai taşıma gücü içindeki payları değişkendir. Bu

değişkenliği kontrol eden faktörler, kazığın içine yerleştirildiği jeolojik ortamın geoteknik özellikleri, kazığın geometri koşulları, narinliği ve uygulanan yüklerin büyüklüğüdür.

Yüzeğe yakın tabakaların yeterli taşıma gücüne sahip olmaması ve/veya oturmaların izin verilebilir sınırların üstünde olacağının beklenilmesi durumunda, düşey yüklerin daha derinlerdeki sağlam tabakalara aktarılması için kullanılan düşey veya az eğimli yapısal elemanlarla taşıtılan temellerdir. Bu durumda yapı yükleri, derin temel sistemi kullanılarak zemine aktarılmaktadır. Böylece yüzeydeki zayıf tabakalar geçilerek, derindeki taşıyıcı tabakalara ulaşılmakta ve bu anlamda kullanılan düşey veya az eğimli yapı elemanları, kazık olarak nitelendirilmektedir. Temel sistemi de adını kullandığı yapı elemanından almakta ve kazıklı temel olarak nitelendirilmektedir (Özkan ve Sağlamer, 1995).

Kazıklar, zemin yüzeyine yakın tabakaların üst yapı yüklerini göçmeden veya üst yapıda hasara neden olacak şekilde fazla oturmadan taşıyabileceği bir yüzeysel temelin teşkiline uygun olmadığı hallerde, üst yapı yüklerini zemin profilinin derinliklerinde yer alan taşıyıcılık özelliği yüksek tabakalara aktarmak amacıyla kullanılan ahşap, beton, çelik veya kompozit yapı elemanlarıdır.

Kazık temeller, derinlikleri genişliklerine oranla oldukça fazla, narin yapı elemanlarıdır. Yüksek maliyetlerine karşın üstün dayanım özellikleri ve oturmaları önemli ölçüde azaltmaları sebebiyle tercih edilmektedirler.

Kazıklara gelen yükler genellikle üst yapıdan gelen eksenel basınç kuvvetleridir. Açık deniz platformlarında, rıhtım duvarlarında, sürekli veya aralıklı iksa duvarlarında ve şev stabilitesi gibi bazı mühendislik uygulamalarında ise kazıklar; yanal toprak basıncı, dalga ve deprem kuvvetlerinin doğurduğu yatay yüklerin, eğilme momentlerinin etkisinde kalabildikleri gibi; suyun kaldırma kuvvetine benzer çekme kuvvetlerinin de etkisinde kalabilirler. Suyla ilişkiye geçtiğinde kabaran veya ani çökme gösteren zeminlerde üst yapı yüklerini aktif zon diye tanımlanan bir bölgenin dışına aktarmak için de kazıklardan yararlanılır. Kazıklar bazı durumlarda zemin hareketini kontrol amacıyla kullanılabilir. Bununla birlikte kazıklara, zemin ıslahına yardımcı olarak yumuşak veya gevşek zeminlerin sağlamlaştırılmasında da başvurulur (Coduto, 2001).

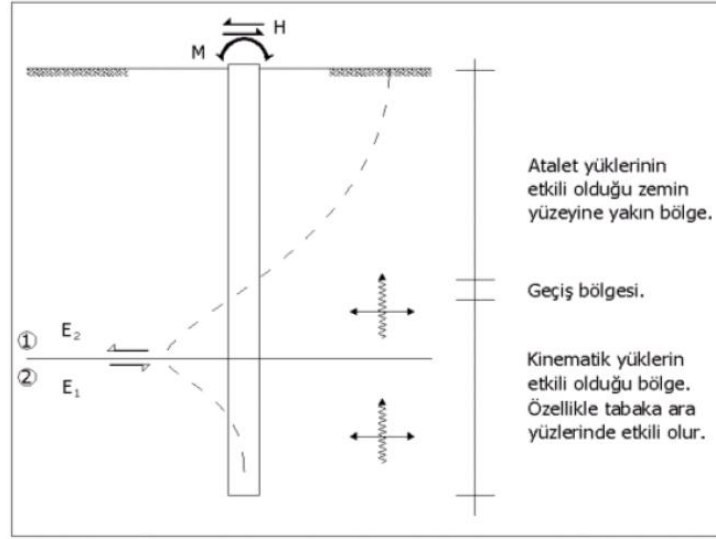
Kazıklı temellerin sistem olarak kaç adet kazıktan oluşacağı; üst yapının statik ve dinamik yüklerine, geometrik boyutlarına, kazık çapına ve kazık aralığına bağlıdır. Ayrıca malzeme cinsleri ve yapım türleri ise zemin tabakalarının dayanım parametrelerine ve buna bağlı olarak kazık sisteminin zemine yük aktarma biçimlerine bağlı olmaktadır (Gören, 2007).

Bir kazıklı temelin tasarımında, zemin profilinin yapılan sondajlara hassas olarak belirlenmesi ve zemin profilindeki çeşitli tabakaların mühendislik karakteristiklerinin bilinmesi ve böylelikle genel hatları ile zemine aktarma mekanizmasına göre kullanılacak kazığın tipine karar verilmelidir. Kestirilen zemin profili ve kazık tipine bağlı olarak, tek kazığın veya kazık gruplarının emniyetle taşıyabileceği yükler hesaplanmalıdır. Ancak bir kazık grubunun taşıma kapasitesinin belirlenmesi amacıyla yapılacak yükleme deneyleri çok fazla yük gerektirdiği ve pahalı olduğu için, uygulamada çoğu kez tek bir kazığın taşıma kapasitesi belirlenerek, kazık grubunun taşıma kapasitesinin tahmin edilmesine çalışılır. Söz konusu tahminlerde gerilme alanlarının girişim yapması nedeniyle bir kazık grubunun taşıma kapasitesi bulunurken tek bir kazığın taşıma kapasitesi ile gruptaki kazık sayısının çarpımı sonucunda elde edilen değer anılan girişim etkisini ortaya koyan bir grup faktörü ile çarpılmaktadır.

Bir yapı yer hareketine maruz kaldığı zaman, onun temeli ve zeminiyle etkileşime girer ve bu nedenle yer hareketi değişir. Bu dinamik zemin-yapı etkileşimi, zemin- yapı ara yüzeyi içinden geçen ve deprem uyarılmaları tarafından oluşan iç ve dış enerjiyle ilişkili bir olgudur. İç ve dış enerji arasındaki fark, yapının içinde depolanan enerjiye karşılık gelir ve bu nedenle, yapıda hasarın derecesiyle yakından ilişkilidir. 17 Ocak 1995 yılındaki South-Hygono depremi çoğu kazık temeller ve kazıklara oturan yapılarda ciddi hasarlara neden olmuştur ve zemin-kazık-yapı etkileşiminin ne kadar önemli olduğunu tekrar göstermiştir (Konagai, K., Yin, Y., Murota Y., 2003).

Yer kabuğundaki kırılmalar nedeniyle ani olarak açığa çıkan titreşimler dalgalar halinde yayılır. Dalgalar, yayılma sırasında geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsarlar. Bu hareketler nedeniyle kazıklar yatay yüklere maruz kalırlar. Bu yükler, atalet yükleri ve kinematik yüklerdir.

Atalet yükleri, özellikle kazığın üst yapıyla veya kazık başlığıyla birleştiği bölgelerde ortaya çıkan zorlanmalardır. Bu zorlanmaların sebebi deprem hareketinin üst yapıda yarattığı salınımdır. Kinematik tesirler ise kazığın uç kısımlarına yakın derin bölgelerde daha etkili olur ve rijitlikleri arasında büyük farklar bulunan tabakaların ara yüzlerinde pik değerine ulaşırlar. Kinematik tesirlerin başlıca sebebi ise deprem hareketinin zeminde ve kazıklarda yaratmış olduğu salınım sırasında kazık ile zeminin uyumsuz deformasyonudur. Şekil 1.5’de deprem hareketinden dolayı kazıklarda meydana gelen atalet yükleri ve kinematik yükler gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Deprem hareketi nedeniyle kazıklarda zorlama mekanizmaları

Düşey yüklere maruz kazıklarda yatay yük etkisinde kalan kazıkları karşılaştırırken zemin yüzeyinin yakınlarında ortaya çıkan değişimleri de dikkate almak gerekir. Zemin yüzeyine yakın bölümlerde etkili olan mevsimsel nem farklılıkları kazık davranışında önemli değişikliklere yol açabilmektedir. Bu yüzden kazıkların yatay yük etkisindeki davranışlarının tahmin edilmesi, düşey yük altındaki davranışlarının tahmin edilmesinden pratik olarak daha zordur (Meyerhoff, 1976)

1.4.1. Kazık Temellerin Kullanıldığı Yerler

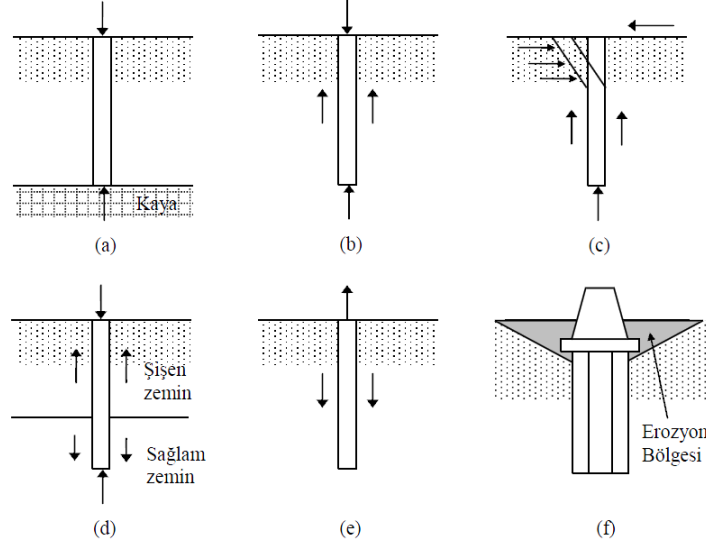
Kazıklı temeller, günümüzde inşaat mühendisliği uygulamaları olarak liman yapılarında, su akımına maruz kalan köprü ayaklarında, şev stabilitesi problemi olan bölgelerdeki istinat yapılarında, sismik yüklere maruz kalabilecek binaların temellerinde, yanal yükler taşıyan kule, vinç köprü ayakları ve yüksek yapıların (rüzgâr enerjisi değirmenleri, reklam panoları vb.) temellerinde kullanılırlar. Kazıklar, yüzeysel temellerle karşılaştırıldığında daha yüksek taşıma kapasitesine sahiptir ve daha az harekete olanak vermektedir. Bu yüzden, dokuz katlı ve daha yüksek yapıların büyük çoğunluğu zemin koşullarına bağlı olarak kazıklı temeller üzerine oturmaktadır.

Kazık temeller aşağıda belirtilen amaçlar doğrultusunda, ekonomik açıdan en uygun çözüm yöntemi oldukları takdirde inşa edilirler (Das, 1984).

- ✓ Yüzeğe yakın zemin katmanlarının yüksek derecede sıkışabilir ve üstyapıdan gelen yükleri taşımak için yetersiz olduğu durumlarda veya sıvılaşma potansiyeli bulunan bölgelerde yükü alt katmanlardaki sağlam zemine iletmek amacıyla kazıklar kullanılır (Şekil 1.6. (a)).
- ✓ Sağlam zeminin kazık yapımı için makul bir derinlikte olmaması durumunda, gelen yükü sürtünme vasıtasıyla kademeli olarak zemine aktarabilmek için kazıklar kullanılırlar (Şekil 1.6. (b)).
- ✓ Yanal yüklere maruz kaldıklarında, kazık temeller, eğilme yoluyla yanal yüklere direnirken aynı zamanda düşey yükleri taşıyabilme kabiliyetine sahiptirler. Bu nedenle hem yatay, hem düşey yüklere maruz kesimlerde inşa edilmeleri uygundur (Şekil 1.6. (c)).
- ✓ Pek çok uygulamada, yüzeyden çok derinlere uzanan genişleyen veya çöken zeminlerle karşılaşılabilir. Genleşen (şişen) zeminler su muhtevastaki artış durumunda şişer veya azalması halinde çatırlar. Su eklendiğinde şişen ve su kaybıyla rötreye uğrayan pek çok plastik kil vardır. Bu zeminler üzerine inşa edilen temeller, şişmenin etkisiyle büyük kaldırma kuvvetlerine maruz kalırlar. Bu kuvvetler yapıda şişme, çatılma ve kırılmalara sebep olurlar. Genleşen killerde genelde likit limit $LL > 50$, plastisite indisi $PI > 15$ 'tir. Su muhtevası değerinin değiştiği derinliğe kadar olan kısım "aktif bölge" olarak adlandırılır. Aktif bölgenin derinliği, zemin profiline bağılı olarak değişir. Bu derinlik, zemin profilinde iklim değişimlerine bağılı olarak likit limitteki değişimleri gösteren grafikler yardımıyla kolayca belirlenebilir. Çöken zeminler ise suya doydukları zaman büyük hacim değiştirmeler görülen, doymun olmayan zeminlerdir. Bu hacim değişimi ek bir yükten kaynaklanmak zorunda değildir. Zemine su girişi, kırılan su boruları, kanalizasyon sızıntıları, rezervuar ve yüzme havuzlarının drenajı veya yeraltı su seviyesindeki yavaş artışlar gibi pek çok nedenden meydana gelebilir. Bu tip oturmalar yapıya ciddi zararlar verecek boyutta olabilir. Zemin suya doyduğunda kil bağlayıcılar dayanımını kaybeder ve zeminde yapısal çökmeler meydana gelir. Bu tür zeminlerde sığ temel inşa edildiği takdirde büyük çaplı yapısal hasarlar meydana gelebilir. Bu tür zeminlerde, sağlam zemine ulaşan kazıklar yapılması gereklidir (Şekil 1.6. (d)).
- ✓ Nehir yatakları gibi yüzey erozyonu görülen bölgelerde akışkanın hızı ve sürekliliği bir süre sonra temel altındaki zeminde hacim azalmasına ve buna bağılı

olarak dayanım kaybına sebep olmaktadır. Bu tür bölgelerde kazık temel yapılarak bu tehlikenin önüne geçilmektedir. (Şekil 1.6. (f)).

- ✓ Kazıkların üst seviyelerinde şişen veya göçen zeminin bulunması durumunda ve kaldırma yüklerinin etkisi altında kalacak yapılarda, temel olarak kullanılabilirler (Şekil 1.6. (d), (e)).



Şekil 1.6. Kazıklı temellerin kullanım yerleri (Çinicioğlu, 2005).

1.4.2. Kazık Temel Çeşitleri

Kazıklar ve kazıklı temeller tarih öncesinden beri kullanılmaktadır. İsviçre'nin neolitik canlılarının günümüzden 12000 yıl önce sığ göl tabanlarında ahşap kazık çakarak üzerlerine barınak inşa ettikleri bilinmektedir.

Günümüzde yapıların özelliklerinin değişmesi sonucunda, yapıların çok katlı ve statik açıdan zorlayıcı olması, ortaya çıkan zemin taşıma gücüne göre yapılara uygulanan temel çeşitlerinin değişmesine de neden olmuştur. Bunun sonucunda temel çeşitlerinin ihtiyaca cevap verecek duruma getirilmesi için zemin özelliklerine göre çeşitli temel uygulamaları geliştirilmiştir. Uygulamada kullanılan derin temellerin ihtiyaca cevap verebilmesi için, zeminin özelliğinin birinci sırada yer alması, uygulama hatalarının oluşmaması ve zemin özelliğine göre derin temel çeşidinin belirlenmesi gereği ortaya çıkmıştır.

Günümüzde literatürde kazıkların çeşitli kriterlere göre sınıflandırılmalarının yapılması mümkündür. Yaygın olarak kazıklar aşağıda gibi dört gruba ayrılarak sınıflandırılabilir.

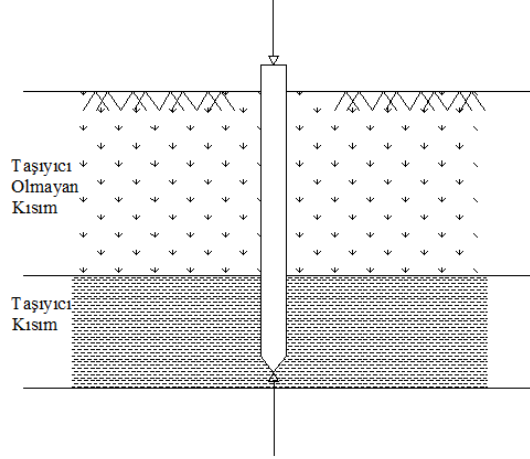
1. Zemine yük aktarma mekanizmasına göre kazıklar
 - ✓ Uç kazıkları
 - ✓ Sürtünme Kazıkları
 - ✓ Çekme kazıkları
 - ✓ Ankraj kazıkları
 - ✓ Kompaksiyon kazıkları
 - ✓ Eğik kazıklar
2. İmal edildikleri malzemenin cinsine göre kazıklar
 - ✓ Ahşap kazıklar
 - ✓ Beton kazıklar
 - ✓ Çelik kazıklar
 - ✓ Kompozit kazıklar
3. Yapım şekillerine göre kazıklar
 - ✓ Çakma kazıklar (Deplasman kazıkları)
 - ✓ Sondaj kazıkları (Fore kazıklar)
4. Zemine yerleşim özelliklerine göre kazıklar
 - ✓ Küçük yerdeğiştirme yapan kazıklar
 - ✓ Büyük yerdeğiştirme yapan kazıklar
 - ✓ Zeminde yerdeğiştirmeye yol açmayan kazıklar

1.4.2.1. Zemine Yük Aktarma Mekanizmasına Göre Kazıklar

1.4.2.1.1. Uç Kazıkları

Yapıdan gelen yükü alttaki sağlam zemine basınç yoluyla aktaran kazıklardır. Sağlam zemin çok derinde değilse uygulanır. Kazık sağlam zemine oturtulabilir veya gömülebilir. Bu tür kazıklar, taşıdıkları yüke ve yükü ilettikleri zeminin taşıma gücüne bağlı olarak ayaklı ve ayaksız olarak iki şekilde imal edilmektedir. Şekil 1.7’de uç kazığı görülmektedir.

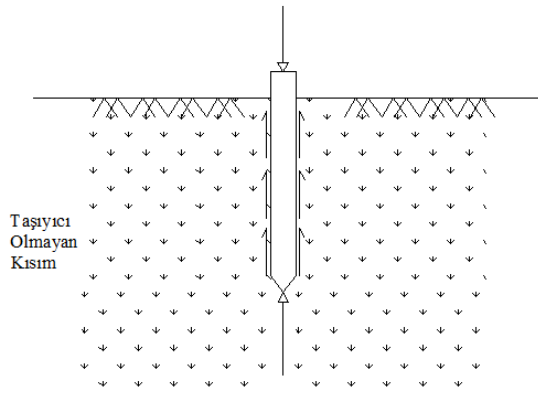
Uç kazıkları, yapının tabanının altında dikkate değer bir derinlikte bulunan sert tabaka katmanı ve kazık ucu arasında direk temas yoluyla yükleri transfer eden kazıklardır. Bu kazık tipi taşıma kapasitesini kazık ucunda zeminin penetrasyon direncinden kazanır (Jaradat, 2005).



Şekil 1.7. Uç Kazığı

1.4.2.1.2. Sürtünme Kazıkları

Yapıdan gelen yükü zemine sürtünme yoluyla aktaran kazıklardır. Uç kazığı yapılması için gereken sağlam zemin makul bir derinlikte değilse uygulanır. Şekil 1.8'de sürtünme kazığı görülmektedir.



Şekil 1.8. Sürtünme Kazığı

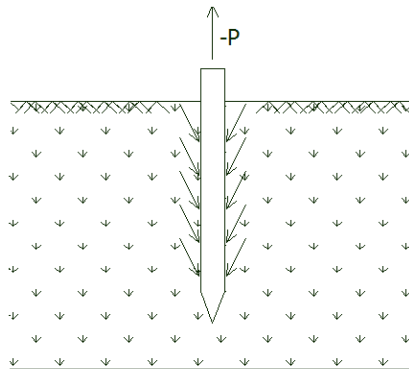
Sürtünme kazıkları, kazık ve kazığı çevreleyen zeminin arasındaki direkt teması sayesinde dayanımını kazanır. Belirli bir zeminde bir kazığın en yüksek sürtünme kapasitesi zemin ile temas alanının boyutuna bağlıdır. Temas alanı ne kadar büyük olursa sürtünme kapasitesi o kadar büyük olacaktır. Sonuç olarak, sürtünme kazıkları diğer kazık türlerine göre daha büyük temas alanına sahip olarak dizayn edilmelidir. Eksenel yük altında bir sürtünme kazığının maksimum yük kapasitesi, zemin-kazık ara yüzeyinin maksimum yük kapasitesi ve kazık malzemesinin basınç dayanımından daha azdır. Eksenel ve yanal yüklere maruz kalan kazıklarda kazığı çevreleyen zeminin göçmesinin sonucu olarak, kazığın yana doğru göçmesi muhtemeldir. Kazıklarda maksimum yanal esneklik yanal köprü hareketlerini sonlandırmak için istenir; kazık kesitleri kabul edilebilir bir miktarda esneklikle beraber yeterli bir yüzey sürtünme alanı temin edilerek seçilmelidir (Jaradat, 2005).

Kazıklar, özellikle sürtünme kazıkları, kazık elemandan kazığı çevreleyen zemine yükleri transfer edebilsin diye yeterli yüzey alanına sahip olmaları gerekir (Chellis 1961)

1.4.2.1.3. Çekme Kazıkları

İleri derecede hidrostatik basınca veya döndürme momentine maruz yapıların stabilitesini artırmak ve bu nedenle doğabilecek yapı hasarlarının önüne geçmek amacıyla kazıkların uygun eğimlerde çakılması. Uygulamada çekme gerilmelerine maruz kalan bu kazıklara çekme kazıkları adı verilmektedir. Şekil 1.9'da çekme kazığı görülmektedir.

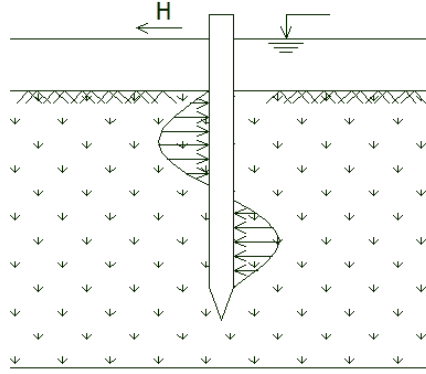
Temelde çekme gerilmeleri veya üstyapıya gelen kuvvetler yüzünden döndürme etkileri meydana gelmesi durumunda, sürtünmeyle bu kuvveti zemine aktarmak ve çekme gerilmesini yenmek için kullanılır.



Şekil 1.9. Çekme Kazığı

1.4.2.1.4. Ankraj Kazıkları

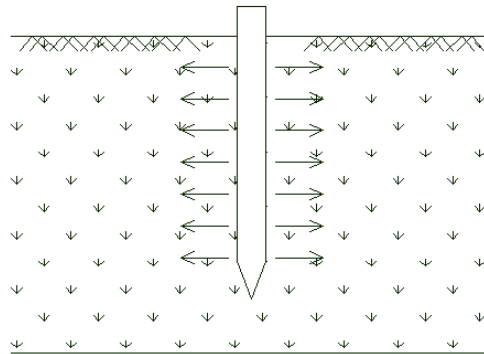
Çeşitli nedenlerle üst yapıdan zemine aktarılan çekme karakterli yüklerin taşınması amacıyla çekme yüküne maruz bölümlerde ankraj kazıkları tesis edilebilir. Şekil 1.10'da ankraj kazığı görülmektedir.



Şekil 1.10 Ankraj Kazığı

1.4.2.1.5. Kompaksiyon Kazıkları

Genelde gevsek kumlarda zeminlerin taşıma kapasitesini artırmak gayesi ile kazık çakılarak granüler zeminin sıkışması sağlamak için kullanılan kazıklara kompaksiyon kazıkları denir. Bu sıkışma da uç direncinde %50~100 artış sağlar. Şekil 1.11'de kompaksiyon kazıkları görülmektedir

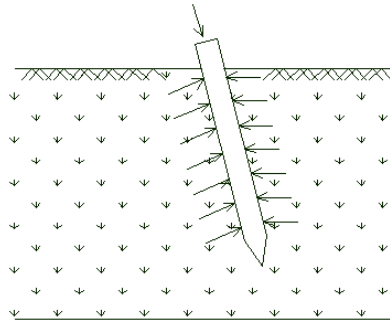


Şekil .1.11. Kompaksiyon kazığı

1.4.2.1.6. Eğik Kazıklar

Düşey yüklerin yanında yatay yükleri de emniyetli şekilde taşıtmak için yapılan kazık türüdür. Genel olarak dikeyle 20° açı yaparlar ve bu açının 26° 'nin üzerine çıkması istenmez. Negatif çevre sürtünmesinin, ani ve büyük yüklerin ve deprem kuvvetlerinin etkimesinin muhtemel olduğu bölgelerde kullanılmaları tavsiye edilmez.

Büyük hacimli yatay veya eğik kuvvetlerin zemine güvenilir biçimde aktarılmasını temin etmek amacıyla eğik kazıklar kullanılabilir.



Şekil 1.12. Eğik Kazıklar

1.5. Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Kablolu köprülerin gelişim aşamasına bakıldığında, bir kirişin eğik halatlar ya da zincirler ile bir kuleye asılarak desteklenmesi düşüncesinin eski çağlardan beri bilindiğini göstermektedir. Tropik bölgelerde asmaların nehirlerin her iki kıyısındaki ağaçlara bağlanması suretiyle, bambu ve ahşaptan yapılmış karşıdan karşıya geçmeyi sağlayan ilkel tipteki kablolu asma köprü sistemleri oluşturulmuştur (Gimsing, 1983 ve Pugsley, 1968).

İlk inşa edilen kablolu köprülerin çoğu yıkılmış olup, 20. Yüzyıla kadar başarılı bir şekilde uygulanamamışlardır. Yıkılma sebepleri, kablolu köprülerin gerçek yapı davranışının yanlış anlaşılmasından ve yapım aşamasındaki bazı hatalardan kaynaklanmıştır. Örneğin kabloları oluşturmak için demir ve zincir gibi uygun olmayan malzemelerin kullanılması ve kullanılan malzemelerin alanlarının genelde yetersiz oluşu kablolu köprü sistemlerinin büyük ölçüde yıkılmasına neden olmuştur. Bu sistemlerde kullanılan kablolar yapım aşamasında gerginleştirilmemiş ve kablolar görevlerini etkileyen yükler altında ancak bütün sistem önemli ölçüde deformasyon yaptıktan sonra yerine

getirmeye başlamışlardır (Paskalov vd., 1985; Podolyn, 1975; Troitsky, 1988; Krishna vd., 1985).

Kablolu köprülerde gerekli rijitlik ve ekonomiyi sağlayan ilk uygulama, 1899 yılında Fransız Mühendis Gishlard tarafından tasarlanmıştır. Gishlard eğik ve yatay kablolardan oluşan bir sistem önermiştir. Önerdiği sistemde eğik kabloların oluşturduğu kuvvetlerin yatay bileşenleri asal kirişe aktarılmamıştır. Böylece döşemede basınç kuvvetlerinin oluşmasına mani olunmuştur. Gishlard'ın önerdiği sistem göze pek hoş gelmemesine rağmen, demiryolu için uygun bir sistem olmuş ve Fransa'da geniş bir kullanım alanı bulmuştur (Walther, 1985)

İlk modern kablolu köprülerin trafik yükleri altında oldukça rijit davranması, estetik olarak hoş görünmesi, ekonomik ve yapımının kolay olması kablolu köprü sistemlerinin uygulama alanını arttırmıştır (Troitsky, 1988).

Kablolu köprülerin geniş ve başarılı uygulamaları; yüksek mukavemetli çeliklerin ve ortotropik döşemelerin kullanılması, kaynak tekniklerindeki gelişmeler, yapı analizindeki ilerlemeler ile ancak son yıllarda olmuştur. Bilgisayarların gelişimi, kablolu köprü ile yüksek dereceden statik olarak belirsiz sistemlerin çözümü için ve üç boyutlu davranışın analizi için büyük imkânlar sağlamıştır. Böylece son yıllarda rüzgâr etkilerine karşı aerodinamik olarak dayanıklı kablolu köprüler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Güney Kore'de 1982 yılında inşa edilen Jindo köprüsü ve 1983 yılında inşa edilen Dolsan köprüsü son yıllarda inşa edilen kablolu köprülere ait örneklerdir (Tappin ve Clark, 1985; Rees ve Kim, 1985).

Kablolu köprüler, açıklıkları 150 m ile 600 m arasında değişen köprüler için ekonomik olarak tüm dünyada giderek artan bir şekilde uygulanmaktadır. İlk kablolu köprüler genelde sismik olmayan bölgelerde inşa ediliyorken, son yıllarda sismik olmayan bölgelerde de inşa edilmeye başlanmıştır (Garevski vd., 1991).

Kablolu köprülerin önceleri 150–600 m arası orta tabliye uzunluğu için, asma köprülerden daha ekonomik olduğu gözlemlenmiştir. Günümüzde ise kablolu köprülerin büyük açıklıklar için asma köprüler kadar ekonomik olması sağlanabilmektedir. Ancak açıklık boyutu büyüdükçe kablolu köprülerde, yeterli tabliye rijitliğinin elde edilmesi ve yükler altında sistemin kararlılığının sağlanması için, tabliye kalınlığının ve kablo çaplarının artırılması gerekmektedir. Asma köprülerde ise gene tabliye kalınlığı artırılmalı ancak mevcut kabloların çapı sabit tutulup sayısı artırılmalıdır. Orta açıklığı 1000 metreyi

aşan köprü modelleri için asma köprülerin daha dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir (Soyluk, 1997).

Bütün köprü türlerinin modellenmesinde olduğu gibi kablolu köprülerin modellenmesinde de diğer birçok parametreyle birlikte köprü üzerinde hareket eden taşıtlar ile köprü arasında meydana gelen etkileşim kuvvetleri son derece önem taşımaktadır. Taşıt-köprü etkileşimi problemlerinin çözümünde dikkate alınması gereken birçok önemli parametreden biri olan hız parametresinin farklı taşıt yüklemeleri altında irdelemesidir. Köprünün davranışında en önemli rollerden birine sahip kabloların projelendirilmesinde hız parametresi dikkate alınması gereken en önemli parametreler arasında bulunmaktadır. Kulelerdeki uzun süreli deformasyonlar kabloların eksenel kuvvetlerinde ve yük taşıma kapasitelerinde düşüşe neden olacaktır. Bu bakımdan kule elemanlarının trafik yükleri dikkate alınarak tasarlanması kablo eksenel kuvvetlerinin durumu açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle kablolu köprülerde, kuleler kablo eksenel kuvvetlerinde düşüşe neden olmayacak rijitlikte tasarlanmalıdır (Cengiz, 2009).

1973 yılından beri hizmet veren İstanbul Boğaziçi Köprüsü'nün tabliye ve kulelerinin boylamasına, yanal ve düşey hareketleri, zaman dizileri analizi ile araştırılmıştır. Zaman dizisi grafiklerinden, tabliye ve kulelerin ölçülen hareketlerinin (tepkilerinin) yapıya etkileyen trafik yükü, rüzgâr kuvveti ve sıcaklık değişimlerinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Köprünün simetrik olmasından da yararlanılarak özellikle etkileyen yükler altında kulelerin benzer hareketler sergilediği ve tabliyenin düşey yöndeki hareketlerinin boylamasına ve yanal yönlerindeki hareketlerine göre daha büyük olduğu gözlenmiştir (Erdoğan ve Gülal, 2009).

Sweidan (1990) ve Harichandran ve diğerleri (1996) tarafından gerçekleştirilen çalışmada deprem hareketindeki değişimin araştırıldığı kemer köprülerin rasgele titreşim analizini gerçekleştirilmiştir. Deprem hareketi filtre edilmiş beyaz gürültü ile modellenirken, çalışmaların sonucunda deprem hareketindeki değişim etkisinin uzun açıklıklı köprü sistemlerinin dinamik analizi üzerinde önemli etkilerinin olduğu vurgulanmıştır.

Soyluk (2005) tarafından gerçekleştirilen çalışmada deprem hareketindeki değişimin araştırıldığı kablolu ve kemer köprülerin dinamik analizleri farklı rasgele titreşim analiz yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. Deprem hareketine ait değişimin incelendiği analizlerde deprem hareketi, filtre edilmiş beyaz gürültü modeli ile göz önüne alınmıştır. Bunun yanında uniform deprem hareketi için filtre edilmiş beyaz gürültü modeli ve deprem

hareketi için kablolu köprü modeli çözümlenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda uniform deprem hareketi için filtre edilmiş beyaz gürültü modelinin oldukça gerçekçi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Soyluk ve Yücel (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada deprem hareketindeki değişim etkisi için çelik kemer köprülerin rasgele titreşim analizi yapılmaktadır. Rasgele titreşim analizinde deprem hareketi rasgele işlem olarak spektral yoğunluk fonksiyonu ile ifade edilirken, deprem hareketinin değişimi dalga yayılma etkisi ile dikkate alınmaktadır. Filtre edilmiş beyaz gürültü modelinin gerçek deprem hareketini yansıtmayı yansıtmadığı belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu amaçla incelenen köprü örnekleri hem gerçek deprem hareketi, hem de filtre edilmiş beyaz gürültü modeli ile çözümlenmekte ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, filtre edilmiş beyaz gürültü modeli ile gerek sonlu yayılma hızı ve gerekse sonsuz yayılma hızı için elde edilen tepkiler, gerçek deprem hareketi spektral yoğunluk fonksiyonu ile elde edilen tepkilerle paralellik içerisinde. Deprem hareketini modellemek için kullanılan filtre edilmiş beyaz gürültü modelinin, gerçek deprem hareketi etkisini modellemek için kullanılmasının uygun olacağı düşüncesini güçlendirmektedir. Gerçek deprem hareketine ait spektral yoğunluk fonksiyonunun kullanılması durumunda hesapların güçleşeceği ve zaman alacağı düşünülürse, filtre edilmiş beyaz gürültü modelinin bir yaklaşım olarak kullanılması kabul edilebilirdir.

Eğriboyun (2008), farklı kablo düzenlemelerine sahip üç boyutlu çift tabliyeli kablolu köprülerin, birbirlerine göre farklılıklarını elde edebilmek amacıyla SAP2000 bilgisayar programı yardımı ile statik ve dinamik yükler altında analizler gerçekleştirmiştir. Statik yükler altında fan (radyal) tip kablolu köprü modeli hem yer değiştirmeler hem de gerilmeler bakımından diğer modellerden üstün iken dinamik yükler altında harp (paralel) tip kablolu köprü modelinin daha kararlı davrandığı gözlemlenmiştir. Özellikle son yıllarda deprem riski bulunan bölgelerde inşa edilen kablolu köprülerin harp ve yarı harp (yelpaze) tiplerde yapılmış olması da bunun bir göstergesidir. Statik yükler altında fan tip modelin diğer modellerden kararlı olması, bu tipin deprem riskinin az olduğu bölgelerde daha uygun olmaktadır. Çalışmada kullanılan çift tabliyeli kablolu köprü modelleri orta uzunlukta olduğundan, modeller arasında yer değiştirmeler ve kuvvetler bakımından çok büyük farklar gözlemlenmemiştir. Ancak açıklık boyutu arttıkça yer değiştirme ve kuvvet değerleri artacağından, uzun açıklıklarda modeller arasında, oluşacak değerler büyük farklılıklar gösterebilmektedir.

Boduroğlu (2007), kablolu koprulerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yontemi ile deprem performansının belirlenmesi üzerine yaptđđı çalışmada, yapı önem katsayısının kullanılması ve bazı elemanların elastik bölgede kalacak şekilde boyutlandırılması halinde, kablolu koprulerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile belirlenen deprem performansının, öngörülen sınırlar içinde kaldđđını göstermektedir.

Abdel-Ghaffar ve Rubin (1982) mesnetlerinden farklı yer hareketleri etkisindeki asma koprulerin düşey doğrultudaki rasgele titreşim teorisine dayalı olarak incelemişlerdir. Bu tür yapıların açıklıklarına benzer mesafelerde kaydedilmiş yer hareketleri dikkate alınarak spektral yoğunluk fonksiyonları elde edilmiş ve köprü sisteminin mesnet noktalarına uygulanmıştır. Çalışma sonucunda korelasyon etkisinin önemli olduğu vurgulanmaktadır.

Ateş (2004) alışmasında sürtünmeli sarkaç sistemi ile izolasyonlu karayolu koprulerinin 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 özellikleri zamandan bağımsız olduğu durağanlık (stasyonerlik) kabulü yapılmıştır. Yer hareketi modelinde, dalga yayılma etkisi, tutarsızlık etkisi ve zemin şartlarındaki dikkate alınmıştır. Clough ve Penzien (1993) tarafından düzeltilerek elde edilen filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modeli stokastik analizlerde kullanılmıştır. Analizler sonucunda filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modelinin gerçek yer hareketini oldukça iyi temsil ettiği elde edilmiştir. Dalga yayılma hızının sonsuz olmasına karşılık gelen üniform yer hareketi için izolasyonlu ve izolasyonsuz köprünün stokastik analizleri sonucunda sonsuz hız durumunda elde edilen yatay yerdeğiştirme değerleri genellikle en büyük olmaktadır. 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 kaynaklandığı gözlemlenmiştir.

Abdel-Ghaffar ve Rubin (1983) tarafından gerçekleştirilen çalışmada mesnetlerinden farklı yer hareketi etkisindeki asma koprulerin yatay ve düşey doğrultudaki davranışlarını incelemişlerdir. Frekans alanında rasgele titreşim yontemi kullanılarak, hem yer hareketlerindeki farklılık hem de yer hareketleri arasında korelasyon etkileri dikkate alınmıştır. alışmalar sonucunda sadece üniform yer hareketi için deprem analizlerinin bu tür koprler için yeterli olmadđđı sonucuna varılmıştır.

Harichandran ve Wang (1988, 1990) değişen yer hareketi etkisindeki bir ve iki açıklıklı kirişlerin stokastik davranışı üzerinde çalışmışlardır. Mesnetlerdeki yer hareketleri arasındaki korelasyon ve deprem dalgası yayılma hızını dikkate alan deprem yer hareketi modeli kullanılmış ve sonuçlar çeşitli basitleştirilmiş yer hareketi modelleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda yer hareketindeki değişiminin uzun açıklıklı kirişler için önemli etkilerinin olduğu vurgulanmaktadır. Ayrıca, uniform yer hareketi etkisi için, bulunan sonuçların bazı kiriş tepki değerleri için küçük, bazıları için ise büyük değerler verdiğini belirtmektedirler.

Zerva (1990) değişen yer hareketi etkisindeki sürekli kirişlerin davranışını incelemiştir. Mesnetlere etkiyen yer hareketleri stokastik olarak ifade edilmiş olup, mesnet hareketleri arasındaki etkileşimin dikkate alındığı korelasyonun tesiri 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 korelasyonun derecesine bağlı olarak, korelasyon etkisinin dikkate alındığı duruma oranla daha küçük veya daha büyük tepki değerleri verebileceği gösterilmektedir.

Swedian (1990) çalışmasında değişen yer hareketi etkisindeki kemer köprülerin stokastik analizi üzerinde durmuştur. Yer hareketi olarak mesnet noktalarındaki yer hareketleri arasındaki korelasyon etkilerini ve deprem dalgasının yayılma hızını dikkate alan bir model kullanılmıştır. Yapı davranışı sonlu eleman yöntemi dikkate alınarak geliştirilen rasgele titreşim teorisi ile çözümlenmiştir. Mesnetlere etkiyen yer hareketlerinin çeşitli özel durumları için çözümler yapılarak karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, yer hareket değişiminin yapı davranışı üzerinde önemli etkilerinin olduğu ifade edilirken, yer hareketi parametrelerinin ve yer hareketi yayılma hızının da sonuçları etkilediği vurgulanmaktadır. Kemer köprülerin stasyonere olmayan davranışı incelenmiş olup, stasyonere duruma yakın sonuçlar bulunduğu belirtilmektedir.

Zerva (1991) değişen yer hareketi etkisindeki sürekli kiriş sistemlerini, mesnetlerdeki yer hareketleri arasındaki korelasyon ve dalga yayılma hızını dikkate alan bir stokastik yer hareketi modeli kullanarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda dalga yayılma hızının üniform harekete oranla küçük ya da büyük tepki değerleri verebileceği ifade edilmektedir.

Zerva (1992a,1992b) çalışmalarında yapı sistemlerinin mesnetlerine etkiyen yer hareketleri arasındaki korelasyon ifadesi için iki farklı model kullanarak sonuçlardaki farklılıkları incelemiştir. Çalışma sonucunda iki model için elde edilen tepkilerin farklı

olduğu belirtilirken, uzaklık ve frekansın sonuçlar üzerinde etkili olduğu vurgulanmaktadır.

Der Kiureghian ve Neuenhofer (1991, 1992) değişen yer hareketi etkisindeki çok serbestlik dereceli sistemlerin dinamik analizi için rasgele titreşim teorisine dayalı yeni bir davranış spektrumu yöntemi geliştirmişlerdir. Dalga yayılma etkisi, artan mesafe ile birlikte azalan korelasyon etkisi ve zemin şartlarındaki değişimden kaynaklanan yer hareketinin değişimi dikkate alınmıştır. Geliştirilen yöntem iki açıklıklı 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 korelasyon kaybının olduğu durumlarda zahiri-statik bileşenlerdeki artış dolayısıyla farklı sonuçların elde edilebileceği belirtilmektedir.

Hawwari (1992), çalışmasında Golden Gate Asma Köprüsünün Stokastik davranışını incelemiştir. Deprem hareketi olarak mesnetlerdeki yer hareketleri arasındaki korelasyon etkilerini ve deprem dalgasının yayılma hızını dikkate alan bir model kullanılmıştır. Mesnetlere etkileyen yer hareketlerinin çeşitli özel durumları için çözümler yapılarak karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda üniform yer hareketi dikkate alınarak yapılan çözümlerin bazı bölgelerde büyük tepki değerlerinin oluşmasına neden olurken, bazı bölgelerde küçük tepki değerlerinin oluşmasına neden olduğu anlaşılmaktadır. Dalga yayılma hızının dikkate alındığı durumlarda özellikle merkez açıklıkta büyük farklılıkların ortaya çıktığı belirtilmektedir. Stasyoner olmayan analiz sonuçlarının irdelenmesinden, belirli bir hareket süresince stasyonerlik kabulünün kenar açıklıklarda büyük tepki değerlerinin oluşmasına neden olduğu gözlenmektedir.

Hao (1989,1993) çalışmalarında korelasyon ve dalga yayılma etkilerinin dikkate alındığı değişen yer hareketi etkisindeki dairesel 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 değişimin ihmal edilmesinin tepkilerin küçük veya büyük çıkmasına neden olabileceği belirtilmektedir.

Der Kiureghian ve Keshishian (1996) ve Der Kiureghian, Keshishian ve Hakobian (1997) çalışmalarında farklı mesnetlerdeki zemin şartlarının değişiminden kaynaklanan yer hareketindeki değişim için yeni bir bileşen elde edilmiştir. Bunun yanında zemin frekans davranış fonksiyonu için de çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Çalışmada uygulama amacı

ile iki köprü örneği kullanılmış ve yer hareketinin değişiminin yapı davranışı üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir.

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

Zerva (1999) çalışmasında değişen yer hareketi etkisi için dikkate alınan korelasyon etkisinin yapı sistemlerinin dinamik davranışı üzerindeki etkisini incelemiştir. Yapı sistemine ait zahiri-statik ve dinamik tepki bileşenleri elde edilmek suretiyle; düşük frekanslarda kısmi korelasyonsuz söz konusu olduğu yer hareketinin en büyük zahiri-statik kuvvetlere neden olduğu belirtilirken, korelasyon etkisinin yavaşça azaldığı yer hareketi durumunda dinamik bileşene en büyük katkıyı sağladığı ifade edilmektedir.

Sungur (1993) ve Soyluk (1997) çalışmalarında üniform yer hareketi etkisindeki kablolu köprülerin stokastik analizi üzerinde durmuşlardır. Stokastik analiz ile elde edilen ortalama maksimum tepki değerleri deterministik yöntemler ile belirlenen mutlak maksimum değerlerle karşılaştırılmıştır. Çalışmalarda ayrıca yer hareketi için idealleştirilmiş bir model olan beyaz gürültü işlemi için de çözümler yapılmış ve uygun sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir.

Nazmy ve Abdel-Ghaffar (1987,1992) deprem hareketi etkisindeki üç boyutlu, uzun açıklıklı, kablolu köprülerin lineer olmayan dinamik davranışını incelemişlerdir. Çalışmalarda üniform yer hareketi yanında mesnetlerinden farklı dinamik etkiler için de kablolu köprülerin dinamik davranışı belirlenmiştir. Kablolu köprülerde söz konusu lineer olmayan etkilerde analizlerde dikkate alınmıştır. Çalışma sonucunda, bu tür uzun, kompleks ve üç boyutlu yapıların deprem analizi yapılırken, üniform olmayan yer hareketlerinin önemli etkilerinin olabileceği ve analizlerde dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

Nazmy (1995) çalışmasında kablolu köprülerin dinamik davranışı ile ilgili problemleri tanımlamıştır. Üç boyutlu 1000 m uzunluğundaki analitik model kullanılarak çeşitli çözümler üzerinde durulmuştur. Önerilen çözümlerin incelenebilmesi amacıyla

mesnetlerinden farklı dinamik etkilere maruz köprünün lineer olmayan dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda kablolu köprülerin 1000 m'ye kadar olan açıklıklar için ekonomik olacağı belirtilmektedir.

Soyluk, Dumanoglu ve Bayraktar (1997), Soyluk, Dumanoglu (1998,2000) ve Dumanoglu, Soyluk (1998,2000) çalışmalarında kablolu köprülerin stokastik, asinkronize ve antisinkronize analizlerini ayrı ayrı gerçekleştirmişlerdir. Uygulama amacı ile Güney Kore'de inşa edilen Jindo Kablolu Köprüsü seçilmiştir. Asinkronize ve antisinkronize analiz için çeşitli yer hareketi yayılma hızları dikkate alınmıştır. Her bir analiz ile elde edilen yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Çalışmaların sonucunda yer hareketinin sonlu hızda yayılma hızının sonuçlar üzerinde önemli etkilerinin olduğu belirlenmiştir.

Garevski, Dumanoglu ve Severn (1988) tarafından belirli bir hızda yayılan asinkronize yer hareketi için kablolu bir köprünün dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan çeşitli deterministik yöntemler ile yapının dinamik davranışı belirlenmiştir. Çalışma sonunda kablolu köprüler yüzlerce metre uzunluğunda olduğundan, yer hareketinin bir mesnetten diğerine saniyeler sonra ulaşacağı ve böylece yapının dinamik etkiler yanında zahiri-statik etkilere de maruz kalacağı belirtilmekte ve her iki etkininde analizlerde dikkate alınması gereği vurgulanmaktadır.

Allam ve Datta (1999) çalışmalarında mesnetlerindeki yer hareketleri arasındaki korelasyon etkilerinin dikkate alındığı rasgele yer hareketi etkisindeki kablolu köprülerin stokastik analizini çalışmışlardır. Rasgele yer hareketi, spektral yoğunluk fonksiyonu ve korelasyon etkisi ile ifade edilmiştir. Bunun yanında kablolu köprülerin dinamik davranışını belirlemek amacıyla kapsamlı bir parametrik çalışma yapılmıştır. Çalışma sonucunda korelasyon etkilerinin kablolu köprüler için dikkate alınması gereği belirtilmektedir.

Allam ve Datta (2000) çalışmalarında mesnetlerdeki yer hareketleri arasındaki korelasyon etkilerinin dikkate alındığı rasgele yer hareketi etkisindeki kablolu köprüleri davranış spektrum yöntemi ile incelemişlerdir. Söz konusu yöntem esas itibarı ile yer hareketine ait davranış spektrumu ve spektral yoğunluk fonksiyonu arasındaki ilişki ile rasgele titreşim teorisinin temellerine dayanmaktadır. Yöntemin uygulanabilirliği, davranış spektrum yöntemi ile elde edilen tepki bileşenleri frekans alanındaki spektral analiz yöntemi ile bulunan sonuçlarla karşılaştırılmak suretiyle tahkik edilmektedir. Çalışma

sonucunda her iki yöntemle elde edilen tepki değerlerinin birbirleriyle uygunluk içerisinde oldukları belirtilmektedir.

Dumanoğlu ve Soyluk (2000) ve Soyluk ve Dumanoğlu (2000) mesnetlerinden farklı dinamik etkilere maruz kablolu köprülerin stokastik analizi üzerinde çalışmışlardır. Yer hareketi olarak Clough-Penzien tarafından geliştirilen filtre edilmiş beyaz gürültü modeli kullanılmıştır. Çalışmalarda zemin şartlarındaki değişim dikkate alınmak sureti ile aralarında korelasyon olmayan farklı yer hareketleri için söz konusu köprünün stokastik analizi yapılaş ve farklı yer hareketlerinin köprünün dinamik davranışı üzerinde önemli olduğu gözlenmiştir.

Takemiya ve Kai (1983), Spyrakos (1992), Kitazawa vd. (1990), Kawano ve Furukawa (1988), köprülerin sismik davranışında zemin-yapı etkileşiminin etkilerini anlamak için yaptığı çalışmalarında, zemin-yapı etkileşiminin köprü-temel-zemin sisteminin doğal periyodunu uzatma eğiliminde olduğunu ve köprü deplasmanlarında ve yapısal elemanlarda atalet kuvvetlerini büyük ölçüde etkilediğini göstermiştir. Ayrıca köprünün sismik davranışında zemin-yapı etkileşiminin etkileri köprü-temel-zemin sisteminin koşullarına bağlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Zemin-yapı etkileşiminin önemini gösteren ve birçok yapıcı sonuçlar elde edilen çeşitli çalışmalar yapılmasına rağmen, çevresel yüklere karşı uzun açıklıklı kablolu köprülerin güvenilirliğinin tahmin edilmesinde ve zemin yapı etkileşiminin etkilerini dikkate alan çok az çalışma yapılmıştır. Uzun açıklıklı köprüler esnek yapılar, zemin-yapı etkileşiminden dolayı daha esnek olurlar. Sonuç olarak, söz konusu köprüler düşük frekanslı rüzgâr uyarılmaları karşısında daha fazla etkilenebilirler ve yorulmaya karşı köprünün güvenilirliği zemin-yapı etkileşiminin etkileri tarafından azaltılmış olması beklenir. Güvenilirliğin tahmin edilmesinde zemin-yapı etkileşiminin etkilerini kavramak için ayrıntılı çalışma yapılması gerekir. Çünkü zemin-yapı etkileşimi sadece yapının uzatılmış periyoduna bağlı değil aynı zamanda sismik kuvvetlerin frekans içeriklerine de bağlı olmaktadır. Deprem frekans içerikleri ve yapının uzatılmış periyodu zemin koşullarına bağlıdır. Bu yüzden sismik uyarılmaların olması halinde zemin-yapı etkileşiminin etkileri daha kompleks olmaktadır (Khan vd., 2004).

Khan, Ahmad ve Datta (2004) zemin yapı etkileşiminden dolayı oldukça esnek taban üzerine mesnetli kablolu köprünün sismik risk değerlendirmesi için basitleştirilmiş probabilistik risk analizi üzerinde çalışmışlardır. Zemin-yapı etkileşiminden dolayı ortaya çıkan köprünün modal sönümü ve düzenlenmiş frekansla birlikte köprünün başarısızlık

ihtimali belirlenmiştir. Zemin-yapı etkileşim analizlerindeki yaklaşımlar ve zemin özelliklerindeki belirsizlikler analizde uygun şekilde dahil edilmiştir. Yer hareketinin boyuna bileşeninin artmasıyla ve dik bileşenlerin boyuna bileşenlere oranının artmasıyla başarısızlık ihtimali artmakta ve etkiler esnek taban koşulları için daha fazla olmaktadır.

Yapı sistemlerinin önemli bir parçası olan temellerin hesabı, temel altındaki zeminin fiziksel özelliklerinin belirsizliğinden dolayı, inşaat mühendisliğinin karmaşık problemlerinden biridir. Temel sistemlerinin çözümleri genellikle temel altındaki zeminin fiziksel özelliklerini dikkate almayan basit yaklaşık yöntemlerle yapılmaktadır. Oysa ki, temel hesaplamalarında, temel altındaki zeminin fiziksel özelliklerini ve temel ile birlikte üst yapı rijitliğini de dikkate alan hesap yöntemlerinin kullanılması durumunda, temel sistemi daha güvenli ve ekonomik olacaktır (Düzgün, 2001).

Winkler tarafından önerilen idealleştirilmiş zemin ortamı modelinde, p zemin etkilerinin, y kiriş çökmeleriyle orantılı olduğu, zemine etkiyen kuvvetlerin yalnız etkideği noktada şekil değiştirdiği kabul edilir (Selvadurai, 1979). Bu durumda zeminin birbirinden bağımsız ve birbirine sonsuz yakın yaylardan oluştuğu düşünülmekte, bu yayların yalnız doğrudan doğruya yüklendiklerinde çöküp tepki gösterdikleri, ancak yayların, komşu yayların yüklenme ve çökmesinden etkilenmediği varsayılmaktadır. Bunun sonucu olarak, zemin tamamen süreksiz bir ortam olarak göz önüne alınmış olur (Hetenyi, 1955). Winkler modelinde yüklü alanın altındaki yerdeğiştirme, zeminin sonsuz rijit yüke veya üniform fleksibil yüke maruz olması durumunda sabit olacaktır (Selvadurai, 1979).

Alsaleh ve Shahrour (2008) çalışmalarında zemin kazık yapı ilişkisini incelemiştir. Mohr-Coulomb ilişkisini kullanarak yaptıkları modellemede üst yapı, zemin ve kazık üç boyutlu kiriş eleman olarak modellenmiştir. Analizlerde ilk olarak harmonik yükleme, daha sonra gerçek deprem yükleri kullanarak, zemin ve kazığın doğrusal olmayan davranışını incelenmiştir. Zamana bağlı olarak yer değiştirme değerlerini, kazıklardaki en elverişsiz durumdaki aksenal kuvvet ve burulma momenti değerlerini, elastik ve elasto-plastik durumlar için elde etmişlerdir. Zeminin plastikliğinin, üst yapıya enerji geçişini azalttığı ve atalet kuvvetlerindeki artışın önemli olduğunu göstermişlerdir.

Uzuoka vd (2007) çalışmalarında sınıvlaşmış bir zeminde grup kazıkların dinamik davranışını incelemiştir. Grup kazıklar üç boyutlu zemin-kazık modeli ile modellenmiştir. 1995 Kobe depremi sırasında ortaya çıkan kazık zararlarından dolayı beş katlı bir yapı ele alınarak analiz yapılmıştır. Sınıvlaşmadan hemen sonra kazıklarda akmalar

oluşturduğunu ve yatay yer değiştirmenin 10 cm'ye ulaştığını belirtmişlerdir. Sıvılaşmadan hemen sonra, atalet etkisinin kazık ucu ve zemin tabakasının alt kısmında, kinematik etkinin ise tabaka dibinde görüldüğünü belirtmişlerdir.

Sadek ve Shahrour (2001) sismik yüklemeler altında kazıkların davranışlarını incelemişlerdir. Modeller üç boyutlu olarak sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Zemin elastik, yapı yoğunlaşmış kütle kolon ve tek serbestlik dereceli olarak modellenmiştir. Kazıkların dinamik etkiler ve sismik atalet kuvvetleri etkisi altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Sismik yük etkisiyle kesme kuvvetlerinde ve burulma momentlerinde azalma olduğunu göstermişlerdir.

Nikoloaou ark. (2001) çalışmalarında zemin içinde yer alan bir kazığa ait yer değiştirme değerlerini kinematik burulma momentleri üreterek elde etmişlerdir. Bu momentlerin, yumuşak ve katı zemin tabakalarının yüzeyinde yoğunlaştığını göstermişlerdir. Çalışmalarını, a) kinematik olarak kazığın yüklenmesi, b) homojen ve tabakalı zeminlerdeki kazıkların analitik çözümü ve c) arazi deneyleri şeklinde üç grup olarak ele almışlardır. Çalışmada Winkler temel modeli uygulanarak özellikle kazıklara gelen sismik tepkiler belirlenmiştir. Kazığın sabit ve hareketli uç kısımlarında farklı sınır şartları gözlenmiştir. Kinematik momentlerin büyüklüğünün zemin tabakaları arasındaki rijitliğe bağlı olduğu belirtilmiştir.

Winkler'in varsayımına dayanarak, kazığın ucundaki zemin reaksiyonu sadece o noktanın şekil değiştirmesine bağlıdır ve kazığın yukarıdaki ve aşağıdaki kazık sapmalarına bağlı değildir. Bu yüzden, zemin basit analizlerden elde edilen yük-eğilme karakteristik eğrileriyle (p-y eğrileri) bir dizi ayırık yaylar ile temsil edilebilir. Diğer taraftan kazık grupları için, p-y eğrilerinde mantıklı bir biçimde kazık grup etkilerini içeren amprik bir yaklaşım gereklidir (Curras vd., 2001; Bogard ve Matlock, 1983).

Sadek (2005) çalışmasında kazık uç ve tabanındaki durumları sismik yüklemeye göstermiştir. Modellemede üç boyutlu sonlu eleman yöntemi kullanılmıştır. Üst yapı tek serbestlik dereceli ve yoğunlaştırılmış kütle ve kolon olarak, zemin ise lineer elastik kabul edilerek modellenmiştir. Çalışmada düşey ve eğimli kazıklar kullanılmıştır. Kazıklarda iki aksel kuvvet ve eğilme momenti değerleri elde edilmiştir. Ayrıca kazıklardaki iç kuvvet değerleri incelenmiştir. Özellikle küçük kazıkların sismik bölgelerdeki katı zeminlerde kullanılmaması gerektiği ve sismik yüklemenin zemin kazık sistemindeki plastikliği azalttığı belirtilmiştir. Ayrıca, kazık-zemin modellerinde, zeminin elasto-plastik olarak analiz edilmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Laman vd. (1999) kısa kazıklı temellerin moment taşıma kapasiteleri üzerinde durmuşlardır. Üç boyutlu sonlu eleman yöntemiyle zemin ve kazık yapısını modellenmiştir. Gevşek ve kohezyonlu zeminler üzerinde çalışılmıştır. Bilgisayarda elde ettikleri değerlerle, deneysel sonuçları karşılaştırmıştır. Zemin basınç değerinin çok hassas değerler aldığını göstermişlerdir.

Çimen vd. (2009) çalışmalarında farklı zeminlerdeki kazıkların deprem etkisi altındaki davranışını incelemek için sonlu elemanlar yöntemiyle dinamik analizler gerçekleştirmişlerdir. Deprem etkisi altında, tamamen kil ve kum ve farklı kalınlıklarda kil- kum tabakaları şeklinde dizilmiş zemin profillerinde kazık davranışının oldukça farklı olduğunu ifade etmişlerdir. Deprem etkisi kazık zemin davranışında oldukça önemli etkiler meydana getirmektedir. Zemin şartları frekans özelliklerini, yer ivmesinin genliğini, atalet kuvvetlerini etkilemektedir. Deprem sırasında zemin profilleri farklılaştıkça farklı davranışlar görülmektedir. Zemin profillerindeki farklılaşma farklı hasarlara yol açmaktadır. Yapısal davranıştaki değişiklik, kazık modellemesi sırasında farklı deprem etkilerinin de mutlaka dikkate alınması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Deprem etkisi dikkate alınmadan boyutlandırılan kazıkların, istenen davranışı ortaya koyamayacağını belirtmişlerdir.

Kazıklı radye temellerin kullanımı son yıllarda artmıştır. Kazıklar ve radyenin birlikte çalışması, taşıma kapasitesini arttırmakta, oturmayı azaltmakta ve kazıklar radyenin farklı oturmasını azaltmaktadır. Bu sebeplerden dolayı kazıklı radye temeller tercih sebebi olmaktadır (Small ve Liu, 2008).

Kazık taşıma gücünün belirlenmesi, tasarım aşamasında önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Kazık boyutu, zemin cinsi, yüzeye yakın zemin profili, kazığın imalat şekli, kazık başlığının durumu, tekrarlı yükler, kazık aralıkları vb. kazığın taşıma gücünü etkileyen faktörlerdir (Reul ve Randolph, 2003; Bea, 1992).

Uncuoğlu (2009) çalışmasında kum zemin içerisinde yer alan rijit kısa kazıkların zemin yüzeyi üzerinden belli bir yükseklikte uygulanan bir yanal yük etkisindeki davranışları araştırmıştır. Çalışmada üç boyutlu non-lineer sonlu eleman yöntemi kullanılmış ve dilatasyon açısı, zemin-kazık ara yüzey davranışı ve zemin elastisite modülü değişiminin davranış üzerindeki etkileri yapılan parametrik çalışmalar ile sayısal olarak araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar, sayısal analizler ve analitik yöntemlerden elde edilen sonuçlar, relatif sıkılık derecesinin, dilatasyon açısının, zemin elastisite modülünün ve zemin-kazık ara yüzey davranışının yanal yük taşıma kapasitesini önemli derecede

etkilediğini belirtilmiştir. Bununla birlikte; yükleme hızının, yanal yük ve moment taşıma kapasitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı ifade edilmiştir. Mevcut analitik yöntemler kullanılarak hesaplanan yanal yük taşıma kapasitesi değerleri arasında önemli miktarda farklılıklar olduğunu ifade etmektedir.

Yanal yüklü kazık probleminde yük-transfer mekanizması son derece karmaşık olup hala tam anlamı ile anlaşılamamıştır. Bu nedenle; günümüze kadar birçok tasarım yöntemi geliştirilmiştir. Yanal yüke maruz kazıkların davranışı üç boyutlu ve nonlinear bir zemin-yapı etkileşimi problemi olup kazık ve zemin arasındaki etkileşim tarafından kontrol edilmektedir. Kazık özellikleri (kazığın eğilme rijitliği, kazığın geometrisi), zeminin gerilme-deformasyon davranışı (kayma mukavemeti, zeminin rijitliği ve dilatasyon özelliği) ve kazık-zemin ara yüzeyi yanal yüke maruz bir kazığın taşıma kapasitesi üzerinde önemli etkilere sahiptir (Fan ve Long, 2005).

Yanal yüklü kazıkların analizi için kullanılan mevcut tasarım yöntemleri dört ana grupta toplanabilir. 1-sınır durum yöntemi (limit state method) 2- temel zemini reaksiyon yöntemi (subgrade reaction method) 3- p-y eğri yöntemi 4-elastik analiz yöntemi (Fan ve Long, 2005).

Bir kazığın nihai yanal yük taşıma kapasitesinin tahmin edilmesindeki en basit yaklaşım serbest başlı bir kazığın statik dengesinin göz önüne alınmasıdır. Yatay bir H yüküne ve bir M momentine maruz kazığın rijit bir kazık olduğu kabul edilip, yatay kuvvetlerin dengesi prensibi ve momentler kullanılarak elde edilen denklemlerin çözülmesi ile göçmeye neden olan yatay kuvvet ve moment değeri hesaplanabilir. Çözümlenmeler; zemin direncinin derinlik boyunca üniform olduğu durum, derinlik ile beraber doğrusal olarak arttığı durum ve derinlik ile beraber nonlinear olarak değiştiği durum olmak üzere farklı zemin direnci dağılımları için elde edilmiştir (Poulos ve Davids, 1980).

Temel zemini reaksiyon yöntemi ve p-y Eğri Yöntemi elastik zemine oturan kiriş kabulünü (beam-on-elastic foundation) kullanmaktadır. Belirtilen yöntemler, basit olmaları ve uygun doğrulukta sonuçlar vermeleri nedenleri ile yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bununla birlikte; zemin direnci nonlinear özellikte olmasına karşın zemin direncinin kazık deplasmanının doğrusal bir fonksiyonu olarak modellenmesi, yatay temel zemini reaksiyon katsayısının zeminin temel bir özelliği olmasından ziyade bir model parametresi olması, zeminin sürekli bir ortam olarak kabul edilip zemin direncinin süreksiz yaylar ile modellenmesi, kazık geometrisinin doğrudan göz önüne alınmaması temel zemini reaksiyon yönteminin dezavantajları olarak sıralanabilir. p-y Eğri Yöntemi, temel zemini

reaksiyon yöntemine benzer avantaj ve sınırlamalara sahiptir. p-y Eğri Yöntemi; kazığı elastik bir eleman olarak, zemini de nonlinear özellik gösteren bir seri yay olarak modellemektedir. Farklı olarak; p-y Eğri Yönteminde, zemin direnci kazık deplasmanının nonlinear bir fonksiyonu olarak göz önüne alınmakta ve elastik zemine oturan Winkler kirişi yaklaşımında zemin, deneysel olarak elde edilmiş nonlinear özellikteki yaylar (p-y eğrileri) ile temsil edilmektedir (Brown ve Shie, 1990; Duncan ve vd., 1994; Fan ve Long, 2005).

Elastik analiz yönteminde zemin homojen, izotrop ve elastik davranış özelliğine sahip sürekli bir ortam olarak kabul edilmektedir. Eğer zemin kütlesi içerisinde tamamı ile elastik şartlar hakim ise, kazık uzunluğu boyunca kazığın ve zeminin yatay deplasmanları birbirine eşit olacaktır. Zeminin lineer elastik özellikte sürekli bir ortam olarak kabul edildiği bu yaklaşımda; kazık ve zemin ortamı ayrı ayrı analiz edilir ve iteratif bir işlem uygulanarak kazık-zemin ara yüzeyi boyunca kazık ve zemin için elde edilmiş olan ötelenme ve basınç değerlerinin birbiri ile eşleşmesi sağlanır. Zemin deplasmanları, yarı sonsuz bir kütle içerisinde tekil bir yatay yük nedeni ile bir noktada oluşan yatay deplasman değerinin belirlenmesi için Mindlin tarafından önerilen eşitliğe dayanılarak elde edilmektedir. Kazık deplasmanları hesaplanırken de kirişlerdeki eğilmeyi idare eden diferansiyel denklem kullanılmaktadır. (Poulos, 1971; Poulos ve Davids, 1980, Laman ve vd.,1999).

Broms (1964) önermiş olduğu yöntemde; göçme anındaki yanal zemin basınçlarının pasif Rankine zemin basıncının üç katına eşit olduğunu ve yanal zemin basıncının yanal yüklenmiş kazığın kesit alanının şeklinden bağımsız olduğunu kabul etmiştir. Göçme anında kazığı çevreleyen zeminde pasif yanal direncin tamamı ile aktif hale geldiği diğer bir ifade ile kazığı çevreleyen zemindeki yanal zemin basınç değerinin pasif zemin basıncı değerine ulaştığı kabul edilmektedir.

Genelde, uzun kazıklarla derin zemin tabakaları geçilirken, ani değişen mukavemet ve rijitlikteki zemin tabakaları ile karşılaşılabilir (Karkee vd. 1998). Bilhassa kayma modülleri arasında önemli fark olan iki zemin tabakası sınırında, göreceli deformasyondan dolayı, kazığın tabaka geçişlerine karşı gelen noktalarında, kesme ve eğilme çatlakları ile plastik mafsallar oluşabilmektedir (Aydınoglu vd. 2000).

Sismik tasarım için dinamik analizin çok yararlı olduğu bilinmektedir. Geoteknik mühendisliğinde sismik tasarım, sadece yapıyla ilgili olmayıp, bunun yanında hem temel, hem de temel zemini ile ilgilidir. Temel zemini, temel ve yapının oluşturduğu sistemin,

dinamik analiz sırasında birlikte ele alınması uygun bir yaklaşım olacaktır (Kimura vd. 1997).

Ordu ve Özkan (2006) çalışmalarında tabaka dayanımları arasında ani değişimler bulunan zeminlerde ön plana çıkan kinematik etkileşim problemini sonlu elemanlar yöntemi ile incelemiştir. Sistemi oluşturan zemin, kazıklı temel ve deprem karakteristikleri için değişik koşulları yansıtan parametreler kullanılmıştır. Değişik zemin ve yapı koşullarını temsil eden bir model üzerinde, uç ve sürtünme kazıklarının kullanıldığı iki farklı durum için 0.3 g büyüklüğündeki bir deprem kaydı kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sayısal sonuçlar farklı katmanlardan oluşan zemin profillerinde deprem etkisindeki kazıklarda, kesme kuvvetleri ile momentlerin büyüklüğü ve dağılımının, zemin şartları ile deprem yüklerine bağlı olduğunu açıkça göstermektedir.

Kahraman vd. (2007) çalışmalarında radye temel sistemine sahip dört katlı çerçeve bir sistemin, dört farklı yatak katsayısı kabulü altında oluşturulan üç boyutlu sonlu elemanlar modelleri ile aynı üst yapıya modellenmiş zeminin eklenmesi ile oluşturulan üst yapı-zemin sonlu elemanlar modelinin, yatay ve düşey yükler altında statik analizi ile elde edilen bulguları kıyaslamıştır. Üstyapı-zemin modeline en yakın değerler Eşdeğer Winkler yatak katsayısı yaklaşımı ile elde edilmiştir. Değişken yatak katsayılı durumlar ve üstyapı-zemin sonlu elemanlar modelinin özellikle üstyapı kenar düğüm noktalarındaki değerlerinin, sabit yatak katsayılı modele göre belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir. Temel deformasyonları beklenildiği üzere taşıyıcı sistem yük dağılımını etkilemektedir. Değişken yatak katsayısı kullanılan modellerde ve üstyapı-zemin sonlu elemanlar modelinde, kenar kolonların benzer davranış sergilediği görülmüştür. Efektif gerilme artışının uygun bir şekilde modellenmesi halinde, zemin elastisite modülündeki pekleşme de göz önüne alınabilmektedir.

Yatak katsayısı teorisinde zemin sıklığı bir seri bağımsız elastik yay tarafından ifade edilmektedir. Yarı sonsuz elastik bir zemine yerleştirilen esnek bir kiriş modellenmiştir. Bu sayede nispeten uzun ve bükülebilir elemanların (kazıklar vb.) davranışlarının incelenmesi mümkün olmuştur. Elde edilen sonuçlara göre yatak katsayısı kabulünden elde edilen sonuçlardaki hatalar, elastik teoriye oranla yüzde olarak çok daha düşüktür. Bu yüzdendir ki yatak katsayısı teorisinin yatay yüklü kazıkların davranışının incelenmesinde önemli bir yeri vardır. Tomlinson (1994) tarafından yapılan araştırmada yatak katsayısına yüklü olan bölgenin büyüklüğünün etkisi araştırılmıştır.

Bir bölgedeki yapının deprem sırasındaki davranışını değerlendirmesinde, yapı-zemin sisteminin dinamik özelliklerinin anlaşılması gereklidir (Çelep ve Kumbasar, 1993).

Zemin, yapının davranışını değişik şekillerde etkiler;

a) Yapının altındaki zemin, ana kayadaki deprem etkisini değiştirerek verir. Bu bazı durumlarda etkinin büyümesi sonucunu doğurur.

b) Zemin etkisiyle, yapının periyot ve mod şekilleri gibi dinamik özelliklerinde değişiklikler meydana gelir.

c) Yapıdaki titreşim enerjisinin önemli bir kısmı, zemine mesnetlenmenin rijit olmaması, zemindeki sönüm ve zeminde yayılma etkisiyle (radyasyon) söner.

d) Yapıda, üzerinde bulunduğu zeminin etkisiyle deprem sırasında farklı oturmalar meydana gelebilir.

Yapı-zemin etkileşimini dikkate alacak çeşitli modeller, sonuçta yapının yarı sonsuz elastik bir zemin ortamı üzerinde oturması prensibini kullanır. Sonrasında modeller arasında hesap tekniği açısından bazı farklılaşmalar görülebilir. Sistem genellikle yarı sonsuz ortam davranışına denk olan yay ve sönüm elemanları ile temsil edilir. Bu analiz tekniğinin gelişimine Velestos-Wei'nin büyük katkıları olmuştur (Velestos ve Wei, 1971).

Herhangi bir yer hareketi için, yumuşak zemin tabakası üzerine oturan yapının davranışı ile aynı yapının rijit zemin üzerindeki davranışının birbirinden farklı olduğu genel olarak bilinen bir durumdur. Depreme karşı dayanıklı yapı tasarımı hesaplarında yapının altındaki zeminin rijit ve yer hareketi ivme kaydının da serbest alandaki değerle aynı olduğu kabul edilir. Eğer yapıya mesnetlik eden zemin ortamı kaya tabakasından oluşuyorsa, yapılan varsayım doğrudur. Ancak yapı yumuşak zemine oturuyor ise, yapı temelinin hareketi serbest alan hareketinden farklı olacak ve yatay harekete ek olarak yapının davranışında önemli etkisi olan dönme bileşeni ortaya çıkacaktır. Özellikle yüksek binalarda dönme bileşeni etkisi önemlidir. Yumuşak zemine mesnetli yapıların davranışındaki farkın çeşitli sebepleri vardır (Velestos ve Meek, 1974).

a) Elastik mesnetli yapılar, ankastre mesnetli yapılara göre daha fazla serbestlik derecesine sahiptir. Dolayısıyla dinamik özellikleri tamamen farklıdır.

b) Elastik mesnetli yapılarda, titreşim enerjisinin önemli kısmı radyasyon dalgaları ve zeminin malzeme sönümü ile sönümlenir.

Yapı-zemin dinamik etkileşimi konusu başlığında yapının ve zeminin dinamik yük altında birbirlerinin hareketine etkileri incelenmektedir. Bu konuda kullanılan hesap yöntemlerinden birisi de yarı sonsuz elastik ortam çözümleridir. Yarı sonsuz ortam

çözümlerinde hesabın çeşitli aşamalarındaki bazı farklarla birbirinden ayrılan yöntemler kullanılmaktadır. Tüm hesap yöntemlerinin esasında yapının altındaki zeminin etkisini hesaplarda göz önüne almak için zemini temsil edecek yay ve sönüm elemanı kullanmak vardır (Velesztos ve Wei, 1971).

Zemin-yapı etkileşimi çözümünde dinamik sonlu eleman metodu üç ana kısma ayrılabilir;

- a) Geometrinin, malzemelerin ve yüklerin idealleştirilmesi.
- b) Rijitlik, kütle ve sönüm matrislerinin oluşturulması.
- c) Hareket denklemlerinin çözülmesi.

Yapının ve temelinin idealleştirilip, matematik modelinin kurulması problemdeki en zor aşamalardan biridir. Deprem hareketinin tahmini, zemin durumunun yeterli düzeyde yansıtılması, maliyet, uygun bilgisayar programı kullanımı, yapının modellenmesindeki zorluklar gibi pek çok faktörün göz önünde bulundurulacak olması ve bu aşamada yapılacak her kabulün sonuçları etkileyecek olması, iyi bir mühendislik yargısına sahip olunmasını gerekli kılar.

Sonlu elemanlar yönteminde zemin ağının sınırlarının belirlenmesi en önemli konulardan birisidir. Zemin ağını program kapasitesi nedeniyle istediğimiz kadar büyük alamayız. Dolayısıyla zeminin kesilip sınır oluşturulması hesaplarda bir miktar hataya sebep olabilir. Sınırdaki hareketin serbest alan hareketine benzemesi kuralı ile ağ sınırı bulunabilir. Sınırın yerinin belirlenmesi ise en düşük frekansla ilgilidir [8]. Sınırın yeri için bir önemli konu da malzeme sönümüdür. Eğer yüksek sönüm olursa ağ sınırı yapıya yaklaştırılabilir. Ancak sınırların yeri genellikle tecrübe ve deneme-yanılma ile belirlenmektedir. Zemin ağının alt sınırı genellikle rijit kabul edilir. Eğer altta bir kaya tabakası varsa bu doğrudur. Ama yoksa sınır için, yapı-zemin etkileşimi etkilerinin kaybolduğu kadar derinde gerçek durumu yansıtacak doğrulukta bir mesafede bu kabul yapılmalı ya da enerji yutan sınırlar kullanılmalıdır. Bunun için zemin derinliği, yapı çapının bir ya da iki katı alınabilir. Benzer şekilde yanal sınır mesafesinin belirlenmesinde de yapının kenarından zemin derinliğinin iki katı ya da daha fazlası alınabilir. Gerekli mesafe zeminin sönümüne, dolayısıyla deprem sırasında zeminde oluşan şekil değiştirmelere bağlıdır. Enerji yutan sınır elemanları kullanmak bu mesafeyi azaltacaktır. Sonuçta oluşturulan model gerçek durumu yansıtacak düzeyde olmalıdır (Idris vd., 1979).

Yapı-zemin etkileşiminde sönüm değerinin hesaplara doğru olarak yansıtılması önemli bir konu olup, analizi yapılacak malzeme özellikleriyle doğrudan ilgilidir. Yapı

sistemlerinin çözümünde enerji sönümü çeşitli metotlarla dikkate alınmaktadır. Klasik metot olan modal analizde viskoz sönüm özellikleri analizde her mod için kritik sönüm yüzdesi olarak hesaba katılmaktadır. Yani sönüm herhangi bir elemanın özelliği olarak ele alınmamakta, genel sistem sönümü kullanılmaktadır. Üst yapı analizleri için kabul edilebilir sonuçlar elde edilirken, yapı-zemin etkileşimi analizinde zeminin sönümünün yapının sönümünden çok daha fazla olması sebebiyle bu durum uygun olmayabilir. Sönüm özelliğini her modda farklı olarak düşünmek tatminkar bir seçenek olmasına rağmen sönüm matrislerinin kullanılması gerekliliğini ve peşinden de bu matrislerin nasıl oluşturulacağı sorusunu getirir (Idris vd., 1979).

Yapı mühendisliğinde, viskoz, hıza bağlı sönüme sahip gerçek yapılar görmek çok zordur. Az sayıdaki sınırlı elemanda gerçek viskoz sönüm değerleri ölçülebilmektedir. Pek çok durumda yapıdaki bilinmeyen lineer olmayan enerji kaybını yaklaşık olarak temsil etmesi için modal sönüm oranı kullanılmaktadır. Yapının deprem analizinde her mod için %5 sönüm oranı kullanılmakta ve bu durum için az sayıda pratik ve teorik geçerlilik bulunmaktadır. Modal sönüm kullanmak çok serbestlik dereceli sistemlerin analizinde taban kesme kuvvetinin hesabında farklılık oluşturmaktadır (Wilson, 1997).

Translasyonel uyarılmalar altında yapının asimetric karakteristikleri eşzamanlı bir burulma titreşimi oluşturur. Üstelik, çoğu binalar zemin-yapı etkileşiminin önemli olabileceği yumuşak zemin üzerine inşa edilirler. Zemin-yapı etkileşimi mod şekilleri, doğal frekans gibi yapının dinamik karakteristiklerinin önemli ölçüde değiştirebilirler (Wu vd., 2001)

Spyrakos vd. (2009) çalışmalarında harmonik yer hareketine maruz kalan ve rijit anakara üzerinde elastik zemin tabakasına oturtulmuş taban izolasyonlu çok katlı binaların zemin-yapı etkileşiminin etkilerini araştırmıştır. İlk olarak dört serbestlik dereceli sistem geliştirilmiştir ve hareket denklemi Frekans alanında formülize edilmiştir. Frekanstan bağımsız ifadeler sığ derinlikte zemin tabakası üzerindeki rijit temel yüzeyi için rijitlik ve sönüm katsayısını belirlemek için kullanılmıştır. Temel kütlelerinin ihmal edildiği kabul edilerek eşdeğer iki serbestlik dereceli sistem elde edilmiştir. Eşdeğer iki serbestlik dereceli sistemin hareketinin ilk modu yapının atalet özellikleri ve tüm rijitlik aralıkları için sistemin tamamının tepkisini tanımlamak için yeterli olmaktadır. Ayrıca bu çalışma düşük frekanslı zemin tabakası üzerine oturtulmuş özellikle alçak ve hafif yapılar için zemin-yapı etkileşiminin etkilerinin önemli olduğunu göstermiştir.

Boozarjmehr ve Emami (2008) çalışmalarında sismik olarak izole edilmiş basit mesnetli köprü tabiyesinin davranışında statik zemin-yapı etkileşiminin etkilerini belirlemeye çalışmışlardır. Sismik olarak izole edilmiş köprü tabiyesinin davranışında doğrusal olmayan zemin-yapı etkileşiminin etkilerini araştırmaktadır. Modellenen köprü rijit ana kayanın üzerinde orta derinlikteki tabakalı zeminden geçen iki kazık üzerine mesnetlenmiştir. Zemin-yapı etkileşimi birbirine oldukça yakın dağıtılmış histerisiz yaylar kullanarak doğrusal olmayan Winkler temelinde bir kiriş olarak idealize edilmiştir. Köprü tabiyesi kurşunlu kauçuk mesnetler kullanarak sismik olarak izole edilmiş ve zemin-yapı etkileşimi statik itme analizi uygulanarak araştırılmıştır. Zemin-yapı etkileşimli izole edilmiş köprü tabiyesinin sismik tepkileri farklı zemin koşullarında iki yönlü deprem uyarılmaları altında incelenmiştir. Söz konusu köprünün normal açıklık boylarında köprünün bir boyutlu modelinin yeterli olacağı kararına varılmıştır. Özellikle zemin koşulları yumuşak olduğunda izole edilmiş köprünün tepkisinde zemini saran kazıkların önemli etkilere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Üstelik, lineer zemin modeli taban kesme kuvvetinin doğru tahmin edilmesinde yol göstermemekte ve doğrusal olmayan zemin modellemesi zemin-kazık sisteminin davranışını doğru bir şekilde yansıtmak için önemli olmaktadır.

Purnachandra ve Jangid (2008) çalışmalarında farklı izolasyon sistemleriyle kablolu köprünün deprem tepkisi araştırmışlardır. Seçilen izolasyon sistemleri yüksek sönümlü kauçuk mesnet, kurşunlu kauçuk mesnet, sürtünmeli sarkaç sistemi ve esnek sürtünmeli taban izolatör sistemlerinden oluşmaktadır. Bütün mesnetlerde aynı anda hareket eden boyuna yönde yer hareketi uygulanmıştır. Köprünün sismik tepkisi Newmark'ın adım adım integrasyon yöntemi ile köprünün temel hareket denklemini çözerek elde edilir. Çalışmada ayrıca izolatör parametrelerinin çeşitliliğinin etkinliği araştırılmıştır. Devrilme momenti, taban kesmesinde önemli azalmalar ve yerdeğiştirmelerin sismik izolatörler vasıtasıyla kontrol altına alındığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, esnek sürtünmeli taban izolatör sistemlerin ve kurşunlu kauçuk mesnetin performansı ve yüksek sönümlü kauçuk mesnet ve sürtünmeli sarkaç sisteminin performansından daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Üstelik, yüksek sönümlü kauçuk mesnetin ve kurşunlu kauçuk mesnetin sönüm oranındaki artışlar söz konusu mesnetlerin taban kesmesini ve yerdeğiştirmeleri azalttığı sonucuna varılmıştır. Yapıdaki izolasyon periyodu seçilen yer hareketinin türünün yanı sıra izolatörlere bağlı olduğu belirlenmiştir.

Soneji ve Jangid (2008) çalışmalarında iki yönde deprem uyarılması altında kablolu köprülerin sismik tepkisinde zemin-yapı etkileşiminin etkileri araştırmışlardır. Köprü tabliyesi geleneksel yüksek sönümlü kauçuk mesnetler kullanılarak kulelerden itibaren izole edilmiştir. Tabakalı zemin katmanlarının üç çeşidi, yani yumuşak orta ve sert zemin, çalışmada dikkate alınmıştır. Kazık- zemin etkileşimi, zeminin histeresiz davranışını modellemek için kullanılan Bouc-Wen modeli ve paralel olarak yerleştirilmiş viskoz sönümleyiciler ve dağıtılmış doğrusal olmayan yaylar kullanılarak Winkler temel modeli olarak idealleştirildi. Elde edilen bulgular incelendiğinde yumuşak zemin durumu için, zemin-yapı etkileşimleri ihmal edilmesi durumunda mesnet deplasmanlarının gerçek değerinin altında olabileceği belirlenmiştir. Ayrıca, özellikle zemin şartları yumuşak ve kuleler çok rijit olduğu zaman zemin-yapı etkilerinin dâhil edilmesi sismik olarak izole edilmiş kablolu köprülerin etkin tasarımı için önemlidir.

Soneji ve Jangid (2007) çalışmalarında şiddetli yer hareketine maruz kalan kablolu köprülerin korunmasında pasif karma sistemlerin etkisi araştırmışlar ve ortaya konmuşlardır. Karma sistem viskoz sıvı sönüm ile birlikte kayma ve kauçuk izolasyon sistemlerinin kombinasyonundan oluşmaktadır. Illinois'te Quincy Bay-view Köprüsünün basitleştirilmiş bir modelinin sismik tepkisi gerçek deprem yer hareketinin iki yatay bileşeni altında araştırılmıştır. Viskoz sıvı sönüm, pasif karma kontrol sistemlerini oluşturmak için kauçuk ve karma izolasyon sistemleriyle işbirliği yaparak pasif bir enerji dağıtma aracı olarak kullanılmıştır. İzole edilmiş kablolu köprülerin sismik tepkisinde viskoz sıvı sönümünün doğrusal olmayan etkileri, farklı hız değerleri ve sönüm katsayıları dikkate alınarak araştırılmıştır. Araştırmaların sonuçları viskoz sıvı sönümün sismik olarak izole edilmiş kablolu köprüünün deprem tepkisini önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Ayrıca doğrusal olmayan viskoz sönümün izole edilmiş köprüünün maksimum izolatör yerdeğiştirmelerinin kontrolünde daha etkin olduğu görülmüştür.

Ren ve Obata (1999) çalışmalarında sonlu eleman yöntemi ile uzun açıklıklı kablolu çelik köprülerin elasto-plastik sismik davranışını araştırmıştır. Analizde geometri ve malzeme non-lineerliği dahil edilmiştir. Geometrik nonlineerlik büyük yerdeğiştirme, aksenal yük-eğilme momenti etkileşimi ve kablo gergilerinin çökmesinden kaynaklanmaktadır. Çelik kirişin esnemesiyle malzeme nonlineerliği ortaya çıkmaktadır. Köprüye boyuna yönde, enine yönde ve hem boyuna hem enine yönde yer hareketi uygulanmıştır. Kalıcı elasto-plastik sismik tepkiyi hesaplamak için, maksimum eşdeğer plastik gerilme oranı olarak bilinen sismik hasar indeksi önerilmiştir. Çalışmanın

sonuçlarında elasto-plastik etkiler uzun açıklıklı kablolu çelik köprülerin sismik tepkisini azaltma eğiliminde olduğunu göstermiştir. En büyük yer ivme değerinin olduğu deprem kaydı muhakkak en büyük elasto-plastik sismik hasarı içerdiği anlamına gelmediği belirlenmiştir.

Adanur (1997) çalışmasında, Boğaziçi asma köprüsünün lineer, geometrik olarak lineer olmayan, elastik zemin analogisi ile basitleştirilmiş ve zıt-fazlı yer hareketine maruz olması durumlarında dinamik analizleri yapılmıştır. Analizler sırasında zaman süreci ve CQC yöntemleri kullanılarak köprü tabliyesinde oluşan düşey yerdeğiştirme ve kesit tesirleri ile kulelerde oluşan yatay yerdeğiştirme ve kesit tesirleri hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, kablo formülleri ile asma köprüye ait üç moda karşılık gelen frekans değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu frekans değerlerinin etkileri dikkate alınarak geometrik olarak lineer olmayan analiz ile elde edilen ilk üç moda ait frekans değerleriyle yaklaşık olarak aynı olduğu görülmüştür. Geometrik olarak lineer olmayan analiz, köprünün kendi ağırlığı altında ve araçların köprü tabliyesi üzerinden geçmesi esnasında oluşturdukları hareketli yüklerle birlikte olması durumlarında yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen yerdeğiştirme ve kesit değerlerinin birbirine çok yakın çıktığı görülmüştür. Bu da köprünün kendi ağırlığı yanında çok küçük olan hareketli yüklerle yüklenmesi durumunda davranışında çok fazla bir değişikliğin olmadığını göstermiştir.

Adanur (1997) çalışmasında, mesnetlerinden farklı dinamik etkilere maruz asma köprülerin geometrik olarak lineer olmayan deterministik ve stokastik analizlerini gerçekleştirmiştir. Deterministik analizlerde yer hareketinin değişimi, dalga yayılma etkisi ve köprü mesnetlerine farklı yer hareketlerinin etkidiği kabul edilerek dikkate alınırken; stokastik analizlerde ise korelasyon etkisi, dalga yayılma etkisi, zemin şartlarındaki değişim ve köprü mesnetlerine farklı yer hareketlerinin etkidiği kabulü ile dikkate alınmıştır. Çalışmanın sonucunda, asma köprülerin geometrik olarak lineer olmayan deterministik analizinden elde edilen değerler, lineer analiz ile bulunan değerlerden daha küçük olduğu görülmüştür. Asma köprünün stokastik analizi sonucunda tabliye uçlarındaki yerdeğiştirmeler eşit olmamakta ve yer hareketi dalga yayılma hızı azaldıkça elde edilen değerler artmaktadır. Dalga yayılma hızının sonsuz olması durumunda hesaplanan değerlerin minimum olduğu görülmüştür.

2. DEĞİŞEREK YAYILAN YER HAREKETİ İÇİN STOKASTİK ANALİZ FORMÜLASYONU

N serbestlik dereceli bir sistemin hareket denklemi;

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

şeklinde yazılabilir. Burada $[M]$, $[C]$ ve $[K]$ sırasıyla sistemin kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini; $\{v\}$, $\{\dot{v}\}$ ve $\{\ddot{v}\}$ sırasıyla yerdeğiştirme, hız ve ivme vektörlerini; $\{F\}$ dış kuvvet vektörünü göstermektedir. Sistemin hareket denkleminde, sisteme doğrudan doğruya uygulanan dış kuvvet olmadığından, $\{F\}$ sıfır vektörüdür.

Sistemin serbestlik dereceleri bilinen ve bilinmeyen olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Bilinen serbestlik dereceleri, yer hareketinin bulunduğu 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. (2.1) denkleminde bilinen ve bilinmeyen serbestlik derecelerini birbirinden ayırmak için, bilinen serbestlik dereceleri $\{v_g\}$, bilinmeyen serbestlik dereceleri ise $\{v_r\}$ vektörleri ile gösterilebilir. Bu durumda bilinen ve bilinmeyen serbestlik dereceleri cinsinden (2.1) denklemi;

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

şeklinde elde edilebilir. (Gazis, 1985, Abdel-Ghaffar ve Stringfellow, 1984; Dumanoglu ve Severn, 1984; Dumanoglu ve Severn, 1987; Clough ve Penzien, 1993; Bayraktar, 1995; Bayraktar vd., 1996; Bayraktar ve Dumanoglu, 1998; Soyluk, 2001). Burada $[M_{rr}]$, $[C_{rr}]$ ve $[K_{rr}]$ bilinmeyen serbestlik dereceleri ile ilgili sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik

matrislerini; $[M_{rg}]$, $[C_{rg}]$ ve $[K_{rg}]$ her bir bilinen serbestlik derecesinin birim hareketinden dolayı bilinmeyen serbestlik derecelerinde meydana gelen kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini; $[M_{gg}]$, $[C_{gg}]$ ve $[K_{gg}]$ ise her bir bilinen serbestlik derecesinin birim hareketinden dolayı bilinen serbestlik derecelerinde meydana gelen kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini temsil etmektedir. $[M_{gr}]$, $[C_{gr}]$ ve $[K_{gr}]$ ifadeleri ise sırasıyla $[M_{rg}]$, $[C_{rg}]$ ve $[K_{rg}]$ ifadelerinin transpozelerine karşılık gelmektedir. $\{\ddot{v}_r\}$, $\{\dot{v}_r\}$ ve $\{v_r\}$ sırasıyla bilinmeyen serbestlik derecelerinin ivme, hız ve yerdeğiştirme vektörlerini göstermektedir. (2.2) denkleminde, bilinmeyen serbestlik derecelerine karşılık gelen ilk satır çıkartılıp bilinenler sağ tarafa atılırsa,

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

eşitliği 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 bileşenlerinin hesaplanmasında kütlelerin etkisi dikkate alınmadığından, söz konusu yerdeğiştirme zahiri-statik yerdeğiştirme olarak isimlendirilmekte ve v_s ile gösterilmektedir. Atalet kuvvetleri, ivme ve kütlelerin çarpımından ibaret olduğu için, ikinci yerdeğiştirme bileşeni dinamik yerdeğiştirme olarak tanımlanmakta ve v_d ile gösterilmektedir. Bu durumda, (2.2) denklemindeki yerdeğiştirme vektörleri,

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

şeklinde yazılabilir (Dumanoglu ve Severn, 1987). Burada v_{dg} sifira eşit, v_{sg} ise v_g 'ye eşittir. v_{dr} ve v_{sr} ise sırasıyla dinamik ve zahiri-statik yerdeğiştirmeleri göstermektedir. (2.4) denklemini, (2.3) denkleminde yerine yazılıp zahiri-statik bileşenlerle ilgili terimler sağ tarafta toplanırsa,

$$[\mathbf{M}_{rr}]\{\ddot{\mathbf{v}}_{dr}\} + [\mathbf{C}_{rr}]\{\dot{\mathbf{v}}_{dr}\} + [\mathbf{K}_{rr}]\{\mathbf{v}_{dr}\} = \{\mathbf{F}_{eff}\} \quad (2.5)$$

ifadesi elde edilir. Burada $\{\mathbf{F}_{eff}\}$, bilinmeyen serbestlik derecelerini etkileyen etkili kuvvet vektörünü göstermekte olup;

$$\{\mathbf{F}_{eff}\} = -[\mathbf{M}_{rr} \quad \mathbf{M}_{rg}] \begin{Bmatrix} \ddot{\mathbf{v}}_{sr} \\ \ddot{\mathbf{v}}_{sg} \end{Bmatrix} - [\mathbf{C}_{rr} \quad \mathbf{C}_{rg}] \begin{Bmatrix} \dot{\mathbf{v}}_{sr} \\ \dot{\mathbf{v}}_{sg} \end{Bmatrix} - [\mathbf{K}_{rr} \quad \mathbf{K}_{rg}] \begin{Bmatrix} \mathbf{v}_{sr} \\ \mathbf{v}_{sg} \end{Bmatrix} \quad (2.6)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır (Bayraktar, 1995; Soyluk, 2001). Dinamik denge denklemleri, statik denge denklemlerini içerdiğinden, (2.6) nolu denklem büyük ölçüde basitleştirilebilir. Eğer (2.6) denkleminden zamana bağlı terimler çıkartılırsa, sadece (2.6) denkleminin rijitlikle ilgili terimi kalmakta ve bu terimde sifıra eşit olmaktadır. Böylece (2.6) denklemi;

$$\{\mathbf{F}_{eff}\} = -[\mathbf{M}_{rr} \quad \mathbf{M}_{rg}] \begin{Bmatrix} \dot{\mathbf{v}}_{sr} \\ \dot{\mathbf{v}}_{sg} \end{Bmatrix} - [\mathbf{C}_{rr} \quad \mathbf{C}_{rg}] \begin{Bmatrix} \dot{\mathbf{v}}_{sr} \\ \dot{\mathbf{v}}_{sg} \end{Bmatrix} \quad (2.7)$$

şeklinde yazılabilir. Sönüm matrisi rijitlik matrisi ile orantılı ise (2.7) denkleminde sönümle ilgili terimler 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 (2.7) denklemi tekrar düzenlendiğinde,

$$\{\mathbf{F}_{eff}\} = -[\mathbf{M}_{rr} \quad \mathbf{M}_{rg}] \begin{Bmatrix} \ddot{\mathbf{v}}_{sr} \\ \ddot{\mathbf{v}}_{sg} \end{Bmatrix} \quad (2.8)$$

eşitliği elde edilmektedir. (2.8) denklemindeki $\ddot{\mathbf{v}}_{sg}$ bilinen serbestlik derecelerine uygulanan ivmeleri gösterdiğinden bilinmektedir. Fakat $\ddot{\mathbf{v}}_{sr}$ ise bilinmemektedir. Daha önce belirtildiği gibi, (2.6) denkleminin rijitlik terimi sifıra eşit olduğundan,

$$[\mathbf{K}_{rr}]\{\mathbf{v}_{sr}\} = -[\mathbf{K}_{rg}]\{\mathbf{v}_{sg}\} \quad (2.9)$$

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

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

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

Birçok 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. Yukarıda yapılan açıklamalardan sonra (2.10) denklemi, (2.8) denkleminde yerine yazılır ve tekrar düzenlenirse,

$$[M_{rr}]\{\ddot{v}_{dr}\} + [C_{rr}]\{\dot{v}_{dr}\} + [K_{rr}]\{v_{dr}\} = -[M_{rr}][R_{rg}]\{\ddot{v}_{sg}\} \quad (2.11)$$

ifadesi yazılabilir (Burdisso ve Singh, 1987; Clough ve Penzien, 1993). Buradaki $\{\ddot{v}_{sg}\}$ her bir bilinen serbestlik derecesine uygulanan ivme vektörünü göstermektedir. (2.11) denkleminin çözümü için modların süperpozisyonu yöntemi kullanılmaktadır (Celep ve Kumbasar, 1992; Paz, 1991). Açılal frekans ω_i ve mod vektörleri $\{\phi_i\}$,

$$[M_{rr}]\{\ddot{v}_{dr}\} + [K_{rr}]\{v_{dr}\} = 0 \quad (2.12)$$

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

$$\{v_{dr}\} = [\phi]\{Y\} \quad (1.13)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Burada $\{Y\}$ modal genliğini, $[\phi]$ ise mod şekilleri matrisini göstermektedir. (2.13) denklemi (2.12) denkleminde yerine yazılır ve gerekli düzenlemeler yapılırsa,

$$\ddot{Y}_i + 2\xi_i\omega_i\dot{Y}_i + \omega_i^2 Y_i = -\frac{P_i}{M_i} \quad (2.14)$$

bağıntısı elde edilmektedir (Harichandran ve Wang, 1988). Burada ξ_i sönüm oranını gösterirken,

$$\xi_i = \frac{C_i}{2\sqrt{K_i M_i}} \quad , \quad \omega_i = \sqrt{\frac{K_i}{M_i}} \quad (2.15)$$

$$M_i = \{\phi_i\}^T [M_{rr}] \{\phi_i\} \quad (2.16)$$

$$P_i = \{\phi_i\}^T [M_{rr}] [R_{rg}] \{\ddot{v}_{sg}\} \quad (2.17)$$

eşitlikleri yazılabilmektedir (Rutenberg ve Heidebrecht, 1988). Daha önce de ifade edildiği gibi $\{\ddot{v}_{sg}\} = \{\ddot{v}_g\}$ eşitliği kullanılır ve modal katkı vektörü,

$$\{\Gamma_i\} = [M_{rr}] [R_{rg}] \{\phi_i\} \quad (2.18)$$

şeklinde tanımlanırsa (2.17) denklemi,

$$P_i = \{\Gamma_i\}^T \{\ddot{v}_g\} \quad (2.19)$$

şeklinde ifade edilebilir. P_i vektör ve modal katkı faktörleri matris olarak gösterilirse (2.19) denklemi,

$$\{P\} = \{\Gamma\}^T \{\ddot{v}_g\} \quad (2.20)$$

olarak elde edilir.

2.1. Rastgele Titreşim Analizi

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

$$[R_z(\tau)] = E\left[\{z(t)\}\{z(t+\tau)\}\right] \quad (2.21)$$

eşitliğiyle ifade edilir (Peebles, 1987; Yang, 1986; Newland, 1983; Augusti, Baratta, ve Casciati, 1984). $z(t)$, dinamik ve zahiri-statik bileşenlere ayrılırsa,

$$z(t) = z^d(t) + z^{qs}(t) \quad (2.22)$$

elde edilir. Burada $z^d(t)$ ve $z^{qs}(t)$, sırasıyla dinamik ve zahiri-statik tepki bileşenlerini göstermektedir. (2.22) denklemi (2.21) denkleminde yerine yazılırsa,

$$[R_z(\tau)] = E\left[\left\{\left\{z^d(t)\right\} + \left\{z^{qs}(t)\right\}\right\}\left\{\left\{z^d(t+\tau)\right\} + \left\{z^{qs}(t+\tau)\right\}\right\}\right] \quad (2.23)$$

ifadesi elde edilir. (2.23) denklemi düzenlenirse,

$$[R_z(\tau)] = [R_z^d(\tau)] + [R_z^{qs}(\tau)] + [R_z^d \text{ } z^{qs}(\tau)] + [R_z^{qs} \text{ } z^d(\tau)] \quad (2.24)$$

bağıntısı elde edilir. Burada, $[R_z^d(\tau)]$ ve $[R_z^{qs}(\tau)]$ sırasıyla dinamik ve zahiri-statik bileşenlerin özilişki fonksiyonunu, $[R_z^d \text{ } z^{qs}(\tau)]$ ve $[R_z^{qs} \text{ } z^d(\tau)]$ sırasıyla dinamik ve zahiri-statik bileşenleri arasındaki çapraz ilişki (karşıt korelasyon) fonksiyonunu göstermektedir.

(2.24) denkleminin Fourier dönüşümü alınırsa $z(t)$ tepkisinin spektral yoğunluk fonksiyonu,

$$[S_z(\omega)] = [S_z^d(\omega)] + [S_z^{qs}(\omega)] + [S_z^d \text{ } z^{qs}(\omega)] + [S_z^{qs} \text{ } z^d(\omega)] \quad (2.25)$$

elde edilir. Burada, $[S_Z^d(\omega)]$ ve $[S_Z^{qs}(\omega)]$ sırasıyla dinamik ve zahiri-statik tepki bileşenlerinin güç spektral yoğunluk fonksiyonunu gösterirken, $[S_Z^{d \text{ } qs}(\omega)]$ ve $[S_Z^{qs \text{ } d}(\omega)]$ sırasıyla dinamik ve zahiri-statik tepki bileşenleri arasındaki güç spektral yoğunluk fonksiyonunu ifade etmektedir. Dinamik ve zahiri-statik tepki bileşenleri arasındaki güç spektral yoğunluk fonksiyonunu için,

$$[S_Z^{d \text{ } qs}(\omega)] = [S_Z^{* \text{ } qs \text{ } d}(\omega)] \quad (2.26)$$

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

2.1.1. Dinamik Tepki Bileşeni Varyansı

Herhangi bir yapı tepkisinin dinamik bileşeni $z^d(t)$,

$$\{z^d(t)\} = [\psi]\{Y\} \quad (2.27)$$

denklemleri ile elde edilmektedir. (2.27) denkleminde, yerdeğiştirme bileşeni için, $[\psi] = [\phi]$ modal vektörlere eşit olurken, eleman uç kuvvetleri için $[\psi] = [K][\phi]$, özvektörlerin neden olduğu eleman kuvvetlerine eşit olmaktadır.

(2.21) denklemleri ile gösterilen özilişki fonksiyonu (2.27) denklemleri ile ifade edilen dinamik tepki bileşenine uygulanırsa, elde edilecek özilişki fonksiyonunun Fourier dönüşümü (Kreyszig, 1993) dinamik tepki bileşeninin spektral yoğunluk fonksiyonuna eşit olup,

$$S_{z_i}^d(\omega) = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^r \sum_{m=1}^r \psi_{ij} \psi_{ik} \Gamma_{lj} \Gamma_{mk} H_j(-\omega) H_k(\omega) S_{\ddot{v}_{gl} \ddot{v}_{gm}}(\omega) \quad (2.28)$$

bağıntısı ile tanımlanmaktadır (Harichandran, ve Wang, 1990). Burada n dikkate alınan mod sayısını gösterirken, r yer hareketi ivmesinin etkidiği mesnet sayısını, Γ_{lj} modal katkı faktörünün l . elemanını, ψ_{ij} j . modun neden olduğu z_i tepki kuvvetini, $S_{\dot{v}_{gl} \dot{v}_{gm}}(\omega)$ l ve m mesnet noktalarındaki yer hareket ivmelerinin karşıt güç spektral yoğunluk fonksiyonunu göstermektedir. Ayrıca bu ifadede tanımlanan $H_j(\omega)$ ise frekans davranış fonksiyonu olup,

$$H_j(\omega) = \frac{1}{\omega_j^2 - \omega^2 + 2i \xi_j \omega_j \omega} \quad (2.29)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir. Burada ω_j ve ξ_j sırası ile j . moda ait doğal frekans ve sönüm oranını göstermektedir. Dinamik tepki bileşeni $z^d(t)$ 'nin varyansı (2.28) nolu denklemin integrasyonu ile hesaplanmaktadır (Hawwari, 1992).

$$\begin{aligned} \sigma_{z_i}^2 &= \int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i}^d(\omega) d\omega \\ &= \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^r \sum_{m=1}^r \psi_{ij} \psi_{ik} \Gamma_{lj} \Gamma_{mk} \int_{-\infty}^{\infty} H_j(-\omega) H_k(\omega) S_{\dot{v}_{gl} \dot{v}_{gm}}(\omega) \end{aligned} \quad (2.30)$$

2.1.2. Zahiri-Statik Tepki Bileşeni Varyansı

Zahiri-statik tepki bileşeni;

$$\{z^{qs}(t)\} = [A] \{v_g\} \quad (2.31)$$

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

Zahiri-statik özilişki fonksiyonunun Fourier dönüşümü alınarak bu bileşene ait spektral yoğunluk fonksiyonu hesaplanmakta olup,

$$S_{z_i}^{qs}(\omega) = \frac{1}{\omega^4} \sum_{l=1}^r \sum_{m=1}^r A_{il} A_{im} S_{\ddot{v}_{gl} \ddot{v}_{gm}}(\omega) \quad (2.32)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir (Swedian, 1990). Burada, A_{il} , l mesnetine ait serbestlik derecesinin birim hareketinden dolayı meydana gelen z_i tepki kuvvetini göstermektedir.

Zahiri-statik tepki bileşeni $z^{qs}(t)$ 'nin varyansı, (2.32) denkleminin integrali alınarak,

$$\sigma_{z_i}^{2\,qs} = \int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i}^{qs}(\omega) d\omega = \sum_{l=1}^r \sum_{m=1}^r A_{il} A_{im} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\omega^4} S_{\ddot{v}_{gl} \ddot{v}_{gm}}(\omega) d\omega \quad (2.33)$$

olarak bulunmaktadır.

2.1.3. Zahiri-Statik ve Dinamik Tepki Bileşenleri Arasındaki Kovaryans Fonksiyonu

(2.24) denkleminde ifade edilen dinamik ve zahiri-statik tepki bileşenleri arasındaki karşıt korelasyon fonksiyonu, (2.27) ve (2.31) denklemleri ile birlikte kullanılmak suretiyle elde edilmektedir. Elde edilen çapraz ilişki fonksiyonunun Fourier dönüşümü alınarak dinamik $z^d(t)$ ve zahiri-statik, $z^{qs}(t)$ tepki bileşenleri arasındaki karşıt spektral yoğunluk fonksiyonu,

$$S_{z_i}^{qs\,d}(\omega) = \frac{1}{\omega^2} \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^r \sum_{m=1}^r \Psi_{ij} A_{il} \Gamma_{mj} H_j(\omega) S_{\ddot{v}_{gl} \ddot{v}_{gm}}(\omega) \quad (2.34)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir (Swedian, 1990). Zahiri-statik ve dinamik bileşenler arasındaki kovaryans fonksiyonu, (2.34) denklemini integre edilerek,

$$\begin{aligned} \text{Cov}(z_i^{\text{qs}}, z_i^{\text{d}}) &= \text{Re} \left[\int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i}^{\text{qs d}}(\omega) d\omega \right] \\ &= \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^r \sum_{m=1}^r \Psi_{ij} \cdot A_{il} \Gamma_{mj} \left(- \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\omega^2} H_j(\omega) S_{\ddot{v}_{gl} \ddot{v}_{gm}}(\omega) \right) \end{aligned} \quad (2.35)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır (Harichandran ve Wang, 1988a; 1988b). Kovaryans iki rastgele değişkenin beraber değişimleridir.

2.1.4. Toplam Tepki Bileşeninin Varyansı

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

$$\sigma_{z_i}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i}^{\text{qs}}(\omega) d\omega + \int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i}^{\text{d}}(\omega) d\omega + 2\text{Re} \left[\int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i}^{\text{qs d}}(\omega) d\omega \right] \quad (2.36)$$

$$\sigma_{z_i}^2 = \sigma_{z_i}^{\text{qs}} + \sigma_{z_i}^{\text{d}} + 2\text{Cov}(z_i^{\text{qs}}, z_i^{\text{d}}) \quad (2.37)$$

bağıntıları ile hesaplanabilir (Swedian, 1990). Burada Re , gerçel kısmı, $\sigma_{z_i}^{\text{qs}}$ ve $\sigma_{z_i}^{\text{d}}$ sırasıyla zahiri-statik ve dinamik tepki bileşenlerinin varyansını göstermektedir. $\text{Cov}(z_i^{\text{qs}}, z_i^{\text{d}})$ ise zahiri-statik ve dinamik tepki bileşenleri arasındaki kovaryansı göstermektedir.

2.1.5. Ortalama Maksimum Değer ve Oluşma Frekansı

Stokastik analizde ortalama maksimum değer, maksimum büyüklük faktörüne ve $z(t)$ tepki bileşeninin standart sapmasına bağlı olarak,

$$\mu = p\sigma_z \quad (2.38)$$

bağıntısındaki gibi ifade edilmektedir (Button vd., 1981; Button, 1981; Dumanoglu ve Severn, 1990). Standart sapma ve varyansın karekökü alınmak suretiyle hesaplanmaktadır. Ortalama maksimum değere ait standart sapma ise,

$$\sigma = q\sigma_z \quad (2.39)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Button, 1981; Der Kiureghian, 1980). Burada p ve q sırası ile yer hareketi ivmesinin ve sıfır seviyesinin ortalama geçiş sayısının fonksiyonu olup maksimum büyüklük faktörleri ile tanımlanabilir (Der Kiureghian, 1980; Wung ve Der Kiureghian, 1989).

$$p = \sqrt{(2 \ln \nu_e T)} + \frac{0.5772}{\sqrt{(2 \ln \nu_e T)}} \quad (2.40)$$

$$q = \frac{1.2}{\sqrt{(2 \ln \nu_e T)}} - \frac{5.4}{13 + \sqrt{(2 \ln \nu_e T)}^{3.2}} \quad (2.41)$$

(1.45) ve (1.46) denklemlerinde T hareket süresini, ν_e ise sıfır seviyesinin indirgenmiş ortalama geçiş sayısını göstermekte olup,

$$\nu_e = (1.9\xi^{0.15} - 0.73)\nu_0 \quad (2.42)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. (1.42) denkleminde ξ sönüm oranını, ν_0 oluşma frekansını ifade etmekte olup,

$$\nu_0 = \frac{1}{\pi} \frac{\sigma_{\dot{z}}}{\sigma_z} = \frac{1}{\pi} \left(\frac{\int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 S_z(\omega) d\omega}{\int_{-\infty}^{\infty} S_z(\omega) d\omega} \right)^{0.5} \quad (2.43)$$

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

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

3.1. Yer Hareketi Modeli

Bu çalışmada yapılan stokastik analizlerde, yer hareketi olarak 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Kocaeli depreminin Düzce istasyonunda kaydedilen DZC270 bileşeni dikkate alınmıştır. Söz konusu deprem kaydına ait ivme-zaman grafiği Şekil 3.1'de verilmektedir. Analizi gerçekleştirilecek olan köprüye bu ivme kayıtları düşey doğrultuda uygulanmıştır.

Stokastik analizde yapı sistemlerinin mesnetlerine etkiyen yer hareketi, l ve m mesnet noktaları arasındaki yer hareketinin çapraz güç spektral yoğunluk fonksiyonlarına bağlı olarak;

$$S_{\ddot{v}_{g_l} \ddot{v}_{g_m}}(\omega) = \gamma_{lm}(\omega) \sqrt{S_{\ddot{v}_{g_l} \ddot{v}_{g_l}}(\omega) S_{\ddot{v}_{g_m} \ddot{v}_{g_m}}(\omega)} \quad (3.1)$$

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

$$S_{\ddot{v}_{g_l} \ddot{v}_{g_l}}(\omega) = S_{\ddot{v}_{g_m} \ddot{v}_{g_m}}(\omega) = S_{\ddot{v}_g}(\omega) \quad (3.2)$$

olmaktadır. Bu durumda (3.1) denklemini;

$$S_{\ddot{v}_{g_l} \ddot{v}_{g_m}}(\omega) = \gamma_{lm}(\omega) S_{\ddot{v}_g}(\omega) \quad (3.3)$$

şekline dönüşebilir. Burada, $S_{\ddot{v}_{g_l} \ddot{v}_{g_m}}(\omega)$, l ve m mesnet noktaları arasındaki yer hareket ivmelerine ait güç spektral yoğunluk fonksiyonunu ve $S_{\ddot{v}_g}(\omega)$ yer hareket ivmesinin güç spektral yoğunluk fonksiyonunu göstermektedir. Bu çalışmada, Clough ve Penzien (1993)

tarafından düzeltilerek elde edilen filtre edilmiş beyaz gürültü spektral yoğunluk fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu fonksiyon,

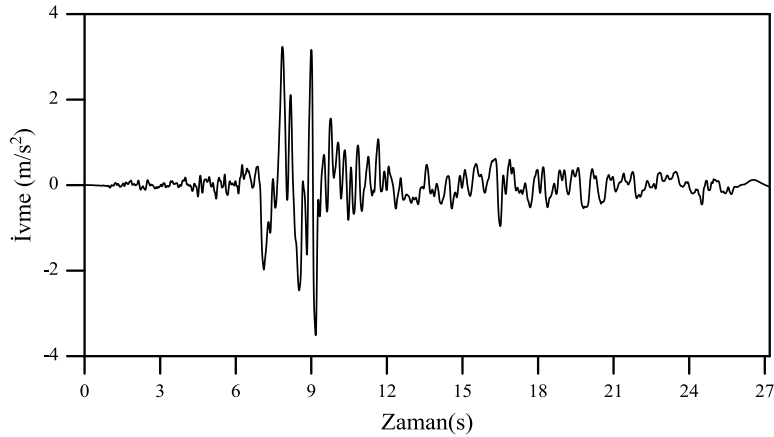
$$S_{\ddot{v}_g}(\omega) = S_o \left| H_f(\omega) \right|^2 \left| H_g(\omega) \right|^2 \quad (3.4)$$

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,

$$\left| H_f(\omega) \right|^2 = \frac{\omega^4 + 4\xi_f^2 \omega_f^2 \omega^2}{(\omega_f^2 - \omega^2)^2 + 4\xi_f^2 \omega_f^2 \omega^2} \quad (3.5)$$

$$\left| H_g(\omega) \right|^2 = \frac{\omega^4}{(\omega_g^2 - \omega^2)^2 + 4\xi_g^2 \omega_g^2 \omega^2} \quad (3.6)$$

(3.5) ve (3.6) 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 3.1. 1999 Kocaeli depremi Düzce istasyonu DZC270 bileşeni ivme kaydı

Der Kiureghian ve Neuenhofer (1991) tarafından önerilen sert, orta ve yumuşak zemin için filtre parametreleri Tablo 3.1’de verilmektedir. Bu çalışmada zemin cinsi olarak sert, orta ve yumuşak zemin cinsleri seçilmiş olup önerilen bu spektral yoğunluk fonksiyonu filtre parametreleri kullanılmaktadır.

Beyaz gürültü işleminin spektral yoğunluk fonksiyonu genlik değeri, S_o ,

$$S_o = \frac{\sigma_{\ddot{v}g}^2}{\int_0^{\infty} |H_f(\omega)|^2 |H_g(\omega)|^2 d\omega} = \frac{\sigma_{\ddot{v}g}^2}{\Phi} \quad (3.7)$$

denklemleri ile elde edilmektedir (Hindy ve Novak, 1980; Datta ve Mashaly, 1986; Der Kiureghian ve Neuenhofer, 1991; Alam ve Datta, 1999; 2000). $\sigma_{\ddot{v}g}^2$ yer hareket ivmesinin varyansını göstermektedir. (3.7) denkleminde verilen S_o , her bir zemin cinsi için yer hareket ivmesinin spektral yoğunluk fonksiyonu, seçilen deprem kayıtlarının enerjisine ayrı ayrı eşitlenerek bulunmaktadır. 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Kocaeli depreminin Düzce İstasyonu DZC270 bileşenine ait güç spektral yoğunluk fonksiyonları Şekil 3.2’de verilmektedir.

STOCAL-II (Wung ve Der Kiureghian, 1989) bilgisayar programı kullanılarak 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Kocaeli depreminin Düzce İstasyonundan kaydedilen DZC270 bileşenine ait varyans ifadesi $\sigma_{\ddot{v}g}^2 = 0,080716 \text{ m}^2/\text{sn}^4$ olarak elde edilmiştir.

Der Kiureghian ve Neuenhofer (1991) tarafından önerilen sert, orta ve yumuşak zeminler için Tablo 3.1’de verilen filtre parametreleri kullanılarak Φ değerleri bu üç farklı türdeki zeminler için Tablo 3.2’deki gibi bulunmuştur.

(2.7) bağıntısı kullanılarak 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Kocaeli depreminin DZC270 bileşeni varyans değeri, farklı zemin türleri için elde edilen Φ değerlerine bölünmek suretiyle beyaz gürültü işleminin spektral yoğunluk fonksiyonu genlik, S_o , değerleri Tablo 3.3’deki gibi elde edilmiştir.

Yer değiştirme spektral yoğunluk fonksiyonu ise ivme spektral yoğunluk fonksiyonuna bağlı olarak;

$$S_{v_g} = \frac{S_{\dot{v}_g}}{\omega^4} \quad (3.8)$$

şeklinde hesaplanmaktadır (Zerva,1992a). (3.8) bağıntısı kullanılarak elde edilen Kocaeli deprem kayıtlarının yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonu Şekil 3.4'de verilmektedir.

İvme kayıtlarına ait varyans değeri ivme spektral yoğunluk fonksiyonunun alanından, yer değiştirme varyans değeri ise yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonu alanından hesaplanmaktadır. Her bir zemin için Şekil 3.3'de verilen ivme spektral yoğunluk fonksiyonlarının varyans değerleri birbirine eşit olup Kocaeli depreminin DZC270 bileşeni için $0,080716 \text{ m}^2/\text{sn}^4$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.4'de elde edilen yer hareketi yerdeğiştirme varyans değerleri ise her bir zemin cinsi için farklı olmaktadır. Bu durum; ivmelerin yer değiştirme değerlerinin türevi olmasından kaynaklanmaktadır (Peebles 1987).

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

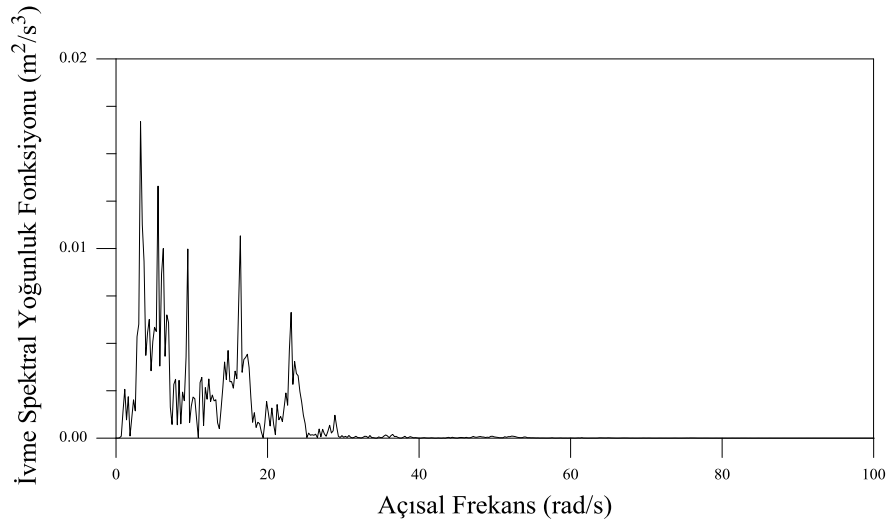
Zemin Cinsi	ω_f (rad/sn)	ξ_f	ω_g (rad/sn)	ξ_g
Sert	15,0	0,6	1,5	0,6
Orta	10,0	0,4	1,0	0,6
Yumuşak	5,0	0,2	0,5	0,6

Tablo 3.2 Çeşitli zemin türleri için hesaplanan Φ değerleri

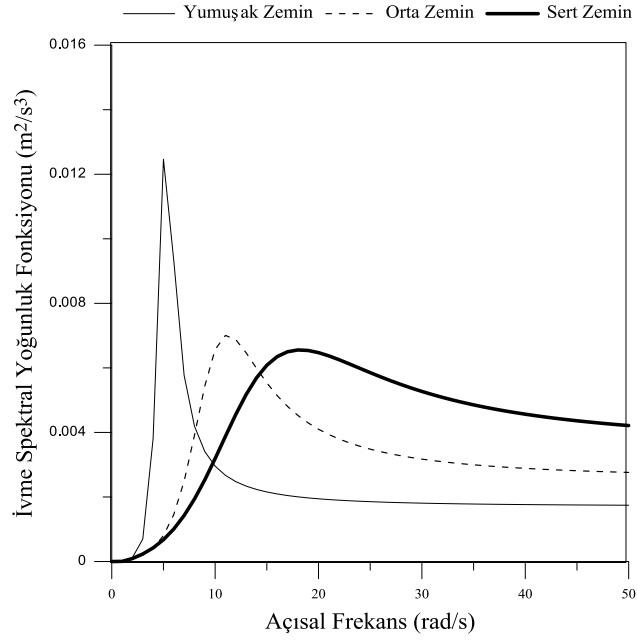
Zemin Cinsi	Φ (1/sn)
Sert	47,109
Orta	31,703
Yumuşak	22,581

Tablo 3.3. Çeşitli zemin türleri için hesaplanan beyaz gürültü işleminin spektral yoğunluk fonksiyonu genlik, S_0 , değerleri

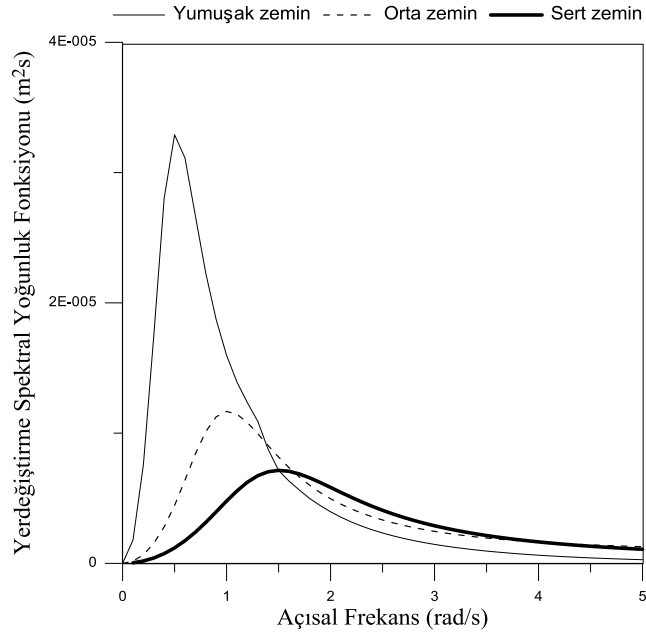
Zemin Cinsi	$S_0(m^2/s^3)$
Sert	0,00171
Orta	0,00255
Yumuşak	0,00357



Şekil 3.2. 1999 Kocaeli depremi Düzce İstasyonu DZC270 bileşeni ivme kaydına ait ivme spektral yoğunluk fonksiyonu



Şekil 3.3. 1999 Kocaeli Depremi DZC270 bileşeni için filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareket modeline ait ivme spektral yoğunluk fonksiyonu



Şekil 3.4. 1999 Kocaeli Depremi DZC270 bileşeni için filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareket modeline ait yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonu

(3.1) bağıntısında verilen tutarlılık (korelasyon) fonksiyonu, $\gamma_{lm}(\omega)$, yer hareketi değişimini frekans alanında tanımlamakta olup;

$$\gamma_{lm}(\omega) = \left| \gamma_{lm}(\omega) \right|^k \gamma_{lm}(\omega)^d \gamma_{lm}(\omega)^z = \left| \gamma_{lm}(\omega) \right|^k \exp \left[i \left(\theta_{lm}(\omega)^d + \theta_{lm}(\omega)^z \right) \right] \quad (3.9)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir (Der Kiureghian, 1996). Tutarlılık fonksiyonu boyutsuz ve karmaşık bir ifade olup $0 \leq \left| \gamma_{lm}(\omega) \right| \leq 1$ aralığında değerler almakta ve $\ddot{v}_l(t)$ ve $\ddot{v}_m(t)$ işlemleri arasındaki istatistiksel bağımlılığı ifade etmektedir. $\gamma_{lm}(\omega)=1$, iki işlem arasındaki lineer bağımlılığı, $\gamma_{lm}(\omega)=0$ ise iki işlem arasındaki istatistiksel bağımsızlığı ifade etmektedir. (3.9) bağıntısında $\left| \gamma_{lm}(\omega) \right|^k$ mesnetlere etkileyen yer hareketleri arasındaki korelasyon etkisini, $\gamma_{lm}(\omega)^d$ dalga yayılma etkisini ve $\gamma_{lm}(\omega)^z$ mesnetlerdeki farklı zemin etkisini ifade etmektedir.

3.2. Korelasyon Etkisi

Korelasyon etkisi, deprem hareketinin düzgün olmayan faylar boyunca çok değişik kaymalar sonucunda meydana gelmesi ve ortaya çıkan yerdeğiştirme dalgalarının rastgele sayılabilecek sayısız yansıma ve kırılmadan geçmesidir. Bu çalışmada (3.9) bağıntısındaki mesnetlere etkileyen yer hareketleri arasındaki korelasyon etkisi, $\left| \gamma_{lm}(\omega) \right|^k$, olarak literatürde kullanılmakta olan iki farklı korelasyon modeli dikkate alınmaktadır. Birinci korelasyon modeli;

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

$$\left| \gamma_{lm}(\omega) \right|^k = A \exp \left[- \frac{2d_{lm}}{\alpha \theta(\omega)} (1-A+\alpha A) \right] + (1-A) \exp \left[- \frac{2d_{lm}}{\theta(\omega)} (1-A+\alpha A) \right] \quad (3.10)$$

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

$$\theta(\omega) = k \left[1 + \left(\frac{\omega}{2\pi f_0} \right)^b \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (3.11)$$

şeklinde açıklanmaktadır. (3.10) ve (3.11) denklemlerinde 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 vd (1996) tarafından önerilmektedir. Bu çalışmada da bu değerler kullanılmaktadır. İkinci korelasyon modeli;

Rastgele ortamda kayma dalgalarının yayılmalarını dikkate alarak belirlenen ve Uscinski (1977) tarafından geliştirilen korelasyon modeli olup;

$$|\gamma_{lm}(\omega)|^k = \exp \left[\left(\frac{\alpha d_{lm} \omega}{v_s} \right)^2 \right] \quad (3.12)$$

denklemindeki gibi ifade edilmektedir. Bu model ilk defa Luco ve Wong (1986) tarafından kullanıldığı için literatürde genellikle Luco ve Wong modeli olarak bilinmektedir. (3.12) bağıntısında α boyutsuz bir korelasyon parametresini, 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).

Harichandran ve Vanmarcke (1986) tarafından önerilen korelasyon modelinde açılal frekansın sıfır değeri için dahi kısmi korelasyon söz konusu olmaktadır. Uscinski (1977) korelasyon modelinde ise, düşük frekanslarda tam korelasyon gözlenmektedir. Ayrıca, korelasyon etkisi frekansın ve mesafenin artması ile azalmaktadır. Uniform yer hareketinde, korelasyon etkisi tüm frekans ve mesafeler için $|\gamma_{lm}(\omega)|^k = 1$ alınmaktadır.

3.3. Dalga Yayılma Etkisi

(3.9) bağıntısında yer hareketinin dalga yayılma etkisi;

$$\gamma_{lm}(\omega)^d = e^{i\theta_{lm}(\omega)^d} \quad (3.13)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir. Burada;

$$\theta_{lm}(\omega)^d = -\frac{\omega d_{lm}^L}{V_{app}} \quad (3.14)$$

olarak tanımlanmaktadır. Dalga yayılma etkisi; deprem hareketinin yapının bir mesnetinden diğerine ulaşmaya kadar geçen zaman farkından kaynaklanmaktadır (Zerva, 1991; Zerva, 1999). (3.14) bağıntısında V_{app} görünen dalga yayılma hızını, d_{lm}^L dalga yayılma doğrultusunda mesnetler arasındaki yatay izdüşüm uzaklığını göstermektedir.

3.4. Yerel Zemin Etkisi

(3.9) denklemindeki yerel zemin etkisi;

$$\gamma_{lm}(\omega)^z = e^{i\theta_{lm}(\omega)^z} \quad (3.15)$$

ile ifade edilmektedir. Burada;

$$\theta_{lm}(\omega)^z = \tan^{-1} \frac{\text{Im} [H_l(\omega) H_m(-\omega)]}{\text{Re} [H_l(\omega) H_m(-\omega)]} \quad (3.16)$$

ile tanımlanmaktadır. Zemin etkisi farklı mesnet noktalarındaki yerel zemin şartlarının farklılığından kaynaklanmaktadır (Der Kiureghian, 1996; Der Kiureghian vd., 1997). $H_l(\omega)$ 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;

$$H_l(\omega) = \frac{\omega_l^2 + 2i\xi_l\omega_l\omega}{\omega_l^2 - \omega^2 + 2i\xi_l\omega_l\omega} \quad (3.17)$$

bağıntısı kullanılmaktadır. Burada ω_l ve ξ_l , sırasıyla l mesnetindeki filtreye ait doğal frekans ve sönüm oranını göstermektedir.

Zemin özellikleri arasındaki farklılık artıkça zemin özellikleri daha etkili olmaktadır. Ayrıca, farklı mesnetlerde zemin cinslerinin aynı olması durumunda zemin etkisi bire eşit olacaktır.

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

3.5. Quincy Bay-view Kablolu Köprüsünün Yapısal Özellikleri

Bu çalışmada stokastik analizi yapılmak üzere seçilen örnek kablolu köprü, Şekil 3.5’de gösterilen, 1983 yılında tasarlanan ve 1987 yılında inşası tamamlanan Illinois-Quincy’de Mississippi Nehri üzerinden geçen Quincy Bay-view köprüsüdür. Quincy Bay-view Köprüsünün deprem yükü altında oluşacak stokastik davranışını belirlemek amacıyla iki boyutlu analizi yapılmıştır.



Şekil 3.5. Quincy Bay-view Köprüsü

Quincy Bay-view Köprüsü H şeklindeki iki beton kuleden, yelpaze şeklindeki kablolardan ve kompozit köprü tabliyesinden oluşmaktadır. Köprü detayları Wilson ve Gravelle (1991) tarafından verilmiştir. Şekil 3.6'da köprünün iki boyutlu modeli ve kulesi verilmektedir. Köprü üç açıklıktan oluşur. Ana açıklığı 274 metre ve her bir kenar açıklığı 134 metre olan iki kenar açıklığa sahip olup toplam uzunluğu 542 metredir. Kulenin en üst kısmı, su çizgisinin 71 metre yukarisındadır. Ana açıklığı destekleyen 28 kablo, her bir kenar açıklığı destekleyen 14 kablo olmak üzere toplam 56 kablo eleman kullanılmıştır. Kullanılan kabloların çapları 107 mm, 92 mm, 41 mm ve 66 mm'dir. Kablolar yelpaze şeklinde düzenlenmiş olup köprünün H-şeklindeki kule elemanında 2,75m aralıklarla ve ana açıklığın yanı sıra kenar açıklıklarda da köprü tabliyesi üzerinde 19,14m aralıklarla dizilmiştir. Köprü tabliyesinin genişliği kablonun merkezinden merkezine 12m dir. Asal kiriş, köprünün bir ucundan diğer ucuna kadar sürekli olarak uzanmaktadır. Kablolu köprülerde, asal kirişin bir uçtan diğer uca kadar sürekli olarak uzandığı sistemler en çok tercih edilen sistemlerdir.

3.6. Kablolu Köprünün Analitik Modeli

H şeklindeki kuleler, kablolar ve asal kiriş üç boyutlu bir yapı sistemi oluştururlar. İki boyutlu analiz sonucu bulunan mod şekilleri ile üç boyutlu analiz sonucu bulunan mod şekillerinin uyum içinde oldukları belirlenmiştir (Garevski, Dumanoglu ve Severn, 1988). Quincy Bay-view köprüsün rastgele olan deprem etkisinden oluşacak stokastik davranışını belirlemek amacıyla iki boyutlu analizi yapılmıştır. Seçilen düzlem modelinde bir düğüm noktasının, yatay ve düşey doğrultudaki ötelenmeler ile dönmeden oluşan toplam üç serbestlik derecesi vardır

Kablolu köprünün stokastik analizi, dinamik davranış dikkate alınarak gerçekleştirilmiş olup, yapının kütlesi toplu kütleli sistem olarak modellenmiştir. Sürekli kütleli sistemlerden, kütlelerin belirli noktalara toplanmasıyla toplu kütleli sistemler meydana getirilebilir. Toplu kütleli sistemlerde sistemin kütlesi, sönüm ve elastik özellikleri belirli noktalarda ayrı olarak bulunmaktadır. Kütlelerin toplandığı noktaların hareketlerinin bilinmesi ile, tüm sistemin her andaki konumu belirlenebilir. Sistemin kütlesi, sönüm ve elastik özelliklerinin belirli noktalarda toplu olarak bulunmasından dolayı, bu tür sistemlere ayrı sistemler adı verilmektedir. Fiziksel sistemlerde kütle, sönüm ve elastik özellikler yayılı olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak sürekli sistemler, yayılı

parametrelerin belirli noktalarda toplanmasıyla çok serbestlik dereceli ayrık sistemler haline dönüştürülebilir (Celep ve Kumbasar, 1992).

Şekil 3.6-3.10 ile verilen sonlu eleman modeli 255 tane serbestlik derecesi ile temsil edilmiştir. Hareket denklemi dönme ve ötelenmeden kaynaklanan serbestlik derecelerini de içerecek şekilde yazılabilmektedir. Ancak dönme serbestlik derecelerine ait dinamik tepkiler ötelenme serbestlik derecelerine bağlı olduklarından, dönme serbestlik derecelerine karşılık gelen kütle atalet momenti veya dış yük yok ise, hareket denkleminde dönme serbestlik dereceleri ihmal edilerek “*statik yoğunlaştırma*” yöntemi kullanılabilir (Clough ve Penzien, 1993). Bu yöntemin uygulanabilmesi için atalet kuvveti oluşturacak kütle olması gerekir. Böylece, kullanılan 255 tane serbestlik derecesi statik yoğunlaştırma yöntemi ile 49 tane ana serbestlik derecesine indirgenmiştir.

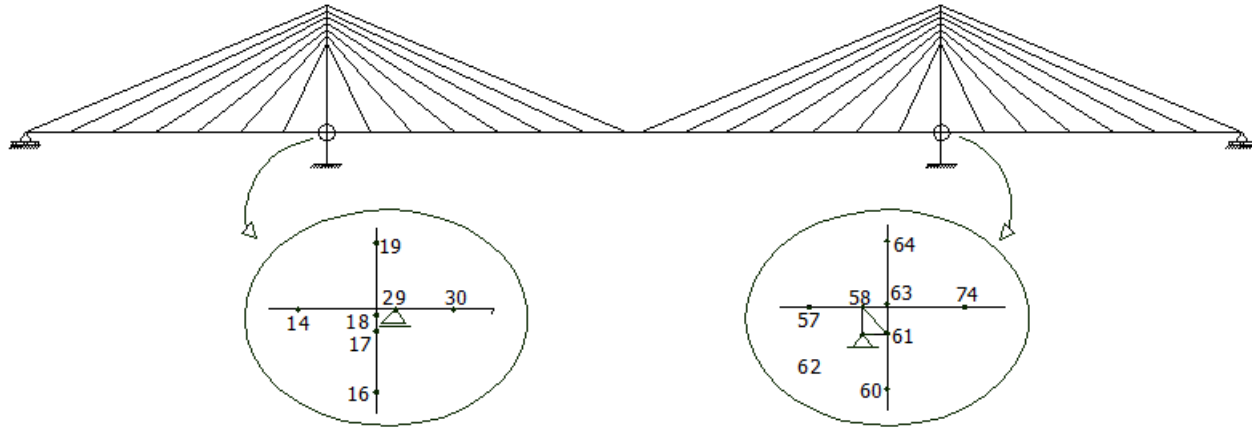
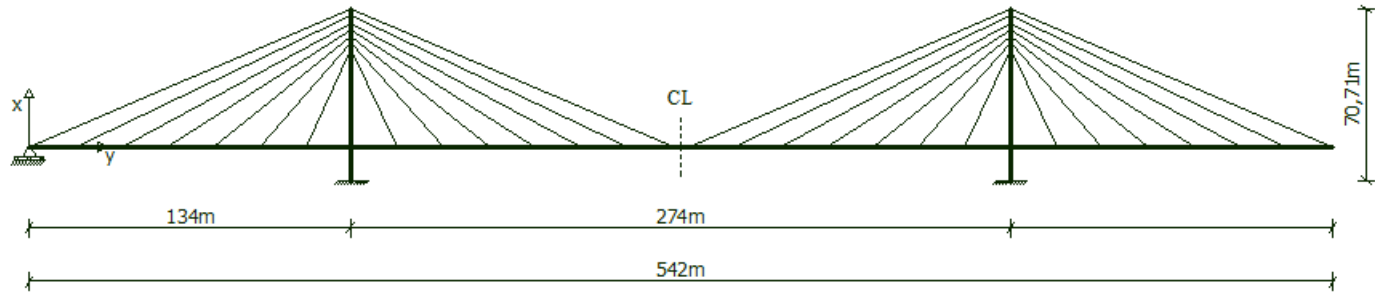
Quincy Bay-view kablolu köprüsüne ait asal kiriş kompozit bir yapıya sahip olup kuleler ise beton malzemeden inşa edilmiştir. Hesaplarda Quincy Bay-view köprüsü için sönüm oranı %2 olarak alınmıştır. Kablolu köprüler için sönüm oranı oldukça küçük olup yaklaşık olarak %1-2 civarındadır (Nazmy, 1987; Nazmy ve Abdel-Ghaffar, 1987). Quincy Bay-view köprüsüne ait kulelerin ve köprü tabliyesinin özellikleri Tablo 3.4’de veriliyorken kabloların özellikleri Tablo 3.5’de verilmiştir.

Tablo 3.4. Kule ve köprü tabliyesi kesit özellikleri

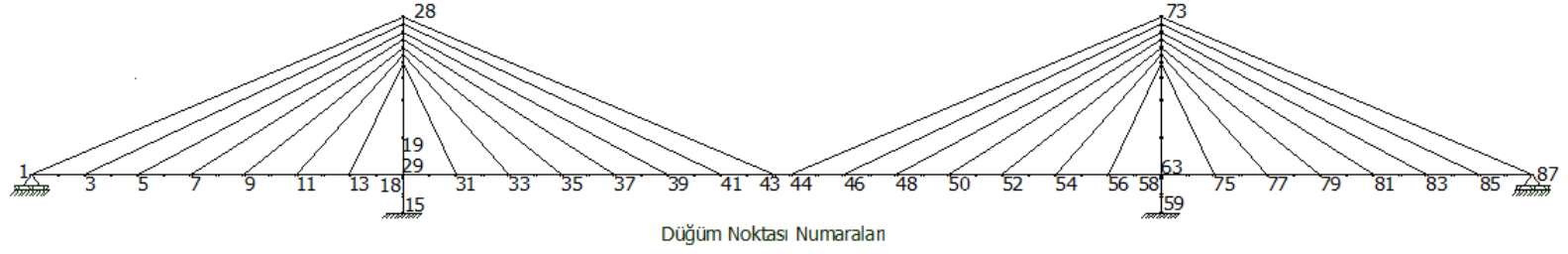
Eleman	Kesit Alanı (m ²)	Atalet Momenti I _x (m ⁴)	Atalet Momenti I _z (m ⁴)	Elastisite Modülü E (kN/m ²)	Kayma Modülü G (kN/m ²)	Birim Ağırlık (kN/m)
Tabliye	0,827	19,76	0,34100	210.000.000	79.554.461,5	118,59
Kule (Kesit 1)	14,12	28,06	532,200	30.787.000	12.314.736	339,30
Kule (Kesit 2)	14,12	27,80	795,200	30.787.000	12.314.736	339,30
Kule (Kesit 3)	30,75	30,71	1250,36	30.787.000	12.314.736	738,92

Tablo 3.5. Kablo özellikleri

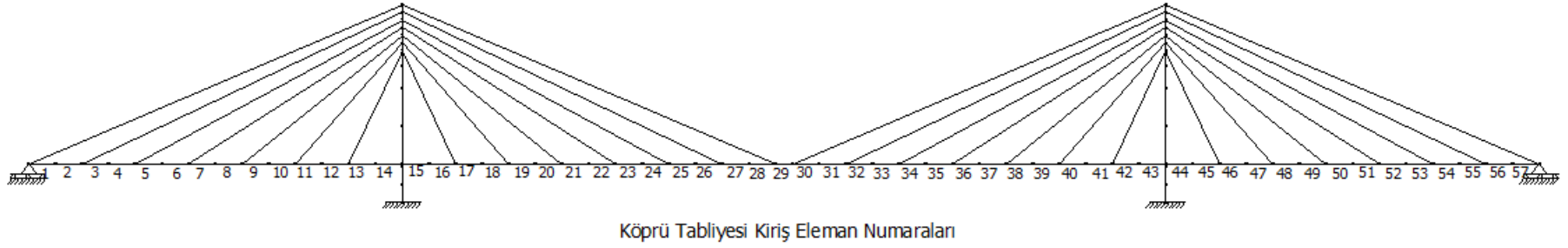
Kablo Numaraları	Kablo kesitleri(m ²)	Kablo ağırlığı (kN/m)	Elastisite Modülü(kN/m ²)
1	0,0180	1,76580	210.000.000
2	0,0135	1,32435	210.000.000
3	0,0107	1,04967	210.000.000
4	0,0070	0,68670	210.000.000



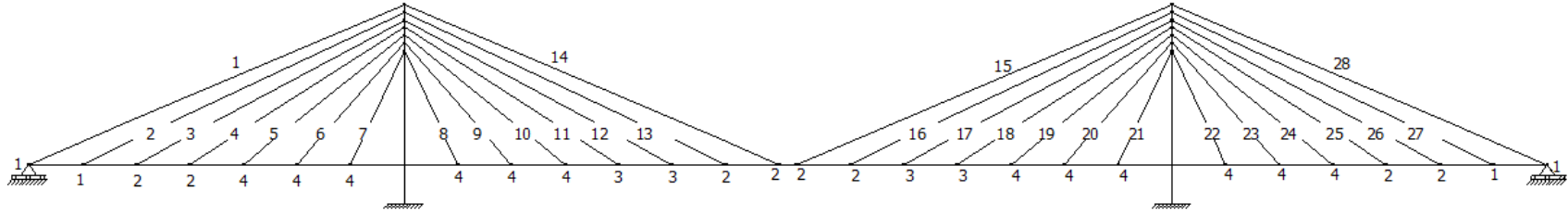
Şekil 3.6. Quincy Bay-view köprüsünün iki boyutlu matematik modeli



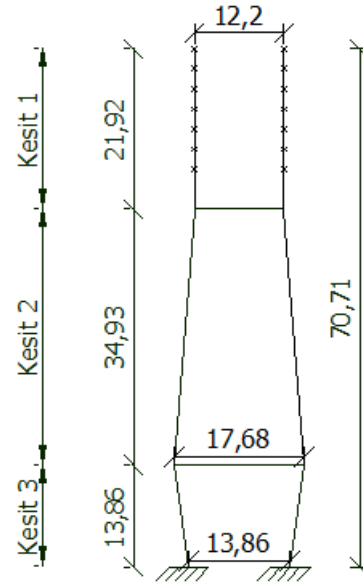
Şekil 3.7. Quincy Bay-view köprüsüne ait düğüm noktası numaraları



Şekil 3.8. Quincy Bay-view köprüsüne ait tabliye eleman numaraları



Şekil 3.9. Quincy Bay-view köprüsüne ait kablo eleman numaraları



Şekil 3.10. Kule sonlu eleman modeli

Asal kiriş ve kuleler 84 kiriş eleman kullanılarak temsil edilmiştir (Şekil 3.8). Kablolar ise 28 kafes elemanla gösterilmiş olup (Şekil 3.9), eğik kabloların lineer olmayan özellikleri eşdeğer elastisite modülü ile dikkate alınmıştır. Kabloların lineer olmayan özelliği, yükün arttırılmasıyla kablodaki sehimin azalması sonucu ortaya çıkmaktadır. Lineer olmayan bu etkiyi gidermek için normal elastisite modülü, sehim ve çekme yükünün etkisini içeren eşdeğer elastisite modülü tavsiye edilmiştir. Kablolardaki lineer olmayan bu özellik, eşdeğer elastisite modülü ile dikkate alınmakta ve aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Troitsky, 1988).

$$E_i = \frac{E_c}{1 + \left(\frac{\gamma_c^2 l_k E_c}{12 \sigma_k^3} \right)} \quad (3.18)$$

Burada, E_c düz kablonun elastisite modülünü, l_k kablonun yatay izdüşüm uzaklığını, γ_c kablonun birim hacim ağırlığını, σ_k kablodaki çekme gerilmesini göstermektedir.

3.7. Çalışmada Kullanılan Bilgisayar Programı

Uniform yer hareketi etkisindeki yapı sistemlerinin stokastik analizi STOCAL (Button, M., Der Kiureghian, A., A., Wilson, E.L., 1981) bilgisayar programı ile yapılabilmektedir. Ancak bu programda, yer hareketinin mesnet noktaları arasındaki değişimi dikkate alınamamaktadır. Bu çalışmada yer hareketinin mesnet noktaları arasındaki değişimi dikkate alınmaktadır. Bu yüzden dalga yayılma etkisi, zemin etkisi ve korelasyon etkisi ile tanımlanan yer hareketindeki değişimi dikkate alabilen SVEM programı (Dumanoğlu ve Soyluk, 2002a) ile değişen yer hareketi etkisindeki yapı sistemlerinin stokastik analizi yapılabilmektedir. SVEM bilgisayar programı Fortran dilinde yazılmış olup, ‘‘Fortran Visual Workbench’’ programı ile çalıştırılmaktadır.

SVEM programında deprem hareketini ifade etmek üzere yer hareketinin spektral yoğunluk fonksiyonu Clough ve Penzien (1993) tarafından düzenlenip elde edilen filtrelenmiş beyaz gürültü yer hareketi ile gösterilmektedir.

3.8. Modal Analiz

Dinamik analizlerde yapı davranışının doğru olarak belirlenebilmesi, yeterli sayıda mod sayısının dikkate alınması ile mümkündür. Genellikle binalarda ilk üç mod, barajlarda ise ilk

altı modun dikkate alınması yeterli olabilmektedir. Kablolü köprüler ise yapısal olarak homojen bir yapıya sahip olmayıp değişik davranış gösteren elemanlardan oluştukları için, bina ve barajlara göre daha fazla mod sayısının dikkate alınması yeterli doğrulukta sonuçların elde edilebilmesi için önemlidir. (Dumanoğlu ve Severn, 1987). Bu çalışmada ilk 15 mod dikkate alınmıştır.

Tablo 3.6. Kablolü köprünün özdeğer, açısal frekans ve periyot değerleri

Mod Numarası	Özdeğer (rad/sn) ²	Açısal Frekans (Hz)	Periyot (sn)
1	8,838	0,473	2,113
2	16,847	0,653	1,530
3	39,102	0,995	1,005
4	46,826	1,089	0,918
5	67,740	1,310	0,763
6	102,189	1,609	0, 622
7	109,766	1,667	0, 510
8	119,693	1,741	0, 574
9	172,218	2,088	0, 479
10	190,440	2,196	0, 455
11	243,684	2,484	0, 402
12	281,266	2,669	0, 374
13	300,404	2,758	0, 362
14	336,394	2,919	0, 342
15	473,089	3,462	0, 289

Bu çalışmada, köprü sistemine ait özdeğerler ve özvektörler Jacobi yöntemi (Bathe, 1996) kullanılmak suretiyle belirlenmektedir. Böylece iki boyutlu köprü modeli dikkate alınarak yapılan stokastik analizde ilk 15 mod için belirlenen özdeğer, açısal frekans ve

periyotlar Tablo 3.6’da verilmektedir. Kablolu köprüler asma köprülere göre daha rijit bir yapıya sahip olmasına rağmen, yine de birçok yapı sistemine oranla esnek bir yapı sistemi olarak kabul edilebilir.

3.9. Zemin-Kazık-Yapı Etkileşimi

Kazık temellerin amacı aşırı yapısal deformasyonları önlerken üst yapının yüklerini temel zeminine güvenli bir şekilde iletmektir. Kazık temellerin kapasitesi uygulanan yüklemenin yönüne (eksenal çekme ya da basınç, yanal kayma ve moment ya da bunların birleşimleri), kazık yükleme yöntemine, kazığın etrafını saran zemin tipine ve dayanımına, kazık boşluklarına (kazık grup etkilerinde) ve her bir bireysel kazığın malzeme ve geometri özelliklerine bağlıdır. Olağandışı koşulların dışında, ekstenel ve yanal yüklemenin etkileri birbirinden bağımsız olmaktadır (Mosher, vd., 2000).

Zemin yapı ilişkisi bir bütün olarak birçok uygulamanın ilgisini oluşturmaktadır. Birçok mühendislik yapılarında yatay ve düşey yüklerin zemine aktarılması önemli bir problem olarak karşılanmaktadır. Karmaşık yapılarından dolayı zeminlere oturan plaklar için uygun bir matematik model bulmanın zorluğu nedeniyle bazı basitleştirilmiş modeller geliştirilmiştir (Timoshenko ve Krieger, 1959; Szilard, 1974; Selvadurai, 1979). İlk olarak 1867’de Winkler, zeminini elastik bir davranış gösterdiği varsayımıyla modellemiştir. Bu modelleme çökme ve basıncın küçük ve birbirleriyle orantılı olması koşulu ile yükün kaldırılmasıyla elemanların ilk hallerine döneceğini kabul etmektedir.

Yapıdan zemine iletilen net yükün temel-zemin ara yüzünde oluşturduğu normal gerilme; değme (temel taban) basıncı olarak adlandırılmaktadır. Temel taban basıncının temel alanı içindeki dağılımı; zemin özelliklerine, temel rijitliğine ve yük dağılımına bağlı olarak değişmektedir. Elastik ve üniform yüklü temellerde birim değme basıncı aynı büyüklükte deplasmanlar oluşturmamakta, temelin kenar bölgelerine yaklaşıldıkça oturma değerleri azalmaktadır. Bu sebeple elastik zemin üzerine uygulanan üniform yükleme çanak şeklinde oturma kabı oluşturmaktadır. Temelin kenarındaki değme basıncı temelin ortasına kıyasla daha büyük olmaktadır (Davis ve Selvadurai, 1996).

Farklı yükleme altında kazıkların tasarımı ve analizi genellikle zemin-kazık etkileşim sürecinin tam olarak nasıl olduğunun anlaşılmasıyla başlamaktadır. Zeminler genellikle kazık uzunluğu boyunca çeşitli tabakalardaki homojen olmayan malzemelerdir ve her tabaka sonraki tabakalara göre daha farklı özelliklere sahip olabilmesinden dolayı zemin-kazık

etkileşimi kazık gövdesi boyunca aynı davranışı göstermeyecektir. Bu yüzden zemin özelliklerindeki değişimler dikkate alınmalıdır

Zemin tabakasına gömülü kazıklar geometrik ve malzemenin doğrusal olmayan davranışı ile birlikte kiriş-kolon elemanları tarafından temsil edilebilir. Zemin-kazık davranışı iki şekilde sınıflandırılabilir. Birinci sınıflandırmada, zemin ve kazık arasındaki her bir derinlikte rölatif dönme, kayma gerilmesi ve yüzeysel sürtünme arasında benzersiz bir ilişki olduğu kabul edilen aksenal yük-sürtünme davranışdır. İkinci sınıflandırmada ise kazığın başına uygulanan bir yanal yükleme durumunda kazığın yanal bir zemin basıncına maruz kalacağı, yanal yük- yerdeğiştirme davranışdır (Yang vd., 1982).

Temel tabanındaki gerilme dağılımının temel alanı içerisinde değişimi, yatak katsayısının da temel alanı içinde değişimini gerektirmektedir. Ancak, yatak katsayısı yalnızca zemin özelliklerinin ve temel boyutlarının bir fonksiyonu olmayıp temel rijitliğinin ve üst yapıdaki yük dağılımının da etkisi altındadır. Kullanım yükleri altında temel şekil değiştirmelerinin hesabı, dolayısıyla temel ve üst yapı elemanlarına ait kesit tesirlerinin gerçeğe yakın bir şekilde bulunması ancak bu faktörlerin ele alınmasıyla mümkün olabilmektedir (Hain ve Lee, 1974)

Zemin-yapı birlikteliği göz önüne alınarak yapılan temel analizinde yaygın olarak kullanılan, elastik zemine oturan kirişler yöntemi, yatak katsayısının gerçekçi bir şekilde belirlenmiş olmasını gerektirmektedir (Atımtay, 2000; Bowles, 1988; Vesić, 1961). Ancak, yatak katsayısı çoğunlukla doğru kullanılmamakta, birçok yapısal analiz yazılımı temel sistemi çözümlerinde yetersiz kalmaktadır. Bu alanda kullanılan bazı yazılımların en belirgin eksikliklerinden biri zemin tabakalanmasının ve yatak katsayısının temel alanı içindeki değişiminin dikkate alınmayışıdır. Genellikle zemin tabakalanmasının yatak katsayısına etkisi geoteknik açıdan incelenmekle birlikte, bu parametrenin temel alanı içerisindeki değişimi, bir yapı-zemin etkileşimi problemi olarak incelenmelidir (Steering Committee on SSI, 1989).

Elastik zemine oturan temellerin hesabı için, temel altındaki zeminin fiziksel özelliklerini de dikkate alan ve zemin davranışına yakın sonuçlar veren yatak katsayısı yönteminde; temel elastik bir kiriş olarak, zemin ise birbirine sonsuz yakın yaylar ile temsil edilmektedir (Keleşoğlu vd.,2002).

Elastik zemine oturan kirişler problemi, önce Winkler (1867) tarafından incelenmiş ve teoremin esasları verilmiştir. Bu yöntemde zemin, yatak katsayıları yoluyla tanımlanan birbirinden bağımsız doğrusal yaylar ile modellenmekte fakat zemindeki süreklilik dikkate alınmamaktadır. Winkler yöntemindeki bu yetersizlik araştırmacıların dikkatini çekmiştir ve

bu sebeple literatürde Winkler yöntemine ilişkin eleştiri ve iyileştirme önerileri yaygındır. Örneğin sürekli temel uzunluğu arttıkça Winkler kabulleri geçerliliğini yitirdiğinden, çeşitli mesnetlenme, yükleme vb. bazı özel koşullar için çözümler geliştirilmiştir (Hetényi, 1946; Tomlinson, 1995). Ayrıca iteratif yöntemler (Gazis, 1958; Penzien, 1960), matris yöntemler (Bowles, 1974) ve sonlu eleman yöntemi de (Kaschiev ve Mikhajlov, 1995; Aköz ve Kadioglu, 1996) mevcuttur. Tek parametrelili yatak katsayısı yaklaşımına bir iyileştirme olan iki parametrelili temel-zemin etkileşimi modellerinde, zemindeki sürekliliği sağlamak için Winkler modeline yaylar arasında bağlantı sağlayan membran bir eleman eklenmiştir (Vlasov ve Leontiev, 1966). Fakat bu modele getirilebilecek en büyük eleştiri, kullanılan parametrelerin birçok unsurun etkisi altında olmaları nedeniyle belirlenmelerinde karşılaşılan güçlüklerdir. Bu belirsizlikleri aşmak üzere iteratif sayısal yöntemler önerilmiş (Vallabhan, 1991), daha sonra bu yöntemler sonlu elemanlar ile birleştirilerek temel rijitliğini de içerecek şekilde geliştirilmiştir (Vallabhan ve Daloglu, 1999). Ancak yöntem bu haliyle de uygulamada ciddi bir hazırlık ve işlem yüküne neden olmaktadır. Ayrıca; sonlu elemanlar, elastisite teorisine dayanan yöntemler de kullanılmaktadır (Davis ve Poulos, 1968; Hooper, 1984; Majid ve Cunnell, 1976). Ancak bu yöntemler de görece olarak daha karmaşık ve zaman alıcıdır. Büyük oranda bu ve benzeri faktörlerin etkisiyle, birçok yapısal analiz yazılımı temel sistemini çözerken zeminle arasındaki ilişkiyi yaylar kullanarak kurmaktadır (Computers and Structures Inc., 2000; Prota Bilgisayar A.Ş., 2003).

Miranda ve Nair (1966), Winkler temeline oturan sonlu kirişler için başlangıç şartlarını kullanarak diferansiyel denklem çözümünü vermişlerdir. Malter (1960), elastik zemine oturan sonlu kirişler için Newmark ve Sonlu Farklar Metodunu kullanarak sayısal çözümler vermiştir. Glassman (1972), elastik zemine oturan, kesişen kirişlerin davranışını incelemiştir. Hetényi (1955) ve Selvadurai (1979), Winkler yöntemini esas alarak sonlu ve sonsuz kirişler için pratik çözümler önermişlerdir. Elastik zemine oturan kirişlere ait çalışmalarda en çok kullanılan model Winkler modelidir.

3.10. Elastik Kiriş Winkler Yöntemi

Elastik zemine oturan kiriş problemi, önce Winkler tarafından incelenmiş ve teorisinin esasları verilmiştir. Elastik zemine oturan kirişlere ait çalışmalarda en çok kullanılan model Winkler modelidir. Winkler modelinde zeminin birbirine komşu olan noktalarında her hangi bir etkileşimin söz konusu olmadığı kabul edilmektedir. Diğer bir ifadeyle, zemin aralarında

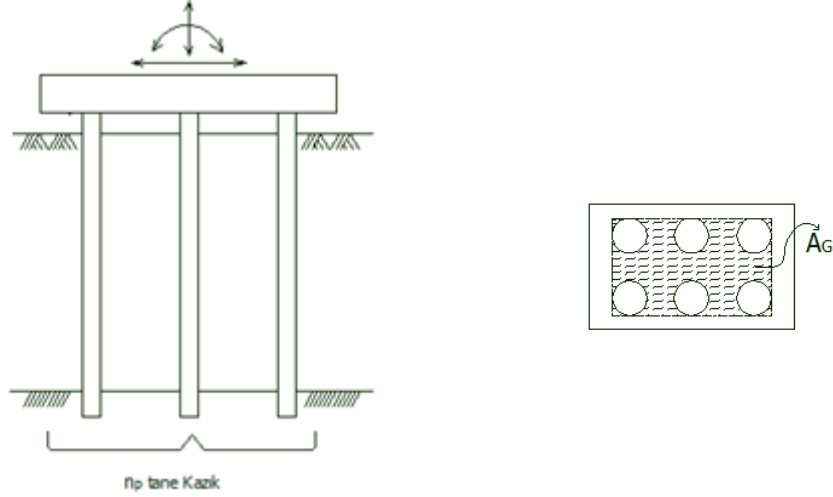
etkileşim olmayan bir seri yaylarla temsil edilmektedir. Zemin ve temel arasındaki ilişkiyi temsil eden bu yaylar, ilk kez 1867’de Winkler tarafından kullanılmış ve bu ilk yaklaşım “Winkler Yöntemi” olarak adlandırılmıştır. Winkler yönteminde yapılan ve gerçekçi olmayan bu kabule rağmen, söz konusu yöntem uygulamadaki basitliği nedeniyle hala kullanılmaktadır. Yöntemi kullanmadaki esas sorun, zemin modülü olarak tanımlanan yay katsayısının, deneysel bağıntılardan elde edilmesidir. Aynı zamanda model her ne kadar tekil yük durumunda yeterli sonuç verse de yayılı yük durumunda gerçekçi olmayan sonuçlara götürmektedir. Bununla birlikte zemin yatak katsayısının doğru değerini bilmeden hesaplanan yerdeğiştirmelerde, eğilme momentlerinde ve kesme kuvvetlerinde yapılan hata oranını da hesaplamak mümkün olmamaktadır.

Yatak katsayısı, zemin elastisite modülü benzeri bir parametre değildir. Zemin elastisite modülü mevcut gerilme, sınır koşulları ve zemin yapısı için gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin bir göstergesidir. Yatak katsayısı ise; zeminin fiziksel özellikleri, tabakalanması, yükleme koşulları, temel rijitliği ve üst yapı rijitliğinin bir fonksiyonudur (Terzaghi, 1966). Dolayısıyla yatak katsayısı fiziksel bir sabit olarak tanımlanamaz. Bu parametre, gerçekte herhangi bir zemin-temel ikilisi için gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin bir göstergesidir. Bu unsurların yanısıra temel-zemin ikilisi için kurulan analitik model ve bu modelin bünye denklemi de gerçekçi olmalıdır (Steering Committee on SSI, 1989). Bu bağlamda iki parametrelili model gerçek temel-zemin davranışına daha uygundur (Tomlinson, 1995). Sonuç olarak yatak katsayısının belirlenmesi bir zemin-yapı etkileşimi problemidir. Bu nedenle, her bir zemin-yapı etkileşim probleminin her projenin kendine özgü bir yatak katsayısı tanımının olması gerekmektedir. Ancak kurulan modelde parametre sayısının artışı, bu parametrelerin zemin-temel ilişkisinin de dikkate alınarak belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Mühendislik uygulamalarında henüz tek parametrelili Winkler modeli yaygın olarak kullanılmaktadır. Mevcut yazılımların pek çoğu Winkler modeli yaklaşımını da kullanmaktadır (Computers and Structures Inc, 2000).

3.11. Eşdeğer Düşey Kiriş Analojisi

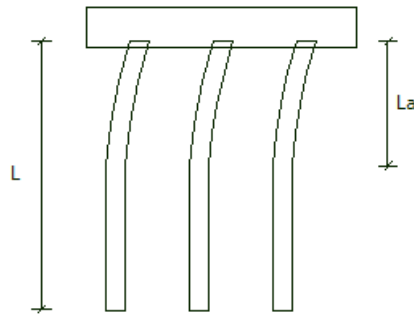
Üst yapının altında gruplandırılmış kazıklar bir sismik hareket esnasında kazığı saran zeminle etkileşim haline geçer ve dinamik kazık-zemin-kazık etkileşimi üst yapının hareketini önemli ölçüde etkiler. Eşdeğer düşey kiriş analojisinde, Şekil 3.11’ de gösterildiği gibi tek bir kiriş, n_p tane kazık ve kazıkların arasındaki zeminin bileşimi olarak temsil edilir. Şekil

3.11’de kazık grubundaki en dış kazığı daire içine alan çizgi eşdeğer dikey kirişin etkili kesit alanını, A_G , temsil etmektedir. Bu çalışmada eşdeğer kazığın etkili kesit alanı 20.49 m^2 olarak alınmıştır (Soneji ve Jangid, 2008).



Şekil 3.11. Gruplandırılmış kazık- zemin sistemi

Çoğu yanal yüklü kazıklar esneklerdir. Şekil 3.12’de de görüldüğü gibi, kazıklar tüm uzunluğu boyunca şekil değişimi olmadıkları için aktif kazık uzunluğunun altındaki kazık sapmaları göz ardı edilebilir. Yanal yüklemeler altında, kazığın yatay yöndeki sapması artan derinlikle beraber azalır. Aktif kazık uzunluğu, L_a , kazık temelin tasarımında önemli bir parametredir ve büyük ölçüde zeminin rijitliğine, eğilme şekil değiştirmelerine ve kazığın rijitliğine bağlıdır (Wang ve Liao, 1987).

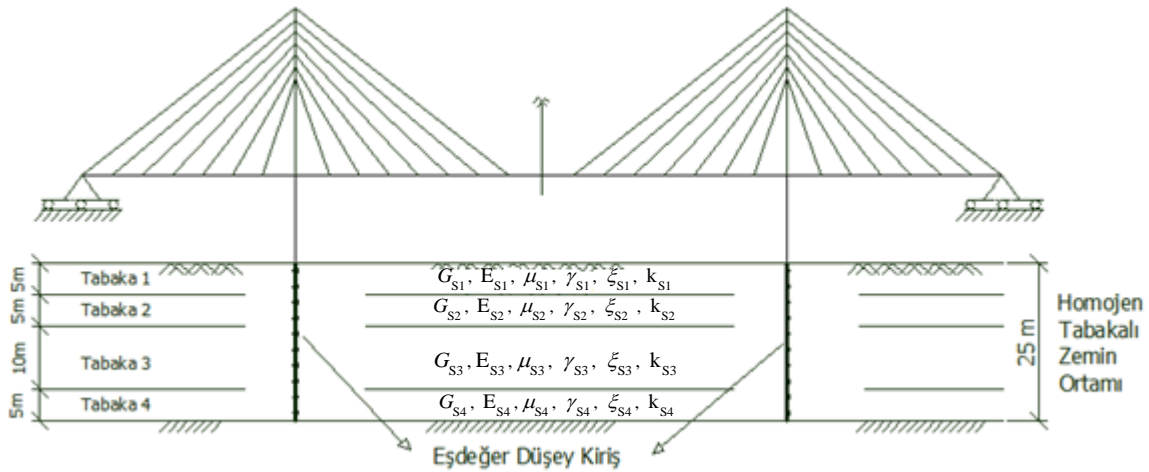


Şekil 3.12. Aktif kazık uzunluğu

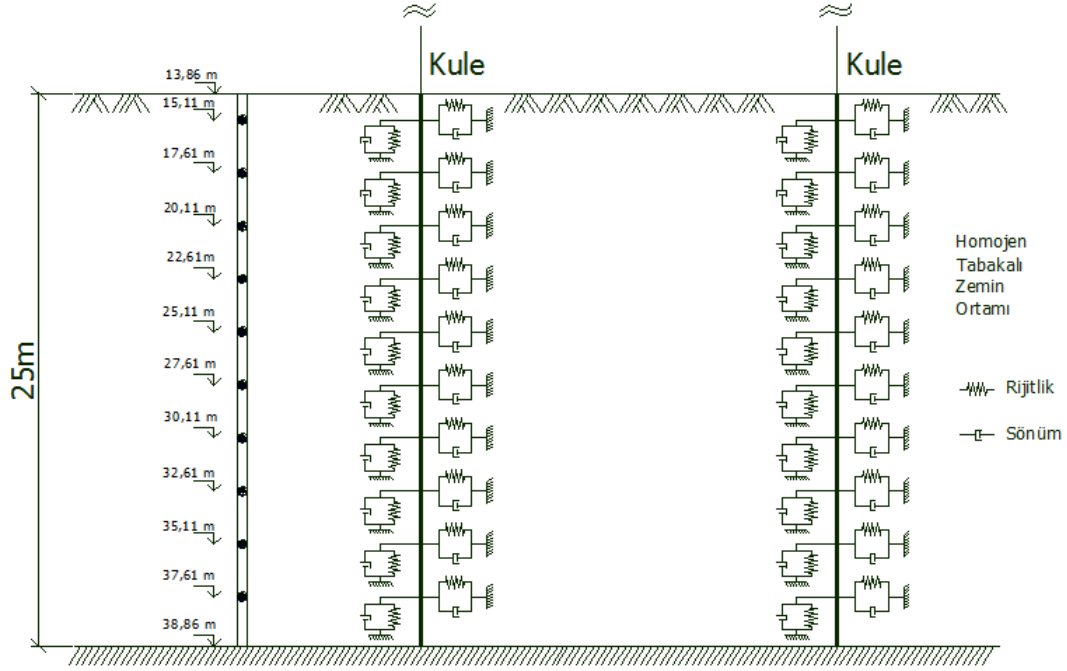
Kazık grubunun davranışı kazık aralıklarına göre sınıflandırılabilir. Birbirine göre oldukça yakın aralıklarda gruplandırılmış kazıklar daha güçlü grup etkilerinden dolayı eşdeğer bir düşey kiriş olarak modellenebilirken oldukça büyük aralıklarda gruplandırılmış bir kazık grubu için, kazıklar birbirinden ayrı bireysel kazık gibi davranabilirler (Konagai, Yin ve Murono, 2003).

3.12. Zemin-Kazık Sisteminin Modellenmesi

Zemin şartlarının deprem sırasında yapılar üzerindeki zararlı etkileri oldukça fazladır. Bu makale, Şekil 3.13’ de gösterildiği gibi, rijit düşey kazık grupları üstünde desteklenen kablolu köprülerin değişerek yayılan yer hareketi durumunda, zemin-yapı etkileşiminin etkilerini sonlu eleman yöntemiyle belirlemeye çalışmaktadır. Sönümün varlığı, kazık tepkisinin tahmin edilmesinde etkilidir. Çünkü sönüm, bir merkezden dışa doğru yayılan enerjiyi gerçekçi bir şekilde hesaplamada yardımcı olmaktadır. Zemin ve kazık etkisinin dikkate alındığı kablolu köprüdeki kesit etkileri ve yerdeğiştirmeler, zeminin yumuşak, orta ve sert olması durumları için ayrı ayrı bulunmaktadır. Zemine gömülü durumda olan kazıklar, eşdeğer tek bir düşey kazıkla temsil edilmektedir (Şekil 3.14).



Şekil 3.13 Kablolu köprünün zemin-kazık sisteminin iki boyutlu sonlu eleman modeli ve düğüm noktası numaraları



Şekil 3.14. Eşdeğer düşey kiriş modeli

Elastik zemine oturan kirişler Winkler yöntemi kullanılarak zemin, yatak katsayıları yoluyla tanımlanan, birbirinden bağımsız doğrusal yaylar ve sönümlerle modellenmektedir (Şekil 3.14). Yayların rijitlik değerleri yatay yatak katsayısı ile tanımlanmaktadır. Yatak katsayısı genellikle birim çökme elde etmek için birim alana yüklenmesi gereken yük olarak tanımlanır (Liao, 1955). Yatak katsayısı zemin modeli için sabit veya değişken olabilir (Köseoğlu, 1986). Winkler yöntemine göre k_s , yatak katsayısının taban basıncı değerinden bağımsız olduğu ve bütün temel yüzeyi boyunca sabit kaldığı varsayılmaktadır (Angın ve Erusta, 1996). Zemin cinsine göre bazı yatak katsayısı değerleri Tablo 3.7' de gösterilmiştir.

Tablo 3.7. Zemin cinslerin göre yatak katsayısı değerleri

Zemin Cinsi	k_s (kN/m ³)
Gevşek Kum	10 000 ~ 20 000
Orta Sıkı Kum	20 000 ~ 50 000
Sıkı Kum	50 000 ~ 100 000
Sıkı Kumlu Çakıl	100 000 ~ 150 000
Dolma Toprak	10 000 ~ 20 000
Yumuşak Kil	5 000 ~ 10 000
Orta Sert Kil	10 000 ~ 15 000
Sert Kil	15 000 ~ 30 000
Sağlam Şist	> 500 000
Kaya	> 2 000 000

Elastik kiriş Winkler modeli kullanılarak, zemini temsil eden yaylara ait yay katsayıları elde etmek için zeminin elastisite modülünün belirlenmesine ihtiyaç vardır. Her bir derinlikteki zemin yayları derinlikle birlikte doğrusal bir şekilde artan yatay yatak katsayısı kullanılarak hesaplanır ve kazık gövdesinin kesit alan boyutlarıyla ters orantılıdır. Sistemin tepkisi kullanılan yay sayısına duyarlı olmasın diye kazığın gömülü uzunluğu boyunca yeterli sayıda yay kullanılmalıdır. Yay sayılarındaki artışla birlikte sonuçların artık değişmediği noktalar hariç daha çok yayın kullanılması genellikle daha iyi sonuçlar vermektedir. Ayrıca, yüzeye yakın yaylar tepkinin karakterize edilmesinde genellikle daha önemlidir. Bu nedenle bu bölgede zemin yayları arasında daha yakın boşluklar kullanılabilir. Bu çalışmada, temel kayasının 25 m derinlikte olduğu kabul edilerek zemin yayları 2,5 m aralıklarla dağıtılır. Zemin-kazık sistemi için, kazık elemanda 10 yay kullanılarak 11 parçaya ayrıştırılması analizde yeterli hassasiyeti elde etmek için yeterli olmaktadır.

Zeminin elastisite modülü aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanabilir;

$$E_s = 2G_s (1 + \mu_s) \quad (3.19)$$

Burada, G_s ; zeminin kayma modülünü, μ_s ; zeminin poisson oranını göstermektedir. Zemin için yay katsayısı;

$$k=k_s / D \quad (3.20)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Burada k_s , yatak katsayısını; l , etkili mesafeyi; D , eşdeğer kazık çapını ifade etmektedir (Berger/Abam Engineers, 1996).

Zemin için ikinci en önemli parametre sönümdür. Yapı-zemin etkileşiminden kaynaklanan ve zeminle ilişkili olan iki çeşit sönüm vardır. Bunlardan biri malzeme sönümüdür. Dalga hareketi homojen, lineer elastik ortamda genliğinde değişme olmaksızın hareketini sürdürür. Ancak gerçek malzemede bu durum oluşmaz. Zemin içinde dalganın genliği mesafeyle beraber kısalmaktadır. Hareket eden dalganın elastik enerjisinin bir kısmı ısıya dönüşür. Enerjideki azalma hareketin genliğinin azalması olarak gözlenmektedir. Doğrusal olmayan bir davranış gösteren zeminde malzemenin yapısından kaynaklanan sönüm yüksektir. Malzeme sönümü dalga hareketi enerjisinin bir kısmını ısıya çevirir. Diğer ise radyasyon sönümü olup, daha geniş bir ortama yayılmanın sebep olduğu sönümdür. Radyasyon sönümü geometrik sönüm olarak ta bilinir ve karışık bir dalga yapısı formuna sahiptir. Temellerin titreşiminde önemli olmaktadır. Temel çevresinde radyasyon sönümü malzeme sönümünden önemli olabilir.

Bir depremin oluşturacağı etkinin boyutu, depremin karakteristiği, yerel zemin özellikleri ve mühendislik yapılarının durumuna göre değişir. Bunlar içerisinde zeminlerin zayıf ya da sağlamlığı önemli bir yere sahiptir. Herhangi bir depremde en büyük tahribat zayıf zeminlerde gerçekleşir. Bir yerin tektonik, litolojik, jeomorfolojik ve hidrojeolojik özellikleri o yerin yerel zemin özelliklerini oluşturur. Farklı yerel zemin özelliklerine sahip bölgelerdeki aynı tip yapıların, aynı şiddetteki bir depremde farklı derecelerde hasar gördükleri, geçmiş depremlere ait ivme ve hasar kayıtları incelendiğinde açıkça görülür. Bu durum, deprem dalgalarının geçtikleri zeminlerin özelliklerine göre değişime uğradıklarını ortaya koymaktadır. Yerel zemin özelliklerinin yapılarda hasar oluşturacak etkileri, sıvılaşma, yamaçlarda stabilitenin bozulması, zeminde göçme ve oturmalar şeklinde kendini gösterir.

Derinlikle değişen G_s , kayma modülü; ρ_s , kütle yoğunluğu; μ , poisson oranı; ξ_s sönüm oranı; E, elastisite modülü; k_s , yatak katsayısı gibi zeminin dinamik özellikleri Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.8. Farklı derinliklerdeki Yumuşak, Orta ve Sert zeminlerin dinamik özellikleri

Derinlik (m)	G_s (10^3 kN/m ²)			ρ_s (kN/m ³)			E (10^3 kN/m ²)		
	Yumuşak	Orta	Sert	Yumuşak	Orta	Sert	Yumuşak	Orta	Sert
0-5	80	400	900	0,07	0,04	0,02	224	1.080	2.340
5-10	125	625	1.350	0,06	0,04	0,02	350	1.687	3.510
10-20	245	1.225	2.550	0,05	0,04	0,02	686	3.307	6.630
20-25	550	2.750	6.500	0,05	0,04	0,02	1 540	7.425	16.900

Derinlik (m)	μ			ξ_s (%)			k_s (10^3 kN/m ³)		
	Yumuşak	Orta	Sert	Yumuşak	Orta	Sert	Yumuşak	Orta	Sert
0-5	20	20	21	0,4	0,35	0,3	20	50	100
5-10	20	21	21	0,4	0,35	0,3	20	50	100
10-20	20	22	23	0,4	0,35	0,3	20	50	100
20-25	22	22	25	0,4	0,35	0,3	20	50	100

4. BULGULAR VE İRDELEMELER

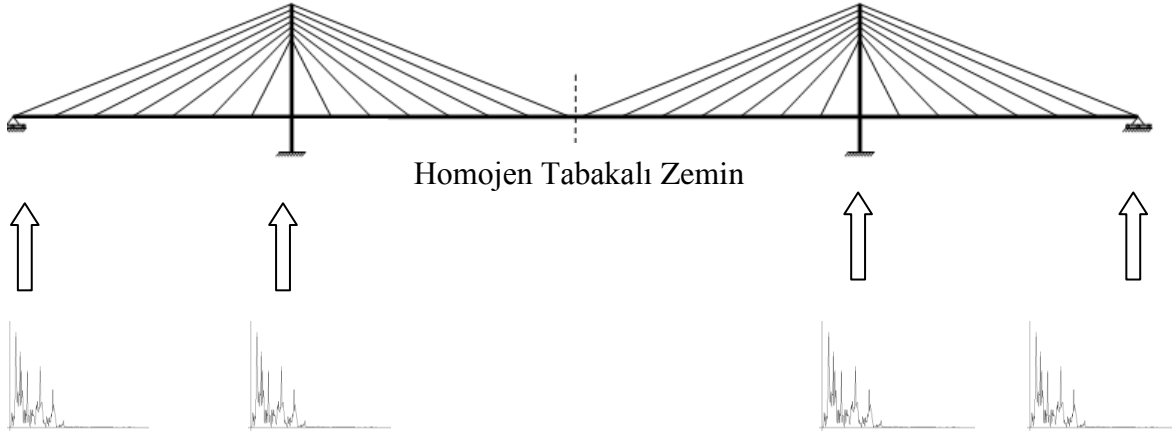
4.1. Kablolu Köprünün Değişerek Yayılan Yer Hareketi İçin Zemin-Yapı Etkileşimi Dikkate Alınmayan Stokastik Analizleri

Bu çalışmada, stasyonerlik kabulü yapılarak, dalga yayılma, korelasyon ve zemin etkilerini içeren değişerek yayılan yer hareketleri için zemin-yapı etkileşimi ihmal edilerek kablolu köprünün stokastik analizi gerçekleştirilmiştir. Stasyonerlik, istatistiksel özelliklerin zamandan bağımsız olmasıdır (Yang, 1986; Peebles, 1987). Deprem hareketleri gibi farklı zamanlarda farklı istatistiklere sahip rastgele işlemler tüm hareket süresi boyunca stasyoner değildir. Ancak yapı tepkilerinin en büyük olduğu zamanlarda stasyonerlik kabulü yapılabilmektedir. Stasyoner bir modelin kullanılabilmesi işlemleri önemli ölçüde kolaylaştırdığı gibi bulunan sonuçlarda daha gerçekçi olmaktadır (Yang, 1986; Peebles, 1987). Stasyoner işlem için (2.29) bağıntısı ile ifade edilen frekans davranış fonksiyonu kullanılmaktadır. Analizler sonucunda çeşitli zeminlere mesnetlenen kablolu köprünün ortalama maksimum yerdeğiştirme ve kesit tesirleri elde edilmiştir.

Zemin ortamının homojen olması durumunda mesnet noktaları arasındaki yer hareket ivmesi karşıt spektral yoğunluk fonksiyonu (3.1) bağıntısı ile ifade edilirken, (3.9) bağıntısı ile yazılan $\gamma_{lm}(\omega)$ ifadesi için zemin etkisini gösteren $\gamma_{lm}(\omega)^z$ terimi homojen zemin ortamı nedeni ile bire eşit olmaktadır.

4.1.1. Sadece Dalga Yayılma Etkisinin Dikkate Alınması Durumunda Zemin-Yapı Etkileşimi Dikkate Alınmayan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının İrdelenmesi

Zemin-yapı etkileşimi dikkate alınmayan kablolu köprünün korelasyon ve zemin etkileri ihmal edilerek sadece dalga yayılma etkisinin dikkate alınması durumunda kablolu köprünün stokastik analizleri yapılmıştır. Sadece dalga yayılma etkisine maruz köprünün analitik modeli Şekil 4.1'de görülmektedir.



a) 1999 Kocaeli depremi ivme spektral yoğunluk fonksiyonu



b) Sert zemin türü için ivme spektral yoğunluk fonksiyonu



c) Orta zemin türü için ivme spektral yoğunluk fonksiyonu



d) Yumuşak zemin türü için ivme spektral yoğunluk fonksiyonu

Şekil 4.1. Sadece dalga yayılma etkisine maruz köprü'nün modeli

Sadece dalga yayılma etkisi durumunda, l ve m mesnet noktalarındaki yer hareketleri arasında korelasyon kaybının olmadığı kabul edilmektedir. Başka bir ifade ile yer hareketinin yayılması esnasında sayısız yansıma ve kırılmadan geçmesine rağmen farklı mesnet noktalarındaki yer hareketlerinin aynı olduğu düşünülmektedir. Ancak deprem hareketinin sonlu yayılma hızı nedeni ile deprem hareketi, l mesnetinden m mesnetine belirli bir zaman farkı ile ulaşmaktadır. Bu durumda; (3.9) denklemindeki korelasyon

etkisinin $|\gamma_{lm}(\omega)|^k = 1$, zemin etkisinin $\gamma_{lm}(\omega)^z = 1$ ve dalga yayılma etkisinin $\gamma_{lm}(\omega)^d \neq 1$

olmasına karşılık gelmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin için dalga yayılma hızı 300 m/sn, homojen tabakalı orta zemin için dalga yayılma hızı 600 m/sn, homojen tabakalı sert zemin için dalga yayılma hızı 2000 m/sn olarak seçilmiştir (T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007). Yer hareketi olarak, 1999 Kocaeli depreminin DZC270 bileşeni dikkate alınmaktadır.

Şekil 4.2-4.13'de kablolu köprü tabliyesindeki eleman kuvvetleri ve maksimum yerdeğiştirmeler görülmektedir. Bu grafikler, homojen tabakalı yumuşak, orta ve sert zeminlerdeki yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin toplam, dinamik ve zahiri-statik bileşenlerinden oluşmaktadır.

Şekil 4.2-4.4'de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki normal kuvvet değişimi görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda zahiri-statik, dinamik ve toplam normal kuvvetlerin homojen tabakalı orta zemin ve homojen tabakalı sert zemine göre arttığı gözlenmektedir. Normal kuvvet değerleri kulelerde artarken açıklık ortasında azalmaktadır.

Şekil 4.5-4.6'da homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki kesme kuvveti değişimi görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda kesme kuvveti değişiminin daha fazla olduğu görülmektedir. Toplam kesme kuvveti ve dinamik kesme kuvvetinin mesnetlerde daha fazla, zahiri-statik kesme kuvvetinin ise açıklık ortasında daha fazla olduğu gözlenmektedir.

Şekil 4.8-4.10'da homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki eğilme momenti değişimi görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda eğilme momenti daha fazla olmaktadır. Tabliyedeki eğilme momenti değerlerinin mesnete yakın noktalarda maksimum olduğu görülmektedir. Ayrıca homojen tabakalı sert zemin durumunda zahiri-statik eğilme momenti değerlerinin ihmal edilecek kadar küçük olduğu görülmektedir.

Şekil 4.11-4.13'de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki yerdeğiştirmeler verilmiştir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda tabliyede görülen yerdeğiştirmeler homojen tabakalı orta zemin ve homojen tabakalı sert zemin durumunda oluşan yerdeğiştirmelere göre oldukça fazla olmaktadır. Yerdeğiştirmelerin mesnetlerde ve kule tabliye birleşim yerlerinde azalırken açıklık ortasında ve kenar açıklıkların ortasında artmaktadır. Ayrıca zahiri-statik yerdeğiştirmelerin tabliye uzunluğu boyunca çok değişmemektedir.

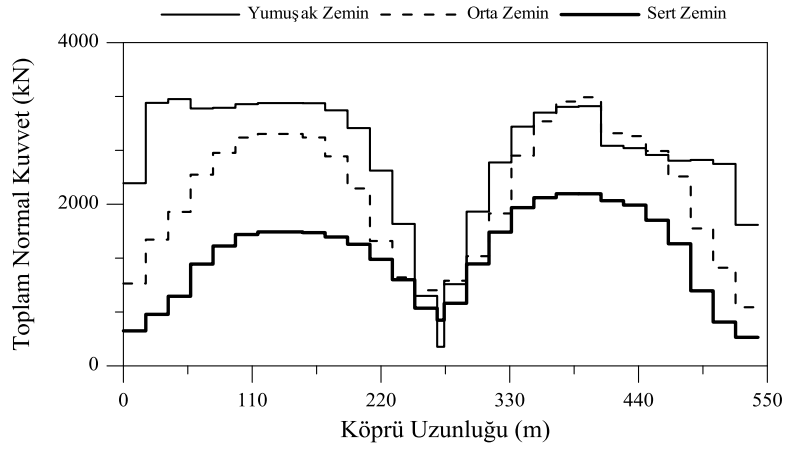
Kablolu köprü kulesindeki eleman kuvvetleri ve maksimum yerdeğiştirmeler Şekil 4.14-4.25 ile verilmiştir. Bu grafikler, homojen tabakalı yumuşak zemin, homojen tabakalı orta zemin ve homojen tabakalı sert zemindeki yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin toplam, dinamik ve zahiri-statik bileşenlerinden oluşmaktadır.

Şekil 4.14-4.16'da çeşitli homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki normal kuvvet değişimleri görölmektedir. Zahiri-statik normal kuvvet değişiminin dinamik normal kuvvet ve toplam normal kuvvet değişimine göre olduğa az olduğu görölmektedir. Dinamik normal kuvvet ve toplam normal kuvvet değişiminin birbirine olduğa yakın olduğu ve normal kuvvetin kule tabliye birleşim bölgesinde maksimum olduğu, kulenin en üst noktasına doğru ise giderek azaldığı Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'den görölmektedir.

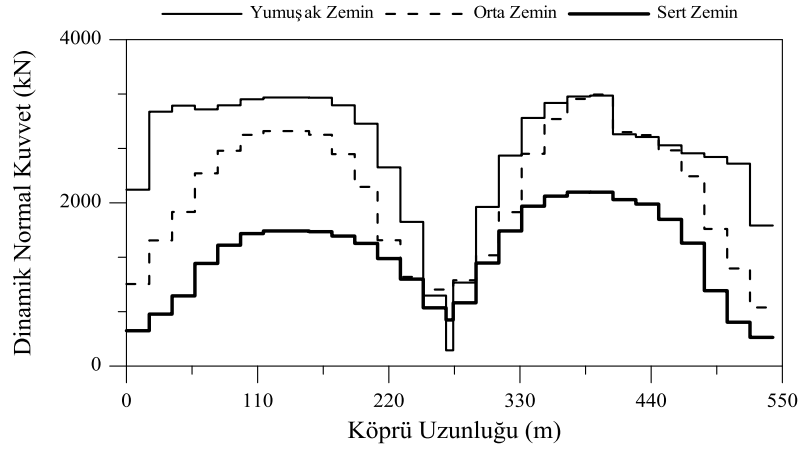
Şekil 4.17-4.19'da homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki kesme kuvveti değişimi görölmektedir. Kesme kuvveti değerlerinin kulenin en üst noktasına yakın bölgede maksimum olduğu ve homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda kesme kuvveti değerlerinin daha fazla olduğu görölmektedir. Ayrıca zahiri-statik kesme kuvveti değişimi, dinamik ve toplam kesme kuvveti değişimine göre olduğa az olduğu gözlemlenmektedir.

Şekil 4.20-4.22'de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki eğilme momenti değişimi görölmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan eğilme momentleri homojen tabakalı orta zemin ve homojen tabakalı sert zemine göre daha fazla olduğu görölmektedir. Oluşan eğilme momentleri kulenin en üst noktasında sıfır olurken tabliyeye yakın bölgede maksimum olduğu gözlenmektedir.

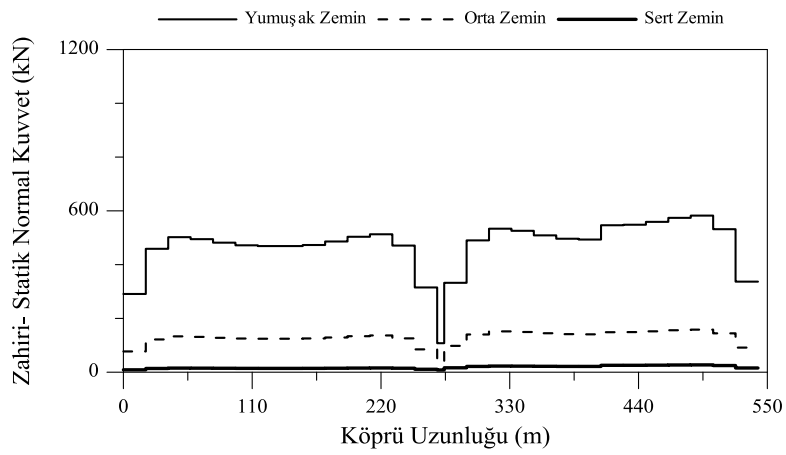
Şekil 4.23-4.25'de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki yerdeğiştirmeler görölmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan yerdeğiştirmelerin daha fazla olduğu görölmektedir. Oluşan yerdeğiştirmeler kule tabliye birleşim bölgesinde sıfırken kulenin yüksekliğinin artmasıyla beraber yerdeğiştirmelerin de arttığı gözlenmektedir.



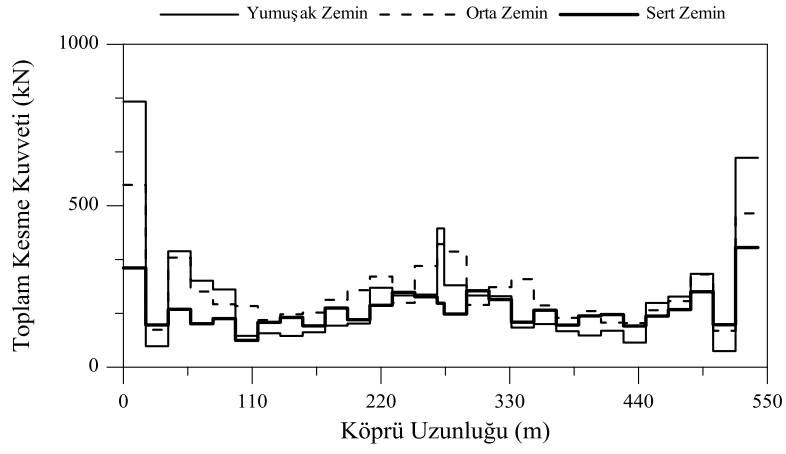
Şekil 4.2. Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin toplam normal kuvvetleri



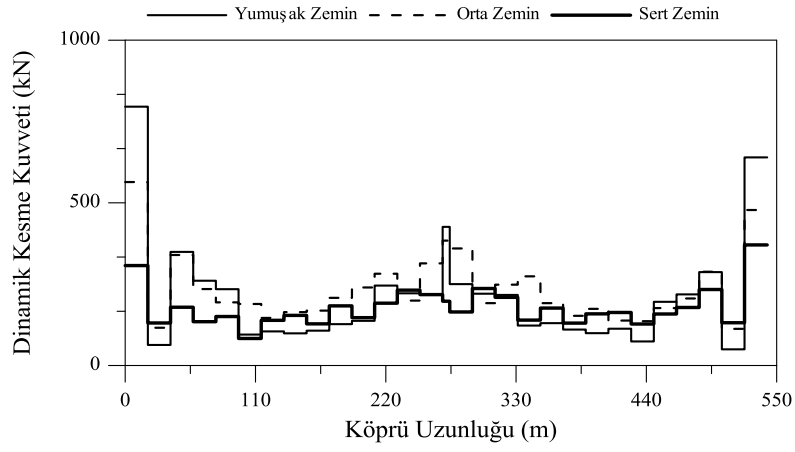
Şekil 4.3. Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin dinamik normal kuvvetleri



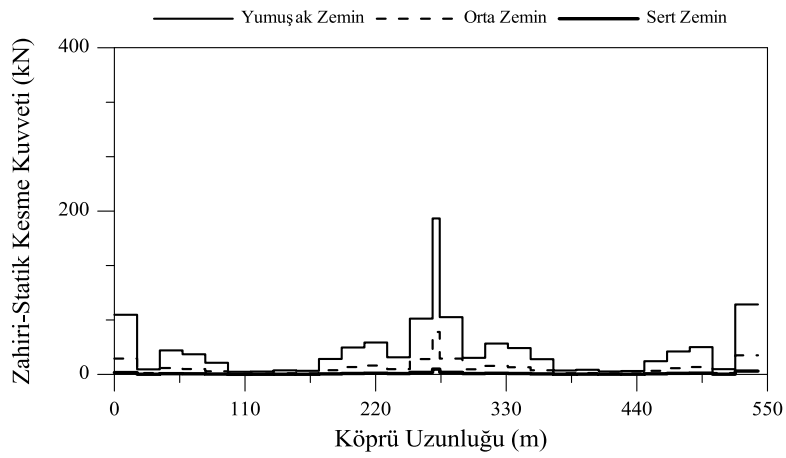
Şekil 4.4. Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin zahiri-statik normal kuvvetleri



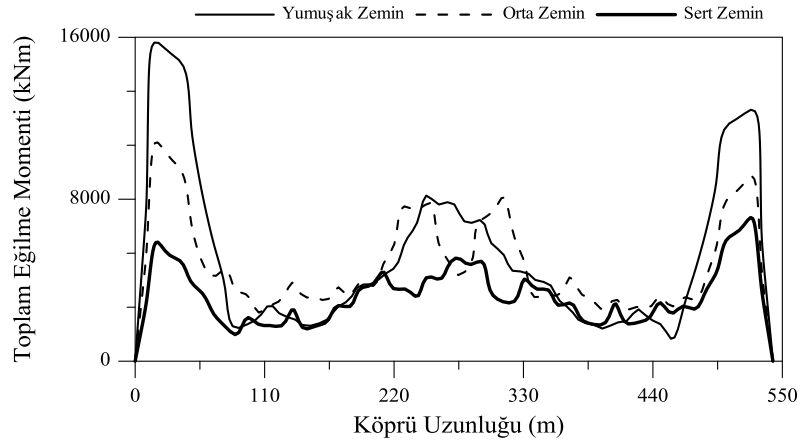
Şekil 4.5. Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin toplam kesme kuvvetleri



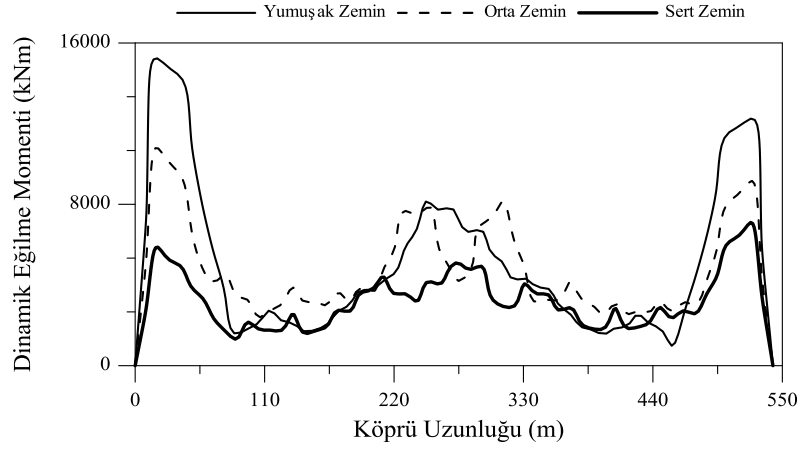
Şekil 4.6. Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin dinamik kesme kuvvetleri



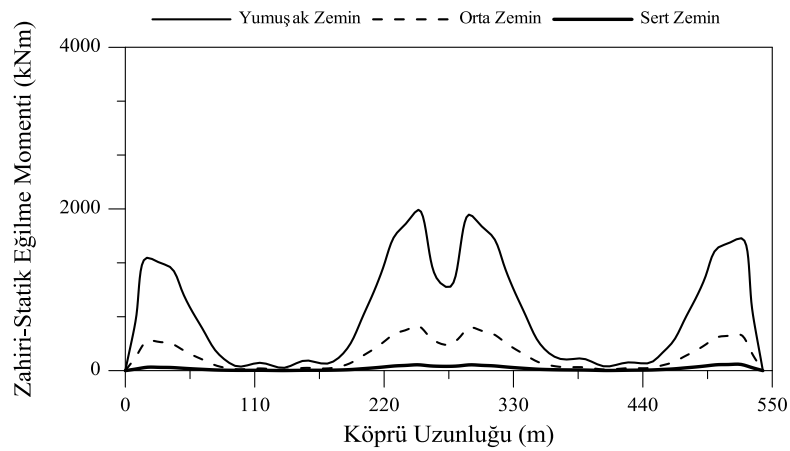
Şekil 4.7. Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri



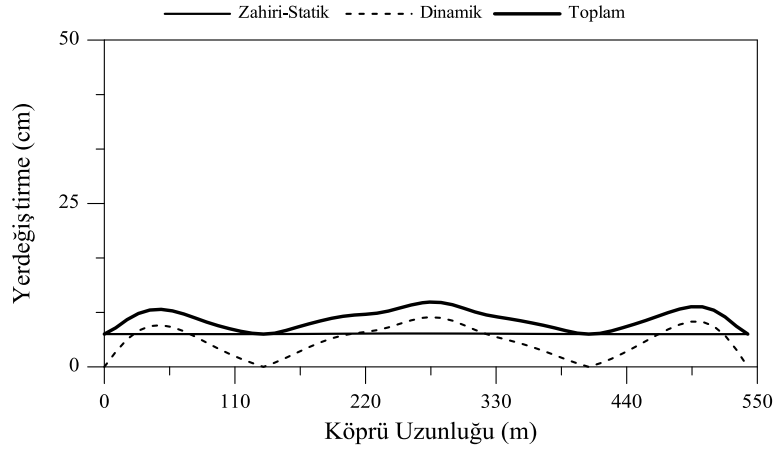
Şekil 4.8. Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin toplam eğilme momentleri



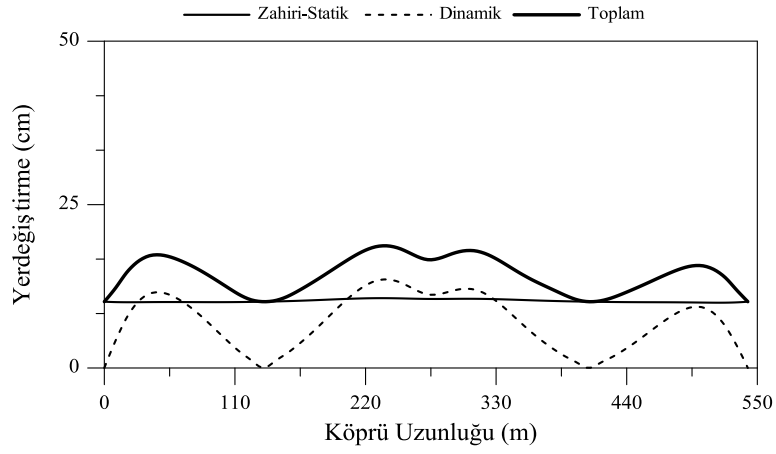
Şekil 4.9. Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin dinamik eğilme momentleri



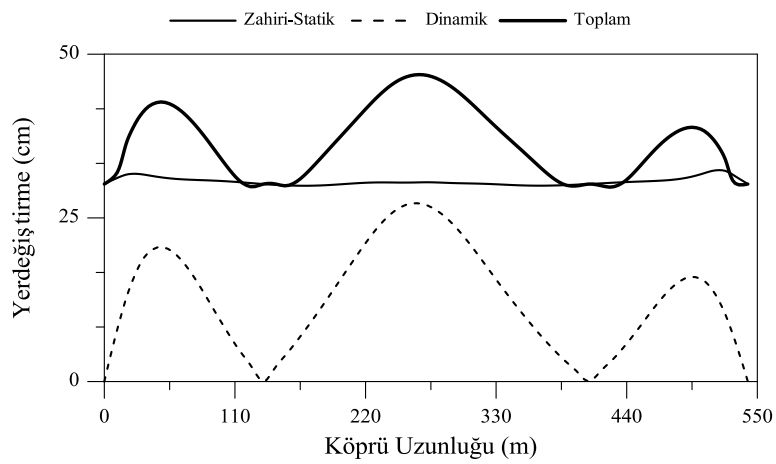
Şekil 4.10. Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri



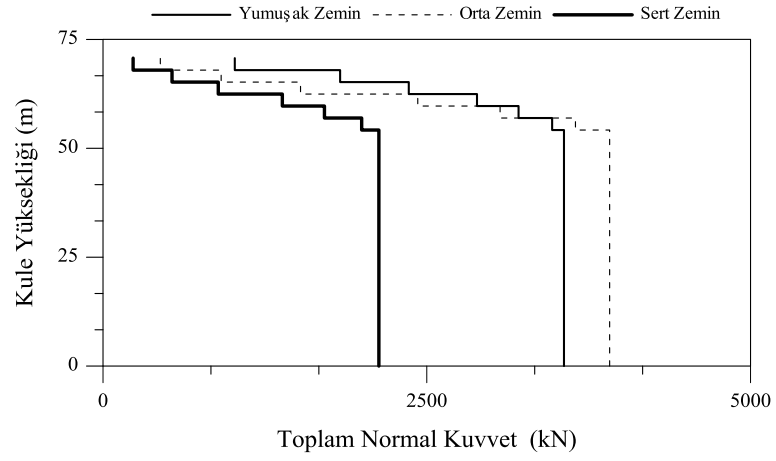
Şekil 4.11. Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin sert zemindeki yerdeğiştirmeleri



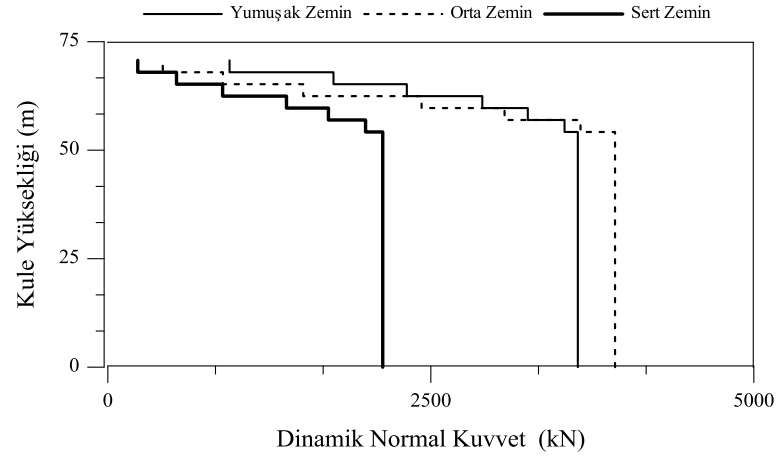
Şekil 4.12. Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin orta zemindeki yerdeğiştirmeleri



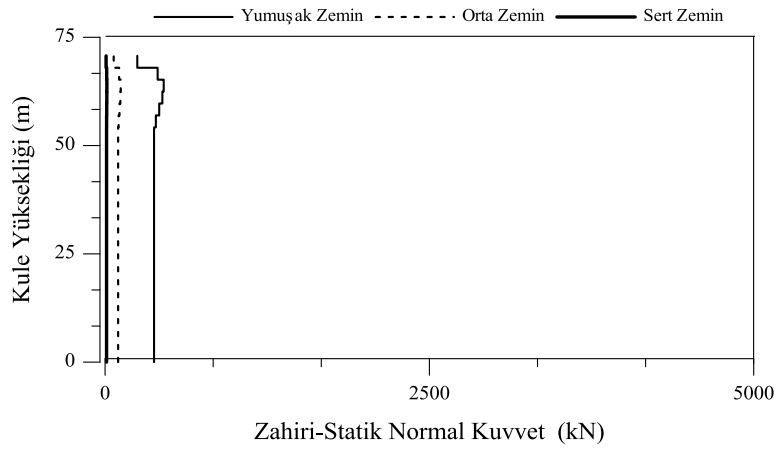
Şekil 4.13. Dalga yayılma etkisinde köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki yerdeğiştirmeleri



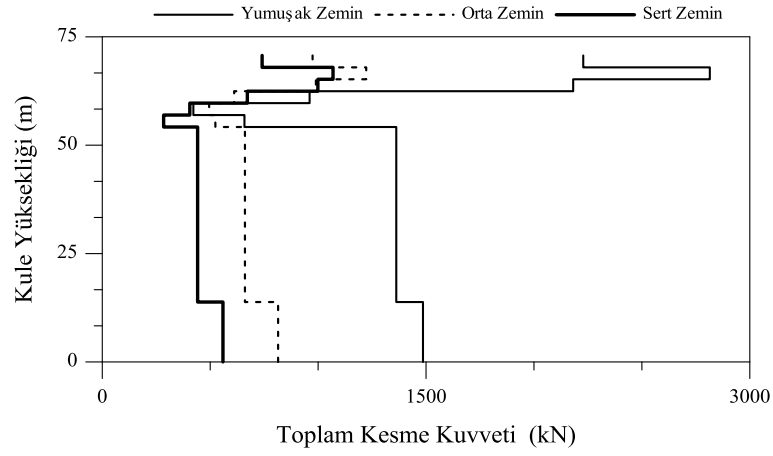
Şekil 4.14. Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin toplam normal kuvvetleri



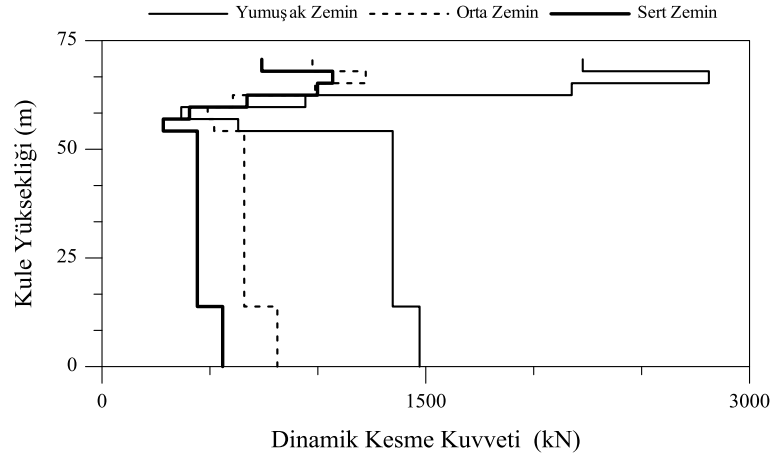
Şekil 4.15. Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin dinamik normal kuvvetleri



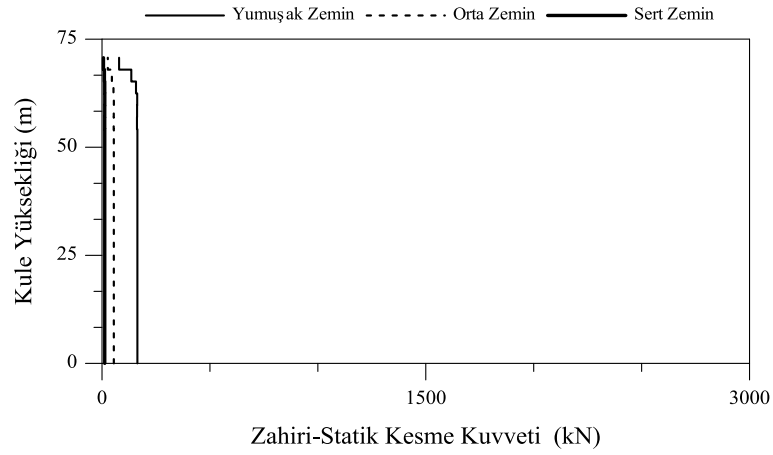
Şekil 4.16. Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin zahiri-statik normal kuvvetler



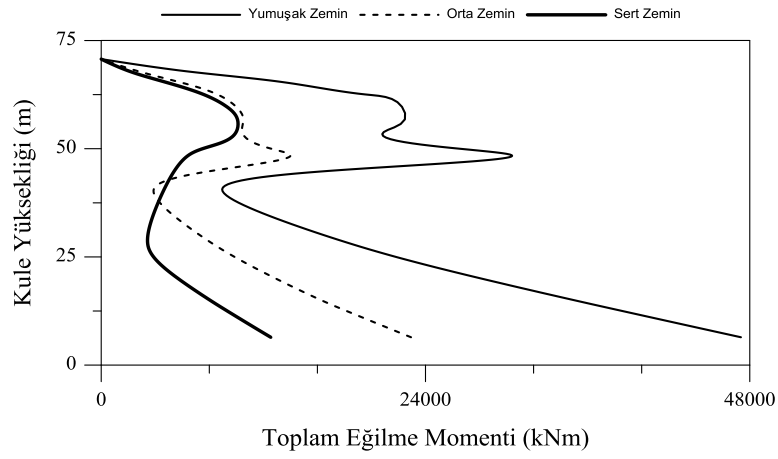
Şekil 4.17. Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin toplam kesme kuvvetleri



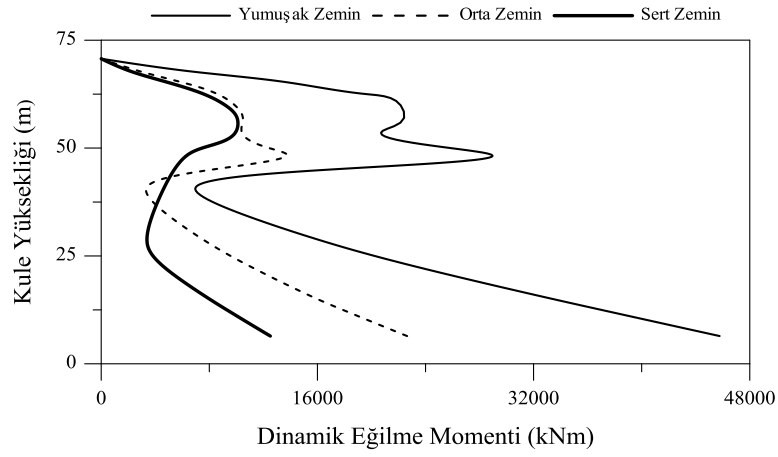
Şekil 4.18. Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin dinamik kesme kuvvetleri



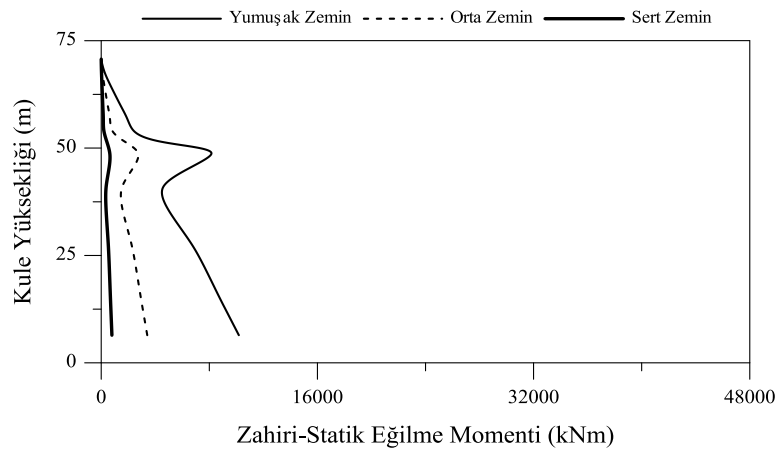
Şekil 4.19. Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri



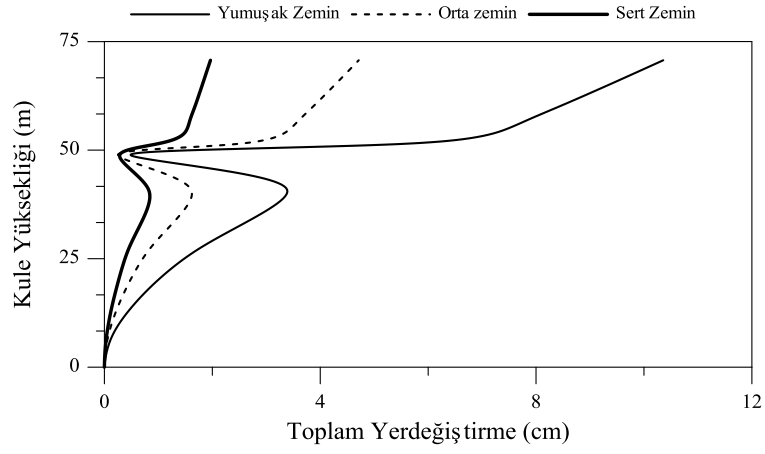
Şekil 4.20. Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin toplam eğilme momentleri



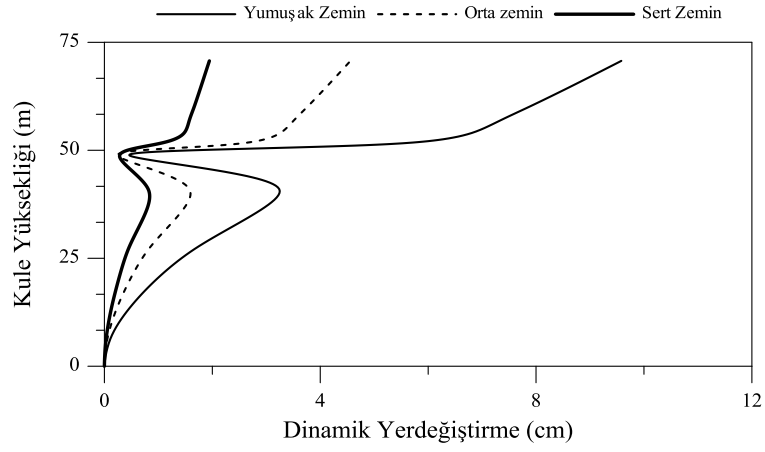
Şekil 4.21. Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin dinamik eğilme momentleri



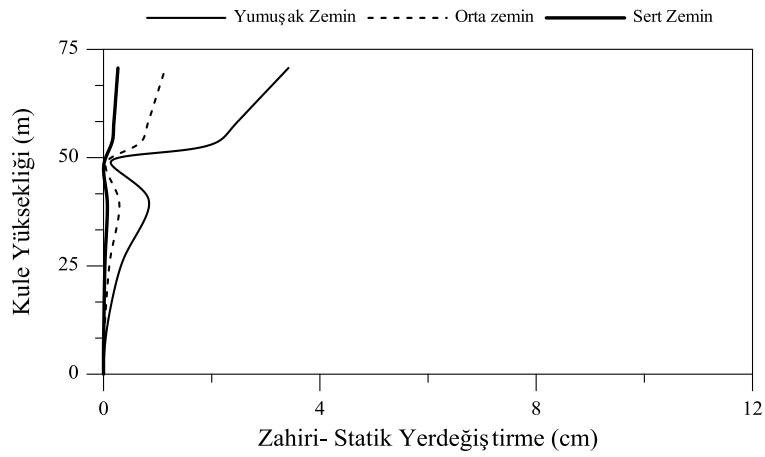
Şekil 4.22. Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin zahiri-statik eğilme momentleri



Şekil 4.23. Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin toplam yerdeğştirmeler



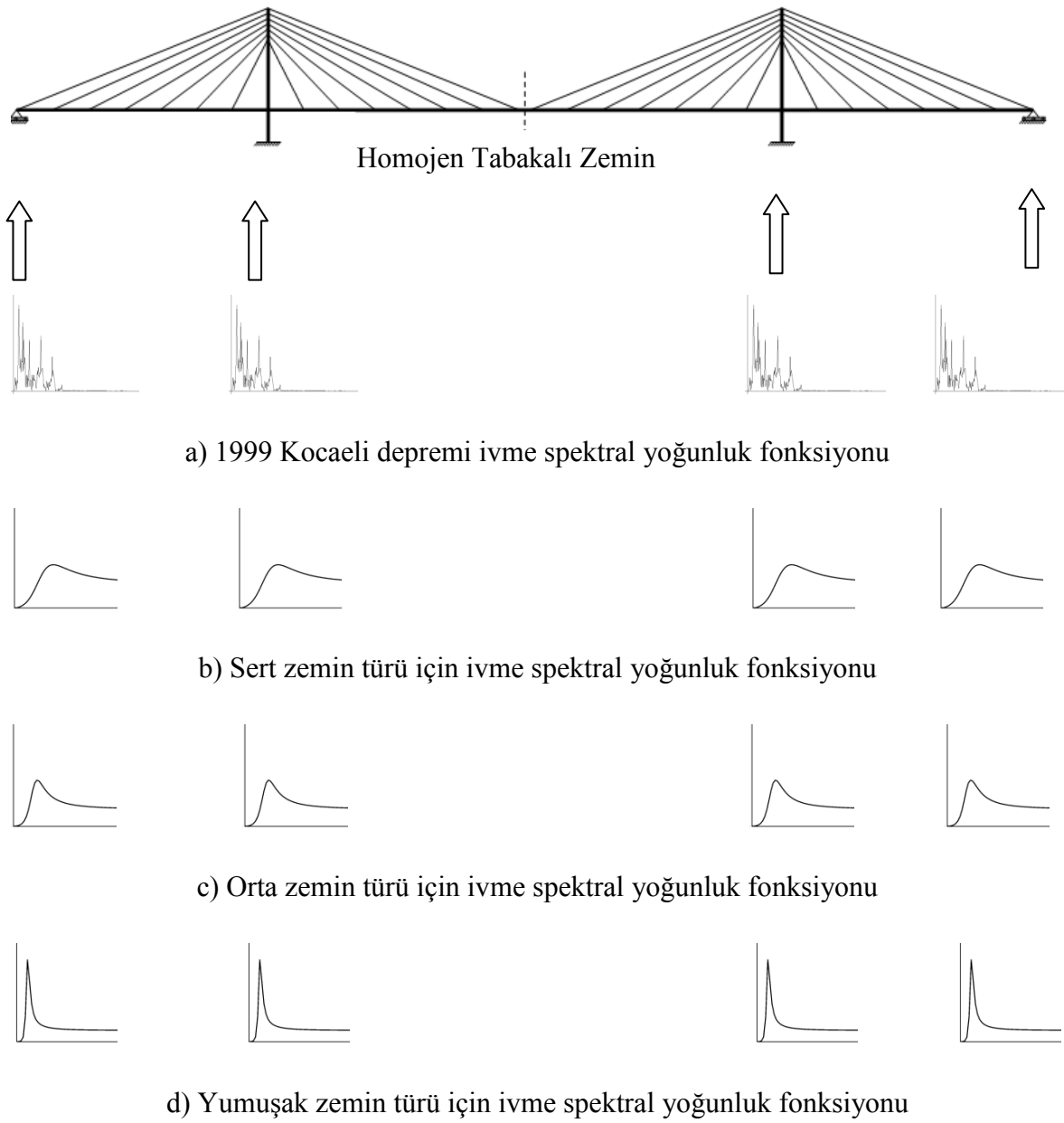
Şekil 4.24. Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin dinamik yerdeğştirmeler



Şekil 4.25. Dalga yayılma etkisinde köprü kulesinin zahiri-statik yerdeğştirmeler

4.1.2. Sadece Korelasyon Etkisinin Dikkate Alınması Durumunda Zemin Yapı-Etkileşimi Dikkate Alınmayan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının İncelenmesi

Kablolu köprünün mesnetlendiği zeminin homojen tabakalı zemin olduğu kabul edilerek; deprem dalgasının yayılma etkisi ve zemin etkileri ihmal edilerek sadece korelasyon etkisinin dikkate alınması durumunda kablolu köprünün stokastik analizleri yapılmıştır.



Şekil 4.26. Sadece korelasyon etkisine maruz köprünün modeli

Sadece korelasyon etkisi durumunda, deprem hareketinin sonsuz hızda yayıldığı kabul edilirken, mesnetlerdeki yer hareketleri arasında korelasyon kaybının olduğu düşünülmektedir. Daha açık olarak burada yer hareketinin yayılması esnasında sayısız yansıma ve kırılmalarla, farklı mesnet noktalarına geçişerek ulaşması durumu irdelenmektedir. Bu durumda; (3.9) denklemdeki korelasyon etkisinin $|\gamma_{lm}(\omega)|^k \neq 1$, zemin etkisinin $\gamma_{lm}(\omega)^z=1$ ve dalga yayılma etkisinin $\gamma_{lm}(\omega)^d=1$ olmasına karşılık gelmektedir.

Korelasyon etkisini dikkate almak için (3.10) bağıntısı ile ifade edilen Harichandran ve Vanmarcke (1986) korelasyon modeli kullanılmıştır. Yer hareketi olarak homojen tabakalı zeminlerde kaydedilen 1999 Kocaeli depreminin DZC270 bileşenini dikkate alınmaktadır. Şekil 4.26'da sadece korelasyon etkilerine maruz ve homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprünün analitik modeli görülmektedir.

Homojen tabakalı zemin durumları dikkate alınarak gerçekleştirilen stokastik analizler sonucunda köprü tabliyesindeki ve kulesindeki yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri Şekil 4.27-4.50'de görülmektedir. Bu grafikler, yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin zahiri-statik, dinamik ve toplam değerlerinden oluşmaktadır.

Şekil 4.27-29'da köprü tabliyesindeki zahiri-statik, dinamik ve toplam normal kuvvet değişimi incelendiğinde mesnet noktalarında ve ana açıklığın ortasında normal kuvvetlerin daha az olduğu kuleye yakın bölgede ise daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda ise oluşan normal kuvvet değerlerinin diğer homojen tabakalı zeminlere göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Şekil 4.30-4.32'de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki kesme kuvveti değişimi görülmektedir. Toplam kesme kuvveti ve dinamik kesme kuvvetinin mesnetlerde daha fazla, zahiri-statik kesme kuvvetinin ise açıklık ortasında daha fazla olduğu gözlenmektedir. Ayrıca, dinamik kesme kuvveti ve toplam kesme kuvveti değişiminin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

Şekil 4.33-4.35'de homojen tabakalara mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki eğilme momenti değişimi görülmektedir. Mesnet bölgesine yakın noktalarda homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda eğilme momenti değişiminin homojen tabakalı orta zemin ve homojen tabakalı sert zemine göre daha fazla olduğu, kuleye yakın bölgede ise homojen tabakalı zeminlerde eğilme momenti değişiminin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Tabliyedeki eğilme momenti değerlerinin mesnete yakın noktalarda

maksimum olduğu görülmektedir. Ayrıca homojen tabakalı sert zemin durumunda zahiri-statik eğilme momenti değerlerinin ihmal edilecek kadar küçük olduğu görülmektedir.

Şekil 4.36-4.38’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki yerdeğiştirmeler görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda tabliyede görülen yerdeğiştirmeler homojen tabakalı orta zemin ve homojen tabakalı sert zemin durumunda oluşan yerdeğiştirmelere göre oldukça fazla olduğu görülmektedir. Yerdeğiştirmeler mesnetlerde ve kule tabliye birleşim yerlerinde azalırken açıklık ortasında ve kenar açıklıkların ortasında artığı gözlemlenmiştir. Ayrıca zahiri-statik yerdeğiştirmelerin tabliye uzunluğu boyunca çok değişmediği görülmektedir.

Şekil 4.39-4.50’ de kablolu köprü kulesindeki eleman kuvvetleri ve maksimum yerdeğiştirmeler görülmektedir. Bu grafikler, homojen tabakalı yumuşak zemin, orta zemin ve sert zemindeki yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin toplam, dinamik ve zahiri-statik bileşenlerinden oluşmaktadır.

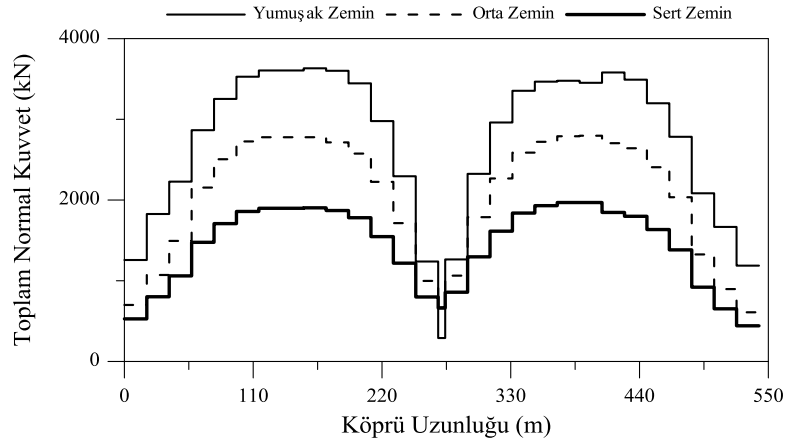
Şekil 4.39-4.41’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki normal kuvvet değişimi görülmektedir. Zahiri-statik normal kuvvet değişiminin dinamik normal kuvvet toplam normal kuvvet değişimine göre oldukça az olduğu görülmektedir. Dinamik normal kuvvet ve toplam normal kuvvet değişiminin birbirine oldukça yakın olduğu ve normal kuvvetin kule tabliye birleşim bölgesinde maksimum olduğu, kulenin en üst noktasına doğru ise giderek azaldığı Şekil 4.39-4.41’den görülmektedir.

Şekil 4.42-4.44’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki kesme kuvveti değişimi görülmektedir. Kesme kuvveti değerlerinin kulenin en üst noktasına yakın bölgede maksimum olduğu ve homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda kesme kuvveti değerlerinin diğer homojen tabakalı zemin durumlarına göre daha fazla olduğu görülmektedir.

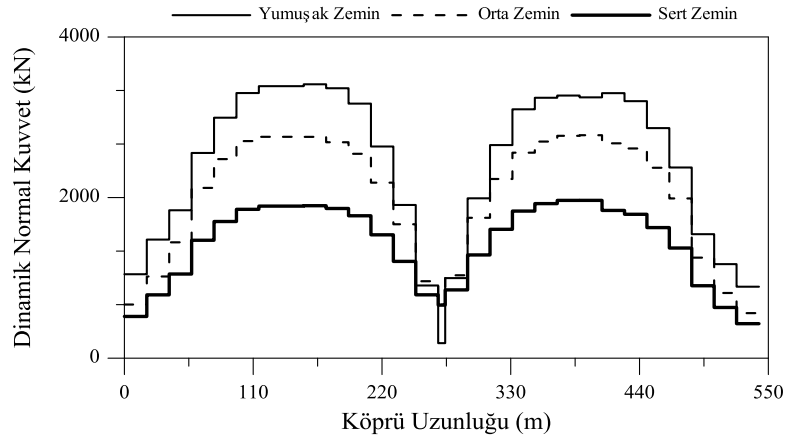
Şekil 4.45-4.47’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki eğilme momenti değişimi görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan eğilme momentleri homojen tabakalı orta zemin ve homojen tabakalı sert zemine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Oluşan eğilme momentleri kulenin en üst noktasında sıfır olurken tabliyeye yakın bölgede maksimum olduğu gözlenmektedir.

Şekil 4.48-4.50’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki yerdeğiştirmeler görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan yerdeğiştirmeler diğer homojen tabakalı zeminlere göre daha fazla olduğu

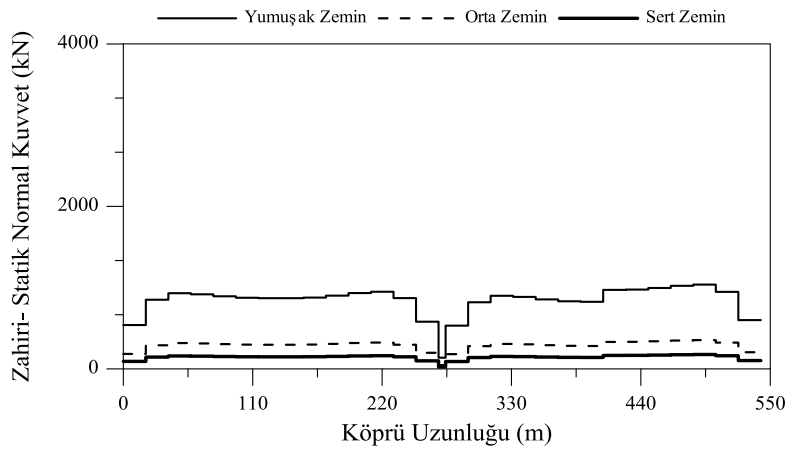
görülmektedir. Oluşan yerdeğişirmeler kule tabliye birleşim bölgesinde sıfırken kulenin en üst noktasında yerdeğişirmelerin maksimum olduğu gözlenmektedir.



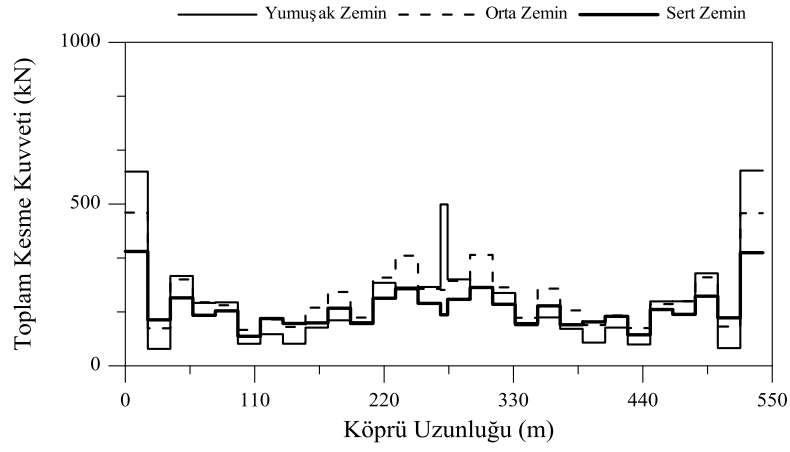
Şekil 4.27. Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin toplam normal kuvvetleri



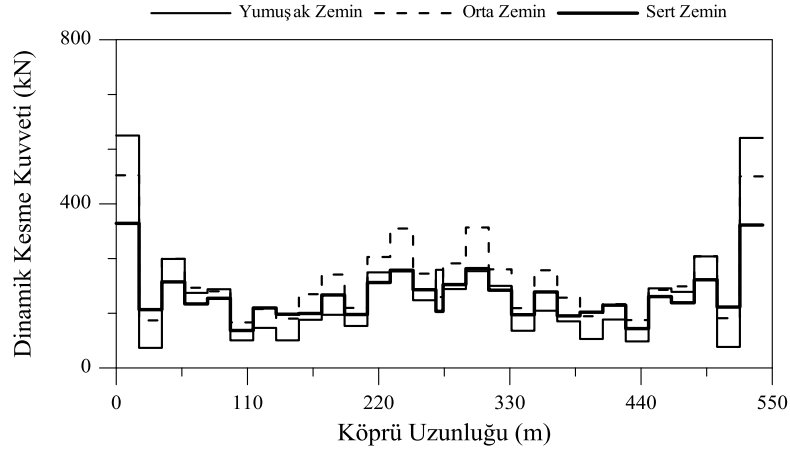
Şekil 4.28. Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin dinamik normal kuvvetleri



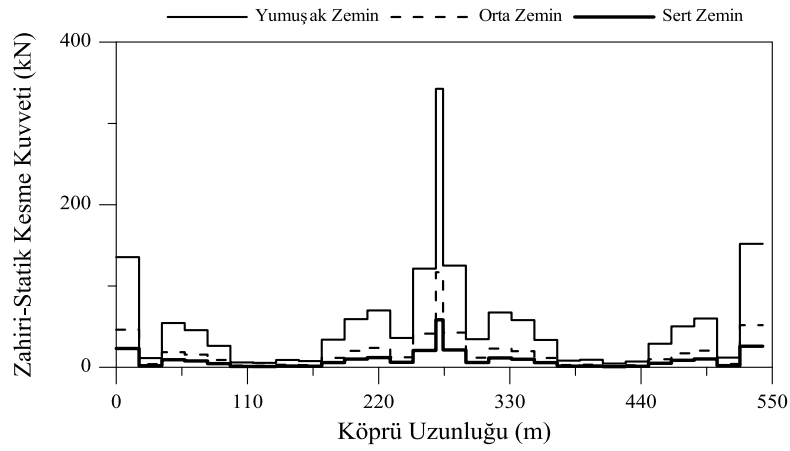
Şekil 4.29. Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin zahiri-statik normal kuvvetleri



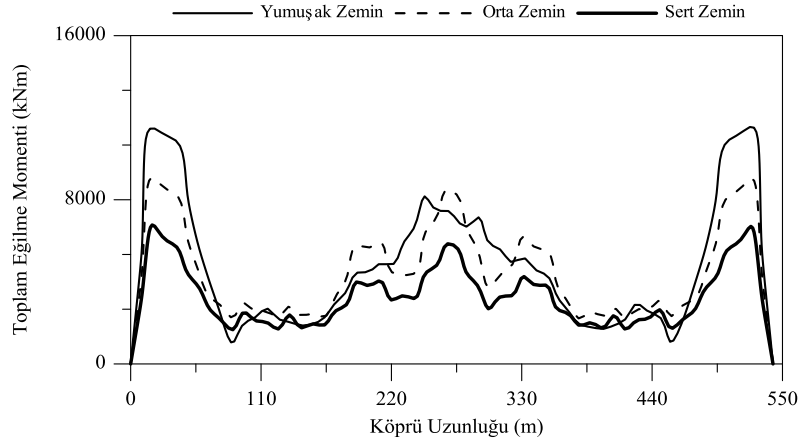
Şekil 4.30. Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin toplam kesme kuvvetleri



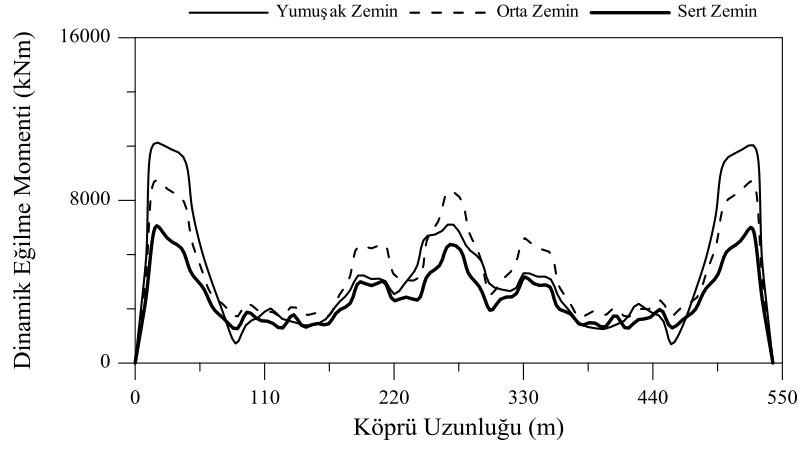
Şekil 4.31. Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin dinamik kesme kuvvetleri



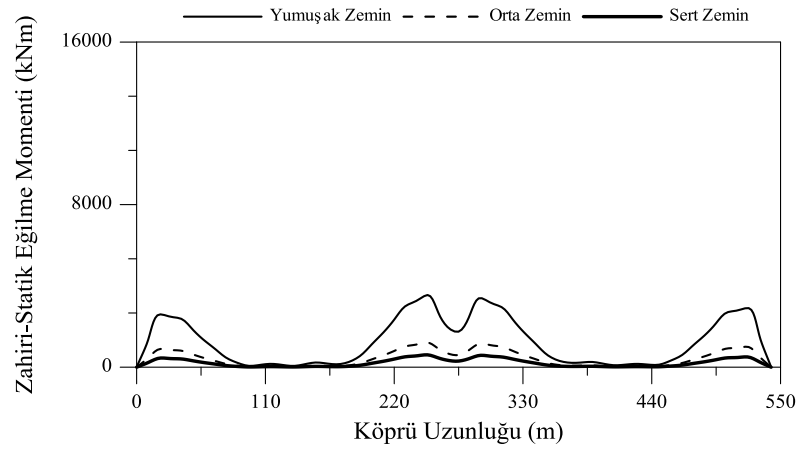
Şekil 4.32. Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri



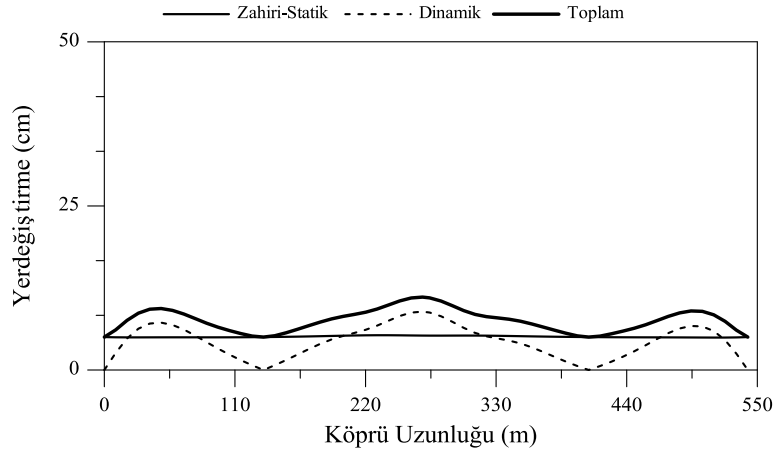
Şekil 4.33. Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin toplam eğilme momentleri



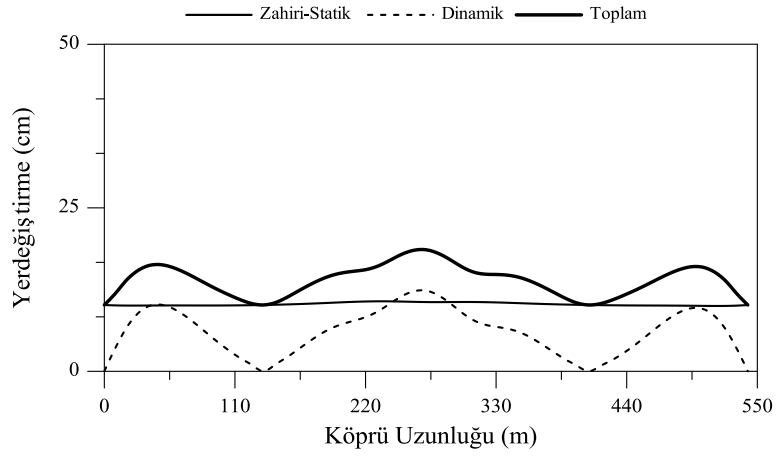
Şekil 4.34. Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin dinamik eğilme momentleri



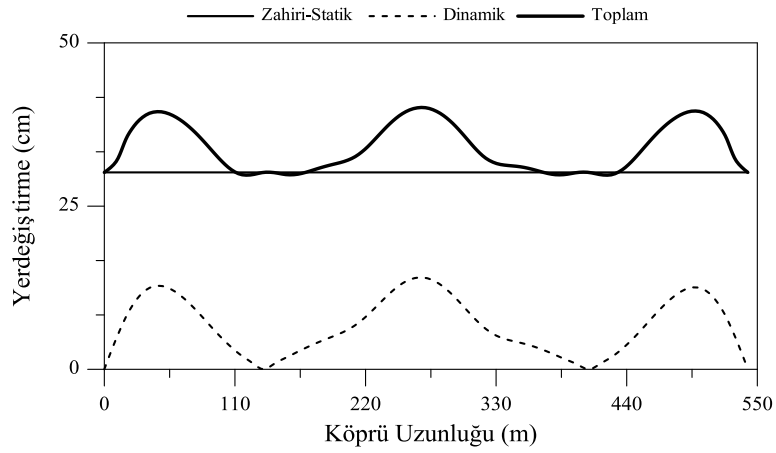
Şekil 4.35. Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin zahiri statik eğilme momentleri



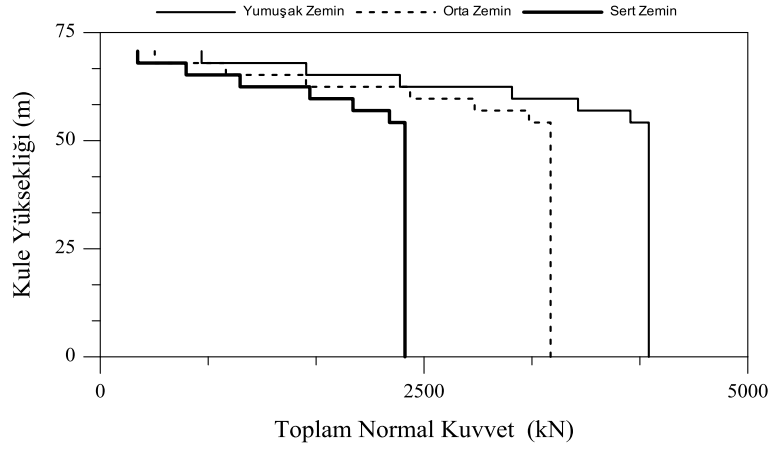
Şekil 4.36. Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin sert zemindeki yerdeğiştirmeleri



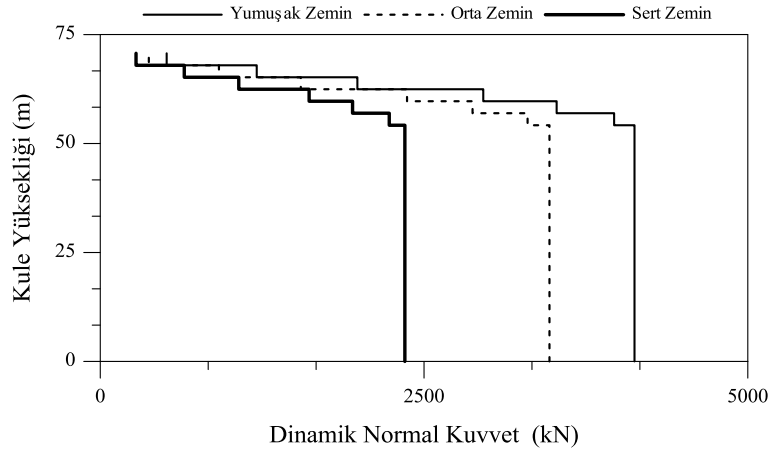
Şekil 4.37. Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin orta zemindeki yerdeğiştirmeleri



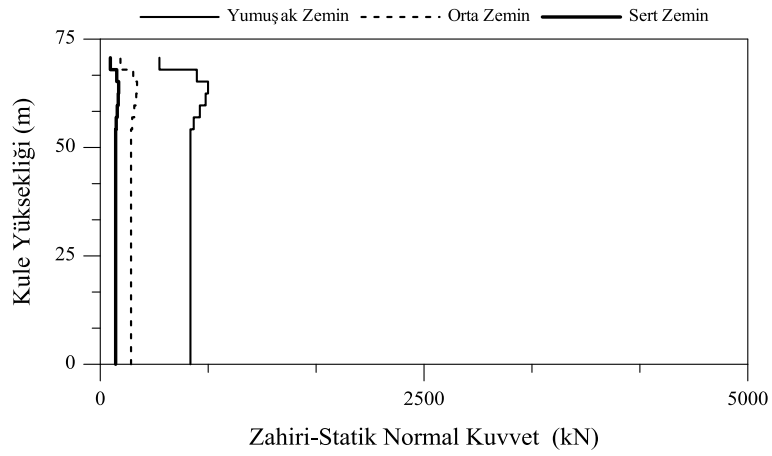
Şekil 4.38. Korelasyon etkisinde köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki yerdeğiştirmeleri



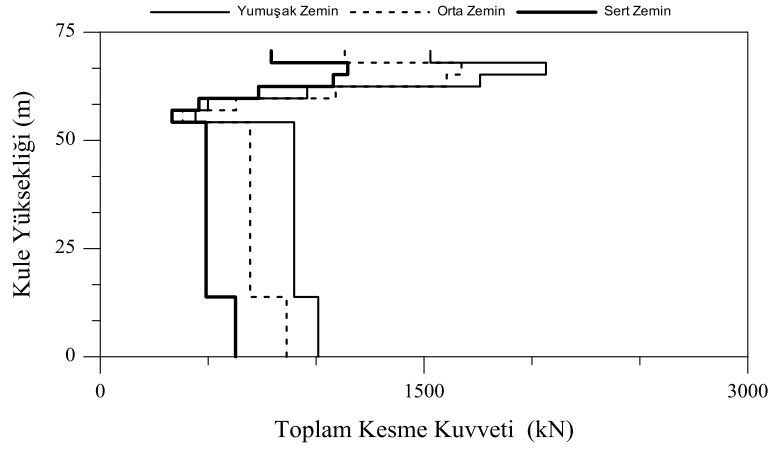
Şekil 4.39. Korelasyon etkisinde köprü kulesinin toplam normal kuvvetler



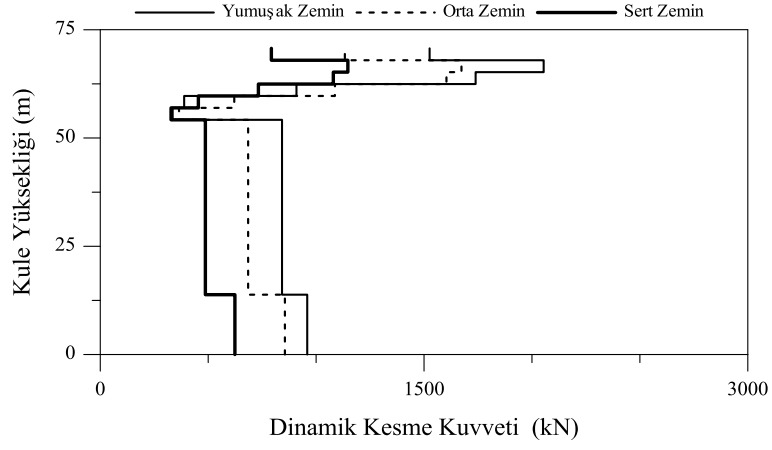
Şekil 4.40. Korelasyon etkisinde köprü kulesinin dinamik normal kuvvetler



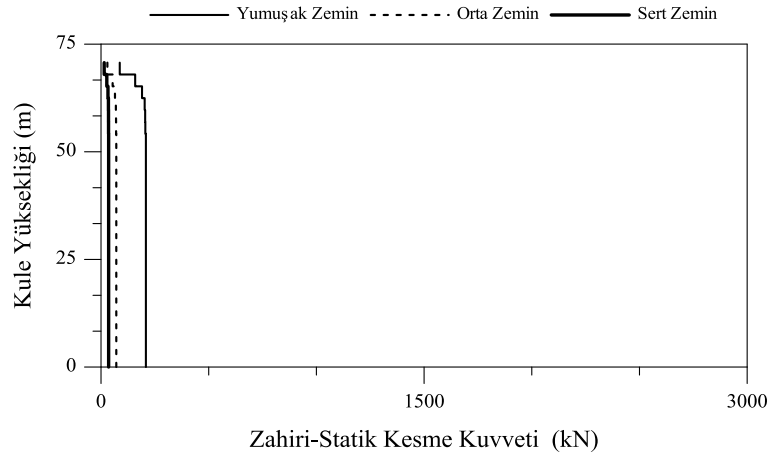
Şekil 4.41. Korelasyon etkisinde köprü kulesinin zahiri-statik normal kuvvetler



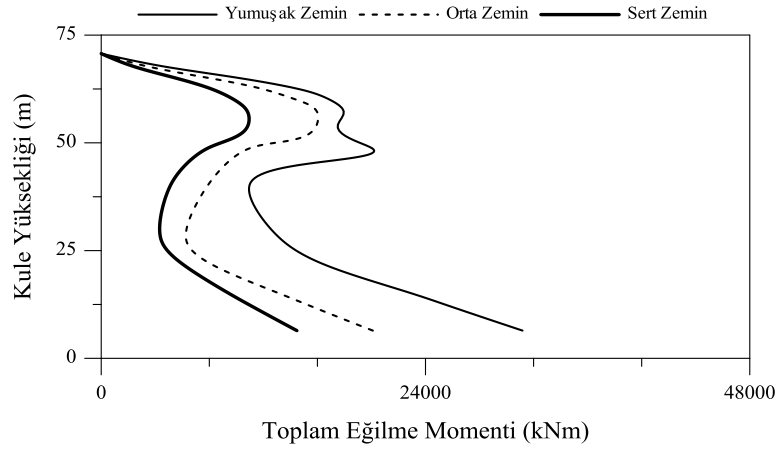
Şekil 4.42. Korelasyon etkisinde köprü kulesinin toplam kesme kuvvetleri



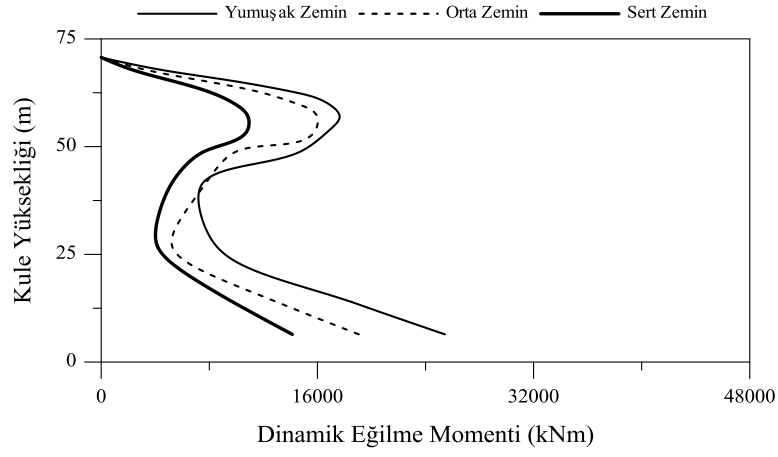
Şekil 4.43. Korelasyon etkisinde köprü kulesinin dinamik kesme kuvvetleri



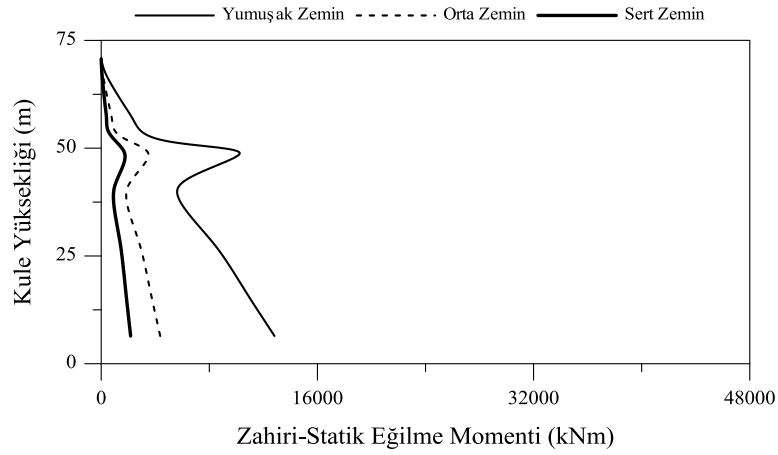
Şekil 4.44. Korelasyon etkisinde köprü kulesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri



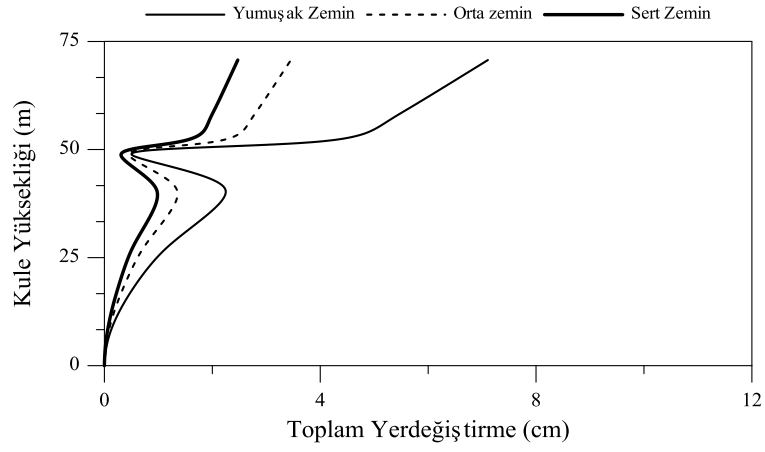
Şekil 4.45. Korelasyon etkisinde köprü kulesinin toplam eğilme momentleri



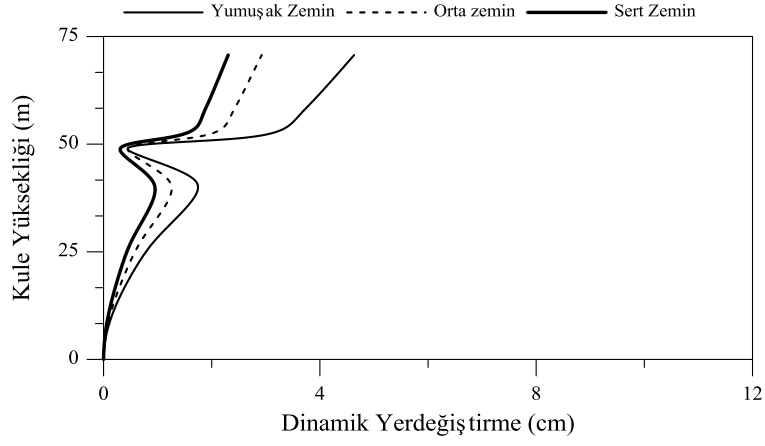
Şekil 4.46. Korelasyon etkisinde köprü kulesinin dinamik eğilme momentleri



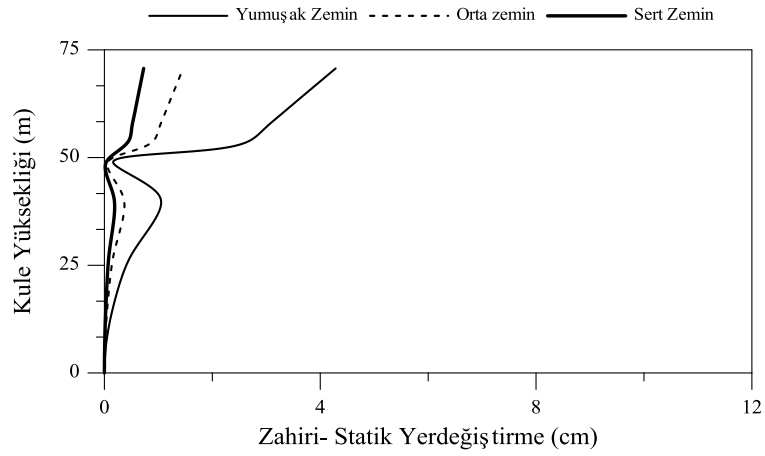
Şekil 4.47. Korelasyon etkisinde köprü kulesinin zahiri-statik eğilme momentleri



Şekil 4.48. Korelasyon etkisinde köprü kulesinin toplam yerdeğştirmeleri



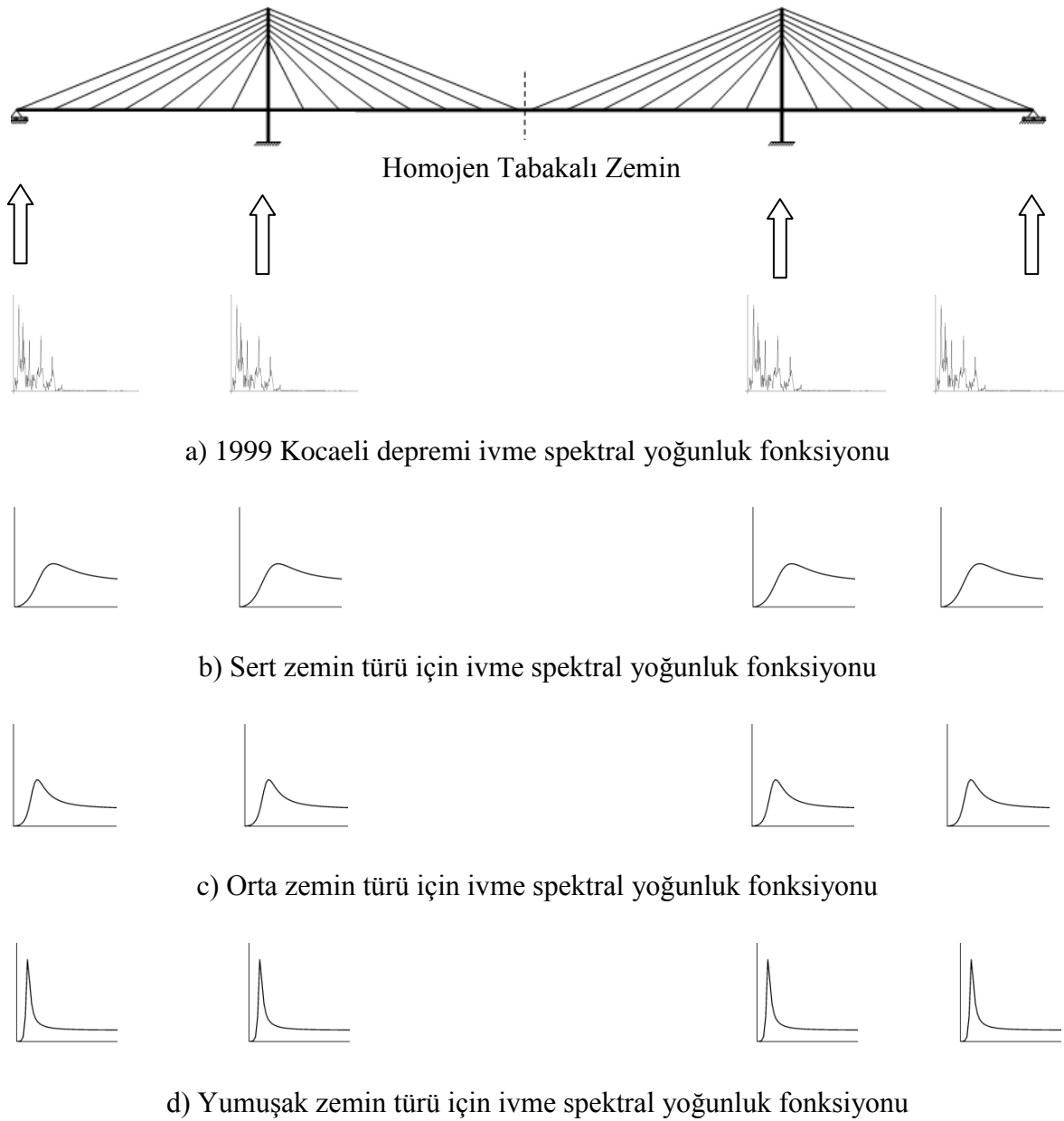
Şekil 4.49. Korelasyon etkisinde köprü kulesinin dinamik yerdeğştirmeleri



Şekil 4.50. Korelasyon etkisinde köprü kulesinin zahiri-statik yerdeğştirmeleri

4.1.3. Sadece Üniform Yer Hareketi Etkisinin Dikkate alınması Durumunda Zemin Yapı-Etkileşimi Dikkate alınmayan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının İncelenmesi

Kablolu köprünün mesnetlendiği zeminin homojen tabakalı zemin olduğu kabul edilerek; üniform yer hareketi durumunda kablolu köprünün stokastik analizleri yapılmıştır.



Şekil 4.51. Sadece üniform yer hareketi etkisine maruz köprünün modeli

Bu durumda köprü sisteminin mesnet noktaları aynı yer hareketine maruz kalırken, yer hareketinin sonsuz hızda yayıldığı kabul edilmektedir. Söz konusu durumda, $|\gamma_{Im}(\omega)|^k \gamma_{Im}(\omega)^d = 1$ eşitliği yazılabilmektedir. Şekil 4.51’de sadece üniform yer hareketi etkilerine maruz ve homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprünün analitik modeli görülmektedir.

Çeşitli homojen tabakalı zemin durumları dikkate alınarak gerçekleştirilen stokastik analizler sonucunda köprü tabliyesindeki ve kulesindeki yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri Şekil 4.52-4.75’de görülmektedir. Bu grafikler, yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin zahiri-statik, dinamik ve toplam değerlerinden oluşmaktadır.

Şekil 4.52-4.54’de köprü tabliyesindeki, dinamik ve toplam normal kuvvet değişimi incelendiğinde mesnet noktalarında ve ana açıklığın ortasında normal kuvvetlerin daha az olduğu kuleye yakın bölgede ise daha fazla olduğu ve bu değerlerin aynı olduğu gözlemlenmiştir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda ise oluşan normal kuvvet değerlerinin diğer homojen tabakalı zeminlere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca üniform yer hareketi durumunda zahiri-statik normal kuvvet değerleri ise sıfır olduğu gözlemlenmektedir.

Şekil 4.55-4.57’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki kesme kuvveti değişimi görülmektedir. Toplam kesme kuvveti ve dinamik kesme kuvvetinin mesnetlerde daha fazla olduğu ve zahiri statik kesme kuvvetinin oluşmadığı gözlenmektedir. Ayrıca, dinamik kesme kuvveti ve toplam kesme kuvveti değişiminin aynı olduğu görülmektedir.

Şekil 4.58-4.60’da homojen tabakalara mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki eğilme momenti değişimi görülmektedir. Mesnet bölgesine yakın noktalarda homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda eğilme momenti değişiminin homojen tabakalı orta zemin ve homojen tabakalı sert zemine göre daha fazla olduğu, kuleye yakın bölgede ise homojen tabakalı zeminlerde eğilme momenti değişiminin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Tabliyedeki eğilme momenti değerlerinin mesnete yakın noktalarda maksimum olduğu, ayrıca üniform hareketi durumunda zahiri-statik eğilme momentinin oluşmadığı görülmektedir.

Şekil 4.61-4.63’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki yerdeğiştirmeler görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda tabliyede görülen yerdeğiştirmeler homojen tabakalı orta zemin ve homojen

tabakalı sert zemin durumunda oluşan yerdeğiştirmelere göre oldukça fazla olduğu grlmektedir. Yerdeğiştirmeler mesnetlerde ve kule tabliye birleşim yerlerinde azalırken açıklık ortasında ve kenar açıklıkların ortasında artığı gözlemlenmiştir. Ayrıca zahiri-statik yerdeğiştirmelerin tabliye uzunluğu boyunca çok değişmediği grlmektedir.

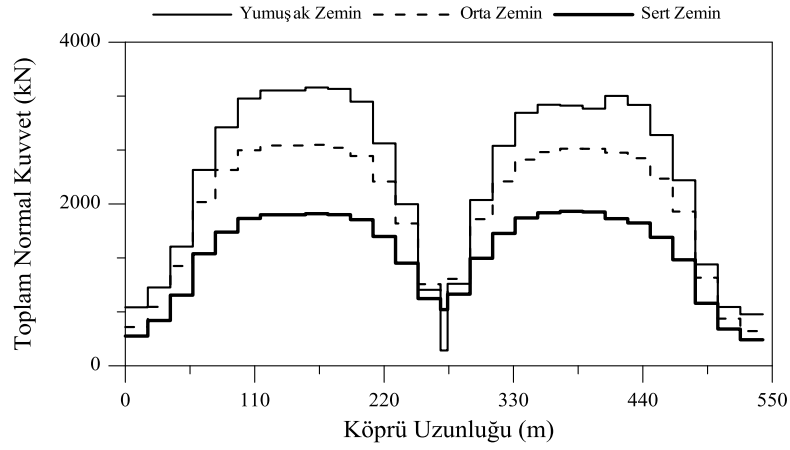
şekil 4.64-4.75’ de kablolu köprü kulesindeki eleman kuvvetleri ve maksimum yerdeğiştirmeler grlmektedir. Bu grafikler, homojen tabakalı yumuşak zemin, orta zemin ve sert zemindeki yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin toplam, dinamik ve zahiri-statik bileşenlerinden oluşmaktadır.

şekil 4.64-4.66’da homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki normal kuvvet değişimi grlmektedir. Zahiri-statik normal kuvvet değişiminin dinamik normal kuvvet toplam normal kuvvet değişimine göre oldukça az olduğu ve zahiri-statik normal kuvvetin sıfır olduğu gözlemlenmektedir. Dinamik normal kuvvet ve toplam normal kuvvet değişiminin aynı olduğu ve normal kuvvetin kule tabliye birleşim bölgesinde maksimum olduğu, kulenin en üst noktasına doğru ise giderek azaldığı grlmektedir.

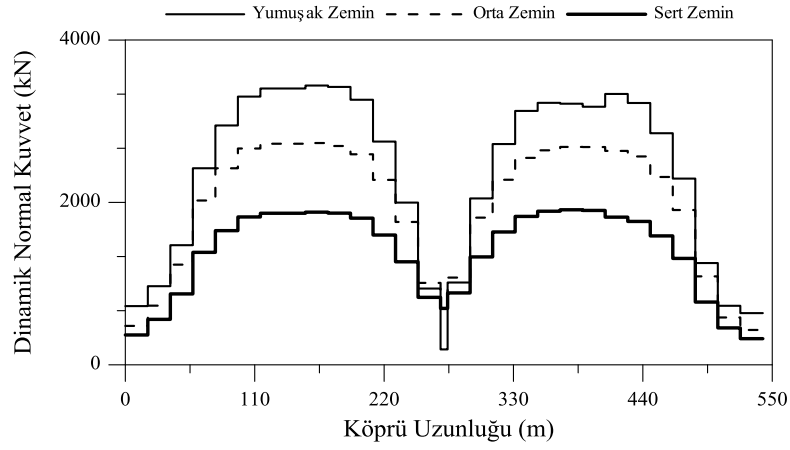
şekil 4.67-4.69’da homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki kesme kuvveti değişimi grlmektedir. Kesme kuvveti değerlerinin kulenin en üst noktasına yakın bölgede maksimum olduğu ve homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda kesme kuvveti değerlerinin diğer homojen tabakalı zemin durumlarına göre daha fazla olduğu ve zahiri-statik kesme kuvvetinin sıfır olduğu grlmektedir.

şekil 4.70-4.72’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki eğilme momenti değişimi grlmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan eğilme momentleri homojen tabakalı orta zemin ve homojen tabakalı sert zemine göre daha fazla olduğu ve zahiri-statik eğilme momentinin sıfır olduğu grlmektedir. Oluşan eğilme momentleri kulenin en üst noktasında sıfır olurken tabliyeye yakın bölgede maksimum olduğu gözlenmektedir.

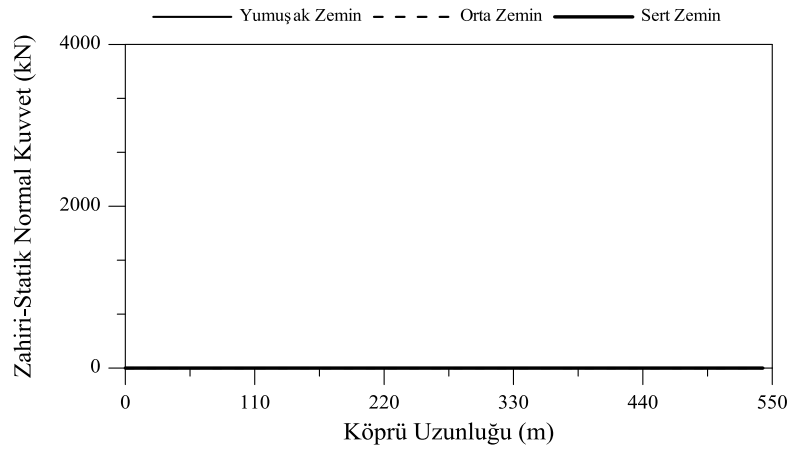
şekil 4.73-4.75’de homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan yerdeğiştirmelerin daha fazla olduğu grlmektedir.



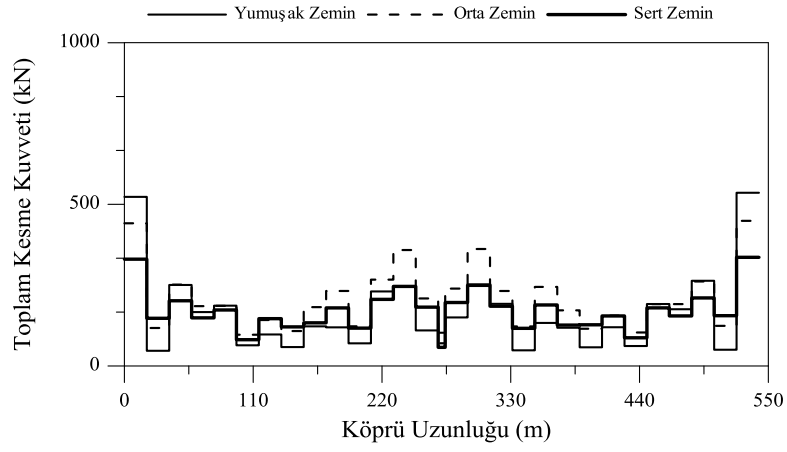
Şekil 4.52. Üniorm yer hareketinde köprü tabliyesinin toplam normal kuvvetleri



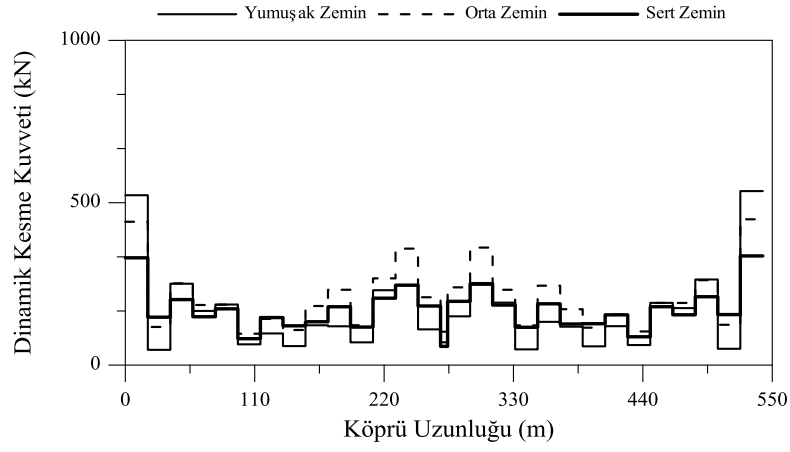
Şekil 4.53. Üniorm yer hareketinde köprü tabliyesinin dinamik normal kuvvetleri



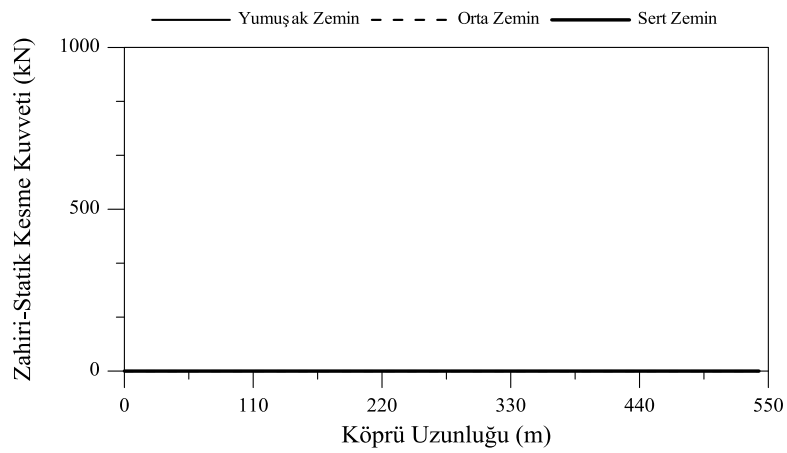
Şekil 4.54. Üniorm yer hareketinde köprü tabliyesinin zahiri-statik normal kuvvetleri



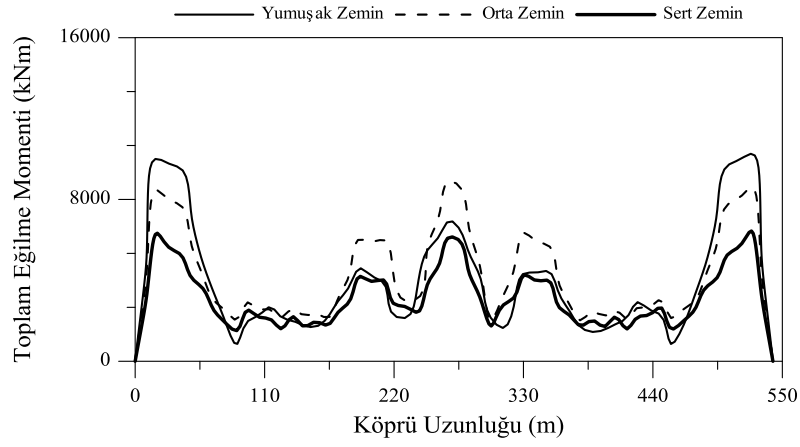
Şekil 4.55. Üniorm yer hareketinde köprü tabliyesinin toplam kesme kuvvetleri



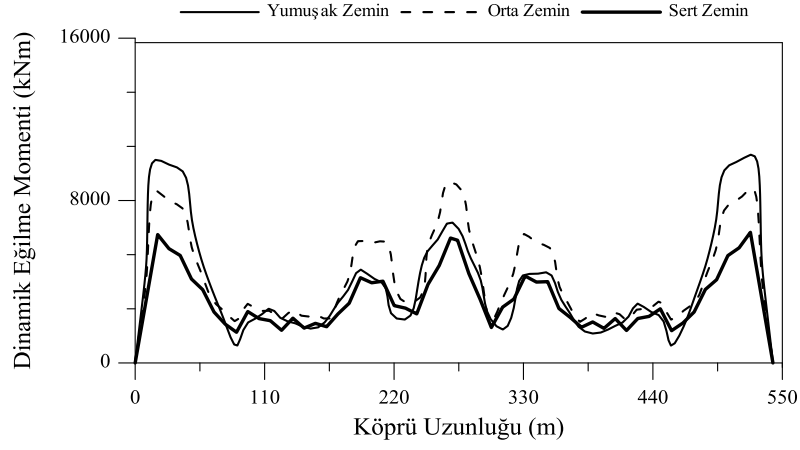
Şekil 4.56. Üniorm yer hareketinde köprü tabliyesinin dinamik kesme kuvvetleri



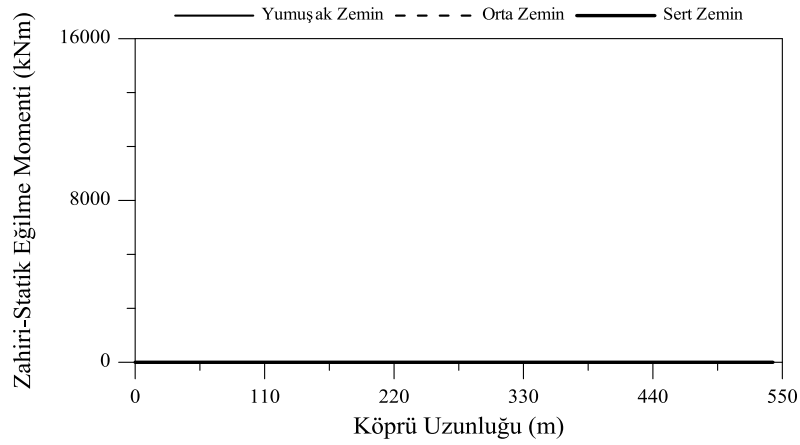
Şekil 4.57. Üniorm yer hareketinde köprü tabliyesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri



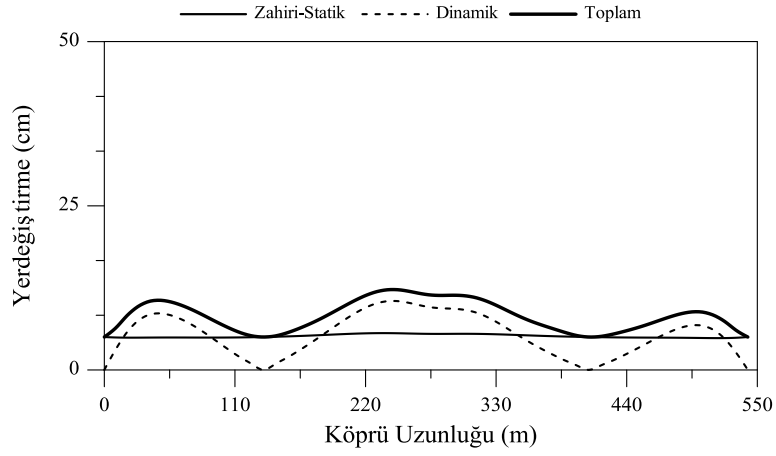
Şekil 4.58. Üniorm yer hareketinde köprü tabliyesinin toplam eğilme momentleri



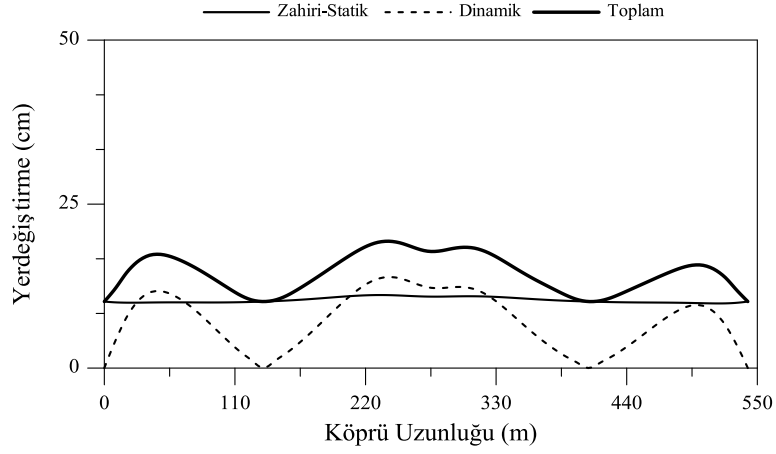
Şekil 4.59. Üniorm yer hareketinde köprü tabliyesinin dinamik eğilme momentleri



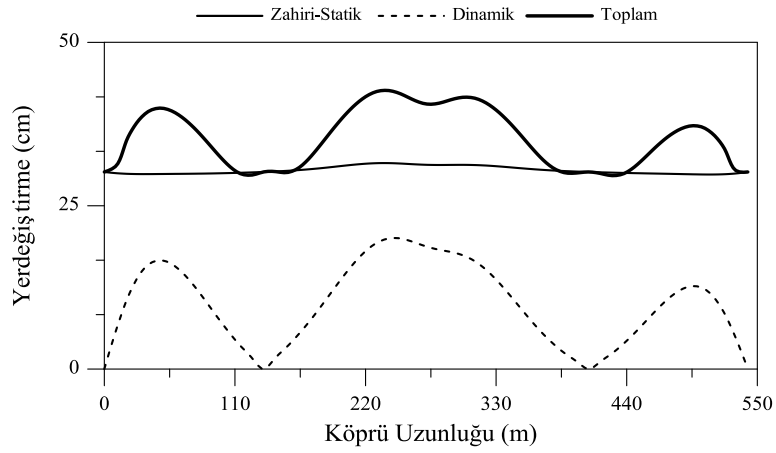
Şekil 4.60. Üniorm yer hareketinde köprü tabliyesinin zahiri-statik eğilme momentleri



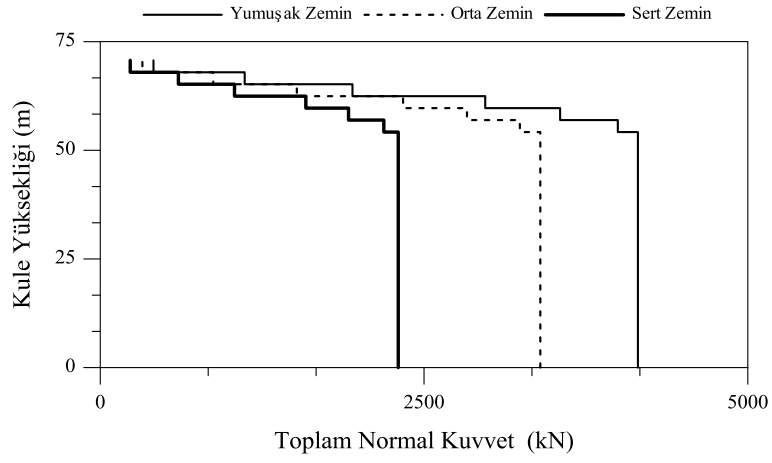
Şekil 4.61. Üniorm yer hareketinde köprü tabliyesinin sert zemindeki yerdeğiştirmeleri



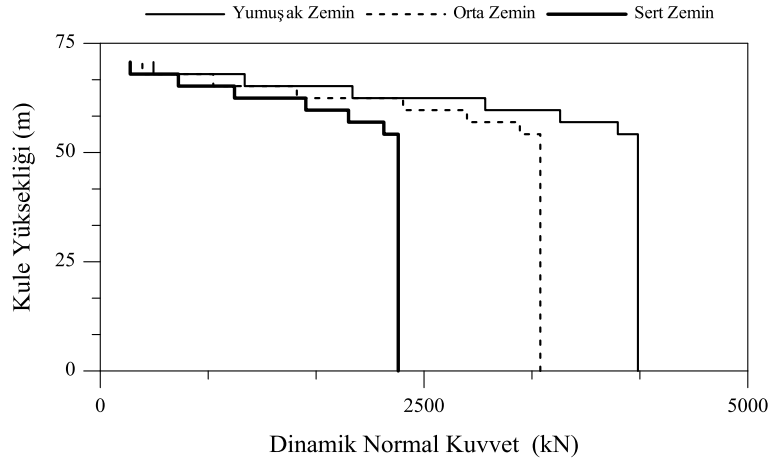
Şekil 4.62. Üniorm yer hareketinde köprü tabliyesinin orta zemindeki yerdeğiştirmeleri



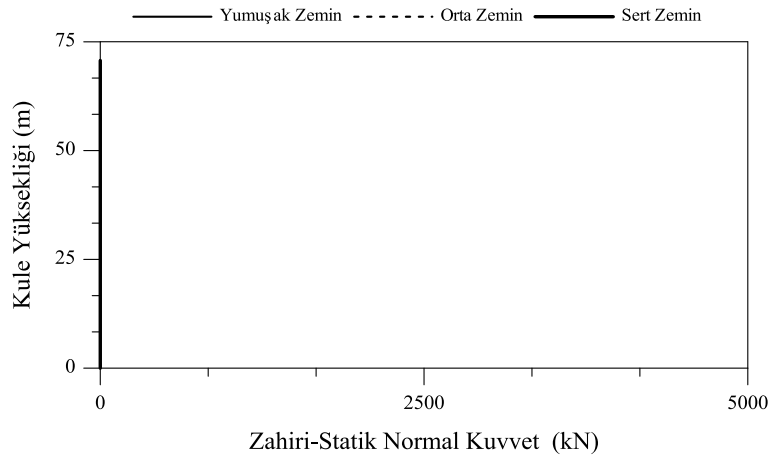
Şekil 4.63. Üniorm yer hareketinde köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki yerdeğiştirmeleri



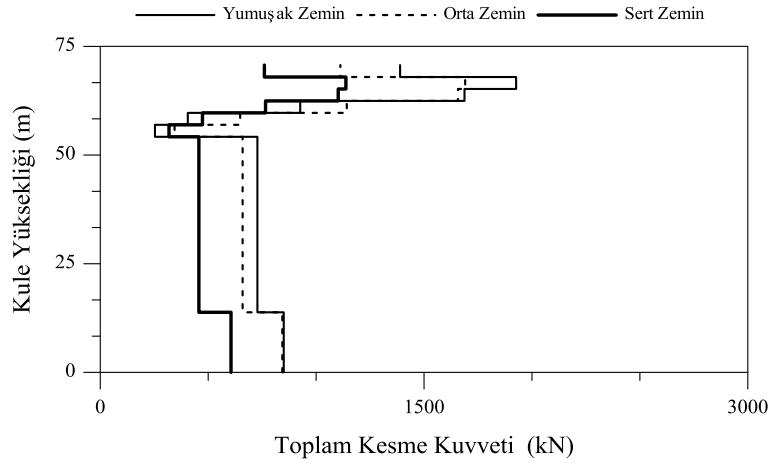
Şekil 4.64. Üniform yer hareketinde köprü kulesinin toplam normal kuvvetler



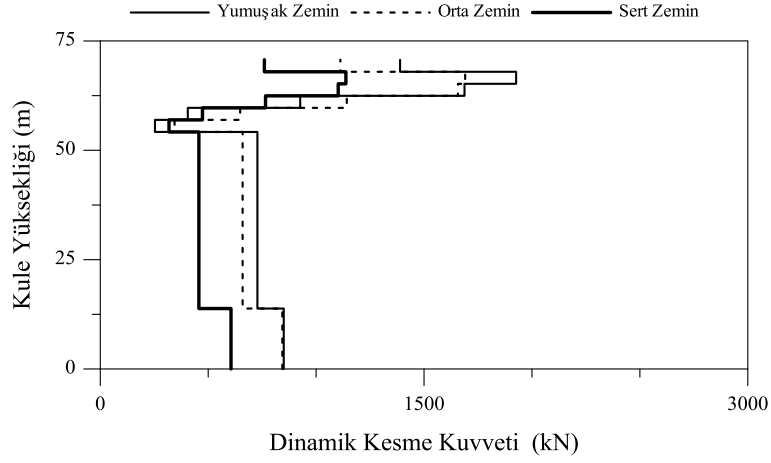
Şekil 4.65. Üniform yer hareketinde köprü kulesinin dinamik normal kuvvetler



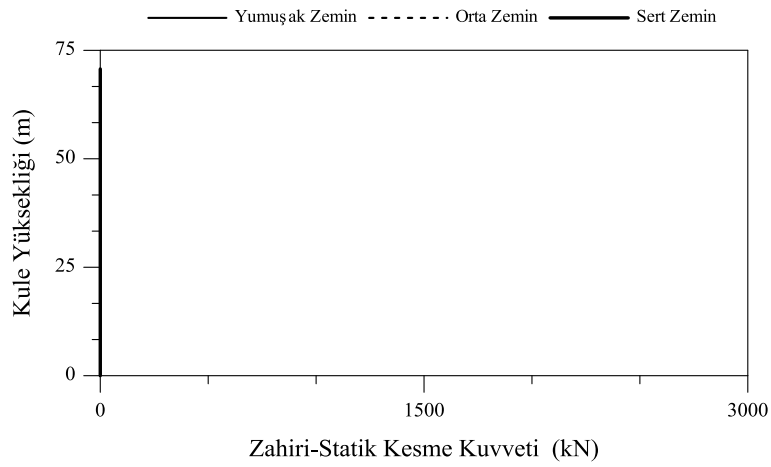
Şekil 4.66. Üniform yer hareketinde köprü kulesinin zahiri-statik normal kuvvetler



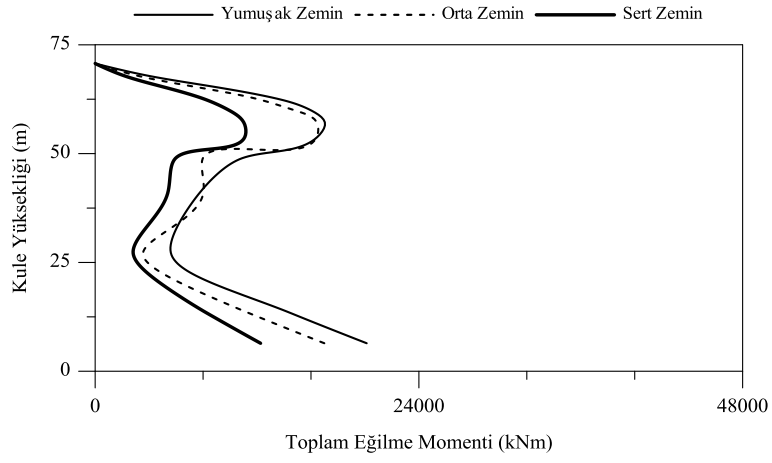
Şekil 4.67. Üniorm yer hareketinde köprü kulesinin toplam kesme kuvvetleri



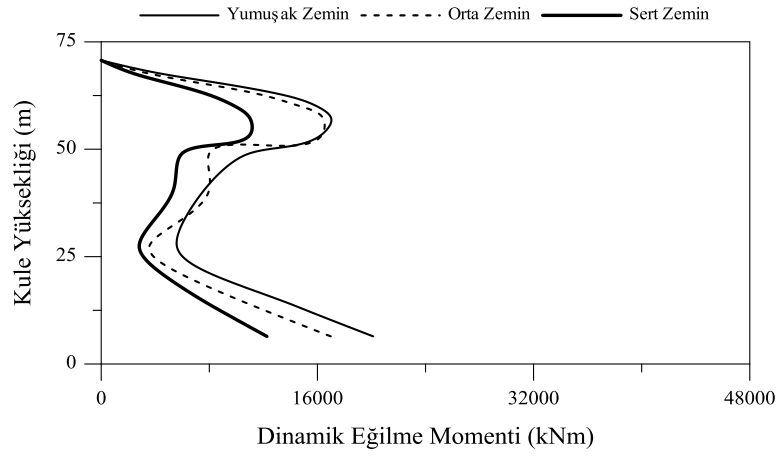
Şekil 4.68. Üniorm yer hareketinde köprü kulesinin dinamik kesme kuvvetleri



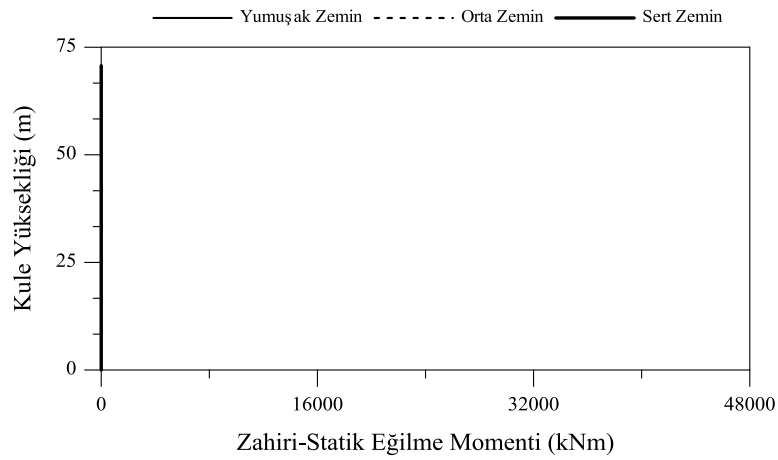
Şekil 4.69. Üniorm yer hareketinde köprü kulesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri



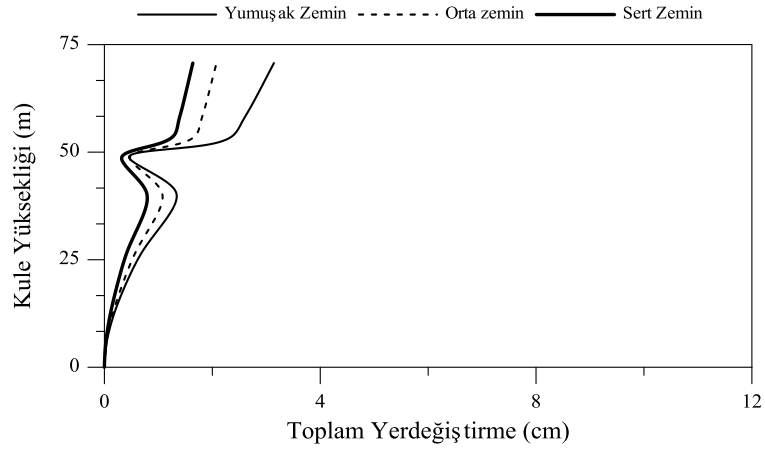
Şekil 4.70. Üniorm yer hareketinde köprü kulesinin toplam eğilme momentleri



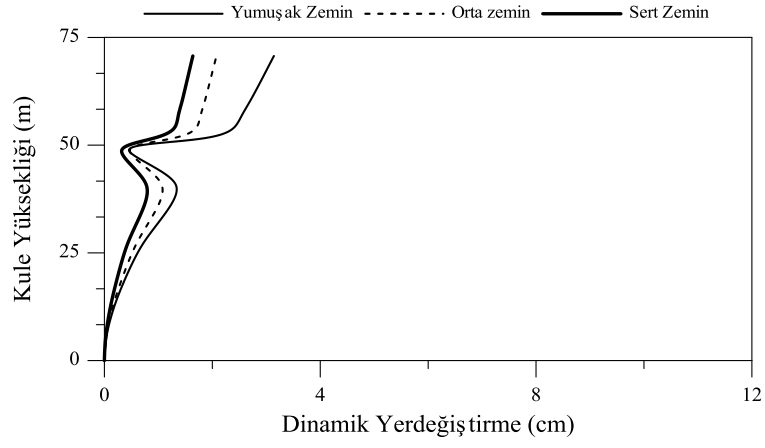
Şekil 4.71. Üniorm yer hareketinde köprü kulesinin dinamik eğilme momentleri



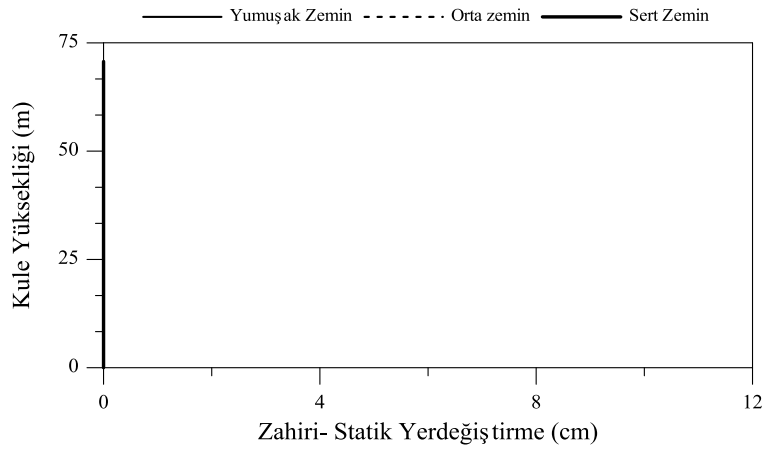
Şekil 4.72. Üniorm yer hareketinde köprü kulesinin dinamik eğilme momentleri



Şekil 4.73. Üniorm yer hareketinde köprü kulesinin toplam yerdeğıştirmeler



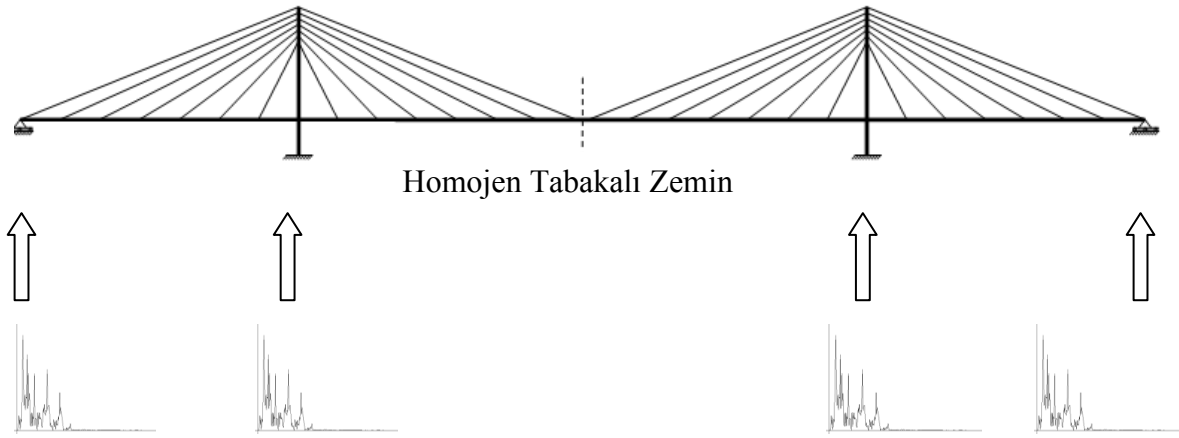
Şekil 4.74. Üniorm yer hareketinde köprü kulesinin dinamik yerdeğıştirmeler



Şekil 4.75. Üniorm yer hareketinde köprü kulesinin zahiri-statik yerdeğıştirmeler

4.1.4. Dalga Yayılma, Korelasyon ve Üiform Yer Hareketi Etkilerinin Dikkate Alınması Durumunda Zemin-Yapı Etkileşimi Dikkate Alınmayan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının İrdelenmesi

Kablolu köprünün mesnetlendiği zeminin homojen tabakalı zemin olması durumunda; dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkileri dikkat alınarak kablolu köprünün stokastik analizleri yapılmıştır.



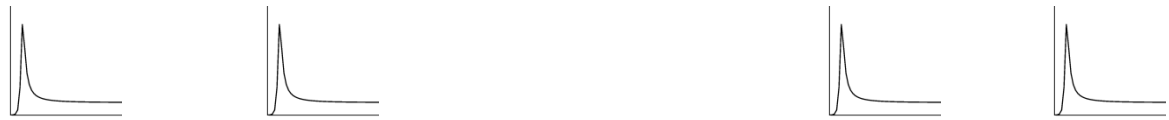
a) 1999 Kocaeli depremi ivme spektral yoğunluk fonksiyonu



b) Sert zemin türü için ivme spektral yoğunluk fonksiyonu



c) Orta zemin türü için ivme spektral yoğunluk fonksiyonu



d) Yumuşak zemin türü için ivme spektral yoğunluk fonksiyonu

Şekil 4.76. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisine maruz köprünün modeli

Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisine maruz kablolu köprü için, (3.9) denklemindeki korelasyon etkisinin $|\gamma_{lm}(\omega)|^k \neq 1$, zemin etkisinin $\gamma_{lm}(\omega)^z \neq 1$ ve dalga yayılma etkisinin $\gamma_{lm}(\omega)^d \neq 1$ olmasına karşılık gelmektedir. Şekil 4.76'da dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerine maruz ve homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprünün analitik modeli görülmektedir.

Çeşitli homojen tabakalı zemin durumları dikkate alınarak gerçekleştirilen stokastik analizler sonucunda köprü tabliyesindeki ve kulesindeki yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri Şekil 4.77-4.100'de görülmektedir. Bu grafikler, yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin zahiri-statik, dinamik ve toplam değerlerinden oluşmaktadır.

Şekil 4.77-4.79'da köprü tabliyesindeki zahiri-statik, dinamik ve toplam normal kuvvet değişimi homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan normal kuvvet değerlerinin diğer homojen tabakalı zeminlere göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Şekil 4.80-4.82'de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki kesme kuvveti değişimi görülmektedir. Kesme kuvveti değerlerinin mesnetlerde ve açıklık ortasında maksimum olduğu ve homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda kesme kuvveti değerlerinin diğer homojen tabakalı zemin durumlarına göre oldukça fazla olduğu görülmektedir.

Şekil 4.83-4.85'de homojen tabakalara mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki eğilme momenti değişimi görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan eğilme momentleri homojen tabakalı orta zemin ve homojen tabakalı sert zemin durumlarında oluşan eğilme momenti değerlerinden daha fazla olduğu görülmektedir. Tabliyedeki eğilme momenti değerlerinin mesnete yakın noktalarda maksimum olduğu, mesnet bölgesine ve açıklık ortasında yakın noktalarda oluşan eğilme momentlerinin diğer noktalara göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Şekil 4.86-4.88'de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki yerdeğiştirmeler görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda tabliyede görülen yerdeğiştirmelerin daha fazla olduğu görülmektedir. Yerdeğiştirmeler mesnetlerde ve kule tabliye birleşim yerlerinde azalırken açıklık ortasında ve kenar açıklıkların ortasında arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca zahiri-statik yerdeğiştirmelerin tabliye uzunluğu boyunca çok değişmediği görülmektedir.

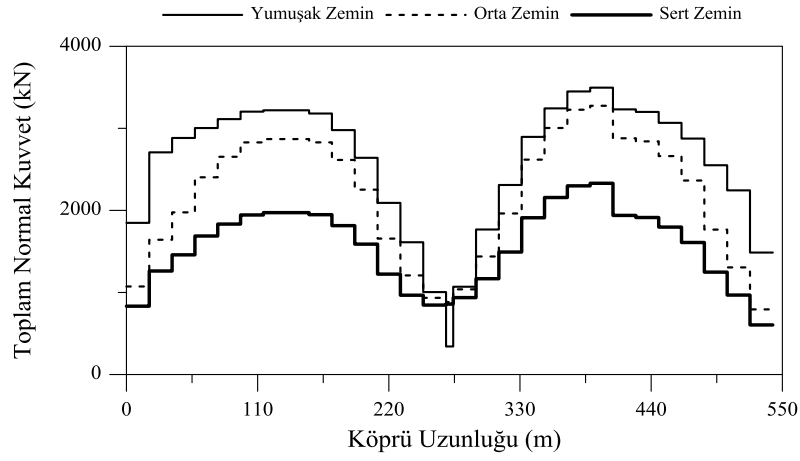
Şekil 4.89-4.100'de kablolu köprü kulesindeki eleman kuvvetleri ve maksimum yerdeğiştirmeler görölmektedir. Bu grafikler, homojen tabakalı yumuşak zemin, orta zemin ve sert zemindeki yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin toplam, dinamik ve zahiri-statik bileşenlerinden oluşmaktadır.

Şekil 4.89-4.91'de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki normal kuvvet değişimi görölmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin ve homojen tabakalı orta zemin durumlarında oluşan normal kuvvet değişiminin birbirine oldukça yakın olduğu ve maksimum olduğu görölmektedir. Normal kuvvet değişiminin kule tabliye birleşim bölgesinde maksimum olduğu, kulenin en üst noktasına doğru ise giderek azaldığı gözlenmektedir.

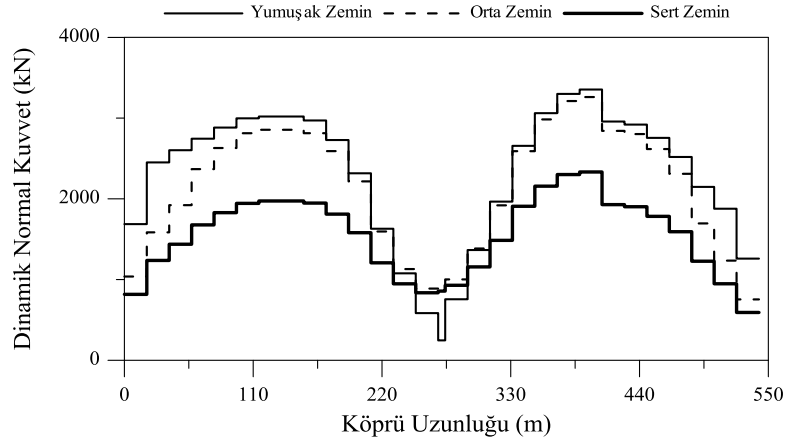
Şekil 4.92-4.94'de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki kesme kuvveti değişimi görölmektedir. Kesme kuvveti değişiminin kulenin en üst noktasına yakın bölgede maksimum olduğu ve homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan kesme kuvveti değerlerinin daha fazla olduğu görölmektedir.

Şekil 4.95-4.97'de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki eğilme momenti değişimi görölmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan eğilme momentleri homojen tabakalı orta zemin ve homojen tabakalı sert zemine göre daha fazla olduğu görölmektedir. Oluşan eğilme momentleri kulenin en üst noktasında sıfır olurken tabliyeye yakın bölgede maksimum olduğu gözlenmektedir.

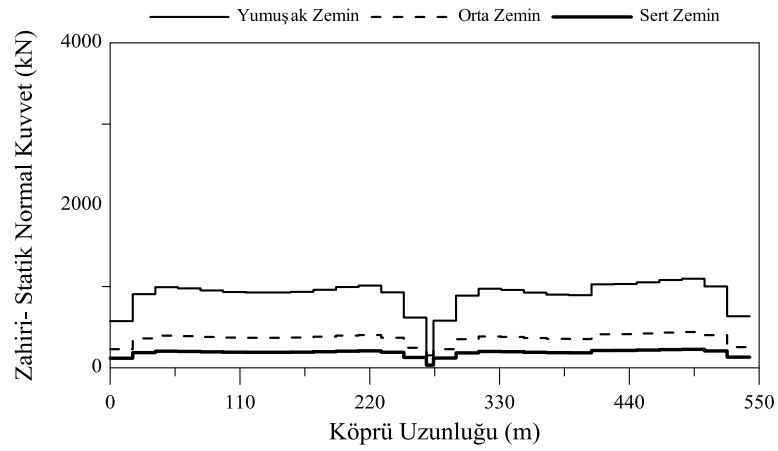
Şekil 4.98-4.100'de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki yerdeğiştirmeler görölmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan yerdeğiştirmeler diğer homojen tabakalı zeminlere göre daha fazla olduğu görölmektedir. Oluşan yerdeğiştirmeler kule tabliye birleşim bölgesinde sıfırken kulenin en üst noktasında yerdeğiştirmelerin maksimum olduğu gözlenmektedir.



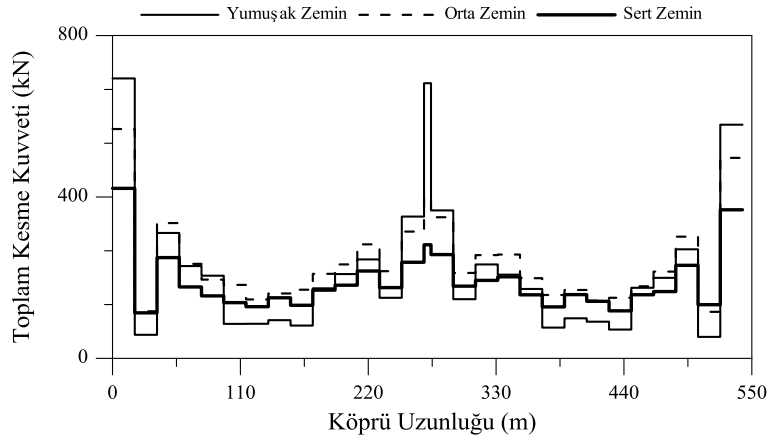
Şekil 4.77. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin toplam normal kuvvetleri



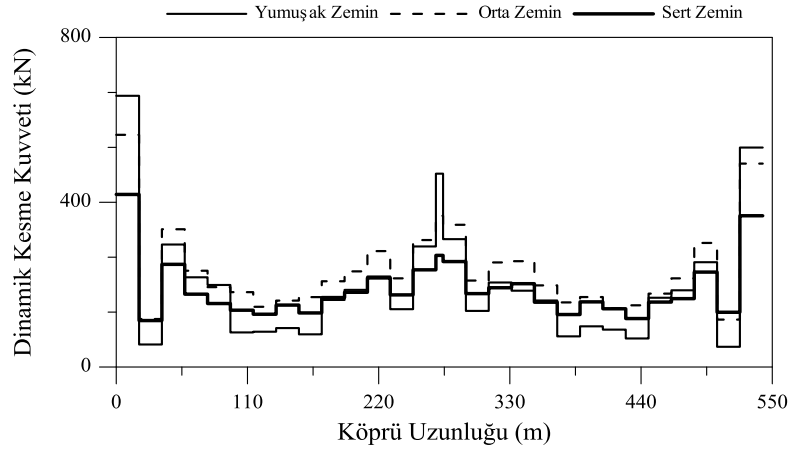
Şekil 4.78. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin dinamik normal kuvvetleri



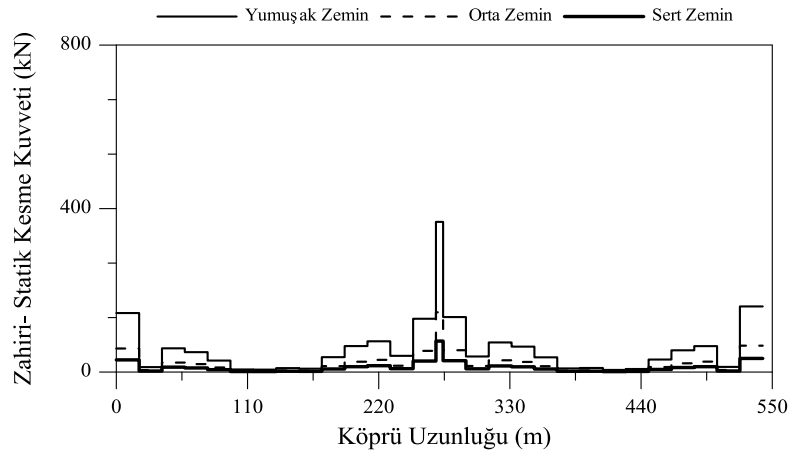
Şekil 4.79. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin zahiri-statik normal kuvvetleri



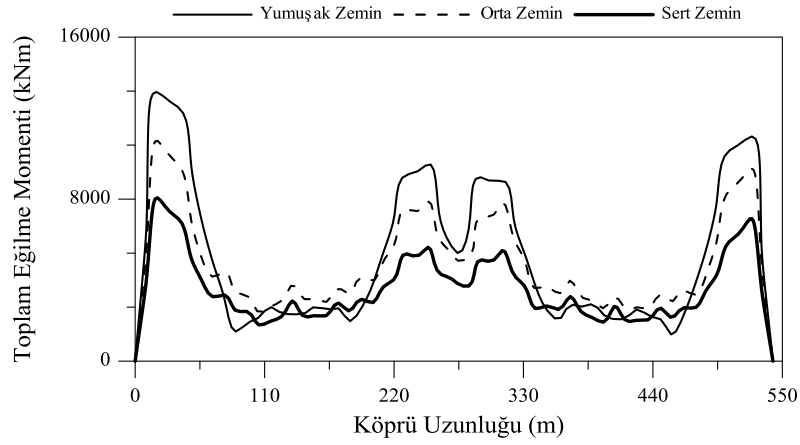
Şekil 4.80. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin toplam kesme kuvvetleri



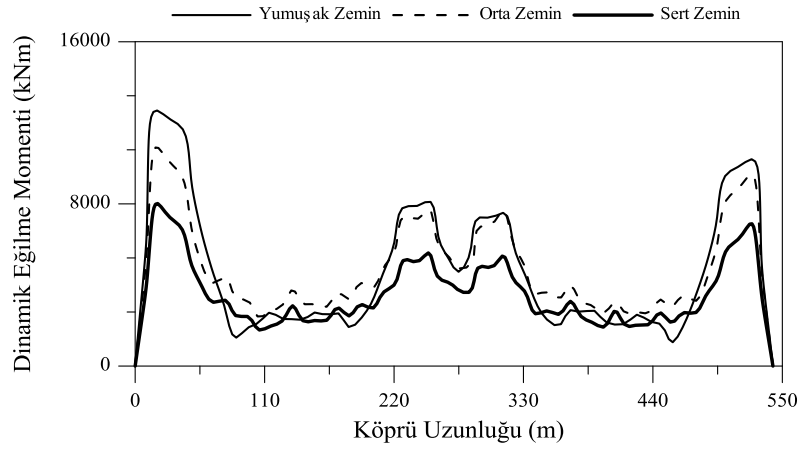
Şekil 4.81. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin dinamik kesme kuvvetleri



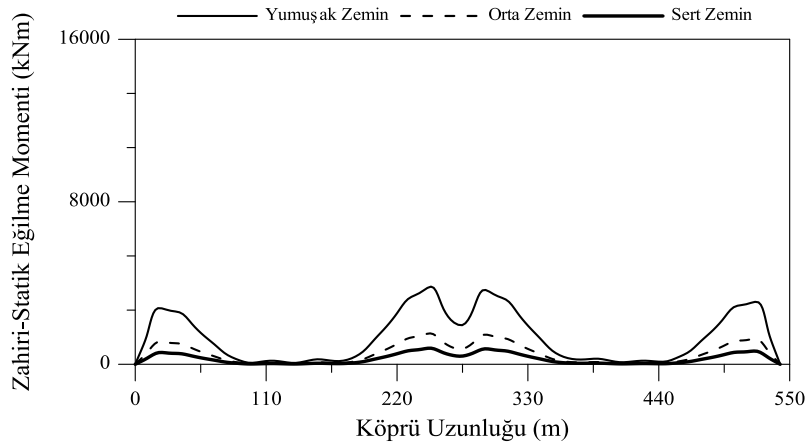
Şekil 4.82. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri



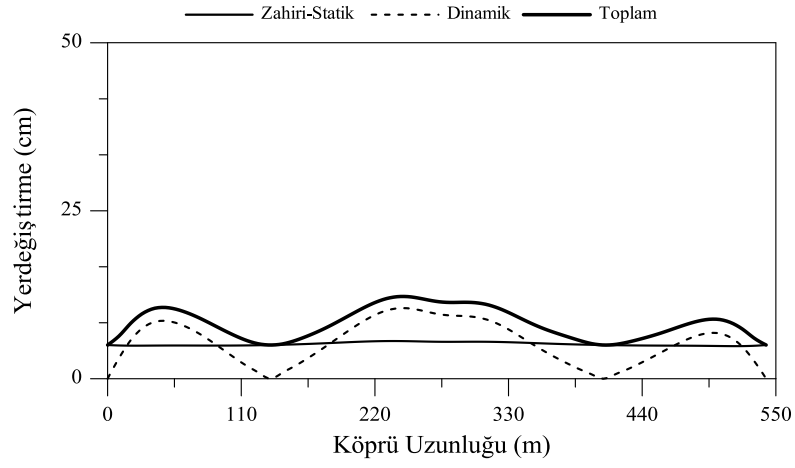
Şekil 4.83. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin toplam eğilme momentleri



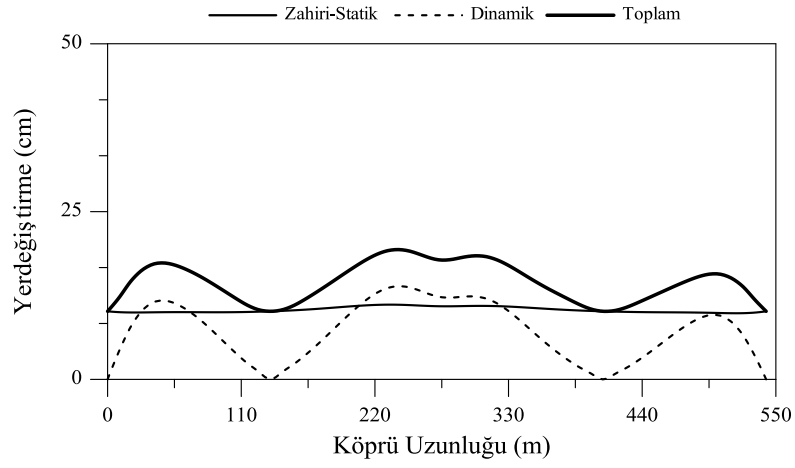
Şekil 4.84. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin dinamik eğilme momentleri



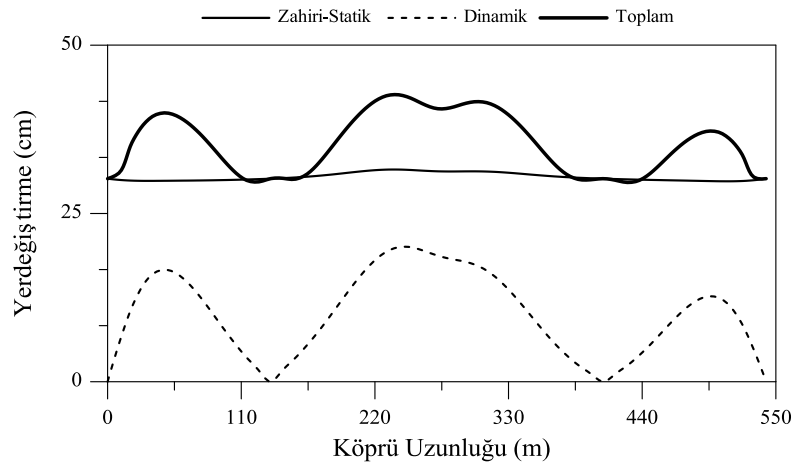
Şekil 4.85. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin zahiri-statik eğilme momentleri



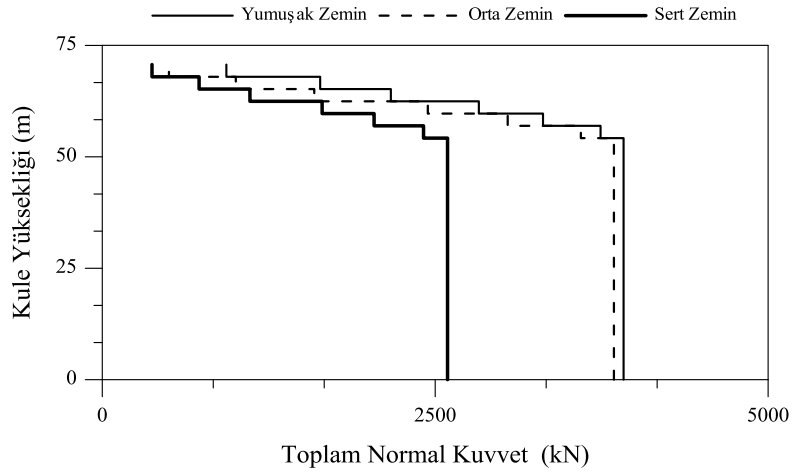
Şekil 4.86. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin sert zemindeki yerdeğiştirmeleri



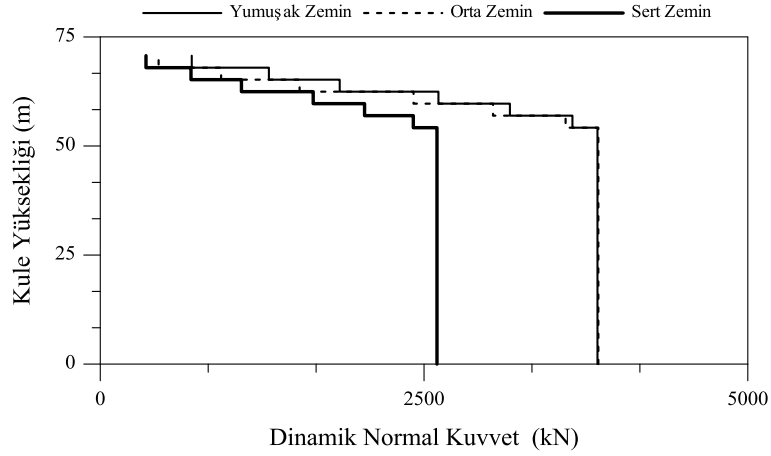
Şekil 4.87. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin orta zemindeki yerdeğiştirmeleri



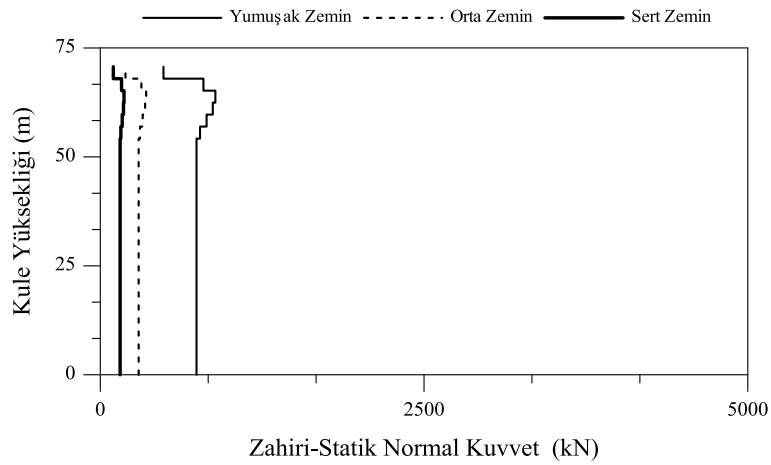
Şekil 4.88. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki yerdeğiştirmeleri



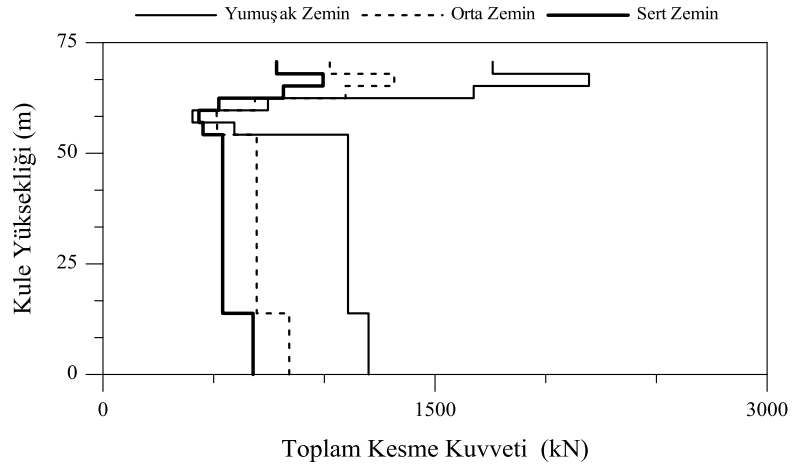
Şekil 4.89. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin toplam normal kuvvetleri



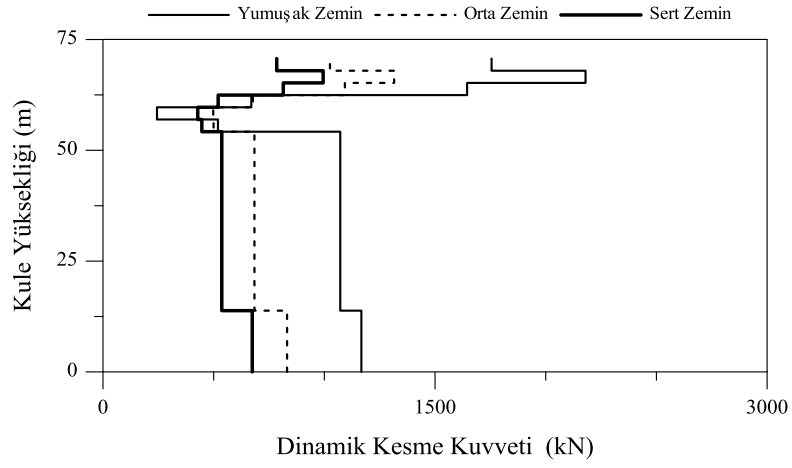
Şekil 4.90. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin dinamik normal kuvvetleri



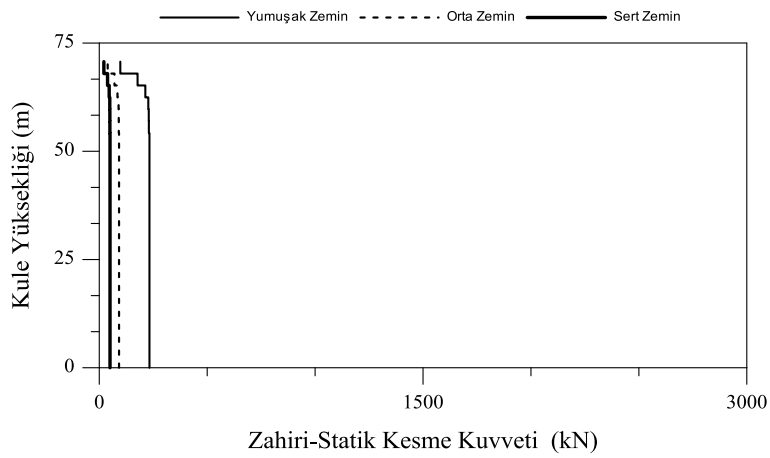
Şekil 4.91. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin dinamik normal kuvvetleri



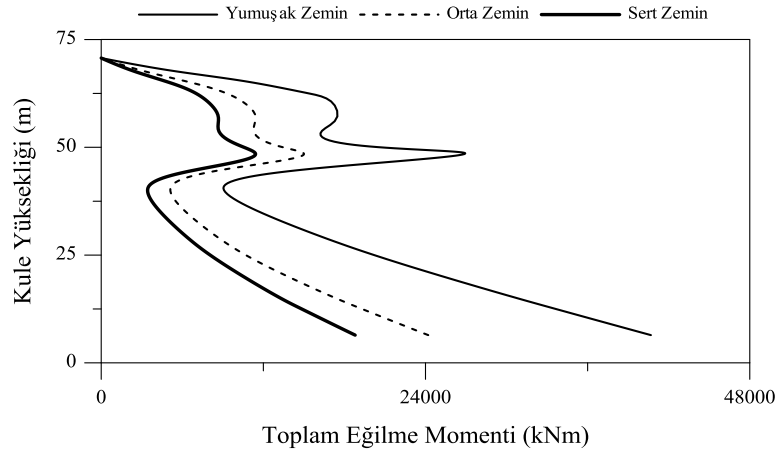
Şekil 4.92. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin toplam kesme kuvvetleri



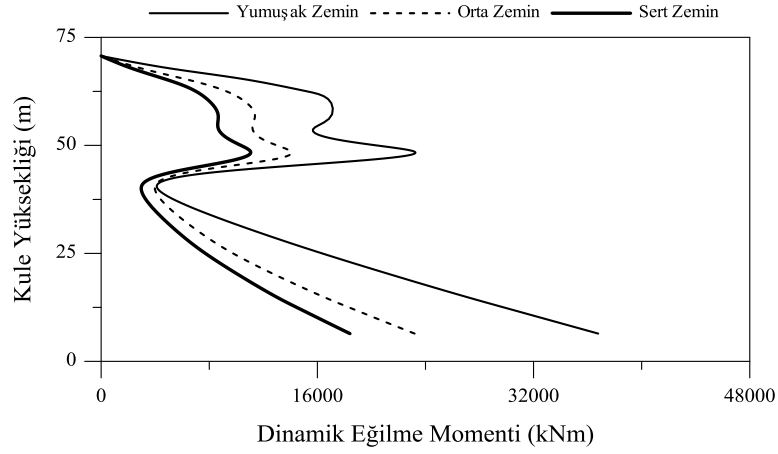
Şekil 4.93. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin dinamik kesme kuvvetleri



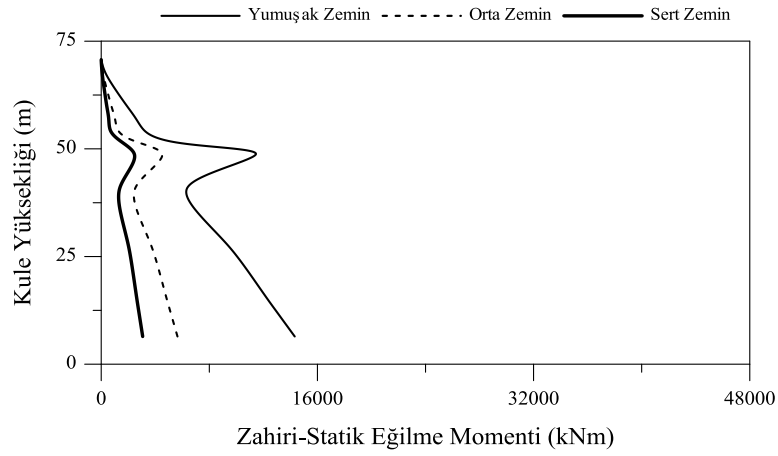
Şekil 4.94. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri



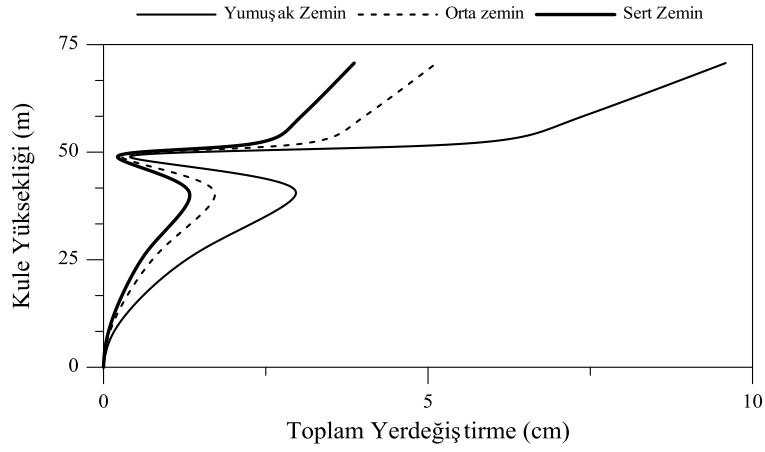
Şekil 4.95. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin toplam eğilme momentleri



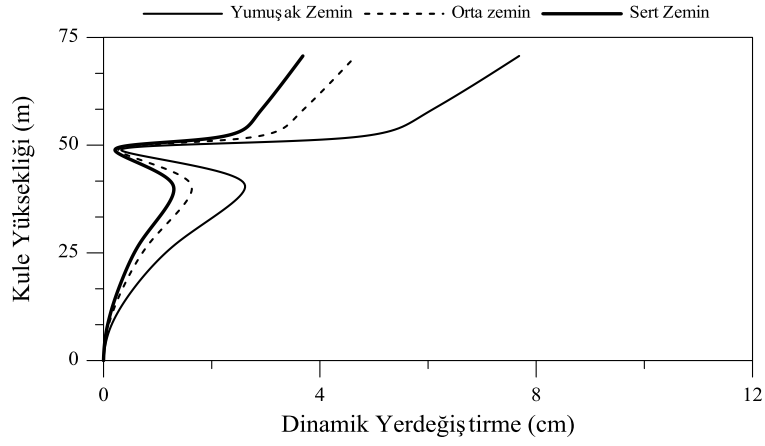
Şekil 4.96. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin dinamik eğilme momentleri



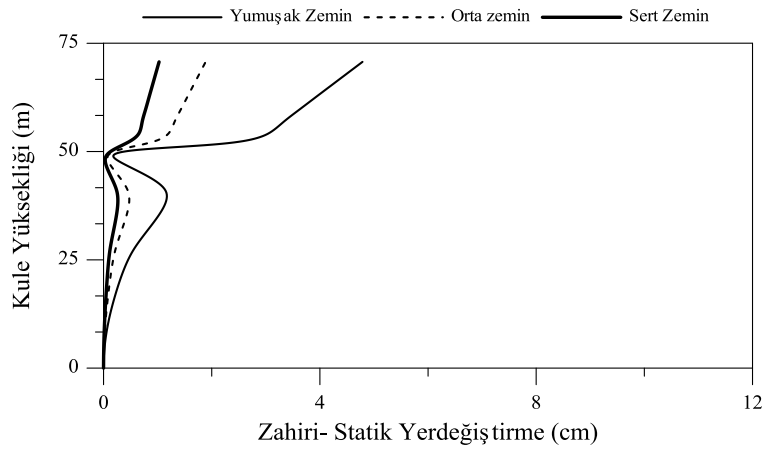
Şekil 4.97. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin zahiri-statik eğilme momentleri



Şekil 4.98. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin toplam yerdeğiştirmeleri



Şekil 4.99. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin dinamik yerdeğiştirmeleri



Şekil 4.100. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinde köprü kulesinin zahiri-statik yerdeğiştirmeleri

4.2. Kablo lu Köpr ünün De ğ işerek Yay ılan Yer Hareketi için Zemin-Yapı Etkileşimi Dikkate Alınan Stokastik Analizleri

Yapı-zemin etkileşiminin yap ının hareketlerini etkileme derecesi, zeminin rijitli ğ ine, yap ının rijitlik ve kütle özelliklerine, seçilen temel sistemine göre de ğ işir. Etkileşim yap ının zeminle temasta oldu ğ u bölgelerde mevcuttur.

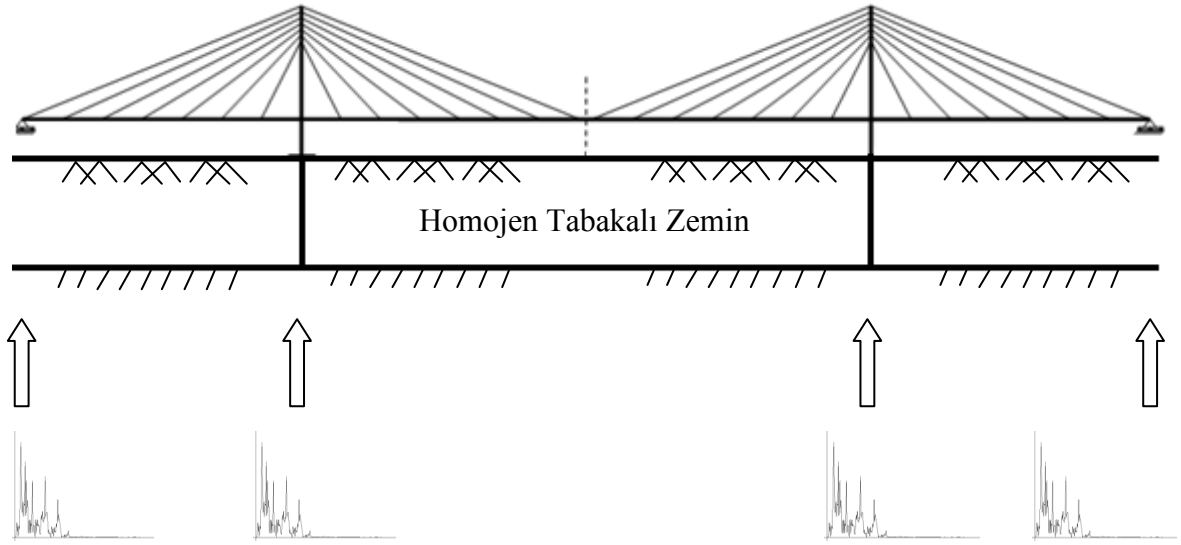
Yapı temeli düşey olarak titreşime maruz kal ırsa, temellerin alt yüzeyi ile zemin arasında temas zemin gerilmeleri oluşur. Temas zemin gerilmelerinin da ğ ılım ı temel rijitli ğ i, zemin cinsi, zeminin lineer olmayan davran ışına ba ğ lı olarak rijit, üniform veya parabolik da ğ ılımda olabilir. Da ğ ılım ın de ğ işik şekillerde oluşu zemine pek çok noktadan hareket iletilmesine neden olur. İletilen hareket zeminde karmaşık biçimde dalga hareketi oluşturur. Bu karmaşık form radyasyon dalgaları formudur. Zeminin çok tabakalı olması halinde yapıdan zemine ge çen dalgalardan bazıları tabakalardan yansıyıp geri döner ve durum daha da zor ifade edilen bir hal alır.

Bu çalışmada, stasyonerlik kabulü yapılarak, dalga yayılma, korelasyon ve zemin etkilerinin içeren de ğ işerek yay ılan yer hareketleri için zemin yapı etkileşimi dahil edilerek kablo lu köpr ünün stokastik analizi ger çekleştirilmiştir.

4.2.1. Sadece Dalga Yayılma Etkisinin Dikkate Alınması Durumunda Zemin-Yapı Etkileşimi Dikkate Alınan Köpr ünün Stokastik Analiz Sonuçlarının İncelenmesi

Kablo lu köpr ünün mesnetlendi ğ i zeminin homojen tabakalı zemin oldu ğ u kabul edilerek; dalga yayılma etkisi durumunda zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak kablo lu köpr ünün stokastik analizleri yapılmıştır.

Çeşitli homojen tabakalı zemin durumlarında zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak ger çekleştirilen stokastik analizler sonucunda köprü tabliyesindeki ve kulesindeki yerde ğ iştirme ve eleman kuvvetleri şekil 4.102-4.125’de görülmektedir. Bu grafikler, yerde ğ iştirme ve eleman kuvvetlerinin zahiri-statik, dinamik ve toplam de ğ erlerinden oluşmaktadır. şekil 4.101’de sadece dalga yayılma etkisine maruz ve zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablo lu köpr ünün analitik modeli görülmektedir.



a) 1999 Kocaeli depremi ivme spektral yoğunluk fonksiyonu



b) Sert zemin türü için ivme spektral yoğunluk fonksiyonu



c) Orta zemin türü için ivme spektral yoğunluk fonksiyonu



d) Yumuşak zemin türü için ivme spektral yoğunluk fonksiyonu

Şekil 4.101. Sadece dalga yayılma etkisine maruz zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprünün modeli

Şekil 4.102-4.104'de zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesindeki zahiri-statik, dinamik ve toplam normal kuvvet değişimi incelendiğinde homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan normal kuvvetler diğer homojen tabakalı zeminlere göre oluşan normal kuvvetlerden daha fazla olduğu görülmektedir. Oluşan normal kuvvet

değerlerinin açıklık ortasında ve mesnet bölgelerinde azalmakta kule tabliye birleşim bölgesine yakın noktalarda ise arttığı gözlemlenmektedir.

Şekil 4.105-4.107’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki kesme kuvveti değişimi görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan kesme kuvvet değerlerinin oldukça büyük olduğu ve Quincy kulesi tabliye birleşim bölgesinde bu değerlerinin maksimum olduğu görülmektedir. Çeşitli homojen tabakalı zeminlerde dinamik kesme kuvveti değişiminin birbirine oldukça yakın olduğu gözlenmektedir.

Şekil 4.108-4.110’da homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki eğilme momenti değişimi görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan eğilme momenti değişiminin daha büyük olduğu ve bu değerlerinin Quincy kulesi tabliye birleşim bölgesinde maksimum olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 4.111-4.113’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki zahiri-statik, dinamik ve toplam yerdeğiştirmeler görülmektedir. Homojen tabakalı sert zemin ve homojen tabakalı orta zeminde toplam yerdeğiştirmelerin simetrik ve açıklık ortalarında maksimum olduğu görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda ise oluşan yerdeğiştirmelerin daha fazla olduğu ve düzensiz olduğu gözlemlenmiştir.

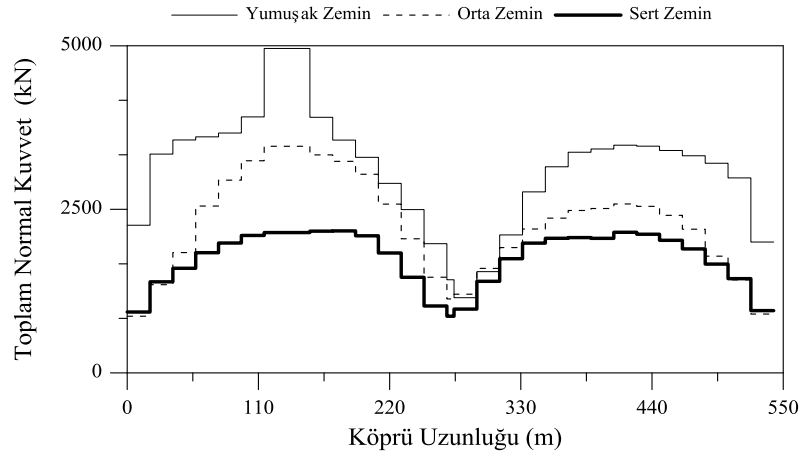
Şekil 4.114-4.125’ de kablolu köprü kulesindeki eleman kuvvetleri ve maksimum yerdeğiştirmeler görülmektedir. Bu grafikler, homojen tabakalı yumuşak zemin, homojen tabakalı orta zemin ve homojen tabakalı sert zemindeki yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin toplam, dinamik ve zahiri-statik bileşenlerinden oluşmaktadır.

Şekil 4.114-4.116’da homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki normal kuvvet değişimi görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zeminde oluşan normal kuvvetler diğer homojen tabakalı zeminlerde oluşan normal kuvvetlere göre oldukça fazla olduğu gözlemlenmiştir. Kulede oluşan normal kuvvetlerin kule tabliye birleşim noktalarında maksimum olduğu, kulenin üst noktalarında bu değerlerin azaldığı görülmektedir.

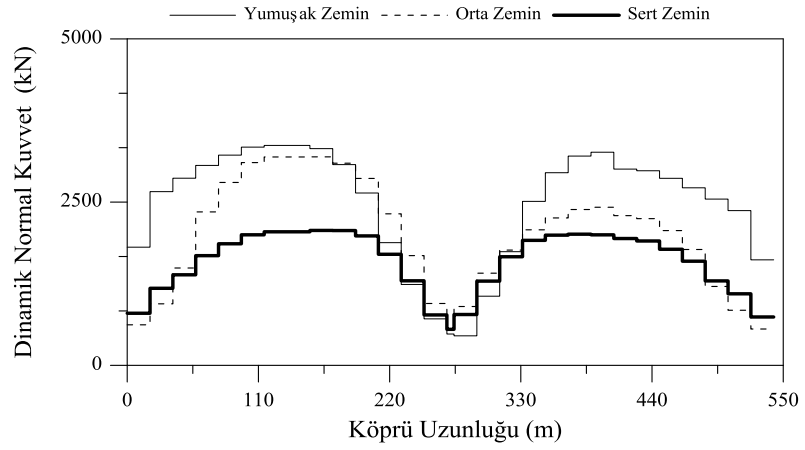
Şekil 4.117-4.119’da homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki kesme kuvveti değişimi görülmektedir. Oluşan kesme kuvveti değerlerinin kulenin en üst noktasına yakın bölgede maksimum olduğu ve homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda bu değerlerin daha fazla olduğu gözlenmektedir.

Şekil 4.120-4.122’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki eğilme momenti değişimi görülmektedir. Oluşan eğilme momentleri kulenin en üst noktasında sıfır olurken tabliyeye yakın bölgede maksimum olduğu ve homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan bu değerlerin daha büyük olduğu gözlemlenmiştir.

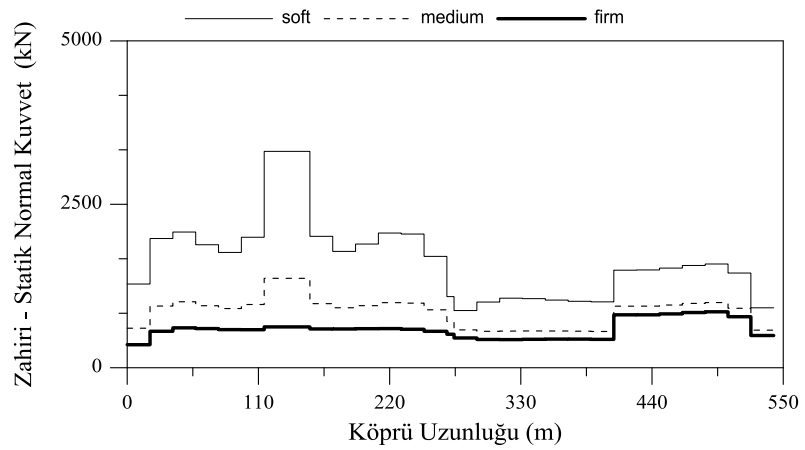
Şekil 4.123-4.125’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki yerdeğiştirmeler görülmektedir. Oluşan dinamik yerdeğiştirmeler kule tabliye birleşim bölgelerinde sıfır olduğu ve homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan yerdeğiştirmeler diğer homojen tabakalı zeminlere göre daha fazla olduğu görülmektedir.



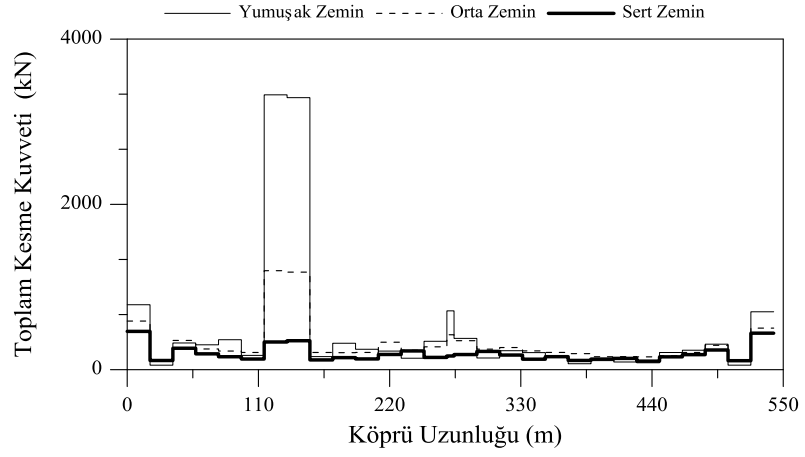
Şekil 4.102. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam normal kuvvetleri



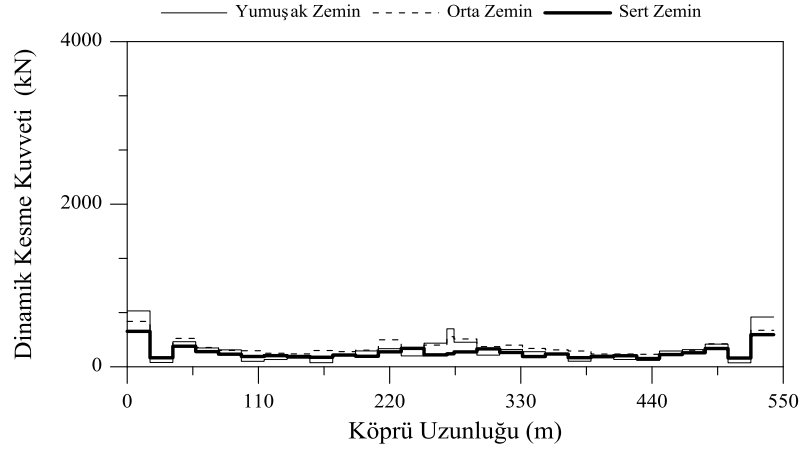
Şekil 4.103. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik normal kuvvetleri



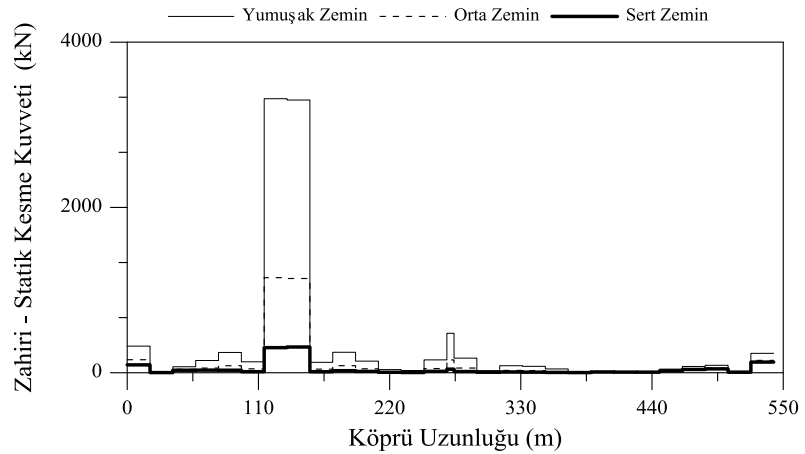
Şekil 4.104. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik normal kuvvetleri



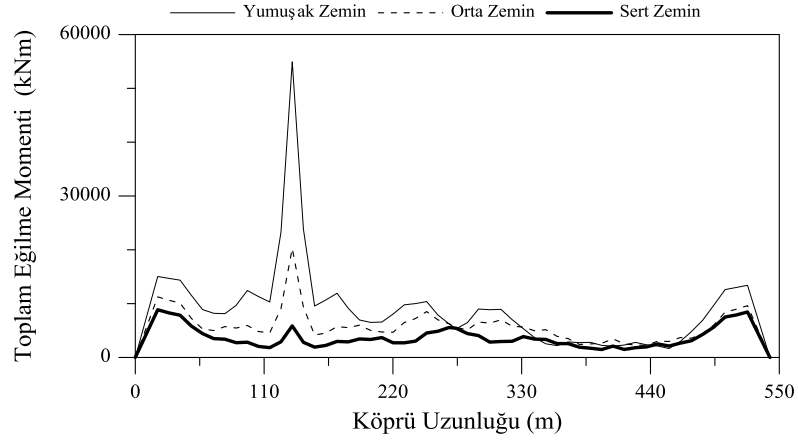
Şekil 4.105. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam kesme kuvvetleri



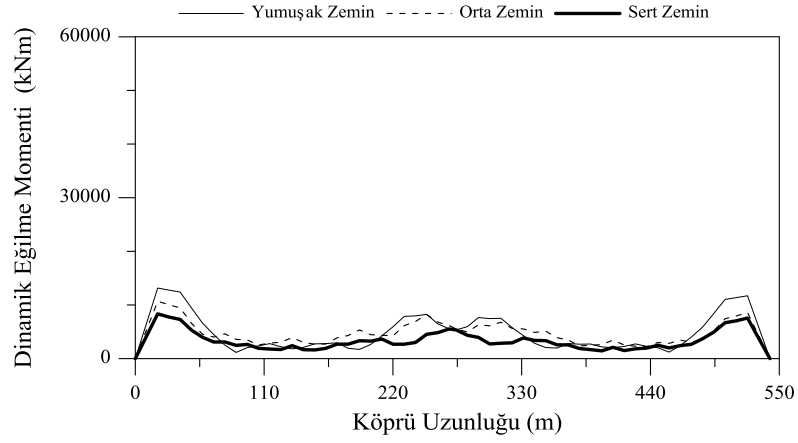
Şekil 4.106. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik kesme kuvvetleri



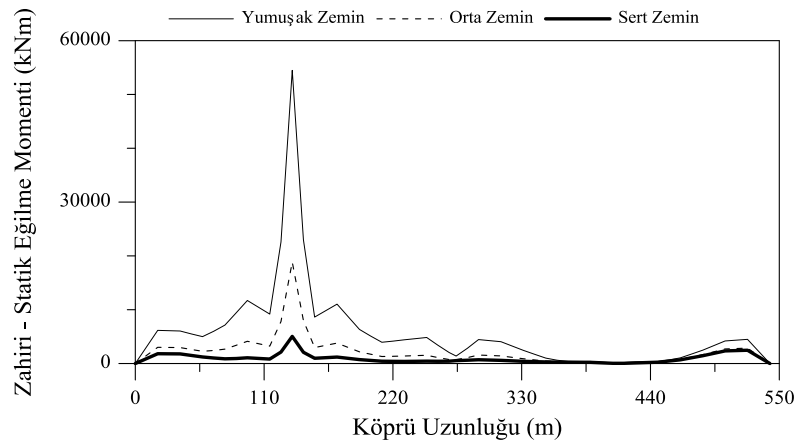
Şekil 4.107. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik normal kuvvetleri



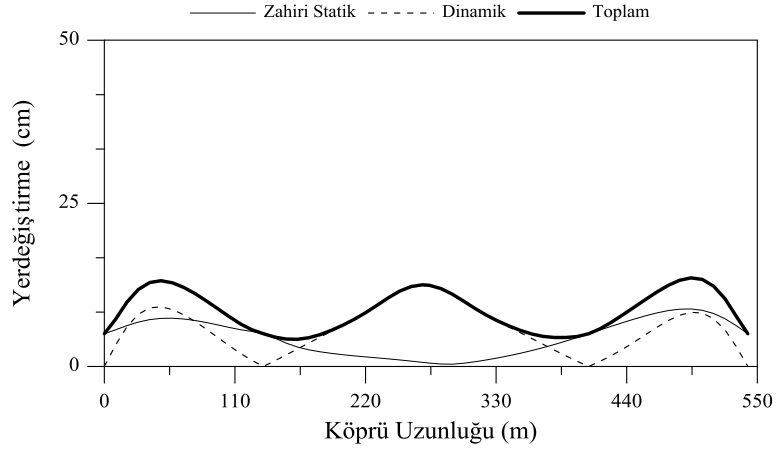
Şekil 4.108. Dalgı yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam eğilme momentleri



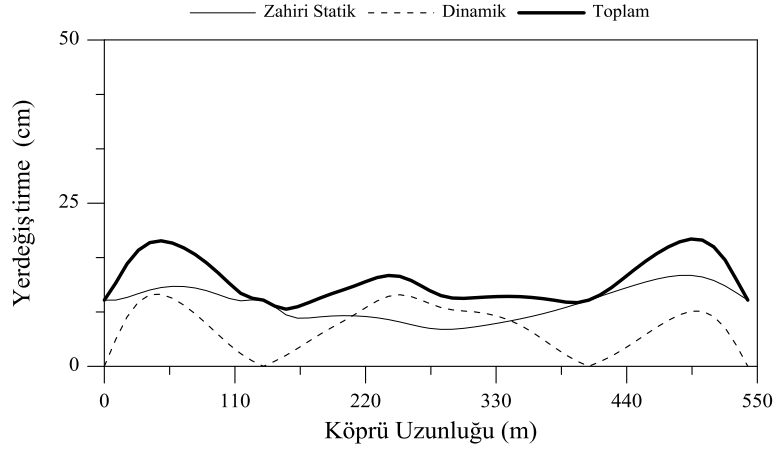
Şekil 4.109. Dalgı yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik eğilme momentleri



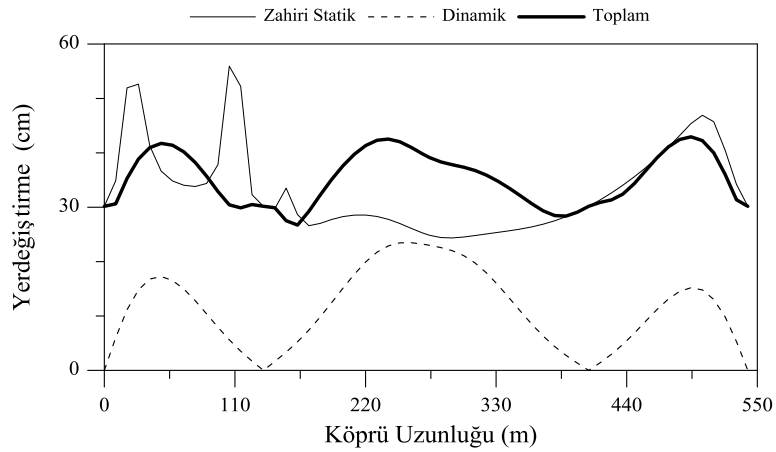
Şekil 4.110. Dalgı yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik eğilme momentleri



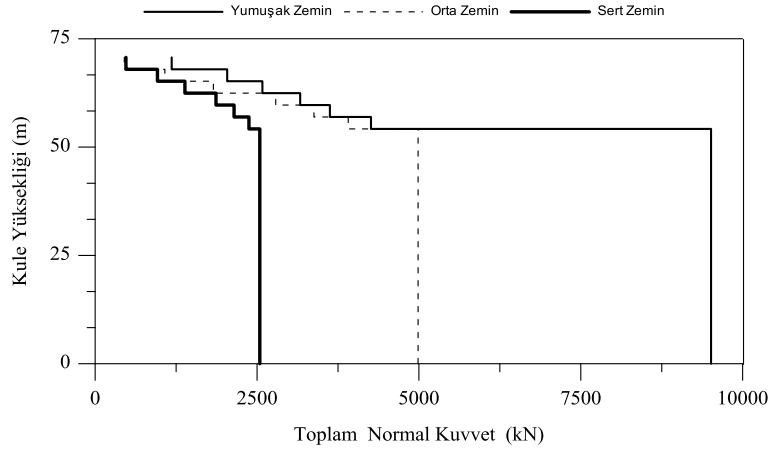
Şekil 4.111. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin sert zemindeki yerdeğiştirmeleri



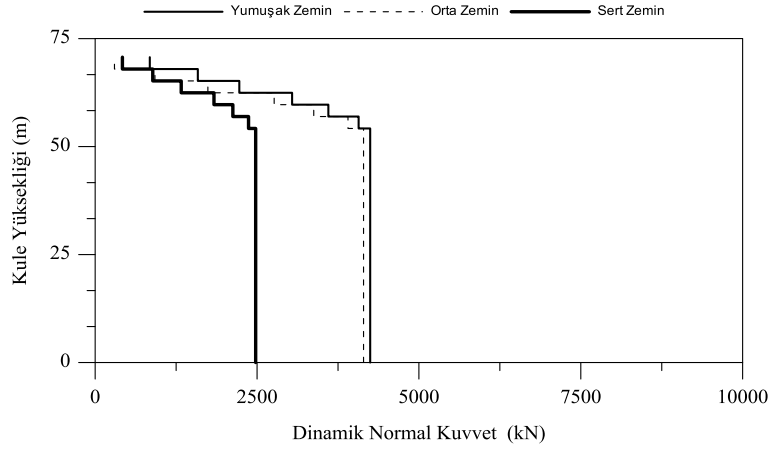
Şekil 4.112. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin orta zemindeki yerdeğiştirmeleri



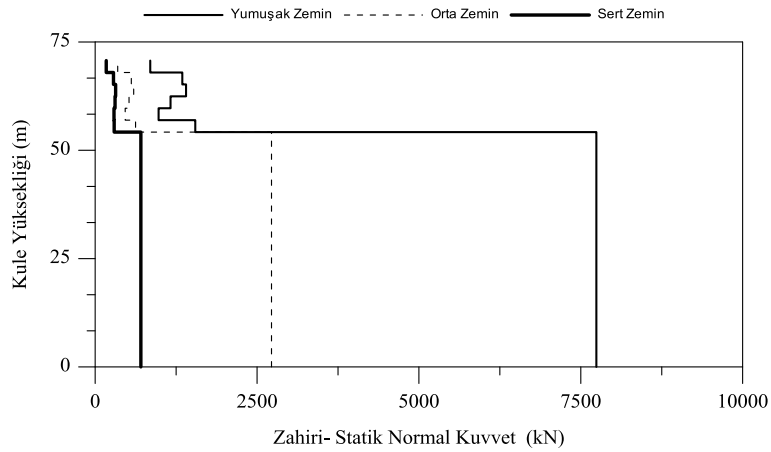
Şekil 4.113. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki yerdeğiştirmeleri



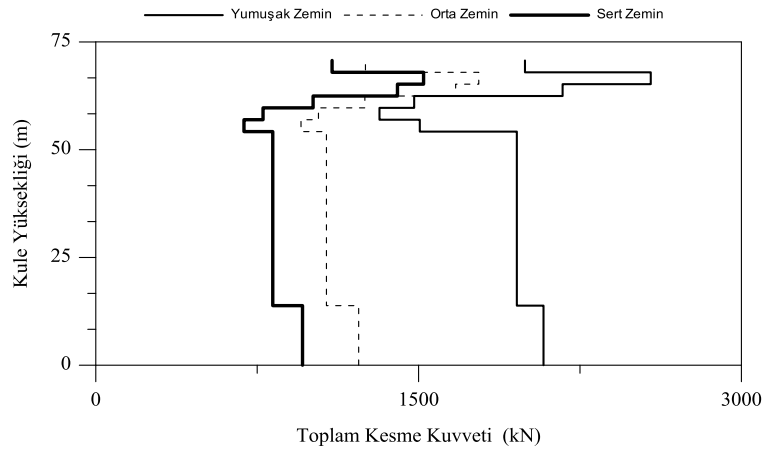
Şekil 4.114. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesindeki toplam normal kuvvetler



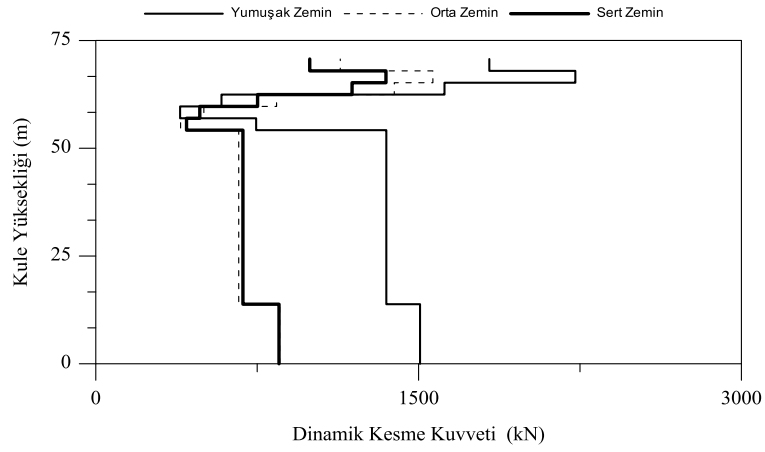
Şekil 4.115. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesindeki dinamik normal kuvvetler



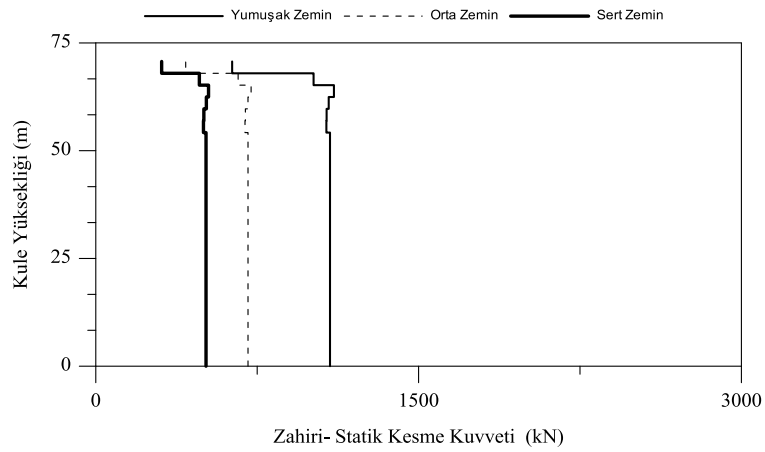
Şekil 4.116. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesindeki zahiri-statik normal kuvvetler



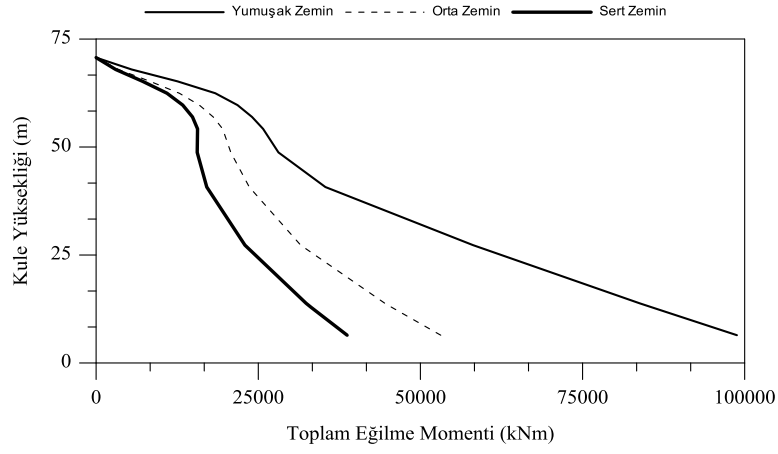
Şekil 4.117. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimini dikkate alınan köprü kulesindeki toplam kesme kuvvetleri



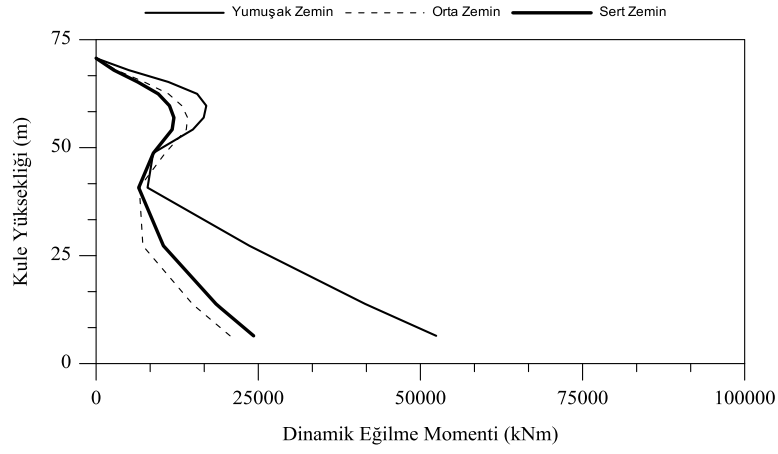
Şekil 4.118. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimini dikkate alınan köprü kulesindeki dinamik kesme kuvvetleri



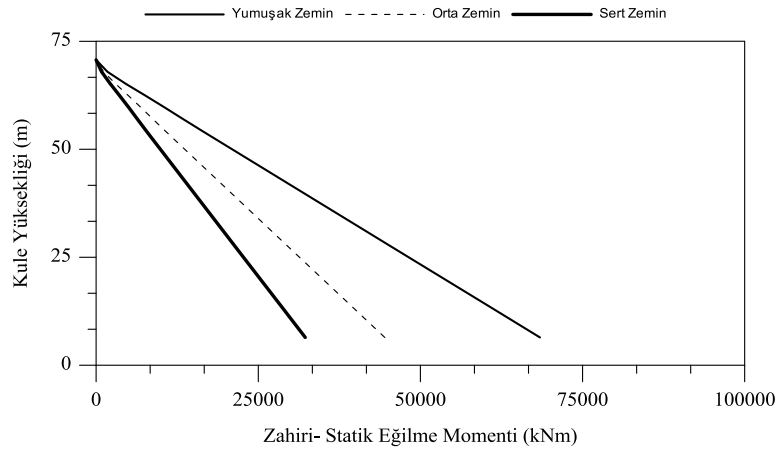
Şekil 4.119. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimini dikkate alınan köprü kulesindeki zahiri-statik kesme kuvvetleri



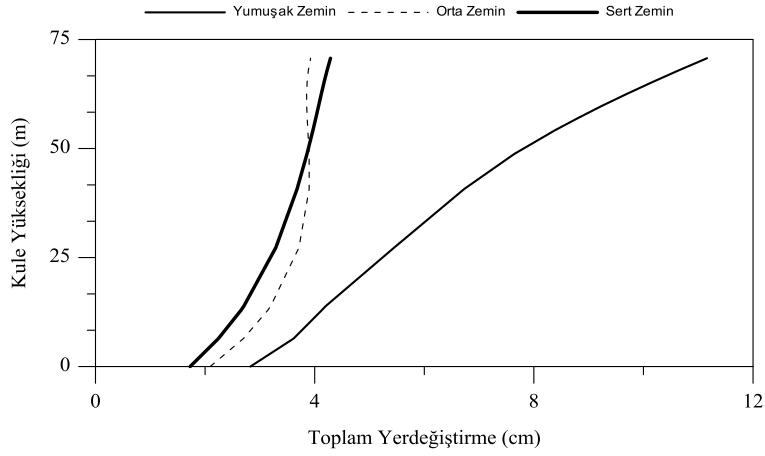
Şekil 4.120. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesindeki toplam eğilme momentleri



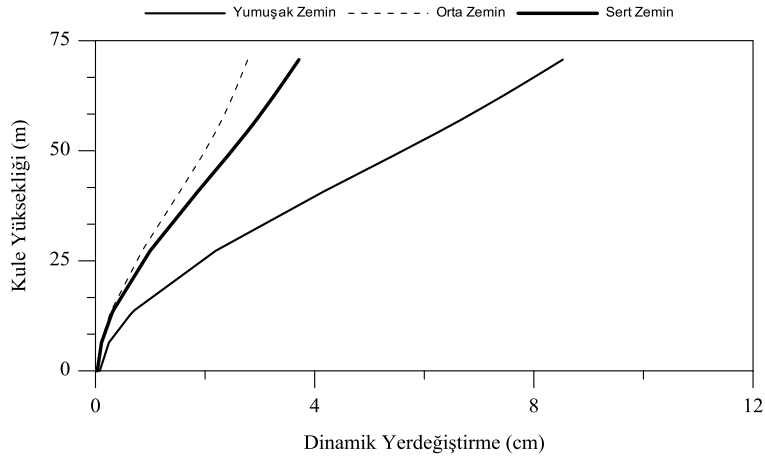
Şekil 4.121. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesindeki dinamik eğilme momentleri



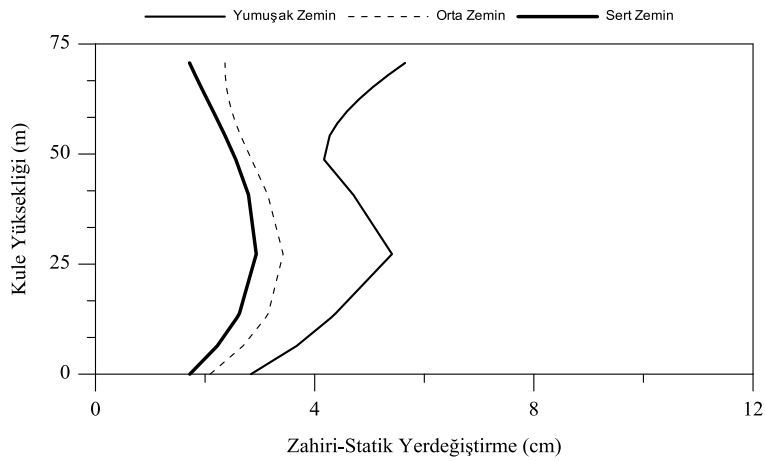
Şekil 4.122. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesindeki zahiri-statik eğilme momentleri



Şekil 4.123. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesindeki toplam yerdeğştirmeler

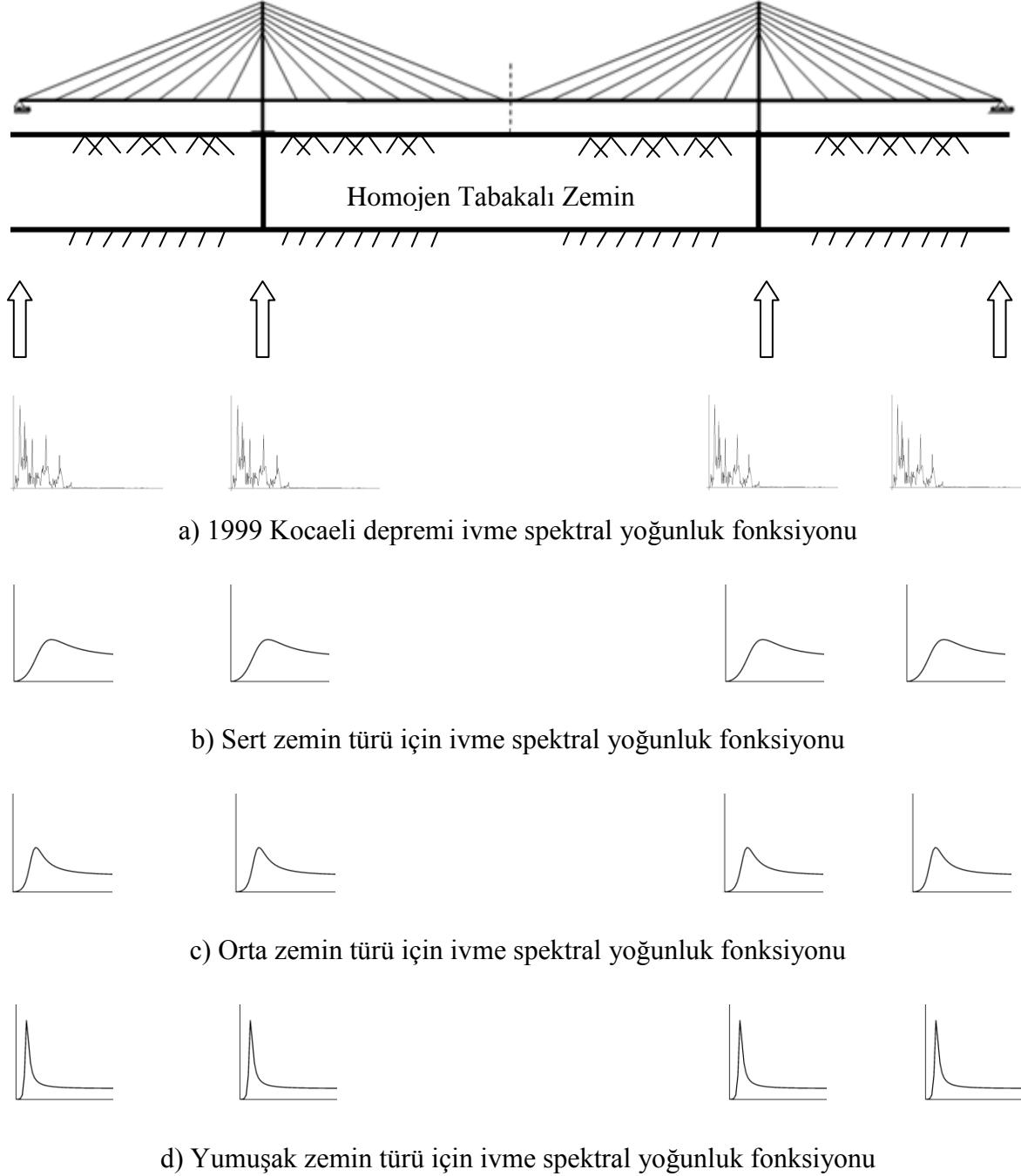


Şekil 4.124. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesindeki dinamik yerdeğştirmeler



Şekil 4.125. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesindeki zahiri-statik yerdeğştirmeler

4.2.2. Sadece Korelasyon Etkisinin Dikkate alınması Durumunda Zemin Yapı-Etkileşimi Dikkate Alınan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının İrdelenmesi



Şekil 4.126. Sadece korelasyon etkisine maruz zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprünün modeli

Kablolu köprünün mesnetlendiği zeminin homojen tabakalı zemin olduğu kabul edilerek; korelasyon etkisi durumunda zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak kablolu

köprünün stokastik analizleri yapılmıştır. Şekil 4.101’de sadece dalga yayılma etkisine maruz ve zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprünün analitik modeli görülmektedir. Şekil 4.126’da sadece korelasyon etkisine maruz ve zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprünün analitik modeli görülmektedir.

Homojen tabakalı zemin durumlarında zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak gerçekleştirilen stokastik analizler sonucunda köprü tabliyesindeki ve kulesindeki yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri Şekil 4.127-4.150’de görülmektedir. Bu grafikler, yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin zahiri-statik, dinamik ve toplam değerlerinden oluşmaktadır.

Şekil 4.127-4.129’de köprü tabliyesindeki zahiri-statik, dinamik ve toplam normal kuvvet değişimi incelendiğinde dinamik normal kuvvet değişiminin simetrik olduğu ve homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan normal kuvvetlerin daha fazla olduğu görülmektedir. Oluşan bu değerlerinin açıklık ortasında ve mesnet bölgelerinde azalmakta kule tabliye birleşim bölgesine yakın noktalarda ise arttığı gözlenmektedir.

Şekil 4.130-4.132’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki kesme kuvveti değişimi görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan kesme kuvvet değerlerinin oldukça büyük olduğu ve Quincy kulesi tabliye birleşim bölgesinde bu değerlerinin maksimum olduğu görülmektedir.

Şekil 4.133-4.135’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki eğilme momenti değişimi görülmektedir. Dinamik eğilme momenti değişiminin daha az ve simetrik olduğu gözlenmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan eğilme momenti değişiminin daha büyük olduğu ve bu değerlerinin Quincy kulesi tabliye birleşim bölgesinde maksimum olduğu görülmektedir.

Şekil 4.136-4.138’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki zahiri-statik, dinamik ve toplam yerdeğiştirmeler görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda ise oluşan yerdeğiştirmelerin daha fazla olduğu ve düzensiz olduğu gözlenmektedir. Homojen tabakalı sert zemin ve homojen tabakalı orta zeminde yerdeğiştirmelerin simetrik ve açıklık ortalarında maksimum olduğu görülmektedir.

Şekil 4.139-4.150’ de kablolu köprü kulesindeki eleman kuvvetleri ve maksimum yerdeğiştirmeler görülmektedir. Bu grafikler, homojen tabakalı yumuşak zemin, homojen

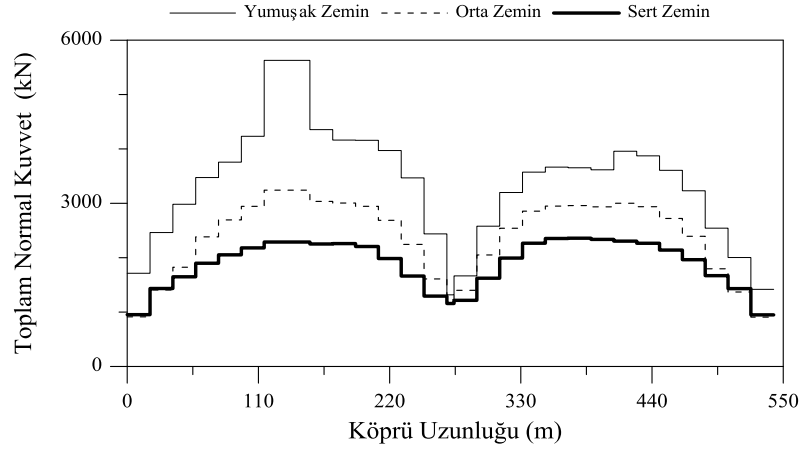
tabakalı orta zemin ve homojen tabakalı sert zemindeki yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin toplam, dinamik ve zahiri-statik bileşenlerinden oluşmaktadır.

şekil 4.139-4.141de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki normal kuvvet değişimi görölmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zeminde oluşan normal kuvvetler diğer homojen tabakalı zeminlerde oluşan normal kuvvetlere göre oldukça fazla olmaktadır. Normal kuvvetlerin kule tabliye birleşim noktalarında maksimum olduğu, kulenin üst noktalarında bu değerlerin azaldığı görölmektedir.

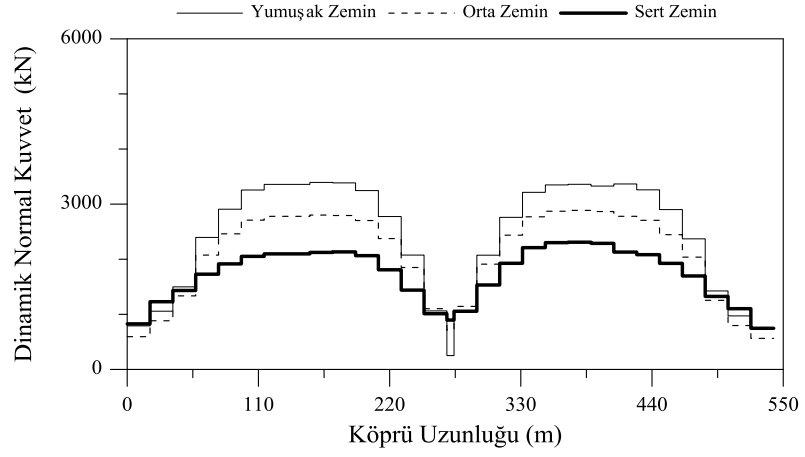
şekil 4.142-4.144'da homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki kesme kuvveti değişimi görölmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda kesme kuvveti değerlerinin daha fazla olduğu ve bu değerlerin kulenin üst noktasına yakın bölgede maksimum olmaktadır.

şekil 4.145-4.147'de çeşitli homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki eğilme momenti değişimi görölmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda eğilme momentinin diğer homojen tabakalı zeminlerde oluşan eğilme momentlerine göre daha büyük olduğu görölmektedir.

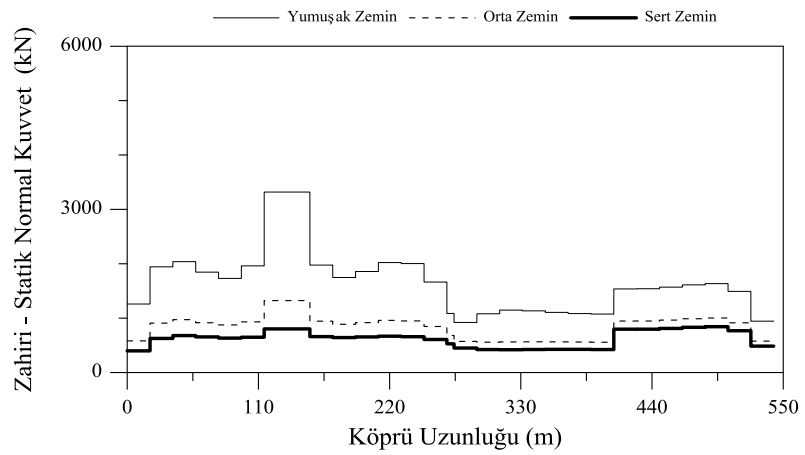
şekil 4.148-4.150'de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki yerdeğiştirmeler görölmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan yerdeğiştirmeler daha fazla olmaktadır.



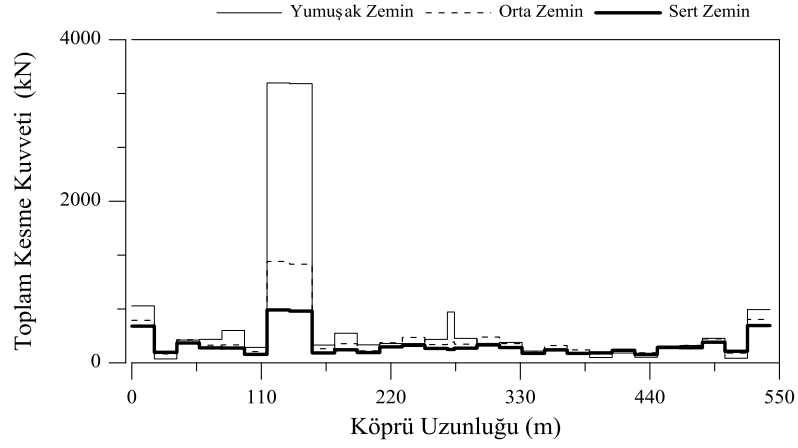
Şekil 4.127. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam normal kuvvetleri



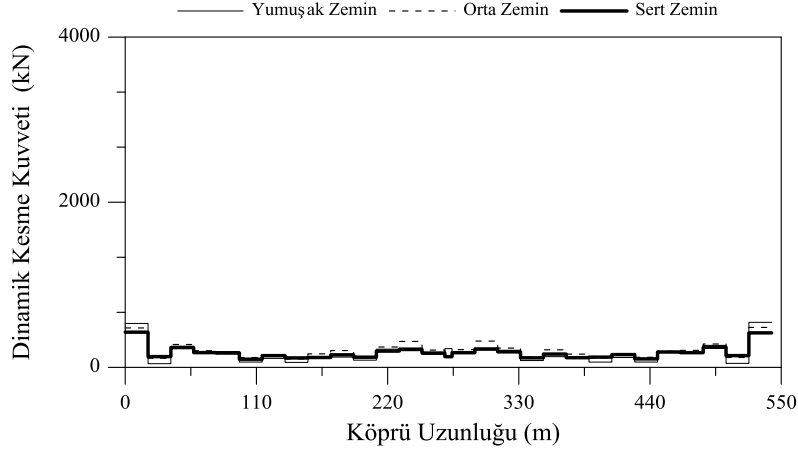
Şekil 4.128. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik normal kuvvetleri



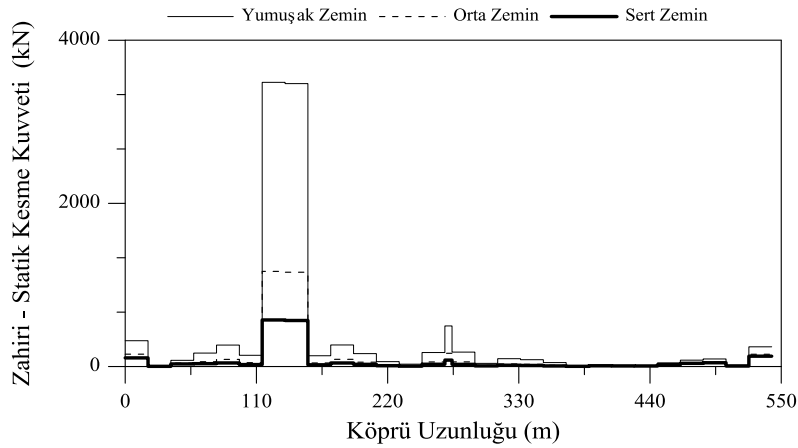
Şekil 4.129. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik normal kuvvetleri



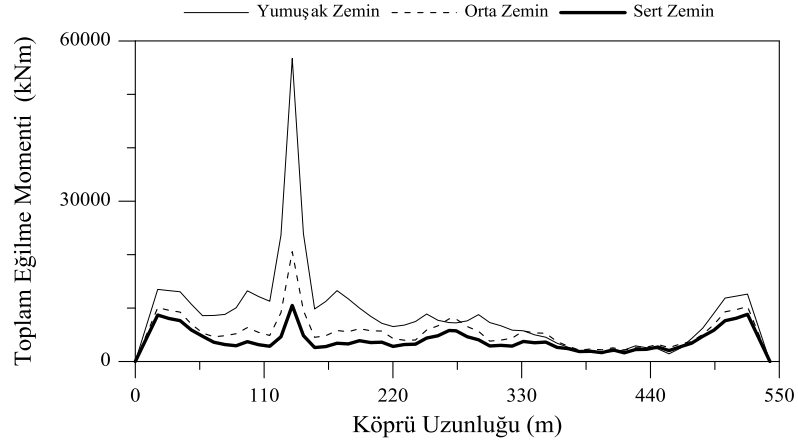
Şekil 4.130. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam kesme kuvvetleri



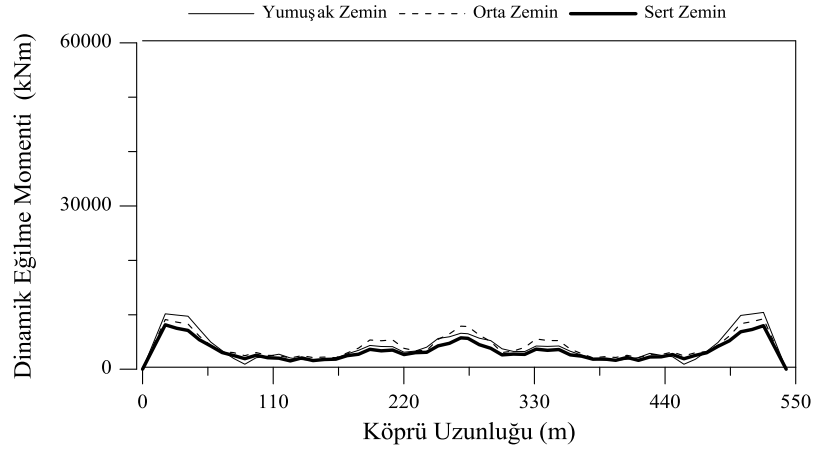
Şekil 4.131. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik kesme kuvvetleri



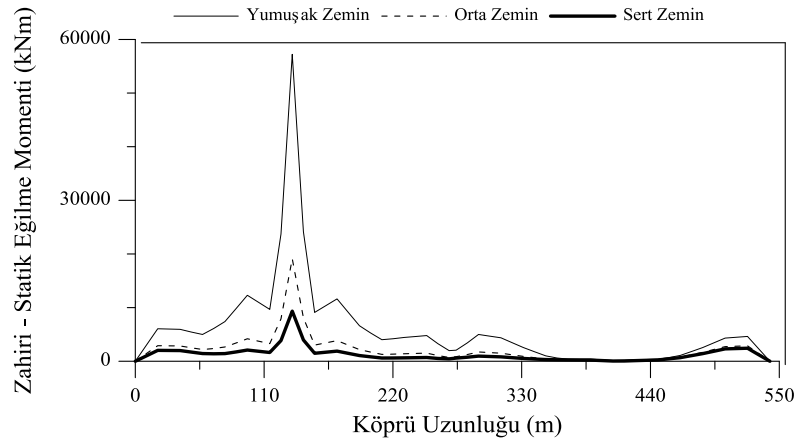
Şekil 4.132. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri



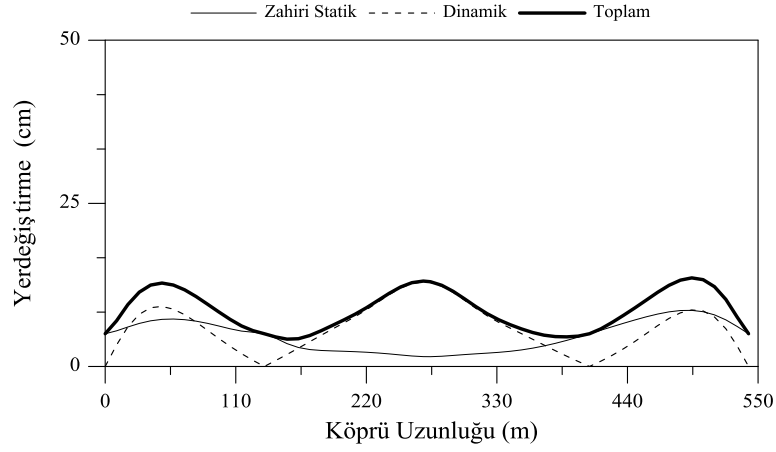
Şekil 4.133. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam eğilme momentleri



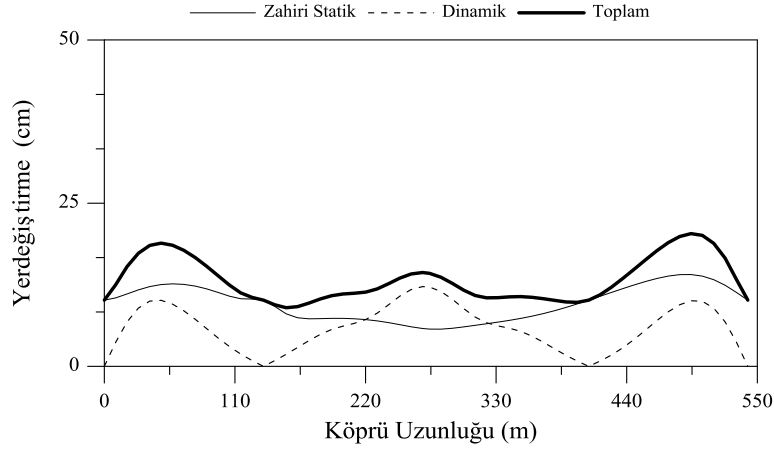
Şekil 4.134. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik eğilme momentleri



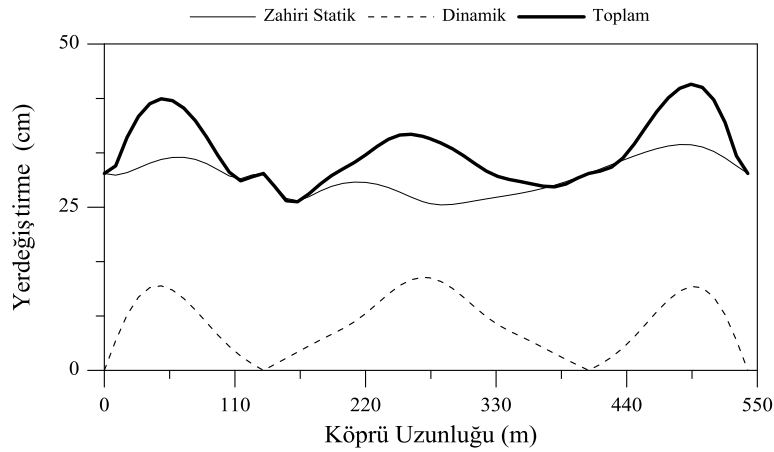
Şekil 4.135. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik eğilme momentleri



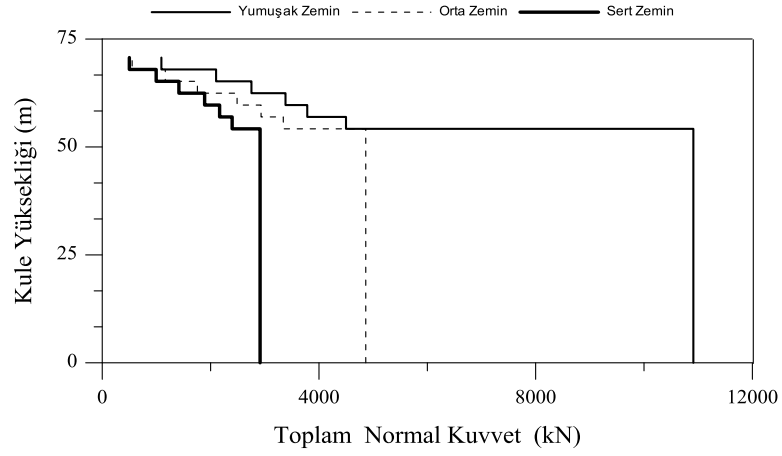
Şekil 4.136. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin sert zemindeki yerdeğiştirmeleri



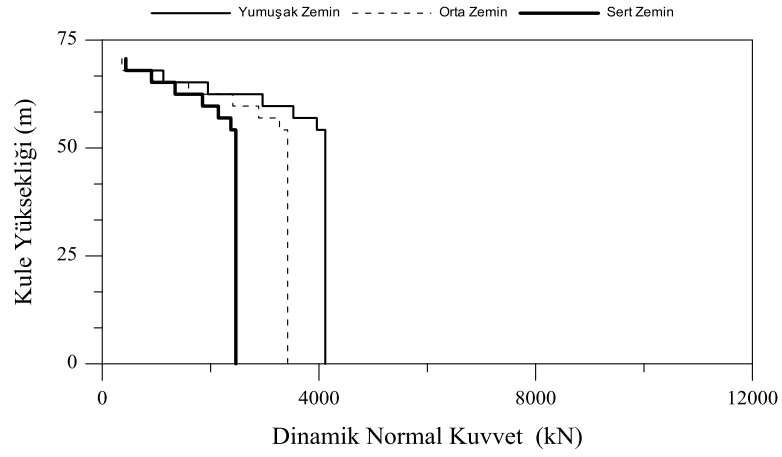
Şekil 4.137. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin orta zemindeki yerdeğiştirmeleri



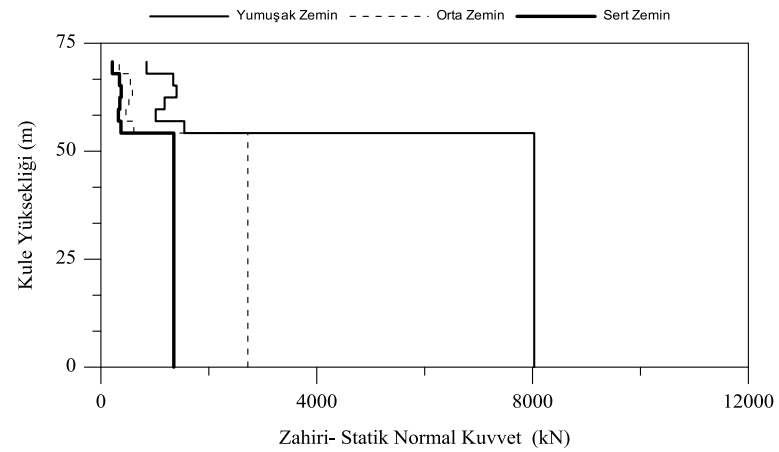
Şekil 4.138. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki yerdeğiştirmeleri



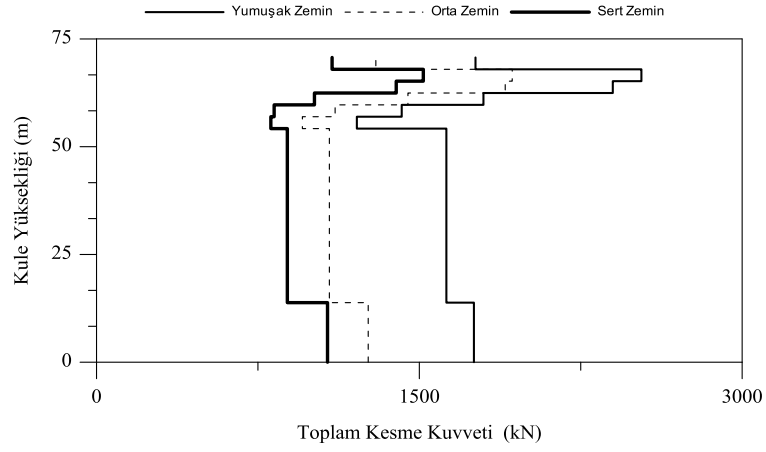
Şekil 4.139. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam normal kuvvetleri



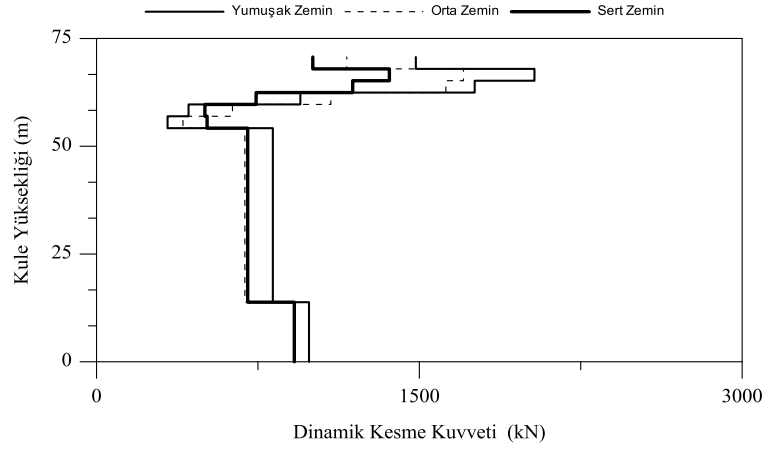
Şekil 4.140. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin dinamik normal kuvvetleri



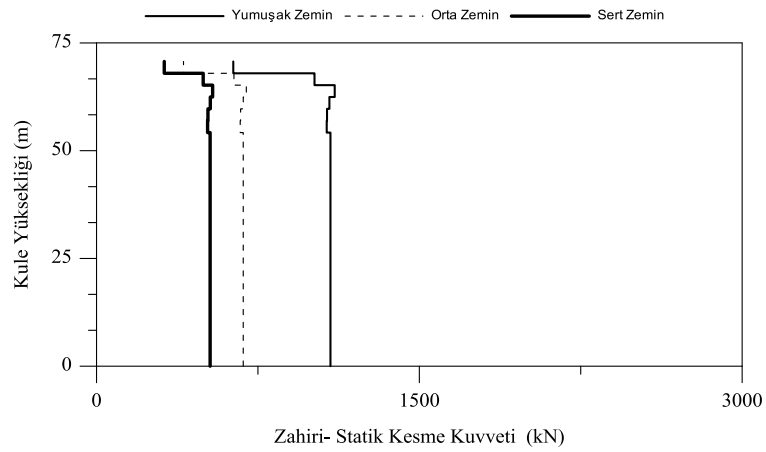
Şekil 4.141. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik normal kuvvetleri



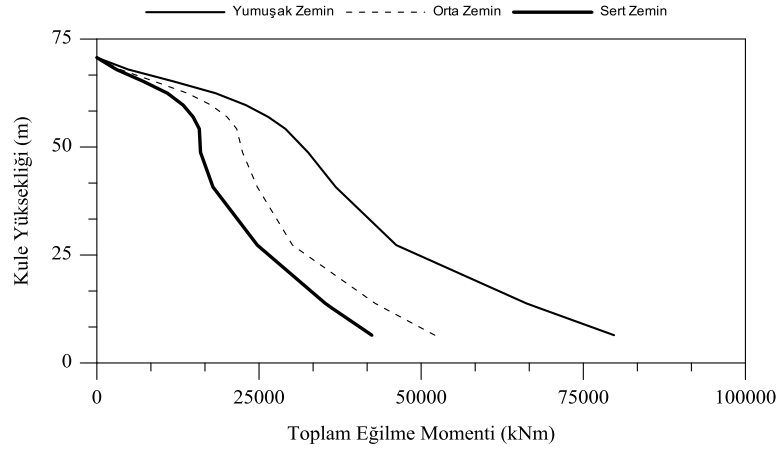
Şekil 4.142. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam kesme kuvvetleri



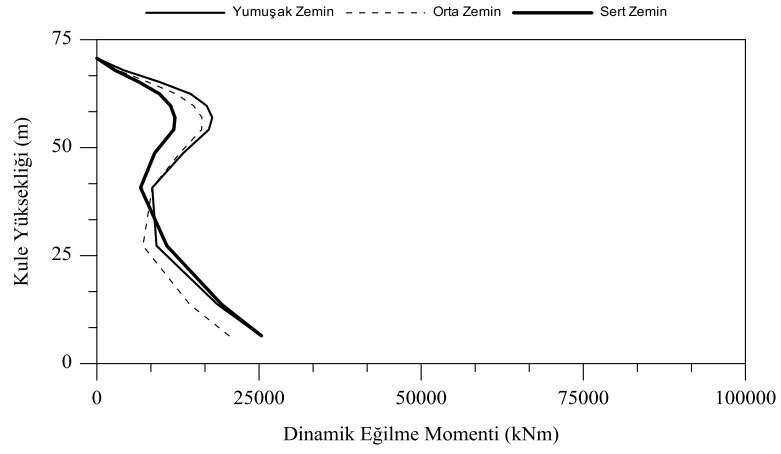
Şekil 4.143. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin dinamik kesme kuvvetleri



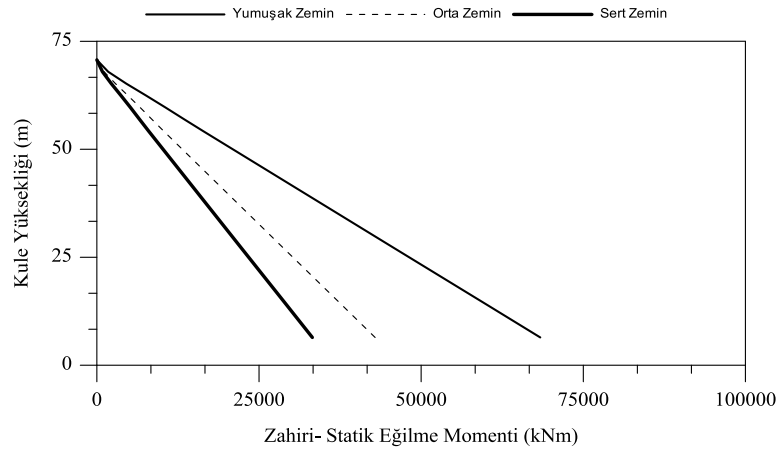
Şekil 4.144. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri



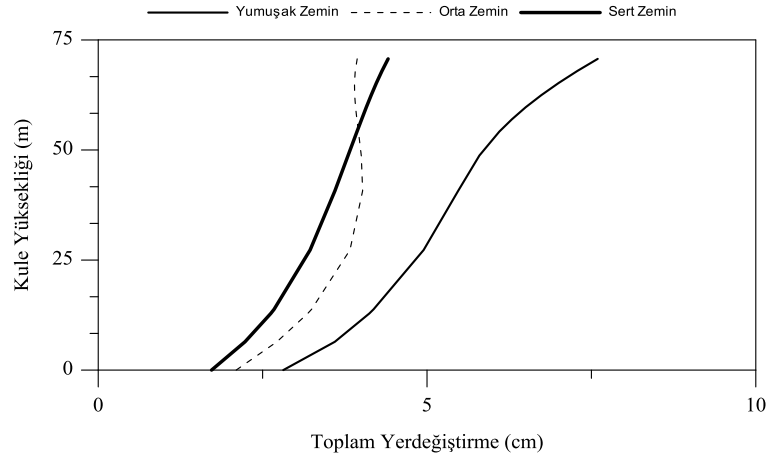
Şekil 4.145. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam eğilme momentleri



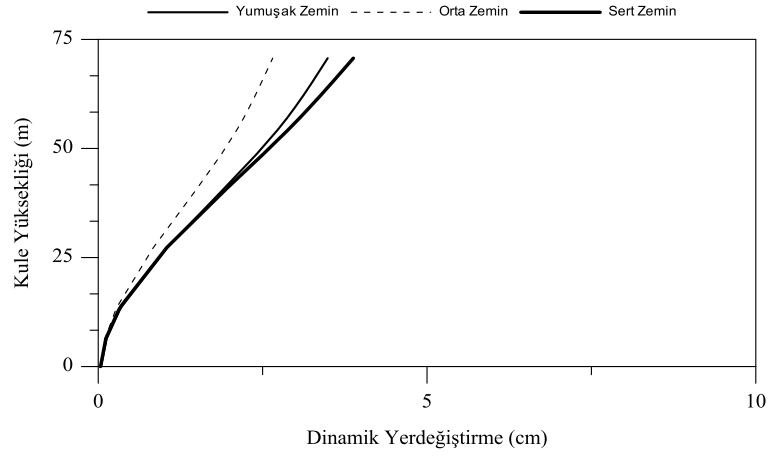
Şekil 4.146. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin dinamik eğilme momentleri



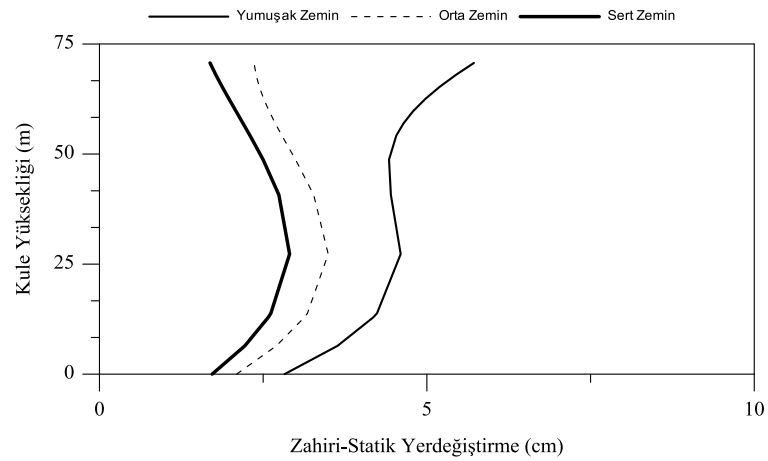
Şekil 4.147. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik eğilme momentleri



Şekil 4.148. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam yerdeğştirmeleri

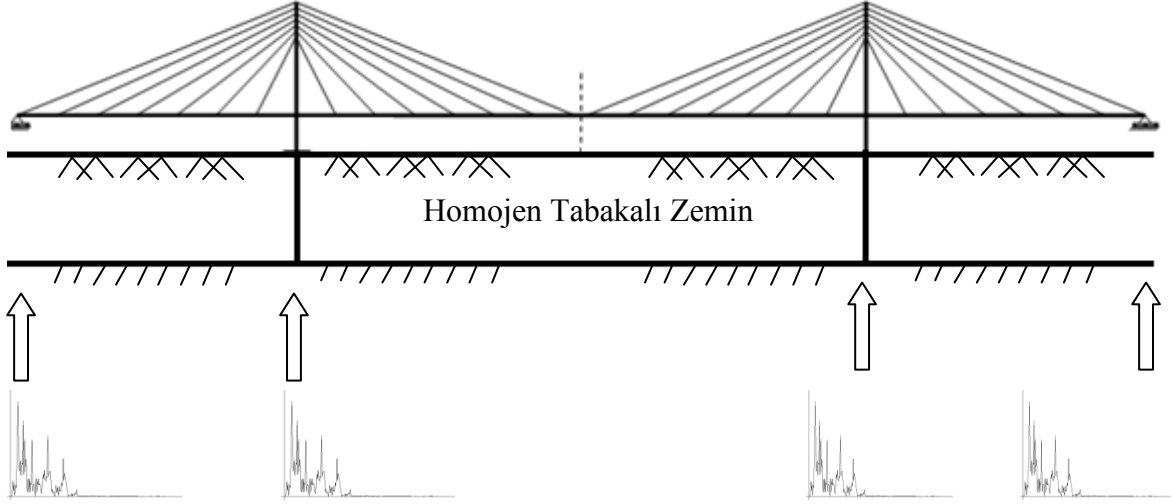


Şekil 4.149. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin dinamik yerdeğştirmeleri



Şekil 4.150. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik yerdeğştirmeleri

4.2.3. Sadece Üniorm Yer Hareketi Etkisinin Dikkate Alınması Durumunda Zemin Yapı-Etkileşimi Dikkate Alınan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının İrdelenmesi



a) 1999 Kocaeli depremi ivme spektral yoğunluk fonksiyonu



b) Sert zemin türü için ivme spektral yoğunluk fonksiyonu



c) Orta zemin türü için ivme spektral yoğunluk fonksiyonu



d) Yumuşak zemin türü için ivme spektral yoğunluk fonksiyonu

Şekil 4.151. Sadece üniorm yer hareketi etkisine maruz zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprünün modeli

Kablolu köprünün mesnetlendiği zeminin homojen tabakalı zemin olduğu kabul edilerek; üniorm yer hareketi etkisi durumunda zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak kablolu köprünün stokastik analizleri yapılmıştır. Şekil 4.151'de sadece üniorm yer

hareketi etkisine maruz ve zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprünün analitik modeli görülmektedir.

Çeşitli homojen tabakalı zemin durumlarında zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak gerçekleştirilen stokastik analizler sonucunda köprü tabliyesindeki ve kulesindeki yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri Şekil 4.152-4.175’de görülmektedir. Bu grafikler, yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin zahiri-statik, dinamik ve toplam değerlerinden oluşmaktadır.

Şekil 4.152-4.154’de homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda normal kuvvetlerin daha fazla olduğu görülmektedir. Bu değerlerinin açıklık ortasında ve mesnet bölgelerinde azalmakta kule tabliye birleşim bölgesine yakın noktalarda ise arttığı gözlenmektedir.

Şekil 4.155-4.157’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki kesme kuvveti değişimi görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda mesnet bölgesinde kesme kuvvet değerleri maksimum, homojen tabakalı orta zemin durumunda açıklık ortasına yakın bölgelerde kesme kuvveti değerlerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Açıklık ortasında oluşan zahiri-statik kesme kuvvetleri sıfıra çok yakın olduğu gözlenmektedir.

Şekil 4.158-4.160’da homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki eğilme momenti değişimi görülmektedir. Mesnet bölgesine yakın noktalarda homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda ve açıklık ortasında homojen tabakalı orta zemin durumunda toplam eğilme momenti maksimum olduğu gözlenmektedir.

Şekil 4.161-4.163’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki zahiri-statik, dinamik ve toplam yerdeğiştirmeler görülmektedir. Oluşan yerdeğiştirmeler açıklık ortasına göre simetrik olmaktadır. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda ise yerdeğiştirmelerin daha fazla olduğu gözlenmektedir.

Şekil 4.164-4.175’de kablolu köprü kulesindeki eleman kuvvetleri ve maksimum yerdeğiştirmeler görülmektedir. Bu grafikler, homojen tabakalı yumuşak zemin, homojen tabakalı orta zemin ve homojen tabakalı sert zemindeki yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin toplam, dinamik ve zahiri-statik bileşenlerinden oluşmaktadır.

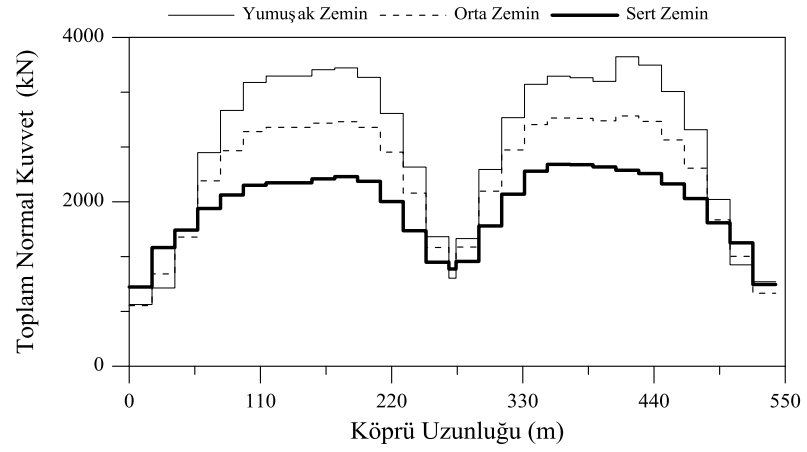
Şekil 4.164-4.166’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki normal kuvvet değişimi görülmektedir. Zahiri-statik normal kuvvetler toplam normal kuvvetlere göre oldukça küçük olmaktadır. Homojen tabakalı yumuşak zeminde oluşan normal kuvvetler diğer homojen tabakalı zeminlerde oluşan normal kuvvetlere göre

daha fazla olduğu gözlenmektedir. Normal kuvvetlerin kule tabliye birleşim noktalarında maksimum olduğu, kulenin üst noktalarında bu değerlerin azaldığı görülmektedir.

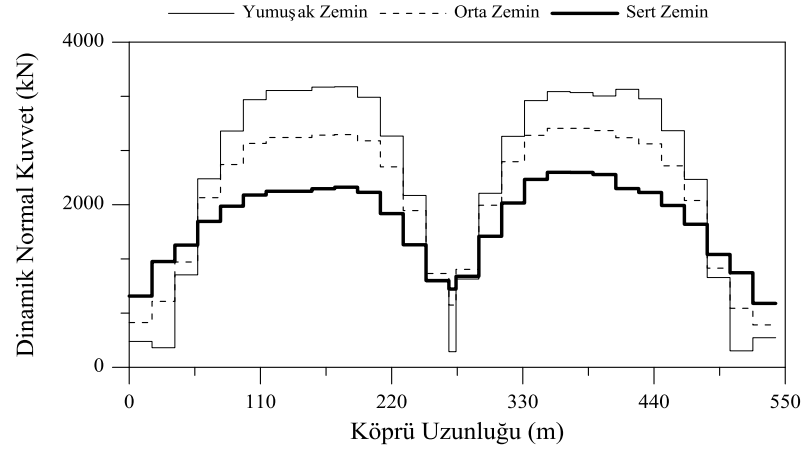
Şekil 4.167-4.169'de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki kesme kuvveti değişimi görülmektedir. Kesme kuvveti değerlerinin homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda daha fazla ve bu değerlerin kulenin üst noktasına yakın bölgede maksimum olduğu gözlenmektedir.

Şekil 4.170-4.172'de çeşitli homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki eğilme momenti değişimi görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda eğilme momenti daha büyük olmaktadır.

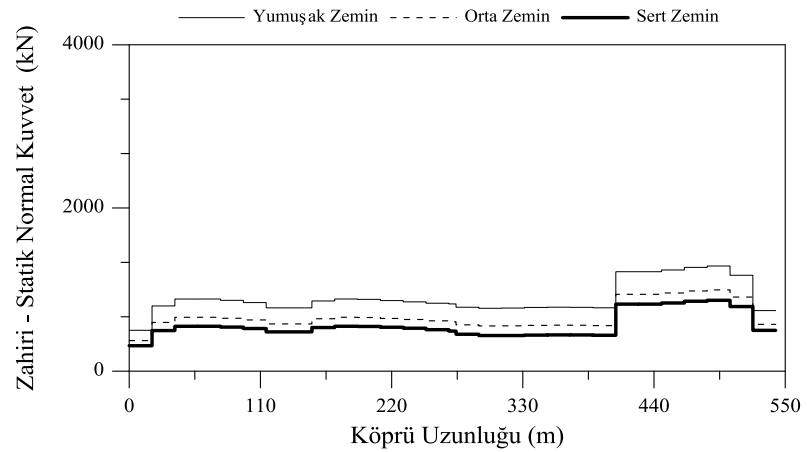
Şekil 4.173-4.175'de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki yerdeğıştirmeler görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan yerdeğıştirmeler daha fazla olmaktadır.



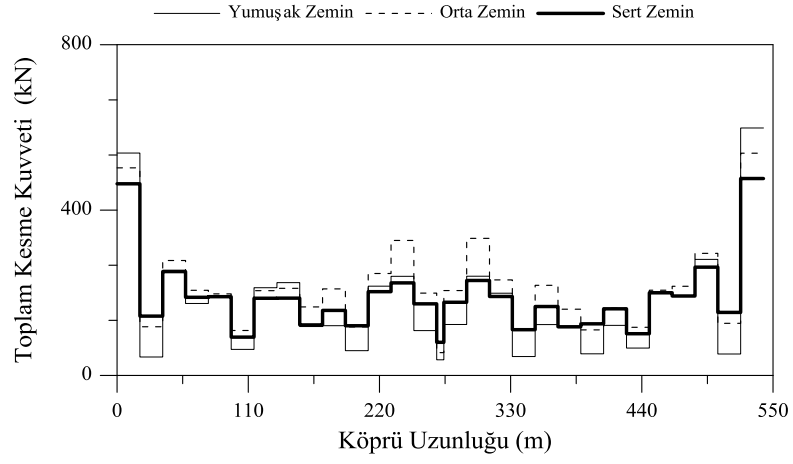
Şekil 4.152. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam normal kuvvetleri



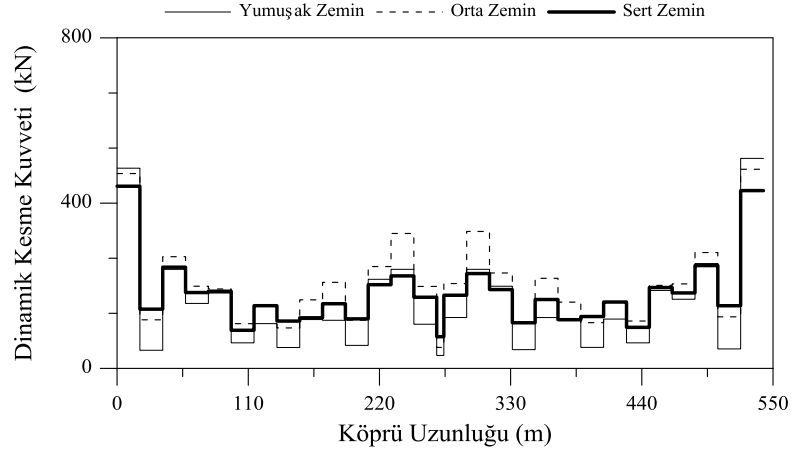
Şekil 4.153. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik normal kuvvetleri



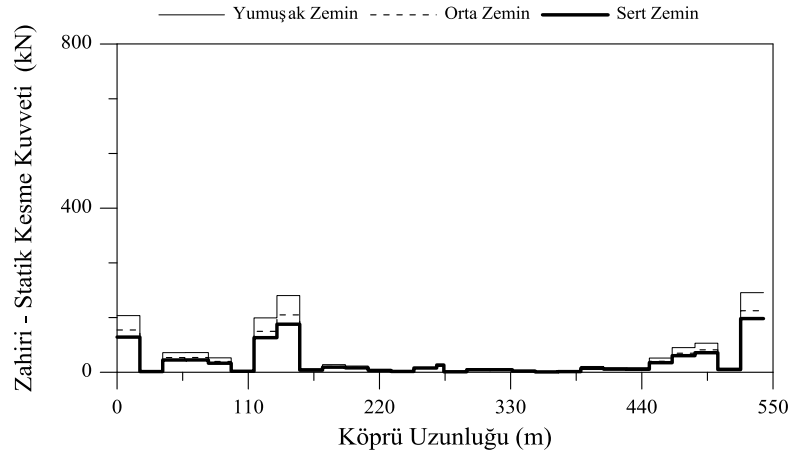
Şekil 4.154. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik normal kuvvetleri



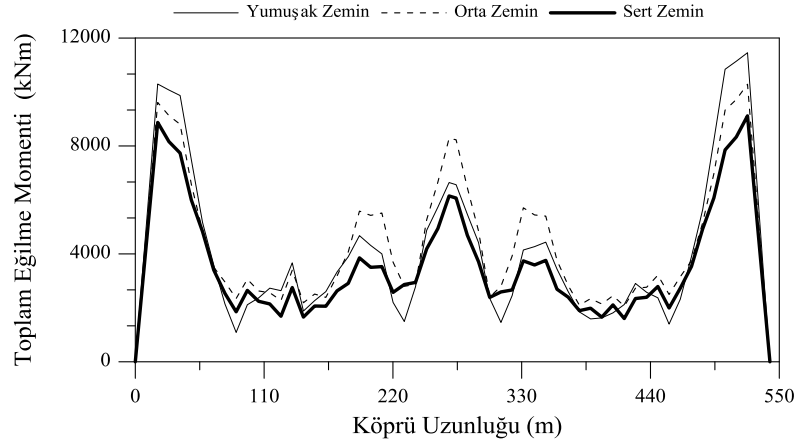
Şekil 4.155. Üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam kesme kuvvetleri



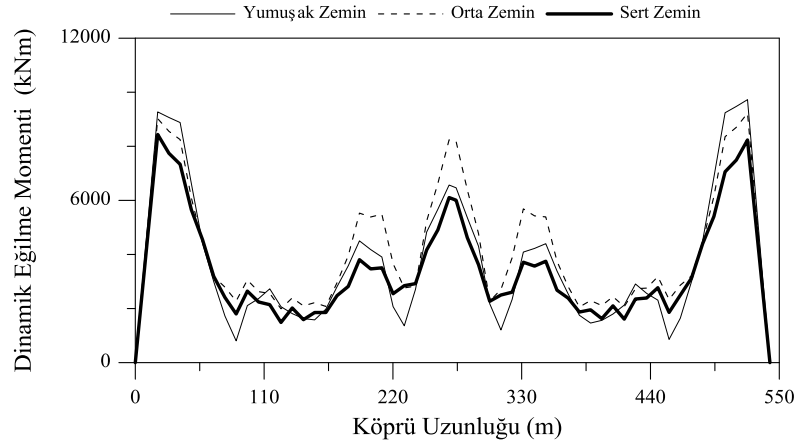
Şekil 4.156. Üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik kesme kuvvetleri



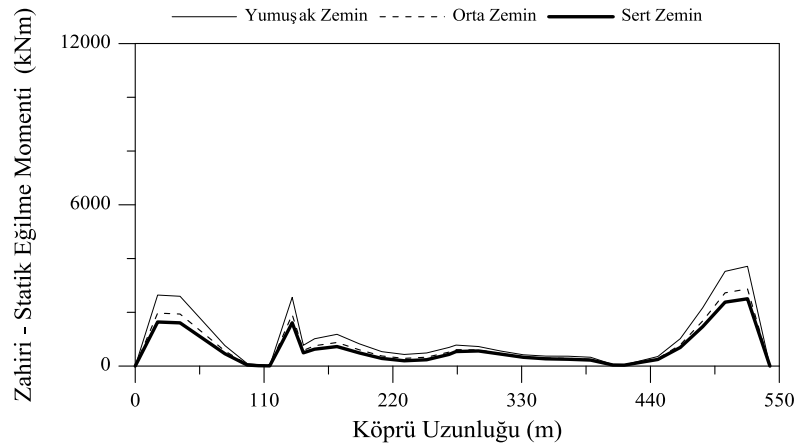
Şekil 4.157. Üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri



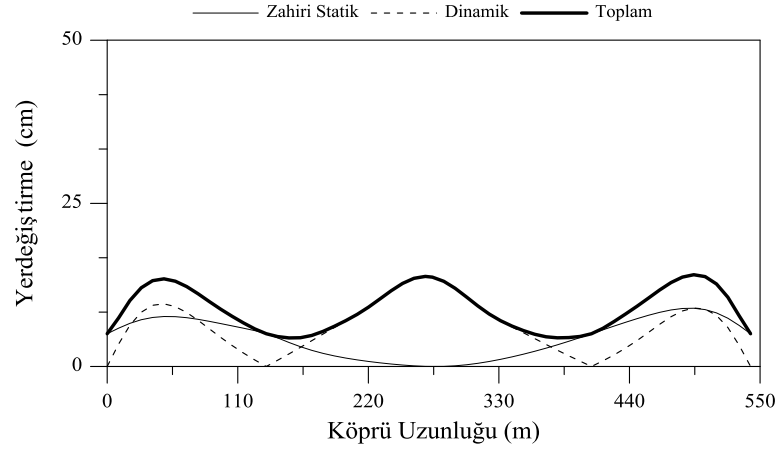
Şekil 4.158. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam eğilme momentleri



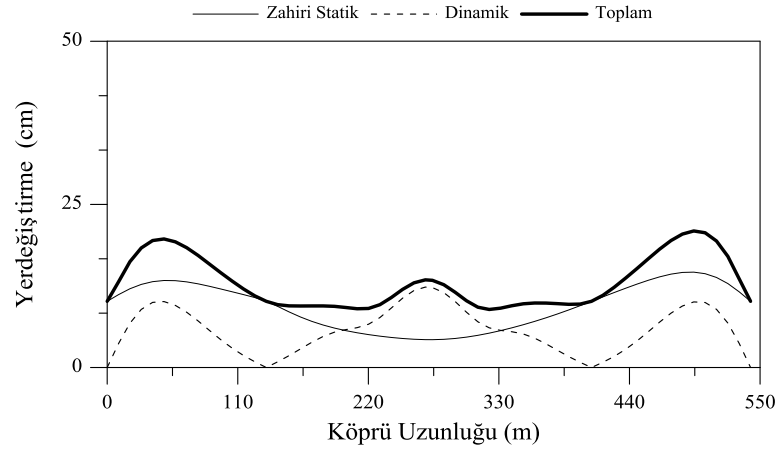
Şekil 4.159. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik eğilme momentleri



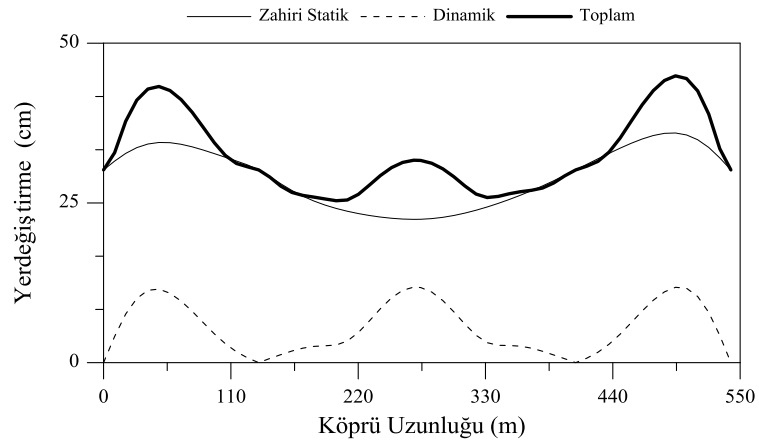
Şekil 4.160. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik eğilme momentleri



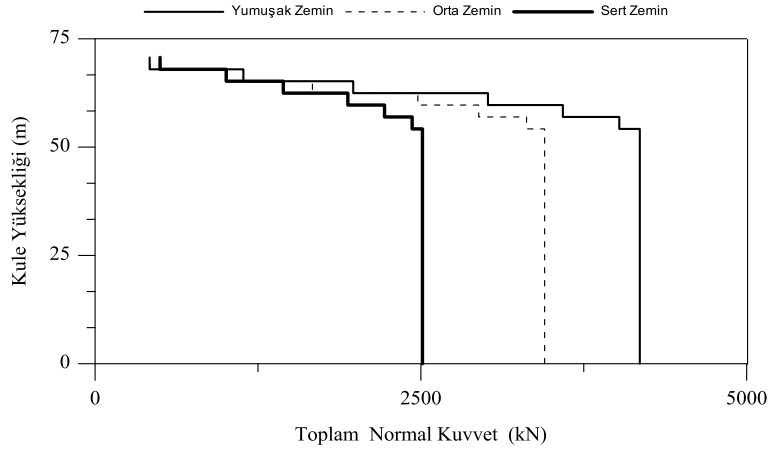
Şekil 4.161. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin sert zemindeki yerdeğiştirmeleri



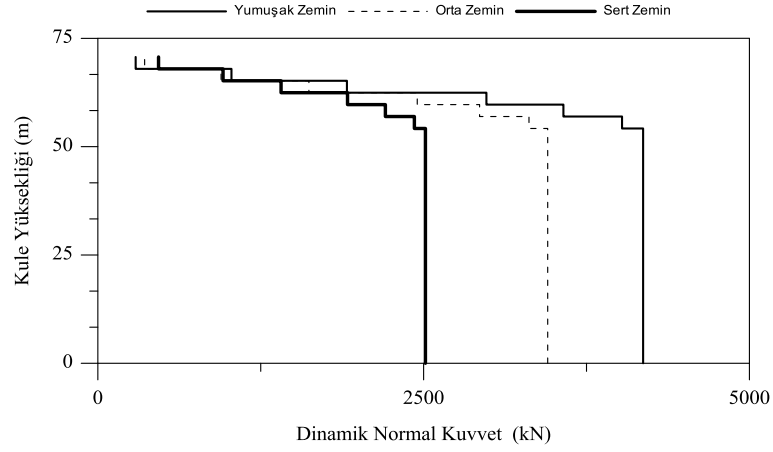
Şekil 4.162. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin orta zemindeki yerdeğiştirmeleri



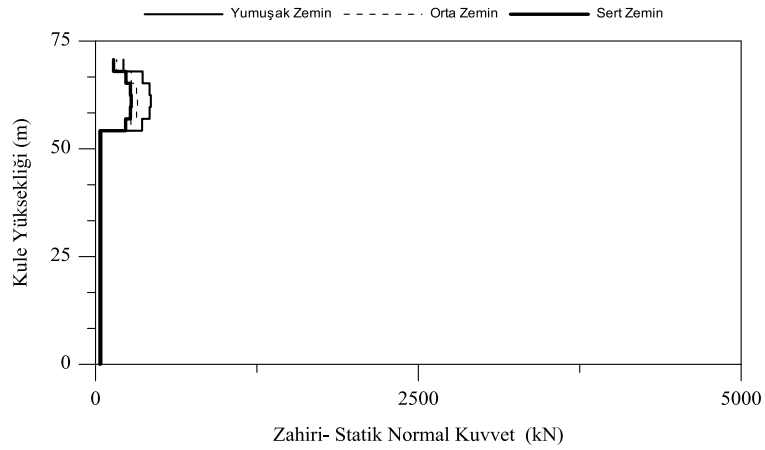
Şekil 4.163. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki yerdeğiştirmeleri



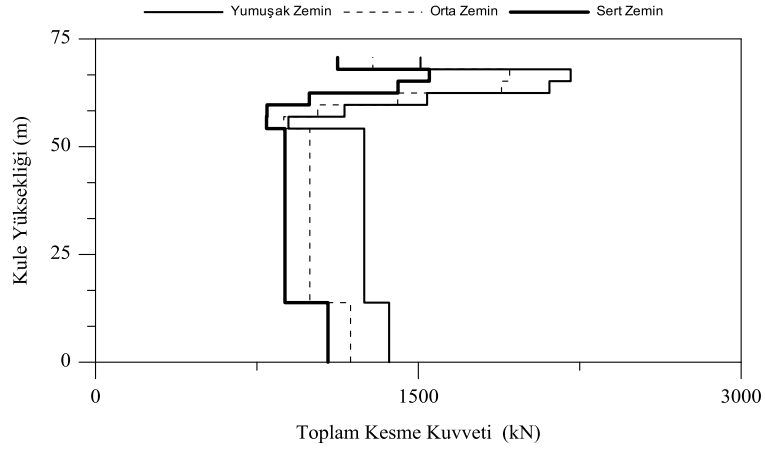
Şekil 4.164. Üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam normal kuvvetleri



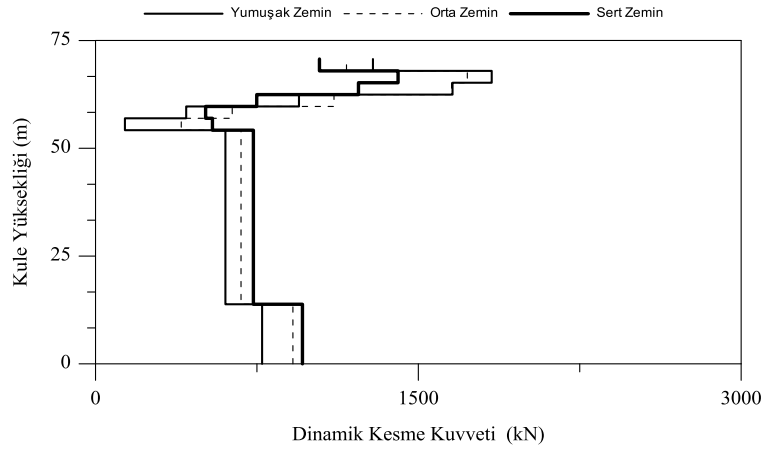
Şekil 4.165. Üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam kesme kuvvetleri



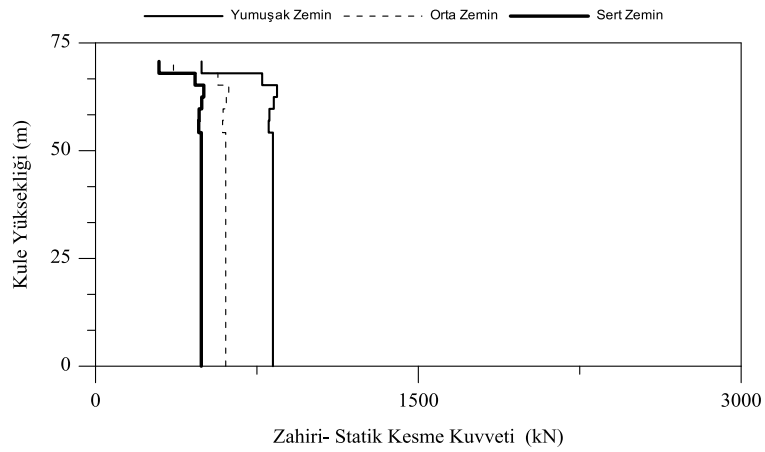
Şekil 4.166. Üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik normal kuvvetleri



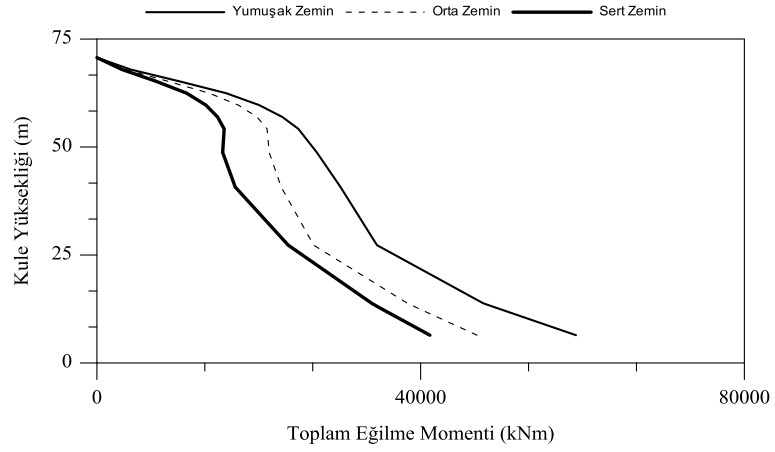
Şekil 4.167. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam kesme kuvvetleri



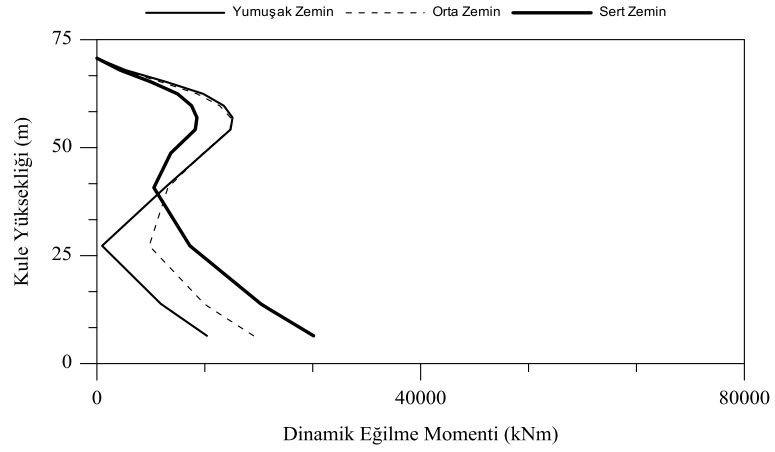
Şekil 4.168. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin dinamik kesme kuvvetleri



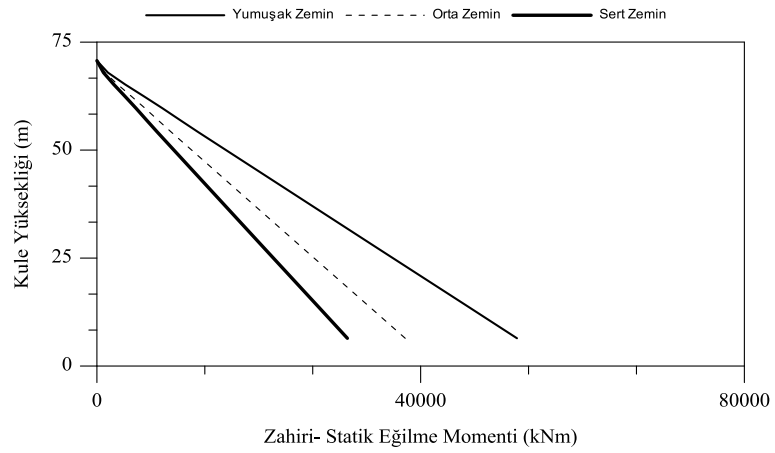
Şekil 4.169. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri



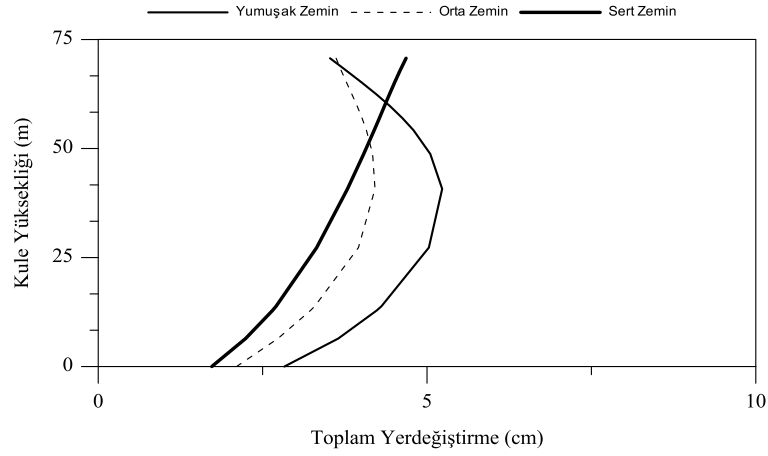
Şekil 4.170. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam eğilme momentleri



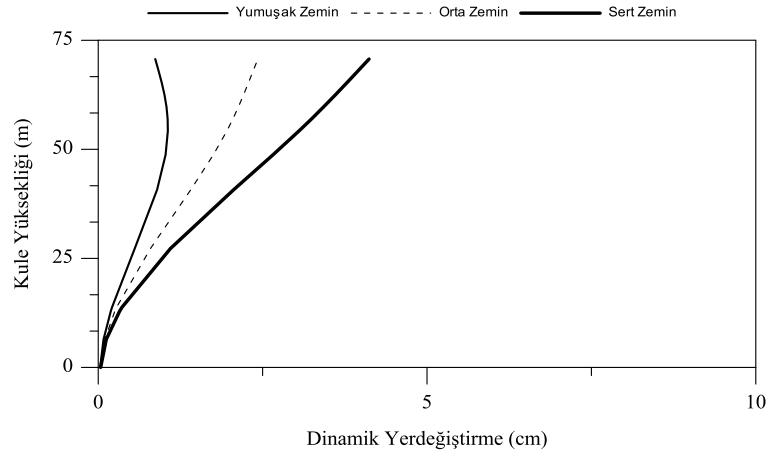
Şekil 4.171. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin dinamik eğilme momentleri



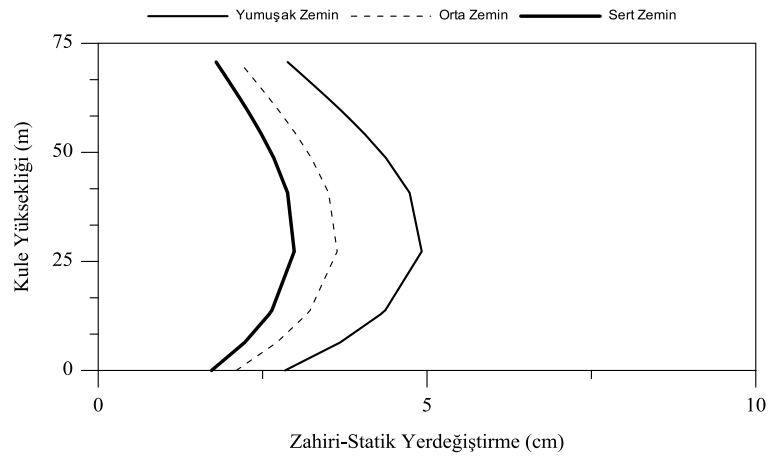
Şekil 4.172. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik eğilme momentler



Şekil 4.173. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam yerdeğıştirmeleri

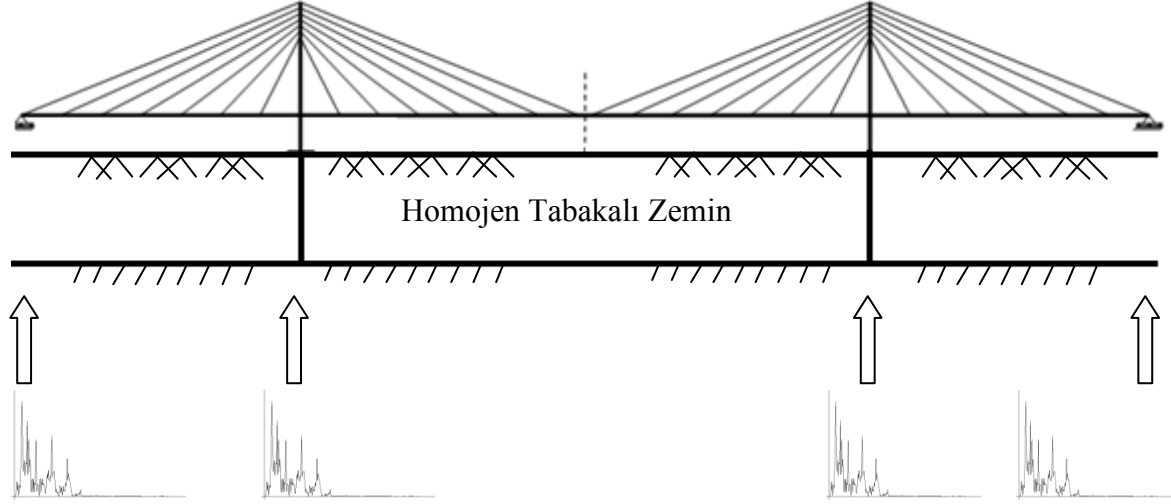


Şekil 4.174. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin dinamik yerdeğıştirmeleri



Şekil 4.175. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik yerdeğıştirmeleri

4.2.4. Dalga Yayılma, Korelasyon ve Üiform Yer Hareketi Etkilerinin Dikkate Alınması Durumunda Zemin Yapı-Etkileşimi Dikkate Alınan Köprü'nün Stokastik Analiz Sonuçlarının İncelenmesi



a) 1999 Kocaeli depremi ivme spektral yoğunluk fonksiyonu



b) Sert zemin türü için ivme spektral yoğunluk fonksiyonu



c) Orta zemin türü için ivme spektral yoğunluk fonksiyonu



d) Yumuşak zemin türü için ivme spektral yoğunluk fonksiyonu

Şekil 4.176. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisine maruz zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü'nün modeli

Kablolu köprü'nün mesnetlendiği zeminin homojen tabakalı zemin olduğu kabul edilerek; üniform yer hareketi etkisi durumunda zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak

kablolu köprünün stokastik analizleri yapılmıştır. Şekil 4.176'da dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerine maruz ve zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprünün analitik modeli görülmektedir.

Homojen tabakalı zemin durumlarında zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak gerçekleştirilen stokastik analizler sonucunda köprü tabliyesindeki ve kulesindeki yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri Şekil 4.177-4.200'de görülmektedir. Bu grafikler, yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin zahiri-statik, dinamik ve toplam değerlerinden oluşmaktadır.

Şekil 4.177-4.179'da homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda normal kuvvetlerin daha fazla olduğu görülmektedir. Bu değerlerinin açıklık ortasında ve mesnet bölgelerinde azaldığı kule tabliye birleşim bölgesine yakın noktalarda ise arttığı gözlenmektedir. Quincy kulesi tabliye birleşim bölgesinde normal kuvvetlerin maksimum olduğu görülmektedir.

Şekil 4.180-4.182'de Quincy kulesi tabliye birleşim bölgesinde kesme kuvveti değerlerinin maksimum olduğu görülmektedir. homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda kesme kuvveti değişimi diğer homojen tabakalı zeminlere göre daha fazla olduğu gözlenmektedir.

Şekil 4.183-4.185'de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki eğilme momenti değişimi görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda eğilme momenti değişiminin homojen tabakalı orta zemin ve homojen tabakalı sert zemine göre daha fazla olduğu gözlenmektedir.

Şekil 4.186-4.188'de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü tabliyesindeki zahiri-statik, dinamik ve toplam yerdeğiştirmeler görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda tabliyede görülen yerdeğiştirmeler homojen tabakalı orta zemin ve homojen tabakalı sert zemin durumunda oluşan yerdeğiştirmelere göre oldukça fazla olduğu görülmektedir. Yerdeğiştirmelerin mesnetlerde ve kule tabliye birleşim yerlerinde azalırken açıklık ortasında ve kenar açıklıkların ortasında arttığı gözlemlenmiştir. Oluşan yerdeğiştirmeler açıklık ortasına göre simetrik olmaktadır.

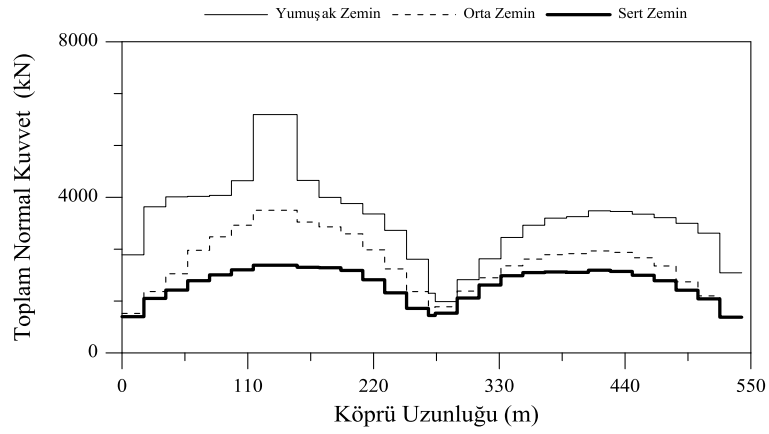
Şekil 4.189-4.200'de kablolu köprü kulesindeki eleman kuvvetleri ve maksimum yerdeğiştirmeler görülmektedir. Bu grafikler, homojen tabakalı yumuşak zemin, homojen tabakalı orta zemin ve homojen tabakalı sert zemindeki yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin toplam, dinamik ve zahiri-statik bileşenlerinden oluşmaktadır.

Şekil 4.189-4.191’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki normal kuvvet değişimi görülmektedir. Homojen tabakalı sert zemin durumunda normal kuvvetlerin diğer homojen tabakalı zemin durumlarında oluşan normal kuvvetlere göre daha az olduğu gözlenmektedir. Normal kuvvetlerin kule tabliye birleşim noktalarında ve homojen tabakalı yumuşak zemin koşullarında maksimum olduğu, kulenin üst noktalarında bu değerlerin azaldığı görülmektedir.

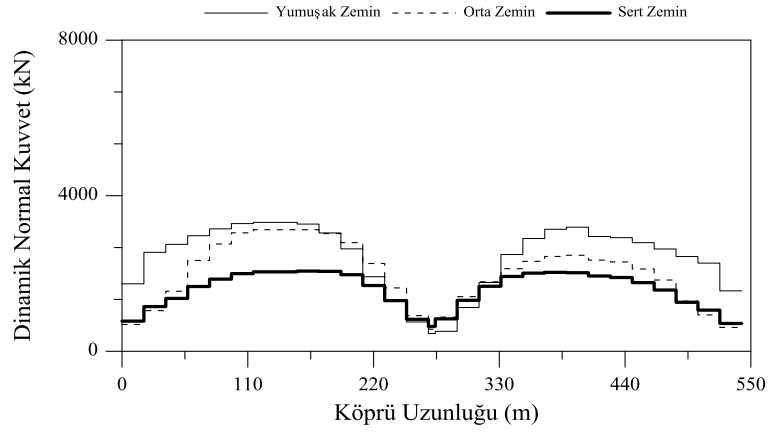
Şekil 4.192-4.194’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki kesme kuvveti değişimi görülmektedir. Kesme kuvveti değerlerinin homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda daha fazla ve bu değerlerin kulenin üst noktasına yakın bölgede maksimum olduğu gözlenmektedir.

Şekil 4.195-4.197’de çeşitli homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki eğilme momenti değişimi görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda eğilme momenti daha büyük olmaktadır. Eğilme momentleri kulenin en üst noktasında sıfır olurken tabliyeye yakın bölgede maksimum olduğu gözlenmektedir.

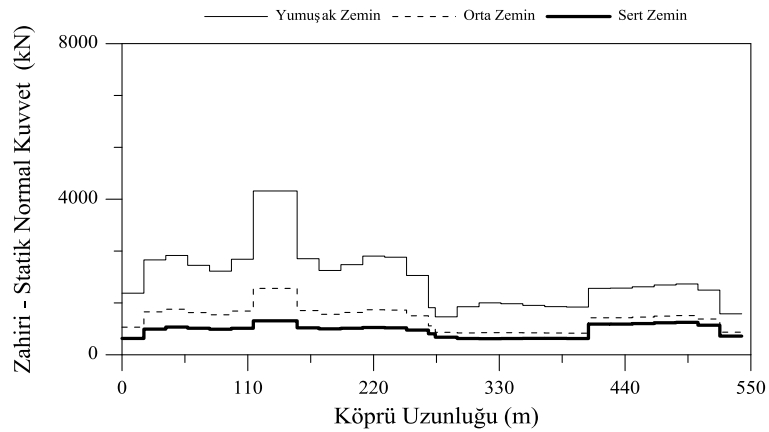
Şekil 4.198-4.200’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü kulesindeki yerdeğiştirmeler görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan yerdeğiştirmeler daha fazla olmaktadır.



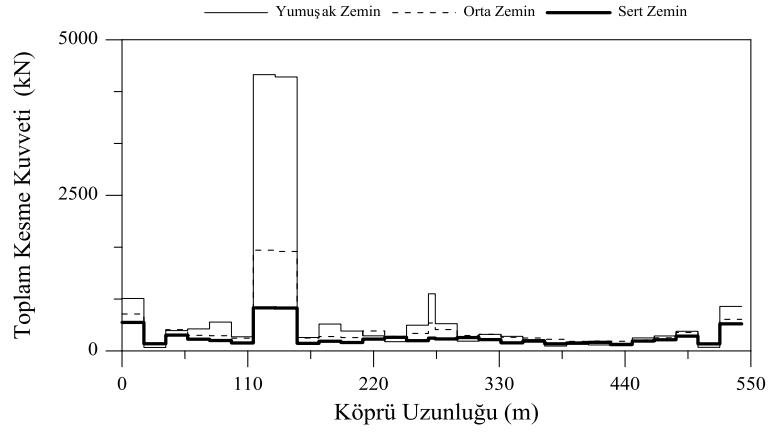
Şekil 4.177. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam normal kuvvetleri



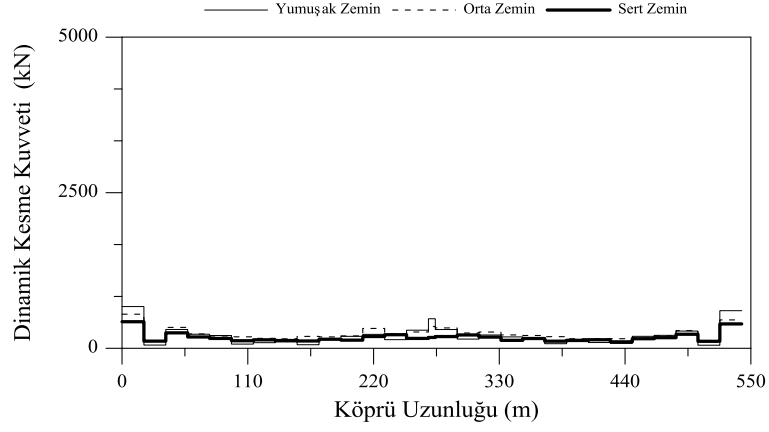
Şekil 4.178. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik normal kuvvetleri



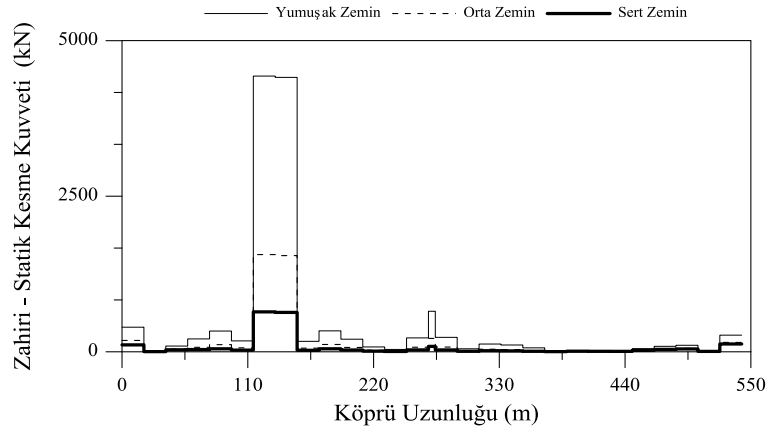
Şekil 4.179. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik normal kuvvetleri



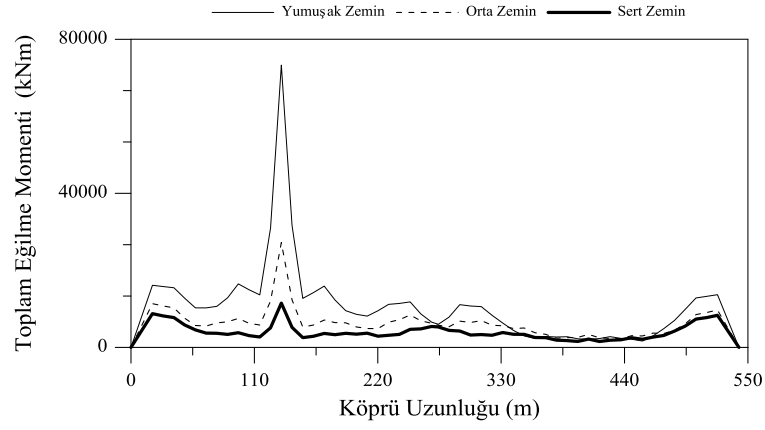
Şekil 4.180. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam kesme kuvvetleri



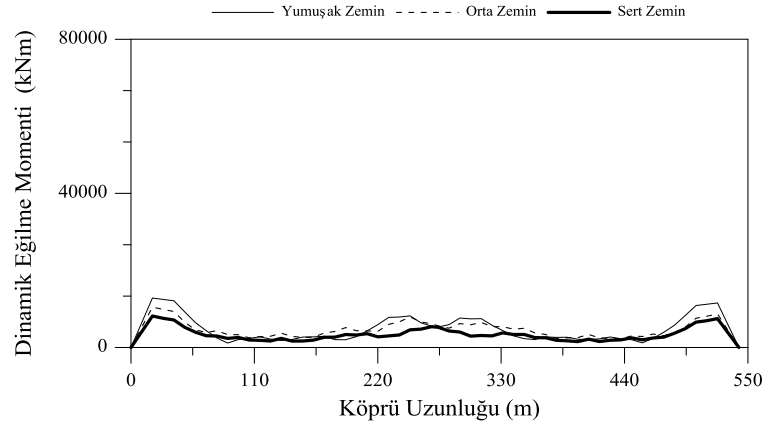
Şekil 4.181. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik kesme kuvvetleri



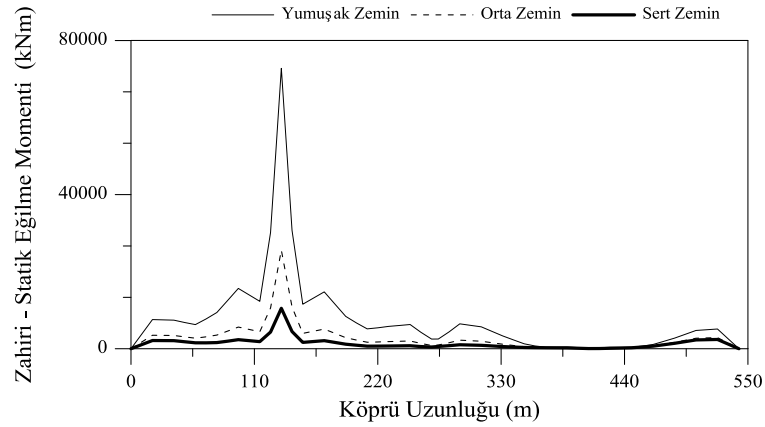
Şekil 4.182. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri



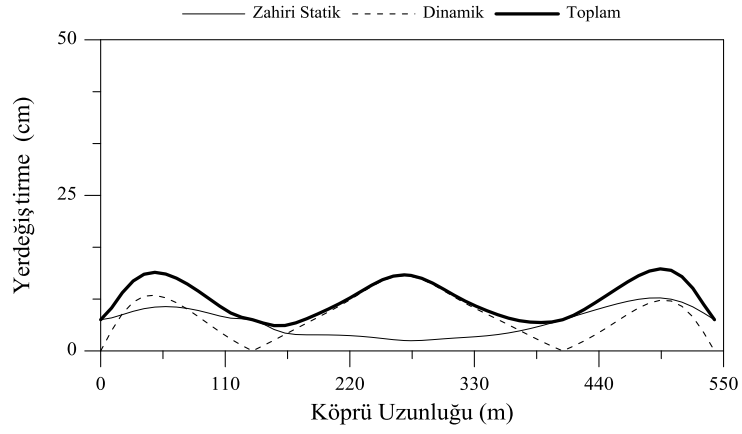
Şekil 4.183. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin toplam eğilme momentleri



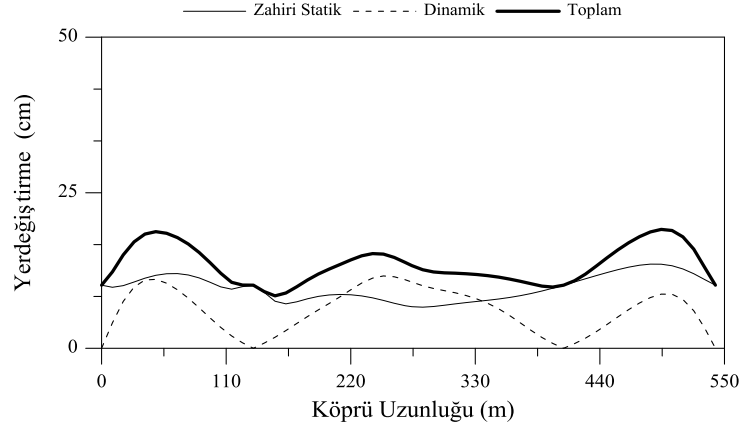
Şekil 4.184. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin dinamik eğilme momentleri



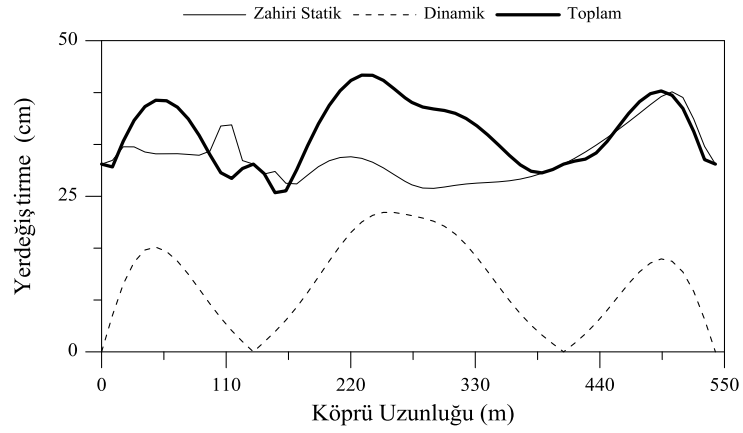
Şekil 4.185. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin zahiri-statik eğilme momentleri



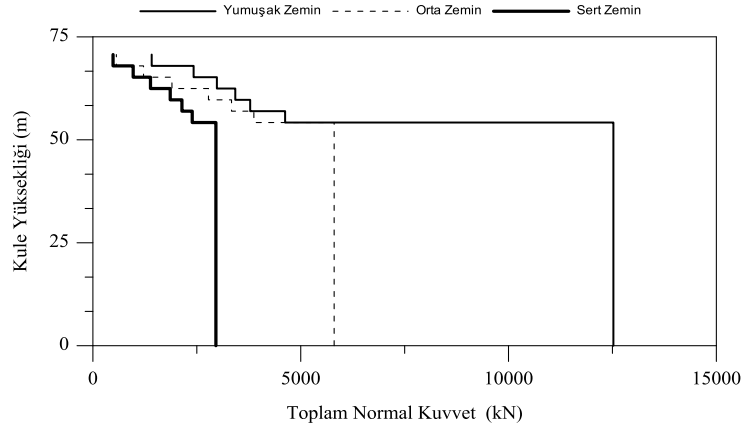
Şekil 4.186. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin sert zemindeki yerdeğiştirmeleri



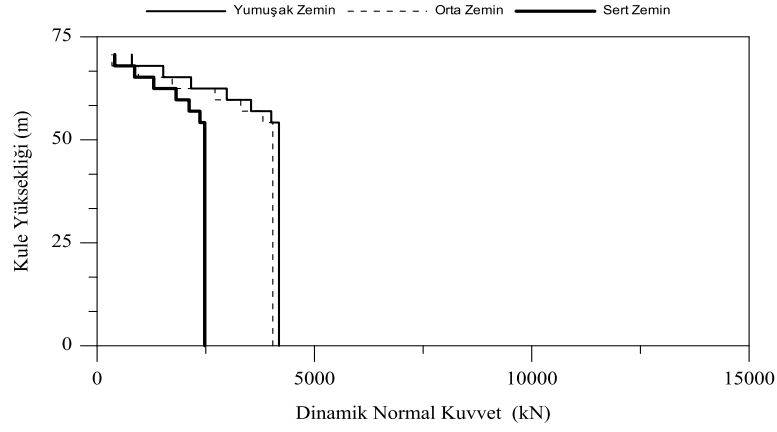
Şekil 4.187. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin orta zemindeki yerdeğiştirmeleri



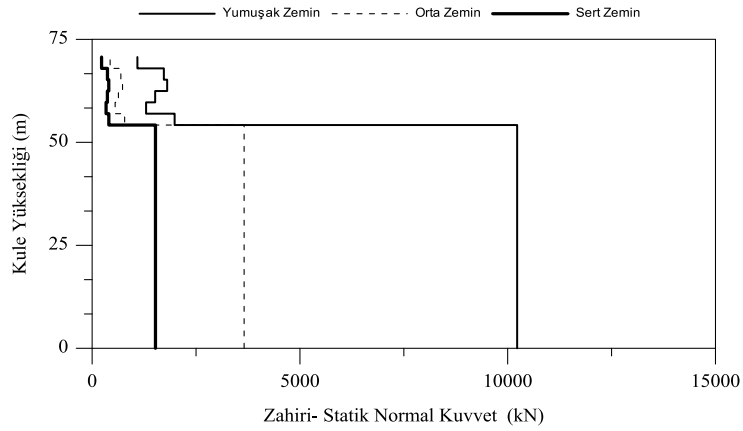
Şekil 4.188. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki yerdeğiştirmeleri



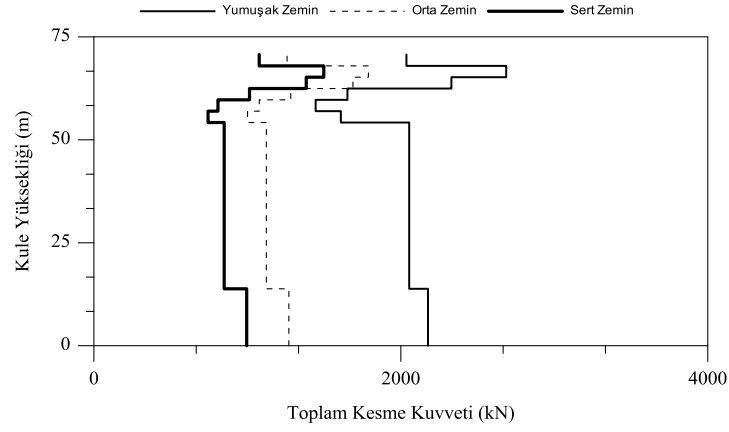
Şekil 4.189. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam normal kuvvetleri



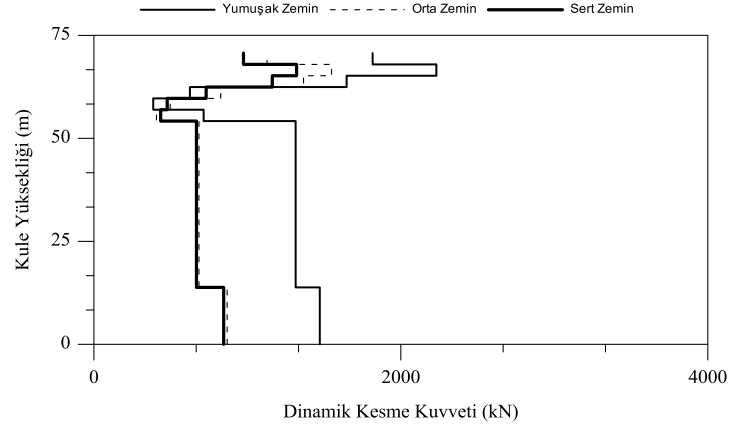
Şekil 4.190. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin dinamik normal kuvvetleri



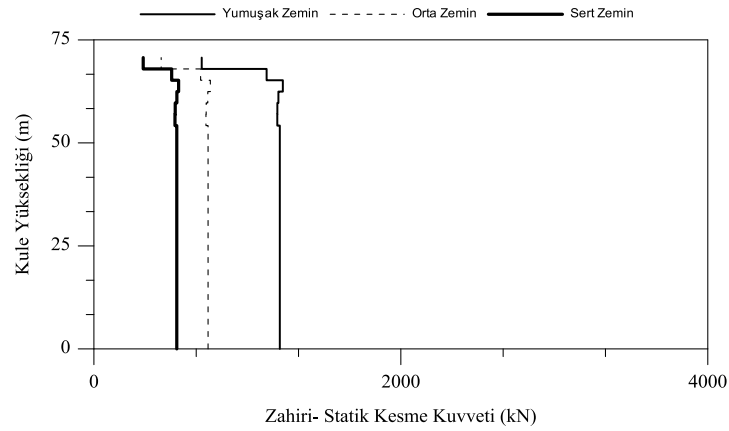
Şekil 4.191. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik normal kuvvetleri



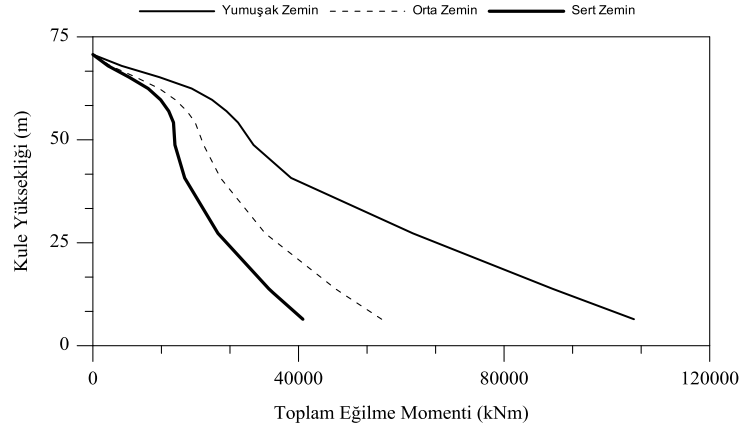
Şekil 4.192. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam kesme kuvvetleri



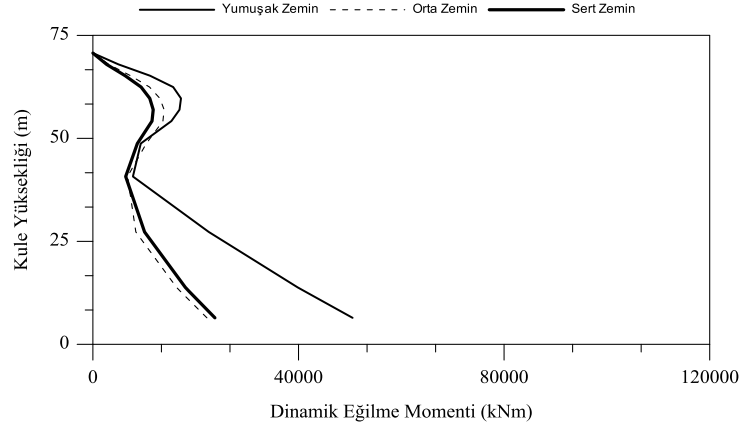
Şekil 4.193. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin dinamik kesme kuvvetleri



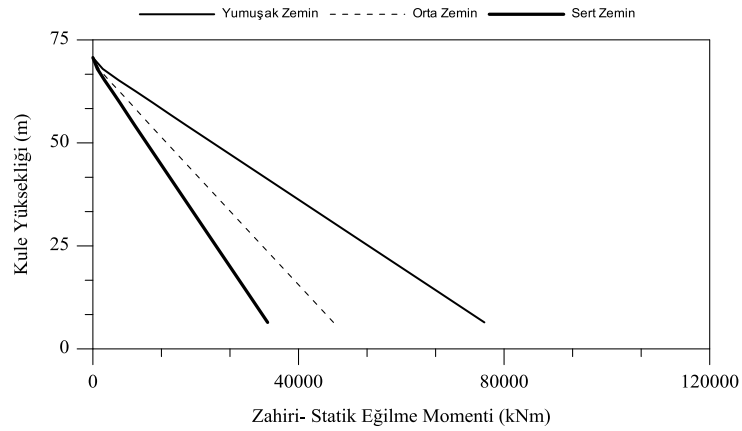
Şekil 4.194. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik kesme kuvvetleri



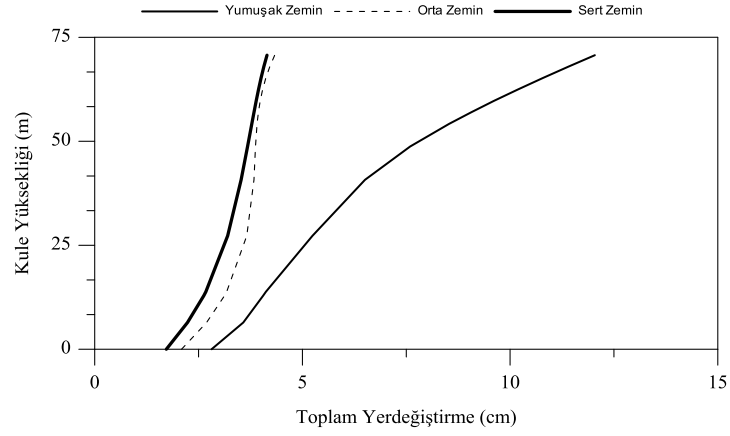
Şekil 4.195. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam eğilme momentleri



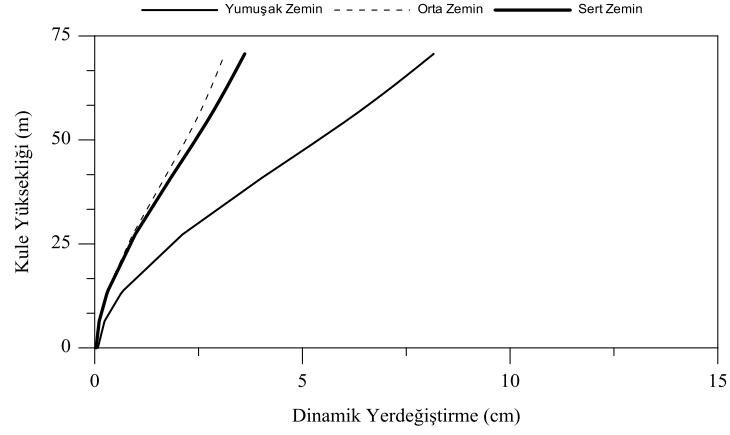
Şekil 4.196. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin dinamik eğilme momentleri



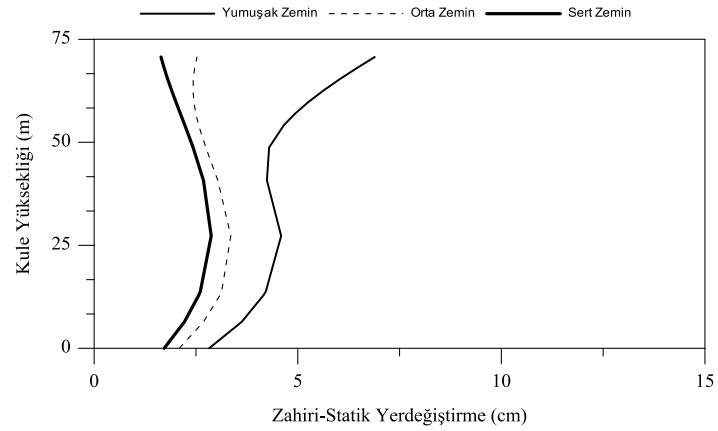
Şekil 4.197. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik eğilme momentleri



Şekil 4.198. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin toplam yerdeğiştirmeleri



Şekil 4.199. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin dinamik yerdeğiştirmeleri



Şekil 4.200. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü kulesinin zahiri-statik yerdeğiştirmeleri

4.3. Zemin-Yapı Etkileşimi Dikkate Alınan ve Alınmayan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

4.3.1. Sadece Dalga Yayılma Etkisinin Dikkate Alınması Durumunda Zemin Yapı Etkileşimi Dikkate Alınan ve Alınmayan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Kablolu köprünün mesnetlendiği zeminin homojen tabakalı zemin olduğu kabul edilerek; dalga yayılma etkisi durumunda zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan kablolu köprünün stokastik analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

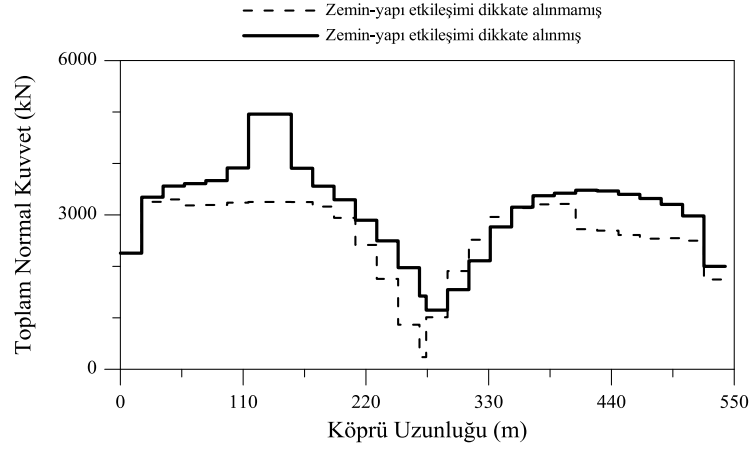
Homojen tabakalı zemin durumlarında zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak ve ihmal edilerek gerçekleştirilen stokastik analizler sonucunda köprü tabliyesindeki ve kulesindeki yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri Şekil 4.201-4.224’de görölmektedir. Bu grafikler, yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin zahiri-statik, dinamik ve toplam değerlerinden oluşmaktadır.

Şekil 4.201-4.224’de zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan stokastik analiz sonuçları karşılaştırıldığında kablolu köprüde zemin-yapı etkileri dahil edilen analizlerde toplam normal kuvvet, toplam kesme kuvveti ve toplam eğilme momenti değerlerinin daha fazla olduğu görölmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda eleman kuvvetlerinin daha fazla olduğu görölmektedir.

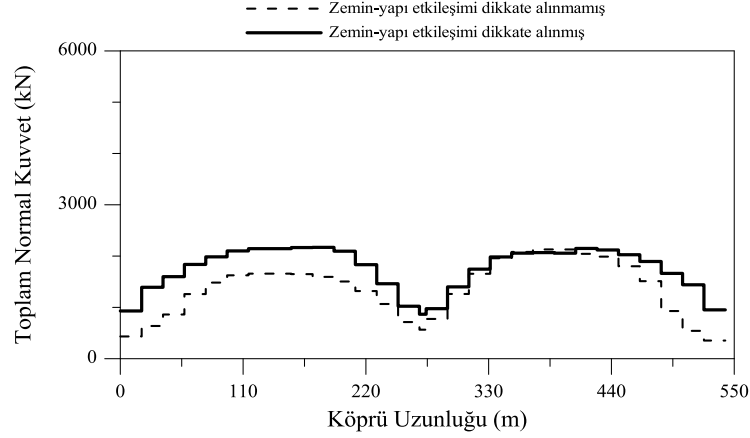
Şekil 4.201-4.208’de köprü tabliyesinde maksimum toplam normal kuvvet, toplam kesme kuvveti ve toplam eğilme momenti Quincy kulesi tabliye birleşim noktalarında oluştuğu görölmektedir.

Şekil 4.210-4.212’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen köprü tabliyesindeki yerdeğiştirmeler görölmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan yerdeğiştirmelerin daha fazla olduğu gözlenmektedir.

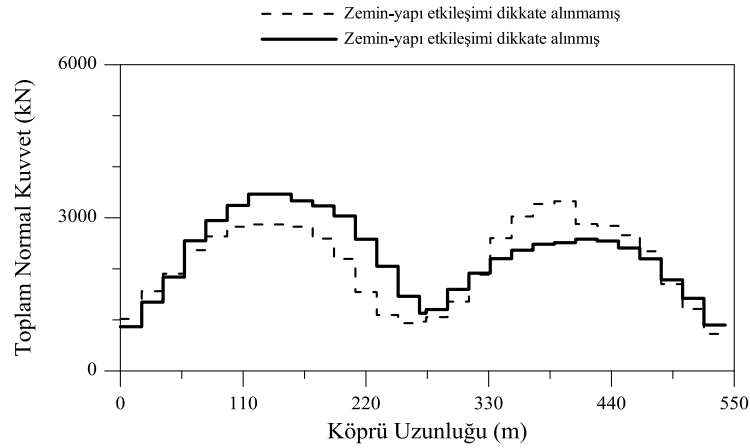
Şekil 4.213-4.224’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen köprüde kulede oluşan eleman kuvvetleri ve yer değiştirmeler görölmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan toplam normal kuvvet, toplam kesme kuvveti ve toplam eğilme momenti ve yerdeğiştirme değerlerinin diğer homojen tabakalı zeminlere göre daha fazla olduğu görölmektedir.



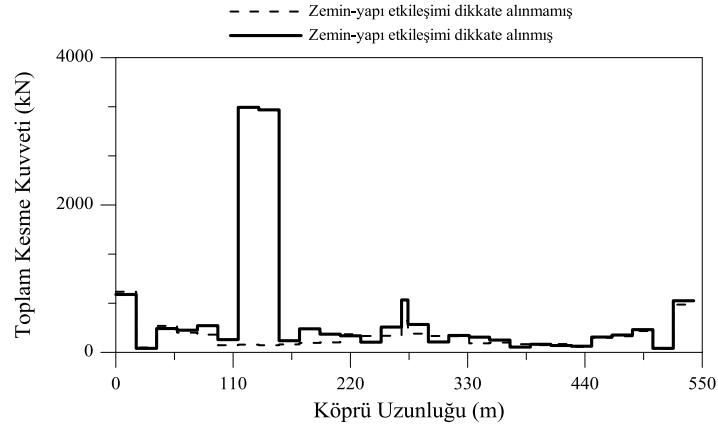
Şekil 4.201. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam normal kuvvetleri



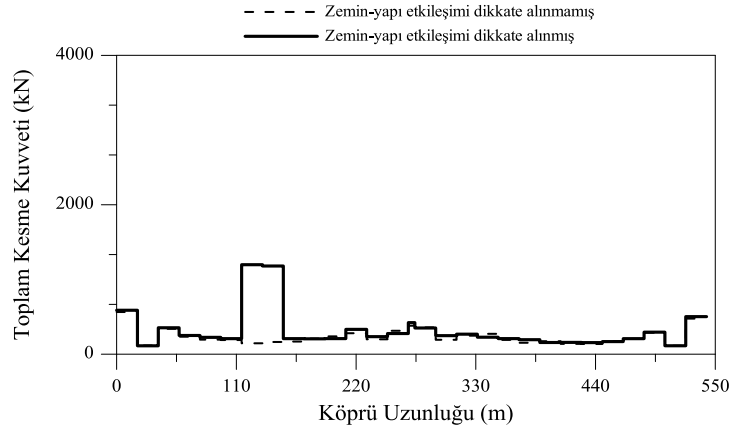
Şekil 4.202. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam normal kuvvetleri



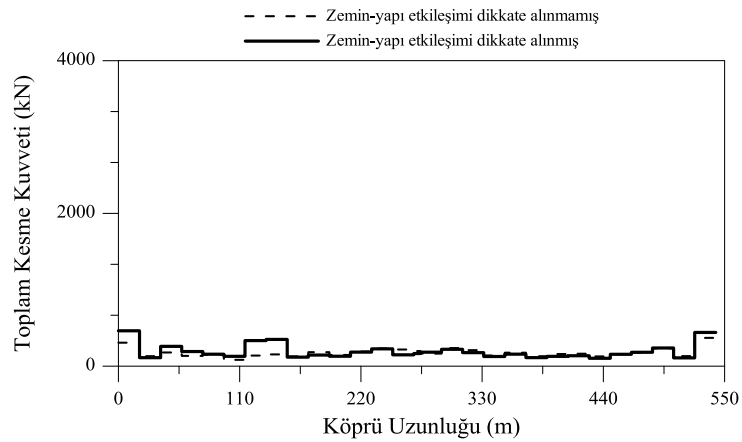
Şekil 4.203. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam normal kuvvetleri



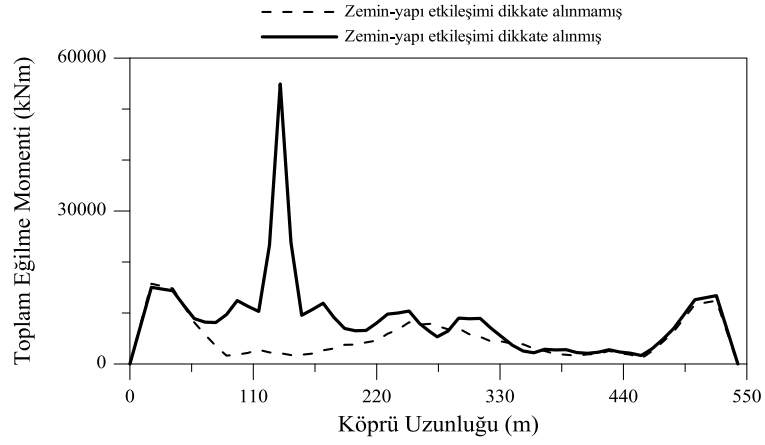
Şekil 4.204. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam kesme kuvvetleri



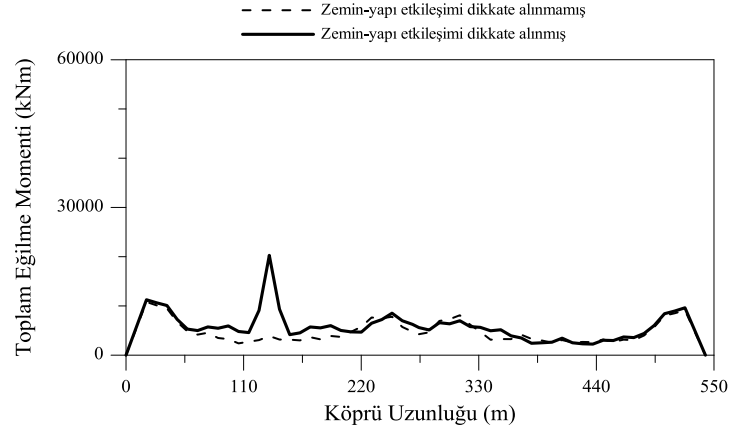
Şekil 4.205. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam kesme kuvvetleri



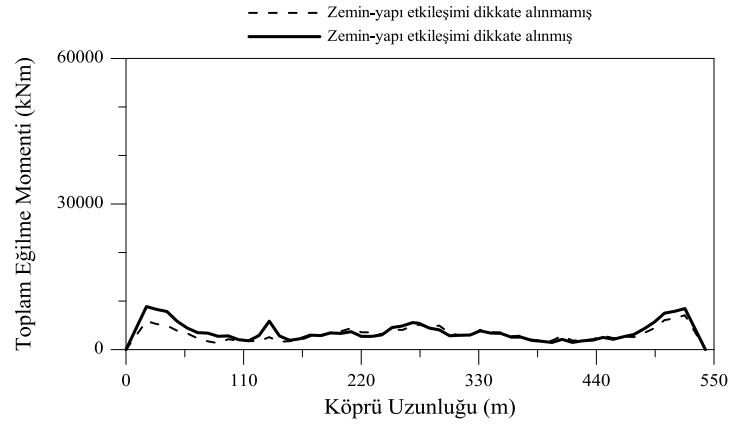
Şekil 4.206. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam kesme kuvvetleri



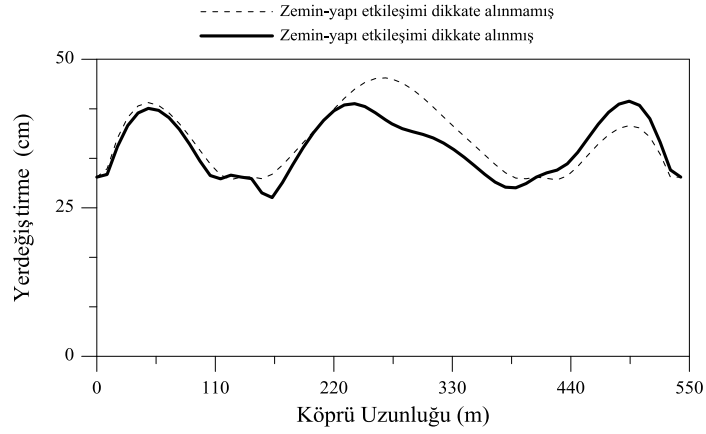
Şekil 4.207. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam eğilme momentleri



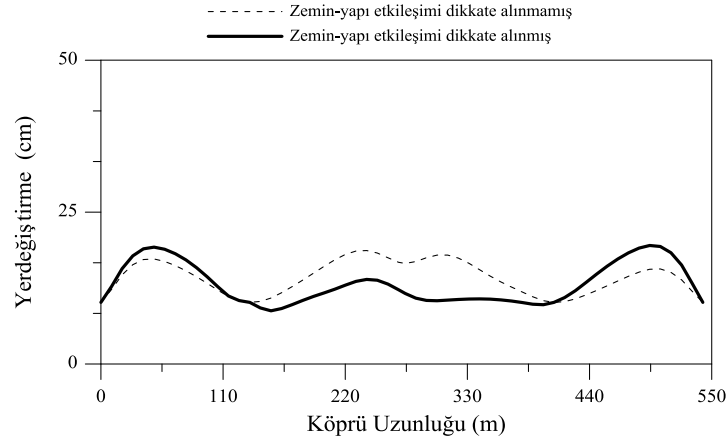
Şekil 4.208. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam eğilme momentleri



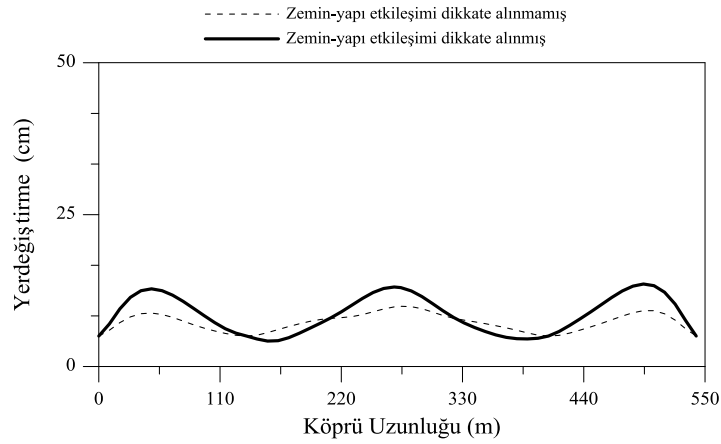
Şekil 4.209. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam eğilme momentleri



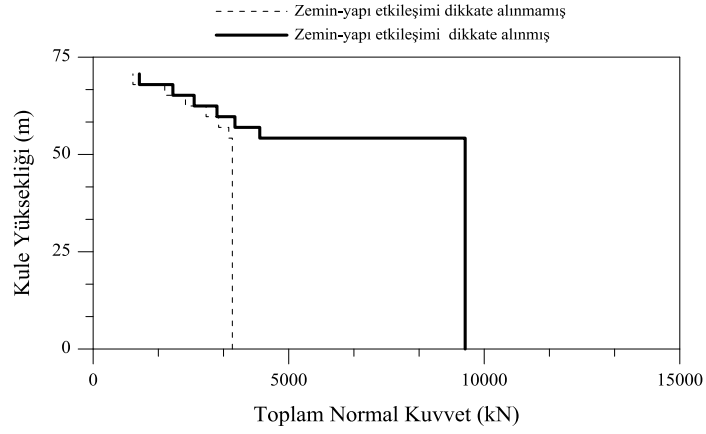
Şekil 4.210. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri



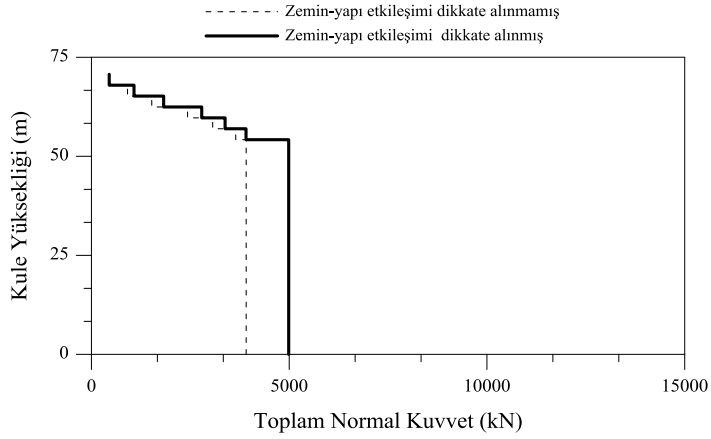
Şekil 4.211. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri



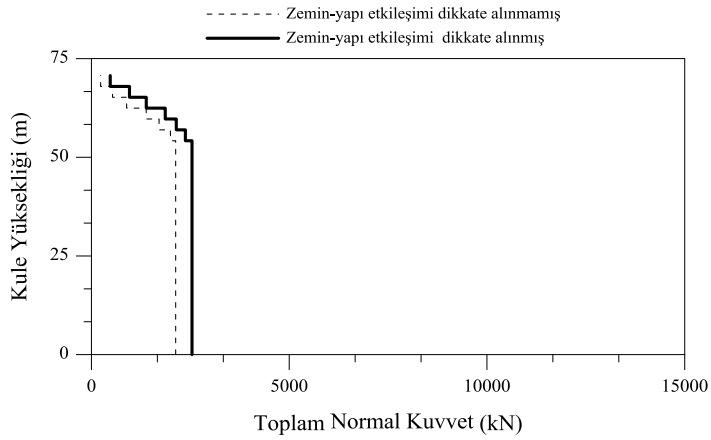
Şekil 4.212. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri



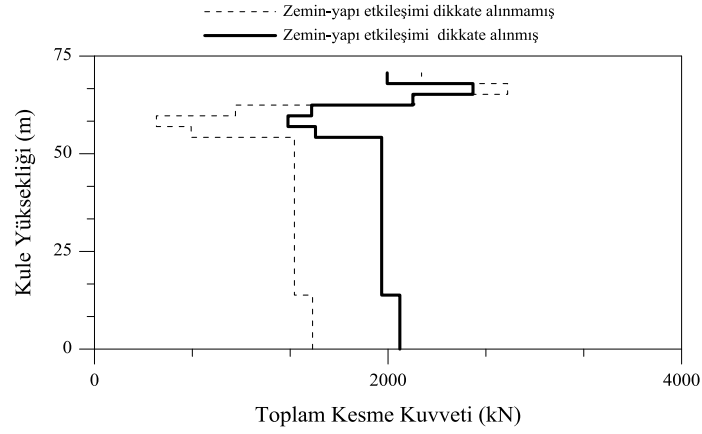
Şekil 4.213. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam normal kuvvetleri



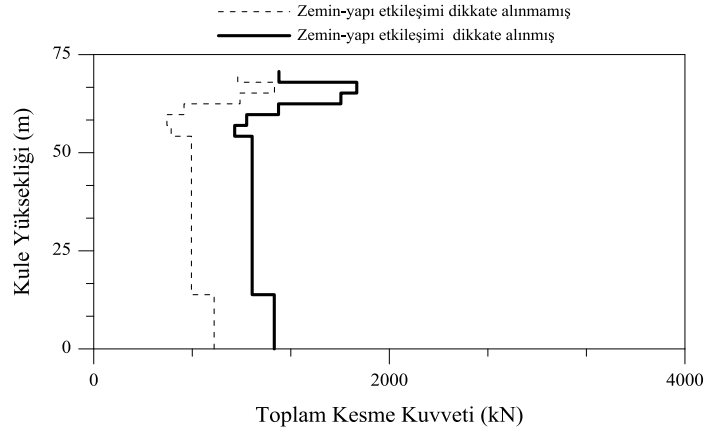
Şekil 4.214. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam normal kuvvetleri



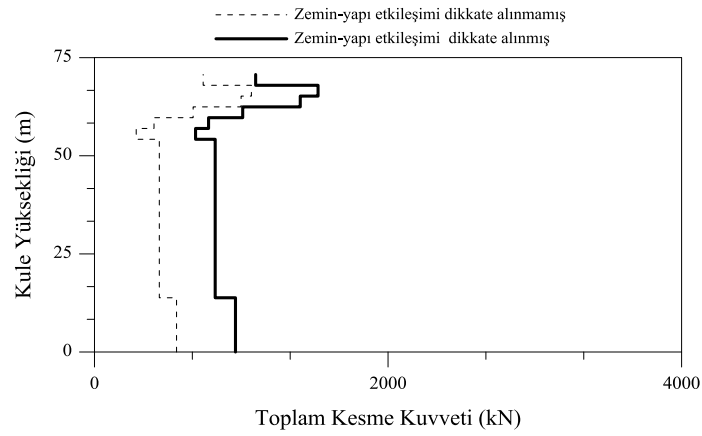
Şekil 4.215. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam normal kuvvetleri



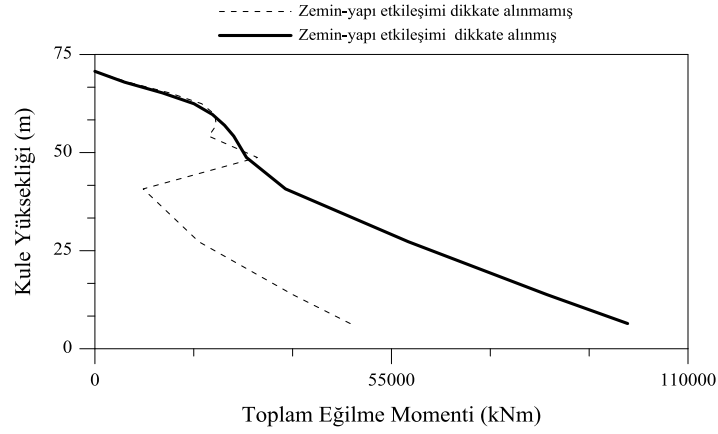
Şekil 4.216. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam kesme kuvvetleri



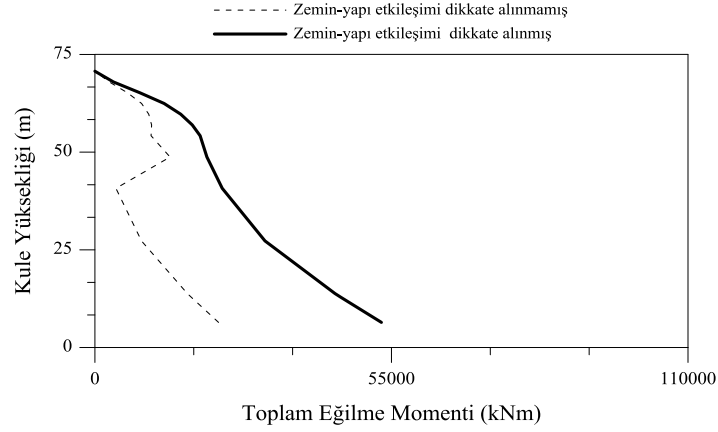
Şekil 4.217. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam kesme kuvvetleri



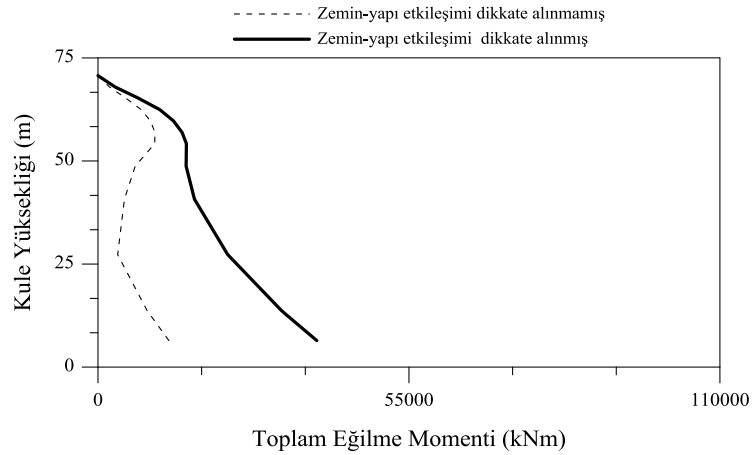
Şekil 4.218. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam kesme kuvvetleri



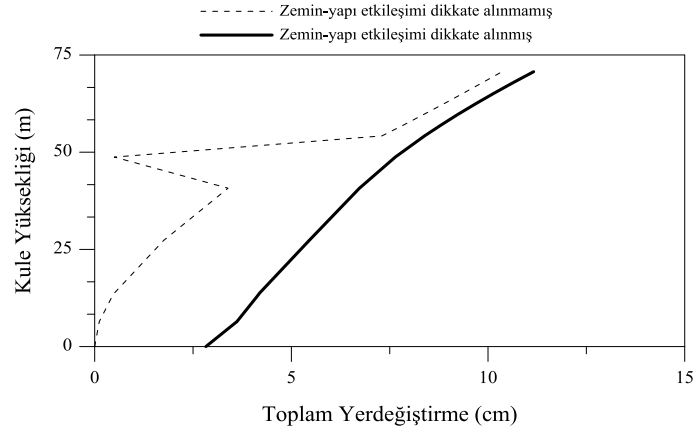
Şekil 4.219. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam eğilme momentleri



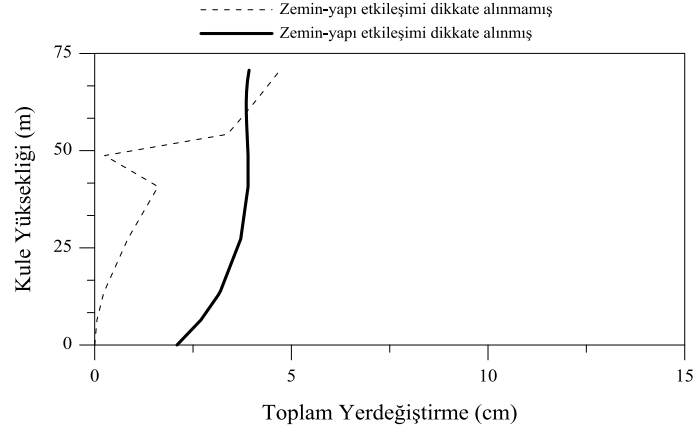
Şekil 4.220. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam eğilme momentleri



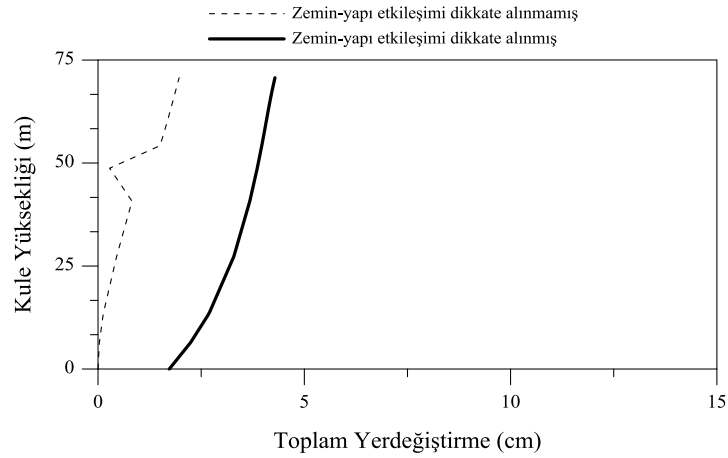
Şekil 4.221. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam eğilme momentleri



Şekil 4.222. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam yerdeğıştirmeleri



Şekil 4.223. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam yerdeğıştirmeleri



Şekil 4.224. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam yerdeğıştirmeleri

4.3.2. Sadece Korelasyon Etkisinin Dikkate Alınması Durumunda Zemin Yapı Etkileşimi Dikkate Alınan ve Alınmayan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

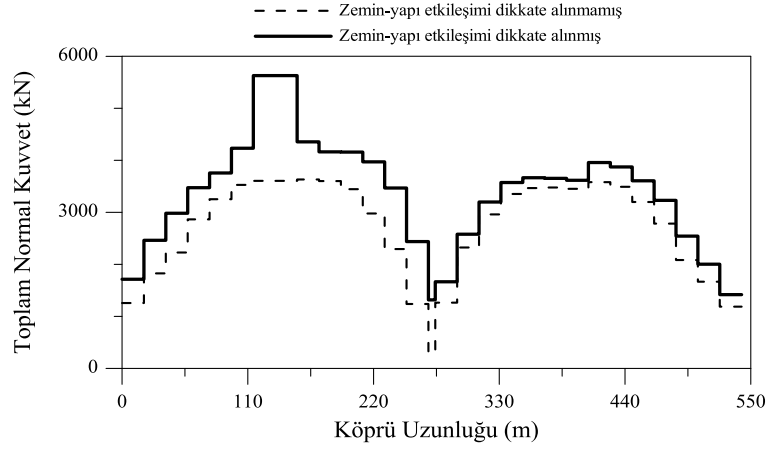
Kablolu köprünün mesnetlendiği zeminin homojen tabakalı zemin olduğu kabul edilerek; korelasyon etkisi durumunda zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan kablolu köprünün stokastik analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Homojen tabakalı zemin durumlarında zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak ve ihmal edilerek gerçekleştirilen stokastik analizler sonucunda köprü tabliyesindeki ve kulesindeki yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri Şekil 4.225-4.248'de görülmektedir. Bu grafikler, yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin zahiri-statik, dinamik ve toplam değerlerinden oluşmaktadır.

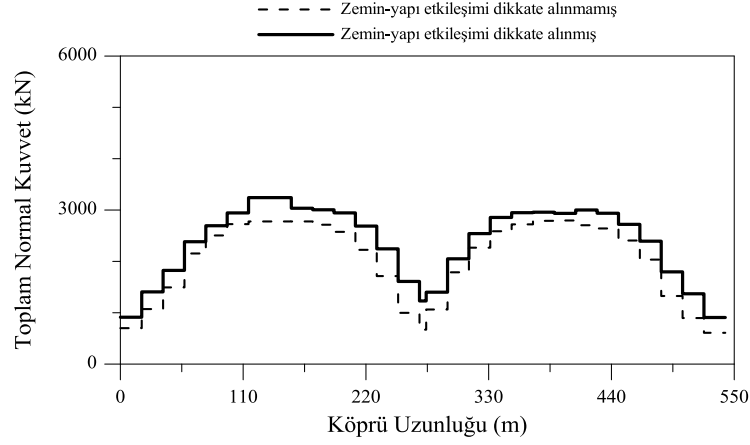
Şekil 4.201-4.233'de zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan stokastik analiz sonuçları karşılaştırıldığında homojen tabakalı yumuşak zemin durumundaki eleman kuvvetlerinin diğer homojen tabakalı zemin durumlarında oluşan eleman kuvvetlerinden daha fazla olduğu görülmektedir. Kablolu köprüde zemin-yapı etkileri dahil edilen analizlerde toplam normal kuvvet, toplam kesme kuvveti ve toplam eğilme momenti değerlerinin daha fazla olduğu ve bu değerlerin kule tabliye birleşim bölgelerinde maksimum olduğu görülmektedir.

Şekil 4.234-4.236'da homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen köprü tabliyesindeki yerdeğiştirmeler görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda yerdeğiştirmelerin en fazla, homojen tabakalı sert zemin durumunda yerdeğiştirmelerin en az olduğu gözlenmektedir.

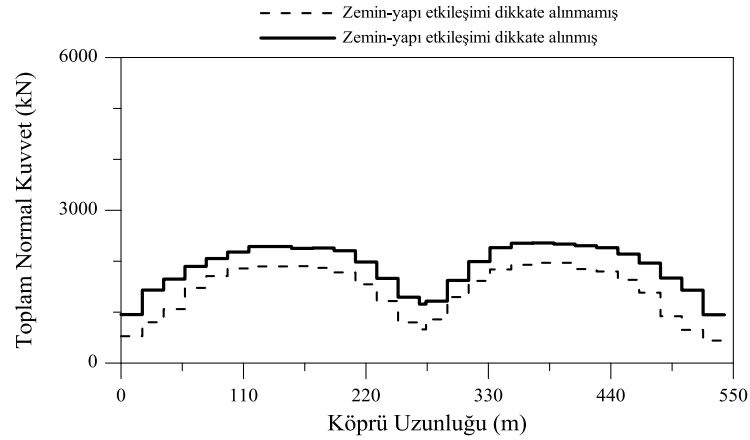
Şekil 4.237-4.248'de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen köprüde kulede oluşan eleman kuvvetleri ve yer değiştirmeler görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan toplam normal kuvvet, toplam kesme kuvveti, toplam eğilme momenti ve yerdeğiştirme değerlerinin diğer homojen tabakalı zeminlere göre daha fazla olduğu görülmektedir.



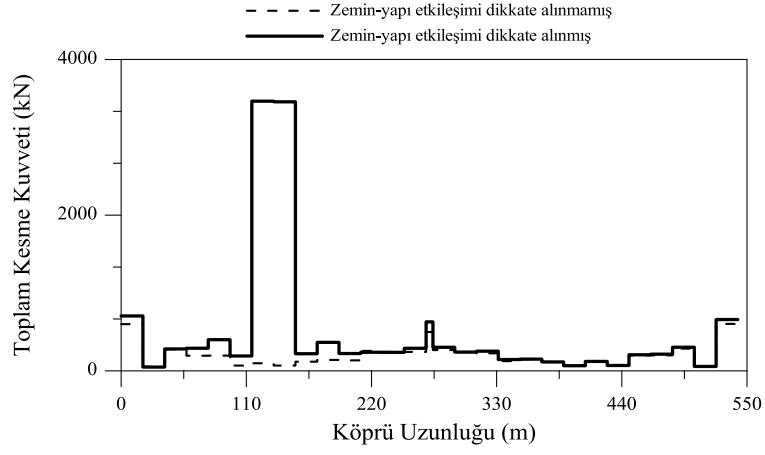
Şekil 4.225. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam normal kuvvetleri



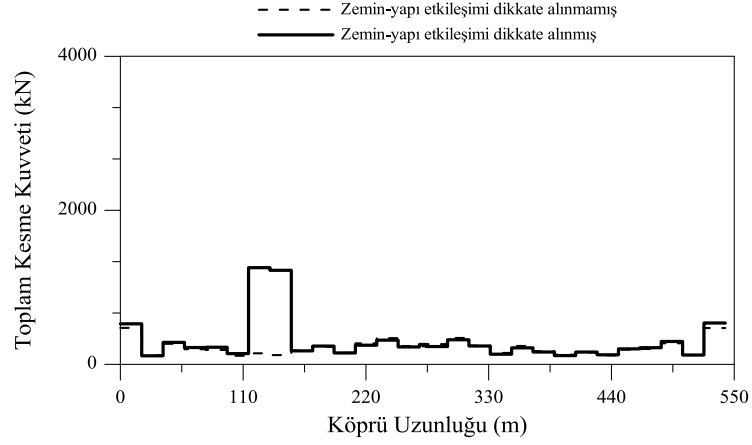
Şekil 4.226. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam normal kuvvetleri



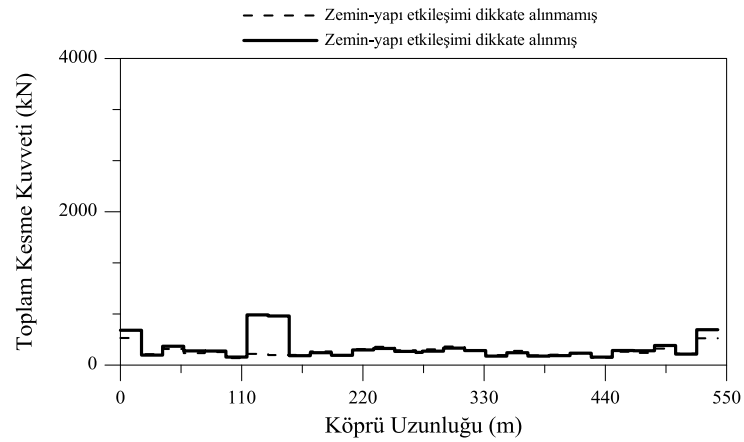
Şekil 4.227 Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam normal kuvvetleri



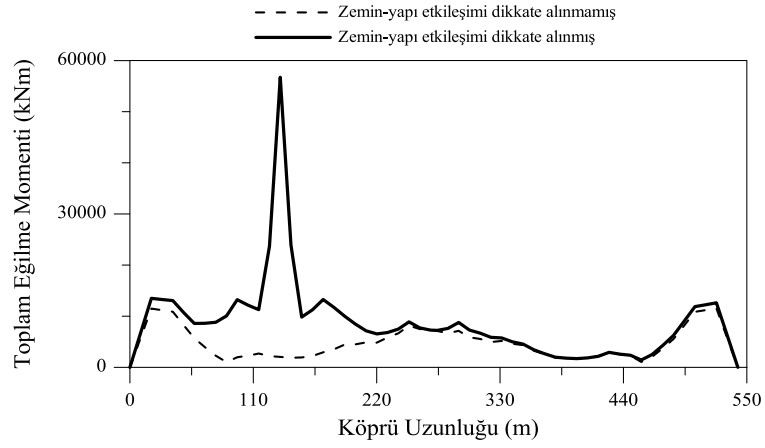
Şekil 4.228. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam kesme kuvvetleri



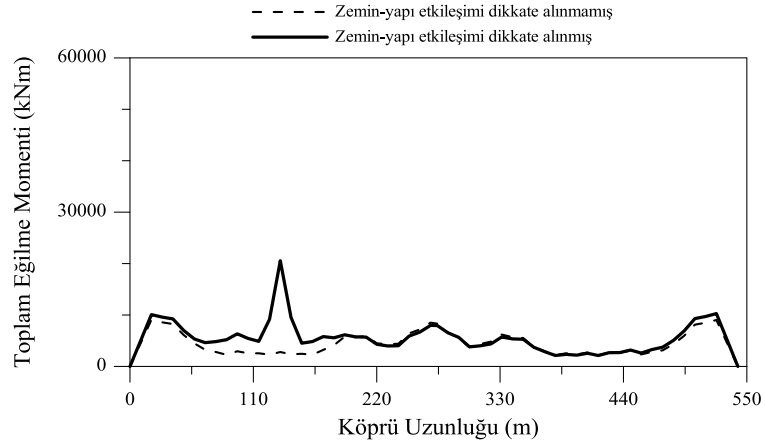
Şekil 4.229. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam kesme kuvvetleri



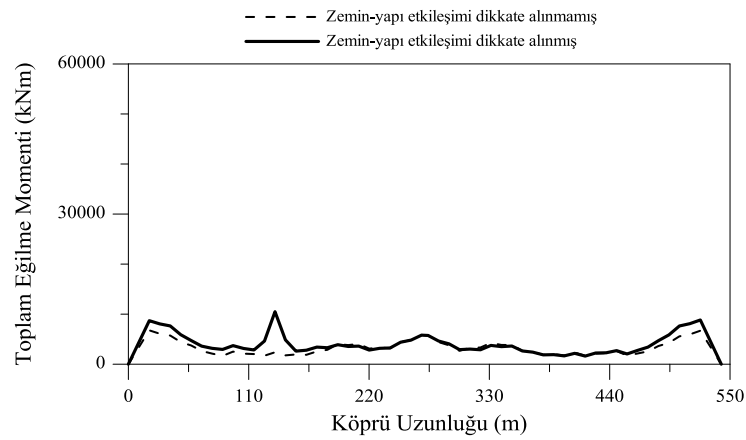
Şekil 4.230. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam kesme kuvvetleri



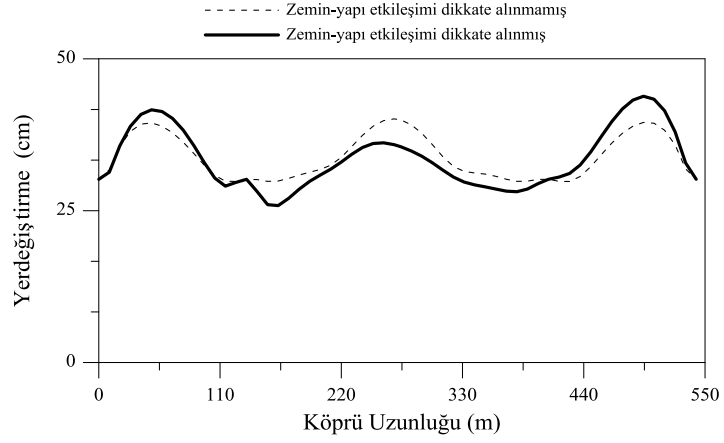
Şekil 4.231. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam eğilme momentleri



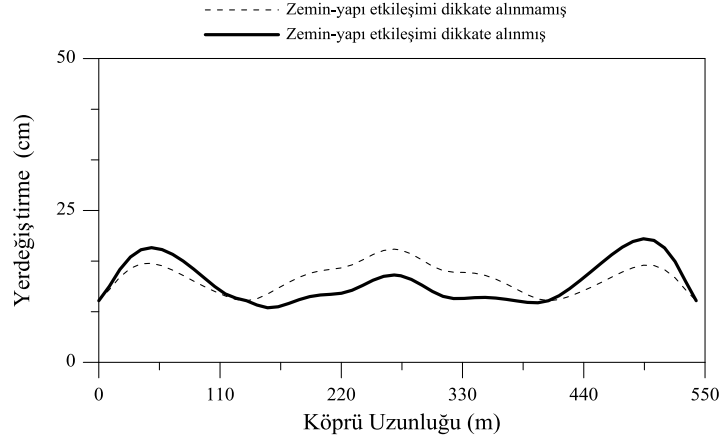
Şekil 4.232. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam eğilme momentleri



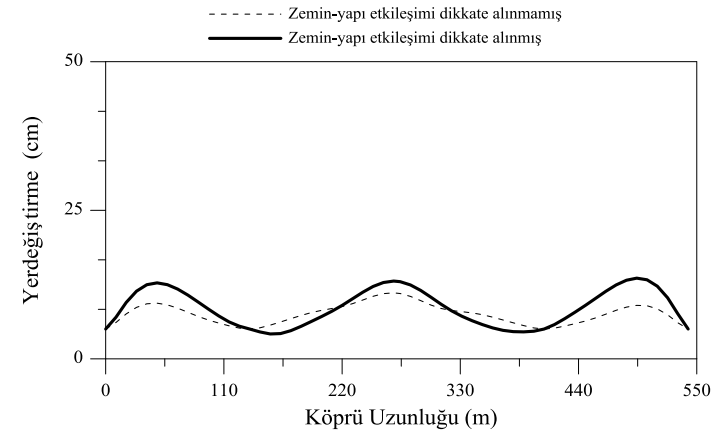
Şekil 4.233. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam eğilme momentleri



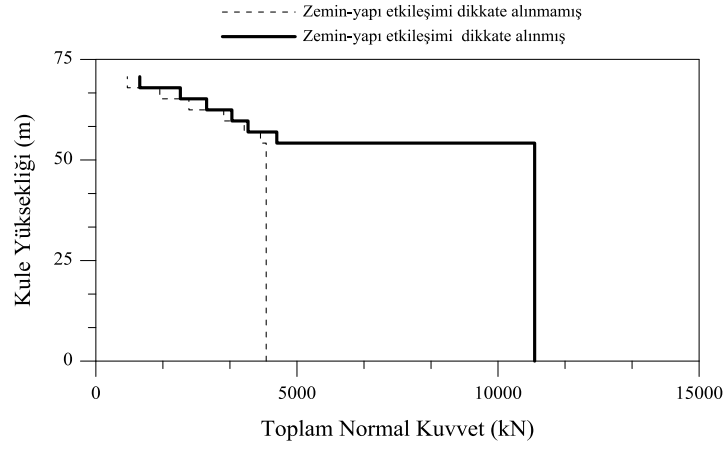
Şekil 4.234. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri



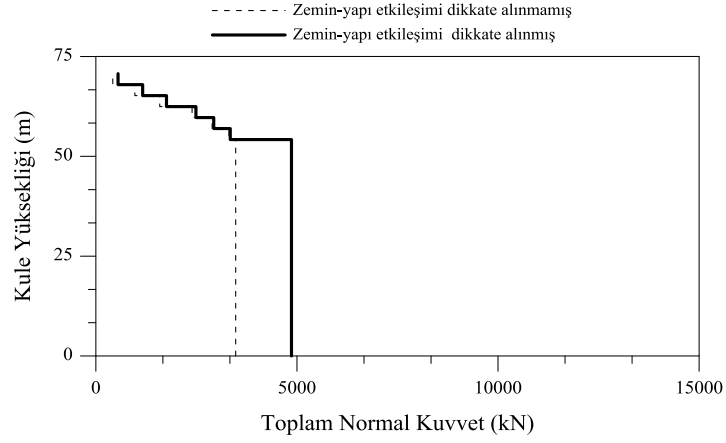
Şekil 4.235. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri



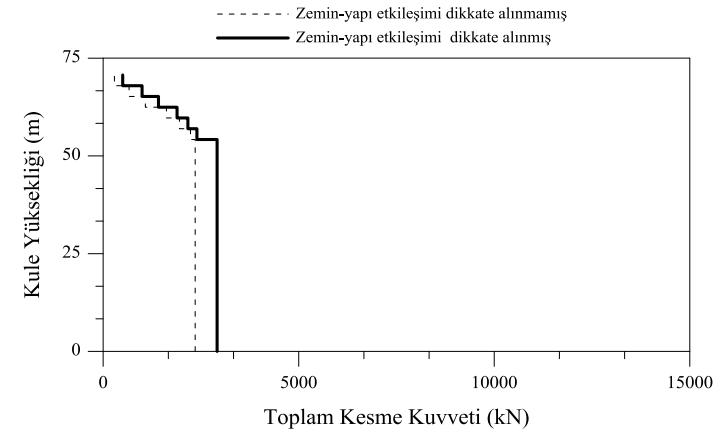
Şekil 4.236. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri



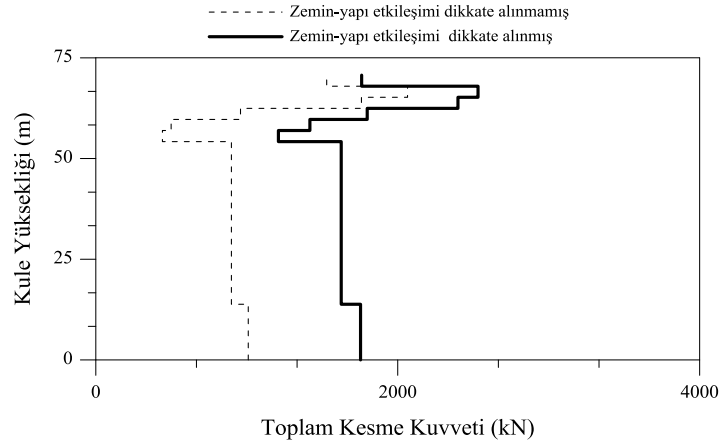
Şekil 4.237. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam normal kuvvetleri



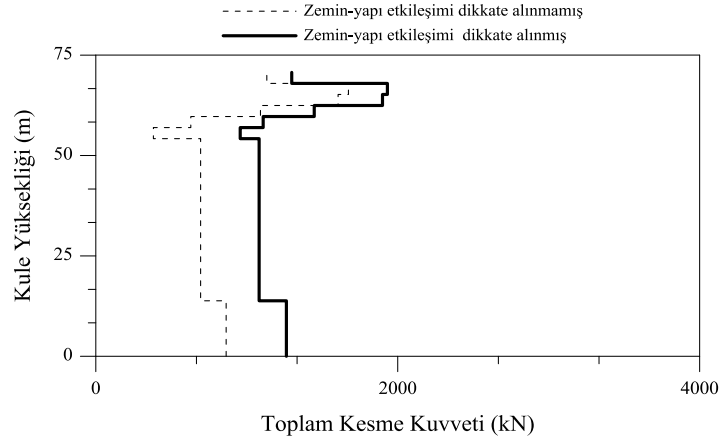
Şekil 4.238. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam normal kuvvetleri



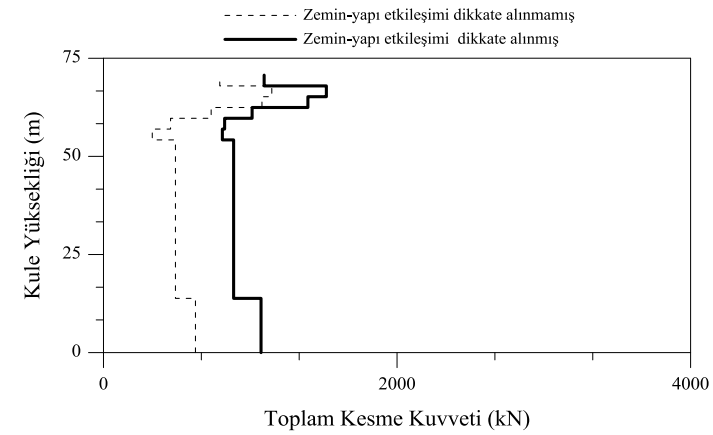
Şekil 4.239. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam normal kuvvetleri



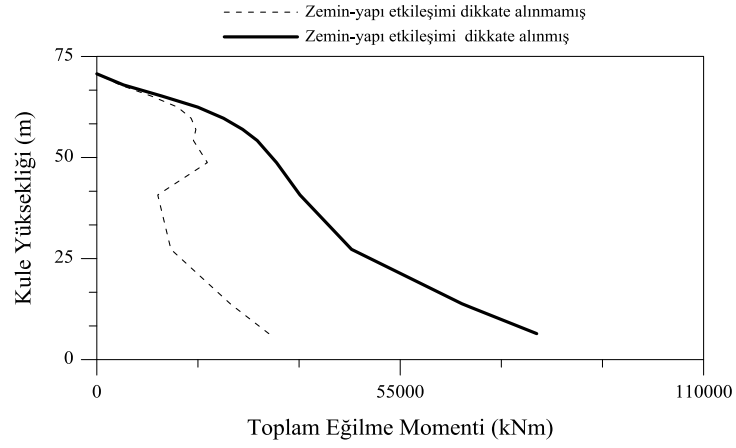
Şekil 4.240. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam kesme kuvvetleri



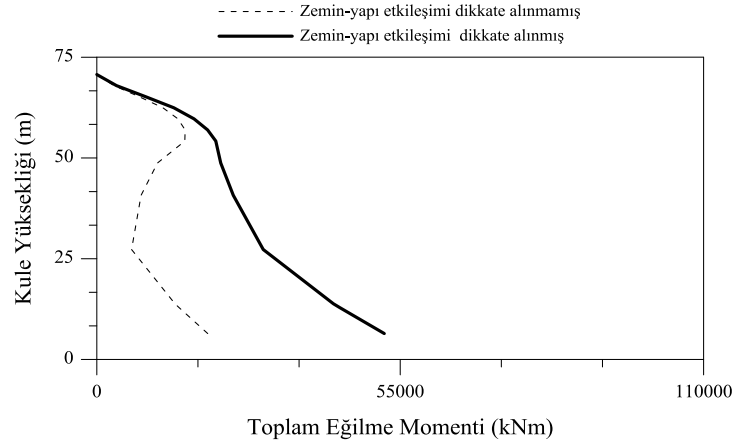
Şekil 4.241. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam kesme kuvvetleri



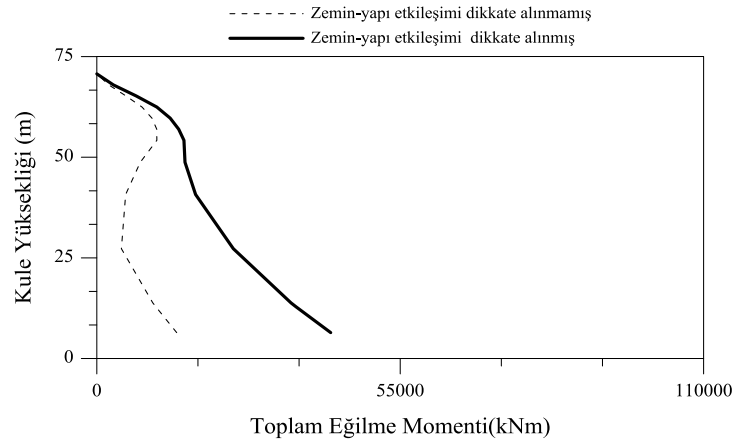
Şekil 4.242. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam kesme kuvvetleri



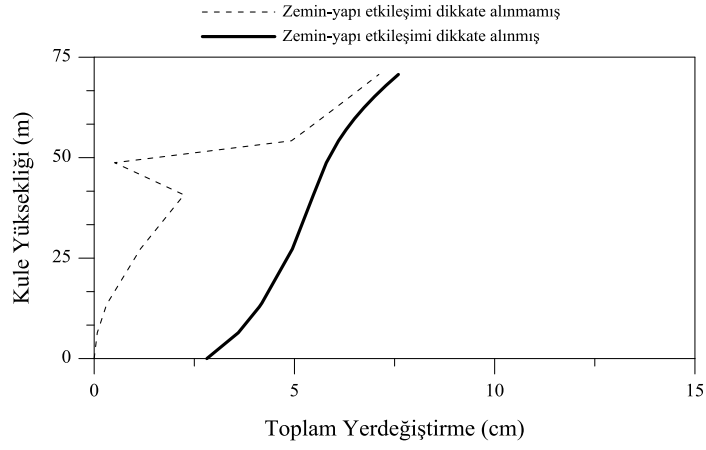
Şekil 4.243. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam eğilme momentleri



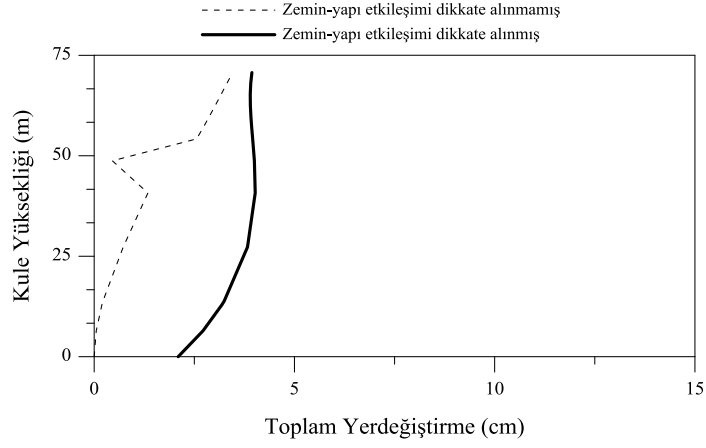
Şekil 4.244. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam eğilme momentleri



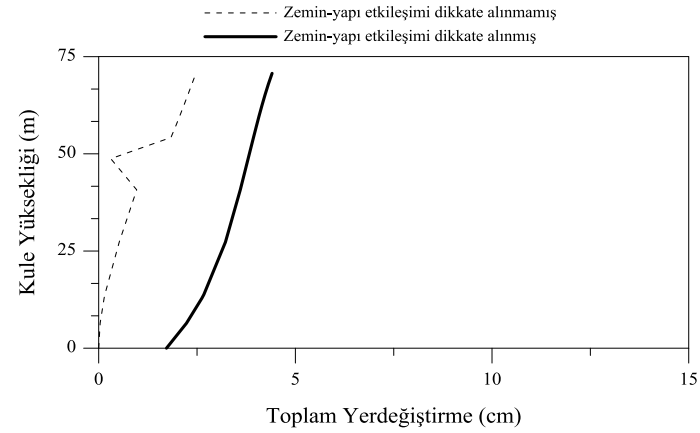
Şekil 4.245. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam eğilme momentleri



Şekil 4.246. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam yerdeğıştirmeleri



Şekil 4.247. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam yerdeğıştirmeleri



Şekil 4.248. Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam yerdeğıştirmeleri

4.3.3. Sadece Üniorm Yer Hareketi Etkisinin Dikkate Alınması Durumunda Zemin-Yapı Etkileşimi Dikkate Alınan ve Alınmayan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

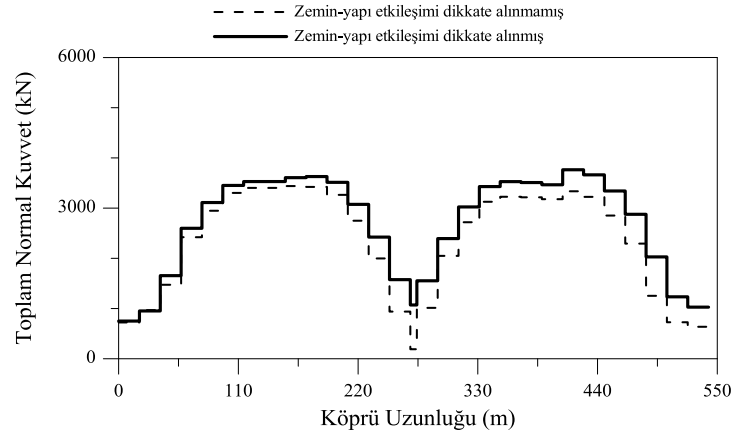
Kablolu köprünün mesnetlendiği zeminin homojen tabakalı zemin olduğu kabul edilerek; üniform yer hareketi etkisi durumunda zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan kablolu köprünün stokastik analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Homojen tabakalı zemin durumlarında zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak ve ihmal edilerek gerçekleştirilen stokastik analizler sonucunda köprü tabliyesindeki ve kulesindeki yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri Şekil 4.249-4.272’de görülmektedir. Bu grafikler, yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin zahiri-statik, dinamik ve toplam değerlerinden oluşmaktadır.

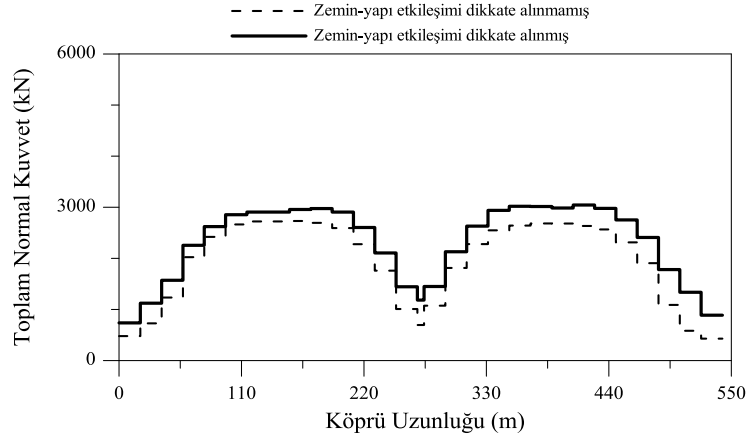
Şekil 4.249-4.257’de zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan stokastik analiz sonuçları karşılaştırıldığında zemin-yapı etkileri dahil edilen analizlerde toplam normal kuvvet, toplam kesme kuvveti ve toplam eğilme momenti değerlerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumundaki eleman kuvvetlerinin diğer homojen tabakalı zemin durumlarında oluşan eleman kuvvetlerinden daha fazla olduğu görülmektedir. Zemin-yapı etkileşimi dahil edilen ve ihmal edilen analizlerde oluşan eleman kuvvetlerinin köprünün açıklık ortasına göre simetrik olduğu görülmektedir.

Şekil 4.258-4.260’da homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen köprü tabliyesindeki yerdeğiştirmeler görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda mesnet bölgesine ve homojen tabakalı orta zemin durumunda açıklık ortasına yakın noktalarda yerdeğiştirmelerin daha fazla olduğu görülmektedir. En az yerdeğiştirme yaptığı gözlenen homojen tabakalı sert zemin durumunda ise açıklık ortasına ve mesnet bölgesine yakın noktalarda zemin-yapı etkileşimi dahil edilen yerdeğiştirmelerin daha fazla olduğu gözlenmektedir.

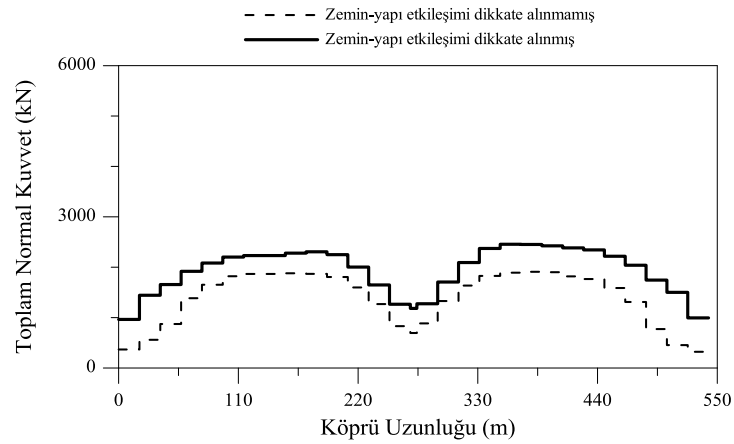
Şekil 4.261-4.272’de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen köprüde kulede oluşan eleman kuvvetleri ve yer değiştirmeler görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan toplam normal kuvvet, toplam kesme kuvveti, toplam eğilme momenti ve yerdeğiştirmelerin daha fazla olduğu görülmektedir.



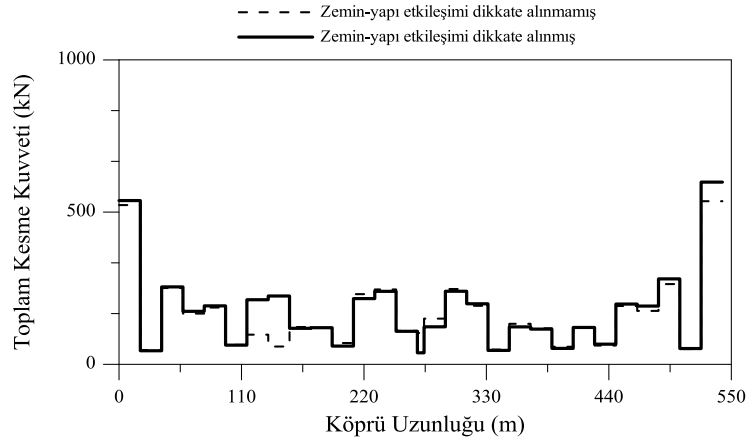
Şekil 4.249. Üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam normal kuvvetleri



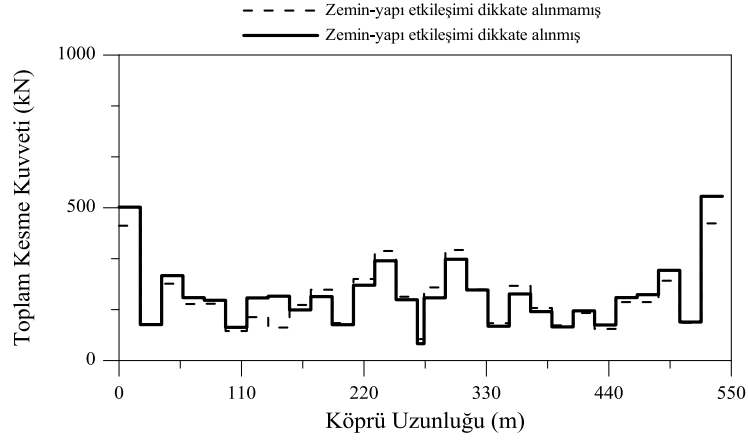
Şekil 4.250. Üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam normal kuvvetleri



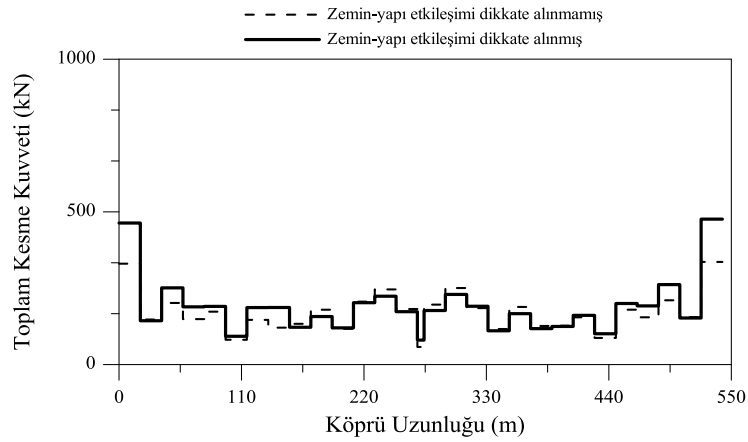
Şekil 4.251. Üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam normal kuvvetleri



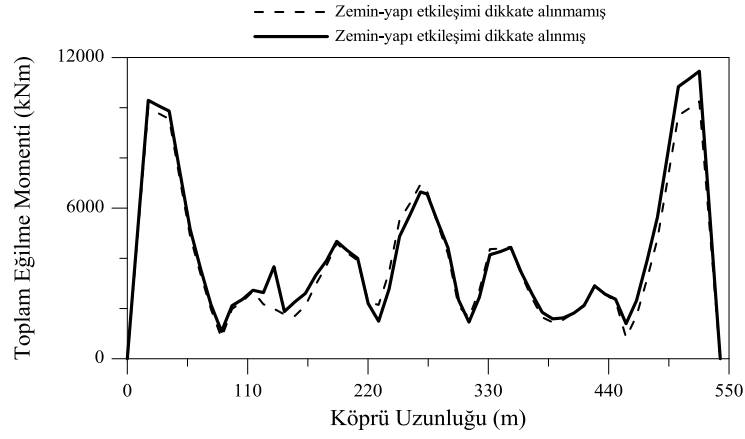
Şekil 4.252. Ünişorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam kesme kuvvetleri



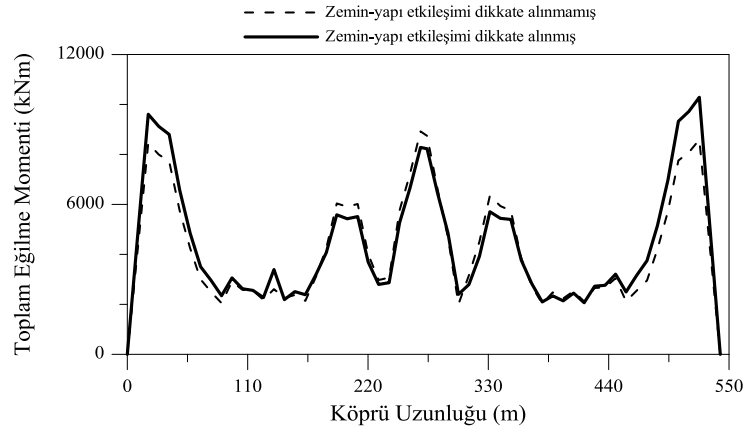
Şekil 4.253. Ünişorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam kesme kuvvetleri



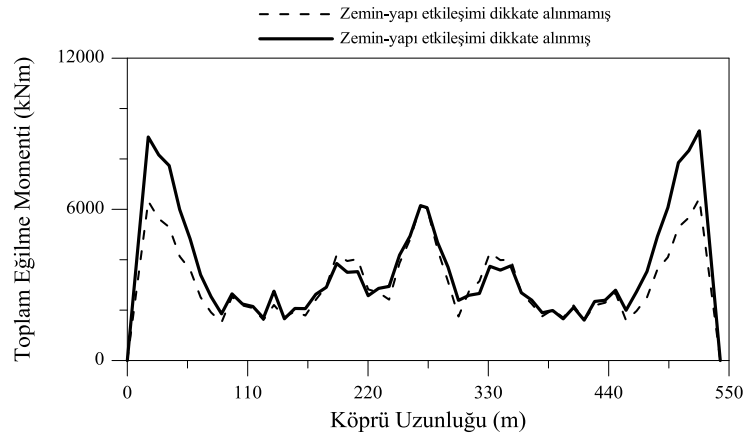
Şekil 4.254. Ünişorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam kesme kuvvetleri



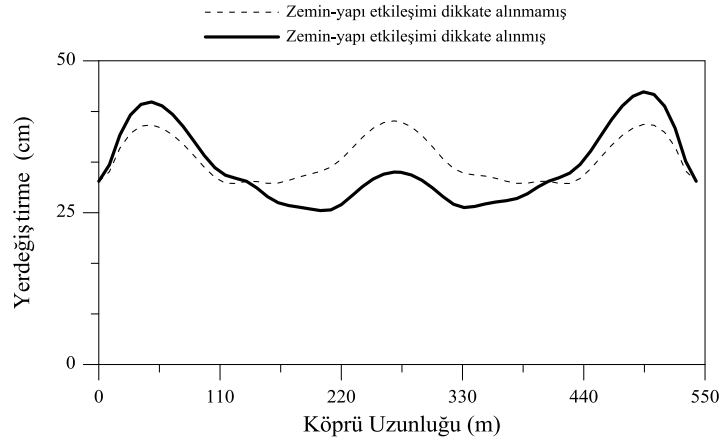
Şekil 4.255. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam eğilme momentleri



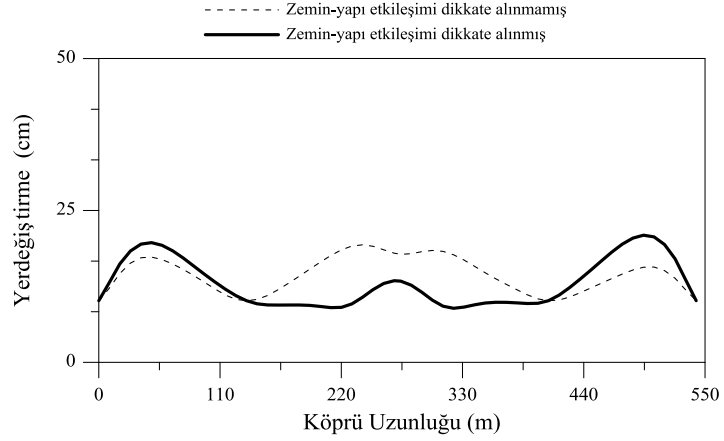
Şekil 4.256. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam eğilme momentleri



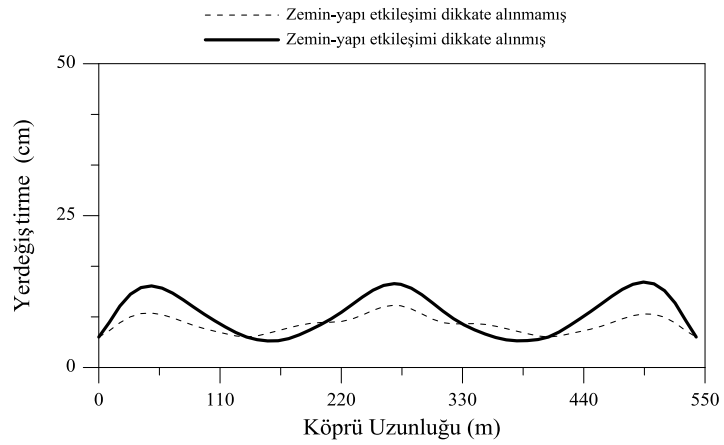
Şekil 4.257. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam eğilme momentleri



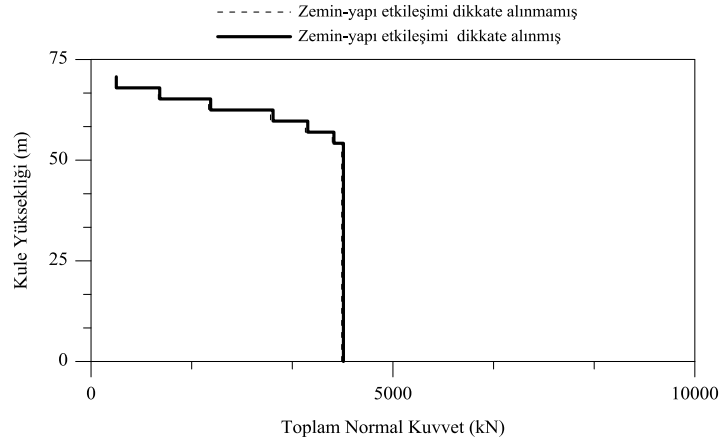
Şekil 4.258. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam yerdeğıştirmeleri



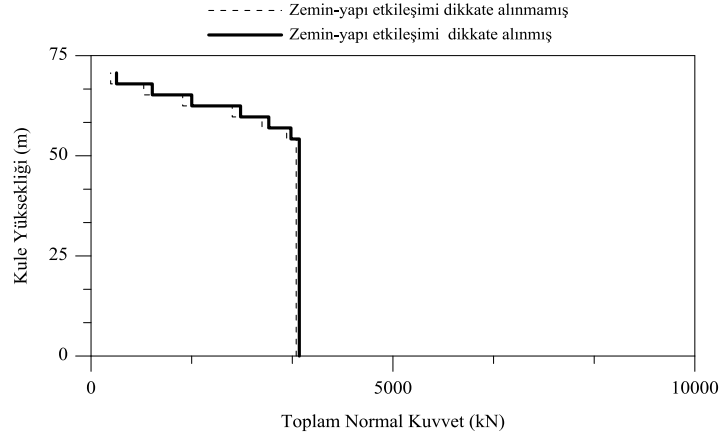
Şekil 4.259. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam yerdeğıştirmeleri



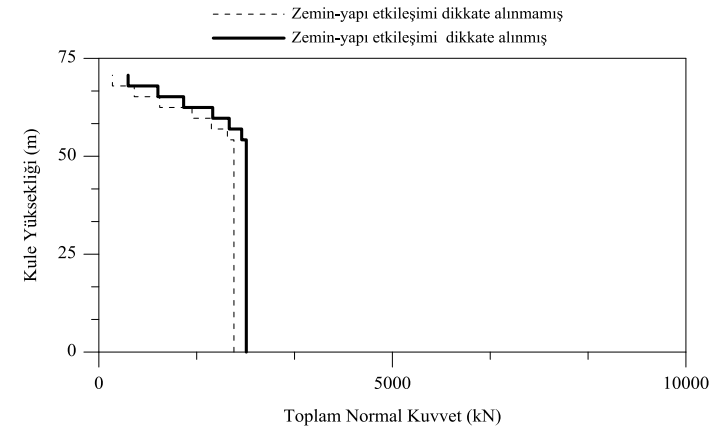
Şekil 4.260. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam yerdeğıştirmeleri



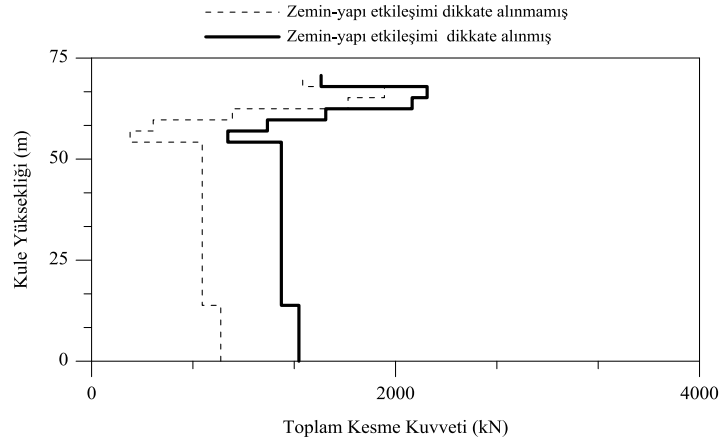
Şekil 4.261. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam normal kuvvetleri



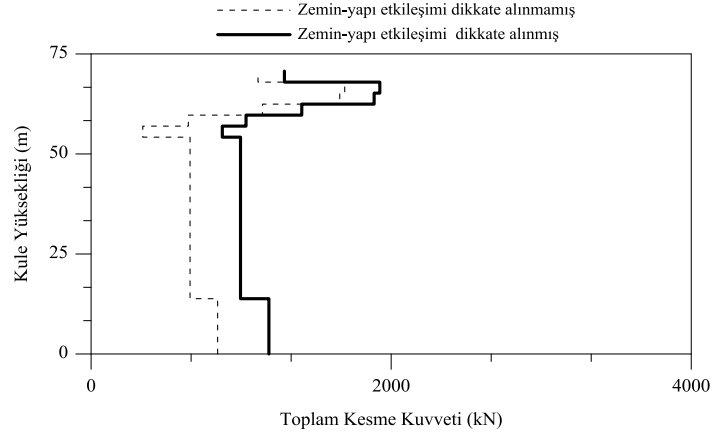
Şekil 4.262. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam normal kuvvetleri



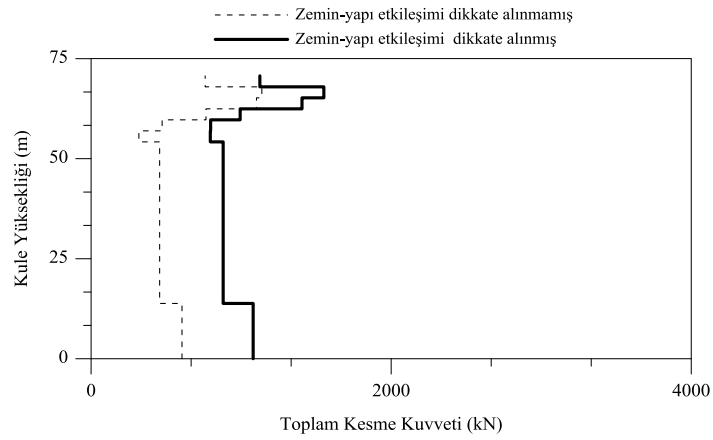
Şekil 4.263. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam normal kuvvetleri



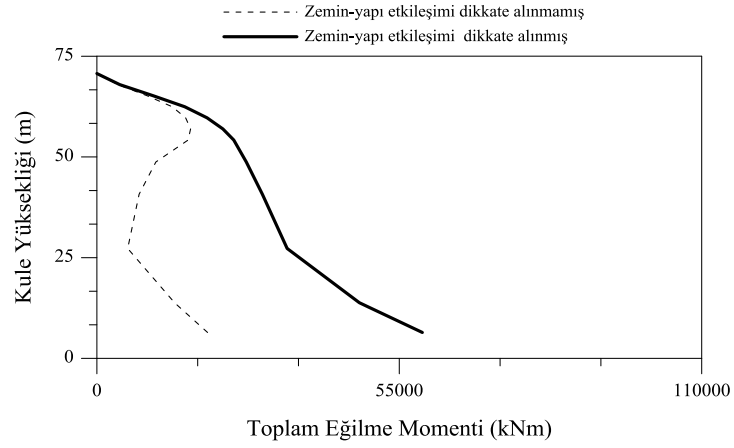
Şekil 4.264. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam kesme kuvvetleri



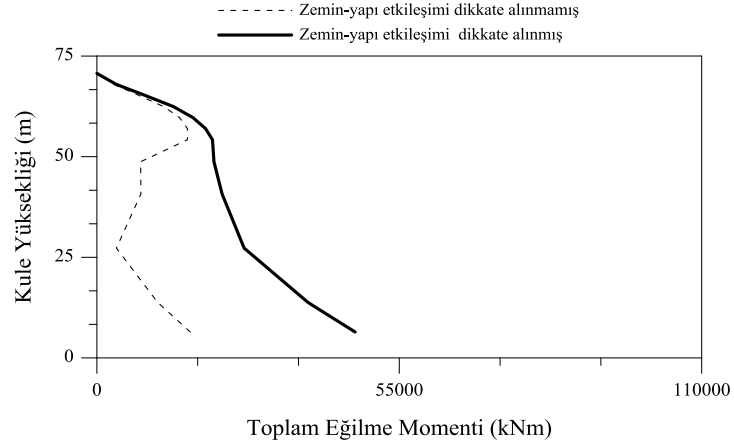
Şekil 4.265. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam kesme kuvvetleri



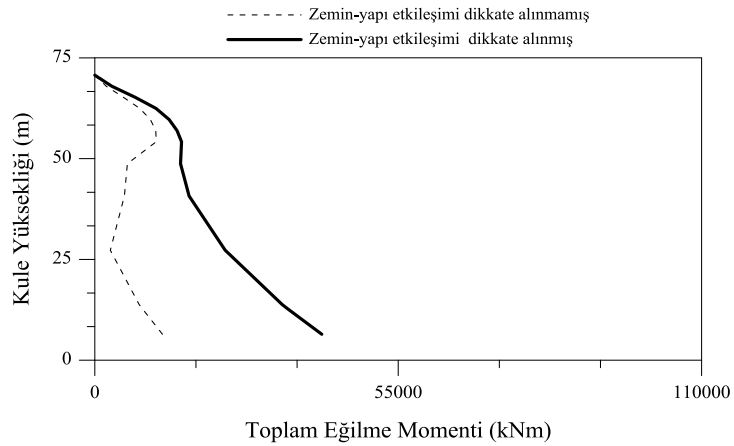
Şekil 4.266. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam kesme kuvvetleri



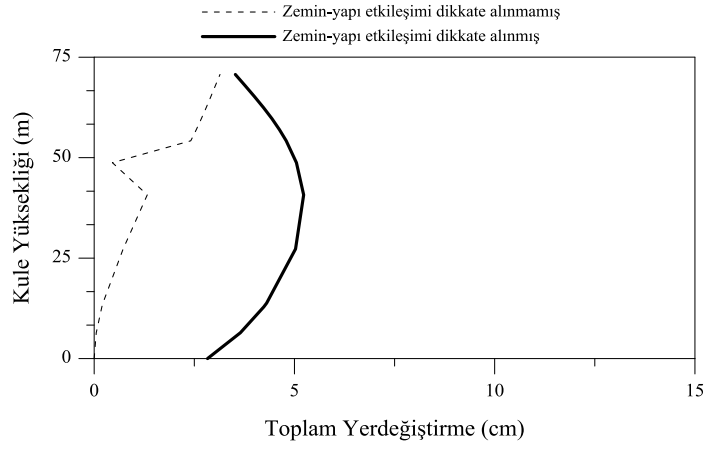
Şekil 4.267. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam eğilme momentleri



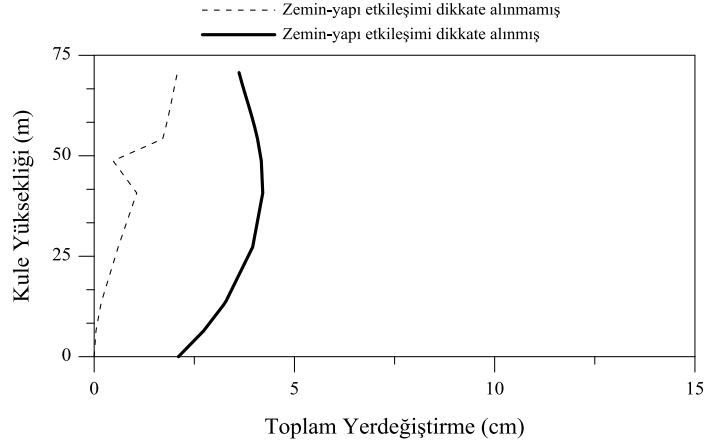
Şekil 4.268. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam eğilme momentleri



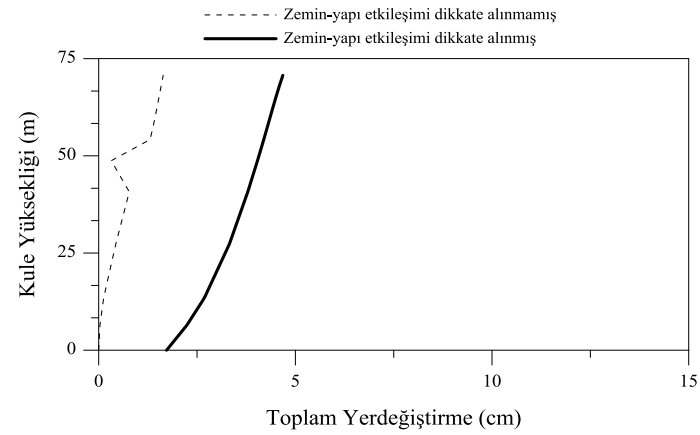
Şekil 4.269. Üniorm yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam eğilme momentleri



Şekil 4.270. Üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri



Şekil 4.271. Üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri



Şekil 4.272. Üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri

4.3.4. Dalga Yayılma, Korelasyon ve Üniform Yer Hareketi Etkilerinin Dikkate Alınması Durumunda Zemin-Yapı Etkileşimi Dikkate Alınan ve Alınmayan Köprünün Stokastik Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

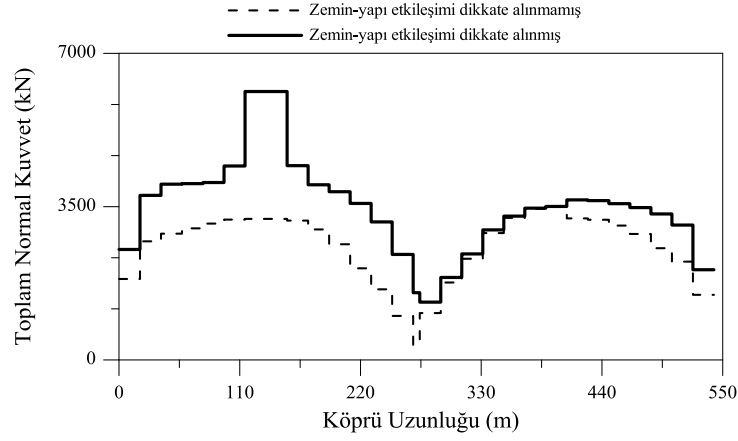
Kablolu köprünün mesnetlendiği zeminin homojen tabakalı zemin olduğu kabul edilerek; dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkileri durumunda zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan kablolu köprünün stokastik analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Homojen tabakalı zemin durumlarında zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak ve ihmal edilerek gerçekleştirilen stokastik analizler sonucunda köprü tabliyesindeki ve kulesindeki yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri Şekil 4.273-4.296'da görülmektedir. Bu grafikler, yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin zahiri-statik, dinamik ve toplam değerlerinden oluşmaktadır.

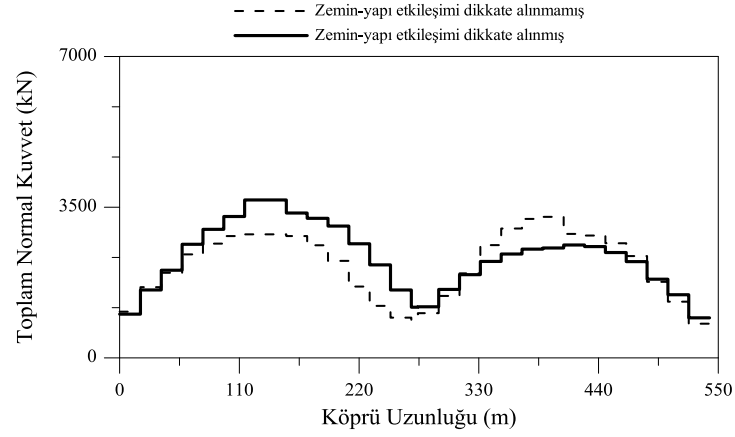
Şekil 4.273-4.281'de zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan stokastik analiz sonuçları karşılaştırıldığında homojen tabakalı yumuşak zemin durumundaki eleman kuvvetlerinin diğer homojen tabakalı zemin durumlarında oluşan eleman kuvvetlerinden daha fazla olduğu görülmektedir. Zemin-yapı etkileri dahil edilen analizlerde toplam normal kuvvet, toplam kesme kuvveti ve toplam eğilme momenti değerlerinin daha fazla olduğu görülmektedir.

Şekil 4.282-4.284'de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen köprü tabliyesindeki yerdeğiştirmeler görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda yerdeğiştirmelerin daha fazla olduğu görülmektedir. Homojen tabakalı sert zemin durumunda ise yerdeğiştirmelerin en az ve açıklık ortasına göre simetrik olduğu görülmektedir.

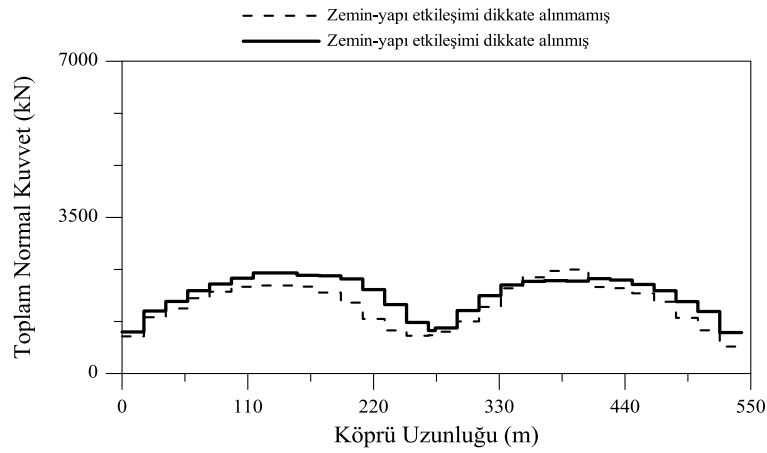
Şekil 4.285-4.296'de homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen köprüde kulede oluşan eleman kuvvetleri ve yer değiştirmeler görülmektedir. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan toplam normal kuvvet, toplam kesme kuvveti, toplam eğilme momenti ve yerdeğiştirmelerin daha fazla olduğu görülmektedir.



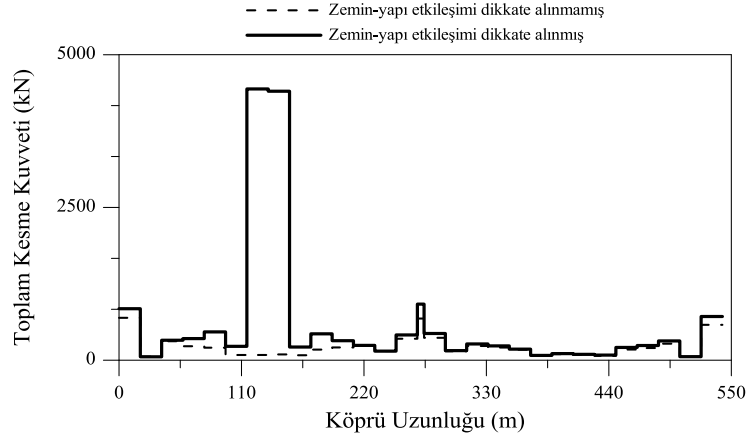
Şekil 4.273. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam normal kuvvetleri



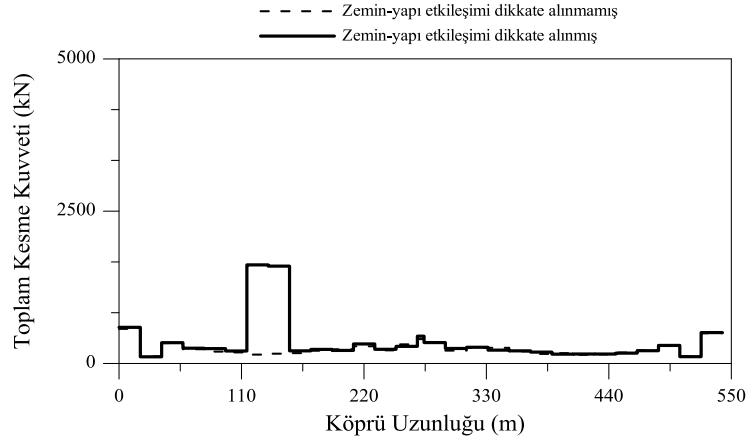
Şekil 4.274. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam normal kuvvetleri



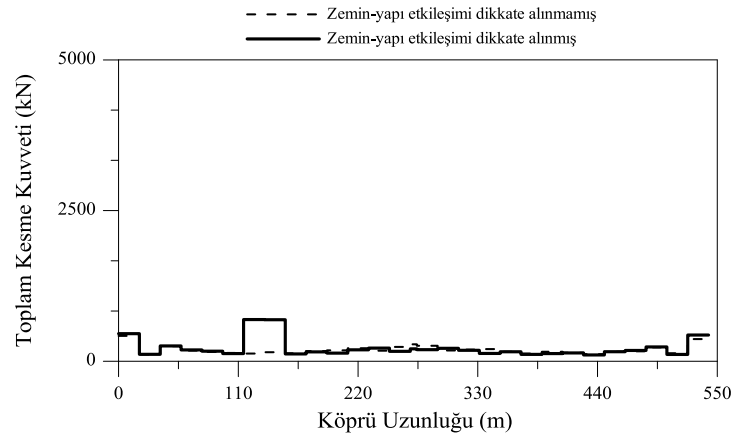
Şekil 4.275. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam normal kuvvetleri



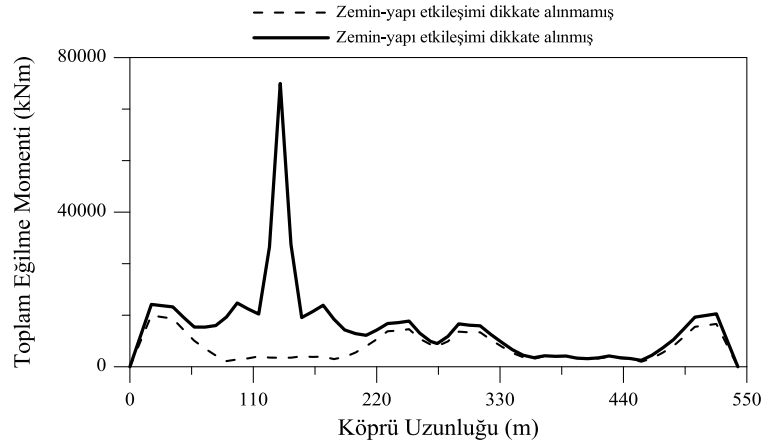
Şekil 4.276. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam kesme kuvvetleri



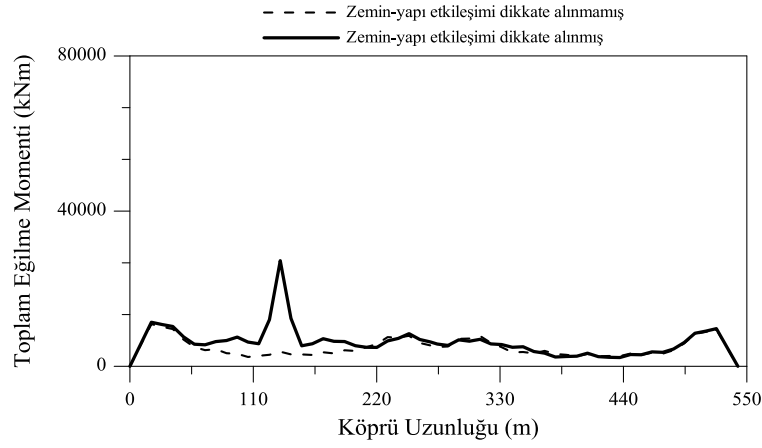
Şekil 4.277. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam kesme kuvvetleri



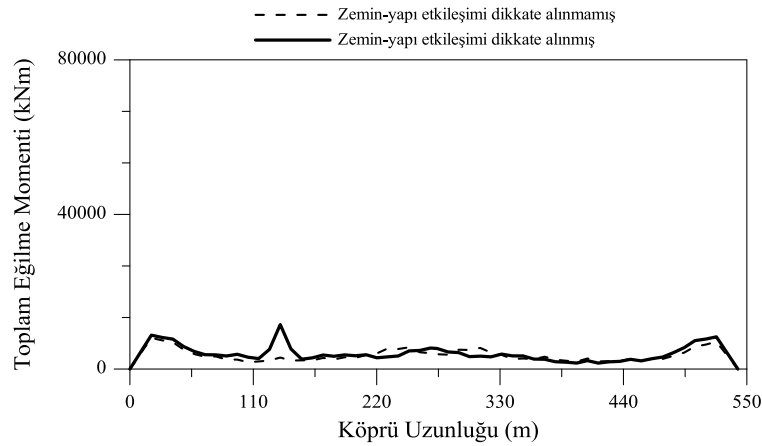
Şekil 4.278. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam kesme kuvvetleri



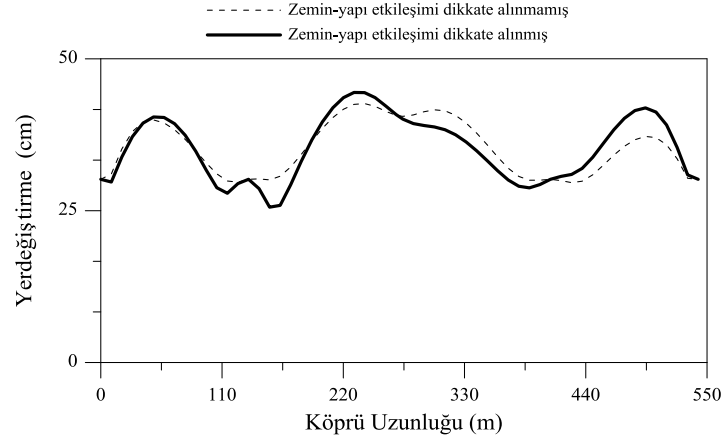
Şekil 4.279. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam eğilme momentleri



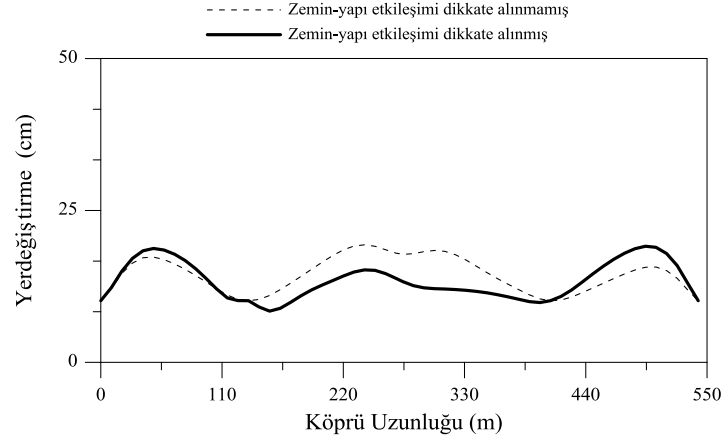
Şekil 4.280. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam eğilme momentleri



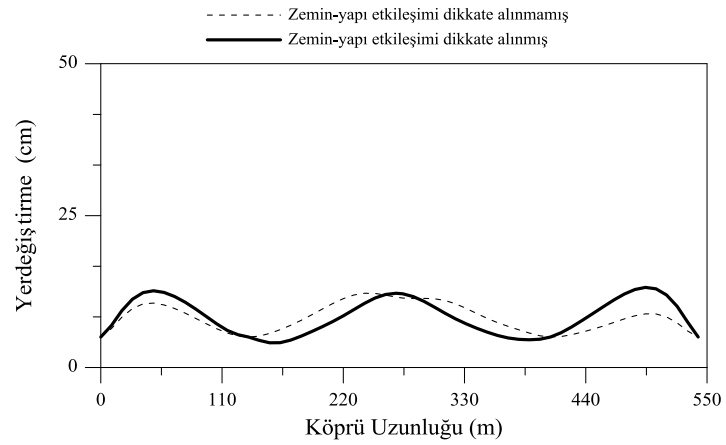
Şekil 4.281. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam eğilme momentleri



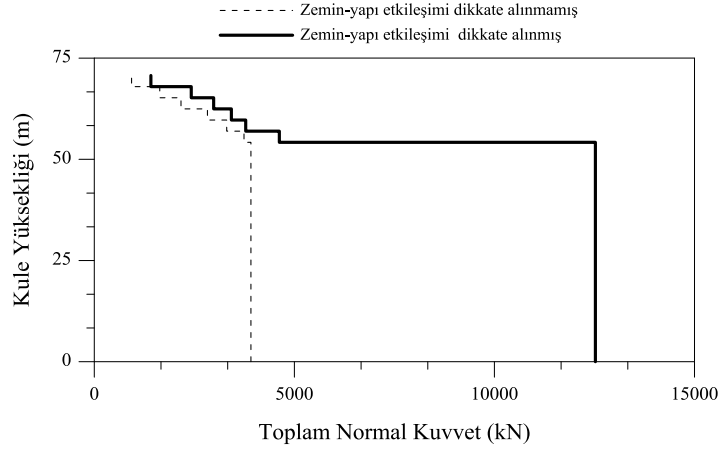
Şekil 4.282. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin yumuşak zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri



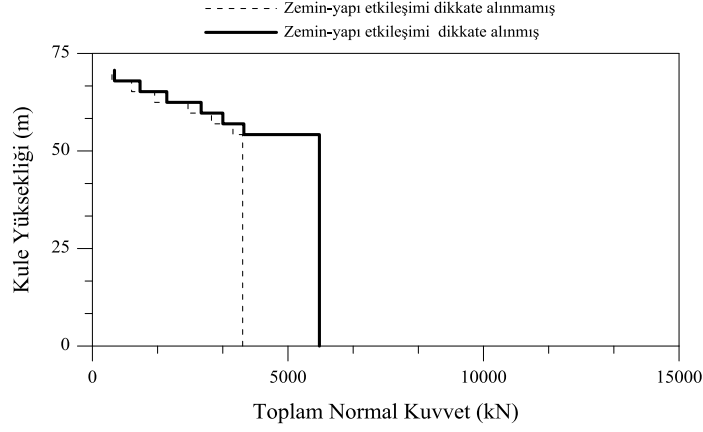
Şekil 4.283. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin orta zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri



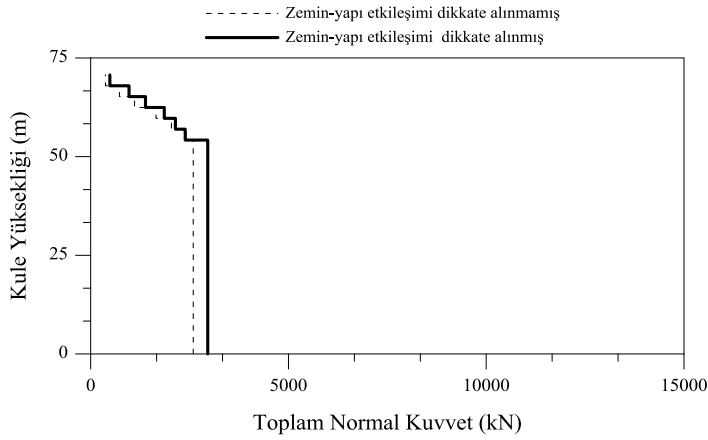
Şekil 4.284. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü tabliyesinin sert zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri



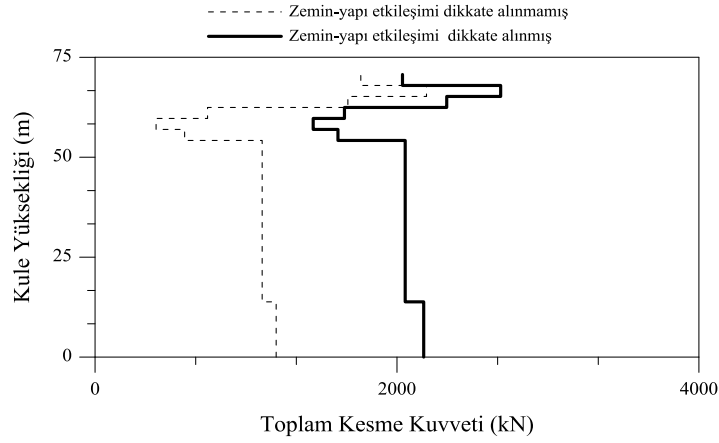
Şekil 4.285. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam normal kuvvetleri



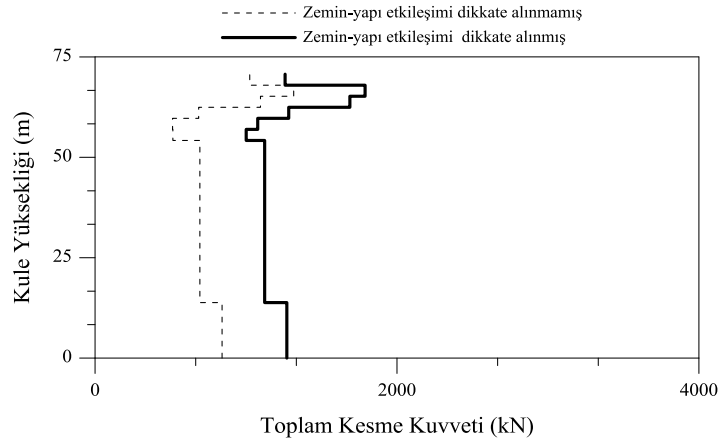
Şekil 4.286. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam normal kuvvetleri



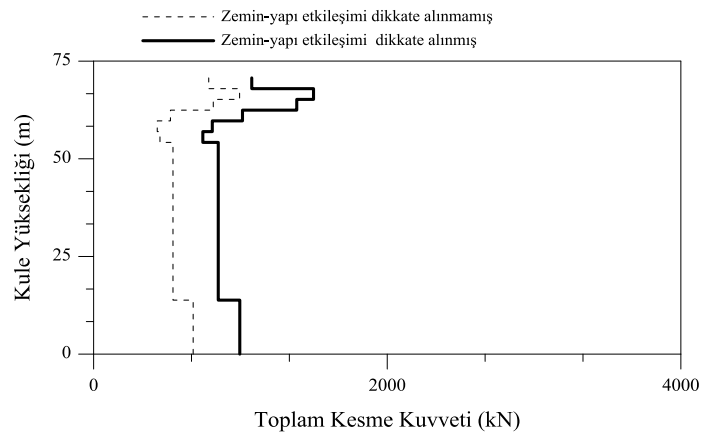
Şekil 4.287. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam normal kuvvetleri



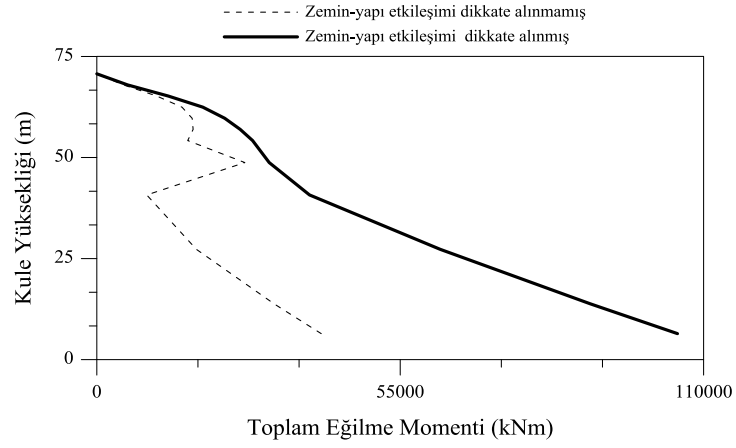
Şekil 4.288. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam kesme kuvvetleri



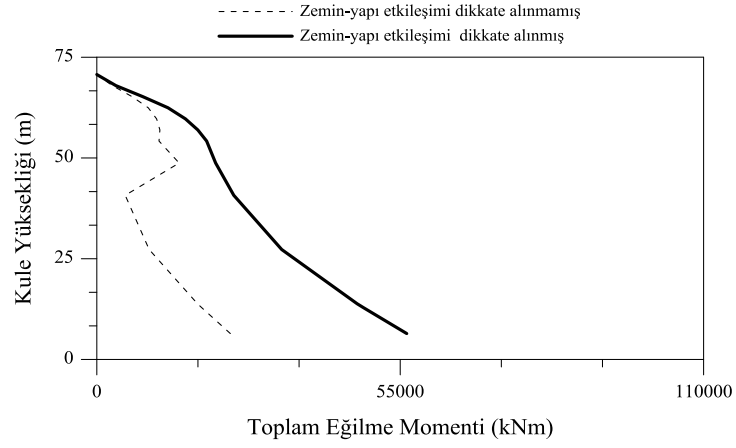
Şekil 4.289. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam kesme kuvvetleri



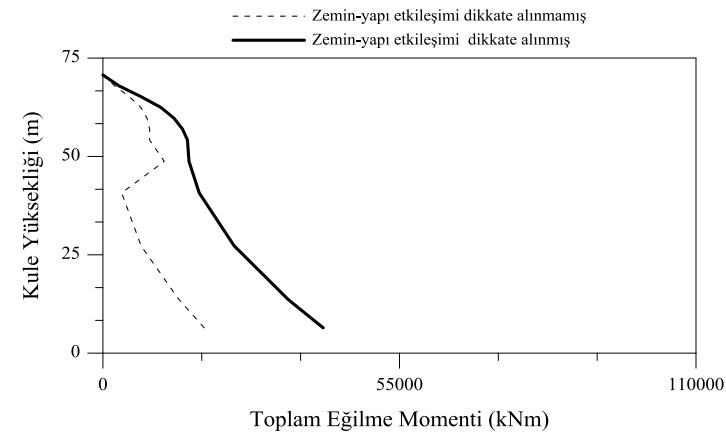
Şekil 4.290. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam kesme kuvvetleri



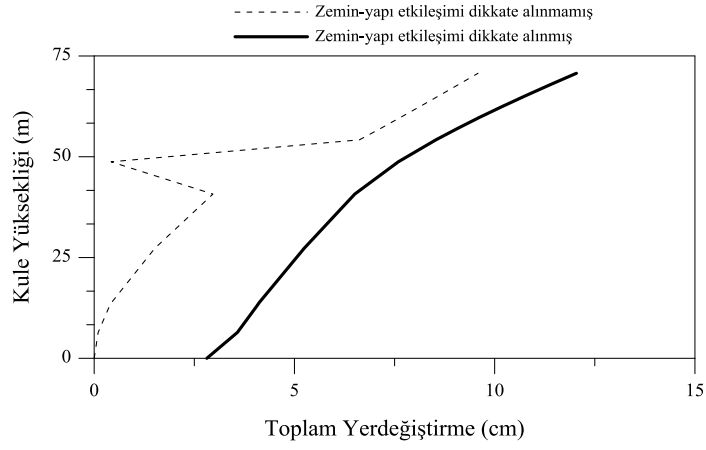
Şekil 4.291. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam eğilme momentleri



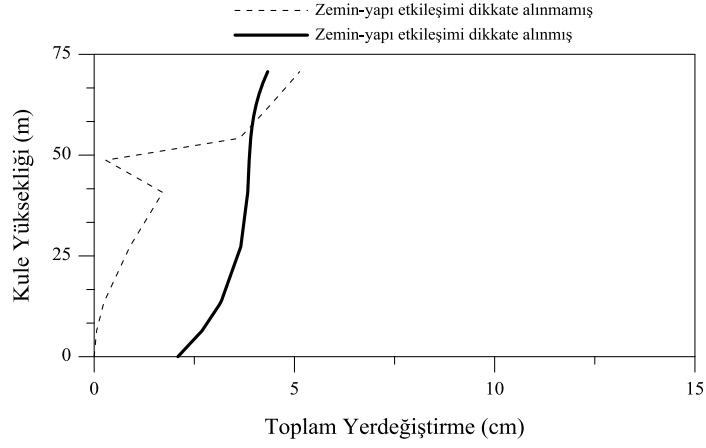
Şekil 4.292. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam eğilme momentleri



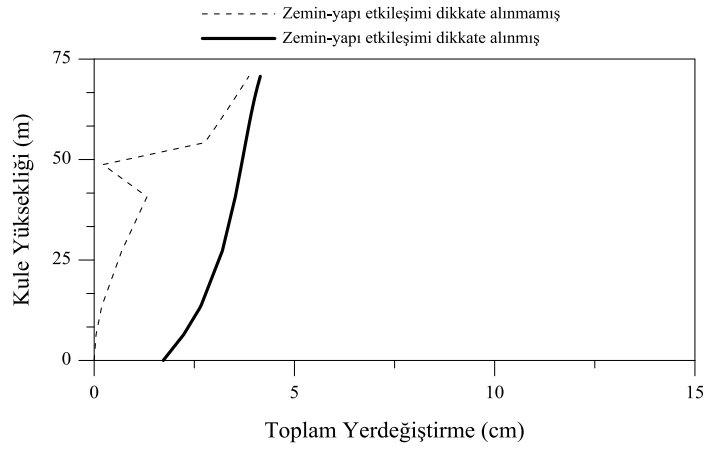
Şekil 4.293. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam eğilme momentleri



Şekil 4.294. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin yumuşak zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri



Şekil 4.295. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin orta zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri



Şekil 4.296. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan ve alınmayan köprü kulesinin sert zemindeki toplam yerdeğiştirmeleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada değişerek yayılan deprem etkileri için homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprü sisteminin stokastik analizlerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan stokastik analizlerde deprem hareketi rasgele işlem olarak güç spektral yoğunluk fonksiyonu ile ifade edilmiştir. Deprem hareketi gibi farklı zamanlarda farklı istatistiklere sahip rasgele işlemler tüm hareket süresi boyunca durağan (stasyoner) değildir. Ancak, en büyük yapı tepkilerinin oluştuğu saniyeler boyunca stasyonerlik kabulünün yapılması uygun olmaktadır. Bu çalışmada istatistiksel özelliklerin zamandan bağımsız olduğu durağanlık (stasyonerlik) kabulü yapılmıştır. Deprem hareketindeki değişim, mesnetlere etkileyen yer hareketinin yansıma ve kırılmalarla değişebilir olma etkisini (korelasyon etkisi), dalga yayılma etkisini ve zemin özelliklerinin yer hareketine etkisi ile dikkate alınmıştır.

Zemin-yapı etkileşimini içeren ve içermeyen homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen köprünün stokastik davranışları; sadece dalga yayılma etkisi, sadece korelasyon etkisi, sadece üniform yer hareketi etkisi ve dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkileri dikkate alınarak ayrı ayrı belirlenmiştir.

Deprem hareketini ifade etmek üzere yer hareketinin spektral yoğunluk fonksiyonu, Clough ve Penzien (1993) tarafından düzeltilerek elde edilen filtre edilmiş beyaz gürültü modeli stokastik analizlerde kullanılmıştır. Ayrıca deprem hareketinin değişiminin dikkate alındığı korelasyon etkisi için, Harichandran ve Vanmarcke (1986) ile Luco ve Wong (1986) tarafından önerilen korelasyon modelleri kullanılmıştır. Zemin etkisi için kablolu köprünün mesnetlendiği zeminin homojen tabakalı sert zemin, homojen tabakalı orta zemin ve homojen tabakalı yumuşak zemin olması durumları dikkate alınmıştır. Yer hareketi olarak 1999 Kocaeli Depremi Düzce istasyonunda kaydedilen DZC270 bileşeni kullanılmıştır. Söz konusu deprem kayıtları köprüye düşey doğrultuda uygulanmıştır.

Bu çalışmada stokastik analizi yapılmak üzere seçilen örnek kablolu köprü, Illinois-Quincy'de Mississippi Nehri üzerinden geçen Quincy Bay-view köprüsüdür. Quincy Bay-view Köprüsünün rasgele olan deprem etkisinden oluşacak stokastik davranışını belirlemek amacıyla iki boyutlu analizi yapılmıştır. Köprü H şeklindeki iki beton kuleden, yelpaze şeklindeki kablolardan ve kompozit köprü tabliyesinden oluşmaktadır. Üç açıklıktan

oluşan köprünün toplam uzunluğu 542 metredir. Ana açıklığı 274 metre ve her bir kenar açıklığı 134 metre olan köprü iki kenar açıklığa sahiptir.

Değişen yer hareketi için kablolu köprünün stokastik analizlerini yapmak amacıyla dalga yayılma etkisi, zemin etkisi ve korelasyon etkisi ile tanımlanan değişen yer hareketindeki değişimi dikkate alabilen SVEM programı (Dumanoğlu ve Soyluk, 2002a) kullanılmıştır.

Yer hareketindeki değişim dikkate alınmak suretiyle homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen kablolu köprünün stokastik analizleri sonucunda elde edilen bulgulardan aşağıdaki sonuçlara ve önerilere ulaşılmıştır:

- 1) Seçilen model köprünün periyotları 0,2 ile 2,1 arasında değişmektedir. Zemin-yapı etkileşiminin dikkate alınması durumunda model köprünün periyotları uzamaktadır.
- 2) Sadece dalga yayılma etkisinin dikkate alınması durumunda zemin-yapı etkileşimini içermeyen kablolu köprünün stokastik analizleri sonucunda; homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda köprü tabliyesinde ve kulesinde zahiri-statik, dinamik ve toplam bileşenlerinden oluşan eleman kuvvetlerinin diğer homojen tabakalı zemin koşullarına göre daha fazla olmaktadır. Köprü tabliyesinde mesnetlerde ve açıklık ortasında oluşan normal kuvvetler kule-tabliye birleşim bölgelerine göre daha az olmaktadır. Tabliyede homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan kesme kuvveti değişiminin mesnetlerde, eğilme momenti değişiminin mesnetlere yakın bölgelerde diğer homojen tabakalı zeminlere göre oldukça fazla olmaktadır. Tabliyede mesnetlerde ve kule-tabliye birleşim bölgelerinde oluşan dinamik yerdeğiştirme sıfır olmaktadır. Kulede zahiri-statik normal kuvvet değişiminin dinamik normal kuvvet ve toplam normal kuvvet değişimine göre oldukça az olmaktadır. Dinamik normal kuvvet ve toplam normal kuvvet değişiminin birbirine oldukça yakın olduğu ve normal kuvvetin kule tabliye birleşim bölgesinde maksimum, kulenin en üst noktasına doğru ise giderek azalmaktadır. Kuledeki kesme kuvveti değerlerinin kulenin en üst noktasına yakın bölgede maksimum ve homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda kesme kuvveti değerlerinin daha fazla olmaktadır.
- 3) Sadece korelasyon etkisinin dikkate alınması durumunda zemin-yapı etkileşimini içermeyen kablolu köprünün stokastik analizleri sonucunda; köprü tabliyesinde homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan eleman kuvvetleri ve yerdeğiştirmeler daha fazla olmaktadır. Tabliyede oluşan zahiri-statik normal

kuvvet, dinamik normal kuvvet ve toplam normal kuvvete göre daha az olmaktadır. Normal kuvvetler kule-tabliye birleşim bölgesinde maksimum olmakta, açıklık ortasında ve mesnetlerde azalmaktadır. Tabliyedeki toplam kesme kuvveti ve dinamik kesme kuvveti değerleri mesnetlerde ve açıklık ortasında maksimum olurken, zahiri-statik kesme kuvvetinin açıklık ortasında belirgin bir şekilde maksimum olmaktadır. Tabliyedeki eğilme momentleri mesnetlere yakın bölgelerde maksimum olurken açıklık ortasında artmakta, kule-tabliye birleşim bölgesinde ise azalmaktadır. Zahiri-statik eğilme momentleri mesnetlerde ve kule-tabliye birleşim bölgesinde sıfır olmaktadır. Tabliyedeki maksimum yerdeğiştirme açıklık ortasında ve homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşmaktadır. Kuledeki normal kuvvet kule-tabliye birleşim bölgesinde maksimum olmakta ve homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda bu değişim daha belirgin olmaktadır. Maksimum kesme kuvveti kulenin en üst noktasına yakın noktalarda oluşmaktadır.

- 4) Sonsuz hız değeri; yer hareketinin bir mesnetinden diğer mesnetine ulaşınca kadar geçen sürenin sıfır olmasına karşılık gelmektedir. Hızın sonsuz olması üniform yer hareketi durumuna karşılık gelmektedir. Sadece üniform yer hareketi etkisinin dikkate alınması durumunda zemin-yapı etkileşimini içermeyen kablolu köprünün stokastik analizleri sonucunda; homojen tabakalı zemine mesnetlenen köprünün tabliyesinde ve kulesinde zahiri-statik eleman kuvvetleri sıfır olmaktadır. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan eleman kuvvetleri ve yerdeğiştirmeler daha fazla olmaktadır. Köprü tabliyesindeki, dinamik ve toplam normal kuvvet değişimi incelendiğinde mesnet noktalarında ve ana açıklığın ortasında normal kuvvetlerin daha az olduğu kuleye yakın bölgede ise daha fazla olduğu ve bu değerlerin aynı olduğu gözlemlenmiştir. Tabliyedeki kesme kuvvetinin ve eğilme momentinin sırasıyla mesnetlerde ve mesnete yakın bölgelerde homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda maksimum, açıklık ortasına yakın bölgelerde ve açıklık ortasında homojen tabakalı orta zemin durumunda maksimum olmaktadır. Tabliyede, kule-tabliye birleşim bölgelerinde toplam yer değiştirmeler azalırken, açıklık ortalarında yer değiştirmeler artmaktadır. Zahir-statik yer değiştirmeler açıklık boyunca çok fazla değişmemektedir. Üniform yer hareketi durumunda analiz sonuçları incelendiğinde kule-tabliye birleşim bölgesindeki yerdeğiştirme sıfırken, kulenin yüksekliğinin artmasıyla yer değiştirmeler de artmaktadır.

- 5) Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinin dikkate alınması durumunda zemin-yapı etkileşimini içermeyen kablolu köprünün stokastik analizleri sonucunda; homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşa eleman kuvvetleri ve yerdeğiştirmeler daha fazla olmaktadır. Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerini içeren stokastik analiz sonucundan elde edilen yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri sadece dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi durumlarında elde edilen yerdeğiştirme ve elman kuvvetlerinden daha fazla olmaktadır.
- 6) Sadece dalga yayılma etkisinin dikkate alınması durumunda zemin-yapı etkileşimini içeren kablolu köprünün stokastik analizleri sonucunda; homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda köprü tabliyesinde ve kulesinde zahiri-statik, dinamik ve toplam bileşenlerinden oluşan eleman kuvvetleri daha fazla olmaktadır. Normal kuvvet değişimi Quincy kulesi-tabliye birleşim bölgesinde maksimum olmaktadır. Dalga yayılma etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınan köprü tabliyesinde çeşitli homojen tabakalı zeminlere mesnetlenmesi durumunda dinamik kesme kuvveti çok fazla değişmemektedir. Tabliyedeki toplam kesme kuvveti ve zahiri-statik kesme kuvveti ve eğilme momenti Quincy kulesi–tabliye birleşim bölgesinde maksimum olmaktadır. Zemin-yapı etkileşiminin dikkate alınması durumunda tabliyedeki dinamik normal kuvvet, dinamik kesme kuvveti ve dinamik eğilme momenti köprünün simetri eksenine göre simetrik olurken zahiri-statik normal kuvvet, zahiri-statik kesme kuvveti ve zahiri-statik eğilme momenti değişimi köprü eksenine göre simetrik olmamaktadır. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda ise oluşan yerdeğiştirmelerin daha fazla ve daha düzensiz olmaktadır.
- 7) Sadece korelasyon etkisinin dikkate alınması durumunda zemin-yapı etkileşimini içeren kablolu köprünün stokastik analizleri sonucunda; homojen tabakalı yumuşak zemine mesnetlenen köprüde tabliyedeki ve kuledeki eleman kuvvetleri maksimum olmaktadır. Homojen tabakalı sert zeminde oluşan dinamik, zahiri-statik ve toplam yerdeğiştirmeler köprünün simetri eksenine göre simetrik olup maksimum yerdeğiştirmeler homojen tabakalı yumuşak ve orta zeminde kenar açıklık ortasında, oluşmaktadır.
- 8) Sadece üniform yer hareketi etkisinin dikkate alınması durumunda zemin-yapı etkileşimini içeren kablolu köprünün stokastik analizleri sonucunda; homojen

tabakalı yumuşak zemin durumunda tabliyedeki ve kuledeki eleman kuvvetleri maksimum olmaktadır. Tabliyede dinamik ve toplam bileşenlerin değişimi köprü eksenine göre simetrik olup, zahiri-statik bileşenlerin değişimi simetrik olmamaktadır. Tabliyede homojen tabakalı zeminlere mesnetlenen köprünün tabliyesinde oluşan yerdeğiştirmeler simetrik olmaktadır.

- 9) Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinin dikkate alınması durumunda zemin-yapı etkileşimini içeren kablolu köprünün stokastik analizleri; homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda tabliyedeki ve kuledeki eleman kuvvetleri maksimum olmaktadır. Tabliyedeki dinamik bileşeler köprünün simetri eksenine göre simetrik olup kuvvetler Quincy kulesi-tabliye birleşim bölgesinde maksimum olmaktadır. Homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda tabliyedeki yerdeğiştirmeler çok fazla olup düzensiz olmaktadır. Kulede maksimum yerdeğiştirme kulenin en üst noktasında meydana gelmektedir.
- 10) Dalga yayılma etkisinde zemin yapı etkileşimi dikkate alınmış ve alınmamış stokastik analiz sonuçları karşılaştırıldığında; zemin-yapı etkileşimi dikkate alınmış homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan eleman kuvvetleri ve yerdeğiştirmeler daha fazla olmaktadır. Zemin-yapı etkileşiminin dikkate alınması durumunda homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda ve homojen tabakalı orta zemin durumunda maksimum yerdeğiştirme kenar açıklıklarda oluşmaktadır. Kulede oluşan eleman kuvvetleri incelendiğinde homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda zemin-yapı etkileşimin etkilerini içeren ve içermeyen analizler karşılaştırıldığında zemin-yapı etkileşiminin dahil edilmesi durumunda eleman kuvvetleri büyük ölçüde artmaktadır. Homojen tabakalı sert zemin durumunda birbirine yakın sonuçlar elde edilmektedir.
- 11) Korelasyon etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınmış ve alınmamış stokastik analiz sonuçları karşılaştırıldığında zemin-yapı etkileşimi dikkate alınması durumunda eleman kuvvetleri ve yerdeğiştirmeler artmaktadır. En fazla yerdeğiştirmenin olduğu homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda zemin-yapı etkileşimi dikkate alınmış köprüde maksimum yerdeğiştirme kenar açıklıklarda, zemin-yapı etkileşimi dikkate alınmamış köprüde maksimum ana açıklık ortasında oluşmaktadır.
- 12) Üniform yer etkisinde zemin-yapı etkileşimi dikkate alınmış ve alınmamış stokastik analiz sonuçları karşılaştırıldığında köprü tabliyesinde yerdeğiştirme ve eleman

kuvvetlerinin simetrik olmaktadır. Tabliyede ve kulede zemin-yapı etkileşimini içeren ve içermeyen analiz sonuçları birbirine yakın olmaktadır. Tabliyede maksimum yerdeğiştirme zemin-yapı etkileşiminin dikkate alınması durumunda kenar açıklık ortasında oluşmaktadır.

- 13) Dalga yayılma, korelasyon ve üniform yer hareketi etkilerinin dikkate alınması durumunda zemin-yapı etkileşimini içeren kablolu köprünün stokastik analiz sonuçları karşılaştırıldığında homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda oluşan yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri maksimum olmaktadır. Homojen tabakalı sert zemin durumunda oluşan yerdeğiştirmeler ve eleman kuvvetleri daha az olmaktadır.
- 14) Yer hareketindeki değişime neden olan dalga yayılma, korelasyon ve zemin etkilerinden her birinin sonuçlar üzerinde önemli etkileri olmakla birlikte, zemin-yapı etkileşiminin etkilerinin de oldukça önemli olduğu görülmektedir.
- 15) Zemin-yapı etkileşiminin köprü deplasmanlarında ve yapısal elemanlarda atalet kuvvetlerini büyük ölçüde etkilediğini, köprünün sismik davranışında zemin-yapı etkileşiminin etkileri köprü-temel-zemin sisteminin koşullarına bağlı olduğu gözlenmektedir. Özellikle homojen tabakalı yumuşak zemin durumunda zemin-yapı etkilerinin dâhil edilmesi kablolu köprülerin etkin tasarımı için önemlidir.

KAYNAKLAR

- Abdel-Ghaffar, A.M. ve Rubin, L.I., 1982. Suspension Bridge Responseto Multiple-Support Excitations, Journal of Engineering Mechanics, 108, 419-435.
- Abdel-Ghaffar, A.M. ve Rubin, L.I., 1983. Vertical Seizmic Behaviour of Suspension Bridges, Earthquake Engineering and Strucutral Dynamics, 11, 1-19.
- 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., 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.
- Abrahamson, N.A., 1993. Spatially Variation of Multiply Support Inputs, Proc. Of the First U.S. Seminar, Seismic Evaluation and Retrofik Of Steel Bridges, October, San Francisco, 1-34.
- Adanur, S., 1997. Asma Köprülerin Geometrik Olarak Lineer Olmayan ve Elastik Zemin Analojisi ile Dinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.
- Adanur, S., 2003. Mesnetlerinden Farklı Dinamik Etkilere Maruz Asma Köprülerin Geometrik Olarak Lineer Olmayan Deterministik ve Stokastik Analizi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.
- Akoz, A.Y. ve Kadioglu, F., 1996. Mixed finite element solution of circular beam on elastic foundation, Computers and Structures, 60,4, 643-651.
- Alam, S.M. ve Datta, T.K., 1999. Seismic Behaviour of Cable-Stayed Bridges Under Multi-Component Random Ground Motion, Engineering Structures, 21, 62-74.
- Alam, 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.
- Alsalerh, H. ve Shahrour, I., 2009. Influence of plasticity on the Seismic Soil-Micropiles-Structure Interaction, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 29, 3, 574-578.
- Angın, Z. ve Erusta, A., 1996. İki Doğrultuda Uzanan Sürekli Temellerin Bilgisayar Yardımıyla Analizi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Altıncı Ulusal Kongresi. Ekim, İzmir, Türkiye. 205-216.
- Atımtay, E., 2000. Betonarme Sistemlerin Tasarımı-Temel Kavramlar ve Hesap Yöntemleri, Cilt 1, METU Press, Ankara.

- Augusti, G., Baratta, A. ve Casciati, F., 1984. Probabilistic Methods in Structural Engineering, First Edition, Chapman and Hall Ltd., New York.
- Aydınoğlu, M.N., Berilgen, M., ve Özaydın, K., 2000. Depremde Kazık-Zemin Dinamik Etkileşimi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği, Sekizinci Ulusal Kongresi, Ekim, İstanbul, İTÜ, Bildiriler Kitabı, 427-436.
- 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-Foundattion 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.
- Bea, R., 1992. Pile Capacity for Axial Cyclic Loading, Journal of Geotechnical Engineering, 118, 1, 34-50.
- Berger/Abam Engineers, 1996. Inc. Federal Highway Administration Seismic Design Course, Design Example No.6, Publication no. FHWA-SA-97-011 ve Barcode No. PB97-14211.
- Boduroğlu, M.K., 2007. Kablolü Köprülerin Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi ile Deprem Performansının Belirlenmesi Üzerine Sayısal Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bogard, D. ve Matlock, H., 1983. Procedures for Analysis of Laterally Loaded Pile Groups in Soft Clay, Proceedings of the Conference on Geotechnical Practice in Offshore Engineering, ASCE, 499-535.
- Boozarjmehr, M. ve Emami, M.R., 2008. Investigating The Seismic Response Of The Base Isolated Bridges With Respect To Soil-Structure Interaction, Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, WCECS, October, San Francisco, USA, 22-24.
- Bowles, J.E., 1974. Analytical and Computer Methods in Foundation Engineering, New York, McGraw-Hill.
- Bowles, J.E., 1988. Foundation Analysis and Design, McGraw Hill, 4th Edition, Singapore.
- Broms, B.B., 1964. Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soils, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 90, 3, 123-156.

- Brown, D.A. ve Shie, C.F., 1990. Three-Dimensional Finite Element Model of Laterally Loaded Piles, Computers and Geotechnics, 10, 59-79.
- 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., Der Kiureghian, A.A. ve Wilson, E.L., 1981. STOCAL-User Information Manuel, Report No UCB/SEMM-81/2, Department of Civil Engineering, University Of California, Berkeley, CA.
- Button, M.R., 1981. Numerical Techniques for Dynamic Stochastic Structural Analysis, Doktora Tezi, University of California, Berkeley.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N., 1992. Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş, Birinci Baskı, Sema Matbaacılık, İstanbul.
- Cengiz, A., 2009. Büyük Açıklıklı Kablolü Köprülerde Trafik Yüklerinin Meydana Getirdiği Dinamik Etkilerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Chellis, R.D. 1961. Pile foundations, Second edition McGraw-hill, New York.
- Clough, R.W. ve Penzien, J., 1993. Dynamic of Structures, Second Edition, McGraw Hill, Inc., Singapore.
- Coduto, D.P., 2001. Temel Tasarımı İlkeler ve Uygulamalar, Gazi Kitapevi, Ankara, 816.
- Computers and Structures Inc., 2000. SAP2000-Structural Analysis Program Manual, Nonlinear Version 7.21, Berkeley.
- Curras, C.J., Boulanger, R.W., Kutter, B.L. ve Wilson, D.W., 2001. Dynamic Experiments and Analyses of a Pile-Group-Supported Structure, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 127, 7, 585-95.
- Çelep, Z. ve Kumbasar, N., 1993. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Sema Matbaacılık, İstanbul.
- Çimen, Ö., Korkmaz, K.A., Keskin, S.N., Ay, Z. ve Çarhoğlu, A.I., 2009. Farklı Zeminlerdeki Kazıkların Deprem Davranışının İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 25, 223-236.
- Çinicioğlu, S.F., 2005. Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı, Seminer, İMO, İstanbul.
- Das B.M., 1984. Principles of Foundation Engineering (Ed: Kingman R.) Wadsworth Inc, California, USA.

- 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.
- Davis, E.H. ve Poulos, B.E., 1968. The Use of Elastic Theory for Settlement Prediction under Three-Dimensional Conditions, Geotechnique, Institution of Civil Engineers, 18, 67-91.
- Davis, R.O. ve Selvadurai, A.P.S., 1996. Elasticity and Geomechanics, Cambridge University Press, New York.
- 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.
- 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. Multiply 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 Motion, Proc. Instn. Civ. Engrs., PART 2, 77, 333-352.
- Dumanoğlu, A.A. ve Severn, R.T., 1987. Seismic Response of Modern Suspension Bridges to Asynchronous Vertical Ground Motion, Proc. Instn. Civ. Engrs., 2, 83, 701-730.
- 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., Brownjohn, J.M.W. ve Severn, R.T., 1992. Seismic Analysis of the Fatih Sultan Mehmet (Second Bosphorus) Suspension Bridge, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 21, 881-906.
- Dumanoğlu, A.A. ve Soyluk, K., 1998. Kablo lu Köprülerin Stokastik ve Asinkronize Dinamik Analizi, Teknik Rapor, TDV/TR 98-013, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul.

- Dumanoğlu, A.A. ve Soyluk, K., 2000. Köprülerin Karşılaştırmalı Asinkronize, Antisinkronize ve Stokastik Karşılaştırmalı Dinamik Etkilere Maruz Kablolü Köprülerin Stokastik Analizi, Teknik Rapor, TDV/TR 032-54, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul.
- Dumanoğlu, A.A. ve Soyluk, K., 2000. Mesnetlerinden Farklı Dinamik Etkilere Maruz Kablolü Köprülerin Stokastik Analizi, Teknik Rapor, TDV/TR 032-54, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul.
- 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.
- Duncan, J.M., Evans, L.T. ve Ooi, P.S.K., 1994. Lateral Load Analysis of Single Piles and Drilled Shafts, Journal of Geotechnical Engineering, 120, 5, 1018-1033.
- Düzgün, M., 2001. .Elastik Zemine Oturan Temellerin Kuvvet Yöntemi ile Analizi ve Sayısal Hesabı İçin Geliştirilen Bilgisayar Programı.. DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, İzmir, Türkiye, 3,33, 33-50.
- Erdoğan, H. ve Gülal, E., 2009. Boğaziçi Köprüsü Hareketlerinin Zaman Dizileri Analizi İle Belirlenmesi, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 1, 100.
- Fan, C.C. ve Long, J.H., 2005. Assessment of Existing Methods for Predicting Soil Response of Laterally Loaded Piles in Sand, Computers and Geotechnics, 32, 274-289.
- Garevski, M., Dumanoğlu, A.A. ve Severn, R.T., 1988. Dynamic Charecteristics and Seismic Behaviour of Jindo Bridge, South Korea, Structural Engineering, Review, 1, 141-149.
- Garevski, M., Brownjohn, J.M.W., Blakeborough, A. ve Severn, R.T., 1991. Resonance-Search Tests on a Small-Scale Model of a Cable-Stayed Bridges, Engineering Struct., 13, 59-66.
- Gazis, D.C., 1958. Analysis of Finite Beams on Elastic Foundation, Journal of Structural Engineering, ASCE, 84, 1722.
- 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.
- Gimsing, N.J., 1983. Cable Supported Bridges (Concept and Design), First Edition, John Wiley and Sons, NewYork.
- Glassman, A., 1972. Behavior of Crossed Beams on Elastic Foundations, Journal of soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, 98, 1-7.
- Gören, H., 2007. Kazıkların Taşıma Gücü. www.betonarme.com.

- Hain, S.J. ve Lee, I.K., 1974. Rational Analysis of Raft Foundation, Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 100, 843-860.
- Hao, H., 1989. Effects of Spatially 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., 1993. Arch Responses to Correlated Multiple Excitations, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 22, 389-404.
- 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 Intermediate Two-Span Beam to Spatially Varying Seismic Excitation, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 19, 173-187.
- Harichandran, R.S. ve Wang, W., 1990. Response of Intermediate 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 Sweiden, B.N., 1996. Response of Long-Span Bridges to Spatially Varying Ground Motion, Journal of Structural Engineering, 122, 5, 476-484.
- Hawwari, A.R., 1992. Suspension Bridge Response to Spatially Varying Ground Motion, Doktora Tezi, Michigan State University, Michigan.
- Heredia-Zavoni, E. ve Vanmarcke, E.H., 1994. Seismic Random- Vibration Analysis of Multisupport- Structural Systems, Journal of Engineering Mechanics, 120, 5, 1107-1127.
- Hetényi, M., 1946. Beams on Elastic Foundation, University of Michigan Press, Ann Arbor.

- Hetenyi, M., 1955. Beams on Elastic Foundation. The University of Michigan Press., Michigan, USA.
- Hindy, A. ve Novak, M., 1980. Pipeline Response to Random Ground Motion, Journal of Engineering Mechanics Division, 106, 2, 339-360.
- Hooper, J.A., 1984. Raft Analysis and Design-Some Practical Examples, The Structural Engineer, 62, 8, 234-244.
- Idris, I.M., Kennedy, R.P., Agrawal, P.K., Hadjian, A.H., Kausel, E., Lysmer, J., Seed, H.B. ve Whitman, R.V., 1979. Analyses for Soil-Structure Interaction Effects for Nuclear Power Plants, Report by The Ad Hoc Group on Soil-Structure Interaction of The Committee on Nuclear Structures and Materials of the Structural Division of ASCE.
- The European Steel Design Programme (ESDEP), 2009. Lecture Notes, <http://www.fgg.uni-lj-si/kmk/ESDEP/master/wg15b/10800.htm>
- Jaradat, Y.M.M., 2005. Soil-Structure Interaction of FRP Piles in Integral Abutment Bridges, Dissertation submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, Doktora Tezi, Maryland.
- Kahraman, S., Mısır, İ.S ve Özden, G., 2007. Sabit ve Değişken Yatak Katsayısı Yaklaşımlarının Yapı Davranışına Etkisi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı. Sixth National Conference on Earthquake Engineering, Ekim, İstanbul, Türkiye, Bildiriler Kitabı.
- Karkee, M.B., Sugimura, Y. ve Fujiwara, K., 1998. Design of Piles Considering the Deformation Response Under the Action of Earthquake Shaking, Proc. UJNR Workshop on Soil-Structure Interaction, Menlo Park, Calif., Sep. 22-23, 1-13.
- Kaschiev, M.S. ve Mikhajlov, K., 1995. Beam resting on a tensionless Winkler foundation, Computers and Structures, 55, 2, 261-264.
- Kawano, K. ve Furukawa, K., 1988. Random Seismic Response Analysis of Soil Cable Stayed Bridge Interaction, Proc. 9th WCEE, 6, 495-500.
- Keleşoğlu, M.K., Özkan, M.T. ve Boran, E., 2002. Yatay Yüklü Kazıkların Yük-Deformasyon Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Belirlenmesi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi, Eskişehir, Türkiye, 633- 640.
- Khalil, M.S., Dilger, W.H. ve Ghali, A., 1980. Time-Dependent Analysis of PC Cable-Stayed Bridges, Journal of Structural Engineering, ASCE, 109, 1980-1997.
- Khan, R.A., Ahmad, S. ve Datta, T.K., 2004. Effect of Soil-Structure Interaction on Seismic Risk of Fan Type Cable Stayed Bridges, International Institute of Earthquake Engineering, 6, 2.

- Kimura, M., Natsukawa, K. ve Tanaka, A., 1997. Seismic Evaluation of Pile Foundations, Proc. 6th Intern Sympos. on Numerical Models in Geomechanics, Canada, July 2-4, 545-548.
- Kitazawa, M., Ishizaki, H., Emi, S. ve Nishimori, K. 1990. Characteristics of Earthquake Response and a Seismic Design on the Long Period Cable Stayed Bridge with All Movable Shoes in Longitudinal Direction, International Institute of Earthquake Engineering, 422, 343- 352.
- Kobori, T., 1990. Verification Studies on Dynamic Soil-Structure Interaction, Proceedings of Thirteenth Regional Seminar on Earthquake Engineering, September, İstanbul, Turkey, 532-560.
- Konagai, K., Yin, Y. ve Murono, Y., 2003. Single Beam Analogy for Describing Soil-Pile Group Interaction, Soil Dynamic and Earthquake Engineering, 23, 213-221.
- Köseoğlu, S., 1986. Temeller, Statiği ve Konstruksiyonu II Yüzeysel Temeller. İstanbul Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, Türkiye.
- Kreyszig, E., 1993. Advanced Engineering Mathematics, Seventh Edition, John Wiley and Sons, Inc., Singarore.
- Krishna, P., Arya, A.S. ve Agrawal, T.P., 1985. Effect of Cable Stiffness on Cable-Stayed Bridges, Journal of Structural Engineering, ASCE, 111, 2008-2020.
- Kumarasena, T. ve Stroh, S.L., 1995, Multiple-Support Excitation Analysis Simplified, Proceedings of the National Seismic Conference on Bridges and Highways, December, San Diego, California, 10-23.
- Laman M., King, G.J.W. ve Dickin E.A., 1999. Three-dimensional Finite Element Studies of the Moment-Carrying Capacity of Short Pier Foundations in Cohesionless Soil, Computers and Geotechnics, 25, 141-155.
- 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.
- Liao, S.S.C., 1955. Estimating the Coefficient of Subgrade Reaction for Plane Strain Conditions, Proceedings of The Institution of Civil Engineers Geotechnical Engineering, 113, 166-181.
- Luca, J.E. ve Mita, A., 1987. Response of Circular Foundation to Spatially Random Ground Motion, Journal of Engineering Mechanics, 113, 1-16.

- 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.
- Majid, K.I. ve Cunnell, M.D., 1976. A Theoretical and Experimental Investigation into Soil-Structure Interaction, Geotechnique, Institution of Civil Engineers, 26, 2, 331-350.
- Malter, H., 1960. Numerical Solutions for Beams on Elastic Foundations, Transactions of the American Society of Civil Engineers, 125, 757-767.
- Meyerhoff, G.G., 1976. Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 102, 3, 197-228.
- Miranda, C. ve Nair, K., 1966. Finite Beams on Elastic Foundation. Journal of the Structural Division, ASCE, 92, 131-141.
- Mosher, R.L. ve Dawkins, W.P., 2000. Theoretical Manual for Pile Foundations, Technical Report TR-00-5, U.S. Army Corps of Engineers.
- Nazmy, A.S., 1995. Solutions for the Seismic Problems of Superlong Cable-Stayed Bridges, Restructuring: America and Beyond Proceedings of Structures Congress XIII, American Society of Civil Engineers, New York, 1, 465-468.
- Nazmy, A.S., Abdel-Ghaffar, A.M., 1987. Seismic Response Analysis of Cable Stayed Bridges Subjected to Uniform and Multiple-Support Excitations, Report No. 87-SM-1, Department of Civil Engineering, Princeton University, Princeton, N.J.
- Nazmy, A.S., 1987. Nonlinear Earthquake-Response Analysis of Cable-Stayed Bridges Subjected to Multiple-Support Excitations, Doktora Tezi, Princeton University, Princeton.
- Nazmy, A.S. ve Abdel-Ghaffar, A.M., 1992. Effects of Ground Motion Spatially Variability on the Response of Cable-Stayed Bridges, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 21, 1-20.
- Newland, D.E., 1975. An Introduction to Random Vibrations and Spectral Analysis, First Edition, Longman, Inc., New York.
- Newland, D.E., 1983. An Introduction to Random Vibrations and Spectral Analysis, Fifth Edition, Longman Inc., New York.
- Nikolaou S., Mylonakis G., Gazetas G. ve Tazoh T., 2001. Kinematic Pile Bending During Earthquakes Analysis and Field Measurements, Geotechnique, 51, 5, 425-440.
- Oliveira, C.S., Hao, H. ve Penzien, J., 1991. Ground Motion Modelling for Multiply-Input Structural Analysis, Structural Safety, 10, 79-93.

- Ordu, E. ve Özkan, M.T., 2006. Kazıklı Temellerin Deprem Performanslarının Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi, İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 5, 2, 2, 27-34.
- Özkan, M.T. ve Sağlamer, A., 1995. Kazıklı Temeller, Dünya İnşaat, 131, 7, 35-38.
- Pan, M., 1991, Structural Dynamics, Third Edition, Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York.
- Paskalov, T. ve Grravski, M., 1985. Static and Dynamic analysis of Cable Stayed Bridges, International Seminar on Computer, Aided Design of Earthquake Resistant Engineering Structures, October, Skopje, 1-27.
- Peebles, P.Z., 1987. Probability, Random Variables and Random Signal Principles, Second Edition, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Penzien, J., 1960. Discontinuity Stresses in Beams of Elastic Foundations, Journal of Structural Engineering, ASCE, 86, 4, 67-93.
- Podolyn, W., 1975. Cable-Stayed Versus Classical Suspension Bridge, Transportation Engn. Journal, 102, 291-310.
- Poulos, H.G. ve Davids, E.H., 1980. Pile Foundation Analysis and Design. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Poulos, H.G., 1971. Behavior of Laterally Loaded Piles: I-Single Piles. Journal of the Soil Mechanics and foundations Division, 97, 5, 711-731.
- Poulos, H.G., Davis, E.H., 1980. Pile Foundation Analysis and Design, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Prota Bilgisayar A.Ş., 2003. Probina-Bina Sistemleri 3-Boyutlu Analizi-Dizaynı-Çizimi, Probina Orion Ver. 9 Kullanım Klavuzu, İstanbul.
- Pugsley, S.A., 1968. The Theory of Suspension Bridges, Second Edition, Erward Arnold, London.
- Purnachandra, S. ve Jangid, R.S., 2008. Comparative Performance of Isolation Systems for Benchmark Cable-stayed Bridge, International Journal of Applied Science and Engineering, 6, 2, 111-139.
- Rees, A. ve Kim, S.J., 1985. Jindo and Dolsan Bridges: Construction, Proc. Instn Civ. Engrs., 78, 1301-1324.
- Ren, W. ve Obata, M., 1999. Elastic-Plastic Seismic Behavior of Long Span Cable-Stayed Bridges, Journal of Bridge Engineering, 4, 3, 194-203.

- Reul O. ve Randolph M.F., 2003. Design Strategies for Piled Rafts Subjected to Non-Uniform Vertical Loading, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 130, 1, 1-13.
- Rutenberg, A. ve Heidebrecht, A. C., 1988. Approximate Spectral Multiple Support Seismic Analysis Travelling Wave Approach, Proc. Instn. Cin. Engrs., 2, 85, 223-236.
- Sadek, M. ve Shahrour, I., 2004. Three-Dimensional Finite Element Analysis of the Seismic Behavior of Inclined Micropiles, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 24, 473-485.
- Sadek, M. ve Shahrour, I., 2005. Influence of the Head and Tip Connection on the Seismic Performance of Micropiles, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 26, 461-468.
- Schneider, J.F., Step, J.C. ve Abrahamson, N.A., 1992. The spatially Variation of Earthquake Ground Motion and Effects of Local Site Conditions, Advanced in Civil Engineering, Proc. 10th WCEE, July, Madrid, 967-972.
- Selvadurai, A.P.S., 1979. Elastic Analysis of Soil Foundation Interaction, Developments in Geotechnical Engineering. 17, 95-108.
- Small, J.C. ve Liu, H.L.S., 2008. Time-Settlement Behaviour of Piled Raft Foundations Using Infinite Elements, Computers and Geotechnics, 35, 187-195.
- Soneji, B.B. ve Jangid, R.S., 2007. Passive Hybric Systems for Earthquake Protection of Cable-Stayed Bridge, Engineering Structures, 29, 57-70.
- Soneji, B.B. ve Jangid, R.S., 2008. Influence of Soil-Structure Interaction on the response of Seismically Isolated Cable-Stayed Bridge, Soil Dynamic and Eartquake Engineering, 28, 245-257.
- Soyluk, K., 1997. Kablolu köprülerin stokastik analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Soyluk, K. ve Dumanoğlu, A.A., Bayraktar, A., 1997. Comparison of Stochastic and Asynchronous Response of Cable Stayed Bridges, Eighth International Conference on Soil Dynamic and Earthquake Engineering, July, İstanbul, 250-251.
- Soyluk, K. ve Dumanoğlu, A.A., 1998. Kablolu Köprülerin Karşılaştırmalı Dinamik Analizleri-Asinkronize, Antisinkronize ve Stochastic, III. Ulusal Hesaplamalı Mekanik Konferansı, Kasım, İstanbul, 449-456.
- Soyluk, K. ve Dumanoğlu, A.A., 2000. Comparison of Asynchronous and Stochastic Dyanmic Response of a Cable-Stayed Bridge, Engineering Structures, 22, 435-445.

- Soyluk, K. ve Dumanoglu, A.A., 2000. Stochastic Analysis of Cable-Stayed Bridges Subjected to Multiple-Support Excitation, Advances in Civil Engineering, IV. International Congress, Gazimaguse, Volume 3, 1249-1258.
- Soyluk, K., 2001. Değişerek yayılan Yer Hareketi Etkisindeki Kablolu Köprülerin Stokastik Analizi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Soyluk, K., 2004. Comparison of Random Vibration Methods for Multi-Support Seismic Excitation Analysis of Long-Span Bridges, Engineering Structures, 26, 1573-1583.
- Soyluk, K. ve Yücel, K., 2007. Çelik Kemer Köprülerin Rastgele Titreşim Analizinde Filtre Edilmiş Beyaz Gürültü Modelinin Tahkiki, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22, 4, 933-939.
- Spyrakos, C., 1992. Seismic Behaviour of Bridge Piers Including Soil-Structure, Comput. Struct., 43,2, 373-384.
- Spyrakos, C.C., Maniatakis, C.A. ve Koutromanos, I.A., 2009. Soil-Structure Interaction Effects on Base-Isolated Buildings Founded on Soil Stratum, Engineering Structures, 31, 729-737.
- Steering Committee on SSI, 1989. Soil-Structure Interaction-The Real Behaviour of Structures, Institution of Structural Engineers, London.
- Sungur, I., 1993. Stochastic Response to Earthquake Forces of a Cable-Stayed Bridge, Engineering Structures, 15, 307-314.
- Sweidan, B.N., 1990, Stochastic Response of Deck Arch Bridges to Correlated Support Excitations, Doktora Tezi, Michihan State University, Michigan.
- Szillard, R., 1974. Theory and Analysis of Plates: Classical and Numerical Methods, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Şevket, A., 2004. Sürtünmeli Sarkaç Sistemi ile İzolasyonlu Karayolu Köprülerinin Değişerek Yayılan Yer Hareketi için Stokastik Analizi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayın No:25, İzmir.
- Takemiya, H. ve Kai, S., 1983. Seismic Analysis of a Multi-Span Continuous Elevated Bridge on Deep Pile Foundations, International Institute of Earthquake Engineering, 332,1-10.
- Tappin, R.G.R. ve Clark, P.J., 1985. Jindo and Dolsan Bridges: Design, Proc. Instn. Civ. Engrs., 78,1281-1300.
- Terzaghi, K., 1966. Theoretical Soil Mechanics, John Wiley, New York.

- Timoshenko, S.P. ve Krieger, S.W., 1959. Theory of Plates and Shells, McGraw- Hill Book Company.
- Tomlinson, M.J., 1994. Pile Design and Construction Practice, E&FN Spon, London, 12-3456-7890.
- Tomlinson, M.J., 1995. Foundation Design and Construction, Longman Scientific & Technical, New York.
- Troitsky, M.S., 1988. Cable- Stayed Bridges, Second Edition, BSP Professional Books, London.
- Uncuoğlu, E., 2009. Kohezyonsuz Zeminlerdeki Kazıkların Yatay Yük ve Moment Etkisi Altındaki Davranışlarının Analizi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Uscinski, B. J., 1977. The Elements of Wave Propagation in Random Media, McGraw-Hill, New York.
- Uzuoka R., Sento N., Kazama M., Zhang F., Yashima A. ve Oka F., 2007. Three-Dimensional Numerical Simulation of Earthquake Damage to Group-Piles in a Liquefied Ground, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 27, 395-413.
- Vallabhan, C.V.G. ve Das, Y.C., 1991. Modified Vlasov Method for Beams on Elastic Foundation, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 117, 6, 956-966.
- Vallabhan, C.V.G. ve Daloğlu, A.T., 1999. Consistent FEM-Vlasov Model for Plates on Layered Soil, Journal of Structural Engineering, ASCE, 125, 1, 108-113.
- Velestos, A.S., Wei, Y.T., 1971, Lateral and Rocking Vibration of Footings, Journal of The Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, SM9, 1227-1248.
- Velestos, A.S., Meek, J.W., 1974, Dynamic Behaviour of Building-Foundation Systems, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 3, 121-138.
- Vesić, A.S., 1961. Beams on Elastic Subgrade and the Winkler's Hypothesis, Proceedings of 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, October, 1, 845-850.
- Vlasov, V.Z. ve Leontiev, U.N., 1966. Beams, Plates and Shells on Elastic Foundations, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem.
- Walther, R., 1985. Cable-Stayed Bridges, First Edition, Thomas Telford, London.
- Wang, M.C ve Liao W.P., 1987. Active Length of Laterally Loaded Piles, J Geotech Engineering, ASCE, 113,9, 1044-8.
- Wilson J.C, Gravelle W., 1991. Modelling of a Cable-Stayed Bridge for Dynamic Analysis. Earthquake Eng Struct Dyn, 20, 707-721.

- Wilson, E.L., 1997, Three Dimensional Dynamic Analysis of Structures with Emphasis on Earthquake Engineering, Computers and Structures Inc.
- Wu, W.H., Wang, J.F. ve Lin, C.C., 2001. Systematic Assessment of Irregular Building-Soil Interaction Using Efficient Modal Analysis, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 30,4, 573-94.
- 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.
- Yang, P.S., Amde, A.M. ve Greinmann, L.F., 1982. Nonlinear Finite Element Study of Piles in Integral Abutment Bridges, Final Report, Iowa DOT Project HR-227, ISUY-ERI-Ames 82125, Iowa State University, Ames Iowa.
- Yıldırım, S., 2004. Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Yiu, P.K.A. ve Broton, D.M., 1988. Computation of Fabrication Dimensions for Cable-Stayed Bridges, The Structural Engineer, 66, 237-243.
- Zembaty, Z. ve Rutenberg, A., 1998a. Sensivity Analysis of Spatial Seismic Effects from Local Soil Amplification, 11th European Conference on Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam, Computer File.
- Zembaty, Z. ve Rutenberg, A., 1998b. On the Sensivity of Bridge Seismic Response with Local Soil Amplification, Earthquake Engineering and Strucutral Dynamics, 27, 1095-1099.
- Zerva, A., 1990. Response of Multiple-Span Beams to Spatially Incoherent Seismic Ground Motion, Earthquake Engineering and Strucutral Dynamics, 19, 819-832.
- Zerva, A., 1991. Effect of Spatially Variability and Propagation od 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 10WCEE, Madrid, Spain, 9, 5469-5474.
- Zerva, A., 1999. Differential Response Spectra for the Seismic Response of Lifelines, Proc. of the Fourth European Conference on Structural Dynamics, June, Prague, 2, 1153-1158.

ÖZGEÇMİŞ

Zeliha KUYUMCU, 1984 yılında Rize Ardeşen’de doğdu. İlk öğrenimini Rize’de, orta ve lise eğitimini İstanbul’da tamamladı. 2004 yılında başlamış olduğu Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gümüşhane Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümün’den Haziran 2008’de bölüm birincisi olarak mezun oldu. Aynı yıl K.T.Ü. Fen bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans öğrenimine başladı. İyi derecede İngilizce bilmektedir.