

106680  
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DEĞİŞEREK YAYILAN YER HAREKETİ ETKİSİNDEKİ KABLOLU  
KÖPRÜLERİN STOKASTİK ANALİZİ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İnş. Yük. Müh. Kurtuluş SOYLUK

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

“Doktor”

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25.12.2001

Tezin Savunma Tarihi : 01.03.2002

106680

Tez Danışmanı : Prof. Dr. A. Aydın DUMANOĞLU  
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ahmet DURMUŞ  
Jüri Üyesi : Doç. Dr. Muzaffer DOĞAN  
Jüri Üyesi : Doç. Dr. Alemdar BAYRAKTAR  
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Hasan BODUROĞLU

*(Handwritten signatures of the jury members)*

Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

*(Handwritten signature of Prof. Dr. Asım KADIOĞLU)*

Trabzon 2002

## ÖNSÖZ

Değişerek Yayılan Yer Hareketi Etkisindeki Kablolü Köprülerin Stokastik Analizi konusundaki bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında doktora tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Böylesine orijinal bir konuya yönelmemi sağlayan, çalışmamı başından sonuna kadar aralıksız takip edip, çalışmam boyunca bana araştırma zevki ve bilimsel düşünce disiplini aşıl原因, tezimin her aşamasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım yönetici hocam, Sayın Prof. Dr. A. Aydın DUMANOĞLU'na minnet ve şükranlarımı sunmayı zevkli bir görev sayarım.

Öğrenim hayatım boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygıyla anar, kendilerine minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Tez çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Ümit UZMAN, Doç. Dr. Alemdar BAYRAKTAR ve Araş. Gör. Süleyman ADANUR'a, yoğun çalışma temposu süresince her zaman anlayışlı davranan ev ve mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince beni sabır ve şefkatle destekleyen ailemin tüm fertlerine müteşekkir olduğumu belirtir, bu çalışmanın ülkemize yararlı olmasını gönülden dilerim.

Kurtuluş SOYLUK

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XVII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Üniform Olmayan Yer Hareketi İçin Uzun Açıklıklı Köprü Sistemlerinin Stokastik Analizi Konusunda Daha Önce Yapılmış Çalışmalar.....	2
1.3. Üniform Yer Hareketi İçin Kablolu Köprülerin Stokastik Analizi Konusunda Daha Önce Yapılmış Çalışmalar.....	7
1.4. Üniform Olmayan Yer Hareketi İçin Kablolu Köprülerin Dinamik Analizi Konusunda Daha Önce Yapılmış Çalışmalar.....	7
1.4.1. Deterministik Yöntemler İçin Yapılmış Çalışmalar.....	7
1.4.2. Stokastik Yöntemler İçin Yapılmış Çalışmalar.....	9
1.5. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	10
1.6. Hareket Denklemlerinin Sonlu Eleman Formülasyonu.....	11
1.7. Rasgele Titreşim Analizi.....	15
1.7.1. Dinamik Tepki Bileşeninin Varyansı.....	17
1.7.2. Zahiri-Statik Tepki Bileşeninin Varyansı.....	18
1.7.3. Zahiri-Statik ve Dinamik Tepki Bileşenleri Arasındaki Kovaryans Fonksiyonu.....	18
1.7.4. Toplam Tepki Bileşeninin Varyansı.....	19
1.7.5. Ortalama Maksimum Değer ve Oluşma Frekansı.....	20
1.7.6. Stasyonier Olmayan Davranış.....	21
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	23
2.1. Yer Hareketi Modeli.....	23

2.2.	Kablolu Köprüler.....	33
2.2.1.	Kablolu Köprülerin Temel Özellikleri.....	33
2.2.2.	Kablolu Köprülerin Yapısal Özellikleri.....	35
2.2.3.	Kablolu Köprünün Analitik Modeli.....	37
2.3.	Geliştirilen Bilgisayar Programı.....	39
2.4.	Modal Analiz.....	42
2.5.	Filtre Edilmiş Beyaz Gürültü Yer Hareketi Modelinin Tahkiki.....	47
3.	BULGULAR ve İRDELEMELER.....	51
3.1.	Kablolu Köprünün Mesnetlendiği Zeminin Homojen Olması Halinde Dalga Yayılma ve Korelasyon Etkilerinin İncelenmesi.....	51
3.1.1.	Yer Hareketinin Özel Durumları.....	51
3.1.2.	Stasyonier Davranış.....	53
3.1.2.1.	Yerdeğiştirmelerin Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması.....	53
3.1.2.2.	Eleman Kuvvetlerinin Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması.....	55
3.1.2.3.	Homojen Zeminlerde Çeşitli Hızlar İçin Ortalama Maksimum Yerdeğiştirmelerin Karşılaştırılması.....	67
3.1.2.4.	Homojen Zeminlerde Çeşitli Hızlar İçin Ortalama Maksimum Eleman Kuvvetlerinin Karşılaştırılması.....	88
3.1.2.5.	Homojen Zeminler İçin Modların Yapı Davranışına Olan Etkisi.....	110
3.1.3.	Stasyonier Olmayan Davranış.....	114
3.2.	Kablolu Köprünün Mesnetlendiği Zeminin Homojen Olmaması Halinde Dalga Yayılma ve Korelasyon Etkilerinin İncelenmesi.....	123
3.2.1.	Stasyonier Davranış.....	124
3.2.1.1.	Yerdeğiştirme ve Eleman Kuvvetlerinin Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması.....	124
3.2.1.2.	Homojen Olmayan Zeminlerde Ortalama Maksimum Yerdeğiştirme ve Eleman Kuvvetlerinin Karşılaştırılması.....	133
3.2.1.3.	Yerel Zemin, Dalga Yayılma ve Korelasyon Etkilerinin İncelenmesi.....	139
3.2.1.4.	Modların Yapı Davranışına Olan Etkisi.....	146
3.2.2.	Stasyonier Olmayan Davranış.....	154
3.3.	Kablolu Köprünün Mesnetlendiği Zeminin Homojen Olmaması Halinde Dalga Yayılma Hızının Değişiminin İncelenmesi.....	160

3.3.1. Yerdeğiştirme ve Eleman Kuvvetlerinin Varyans Değerlerinin Dalga Yayılma Hızına Bağlı Olarak Karşılaştırılması.....	160
3.3.2. Dalga Yayılma Hızının Ortalama Maksimum Yerdeğiştirme ve Eleman Kuvvetlerine Etkisi.....	168
4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	176
5. KAYNAKLAR.....	183
ÖZGEÇMİŞ.....	193



## ÖZET

Bu çalışmada değişerek yayılan yer hareketi etkisindeki kablolu köprülerin stokastik davranışının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Yer hareketindeki değişimler, mesnetlere etkiyen yer hareketlerinin yansıma ve kırılmalarla değişebilir olma etkisini, dalga yayılma etkisini ve zemin özelliklerinin yer hareketine etkisini içermektedir. Yer tabakasının karmaşık yapısı, yapı sistemlerinin analizinde farklı noktalardaki yer hareketlerinin değişiminden doğan etkilerin deprem analizinde dikkate alınmasını gerekli yapar. Bu amaçlarla hazırlanan tez aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır.

Birinci bölümde genel bilgiler üzerinde durulmakta olup, konunun öneminden ve bu konuda daha önce yapılmış çalışmalardan bahsedilmektedir. Hareket denklemlerinin sonlu eleman formülasyonu ile rasgele titreşim analizi durumundaki temel bağıntılar da bu bölümde verilmektedir.

İkinci bölümde çalışmada kullanılacak olan yer hareketi modeli üzerinde durulurken, uygulama amacı ile seçilen köprünün analitik modeli de oluşturulmaktadır. Geliştirilen bilgisayar programı ana hatları ile bu bölümde verilirken, söz konusu köprünün modal analizi ile elde edilen frekans ve mod şekilleri de gösterilmektedir.

Üçüncü bölümde değişerek yayılan yer hareketi etkisindeki kablolu köprü örneğinin analizi ile elde edilen tepki bileşenleri irdelenmektedir. Dördüncü bölümde çalışmadan çıkarılabilecek sonuçlar ile öneriler verilirken, bu bölümü kaynaklar izlemektedir.

Çalışma sonucunda yer hareketindeki değişimi tanımlayan korelasyon, dalga-yayılma ve zemin etkilerinin kablolu köprü örneğinin dinamik davranışı üzerinde önemli etkilerinin olduğu gözlenirken, söz konusu etkilerin kablolu köprü gibi uzun açıklıklı yapı sistemlerinin dinamik analizinde dikkate alınması gereği ifade edilmektedir.

### **Anahtar Kelimeler:**

Dinamik Tepki Bileşeni, Zahiri-Statik Tepki Bileşeni, Kovaryans Fonksiyonu, Stasyoner Davranış, Stasyoner Olmayan Davranış, Spektral Yoğunluk Fonksiyonu, Değişerek Yayılan Yer Hareketi, Filtre Edilmiş Beyaz Gürültü, Korelasyon Etkisi, Dalga Yayılma Etkisi, Zemin Etkisi, Kablolu Köprü.

## SUMMARY

### **Stochastic Analysis of Cable-Stayed Bridges Subjected to Spatially Varying Ground Motions**

Stochastic analysis to correlated support motions is performed on cable-stayed bridges. The ground motion model used in this study accounts for the spatial variability of ground motions, including the effects of incoherence, wave passage, and spatially varying site response. Because of the complex nature of earth crust, the spatial variability of ground motions should be taken into account in the dynamic analysis of long span structures. The thesis prepared with this scope includes the following chapters.

In the first chapter, general information, the importance of the matter, previous studies about the subject are given. The finite element formulation of the equations of motion and the basic relations for the random vibration analysis are also presented.

In the second chapter, the ground motion model used in this study is given along with the analytical model of the chosen bridge. The flowchart of the modified computer program is also mentioned in this chapter with the eigenvalues and eigenvectors of the bridge obtained from modal analysis.

In the third chapter, response values obtained from the spatially varying ground motions are discussed in detail. As the results and recommendations obtained from the analyses are given in chapter four, the references are presented in the next chapter.

As a conclusion it is observed that the incoherence, wave-passage and site response effects which define the spatial variability of ground motions, have significant effects on the dynamic behaviour of cable-stayed bridges. Therefore, this spatial variability effects should be taken into account for the dynamic analysis of long span structural systems like cable-stayed bridges.

#### **Key Words:**

Dynamic Response Component, Pseudo-Static Response Component, Covariance Function, Stationary Response, Transient Response, Spectral Density Function, Spatially Varying Ground Motions, Filtered White Noise, Incoherence Effect, Wave-Passage Effect, Site-Response Effect, Cable-Stayed Bridge.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Erzincan depremi ivme kaydına ait spektral yoğunluk fonksiyonu.....	26
Şekil 2. Filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modeline ait ivme spektral yoğunluk fonksiyonu.....	26
Şekil 3. Filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modeline ait yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonu.....	27
Şekil 4. Korelasyon derecesinin frekansa bağlı olarak değişimi.....	27
Şekil 5. Zemin etkisinin frekansa bağlı olarak değişimi.....	32
Şekil 6. Jindo köprüsünün genel görünümü.....	36
Şekil 7. Jindo köprüsünün iki boyutlu matematik modeli.....	38
Şekil 8. Bilgisayar programı akış diyagramı.....	41
Şekil 9. Köprü sistemine ait mod şekilleri.....	44
Şekil 10. Üniform yer hareketi etkisindeki kablolu köprü sistemi.....	48
Şekil 11. Tabliye düşey yerdeğiştirmeleri.....	49
Şekil 12. Jindo kulesi yatay yerdeğiştirmeleri.....	49
Şekil 13. Jindo kulesi eğilme momentleri.....	50
Şekil 14. Jindo kulesi kesme kuvvetleri.....	50
Şekil 15. Homojen zemin ortamında yer hareketi etkisindeki kablolu köprü sistemi.....	57
Şekil 16. Tabliye yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum-model 1) .....	58
Şekil 17. Tabliye yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum-model 2) .....	58
Şekil 18. Tabliye yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (üniform yer hareketi- $v_{app}$ =sonsuz) .....	59
Şekil 19. Jindo kulesi yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (dalga yayılma etkisi- $v_{app}$ =600 m/s).....	59
Şekil 20. Jindo kulesi yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (korelasyon etkisi-model 1) .....	60
Şekil 21. Jindo kulesi yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (korelasyon etkisi-model 2) .....	60



Şekil 22. Jindo kulesi yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum-model 1).....	61
Şekil 23. Jindo kulesi yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum-model 2) .....	61
Şekil 24. Jindo kulesi yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (üniform yer hareketi- $v_{app}$ =sonsuz).....	62
Şekil 25. Tabliye eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum-model 1) .....	62
Şekil 26. Tabliye eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum-model 2).....	63
Şekil 27. Tabliye eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (üniform yer hareketi- $v_{app}$ =sonsuz).....	63
Şekil 28. Jindo kulesi eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (dalga yayılma etkisi- $v_{app}$ =600 m/s).....	64
Şekil 29. Jindo kulesi eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum-model 1).....	64
Şekil 30. Jindo kulesi eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum-model 2).....	65
Şekil 31. Tabliye kesme kuvveti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum-model 1).....	65
Şekil 32. Tabliye kesme kuvveti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum-model 2) .....	66
Şekil 33. Tabliye normal kuvvet bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum-model 1) .....	66
Şekil 34. Tabliye toplam yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}$ =600 m/s- orta zemin cinsi- model 1).....	74
Şekil 35. Tabliye toplam yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}$ =600 m/s- orta zemin cinsi- model 2).....	74
Şekil 36. Tabliye toplam yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}$ =300 m/s- orta zemin cinsi- model 1) .....	75
Şekil 37. Tabliye toplam yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}$ =300 m/s- orta zemin cinsi- model 2) .....	75

Şekil 38. Tabliye toplam yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=1200$ m/s- orta zemin cinsi- model 1) .....	76
Şekil 39. Tabliye toplam yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=1200$ m/s- orta zemin cinsi- model 2) .....	76
Şekil 40. Çeşitli yayılma hızları için tabliye toplam yerdeğiştirmeleri (genel durum-orta zemin cinsi-model 1) .....	77
Şekil 41. Farklı zemin cinsleri için tabliye zahiri-statik yerdeğiştirmeleri (genel durum- $v_{app}=600$ m/s- model 1) .....	77
Şekil 42. Farklı zemin cinsleri için tabliye dinamik yerdeğiştirmeleri (genel durum- $v_{app}=600$ m/s- model 1) .....	78
Şekil 43. Farklı zemin cinsleri için tabliye toplam yerdeğiştirmeleri (genel durum- $v_{app}=600$ m/s- model 1) .....	78
Şekil 44. Farklı korelasyon modelleri için tabliye zahiri-statik yerdeğiştirmeleri (genel durum- $v_{app}=600$ m/s- orta zemin cinsi) .....	79
Şekil 45. Farklı korelasyon modelleri için tabliye dinamik yerdeğiştirmeleri (genel durum- $v_{app}=600$ m/s- orta zemin cinsi) .....	79
Şekil 46. Farklı korelasyon modelleri için merkez açıklık toplam yerdeğiştirmeleri (genel durum- $v_{app}=600$ m/s-orta zemin cinsi).....	80
Şekil 47. Farklı korelasyon modelleri için ana kıta kenar açıklık toplam yerdeğiştirmeleri (genel durum- $v_{app}=600$ m/s-orta zemin cinsi).....	80
Şekil 48. Jindo kulesi zahiri-statik yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=600$ m/s- orta zemin cinsi- model 1).....	81
Şekil 49. Jindo kulesi dinamik yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=600$ m/s- orta zemin cinsi-model 1) .....	81
Şekil 50. Jindo kulesi toplam yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=600$ m/s- orta zemin cinsi- model 1).....	82
Şekil 51. Jindo kulesi zahiri-statik yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=1200$ m/s-orta zemin cinsi-model 1).....	82
Şekil 52. Jindo kulesi dinamik yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=1200$ m/s- orta zemin cinsi-model 1) .....	83
Şekil 53. Jindo kulesi toplam yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=1200$ m/s- orta zemin cinsi-model 1) .....	83

Şekil 54. Jindo kulesi zahiri-statik yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=300$ m/s- orta zemin cinsi- model 1).....	84
Şekil 55. Jindo kulesi dinamik yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=300$ m/s- orta zemin cinsi- model 1) .....	84
Şekil 56. Jindo kulesi toplam yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=300$ m/s- orta zemin cinsi- model 1) .....	85
Şekil 57. Jindo kulesi zahiri-statik yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=600$ m/s- orta zemin cinsi- model 2) .....	85
Şekil 58. Jindo kulesi dinamik yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=600$ m/s- orta zemin cinsi- model 2) .....	86
Şekil 59. Jindo kulesi toplam yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=600$ m/s- orta zemin cinsi- model 2) .....	86
Şekil 60. Çeşitli yayılma hızları için Jindo kulesi toplam yerdeğiştirmeleri (genel durum-orta zemin cinsi- model 1) .....	87
Şekil 61. Farklı korelasyon modelleri için Jindo kulesi toplam yerdeğiştirmeleri (genel durum- $v_{app}=600$ m/s- orta zemin cinsi) .....	87
Şekil 62. Tabliye toplam eğilme momentleri ( $v_{app}=300$ m/s- yumuşak zemin cinsi- model 1) .....	94
Şekil 63. Tabliye toplam eğilme momentleri ( $v_{app}=600$ m/s- yumuşak zemin cinsi- model 1) .....	94
Şekil 64. Tabliye toplam eğilme momentleri ( $v_{app}=600$ m/s- yumuşak zemin cinsi- model 2) .....	95
Şekil 65. Çeşitli yayılma hızları için tabliye toplam eğilme momentleri (genel durum-yumuşak zemin cinsi- model 1).....	95
Şekil 66. Farklı zemin cinsleri için tabliye toplam eğilme momentleri (genel durum- $v_{app}=600$ m/s- model 1) .....	96
Şekil 67. Farklı korelasyon modelleri için tabliye toplam eğilme momentleri (genel durum- $v_{app}=600$ m/s- orta zemin cinsi) .....	96
Şekil 68. Jindo kulesi zahiri-statik eğilme momentleri ( $v_{app}=300$ m/s-orta zemin cinsi-model 1) .....	97
Şekil 69. Jindo kulesi dinamik eğilme momentleri ( $v_{app}=300$ m/s-orta zemin cinsi-model 1) .....	97

Şekil 70. Jindo kulesi toplam eğilme momentleri ( $v_{app}=300$ m/s-orta zemin cinsi- model 1) .....	98
Şekil 71. Jindo kulesi zahiri-statik eğilme momentleri ( $v_{app}=600$ m/s-orta zemin cinsi-model 1) .....	98
Şekil 72. Jindo kulesi dinamik eğilme momentleri ( $v_{app}=600$ m/s-orta zemin cinsi- model 1) .....	99
Şekil 73. Jindo kulesi toplam eğilme momentleri ( $v_{app}=600$ m/s-orta zemin cinsi- model 1) .....	99
Şekil 74. Jindo kulesi zahiri-statik eğilme momentleri ( $v_{app}=1200$ m/s- orta zemin cinsi- model 1) .....	100
Şekil 75. Jindo kulesi dinamik eğilme momentleri ( $v_{app}=1200$ m/s-orta zemin cinsi-model 1) .....	100
Şekil 76. Jindo kulesi toplam eğilme momentleri ( $v_{app}=1200$ m/s-orta zemin cinsi- model 1) .....	101
Şekil 77. Jindo kulesi toplam eğilme momentleri ( $v_{app}=300$ m/s-orta zemin cinsi- model 2).....	101
Şekil 78. Farklı korelasyon modelleri için Jindo kulesi zahiri-statik eğilme momentleri (genel durum- $v_{app}=600$ m/s- orta zemin cinsi) .....	102
Şekil 79. Farklı korelasyon modelleri için Jindo kulesi dinamik eğilme momentleri (genel durum- $v_{app}=600$ m/s- orta zemin cinsi) .....	102
Şekil 80. Farklı korelasyon modelleri için Jindo kulesi toplam eğilme momentleri (genel durum- $v_{app}=600$ m/s- orta zemin cinsi) .....	103
Şekil 81. Tabliye zahiri-statik kesme kuvvetleri ( $v_{app}=300$ m/s-orta zemin cinsi- model 1) .....	103
Şekil 82. Tabliye dinamik kesme kuvvetleri ( $v_{app}=300$ m/s-orta zemin cinsi- model 1) .....	104
Şekil 83. Tabliye toplam kesme kuvvetleri ( $v_{app}=300$ m/s-orta zemin cinsi- model 1) .....	104
Şekil 84. Tabliye toplam kesme kuvvetleri ( $v_{app}=300$ m/s-orta zemin cinsi- model 2) .....	105
Şekil 85. Farklı zemin cinsleri için tabliye toplam kesme kuvvetleri (genel durum- $v_{app}=600$ m/s- model 1) .....	107

Şekil 86. Jindo kulesi toplam kesme kuvvetleri ( $v_{app}=600$ m/s-orta zemin cinsi- model 1) .....	108
Şekil 87. Tabliye toplam normal kuvvetleri ( $v_{app}=600$ m/s-orta zemin cinsi- model 1) .....	109
Şekil 88. Jindo Kulesi toplam normal kuvvetleri ( $v_{app}=600$ m/s-orta zemin cinsi- model 1) .....	109
Şekil 89. Stasyoner olmayan tabliye toplam yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları.....	117
Şekil 90. Stasyoner olmayan Jindo kulesi toplam yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları.....	117
Şekil 91. Stasyoner olmayan tabliye toplam eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları.....	118
Şekil 92. Stasyoner olmayan Jindo kulesi toplam eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları.....	118
Şekil 93. $t=10$ . sn'deki stasyoner olmayan tabliye toplam yerdeğiştirmeleri.....	119
Şekil 94. $t=10$ . sn'deki stasyoner olmayan Jindo kulesi toplam yerdeğiştirmeleri....	119
Şekil 95. $t=10$ . sn'deki stasyoner olmayan Jindo kulesi toplam eğilme momentleri..	120
Şekil 96. $t=10$ . sn'deki stasyoner olmayan tabliye toplam normal kuvvetleri.....	120
Şekil 97. $t=10$ . sn'de stasyoner olmayan tabliye yerdeğiştirme varyans bileşenleri...	121
Şekil 98. $t=10$ . sn'de stasyoner olmayan Jindo kulesi yerdeğiştirme varyans bileşenleri.....	121
Şekil 99. $t=10$ . sn'de stasyoner olmayan tabliye eğilme momenti varyans bileşenleri.....	122
Şekil 100. $t=10$ . sn'de stasyoner olmayan Jindo kulesi eğilme momenti varyans bileşenleri.....	122
Şekil 101. Homojen olmayan zemin ortamında yer hareketi etkisindeki kablolu köprü sistemi.....	124
Şekil 102. Tabliye yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (OOYY zemin durumu-genel durum).....	128
Şekil 103. Jindo kulesi yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (OOYY zemin durumu-zemin etkisi) .....	128

Şekil 104. Jindo kulesi yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (OOYY zemin durumu-genel durum).....	129
Şekil 105. Ana kule yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (OOYY zemin durumu-genel durum).....	129
Şekil 106. Tabliye eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (OOYY zemin durumu-genel durum).....	130
Şekil 107. Jindo kulesi eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (OOYY zemin durumu-genel durum).....	130
Şekil 108. Ana kıta kule eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (OOYY zemin durumu-genel durum).....	131
Şekil 109. Tabliye kesme kuvveti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (OOYY zemin durumu-genel durum).....	131
Şekil 110. Jindo kulesi yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum).....	132
Şekil 111. Jindo kulesi eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum).....	132
Şekil 112. Tabliye zahiri-statik düşey yerdeğiştirmeleri (genel durum).....	135
Şekil 113. Tabliye dinamik düşey yerdeğiştirmeleri (genel durum).....	135
Şekil 114. Tabliye toplam düşey yerdeğiştirmeleri (genel durum).....	136
Şekil 115. Jindo kulesi toplam yatay yerdeğiştirmeleri (genel durum).....	136
Şekil 116. Ana kıta kule toplam yatay yerdeğiştirmeleri (genel durum).....	137
Şekil 117. Tabliye toplam eğilme momentleri (genel durum).....	137
Şekil 118. Jindo kulesi toplam eğilme momentleri (genel durum).....	138
Şekil 119. Tabliye toplam kesme kuvvetleri (genel durum).....	138
Şekil 120. Tabliye zahiri-statik düşey yerdeğiştirmeleri.....	141
Şekil 121. Tabliye dinamik düşey yerdeğiştirmeleri.....	141
Şekil 122. Tabliye toplam düşey yerdeğiştirmeleri.....	142
Şekil 123. Jindo kulesi zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri.....	142
Şekil 124. Jindo kulesi dinamik yatay yerdeğiştirmeleri.....	143
Şekil 125. Jindo kulesi toplam yatay yerdeğiştirmeleri.....	143
Şekil 126. Jindo kulesi toplam eğilme momentleri.....	144
Şekil 127. Jindo kulesi toplam kesme kuvvetleri.....	144

Şekil 128. Tabliye toplam normal kuvvetleri.....	145
Şekil 129. Jindo kulesi toplam normal kuvvetleri.....	145
Şekil 130. Stasyonere olmayan tabliye toplam yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum).....	156
Şekil 131. Stasyonere olmayan Jindo kulesi toplam yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum).....	156
Şekil 132. Stasyonere olmayan tabliye toplam eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum).....	157
Şekil 133. Stasyonere olmayan Jindo kulesi toplam eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum).....	157
Şekil 134. $t=10$ . sn'de stasyonere olmayan tabliye yerdeğiştirme varyans bileşenleri (genel durum).....	158
Şekil 135. $t=10$ . sn'de stasyonere olmayan Jindo kulesi yerdeğiştirme varyans bileşenleri (genel durum).....	158
Şekil 136. $t=10$ . sn'de stasyonere olmayan tabliye eğilme momenti varyans bileşenleri (genel durum).....	159
Şekil 137. $t=10$ . sn'de stasyonere olmayan Jindo kulesi eğilme momenti varyans bileşenleri (genel durum).....	159
Şekil 138. Homojen olmayan zemin ortamında yer hareketi etkisindeki kablolu köprü sistemi.....	162
Şekil 139. Tabliye yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum- $v_{app}=1000$ m/s) .....	163
Şekil 140. Tabliye yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum- $v_{app}=1800-600-200$ m/s).....	163
Şekil 141. Jindo kulesi yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum- $v_{app}=1000$ m/s).....	164
Şekil 142. Jindo kulesi yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum- $v_{app}=1800-600-200$ m/s) .....	164
Şekil 143. Ana kıta kule yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum- $v_{app}=1000$ m/s) .....	165
Şekil 144. Ana kıta kule yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum- $v_{app}=1800-600-200$ m/s) .....	165

Şekil 145. Tabliye eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum- $v_{app}=1000\text{m/s}$ ) .....	166
Şekil 146. Tabliye eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum- $v_{app}=1800-600-200\text{ m/s}$ ).....	166
Şekil 147. Jindo Kulesi eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum- $v_{app}=1000\text{m/s}$ ).....	167
Şekil 148. Jindo kulesi eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum- $v_{app}=1800-600-200\text{ m/s}$ ).....	167
Şekil 149. Tabliye zahiri-statik düşey yerdeğiştirmeleri (SOYY zemin durumu-genel durum).....	170
Şekil 150. Tabliye dinamik düşey yerdeğiştirmeleri (SOYY zemin durumu-genel durum).....	170
Şekil 151. Tabliye toplam düşey yerdeğiştirmeleri (SOYY zemin durumu-genel durum).....	171
Şekil 152. Jindo kulesi zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri (SOYY zemin durumu-genel durum).....	171
Şekil 153. Jindo kulesi dinamik yatay yerdeğiştirmeleri (SOYY zemin durumu-genel durum).....	172
Şekil 154. Jindo kulesi toplam yatay yerdeğiştirmeleri (SOYY zemin durumu-genel durum).....	172
Şekil 155. Tabliye zahiri-statik eğilme momentleri (SOYY zemin durumu-genel durum).....	173
Şekil 156. Tabliye dinamik eğilme momentleri (SOYY zemin durumu-genel durum).....	173
Şekil 157. Tabliye toplam eğilme momentleri (SOYY zemin durumu-genel durum).....	174
Şekil 158. Jindo kulesi zahiri-statik eğilme momentleri (SOYY zemin durumu-genel durum).....	174
Şekil 159. Jindo kulesi dinamik eğilme momentleri (SOYY zemin durumu-genel durum).....	175
Şekil 160. Jindo kulesi toplam eğilme momentleri (SOYY zemin durumu-genel durum).....	175



## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 1. Çeşitli zemin türleri için spektral yoğunluk fonksiyonu filtre parametreleri.....	24
Tablo 2. Zemin etkisinin frekansa bağlı olarak değişimi.....	31
Tablo 3. Jindo köprüsüne ait çeşitli elemanların kesit özellikleri.....	37
Tablo 4. Jindo köprüsünde kullanılan kabloların kesit özellikleri.....	37
Tablo 5. Kablolü köprü sistemine ait doğal frekanslar ve periyotlar.....	43
Tablo 6. Dinamik kesme kuvveti bileşenine modların katkısı (genel durum).....	105
Tablo 7. Dinamik kesme kuvveti bileşenine modların katkısı (üniform hareket).....	106
Tablo 8. Dinamik kesme kuvveti bileşenine modların katkısı (genel durum).....	106
Tablo 9. Dinamik kesme kuvveti bileşenine modların katkısı (genel durum).....	107
Tablo 10. Dinamik kesme kuvveti bileşenine modların katkısı (genel durum).....	108
Tablo 11. Dinamik yerdeğiştirme bileşenine modların katkısı.....	112
Tablo 12. Dinamik eğilme momenti bileşenine modların katkısı.....	112
Tablo 13. Dinamik kesme kuvveti bileşenine modların katkısı.....	113
Tablo 14. Dinamik normal kuvvet bileşenine modların katkısı.....	113
Tablo 15. Dinamik yerdeğiştirme bileşenine modların katkısı (OOOO zemin durumu) .....	148
Tablo 16. Dinamik yerdeğiştirme bileşenine modların katkısı (OOYY zemin durumu) .....	148
Tablo 17. Dinamik yerdeğiştirme bileşenine modların katkısı (SOYY zemin durumu).....	149
Tablo 18. Dinamik eğilme momenti bileşenine modların katkısı (OOOO zemin durumu).....	149
Tablo 19. Dinamik eğilme momenti bileşenine modların katkısı (OOYY zemin durumu).....	150
Tablo 20. Dinamik eğilme momenti bileşenine modların katkısı (SOYY zemin durumu).....	150
Tablo 21. Dinamik kesme kuvveti bileşenine modların katkısı (OOOO zemin durumu).....	151

Tablo 22. Dinamik kesme kuvveti bileşenine modların katkısı (OOYY zemin durumu).....	151
Tablo 23. Dinamik kesme kuvveti bileşenine modların katkısı (SOYY zemin durumu).....	152
Tablo 24. Dinamik normal kuvvet bileşenine modların katkısı (OOOO zemin durumu).....	152
Tablo 25. Dinamik normal kuvvet bileşenine modların katkısı (OOYY zemin durumu).....	153
Tablo 26. Dinamik normal kuvvet bileşenine modların katkısı (SOYY zemin durumu).....	153



## SEMBOLLER DİZİNİ

- [A] : Mesnet noktalarının birim hareketinin neden olduğu statik yerdeğiştirme veya eleman kuvvetleri matrisi
- [C] : Sönüm matrisi
- $Cov(z^{qs}, z^d)$  : Zahiri-statik ve dinamik tepki bileşenleri arasındaki kovaryans fonksiyonu
- [C<sub>rr</sub>] : Bilinmeyen serbestlik dereceleri ile ilgili sönüm matrisi
- $d_{lm}$  : Mesnet noktaları arasındaki mutlak yatay uzaklık
- $d_{lm}^L$  : Dalga yayılma doğrultusunda mesnet noktaları arasındaki yatay izdüşüm uzaklığı
- E : Kablo elastisite modülü
- $E_i$  : Kablo eşdeğer elastisite modülü
- $e(t)$  : Deterministik çarpım faktörü
- FBG : Filtre Edilmiş Beyaz Gürültü
- {F} : Dış kuvvet vektörü
- $H(w,t)$  : Zamana bağlı frekans davranış fonksiyonu
- $H(w)$  : Frekans davranış fonksiyonu
- $|H_g(w)|^2$  : Kanai-Tajimi filtre fonksiyonu
- $|H_f(w)|^2$  : Clough-Penzien filtre fonksiyonu
- Im : Sanal kısım
- [K] : Rijitlik matrisi
- [K<sub>rr</sub>] : Bilinmeyen serbestlik dereceleri ile ilgili rijitlik matrisi
- l : Kablo yatay izdüşüm uzaklığı
- [M] : Kütle matrisi
- [M<sub>rr</sub>] : Bilinmeyen serbestlik dereceleri ile ilgili kütle matrisi
- [M<sub>rg</sub>], [C<sub>rg</sub>], [K<sub>rg</sub>] : Bilinen serbestlik derecelerinin birim hareketinden dolayı bilinmeyen serbestlik derecelerinde meydana gelen kütle, sönüm ve rijitlik matrisleri
- [M<sub>gg</sub>], [C<sub>gg</sub>], [K<sub>gg</sub>] : Bilinen serbestlik derecelerinin birim hareketinden dolayı bilinen serbestlik derecelerinde meydana gelen kütle, sönüm ve rijitlik matrisleri

$n$	: Mod sayısı
$p$	: Yer hareket ivmesinin fonksiyonu olan maksimum büyüklük faktörü
$q$	: Sıfır seviyesinin ortalama geçiş sayısının fonksiyonu olan maksimum büyüklük faktörü
$r$	: Yer hareket ivmesinin etki ettiği mesnet serbestlik derecesi sayısı
$\{r\}$	: Zemin yerdeğiştirmelerinin şekil vektörü
Re	: Reel kısım
$[R_{rg}]$	: $r$ vektörlerinin oluşturduğu matris
$[R_z(\tau)]$	: $z(t)$ tepki işleminin otokorelasyon fonksiyonu
$[R_z^{qs}(\tau)]$	: $z(t)$ tepki işlemi zahiri-statik bileşeninin otokorelasyon fonksiyonu
$[R_z^d(\tau)]$	: $z(t)$ tepki işlemi dinamik bileşeninin otokorelasyon fonksiyonu
$[R_z^{qs d}(\tau)]$	: $z(t)$ tepki işlemi zahiri-statik ve dinamik bileşenleri arasındaki karşıt korelasyon fonksiyonu
$S_{v_g}(w)$	: Yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonu
$S_{\ddot{v}_g}(w)$	: Yer hareket ivmesinin spektral yoğunluk fonksiyonu
$S_{\ddot{v}_{g1} \ddot{v}_{g_m}}(w)$	: $l$ ve $m$ mesnet noktalarındaki yer hareket ivmelerinin karşıt spektral yoğunluk fonksiyonu
$[S_z(w)]$	: $z(t)$ tepki işleminin spektral yoğunluk fonksiyonu
$[S_z^{qs}(w)]$	: $z(t)$ tepki işlemi zahiri-statik bileşeninin spektral yoğunluk fonksiyonu
$[S_z^d(w)]$	: $z(t)$ tepki işlemi dinamik bileşeninin spektral yoğunluk fonksiyonu
$[S_z^{qs d}(w)]$	: $z(t)$ tepki işlemi zahiri-statik ve dinamik bileşenleri arasındaki karşıt spektral yoğunluk fonksiyonu
$S_0$	: Spektral yoğunluk fonksiyonu genlik değeri
$T$	: Hareket süresi
$t$	: Zaman
$\ddot{u}(t)$	: Yer hareket ivmesi
$v_{app}$	: Görünen dalga yayılma hızı
$\{v\}$	: Toplam yerdeğiştirme vektörü

$\{\dot{\mathbf{v}}\}$	: Toplam hız vektörü
$\{\ddot{\mathbf{v}}\}$	: Toplam ivme vektörü
$\{\mathbf{v}_{dg}\}$	: Bilinen serbestlik derecelerinin dinamik yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{\mathbf{v}}_{dg}\}$	: Bilinen serbestlik derecelerinin dinamik hız vektörü
$\{\ddot{\mathbf{v}}_{dg}\}$	: Bilinen serbestlik derecelerinin dinamik ivme vektörü
$\{\mathbf{v}_{dr}\}$	: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin dinamik yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{\mathbf{v}}_{dr}\}$	: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin dinamik hız vektörü
$\{\ddot{\mathbf{v}}_{dr}\}$	: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin dinamik ivme vektörü
$\{\mathbf{v}_g\}$	: Bilinen serbestlik derecelerinin toplam yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{\mathbf{v}}_g\}$	: Bilinen serbestlik derecelerinin toplam hız vektörü
$\{\ddot{\mathbf{v}}_g\}$	: Bilinen serbestlik derecelerinin toplam ivme vektörü
$\{\mathbf{v}_r\}$	: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin toplam yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{\mathbf{v}}_r\}$	: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin toplam hız vektörü
$\{\ddot{\mathbf{v}}_r\}$	: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin toplam ivme vektörü
$\{\mathbf{v}_{sg}\}$	: Bilinen serbestlik derecelerinin zahiri-statik yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{\mathbf{v}}_{sg}\}$	: Bilinen serbestlik derecelerinin zahiri-statik hız vektörü
$\{\ddot{\mathbf{v}}_{sg}\}$	: Bilinen serbestlik derecelerinin zahiri-statik ivme vektörü
$\{\mathbf{v}_{sr}\}$	: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin zahiri-statik yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{\mathbf{v}}_{sr}\}$	: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin zahiri-statik hız vektörü
$\{\ddot{\mathbf{v}}_{sr}\}$	: Bilinmeyen serbestlik derecelerinin zahiri-statik ivme vektörü
$v_s$	: Kayma dalgası hızı
$w$	: Dairesel doğal frekans (rad/s)
$w_j$	: Moda ait doğal frekans
$w_g$	: Birinci filtreye ait doğal frekans
$w_f$	: İkinci filtreye ait doğal frekans
$\{Y\}$	: Modal koordinat vektörü
$z(t)$	: Herhangi bir yapı tepkisi

$\ddot{z}(t)$	: Stasyonere olmayan işleme ait yer hareket ivmesi
$z^{qs}(t)$	: $z(t)$ tepki işlemine ait zahiri-statik bileşen
$z^d(t)$	: $z(t)$ tepki işlemine ait dinamik bileşen
$[\Gamma]$	: Modal katkı faktörü
$\{\phi\}$	: Modal vektör
$\alpha$	: Korelasyon faktörü
$\gamma_c$	: Kablo birim hacim ağırlığı
$\gamma_{lm}(w)$	: Korelasyon fonksiyonu
$ \gamma_{lm}(w) ^k$	: Mesnetlere etkileyen yer hareketleri arasındaki korelasyon etkisi
$\mu$	: Ortalama maksimum değer
$v_e$	: Sıfır seviyesinin indirgenmiş ortalama geçiş sayısı
$v_0$	: Oluşma frekansı
$\theta_{lm}(w)^d$	: Dalga yayılma etkisi
$\theta_{lm}(w)^z$	: Zemin etkisi
$\sigma$	: Kablo çekme gerilmesi
$\sigma_z$	: $z(t)$ işleminin standart sapması
$\sigma_{\dot{z}}$	: $z(t)$ işleminin türevinin standart sapması
$\sigma_z^2$	: $z(t)$ tepki işleminin varyansı
$\sigma_z^{2\ qs}$	: $z(t)$ tepki işlemi zahiri-statik bileşeninin varyansı
$\sigma_z^{2\ d}$	: $z(t)$ tepki işlemi dinamik bileşeninin varyansı
$\tau$	: Saniye cinsinden zaman farkı
$\xi_j$	: Modaya ait sönüm oranı
$\xi_g$	: Birinci filtreye ait sönüm oranı
$\xi_f$	: İkinci filtreye ait sönüm oranı
$[\Psi]$	: Özvektör matrisi veya özvektörlerin neden olduğu eleman kuvvetleri matrisi

# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1 . Giriş

Kablolu köprülerin son yıllarda deprem olasılığı yüksek bölgelerde de inşa edilmesi söz konusu köprülerin detaylı dinamik analizinin önemini artırmaktadır. Deprem hareketi gibi dinamik yükler rasgele olduğundan, dinamik yüklerin tamamen belirli olduğu deterministik yaklaşım ile dinamik analiz yapılması pek gerçekçi olmayabilir. Deprem hareketinin belirsizliğinin dikkate alındığı, istatistik ve olasılık terimleriyle ifade edildiği stokastik yaklaşım bu aşamada daha doğru bir yaklaşım sayılabilir. Stokastik yaklaşım yapı tepkileri için istatistiksel bir değerlendirme imkanı sağlamaktadır ki, bu durum yer hareketinin rasgele seçimine bağlı değildir. Söz konusu durum özellikle gelecekte olması muhtemel yer hareketlerinin de düşünülmesi gereken projelendirme aşamasında oldukça önemli olmaktadır.

Bir yapı sisteminin deprem hareketinden kaynaklanan dinamik davranışını belirlemek amacı ile dinamik analiz yapılırken, genellikle yapının tüm mesnet noktalarının aynı anda ve aynı yer hareketine maruz kaldığı kabul edilmektedir. Söz konusu dinamik analiz klasik dinamik analize karşılık gelmektedir ve deprem dalgalarının dalga boylarının yapının boyutları yanında büyük olduğu kabul edilmektedir. Bu yaklaşımda deprem dalgalarının sonsuz hızla yayıldığı kabul edilirken, yayılma esnasında yer hareketindeki değişim de dikkate alınmamaktadır. Ancak, kablolu köprü gibi büyük açıklıklı yapılarda mesnet noktalarına etkiyen yer hareketlerinin farklı olacağı açıktır. Başka bir ifade ile deprem dalgasının sonsuz hızla 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.

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 doğmaktadır. Zemin etkisi ise farklı mesnet noktalarındaki yerel zemin şartlarının farklılığından kaynaklanmaktadır. Değişken yer hareketi dikkate alınmak sureti ile yapı sistemlerinin analizi sonucu elde edilecek tepki değerleri, yapı sisteminin ve yer hareketinin karakteristiklerine bağlı olarak üniform hareket için bulunan sonuçlardan küçük veya büyük olabilmektedir. Kablolü köprü gibi büyük açıklıklı sistemler yer hareketindeki söz konusu değişime duyarlı olacağından, yer hareketindeki değişimin kablolu köprü sistemlerinin analizinde dikkate alınması gereği açıktır.

## **1.2. Üniform Olmayan Yer Hareketi İçin Uzun Açıklıklı Köprü Sistemlerinin Stokastik Analizi Konusunda Daha Önce Yapılmış Çalışmalar**

Abdel-Ghaffar ve Rubin [1] mesnetlerinden farklı yer hareketleri etkisindeki asma köprülerin düşey doğrultudaki davranışını 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.

Zerva [2] yaptığı çalışmada deprem esnasında yer hareketindeki değişimin belirlenebilmesini sağlayan analitik bir yöntem geliştirmiştir. Önerilen model ile elde edilen spektral yoğunluk fonksiyonlarının gerçek bir deprem hareketi ile karşılaştırılması sonucu geliştirilen modelin uygunluğu gösterilmektedir. Ayrıca, yapı sistemlerinin dinamik analizleri de gerçekleştirilmiş olup, değişen yer hareketinin boru hattı ve uzun açıklıklı giriş sistemlere olan etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda değişen yer hareketinin sonuçlar üzerinde etkili olduğu vurgulanmaktadır.

Abdel-Ghaffar ve Rubin [3,4] çalışmalarında mesnetlerinden farklı yer hareketi etkisindeki asma köprülerin yatay ve düşey doğrultudaki davranışlarını incelenmişlerdir. Frekans alanında rasgele titreşim yöntemi kullanılarak, hem yer hareketlerindeki farklılık hem de yer hareketleri arasındaki korelasyon etkileri dikkate alınmıştır. Golden Gate Asma



Köprüsü uygulama amacı ile seçilmiş ve çalışma sonucunda sadece üniform yer hareketi için deprem analizinin bu tür köprüler için yeterli olmadığı belirtilmektedir.

Harichandran ve Wang [5-7] 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 bir deprem yer hareketi modeli kullanılmış ve sonuçlar çeşitli basitleştirilmiş yer hareketi modelleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda yer hareketindeki değişimin uzun açıklıklı kirişler için önemli etkilerinin olduğu vurgulanmaktadır. Ayrıca, üniform yer hareketi etkisi için bulunan sonuçların bazı kiriş tepki değerleri için küçük, bazıları için ise büyük değerler verdiğini belirtmektedirler.

Zerva [8] değişen yer hareketi etkisindeki sürekli kirişlerin davranışını incelemiştir. Mesnetlere etkileyen 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.

Sweidan [9] 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 elemanlar yöntemi dikkate alınarak geliştirilen rasgele titreşim teorisi ile çözümlenmiştir. Mesnetlere etkileyen yer hareketlerinin çeşitli özel durumları için çözümler yapılarak karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, yer hareketinin değişiminin yapı davranışı üzerinde önemli etkilerinin olduğu ifade edilirken, yer hareketi parametrelerinin ve yer hareketi yayılma hızının da sonuçları etkilediği vurgulanmaktadır. Kemer köprülerin stasyoner olmayan davranışı da incelenmiş olup, stasyoner duruma yakın sonuçlar bulunduğu belirtilmektedir.

Perotti [10] değişen yer hareketi etkisindeki büyük boyutlu yapıların dinamik davranışını rasgele titreşim teorisi yaklaşımı ile ele almıştır. Yer hareketi için stasyoner olmayan bir model kullanılmıştır. Yer hareketinin değişimini tanımlamak için, dalga yayılma hızı ile mesnetlerdeki yer hareketleri arasındaki korelasyonu dikkate alan bir model kullanılmıştır. 800 m uzunluğundaki bir viyadük uygulama amacı ile seçilmiştir.

Çalışma sonucunda korelasyon etkisinin dalga yayılma hızına oranla daha önemli olduğu ortaya konmaktadır.

Zerva [11] değişen yer hareketi etkisindeki sürekli giriş sistemlerini, mesnetlerdeki yer hareketleri arasındaki korelasyon ve dalga yayılma hızını dikkate alan bir stokastik yer hareketi modeli kullanarak incelemiştir. Çalışma sonucunda dalga yayılma hızının üniform harekete oranla küçük yada büyük tepki değerleri verebileceği ifade edilmektedir.

Der Kiureghian ve Neuenhofer [12,13] değişen yer hareketi etkisindeki çok serbestlik dereceli sistemlerin dinamik analizi için rasgele titreşim teorisine dayalı yeni bir davranış spektrum yöntemi geliştirmişlerdir. Dalga yayılma etkisi, artan mesafe ile birlikte azalan korelasyon etkisi ve zemin şartlarındaki değişimden kaynaklanan yer hareketinin değişimi dikkate alınmıştır. Geliştirilen yöntem iki açıklıklı bir giriş 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.

Zerva [14,15] 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.

Hawwari [16] çalışmasında Golden Gate Asma Köprüsünün stokatik davranışını incelemiştir. Deprem hareketi olarak mesnetlerdeki yer hareketleri arasındaki korelasyon etkilerini ve deprem dalgasının yayılma hızını dikkate alan bir model kullanılmıştır. Mesnetlere etkiyen 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. Stasyonier olmayan analiz sonuçlarının irdelenmesinden, belirli bir hareket süresince stasyonierlik kabulünün kenar açıklıklarda büyük tepki değerlerinin oluşmasına neden olduğu gözlenmektedir.

Hyun, Yun ve Lee [17] mesnetlerinden farklı dinamik etkilere maruz asma köprülerin stasyonier olmayan davranışı için bir yöntem geliştirmişlerdir. Deprem hareketinin stasyonier olmayan etkisi, zamana bağlı olarak değişen bir zarf fonksiyon ile

dikkate alınmıştır. Çeşitli hızlarla yayılan deprem dalgaları için, farklı mesnetlerdeki yer hareketleri arasındaki korelasyon etkileri incelenmiştir. Stasyonier olmayan tepkiler zamana bağlı varyans fonksiyonları cinsinden elde edilmiştir. Nümerik çözümler farklı mesnet noktaları arasındaki korelasyon etkilerinin asma köprülerin davranışı üzerinde önemli etkilerinin olduğunu göstermektedir.

Nakamura, Der Kiureghian ve Liu [18] bir başka çalışmalarında daha önce geliştirmiş oldukları stokastik yöntemi Golden Gate Asma Köprüsü üzerinde uygulamışlardır. Yapay olarak oluşturulan deprem hareketleri ile elde edilen spektrum eğrileri her mesnet noktasına üçer bileşen olarak uygulanmıştır. Çalışma sonucunda geliştirilen yöntem ile elde edilen tepki değerlerinin üniform harekete oranla daha küçük olduğu ifade edilmektedir.

Hao [19-21] 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 çalışmada irdelenmiştir. Çalışma sonucunda yapının ve yer hareketinin özelliklerine, tepki büyüklüğünün hesaplanacağı noktaya ve dikkate alınan tepki cinsine bağlı olarak, yer hareketindeki değişiminin ihmal edilmesinin tepkilerin olduğundan küçük veya büyük çıkmasına neden olabileceği belirtilmektedir.

Harichandran, Hawwari ve Sweidan [22] çalışmalarında değişen yer hareketi etkisindeki Golden Gate Asma Köprüsü ve iki tane kemer köprünün stasyonier ve stasyonier olmayan tepkilerini incelemiştir. Üniform ve değişen yer hareketi durumları için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda üniform yer hareketinin bu tür uzun açıklıklı köprüler için genellikle kabul edilebilir olmadığı belirtilmektedir. Ayrıca stasyonier olmayan etkilerin asma köprülerde dahil edilmesi gereği vurgulanırken, kemer köprülerde ihmal edilebileceği ifade edilmektedir.

Der Kiureghian [23] bir başka çalışmasında deprem hareketinin değişimini tanımlamak için teorik bir model geliştirmiştir. Söz konusu model deprem hareketindeki değişimin üç farklı etkisini dikkate almaktadır: 1. Heterojen zemin ortamında deprem dalgalarının yayılması ve söz konusu dalgaların yayıldıkları kaynaktan itibaren değişikliğe uğraması. 2. Deprem dalgalarının farklı mesnetlere farklı zamanlarda ulaşmasından kaynaklanan dalga yayılma etkisi. 3. Farklı mesnetlerdeki farklı zemin cinsinden kaynaklanan zemin etkisi. Parametrik bir çalışma yapılmak suretiyle zemin etkisinin, ani değişim gösteren zemin şartlarında inşa edilmiş kısa ve orta uzunluktaki yapılar için

önemli olabileceği vurgulanırken, dalga-yayıma etkisinin uzun açıklıklı esnek yapılar için daha önemli olduğu belirtilmektedir.

Monti, Nuti ve Pinto [24] tarafından mesnetlerinden farklı dinamik etkilere maruz köprülerin lineer olmayan stokastik davranışı için nümerik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Üniform ve üniform olmayan yer hareketleri için değişen rijitlik ve süneklikte köprüler projelendirilmiş ve üniform olmayan yer hareketi için incelenmiştir. Üniform yer hareketi için projelendirilen ve üniform olmayan hareket için incelenen köprüde merkez ayaklardaki kuvvetler fazla çıkarken, kenar ayaklara yakın noktalarda tersi durum gözlenmiştir.

Der Kiureghian ve Keshishian [25] ve Der Kiureghian, Keshishian ve Hakobian [26] bir başka çalışmalarında farklı mesnetlerdeki zemin şartlarının değişiminden kaynaklanan zemin etkisini ayrıntılı olarak çalışmışlardır. Zemin etkisinden 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 [27] değişen yer hareketi etkisindeki dört açıklıklı bir köprü sistemini rasgele titreşim teorisine bağlı olarak çalışmış ve zahiri-statik ve dinamik bileşenlerin etkilerini incelemiştir. Dinamik etkilerin temel parametreleri tanımlanmış ve bunların yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda yerdeğiştirmelerin üniform harekete oranla daha küçük bulunduğu belirtilirken, eleman kuvvetlerinin dalga yayılma hızına ve açısına bağlı olarak daha küçük veya daha büyük tepki değerleri verebileceği ifade edilmektedir.

Zembaty ve Rutenberg [28,29] çalışmalarında yerel zemin etkisinin yapı davranışı üzerindeki etkisini 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 üniform yer hareketine oranla arttığı gözlenmiştir.

Zerva [30] 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 korelasyonun 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.

Uzun açıklıklı köprü sistemleri yanında, yer hareketindeki değişim dikkate alınmak sureti ile uzun boru hattı sistemleri ve nükleer güç santrallerine bağlı nükleer boru sistemleri de incelenmiştir [31-34]. Bu çalışmalarda da yer hareketindeki değişimin analizlerde dikkate alınması gereği üzerinde durulmaktadır. Bunun yanında korelasyon ve dalga yayılma etkisinin dikkate alındığı değişen yer hareketi etkisindeki rijit plaklarda incelenmiş olup benzer sonuçlar elde edilmiştir [35].

### **1.3. Üniorm Yer Hareketi İçin Kablolu Koprlerin Stokastik Analizi Konusunda Daha nce Yapılmış alışmalar**

Sungur [36] ve Soyluk [37] çalışmalarında Üniorm yer hareketi etkisindeki kablolu koprlerin stokastik analizini 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 zmler yapılmış ve uygun sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir.

### **1.4. niorm Olmayan Yer Hareketi İçin Kablolu Koprlerin Dinamik Analizi Konusunda Daha nce Yapılmış alışmalar**

#### **1.4.1. Deterministik Yöntemler İçin Yapılmış alışmalar**

Garevski, Dumanoglu ve Severn [38] tarafından belirli bir hızla yayılan asinkronize yer hareketi için kablolu bir koprnn dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan çeşitli deterministik yöntemler ile yapının dinamik davranışı belirlenmiştir. Çalışma sonunda kablolu koprler 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.

Nazmy ve Abdel-Ghaffar [39-45] deprem hareketi etkisindeki üç boyutlu, uzun açıklıklı, kablolu köprülerin lineer olmayan dinamik davranışını incelemişlerdir. Çalışmalarda üniform yer hareketi yanında mesnetlerinden farklı dinamik etkiler için de kablolu köprülerin dinamik davranışı belirlenmiştir. Kablolu köprülerde söz konusu olan lineer olmayan etkilere analizlerde dikkate alınmıştır. Çalışma sonucunda, bu tür uzun, kompleks ve üç boyutlu yapıların deprem analizi yapılırken, üniform olmayan yer hareketlerinin önemli etkilerinin olabileceği ve analizlerde dikkate alınması gereği vurgulanmaktadır.

Fan, Hu ve Yuan [46] çalışmalarında kendileri tarafından geliştirilen bilgisayar programı ile kablolu köprülerin lineer olmayan dinamik davranışları üzerinde durmuşlardır. Çalışmada kablolu köprülerin üç boyutlu lineer ve lineer olmayan analizleri ile zemin-yapı etkileşimi dikkate alınmıştır. Ayrıca köprü mesnetlerinin farklı dinamik etkilere maruz kalması durumu ile deprem hareketi dalga yayılma etkisi de analizlerde dikkate alınmıştır.

Nazmy [47] 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.

Schemmann [48] ve Schemmann ve Smith [49,50] çalışmalarında kablolu köprülerin modellendirilmesi ile ilgili kompleks durumların aktif kontrol tasarımlarının etkinliğini ne derece etkileyebileceği üzerinde durmaktadırlar. Kompleks durumların köprünün lineer olmayan davranışından, yüksek birleşik modların köprünün dinamik davranışına olan katkısından ve mesnetlerdeki farklı dinamik etkilere kaynaklandığı belirtilmektedir. Çalışmada mesnetlere etkiyen farklı dinamik etkilerin, üniform yer hareketinden farklı modlar üzerinde etkili olduğu belirtilmekte ve dolayısıyla yapı sisteminin dinamik davranışı üzerinde farklı bir etkisinin olduğu belirtilmektedir. Çalışma sonucunda mesnetlere etkiyen farklı dinamik etkilerin, üniform harekete oranla tepki değerlerinin büyümesine neden olacağından, analizlerde dikkate alınması gereği vurgulanmaktadır.

Nazmy [51] çalışmasında uzun açıklıklı asma, kablolu ve kemer köprülerin dinamik davranışını incelemiştir. Söz konusu köprü modelleri üç boyutlu olarak modellendirilmiş olup analizlerde lineer olmayan etkiler de dikkate alınmıştır. Ayrıca çalışmada yer hareketindeki değişim de dikkate alınmaktadır. Çalışma sonucunda, söz konusu köprü sistemlerinin üç boyutlu lineer olmayan analizlerinin dikkate alınması gereği vurgulanmaktadır. Bunun yanında bu tür köprüler için değişen yer hareketinin analizlerde dikkate alınmasının gerçeğe daha yakın olacağı belirtilmektedir.

Soyluk, Dumanoglu ve Bayraktar [52], Soyluk ve Dumanoglu [53,54] ve Dumanoglu ve Soyluk [55,56] çalışmalarında kablolu köprülerin stokastik, asinkronize ve antisinkronize analizlerini ayrı ayrı gerçekleştirmişlerdir. Uygulama amacı ile Güney Kore'de inşa edilen Jindo Kablolu Köprüsü seçilmiştir. Asinkronize ve antisinkronize analiz için çeşitli yer hareketi yayılma hızları dikkate alınmıştır. Her bir analiz ile elde edilen yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Çalışmaların sonucunda yer hareketinin sonlu yayılma hızının sonuçlar üzerinde önemli etkilerinin olduğu belirlenmiştir.

#### **1.4.2. Stokastik Yöntemler İçin Yapılmış Çalışmalar**

Allam ve Datta [57] 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.

Dumanoglu ve Soyluk [58] ve Soyluk ve Dumanoglu [59] 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 köprüünün stokastik analizi yapılmış ve farklı yer hareketlerinin köprüünün dinamik davranışı üzerinde önemli etkilerinin olduğu gözlenmiştir.

Allam ve Datta [60] çalışmalarında mesnetlerdeki yer hareketleri arasındaki korelasyon etkilerinin dikkate alındığı rasgele yer hareketi etkisindeki kablolu köprüleri davranış spektrum yöntemi ile incelemiştir. Söz konusu yöntem esas itibarı ile yer hareketine ait davranış spektrumu ve spektral yoğunluk fonksiyonu arasındaki ilişki ile rasgele titreşim teorisinin temellerine dayanmaktadır. Yöntemin uygulanabilirliği, davranış spektrum yöntemi ile elde edilen tepki bileşenleri frekans alanındaki spektral analiz yöntemi ile bulunan sonuçlarla karşılaştırılmak suretiyle tahkik edilmektedir. Çalışma sonucunda her iki yöntemle elde edilen tepki değerlerinin birbirleri ile uygunluk içerisinde oldukları belirtilmektedir.

### 1.5. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada yer hareketinin yayılma ve değişim etkileri dikkate alınmak suretiyle kablolu bir köprünün stokastik analizinin gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla oluşturulan bölümlerin içerikleri özet olarak aşağıda verilmektedir.

Birinci bölümde genel bilgiler üzerinde durulmakta olup, konunun önemi ile birlikte üniform ve üniform olmayan yer hareketi etkisindeki kablolu köprülerin stokastik analizi konusunda daha önce yapılmış çalışmalar verilmektedir. Ayrıca hareket denklemlerinin sonlu eleman formülasyonu ile rasgele titreşim analizi için söz konusu olan spektral yoğunluk fonksiyonu, varyans ve kovaryans ifadeleri yanında, tepki bileşenlerine ait ortalama maksimum değer ve oluşma frekansı da burada sunulmaktadır. Stasyonier olmayan işlem durumunda ortaya çıkan bağıntılar ise bu bölümün sonunda verilmektedir.

İkinci bölümde, çalışmada kullanılacak olan yer hareketi modeli ile yer hareketindeki değişimi ifade eden korelasyon, dalga yayılma ve zemin etkileri için gerekli olan ifadeler açıklanmaktadır. Ayrıca, çalışmaya konu olan kablolu köprülerin temel özelliklerinden bahsedilirken, uygulama amacı ile seçilen köprüye ait yapısal özellikler ile köprünün analitik modeli tanımlanmaktadır. Yer hareketindeki değişimin dikkate alınabilmesi amacıyla geliştirilen bilgisayar programı ana hatları ile verilirken, söz konusu köprünün modal analizi ile elde edilen frekans ve mod şekilleri de gösterilmektedir. İkinci bölümün sonunda ise dikkate alınan yer hareketi modelinin tahkiki üzerinde durulmaktadır.

Üçüncü bölümde değişerek yayılan yer hareketi etkisindeki kablolu köprü örneğinin analizi ile tabliye ve kulelerde elde edilen tepki bileşenleri üzerinde durulmaktadır. Bu bölümde önce köprü sisteminin oturduğu zeminin homojen olması



durumuna göre çözümler yapılırken, daha sonra zemin şartlarındaki değişim de dikkate alınmak suretiyle değişen yer hareketi ve değişen yer hareketinin özel durumları için sonuçlar elde edilmektedir. Ayrıca yer hareketi yayılma hızının sonuçlar üzerindeki etkisi de incelenmektedir. Üçüncü bölümün sonunda ise zemin cinsine bağlı olarak yer hareketi yayılma hızının değişimi üzerinde durulmaktadır. Modların dinamik tepki bileşenlerine olan etkisi ile stasyonere olmayan işlem de bu bölümde irdelenmektedir.

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

### 1.6. Hareket Denklemlerinin Sonlu Eleman Formülasyonu

N serbestlik dereceli bir sistemin hareket denklemi,

$$[M]\{\ddot{v}\} + [C]\{\dot{v}\} + [K]\{v\} = \{F\} \quad (1)$$

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

Sistemin serbestlik derecelerini bilinen ve bilinmeyen diye iki gruba ayırmak mümkündür. Bilinen serbestlik dereceleri yer hareketinin bulunduğu yapı-zemin etkileşim yüzeyi ile ilgili serbestlik derecelerinin ivme, hız ve yerdeğiştirmeleridir. Bilinmeyen serbestlik dereceleri yapı-zemin sisteminin diğer noktaları ile ilgili serbestlik derecelerinin ivme, hız ve yerdeğiştirmeleridir. Deklem (1)'deki bilinen ve bilinmeyen serbestlik derecelerini birbirinden ayırmak için, bilinen serbestlik dereceleri  $\{v_g\}$ , bilinmeyen serbestlik dereceleri ise  $\{v_r\}$  vektörleri ile gösterilmektedir. Denklem (1), bilinen ve bilinmeyen serbestlik dereceleri cinsinden alt kısımlara bölünerek,

$$\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rg} \\ M_{gr} & M_{gg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_r \\ \ddot{v}_g \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{rr} & C_{rg} \\ C_{gr} & C_{gg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_r \\ \dot{v}_g \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{rr} & K_{rg} \\ K_{gr} & K_{gg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_r \\ v_g \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2)$$

formunda yazılabilir [61,62]. Burada  $[M_{rr}]$ ,  $[C_{rr}]$  ve  $[K_{rr}]$  bilinmeyen serbestlik dereceleri ile ilgili sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini göstermektedir.  $[M_{rg}]$ ,  $[C_{rg}]$  ve  $[K_{rg}]$  her bilinen serbestlik derecesinin birim hareketinden dolayı bilinmeyen serbestlik derecelerinde meydana gelen kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini;  $[M_{gg}]$ ,  $[C_{gg}]$  ve  $[K_{gg}]$  ise her bilinen serbestlik derecesinin birim hareketinden dolayı bilinen serbestlik derecelerinde meydana gelen kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini ifade etmektedir.  $[M_{gr}]$ ,  $[C_{gr}]$  ve  $[K_{gr}]$  ise sırasıyla  $[M_{rg}]$ ,  $[C_{rg}]$  ve  $[K_{rg}]$  ifadelerinin transpozelerine karşılık gelmektedir.  $\{\ddot{v}_r\}$ ,  $\{\dot{v}_r\}$ ,  $\{v_r\}$  sırasıyla bilinmeyen serbestlik derecelerinin toplam ivme, hız ve yerdeğiştirme vektörlerini;  $\{\ddot{v}_g\}$ ,  $\{\dot{v}_g\}$ ,  $\{v_g\}$  ise bilinen serbestlik derecelerinin toplam ivme, hız ve yerdeğiştirme vektörlerini göstermektedir. Deklem (2)'den bilinmeyen serbestlik derecelerine karşılık gelen ilk satır çıkartılıp bilinenler sağ tarafa atılırsa,

$$[M_{rr}]\{\ddot{v}_r\} + [C_{rr}]\{\dot{v}_r\} + [K_{rr}]\{v_r\} = -[M_{rg}]\{\ddot{v}_g\} - [C_{rg}]\{\dot{v}_g\} - [K_{rg}]\{v_g\} \quad (3)$$

ifadesi elde edilir [63,64]. (3) nolu denklemi 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. Atalet kuvvetleri düğüm noktaları ivme ve kütlelerinin çarpımından ibaret olduğu için, ikinci yerdeğiştirme bileşeni dinamik olarak tanımlanıp  $v_d$  ile gösterilecektir. Birinci yerdeğiştirme bileşeninin hesaplanmasında kütlelerin etkisi dikkate alınmadığından, söz konusu yerdeğiştirme zahiri-statik olarak isimlendirilmekte ve  $v_s$  ile gösterilmektedir. Bu durumda (2) nolu denklemdeki yerdeğiştirme vektörleri,

$$\begin{Bmatrix} v_r \\ v_g \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} v_{sr} \\ v_{sg} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} v_{dr} \\ v_{dg} \end{Bmatrix} \quad (4)$$

şeklinde yazılabilir [62]. Burada  $v_{dg}$  sıfır,  $v_{sg}$  ise  $v_g$ 'ye eşittir.  $v_{sr}$  ve  $v_{dr}$  ise sırasıyla zahiri-statik ve dinamik yerdeğiştirmeleri göstermektedir. Denklem (4) denklem (3)'de yerine yazılıp zahiri-statik bileşenlerle ilgili terimler sağ tarafta toplanırsa,

$$[M_{rr}]\{\ddot{v}_{dr}\} + [C_{rr}]\{\dot{v}_{dr}\} + [K_{rr}]\{v_{dr}\} = \{F_{eff}\} \quad (5)$$

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

$$-\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_{sr} \\ \ddot{v}_{sg} \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} C_{rr} & C_{rg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_{sr} \\ \dot{v}_{sg} \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} K_{rr} & K_{rg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_{sr} \\ v_{sg} \end{Bmatrix} \quad (6)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır [63]. Dinamik denge denklemleri statik denge denklemlerini içerdiğinden, (6) nolu denklem önemli derecede basitleştirilebilir. Eğer denklem (5) ve denklem (6)'dan zamana bağlı terimler çıkartılırsa, sadece denklem (6)'nın son terimi kalmakta ve bu terim de sıfıra eşit olmaktadır. Böylece (6) nolu denklem,

$$\{F_{\text{eff}}\} = -\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_{sr} \\ \ddot{v}_{sg} \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} C_{rr} & C_{rg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{v}_{sr} \\ \dot{v}_{sg} \end{Bmatrix} \quad (7)$$

şeklinde yazılabilir. Sönüm matrisi rijitlik matrisi ile orantılı ise denklem (7)'nin sönümle ilgili terimleri sıfır olmaktadır [65]. Sönümün rijitlikle orantılı olmaması durumunda bile sönüm kuvvetleri, rijitlik ve atalet kuvvetleri ile karşılaştırıldığında çok küçük kalmakta ve ihmal edilebilmektedir. Bu durumda denklem (7) tekrar düzenlenirse,

$$\{F_{\text{eff}}\} = -\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rg} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{v}_{sr} \\ \ddot{v}_{sg} \end{Bmatrix} \quad (8)$$

ifadesi elde edilmektedir. Denklem (8)'deki  $\ddot{v}_{sg}$ , bilinen serbestlik derecelerine uygulanan ivmeleri gösterdiğinden bilinmekte;  $\ddot{v}_{sr}$  ise bilinmemektedir. Daha önce belirtildiği gibi, denklem (6)'nın son terimi sıfıra eşit olduğundan,

$$\begin{bmatrix} K_{rr} \end{bmatrix} \{v_{sr}\} = -\begin{bmatrix} K_{rg} \end{bmatrix} \{v_{sg}\} \quad (9)$$

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

$$\{v_{sr}\} = -[K_{rr}]^{-1} [K_{rg}] \{v_{sg}\} = [R_{rg}] \{v_{sg}\} \quad (10)$$

olarak belirlenebilir [66-68]. Burada  $[R_{rg}]$ ;  $[K_{rr}]^{-1}$  ve  $[K_{rg}]$  alt matrislerinin çarpımını göstermektedir. Bir çok durumda  $[M_{rg}]$  matrisinin sıfırdan farklı terimleri çok azdır. Dolayısıyla, depremden dolayı meydana gelen etkili kuvvet vektörüne katkısı çok az olacağından ihmal edilebilir [65]. Özellikle diyagonal kütle matrisler için  $[M_{rg}]$  matrisi sıfır olmaktadır. Yukarıdaki açıklamalardan sonra (10) denklemi (8) denkleminde yerine konur ve denklem (5) tekrar düzenlenirse,

$$[M_{rr}] \{\ddot{v}_{dr}\} + [C_{rr}] \{\dot{v}_{dr}\} + [K_{rr}] \{v_{dr}\} = -[M_{rr}] [R_{rg}] \{\ddot{v}_{sg}\} \quad (11)$$

ifadesi yazılabilir [46, 69]. Buradaki  $\{\ddot{v}_{sg}\}$  her bilinen serbestlik derecesine uygulanan ivme vektörünü göstermektedir. Denklem (11)'in çözümü için, modların süperpozisyonu yöntemi kullanılmaktadır [70-71]. Açısal frekans  $w_i$  ve mod vektörleri  $\{\phi_i\}$ ,

$$[M_{rr}] \{\ddot{v}_{dr}\} + [K_{rr}] \{v_{dr}\} = 0 \quad (12)$$

ifadesiyle verilen sönümsüz serbest titreşim denklemlerinden elde edilmektedir.

Bilinmeyen serbestlik derecelerinin dinamik yerdeğiştirme bileşeni,  $\{v_{dr}\}$ ,

$$\{v_{dr}\} = [\phi] \{Y\} \quad (13)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Burada  $\{Y\}$  modal genliği göstermektedir. Denklem (13), denklem (12)'de yerine konur ve gerekli düzenlemeler yapılırsa

$$\ddot{Y}_i + 2\xi_i w_i \dot{Y}_i + w_i^2 Y_i = -\frac{P_i}{M_i} \quad (14)$$

bağıntısı elde edilmektedir [6]. Burada  $\xi_i$  sönüm oranını gösterirken,

$$\xi_i = \frac{C_i}{2\sqrt{K_i M_i}} \quad , \quad w_i = \sqrt{\frac{K_i}{M_i}} \quad (15)$$

$$M_i = \{\phi_i\}^T [M_{rr}] \{\phi_i\} \quad (16)$$

$$P_i = \{\phi_i\}^T [M_{rr}] [R_{rg}] \{\ddot{v}_{sg}\} \quad (17)$$

eşitlikleri yazılabilmektedir [72]. Daha önce de tanımlandığı gibi  $\{\ddot{v}_{sg}\} = \{\ddot{v}_g\}$  eşitliği kullanılır ve modal katkı faktörü,

$$\{\Gamma_i\} = [M_{rr}] [R_{rg}] \{\phi_i\} \quad (18)$$

şeklinde tanımlanırsa (17) denklemi,

$$P_i = \{\Gamma_i\}^T \{\ddot{v}_g\} \quad (19)$$

şeklinde yazılabilir.  $P_i$  kuvvetleri vektör şeklinde ve modal katkı faktörleri matris formda gösterilirse (19) denklemi,

$$\{P\} = [\Gamma]^T \{\ddot{v}_g\} \quad (20)$$

şeklinde elde edilir [16].

### 1.7. Rasgele Titreşim Analizi

$z(t)$ , herhangi bir yapı tepkisini göstermek üzere,  $z(t)$ 'nin otokorelasyon fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir [73-75].

$$[R_z(\tau)] = E[\{z(t)\}\{z(t+\tau)\}] \quad (21)$$

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

$$z(t) = z^{qs}(t) + z^d(t) \quad (22)$$

ifadesi bulunur. Burada,  $z^{qs}(t)$  ve  $z^d(t)$  sırasıyla zahiri-statik ve dinamik tepki bileşenlerini göstermektedir. (22) ifadesi (21) denkleminde yerine yazılırsa;

$$[R_z(\tau)] = E\left\{\left\{\left\{z^{qs}(t)\right\} + \left\{z^d(t)\right\}\right\}\left\{\left\{z^{qs}(t+\tau)\right\} + \left\{z^d(t+\tau)\right\}\right\}\right\} \quad (23)$$

$$[R_z(\tau)] = [R_z^{qs}(\tau)] + [R_z^d(\tau)] + [R_z^{qs\ d}(\tau)] + [R_z^d\ qs(\tau)] \quad (24)$$

ifadesi bulunur. Burada,  $[R_z^{qs}(\tau)]$  ve  $[R_z^d(\tau)]$  sırasıyla zahiri-statik ve dinamik tepki bileşenlerinin otokorelasyon fonksiyonunu gösterirken,  $[R_z^{qs\ d}(\tau)]$  ve  $[R_z^d\ qs(\tau)]$  zahiri-statik ve dinamik tepki bileşenleri arasındaki karşıt korelasyon fonksiyonunu göstermektedir.

(24) denkleminin fourier dönüşümü alınırsa  $z(t)$  tepkisinin spektral yoğunluk fonksiyonu elde edilir.

$$[S_z(w)] = [S_z^{qs}(w)] + [S_z^d(w)] + [S_z^{qs\ d}(w)] + [S_z^d\ qs(w)] \quad (25)$$

Burada,  $[S_z^{qs}(w)]$  ve  $[S_z^d(w)]$  sırasıyla zahiri-statik ve dinamik tepki bileşenlerinin spektral yoğunluk fonksiyonunu gösterirken,  $[S_z^{qs\ d}(w)]$  ve  $[S_z^d\ qs(w)]$  zahiri-statik ve dinamik tepki bileşenleri arasındaki karşıt spektral yoğunluk fonksiyonunu ifade etmektedir. Zahiri-statik ve dinamik tepki bileşenleri arasındaki karşıt spektral yoğunluk fonksiyonu için,

$$[S_z^d\ qs(w)] = [S_z^{qs\ d}(w)]^* \quad (26)$$

eşitliği yazılabilir. Burada, \* kompleks eşleniği göstermektedir [9].

### 1.7.1. Dinamik Tepki Bileşeninin Varyansı

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

$$\{z^d(t)\} = [\psi]\{Y\} \quad (27)$$

ifadesi ile belirlenmektedir. Yerdeğiştirme bileşeni için,  $[\psi]=[\phi]$  modal vektörlere eşit olurken, eleman uç kuvvetleri için  $[\psi]=[K]^*[\phi]$ , özvektörlerin neden olduğu eleman kuvvetlerine eşit olmaktadır. Burada  $[K]$  eleman rijitlik matrisini ifade etmektedir.

(21) denklemi ile gösterilen otokorelasyon fonksiyonu (27) denklemi ile ifade edilen dinamik tepki bileşenine uygulanırsa, elde edilecek otokorelasyon fonksiyonunun fourier dönüşümü [76] dinamik tepki bileşeninin spektral yoğunluk fonksiyonuna eşit olacaktır. Bu eşitlik de,

$$S_{z_i}^d(\omega) = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^r \sum_{m=1}^r \psi_{ij} \psi_{ik} \Gamma_{lj} \Gamma_{mk} H_j(-\omega) H_k(\omega) S_{\ddot{v}_{g_l} \ddot{v}_{g_m}}(\omega) \quad (28)$$

ifadesi ile tanımlanabilir. Burada,  $n$  dikkate alınan mod sayısını gösterirken,  $r$  yer hareket ivmesinin etkilediği mesnet serbestlik derecesi sayısını,  $\Gamma_{lj}$  modal katkı faktörünün  $l$ . elemanını,  $\psi_{ij}$   $j$ . modun neden olduğu  $z_i$  tepkini,  $S_{\ddot{v}_{g_l} \ddot{v}_{g_m}}(\omega)$   $l$  ve  $m$  mesnet noktalarındaki yer hareket ivmelerinin karşıt spektral yoğunluk fonksiyonunu göstermektedir. Ayrıca bu ifadede tanımlanan frekans davranış fonksiyonu,

$$H_j(\omega) = \frac{1}{\omega_j^2 - \omega^2 + 2i\xi_j \omega_j \omega} \quad (29)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada  $\omega_j$  ve  $\xi_j$  sırası ile  $j$ . moda ait doğal frekansı ve sönüm oranını göstermektedir.

$z^d(t)$ 'nin varyansı ise (28) denkleminin integrasyonu ile hesaplanmaktadır [16].

$$\sigma_{z_i}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i}^d(\omega) d\omega \quad (30)$$

### 1.7.2. Zahiri-Statik Tepki Bileşeninin Varyansı

Zahiri-statik tepki bileşeni,

$$\{z^{qs}(t)\} = [A]\{v_g\} \quad (31)$$

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

Zahiri-statik tepki bileşeninin otokorelasyon fonksiyonunun fourier dönüşümü ile  $z^{qs}(t)$  tepki bileşeninin spektral yoğunluk fonksiyonu

$$S_{z_i}^{qs}(w) = \frac{1}{w^4} \sum_{l=1}^r \sum_{m=1}^r A_{il} A_{im} S_{\ddot{v}_{g_l} \ddot{v}_{g_m}}(w) \quad (32)$$

ifadesi ile elde edilmektedir. Burada  $A_{il}$  l mesnet serbestlik derecesinin birim hareketinin neden olduğu  $z_i$  tepkisini göstermektedir.

$Z^{qs}(t)$ 'nin varyansı, (32) denklemleri integre edilmek suretiyle

$$\sigma_{z_i}^{2\,qs}(w) = \sum_{l=1}^r \sum_{m=1}^r A_{il} A_{im} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{w^4} S_{\ddot{v}_{g_l} \ddot{v}_{g_m}}(w) dw \quad (33)$$

ifadesi ile hesaplanabilir [9].

### 1.7.3. Zahiri-Statik ve Dinamik Tepki Bileşenleri Arasındaki Kovaryans Fonksiyonu

(24) denkleminde ifade edilen zahiri-statik ve dinamik tepki bileşenleri arasındaki karşıt korelasyon fonksiyonu, (27) ve (31) denklemleri ile birlikte kullanılmak suretiyle elde edilmektedir. Elde edilen karşıt korelasyon fonksiyonunun fourier dönüşümü ile  $z^{qs}(t)$  ve  $z^d(t)$  tepki işlemleri arasındaki karşıt spektral yoğunluk fonksiyonu



$$S_{z_i z_i}^{qs d}(\omega) = -\frac{1}{\omega^2} \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^r \sum_{m=1}^r \psi_{ij} A_{il} \Gamma_{mj} H_j(\omega) S_{\ddot{v}_{g_l} \ddot{v}_{g_m}}(\omega) \quad (34)$$

ifadesi ile yazılabilmektedir [9].

Zahiri-statik ve dinamik bileşenler arasındaki kovaryans fonksiyonu, (34) denklemi integre edilmek suretiyle

$$\begin{aligned} \text{Cov}(z_i^{qs}, z_i^d) &= \text{Re} \left[ \int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i z_i}^{qs d}(\omega) d\omega \right] \\ &= \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^r \sum_{m=1}^r \psi_{ij} A_{il} \Gamma_{mj} \left( - \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\omega^2} H_j(\omega) S_{\ddot{v}_{g_l} \ddot{v}_{g_m}}(\omega) d\omega \right) \end{aligned} \quad (35)$$

ifadesi ile hesaplanabilir [6]. Bu ifadedeki terimler daha önce belirtildiği gibidir.

#### 1.7.4. Toplam Tepki Bileşenin Varyansı

i. tepki bileşenin toplam varyans değeri, zahiri-statik, dinamik ve kovaryans terimlerin toplanması ile

$$\sigma_{z_i}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i}^{qs}(\omega) d\omega + \int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i}^d(\omega) d\omega + 2 \text{Re} \left[ \int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i z_i}^{qs d}(\omega) d\omega \right] \quad (36)$$

ifadesi ile hesaplanabilir.

$$\sigma_{z_i}^2 = \sigma_{z_i}^{2qs} + \sigma_{z_i}^{2d} + 2\text{Cov}(z_i^{qs}, z_i^d) \quad (37)$$

Burada Re, gerçel kısmı gösterirken,  $\sigma_{z_i}^{2qs}$  ve  $\sigma_{z_i}^{2d}$  sırasıyla zahiri-statik ve dinamik tepki bileşenlerinin varyansını göstermektedir.  $\text{Cov}(z_i^{qs}, z_i^d)$  ise, zahiri-statik ve dinamik tepki bileşenleri arasındaki kovaryansı ifade etmektedir [9].

### 1.7.5. Ortalama Maksimum Değer ve Oluşma Frekansı

Stokastik analizde ortalama maksimum değer, maksimum büyüklük faktörüne ve  $z(t)$  işleminin standart sapmasına ( $\sigma_z$ ) bağlı olarak ifade edilmektedir [77].

$$\mu = p\sigma_z \quad (38)$$

Standart sapma varyansın karekökü alınmak suretiyle hesaplanmaktadır.  $\mu$ 'nün standart sapması ise,

$$\sigma = q\sigma_z \quad (39)$$

şeklinde yazılmaktadır [78,79]. Burada  $p$  ve  $q$  sırası ile, yer hareket ivmesinin ve sıfır seviyesinin ortalama geçiş sayısının fonksiyonu olan maksimum büyüklük faktörleri olup aşağıdaki ifadelerle tanımlanabilir [80,81].

$$p = \sqrt{(2 \ln v_e T)} + \frac{0.5772}{\sqrt{(2 \ln v_e T)}} \quad (40)$$

$$q = \frac{1.2}{\sqrt{(2 \ln v_e T)}} - \frac{5.4}{13 + (2 \ln v_e T)^{3.2}} \quad (41)$$

Burada,

$$v_e = (1.9\xi^{0.15} - 0.73)v_0 \quad (42)$$

sıfır seviyesinin indirgenmiş ortalama geçiş sayısıdır. Yukarıdaki ifadede  $T$  hareket süresini,  $\xi$  modal sönüm oranını,  $v_0$  oluşma frekansını göstermektedir.  $v_0$  değerini

$$v_0 = \frac{1}{\pi} \frac{\sigma_z}{\sigma_z} = \frac{1}{\pi} \left( \frac{\int_{-\infty}^{\infty} w^2 S_z(w) dw}{\int_{-\infty}^{\infty} S_z(w) dw} \right)^{1/2} \quad (43)$$

ifadesi ile tanımlamak mümkündür. Bu denklemde  $S_z(w)$ ,  $z(t)$  işleminin spektral yoğunluk fonksiyonunu,  $\sigma_z$  ve  $\sigma_{\dot{z}}$  ise sırasıyla  $z(t)$  işleminin ve türevinin standart sapmasını göstermektedirler [31].

### 1.7.6. Stasyoner Olmayan Davranış

Önceki bölümlerde kullanılan teorik formülasyon stasyoner işlemler için geçerli olmaktadır. Ancak istatistiksel özelliklerin zamanla değiştiği deprem hareketleri stasyoner olmayan işlemler sınıfına aittir.

Stasyoner olmayan işlem için yer hareket ivmesi [16],

$$\ddot{z}(t) = e(t) * \ddot{u}(t) \quad (44)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Burada  $\ddot{u}(t)$  stasyoner işlem için yer hareket ivmesini gösterirken,  $e(t)$  deterministik bir çarpım faktörünü göstermektedir.

j. mod için genelleştirilmiş yerdeğiştirme tepkisi,

$$Y_j(t) = \int_0^t h_j(t-\tau) e(\tau) \ddot{u}(\tau) d\tau \quad (45)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada  $h_j(t)$  j. mod için impuls tepki fonksiyonunu göstermektedir. Frekans alanında analiz için zamana bağlı frekans davranış fonksiyonu ise,

$$H_j(w, t) = \int_0^t h_j(t-\tau) e(\tau) e^{i w \tau} d\tau \quad (46)$$

şeklinde yazılmaktadır. t anındaki stasyoner olmayan davranış için, stasyoner işlem için elde edilen ifadelerde normal frekans davranış fonksiyonu  $H_j(w)$  yerine  $H_j(w, t)$  fonksiyonunun yazılması gerekmektedir. Ancak, buradaki temel zorluk  $H_j(w)$  için kapalı bir ifade yazılabılırken, rasgele bir  $e(t)$  fonksiyonu için  $H_j(w, t)$  ifadesinin her zaman kapalı formda yazılamamasından kaynaklanmaktadır [9].

Bununla birlikte eğer  $e(t)$  birim Heaviside fonksiyonu [16] olarak dikkate alınırsa,  $H_j(w,t)$  için kapalı bir ifade yazılabilmektedir. Öyleki,

$$e(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t \geq 0 \end{cases} \quad (47)$$

Bu ifade  $t=0$  anında stasyoner bir yoğunlukla aniden başlayan ve stasyoner hareketle aynı olmayan bir harekete karşılık gelmektedir.

Bu çalışmada daha çok değişen yer hareketinin köprü davranışı üzerindeki etkisinin irdelenmesi amaçlanmış olup, tepki değerlerinin kesin olarak belirlenmesi üzerinde durulmamıştır. Dolayısıyla  $e(t)$  için kullanılacak olan ifadenin kesin bir ifade olması gerekmediğinden, stasyoner olmayan etkinin dikkate alınabilmesi amacıyla bu çalışmada Heaviside fonksiyonu kullanılmaktadır [16].

Heaviside fonksiyonu için  $H_j(w,t)$  ifadesi,

$$H_j(w, t) = H_j(w) \left[ 1 - e^{-\xi_j w_j t} e^{-i w t} \left( \cos w_{jd} t + \frac{(\xi_j w_j + i w)}{w_{jd}} \sin w_{jd} t \right) \right] \quad (48)$$

şeklinde yazılmaktadır. Burada  $w_{jd} = w_j \sqrt{1 - \xi_j^2}$  şeklinde ifade edilirken,  $H_j(w)$  (29) nolu denklemde tanımlandığı gibidir [22,65].

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Yer Hareketi Modeli

Yapı sisteminin mesnetlerine etkileyen yer hareketi, mesnet noktaları arasındaki yer hareket ivmesinin karşıt spektral yoğunluk fonksiyonuna bağlı olarak aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır [82-86].

$$S_{\ddot{v}_{g1}\ddot{v}_{gm}}(\omega) = \gamma_{lm}(\omega) \sqrt{S_{\ddot{v}_{g1}\ddot{v}_{g1}}(\omega) * S_{\ddot{v}_{gm}\ddot{v}_{gm}}(\omega)} \quad (49)$$

Burada,  $\gamma_{lm}(\omega)$  korelasyon fonksiyonu olup bu bölümün sonunda açıklanacaktır. Diğer terimler ise daha önce (28), (32), (35) denklemlerinde tanımlanmış olup, zeminin homojen olması durumunda ( $S_{\ddot{v}_{g1}\ddot{v}_{g1}}(\omega) = S_{\ddot{v}_{gm}\ddot{v}_{gm}}(\omega) = S_{\ddot{v}_g}(\omega)$ ) yukarıdaki ifade,

$$S_{\ddot{v}_{g1}\ddot{v}_{gm}}(\omega) = \gamma_{lm}(\omega) S_{\ddot{v}_g}(\omega) \quad (50)$$

şekline dönüşebilir. Burada,  $S_{\ddot{v}_{g1}\ddot{v}_{gm}}(\omega)$  1 ve m mesnet noktaları arasındaki yer hareket ivmelerine ait karşıt spektral yoğunluk fonksiyonunu göstermektedir.  $\ddot{v}_g(t)$  yer hareket ivmesini temsil etmek üzere, bu çalışmada Clough ve Penzien [65] tarafından düzeltilerek elde edilen Filtre Edilmiş Beyaz Gürültü spektral yoğunluk fonksiyonu kullanılmaktadır ki, bu da

$$S_{\ddot{v}_g}(\omega) = S_0 |H_g(\omega)|^2 |H_f(\omega)|^2 \quad (51)$$

ifadesi ile tanımlanmıştır. Burada,

$$|H_g(\omega)|^2 = \frac{\omega_g^4 + 4\xi_g^2 \omega_g^2 \omega^2}{(\omega_g^2 - \omega^2)^2 + 4\xi_g^2 \omega_g^2 \omega^2} \quad (52)$$

ve

$$|H_f(w)|^2 = \frac{w^4}{(w_f^2 - w^2)^2 + 4\xi_f^2 w_f^2 w^2} \quad (53)$$

zemine ait filtre fonksiyonlarını gösterirken,  $w_g$  ve  $\xi_g$  sırasıyla birinci filtreye ait doğal frekansı ve sönüm oranını,  $w_f$  ve  $\xi_f$  ikinci filtreye ait doğal frekansı ve sönüm oranını,  $S_0$  beyaz gürültü işleminin spektral yoğunluk fonksiyonu genlik değerini göstermektedir [87,88].

Sert, orta ve yumuşak zemin durumları için filtre parametreleri olarak Tablo 1'de verilen değerler önerilmektedir [12].

Tablo 1. Çeşitli zemin türleri için spektral yoğunluk fonksiyonu filtre parametreleri [12].

Zemin Cinsi	$w_g$ (rad/s)	$\xi_g$	$w_f$ (rad/s)	$\xi_f$
Sert	15.0	0.6	1.5	0.6
Orta	10.0	0.4	1.0	0.6
Yumuşak	5.0	0.2	0.5	0.6

Bu çalışmada zemin cinsi olarak orta, yumuşak ve sert zemin cinsleri seçilmiş olup Der Kiureghian [12] tarafından önerilen yer ivmesi spektral yoğunluk fonksiyonu parametreleri kullanılmaktadır.

So değeri,

$$S_0 = \frac{\sigma_{\ddot{u}_g}^2}{\int_0^{\infty} |H_g(w)|^2 |H_f(w)|^2 dw} = \frac{\sigma_{\ddot{u}_g}^2}{\Phi} \quad (54)$$

ifadesi ile elde edilebilmektedir [87]. Burada  $\sigma_{\ddot{u}_g}^2$  yer hareket ivmesinin varyansını göstermektedir.

(54) denklemi yardımı ile  $S_0$  değerinin belirlenebilmesi için, her bir zemin cinsi için yer hareket ivmesi varyans değeri 1992 Erzincan depremi doğu-batı bileşeninin enerjisine (varyansına) eşitlenmektedir. Erzincan depremi yer hareket ivmesine ait spektral

yoğunluk fonksiyonu Şekil 1'de verilmektedir. STOCAL-II [81] bilgisayar programı kullanılmak suretiyle Erzincan Depremi yer hareket ivmesine ait varyans ifadesi  $\sigma_{\ddot{u}_g}^2 = \lambda_0 = 0.083308 \text{ m}^2 / \text{s}^4$  olarak elde edilmiştir.

Der Kiureghian [12] tarafından üç zemin türü için verilen filtre parametreleri kullanılmak sureti ile (54) denkleminde gösterilen  $\Phi$  değerleri her bir zemin türü için aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\Phi (\text{sert}) = 47.1089 \text{ 1/s}$$

$$\Phi (\text{orta}) = 31.703 \text{ 1/s}$$

$$\Phi (\text{yumuşak}) = 22.581 \text{ 1/s}$$

Böylece Erzincan depremi yer hareket ivmesi için bulunan varyans değeri, her bir zemin türü için elde edilen  $\Phi$  değerlerine bölünmek suretiyle, (54) denkleminde gösterildiği gibi  $S_0$  değerleri elde edilmiştir.

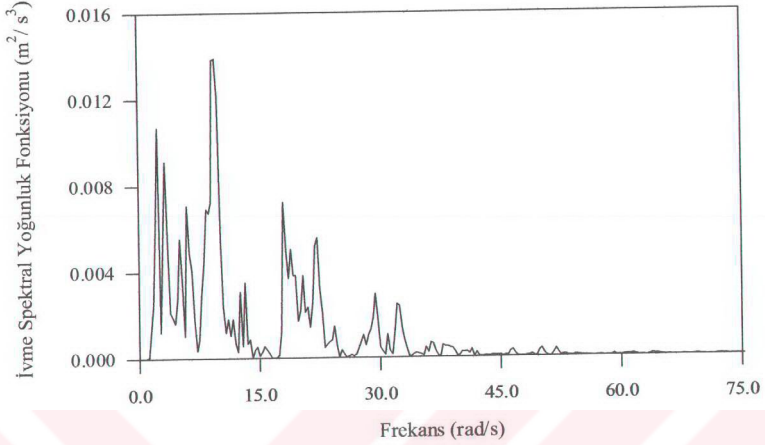
$$S_0 (\text{sert}) = 0.00177 \text{ m}^2/\text{s}^3$$

$$S_0 (\text{orta}) = 0.00263 \text{ m}^2/\text{s}^3$$

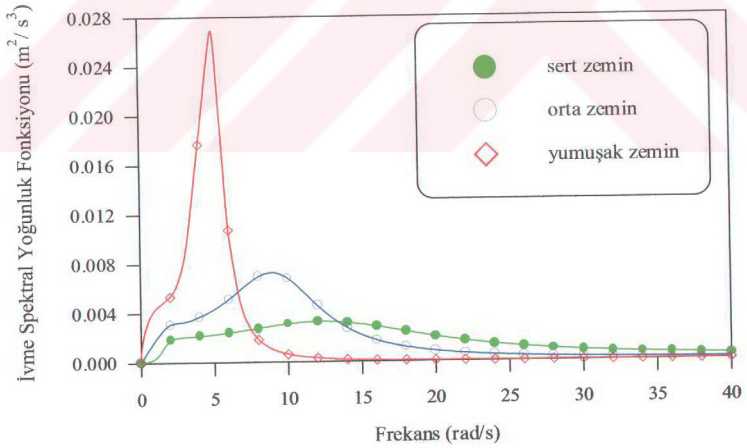
$$S_0 (\text{yumuşak}) = 0.00369 \text{ m}^2/\text{s}^3$$

(51) denklemi ile gösterilen Clough-Penzien [65] yer hareketi modeli için ivme spektral yoğunluk fonksiyonları çeşitli zemin türleri için Şekil 2'de görülmektedir. (51) denklemindeki zemin filtre parametreleri için Tablo 1'deki değerler kullanılırken,  $S_0$  değerleri yukarıda hesaplandığı gibidir. Aynı yer hareketi modeli için Şekil 3'de gösterilen yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonu ise, ivme spektral yoğunluk fonksiyonuna bağlı olarak hesaplanmaktadır [14].

Her bir zemin cinsi için yer hareket ivmesi varyans değerleri Erzincan depremi ivme kaydına ait varyans değerine (ivme spektral yoğunluk fonksiyonunun alanı) eşitlenerek, zemin cinsleri için elde edilen yer hareket ivmesi varyans değerleri (Şekil 2) birbirine eşit ( $0.083308 \text{ m}^2/\text{s}^4$ ) olmaktadır. Bununla birlikte (55) denklemi ile tanımlanan ve Şekil 3'de görülen yer hareketi yerdeğiştirme varyans değerleri (yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonunun alanı) her bir zemin cinsi durumunda farklı olmaktadır. Bu farklılığın nedeni ivme değerlerinin yerdeğiştirme değerlerinin türevi olması ile açıklanabilir. (55) denkleminde türevlerin  $w^2$ 'ler ile orantılı olduğu görülmektedir [74].

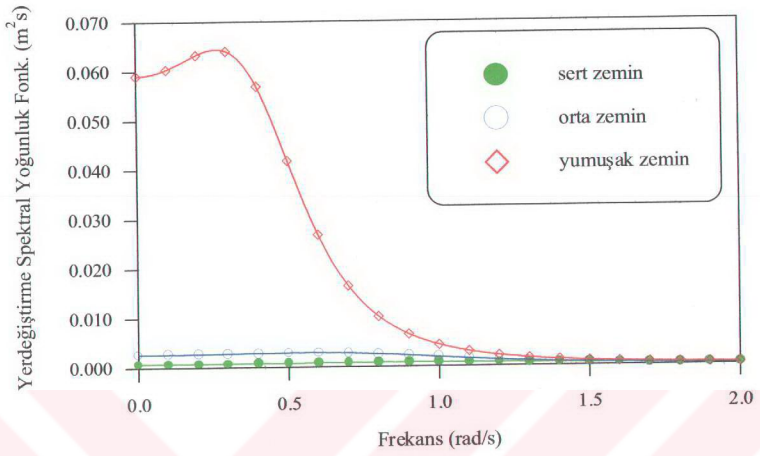


Şekil 1. Erzincan depremi ivme kaydına ait spektral yoğunluk fonksiyonu

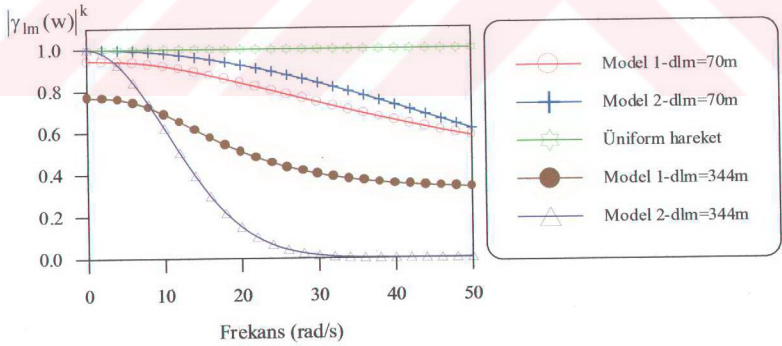


Şekil 2. Filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modeline ait ivme spektral yoğunluk fonksiyonu





Şekil 3. Filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modeline ait yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonu



Şekil 4. Korelasyon etkisinin frekansa bağlı olarak değişimi

$$S_{v_g} = \frac{S_{\ddot{v}_g}}{w^4} \quad (55)$$

(49) denkleminde kullanılan korelasyon fonksiyonu  $\gamma_{lm}(w)$ , yer hareketinin değişimini frekans alanında tanımlar ve aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [23].

$$\begin{aligned} \gamma_{lm}(w) &= |\gamma_{lm}(w)|^k \gamma_{lm}(w)^d \gamma_{lm}(w)^z \\ &= |\gamma_{lm}(w)|^k \exp\left[i\left(\theta_{lm}(w)^d + \theta_{lm}(w)^z\right)\right] \end{aligned} \quad (56)$$

Korelasyon fonksiyonu boyutsuz olup kompleks bir ifadedir.  $0 \leq |\gamma_{lm}(w)| \leq 1$  aralığında kalmaktadır ve  $\ddot{u}_1(t)$  ve  $\ddot{u}_m(t)$  işlemleri arasındaki istatistiksel bağımlılığı ifade etmektedir.  $\gamma_{lm}(w)=1$  iki işlem arasındaki bağımlılığın lineer olduğunu ifade ederken,  $\gamma_{lm}(w)=0$  iki işlem arasındaki istatistiksel bağımsızlığı vurgulamaktadır. Bu denklemde  $\gamma_{lm}(w)$  terimlerinin üsleri şeklinde gösterilen k, d, z harfleri sırası ile korelasyon etkisini, dalga yayılma etkisini ve zemin etkisini ifade etmektedir.  $\gamma_{lm}(w)^d$  ve  $\gamma_{lm}(w)^z$  sırası ile dalga yayılma etkisini ve mesnetlerdeki farklı zemin etkilerini gösteren korelasyon değerleri olup bu bölümün sonlarında (60) ve (61) denklemleri ile tanımlanmaktadır.

(56) denkleminde kullanılan  $|\gamma_{lm}(w)|^k$ , mesnetlere etkileyen yer hareketleri arasındaki korelasyon etkisini ifade etmektedir. 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 açıklanmaktadır. Bu çalışmada literatürde sıkça kullanılan Tayvandaki SMART-1 deprem kayıtlarının analizi ile Harichandran ve Vanmarcke [89] tarafından belirlenen korelasyon modeli (Model 1) ile Luco ve Wong [90] tarafından kayma dalgalarının rasgele ortamdaki yayılmaları dikkate alınmak sureti ile belirlenen korelasyon modeli (Model 2) dikkate alınmaktadır. Harichandran ve Vanmarcke [89] tarafından geliştirilen korelasyon modeli,

$$|\gamma_{lm}(w)|^k = A e^{\frac{-2d_{lm}}{\alpha\theta(w)}(1-A+\alpha A)} + (1-A) e^{\frac{-2d_{lm}}{\theta(w)}(1-A+\alpha A)} \quad (57)$$

ifadesi ile tanımlanmaktadır [91]. Burada;

$$\theta(w) = k \left[ 1 + \left( \frac{w}{2\pi f_0} \right)^b \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (58)$$

ifadesi ile verilirken,  $d_{lm}$  mesnetler arasındaki mutlak yatay uzaklığı göstermektedir.  $A$ ,  $\alpha$ ,  $k$ ,  $f_0$  ve  $b$  ampirik sabitlerdir. Bu çalışmada Harichandran [22] tarafından önerilen değerler ( $A=0.636$ ,  $\alpha=0.0186$ ,  $k=31200$ ,  $f_0=1.51$  Hz ve  $b=2.95$ ) kullanılmıştır.

Luco ve Wong [90] tarafından geliştirilen korelasyon modeli ise,

$$|\gamma_{lm}(w)|^k = \exp(-(\alpha d_{lm} w / v_s)^2) \quad (59)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada  $\alpha$  boyutsuz bir korelasyon parametresini,  $d_{lm}$  mesnetler arasındaki mutlak yatay uzaklığı ve  $v_s$  kayma dalgası hızını göstermektedir. Bu çalışmada Luco ve Wong [90] ve Luco ve Mita [92] tarafından önerilen  $\alpha / v_s = 2 * 10^{-4}$  s/m değeri kullanılmıştır.

Şekil 4'de köprü mesnetleri arasındaki mesafeler için elde edilen korelasyon etkisinin frekansa bağlı olarak değişimi görülmektedir. Burada düşük frekanslarda Model 2 için tam korelasyon gözlenirken, Model 1 için frekansın sıfır değeri için dahi, kısmi korelasyon söz konusu olmaktadır. Bununla birlikte Model 1 durumunda, Model 2'ye oranla daha yavaş sifra yaklaşıırken, korelasyon etkisi frekansın ve mesafenin artması ile birlikte azalmaktadır. Ayrıca üstel olarak ifade edilen (59) denkleminde  $\alpha = 0$  yazılarak üniform yer hareketine karşılık gelen durumda korelasyon etkisinin tüm frekans ve mesafeler için  $|\gamma_{lm}(w)|^k = 1$  olduğu görülmektedir.

(56) denkleminde üstel olarak gösterilen ikinci terim aşağıda ifade edildiği gibi yer hareketinin yayılma etkisini içermektedir. Dalga yayılma etkisi deprem hareketinin bir mesnetten diğerine ulaşıncaya kadar geçen zaman farkından doğmaktadır [11, 30].

$$\theta_{lm}(w)^d = -\frac{wd_{lm}^L}{v_{app}} \quad (60)$$

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

(56) denkleminde gösterilen son terim ise yerel zemin etkisini ifade etmektedir. Zemin etkisi farklı mesnet noktalarındaki yerel zemin şartlarının farklılığından kaynaklanmaktadır ve aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [25-26].

$$\theta_{lm}(w)^z = \tan^{-1} \frac{\text{Im}[H_1(w)H_m(-w)]}{\text{Re}[H_1(w)H_m(-w)]} \quad (61)$$

Burada,  $H_1(w)$  ve  $H_m(-w)$  1 ve m mesnet noktalarındaki zemine ait filtre fonksiyonlarını, Im ve Re sırasıyla fonksiyonun sanal ve reel kısımlarını göstermektedir. 1 mesnet noktasındaki zemin filtre fonksiyonu için

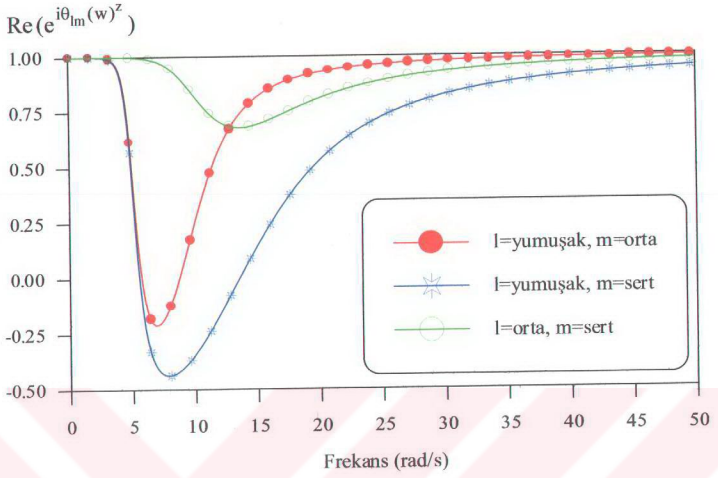
$$H_1(w) = \frac{w_1^2 + 2i\xi_1 w_1 w}{w_1^2 - w^2 + 2i\xi_1 w_1 w} \quad (62)$$

bağıntısı kullanılmaktadır. Burada  $w_1$  ve  $\xi_1$  filtreye ait doğal frekansı ve sönüm oranını ifade etmektedir.

1 ve m mesnet noktalarındaki farklı zemin cinsleri için (yumuşak-orta, yumuşak-sert ve orta-sert) (61) ve (62) denklemleri yardımıyla hesaplanan zemin etkisinin frekansa bağlı olarak değişimi Tablo 2 ve Şekil 5'de görülmektedir. Filtre parametre değerleri için Tablo 1'de verilen  $w_g$  ve  $\xi_g$  değerleri kullanılmaktadır. Burada yumuşak-sert farklı zemin cinsleri durumunda zemin etkisi en büyük olurken, orta-sert farklı zemin cinsleri durumunda zemin etkisinin en küçük olduğu dikkati çekmektedir. Başka bir ifade ile zemin özellikleri arasındaki farklılık arttıkça zemin etkisi daha büyük olmaktadır. Ayrıca farklı noktalardaki zemin cinslerinin aynı olması durumunda zemin etkisi bire eşit olacaktır.

Tablo 2. Zemin etkisinin frekansa bağılı olarak değişimi

Frekans (rad/s)	l=yumuşak m=orta	l=yumuşak m=sert	l= orta m= sert
	$\text{Re}(e^{i\theta_{lm}(w)^z})$		
0	1	1	1
1	0.9999969	0.9999956	0.9999999
2	0.9997339	0.9996424	0.9999933
3	0.9949133	0.9935327	0.9999170
4	0.9349552	0.9230435	0.9994811
5	0.4705882	0.4103647	0.9977494
6	-0.0982872	-0.2209624	0.9922779
8	-0.1227623	-0.4365510	0.9464664
10	0.2576627	-0.3395000	0.8213700
11	0.4435287	-0.2555032	0.7531887
12	0.5881532	-0.1590809	0.7048867
13	0.6921123	-0.0562377	0.6817248
15	0.8161367	0.1483404	0.6925318
16	0.8528004	0.2424381	0.7134085
18	0.8997880	0.4044436	0.7629623
19	0.9152200	0.4716005	0.7869484
20	0.9272887	0.5301180	0.8089902
21	0.9368988	0.5808452	0.8287730
22	0.9446750	0.6247246	0.8462850
24	0.9563633	0.6955690	0.8751362
26	0.9646114	0.7490386	0.8972234
28	0.9706613	0.7899579	0.9142167
30	0.9752399	0.8217753	0.9274415
32	0.9787954	0.8469151	0.9378759
34	0.9816161	0.8670835	0.9462255
36	0.9838945	0.8834922	0.9529979
38	0.9857636	0.8970139	0.9585606
40	0.9873176	0.9082862	0.9631831
42	0.9886245	0.9177815	0.9670649
44	0.9897350	0.9258557	0.9703560
46	0.9906871	0.9327801	0.9731708
48	0.9915102	0.9387644	0.9755973
49	0.9918805	0.9414567	0.9766869



Şekil 5. Zemin etkisinin frekansa bağlı olarak değişimi

## 2.2. Kablolü Köprüler

### 2.2.1. Kablolü Köprülerin Temel Özellikleri

Kablo köprüler kabloların asal kirişe bağlandıkları noktalardan, kablolar ile elastik olarak desteklenen lineer olmayan sistemler olup; tabliye ile birlikte çalışan asal kirişten, basınca çalışan kulelerden, çekmeye çalışan kablolardan oluşan üç boyutlu sistemlerdir. [93-94]

Kablo köprü sistemlerinin temel yapısal karakteristiği; kulelerin tepelerinden uzanan öngerilmeli ya da sonradan çekme verilmiş kablolar ile, asal kirişin bir bütün olarak çalışmasıdır. Çekmeye çalışan kablolardan gelen yatay basınç kuvvetlerinin kirişler tarafından alınması, alt yapıda önemli bir ekonomi sağlamaktadır. Kablo köprülerdeki kulelerin ve asal kirişin; kabloların neden olduğu büyük eksenel basınç kuvvetleri ile birlikte eğilmeye maruz kalması kablo köprülerin ayırt edici özeliğidir [95].

Yüksek mukavemetli çelikten oluşan ortotropik plak tabliye kullanılması ile, özellikle son yıllarda, kablo köprülerin merkez açıklığı artırılmıştır. Nitekim son yıllarda inşa edilen kablo köprülerin merkez açıklığı 890 m'ye kadar ulaşmıştır [96-98].

Kabloların tepelerinde toplandığı A-Çerçeve tipindeki kulelerde yapı rijitliği ve stabilitesi artmaktadır. Böylece tabliye ve her iki düzlemdeki kablo sistemleri eğilmeye karşı birbirlerine rijit olarak bağlanmış bir sistem şeklinde çalışırlar. A-Çerçeve tipindeki kuleler, yüksek burulma rijitlikleri sayesinde kablo köprüler için daha çok tercih edilmektedirler [94, 99].

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

1. Kabloların öz ağırlıklarından kaynaklanan sehimlerinden dolayı, lineer olmayan eksenel kuvvet-deformasyon ilişkisi.
2. Eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kule ve uzunlamasına doğrultudaki kiriş elemanları için, lineer olmayan eksenel kuvvet-deformasyon ve eğilme momenti-deformasyon ilişkisi.
3. Bu tür yapılar için servis yükleri altında olabileceği gibi, çevresel yüklerden de kaynaklanabilecek büyük yerdeğiştirmelerin neden olduğu geometri değişimleri.

Kablolu köprülerdeki söz konusu lineer olmayan etkiler birçok araştırmacı tarafından ele alınmıştır [39-45, 100-115].

Kablolarda ki lineer olmayan özellik, eşdeğer elastisite modülü ile dikkate alınmakta ve aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$E_i = \frac{E}{1 + (\gamma_c^2 l^2 E / 12 \sigma^3)} \quad (63)$$

Burada, E düz kablonun elastisite modülünü, l kablonun yatay izdüşüm uzaklığını,  $\gamma_c$  kablonun birim hacim ağırlığını,  $\sigma$  kablodaki çekme gerilmesini göstermektedir [94].

Kablolu köprüler asma köprülerden; analiz, projelendirme, yapım ve davranışları itibarı ile oldukça farklıdır. Asma köprülerde asal kiriş hemen hemen aksel kuvvete maruz kalmazken; kablolu köprülerde kablolar asal kirişte büyük oranda aksel basınç kuvvetleri oluşturmaktadır. Asma köprülerde tabliye, düşey askılara sahip kablolar ile desteklenir. Kablolu köprülerde ise, düz kablolar vasıtası ile direkt olarak kuleler tarafından desteklenir. Kablo şeklindeki değişimlerden kaynaklanan şekil değiştirmeler az olduğundan kablolu köprüler asma köprülere oranla önemli derecede daha rijittir. Kablolu köprüler rijitlik ve sönüm özelliklerinden dolayı, rüzgar etkilerine karşı asma köprüler kadar hassas değildirler. Bununla birlikte kablolu köprülerin hareketli yük taşıma kapasiteleri asma köprülerden daha fazla iken, sabit yüklerin taşınması hususunda asma köprülerin taşıma kapasiteleri daha fazladır. Dolayısıyla asma köprüler çok uzun açıklıkların geçilmesi için kullanılırken, kablolu köprüler asma köprülere oranla daha kısa açıklıkları geçmek için kullanılmaktadır [40].



## 2.2.2. Kablolu Köprünün Yapısal Özellikleri

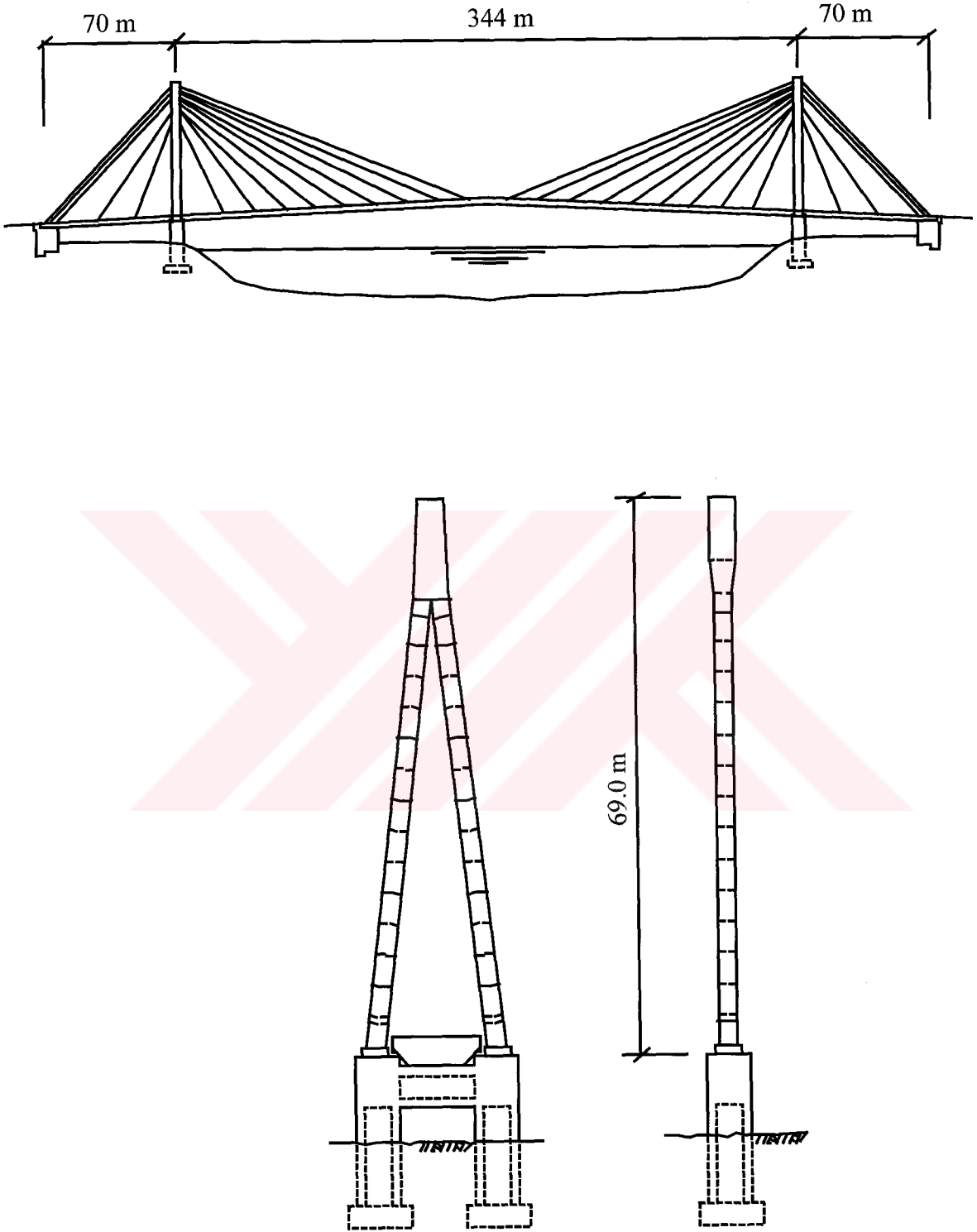
Bu çalışmada değişen yer hareketi etkisi için stokastik analizi yapılmak amacıyla örnek sistem olarak Rendel Palmer ve Tritton tarafından projelendirilen ve Güney Kore' de inşa edilen Jindo köprüsü seçilmiştir. Söz konusu köprü Jindo Adası ile ana kıtayı birbirine bağlamaktadır. Şekil 6'da genel bir şekli görülen Jindo köprüsü, 344 m olan ana açıklık ve 70'er m olan iki kenar açıklık olmak üzere, toplam üç açıklıktan oluşmaktadır. Kablolar yelpaze şeklinde düzenlenmiş olup, A-Çerçeve tipindeki kulelerin tepelerinde toplanmışlardır. Kullanılan kabloların çapları 56 mm, 67 mm, 76 mm ve 87 mm'dir. Her bir kule 28 kablo taşımaktadır ve kulelerin mesnetlendikleri ayaklar üzerindeki yükseklikleri 69 m'dir (Şekil 6). Söz konusu kuleler burulma rijitliklerinin büyüklükleri sayesinde birçok kablolu köprünün inşasında tercih edilmiştir [38, 116].

Çelik asal kiriş altıgen biçimlidir ve köprünün bir ucundan diğer ucuna kadar sürekli olarak uzanır. Kablolu köprülerde en çok tercih edilen sistem, Jindo köprüsünde olduğu gibi asal kirişin bir uçtan diğer uca kadar sürekli olarak uzandığı sistemlerdir. Jindo köprüsü için, ana kıtadaki ayak üzerinde köprü eksenine doğrultusundaki hareket engellenirken, Jindo adası tarafındaki ayak üzerinde ve diğer mesnetlerde söz konusu doğrultudaki hareket serbest bırakılmıştır.

Gelgit olayına bağlı akımlar, Jindo köprüsü ayaklarına ait temellerin deniz içerisinde inşasını oldukça güç ve pahalı bir duruma getirmiştir. Bu sebepten dolayı, üzerlerine köprü ayaklarının inşa edileceği temellerin karada inşa edilmesine karar verilmiştir [117-118].

Tappin [117] Jindo köprüsünün inşa edildiği bölgenin jeolojik yapısının volkanik (proklastik) ve tüffit kayaç karışımı olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca ana kıta tarafında mevcut olan fayların yer yer kil ile dolu olduğu belirtilmektedir.

Jindo kablolu köprüsüne ait asal kiriş ve kuleler çelik malzemeden inşa edilmiştir. Hesaplarda Jindo kablolu köprüsü için sönüm oranı % 2 olarak alınmıştır. Kablolu köprüler için sönüm oranı oldukça küçük olup yaklaşık olarak %1-2 civarındadır [39-40]. Jindo Köprüsüne ait elemanların seçilen kesit özellikleri Tablo 3 ve Tablo 4'de verilmektedir.



Şekil 6. Jindo köprüsünün genel görünümü [116]

Tablo 3. Jindo köprüsüne ait çeşitli elemanların kesit özellikleri

Atalet Momenti (m <sup>4</sup> )	Alan (m <sup>2</sup> )	Elastisite Modülü (kN/ m <sup>2</sup> )	Kayma Modülü (kN/ m <sup>2</sup> )	Eleman
1.210	0.827	205000000	78846154	Tabliye
0.519	0.416	205000000	78846154	Tabliye
0.536	0.464	205000000	78846154	Tabliye
121.420	35.600	21000000	9051724.1	Köprü Ayağı
0.591	0.658	205000000	78846154	Kule
0.569	0.608	205000000	78846154	Kule
0.496	0.541	205000000	78846154	Kule
0.451	0.473	205000000	78846154	Kule
0.818	0.647	205000000	78846154	Kule

Tablo 4. Jindo köprüsünde kullanılan kabloların kesit özellikleri

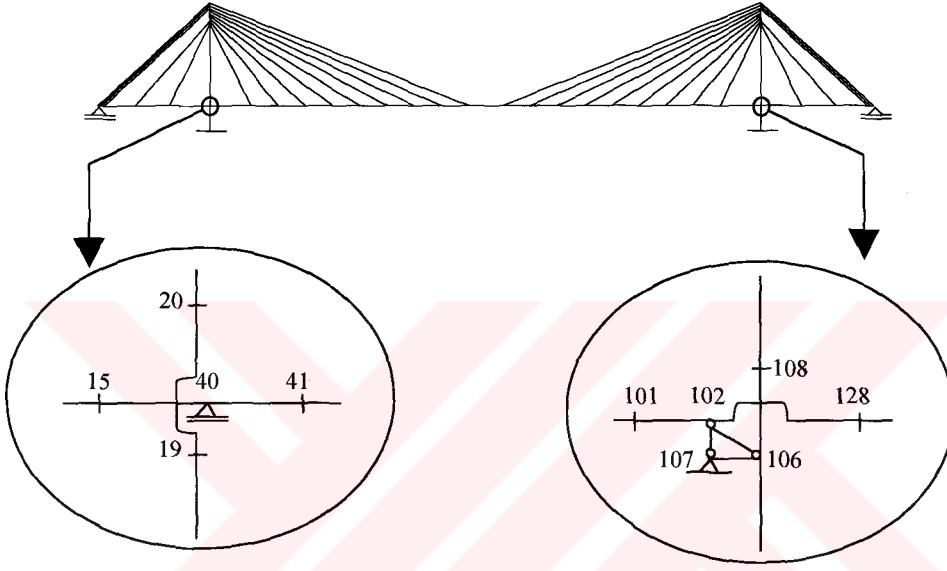
Alan (m <sup>2</sup> )	Elastisite Modülü (kN/ m <sup>2</sup> )
0.02010	154000000
0.00556	153600000
0.00428	156100000
0.00756	147600000
0.01004	142400000

### 2.2.3. Kablolü Köprünün Analitik Modeli

A - Çerçeve tipindeki kuleler, kablolar ve asal kiriş üç boyutlu bir yapı sistemi oluştururlar. İki boyutlu analiz sonucu bulunan mod biçimleri ile üç boyutlu analiz sonucu bulunan mod biçimlerinin uyum çerisinde oldukları gösterildiğinden [38], Jindo köprüsünün rasgele olan deprem etkisinden oluşacak stokastik davranışını belirlemek amacıyla düşey düzlemdeki iki boyutlu analizi yapılmıştır. Seçilen düşey düzlem modelinde bir düğüm noktasının, yatay ve düşey doğrultudaki ötelenmeler ile bir

dönmeden oluşan toplam üç serbestlik derecesi vardır (Şekil 7). Bilindiği gibi, sistemin serbestlik derecesi sayısı, hareket halindeki konumu tam olarak belirlemek için gerekli ve yeterli bağımsız yerdeğiştirme parametre sayısına eşittir.

Kablolu köprü için stokastik analizi düşey düzlem içindeki dinamik davranış esas alınarak gerçekleştirilmiş olup, yapının kütlesi toplu kütleli sistem olarak modellendirilmiştir.



Şekil 7. Jindo köprüsünün iki boyutlu matematik modeli

Seçilen sonlu eleman modeli 420 tane serbestlik derecesi ile temsil edilmiştir. Hareket denklemleri ötelenme ve dönme serbestlik derecelerini 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 derecelerini ihmal edecek “statik yoğunlaştırma” yöntemi kullanılabilir [65]. Bu yöntemin uygulanabilmesi atalet kuvveti oluşturacak kütle olmasına bağlıdır. Böylece, kullanılan 420 tane serbestlik derecesi statik yoğunlaştırma yöntemi ile, 39 tane ana serbestlik derecesine indirgenmiştir.

Asal kiriş ve kuleler 139 kiriş eleman kullanılarak temsil edilmiştir. Kablolar ise 28 kafes elemanla gösterilmiş olup, söz konusu eğik kabloların lineer olmayan özellikleri eşdeğer elastisite modülü ile dikkate alınmıştır.

### 2.3. Geliştirilen Bilgisayar Programı

Üniform yer hareketi etkisindeki yapı sistemlerinin stokastik analizi STOCAL [78] bilgisayar programı ile yapılabilmektedir. Ancak söz konusu programda yer hareketinin mesnet noktaları arasındaki değişimi dikkate alınamamaktadır. Korelasyon etkisi, dalga yayılma etkisi ve zemin etkisi ile tanımlanan yer hareketindeki değişim için gerekli olan ilaveler STOCAL programına yapılmak suretiyle geliştirilen bilgisayar programı (SVEM) kullanılarak değişen yer hareketi etkisindeki yapı sistemlerinin stokastik analizi yapılabilmektedir. SVEM bilgisayar programı Fortran dilinde programlanmış olup, "Fortran Visual Workbench" programı ile çalıştırılmaktadır.

Bu çerçevede geliştirilen SVEM programının akış diyagramı Şekil 8'de verilmektedir. Şekildeki kutular alt programları gösterirken, aralardaki çizgiler alt programlar arasındaki bağlantıya işaret etmektedir. Her bir alt program, bir üstündeki çizgi ile bağlantılı olduğu alt program ile çağrılmaktadır. Orijinal STOCAL programı Şekil 8'de görüldüğü gibi üç temel alt programdan (GROUP1, GROUP2, GROUP3) oluşmaktadır. Yer hareketindeki değişim için gerekli olan değişiklikler STOCAL programına GROUP4 alt programı ile ilave edilmiştir. Böylece geliştirilen bilgisayar programının temel adımları aşağıda sıralanmaktadır:

- Özdeğer ve özvektörler orijinal STOCAL programında Jacobi yöntemiyle hesaplanmaktadır.
- Zahiri-statik tepki bileşeni için (31) denklemi ile tanımlanan  $\{z^{qs}(t)\} = [A]\{v_g\}$  ifadesindeki  $[A]$  matrisi (mesnet noktalarının yer hareketi doğrultusunda birim hareketinin neden olduğu statik yerdeğiştirmeler), CLAMP, INSTI, INLOAD ve ADSTIF alt programları ile hesaplanmaktadır. Bu işlem için sistem rijitlik matrisinde  $\{r\}$  vektörünün (zemin yerdeğiştirmelerinin şekil vektörü) hesaplanacağı diyagonale büyük bir rijitlik eklenmekte ve bu rijitliğe eşit bir yük söz konusu serbestlik derecesine uygulanmak sureti ile statik analiz yapılarak, statik yerdeğiştirmeler

hesaplanmaktadır. 420 serbestlik derecesi ile modellendirilen ve toplam 4 farklı mesnet noktasına yer hareketinin etkidiği kablolu köprü örneği için hesaplanan [A] matrisi (420\*4) boyutundadır.

- Daha sonra eleman kuvvetlerinin hesabında kullanılmak üzere, statik yerdeğiştirme ve özvektörlerin neden olduğu eleman kuvvetlerinin global koordinatlardaki hesabı STRC alt programı ile yapılmaktadır.
- Yer hareketindeki değişimin dikkate alınması durumunda, toplam yapı tepkisi zahiri-statik ve dinamik bileşenlere ayrılmakta ve her iki bileşen arasında kovaryans tepki bileşeni ortaya çıkmaktadır. Zahiri-statik bileşen için (33) denkleminde ortaya çıkan,

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{w^4} S_{\ddot{v}_{g1} \ddot{v}_{gm}}(w) dw$$

integral ifadesi IMSL alt programı QAGI [119] kullanılmak sureti ile belirlenmektedir. Burada elde edilen integral ifadesi l ve m mesnet noktalarına bağlı olarak iki boyutlu şekilde (r\*r) kaydedilmektedir. Kablolu köprü örneği için yer hareketinin etkidiği farklı mesnet sayısı r=4 olduğundan integral ifadesi (4\*4) boyutundadır. Daha sonra zahiri-statik yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri için (33)

$$\sigma_{z_i}^{2 \text{ qs}}(w) = \sum_{l=1}^r \sum_{m=1}^r A_{il} A_{im} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{w^4} S_{\ddot{v}_{g1} \ddot{v}_{gm}}(w) dw$$

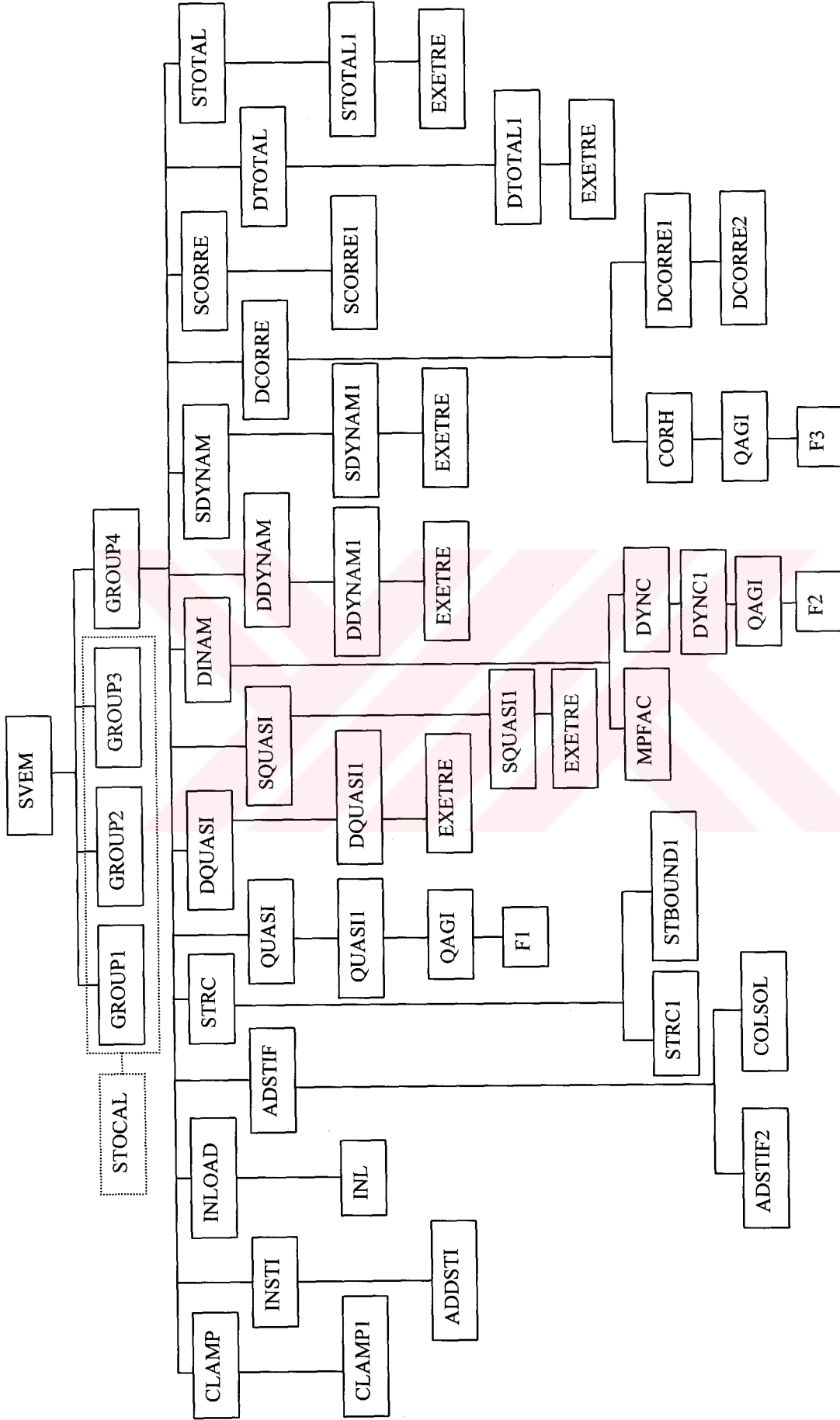
varyans ifadesi hesaplanmak sureti ile tepki bileşenleri için  $\lambda_0$  ve  $\lambda_2$  spektral moment değerleri elde edilmektedir. Böylece elde edilen spektral momentler yardımıyla (38) denklemi ile gösterilen  $\mu = p\sigma_z$  ortalama maksimum değer, (39) denklemi ile gösterilen  $\sigma = q\sigma_z$  ortalama maksimum değere ait standart sapma ve (43) denklemi ile ifade edilen oluşma

$$\text{frekans } v_0 = \frac{1}{\pi} \frac{\sigma_z}{\sigma_z} = \frac{1}{\pi} \left( \frac{\int_{-\infty}^{\infty} w^2 S_z(w) dw}{\int_{-\infty}^{\infty} S_z(w) dw} \right)^{1/2}$$

hesaplanmaktadır. Bu işlemler Şekil 8

ile gösterilen akış diyagramında QUASI, DQUASI ve SQUASI alt programları ile gerçekleştirilmektedir.

- (18) denklemi ile gösterilen  $\{\Gamma_i\} = [M_{rr}] [R_{rg}] \{\phi_i\}$  modal katkı faktörü DINAM alt programına bağlı olan MPFAC alt programında hesaplanmaktadır.



Şekil 8. Bilgisayar programı akış diyagramı

- Zahiri-statik bileşen için gerçekleştirilen işlemler, (30) denklemi ile gösterilen

$$\sigma_{z_i}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} S_{z_i}^d(\omega) d\omega$$

dinamik bileşene ait integral ifadesinin ve varyansının hesaplanması sureti ile dinamik bileşen için de tekrarlanmaktadır. Dinamik bileşen için elde edilen integral ifadesi (28) denkleminde görüleceği gibi dört boyutlu olup ( $n \times n \times r \times r$ ), kablolu köprü örneği için mod sayısı  $n=15$  ve  $r=4$  olması nedeni ile ( $15 \times 15 \times 4 \times 4$ ) mertebesindedir. Bu işlemler bilgisayar programında DINAM, DDYNAM ve SDYNAM alt programlarında gerçekleştirilmektedir.

- Zahiri-statik ve dinamik bileşenler arasındaki kovaryans bileşeni için (35) denklemi ile

$$\text{Cov}(z_i^{qs}, z_i^d) = \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^r \sum_{m=1}^r \psi_{ij} A_{il} \Gamma_{mj} \left( - \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\omega^2} H_j(\omega) S_{\ddot{v}_{g_l} \ddot{v}_{g_m}}(\omega) d\omega \right)$$

ortaya çıkan integral ifadesi hesaplanmaktadır. Buradaki integralin boyutu ise üç boyutlu olup ( $n \times r \times r$ ), kablolu köprü örneği için  $n=15$  ve  $r=4$  olması nedeni ile ( $15 \times 4 \times 4$ ) mertebesindedir. Ardından yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri için (35) denklemi ile gösterilen kovaryans bileşen hesaplanmak sureti ile  $\lambda_0$  ve  $\lambda_2$  spektral momentleri bulunmaktadır. Söz konusu hesaplamalar bilgisayar programında DCORRE ve SCORRE alt programları ile yapılmaktadır.

- Yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin zahiri-statik, dinamik ve kovaryans bileşenleri için bulunan  $\lambda_0$  ve  $\lambda_2$  ifadeleri toplanmak suretiyle, (37) denklemi ile gösterilen

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

toplam tepkiye ait varyans değeri ile birlikte, ortalama maksimum değer ve oluşma frekansları bilgisayar programında DTOTAL ve STOTAL alt programları ile hesaplanmaktadır.

## 2.4. Modal Analiz

Genel olarak bina sistemlerinin deprem analizi için ilk üç mod yeterli olmaktadır. Barajlarda ise ilk altı modun dikkate alınması yeterli doğrulukta sonuçların bulunabilmesine imkan vermektedir. Kablolu ve asma köprüler, bina ve baraj sistemleri gibi yapısal olarak homojen değildir. Kulelerin, tabliyenin ve kabloların geniş bir mod aralığında yapı tepkisine önemli katkılar sağlayabileceği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla

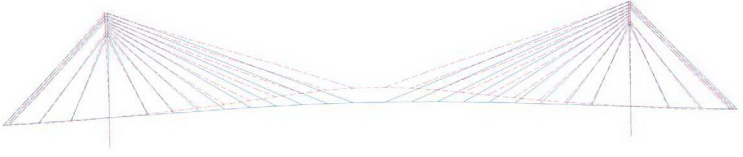


yeterli doğrulukta sonuçların elde edilebilmesi için, dikkate alınması gereken mod sayısının büyük önemi vardır [62].

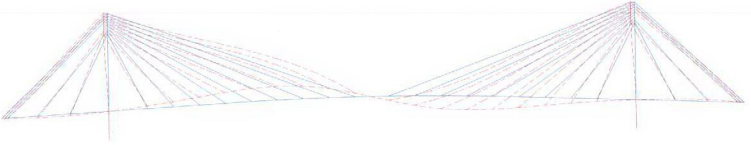
Bu çalışmada kablolu köprü sistemine ait özdeğer ve özvektörler Jacobi yöntemi [120] kullanılmak suretiyle belirlenmektedir. Böylece iki boyutlu köprü modeli dikkate alınmak sureti ile ilk 15 mod için belirlenen mod şekilleri Şekil 9'da verilmektedir [38]. Bunun yanında aynı model için elde edilen doğal frekans ve periyotlar Tablo 5'de sunulmaktadır. Kablolu köprüler asma köprülere oranla daha rijit olmasına rağmen, yine de çoğu yapı sistemine oranla esnek bir yapı sistemi olarak kabul edilebilir.

Tablo 5. Kablolu köprü sistemine ait doğal frekans ve periyotlar

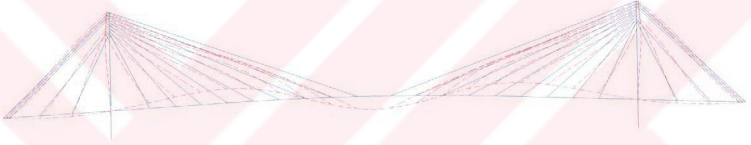
MOD	ÖZDEĞER (RAD/SN)**2	FREKANS (HZ)	PERİYOT (S)
1	.793792E+01	.448408	2.230112
2	.168094E+02	.652524	1.532510
3	.367039E+02	.964220	1.037108
4	.662736E+02	1.295659	.771808
5	.103879E+03	1.622123	.616476
6	.139121E+03	1.877225	.532701
7	.168980E+03	2.068891	.483351
8	.232952E+03	2.429145	.411668
9	.250798E+03	2.520475	.396751
10	.315441E+03	2.826697	.353770
11	.347318E+03	2.966086	.337145
12	.502565E+03	3.567931	.280275
13	.540571E+03	3.700381	.270242
14	.700026E+03	4.210922	.237478
15	.724309E+03	4.283337	.233463



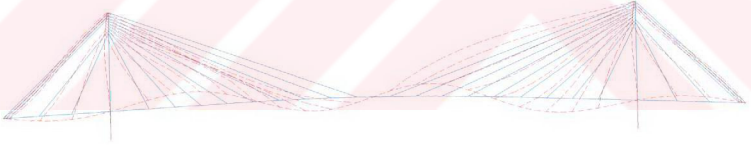
1. Mod Frekans: 0.448 Hz Periyot: 2.23 s



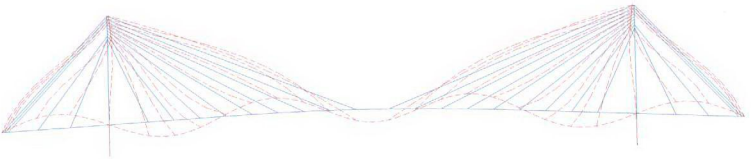
2. Mod Frekans: 0.652 Hz Periyot: 1.53 s



3. Mod Frekans: 0.964 Hz Periyot: 1.04 s



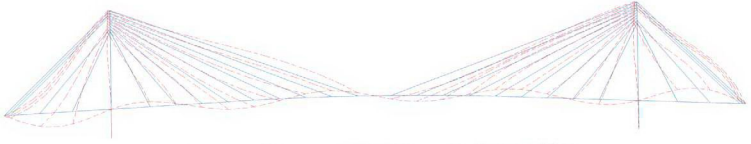
4. Mod Frekans: 1.296 Hz Periyot: 0.77 s



5. Mod Frekans: 1.622 Hz Periyot: 0.62 s

Şekil 9. Köprü sistemine ait mod şekilleri

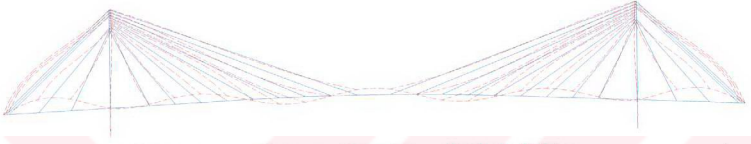
## Şekil 9'un devamı



6. Mod

Frekans: 1.877 Hz

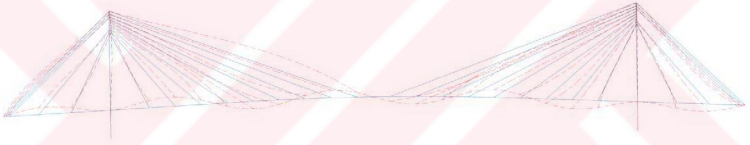
Periyot: 0.53 s



7. Mod

Frekans: 2.069 Hz

Periyot: 0.48 s



8. Mod

Frekans: 2.429 Hz

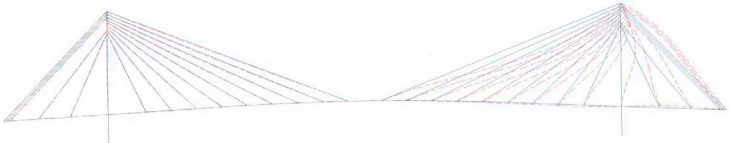
Periyot: 0.41 s



9. Mod

Frekans: 2.520 Hz

Periyot: 0.40 s

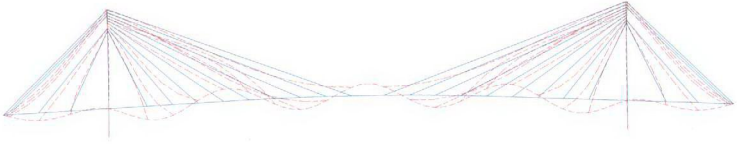


10. Mod

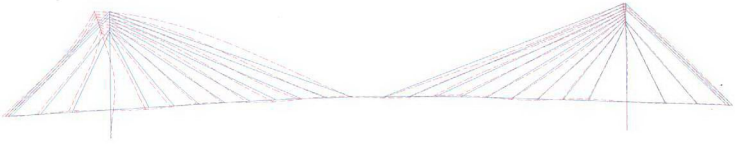
Frekans: 2.827 Hz

Periyot: 0.35 s

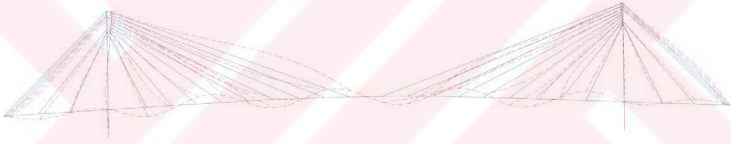
## Şekil 9'un devamı



11. Mod Frekans: 2.966 Hz Periyot: 0.34 s



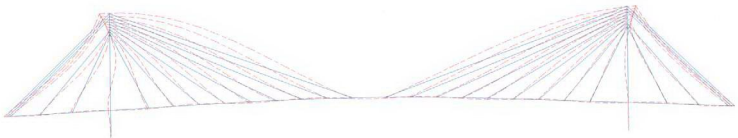
12. Mod Frekans: 3.568 Hz Periyot: 0.28 s



13. Mod Frekans: 3.700 Hz Periyot: 0.27 s



14. Mod Frekans: 4.211 Hz Periyot: 0.24 s

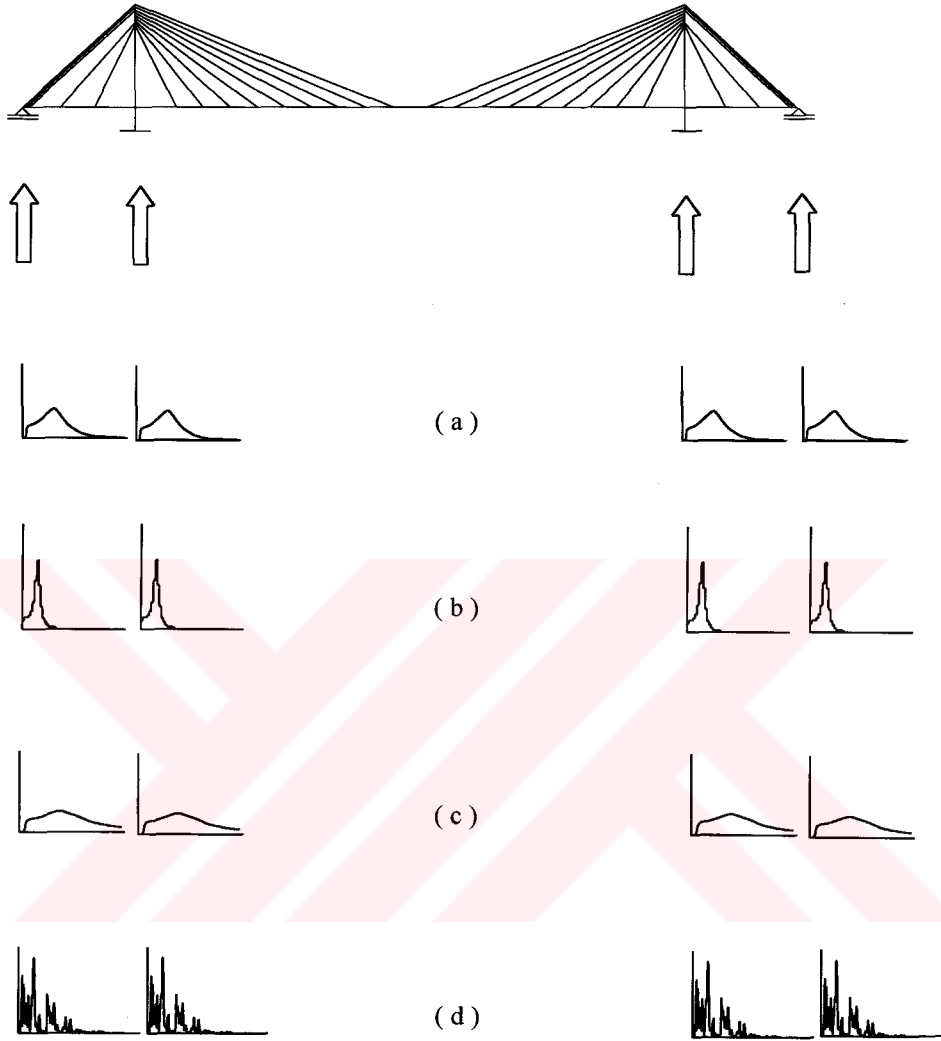


15. Mod Frekans: 4.283 Hz Periyot: 0.23 s

## 2.5. Filtre Edilmiş Beyaz Gürültü Yer Hareketi Modelinin Tahkiki

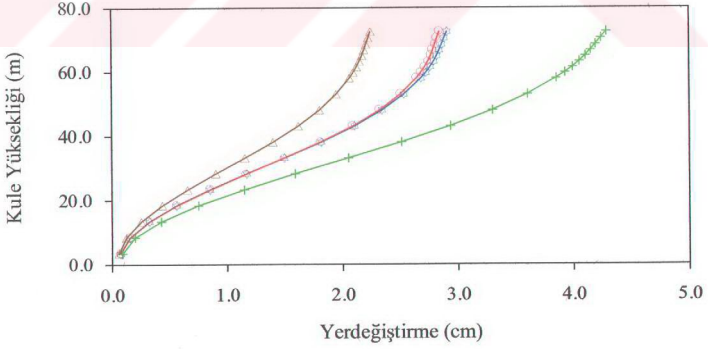
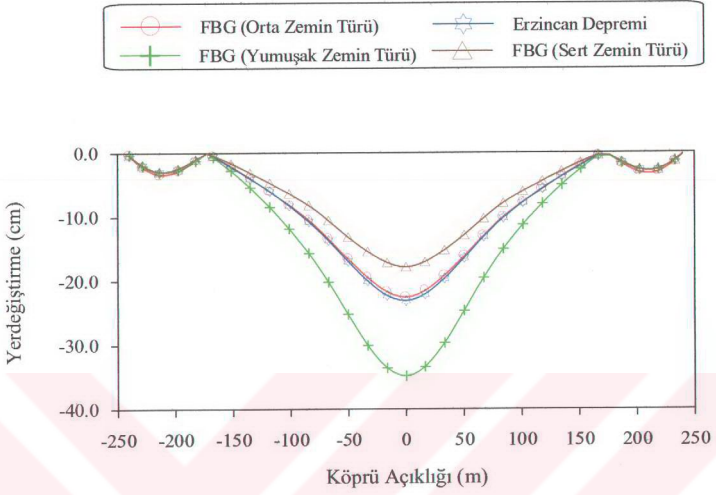
Burada, çalışma boyunca yer hareketi olarak kullanılacak olan filtre edilmiş beyaz gürültü (FBG) modeli, gerçek bir yer hareketi ile karşılaştırılmak suretiyle incelenmektedir. Bu amaçla (51) denklemi ile gösterilen filtre edilmiş beyaz gürültü spektral yoğunluk fonksiyonu, filtre parametreleri Tablo 1’de verilen farklı zemin türleri için elde edilmektedir.  $S_0$  değerleri ise bu çalışmada her bir zemin cinsi için Erzincan depreminin enerjisine bağlı olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte gerçek yer hareketi olarak Erzincan depremi dikkate alınmak suretiyle yer hareketi spektral yoğunluk fonksiyonu hesaplanmaktadır. Şekil 10’da farklı zemin türleri için elde edilen filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modeli ile Erzincan depremi etkisindeki kablolu köprü örneği görülmektedir. Böylece Clough-Penzien [65] tarafından geliştirilen filtre edilmiş beyaz gürültü (FBG) modeli ile yumuşak, orta, ve sert zemin türleri için üniform hareket durumunda (38) denklemi kullanılarak elde edilen yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri ortalama maksimum değerleri, Şekil 11-14’de gerçek Erzincan Depremi için bulunan sonuçlarla karşılaştırılmaktadır. Orta zemin türü için filtre edilmiş beyaz gürültü modeli ile elde edilen tabliye ve kulelerdeki yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri, gerçek Erzincan depremi için bulunan sonuçlarla çoğu zaman üst üste çakışmaktadır. Bunun yanında Erzincan depremi için bulunan sonuçlar, filtre edilmiş beyaz gürültü modeli ile sert zemin türü için elde edilen sonuçlardan daha büyük çıkarken, yumuşak zemin türü için bulunan sonuçlardan daha küçük çıkmaktadır.

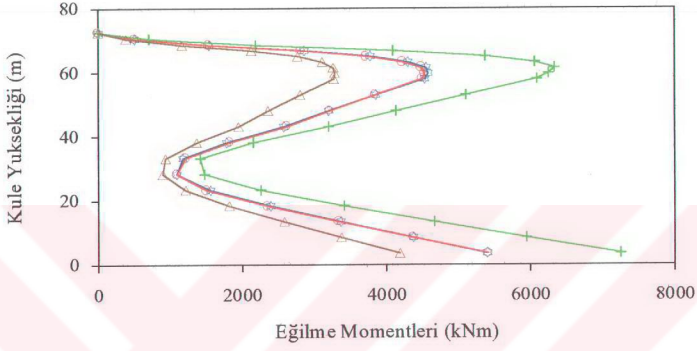
Böylece elde edilen sonuçlardan Clough-Penzien tarafından geliştirilen filtre edilmiş beyaz gürültü modelinin, gerçek yer hareketini oldukça iyi karakterize edebildiği gözlenmektedir.



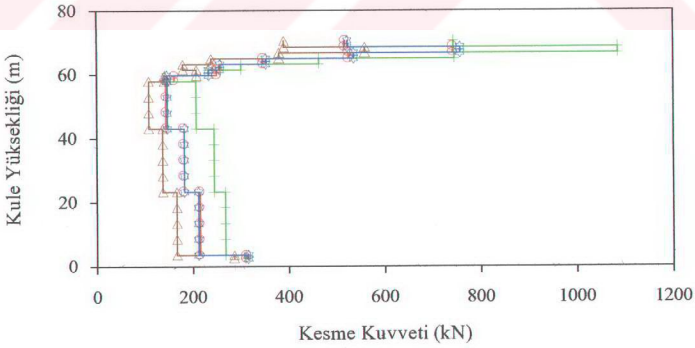
Şekil 10. Üniform yer hareketi etkisindeki kablolu köprü sistemi

- a) Orta zemin cinsi için filtre edilmiş beyaz gürültü spektral yoğunluk fonksiyonu
- b) Yumuşak zemin cinsi için filtre edilmiş beyaz gürültü spektral yoğunluk fonksiyonu
- c) Sert zemin cinsi için filtre edilmiş beyaz gürültü spektral yoğunluk fonksiyonu
- d) Erzincan depremi spektral yoğunluk fonksiyonu





Şekil 13. Jindo kulesi eğilme momentleri



Şekil 14. Jindo kulesi kesme kuvvetleri



### 3. BULGULAR ve İRDELEMELER

#### 3.1. Kablolu Köprünün Mesnetlendiği Zeminin Homojen Olması Halinde Dalga Yayılma ve Korelasyon Etkilerinin İncelenmesi

Bu bölümde kablolu köprünün üzerine inşa edildiği zemin ortamının tüm köprü açıklığı boyunca homojen olduğu kabul edilerek, değişen yer hareketi için kablolu köprünün stokastik analizi yapılmaktadır. Bu amaçla, zemin ortamının homojen olduğu, aşağıda belirtilen, üç farklı zemin için çözümler yapılmaktadır.

1. Orta zemin cinsi (O)
2. Yumuşak zemin cinsi (Y)
3. Sert zemin cinsi (S)

Çalışma boyunca zemin cinsini belirtmek amacıyla her bir zemin cinsinin yanında parantez içinde gösterilen harfler kullanılacaktır. Şekil 15'de zemin ortamının homojen olması durumunda değişen yer hareketi etkisindeki kablolu köprü sistemi görülmektedir. Her bir zemin cinsi durumunda mesnetlere yer hareketi olarak etkiyen spektral yoğunluk fonksiyonu zemin cinsine göre farklılık göstermektedir.

##### 3.1.1. Yer Hareketinin Özel Durumları

Zemin ortamının homojen olması durumunda mesnet noktaları arasındaki yer hareket ivmesi karşıt spektral yoğunluk fonksiyonu (49) denklemi ile ifade edilirken, (56) denklemi ile yazılan  $\gamma_{lm}(w)$  ifadesi için zemin etkisini gösteren  $\gamma_{lm}(w)^z$  terimi homojen zemin ortamı nedeni ile bire eşit olmaktadır. Bu bölümde (56) denklemine dikkate alınan korelasyon ve dalga yayılma etkilerinin yapı davranışı üzerindeki etkileri incelenmektedir. Bu amaçla yer hareketinin aşağıda verilen özel durumları dikkate alınmaktadır. Yer hareketi dalga yayılma hızı olarak bu bölümde  $v_{app} = 300, 600, 1200$  m/s hız değerleri kullanılacaktır.

1. **Durum:** İlk durum üniform yer hareketine karşılık gelmektedir. Bu durumda köprü sisteminin mesnet noktaları aynı yer hareketlerine maruz kalırken, yer hareketinin sonsuz hızla yayıldığı düşünülmektedir. Söz konusu durumda (56) denkleminde  $|\gamma_{lm}(w)|^k \gamma_{lm}(w)^d = 1$  eşitliği yazılabilmektedir.
2. **Durum :** Sadece dalga yayılma etkisi dikkate alınmaktadır. Bu durumda L ve M mesnet noktalarındaki yer hareketleri arasında korelasyon kaybının olmadığı, yer hareketleri arasında tam bir korelasyonun olduğu kabul edilmektedir. Başka bir ifade ile yer hareketi 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 mesnedinden M mesnedine belirli bir zaman farkı ile ulaşmaktadır. Bu durumda (56) denklemi için  $|\gamma_{lm}(w)|^k = 1$  eşitliği mevcuttur.
3. **Durum:** (56) denkleminde sadece korelasyon etkisi  $|\gamma_{lm}(w)|^k$  dikkate alınmaktadır. Bu durumda deprem hareketinin sonsuz hızla 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 değişerek ulaşması durumu irdelenmektedir. Söz konusu durumda  $\gamma_{lm}(w)^d = 1$  eşitliği yazılabilmektedir.
4. **Durum:** 3. ve 4. durumlarda ayrı ayrı dikkate alınan korelasyon ve dalga yayılma etkilerinin birlikte dikkate alındığı genel durum. Burada (56) denklemi için  $|\gamma_{lm}(w)|^k \neq 1$  ve  $\gamma_{lm}(w)^d \neq 1$  eşitsizlikleri mevcuttur.

Deprem hareketinin Jindo Adasındaki mesnet noktasından ana kıtadaki mesnet noktasına doğru yayıldığı kabul edilmektedir. Bu durumda  $d_{lm}^L = d_{lm}$  eşitliği mevcuttur. Yukarıda belirtilen çeşitli yer hareketi durumları için elde edilen çözümler sonucunda korelasyon ve dalga yayılma etkilerinin sonuçlar üzerindeki önemi irdelenirken, üniform yer hareketi kabulünün geçerliliği üzerinde de durulmaktadır.

### 3.1.2. Stasyoner Davranış

Bu bölümde istatistiksel özelliklerin zamandan bağımsız olduğu stasyonerlik kabulü yapılmaktadır. Deprem hareketi gibi farklı zamanlarda farklı istatistiklere sahip rasgele işlemler tüm hareket süresi boyunca stasyoner değildir. Ancak, en büyük yapı tepkilerinin olduğu saniyeler boyunca stasyonerlik kabulü yapılabilmektedir. Stasyoner bir modelin kullanılması işlemleri önemli ölçüde kolaylaştırdığı gibi bulunan sonuçlar da daha gerçekçi olmaktadır [73,74]. Stasyoner işlem için daha önce (29) denklemi ile ifade edilen frekans davranış fonksiyonu kullanılmaktadır.

#### 3.1.2.1. Yerdeğiştirmelerin Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması

Varyans değeri spektral yoğunluk fonksiyonunun alanına eşit olup, spektral yoğunluk fonksiyonu integre edilmek suretiyle bulunmaktadır. Toplam yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerinin varyans değerleri üç bileşenden oluşmaktadır. Bunlar, (30) denklemi ile ifade edilen dinamik tepki bileşeninin varyansı, (33) denklemi ile ifade edilen zahiri-statik tepki bileşeninin varyansı ve (35) denklemi ile gösterilen zahiri-statik ve dinamik tepki bileşenleri arasındaki kovaryans terimidir. Burada her bir tepki bileşeninin toplam tepkiye olan katkıları üzerinde durulmaktadır. (57) denklemi ile tanımlanan Harichandran ve Vanmarcke [89] korelasyon modeli bu çalışmada Model 1 olarak ifade edilirken, (59) denklemi ile tanımlanan Luco ve Wong [90] korelasyon modeli de Model 2 olarak belirtilecektir. Ayrıca varyans değerlerinin hesabında köprünün mesnetlendiği zemin cinsi için orta zemin cinsi dikkate alınırken, yer hareketi yayılma hızı için  $v_{app}=600$  m/s değeri kullanılmaktadır.

Şekil 16-17'de her iki korelasyon modeli için, (56) denklemi ile gösterilen dalga yayılma ve korelasyon etkilerinin birlikte dikkate alındığı genel durumda tespit edilen tabliye yerdeğiştirme bileşenlerine ait normalleştirilmiş varyans dağılımları karşılaştırılmaktadır. Normalleştirme işlemi varyans değerleri maksimum toplam varyans değerine bölünmek suretiyle gerçekleştirilmektedir. Normalleştirilmiş varyans değerleri yaklaşık olarak normalleştirilmiş ortalama maksimum değerlere eşit olmaktadır. Her iki model için de zahiri-statik bileşenin katkısının önemli olmakla birlikte yaklaşık olarak sabit olduğu gözlenmektedir. Özellikle orta açıklıkta temel katkıyı dinamik bileşen

sağlarken, kovaryans bileşenin orta açıklıkta az bir katkısının olduğu gözlenmektedir. Model 1 için en büyük yerdeğiştirmenin elde edildiği noktada zahiri-statik bileşenin katkısı %23 iken, dinamik bileşenin katkısı %71 ve kovaryans bileşenin katkısı %6 olmaktadır. Model 2 için bulunan oranlar ise sırasıyla, %21, %73 ve %6'dır. Şekil 18'de üniform yer hareketi için elde edilen tabliye yerdeğiştirme bileşenlerini görülmektedir. Düşey doğrultuda etkiyen üniform yer hareketi nedeni ile rijit cisim hareketi söz konusu olacağından zahiri-statik yerdeğiştirmeler sabit çıkmaktadır.

Tabliyede daha esnek olan köprü orta noktası ve civarında dinamik bileşen zahiri-statik bileşene oranla daha önemli olurken, mesnet noktaları civarındaki düğüm noktaları gibi rijit olan köprü kısımlarında zahiri-statik bileşenin dinamik bileşen kadar etkili olduğu gözlenmektedir.

Şekil 19'da (60) denklemi ile ifade edilen dalga yayılma etkisi dikkate alınmak sureti ile Jindo kulesinde elde edilen yerdeğiştirme varyans değerleri karşılaştırılmaktadır. Yerdeğiştirmeler büyük oranda dinamik bileşenden meydana gelirken, zahiri-statik ve kovaryans bileşenlerin katkılarının az olduğu gözlenmektedir. Sadece korelasyon etkisi (Model 1) için elde edilen yerdeğiştirmelere ise zahiri-statik ve dinamik bileşenlerin önemli katkıları olurken, kovaryans bileşenin katkısı önemsiz kalmaktadır (Şekil 20). Diğer korelasyon modeli (Model 2) için elde edilen değişime dikkat edilirse, elde edilen değişim üniform yer hareketi için bulunan değişimle paralellik içerisinde olup, toplam yerdeğiştirme bileşeni hemen hemen dinamik bileşenden meydana gelmektedir (Şekil 21). Burada Model 2 ile dikkate alınan korelasyon etkisinin yerdeğiştirmeler üzerinde fazla etkili olmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Dalga yayılma ve korelasyon etkilerinin birlikte dikkate alındığı genel durumda model 1 korelasyon etkisi için elde edilen yerdeğiştirmelerin, sadece korelasyon etkisi (Model 1) için bulunan değişimle paralellik içerisinde olduğu görülmektedir (Şekil 22). Genel durumda model 2 için bulunan yerdeğiştirmelere dikkat edilirse, sadece korelasyon etkisinin (Model 2) dikkate alındığı durumdaki değişim üniform harekete oldukça yakın olduğundan, genel durumdaki değişim dalga yayılma etkisi için elde edilen değişim tarafından belirlenmektedir (Şekil 23). Model 1 durumunda Jindo kulesi tepe noktasında zahiri-statik bileşenin katkısı %45 iken, dinamik bileşenin katkısı %49 ve kovaryans bileşenin katkısı %6'dır. Model 2 için elde edilen oranlar ise sırasıyla %13, %80 ve %7'dir. Böylece Harichandran ve Vanmarcke tarafından önerilen korelasyon etkisinin (Model 1) yerdeğiştirmeler üzerinde önemli etkileri olurken, Luco ve Wong tarafından ortaya konan korelasyon modelinin (Model 2) yerdeğiştirmeler

üzerinde fazla etkili olamadığı gerçeği ortaya çıkmaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi bu farklılık düşük frekanslardaki davranışlarından kaynaklanmaktadır. Model 2 için düşük frekanslarda tam korelasyonlu duruma yakın bir davranış gözlemlendiğinden, elde edilen değişimin üniform hareket sonucuna yakın olması doğaldır. Ayrıca üniform yer hareketi için Jindo kulesinde elde edilen yerdeğiştirmeler dinamik bileşenden oluşurken, zahiri-statik ve kovaryans bileşenlerin katkısı olmamaktadır (Şekil 24).

### 3.1.2.2. Eleman Kuvvetlerinin Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması

Bir önceki bölümde yerdeğiştirmeler için gerçekleştirilen işlemler, bu bölümde eleman kuvvetleri için yapılmaktadır. Bu amaçla yine Model 1 ve Model 2 korelasyon modelleri kullanılırken, zemin cinsi için olarak orta zemin cinsi ve yer hareketi yayılma hızı olarak  $v_{app}=600$  m/s değeri kullanılmaktadır.

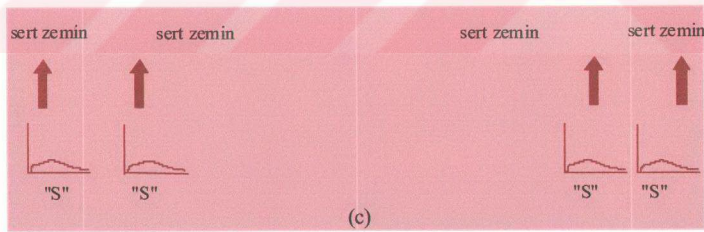
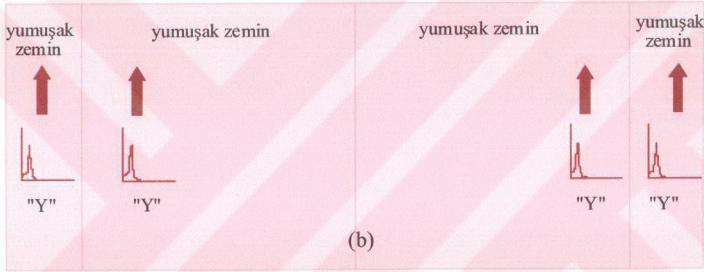
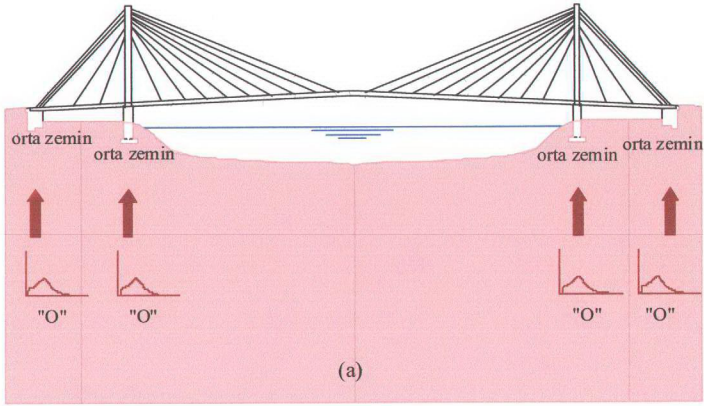
Şekil 25-26'da genel durumda tabliyede elde edilen eğilme momentlerinin normalleştirilmiş varyans değerleri karşılaştırılmaktadır. Her iki korelasyon modeli için elde edilen değişimlere dikkat edilirse, tabliye eğilme momentleri büyük oranda dinamik bileşenden ibaret olurken, zahiri-statik ve kovaryans bileşenlerin katkıları oldukça az olmaktadır. Model 1 durumunda en büyük eğilme momentinin oluştuğu noktadaki zahiri-statik bileşenin katkısı %7 iken, dinamik bileşenin katkısı %92 ve kovaryans bileşenin katkısı %1 olmaktadır. Aynı noktada Model 2 için bulunan oranlar ise sırasıyla %1,%101,-%2'dir. Üniform yer hareket durumunda ise rijit cisim hareketi nedeni ile toplam eğilme momentlerinin dinamik bileşenden ibaret olduğu gözlenmektedir (Şekil 27).

Şekil 28-30'da Jindo kulesinde elde edilen eğilme momentlerinin normalleştirilmiş varyans değerleri incelenmektedir. Sadece dalga yayılma etkisi dikkate alınmak sureti ile elde edilen değişim Şekil 28'de görülmektedir. Toplam eğilme momenti büyük oranda dinamik bileşenden meydana gelirken, kovaryans bileşenin negatif etkisi ortaya çıkmaktadır. Zahiri-statik bileşenin ise herhangi bir katkısının olmadığı gözlenmektedir. Genel durumda model 1 için elde edilen değişime dikkat edilirse en büyük katkıyı dinamik bileşen sağlarken, zahiri-statik bileşenin az bir miktar katkısı olmakta ve kovaryans bileşenin katkısı önemsiz kalmaktadır (Şekil 29). Genel durumda model 2 için elde edilen değişim de ise eğilme momentlerine en büyük katkıyı dinamik bileşen sağlarken, zahiri-statik ve kovaryans bileşenlerin katkıları önemsiz olmaktadır (Şekil 30). Model 1 için kule

taban noktasında zahiri-statik bileşenin katkısı %13 olurken, dinamik bileşenin katkısı %83 ve kovaryans bileşenin katkısı %4'dür. Aynı noktada Model 2 için elde edilen oranlar ise sırasıyla %2, %96 ve %2'dir. Dolayısıyla burada da Model 1 korelasyon etkisinin sonuçlar üzerinde etkili olduğu gözlenirken, Model 2 korelasyon etkisinin sonuçlar üzerinde fazla etkili olmadığı ortaya çıkmaktadır.

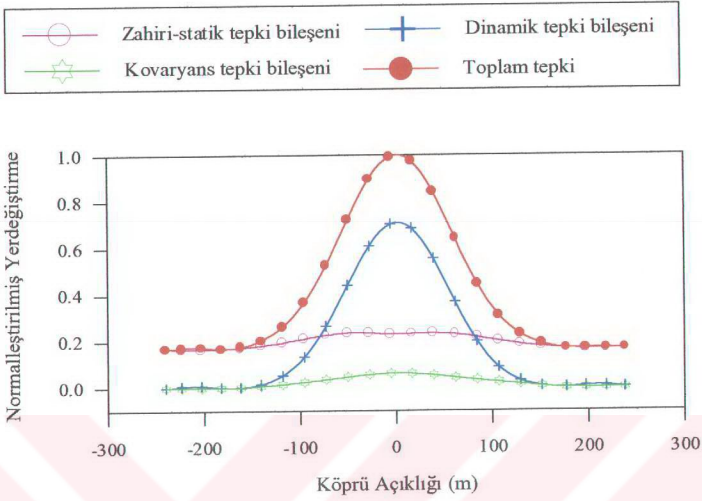
Şekil 31-33'de tabliyede genel durumda elde edilen kesme kuvveti ve normal kuvvetlerin normalleştirilmiş varyans değerleri karşılaştırılmaktadır. Her iki model için de kesme kuvveti ve normal kuvvetler hemen hemen dinamik bileşenden ibaret olurken, zahiri-statik ve kovaryans bileşenlerin oldukça az katkıları olmaktadır. Eleman kuvvetlerinin büyük oranda dinamik bileşenden meydana gelmesi köprü sisteminin esnek bir yapıda olduğuna işaret etmektedir.

Tabliye ve kulelerdeki normalleştirilmiş varyans dağılımlarından, yerdeğiştirmeler üzerinde dinamik bileşenin daha etkin olmakla birlikte zahiri-statik bileşenin de önemli katkılarının olduğu ortaya çıkarken, eleman kuvvetleri büyük oranda dinamik bileşenden meydana gelmektedir. Kovaryans bileşenin ise gerek yerdeğiştirme ve gerekse eleman kuvvetleri üzerinde fazla bir etkisinin olmadığı dikkati çekmektedir.

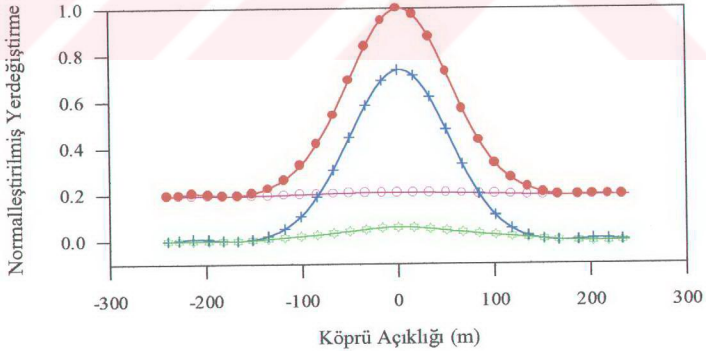


Şekil 15. Homojen zemin ortamında yer hareketi etkisindeki kablolu köprü sistemi

- OOOO zemin ortamı
- YYYY zemin ortamı
- SSSS zemin ortamı

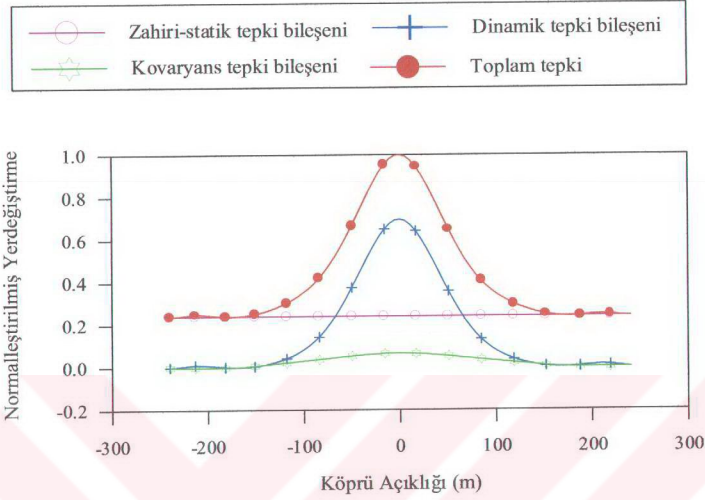


Şekil 16. Tabliye yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum-model 1)

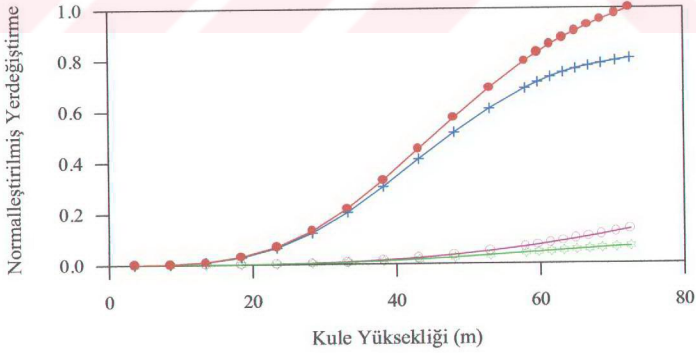


Şekil 17. Tabliye yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum-model 2)

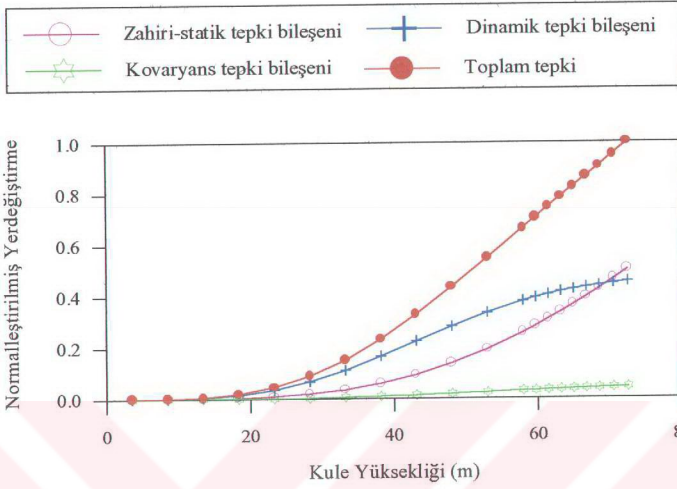




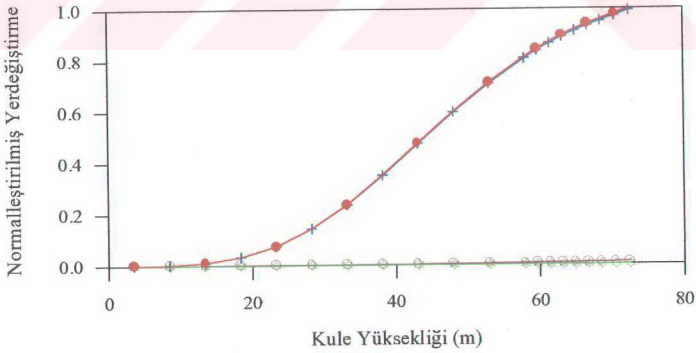
Şekil 18. Tabliye yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (üniform yer hareketi- $v_{app}=\infty$ )



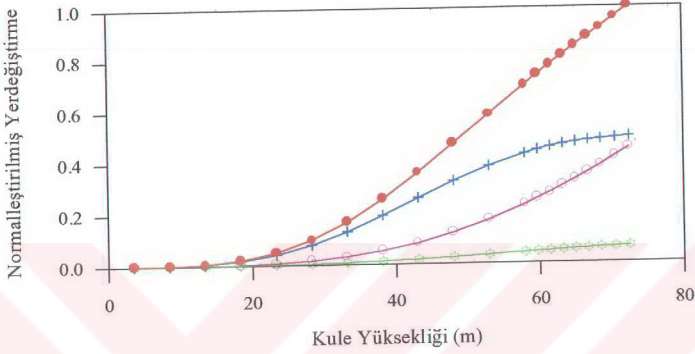
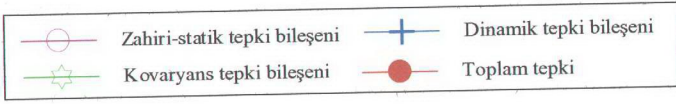
Şekil 19. Jindo kulesi yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (dalga yayılma etkisi- $v_{app}=600$  m/s)



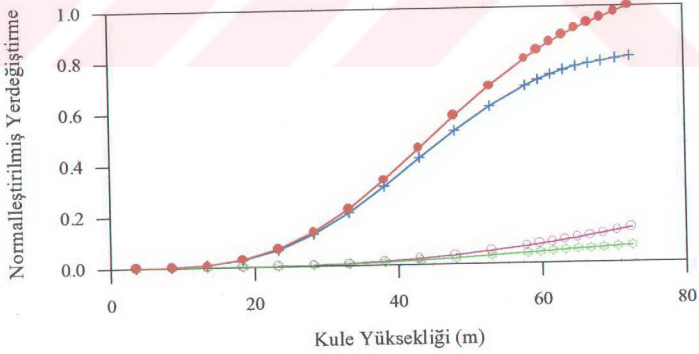
Şekil 20. Jindo kulesi yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (korelasyon etkisi-model 1)



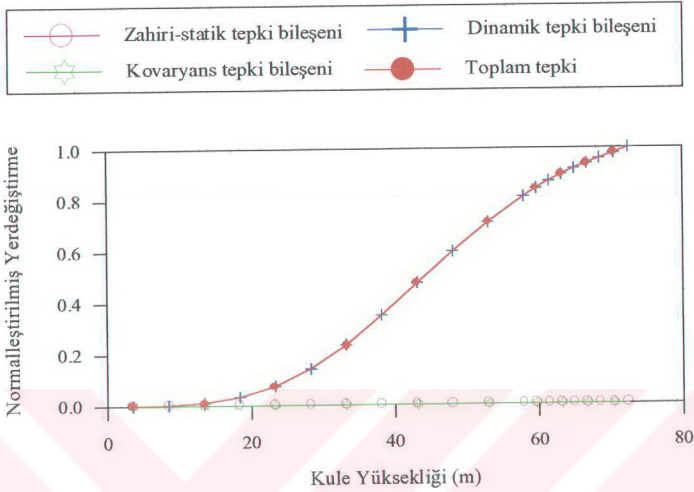
Şekil 21. Jindo kulesi yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (korelasyon etkisi-model 2)



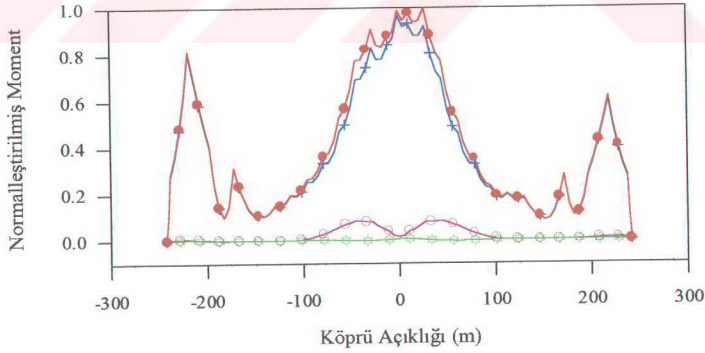
Şekil 22. Jindo kulesi yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum-model 1)



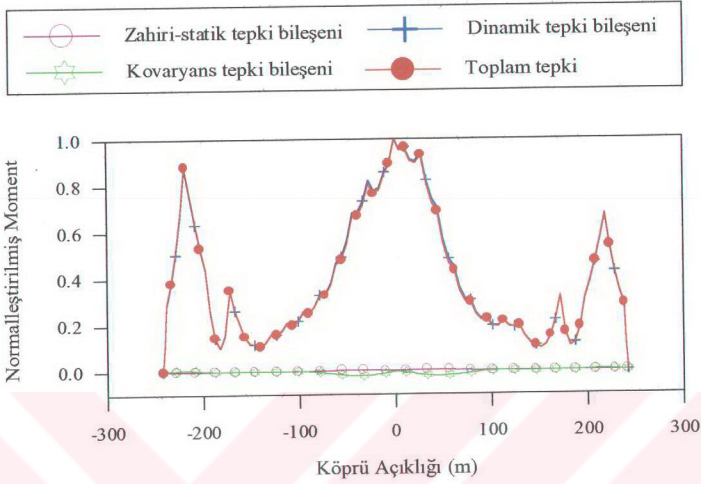
Şekil 23. Jindo kulesi yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum-model 2)



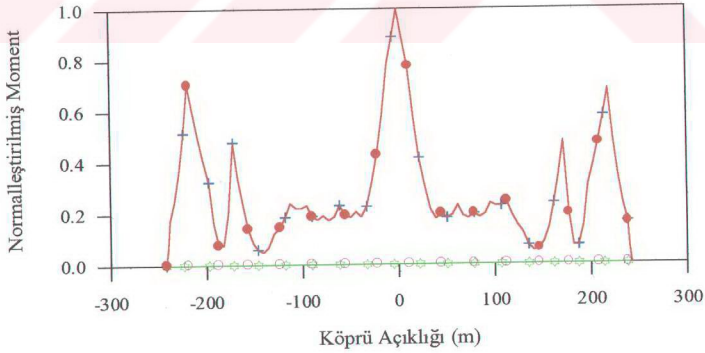
Şekil 24. Jindo kulesi yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (üniform yer hareketi- $v_{app}=\infty$ )



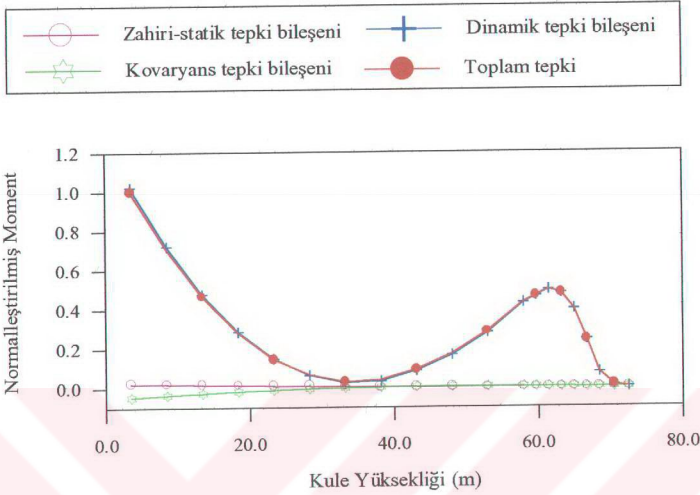
Şekil 25. Tabliye eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum-model 1)



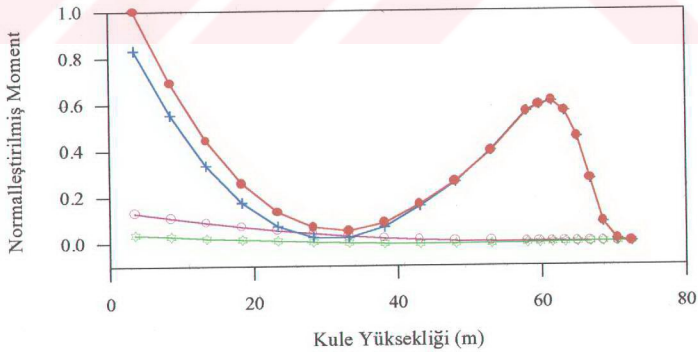
Şekil 26. Tabliye eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum- model 2)



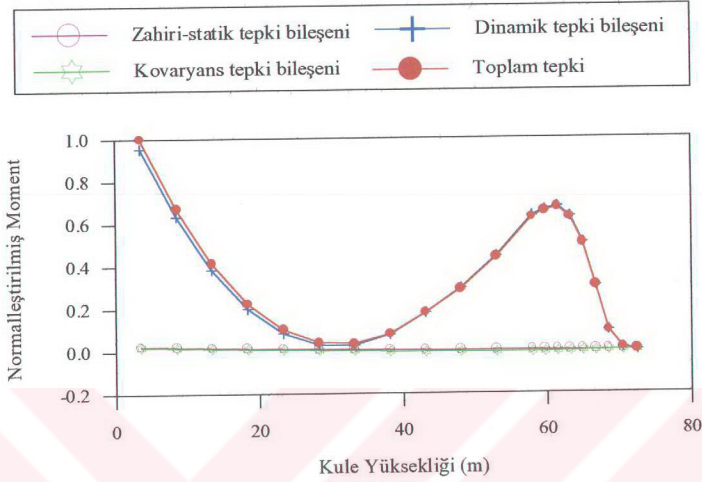
Şekil 27. Tabliye eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (üniform yer hareketi- $v_{app}$ =sonsuz)



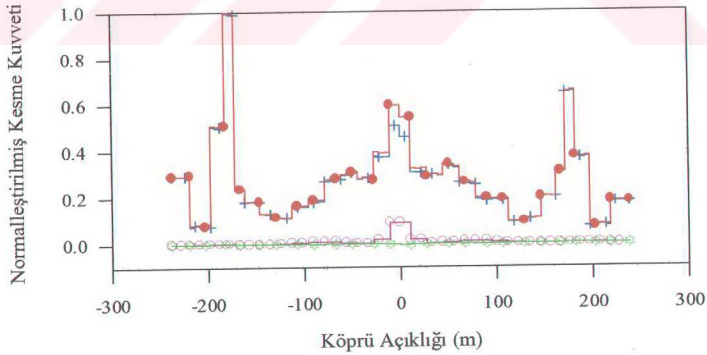
Şekil 28. Jindo kulesi eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (dalga yayılma etkisi-  $v_{app}=600$  m/s)



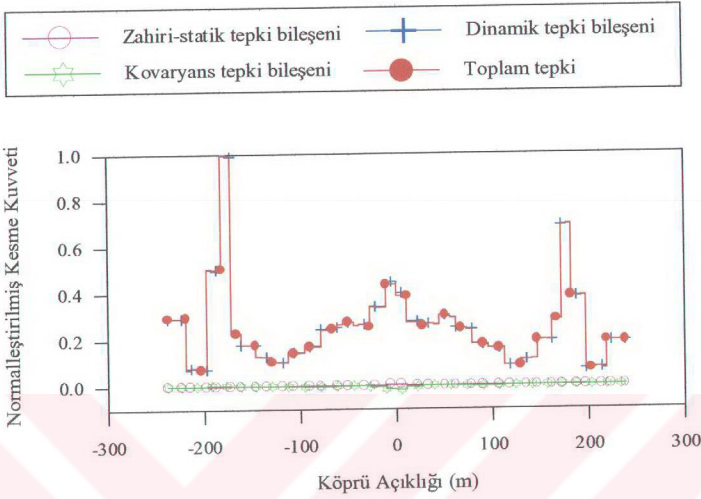
Şekil 29. Jindo kulesi eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum-model 1)



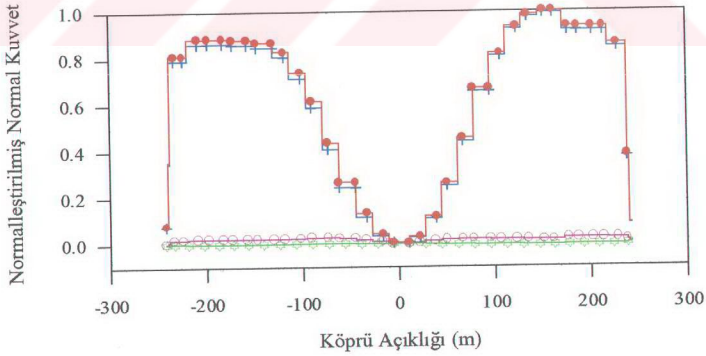
Şekil 30. Jindo kulesi eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum-model 2)



Şekil 31. Tabliye kesme kuvveti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum-model 1)



Şekil 32. Tabliye kesme kuvveti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum-model 2)



Şekil 33. Tabliye normal kuvvet bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum-model 1)



### 3.1.2.3. Homojen Zeminlerde Çeşitli Hızlar İçin Ortalama Maksimum Yerdeğiştirmelerin Karşılaştırılması

Bu bölümde daha önce (56) denklemi ile tanımlanan yer hareketinin özel durumları için ifade edilen üniform yer hareketi, dalga yayılma etkisi, korelasyon etkisi ve genel durumda tabliye ve kulelerde elde edilen ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam yerdeğiştirmeler karşılaştırılmaktadır. Çalışma boyunca elde edilecek olan yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri ortalama maksimum değerler olup, (38) denklemi ile hesaplanmaktadır. Burada, daha önce de ifade edildiği gibi yer hareketi dalga yayılma hızı olarak  $v_{app} = 300, 600, 1200$  m/s hız değerleri kullanılmaktadır. Yerdeğiştirmelerin yer hareketi yayılma hızına bağı olarak değişimi de bu bölümde irdelenirken, orta, sert ve yumuşak zemin cinsleri için ayrı ayrı çözümler yapılmaktadır.

Şekil 34-35'de her iki korelasyon modeli ve orta zemin cinsi için daha önce belirtilen yer hareketinin özel durumları dikkate alınarak ( $v_{app}=600$  m/s) elde edilen ortalama maksimum tabliye düşey yerdeğiştirmeleri karşılaştırılmaktadır.

Model 1 için merkez açıklıkta üniform yer hareketi için elde edilen yerdeğiştirmeler en küçük olurken, genel durumda bulunan yerdeğiştirmeler en büyük olmaktadır. Bunun yanında aynı bölgede dalga yayılma etkisi ve korelasyon etkisi dikkate alınarak elde edilen yerdeğiştirmeler birbirine yakın çıkmaktadır. Model 2 durumunda ise aynı bölgede üniform yer hareketi ve korelasyon etkisi için elde edilen yerdeğiştirmeler yaklaşık olarak aynı çıkarken, her iki durumda elde edilen yerdeğiştirmeler dalga yayılma etkisi ve genel durum için bulunan yerdeğiştirmelerden küçük çıkmaktadırlar. Her iki korelasyon modeli için Jindo Adası tarafındaki kenar açıklıkta elde edilen yerdeğiştirmelerin birbirine yakın olduğu gözlenirken, ana kıta tarafındaki kenar açıklıkta üniform yer hareketi ve korelasyon etkisi için elde edilen yerdeğiştirmelerin, dalga yayılma etkisi ve genel durum için bulunan sonuçlardan daha büyük çıktığı gözlenmektedir. Model 1 için tabliye orta noktasında genel durumda elde edilen yerdeğiştirme değeri üniform harekete oranla %18 daha büyük olurken, dalga yayılma ve korelasyon etkileri için elde edilen değerler üniform harekete oranla %11 daha fazla çıkmaktadır. Model 2 için aynı noktada genel durum ve dalga yayılma etkisi için hesaplanan değerler üniform yer hareketi ve korelasyon etkisi için bulunan değerlerden %11 daha büyük olmaktadır. Model 1 için ana kıta tarafındaki kenar açıklıkta en büyük yerdeğiştirmenin olduğu noktada üniform hareket için elde edilen

yerdeğiştirme değeri genel duruma oranla %7 daha fazla olurken, korelasyon etkisi için hesaplanan yerdeğiştirme değeri genel duruma oranla %6 daha fazla çıkmaktadır.

Őekil 36-37'de orta zemin cinsi için  $v_{app}=300$  m/s olması durumundaki tabliye dūřey yerdeğiřtirmeleri her iki korelasyon modeli için karřılařtırılmaktadır. Her iki model için elde edilen deęiřim de  $v_{app}=600$  m/s için bulunan deęiřimle paralellilik içerisinde olmakla birlikte, Model 1 durumunda dalga yayılma etkisi için bulunan yerdeğiřtirmelerin merkez açıklıkta korelasyon etkisi dikkate alınarak bulunan yerdeğiřtirmelerden genellikle daha būyūk olduęu gōzlenmektedir. Ayrıca Model 2 durumunda merkez açıklıkta dalga yayılma etkisi dikkate alınarak elde edilen yerdeğiřtirmeler genel durum için bulunan yerdeğiřtirmelerden çok az da olsa būyūk çıkmaktadır.

Őekil 38-39'da orta zemin cinsi için  $v_{app}=1200$  m/s olması durumunda her iki korelasyon modeli için elde edilen tabliye dūřey yerdeğiştirmeleri karşılaştırılmaktadır. Model 1 durumunda daha önce dikkate alınan hızlar için elde edilen değişimden farklı olarak merkez açıklıkta korelasyon etkisi için bulunan yerdeğiştirmelerin dalga yayılma etkisi için bulunan sonuçlardan būyūk olduğu dikkati çekerken, kenar açıklıklarda elde edilen yerdeğiştirmeler yaklaşık olarak aynı olmaktadır. Model 2 durumunda ise daha önce elde edilen değişimler burada da geçerli olurken, kenar açıklıklarda elde edilen yerdeğiştirmelerin yaklaşık olarak aynı olduğu gōzlenmektedir.

Dolayısıyla, Model 1 durumunda yer hareketi yayılma hızının dūřūk olduęu durumlarda dalga yayılma etkisi için elde edilen yerdeğiřtirme deęerleri korelasyon etkisi için bulunan yerdeğiřtirmelere oranla daha būyūk olurken, yer hareketi yayılma hızının artması ile birlikte dalga yayılma etkisi azalmakta ve bu durumda korelasyon etkisi dikkate alınarak elde edilen yerdeğiřtirmeler dalga yayılma etkisi için bulunan sonuçlardan daha būyūk olmaktadır. Model 2 durumunda ise yer hareketi yayılma hızındaki deęiřimin sōz konusu yerdeğiřtirmelerdeki deęiřimi fazla etkilemedięi gōrūlmektedir.

Őekil 40'da çeşitli yer hareketi yayılma hızları için genel durumda (Model 1) orta zemin cinsi için elde edilen tabliye dūřey yerdeğiştirmeleri incelenmektedir. Yer hareket hızının sonsuz olması durumunda merkez açıklıkta elde edilen yerdeğiştirmeler en kūūk çıkarken, yer hareket hızının azalması ile birlikte yerdeğiştirmeler artmaktadır. Dięer yandan kenar açıklıklarda merkez açıklık için elde edilen değişimin tam tersi bir durum sōz konusu olmaktadır. Bu bōlgede sonsuz hız değeri için elde edilen yerdeğiştirmeler daha būyūk olurken, yer hareket hızının azalması ile yerdeğiştirmelerin de azaldığı

gözlenmektedir. Bu durum kenar açıklıklardaki zahiri-statik yerdeğiştirme bileşenlerinin değişiminden kaynaklanmaktadır.

Şekil 41'de  $v_{app}=600$  m/s yer hareketi yayılma hızı için genel durumda (Model 1) farklı zemin cinsleri dikkate alınarak elde edilen tabliye zahiri-statik düşey yerdeğiştirme bileşenleri karşılaştırılmaktadır. Burada yumuşak zemin cinsi durumunda ki değerler en büyük olurken, sert zemin cinsi için bulunan değerler en küçük olmaktadır. Yumuşak zemin cinsi için elde edilen değerlerin en büyük olması, Şekil 3'de gözlemlenebileceği gibi zemin yerdeğiştirme varyansının yada başka bir ifade ile toplam gücünün orta ve sert zemin cinsine ait varyans değerlerinden büyük olması ile açıklanabilmektedir. Çünkü (33) denklemi ile hesaplanan zahiri-statik bileşenin varyansı görüleceği üzere  $w^4$ 'e bölünmek sureti ile yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonuna bağlı olarak belirlenmektedir. Sert zemin cinsine ait yerdeğiştirme varyans değeri Şekil 3'de görüldüğü gibi en küçük olduğundan, bu durumdaki zahiri-statik yerdeğiştirmelerin en küçük olması doğaldır.

Şekil 42'de farklı zemin cinsleri için elde edilen tabliye dinamik düşey yerdeğiştirme bileşenleri incelenmektedir. Yumuşak zemin cinsi için elde edilen yerdeğiştirmeler en büyük olurken, sert zemin cinsi durumundaki yerdeğiştirmeler en küçük olmaktadır. Orta zemin cinsi için elde edilen yerdeğiştirmeler, yumuşak ve sert zemin cinsi için elde edilen yerdeğiştirmeler arasında kalmaktadır. Şekil 2'de yumuşak zemin cinsi için elde edilen ivme spektral yoğunluk fonksiyonunun dar bir frekans aralığında olduğu gözlenirken, orta zemin cinsi durumunda söz konusu fonksiyonun daha geniş bir frekans aralığına sahip olduğu anlaşılmaktadır. Sert zemin cinsi durumunda ise yoğunluk fonksiyonunun frekans genişliği çok daha geniş olurken, yüksek frekanslardan önemli katkılar almaktadır. Bunun yanında her bir zemin cinsine ait yer hareket ivmesi varyans değerlerinin birbirine eşit olması dikkati çeken başka bir noktadır. Yumuşak zemin cinsi durumunda elde edilen yerdeğiştirmelerin en büyük olması, yerdeğiştirmelere önemli katkılar sağlayan ilk modlara ait frekansların yumuşak zemin cinsine ait ivme spektral yoğunluk fonksiyonunun enerji olarak yoğun olduğu frekans bölgesine rastlamasından kaynaklanmaktadır. Orta zemin cinsi durumunda ise söz konusu modların bir kısmı spektral yoğunluk fonksiyonunun enerji olarak yoğun olduğu bölgeye rastlamaktadır. Dolayısıyla orta zemin cinsi için elde edilen yerdeğiştirmelerin azalması doğaldır. Sert zemin cinsi durumunda ise yerdeğiştirmelere en büyük katkıyı sağlayan modlara ait frekanslara karşılık gelen spektral yoğunluk fonksiyonunun enerji içeriği iyice

azaldığından yerdeğiştirmeler önemli derecede azalmıştır. Sonuç olarak ivme spektral yoğunluk fonksiyonunun sonuçlar üzerinde önemli etkilerinin olduğu ortaya çıkmaktadır.

řekil 43’de ise farklı zemin cinsleri için bulunan tabliye toplam dűşey yerdeğiřtirmeleri görűlmektedir. Zahiri-statik ve dinamik bileřenler için yumuřak zeminde elde edilen deđerler en büyük olduđundan toplam bileřenler için de en büyük olmaktadır. Orta zemin cinsi için bulunan deđerler daha küçük olurken, sert zemin cinsi durumundaki yerdeğiřtirmeler en küçük kalmaktadır.

Dolayısıyla zahiri-statik bileşenler yer hareketinin yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonuna duyarlı olurken, dinamik bileşenlerin yer hareketinin ivme spektral yoğunluk fonksiyonuna bağlı olduğu ortaya çıkmaktadır.

şekil 44’de tabliye zahiri-statik dűşey yerdeğiştirmeleri genel durumda farklı korelasyon modelleri ve üniform yer hareketi için karşılaştırılmaktadır. Burada üniform yer hareketi için rijit cisim hareketi söz konusu olduğundan, zahiri-statik yerdeğiştirme bileşenleri sabit çıkmaktadır. Merkez açıklıkta üniform yer hareketi için elde edilen zahiri-statik yerdeğiştirme bileşenleri en küçük olurken, kenar açıklıklarda söz konusu bileşenler en büyük olmaktadır. Merkez açıklıkta Model 1 için elde edilen yerdeğiştirmeler Model 2 sonuçlarından büyük çıkarken, kenar açıklıklarda tersi durum söz konusudur. şekil 45’de ise tabliyedeki dinamik yerdeğiştirme bileşenleri incelenmektedir. Burada kenar açıklıklarda yaklaşık olarak aynı değerler elde edilirken, merkez açıklıkta üniform hareket için bulunan yerdeğiştirmeler en küçük ve Model 1 için elde edilen değerler en büyük olmaktadır.

şekil 46-47’de tabliyedeki toplam yerdeğiştirme bileşenleri üzerinde durulmaktadır. Burada üniform hareket için elde edilen yerdeğiştirmeler toplam yerdeğiştirmeler cinsinden yazılmakla birlikte, zahiri-statik bileşenlerin yapı sisteminde eleman kuvvetleri oluşturmayacağı da göz önünde bulundurulmalıdır. Tabliye merkez açıklığında genel durumda her iki korelasyon modeli için bulunan yerdeğiştirmelerin karşılaştırılması sonucu Model 1 için elde edilen yerdeğiştirmelerin daha büyük olduğu ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında üniform yer hareketi için bulunan sonuçların en küçük olduğu gözlenmektedir. Ana Kıta tarafındaki kenar açıklıkta ise tersi bir durum söz konusu olmaktadır. Bu açıklıkta üniform hareket için elde edilen yerdeğiştirmeler en büyük olurken, Model 2 için bulunan sonuçların Model 1 ile bulunan yerdeğiştirmelerden büyük olduğu gözlenmektedir. Bu durum üniform yer hareketi için zahiri-statik yerdeğiştirmelerin kenar açıklıklarda en büyük olmasından ve dinamik bileşenlerin bu bölgede yaklaşık olarak aynı olmasından

kaynaklanmaktadır. Ayrıca kenar açıklıklarda Model 2 için elde edilen zahiri-statik yerdeğiştirmelerin Model 1 ile bulunan değerlerden büyük olması, Model 2 için kenar açıklıkta elde edilen toplam yerdeğiştirmelerin Model 1 sonuçlarından büyük olmasına neden olmuştur. Merkez açıklığın orta noktasında Model 2 ile elde edilen yerdeğiştirme bileşenleri üniform yer hareketine oranla %11.4 artarken, Model 1 ile elde edilen yerdeğiştirmeler %18 artmaktadır. Bunun yanında kenar açıklıkta en büyük yerdeğiştirmenin oluştuğu noktada Model 1 ile bulunan değerler üniform harekete göre %6.9 azalırken, Model 2 için bulunan sonuçlar %5.9 azalmaktadır. Model 1 ve Model 2 korelasyon modelleri arasındaki farklılığın yerdeğiştirmeler üzerinde en çok etkili olunan düşük frekanslardaki davranışlarından kaynaklandığı düşünölmektedir. Model 2 düşük frekanslarda tam korelasyonlu duruma yakın olurken, frekansın sıfır değeri için dahi Model 1’de kısmi korelasyon söz konusu olmaktadır. Dolayısıyla düşük frekanslarda kısmi korelasyonun söz konusu olduğu Model 1 ile bulunan yerdeğiştirmeler, bu bölgede tam korelasyon gösteren Model 2 sonuçlarından büyük çıkmaktadır. Ayrıca tüm frekans bölgesi boyunca tam korelasyonun söz konusu olduğu üniform yer hareketi durumunda genellikle en küçük yerdeğiştirmeler elde edilmektedir.

şekil 48’de orta zemin cinsi için  $v_{app}=600$  m/s olması durumunda Model 1 için elde edilen Jindo kulesi zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri incelenmektedir. Üniform hareket için rijit cisim hareketi nedeni ile zahiri-statik yerdeğiştirmeler sıfır olurken, dalga yayılma etkisi için bulunan değerler korelasyon etkisi için elde edilen değerlerden küçük çıkmaktadır. Kule tepe noktasında korelasyon etkisi için bulunan değer dalga yayılma etkisi için hesaplanan değerden %80 daha fazla olmaktadır. Genel durumdaki değerler ise göröleceği üzere en büyüktür. Aynı kuledeki dinamik yerdeğiştirmelere (şekil 49) dikkat edilirse, üniform yer hareketi için bulunan değerler en küçük olurken genel durumdaki değerler en büyük olmaktadır. Zahiri-statik yerdeğiştirme bileşeninden farklı olarak dalga yayılma hızı için elde edilen değerler korelasyon etkisi için bulunan sonuçlardan daha büyük çıkmaktadır. Kule tepe noktasında dalga yayılma etkisi için elde edilen dinamik yerdeğiştirme değeri korelasyon etkisi için bulunan değerden %11 daha büyüktür. Dolayısıyla korelasyon etkisi için zahiri-statik bileşen daha önemli olurken, dalga yayılma etkisi için dinamik bileşen daha etkin olmaktadır.

Jindo kulesi toplam yerdeğiştirme bileşenleri ise şekil 50’de karşılaştırılmaktadır. Üniform yer hareketi için elde edilen yerdeğiştirmeler en küçük olurken, genel durumda bulunan değerler en büyük olmaktadır. Özellikle zahiri-statik bileşenlerin etkisi ile dalga

yayıma etkisi için bulunan toplam yerdeğiştirmelerin korelasyon etkisi için bulunan değerlerden küçük olduğu görölmektedir. Kule tepe noktasında genel durumda bulunan yerdeğiştirme değeri üniform harekete oranla %89 daha fazla olurken, korelasyon etkisi için elde edilen değer %62 ve dalga yayılma hızı için belirlenen değer %50 daha fazla olmaktadır.

Yer hareketi yayılma hızının  $v_{app}=1200$  m/s olması durumunda elde edilen zahiri-statik, dinamik ve toplam yerdeğiştirmeler Şekil 51-53'de karşılaştırılmaktadır. Burada yer hareketi yayılma hızının artması ile dalga yayılma etkisi için elde edilen zahiri-statik ve dinamik bileşenlerin korelasyon etkisine oranla azaldığı gözlenmektedir. Bunun yanında korelasyon etkisi dikkate alınarak bulunan değerlerin genel durum için elde edilen yerdeğiştirmelere yaklaştığı ortaya çıkmaktadır.

Yer hareketi yayılma hızının  $v_{app}=300$  m/s olması durumunda (Şekil 54-56) elde edilen değişime dikkat edilirse dalga yayılma etkisi için bulunan zahiri-statik bileşenler, korelasyon etkisi için elde edilen değerlerle çakışmaktadır. Bunun yanında dalga yayılma etkisi için elde edilen dinamik yerdeğiştirmeler korelasyon etkisine oranla çok daha büyük olduğundan, dalga yayılma etkisi için elde edilen toplam yerdeğiştirmeler de daha büyük çıkmaktadır.

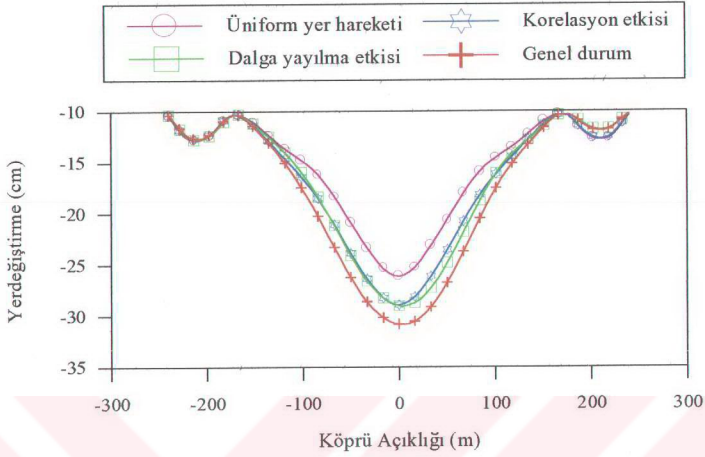
Yer hareketi yayılma hızının yüksek olduğu durumlarda korelasyon etkisi için elde edilen zahiri-statik yerdeğiştirmeler, dalga yayılma etkisi için bulunan değerlerden büyük olurken, yer hareketi yayılma hızının küçük olduğu durumlarda dalga yayılma etkisi için elde edilen değerler korelasyon etkisi için bulunan değerlere yaklaşmaktadır. Dinamik bileşenlerde ise yüksek hızlarda korelasyon etkisi için bulunan değerler büyük olurken, düşük hızlarda dalga yayılma etkisi için elde edilen değerler daha büyük olmaktadır. Ayrıca yer hareketi yayılma hızının artması ile birlikte gerek zahiri-statik gerekse dinamik yerdeğiştirmelerin azaldığı gözlenmektedir.

Şekil 57-59'da orta zemin cinsi için  $v_{app}=600$  m/s olması durumunda Model 2 için elde edilen Jindo kulesi zahiri-statik, dinamik ve toplam yatay yerdeğiştirme bileşenleri karşılaştırılmaktadır. Burada Model 1'den farklı olarak korelasyon etkisi için elde edilen zahiri-statik bileşenler dalga yayılma etkisi için bulunan değerlerden küçük çıkmaktadır. Dinamik bileşenler için de dalga yayılma etkisi için bulunan değerler korelasyon etkisine oranla daha büyük olmaktadır. Toplam yerdeğiştirme bileşenlerine dikkat edilirse üniform yer hareketi durumunda bulunan yerdeğiştirmeler korelasyon etkisinin dikkate alındığı durumdaki yerdeğiştirmelere oldukça yakın olurken, genel durumda bulunan

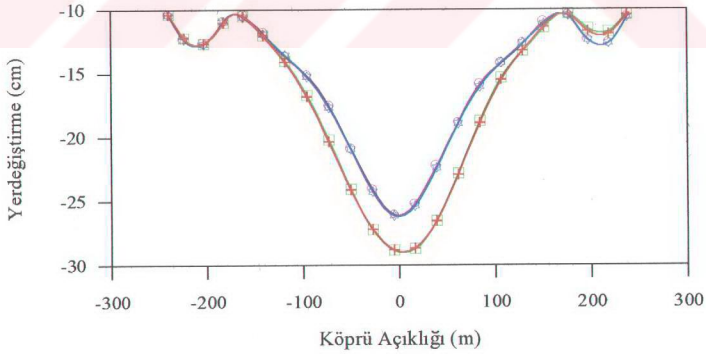
yerdeşiftirmeler dalga yayılma etkisi için elde edilen sonuçlara yakın çıkmaktadır. Bunun yanında üniform yer hareketi için bulunan değerler en küçük olurken, genel durumdaki yerdeşiftirmeler genellikle en büyük çıkmaktadır. Kule tepe noktasında genel durumda bulunan yerdeşiftirme değeri üniform harekete oranla %44 daha fazla olurken, dalga yayılma hızı için belirlenen değer %43 ve korelasyon etkisi için elde edilen değer %2 daha fazla olmaktadır. Dolayısıyla Model 2 korelasyon etkisinin sonuçlar üzerinde fazla etkili olmadığı ortaya çıkmaktadır.

Şekil 60'da genel durumda ve orta zemin cinsi için Jindo kulesinde farklı hızlar için elde edilen yerdeşiftirme bileşenleri (Model 1) görölmektedir. Yer hareketi yayılma hızının sonsuz olması durumunda bulunan yerdeşiftirmeler en küçük olurken, yer hareketi yayılma hızının azalmasıyla birlikte yerdeşiftirmeler artmaktadır.

Şekil 61'de Jindo kulesinde genel durumda her iki korelasyon modeli ve üniform yer hareketi için elde edilen yerdeşiftirme değerleri karşılaştırılmaktadır. Üniform yer hareketi için bulunan değerler en küçük olurken, Model 1 durumundaki yerdeşiftirmeler en büyük olmaktadır. Jindo kulesi tepe noktasında Model 2 için bulunan yerdeşiftirmeler üniform harekete oranla %44.3 artarken, Model 1 ile elde edilen yerdeşiftirmelerin %89 arttığı gözlenmektedir.

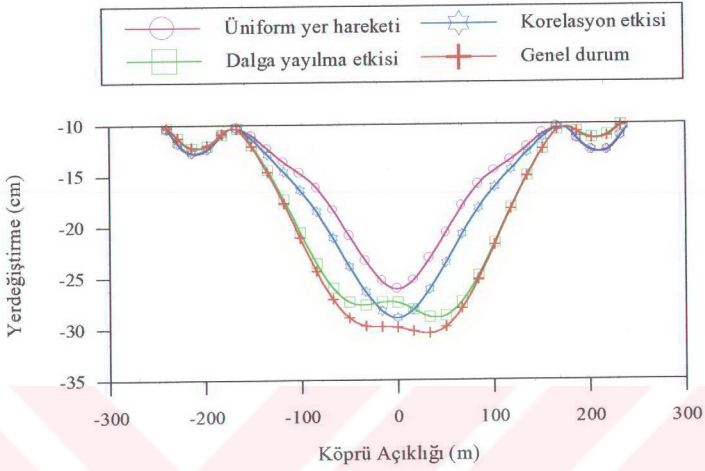


Şekil 34. Tabliye toplam yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=600$  m/s- orta zemin cinsi- model 1)

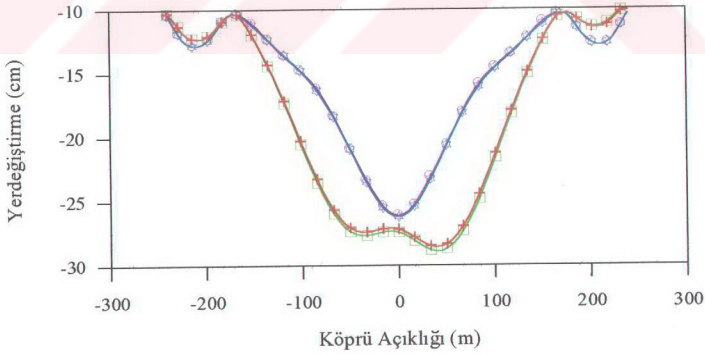


Şekil 35. Tabliye toplam yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=600$  m/s- orta zemin cinsi- model 2)

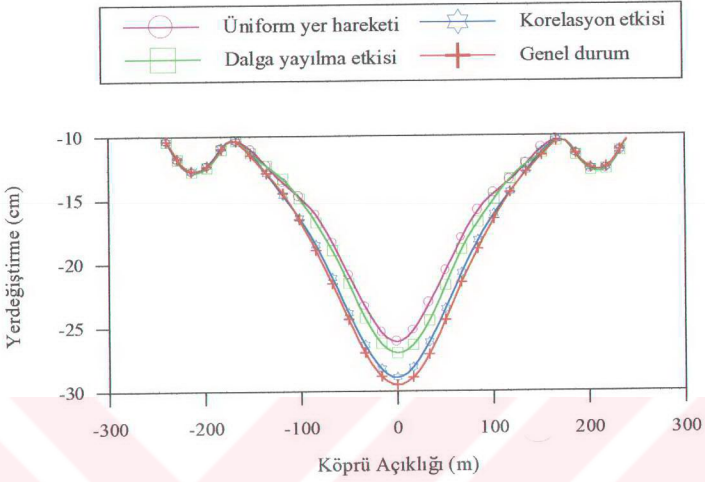




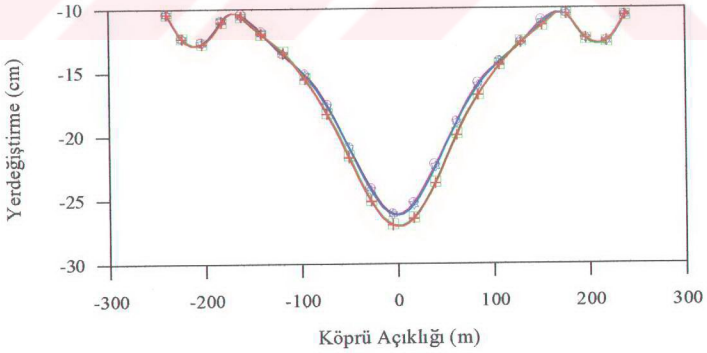
Şekil 36. Tabliye toplam yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=300$  m/s- orta zemin cinsi- model 1)



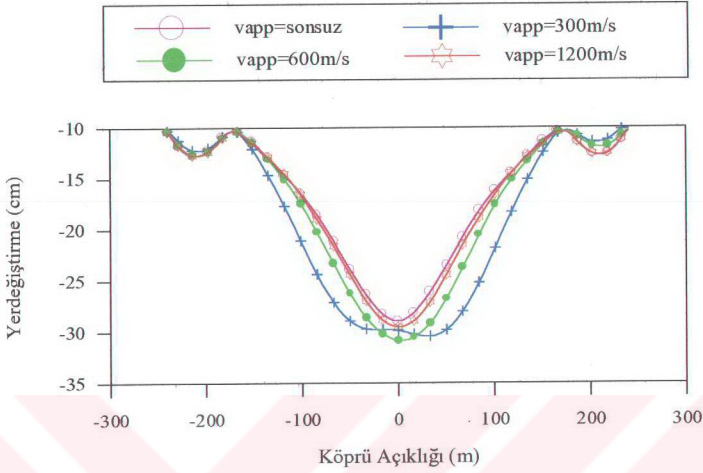
Şekil 37. Tabliye toplam yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=300$  m/s- orta zemin cinsi- model 2)



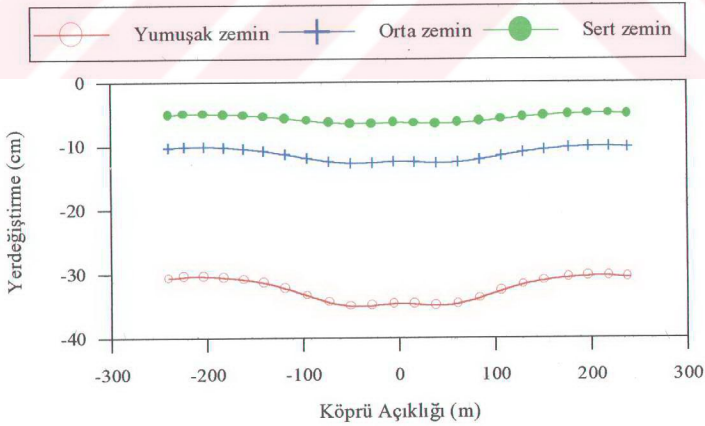
Şekil 38. Tabliye toplam yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=1200$  m/s- orta zemin cinsi- model 1)



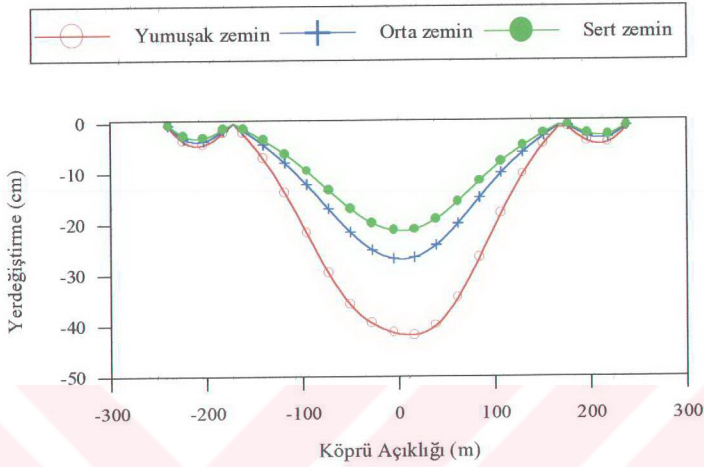
Şekil 39. Tabliye toplam yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=1200$  m/s- orta zemin cinsi- model 2)



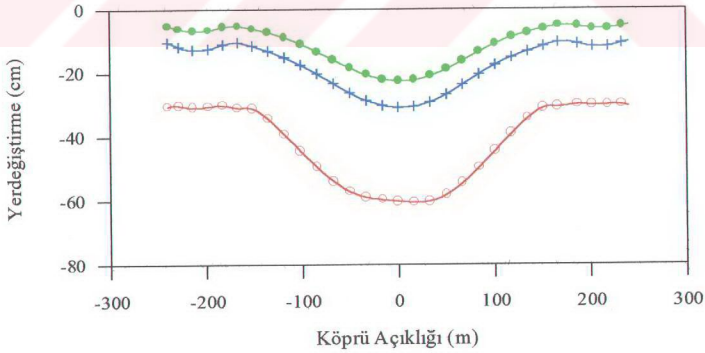
Şekil 40. Çeşitli yayılma hızları için tabliye toplam yerdeğiştirmeleri (genel durum-orta zemin cinsi-model 1)



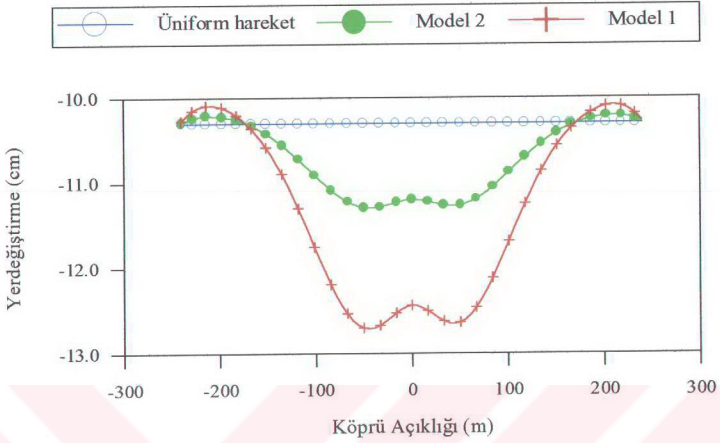
Şekil 41. Farklı zemin cinsleri için tabliye zahiri-statik yerdeğiştirmeleri (genel durum- $v_{app}=600 \text{ m/s}$ - model 1)



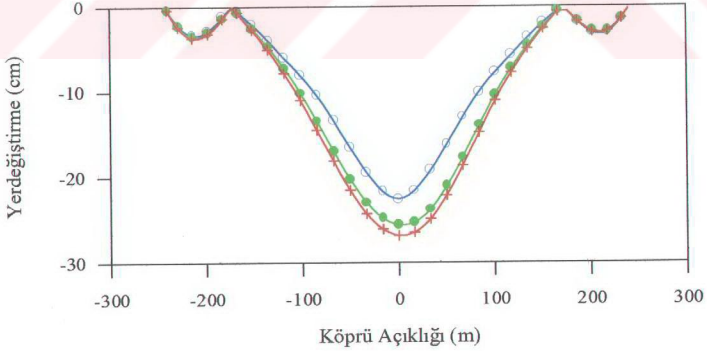
Şekil 42. Farklı zemin cinsleri için tabliye dinamik yerdeğiştirmeleri (genel durum-  $v_{app}=600$  m/s- model 1)



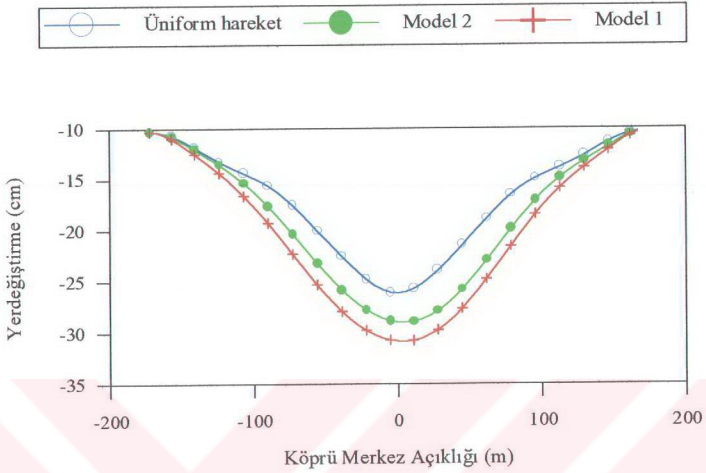
Şekil 43. Farklı zemin cinsleri için tabliye toplam yerdeğiştirmeleri (genel durum-  $v_{app}=600$  m/s- model 1)



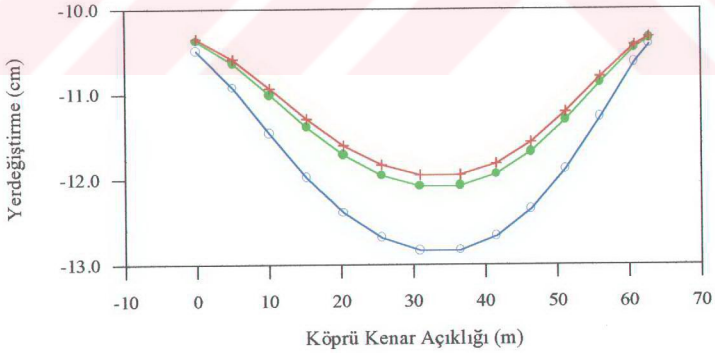
Şekil 44. Farklı korelasyon modelleri için tabliye zahiri-statik yerdeğiştirmeleri (genel durum- $v_{app}=600$  m/s- orta zemin cinsi)



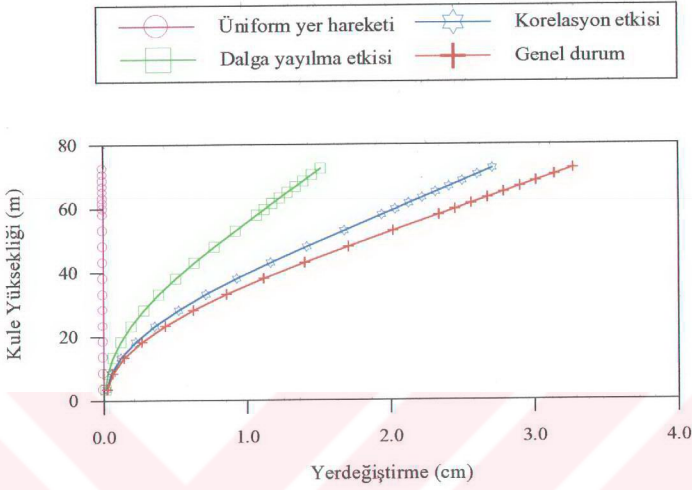
Şekil 45. Farklı korelasyon modelleri için tabliye dinamik yerdeğiştirmeleri (genel durum- $v_{app}=600$  m/s-orta zemin cinsi)



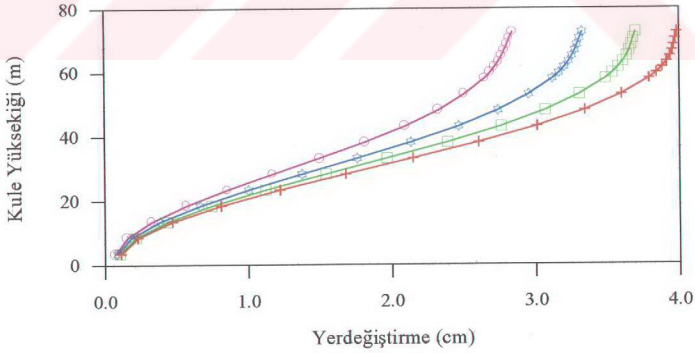
Şekil 46. Farklı korelasyon modelleri için merkez açıklık toplam yerdeğiştirmeleri (genel durum- $v_{app}=600$ m/s-orta zemin cinsi)



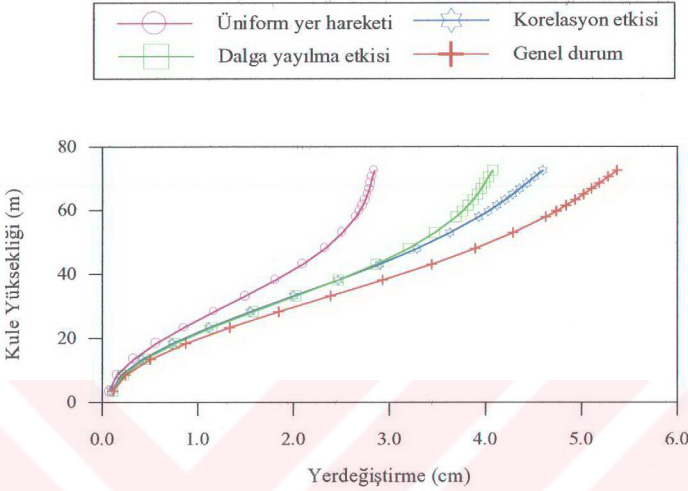
Şekil 47. Farklı korelasyon modelleri için ana kıta kenar açıklık toplam yerdeğiştirmeleri (genel durum- $v_{app}=600$  m/s-orta zemin cinsi)



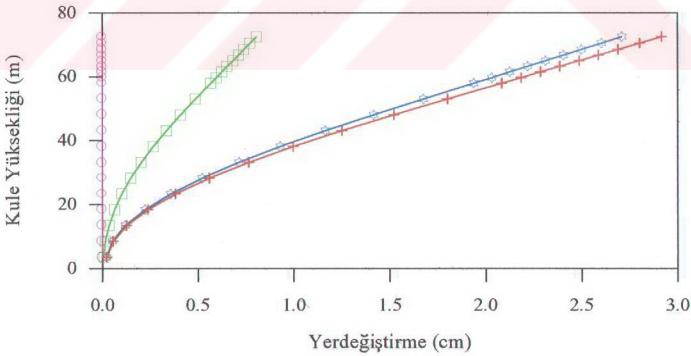
Şekil 48. Jindo kulesi zahiri-statik yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=600$  m/s- orta zemin cinsi-model 1)



Şekil 49. Jindo kulesi dinamik yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=600$  m/s- orta zemin cinsi-model 1)

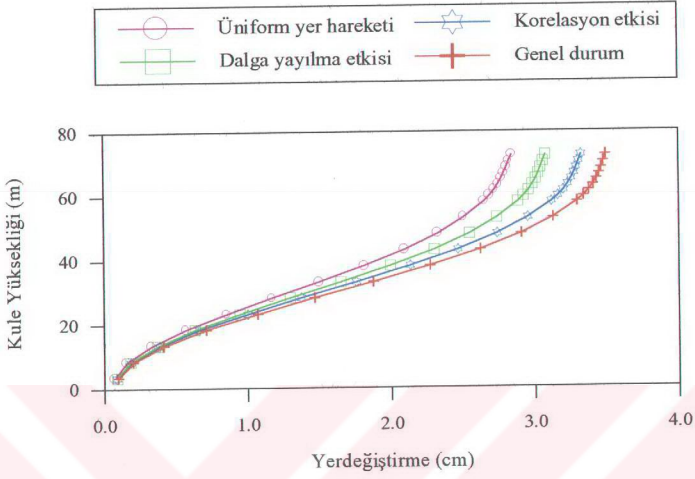


Şekil 50. Jindo kulesi toplam yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=600$  m/s- orta zemin cinsi- model 1)

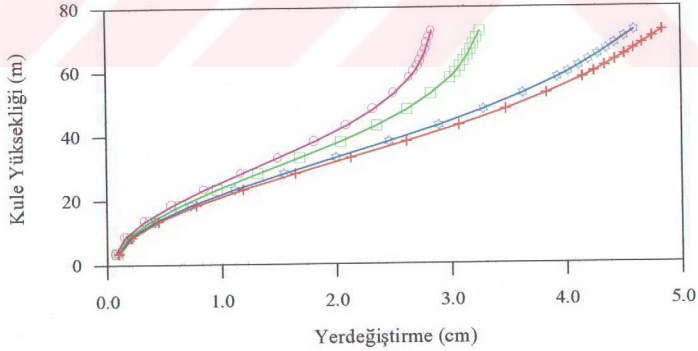


Şekil 51. Jindo kulesi zahiri-statik yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=1200$  m/s-orta zemin cinsi-model 1)

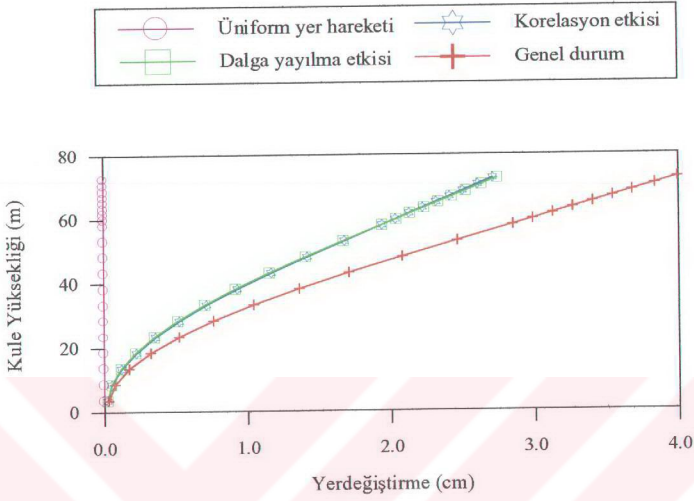




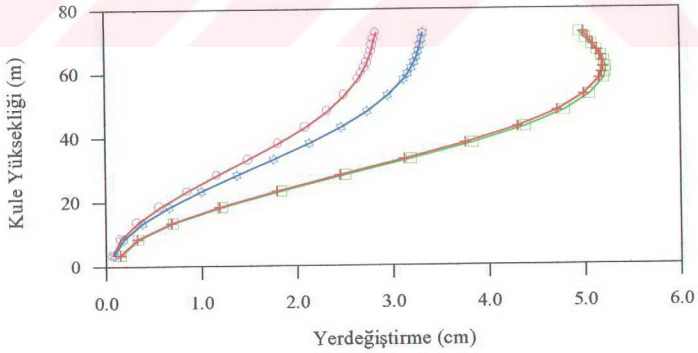
Şekil 52. Jindo kulesi dinamik yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=1200$  m/s- orta zemin cinsi-model 1)



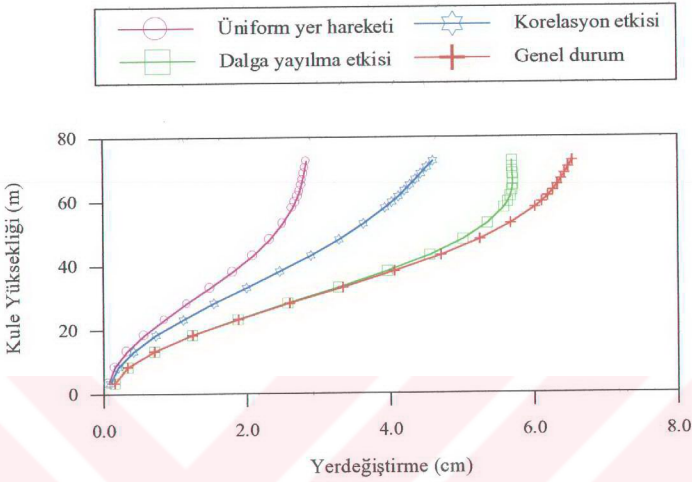
Şekil 53. Jindo kulesi toplam yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=1200$  m/s- orta zemin cinsi-model 1)



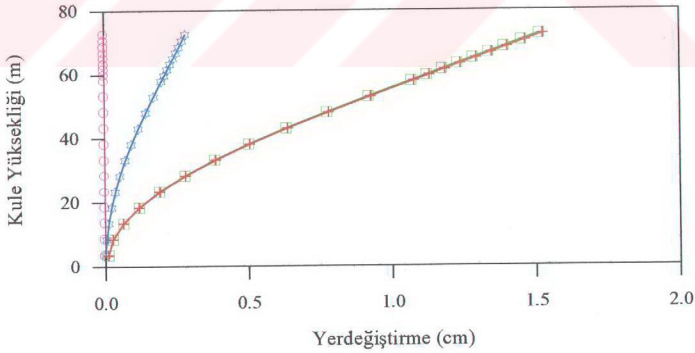
Şekil 54. Jindo kulesi zahiri-statik yerdeğişirmeleri ( $v_{app}=300$  m/s- orta zemin cinsi- model 1)



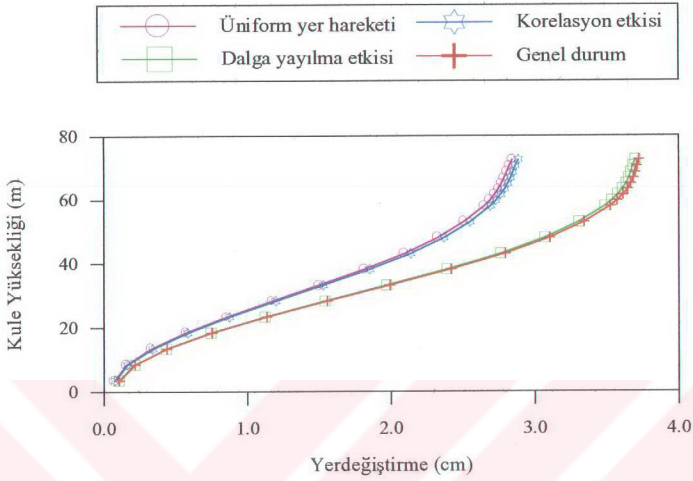
Şekil 55. Jindo kulesi dinamik yerdeğişirmeleri ( $v_{app}=300$  m/s- orta zemin cinsi- model 1)



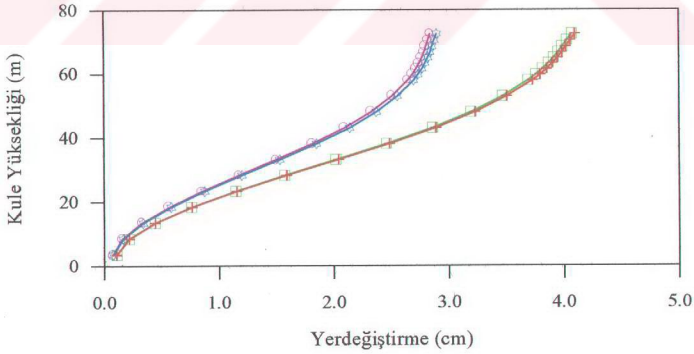
Şekil 56. Jindo kulesi toplam yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=300$  m/s- orta zemin cinsi- model 1)



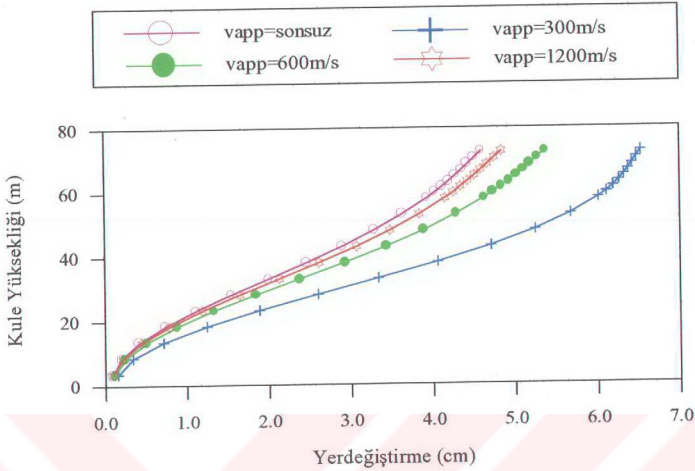
Şekil 57. Jindo kulesi zahiri-statik yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=600$  m/s- orta zemin cinsi- model 2)



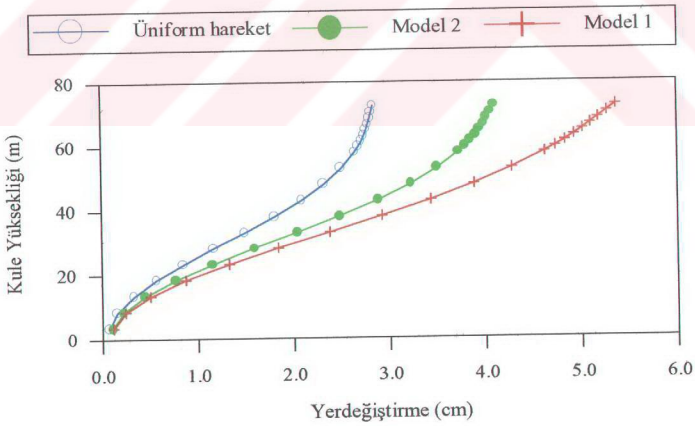
Şekil 58. Jindo kulesi dinamik yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=600$  m/s- orta zemin cinsi- model 2)



Şekil 59. Jindo kulesi toplam yerdeğiştirmeleri ( $v_{app}=600$  m/s- orta zemin cinsi- model 2)



Şekil 60. Çeşitli yayılma hızları için Jindo kulesi toplam yerdeğiştirmeleri (genel durum- orta zemin cinsi- model 1)



Şekil 61. Farklı korelasyon modelleri için Jindo kulesi toplam yerdeğiştirmeleri (genel durum- $v_{app}=600m/s$ - orta zemin cinsi)

### 3.1.2.4. Homojen Zeminlerde Çeşitli Hızlar İçin Ortalama Maksimum Eleman Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Burada bir önceki bölümde yerdeğiştirmeler için gerçekleştirilen işlemler, eleman kuvvetleri için yapılmaktadır. Üniform yer hareketi, dalga yayılma etkisi, korelasyon etkisi ve genel durumda tabliye ve kulelerde elde edilen ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam eleman kuvvetleri karşılaştırılmaktadır. Yer hareketi dalga yayılma hızı olarak yine  $v_{app} = 300, 600, 1200$  m/s hız değerleri kullanılmaktadır. Eleman kuvvetlerinin yer hareketi yayılma hızına bağlı olarak değişimi üzerinde de durulurken, orta, sert ve yumuşak zemin cinsleri için elde edilen tepki değerlerinin değişimi de bu bölümde irdelenmektedir.

şekil 62'de yumuşak zemin cinsi için  $v_{app}=300$  m/s olması durumunda tabliye toplam eğilme momentleri Model 1 için karşılaştırılmaktadır. Dalga yayılma hızının dikkate alındığı durumdaki değerler genel durum için elde edilen sonuçlarla yaklaşık olarak aynı çıkmaktadır. Bunun yanında korelasyon etkisinin dikkate alındığı durumdaki moment değerleri üniform yer hareketi için elde edilen değerlerden büyük olurken, dalga yayılma etkisi ve genel durum için bulunan sonuçlardan küçük çıkmaktadır.  $v_{app}=600$  m/s olması durumunda üniform yer hareketi için elde edilen sonuçlar genellikle en küçük olurken, genel durumda bulunan eğilme momentlerinin en büyük olduğu gözlenmektedir (şekil 63). Dalga yayılma etkisi ve korelasyon etkisi dikkate alınarak elde edilen eğilme momentleri birbirine yakın çıkmakla beraber, belli bölgelerde dalga yayılma etkisinin belli bölgelerde de korelasyon etkisinin büyük olduğu görülmektedir.

şekil 64'de yumuşak zemin cinsi için  $v_{app}=600$  m/s olması durumunda bulunan toplam eğilme momentleri Model 2 için incelenmektedir. Burada üniform yer hareketi ve korelasyon etkisi için bulunan momentler aynı olurken, dalga yayılma etkisi için elde edilen moment değerleri genel durum için bulunan sonuçlara oldukça yakın çıkmaktadır. Bunun yanında dalga yayılma etkisi ve genel durum için elde edilen moment değerleri, üniform hareket ve korelasyon etkisi için bulunan değerlerden büyük çıkmaktadır.

şekil 65'de yumuşak zemin cinsi durumunda çeşitli yer hareketi yayılma hızları için genel durumda (Model 1) elde edilen tabliye toplam eğilme momentleri karşılaştırılmaktadır. Yer hareketi yayılma hızının sonsuz olduğu durumda elde edilen moment değerleri en küçük olurken, yer hareketi yayılma hızının azalması ile moment

değerleri artmakta ve  $v_{app}=300$  m/s için elde edilen eğilme momentleri en büyük olmaktadır.

Şekil 66'da  $v_{app}=600$  m/s yer hareketi yayılma hızı için tabliye toplam eğilme momentlerinin (Model 1) zemin cinsine bağlı olarak değişimi görülmektedir. Zahiri-statik eğilme momentlerindeki değişim de yerdeğiştirmeler için bulunan değişimle paralellik içerisinde olmasına rağmen, zahiri-statik bileşenlerin toplam eğilme momentine katkısı fazla olmayıp, en büyük katkıyı dinamik bileşen sağlamaktadır. Bu bakımdan burada toplam eğilme momentleri incelenmektedir. Eğilme momentlerine yerdeğiştirmelere oranla daha fazla mod sayısının katkısının olmasının rağmen en büyük katkıyı sağlayan modlara ait frekansların, yumuşak zemin cinsine ait spektral yoğunluk fonksiyonunun enerji olarak yoğun olduğu frekans bölgesine rastlamasından dolayı yumuşak zemin cinsi durumundaki eğilme momentleri en büyük olmaktadır. Orta zemin cinsi durumunda söz konusu modlara ait frekans değerlerine karşılık gelen enerji içeriği daha az olduğundan eğilme momentleri daha küçük olmuştur. Sert zemin cinsi durumunda ise en büyük katkıyı sağlayan modlara ait frekanslara karşılık gelen spektral yoğunluk fonksiyonunun enerji içeriği iyice azaldığından eğilme momenti değerleri en küçük çıkmıştır.

Şekil 67'de tabliyedeki toplam eğilme momenti değerleri genel durumda her iki korelasyon modeli ve üniform yer hareketi için karşılaştırılmaktadır. Tabliye merkez açıklığında Model 1 için elde edilen eğilme momenti değerleri Model 2 sonuçlarından büyük çıkarken, kenar açıklıklarda yaklaşık olarak aynı değerler elde edilmektedir. Üniform hareket durumunda bulunan değerler ise bazen en büyük olabilirken, daha çok en küçük değerleri almaktadır.

Şekil 68-70'de orta zemin cinsi için  $v_{app}=300$  m/s olması durumundaki Jindo kulesinde bulunan zahiri-statik, dinamik ve toplam eğilme momentleri Model 1 için karşılaştırılmaktadır. Korelasyon ve dalga yayılma etkisi için bulunan zahiri-statik eğilme momentleri yaklaşık olarak aynı olurken, dalga yayılma etkisi için elde edilen dinamik eğilme momentleri korelasyon etkisi için elde edilen değerlerden büyük olmaktadır. Toplam eğilme momentlerine dikkat edilirse üniform yer hareketi için elde edilen değerler en küçük olurken, dalga yayılma etkisi için bulunan sonuçlar genel durum için bulunan değerlere oldukça yakın çıkmaktadır. Korelasyon etkisi için bulunan toplam eğilme momentleri ise üniform yer hareketi durumundaki sonuçlardan büyük çıkarken, dalga yayılma etkisi ve genel durum için elde edilen değerlerden küçük çıkmaktadır.

$v_{app}=600$  m/s olması durumunda Jindo kulesinde bulunan zahiri-statik, dinamik ve toplam eğilme momentleri Şekil 71-73'de incelenmektedir. Burada korelasyon etkisi için bulunan zahiri-statik eğilme momentleri dalga yayılma etkisi için elde edilen değerlerden büyük olurken, dinamik bileşenler için dalga yayılma etkisi durumunda elde edilen sonuçlar daha büyük olmaktadır. Ancak dinamik bileşenin katkısı zahiri-statik bileşene oranla daha fazla olduğundan toplam eğilme momentleri için dalga yayılma etkisi durumunda bulunan eğilme momentleri daha büyük olmaktadır. Kule taban noktasında genel durumda elde edilen toplam eğilme momenti değeri üniform harekete oranla %55 daha fazla iken, dalga yayılma hızı için %35 ve korelasyon etkisi için %29 daha fazladır.

Yer hareketi yayılma hızının  $v_{app}=1200$  m/s olması durumunda zahiri-statik, dinamik ve toplam eğilme momentleri Şekil 74-76'de karşılaştırılmaktadır. Burada korelasyon etkisi durumunda hem zahiri-statik hem de dinamik eğilme momentleri için hesaplanan eğilme momentleri dalga yayılma etkisi için hesaplanan değerlerden büyük olmaktadır.

Yerdeğiştirmelerde olduğu gibi yer hareketi yayılma hızının yüksek olduğu durumlarda korelasyon etkisi için elde edilen zahiri-statik eğilme momentleri, dalga yayılma etkisi için bulunan değerlerden büyük olurken, yer hareketi yayılma hızının küçük olduğu durumlarda dalga yayılma etkisi için elde edilen değerler korelasyon etkisi için bulunan değerlere yaklaşmaktadır. Dinamik bileşenlerde ise yüksek hızlarda korelasyon etkisi için bulunan değerler büyük olurken, düşük hızlarda dalga yayılma etkisi için elde edilen değerler daha büyük olmaktadır. Bunun yanında yer hareketi yayılma hızının artması ile gerek zahiri-statik gerekse dinamik eğilme momentlerinin azaldığı dikkati çekmektedir.

Şekil 77'de orta zemin cinsi için  $v_{app}=300$  m/s olması durumunda Jindo kulesinde bulunan toplam eğilme momentleri (Model 2) karşılaştırılmaktadır. Üniform yer hareketi için elde edilen değerler, korelasyon etkisi için bulunan momentlere yakın olurken, dalga yayılma etkisi için bulunan değerler genel durum için elde edilen momentlere yakın çıkmaktadır. Bunun yanında dalga yayılma etkisi ve genel durum için elde edilen moment değerleri, üniform yer hareketi ve korelasyon etkisi için bulunan sonuçlardan çok daha büyük çıkmaktadır.

Şekil 78-80'de genel durumda her iki korelasyon modeli ve üniform yer hareketi için Jindo kulesindeki zahiri-statik, dinamik ve toplam eğilme momentleri incelenmektedir. Üniform yer hareketi durumunda rijit cisim hareketi söz konusu olduğundan zahiri-statik



eğilme momenti bileşenleri sıfır olmaktadır. Ayrıca üniform yer hareketi için elde edilen dinamik ve toplam eğilme momenti değerleri en küçük olurken, Model 1 için bulunan sonuçlar her bir durumda Model 2 sonuçlarından büyük çıkmaktadır. Jindo kulesi taban noktasında Model 1 için bulunan toplam eğilme momentinin üniform harekete oranla %55.3 arttığı gözlenirken, Model 2 için bulunan toplam eğilme momentinin %36 arttığı ortaya çıkmaktadır.

Dolayısıyla yerdeğiştirmelerde olduğu gibi, eleman kuvvetleri için de düşük frekanslarda kısmi korelasyonun söz konusu olduğu Model 1 ile bulunan sonuçlar, bu bölgede tam korelasyon gösteren Model 2 sonuçlarından büyük çıkmaktadır.

Şekil 81’de orta zemin cinsi için  $v_{app}=300$  m/s olması durumunda tabliyede elde edilen zahiri-statik kesme kuvvetleri Model 1 için karşılaştırılmaktadır. Üniform yer hareketi durumunda rijit cisim hareketi söz konusu olduğundan, elde edilen zahiri-statik kesme kuvvetleri sıfır olurken, korelasyon etkisinin dikkate alındığı durumda bulunan kesme kuvvetleri, dalga yayılma etkisi için elde edilen momentlerden daha büyük olmaktadır. Genel durumda bulunan değerler ise en büyüktür.

Şekil 82-84’de orta zemin cinsi için  $v_{app}=300$  m/s olması durumunda tabliyede elde edilen dinamik ve toplam kesme kuvvetleri her iki korelasyon modeli için incelenmektedir. Merkez açıklıkta korelasyon etkisi için elde edilen kesme kuvvetlerinin, birbirine yakın çıkan genel durum ve dalga yayılma etkisi için bulunan sonuçlardan küçük olduğu ve üniform yer hareketi için bulunan sonuçlardan genellikle büyük çıktığı gözlenmektedir. Kenar açıklıklarda ise birbirine yakın çıkan genel durum ve dalga yayılma etkisi için bulunan sonuçlar, yaklaşık olarak aynı çıkan üniform yer hareketi ve korelasyon etkisi için bulunan sonuçlardan daha küçük çıkmaktadır. Bu durum kenar açıklıklarda üniform yer hareketi ve korelasyon etkisi durumundaki dinamik kesme kuvvetlerinin büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Kenar açıklıklarda üniform yer hareketi için elde edilen değerlerin en büyük olması modların kesme kuvvetlerine olan katkıları incelenmek suretiyle açıklanabilmektedir. Tablo 6’da genel durumunda Jindo Adası tarafındaki kenar açıklıkta en büyük kesme kuvvetinin oluştuğu noktasındaki dinamik kesme kuvveti bileşenine modlara ait varyans ve kovaryans terimlerinin yüzdesel olarak katkıları gözlenmektedir. Modlar arasındaki kovaryans terimleri simetrik olduğundan şekilde modlar arasındaki kovaryans terimlerinin simetrik olan yarısı gösterilmiştir. Ancak gösterilen değerler kovaryans bileşenin toplam katkısını göstermek amacıyla iki katı alınmak suretiyle elde edilmiştir. Söz konusu noktada kesme kuvvetine en büyük katkıyı 1., 6., 7. ve 8. modlar

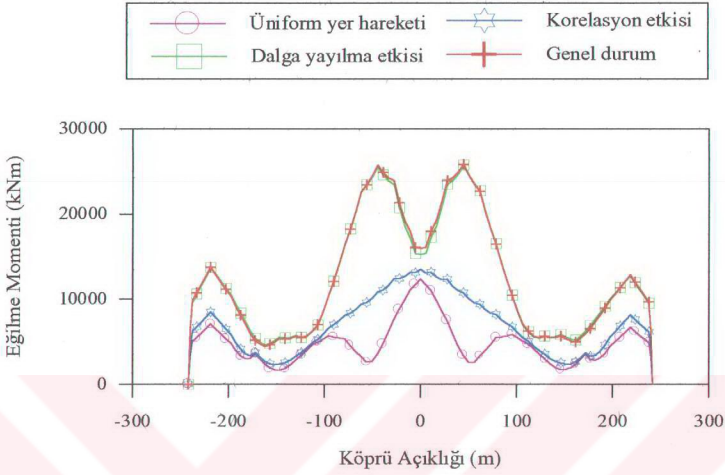
sağlamaktadır. Üniform yer hareketi durumunda dinamik kesme kuvveti bileşenine modların katkıları Tablo 7’de görülmektedir. Burada üniform yer hareketi durumunda kesme kuvveti büyük oranda simetrik bir mod olan 7. moddan ibaret olmaktadır. Üniform yer hareketi durumunda sadece simetrik modların yerdeğiştirme bileşenine katkı sağlamasına rağmen, dikkate alınan düğüm noktasında 7. modun genel duruma oranla çok daha fazla üniform yer hareketi durumu üzerinde etkili olduğu anlaşılmaktadır. Böylece üniform yer hareketi durumunda elde edilen kesme kuvveti değeri, simetrik ve antisimetrik modların katkı sağladığı genel durumdaki değerden daha büyük olmaktadır. Merkez açıklıkta en büyük kesme kuvveti değerinin oluştuğu noktada genel durumda elde edilen kesme kuvveti değerine modların katkıları Tablo 8’de görülmektedir. Burada kesme kuvveti büyük oranda 2. moddan oluşmaktadır. Söz konusu modun antisimetrik bir mod olması nedeniyle, üniform yer hareketi durumunda tepki bileşenine herhangi bir katkısının olmayacağı için genel durumdaki değerlerin büyük olması doğaldır.

Şekil 85’de genel durumda  $v_{app}=600$  m/s yer hareketi yayılma hızı için tabliye toplam kesme kuvvetlerinin (Model 1) zemin cinsine bağlı olarak değişimi karşılaştırılmaktadır. Kesme kuvvetleri için de daha önce gösterildiği gibi toplam bileşene en büyük katkıyı dinamik bileşen sağlamaktadır. Bu bakımdan burada toplam kesme kuvvetlerindeki değişim irdelenmektedir. Merkez açıklıkta elde edilen değişim daha önce tespit edilen değişimlerle paralellik içerisinde iken, kenar açıklıklarda orta zemin cinsi durumundaki kesme kuvvetleri en büyük, yumuşak zemin cinsi durumundaki değerler ise en küçük olmaktadır. Bu durum Jindo Adası tarafındaki kenar açıklıkta en büyük kesme kuvvetinin elde edildiği düğüm noktası dikkate alınmak suretiyle incelenmektedir. Tablo 9’da orta zemin cinsi durumunda dikkate alınan düğüm noktasındaki dinamik kesme kuvveti bileşenine modlara ait varyans ve kovaryans terimlerinin yüzdesel olarak katkıları görülmektedir. Tablodan söz konusu noktadaki kesme kuvvetine en büyük katkıyı 1., 6., 7. ve 8. modların sağladığı gözlenmektedir. Özellikle 7. modun bu noktadaki katkısı en önemli olmaktadır. Şekil 2 ve Tablo 5’e dikkat edilirse söz konusu modlara ait frekans değerleri orta zemin cinsine ait spektral yoğunluk fonksiyonunun enerji olarak yoğun olduğu frekans bölgesine rastlamaktadır. Dolayısıyla bu noktadaki kesme kuvveti orta zemin cinsi için en büyük olmaktadır. Sert zemin cinsi durumunda söz konusu modlara ait frekanslara karşılık gelen spektral yoğunluk fonksiyonu enerji içeriği daha küçük olduğundan kesme kuvveti bu noktada azalmıştır. Yumuşak zemin cinsi durumunda ise Şekil 2’de gözlemlenebileceği gibi kesme kuvvetine en büyük katkıyı sağlayan modlardan

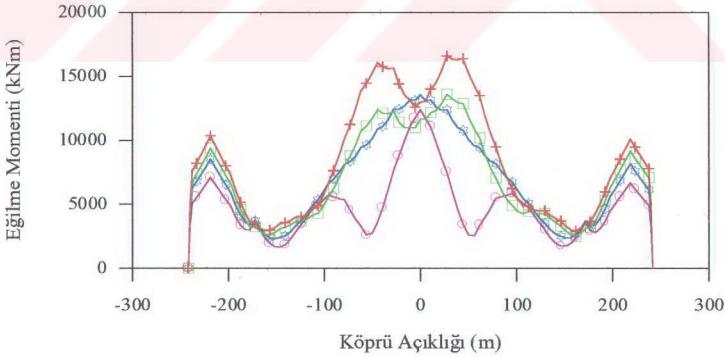
sadece 1. moda ait frekans değeri yumuşak zemin cinsine ait spektral yoğunluk fonksiyonunun enerji olarak yoğun olduğu frekans bölgesine rastlamaktadır. Diğer etkili olan modlar spektral yoğunluk fonksiyonunun enerji olarak yoğun olduğu bölge dışında kalmaktadır. Dolayısıyla yumuşak zemin cinsi durumunda söz konusu noktadaki kesme kuvveti en küçük olmaktadır. Ayrıca en büyük kesme kuvvetinin olduğu tabliye orta noktasında yumuşak zemin cinsi durumunda elde edilen değer en büyük olması Tablo 10 dikkate alınmak suretiyle incelenmektedir. Tablo 10'da orta zemin cinsi durumunda dikkate alınan düğüm noktasındaki dinamik kesme kuvveti bileşenine modlara ait varyans ve kovaryans terimlerinin yüzdesel olarak katkıları görülmektedir. Tablodan söz konusu noktadaki kesme kuvvetine en büyük katkıyı 1., 2., 4., 6., ve 8. modların sağladığı ortaya çıkmaktadır. Özellikle 2. modun bu noktadaki katkısının en önemli olduğu gözlenmektedir. Dikkat edilirse 2. moda karşılık gelen frekans değeri, yumuşak zemin cinsine ait spektral yoğunluk fonksiyonunun enerji olarak en yoğun olduğu frekans bölgesine rastlamaktadır. Dolayısıyla bu noktadaki kesme kuvveti yumuşak zemin cinsi için en büyük olmaktadır. Orta zemin cinsi durumunda şekilden görüldüğü gibi söz konusu modlara ait frekanslara karşılık gelen spektral yoğunluk fonksiyonu enerji içeriği daha küçük olduğundan kesme kuvveti bu noktada azalmıştır. Sert zemin cinsi durumunda ise şekilden görüleceği üzere kesme kuvvetine katkı sağlayan modlardan sadece 8. moda ait frekans değeri sert zemin cinsine ait spektral yoğunluk fonksiyonunun enerji olarak yoğun olduğu frekans bölgesine rastlamaktadır. Diğer etkili olan modlar spektral yoğunluk fonksiyonunun enerji olarak yoğun olduğu bölge dışında kalmaktadır. Dolayısıyla sert zemin cinsi durumunda söz konusu noktadaki kesme kuvveti en küçük olmaktadır.

Şekil 86'da orta zemin cinsi için  $v_{app}=600$  m/s olması durumunda Jindo kulesinde bulunan toplam kesme kuvvetleri (Model 1) karşılaştırılmaktadır. Üniform yer hareketi için elde edilen değerler en küçük olurken, genel durumdaki değerler en büyük olmaktadır. Bunun yanında dalga yayılma etkisi için hesaplanan değerler, korelasyon etkisi dikkate alınarak bulunan değerlerden büyük olmaktadır. Kule taban noktasında genel durumda hesaplanan kesme kuvveti değeri üniform hareket için bulunan değere oranla %45 daha fazla olurken, bu oran dalga yayılma etkisi için %31 ve korelasyon etkisi için %19'dur.

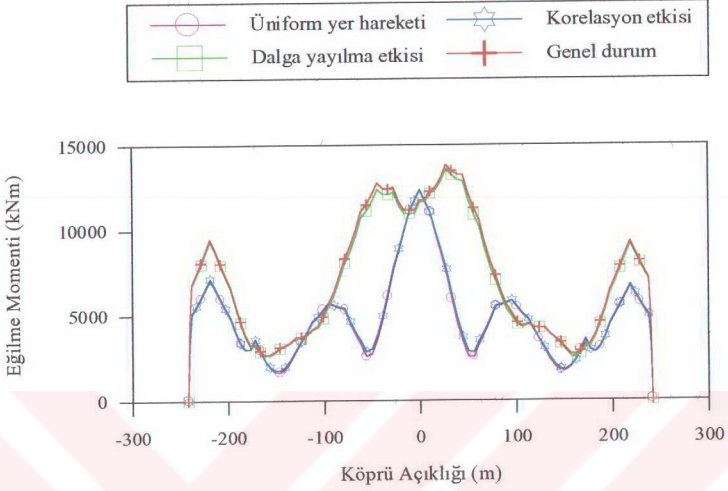
Orta zemin cinsi için  $v_{app}=600$  m/s olması durumunda tabliye ve Jindo kulesinde Model 1 için elde edilen toplam normal kuvvetler Şekil 87-88'de görülmektedir. Dikkat edilirse normal kuvvet için elde edilen değişim, Jindo kulesi kesme kuvveti için bulunan değişimle aynı olmaktadır.



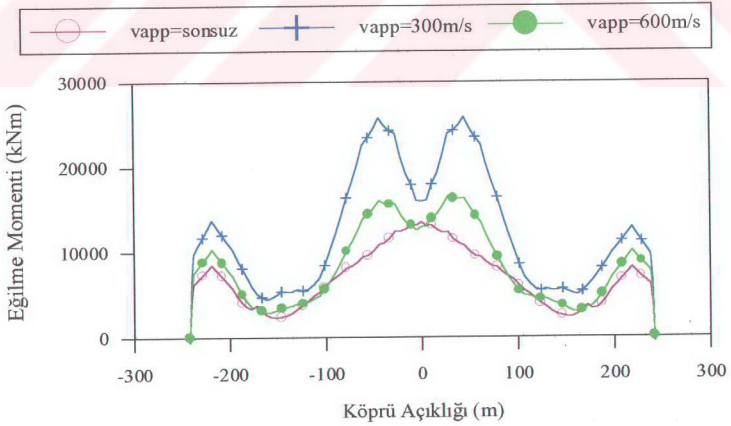
Şekil 62. Tabliye toplam eğilme momentleri ( $v_{app}=300$  m/s-yumuşak zemin cinsi-model 1)



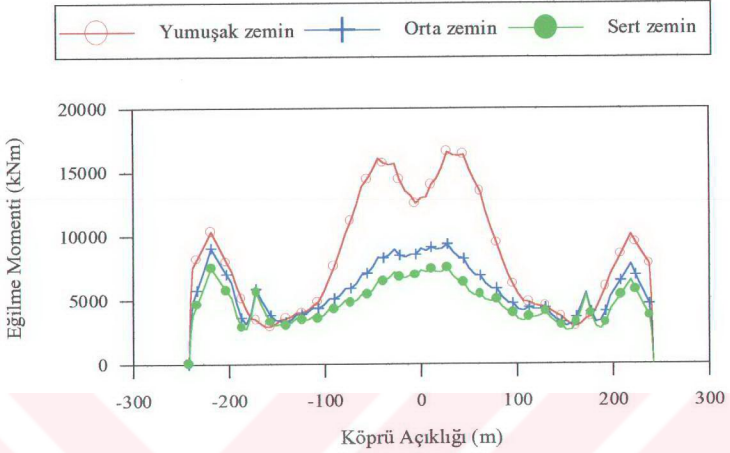
Şekil 63. Tabliye toplam eğilme momentleri ( $v_{app}=600$  m/s-yumuşak zemin cinsi-model 1)



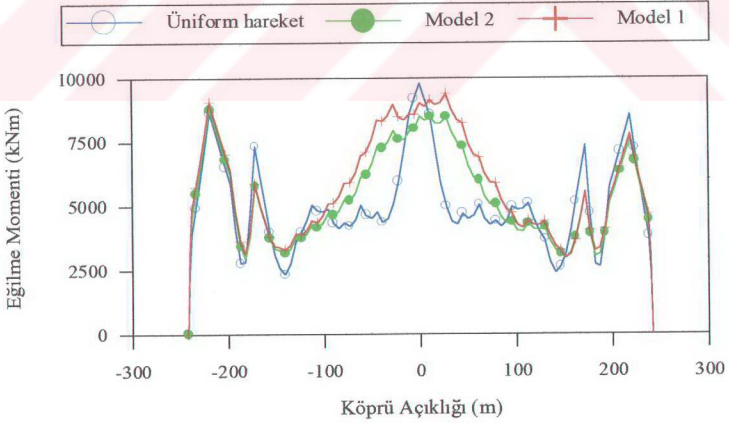
Şekil 64. Tabliye toplam eğilme momentleri ( $v_{app}=600$  m/s-yumuşak zemin cinsi-model 2)



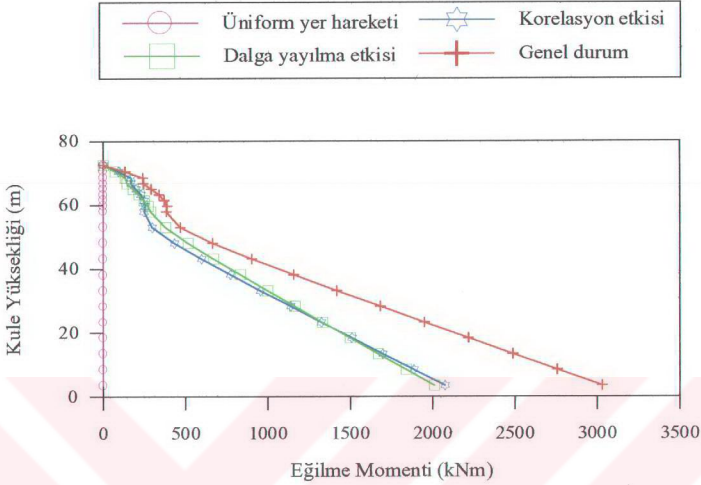
Şekil 65. Çeşitli yayılma hızları için tabliye toplam eğilme momentleri (genel durum-yumuşak zemin cinsi- model 1)



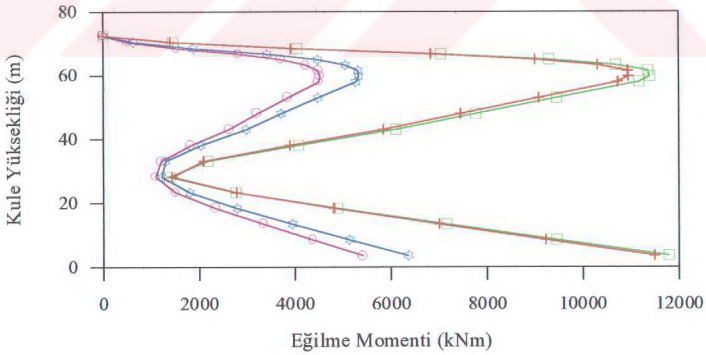
Şekil 66. Farklı zemin cinsleri için tabliye toplam eğilme momentleri (genel durum-  $v_{app}=600$  m/s-model 1)



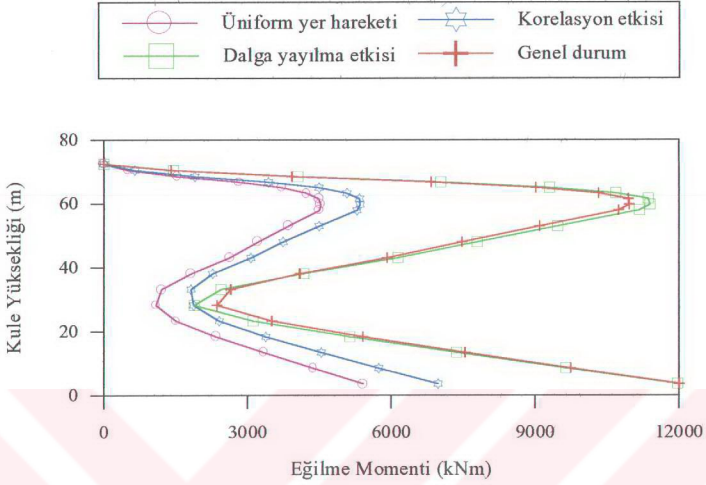
Şekil 67. Farklı korelasyon modelleri için tabliye toplam eğilme momentleri (genel durum-  $v_{app}=600$  m/s-orta zemin cinsi)



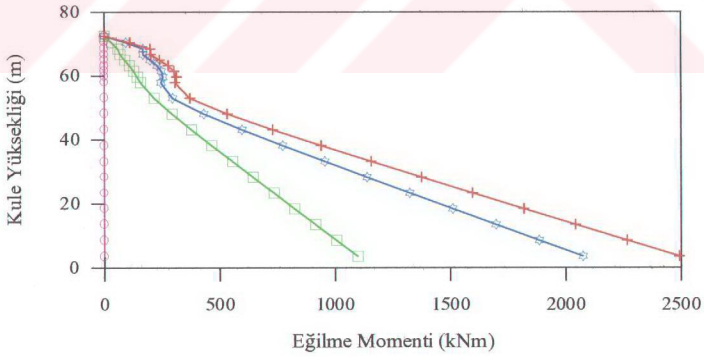
Şekil 68. Jindo kulesi zahiri-statik eğilme momentleri ( $v_{app}=300\text{m/s}$ -orta zemin cinsi-model 1)



Şekil 69. Jindo kulesi dinamik eğilme momentleri ( $v_{app}=300\text{ m/s}$ -orta zemin cinsi-model 1)

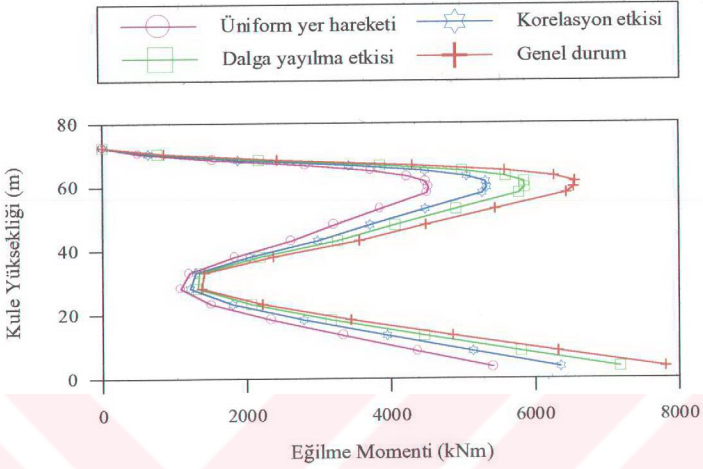


Şekil 70. Jindo kulesi toplam eğilme momentleri ( $v_{app}=300$  m/s-orta zemin cinsi- model 1)

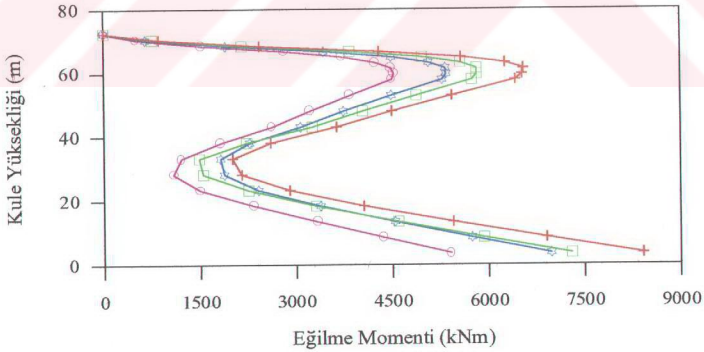


Şekil 71. Jindo kulesi zahiri-statik eğilme momentleri ( $v_{app}=600$ m/s-orta zemin cinsi- model 1)

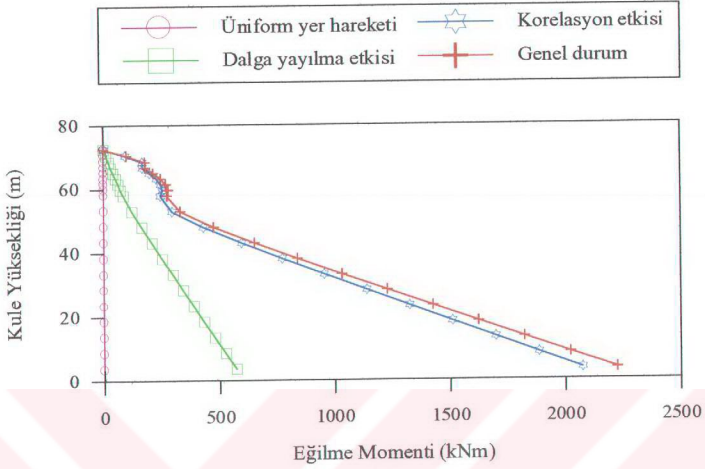




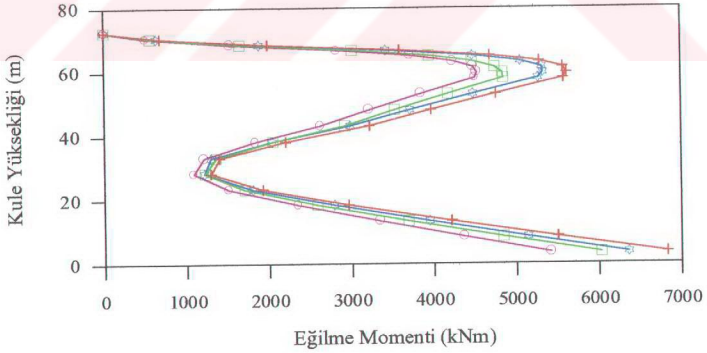
Şekil 72. Jindo kulesi dinamik eğilme momentleri ( $v_{app}=600$  m/s-orta zemin cinsi-model 1)



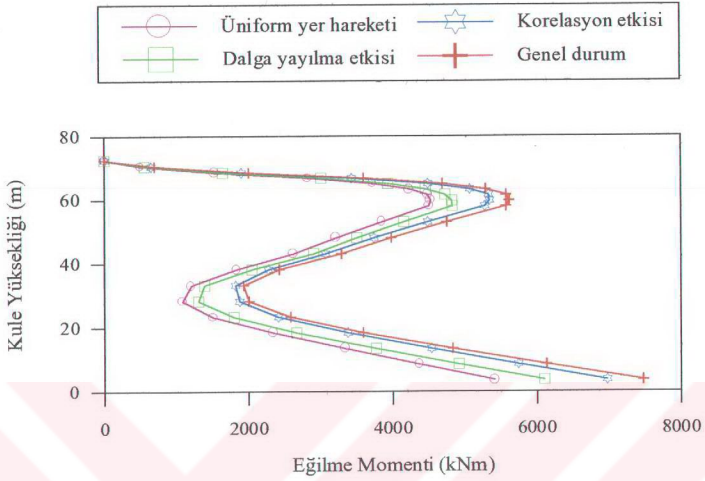
Şekil 73. Jindo kulesi toplam eğilme momentleri ( $v_{app}=600$  m/s-orta zemin cinsi-model 1)



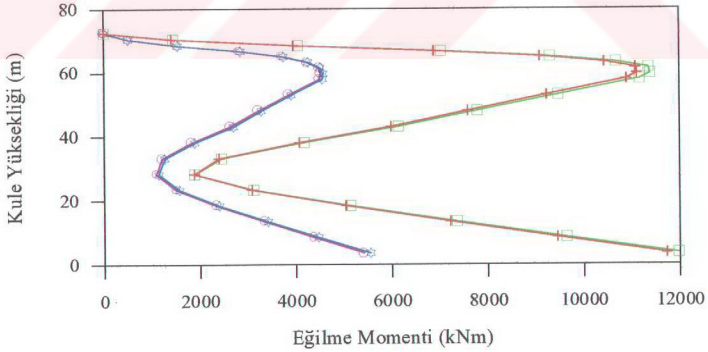
Şekil 74. Jindo kulesi zahiri-statik eğilme momentleri ( $v_{app}=1200$  m/s- orta zemin cinsi-model 1)



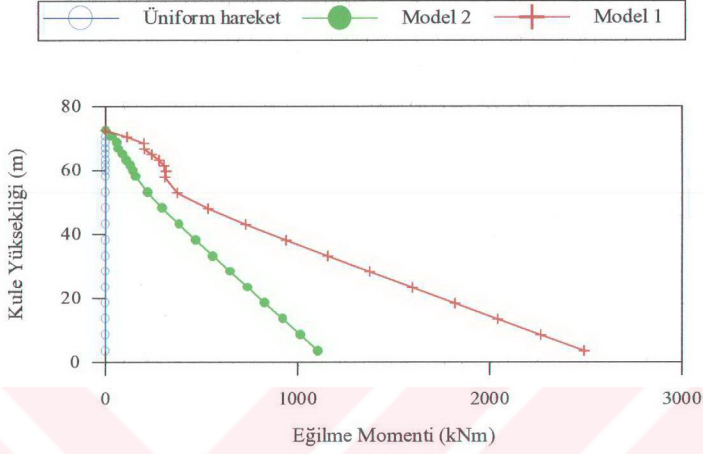
Şekil 75. Jindo kulesi dinamik eğilme momentleri ( $v_{app}=1200$  m/s- orta zemin cinsi-model 1)



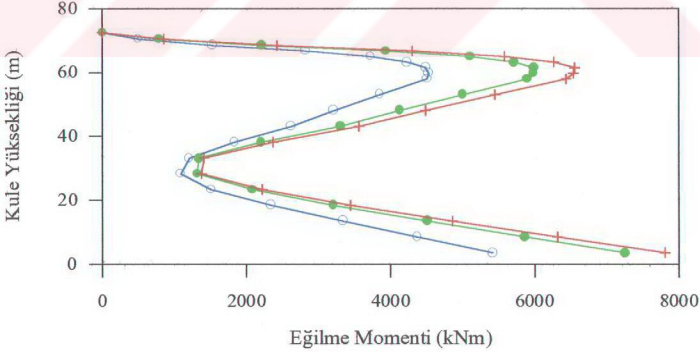
Şekil 76. Jindo kulesi toplam eğilme momentleri ( $v_{app}=1200$  m/s-orta zemin cinsi-model 1)



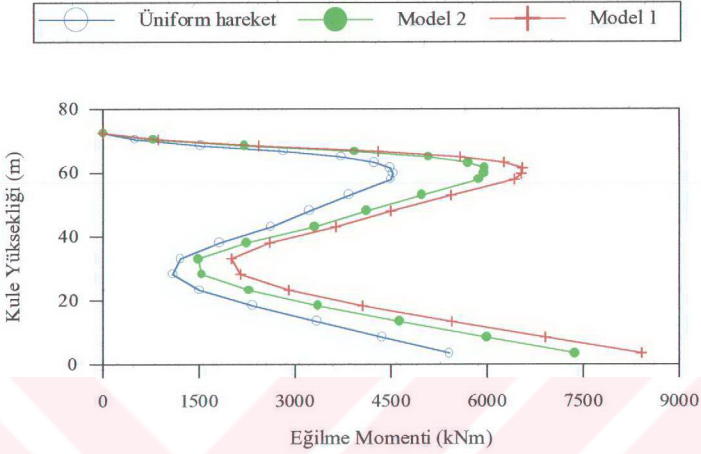
Şekil 77. Jindo kulesi toplam eğilme momentleri ( $v_{app}=300$  m/s-orta zemin cinsi-model 2)



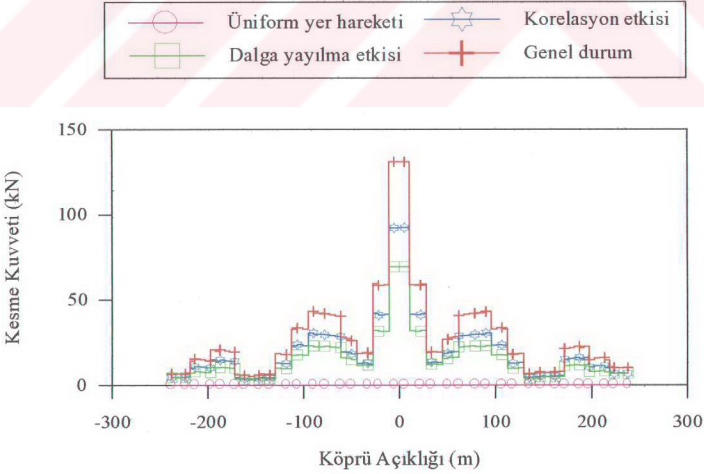
Şekil 78. Farklı korelasyon modelleri için Jindo kulesi zahiri-statik eğilme momentleri (genel durum- $v_{app}=600$  m/s- orta zemin cinsi)



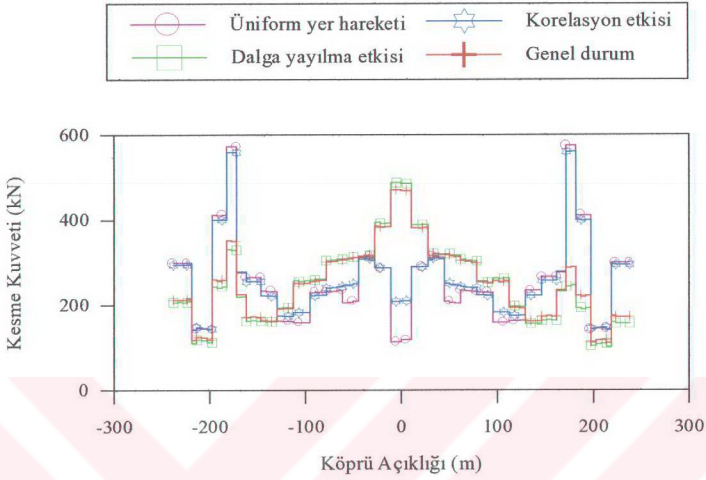
Şekil 79. Farklı korelasyon modelleri için Jindo kulesi dinamik eğilme momentleri (genel durum- $v_{app}=600$  m/s- orta zemin cinsi)



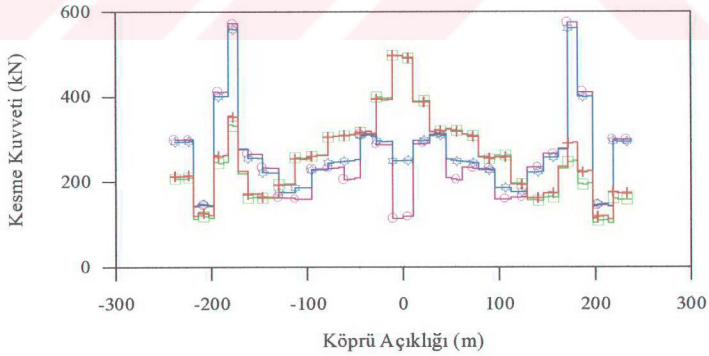
Şekil 80. Farklı korelasyon modelleri için Jindo kulesi toplam eğilme momentleri (genel durum- $v_{app}=600$  m/s- orta zemin cinsi)



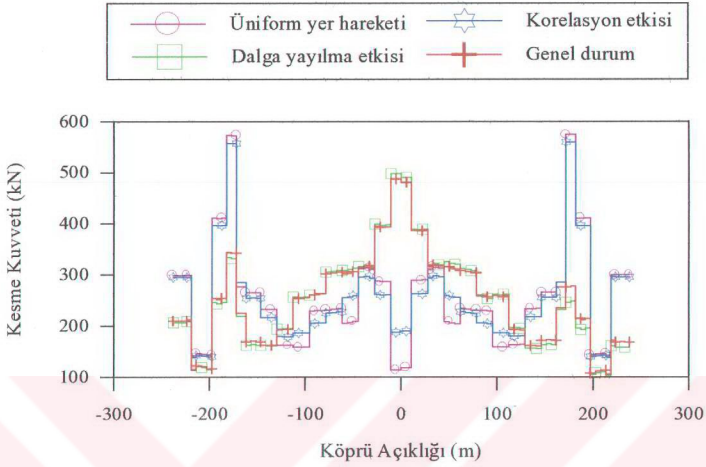
Şekil 81. Tabliye zahiri-statik kesme kuvvetleri ( $v_{app}=300$  m/s-orta zemin cinsi- model 1)



Şekil 82. Tabliye dinamik kesme kuvvetleri ( $v_{app}=300$  m/s-orta zemin cinsi- model 1)



Şekil 83. Tabliye toplam kesme kuvvetleri ( $v_{app}=300$  m/s-orta zemin cinsi- model 1)

Şekil 84. Tabliye toplam kesme kuvvetleri ( $v_{app}=300$  m/s-orta zemin cinsi- model 2)

Tablo 6. Dinamik kesme kuvveti bileşenine modların katkısı (genel durum)

														0.0	15
														0.0	14
														0.0	13
													0.0	0.0	12
										0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	11
									0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10
								0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9
							8.7	0.6	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.0	-0.1	8
							26.7	-0.4	0.0	0.0	1.4	0.1	0.0	0.0	7
						16.2	9.6	1.3	0.0	0.0	0.4	0.0	0.1	0.0	6
						0.9	1.5	2.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	5
					1.3	0.4	-0.1	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4
				0.9	0.0	-0.1	0.6	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3
			0.9	-0.2	0.1	0.3	-0.3	1.5	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	2
		11.8	-0.5	0.1	-0.2	0.0	1.5	1.2	0.6	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	1
	1														
	2														
	3														
	4														
	5														
	6														
	7														
	8														
	9														
	10														
	11														
	12														
	13														
	14														
	15														

M  
O  
D  
I

MOD J

Tablo 7. Dinamik kesme kuvveti bileşenine modların katkısı (üniform hareket)

														0.0	15	
														0.0	0.0	14
													0.0	0.0	0.0	13
												0.0	0.0	0.0	0.0	12
											1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11
									0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10
							0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9
						0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8
						90.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	-0.1	7
						0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6
					1.9	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	5
				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4
			0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3
		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2
3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1

MOD J

MOD I

Tablo 8. Dinamik kesme kuvveti bileşenine modların katkısı (genel durum)

														0.0	15	
														0.0	0.0	14
													0.3	0.0	0.0	13
												0.0	0.0	0.0	0.0	12
											0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	11
									0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10
								0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9
							3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3	0.0	0.0	8
						0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	7
						1.3	0.2	-0.2	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	6
					0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5
			7.9	0.2	0.1	-0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4
		1.9	0.2	0.0	0.3	0.0	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	3
	83.8	-0.7	-0.5	-0.2	-0.3	0.4	-0.3	0.0	0.0	-0.3	-0.1	0	0.1	0.1	0.0	2
2.5	0.7	-0.1	-0.2	0.0	-0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	1	

MOD J

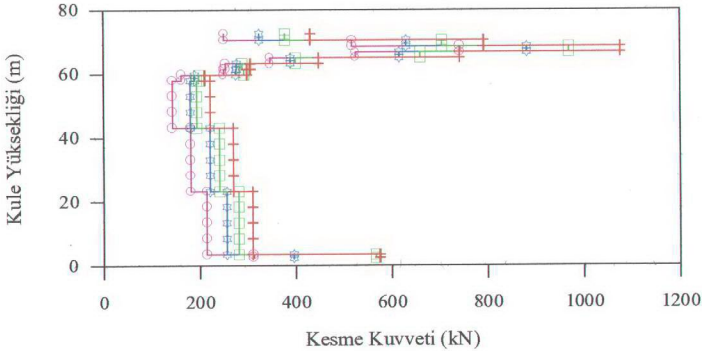
MOD I

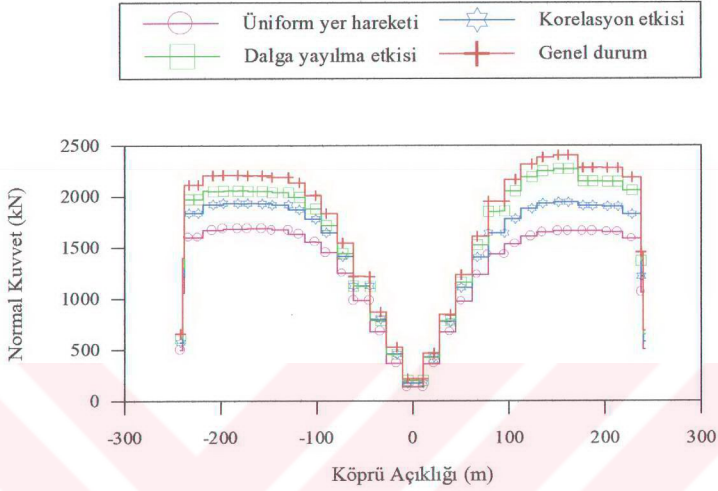




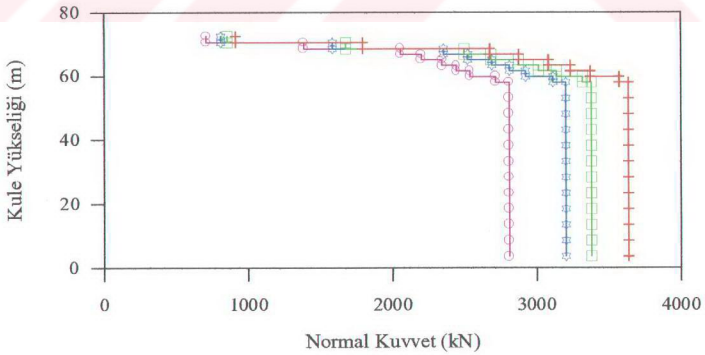
Tablo 10. Dinamik kesme kuvveti bileşenine modların katkısı (genel durum)

																0.0	15
																0.0	14
																0.5	13
																0.0	12
																0.1	11
																0.0	10
																0.0	9
																0.0	8
																0.0	7
																0.0	6
																0.0	5
																0.0	4
																0.0	3
																0.0	2
																0.0	1
6.2	2.2	0.0	-0.1	0.0	-0.4	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	1
	57.2	0.7	1.2	-0.2	1.4	0.0	-1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	2
		0.5	-0.1	0.0	0.3	0.1	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	3
			8.7	0.4	0.7	-0.5	-0.5	0.0	0.0	0.3	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4
				0.2	0.0	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5
					7.4	1.7	-0.2	0.0	0.0	-0.2	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	6
						1.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	7
							12.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.8	0.0	0.1	0.0	8
								0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9
									0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10
										0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11
											0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12
												0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	13
													0.5	0.0	0.0	0.0	14
														0.0	0.0	0.0	15

Şekil 86. Jindo kulesi toplam kesme kuvvetleri ( $v_{app}=600$  m/s-orta zemin cinsi- model 1)



Şekil 87. Tabliye toplam normal kuvvetleri ( $v_{app}=600$  m/s-orta zemin cinsi- model 1)



Şekil 88. Jindo kulesi toplam normal kuvvetleri ( $v_{app}=600$  m/s-orta zemin cinsi- model 1)

### 3.1.2.5. Homojen Zeminler İçin Modların Yapı Davranışına Olan Etkisi

(28) ve (30) denklemleri ile gösterilen dinamik tepki bileşenlerine ait varyans değerleri, modlar arasındaki varyans ( $i=j$ ) ve kovaryans ( $i \neq j$ ) terimlerinden oluşmaktadır. Modlar arasındaki varyans ve kovaryans bileşenlerinin toplam dinamik tepkiye olan katkılarını belirlemek amacı ile ilk 15 mod dikkate alınmak suretiyle modal varyans ve kovaryans terimleri elde edilmektedir. Modlar arasındaki kovaryans bileşeni simetrik olduğundan ( $i$  ve  $j$  modlarına ait kovaryans terimi  $j$  ve  $i$  modları arasındaki kovaryans ifadesine eşittir) tablolarda modlar arasındaki kovaryans ifadelerinin simetrik olan yarısı gösterilmektedir. Ancak gösterilen değerler kovaryans bileşenlerin toplam katkısını gösterebilmek amacıyla değerinin iki katı ile çarpılarak elde edilmiştir.

Genel yer hareketi durumundaki (orta zemin cinsi-  $v_{app}=600$  m/s yer hareketi hızı- Model 1) tepki bileşenleri için modlar arasında elde edilen varyans ve kovaryans terimleri, genel durumdaki toplam dinamik tepki bileşene bölünmek ve 100 ile çarpılmak suretiyle her bir bileşenin toplam bileşene yüzde olarak katkısı belirlenmektedir.

Modlara ait varyans ve kovaryans bileşenleri ayrıca üniform yer hareketi için de elde edilmektedir. Bu durumda elde edilen varyans ve kovaryans bileşenleri genel durumda bulunan toplam dinamik tepki bileşenine bölünmek ve 100 ile çarpılmak suretiyle modlar arasındaki varyans ve kovaryans bileşenlerinin genel duruma oranla yüzde olarak katkıları elde edilmektedir. Tablolardaki üstteki üçgen matris genel yer hareketi için yazılırken, alttaki matris üniform yer hareketi için düzenlenmiştir.

Tablo 11'de merkez açıklığın orta noktasında genel durumda toplam dinamik yerdeğiştirme bileşenine modal varyans ve kovaryans terimlerinin yüzdesel olarak katkıları görülmektedir. Burada dinamik yerdeğiştirme bileşeni 1. ve 3. modlardan oluşmaktadır. Tabloda ayrıca üniform yer hareketi durumunda aynı noktada dinamik yerdeğiştirme bileşeni için elde edilen modal varyans ve kovaryans terimleri görülmektedir. Burada da 1. ve 3. modlar toplam dinamik yerdeğiştirmeyi oluşturmaktadır. Her iki durumda da en büyük katkıyı 1. modun sağladığı gözlenmektedir. Bunun yanında genel durumdaki modlara ait varyans değerleri üniform harekete oranla daha büyük olmaktadır. Yüksek modların ve diyagonal dışındaki kovaryans terimlerinin toplam bileşene katkısının olmadığı da dikkati çeken başka bir noktadır.

Tablo 12'de merkez açıklığın orta noktasından Jindo Adası doğrultusunda 56 m uzaklıktaki noktada genel durum için elde edilen dinamik eğilme momentine 8. moda

kadar önemli katkılar sağlanmaktadır. Diyagonal dışındaki kovaryans terimlerin de yerdeğiştirmelere oranla daha fazla katkılarının olduğu gözlenmektedir. Toplam dinamik eğilme momentine en büyük katkıyı 2. mod sağlamaktadır. 2. mod antisimetrik bir mod olduğundan, üniform yer hareketi durumunda Tablo 12’de de belirlenebileceği gibi toplam dinamik eğilme momenti bileşenine herhangi bir katkı sağlamamaktadır. Dolayısıyla üniform yer hareketi durumundaki tepki değerin küçük olması doğaldır. Bunun yanında eğilme momentleri için, yerdeğiştirmelere oranla daha fazla mod sayısının dikkate alınması gereği ortaya çıkmaktadır.

Tablo 13’de genel durumda Jindo kulesi taban noktasındaki kesme kuvveti için elde edilen modlar arasındaki varyans ve kovaryans bileşenleri verilmektedir. Burada yüksek modlarda toplam dinamik kesme kuvvetine önemli katkılar sağlanmaktadır. Ayrıca diyagonal dışında modlar arasındaki kovaryans terimlerinin yerdeğiştirme ve eğilme momentlerine oranla daha fazla katkılarının olduğu gözlenmektedir. Bununla birlikte en büyük katkıyı 12. mod sağlamaktadır. Ayrıca 12.-15. modların katkılarının %54.5 düzeyinde olması da dikkat edilmesi gereken diğeri bir noktadır. Başka bir ifade ile kesme kuvvetleri için yüksek modların önemli katkılar sağladığı ortaya çıkmaktadır. Üniform yer hareketi durumunda antisimetrik modların toplam dinamik kesme kuvvetine katkısının olmadığı da gözlenmektedir.

Tablo 14’de genel durumda tabliye merkez açıklığı orta noktasından Jindo Adası doğrultusunda 152 m uzaklıktaki noktada dinamik normal kuvvete ait bileşenler verilmektedir. Burada 1. ve 2. modlar en büyük katkıyı sağlamaktadır (%104.1). Bunun dışında kovaryans bileşenlerin negatif etkisi gözlenmektedir. Burada da yerdeğiştirmede olduğu gibi yüksek modların katkılarının olmadığı gözlenirken, diyagonal dışındaki az sayıdaki kovaryans bileşenin katkısı ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, üniform yer hareketi durumunda modlar arasındaki varyans ve kovaryans bileşenlerin katkıları daha az olmaktadır. Toplam dinamik bileşenin de hemen hemen 1. moddan ibaret olduğu gözlenmektedir.

Tablo 11. Dinamik yerdeğiştirme bileşenine modların katkısı

		MOD J																										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15												
M O D  I	15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0												
	14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0												
	13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0												
	12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15										
	11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14									
	10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13								
	9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12							
	8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11						
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10					
	6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9				
	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8			
	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7		
	3	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6	
	2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5
	1	99.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4
		0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3	
		68.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15												

MOD J

Tablo 12. Dinamik eğilme momenti bileşenine modların katkısı

		MOD J																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15					
M O D  I	15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
	14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					
	13	0.0	-0.5	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0					
	12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15			
	11	0.0	0.0	-0.1	0.4	0.2	-0.1	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14		
	10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13	
	9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12
	8	0.0	0.5	0.1	0.1	-0.1	0.0	-0.3	0.6	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11
	7	0.0	0.0	0.5	-1.2	-0.7	0.7	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10
	6	0.0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9
	5	0.0	-0.8	0.1	1.2	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8
	4	0.0	1.1	-0.1	5.5	0.0	0.0	27.9	0.0	0.0	0.0	-1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7
	3	0.0	1.4	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6
	2	-1.4	78.2	0.0	0.0	4.4	0.0	-0.5	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5
	1	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4
		0.0	4.7	0.0	-0.2	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3	
		1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15					

MOD J

Tablo 13. Dinamik kesme kuvveti bileşenine modların katkısı

		MOD J															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
MOD I	15	-0.5	0.5	-0.1	0.8	0.3	-0.9	0.4	-1.4	1.7	0.1	-0.1	-1.5	-1.5	-7.6	9.3	
	14	0.4	-1.3	0.1	-0.8	-0.6	0.5	-0.7	0.9	-0.9	-0.1	0.2	-2.7	-0.1	15.8		
	13	0.5	1.0	0.3	-0.3	0.1	0.5	-0.3	1.1	-0.6	0.0	0.0	0.5	2.6			
	12	-0.3	-0.1	-0.3	0.4	0.4	0.4	1.4	-0.3	-0.7	0.0	0.3	26.8			4.4	
	11	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1	-0.2	0.0	-0.1	0.0	0.1			1.2	-4.0	
	10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	-0.1	0.1	0.0				0.0	0.1	
	9	-0.3	-0.7	-0.3	0.1	-0.3	-0.5	-0.2	-6.2	6.5				0.6	0.1	0.4	-0.8
	8	0.4	0.7	0.3	-0.2	0.2	0.1	-0.6	4.4			0.2	0.1	0.0	0.2	-0.3	
	7	0.1	0.0	0.4	0.6	0.3	2.1	3.1			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
	6	0.5	0.7	0.6	-0.3	0.1	4.4			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	0.3	0.1	0.7	0.9			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	4	-0.1	-0.5	0.2	3.6			9.6	0.0	0.0	0.1	-0.2	-0.5	-0.1	-0.7	1.4	
	3	0.0	1.1	3.6			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2	-1.9	21.5			2.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1	0.3
	1	11.8			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
				11.1	0.0	0.2	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.0	-0.2	0.3	
		8.1	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1	0.2	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	

MOD J

Tablo 14. Dinamik normal kuvvet bileşenine modların katkısı

		MOD J														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
MOD I	15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
	12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.0
	11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	0.0
	10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	0.0	0.0
	9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	0.0	0.0	0.0
	8	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	6	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.1			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	4	0.0	0.0	0.0	0.0			0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3	0.0	0.2	0.2			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2	-4.5	16.5			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1	87.6			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
				0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		60.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

MOD J

### 3.1.3. Stasyoner Olmayan Davranış

Bu bölümde istatistiksel özelliklerin zamana bağımlı olduğu stasyoner olmayan işlem üzerinde durulmaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi deprem hareketi gibi farklı zamanlarda farklı istatistiklere sahip rasgele işlemler stasyoner olmayan işlem sınıfına girmektedir. Stasyoner olmayan işlem için, stasyoner işlemde (29) denklemi ile gösterilen frekans davranış fonksiyonu yerine, (48) denklemi ile gösterilen  $H_j(w,t)$  ifadesi yazılmaktadır.

Yer hareketinin belirli anlarında tepki bileşenlerinin stasyoner davranışa yaklaşmış ve yaklaşmadığını belirlemek amacıyla, 10., 20. ve 30. sn'lerde tespit edilen stasyoner olmayan tepki değerleri stasyoner işlem için bulunan sonuçlarla karşılaştırılmaktadır. Bu amaçla  $v_{app}=600$  m/s, Model 1 ve orta zemin cinsi için tabliye ve Jindo kulesinde hesaplanan toplam yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerine ait normalleştirilmiş varyans değerleri Şekil 90-92'de karşılaştırılmaktadır. Normalleştirme işlemi varyans değerleri, stasyoner işlem için tespit edilen maksimum varyans değerine bölünmek suretiyle gerçekleştirilmektedir.

Şekil 89'da tabliye kenar açıklıklarında stasyoner ve stasyoner olmayan analizler sonucu bulunan toplam yerdeğiştirmeler yaklaşık olarak aynı çıkarken, merkez açıklıkta stasyoner analiz ile bulunan yerdeğiştirmeler stasyoner olmayan analiz sonuçlarından büyük çıkmaktadır. En büyük yerdeğiştirmenin elde edildiği tabliye orta noktasında  $t=10$ . sn'de stasyoner olmayan işlem için bulunan yerdeğiştirme değeri stasyoner işleme % 77 yaklaşırken, 20. sn'de %92 ve 30. sn'de % 98 yaklaşmaktadır.

Şekil 90'da Jindo kulesinde stasyoner ve stasyoner olmayan işlemler için elde edilen toplam yerdeğiştirmeler incelenmektedir. Burada stasyoner işlem için bulunan yerdeğiştirmeler en büyük olmaktadır. Ayrıca, stasyoner olmayan işlem için 10. sn'de kule tepe noktasında bulunan yerdeğiştirme değeri stasyoner işlem için bulunan değerlerin % 86'sını oluştururken, 20. ve 30. sn'lerde sırasıyla %96 ve %99'unu oluşturmaktadır.

Şekil 91'de tabliyede elde edilen toplam eğilme momenti değerleri karşılaştırılmaktadır. Burada da stasyoner işlem için elde edilen eğilme momenti değerleri en büyük olmaktadır. En büyük eğilme momentinin olduğu noktada  $t=10$ . sn'de stasyoner olmayan işlem için elde edilen moment değeri stasyoner işlem için bulunan değerlerin %80'i olurken,  $t=20$ . ve  $t=30$ . sn'lerde bu oran sırasıyla %95 ve %98 olmaktadır. Şekil 92'de ise Jindo kulesindeki toplam eğilme momenti değerleri görülmektedir. Stasyoner işlem



sonucunda elde edilen değerler en büyük olurken,  $t=10$ . sn'de kule taban noktasında stasyoner olmayan işlem için bulunan eğilme momenti değeri stasyoner işlem sonucunun %82'si ve  $t=20$ . ve  $t=30$ . sn'lerde sırasıyla %95 ve %99'u kadar olmaktadır.

Tabliye ve Jindo kulesinde elde edilen kesme ve normal kuvvet değerlerinin değişimi burada gösterilmemekle birlikte, yerdeğiştirme ve eğilme momentleri için bulunan değişimle paralellik içerisinde olmaktadır.

Stasyoner işlem durumunda daha büyük tepki değerleri elde edilmesine rağmen, özellikle yer hareketinin 20. sn'sinden sonra stasyoner olmayan işlem için elde edilen değerler stasyoner değerlere oldukça yaklaşmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada stasyoner işlem için çözüm yapılması uygun bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir.

şekil 93-96'de tabliye ve Jindo kulesinde yer hareketinin özel durumları için elde edilen toplam yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma işlemi  $t=10$ . sn'de stasyoner olmayan işlem için üniform yer hareketi, dalga yayılma etkisi, korelasyon etkisi ve genel durumda hesaplanan tepki değerleri arasında yapılmaktadır. Burada elde edilen değişimler, stasyoner işlem için elde edilen değişimlerle aynı olmaktadır. Dolayısıyla yer hareketinin özel halleri için stasyoner işlem durumunda elde edilen genel sonuçlar stasyoner olmayan işlem için de geçerlidir.

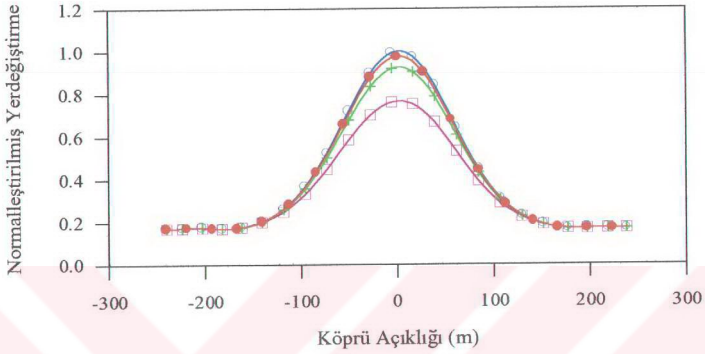
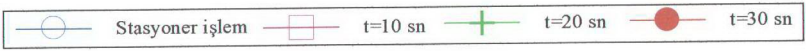
şekil 97'de  $t=10$ . sn'de stasyoner olmayan işlem için tabliye yerdeğiştirme bileşenlerine ait zahiri-statik, dinamik ve kovaryans bileşenlerin normalleştirilmiş varyans dağılımları incelenmektedir. Burada elde edilen değişim stasyoner işlem için elde edilen değişimle paralellik göstermekle birlikte, stasyoner olmayan işlem için bulunan değerlerin stasyoner işlem sonuçlarından küçük çıkması ve stasyoner olmayan işlemde zahiri-statik bileşenlerin stasyoner işlemdekine eşit olması nedeni ile stasyoner olmayan işlem için zahiri-statik bileşenin katkısı artarken, dinamik bileşenin katkısı azalmaktadır. Nitekim tabliye orta noktasında stasyoner olmayan işlem için zahiri-statik bileşenin katkısı %30 olurken, dinamik bileşenin katkısı %62 ve kovaryans bileşenin katkısı %8 olmaktadır. Stasyoner işlem için ise elde edilen oranlar sırasıyla %23, %71 ve %6 olarak belirlenmiştir.

şekil 98'de Jindo kulesi yerdeğiştirme bileşenleri için benzer bir karşılaştırma yapılmaktadır. Burada yine stasyoner işlem için bulunan değişime yakın bir değişim elde edilmiştir. Ancak daha önce de belirtildiği gibi dinamik bileşenin katkısının azalması nedeni ile kule tepe noktalarında zahiri-statik bileşenin katkısı dinamik bileşenenden daha fazla olmuştur. Kule tepe noktasında zahiri-statik bileşenin katkısı %52 olurken, dinamik

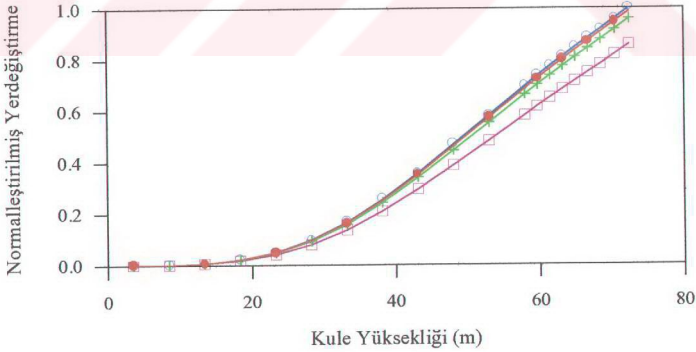
bileşenin katkısı %41 ve kovaryans bileşenin katkısı %7 olmaktadır. Stasyoner işlem için bulunan oranlar ise sırasıyla %45, %49 ve %6 şeklindedir.

Tabliye eğilme momenti varyans bileşenleri Şekil 99'da karşılaştırılmaktadır. Burada elde edilen değişim stasyoner işlem için bulunan değişime benzerdir. En büyük eğilme momentinin olduğu noktada zahiri-statik bileşenin katkısı %10 olurken, dinamik bileşenin katkısı %90 olmakta ve kovaryans bileşenin katkısı olmamaktadır. Stasyoner işlem için bulunan oranlar ise sırasıyla %7, %92 ve %1'dir. Jindo kulesi eğilme momenti varyans bileşenleri ise Şekil 100'de incelenmektedir. Kule en alt noktasında elde edilen eğilme momentine zahiri-statik bileşenin katkısı %16 olurken, dinamik bileşenin katkısı %79 ve kovaryans bileşenin katkısı %5 olmaktadır. Stasyoner işlem için bulunan oranlar ise sırasıyla %13, %83 ve %4'dür. Dolayısıyla eğilme momentleri için de dinamik bileşenin katkısı azalırken, zahiri-statik bileşenin katkısı artmaktadır.

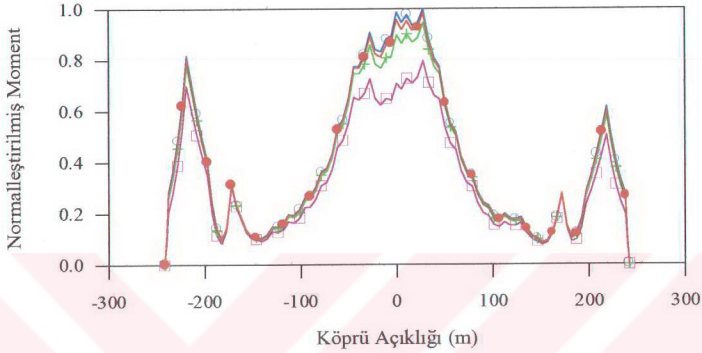
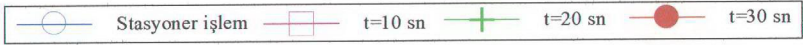




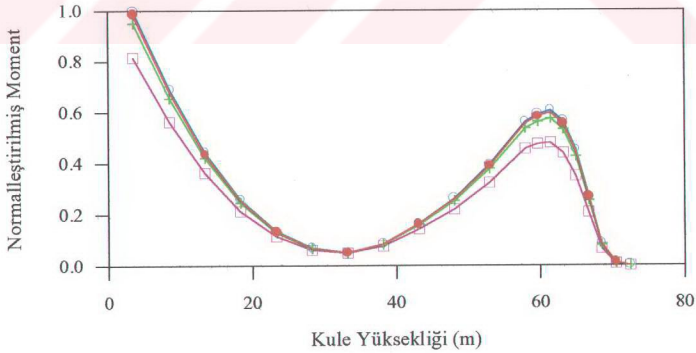
Şekil 89. Stasyoner olmayan tabliye toplam yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları



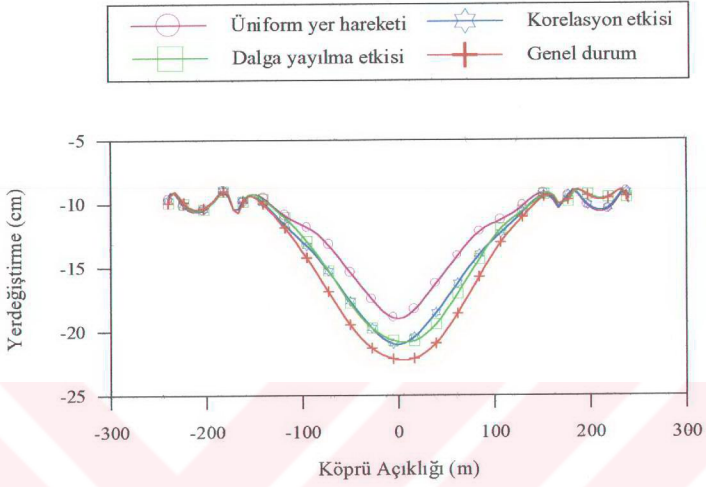
Şekil 90. Stasyoner olmayan Jindo kulesi toplam yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları



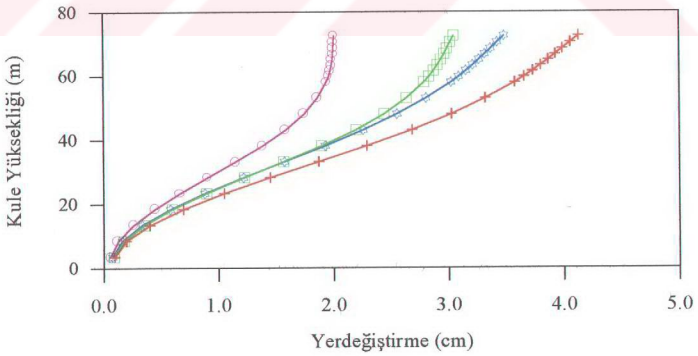
Şekil 91. Stasyoner olmayan tabliye toplam eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları



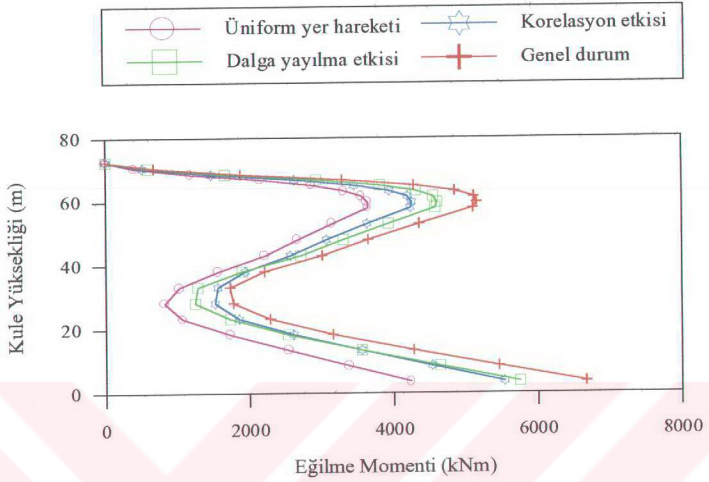
Şekil 92. Stasyoner olmayan Jindo kulesi toplam eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları



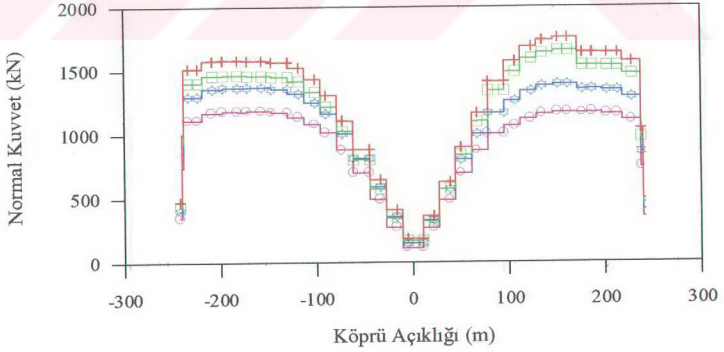
Şekil 93. t=10. sn'deki stasyoner olmayan tabliye toplam yerdeğiştirmeleri



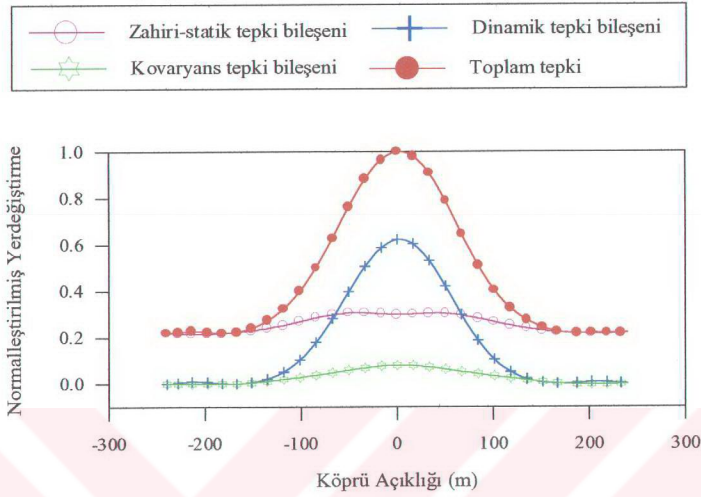
Şekil 94. t=10. sn'deki stasyoner olmayan Jindo kulesi toplam yerdeğiştirmeleri



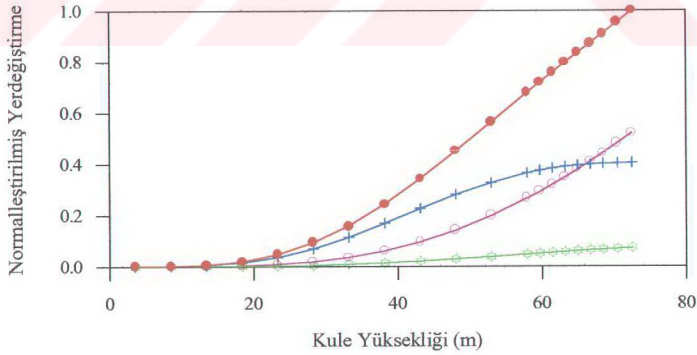
Şekil 95. t=10. sn'deki stasyoner olmayan Jindo kulesi toplam eğilme momentleri



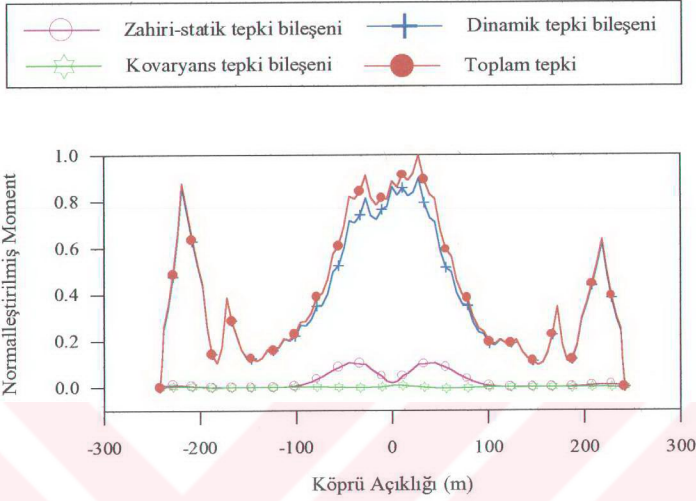
Şekil 96. t=10. sn'deki stasyoner olmayan tabliye toplam normal kuvvetleri



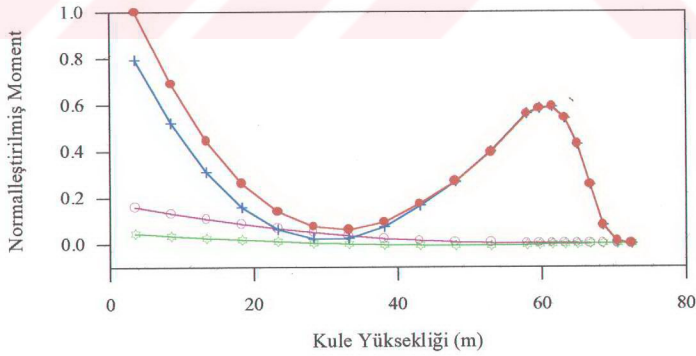
Şekil 97.  $t=10$ . sn'de stasyoner olmayan tabliye yerdeğiştirme varyans bileşenleri



Şekil 98.  $t=10$ . sn'de stasyoner olmayan Jindo kulesi yerdeğiştirme varyans bileşenleri



Şekil 99. t=10. sn'de stasyoner olmayan tabliye eğilme momenti varyans bileşenleri



Şekil 100. t=10. sn'de stasyoner olmayan Jindo kulesi eğilme momenti varyans bileşenleri

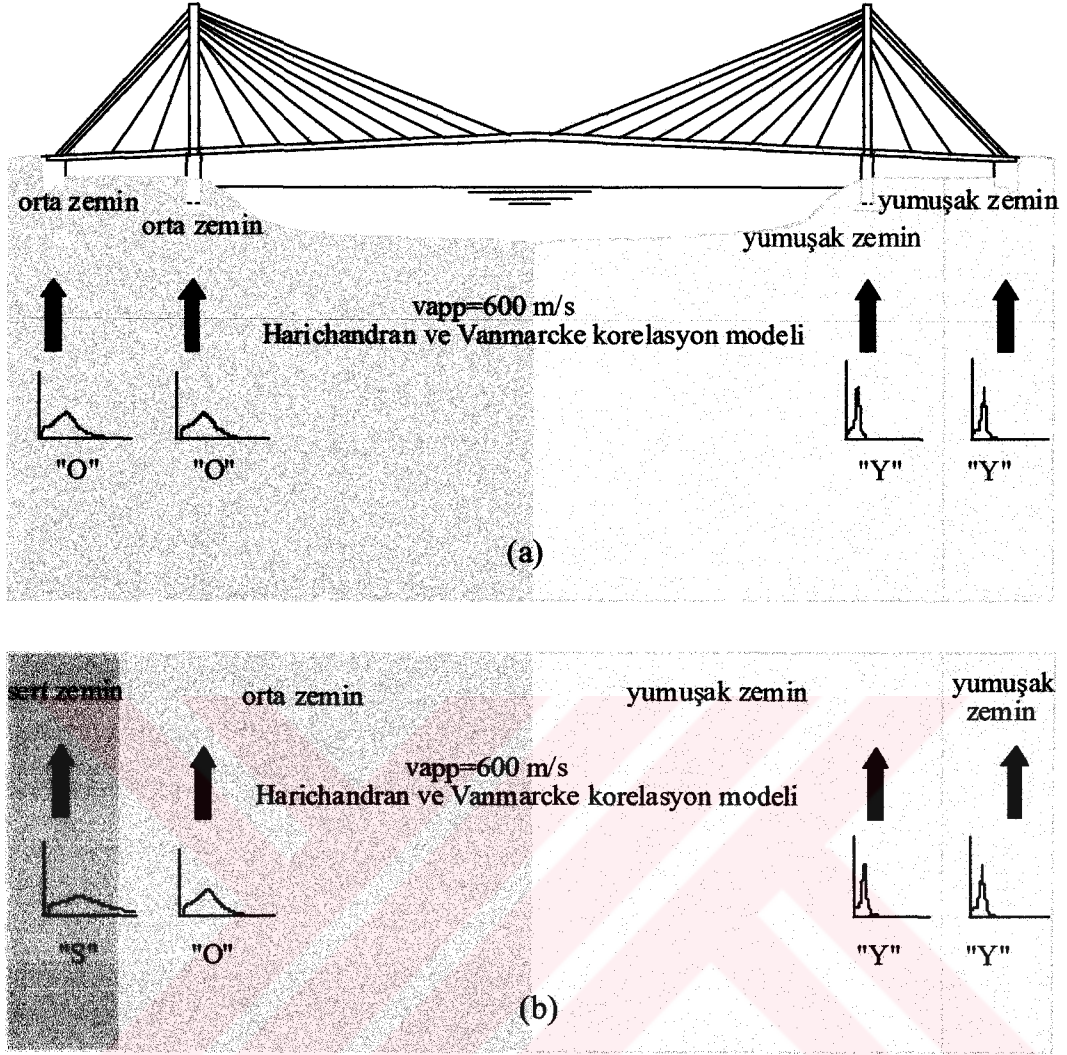


### 3.2.Kablolu Köprünün Mesnetlendiği Zeminin Homojen Olmaması Halinde Dalga Yayılma ve Korelasyon Etkilerinin İncelenmesi

Bu bölümde kablolu köprünün üzerine inşa edildiği zemin ortamının homojen olmaması durumunda değişen yer hareketi için kablolu köprünün stokastik analizi üzerinde durulmaktadır. Homojen olmayan zemin şartlarının etkisini irdelemek amacıyla Şekil 101’de görülen iki farklı durum dikkate alınmaktadır. İlk durumda Jindo Adası tarafındaki mesnet ve Jindo kulesi mesnet noktalarındaki zemin türü “Orta” zemin türü olarak tanımlanıp “O” harfi ile gösterilirken, ana kıtadaki mesnet ve ana kıta kule mesnet noktaları için zemin türü ”Yumuşak” zemin türü olarak tanımlanıp “Y” harfi ile gösterilmektedir (OOYY). Her mesnette bir zemin türü tanımlanmak kaydı ile, bu ifadede her harf bir mesnedi ve o mesnetteki zemin cinsini işaret etmektedir. İkinci durumda ise Jindo Adası tarafındaki mesnet noktasındaki zemin türü “Sert”, Jindo kulesi mesnet noktasındaki zemin türü “Orta” ve ana kıtadaki mesnet ve ana kıta kule mesnet noktası için zemin türü ”Yumuşak” olarak tanımlanmıştır (SOYY). Her bir mesnede etkiyen yer hareketi, zemin durumuna bağlı olarak elde edilen spektral yoğunluk fonksiyonu ile ifade edilmektedir.

Zemin şartlarındaki değişimin de dikkate alınabilmesi için mesnet noktaları arasındaki yer hareket ivmesinin karşıt spektral yoğunluk fonksiyonu (49) denklemi ile ifade edilirken,  $\gamma_{lm}(w)$  korelasyon fonksiyonu (56) denklemindeki gibidir. Bu bölümde dalga yayılma etkisi için yer hareketi yayılma hızı (60) denkleminde ortalama olarak  $v_{app}=600$  m/s alınmaktadır. Korelasyon etkisi olarak da (57) denklemi ile gösterilen Harichandran ve Vanmarcke [89] korelasyon modeli (Model 1) kullanılmaktadır.

Burada ayrıca karşılaştırma amacı ile homojen zemin ortamına karşılık gelen (OOOO) zemin durumu da dikkate alınmaktadır.



Şekil 101. Homojen olmayan zemin ortamında yer hareketi etkisindeki kablolu köprü sistemi

- a) OOYY zemin ortamı
- b) SOYY zemin ortamı

### 3.2.1. Stasyoner Davranış

#### 3.2.1.1. Yerdeğiştirme ve Eleman Kuvvetlerinin Varyans Değerlerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde zemin şartlarındaki değişim dikkate alınmak suretiyle tabliye ve kulelerde elde edilen yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri bileşenlerine ait normalleştirilmiş varyans dağılımları karşılaştırılmaktadır. Normalleştirme işlemi varyans değerleri maksimum toplam varyans değerine bölünmek suretiyle gerçekleştirilmektedir. Öncelikle (OOYY) zemin durumundaki varyans değerleri incelenmektedir. Böylece (56) denklemi ile tanımlanan dalga yayılma, korelasyon (Harichandran ve Vanmarcke [89] korelasyon modeli-Model 1) ve zemin etkilerinin dikkate alındığı genel durumda elde edilen tabliye düşey yerdeğiştirme bileşenleri Şekil 102'de incelenmektedir. Maksimum zahiri-statik yerdeğiştirme ana kıta tarafındaki rijit olan mesnede yakın noktalarda ortaya çıkarken, maksimum dinamik yerdeğiştirme daha esnek olan tabliye orta noktasında oluşmaktadır. Burada zahiri-statik ve dinamik bileşenlerin toplam yerdeğiştirmeye önemli katkıları olmaktadır. Maksimum zahiri-statik yerdeğiştirme genellikle rijit olan mesnet noktalarında ve maksimum dinamik yerdeğiştirme esnek olan açıklık ortalarına doğru en büyük değerlerini aldığından, maksimum toplam yerdeğiştirme tabliye orta noktası ile ana kule mesnet noktası arasında oluşmaktadır. Ayrıca kovaryans bileşenin katkısı da ihmal edilebilecek orandadır. En büyük yerdeğiştirmenin elde edildiği noktada zahiri-statik bileşenin katkısı %68 iken, dinamik bileşenin katkısı %29 ve kovaryans bileşenin katkısı %3 olmaktadır.

Şekil 103-104'de Jindo kulesinde elde edilen yerdeğiştirme varyans değerleri karşılaştırılmaktadır. Şekil 103'de sadece zemin şartlarındaki değişim dikkate alınırken, dalga yayılma ve korelasyon etkisi ihmal edilmektedir. Yerdeğiştirmeler büyük oranda dinamik bileşenden meydana gelirken, zahiri-statik bileşenin katkısı az olmaktadır. Genel durumda elde edilen değişim ise Şekil 104'de görülmektedir. Burada yerdeğiştirmelere en büyük katkıyı dinamik bileşen sağlarken, zahiri-statik bileşenin de önemli katkıları olmaktadır. Kovaryans bileşenin katkısı ise yine çok azdır. Daha önce Şekil 19-20'de dalga yayılma etkisi ve korelasyon etkisinin ayrı ayrı dikkate alındığı durumlara dikkat edilirse, burada genel durumdaki zahiri-statik bileşenlerin artmasına korelasyon etkisinin

neden olduğu anlaşılmaktadır. Nitekim Jindo kulesi tepe noktasında zahiri-statik bileşenin katkısı %36 iken, dinamik bileşenin katkısı %59 ve kovaryans bileşenin katkısı %5'dir.

Şekil 105'de genel durumda ana kıtadaki kule yerdeğiştirme varyans değerleri gözlenmektedir. Burada Jindo kulesindekinden farklı olarak en büyük katkıyı zahiri-statik bileşen sağlarken, dinamik bileşenin önemli katkıları olmaktadır. Zahiri-statik yerdeğiştirmelerin katkısındaki bu artışın ana kıta tarafındaki mesnet noktalarının yumuşak zemine oturmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü daha önce de gösterildiği gibi yumuşak zemin cinsi durumundaki zahiri-statik bileşenler diğer zemin cinslerine oranla daha büyük tepki değerlerinin oluşmasında neden olmaktadır. Jindo kulesi tepe noktasında zahiri-statik bileşenin katkısı %77 iken, dinamik bileşenin katkısı %24 ve kovaryans bileşenin katkısı %1 olmaktadır.

Şekil 106'da genel durumda tabliyede elde edilen eğilme momentlerinin normalleştirilmiş varyans değerleri görülmektedir. Tabliye eğilme momentlerine en büyük katkıyı dinamik bileşen sağlarken, zahiri-statik bileşenin de özellikle merkez açıklıkta önemli katkıları olmaktadır. Kovaryans bileşenin katkısı ise oldukça azdır. En büyük eğilme momentinin olduğu noktadaki zahiri-statik bileşenin katkısı %34 iken, dinamik bileşenin katkısı %66 ve kovaryans bileşenin katkısı %0'dır.

Şekil 107'de genel durumda Jindo kulesinde elde edilen eğilme momentlerinin varyans değerleri karşılaştırılmaktadır. Burada toplam eğilme momentleri büyük oranda dinamik bileşenden oluşmaktadır. Kule taban noktasında zahiri-statik bileşenin katkısı %7 olurken, dinamik bileşenin katkısı %90 ve kovaryans bileşenin katkısı %3 olmaktadır.

Şekil 108'de genel durumda ana kıta tarafındaki kulede elde edilen eğilme momenti normalleştirilmiş varyans değerleri incelenmektedir. Değişime dikkat edilirse Jindo kulesi için bulunan değişimden farklı bir değişim söz konusudur. Burada da yumuşak zemin cinsi nedeniyle zahiri-statik bileşen dinamik bileşen kadar etkili olmaktadır. Kovaryans bileşenin katkısı ise önemsiz kalmaktadır. Kule taban noktasında zahiri-statik bileşenin katkısı %45 iken, dinamik bileşenin katkısı %56 ve kovaryans bileşenin katkısı %1'dir.

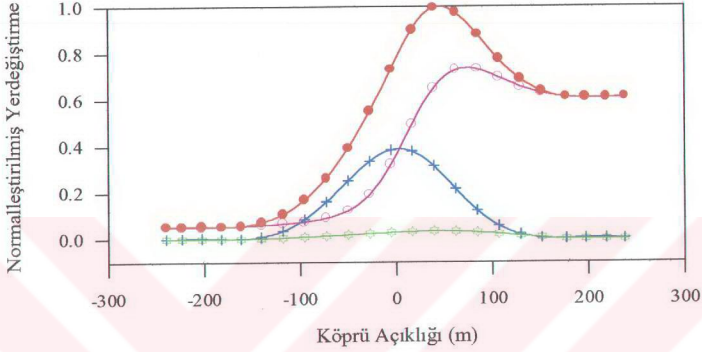
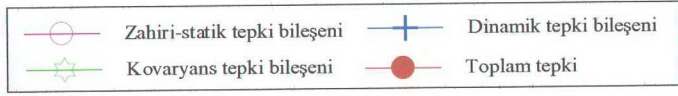
Şekil 109'da genel durumda tabliyede elde edilen kesme kuvvetleri görülmektedir. Burada da kesme kuvvetleri büyük oranda dinamik bileşenden oluşmaktadır. Ancak dikkat edilirse özellikle tabliye orta noktalarında zahiri-statik kesme kuvvetlerinin de önemli katkıları olmaktadır. Nitekim tabliye orta noktasında zahiri-statik bileşenin katkısı %47 olurken, dinamik bileşenin katkısı %53 ve kovaryans bileşenin katkısı %0 olmaktadır.

Zemin şartlarındaki değişim vasıtası ile uygulanan farklı yer hareketlerinin köprü davranışı üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için zemin şartları değiştirilmek suretiyle tabliye ve kulelerdeki yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri için elde edilen zahiri-statik, dinamik ve kovaryans bileşenlerinin normalleştirilmiş varyans dağılımları elde edilmiştir (SOYY zemin durumu). Bu durumda elde edilen değişimler burada gösterilmemekle birlikte büyük oranda OOYY zemin durumu ile paralellik içerisindedir. Yalnız Jindo kulesi yerdeğiştirme ve eğilme momentleri için elde edilen değişim biraz daha farklı olmaktadır.

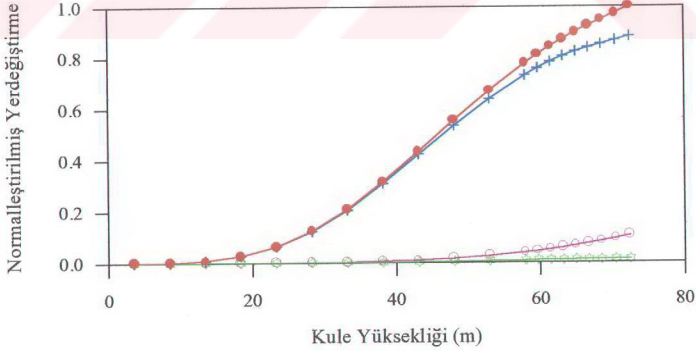
Şekil 110'da (SOYY) zemin durumunda Jindo kulesinde elde edilen yerdeğiştirme varyans değerleri genel durum için karşılaştırılmaktadır. Söz konusu durumda zahiri-statik ve dinamik bileşenlerin önemli katkıları olmaktadır. Kovaryans bileşenin katkısı ise oldukça azdır. Jindo kulesi tepe noktasında zahiri-statik bileşenin katkısı %60 iken, dinamik bileşenin katkısı %34 ve kovaryans bileşenin katkısı %6'dır.

Şekil 111'de genel durumda Jindo kulesinde elde edilen eğilme momenti varyans değerleri görülmektedir. Toplam eğilme momentlerine en büyük katkıyı dinamik bileşen sağlarken, OOYY değişen yer hareketi durumundan farklı olarak zahiri-statik bileşenin de önemli katkıları olmaktadır. Kule taban noktasında zahiri-statik bileşenin katkısı %18 olurken, dinamik bileşenin katkısı %77 ve kovaryans bileşenin katkısı %5'dir.

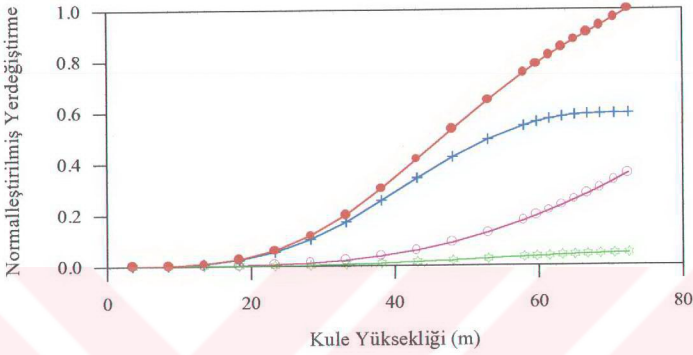
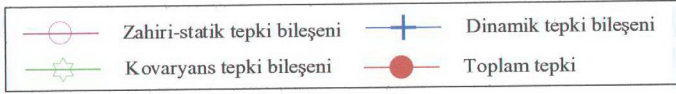
SOYY değişen yer hareketi durumunda Jindo Adası tarafındaki mesnetteki ve Jindo Adası tarafındaki kuleye ait mesnet noktasındaki zemin türleri farklı olarak tanımlandığından, söz konusu iki mesnet noktası arasındaki mesafe orta açıklığa nispeten daha kısa olduğu için bu daha kısa ve rijit bölümdeki yerdeğiştirme ve eğilme momentlerine zahiri-statik bileşenin önemli katkıları olmaktadır.



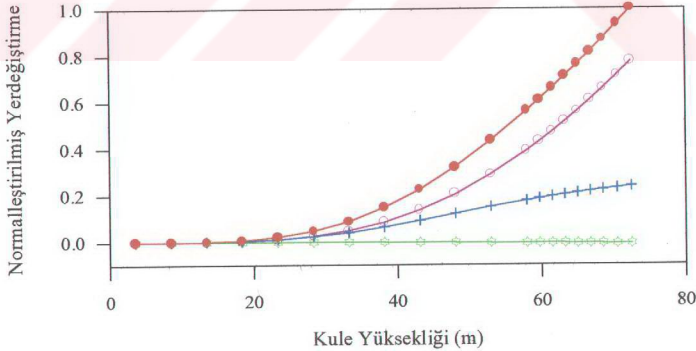
Şekil 102. Tabiye yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (OOYY zemin durumu-genel durum)



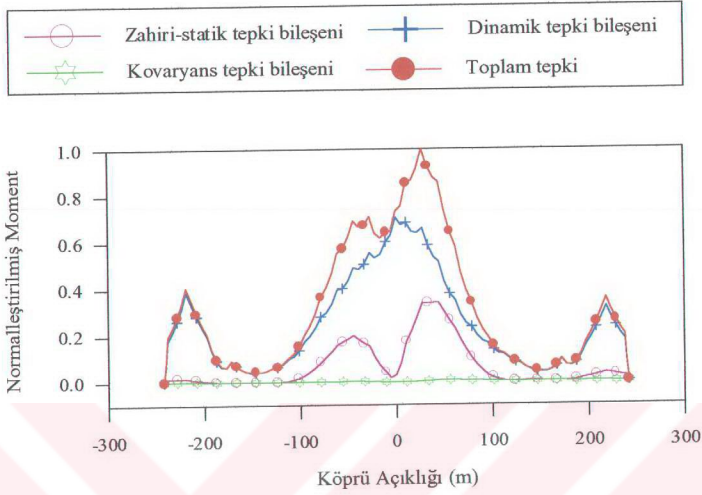
Şekil 103. Jindo kulesi yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (OOYY zemin durumu-zemin etkisi)



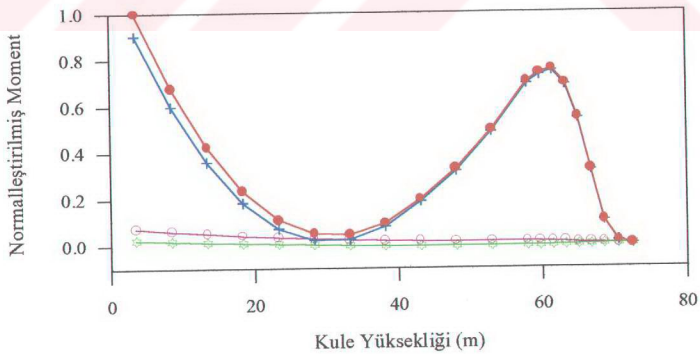
Şekil 104. Jindo kulesi yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (OOYY zemin durumu-genel durum)



Şekil 105. Ana kule yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (OOYY zemin durumu-genel durum)

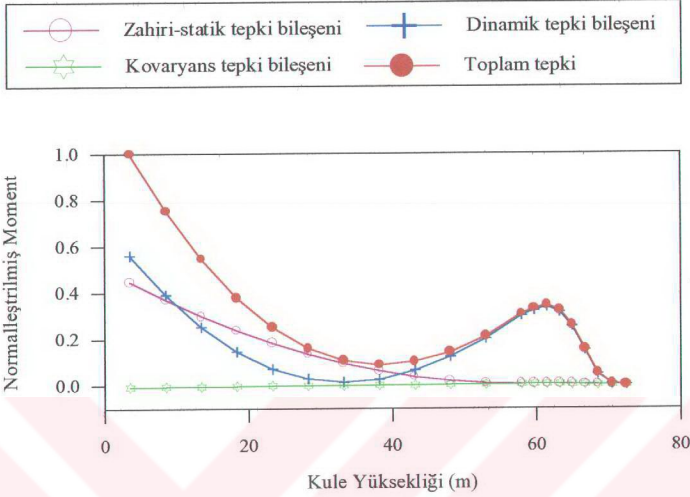


Şekil 106. Tabliye eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (OOYY zemin durumu-genel durum)

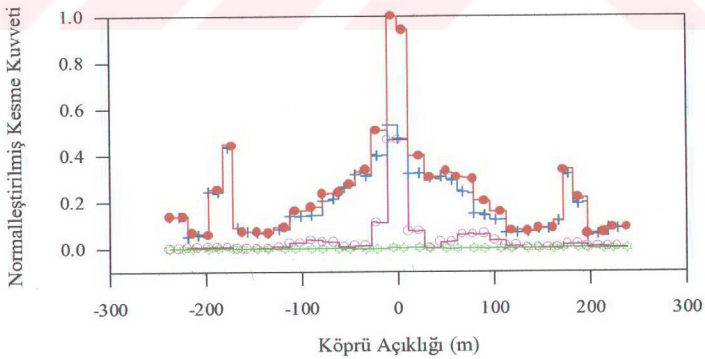


Şekil 107. Jindo kulesi eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (OOYY zemin durumu-genel durum)

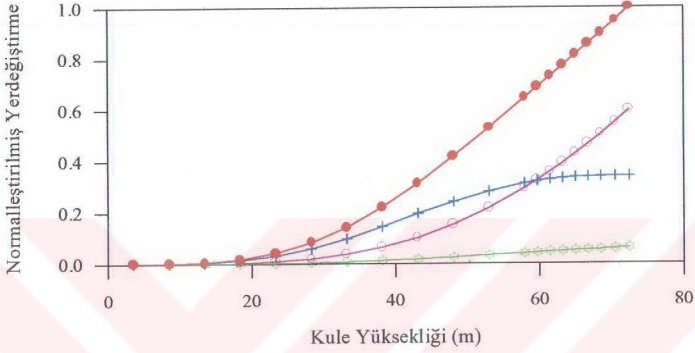
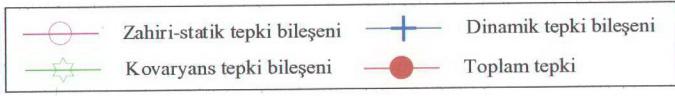




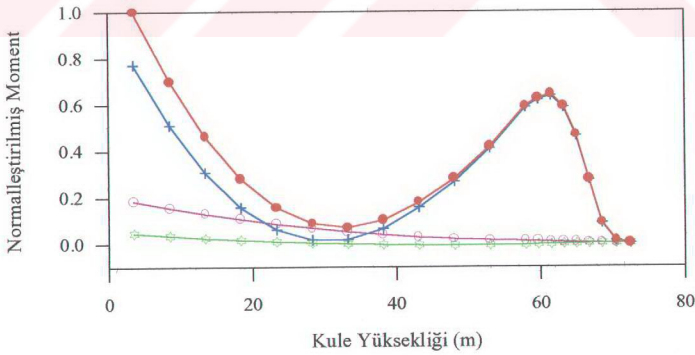
Şekil 108. Ana kıta kule eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (OOYY zemin durumu-genel durum)



Şekil 109. Tabliye kesme kuvveti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (OOYY zemin durumu-genel durum)



Şekil 110. Jindo kulesi yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum)



Şekil 111. Jindo kulesi eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum)

### 3.2.1.2. Homojen Olmayan Zeminlerde Ortalama Maksimum Yerdeğiştirme ve Eleman Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde (56) denklemi ile tanımlanan dalga yayılma etkisi, korelasyon etkisi ve zemin etkisinin birlikte dikkate alındığı genel durumda tabliye ve kulelerde elde edilen ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam yerdeğiştirmeler incelenmektedir. Elde edilen yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri ortalama maksimum değerler olup, (38) denklemi ile hesaplanmaktadır. Burada daha önce de ifade edildiği gibi yer hareketi dalga yayılma hızı olarak  $v_{app} = 600$  m/s hız değerleri kullanılırken, korelasyon etkisi için Model 1 ve zemin etkisi için OOOY ve SOYY zemin durumları dikkate alınmaktadır.

Şekil 112'de genel durumda tabliye zahiri-statik düşey yerdeğiştirme bileşenleri OOOO, OOOY ve SOYY zemin durumları için karşılaştırılmaktadır. OOOO zemin durumu için elde edilen zahiri-statik bileşenler yaklaşık olarak sabit çıkmaktadır. OOOY ve SOYY zemin durumlarında maksimum zahiri-statik yerdeğiştirmeler ise ana kıta tarafındaki mesnete yakın noktalarda oluşmaktadır.

Şekil 113'de genel durumdaki tabliye dinamik yerdeğiştirme bileşenleri incelenmektedir. En büyük dinamik yerdeğiştirmelerin daha esnek olan köprü orta noktasında oluştuğu dikkati çekmektedir. OOOO zemin durumundaki yerdeğiştirmelerin en küçük olduğu gözlenmektedir. Ayrıca OOOY ve SOYY zemin cinsleri durumunda elde edilen yerdeğiştirmeler birbirine yakın çıkmakla birlikte, SOYY zemin durumundaki yerdeğiştirmeler biraz daha büyük olmaktadır.

Genel durumdaki tabliye toplam yerdeğiştirmeleri ise Şekil 114'de karşılaştırılmaktadır. Burada OOOY ve SOYY zemin durumundaki yerdeğiştirmelerin, OOOO zemin durumuna oranla daha büyük olduğu gözlenmektedir. Maksimum yerdeğiştirme dinamik ve zahiri-statik bileşenlerin katkıları ile tabliye orta noktası ile ana kuleye ait mesnet noktaları arasında ortaya çıkmaktadır. Tabliye orta noktasında OOOY zemin durumundaki yerdeğiştirmeler OOOO zemin durumuna oranla %50 daha büyük olurken, SOYY durumundaki yerdeğiştirmeler OOOO zemin durumuna oranla %63 daha büyük olmaktadır.

Şekil 115'de genel durumdaki Jindo kulesi toplam yatay yerdeğiştirmeleri gözlenmektedir. OOOO zemin durumu için elde edilen yerdeğiştirmeler en küçük olurken, SOYY zemin durumundaki yerdeğiştirmeler en büyük olmaktadır. Jindo kulesi tepe

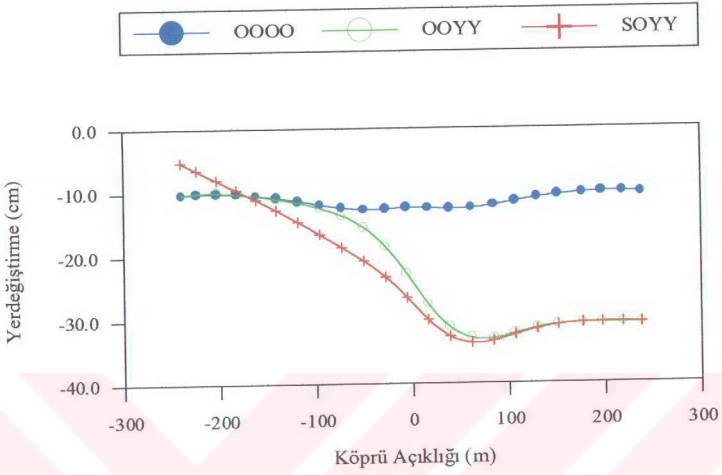
noktasında OÖYY zemin durumundaki yerdeğiştirmeler, OÖOO zemin durumuna oranla %26 daha büyük olurken, SOYY durumunda aynı oran %64 olmaktadır.

Şekil 116'da genel durumda ana kıta tarafındaki kulede elde edilen toplam yatay yerdeğiştirme değerleri karşılaştırılmaktadır. Burada da OÖOO zemin durumundaki yerdeğiştirmeler en küçük olurken, OÖYY ve SOYY zemin durumundaki yerdeğiştirmeler birbirine yakın olmakla birlikte SOYY zemin durumundaki değerlerin daha büyük olduğu gözlenmektedir. Kule tepe noktasında OÖYY zemin durumundaki yerdeğiştirmeler, OÖOO zemin durumuna oranla %95 daha fazla olurken, SOYY durumundaki değerler %99 daha fazla olmaktadır. Dikkat edilecek olursa OÖYY ve SOYY zemin durumunda elde edilen yerdeğiştirmeler Jindo kulesindekinden farklı olarak OÖOO zemin durumuna oranla önemli ölçüde daha fazladır. Bu duruma yumuşak zemin cinsi üzerine oturan ana kıta kulesi için elde edilen büyük zahiri-statik yerdeğiştirmelerin neden olduğu düşünölmektedir.

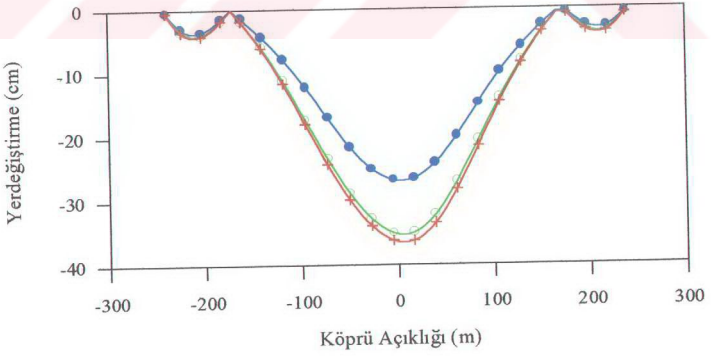
Şekil 117-118'de tabliye ve Jindo kulesinde genel durumda elde edilen toplam eğilme momentleri karşılaştırılmaktadır. OÖOO zemin durumundaki eğilme momentleri en küçük olurken, OÖYY ve SOYY zemin durumundaki eğilme momentleri birbirine yakın olmakla birlikte SOYY zemin durumundaki değerlerin daha büyük olduğu dikkati çekmektedir. Jindo kulesi taban noktasında OÖYY zemin durumundaki eğilme momenti, OÖOO zemin durumuna oranla %37 daha fazla olurken, SOYY durumundaki değer %52 daha fazla olmaktadır.

Şekil 119'da genel durumdaki tabliye toplam kesme kuvvetleri incelenmektedir. Burada merkez açıklıkta OÖOO zemin durumunda elde edilen kesme kuvvetleri en küçük olurken, SOYY zemin durumundaki değerler en büyük olmaktadır. Kenar açıklıklarda ise merkez açıklıkta elde edilen değişimden farklı olarak OÖOO zemin durumundaki değerler en büyük çıkmaktadır. Kenar açıklıklarda OÖOO zemin durumunda elde edilen değerlerin en büyük olması daha önce de irdelendiği gibi kesme kuvvetine en büyük katkıyı sağlayan dinamik bileşenden kaynaklanmaktadır. OÖOO zemin durumunda kenar açıklıklardaki kesme kuvvetleri için etkili olan modlara ait frekans değerleri, yapı sistemine etkileyen yer hareketinin enerji olarak yoğun olduğu frekans bölgesine rastladığından söz konusu durumdaki değerler en büyük olmuştur.

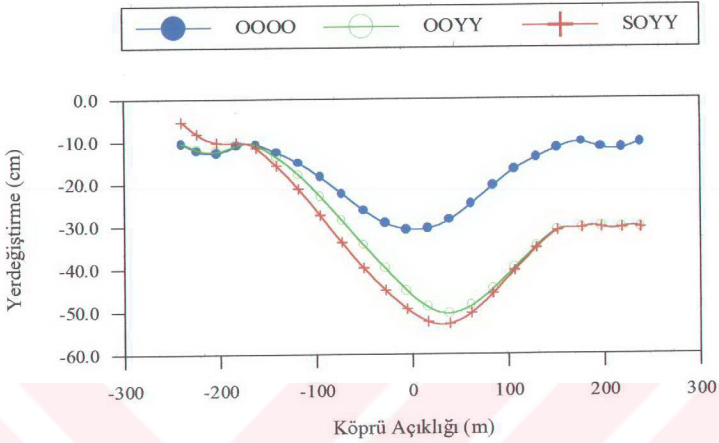
Dolayısıyla zemin Şartlarındaki değişimin yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri üzerinde önemli etkileri söz konusu olmaktadır. Bununla birlikte zemin Şartlarındaki farklılığın artması ile birlikte tepki değerleri de büyümektedir.



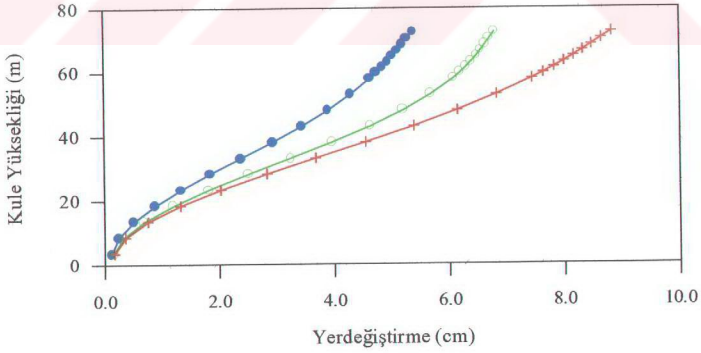
Şekil 112. Tabliye zahiri-statik düşey yerdeğiştirmeleri (genel durum)



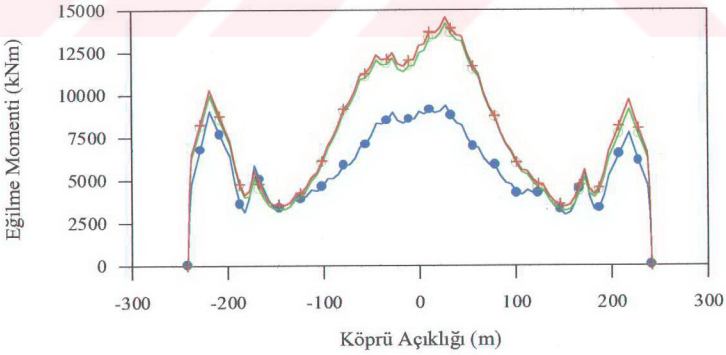
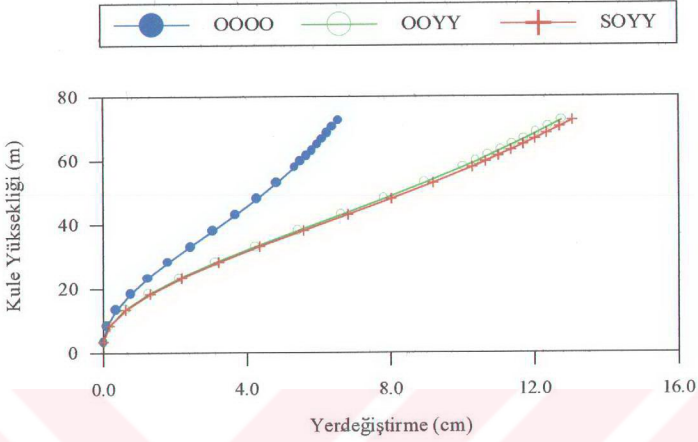
Şekil 113. Tabliye dinamik düşey yerdeğiştirmeleri (genel durum)

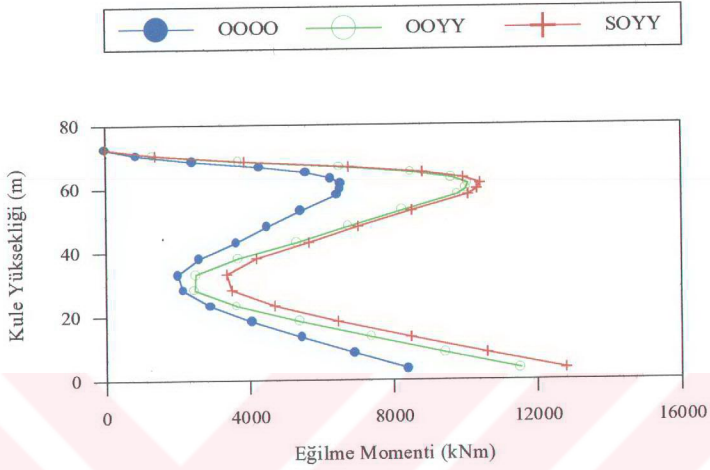


Şekil 114. Tabliye toplam düşey yerdeğiştirmeleri (genel durum)

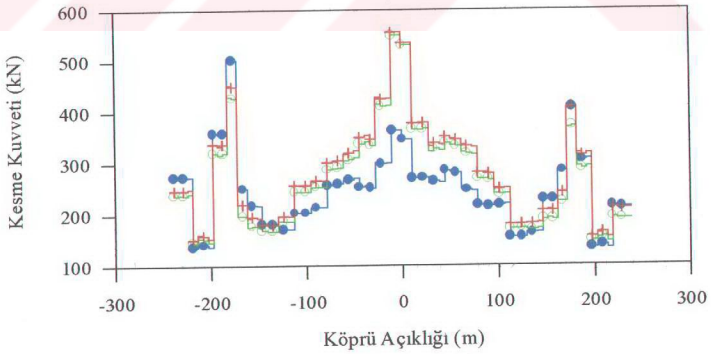


Şekil 115. Jindo kulesi toplam yatay yerdeğiştirmeleri (genel durum)





Şekil 118. Jindo kulesi toplam eğilme momentleri (genel durum)



Şekil 119. Tabliye toplam kesme kuvvetleri (genel durum)



### 3.2.1.3. Yerel Zemin, Dalga Yayılma ve Korelasyon Etkilerinin İncelenmesi

Bu bölümde (56) denklemi ile dikkate alınan korelasyon etkisi, dalga yayılma etkisi ve zemin etkisinin köprü davranışı üzerindeki etkileri ayrı ayrı dikkate alınmak suretiyle incelenmektedir. Bu amaçla yer hareketinin aşağıda verilen özel durumları dikkate alınmaktadır. Daha önceki bölümlerde homojen zemin ortamında zemin etkisi dikkate alınmazken, burada zemin etkisinin sonuçlar üzerindeki önemi üzerinde durulmaktadır.

1. **Durum** : Sadece dalga yayılma etkisi dikkate alınmaktadır. Bu durumda  $|\gamma_{lm}(w)|^k \gamma_{lm}(w)^z = 1$  eşitliği mevcuttur.
2. **Durum**: Sadece korelasyon etkisi dikkate alınmaktadır. Söz konusu durumda  $\gamma_{lm}(w)^d \gamma_{lm}(w)^z = 1$  eşitliği yazılabilmektedir.
3. **Durum**: Sadece zemin etkisi dikkate alınmaktadır. Bu durumda da  $|\gamma_{lm}(w)|^k \gamma_{lm}(w)^d = 1$  eşitliği mevcuttur.

Burada dalga yayılma hızı  $v_{app}=600$  m/s alınırken, korelasyon etkisi olarak Harichandran ve Vanmarcke [89] korelasyon modeli (Model 1) dikkate alınmaktadır. Dalga yayılma ve korelasyon etkileri için ayrı ayrı çözüm yapılırken zemin homojen kabul edilmiş olup, zemin cinsi olarak orta zemin cinsi (OOOO) düşünülmüştür. Zemin şartlarındaki değişimi dikkate alabilmek amacıyla zemin cinsinin OOYY ve SOYY olması durumları incelenmiştir. Şekil 120-129'da her bir durumda elde edilen tepki değerleri karşılaştırılmak suretiyle zemin şartlarındaki değişimin yapı davranışına olan etkisi belirlenmeye çalışılmaktadır.

Şekil 120'de her bir özel durum için elde edilen tabliye zahiri-statik düşey yerdeğiştirmeleri görülmektedir. Korelasyon ve dalga yayılma etkileri dikkate alınmak suretiyle elde edilen zahiri-statik bileşenler yaklaşık olarak sabit olurken, değişen zemin şartları için bulunan değerlerin daha büyük olduğu ve ana kıta tarafındaki mesnet noktalarında en büyük olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 121'de tabliye dinamik düşey yerdeğiştirmeleri karşılaştırılmaktadır. Kenar açıklıklarda elde edilen değerler yaklaşık olarak aynı olurken, merkez açıklıkta korelasyon ve dalga yayılma etkileri için bulunan yerdeğiştirmeler birbirine yakın olmakta ve zemin şartlarındaki değişim için elde edilen değerler en büyük çıkmaktadır. Ayrıca toplam yerdeğiştirmeler (Şekil 122) için de zemin şartlarındaki değişim durumunda elde edilen değerlerin en önemli olduğu gözlenmektedir.

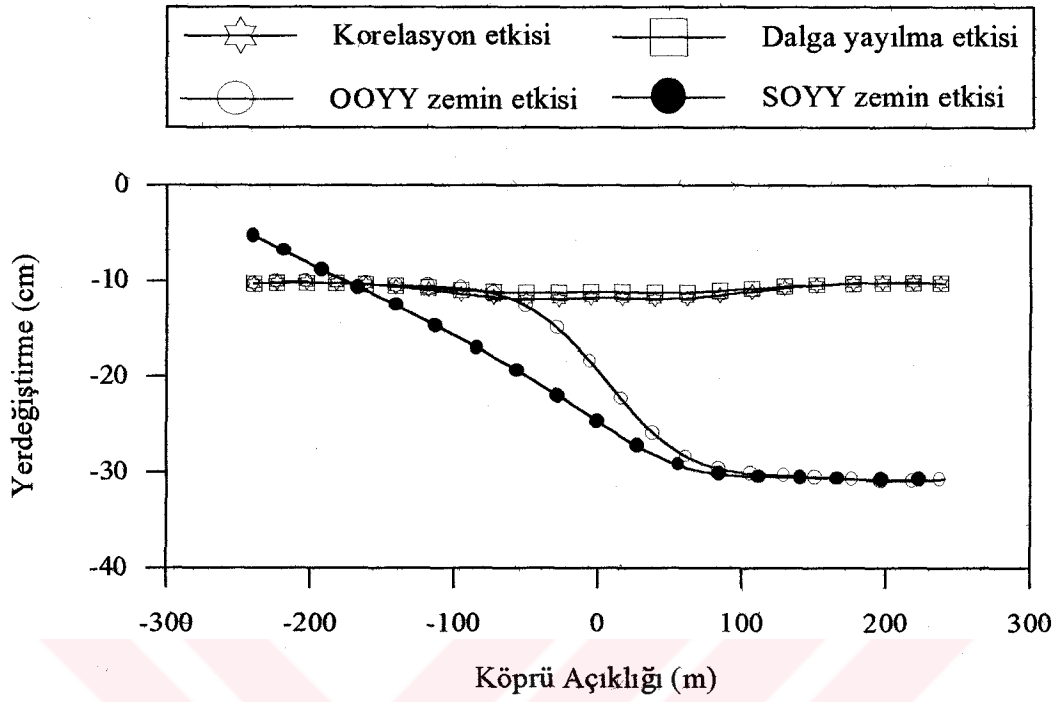
Burada zemin şartlarındaki değişimin özellikle tabliye zahiri-statik yerdeğiştirmeleri üzerinde önemli etkilerinin olduğu dikkati çekmektedir.

Şekil 123’de Jindo kulesinde elde edilen zahiri-statik yatay yerdeğiştirmelere dikkat edilirse, OYY zemin durumundaki değerlerin dalga yayılma ve korelasyon etkisi için elde edilen değerlerden küçük olduğu gözlenmektedir. Ancak Jindo Adasındaki zemin cinsinin de değişimini içeren SOYY zemin cinsi durumunda elde edilen değerler en büyük olmaktadır. Bunun yanında aynı kulede elde edilen dinamik bileşenler için zemin şartlarındaki değişim dikkate alınarak elde edilen değerlerin, korelasyon ve dalga yayılma etkileri için bulunan sonuçlardan daha büyük olduğu görülmektedir (Şekil 124). Toplam yerdeğiştirme bileşenleri için ise OYY zemin cinsi durumunda elde edilen yerdeğiştirmeler dalga yayılma etkisi için bulunan sonuçlara yakın olurken, SOYY zemin cinsi durumundaki değerler oldukça büyük çıkmaktadır. Zemin şartlarındaki değişimin daha fazla olduğu SOYY zemin cinsi durumundaki yerdeğiştirmelerin büyük olması bu bakımdan doğaldır (Şekil 125).

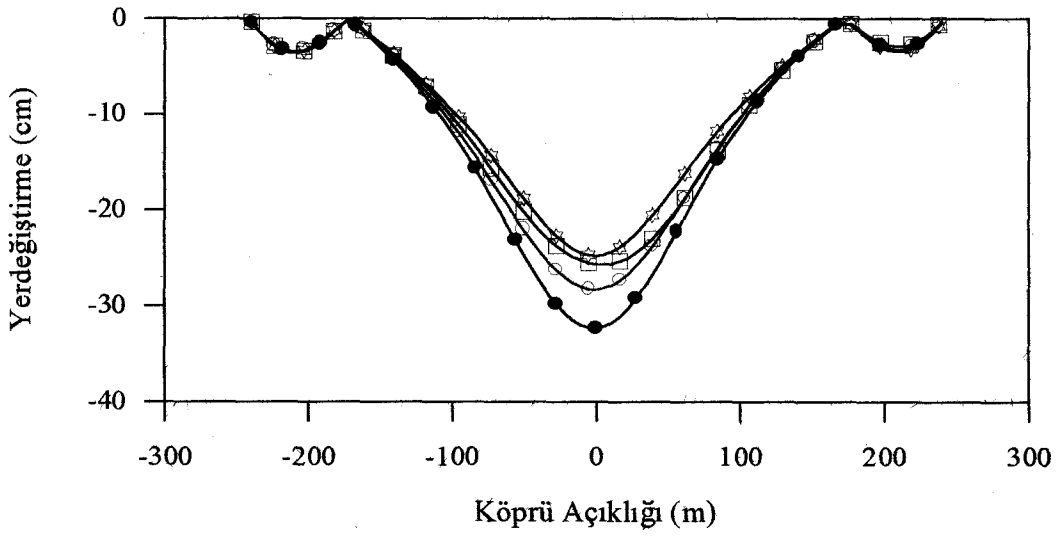
Jindo kulesindeki toplam eğilme momenti ve kesme kuvvetleri için elde edilen değişimin, Jindo kulesinde yerdeğiştirme için elde edilen değişimle paralellik içerisinde olduğu gözlenmektedir (Şekil 126-127).

Şekil 128-129’da tabliye ve Jindo kulesinde her bir özel durum için elde edilen toplam normal kuvvetler karşılaştırılmaktadır. Zemin şartlarındaki değişim dikkate alınmak suretiyle elde edilen normal kuvvetler burada da en önemli olmaktadır.

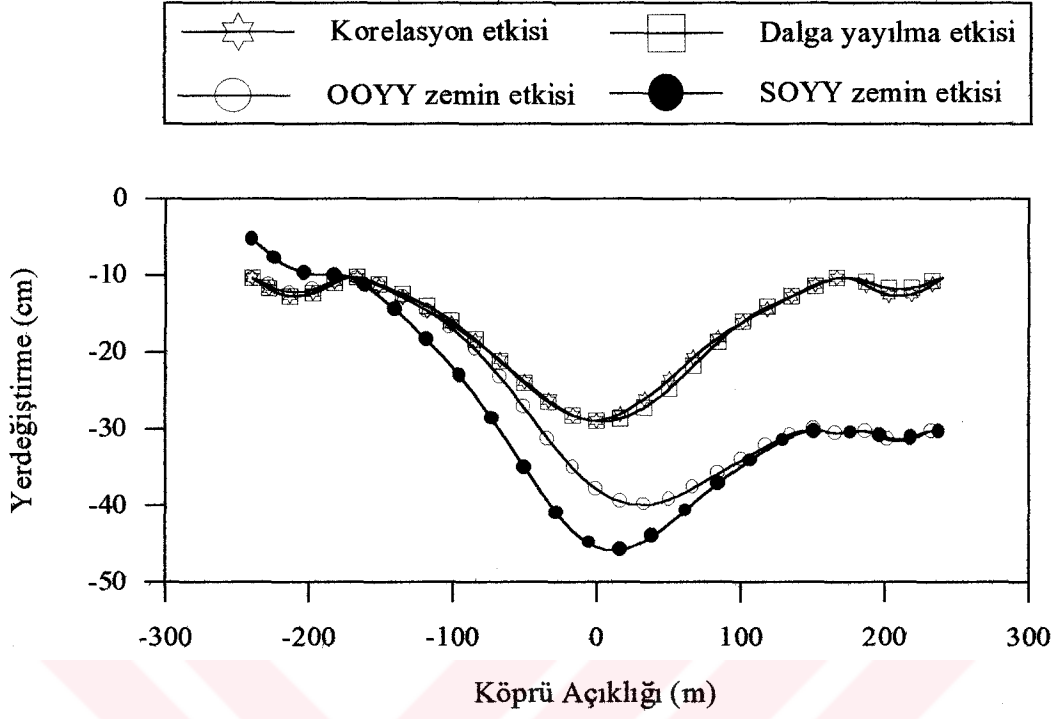
Yer hareketindeki değişime neden olan dalga yayılma, korelasyon ve zemin etkilerinden her biri ayrı ayrı dikkate alınmak suretiyle yapılan değerlendirmeler sonucu, korelasyon ve dalga yayılma etkilerinin de önemli olmakla birlikte, söz konusu bileşenlerden en önemlisinin zemin etkisi olduğu ortaya çıkmaktadır.



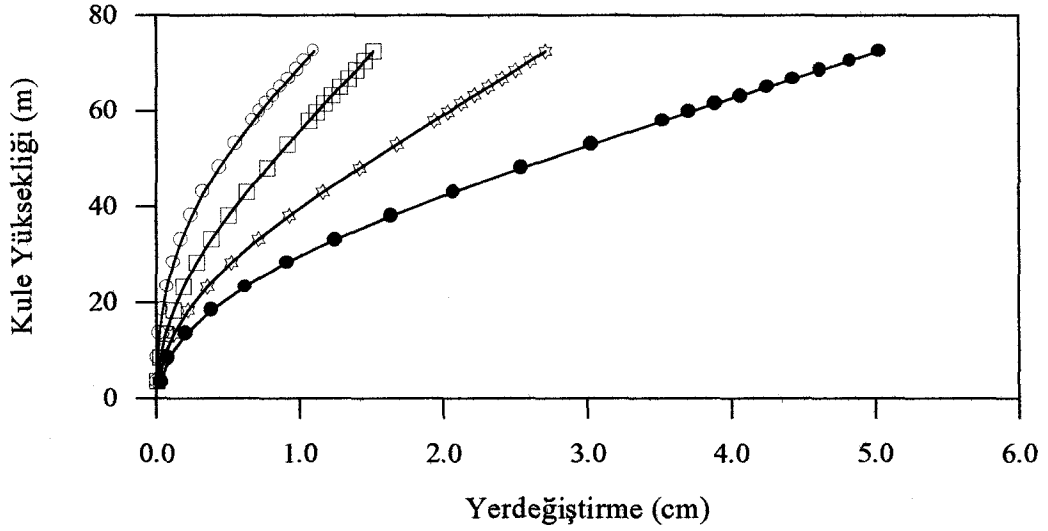
Şekil 120. Tabliye zahiri-statik düşey yerdeğiştirmeleri



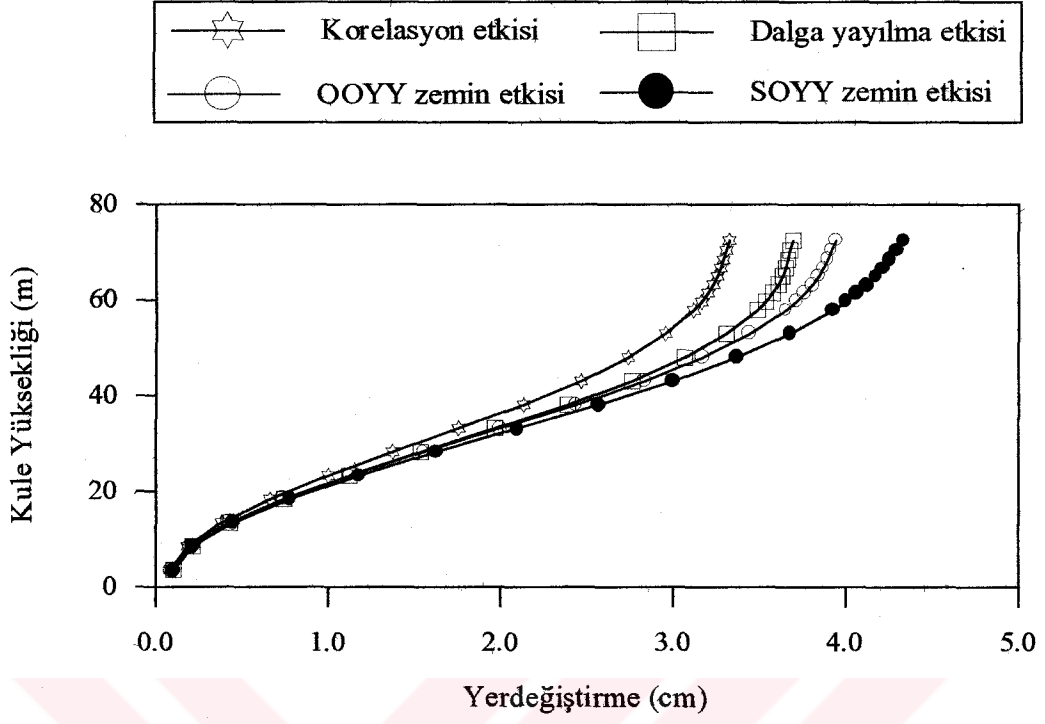
Şekil 121. Tabliye dinamik düşey yerdeğiştirmeleri



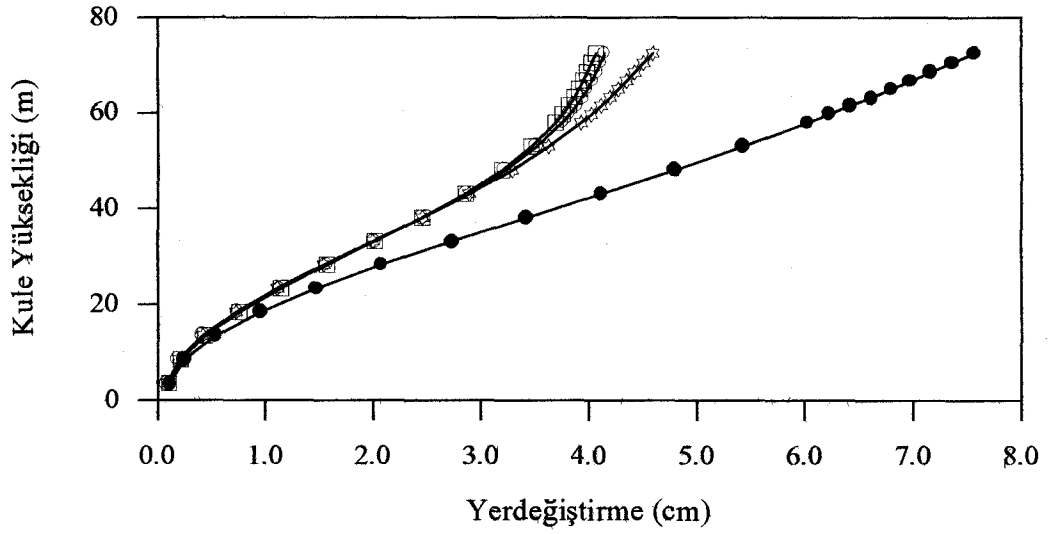
Şekil 122. Tabliye toplam düşey yerdeğiştirmeleri



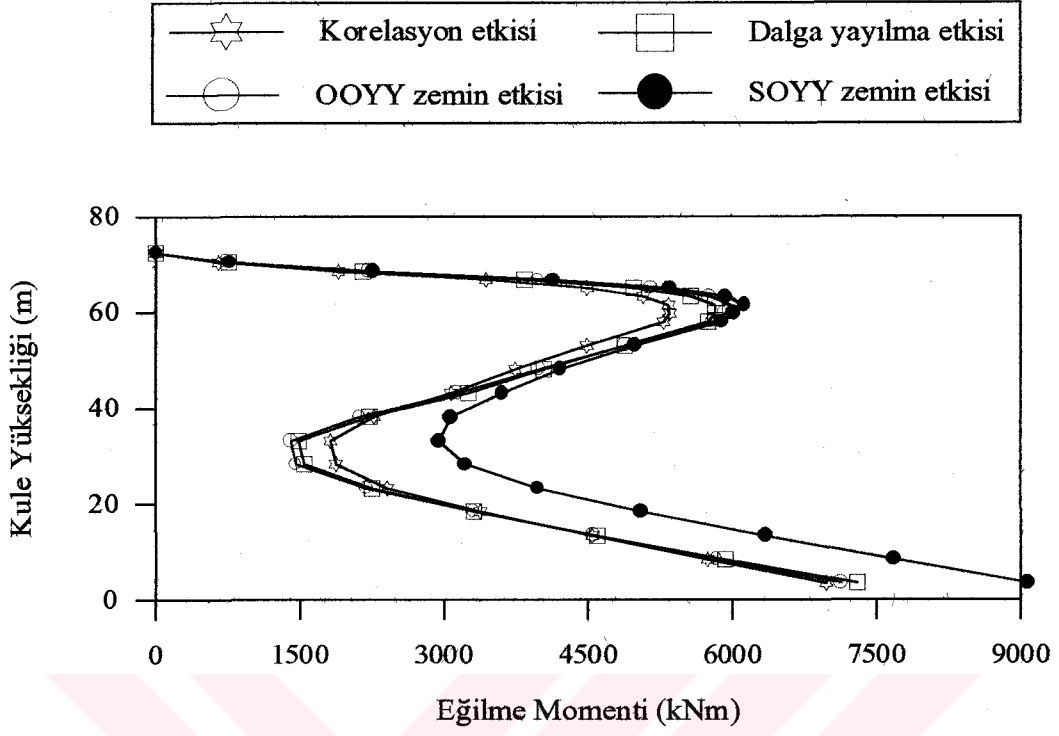
Şekil 123. Jindo kulesi zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri



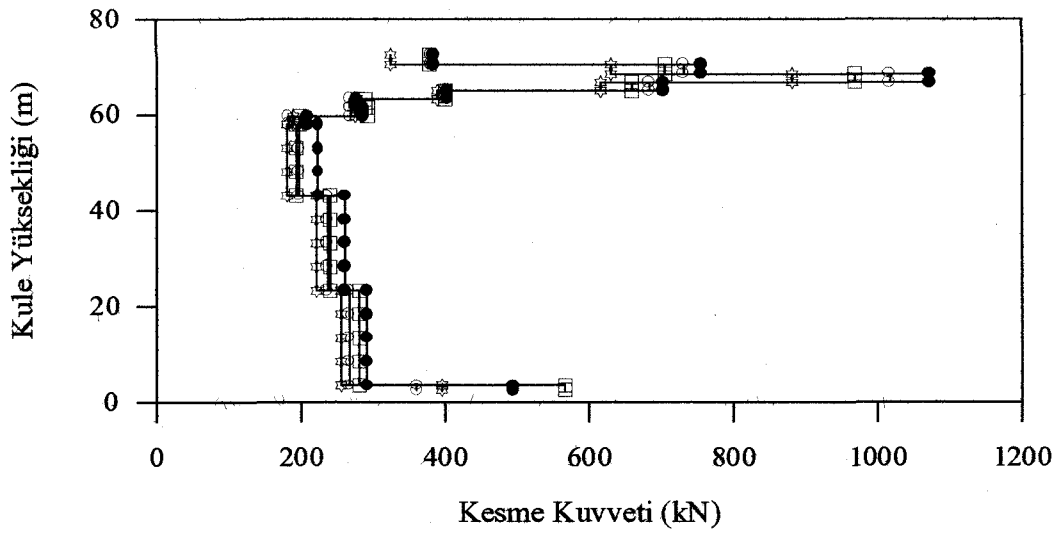
Şekil 124. Jindo kulesi dinamik yatay yerdeğiştirmeleri



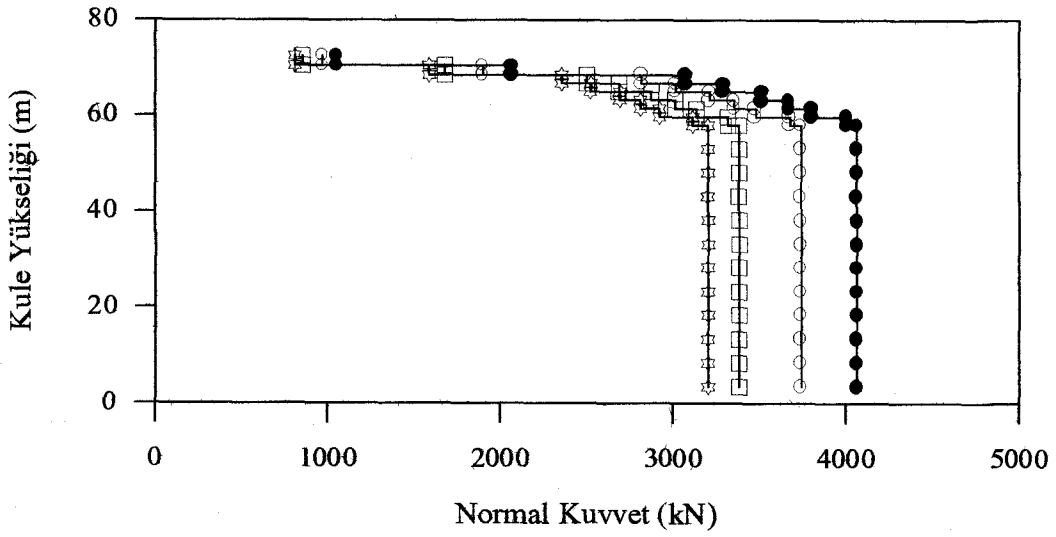
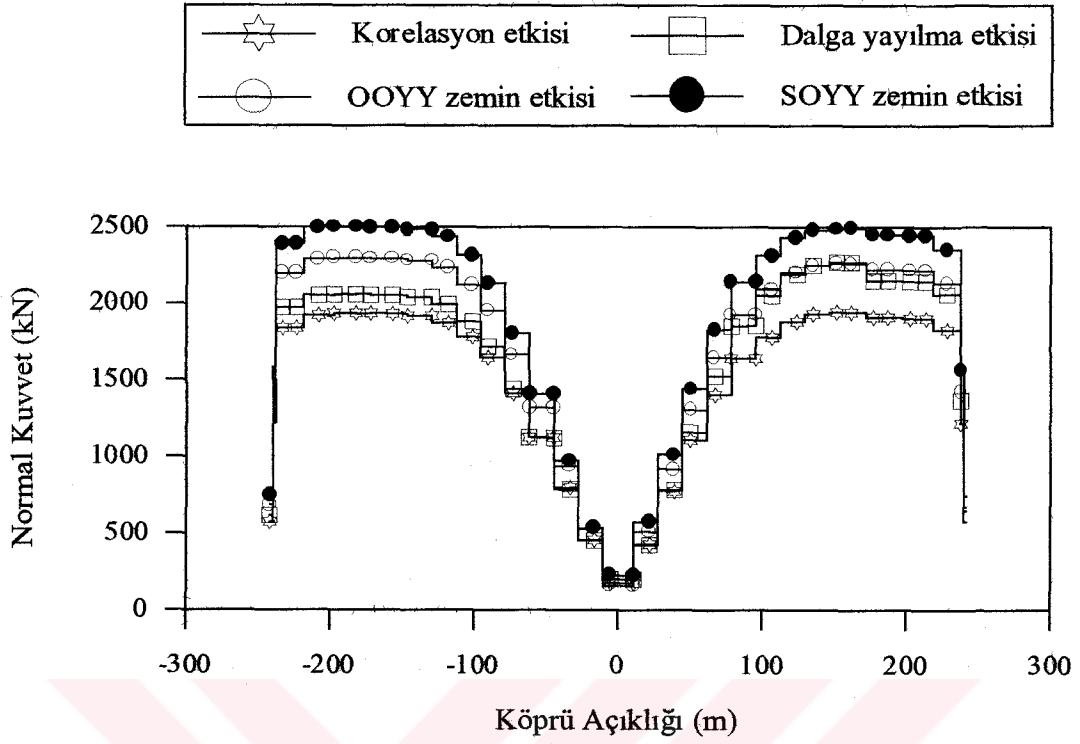
Şekil 125. Jindo kulesi toplam yatay yerdeğiştirmeleri



Şekil 126. Jindo kulesi toplam eğilme momentleri



Şekil 127. Jindo kulesi toplam kesme kuvvetleri



### 3.2.1.4. Modların Yapı Davranışına Olan Etkisi

Zemin şartlarındaki değişim için modlar arasındaki varyans ve kovaryans bileşenlerinin toplam dinamik tepkiye olan katkılarını belirlemek amacı ile, Harichandran ve Vanmarcke [89] tarafından önerilen korelasyon modeli (Model 1) kullanılarak ve dalga yayılma hızı  $v_{app}=600$  m/s alınarak, ilk 15 mod için modal varyans ve kovaryans bileşenleri elde edilmektedir.

Modlara ait varyans ve kovaryans bileşenleri OOOO, OOYY ve SOYY zemin durumlarının her biri için ayrı ayrı belirlenmektedir. Böylece her bir zemin durumu için elde edilen varyans ve kovaryans bileşenleri SOYY zemin durumunda bulunan toplam dinamik tepki bileşenine bölünmek ve 100 ile çarpılmak suretiyle modlar arasındaki varyans ve kovaryans bileşenlerinin yüzde olarak katkıları elde edilmektedir. Dolayısıyla OOOO ve OOYY zemin durumlarında bulunacak olan yüzdeler SOYY zemin durumuna oranla elde edilmektedir.

Tablo 15-17'de merkez açıklığın orta noktasında sırasıyla OOOO, OOYY ve SOYY zemin durumlarında, modal varyans ve kovaryans terimlerinin dinamik yerdeğiştirme bileşenine yüzdesel olarak katkıları görülmektedir. Burada dinamik yerdeğiştirme bileşeninin yaklaşık olarak 1. moddan oluştuğu ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında SOYY zemin durumundaki modlara ait varyans değerlerinin OOOO ve OOYY zemin durumlarına oranla daha büyük olduğu gözlenmektedir. Yüksek modların ve diyagonal dışındaki kovaryans terimlerinin toplam bileşene katkısının olmadığı dikkati çeken başka bir noktadır.

Tablo 18-20'de merkez açıklığın orta noktasından Jindo Adası doğrultusunda 56 m uzaklıktaki noktada her bir zemin durumu için elde edilen dinamik eğilme momentine 11. moda kadar katkılar sağlandığı görülmektedir. Diyagonal dışındaki kovaryans terimlerin de yerdeğiştirmelere oranla daha fazla katkılarının olduğu gözlenmektedir. Dikkat edilirse dinamik eğilme momentlerine en büyük katkıyı 2. modun sağladığı görülmektedir. Bunun yanında eğilme momentleri için, yerdeğiştirmelere oranla daha fazla mod sayısının dikkate alınması gereği ortaya çıkmaktadır.

Tablo 21-23'de her bir zemin durumundaki Jindo kulesi taban noktasındaki kesme kuvveti için elde edilen modlar arasındaki varyans ve kovaryans bileşenleri verilmektedir. Yüksek modlarda dinamik kesme kuvvetine önemli katkılar sağlanmaktadır. Ayrıca diyagonal dışında modlar arasındaki kovaryans terimlerinin yerdeğiştirme ve eğilme



momentlerine oranla daha fazla katkılarının olduğu gözlenmektedir. SOYY zemin cinsi durumunda 12.-15. modların katkılarının %37.3 düzeyinde olması da dikkat edilmesi gereken diğer bir noktadır. Başka bir ifade ile kesme kuvvetleri için yüksek modların önemli katkıları olmaktadır. İlk 20 mod dikkate alınmak suretiyle belirlenen değerler incelemiş olup, 15. moddan sonraki modların katkılarının ihmal edilebilecek büyüklükte olduğu görülmüştür.

Tablo 24-26'da tabliye merkez açıklığı orta noktasından Jindo Adası doğrultusunda 152 m uzaklıktaki noktada dinamik normal kuvvete ait bileşenler verilmektedir. Burada 1. ve 2. modlar en büyük katkıyı sağlamaktadır. Yerdeğiştirmede olduğu gibi yüksek modların katkılarının olmadığı gözlenirken, diyagonal dışındaki az sayıdaki kovaryans bileşenin katkısı olmaktadır.

Tablo 15. Dinamik yerdeğiştirme bileşenine modların katkısı (OOOO zemin durumu)

															0.0	15
														0.0	0.0	14
												0.0	0.0	0.0	0.0	13
										0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12
									0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11
								0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10
							0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9
						0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8
					0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7
				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6
			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5
		0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3
54.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		1

MOD J

MOD  
I

Tablo 16. Dinamik yerdeğiştirme bileşenine modların katkısı (OOYY zemin durumu)

															0.0	15
														0.0	0.0	14
												0.0	0.0	0.0	0.0	13
										0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12
									0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11
								0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10
							0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9
						0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8
					0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7
				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6
			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5
		1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3
91.5	0.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		1

MOD J

MOD  
I

Tablo 17. Dinamik yerdeğiştirme bileşeneine modların katkısı (SOYY zemin durumu)

															0.0	15	
															0.0	0.0	14
														0.0	0.0	0.0	13
													0.0	0.0	0.0	0.0	12
												0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11
											0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10
										0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9
									0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8
								0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7
							0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6
						0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5
					0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4
				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3
			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2
		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1
98.3	0.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			

MOD J

MOD  
I

Tablo 18. Dinamik eğilme momenti bileşeneine modların katkısı (OOOO zemin durumu)

																	0.0	15	
																	0.0	0.0	14
																0.1	0.0	0.0	13
															0.0	0.0	0.0	0.0	12
															0.3	0.0	0.0	0.0	11
														0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10
														0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9
														0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	8
														3.8	-0.1	0.0	0.0	-0.4	7
														0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	6
														0.8	0.0	-0.3	0.0	0.0	5
														2.3	0.5	0.0	-0.5	0.0	4
														0.6	-0.1	-0.1	0.0	0.2	3
														32.8	0.6	0.5	-0.3	0.1	2
														0.8	-0.6	0.0	0.0	0.0	1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15					

MOD J

MOD  
I

Tablo 19. Dinamik eğilme momenti bileşenine modların katkısı (OOYY zemin durumu)

														0.0	15
													0.0	0.0	14
												0.1	0.0	0.0	13
											0.0	0.0	0.0	0.0	12
										0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	11
									0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10
								0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9
							2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8
						0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7
					0.6	0.0	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	6
				1.2	0.3	0.0	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	5
			3.4	0.4	0.1	0.1	-0.3	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	4
			78.5	3.0	0.4	-0.2	0.1	-0.4	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	-0.2	3
															2
1.3	-1.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	

MOD J

MOD I

Tablo 20. Dinamik eğilme momenti bileşenine modların katkısı (SOYY zemin durumu)

														0.0	15
													0.0	0.0	14
												0.1	0.0	0.0	13
											0.0	0.0	0.0	0.0	12
										0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	11
									0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10
								0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9
							3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8
						0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7
					0.4	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6
				1.2	0.2	0.0	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	5
			3.3	0.4	0.1	0.1	-0.4	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	-0.2	0.0	4
			87.7	3.4	0.5	-0.1	0.1	-0.6	0.1	0.0	0.0	0.3	0.0	-0.1	3
															2
1.4	-1.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	

MOD J

MOD I



Tablo 23. Dinamik kesme kuvveti bileşenine modların katkısı (SOYY zemin durumu)

															6.5	15
														2.1	4.5	14
												1.3	-0.2	-1.0	13	
											27.4	-2.0	-0.5	-0.1	12	
										0.0	-0.2	0.0	0.1	0.0	11	
									0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10	
								1.4	0.0	0.0	-0.1	-0.3	-0.1	0.3	9	
							1.5	-2.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	-0.5	8	
						1.5	0.0	-0.2	0.0	-0.1	0.7	0.0	-0.3	0.0	7	
					0.3	0.1	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	-0.1	0.0	6
			1.1	0.2	-0.1	0.2	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	-0.2	-0.2	0.2	4	
	10.5	-0.7	-0.2	1.2	-0.4	1.0	-0.7	0.0	0.1	-1.6	1.4	0.1	-0.5	3		
32.7	3.7	-0.3	0.1	0.3	-0.2	0.2	-0.2	0.0	0.1	-0.1	0.2	-1.0	0.8	2		
12.1	-2.5	-0.6	0.0	0.0	0.3	0.1	0.2	-0.1	0.0	0.0	-0.4	0.4	0.4	-0.5	1	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		

M  
O  
D  
I

Tablo 24. Dinamik normal kuvvet bileşenine modların katkısı (OOOO zemin durumu)

															0.0	15
														0.0	0.0	14
													0.0	0.0	0.0	13
												0.0	0.0	0.0	0.0	12
											0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11
										0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10
									0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9
								0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8
							0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7
						0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6
					0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5
				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4
		0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3
	8.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2
45.3	-2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		

M  
O  
D  
I

Tablo 25. Dinamik normal kuvvet bileşenine modların katkısı (OOYY zemin durumu)

														0.0	15
													0.0	0.0	14
												0.0	0.0	0.0	13
											0.0	0.0	0.0	0.0	12
										0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11
									0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10
								0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9
							0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8
					0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7
				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6
			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5
		0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4
	20.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3
76.0	-4.5	-0.4	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1

M  
O  
D  
I

Tablo 26. Dinamik normal kuvvet bileşenine modların katkısı (SOYY zemin durumu)

														0.0	15
													0.0	0.0	14
												0.0	0.0	0.0	13
											0.0	0.0	0.0	0.0	12
										0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11
									0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10
								0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9
							0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8
						0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7
					0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6
				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5
			0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4
		22.9	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3
	81.7	-5.4	-0.4	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1

M  
O  
D  
I

### 3.2.2. Stasyoner Olmayan Davranış

Stasyoner olmayan işlem için daha önce ifade edildiği gibi, stasyoner işlemde (29) denklemi ile gösterilen frekans davranış fonksiyonu yerine, (48) denklemi ile gösterilen  $H_j(w,t)$  ifadesi yazılmaktadır. Burada 10., 20. ve 30. sn'lerde tespit edilen stasyoner olmayan tepki değerleri stasyoner işlem için bulunan sonuçlarla karşılaştırılmaktadır.

Bu bölümde, stasyoner olmayan durumda değişen zemin şartları için köprü sisteminin davranışı incelenmektedir. Bu amaçla OOYY zemin durumunda tabliye ve kulelerde hesaplanan toplam yerdeğiştirme ve eleman kuvvetlerine ait normalleştirilmiş varyans değerleri genel durum için Şekil 130-137'de karşılaştırılmaktadır. Dalga yayılma hızı olarak  $v_{app}=600$  m/s değeri kullanılırken, korelasyon modeli olarak Model 1 dikkate alınmaktadır. Normalleştirme işlemi varyans değerleri, stasyoner işlem için hesaplanan maksimum varyans değerine bölünmek suretiyle gerçekleştirilmektedir.

Şekil 130'da tabliye kenar açıklıklarında stasyoner ve stasyoner olmayan analizler sonucu bulunan toplam yerdeğiştirmeler yaklaşık olarak aynı çıkarken, merkez açıklıkta stasyoner analiz ile bulunan yerdeğiştirmeler stasyoner olmayan analiz sonuçlarından büyük çıkmaktadır. En büyük yerdeğiştirmenin elde edildiği noktada  $t=10$ . sn'de stasyoner olmayan işlem için bulunan yerdeğiştirme değeri stasyoner işleme % 91 yaklaşırken, 20. sn'de %97 ve 30. sn'de % 99 yaklaşmaktadır.

Şekil 131'de Jindo kulesinde stasyoner ve stasyoner olmayan işlemler için elde edilen toplam yerdeğiştirmeler karşılaştırılmaktadır. Burada stasyoner işlem için bulunan yerdeğiştirmeler en büyük çıkmaktadır. Stasyoner olmayan işlem için 10. sn'de Jindo kulesi tepe noktasında bulunan yerdeğiştirme değeri stasyoner işlem için bulunan değerlerin % 83'ünü oluştururken, 20. ve 30. sn'lerde sırasıyla %95 ve %99'unu oluşturmaktadır.

Şekil 132'de tabliyede elde edilen toplam eğilme momenti değerleri incelenmektedir. Stasyoner işlem için elde edilen eğilme momenti değerleri en büyük olmaktadır. En büyük eğilme momentinin olduğu noktada  $t=10$ . sn'de stasyoner olmayan işlem için elde edilen moment değeri stasyoner işlem için bulunan değerlerin %85'i olurken,  $t=20$ . ve  $t=30$ . sn'lerde bu oran sırasıyla %96 ve %99 olmaktadır. Şekil 133'de ise Jindo kulesindeki toplam eğilme momenti değerleri karşılaştırılmaktadır. Stasyoner işlem sonucunda elde edilen değerler yine en büyük olurken,  $t=10$ . sn'de kule taban noktasında stasyoner olmayan işlem için bulunan eğilme momenti değeri stasyoner işlem sonucunun %80'i ve  $t=20$ . ve  $t=30$ . sn'lerde sırasıyla %95 ve %99'u kadar olmaktadır.



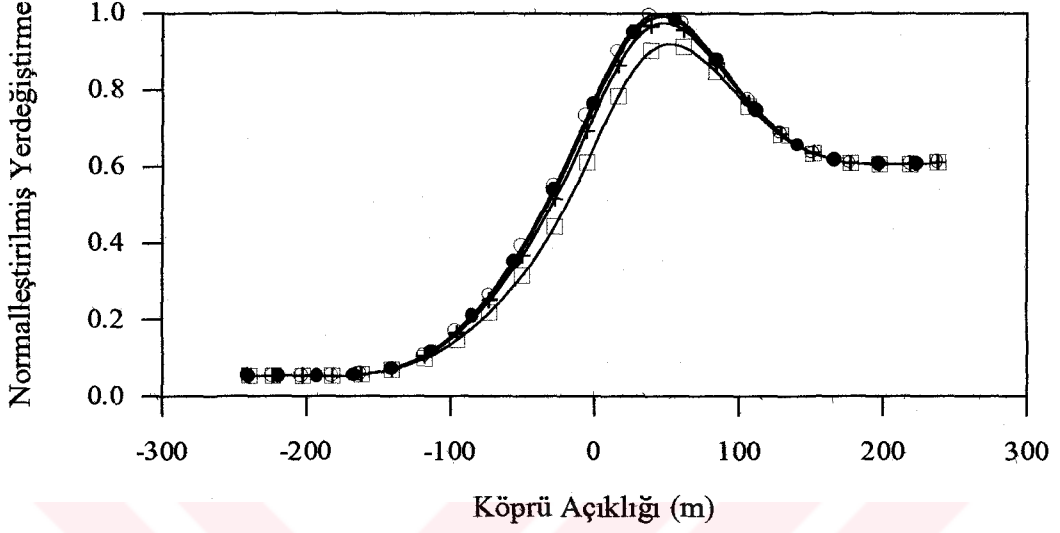
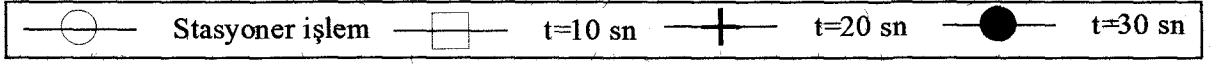
Değişen zemin şartları için de stasyoner işlem durumunda daha büyük tepki değerleri elde edilmesi rağmen, yine 20. sn'den sonra stasyoner olmayan işlem için elde edilen değerler stasyoner değerlere çok yakın çıkmaktadır.

Şekil 134'de  $t=10$ . sn'de stasyoner olmayan işlem için tabliye yerdeğiştirme bileşenlerine ait zahiri-statik, dinamik ve kovaryans bileşenlerin normalleştirilmiş varyans dağılımları karşılaştırılmaktadır. Normalleştirme işlemi varyans değerleri en büyük toplam varyans değerine bölünmek suretiyle gerçekleştirilmiştir. Burada elde edilen değişim stasyoner işlem için elde edilen değişimle paralellik göstermekle birlikte, daha önce de belirtildiği gibi stasyoner olmayan işlem için zahiri-statik bileşenin katkısı artarken, dinamik bileşenin katkısı azalmaktadır. Nitekim en büyük yerdeğiştirmenin olduğu noktada stasyoner olmayan işlem için zahiri-statik bileşenin katkısı %76 olurken, dinamik bileşenin katkısı %21 ve kovaryans bileşenin katkısı %3 olmaktadır. Stasyoner işlem için ise elde edilen oranlar sırasıyla %68, %29 ve %3 olarak belirlenmiştir.

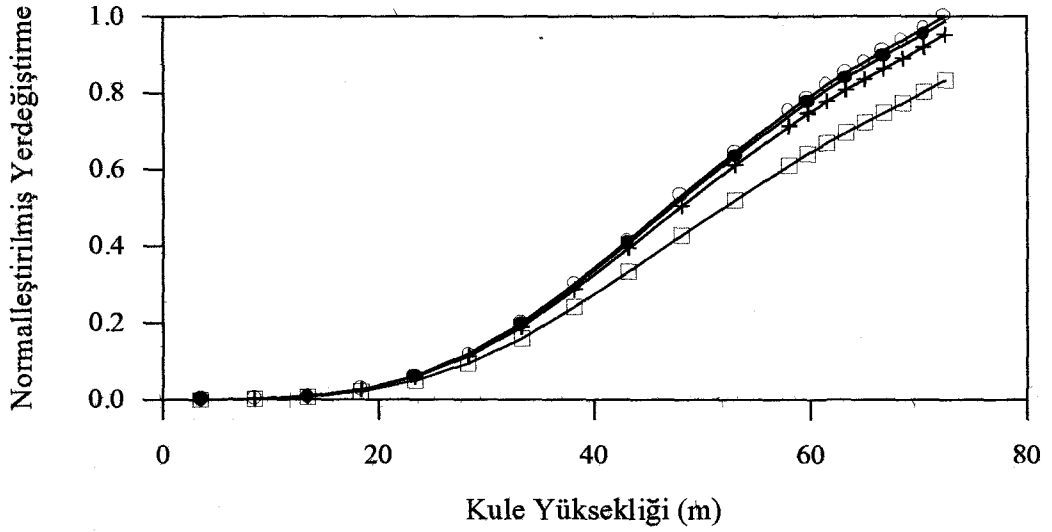
Şekil 135'de Jindo kulesindeki yerdeğiştirme bileşenleri için benzer bir karşılaştırma yapılmaktadır. Burada yine stasyoner işlem için bulunan değişime yakın bir değişim elde edilmiştir. Ancak daha önce de belirtildiği gibi dinamik bileşenin katkısının azalması nedeni ile zahiri-statik bileşenin katkısı artmaktadır. Jindo kulesi tepe noktasında zahiri-statik bileşenin katkısı %43 olurken, dinamik bileşenin katkısı %51 ve kovaryans bileşenin katkısı %6 olmaktadır. Stasyoner işlem için bulunan oranlar ise sırasıyla %36, %59 ve %5 şeklindedir.

Şekil 136'da tabliye eğilme momentleri incelenmektedir. Elde edilen değişim stasyoner işlem için bulunan değişime benzer olmaktadır. En büyük eğilme momentinin olduğu noktada zahiri-statik bileşenin katkısı %40 olurken, dinamik bileşenin katkısı %60 olmakta ve kovaryans bileşenin katkısı olmamaktadır. Stasyoner işlem için bulunan oranlar ise sırasıyla %34, %66 ve %0'dır. Ana Kıtta tarafındaki kulede elde edilen eğilme momentleri ise Şekil 137'de karşılaştırılmaktadır. Kule en alt noktasında elde edilen eğilme momentine zahiri-statik bileşenin katkısı %52 olurken, dinamik bileşenin katkısı %49 ve kovaryans bileşenin katkısı %1 olmaktadır. Stasyoner işlem için bulunan oranlar ise sırasıyla %45, %56 ve %1'dir. Eğilme momentleri için de dinamik bileşenin katkısı azalırken, zahiri-statik bileşenin katkısı artmaktadır.

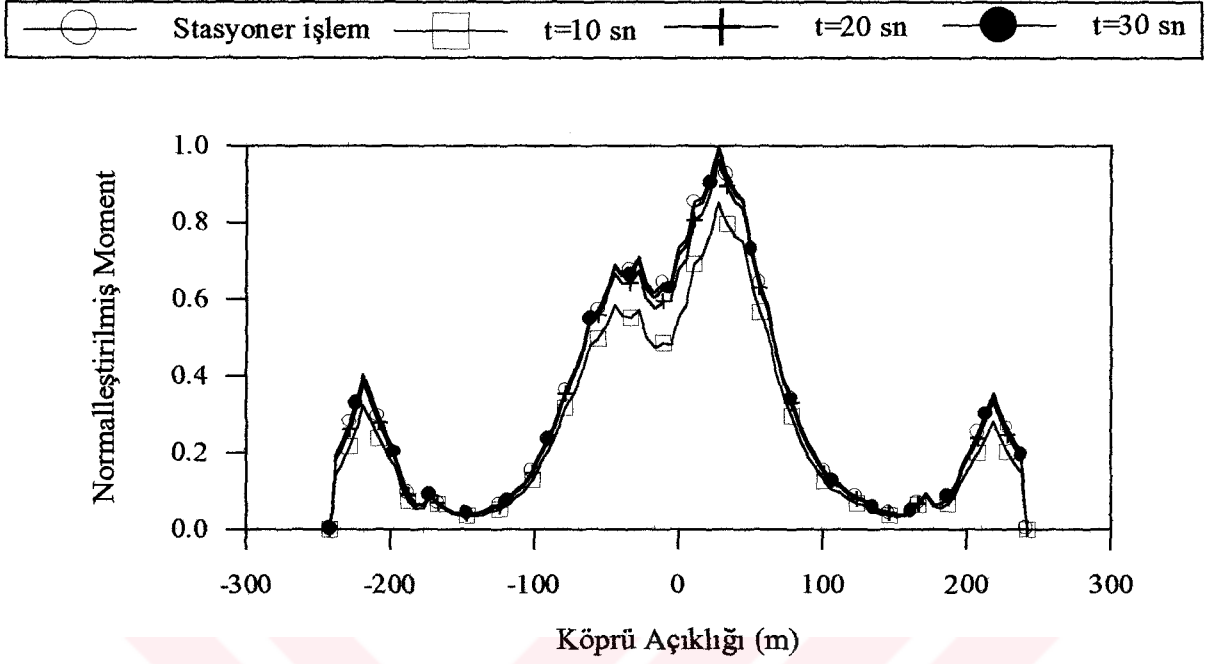
Burada gösterilmemekle birlikte SOYY zemin cinsi durumunda da benzer sonuçlar elde edilmiştir.



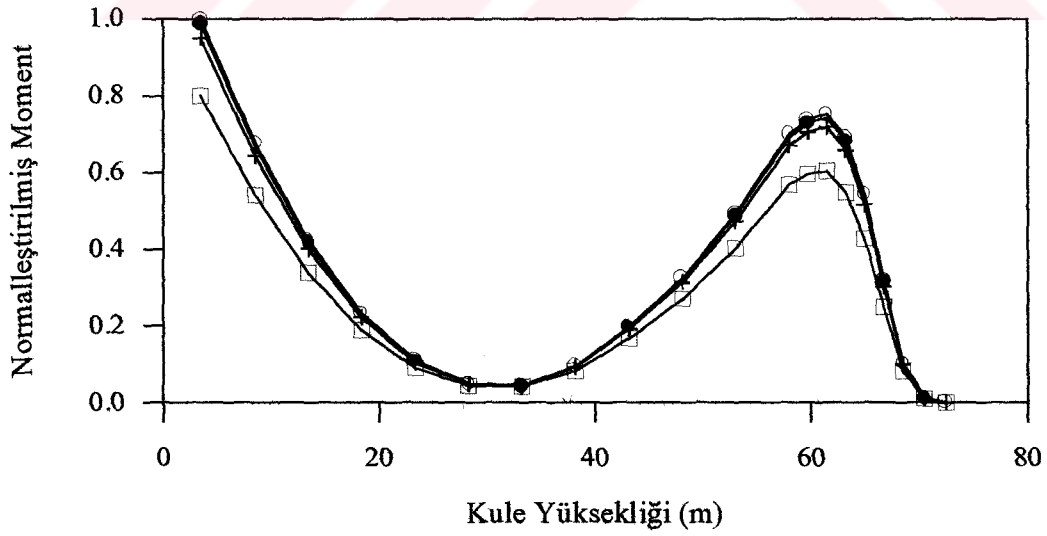
Şekil 130. Stasyoner olmayan tabliye toplam yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum)



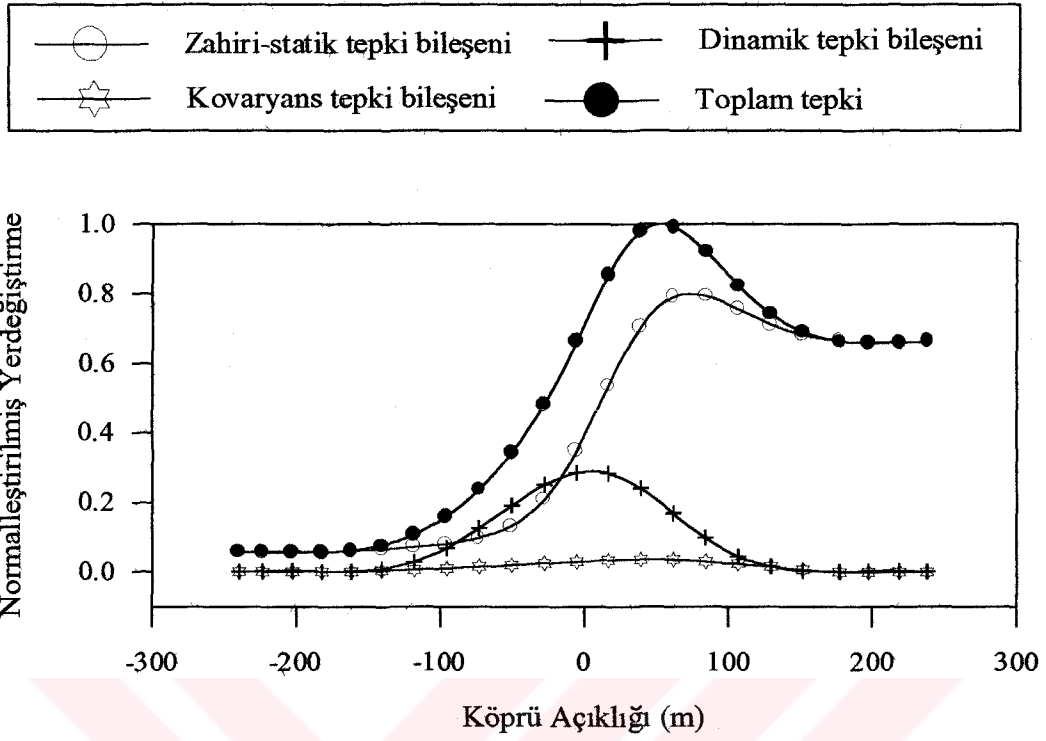
Şekil 131. Stasyoner olmayan Jindo kulesi toplam yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum)



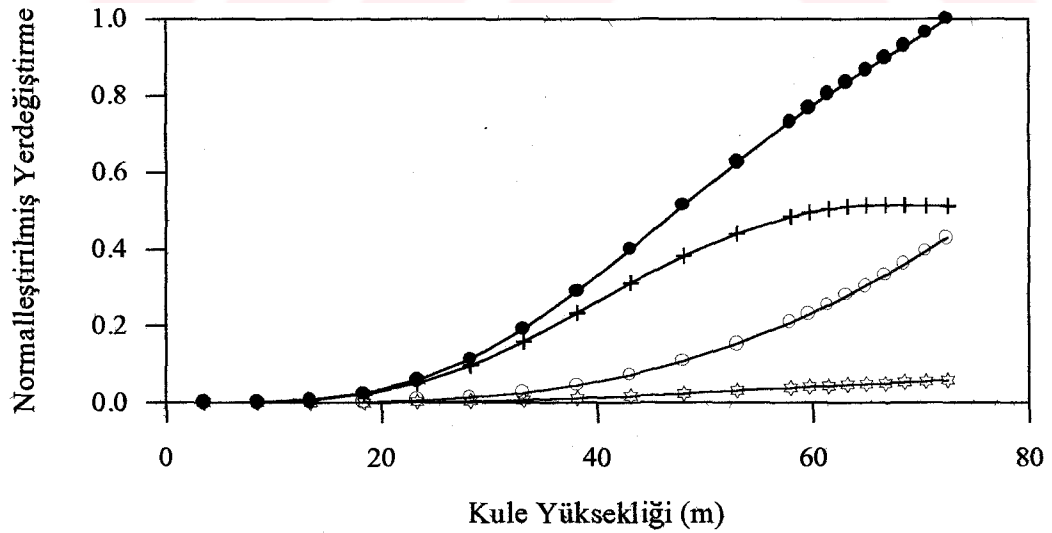
Şekil 132. Stasyoner olmayan tabliye toplam eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum)



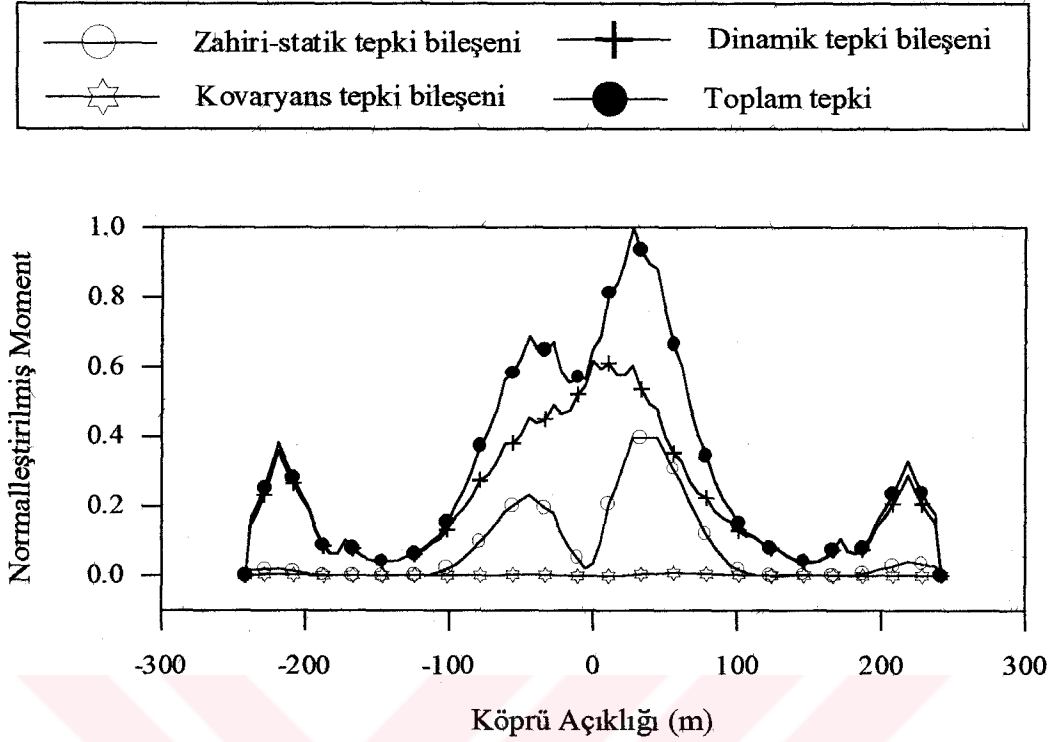
Şekil 133. Stasyoner olmayan Jindo kulesi toplam eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (genel durum)



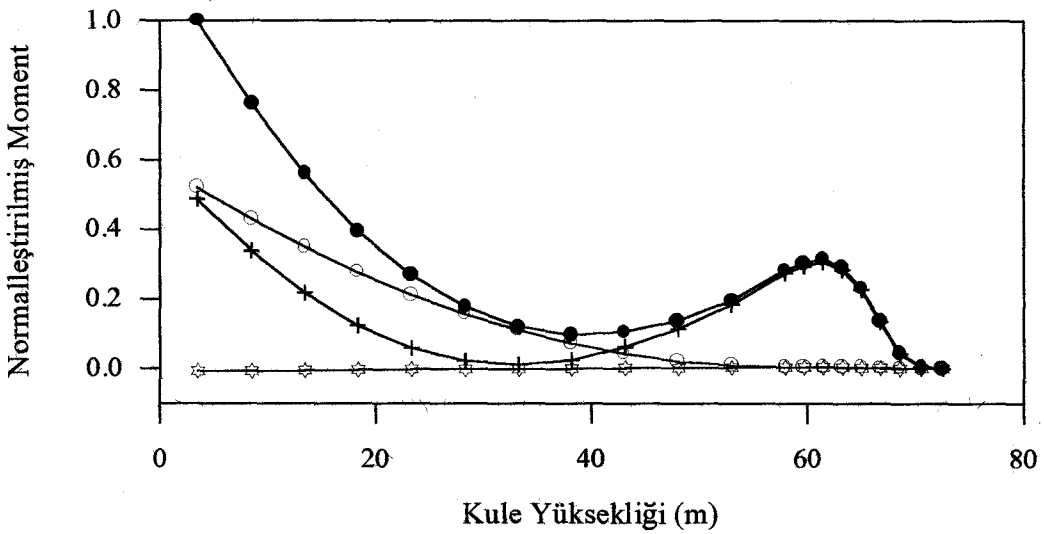
Şekil 134.  $t=10$ . sn'de stasyoner olmayan tabliye yerdeğiştirme varyans bileşenleri (genel durum)



Şekil 135.  $t=10$ . sn'de stasyoner olmayan Jindo kulesi yerdeğiştirme varyans bileşenleri (genel durum)



Şekil 136.  $t=10$ . sn'de stasyonery olmayan tabliye eğilme momenti varyans bileşenleri (genel durum)



Şekil 137.  $t=10$ . sn'de stasyonery olmayan Jindo kulesi eğilme momenti varyans bileşenleri (genel durum)

### 3.3. Kablolu Köprünün Mesnetlendiği Zeminin Homojen Olmaması Halinde Dalga Yayılma Hızının Değişiminin İncelenmesi

Bu bölümde zemin şartlarındaki değişime bağlı olarak yer hareketi yayılma hızındaki değişim dikkate alınmak suretiyle (57) denklemi ile gösterilen Harichandran ve Vanmarcke [89] korelasyon modeli (Model 1) için stasyonier durumda tabliye ve kulelerde elde edilen yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri için bulunan varyans ve ortalama maksimum değerler incelenmektedir.

Mesnet noktaları arasındaki yer hareket ivmesinin karşıt spektral yoğunluk fonksiyonu (49) denklemi ile ifade edilirken,  $\gamma_{lm}(w)$  korelasyon fonksiyonu (56) denklemindeki gibidir.

Kablolu köprü sisteminin oturduğu zemin şartlarındaki değişim için SOYY zemin durumu dikkate alınmaktadır. Bu zemin cinsi durumunda yer hareketi yayılma hızları olarak aşağıda verilen değerler kullanılmaktadır (Şekil 138).

- a)  $v_{app}=1000$  m/s (sabit yayılma hızı)
- b)  $v_{app}=1800$  m/s (sert zemin),  $v_{app}=600$  m/s (orta zemin),  $v_{app}=200$  m/s (yumuşak zemin)
- c)  $v_{app}=800$  m/s (sert zemin),  $v_{app}=400$  m/s (orta zemin),  $v_{app}=200$  m/s (yumuşak zemin)

#### 3.3.1. Yerdeğiştirme ve Eleman Kuvvetlerinin Varyans Değerlerinin Dalga Yayılma Hızına Bağlı Olarak Karşılaştırılması

Burada, sırası ile (30), (33), (35), (36) denklemleri yardımıyla tabliye ve kulelerde elde edilen yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri bileşenlerine ait zahiri-statik, dinamik ve kovaryans bileşenler ile toplam değerlerin normalleştirilmiş varyans dağılımları karşılaştırılmaktadır. Normalleştirme işlemi varyans değerleri maksimum toplam varyans değerine bölünmek suretiyle gerçekleştirilmektedir. Böylece elde edilen normalleştirilmiş yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri varyans değerleri Şekil 139-148'de karşılaştırılmaktadır.

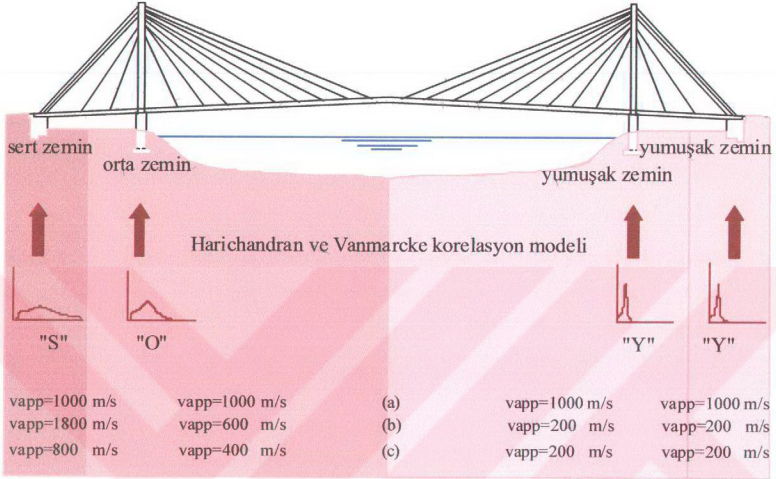
Şekil 139-140'da dalga yayılma hızının sabit olması ( $v_{app}=1000$  m/s) ve zemin cinsine göre değişmesi durumlarında tabliyede elde edilen yerdeğiştirme bileşenleri karşılaştırılmaktadır. Zahiri-statik, dinamik ve kovaryans bileşenlerin toplam değere olan katkıları bakımından her iki şekil arasında önemli bir fark bulunmamaktadır. Her iki

durumda da zahiri-statik ve dinamik bileşenlerin katkıları önemli olurken, kovaryans bileşenin katkısı önemsiz kalmaktadır. Değişen yayılma hızı için en büyük yerdeğiştirmenin elde edildiği noktada toplam yerdeğiştirmeye zahiri-statik bileşenin katkısı %60 olurken, dinamik bileşenin katkısı %37 ve kovaryans bileşenin katkısı %3 olmaktadır. Yer hareketi yayılma hızının sabit olması durumunda en büyük yerdeğiştirmenin elde edildiği noktada elde edilen oranlar ise sırasıyla %65, %31 ve %4'dür.

Şekil 141-144'de kulelerde elde edilen yerdeğiştirme varyans değerleri karşılaştırılmaktadır. Yayılma hızının değişmesi durumunda elde edilen yerdeğiştirmeler, sabit yayılma hızı için bulunan yerdeğiştirmelere oranla farklılık göstermektedir. Yayılma hızının sabit olması durumunda Jindo kulesi tepe noktasında zahiri-statik bileşenin katkısı %64 iken, dinamik bileşenin katkısı %30 ve kovaryans bileşenin katkısı %6'dır. Yayılma hızının değişmesi durumunda aynı noktadaki oranlar sırasıyla %41, %55 ve %4 olmaktadır. Ayrıca ana kıta kule tepe noktasında sabit yayılma hızı için bulunan oranlar sırasıyla %77, %22 ve %1 olurken, yayılma hızının değişmesi durumunda %71, %30 ve -%1 değerleri elde edilmektedir. Tabliye ve kulelerdeki yerdeğiştirmelerden, yer hareketi yayılma hızının değişmesi durumunda zahiri-statik bileşenlerin toplam yerdeğiştirmelere katkısının azalırken, dinamik bileşenin katkısının arttığı gözlenmektedir.

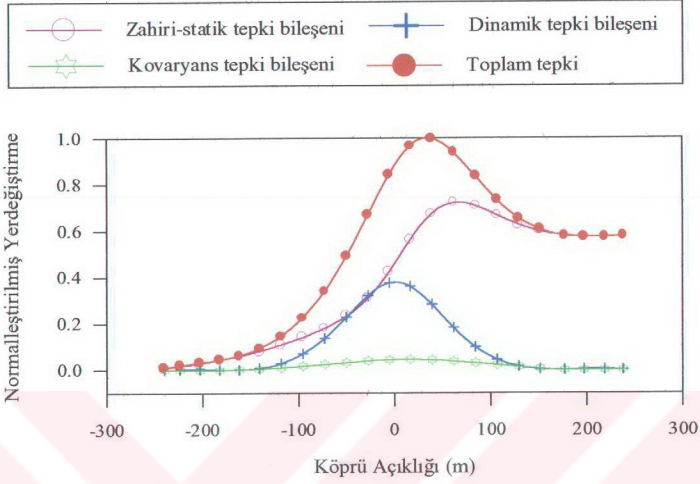
Şekil 145-146'da tabliyede elde edilen eğilme momentlerinin varyans değerleri karşılaştırılmaktadır. Değişen yayılma hızı için bulunan eğilme momentleri, yayılma hızının sabit olması durumunda bulunan sonuçlardan özellikle merkez açıklıkta farklı bir değişim göstermektedir. En büyük eğilme momentinin olduğu noktada sabit yayılma hızı için zahiri-statik bileşenin katkısı %37 iken, dinamik bileşenin katkısı %62 ve kovaryans bileşenin katkısı %1'dir. Dalga yayılma hızının değişmesi durumundaki oranlar ise sırasıyla %14, %87 ve -%1 olmaktadır. Burada da yayılma hızının değişmesi durumunda zahiri-statik bileşenlerin katkıları azalmaktadır. Şekil 147-148'de Jindo kulesi eğilme momentleri için elde edilen değişimlerin de benzer olduğu gözlenmektedir.

Yer hareketi yayılma hızının değişmesi durumunda zahiri-statik, dinamik ve kovaryans bileşenlerin toplam tepkiye olan katkıları yayılma hızının sabit olması durumunda elde edilen oranlarla benzerlik içerisinde olmakla birlikte, yer hareketi yayılma hızının değişmesi durumunda zahiri-statik bileşenlerin katkılarının sabit yayılma hızı durumuna oranla azaldığı ve dinamik bileşenlerin katkılarının arttığı dikkati çekmektedir.

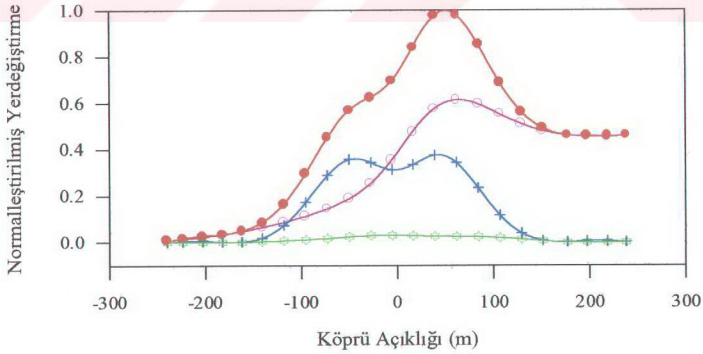


Şekil 138. Homojen olmayan zemin ortamında yer hareketi etkisindeki kablolu köprü sistemi

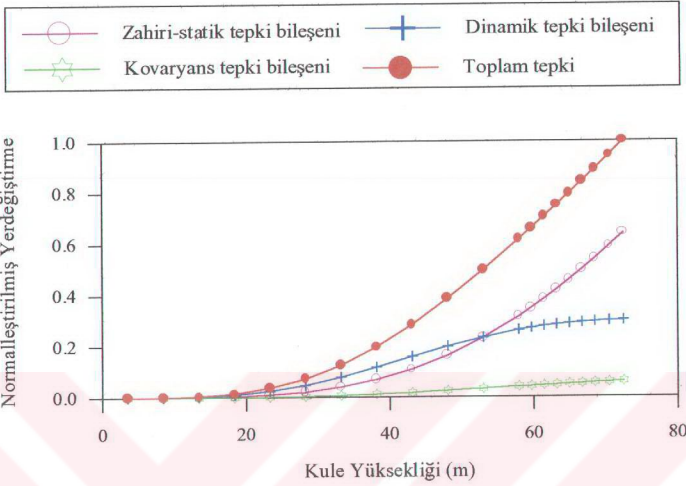




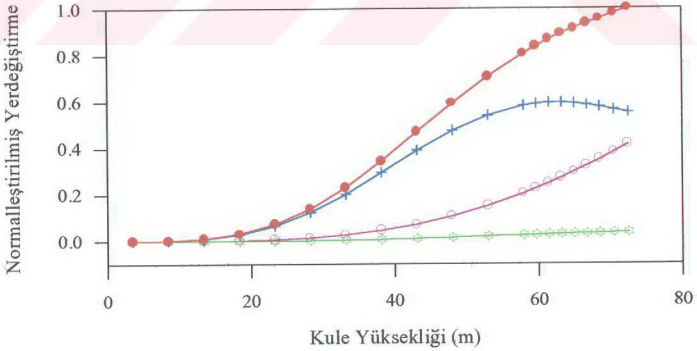
Şekil 139. Tabliye yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum- $v_{app}=1000$  m/s)



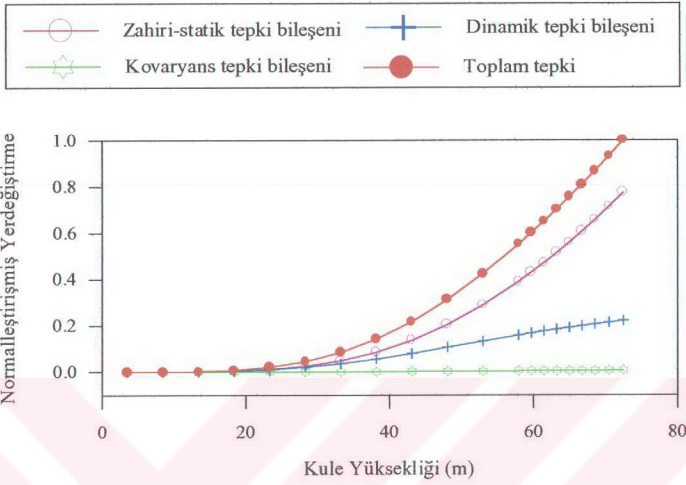
Şekil 140. Tabliye yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum- $v_{app}=1800-600-200$  m/s)



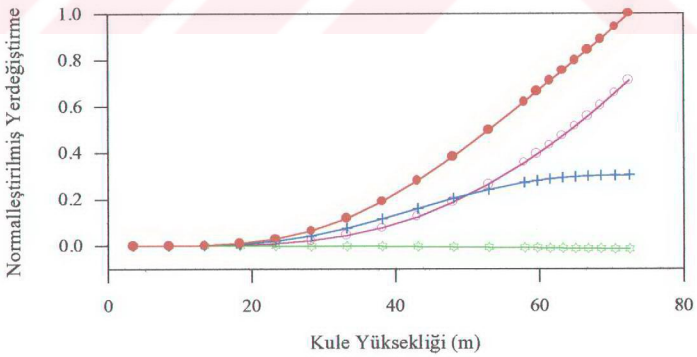
Şekil 141. Jindo kulesi yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum- $v_{app}=1000$  m/s)



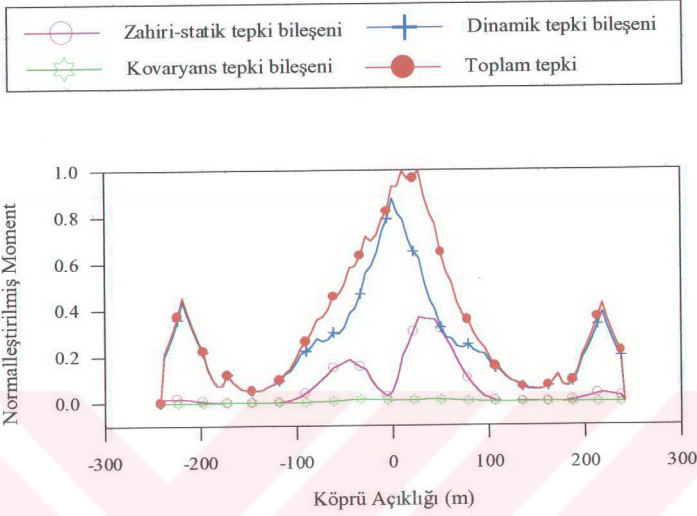
Şekil 142. Jindo kulesi yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum- $v_{app}=1800-600-200$  m/s)



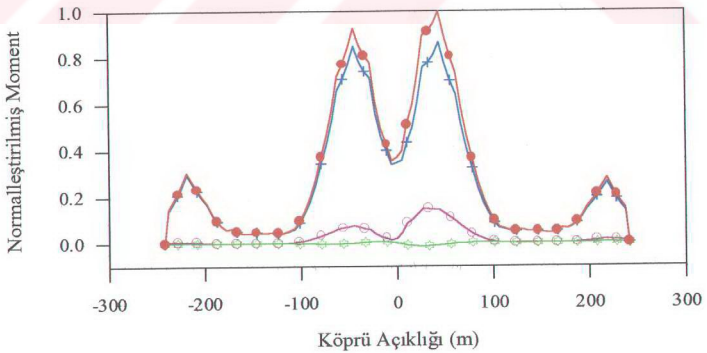
Şekil 143. Ana kıta kule yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum- $v_{app}=1000$  m/s)



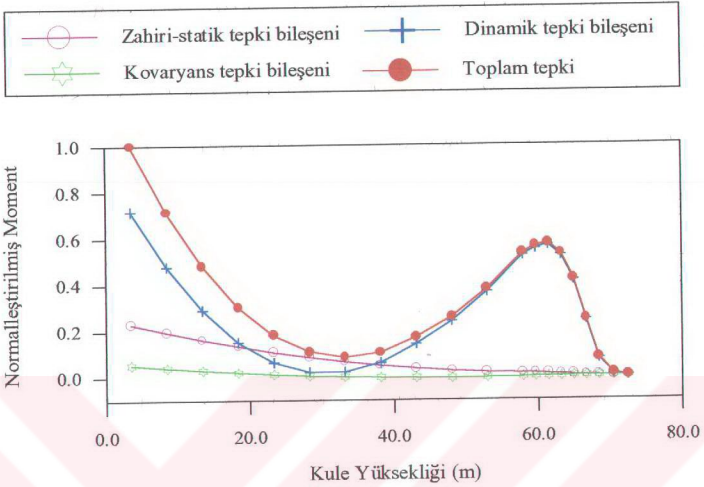
Şekil 144. Ana kıta kule yerdeğiştirme bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum- $v_{app}=1800-600-200$  m/s)



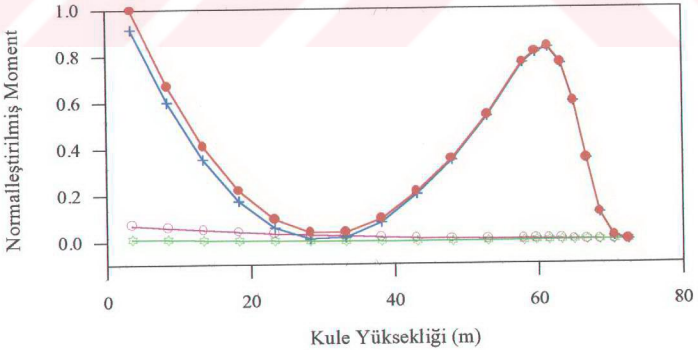
Şekil 145. Tabliye eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum- $v_{app}=1000$  m/s)



Şekil 146. Tabliye eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum- $v_{app}=1800-600-200$  m/s)



Şekil 147. Jindo kulesi eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum- $v_{app}=1000$  m/s)



Şekil 148. Jindo kulesi eğilme momenti bileşenlerinin normalleştirilmiş varyansları (SOYY zemin durumu-genel durum- $v_{app}=1800-600-200$  m/s)

### 3.3.2. Dalga Yayılma Hızının Ortalama Maksimum Yerdeğiştirme ve Eleman Kuvvetlerine Etkisi

Bu bölümde (56) denklemi ile tanımlanan korelasyon fonksiyonunun, dalga yayılma etkisi, korelasyon etkisi ve zemin etkisinin birlikte dikkate alındığı genel durumda tabliye ve kulelerde elde edilen ortalama maksimum zahiri-statik, dinamik ve toplam yerdeğiştirmeler ile eğilme momentleri hızlara bağlı olarak karşılaştırılmaktadır. Elde edilecek olan yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri ortalama maksimum değerler olup, (38) denklemi ile hesaplanmaktadır. Burada dalga yayılma hızı olarak daha önce belirtilen hız değerleri kullanılırken, korelasyon etkisi için Model 1 dikkate alınmaktadır. Zemin etkisi için ise bu bölümün başında ifade edilen SOYY zemin durumu incelenmektedir.

Şekil 149'da tabliye zahiri-statik yerdeğiştirme bileşenleri karşılaştırılmaktadır. Yer hareketi dalga yayılma hızındaki değişimin zahiri-statik bileşenler üzerinde önemli etkilerinin olmadığı görülmektedir. Şekil 150-151'de tabliye dinamik ve toplam yerdeğiştirme bileşenleri karşılaştırılmaktadır. Dalga yayılma hızındaki değişimin dikkate alınması durumunda elde edilen değerlerin, sabit yayılma hızına oranla önemli ölçüde artan değerler verdiği dikkati çekmektedir. Dalga yayılma hızındaki değişimin dikkate alındığı her iki durumdaki ( $v_{app}=1800-600-200$  m/s ve  $v_{app}=800-400-200$  m/s) değerlerin arasında önemli farklar oluşmadığı da gözlenmektedir. En büyük yerdeğiştirmenin elde edildiği tabliye noktasında  $v_{app}=1800-600-200$  m/s yayılma hızı için elde edilen toplam yerdeğiştirme değeri  $v_{app}=1000$  m/s sabit yayılma hızı için bulunan yerdeğiştirmeye oranla %23 daha büyük olurken,  $v_{app}=800-400-200$  m/s için elde edilen yerdeğiştirme değeri  $v_{app}=1000$  m/s sabit yayılma hızı durumundaki değere oranla %20 daha büyük olmaktadır.

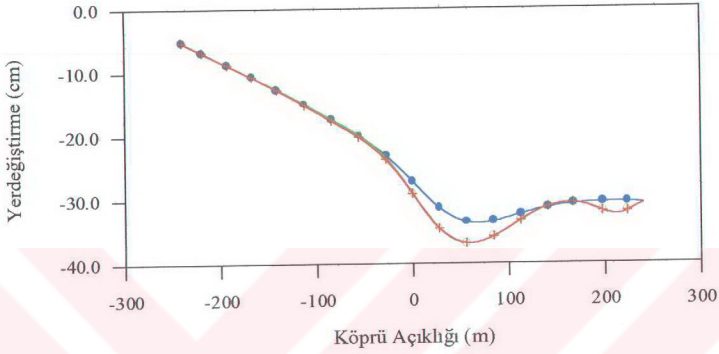
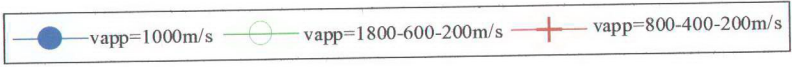
Şekil 152'de Jindo kulesi zahiri-statik yerdeğiştirmeleri karşılaştırılmaktadır. Burada da tabliyede olduğu gibi yer hareketi yayılma hızındaki değişim için elde edilen zahiri-statik yerdeğiştirme bileşenleri birbirine oldukça yakın olmaktadır. Şekil 153-154'de Jindo kulesi dinamik ve toplam yerdeğiştirme bileşenleri karşılaştırılmaktadır. Burada da yer hareketi yayılma hızındaki değişim dikkate alınarak elde edilen yerdeğiştirmelerin sabit yayılma hızı için bulunan değerlerden önemli ölçüde büyük çıktığı gözlenmektedir. Kule tepe noktasında  $v_{app}=1800-600-200$  m/s yayılma hızı için bulunan toplam yerdeğiştirme değeri  $v_{app}=1000$  m/s sabit yayılma hızı dikkate alınarak hesaplanan yerdeğiştirmeye oranla %33 daha büyük olurken,  $v_{app}=800-400-200$  m/s için elde edilen yerdeğiştirme değeri  $v_{app}=1000$  m/s durumunda bulunan değere oranla %30 daha büyük olmaktadır.

Tabliye ve Jindo kulesinde elde edilen yerdeğiştirmelerin değişimi yer hareketi yayılma hızının değişiminin zahiri-statik bileşenler üzerinde fazla etkili olmadığını gstermektedir. Yayılma hızının değişimi daha çok dinamik bileşende hissedilmekte ve bu durumda elde edilen toplam yerdeğiştirmeler sabit yayılma hızı dikkate alınarak bulunan yerdeğiştirmelerden daha büyük çıkmaktadır.

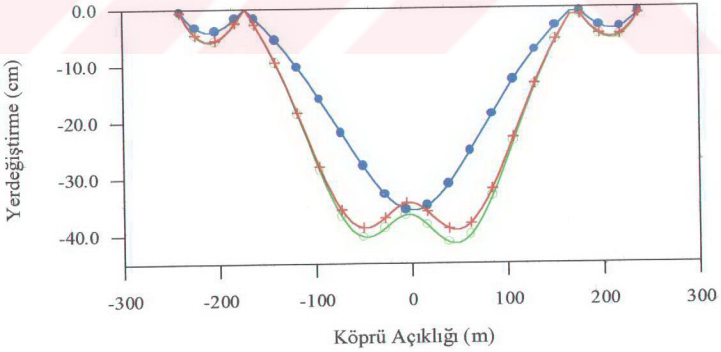
şekil 155-157'de tabliye zahiri-statik, dinamik ve toplam eğilme momentleri karılaştırılmaktadır. Burada da yer hareketi yayılma hızındaki değişimin özellikle dinamik ve toplam değerler üzerinde önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. En büyük eğilme momentinin olduğu noktada  $v_{app}=1800-600-200$  m/s yayılma hızı durumunda elde edilen toplam eğilme momenti değeri  $v_{app}=1000$  m/s sabit yayılma hızı için bulunan değere oranla %98 daha fazla olurken,  $v_{app}=800-400-200$  m/s olması durumunda bu oran %93 olmaktadır. Dalga yayılma hızının değişiminin zahiri-statik bileşenler üzerinde fazla etkili olmadığı burada da gözlenmektedir.

şekil 158-160'da Jindo kulesi zahiri-statik, dinamik ve toplam eğilme momentleri karılaştırılmaktadır. Buradaki değişim de daha önce elde edilen değişimlerle paralellik içerisindedir. Jindo kulesi taban noktasında  $v_{app}=1800-600-200$  m/s yayılma hızı için elde edilen toplam eğilme momenti değeri  $v_{app}=1000$  m/s sabit yayılma hızı için elde edilen moment değerine oranla %117 daha fazla olurken,  $v_{app}=800-400-200$  m/s yayılma hızı için bu oran %114 olmaktadır.

Burada eleman kuvvetleri için de yer hareketi yayılma hızındaki değişimin önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte yer hareketi yayılma hızındaki değişim dikkate alınmak suretiyle eleman kuvvetlerinde elde edilen artış oranları yerdeğiştirmelere oranla daha fazla olmaktadır.

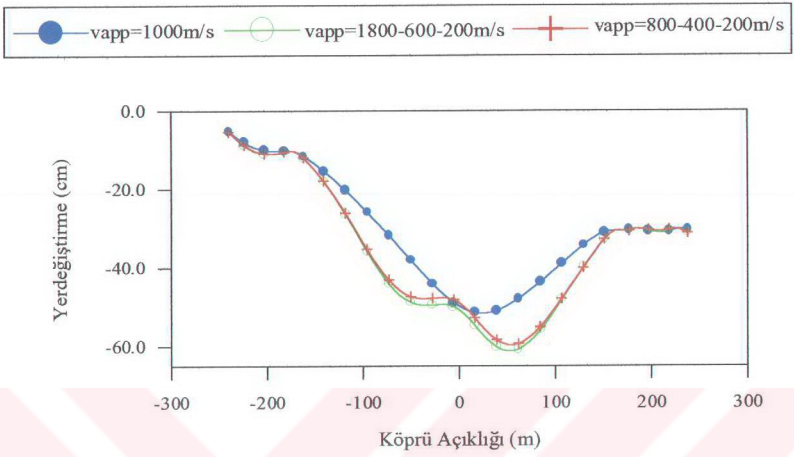


Şekil 149. Tabliye zahiri-statik düşey yerdeğiştirmeleri (SOYY zemin durumu-genel durum)

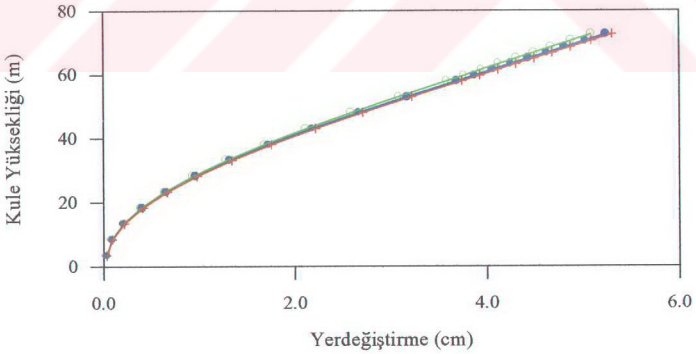


Şekil 150. Tabliye dinamik düşey yerdeğiştirmeleri (SOYY zemin durumu-genel durum)

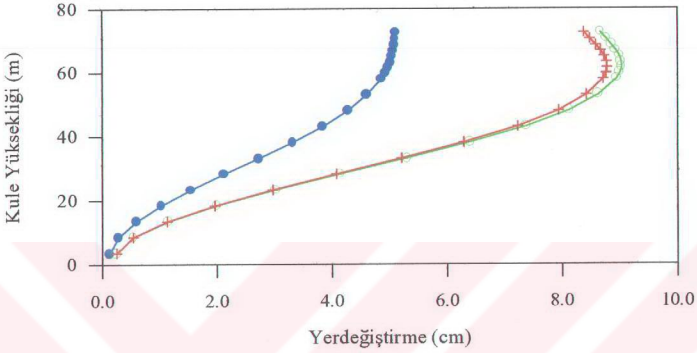




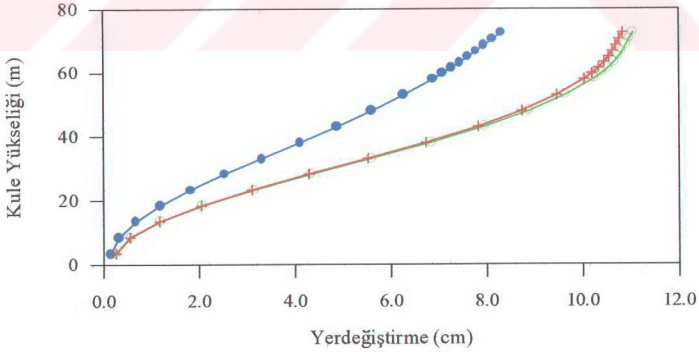
Şekil 151. Tabliye toplam düşey yerdeğiştirmeleri (SOYY zemin durumu-genel durum)



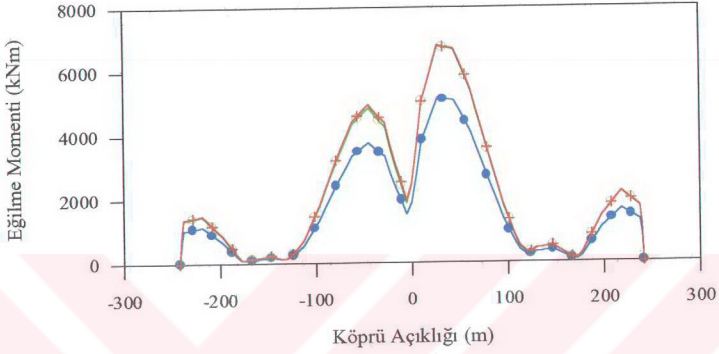
Şekil 152. Jindo kulesi zahiri-statik yatay yerdeğiştirmeleri (SOYY zemin durumu-genel durum)



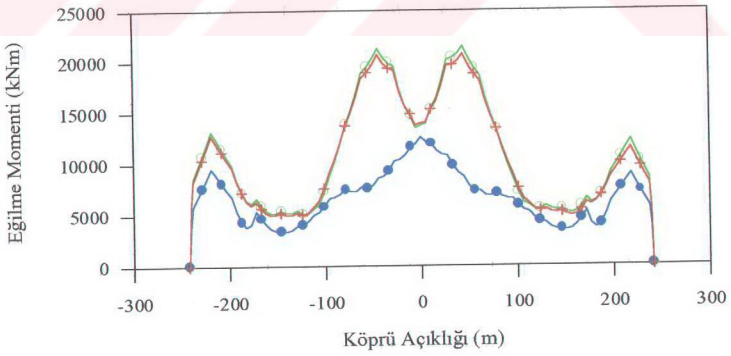
Şekil 153. Jindo kulesi dinamik yatay yerdeğiştirmeleri (SOYY zemin durumu- genel durum)



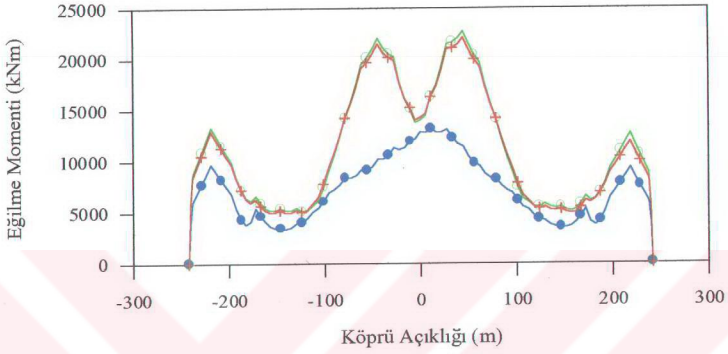
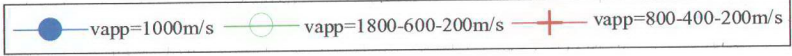
Şekil 154. Jindo kulesi toplam yatay yerdeğiştirmeleri (SOYY zemin durumu- genel durum)



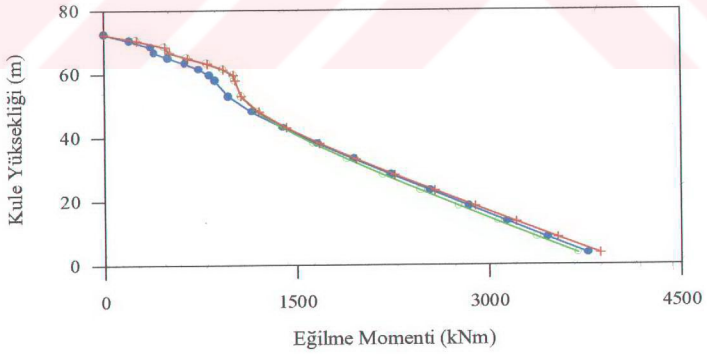
Şekil 155. Tabliye zahiri-statik eğilme momentleri (SOYY zemin durumu-genel durum)



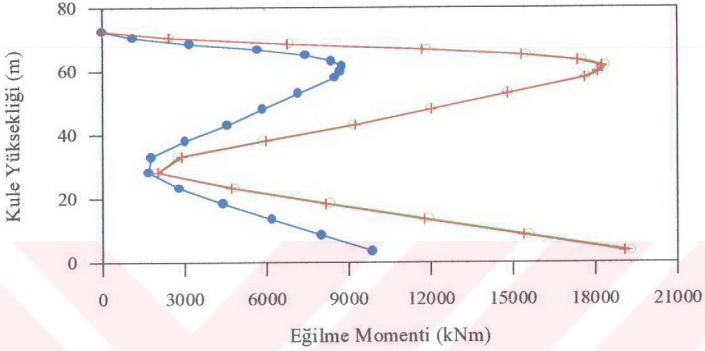
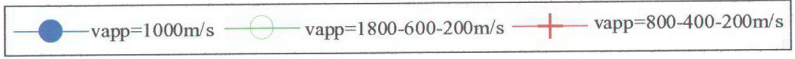
Şekil 156. Tabliye dinamik eğilme momentleri (SOYY zemin durumu-genel durum)



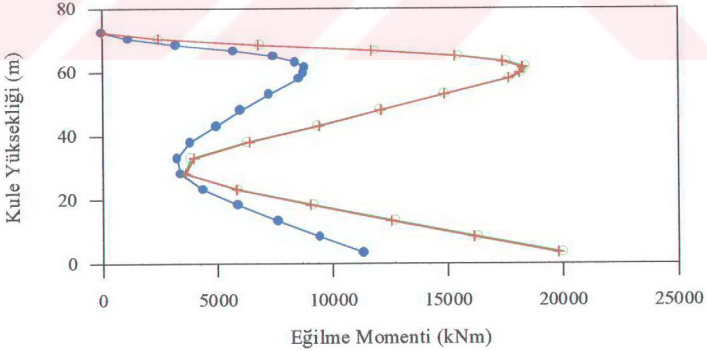
Şekil 157. Tabliye toplam eğilme momentleri (SOYY zemin durumu-genel durum)



Şekil 158. Jindo kulesi zahiri-statik eğilme momentleri (SOYY zemin durumu-genel durum)



Şekil 159. Jindo kulesi dinamik eğilme momentleri (SOYY zemin durumu-genel durum)



Şekil 160. Jindo kulesi toplam eğilme momentleri (SOYY zemin durumu-genel durum)

#### 4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

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

Çalışma boyunca istatistiksel özelliklerin zamandan bağımsız olduğu stasyonelik kabulü yanında, istatistiksel özelliklerin zamana bağımlı olduğu stasyonelik olmayan işlem için de çözümler yapılmıştır. Deprem hareketi gibi farklı zamanlarda farklı istatistiklere sahip rasgele işlemler tüm hareket süresi boyunca stasyonelik değildir. Ancak, en büyük yapı tepkilerinin olduğu saniyeler boyunca stasyonelik kabulünün yapılması uygun olmaktadır.

Yer hareketi olarak Clough-Penzien [65] tarafından düzeltilerek elde edilen filtre edilmiş beyaz gürültü yer hareketi modeli kullanılmıştır. Ayrıca yer hareketinin değişiminin dikkate alındığı korelasyon etkisi için, Harichandran ve Vanmarcke [89] ile Luco ve Wong [90] tarafından önerilen korelasyon modelleri kullanılmıştır. Bunun yanında dalga yayılma etkisi için yer hareketi yayılma hızı olarak  $v_{app}=200-1800$  m/s arasında değişen hız değerleri kullanılmıştır. Zemin etkisi için ise kablolu köprünün üzerine inşa edildiği zeminin yumuşak, orta ve sert zemin olması durumları dikkate alınmıştır.

Uygulama amacıyla Güney Kore'de inşa edilen Jindo Kablolu Köprüsü seçilmiştir. Jindo Köprüsü üç açıklıktan ibaret olup, toplam uzunluğu 484 m'dir. Söz konusu köprünün rasgele olan deprem etkisinden oluşacak stokastik davranışını belirlemek amacıyla iki boyutlu analizi üzerinde durulmuştur.

Değişen yer hareketi için kablolu köprünün stokastik analizini yapmak amacıyla, üniform yer hareketi etkisindeki yapı sistemlerinin stokastik analizini yapan STOCAL [78] bilgisayar programı temel alınarak gerekli analizleri yapabilecek şekilde geliştirilmiş ve SVEM programı hazırlanmıştır.

Yer hareketindeki değişim dikkate alınmak suretiyle kablolu bir köprünün stokastik analizi sonucu bu çalışmadan çıkarılabilecek sonuçlar ve öneriler aşağıda sıralanmaktadır.

1. Clough-Penzien tarafından düzeltilerek elde edilen filtre edilmiş beyaz gürültü modelinin gerçek bir yer hareketi ile karşılaştırılması sonucu, geliştirilen modelin yer hareketini oldukça iyi karakterize ettiği görülmektedir.
2. Yer hareketindeki değişimin dikkate alınması durumunda yerdeğiştirmelere en büyük katkıyı genellikle dinamik bileşen sağlamakla birlikte, özellikle Harichandran ve Vanmarcke korelasyon modeli için zahiri-statik bileşenin de önemli katkılarının olduğu gözlenirken, eleman kuvvetleri büyük oranda dinamik bileşenden meydana gelmektedir. Kovaryans bileşenin ise yerdeğiştirme ve eleman kuvvetleri üzerinde önemli bir katkısı olmamaktadır.
3. Üniform yer hareketi için düşey doğrultuda uygulanan yer hareketi nedeni ile tabliye düşey yerdeğiştirmeleri zahiri-statik bileşenleri sabit olurken, kulelerdeki yatay yerdeğiştirmeler ile tabliye ve kulelerdeki eleman kuvvetleri sadece dinamik bileşenden meydana gelmektedir.
4. Harichandran ve Vanmarcke korelasyon modeli için, yer hareketi yayılma hızının küçük olduğu durumlarda dalga yayılma etkisi için elde edilen dinamik tepki değerleri genellikle korelasyon etkisi için bulunan değerlere oranla daha büyük olurken, yer hareketi yayılma hızının artması ile birlikte dalga yayılma etkisi azalmakta ve böylece korelasyon etkisi dikkate alınarak elde edilen sonuçlar daha büyük olmaktadır. Ayrıca yer hareketi yayılma hızının yüksek olduğu durumlarda korelasyon etkisi için elde edilen zahiri-statik değerler, dalga yayılma etkisi için bulunan değerlerden büyük olurken, yer hareketi yayılma hızının küçük olduğu durumlarda dalga yayılma etkisi için elde edilen değerler korelasyon etkisi için bulunan sonuçlara yaklaşmaktadır. Bunun yanında yer hareketi yayılma hızının artması ile gerek zahiri-statik gerekse dinamik tepki değerlerinin azaldığı dikkati çekmektedir. Luco ve Wong korelasyon modeli için ise korelasyon etkisinin sonuçlar üzerinde önemli bir katkısı olmamaktadır. Bu durumda bulunan tepki değerleri üniform yer hareketi için elde edilen değerlere oldukça yakın çıkmaktadır. Dolayısıyla korelasyon ve dalga yayılma etkilerinin dikkate alındığı genel durumda Luco ve Wong korelasyon modeli ihmal edilebilirken, sadece dalga yayılma etkisinin dikkate alınması yeterli olmaktadır.

5. Homojen zemin ortamında dalga yayılma ve korelasyon etkilerinin dikkate alındığı değişen yer hareketi durumunda (her iki korelasyon modeli için de) bulunan tepki değerleri genellikle üniform yer hareketi kabulü ile elde edilen değerlerden daha fazla olmaktadır. Ancak köprü kenar açıklıklarında sabit bir katkı sağlamakla birlikte zahiri-statik yerdeğiştirmelerin etkisi ile üniform yer hareketi durumundaki yerdeğiştirmeler daha büyük olabilmektedir. Bunun yanında yine kenar açıklıklarda kesme kuvvetleri için de üniform yer hareketi durumunda elde edilen değerlerin daha büyük olduğu görölmektedir. Bu durum üniform yer hareketi için dinamik kesme kuvveti üzerinde etkili olan simetrik modlardan kaynaklanmıştır. Dolayısıyla tepki değerleri yer hareketindeki değişime bağlı olmakla birlikte, zemin cinsine, yapının dinamik özelliklerine, hesaplanacak olan tepki büyüklüğüne, tepki büyüklüğünün hesaplanacağı noktaya ve yer hareketinin temel frekansı ile yapı sisteminin temel frekansı arasındaki ilişkiye de bağlı olacağından elde edilecek değişimin her zaman beklenildiği gibi olmaması doğal karşılanmalıdır.
6. Yer hareketi yayılma hızının sonsuz olması durumunda elde edilen tepki değerleri genellikle en küçük olurken, yer hareketi yayılma hızının azalması ile birlikte söz konusu değerler artmaktadır. Ancak köprü kenar açıklıklarında zahiri-statik yerdeğiştirmelerin etkisi ile, sonsuz hız değeri için elde edilen yerdeğiştirmeler en büyük çıkarken, yer hareketi yayılma hızının azalması ile birlikte yerdeğiştirmeler de azalabilmektedir.
7. Zemin cinsinin yumuşak olması durumundaki zahiri-statik tepki değerleri, söz konusu zemin cinsine ait yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonunun varyansının, orta ve sert zemin cinsi ait varyans değerlerinden büyük olması nedeni ile, en büyük olmaktadır. Ayrıca yumuşak zemin cinsi durumunda, dinamik yerdeğiştirmelere önemli katkılar sağlayan modlara ait frekansların yumuşak zemin cinsine ait ivme spektral yoğunluk fonksiyonunun enerji olarak yoğun olduğu frekans bölgesine rastlamasından dolayı elde edilen dinamik yerdeğiştirmeler de genellikle en büyük çıkmaktadır. Orta ve sert zemin cinsleri durumunda ise yerdeğiştirmelere en büyük katkıyı sağlayan modlara ait frekanslara karşılık gelen spektral yoğunluk fonksiyonunun enerji içeriği genellikle azaldığından dinamik yerdeğiştirmeler azalmıştır. Ancak kesme kuvvetleri için köprü kenar açıklıklarında orta zemin cinsi durumundaki dinamik değerler en



büyük olabilmektedir. Bu durum kesme kuvvetine en büyük katkıyı sağlayan yüksek modlara ait frekansların orta zemin cinsine ait ivme spektral yoğunluk fonksiyonunun enerji olarak yoğun olduğu frekans bölgesine rastlamasından kaynaklanmaktadır.

8. Zahiri-statik tepki bileşenleri yer hareketinin yerdeğiştirme spektral yoğunluk fonksiyonuna duyarlı iken, dinamik tepki bileşenleri yer hareketinin ivme spektral yoğunluk fonksiyonuna duyarlı olmaktadır.
9. Harichandran ve Vanmarcke korelasyon modeli için elde edilen tepki değerleri genellikle Luco ve Wong korelasyon modeli ile elde edilen değerlerden büyük olmaktadır. Yalnız zahiri-statik yerdeğiştirmelerin etkisi ile köprü kenar açıklıklarındaki yerdeğiştirmeler için tersi durum söz konusu olabilmektedir. Her iki korelasyon modeli arasındaki farklılık düşük frekanslardaki davranışlarından kaynaklanmaktadır. Luco ve Wong korelasyon modeli düşük frekanslarda tam korelasyonlu duruma yakın bir davranış gösterirken, frekansın sıfır değeri için dahi Harichandran ve Vanmarcke korelasyon modelinde kısmi korelasyon söz konusu olmaktadır. Dolayısıyla düşük frekanslarda kısmi korelasyonun söz konusu olduğu Harichandran ve Vanmarcke korelasyon modeli ile bulunan tepki değerleri, bu bölgede tam korelasyon gösteren Luco ve Wong korelasyon modeli sonuçlarından büyük çıkmaktadır. Ayrıca tüm frekans bölgesi boyunca tam korelasyonun söz konusu olduğu üniform yer hareketi durumunda genellikle en küçük tepki değerleri elde edilmektedir.
10. Dinamik yerdeğiştirme bileşeni için ilk modların dikkate alınması yeterli olurken, eğilme momenti ve özellikle de kesme kuvveti için daha fazla mod sayısının dikkate alınması gerekmektedir. Köprü örneği için ilk 15 modun dikkate alınması yeterli bulunurken, modlar arasındaki kovaryans bileşenlerin katkılarının da önemli olabileceği dikkati çekmektedir.
11. Üniform yer hareketi için antisimetrik modların dinamik yapı davranışına herhangi bir katkısı olmamaktadır. Yer hareketindeki değişimin dikkate alınması durumunda antisimetrik modların dinamik tepki bileşenlerine katkı sağlaması, değişen yer hareketi durumundaki sonuçların üniform yer hareketine oranla daha büyük olmasını doğallaştırmaktadır.

12. Yer hareketinin belirli zaman değerleri için stasyoner olmayan durumda elde edilen yapı tepkileri stasyoner işlem için elde edilen değerlere oranla daha küçük olmasına rağmen, yer hareketinin belirli bir süresinden sonra stasyoner olmayan işlem için elde edilen değerler stasyoner değerlere oldukça yakın çıkmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada stasyoner işlemin dikkate alınması uygun bir yaklaşım olarak görülebilir.
13. Üniform yer hareketi, dalga yayılma etkisi, korelasyon etkisi ve genel durum gibi değişen yer hareketinin özel durumları dikkate alınmak suretiyle stasyoner olmayan işlem için elde edilen değişim, stasyoner işlem için bulunan değişimle aynı olmaktadır.
14. Stasyoner olmayan işlem için elde edilen tepki bileşenlerine ait zahiri-statik, dinamik ve kovaryans bileşenlerin değişimleri, stasyoner işlem için bulunan değişimlerle paralellik içerisindedir. Ancak stasyoner işlem sonuçlarının stasyoner olmayan işlem sonuçlarından büyük olması ve zahiri-statik bileşenlerin her iki durumda da aynı olması nedeni ile stasyoner olmayan işlemde tepki bileşenlerine dinamik bileşenin katkısı azalırken, zahiri-statik bileşenin katkısı artmaktadır.
15. Zemin şartlarındaki değişim dikkate alınmak suretiyle genel durumda tabliye düzey yerdeğiştirmeleri için elde edilen en büyük zahiri-statik yerdeğiştirme genellikle rijit olan mesnet noktalarında meydana gelirken, en büyük dinamik yerdeğiştirme esnek olan merkez açıklıkta olduğundan, en büyük toplam yerdeğiştirme tabliye orta noktası ile ana kule mesnet noktası arasında oluşmaktadır.
16. Mesnet noktalarındaki zemin cinsleri arasındaki farklılığın artması ile elde edilen tepki bileşenlerine zahiri-statik bileşenlerin önemli katkıları olmaktadır.
17. Genel durumda zemin şartlarındaki değişimin dikkate alınması ile elde edilen tepki değerleri, homojen zemin ortamı için bulunan değerlere oranla genellikle önemli artışlar göstermektedir. Ayrıca mesnetlerdeki zemin şartları arasındaki farklılığın artması ile tepki değerleri daha da büyümektedir.

18. Yer hareketindeki değişime neden olan dalga yayılma, korelasyon ve zemin etkilerinden her birinin sonuçlar üzerinde önemli etkileri olmakla birlikte, zemin etkisinin diğer etkilere oranla daha belirgin olduğu gözlenmektedir.
19. Yer hareketi yayılma hızının zemin cinsine göre değişiminin dikkate alınması durumunda elde edilen tepki değerlerine ait zahiri-statik, dinamik ve kovaryans bileşenlerin değişimi, yer hareketi yayılma hızının sabit olması durumunda bulunan değişimle paralellik içerisindedir. Bununla birlikte yayılma hızındaki değişimin dikkate alınması durumunda zahiri-statik bileşenin toplam bileşene olan katkısında azalma gözlenirken, dinamik bileşenin katkısında artış olmaktadır.
20. Deprem dalgası yayılma hızının zemin cinsine göre değişiminin dikkate alınması, sabit yayılma hızına oranla zahiri-statik bileşen üzerinde önemli bir değişime neden olmamaktadır. Yayılma hızının değişimi daha çok dinamik bileşen için hissedilmekte ve böylece elde edilen toplam tepki değerleri sabit yayılma hızı dikkate alınarak bulunan değerlerden daha büyük çıkmaktadır. Dolayısıyla yer hareketi yayılma hızının zemin cinsine bağlı olarak değişiminin analizlerde dikkate alınması gerekli olmaktadır.
21. Yer hareketindeki değişimin dikkate alınması, deprem hareketinin yapı sistemine olan etkisini daha doğru bir şekilde temsil edeceğinden, yüzlerce metre uzunluğundaki kablolu köprülerin dinamik analizinde söz konusu değişimlerin dikkate alınması gereği açık olarak ortaya çıkmaktadır.
22. Bu çalışmada dikkate alınan korelasyon modellerinin her ikisi de bir takım verilere dayanmakta ve yer hareketindeki değişimi karakterize edebilmektedir. Ancak söz konusu modeller yer hareketinin değişimini etkileyen önemli bir takım parametreleri içermemektedir. Dolayısıyla bu modellerin eksikliklerini dikkate alan korelasyon modellerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.
23. Bu çalışmada özel bir kablolu köprü örneği seçilmek suretiyle, değişen yer hareketi durumundaki davranışı belirlenmeye çalışılmıştır. Ancak burada elde edilen sonuçların genelleştirilebilmesi için farklı kablolu köprü modellerinin de incelenmesi gerekmektedir.

24. Kablo lu köprülerin yer hareketinin değişiminden kaynaklanan dinamik davranışını daha iyi değerlendirebilmek için, kablo lu köprülerde söz konusu olan lineer olmayan etkilerin de stokastik analizde dikkate alınması gereklidir.



## 5. KAYNAKLAR

1. Abdel-Ghaffar, A. M., Rubin, L. I., Suspension Bridge Response to Multiple-Support Excitations, Journal of Engineering Mechanics, 108 (1982) 419-435.
2. Zerva, A., Stochastic Differential Ground Motion and Structural Response, Doktora Tezi, University of Illinois, Illinois, 1982.
3. Abdel-Ghaffar, A. M., Rubin, L. I., Lateral Earthquake Response of Suspension Bridges, Journal of Structural Engineering, 109, 3 (1983) 664-675.
4. Abdel-Ghaffar, A. M., Rubin, L. I., Vertical Seismic Behaviour of Suspension Bridges, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 11 (1983) 1-19.
5. Harichandran, R. S., Wang, W., Response of Simple Beam to Spatially Varying Earthquake Excitation, Journal of Engineering Mechanics, 114, 9 (1988) 1526-1541.
6. Harichandran, R. S., Wang, W., Response of One- and Two-Span Beams to Spatially Varying Seismic Excitation, Report to the National Science Foundation MSU-ENGR-88-002, College of Engineering, Michigan State University, Michigan, 1988.
7. Harichandran, R. S., Wang, W., Response of Indeterminate Two-Span Beam to Spatially Varying Seismic Excitation, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 19 (1990) 173-187
8. Zerva, A., Response of Multiple-Span Beams to Spatially Incoherent Seismic Ground Motions, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 19 (1990) 819-832.
9. Sweidan, B. N., Stochastic Response of Deck Arch Bridges to Correlated Support Excitations, Doktora Tezi, Michigan State University, Michigan, 1990.
10. Perotti, F., Structural Response to Nonstationary Multiple-Support Random Excitation, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 19 (1990) 513-527.
11. Zerva, A., Effect of Spatial Variability and Propagation of Seismic Ground Motions on the Response of Multiply Supported Structures, Probabilistic Engineering Mechanics, 6 (1991) 212-221.
12. Der Kiureghian, A., Neuenhofer, A., A Response Spectrum Method for Multiple-support Seismic Excitations, Report No. UCB/EERC-91/08, Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, CA., 1991.

13. Der Kiureghian, A., Neuenhofer, A., Response Spectrum Method for Multiple-support Seismic Excitations, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 21 (1992) 713-740.
14. Zerva, A., Seismic Loads Predicted by Spatial Variability Models, Structural Safety, 11 (1992) 227-243.
15. Zerva, A., Development of Differential Response Spectra From Spatial Variability Models, Proc. of the 10WCEE, July 1992, Madrid, Spain, Volume 9, 5469-5474.
16. Hawwari, A. R., Suspension Bridge Response to Spatially Varying Ground Motion, Doktora Tezi, Michigan State University, Michigan, 1992.
17. Hyun, C. H., Yun, C. B., Lee, D. G., Nonstationary Response Analysis of Suspension Bridges for Multiple Support Excitations, Probabilistic Engineering Mechanics, 7 (1992) 27-35.
18. Nakamura, Y., Der Kiureghian, A., Liu, D., Multiple-Support Response Spectrum Analysis of the Golden Gate Bridge, Report No. UCB/EERC-93/05, Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, CA., 1993.
19. Hao, H., Arch Responses to Correlated Multiple Excitations, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 22 (1993) 389-404.
20. Hao, H., Ground-Motion Spatial Variation Effects on Circular Arch Responses, Journal of Engineering Mechanics, 120, 11 (1994) 2326-2341.
21. Hao, H., Effects of Spatial Variation of Ground Motions on Large Multiply-Supported Structures, Report No. UCB/EERC-89/06, Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, CA., 1989.
22. Harichandran, R. S., Hawwari, A., Sweiden, B. N., Response of Long-Span Bridges to Spatially Varying Ground Motion, Journal of Structural Engineering, 122, 5 (1996) 476-484.
23. Der Kiureghian, A., A Coherency Model for Spatially Varying Ground Motions, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 25 (1996) 99-111.
24. Monti, G., Nuti, C., Pinto, P. E., Nonlinear Response of Bridges Under Multisupport Excitation, Journal of Structural Engineering, 122, 10 (1996) 1147-1159.

25. Der Kiureghian, A., Keshishian, P., Effect of Site Response on Spatial Variability of Ground Motion, 11<sup>th</sup> World Conference on Earth. Eng., 1996, Oxford, Disc 2, Paper No. 705.
26. Der Kiureghian, A., Keshishian, P., Hakobian, A., Multiple Support Response Spectrum Analysis of Bridges including the Site-Response Effect and MSRS Code, Report No. UCB/EERC-97/02, Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, CA., 1997.
27. Zembaty, Z., Vibrations of Bridge Structure Under Kinematic Wave Excitations, Journal of Structural Engineering, 123, 4 (1997) 479-487.
28. Zembaty, Z., Rutenberg, A., Sensivity Analysis of Spatial Seismic Effects from Local Soil Amplification, 11<sup>th</sup> European Conference on Earthquake Engineering, 1998, Balkema, Rotterdam, Computer File.
29. Zembaty, Z., Rutenberg, A., On the Sensivity of Bridge Seismic Response With Local Soil Amplification, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 27, 10 (1998) 1095-1099.
30. Zerva, A., Differential Response Spectra for the Seismic Response of Lifelines, Proc. of the Fourth European Conference on Structural Dynamics, June 1999, Prague, Volume 2, 1153-1158.
31. Lee, M. C., Penzien, J., 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., 1980.
32. Lee, M. C., Penzien, J., Stochastic Analysis of Structures and Piping Systems Subjected to Stationary Multiple Support Excitations, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 11 (1983) 91-110.
33. Mantegh, I., Stochastic Analysis of Multiply-Supported Piping Systems Under Correlated Ground Excitations, Yüksek Lisans Tezi, University of Ottawa, Ottawa, 1994.
34. Zhao, Y., Random Vibration for Seismic Analysis of Multiply Supported Nuclear Piping, Doktora Tezi, Case Western Reserve University, 1994.
35. Hao, H., Response of Multiply Supported Rigid Plate to Spatially Correlated Seismic Excitations, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 20 (1991) 821-838.

36. Sungur, I., Stochastic Response to Earthquake Forces of a Cable-Stayed Bridge, Engineering Structures, 15 (1993) 307-314.
37. Soyuluk, K., Kablolü Köprülerin Stokastik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1997.
38. Garevski, M., Dumanoğlu, A.A., R.T. Severn, Dynamic Characteristics and Seismic Behaviour of Jindo Bridge, South Korea, Structural Engineering Review, 1 (1988) 141-149.
39. Nazmy, A.S., Abdel-Ghaffar, A.M., Seismic Response Analysis of Cable Stayed Bridges Subjected to Uniform and Multiple-Support Excitations, Report No. 87-SM-1, Department of Civil Engineering, Princeton University, Princeton, N. J., 1987.
40. Nazmy, A. S., Nonlinear Earthquake-Response Analysis of Cable-Stayed Bridges Subjected to Multiple-Support Excitations, Doktora Tezi, Princeton University, Princeton, 1987.
41. Abdel-Ghaffar, A.M. Nazmy, A.S., Response Evaluation and Research Needs for Seismic Design of Cable-Stayed Bridges, 4<sup>th</sup> Joint U.S.-Japan Workshop on Bridge Engineering Performance, Strengthening and Innovation, May 1988, San Diego, 1-18.
42. Nazmy, A.S., Abdel-Ghaffar, A.M., Non-Linear Earthquake-Response Analysis of Long-Span Cable-Stayed Bridges: Applications, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 19 (1990) 63-76.
43. Nazmy, A.S., Abdel-Ghaffar, A.M., Non-Linear Earthquake-Response Analysis of Long-Span Cable-Stayed Bridges: Theory, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 19 (1990) 45-62.
44. Abdel-Ghaffar, A.M., Nazmy, A.S., 3-D Nonlinear Seismic Behaviour of Cable-Stayed Bridges, Journal of Structural Engineering, 117, 11 (1991), 3456-3476.
45. Nazmy, A.S., Abdel-Ghaffar, A.M., Effects of Ground Motion Spatial Variability on the Response of Cable-Stayed Bridges, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 21, (1992) 1-20.
46. Fan, L., Hu, S., Yuan, W., Nonlinear seismic response analysis of long-span cable-stayed bridge, Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering, July 1992, Madrid, Vol. 8, 4815-4820.



47. Nazmy, A. S., Solutions for the seismic problems of superlong cable-stayed bridges, Restructuring: America and Beyond, Proceedings of Structures Congress XIII, American Society of Civil Engineers, April 1995, New York, Volume 1, 465-468.
48. Schemmann, A. G., Modeling and active control of cable-stayed bridges subject to multiple-support excitation, Doktora Tezi, Stanford University, California, 1997.
49. Schemmann, A. G., Smith, H. A., Vibration control of cable-stayed bridges, Part 1: Modeling issues, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 27, 8 (1998) 811-824.
50. Schemmann, A. G., Smith, H. A., Vibration control of cable-stayed bridges, Part 2: Control analyses, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 27, 8 (1998) 825-843.
51. Nazmy, Aly S., Seismic performance of long-span bridges: issues and solutions, Sixth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Inst., 1998, Oakland, Computer File.
52. Soyluk, K., Dumanoğlu, A. A., Bayraktar, A., Comparison of Stochastic and Asynchronous Response of Cable Stayed Bridges, Eighth International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, July 1997, İstanbul, 250-251.
53. Soyluk, K., Dumanoğlu, A. A., Kablolu Köprülerin Karşılaştırmalı Dinamik Analizleri: Asinkronize, Antisinkronize ve Stokastik, III. Ulusal Hesaplamalı Mekanik Konferansı, Eylül 1998, İstanbul, 449-456.
54. Soyluk, K., Dumanoğlu, A. A., Comparison of Asynchronous and Stochastic Dynamic Response of a Cable-Stayed Bridge, Engineering Structures, 22 (2000) 435-445.
55. Dumanoğlu, A. A., Soyluk, K., Kablolu Köprülerin Stokastik ve Asinkronize Dinamik Analizi, Teknik Rapor, TDV/TR 98-013, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul, 1998.
56. Dumanoğlu, A. A., Soyluk, K., Kablolu Köprülerin Asinkronize, Antisinkronize ve Stokastik Karşılaştırmalı Dinamik Analizleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi, 11, 2 (2000) 2121-2137.
57. Allam, S. M., Datta, T. K., Seismic Behaviour of Cable-Stayed Bridges Under Multi-Component Random Ground Motion, Engineering Structures, 22 (1999) 62-74.
58. Dumanoğlu, A. A., Soyluk, K., Mesnetlerinden Farklı Dinamik Etkilere Maruz Kablolu Köprülerin Stokastik Analizi, Teknik Rapor, TDV/TR 032-54, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul, 2000.

59. Soyuluk, K., Dumanoglu, A. A., Stochastic Analysis of Cable-Stayed Bridges Subjected to Multiple-Support Excitation, *Advances in Civil Engineering, IV. International Congress, November 2000, Gazimagusa, Volume 3*, 1249-1258.
60. Allam, S. M., Datta, T. K., Analysis of Cable-Stayed Bridges Under Multi-Component Random Ground Motion by Response Spectrum Method, *Engineering Structures*, 22 (2000) 1367-1377.
61. Dumanoglu, A. A., Severn, R. T., Dynamic Response of Dams and Other Structures to Differential Ground Motions, *Proc. Instn. Civ. Engrs., Part2*, 77 (1984) 333-352.
62. Dumanoglu, A.A., Severn, R.T., Seismic Response of Modern Suspension Bridges to Asynchronous Vertical Ground Motion, *Proc. Instn. Civ. Engrs., Part 2*, 83 (1987) 701-730.
63. Bayraktar, A., Asinkronize Yer Hareketi Etkisindeki Baraj-Rezervuar-Temel Sistemlerinin Dinamik Davranışı, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1995.
64. Gazis, G. D., Dynamic Responses of Structures to Multiple Support Seismic Excitations- A Random Vibration Time History Analysis, Doktora Tezi, University of Illinois at Chicago, Chicago, 1985.
65. Clough, R.W., Penzien, J., Dynamics of Structures, Second Edition, McGraw Hill, Inc., Singapore, 1993.
66. Harichandran, R. S., Random Vibration Under Propagating Excitation: Closed-Form Solutions, *Journal of Engineering Mechanics*, 118, 3 (1992) 575-586.
67. Harichandran, R. S., An Efficient, Adaptive Algorithm for Large-Scale Random Vibration Analysis, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 22 (1993) 151-165.
68. Kumarasena, T., Stroh, S. L., Multiple-Support Excitation Analysis Simplified, Proceedings of the National Seismic Conference on Bridges and Highways, December 1995, San Diego, California, 10-23.
69. Burdisso, R. A., Singh, M. P., Multiply Suported Secondary Systems Part I: Response Spectrum Analysis, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 15 (1987) 53-72.
70. Celep, Z., Kumbasar, N., Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş, Birinci Baskı, Sema Matbaacılık, İstanbul, 1992.

71. Paz, M., Structural Dynamics, Third Edition, Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York, 1991.
72. Rutenberg, A., Heidebrecht, A. C., Approximate Spectral Multiple Support Seismic Analysis: travelling wave approach, Proc. Instn Civ. Engrs, Part 2, 85 (1988) 223-236.
73. Yang, C. Y., Random Vibration of Structures, First Edition, John Wiley, Inc., New York, 1986.
74. Peebles, P. Z., Probability, Random Variables and Random Signal Principles, Second Edition, McGraw-Hill, Inc., New York, 1987.
75. Augisti, G., Baratta, A., Casciati, F., Probabilistic Methods in Structural Engineering, First Edition, Chapman and Hall Ltd., New York, 1984.
76. Kreyszig, E., Advanced Engineering Mathematics, Seventh Edition, John Wiley and Sons, Inc., Singapore, 1993.
77. Dumanoglu, A.A., Severn, R.T., Stochastic Response of Suspension Bridges to Earthquake Forces, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 19 (1990) 133-152.
78. Button, M. R., Der Kiureghian, A., Wilson, E. L., STOCAL-User Information Manual, Report No UCB/SEMM-81/2, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley, CA., 1981.
79. Button, M.R., Numerical Techniques for Dynamic Stochastic Structural Analysis, Doktora Tezi, University of California, Berkeley, 1981.
80. Der Kiureghian, A., Structural Response to Stationary Excitation, Journal of the Engineering Mechanics Division, 106 (1980) 1195-1213.
81. Wung, C. D., Der Kiureghian, A., 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., 1989.
82. Oliveira, C. S., Hao, H., Penzien, J., Ground Motion Modeling for Multiple-Input Structural Analysis, Structural Safety, 10 (1991) 79-93.
83. Abrahamson, N. A., Schneider, J. F., Step, J. C., Empirical Spatial Coherency Functions for Application to Soil-Structure Interaction Analyses, Earthquake Spectra, 7, 1 (1991) 1-27.

84. Schneider, J. F., Step, J. C., Abrahamson, N. A., The Spatial Variation of Earthquake Ground Motion and Effects of Local Site Conditions, *Advances in Civil Engineering, Proc. 10<sup>th</sup> WCEE, July 1992, Madrid, 967-972.*
85. Abrahamson, N. A., Spatial Variation of Multiple Support Inputs, *Proc. of the First U. S. Seminar, Seismic Evaluation and Retrofit of Steel Bridges, October 1993, San Francisco, 1-34.*
86. Heredia-Zavoni, E., Vanmarcke, E. H., Seismic Random-Vibration Analysis of Multisupport-Structural Systems, *Journal of Engineering Mechanics*, 120, 5 (1994) 1107-1127.
87. Datta, T. K., Mashaly, E. A., Pipeline Response to Random Ground Motion by Discrete Model, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 14 (1986) 559-572.
88. Hindy, A., Pipeline Response to Random Ground Motion, *Journal of the Engineering Mechanics Division*, 106 (1980) 339-360.
89. Harichandran, R. S., Vanmarcke, E. H., Stochastic Variation of Earthquake Ground Motion in Space and Time, *Journal of Engineering Mechanics*, 112, 2 (1986) 154-174.
90. Luco, J. E., Wong, H. L., Response of A Rigid Foundation to a Spatially Random Ground Motion, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 14 (1986) 891-908.
91. Santa-Cruz, S., Heredia-Zavoni, E., Harichandran, R. S., Low-Frequency Behavior of Coherency for Strong Ground Motions in Mexico City and Japan, *Proc. of the 12WCEE, 2000, New Zealand, 5469-5474.*
92. Luco, J. E., Mita, A., Response of Circular Foundation to Spatially Random Ground Motion, *Journal of Engineering Mechanics*, 113 (1987) 1-16.
93. Gimsing, N. J., *Cable Supported Bridges: Concept and Design, First Edition, JohnWiley and Sons, New York, 1983.*
94. Troitsky, M. S., *Cable-Stayed Bridges, Second Edition, BSP Professional Books, London, 1988.*
95. Walther, R., *Cable-Stayed Bridges, First Edition, Thomas Telford Ltd., London, 1988.*

96. Ito, M., Suzuki, S., Endo, T., Takagi, N., Long-Span Cable-Stayed Bridge With Longitudinally Elastic Supports, Structures Congress'91, May 1991, Indianapolis, 506-509.
97. Ito, M., Endo, T., The Tatara Bridge-World's Longest Cable-Stayed Span, Structures Congress XII, April 1994, Atlanta, Volume 1, 677-682.
98. Lin, Y., Zhu, Z., Shen, G., The Yangpu Bridge: A World Record Cable-Stayed Bridge, Structures Congress XIII, April 1995, Massachusetts, Volume 1, 447-450.
99. Podolyn, W., Construction and Design of Cable-Stayed Bridges, Second Edition John Wiley and Sons, New York, 1986.
100. Fleming, J. F., Egeseli, E. A., Dynamic Behaviour of a Cable-Stayed Bridge, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 8 (1980) 1-16.
101. Hong-Qing, W., Xia, R., Nonlinear Dynamic Behavior of Cable-Stayed Bridges, Proc. of Sino-American Symposium on Bridge and Structural Engineering, September 1982, Beijing, China, 1-8.
102. Shiu, Y. J., The Nonlinear Analysis of Cable-Stayed Bridges, Doktora Tezi, University of Maryland, Maryland, 1983.
103. Paskalov, T., Garevski, M., Static and Dynamic Analysis of Cable-Stayed Bridges, International Seminar on Computer-Aided Design of Earthquake Resistant Engineering Structures, October 1985, Skopje, 1-27.
104. Yokoyama, M., Tanaka, S., Iwano, M., Analytical Study on Seismic Behavior of Cable-Stayed Concrete Bridge, Proc. of 9<sup>th</sup> WCEE, August 1988, Tokyo, Kyoto, Vol. 6, 489-494.
105. Nazmy, A. S., Abdel-Ghaffar, M., Three-Dimensional Nonlinear Static Analysis of Cable-Stayed Bridges, Computers and Structures, 34, 2 (1990) 257-271.
106. Seif, S. P., Dilger, W. H., Nonlinear Analysis and Collapse Load of P/C Cable-Stayed Bridges, Journal of Structural Engineering, 116, 3 (1990) 829-849.
107. Ali, H. M., Nonlinear Seismic Analysis of Cable-Stayed Bridges with Passive Energy Dissipation Devices, Doktora Tezi, University of Southern California, Los Angeles, 1991.
108. Huang, D., Wang, T. L., Impact Analysis of Cable-Stayed Bridges, Computers and Structures, 43, 5 (1992) 897-908.

109. Wang, Y. C., Geometric Nonlinear Behavior of Cable-Stayed Bridges, Doktora Tezi, University of Colorado, Colorado, 1993.
110. Wang, P. H., Yang, C. G., Initial Shape of Cable-Stayed Bridges, Computers and Structures, 46, 6 (1993) 1095-1106.
111. Yiak, K. C., Pezeshk, S., Seismic Study of a Cable-Stayed Bridge, Structures Congress XII, April 1994, Atlanta, Volume 2, 1197-1207.
112. Adeli, H., Zhang, J., Fully Nonlinear Analysis of Composite Girder Cable-Stayed Bridges, Computers and Structures, 54, 2 (1995) 267-277.
113. Ali, H. M., Abdel-Ghaffar, A. M., Modeling the Nonlinear Seismic Behavior of Cable-Stayed Bridges with Passive Control Bearings, Computers and Structures, 54, 3 (1995) 461-492.
114. Khalil, M. S., Nonlinear Analysis of Cable-Stayed Bridges at Ultimate Load Level, Can. J. of Civil Eng., 23 (1996) 1111-1117.
115. Wang, P. H., Yang, C. G., Parametric Studies of Cable Stayed Bridges, Computers and Structures, 60, 2 (1996) 243-260.
116. Garevski, M. A., Brownjohn, J. M. W., Blakeborough, A., Severn, R. T., Resonance-Search Tests on a Small-Scale model of a Cable-Stayed Brige, Engineering Structures, 13 (1991) 59-66.
117. Tappin, R.G.R., Clark, P.J., Jindo and Dolsan Bridges: Design, Proc. Instn Civ. Engrs, 78 (1985) 1281-1300.
118. Rees, A., Kim, S. J., Jindo and Dolsan Bridges: Construction, Proc. Instn Civ. Engrs, 78 (1985) 1301-1324.
119. Piessens, R. et al., QUADPACK-A Subroutine Package for Automatic Integration, Springer-Verlag, Berlin, 1983.
120. Bathe, K. J., Finite Element Procedures, First Edition, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1996.

## ÖZGEÇMİŞ

Kurtuluş SOYLUK 1971 yılında Trabzon'da doğdu. İlköğrenimini Almanya'da, Orta ve Lise öğrenimini Trabzon'da tamamladı. 1989 yılında girdiği üniversite sınavlarını kazanarak, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne başladı. Lisans öğrenimini, 1992-1993 eğitim-öğretim yılı Haziran döneminde tamamladı ve aynı yıl yüksek lisans sınavını kazanarak mezun olduğu bölümde yüksek lisans öğrenimine başladı. 1994 yılında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi kadrosuna atandı. Aynı yıl K.T.Ü. Gümüşhane Mühendislik Fakültesi'nin açtığı sınavı kazanarak, Şubat 1995'de bu fakültenin İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim Dalı'na Araştırma Görevlisi olarak atandı. Yüksek Lisans öğrenimini "Kablolu Köprülerin Stokastik Analizi" konusunda hazırladığı tezle Ocak 1997'de tamamlayarak, aynı yıl doktora çalışmalarına başladı ve halen Araştırma Görevliliği ile birlikte lisansüstü çalışmalarına devam etmektedir.