

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

CEKET TİPİ AÇIK DENİZ PLATFORMLARININ
DEPREM VE DALGA KUVVETLERİNE GÖRE STOKASTİK ANALİZİ

127477

İnş. Müh. Hasan Basri BAŞAĞA

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

“İnşaat Yüksek Mühendisi”

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

127477

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26.12.2002

Tezin Savunma Tarihi : 20.01.2003

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Alemdar BAYRAKTAR

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Ahmet YILMAZTÜRK

Bereket Aev
Ahmet Durmuş
A. Yılmaztürk

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Yusuf AYVAZ

Yusuf Ayvaz

Trabzon 2003

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

“Ceket Tipi Açık Deniz Platformlarının Deprem ve Dalga Kuvvetlerine Göre Stokastik Analizi” konulu bu çalışmayı bana önererek ufkumun genişlemesini sağlayan, çalışmanın büyük bir kısmında çalışmalarımı adım adım kontrol ederek tecrübe ve bilgilerini benden esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. A. Aydın DUMANOĞLU'na teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Yönetici hocam Prof. Dr. A. Aydın DUMANOĞLU'nun milletvekili olmasından sonra yoğun işlerine rağmen beni danışmanlığına kabul edip tez çalışmasının devamını sağlayan ve çalışmayı titizlikle inceleyip bilgilerini paylaşan saygıdeğer hocam Doç Dr. Alemdar BAYRAKTAR'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tez çalışmamı inceleyerek bilgi ve tavsiyelerini benimle paylaşan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ'a bana ayırdığı zaman ve gösterdiği ilgiden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın başından sonuna kadar olanaklarını ve bilgilerini benimle paylaşan değerli hocam Dr. Halil KARADENİZ'e yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında yardımlarını ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Araş. Gör. Kemal HACİFENDİOĞLU'na, Araş. Gör. Volkan KAHYA'ya, Araş. Gör. Ebru HANÇER'e ve Araş. Gör. Erdoğan ÇAKIROĞLU'na şükranlarımı sunarım.

Çalışmamın her aşamasında yanımda olan, destek veren, yardım eden ve moral veren sevgili eşime teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hep yanımda hissettiğim, bana en büyük çalışmanın, insanlara sevgi ve saygı göstermek felsefesi üzerine olacağını aşıl原因 anneme ve babama minnettar olduğumu belirtir bu çalışmanın ülkemize faydalı olmasını temenni ederim.

Trabzon, 2003

Hasan Basri BAŞAĞA

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	XVI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XVII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.1.1. Açık Deniz Platformlarının Tarihi Gelişimi.....	1
1.1.2. Açık Deniz Platformları İle İlgili Daha Önce Yapılmış Bazı Çalışmalar.....	2
1.1.3. Çalışmanın İçeriği.....	9
1.2. Açık Deniz Platform Tipleri.....	10
1.2.1. Yerçekimi Tip Platform.....	11
1.2.2. Ceket Tip Platform.....	11
1.2.3. Gergi Ayaklı Platform.....	12
1.2.4. Kriko Tip Platform.....	13
1.3. Açık Deniz Platformlarına Etki Eden Kuvvetler.....	14
1.3.1. Deprem Etkileri.....	14
1.3.2. Dalga Etkileri.....	17
1.3.2.1. Dalga Yükseklik Spektrumu.....	17
1.3.2.1.1. Pierson-Moskowitz (P.M) Deniz Spektrumu.....	18
1.3.2.1.2. JONSWAP Deniz Spektrumu.....	19
1.4. Stokastik Analiz Formülasyonu.....	20
1.4.1. Spektral Katkı Faktörleri.....	20
1.4.2. Modal Dalga Kuvvetleri.....	23
1.4.2.1. Modal Dalga Kuvvetlerinin Hesaplanması.....	29

1.4.2.2. Modal Dalga Kuvvetleri ve Su Yüksekliği Arasındaki Transfer Fonksiyonun Hesabı	38
1.4.2.3. Modal Dalga Kuvvetlerinin Spektral İfadeleri ve Yapısal Davranışın Spektral Momentinin Hesabı	42
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	47
2.1. Platformun Yapısal Özellikleri	47
2.2. Platformun Malzeme Özellikleri.....	49
2.3. Platformun Sonlu Eleman Modeli.....	50
3. BULGULAR VE İRDELEME	53
3.1. Frekanslar.....	53
3.2. Deprem Kuvveti İçin Yapılan Analizde Sonuçların Karşılaştırılması	56
3.2.1. Transfer Fonksiyon Değerlerinin Karşılaştırılması	58
3.2.2. Spektrum Değerlerinin Karşılaştırılması	77
3.3. Dalga Kuvveti İçin Yapılan Analizde Sonuçların Karşılaştırılması	96
3.3.1. Transfer Fonksiyon Değerlerinin Karşılaştırılması	98
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	113
5. KAYNAKLAR	116
ÖZGEÇMİŞ.....	120

ÖZET

Bu çalışmada ceket tipi açık deniz platformlarının stokastik analizi gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla 4-ayaklı ceket tipi bir platform seçilmekte ve zeminli ve zeminsiz olarak deprem ve dalga kuvvetlerine maruz iken ayrı ayrı incelenmektedir. Deprem etkisi incelenirken Kanai-Tajimi deprem spektrumu, dalga etkisi incelenirken Pierson-Moskowitz (P.M) deniz spektrumu kullanılmıştır. Analizlerde, zeminli olarak ele alınan platformun zeminsize göre davranışındaki farklılıklar ortaya konulmaktadır.

Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, açık deniz platformlarının tarihi gelişimi, açık deniz platformları konusunda daha önceden yapılmış bazı çalışmalar ve açık deniz platformlarının tipleri hakkında bilgi verilmektedir. Ayrıca açık deniz platformlarına etkiyen kuvvetler başlığı altında deprem ve dalga etkisi açıklanmakta; dalga kuvvetinin stokastik analiz formülasyonu üzerinde durulmaktadır.

İkinci bölümde, platformun yapısal ve malzeme özellikleri tanıtılmakta ve sonlu eleman modeli gösterilmektedir.

Üçüncü bölümde, yapılan analizlerin sonuçları tablolar ve grafikler halinde verilmektedir. Buna ek olarak platformun mod şekilleri ile birlikte doğal frekans değerleri sunulmaktadır.

Dördüncü bölümde ise elde edilen sonuçlar ve öneriler sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Açık Deniz Platformları, Ceket Tipi Platformlar, Stokastik Analiz, Dalga Kuvveti, Kanai-Tajimi Deprem Spektrumu, Pierson-Moskowitz Deniz Spektrumu

SUMMARY

Stochastic Analysis of Jacket Type of Offshore Platforms to Earthquake and Wave Forces

In this work, the stochastic analysis of jacket type of offshore platforms is introduced. For this aim, 4-legs jacket type platform is chosen and it is analysed separately with and without soil when subjected to earthquake and wave forces. Kanai-Tajimi earthquake spectrum is used in examining the effects of the earthquake. The Pierson-Moskowitz sea spectrum is used in analyzing the wave effects. What is pointed out in the analyses is the differences in the responses of the platform with and without soil.

This work consists of four chapters. In the first chapter, historical development of offshore platforms, some of the previous studies on offshore platforms and different types of offshore platforms are presented. Besides, the clarification of earthquake and wave effects, the stochastic analysis formulation of wave force is emphasized.

In the second chapter, structural and material properties of the platform are introduced and finite element model is demonstrated.

In the third chapter, the results of the analyses are presented with the tables and graphics. In addition to this, the mode shapes and also the frequency values of the platform are presented.

In the last chapter, the results and suggestions obtained are introduced.

Keywords : Offshore Platforms, Jacket-Type Platforms, Stochastic Analysis, Wave Forces , Kanai-Tajimi Earthquake Spectrum , Pierson-Moskowitz Sea Spectrum

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Tipik yerçekimi platform.....	11
Şekil 2.	Tipik 8-ayaklı ceket platform.....	12
Şekil 3.	Gergi ayaklı platform.....	13
Şekil 4.	Tipik kriko platform.....	13
Şekil 5.	Deprem etkisinde ceket tipi bir platform.....	16
Şekil 6.	Dalga etkisinde ceket tipi bir platform.....	17
Şekil 7.	Modal birleştirme işlemi.....	22
Şekil 8.	Su içinde seçilmiş rastgele bir eleman ve koordinat takımı.....	27
Şekil 9.	Herhangi bir elemanın eleman koordinat takımındaki noktasal ve iç deformasyon vektörlerinin bileşenleri.....	30
Şekil 10.	Herhangi bir elemanın genel eksen takımında öz vektörlerinin bileşenleri.....	33
Şekil 11.	Doğrusal kuvvet dağılımına maruz herhangi bir elemanın düğüm noktası kuvvetleri ve eğilme momentleri.....	35
Şekil 12.	Ceket tipi platformun boyutları.....	47
Şekil 13.	Ceket tipi platformun elemanları.....	48
Şekil 14.	Ceket tipi platformun zeminsiz olması durumunda sonlu eleman modeli.....	51
Şekil 15.	Ceket tipi platformun zeminli olması durumunda sonlu eleman modeli.....	52
Şekil 16.	Ceket tipi platformun zeminsiz olması durumunda 1. mod şekli.....	54
Şekil 17.	Ceket tipi platformun zeminsiz olması durumunda 2. mod şekli.....	54
Şekil 18.	Ceket tipi platformun zeminli olması durumunda 1. mod şekli.....	55
Şekil 19.	Ceket tipi platformun zeminli olması durumunda 2. mod şekli.....	55
Şekil 20.	Kanai-Tajimi deprem güç spektrumu.....	57
Şekil 21.	Karşılaştırmada kullanılan düğüm noktalarının ve elemanlarının sonlu eleman üzerinde gösterimi.....	57
Şekil 22.	Platformun zeminsiz olması durumunda, sonlu eleman modelinde seçilen noktalarda X eksenini doğrultusundaki yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun yükseklik boyunca maksimum değerlerinin değişimi.....	60

Şekil 23.	Platformun zeminli olması durumunda, sonlu eleman modelinde seçilen noktalarda X eksenini doğrultusundaki yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun yükseklik boyunca maksimum değerlerinin değişimi	60
Şekil 24.	Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	61
Şekil 25.	Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	61
Şekil 26.	Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının Y eksenini boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	62
Şekil 27.	Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının Y eksenini boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	62
Şekil 28.	Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının Z eksenini boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	63
Şekil 29.	Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının Z eksenini boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	63
Şekil 30.	Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının X eksenini etrafındaki dönme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	64
Şekil 31.	Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının X eksenini etrafındaki dönme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	64
Şekil 32.	Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının Y eksenini etrafındaki dönme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	65
Şekil 33.	Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının Y eksenini etrafındaki dönme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	65
Şekil 34.	Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının Z eksenini etrafındaki dönme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	66
Şekil 35.	Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının Z eksenini etrafındaki dönme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi	66
Şekil 36.	Platformun zeminsiz olması durumunda, 2 nolu düğüm noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	67
Şekil 37.	Platformun zeminli olması durumunda, 2 nolu düğüm noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	67
Şekil 38.	Platformun zeminsiz olması durumunda, 3 nolu düğüm noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	68

Şekil 39.	Platformun zeminli olması durumunda, 3 nolu düğüm noktasının X eksenı boyunca yerdeğıştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	68
Şekil 40.	Platformun zeminsiz olması durumunda, 4 nolu düğüm noktasının X eksenı boyunca yerdeğıştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	69
Şekil 41.	Platformun zeminli olması durumunda, 4 nolu düğüm noktasının X eksenı boyunca yerdeğıştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	69
Şekil 42.	Platformun zeminsiz olması durumunda, 5 nolu düğüm noktasının X eksenı boyunca yerdeğıştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	70
Şekil 43.	Platformun zeminli olması durumunda, 5 nolu düğüm noktasının X eksenı boyunca yerdeğıştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	70
Şekil 44.	Platformun zeminsiz olması durumunda, A elemanının 5 nolu düğüm noktasının X yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun frekansla değişimi ...	71
Şekil 45.	Platformun zeminli olması durumunda, A elemanının 5 nolu düğüm noktasının X yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun frekansla değişimi ...	71
Şekil 46.	Platformun zeminsiz olması durumunda, A elemanının 5 nolu düğüm noktasının Y eksenı etrafındaki moment transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	72
Şekil 47.	Platformun zeminli olması durumunda, A elemanının 5 nolu düğüm noktasının Y eksenı etrafındaki moment transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	72
Şekil 48.	Platformun zeminsiz olması durumunda, B elemanının 6 nolu düğüm noktasının X yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun frekansla değişimi ...	73
Şekil 49.	Platformun zeminli olması durumunda, B elemanının 6 nolu düğüm noktasının X yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun frekansla değişimi ...	73
Şekil 50.	Platformun zeminsiz olması durumunda, B elemanının 6 nolu düğüm noktasının Y eksenı etrafındaki moment transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	74
Şekil 51.	Platformun zeminli olması durumunda, B elemanının 6 nolu düğüm noktasının Y eksenı etrafındaki moment transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	74
Şekil 52.	Platformun zeminsiz olması durumunda, C elemanının 7 nolu düğüm noktasının X yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun frekansla değişimi ...	75

Şekil 53.	Platformun zeminli olması durumunda, C elemanının 7 nolu düğüm noktasının X yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun frekansla değişimi ...	75
Şekil 54.	Platformun zeminsiz olması durumunda, C elemanının 7 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	76
Şekil 55.	Platformun zeminli olması durumunda, C elemanının 7 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment transfer fonksiyonunun frekansla değişimi.....	76
Şekil 56.	Platformun zeminsiz olması durumunda, sonlu eleman modelinde seçilen noktalarda X eksenini doğrultusundaki yerdeğiştirme spektrumunun yükseklik boyunca maksimum değerlerinin değişimi	79
Şekil 57.	Platformun zeminli olması durumunda, sonlu eleman modelinde seçilen noktalarda X eksenini doğrultusundaki yerdeğiştirme spektrumunun yükseklik boyunca maksimum değerlerinin değişimi	79
Şekil 58.	Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi	80
Şekil 59.	Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi	80
Şekil 60.	Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının Y eksenini boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi	81
Şekil 61.	Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının Y eksenini boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi	81
Şekil 62.	Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının Z eksenini boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi	82
Şekil 63.	Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının Z eksenini boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi	82
Şekil 64.	Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının X eksenini etrafındaki dönme spektrumunun frekansla değişimi.....	83
Şekil 65.	Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının X eksenini etrafındaki dönme spektrumunun frekansla değişimi.....	83
Şekil 66.	Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının Y eksenini etrafındaki dönme spektrumunun frekansla değişimi.....	84

Şekil 67.	Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının Y eksenini etrafındaki dönme spektrumunun frekansla değişimi.....	84
Şekil 68.	Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının Z eksenini etrafındaki dönme spektrumunun frekansla değişimi.....	85
Şekil 69.	Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının Z eksenini etrafındaki dönme spektrumunun frekansla değişimi	85
Şekil 70.	Platformun zeminsiz olması durumunda, 2 nolu düğüm noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi	86
Şekil 71.	Platformun zeminli olması durumunda, 2 nolu düğüm noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi	86
Şekil 72.	Platformun zeminsiz olması durumunda, 3 nolu düğüm noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi	87
Şekil 73.	Platformun zeminli olması durumunda, 3 nolu düğüm noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi	87
Şekil 74.	Platformun zeminsiz olması durumunda, 4 nolu düğüm noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi	88
Şekil 75.	Platformun zeminli olması durumunda, 4 nolu düğüm noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi	88
Şekil 76.	Platformun zeminsiz olması durumunda, 5 nolu düğüm noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi	89
Şekil 77.	Platformun zeminli olması durumunda, 5 nolu düğüm noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi	89
Şekil 78.	Platformun zeminsiz olması durumunda, A elemanının 5 nolu düğüm noktasının X eksenini yönündeki kuvvet spektrumunun frekansla değişimi	90
Şekil 79.	Platformun zeminli olması durumunda, A elemanının 5 nolu düğüm noktasının X eksenini yönündeki kuvvet spektrumunun frekansla değişimi	90
Şekil 80.	Platformun zeminsiz olması durumunda, A elemanının 5 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment spektrumunun frekansla değişimi	91
Şekil 81.	Platformun zeminli olması durumunda, A elemanının 5 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment spektrumunun frekansla değişimi	91
Şekil 82.	Platformun zeminsiz olması durumunda, B elemanının 6 nolu düğüm noktasının X eksenini yönündeki kuvvet spektrumunun frekansla değişimi	92

Şekil 83.	Platformun zeminli olması durumunda, B elemanının 6 nolu düğüm noktasının X eksen yönündeki kuvvet spektrumunun frekansla değişimi	92
Şekil 84.	Platformun zeminsiz olması durumunda, B elemanının 6 nolu düğüm noktasının Y eksen etrafındaki moment spektrumunun frekansla değişimi	93
Şekil 85.	Platformun zeminli olması durumunda, B elemanının 6 nolu düğüm noktasının Y eksen etrafındaki moment spektrumunun frekansla değişimi	93
Şekil 86.	Platformun zeminsiz olması durumunda, C elemanının 7 nolu düğüm noktasının X eksen yönündeki kuvvet spektrumunun frekansla değişimi	94
Şekil 87.	Platformun zeminli olması durumunda, C elemanının 7 nolu düğüm noktasının X eksen yönündeki kuvvet spektrumunun frekansla değişimi	94
Şekil 88.	Platformun zeminsiz olması durumunda, C elemanının 7 nolu düğüm noktasının Y eksen etrafındaki moment spektrumunun frekansla değişimi	95
Şekil 89.	Platformun zeminli olması durumunda, C elemanının 7 nolu düğüm noktasının Y eksen etrafındaki moment spektrumunun frekansla değişimi	95
Şekil 90.	Dalga kuvveti için yapılan analizin karşılaştırmalarında kullanılan elemanların sonlu eleman modelinde gösterimi	97
Şekil 91.	Platformun zeminsiz olması durumunda, A elemanının 1 nolu düğüm noktasının X eksen yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	99
Şekil 92.	Platformun zeminli olması durumunda, A elemanının 1 nolu düğüm noktasının X eksen yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	99
Şekil 93.	Platformun zeminsiz olması durumunda A elemanının 1 nolu düğüm noktasının Y eksen etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	100
Şekil 94.	Platformun zeminli olması durumunda A elemanının 5 nolu düğüm noktasının Y eksen etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	100
Şekil 95.	Platformun zeminsiz olması durumunda, B elemanının 2 nolu düğüm noktasının X eksen yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	101

Şekil 96.	Platformun zeminli olması durumunda, B elemanının 2 nolu düğüm noktasının X eksenî yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	101
Şekil 97.	Platformun zeminsiz olması durumunda B elemanının 2 nolu düğüm noktasının Y eksenî etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	102
Şekil 98.	Platformun zeminli olması durumunda B elemanının 2 nolu düğüm noktasının Y eksenî etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	102
Şekil 99.	Platformun zeminsiz olması durumunda, C elemanının 3 nolu düğüm noktasının X eksenî yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	103
Şekil 100.	Platformun zeminli olması durumunda, C elemanının 3 nolu düğüm noktasının X eksenî yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	103
Şekil 101.	Platformun zeminsiz olması durumunda C elemanının 3 nolu düğüm noktasının Y eksenî etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	104
Şekil 102.	Platformun zeminli olması durumunda C elemanının 3 nolu düğüm noktasının Y eksenî etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	104
Şekil 103.	Platformun zeminsiz olması durumunda, D elemanının 4 nolu düğüm noktasının X eksenî yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	105
Şekil 104.	Platformun zeminli olması durumunda, D elemanının 4 nolu düğüm noktasının X eksenî yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	105
Şekil 105.	Platformun zeminsiz olması durumunda D elemanının 4 nolu düğüm noktasının Y eksenî etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	106
Şekil 106.	Platformun zeminli olması durumunda D elemanının 4 nolu düğüm noktasının Y eksenî etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	106

Şekil 107. Platformun zeminsiz olması durumunda, E elemanının 5 nolu düğüm noktasının X eksenî yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	107
Şekil 108. Platformun zeminli olması durumunda, E elemanının 5 nolu düğüm noktasının X eksenî yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	107
Şekil 109. Platformun zeminsiz olması durumunda E elemanının 5 nolu düğüm noktasının Y eksenî etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	108
Şekil 110. Platformun zeminli olması durumunda E elemanının 5 nolu düğüm noktasının Y eksenî etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	108
Şekil 111. Platformun zeminsiz olması durumunda, F elemanının 6 nolu düğüm noktasının X eksenî yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	109
Şekil 112. Platformun zeminli olması durumunda, F elemanının 6 nolu düğüm noktasının X eksenî yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	109
Şekil 113. Platformun zeminsiz olması durumunda F elemanının 6 nolu düğüm noktasının Y eksenî etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	110
Şekil 114. Platformun zeminli olması durumunda F elemanının 6 nolu düğüm noktasının Y eksenî etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	110
Şekil 115. Platformun zeminsiz olması durumunda, G elemanının 7 nolu düğüm noktasının X eksenî yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	111
Şekil 116. Platformun zeminli olması durumunda, G elemanının 7 nolu düğüm noktasının X eksenî yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	111
Şekil 117. Platformun zeminsiz olması durumunda G elemanının 7 nolu düğüm noktasının Y eksenî etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi	112

Şekil 118. Platformun zeminli olması durumunda G elemanının 7 nolu düğüm noktasının Y eksenine etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi 112



TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Açık deniz platformlarının dünyada buldukları bölgelerdeki sayıları	2
Tablo 2. Basit bir eleman üzerindeki lineer dağılımlı kuvvetin etki bölgeleri	36
Tablo 3. Ceket tipi platform elemanlarının çapları ve kalınlıkları	49
Tablo 4. Zemin tabakalarına ait malzeme özellikleri	50
Tablo 5. Ceket tipi platformun zeminsiz ve zeminli olması durumlarında doğal frekans değerleri	53
Tablo 6. Deprem ile ilgili parametreler	56
Tablo 7. Ceket tipi platformun deprem kuvvetine maruz iken zeminli ve zeminsiz durumlarında yükseklik boyunca X eksenini doğrultusundaki yerdeğiştirme transfer fonksiyonlarının maksimum değerleri	59
Tablo 8. Ceket tipi platformun deprem kuvvetine maruz iken zeminli ve zeminsiz durumlarında tepe noktasının transfer fonksiyon maksimum değerleri	59
Tablo 9. Ceket tipi platformun deprem kuvvetine maruz iken zeminli ve zeminsiz durumlarında yükseklik boyunca X eksenini doğrultusundaki yerdeğiştirme spektrum maksimum değerleri	78
Tablo 10. Ceket tipi platformun deprem kuvvetine maruz iken zeminli ve zeminsiz durumlarında tepe noktasının spektrum maksimum değerleri	78
Tablo 11. Dalga kuvvetinin özellikleri	96

SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Denizin durumu ile ilgili bir sabit
$[C]$: Yapının sönüm matrisi
c_d	: Sürükleme kuvveti katsayısı
c_m	: Atalet kuvveti katsayısı
c_x, c_y, c_z	: Yapı elemanının kosinüs doğrultuları
D	: Yapı elemanının çapı
d	: Su derinliği
$\{D(t)\}$: Lineer sitemin çıktı vektörü
$D(\theta)$: Doğrusal dağılım
f_k	: k moduna göre genelleştirilmiş kuvvet
f_{kj}	: j elemanının modal işi
$\{F\}$: Yük vektörü
$\{F_k\}$: $\{\phi_k\}$ öz vektöründen hesaplanan içsel kuvvet vektörü
$\{F_r\}$: $\{\phi_r\}$ öz vektörlerinden hesaplanan içsel kuvvet vektörü
$f(\theta_0)$: Asal dalga doğrultusunun fonksiyonu
g	: Yerçekimi ivmesi
H_s	: Dalga yüksekliği
$\{H_{pq}(\omega)\}$: Su yüksekliği ile dalga kuvveti vektörü arasındaki transfer fonksiyon vektörü
$H_{f_k\eta}(\omega)$: k moduna göre genelleştirilmiş kuvvet ile su yüksekliği arasındaki transfer fonksiyon
$h_k(\omega)$: k . modun frekans davranış fonksiyonu
$[K]$: Yapının rijitlik matrisi
ℓ	: Eleman boyu
$[M]$: Yapının kütle matrisi
m_k	: k moduna göre genelleştirilmiş kütle
m	: Dalga sayısı
N	: Yüklenmiş yapı elemanlarının sayısı
$[N]$: Şekil fonksiyon matrisi

q	: Mod sayısı
q_i	: Skaler fonksiyonların eleman uçlarına toplanmış yük parametreleri
$S_{\dot{u}_g}(\omega)$: Kanai-Tajimi güç spektrumu
S_0	: Deprem gücü
$S_1(\omega)$: Yüksek geçiş filtresi
$s_{k_r}(\omega)$: Spektral katkı faktörü
$s_{f_k, f_r}(\omega)$: $f_k(t)$ ve $f_r(t)$ genelleştirilmiş kuvvetlerin karşıt spektrumu
$S_{\eta}(\omega)$: Bir doğrultulu deniz spektrumu
T_z	: Dalga periyodu
$[T]$: Dönüşüm matrisi
$[t]$: Dönüşüm matrisi
$\{U\}$: Yerdeğiştirme vektörü
$\{\dot{U}\}$: Hız vektörü
$\{\ddot{U}\}$: İvme vektörü
$\{u_k\}$: Eleman uçları arasındaki herhangi bir noktanın k. moddan kaynaklanan deformasyon vektörü
$\{u_k\}_{1,2}$: k. mod şeklinden dolayı j elemanının uçlarındaki yerdeğiştirmelerin global eksen takımındaki ifadesi
W	: Dış yüklerden meydana gelen toplam iş
x	: Dalga yayılım doğrultusunda ölçülen yatay koordinat
x_2	: Elemanın (2) ucundaki x koordinatındaki değeri
z_k	: k moduna göre zaman alanındaki genelleştirilmiş yerdeğiştirme
Z	: Su seviyesinden itibaren ölçülen dikey koordinat
Z_2	: Elemanın (2) ucundaki Z koordinatındaki değeri
α_n	: Dalga verilerinden elde edilen şekil parametresi
α_D	: Stokastik parametre
$\{\beta_k\}_{1,2}$: k. mod şeklinden dolayı j elemanının uçlarındaki dönmelerin global eksen takımındaki ifadesi
γ	: Tepe artım çarpanı
$\{\delta_i\}$: j. elemanın dönüştürülmüş öz vektörleri
$\eta(\omega)$: Frekans alanında su yüksekliği
θ	: Yan ile asal dalga doğrultusu arasındaki açı

μ_{CM}	:	C_M 'nin ortalama değeri
μ_{CD}	:	C_D 'nin ortalama değeri
ξ_g	:	Yerin karakteristik sönüm oranı
ξ_f	:	Filtrenin sönüm parametresi
ξ_k	:	k moduna göre sönüm oranı
ρ	:	Suyun yoğunluğu
σ	:	Bir katsayı
$\sigma_{u_x}(H_s)$:	Yatay yöndeki bir doğrultulu dalğanın su hızının standart sapması
$\sigma_{\ddot{u}_g}$:	Yer ivmesinin karesel ortalamasının karekökü
ϕ	:	X eksenine göre yan dalga doğrultusunun açısı
$\{\phi_r\}^T$:	$\{\phi_r\}$ öz vektörünün transpozesi
$\{\phi_k\}$:	Öz vektör
ω_g	:	Yerin karakteristik açısal frekansı
ω	:	Dairesel frekans
ω_f	:	Filtrenin frekans parametresi
ω_p	:	Tepe frekansı
ω_k	:	k moduna göre açısal frekans
*	:	Kompleks eşlenik

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünyada açık deniz faaliyetleri son yıllarda hızla artarak başlı başına bir endüstri oluşturmuştur. Petrol platformlarının yanı sıra denizlerdeki depolama tankları, tanker yükleme platformları, kazıklar üzerinde inşaa edilen deniz yapıları ve denizaltı boru hatları da açık deniz grubuna girmektedir. Açık deniz faaliyetlerinin araştırma, tasarım, makine imalatı, yapı inşaaı ile birlikte yapının işletim süresince bakım ve onarımını da içerdği göz önüne alındığında bu endüstrinin büyüklüğü ortaya çıkmaktadır [1].

1.1.1. Açık Deniz Platformlarının Tarihi Gelişimi

Günümüzdeki anlamıyla açık deniz mühendisliği, 1940'ların sonlarına doğru petrol araştırmalarına yönelik ilk platformun Meksika Körfezi'nde kurulması ile başlayan yeni bir uzmanlık alanıdır. Açık deniz çalışmaları sonraki yıllarda özellikle denizlerde petrol arama ve üretimine dönük etkinliklerle hızla artmıştır. 1960'lı yıllarda Kuzey Denizi'nde petrol bulunması açık deniz mühendisliğine yeni boyutlar getirmiş, araştırmaların hızla artması kullanılan çeşitli yapı türlerinin ve tasarım yöntemlerinin gelişmesine olanak sağlamıştır. Günümüzde, açık deniz yapıları petrol arama ve üretim faaliyetlerinin yanı sıra liman mühendisliğinde, denizlerde maden aranmasında, deniz dalgalarından enerji üretiminde ve benzeri birçok alanda kullanılmaktadır [1].

Uzun bir kıyı şeridine sahip olan Türkiye'de denize yönelik çalışmalar gün geçtikçe artmakta ve buna paralel olarak çeşitli deniz yapıları yaygınlaşmaktadır. Açık deniz yapıları tasarlanırken, yapının imalat ve işletimi süresince etkileneceği yüklerin tahmini önemli bir mühendislik problemi olarak ortaya çıkmaktadır. Geçmişteki kazalar, büyük kayıplara neden olurken, bu tip yapıların tasarım ve inşaaında seçilecek olan yöntemlerin yeterli ve güvenilir olmaları gerektiğini de ortaya koymuştur [1].

Dünyada 53 ülkede 6500'den fazla açık deniz platformu bulunmaktadır. Tablo 1'de bunların dünyada buldukları bölgeler ve bu bölgelerde inşa edilen platformların sayıları verilmektedir [2].

Tablo 1. Açık deniz platformlarının dünyada buldukları bölgelerdeki sayıları [2].

Meksika Körfezi	4000
Asya	950
Orta Doğu	700
Avrupa, Kuzey Denizi ve Kuzey-Doğu Atlantik	490
Batı Afrika Kıyısı	380
Kuzey Amerika	340

1.1.2. Açık Deniz Platformları İle İlgili Daha Önce Yapılmış Bazı Çalışmalar

Adrezin, Bar-Avi ve Benaroya [3], açık deniz platformlarının değişik modellerinin davranışlarını daha iyi anlamak için dünya çapındaki araştırmacılar tarafından kullanılan çeşitli modelleme yaklaşımlarını ortaya koymuşlardır. Okyanus ve atmosferden kaynaklanan kuvvetlerin (okyanus dalgaları, akım, rüzgar ve temeldeki sürtünmeler) yapı üzerindeki etkisinin incelenmesi için çok çeşitli modeller geliştirmiştir. Ayrıca yapısal davranışı tanımlayan hareketin karışık denklemleri ve bunların çözümü için çok sayıda yöntemler ortaya çıkarıldığı görülmüştür. Yapılan çalışmada çok karmaşık geniş ölçekli hesaplama modelleri ve karmaşık yükleme fonksiyonlu çok basit analitik modelleri gösterilmiştir. Bunun yanısıra çalışmada hareketin lineer olmayan diferansiyel denklemleri ve gerçekçi yükleme modelleri kullanılmıştır.

Karadeniz [4], gelişmiş yöntemler kullanarak spektral, stokastik yorulma ve yorulma güvenilirlik analizi yapan SAPOS programını geliştirmiştir. SAPOS programı, pratik uygulamalar için dizayn edilmiş ve daha ileriki araştırmalar için de kullanılabilceği belirtilmiştir. Programın girdi ve çıktıları açıklanmış ve üç ayaklı bir açık deniz platformu için girdi ve çıktı dosyaları gösterilmiştir.

Karadeniz [5], açık deniz platformların spektral yorulma analizinin güvenilirliğinin hesaplanmasındaki belirsizlik modellerini anlatmıştır. Belirsizlikler, spektral analizlere ve yorulmaya bağlı belirsizlikler ana başlıklarında incelenmiştir. Spektral analizlere bağlı belirsizliklerde, yapısal ve çevresel belirsizlikler üzerinde durulmuştur. Yorulmaya bağlı belirsizliklerde ise, deneysel olarak belirlenmiş S-N modelinin parametreleri, gerilme konsantrasyon faktörü ve hasar düzeltme faktörü incelenmiştir. Sonuç olarak çalışmada ceket tipi bir platformun güvenilirliğinin hesaplanması sunulmuştur. Bu örnek analizde, bazı belirsizlik değişkenlerinin sonucu çok az miktarda etkilediği ortaya konulmuştur. Bu değişkenlerin belirsizliği ortadan kaldırılarak, kabul edilebilir doğruluktaki sonucun hesaplanmış süresinde önemli bir azalma gerçekleştirilebileceği vurgulanmıştır.

Karadeniz [6], eşzamanlı rastgele dalga ve deprem yüklemelerine maruz açık deniz platformları için spektral analizin genel bir formülasyonunu sunmuştur. Analiz için yapının 3 boyutlu modellenmesi ve derin su koşullarındaki dalga modeli kullanılmıştır. Rastgele dalga, yüzey yükseklik spektrumu ile, P.M veya JONSWAP, ve rastgele deprem, yer ivmesinin spektrumu olan Kanai-Tajimi spektrumu ile ifade edilmiştir. Formülasyonda, depremlerin yalnızca kütlelerden kaynaklanan atalet kuvvetlerini değil, bunun yanında, yer hareketinden kaynaklanan önemli sıvı kuvvetlerini de ortaya çıkardığı gösterilmiştir. Basit bir örnekte deniz dalgalarının tersine deprem dalgalarının doğal frekanslarda zirve davranış spektrumunu ortaya çıkardığı görülmüştür. Sonuç olarak, depremlerin doğal frekansları yüksek olan rijit açık deniz yapılarında önemli olduğu, buna karşın doğal frekansları düşük olan esnek yapılarda dalgaların depremlerden daha önemli hale geldiği vurgulanmıştır.

Karadeniz [7], ceket tipi açık deniz platformları ve boru hatları gibi toprakla etkileşimde olan yapısal sistemlerin dinamik davranış analizi için bir ara yüzeyli 3D giriş sonlu eleman formülünü sunmuştur. Formülasyonda yapısal elemanın altındaki zeminin viskoelastik bir malzeme olduğu varsayılmaktadır. Boru hatlarında meydana gelebilen geniş çaptaki bozulmalar ele alındığında eksenel kuvvetin etkisi de ayrıca hesaba katılmış ve buna bir örnek sunulmuştur. Sonuç olarak, güçlü bir deprem hareketi altında ceket tipi bir platform örneğiyle, ara yüzey elemanının yapısal sistemlerin modellenmesinde kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Karadeniz [8], gömülü veya kazıklı yapıların lineer dinamik analizi için R-dalgası yayılımı ile gösterilen sismik yer hareketi altında arayüzey 3D kiriş elemanını sunmuştur. Bu elemanın formülasyonu Winkler'in iki parametrelili zemin modeli ile gösterilebilecek olan viskoelastik olduğu varsayımına dayatılmaktadır. Formülasyonda kayma deformasyonunun etkileri ve kirişin sabit aksenal kuvveti de hesaba katılmıştır. Bir boru hattının sayısal örnekleme ve buna ait bazı noktaların transfer fonksiyonlarının grafikleri verilmiş ve sonuç olarak uygulamada analitik bir araç olan bu elemanın dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Yamada ve diğ. [9], açık deniz platforlarının rastgele deprem yer hareketlerinden ve rastgele dalgalardan dolayı meydana gelen eşzamanlı yüklemelere karşı dinamik davranışları ile ilgili bir çalışma sunmuşlardır. Dinamik zemin-yapı etkileşiminin ve sismik davranışa göre deniz dalgalarının neden olduğu lineer olmayan hidrodinamik sönüm etkilerinin değerlendirilmesi üzerinde durulmuştur. Deniz dalgaları Bretschneider'in güç spektrumu ile, Morison denklemi dalga kuvvetlendirme fonksiyonu ile gösterilmiştir. Tajimi-Kanai güç spektrumu, depremlerden kaynaklanan yatay yer ivmesi için kullanılmıştır. Sonuç olarak, ilk birkaç titreşim modunun belirgin bir biçimde dinamik davranışa katkıda bulunduğu, zemin-yapı etkileşiminin etkileri düşünüldüğünde deprem yüklemelerinin neden olduğu davranışın daha fazla olduğu, denizlerde hidrodinamik sönüm kuvvetlerinin durgun sudakinden daha yüksek olduğu ve deniz dalgalarının açık deniz yapılarının sismik davranışını azalttığı vurgulanmıştır.

Penzien, Kaul ve Berge [10], rastgele dalgalara ve güçlü deprem hareketlerine maruz kalan açık deniz kulelerin stokastik analizini anlatmışlardır. Yüzey dalgalarını meydana getiren rüzgarın sebep olduğu stasyonel rastgele deniz koşullarını açıklamak için lineer dalga teorisi ile birlikte Pierson-Moskowitz dalga yükseklik spektrumu kullanılmıştır. Güçlü yer hareketinden dolayı meydana gelen yatay yer ivmesini karakterize etmek için sonlu süredeki sıfır ortalama ergodik Gaussian işlemi kullanılmıştır. Sonuçta 475 ft, 675 ft, 875 ft ve 1075 ft yüksekliğindeki ve sırasıyla 400, 600, 800 ve 1000 ft su derinliğine sahip 4 kuleye ait toplam enine kesme ve devrilme momentlerinin deniz tabanından itibaren belirli yüksekliklerdeki maksimum değerleri grafiksel olarak verilmiştir. Sonuçlar tasarım yönetmeliğindeki değerler ile karşılaştırılmıştır.

Kaul ve Penzien [11], açık deniz kulelerin deprem hareketine karşı stokastik analizi için bir yöntem geliştirmiştir. Elde edilen sonuçlar, yapay olarak oluşturulan depremlerle yapılan analizlerde elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak yöntemin geçerliliği doğrulanmıştır.

Ruitz ve Penzien [12], yapıların deprem hareketine karşı stokastik sismik davranışını inceleyen bir yöntem geliştirmişlerdir. Stasyonier olmayan ani gürültüyü ve filtre parametrelerini tahmin etmek için geliştirilen bu yöntemin, yeteri kadar kayıt elde edildiğinde deprem sırasında zeminin değişik özelliklerindeki yer hareketine benzer bir hareket elde etmek için kullanılabilceği vurgulanmıştır.

Malhotra ve Penzien [13], açık deniz platformlarının lineer olmayan analizini anlatan bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada ortaya konulan teoride yapı üzerindeki dinamik dalga kuvvetlerinin sıfır ortalamaaya sahip olduğu varsayılmıştır. Sürüklenme etkilerinden kaynaklanan lineer olmayan durumlar eşdeğer lineerleştirme tekniği ile lineerleştirilmiştir. Çalışmada sönüm katsayılarını optimal bir şekilde değiştirmek amaçlanmıştır.

Bea ve diğ. [14], açık deniz platformlardaki fırtına yüklemelerini ve en son limit durumunda yanal yükleme kapasitelerini değerlendirmek için basitleştirilmiş bir yöntemin geliştirilmesi için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Belirli bir platformun değişik boyutları için yapılan üç boyutlu lineer ve lineer olmayan analizlerinin sonuçları ile geliştirilen basitleştirilmiş bir yöntemin analiz sonuçları karşılaştırılarak yöntemin sağlaması yapılmıştır. Bu basitleştirilmiş yöntem yüklemelerinin, karmaşık analizlerde ortaya çıkan yükleme ve kapasitelerle benzerlik gösterdiği görülmüştür. Bu yöntemleri karmaşık analitik modellerin sonuçlarını doğrulamak ve ileride yapılacak platformların daha kaliteli hale getirilmesine yardımcı olmak için kullanılabilceği vurgulanmıştır.

Pillai ve Prasad [15], yorulma ve aşırı gerilmeye bağlı olarak açık deniz platformların güvenilirliği ile ilgili bir yöntem ortaya koymuşlardır. Bu yöntem, yorulma güvenilirliğinin zamanla bozulduğunu kanıtlamak için çatlak mekaniği yaklaşımını kullanarak yorulma hata kriterlerini belirtmiştir. Bombay High'daki ceket türü bir platform sayısal çalışma için düşünülmüştür. Sonuç olarak, açık deniz yapılarının genel güvenilirliği için hizmet denetiminin planlanmasındaki yöntemin kullanılabilirliği vurgulanmıştır.

Naess ve Yim [16], rastgele dalgalara maruz kalan açık deniz platformların üzerindeki hidrodinamik sürüklenme kuvvetlerini göstermek için bir yöntem ortaya koymuşlardır. Bu yöntemde elde edilen kuvvet temsilinin doğru istatistiksel özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Önerilen kuvvet temsilinin en önemli avantajı olarak, mevcut teknikler kullanılarak lineer yapının frekans alanında dinamik analizini gerçekleştirmeyi mümkün hale getirmesi gösterilmiştir. Açık deniz platformların uzun dönemli yorulma analizlerinde bu avantajın etkisi vurgulanmıştır.

Naess ve Pisano [17], rastgele dalgalara maruz kalan açık deniz platformları üzerindeki hidrodinamik sürüklenme kuvvetinin stokastik gösterimi için bir yöntem anlatılmıştır. Akımın olmadığı durumlar için sürüklenme kuvvetinin ikinci dereceden gösterimi ile sürüklenme kuvvetinin standart formülasyonundaki istatistiksel özellikleri yeniden oluşturulmuştur. Yeni gösterimde sürüklenme kuvvetinin, istenilen kuvvet spektrumuna kusursuz bir şekilde yaklaşan spektral yoğunluğu sağlamak için yeterli esnekliğe sahip olmasıyla birlikte, yaygın lineer yapıların dinamik analizlerini frekans alanına götürdüğü de görülmüştür.

Lee [18], açık deniz platformların rastgele dalga kuvvetlerine maruzken titreşimini azaltmak için bir yöntem sunmuştur. Alternatif karmaşık bir analitik model kullanılarak yapılan stokastik bir yaklaşım mekaniksel söndürücü içindeki viskoelastik malzeme için kullanılmıştır. Stokastik analizde küçük gövdeler için Morison denkleminde çıkarılan rastgele dalga kuvvetleri uygulanmıştır. Sönüm araçları eklenmiş sistem için titreşim davranışının sonuçları gösterilmiş ve yapının geleneksel dizaynının davranışı ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, yeni sönüm araçları açık deniz platformlarda uygulandığında güç spektral yoğunluğu terimlerinin, titreşim azaltımı etkilerinin ve açık deniz platformu dinamik performansının oldukça geliştirildiği gözlemlenmiştir.

Onoufriou [19], sabit ve yüzen platformları içeren açık deniz platformlar için denetim planlama tekniklerine dayalı güvenilirliğin geliştirilmesi ve uygulaması ile ilgili bir dizi çalışma sunmuştur. Bu tür açık deniz platformlarının hepsine uygulanabilecek genel bir yöntem açıklanmıştır ve detaylı bir yöntemle ifade edilmesi gereken çeşitli platformların özellikleri arasındaki farklılıklar üzerinde durulmuştur. Bu tekniklerin uygulanmasını ve avantajlarını ortaya çıkarmak için bir çeşit araştırma çalışmaları

sunulmuştur ve parametrik çalışmaların sonuçları sayesinde önemli eğilimler vurgulanmıştır.

Onoufriou ve Forbes [20], açık deniz çelik platformlarının sistem güvenilirlik değerlendirmesiyle ilgili öngörülen bir dizi yöntemleri aşırı çevresel yükleme altında incelemiştir. Hem deterministik hem de olasılıksal etkileri içeren çeşitli sistem davranışları ve onların sistem güvenilirliğinin tümüne yaptığı katkılar sunulmuştur. Ayrıca, modelleme belirsizlikleri ve hassasiyetleri, öne sürülen yöntemlerin geçerliliği ve değerlendirilmesi gibi ana konular da incelenmiştir. Sonuç olarak, açık deniz çelik platformlarla ilgili sistem güvenilirlik yöntemlerindeki en son gelişmeler incelenmiş ve bu tekniklerin kullanılmasıyla elde edilen avantajları artırmak için daha çok incelenmesi gereken alanlar vurgulanmıştır.

Foster [21], açık deniz kulelerinin lineer olmayan dinamik analizi için bir model geliştirmiştir. Okyanus, kuvvet ve yapısal sistemlerin modelleri detaylı olarak incelenmiş ve çözüm için gerekli denklemler formüle edilmiştir. Verilen sayısal bir örnekte verilerek sonuçlar grafiksel olarak sunulmuştur.

Bea ve diğ. [22], Meksika Körfezindeki platformların güvertelerine etki eden dalga kuvvetlerinin etkileri hakkında bir çalışma yapmışlardır. Dalga yüksekliklerinin tepe noktası birçok mevcut platformların güverte yüksekliklerinden daha yüksek olduğu Amerikan Petrol Enstitüsü tarafından ortaya konulmuştur. Bu duruma göre güvertelerin ya kaldırılması ya da dalga tepe noktasının belirgin hale getirilmesi için yükseltilmesi gerektiği öne sürülmüştür. Bu çalışma sonucunda, platformların fırtına esnasında güvertelerindeki dalga yüklemelerinden dolayı performanslarının, bazılarında düştüğü bazılarında değişmediği görülmüştür.

Grecco ve Hudspeth [23], bir açık deniz platformunun stokastik dalga kuvvetleri altındaki dinamik davranışını incelemiştir. Analizler Meksika Körfezinde bulunan bir platformun iki boyutlu modeli üzerinde yapılmıştır. Lineer okyanus dalgaları sıfır ortalamalı, stasyoner, ve bir boyutlu dalga enerji yoğunluğu spektrumuyla temsil edilen ergodik Gauss işlemi ile modellenmiştir.

Hahn [24], deniz yüzeyi dalgalanmalarının, açık deniz platformlarının davranışları üzerindeki etkilerini değiştirilmemiş lineer dalga teorisini kullanarak incelemiştir.

Viero ve Roitman [25], açık deniz platformların farklı iki küçük dereceli hidroelastik model üzerinde uygulanan bazı hasar açıklayıcı yöntemlerin performansını ortaya koymuşlardır. Model 1, Model 2'ye göre daha büyük boyutta olmak üzere benzerlik teorisi kullanılarak modeller dizayn edilmiştir. Hasardan ve güverte kütleindeki değişikliklerden dolayı yapının davranışını incelemek ve kullanılan yöntemlerin geçerliliğini değerlendirmek için Model 1 üzerinde deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmada, değişik yöntemler kullanılmış ve sonuç olarak bu yöntemlere göre Model 1 ve Model 2 arasında karşılaştırmalar yapılmıştır.

Harnett [26], açık deniz platformlarının yapısal analizini yapmak için frekans alanı davranış modelinin uygulamasını anlatmıştır. Yapı üzerindeki dalga yükleri Morison denklemi ile verilmiştir. Yerdeğiştirmelerin hesaplanan spektral değerleri iki farklı spektral analizin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Li ve diğ. [27], Morison tipi lineer olmayan rastgele dalga yüklemesine maruz açık deniz platformunun stokastik davranışını önceden tahmin etmek için istatistiksel kübikleştirme (cubicization) yöntemini anlatmışlardır. Frekans alnındaki lineer olmayan eşdeğer sistemini çözmek için Volterra serisi yöntemi kullanılmıştır. Geliştirilen yöntemi göstermek amacıyla açık deniz platformlarında Volterra serisi yöntemi kullanılarak çözüm yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar benzetme, eşdeğer lineerleştirme ve kareleştirme (quadratization) yöntemleri ile yapılan analizlerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak istatistiksel kübikleştirme yönteminin istatistiksel lineerleştirme ve kareleştirme yöntemlerinde önemli derecede ilerleme sağlayacağı vurgulanmıştır.

Benfratello ve Falsone [28], sıvı yapı etkileşiminden kaynaklanan yüklerden dolayı meydana gelen tek serbestlik dereceli sistemlerin stokastik momentleri yardımıyla stokastik özelliklerini elde edebilen bir yaklaşım sunmuşlardır. Bu yaklaşımda sıvının yatay hızı filtre edilmiş beyaz gürültü gibi düşünülmüş ve asıl yük ifadesi bu hızın üçüncü derece polinom değeri ile ifade edilmiştir. Ayrıca davranış momentlerini etkileyen filtre parametrelerini ve denklemlerini tam olarak elde etmek için gerekli olan araçlardan da

bahsedilmiştir. Eğer yapı yeterli derecede rijitliğe sahip ise bu denklemlerin çözülebilmesi için hiçbir kapalı şemaya gerek olmadığı ortaya konulmuştur.

Terro, Mahmoud ve Abdel-Rohman [29], yeni bir çok döngülü geri besleme dizaynı (multi-loop feed-back control dizayn) geliştirmişler ve bunu açık deniz ceket platformuna uygulamışlardır. Platforma az dalgalı yarı hareketli hidrodinamik kuvvetler etkimektedir. Bu dalga kuvvetlerini tahmin etmede lineer olmayan Morison denklemi kullanılmıştır. Üç katlı çelik bir ceket platformunun davranışına benzerlik gösteren bir SIMULINK modeli dizayn edilmiştir. Kontrol yöntemin etkinliğini göstermek amacıyla bu yapının geri besleme kontrollü ve kontrolsüz olarak yapılan simülasyonun sonuçları karşılaştırılmıştır.

Karadeniz [30], yapının düğüm noktalarındaki ve mesnetlerindeki eleman bağlantılarında meydana gelen belirsizlikler için bir hesaplama modeli sunmuştur. Yapının mesnetleri ele alındığında arayüz kiriş elemanı zemin-yapı etkileşimini göstermek için açıklanmıştır. Bu amaçla iki parametrelili zemin modeli (Pasternak modeli) kullanılmıştır. Sonuç olarak, esnek düğüm noktası bağlantıları olan iki boyutlu ceket türü platform varyanslarının ve ortalama değerlerinin davranışlarını göstermek için bir örnek üzerinde çalışılmıştır.

Bea [31], açık deniz platformlarının ekstrem fırtına dalgaları altında lineer olmayan performanslarını incelemiştir.

1.1.3. Çalışmanın İçeriği

Bu çalışmada, ceket tipi açık deniz platformlarının deprem ve dalga kuvvetlerine göre stokastik analizi gerçekleştirilmektedir. Analizleri gerçekleştirmek için 4-ayaklı ceket tipi bir platform seçilmiştir. Ceket tipi platform üzerinde deprem ve dalga kuvvetlerinin etkileri platformun zeminli ve zeminsiz durumları için incelenmektedir. Analiz için SAPOS [32,33] programı kullanılmaktadır. Deprem, Kanai-Tajimi güç spektrumu ile, dalga kuvvetleri Pierson-Moskowitz (P.M) spektrumu ile ifade edilmektedir.

Birinci bölümde açık deniz platformlarının tarihi gelişimi hakkında bilgi verilmekte ve açık deniz platformları ile ilgili daha önceden yapılmış bazı çalışmalar sunulmaktadır. Ayrıca açık deniz platform çeşitleri hakkında bilgiler verilmektedir. Bunlara ek olarak açık deniz platformlarına etkiyen kuvvetler başlığında deprem ve dalga etkisi açıklanmakta, dalga kuvveti ve hesabının formülasyonu ele alınmaktadır.

İkinci bölümde sayısal uygulama için seçilen açık deniz platformunun bir çeşidi olan ceket tipi platformun boyutları ve malzeme özellikleri hakkında bilgiler verilmektedir. Ayrıca analizde dikkate alınacak noktalar ve elemanlar gösterilmekte ve kullanılan sonlu eleman modeli verilmektedir.

Üçüncü bölümde seçilen noktalar ve elemanlar için yapılan analizlerin sonuçları tablolar ve grafiklerle sunulmaktadır. Ayrıca platformun doğal frekansları ve mod şekilleri gösterilmektedir.

Dördüncü bölümde ise elde edilen sonuçlar ve öneriler sunulmaktadır. Bu bölümü kaynaklar ve özgeçmiş izlemektedir.

1.2. Açık Deniz Platform Tipleri

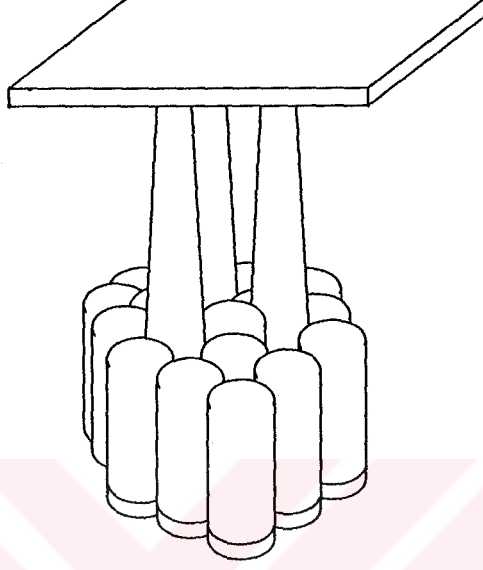
Açık deniz platformları, deniz altındaki doğal kaynakların, özellikle de denizaltı petrol madenlerinin ortaya çıkarılması ve geliştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Açık deniz platformları dört farklı türde sınıflandırılabilir [34]. Bunlar;

- Yerçekimi Tip Platform
- Ceket Tip Platform
- Gergi Ayaklı Platform
- Kriko Tip Platform

Bu açık deniz platformları kendine özgü ayırt edici özellikler taşımaktadır [35]. Platform seçiminde, yapının yapılacağı yerdeki su derinliği ve amaçlanan işe göre gerekli olan güverte araç gereçleri rol oynamaktadır [34].

1.2.1. Yerçekimi Tip Platform

Genelde, deniz tabanının kazıklı temel için uygun olmadığı yerlerde çelik veya betondan yapılmaktadırlar [36]. Bu tip platformlara örnek Şekil 1’de verilmiştir.



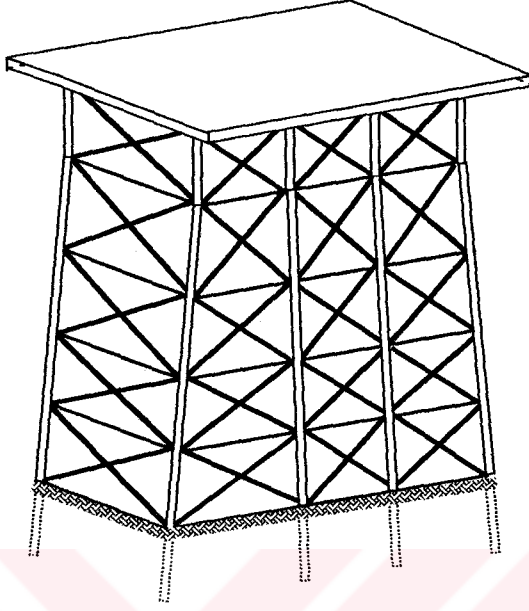
Şekil 1. Tipik yerçekimi platform

1.2.2. Ceket Tip Platform

Dünyada en çok kullanılan tür olarak ceket tipi platform gösterilmektedir [2]. Yaygın olarak 150 m’den daha az su derinliklerinde yapılmasına karşın, 300 metreye kadar olan su derinliklerinde de yapılabilmektedirler. Bu tür platformlar 4-ayaklı, 6-ayaklı veya 8-ayaklı kuleler şeklindedirler [37]. İki kısımdan oluşmaktadırlar [2] :

1. **Altyapı (Ceket) :** Kaynaklı çelik borulardan imal edilmekte ve çelik kazıklarla birlikte deniz zeminine sabitlenmektedirler. Kazıklar 1-2 m çapındaki kalın çelik borulardır ve 100 m ye kadar deniz yatağına girebilirler [2].
2. **Üstyapı (Güverte) :** Bu kısım birçok malzemeyi bünyesinde taşımaktadır. Bunlar, gaz türbini, pompalar, kompresörler, vinçler, helikopter sahası... vb. şeyleri içeren üretim

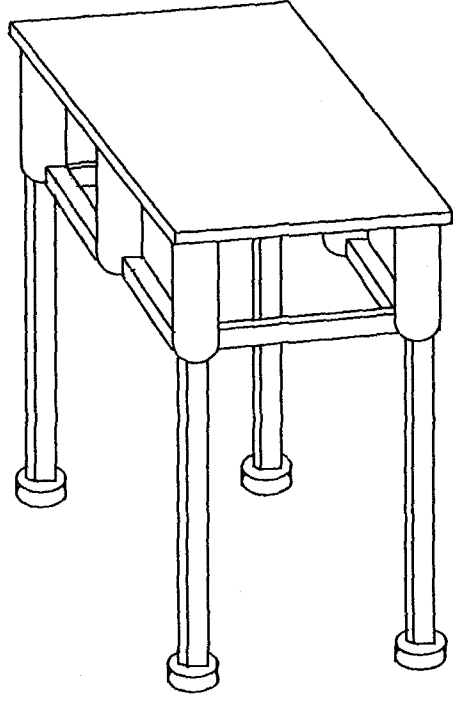
malzemeleri, geçici meskenler ve yiyecek depolarıdır [2]. Şekil 2’de 8-ayaklı ceket tipi bir platforma örnek verilmiştir.



Şekil 2. Tipik 8-ayaklı ceket platform

1.2.3. Gergi Ayaklı Platform

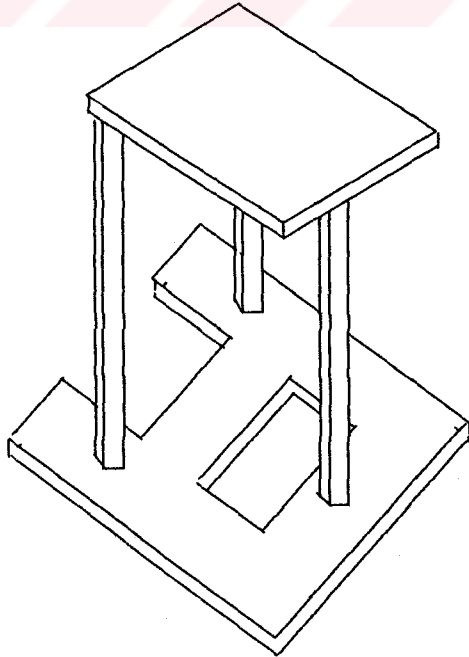
300 m den daha fazla derinliğe sahip denizlerde yapılmaktadırlar [37]. Deniz tabanının üzerindeki kazıkların tepesine bağlanan dubalara oturtulan bir güverteye sahiptirler [36]. Bu kazıklar her zaman gergide duran uzun borulardan oluşmaktadır. Bunun sayesinde esnekliğini koruyabildiği için kolonların bükülmeden dolayı hasar görme veya çökme riski yoktur [37]. Şekil 3’de gergi ayaklı tip platforma örnek verilmiştir.



Şekil 3. Gergi ayaklı platform

1.2.4. Kriko Tip Platform

Açık deniz yapılarının içinde en nadir olarak yapılan türlerdir. Nispeten su derinli sığ olan alanlarda yapılmaktadırlar [37]. Bu tip platforma örnek Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Tipik kriko platform

1.3. Açık Deniz Platformlarına Etki Eden Kuvvetler

Genelde açık deniz platformları değişik çevresel yüklere maruz kalmaktadırlar [38].

Bunlar;

- a. Rüzgar,
- b. Akım,
- c. Deprem,
- d. Dalga olarak sıralanabilir.

Bu yüklerin içinde dalga ve deprem platforma etkisi bakımından en önemli olanlarıdır. Rüzgar yükü platformun kurulum aşamasında ve platformun bakım çalışmaları yapılırken önem kazanabilir. Bu kuvvet, analizde göz önüne alınmaz. Akım kuvveti de dalga ve deprem kuvveti ile mukayese edildiğinde yapının dinamik analizinde etkisi yok denecek kadar azdır [38].

1.3.1. Deprem Etkileri

Depremden kaynaklanan rastgele yer hareketi sonlu sürenin sıfır ortalamalı ergodik Gauss işlemi olduğu varsayılmaktadır. Sonlu süreli işlem filtre edilmiş beyaz gürültü ile gösterilmekte ve yer ivmesi Kanai ve Tajimi (KT) güç spektrumu ile verilmektedir. Kanai ve Tajimi güç spektrumu,

$$S_{\ddot{u}_g}(\omega) = S_0 \frac{1 + 4\xi_g^2 \left(\frac{\omega}{\omega_g}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_g}\right)^2\right]^2 + 4\xi_g^2 \left(\frac{\omega}{\omega_g}\right)^2} \quad (1)$$

şeklinde tanımlanmaktadır [39,40]. Burada ξ_g yerin karakteristik sönüm oranını, ω_g yerin karakteristik açısal frekansını ve S_0 sabiti depremin gücünü göstermektedir. Bu sabit,

$$S_0 = \frac{4\xi_g \sigma_{\ddot{u}_g}^2}{\pi(1 + 4\xi_g^2)\omega_g} \quad (2)$$

ifadesi ile gösterilir [39,40]. Burada $\sigma_{\ddot{u}_g}$, yer ivmesinin karesel ortalamasının karekökünü (rms) ifade etmektedir.

(1) denkleminde dairesel frekans, ω , sıfıra yaklaşırken sabit bir değer meydana gelmektedir. Spektral yer hızını hesaplarken, bu yer ivmesinin spektrumu düşük frekanslarda ve sıfır frekans noktasında bazı sayısal güçlükler doğurmaktadır. Bundan dolayı, (1) denklemi bu güçlüklerin üstesinden gelebilmek için yüksek geçiş filtresi kullanılarak değiştirilmektedir [6]. Yüksek geçiş filtresi $S_1(\omega)$ ile gösterilmekte ve (3) denklemindeki gibi ifade edilmektedir [6, 40].

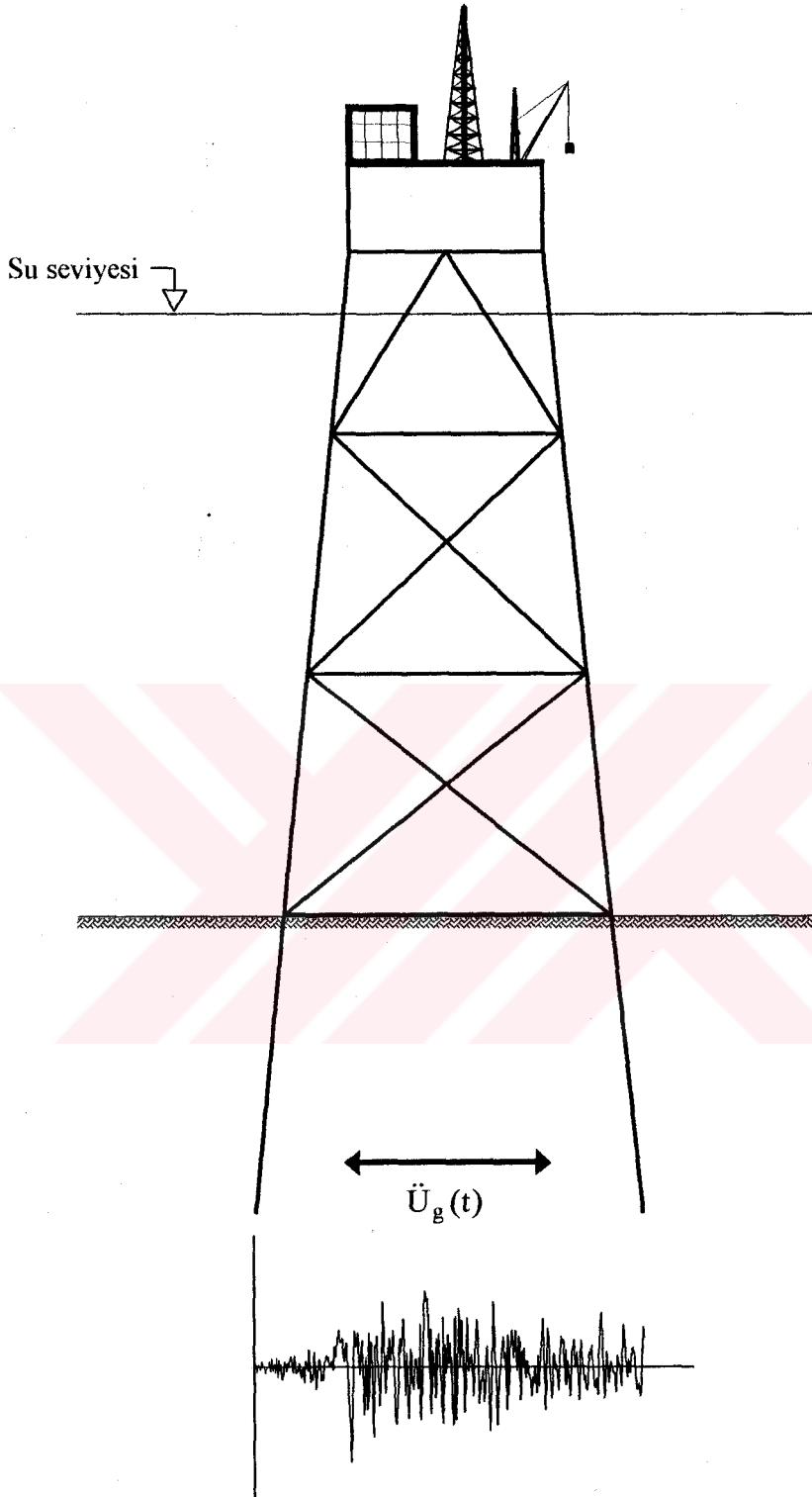
$$S_1(\omega) = \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_f}\right)^4}{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_f}\right)^2\right]^2 + 4\xi_g^2 \left(\frac{\omega}{\omega_f}\right)^2} \quad (3)$$

Burada ω_f ve ξ_f sırasıyla filtrenin frekans ve sönüm parametrelerini göstermektedir. Değiştirilmiş Kanai-Tajimi spektrumu,

$$S_{\ddot{u}_g \ddot{u}_g} = S_1(\omega) S_{\ddot{u}_g}(\omega) \quad (4)$$

ifadesi ile gösterilmektedir [6]. Şekil 5'de deprem etkisindeki ceket tipi bir platform şekli verilmiştir.

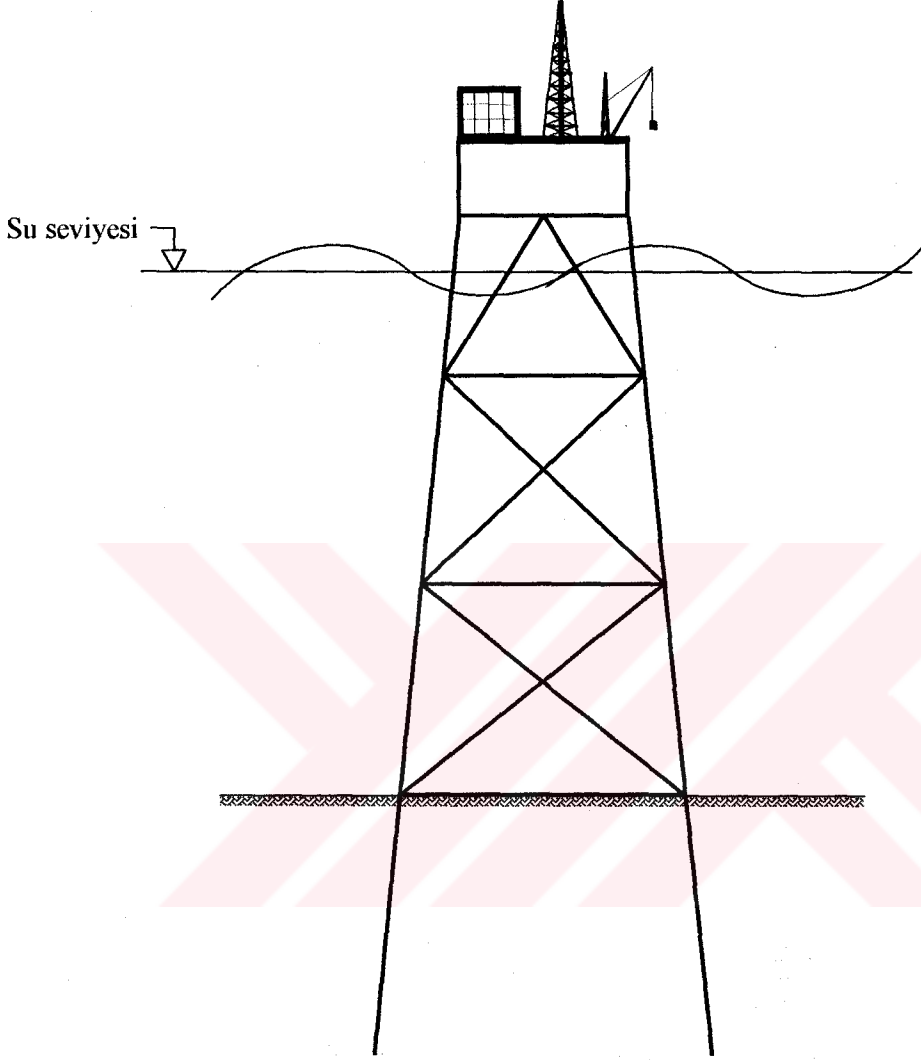
Deprem hareketine göre yapıların stokastik analiz formülasyonu Lin [39], Clough ve Penzien [40], Newland [41], Bolotin [42], Elishakoff [43] ve Yang [44] kitaplarında ayrıntılı olarak verildiğinden burada bahsedilmeyecektir..



Şekil 5. Deprem etkisinde ceket tipi bir platform

1.3.2. Dalga Etkileri

Ceket tipi yapıya etki eden dalga kuvvetinin gösterimi Şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 6. Dalga etkisinde ceket tipi bir platform

1.3.2.1. Dalga Yükseklik Spektrumu

Pratikte, rastgele dalga kuvveti için yaygın olarak kullanılan iki tip spektral fonksiyon vardır. Bunlar Pierson-Moskowitz (P.M) ve JONSWAP deniz spektrumlarıdır [6]. Bir yönlü dalgalar için bu spektrumların formülleri aşağıdaki alt başlıklarda gösterilmiştir.

1.3.2.1.1. Pierson-Moskowitz (P.M) Deniz Spektrumu

Pierson-Moskowitz (P.M) deniz spektrumu,

$$S_{\eta\eta}(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp\left(-\frac{5}{4} \frac{\omega_p^4}{\omega^4}\right) \quad (5)$$

şeklinde ifade edilmektedir [5,6]. Burada A denizin durumu (sea-state) ile ilgili bir sabiti, ω_p tepe frekansı ve ω dalganın mutlak frekansını göstermektedir. Genelde, tepe frekansı deniz durumu koşullarına bağlı olarak,

$$\omega_p^4 = \frac{16}{5} \frac{A}{H_s^2} \quad (6)$$

ifadesi ile tanımlanmaktadır [5]. A sabiti deniz durumunun modellenmesine bağlıdır. Eğer deniz durumunun şiddeti dalga yüksekliği, H_s , ile gösterilirse A sabiti;

$$A = \alpha_n g^2 \quad (7)$$

şeklinde hesaplanabilir [5]. Burada, α_n dalga verilerinden elde edilen şekil parametresini ve g yerçekimi ivmesini göstermektedir. (5), (6) ve (7) denklemlerinde görüldüğü gibi verilen bir H_s değeri için α_n kısa dönem deniz durumunun modellenmesinde tek belirsizliktir. Bunun için α_n doğal belirsizliklerin gösterimi için kullanılmaktadır [5]. Eğer deniz durumunun şiddeti H_s ve dalga periyodu, T_z , ile birlikte gösterilirse deniz durumunun A sabiti,

$$A = \frac{4\pi^3 H_s^2}{T_z^4} \quad (8)$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır [5].

1.3.2.1.2. JONSWAP Deniz Spektrumu

JONSWAP deniz spektrumu,

$$S_{\eta\eta}(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp\left(-\frac{5}{4} \frac{\omega_p^4}{\omega^4}\right) \gamma \exp\left(-\frac{(\omega-\omega_p)^2}{2\sigma^2\omega^2}\right) \quad (9)$$

şeklinde ifade edilir [5,6]. Burada γ tepe artım çarpanını ve σ bir katsayıyı göstermektedir. σ değeri,

$$\sigma = \begin{cases} \sigma_a, & \omega < \omega_p \\ \sigma_b, & \omega > \omega_p \end{cases} \quad (10)$$

şeklinde gösterilebilir [5]. γ , σ_a ve σ_b parametrelerinin ortalama değerleri, $\gamma = 3.3$, $\sigma_a = 0.07$ ve $\sigma_b = 0.09$ olarak alınabilir [45]. Tepe artım fonksiyonu, ω_p nin etrafındaki frekansın dar alanında tanımlandığı için, σ_a ve σ_b deki değişimlerin spektral davranışa önemsiz bir etkisinin olduğu varsayılmaktadır. Bu parametrelerdeki belirsizlikleri γ içerebilir [5]. Onun için σ_a ve σ_b deterministik olarak düşünülür bunların ortalama değerleri kullanılarak tepe dalga frekansı,

$$\omega_p^4 = \frac{16 A}{5 H_s^2 (1 - 0.286 \ln \gamma)} \quad (11)$$

olarak hesaplanır [5].

Eğer dalga durumunun şiddeti sadece H_s ile gösterilirse A parametresi (7) denkleminde olduğu gibi hesaplanabilir. Bu durumda α_n ve γ parametreleri belirsiz olmaktadır. Ayrıca bu parametrelerin bağımsız olduğu farzedilir. Eğer deniz durumunun şiddeti H_s ve T_z ikilisi ile gösterilirse, A sabiti γ terimi ile ifade edilir ve (12) denklemindeki gibi yazılabilir [5].

$$A = \frac{4\pi^3 H_s^2}{T_z^4} (1 - 0.286 \ln \gamma) f(\gamma)^2 \quad (12)$$

Buradaki $f(\gamma)$ fonksiyonu,

$$f(\gamma) = \frac{1}{(1 - 0.13763587 \ln \gamma)} \quad (13)$$

olarak hesaplanabilir [5].

1.4. Stokastik Analiz Formülasyonu

1.4.1. Spektral Katkı Faktörleri

Yapının genel dinamik denklemi,

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{F\} \quad (14)$$

şeklindedir [40]. Burada, $[K]$ yapının rijitlik matrisini, $[C]$ yapının sönüm matrisini, $[M]$ yapının kütle matrisini, $\{U\}$ yerdeğiştirme vektörünü, $\{\dot{U}\}$ hız vektörünü, $\{\ddot{U}\}$ ivme vektörünü ve $\{F\}$ yük vektörünü göstermektedir. Mod süperpozisyon tekniği kullanılarak (14) denklemi birçok diferansiyel denkleme ayrılabilir. Bunlardan biri k modu için,

$$\ddot{z}_k + 2\xi_k \omega_k \dot{z}_k + \omega_k^2 z_k = \frac{1}{m_k} f_k \quad (15)$$

olarak yazılabilir [40]. Burada, k moduna göre ξ_k sönüm oranını, ω_k doğal açısal frekansı, z_k zaman alanındaki genelleştirilmiş yerdeğiştirmeyi, m_k genelleştirilmiş kütle ve f_k genelleştirilmiş kuvveti göstermektedir.

Yapının yerdeğiştirmeleri modların süperpozisyonu ile,

$$\{U\} = \sum_{k=1}^q \{\phi_k\} z_k \quad (16)$$

şeklinde elde edilir [40]. Burada, $\{\phi_k\}$ öz vektörü ve q mod sayısını ifade eder. Basit olarak genelleştirilmiş kütle, m_k , ve genelleştirilmiş kuvvet, f_k ,

$$m_k = \{\phi_k\}^T [M] \{\phi_k\} \quad (17)$$

$$f_k = \{\phi_k\}^T \{F\} \quad (18)$$

şeklinde yazılabilir [40].

$z_k(t)$ ve $f_k(t)$ 'nin Fourier dönüşümü alınarak, (15) denklemi genel ifadeyle frekans alanında,

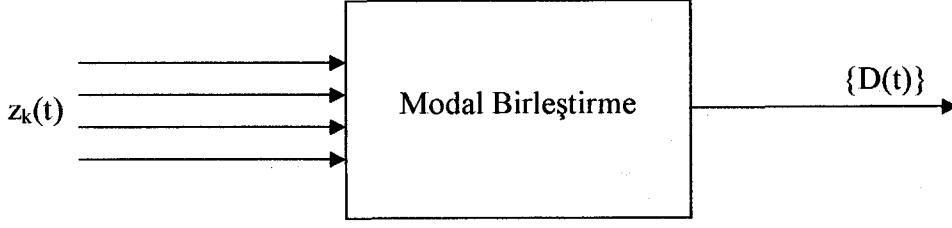
$$z_k(\omega) = h_k(\omega) f_k(\omega) \quad (19)$$

şeklinde ifade edilebilir [38,46]. Burada $z_k(\omega)$ ve $f_k(\omega)$ sırasıyla $z_k(t)$ ve $f_k(t)$ 'nin Fourier dönüşümlerini ve $h_k(\omega)$ k. modun frekans davranış fonksiyonunu göstermektedir. Bu fonksiyon aynı zamanda yapısal transfer fonksiyon olarak da adlandırılmakta ve,

$$h_k(\omega) = \frac{1}{m_k} \frac{1}{(\omega_k^2 - \omega^2) + i(2\xi_k \omega_k \omega)} \quad (20)$$

şeklinde ifade edilmektedir [38,46].

$z_k(t)$, $k = 1, 2, \dots, q$ ifadeleri çoklu girdiler ve $\{D(t)\}$ ifadesi lineer sistemin çıktı vektörü olarak düşünülürse modal süperpozisyon işlemi Şekil 7'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 7. Modal birleştirme işlemi

(16) denkleminde yer alan yapının yerdeğiştirmelerinin spektrumu ifadesi matris biçiminde yazılırsa,

$$[S_U(\omega)] = \sum_{k=1}^q \sum_{r=1}^q s_{kr}(\omega) \{\phi_k\} \{\phi_r\}^T \quad (21)$$

elde edilir [38,46]. Burada $\{\phi_r\}^T$, $\{\phi_r\}$ öz vektörünün transpozisini göstermektedir. $s_{kr}(\omega)$ terimi spektral katkı faktörü olarak adlandırılmakta ve genelleştirilmiş yerdeğiştirmelerin, $z_k(t)$ ve $z_r(t)$, karşıt spektrumunu belirtmektedir. Aynı biçimde iç kuvvetlerin spektral matrisi,

$$[S_F(\omega)] = \sum_{k=1}^q \sum_{r=1}^q s_{kr}(\omega) \{F_k\} \{F_r\}^T \quad (22)$$

şeklinde yazılabilir [38,46]. Burada $\{F_k\}$ ve $\{F_r\}$, sırasıyla $\{\phi_k\}$ ve $\{\phi_r\}$ öz vektörlerinden hesaplanan içsel kuvvet vektörlerini göstermektedir. (19) denklemi kullanılarak spektral katkı faktörü,

$$s_{kr}(\omega) = h_k^*(\omega) h_r(\omega) s_{f_k f_r}(\omega) \quad (23)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $s_{f_k f_r}(\omega)$, $f_k(t)$ ve $f_r(t)$ genelleştirilmiş kuvvetlerin karşıt spektrumunu ifade etmektedir.

1.4.2. Modal Dalga Kuvvetleri

Yapının dış kuvvetlerden dolayı meydana gelen toplam işi (enerjisi),

$$W = \{U\}^T \{F\} \quad (24)$$

şeklinde vektörel olarak yazılabilir [38]. (16) denklemindeki yerdeğiştirme, $\{U\}$, ifadesi (24) denkleminde yerine yazılırsa,

$$W = \sum_{k=1}^q \{\phi_k\}^T \{F\} z_k \quad (25)$$

denklemini elde edilir. Burada, $\{\phi_k\}^T \{F\}$ terimi (18) denkleminde tanımlanan genelleştirilmiş kuvvet olarak ifade edilir. (18) denklemini (25) denkleminde yerine yazılırsa,

$$W = \sum_{k=1}^q f_k \cdot z_k \quad (26)$$

eşitliği elde edilir. Bu ifadeye göre f_k , k modundaki dış kuvvetlerden dolayı yapılan iş olarak düşünülebilir. Bundan dolayı burada f_k dış kuvvetlerin genel modal işi olarak ifade edilebilir. Bu modal iş, yapı elemanlarının tek olarak yaptığı işlerin süperpozisyonu ile elde edilebilir. Bu durumda,

$$f_k = \sum_{j=1}^N f_{kj} \quad (27)$$

denklemini şeklinde yazılabilir. Burada, f_{kj} yapının j elemanının modal işini ve N yüklenmiş yapı elemanlarının sayısını göstermektedir. Burada asıl hesaplanmak istenen f_{kj} ve f_k dir. Bu hesaplamaların daha iyi anlaşılabilmesi için dalga kuvvetleri ile ilgili bazı formüllerin verilmesi gerekmektedir. Morisson denkleminde göre yapı elemanının birim uzunluğundaki dalga kuvveti,

$$\bar{p} = C_D |w| \bar{w} + C_M \dot{\bar{w}} \quad (28)$$

şeklindedir [38,46]. Burada, \bar{w} su hızının vektörünü göstermektedir. C_D ve C_M ,

$$C_D = \frac{1}{2} \rho c_d D \quad (29)$$

$$C_M = \frac{\pi D^2}{4} \rho c_m$$

olarak tanımlanmaktadır [38,46]. Burada, ρ suyun yoğunluğunu, c_d sürüklenme kuvveti katsayısını, c_m atalet kuvveti katsayısını ve D yapı elemanının çapını ifade etmektedir. (28) denklemindeki sürüklenme kuvveti terimini lineerleştirirsek ifade,

$$\{p\} = C_D A \{w\} + C_M \{\dot{w}\} \quad (30)$$

şeklini alır. Burada, A lineerleştirilmiş sürüklenme kuvveti teriminden elde edilen bir katsayıdır. (30) denkleminde verilen dalga kuvveti vektörü ifadesi frekans alanında,

$$\{p(\omega)\} = \{H_{p\eta}(\omega)\} \eta(\omega) \quad (31)$$

şeklinde yazılabilir [38,46]. Burada, $\eta(\omega)$ frekans alanında su yüksekliğini ve $\{H_{p\eta}(\omega)\}$ su yüksekliği, η , ile dalga kuvveti vektörü, $\{p\}$, arasındaki transfer fonksiyon vektörünü göstermektedir. Bu transfer fonksiyon vektörü,

$$\{H_{p\eta}(\omega)\} = e^{-imx} R [T] [H] \{\theta\} \quad (32)$$

şeklinde ifade edilebilir [38,46]. Burada, $i = \sqrt{-1}$, x dalga yayılım doğrultusunda ölçülen yatay koordinat ve m dalga sayısı olarak tanımlanmakta. $[T]$ dönüşüm matrisi ve R ,

$$[T] = \begin{bmatrix} (1-c_X^2) & -c_X c_Y & -c_X c_Z \\ -c_X c_Y & (1-c_Y^2) & -c_Y c_Z \\ -c_X c_Z & -c_Y c_Z & (1-c_Z^2) \end{bmatrix} \quad (33)$$

$$R = C_D A + i\omega C_M \quad (34)$$

şeklinde belirlenmektedir [38]. Burada, c_X , c_Y ve c_Z yapı elemanının kosinüs doğrultularını gösterilmektedir. (32) denklemindeki $[H]$,

$$[H] = \begin{bmatrix} H_x(\omega) & 0 & 0 \\ 0 & H_x(\omega) & 0 \\ 0 & 0 & H_z(\omega) \end{bmatrix} \quad (35)$$

şeklinde bir diyagonal matrisi belirtmektedir [38]. $H_x(\omega)$ ve $H_z(\omega)$ ifadeleri,

$$H_x(\omega) = \frac{\omega}{\sinh(md)} \cosh(mZ + md) \quad (36)$$

$$H_z(\omega) = \frac{\omega}{\sinh(md)} \sinh(mZ + md)$$

şeklinde tanımlanabilmektedir [46]. Burada, d su derinliğini, Z su seviyesinden itibaren ölçülen dikey koordinatı gösterir. (32) denklemindeki son terim olan $\{\theta\}$ vektörü,

$$\{\theta\} = \begin{Bmatrix} \cos \phi \\ \sin \phi \\ i \end{Bmatrix} \quad (37)$$

şeklinde ifade edilebilir [38]. ϕ , Şekil 8'de de görüldüğü gibi, genel X eksenine göre yan dalga doğrultusunun açısını göstermektedir. Dalga sayısının frekansla ilişkisi,

$$\omega^2 = m g \tanh (m d) \quad (38)$$

şeklinde ifade edilebilir [38]. Su derinliği yüksek olan durumlarda (32) denklemi ,

$$\{H_{p\eta}(\omega)\} = \omega e^{m(Z-ix)} R[T]\{\theta\} \quad (39)$$

şeklinde tanımlanabilir [38] ve dalga sayısı, m,

$$m \cong \frac{\omega^2}{g} \quad (40)$$

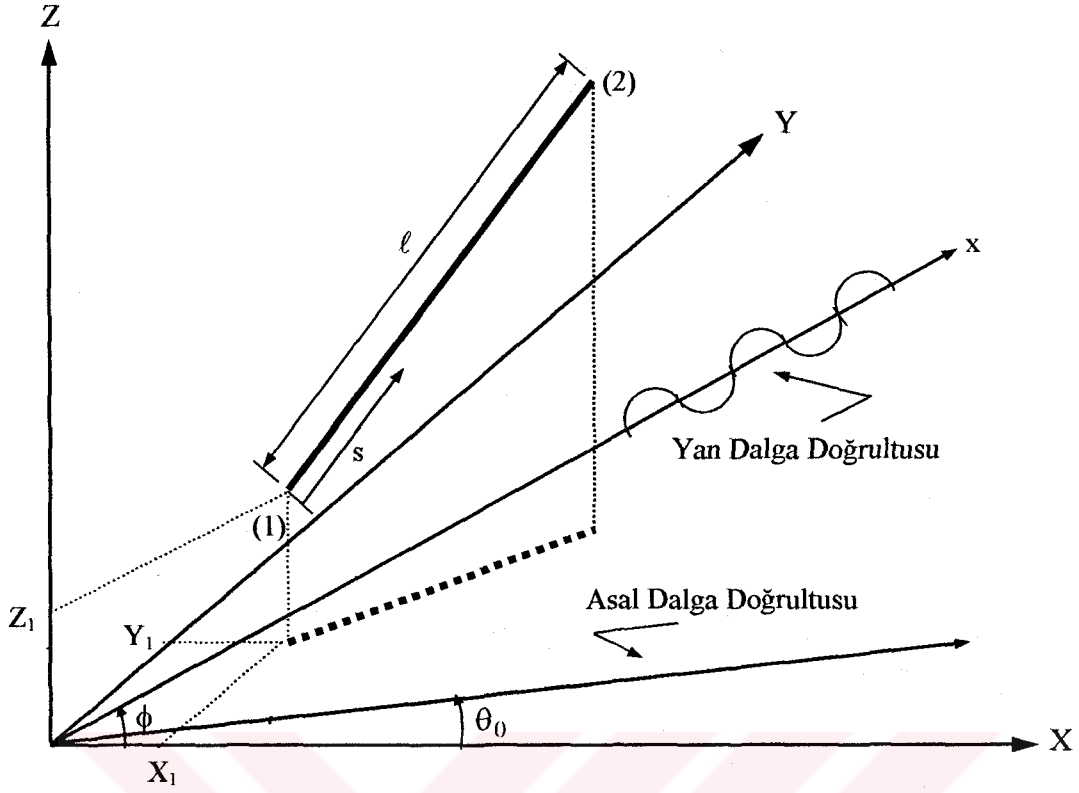
olarak yazılabilir [38,46]. Su içinde gelişigüzel seçilen bir elemanın x ve Z koordinatları, elemanın eksen takımının bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Bu fonksiyonlar,

$$\begin{aligned} x &= x_1 + L_x s \\ Z &= Z_1 + c_Z s \end{aligned} \quad (41)$$

şeklinde yazılabilir. Burada x_1 ve Z_1 elemanın (1) ucunun koordinatları, s eleman eksen takımını göstermektedir. L_x aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$L_x = c_X \cos \phi + c_Y \sin \phi \quad (42)$$

Şekil 8'de su içerisinde gelişigüzel seçilmiş bir elemana ait eksen takımı verilmektedir.



Şekil 8. Su içinde seçilmiş rastgele bir eleman ve koordinat takımı

(41) denklemleri (39) denkleminde yerine yazılırsa,

$$\{H_{p\eta}(\omega)\} = \omega E_1 R e^{m(c_z - iL_x)s} [T]\{\theta\} \quad (43)$$

ifadesi elde edilmektedir. R, (41) denklemi ile, E_1 aşağıdaki ifade ile verilmektedir.

$$E_1 = e^{m(Z_1 - iX_1)} \quad (44)$$

(43) denklemindeki $R e^{m(c_z - iL_x)s}$ fonksiyonunun yapı elemanının uzunluğu boyunca dalga kuvveti dağılımını belirlediği görülmektedir [38]. Bu fonksiyon $y(s)$ ile gösterilirse,

$$y(s) = R e^{m(c_z - iL_x)s} \quad (45)$$

ifadesi elde edilmektedir. (45) denklemi (43) denkleminde yerine yazılırsa transfer fonksiyon vektörü,

$$\{H_{p\eta}(\omega)\} = \omega y(s) E_1 [T] \{\theta\} \quad (46)$$

ifadesi olarak elde edilir.

$y(s)$ s'nin üssel bir fonksiyonu olduğu için, eleman uçları arasında üssel olarak enterpole edilebilir. Bu durumda,

$$y(s) = \frac{1}{(e^{\alpha\ell} - 1)} \left[(e^{\alpha\ell} - e^{\alpha s}) R_1 + e^{\alpha\ell} (e^{\alpha s} - 1) R_2 \right] \quad (47)$$

şeklinde yazılabilir. Burada ℓ elemanın boyunu, R_1 ve R_2 , elemanın (1) ve (2) ucundaki R değerini göstermektedir. Bu değerler (34) denkleminde faydalanılarak,

$$\begin{aligned} R_1 &= C_D A_1 + i\omega C_M \\ R_2 &= C_D A_2 + i\omega C_M \end{aligned} \quad (48)$$

şeklinde elde edilebilir. (47) denklemindeki α parametresi yan dalga doğrultusunun ve yapı eleman doğrultusunun frekansa bağlı kompleks bir fonksiyonudur. Bu parametre,

$$\alpha = m(c_Z - iL_x) \quad (49)$$

olarak tanımlanabilir [38].

Morisson denkleminde elde edilen dalga kuvvet dağılımı, (47), (46) ve (31) denklemleri ile frekans alanında belirlenmiş oldu. Yapı elemanının genelleştirilmiş kuvveti, eleman uzunluğunun üzerinden dağıtılmış modal enerjinin integrasyonu ile hesaplanabilir. Bu durumda k. mod için eleman j'nin genelleştirilmiş kuvveti,

$$f_{kj} = \int_0^{\ell} \{u_k\}^T \{p\} ds \quad (50)$$

şeklinde ifade edilebilir.

1.4.2.1. Modal Dalga Kuvvetlerinin Hesaplanması

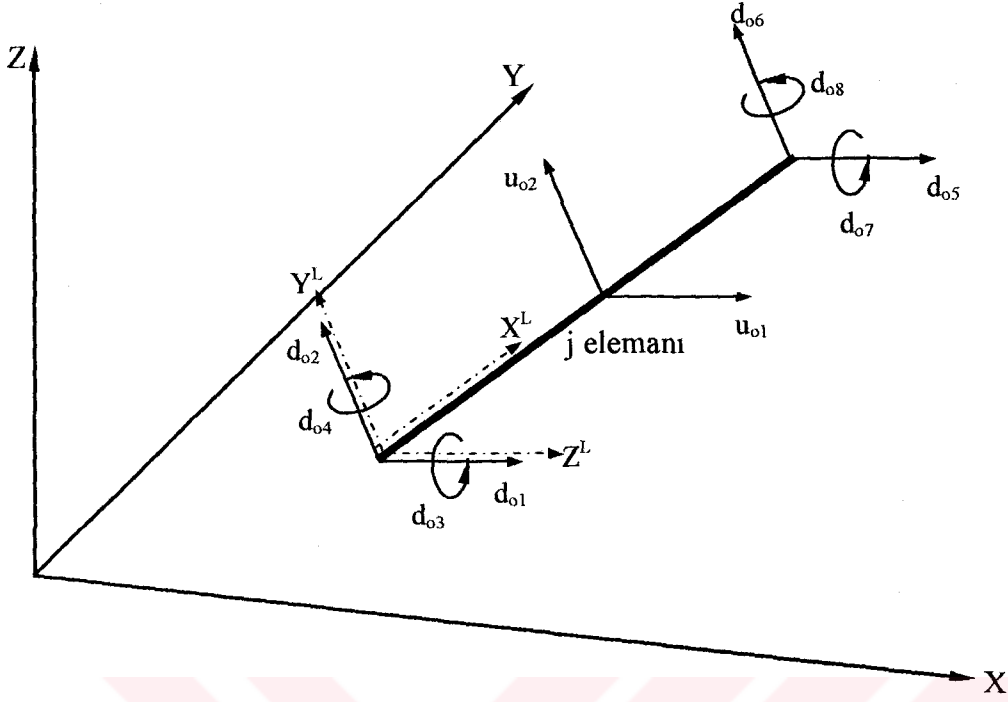
$\{u_k\}$ vektörü, eleman uçları arasındaki herhangi bir noktanın k. moddan kaynaklanan deformasyon vektörünü göstermektedir. Öz değer probleminin çözümünden sadece eleman uçlarının deformasyonu elde edilebilmektedir. İç yerdeğiştirmeleri veya deformasyonları belirlemek için yaygın olarak kullanılan yol, eleman uçları arasında şekil fonksiyonunun kullanılmasıdır [38]. Bu durumda, yereğiştirme vektörü, $\{u_o\}_k$, eleman koordinat sisteminde,

$$\{u_o\}_k = [N] \{d_o\}_k \quad (51)$$

şeklinde ifade edilebilir [38]. Burada $[N]$ şekil fonksiyon matrisini göstermekte ve,

$$[N] = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & 0 & -N_3 & N_2 & 0 & 0 & -N_4 \\ 0 & N_1 & N_3 & 0 & 0 & N_2 & N_4 & 0 \end{bmatrix} \quad (52)$$

ifadesi ile tanımlanmaktadır [38]. $\{u_o\}_k$ ve $\{d_o\}_k$ vektörlerinin bileşenleri Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Herhangi bir elemanın eleman koordinat takımındaki noktasal ve iç deformasyon vektörlerinin bileşenleri

(52) denkleminde yazılan şekil fonksiyonları,

$$N_1 = 1 - \frac{3}{\ell^2} s^2 + \frac{2}{\ell^3} s^3$$

$$N_2 = \frac{3}{\ell^2} s^2 - \frac{2}{\ell^3} s^3$$

$$N_3 = s - \frac{2}{\ell} s^2 + \frac{1}{\ell^2} s^3$$

$$N_4 = -\frac{1}{\ell} s^2 + \frac{1}{\ell^2} s^3$$

(53)

şeklinde elde edilebilir [38].

Dış işi (enerjiyi) hesaplayabilmek için deformasyon ile kuvvet vektörleri arasında uyum olması gerekmektedir. Dalga kuvvetleri genel eksen takımlarında verildiği için, (51)

denkleminde verilen deformasyon vektörü aynı koordinat sistemine dönüştürülmesi gerekir. Bu dönüşüm,

$$\{u_k\} = [t]\{u_o\}_k \quad (54)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $[t]$ dönüşüm matrisi ,

$$[t] = \begin{bmatrix} \frac{c_Y}{\sqrt{1-c_Z^2}} & -\frac{c_X c_Z}{\sqrt{1-c_Z^2}} \\ \frac{c_X}{\sqrt{1-c_Z^2}} & -\frac{c_Y c_Z}{\sqrt{1-c_Z^2}} \\ 0 & \sqrt{1-c_Z^2} \end{bmatrix} \quad (55)$$

olarak tanımlanabilir [38]. (51) denklemi (54) denkleminde yerine yazılırsa genel eksen takımına göre deformasyon vektörü,

$$\{u_k\} = [t][N]\{d_o\}_k \quad (56)$$

şeklini alır.

Frekans alanındaki dalga kuvvetleri vektörü (31) denkleminde, transfer fonksiyon vektörü (46) denkleminde verilmişti. (46) denklemi (31) denkleminde yerine yazılırsa kuvvet vektörü,

$$\{p(\omega)\} = y(s)\omega E_1 [T]\{\theta\}\eta(\omega) \quad (57)$$

şeklini alır. j elemanın genelleştirilmiş kuvveti (56), (57) ve (50) denklemleri kullanılarak hesaplanabilir. Bu durumda genelleştirilmiş kuvvet frekans alanında,

$$f_{kj}(\omega) = \omega E_1 \{d_o\}_k^T \left(\int_0^\ell y(s) [N]^T ds \right) \{t\}^T [T] \{\theta\} \eta(\omega) \quad (58)$$

şeklinde yazılabilir. (58) denklemi sadeleştirilirse genelleştirilmiş kuvvet,

$$f_{kj}(\omega) = (q_1 [\delta_1]^T + q_2 [\delta_2]^T + q_3 [\delta_3]^T + q_4 [\delta_4]^T) \{\theta\} \eta(\omega) \quad (59)$$

ifadesine dönüşür. Burada q_i ($i = 1, 2, 3, 4$) skaler fonksiyonları eleman uçlarına toplanmış yük parametreleri olarak düşünülebilir. Bu parametrelerin genel ifadesi,

$$q_i = \omega E_1 \int_0^\ell y(s) N_i ds \quad (60)$$

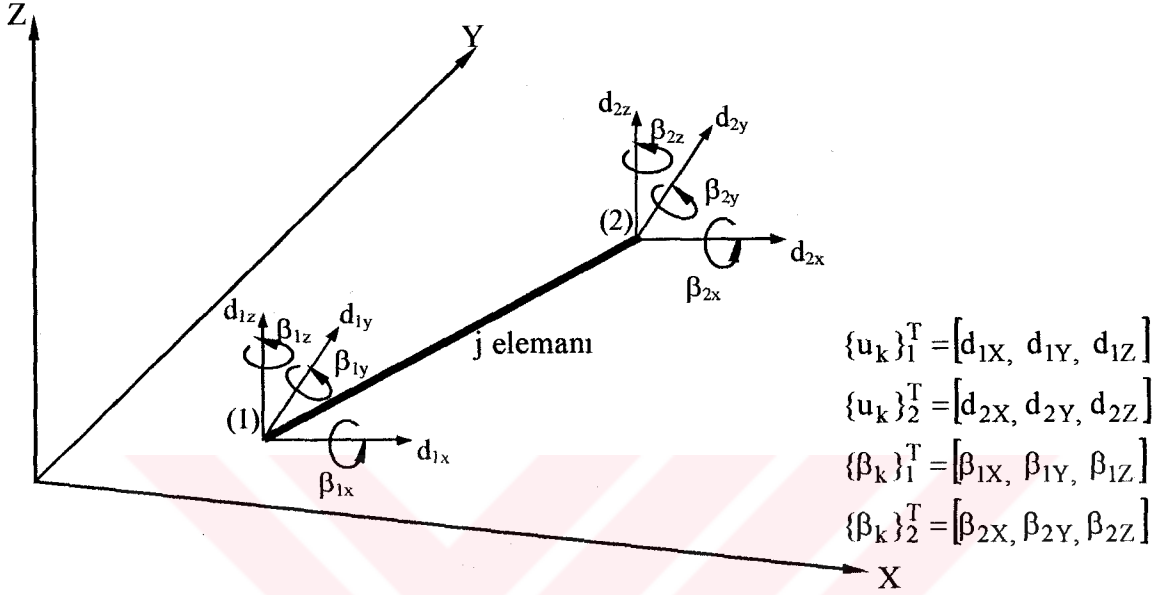
şeklinde [38]. (59) denkleminde tanımlanan $\{\delta_i\}$ ($i = 1, 2, 3, 4$) vektörleri, j elemanın dönüştürülmüş öz vektörleridir. Bu vektörler su hız vektörleri ile aynı doğrultuda olup,

$$\begin{aligned} \{\delta_1\} &= [T]^T \{u_k\}_1 \\ \{\delta_2\} &= [T]^T \{u_k\}_2 \\ \{\delta_3\} &= [T_\beta]^T \{\beta_k\}_1 \\ \{\delta_4\} &= [T_\beta]^T \{\beta_k\}_2 \end{aligned} \quad (61)$$

şeklinde ifade edilebilirler [38]. Burada $[T]$ matrisi (33) denkleminde tanımlanan matris ile aynı olup $[T_\beta]$ matrisi,

$$[T_\beta] = \begin{bmatrix} 0 & -c_Z & c_Y \\ c_Z & 0 & -c_X \\ -c_Y & c_X & 0 \end{bmatrix} \quad (62)$$

şeklinde tanımlanabilir [38]. (61) denkleminin terimleri olan $\{u_k\}_{1,2}$ ve $\{\beta_k\}_{1,2}$ vektörleri sırasıyla k. mod şeklinden dolayı j elemanın uçlarındaki yerdeğiştirme ve dönmelerin genel eksen takımındaki ifadelerini gösterir. Bu vektörlerin bileşenleri Şekil 10'da verilmektedir.



Şekil 10. Herhangi bir elemanın genel eksen takımında öz vektörlerinin bileşenleri

(59) ve (61) denklemlerindeki toplanmış yük parametreleri, q_3 ve q_4 , elemanın modal kuvveti üzerindeki eğilme momentlerinin etkisini göstermektedir. Çünkü $\{\delta_3\}$ ve $\{\delta_4\}$ vektörleri öz vektörün sadece dönme bileşenlerini içermektedirler [38]. Bu notasyon,

$$g_i(\phi) = \{\delta_i\}^T \{\theta\} \quad (63)$$

şeklinde gösterilebilir. Burada $i = 1, 2, 3$ ve 4 , (59) denklemindeki genelleştirilmiş kuvvet skaler formda yazılırsa,

$$f_{kj}(\omega) = (q_1 g_1(\phi) + q_2 g_2(\phi) + q_3 g_3(\phi) + q_4 g_4(\phi)) \eta(\omega) \quad (64)$$

ifadesi elde edilir.

(39) denkleminde ifade edilen transfer fonksiyonları vektörünün, $\{H_{p\eta}(\omega)\}$, frekansa bağlı terimi $P(\omega)$ ile gösterilirse,

$$P(\omega) = \omega e^{m(Z-ix)} R \quad (65)$$

şeklinde elde edilebilir [38]. Elemanın (1) ve (2) ucundaki $P(\omega)$ değerleri sırasıyla $P_1(\omega)$ ve $P_2(\omega)$ ile gösterilirse,

$$P_1(\omega) = \omega E_1 R_1 \quad (66)$$

$$P_2(\omega) = \omega E_2 R_2$$

olarak yazılabilir [38]. Buradaki E_1 , (44) denkleminde, R_1 ve R_2 , (48) denkleminde tanımlanmış olup E_2 ,

$$E_2 = e^{m(Z_2-ix_2)} \quad (67)$$

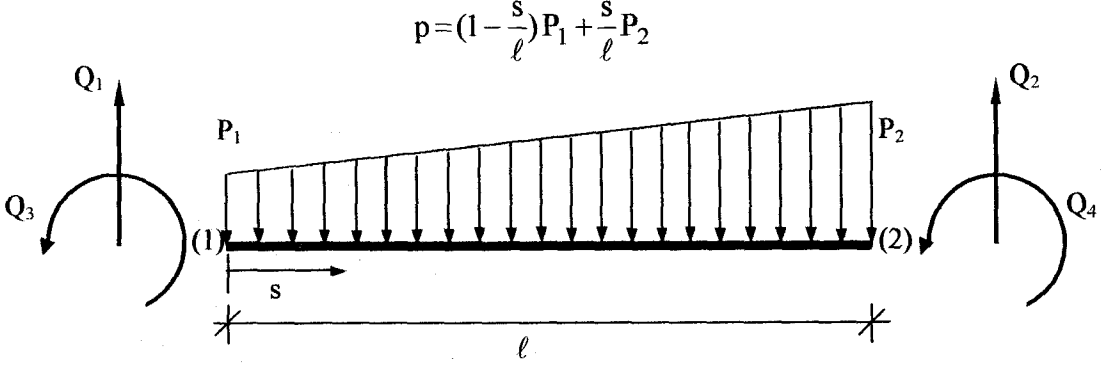
şeklinde ifade edilebilir. Burada, Z_2 ve x_2 sırasıyla elemanın (2) ucunun Z ve x koordinatlarındaki değerleridir.

(60) denkleminde tanımlanan toplanmış yük parametreleri eleman uçlarındaki dağıtılmış yük parametrelerinin terimleri ile aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} q_1 &= \ell \{P_1(\omega)F_1(\omega) + P_2(\omega)G_1(\omega)\} \\ q_2 &= \ell \{P_1(\omega)F_2(\omega) + P_2(\omega)G_2(\omega)\} \\ q_3 &= \ell^2 \{P_1(\omega)F_3(\omega) + P_2(\omega)G_3(\omega)\} \\ q_4 &= \ell^2 \{P_1(\omega)F_4(\omega) + P_2(\omega)G_4(\omega)\} \end{aligned} \quad (68)$$

(68) denkleminde $F_i(\omega)$ ve $G_i(\omega)$ ($i = 1, 2, 3, 4$) fonksiyonları kuvvet parametrelerinin, $P_1(\omega)$ ve $P_2(\omega)$, boyutsuz etki bölgesinde hesaba katıldığı sonucuna

varılabilir [38]. Şekil 11’de lineer kuvvet dağılımına maruz iki boyutlu elemanın Q_1 , Q_2 , Q_3 ve Q_4 düğüm noktası kuvvetleri ve eğilme momentleri verilmektedir.



Şekil 11. Doğrusal kuvvet dağılımına maruz herhangi bir elemanın düğüm noktası kuvvetleri ve eğilme momentleri

(53) denklemindeki şekil fonksiyonları kullanılarak düğüm noktası kuvvetleri ve eğilme momentleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$Q_1 = \frac{7}{20}P_1 \ell + \frac{3}{20}P_2 \ell$$

$$Q_2 = \frac{3}{20}P_1 \ell + \frac{7}{20}P_2 \ell$$

$$Q_3 = \frac{1}{20}P_1 \ell^2 + \frac{1}{30}P_2 \ell^2$$

$$Q_4 = -\left(\frac{1}{30}P_1 \ell^2 + \frac{1}{20}P_2 \ell^2\right)$$

(69)

(69) denkleminde görüldüğü gibi eşitliğin sağ tarafının ilk terimleri P_1 'in dağılımı şeklindedir ve P_1 'in katsayıları, P_1 'in etki bölgesinde (uzunluklar ve alanlar) hesaba katılmaktadır. Bu etki bölgelerinin bütün bölgeye (ℓ ve ℓ^2) oranı P_1 'in boyutsuz etki bölgesi olarak diye anılmaktadır. Aynı kurallar P_2 için de geçerlidir. Bu örneğe göre etki bölgeleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Basit bir eleman üzerindeki lineer dağılımlı kuvvetin etki bölgeleri

Yayılı Yük	Etki Bölgesi		Boyutsuz Etki Bölgesi	
	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂
Q ₁	$\frac{7}{20}\ell$	$\frac{3}{20}\ell$	$\frac{7}{20}$	$\frac{3}{20}$
Q ₂	$\frac{3}{20}\ell$	$\frac{7}{20}\ell$	$\frac{3}{20}$	$\frac{7}{20}$
Q ₃	$\frac{1}{20}\ell^2$	$\frac{1}{30}\ell^2$	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{30}$
Q ₄	$-\frac{1}{30}\ell^2$	$-\frac{1}{20}\ell^2$	$-\frac{1}{30}$	$-\frac{1}{20}$

(68) denkleminde verilen toplanmış yük parametreleri (64) denkleminde yerine konularak (64) denklemi ile verilen elemanın genelleştirilmiş kuvveti sadeleştirilebilir. Bu sadeleştirilmiş $f_{kj}(\omega)$ genelleştirilmiş kuvvet,

$$f_{kj}(\omega) = (P_1(\omega)\psi_1(\omega) + P_2(\omega)\psi_2(\omega))\eta(\omega) \quad (70)$$

şeklinde gösterilebilir. Buradaki ψ_1 ve ψ_2 fonksiyonları,

$$\psi_1(\omega) = \ell(F_1(\omega)g_1(\phi) + F_2(\omega)g_2(\phi)) + \ell^2(F_3(\omega)g_3(\phi) + F_4(\omega)g_4(\phi)) \quad (71)$$

$$\psi_2(\omega) = \ell(G_1(\omega)g_1(\phi) + G_2(\omega)g_2(\phi)) + \ell^2(G_3(\omega)g_3(\phi) + G_4(\omega)g_4(\phi))$$

şeklinde elde edilebilir [38].

(66) denkleminde verilen dağıtılmış dalga kuvveti parametrelerinin değerleri (70) denkleminde yerine konulursa $f_{kj}(\omega)$ 'nin alternatif bir ifadesi olarak,

$$f_{kj}(\omega) = (R_1 W_1 + R_2 W_2)\eta(\omega) \quad (72)$$

yazılabilir. Buradaki W_1 ve W_2 fonksiyonları,

$$\begin{aligned} W_1 &= \omega E_1 \psi_1(\omega) \\ W_2 &= \omega E_2 \psi_2(\omega) \end{aligned} \quad (73)$$

şeklinde tanımlanabilir [38].

Genelleştirilmiş kuvvetleri elde etmek için, (27) denklemi kullanılarak k . moddaki toplam modal kuvvet hesaplanabilir. Bu modal kuvvet basit olarak,

$$f_k(\omega) = H_{f_k\eta}(\omega)\eta(\omega) \quad (74)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada $H_{f_k\eta}(\omega)$ f_k ile su yüksekliği, η , arasındaki transfer fonksiyon olarak adlandırılır. Genelde bu kompleks bir fonksiyondur. Bu fonksiyonun reel ve imajiner bileşenleri,

$$H_{f_k\eta}(\omega) = \text{Re } H_{f_k\eta}(\omega) + i \text{Im } H_{f_k\eta}(\omega) \quad (75)$$

şeklinde gösterilebilir [38]. Burada eşitliğin sağ tarafının ilk terimi reel kısmı ikinci terimi imajiner kısmı belirtmektedir.

1.4.2.2. Modal Dalga Kuvvetleri ve Su Yüksekliği Arasındaki Transfer Fonksiyonunun Hesabı

Bir yapı sisteminin k . moddaki transfer fonksiyonu, yapı elemanlarının transfer fonksiyonlarından elde edilebilmektedir. Buna göre (27) ve (75) denklemlerinden,

$$\begin{aligned} \operatorname{Re} H_{f_k \eta}(\omega) &= \sum_{j=1}^N \operatorname{Re} H_{f_{kj} \eta}(\omega) \\ \operatorname{Im} H_{f_k \eta}(\omega) &= \sum_{j=1}^N \operatorname{Im} H_{f_{kj} \eta}(\omega) \end{aligned} \quad (76)$$

yazılabilir [38]. Buradaki j elemanın transfer fonksiyonunun reel ve imajiner kısımları (72) denkleminde yararlanılarak yazılırsa,

$$\begin{aligned} \operatorname{Re} H_{f_{kj} \eta}(\omega) &= \operatorname{Re} R_1 * \operatorname{Re} W_1 + \operatorname{Re} R_2 * \operatorname{Re} W_2 - \operatorname{Im} R_1 * \operatorname{Im} W_1 - \operatorname{Im} R_2 * \operatorname{Im} W_2 \\ \operatorname{Im} H_{f_{kj} \eta}(\omega) &= \operatorname{Re} R_1 * \operatorname{Im} W_1 + \operatorname{Im} R_1 * \operatorname{Re} W_1 + \operatorname{Re} R_2 * \operatorname{Im} W_2 + \operatorname{Im} R_2 * \operatorname{Re} W_2 \end{aligned} \quad (77)$$

şeklinde elde edilir.

(77) denklemlerindeki R_1 ve R_2 fonksiyonlarının denklem (48)'deki ifadeleri yerlerine yazılırsa,

$$\begin{aligned} \operatorname{Re} H_{f_{kj} \eta}(\omega) &= C_D (A_1 * \operatorname{Re} W_1 + A_2 * \operatorname{Re} W_2) - \omega C_M (\operatorname{Im} W_1 + \operatorname{Im} W_2) \\ \operatorname{Im} H_{f_{kj} \eta}(\omega) &= C_D (A_1 * \operatorname{Im} W_1 + A_2 * \operatorname{Im} W_2) + \omega C_M (\operatorname{Re} W_1 + \operatorname{Re} W_2) \end{aligned} \quad (78)$$

ifadesi elde edilir. Buradaki C_D ve C_M terimleri (29) denkleminde verilmekte ve A katsayısının değerleri olan A_1 ve A_2 eleman uçlarındaki sürüklenme kuvveti teriminin lineerleştirilmesinden elde edilmektedir. W_1 ve W_2 fonksiyonlarının reel ve imajiner kısımları (49), (67) ve (73) denklemlerinden,

$$\begin{aligned}
\operatorname{Re} W_1 &= \omega e^{mZ_1} (\cos(mx_1) \operatorname{Re} \psi_1(\omega) + \sin(mx_1) \operatorname{Im} \psi_1(\omega)) \\
\operatorname{Im} W_1 &= \omega e^{mZ_1} (\cos(mx_1) \operatorname{Im} \psi_1(\omega) - \sin(mx_1) \operatorname{Re} \psi_1(\omega)) \\
\operatorname{Re} W_2 &= \omega e^{mZ_2} (\cos(mx_2) \operatorname{Re} \psi_2(\omega) + \sin(mx_2) \operatorname{Im} \psi_2(\omega)) \\
\operatorname{Im} W_2 &= \omega e^{mZ_2} (\cos(mx_2) \operatorname{Im} \psi_2(\omega) - \sin(mx_2) \operatorname{Re} \psi_2(\omega))
\end{aligned} \tag{79}$$

olarak elde edilmektedir. Burada m , (40) denkleminde tanımlanan dalga sayısını, Z_1 , Z_2 ve x_1 , x_2 sırasıyla eleman uçlarındaki dikey koordinatları ve yatay koordinatları göstermektedir. $\psi_1(\omega)$ ve $\psi_2(\omega)$ fonksiyonunun reel ve imajiner kısımları (71) denkleminde elde edilebilir [38].

(78) denklemindeki A_1 ve A_2 katsayılarının hesabının detayları Karadeniz, [46]'da verilmektedir. Genel ifadeyle A katsayısı yazılırsa,

$$A = f(\theta_0) \sigma_{u_x}(H_s) \tag{80}$$

şeklinde elde edilir [46]. Burada $f(\theta_0)$ asal dalga doğrultusunun fonksiyonunu ve $\sigma_{u_x}(H_s)$ yatay yöndeki bir doğrultulu dalganın su hızının standart sapmasını göstermektedir. Bu sapma, derin su şartları için belirgin dalga yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak,

$$\sigma_{u_x}(H_s) = \sqrt{\int_0^{\infty} \omega^2 e^{2mZ} S_{\eta\eta}(\omega) d\omega} \tag{81}$$

şeklinde hesaplanmaktadır [38]. Burada $S_{\eta\eta}(\omega)$ bir doğrultulu deniz spektrumunu ifade etmektedir. Bu durumda eleman uçlarındaki A değerleri, A_1 ve A_2 , (80) ve (81) denklemleri kullanılarak belirgin dalga yüksekliği H_s 'nin bir fonksiyonu olarak hesaplanabilir. Fakat pratikte bu değerler H_s 'nin bazı bilinen fonksiyonlarına yaklaşabilmektedir. Bu durumda vektörel notasyonda bu katsayılar,

$$A_1 = \{a_1\}^T \{F(H_s)\} \quad (82)$$

$$A_2 = \{a_2\}^T \{F(H_s)\}$$

şeklinde yazılabilir [38]. Burada $\{a_1\}$ ve $\{a_2\}$ vektörleri H_s 'nin bazı yaklaşık noktalarını kullanarak hesaplanabilir. $\{F(H_s)\}$, H_s 'nin bilinen fonksiyonlarının bir vektörünü göstermektedir. (82) denklemi (78) denkleminde yerine yazılacak olunursa,

$$\text{Re} H_{f_{k,j}\eta}(\omega) = C_D \{b_1\}_j^T \{F(H_s)\} - \omega C_M \text{Im} Q_{kj} \quad (83)$$

$$\text{Im} H_{f_{k,j}\eta}(\omega) = C_D \{b_2\}_j^T \{F(H_s)\} + \omega C_M \text{Re} Q_{kj}$$

ifadeleri elde edilir. Burada $\{b_1\}_j$ ve $\{b_2\}_j$ vektörleri ve skaler Q_{kj} ifadesinin reel ve imajiner kısımları,

$$\begin{aligned} \{b_1\}_j &= \text{Re} W_1 \{a_1\} + \text{Re} W_2 \{a_2\} \\ \{b_2\}_j &= \text{Im} W_1 \{a_1\} + \text{Im} W_2 \{a_2\} \end{aligned} \quad (84)$$

$$\text{Re} Q_{kj} = \text{Re} W_1 + \text{Re} W_2$$

$$\text{Im} Q_{kj} = \text{Im} W_1 + \text{Im} W_2$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada j bir yapı elemanını, k bir modu ifade eder [38].

Sürükleme ve atalet kuvveti katsayılarının, C_D ve C_M , belirlenmesinde bazı belirsizlikler ortaya çıkmaktadır. Bunların hesaplamalar içinde gösterilmesi gerekmektedir. Bu belirsizliklerin hesaba katılması için elemandan elemana değişen sürükleme ve atalet kuvveti katsayılarının ortalama değerleri alınmaktadır. Böylece belirsiz parametreler elemanlardan bağımsız olur. Bu durumda sürükleme ve atalet kuvveti katsayıları,

$$C_D = \alpha_D \mu_{CD} \quad (85)$$

$$C_M = \alpha_M \mu_{CM}$$

şeklinde ifade edilebilir [38]. Burada α_D belirsiz parametreleri (stokastik parametreleri) ve μ_{CD} ve μ_{CM} sırasıyla C_D ve C_M 'nin ortalama değerlerini göstermektedir. (85) denklemi (83) denklemine yerine yazılırsa, j elemanının transfer fonksiyonunun reel ve imajiner kısımları,

$$\begin{aligned} \text{Re}H_{f_{k,\eta}}(\omega) &= \alpha_D \mu_{CD} \{b_1\}_j^T \{F(H_s)\} - \alpha_M \omega \mu_{CM} \text{Im}Q_{kj} \\ \text{Im}H_{f_{k,\eta}}(\omega) &= \alpha_D \mu_{CD} \{b_2\}_j^T \{F(H_s)\} + \alpha_M \omega \mu_{CM} \text{Re}Q_{kj} \end{aligned} \quad (86)$$

şeklini alır [38]. k . mod için bütün sistemin transfer fonksiyonu, (86) denklemi (76) denklemine yerine konularak bulunabilir. Bu transfer fonksiyonun reel ve imajiner kısımları,

$$\begin{aligned} \text{Re}H_{f_k,\eta}(\omega) &= \alpha_D \{B_1\}_k^T \{F(H_s)\} - \alpha_M \text{Im}Q_k \\ \text{Im}H_{f_k,\eta}(\omega) &= \alpha_D \{B_2\}_k^T \{F(H_s)\} + \alpha_M \text{Re}Q_k \end{aligned} \quad (87)$$

şeklinde yazılabilir [38]. Burada $\{B_1\}_k$ ve $\{B_2\}_k$ vektörleri (86) denkleminden,

$$\begin{aligned} \{B_1\}_k &= \sum_{j=1}^N \mu_{CD} \{b_1\}_j \\ \{B_2\}_k &= \sum_{j=1}^N \mu_{CD} \{b_2\}_j \end{aligned} \quad (88)$$

ve Q_k 'nin reel ve imajiner kısımları,

$$\begin{aligned} \text{Re}Q_k &= \sum_{j=1}^N \omega \mu_{CM} \text{Re}Q_{kj} \\ \text{Im}Q_k &= \sum_{j=1}^N \omega \mu_{CM} \text{Im}Q_{kj} \end{aligned} \quad (89)$$

1.4.2.3. Modal Dalga Kuvvetlerinin Spektral İfadeleri ve Yapısal Davranışın Spektral Momentinin Hesabı

Lineer sistemin girdi ve çıktıları arasındaki spektral ilişki [41] kullanılarak, k. ve r. moddaki modal dalga kuvvetlerinin, $f_k(\omega)$ ve $f_r(\omega)$, karşıt spektrumu (74) denkleminde,

$$s_{f_k f_r}(\omega) = H_{f_k \eta}^*(\omega) H_{f_r \eta}(\omega) S_{\eta \eta}(\omega) \quad (90)$$

şeklinde yazılabilir. Burada * kompleks eşleniği ve $S_{\eta \eta}(\omega)$ su yüksekliğinin spektral fonksiyonunu göstermektedir. (87) denklemindeki k. moddaki transfer fonksiyonun reel ve imajiner kısımlarının ifadeleri, k. ve r. mod için yazılarak (90) denkleminde yerine konulursa, modal dalga kuvvetlerinin karşıt spektrumunun reel ve imajiner kısımları,

$$\begin{aligned} \text{Re } s_{f_k f_r}(\omega) = & \\ & \left(\alpha_D^2 \{F(H_s)\}^T [B_X] \{F(H_s)\} + \alpha_D \alpha_M \{F(H_s)\}^T \{G_X\} + \alpha_M^2 Q_X \right) S_{\eta \eta}(\omega) \end{aligned} \quad (91)$$

$$\begin{aligned} \text{Im } s_{f_k f_r}(\omega) = & \\ & \left(\alpha_D^2 \{F(H_s)\}^T [B_Y] \{F(H_s)\} + \alpha_D \alpha_M \{F(H_s)\}^T \{G_Y\} + \alpha_M^2 Q_Y \right) S_{\eta \eta}(\omega) \end{aligned}$$

şeklinde elde edilir. Burada matris notasyonlar,

$$[B_X] = \{B_1\}_k \{B_1\}_r^T + \{B_2\}_k \{B_2\}_r^T \quad (92)$$

$$[B_Y] = \{B_1\}_k \{B_1\}_r^T - \{B_2\}_k \{B_2\}_r^T$$

vektör notasyonlar,

$$\{G_X\} = \text{Re } Q_r \{B_2\}_k + \text{Re } Q_k \{B_2\}_r - \text{Im } Q_r \{B_1\}_k - \text{Im } Q_k \{B_1\}_r \quad (93)$$

$$\{G_Y\} = \text{Re } Q_r \{B_1\}_k + \text{Im } Q_r \{B_2\}_k - \text{Re } Q_k \{B_1\}_r - \text{Im } Q_k \{B_2\}_r$$

ve skaler notasyonlar,

$$Q_X = \text{Re} Q_k \text{Re} Q_r + \text{Im} Q_k \text{Im} Q_r \quad (94)$$

$$Q_Y = \text{Re} Q_k \text{Im} Q_r - \text{Im} Q_k \text{Re} Q_r$$

şeklinde tanımlanmaktadır [38]. Elde edilen karşıt spektrumun reel ve imajiner kısımları genel olarak,

$$s_{f_k f_r}(\omega) = \text{Re} s_{f_k f_r}(\omega) + i \text{Im} s_{f_k f_r}(\omega) \quad (95)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Bütün modları içerecek şekilde k ve r yerine 1'den q'ya kadar alınırsa modal dalga kuvvetlerinin bütün karşıt ve oto (auto) spektralleri elde edilebilir. (91) ve (94) denklemlerindeki iki modal kuvvetin karşıt spektrumunda,

$$s_{f_r f_k}(\omega) = s_{f_k f_r}^*(\omega) \quad (96)$$

eşitliğinin varlığı gösterilebilir. Bu durumda modal kuvvetlerin tümünün oto spektralleri reel olmaktadır. Bundan dolayı modal kuvvetlerin spektral matrislerinin yalnızca yarısını hesaplamak önemli hale gelmektedir. Düğüm noktası dalga yüklerinin karşıt spektrasının harmonik varyasyonlarının sonucu olarak genelleştirilmiş kuvvetlerin karşıt spektrumları, $s_{f_r f_k}(\omega)$, ω 'nin düzensiz değişkeni haline gelmektedir [38].

(23) denklemindeki spektral katkı faktörünün genel ifadesi modal kuvvetlerin spektrasına ve yapısal transfer fonksiyonuna göre verilmektedir. Bu durumda (95) denklemi (23) denkleminde yerine konulursa, spektral katkı faktörünün reel kısmı,

$$\text{Re} s_{kr}(\omega) = X_{kr}(\omega) \text{Re} s_{f_k f_r}(\omega) - Y_{kr}(\omega) \text{Im} s_{f_k f_r}(\omega) \quad (97)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada $X_{kr}(\omega)$ ve $Y_{kr}(\omega)$, $(h_k^*(\omega)h_r(\omega))$ 'nin reel ve imajiner kısımlarını göstermektedir. $X_{kr}(\omega)$ ve $Y_{kr}(\omega)$ 'nin tam ifadesi açık olarak aşağıda verilmektedir [38].

$$X_{kr}(\omega) = \frac{1}{m_k m_r} \frac{(\omega_k^2 - \omega^2)(\omega_r^2 - \omega^2) + 4\xi_k \xi_r \omega_k \omega_r \omega^2}{((\omega_k^2 - \omega^2)^2 + 4\xi_k^2 \omega_k^2 \omega^2)((\omega_r^2 - \omega^2)^2 + 4\xi_r^2 \omega_r^2 \omega^2)} \quad (98)$$

$$Y_{kr}(\omega) = \frac{1}{m_k m_r} \frac{2\omega(\xi_k \omega_k (\omega_r^2 - \omega^2) - \xi_r \omega_r (\omega_k^2 - \omega^2))}{((\omega_k^2 - \omega^2)^2 + 4\xi_k^2 \omega_k^2 \omega^2)((\omega_r^2 - \omega^2)^2 + 4\xi_r^2 \omega_r^2 \omega^2)}$$

Burada m_k ve m_r genelleştirilmiş kütleyi, ω_k ve ω_r öz frekansları ve ξ_k ve ξ_r k. ve r. moda göre sönüm oranlarını göstermektedir.

Spektral katkı faktörlerinin sadece reel kısımları gerekmektedir. Çünkü yapının davranış analizinde reel modlar düşünülmektedir. Bu nedenle bundan sonra reel kısım $s_{kr}(\omega)$ ile gösterilecektir. (98) denkleminde de görülebileceği gibi $X_{kr}(\omega)$ simetrik, $Y_{kr}(\omega)$ anti-simetrik olduğundan (97) denkleminde,

$$s_{kr}(\omega) = s_{rk}(\omega) \quad (99)$$

eşitliği gerçeklemektedir [38].

(91) denklemini (97) denkleminde yerine konulursa spektral katkı faktörü,

$$s_{kr}(\omega) = (\alpha_D^2 \{F(H_s)\}^T [F_D] \{F(H_s)\} + \alpha_D \alpha_M \{F(H_s)\}^T \{G_{DM}\} + \alpha_M^2 Q_M) S_{\eta\eta}(\omega) \quad (100)$$

halini alır. Burada,

$$[F_D] = X_{kr}(\omega)[B_X] - Y_{kr}(\omega)[B_Y]$$

$$\{G_{DM}\} = X_{kr}(\omega)\{G_X\} - Y_{kr}(\omega)\{G_Y\} \quad (101)$$

$$Q_M = X_{kr}(\omega)Q_X - Y_{kr}(\omega)Q_Y$$

ifadeleri ile tanımlanmaktadır [38]. $s_{kr}(\omega)$ ifadesi,

$$s_{kr}(\omega) = \alpha_D^2 S_D(\omega) + \alpha_D \alpha_M S_{DM}(\omega) + \alpha_M^2 S_M(\omega) \quad (102)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $S_D(\omega)$, $S_{DM}(\omega)$ ve $S_M(\omega)$ sırasıyla,

$$\begin{aligned} S_D(\omega) &= \{F(H_s)\}^T [F_D] \{F(H_s)\} S_{\eta\eta}(\omega) \\ S_{DM}(\omega) &= \{F(H_s)\}^T \{G_{DM}\} S_{\eta\eta}(\omega) \\ S_M(\omega) &= Q_M S_{\eta\eta}(\omega) \end{aligned} \quad (103)$$

olarak ifade edilmektedir [38].

Yapının stokastik analizinde davranış çıktılarının istatistiksel ölçüleri gerekmektedir. Bu istatistiksel ölçüler yapısal davranış çıktılarının spektral momentlerine göre hesaplanabilmektedir. Eğer spektral katkı faktörlerinin momentleri biliniyorsa bu momentlerin hesabı basit olarak gerçekleştirilebilir. Spektral katkı faktörlerinin momentleri genelde bir doğrultulu deniz spektrumu için,

$$(C\mu)_{kr} = \int_0^{\infty} \omega^\mu s_{kr}(\omega) d\omega \quad (104)$$

çok doğrultulu deniz spektrumu için,

$$(C\mu)_{kr} = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\infty} \omega^\mu s_{kr}(\omega, \theta) d\omega d\theta \quad (105)$$

şeklinde hesaplanmaktadır [38]. Burada θ , deniz spektrumunun doğrusal dağılımın değişkenini ifade etmekte ve yan ile asal dalganın doğrultusu arasındaki açıyı göstermektedir. Şekil 8'de de görülebileceği gibi bu açı $\phi - \theta_0$ 'a eşittir. (104) ve (105) denklemlerindeki μ

momentlerin sırasını ($\mu = 0, 2, 4$) göstermektedir. Genelde çok doğrultulu deniz spektrumu,

$$S_{\eta\eta}(\omega, \theta) = D(\theta) S_{\eta\eta}(\omega) \quad (106)$$

şeklinde ifade edilmektedir [38]. Burada $D(\theta)$ doğrusal dağılımı göstermektedir ve,

$$D(\theta) = \frac{2}{\pi} \cos^2 \theta \quad (107)$$

şeklinde ifade edilmektedir. (102) denklemi (104) ve (105) denklemlerinde yerine yazılırsa, spektral katkı faktörünün momentleri,

$$(C_{\mu})_{kr} = \alpha_D^2 (M_D)_{kr} + \alpha_D \alpha_M (M_{DM})_{kr} + \alpha_M^2 (M_M)_{kr} \quad (108)$$

şeklinde ifade edilir [38]. Burada $(M_D)_{kr}$, $(M_{DM})_{kr}$ ve $(M_M)_{kr}$ sırasıyla (103) denkleminde verilen spektral fonksiyonların, $S_D(\omega)$, $S_{DM}(\omega)$ ve $S_M(\omega)$, momentlerini göstermektedir. Spektral katkı faktörünün momentleri hesaplanması ile davranış çıktılarının spektral momentleri,

$$[m_{\mu}]_F = \sum_{k=1}^q \sum_{r=1}^q (C_{\mu})_{kr} \{F_k\} \{F_r\}^T \quad (109)$$

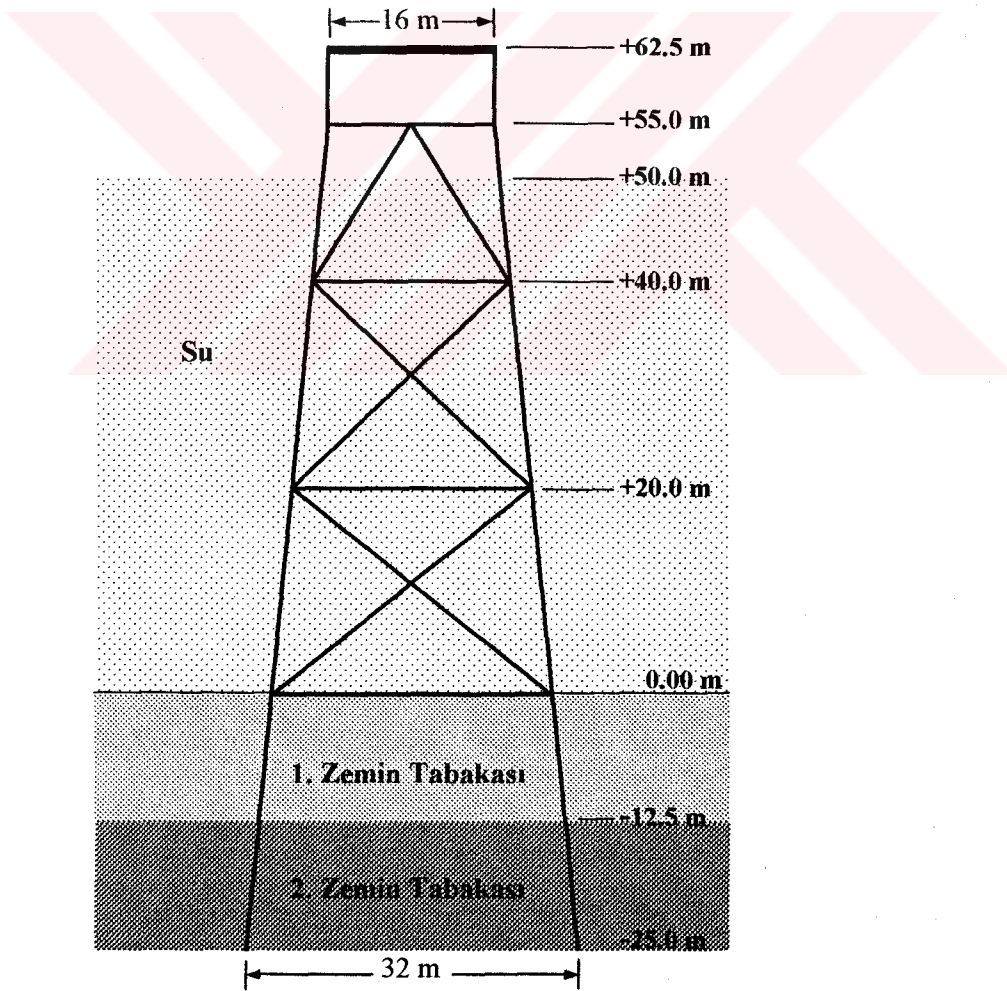
şeklinde bulunmaktadır [38]. Burada $\{F_k\}$ ve $\{F_r\}$ vektörleri k ve r modundan elde edilen çıktı vektörlerini göstermektedir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada analizler için açık deniz platformunun bir türü olan ceket tipi platform seçilmiştir.

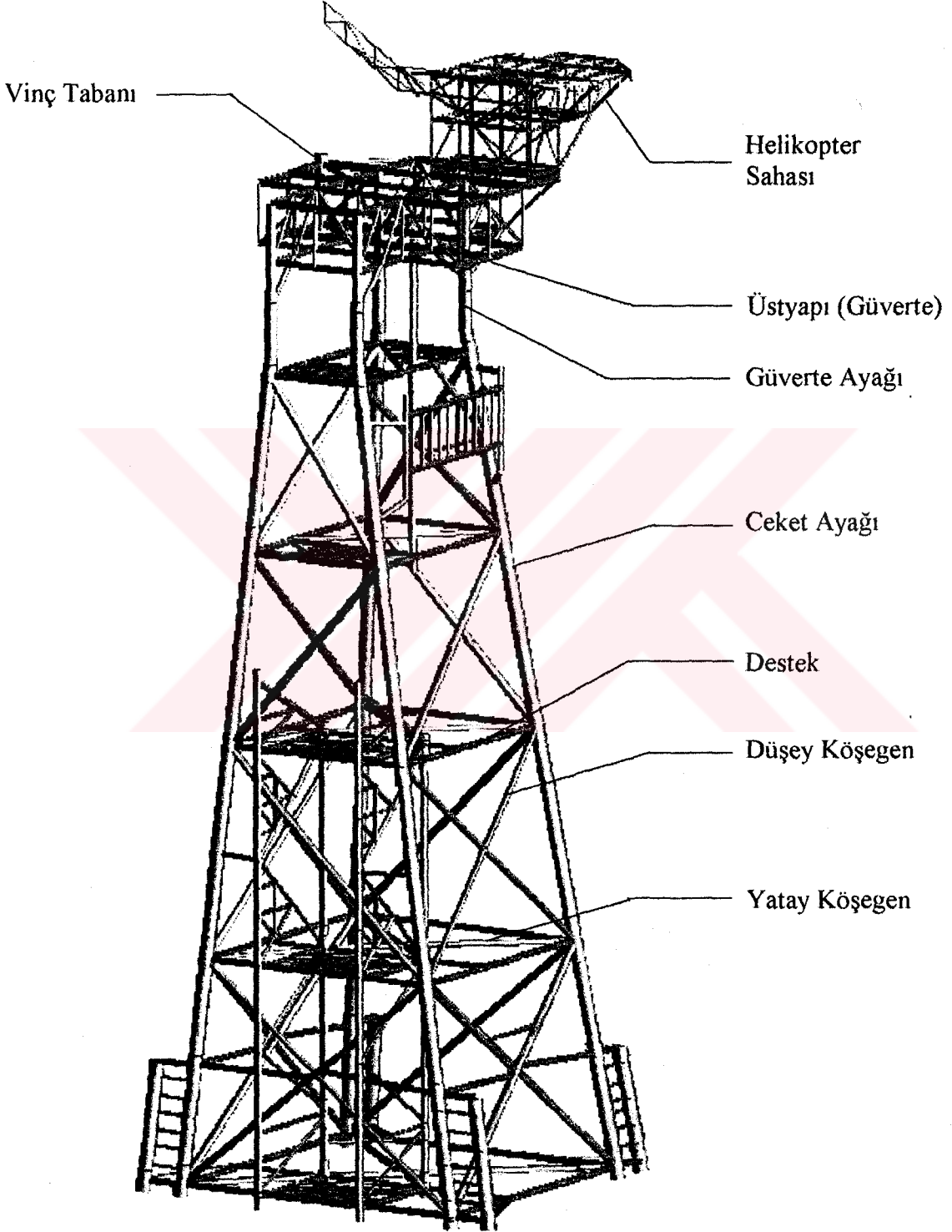
2.1. Platformun Yapısal Özellikleri

Analizler üç boyutlu ceket tipi platformun zeminli ve zeminsiz ele alınması durumunda gerçekleştirilmektedir. Platform deniz tabanından 62.5 metre yüksekliğe ve 50 metre su derinliğine sahiptir. Platformun zeminli olarak ele alınması durumunda platform 25 metre derinliğine kadar kazıklarla birlikte deniz tabanına girmektedir. Platformun boyutları Şekil 12’de gösterilmektedir.



Şekil 12. Ceket tipi platformun boyutları

Platformun eleman kalınlıklarının ve çaplarının hangi elemana ait olduğunun daha iyi anlaşılması bakımından Şekil 13'de ceket tipi platform elemanlarının ve platforma ait bazı özel bölgelerin isimleri verilmektedir.



Şekil 13. Ceket tipi platformun elemanları

Tablo 3’de ceket tipi platforma ait elemanların çapları ve kalınlıkları verilmektedir.

Tablo 3. Ceket tipi platform elemanlarının çapları ve kalınlıkları

		Çap (m) (D)	Kalınlık (m) (t)
Güverte Ayakları		2.00	0.050
Ceket Ayakları		1.20	0.016
Düşey Köşegenler		1.20	0.016
Kazıklar		1.20	0.016
Yatay Köşegenler	Deniz Tabanı	1.20	0.014
	+ 20 m	1.20	0.016
	+ 40 m	1.20	0.014
	+ 55 m	0.80	0.008
Destekler	Deniz Tabanı	1.20	0.014
	+ 20 m	1.20	0.014
	+ 40 m	1.20	0.014
	+ 55 m	0.80	0.008

2.2. Platformun Malzeme Özellikleri

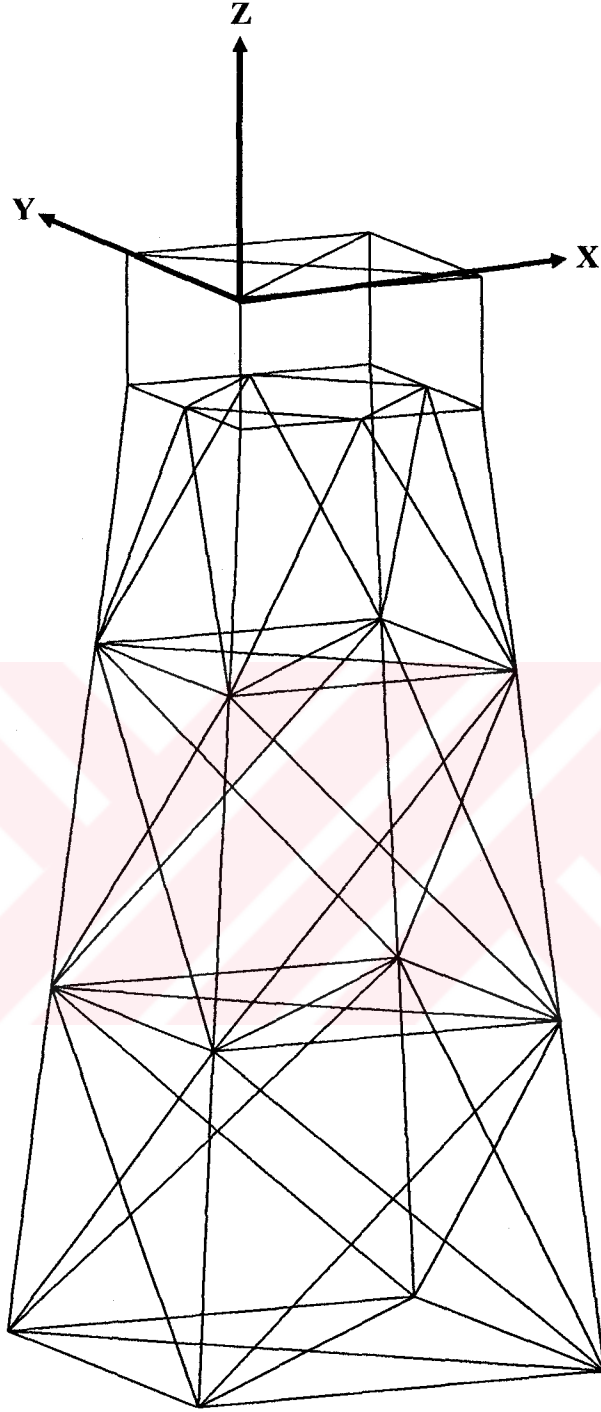
Ceket tipi platform çelik kiriş elemanlardan oluşmakta ve üstyapıyı oluşturan güverte kısmı 10000 ton ağırlığındadır. Bu ağırlık ceketin en üst seviyesindeki dört köşe noktasına eşit olarak kütle şeklinde etkimektedir. Platformun oturduğu zemin Şekil 12’de de görülebileceği gibi iki tabakadan meydana gelmekte ve yumuşak kumlu zemin için ortalama değerler alınmaktadır. Platformu oluşturan bütün elemanların elastisite modülü $20.5 \cdot 10^{10}$ N/m² ve poisson oranı 0.25 olarak hesaba katılmaktadır. Zemin tabakalarına ait malzeme özellikleri Tablo 4’de verilmektedir.

Tablo 4. Zemin tabakalarına ait malzeme özellikleri

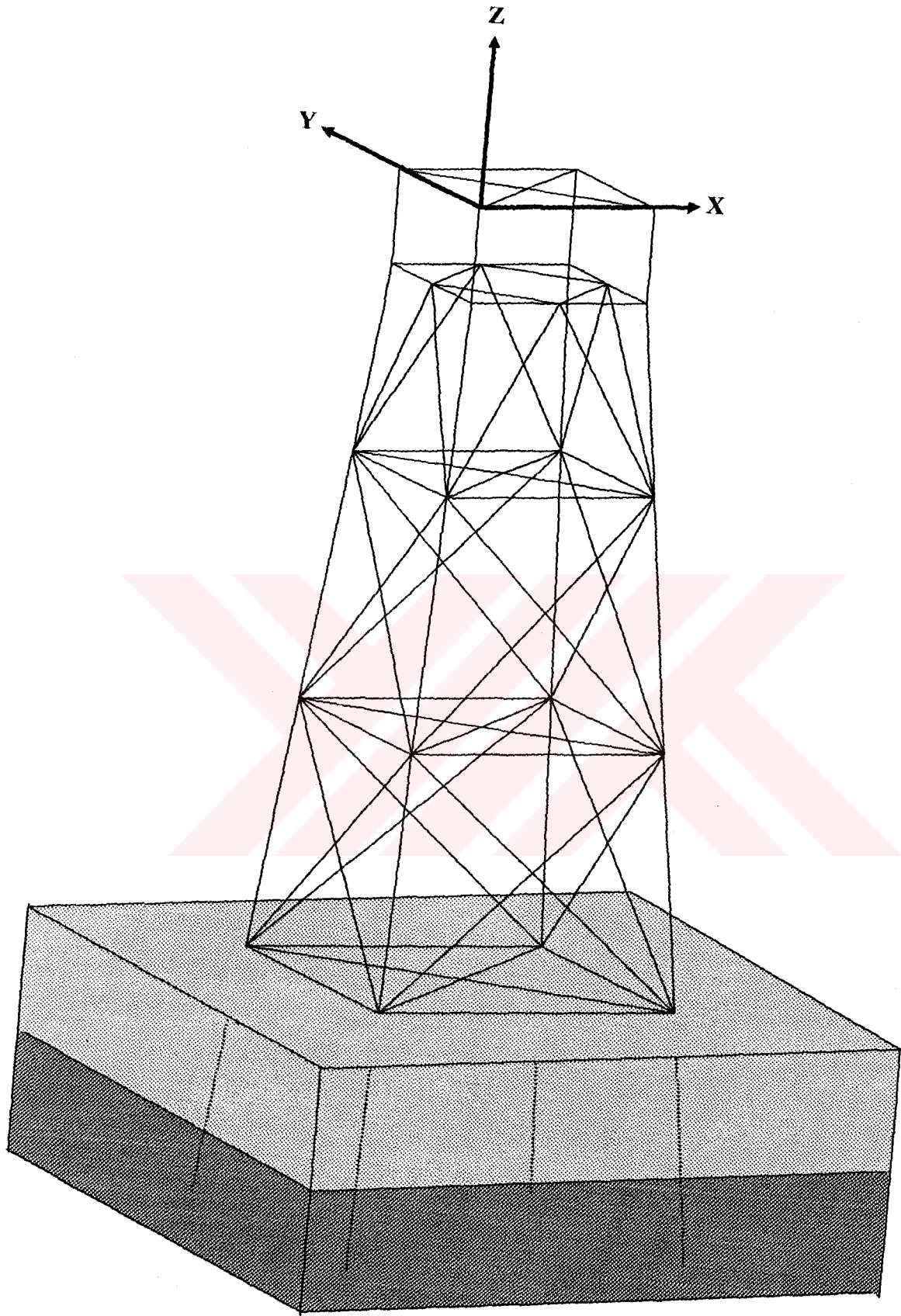
	1. Zemin Tabakası	2. Zemin Tabakası
Yatak Katsayısı (N / m ²)	54.0*10 ⁶	108.0*10 ⁶
Kayma Modülü (N / m ²)	15.5*10 ⁶	31.0*10 ⁶
Yayıma Sönümü (N*sn) / m ²	2.3*10 ⁶	3.5*10 ⁶
Viskozite (N*sn) / (rad*m ²)	2.7*10 ⁶	5.4*10 ⁶
Kütle yoğunluğu (ton / m ³)	1.9	1.9
Poisson Oranı	0.40	0.35

2.3. Platformun Sonlu Eleman Modeli

Ceket tipi yapının zeminli ve zemsiz olarak deprem ve dalga kuvvetleri tesiri altında iken ayrı ayrı stokastik analizleri üç boyutlu model üzerinde yapılmıştır. Yapının sonlu eleman modelinde zemin ile birlikte ele alınması durumunda 118 kiriş eleman, zemsiz ele alınması durumunda 110 kiriş eleman bulunmaktadır. Elemanların bağlantı noktaları ve deniz seviyesinde su ile elemanların kesiştiği noktalar düğüm noktası olarak tanımlanmaktadır. Yapının zeminli olarak düşünüldüğü durumda 55 düğüm noktası, zemsiz olarak düşünüldüğü durumda 47 düğüm noktası tanımlanmaktadır. Ceket tipi yapının zemsiz ve zeminli üç boyutlu sonlu eleman modelleri sırasıyla Şekil 14 ve Şekil 15'de gösterilmektedir.



Şekil 14. Ceket tipi platformun zeminsiz olması durumunda sonlu eleman modeli



Şekil 15. Ceket tipi platformun zeminli olması durumunda sonlu eleman modeli

3. BULGULAR VE İRDELEME

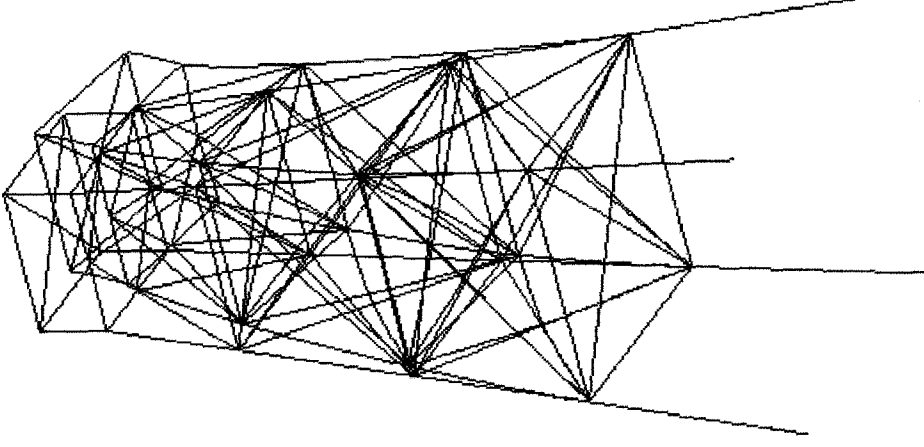
Bu çalışmada, açık deniz platformlarının bir türü olan ceket tipi platform üzerinde deprem ve dalga kuvvetinin ayrı ayrı etkimesi durumunda stokastik analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde platformun zeminli ve zeminsiz ele alınması halinde seçilen düğüm noktalarında yerdeğiştirme, kuvvet ve moment transfer fonksiyonları ve spektrum değerleri karşılaştırılmıştır.

3.1. Frekanslar

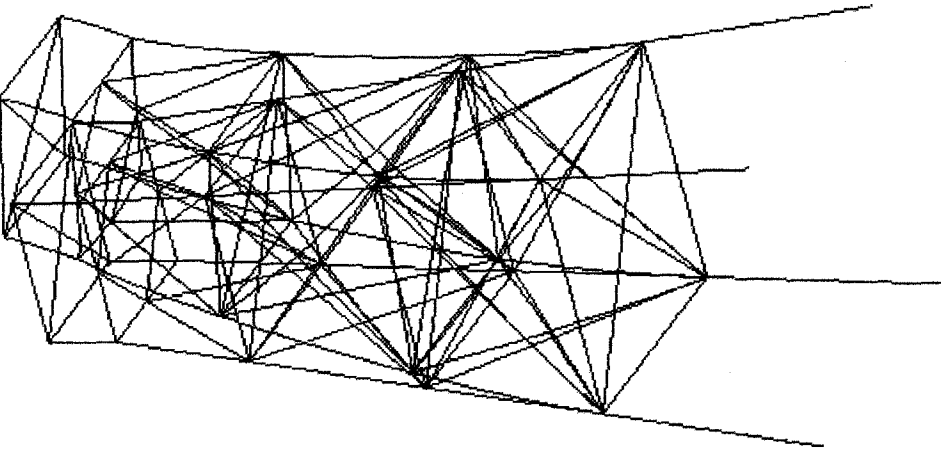
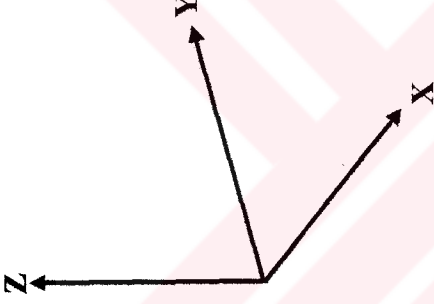
Ceket tipi platformun stokastik analizlerinde ilk iki mod dikkate alınmıştır. Platformun zeminli ve zeminsiz olması durumları için hesaplanan doğal frekanslar Tablo 5'de verilmektedir. Tablodan görülebileceği gibi platformun simetrik olmasından dolayı her iki durum için de frekans değerleri eşit çıkmaktadır. Ayrıca analizlerde zeminin dikkate alınması frekans değerini azaltmaktadır. Ceket tipi platformun zeminsiz ve zeminli olması durumları için mod şekilleri Şekil 16-19'da verilmektedir.

Tablo 5. Ceket tipi platformun zeminsiz ve zeminli olması durumlarında doğal frekans değerleri

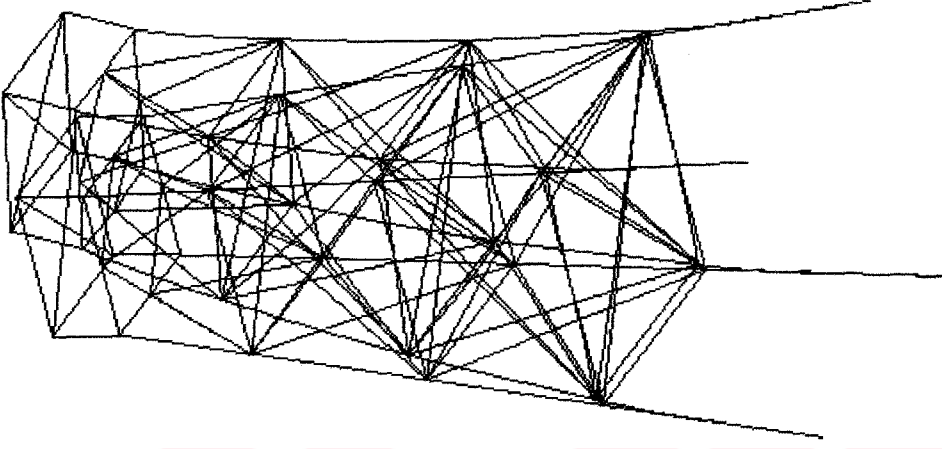
Mod Sayısı	Doğal Frekans Değerleri (rad/sn)	
	Zeminsiz	Zeminli
1	2.72	2.22
2	2.72	2.22



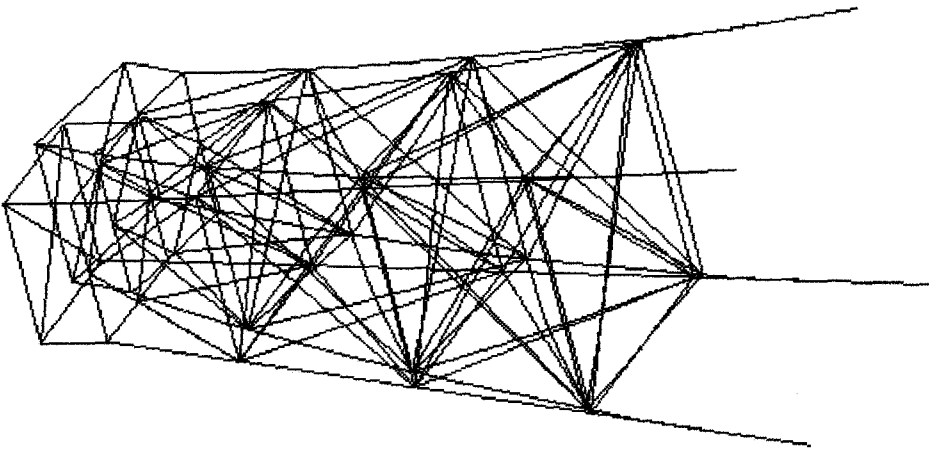
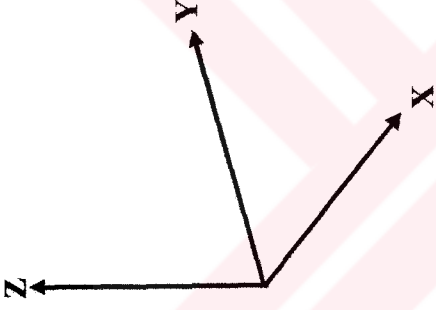
Şekil 17. Ceket tipi platformun zemininsiz olması durumunda 2. mod şekli



Şekil 16. Ceket tipi platformun zemininsiz olması durumunda 1. mod şekli



Şekil 19. Ceket tipi platformun zeminli olması durumunda 2. mod şekli



Şekil 18. Ceket tipi platformun zeminli olması durumunda 1. mod şekli

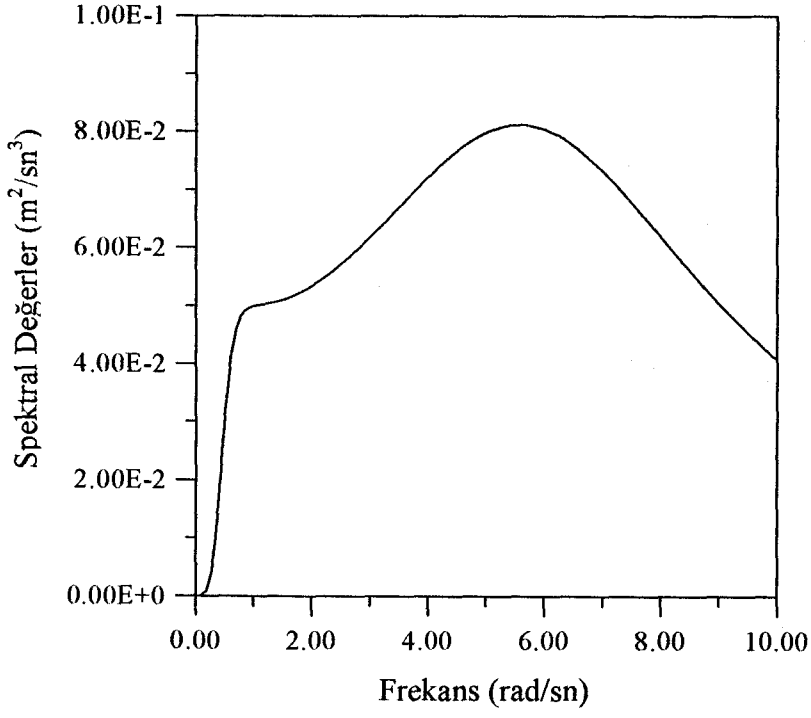
3.2. Deprem Kuvveti İçin Yapılan Analizde Sonuçların Karşılaştırılması

Deprem hareketi için yapılan analizde Kanai-Tajimi deprem güç spektrumu kullanılmaktadır. Kanai-Tajimi deprem güç spektrumu (4) nolu denklemde verilmektedir. Deprem hareketi için gerekli olan bilgiler Tablo 6'da sunulmaktadır.

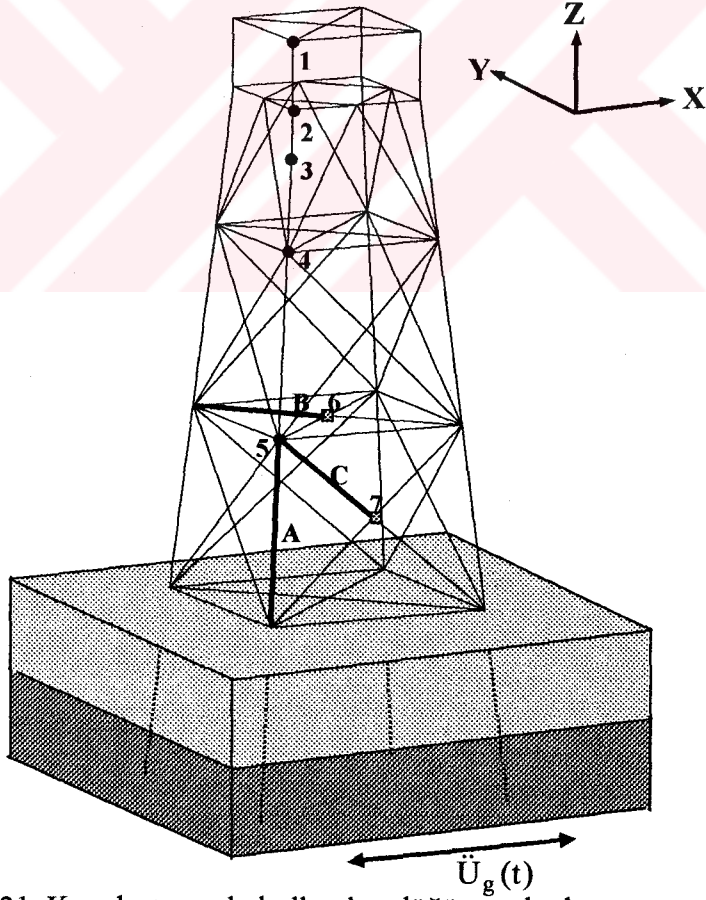
Tablo 6. Deprem ile ilgili parametreler

Yerin Karakteristik Frekansı (rad / sn)	6.8
Yerin Karakteristik Sönüm Oranı	0.6
Deprem Spektrumunun Filtre Sönümü	0.6
Deprem Spektrumunun Filtre Frekansı (rad / sn)	0.5
Yer İvmesi (m / sn ²)	0.98
Deprem Richter Büyüklüğü	7.2

(1), (2), (3) ve (4) nolu denklemler ve Tablo 6'da yer alan veriler kullanılarak Kanai-Tajimi deprem güç spektrumu Şekil 20'deki gibi elde edilmiştir. Ayrıca deprem hareketi için yapılan analizde karşılaştırmalar için kullanılan düğüm noktaları ve elemanları Şekil 21'de sonlu eleman modeli üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 20. Kanai-Tajimi deprem güç spektrumu



Şekil 21. Karşılaştırmada kullanılan düğüm noktalarının ve elemanlarının sonlu eleman üzerinde gösterimi

3.2.1. Transfer Fonksiyon Değerlerinin Karşılaştırılması

Ceket tipi platformun zeminsiz ve zeminli olması durumunda yatay yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun (frekans davranış fonksiyonu) maksimum değerlerinin yükseklikle değişimi, Şekil 22 ve Şekil 23'de gösterilmekte ve bunların sayısal değerleri Tablo 7'de verilmektedir. Şekil 24-35'de platformun zeminsiz ve zeminli olması durumlarında Şekil 17'deki sonlu eleman modelinde görülen 1 nolu tepe noktasının her üç yöndeki yerdeğiştirmelerinin ve dönmelerinin transfer fonksiyon grafikleri verilmektedir. Ayrıca platformun zeminsiz ve zeminli olması durumunda yükseklik boyunca alınan düğüm noktalarının X eksenini boyunca yerdeğiştirmelerinin transfer fonksiyon grafikleri Şekil 36-43'de çizilmiştir. Şekil 17'de gösterilen A, B, C elemanlarının uçlarındaki X yönündeki kuvvet ve Y eksenini etrafındaki momentlerin transfer fonksiyon değerleri Şekil 44-55'de gösterilmektedir.

Platformun zeminsiz ve zeminli olması durumlarında transfer fonksiyon değerlerinin yükseklikle arttığı gözlenmektedir. Ayrıca ceket tipi açık deniz platformlarının depreme göre stokastik analizlerinde zemin etkisinin dikkate alınması yerdeğiştirme, kuvvet ve moment transfer fonksiyonlarını zeminsiz duruma göre attırmıştır.

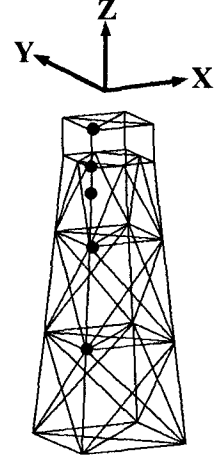
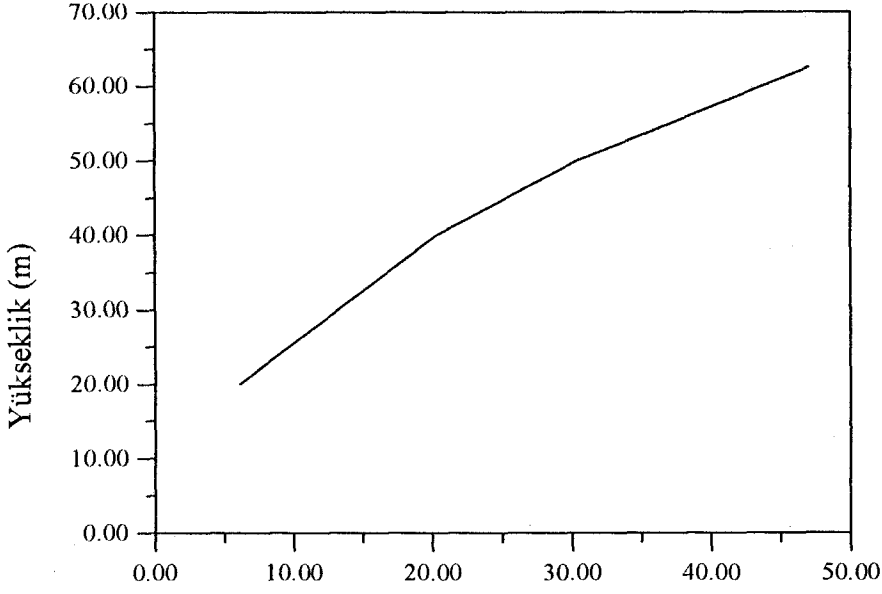
Tablo 8'den, platformun zeminsiz ve zeminli olması durumlarında tepe noktasının Y eksenini boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyon değerinin X ve Z eksenleri boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyon değerlerine göre, X ve Z eksenini etrafındaki dönmelerinin transfer fonksiyon değerlerinin Y eksenini etrafındaki dönme transfer fonksiyon değerine göre çok küçük çıktığı görülmektedir.

Tablo 7. Ceket tipi platformun deprem kuvvetine maruz iken zeminli ve zeminli durumlarda yükseklik boyunca X eksenini doğrultusundaki yerdeğiştirme transfer fonksiyonlarının maksimum değerleri

Yükseklik (m)	Transfer Fonksiyon Maksimum Değerleri	
	Zeminli	Zeminli
20	6.075	20.96
40	20.30	46.84
50	30.38	63.36
55	37.18	73.73
62.5	47.06	88.88

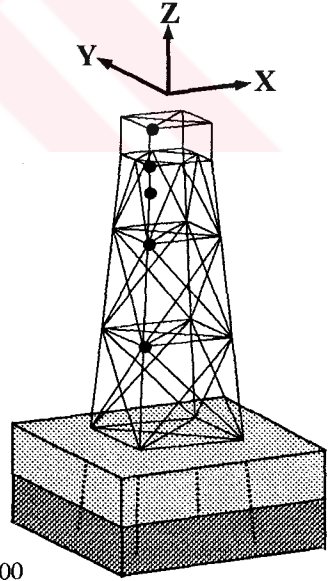
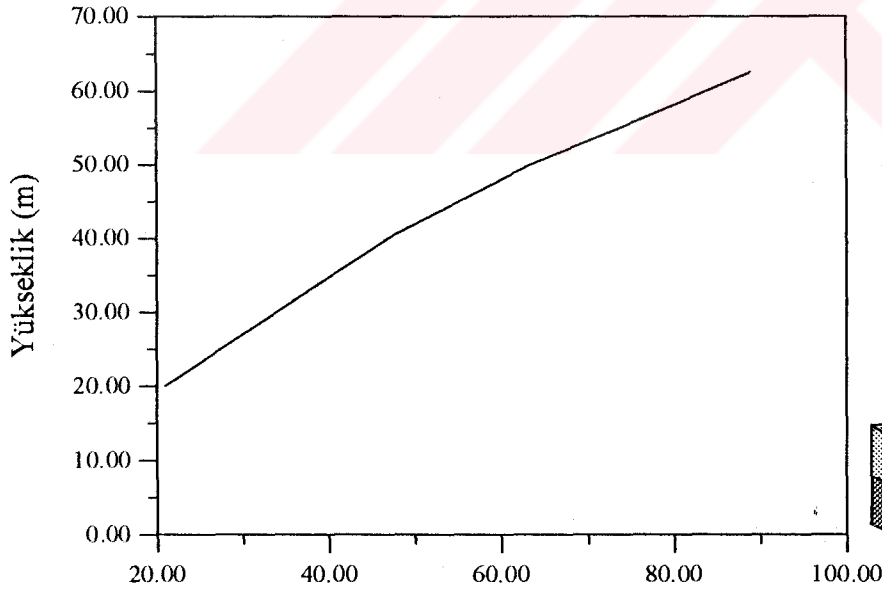
Tablo 8. Ceket tipi platformun deprem kuvvetine maruz iken zeminli ve zeminli durumlarda tepe noktasının transfer fonksiyon maksimum değerleri

	Zeminli	Zeminli
X eksenini boyunca yerdeğiştirme	$0.4706 \cdot 10^{-2}$	$0.8888 \cdot 10^{-2}$
Y eksenini boyunca yerdeğiştirme	$0.5292 \cdot 10^{-4}$	$0.1215 \cdot 10^{-3}$
Z eksenini boyunca yerdeğiştirme	$0.6775 \cdot 10^{-1}$	$0.1159 \cdot 10^{-2}$
X eksenini etrafındaki dönme	$0.7257 \cdot 10^{-6}$	$0.1599 \cdot 10^{-5}$
Y eksenini etrafındaki dönme	0.8468	$0.1453 \cdot 10^{-1}$
Z eksenini etrafındaki dönme	$0.2383 \cdot 10^{-5}$	$0.4618 \cdot 10^{-5}$



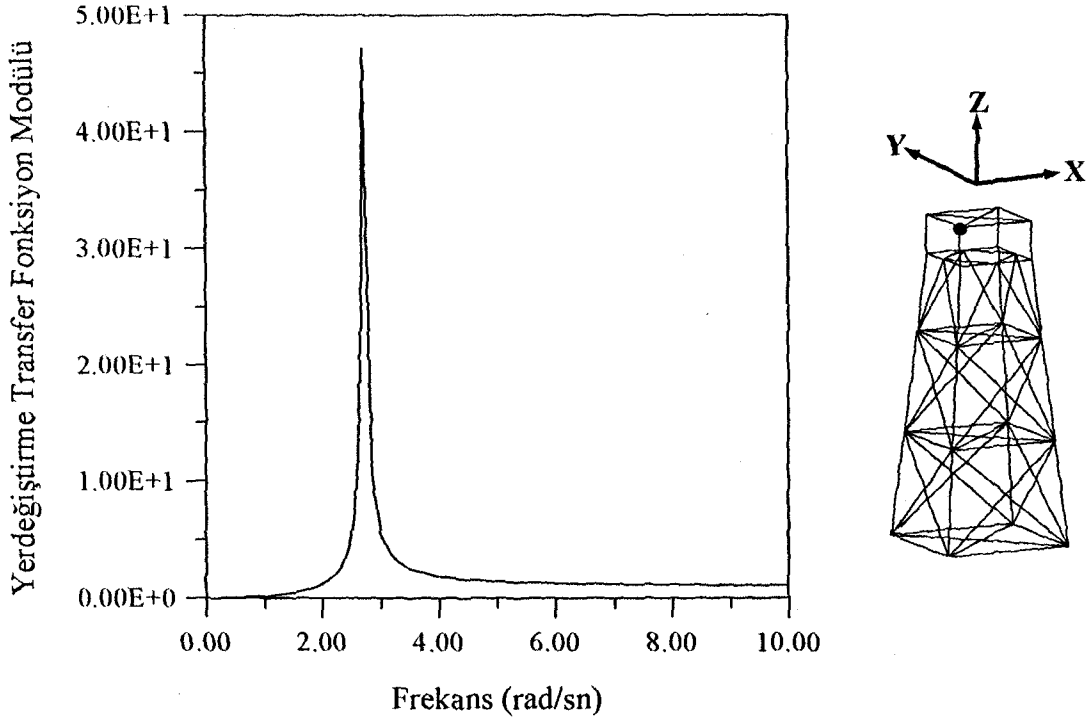
Noktasal Transfer Fonksiyonlarının Maksimum Değerleri

Şekil 22. Platformun zeminsiz olması durumunda, sonlu eleman modelinde seçilen noktalarda X eksenini doğrultusundaki yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun yükseklik boyunca maksimum değerlerinin değişimi

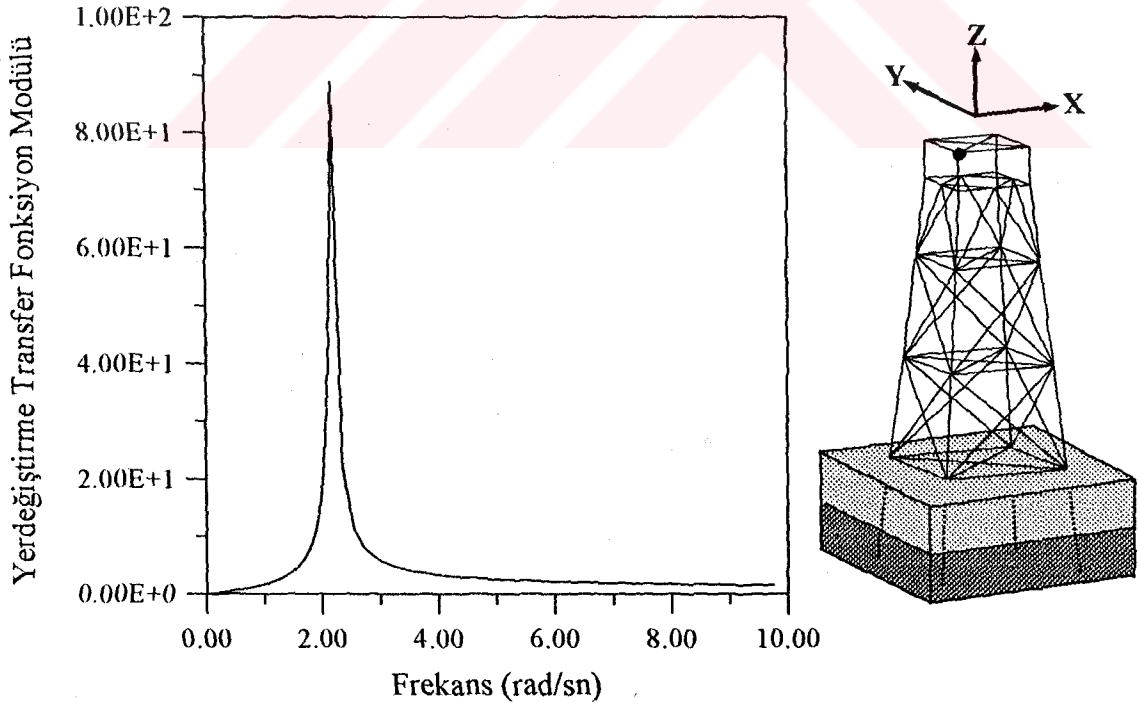


Noktasal Transfer Fonksiyonlarının Maksimum Değerleri

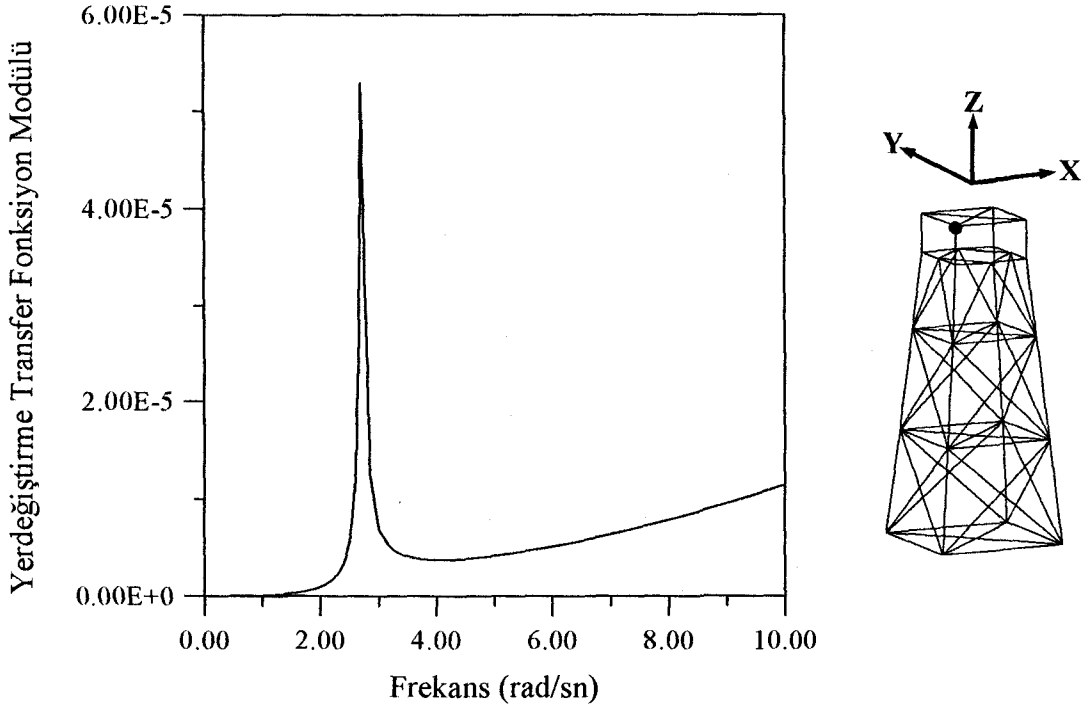
Şekil 23. Platformun zeminli olması durumunda, sonlu eleman modelinde seçilen noktalarda X eksenini doğrultusundaki yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun yükseklik boyunca maksimum değerlerinin değişimi



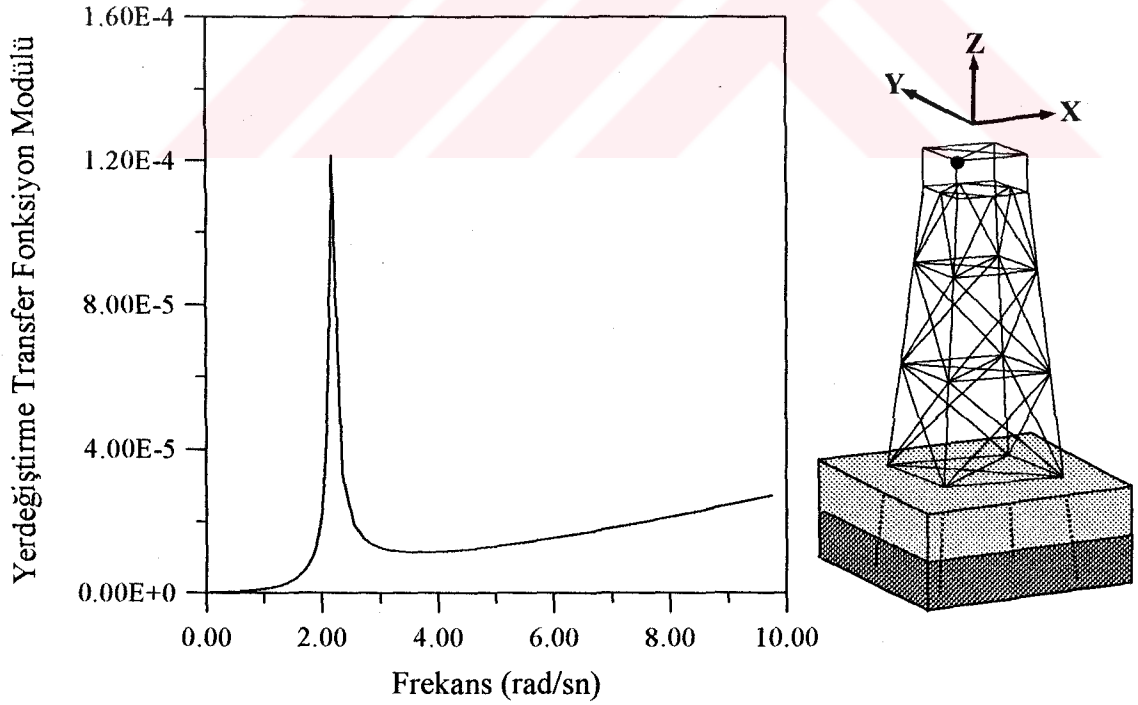
Şekil 24. Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



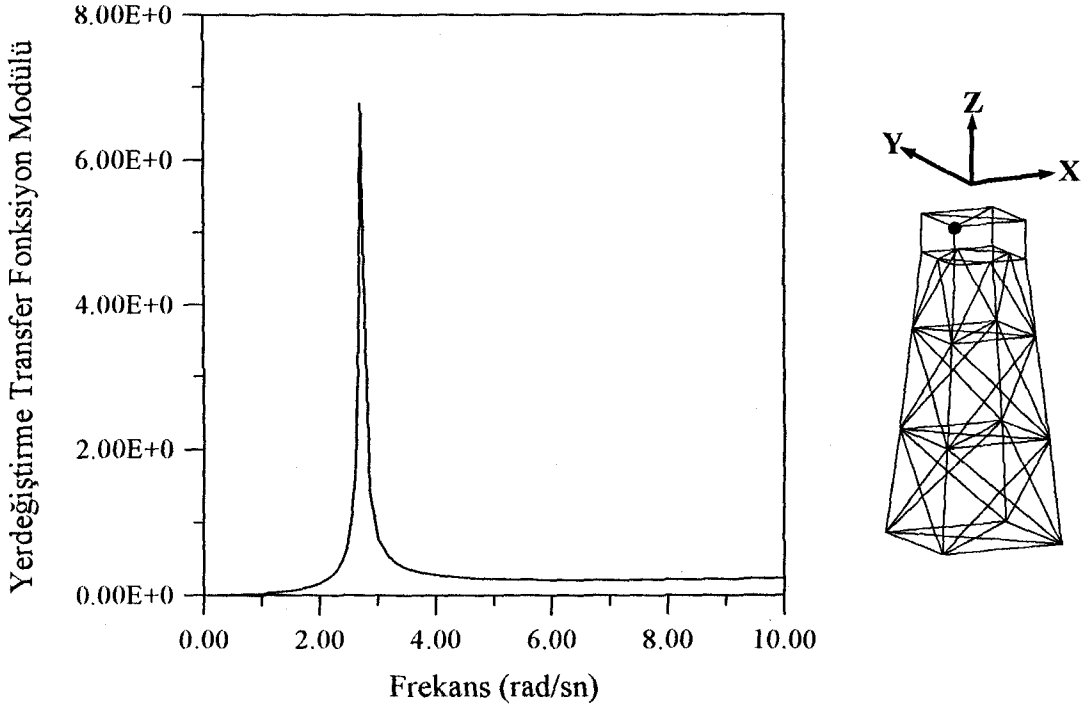
Şekil 25. Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



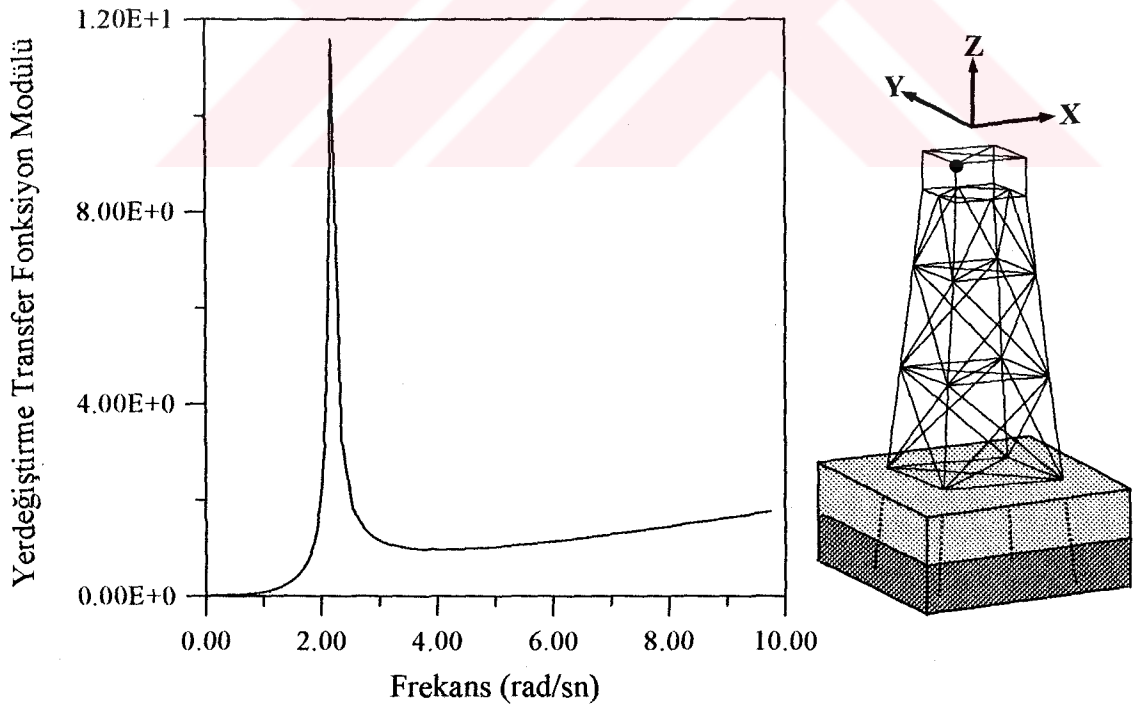
Şekil 26. Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının Y eksenine boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



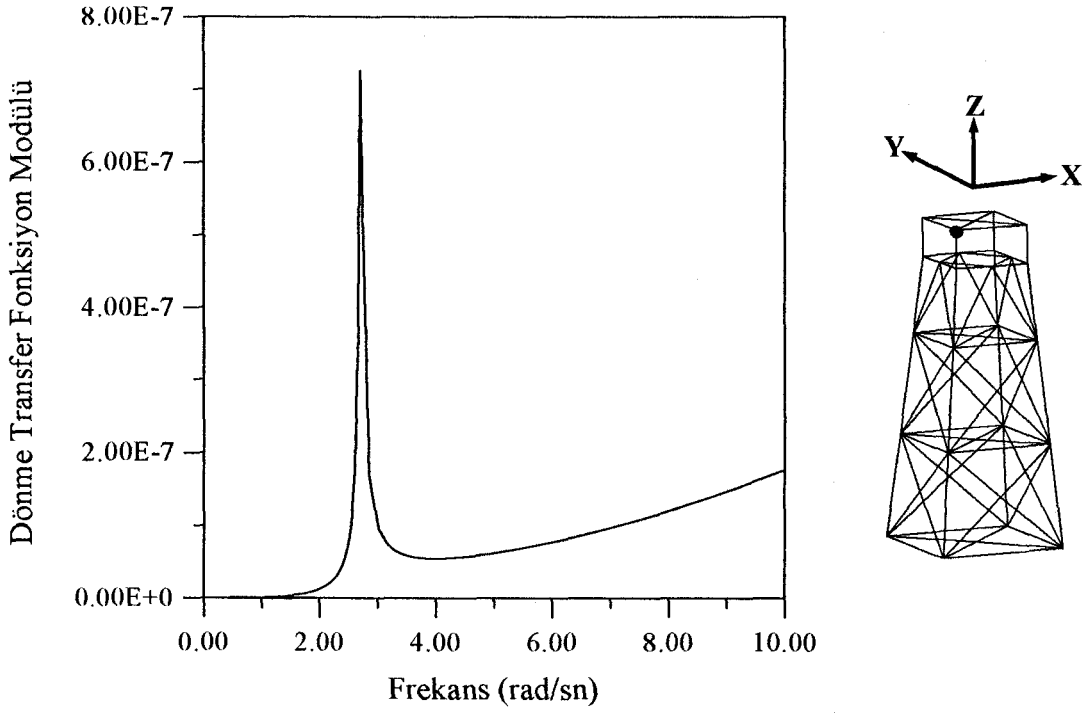
Şekil 27. Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının Y eksenine boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



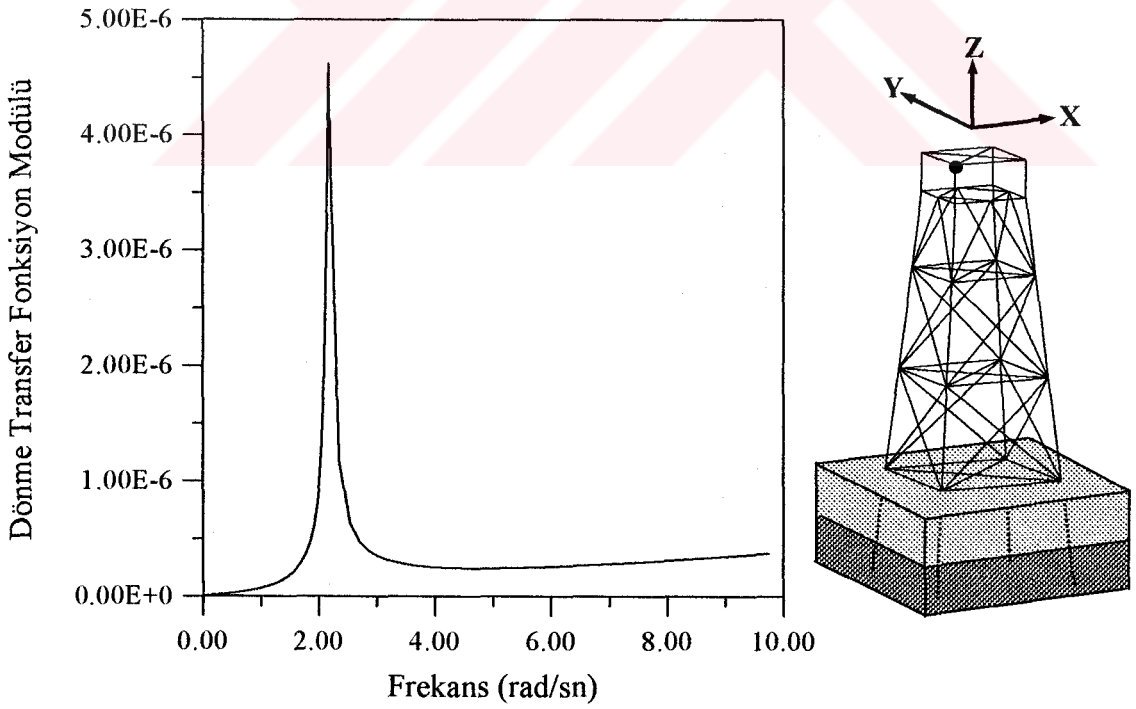
Şekil 28. Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının Z eksenini boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



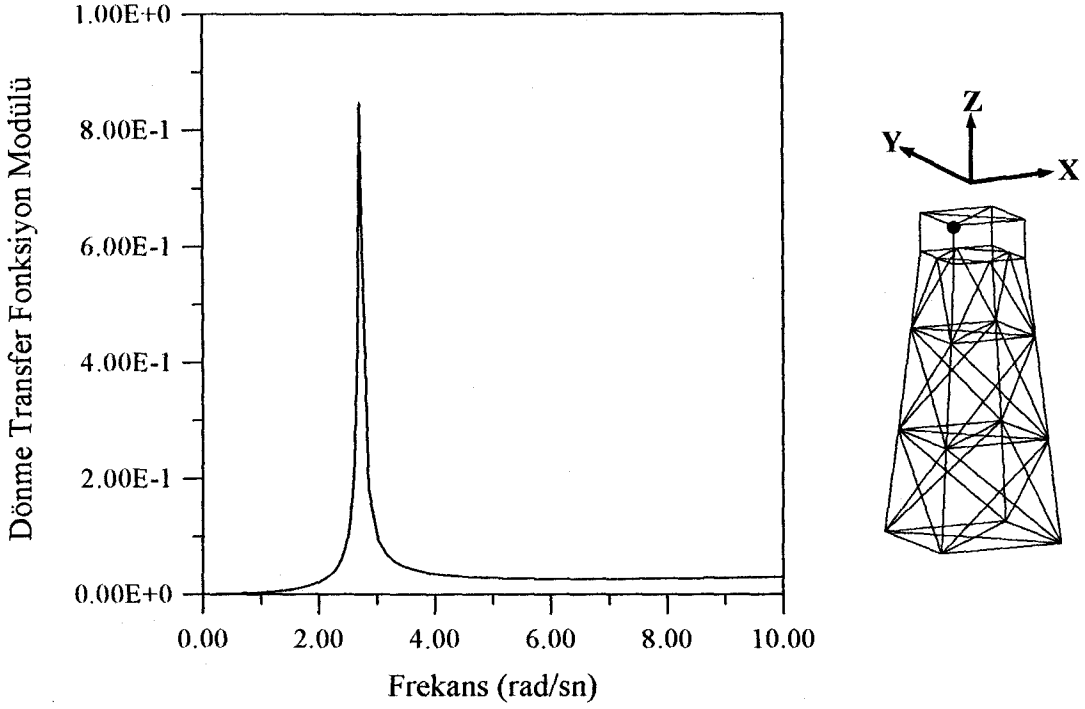
Şekil 29. Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının Z eksenini boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



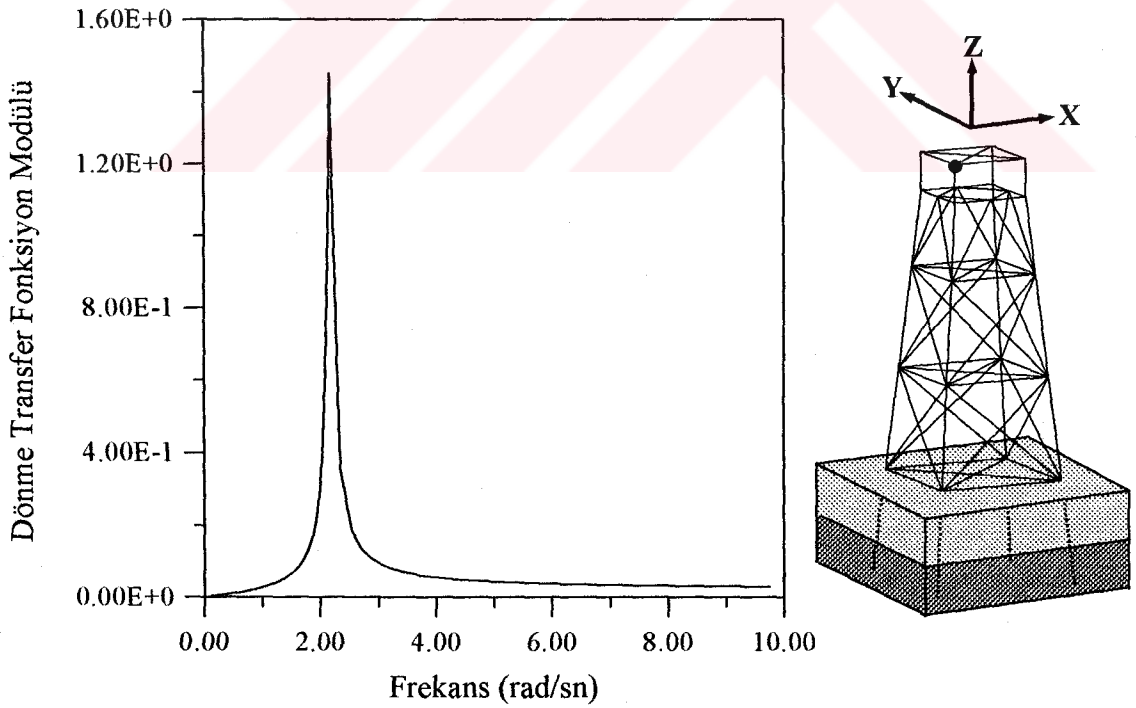
Şekil 30. Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının X eksenini etrafındaki dönme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



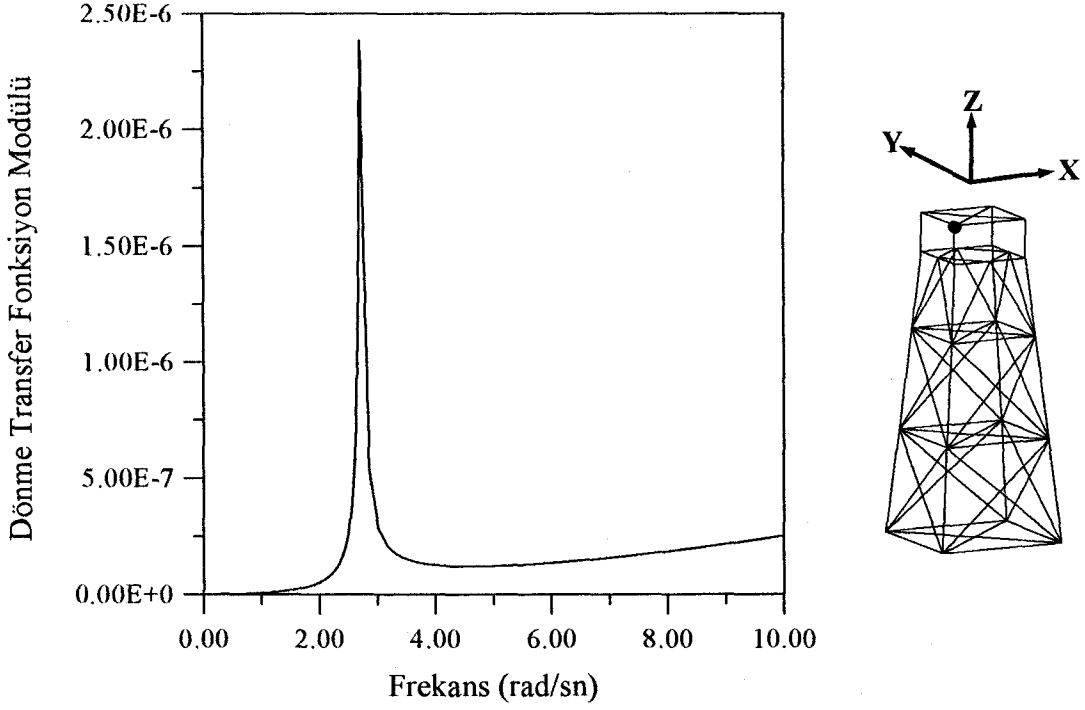
Şekil 31. Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının X eksenini etrafındaki dönme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



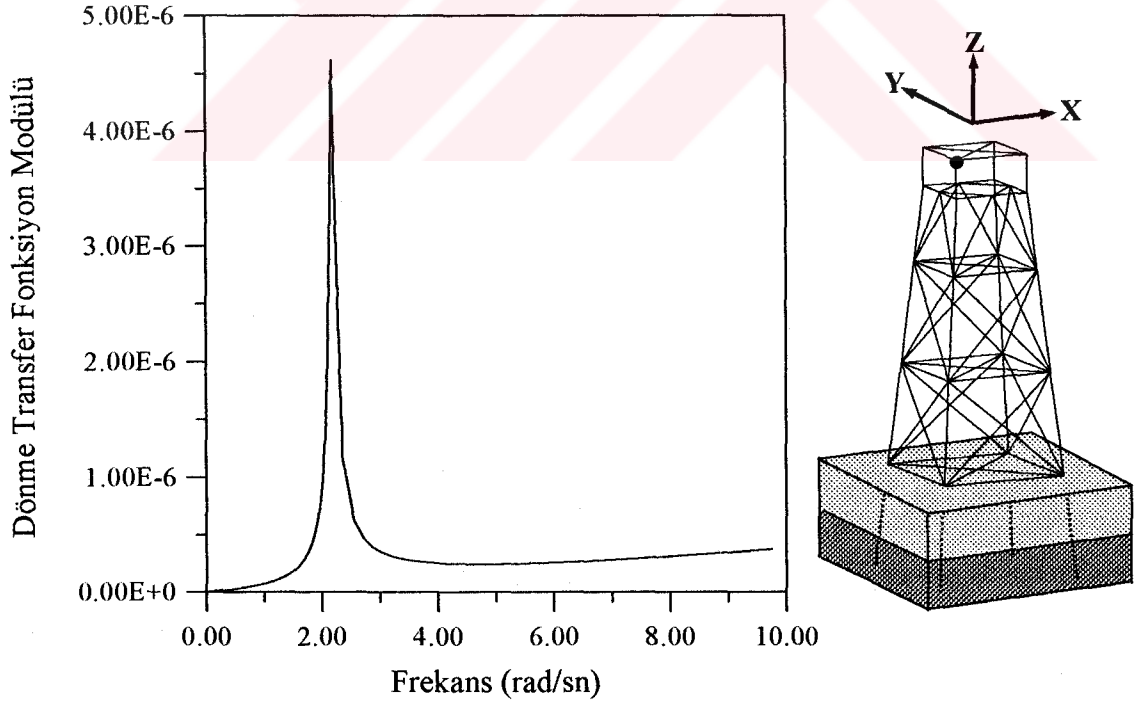
Şekil 32. Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının Y eksenini etrafındaki dönme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



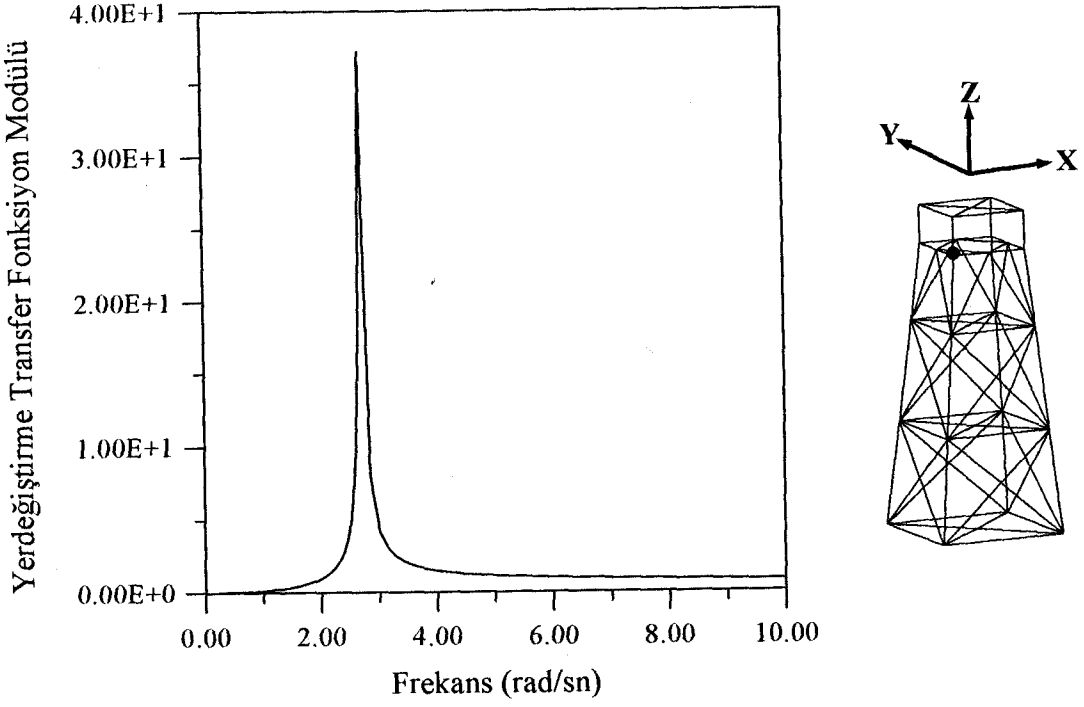
Şekil 33. Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının Y eksenini etrafındaki dönme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



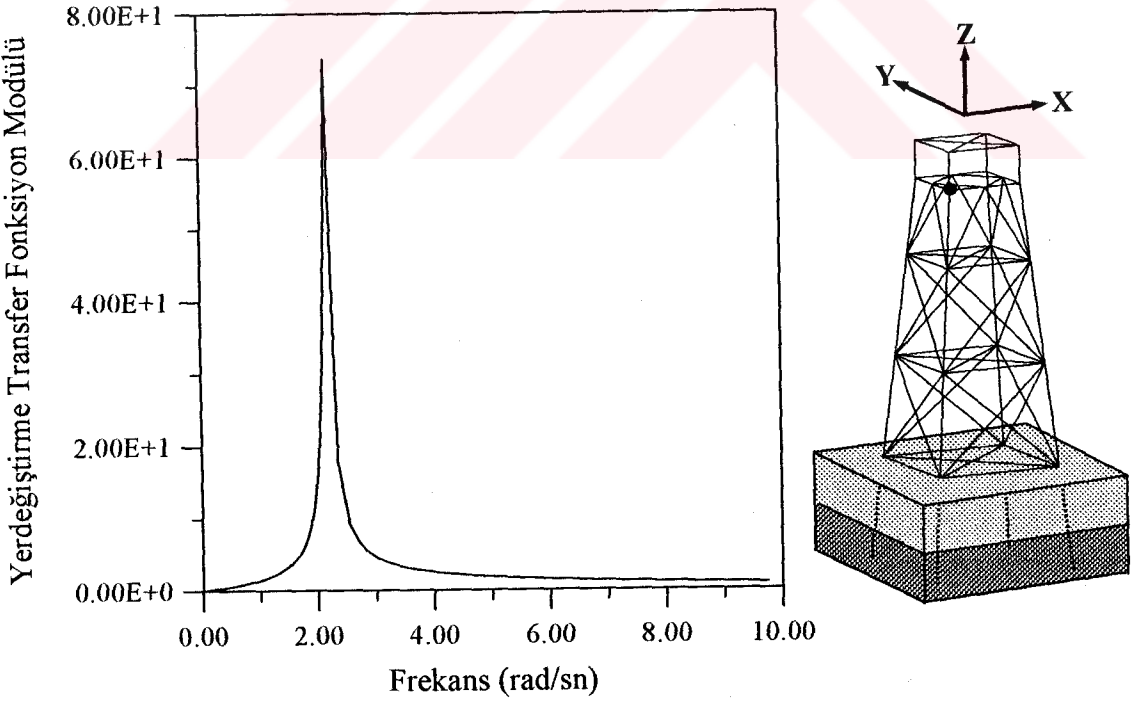
Şekil 34. Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının Z eksenini etrafındaki dönme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



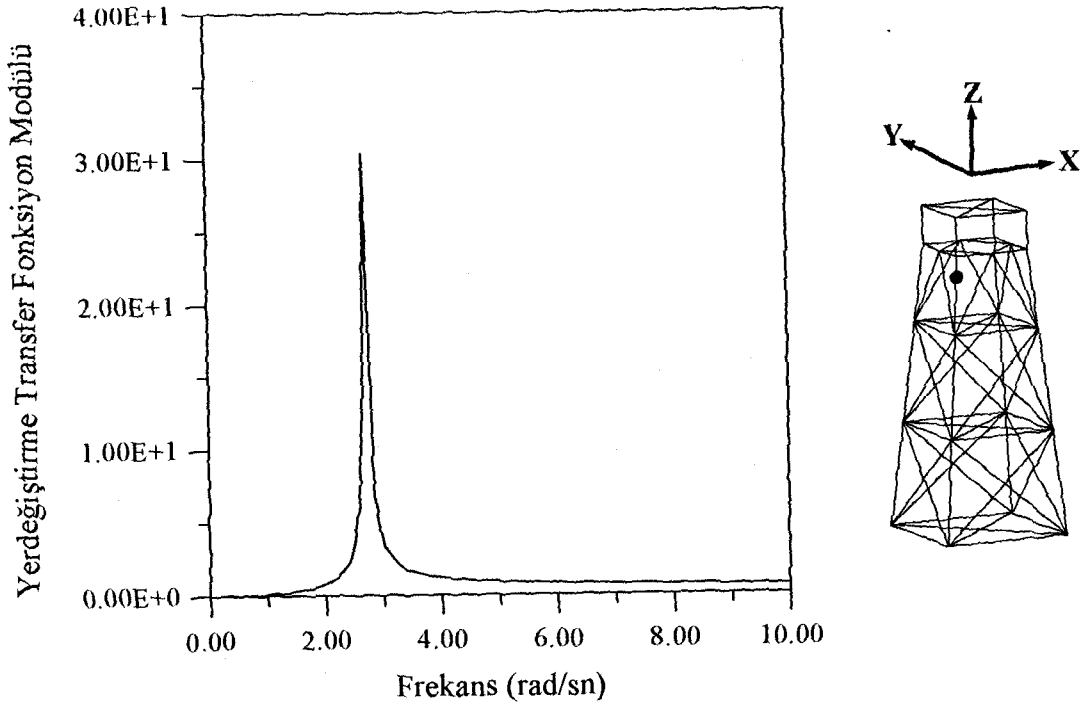
Şekil 35. Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının Z eksenini etrafındaki dönme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



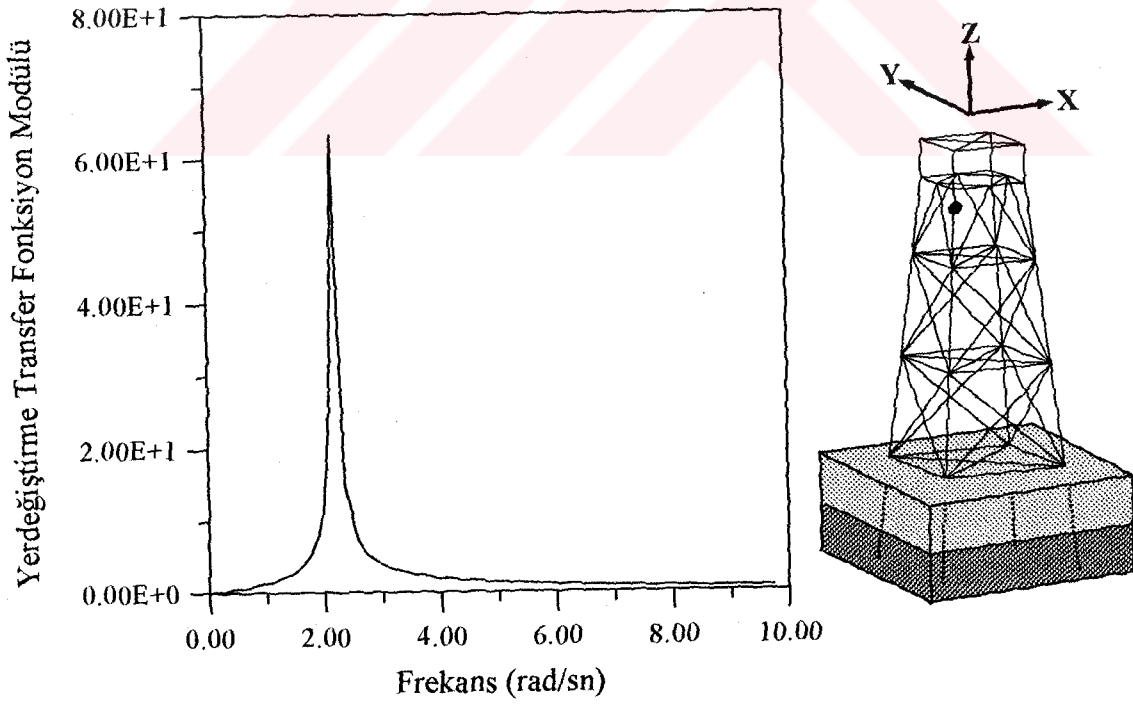
Şekil 36. Platformun zemsiz olması durumunda, 2 nolu düğüm noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



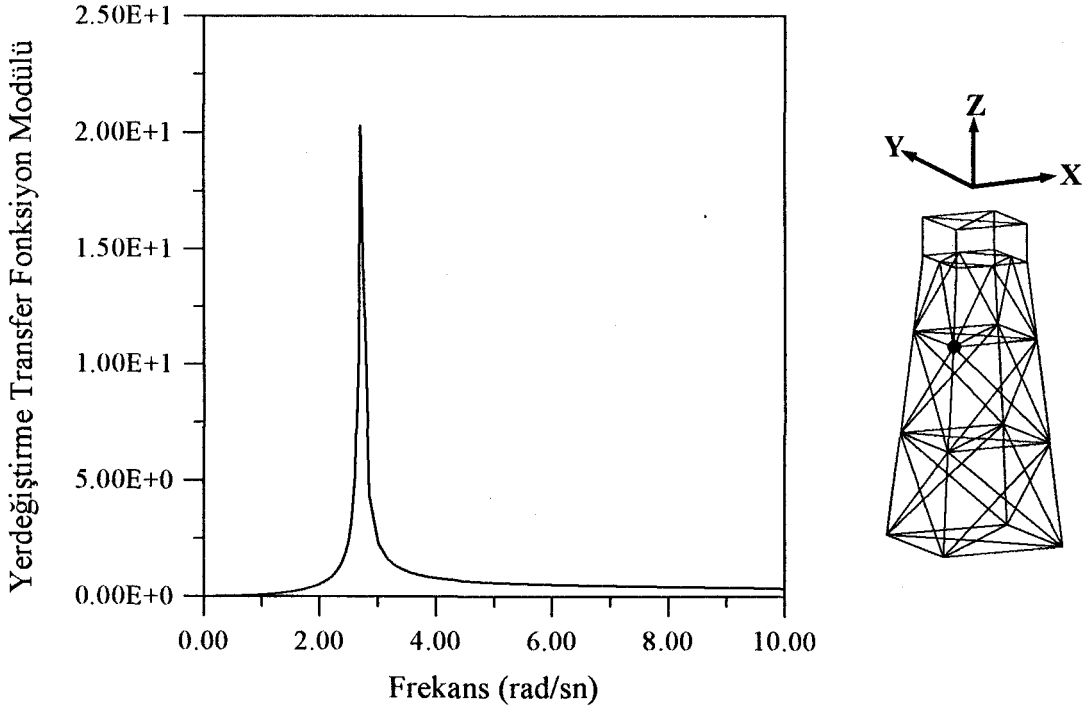
Şekil 37. Platformun zeminli olması durumunda, 2 nolu düğüm noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



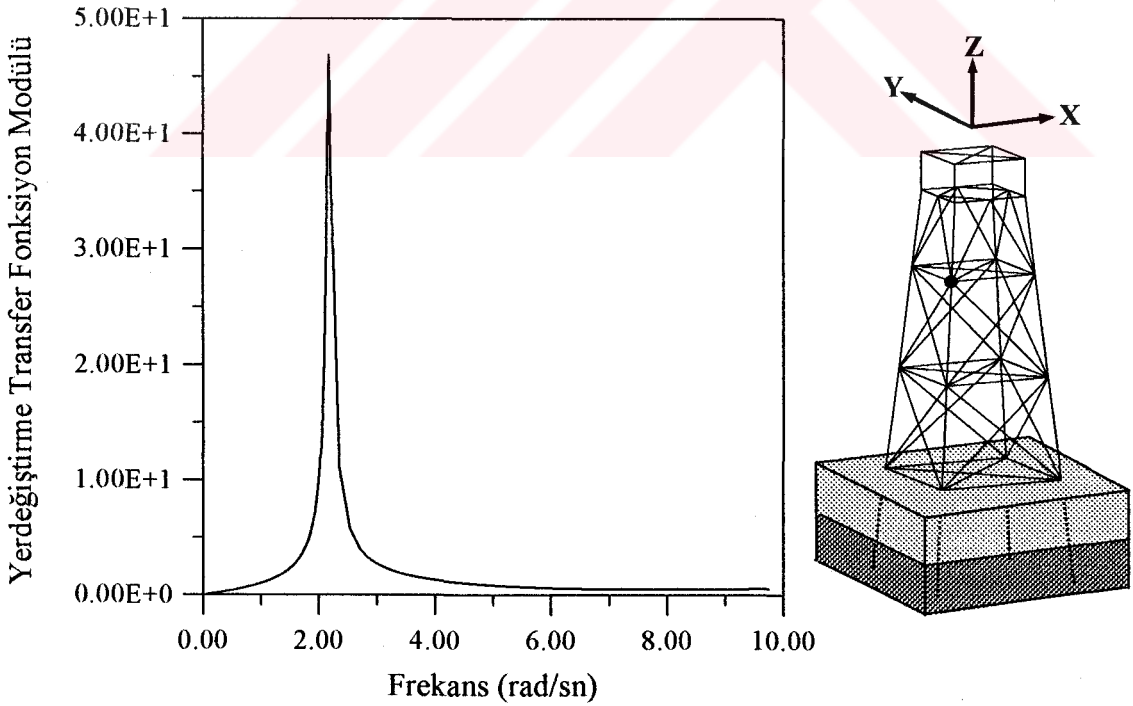
Şekil 38. Platformun zeminsiz olması durumunda, 3 nolu düğüm noktasının X eksenine boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



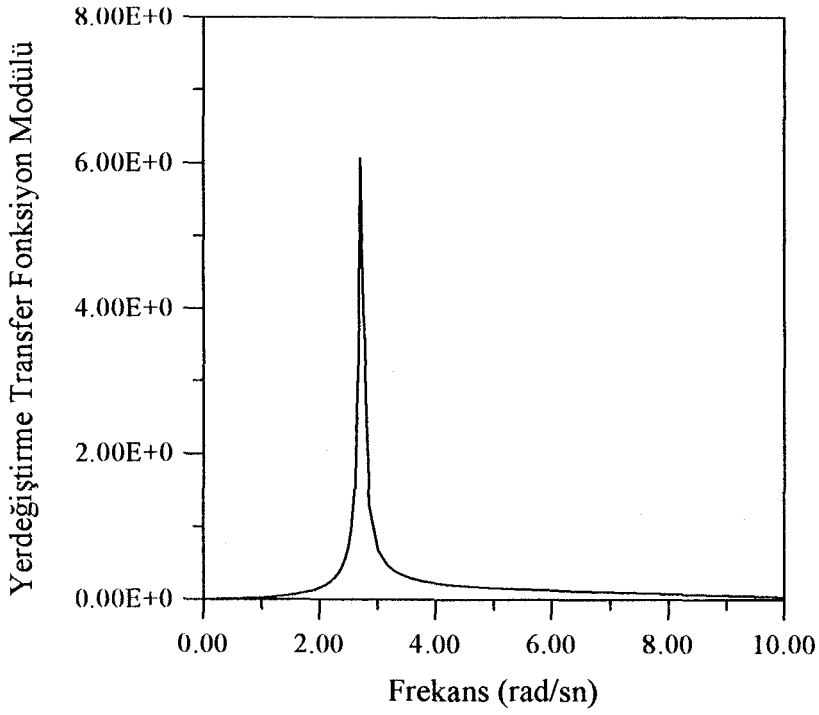
Şekil 39. Platformun zeminli olması durumunda, 3 nolu düğüm noktasının X eksenine boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



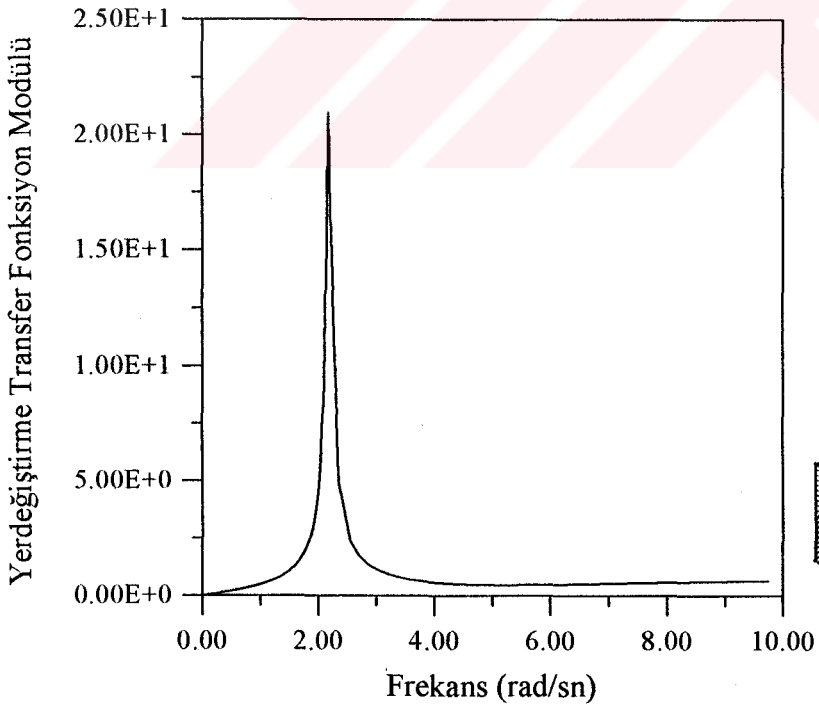
Şekil 40. Platformun zeminsiz olması durumunda, 4 nolu düğüm noktasının X eksenine boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



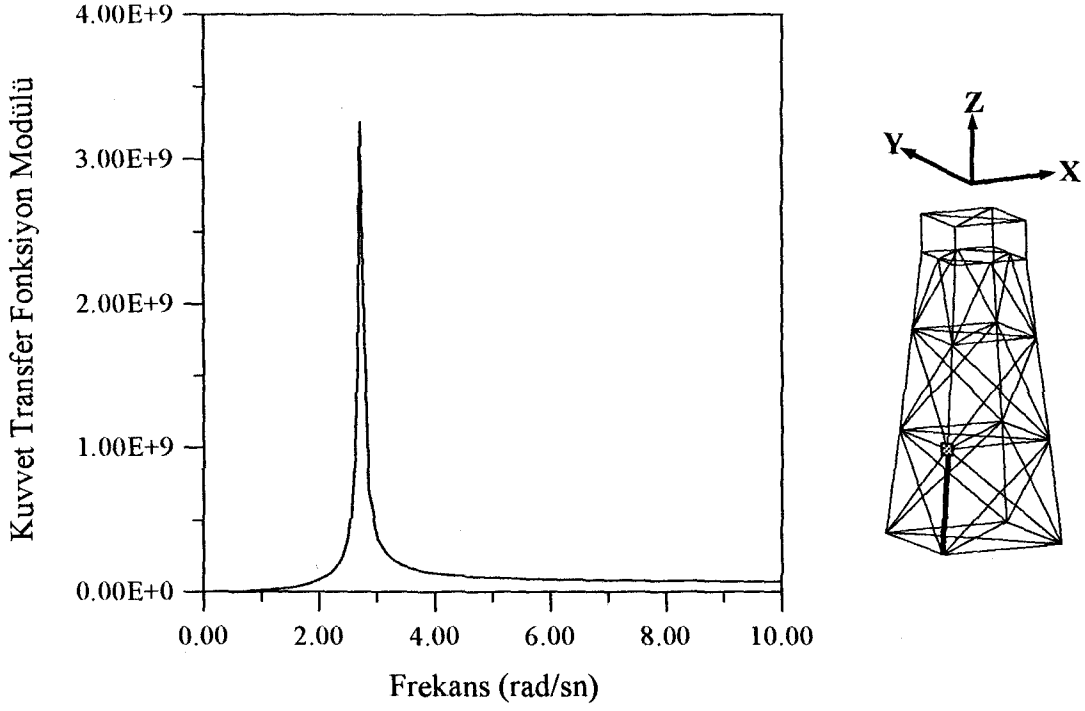
Şekil 41. Platformun zeminli olması durumunda, 4 nolu düğüm noktasının X eksenine boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



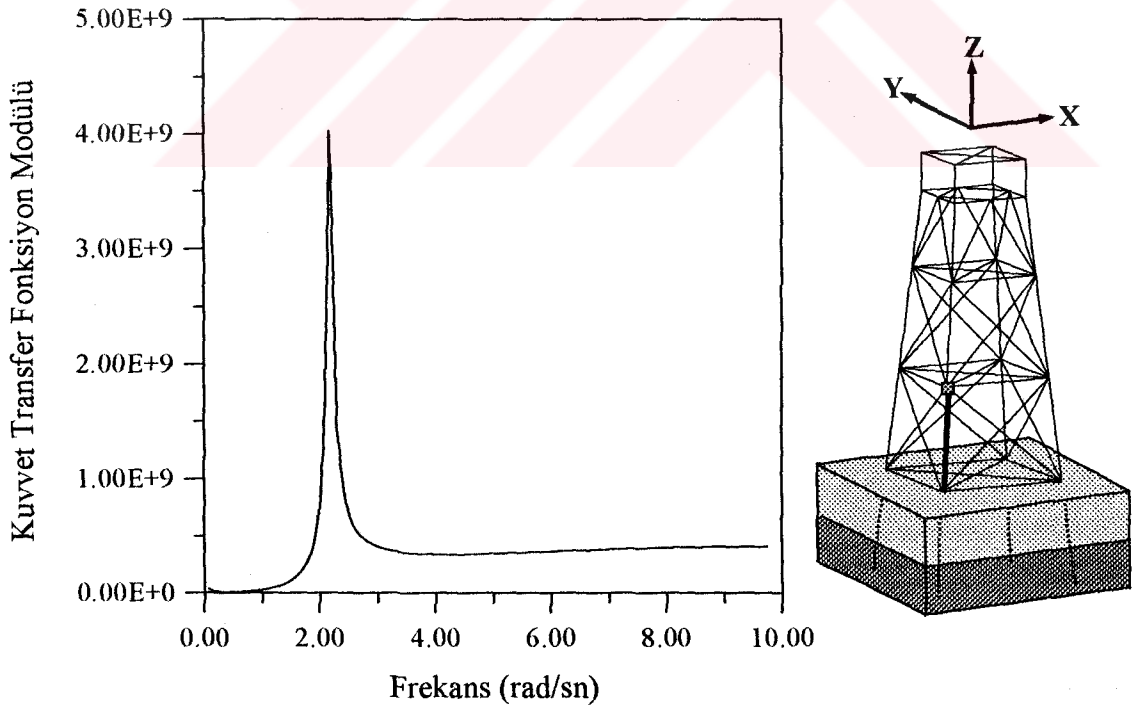
Şekil 42. Platformun zeminsiz olması durumunda, 5 nolu düğüm noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



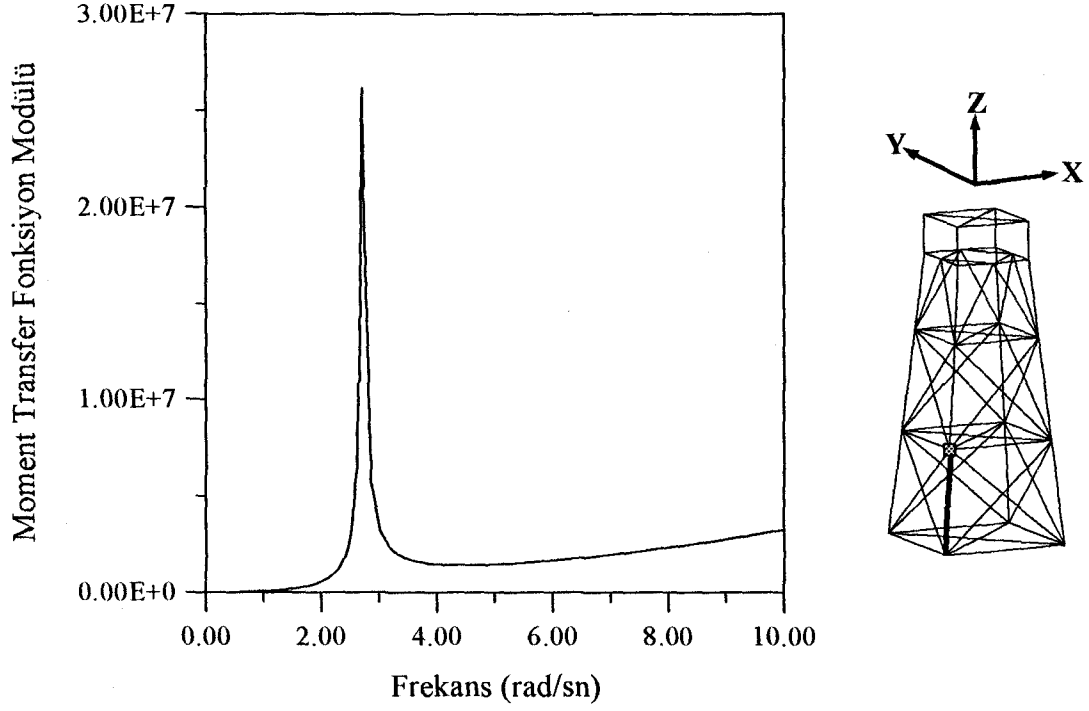
Şekil 43. Platformun zeminli olması durumunda, 5 nolu düğüm noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



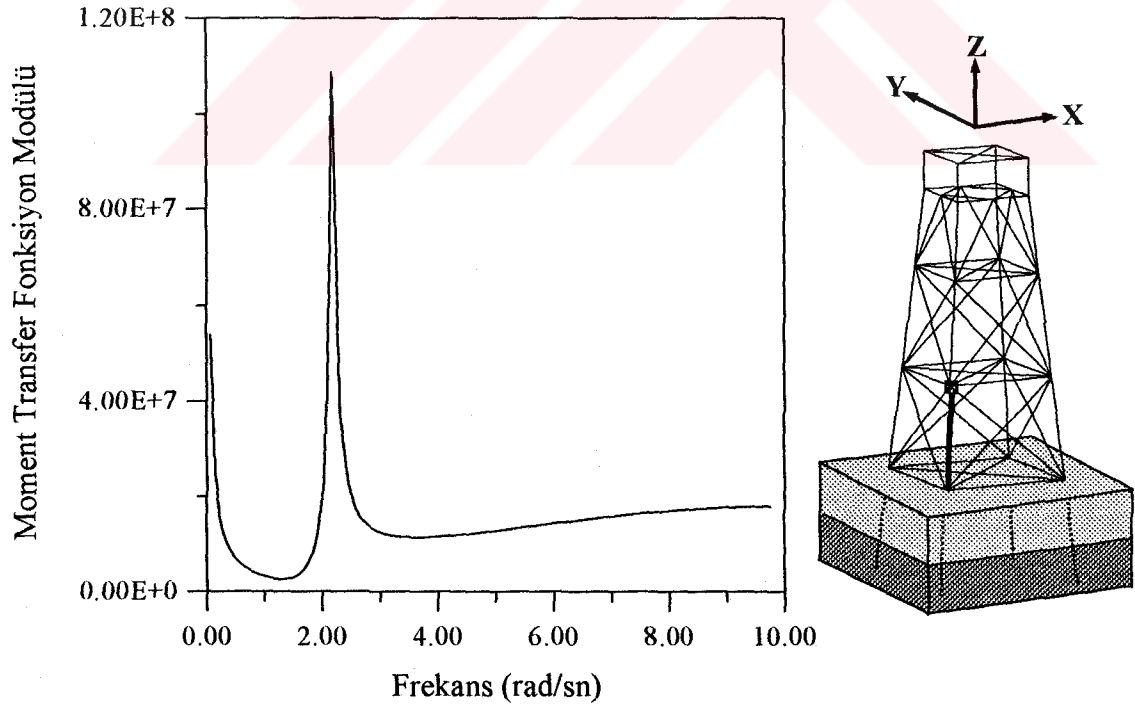
Şekil 44. Platformun zeminsiz olması durumunda, A elemanının 5 nolu düğüm noktasının X yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



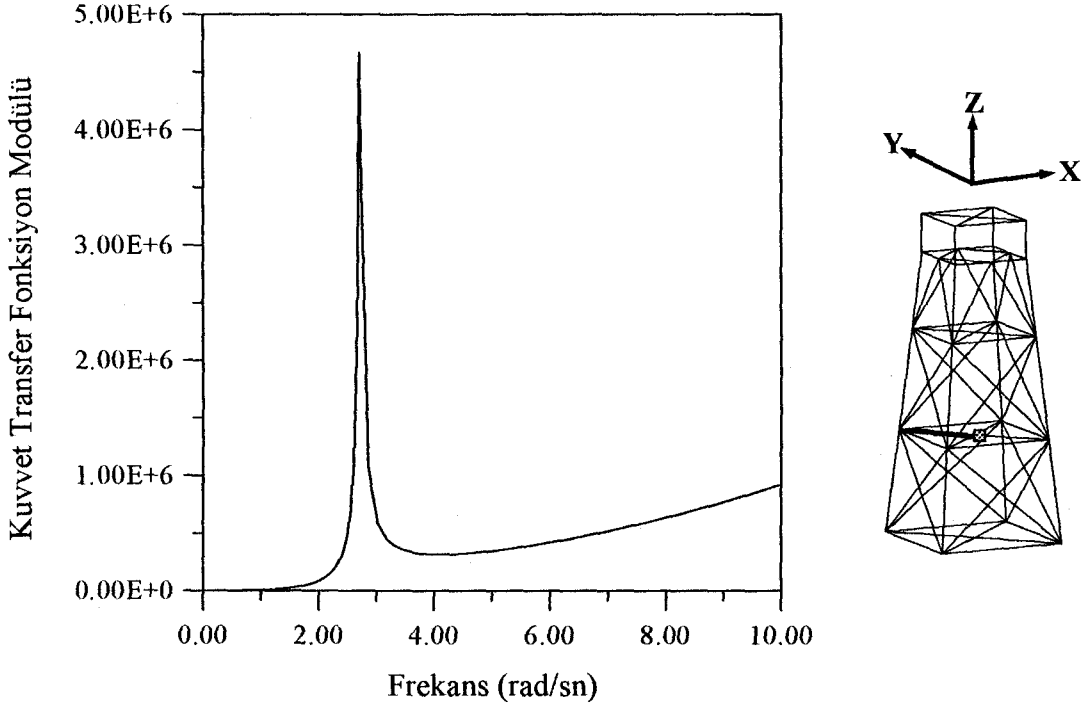
Şekil 45. Platformun zeminli olması durumunda, A elemanının 5 nolu düğüm noktasının X yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



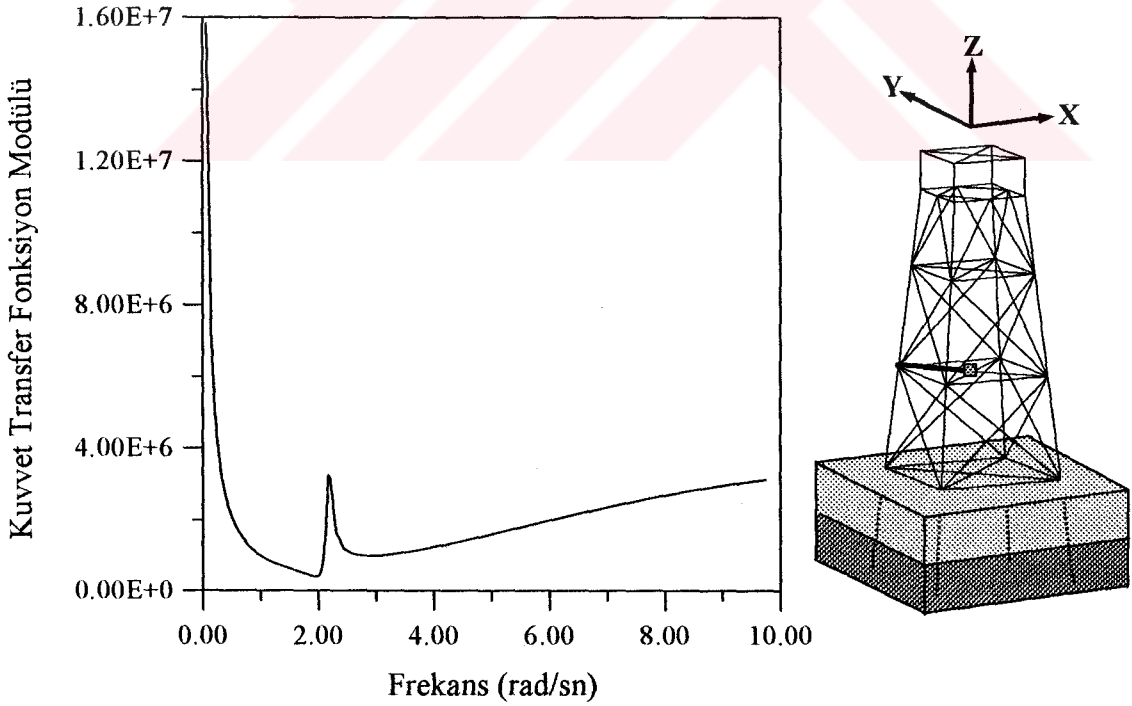
Şekil 46. Platformun zeminsiz olması durumunda, A elemanının 5 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



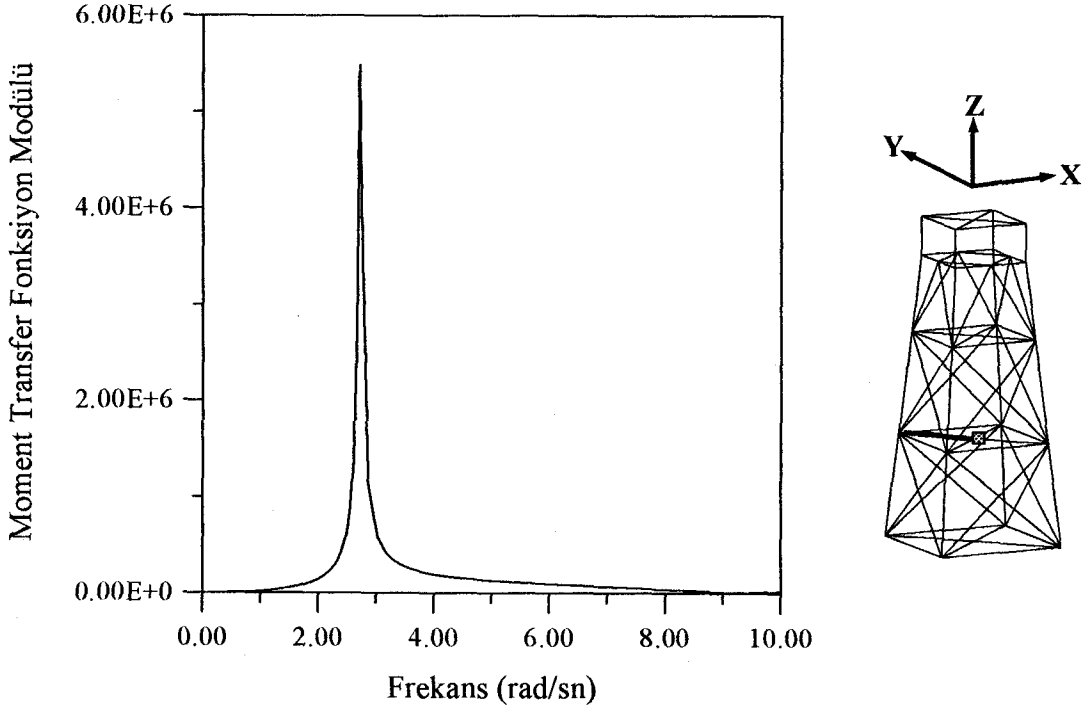
Şekil 47. Platformun zeminli olması durumunda, A elemanının 5 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



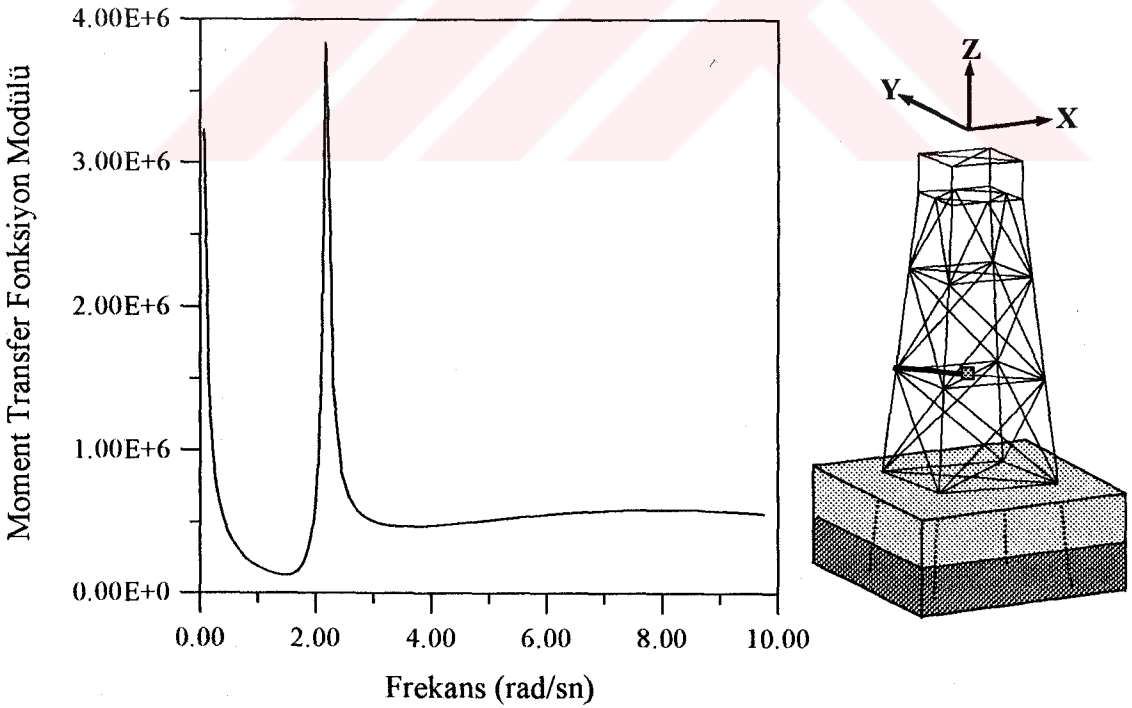
Şekil 48. Platformun zeminsiz olması durumunda, B elemanının 6 nolu düğüm noktasının X yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



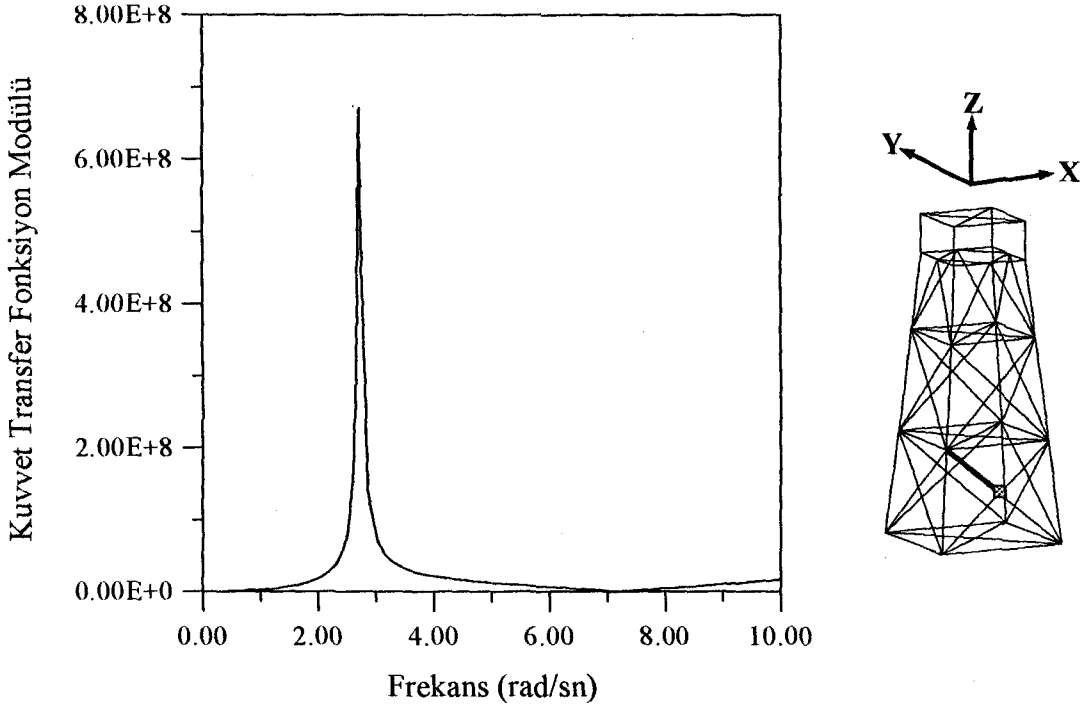
Şekil 49. Platformun zeminli olması durumunda, B elemanının 6 nolu düğüm noktasının X yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



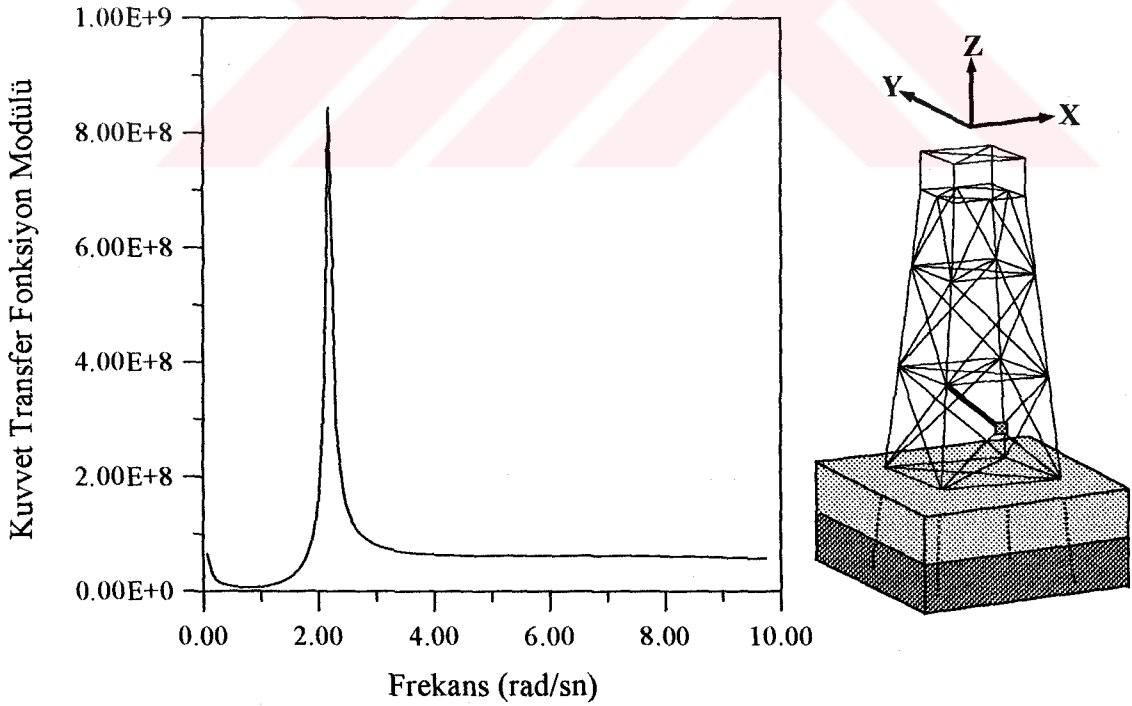
Şekil 50. Platformun zeminsiz olması durumunda, B elemanının 6 nolu düğüm noktasının Y eksenine etrafındaki moment transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



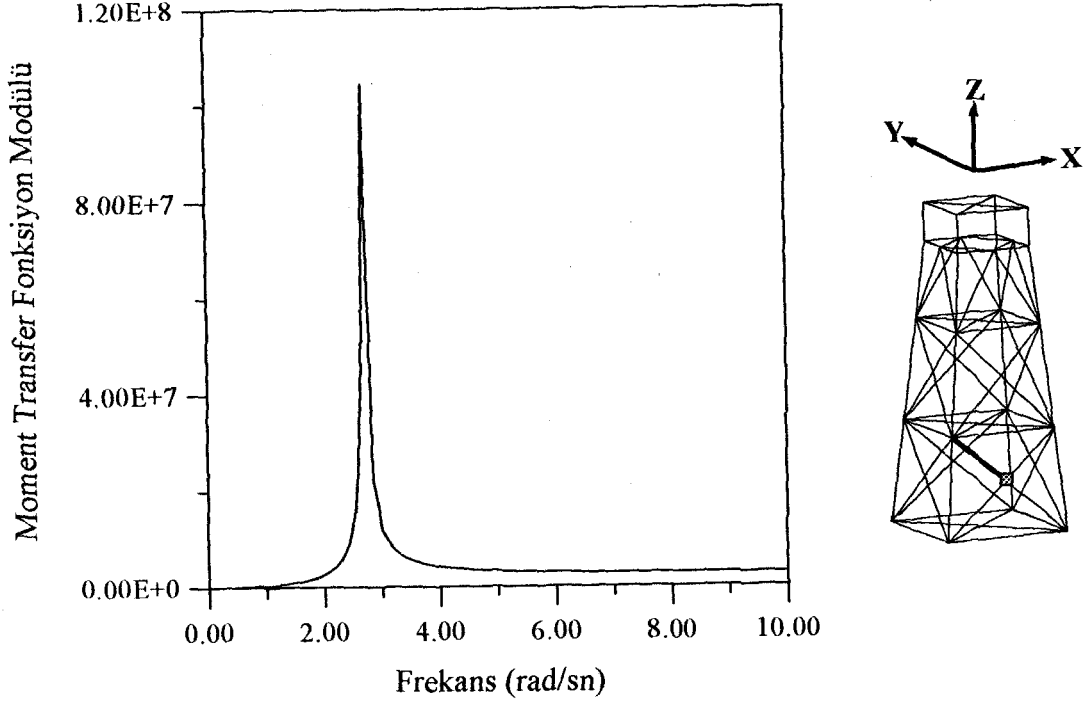
Şekil 51. Platformun zeminli olması durumunda, B elemanının 6 nolu düğüm noktasının Y eksenine etrafındaki moment transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



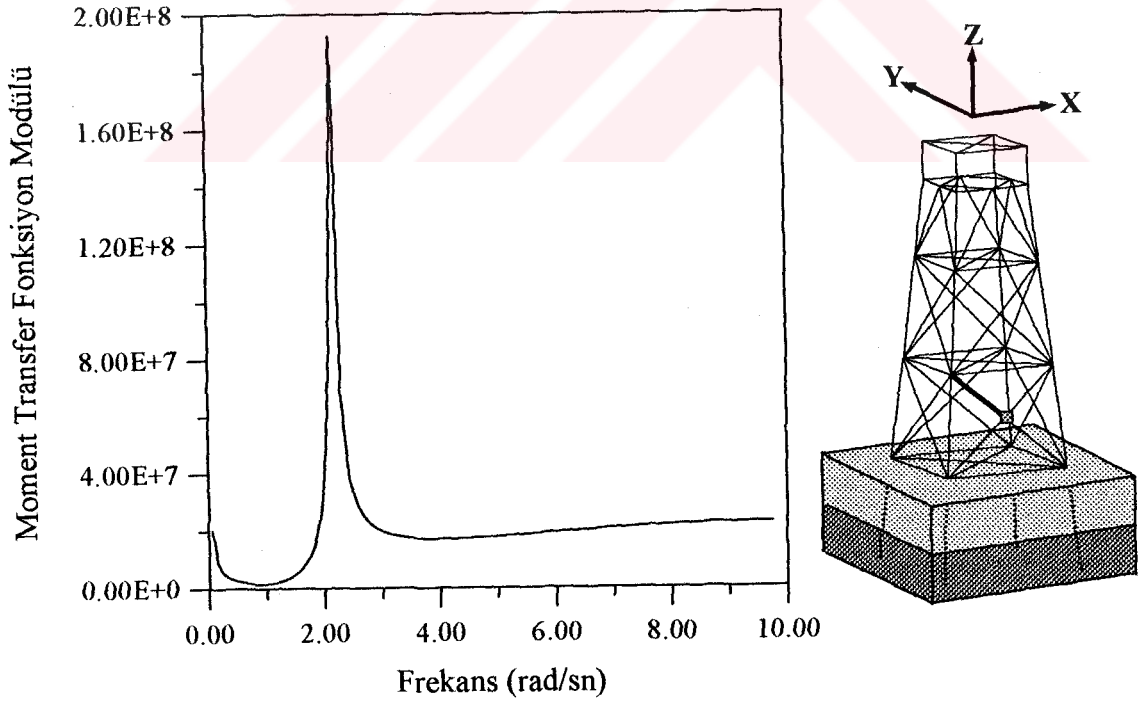
Şekil 52. Platformun zeminsiz olması durumunda, C elemanının 7 nolu düğüm noktasının X yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



Şekil 53. Platformun zeminli olması durumunda, C elemanının 7 nolu düğüm noktasının X yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



Şekil 54. Platformun zeminiz olması durumunda, C elemanın 7 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment transfer fonksiyonunun frekansla değişimi



Şekil 55. Platformun zeminli olması durumunda, C elemanın 7 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment transfer fonksiyonunun frekansla değişimi

3.2.2. Spektrum Değerlerinin Karşılaştırılması

Ceket tipi platformun zeminsiz ve zeminli olması durumlarında yatay yerdeğiştirmelerin maksimum spektral değerlerinin yükseklik boyunca değişimi Şekil 56 ve Şekil 57'de verilmektedir. Ayrıca Tablo 9'da platformun yatay yerdeğiştirmelerinin maksimum spektral değerlerinin yükseklik boyunca elde edilen değerleri sunulmaktadır. Platformun zeminsiz ve zeminli olması durumunda spektrumun maksimum değerlerinin yükseklikle arttığı gözlenmektedir.

Platformun zeminsiz ve zeminli olarak ele alınması durumlarında seçilen 1 nolu düğüm noktasının her üç yöndeki yerdeğiştirmelerinin ve dönmelerinin spektrum değerleri grafikler halinde Şekil 58-69'da ve diğer seçilen noktaların yerdeğiştirme spektrum değerlerinin grafikleri Şekil 70-77'de verilmektedir. Bunlara ek olarak, platformun Şekil 17'de gösterilen düğüm noktalarındaki yatay yerdeğiştirmelerinin ve A, B, C elemanlarının uçlarındaki X yönündeki kuvvet ve Y eksenini etrafındaki momentlerin spektrum değerleri Şekil 78-89'da gösterilmektedir.

Transfer fonksiyon değerlerinin karşılaştırılmasındaki gibi spektral değerlerde de platformun zeminli olması durumunda elde edilen sonuçlar zeminsiz olması durumundaki sonuçlardan daha büyük çıkmaktadır.

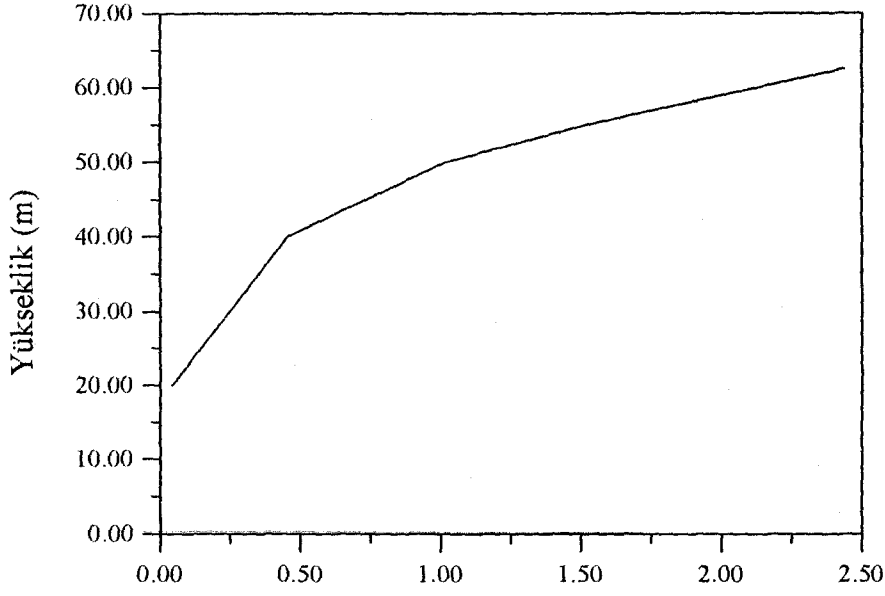
Tepe noktasının X ve Z yönündeki yerdeğiştirmeleri Y yönündeki yerdeğiştirmesine göre, Y eksenini etrafındaki dönme X ve Z eksenini etrafındaki dönmelere göre çok büyük çıkmaktadır. Bunların sayısal değerleri Tablo 10'da verilmektedir.

Tablo 9. Ceket tipi platformun deprem kuvvetine maruz iken zeminli ve zeminli durumlarda yükseklik boyunca X eksenini doğrultusundaki yerdeğiştirme spektrum maksimum değerleri

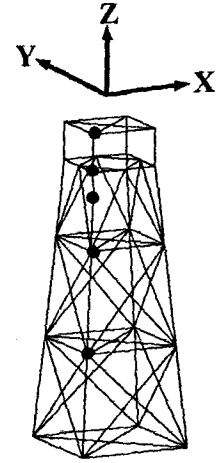
Yükseklik (m)	Spektrum Maksimum Değerleri	
	Zeminsiz	Zeminli
20	0.04065	1.086
40	0.4537	5.427
50	1.016	9.928
55	1.523	13.44
62.5	2.439	19.54

Tablo 10. Ceket tipi platformun deprem kuvvetine maruz iken zeminli ve zeminli durumlarda tepe noktasının spektrum maksimum değerleri

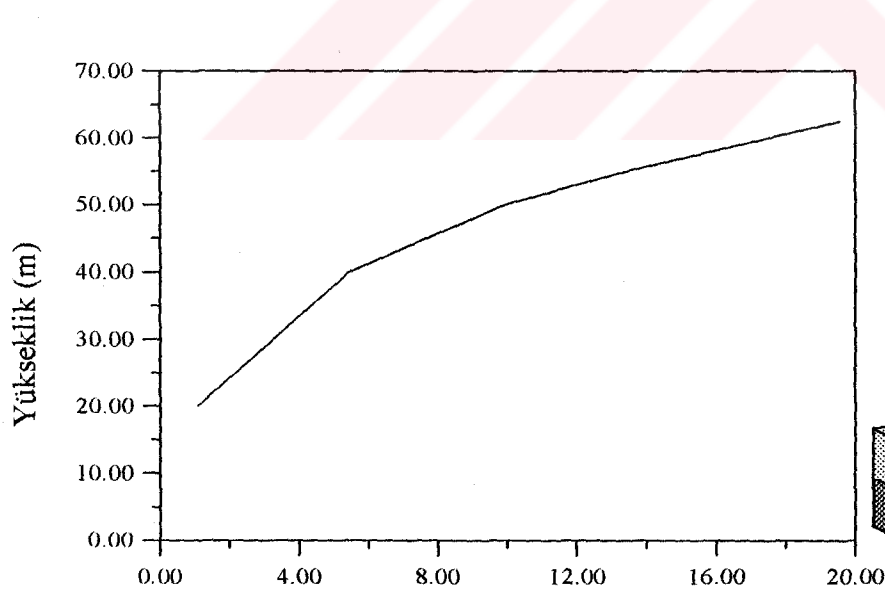
	Zeminsiz	Zeminli
X eksenini boyunca yerdeğiştirme	$0.2439 \cdot 10^1$	$0.1954 \cdot 10^2$
Y eksenini boyunca yerdeğiştirme	$0.3085 \cdot 10^{-11}$	$0.3650 \cdot 10^{-10}$
Z eksenini boyunca yerdeğiştirme	0.0506	0.3322
X eksenini etrafındaki dönme	$0.5800 \cdot 10^{-15}$	$0.6321 \cdot 10^{-14}$
Y eksenini etrafındaki dönme	$0.7898 \cdot 10^{-3}$	$0.5222 \cdot 10^{-2}$
Z eksenini etrafındaki dönme	$0.6252 \cdot 10^{-15}$	$0.5274 \cdot 10^{-13}$



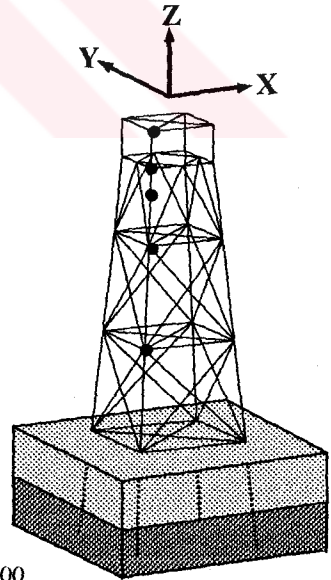
Noktasal Spektrum Maksimum Değerleri



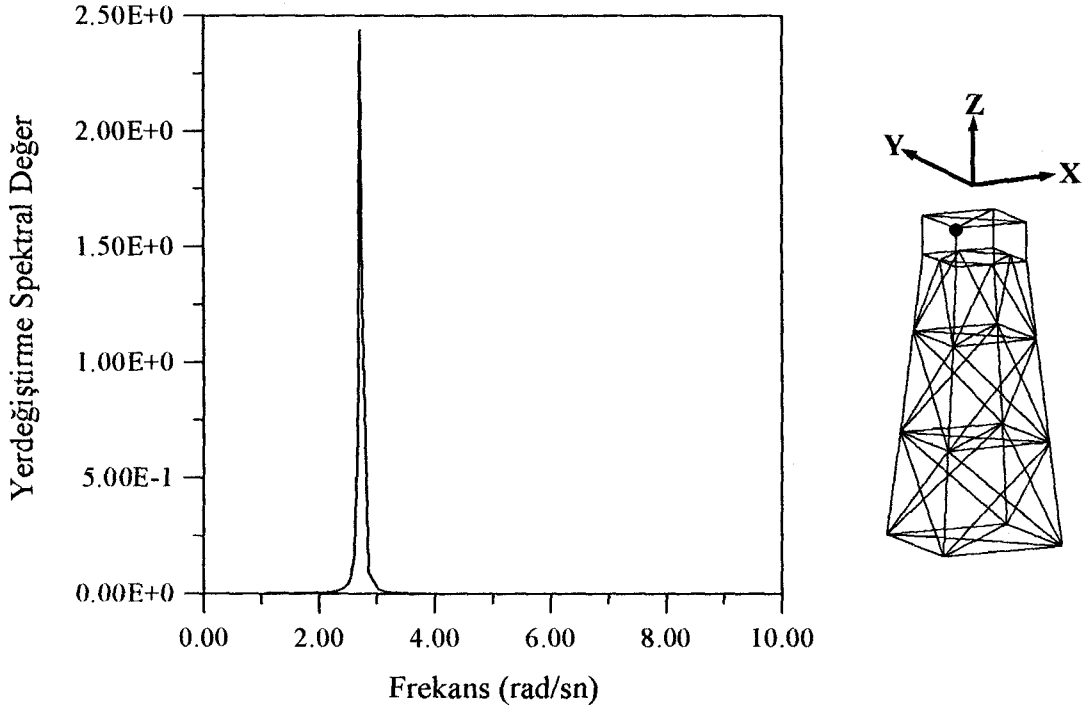
Şekil 56. Platformun zeminsiz olması durumunda, sonlu eleman modelinde seçilen noktalarda X eksenini doğrultusundaki yerdeğiştirme spektrumunun yükseklik boyunca maksimum değerlerinin değişimi



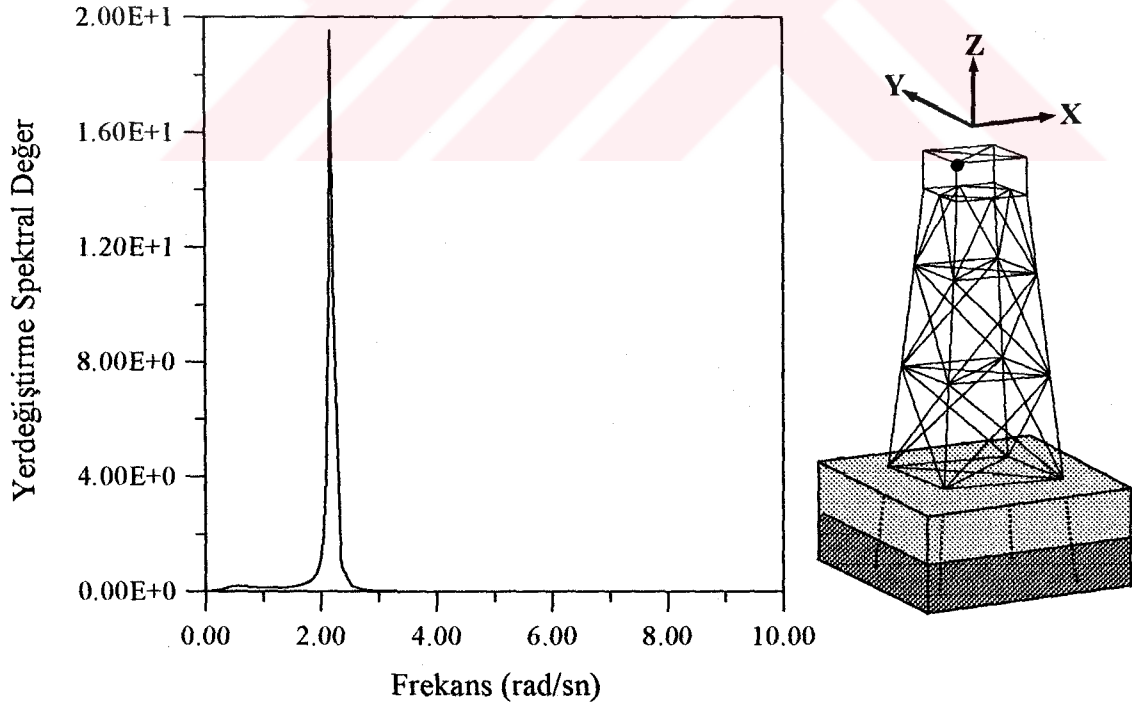
Noktasal Spektrum Maksimum Değerleri



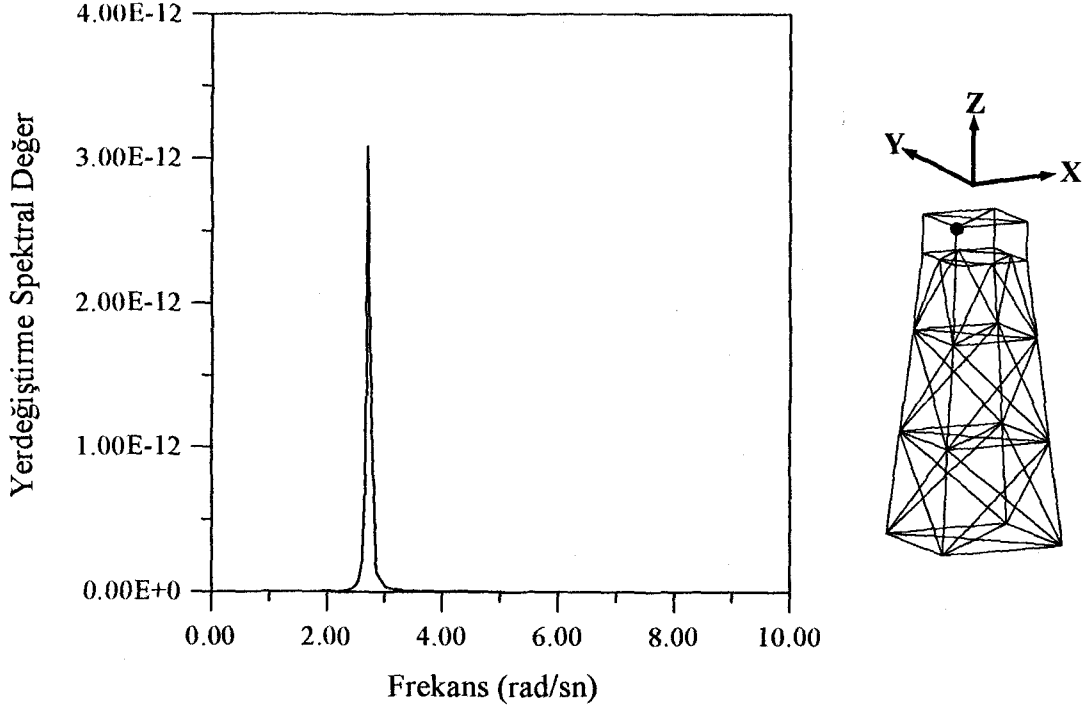
Şekil 57. Platformun zeminli olması durumunda, sonlu eleman modelinde seçilen noktalarda X eksenini doğrultusundaki yerdeğiştirme spektrumunun yükseklik boyunca maksimum değerlerinin değişimi



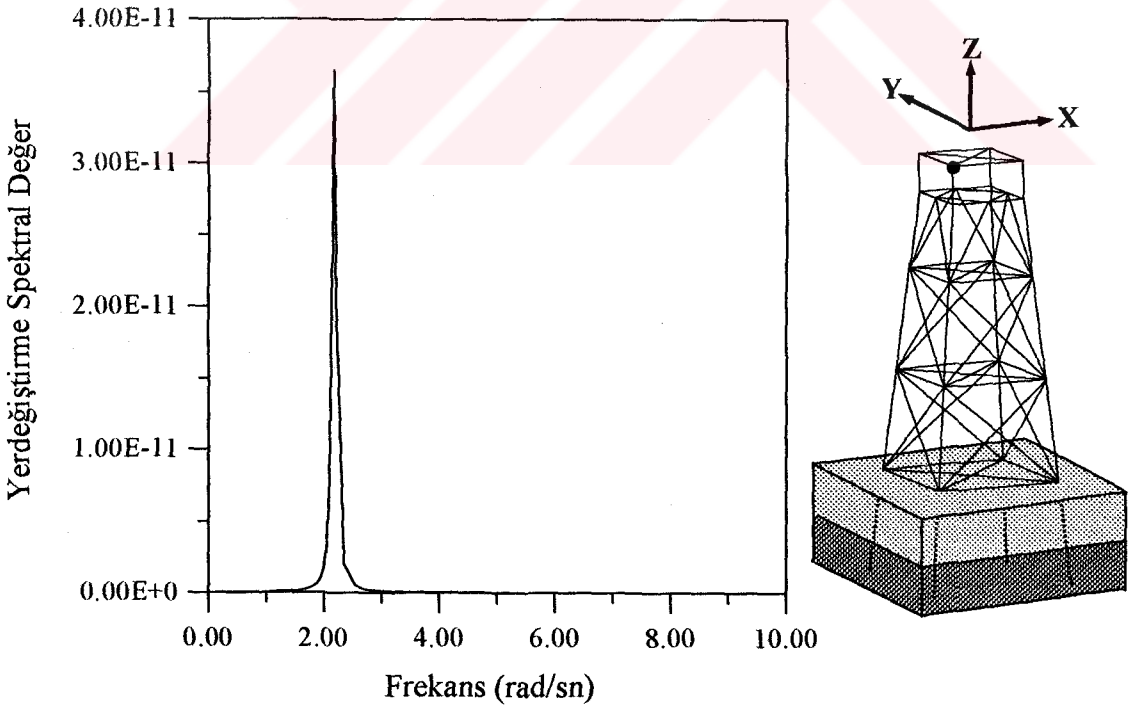
Şekil 58. Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının X eksenine boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi



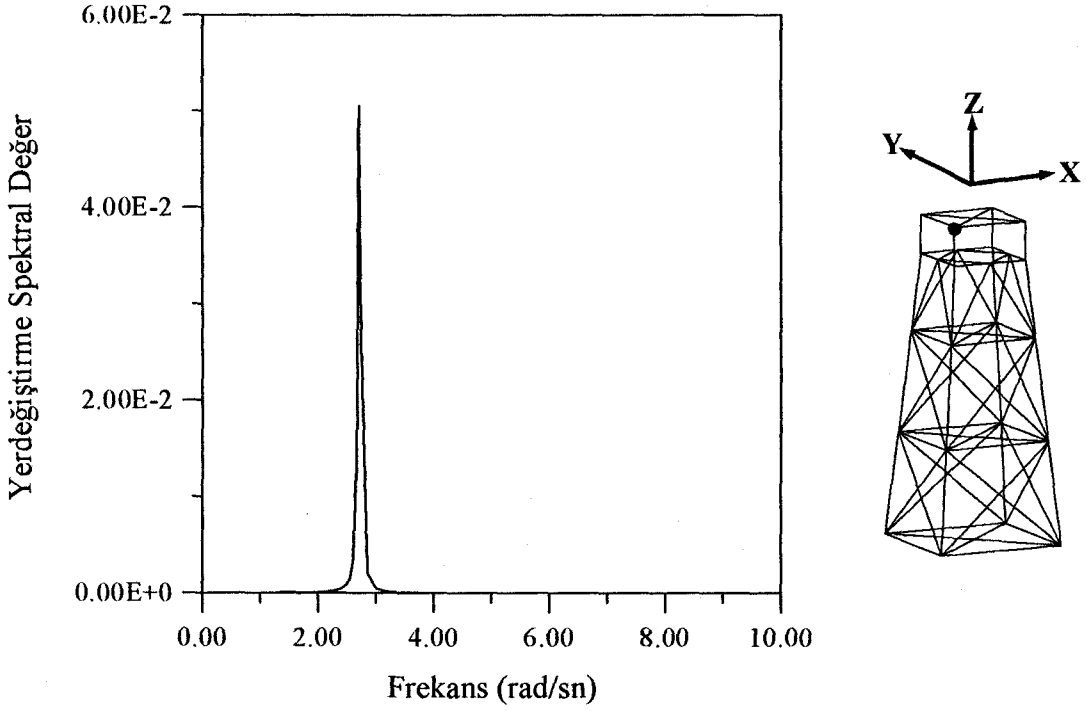
Şekil 59. Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının X eksenine boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi



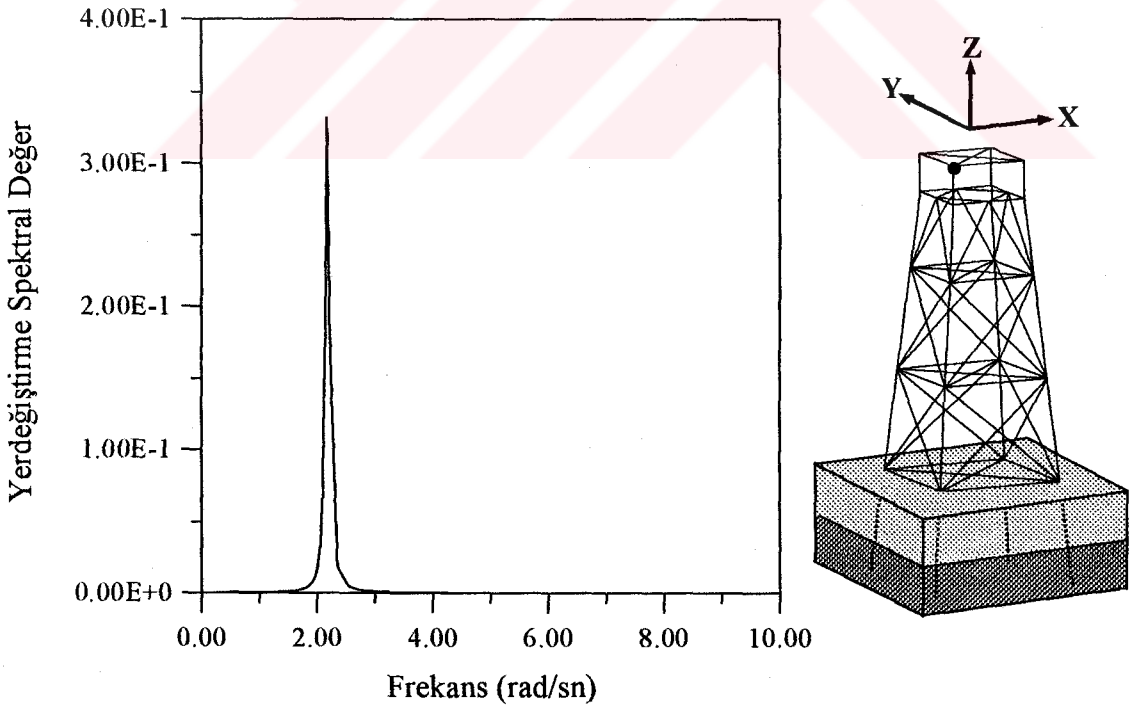
Şekil 60. Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının Y eksenini boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi



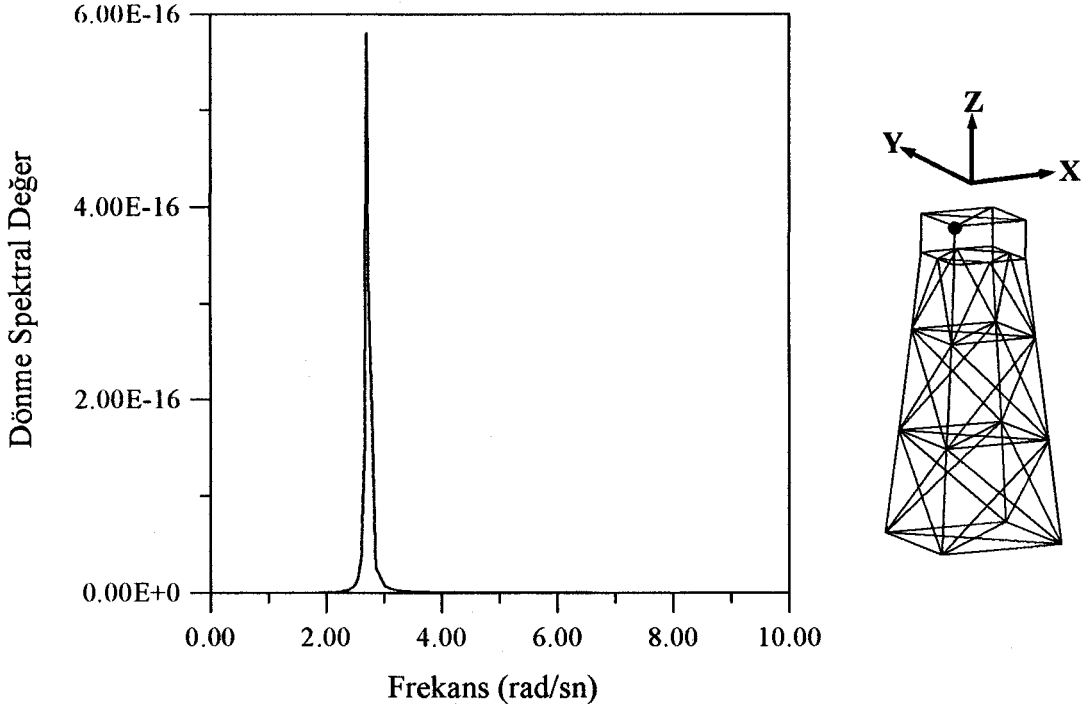
Şekil 61. Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının Y eksenini boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi



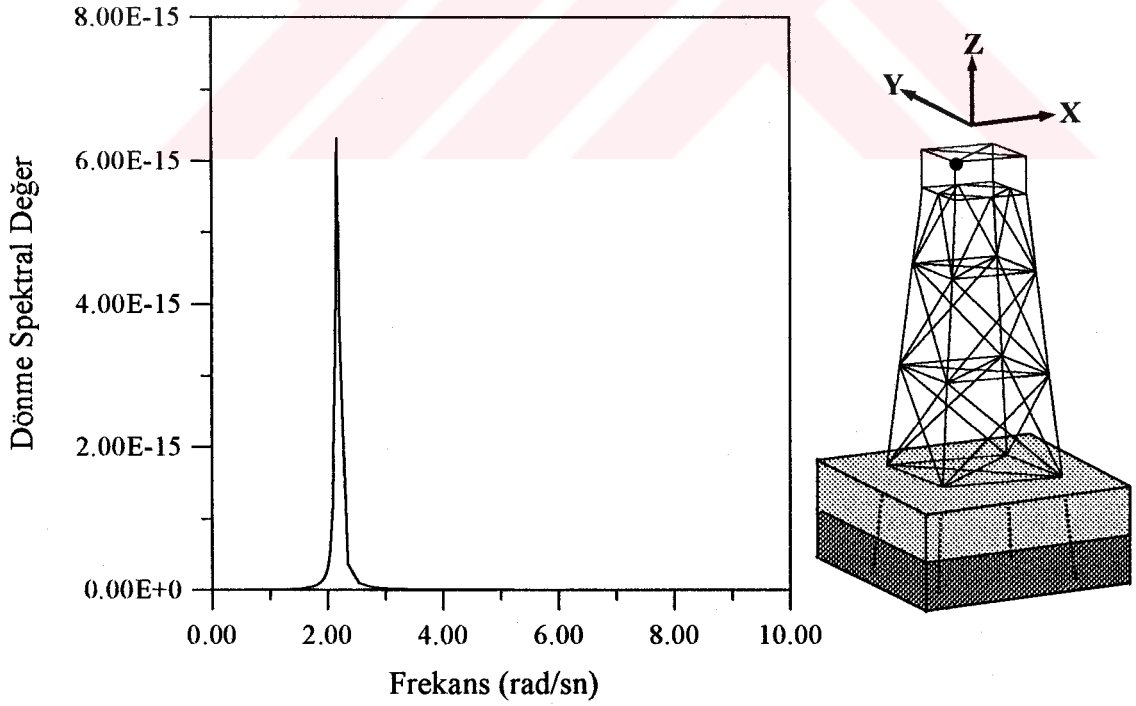
Şekil 62. Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının Z eksenini boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi



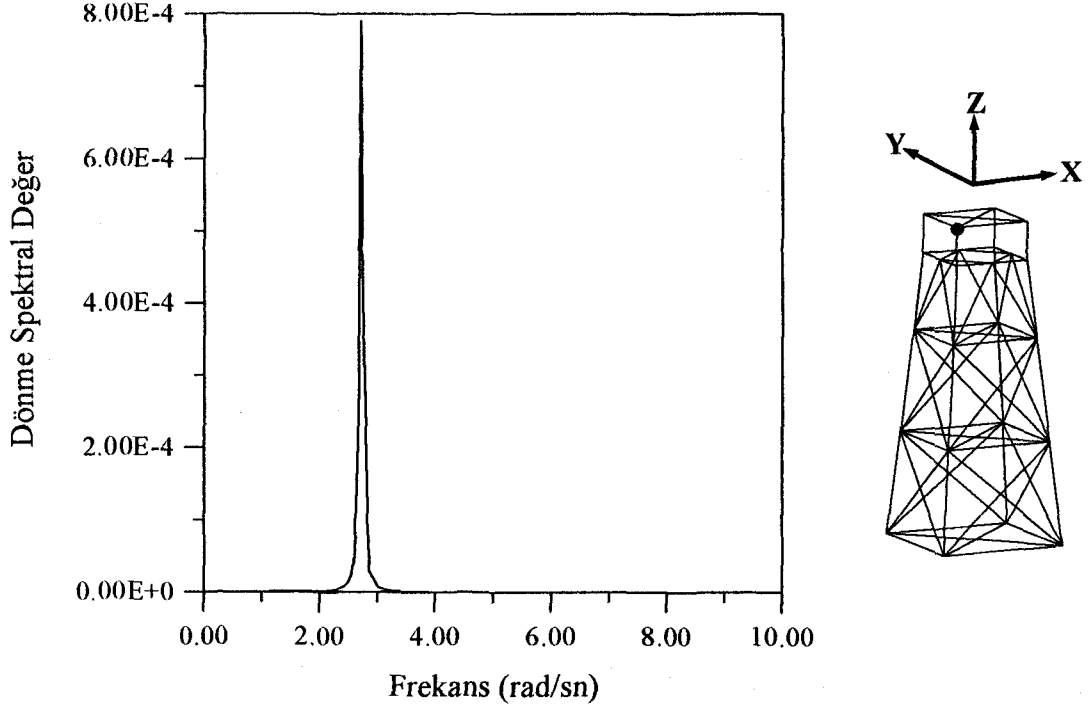
Şekil 63. Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının Z eksenini boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi



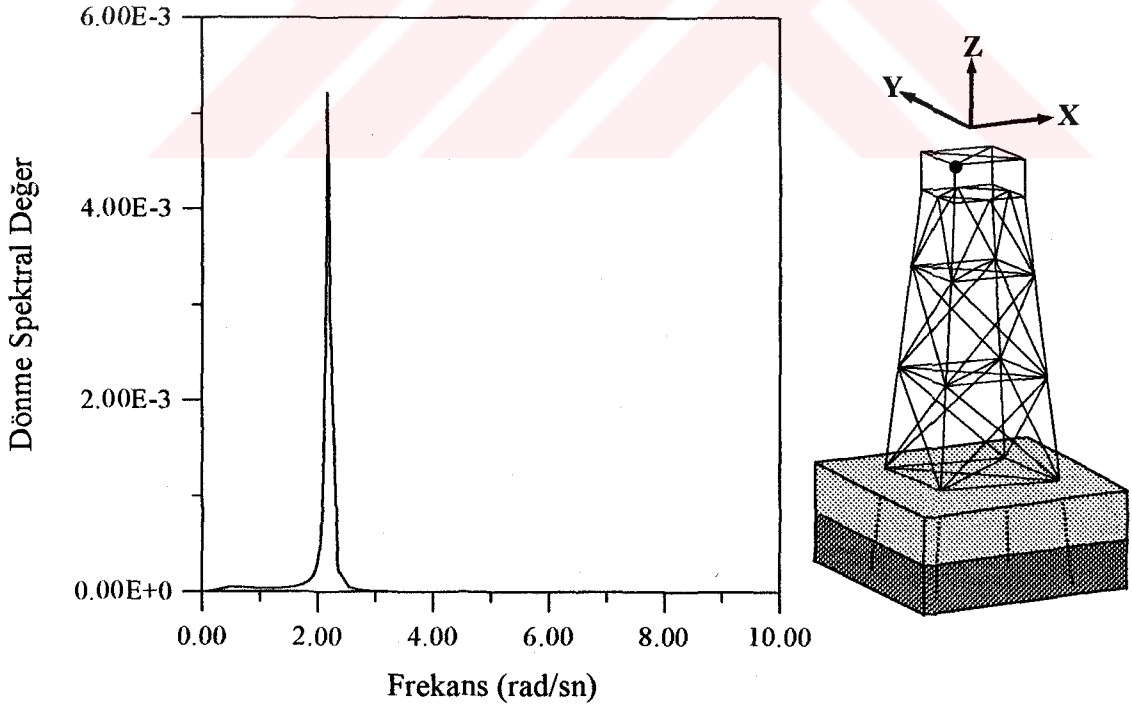
Şekil 64. Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının X eksenini etrafındaki dönme spektrumunun frekansla değişimi



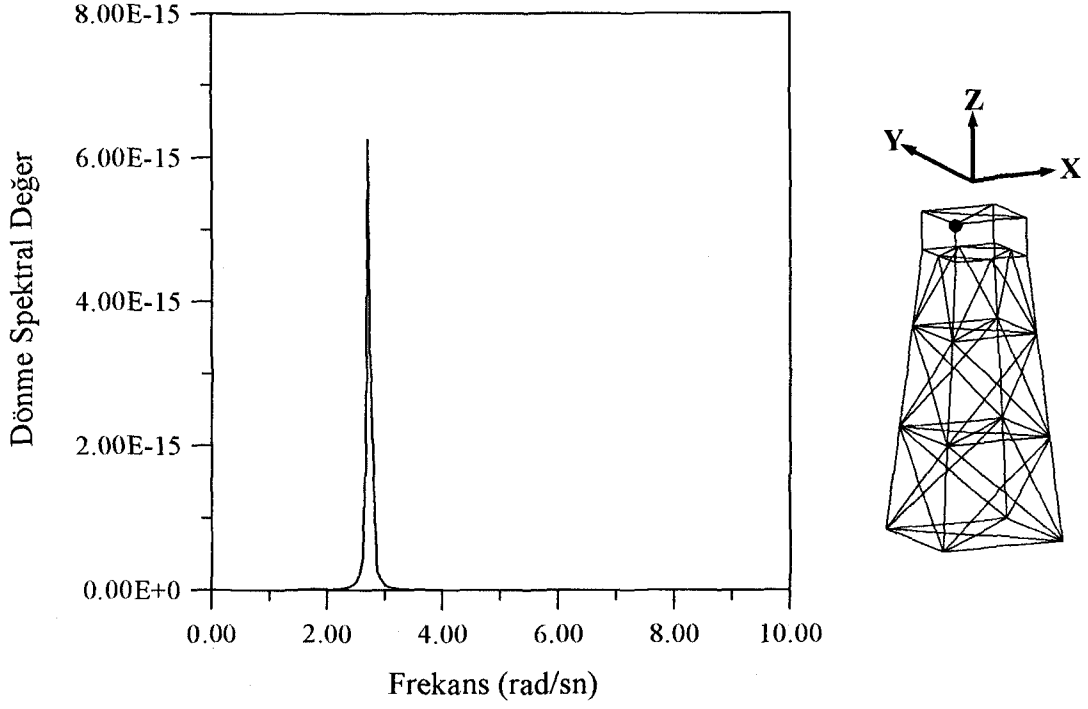
Şekil 65. Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının X eksenini etrafındaki dönme spektrumunun frekansla değişimi



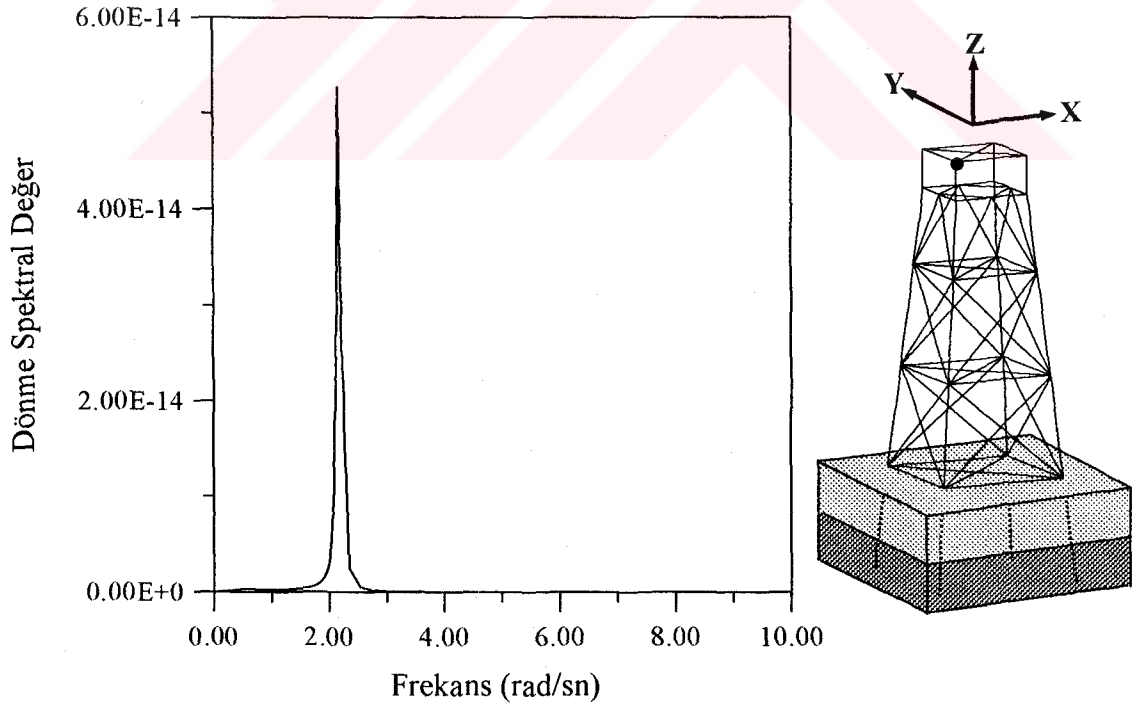
Şekil 66. Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının Y eksenini etrafındaki dönme spektrumunun frekansla değişimi



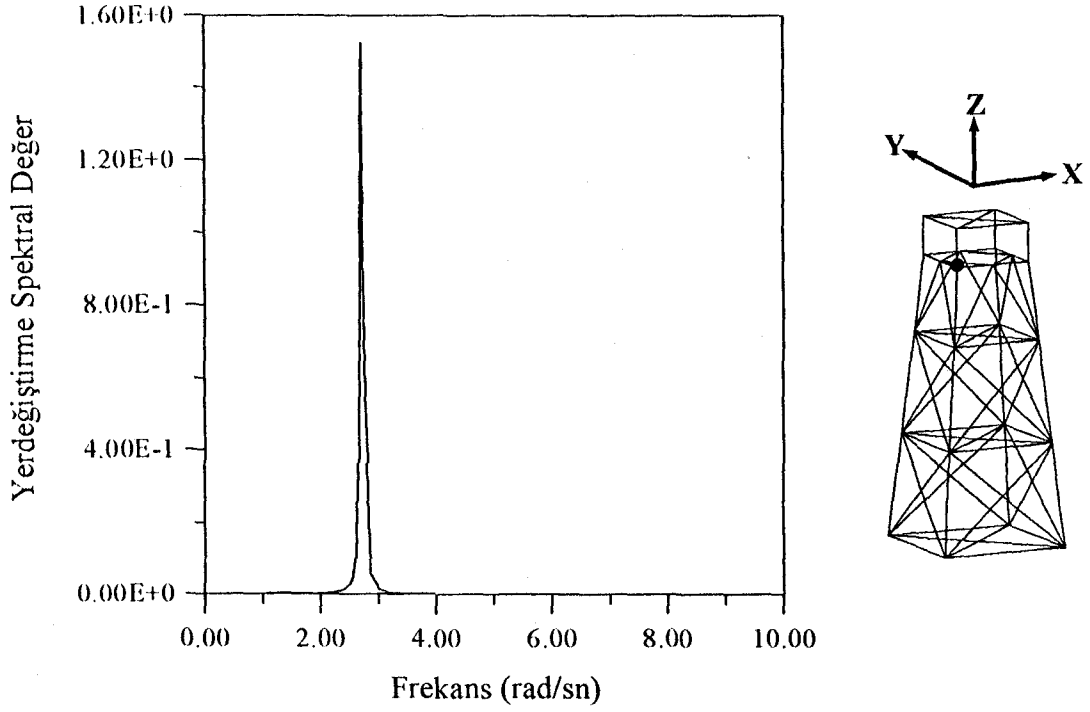
Şekil 67. Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının Y eksenini etrafındaki dönme spektrumunun frekansla değişimi



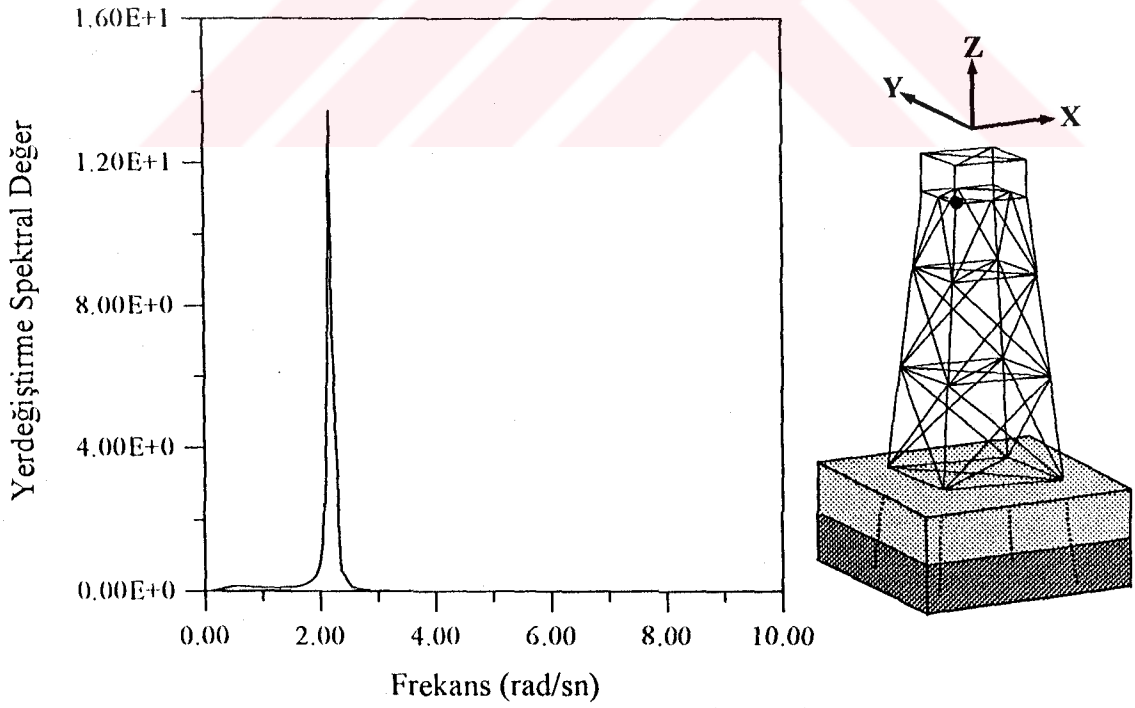
Şekil 68. Platformun zeminsiz olması durumunda, tepe noktasının Z eksenini etrafındaki dönme spektrumunun frekansla değişimi



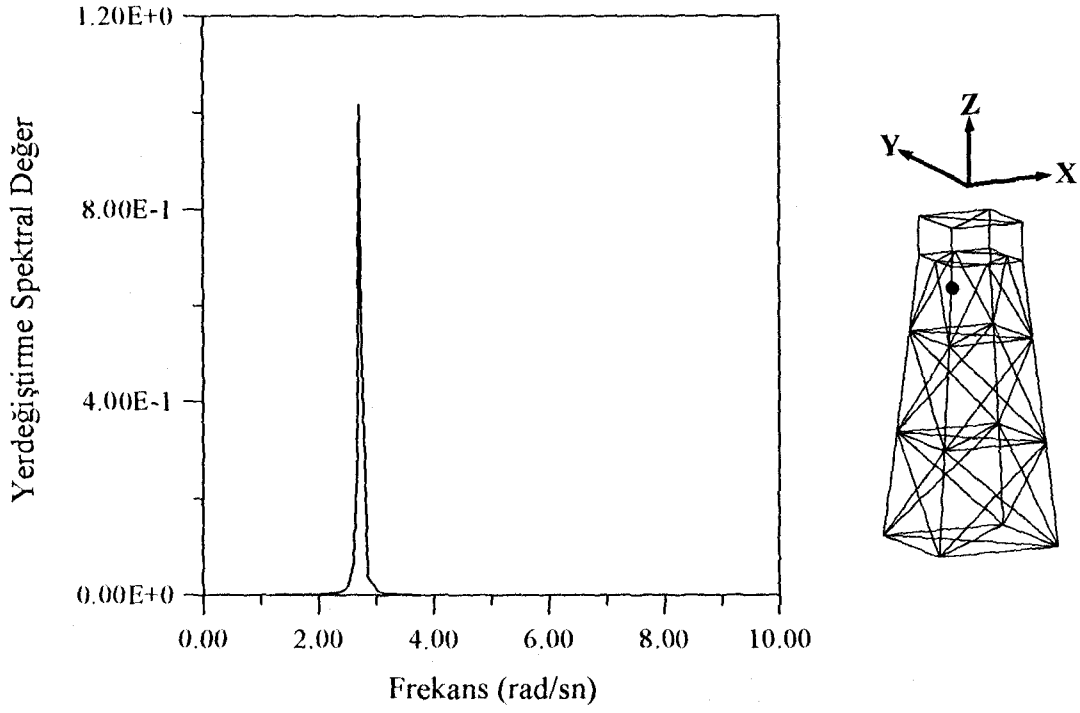
Şekil 69. Platformun zeminli olması durumunda, tepe noktasının Z eksenini etrafındaki dönme spektrumunun frekansla değişimi



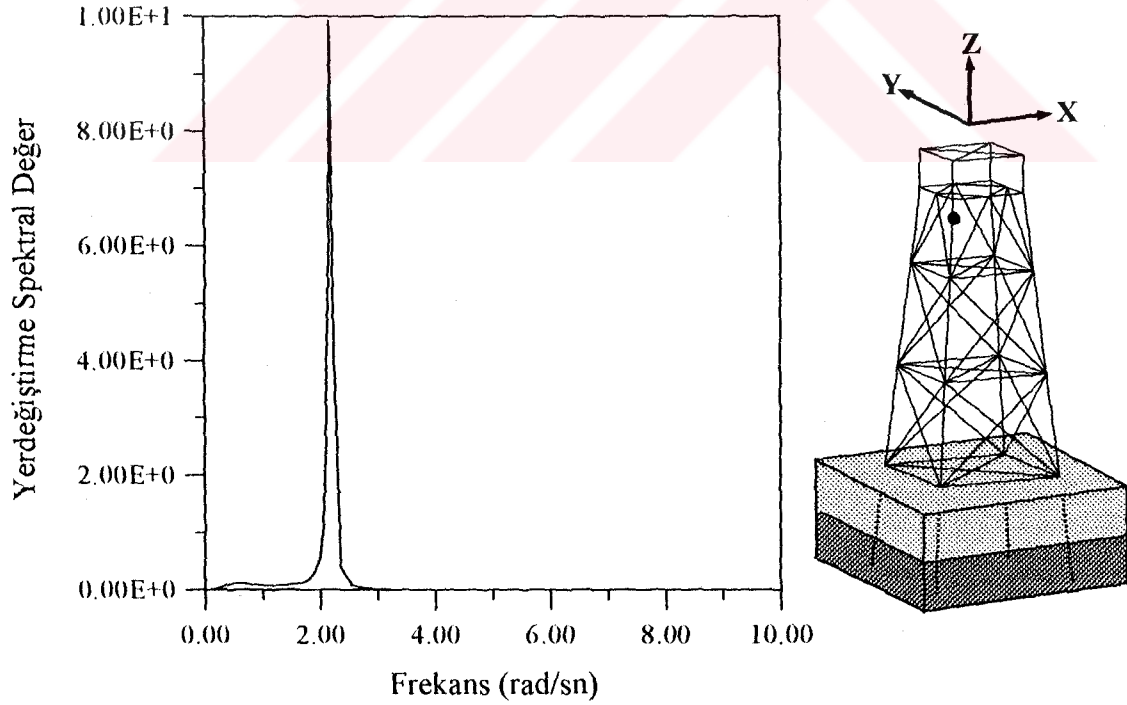
Şekil 70. Platformun zeminsiz olması durumunda, 2 nolu düğüm noktasının X eksenine boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi



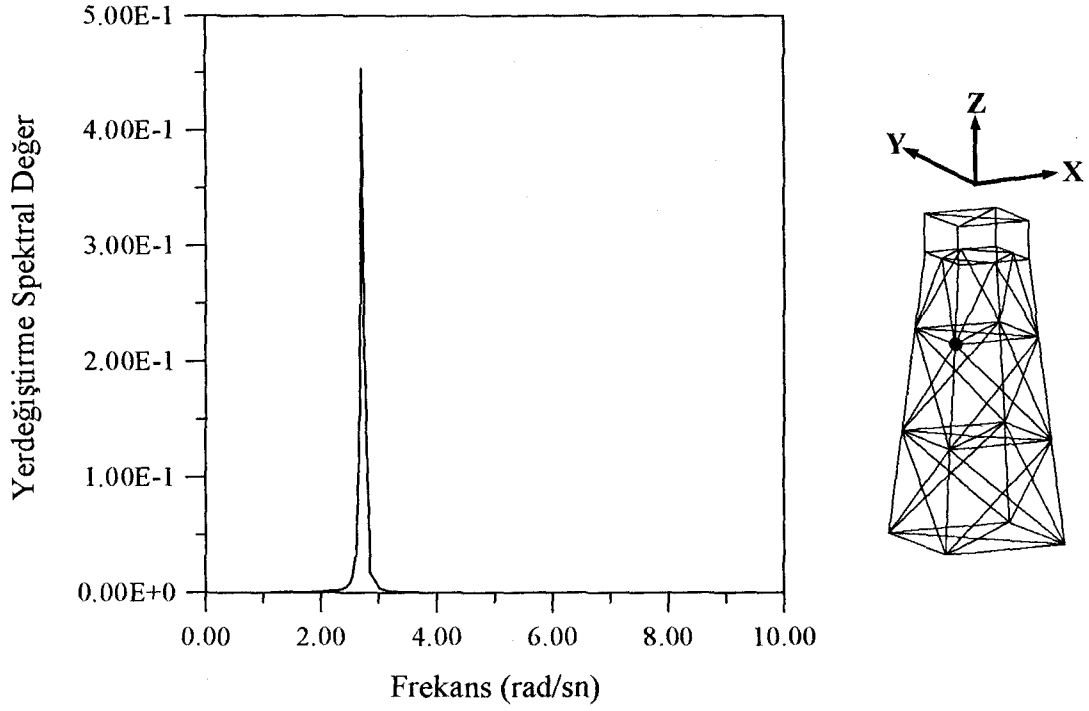
Şekil 71. Platformun zeminli olması durumunda, 2 nolu düğüm noktasının X eksenine boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi



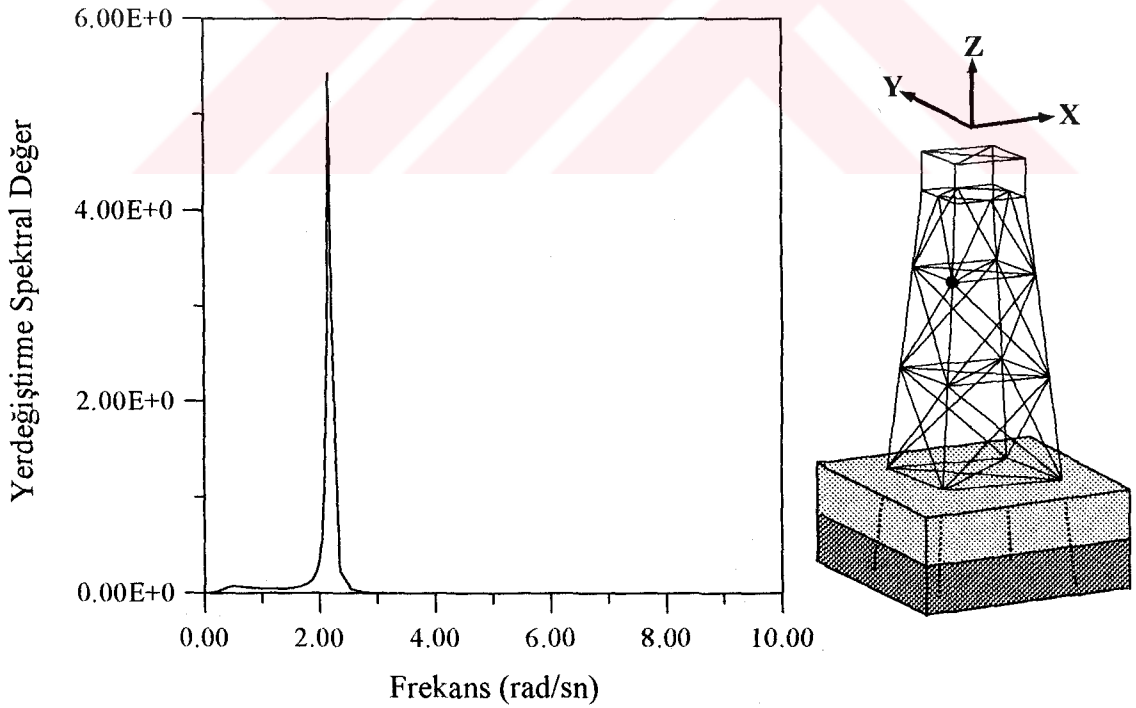
Şekil 72. Platformun zeminsiz olması durumunda, 3 nolu düğüm noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi



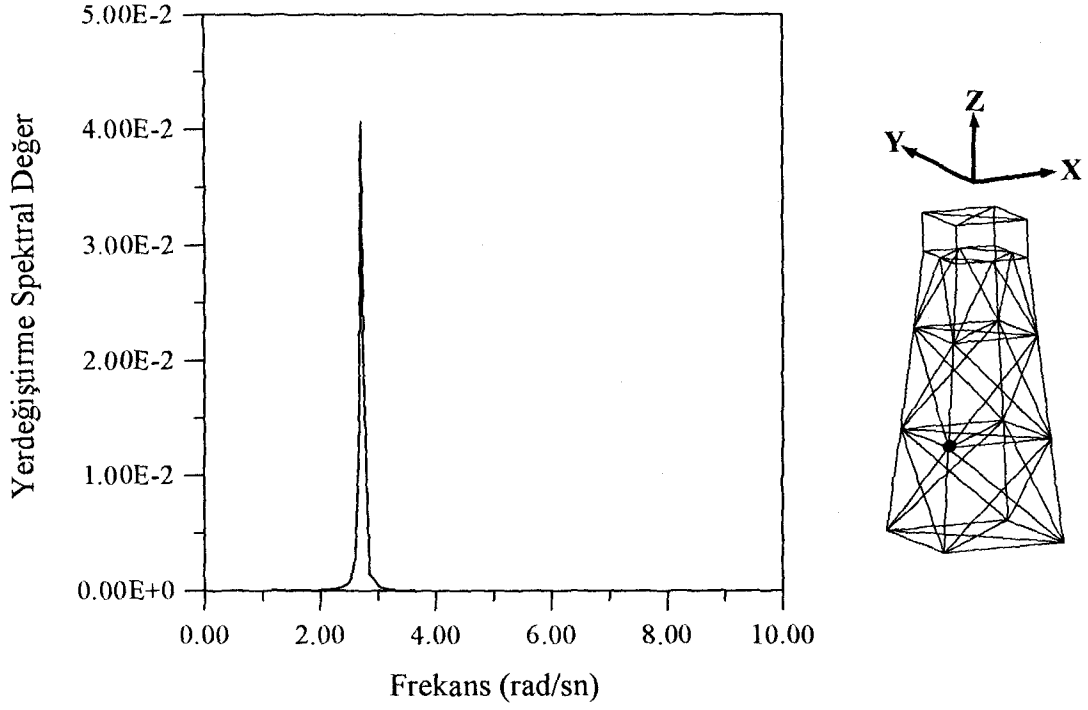
Şekil 73. Platformun zeminli olması durumunda, 3 nolu düğüm noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi



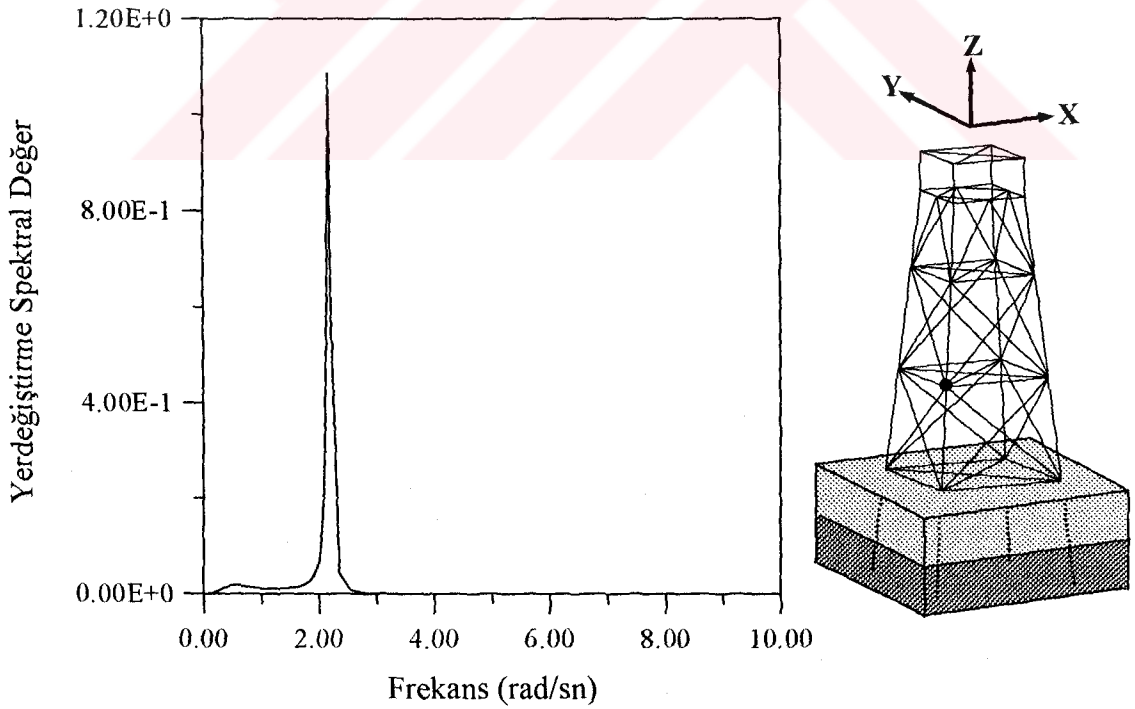
Şekil 74. Platformun zeminlessiz olması durumunda, 4 nolu düğüm noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi



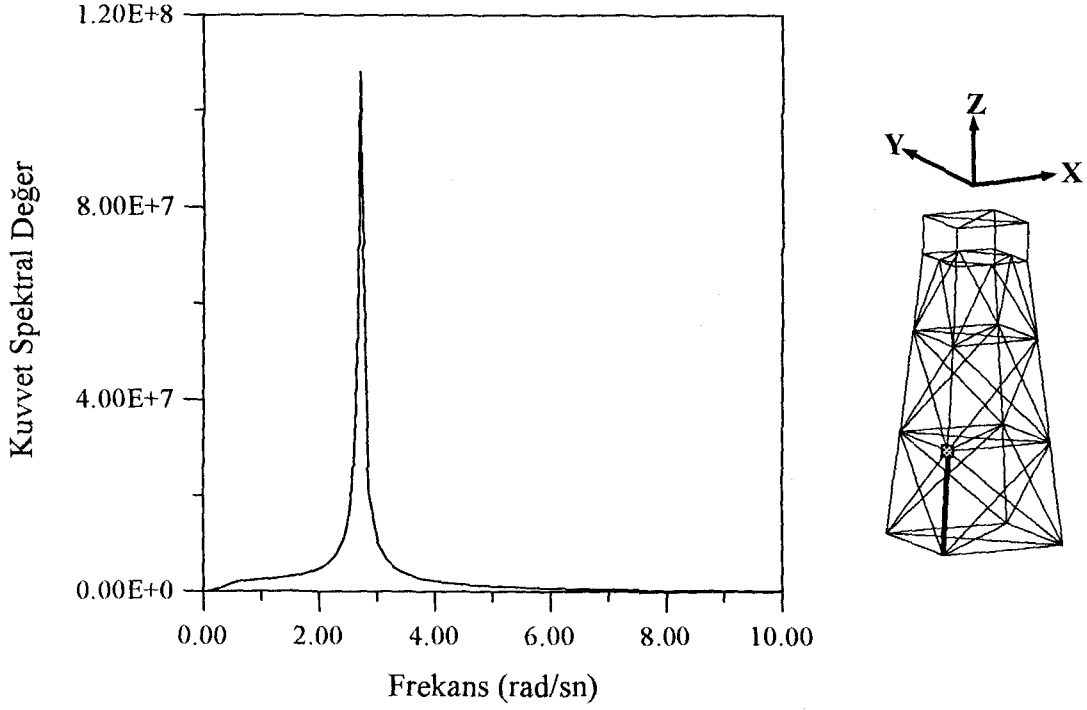
Şekil 75. Platformun zeminli olması durumunda, 4 nolu düğüm noktasının X eksenini boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi



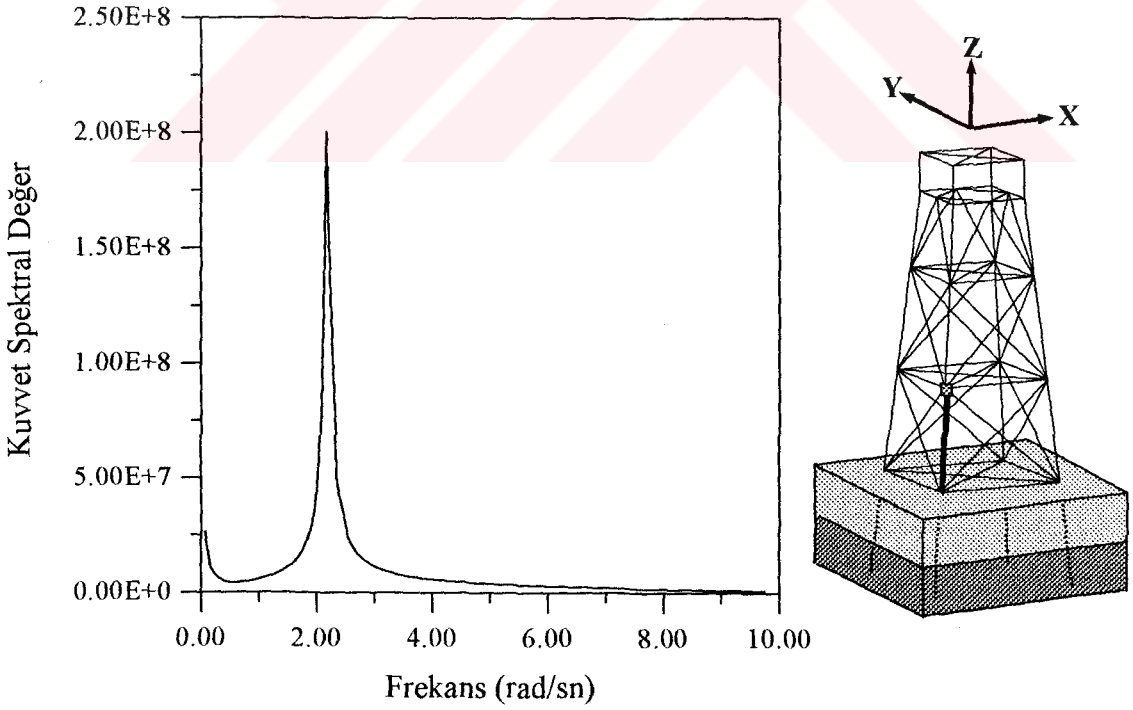
Şekil 76. Platformun zeminsiz olması durumunda, 5 nolu düğüm noktasının X eksenine boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi



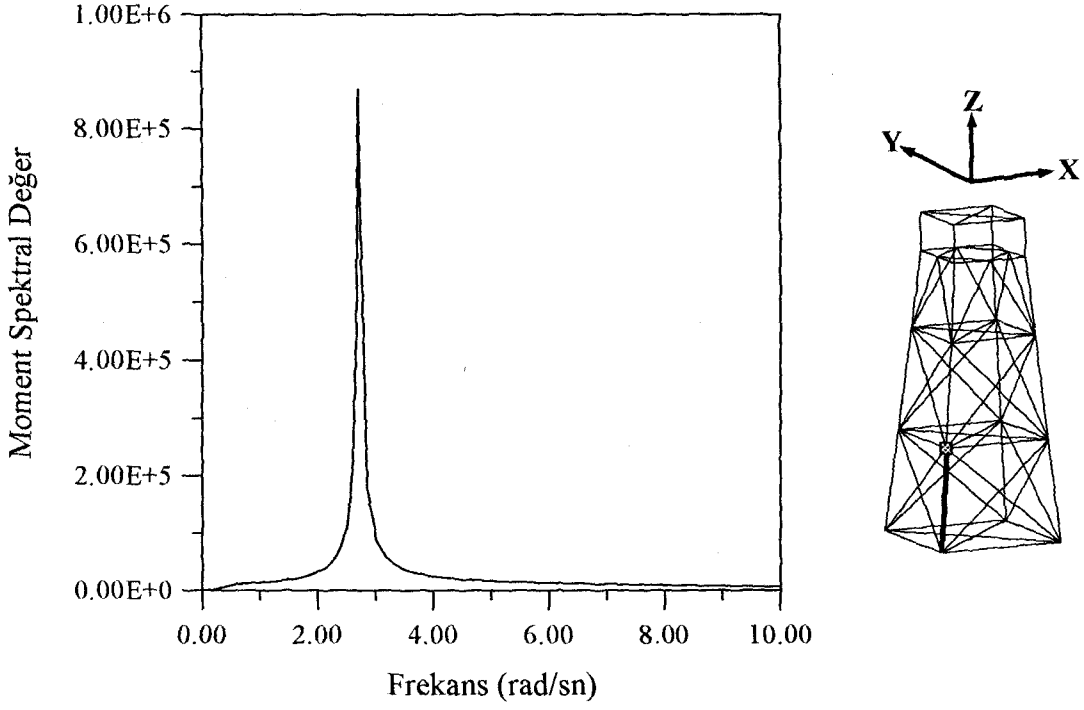
Şekil 77. Platformun zeminli olması durumunda, 5 nolu düğüm noktasının X eksenine boyunca yerdeğiştirme spektrumunun frekansla değişimi



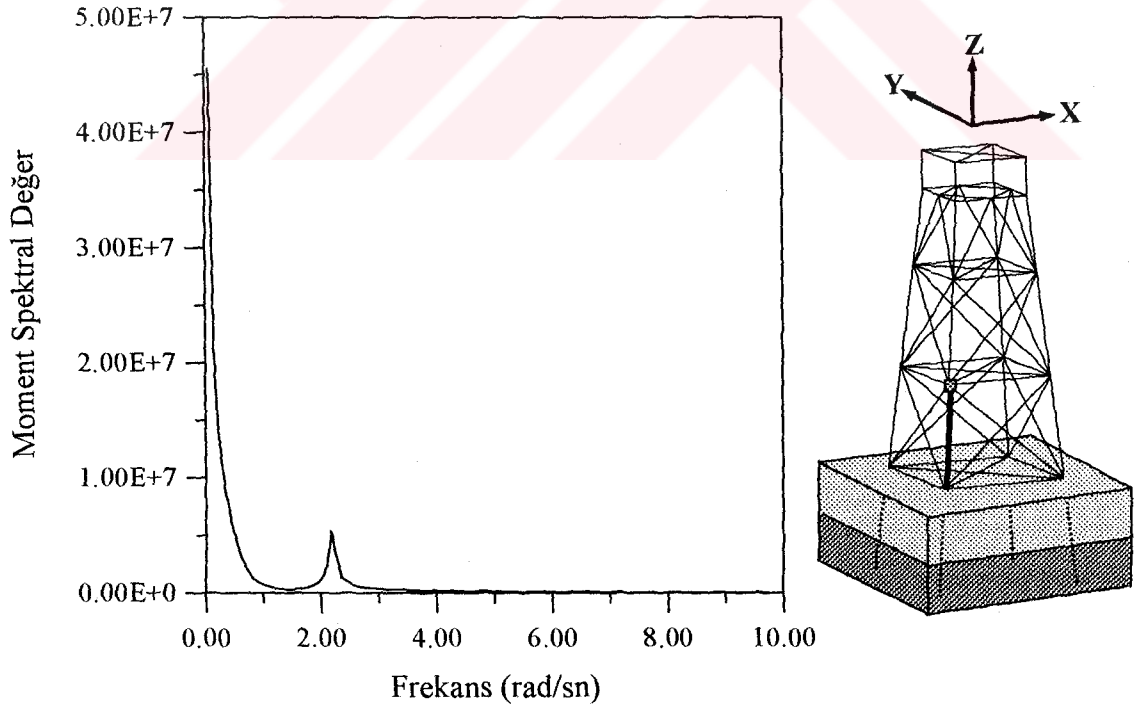
Şekil 78. Platformun zeminsiz olması durumunda, A elemanının 5 nolu düğüm noktasının X eksenini yönündeki kuvvet spektrumunun frekansla değişimi



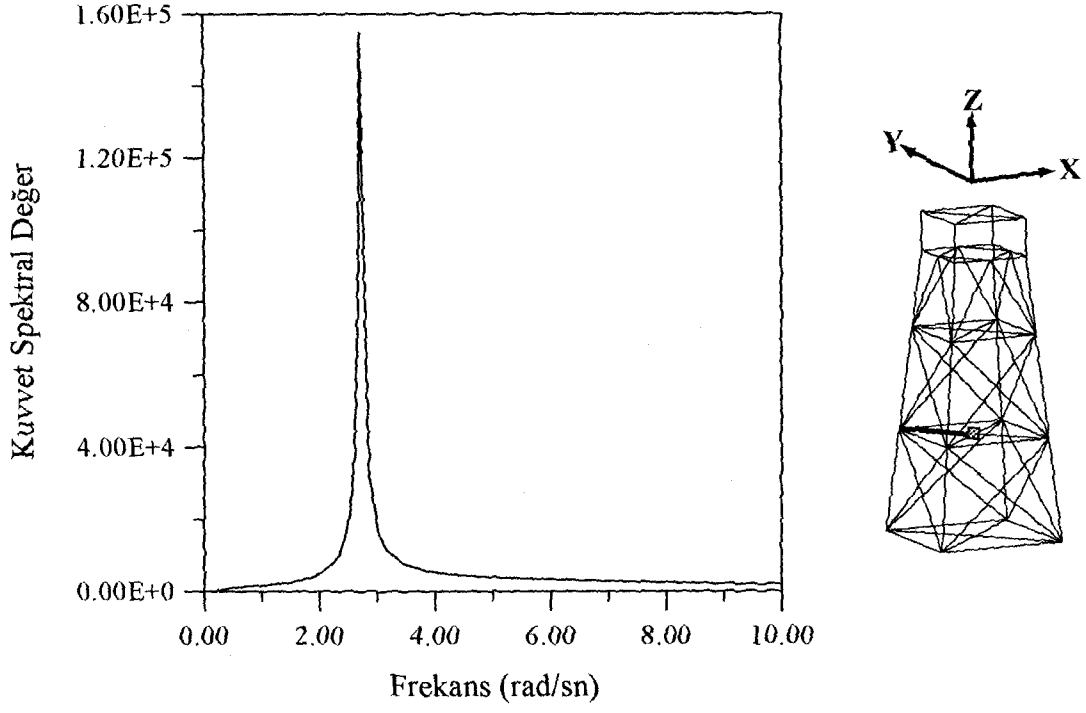
Şekil 79. Platformun zeminli olması durumunda, A elemanının 5 nolu düğüm noktasının X eksenini yönündeki kuvvet spektrumunun frekansla değişimi



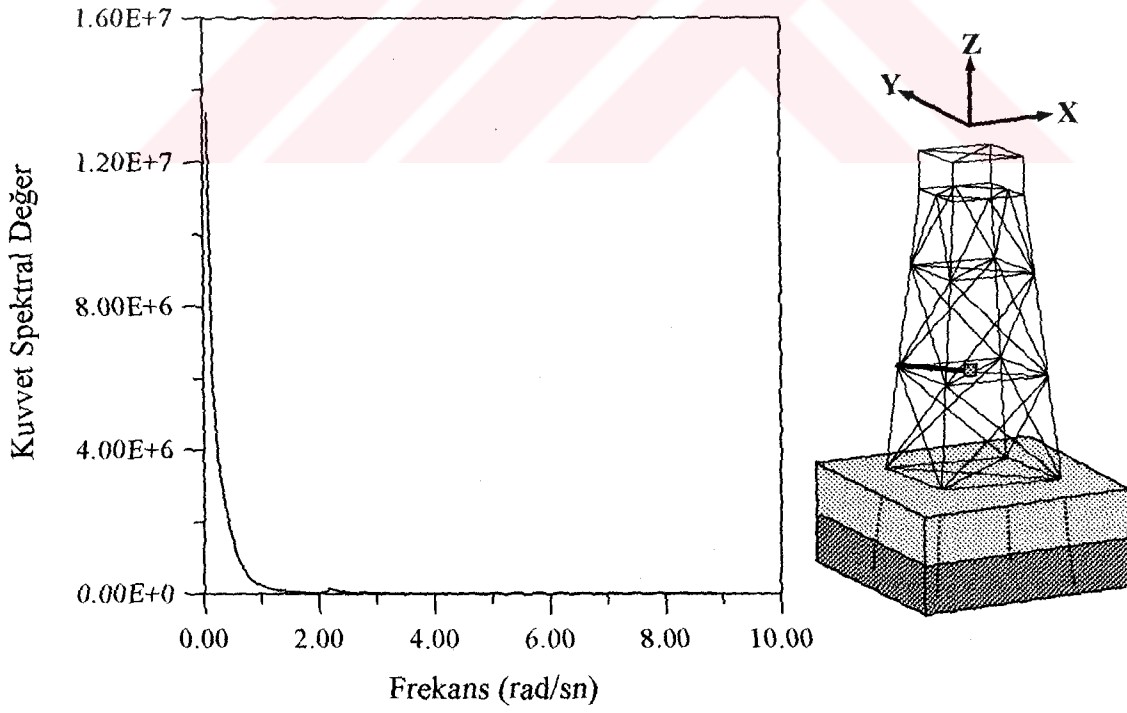
Şekil 80. Platformun zeminsiz olması durumunda, A elemanının 5 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment spektrumunun frekansla değişimi



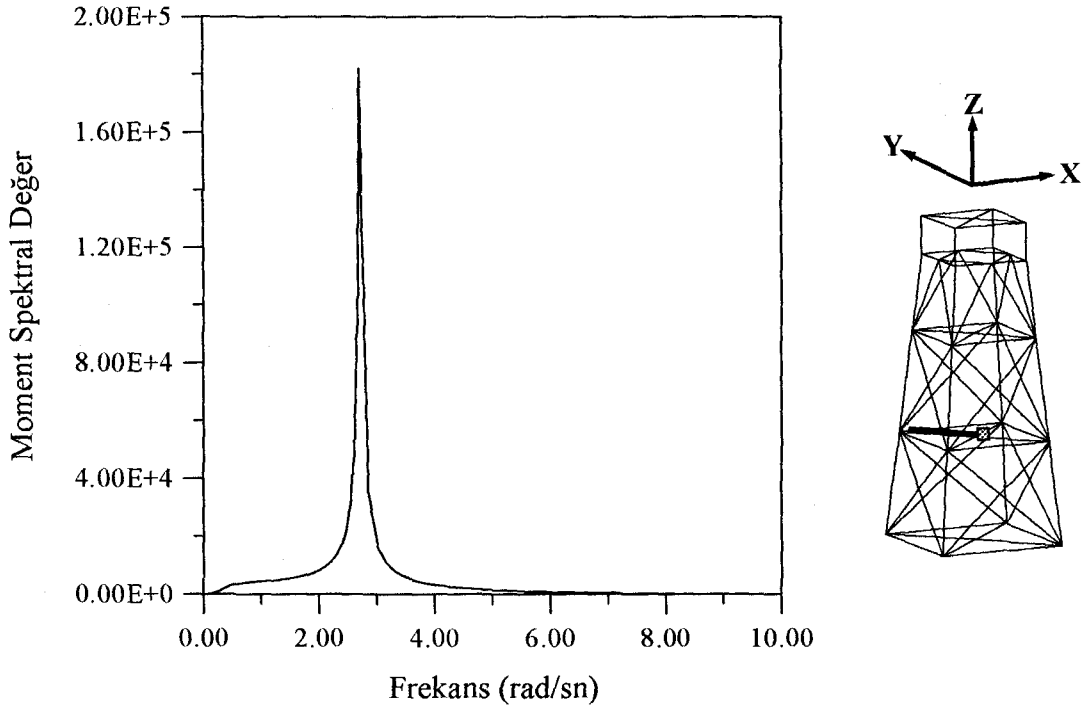
Şekil 81. Platformun zeminli olması durumunda, A elemanının 5 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment spektrumunun frekansla değişimi



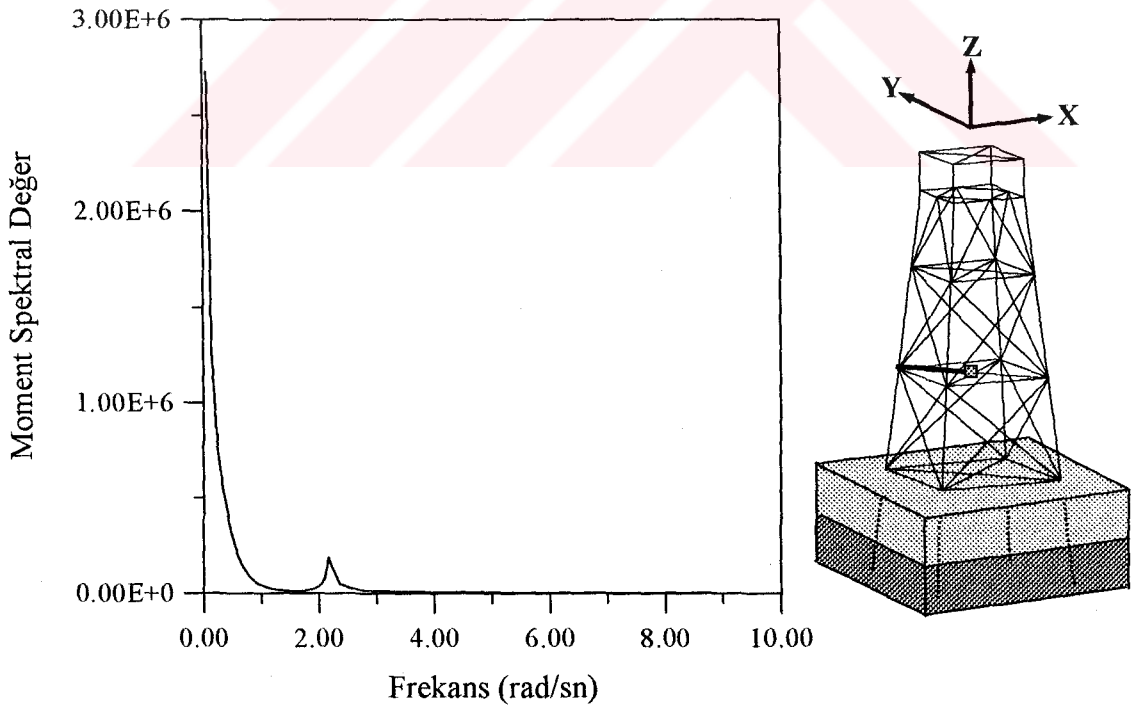
Şekil 82. Platformun zeminsiz olması durumunda, B elemanının 6 nolu düğüm noktasının X eksenini yönündeki kuvvet spektrumunun frekansla değişimi



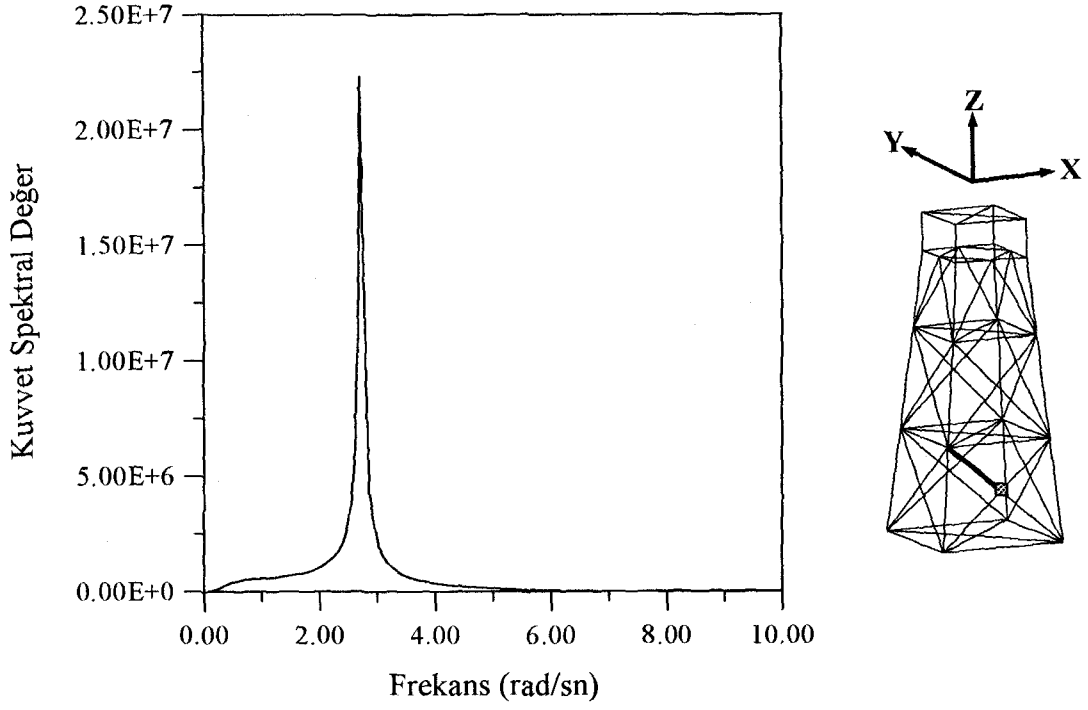
Şekil 83. Platformun zeminli olması durumunda, B elemanının 6 nolu düğüm noktasının X eksenini yönündeki kuvvet spektrumunun frekansla değişimi



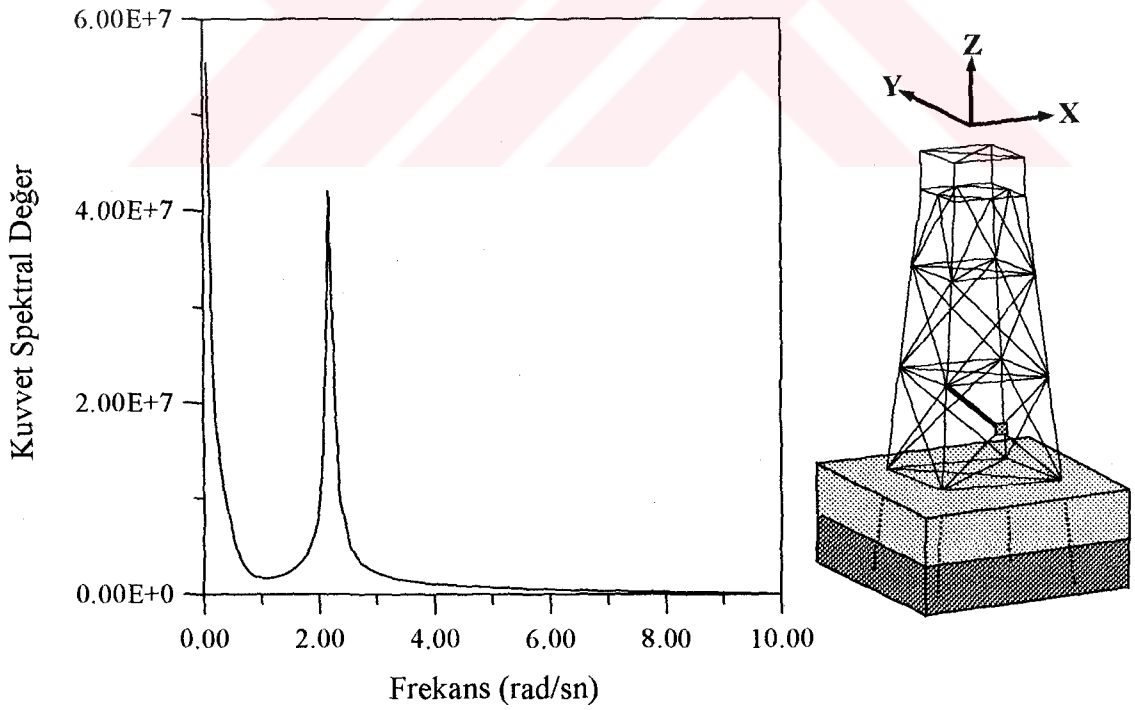
Şekil 84. Platformun zeminsiz olması durumunda, B elemanının 6 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment spektrumunun frekansla değişimi



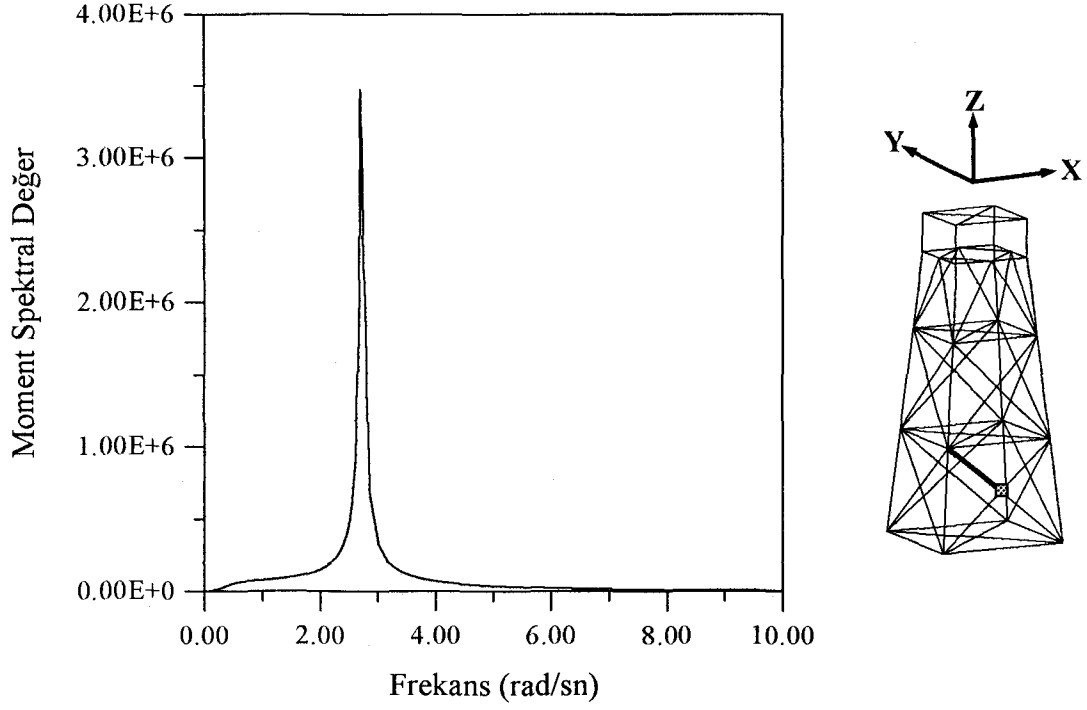
Şekil 85. Platformun zeminli olması durumunda, B elemanının 6 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment spektrumunun frekansla değişimi



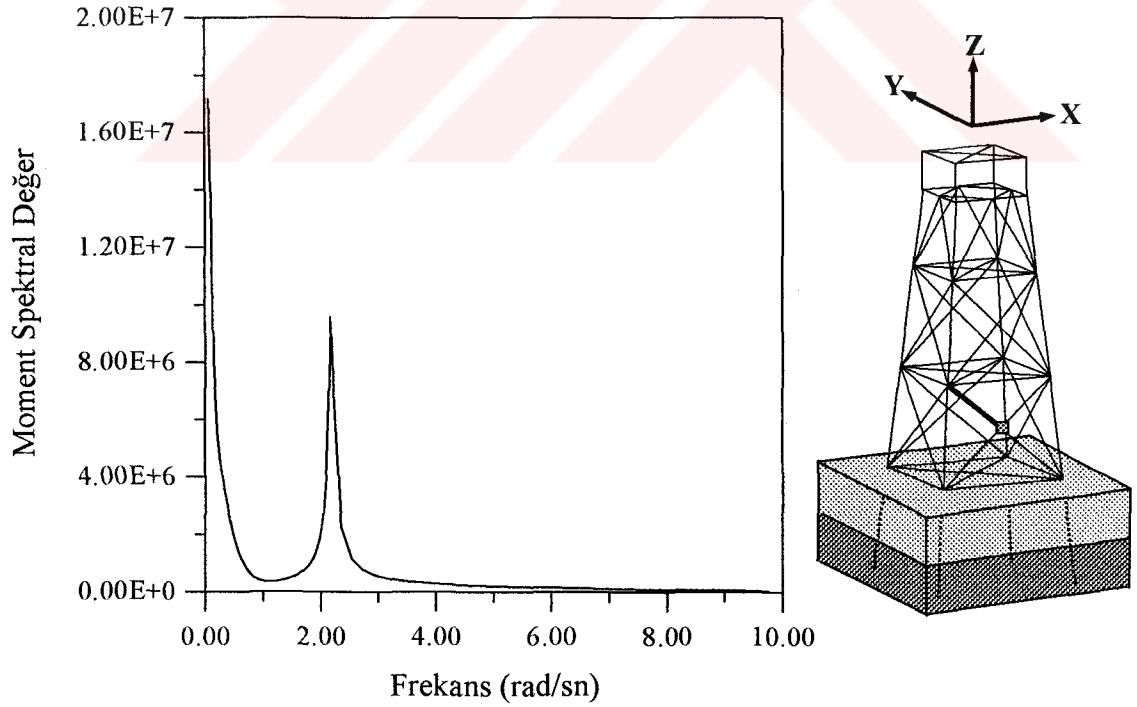
Şekil 86. Platformun zeminsiz olması durumunda, C elemanının 7 nolu düğüm noktasının X eksenî yönündeki kuvvet spektrumunun frekansla değişimi



Şekil 87. Platformun zeminli olması durumunda, C elemanının 7 nolu düğüm noktasının X eksenî yönündeki kuvvet spektrumunun frekansla değişimi



Şekil 88. Platformun zeminsiz olması durumunda, C elemanının 7 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment spektrumunun frekansla değişimi



Şekil 89. Platformun zeminli olması durumunda, C elemanının 7 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment spektrumunun frekansla değişimi

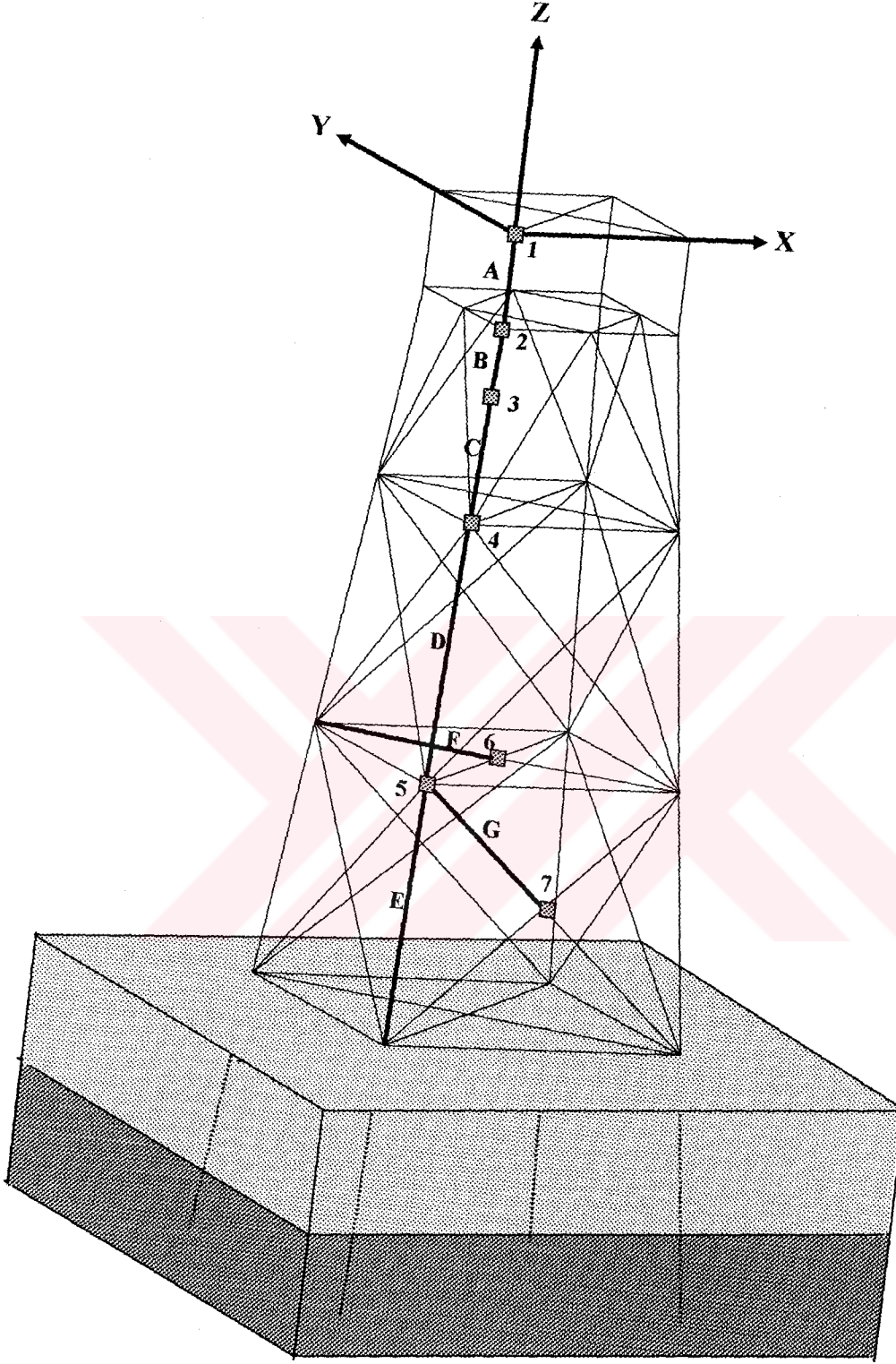
3.3. Dalga Kuvveti İçin Yapılan Analizde Sonuçların Karşılaştırılması

Dalga kuvveti analizi için (5) nolu denklemde verilmekte olan Pierson-Moskowitz (P.M) deniz spektrumu kullanılmaktadır. Analizlerde kullanılan dalga kuvvetinin zellikleri Tablo 11'de verilmektedir.

Tablo 11. Dalga kuvvetinin zellikleri

Dalga Yksekligi (m)	2.5
Dalga Periyodu (sn)	6.5
Dalga Doğrultusu	45°
Sürükleme Kuvveti Katsayısı	1.3
Atalet Kuvveti Katsayısı	2
Suyun Yoğunluğu (kg/m ³)	1024.0

Platformun zeminsiz ve zeminli olması durumunda dalga kuvveti için yapılan analizde karşılaştırma için kullanılan düğüm noktası ve elemanlar Şekil 90'da gösterilmektedir. Analizlerde eleman uçlarının X eksenini yönündeki kuvvetlerinin ve Y eksenini etrafındaki momentlerinin transfer fonksiyon değerleri hesaplanmaktadır. Elde edilen transfer fonksiyonlarının değerleri mutlak değerce alınarak frekansla değişimi verilmektedir.



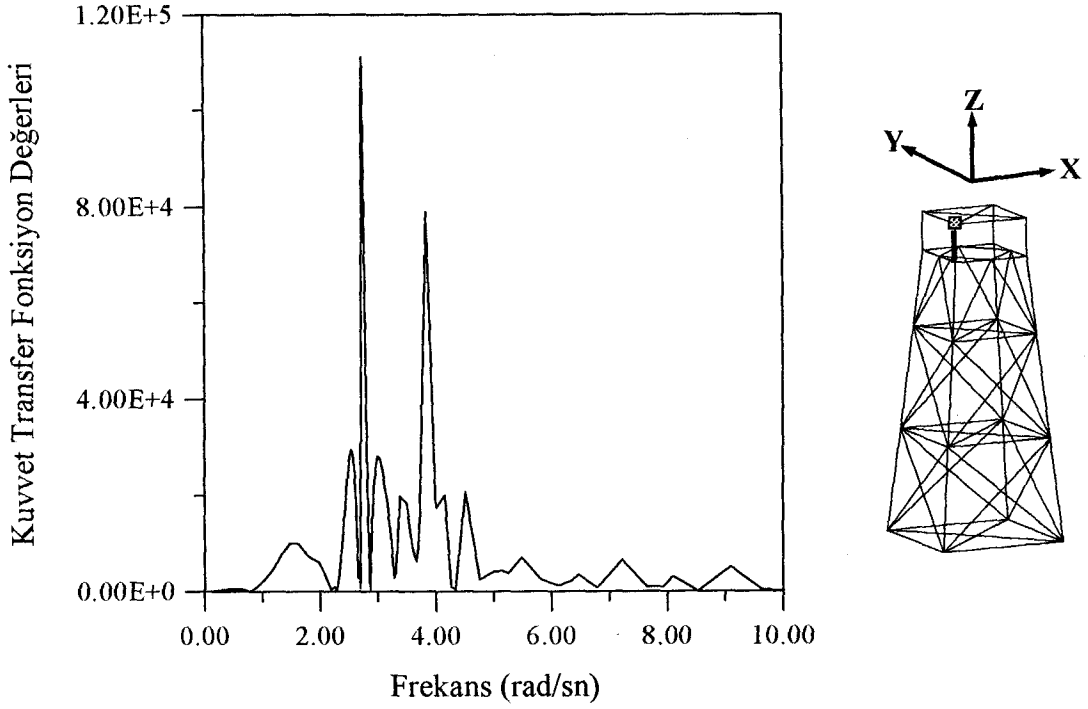
Şekil 90. Dalga kuvveti için yapılan analizin karşılaştırmalarında kullanılan elemanların sonlu eleman modelinde gösterimi

3.3.1. Transfer Fonksiyon Değerlerinin Karşılaştırılması

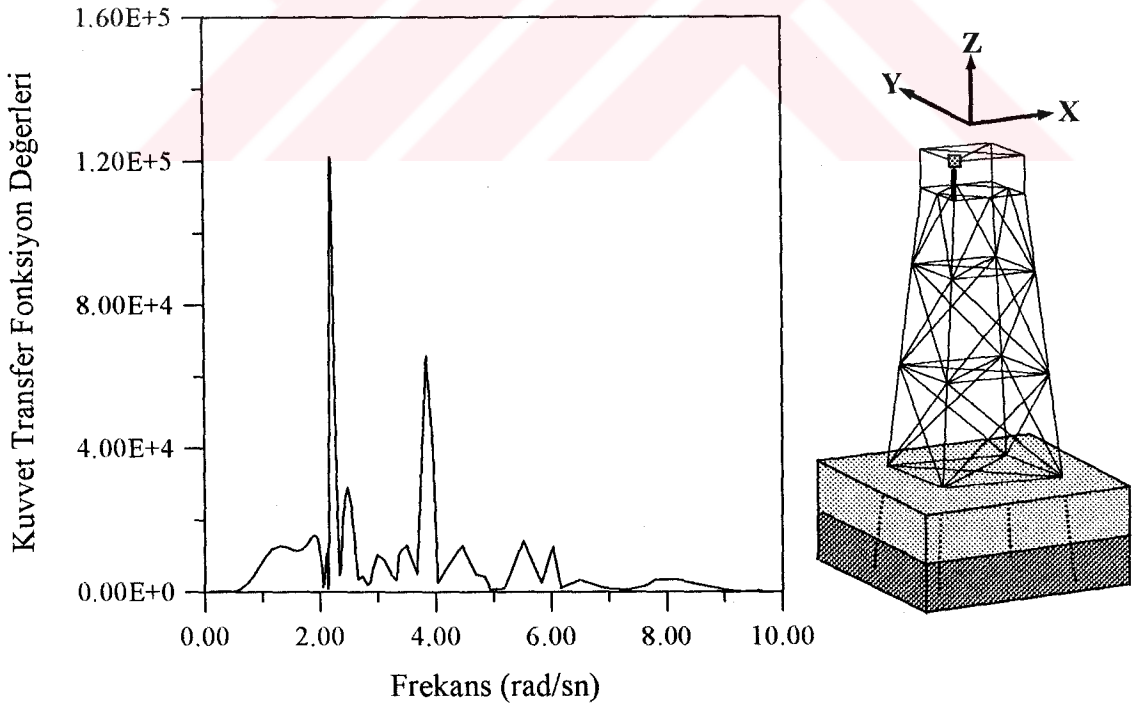
Ceket tipi bir platformun dalga kuvvetine maruz iken Şekil 90'da gösterilen elemanlarının uç noktalarındaki X eksenî yönündeki kuvvet ve Y eksenî etrafındaki moment transfer fonksiyonlarının değerleri platformun zeminsiz ve zeminli olması durumlarında incelenmektedir. Şekil 91-118'da platformun zeminsiz ve zeminli olması durumunda X eksenî yönündeki kuvvet ve Y eksenî etrafındaki moment transfer fonksiyonlarının reel kısımları mutlak değerlerinin frekansla değişimleri verilmektedir.

Ceket tipi açık deniz platformlarının dalga kuvvetlerine göre yapılan stokastik analizinden, elemanların uç noktalarındaki kuvvet ve moment transfer fonksiyonun değerleri platformun zeminli olması durumunda zeminsiz olmasına göre genelde daha büyük çıktığı görülmektedir.

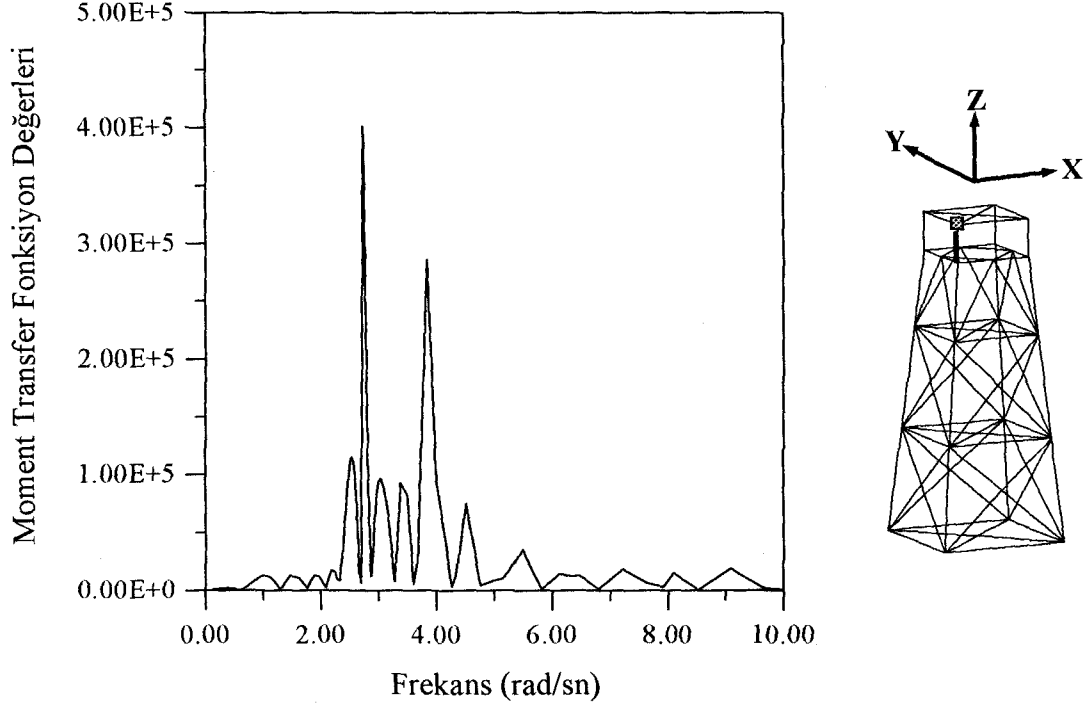




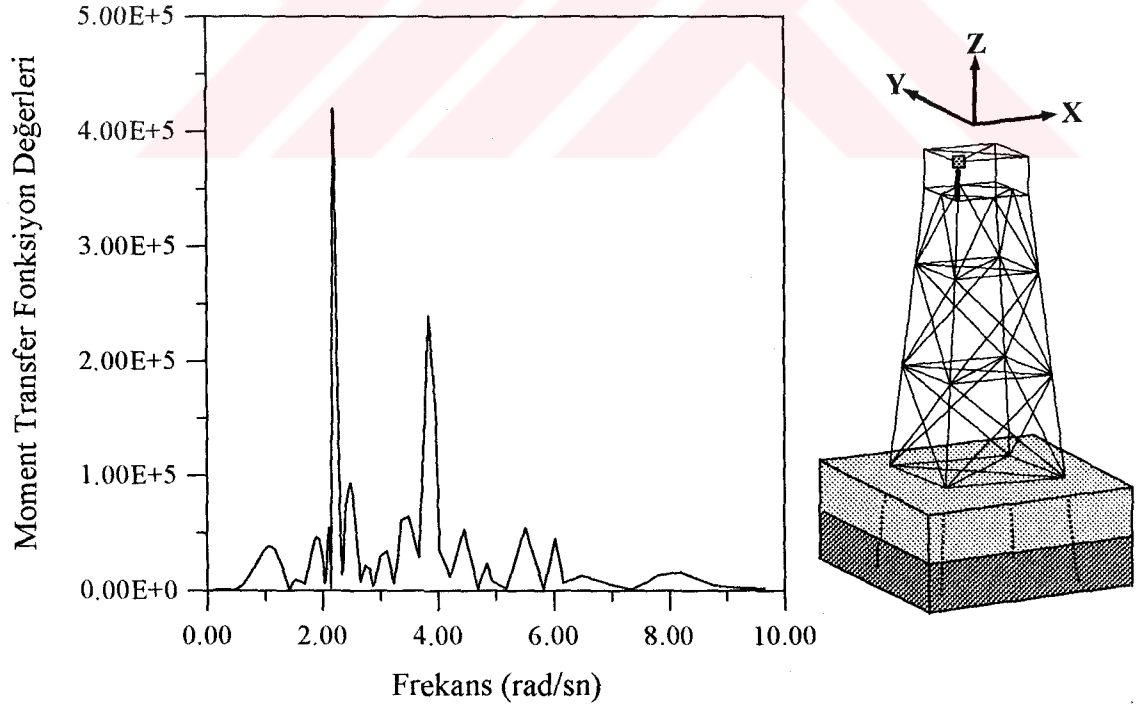
Şekil 91. Platformun zeminsiz olması durumunda, A elemanının 1 nolu düğüm noktasının X eksenini yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi



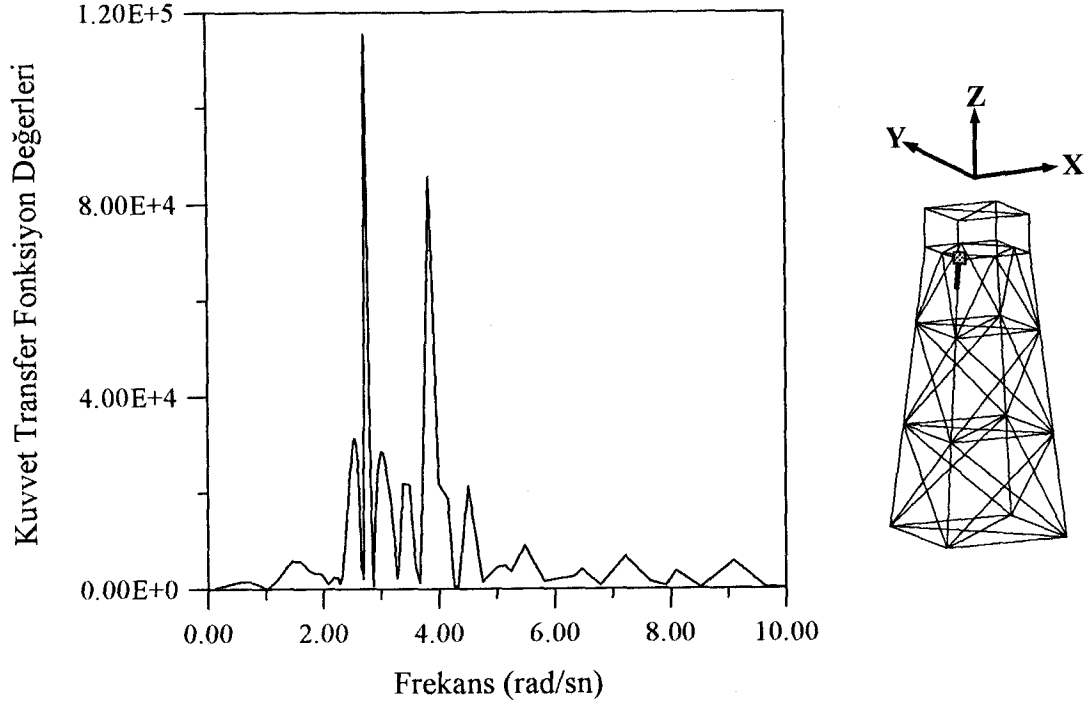
Şekil 92. Platformun zeminli olması durumunda, A elemanının 1 nolu düğüm noktasının X eksenini yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi



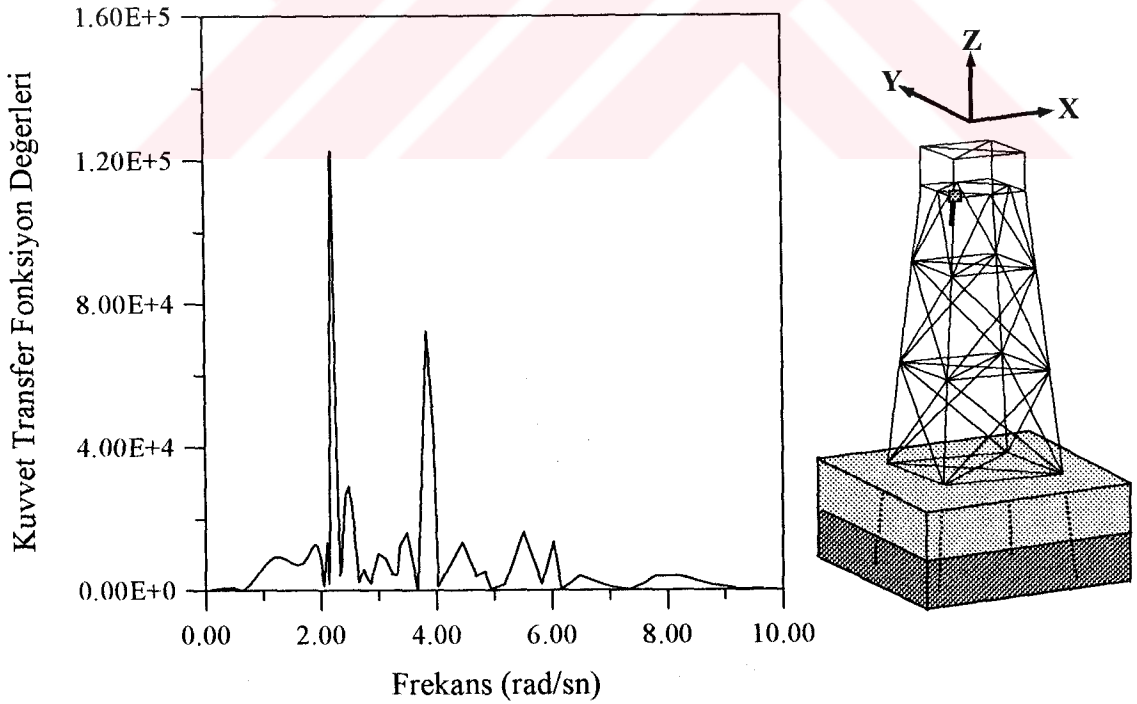
Şekil 93. Platformun zeminsiz olması durumunda A elemanının 1 nolu düğüm noktasının Y eksenine etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi



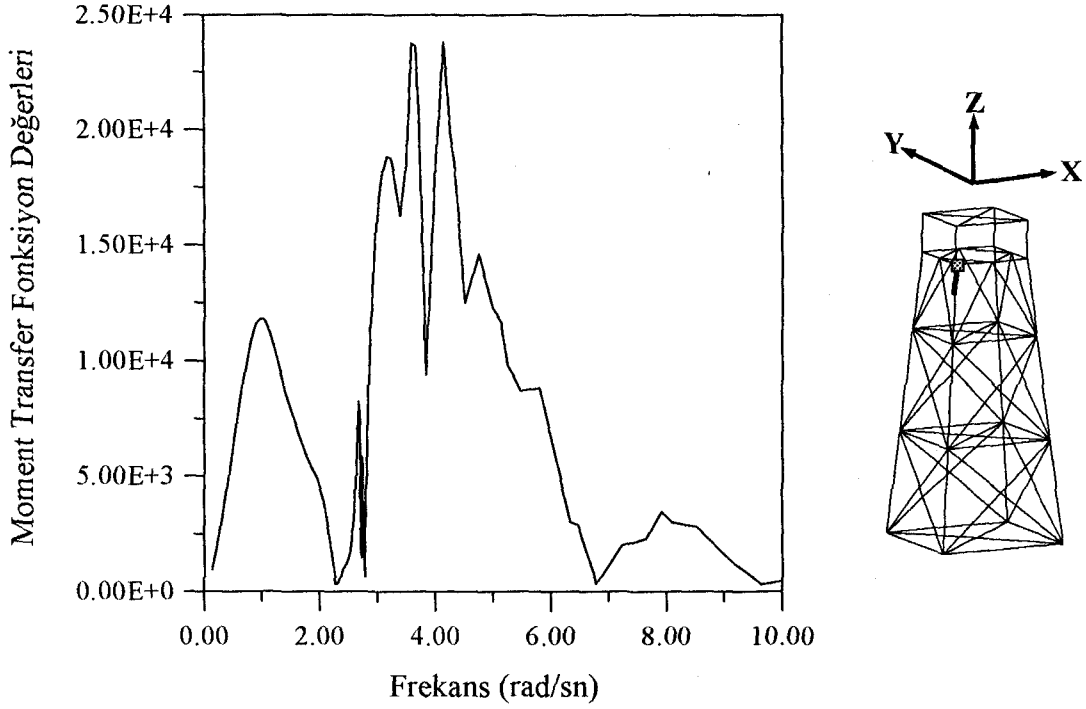
Şekil 94. Platformun zeminli olması durumunda A elemanının 5 nolu düğüm noktasının Y eksenine etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi



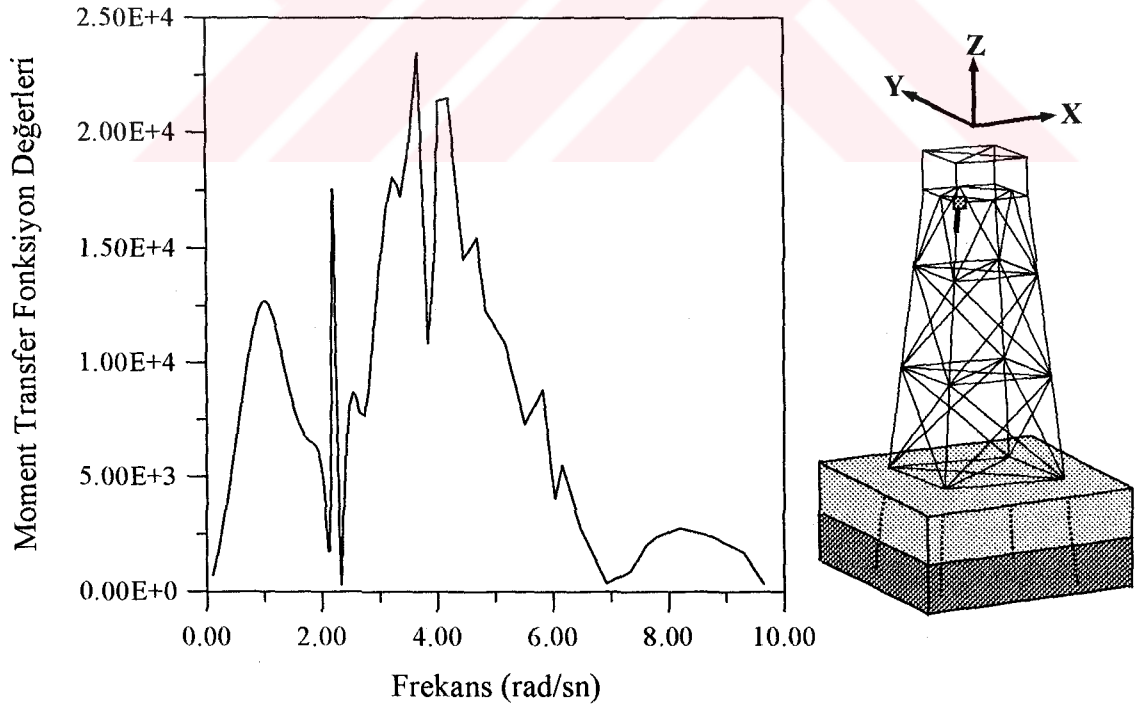
Şekil 95. Platformun zeminsiz olması durumunda, B elemanının 2 nolu düğüm noktasının X eksenini yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi



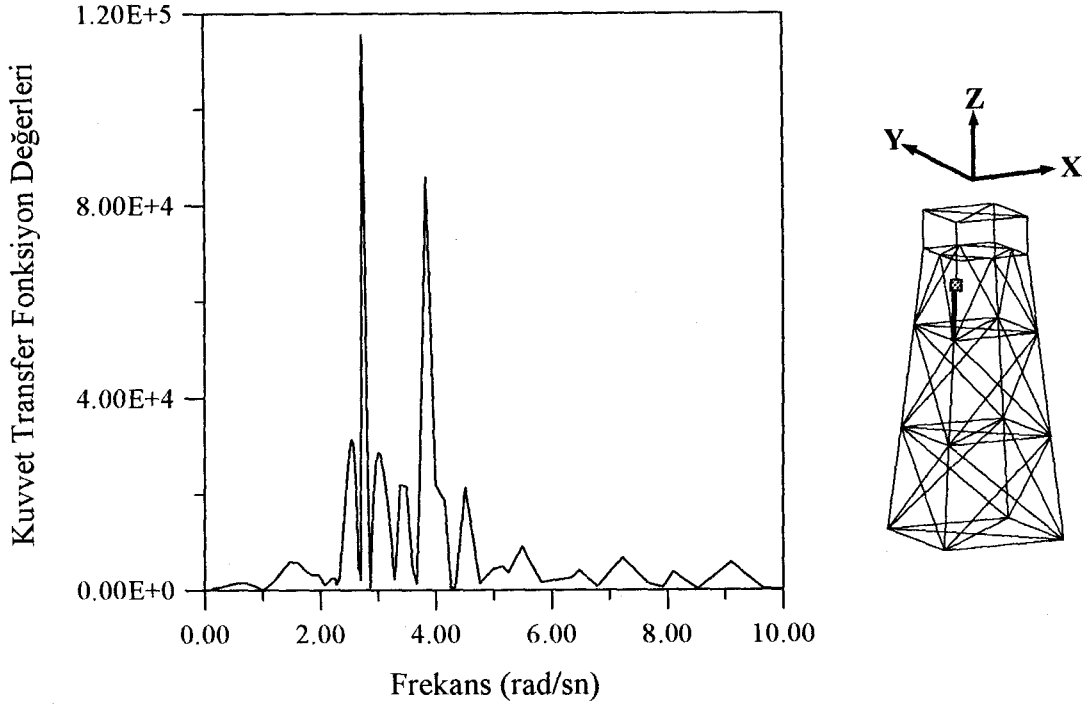
Şekil 96. Platformun zeminli olması durumunda, B elemanının 2 nolu düğüm noktasının X eksenini yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi



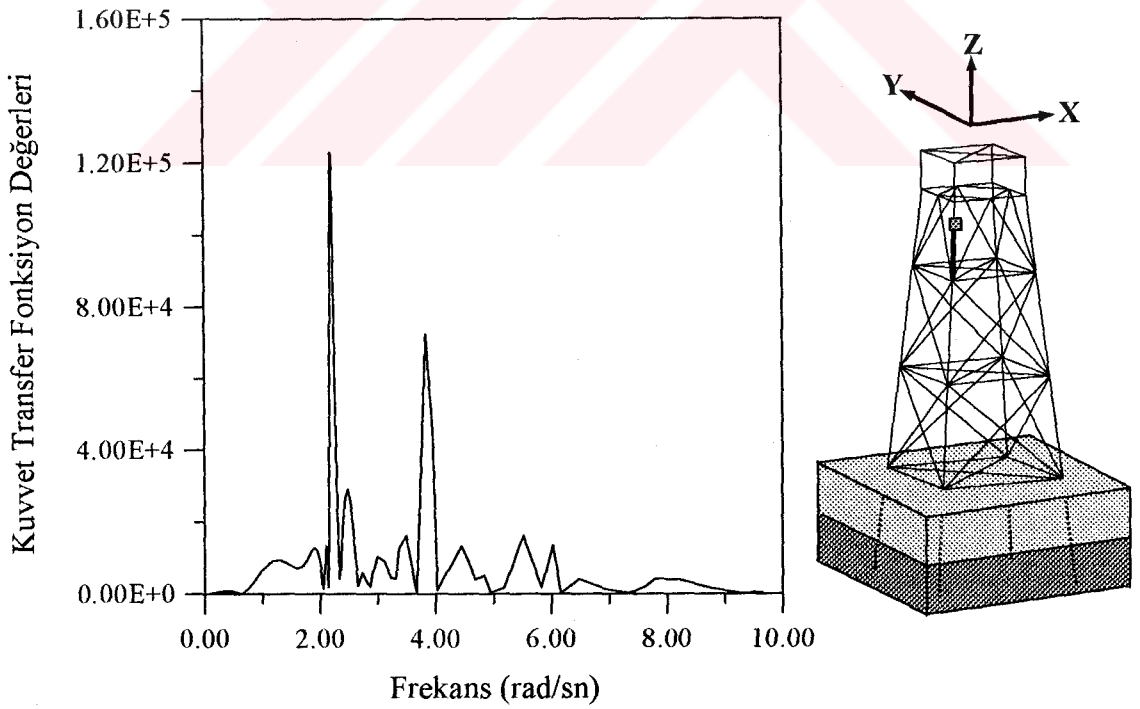
Şekil 97. Platformun zeminsiz olması durumunda B elemanının 2 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi



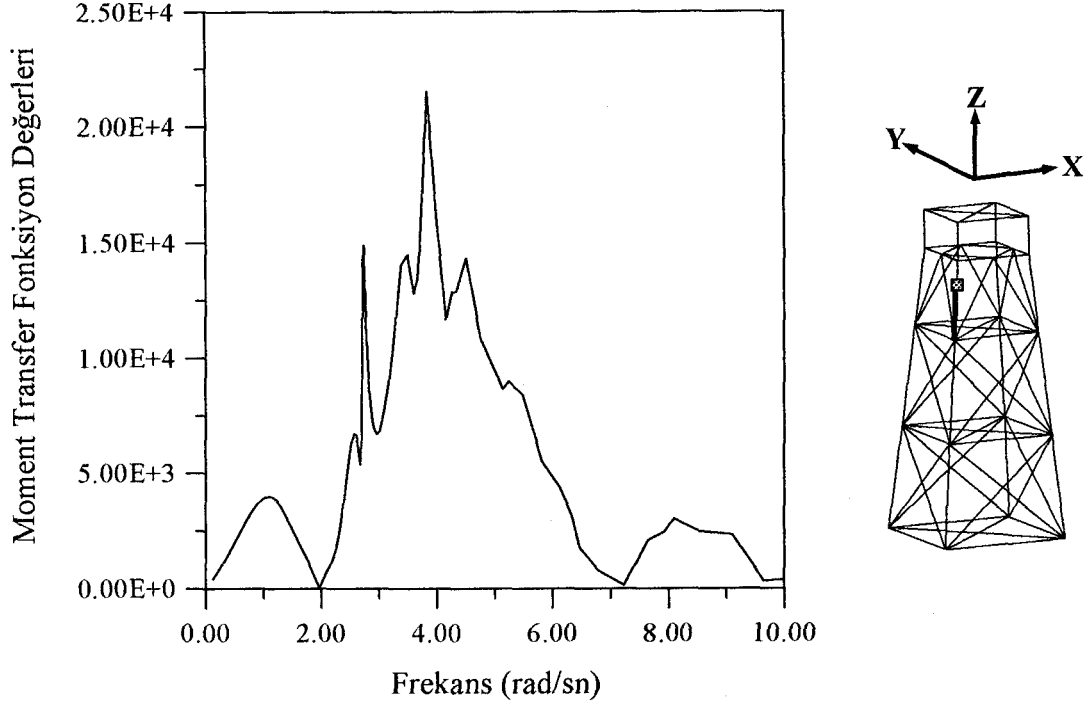
Şekil 98. Platformun zeminli olması durumunda B elemanının 2 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi



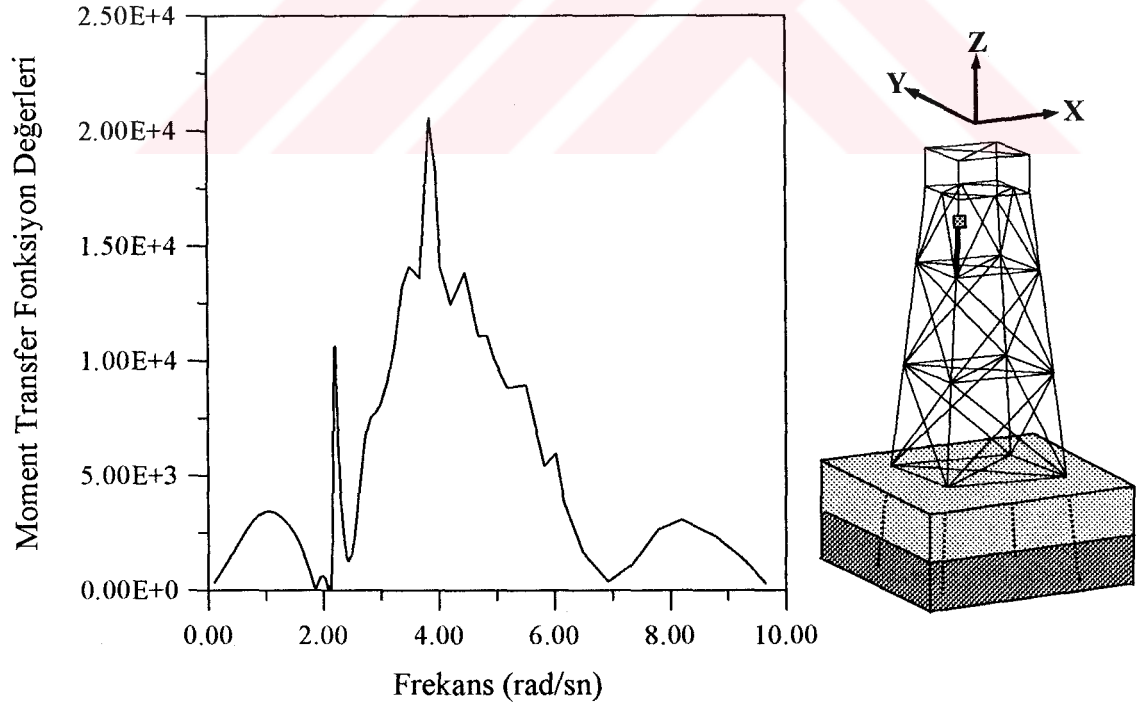
Şekil 99. Platformun zeminsiz olması durumunda, C elemanının 3 nolu düğüm noktasının X eksenini yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi



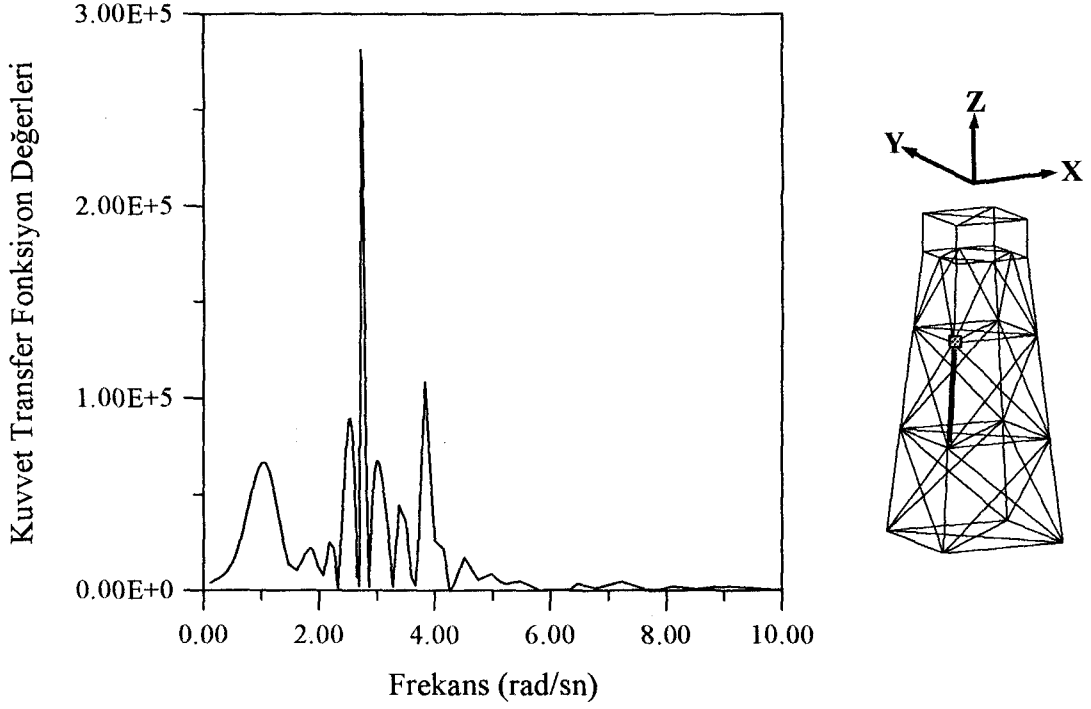
Şekil 100. Platformun zeminli olması durumunda, C elemanının 3 nolu düğüm noktasının X eksenini yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi



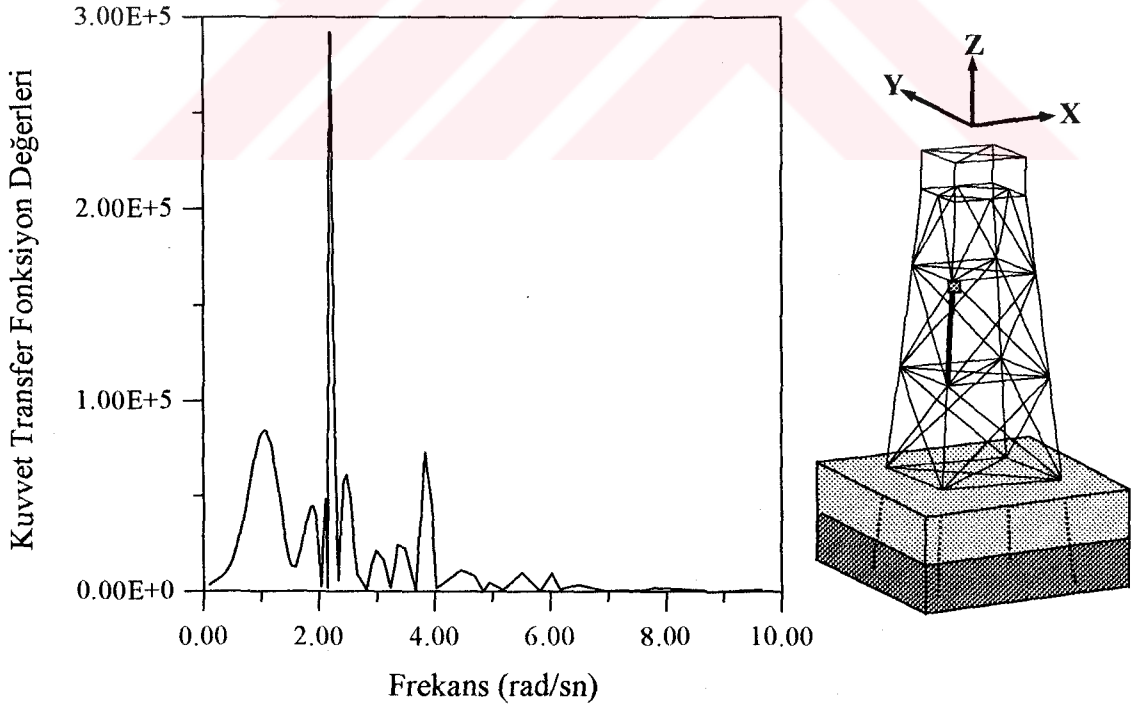
Şekil 101. Platformun zeminsiz olması durumunda C elemanının 3 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi



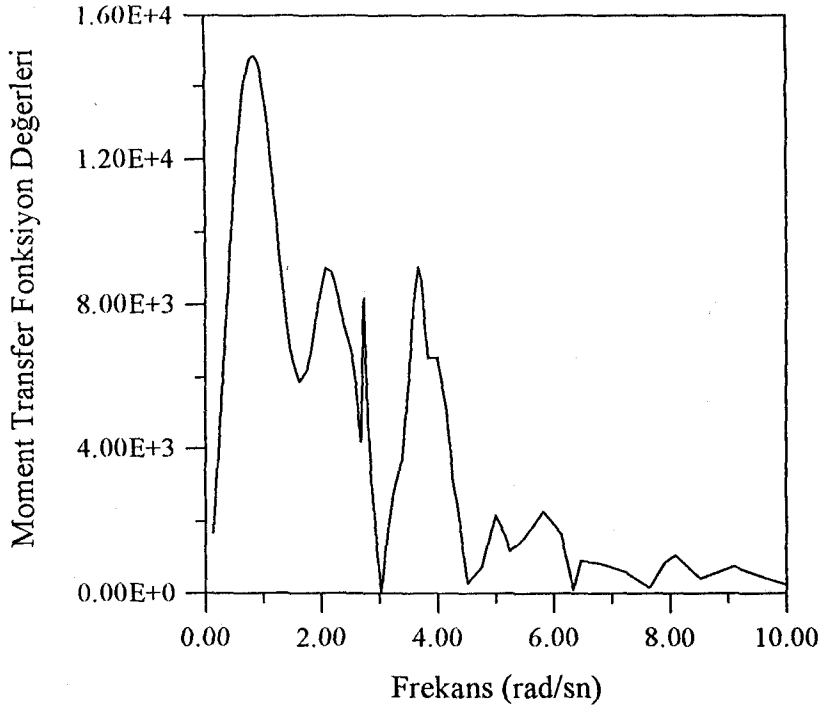
Şekil 102. Platformun zeminli olması durumunda C elemanının 3 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi



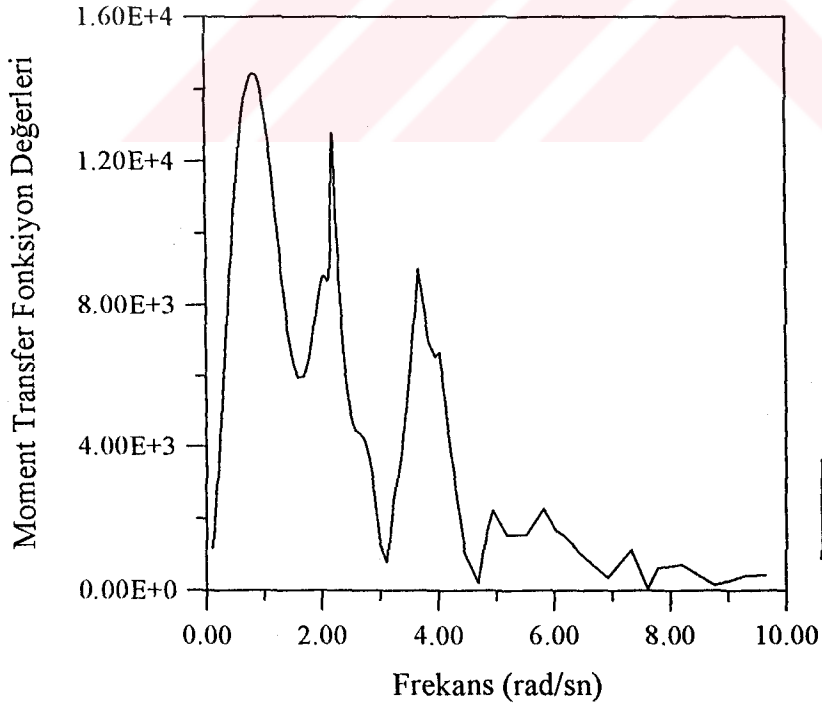
Şekil 103. Platformun zeminsiz olması durumunda, D elemanının 4 nolu düğüm noktasının X eksenini yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi



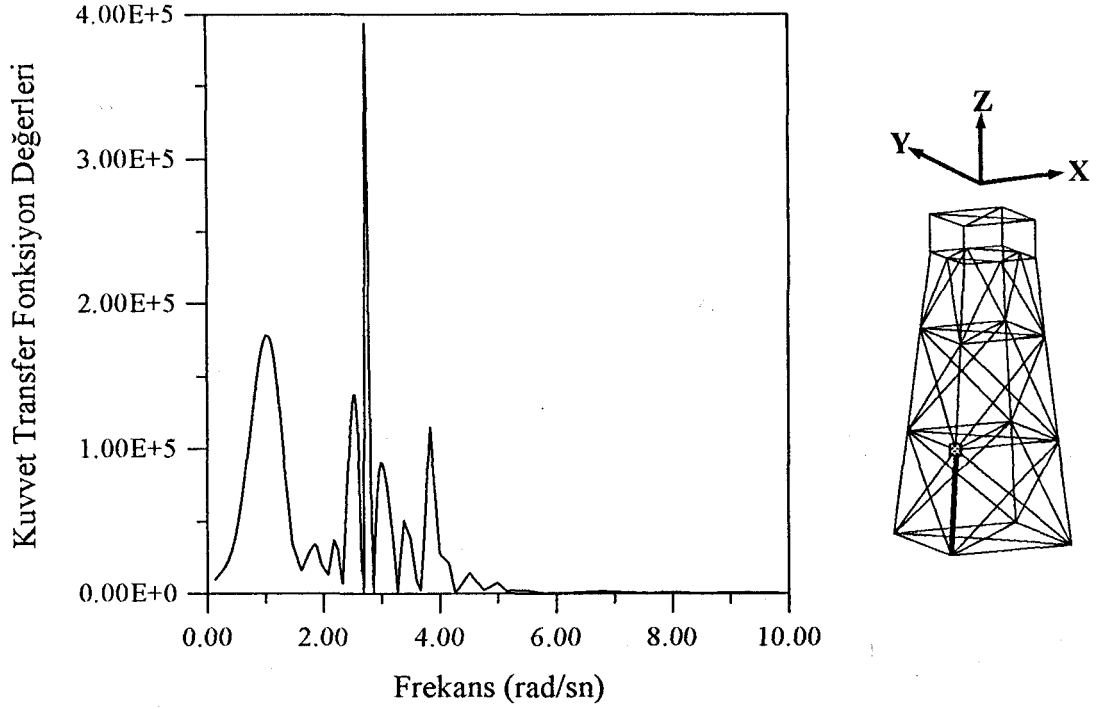
Şekil 104. Platformun zeminli olması durumunda, D elemanının 4 nolu düğüm noktasının X eksenini yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi



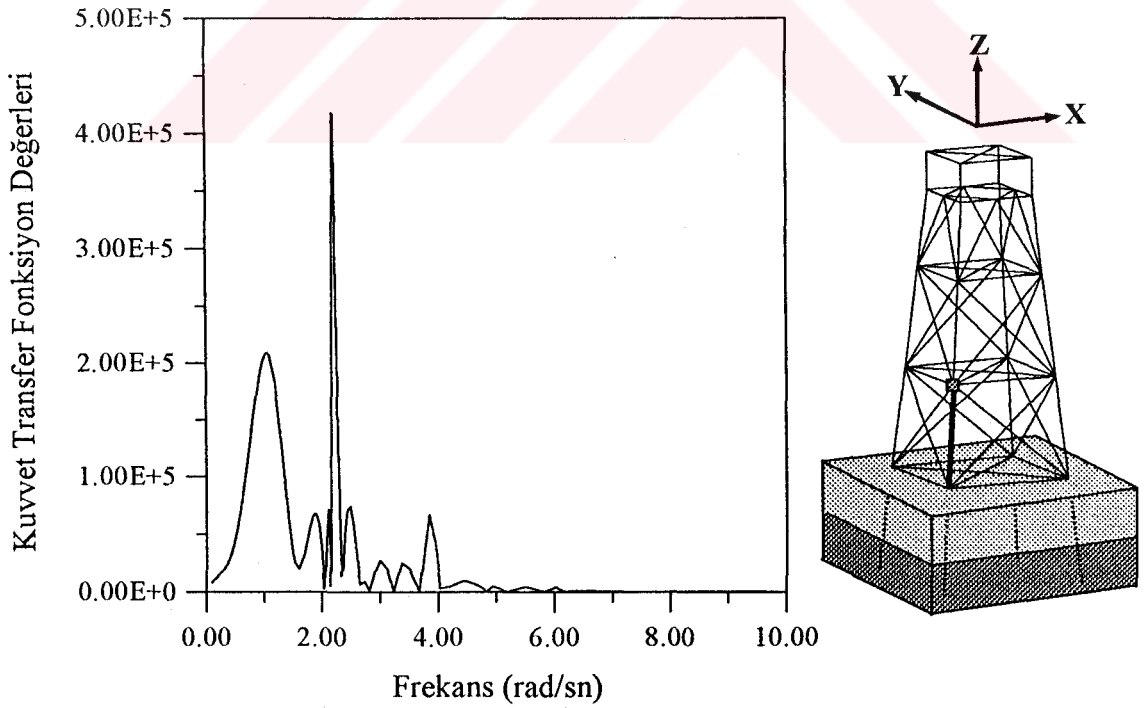
Şekil 105. Platformun zeminsiz olması durumunda D elemanının 4 nolu düğüm noktasının Y eksenine etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi



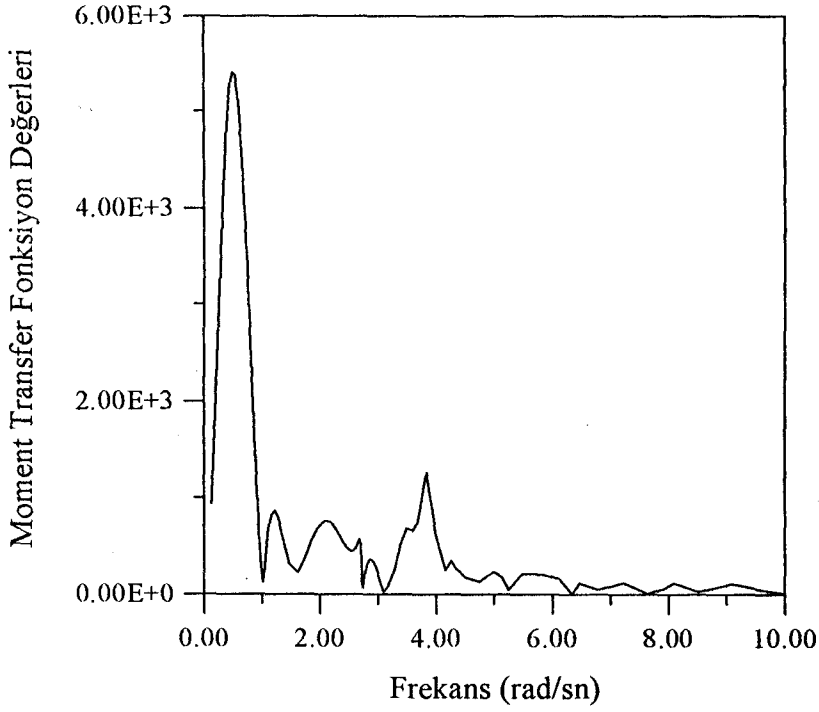
Şekil 106. Platformun zeminli olması durumunda D elemanının 4 nolu düğüm noktasının Y eksenine etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi



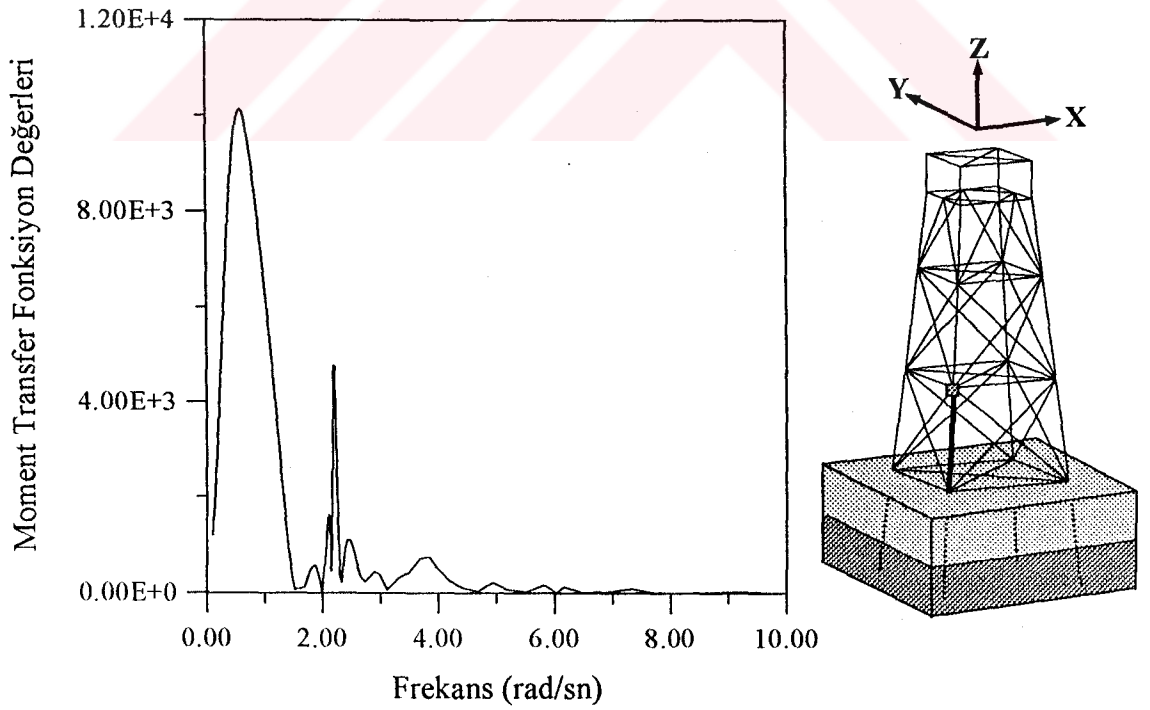
Şekil 107. Platformun zeminsiz olması durumunda, E elemanının 5 nolu düğüm noktasının X eksenini yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi



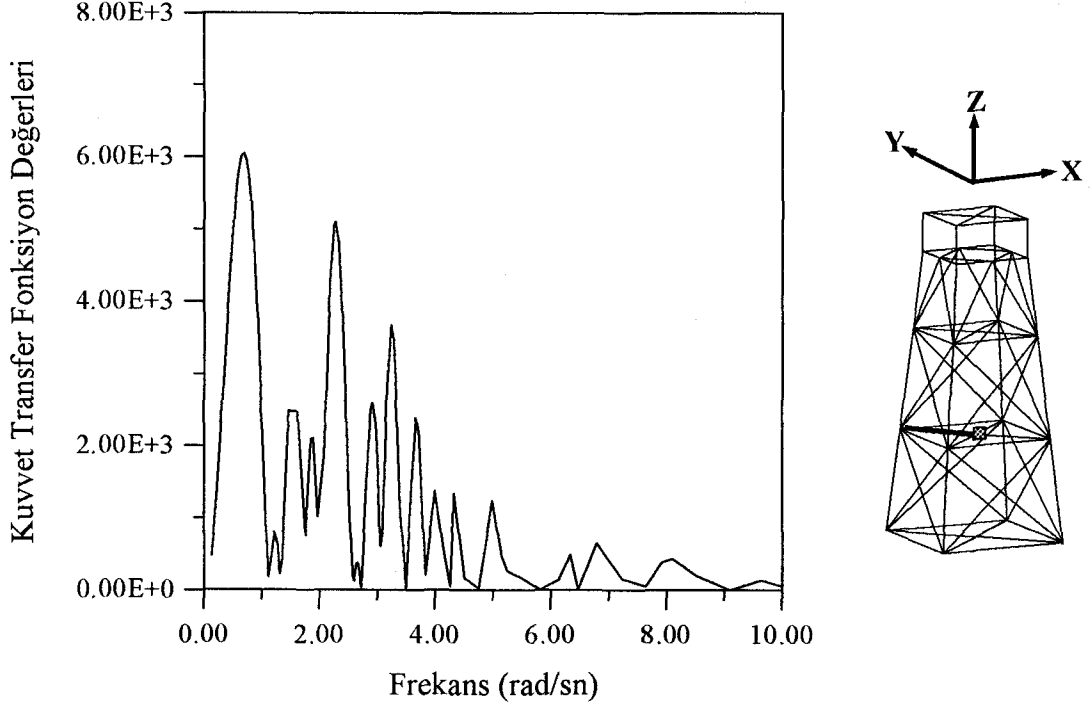
Şekil 108. Platformun zeminli olması durumunda, E elemanının 5 nolu düğüm noktasının X eksenini yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi



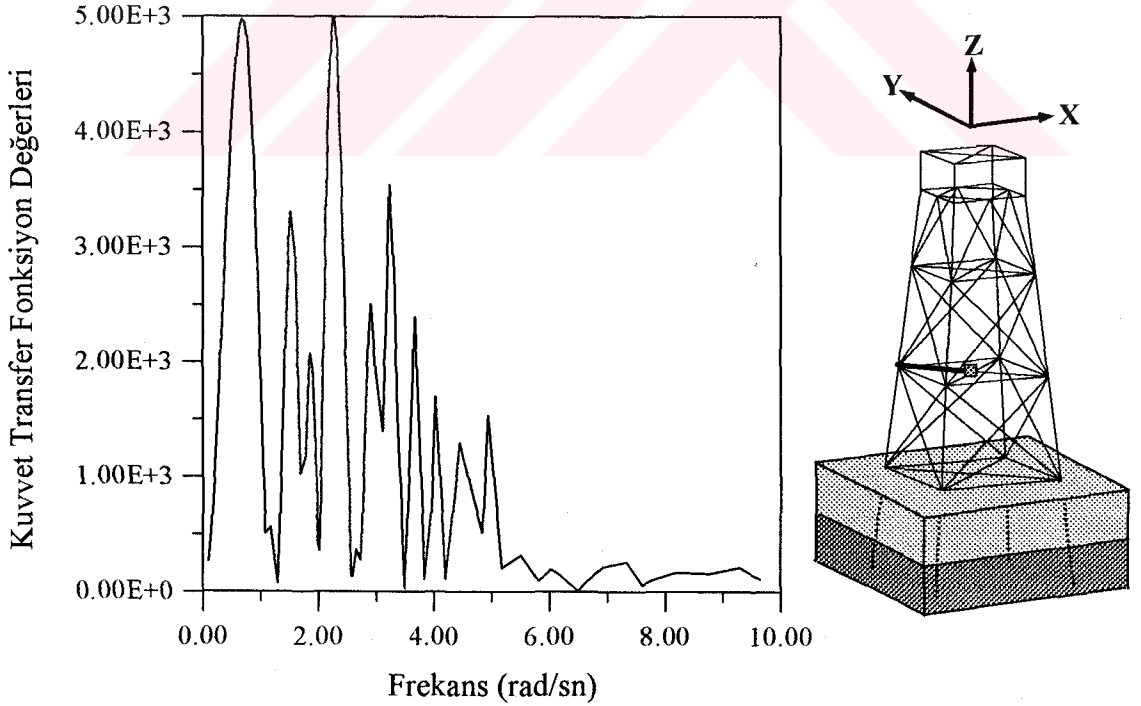
Şekil 109. Platformun zeminsiz olması durumunda E elemanının 5 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi



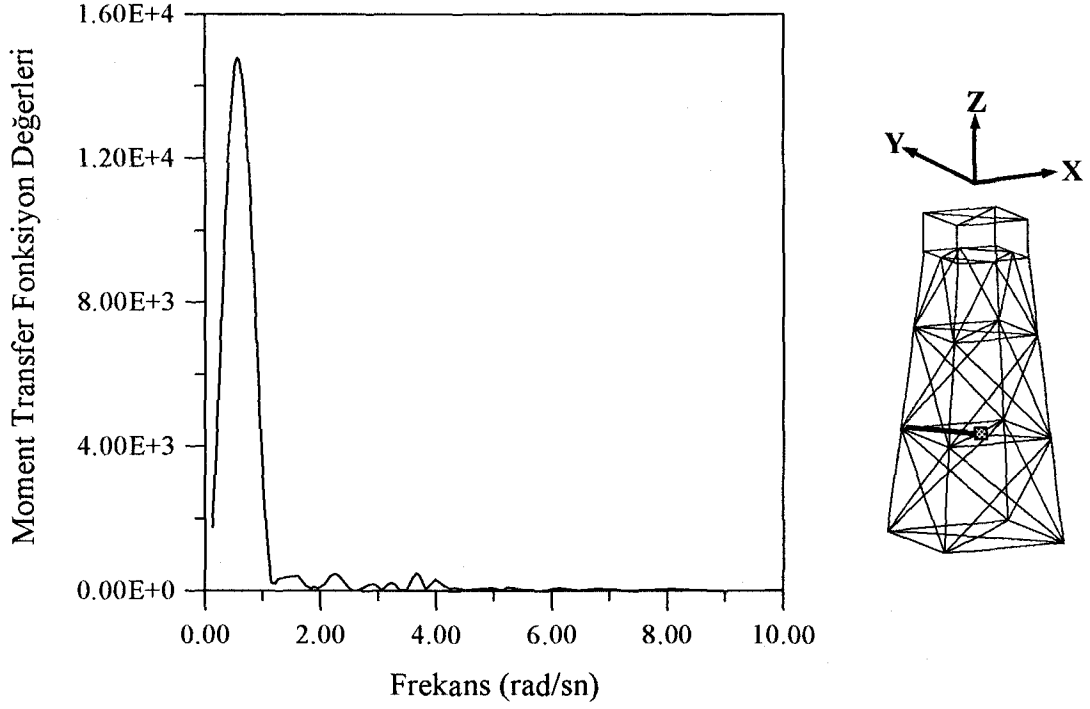
Şekil 110. Platformun zeminli olması durumunda E elemanının 5 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi



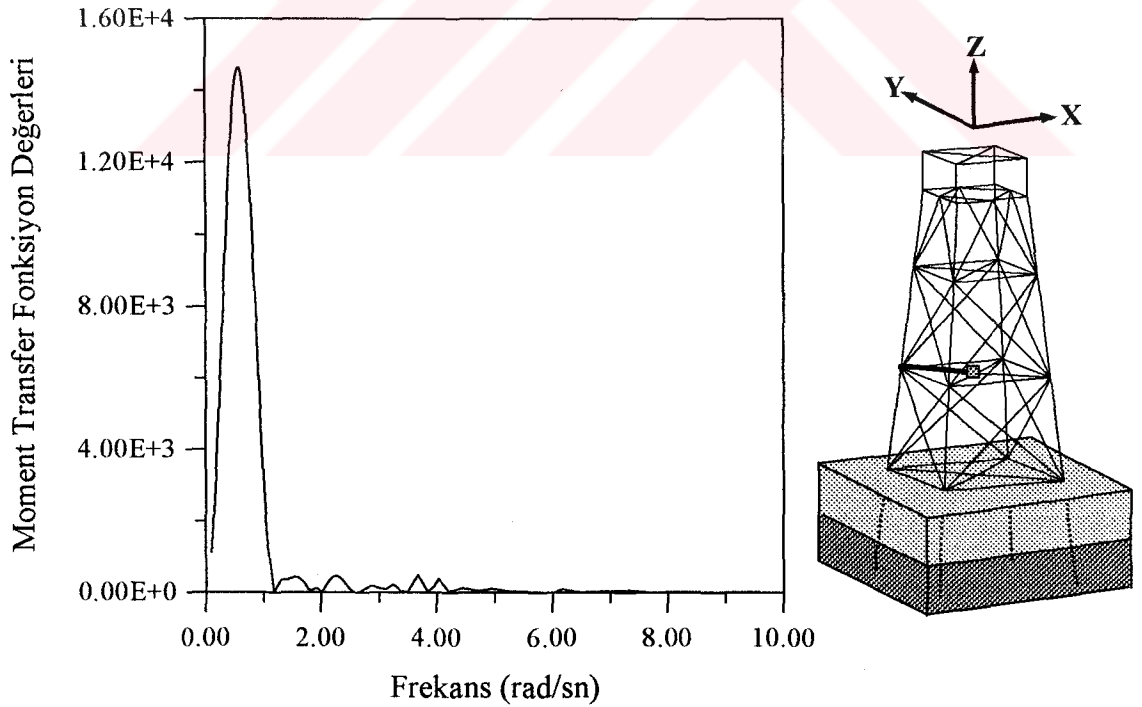
Şekil 111. Platformun zeminsiz olması durumunda, F elemanının 6 nolu düğüm noktasının X eksenine yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi



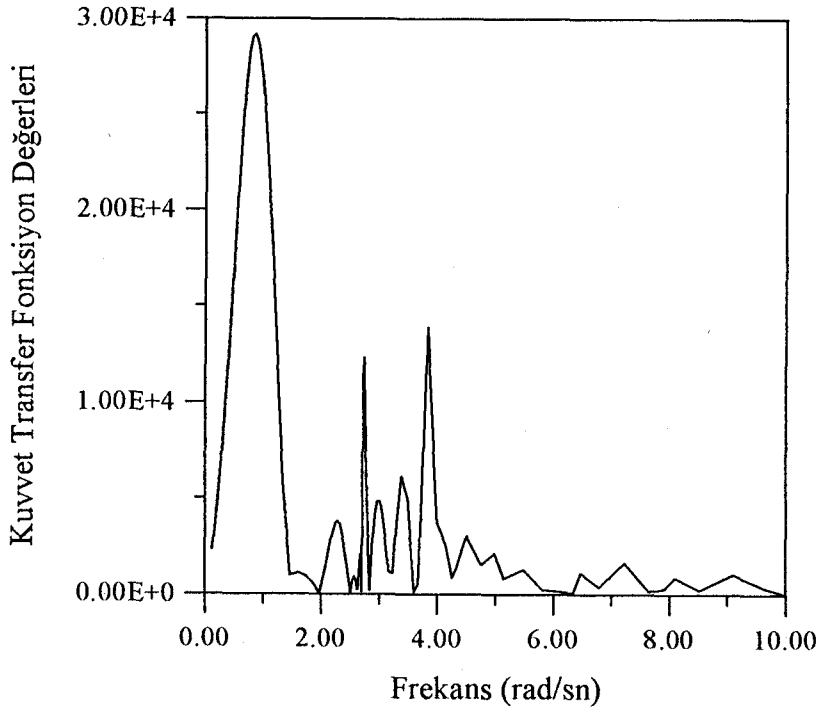
Şekil 112. Platformun zeminli olması durumunda, F elemanının 6 nolu düğüm noktasının X eksenine yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi



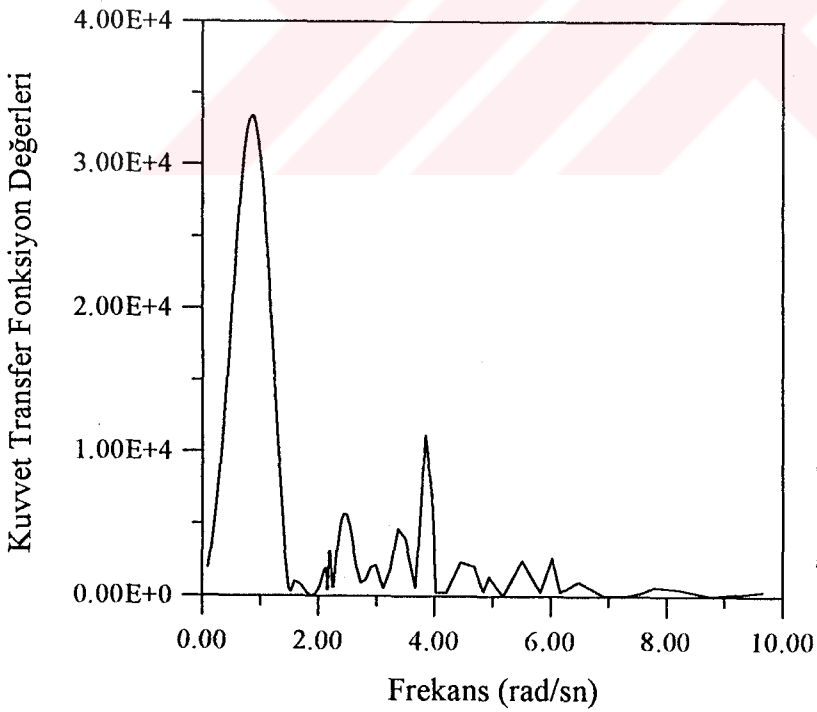
Şekil 113. Platformun zeminiz olması durumunda F elemanın 6 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değışimi



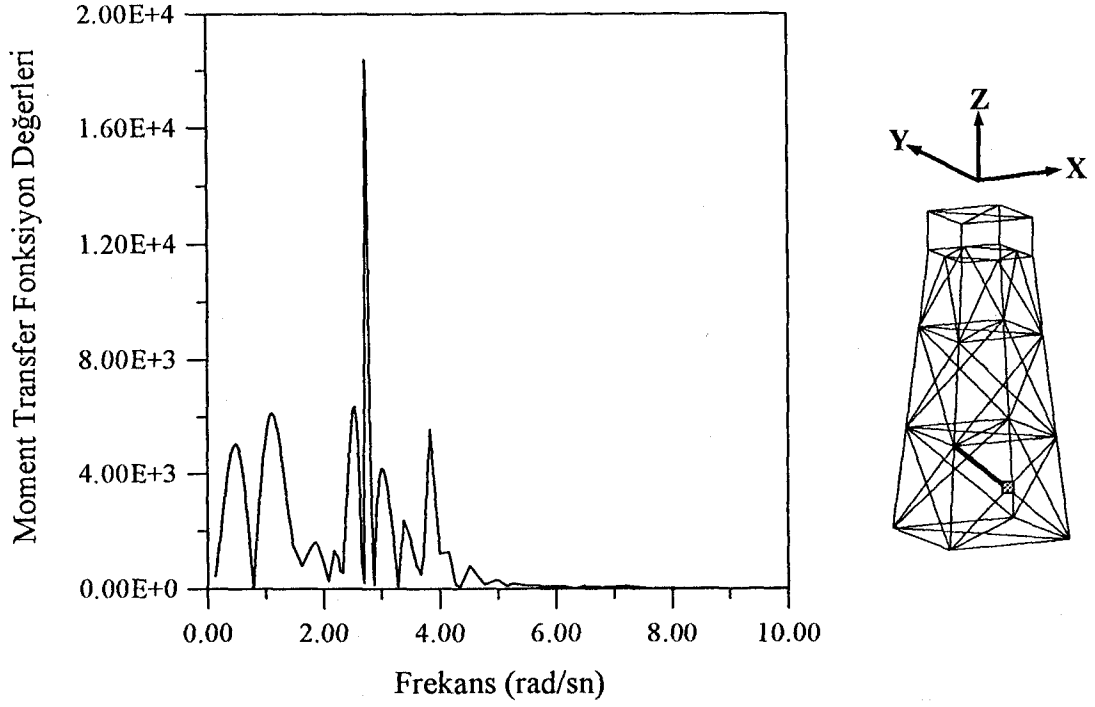
Şekil 114. Platformun zeminli olması durumunda F elemanın 6 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değışimi



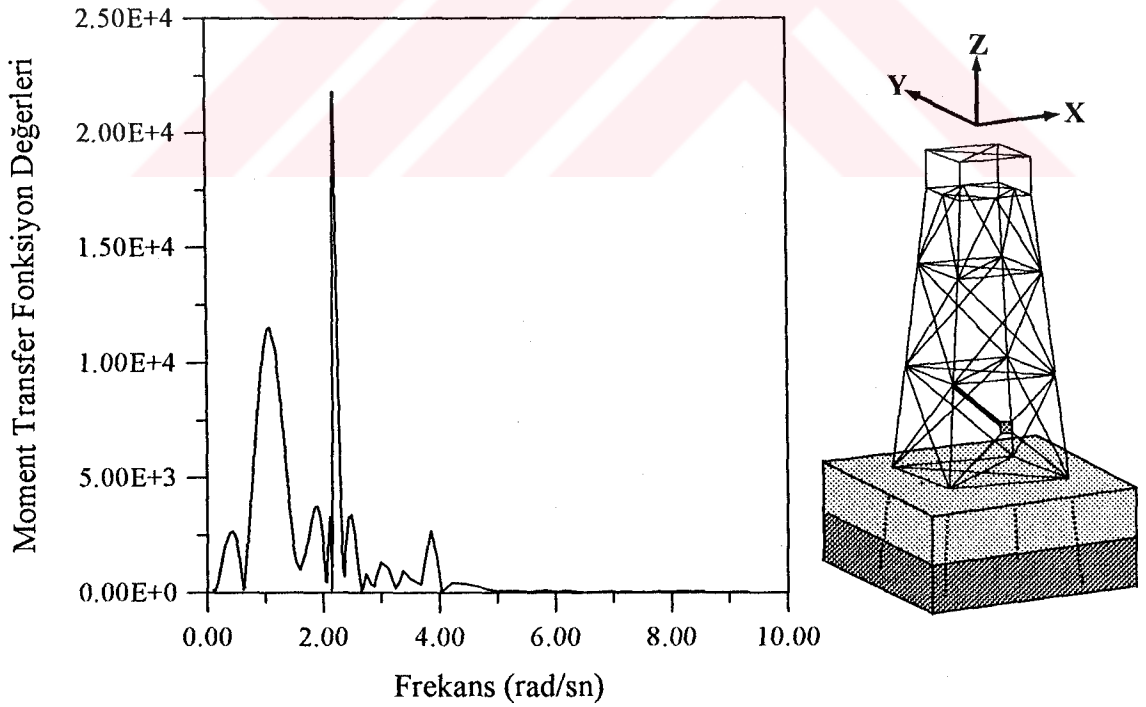
Şekil 115. Platformun zeminless olması durumunda, G elemanın 7 nolu düğüm noktasının X eksenini yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değışimi



Şekil 116. Platformun zeminli olması durumunda, G elemanın 7 nolu düğüm noktasının X eksenini yönündeki kuvvet transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değışimi



Şekil 117. Platformun zeminsiz olması durumunda G elemanının 7 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi



Şekil 118. Platformun zeminli olması durumunda G elemanının 7 nolu düğüm noktasının Y eksenini etrafındaki moment transfer fonksiyonunun reel kısmının frekansla değişimi

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde petrol insanoğlunun yaşam gereksinimlerinden biri olmuştur. Çoğu mamulün hammaddesinin petrol olduğu bilinmektedir. Bu nedenle petrolün aranması ve çıkarılması dünya ülkeleri arasında öncelikli konulardan biri haline gelmiştir. Yapım maliyetinin yüksek ve yapım şartlarının zor olmasına karşın petrol çıkarılması için denizlerde yapılan açık deniz platformları bu konuya verilen önemi göstermektedir. Ayrıca açık deniz platformlarının geçmişi yakın bir tarihe dayanmasına karşın dünya üzerindeki platform sayısının 6500'ü aşmış olması, bu konudaki ilerlemeyi de gösterir.

Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemizde maalesef bu tür yapılar bulunmamaktadır. Ama gelecekte bu tür yapıların sınırlarımız içerisinde olabileceğini düşündüğümüz zaman bu konuların incelenmesi ileride adımı atılacak bu teknolojinin alt yapısını oluşturur. Aynı zamanda bu konuda yapılan çalışmalar, başka konuların (boru hatları...vb.) incelenmesine de yardımcı olur. Bu da sınırlarımız içerisinde de geçen boru hatlarını düşündüğümüzde ileride karşılaşılabilecek sorunların çözümü için temel teşkil eder.

Açık deniz platformları tasarlanırken,

- Platformun çevresindeki dalga ve akıntı ikliminin, dalga ve akıntı ölçümlerine veya meteorolojik verilere bağlı olarak tanımlanması,
- Dizayn dalgası ve akıntı özelliklerinin belirlenmesi,
- Platforma tesir edecek dalga ve akıntıdan kaynaklanan hidrodinamik kuvvetlerin hesaplanması,
- Platformun deprem ve dalga kuvvetine göre davranışının hesaplanması,
- Taşıma ve batırma sırasında oluşan etkilerin analizi,
- Platformun yorulma analizi,
- Zemin analizi
- Platform elemanlarının bağlantı analizi,
- Boru hatları ve kazıklar için katı madde hareketinin incelenmesi gerekmektedir [1].

Bu çalışmada ceket tipi açık deniz platformlarının deprem ve dalga kuvvetlerine göre stokastik davranışının belirlenmesi amaçlanmıştır. Analizler için 4-ayaklı bir ceket platform seçilmiştir. Deprem ve dalga kuvvetlerine ayrı ayrı maruz olan platformun zeminsiz ve zeminli olması durumları için analizler gerçekleştirilmiştir.

Analizlerde deprem etkisi için Kanai-Tajimi deprem güç spektrumu alınmıştır. Dalga kuvveti için yapılan analizlerde Pierson-Moskowitz deniz spektrumu kullanılmıştır. Yapı zeminli olarak düşünüldüğünde iki tabakalı yumuşak ve kumlu bir yere oturduğu varsayılmış ve bu ortamlar için ortalama değerler seçilmiştir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır :

- 1.) Deprem hareketi için yapılan analizlerin sonuçlarına göre platformun zeminsiz ve zeminli olması durumlarında deprem etkime yönündeki yerdeğiştirme transfer fonksiyonu ve spektrum değerleri yükseklikle artmaktadır.
- 2.) Deprem hareketi için yapılan analizlerde düğüm noktalarındaki deprem etkime yönündeki yerdeğiştirme transfer fonksiyon ve spektrum değerleri platformun zeminli olması durumunda zeminsiz olmasına göre daha büyük olmaktadır.
- 3.) Deprem hareketi için yapılan analizlerin sonucunda eleman uçlarındaki deprem etkime yönündeki kuvvet ve momentlerin transfer fonksiyon ve spektrum değerleri platformun zeminli olması durumunda zeminsiz olmasına göre daha büyük çıkmıştır.
- 4.) Deprem hareketi için yapılan analizlerde düğüm noktalarının Y eksenini boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyon ve spektrum değerleri, X ve Z eksenini boyunca yerdeğiştirme transfer fonksiyon ve spektrum değerlerine göre, X ve Z eksenini etrafındaki momentin transfer fonksiyon ve spektrum değerleri, Y eksenini etrafındaki momentin transfer fonksiyon ve spektrum değerlerine göre çok küçük çıkmıştır.

5.) Dalga kuvveti için yapılan analizlerin sonuçlarına göre eleman uçlarındaki dalga yönündeki kuvvet ve momentlerin transfer fonksiyon değerleri platformun zeminli olması durumunda zeminsiz olmasına göre genelde daha büyük çıkmıştır.

6.) Bu çalışma genişletilerek deprem ve dalga etkisi aynı anda etkimesi durumunda açık deniz platformlarının zeminin lineer olmaması için stokastik davranışı incelenebilir.



5. KAYNAKLAR

1. Yüksel, A., Çevik, E., Çelikoğlu, Y., Kıyı ve Liman Mühendisliği, İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, Ankara, 1998.
2. The University of Strathclyde, 'Steel Jacket Structure', www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/98-9/offshore/, 16.05.2002.
3. Adrezn, R., Bar-Avi, P., Benaroya, H., Dynamic Response of Compliant Offshore Structures-Review, Journal of Aerospace Engineering, 9, 4, (1996), 114-131.
4. Karadeniz, H., An Advanced Software for the Stochastic and Fatigue Reliability Analysis of Offshore Structures, Proceedings of the First International Symposium on Uncertainly Modelling and Analysis, (1991), 324-329.
5. Karadeniz, H., Uncertainly modeling in the Fatigue Reliability Calculation of Offshore Structures, Reliability Engineering and System Safety, 74, (2001), 323-335.
6. Karadeniz, H., Spectral Analysis of Offshore Structures Under Combined Wave and Earthquake Loadings, Proceedings of the Ninth International Offshore and Polar Engineering Conference, Brest, France, May 30-June 4, 1999, Vol. IV, 504-511.
7. Karadeniz, H., An Interface Beam Element for the Dynamic Analysis of Viscoelastic Soil-Structure Interactions, Proceedings of OMEA00, 19th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, New Orleans, USA, February 14-17, 2000, 1-8.
8. Karadeniz, H., Earthquake Analysis of Buried Structures and Pipelines Based on Rayleigh Wave Propagation, Proceedings of the Tenth International Offshore and Polar Engineering Conference, Seattle, USA, May 28-June 2, 2000, Vol. IV, 227-234.
9. Yamada, Y., Iemura, H., Kawano, K., Venkataramana, K., Seismic Response of Offshore Structures in Random Seas, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 18, 7, (1989), 965-981.
10. Penzien, J., Kaul, M.K., Berge, B., Stochastic Response of Offshore Towers to Random SeaWaves and Strong Motion Earthquakes, Computers and Structures, 2, (1972) 733-756.
11. Kaul, M.K., Penzien, J., Stochastic Seismic Analysis of Yielding Offshore Towers, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, 100, (1974), 1025-1038.

12. Ruitz, P., Penzien, J., Stochastic Seismic Response of Structures, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, 97, (1971), 441-456.
13. Malhotra, A.K., Penzien, J., Nondeterministic Analysis of Offshore Structures, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, 96, (1970), 985-1003.
14. Bea, R.G., Mortazavi, M.M., Loch, K.J., Evaluation of Storm Loadings on and Capacities of Offshore Platforms, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering ASCE, 123, 2, (1997), 73-81.
15. Pillai, T.M.M., Prasad, A.M., Fatigue Reliability Analysis in Time Domain for Inspection Strategy of Fixed Offshore Structures, Ocean Engineering, 27, (2000), 167-186.
16. Naess, A., Yim, S.C.S., Stochastic Response of Offshore Structures Excited by Drag Forces, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 122, 5, (1996), 442-448.
17. Naess, A., Pisano, A.A., Frequency Domain Analysis of Dynamic Response of Drag Dominated Offshore Structures, Applied Ocean Research, 19, (1997), 251-262.
18. Lee, H.H., Stochastic Analysis for Offshore Structures with Added Mechanical Dampers, Ocean Engineering, 24, 9, (1997), 817-834.
19. Onoufriou, T., Reliability Based Inspection Planning of Offshore Structures, Marine Structures, 12, (1999), 521-539.
20. Onoufriou, T., Forbes, V.J., Developments in structural system reliability assessments of fixed steel offshore platforms, Reliability Engineering and System Safety, 71, (2001), 189-199.
21. Foster, E.T., Model for Nonlinear Dynamics of Offshore Towers, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, 96, (1970), 41-65.
22. Bea, R.G., Xu, T., Stear, J., Ramos, R., Wave Forces on Decks of Offshore Platforms, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 125, 3, (1999), 136-144.
23. Grecco, M.G., Hudspeth, R.T., Stochastic response of Prototype Offshore Structure, Journal of Structural Engineering, ASCE, 109, 5, (1983), 1119-1138.
24. Hahn, G.D., "Effects of Sea-Surface Fluctuations on Response of Offshore Structures, Journal of Structural Engineering, ASCE, 121, 1, (1995), 63-74.

25. Viero, P.F., Roitman, N., Application of Some Damage Identification Methods in Offshore Structures, Marine Structures, 12, (1999), 107-126.
26. Hartnett, M., The Application of a Spectral Response Model to Fixed Offshore Structures, Computers and Structures, 78, (2000), 355-364.
27. Li, X.-M., Quek, S.-T., Koh, C.-G., Stochastic Response of Offshore Platforms by Statistical Cubicization, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 121, 10 (1995), 1056-1064.
28. Benfratello, S., Falsone, G., Non-Gaussian Approach for Stochastic Analysis of Offshore Structures, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 121, 11, (1995), 1173-1180.
29. Terro, M.J., Mahmoud, M.S., Abdel-Rohman, M., Multi-loop Feedback Control of Offshore Steel Jacket Platforms, Computers and Structures, 70, (1999), 185-202.
30. Karadeniz, H., Probabilistic modelling of Flexible-Member Connections in Offshore Structural Analysis, Proceedings of OMAE99, 18th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, St. John's, Canada, July 11-16, 1999, 1-8.
31. Bea, R.G., Nonlinear Performance of Offshore Platforms in Extreme Storm Waves, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, 122, 2, (1996), 68-74.
32. Karadeniz, H., Stochastic Analysis Program for Offshore Structures (SAPOS), Report on Offshore Structural Analysis, Department of Civil Engineering, Delft University of Technology, 1985.
33. Karadeniz, H., Stochastic Analysis Program for Offshore Structures User's Manual, Report No. 03.21.1.21.15, Department of Civil Engineering, Delft University of Technology, 1994.
34. Sawaragi, T., Coastal Engineering-Waves, Beaches, Wave-Structure Interactions, Volume II, Elsevier, Tokyo, 1995.
35. Tedesco, J.W., Mcdougal, W.G., Ross, C.A., Structural Dynamics, Addison Wesley Longman, Inc., Canada, 1999.
36. University of Wales Swansea, 'Introduction to Offshore Structures', www.swan.ac.uk/civeng/Research/offshore/introto/offstruct.htm, 30.05.2002.

37. Luis, M.L, 'Offshore Platforms Design Overview', www.geocities.com/angolano/OS_PLATFORMS_DESIGN.html, 05.06.2002.
38. Karadeniz, H., Spectral Analysis and Stochastic Fatigue Reliability Calculation of Offshore Steel Structures, Report on Offshore Structural Analysis, Department of Civil Engineering, Delft University of Technology, 1983.
39. Lin, Y.K., Probabilistic Theory of Structural Dynamics, First Addition, Mc Graw Hill, Inc. New York, 1967.
40. Clough, R.W., Penzien, J., Dynamics of Structures, Second Addition, Mc Graw Hill, Inc., Singapore, 1993.
41. Newland, D.E., An Introduction to Random Vibrations and Spectral Analysis, First Edition, Longman, Inc., New York, 1975.
42. Bolotin, V.V., Random Vibrations of Elastic Systems, First Addition, Martinus Nijhoff Publishers, The Hague, 1984.
43. Elishakoff, I., Probabilistic Method in the Theory of Structures, John Willey and Sons, Inc., New York, 1983.
44. Yang, C.Y., Random Vibration of Structures, First Edition, John Willey and Sons, Inc., New York, 1986.
45. Brebbia, C.A., Walker, S., Dynamic Analysis of Offshore Structures, Butterworth & Co. (Publishers) Ltd., London, 1979.
46. Karadeniz, H., Spectral Analysis of Jacket Type Structures, Report on Offshore Structural Analysis, Department of Civil Engineering, Delft University of Technology, 1979.

ÖZGEÇMİŞ

Hasan Basri Başağa, 1976 yılında Bayburt'ta doğdu. İlk öğrenimini Cudibey ve Gazipaşa İlkokullarında, orta ve lise öğrenimini Trabzon Kanuni Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 1995 yılında K.T.Ü Gümüşhane Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. Burada bir dönem okuduktan sonra K.T.Ü Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne yatay geçiş yaptı. 1999 yılında burayı dönem üçüncüsü olarak tamamladı. Aynı yıl K.T.Ü İnşaat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı. 2000 yılında K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsünde Araştırma Görevliliği kadrosuna atanan Başağa, evli olup iyi derecede İngilizce bilmektedir.



**T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**