

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DENGELİ KONSOL YÖNTEMİYLE İNŞAA EDİLEN BETONARME KÖPRÜLERİN DİNAMİK  
DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş. Müh. Filiz TUNÇ**

**NİSAN 2019  
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DENGELİ KONSOL YÖNTEMİYLE İNŞAA EDİLEN BETONARME KÖPRÜLERİN  
DİNAMİK DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ**

**İnş. Müh. Filiz TUNÇ**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 02 / 04 / 2019**

**Tezin Savunma Tarihi : 26 / 04 / 2019**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Şevket ATEŞ**

**Trabzon 2019**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında  
Filiz TUNÇ Tarafından Hazırlanan**

**DENGELİ KONSOL YÖNTEMİYLE İNŞAA EDİLEN BETONARME KÖPRÜLERİN  
DİNAMİK DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 09 / 04 / 2019 gün ve 1799 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Şevket ATEŞ**

.....

**Üye : Prof. Dr. Süleyman ADANUR**

.....

**Üye : Doç. Dr. Barış SEVİM**

.....

**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

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

“Dengeli Konsol Yöntemiyle İnşaa Edilen Betonarme Köprülerin Dinamik Davranışlarının Belirlenmesi” isimli tez çalışmamda her türlü desteği veren ve bilgi ve tecrübeleriyle yolumu aydınlatan Danışmanım Sayın Prof. Dr. Şevket ATEŞ'e en içten teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmam sırasında manevi desteklerini benden esirgemeyen Sayın Araş. Gör. Ali Fuat GENÇ'e, Araş. Gör. Ömer Furkan DURMUŞ'a, Araş. Gör. Dr. Barbaros ATMACA'ya, Araş. Gör. Mustafa ERGÜN'e ve adını yazamadığım daha birçok arkadaşşıma teşekkür ederim.

Eğitim ve öğretim hayatımda emeği geçen bütün hocalarımı saygı ve sevgiyle hatırlar ve hepsine teşekkür ederim.

Tez çalışmamın sağlıklı bir şekilde yürütülebilmesi için gerekli projeyi sağlayan Devlet Su İşleri 26. Bölge Müdürlüğü'ne, proje yüklenicisi PETEK Proje Mühendislik Müşavirlik A.Ş.' ye teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında benden desteğini esirgemeyen ve yapabileceğimi sandığımdan çok daha fazlasını başarmama imkân sağlayan babam Rafet SALİOĞLU'na ve iyilik ve güzelliği ile daima şefkatli annem Fatma SALİOĞLU'na ve dünya tatlısı kardeşlerim Seyhan SALİOĞLU, Sevim SALİOĞLU, Şevval SALİOĞLU ve Muhammet SALİOĞLU'na minnet ve şükranlarımı sunarım. Her konuda bana yardımcı olan ve görüş ve önerilerinden yararlandığım eşim Erkan TUNÇ'a teşekkür ederim. Ayrıca doğumuyla bana bu tez çalışmasını yazmam için zaman yaratan sevgili oğlum Ozan TUNÇ'a sonsuz teşekkür ederim.

Filiz TUNÇ  
Trabzon 2019

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Dengeli Konsol Yöntemiyle İnşaa Edilen Betonarme Köprülerin Dinamik Davranışlarının Belirlenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Şevket ATEŞ’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 26/04/2019

Filiz TUNÇ

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

ÖNSÖZ .....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER .....	V
ÖZET .....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIII
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Konuyla İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar .....	2
1.3. Çalışmanın Amacı ve İçeriği .....	5
1.4. Dengeli Konsol Betonarme Köprüler .....	6
1.4.1. Dengeli Konsol Betonarme Köprülerin Yapım Aşamaları .....	9
1.5. Hesap Yönteminin Seçilmesi.....	13
1.5.1. Mod Birleştirme Yöntemi .....	13
1.5.1.1. KTKK Yöntemi .....	14
1.5.1.2. TKB Yöntemi.....	14
1.5.2. Mod Birleştirme Yönteminin Formülasyonu.....	15
1.5.2.1. Doğal Frekans ve Modların Hesabı .....	16
1.6. Deprem Kayıt Kaynakları .....	24
1.6.1. Yapay Deprem Kayıtları .....	24
1.6.2. Benzeştirilmiş Deprem Kayıtları .....	24
1.6.3. Gerçek Deprem Kayıtları .....	25
1.6.3.1. Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi .....	25
1.7. Yer Hareketini Ölçeklendirme Yöntemleri.....	25
1.7.1. Frekans Tanım Alanında Ölçeklendirme .....	26
1.7.2 Zaman Tanım Alanında Ölçeklendirme.....	27
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	28

2.1.	Ortaköy Köprüsü.....	28
2.1.1.	Ortaköy Köprüsü Geometrisi.....	28
2.1.2.	Ortaköy Köprüsü Kesiti .....	31
2.1.3.	Ortaköy Köprüsü Halat Yerleşimi .....	33
2.1.4.	Ortaköy Köprüsü Düşey Taşıyıcıları .....	35
2.2.	Ortaköy Köprüsü Sonlu Eleman Modeli.....	37
2.2.1.	Deprem Kayıtlarının Seçilmesi.....	38
2.2.1.1.	Standart Deprem Yer Hareketi pektrumları .....	38
2.2.1.1.1.	Harita Spektral İvme Katsayıları ve Tasarım İvme Katsayıları.....	38
2.2.1.1.2.	Yerel Zemin Etki Katsayıları .....	38
2.2.1.1.3.	Yatay Elastik Tasarım Spektrumu .....	39
2.2.1.1.4.	Düşey Elastik Tasarım Spektrumu.....	41
2.2.1.2.	Sahaya Özel Yer Hareketi Spektrumu .....	41
2.2.1.2.1	Sahaya Özel Elastik İvme Spektrumu.....	41
2.2.1.2.2	Sahaya Özel Zemin Davranış Analizleri.....	42
2.2.2.	Modelin Oluşturulması .....	43
2.2.3.	Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması.....	48
2.2.4.	Eleman Tiplerinin Belirlenmesi .....	50
2.2.5.	Tanımlanan Özelliklerin Atanması .....	51
2.2.6.	Sonlu Eleman Ağının Oluşturulması .....	52
2.2.7.	Sınır Şartlarının Belirlenmesi .....	53
2.2.8.	Yapısal Analizler ve Değerlendirmeler .....	54
2.2.8.1.	Köprünün Modal Analizi .....	55
2.2.8.2.	Köprünün Yalnızca Ardgerme Kablo Kuvvetleri Altındaki Davranışı .....	58
2.2.8.3.	Köprünün Kendi Ağırlığı ve Taşıt Yükleri Altındaki Davranışı .....	63
2.2.8.4.	Köprünün Spektrum Analizi ile Dinamik Davranışının Belirlenmesi .....	68
3.	SONUÇLAR .....	75
4.	KAYNAKLAR .....	79

## ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans

ÖZET

DENGELİ KONSOL YÖNTEMİYLE İNŞAA EDİLEN BETONARME KÖPRÜLERİN DİNAMİK  
DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ

Filiz TUNÇ

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Şevket ATEŞ  
2019, 83 Sayfa

Bu tez çalışmasında, dengeli konsol ve ard germe tekniği ile inşa edilen köprülerin dinamik analizi yapılmaktadır. Bu amaçla, dengeli konsol yöntemiyle inşa edilen ve hem boyuna hem enine ard germeye sahip Ortaköy Köprüsünün analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler; ANSYS programında, on bir adet yer hareketinin ölçeklendirilmesiyle elde edilen tasarım ivme spektrumu kullanılarak yapılmıştır.

Tez çalışması dört bölümden oluşmaktadır: Birinci bölümde, dengeli konsol yönteminden, daha önce yapılan çalışmalardan, dengeli konsol yöntemi ile inşa edilen köprülerden, mod birleştirme yönteminden, ölçeklendirme yöntemlerinden bahsedilmiştir. İkinci bölümde, tez çalışması için seçilen Ortaköy Köprüsü'nün proje özellikleri anlatılmaktadır. ANSYS programında sonlu elemanlar yöntemi ile modellenen Ortaköy Köprüsünün dinamik analizi gerçekleştirilmiştir ve analizler sonucunda elde edilen yer değiştirmeler, kesit etkileri, dinamik davranışlar incelenmiştir. Üçüncü bölümde, ise, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve öneriler yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Dengeli Konsol Betonarme Köprüler, Dinamik Analiz, Deprem Kayıtlarının Seçilmesi, Deprem Kayıtlarının Ölçeklendirilmesi.

Master Thesis

SUMMARY

DETERMINATION OF DYNAMIC BEHAVIOR OF THE CONCRETE BRIDGES BUILDING  
WITH BALANCE CONSIDERED METHOD

Filiz TUNC

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Civil Engineering Graduate Program  
Supervisor: Prof. Dr. Şevket ATEŞ  
2019, 83 Pages

In this thesis, the dynamic analysis of the bridges constructed with balanced cantilever and post-tensioning technique are performed. For this purpose, the dynamic analysis of the Ortaköy Bridge, which has both longitudinal and transverse post-tensioning, was constructed by the balanced cantilever method. The analyses were performed in the ANSYS program, eleven ground motions were obtained by using the design acceleration spectrum.

The thesis consists of four parts. In the first part, balanced console method, previous studies, the bridges built with the balanced console method, the mode combination method, scaling methods are mentioned. In the second chapter, the project properties of Ortaköy Bridge which is selected for the thesis study are explained and modal analysis and spectral analysis results are interpreted. In the third chapter, the results are evaluated, and suggestions are made in the light of these results.

**Key Words:** Balanced Cantilever Reinforced Bridges, Dynamic Analysis, Selection of Earthquake Records, Scaling of Earthquake Records.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.1. Stolma Köprüsü, Norveç .....	7
Şekil 1.2. Choisy-le –Rio Köprüsü, Fransa .....	7
Şekil 1.3. Kömürhan Köprüsü, Elazığ.....	8
Şekil 1.4. İmrahor Viyadüğü, Ankara .....	8
Şekil 1.5. Gülburnu Köprüsü, Giresun .....	9
Şekil 1.6. Ortaköy Köprüsü, Artvin.....	9
Şekil 1.7. Ortaköy Köprüsü temel ve kolon inşaatı.....	10
Şekil 1.8. Ortaköy Köprüsü başlık inşaatı .....	11
Şekil 1.9. Ortaköy Köprüsü tabliye inşaatı.....	11
Şekil 1.10. Ortaköy Köprüsü ard germe halatları inşaatı .....	12
Şekil 1.11. Ortaköy Köprüsü kalıp arabasının ilerletilmesi .....	12
Şekil 1.12. Ortaköy Köprüsü .....	13
Şekil 1.13. Mod süperpozisyon yöntemi .....	20
Şekil 1.14. Mod süperpozisyon yönteminde modal koordinatlar ve çözüm .....	23
Şekil 2.1. Ortaköy Köprüsünün Türkiye coğrafyasındaki yeri.....	28
Şekil 2.2. Ortaköy Köprüsü boy kesiti .....	29
Şekil 2.3. Ortaköy Köprüsü döşeme planı sol açıklık (Petek Proje,2009) .....	30
Şekil 2.4. Ortaköy Köprüsü döşeme planı sağ açıklık (Petek Proje,2009).....	30
Şekil 2.5. Ortaköy Köprüsü tip kesiti (Petek Proje,2009) .....	31
Şekil 2.6. Ortaköy Viyadüğü ard germe tip kesiti (Petek Proje,2009) .....	33
Şekil 2.7. Ortaköy Köprüsü halat yerleşim planı sol açıklık (Petek Proje,2009).....	34
Şekil 2.8. Ortaköy Köprüsü halat yerleşim planı sağ açıklık (Petek Proje,2009) .....	34
Şekil 2.9. Ortaköy Köprüsü orta ayak en kesiti (Petek Proje,2009).....	35
Şekil 2.10. Ortaköy Köprüsü A1 aksı kenar ayak en kesiti (Petek Proje,2009).....	36
Şekil 2.11. Ortaköy Köprüsü A2 aksı kenar ayak en kesiti (Petek Proje,2009).....	36
Şekil 2.12. Ortaköy Köprüsü orta ayak temeli (Petek Proje,2009) .....	37
Şekil 2.13. Yatay elastik tasarım spektrumu (g cinsinden) (TBDY, 2018).....	40
Şekil 2.14. Yatay elastik tasarım spektrumu (m cinsinden) (TBDY, 2018).....	40
Şekil 2.15. Düşey elastik tasarım spektrumu (g cinsinden) (TBDY, 2018) .....	41
Şekil 2.16. Ölçeklendirilmiş kayıtlardan elde edilen tasarım ivme spektrumu .....	43

Şekil 2.17. ANSYS Model oluşturma nesneleri (Dede,2006).....	43
Şekil 2.18. Ortaköy Köprüsünün linelerden oluşan ANSYS modeli .....	45
Şekil 2.19. Ortaköy Köprüsünün volume ANSYS modeli.....	46
Şekil 2.20. Ortaköy Köprüsünün ardgerme halatları ANSYS modeli.....	47
Şekil 2.21. Betonun elastiste modülü ve poisson oranının ANSYS'e girilmesi .....	48
Şekil 2.22. Betonun birim hacim ağırlığının ANSYS'e girilmesi.....	49
Şekil 2.23. Çeliğin elastiste modülü ve poisson oranının ANSYS'e girilmesi .....	49
Şekil 2.24. Çeliğin birim hacim ağırlığının ANSYS'e girilmesi.....	50
Şekil.2.25. Eleman tiplerinin ANSYS'ye girilmesi.....	50
Şekil 2.26. Betonun eleman tipinin atanması .....	51
Şekil 2.27. Çeliğin eleman tipinin atanması.....	51
Şekil 2.28. Modelin sonlu eleman ağı ANSYS görüntüsü .....	52
Şekil 2.29. Sınır koşullarının belirlendiği ANSYS menüsü .....	53
Şekil 2.30. Modelin mesnetleri.....	53
Şekil 2.31. SOLID65 ve LINK180 elemanlarının genel görünüşleri ve sonlu eleman ağında alacağı durumlar.....	54
Şekil 2.32. Köprünün modal analizi sonucunda elde edilen mod şekilleri .....	55
Şekil 2.33. Ardgerme kuvveti altında köprünün deformasyon şekli .....	59
Şekil 2.34. Ardgerme kuvveti altında köprünün yerdeğiştirme kontur diyagramı (m) .....	59
Şekil 2.35. Ardgerme kuvveti altında köprünün çekme gerilmeleri kontur diyagramı (N/m <sup>2</sup> ) .....	60
Şekil 2.36. Ardgerme kuvveti altında ardgerme kablolarında meydana gelen çekme gerilmeleri kontur diyagramı (N/m <sup>2</sup> ) .....	60
Şekil 2.37. Ardgerme kuvveti altında köprünün basınç gerilmeleri kontur diyagramı (N/m <sup>2</sup> ).....	61
Şekil 2.38. Ardgerme kuvveti altında köprüde meydana gelen çekme şekildeğiştirmelerine ait kontur diyagramı.....	62
Şekil 2.39. Ardgerme kuvveti altında ardgerme kablolarında meydana gelen çekme şekildeğiştirmeleri kontur diyagramı .....	62
Şekil 2.40. Ardgerme kuvveti altında köprüde meydana gelen basınç şekildeğiştirmelerine ait kontur diyagramı.....	63
Şekil 2.41. Kendi ağırlığı ve taşıt yükü altında köprünün deformasyon şekli .....	64
Şekil 2.42. Kendi ağırlığı ve taşıt yükü altında köprünün yerdeğiştirme kontur diyagramı (m).....	64

Şekil 2.43. Kendi ağırlığı ve taşıt yükü altında köprünün çekme gerilmeleri kontur diyagramı (N/m <sup>2</sup> ) .....	65
Şekil 2.44. Kendi ağırlığı ve taşıt yükü altında ardgerme kablolarında meydana gelen çekme gerilmeleri kontur diyagramı (N/m <sup>2</sup> ).....	65
Şekil 2.45. Kendi ağırlığı ve taşıt yükü altında köprünün basınç gerilmeleri kontur diyagramı (N/m <sup>2</sup> ) .....	66
Şekil 2.46. Kendi ağırlığı ve taşıt yükü altında köprüde meydana gelen çekme şekildeğiştirmelerine ait kontur diyagramı .....	67
Şekil 2.47. Kendi ağırlığı ve taşıt yükü altında ardgerme kablolarında meydana gelen çekme şekildeğiştirmeleri kontur diyagramı .....	67
Şekil 2.48. Kendi ağırlığı ve taşıt yükü altında köprüde meydana gelen çekme şekildeğiştirmelerine ait kontur diyagramı .....	68
Şekil 2.49. Tasarım ivme spektrumu.....	69
Şekil 2.50. Spektrum analizi sonucunda elde edilen deformasyon şekli.....	69
Şekil 2.51. Spektrum analizi sonucunda elde edilen yerdeğiştirme kontur diyagramı (m). 70	
Şekil 2.52. Spektrum analizi sonucunda elde edilen çekme gerilmeleri kontur diyagramı (N/m <sup>2</sup> ).....	71
Şekil 2.53. Spektrum analizi sonucunda ardgerme kablolarında elde edilen çekme gerilmeleri kontur diyagramı (N/m <sup>2</sup> ) .....	71
Şekil 2.54. Spektrum analizi sonucunda elde edilen basınç gerilmeleri kontur diyagramı (N/m <sup>2</sup> ).....	72
Şekil 2.55. Spektrum analizi sonucunda elde edilen çekme şekildeğiştirmeleri kontur diyagramı .....	73
Şekil 2.56. Spektrum analizi sonucunda ardgerme kablolarında elde edilen çekme şekildeğiştirmeleri kontur diyagramı.....	73
Şekil 2.57. Spektrum analizi sonucunda elde edilen basınç şekildeğiştirmeleri kontur diyagramı .....	74

## TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Ortaköy Köprüsü kesit özellikleri .....	32
Tablo 2.2. Ard germe halatlarının teknik özellikleri .....	35
Tablo 2.3. Beton malzeme özellikleri .....	37
Tablo 2.4. Çelik malzeme özellikleri .....	37
Tablo 2.5. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları (TBDY, 2018).....	39
Tablo 2.6. 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları (TBDY, 2018).....	39
Tablo 2.7. Spektrum analizinde kullanılan deprem kayıtları .....	42
Tablo 2.8. Köprünün modal analizi sonucunda elde edilen frekans, periyot ve kütle katılım oranları .....	58

## SEMBOLLER DİZİNİ

$A_0$	:Etkin yer ivmesi katsayısı
$B$	:Mod birleştirme yöntemi ile hesaplanan büyüklüklerin alt sınırlarının belirlenmesi için kullanılan katsayı
$g$	:Yer çekimi ivmesi
$T$	:Periyot
$T_1$	:Birinci hakim periyot
$T_{eff}$	:İzolasyonlu köprüler için etkin periyot
$T_A$	:Ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının alt sınırı
$T_B$	:Ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının üst sınırı
$[M]$	:Sistemin kütle matrisi
$[C]$	:Sistemin sönüm matrisi
$[K]$	:Sistemin rijitlik matrisi
$\{U\}$	:Sistemin yer değiştirme vektörü
$\{\dot{U}\}$	:Sistemin hız vektörü
$\{\ddot{U}\}$	:Sistemin ivme vektörü
$\{P\}$	:Dış yük vektörü
$\alpha$	:Faz açısı
$\omega_n$	:Doğal açısal frekans
$\{\phi\}$	:Hareketin genlik vektörü
$[I]$	:Birim vektör
$\lambda$	:Özdeğer
$[\Phi]$	:Normalleştirilmiş modal matris
$\{q\}$	:Modal koordinatlar
$S_a^{hedef}(T)$	:Hedef ivme davranış spektrumu
$S_a^{gerçek}(T)$	:Gerçek deprem kaydının ivme spektrumu
$SPR(T)$	:Zamana bağlı oran fonksiyonu

$F_{\text{gerçek}}(\omega)$	: Frouier spektrum genliği
$\theta_{\text{gerçek}}(\omega)$	: Frouier spektrum fazı
$F_{\text{filtrelenmiş}}(\omega)$	: Filtrelenmiş fourier spektrum genliği
$a_{ST}$	:Doğrusal ölçekleme katsayısı
$\Delta T$	:Periyot adım miktarı
Hz	:Frekans birimi(Hertz)

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Bir akarsu ya da vadi üzerinden geçilmesini sağlamak amacıyla ayaklar üzerine yapılan yola köprü denir. Köprüler yapı malzemesi bakımından tahta, çelik, kargir ya da betonarme olabilirler. Kullanımına göre yaya yolu, karayolu ve demiryolu köprüleri mevcuttur. Açıklıklarına göre ise köprüler kısa (15 metreden fazla), orta (50 metreden fazla), uzun ( 50 ile 150 metre ) ve çok uzun (150 metreden fazla) olarak sınıflandırılırlar. Ayrıca, yapısal olarak da plak, kirişli, kafes, eğik askılı, asma ve kemer köprüler söz konusudur (Safai, 2010).

Bu tez çalışmasında, dengeli konsol betonarme köprü seçildiği için aşağıda bu tür köprülerin özellikleri sunulmuştur.

Dengeli konsol yöntemi, ardgermeli beton ile büyük açıklıkların geçilmesine imkân tanır. Orta ayağın her iki tarafındaki konsolların birbirini dengelemesi bu yöntemin temelini teşkil eder.

Ardgerme Sisteminde ise, ardgermeli beton tekniği, betonun çekmeye karşı zayıflığını önlemek için kullanılan yöntemlerdendir.

Beton dökümünden önce kesite yerleştirilen kılıfların içinde dayanımı yüksek çelik halatlar, beton dayanımına ulaşınca kadar gerilerek ardgerme uygulanır.

Ülkemizde doğal afetlerin yıkıcı olanlarının başında deprem gelmektedir. Geçmişten günümüze pek çok deprem meydana gelmiş ve gelecekte de gelmeye devam edecektir. Dolayısıyla yapıların depremlere karşı analizlerinin yapılması gerekmektedir. Yapıların deprem hesabı, 'eşdeğer deprem yükü', 'modların birleştirilmesi' ve 'zaman tanım alanında hesap' yöntemlerine göre yapılmaktadır. Eşdeğer deprem yükü statik, modların birleştirilmesi ve zaman tanım alanında hesap yöntemleri ise dinamik yöntemlerdir. Modların birleştirilmesi yönteminde modların süperpozisyonu prensibi kullanılır. Deprem sırasında kaydedilen kayıtların yeterli miktarda olması ve kayıtlara erişimin kolaylaşması sayesinde, gerçek deprem kayıtlarının kullanılması tercih edilmektedir. Ancak, seçilen ivme kaydından elde edilen tepki spektrumun yönetmeliklerde tanımlanan tasarım ivme spektrumu ile uyumlu olması gerekir. Bunun sağlanabilmesi birden fazla ivme kaydı seçilmesi ve

ölçeklendirme yoluna gidilmesi ile mümkün olabilmektedir (Ergün, 2013). Ölçeklendirme; Zaman Tanım Alanında ve Frekans Tanım Alanındaki Yöntemlerle yapılabilmektedir.

## 1.2. Konu ile İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Dengeli konsol betonarme köprüler ile ilgili günümüze kadar pek çok çalışma yapılmıştır. Çalışmalarda genellikle köprülerin modellenmesi, lineer ve lineer olmayan davranışlarına yönelik çalışmalardır. Çalışmalardan bazıları aşağıda verilmektedir:

Skrinar ve Strukeli (1996), Slovenya'nın Maribor Kentindeki değişken derinlikli dengeli konsol üzerinde titreşim ölçümleri yapmıştır. Cansas (1997), dengeli konsol köprülerin inşasında yer alan temel varsayımları eylemleri ve yöntemi çalışmıştır. Stromen vd. (2001), dengeli konsol yöntemiyle inşa edilen beton kutu kesitli köprünün inşaat aşaması sırasında ortaya çıkabilecek dinamik yük etkilerini çalışmışlardır. Schimdt ve Solari (2003), rüzgâr etkisini üç boyutlu olarak dengeli konsol köprüde çalışmışlardır. McDonald vd. (2003), dengeli konsol yöntemi ile inşa edilen Palau Köprüsü'nün çökmesini çalışmışlardır. Kwak ve Son (2004), dengeli konsol yöntemini kullanarak betonarme köprülerin tasarım momentlerini hesaplamak için basit fakat etkili yöntemler geliştirmişlerdir. Hewson (2007), dengeli konsol köprülerin inşa tekniğini çalışmıştır. Jung vd. (2007), saha gözlemlerini bütünleştiren ve kendi kendine öğrenme benzetimi kullanarak, dengeli konsol yöntemi ile inşa edilmiş somut bir dilimsel köprü olan Pipiral Köprüsü'nün alan kalibrasyonunu çalışmışlardır. Primanmas (2007), dengeli konsol yöntemi ile inşa edilen büyük öngerilmeli dilimsel köprü için moment dağılımına uzun vadeli sünme ve ön gerilmenin etkisini ele almıştır. Hedjazi vd. (2007), öngerilmeli betonarme giriş köprülerinde betonun sünme sebebiyle zamana bağlı eğilme, gerilme ve iç kuvvetlerini çalışmışlardır. Marzouk vd. (2008), yerinde ve prekast dengeli konsol teknikleri kullanarak köprü tabliyelerinin yapımının planlanmasında devlet kurumlarına ve temsilcilerine yardımcı olan özel amaçlı bir simülasyon modeli çalışmışlardır. Kamaitis (2008), dengeli konsol yöntemi ile inşa edilmiş pek çok prefabrik beton köprüdeki derzler inşaat sırasında ve hizmet sırasında incelenmiştir. Morassi ve Tonon (2008), köprünün karakterizasyonu için modal analiz ve sonlu elemanlar modeli güçlendirilmesine dayanan bir tanımlama işlemini çalışmışlardır. Bayraktar vd. (2009), dengeli konsol yöntemiyle inşa edilen Kömürhan Köprüsü'nün doğal frekansları, mod şekilleri ve sönümlenme oranları gibi dinamik özellikleri, deneysel ölçümler ve sonlu elemanlar analizleri kullanarak mevcut davranışını belirlemeyi amaçlayan bir

çalışma yapmışlardır. Pimanmas vd. (2009), öngerilmeli beton olarak Tayland' da dengeli konsol yöntemi ile inşa edilen Phra-Nangklao Köprüsü üzerinde çalışma yapmışlardır. Malm ve Sundquist (2010), dilimsel olarak inşa edilen dengeli konsol betonarme köprülerin tasarım ve model gerilmelerini çalışmışlardır. Altunışık vd. (2010), dengeli konsol yöntemi ile inşa edilen Elazığ- Malatya karayolundaki Kömürhan Köprüsü'nün zamana bağlı malzeme özelliklerini kullanarak yapım aşaması üzerine çalışmışlardır. Erkan (2011), dengeli konsol tekniğiyle yapılan betonarme karayolu köprülerinin zamana bağlı hem geometri hem de malzeme özelliklerini dikkate alarak yapım aşaması analizi çalışmıştır. Ateş (2011), dengeli konsol yöntemi ile inşa edilen Budan Köprüsü'nün beton ve çeliğin zamana bağlı malzeme özelliklerini dikkate alarak analiz çalışması yürütmüştür. Yıldırım (2011), Elazığ-Malatya karayolunun 51. km'sinde bulunan Kömürhan Köprüsü üzerinde analitik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Altunışık vd. (2011), Giresun-Espiye devlet karayolu üzerinde bulunan dengeli konsol betonarme köprü olan Gülburnu Köprüsü'nün sonlu elemanlar yöntemi ve çevresel titreşim testi ile köprünün dinamik davranışını çalışmışlardır. Yurdakul (2011), SAP2000 programında oluşturulan sekiz katlı düzlem çerçeve modeli ve Gülburnu Köprüsü üzerinde yaptığı çalışmada zemin edilebilirliğinin sürtünmeli sarkaç mesnetli yapıların dinamik davranışına etkisini incelemiştir. Turan (2012), dengeli konsol yöntemi ile inşa edilen Berta Köprüsü üzerinde analitik ve deneysel çalışmalar yaparak dinamik karakteristikleri belirlemek üzerinde çalışmıştır. Ateş vd. (2013), dengeli konsol yöntemiyle inşa edilen Kömürhan Köprüsü'nün zemin yapı etkileşimi ve zamana bağlı malzeme özelliklerini belirlemek amacıyla hem sonlu elemanlar hem de yapım aşaması analizi yaparak belirlemişlerdir. Sezdirmez (2013), dengeli konsol yöntemi ile 2005-2009 yılları arasında inşa edilmiş Gülburnu Köprüsü'nde zamanla meydana gelen yer değiştirmeleri ANSYS programı ve sonlu elemanlar yöntemi ile belirlemiştir. Sümerkan (2014), dengeli konsol yöntemi ile inşa edilen beş adet köprü üzerinde çevresel titreşim verileri ve sonlu elemanlar yöntemi analizlerine dayalı frekans geliştirmek amacıyla deneysel ve analitik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Çakır (2015), AASHTO LRFD'ye göre tasarlanan arduermeli dengeli konsol köprülerin Türkiye koşullarındaki güvenilirlik endekslerini incelemiştir. Dört adet köprü üzerinde çalışmıştır. Bu köprülerin ana açıklıkları 90, 120, 150 ve 180 metredir. Arduermeli dengeli konsollarda en kritik bölge olan kolon yakınlarındaki negatif eğilmeye göre güvenilirlik endeksi hesapları yapılmış ve yönetmeliklere uygun Servis 3 limit gerilmesi elde edilmiştir. Yecan (2016); Şehzadeler,

Kömürhan, Gülburnu, Beylerderesi, Akarsın, İmrahor, Tigem ve Palau kutu kesitli öngerilmeli köprülerin zamana bağlı yer değiştirmeleri üzerine çalışmıştır.

Ölçekleme ile ilgili yapılan çalışmalar ise şunlardır:

Fitoz (2012), Sismik izolasyonlu yapıların yakın kaynaklı ve her iki doğrultulu deprem hareketleri altındaki davranışlarının kat ivmeleri, çatı ötelemeleri, taban kesme kuvvetleri ve burulma momentlerine göre incelenmiştir. Çalışma SAP2000' de yapılan model üzerinden yürütülmüş ve ölçeklendirilmiş deprem kayıtları kullanılmıştır. Ergün (2013), onar adet yakın fay ve uzak fay yer hareketini tasarım ivme spektrumuna uygun olacak şekilde seçmiş ve zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi kullanılarak Eurocode 8 yönetmelik tasarım ivme spektrumuna ölçeklendirmiştir. Zaman tanım alanında ölçekleme yöntemine ait hesap adımları MATLAB GUI arayüz program dilinde kodlanmış ve sonuçları SAP2000 programında oluşturulan köprü modelinin zaman tanım alanında dinamik analizinde kullanmıştır. Duygu (2014), Beton ağırlık barajlarının sismik davranışlarının tahmin edilmesi için yer hareketlerinin ölçeklendirilmesini çalışmıştır. Bu bağlamda, farklı yer hareketleri ölçeklendirme tekniklerinin etkinliğini karşılaştırmak için dört farklı yer hareketi ölçeklendirme prosedürü kullanmıştır. Bunlar; durağan olmayan spektral eşleştirme, ASCEI 10 standartlarına göre ölçeklendirme, kayıtların maksimum artan hızının aritmetik ortalamasına göre ölçeklendirilmesi ve modsal itme tabanlı ölçeklendirmedir. Kılıç (2015), istinat duvarlarının sismik performanslarını incelemiştir. Çalışmasında El Centro ve Kabe deprem kayıtlarını ölçeklendirerek kullanmıştır. Çalışma sonucunda, dolgu kullanılmış model duvarların, granülür dolgulu model duvarlar ile kıyaslandığında çok daha iyi deprem performanslarının olduğu belirlenmiştir. Karakütük (2015), farklı deprem şartnamelerine göre yapılan yer hareketi seçimi ve ölçeklendirme yöntemlerinin birbiri arasındaki farklılıkların daha iyi anlaşılabilmesi için aynı ölçeklendirme yöntemini her şartname için ayrı ayrı uygulamıştır. Özgenoğlu (2015), Modal itme analizi ölçeklendirme (MPS) ve ASCE/SEI (2010) ölçeklendirme yöntemlerinin karşılaştırmalı performansı, 35 deprem hareketinden elde edilen çeşitli deprem hareketleri grupları ile Demirtaş Viyadüğü üzerinde elastik ötesi analizleri incelemiştir. Kaya (2016), ortalama spektrumları bir sol8 tehlike spektrumuna yakınsayacak biçimde ölçeklendirilmiş yedili deprem seti kayıtlarından elde edilen maksimum görelî kat ötelemelerinin ortalama değeri ile üçlü deprem seti kayıtlarından elde edilen maksimum görelî kat ötelemesi değerlerinin maksimumlarını karşılaştırmıştır. Şenoğlu (2016), taşıyıcı sistemi çerçeve ve yüksek sünek merkezi çelik çaprazlardan oluşan 47 katlı kompozit binanın ön tasarımı yapılarak, zaman tanım alanında

doğrusal olmayan yöntemiyle deprem performansı belirlenmiştir. Ayrıca İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği D3 felaket senaryosu ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş yer hareketi ile çözülmüştür. Omid (2017), yapı zemin etkileşim probleminde ölçeklendirilmiş deprem kayıtları kullanılmıştır. Gerçek sistem ve ölçekli yapı-zemin ortak modeli sayısal olarak orijinal ve ölçeklendirilmiş deprem kayıtları altında incelenmiştir. Serdar (2018), Türk sismik ve çelik tasarım yönetmeliğine göre endüstriyel çelik binası tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmasında yer hareketi seçilmesi ve ölçeklenmesi; sismoloji ve tektonik plaklar teorisine ilişkin bazı bilgileri çeşitli metodları karşılaştırarak ölçeklendirme prosedürü için uygun karakteristik ve saha özelliklerine sahip deprem hızlandırması kayıtlarının seçilmesi ve spektral alandaki ölçek 8' e göre en uygun olanın 8 taneye göre MCE ye göre seçilmesi için temel sağlanmıştır.

### 1.3. Çalışmanın Amacı ve İçeriği

Bu tez çalışmasında dengeli konsol yöntemiyle inşa edilen betonarme köprülerin ölçeklendirilmiş kayıtlardan elde edilen tasarım ivme spektrumu ile dinamik analizi sonucunda yer değiştirmelerin ve kesit etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde dengeli konsol betonarme köprüler üzerinde spektrum analizinde ölçeklendirilmiş kayıtların kullanılmamış olması bu konuda çalışma yapmayı cazip kılmıştır. Bu araştırma için model olarak Artvin İli Şavşat İlçesi güzergâhında inşa edilen Ortaköy Köprüsü seçilmiştir. Ortaköy Köprüsünün spektrum analizi ANSYS paket programında yapılmıştır.

Birinci bölümde, dengeli konsol yöntemi ile inşaa edilen bu köprü modelini oluşturabilmek için dengeli konsol yönteminden, daha önce yapılan çalışmalardan, dengeli konsol köprülerden, mod birleştirme yönteminden, yer hareketini ölçeklendirme yöntemlerinden bahsedilmiştir.

İkinci bölümde ise, Ortaköy Köprüsü'nün proje özelliklerinden bahsedilmiş ve ANSYS'de modellenmesi yapılmıştır. Genellikle CAD programlarında çizilen modelin analiz programlarında çağırılmasıyla çeşitli analizleri yapılmaktadır. Fakat bu tez çalışmasında Ortaköy köprü modeli, ANSYS'nin Log File kodlama dili yardımıyla yapılmış ve yine ANSYS programında analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler:

- Köprünün modal analizinin belirlenmesi,
- Köprünün yalnızca ardgirme kablo kuvvetleri altındaki davranışının belirlenmesi,

- Köprünün kendi ağırlığı ve taşıt yükleri altındaki davranışının belirlenmesi,
- Köprünün spektrum analizi ile dinamik davranışının belirlenmesidir.

Analizler sonucunda yer değiştirmeler ve kesit etkileri elde edilmiştir.

Üçüncü bölümde ise çıkan sonuçlar değerlendirilerek, bu sonuçlar ışığında öneride bulunulmuştur.

#### 1.4. Dengeli Konsol Betonarme Köprüler

Öngerilmeli - beton kullanılarak büyük açıklıkların geçilmesine imkan veren, dilim dilim inşa edilen ve yaygın olarak kullanılan yöntem dengeli konsol yöntemidir. Bu yöntem, köprü üst yapısının ‘segment (dilim)’ denilen parçalara bölünerek inşa edilen yöntemin (segmental construction) alt yöntemidir (Karaesmen, 2015). Dilimler halindeki yapıım aşamalarını dikkate alarak analizler yapılmıştır.

Yayımlanmış bilimsel çalışmalarda “The Cantilever Construction Method” veya “The Free Cantilevering Method” olarak karşımıza çıkan bu yöntem, yük taşıyabilen bir inşaatın sıralı adımlarla inşa edilebilme işlemidir. Bunun yapılması sırasında zeminden ek bir destek almaz ve sabit bir noktadan konsol biçiminde dışarı doğru ilerlenmektedir. Orta ayağın inşasından sonra her iki tarafa doğru birbirini dengeleyen uygulama nedeniyle yöntem dengeli konsol olarak adlandırılır (Oyat, 1999 ).

Dengeli konsol yöntemiyle inşa edilen ilk ön gerilmeli beton uygulaması 1950/51’de Almanya’da yapılan Ulrich Finsterwalder’in Lahn Nehri Köprüsü’dür. Açıklığı 62.09 metredir. Segmentler yerinde dökülmüştür. Bugün varılan son nokta ise Norveç’te bulunan 301.00 m açıklıklı Stolma Köprüsü’dür (Şekil 1.1). Segmentler ön döküm olarak da yapılabilir. Ön döküm olarak ilk uygulama 1962/64’de Fransa’da Seine Nehri üzerinde bulunan Choisy-le –Rio Köprüsüdür (Şekil 1.2).



Şekil 1.1. Stolma Köprüsü, Norveç



Şekil 1.2. Choisy-le-Rio Köprüsü, Fransa

Ülkemizdeki ilk uygulama Fırat Nehri üzerinde Malatya-Elazığ karayolunun Karakaya Baraj Gölü altında kalan kesimindeki Kömürhan Köprüsü'dür (Şekil 1.3). Kömürhan Köprüsü 1986'da trafiğe açılmıştır. Üç açıklığı olan köprünün kenar açıklıkları 76.00 metre, orta açıklığı ise 135.00 metredir. Üst yapı genişliği 8.50 metre, yüksekliği orta ayaklar üstünde 9.50 metre açıklıkta 3.00 metredir. Segmentler yerinde dökülmüştür (Turan, 2012). İkinci uygulama ise Mamak-Çankaya Yolu üzerinde yer alan Ankara'daki İmrahor Viyadüğüdür (Şekil 1.4) (Turan, 2012).



Şekil 1.3. Kömürhan Köprüsü, Elazıĝ



Şekil 1.4.  mrahor Viyad ĝ , Ankara

 r nc  uygulama ise Gülburnu Köprüsüdür(Şekil 1.5). Tarihi Zefre Limanının bulunduĝu Gülburnu Koyunu korumak için inşaa edilmiştir. Giresun-Espiye Devlet yolunda bulunmaktadır. Bu çalışmanın konusu; Ortaköy Köprüsü'n nde bulunduĝu Artvin  lnde dengeli konsol yöntemiyle inşaa edilen beş adet köprü bulunmaktadır (Turan, 2012). Bunlar Akarsın, Budan, Sengan, Berta ve Ortaköy K pr leridir. Artvin- Erzurum yolunda 2008-2011 yılları arasında inşaa edilmişlerdir. Berta Köprüsü 118.75 metre y ksekliĝi ile ülkemizde inşaa edilen en yüksek ayaklı köprü olma  zelliĝini taŐır. Tez konusu Ortaköy

Viyadüğü ise Artvin-Şavşat Devlet Karayolu üzerinde bulunmaktadır (Şekil 1.6). Açıklığı  $2 \times 77.20$  metre yüksekliği ise 60 metredir. Artvin’de inşa edilen diğer dengeli konsol köprülerden farklı olarak uzun dönemde oluşabilecek, öngörülemeyen çatlakları önlemek ya da minimize etmek maksadıyla enine ardgerme söz konusudur (Petek Proje, 2009).



Şekil 1.5. Gülburnu Köprüsü, Giresun



Şekil 1.6. Ortaköy Köprüsü, Artvin

#### 1.4.1. Dengeli Konsol Betonarme Köprülerin Yapım Aşamaları

Ortaköy Viyadüğünün yapım aşamalarından bahsedilerek dengeli konsol betonarme köprülerin yapım aşamaları genel olarak açıklanacaktır:

İlk olarak temel inşaatına başlanacağı için 25 cm kalınlığında grobeton dökülür ve dökümünden sonra temel kalıbı ve temel donatı montajına başlanır. Kalıp ve donatı imalatları bittikten sonra temel betonu dökülür. Yüksek hidrasyon ısısından dolayı temel betonu 4 kademe halinde dökülmektedir. Temel inşaatının akabinde içi boş kutu kesit kolon inşaatına başlanır. Kolonun inşasında tırmanır kalıp sistemi kullanılır ( Şekil 1.7). Kalıp, donatı ve beton imalatları ano boyunca devam eder. Her bir anonun tamamlanmasıyla tırmanır kalıp ilerletilir ( Sümerkan, 2015).



Şekil 1.7. Ortaköy Köprüsü temel ve kolon inşaatı

Dengeli konsolun ilk anosu olan başlık segmentine, başlık platformunun kolona monte edilmesi ile başlanır. Başlık segmenti alt tabliye, gövde ve üst tabliye olmak üzere üç aşamada inşaa edilir. Kalıp, donatı ve beton işleri aynı şekilde bu kısımda da sürdürülmektedir. Başlıklı inşası Şekil 1.8 ile verilmektedir.



Şekil 1.8. Ortaköy Köprüsü başlık inşaatı

Üst tabliye betonu dökülmeden önce germe halatlarının geçeceği kılıf borular yerlerine konur. Arabalı kalıp için PVC borular konulur ve tabliye betonu dökülür. Başlık yapımının ardından arabalı kalıp sistemi montajı yapılır ve tabliyeye önceden bırakılan montaj çubukları ile tabliyeye sabitlenir. Beton dayanımını aldıktan sonra arabalı kalıp bir sonraki segmentin dökümü için ilerletilir (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. Ortaköy Köprüsü tabliye inşaatı

Segmentin donatı montajı yapılır, germe halatları için kılıf ve arabalı kalıp için PVC boru bırakılır ve beton dökülür (Şekil 1.10).



Şekil 1.10. Ortaköy Köprüsü ard germe halatları inşaatı

Beton yeterli dayanıma ulaştınca germe halatları sürülür ve gerilir. Kalıp arabası bir sonraki segment için ilerletilir (Şekil 1.11).



Şekil 1.11. Ortaköy Köprüsü kalıp arabasının ilerletilmesi

Dengeli konsol yöntemine göre segmentlerin yapımıyla eş zamanlı olarak kenar ayakların inşaatı da tamamlanır. Dengeli konsol inşası segmentlerin kenar ayaklara oturmasının ardından tamamlanmış olmaktadır (Şekil 1.12).



Şekil 1.12. Ortaköy Köprüsü

## 1.5. Hesap Yönteminin Seçilmesi

Ortaköy Köprüsü üzerinde yapılacak analiz yöntemini belirlemek üzere yapıların deprem hesabında kullanılan yöntemler: Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri incelenmiştir (TBDY, 2018). Bu çalışmada Mod Birleştirme Yöntemi (Spektrum Analizi) hesap yöntemi olarak tercih edilmiştir.

### 1.5.1. Mod Birleştirme Yöntemi

Bu yöntemde, sistemin davranışı dinamik serbestlik derecesi kadar birbirinden bağımsız tek serbestlik dereceli sistemlerin davranışları ayrı ayrı hesaplanır ve lineer olarak birleştirilir. Yapıda belli bir yükseklikte kesme kuvveti, yapının deformasyonuna, o yükseklikteki yapının kütlelerine ve titreşim genliğine bağlıdır. Deprem etkisinden dolayı şekil değiştirmeler meydana gelir ve bunlara yapı titreşiminin doğal modu denir. Bu metotta maksimum iç kuvvetler ve yer değiştirmeler, yapıda yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan, maksimum katkıların istatistiksel olarak bileşkesinden oluşur. Yatay etkiler plastik şekil değiştirmeler oluşturmadıkça, her modun bir sonucu oluşan etkilerin süperpozisyonu ile hesaplanır. Modların süperpozisyonunda, yapının normal modlarının şekil ve periyodunun, dinamik yöntemde ise birinci normal moda ait özel periyodun bilinmesi gerekmektedir. Modların süperpozisyonu (birleştirilmesi) metoduyla, sistemin ilk birkaç özel titreşim modu incelenir, deprem sırasındaki davranışın bunların birleştirilmesi ile elde edileceği düşünülür. Modların süperpozisyonu metodu doğrusal elastik hesapta mümkündür. Bu metod yönetmeliklerde de var olup, sistemlerin

deprem davranışlarını oldukça reel bir şekilde yansıttığı kabul edilmektedir. Sistemin dinamik etkiler altındaki davranışı, dinamik serbestlik derecesine eşit sayıda veya daha az sayıdaki birbirinden bağımsız tek serbestlik dereceli sistemlerin davranışlarının, doğrusal olarak birleştirilmesi ile bulunur. Yükseklik mertebe etkileri ve sönüm kuvvetleri hesapta dikkate alınabilirse, malzemenin doğrusal elastik olması gerekmektedir. Yatay etkiler, plastik şekil değiştirmeler oluşmadığı sürece, her modun bir sonucu olan kuvvetlerin birleştirilmesiyle elde edilir. Modların birleştirilmesiyle, davranış spektrumu ise, tek bir yer hareketinden elde edilen spektrumdan ziyade, aynı karakterdeki (aynı ivmeye sahip veya aynı büyüklüğe sahip) daha fazla yer hareketinden elde edilmiş spektrumun ortalamasıyla, tasarım davranış spektrumu oluşturulur. Mod birleştirme yönteminde değerlendirilecek mod sayısının belirlenmesinde, çok katlı yapı türlerinin tamamında 3 mod kullanılması yeterliyken; baca, kule ve köprü tipindeki yapılarda ise, daha fazla sayıda mod kullanılmalıdır. Modların birleştirilmesi için istatistiki yöntemler kullanılmaktadır. Yaygın olarak iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlar kareler toplamının karekökü (KTKK) ve tam karesel birleşimi (TKB) olarak bilinmektedir.

#### 1.5.1.1. KTKK Yöntemi

Maksimum mod değerlerinin istatistiksel olarak bağımsız olduğu düşünülerek, maksimum mod değerlerinin karelerinin karekökü kullanılarak bu yöntemle yer değiştirme veya kuvvetlerin tahminleri yapılır. Üç boyutlu yapılarda çok sayıda frekansın özdeş olmasından, bu bağımsızlık geçerli değildir.  $T_1, T_2, T_3, T_N$  birleştirilecek  $N$  adet moda ait tesirler ise bileşke tesir,  $T = (T_1^2 + T_2^2 + T_3^2 + T_N^2)^{1/2}$  veya  $[I]$  birim matris,  $\{T\}$  modal tesirler vektörü olmak üzere  $T = (\{T\}^T [I] \{T\})^{1/2} = (T_i^2)^{1/2}, [i=1, N; N = \text{analize dahil edilen mod adedi}]$  olarak hesaplanır.

#### 1.5.1.2. TKB Yöntemi

Tam karesel birleştirme, modların süperpozisyonu için karelerin toplamının karekökü metodu uygulanır. Bu metot kullanılırken çapraz korelasyon katsayılarının belirlenmesinde, modal sönüm oranları her titreşim modları için %5 olarak alınır.  $T_s < T_r < 0.80$  olduğunda, maksimum modların süperpozisyonu için karelerin toplamının karekökü metodu uygulanır. Bu koşul oluşmadığında tam karesel birleştirme TKB yöntemiyle işlem yapılır. Bu metotta,  $\beta B =$  Mod birleştirme yönteminde mod katkılarının birleştirilmesi ile bulunan herhangi bir büyüklük,  $\beta D = \beta B$  büyüklüğüne ait büyütülmüş değer, B: Mod birleştirme yöntemi ile

hesaplanan büyüklüklerin alt sınırlarının belirlenmesi için kullanılan katsayıdır. Dikkate alınan deprem yönünde mod süperpozisyonu ile elde edilen deprem yükü  $V_t B'$  nin eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesaplanan deprem yükü  $V_t$  'ye oranı  $p$  değerinden küçükse ( $V_t B' < \beta V_t$ ), mod birleştirme yöntemine göre bulunan iç kuvvetler yer değiştirmeler,  $B_D = (\beta V_t / V_t B) B B$  denkleminde göre arttırılacaktır. Yönetmeliklere göre A1, B2 ve B3 türü düzensizliklerinin sistemde olması halinde  $\beta = 1,00$ , bu düzensizliklerin olmaması halinde ise  $\beta = 0,90$  alınır. Modlar arası etkileşimlerindeyse dikkate alınan bu metod, süperpozisyonu modal korelasyon katsayılarıyla yapar. Modal korelasyon matrisi  $[C]$  aşağıdaki korelasyon katsayılarıyla ifade edilir.  $C_{ij} = 8 \beta'^2 (1 + R_{ij}) R_{ij}^{3/4} / [1 - R_{ij} + 4 R_{ij} \beta'^2 (1 + R_{ij})]$  Burada  $\beta'$  yapısal sönüm oranını,  $R_{ij}$  ise etkileşimi incelenen modlara ait frekansların oranıdır.  $R_{ij} = W_i / W_j$ , bu katsayıların hesaplanması ile toplam tesir;  $T = (\{T\}^T [1] \{T\})^{1/2} = (T_i C_{ij} T_j)^{1/2}$  olarak yazılır. Modlar birbirine tesiri çok az olduğunda yapısal sönümün ihmal edilecek kadar küçükse modal korelasyon katsayıları  $C_{ij} = 0,0$ ,  $C_{ij} = 1,0$ ,  $[C] = [1]$  olur dolayısıyla CQC ve SRSS metodları arasında fark kalmaz.

### 1.5.2. Mod Birleştirme Yönteminin Formülasyonu

Bir sistemin dinamik hareket denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir;

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

Bu denklemde;

$[M]$  ; sistemin kütle matrisi,

$[C]$  ; sistemin sönüm matrisi,

$[K]$  ; sistemin rijitlik matrisi,

$\{U\}$  ; sistemin yer değiştirme vektörü,

$\{\dot{U}\}$  ; sistemin hız vektörü,

$\{\ddot{U}\}$  ; sistemin ivme vektörü,

$\{P\}$  ; dış yük vektörüdür.

### 1.5.2.1. Doğal Frekans ve Modların Hesabı

Sönümsüz bir sistemin serbest titreşimi için (1.1) hareket denklemi

$$[M]\{\ddot{U}\} + [K]\{U\} = \{0\} \quad (1.2)$$

biçiminde yazılabilir. Bu denklemin çözümü

$$\{U\} = A\cos(\omega_n t) + B\sin(\omega_n t) \quad (1.3)$$

Şeklindedir. Burada A ile B başlangıç şartlarından elde edilir. Bununla birlikte,  $\alpha$  faz açısı;  $\omega_n$  doğal açısal frekans ve  $\{\Phi\}$  hareketin genlik vektörü olduğundan sönümsüz bir sistemin serbest titreşimi çözümü

$$\{U\} = \{\phi\} \cos(\omega_n t - \alpha) \quad (1.4)$$

şeklinde yazıldığında (1.2) denklemi zaman göre iki defa türevi alınırsa;

$$\{\ddot{U}\} = -\omega_n^2 \{\phi\} \cos(\omega_n t - \alpha) \quad (1.5)$$

olur. (1.4) ve (1.5) denklemi (1.2) de yerine konursa

$$-\omega_n^2 [M]\{\phi\} \cos(\omega_n t - \alpha) + [K]\{\phi\} \cos(\omega_n t - \alpha) = \{0\} \quad (1.6)$$

Elde edilir ve (1.6) düzenlenirse,

$$(-\omega_n^2 [M] + [K]) \cdot \{\Phi\} \cdot \cos(\omega_n t - \alpha) = 0 \quad (1.7)$$

Eşitliğin sıfır olabilmesi için parantez içinin sıfır olması gerektiğinden;

$$([K] - \omega_n^2 [M])\{\phi\} = \{0\} \text{ olarak elde edilir.} \quad (1.8)$$

Bu karakteristik özdeğer denkleminde titreşim elde edilebilmesi için (1.8) denkleminin sıfır olması gerekir. Bunun sağlanabilmesinin yolu, matrisin tersinin olmaması, yani söz konusu matrisin tekil matris olmasıdır. Yani bu matrisin determinantının sıfır olması gerekir. Dolayısıyla;

$$\|[\mathbf{K}] - \omega_n^2 [\mathbf{M}]\| = 0 \quad (1.9)$$

elde edilir. Eğer  $\omega_n^2 = \lambda$  olursa (1.8) denkleminin

$$\|[\mathbf{K}] - \lambda [\mathbf{M}]\| = 0 \quad (1.10)$$

şeklini aldığı görülür. Bu denklemin titreşim analizinde çok önemli bir yeri vardır ve özdeğer denklemi veya frekans denklemi olarak adlandırılmaktadır. Bu denklemdeki determinant işlemi gerçekleştirilirse aşağıdaki gibi  $\lambda$ 'ya bağlı bir polinom oluşur.

$$A_n \lambda^n + A_{n-1} \lambda^{n-1} + \dots + A_1 \lambda^1 + A_0 = 0 \quad (1.11)$$

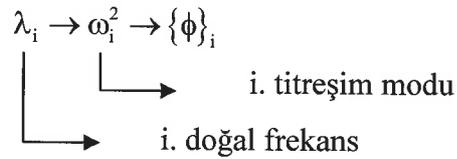
(1.10) de n yapısal sistemin serbestlik derecesidir. Çözümünden n tane  $\lambda$  bulunur. Bu  $\lambda$ 'lerin her biri, bir  $\omega^2$ 'i ifade eder.

$$\lambda_1 = \omega_1^2$$

$$\lambda_2 = \omega_2^2$$

$$\vdots$$

$$\lambda_n = \omega_n^2$$



şeklindedir. Bu  $\lambda$  değerlerine özdeğer, karakteristik değer veya normal değer denir. n serbestlik dereceli bir sistemin n tane doğal titreşim frekansına ( $\omega_1, \omega_2, \omega_3 \dots \omega_n$ ) tekabül eden n tane bağımsız  $\{\phi\}$  vektörü vardır. Bunlar, doğal titreşim modu veya doğal titreşim mod şekilleri olarak isimlendirilir. Bu vektörler öz vektörler, karakteristik vektörler veya normal modlar olarak bilinmektedir. (1.11) denkleminin bütün kökleri gerçek ve pozitifdir.

Sistemin doğal frekanslarının en küçüğüne temel frekans denir. Modal titreşim frekansları, büyüklüklerine göre sıralanarak aşağıdaki gibi belirlenir.

$$0 \leq \omega_1 \leq \omega_2 \leq \omega_3 \cdots \leq \omega_n \quad (1.12)$$

Her bir doğal açısal frekans için (1.7) denklemindeki katsayılar matrisi hesaplanıp  $i$ . modal frekansa karşılık gelen titreşimin genlikleri elde edilir. Her bir doğal açısal frekans için hesaplanan genlik vektörleri modal vektör, doğal mod veya kısaca mod olarak adlandırılır. Ayrıca, titreşimin  $i$ . ve  $j$ . modları arasında aşağıdaki bağıntı mevcuttur.

$$\{\phi\}_i^T [M] \{\phi\}_j = 0 \quad i \neq j \quad (1.13)$$

Maxwell-Betti teoremi ile kolayca elde edilebilen bu bağıntı titreşim modlarının ortogonalitesi olarak adlandırılmaktadır. (1.13) denklemini rijitlik ve sönüm matrisi içinde geçerlidir.

$$\{\phi\}_i^T [K] \{\phi\}_j = 0 \quad i \neq j \quad (1.14)$$

$$\{\phi\}_i^T [C] \{\phi\}_j = 0 \quad i \neq j \quad (1.15)$$

Mod vektörlerinin hesabında, elemanların oranı sabit kalmak üzere, değişik çözümler elde edilebilir. Mod şekilleri aynı olduğu halde farklı genlikler elde edilebilir. Bu keyfilik bir normalleştirme işlemi ile ortadan kaldırılabilir. Hesap kolaylığı bakımında genellikle bütün genlikler en büyük genlik esas alınarak normalize edilir. Bununla birlikte, diğer bir normalleştirme işleminde ise, kütle matrisinin aynı mod vektörü ile sağ ve soldan çarpılarak sonucun birim olması sağlanır. Yani;

$$\{\phi\}_i^T [M] \{\phi\}_i = 1 \quad (1.16)$$

şeklinde dir. Normalleştirilmiş modlar;

$$\Phi_{ij} = \frac{\phi_{ij}}{\sqrt{\{\phi\}_j^T [M] \{\phi\}_j}} \quad (1.17)$$

şeklinde elde edilir. Böylece modlar normalleştirilir.

$$\{\phi\}_j = \begin{Bmatrix} \phi_{1j} \\ \phi_{2j} \\ \vdots \\ \phi_{ij} \\ \vdots \\ \phi_{nj} \end{Bmatrix} \quad \{\Phi\}_j = \begin{Bmatrix} \Phi_{1j} \\ \Phi_{2j} \\ \vdots \\ \Phi_{ij} \\ \vdots \\ \Phi_{nj} \end{Bmatrix}$$

j. mod vektörü

j. normalleştirilmiş mod vektörü

Mod vektörlerinden oluşan matrise modal matris, normalleştirilmiş mod vektörlerinden oluşan matrise de normalleştirilmiş modal matris adı verilir. n serbestlik dereceli bir sistem için modal matrisler aşağıdaki gibidir.

$$[\Phi] = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \cdots & \phi_{1i} & \cdots & \phi_{1n} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \cdots & \phi_{2i} & \cdots & \phi_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \phi_{i1} & \phi_{i2} & \cdots & \phi_{ii} & \cdots & \phi_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \phi_{n1} & \phi_{n2} & \cdots & \phi_{ni} & \cdots & \phi_{nn} \end{bmatrix} \quad P_r$$

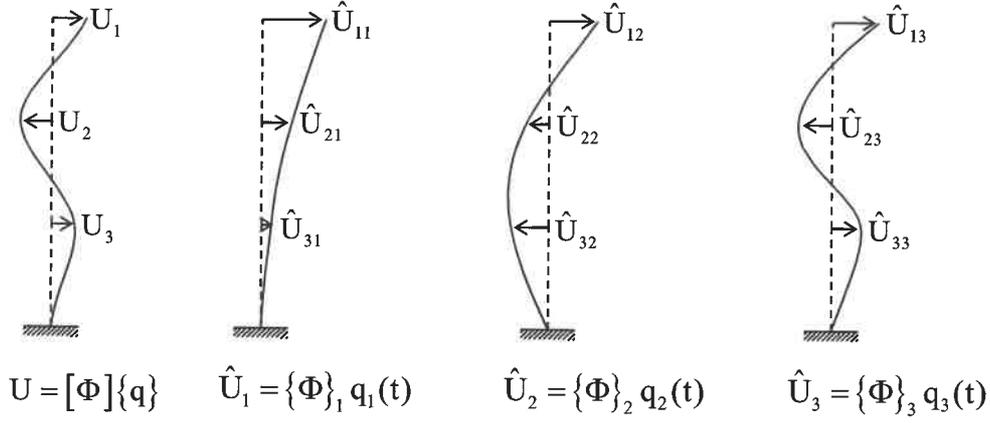
$$[\Phi]^T [M] [\Phi] = [I] \quad (1.18)$$

bağıntısıyla kontrol edilebilir. Burada [ I ] birim matrisidir.

(1.1) denklemi ile verilen dinamik hareket denkleminin çözümü;

$$\{U\} = [\Phi] \{q\} \quad (1.19)$$

Burada;  $[\Phi]$  normalleştirilmiş modal matris,  $\{q\}$  modal koordinatlardır. (1.19) denklemi ile verilen çözüm, Şekil 1.13'deki gibi düşünülebilir.



Şekil 1.13. Mod süperpozisyon yöntemi

(1.19) denklemini açık olarak yazılırsa aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\{U\} = \{\Phi\}_1 q_1(t) + \{\Phi\}_2 q_2(t) + \{\Phi\}_3 q_3(t) + \dots + \{\Phi\}_n q_n(t) = \sum_{r=1}^n \{\Phi\}_r q_r(t) \quad (1.20a)$$

veya;

$$\begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ \vdots \\ U_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \Phi_{11} \\ \Phi_{21} \\ \Phi_{31} \\ \vdots \\ \Phi_{n1} \end{Bmatrix} q_1(t) + \begin{Bmatrix} \Phi_{12} \\ \Phi_{22} \\ \Phi_{32} \\ \vdots \\ \Phi_{n2} \end{Bmatrix} q_2(t) + \begin{Bmatrix} \Phi_{13} \\ \Phi_{23} \\ \Phi_{33} \\ \vdots \\ \Phi_{n3} \end{Bmatrix} q_3(t) + \dots + \begin{Bmatrix} \Phi_{1n} \\ \Phi_{2n} \\ \Phi_{3n} \\ \vdots \\ \Phi_{nn} \end{Bmatrix} q_n(t) \quad (1.20b)$$

veya matris formda

$$\begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ \vdots \\ U_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{12} & \Phi_{13} & \cdots & \Phi_{1r} & \cdots & \Phi_{1n} \\ \Phi_{21} & \Phi_{22} & \Phi_{23} & \cdots & \Phi_{2r} & \cdots & \Phi_{2n} \\ \Phi_{31} & \Phi_{32} & \Phi_{33} & \cdots & \Phi_{3r} & \cdots & \Phi_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \Phi_{n1} & \Phi_{n2} & \Phi_{n3} & \cdots & \Phi_{nr} & \cdots & \Phi_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ \vdots \\ q_n \end{Bmatrix} \quad (1.20c)$$

(1.19) nolu denklem ve onun birinci ve ikinci türevleri (1.1) nolu denklemde yerine yazılırsa;

$$[M][\Phi]\{\ddot{q}\} + [C][\Phi]\{\dot{q}\} + [K][\Phi]\{q\} = \{P\} \quad (1.21)$$

elde edilir. (1.21) denkleminin her iki tarafı  $\{\Phi\}_r^T$  ile çarpılırsa;

$$\{\Phi\}_r^T [M][\Phi]\{\ddot{q}\} + \{\Phi\}_r^T [C][\Phi]\{\dot{q}\} + \{\Phi\}_r^T [K][\Phi]\{q\} = \{\Phi\}_r^T \{P\} \quad (1.22)$$

elde edilir. (1.13), (1.14) ve (1.15) denklemleriyle verilen titreşim modlarının ortogonalite şartı dikkate alınır (1.22) denklemini şu hale gelir;

$$\{\Phi\}_r^T [M]\{\Phi\}_r \ddot{q}_r(t) + \{\Phi\}_r^T [C]\{\Phi\}_r \dot{q}_r(t) + \{\Phi\}_r^T [K]\{\Phi\}_r q_r(t) = \{\Phi\}_r^T \{P\} \quad (1.23)$$

veya

$$M_r \ddot{q}_r(t) + C_r \dot{q}_r(t) + K_r q_r(t) = P_r \quad (1.24)$$

burada;

$$M_r = \{\Phi\}_r^T [M]\{\Phi\}_r \quad ; \text{ r. genelleştirilmiş kütle,}$$

$$C_r = \{\Phi\}_r^T [C]\{\Phi\}_r \quad ; \text{ r. genelleştirilmiş sönüm,}$$

$$K_r = \{\Phi\}_r^T [K]\{\Phi\}_r \quad ; \text{ r. genelleştirilmiş rijitlik,}$$

$$P_r = \{\Phi\}_r^T \{P\} \quad ; \text{ r. genelleştirilmiş kuvvet olarak adlandırılmaktadır.}$$

(1.24) denklemini, açısal frekansı  $\omega_r = \sqrt{\frac{K_r}{M_r}}$  olan tek serbestlik dereceli bir sistemin hareket

denklemini haline gelir. (1.24) denkleminin her iki tarafı  $M_r$ 'ye bölünecek olursa

$$\ddot{q}_r(t) + 2\xi_r \omega_r \dot{q}_r(t) + \omega_r^2 q_r(t) = \frac{P_r}{M_r} \quad (1.25)$$

elde edilir.  $\{\Phi\}_r$  normalleştirilmiş mod olduğuna göre  $\{\Phi\}_r^T [M]\{\Phi\}_r = 1$  demektir. Yani

$M_r = 1$  olur. Buna göre (1.24) denklemini

$$\ddot{q}_r(t) + 2\xi_r \omega_r \dot{q}_r(t) + \omega_r^2 q_r(t) = P_r \quad (1.26)$$

haline gelir. Burada,  $\omega_r$  r. titreşim moduna karşılık gelen açısal frekans ve  $q_r(t)$  r. titreşim moduna ait modal koordinatlardır.

Özetlenecek olursa,  $n$  serbestlik dereceli bir sistemin  $n$  tane açısal frekansı ( $\omega_n$ ) mevcuttur. Her bir açısal frekans için (1.26) denklemi çözülerek  $q(t)$  modal koordinatlar elde edilir. Daha sonra (1.19) denklemi yardımıyla genel çözüm elde edilir.

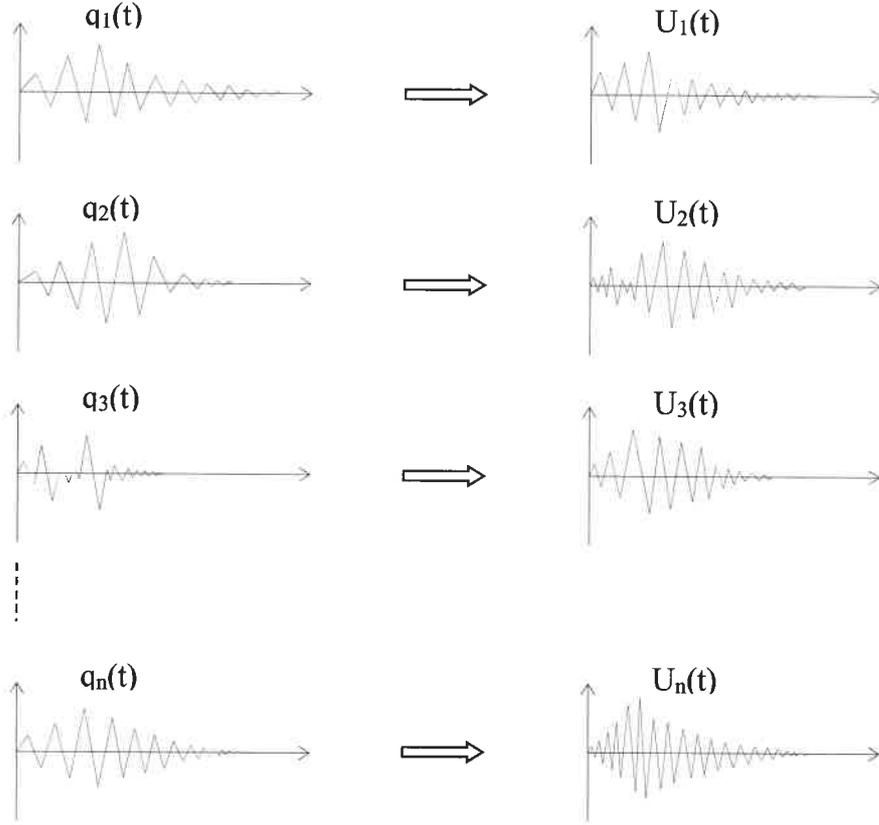
Yani;

- $\omega_1$  için  $\{\Phi\}_1$  elde edilir. Buna göre  $\ddot{q}_1(t) + 2\xi_1\omega_1\dot{q}_1(t) + \omega_1^2 q_1(t) = P_1$  denkleminin çözümünden  $q_1(t)$  elde edilir.
- $\omega_2$  için  $\{\Phi\}_2$  elde edilir. Buna göre  $\ddot{q}_2(t) + 2\xi_2\omega_2\dot{q}_2(t) + \omega_2^2 q_2(t) = P_2$  denkleminin çözümünden  $q_2(t)$  elde edilir.
- $\omega_3$  için  $\{\Phi\}_3$  elde edilir. Buna göre  $\ddot{q}_3(t) + 2\xi_3\omega_3\dot{q}_3(t) + \omega_3^2 q_3(t) = P_3$  denkleminin çözümünden  $q_3(t)$  elde edilir.
- $\omega_n$  için  $\{\Phi\}_n$  elde edilir. Buna göre  $\ddot{q}_n(t) + 2\xi_n\omega_n\dot{q}_n(t) + \omega_n^2 q_n(t) = P_n$  denkleminin çözümünden  $q_n(t)$  elde edilir.

Modal koordinatlar bulunduktan sonra;

$$\begin{aligned}
 U_1(t) &= \Phi_{11}q_1(t) + \Phi_{12}q_2(t) + \Phi_{13}q_3(t) + \dots + \Phi_{1n}q_n(t) \\
 U_2(t) &= \Phi_{21}q_1(t) + \Phi_{22}q_2(t) + \Phi_{23}q_3(t) + \dots + \Phi_{2n}q_n(t) \\
 U_3(t) &= \Phi_{31}q_1(t) + \Phi_{32}q_2(t) + \Phi_{33}q_3(t) + \dots + \Phi_{3n}q_n(t) \\
 &\vdots \\
 U_n(t) &= \Phi_{n1}q_1(t) + \Phi_{n2}q_2(t) + \Phi_{n3}q_3(t) + \dots + \Phi_{nn}q_n(t)
 \end{aligned} \tag{1.27}$$

veya kısaca (1.19) denklemiyle, yani  $\{U\} = [\Phi] \{q\}$ , genel çözüm elde edilir. Bu çözüm şematik olarak Şekil 1.14'de verilmiştir.



Şekil 1.14. Mod süperpozisyon yönteminde modal koordinatlar ve çözüm

$$U_{1\text{maks}} = \sqrt{(\Phi_{11}q_{1\text{maks}})^2 + (\Phi_{12}q_{2\text{maks}})^2 + \dots + (\Phi_{1n}q_{n\text{maks}})^2}$$

$$U_{2\text{maks}} = \sqrt{(\Phi_{21}q_{1\text{maks}})^2 + (\Phi_{22}q_{2\text{maks}})^2 + \dots + (\Phi_{2n}q_{n\text{maks}})^2}$$

.

.

.

.

$$U_{n\text{maks}} = \sqrt{(\Phi_{n1}q_{1\text{maks}})^2 + (\Phi_{n2}q_{2\text{maks}})^2 + \dots + (\Phi_{nn}q_{n\text{maks}})^2}$$

(1.28)

Karelerinin toplamının karekökü yöntemi ile her bir katta oluşan en büyük yer değıştirme değeri bulunur. Bu yer değıştirmeler her katta için çizilerek yapının mod şekilleri elde edilir.

## 1.6. Deprem Kayıt Kaynakları

Yer hareket kayıtlarının elde edilebileceği üç kaynak vardır: Bunlar; yapay deprem kayıtları, benzeştirilmiş deprem kayıtları ve gerçek deprem kayıtları şeklindedir.

### 1.6.1.Yapay Deprem Kayıtları

Bu kayıtları elde etmenin yolu, geniş periyot aralığında, tepki spektrumuyla elastik tasarım spektrumu gibi kayıtlar üretilmesidir. Basitleştirilmiş tepki spektrumu kullanılarak güç spectral yoğunluk fonksiyonu elde edilir. Söz konusu fonksiyon ve gelişi güzel faz açıları süperpoze edilerek sinüzoidal sinyaller üretilir. Söz konusu sinüzoidal hareketlerle yapay kayıt oluşturulur. Tasarım spektrumuna benzetmek için iteratif bir metot uygulanır. Bu yöntem sayesinde tercih edilen frekanslarda gerçek tepki spektrumu ile hedef tasarım spektrumu ordinatı arasında ölçeklendirme katsayısı hesaplanarak bu ölçeklendirme katsayısının karesiyle güç spectral yoğunluk fonksiyonu ayarlanır ve ardından kayıt düzeltilir. Bu işlemler sonucunda yapay deprem kaydı elde edilmektedir.

Yapay deprem kayıtlarını kullanmak zor olduğundan pek çok kaydedilmiş hareketin kullanılmasıyla tasarım spektrumuna uygun bir kayıt oluşturulmaya çalışılmaktadır. Ayrıca yapay deprem kayıtlarıyla gerçeğe aykırı büyüklükte enerji açığa çıkabilmektedir.

### 1.6.2. Benzeştirilmiş Deprem Kayıtları

Benzeştirilmiş deprem kayıtlar; sismolojik kaynak modellerinden, zemin özellikleri ve yayılım ortamını dikkate alınarak oluşturulur. Fakat, elverişli kaynak yayılım ortamı ile zemin parametrelerinin tanımlanması oldukça zordur. Benzeştirilmiş kayıtları elde ederken, kaynak ve dalga yayılımı fiziksel olarak kullanılacaksa, değerlendirilecek bölgede, kayıtların değerlendirilmesi ile oluşan depremin büyüklük ve mesafe şeklinde tanımlanması gerekmektedir (Ergün, 2013).

### 1.6.3. Gerçek Deprem Kayıtları

Bu kayıtlar, depremin frekans, faz özellikleri, genliği ve süresi hakkında doğru bilgiler içermektedir. Ayrıca, yayılım ortamı, kaynak ve zemin şartları bilgilerini de bünyesinde barındırır. Dolayısıyla bölgenin sismolojik parametrelerini de dikkate alarak bu kayıtların seçilmesi daha uygun olacaktır. Yer hareketi kayıtlarındaki artış, deprem sırasında kaydedilen ivme kayıtlarının kullanılması ve ölçeklendirilmesi konuları ilgi çekici araştırma konusudur. Her ne kadar kuvvetli yer hareketi veri tabanı mevcutsa da; büyüklük, yırtılma mekanizmasına, kaynak ve saha arasındaki mesafeye ve zemin sınıfına bağlı deprem parametreleri için pek çok olasılık söz konusu olacağından uygun kayıt bulmak zor olabilmektedir.

#### 1.6.3.1. Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi

Bu kayıtlar ya deprem senaryosuna dayandırılarak ya da tasarım spektrumuna göre seçilir. Yönetmeliklerde, bu kayıtların sismolojik parametreler yerine tepki spektrumuna uygunluğuna göre seçilmesi önerilmektedir. Dolayısıyla kayıtlar tasarım tepki spektrumuna uygun olacak şekilde seçilir. Seçilen kayıtlar değerlendirilecek alan için sismik ve jeolojik şartları sağlamanın yanında tepki spektrumu ile de uyuşmalıdır.

Doğru kayıtların seçilmesi, depremin büyüklüğü, yer hareketinin frekansı ile süresini etkilediğinden önemlidir.. Ayrıca zemin koşulları yer hareketleri üzerinde oldukça etkilidir. Öyle ki, yer hareketi yumuşak zemin üzerinde büyürken, yüksek frekanslı hareketler ise azalmaktadır.

### 1.7. Yer Hareketini Ölçeklendirme Yöntemleri

Çeşitli ivme kayıtlarından elde edilen tepki spektrumunun tasarım ivme spektrumlarına benzemesi zordur. Yönetmelikler gereği tasarım ivme spektrumuna benzerliği sağlayabilmek için birden fazla ivme spektrumlarının ortalamasının alınması uygun olacaktır. Uyumun artırılmasını sağlamak ölçeklendirme yapmakla mümkün olmaktadır. Gerçek deprem kayıtları tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmesinde çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemler, zaman tanım alanında ve frekans tanım alanında olarak ikiye ayrılmaktadır.

### 1.7.1. Frekans Tanım Alanında Ölçeklendirme

Deprem anında kaydedilmiş ivme kayıtlarıyla, tasarım ivme spektrumuna uygun kayıtlar üretilir. Dolayısıyla deprem hareketi fiziksel özelliklerini kaybetmez ve bu sayede bilinen yapay deprem kaydı üretme yöntemleriyle kıyaslandığında daha etkili bir yoldur.

Bu yöntemde, tasarım ivme spektrumunun gerçek deprem kaydına ait davranış spektrumuna oranı ile frekans tanım alanında filitrenir. Bu yöntemde hareketin Fourier fazları öylece kalır. Bulunan bu hareket, zaman tanım alanına dönüştürülerek davranış spektrumu bulunur. Arzu edilen periyotlarda, bu davranış spektrumu tasarım ivme spektruma ne kadar benzer olduğuna bakılır. Şayet eşleşme yeterli değilse, arzu edilen eşleşme yakalanıncaya kadar adımlar tekrarlanır. Frekans tanım alanında yapılan ölçekleme yönteminin adımları şu şekildedir (Özdemir ve Fahjan, 2007);

a) Söz konusu, tasarım spektrumuna  $S_a^{hedef}(T)$  uygun, ölçeklenmek üzere yegâne deprem kaydı belirlenir  $TH^{gerçek}(t)$ ,

b) Seçilen kaydın davranış spektrumu  $S_a^{gerçek}(T)$ ; sönüm oranı ve tasarım spektrumu aynı olacak şekilde elde edilir,

c) Ölçekleme işleminin periyot sınırları içerisinde tasarım spektrumu ve gerçek kaydın davranış spektrumu arasındaki oran bulunur,

$$SPR(T) = \frac{S_a^{hedef}(T)}{S_a^{gerçek}(T)} \quad T_A \leq T \leq T_B \quad (1.29)$$

d) Zaman bağlı olan oran fonksiyonu  $SPR(T)$  olarak, açısal frekans,  $\omega$  cinsinden yazılır,

$$FILT(\omega) = SPR(\omega) \quad \omega_{min} \leq \omega \leq \omega_{mak} \quad (1.30)$$

burada,  $\omega_{min}$  minimum,  $\omega_{mak}$  maksimum ölçekleme açısal frekanslarıdır.

e) Hızlı fourier dizilimi kullanılıp gerçek deprem kaydı,  $TH^{gerçek}(t)$ , fourier spektrum genliği  $F^{gerçek}(\omega)$  ve fourier spektrum fazı  $\theta^{gerçek}(\omega)$  bulunur. Fourier spektrum genliği  $FILT(\omega)$  ile çarpılarak  $F^{filtrelenmiş}(\omega)$  elde edilir.

$$F^{filtrelenmiş}(\omega) = FILT(\omega)F^{gerçek}(\omega) \quad (1.31)$$

f) Filtrelenmiş fourier spektrum genliği  $F^{filtrelenmiş}(\omega)$  ve orijinal kaydın fourier spektrum fazından,  $\theta^{gerçek}(\omega)$ , ters fourier dizilimi kullanılarak,  $TH(t)$  elde edilir.

g) Bir önceki adımda bulunan kayıttan davranış spektrumu ile tasarım ivme spektrumu arasında yönetmeliklerde belirtilen eşleşme sağlanıncaya kadar (c)'den (f)'e olan adımlar tekrar edilir.

### 1.7.2. Zaman Tanım Alanında Ölçeklendirme

Yer hareketi kaydı sabit bir katsayı ile çarpılarak yani ölçeklenerek, arzu edilen periyot aralığında, hedef tasarım ivme spektrumuna benzer eşleşme sağlanır. Yapılan işlemler yer hareketi kaydının frekans içeriğine müdahale etmez. Birden fazla deprem kaydı kullanmak istendiği zaman, ya her bir kayıt için ölçeklendirme yapılır ya da hedef tasarım ivme spektrumuna en uygun kayıtların ortalaması alınır. Bu yöntemde, en küçük kareler tekniği kullanılır ve ölçeklendirilmiş hareketin davranış spektrumu ile tasarım ivme spektrumu arasındaki farkın azaltılması esastır. Söz konusu yöntemde, , “Fark” ölçeklenmiş ve hedef tasarım spektrumu genlikleri arasındaki farkın karesinin entegrasyonudur ve aşağıda verilen eşitlikle hesaplanır (Fahjan, 2007);

$$|\text{Fark}| = \int_{T_A}^{T_B} [a_{ST} S_a^{\text{gerçek}}(T) - S_a^{\text{hedef}}(T)]^2 dT \quad (1.32)$$

Burada;  $S_a^{\text{hedef}}$ : hedef ivme davranış spektrumu,  $S_a^{\text{gerçek}}$ : kullanılacak gerçek deprem kaydının ivme spektrumu  $a_{st}$ : doğrusal ölçekleme katsayısı,  $T$ : salınım periyodu,  $T_A$ : ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının alt sınırı,  $T_B$ : ölçeklemenin yapılacağı periyot aralığının üst sınırıdır.

Fark miktarının azaltılması için Fark fonksiyonunun doğrusal ölçekleme katsayısına göre türevi sıfır olması gerekir;

$$\min |\text{Fark}| \Rightarrow \frac{d|\text{Fark}|}{da} = 0 \quad (1.33)$$

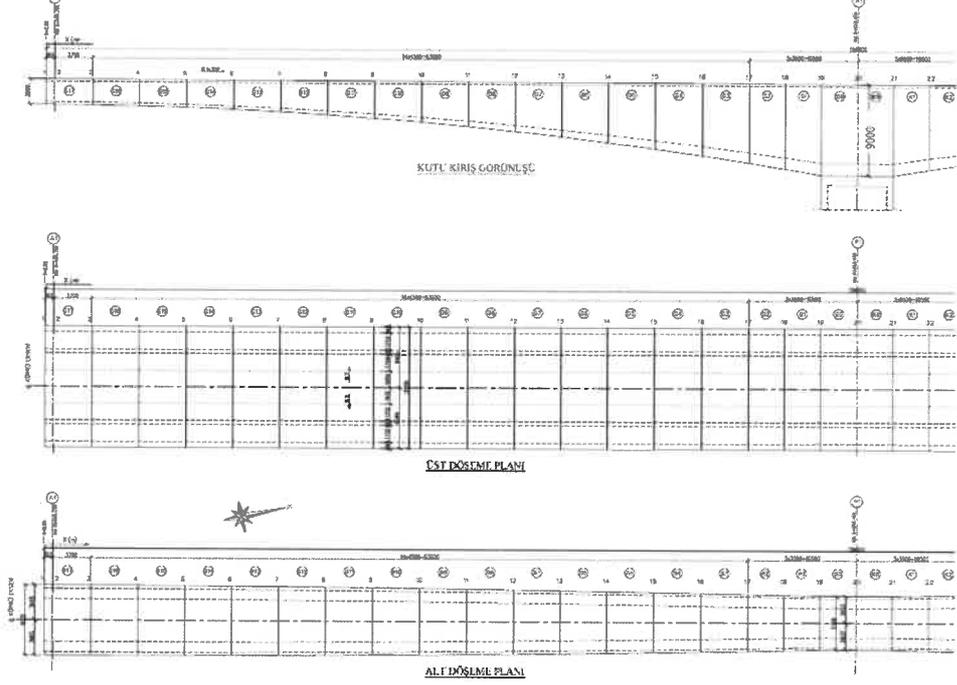
Denklem (1.33)'deki fark fonksiyonunun  $da$ 'ya göre türevi alınarak sifıra eşitlenir ve entegraller ayırık forma çevrildiğinde  $T_A$ 'dan  $\Delta T$  artımlarla  $T_B$ 'ye kadar devam eden toplam halini alır. Burada  $\Delta T$  periyot adım miktarıdır. Böylece denklem (1.34) oluşur;

$$a_{ST} = \frac{\sum_{T_A}^{T_B} (S_a^{\text{gerçek}}(T) S_a^{\text{hedef}}(T))}{\sum_{T_A}^{T_B} (S_a^{\text{gerçek}}(T))^2} \quad (1.34)$$

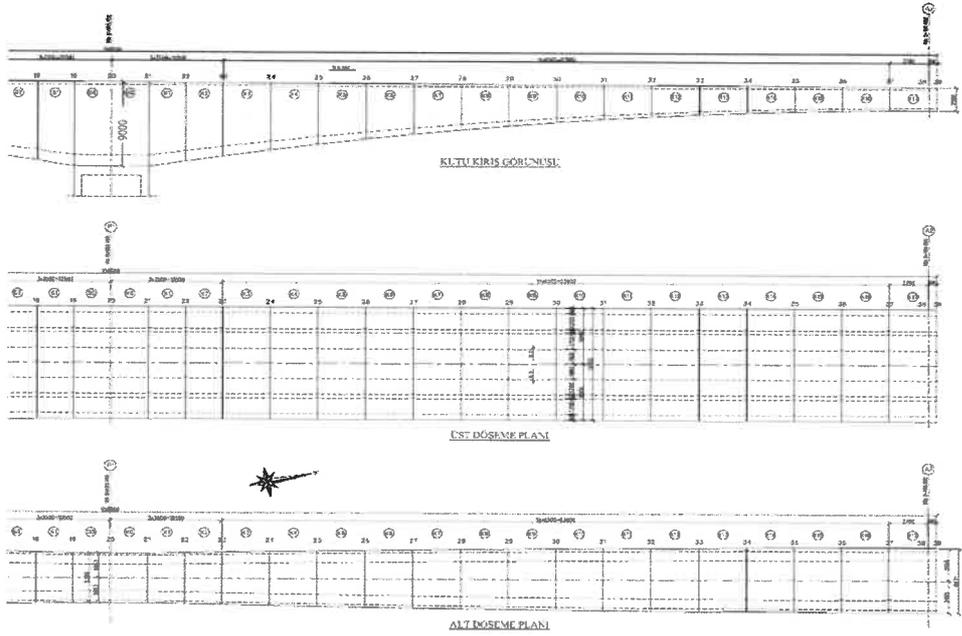




Ortaköy Köprüsü dilimler halinde dengeli konsol yöntemine göre inşa edilmiştir. İki açıklıktan oluşan köprü'nün sol açıklığına ait dilimler Şekil 2.3'de ve sağ tarafı ise Şekil 2.4'te verilmiştir.



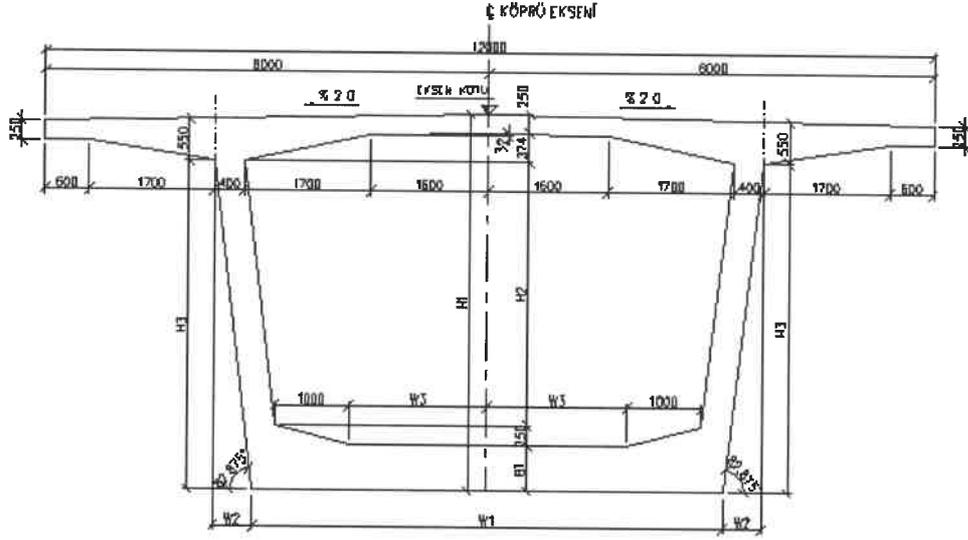
Şekil 2.3. Ortaköy Köprüsü döşeme planı sol açıklık (Petek Proje, 2009)



Şekil 2.4. Ortaköy Köprüsü döşeme planı sağ tarafı (Petek Proje, 2009)

### 2.1.2. Ortaköy Köprüsü Kesiti

Ortaköy Köprüsü değişken kutu kesite sahiptir (Şekil 2.5). Köprü kesiti; kolon üstünde 9 m iken kenar ayak hizasında 2,5 m'ye kadar parabolik olarak azalmaktadır. Kesit boylarındaki değişimler Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'de verilen dilim numaralarına bağlı olarak Tablo 2.1'de verilmiştir.



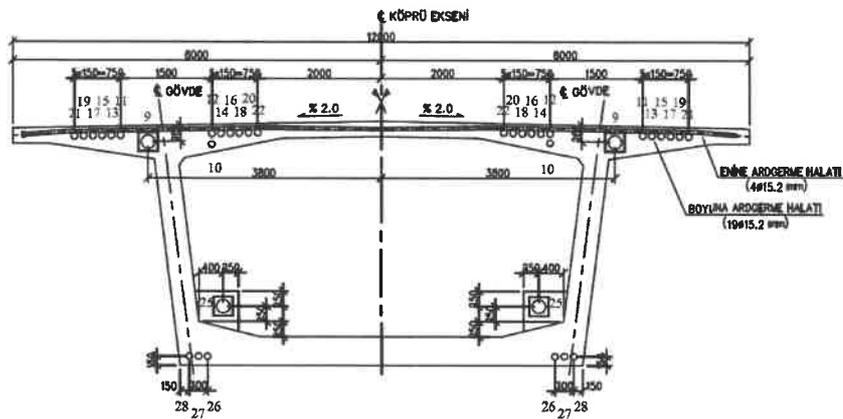
Şekil 2.5. Ortaköy Köprüsü tip kesiti (Petek Proje, 2009)

Tablo 2.1. Ortaköy Köprüsü kesit özellikleri (Petek Proje, 2009)

No	Km.	m.	X (m)	Sol Dever (%)	Sağ Dever (%)	Eksen Kotu (m)	BT (mm)	H1 (mm)	H2 (mm)	H3 (mm)	W1 (mm)	W2 (mm)	W3 (mm)
1	0+	5.450	0.00	-2.00	-2.00	406.206	250.0	2500.0	1376.0	1876.0	6931.0	234.5	2128.0
2	A1	6.250	0.80	-2.00	-2.00	406.224	250.1	2500.7	1376.6	1876.7	6930.8	234.6	2127.9
3		9.950	4.50	-2.00	-2.00	406.213	253.5	2523.7	1396.2	1899.7	6925.1	237.5	2125.5
4		14.450	9.00	-2.00	-2.00	406.199	263.9	2594.9	1457.0	1970.9	6907.3	246.4	2117.9
5		18.950	13.50	-2.00	-2.00	406.186	281.2	2713.4	1558.2	2089.4	6877.6	261.2	2105.2
6		23.450	18.00	-2.00	-2.00	406.172	305.5	2879.4	1700.0	2255.4	6836.1	281.9	2087.5
7		27.950	22.50	-2.00	-2.00	406.159	336.7	3092.9	1882.2	2468.9	6782.8	308.6	2064.7
8		32.450	27.00	-2.00	-2.00	406.145	374.8	3353.7	2105.0	2729.7	6717.6	341.2	2036.9
9		36.950	31.50	-2.00	-2.00	406.132	419.8	3662.0	2368.2	3038.0	6640.5	379.8	2004.0
10		51.450	36.00	-2.00	-2.00	406.118	471.8	4017.8	2671.9	3393.8	6551.6	424.2	1966.0
11		45.950	40.50	-2.00	-2.00	406.105	530.8	4420.9	3016.2	3796.9	6450.8	474.6	1923.0
12		50.450	45.00	-2.00	-2.00	406.091	596.6	4871.5	3400.9	4247.5	6338.1	530.9	1874.9
13		54.950	49.50	-2.00	-2.00	406.078	669.4	5369.5	3826.1	4745.5	6213.6	593.2	1821.7
14		59.450	54.00	-2.00	-2.00	406.064	749.1	5915.0	4291.9	5291.0	6077.3	661.4	1763.5
15		63.950	58.50	-2.00	-2.00	406.051	835.8	6507.9	4798.1	5883.9	5929.0	735.5	1700.2
16		68.450	63.00	-2.00	-2.00	406.037	929.3	7148.2	5344.8	6524.2	5769.0	815.5	1631.9
17		72.950	67.50	-2.00	-2.00	406.024	1029.9	7835.9	5932.0	7211.9	5597.0	901.5	1558.5
18		76.450	71.00	-2.00	-2.00	406.013	1112.8	8403.6	6416.8	7779.6	5455.1	972.4	1497.9
19		79.950	74.50	-2.00	-2.00	406.003	1200.0	9000.0	6926.0	8376.0	5306.0	1047.0	1434.3
20	PI	83.450	78.00	-2.00	-2.00	405.992	1200.0	9000.0	6926.0	8376.0	5306.0	1047.0	1434.3
21		86.950	81.50	-2.00	-2.00	405.982	1200.0	9000.0	6926.0	8376.0	5306.0	1047.0	1434.3
22		90.450	85.00	-2.00	-2.00	405.971	1112.8	8403.6	6416.8	7779.6	5455.1	972.4	1497.9
23		93.950	88.50	-2.00	-2.00	405.961	1029.9	7835.9	5932.0	7211.9	5597.0	901.5	1558.5
24		98.450	93.00	-2.00	-2.00	405.947	929.3	7148.2	5344.8	6524.2	5769.0	815.5	1631.9
25		102.950	97.50	-2.00	-2.00	405.934	835.8	6507.9	4798.1	5883.9	5929.0	735.5	1700.2
26		107.450	102.00	-2.00	-2.00	405.920	749.1	5915.0	4291.9	5291.0	6077.3	661.4	1763.5
27		111.950	106.50	-2.00	-2.00	405.907	669.4	5369.5	3826.1	4745.5	6213.6	593.2	1821.7
28		116.450	111.00	-2.00	-2.00	405.893	596.6	4871.5	3400.9	4247.5	6338.1	530.9	1874.9
29		120.950	115.50	-2.00	-2.00	405.880	530.8	4420.9	3016.2	3796.9	6450.8	474.6	1923.0
30		125.450	120.00	-2.00	-2.00	405.866	471.8	4017.8	2671.9	3393.8	6551.6	424.2	1966.0
31		129.950	124.50	-2.00	-2.00	405.853	419.8	3662.0	2368.2	3038.0	6640.5	379.8	2004.0
32		134.450	129.00	-2.00	-2.00	405.839	374.8	3353.7	2105.0	2729.7	6717.6	341.2	2036.9
33		138.950	133.50	-2.00	-2.00	405.826	336.7	3092.9	1882.2	2468.9	6782.8	308.6	2064.7
34		143.450	138.00	-2.00	-2.00	405.812	305.5	2879.4	1700.0	2255.4	6836.1	281.9	2087.5
35		147.950	142.50	-2.00	-2.00	405.799	281.2	2713.4	1558.2	2089.4	6877.6	261.2	2105.2
36		152.450	147.00	-2.00	-2.00	405.785	263.9	2594.9	1457.0	1970.9	6907.3	246.4	2117.9
37		156.950	151.50	-2.00	-2.00	405.772	253.5	2523.7	1396.2	1899.7	6925.1	237.5	2125.5
38	A2	160.650	155.20	-2.00	-2.00	405.761	250.1	2500.7	1376.6	1876.7	6930.8	234.6	2127.9
39		161.450	156.00	-2.00	-2.00	405.758	250.0	2500.0	1376.0	1876.0	6931.0	234.5	2128.0

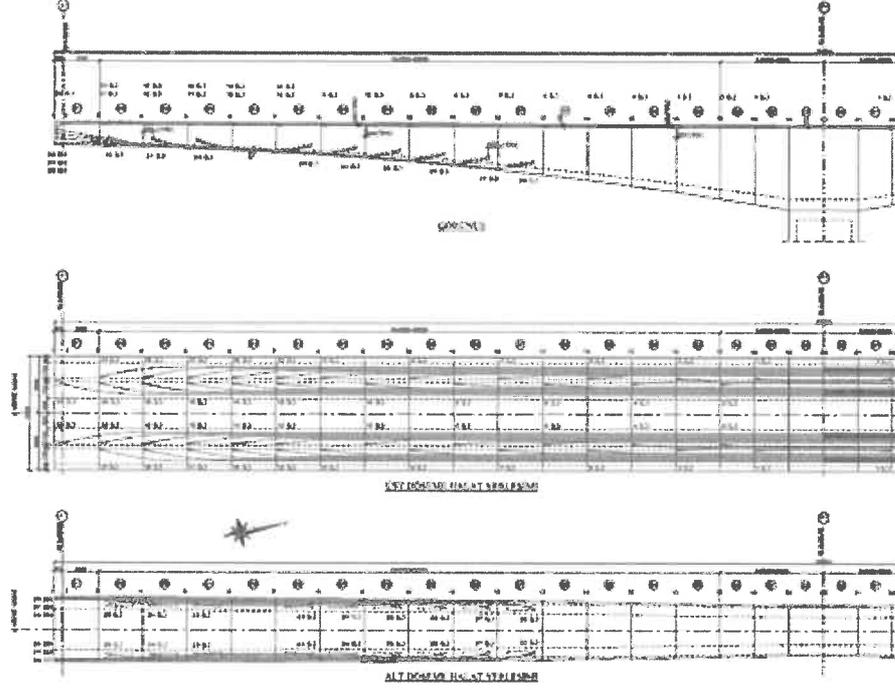
### 2.1.3. Ortaköy Köprüsü Halat Yerleşimi

Ortaköy Köprüsünde kutu kesit içerisinde enine ve boyuna halat yerleşimi mevcuttur. Uzun dönemde oluşabilecek, öngörülemeyen çatlakların önüne geçmek ya da minimize etmek maksadıyla, enine yönde  $4 \times \Phi 15.2/90$  cm'lik halatlar kullanılmıştır. AASHTO – LRFD 2007 Şartnamesi, Kısım 5.14.2.3.10a bölümünde kutu kesitin gövdeleri arasında mesafenin veya guseler arası mesafenin 4.57 m aştığı durumda enine çekme halatı kullanımı zorunlu hale getirilmiştir. Ortaköy dengeli konsol köprüsünün uzunluk ve en olarak benzeylek taşıyan Wilson Creek köprüsünde enine çekme halatı kullanılmıştır (Caner, 2010). Aynı şekilde Amerikan Segmental Bridge Insetitu' nın çalışması olan örnek bir çözümde yine en olarak benzer bir dengeli konsol çözülmüş ve o çözümden üst döşeme için enine çekme halatı kullanılmıştır (Caner, 2010). Bu tip dengeli konsol köprülerde enine çekme halatı kullanılması ile üst tabliyede boyuna çatlakların oluşumunu engellemek amaçlanmaktadır. Uzun vadede bu çatlaklardan dolayı boyuna yöndeki ana taşıyıcı ard germe halat demetleri yüzeysel yağmur suları veya kimyasal etkilere maruz kalabilecek ve istenmeyen sonuçlara sebep olabilecektir. Enine çekme halatı tasarımı genellikle sabit ağırlık ve üst döşemede gezen hareketli yük altında yapılmaktadır. Ülkemiz kamyon ağırlıklarının Amerikan tasarım kamyon ağırlığından yaklaşık olarak yüzde 50 fazla olduğu düşünüldüğünde hem kabul görmüş yönetmelikleri gözardı etmemek hem de güvenli tarafta kalmak için üst tabliyede enine halat çekim tasarımı yapılmıştır. Bu sayede köprü ömrü uzayacağı ve bakım ve onarım masraflarının azalacağı düşünülmektedir. Tabliyede enine ve boyuna ard germe halatları Şekil 2.6'da verilen tipik bir kesit üzerinde gösterilmiştir.

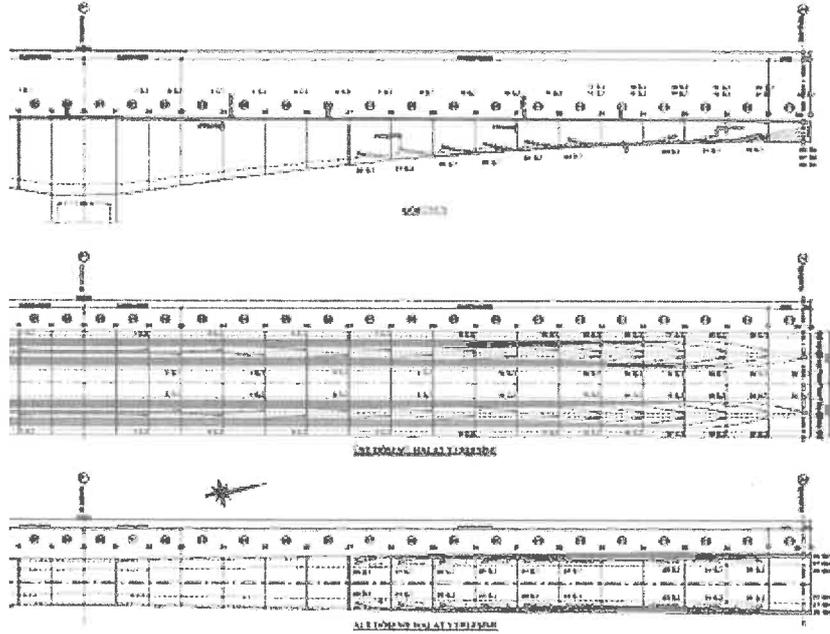


Şekil 2.6. Ortaköy Viyadüğü ard germe tip kesiti (Petek Proje, 2009)

Boyuna ard germe halatları; üst döşeme ve alt döşemedeki yerleşimleri kuzey ve güney tarafı için ayrı ayrı sırasıyla Şekil 2.7 ve Şekil 2.8’de verilmiştir. Ard germe halatlarına ait teknik özellikler Tablo 2.2’de verilmektedir. Enine ard germe 90 cm’de bir yerleştirilmiştir.



Şekil 2.7. Ortaköy Köprüsü halat yerleşim planı sol açıklık (Petek Proje, 2009)



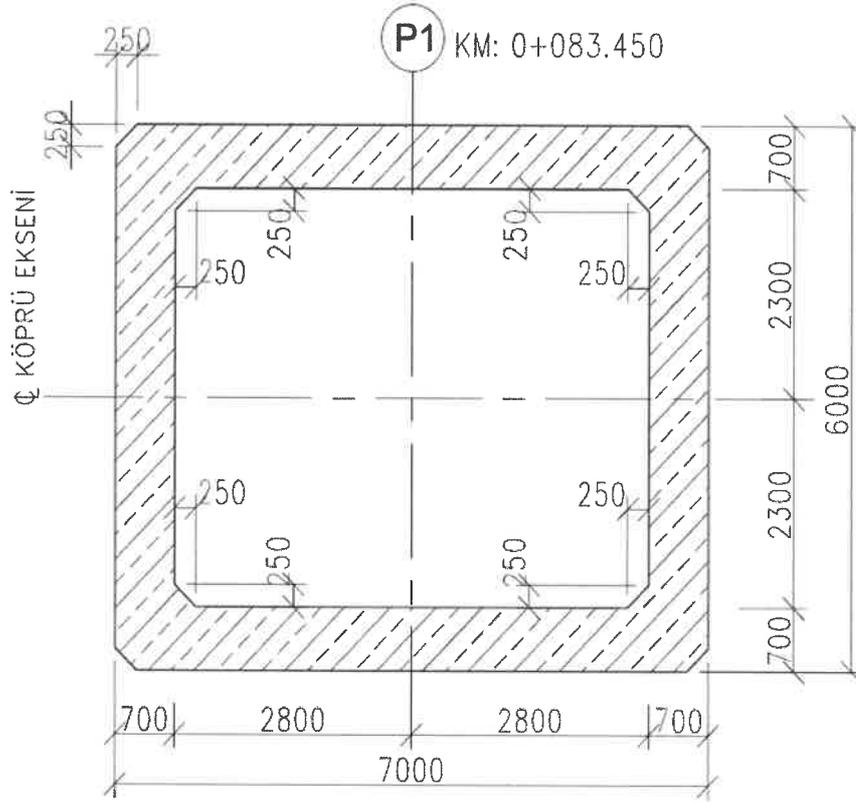
Şekil 2.8. Ortaköy Köprüsü halat yerleşim planı sağ açıklık (Petek Proje, 2009)

Tablo 2.2. Ard germe halatlarının teknik özellikleri (Petek Proje, 2009)

Çeliğin Nihai Çekme Dayanımı ( $f_s'$ )	1860 MPa
Çeliğin Akma Dayanımı ( $f_{py}$ )	1674 MPa
Çeliğin Elastisite Modülü ( $E_s$ )	196500 MPa
Sürtünme Katsayısı	0.23
Demir Dizisi	10 mm
Karakteristik Çekme Dayanımı ( $0.75 f_s'$ ) ( $f_{si}'$ )	1395 MPa
Halat Bükümünün Çapı ( $a$ )	15.24 mm
Bir Halat Bükümünün Alanı ( $A_s$ )	1.40 cm <sup>2</sup>
Halat Bükümü Sayısı	19

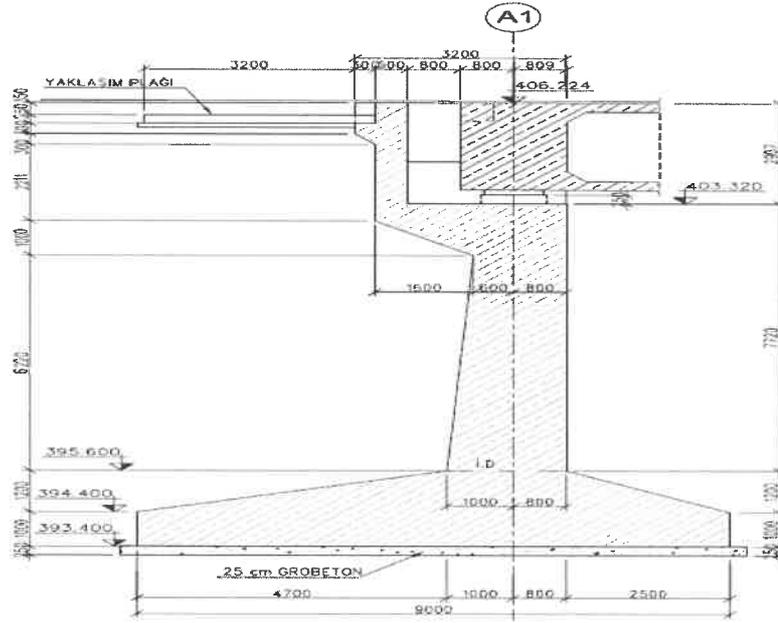
#### 2.1.4. Ortaköy Köprüsü Düşey Taşıyıcıları

Ortaköy Köprüsünde 1 orta ayak, 2 kenar ayak bulunmaktadır. Orta ayak içi boş kutu kesitlidir. Kutu kesit et kalınlığı 700 mm'dir (Şekil 2.9).

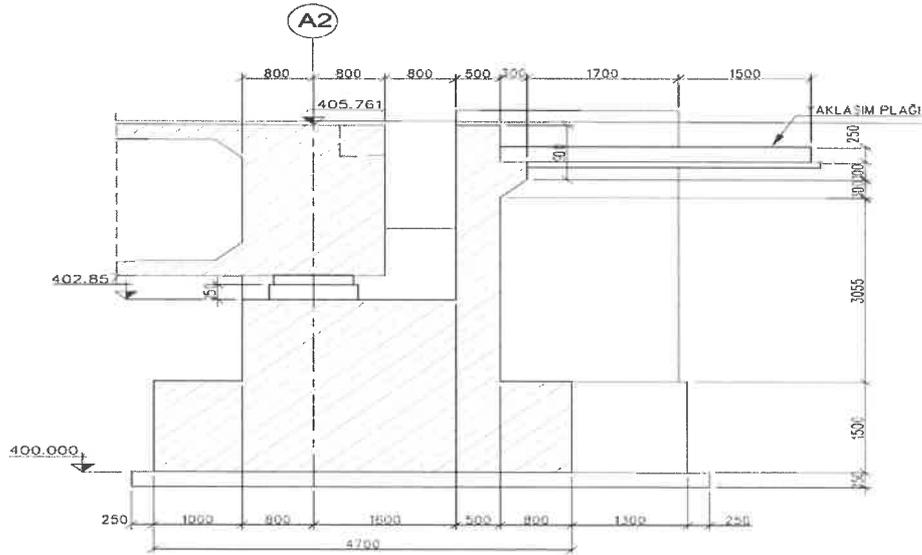


Şekil 2.9. Ortaköy Köprüsü orta ayak en kesiti (Petek Proje, 2009)

Ortaköy Köprüsünün temeli üzerinde bulunan orta ayak 60 m kolona sahiptir. Temelin oturduğu zemin alüvyon olduğunda fore kazıklar ile stabilize edilmiştir. Kenar ayakların oturduğu zemin ise kaya tabakasıdır (Petek, 2009). Kenar ayaklar betonarme olarak inşaa edilmişlerdir ve dengeli konsol köprünün başlangıç ve bitiş kilometrelerinde bulunmaktadır (Şekil 2.10 ve Şekil 2.11).

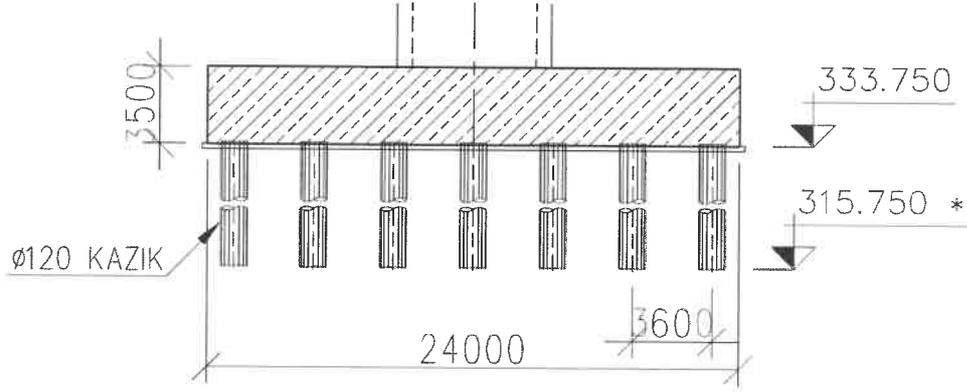


Şekil 2.10. Ortaköy Köprüsü A1 aksı kenar ayak en kesiti (Petek Proje, 2009)



Şekil 2.11. Ortaköy Köprüsü A2 aksı kenar ayak en kesiti (Petek Proje, 2009)

Orta ayak temelinde 42 adet f120 kazık kullanılmıştır. Kazık boyları, 3 m.si soket boyu olmak üzere 18 m. olarak belirlenmiştir. Kazık başlığı, eğilme etkisini güvenle karşılamak ve kesme donatısına ihtiyaç olmayacak şekilde 3.50 m. seçilmiştir (Petek,2009)( Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Ortaköy Köprüsü orta ayak temeli (Petek Proje, 2009)

## 2.2. Ortaköy Köprüsünün Sonlu Eleman Modeli

Bu tez çalışmasında dengeli konsol ve ard germe tekniği ile inşa edilmiş Ortaköy Köprüsünün spektrum analizi yapılacaktır. Çalışmamızda ana malzeme olan betonun malzeme özellikleri Tablo 2.3'te ve beton çeliğinin malzeme özellikleri ise Tablo 2.4'de verilmektedir.

Tablo 2.3. Beton malzeme özellikleri (Petek, 2009)

Betonun 28 Günlük Silindir Basıç Dayanımı ( $f_c'$ )	40 Mpa
Karakteristik Beton Dayanımı ( $f_{ci}'$ )	32 Mpa
Betonun Elastisite Modülü ( $E_c$ )	34026 Mpa
Poisson oranı ( $\nu$ )	0,2
Birim hacim ağırlığı ( $\gamma$ )	2500 kg/m <sup>3</sup>

Tablo 2.4. Çelik malzeme özellikleri (Petek, 2009)

Betonarme Çeliğinin Akma Dayanımı ( $f_y$ )	420 Mpa
Betonarme Çeliğinin Elastisite Modülü ( $E_s$ )	203900 Mpa

### 2.2.1. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi

Yapılan çalışma için kavramların anlaşılabilmesi açısından TBDY – 2018'den yararlanılarak deprem kayıtlarının seçilmesi gerekecektir.

#### 2.2.1.1. Standart Deprem Yer Hareketi Spektrumları

Deprem yer hareketi spektrumları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi esas alınarak % 5 sönüm oranı için harita spektral ivme kayıtlarına ve yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak standart biçimde veya sahaya özel deprem tehlikesi analizleri ile tanımlanırlar.

##### 2.2.1.1. 1. Harita Spektral İvme Katsayıları ve Tasarım İvme Katsayıları

Boyutsuz harita spektral ivme katsayıları dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için Türkiye Deprem tehlike haritaları kapsamında tanımlanmıştır:

- (a) Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı  $S_s$
- (b) 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı  $S_1$

Birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkilerinin geometrik ortalamasına karşı gelen harita spektral ivme katsayıları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulu [ $(V_s)_{30}=760$  m/s] esas alınarak %5 sönüm oranı için harita spektral ivmelerinin yerçekimi ivmesine bölünmesi ile boyutsuz katsayılar olarak tanımlanmıştır.

Harita spektral ivme katsayıları  $S_s$  ve  $S_1$ , aşağıdaki şekilde tasarım spektral ivme katsayıları  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$ 'e dönüştürülür:

$$\begin{aligned} S_{DS} &= S_s F_s \\ S_{D1} &= S_1 F_1 \end{aligned} \quad (2.1)$$

Burada  $F_s$  ve  $F_1$  yerel zemin etki sınıflarını göstermektedir.

##### 2.2.1.1.2. Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel zemin sınıflarına bağlı olarak, yerel zemin etki katsayıları  $F_s$  ve  $F_1$  sırasıyla Tablo 2.5 ve Tablo 2.6'da verilmiştir. Tablolarda harita spektral ivme katsayılarının ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir.

Tablo 2.5. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları (TBDY, 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı $F_s$					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Tablo 2.6. 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları (TBDY, 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı $F_1$					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

### 2.2.1.1.3. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

Gözönüne alınan herhangi bir deprem hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{ae}(T)$ , doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden tanımlanmıştır (Şekil 2.13).

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B)$$

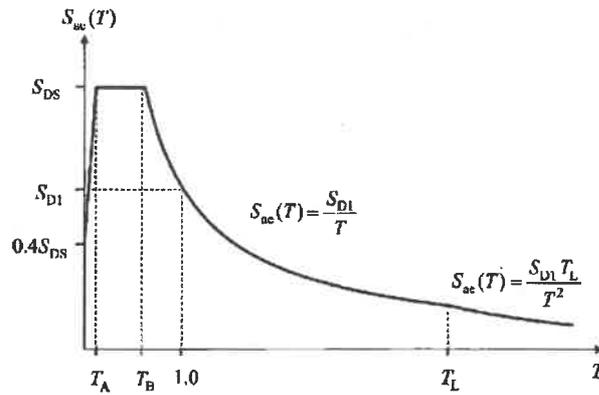
$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad (2.2)$$

Burada  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$  tasarım spektral ivme katsayılarını,  $T$  ise doğal titreşim periyodunu göstermektedir. Yatay tasarım spektrumu köşe periyotları  $T_A$  ve  $T_B$  ile  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$ 'e bağlı olarak tanımlanır:

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} ; T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.3)$$

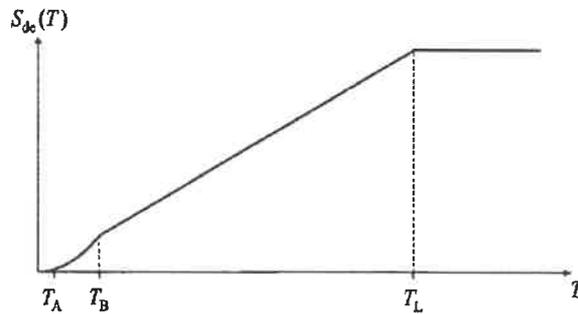
Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu  $T_L=6s$  alınacaktır.



Şekil 2.13. Yatay elastik tasarım spektrumu (g cinsinden) (TBDY-2018)

Göz öüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım yerdeğiştirme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmeleri  $S_{de}(T)$ , doğal titreşim periyoduna bağlı olarak metre cinsinden tanımlanır (Şekil 2.14):

$$S_{de}(T) = \frac{T^2}{4\Pi^2} S_{ac}(T) \quad (2.4)$$



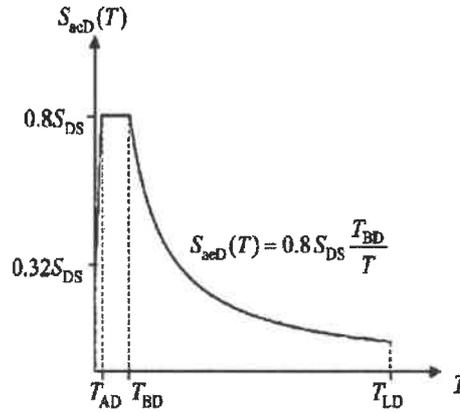
Şekil 2.14. Yatay elastik tasarım spektrumu (m cinsinden) (TBDY-2018)

### 2.2.1.1.4. Düşey Elastik Tasarım Spektrumu

Gözönüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için düşey elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan düşey elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{aeD}(T)$ , yatay deprem yer hareketi için tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına ve doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden tanımlanır (Şekil.2.15):

$$\begin{aligned}
 S_{aeD}(T) &= (0.32 + 0.48 \frac{T}{T_{AD}}) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_{AD}) \\
 S_{aeD}(T) &= 0.8 S_{DS} & (T_{AD} \leq T \leq T_{BD}) \\
 S_{aeD}(T) &= 0.8 S_{DS} \frac{T_{BD}}{T} & (T_{BD} \leq T \leq T_{LD})
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3} ; \quad T_{BD} = \frac{T_B}{3} ; \quad T_{LD} = \frac{T_L}{2} \tag{2.6}$$



Şekil.2.15. Düşey elastik tasarım spektrumu (g cinsinden)  
(TBDY-2018)

### 2.2.1.2. Sahaya Özel Deprem Yer Hareketi Spektrumu

#### 2.2.1.2.1. Sahaya Özel Elastik İvme Spektrumu

Bazı özel durumlarda, sahaya özel deprem tehlikesi analizleri ile sahaya özel deprem yer hareketi spektrumları tanımlanabilir. Bu tür spektrumlar proje mühendisinin tercihine bağlı olarak her durumda kullanılabilir.

Sahaya özel deprem yer hareketi spektrumlarının ordinatı hiçbir zaman tasarım ivme spektrumu ordinatlarının % 90'ından daha küçük olmayacaktır.

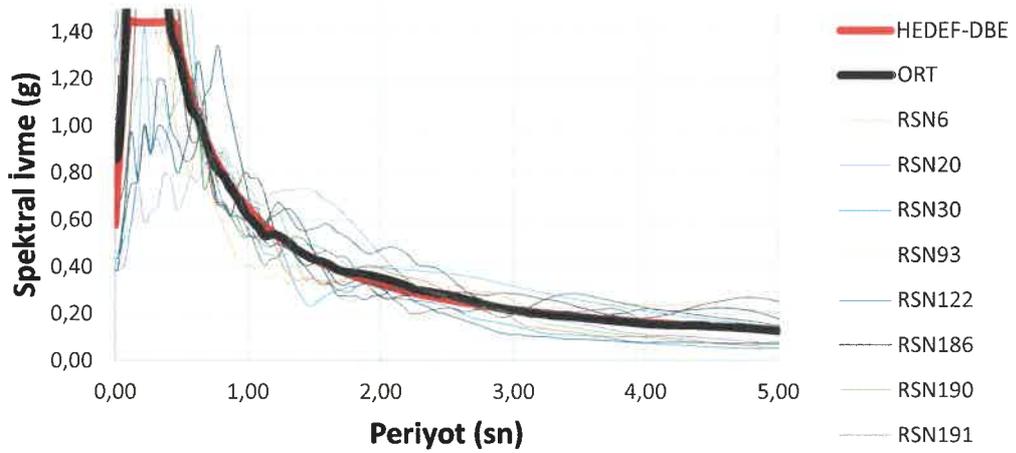
### 2.2.1.2.2. Sahaya Özel Zemin Davranışı Analizleri

Yerel zemin sınıflandırılmasında ZF sınıfı olarak tanımlanan zeminlerde sahaya özel zemin davranış analizleri yapılacaktır. Bu tür analizler, Proje mühendisinin tercihinine bağlı olarak diğer zeminlerde de yapılabilir.

Bu çalışmada spektrum analizi için 11 ayrı deprem kaydı ölçeklendirilerek tasarım spektrumu kullanılmıştır. Spektrum analizinde kullanılan deprem kayıtları Tablo 2.7'de verilmektedir. Ölçeklendirilmiş kayıtlardan elde edilen tasarım ivme spektrumu Şekil 2.16'da gösterilmektedir.

Tablo 2.7. Spektrum analizinde kullanılan deprem kayıtları

RSN	Ölçek	Deprem	Yıl	İstasyon	Büyüklik (Mw)
6	1,3225	Imperial Valley-02	1940	El Centro Array #9	6,95
20	1,465	Northern Calif-03	1954	Ferndale City Hall	6,5
30	2,2167	Parkfield	1966	Cholame - Shandon Array #5	6,19
93	4,7017	San Fernando	1971	Whittier Narrows Dam	6,61
122	3,9429	Friuli, Italy-01	1976	Codroipo	6,5
186	5,0024	Imperial Valley-06	1979	Niland Fire Station	6,53
190	10,1002	Imperial Valley-06	1979	Superstition Mtn Camera	6,53
191	6,6409	Imperial Valley-06	1979	Victoria	6,53
266	2,1528	Victoria, Mexico	1980	Chihuahua	6,33
314	4,5154	Westmorland	1981	Brawley Airport	5,9
316	1,4808	Westmorland	1981	Parachute Test Site	5,9

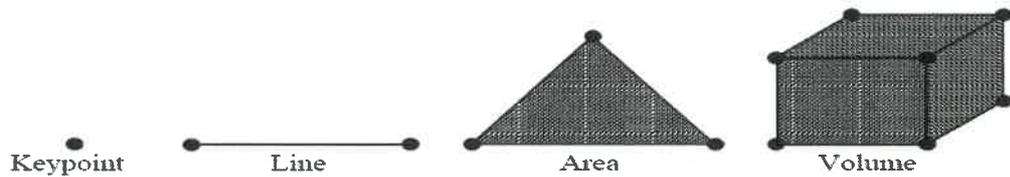


Şekil 2.16. Ölçeklendirilmiş kayıtlarda elde edilen tasarım ivme spektrumu

### 2.2.2. Modelin Oluşturulması

Sonlu elemanlar yöntemi mühendislik problemlerinin bilgisayar destekli çözümünde genellikle tercih edilmektedir. Bu yöntemi temel alan pek çok paket programlar hazırlanmıştır. ANSYS programı da sonlu elemanlar yöntemine dayalı ve yaygın olarak kullanılan bir yazılımdır.

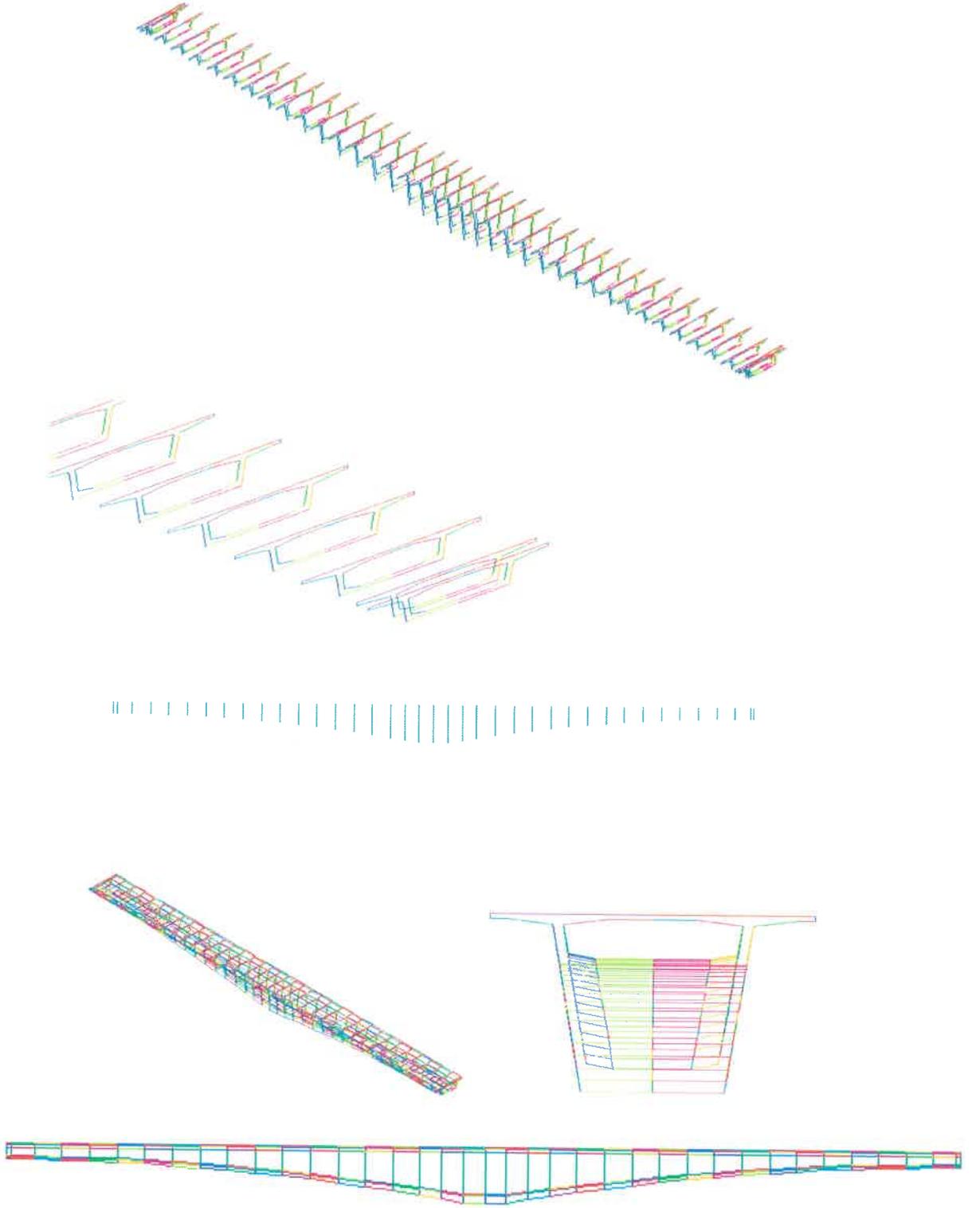
Modelleme için ANSYS programında çeşitli seçenekler mevcuttur. Düğüm noktaları ve düğüm noktalarına bağlı elemanlardan oluşan bir sonlu eleman modeli önce düğüm noktalarının sonrada elemanların oluşturulmasıyla meydana gelebilir. Her bir düğüm noktasına ait genel koordinatlar verilerek düğüm noktaları oluşturulur. Karmaşık şekillerin daha kısa sürede modellenmesine imkan veren **keypoint**, **line**, **area** ve **volume** nesnelere mevcuttur. Bir **line** iki **keypoint** ve bunları birleştiren doğrudan oluşur. Area en az üç linedan oluşan kapalı bir yüzeydir. Volume ise en az dört alandan meydana gelen bir nesnedir (Şekil 2.17).



Şekil 2.17. ANSYS Model oluşturma nesnelere (Dede, 2006)

Ortaköy Köprüsü karmaşık bir model olacağı için ANSYS programının kendi dilinde kodlama yapabilen List→File →Log File menüsünden yararlanılarak modelleme yapılmıştır. Log File “/PREP7” komutunun ardından yapılan bütün işlemleri kodlar halinde dile getiren bir menüdür. Keypoint oluşturduğumuzda “K,1,0,0,0,” şeklinde kodun yazıldığı görülmektedir.” K” nın yanındaki “1” keypoint numarası diğer üç “0” ise keypointin koordinatını ifade etmektedir. Line oluşturduğumuzda “ LSTR, 1, 2” kodu yazılmaktadır. Burada “1” ve “2” nolu keypointlerin birbirine bağlandığı ifade edilmektedir. ANSYS de geri al komutu olmadığı için karmaşık geometrili sistemlerin modellenmesinde yapılan bir hata yüzünden baştan başlanması zaman ve emek kaybına neden olacaktır. Oysa Log File dosyasındaki kodlar bir metin belgesine kopyalanırsa değişiklik yapabilme veya hataları düzelme imkânı olacaktır. Ayrıca metin belgeleri çok küçük boyutlu olduklarından oldukça karmaşık ve büyük modellerin saklanması çok daha kolay olmaktadır.

Tablo 2.1 ile verilen enkesit bilgilerinden düğüm noktaları oluşturulmuş, düğüm noktalarından line, area ve volume oluşturularak model tamamlanmıştır. Benzer şekilde ardgerme halatları modellenmiştir (Şekil 2.18).



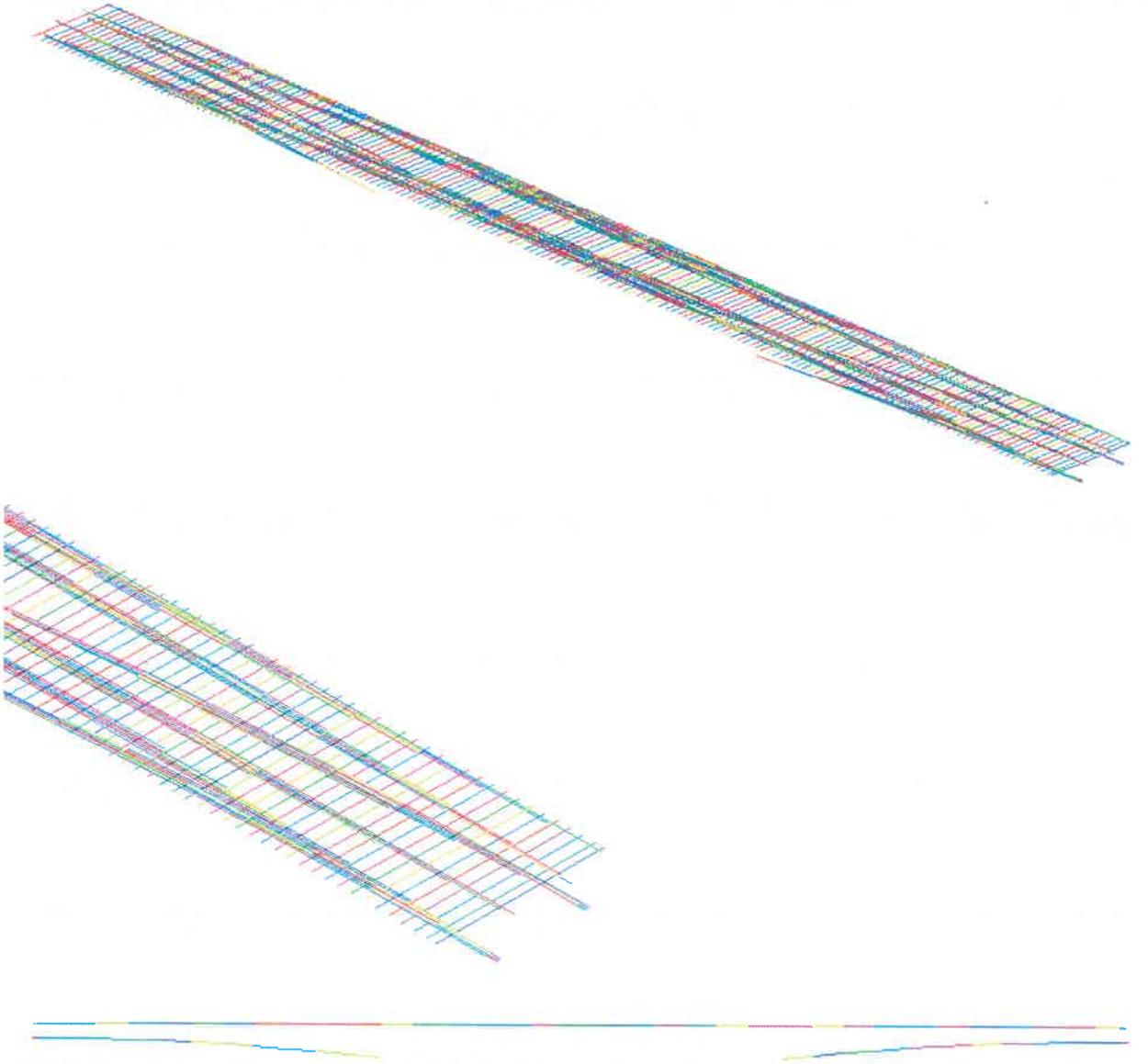
Şekil 2.18. Ortaköy Köprüsünün linelerden oluşan ANSYS modeli

ANSYS programında Log File kodlama dili ile Şekil 2.18’de line modeli oluşturulan Ortaköy Köprüsü yine Log File kodlama dili kullanılarak area ve volume olarak modellenmiştir (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. Ortaköy Köprüsünün volume ANSYS modeli

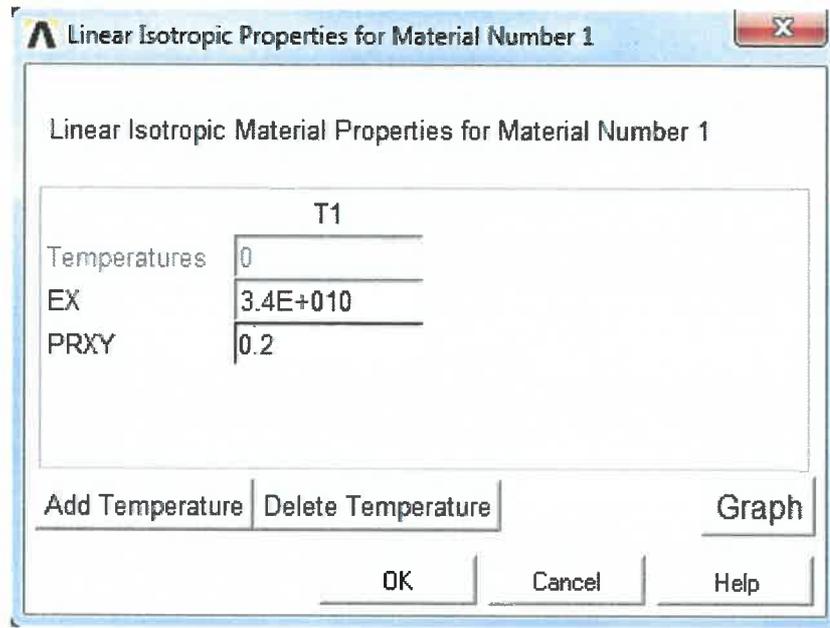
Ortaköy Köprüsünün ard germe halatlarında Log File kodlama dili kullanılarak Line elemanlarla modellenmiştir. Şekil 2.6’da tipik yerleşimi görülen hata yerleşiminin şekil 2.7 ve Şekil 2.8’e göre yerleri tespit edilmiştir. Böylece line olarak halatlar modellenmiştir (Şekil 2.20).



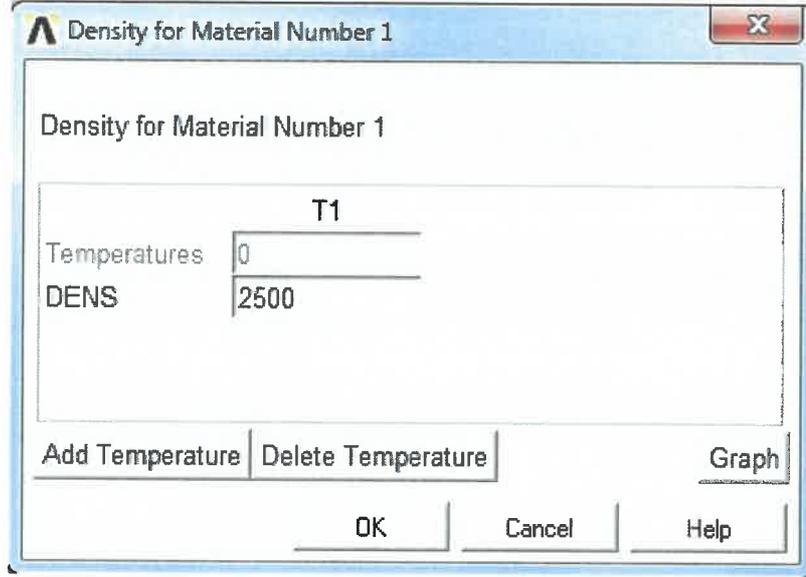
Şekil 2.20. Ortaköy Köprüsünün ardgerme halatları ANSYS modeli

### 2.2.3. Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması

Beton ve çeliğin malzeme özellikleri ANSYS Programında tanımlanmıştır. Main Menu>Preprocessor>Material Props>Material Models komutu yardımıyla malzeme özellikleri menüsü açılır. Açılan Define Material Model Behavior penceresinin sol bölümünde yer alan Material Models Defined bölümünde tanımlanacak malzeme ismi default olarak Material Model Number 1 olarak görülmektedir. Pencerenin sağ tarafında yer alan Material Models Available bölümünde Structural>Linear>Elastic>Isotropic komutuyla açılan Linear Isotropic Material Properties for Material Number 1 penceresinde sistemin elastisite modülünü EX ve poisson oranını PRXY girilir (Şekil 2.21). Bu özelliklerin yanında bir de sistemin birim hacim ağırlığının da programa girilmesi gerekmektedir. Define Material Model Behavior penceresinin sağ bölümünde bulunan Density sekmesi yardımıyla programın birim hacim ağırlığını girilir (Şekil 2.22).

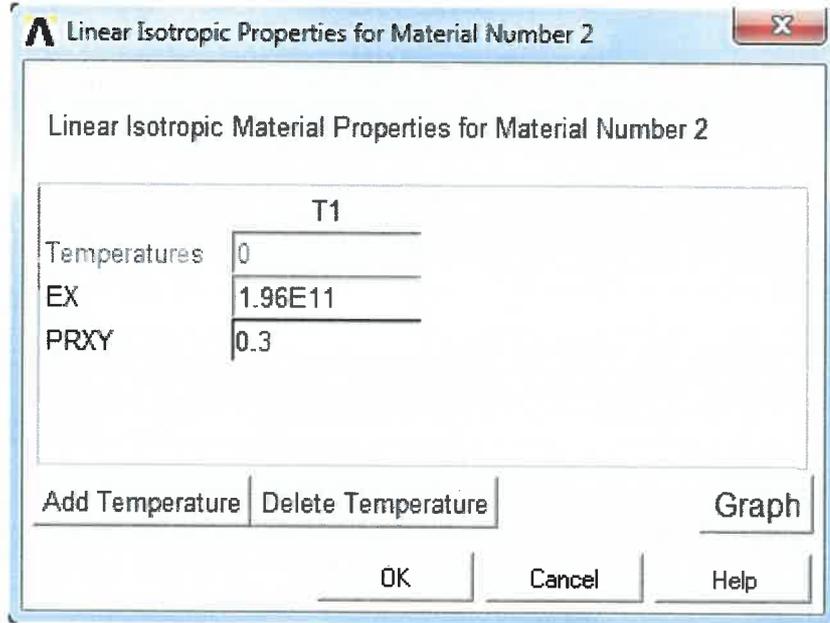


Şekil 2.21. Betonun elastisite modülü ve poisson oranının ANSYS'e girilmesi

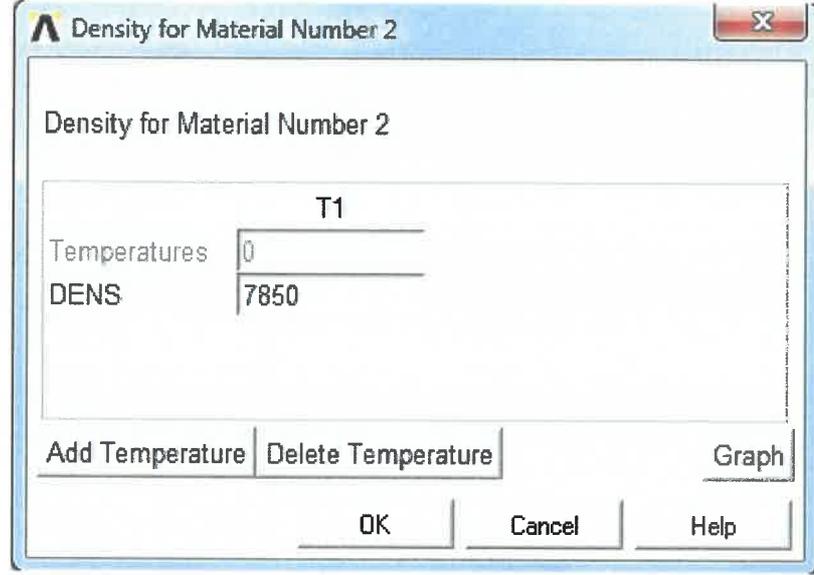


Şekil 2.22. Betonun birim hacim ağırlığının ANSYS'e girilmesi

Betonun malzeme özellikleri girildikten sonra benzer şekilde çeliğin malzeme özellikleri de girilir. Çeliğin elastisite modülünü EX ve poisson oranını PRXY girilir (Şekil 2.23). Çeliğin birim hacim ağırlığı ise Şekil 2.24'deki menü ile programa girilir.



Şekil 2.23. Çeliğin elastisite modülü ve poisson oranının ANSYS'e girilmesi

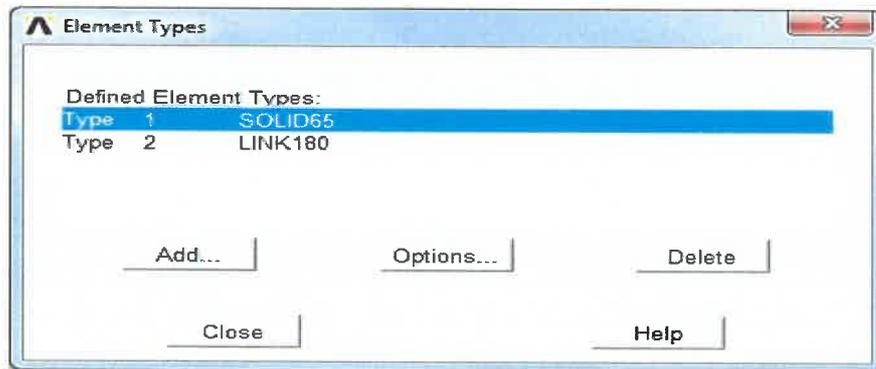


Şekil 2.24. Çeliğin birim hacim ağırlığının ANSYS'e girilmesi

#### 2.2.4. Eleman Tipinin Belirlenmesi

ANSYS programında modelleme yapılırken iki farklı eleman kullanılmıştır. ANSYS programında beton eleman tipi için en uygun model SOLID65 modelidir. Köprü modeli hazırlanmasında betonarme çeliği beton eleman modeli içine dağılmış olarak kabul edilmiş olup, donatı için ayrıca bir eleman tipi seçilmemiştir. Ardgerme kabloları LINK180 eleman tipiyle modellenmiştir.

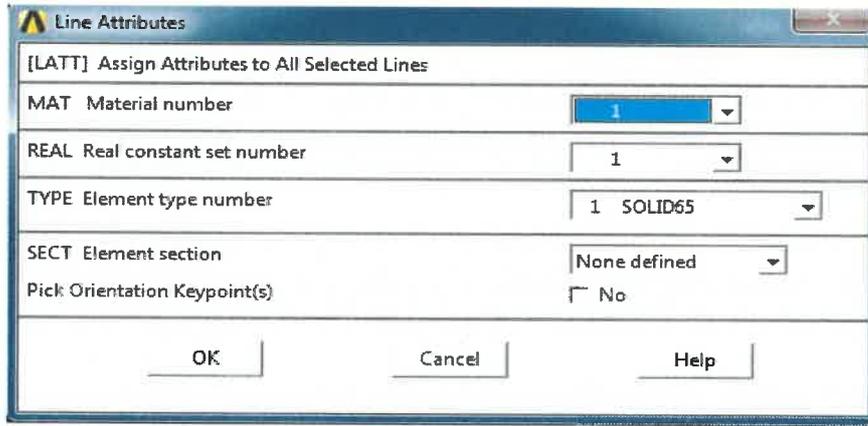
Main Menu>Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete komutu yardımıyla eleman tipini tanımlanabilmektedir. Böylelikle “Element Types” penceresinde tanımlanan eleman tipi olarak “SOLID65” ve ‘LINK180 ‘görülmektedir ( Şekil 2.25).



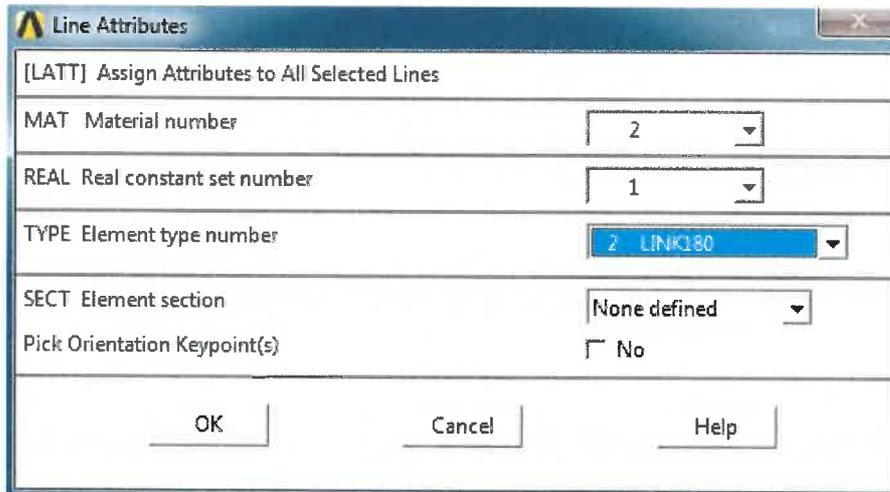
Şekil.2.25. Eleman tiplerinin ANSYS'ye girilmesi

### 2.2.5. Tanımlanan Özelliklerin Atanması

ANSYS Programında Main Menu>Preprocessor>Meshing>Mesh Attributes>All Lines komutu yardımıyla tanımlanan özellikleri ilgili elemanlara atanır. Açılan Line Attributes penceresinde MAT Material number sekmesinde 1 seçilir. REAL Real constant set number sekmesini None defined olarak bırakılır. Çünkü herhangi bir real constant tanımlanmamıştır. TYPE Element type number sekmesinde tanımladığımız eleman tipi olan SOLID65 seçilir. SECT Element section sekmesinde ise tanımladığımız kesitin ID numarası bir olduğu için 1 seçilir (Şekil 2.26). Bu şekilde betonun malzeme özellikleri eleman olarak atanmış olur. Benzer şekilde çelik içinde atama yapılır (Şekil 2.27).



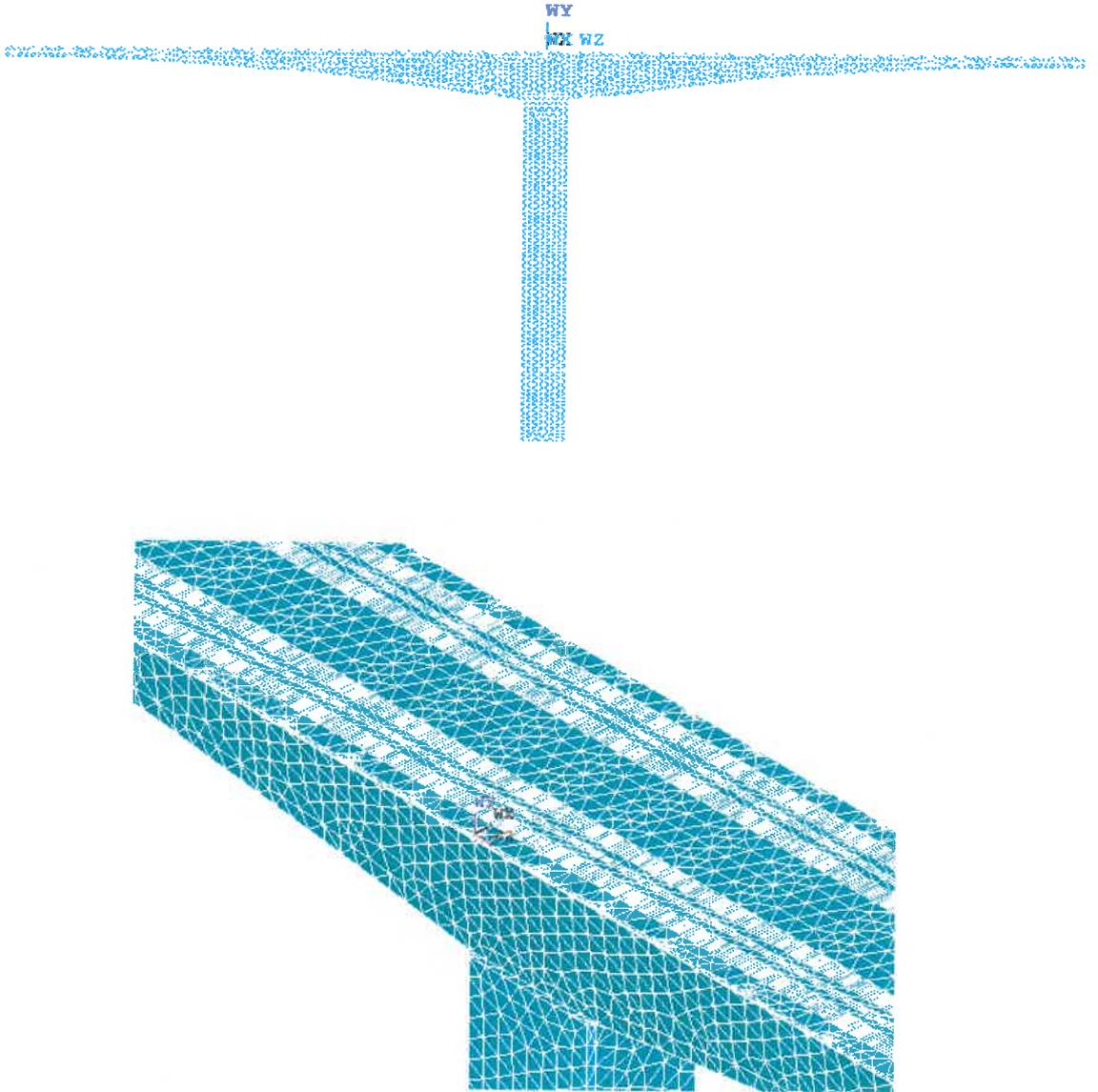
Şekil 2.26. Betonun eleman tipinin atanması



Şekil 2.27. Çeliğin eleman tipinin atanması

### 2.2.6. Sonlu Eleman Ağının Oluşturulması

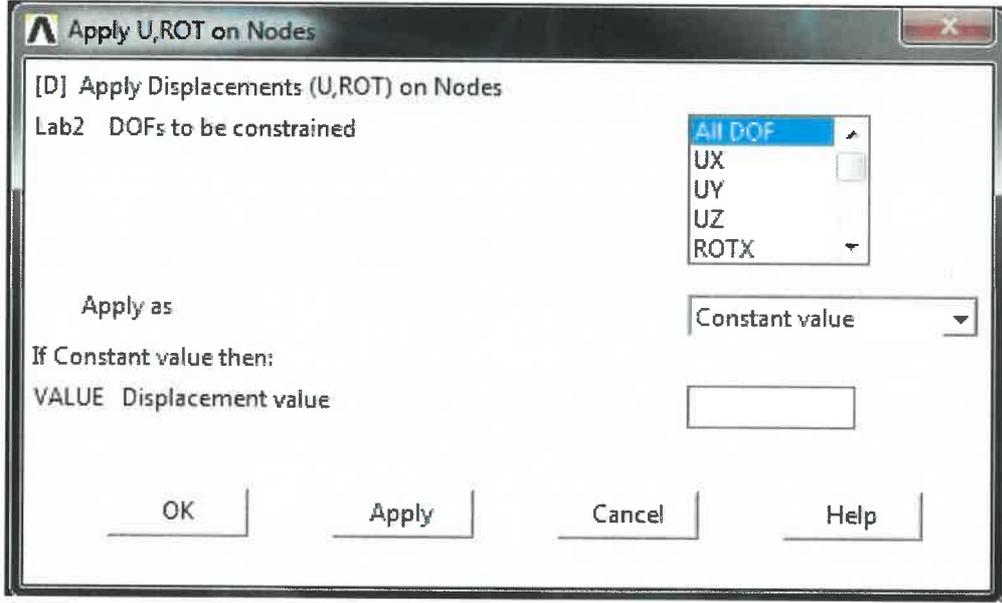
Kabloların geçeceği yerden volume elemanlar bölünerek volume elemanların çizgileri ile kablo elemanların çizgileri çakıştırılmıştır. Böylelikle düğüm noktaları üç üşte gelir. Nummerge komutu yardımıyla üç üşte gelen düğüm noktaları birleştirilerek beraber çalıştırılması sağlanır. Böylece ANSYS programında sonlu eleman ağı oluşturulması sağlanmıştır ( Şekil 2.28).



Şekil 2.28. Modelin sonlu eleman ağı ANSYS görüntüsü

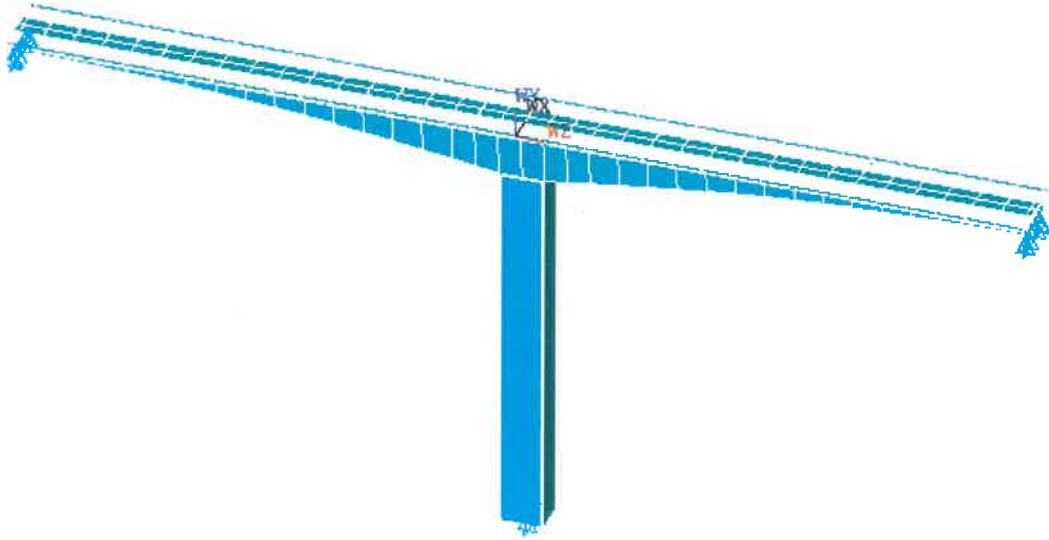
### 2.2.7. Sınır Şartlarının Belirlenmesi

Ortaköy Köprüsü kenar ayakları olarak kayıcı mesnetlenmiştir. Orta ayak üzerinde yükselen bu köprü orta ayağı temeli ise ankastre olarak modellenmiş olup ANSYS'e sınır koşulları bu şekilde girilmiştir ( Şekil 2.29).



Şekil 2.29. Sınır koşullarının belirlendiği ANSYS menüsü

Sınır elemanları atanarak elde edilen köprü modeli Şekil 2.30'da verilmiştir.



Şekil 2.30. Modelin mesnetleri

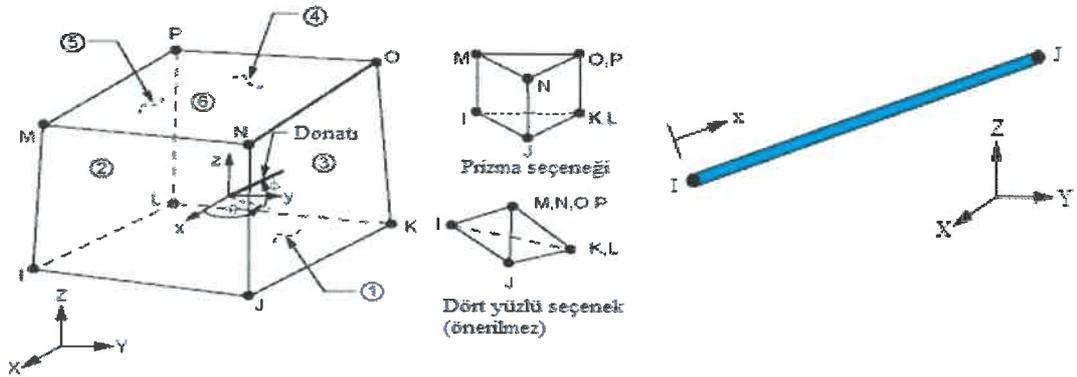
## 2.2.8. Yapısal Analizler ve Değerlendirmeler

Tez kapsamında, Ortaköy Köprüsü'nün yapısal davranışlarının belirlenmesi amacıyla, köprünün sonlu eleman analizleri gerçekleştirilmiştir. Köprünün sonlu eleman analizleri ilgili firma tarafından sağlanan çizim dosyalarından ve diğer kaynaklardan yararlanılarak oluşturulan sonlu eleman modeli kullanılarak yapılmıştır. Köprünün sonlu eleman modeli ANSYS(2015) yapısal analiz programında oluşturulmuştur.

Gerçekleştirilen analizler aşağıda gruplandırılmıştır:

- Köprünün modal analizinin belirlenmesi,
- Köprünün yalnızca ardgerme kablo kuvvetleri altındaki davranışının belirlenmesi,
- Köprünün kendi ağırlığı ve taşıt yükleri altındaki davranışının belirlenmesi,
- Köprünün spektrum analizi ile dinamik davranışının belirlenmesi

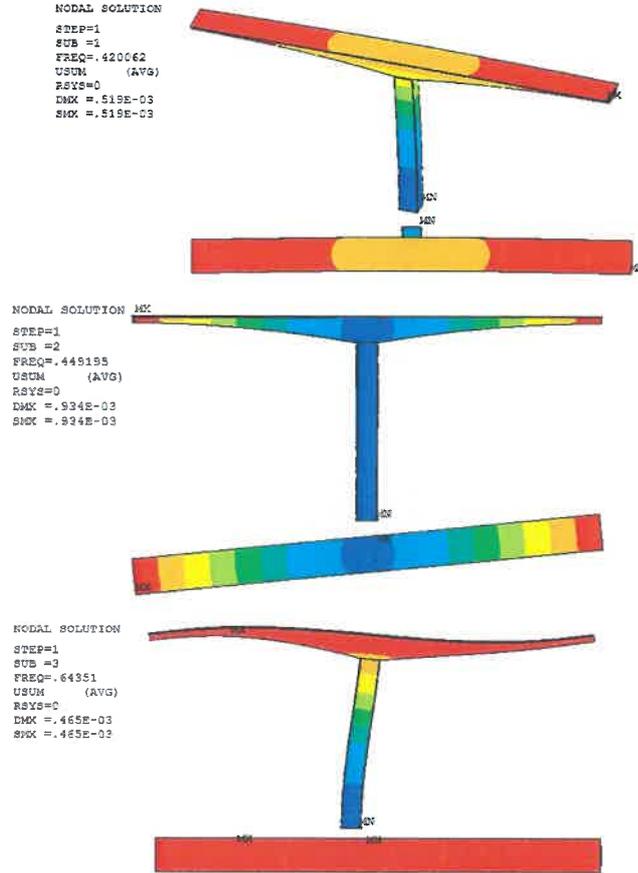
Köprünün ANSYS programında oluşturulan sonlu eleman modelinde SOLID65 tipi katı elemanlar ve ardgerme kablolarının modellenmesinde link180 çubuk elemanlar kullanılmıştır. SOLID65 elemanı toplam 8 düğüm noktasına ve her bir düğüm noktasında üç adet deplasman serbestlik derecesine sahip bir elemandır. SOLID65 elemanı genel olarak betonarme yapıların modellenmesinde kullanılmak üzere oluşturulmuştur ve eleman çubuk elemanlarla beraber çalışabilmektedir. Link180 elemanı 2 düğüm noktasına sahip her düğüm noktasında x,y,z doğrultularında ötelenme yapabilme kabiliyetine sahiptir. Eleman yalnızca aksenal çekme ve basınca çalışmakta, herhangi bir eğilme davranışı göstermemektedir. Eleman kablo, yay, kafes sistemler problemleri için uygundur (ANSYS, 2015). SOLID65 ve LINK180 elemanlarının genel görünüşleri Şekil 2.31'de verilmektedir.



Şekil 2.31. SOLID65 ve LINK180 elemanlarının genel görünüşleri ve sonlu eleman ağında alacağı durumlar (ANSYS, 2015)

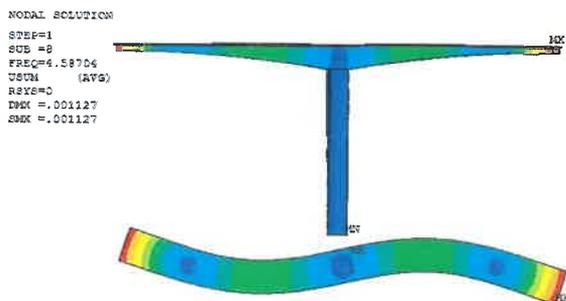
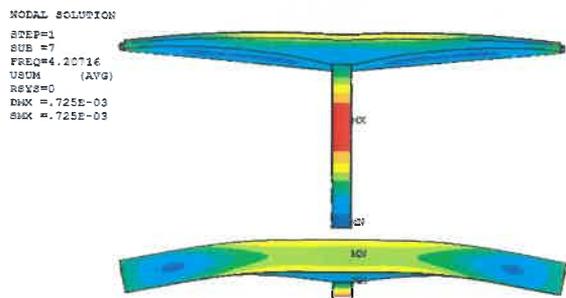
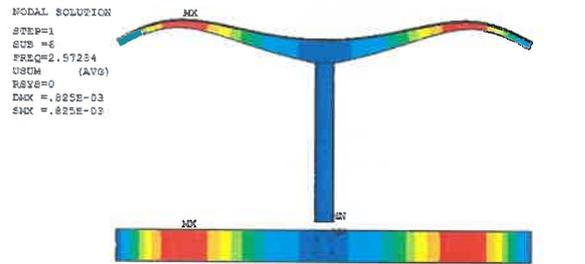
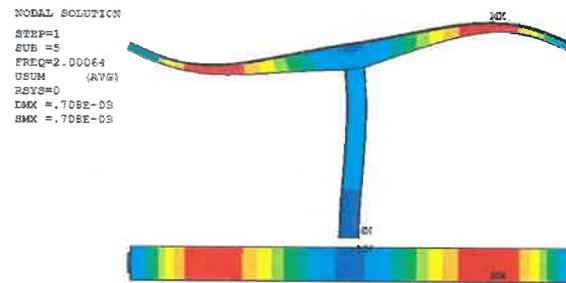
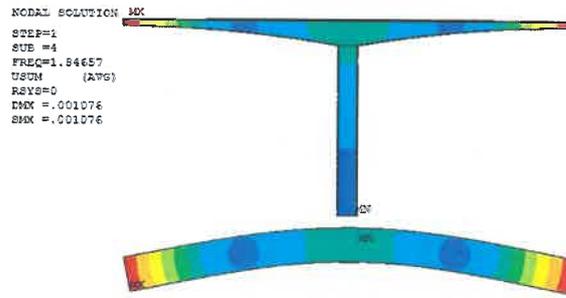
### 2.2.8.1. Köprünün Modal Analizi

Ortaköy Köprüsü'nün serbest titreşim davranışının elde edilebilmesi için modal analizi gerçekleştirilmiştir. Analizde 12 mod dikkate alınmıştır. Modal analiz sonucu elde edilen mod şekilleri Şekil 2.32 'de verilmektedir. Analiz sonucunda elde edilen frekans değerleri ve kütle katılım oranları Tablo 2.8 'de sunulmaktadır. Tablo 2.8 incelendiğinde frekans değerlerinin 0.42Hz ile 7.79Hz değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Modal analiz sonucunda kütle katılım oranları; köprünün boyuna doğrultusunda (X doğrultusu) %92, köprünün enine doğrultusunda (Z doğrultusu) %92 ve düşey doğrultuda (Y doğrultusu) %60 olarak elde edilmiştir.

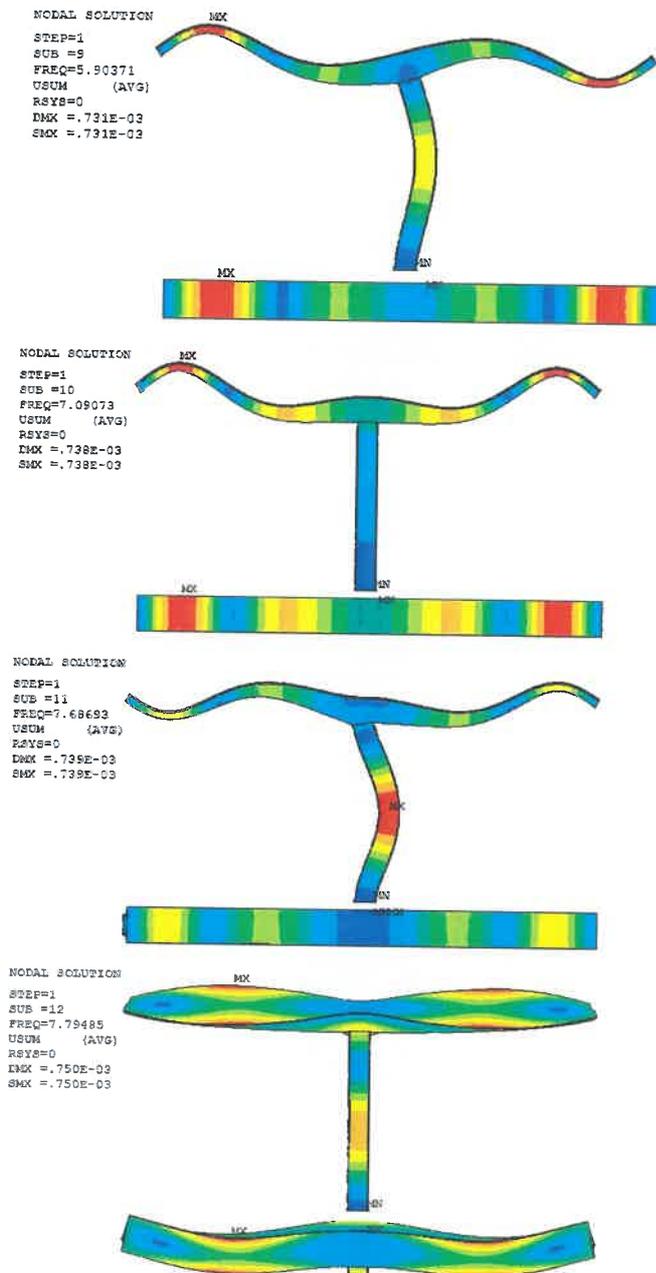


Şekil 2.32. Köprünün modal analizi sonucunda elde edilen mod şekilleri

Şekil 2.32'nin devamı



Şekil 2.32'nin devamı



Tablo 2.8. Köprünün modal analizi sonucunda elde edilen frekans, periyot ve kütle katılım oranları

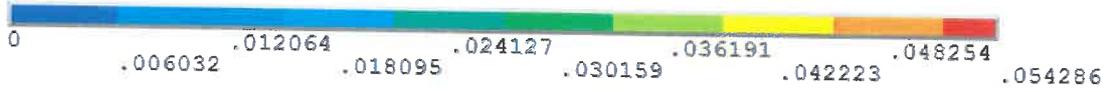
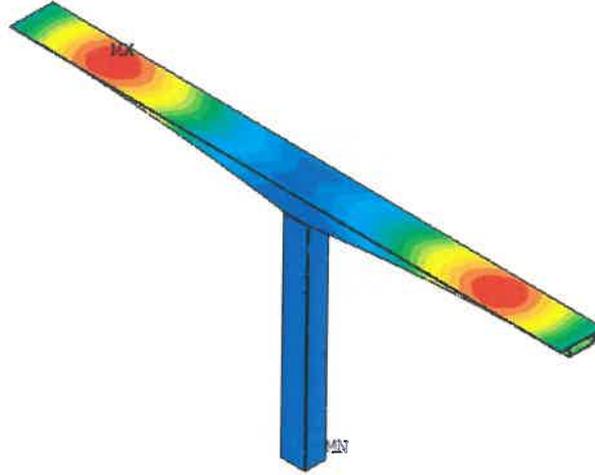
Mod numarası	Frekans (Hz)	Periyot (sn)	Kütle Katılım Oranları		
			X yönünde	Y yönünde	Z Yönünde
1	0.420062	2.3806	0.168160E-09	0.159124E-09	0.810348
2	0.449195	2.2262	0.956609E-09	0.186775E-10	0.106286E-05
3	0.643510	1.5540	0.797901	0.172022E-08	0.113512E-08
4	1.84657	0.54154	0.320805E-08	0.110326E-08	0.179902E-01
5	2.00064	0.49984	0.611432E-01	0.349471E-07	0.127513E-07
6	2.97284	0.33638	0.163131E-07	0.452359	0.312763E-08
7	4.20716	0.23769	0.672506E-10	0.276226E-07	0.708992E-01
8	4.58704	0.21801	0.706680E-11	0.117731E-07	0.361278E-07
9	5.90371	0.16939	0.301744E-01	0.635623E-08	0.118368E-07
10	7.09073	0.14103	0.963321E-07	0.155473	0.210730E-07
11	7.68693	0.13009	0.379891E-01	0.623172E-06	0.129136E-05
12	7.79485	0.12829	0.160240E-05	0.369703E-07	0.285426E-01
TOPLAM			0.927209	0.607832	0.927783

### 2.2.8.2. Köprünün Yalnızca Ardgerme Kablo Kuvvetleri Altındaki Davranışı

Dengeli konsol köprü modeli üzerinde yalnızca ardgerme kuvvetleri olması durumunda statik analiz gerçekleştirilmiştir. Analizlerde yerçekimi ivmesi ya da herhangi başka bir yükleme yapılmamıştır. Ardgerme kuvveti olarak analizlerde her bir kabloya projede belirtildiği gibi 371070 kg'lık (26.6 cm<sup>2</sup>'lik alana) bir çekme kuvveti uygulanmaktadır. Ardgerme kuvveti analizlerde kabloları başlangıç şekil değiştirme koşulu vererek uygulanmıştır. Yapılan analiz sonucunda elde edilen deformasyon şekli Şekil 2.33' de verilmektedir. Köprünün yer değiştirme kontur diyagramı Şekil 2.34'de verilmektedir. Ardgerme kuvvetleri altında köprü açıklık kolları ortasında 5.4 cm'lik düşey yönde yer değiştirme elde edilmiştir.



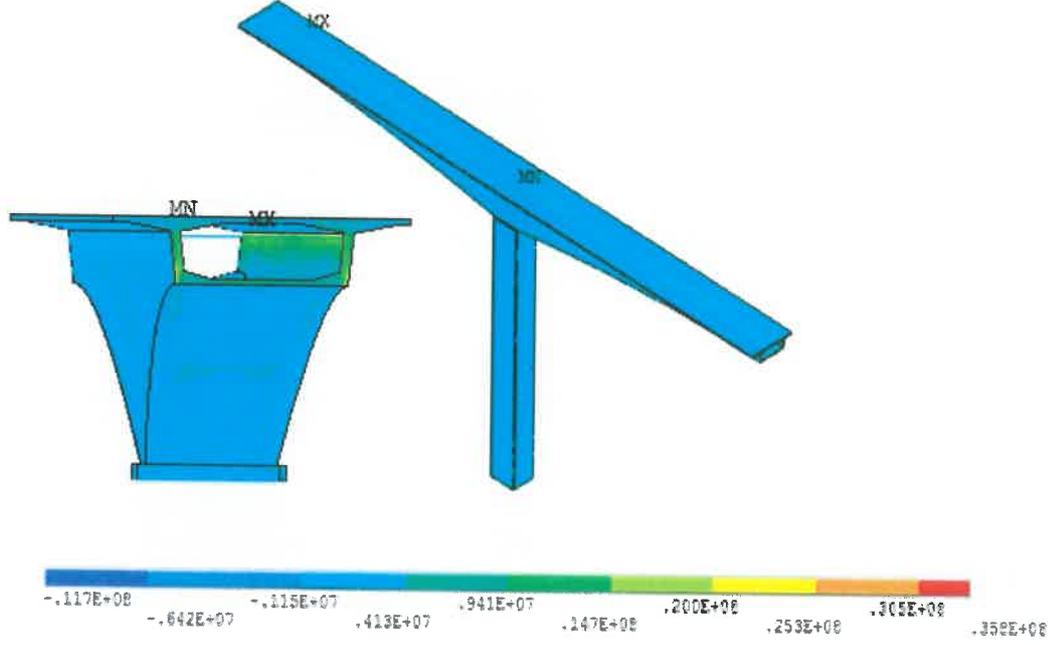
Şekil 2.33. Ardgerme kuvveti altında köprünün deformasyon şekli



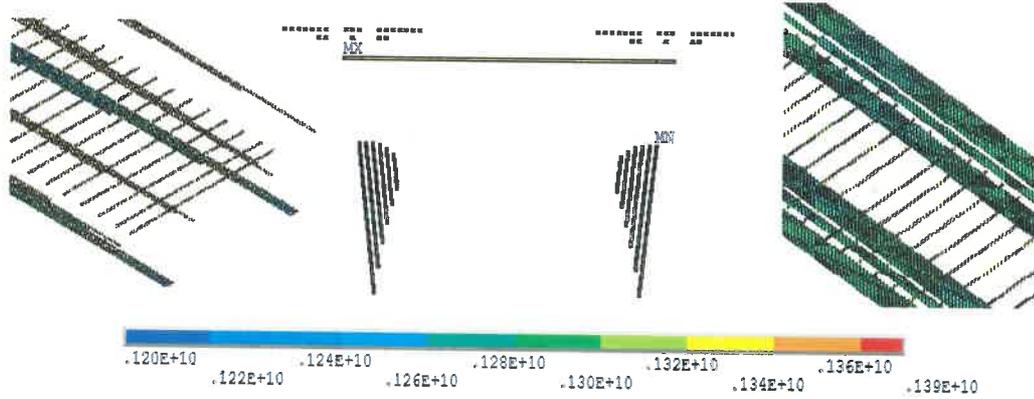
Şekil 2.34. Ardgerme kuvveti altında köprünün yerdeğiştirme kontur diyagramı (m)

Ardgerme kuvveti altında yapılan analizler sonucunda köprüde meydana gelen çekme gerilmeleri kontur diyagramı Şekil 2.35 'de verilmektedir. Şekil 2.35 incelendiğinde maksimum çekme gerilmelerinin enine ardgerme kablolar ile köprüün birleşim noktalarında 35.8MPa değerinde elde edildiği görülmektedir. Bu noktalarda ardgerme için gerçek projede kullanılan plakaların modelde göz önüne alınmaması böyle yüksek bir değer oluşmasına neden olmuştur. Bunun haricinde köprüün betonarme kısmında meydana gelen çekme gerilmeleri 4.13 MPa değerini aşmamaktadır. Analiz sonucunda ardgerme kabloları üzerinde oluşan çekme gerilmeleri kontur diyagramı Şekil 2.36 'da

verilmektedir. Ardgerme kablolarında 1200-1390MPa arasında çekme gerilmeleri meydana gelmektedir. Elde edilen bu çekme gerilmeleri analizde kabul edilen ardgerme kuvveti ile uyşmaktadır.



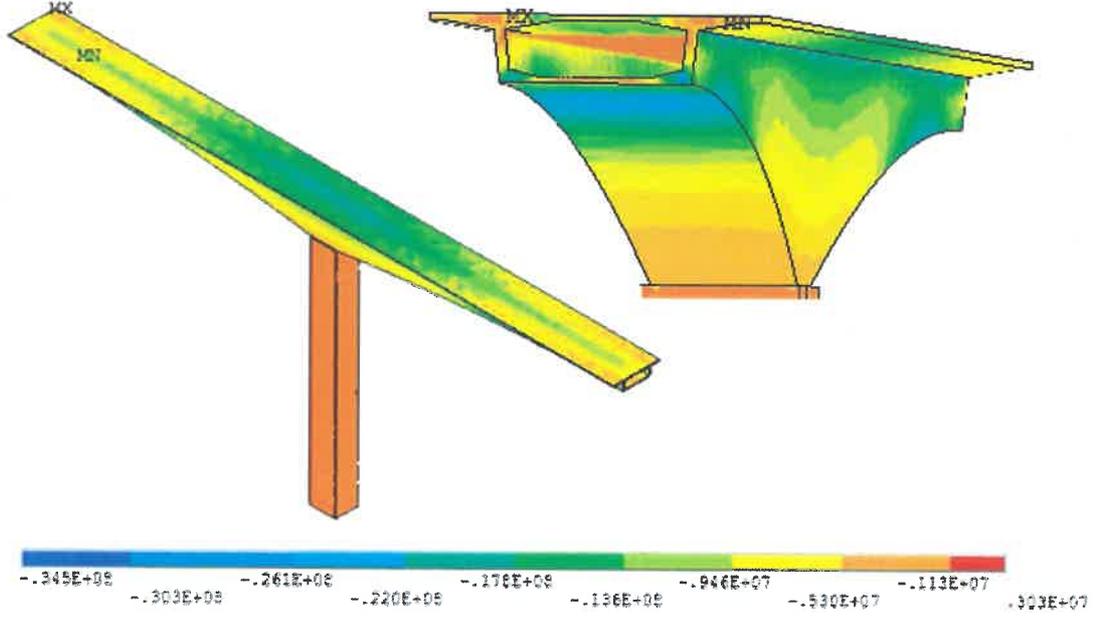
Şekil 2.35. Ardgerme kuvveti altında köprünün çekme gerilmeleri kontur diyagramı (N/m<sup>2</sup>)



Şekil 2.36. Ardgerme kuvveti altında ardgerme kablolarında meydana gelen çekme gerilmeleri kontur diyagramı (N/m<sup>2</sup>)

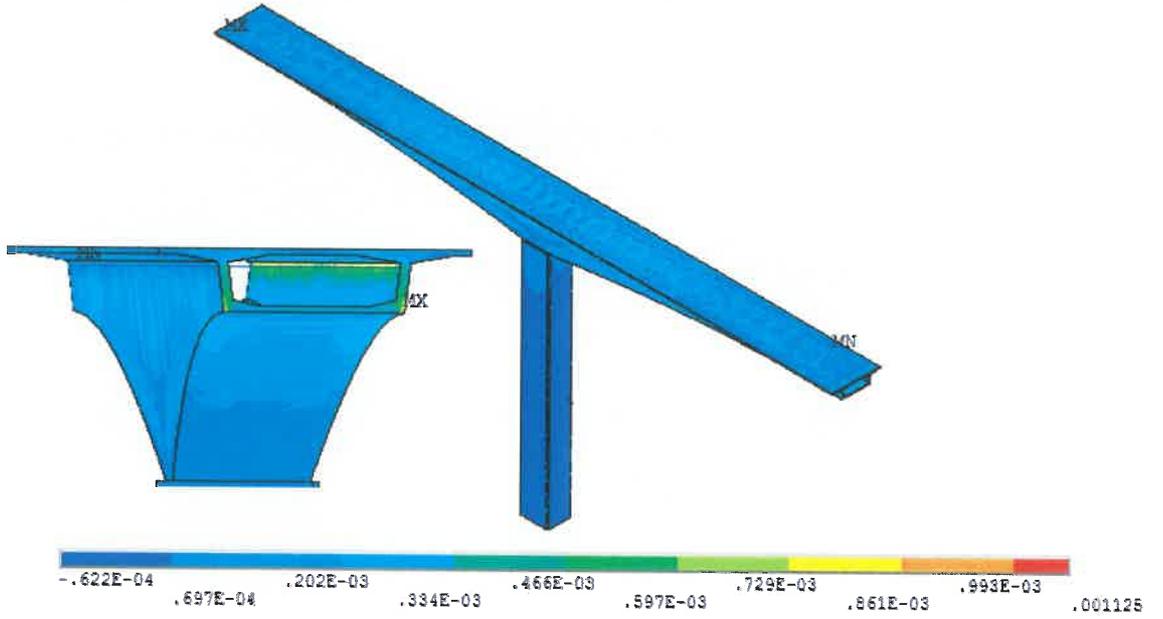
Ardgerme kuvveti altında yapılan analizler sonucunda köprüde meydana gelen basınç gerilmeleri kontur diyagramı Şekil 2.37'de verilmektedir. Şekil 2.37 incelendiğinde maksimum basınç gerilmelerinin enine ve boyuna ardgerme kablolar ile köprünün birleşim noktalarında 34.5 MPa değerinde elde edildiği görülmektedir. Bu noktalarda ardgerme için gerçek projede kullanılan plakaların modelde göz önüne alınmaması böyle yüksek bir

değerin oluşmasına neden olmuştur. Bunun haricinde köprünün betonarme kısmında meydana gelen çekme gerilmeleri 17.8 MPa değerini aşmamaktadır. Analiz sonucunda ardgerme kabloları üzerinde basınç gerilmeleri oluşmamaktadır.

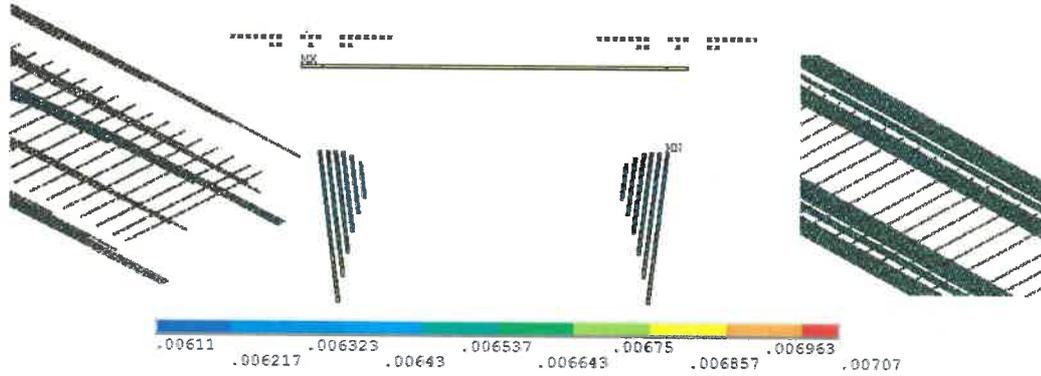


Şekil 2.37. Ardgerme kuvveti altında köprünün basınç gerilmeleri kontur diyagramı (N/m<sup>2</sup>)

Ardgerme kuvveti altında yapılan analizler sonucunda köprüde meydana gelen çekme şekildeğiştirmeleri kontur diyagramı Şekil 2.38'de verilmektedir. Şekil 2.38 incelendiğinde maksimum çekme şekildeğiştirmelerinin alt tabliye ardgerme kablolar ile köprünün birleşim noktalarında  $1.1E-3$  değerinde elde edildiği görülmektedir. Bu noktalarda, ardgerme için gerçek projede kullanılan plakaların modelde göz önüne alınmaması böyle yüksek bir değer oluşmasına neden olmuştur. Bunun haricinde köprünün betonarme kısımlarında meydana gelen çekme şekildeğiştirmeleri  $0.334E-3$  değerini aşmamaktadır. Analiz sonucunda ardgerme kabloları üzerinde oluşan çekme şekildeğiştirme kontur diyagramı Şekil 2.39 'da verilmektedir. Ardgerme kablolarında  $6E-3-7E-3$  değerleri arasında çekme şekildeğiştirmeleri meydana gelmektedir. Elde edilen bu çekme şekildeğiştirmeleri analizde kabul edilen ardgerme kuvveti ile uyumaktadır.

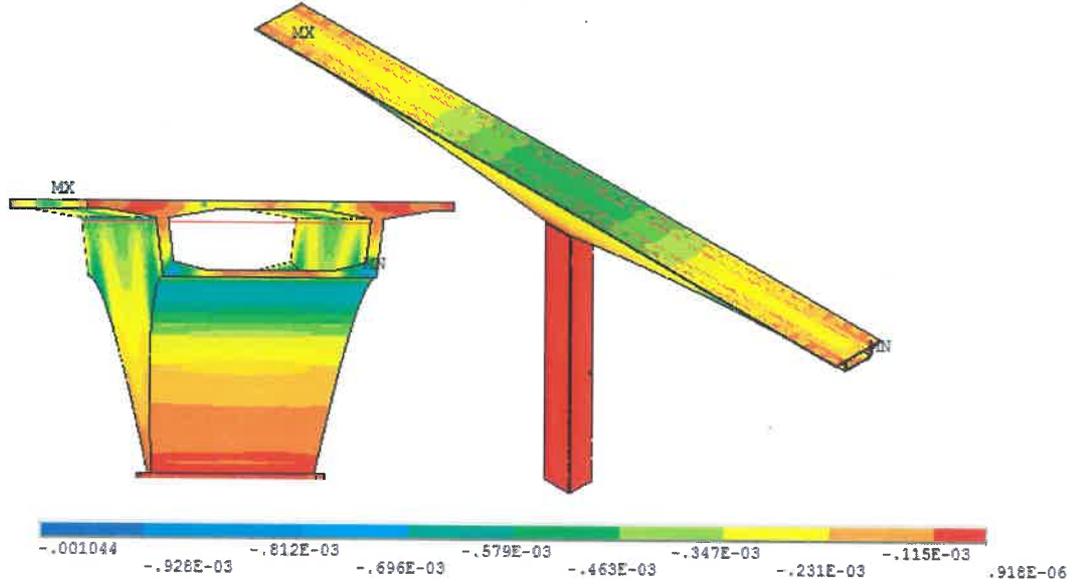


Şekil 2.38. Ardgerme kuvveti altında köprüde meydana gelen çekme şekildeğişimlerine ait kontur diyagramı



Şekil 2.39. Ardgerme kuvveti altında ardgerme kablolarında meydana gelen çekme şekildeğişimleri kontur diyagramı

Ardgerme kuvveti altında yapılan analizler sonucunda köprüde meydana gelen basınç şekildeğişimleri kontur diyagramı Şekil 2.40'da verilmektedir. Şekil 2.40 incelendiğinde maksimum basınç şekildeğişimlerinin alt tabliye ardgerme kablolar ile köprünün birleşim noktalarında  $1.0E-3$  değerinde elde edildiği görülmektedir. Bu noktalarda, ardgerme için gerçek projede kullanılan plakaların modelde göz önüne alınmaması böyle yüksek bir değerin oluşmasına neden olmuştur. Bunun haricinde köprünün betonarme kısımlarında meydana gelen basınç şekildeğişimleri  $0.463E-3$  değerini aşmamaktadır. Analiz sonucunda ardgerme kabloları üzerinde basınç şekildeğişimleri oluşmamaktadır.



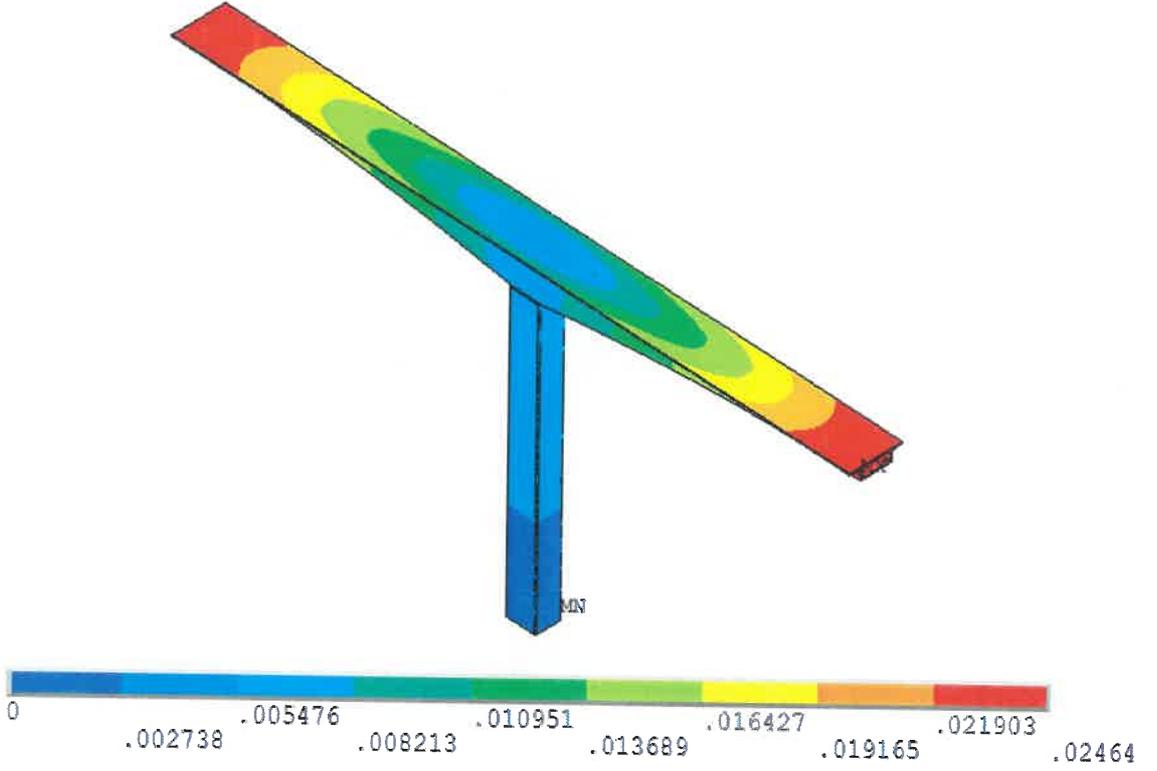
Şekil 2.40. Ardgerme kuvveti altında köprüde meydana gelen basınç şekildeğişimlerine ait kontur diyagramı

### 2.2.8.3. Köprü'nün Kendi Ağırlığı ve Taşıt Yükleri Altındaki Davranışı

Ortaköy Köprüsü'nün kendi ağırlığı ve taşıt yükleri altındaki davranışı statik analiz yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Köprü üzerindeki taşıt yükünü temsilen köprü tabliyesine düşey yönde  $10 \text{ KN/m}^2$  değerinde yayılı yük tanımlanmıştır. Analiz sonucunda meydana gelen deformasyon şekli Şekil 2.41 'da verilmektedir. Analizler sonucunda meydana gelen yer değiştirmelere ait kontur diyagramı Şekil 2.42 'da verilmektedir. Yer değiştirme kontur diyagramına göre maksimum yer değiştirmeler mesnet bölgelerinden köprü ayakları yönünde 2.4 cm değerinde oluşmuştur.



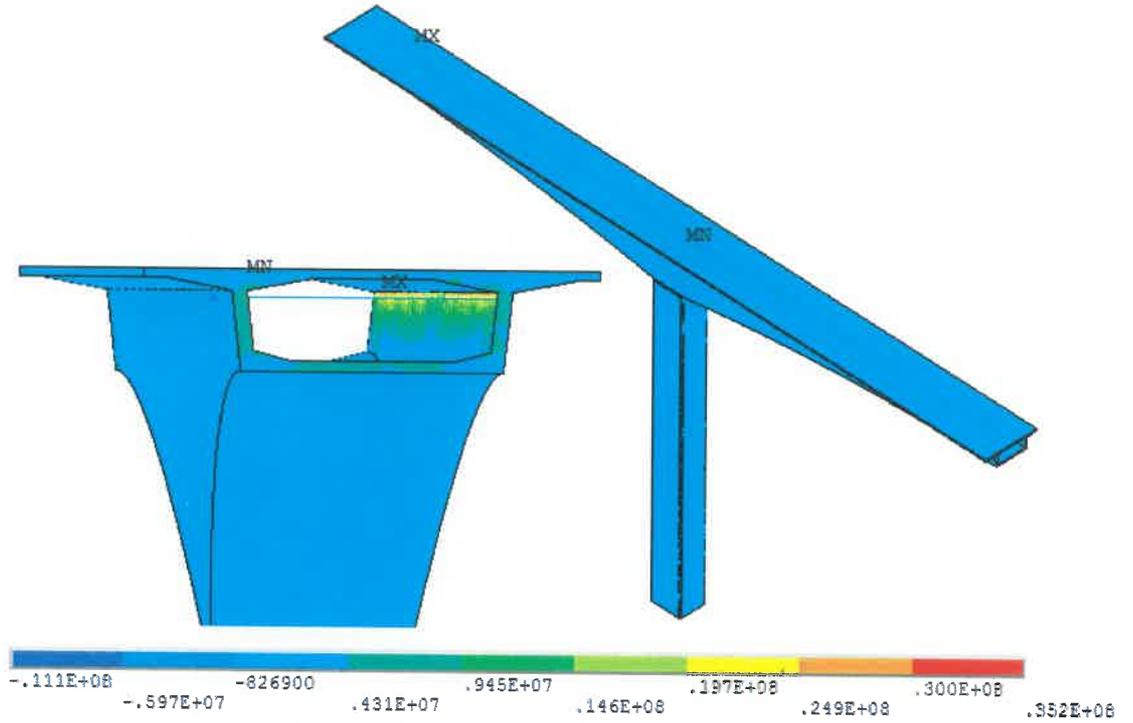
Şekil 2.41. Kendi ağırlığı ve taşıt yükü altında köprünün deformasyon şekli



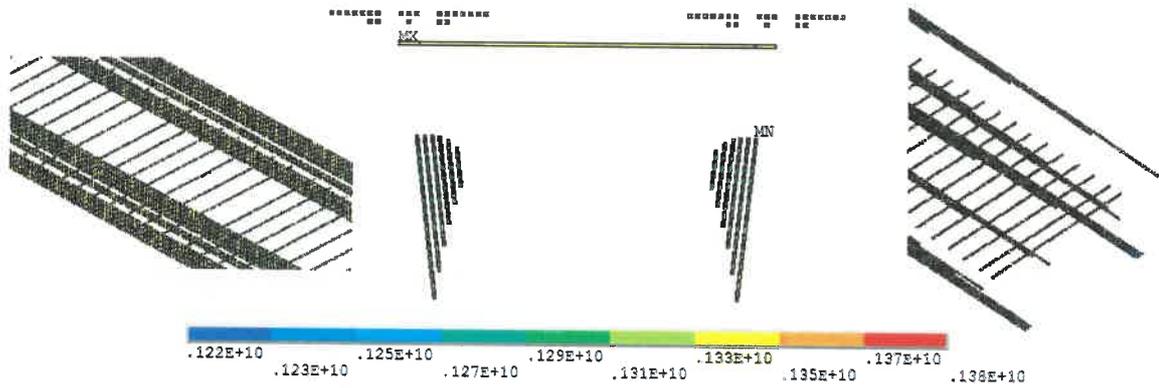
Şekil 2.42. Kendi ağırlığı ve taşıt yükü altında köprünün yerdeğiştirme kontur diyagramı (m)

Köprünün kendi ağırlığı ve taşıt yükleri altında yapılan statik analizi sonucunda köprüde meydana gelen çekme gerilmeleri kontur diyagramı Şekil 2.43'da verilmektedir. Şekil 2.43 incelendiğinde maksimum çekme gerilmelerinin enine ardgerme kablolar ile köprünün birleşim noktalarında 35.2MPa değerinde elde edildiği görülmektedir. Bu

noktalarda meydana gelen gerilmeler ardgerme için gerçek projede kullanılan plakaların modelde göz önüne alınmamasından kaynaklanmakta ve köprünün genelini yansıtmamaktadır. Bunun haricinde köprünün betonarme kısmında genel olarak meydana gelen çekme gerilmeleri 4.31MPa değerini aşmamaktadır. Analiz sonucunda ardgerme kabloları üzerinde oluşan çekme gerilmeleri kontur diyagramı Şekil 2.44 'de verilmektedir. Ardgerme kablolarında 1220-1380MPa arasında çekme gerilmeleri meydana gelmektedir. Elde edilen bu çekme gerilmeleri analizde kabul edilen ardgerme kuvveti ile uyushmaktadır.

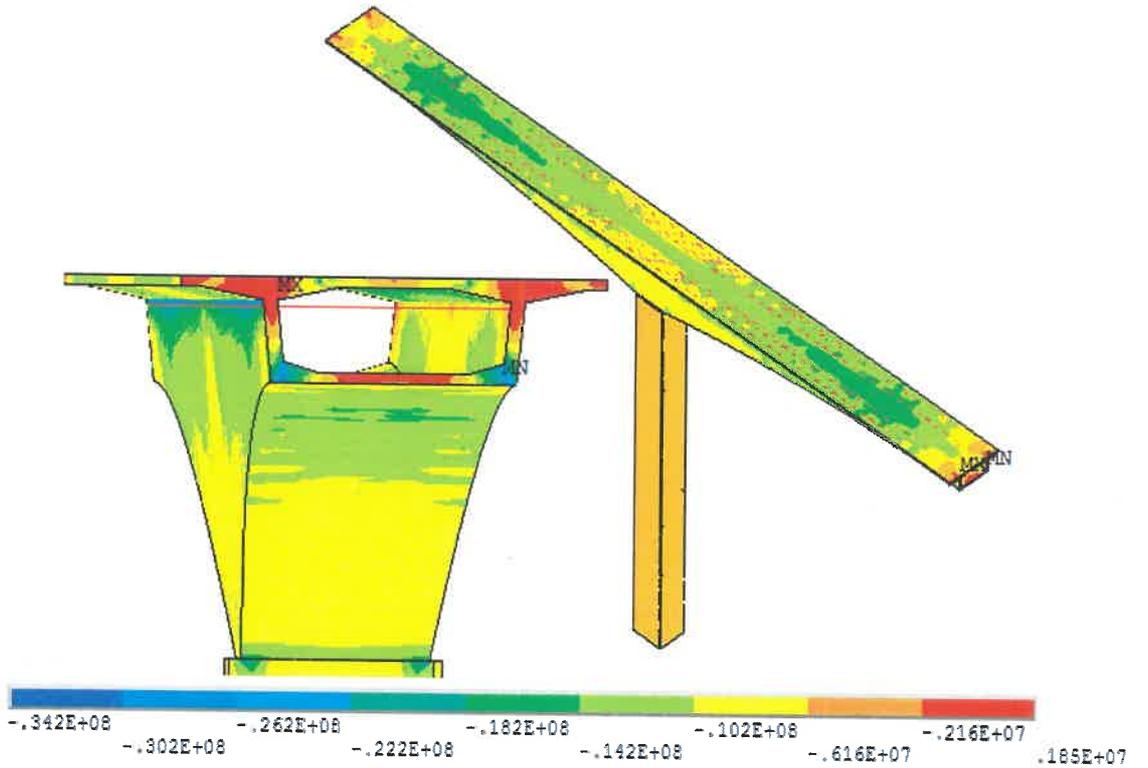


Şekil 2.43. Kendi ağırlığı ve taşıy yükü altında köprünün çekme gerilmeleri kontur diyagramı (N/m<sup>2</sup>)



Şekil 2.44. Kendi ağırlığı ve taşıy yükü altında ardgerme kablolarında meydana gelen çekme gerilmeleri kontur diyagramı (N/m<sup>2</sup>)

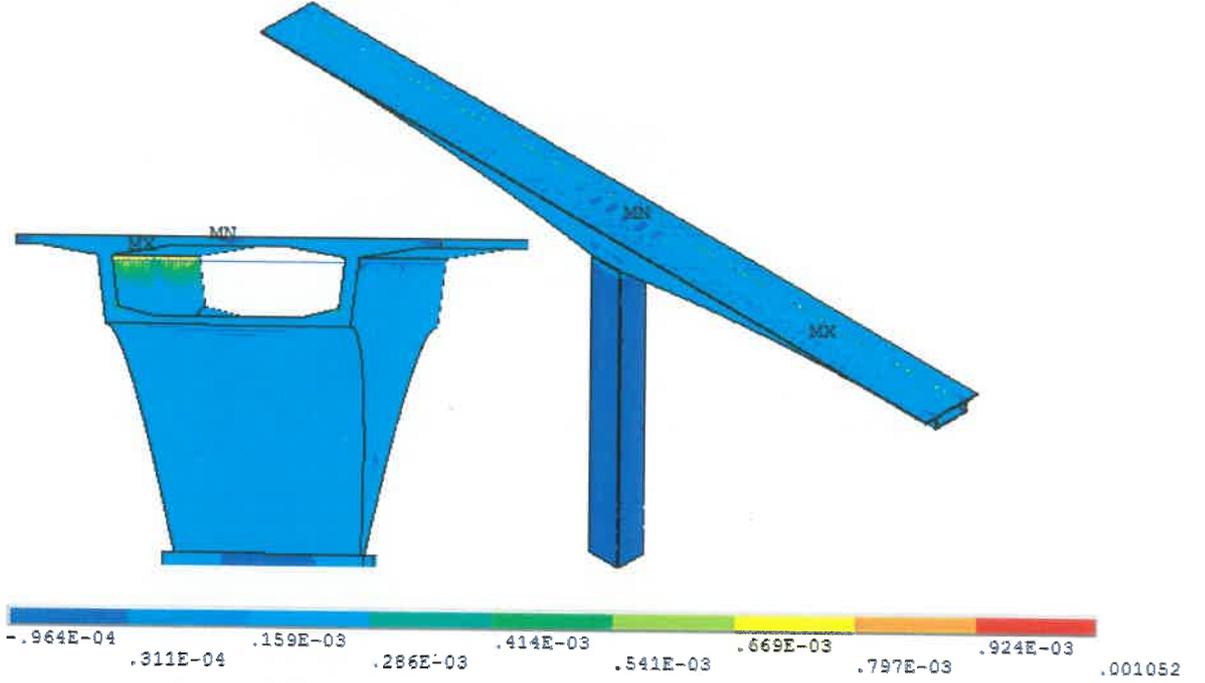
Köprü'nün kendi ağırlığı ve taşıt yükleri altında yapılan statik analizi sonucunda köprüde meydana gelen basınç gerilmeleri kontur diyagramı Şekil 2.45'de verilmektedir. Şekil 2.45 incelendiğinde maksimum basınç gerilmelerinin boyuna ardgerme kablolar ile köprü'nün birleşim noktalarında 34.2MPa değerinde elde edildiği görülmektedir. Bu noktalarda meydana gelen gerilmeler ardgerme için gerçek projede kullanılan plakaların modelde göz önüne alınmamasından kaynaklanmakta ve köprü'nün genelini yansıtmamaktadır. Bunun haricinde köprü'nün betonarme kısmında genel olarak meydana gelen basınç gerilmeleri 14.2MPa değerini aşmamaktadır. Analiz sonucunda ardgerme kabloları üzerinde basınç gerilmeleri oluşmamaktadır.



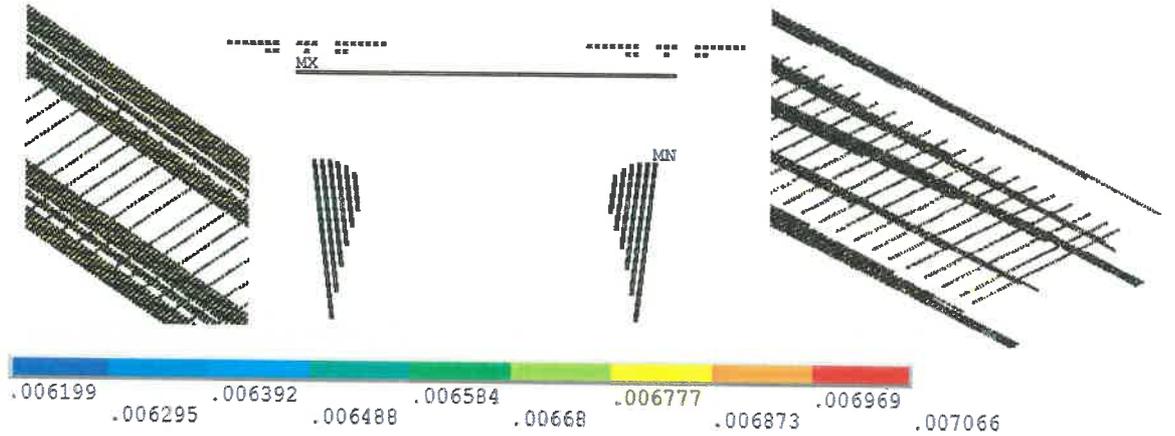
Şekil 2.45. Kendi ağırlığı ve taşıt yükü altında köprü'nün basınç gerilmeleri kontur diyagramı (N/m<sup>2</sup>)

Köprü'nün kendi ağırlığı ve taşıt yükleri altında yapılan statik analizi sonucunda köprüde meydana gelen çekme şekil değiştirmeleri kontur diyagramı Şekil 2.46 'da verilmektedir. Şekil 2.46 incelendiğinde maksimum çekme şekil değiştirmeleri enine ardgerme kablolar ile köprü'nün birleşim noktalarında 1.0E-3 değerinde elde edildiği görülmektedir. Ancak bu noktalarda meydana gelen şekil değiştirme değerleri ardgerme için gerçek projede kullanılan plakaların modelde göz önüne alınmamasından dolayı köprü'nün genelini yansıtmamaktadır. Bunun haricinde köprü'nün betonarme kısmında genel olarak meydana gelen çekme şekil değiştirmeleri 0.16E-3 değerini aşmamaktadır. Analiz

sonucunda ardgerme kabloları üzerinde oluşan çekme şekil değiştirme kontur diyagramı Şekil 2.47 'de verilmektedir. Ardgerme kablolarında  $6.2E-3$ - $7.0E-3$  arasında çekme şekil değiştirmeleri meydana gelmektedir. Elde edilen bu çekme şekil değiştirmeleri analizde kabul edilen ardgerme kuvveti ile uyumaktadır.



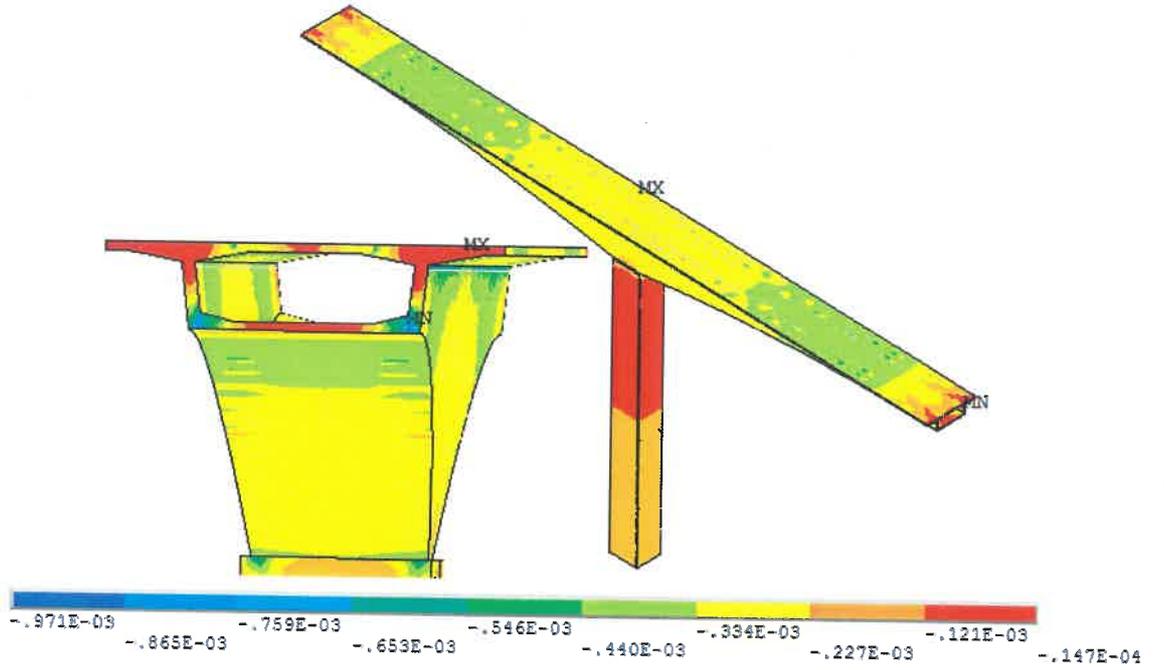
Şekil 2.46. Kendi ağırlığı ve taşıt yükü altında köprüde meydana gelen çekme şekil değiştirmelerine ait kontur diyagramı



Şekil 2.47. Kendi ağırlığı ve taşıt yükü altında ardgerme kablolarında meydana gelen çekme şekil değiştirmeleri kontur diyagramı

Köprünün kendi ağırlığı ve taşıt yükleri altında yapılan statik analizi sonucunda köprüde meydana gelen basınç şekil değiştirmeleri kontur diyagramı Şekil 2.48 'de

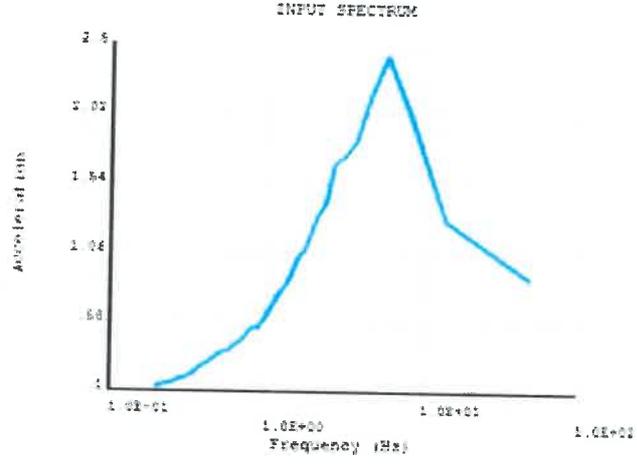
verilmektedir. Şekil 2.48 incelendiğinde maksimum basınç şekil değiştirmelerinin boyuna ardgerme kablolar ile köprünün birleşim noktalarında  $0.9E-3$  değerinde elde edildiği görülmektedir. Bu noktalarda meydana gelen şekil değiştirmeler ardgerme için gerçek projede kullanılan plakaların modelde göz önüne alınmamasından kaynaklanmakta ve köprünün genelini yansıtmamaktadır. Bunun haricinde köprünün betonarme kısmında genel olarak meydana gelen basınç şekil değiştirmeleri  $0.4E-3$  değerini aşmamaktadır. Analiz sonucunda ardgerme kabloları üzerinde basınç şekil değiştirmeleri oluşmamaktadır.



Şekil 2.48. Kendi ağırlığı ve taşıt yükü altında köprüde meydana gelen basınç şekil değiştirmelerine ait kontur diyagramı

#### 2.2.8.4. Köprünün Spektrum Analizi ile Dinamik Davranışının Belirlenmesi

Köprü modelinin dinamik davranışını elde etmek amacıyla spektrum analizi (mod birleştirme yöntemi) yapılmıştır. Dinamik analizde deprem yüklerini hesabında 11 farklı deprem kaydının ölçeklendirilmesi ile elde edilen tasarım ivme spektrumu kullanılmıştır. Elde edilen tasarım ivme spektrumu Şekil 2.49 'da verilmektedir.

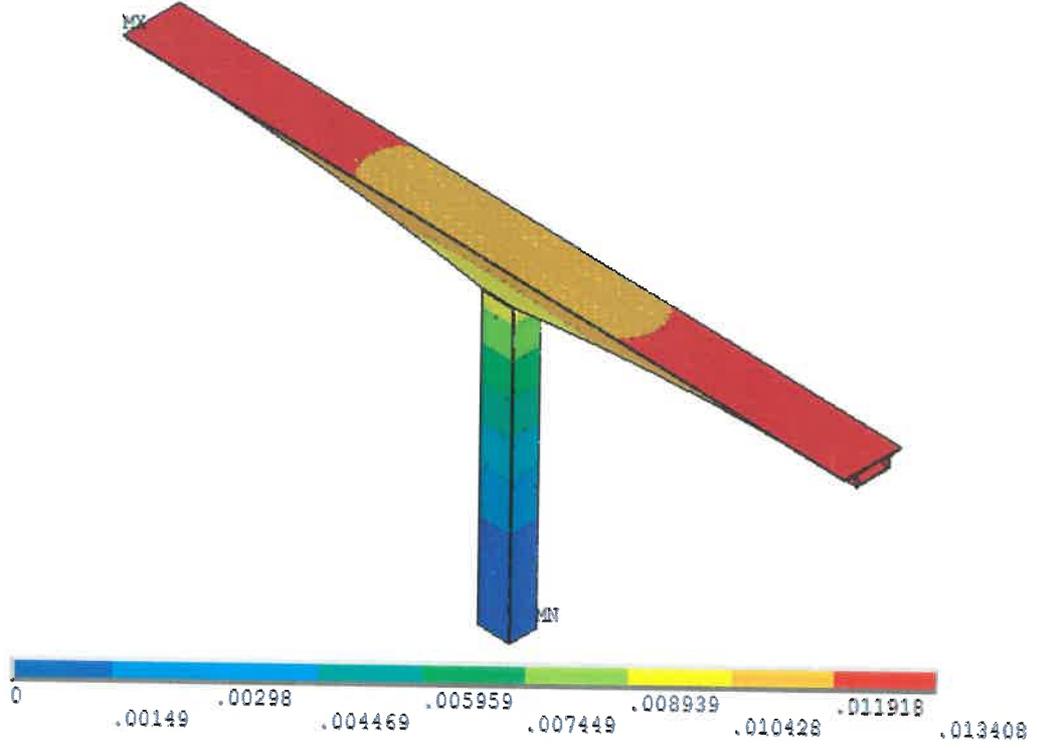


Şekil 2.49. Tasarım ivme spektrumu

Dinamik analiz köprüye ilk mod doğrultusunda etki ettirilmiştir (Z doğrultusu). Yapılan analiz sonucunda elde edilen deformasyon şekli Şekil 2.50 'de verilmektedir. Analiz sonucunda oluşan maksimum yer değiştirme kontur diyagramı Şekil 2.51'de verilmektedir. Şekil 2.51 'e göre köprüde dinamik yüklemeye dolay oluşan maksimum yer değiştirme 1.3cm olarak mesnet bölgelerine yakın elde edilmiştir.

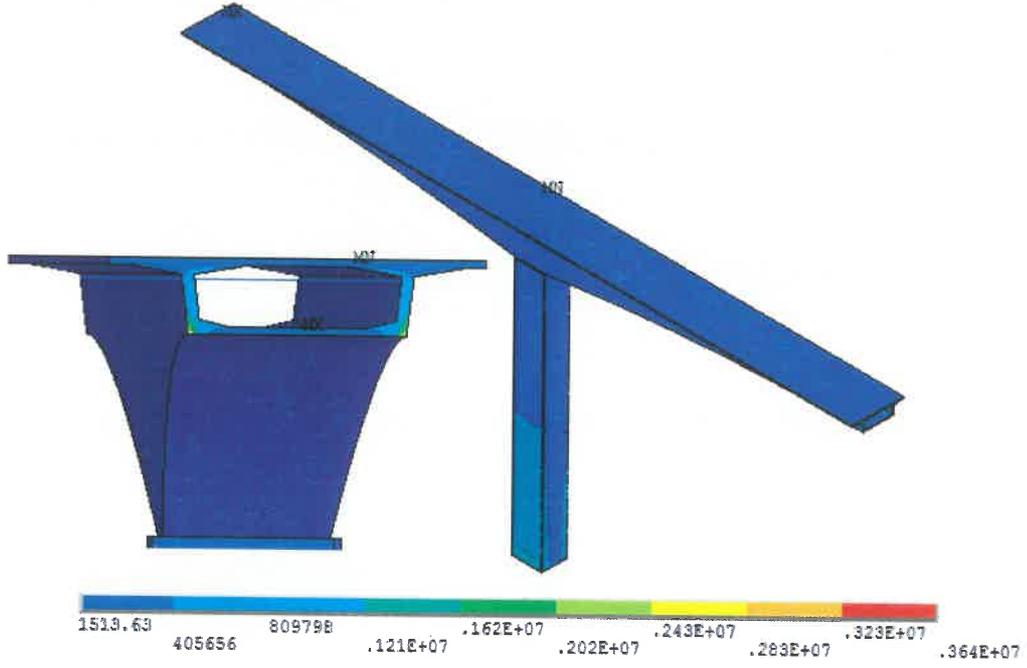


Şekil 2.50. Spektrum analizi sonucunda elde edilen deformasyon şekli

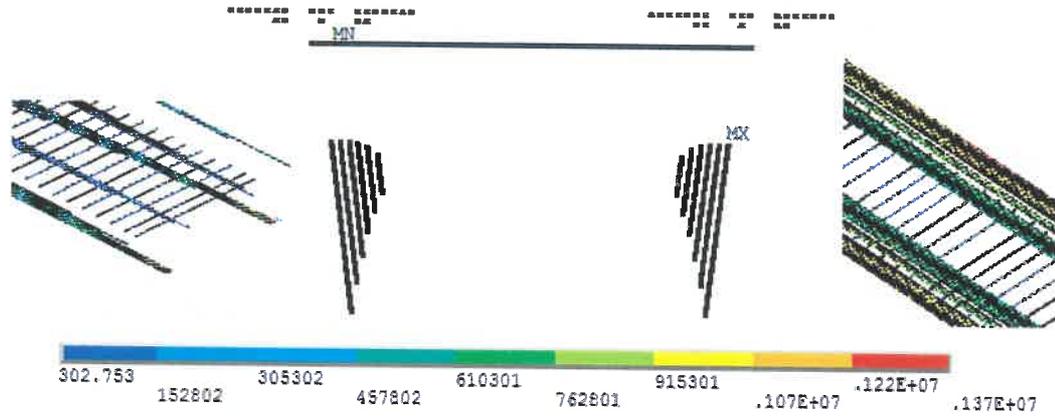


Şekil 2.51. Spektrum analizi sonucunda elde edilen yerdeğiştirme kontur diyagramı(m)

Köprünün dinamik analizi sonucunda köprüde meydana gelen çekme gerilmeleri kontur diyagramı Şekil 2.52 'da verilmektedir. Şekil 2.52 incelendiğinde maksimum çekme gerilmelerinin boyuna ardgerme kablolar ile köprünün birleşim noktalarında 3.64MPa değerinde elde edildiği görülmektedir. Bunun haricinde köprünün betonarme kısmında genel olarak meydana gelen çekme gerilmeleri 1.21MPa değerini aşmamaktadır. Analiz sonucunda ardgerme kabloları üzerinde oluşan çekme gerilmeleri kontur diyagramı Şekil 2.53 'te verilmektedir. Ardgerme kablolarında maksimum 1.37MPa değerinde çekme gerilmeleri meydana gelmiştir.

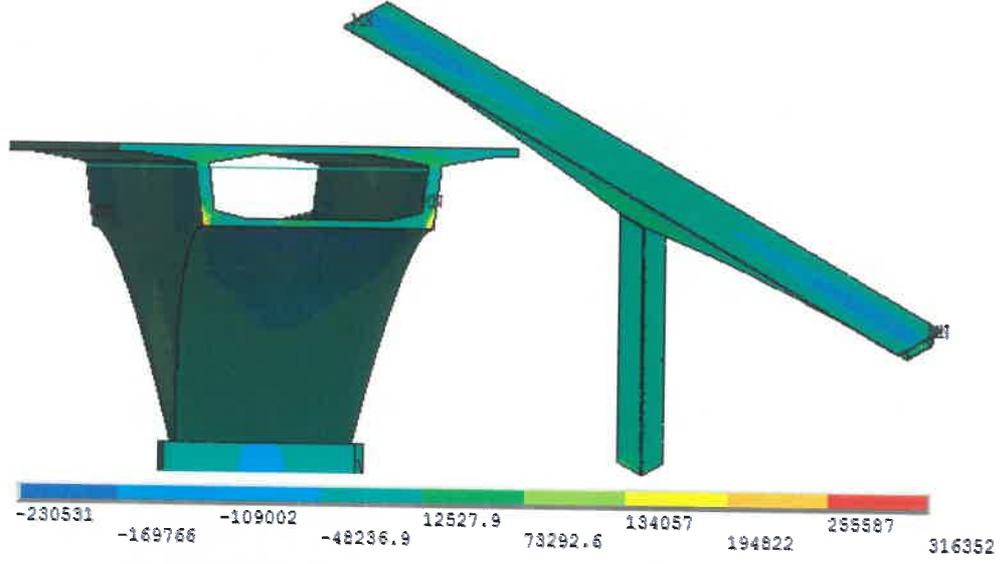


Şekil 2.52. Spektrum analizi sonucunda elde edilen çekme gerilmeleri kontur diyagramı (N/m<sup>2</sup>)



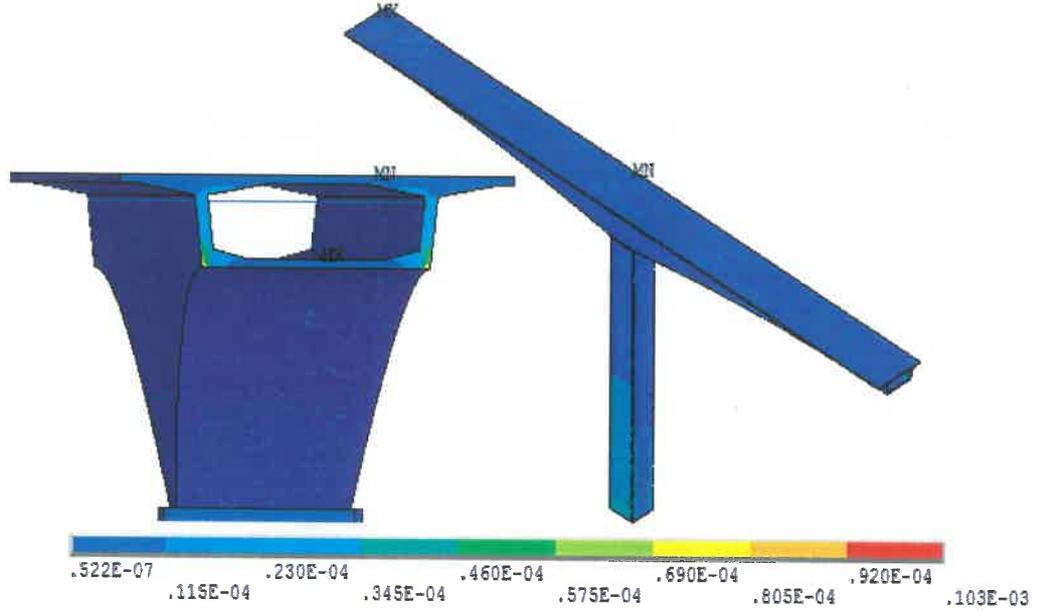
Şekil 2.53. Spektrum analizi sonucunda ardgerme kablolarında elde edilen çekme gerilmeleri kontur diyagramı (N/m<sup>2</sup>)

Köprünün dinamik analizi sonucunda köprüde meydana gelen basınç gerilmeleri kontur diyagramı Şekil 2.54 'te verilmektedir. Şekil 2.54 incelendiğinde maksimum basınç gerilmelerinin köprünün mesnet noktalarında 0.23MPa değerinde elde edildiği görülmektedir. Bunun haricinde köprünün betonarme kısmında genel olarak meydana gelen basınç gerilmeleri 0.1MPa değerini aşmamaktadır. Analiz sonucunda ardgerme kabloları üzerinde basınç gerilmeleri oluşmamaktadır.

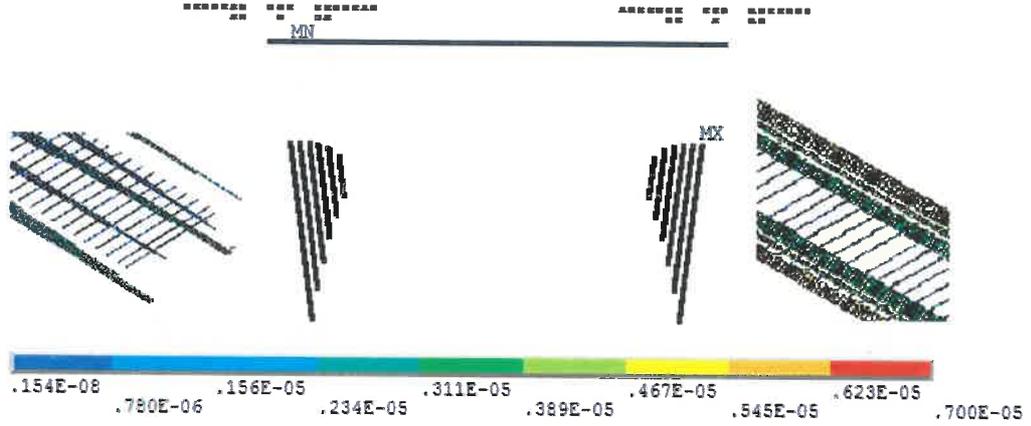


Şekil 2.54. Spektrum analizi sonucunda elde edilen basınç gerilmeleri kontur diyagramı ( $N/m^2$ )

Köprü'nün dinamik analizi sonucunda köprüde meydana gelen çekme şekil değiştirmeleri kontur diyagramı Şekil 2.55 'te verilmektedir. Şekil 2.55 incelendiğinde maksimum çekme şekil değiştirmelerinin boyuna ardgerme kablolar ile köprü'nün birleşim noktalarında  $0.1E-3$  değerinde elde edildiği görülmektedir. Bunun haricinde köprü'nün betonarme kısmında genel olarak meydana gelen çekme şekil değiştirmeleri  $0.3E-4$  değerini aşmamaktadır. Analiz sonucunda ardgerme kabloları üzerinde oluşan çekme şekil değiştirmeleri kontur diyagramı Şekil 2.56 'da verilmektedir. Ardgerme kablolarında maksimum  $0.7E-5$  değerinde çekme şekil değiştirmeleri meydana gelmiştir.

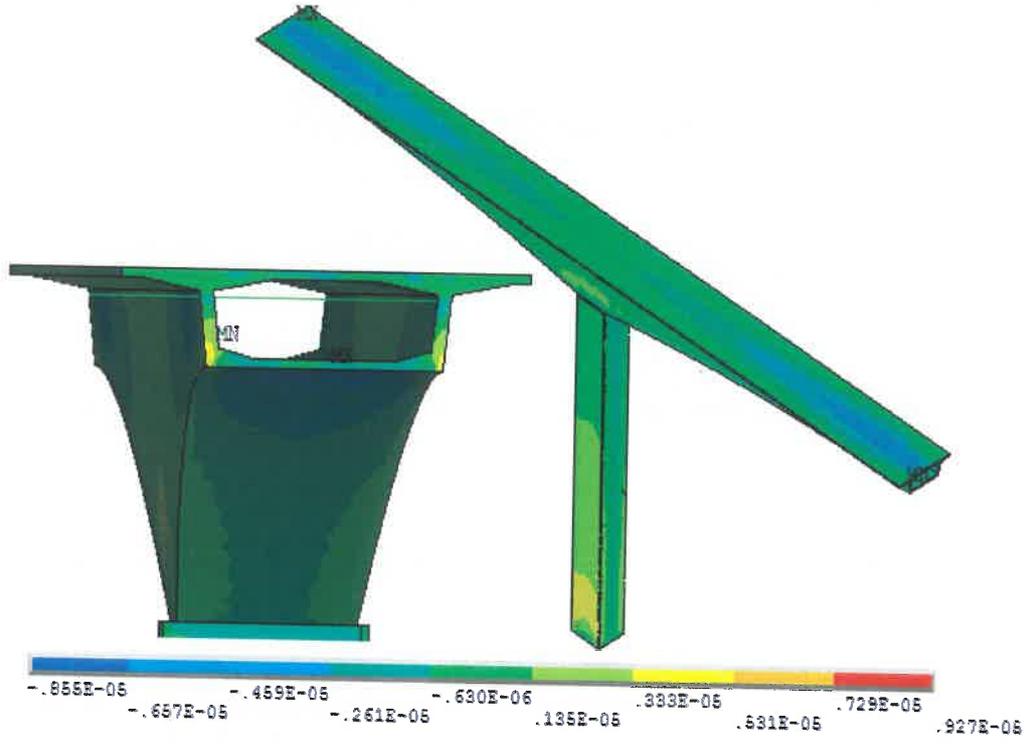


Şekil 2.55. Spektrum analizi sonucunda elde edilen çekme şekil değiştirmeleri kontur diyagramı



Şekil 2.56. Spektrum analizi sonucunda ardgerme kablolarında elde edilen çekme şekil değiştirmeleri kontur diyagramı

Köprünün dinamik analizi sonucunda köprüde meydana gelen basınç şekil değiştirmeleri kontur diyagramı Şekil 2.57 'de verilmektedir. Şekil 2.57 incelendiğinde maksimum basınç şekil değiştirmeleri köprünün mesnet noktalarında  $0.9E-5$  değerinde elde edildiği görülmektedir. Bunun haricinde köprünün betonarme kısmında genel olarak meydana gelen basınç şekil değiştirmeleri  $0.3E-5$  değerini aşmamaktadır. Analiz sonucunda ardgerme kabloları üzerinde basınç şekil değiştirmeleri oluşmamaktadır.



Şekil 2.57. Spektrum analizi sonucunda elde edilen basınç şekil değiştirmeleri kontur diyagramı

### 3. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, dengeli konsol yöntemi ve ard germe tekniği ile inşa edilen Ortaköy Köprüsü seçilmiştir. Ortaköy Köprüsü Ülkemizde benzer yöntemle inşa edilen diğer köprülerden farklı olarak enine ard germeye de sahiptir. Bu özelliği ile çalışmamıza konu olan köprünün üç boyutlu sonlu eleman modeli ANSYS programı kullanarak oluşturulmuştur. Köprünün üzerinde çeşitli analizler yapılmıştır. Bunlar:

- Köprünün modal analizinin belirlenmesi,
- Köprünün yalnızca ardgerme kablo kuvvetleri altındaki davranışının belirlenmesi,
- Köprünün kendi ağırlığı ve taşıt yükleri altındaki davranışının belirlenmesi,
- Köprünün spektrum analizi ile dinamik davranışının belirlenmesidir.

Köprünün spektrum analizinde, tasarım ivme spektrumu ile uyumlu olacak şekilde on bir adet yer hareketi PEER (Pasific Earthquake Engineering Research Center) veri bankasından seçilmiştir. Seçilen kayıtlar ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirme sonucunda elde edilen veriler ANSYS programında spektrum analizinde kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmayla aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

➤ Modal Analiz sonucunda elde edilen frekans değerleri ve kütle katılım oranları Tablo 2.8 'de sunulmaktadır. Tablo 2.8 incelendiğinde frekans değerlerinin 0.42Hz ile 7.79Hz değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Modal analiz sonucunda kütle katılım oranları; köprünün boyuna doğrultusunda (X doğrultusu) %92, köprünün enine doğrultusunda (Z doğrultusu) %92 ve düşey doğrultuda (Y doğrultusu) %60 olarak elde edilmiştir.

➤ Dengeli konsol köprü modeli üzerinde yalnızca ardgerme kuvvetleri olması durumunda statik analiz gerçekleştirilmiştir. Ardgerme kuvvetleri altında köprü açıklık kolları ortasında 5.4 cm'lik düşey yönde yerdeğiştirme elde edilmiştir. Ardgerme kuvveti altında yapılan analizler sonucunda köprüde meydana gelen çekme gerilmelerinin enine ardgerme kablolar ile köprünün birleşim noktalarında 35.8MPa değerinde elde edildiği görülmektedir. Bu noktalarda ardgerme için gerçek projede kullanılan plakaların modelde göz önüne alınmaması böyle yüksek bir değer oluşmasına neden olmuştur. Bunun haricinde köprünün betonarme kısmında meydana gelen çekme gerilmeleri 4.13 MPa değerini aşmamaktadır. Analiz sonucunda ardgerme kabloları üzerinde oluşan çekme gerilmeleri 1200-1390MPa arasındadır. Elde edilen bu çekme gerilmeleri analizde kabul edilen ardgerme kuvveti ile uyumaktadır. Ardgerme kuvveti altında yapılan analizler sonucunda köprüde meydana gelen basınç gerilmelerinin enine ve boyuna ardgerme kablolar

ile köprünün birleşim noktalarında 34.5 MPa değerinde elde edildiği görülmektedir. Bu noktalarda ardgerme için gerçek projede kullanılan plakaların modelde göz önüne alınmaması böyle yüksek bir değer oluşmasına neden olmuştur. Bunun haricinde köprünün betonarme kısmında meydana gelen çekme gerilmeleri 17.8 MPa değerini aşmamaktadır. Analiz sonucunda ardgerme kabloları üzerinde basınç gerilmeleri oluşmamaktadır. Ardgerme kuvveti altında yapılan analizler sonucunda köprüde meydana gelen çekme şekil değiştirmeleri incelendiğinde maksimum çekme şekil değiştirmelerinin alt tabliye ardgerme kablolar ile köprünün birleşim noktalarında  $1.1E-3$  değerinde elde edildiği görülmektedir. Bu noktalarda, ardgerme için gerçek projede kullanılan plakaların modelde göz önüne alınmaması böyle yüksek bir değer oluşmasına neden olmuştur. Bunun haricinde köprünün betonarme kısımlarında meydana gelen çekme şekil değiştirmeleri  $0.334E-3$  değerini aşmamaktadır. Analiz sonucunda ardgerme kablolarında  $6E-3-7E-3$  değerleri arasında çekme şekil değiştirmeleri meydana gelmektedir. Elde edilen bu çekme şekil değiştirmeleri analizde kabul edilen ardgerme kuvveti ile uyumaktadır. Ardgerme kuvveti altında yapılan analizler sonucunda köprüde meydana gelen basınç şekil değiştirmelerinin alt tabliye ardgerme kablolar ile köprünün birleşim noktalarında  $1.0E-3$  değerinde elde edildiği görülmektedir. Bu noktalarda, ardgerme için gerçek projede kullanılan plakaların modelde göz önüne alınmaması böyle yüksek bir değer oluşmasına neden olmuştur. Bunun haricinde köprünün betonarme kısımlarında meydana gelen basınç şekil değiştirmeleri  $0.463E-3$  değerini aşmamaktadır. Analiz sonucunda ardgerme kabloları üzerinde basınç şekil değiştirmeleri oluşmamaktadır.

➤ Kendi ağırlığı ve taşıt yükü altında köprünün yer değiştirme kontur diyagramına göre maksimum yer değiştirmeler mesnet bölgelerinden köprü ayakları yönünde 2.4 cm değerinde oluşmuştur. Köprüde meydana gelen maksimum çekme gerilmelerinin enine ardgerme kablolar ile köprünün birleşim noktalarında 35.2MPa değerinde elde edildiği görülmektedir. Bu noktalarda meydana gelen gerilmeler ardgerme için gerçek projede kullanılan plakaların modelde göz önüne alınmamasından kaynaklanmakta ve köprünün genelini yansıtmamaktadır. Bunun haricinde köprünün betonarme kısmında genel olarak meydana gelen çekme gerilmeleri 4.31MPa değerini aşmamaktadır. Analiz sonucunda ardgerme kabloları üzerinde oluşan çekme gerilmeleri 1220-1380MPa arasında çekme gerilmeleri meydana gelmektedir. Elde edilen bu çekme gerilmeleri analizde kabul edilen ardgerme kuvveti ile uyumaktadır. Köprüde meydana gelen maksimum basınç gerilmelerinin boyuna ardgerme kablolar ile köprünün birleşim noktalarında 34.2MPa

değerinde elde edildiği görülmektedir. Bu noktalarda meydana gelen gerilmeler ardgerme için gerçek projede kullanılan plakaların modelde göz önüne alınmamasından kaynaklanmakta ve köprünün genelini yansıtmamaktadır. Bunun haricinde köprünün betonarme kısmında genel olarak meydana gelen basınç gerilmeleri 14.2MPa değerini aşmamaktadır. Analiz sonucunda ardgerme kabloları üzerinde basınç gerilmeleri oluşmamaktadır. Köprünün maksimum çekme şekil değiştirmeleri enine ardgerme kablolar ile köprünün birleşim noktalarında  $1.0E-3$  değerinde elde edildiği görülmektedir. Ancak bu noktalarda meydana gelen şekil değiştirme değerleri ardgerme için gerçek projede kullanılan plakaların modelde göz önüne alınmamasından dolayı köprünün genelini yansıtmamaktadır. Bunun haricinde köprünün betonarme kısmında genel olarak meydana gelen çekme şekil değiştirmeleri  $0.16E-3$  değerini aşmamaktadır. Ardgerme kablolarında  $6.2E-3-7.0E-3$  arasında çekme şekil değiştirmeleri meydana gelmektedir. Elde edilen bu çekme şekil değiştirmeleri analizde kabul edilen ardgerme kuvveti ile uyushmaktadır. Köprünün maksimum basınç şekil değiştirmelerinin boyuna ardgerme kablolar ile köprünün birleşim noktalarında  $0.9E-3$  değerinde elde edildiği görülmektedir. Bu noktalarda meydana gelen şekil değiştirmeler ardgerme için gerçek projede kullanılan plakaların modelde göz önüne alınmamasından kaynaklanmakta ve köprünün genelini yansıtmamaktadır. Bunun haricinde köprünün betonarme kısmında genel olarak meydana gelen basınç şekil değiştirmeleri  $0.4E-3$  değerini aşmamaktadır. Analiz sonucunda ardgerme kabloları üzerinde basınç şekil değiştirmeleri oluşmamaktadır.

➤ Köprü modelinin dinamik davranışını elde etmek amacıyla spektrum analizi (mod birleştirme yöntemi) yapılmıştır. Dinamik analiz köprüye ilk mod doğrultusunda etki ettirilmiştir (Z doğrultusu). Analiz sonucunda oluşan maksimum yer değiştirme 1.3cm olarak mesnet bölgelerine yakın elde edilmiştir. Köprünün dinamik analizi sonucunda köprüde meydana gelen maksimum çekme gerilmelerinin boyuna ardgerme kablolar ile köprünün birleşim noktalarında 3.64MPa değerinde elde edildiği görülmektedir. Bunun haricinde köprünün betonarme kısmında genel olarak meydana gelen çekme gerilmeleri 1.21MPa değerini aşmamaktadır. Analiz sonucunda ardgerme kablolarında maksimum 1.37MPa değerinde çekme gerilmeleri meydana gelmiştir. Köprünün dinamik analizi sonucunda köprüde meydana gelen maksimum basınç gerilmelerinin köprünün mesnet noktalarında 0.23MPa değerinde elde edildiği görülmektedir. Bunun haricinde köprünün betonarme kısmında genel olarak meydana gelen basınç gerilmeleri 0.1MPa değerini aşmamaktadır. Analiz sonucunda ardgerme kabloları üzerinde basınç gerilmeleri

oluşmamaktadır. Köprünün dinamik analizi sonucunda köprüde meydana gelen maksimum çekme şekil değiştirmelerinin boyuna ardgerme kablolar ile köprünün birleşim noktalarında  $0.1E-3$  değerinde elde edildiği görülmektedir. Bunun haricinde köprünün betonarme kısmında genel olarak meydana gelen çekme şekil değiştirmeleri  $0.3E-4$  değerini aşmamaktadır. Analiz sonucunda ardgerme kablolarında maksimum  $0.7E-5$  değerinde çekme şekil değiştirmeleri meydana gelmiştir. Köprünün dinamik analizi sonucunda köprüde meydana gelen maksimum basınç şekil değiştirmeleri köprünün mesnet noktalarında  $0.9E-5$  değerinde elde edildiği görülmektedir. Bunun haricinde köprünün betonarme kısmında genel olarak meydana gelen basınç şekil değiştirmeleri  $0.3E-5$  değerini aşmamaktadır. Analiz sonucunda ardgerme kabloları üzerinde basınç şekil değiştirmeleri oluşmamaktadır.

Yapılan analizler sonucunda düşey yükler altında ve spektrum analizi birlikte düşünüldüğünde maksimum toplam  $3.7\text{cm}$  yer değiştirme,  $34,43\text{ Mpa}$  basınç gerilmesi,  $38.84\text{ Mpa}$  çekme gerilmesi ve  $1381.37\text{ Mpa}$  ard germe kablolarında meydana gelen çekme gerilmesi,  $1.1E-3$  çekme şekil değiştirmesi,  $700.7E-5$  ard germe kablolarında oluşan çekme şekil değiştirmesi ve  $90.9\text{ E-}5$  ardgerme kablolarında oluşan basınç şekil değiştirmesi oluşur.

Gerçek yer hareketlerinin kullanılması ve ölçeklendirilmesi ile elde edilen tasarım ivme spektrumu ile yapılan spektrum analizi gerçeğe en yakın sonuçları verir. Bu analizin gerçekleştirilmesinde çok önemli yeri olan deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirme konusu maalesef yönetmeliklerde yeterince yer almamaktadır. Bu konuda deprem yönetmeliklerinde yeterince bilginin olmaması, araştırmacılara yol gösteren kaynak yetersizliğine yol açmaktadır. Bilgilerin artması daha çok çalışma yapılmasına imkân verecektir.

#### 4. KAYNAKLAR

- AFAD, 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği.
- Akça, T., 2007. Planda Düzensiz Çok Katlı Bir Betonarme Yapının Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Mod Birleştirme Yöntemine Göre Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Altunisik, A.C., Bayraktar, A., Sevim, B., Adanur, S. ve Domaniç, A., 2010. Construction Stage Analysis of Kömürhan Highway Bridge Using Time Dependent Material Properties, Structural Engineering and Mechanics, 36 , 207-223.
- Altunışık, A.C., 2010. Karayolu Köprülerinin Yapısal Davranışının Analitik ve Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Altunisik, A. C., Bayraktar, A., Sevim, B. ve Ateş, Ş. 2011. Ambient Vibration Based Seismic Evaluation of Isolated Gülburnu Highway Bridge, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 31, 11, 1496-1510.
- Altunışık, A.C., Günaydın, M., Genç, A.F. ve Okur, F.,Y., 2018. İnşaat Mühendisliğinde ANSYS Uygulamaları, Dynamic Academy, Trabzon.
- ANSYS., 2015. Swanson Analysis System, U.S.A.
- Arslan, G., ve Polat, Z., 2004. Yüksek Beton Mukavemetli Betonarme Kirişlerde Uygun Sonlu Eleman Boyutları, Makale, İTÜ Dergisi/d Mühendislik 3, 1,22-28.
- Ateş, Ş., 2011. Numerical Modelling of Continuous Concrete Box Girder Bridges Considering Construction Stages, Applied Mathematical Modelling, 35, 3809-3820.
- Ateş, S., Atmaca, B., Yıldırım, E. ve Demiroz, N.A., 2013. Effects of Soil-Structure Interaction on Construction Stage Analysis of Highway Bridges, Computers and Concrete, 12 , 169-186.
- Bayraktar, A., Altunisik, A.C., Sevim, B., Domaniç, A. ve Taş, Y., 2009. Vibration Characteristics of Kömürhan Highway Bridge Constructed with Balanced Cantilever Method, Journal of Performance of Constructed Facilities , 23 , 90-99.
- Caner, A., 2010. Ortaköy Viyadüğünün Tasarımının Değerlendirilmesi, DSİ 26. Bölge Müdürlüğü Proje Notları, Artvin.
- Casas, J. R., 1997. Reliability-Based Partial Safety Factors in Cantilever Construction of Concrete Bridges, Journal of Structural Engineering, 123, 305-312.
- Çakır, B.B., 2015. Live Load Reliability Index Evaluation for Post Tensioned Balanced Cantilever Bridges, Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Çolak, H., 2017. Structural Health Monitoring Condition Assessment and Seismic Vulnerability Estimation of Highway Bridges, Master Thesis, Bogaziçi University, İstanbul.
- Das, D., 2013. Finite Element Analysis of CFRP Prestres Concrete Beams, Master Thesis, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canada.
- Dede, F.T., 2006. Tersinir Tekrarlanır Yükleme Altındaki Betonarme Çerçevelerin ANSYS Programı İle Nonlineer Sonlu Eleman Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Doran, B., Köksal, H.O., Polat, Z. Ve Karakoç, C., 1998. Betonarme Elemanlarda Sonlu Eleman Uygulamalarında Drucker-Prager Akma Kriteri Kullanılması, İMO Teknik Dergi, 9, 2, 1617-1625.
- Duygu, M.B., 2014. Ground Motion Seling fort he Prediction of the Seismic Response of Concrete Gravity Dams, Master Thesis, METU, Ankara.
- Enez, S., 2009. Düzlem Çerçeve Sistemlerin Mod Birleştirme Yöntemi ile Dinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Ergün, M., 2013. Deprem Yer Hareketlerinin Ölçeklendirilmesi ve Uygulanış, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Erkan, S., 2011. Dengeli konsol Yöntemi ile İnşa Edilen Betonarme Karayolu Köprülerinin Yapım Aşamalarına Göre Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Ersoy, U. ve Özcebe, G., 2001. Betonarme Temel İlkeler TS500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) Göre Hesap, İstanbul.
- Fitoz, H.E., 2012. Response of Asymmetric Isolated Buildings Under Bi-Directional Excitations if near-fault Ground Motions, Master Thesis, METU, Ankara.
- Gökdemir, T., 2017. Multi-Support Seismic Excitation of Long Span Highway Bridges, Master Thesis, METU, Ankara.
- Günaydın, M., 2016. Onarılmış ve Lifli Polimer Kompozit Malzemelerle Güçlendirilmiş Betonarme Binaların Dinamik Davranışlarının Deneysel ve Analitik Yöntemlerle İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Hacısalıhoğlu, M., 2010. Doğrusal Olmayan Sonlu Eleman Çözümleri İle Betonarme Kolonlarda Boyut Etkisinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Hedjazi, S., Rahai, A. ve Sennah, K., 2007. Evaluation of Creep Effects on the time-Dependent Deflections and Stresses in Prestressed Concrete Bridges, Bridge Structures, 3, 119-132.
- Hewson, N., 2007. Balanced Cantilever Bridges, Concrete (London), 41, 59-60.
- Jung, S., Ghaboussi, J. ve Marulanda, C., 2007. Field Calibration of Time-Dependent Behavior in Segmental Bridges Using Self-Learning Simulation, Engineering Structures, 29, 2692-2700.
- Kamaitis, Z., 2008. Field Investigation of Joints in Precast Post-Tensioned Segmental Concrete Bridges, Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 3, 198-205.
- Karaesmen , E., 2015. Ardgermeli Beton ve Yeni Çözümler, Lord Matbaacılık ve 723 Kağıtçılık Alparslan Arıboğa, İstanbul.
- Karakütük, Ö., 2015. Effects of Ground Motion Selection on Seismic Response of Buildings, Master Thesis, METU, Ankara.
- Kaya, M., 2016. Deprem Seçiminin Süneklik Düzeyi Yüksek Rijit Çelik Çerçevelerin Sismik Performansına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, , Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kılıç, İ.E., 2015. Seismic Behavior of Geosynthetic Reinforced Retaining Structures With Cohesive Backfills, Doctoral Thesis, Boğaziçi University, İstanbul.
- Kwak, H.G. ve Son, J.K. 2004. Desing Moment Variations in Bridges Constructed Using a Balanced Cantilever Method, Construction and Building Materials, 18(10), pp. 753-766.
- Marzouk, M., Said, H. ve El-Said, M., 2008. Special-Purpose Simulation Model for Balanced Cantilever Bridges, Journal of Bridge Engineering, 13, 122-131.
- McDonald, B., Saraf, V. ve Ross, B. 2003. A Spectacular Collapse : Koror-Babeldao (Palau) Balanced Cantilever Prestressed, Post Tensioned Bridge, Indian Concrete Journal, 77, 955-962.
- Mohanamurthy, M., 2013. Finite Element Modeling of Prestressed Girder Strengthening Using Fiber Reinforced Polymer and Cordal Compration, Master Theis, The University of Texas at Arlington.
- Morassi, A. ve Tonon, S., 2008. Dynamic Testing for Structural Identification of a Bridge, Journal of Bridge Engineering, 13, 573-585.
- Omid, A.J., 2017. Sarsma Tablası İçin Geliştirilmiş Ölçekli Yapı-Zemin Modeli Üzerinde Sayısal ve Deneysel İncelemeler, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

- Oyat, A., 1999. Beton Karayolu Köprülerinde Açıklık Sorunu, Dengeli Konsol Yöntemi ve Bir Örnek, Bildiri, Türkiye İnşaat Mühendisliği 15. Teknik Kongresi, Kasım, Ankara, Bildiri Kitabı, 287-304.
- Özcan, D. M., 2010. Yapıların Patlatma Kaynaklı Doğrusal Olmayan Davranışlarının Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Özdemir, Z., ve Fahjan, Y.M, 2007. Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumlarına Uygun Olarak Zaman ve Frekans Tanım Alanında Ölçekleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Ekim, İstanbul, Bildiriler Kitabı 435-446.
- Özgenoğlu, M.,2015. Comparison of ASCE/SEI Standart (2010) and Modal Pushover Based Ground Motion Scaling Procedures for Pre- Tensioned Concrete Bridges, Master Thesis, METU, Ankara.
- Özmen, G., 2008. Mod Birleştirme Yöntemi Sonuçlarının Eşdeğer Deprem Yüklerine Dönüştürülmesi, İMO Teknik Dergi, 4509-4520.
- Petek Proje, 2009. Ortaköy Köprüsü Projeleri, Ankara.
- Pimanmas, A., 2007. The Effect of Long-Term Creep and Prestressing on Moment Redistribution of Balanced Cantilever Cast-in-Place Segmental Bridge, Songklanakarın Journal of Science and Technology, 29 ,205-216.
- Pimanmas, A., Imsombat, S. ve Neilsen, K.Hj., 2009. New Phra-Nangklao Bridge - A Balanced Cantilever Prestressed Concrete Bridge in Thailand, Structural Engineering International: Journal of the International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), 38-40.
- Safaei, F., 2010. Betonarme Köprü Modellenmesi Üzerine Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Schmidt, S. ve Solar, G. 2003. 3D Wind Inducted Effect On Bridges During Balanced Cantilever Erections Stages, Wind and Structures, 6, 1, 1-22.
- Seçme, T., 2009. Zaman Tanım Alanında Davranış Spektrumunun İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Serdar, M.Z., 2018. Design of an Industrial Steel Building According to New Turkish Seismic and Steel Design Codes, Master Thesis, İstanbul Technical University, İstanbul.
- Sezdirmez, T., 2013. Gülburnu Köprüsünde Zamanla Oluşabilecek Yer Değiştirmeler, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Sümerkan, S., 2014. Ardgermeli Dengeli Konsol Köprüler İçin Doğal Frekans Formülü Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Sümerkan, S., Bayraktar, A. ve Türker T., 2015. Dengeli Konsol Betonarme Köprüler İçin Deneysel Yöntemlere Dayalı Doğal Frekans Formülü, 3. Köprüler ve Viyadükler Sempozyumu, Mayıs, Bursa, Bildiriler Kitabı, 195-206.
- Strommen, E., Hjorth-Hasen, E. ve Kaspersen, J.H., Dynamic Loading Effect of Rectengular Box Girder Bridge, Journal Of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2001. 89, 14-15, 1607-1618.
- Şenoğlu, G., 2016. Kompozit Yüksek Bir Yapının Deprem Performansının Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Yöntem Kullanılarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Turan, F.N., 2012. Dengeli Konsol Betonarme Köprülerin Dinamik Karakteristiklerinin Çevresel Titreşim Verileri Kullanarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- URL-1, PEER, Pacific Earthquake Engineering Research Centre, <http://peer.berkeley.edu/smcat/data>, 12.04.2018.
- Yecan, E., 2016. Öngerilmeli Betonarme Köprülerde Zamana Bağlı Yer Değiştirmeler, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yıldırım, E., 2011. Yapım Aşamaları Ve Farklı Zemin Durumlarının Betonarme Köprülerin Yapısal Davranışlarına Etkisi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Yurdakul, M., 2011. Üç Eğrilikli Sürtümlü Sarkaç Mesnetli Yapıların Dinamik Davranışına Zemin Eğilebilirliğin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

## ÖZGEÇMİŞ

Filiz TUNÇ, 1988 yılında Artvin’de doğdu. İlk ve ortaokulu Borçka Cumhuriyet İlköğretim Okulu’nda, lise öğrenimini Borçka Şehit Savaş Gedik Lisesi’nde birincilikle tamamladı. 2005 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. Lisans eğitimini 2010 yılında onur öğrencisi olarak tamamladı. 2010-2013 yılları arasında özel sektörde İnşaat Mühendisi olarak çalıştı. 2013 yılında DSİ 26. Bölge Müdürlüğü’ne (Artvin) İnşaat Mühendisi olarak atandı ve halen aynı yerde görev yapmaktadır. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitimine başladı. Orta derecede İngilizce bilen TUNÇ, evli ve bir çocuk annesidir.