

**T.C.  
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DENGELİ KONSOL KÖPRÜ ANALİZİ VE PERFORMANS  
DEĞERLENDİRMESİ**

**ÖMER FARUK ÇİFT**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. MUSTAFA KARAŞAHİN**

**İSTANBUL, 2018**

Ömer Faruk ÇİFT tarafından hazırlanan “Dengeli Konsol Köprü Tasarımı ve Performans Değerlendirmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile İstanbul Gelişim Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman :** Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN

İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Gelişim Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

.....

**Başkan :** Prof. Dr. Can BALKAYA

İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Gelişim Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

.....

**Üye :** Prof. Dr. Abdullah Hilmi LAV

İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

.....

Tez Teslim Tarihi: ...../...../.....

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Nuri KURUOĞLU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ömer Faruk ÇİFT  
.. / .. / 2018

# DENGELİ KONSOL KÖPRÜ TASARIMI VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ömer Faruk ÇİFT

GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mart 2018

## ÖZET

Bu çalışmada öncelikle öngerilme metoduyla inşa edilen dengeli konsol köprü uygulaması hakkında genel bilgilere yer verilmiştir.

Dengeli konsol köprü uygulamasının bilgisayar programıyla üç boyutlu modellemesi oluşturulmuş ve sonlu elemanlar yöntemiyle analizi yapılmıştır. Köprüye etkiyen yüklerle kombinasyonlar oluşturulmuş ve en kritik yüklemeye göre, maksimum kesit tesirleri belirlenmiştir.

Ön boyutlandırma kısmından sonra C40 ve C50 beton sınıfları için iki ayrı model oluşturulmuş; bu modeller için kesit boyutları, kesit tesirleri, ağırlık ve maliyet karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca modeller üzerinde sismik analiz yapılarak deprem anındaki periyotlar ve yatay, düşey yer değiştirmeler hesaplanarak karşılaştırma yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Dengeli Konsol Köprü, Öngermeli Köprü, Köprü Analizi

Sayfa Adedi : 101

Danışman : Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN

# BALANCED CONSOLE BRIDGE DESIGN AND SEISMIC PERFORMANCE

## ASSESSMENT

(Graduate School Thesis)

Ömer Faruk ÇİFT

GELİSİM UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

March 2018

### ABSTRACT

In this study, firstly, general information has been given about balanced console bridge construction constructed by prestressing method.

A three-dimensional modeling of the balanced console bridge application was made with a computer program and analyzed with the finite element method. Combinations were made with loads that acted on the bridge and maximum cross-sectional effects were determined according to the most critical loading.

After the pre-sizing section, two separate models were created for C40 and C50 concrete classes; the cross-sectional dimensions, cross-sectional effects, weight and cost were compared for these models. In addition, seismic analysis was performed on the models the periods, the horizontal and vertical displacements at the moment of the earthquake were calculated and compared.

Key Words : Balanced Console Bridge, Prestressed Bridge, Bridge Analysis

Page Number : 101

Supervisor : Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN

## TEŐEKKÖR

Bu tez alıőmasında, kprő eőitlerinden olan ardgermeli dengeli konsol köprünün bilgisayar programı yardımıyla tasarımı yapılmıő ve deprem performansının değerlendirilmesi incelenmiőtir. Yůksek lisans öğrenimim boyunca bana değer katan tům hocalarıma teőekkőrlerimi sunarım.

Bu tez çalıőması sůresince, bana değerli vaktini ayıran ve her konuda desteklerini aldığım Sayın Prof. Dr. Mustafa KARAŐAHİN'e teőekkőr etmeyi değer yargıların gereği olarak grőyorum.

Bu tez çalıőmamı, her zaman desteęini hissettiđim, gůven ve sevgilerini asla esirgemeyen deęerli aileme armaęan ediyorum.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xi
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Taraması.....	2
2. DENGELİ KONSOL YÖNTEMİ.....	5
2.1. Öngerilmeli beton.....	6
2.2. Öngerilmeli beton elemanları.....	12
2.3. Öngerilmeli beton malzemeleri.....	12
2.4. Öngerilmeli betonun faydaları.....	13
2.5. Öngerilmeli beton yapım çeşitleri.....	14
3. ANALİZ ve TASARIM.....	18
3.1. Arazi Tespiti.....	18
3.1.1. Güzergâh Belirlemesi.....	18
3.2. Önboyutlandırma.....	19
3.3. Şev Stabilite Kontrolü.....	20
3.3.1. Zemin özellikleri, güvenlik sayıları ve yükler.....	21
3.3.2. Slide modeli.....	21
3.3.3. Şevlerin kendi öz ağırlığında güvenlik sayısı.....	22
3.3.4. Şevlerin orta ayaktan gelen yük etkisinde gs kontrolü.....	24

3.4. Sonlu Eleman Modeli Ve Analizler.....	25
3.4.1. Genel yerleşim çizgileri.....	26
3.4.2. Tabliye kesitlerinin oluşturulması.....	27
3.4.3. Köprü nesneleri.....	29
3.4.4. Kesit Değişimlerinin Atanması.....	31
3.4.5. Tendonlar.....	33
3.4.6. Orta ayak elevasyonları.....	34
3.5. Analiz aşaması.....	35
3.5.1. Yükler.....	37
3.5.1.1. Ölü yük.....	37
3.5.1.2. Trafik yükleri.....	37
3.5.1.3. Rüzgar yükleri.....	38
3.5.2. Yüklemeler.....	39
3.6. Analiz Sonuçları.....	39
3.6.1. Ölü yük için deformasyon şekilleri.....	39
3.6.2. Kar yükü için deformasyon şekilleri.....	40
3.6.3. Rüzgar yükü için deformasyon şekilleri.....	40
3.6.4. Taşıt yükü için deformasyon şekilleri.....	40
3.6.5. Hareketli yükler için deformasyon şekilleri.....	41
3.6.6. $F_{D1}$ deformasyon şekilleri.....	42
3.6.7. $F_{D2}$ deformasyon şekilleri.....	43
3.6.8. $F_{D3}$ deformasyon şekilleri.....	43
3.7. Köprü yükleri kesit tesiri diyagramları.....	44
3.7.1. Ölü yük kesit diyagramları.....	44
3.7.2. Öngerme halatları kesit diyagramları.....	46
3.7.3. Taşıt yükü kesit diyagramları.....	47
3.7.4. Kar yükü kesit diyagramları.....	48



3.7.5.Rüzgar yükü kesit diyagramları.....	49
3.7.6.F <sub>D1</sub> yük kombinezonu kesit diyagramları.....	50
3.7.7.F <sub>D2</sub> yük kombinezonu kesit diyagramları.....	52
3.7.8.F <sub>D3</sub> kesit diyagramları.....	54
3.8. Deprem Hesabı.....	56
3.8.1. Dinamik Deprem Yüğü Ataması.....	56
3.8.2. Deprem Yüğü İçin Davranış.....	58
3.8.3. Deprem Yüğü Kesit Tesirleri.....	59
3.9. Genel Kullanım Malzeme Özellikleri.....	60
4. MODELLEMELER.....	65
4.1. Model 1 Kesit Tesirleri.....	68
4.1.1. Model 1 Boyutlandırma.....	70
4.2. Model 2 Kesit Tesirleri.....	71
4.2.1. Model 2 Boyutlandırma.....	72
4.3. Model 1,Model 2 Boyutlar.....	74
4.4. Model 1, Model 2 Maliyet Analizi.....	75
5.SONUÇLAR.....	79
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	83

**TABLolar LİSTESİ**

<b><u>Tablo</u></b>	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 3.1. Malzeme özellikleri.....	35
Tablo 3.2. Tasarım Köprüsü'nün analitik doğal frekans, periyot ve mod şekilleri.....	35
Tablo 3.3. Yük kombinezonları.....	39
Tablo 3.4. Malzeme Özellikleri.....	62
Tablo 3.5. Genel Kullanım Öngerme Kabloları.....	62
Tablo 3.6. Modellemede Kullanılan Öngerme Kabloları.....	63
Tablo 3.7. Kesit Tesir Değişimleri.....	64
Tablo 4.1. Model 1 Ön Boyutlandırma Seçimleri.....	67
Tablo 4.2. Model 2 Ön Boyutlandırma Seçimleri.....	67
Tablo 4.3. Model 1 Kullanılan Malzemeler.....	70
Tablo 4.4. Model 2 Kullanılan Malzemeler.....	73
Tablo 4.5. Model 1, Model 2 Boyutlar.....	74
Tablo 4.6. Model 1, Model 2 Kesit Tesirleri.....	75
Tablo 4.7. Model 1, Model 2 Sonuçlar.....	77

## ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Köprü üstyapısını oluşturan segmentlerin inşasına ait şematik gösterim.....	5
Şekil 2.2. Betonun birim gerilmeler altında basınç çekme uzaması kısalması grafiği.....	7
Şekil 2.3. Basit kiriş yayılı yükler altında oluşan iç kuvvetler.....	9
Şekil 2.4. Merkezden gerdirilen öngerilmeli basit kiriş.....	10
Şekil 2.5. Dış merkezli gerdirme öngerilmeli kiriş.....	11
Şekil 2.6. Ardgermeli beton.....	15
Şekil 2.7. Öngerilmeli beton.....	15
Şekil 2.8. Öngerme yatağında yapılan üretim.....	15
Şekil 2.9. Gerdirme yatağı.....	15
Şekil 2.10.Öngerme donatısını sıkıştırma elemanı.....	16
Şekil 2.11.Öngerilmeli beton uygulaması -çatı kirişi-.....	16
Şekil 2.12. Öngerme donatılarının çekilmesi.....	17
Şekil 2.13. Ön germe ve art germe uygulamaları.....	17
Şekil 2.14. Öngerme ve art germe uygulamaları.....	17
Şekil 3.1. Kisarna Vadisi.....	18
Şekil 3.2. Tasarım Köprüsü güzergahı.....	19
Şekil 3.3. Değişken kesitli Tabliye Üst Yapısı (Boyutlar cm cinsindedir).....	20
Şekil 3.4. Köprü Boykesitleri ve ayak yükseklikleri.....	20
Şekil 3.5. Batı şevi slide modeli.....	22
Şekil 3.6. Doğu şevi slide modeli.....	22
Şekil 3.7. Batı şevinin kendi öz ağırlığında analiz sonucu.....	23
Şekil 3.8. Doğu şevinin kendi öz ağırlığında analiz sonucu.....	23
Şekil 3.9. Batı şevi temsili yükleme sonucu analiz sonucu.....	24
Şekil 3.10. Doğu şevi temsili yükleme sonucu analiz sonucu.....	25
Şekil 3.11. Üç boyutlu Sonlu Eleman modeli.....	25
Şekil 3.12. Genel Yerleşim Çizgisi.....	27
Şekil 3.13. Köprü Tabliyesi Kesit Tipi Formu.....	28
Şekil 3.14. Köprü Kesit Bilgisi.....	29
Şekil 3.15. Köprü Nesnesi Bilgi Formu.....	30
Şekil 3.16. Varyasyon Tanımı Formu.....	31

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 3.17. Köprü Nesnesi Açıklık Atamaları.....	32
Şekil 3.18. Köprü Kesit Varyasyonları Tanımları.....	32
Şekil 3.19. Köprü Tendon Bilgisi.....	33
Şekil 3.20. Orta Ayak Elevasyonu Kolon Bilgisi Formu.....	34
Şekil 3.21. Tasarım Köprüsü'nün ilk sekiz mod şekilleri.....	36
Şekil 3.22. Moment, Kesme Kuvveti, Normal Kuvvet Tesir Çizgileri .....	36
Şekil 3.23. AASHTO Yük Kombinasyonları .....	39
Şekil 3.24. Ölü yük için düşey yer değiştirme grafiği.....	40
Şekil 3.25. Kar yükü için düşey yer değiştirme grafiği.....	40
Şekil 3.26. Rüzgar yükü için yatay yer değiştirme grafiği.....	41
Şekil 3.27. Taşıt yükü için düşey yer değiştirme grafiği.....	41
Şekil 3.28. Hareketli yükler için yatay yer değiştirme grafiği.....	42
Şekil 3.29. Hareketli yükler için düşey yer değiştirme grafiği.....	42
Şekil 3.30. $F_{D1}$ yük kombinezonu için yatay yer değiştirme grafiği.....	42
Şekil 3.31. $F_{D1}$ yük kombinezonu için düşey yer değiştirme grafiği.....	43
Şekil 3.32. $F_{D2}$ yük kombinezonu için yatay yer değiştirme grafiği.....	43
Şekil 3.33. $F_{D2}$ yük kombinezonu için düşey yer değiştirme grafiği.....	44
Şekil 3.34. $F_{D3}$ yük kombinezonu için yatay yer değiştirme grafiği.....	44
Şekil 3.35. $F_{D3}$ yük kombinezonu için düşey yer değiştirme grafiği.....	45
Şekil 3.36. Ölü Yük İçin Elde Edilen Normal Kuvvet Diyagramı (P).....	45
Şekil 3.37. Ölü Yük İçin Elde Edilen Kesme Kuvveti Diyagramı (V2).....	45
Şekil 3.38. Ölü Yük İçin Elde Edilen Moment Diyagramı (M3).....	46
Şekil 3.39. Öngerme Halatlarına Oluşan Normal Kuvvet Diyagramı.....	46
Şekil 3.40. Öngerme Halatlarında Oluşan Kesme Kuvveti Diyagramı.....	47
Şekil 3.41. Öngerme Halatlarına Oluşan Moment Diyagramı.....	47
Şekil 3.42. Taşıt Yükü İçin Elde Edilen Normal Kuvvet Diyagramı (P).....	48
Şekil 3.43. Taşıt Yükü İçin Elde Edilen Kesme Kuvveti Diyagramı(V2).....	48
Şekil 3.44. Taşıt Yükü İçin Elde Edilen Moment Diyagramı (M3).....	49
Şekil 3.45. Kar Yükü İçin Elde Edilen Normal Kuvvet Diyagramı (P).....	49
Şekil 3.46. Kar Yükü İçin Elde Edilen Kesme Kuvveti Diyagramı.....	49
Şekil 3.47. Kar Yükü İçin Elde Edilen Moment Diyagramı (M3).....	50
Şekil 3.48. Rüzgar Yükü İçin Elde Edilen Kesme Kuvveti Diyagramı (V3).....	47

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 3.49. Rüzgar Yüğü İçin Elde Edilen Moment Diyagramı (M2).....	50
Şekil 3.50. $F_{D1}$ Yüğü Kombinezonu İçin Normal Kuvvet Diyagramı (P).....	51
Şekil 3.51. $F_{D1}$ Yüğü Kombinezonu İçin Kesme Kuvveti Diyagramı (V2).....	51
Şekil 3.52. $F_{D1}$ Yüğü Kombinezonu İçin Kesme Kuvveti Diyagramı (V3).....	51
Şekil 3.53. $F_{D1}$ Yüğü Kombinezonu İçin Moment Diyagramı (M2).....	52
Şekil 3.54. $F_{D1}$ Yüğü Kombinezonu İçin Moment Diyagramı (M3).....	52
Şekil 3.55. $F_{D2}$ Yüğü Kombinezonu İçin Normal Kuvvet Diyagramı.....	53
Şekil 3.56. $F_{D2}$ Yüğü Kombinezonu İçin Kesme Kuvveti Diyagramı (V2).....	53
Şekil 3.57. $F_{D2}$ Yüğü Kombinezonu İçin Kesme Kuvveti Diyagramı (V3).....	53
Şekil 3.58. $F_{D2}$ Yüğü Kombinezonu İçin Moment Diyagramı (M2).....	54
Şekil 3.59. $F_{D2}$ Yüğü Kombinezonu İçin Moment Diyagramı(M3).....	54
Şekil 3.60. $F_{D3}$ Yüğü Kombinezonu İçin Normal Kuvvet Diyagramı.....	55
Şekil 3.61. $F_{D3}$ Yüğü Kombinezonu İçin Kesme Kuvveti (V2) Diyagramı.....	55
Şekil 3.62. $F_{D3}$ Yüğü Kombinezonu İçin Kesme Kuvveti Diyagramı (V3).....	55
Şekil 3.63. $F_{D3}$ Yüğü Kombinezonu İçin Moment Diyagramı (M2).....	56
Şekil 3.64. $F_{D3}$ Yüğü Kombinezonu İçin Diyagramı Moment (M3).....	56
Şekil 3.65. Tepki Spectrum Fonksiyonu Tanımı.....	57
Şekil 3.66. Yükleme Dosyası Bilgisi – Tepki Spektrumu.....	58
Şekil 3.67. $u_1$ yönünde dinamik deprem yüğü için yer değiştirme grafiği.....	59
Şekil 3.68. Dinamik Deprem Yüğü İçin Normal Kuvvet Diyagramı (P).....	59
Şekil 3.69. Dinamik Deprem Yüğü İçin Kesme Kuvveti Diyagramı (V2).....	59
Şekil 3.70. Dinamik Deprem Yüğü İçin Moment Diyagramı (M3).....	60
Şekil 3.71. AASHTO Dengeli Konsol Köprü için Standart Segment.....	60
Şekil 3.72. Uygulanan Öngerilme Momenti-Eğilme Momenti.....	61
Şekil 3.73. Örnek Takviye Çeliği Yerleşimi.....	63
Şekil 4.1. Dengeli Konsol Köprü Önboyutlandırma Kesit Formu.....	65
Şekil 4.2. En Kritik Yüklemeye Göre Örnek Kesit Tesiri.....	65
Şekil 4.3. Model Boyutlandırma Menüsü.....	66
Şekil 4.4. Model 1 Basınç Kuvveti.....	68
Şekil 4.5. Model 1 Kesme Kuvveti .....	68
Şekil 4.6. Model 1 Moment Kuvveti .....	69
Şekil 4.7. Model 1 Deprem Etkisi Yerdeğiştirme .....	69

<b><u>Şekil</u></b>	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 4.8. Model 1 Yatay Deplasman .....	69
Şekil 4.9. Model 1 Düşey Deplasman .....	69
Şekil 4.10. Model 1 Boyutlar .....	70
Şekil 4.11. Model 2 Basınç Kuvveti.....	71
Şekil 4.12. Model 2 Kesme Kuvveti .....	71
Şekil 4.13. Model 2 Moment Kuvveti .....	71
Şekil 4.14. Model 2 Deprem Etkisi Yerdeğiştirme .....	72
Şekil 4.15. Model 2 Yatay Deplasman .....	72
Şekil 4.16. Model 2 Düşey Deplasman .....	72
Şekil 4.17. Model 2 Boyutlar .....	73
Şekil 4.18. Boyutlar .....	74

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
<i>A</i>	Etkin yer ivmesi katsayısı
<i>Ac</i>	Kolon çekirdek alanı-Kompozit kiriş kesit alanı
<i>Acv</i>	Deprem takozu kesit alanı
<i>Ag</i>	Ön gerilme kirişi alanı (mm <sup>2</sup> )-Kesit alanı
<i>Aps1</i>	Ön gerilme halatı alanı (mm <sup>2</sup> )
<i>As</i>	Öngerilmemiş çekme donatısı alanı-Boyuna donatı alanı (mm <sup>2</sup> )
<i>As</i>	Öngerilmemiş basınç donatısı alanı (mm <sup>2</sup> )
<i>Ash</i>	Enine donatı alanı
<i>Avf</i>	Sürtünme kesmesi donatısı alanı
<i>a</i>	Eşdeğer basınç bloğu yüksekliği (mm)
<i>a1(i)</i>	(i)"inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait ivme
<i>a1</i>	Birinci (hâkim) moda ait modal ivme
<i>ay1</i>	Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi
<i>b</i>	Basınç bölgesi genişliği (mm)
<i>bef</i>	Efektif başlık genişliği (mm)
<i>bef</i>	Dönüştürülmüş efektif başlık genişliği (mm)
<i>bv</i>	Kesme için etkili gövde genişliği (mm)
<i>bw</i>	Kirişin gövde genişliği (mm)
<i>c</i>	Ön gerilme halatının akması durumunda, basınç bölgesi
<i>ch</i>	Kohezyon faktörü
<i>d</i>	Kirişin ve kolonun faydalı yüksekliği
<i>de</i>	Ortalama çekme derinliği (mm)
<i>dp</i>	Tendon çapı (mm)
<i>Ec</i>	Beton elastisite modülü (MPa)
<i>Eci</i>	Aktarma anında ki betonun elastisite modülü (MPa)
<i>Ecg</i>	Öngerilmeli kiriş betonu elastisite modülü (MPa)
<i>Ep</i>	Öngerilme halatı elastisite modülü (MPa)

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
<i>Es</i>	Donatı çeliği elastisite modülü (MPa)
<i>e</i>	Halat ağırlık merkezinin kiriş tabanına olan uzaklığı
<i>fc</i>	Beton karakteristik silindir basınç dayanımı (MPa)
<i>fcg</i>	Öngerilmeli kiriş betonu karakteristik silindir basınç dayanımı
<i>fcs</i>	Döşeme betonu karakteristik silindir basınç dayanımı
<i>fcc</i>	Sargılı beton dayanımı
<i>fco</i>	Sargısız betonun basınç dayanımı
<i>fck</i>	Betonun karakteristik basınç dayanımı
<i>fctk</i>	Betonun karakteristik çekme dayanımı
<i>fe</i>	Etkili sargılama basıncı
<i>fs</i>	Donatı çeliğindeki gerilme
<i>fsy</i>	Donatı çeliğinin akma dayanımı
<i>fy</i>	Donatı çeliğinin akma dayanımı
<i>fsu</i>	Donatı çeliğinin kopma dayanımı
<i>fyw</i>	Enine donatının akma dayanımı
<i>fpe</i>	Kiriş en dış alt lifinde ön gerilme kuvvetinden dolayı gerilme
<i>fpi</i>	Halatta oluşan ön gerilme
<i>fps</i>	Öngerilme halatındaki ortalama gerilme
<i>fpu</i>	Öngerilme halatı kopma dayanımı
<i>fpy</i>	Öngerilme halatı akma dayanımı
<i>fr</i>	Beton kopma modülü
<i>fs</i>	Öngerilmeli kiriş ucundaki etriyede izin verilen akma dayanımı
<i>f1</i>	Sargılama basıncı
<i>G</i>	Kayma modülü
<i>Gs</i>	Güvenlik katsayısı
<i>g</i>	Yerçekimi ivmesi (m/sn <sup>2</sup> )
<i>H</i>	Toplam tabliye yüksekliği (mm )
<i>h</i>	Yükseklik (mm)
<i>heq</i>	Eşdeğer toprak yüksekliği (mm)
<i>hf</i>	Basınç başlık yüksekliği (mm)
<i>hk</i>	Kolon boyu (mm)



<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b><i>I</i></b>	Atalet moment ( $m^4$ )
<b><i>I<sub>g</sub></i></b>	Öngerilme kirişi atalet moment-Kolon atalet momenti
<b><i>k</i></b>	Elastomer mesnet rijitliği-Kolon efektif boy katsayısı
<b><i>kh</i></b>	Zemin yanıl yataklanma katsayıları
<b><i>L</i></b>	Tasarım açıklığı-Kolon boyu
<b><i>M<sub>d</sub></i></b>	Dönme momenti
<b><i>M<sub>y</sub></i></b>	Akma momenti
<b><i>R</i></b>	Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
<b><i>V<sub>c</sub></i></b>	Betonun kesme dayanımına olan katkısı
<b><i>V<sub>s</sub></i></b>	Donatı çeliğinin kesme dayanıma olan katkısı
<b><i>V<sub>u</sub></i></b>	Kesitte oluşın maksimum kesme kuvveti
<b><i>γ<sub>c</sub></i></b>	Beton Birim Hacim Ağırlığı ( $kg/m^3$ )
<b><i>φ</i></b>	Dayanım azaltma faktörü
<b><i>μ</i></b>	Sürtünme katsayısı
<b><i>α<sub>T</sub></i></b>	Betonun ısıl genişleme katsayısı
<b><i>γ<sub>s</sub></i></b>	Zeminin birim hacim ağırlığı ( $kg/m^3$ )
<b><i>δ</i></b>	Moment arttırma katsayısı
<b><i>Γ<sub>x1</sub></i></b>	x deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı
<b><i>θ<sub>p</sub></i></b>	Plastik dönme istemi
<b><i>θ<sub>s</sub></i></b>	Servis yükleri altında elastomer mesnette oluşın dönme
<b><i>Δ<sub>p</sub></i></b>	Üniform yatay sürşarj yükü (MPa)
<b><i>Δ<sub>ps</sub></i></b>	Aktarma anındaki ters sehım
<b><i>Δ<sub>fpES</sub></i></b>	Elastik kısalma kaybı (MPa)
<b><i>Δ<sub>fpSR</sub></i></b>	Rötre kaybı (MPa)
<b><i>Δ<sub>fpCR</sub></i></b>	Sünme kaybı (MPa)
<b><i>Δ<sub>fpR1</sub></i></b>	Transfer anındaki halat gevşeme kaybı (MPa)
<b><i>Δ<sub>fpR2</sub></i></b>	Servis durumundaki halat gevşeme kaybı (MPa)
<b><i>Δ<sub>DW</sub></i></b>	İlave yüklerden oluşın sehım
<b><i>Δ<sub>LL</sub></i></b>	Hareketli yüklerden oluşın sehım
<b><i>ρ</i></b>	Çekme donatısı oranı
<b><i>φ</i></b>	Sürtünme açısı

**Kısaltmalar****Açıklamalar****AASHTO**

Amerikan Devlet Otoyolları Ve Taşımacılığı Birliği

**TCK**

Karayolları Genel Müdürlüğü

**TS 3233**

Öngörülenmeli Beton Yapıların Hesap Yapım Kuralları

**TS 706**

Beton Agregaları Standardı

**TS 500**

Betonarme Yapıların Tasarım Ve Kuralları

**TS 802**

Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları

**TS 1247**

Beton Yapım Ve Döküm Kuralları

**SAP 2000**

Yapısal Analiz Programı

## 1.GİRİŞ

Köprüler, geçmişle günümüz arasında sıkı bir bağ kuran ve tarihi yıllara önemli mühendislik yapılarıdır. Görünüş olarak, bıraktıkları faydalar, üzerlerinden geçerken hissettirdikleri, çevrelerindeki oluşum ve konumlarıyla birbirinden farklı özellikler içeren köprüler, asırlardır insanları birbirlerine kavuşturmaktadır. Ülkemizde yer alan ve karayolları üzerindeki önemli yapılardan biri olan köprüler, ilk dönemlerinde dar, küçük açıklıklı ve hafif yükleri taşıyabilecek nitelikte kâgir ve ahşap malzemelerden yapılırken; günümüzde bu köprülerin yerini uzun açıklıklı betonarme ve çelik köprüler almıştır. Karayolları Genel Müdürlüğü'nün kuruluşu ile birlikte köprü yapımına hız verilmiş ve son yıllarda yeni tekniklerden yararlanılarak öngermeli ve ardgermeli betonarme köprüler yapılmaya başlanmıştır. Özellikle büyük nehirler, baraj gölleri ve derin vadi geçişlerinde uzun açıklıklı ve yüksek karayolu köprüleri inşa edilmektedir. Karayolları Genel Müdürlüğü'nün 2017 Ocak ayına ait istatistiksel verileri dikkate alındığında, Ülkemizde toplam 256 km uzunluğunda 5860 tane karayolu köprüsü bulunmaktadır. Bu köprülerin, toplam 239 km uzunluğa sahip 5494 tanesi betonarme taşıyıcı sisteme ve malzeme özelliğine sahiptir. [1]

Betonarme karayolu köprülerinin yapım maliyetlerinin yüksek olması ve buldukları bölgeye bıraktığı lojistik önemleri dikkate alındığında, bu tür mühendislik yapılarının dinamik etkiler altındaki yapısal davranışlarının çok detaylı incelenmesinin gerektiği ve sonuçlarının iyi belirlenmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Özellikle, ülkemizin aktif bir deprem kuşağı üzerinde bulunması, karayolu köprülerinin projelendirilmesinde ve uygulanmasında depremin önemli bir dinamik parametre olarak dikkate alınmasını zorunlu kılmıştır. Çünkü bu tür köprülerin depremlerden zarar görmesi, can ve mal kaybının yanında şehirlerarası ulaşım bağlantısının da yok olması anlamına gelmiştir.

Mühendislik yapılarının dinamik etkiler altındaki yapısal hareketleri, mod şekli, doğal frekansı ve sönüm oranı olarak tanımlanan dinamik karakter özelliklerine bakılarak belirlenmiştir. Günümüzde dinamik karakteristikler, yapıların proje verileri dikkate alınarak belirlenen eleman boyutları, malzeme özellikleri ve sınır şartlarına göre oluşturulan sonlu eleman modellerinin modal (serbest titreşim) analizleri sonucunda analitik olarak belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasının konusu olan dengeli konsol köprü tasarımında dinamik karakteristiklerinin belirlenmesinde analitik yöntemler kullanıldı. Analizler sırasında dikkate alınmayan parametreler, yapı malzemesinin zamanla dayanımını yitirmesi, yapının inşası sırasında gerçekleşen işçilik hataları gibi parametrelerdir.

Bu tez çalışmasında, dengeli konsol yöntemiyle inşa edilen karayolu köprüsü tasarımı yaparak bu yöntem hakkında bilgi verilmesi amaçlandı. Sonuçları da irdeleyerek köprü seçiminde yol gösterici bir tez çalışması planlandı. Bu amaçla baştan sonra gerçek bir köprü tasarlandı.

## 1.1 Literatür Taraması

Kazuhuki KAWASHİMA Northridge ve Honkong depremlerinde, 1980 öncesi yapılan köprülerin büyük hasarlar gördüğünden bahsetmiştir. Bu hasarlardan sonra köprü tasarımları kapasite tasarımına göre modellenmeye başlandığını belirtmiştir. Bilgisayar analiz programlarının da gelişmesiyle deneysel doğrulamanın yanında inelastik tepki üzerine de bilimsel bilgiler toplanmaya başlanmıştır. Bilgisayar programlarıyla yakın saha zemin hareketlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan etkileri, statik ve dinamik tepkileri göz önünde bulundurularak köprüler tasarlandığından bahsetmiştir. [14]

Priestly, N.ve Kowalsky, J. servis edilebilirlik eğriliği ve nihai eğimi, eksenel oran değişimleri, uzunlamasına takviye oranı ve uzunlamasına takviye dağılımı bakımından yetersiz olduğunu göstermek için konsolla kesme duvarlarının moment eğriliği analizlerini kullanmıştır. Sonuçları da deplasman süneklik faktörlerinin ve sürüklenme sınırlarını belirlemek için kullanmıştır. Bununla beraber sürüklenme sınırlarının tasarımın yer değiştirme süneklik faktörünü kısıtladığını söylemiştir. [16]

Keith Thompson, Rodney T. Davis, John E. Breen, and Michael E. Kreger çalışmalarında kesintisiz segmental beton ve kutu kirişli dengeli konsol köprünün yapım aşamasını gözlemlemiş ölçümler ve deneyler yapmışlardır. Tendon gerilmelerini, sıcaklık değişimlerini, beton ölçümlerini gözlemlemiş ve tez haline getirmişlerdir ve bu tip yapıların gelişmesine öneriler sunmuşlardır. [18]

Berk Bora Çakır çalışmasında dengeli konsol metodu ile yapılan köprülerin ağır taşıtlar için güvenilirlik endekslerini hesaplamıştır. Bu çalışmada açıklıkları farklı dört köprüyü ele alarak güvenlik endeksleri hesaplamıştır.

Ali Reza Zarekondrod köprülerde sismik yalıtımı ve bunun köprü üzerindeki etkilerini incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre sismik yalıtımın taban kesme kuvvetinde ve taban eğilme momentinde etkilerinin görüldüğünü saptamıştır.

Robert Benaim kitabında beton 19. Yüzyılın ortalarında sonra betonla birlikte çelik malzemenin de kullanılmaya başlandığını, betonarmenin oluştuğunu ve yapı mukavemetinin artırıldığını söylemiştir. Betonarme binalar, köprüler, istinat duvarlarında kullanılmaya başlandığından bahsetmiştir. Her ne kadar dünyanın en önemli yapı malzemesi olsa da güçlendirilmiş beton kirişler ve döşemelerin büyük yükler altında deformasyona uğrayıp çatlaklara yol açtığını gözlemlemiştir. Bu çatlakların demirin korozyona uğraması gibi etkileri ortaya çıkarmıştır.

Bununla beraber uzun açıklıklı kiriş ve beton blokların yerinde dökümünün zor olduğundan ve yapım süresinin uzadığından bahsetmiştir. Bu nedenle öngerilmeli prekast yapıların ihtiyacı doğmuştur. Öngerilmeli beton 1930'larda Eugene Freyssinet tarafından icat edilmiştir. Bu yapıda betonarme çeliğinin yerini kablolar aldı ve gerilerek yapı ön yüklendi. Bununla beraber çatlaklar ortadan kaldırıldı ve yapı inşaatı kolay hale getirildi. [19]

Sallal Abid, tasarladığı kutu kesitli köprünün bir benzerini sıcaklık etkilerini ele alarak incelemiştir. Son zamanlarda, tasarım kodlarının çoğunun köprülerde sıcaklık dağılımları ve maksimum sıcaklık değişimleri için modeller önerdiğinden yola çıkmıştır. Araştırmasını kutu kirişli bir köprünün beton sıcaklığını, hava sıcaklığını ve rüzgâr hızını yerleştirilen sensörler yardımıyla ele almıştır. Araştırmanın sonunda beton köprülerdeki ısı etkileri için tasarlama yöntemleri önermiştir. [20]

Zakia Begum kutu kesitli köprüleri analiz etmiş ve davranışları hakkında bir tez hazırlamıştır. Çalışmasında birleşik olmayan düz ve kavisli kutu kirişleri ele almış ve bu kabuk elemanları üç boyutlu sonlu eleman modeliyle incelemiştir. Bu çalışmada kabuk elemanlarla düz ve kavisli kutu kirişleri karşılaştırmıştır. Bunun sonucunda sonlu eleman modelini kullanarak kesit tesirleri ve yer değiştirmelerini ele almıştır. [21]

Purvik Patel taşıma gücü yöntemine göre kompozit kutu kirişli bir köprünün dizaynını ele almıştır. Konvansiyonel sürekli köprülerin sadece pozitif moment alanına etki ettiğinden bahsetmiş, bunu kutu kirişli köprülerle birlikte negatif moment alanında da ele alınabileceğini, değişken kutu kesitli köprülerin buna uygun olacağını söylemiştir. [22]

Ahmed S. Debaiky eğimli kutu kesitli betonarme köprülerin zaman bağlı gerilme değişimlerini incelemiştir. Eğimli kutu kirişli köprüler modern otoyolların temel unsurlarındandır. Bu köprüler zaman içinde aşama aşama inşa edilir. Kesitler ayrı ayrı konularak kablolarla birbirlerine bağlanır demiştir. İnşaat yapımında süreç esnasında belli öngörülmelemlerin oluştuğunu ve bu gerilmeler sürekli değişim gösterdiğinden bahsetmiştir. Bu gerilmelere örnek olarak betonun sünme ve büzülmesi, çeliğin genişmesini örnek olarak vermiştir. Eğimli köprülerde zamana bağlı gerilme değişiminin büyük oranda desteklerde sağlanan kısıtlamalara bağlı olduğunu söylemiştir. Tezinde ilk önce köprünün yapım aşamalarından bahsetmiş sonra betonun sünme ve büzülmesini, çeliğin gevşemesini, beton segmentler arasındaki yaş farkını, yapım sırasında yapılan geometrik hataları incelemiştir. Bu incelemeden sonra oluşan hataları ve yapıya etkilerini araştırarak bunları düzeltmek için analizler yapmıştır. İncelemlesinde yer değiştirme metodunu kullanmıştır. Bilgisayar programında analizleri yapmış ve doğrulamalar için örnekler sunmuştur. [23]

Rebaz Abdulghafoor öngörülmelemlerli betonarme kirişli köprülerin sonlu elemanlar analizini yapmıştır. Eğimli betonarme kutu kiriş sistemlerin çok karmaşık iç kuvvetler, stres ve gerilme dağılımları olduğunu söyleyerek tezine başlamıştır.

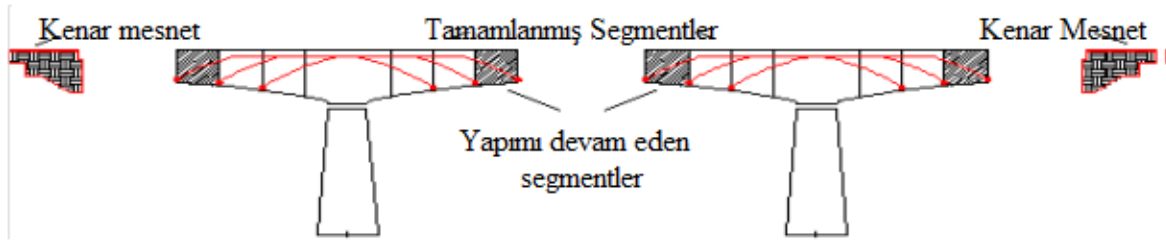
Şekillerinden dolayı kesit tesirlerinin yanı sıra burulma momentlerinin de oluşup yapıya etki ettiğini belirtmiştir. Bu momentlerin zamanla eksen dönmelerine ve çatlamalara neden olduğunu söylemiştir.

Bu gerilme çatlaklarının da zamanla tendonları koparabileceğini belirtmiş ve tasarımın bu gerilmeleri önleyerek yapılması gerektiğinden bahsetmiştir. Lusas yazılımını kullanarak sonlu eleman modelini oluşturmuş gerilmelere farklı yönlerden yaklaşmış ve sonuçlarını irdelemiştir. [24]

## 2.DENGELİ KONSOL YÖNTEMİ

Köprüler, geçmişle günümüz arasında en önemli bağı kuran mühendislik yapılarının önde gelenlerinden biridir. Stratejik bakımdan da çok önemli bir yeri olan köprülerin, değişik taşıyıcı sisteme ve malzeme özelliklerine sahip birçok uygulaması günümüzde mevcuttur. Fakat uzun açıklıkların geçilmesi gereken yerlerde genel olarak betonarme köprüler, asma köprüler ve kablolu köprüler tercih edilmiştir. Bu köprü tipleri arasında özellikle betonarme karayolu köprüleri yapım aşamalarından ve zamana bağlı malzeme deformasyonlarından daha fazla etkilenmiştir. Betonarme karayolu köprüleri ile geniş ve uzun bir vadiyi maksimum açıklık ve minimum sayıda ayakla geçebilmek için en uygun ve en iyi yöntem yerinde dökme dengeli konsol yöntemidir. [1]

Dengeli konsol yöntemi önerilmeli beton kullanılarak büyük açıklıkların geçilmesinde yaygın olarak kullanılmıştır. Bu yöntemde, köprü üst yapısının her bir açıklığı, boyuna doğrultuda segment denilen parçalara bölünmekte ve bu segmentler parça parça inşa edilmiştir. Zeminden ek bir destek alınmadan, sabit bir noktadan dışarıya doğru konsol biçiminde uzanan ve yük taşıyabilen bir yapı ardışık adımlarla inşa edilmiştir. Köprü orta ayağının her iki tarafında birbirini dengeleyecek biçimde yapılan bu yapım tekniği Dengeli Konsol Yöntemi olarak adlandırılmıştır. Dengeli konsol yönteminde köprü üstyapısını oluşturan segmentlerin inşasına ait şematik gösterim Şekil 1.1' de gösterilmiştir. [2]



**Şekil 2.1.** Köprü üstyapısını oluşturan segmentlerin inşasına ait şematik gösterim [25]

Dengeli Konsol Yöntemi enkesit yüksekliği sabit veya değişken olan her türlü üstyapı için kullanılabilir. Fakat gerek yapım sırasında gerekse yapım sonrasında statik zorlanmalara karşı en uygun form olarak değişken yükseklikli enkesit uygulaması tercih edilmektedir. Bu yöntemle inşa edilen köprülerde genellikle kutu kesitli üstyapı formu kullanılmaktadır.

Köprü genişliğine bağlı olarak tek veya çok gözlü kutu kesit kombinezonları yapılabilmektedir. Köprü üstyapısı orta ayaklar ile monolitik olarak birleşebildiği gibi, orta ayak başlığına yerleştirilen mesnetler vasıtasıyla da üst yapı çözümleri gerçekleştirilebilmektedir.

Ayrıca, aynı anda birçok ayakta üretim yapılabilmesi sayesinde esneklik ve hızlı bir iş programı hazırlanabilmekte, segment boyunca aynı hareketli kalıp defalarca kullanılabilir. Açıklık ortaları sürekli olarak geçilebildiği gibi çeşitli çalışma prensiplerine göre hazırlanmış mafsal sistemleri de kullanılabilir.

Bir köprünün maliyeti; temeller, orta ayaklar ve kenar ayakların oluşturduğu altyapı ile köprü üstyapısının toplamından oluşmaktadır. Seçilen her bir üstyapı tipi için, köprü açıklığı büyüdükçe, üstyapı maliyeti artar. Köprünün toplam boyu sabit olduğuna göre, açıklıkların büyütülmesi, toplam açıklık sayısını ve dolayısıyla orta ayak sayısını azaltır. Köprü açıklığının artması ile köprü ayaklarına üst yapıdan gelen yükler de artar. Bu nedenle her bir orta ayağın maliyeti, küçük açıklıklı duruma ait orta ayaklarının beher maliyetinden büyüktür. Ancak yapılan çalışmalar ve deneyim göstermiştir ki beher maliyet arttığı halde, ayak sayısındaki azalış nedeniyle, toplam altyapı maliyeti önemli ölçüde azalır. Buna göre, eğer küçük açıklık yapmak için çok özel bir neden yoksa özellikle köprülerde, yapı malzemesinin en son olanaklarını kullanan büyük açıklıkların seçilmesi yoluna gidilmelidir. Buna karşın altyapı, özellikle temeller, tamamen zemin koşullarının etkisi altındadır. Özellikle taşıma gücü, deformasyon ve stabilite sorunları olan zeminlerde bir tek ayağı bile elimine etmek büyük tasarruflar sağlayabilir. [11]

## 2.1.Öngerilmeli Beton

Betonarmenin en önemli yapı taşlarından biri olan beton basınç gerilmeleri altında büyük mukavemetler sergilemesine rağmen çekme gerilmeleri altında aynı başarıyı sağlayamamaktadır. Basit bir çekme kuvveti altında beton mukavemeti aynı durumda basınç altındaki beton mukavemetinin 1/10 ila 1/12'si kadardır. Bununla beraber kırılma anındaki yer değiştirmeler ise basınç altında 0,002 iken çekme altında bu yer değiştirmeler 0,0002 kadardır. [4]

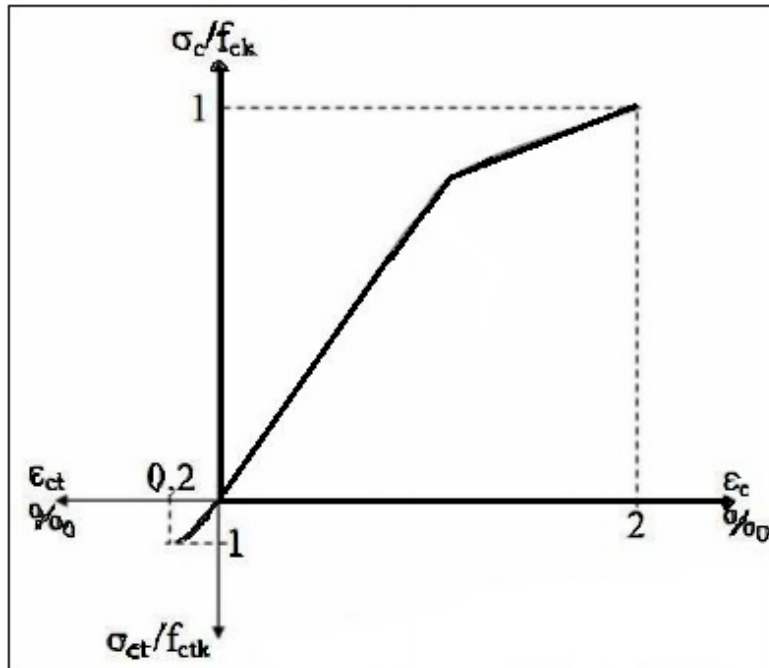
Betonun bu eksikliğini gidermek için çekme kuvveti altında yüksek mukavemet gösteren çelik çubuklar kullanılmaya başlanmış ve bu sisteme betonarme adı verilmiştir. Bu sistemde basınç gerilmeleri beton tarafından, çekme gerilmelerinin ise çelik çubuklar tarafından karşılandığı varsayılmıştır.



Ayrıca sistemdeki donatının betonda meydana gelen basınç çubuklarına mesnetlik yapmak, sarılma bölgelerinde betonun birim kısalma kapasitesini artırarak ve kesitin kırılmadan önce dönme yapmasını temin ederek sistemi sünek yapmak gibi hayati görevleri de vardır.

Hesap kısmında betonarme kesit hesabında önceki paragraflarda da bahsettiğimiz gibi çekme dayanımı düşük olan betonun bu dayanımı göz önüne alınmaz. Çekme kuvvetlerinin donatı adı verilen çelik çubuklar tarafından karşılandığı kabul edilir. Donatı rötre, sıcaklık değişimi, sünme ve bunun gibi etkilerden oluşan çatlak genişliklerinin sınırlı kalmasını ve çekme gerilmelerinin taşınmasını sağlamada da kullanılır. [11]

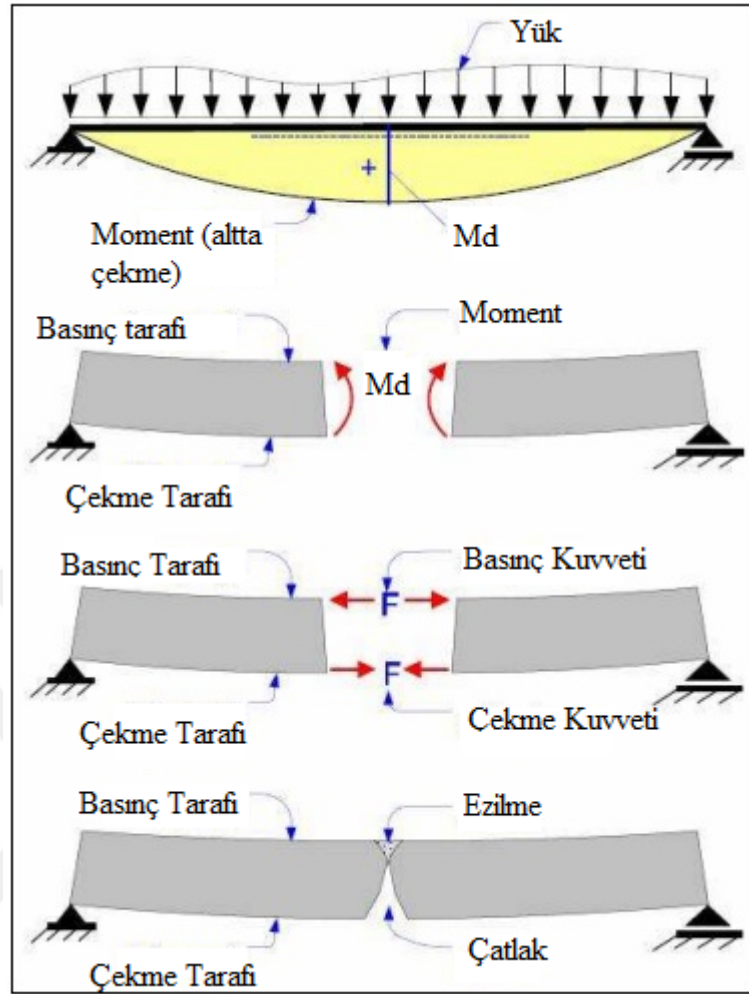
Ayrıca enine donatı betonarmenin göçme şekil değiştirmesinin artmasını yani sünekliğin artmasını sağlar. Sadece basınç gerilmelerine maruz kalan burkulma tehlikesinden uzak yapı elemanlarında betonun yüksek basınç mukavemeti sebebiyle donatının etkisi fazla değilse de yüksek basınç gerilmesi altındaki betonarme elemanlarda patlamalara karşı fret donatısı ve etriye adı verilen donatılar kullanılır. Ayrıca donatı betonun rötre ve sünmeden kaynaklanan şekil değiştirmelerini azaltır. Betonarme elemanlarda oluşan eğilme momentlerini karşılar. Büyük çatlakları önler. Kolonlarda basınç kuvvetiyle zorlanan betonun taşıma kapasitesi artıran elemanda donatıdır. [9]



Şekil 2.2. Betonun birim gerilmeler altında basınç çekme uzama kısalması grafiği [5]

Şekil 1,3’de bu anlattıklarımız bir örnekle gösterildi. Örneğimizde basit mesnetli bir kiriş ele alındı. Kirişte gösterilen Md momenti yayılı yük altında oluşan en yüksek momente eşdeğerdir. Bu moment açıklık ortasında oluşmuştur. Şekildeki F kuvveti ise Md momentinden oluşan basınç ve çekme kuvvetini göstermektedir. Kirişin üs bölgesi basınç kuvveti alt bölgesi çekme kuvveti etkisindedir. Basınç dayanımı yüksek olan beton üstte oluşan basınç kuvvetini taşıyabilir fakat altta bölgede oluşan çekme kuvvetini taşıyamamaktadır. Bundan dolayı beton çatlak ve çatlak kirişe dik yönde oluşur. Bu çatlak giderek genişler ve kirişe dik yol alamaya devam eder. Basınç bölgesindeki beton ezilir ve sonuç olarak kiriş kırılır. İşte bu kırılmanın olmaması için çekme bölgelerine donatı konularak kuvvetler karşılanır. Sistem çalışır hale getirilmiş olur. Donatı ile beraber betonun bu sorunu ortadan kalkar.

Betonun çekme dayanımının az olmasıyla beraber çekme kuvveti etkisi altında uzama kapasitesi de azdır. Betonarme de bu gerilmenin  $650 \text{ kg/cm}^2$ ’yi aştığı durumlarda kesitte çatlaklar oluşur ve hesaplanan miktar altında en düşük donatı gerilmesi  $1400 \text{ kg/cm}^2$  olmalıdır. Çatlak genişlikleri, donatı gerilmesi  $2800 \text{ kg/cm}^2$ ’yi aşarsa donatı nervürlü de olsa kabul edilebilir sınırların dışına çıktığı kabul edilir. Betonarme de çatlaklar için kabul edilebilir sınırlar belirlenmiştir. Fakat betonarme eleman bu sınırlar içerisinde olsa bile bu çatlaklardan donatı su, hava ve farklı etkilere maruz kalarak korozyona uğrayabilir. Korozyon yapının ömrünü azaltacağından çatlaklara azami önem gösterilmesi gerekmektedir. [11]



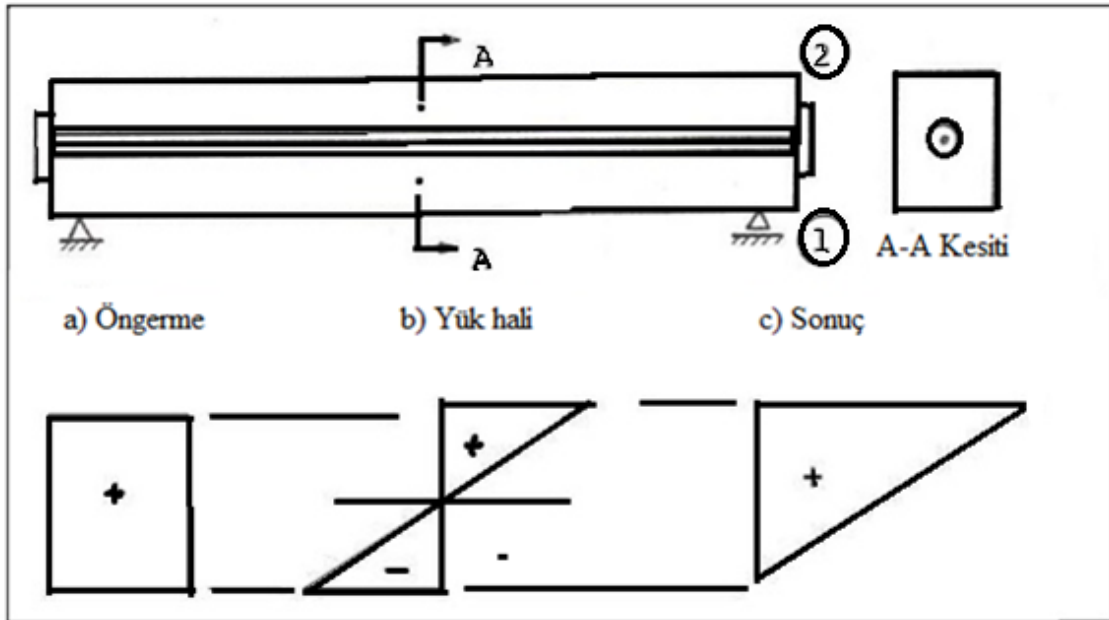
Şekil 2.3. İç kuvvetler [11]

Tezimizin konusu olan dengeli konsol yönteminde, öngerilmeli beton elemanlar kullanılmıştır. Önceki kısımlarda bahsedilen betonarmenin mahsurlarını gidermek amacıyla bu yöneme başvurulmuştur.

Bu yöntemde işletme durumunda oluşabilecek çatlak genişliğinin istenilen değerde kalmasını sağlayacak bir gerilme durumu yaratılır. Yani önceden oluşabilecek yükler, bu yükler altında oluşabilecek çatlaklar öngörülerek sistem elemanları önceden bu yüklere maruz bırakılır ve oluşabilecek kötü etkiler ortadan kaldırılır. Bu teknolojiye öngerilmeli beton teknolojisi denir. [10]

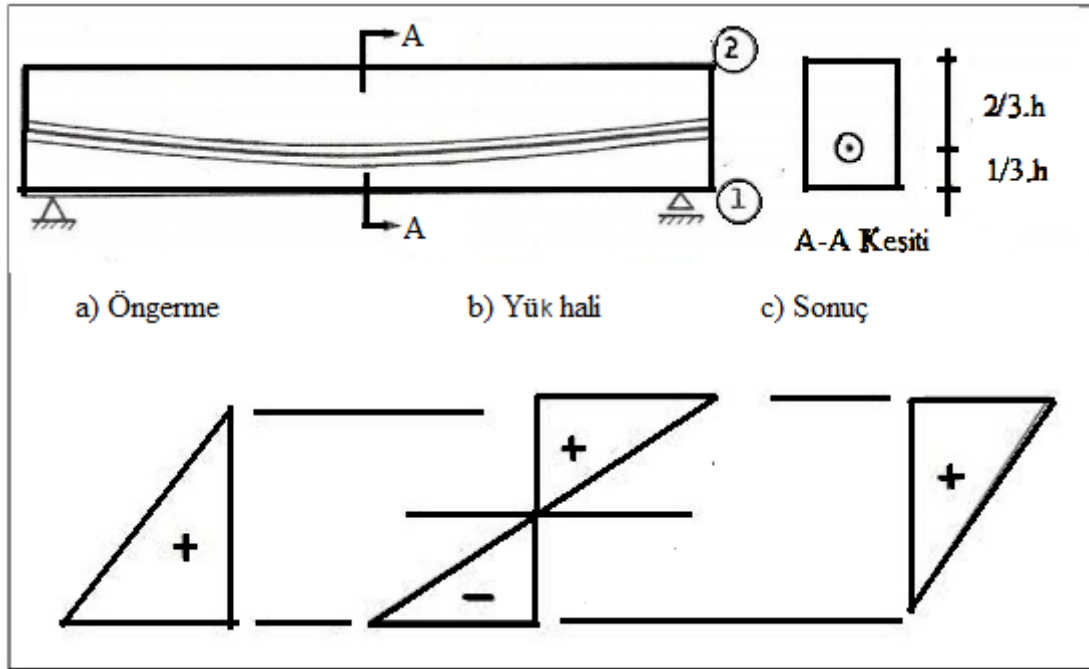
Bu sistemde en önemli husus bu yapay gerilme durumunun meydana getirdiği en yüksek basınç gerilmelerinin meydana gelmesini beklediğimiz kesit kenarlarında verdiği gerilmenin sıfır veya çatlama olmayacak kadar az bir gerilmenin olmasına olanak sağlamasıdır. Bu sağlanamazsa kesitin yük taşıma kapasitesini azalacağı aşikârdır.

Bu anlattıklarımız Şekil 1.5 'te incelendi. Öngerilmeli taşıyıcı eleman olarak basit bir kirişin ortasında çelik teller geçen boş bir izostatik sistem düşünüldü. Bu kirişte yük bulunması durumunda oluşan gerilmeler b'de gösterilmiştir. A'da ise öngerme durumundaki dağılım gösterilmiştir. Bu sistem bu iki durumun birleştirildiği sistemdir. Böylece çekme gerilmeleri ortadan kaldırılır ve kesitin çatlaması ortadan kaldırılır. Fakat pratik uygulama biraz daha farklıdır. Şekilde çekme gerilmeleri yok edilirken basınç gerilmeleri iki katına çıkarılmıştır. Yüksek basınç gerilmeleri altında sünme artacağından işlenebilirliği azalır. Bunun için çözüm olarak germe kabloları kiriş merkezinde alt çekirdekten geçirilir ve basınç gerilmeleri azalmış olur. Yüksek sünmenin önüne geçilir. Öngerilme kuvveti azalır.



Şekil 2.4. Merkezden germeli öngerme kirişi [11]

Yüksek basınç gerilmeleri altında sünme artacağından işlenebilirliği azalır. Bunun için çözüm olarak germe kabloları kiriş merkezinde alt çekirdekten geçirilir (şekil 1.6) ve basınç gerilmeleri azalmış olur. Yüksek sünmenin önüne geçilir. Öngerilme kuvveti azalır.



Şekil 2.5. Dış merkezli öngerilmeli kiriş [11]

Bu hesaplar betonun doğrusal elastik davrandığı varsayımına uyarak yapılmıştır. Öngerilmede yapılan yapay gerilme durumu işletme aşamasındaki gerilme durumu ile yapının ömür boyunca eşdeğer kalması sürekli aynı kalması gerekmektedir. Öngerilme değeri ilk önce kablo yeri ve donatı alanı seçildikten sonra donatıdaki oluşan gerilmeye bağlıdır. Öngerme işleminden sonra da donatı gerilmesi tamamıyla sabit kalmaz. Bunu da görmezden gelmemek gerekir. Beton sabit basınç altında zamanla büzülmeğe uğrayacağından öngerme kabloları arasındaki mesafe azalır. Donatı gerilmesi düşer. Ayrıca iki nokta arasında gerilmiş tel zamanla uzar. Buna rölaksasyon denir. Rölaksasyon sistemde gerilme kaybına sebep olur. Zamana bağlı oluşan bu gerilme kayıpları toplamının 200-300 Pa civarında olduğu gözlemlenmiştir. Bunlar haricinde sürtünme kaybı da düşüldükten sonra geri kalan sistem gerilmesinin sabit olduğu söylenebilir. Burada bahsedilen yapay ve sürekli gerilme durumu öngerilme teknolojisidir. Öngerilmenin uygulandığı betona öngermeli beton denir.

Öngerme donatısı bahsedilen gerilme kayıpları ve sürtünme kaybı düşüldükten sonra örnek olarak 600 Pa'lık bir gerilmenin kalabilmesi için donatının en az 900 Pa'lık bir başlangıç gerilmesi ile gerilmesi gerekir. Yani bu yapılarda yüksek kaliteli çeliklerin kullanılması gerekliliği ortaya çıkar. [11]

## 2.2.Öngerilmeli Beton Elemanları

Öngerme beton teknolojisinde kullanılan elemanları “ Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları” ‘nı içeren TS 3233’e göre tanımlandı. TS 3233 öngerilmeli betonu “ elemene gelecek yüklerin etkilerini çeliğin gerilmesiyle istenilen şekilde dengelendiği betondur.” diye tarif etmektedir. Aşağıda öngerilmeli beton teknolojisinde kullanılan elemanlar tanımlanmıştır.

Bunlar;

Öngerme Çubuğu: Yüksek dayanımlı, farklı çaplarda üretilen özel alaşımlı çelik çubuklardır.

Öngerme Teli: Yüksek dayanımlı, farklı çaplarda imal edilen, düz ve kıvrımlı çelik teldir.

Öngerme Kablo: Öngerme tel, toron veya çubuklarının bir gurup olarak kullanılması halidir. Kablolar art çekme metodunda kullanılır.

Öngerme Toronu: Öngerme telinin etrafında bir veya birden fazla telin sarılmasıyla elde edilen örük.

Öngerme Çeliği (donatı): Ön gerilmeli elemanlarda donatı olarak kullanılan tel, toron, çubuk veya bunlardan oluşan kablodur.

Kılıf: Art germeli elemanlarda, betonun içinde ön germe donatısının geçmesi için bırakılan metal veya plastikten yapılmış boru şeklindeki elemanlardır.

Aktarma: Öngerme çeliğinin çekilmesiyle oluşan kuvvetin betona aktarılmasıdır.

İlk öngerilme: Öngerilme çeliğinde aktarmadan hemen sonra ve kayıplardan önceki gerilmedir. [11]

## 2.3. Öngerilmeli Beton Malzemeleri

Öngerilmeli beton teknolojisinde kullanılan malzeme özellik olarak diğer betonarme elemanlarda kullanılan malzemelerden biraz daha farklıdır. Bu yöntem yüksek dayanımlı beton ve çelik malzeme kullanılması gerekmektedir. Standartlar bu yöntemde en az C 25 dayanımlı beton kullanılmasını söylemektedir. Fakat yüksek dayanımlı betonlarda zamana bağlı şekil değiştirme diğer betonlara göre daha düşük olduğundan C30 ve üzeri betonlar kullanılması gerekmektedir.

Yüksek performanslı betonların zamana bağlı şekil değiştirmesi yani rötre hareketi diğer betonlara göre %70 daha azdır. Öngerilmeli betonda çekme gerilmesi göz önüne alınmaz. Basınç dayanımları yüksek olması gereklidir.

İmalat sırasında öngerme kablolarının deplasmanına izin verilmemelidir. Rötire sonucu oluşan deplasmanlar bu yapılarda gerilme kayıplarına ve hiperstatik sistemlerde iç kuvvet değişimlerine sebep olur. Bu kuvvetler zararlı yönde etki etmektedir. [11]

İmalat sırasında beton daha taze iken basınç gerilmelerine de maruz olacağından beton dayanımının 28 günlük sonucunun 40 MPa seviyesinde olması doğru olacaktır. Beton dökümü sırasında kılıf delikleri iyice tıkanmalı beton şerbetleri kılıfların ve ankrajların içine girmemelidir. Beton şerbeti kılıf içerisine girerse öngerme işlemi doğru şekilde yapılamaz. Betonda kullanılan çimento TS 19'a uygun portland tipi olmalıdır. Agreganın granülometrisi ve özellikleri TS 706'ya uygun olmalıdır. Kullanılacak su içinde TS 8500 'e bakılabilir. Betonda katkılardan, özellikle kalsiyum klorürlü katkılardan kaçınılmalıdır. Betonun hazırlanışı TS 802, TS 1247 ve TS 1248'e uygun olmalıdır.

Gerilme işlemi yapıldıktan sonra kablo ile kılıfın arasındaki aderansda sağlanmalıdır. Bu işlem kılıf boşluklarına ankraj noktalarından beton karışım enjekte edilerek sağlanır. Bu beton akıcı kıvamda olmalı ve tüm noktalara ulaşmalıdır. Akıcı sağlamak için fazla su kullanılmamalıdır. Bu işlemdeki diğer bir amaçta donatıyı paslanmaya karşı korumaktır. Bu işlem hava ve su boşlukları tamamiyle kapanacak şekilde yapılmalıdır. Ayrıca enjekte edilen malzeme çeliğe zarar verici bileşenler taşımamalıdır. Dayanımı da en az 25 MPa olmalıdır.

Öngerme çeliği bu yapılarda çekme kuvvetinin çoğunu üstlenir. Bu çelik, yapıda iki ayrı fonksiyonda kullanılır. Bunlardan ilki normal donatıdır. Normal donatı Mohr gerilme diyagramına göre karşılık gelen asal gerilmelerden çekme kuvvetini karşılamak için kullanılır. Bu yapılarda da enine donatı kullanılır. Diğer fonksiyonu ise öngerilme donatısıdır. Yüksek dayanımlı çelik MPa seviyesindedir.

#### **2.4. Öngerilmeli betonun faydaları**

Öngerilmenin en büyük avantajı yapının kısa sürede bitirilmesini sağlamasıdır. Öngerilmeli beton üretimi arazi çalışmaları sırasında, imalat yerinde önceden dökülebildiği için inşaat mahallinde geçen süre ve işçi gereksinimlerini azaltır. Öngerilmeli beton elemanları nakliye taşıtlarından alınarak direkt kullanıma sokulabilir. Ayrıca bu yöntemde hava koşullarından kaynaklanana gecikmeler imalathanede imalata devam edilerek minimuma indirilir. Ayrıca inşaat alanının etkin bir biçimde kullanılmasını sağlar.

Yüksek kaliteli beton ve çelik kullanılarak yapının ağırlığı azaltılır. Büyük açıklıklar daha ekonomik geçilir. Bu yöntemde daha narin ve kullanışlı elemanlar kullanılarak yapı ağırlığı azaltılabilir.

Yapının çatlama durumu öngörülebilir seviyede tutulur. Yapıda oluşabilecek sehimlerin önüne geçilir. Sonradan oluşabilecek zararlı iç kuvvetlerin önüne geçilebilir. Öngerilmeli beton yangına da dayanıklıdır. Can ve mal güvenliğini artırır.

Öngerilmeli duvar ve beton zeminler gürültüleri belirgin olarak azaltır.

## 2.5. Öngerilmeli Beton Yapım Çeşitleri

Öngerilmeli beton teknolojisi yapım tekniğine göre ikiye ayrılır. Bunlar ardgerme yöntemi ve öngerme yöntemidir.

Daha önceki başlıklarda öngerme beton teknolojisi tanımlandı. Ardgerme yönteminde ise daha önce tanımlanan yapılar kılıflarla kesitin içine yerleştirilir. Kalıp vasıtasıyla kesitte sabitlenir. Gerilme işlemi yapılmadan beton dökümü yapılır. Yani çelik gerdirilir. Gerdirilen çelik uç kısımlardan ankrajlanır. Bu yöntemde de hava ve diğer boşlukları kaldırmak amacıyla beton enjeksiyonu yapılır. Bu iki yöntemi birbirinden ayıran öngerme işlemi beton dökülmeden önce ardgerme de beton döküldükten sonra yapılır.

Şekil 1.7.'de ard germe uygulaması gösterilmiştir. Bu uygulamada öncelikli olarak kalıp temizliği ve yağlanması önemlidir. Bu işlemden sonra normal donatı ve öngerme kılıflarının yerleştirilmesi yapılır. Bu işlemlerden sonra beton dökülür. Beton döküm esnasında vibrasyonla sıkıştırma yapılma işlemi önem arz etmektedir. İşlem beton dökümüyle bitmemekte olup beton kürü sağlıklı bir şekilde yapılmalıdır.

Betonun sertleşmesinin hızlanması için buhar kürü yapılabilir. Bu işlemlerden sonra kalıp sökülür. Ardgerme çeliği germe işlemi yapılır ve beton eleman uçlarına ankraj yapılır. Ankraj işleminden sonra daha önce bahsettiğimiz enjekte işlemi yapılarak uygulama tamamlanır. [19]

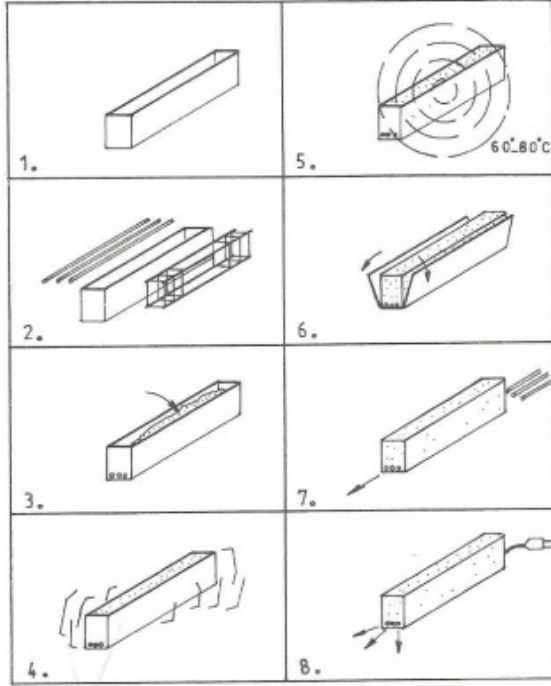
Diğer üretim şekli de öngermeli beton uygulamasıdır. Bu uygulama da Şekil 1.8.'de anlatılmaya çalışılmıştır. Kalıp temizliği ve yağlama işlemi bu yöntemde de azami gereklidir. Sonrasında normal donatılar ve öngerme donatıları sistemde istenilen bölgelere işlenir. Öngerme donatıları gerilme işlemi yapılır. Kalıp başlarına ankre edilir. Beton dökümü yapılır ve beton dökümüyle beraber vibrasyon işlemi yapılır. Sertleşme işlemi tamamlandıktan sonra öngerme donatılarının uçları kesilir. Enjeksiyon işlemi yapılır.

Öngerme işlemiyle beraber gerilmeler betona aktarılır. Kalıp söküm işlemiyle beraber imalat tamamlanır. Öngerme donatılarının gerdirme işlemi için gerdirme ayağının da sıkıştırılması gerekir. Bu işlem Şekil 1.11 'deki elemanlarla yapılır. Bu üretimler şekillerle anlatılmaya çalışılmıştır. [19]

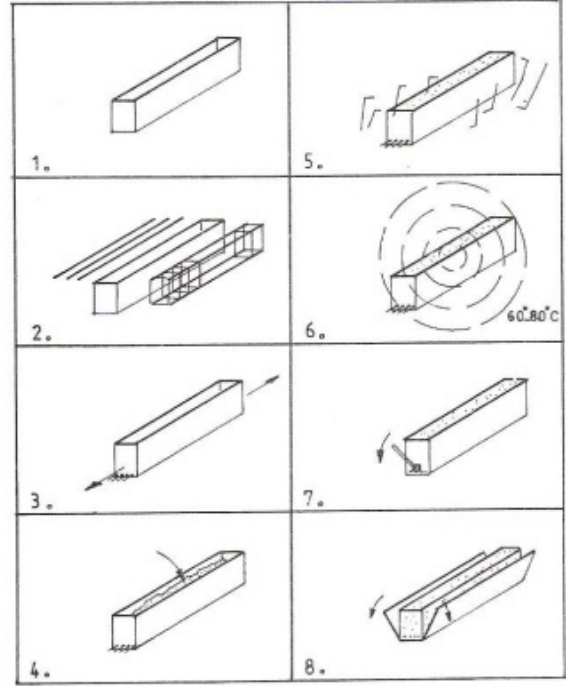


Buradaki şekillerde;

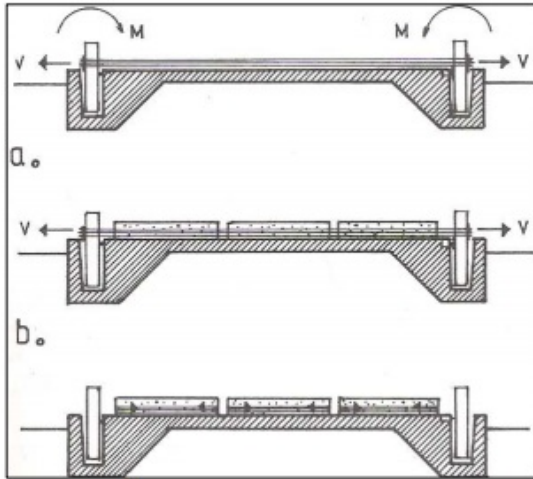
1.Öngermeli yatağı, 2.Kiriş, 3.Tel sıkıştırıcıları, 4.Basınç noktası, 5.Düşey gerdirme ayağı, 6.Enlemesine traversler, 7.Delikli plak, 8.Sıkıştırma elemanları, 9.Ayarlanabilen tespit, 10.Temeldir.



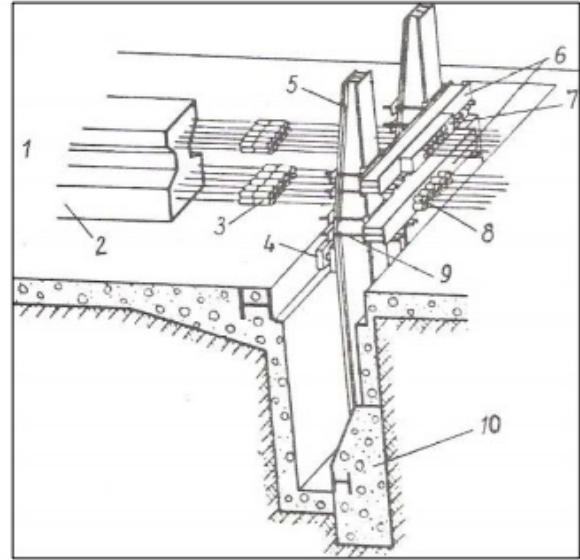
Şekil 2.6. Ardgermeli Beton [11]



Şekil 2.7. Öngermeli Beton [11]

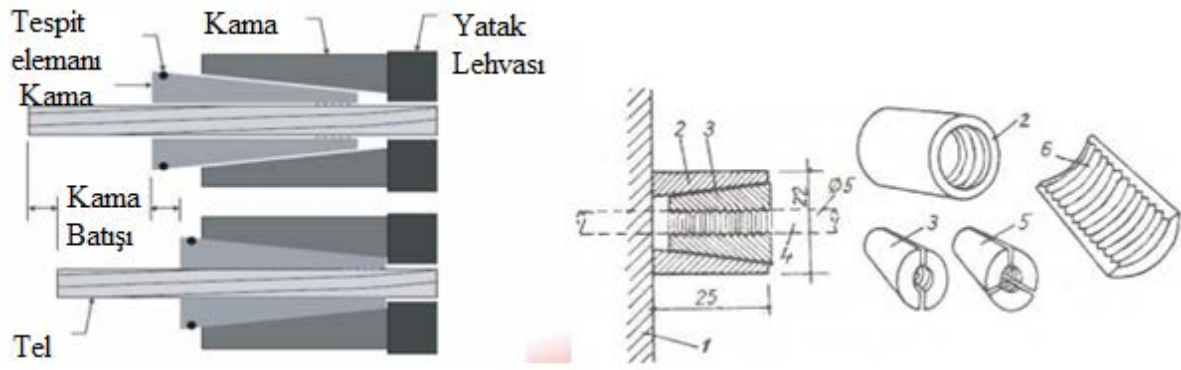


Şekil 2.8. Üretim [11]

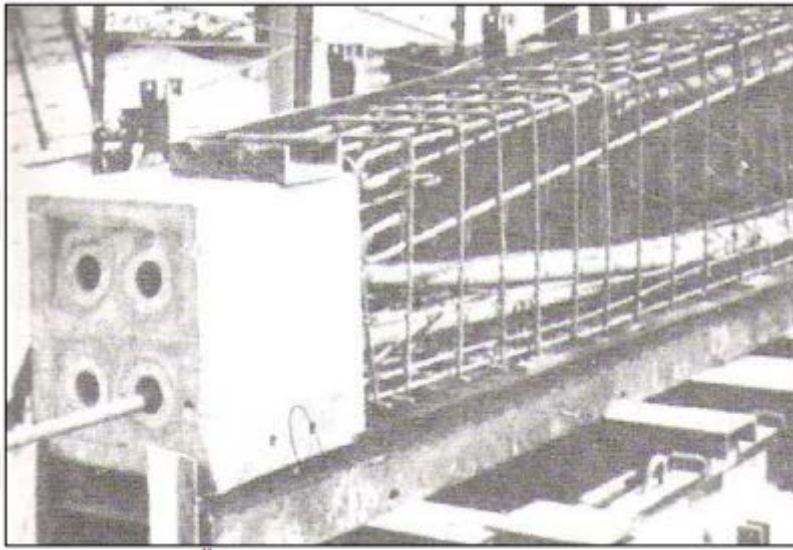


Şekil 2.9. Gerdirme yatağı [11]

Şekillere bakıldığında bir kirişin gerilme yapılmadan önceki hali görülmektedir. Şekilde çelik çubuklar yerleştirilmiş ve ankraj işlemi tamamlanmıştır.



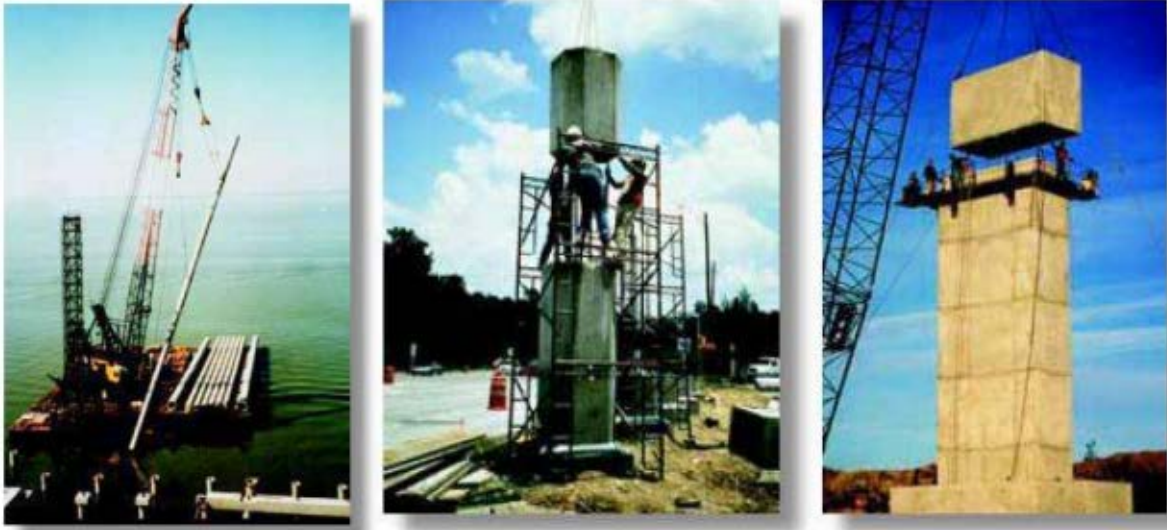
Şekil 2.10. Öngerme kablo sıkışma elemanı [11]



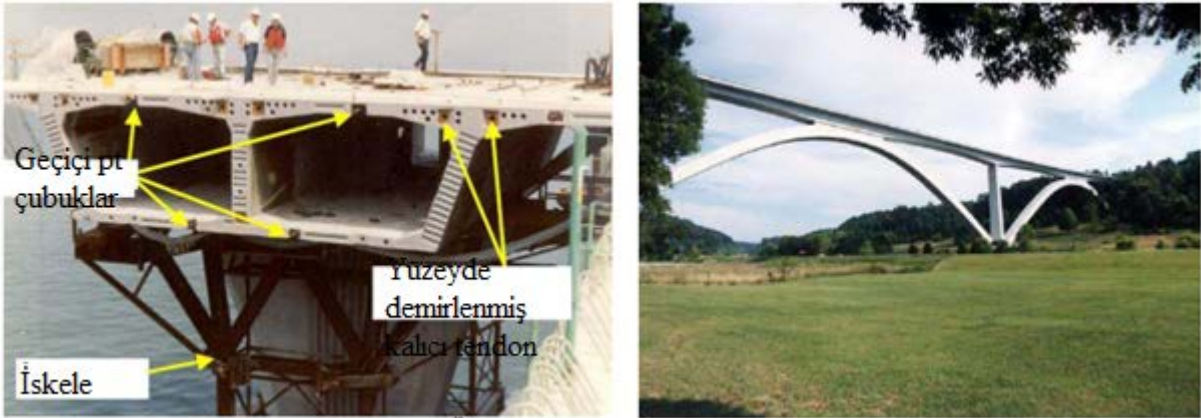
Şekil 2.11. Öngermeli beton örneği [11]



Şekil 2.12. Öngerme işlemi [11]



Şekil 2.13. Örnek Öngerme Uygulamaları [11]



Şekil 2.14. Örnek Köprü Uygulamaları [11]

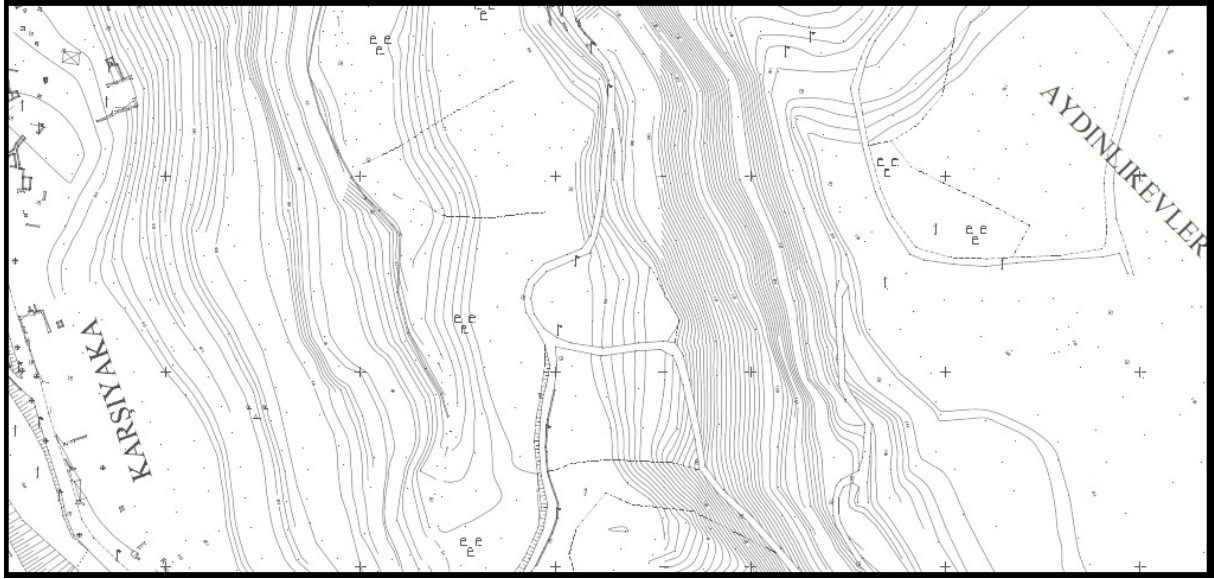
Öngerilmeli betonlar köprü ayaklarında ve kirişlerinde, sanayi yapılarında, büyük depolama alanlarının kiriş ve kolonlarında, raylı taşıma sistemlerinde kullanılmaktadır. Şekillerde uygulama örnekleri görülmektedir.

### 3. ANALİZ ve TASARIM

Dengeli konsol yöntemiyle inşa edilecek köprünün tasarım kısmına bu bölümde yer verilmiştir.

#### 3.1. Arazi Tespiti

Tasarlanan dengeli konsol köprü Trabzon Aydınlıkevler-Karşıyaka Mahallelerini birbirinden ayıran Kisarna vadisi üzerinde projelendirilmiştir. Vadinin izohips haritası şekil 2.1' verilmiştir. Vadi içinden Kisarna Deresi akmaktadır. Karşıyaka Mahallesiinde bir cami, bir okul binası ve birkaç konut bulunmaktadır. Aydınlıkevler Mahallesiinin vadiye bakan kısmı ormanlıktır. Şekil 2.1' deki Karşıyaka tarafından geçen yolun kotu 125m' tir. Bu kot Aydınlıkevler'e doğru dere kotu olan 75m'ye kadar düşük bir eğimle azalmakta, dereden biraz sonra bir düzlük olmakta sonrasında yüksek bir eğimle 145'm ye kadar artmaktadır. Genel olarak vadinin topoğrafyası bu şekildedir.



Şekil 3.1. Vadi

#### 3.1.1. Güzergâh belirlemesi

Ele alınan köprünün güzergâhı Karşıyaka'da konutların 60 m güneyinden 110 m kotundan başlayıp, düz bir şekilde devam edip Aydınlıkevler 'de 110 m kotunda son bulmaktadır.

Yan yana iki köprü olarak tasarlanan köprünün güzergahı Şekil 2.2’de de açık bir şekilde gösterilmiştir. Güzergâh belirlendikten sonra köprünün toplam uzunluğu 315 m olarak belirlenmiştir.



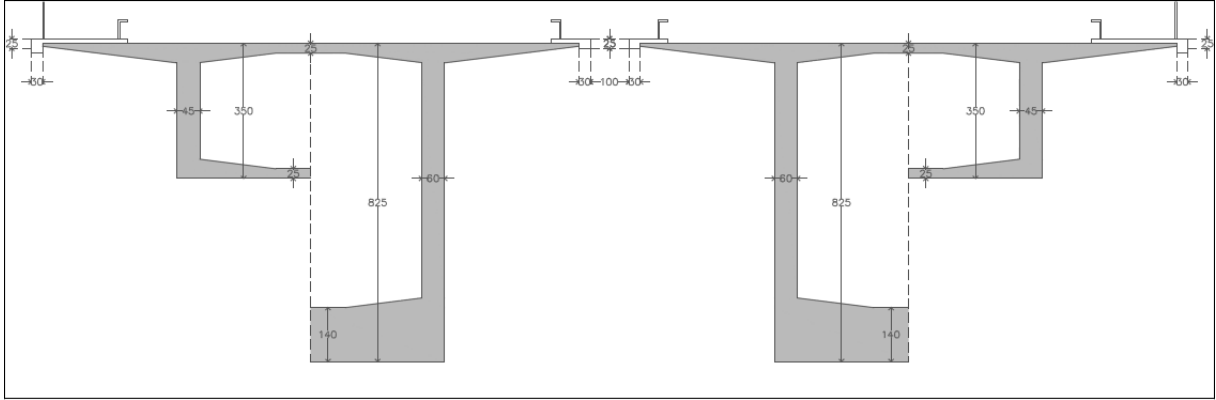
Şekil 3.2. Tasarım Köprüsü güzergahı

### 3.2. Önboyutlandırma

Güzergâh belirlendikten sonra köprü ile geçilmesi gereken açıklık 315 m olarak belirlendi. 315 m açıklık için iki orta ayak kullanmak uygun görüldü. Bunun iki sebebi var. Birincisi, tek orta ayak kullanılsaydı açıklıklar 157,5’ar metre olacaktı ki dünyada ve ülkemizde böyle bir dengeli konsol uygulama örneği yok. İkincisi tek orta ayağın vadi içerisinde geçen Kisarna deresine çok yakın yapılacak olmasıydı. Bu istenmiyor çünkü su muhtevası yüksek zeminin taşıma gücü düşeceğinden köprü için ilerde tehlike yaratabilirdi. Bu yüzden iki tane orta ayak kullanmak uygun görüldü. Açıklıklar kenar açıklıklar 78,75 m ve ana açıklık 157,5 m olacak şekilde belirlendi. Bu açıklıkların belirlenmesinde örnek alınan en önemli kaynak Gülburnu Köprüsüdür. Gülburnu köprüsünün uzunluğu 330 m, kenar açıklıkları 82,5 m ve ana açıklığı 165 m dir. Tasarlanan Köprüyle, Gülburnu Köprüsünün 315m 330m gibi yakın toplam açıklıkları, köprü açıklıklarının belirlenmesinde bir kaynak olmuştur.

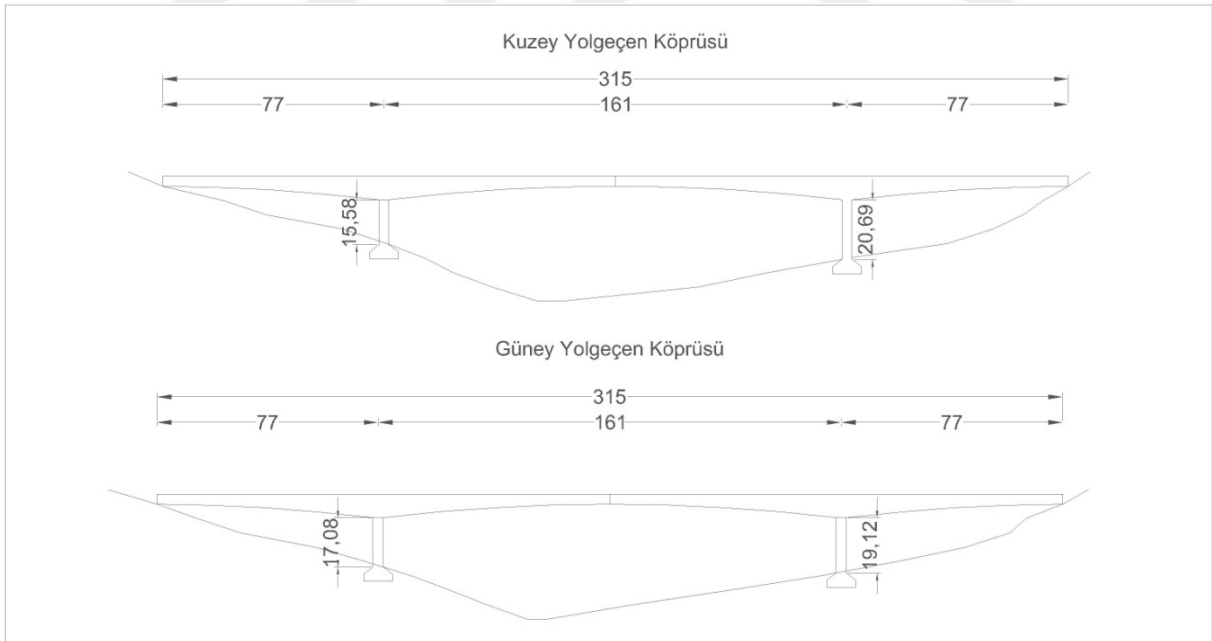
Tasarlanan Köprü değişken kutu kesitli olarak boyutlandırıldı. Tabliye yüksekliği orta ayak kesitinde 8,25 m açıklık ortasında ise 3,5 m olarak belirlendi.

Bu aşamada da yapılan diğer dengeli konsol köprü örneklerinden faydalandı. Kutu kesitin diğer boyutları şekil 2.3 te verilmiştir.



**Şekil 3.3.** Değişken kesitli Tabliye Üst Yapısı (Boyutlar cm cinsindedir)

Köprü açıklıkları belirli olduğu için orta ayakları boyutlandırabiliriz. Boy kesit verilerine göre güney köprüsün batı ayağı 17,08 m, doğu ayağı 19,12 m, kuzey köprüsünün batı ayağı 15,58 m, doğu ayağı 20,69 m olarak belirlendi. Ayak kesiti Gülburnu Köprüsündeki gibi 9.00x3.75'lik dikdörtgen kesit olarak boyutlandırılmıştır. Şekil 2.4'te köprülerin boy kesitleri verilmiştir.



**Şekil 3.4.** Köprü Boykesitleri ve ayak yükseklikleri

### 3.3. Şev stabilite kontrolü

Kisarna deresini Aydınlik evler-Karşıyaka arasında sınır kabul edilirse; Tasarlanan köprünün batı ayakları Karşıyaka'da, doğu ayakları Aydınlik evlerde bulunmaktadır.

Kisarna vadisinin köprümüzün geçeceği kısmının şev stabilite kontrolünü Slide programı kullanarak iki aşamada yapılacaktır.

İlk aşamada şevlerin kendi ağırlığı altında seçilen güvelik sayısına göre emniyetli olup olmadığına bakılmıştır. İkinci aşamada ise ayakların oturduğu kısımlara köprüyü temsil eden bir yayılı yük etkilerle seçilen güvenlik sayısına göre emniyetli olup olmadığına bakılmıştır.

### 3.3.1. Zemin özellikleri, güvenlik sayıları ve yükler

Şev analizinde zeminin hangi tür malzemeleri ne kadar içerdiği tam olarak bilinmemektedir. Fakat gerçekçi bir çözüme ulaşmak için programa 3 tür zemin sınıfı verildi. Bunlar ;

- Yumuşak toprak... $\gamma_n = 18\text{kN/m}^3, c=0, \phi = 35^\circ$
- Sert toprak.....  $\gamma_n = 20\text{kN/m}^3, c=0, \phi = 35^\circ$
- Sert kaya.....  $\gamma_n = 25\text{kN/m}^3, c=0, \phi = 35^\circ$

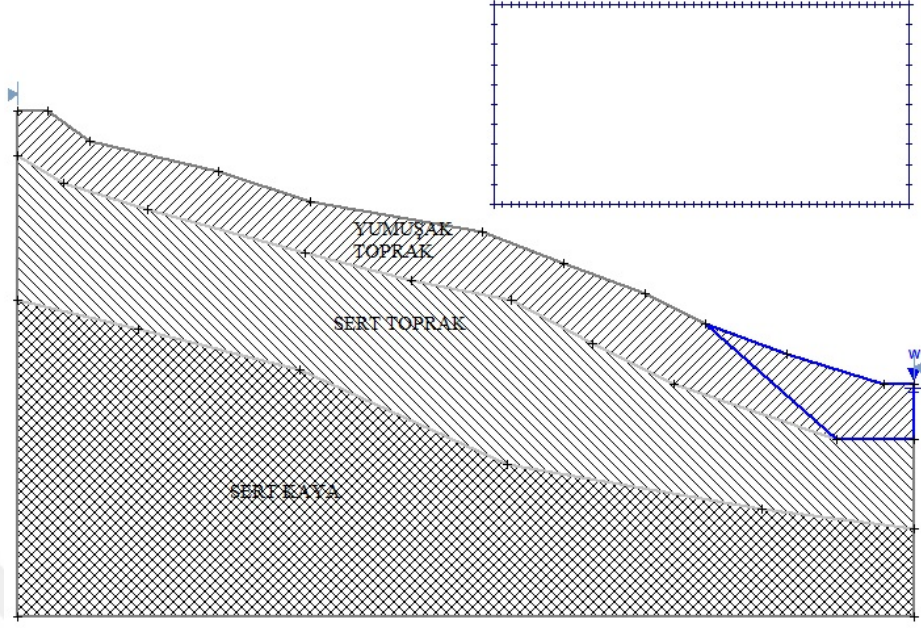
Bu zemin katmanlarının derinlikleri gerçeğe yakın girilmiştir.

Güvenlik Sayısı kendi ağırlığında  $G_s=1.5$ , Yükleme sırasında  $G_s = 1.05$  seçildi.

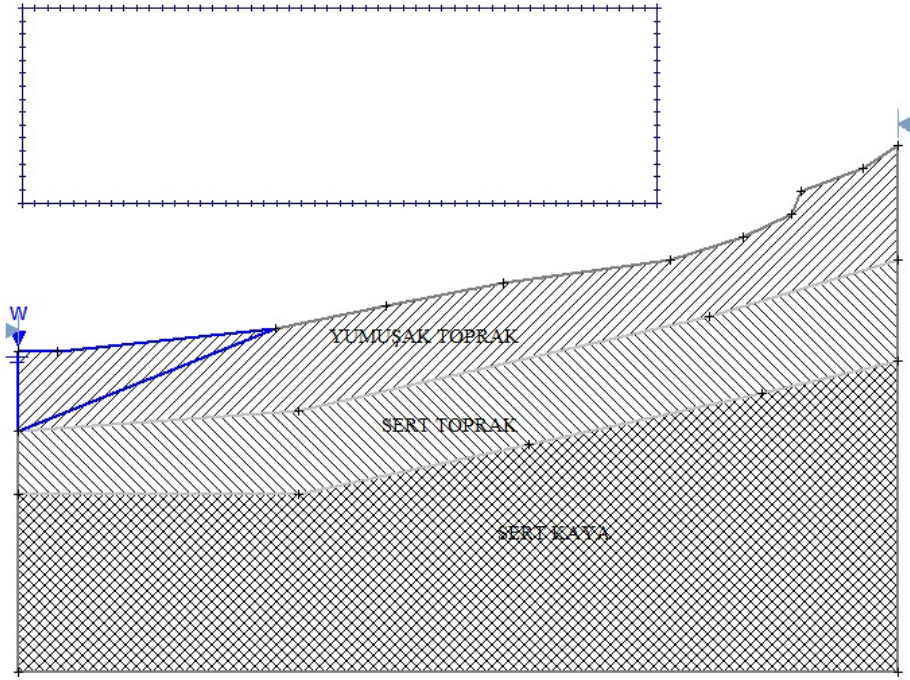
Orta ayaklardan gelen temsili yük:  $1000000 \text{ kN/m}^2$

### 3.3.2. Kayma modeli

Batı şevi köprü kotunun biraz üstü 125 m den başlayıp dere kotu 70 m ye kadar inen bir şevler olup 3 katmanlı olarak modellenmiştir. Doğu şevi ise köprü kotu 110 m den başlayıp dere kotu 70 m ye kadarki şevdir o da 3 katmanlı olarak modellenmiştir. İlk katman yumuşak toprak olup //// ile taranmıştır. İkinci katman sert toprak olup \\\\ ile taranmıştır. Üçüncü katman olup xxxx ile taranmıştır. Dere ve çevresi yer altı su seviyesi olarak modellenmiştir. Dönme merkezleri grid yardımıyla doğuda  $50 \times 15 = 750$ , batıda  $50 \times 10 = 500$  ayrı dönme merkezi belirlenmiştir. Oluşturulan modeller şekil 2.5 ve 2.6'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Batı şevi slide modeli



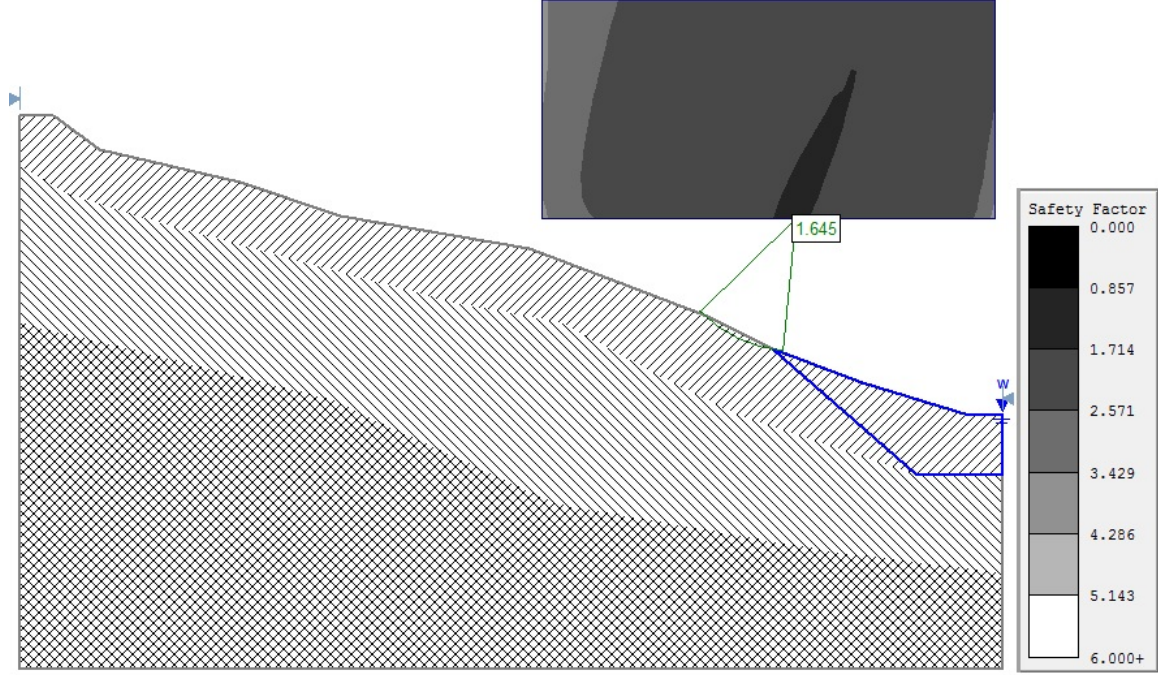
Şekil 3.6. Doğu şevi slide modeli

### 3.3.3.Şevlerin kendi öz ağırlığında güvenlik sayısı

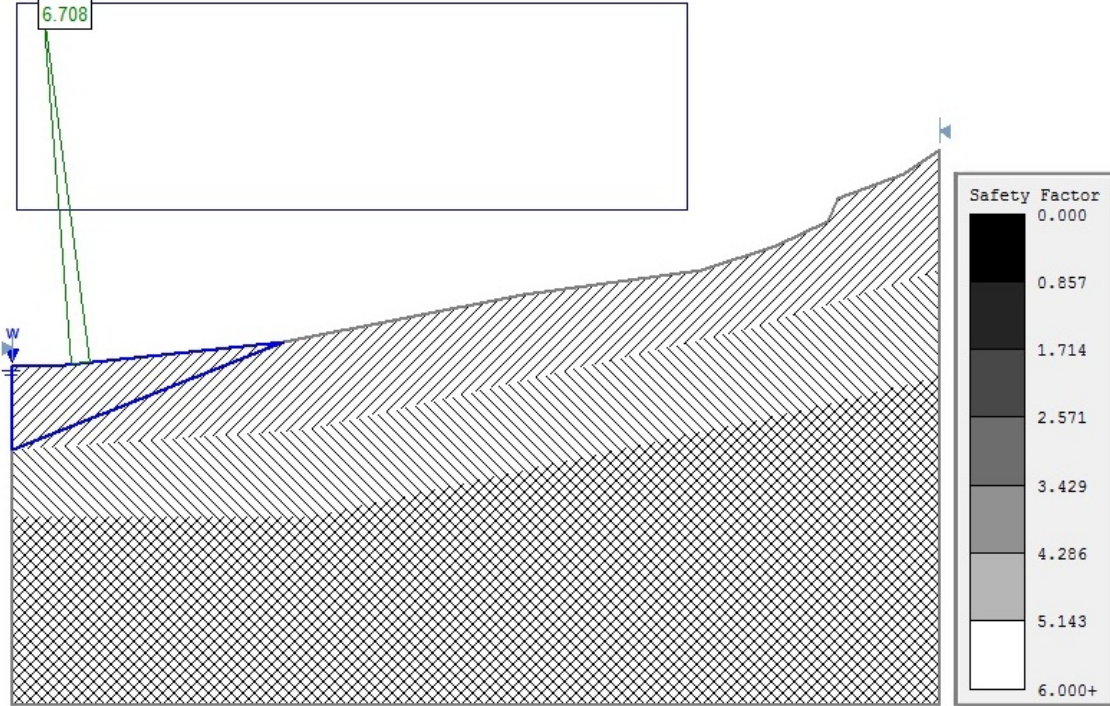
Gs seçilen 1,5 idi. Slide analiz sonuçlarına göre batı şevi için min Gs 1.645, doğu şevi için Gs 6.708 bulunmuştur. Her iki şevde de seçilen Gs ye göre güvenli tarafta kalındığı görülmüştür. Analiz sonuçları Şekil 2.7 ve 2.8 de verilmiştir.



Mavi ile işaretli kısım köprü orta ayağının oturacağı kısımdır. İstenilen güvenli sayısı 1,5'in üzerinde olmalıdır. Analiz sonuca oluşan değere göre taralı alan kazısı yapıldıktan sonra köprü ayak temeli bu kısma direkt yapılmaya uygundur. Vadi ortası dere olduğundan köprü ayakları dereden gelecek suya karşı da korumalı inşa edilmelidir.



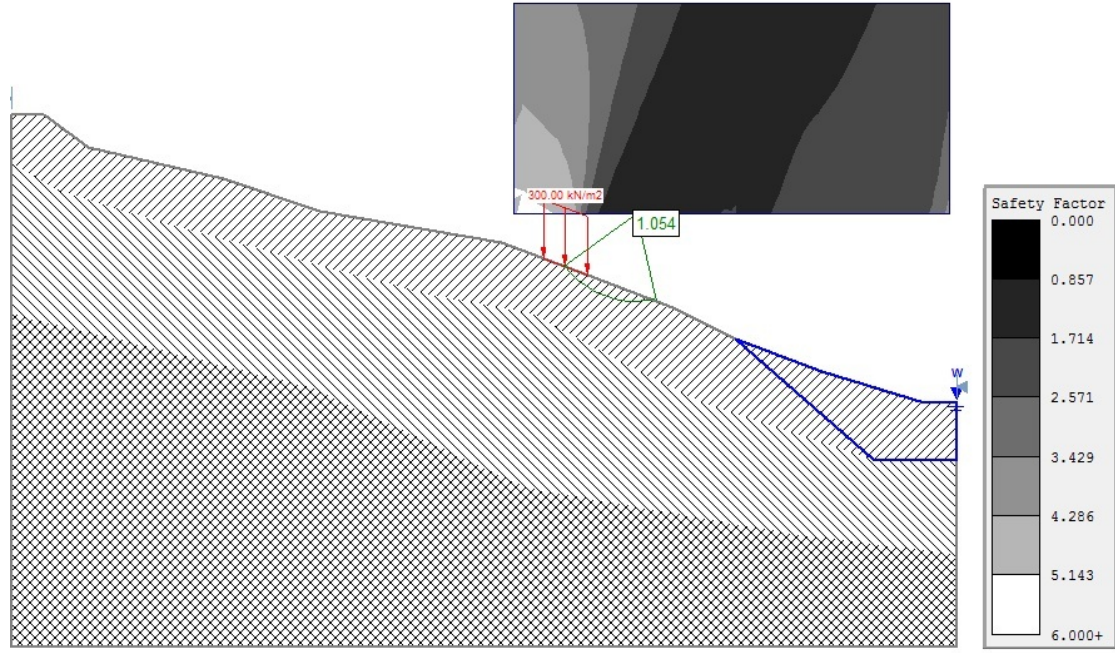
Şekil 3.7. Batı şevinin kendi öz ağırlığında analiz sonucu



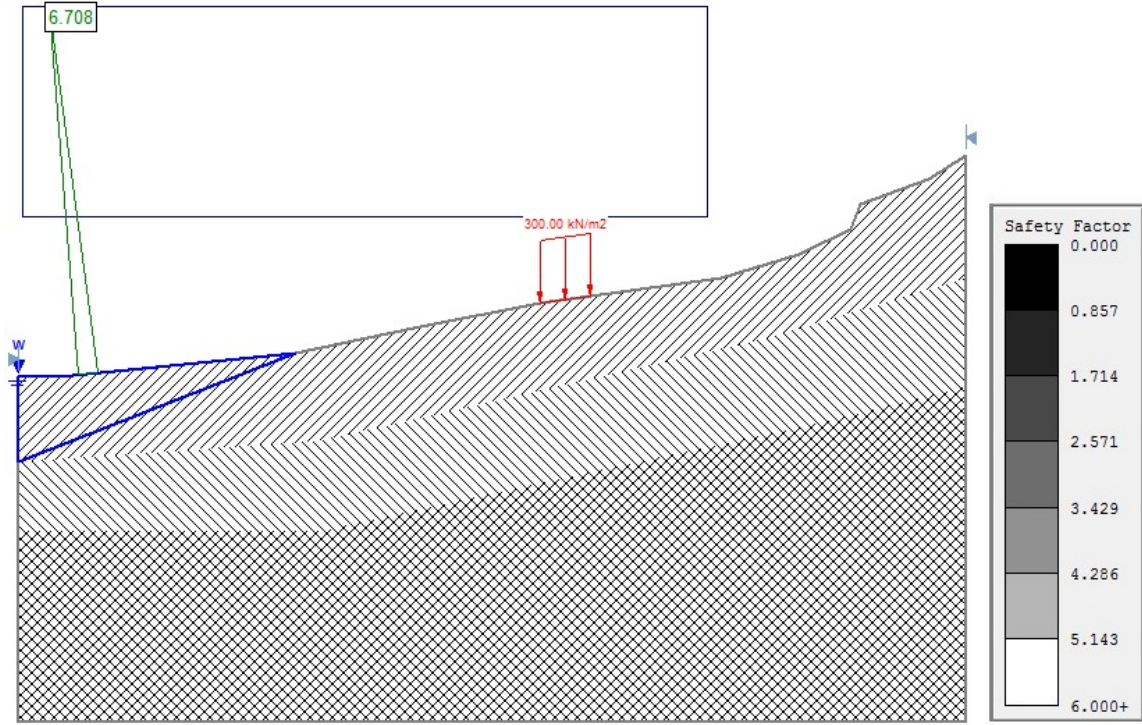
Şekil 3.8. Doğu şevinin kendi öz ağırlığında analiz sonucu

### 3.3.4.Şevlerin orta ayaktan gelen yük etkisinde gs kontrolü

Orta ayaklardan gelen temsili  $300\text{kN/m}^2$ 'lik yük doğu ve batı şevlerinde ayak civarında vertical olarak etki ettirilmiştir. Analiz sonuçlarında her iki şevde seçilen  $G_s=1.05$  den büyük çıkmıştır. Batı şevinde  $G_s=1.054$ , doğu şevinde  $G_s=6.708$  dir. Analiz sonuçları şekil 2.9 ve 2.10 da gösterilmiştir.



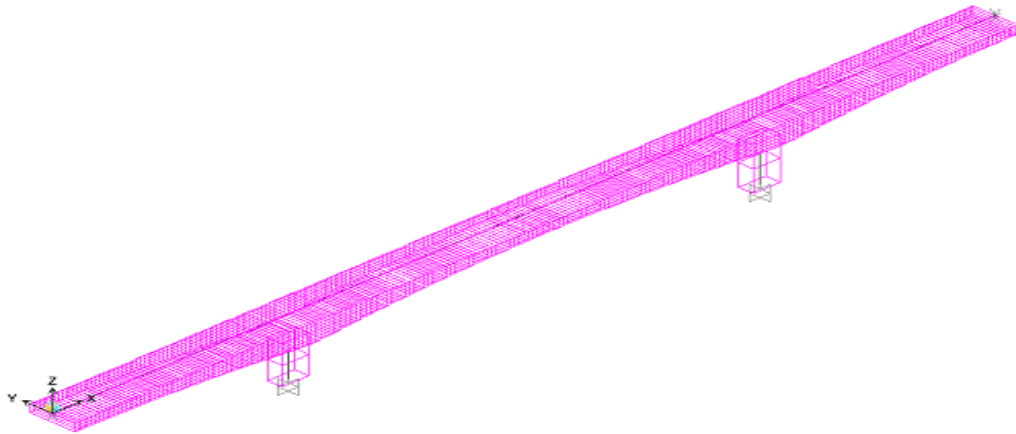
Şekil 3.9. Batı şevi temsili yükleme sonucu analiz sonucu



Şekil 3.10. Doğu şevi temsili yükleme sonucu analiz sonucu

### 3.4. Sonlu Eleman Modeli Ve Analizler

3 boyutlu sonlu elemanlar modeli SAP2000 programı kullanılarak oluşturulmuştur. Modelleme üç aşamadan oluşmuştur. İlk aşama tabliyenin modellenmesi; Orta ayak kesit yüksekliği 8.25 m den açıklık ortasında 3.5 m ye kadar değişken kesitli kutu kesitli segmentler modellendi. İkinci aşama; ön germe ve ard germe halatlarının modellenmesi ve son aşama olan ayakların modellenmesi yapılarak model tamamlanmış oldu. Şekil 3.1'de sonlu eleman modelinin 3 boyutlu görünüşü görülmektedir.



Şekil 3.11. Üç boyutlu Sonlu Eleman modeli

Sonlu eleman modelinin modelleme aşaması 3.1. bölümünde verilmiştir. Kullanılan ekran görüntüleri SAP2000 programından alınmıştır.

Modelleme aşaması adımları kullanılan komutlar ve ekran görüntüleri ile bu bölümde anlatılmaya çalışılmıştır. Modelleme aşaması üç boyutlu sonlu eleman modeline göre yapılmıştır.

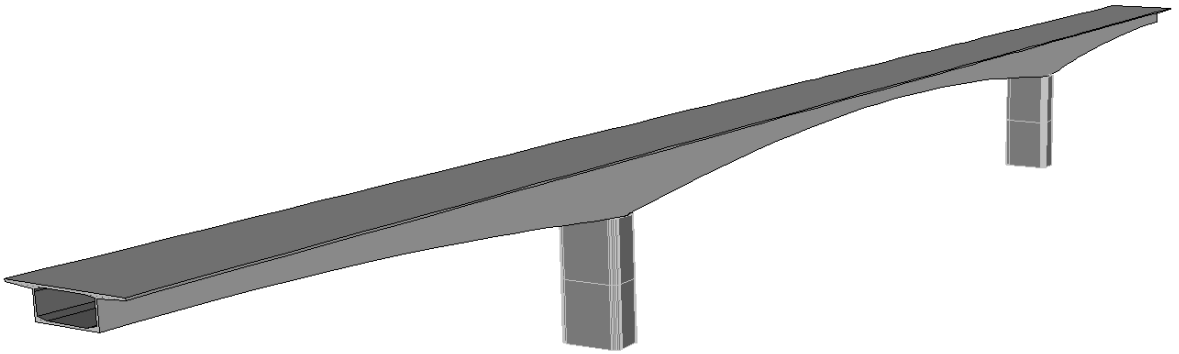
### 3.4.1. Genel yerleşim çizgileri

Köprü modellememizde ilk önce yerleşim çizgileri tanımlanacaktır. Bu çizgiler köprü nesnelere, trafik şeritlerinin konumları, köprü genişliklerini belirleme, köprü uzunluğunu belirleme işlemleri için referans çizgisi olarak kullanılır.

Bu çizgiler kilometraj (station), paralel kenarlık açısı (bearing) ve meyil (grade) değerleriyle tanımlanır. Bu çizgiler köprü yapısına göre düz, kavisli veya eğri olabilir. Eğer eğriler kavisli ve parabolikse programın bridge layout line kısmından tanımlanması gerekir.

Köprünün ana geometrisini belirlemek için programımızdan Bridge > Layout Lines > Add New Line (Köprü > Yerleşim Çizgileri > Yeni Yerleşim Çizgisi Ekle) kısımları kullanılır. Bu işlemler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Resimdeki formdan köprü uzunluğu starting station 0 m ve end station köprü uzunluğumuz 315 m olduğundan 315 m olarak girilir.

Yatay yerleşim bilgisi seçeneğinde köprü geometrisi seçilir. Modellediğimiz köprü düz geometriye sahip olduğu için straight line seçeneği seçilir. [3]



Şekil 3.11. Üç boyutlu model

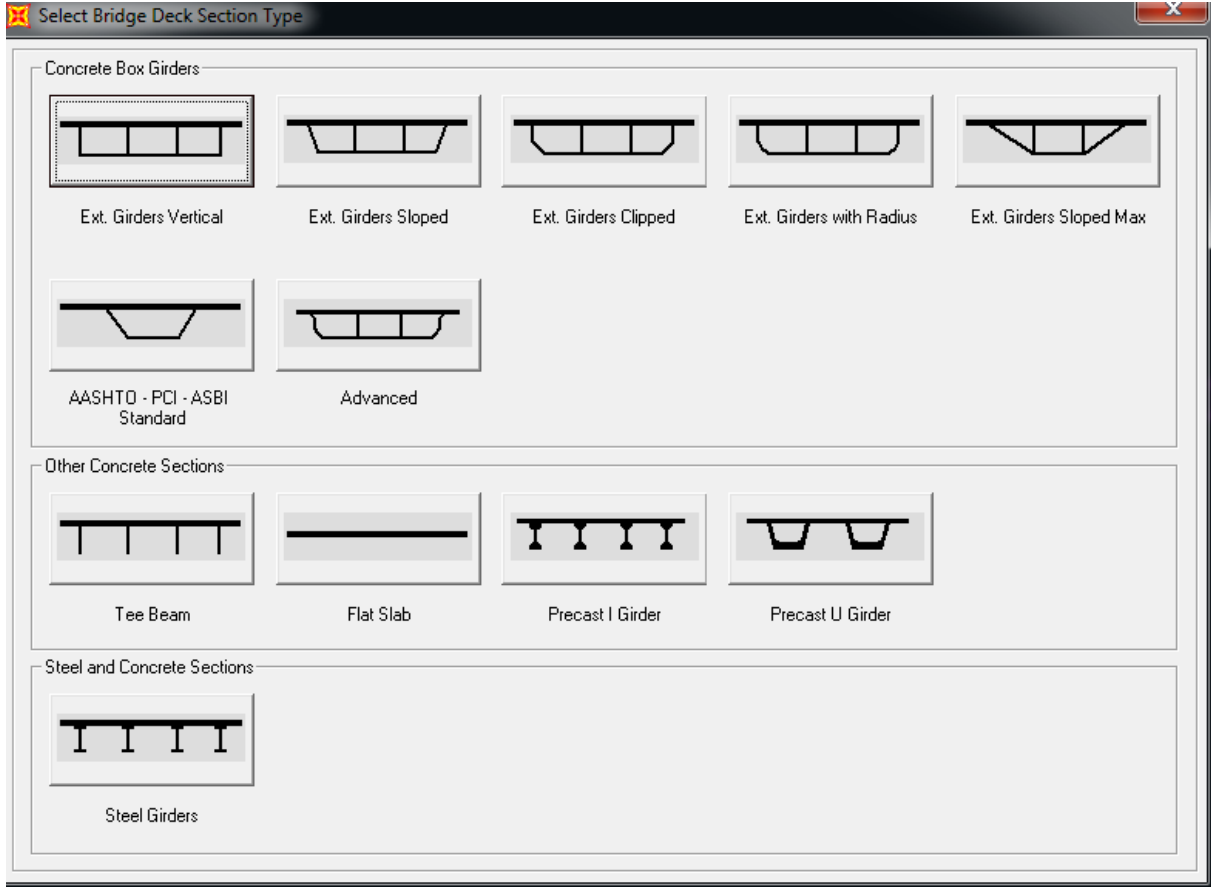
Şekil 3.12. Köprü Genel Yerleşim Hattı Bilgisi Sap 2000 Formu [3]

### 3.4.2. Tabliye kesitlerinin oluşturulması

Yerleşim geometrisi oluşturduktan sonra tabliye kesitleri Sap 2000 programından Deck Station bölümünden oluşturulur. Bu programda köprü farklı tiplerde köprü kesitleri kullanılmaktadır. Bunlardan köprümüze uygun olanlar seçilir. Bunlar; betonarme kutu (sandık) kirişler (concrete box girders), betonarme kiriş (concretebeam) ve çelik kiriş (steel beam) kesitleridir.

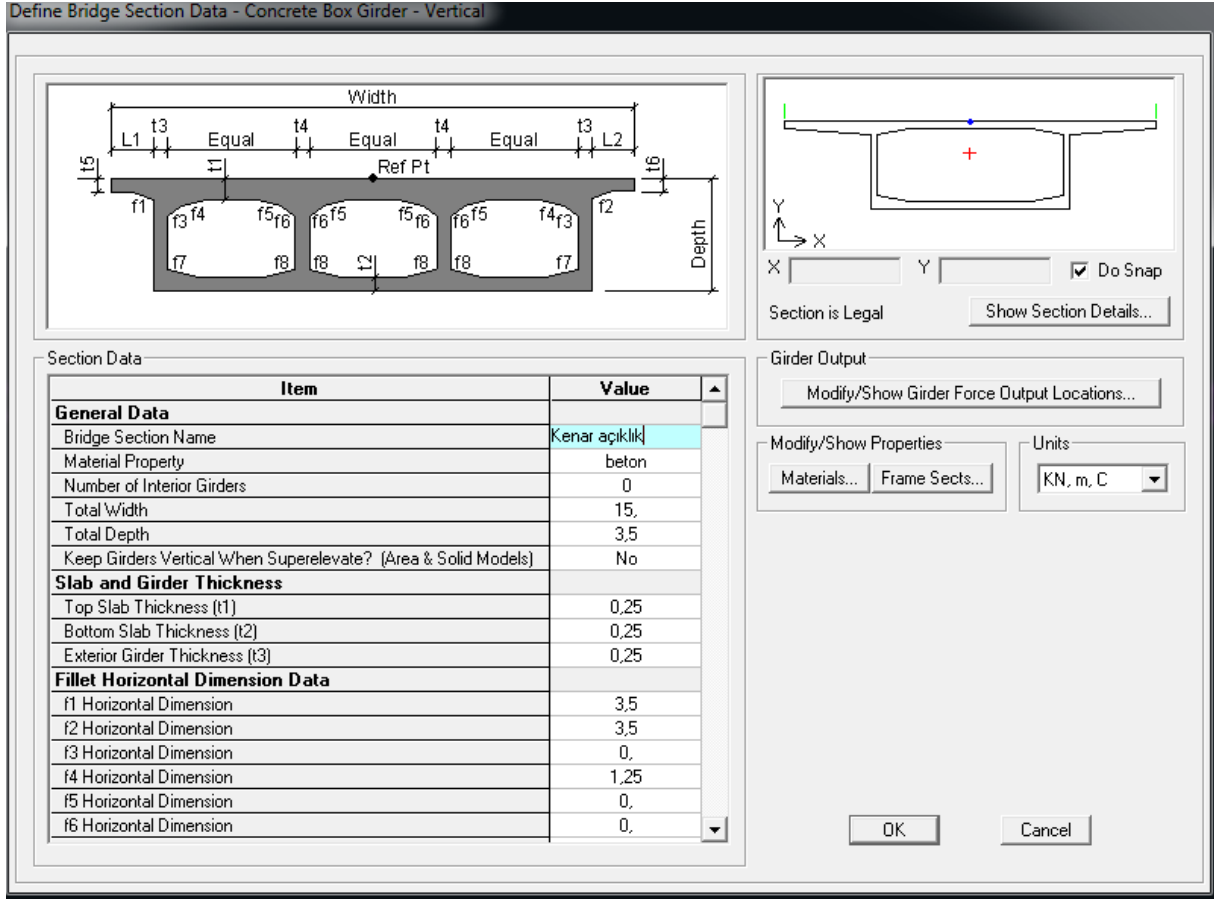
Tasarlanan köprü kesitine uyan kesit “concrete box girders” menüsünden seçilir. “Köprü > Köprü Tabliyesi Kesitleri > Yeni Kesit Ekle” komutunu kullanarak “Select Köprü Tabliye Kesiti Tipini Seç” formu görüntülenir. [3]

Tasarlanan köprüde “Betonarme Kutu Kirişler” sekmesi altında dikey hatlı olan “Dış Kirişler Dikey” seçeneğini seçilmelidir. Bu menüde yapılacak köprünün kesit tipine göre size en uygun kesiti seçerek boyutlandırabilirsiniz. Ayrıca bu menüde prekast kesit seçimleri de yer almaktadır.



**Şekil 3.13.** Köprü Tabliyesi Kirişinin Seçim Menüsü [3]

Bu kısımdan sonra açılan “ Köprü Kesit Bilgisi Tanımla” seçeneğinden köprü boyut tanımlamaları yapılır. Kenar açıklıklar için toplam genişliğin (Total Width) 15m ve başlangıç yüksekliğinin (Total Depth) 3,5 m olarak girdik orta açıklık için başlangıç yüksekliğini 8,5 m olarak girildi. Diğer değişen kesit parametreleri içinde gene bu formdan değişiklikler yapıldı. Bu yapılanların menüsü şekilde gösterilmiştir. [3]



Şekil 3.14. Köprü Kesit Bilgisi Tanımla Menüsü [3]

### 3.4.3. Köprü nesnelere tanınması

Köprü nesnelere menüsünden köprüde kullanılacak çeşitli elemanların tanımlanmasını sağlayan araçları bulundurmaktadır. Bu menüden tüm köprü elemanları ve bu elemanların özellikleri tanımlanır. Bu menüden aşağıdaki elemanları tanımlayabiliriz.

1. Köprü açıklıklarının tanımlanması bu menüden atanır.
2. Açıklıklara karşılık gelen köprü tabliyesi kesitlerinin özellikleri.
3. Farklı açıklıklara karşılık gelen kesit değişimleri. Tasarlanan bu köprü de kesitler değişken olduğu için kesit değişimleri de tanımlamak gerekir. Kesit değişimleri de bu menüden tanımlanır.
4. Köprü verevlik açısı, köprü kenar ayak özellikleri bu menüden tanımlanır.
5. Orta ayak özellikleri de bu menüden tanımlanır.
6. Mafsal noktaları bu menüden tanımlanır.
7. Dever oranı ataması da bu menüden yapılır. Dever oranı köprümüzü kullanacak taşıtların savrulmasını önlemek için atanır.

8. Öngerme ve Ardgirme donatıları da bu menüden atanır. Projemizde bu donatılar Tendon olarak adlandırılacaktır. [3]

Köprü açıklığı tanımlanması ve köprü verevlilikleri tanımlanması “Bridge > Bridge Objects > Add New Bridge Objects (Köprü > Köprü Nesneleri > Yeni Nesne Ekle)” komutu kullanarak yapılır. Köprü kenar ayakları “Kenar Ayağı (abutment)” yerleşim çizgisi uç noktalarına atanır, bu işlem “Define Bridge Object Reference Lines (Köprü Nesnesi Refererans Çizgileri Tanımla)” kısmında SpanStart objesinde “Kilometraj (station)” kısmına 0 yazdıktan sonra “Modify (Değiştir)” kutusu seçilir. Sonra ilk açıklığa yönüne göre batı açıklığı olarak adlandırılırsa ve “(span label)” kutusuna Batı Açıklık olarak atanırsa, “Kilometre (station)” kutusuna ilk açıklığın uzunluğu 78.75 yazılır. “(item label) isim sekmesi” sekmesine ayak ( bent ) yazıyoruz ve köprü açıklık özelliklerini seçmek için “(bridge object spantype)” menüsünde “Span to Bent (Açıklıktan Orta Ayağa)” seçeneğini tıklanır ve “Insert Below” menüsünü seçilir. Yani bu menüden orta noktaya bir “Orta Ayak Elevasyonu (bent)” eklenmiş olundu. Diper orta ayak elevasyonu içinde gene aynı şekilde kilometraj (station) kutusuna 236,25 yazarak “Insert Below” kutusuna tıklanır. Bu adımdan sonra da kenar ayak için, sondaki Kenar Ayağı (abutment) Spantoend menüsünden “Kilometraj (station)” değerini 315 ile değiştirerek tasarlanan köprünün genel yerleşimini oluşturmuş olunur. Şekil 3.5’e bakınız. [3]

Şekil 3.15. Köprü Nesnesi Bilgi Formu [3]



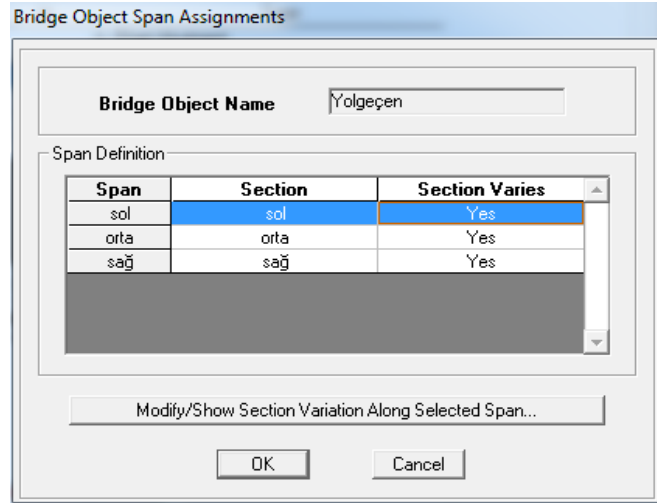
### 3.4.4. Kesit değişimlerinin atanması

Köprümüzün değişken kesitli tabliyesini oluşturmak için tabliye kesitinin değişen her boyutu için bir varyasyon atanması gerekmiştir. Bu varyasyonları Bridge>Parametric Variations>Add New Variation (Köprü> Parametrik Varyasyonlar> Yeni varyasyon ekle) komutu kullanarak eklendi. Şekil 3.6'da orta açıklık için Total Depth varyasyonu görülmektedir.

Point ID	Segment Type and Point Type Segment Is From Point(n - 1) to Point(n)	Distance m	Dim. Change m	Slope m / m
1	Start of Span	0,	0,	
2	Parabola End Point and Initial Slope	6,5	-0,515	0,
3	Parabola End Point and Initial Slope	8,5	-0,747	0,
4	Parabola End Point and Initial Slope	11,9	-1,126	0,
5	Parabola End Point and Initial Slope	15,3	-1,486	0,
6	Parabola End Point and Initial Slope	18,7	-1,828	0,
7	Parabola End Point and Initial Slope	22,1	-2,125	0,
8	Parabola End Point and Initial Slope	25,5	-2,428	0,
9	Parabola End Point and Initial Slope	28,9	-2,731	0,

Şekil 3.16. Varyasyon Tanımı Formu [3]

Atanılan orta ayak kesitinin 8.5 m Total Depth (Yükseklik) 'inin açıklık boyunca değişimini böylece atanmış oldu. Aynı şekilde diğer açıklıklar ve diğer değişen boyutlar içinde varyasyonları oluşturulmuştur. Daha sonra oluşturulan bu varyasyonları kesitlere atandı. Bridge>Bridge Objects>Modify/Show Bridge Objects (Köprü> Köprü Nesneleri> Köprü nesneleri Değiştir/Göster) komutundan sağ taraftan Spans satırından modify ederek varyasyonlarını atanır. Şekil 3.7-3.8'e bakınız.



Şekil 3.17. Köprü Nesnesi Açıklık Atamaları [3]



Şekil 3.18. Köprü Kesit Varyasyonları Tanımları [3]

### 3.4.5. Tendonlar

Tendonları modellemek için Bridge Objects'ten Prestressed Tendons satırına Modify/Show kutusuna tıklanır. Add New Tendon (Yeni Tendon Ekle) kutusundan eklenmesi gereken tendonları oluşturmaya başlanıldı. Örnek olarak köprü ortasında alt kısımdaki parabolik tendonları anlatılacaktır. Açılan pencereden tendonun hangi açıklığın kaçınıcı metresinden başlayıp kaçınıcı metresinde bittiği yazılır. Daha sonra Edit Vertical Layout kutusunun yanındaki Quick Start kutusundan Parabolic Tendon 2 seçeneğini seçilip tendonların düşeyde ne kadar aşağıda oldukları yazılır. Tendon kesit alanını da ( $\phi 15$  lik 19 tane olacak şekilde) girdikten sonra Ok deyip çıkılmaktadır. Böylece tendon eklemiştir oldu. Aynı işlemi bütün tendonlar için de tekrarlanmıştır. Şekil 3.9.'a bakınız. [3]

Şekil 3.19. Köprü Tendon Bilgisi [27]

### 3.4.6. Orta ayak elevasyonları

Köprümüz orta ayak elevasyonlarını atanmadan önce orta ayak kesitleri atanmaktadır. Define>Section Properties>Frame Sections>Add New Section komutu kullanılarak orta ayak elevasyonu kesiti oluşturulmuştur. Bridge>Bents Komutunu kullanarak orta ayak elevasyonu oluşturulur. Bridge>Bents>Add New Bridge Bent komutunu kullanıldıktan sonra açılan pencereden Modify/Column Data sekmesine tıklanılır. Açılan pencereden Kolon kesiti ve elevasyon yüksekliğini girilmektedir. Ok deyip çıkınca orta ayak elevasyonu oluşturmuş olunur. Diğer orta ayak içinde aynı işlemi yapılmıştır. Şekil 3.10'a bakınız. [3]

Köprümüzün modeli için gerekli her şey bu şekilde atanmış olundu. Daha sonra köprü modellemesine geçildi. Bridge>Update Linked Bridge Model komutunu kullanılarak açılan pencereden Orta ayak elevasyonunun maksimum eleman boyutunu ve deck boyutunu girdikten sonra ok denilir. Köprünün modeli böylece oluşmuş oldu. Orta ayak elevasyonu üstünde default olarak oluşan başlık kirişi silinip uç noktayı üst noktaya Assign>Joint>Constrain komutunu kullanarak birleştirildi. [3]

Kenar ayaklarda oluşan default mesnetleri silinip istenen noktalar seçtikten sonra Assign>Joint>Restrains komutunu kullanarak kenar ayak mesnetleri yerleştirildi. Mesnet şartı olarak sadece köprü uzunluğu boyunca yer değiştirmelere izin verildi. Tututulu olan yer değiştirmeler u2, u3, r1, r2, r3 tür. Orta ayak mesnet şartını ankastre olarak girildi.

Artık 3 boyutlu model analizlere hazır hale gelmiştir. Bundan sonra kullanılacak komutlar detaylı bir şekilde anlatılmamıştır. Yapılacak işlemler ayrı başlıklar altında sunulacaktır.

Column	Section	Distance	Height	Angle	Base Support
1	ayak kesit	4	17.08	0	Fixed

**Notes:**

1. The distance is measured from the left end of the cap beam to the center of the column.
2. The column height is measured from the midheight of the cap beam to the bottom of the column.
3. The column angle is measured in degrees counterclockwise from a line parallel to the bent to the column local 2 axis.

Column	R1 Release	R2 Release	R3 Release	R1 Stiffness	R2 Stiffness	R3 Stiffness
1	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed

Şekil 3.20. Orta Ayak Elevasyonu Kolon Bilgisi Formu

### 3.5. Analiz Aşaması

Bu bölümde köprümüzün SAP2000 programında oluşturulan modeline yapılacak yüklemeler ve analiz sonuçlarına yer verilmiştir.

Köprünün modellemesinde kullanılan malzeme özellikleri Tablo 3.1. de verilmiştir.  
[13]

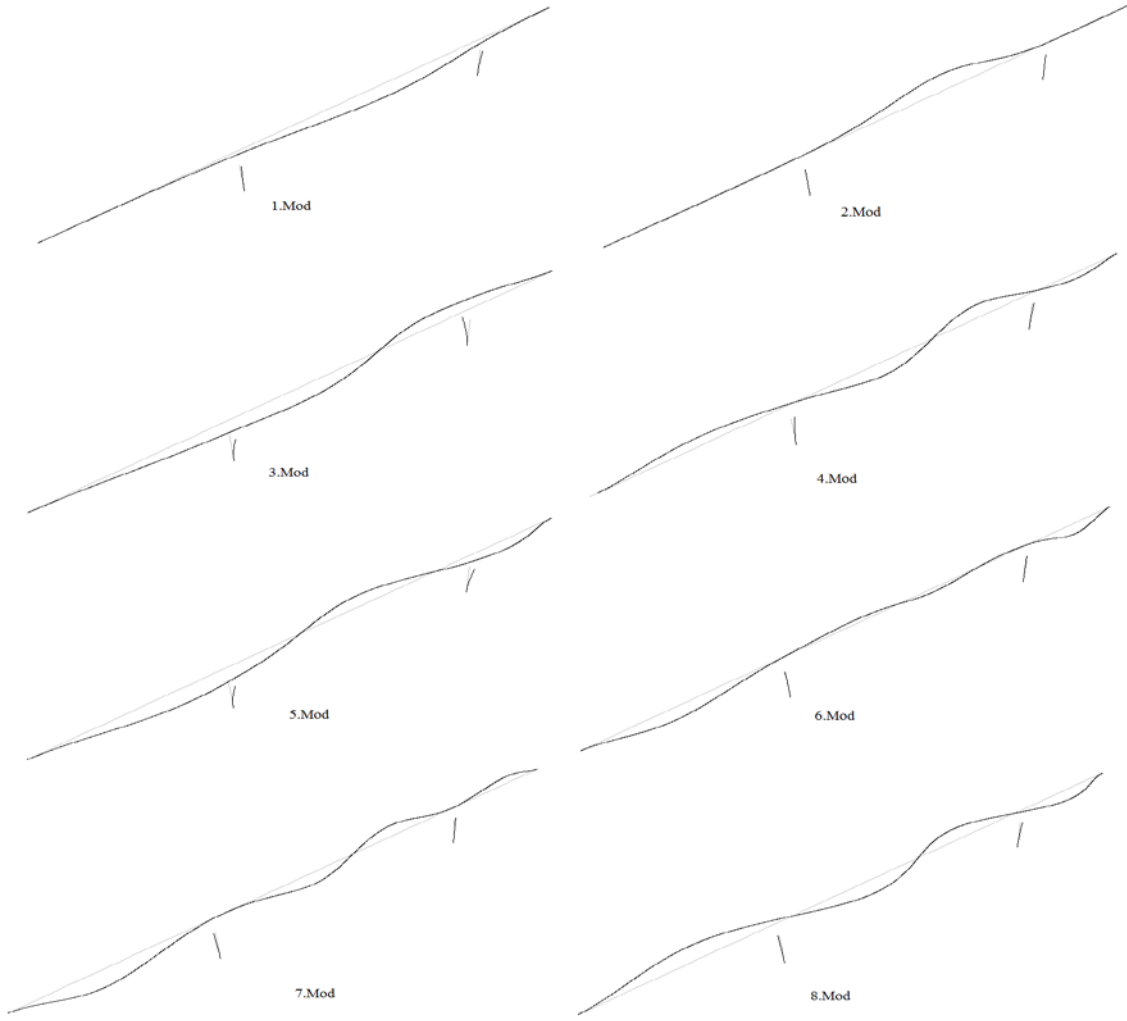
**Tablo3.1.** Malzeme Genel Özellikleri

Sonlu eleman modeli	Malzeme Özellikleri		
	Elastisite Modülü (N/m <sup>2</sup> )	Poisson Oranı (-)	Yoğunluk (kN/m <sup>3</sup> )
Tabliye	4,250 E+10	0,2	25,00
Ayaklar	4,250 E+10	0,2	25,00
Öngerme donatısı	1,950 E+11	0,0	0,00

Tasarlanan köprünün SAP2000 programıyla yapılan modal analiz sonucunda oluşan periyot, frekanslar ve mod şekilleri Tablo 3.2 de verilmiştir.

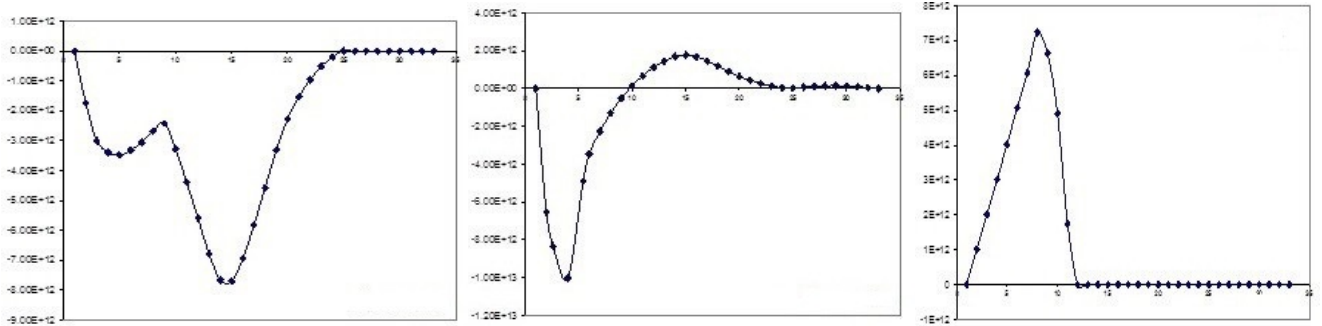
**Tablo 3.2.** Köprü analitik doğal frekans, periyot ve mod şekilleri

Mod	Frekans (Hz)	Periyot (s)	Mod Şekli
1	1,40	0,7137	1.Enine Mod
2	1,68	0,5951	1.Düşey Mod
3	2,42	0,4136	2.Enine Mod
4	2,58	0,3877	1.Boyuna Mod
5	3,16	0,3169	3.Enine Mod
6	3,96	0,2528	2.Düşey Mod
7	4,00	0,2499	2.Boyuna Mod
8	4,44	0,2254	4.Enine Mod



**Şekil 3.21.** Analitik olarak elde edilen ilk sekiz mod şekilleri

Sap 2000 programından elde edilen tesir çizgileri de bir örnekle aşağıda gösterilmektedir. Gösterilen tesir çizgisi köprünün ilk kutu kesiti içindir.



**Şekil 3.22.** Moment, Kesme Kuvveti, Normal Kuvvet Tesir Çizgileri

Köprüye ilk hareket verildiğinde 1. modun enine mod olduğunu görülmüştür. Yani köprü depremde ilk titreşim aldığı anda köprü enine bir hareket izleyecek ve bu titreşim 0.7 saniye sürecektir. Bu titreşimi tamamladıktan sonra köprü düşey bir hareket izleyecek ve bu hareket 0.6 saniye sürecektir. Köprünün ilk modlarının enine ve düşey mod olması istenilen bir durumdur. Çünkü ilk modlarda burulma olması istenmez. Sap 2000 deprem analizlerini mod birleştirme esasına göre yapmaktadır. Dördüncü bölümde oluşturulan iki model de ilk sekiz modda aynı hareketleri izlemiş sadece periyotları farklılık göstermiştir.

### 3.5.1. Yükler

Tasarım Köprü 'sütün analizinde kullanılacak olan yükler ve yükleme durumlarına bu bölümde yer verilmiştir.

#### 3.5.1.1. Ölü yük

Tüm elemanların kendi ağırlıklarıdır ve program tarafından direk olarak hesap edilmektedir. Yapıdaki ölü yükler betonarme kutu kesit ağırlıkları, yapıda kullanılan çelik kablo ve demir malzemenin ağırlıklarıdır. Bu ağırlıklar kullanılan malzemelerin özellikleri programa girildikten sonra program tarafından yapıya etki ettirilmektedir.

Asfalt, bordür, boru hattı ve destekleri, korkuluk gibi ek olarak etki eden ağırlıklardır 8-10 cm'lik asfalt dikkate alınarak ve AASHTO LFD [12] standardına gerekli şartnameler göz önünde bulundurularak her bir segment için yayılı yük şeklinde 31 kN/m olarak etki ettirilmiştir. Bu yük SAP2000 programı tarafından direk olarak sonlu eleman modal analizine ilave edilecek ek kütleyle çevrilmiştir.

#### 3.5.1.2. Trafik yükleri

Trafik yükleri için Karayolları Teknik Şartnamesine uygun olarak taşıt ağırlıkları alındı. Çeşitli ihtimaller üzerine çalışmalar yapıldı. Köprüde oluşabilecek bir kaza sonucu oluşabilecek maksimum trafik yükleri ve ihtimaller hesaplandı.

Arabanın uzunluğu ortalama olarak 4 m'dir. Taşıtların arasında 1m olduğu varsayılarak yaptığımız işlem sonucu köprü uzunluğunu (315m) bu değere bölündüğünde 63 taşıt olarak hesaplandı. Köprümüz 3 şeritli olduğu için 3 e ve ortalama taşıt ağırlığımız 1100 kg ile çarpılarak 207.9 t değeri elde edildi.

Karayolları Teknik Şartnamesine göre üç dingilli yarı römorklu araçlarla mafsallı otobüslerde izin verilen taşıt yük ağırlığı 45.5t dur. Uzunluklarında ortalama 15m'dir.

Aralarındaki mesafe ortalama 2 m alınarak 19 taşıt olabileceği ve 3 şerit düşünülerek toplam ağırlık 2423t olarak bulunmuştur.

Sonuç olarak Köprü açıklığı 300 m' den fazla olduğundan ağır vasıta şeridinde "Karayolları Yol Köprüleri Teknik Şartnamesinde" H30 S24'' yük sınıfına tekabül eden Eşdeğer Yayılı Yük 9KN/m alınmıştır. Her yönde iki şeridi ağır vasıta trafiğinin işgal edeceği ve diğer şeridin bu eşdeğer yükün 1/3'ü kadar hafif vasıta yükü ile yükleneceği kabul edilmiştir.

Yaya yükü olarak kaldırımlar üzerinde 2.0KN/m alınmıştır. Köprümüz 315 m ve yaya yolu genişliği 2.5 m'dir. Buna göre yapılan işlem sonucunda yaya yükü 63 t olarak bulunmuştur.

### 3.5.1.3. Rüzgâr yükleri

Rüzgâr yükleriyle ilgili gerekli bilgiler AASHTO LFRD 3.8.1.1 ve 3.8.1.2. başlığı altında elde edilen verilerle aşağıda açıklandığı gibi hesaplanmış ve benzer projede görev almış kişiler yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Bu yüklemde sadece yatay yükleme durumu hakkında bilgilendirmeler aşağıda verilmiştir. [12]

AASHTO TABLO 3.8.1.2. öngörülen formülde proje tasarım rüzgar hızı 100mph alınarak rüzgar basıncı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$P_D = P_B \left( \frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 = P_B \cdot \frac{V_{DZ}^2}{10000}$$

Burada  $P_B$  belirtilen temel rüzgar basıncı,  $V_{dz}$  dizayn rüzgar hızı olmak üzere ' $P_B$ ' değeri Tablo 3.8.1.2.1.1' den 0.050 alınarak yapayı gelen rüzgar basıncı 2.4 kN/m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Ancak yapıda hareket eden taşıtların yüzey alanını arttırması ve taşıtlara etkiyen rüzgarın dolayısıyla da yapıya etkimesi ve köprünün kriterlerine göre AASHTO'daki yatay yüzey rüzgar basıncı 0.1 ksf yani yaklaşık 4.78 kN/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. [12]

Köprü yüzölçümünü köprü genişliğini, köprü uzunluğuyla çarparak (315x14.5=14567.5 m<sup>2</sup>) olarak bulundu. Köprüde birikecek en yüksek kar yüksekliği 2m olarak (Trafiğin kapalı olması şartıyla) karın yoğunluğu olan 10 kN/m<sup>3</sup> işleme katılarak kar yükü 0.2 kN/m<sup>2</sup> olarak belirlendi. En yüksek kar yüksekliği köprünün tasarlandığı şehrin mevsim şartlarına bağlı olarak meteorolojik verilere göre saptanmıştır.



### 3.5.2. Yüklemeleler

Köprünün analizinde kullanılacak yük kombinasyonları Tablo3.3'te verilmiştir. Yüklemeleler TS 500 ve AASHTO standartları göz önüne alınarak belirlenmiştir. Bu kombinasyonlar programa girilerek program en büyük yük kombinasyonunu yapıya uygulayarak sonuçları vermektedir.

Kombinasyon		DC	DW	LL+IM	WS	WL	LS	PL	EH	EV	Deprem
Dayanım-I	Maks.	1.25	1.50	1.75	-	-	1.75	1.75	1.50	1.35	-
	Min.	0.90	0.65	1.75	-	-	1.75	1.75	0.90	1.00	-
Dayanım-III	Maks.	1.25	1.50	-	1.40	-	-	-	1.50	1.35	-
	Min.	0.90	0.65	-	1.40	-	-	-	0.90	1.00	-
Dayanım-IV	Maks.	1.50	1.50	-	-	-	-	-	1.50	1.50	-
	Min.	1.50	1.50	-	-	-	-	-	1.50	1.50	-
Dayanım-V	Maks.	1.25	1.50	1.35	0.40	1.00	1.35	1.35	1.50	1.35	-
	Min.	0.90	0.65	1.35	0.40	1.00	1.35	1.35	0.90	1.00	-
Aşırı Durum	Maks.	1.25	1.50	-	-	-	-	-	1.50	1.35	EQX + 0.30 EQY 0.30 EQX + EQY
	Min.	0.90	0.65	-	-	-	-	-	0.90	1.00	EQX + 0.30 EQY 0.30 EQX + EQY
Servis-I	-	1.00	1.00	1.00	0.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Servis-Ia	-	0.50	0.50	1.00	-	-	-	1.00	-	-	
Servis-Ib	-	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-	
Servis-II	-	1.00	1.00	1.30	-	1.00	1.30	1.30	1.00	1.00	
Servis-III	-	1.00	1.00	0.80	-	1.00	0.80	0.80	1.00	1.00	

Şekil 3.23. AASHTO Yük Kombinasyonları

Tablo3.3. Seçilen Yük Kombinasyonları

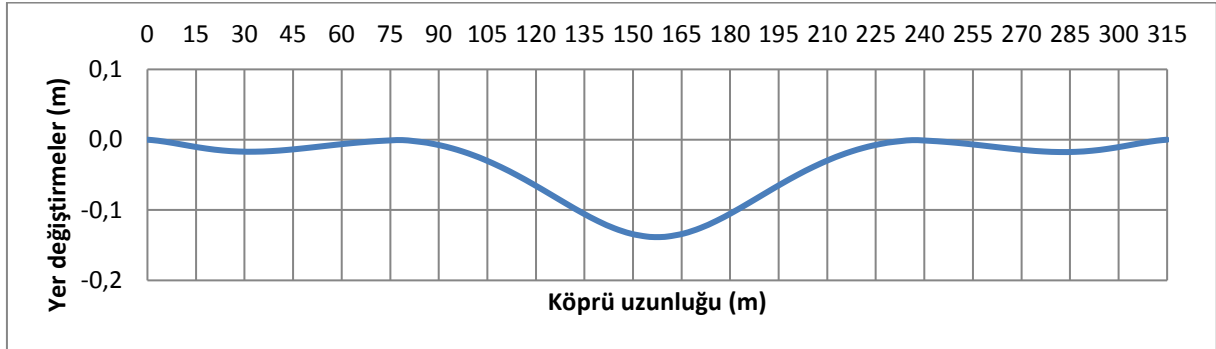
Yükleme	Katsayılar			Yük Kombinasyonu
	G (Sabit yük)	Q (Hareketli yük)	W (Rüzgâr Yüğü)	
F <sub>D1</sub>	1,0	1,0	0	G+Q
F <sub>D2</sub>	1,4	1,6	0	1,4G+1,6Q
F <sub>D3</sub>	1,0	1,3	1,3	G+1,3Q+1,3W

### 3.6. Analiz Sonuçları

#### 3.6.1. Ölü yük deformasyon şekilleri

Tasarlanan köprünün analizler sonucu elde edilen düşey yer değiştirmelerin tabliye boyunca değişimi ölü yük için şekil 3.12 'de gösterilmiştir. Ölü yük için yer değiştirmenin en yüksek olduğu yerin köprü ortasında meydana geldiği görülmektedir. Köprü kesitinin bu forma uygun olduğu anlaşılacaktır.

Köprü ortasında ölü yükten oluşacak maksimum yer değiştirme 14 cm'dir. Bu yer değiştirmeler köprü yüklenmesi gerçekleşmeden arderme işlemleriyle ters sehim verilerek sıfıra yakına indirilmektedir.

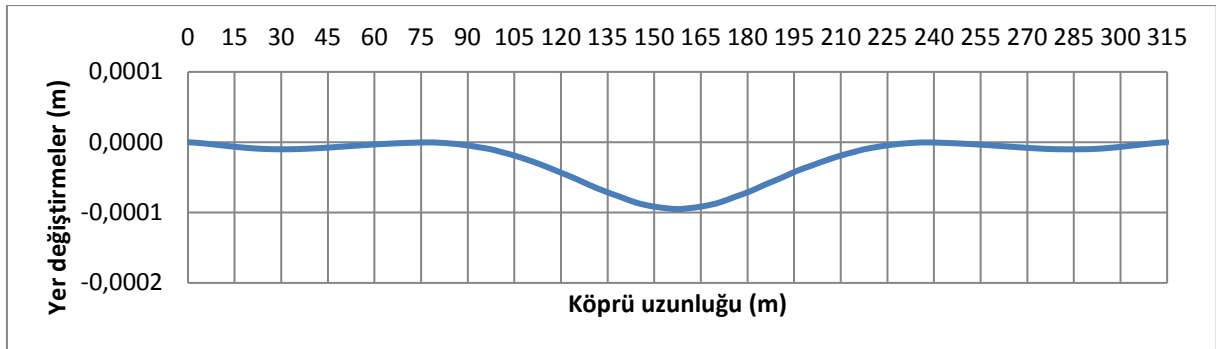


Şekil 3.24. Ölü yük için düşey yer değiştirme grafiği

### 3.6.2. Kar yükü deformasyon şekilleri

Tasarlanan köprünün analizler sonucu elde edilen düşey yer değiştirmelerin tabliye boyunca değişimi kar yükü için şekil 3.13 'te gösterilmiştir.

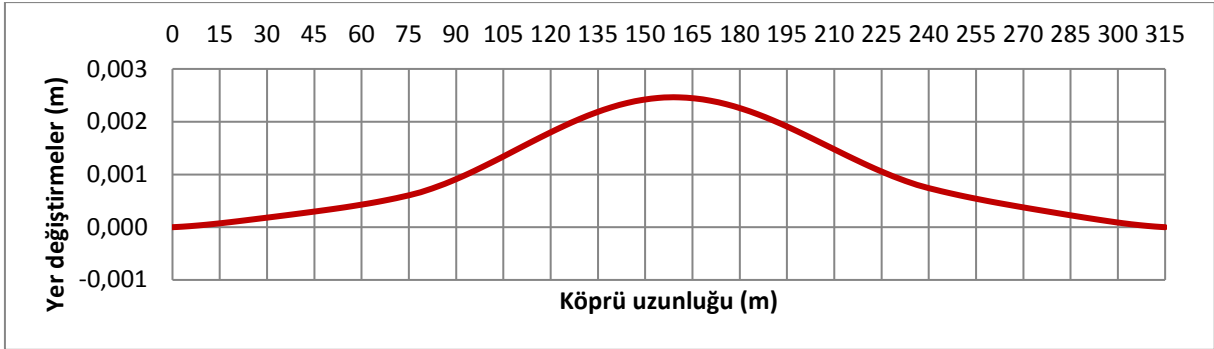
Köprümüz meteorolojik verilere göre fazla kar yağışı alan bir bölge olmadığı için köprüde kar yükünün deformasyon etkisinin çok az olduğu görülmektedir. Yer değiştirmelerin köprü açıklığının ortasında olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 3.25. Kar yükü için düşey yer değiştirme grafiği

### 3.6.3. Rüzgâr yükü deformasyon şekilleri

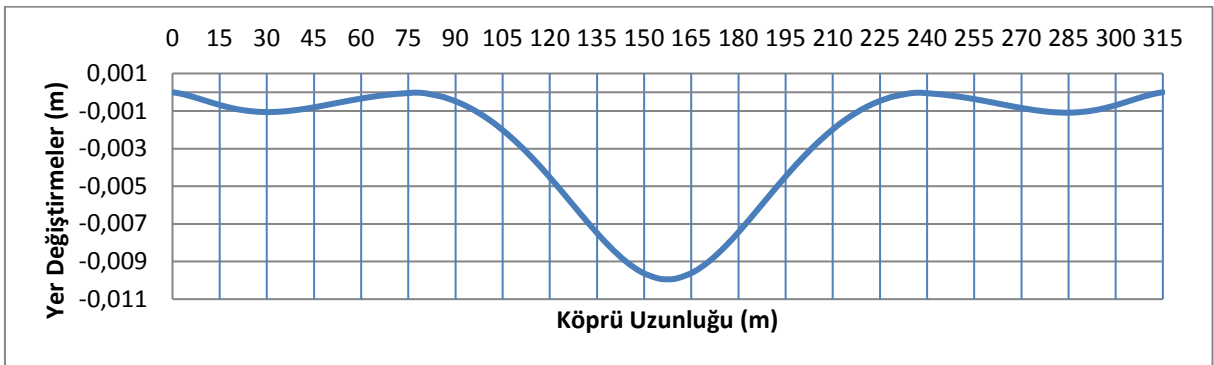
Tasarlanan köprünün analizler sonucu elde edilen yatay yer değiştirmelerin tabliye boyunca değişimi rüzgâr yükü için şekil 3.14 'te gösterilmiştir. Burada ki grafikte rüzgâr yükünün düşey olarak bir etki etmediği görülmektedir. Yatay olarak köprü açıklığının tam ortasında 2,5 cm'lik bir yer değiştirme olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 3.26. Rüzgâr yükü için yatay yer değiştirme grafiği

### 3.6.4. Taşıt yükü deformasyon şekilleri

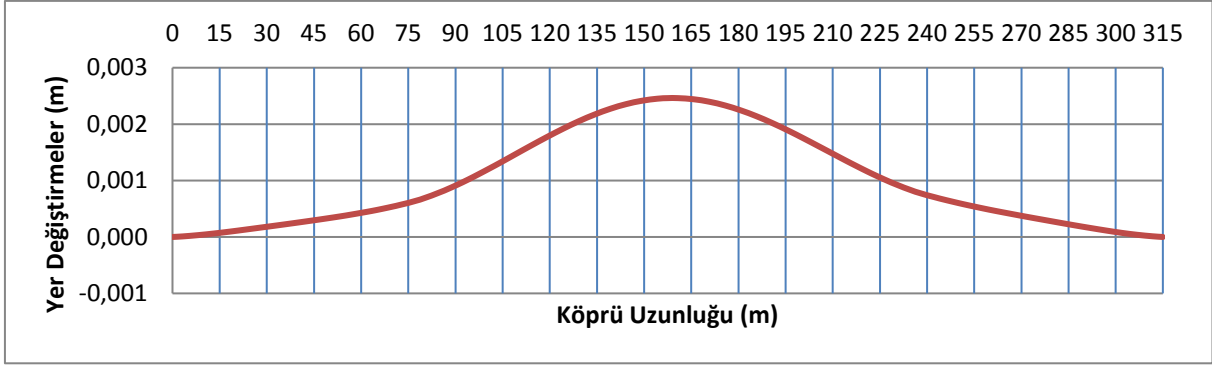
Tasarlanan köprünün analizler sonucu elde edilen düşey yer değiştirmelerin tabliye boyunca değişimi taşıt yükü için şekil 3.15 'te gösterilmiştir. Taşıt yükü için yer değiştirmenin en yüksek olduğu yerin köprü ortasında meydana geldiği görülmektedir. Köprü kesitinin bu forma uygun olduğu anlaşılacaktır. Köprü ortasında taşıt yükünden oluşacak maksimum yer değiştirme 10 cm'dir. Bu yer değiştirmeler köprü yüklenmesi gerçekleşmeden ardgerme işlemleriyle ters sehim verilerek sıfıra yakına indirilmektedir.



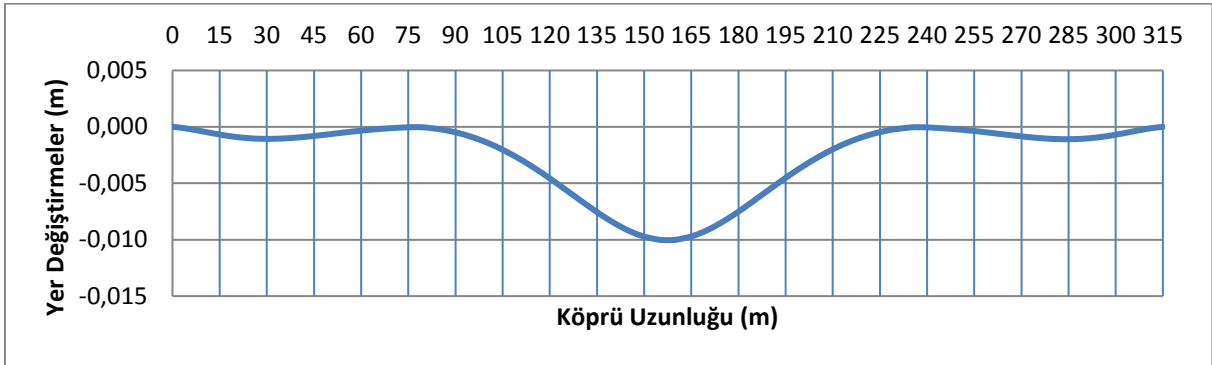
Şekil 3.27. Taşıt yükü için düşey yer değiştirme grafiği

### 3.6.5. Hareketli yük deformasyon şekilleri

Tasarlanan köprünün analizler sonucu elde edilen yatay ve düşey yer değiştirmelerin tabliye boyunca değişimi hareketli yükler (Kar+Rüzgar+Taşıt) için şekil 3.16 ve 3.17 'te gösterilmiştir. Hareketli yüklerin toplam yer değiştirmelerine baktığımızda yatay yönde sadece rüzgâr etkisi, düşey yönde ise kar ve taşıt yükünün etki ettiğini görülmüştür. Sonuç grafiklerine bakıldığında yatay yönde 2 cm'lik bir yer değiştirme, düşey yönde de 10 cm'lik bir yer değiştirme görülmektedir.



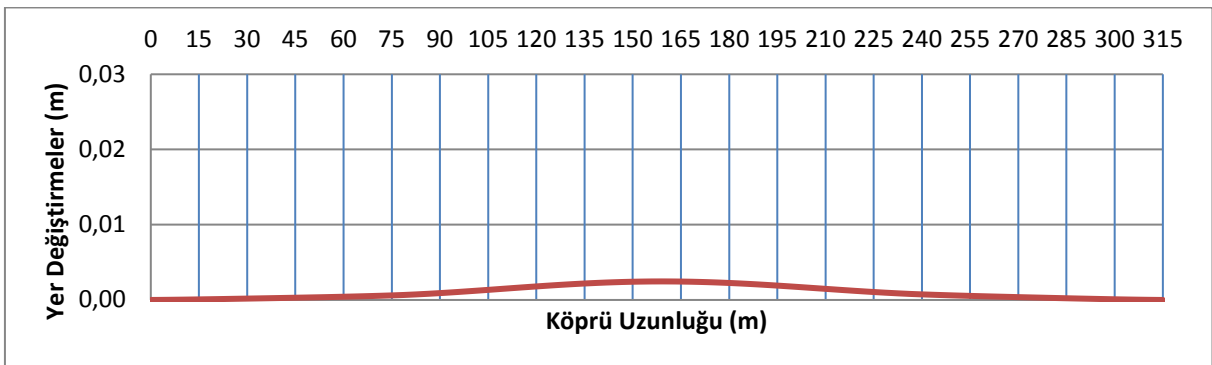
Şekil 3.28. Hareketli yükler için yatay yer değiştirme grafiği



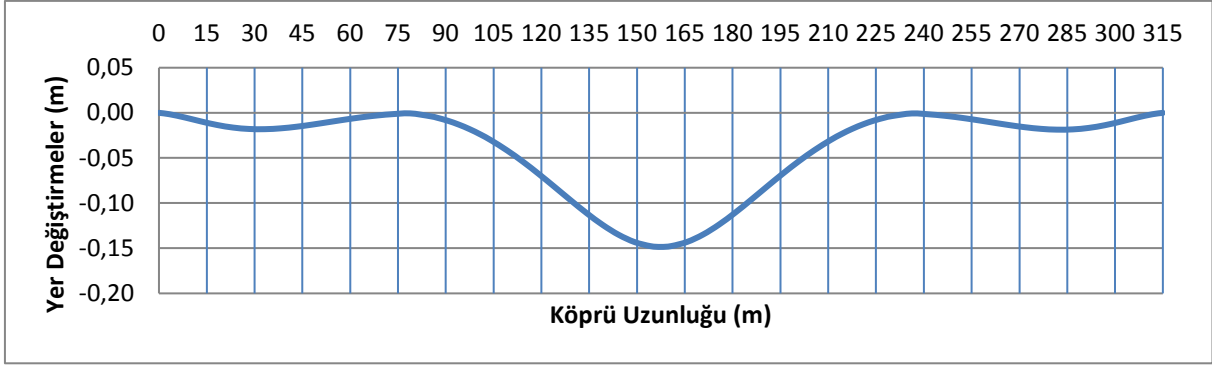
Şekil 3.29. Hareketli yükler için düşey yer değiştirme grafiği

### 3.6.6. $F_{D1}$ yükü deformasyon şekilleri

Köprünün analizler sonucu elde edilen yatay ve düşey yer değiştirmelerin tabliye boyunca değişimi  $F_{D1}$  yük kombinasyonu için şekil 3.18 ve 3.19 'da gösterilmiştir.  $F_{D1}$  bu kombinasyon hareketli ve ölü yükün birlikte değerlendirildiği G+Q kombinasyonu olarak programa atanmıştır. Sonuçlarda bu kombinasyonun yatay yönde bir yer değiştirmeye yol açmadığı gözlenirken düşey yönde 15 cm'lik bir yer değiştirmeye neden olduğu sonuçlarda görülmektedir. Bu yer değiştirmenin köprünün tam orta açıklığında meydana geldiği de görülmektedir.



Şekil 3.30.  $F_{D1}$  yük kombinasyonu için yatay yer değiştirme grafiği

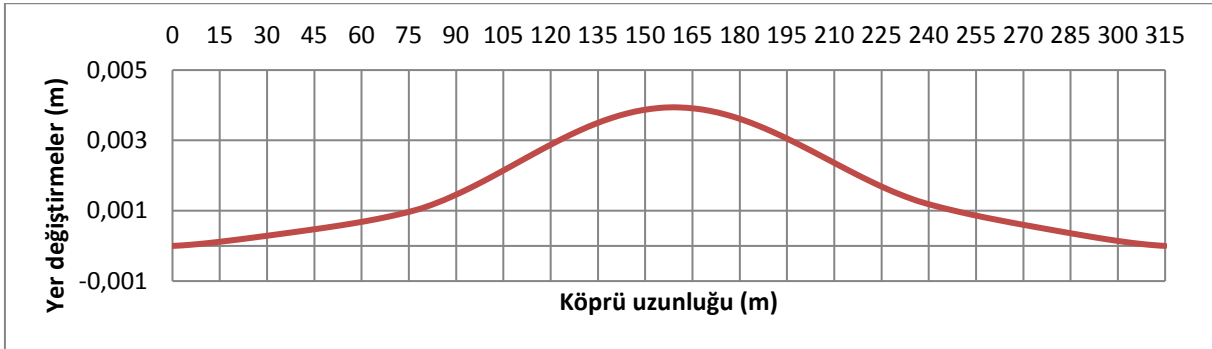


Şekil 3.31.  $F_{D1}$  yük kombinasyonu için düşey yer değiştirme grafiği

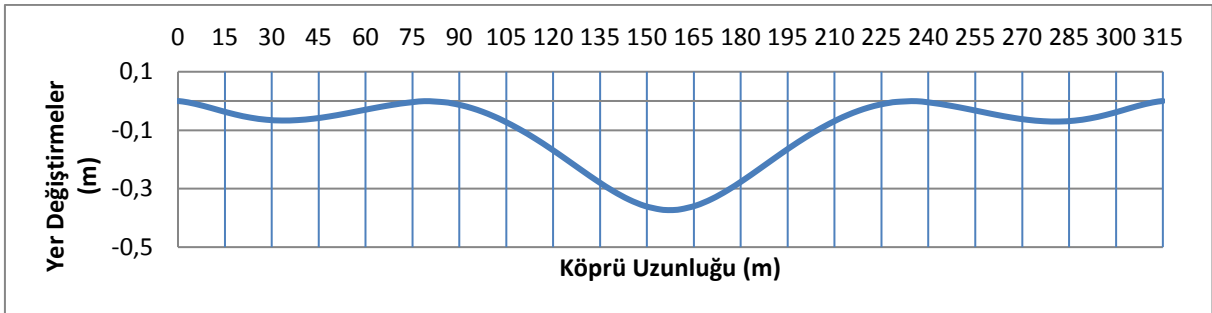
### 3.6.7. $F_{D2}$ yükü deformasyon şekilleri

Köprünün analizler sonucu elde edilen yatay ve düşey yer değiştirmelerin tabliye boyunca değişimi  $F_{D2}$  yük kombinasyonu için şekil 3.20 ve 3.21 'da gösterilmiştir.  $F_{D1}$  bu kombinasyon hareketli ve ölü yükün birlikte değerlendirildiği 1.4 G + 1.6 Q kombinasyonudur. Sonuçları irdelendiğinde yatay yönde 4 cm'lik bir yer değiştirme görülürken düşey yönde 37 cm'lik dikkate değer bir yer değiştirme görülmektedir.

Bu yer değiştirme köprü açıklığının tam ortasında oluşmuştur. Yer değiştirmeden oluşan kesit tesirlerine uygun kablo elemanları seçilerek öngörülen bu yer değiştirmenin sıfırlanması gerekmektedir.



Şekil 3.32.  $F_{D2}$  yük kombinasyonu için yatay yer değiştirme grafiği

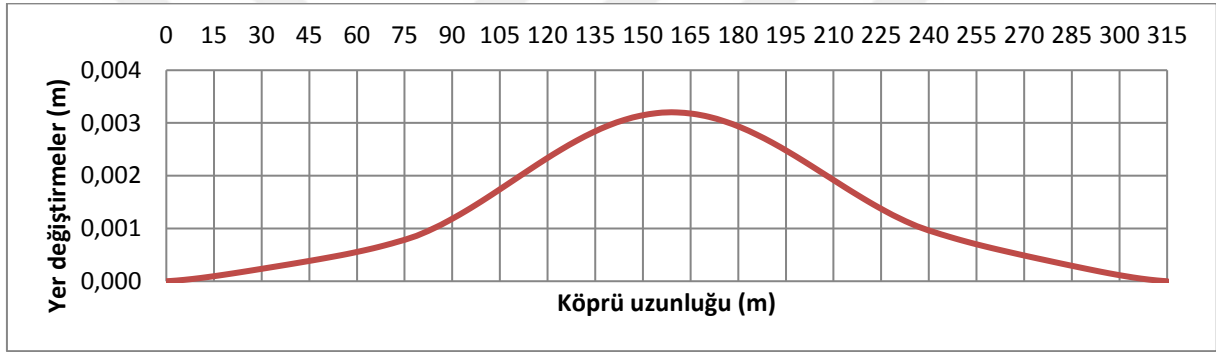


Şekil 3.33.  $F_{D2}$  yük kombinasyonu için düşey yer değiştirme grafiği

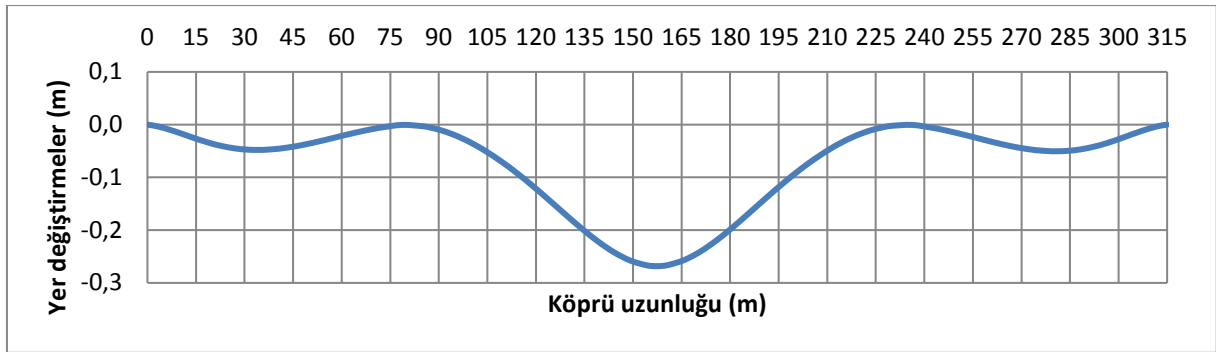
### 3.6.8. $F_{D3}$ yükü deformasyon şekilleri

Tasarım köprümüzün analizler sonucu elde edilen yatay ve düşey yer değiştirmelerin tabliye boyunca değişimi  $F_{D3}$  yük kombinasyonu için şekil 3.22 ve 3.23 'te gösterilmiştir.  $F_{D3}$  bu kombinasyon hareketli yük, ölü yük ve rüzgar yükünün birlikte değerlendirildiği  $1.0 G + 1.3 Q + 1.3 W$  kombinasyonudur.

Sonuçları irdelediğimizde yatay yönde 2,5 cm'lik bir yer değiştirme görülürken düşey yönde 26 cm'lik dikkate değer bir yer değiştirme görülmektedir. Bu yer değiştirme köprü açıklığının tam ortasında oluşmuştur. Tüm bu kombinasyonlara baktığımızda en büyük yer değiştirmelerin  $F_{D2}$  kombinasyonunda olduğu gözlemlenmiştir. Kesit tesirleri de irdelendikten sonra boyutlandırma bu kombinasyonda oluşan yüklere göre değerlendirme yapılacaktır.



Şekil 3.34.  $F_{D3}$  yük kombinasyonu için yatay yer değiştirme grafiği



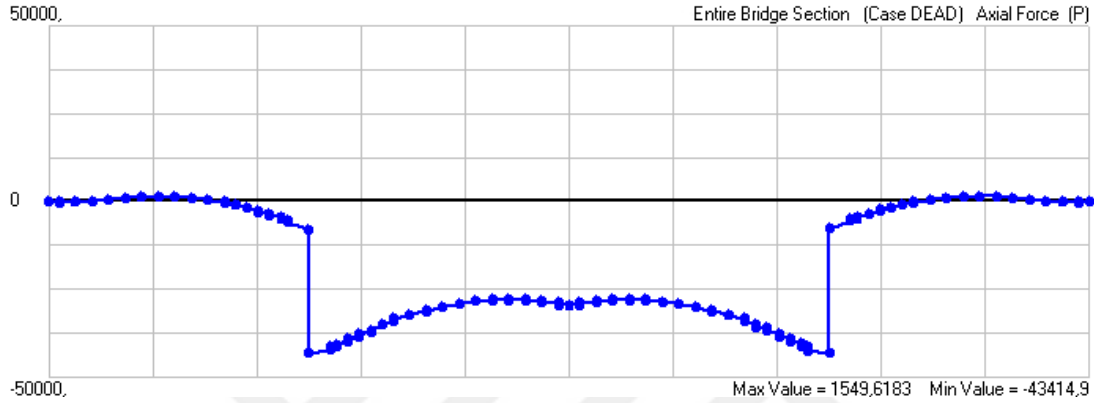
Şekil 3.35.  $F_{D3}$  yük kombinasyonu düşey yer değiştirme grafiği

## 3.7. Köprü Yükleri Kesit Tesiri Diyagramları

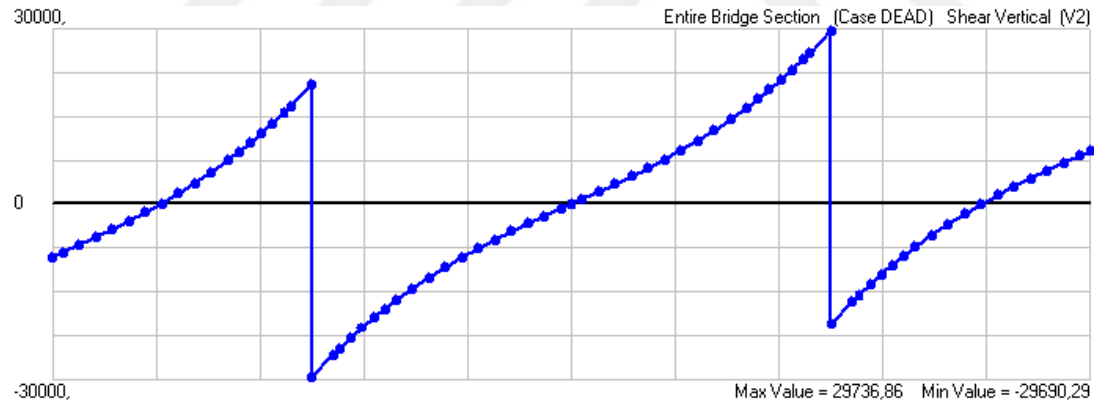
### 3.7.1. Ölü yük kesit diyagramları

Köprünün analizler sonucu elde edilen normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment kesit tesirlerinin tabliye boyunca değişimleri ölü yük için şekil 3.24, 3.25 ve 3.26'da verilmiştir. Kuvvet birimi "kN", uzunluk birimi "m" olarak verilmiştir.

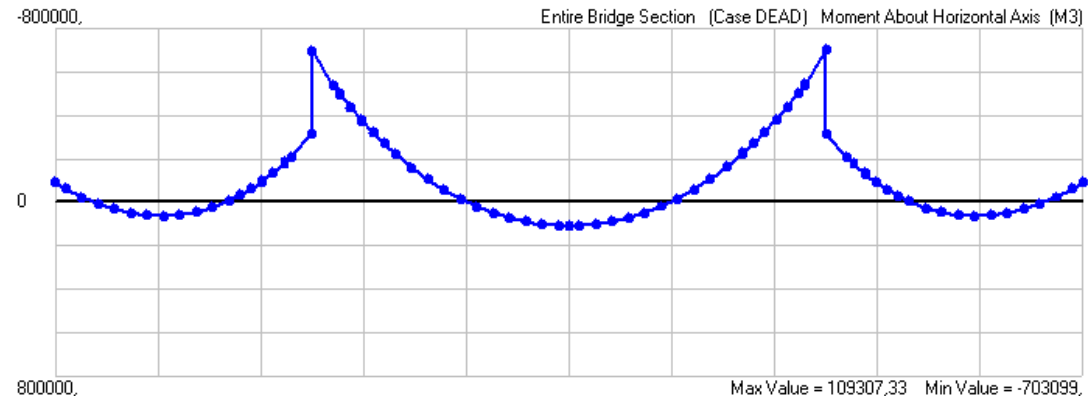
Ölü yükten dolayı oluşan normal kuvvetin köprü ayaklarında en yüksek değere ulaştığı ve bu değer 1549 kN olduğu grafikte görülmektedir. Ölü yükten dolayı oluşan kesme kuvveti de yine en yüksek değere köprü ayak kısımlarında ulaşmış ve bu değer 29.736 kN olarak bulunmuştur. Bu yükten dolayı elde edilen moment değerinin ise 703.099 kN olduğu gözlemlenmiştir. Moment değeri de en yüksek değerine köprü ayaklarında ulaşmıştır.



Şekil 3.36. Ölü Yük İçin Elde Edilen Normal Kuvvet Diyagramı (P)



Şekil 3.37. Ölü Yük İçin Elde Edilen Kesme Kuvveti Diyagramı (V2)

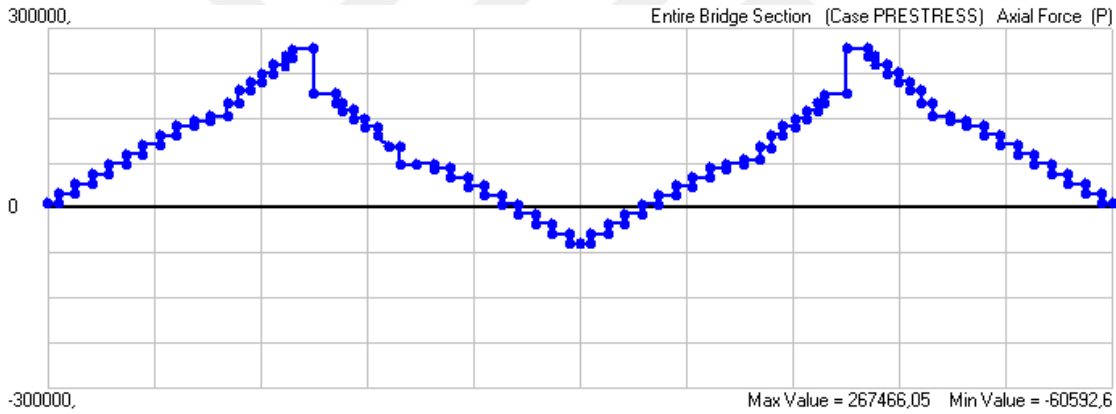


Şekil 3.38. Ölü Yük İçin Elde Edilen Moment Diyagramı (M3)

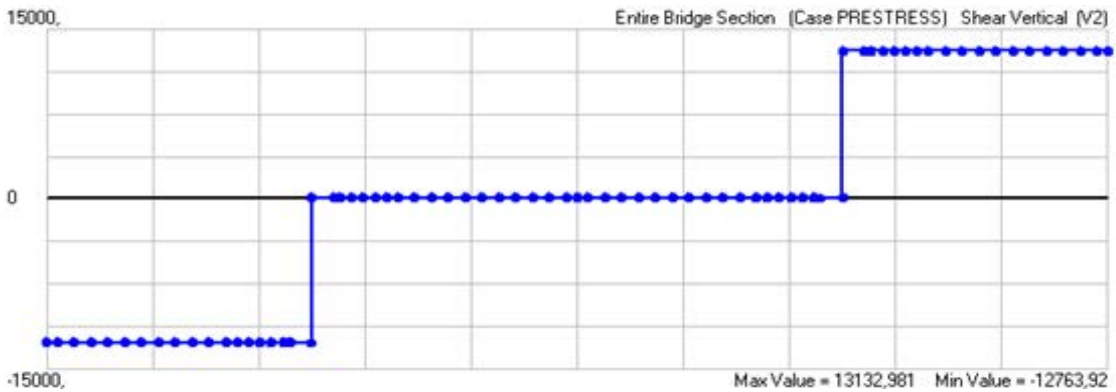
### 3.7.2. Öngerme halatları kesit diyagramları

Tasarlanan köprünün analizler sonucu elde edilen normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment kesit tesirlerinin tabliye boyunca değişimleri öngerme halatlarına verilen birim uzama için şekil 3.27, 3.28 ve 3.29'de verilmiştir. Kuvvet birimi "kN", uzunluk birimi "m" olarak verilmiştir.

Bu köprüde yükleri karşılaması için kullanılan öngerme halatlarına etkiyen yükler de program tarafından hesaplanmıştır. Öngerme halatlarına etkiyen normal kuvvet en yüksek değerine köprü ayaklarına ulaşmış ve bu değer 267.466 kN olarak görülmüştür. Öngerme halatlarına etkiyen kesme kuvveti ise analizler sonucunda 13.132 kN olarak en yüksek değeri bulunmuştur. Analizler sonucunda halatlara etki eden en yüksek moment değeri de 137.839kN olarak bulunmuştur. Öngerme halatlarının boyutlandırılması normal kuvvet etkisine göre yapılmaktadır. Bu halatların gerilme miktarı da moment ve kesme etkisine göre program tarafından yapılacaktır.

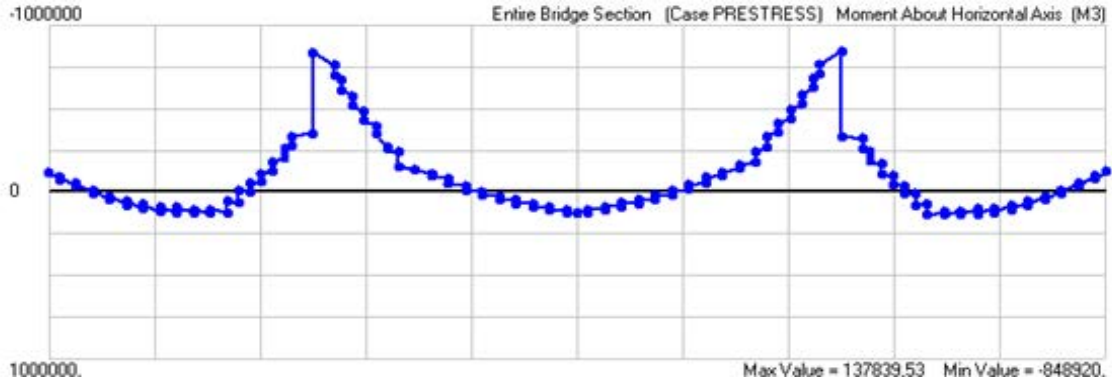


Şekil 3.39. Öngerme Halatları Normal Kuvvet Diyagramı



Şekil 3.40. Öngerme Halatları Kesme Kuvveti Diyagramı

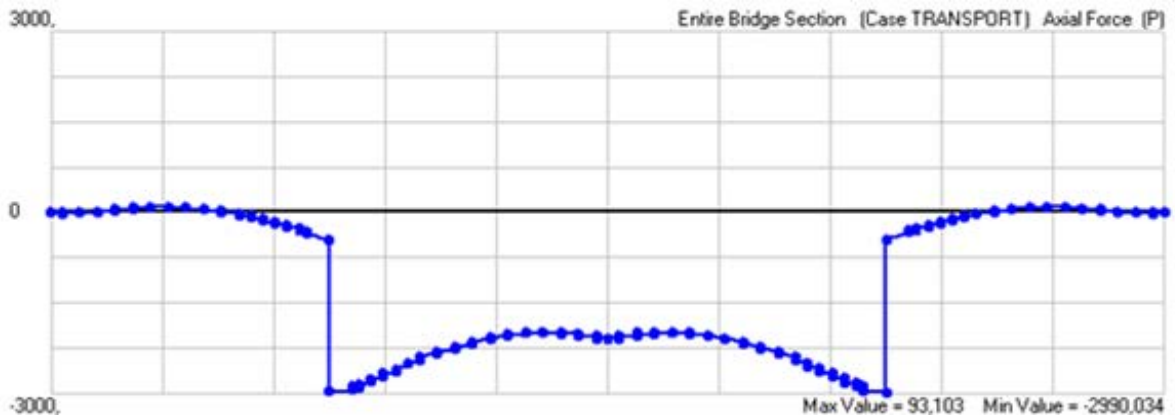




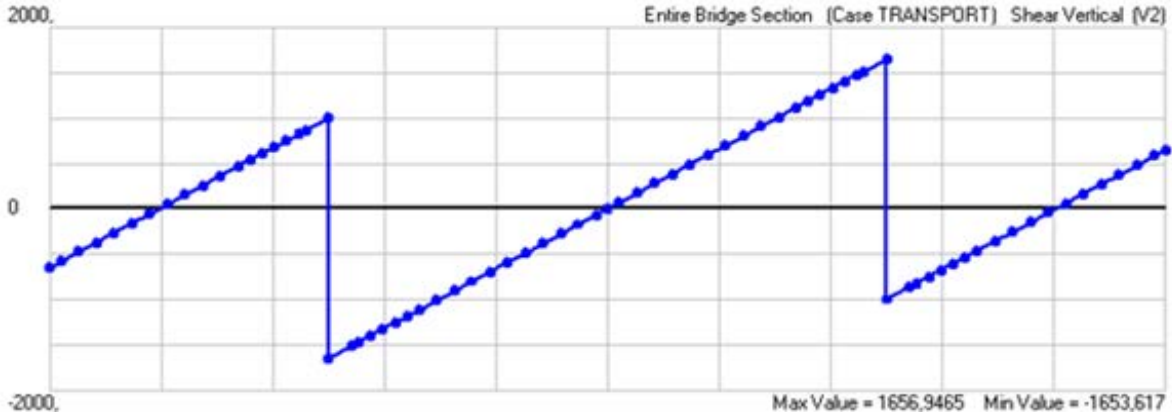
Şekil 3.41. Öngerme Halatları Moment Diyagramı

### 3.7.3. Taşıt yükü kesit diyagramları

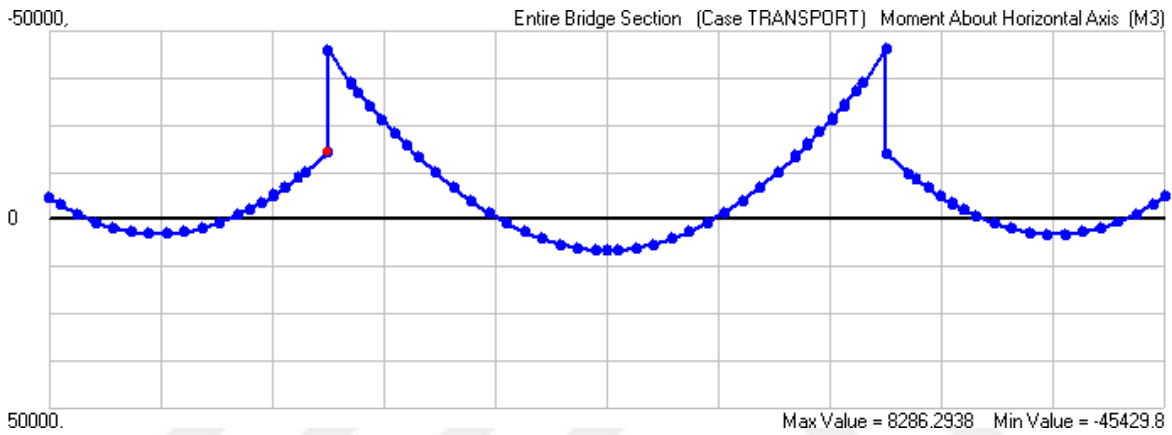
Köprü'nün analizler sonucu elde edilen normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment kesit tesirlerinin tabliye boyunca değişimleri taşıt yükü için şekil 3.30, 3.31 ve 3.32'de verilmiştir. Kuvvet birimi "kN", uzunluk birimi "m" olarak verilmiştir. Programa atanan taşıt yüklerinden elde edilen normal kuvvet değeri köprü ayaklarında en yüksek değerine ulaşmış ve bu değer 2990 kN olarak görülmüştür. Bu yüklemdeki kesme kuvvetinin de en yüksek değeri 1656 kN olarak bulunmuştur. Taşıt yükünden oluşan moment değeri de 45.429 kN olarak bulunmuştur.



Şekil 3.42. Taşıt Yükü İçin Elde Edilen Normal Kuvvet Diyagramı (P)



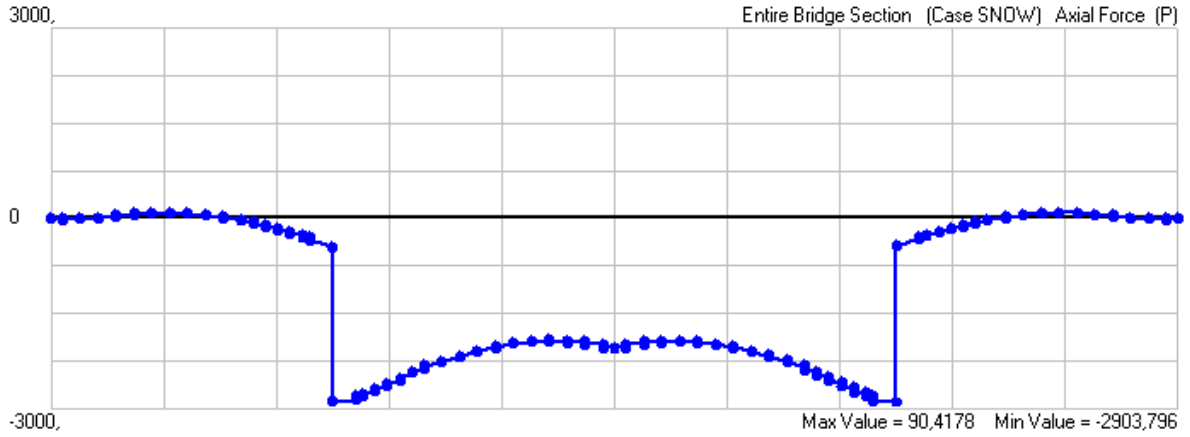
Şekil 3.43. Taşıt Yüğü İçin Elde Edilen Kesme Kuvveti Diyagramı (V2)



Şekil 3.44. Taşıt Yüğü İçin Elde Edilen Moment Diyagramı (M3)

#### 3.7.4. Kar yüğü kesit diyagramları

Köprünün analizler sonucu elde edilen normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment kesit tesirlerinin tabliye boyunca değışimleri kar yüğü için şekil 3.33, 3.34 ve 3.35'te verilmiştir. Kuvvet birimi "kN", uzunluk birimi "m" olarak verilmiştir. Köprü tasarımı yaptığımız bölge mevsim şartları açısından fazla kar yağışı alan bir bölge olmadığı için kesit tesirleri küçük değerlerde çıkmıştır. Bu değerler normal kuvvet için 2903 kN, kesme kuvveti için 15 kN, moment için de 432 kN olarak bulunmuştur.



Şekil 3.45. Kar Yüğü İçin Elde Edilen Normal Kuvvet Diyagramı (P)



Şekil 3.46. Kar Yüğü İçin Elde Edilen Kesme Kuvveti Diyagramı

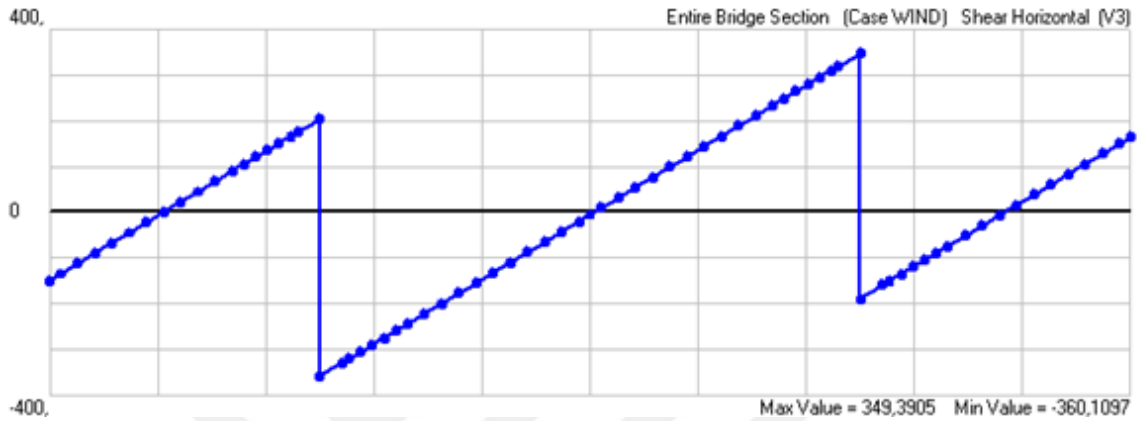


Şekil 3.47. Kar Yüğü İçin Elde Edilen Moment Diyagramı (M3)

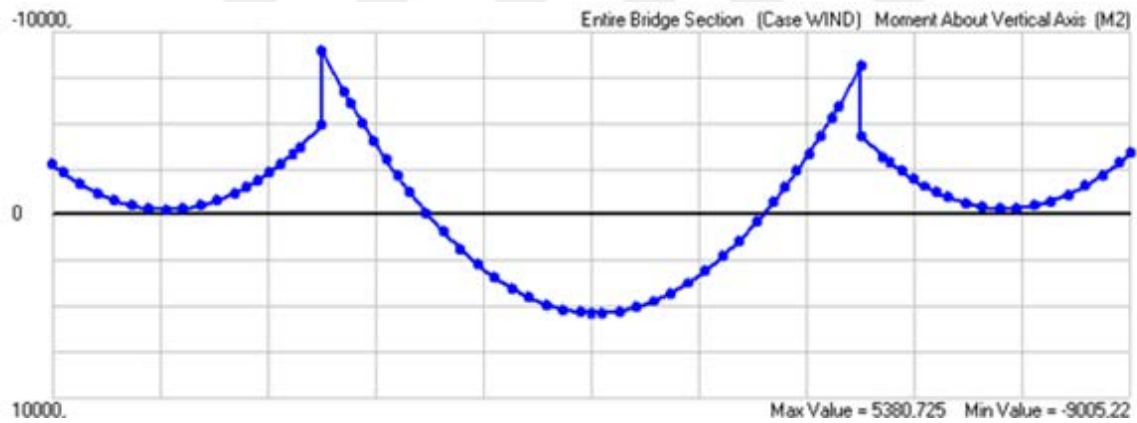
### 3.7.5. Rüzgâr yükü kesit diyagramları

Köprü'nün analizler sonucu elde edilen kesme kuvveti ve moment kesit tesirlerinin tabliye boyunca değişimleri rüzgâr yükü için şekil 3.36 ve 3.37 'de verilmiştir. Kuvvet birimi "kN", uzunluk birimi "m" olarak verilmiştir.

Bölge aşırı rüzgâr alan bir bölge olmadığı için rüzgâr yükünün kesit tesirleri yüksek miktarda çıkmamıştır. Fakat rüzgâr yükünün burulma etkisi göz ardı edilmemelidir. Kesit tesirlerinde rüzgâr yükünün normal kuvvet etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Grafiklerde rüzgâr yükünden dolayı oluşan kesme kuvvetinin 350 kN, moment etkisinin de 9.005 kN olduğunu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.48. Rüzgâr Yükü İçin Elde Edilen Kesme Kuvveti Diyagramı (V3)

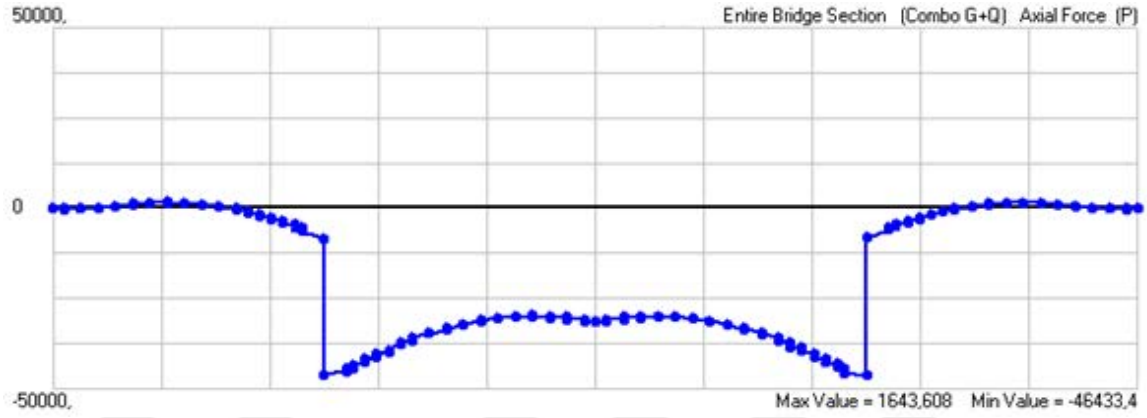


Şekil 3.49. Rüzgâr Yükü İçin Elde Edilen Moment Diyagramı (M2)

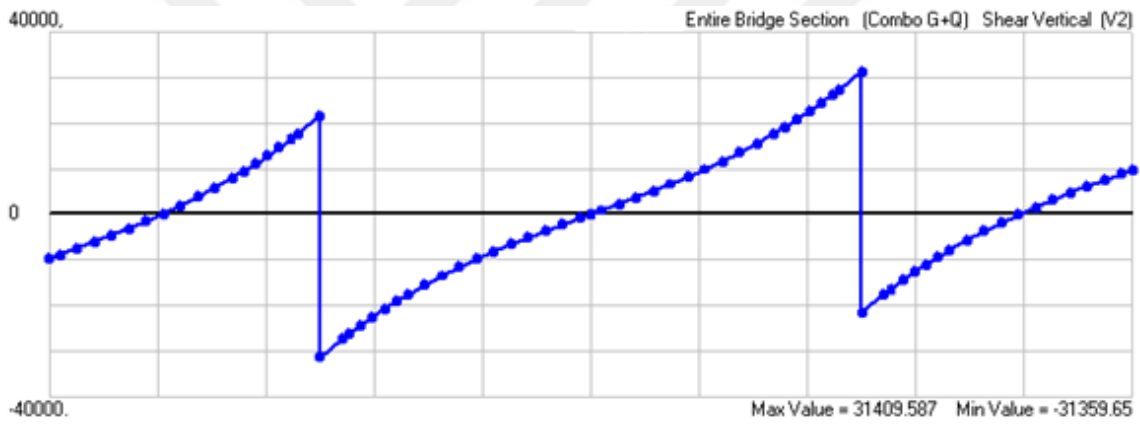
### 3.7.6.F<sub>D1</sub> yük kesit diyagramları

Köprü'nün analizler sonucu elde edilen normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment kesit tesirlerinin tabliye boyunca değişimleri F<sub>D1</sub> yük kombinasyonu için şekil 3.38, 3.39, 3.40, 3.41 ve 3.42 'de verilmiştir. Kuvvet birimi "kN", uzunluk birimi "m" olarak verilmiştir. F<sub>D1</sub> yük kombinasyonu hareketli yükler ve ölü yüklerin birlikte değerlendirildiği G + Q kombinasyonudur. Bu yüklemekten dolayı köprümüzde oluşan normal kuvvet maksimum 46.433 kN değerine ulaşmıştır. Bu yüklemekten dolayı oluşan kesme kuvveti iki farklı yönde oluşmuştur.

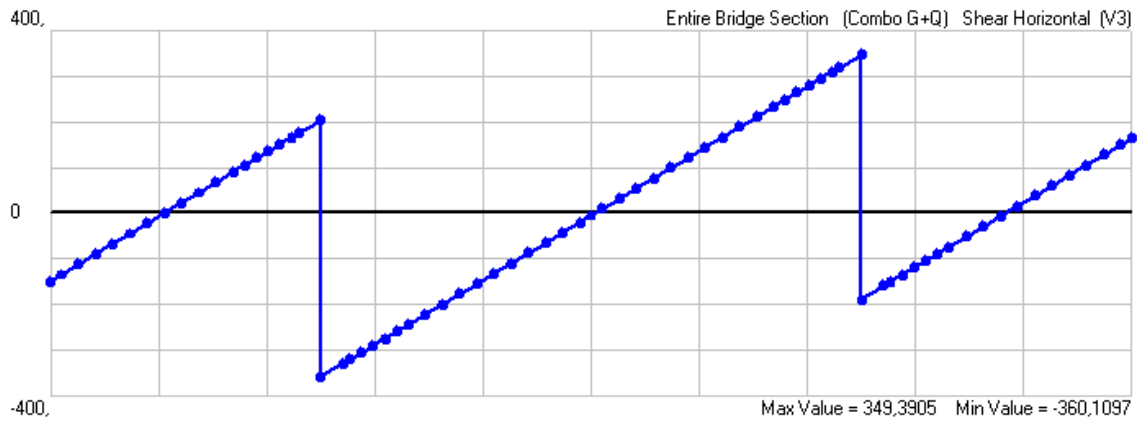
Köprüye dik yönde ve köprü uzunluğu boyunca oluşan bu kuvvetler, dik yönde 32.409 kN değerdayken köprü uzunluğu boyunca 360 kN'dur. Kesit tesirlerinden moment değerleri ise köprüye dik yönde 5380 kN bulunurken yatay yönde 117672 kN olarak bulunmuştur.



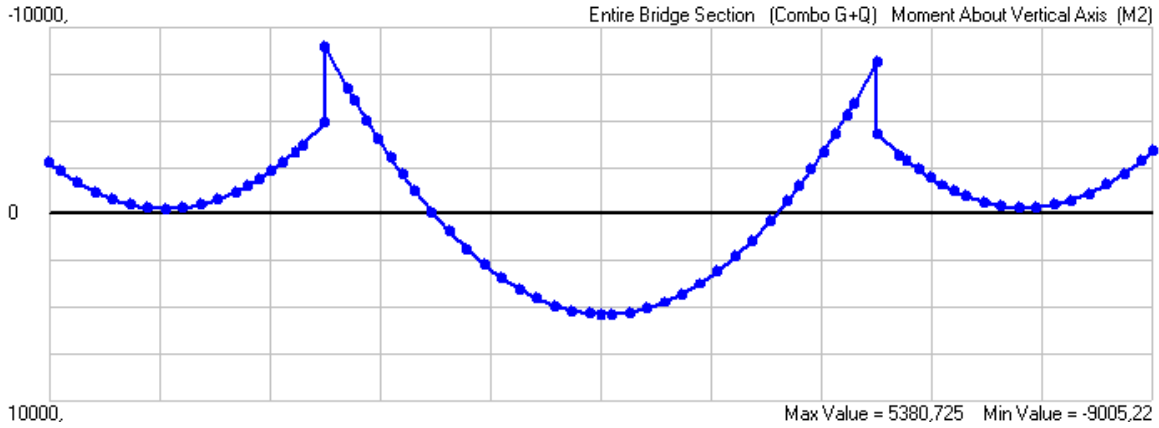
Şekil 3.50.  $F_{D1}$  Yük Kombinasyonu İçin Normal Kuvvet Diyagramı (P)



Şekil 3.51.  $F_{D1}$  Yük Kombinasyonu İçin Kesme Kuvveti Diyagramı (V2)



Şekil 3.52.  $F_{D1}$  Yük Kombinasyonu İçin Kesme Kuvveti Diyagramı (V3)



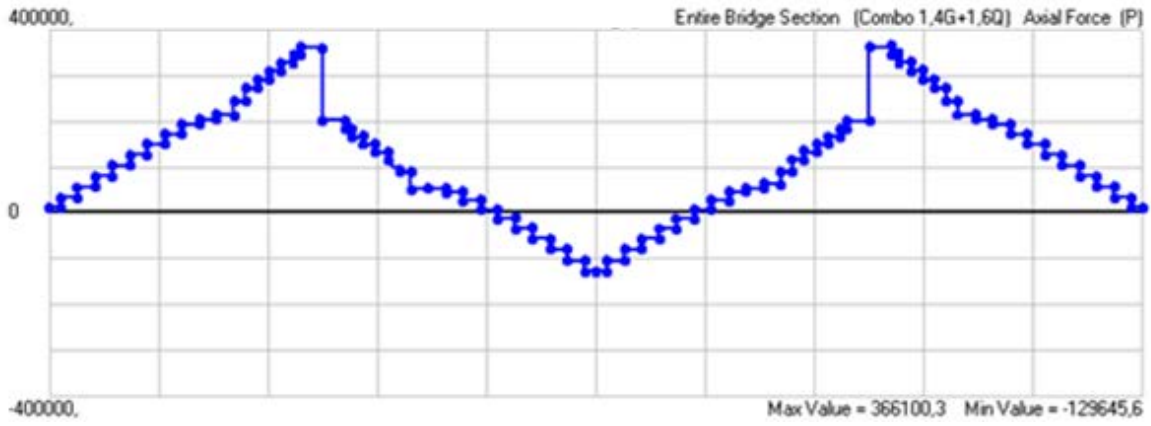
Şekil 3.53.  $F_{D1}$  Yük Kombinasyonu İçin Moment Diyagramı (M2)



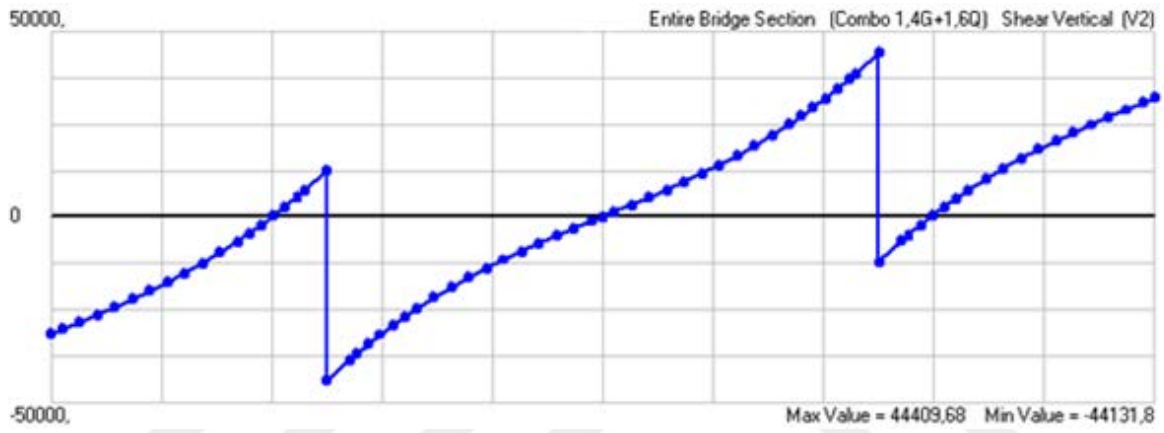
Şekil 3.54.  $F_{D1}$  Yük Kombinasyonu İçin Moment Diyagramı (M3)

### 3.7.7. $F_{D2}$ yük kesit diyagramları

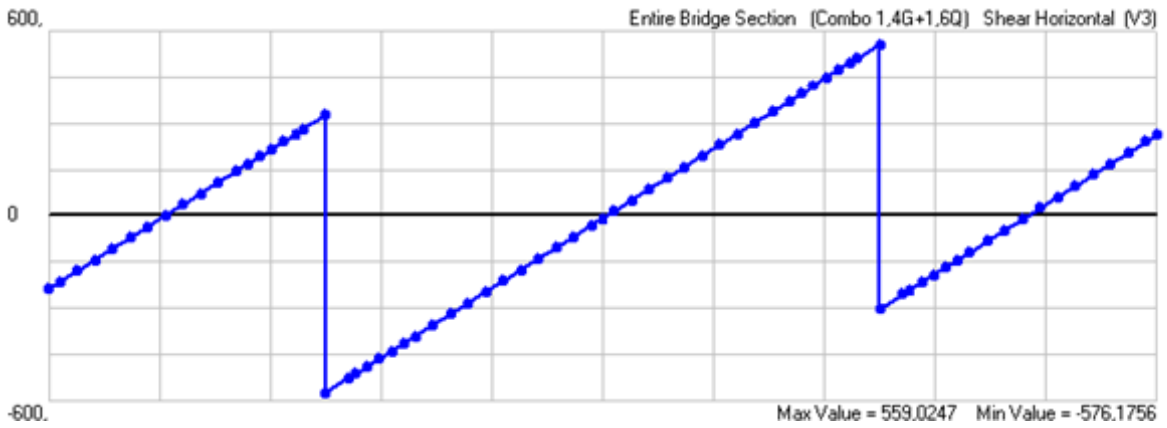
Köprü'nün analizler sonucu elde edilen normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment kesit tesirlerinin tabliye boyunca değişimleri  $F_{D2}$  yük kombinasyonu için şekil 3.43, 3.44, 3.45, 3.46 ve 3.47 'de verilmiştir. Kuvvet birimi "kN", uzunluk birimi "m" olarak verilmiştir.  $F_{D2}$  yük kombinasyonu ölü yük ve hareketli yükün birlikte değerlendirildiği, güvenlik katsayılarıyla artırılarak yapıya etki ettirildiği kombinasyondur. Burada ölü yük 1.4 ile, hareketli yük 1.6 ile çarpılmıştır. Sonuçlara baktığımızda 366.100 kN'luk bir normal kuvvet etkisinin ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlarda kesme kuvvetinin ise dikey yönde 44.409 kN, yatay yönde ise 559 kN olarak program tarafından bulunmuştur. Yine kesit tesirlerinden moment değerinin maksimum değeri ise dikey yönde 14.408 kN, yatay yönde 2.246.206 kN değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu kombinasyonlarda kesit tesirlerinin en yüksek değerlerine genel olarak köprü ayaklarında ulaştığı görülmüştür.



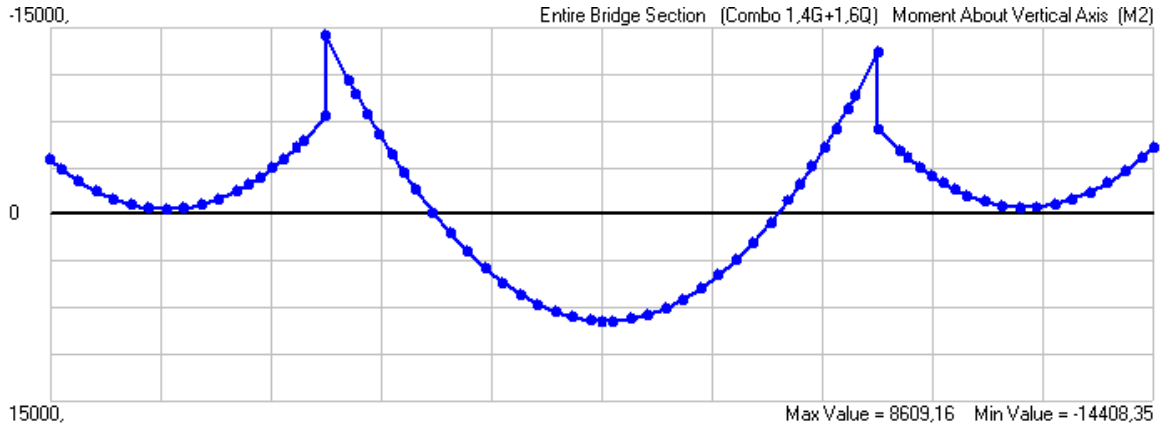
Şekil 3.55.  $F_{D2}$  Yük Kombinasyonu İçin Normal Kuvvet Diyagramı



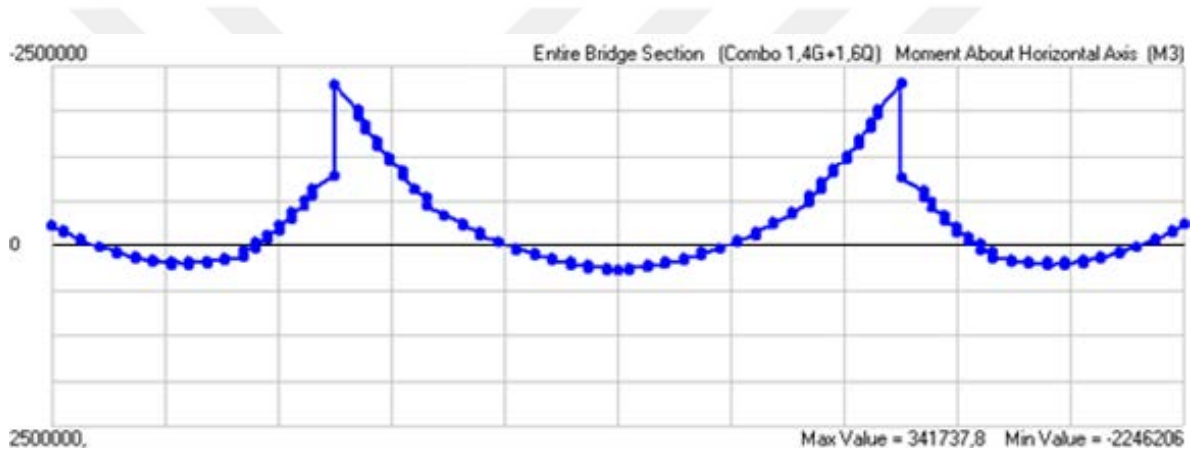
Şekil 3.56.  $F_{D2}$  Yük Kombinasyonu İçin Kesme Kuvveti Diyagramı (V2)



Şekil 3.57.  $F_{D2}$  Yük Kombinasyonu İçin Kesme Kuvveti Diyagramı (V3)



Şekil 3.58.  $F_{D2}$  Yük Kombinezonu İçin Moment Diyagramı (M2)

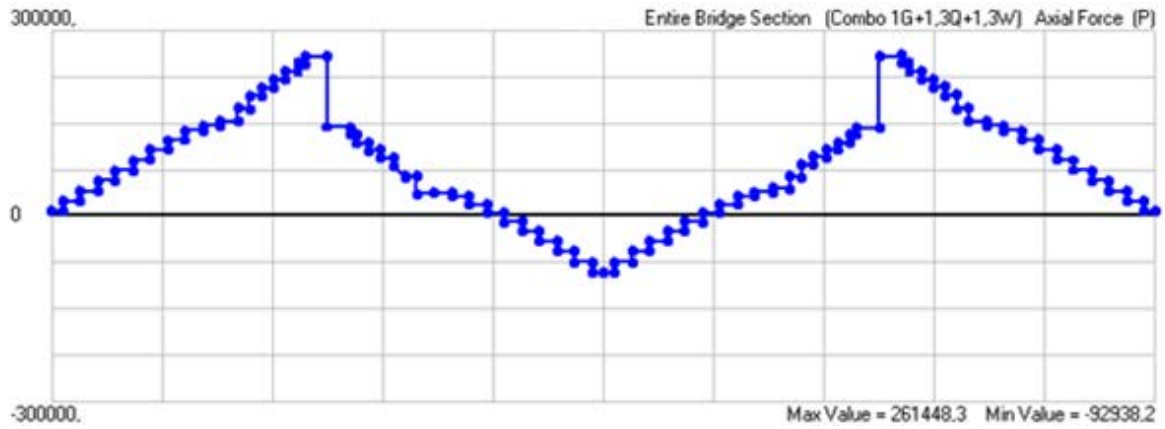


Şekil 3.59.  $F_{D2}$  Yük Kombinezonu İçin Moment Diyagramı

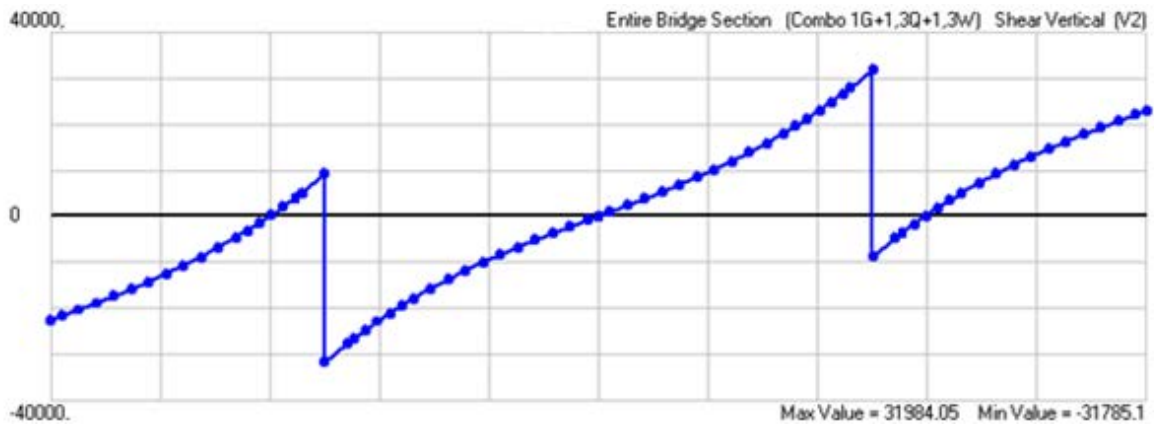
### 3.7.8. $F_{D3}$ yük kesit diyagramları

Köprü analizlerinin sonucu elde edilen normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment kesit tesirlerinin tabliye boyunca değişimleri  $F_{D2}$  yük kombinezonu için şekil 3.41, 3.42, 3.43, 3.44 ve 3.45 'te verilmiştir. Kuvvet birimi "kN", uzunluk birimi "m" olarak verilmiştir.  $F_{D3}$  yük kombinasyonu ölü yük, hareketli yük ve rüzgar yükünün birlikte değerlendirildiği, güvenlik katsayılarıyla artırılarak yapıya etki ettirildiği kombinasyondur. Burada ölü yük 1.3 ile, hareketli yük ve rüzgar yükü 1.3 ile çarpılmıştır. Sonuçlara baktığımızda 261.448 kN'luk bir normal kuvvet etkisinin ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlarda kesme kuvvetinin ise dikey yönde 31.984 kN, yatay yönde ise 454 kN olarak program tarafından bulunmuştur. Yine kesit tesirlerinden moment değerinin maksimum değeri ise dikey yönde 11.706 kN, yatay yönde 1.611.640 kN değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu kombinasyonlarda kesit tesirlerinin en yüksek değerlerine genel olarak köprü ayaklarında ulaştığı görülmüştür.

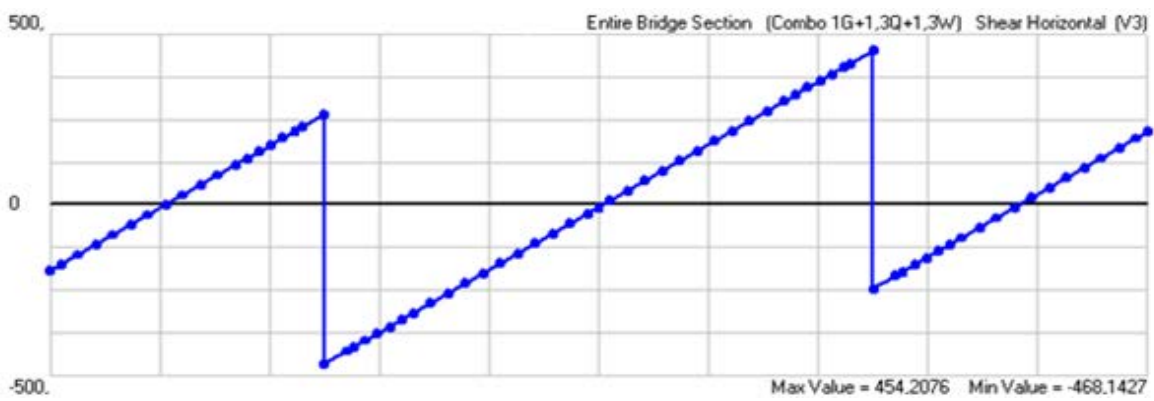




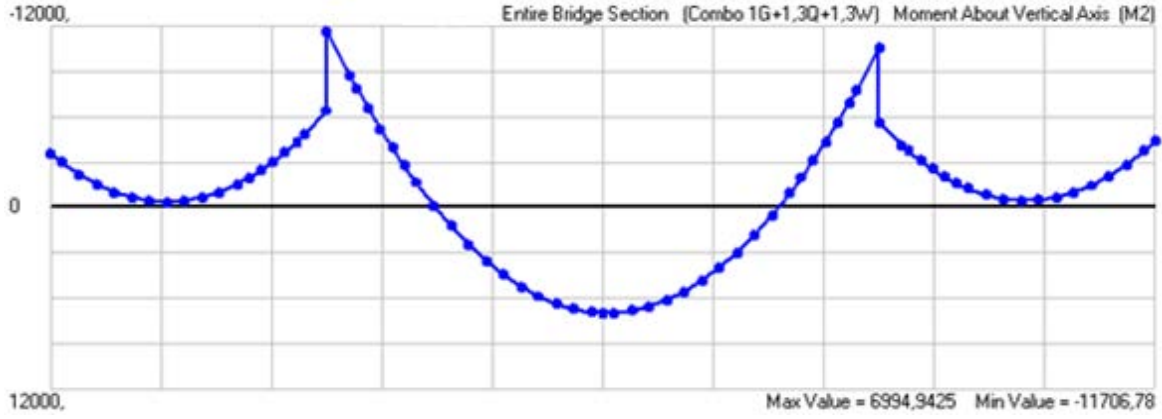
Şekil 3.60.  $F_{D3}$  Yük Kombinasyonu İçin Normal Kuvvet Diyagramı



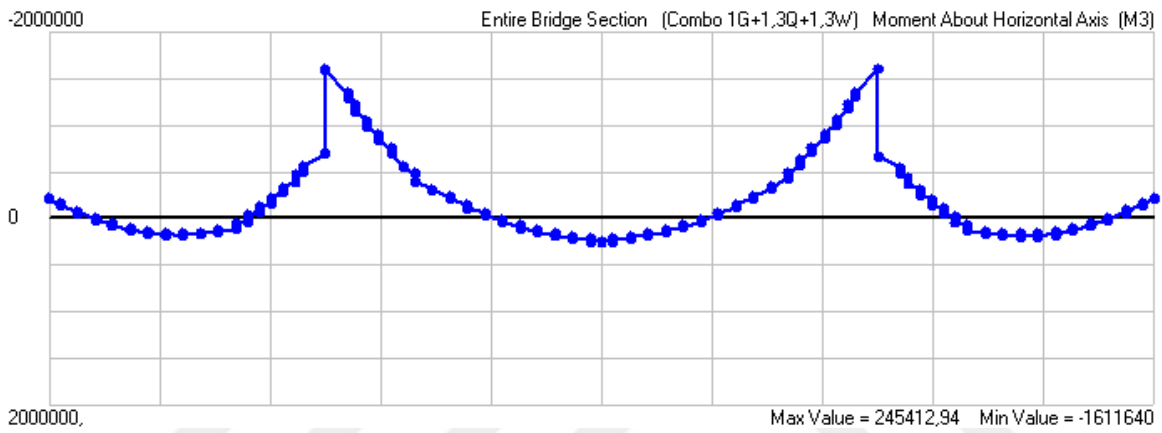
Şekil 3.61.  $F_{D3}$  Yük Kombinasyonu İçin Kesme Kuvveti (V2) Diyagramı



Şekil 3.62.  $F_{D3}$  Yük Kombinasyonu İçin Kesme Kuvveti Diyagramı (V3)



Şekil 3.63.  $F_{D3}$  Yük Kombinasyonu İçin Moment Diyagramı (M2)



Şekil 3.64.  $F_{D3}$  Yük Kombinasyonu İçin Diyagramı Moment (M3)

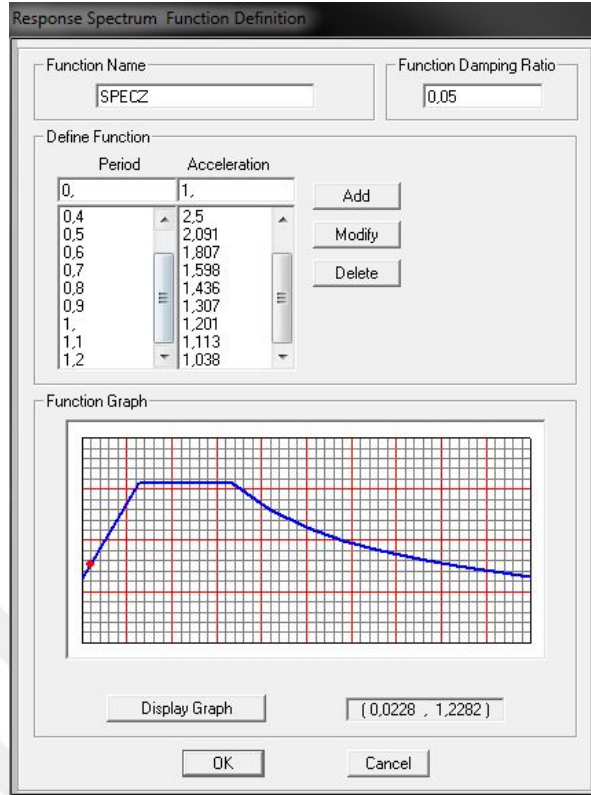
### 3.8. Deprem Hesabı

Tasarlanan köprünün dinamik deprem yükünden dolayı göstereceği davranışı bu bölümde anlatmaya çalışılmıştır. Dinamik deprem yükünü sonlu eleman modelini nasıl etkilediğini SAP2000 programından ekran görüntüleriyle açıklanmıştır. Sonrasında yapılacak analizler sonucu elde edilen grafikler bu bölümde sunulmuştur.

Deprem hesabında kullanılan deprem spektrum değerleri AASHTO teknik şartnamesinden yararlanılarak köprüye atandı.

#### 3.8.1. Dinamik deprem yükü ataması

Define > Functions > Response Spectrum > Add New Function komutunu kullanarak tepki spektrumumuzu tanımlandı. Şekil 3.46'ya bakınız.



**Şekil 3.65.** Tepki Spectrum Fonksiyonu Tanımı [3]

Daha sonra; Define > Load Cases > Add New Load Case komutunu kullanarak açılan pencereden sağ üstte Load Type kısmını “Response Spectrum” olarak değiştirip sol altta Loads Applied kısmından ul yönünde spectrumdan dolayı oluşacak yük tanımlandı. Burda Scale faktör kısmına  $A_0 \cdot I \cdot g$  ile hesaplanan değeri yazılır.  $A_0$  deprem bölgesinde etkin yer ivme katsayısı Trabzon için 0,1 alındı. I Yapı önem katsayısını belirtmek üzere köprüler için 1,5 alındı. g yer çekimi ivmes  $9,81 \text{ m/s}^2$  olarak alındı. Yani scale factor =  $0,1 \cdot 1,5 \cdot 9,81 = 1,4715$  olarak girildi. Şekil 3.47’ya bakınız.

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: SPECZ [Set Def Name] Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Response Spectrum [Design...]

Modal Combination:

- CQC
- SRSS
- Absolute
- GMC
- NRC 10 Percent
- Double Sum

GMC f1: 1.0  
GMC f2: 0.0  
Periodic + Rigid Type: SRSS

Directional Combination:

- SRSS
- Absolute

Scale Factor: [ ]

Modal Load Case:

Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	SPECZ	1.4715
Accel	U1	SPECZ	1.4715

[Add] [Modify] [Delete]

Show Advanced Load Parameters

Other Parameters:

Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

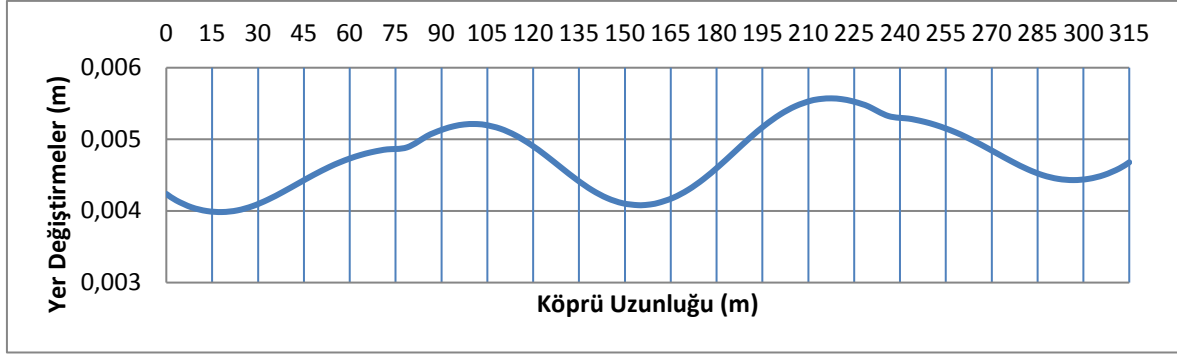
[OK] [Cancel]

**Şekil 3.66.** Yükleme Dosyası Bilgisi – Tepki Spektrumu [3]

Sonraki aşamada yük kombinasyonunu tanımlanmaktadır. burada Scale Factor  $1/R$ . Burada R taşıyıcı sistem davranış katsayısı 1 olarak alındı. Böylece dinamik deprem yükü için gerekli yük atamalarını programa atamış oldu. Bundan sonraki kısımda analiz sonuçlarına yer verilecektir.

### 3.8.2. Deprem yükü için davranış

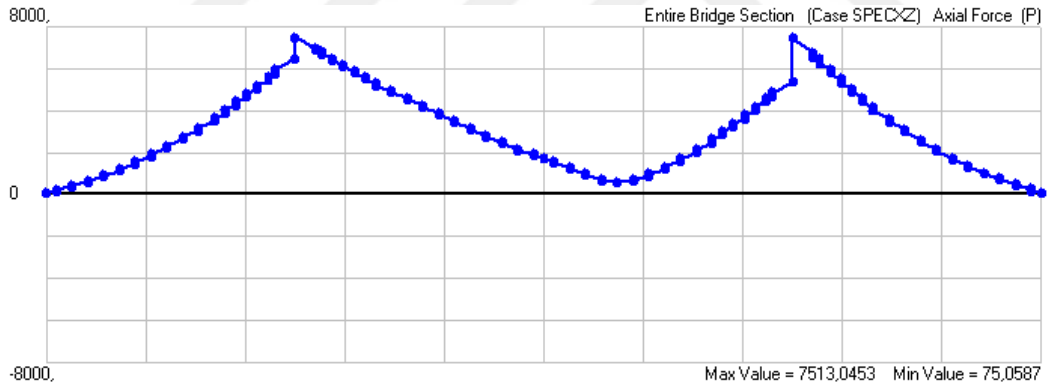
Köprünün dinamik analizleri sonucunda elde edilen u1 yer değiştirmelerinin tabliye boyunca değişimi şekil 3.48 ' de verilmiştir. Burada u1 yönü dediğimiz köprü uzunluğunca olan yöndür. U1 yönünde deprem kuvvetinden doğan köprü açıklık ortasında 4 cm yer değiştirme görülürken, köprü ayaklarına yakın yerlerde 5,5 cm'lik bir yer değiştirme ortaya çıkmıştır. Köprü boyunca yer değiştirmenin ortalama 4 cm civarında olduğu gözlemlenmiştir.



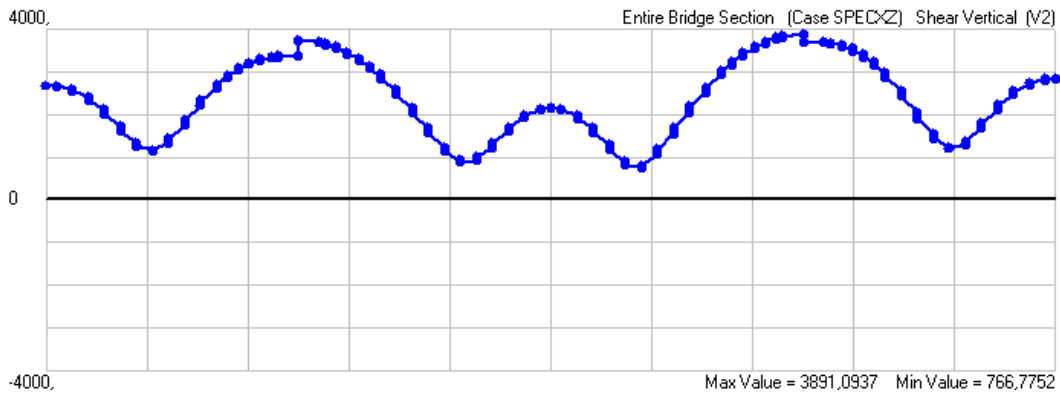
Şekil 3.67. u1 yönünde dinamik deprem yükü için yer değiştirme grafiği

### 3.8.3. Deprem yükü kesit tesirleri

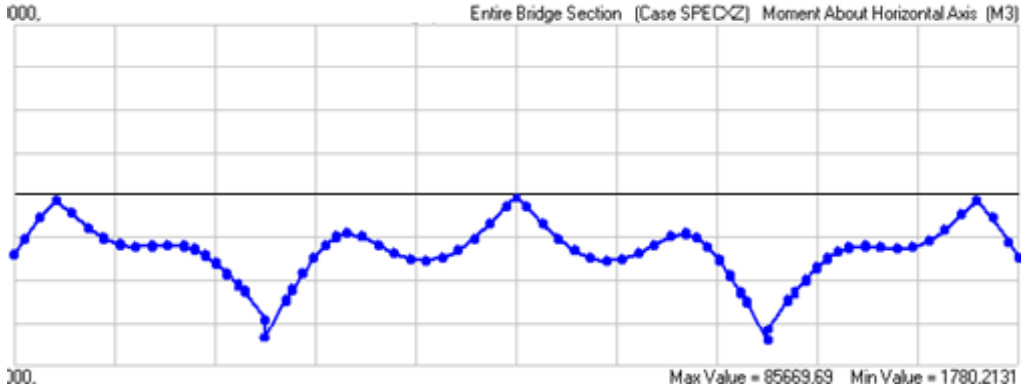
Köprünün dinamik analizleri sonucunda elde edilen normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment kesit tesirlerinin tabliye boyunca değişimi şekil 3.49, 3.50 ve 3.51’de verilmiştir. Deprem yükünden elde ettiğimiz sonuçlarda maksimum oluşan normal kuvvetin 7.513 kN olduğunu görülmüştür. Bu maksimum kuvvetin köprü ayaklarında meydana geldiği grafikte görülmektedir. Bu kuvvetten oluşan kesme kuvvetinin ise maksimum 3891 kN değerinde olduğu görülmüştür. Maksimum momentin ise 85.669 kN olduğu görülmektedir.



Şekil 3.68. Dinamik Deprem Yükü İçin Normal Kuvvet Diyagramı (P)



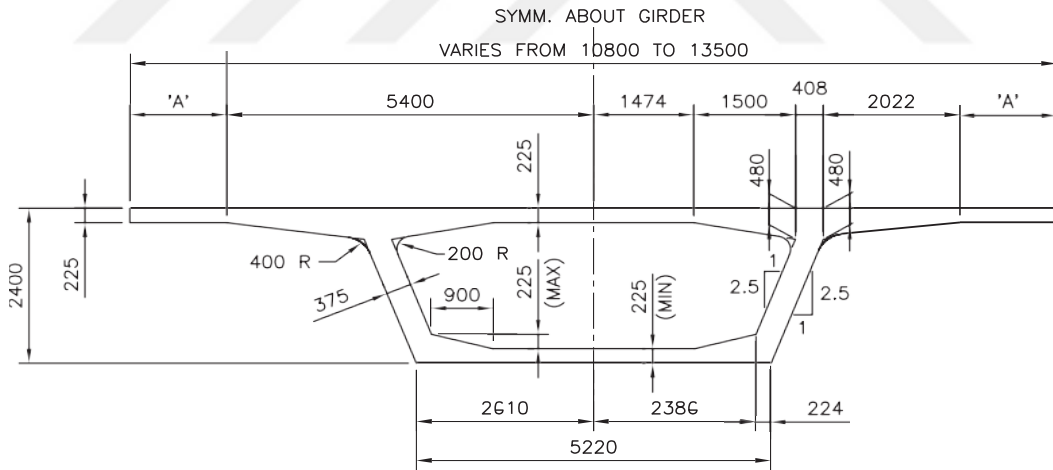
Şekil 3.69. Dinamik Deprem Yükü İçin Kesme Kuvveti Diyagramı (V2)



Şekil 3.70. Dinamik Deprem Yüğü İçin Moment Diyagramı (M3)

### 3.9.Genel Kullanım Malzeme Özellikleri

Bu bölümde modelleri boyutlandırmadan önce genel dengeli konsol köprü malzemeleri araştırıldı ayrıca köprü yüklemelerden dolayı oluşan kesit tesirlerinin de açıklık boyunca değişimi hakkında fikir sahibi olunuldu. Daha önce vadi uzunluğuna göre 350 m tasarlayıp analizini yapılan köprünün 50. m, 150. m, 250. m boyunca kesit tesirleri incelenmiştir.

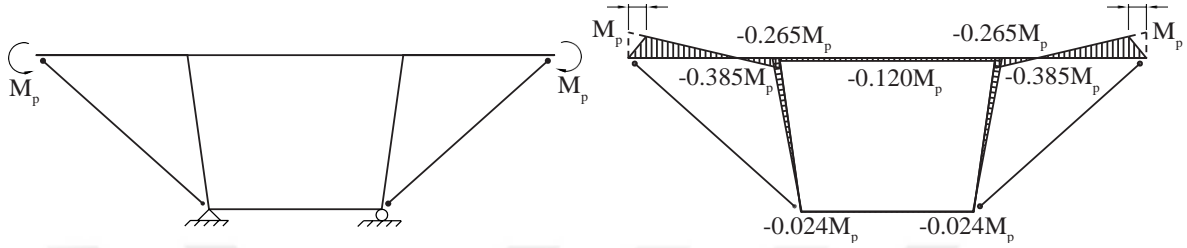


Şekil 3.71. AASHTO dengeli köprü için standart segment [25]

Şekil 4.1'de tip kesiti verilen dengeli konsol köprü segmenti AASHTO standartlarına göre dengeli konsol köprü kesitidir. Genel kullanım görünümü açısından örnek olarak verilmiştir.

Diğer bölümlerde dengeli konsol köprü tasarım ve analizinin referans programı üzerinden nasıl yapılacağını anlatarak analiz yapıldı ve sonuçları irdelendi.

Açıklık değiştiğinde kesit tesirlerinin miktarları değişirken, oran ve çalışma prensibi açısından değerlerde bir farklılık gözükmemektedir. Bu sistemin büyük açıklıkları geçmek için ideal bir sistem olduğundan küçük açıklıklarda daha ekonomik yöntemler tercih edilebilir. Dengeli konsol köprü için kullanılan kesitin analiz sonucu çıkan genel öngerilme moment diyagramı aşağıda bulunmaktadır.



**Şekil 3.72.** Uygulanan ön gerilme momenti – Eğilme moment dağılımı [25]

Dengeli konsol köprüde açıklık değişince öngerilme sonucu oluşan eğilme moment dağılımının aynı olduğunu analizler sonucu görülmüştür. Büyük açıklıkları geçmek her kesitte mümkün olmadığı için moment eğrisiyle birebir uyum sağlayan dengeli konsol yöntemi cazip bir hal almıştır. Fakat açıklık küçüldüğünde oluşan kesit tesirleri miktarları azalma gösterdiğinden daha küçük açıklıklarda farklı yöntemlerle köprü inşa etmek daha mantıklı bir hal alacaktır. Büyük açıklıklarda güvenilir, ekonomik ve hızlı gözükken bu yöntem küçük açıklıklarda aynı etkiyi göstermeyeceği düşünülmektedir. Bu yöntemde öngerilme kabloların yanı sıra büyük yükleri taşıması için ardgerme kabloları da kullanılmaktadır. Ayrıca kesitler büyük olduğundan çok uzun metrajlarda inşa edilmemektedir. Uzun metrajlardaki kesitler inşa edilirken yerleştirme bakımından zor olacaktır.

Kısa açıklıklar analizlerden çıkan sonuçlara göre sadece plaklarla geçilebilirken, orta açıklıklarda kirişlerle birlikte ızgara oluşturarak açıklıkları geçme zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Uzun açıklıklı köprülerde sadece kiriş yeterli olmadığından ve kiriş boyutları çok büyüdüğünden, çelik köprülere ve öngerilmeli dengeli konsol yöntemi gibi yöntemlere başvurulmaktadır. Dengeli konsol köprü analizlerinde de kullanılan genel malzemeler aşağıda listelenmiştir.

**Tablo3.4.** Malzeme Özellikleri

MALZEME	DEGER
Beton	
Basınç Mukavemeti	$f'_c = 50 \text{ MPa}, 40 \text{ MPa}$
Elastic modülü	$E_c = 28100 \text{ MPa}$
Öngerme Kabloları	
Çekme Dayanımı	$f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$
Akma Dayanımı	$f_{py} = 0.9 f_{pu} = 1670 \text{ MPa}$
Öngerilme Miktarı	$\sigma_{p\infty} = 0.6f_{pu} = 1120 \text{ MPa}$
Elastisite Modülü	$E_p = 200000 \text{ MPa}$
Güçlendirilmiş Çelikler	
Akma Dayanımı	$f_y = 400 \text{ MPa}$
Elastisite Modülü	$E_s = 200000 \text{ MPa}$

Dengeli konsol köprü imalatlarında öngerme ve ardgerme kablolarında güçlendirilmiş çelik kablolar kullanılmaktadır. Normal çeliğe göre 4 kat daha fazla dayanımlı çelikler kullanılmaktadır. Normal çeliklerin yanı sıra köprü imalatlarında kullanılan çelik çubuklar da güçlendirilmiş çelik çubuklardır.

Öngerme ve ardgerme kabloları birkaç çeliğin birleşimiyle sarmal şeklinde oluşmaktadır. Bu kabloların genel kullanımını aşağıda tablolarda verilmiştir.

**Tablo3.5.** Genel Kullanım Kablolar

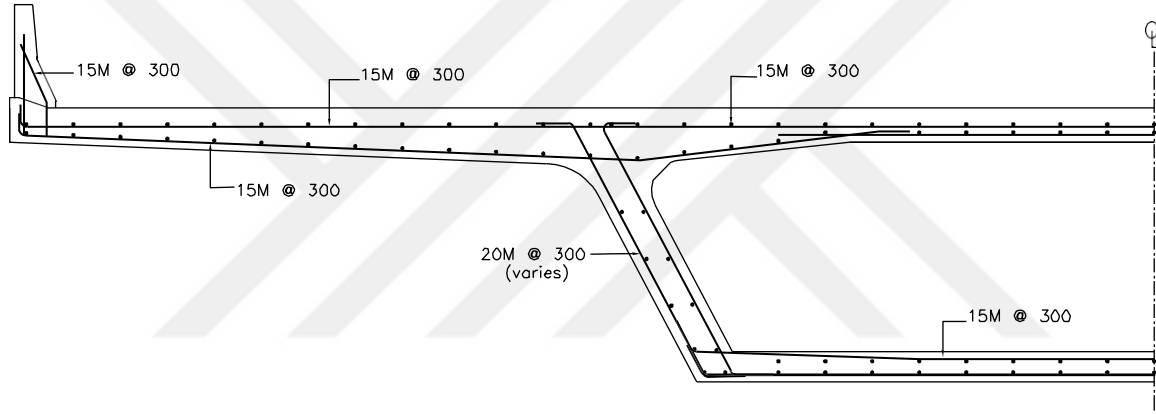
<u>Kablo Adedi</u>	<u>Dış çap (mm)</u>	<u>Minumum blokaj çapı (mm)</u>
12	94	254
15	97	279
19	106.3	305
27	121.4	343
37	138.4	407



**Tablo3.6.** Modellemede Kullanılan Kablolar

Malzeme	Değer
Kullanım Çapı	15.00 mm
Kullanım Alanı	175 mm <sup>2</sup>
Birim Ağırlık	1.102 kg/m

Tablo 3.5.'te bir kablo kanalında kullanılan kablo sayısı ve kablo kanalının kapladığı alan belirtilmiştir.

**Şekil 3.73.** Örnek Takviye Çeliği Yerleşimi [26]

Analizler sonucu güçlendirilmiş çeliğin kutu kesitte yerleşimi şekil 3.71.'de bir örnekte verilmiştir. Kutu kesit moment büyüklüğüne göre değişim göstermektedir, kutu kesit değiştikçe çelik çubuk yerleşimi de değişmekte olup şekil örnek teşkil etmek için tasarlanmıştır.

**Tablo3.7.** Kesit Tesir Değerleri

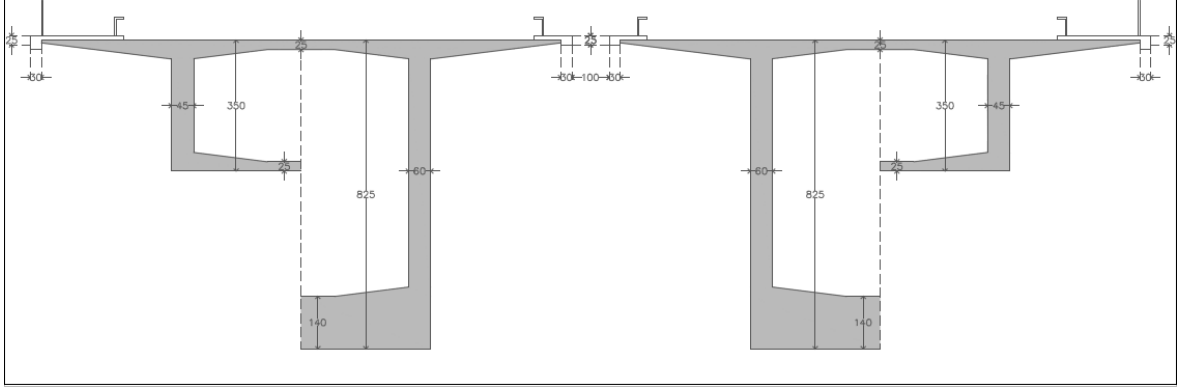
L (m)	Yer	Moment Mr (kNm)	KESİT TESİRLERİ	
			Normal Kuvvet P(kN)	Kesme Kuvveti T (kN)
20	Değiştirme (cm )			
	11 Yatay	55000		- 7500
40	14 Düşey	-22400	58600	33132
	18 Yatay	12050		-20000
60	24 Düşey	-754520	154000	20000
	30 Yatay	252000		-34000
75	34 Düşey	-1115745	254000	15000
	34 Yatay	341737		-44131
	40 Düşey	-2246206	366100	44409

Tablo 3.7’de açıklık boyunca değişen kesit tesir değerleri görülmektedir. Resim tabloya eklenerek değerlerin köprünün hangi kısmına denk geldiği gösterildi. Diğer kısımlarda 350 m’lik köprümüz için sonuçları grafikler halinde aktarılan köprünün açıklık değişiminde değişen kesit tesirleri tablo halinde aşağıda verilmiştir. Tabloda belirtilen kesit tesir değerleri yük kombinasyonu sonucu oluşan en büyük kesit tesiri değerleridir. Tabloda kesit tesir değerlerinin yanı sıra maksimum yer değiştirmelere de yer verilmiştir.

Bu kısımda elde edilen değerler sonucunda vadi, deniz, göl gibi sürekli köprü ayağı inşa edilemeyen orta açıklığı büyük olmak zorunda olan yerlerde dengeli konsol köprü ekonomik ve yararlı olmaktadır. Sürekli ayak inşası mümkün olan yerlerde açıklıkları kirişlerle geçmek daha az maliyetli olacaktır. Dengeli konsol köprü orta açıklığı ve kesit tesirleri büyük olan yerlerde en ideal taşıyıcı tipi olabilmektedir.

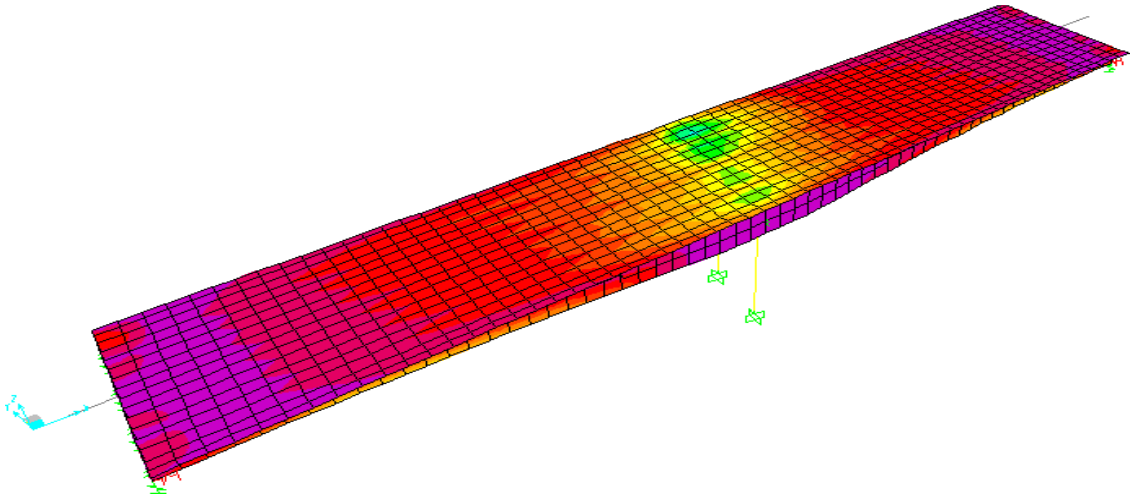
#### 4.MODELLEMELER

Bu bölümde iki farklı modelleme üzerine dengeli konsol köprü hesapları yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Köprü aynı uzunlukta iki farklı beton sınıfına göre modellenmiş köprü kesit tesirleri, kesit boyutları, kesit ağırlıkları ve maliyetler karşılaştırılmıştır. Her iki modelde aynı kesit tipine göre modellenmiştir. Model kesit tipi aşağıda verilmiştir. İki farklı modele göre kesit tipleri aynı olup kesit kalınlıkları beton sınıfına göre farklılık göstermiştir. Birinci model C 50 beton sınıfına göre modellenirken ikinci model C 40 beton sınıfına göre modellenmiştir.



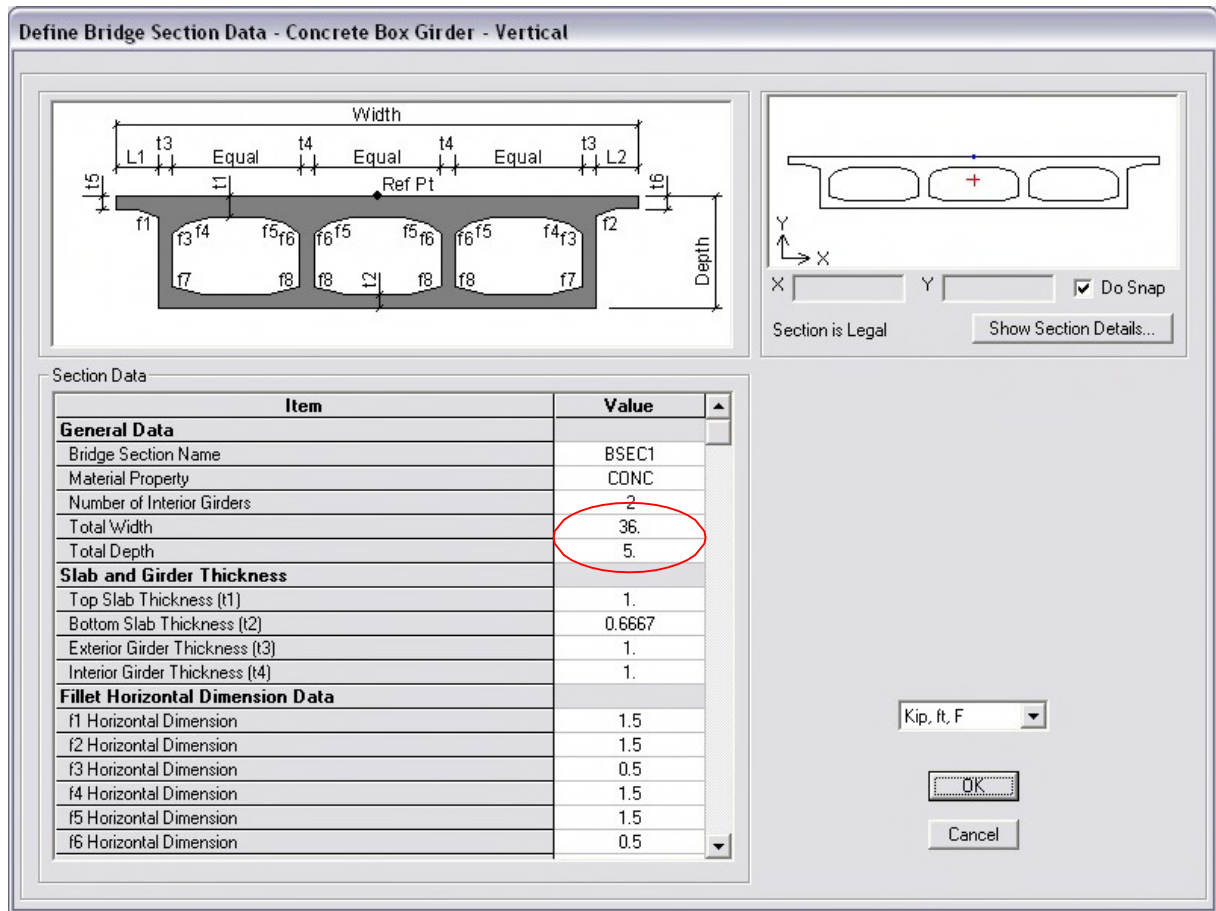
Şekil 4.1. Ön boyutlandırma Kesit Formu

Dengeli konsol köprü sistemi kesit sistemi değişken olduğundan kesiti aynı şekilde göstermek için, şekil sol tarafı kullanılan en yüksek kesitin yarısı şekil sağ tarafı ise kullanılan en küçük kesitin yarısı olarak verilmiştir.



Şekil 4.2. Örnek Kesit Formu ( Sonlu Model )

Şekil 4.2. ' da en kritik yüklemeye göre oluşan moment etkisi görülmektedir. Şekil örnek olup iki modelde de farklılık göstermiştir. Yeşil bölgeler en kritik bölgeler olup mor bölgeler en az moment yükünün görüldüğü bölgelerdir. Renkler moment büyüklüğü sırasıyla küçükten büyüğe mor, kırmızı, turuncu, sarıdır ve yeşildir. Model 1 ve Model 2 için moment kritik bölgeleri aynı olup büyüklük olarak farklılık göstermektedir. Kesit tesiri miktarları iki model içinde Tablo 4.6' da verilmiştir. Bu yüklemelere göre Model 1 ve Model 2 için kesit boyutları değiştirilerek iki model içinde en ideal kesit boyutları bulunmuştur.



Şekil 4.3. Model Boyutlandırma Menüsü

Şekil 4.3. Sap 2000 için örnek kutu kesit boyutlandırma tablosudur. Ön boyutlandırma ile kesit tesirleri elde edilmiş ve model 1, model 2 için kesit boyutları tablo 4.1. ve tablo 4.2. menüsünden değiştirilerek analizler yapılmıştır. En kritik yüklemeyi taşıyacak en küçük boyutlar model 1 ve model 2 için ayrı ayrı analizler sonucu bulunmuş ve son hesaplar bu boyutlara göre yapılmıştır. Köprü genişliği sabit 15 m seçilmiştir.

**Tablo 4.1.** Model 1 Ön Boyutlandırma Seçimleri

Model 1	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10
Seçim 1	120 cm	225 cm	215 cm	130 cm	130 cm	215 cm	240 cm	120 cm	45 cm	60 cm
Seçim 2	130 cm	215 cm	225 cm	120 cm	120 cm	225 cm	215 cm	130 cm	50 cm	70 cm

Model 1	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8
Seçim 1	800 cm	300 cm	130 cm	25 cm	25 cm	25 cm	30 cm	40 cm
Seçim 2	810 cm	350 cm	140 cm	30 cm	30 cm	30 cm	40 cm	50 cm
Seçim 3	825 cm	400 cm	150 cm	35 cm	35 cm	35 cm	50 cm	60 cm

**Tablo 4.2.** Model 2 Ön Boyutlandırma Seçimleri

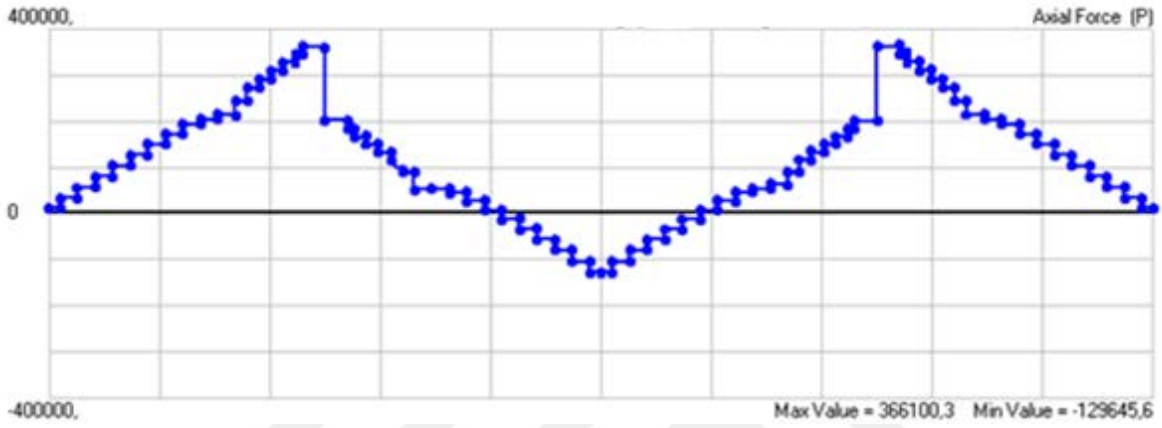
Model 2	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10
Seçim 1	120 cm	215 cm	215 cm	140 cm	140 cm	215 cm	240 cm	120 cm	50 cm	70 cm
Seçim 2	130 cm	220 cm	220 cm	130 cm	130 cm	220 cm	220 cm	130 cm	60 cm	75 cm

Model 2	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8
Seçim 1	840 cm	300 cm	170 cm	25 cm	25 cm	25 cm	45 cm	40 cm
Seçim 2	850 cm	350 cm	180 cm	30 cm	30 cm	30 cm	50 cm	50 cm
Seçim 3	860 cm	400 cm	190 cm	35 cm	35 cm	35 cm	55 cm	60 cm

Şekillerde yatay ve düşeyde model 1 ve model 2 için yatay ve düşeyde analiz edilen değerler verilmiştir. Bu değerlerle analizler yapılarak model 1 ve model 2 için en ideal kesit boyutları bulunmuş ve bu değerlerle gerçek yükler ve boyutlara ulaşılmıştır.

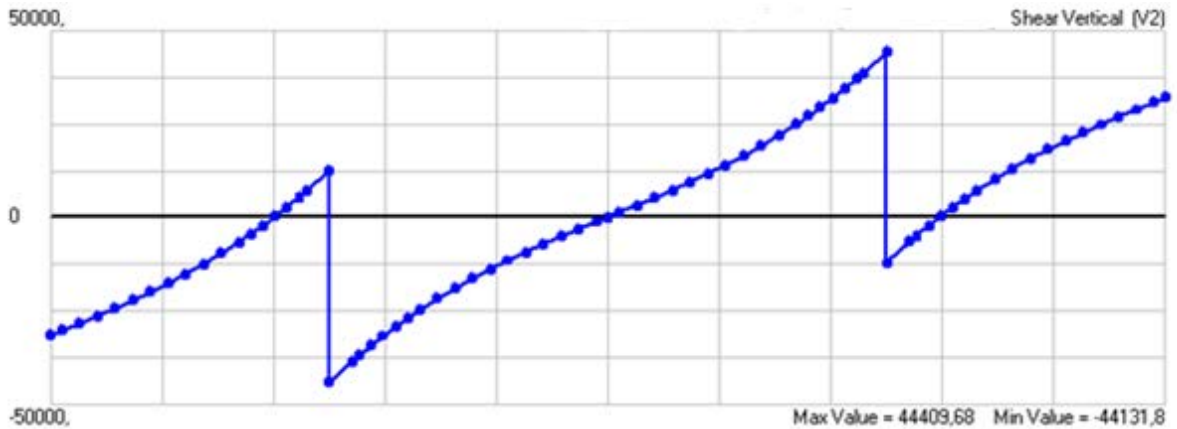
#### 4.1. Model 1 Kesit Tesirleri

Model 1 kesit tesirleri tezin daha önceki bölümlerindeki yük kombinasyonlarından  $Fd_2$  kombinasyonunda en yüksek değerlerine ulaşmıştır. Ayrıca deprem hesabı sonucu köprü düşey yer değiştirme max 6 cm olup en yüksek değerine köprü ayak kısımlarında ulaşmıştır. Şekil 4.7.



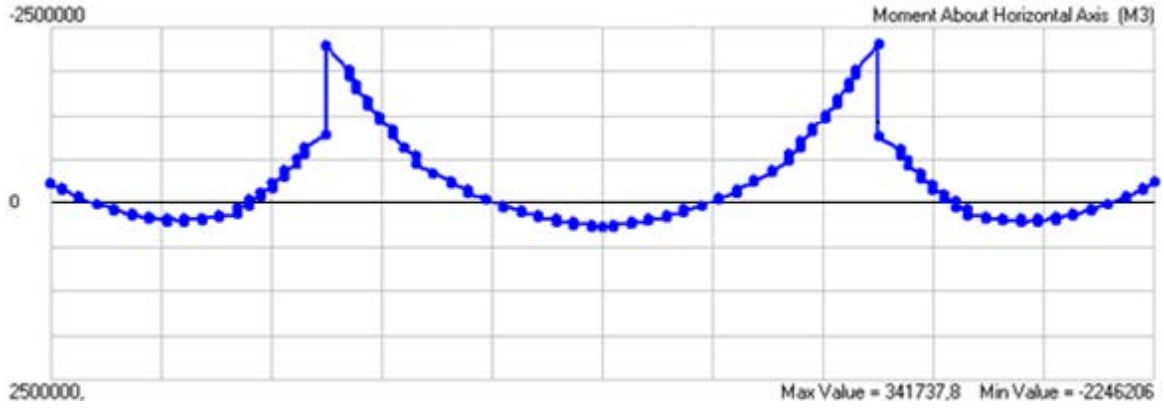
Şekil 4.4. Model 1 Basınç Kuvveti

Model 1 basınç kuvveti en yüksek değerine köprü ayak kısmında ulaşmıştır. 366.100 kN değeri en yüksek değerdir. En küçük değeri ise -129645 kN'dur ve bu değere köprü açıklık ortasında ulaşmıştır.

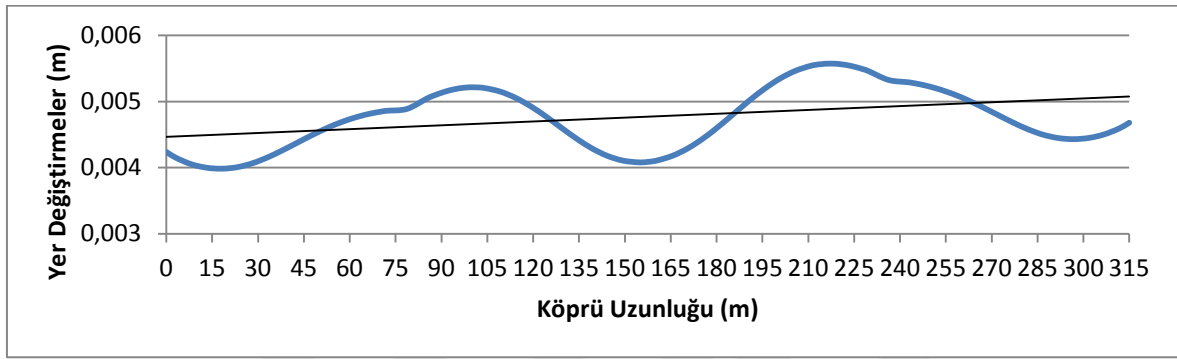


Şekil 4.5. Model 1 Kesme Kuvveti

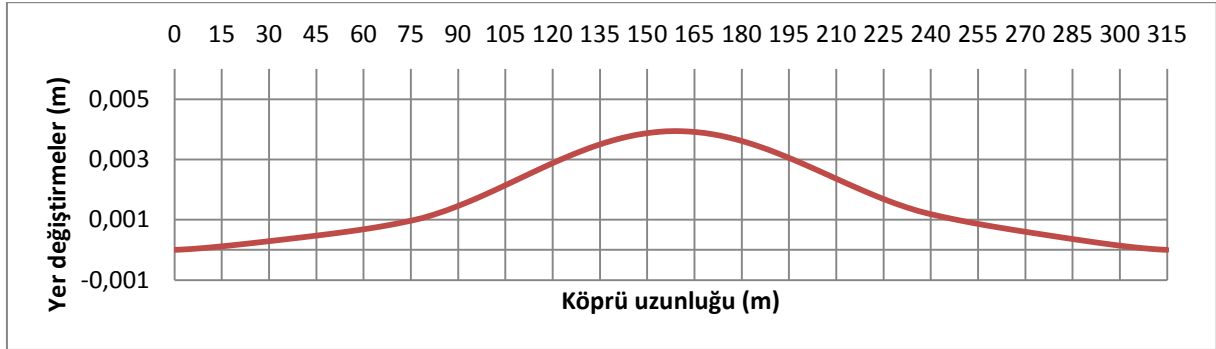
Model 1 kesme kuvveti en yüksek değerine köprü ayak kısmında ulaşmıştır. 44.409 kN değeri en yüksek kesme kuvveti değeridir. Köprü açıklık ortasında kesme kuvveti 0 'dır.



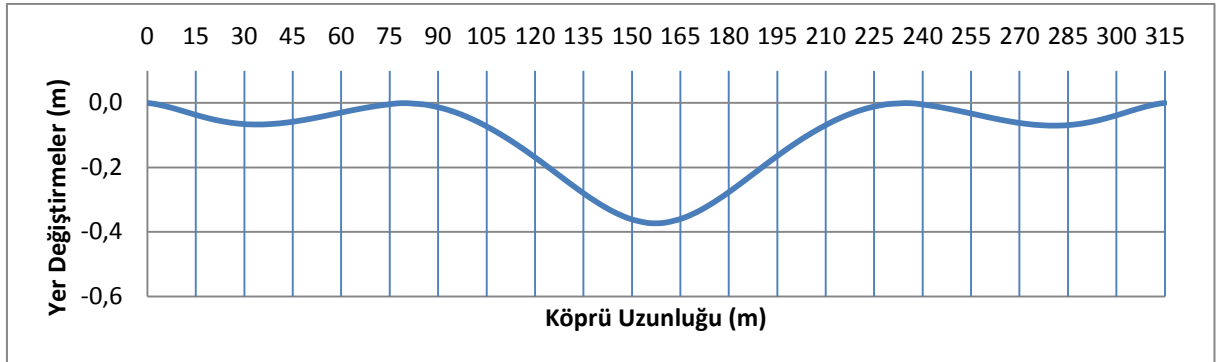
Şekil 4.6. Model 1 Moment Değeri



Şekil 4.7. Model 1 Deprem Etkisi Maksimum Yer Değiştirme



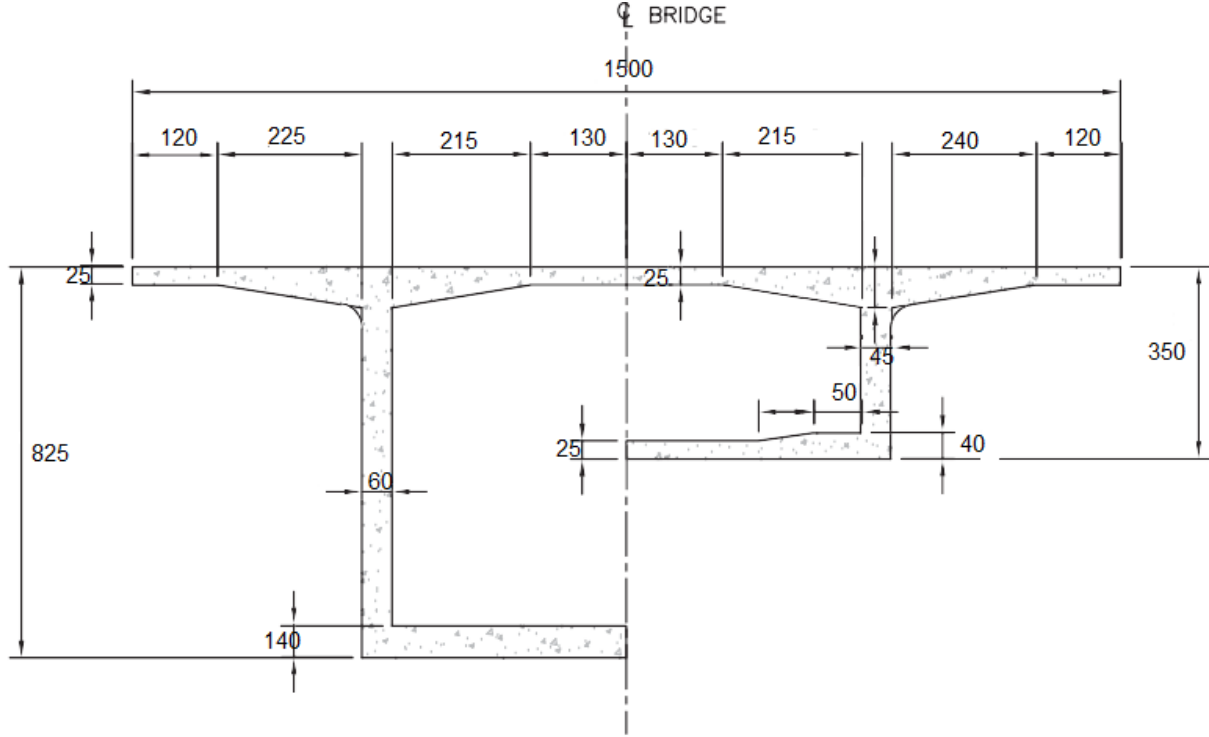
Şekil 4.8. Model 1 Yatay Deplasman



Şekil 4.9. Model 1 Düşey Deplasman

#### 4.1.1. Model 1 boyutlandırma

Bu modelde C 50 beton sınıfı ve 19 sarmal 305 mm blokaj çaplı kablolar kullanılmıştır. Bu malzemeler etkisinde SAP 2000 programında analizler yapılmış ve elde edilen kesit tesirleri şekillerde gösterilmiştir. Kullanılan malzeme özellikleri ve bir sonraki aşamada maliyet analizinde kullanılması için malzeme fiyatları araştırılmış, belirtilmiştir.



Şekil 4.10. Model 1 Boyutlar

Tablo 4.3. Model 1 Kullanılan Malzemeler

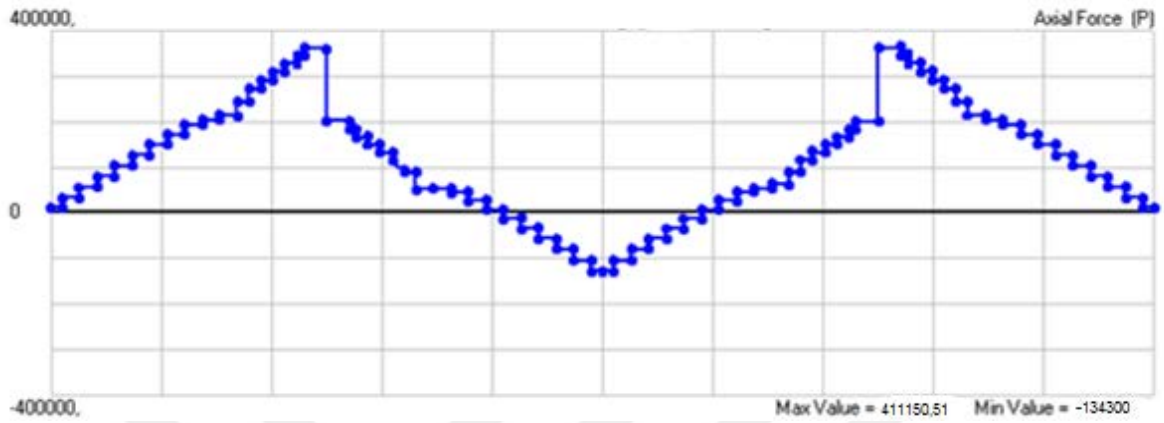
Malzeme	Dayanım (MPa)	Birim Fiyat(₺)	Birim Miktar	Birim Ağırlık
Beton ( m <sup>3</sup> )	50	175	25,56-11,57 m <sup>2</sup>	2400 kgf/m <sup>3</sup>
Öngerme Çeliği ( kg )	1860	6	271,51 mm	1102 kgf/1000m
Güçlendirilmiş Çelik (kg)	500	2.7	112,24 cm <sup>2</sup>	7850 kgf/m <sup>3</sup>

Model 1 sonucu oluşan boyutlandırma şekil 4.10.'da gösterilmiştir. Şekil 4.10.'da uzunluklar cm cinsindedir. Model 1'e göre SAP 2000 programında analizler yapılarak kesit tesirleri en kritik kombinasyona göre belirlenmiştir. Model 1'de C 50 beton kullanılarak boyutlandırma yapılmıştır. Kutu kesit kalınlıkları ilk önce genel köprü kesit kullanımına göre seçilmiş ve köprü yüklerine göre C 50 beton için uygun kesit şekil 4.10. olarak belirlenmiştir. Tablo 4.3. fiyatlarına göre maliyet analizleri yapılmıştır. Öngerme çeliğinin birim ağırlığı  $\phi 15$  mm çelik içindir.

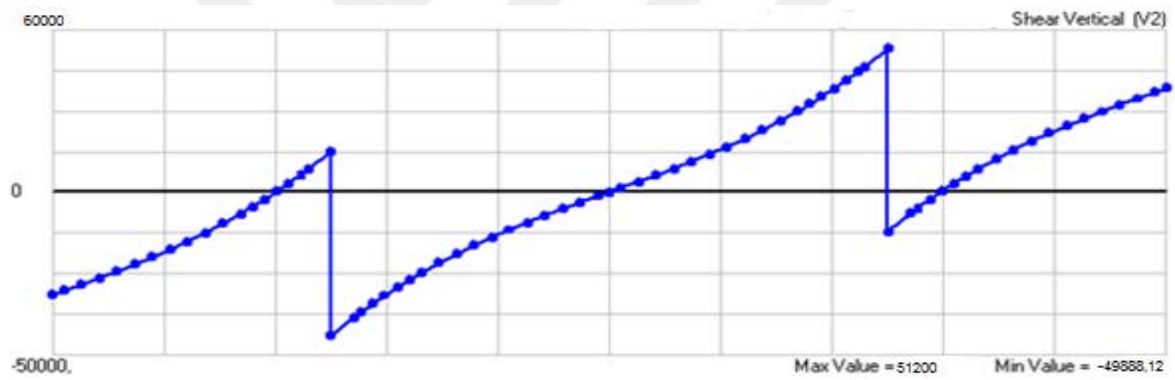


## 4.2. Model 2 Kesit Tesirleri

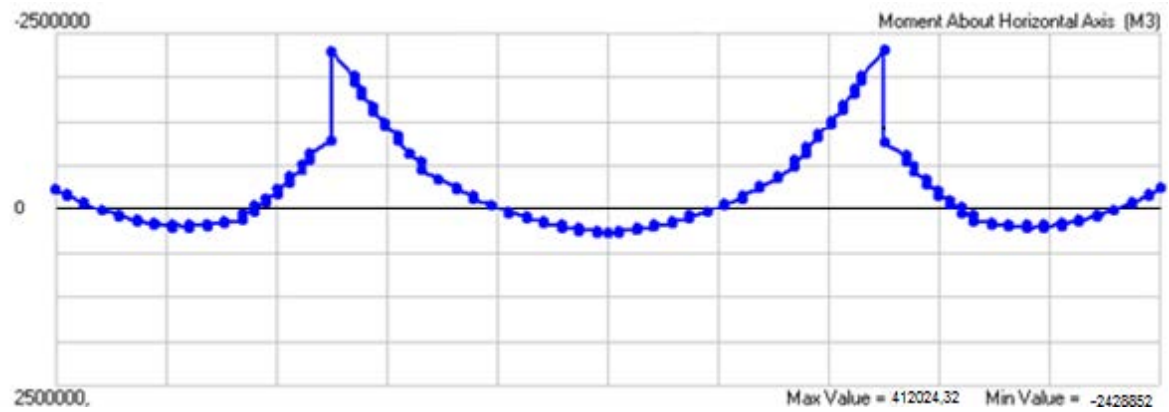
Model 2 kesit tesirleri yük kombinasyonlarından  $Fd_2$  kombinasyonunda en yüksek değerlerine ulaşmıştır.



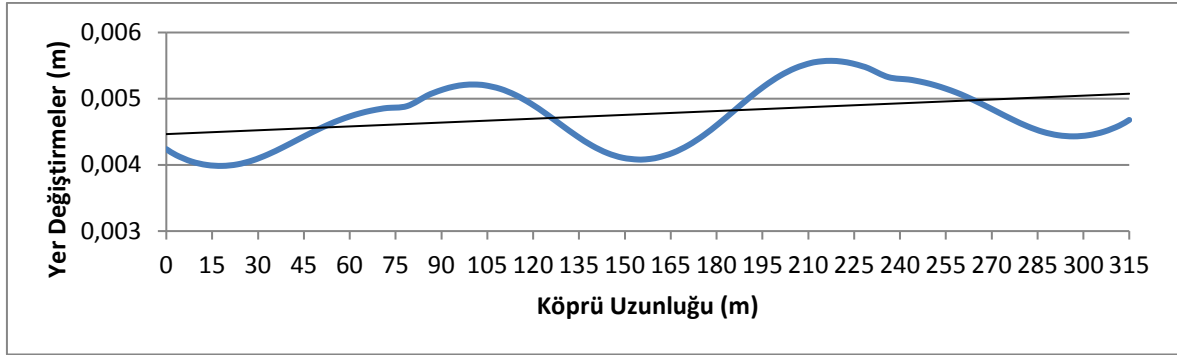
Şekil 4.11. Model 2 Basınç Kuvveti



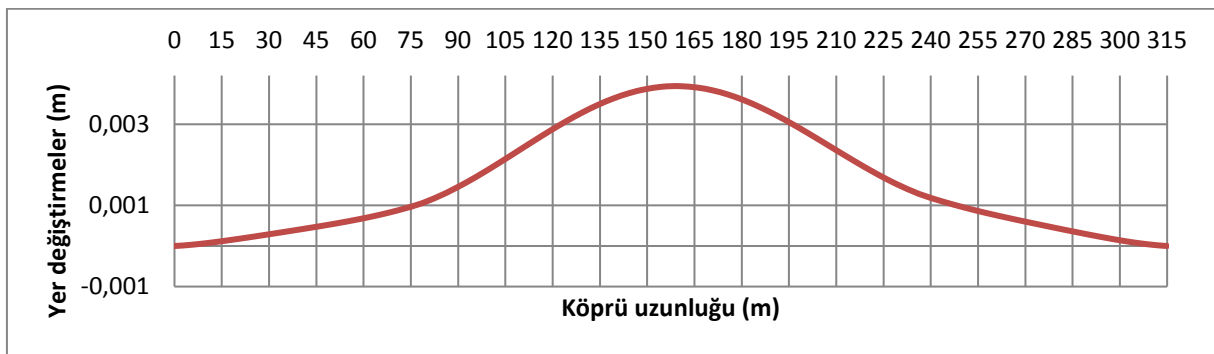
Şekil 4.12. Model 2 Kesme Kuvveti



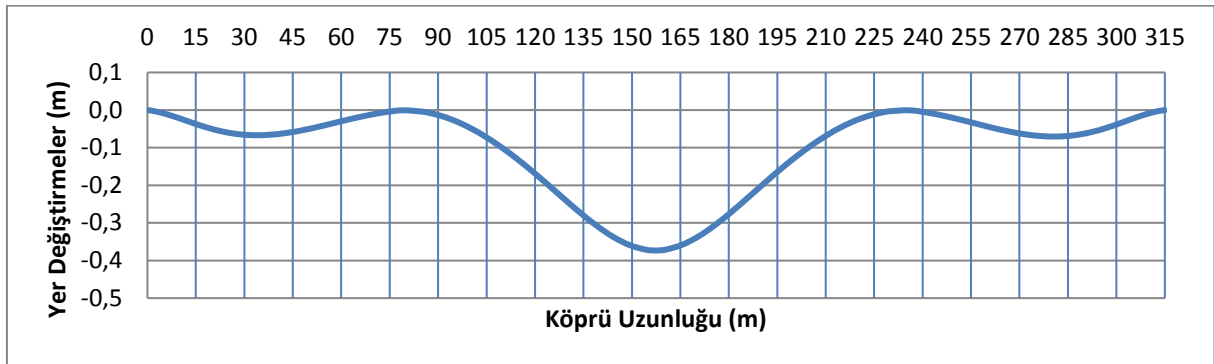
Şekil 4.13. Model 2 Moment Değeri



Şekil 4.14. Model 2 Deprem Etkisi Maksimum Yer Değiştirme



Şekil 4.15. Model 2 yatay deplasman

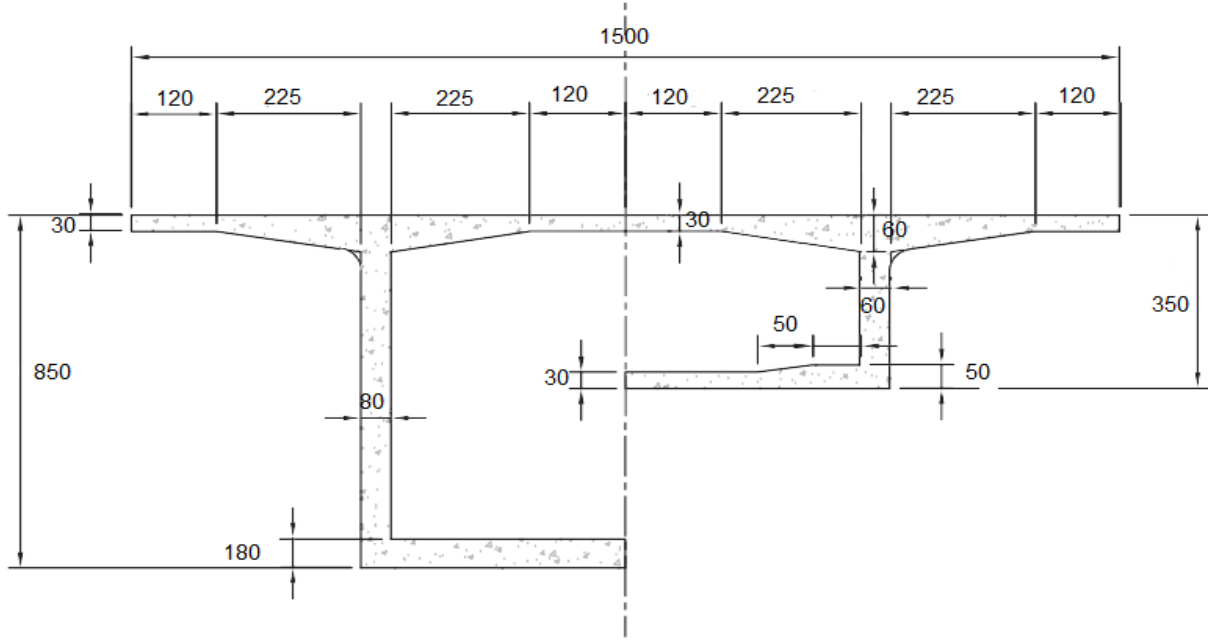


Şekil 4.16. Model 2 düşey deplasman

#### 4.2.1. Model 2 Boyutlandırma

Bu modelde C 40 beton sınıfı ve 21 sarmal 305 mm blokaj çaplı kablolar kullanılmıştır. Bu malzemeler etkisinde SAP 2000 programında analizler yapılmış ve elde edilen kesit tesirleri şekillerde gösterilmiştir. Malzeme özellikleri ve bir sonraki aşamada maliyet analizinde kullanılması için malzeme fiyatları araştırılmış, belirtilmiştir.

C40 beton kullanıldığında kesit boyutlarında değişimler olmuştur. Ayrıca bu modelde 21 sarmal öngerilme kabloları kullanılmıştır.



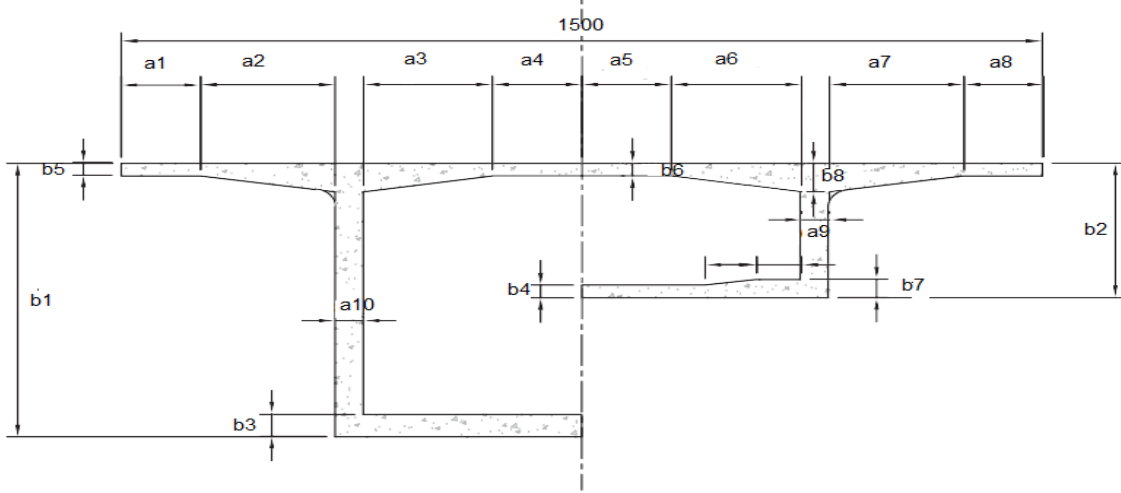
Şekil 4.17. Model 2 Boyutları

Tablo 4.4. Model 2 Kullanılan Malzemeler

Malzeme	Dayanım (MPa)	Birim Fiyat(₺)	Birim Miktar	Birim Ağırlık
Beton ( m <sup>3</sup> )	40	150	32,95-12,05 m <sup>2</sup>	2400 kgf/m <sup>3</sup>
Öngerme Çeliği ( kg )	1860	6	271,51 mm	1102 kgf/1000m
Güçlendirilmiş Çelik (kg)	500	2.7	565,12 cm <sup>2</sup>	7850 kgf/m <sup>3</sup>

Model 2 sonucu oluşan kesit boyutları şekil 4.17.'de gösterilmiştir. Şekil 4.17.'de uzunluklar cm cinsindedir. Model 2'e göre SAP 2000 programında analizler yapılarak kesit tesirleri en kritik kombinasyona göre belirlenmiştir. Model 2'de C 40 beton kullanılarak boyutlandırma yapılmıştır. Tablo 4.4. fiyatlarına göre maliyet analizi yapılacaktır.

### 4.3. Model 1,model 2 boyut karşılaştırma



Şekil 4.18. Boyutlar

Tablo 4.5. Model 1, Model 2 Boyutlar

YATAY BOYUT	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10
Model 1	120 cm	225 cm	215 cm	130 cm	130 cm	215 cm	240 cm	120 cm	45 cm	60 cm
Model 2	120 cm	225 cm	225 cm	120 cm	120 cm	225 cm	225 cm	120 cm	60 cm	80 cm

DÜŞEY BOYUT	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8
Model 1	825 cm	350 cm	140 cm	25 cm	25 cm	25 cm	40 cm	50 cm
Model 2	850 cm	350 cm	180 cm	30 cm	30 cm	30 cm	50 cm	50 cm

Kesit boyutlarında yatay yönde sadece kesit kalınlıklarında % 10 bir farklılık gözükmemektedir. C 40 beton ile yapılan model 2 boyutları %10 daha büyüktür. C 40 beton ile C 50 beton fiyatı arasında ise % 17 fiyat farkı vardır. Sadece yatay yönde beton maliyeti / kesit boyutları açısından C 40 beton daha avantajlı gözükmemektedir.

Düşey yönde kesit boyutlarında ise ortalama kesit boyutlarında ise ortalama % 25 bir farklılık vardır. Beton fiyatı arasındaki %17'lik fiyat farkına göre düşey yöndeki boyutlarda C 50 beton daha avantajlı gözükmemektedir. Genel bakış olarak C 50 betonun yapının ağırlığını ve yapı maliyetini azalttığı gözükmemektedir. Ayrıca yapının ağırlığıyla birlikte ölü yük miktarı azalığından yapıda kesit tesirlerinin miktarı da azalmaktadır.

Bununla beraber moment değerinden dolayı öngerilme miktarının C 50 betonda daha az kabloyla karşılanabildiği görülmüştür.

**Tablo 4.6.** Model 1, Model 2 Kesit Tesirleri

	Moment ( kN m )	Kesme Kuvveti ( kN )	Basınç Kuvveti ( kN )	Düşey Deplasman ( cm )	Yatay Deplasman ( cm )	Deprem Anında Yerdeğiştirme ( cm )
Model 1	2 246 206	44 130	366 100	34	3.2	6
Model 2	2 428 852	51200	411 150	35.5	3.6	4.5

Model 1 ve model 2 kesit tesir değerleri Tablo 4.6’da yer almaktadır. Model 2 kesit tesirleri model 1’e göre yaklaşık %10’luk bir artış göstermiştir. Model 1’de deprem yükü sonucunda 6 cm’lik bir yer değiştirme görülürken model 2’de bu 4,5 cm’ye düşmüştür. Yerdeğiştirmenin azalması betonarme yapı da gevrek kırılmaya yol açabilir. Kesit tesirlerinin değişmesinde en büyük etki beton dayanımının azalmasıyla kesit boyutlarının büyüterek yapı ağırlığının artmasıdır.

#### 4.4. Model 1, Model 2 Maliyetleri

Bu bölümde model 1 ve model 2 için köprü kesitlerinin maliyetleri araştırılmış ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Maliyet olarak beton hesabı, öngerme çelik maliyetleri ve kullanılan demir hesabı karşılaştırılmıştır.

##### Model 1 Beton Maliyeti ( C50 Beton ve 19 Sarmal Kablo )

Köprü Kesit Alanı\*Köprü Uzunluğu\*Beton Fiyatı ( TL / M<sup>3</sup> )

$$(25,56+11.57)/2 *350*175 = 1 137 106, 25 ₺$$

Beton Ağırlığı

$$(25,56+11.57)/2 *350 * 2,400 t / m^3 = 15 649, 20 t$$

##### Model 1 Kablo Maliyeti

Kablo Adedi\*Köprü Uzunluğu\*Blokaj Adedi

$$19*350*30 = 199500 m$$

Birim Ağırlık\*Tendon Uzunluğu

$$1102\text{kgf}/1000\text{m} * 199500\text{m} = 219\,849\text{ kg}$$

Ağırlık\*Fiyat

$$199\,500 * 6 = 1\,197\,000\text{ ₺}$$

#### Model 1 Çelik Maliyeti

Çelik Alanı\*Köprü Uzunluğu\*Birim Ağırlık

$$0,625 * 350 * 7500\text{kg}/\text{m}^3 = 1\,640\text{ t}$$

Ağırlık\*Fiyat

$$1640 * 2700 = 4\,428\,000\text{ ₺}$$

#### Model 2 Beton Maliyeti ( C40 Beton ve 23 Sarmal Kablo )

Köprü Kesit Alanı\*Köprü Uzunluğu\*Beton Fiyatı ( TL / M<sup>3</sup> )

$$(32,95+12,05)/2 * 350 * 150 = 1\,181\,250\text{ ₺}$$

Beton Ağırlığı

$$(32,95+12,05)/2 * 350 * 2,400\text{ t} / \text{m}^3 = 18\,900\text{ t}$$

#### Model 2 Kablo Maliyeti

Kablo Adedi\*Köprü Uzunluğu\*Blokaj Adedi

$$21 * 350 * 30 = 220500\text{ m}$$

Birim Ağırlık\*Tendon Uzunluğu

$$1102\text{kgf}/1000\text{m} * 220500\text{m} = 242\,991\text{ kg}$$

Ağırlık\*Fiyat

$$242\,991 * 6 = 1\,457\,946\text{ ₺}$$

#### Model 2 Çelik Maliyeti

Çelik Alanı\*Köprü Uzunluğu\*Birim Ağırlık

$$0,565 * 350 * 7500\text{kg}/\text{m}^3 = 1\,483\text{ t}$$

Ağırlık\*Fiyat

$$1483*2700 = 4\,004\,438 \text{ ₺}$$

Model 1 Kutu Kesit Toplam Fiyatı ve Ağırlığı

Beton Fiyatı + Gerilmeli Çelik Fiyatı + Çelik Fiyatı

$$1\,137\,106,25 \text{ ₺} + 1\,197\,000 \text{ ₺} + 4\,428\,000 \text{ ₺} = 6\,762\,106,25 \text{ ₺}$$

Beton Ağırlığı + Gerilmeli Çelik Ağırlığı + Çelik Ağırlığı

$$15\,649 + 219 + 1649 = 17\,508 \text{ t}$$

Model 2 Kutu Kesit Toplam Fiyatı Ağırlığı

Beton Fiyatı + Gerilmeli Çelik Fiyatı + Çelik Fiyatı

$$1\,181\,250 \text{ ₺} + 1\,457\,946 \text{ ₺} + 4\,004\,438 \text{ ₺} = 6\,643\,634 \text{ ₺}$$

Beton Ağırlığı + Gerilmeli Çelik Ağırlığı + Çelik Ağırlığı

$$18\,900 + 242 + 1438 = 20\,580 \text{ t}$$

**Tablo 4.7.** Model 1, Model 2 Sonuçlar

	Beton Miktarı*Beton Fiyatı ( M <sup>3</sup> *TL/M <sup>3</sup> )	Kablo Miktarı*Fiyatı ( ton*TL/ton )	Demir Miktarı*Demir Fiyatı ( ton*TL/ton )	Toplam Fiyat ( TL )	Toplam Ağırlık ( ton )
Model 1	1 137 106,25 ₺	1 197 000 ₺	4 428 000 ₺	6 762 106,25 ₺	17 508 t
Model 2	1 181 250 ₺	1 457 946 ₺	4 004 438 ₺	6 643 634 ₺	20 580 t

Tablo 4.7' te görüldüğü gibi model 2 model 1'e göre analizler sonucu üç bin ton daha ağır çıkmıştır. Model 2 ' de beton dayanımının azalmasıyla birlikte öngerilme kablolarının öngerme miktarı yetersiz kalmış ve öngerme kablolarının sarmal sayısı artırılmıştır. Bununla beraber öngerme çelik maliyeti de artmıştır. Model 1 beton maliyeti model 2 ile beton maliyeti ile birbirine yakın çıkmıştır.

Model 1 beton maliyeti, model 2 beton maliyetine göre %10 daha fazladır. Model 2 öngerme kablo maliyeti, model 1 öngerme kablo maliyetine göre %20 daha fazladır. Model 1 demir maliyeti, model 2 demir maliyetine göre %10 daha fazladır. Toplam maliyet model 1 model 2'ye göre %3 daha fazladır. Model 2 ağırlık olarak da model 1' göre %20 daha fazla çıkmıştır.

Ağırlık hesapları sadece kutu kesitte kullanılan beton, demir ve öngerme kabloları için yapılmıştır. Yapının toplam ağırlığı değildir.

Fiyatlandırma da güncel piyasa verileri temel alınmıştır.





## 5.SONUÇLAR

Bu çalışmada dengeli konsol köprü sistemi hakkında bilgiler verilmiş ve bu yöntem ile SAP 2000 programı ile analiz yapılması anlatılmıştır. Ardından iki farklı model tasarlanmış ve bu modeller için maliyet, kesit tesirleri ve yapı ağırlığı hesaplanmış ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada ölü yük, hareketli yük, rötire, sünme, köprünün dolu ve boş halinde rüzgâr yükü ve deprem yükü göz önüne alınarak çeşitli kombinasyonlar halinde etki ettirilmiş, en olumsuz yükleme için tasarımlar yapılmıştır.

Model 2 kesit tesirleri model 1'e göre yaklaşık %10'luk bir artış göstermiştir. Model 1'de deprem yükü sonucunda 6 cm'lik bir yer değiştirme görülürken model 2'de bu 4,5 cm'ye düşmüştür. Yerdeğiştirmenin azalması betonarme yapı da gevrek kırılmaya yol açabilir.

Model 2 taban kesme kuvveti, model 1' göre daha yüksek çıkmaktadır. Maksimum moment, maksimum açıklık kesme kuvveti ve maksimum basınç değerleri model 2'de model 1'e göre daha fazladır.

Analizler sonucu model 2 boyutları model 1' göre daha büyük boyutlardan oluşmaktadır. Model 2 model 1'den toplamda 3 bin ton daha ağır olmuştur. Yapı ağırlığının artması eşdeğer deprem yükünü de artırdığından istenmeyen bir durumdur. Bununla beraber yapı ağırlığının artması işlenebilirliği kötü yönde etkilemektedir.

Her iki modelde de analizler sonucunda elde edilen mod şekilleri incelendiğinde mod şekillerinin uyum içerisinde olduğu, dengeli konsol metodunun gerilmeleri karşıladığı ve ilk sekiz mod şeklinin eğilme ve burulma modu olduğu izlenmiştir. Bu uyum olmakla beraber dinamik karakteristikler ile öngörülen karakteristikler arasında bazı farklılıkların bulunabileceği ve deneysel olarak elde edilecek frekans değerleriyle analitik olarak frekans değerlerini karşılaştırma gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Dinamik analizler sonucu elde edilen yer değiştirmeler dikkate alındığında, her iki modelde de maksimum yer değiştirmelerin köprü ayak kısımlarında elde edildiği görülmüştür. Ayrıca, maksimum ve minimum asal gerilmelerin tabliye ile köprü ayaklarının birleşim bölgelerinde olduğu ve muhtemel çatlakların bu bölgelerde oluşabileceği düşünülmektedir.

Model 2 'de beton sınıfının azalmasıyla birlikte öngerilme kablolarının öngerme miktarı yetersiz kalmış ve öngerme kablolarının sarmal sayısı artırılmıştır. Bununla beraber öngerme çelik maliyeti de artmıştır.

Model 1 periyodu model 2 periyoduna göre daha uzun sürmektedir. Yapı ağırlığının azalmasıyla birlikte elastisite modülünün artmasına karşın, periyotlar ve maksimum yer değiştirmeler model 1’ de daha fazladır. Bununla beraber daha sünek bir yapı ortaya çıkmaktadır.

Model 1 en kritik yük altında 3.2 cm yatay yer değiştirme yaparken, model 2 aynı yükler altında 3.6 cm yer değiştirme yapmıştır. Model 1 en kritik yük altında 34 cm düşey yer değiştirme yaparken, model 2 aynı yükler altında 35,5 cm yer değiştirme yapmıştır. Bu yer değiştirmeler yatay, düşey deplasmanlar olup hesaplarda program tarafından kullanılmaktadır. Reel bir yer değiştirme değildir.

Model 1 beton maliyeti model 2 ile beton maliyeti ile birbirine yakın çıkmaktadır. Bunun sebebi düşük beton sınıfında boyutların artmasıdır.

Model 1 ve model 2 karşılaştırıldığında demir maliyetlerine beton sınıfının etkisinin %10’luk bir değerde olduğu gözlemlenmiştir. Moment değeri model 2 ‘de fazla olduğundan gerilmeli çelik kablo sayısında artış olmuştur.

Genel maliyetler model 1 ve model ikide birbirine yakın çıkmaktadır. Bu maliyetler içinde sadece ana malzemeler beton, demir ve öngerilme beton demeti maliyetleri karşılaştırılmıştır. İşçilik, taşıma ve genel malzeme maliyetleri tam sonuç için araştırılması gerekmektedir.

Büyük açıklıklarda dengeli konsol yönteminde kullanılan değişken yükseklikli enkesit; gerek yapım sırasında gerekse yapının bitmiş durumunda statik sistemin maruz kaldığı zorlanmalara karşı en uygun form oluşturduğu görülmüştür.

Bu yöntemde genel bir sonuç olarak kullanılan kesitlerin kutu kesit olması sebebiyle donatı ve beton tasarrufu sağlanmasının yanında yapı ağırlığının da azaldığı belirlenmiştir.

Sonuç olarak model 2 beton maliyeti model 1 beton maliyetine göre %10 daha fazla, model 2 öngerme kablo maliyeti, model 1 öngerme kablo maliyetine göre %20 daha fazla, model 1 demir maliyeti model 2 demir maliyetine göre %10 daha fazla bulunmuştur. Toplamda, model 1 model 2’ye göre %3 daha maliyetlidir. Model 2 ağırlık olarak ise model 1’ göre %20 daha fazla çıkmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] KTS, 2013. Karayolları Teknik Şartnamesi Yol Alt Yapısı, Sanat Yapıları, Köprü ve Tüneller, Üstyapı ve Çeşitli İşler
- [2] AASHTO LRFD, 1998. Bridge Design Specifications, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C.,
- [3] SAP 2000, Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc. Berkeley, California.
- [4] TS500, 2000. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [5] PCI, 2004. Precast and Prestressed Concrete Design Handbook, Prestressed Concrete Institute, Chicago.
- [6] TDY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar
- [7] TS3233, 1979. Öngerilmeli Betona Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [8] PCI, 2014. Precast and Prestressed Concrete Design Handbook, Prestressed Concrete Institute, Chicago.
- [9] DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [10] Aydınöğlu, M.N., 2008. Yapıların Deprem Altındaki Davranışları Ders Notları (Earthquake Response Analysis I, EQE 530).
- [11] Ünal O, Kürklü G, 2007. Öngerilmeli Beton Teknolojisi Teknik Not, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Afyonkarahisar
- [12] AASHTO LRFD, 2015. Bridge Design Specifications, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C.,
- [13] Bayraktar A., Altunışık A.C., Sevim B., Türker T., Ateş Ş., Adanur S., Karayolu Köprülerinin Deprem Davranışlarının Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi, 2011. Ankara
- [14] Kazuhuki KAWASHİMA, 1995. Seismic Design and Retrofit of Bridges.

- [15] Priestly, N. ve Calvi, M., 1995. Seismic Design and Retrofit of Bridges, John Wiley and Sons, New York.
- [16] Priestly, N. ve Kowalsky, J., 1995. Aspects of Drift and Ductility Capacity of Rectangular Cantilever Structural Walls, New York.
- [17] FEMA P-749, 2010. Earthquake Design Concepts.
- [18] Keith Thompson, Rodney T. Davis, John E. Breen, and Michael E. Kreger, 1998 Measured Behavior Of A Curved Precast Segmental Concrete Bridge Erected By Balanced Cantilevering
- [19] Robert Benaim, 2008. The Design of Prestressed Concrete Bridge
- [20] Salla Abid 2015, Behavior of concrete box-girder bridges exposed to environmental thermal loads: Experimental and finite element study
- [21] Zakia Begum 2010, Analysis And Behavior Investigations of Box Girder Bridges in Maryland
- [22] Purvik Patel 2009, Design of Composite Box Girder Bridges in Florida
- [23] Ahmet S. Debaiky 1997, Analysis of Time-Dependent Effects on Segmental Prestressed Concrete Curved Box-Girder Bridges in Kanada
- [24] Rebaz Abdulghafoor 2013, Finite Element Analysis of Prestressed Concrete Box Girder Bridge in Malaysia
- [25] Brent Tyler Visscher 2008, Innovative Pre-Cast Cantilever Constructed Bridge Concept in Toronto
- [26] Sandy Shuk, Yan Poon 2009, Optimization Of Span To Depth Ratios In High Strength Concrete Girder Bridges in Toronto

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇİFT, Ömer Faruk  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 22.01.1990 TEKKEKÖY  
 Medeni hali : BEKÂR  
 Telefon : 0 ( 543 ) 765 - 55 - 61  
 Faks : 0 ( 212 ) 417 - 24 - 61  
 e-mail : omerfaruk.cift@gmail.com



### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	İnşaat Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	İnşaat Mühendisliği	20.06.2012
Lise	Anadolu Lisesi	01.06.2007

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012-2013	Vera İnşaat Güngören Okul Şantiyesi	Şantiye Şefi
2013-2017	OFC İnşaat Müh. İnş. San. Tic. Ltd. Şti.	Firma Sahibi

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayımlar

-

### Hobiler

Seyahat Etmek, Spor Yapmak, Araştırma Yapmak, Kitap Okumak.