T.C.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NİSSİBİ KÖPRÜSÜNÜN HESAP ESASLARI VE YAPIM AŞAMALARININ İNCELENMESİ

Hatip YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ YAPI ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

HAZİRAN 2019

T.C

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Hatip YILDIZ tarafından yapılan "Nissibi Köprüsünün Hesap Esasları ve Yapım Aşamalarının İncelenmesi" konulu bu çalışma, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği / Yapı Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesinin

Ünvanı Adı Soyadı

Başkan : Prof. Dr. Mehmet Sedat HAYALİOĞLU

Üye : Prof. Dr. Halil GÖRGÜN

Üye : Prof. Dr. Ömer KELEŞOĞLU

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 28 / 06 / 2019

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../2019

Prof. Dr. Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR V.

(MÜHÜR)

TEŞEKKÜR

Nissibi Köprüsünün Hesap Esasları Ve Yapım Aşamalarının İncelenmesi konulu çalışmaya beni yönlendiren, çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkıları nedeniyle Hocam Prof. Dr. M. Sedat HAYALİOĞLU'na teşekkürü borç bilir, saygılarımı sunarım.

Ayrıca tez çalışmam süresince beni destekleyen Ridvan POLAT, Erhan ÖZ ve Davut Selami ÖZKAHRAMAN arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İnş. Müh. Hatip YILDIZ Haziran 2019

İÇİNDEKİLER

		Sayfa
TEŞEKKÜR		I
İÇİNDEKİLER		II
ÖZET		V
ABSTRACT		VI
ÇİZELGE LİSTESİ		VII
ŞEKİL LİSTESİ		VIII
KISALTMA VE SİMGELER		XII
1.	**GİRİŞ**	1
2.	**KAYNAK ÖZETLERİ**	3
2.1	Eğik Kablo Askılı Köprülerle İlgili Genel Bilgi	3
2.2	Konu İle İlgili Çalışmalar	5
2.3	Tarihçe	6
2.4	Önemli Eğik Kablo Askılı Köprüler	8
2.4.1	Strömsund Köprüsü	8
2.4.2	Theodor Heuss (Nordbrücke) Köprüsü	8
2.4.3	Severin (Severinbrücke) Köprüsü	9
2.4.4	Duisburg-Neuenkamp Köprüsü	10
2.4.5	Brotonne Köprüsü	10
2.4.6	Rande Köprüsü	11
2.4.7	Tatara Köprüsü	11
2.4.8	Kao-Ping Hsi Köprüsü	12
2.4.9	Sutong Köprüsü	13
2.4.10	Stonecutters Köprüsü	13

2.4.11 Russky Köprüsü ……..... 14
2.5 Kablolu Köprülerin Yapı Elemanları …….....……..... 14
2.5.1 Kablo ……..... 14
2.5.2 Pilon ……..... 17
2.5.3 Tabliye ……..... 17
2.5.4 Temel ……..... 17
3. MATERYAL VE METOT ……....……..….... 18
3.1 Nissibi Eğik Kablo Askılı Köprü …….....…… 18
3.1.1 Köprünün Yapılma Gerekçesi …….....……. 18
3.1.2 Köprünün Teknik Özellikleri ……..... 19
3.1.2.1 Köprü Üstyapısı (Tabliye) ……....…... 20
3.1.2.2 Köprü Pilonları ……...……. 22
3.1.2.3 Köprüde Kullanılan Kablo ……..…..... 24
3.1.2.4 Köprü Temelleri …….....……. 29
3.1.2.5 Köprüde Kullanılan Mesnetler …….....…... 32
3.1.3 Köprüde Kullanılan Tavsiye ve Şartnameler …….....…. 33
3.1.4 Köprünün Geometrik Özellikleri ……..... 34
3.1.5 Köprüde Kullanılan Malzeme Özellikleri ……..... 35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 36
4.1 Nissibi Eğik Kablo Askılı Köprüsünün Hesap Esasları .....……..... 36
4.1.1 Köprüye Etki Eden Yükler ……..... 36
4.1.1.1 Zati Yükler …….....…… 36
4.1.1.2 Hareketli Yükler ……..... 38

4.1.1.3 Yorulma Analizi ……..... 41

4.1.1.4 Rüzgâr Yükü ……..... 43

4.1.1.5 Termal Etkiler ……..... 44

4.1.1.6 Kabloya Verilen Ön Germe Yükü ……..... 45

4.1.1.7 Yaya Yükleri ……..... 45

4.1.1.8 Deprem Yükleri ……...….... 46

4.1.1.9 Gergili Kablonun Ayarlanması ……..... 51

4.1.1.10 Gergili Kablonun Değiştirilmesi ……..... 51

4.1.1.11 Kaza Sonucu Gergili Kablonun Kırılması ……..... 51

4.1.1.11 Yükleme Kombinasyonları ..... ……..... 51

4.1.2 Kullanılan Bilgisayar Programı ……..... 52

4.1.3 Pilon Burkulma Hesabı …… 52

4.1.4 Pilon Temel Hesabı …… 54

4.2 Nissibi Eğik Kablo Askılı Köprüsünün Yapım Aşamaları ……..... 57

4.2.1. Pilon, Orta ayak ve Kenar ayak Temellerinin Yapılması ……... 58

4.2.2 Pilon, Orta ayak ve Kenar ayakların Mesnet Bandı Kotuna Kadar Yapılması ……... 62

4.2.3 Kenar Açıklıklarda Yer Alan Ard Germeli Döşeme İmalatının Yapılması ……... 65

4.2.4 Pilon İmalatına Başlanması ……..... 68

4.2.5 Geçici Ayak Konularak Çelik Segment İmalatına Başlanması ……... 70

4.2.6 Orta Açıklık Segment İmalatlarının Kablo Germe İşlemleri İle Beraber Yürütülerek Çelik İmalatının Tamamlanması.....……...……..... 74

4.2.7 Köprü İnce İşlerinin Tamamlanarak Trafiğe Açılması ……..... 80

5. SONUÇ VE ÖNERİLER ……..... 83

6. KAYNAKLAR ……..... 85

ÖZGEÇMİŞ 87

ÖZET

NİSSİBİ KÖPRÜSÜNÜN HESAP ESASLARI VE YAPIM AŞAMALARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hatip YILDIZ

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YAPI ANABİLİM DALI

2019

Bu çalışmada Atatürk Baraj Gölü üzerinde yapılmış önemli bir mühendislik eseri olan Nissibi eğik kablo askılı köprüsünün hesap esasları ve yapım aşamaları incelenerek köprünün bazı hesapları kontrol edilmiştir.

Beş bölümden oluşan bu çalışmanın Birinci bölümünde, Eğik kablo askılı köprüler ve Nissibi Köprüsünün yapılma gerekliliğinden bahsedilmiştir.

İkinci bölümünde Eğik kablo askılı köprülere ait genel bilgi, eğik kablo askılı köprülerin tarihi süreci, konu ile ilgili yapılan çalışmalar aktarılmış, geçmişten günümüze bazı önemli kablo askılı köprüler örneklerle açıklanarak Eğik kablo askılı köprülerin yapı elemanları hakkında temel bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümünde Diyarbakır-Adıyaman Yolu üzerinde Siverek-Kahta ilçelerini birbirine bağlayan Nissibi Eğik Kablo Askılı Köprüsünün yapılma gerekçesi, teknik özellikleri ve geometrisi hakkında bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümünde Nissibi Eğik Kablo Askılı Köprüsünün hesap esasları yapılan kabuller ve matematiksel hesaplarla ortaya konmuştur. Ayrıca bu bölümde Nissibi Eğik Kablo Askılı Köprüsünün yapım aşamaları hakkında bilgiler resimlerle sunulmuştur.

Beşinci bölümünde bu çalışmada varılan sonuçların değerlendirilmesini kapsamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Eğik Kablo Askılı Köprüler, Nissibi Köprüsü, Yapım-Hesap Aşamaları

ABSTRACT

INVESTIGATION OF DESIGN BASES AND CONSTRUCTION STAGES OF NISSIBI BRIDGE

MSc THESIS
Hatip YILDIZ

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE

2019

In this study, design bases and construction stages of Nissibi cable-stayed bridge, which was constructed on Atatürk reservoir as an important engineering structure, were investigated. Some design procedures were also checked.

This study consists of five chapters. In first chapter, the necessity of cable-stayed bridges and Nissibi bridge was mentioned briefly.

In second chapter, general information about cable-stayed bridges was given together with historical past of this kind of bridges. The constructed cable-stayed bridges in the past and present were also referred. Moreover, information was given about structural components of cable-stayed bridges.

In the third chapter, the reason for the construction of Nissibi cable-stayed bridge on the Diyarbakır-Adıyaman road which connected Siverek and Kahta districts was explained. Information about technical properties and geometry of this bridge was also given in this chapter.

In the fourth chapter, design bases, approximations and some computations related the bridge were introduced. Information about the construction stages of this bridge was also given with photos.

The fifth chapter contains the evaluation of the conclusions reached at the end of this study.

Key Words: the necessity of cable-stayed bridges, Nissibi cable-stayed bridge, construction - account stages

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 2.1.	Köprünün yapı elemanlarının toplam maliyet içerisindeki dağıtımı	4
Çizelge 2.2.	Köprü yapı elemanlarının Hizmet Ömrü	4
Çizelge 2.3.	1955-1977 yılları arasında yapılan bazı köprüler	7
Çizelge 2.4.	1999-2012 yılları arasında yapılan bazı köprüler	7
Çizelge 3.1.	Köprünün Adıyaman tarafındaki kablo hesabı	28
Çizelge 3.2.	Köprünün Adıyaman tarafındaki kablo Limitleri	29
Çizelge 3.3.	Köprüde kullanılan malzeme özellikleri	36
Çizelge 4.1.	Karakteristik Değer Tablosu	40
Çizelge 4.2.	Kamyon Tipleri, Aks Yükleri	43
Çizelge 4.3.	Kamyon Tiplerinin Mesafeye Göre Dağılımı (Günlük)	43
Çizelge 4.4.	Kamyon Tiplerinin Mesafeye Göre Dağılımı (Yıllık)	44
Çizelge 4.5.	Maksimum, Minimum Hava Sıcaklığı	45
Çizelge 4.6.	Köprüdeki Betonarme, Çelik ve Kompozit malzemelerin mak., min. değerleri	45
Çizelge 4.7.	Spektral İvme Değerleri	48
Çizelge 4.8.	Spektral İvme Grafiği	48
Çizelge 4.9.	D1 Spektral İvme Grafiği	49
Çizelge 4.10.	D2 Spektral İvme Grafiği	50
Çizelge 4.11.	D3 Spektral İvme Grafiği	51
Çizelge 4.12.	Yüklerin Adı	52
Çizelge 4.13.	Pilonda aynı yükseklikteki kabloların kopma kuvvetlerinin düşey bileşenleri	55

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 2.1.	Strumsund Köprüsü	8
Şekil 2.2.	Theodor Heuss (Nordbrücke) Köprüsü	9
Şekil 2.3.	Severin Köprüsü	9
Şekil 2.4.	Duisburg-Neuenkamp Köprüsü	10
Şekil 2.5.	Brotonne Köprüsü	10
Şekil 2.6.	Rande Köprüsü	11
Şekil 2.7.	Tatara Köprüsü	12
Şekil 2.8.	Kao-Ping Hsi Köprüsü	12
Şekil 2.9.	Sutong Köprüsü	13
Şekil 2.10.	Stonecutters Köprüsü	13
Şekil 2.11.	Russky Köprüsü	14
Şekil 2.12.	Tel, Halat ve Kablo	15
Şekil 2.13.	Fan Sistemi	15
Şekil 2.14.	Arp Sistemi	15
Şekil 2.15.	Değiştirilmiş Fan Sistemi	15
Şekil 2.16.	Kablonun Tek Düzlemde Yerleştirilmesi	16
Şekil 2.17.	Kablonun İki Düzlemde Yerleştirilmesi	16
Şekil 2.18.	Kablonun Üç Düzlemde Yerleştirilmesi	16
Şekil 2.19.	Pilon Tipleri	17
Şekil 2.20.	Kutu kesitli tabliye tipleri	17
Şekil 3.1.	Baraj Üzerindeki Feribot ve Proje Hattının Google Earth Görüntüsü	19
Şekil 3.2.	Nissibi Eğik Kablo Askılı Köprüsünün Boy Kesiti	20
Şekil 3.3.	Proje Bölgesinin Jeolojik Haritası	21
Şekil 3.4.	Köprünün Kenar Açıklıktaki Tabliye Kesiti	22
Şekil 3.5.	Köprünün Ana Açıklıktaki Tabliye Kesiti	23
Şekil 3.6.	Pilonun Boy-En kesiti ve Üstten Görünümü	24
Şekil 3.7.	Köprünün Basınca ve Çekmeye çalışan yapı elemanları	25
Şekil 3.8.	Kablonun oluşumu	26
Şekil 3.9.	Kablo En kesiti	26
Şekil 3.10.	Köprü Kablolarının yerleşmiş halindeki boy kesit	27
Şekil 3.11.	Köprünün Adıyaman tarafındaki kısmının kablolarının yerleşmiş halindeki planı	27
Şekil 3.12.	Köprünün Diyarbakır tarafındaki kısmının kablolarının yerleşmiş halindeki planı	28
Şekil 3.13.	Pilon Temel Boyutu	30
Şekil 3.14.	Pilon Temelinin En kesiti	30
Şekil 3.15.	Pilon Temelinin Sistem Modeli	31
Şekil 3.16.	Kenar Açıklıktaki Orta ayak kesiti	31

Şekil 3.17.	Kenar Açıklıktaki Orta ayak kesiti	31
Şekil 3.18.	Kenar Açıklıktaki Orta ayak Sistem Modeli	32
Şekil 3.19.	Kenar Açıklıktaki Kenar ayak Temel Boyutu	32
Şekil 3.20.	Kenar Açıklıktaki Kenar ayak kesiti	32
Şekil 3.21.	Kenar Açıklıktaki Kenar ayak Sistem Modeli	32
Şekil 3.22.	Kenar Açıklık Boy kesiti	33
Şekil 3.23.	Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnet Kesiti	34
Şekil 3.24.	Kurşun Çekirdekli Kauçuk ve Pot Mesnet Kesiti	34
Şekil 3.25.	Köprünün Geometrisi	36
Şekil 4.1.	Köprü Kesiti	39
Şekil 4.2.	Modelde Uygulanan Kamyon Tipi	39
Şekil 4.3.	Köprüye Uygulanan Yükleme Modeli	40
Şekil 4.4.	Modelde Uygulanan Kamyon Tipi	41
Şekil 4.5.	Modelde Uygulanan Tank Tipi	41
Şekil 4.6.	Köprüye Uygulanan Yükleme Modeli	42
Şekil 4.7.	Köprüye Uygulanan Yükleme Modeli	42
Şekil 4.8.	Tabliye kesiti	44
Şekil 4.9.	Köprüye etki eden rüzgâr yükü	45
Şekil 4.10.	Köprüye etki eden yaya yükü	46
Şekil 4.11.	1 KN ’luk yükün pilona uygulanması	54
Şekil 4.12.	Temel Betonarme Kesiti	56
Şekil 4.13.	Şantiye Sahası	59
Şekil 4.14.	Köprünün İmal Edildiği Yer	59
Şekil 4.15.	Patlayıcı Madde için çukur açılması	59
Şekil 4.16.	Patlatmanın Yapılması	60
Şekil 4.17.	Arazinin temel imalatına hazır hale getirilmesi	60
Şekil 4.18.	Şev Destekleme Sisteminin Kesiti	60
Şekil 4.19.	Şev Destekleme Sisteminin İmalatı	61
Şekil 4.20.	Şev Destekleme Sisteminin İmalatı	61
Şekil 4.21.	Şev Destekleme Sistem İmalatının Tamamlanması	61
Şekil 4.22.	Pilon Temel İmalatı	62
Şekil 4.23.	Kenar Açıklık Orta Ayak Temel İmalatı	62
Şekil 4.24.	Kenar Açıklık Kenar Ayak Temel İmalatı	62
Şekil 4.25.	Pilon Temelinin Mesnet Bandı Kotuna Kadar Getirilmesi	63
Şekil 4.26.	Orta Ayak Temelinin Mesnet Bandı Kotuna Getirilmesi	63
Şekil 4.27.	Kenar Ayak Temelinin Mesnet Bandı Kotuna Getirilmesi	64
Şekil 4.28.	Kenar Ayak Temelinin Mesnet Bandı Kotuna Kadar İmalatının Tamamlanması	64
Şekil 4.29.	Mesnetin Yerleştirilmesi	65
Şekil 4.30.	Kenar Ayağa Pot Mesnetin Yerleştirilmesi	65

Şekil 4.31.	Kenar Açıklıktaki Genleşme Derzi	66
Şekil 4.32.	Kenar Açıklık Parabolik Ard Germe Kablosunun Boy Kesiti	66
Şekil 4.33.	Kenar Açıklık Merkezi Ard Germe Kablosunun Boy Kesiti	67
Şekil 4.34.	Kenar Açıklık Ard Germe Kablolarının Yerleştirilmesi	67
Şekil 4.35.	Kenar Açıklık 2. Faz İmalatına Başlanması	67
Şekil 4.36.	Ard Germe İmalatı	68
Şekil 4.37.	Germe İşleminin Yapılması	68
Şekil 4.38.	Ard Germe İşlemine Çimento Enjeksiyonunun Yapılması	68
Şekil 4.39.	Pilon İmalatının Eğimli Ayaklarının İmalat Aşamaları	69
Şekil 4.40.	Pilon İmalatının Dik Yükselen Ayak İmalatı	70
Şekil 4.41.	Pilonda Kullanılan Çelik Kutunun İmalatı ve Pilona Taşınması	70
Şekil 4.42.	Pilon İmalatında Kullanılan Kalıp Sistemi	70
Şekil 4.43.	Kalıp Sisteminin Pilondaki Görünümü	71
Şekil 4.44.	İlk Çelik Segmentin Fabrikada Üretimi	71
Şekil 4.45.	İlk Çelik Segmentin İnşaat Alanına Taşınması	72
Şekil 4.46.	İlk Çelik Segmentin Kesiti	72
Şekil 4.47.	İlk Çelik Segmentin Taşınması	73
Şekil 4.48.	İlk Çelik Segmentin Montajı	73
Şekil 4.49.	İlk Çeliğin Betona Nelson Çivisi ile Montajı	73
Şekil 4.50.	İlk Çelik Segmentin Yüksek Mukavemetli Çelik ile Montajı	74
Şekil 4.51.	Ard germe kablolarının Beton ve Çelik Bağlantısının Yapılması	74
Şekil 4.52.	İlk Çelik Segmentin İmalatının Tamamlanması	74
Şekil 4.53.	Çeliğin Fabrikada Üretimi	75
Şekil 4.54.	Çeliğin Fabrikada Üretimi	75
Şekil 4.55.	Çelik Segment Levhaları	76
Şekil 4.56.	Çelik Segment Levhalarının Şantiyede Bir Araya Getirilmesi	76
Şekil 4.57.	Çelik Segmentin Üst Yapıya Taşınmaya Hazır Hale Getirilmesi	76
Şekil 4.58.	Çelik Segmentin Feribotla Taşınması	77
Şekil 4.59.	Halatın Segmente Bağlanması	77
Şekil 4.60.	Ağır Kaldırma Yöntemiyle Segmentin Kaldırılması	78
Şekil 4.61.	Çeliğe Üst Yapıda Final Pozisyonunun Verimesi	78
Şekil 4.62.	Üstyapıda Bir Önceki Çelik Segment ile Kaynak İşleminin Yapılması	78
Şekil 4.63.	Kablo Kesitinde Bulunan Malzemeler	79
Şekil 4.64.	Çelik Segmentin Kabloya Bağlantısının Yapılması	79
Şekil 4.65.	Kabloya Germe İşleminin Uygulanması	80
Şekil 4.66.	Kabloya Uygun Germe Verilmesi Aşaması	80
Şekil 4.67.	Kablonun Pilona Bağlantısı	80
Şekil 4.68.	Anahtar Segmentin Yerleştirilmesi	81
Şekil 4.69.	Tabliye İzolasyonunun Yapılması	81

Şekil 4.70. Tabliye İzolasyonunun Yapılması 82
Şekil 4.71. Üst Yapı Mastik Asfaltının Serilmesi (3 cm) 82
Şekil 4.72. Üst Yapı Taş Mastik Asfaltının Serilmesi (4 cm) 82
Şekil 4.73. Oto Korkuluk İmalatının Yapılması 83
Şekil 4.74. Aydınlatma İşlerinin Yapılması 83
Şekil 4.75. Köprü İzleme Sisteminin Kurulması 83

KISALTMA VE SİMGELER

T_{min} : 50 yıllık periyotta gerçekleşebilecek en düşük yıllık hava sıcaklığı

T_{max} : 50 yıllık periyotta gerçekleşebilecek en yüksek yıllık hava sıcaklığı

$T_{e,min}$: Minimum Homojen Köprü Sıcaklık Bileşeni

$T_{e,max}$: Maksimum Homojen Köprü Sıcaklık Bileşeni

ΔT_N : Köprü Boyunca Homojen Sıcaklık Değişim Aralığı

$\sigma_{Ed,ser}$: Çelik Gerilmesi

f_y : Çelik Akma Dayanımı

$\tau_{Ed,ser}$: Çelik Kesme Gerilmesi

GUTS : Garanti Edilmiş Kırılma ve Çekme Dayanımı

ULS : Taşıma Gücü Dayanımı

F_{wk} : Rüzgâr Kuvveti

V_b : Rüzgâr hızı

ρ : Hava yoğunluğu

C : Rüzgâr yük katsayısı

S_{ae} : Spektral İvme

P_{sw} : Pilon zati yükü

k_{buck} : Pilon burkulma katsayısı

E : Elastisite Modülü

φ : Çelik

M_{cr} : Beton kırılma momenti

M_u : Hesap momenti

1. GİRİŞ

Ülkeler ve toplumlar geliştikçe ulaşımın önemi giderek artmaktadır. Teknolojik gelişmelerle birlikte uzun mesafeli yolların kısaltılması için tünel, köprü, viyadük, tüp geçit gibi yapıların yapımı önem kazanmaktadır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde inşa edilen bu yapılardan biri de Eğik kablo askılı köprülerdir. Gelişen teknoloji ile beraber bu tür eğik kablo askılı köprüler depremselliği yüksek olan bölgelerde de inşa edilebilmektedir.

Nissibi Köprüsü Diyarbakır-Siverek-Kahta-Adıyaman karayolunun Diyarbakır-Adıyaman il sınırında Fırat nehri üzerinde bulunmaktadır. Diyarbakır-Siverek-Kahta-Adıyaman arasında 1992 yılına kadar ulaşım Fırat nehri üzerindeki basit bir köprü ile sağlanmıştır. Gap projesi kapsamında yapılan Atatürk barajı nedeniyle kullanılan köprünün sular altında kalmasıyla ulaşım ilkel feribotlarla yapılmaya başlanmıştır. 23 yıl boyunca ilkel feribotlarla yapılan ulaşıma son vermek ve daha güvenli seyahat etmek amacıyla baraj gölünün en kısa açıklığı ve derinliği göz önünde bulundurularak Karayolları Genel Müdürlüğünce bölgede Eğik kablo askılı köprü yapılmasının uygun olacağına karar verilmiştir. Ancak yapımına karar verilen köprünün 1. derece deprem bölgesinde yer alması nedeniyle köprünün hesap esasları oldukça önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmasında, 2012-2015 yılları arasında yapılan Nissibi Eğik Kablo Askılı Köprüsünün hesap esasları ve yapım aşamaları incelenerek köprünün Pilon burkulma ve Pilon temel hesapları kontrol edilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Eğik Kablo Askılı Köprülerle İlgili Genel Bilgi

Uzun mesafeleri en az sayıda ayak ile geçmek, estetik açıdan güzel tasarımlar sunabilmek ve köprü döşemesinin ana kablo olmadan doğrudan bir veya birden fazla kuleye (Pilona) kablolarla bağlanması yöntemi ile inşa edilen köprü tipine eğik kablo askılı köprü denilmektedir. Eğik kablo askılı köprüler ayak yapımına uygun olmayan yerlerde (deniz trafiği yapılan yerler, su düzeyinin ayak yapımını zorlaştırdığı geniş nehir geçişlerinde, ayak yapımına uygun olmayan geniş vadi geçişlerinde, köprü ayaklarının geçişleri engellediği durumlarda, vb.) uzun açıklıkların geçilebilmesi için tercih edilen bir köprü türüdür.

Eğik kablo askılı köprünün ayak ekseninden ayak eksenine olan mesafeye açıklık (ana açıklık) denilmektedir. Eğik kablo askılı köprülerin gelişmişliği daha uzun açıklıklı, yük kapasitesi daha fazla, daha hafif köprü inşa edilmesiyle ölçülmektedir. 150 m ile 1000 m hatta daha fazla açılıklarda uygulanan bir köprü modeli olan eğik kablo askılı köprü yapım, bakım yönünden ekonomik olması, hızlı yapılabilmesi ve estetik olması nedenlerinden dolayı tercih edilmektedir.

Eğik kablo askılı köprüler tabliye, kablo, temel ve kule (pilon) olmak üzere dört ana unsurdan oluşmaktadır. Tabliye betonarme, ard germeli betonarme veya çelikten, kablolar çelikten, temel betonarmeden, kuleler çelik, betonarme veya çelik betonarme birleşiminden oluşan kompozit malzemeden genellikle yapılmaktadır. Eğik kablo askılı köprünün segmentleri prefabrik üretilip (çelik ya da betonarme) yerine yerleştirilebildiği gibi yerinde döküm betonarme olarak da yapılabilmektedir.

Eğik kablo askılı köprü tasarımında açıklık, kablo sayısı ve kule (pilon) yüksekliği arasında bir etkileşim bulunmaktadır. Açıklığı fazla olan köprülerin genellikle kablo sayısı ve kule yüksekliği fazladır. 3 açıklıklı köprülerde ana açıklığın toplam açıklığa oranı %45-65 iken 2 açıklıklı köprülerde %60-70 civarındadır. Kule yüksekliğinin ana açıklığa oranı %25 civarındadır.

Eğik kablo askılı köprülerdeki yükün kuleye aktarımı, kule ile tabliye arasında farklı açılarla gerilmiş kablolarla sağlanmaktadır. Kuleye gelen yükleri almak ve dengelemek için genellikle pilonların arka kısmında yaklaşım köprüleri kullanılmaktadır.

Eğik kablo askılı köprüler gerek projelendirme esnasında gerekse uygulanma esnasında karmaşık bir çalışma sistemi gerektirmektedir.

Günümüzde bilgisayar destekli modellenen köprülerin statik olduğu kadar dinamik etkileri de incelenmektedir.

Eğik kablo askılı köprülerin yapı elemanlarının toplam maliyet içerisindeki oranı Çizelge 2.1'de, yapı elemanlarının hizmet ömürleri Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Köprünün yapı elemanlarının toplam maliyet içerisindeki dağıtımı

Yapı Elemanı	Toplam Maliyet İçerisindeki Oranı
Temel	%20-25
Kule	%5-10
Kablo Sistemi	%10-15
Tabliye	%30-35
Diğer	%15-20

Bu bilgi ışığında Eğik kablo askılı köprü maliyetinin %50'sinden fazlası temel ve tabliyeden oluşmaktadır.

Çizelge 2.2 Köprünün yapı elemanlarının hizmet ömrü

Yapı Elemanı	Hizmet Ömrü (Yıl)
Temel	100
Kule	100
Kablo Sistemi	50
Tabliye	100
Diğer	20-25

Eğik Kablo askılı köprülerin hizmet ömrü genellikle 100 yıldır.

2.2 Konu İle İlgili Çalışmalar

My Goldsmith'e göre köprülerin geometrisi boyutlarına göre belirlenir. Farklı boyutlar farklı yapı sistemlerinin seçimini gerektirir ve her yapı sisteminin uygulanabildiği alt ve üst sınır bulunmaktadır (Incorporation architectural technology desember, 1988).

Walter Podolny'e göre köprülerin yeterli bakım ve onarımlarının yapılması durumunda yapının hizmet ömrünün 2 katına kadar çıkabileceğini belirtmiştir (Incorporation architectural technology desember, 1988).

1977 yılında Fransa Bakanlıklar arası komisyon tarafından kablolar ile ilgili yaşanılan problemleri araştırmak, bunlarla ilgili deneyimlerini raporlamak ve onay süreçlerini hazırlamak amacıyla SETRA tavsiyelerini hazırlamışlardır.

Amerika Birleşik Devletlerindeki Karayolu Köprülerinin tasarımı ve yapımı için 1930 yılında AASHTO şartnamesi, 1970'li yıllarda köprüler için kritik öneme sahip olan rüzgar yükü, taşıt yükü, deprem yükü gibi kriterler dahil ederek AASHTO-LFD şartnamesi, daha sonra yapı elemanlarının davranışlarındaki değişebilirlikleri hesaba katmak amacıyla AASHTO-LRFD şartnamesi hazırlanmıştır.

Avrupa Birliğine bağlı ülkeler tarafından yapıların teşkilinde inşaat mühendisliği hizmetlerinin doğru ve tek bir standarda oturtmak amacıyla Eurocode şartnameleri hazırlanmıştır.

2.3 Tarihçe

Eğik kablolu köprüler 18. Yüzyılın ikinci yarısında yaşanan Sanayi Devrimi sonucunda buhar gücüyle işleyen makine ve araçların ortaya çıkması, çelik üretiminin gelişmesi, bilimsel ve teknik gelişmelerin hızlanması ile yaygınlaşma sürecine girmiştir. Ancak malzeme dayanımı ile ilgili yapılan hesap hataları (çelikteki karbon oranının fazla olması ve korozyon) sonucunda yaşanan bir dizi kazalar, özellikle 1817'de İskoçya'daki Dryburgh Abbey Köprüsünün, 1824'te Almanya'daki Saale Nehri Köprüsünün yıkılması ile yüzyılı aşkın bir süre pek az eğik askılı köprü yapılmasına sebep olmuştur. Modern anlamda eğik kablolu köprüler 1950'li yıllarda ikinci dünya savaşından sonra oluşan hızlı, ekonomik, hafif köprü yapım ihtiyacı çelik ve kablolarda meydana gelen gelişme eğik kablo askılı köprüye geri dönüş sürecini başlatan nedenlerden olmuştur. Ancak 1970'li yıllardan sonra kablo tekniğinde meydana gelen gelişmeler ve hazırlanan tavsiyeler, şartnameler (örnek:1977 yılında Fransa'da hazırlanan SETRA şartnamesi) ile kablolu köprüler gelişme sürecine girmiştir.

İkinci dünya savaşı sırasında çok sayıda köprünün yıkılması sonucu sosyal ihtiyaçların karşılanması gereksinimi doğmuştur. Bu ihtiyaçların hızlı ve ekonomik bir şekilde karşılanması gerektiğinden eğik kablolu köprü yapımında hızlı bir artış meydana gelmiştir. 1955 yılında İsveç'in Jamtland bölgesinin Dragon gölü üzerinde yapılan Strömsund köprüsü ikinci dünya savaşından sonra yapılan ilk modern eğik kablo askılı köprüdür. 1955-1977 yılları arasında dünyanın değişik bölgelerinde toplam 62 adet Eğik kablo askılı köprü yapılmıştır. Ancak daha sonra bu dönemde yapılan köprülerin yarısından fazlasında ciddi problemlerin yaşandığı birçoğunun yıkılma durumunda olduğu görülmüştür. Yapılan köprülerdeki tahmini ömrü 25-30 yıl olan kabloların 3-5 yıl içerisinde değiştirmek durumunda kalınmıştır. O dönemki bilim adamlarından Stewart C. Watson ve David G. Staford bu köprülerde problemin kablolardaki korozyondan kaynaklandığını ileri sürmüşler ancak Walter Podolny ve T.Y. Lin bunun doğru olmadığını köprülerde korozyona karşı etkili galvaniz sargılı kabloların kullanıldığını köprülerin bakım onarımlarının yapılmadığından bu durumun oluştuğunu belirtmişlerdir (Incorporation architectural technology desember, 1988).

Bu bilgiler ışığında Eğik kablo askılı köprülerdeki problemin kaynağının belirlenmesinde farklılıkların olması hala gelişim evresinde olduğunu göstermektedir.

1955-1977 yılları arasında gelişen kablo tekniği ile yapılan bazı eğik kablo askılı köprüler Çizelge 2.3.'te belirtilmiştir.

Çizelge 2.3. 1955-1977 yılları arasında yapılan bazı köprüler

YIL	KÖPRÜ ADI	BULUNDUĞU ÜLKE	AÇIKLIK (M)	ACIKLIK ADEDİ	KULE YÜKSEKLİĞİ(M)
1956	Strömsund	İSVEÇ	182	3	28
1957	Theodor Heuss (Nordbrücke)	ALMANYA	260	3	43.91
1959	Severin (Severinsbrücke)	ALMANYA	302	2	77.2
1971	Duisburg-Neuenkamp	ALMANYA	350	3	48
1977	Brotonne	FRANSA	320	3	72.7
1977	Rande	İSPANYA	400.14	3	118.6

Günümüzde yüksek dayanımlı kabloların ve yapı elemanlarının imal edilebilmesi, malzeme bilimi ile bilgisayar teknolojisi alanlarındaki gelişmelerle her geçen gün kablolu köprülerin geçebildiği açıklık artmış ve artmaya devam etmektedir. Genellikle Eğik kablo askılı köprünün gelişmişliği açıklık ile bağlantılı olduğu kabul edilmektedir. 1977 öncesine kadar açıklığı 400 m'ye kadar olan köprüler için eğik kablo askılı köprüler daha ekonomik çözümler sunarken gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde 1000 m'yi aşan açıklıklar için eğik kablo askılı köprüler daha ekonomik çözümler sunmaktadır.

Son yıllarda yapılan bazı önemli eğik kablo askılı köprüler Çizelge 2.4.'te listelenmiştir.

Çizelge 2.4. 1999-2012 yılları arasında yapılan bazı köprüler

YIL	KÖPRÜ ADI	BULUNDUĞU ÜLKE	AÇIKLIK (M)	ACIKLIK ADEDİ	KULE YÜKSEKLİĞİ (M)
1999	Tatara	JAPONYA	890	3	220
1999	Kao-Ping Hsi	TAYVAN	330	3	183.5
2008	Sutong	ÇİN	1088	3	304.4
2009	Stonecutters	ÇİN	1018	3	293
2012	Russky	RUSYA	1104	3	320.9

Geçmiş 35 yılda yaklaşık 700 m artan açıklık göz önünde bulundurulduğunda önümüzdeki 20 yılda eğik kablo askılı köprülerin 1500 m ana açıklığa erişeceği öngörülmektedir.

2.4 Önemli Eğik Kablo Askılı Köprüler

2.4.1 Strömsund Köprüsü

1953 yılında Alman Franz Anton Dischinger tarafından yapımına başlanan köprü 1956 yılında bitirilerek trafiğe açılmıştır. Strömsund köprüsü eğik kablo askılı köprünün yeniden doğuşunu temsil etmektedir. İsveçin Jamtland bölgesinde, Dragon gölü üzerinde bulunan Strömsund Köprüsü 182 m ana açıklığı, 75 m kenar açıklıkları ile toplam 332 m uzunluğunda olup inşa edildiği dönemdeki en büyük Eğik Askılı Köprü olma özelliğindedir. Kule yüksekliği 28 m, tabliye genişliği 14.30 m, tabliye yüksekliği 3.25 m olan köprü çelikten imal edilmiştir. Köprüdeki kablolar fan sistemi ile pilonda aynı noktaya ankre edilmiştir.

Şekil 2.1. Strömsund Köprüsü

2.4.2 Theodor Heuss (Nordbrücke) Köprüsü

Nordbrücke köprüsü olarak da adlandırılan Theodor Heuss Köprüsü Strömsund Köprüsünden sonra yapılan ikinci modern kablolu köprüdür. Almanya'nın Düseldorf kentindeki Ren Nehri üzerinde yapılmıştır. Kule yüksekliği 43.91 m, tabliye genişliği 26.6 m, tabliye yüksekliği 3.39 m olan köprü çelikten imal edilmiştir. Almanya'da yapılan ilk kablolu köprü olma özelliğinde olan Theodor heuss köprüsü 260 m ana açıklığa, 108 m kenar açıklıklara sahiptir. İlk defa bu köprüde Arp sistemi kullanılmış olup kablolar birbirine paralel şekilde kuleye ankre edilmiştir. Tabliye, tekil kolon şeklindeki kulelere tek sıra kablolar ile tabliyenin kenarından bağlanmaktadır. Yapımına 1953 yılında başlanan köprü 1957 de tamamlanarak trafiğe açılmıştır.

Şekil 2.2 Theodor Heuss (Nordbrücke) Köprüsü

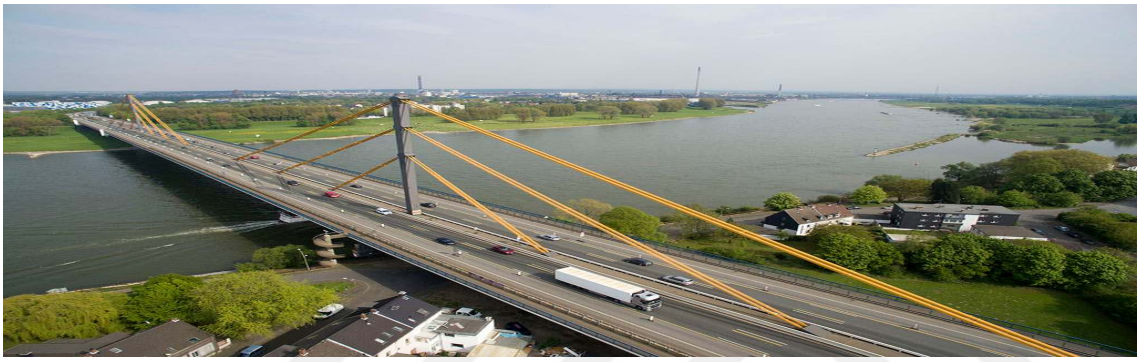
2.4.3 Severin (Severinsbrücke) Köprüsü:

Severinsbrücke olarak ta adlandırılan Severin Köprüsü Almanya'nın Köln şehrindeki Ren nehri üzerinde kurulmuştur. Almanya'da inşa edilen ikinci kablolu köprüdür. A tipi tek pilonun uygulandığı 2 açıklıklı asimetrik olarak inşa edilen ilk köprü olma özelliğindedir. Köprü 302 m ana açıklık, 389 m tek kenar açıklıklı olmak üzere toplam 691 m uzunluğundadır. Kule yüksekliği 77.20 m, tabliye genişliği 29.5 m, tabliye yüksekliği 4 m olan köprü çelikten imal edilmiştir. Araçların, yayaların ve trenin üzerinden geçebileceği şekilde tasarlanan köprünün yapımına 1956 yılında başlanmış olup 1959 yılında tamamlanarak trafiğe açılmıştır.

Şekil 2.3. Severin Köprüsü

2.4.4 Duisburg-Neuenkamp Köprüsü:

Almanya'nın Düseldorf kentindeki Ren nehri üzerinde yapılan Otoyol bağlantısı olarak kullanılan Duisburg-Neuenkamp köprüsü Rheinbrücke Duisburg-Neuenkamp köprüsü olarak ta adlandırılmaktadır. 350 m ana açıklığı, 240.64 m ve 186.76 m lik kenar açıklıklarla toplam 777.40 m uzunluğundadır. Kule yüksekliği 48 m, tabliye genişliği 35.80 m, tabliye yüksekliği 3.75 m olan köprü çelikten imal edilmiştir. Tabliye tekil kolon şeklindeki kulelere tek sıra kablolar ile tabliyenin ortasından bağlanmaktadır. 1968 yılında yapımına başlanan 1971 yılında tamamlanarak trafiğe açılan köprü toplam 64.6 milyon Euro'ya mal olmuştur.



Şekil 2.4. Duisburg-Neuenkamp Köprüsü

2.4.5 Brotonne Köprüsü

Brotonne Köprüsü Fransa'nın üst Normandiya bölgesinin Le Havre ve Rouen kentleri arasında yer almaktadır. 320 m ana açıklığı 202 m ve 213.5 m 'lik kenar açıklıklarla toplam 735.5 m uzunluğundadır. Kule yüksekliği 72.70 m, tabliye genişliği 19.20 m, tabliye yüksekliği 4 m olan köprü ön germeli betonarme malzemeden imal edilmiştir. Tabliye, tekil kolon şeklindeki kulelere tek sıra kablolar ile tabliyenin ortasına bağlanmaktadır. 1974 yılında yapımına başlanan köprü 1977 yılında tamamlanarak trafiğe açılmıştır.

Şekil 2.5. Brotonne Köprüsü

2.4.6 Rande Köprüsü

İspanyanın Redondala ve Moana Bölgelerini birbirine bağlayan bu köprü İtalyan mühendis Fabrizio de Miranda, İspanyol Florencia del Pozo ve Alfredo Possoro tarafından tasarlanmıştır. Yapıldığı dönemde 200-400 m arasındaki ana açıklığa kablolu köprüler tasarlanırken, sınır olan 400 m bu köprüde ilk defa aşılarak 400.14 m lik ana açıklıklı ve 147.42 m kenar açıklıklı köprü tasarlanmıştır. Rande köprüsü kule yüksekliği 118.60 m, tabliye genişliği 23.46 m, tabliye yüksekliği 2.70 m olan çelik betonarme kompozit malzemeden imal edilmiştir. Yapımına 1973 yılında başlanan köprü 1977 yılında tamamlanarak trafiğe açılmıştır.

Şekil:2.6. Rande Köprüsü

2.4.7 Tatara Köprüsü

Japonyanın Seto denizi içerisinde bulunan Honshu ve Shikoku adalarını birleştirmek amacıyla inşa edilmiştir. 890 m ana açıklığı, 164.5 m ve 257.5 m kenar açıklıklarıyla birlikte 1312 m uzunluğundadır. Ayrıca köprünün her iki tarafında bulunan 3 ayrı kenar açıklığın da dahil edilmesiyle köprü toplam 1480 m uzunluğundadır. Ters Y şeklinde inşa edilen kulenin yüksekliği 220 m olup üzerinde yayalar ve bisikletler için 1 şerit, araçlar için 2 şerit kesit uygulanan köprünün tabliye genişliği 30.6 m dir. Tabliye su yüzeyinden 26 m yüksekliğindedir.1973'te asma köprü olarak tasarlanan tatara köprüsü hem çevreye fazla zarar vermemek hem de daha ekonomik çözümler bulmak maksadıyla 1989 yılında Eğik kablo askılı köprü tasarlanmış 1993 yılında yapımına başlanarak 1999 yılında köprü tamamlanarak trafiğe açılmıştır.

Şekil 2.7. Tatara Köprüsü

2.4.8 Kao-Ping Hsi Köprüsü

Kao-Ping Hsi Köprüsü, Tayvan'daki Kaohsiung ve Pingtung ilçelerini birbirine bağlayan Gaoping Nehri üzerinde yapılan eğik kablo askılı bir köprüdür. Ters-Y tipi tek pilonun uygulandığı 2 açıklıklı asimetrik olarak inşa edilen köprü tipindedir. Köprü 180 m kenar açıklık, 330 m ana açıklık ve 2107 m'lik yaklaşım viyadüğü ile birlikte toplam 2617 m uzunluğundadır. Kule yüksekliği 183.5 m, tabliye genişliği 34.5 m, tabliye yüksekliği 3.20 m olan köprü çelik ve ard germeli betondan imal edilmiştir. Tabliye Ters Y şeklideki kuleye değiştirilmiş fan sistemi ile tek sıra kablolar halinde tabliyenin ortasından bağlanmaktadır. 1996 yılında yapımına başlanan köprü 1999 yılında tamamlanarak trafiğe açılmıştır.

Şekil 2.8. Kao-Ping Hsi Köprüsü

2.4.9 Sutong Köprüsü

Çin Halk Cumhuriyetinin Şangay ve Nantong şehirlerini birbirine bağlamak amacıyla Yangzte nehri üzerinde yapılan Sutong Köprüsü 1088 m ana açıklığı, 300 m lik kenar açıklıkları ile birlikte 1688 m uzunluğundadır. Ayrıca köprünün her iki tarafında bulunan 2 adet kenar açıklığında dahil edilmesiyle köprü toplam 2088 m uzunluğunda olmaktadır. Kule yüksekliği 306 m, tabliye genişliği 41 m dir. Yapım maliyeti 1.7 milyar dolar olan köprünün yapımına 2003 yılında başlanmış olup 2008 yılında tamamlanarak trafiğe açılmıştır.

Şekil 2.9. Sutong Köprüsü

2.4.10 Stonecutters Köprüsü

Çin Bölgesinde, Hong Kong adası ile Tsing Yi adası arasında bulunan Rambler kanalı üzerinde yapılmıştır. 1018 m ana açıklığı, 289 m kenar açıklıkları birlikte 1596 m uzunluğundadır. Tek kolon üzerinde duran köprünün kule yüksekliği 295 m, tabliye genişliği 50 m dir. Kuleden çıkan kablolar 2 sıra halinde tabliyenin en dış kenarına bağlanmaktadır. 2004 yılında yapımına başlanan köprü 2009 tamamlanarak trafiğe açılmıştır.

Şekil 2.10. Stonecutters Köprüsü

2.4.11 Russky Köprüsü

Rusyanın Nazimov yarım adası ile Russky adasını birbirine bağlayan köprü 1104 m ana açıklığı, 384 m kenar açıklıklarıyla birlikte 1872 m uzunluğundadır. Ana açıklığı yönünden dünyadaki en uzun Eğik kablo askılı köprüdür. Kule yüksekliği 320,9 m, tabliye genişliği 29,5 m'dir. Yapım maliyeti 1 milyar doları aşan köprü 2009 yılında yapımına başlanmış 2012 yılında tamamlanarak trafiğe açılmıştır.

Şekil 2.11. Russky Köprüsü

2.5 Kablolu Köprülerin Yapı Elemanları

Bulunduğu çevreye uyum sağlayabilecek şekilde tasarlanabilen Eğik kablo askılı köprüler kablo, pilon, tabliye ve temel olmak üzere 4 ana yapı elemanından oluşmakta olup bu ana yapı elemanların seçim ve yerleşimi yönünden tasarımcıya oldukça değişik seçenekler sunmaktadır. Bu seçenekler, köprünün bulunduğu çevre, üzerindeki trafik yükü, yapım şartları, malzeme temini, ekonomi yönünden tasarımcıya en optimum kararı vermesinde fayda sağlamaktadır.

2.5.1 Kablo

Eğik kablo askılı köprünün yükünün kuleye aktarımını sağlayan kule ile tabliye arasında belirli bir açıyla gerilmiş tabliyeyi kuleye bağlayan temel taşıyıcı elemandır. Kablolar tabliyeye bağlantısı yapılmadan önce bir ön çekme kuvvetine maruz bırakılmaktadırlar. Bu başlangıç durumunda uygulanan çekme kuvveti kablonun davranışını etkileyen önemli bir faktördür. Kabloların, tabliye ve tabliye üzerindeki yükleri alarak çekme kuvveti etkisiyle Kuleye basınç kuvveti olarak aktarmanın dışında kule arkasında bulunan yaklaşım köprüsü ile dengeleme görevi de bulunmaktadır.

Kablolar değişik çaplı ve yeterli adette tellerin paralel veya helisel olarak sarılmasından meydana gelmektedir (Şekil 2.12.). Kablolarda bulunan bu tellerin

korozyon ve nemden korunması gerekmektedir. Tellerin galvanizlenmesi, kabloların çeşitli polietilen esaslı katmanlarla sarılması ve nemi kontrol altında tutmak için kablonun içine kuru hava üflenmesi korunma yöntemi olarak kullanılmaktadır.

Şekil 2.12. Tel, Halat ve Kablo

Genellikle çelikten imal edilen kabloların akma dayanımları 1600 Mpa, kopma dayanımları 1860 Mpa ve üzerindedir. Kabloların kopma uzama oranı %3.5 mertebesindedir. Bu oran kablonun boyunun belirlenmesinde önemli bir faktördür.

Eğik kablo askılı köprülerde kabloların kuleye bağlanma şekli yönünden Arp, Fan ve Değiştirilmiş Fan sistemi olmak üzere 3 farklı tasarım şekli bulunmaktadır.

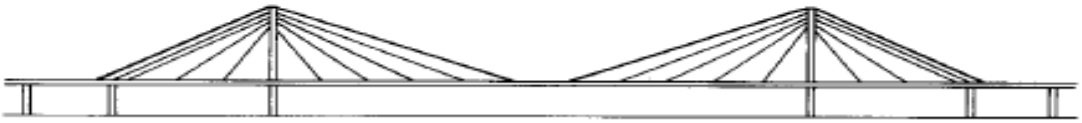
Fan sistemi: Kabloların kulenin en üst noktasına ankre edildiği tasarım şeklidir(Şekil 2.13).

Arp sistemi: Kabloların kule boyunca birbirine paralel eşit aralıklarla ankre edildiği tasarım şeklidir (Şekil 2.14.).

Değiştirilmiş Fan sistemi: Kabloların olabildiğince kule tepe bölgesine yakın fakat aralıklı olarak ankre edildiği tasarım şeklidir (Şekil 2.15.).

Şekil 2.13. Fan sistemi

Şekil 2.14. Arp sistemi

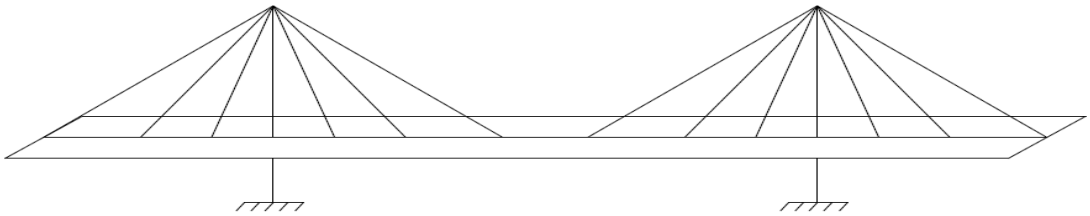


Şekil 2.15. Değiştirilmiş Fan sistemi

.

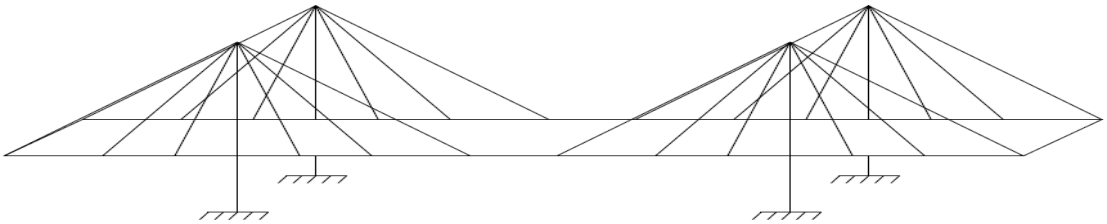
Eğik kablo askılı köprülerde kablolar tek, ikili ve üçlü düzlemde olmak üzere düzlemsel olarak 3 farklı şekilde kulelere yerleştirilerek tasarlanabilmektedir.

Kablonun tek düzlemde yerleştirilmesi: Kablolar kulelerden tek bir düzlemde çıkıp tabliyenin ortasına bağlanarak taşıma işlemini gerçekleşmektedir. Tabliye tek nokta üzerinde taşındığından uç kısımlar konsol olarak çalışmakta, tabliyenin burulma gerilmeleri kritik olmakta ve bu da enleme kirişlerinin rijit olmasını gerektirmektedir. Estetik olarak güzel görünse bile kabloların yerleşimi taşıtların görüş alanını kısıtlamaktadır (Şekil 2.16.).



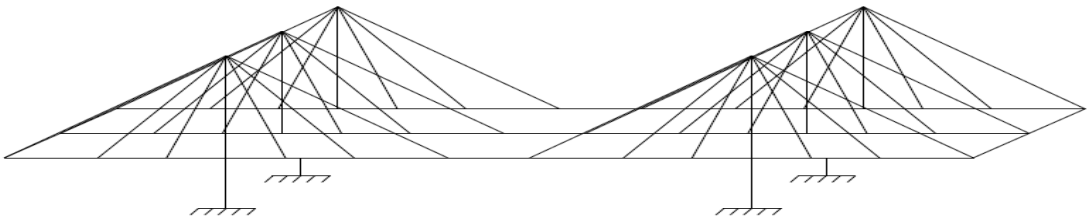
Şekil 2.16. Kablonun Tek Düzlemde Yerleştirilmesi

Kablonun iki düzlemde yerleştirilmesi: Kablolar kulelerden iki düzlem halinde çıkıp tabliyenin iki uç noktasına bağlanarak taşıma işlemini gerçekleşmektedir. Yapısal stabilitesi daha uygun olduğundan genellikle tasarlanan bir modeldir (Şekil 2.17.).



Şekil 2.17. Kablonun İki Düzlemde Yerleştirilmesi

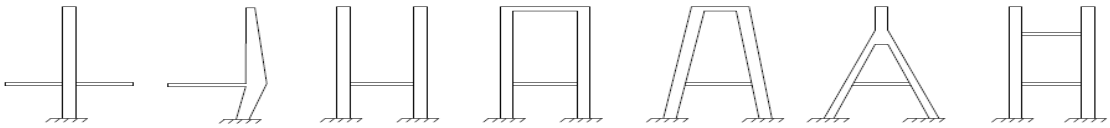
Kablonun üç düzlemde yerleştirilmesi: Trafik yükü fazla olan bölgelerde şerit sayısı fazla olması gerektiğinde bu köprü modeli tasarlanmaktadır. Bu tür köprülerde kablolar tabliyeye hem ortadan hem uç kısımlardan bağlanarak taşıma işlemini gerçekleştirmektedir. Ekonomik olmadığından pek tasarlanmamaktır (Şekil 2.18.).



Şekil 2.18. Kablonun Üç Düzlemde Yerleştirilmesi

2.5.2 Pilon

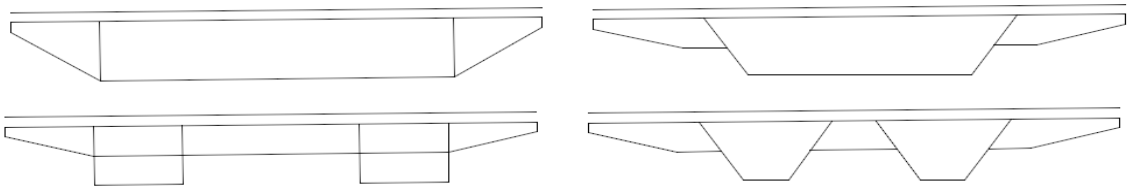
Eğik kablo askılı köprülerde pilonlar kablolardan gelen yüksek çekme kuvvetinin oluşturacağı basınç kuvveti ile birlikte eğilme momenti, deprem sırasında meydana gelen ek yükler ve rüzgâr kuvvetini karşılayan önemli yapı elemanıdır. Pilonlar yüksek basınç kuvveti etkisinde olduğundan pilonlarda burkulma kritik önem arz etmektedir. Pilonlarda kullanılan malzeme genellikle çelik, betonarme veya bunların birleşiminden oluşmaktadır. Kule yüksekliği genelde ana açıklığın %20-25'i olacak şekilde tasarlanan pilonlar tabliyenin minimum sehim yapması acısından rijit olacak şekilde imal edilmektedir. Çevreye uyum, estetik ve ekonomik etkenler göz önünde bulundurularak tek konsol, çift konsol (H Tipi), dikdörtgen, eğik çerçeve (A Tipi, Ters Y Tipi) veya enine doğru portal kirişlerle oluşturulan çerçeve şeklinde tasarlanabilmektedir (Şekil 2.19.).



Şekil 2.19. Pilon Tipleri

2.5.3 Tabliye

Yüksek basınç kuvvetine maruz kalan tabliyeler kablolar aracılığıyla basıncı pilonlara doğru aktarmaktadır. Basıncın en fazla olduğu tabliye ana açıklığın pilona en yakın olan tabliyesidir. Tabliyede kullanılan malzeme çelik, ard germeli betonarme veya bunların birleşiminden oluşan kompozit şeklinde olabilmektedir. Tabliyenin kalınlığı, eninden kısa olması Eğik kablo askılı köprülere estetik bir görünüm katmaktadır (Şekil 2.20).



Şekil 2.20. Kutu Kesitli Tabliye Tipleri

2.5.4 Temel

Temeller zemin araştırma raporuna göre yüzeysel veya gömülü temel şeklinde olup genellikle radye temel olarak tasarlanmaktadır. Pilondan gelen basıncı karşılayan köprü elemanıdır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Nissibi Eğik Kablo Askılı Köprü

3.1.1 Yapılma Gerekçesi

Gap Projesi kapsamında Bölgenin Enerji ve Sulama İhtiyacının karşılanması amacıyla yapılan Atatürk Barajının 1992 yılında su tutmasıyla birlikte Adıyaman-Kahta-Siverek-Diyarbakır İlleri arasındaki ulaşımın sağlandığı yol ve köprü sular altında kalmıştır. Bölgede 23 yıl boyunca ilkel feribotlarla sağlanan ulaşıma son vermek daha güvenli seyahat etmek amacıyla Karayolları Genel Müdürlüğünce Fırat Nehri üzerinde kurulan Atatürk Baraj gölü üzerinde iki yakayı birleştirecek bir köprü yapımına karar verilmiştir. Yapılan incelemede bölgede geçilebilecek en kısa açıklığın 600 m, yapılan baraj gölü derinliğinin 90 m olduğu belirlenmiştir. Bu derinlikte bir baraj gölü içerisine ayak konulmasının yapım zorluğu ve ekonomik olmadığı gerekçesiyle geçişin eğik kablo askılı köprü ile yapılmasının daha uygun olacağı kararlaştırılmıştır.

Karayolları Genel Müdürlüğü, yapılacak olan köprünün ön projelerini ülkemizin yerli firmalarından olan Yüksel Proje Uluslararası Anonim Şirketine hazırlatmış ve Slovenya'nın Poting şirketine hazırlanan ön proje kontrol ettirilmiştir. Akabinde Uygulama projesi Tayvanlı Wiecon şirketine hazırlatılmıştır. Ülkemizin yerli firmalarından olan Gülsan A.Ş tarafından yapımı, Karayolları adına kontrollüğü EMAY A.Ş şirketi tarafından müşavirlik işleri üstlenilmiştir. Yapım maliyeti 81.757.513 TL olan köprüye 25 ocak 2012 tarihinde başlanılmış 14.05.2015 tarihinde tamamlanarak trafiğe açılmıştır (Şekil 3.1.'de proje hattı görülmektedir.).

Şekil 3.1. Baraj üzerindeki feribot ve Proje Hattının Google Earth Görüntüsü

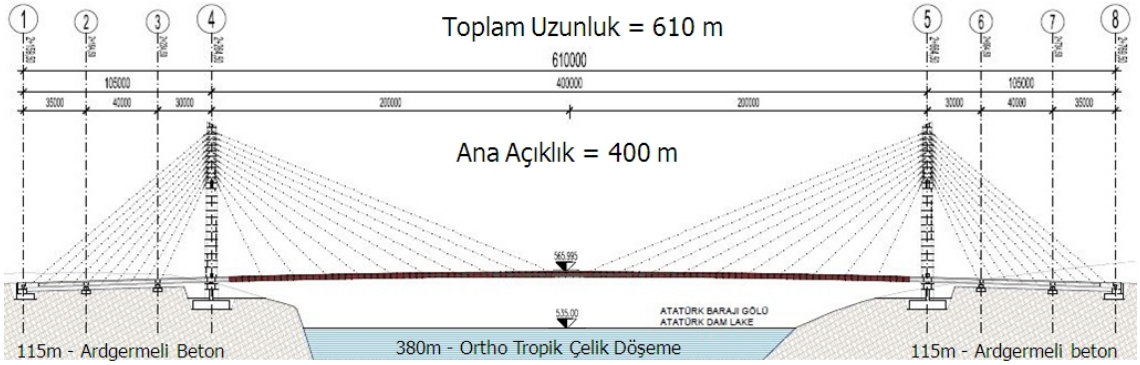
Bölgedeki bir köyden adını alan Nissibi Köprüsünün kelime anlamı toplanmadır. Köprü ismiyle ilgili birçok ismin gündeme gelmesine rağmen bölge ismi olarak kalması uygun görülmüştür.

3.1.2 Teknik Özellikleri

Diyarbakır-Adıyaman illerini bağlayan Siverek-Kahta İlçeleri arasında kalan bölgede Fırat Nehri (Atatürk Baraj Gölü) üzerinde yapılması planlanan köprünün ayağının baraj gölü içine bırakılması zor ve masraflı olacağından, gölün büyük açıklıklı bir köprü ile geçilmesi gerektiği görülmüş olup bölgeye eğik kablo askılı köprü yapılması uygun görülmüştür. 400 m ana açıklık ve 35 m, 40 m, 30 m'den oluşan 105 m'lik kenar açıklıklar ile birlikte toplam 610 m uzunluğunda olan köprü ters Y tipi 2 adet 96.78 m yüksekliğinde pilondan oluşmaktadır. Köprünün ana açıklığının toplam açıklığa oranı yaklaşık %65, pilon yüksekliğinin ana açıklığa oranını yaklaşık %24 dir.

Köprünün kenar açıklıkları ile pilondan ana açıklığa doğru olan 10 m 'lik kısımlarda ard germeli betonarme, ana açıklık ortotropik çelik döşemeden oluşmaktadır.

Köprünün gölden yüksekliği yaklaşık 34 m'dir. Düşeyde Adıyaman ve Diyarbakır tarafından %3 boyuna eğimle yükselen köprü 400 m 'lik şakürlü kurp ile bağlanmaktadır. Yatayda köprü aliymandadır. Köprünün ana açıklığında kullanılan çelik tabliyeyi pilona bağlamak amacıyla 40 adet ve kenar açıklıktaki betonarmeyi dengelemek için 40 adet olmak üzere 2 tarafta toplam 80 adet kablo kullanılmıştır.



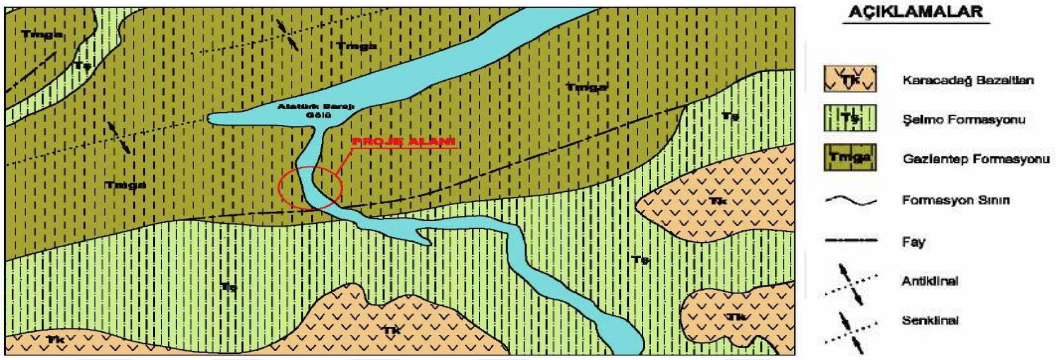
Şekil 3.2. Nissibi eğik kablo askılı köprüsünün boy kesiti

Köprü, Karayolları Genel Müdürlüğünün öngördüğü güvenlik performans seviyesine karşılık gelen 50 yılda aşılma olasılığı %2 (yineleme süresi 2475 yıl) olan deprem seviyesine göre tasarlanmıştır. Ancak köprünün yapımı esnasında deprem ihtimali göz önünde bulundurularak ve en kritik durumu yansıtan bitmemiş köprü modeli üzerinde 50 yılda aşılma olasılığı %50 (yinelenme süresi 75 yıl) ve 50 yılda aşılma olasılığı %10 (yinelenme süresi 475 yıl) olan deprem kayıtları kullanılarak tahkikler yapılmıştır.

Köprünün 1. Derece deprem bölgesinde olması sebebiyle köprüde 16 adet Elastomer kurşun çekirdekli kauçuk mesnet kullanılmıştır. Elastomer mesnet temelde

destekleme ve yeniden merkezleme fonksiyonu üstenirken kurşun çekirdekli mesnet deprem durumundaki enerji sönümlemesini sağlar. Servis durumunda bu mesnetler köprüye gereken rijitliği sağlarken deprem durumunda ise sönümleyici olarak çalışmaktadır. Ayrıca köprü kenar açıklığının düşeyde hareketini engellemek amacıyla köprünün kenar ayaklarına pot mesnetler yerleştirilmiştir.

Proje aşamasında çalışma alanında 8 adet 332.85 m'lik temel sondajı yapılmıştır. Sondajdan alınan numuneler üzerinde yapılan çalışma sonunda zeminin Gaziantep formasyonuna ait kireç türü kaya biriminden oluştuğu görülmüştür. Kireç türü kaya biriminden oluşan zemine temeller yüzeysel oturtulmuştur (Şekil 3.3.'de proje bölgesinin jeolojik haritası görülmektedir.).



Şekil 3.3 Proje Bölgesinin Jeolojik haritası

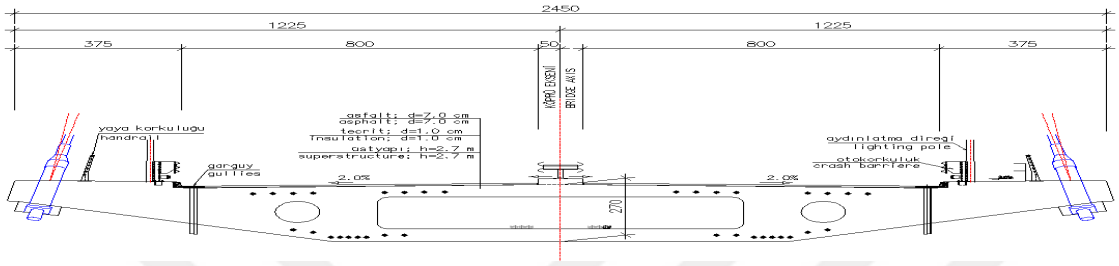
Türkiye'de Uygulanan İlk Eğik Kablo Askılı Köprü olan Nissibi Köprüsü, Kao-Ping Hsi Köprüsü örnek alınarak tasarlanmıştır (Şekil 2.8.).

3.1.2.1 Köprü Üstyapısı (Tabliye)

8 m genişliğinde 2x2 şerit yolu olan köprünün kenar açıklıklarında 3.75 m, ana açıklığında 2.95 m genişliğinde kaldırım (tretuvar) bulunmaktadır. Kenar açıklıkta bulunan tabliyeler ard germeli betonarme, ana açıklıkta bulunan tabliyeler ortotropik çelik malzemeden yapılmıştır. Ortotropik çelik kesit hem ana açıklığın hafiflemesini dolayısıyla kablo kesitlerinin azalmasını sağlamış hem de yüksek burulma rijitliği sayesinde rüzgârda oluşabilecek stabilite problemlerini ortadan kaldırmıştır. Kenar açıklıklardaki ard germeli betonarme kutu kesit ise köprünün dengelenmesinde ters ağırlık olarak kullanılmıştır. Tabliye hesabı sonlu elemanlar modeli ile yapılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemiyle tabliyede oluşan gerilme ve deplasmanlar hesaplanmıştır.

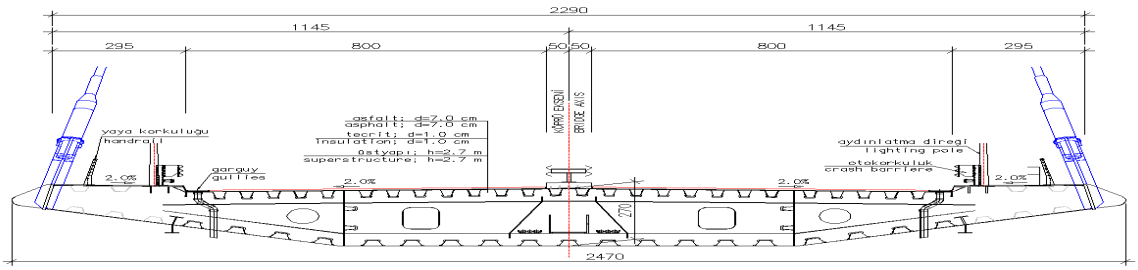
Köprünün kenar açıklığındaki tabliye genişliği 24.5 m, ana açıklıktaki tabliye genişliği 22.9 m olup tüm üst yapı 2.7 m kalınlığındadır (Şekil 3.4. , Şekil 3.5.).

Köprünün kenar açıklıklarındaki üst yapı 40 m, 35 m ve 30 m olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Köprünün kenar açıklığında ard germe için kullanılan merkezi ve parabolik çelik kablolara 1860 Mpa lık germe işlemi uygulanmıştır. Kenar açıklıklarda C40 beton sınıfı kullanılmıştır. Dolayısıyla AASHTO-LRFD 2004 köprü yapım şartnamesinde tabliyeler için basınç dayanımı 27.5 Mpa ‘ın altında beton kullanılmayacağı hususuna uyulduğu görülmüştür.



Şekil 3.4. Köprünün Kenar Açıklıktaki Tabliye Kesiti

Köprünün ana açıklığındaki üst yapı 2x(10+8) m ’lik başlangıç anosu, 18 m ’lik 9 çift ano ve 20 m’lik anahtar ano olmak üzere toplam 23 anodan oluşmaktadır. Üstyapı sistemi için seçilen ortotropik çelik kesit alt ve üst plakları birbirine bağlayan gövde plakları ile bunların stabilitesini sağlayan boylama elamanlarından (rip, berkitmelerden) meydana gelmektedir. Ana açıklıkta S355 (EN 10025-2) çelik sınıfı kullanılmıştır.



Şekil 3.5. Köprünün Ana Açıklıktaki Tabliye Kesiti

Üst yapıda kullanılan S355 (EN 10025-2) çelik sınıfı dayanım özelliği

Servis durumunda;

$\sigma_{Ed,ser} <= f_y / \gamma_{M,ser}$

$\tau_{Ed,ser} <= f_y / (3^{0.5} \times \gamma_{M,ser})$ $\gamma_{M,ser} = 1.1$

Elastisite Modülü= 200,000 N/mm^2

Çelik Sınıfı	t <= 40mm			40mm < t <= 80mm		
(EN 10025-2)	f_y (N/mm^2)	$\sigma_{Ed,ser}$ (N/mm^2)	$\tau_{Ed,ser}$ (N/mm^2)	f_y (N/mm^2)	$\sigma_{Ed,ser}$ (N/mm^2)	$\tau_{Ed,ser}$ (N/mm^2)
S355	355	323	186	335	305	176

Taşıma gücü ve deprem durumunda;

$\gamma_{M,ser}$= 1.0

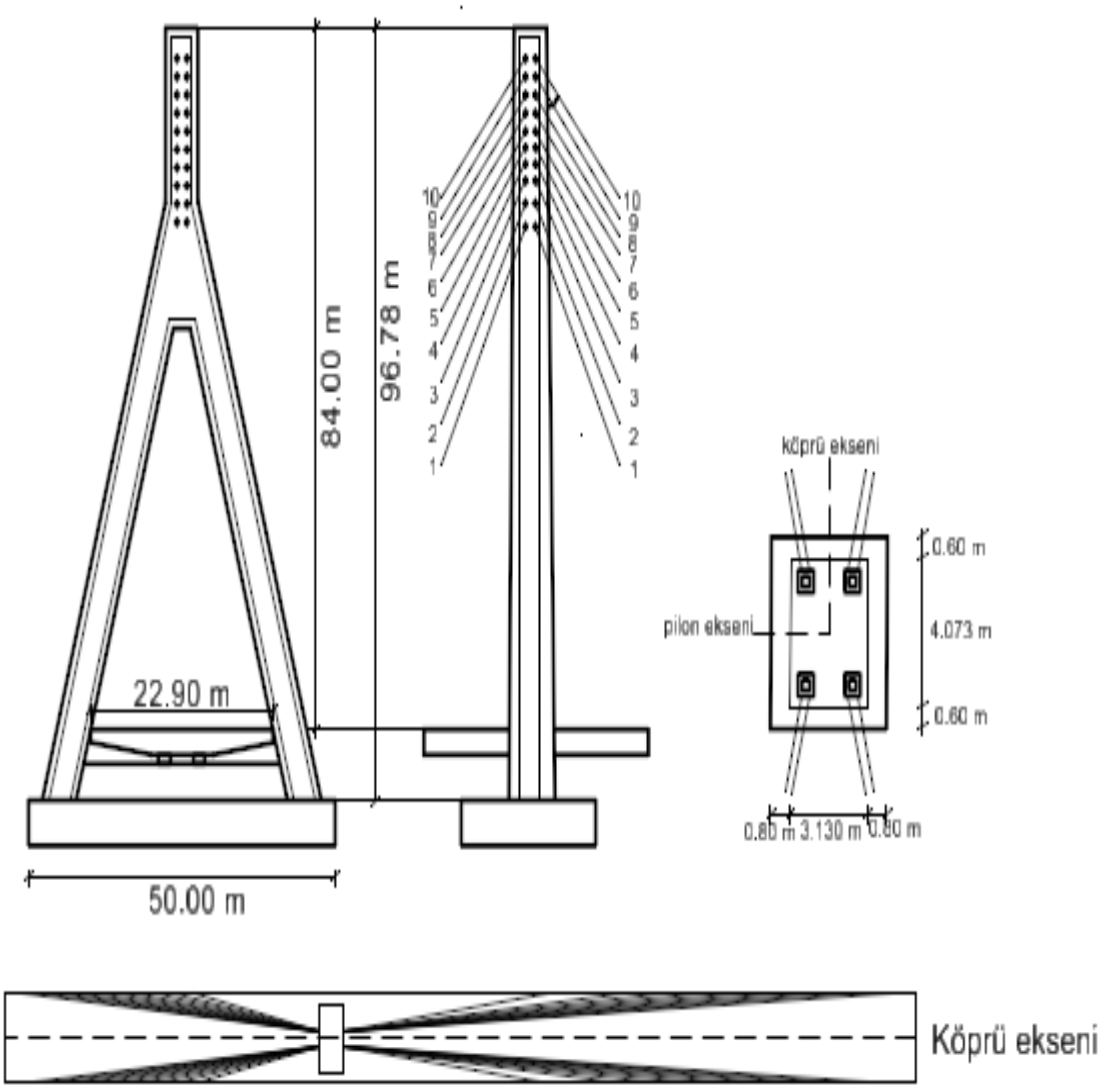
Çelik Sınıfı	t <= 40mm			40mm < t <= 80mm		
(EN 10025-2)	f_y (N/mm^2)	$\sigma_{Ed,ser}$ (N/mm^2)	$\tau_{Ed,ser}$ (N/mm^2)	f_y (N/mm^2)	$\sigma_{Ed,ser}$ (N/mm^2)	$\tau_{Ed,ser}$ (N/mm^2)
S355	355	355	205	335	335	193

olmaktadır.

3.1.2.2 Köprü Pilonları

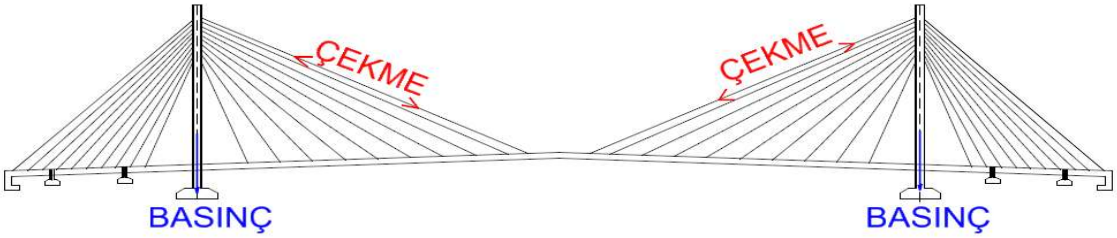
Nissibi Eğik kablo askılı köprüsünün Adıyaman ve Diyarbakır tarafında birer adet olmak üzere 2 adet pilonu bulunmaktadır. Estetik olması, ana açıklıktaki deplasmanları kontrol etmesi, deprem güvenliğini sağlaması amaçlanan köprülerin boyuna ve enine yönde yeterince rijit olması gerekmektedir. Bu tür köprüler için genelde A tipi, H tipi veya ters Y tipi kuleler kullanılmaktadır. Nissibi eğik kablo askılı köprüsünde aşağıda görüleceği üzere ters Y tipi kule kullanılmıştır (Şekil 3.6.).

Yol platformu dışından köprü eksenine doğru yükselen ayaklar 65.07 m de birleşip dik şekilde yükselmeye devam etmiştir. Dik şekilde yükselen 31.71 m'lik kısma kablolar yapım kolaylığı, ekonomik ve estetik olması yönünden Değiştirilmiş Fan sistemi yöntemiyle ankre edilmiştir. Kabloların ankrajlandığı dik kısmın 25 m 'lik bölümü betonarme ile kaplanmış çelik kutudan, bunun dışındaki bölgeler betonarme malzemeden imal edilmiştir. Kayalık zemin üzerine yüzeysel yapılan temel üzerine konulan pilon, temel üst kotundan 96.78 m yüksekliğindedir (Şekil 3.6.). Pilon kesiti yukarıya doğru daralarak yükselmektedir. Pilonda C50 beton sınıfı kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Pilonun Boy-En Kesiti ve Üsten Görünümü

Köprünün yük taşıma prensibi genel olarak tabliye ile tabliye üzerine gelen yüklerin kablolar tarafından tutulması şeklindedir. Kablolar yüklerden oluşan çekme kuvvetlerini pilonlara basınç kuvveti olarak aktarmaktadır (Şekil 3.7.). Pilonlar çekme kuvvetinin oluşturacağı basınç kuvveti ile birlikte eğilme momenti, rüzgâr ve deprem sırasında meydana gelen ek yatay kuvvetleri karşılamaktadır. Bu yüzden köprüdeki pilonlar yüksek basınç kuvveti altındadır. Bu yüzden kabloların ankre edildiği kısım yüksek dayanımlı çelik ve yüksek dayanımlı betonarme kutu kompozit kesitten oluşturulmuştur.

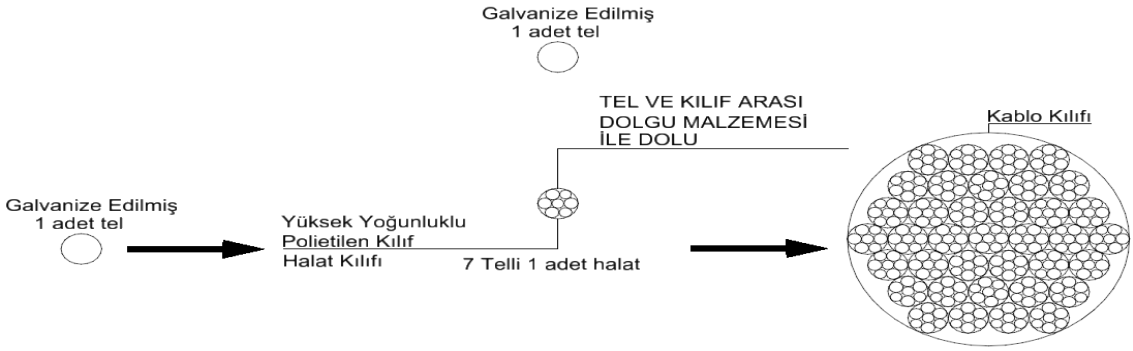


Şekil 3.7. Köprünün Basınca ve Çekmeye çalışan elamanları

Pilonda kullanılan St-500 Betonarme Çeliği
Min. akma dayanımı f_y = 5000 kg/cm^2 = 500 Mpa
Elastisite Modülü E= 2,100,000 kg/cm^2 = 210,000 Mpa
özelliğindedir.

3.1.2.3 Köprüde Kullanılan Kablo

Çelik tabliye tarafına 40 adet, betonarme tabliye tarafına 40 adet olmak üzere köprüde toplam 80 adet kablo kullanılmıştır. Köprüde kullanılan her kablonun içerisinde 31 ile 55 adet arasında halat bulunmaktadır. Her bir halat içerisinde 7 tel bulunmaktadır. (Şekil 3.8.) Eğik kablo askının en küçük bileşeni olan tel, soğuk çekme ile elde edilen yüksek elastik sınırlara sahip genel olarak yuvarlak şeklinde çelikten oluşan malzemedir. Her tel teker teker galvanize edilmiş, teller ile kılıf arası wax ile doldurulmuş, teller yüksek yoğunluklu polietilen kılıfla sarılarak halatı oluşturmuştur. Halatlar içerisinde bulunan teller helisel olarak sarılmıştır. 62 m ile 207 m arasında uzunluğa sahip olan kablolarda rüzgâr ve yağmura karşı spiral koruma sistemi bulunmaktadır (Şekil 3.9.).



Şekil 3.8. Kablonun oluşumu

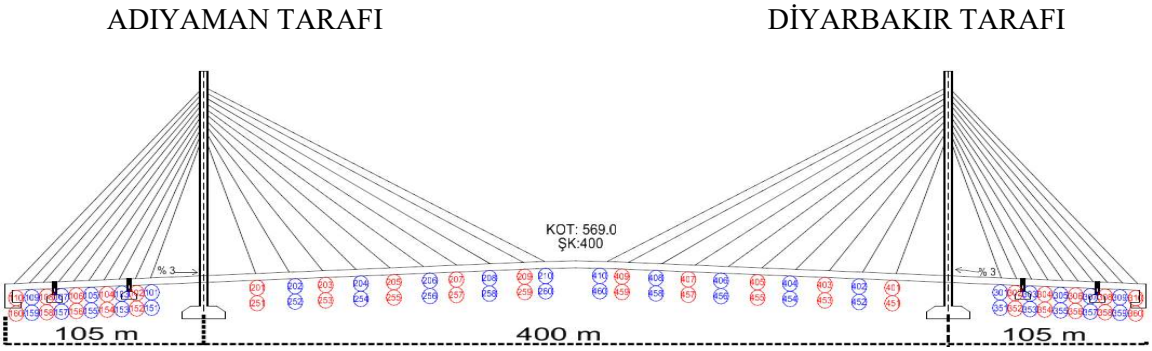
Şekil 3.9. Kablo Enkesiti

Nissibi Eğik kablo askılı köprüde kullanılan kablonun özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

Kablo Tipi	: Grade 1600/1860 ∮ 0.62 “
Kopma Dayanımı, fu	: 1860 N/mm^2
Akma Daynımı, fy	: 1600 N/mm^2
Halat Çapı (0.62 inç)	: 15.7 mm
Halat Kesit Alanı	: 150 mm^2
Kopma Kuvveti	: 279 kN
Elastisite Modülü	:195000 N/mm^2
Birim ağırlık	: 1.172 kg/m
Min. Çekme Kuvveti	: 20 kN

Nissibi Eğik Kablo Askılı Köprüsü doğrusal olmayan analiz yöntemi ile tasarımı yapılmıştır. Köprünün doğrusal olmamasının sebebi kablolardır. Kablolar eksenel çekme kuvvetinin etkisinde olduklarından serbest haldeki geometrisi değişmektedir. Kablolar döşemeye ankre edilmeden önce kablolara ön germe kuvveti uygulanmaktadır. Bu ön germe kuvveti kabloların davranışını etkileyen önemli bir faktördür. Çekme kuvvetinin doğru belirlenmesi kablonun rijitliğinin sağlanması için önemlidir.

Nissibi eğik kablo askılı köprüsünün Diyarbakır tarafında ve Adıyaman tarafında bulunan tabliyeyi pilona bağlayan kabloların her biri numaralandırılmıştır (Şekil 3.10.).



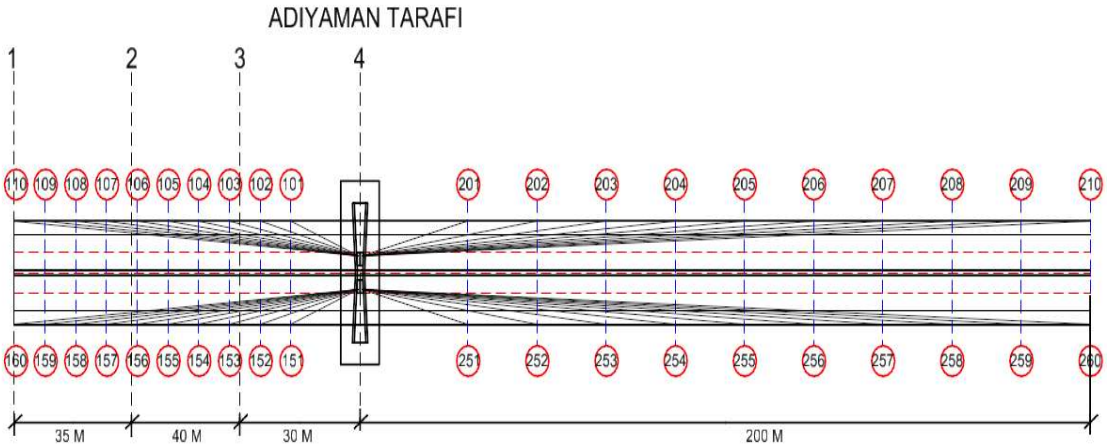
Şekil 3.10. Köprü kablolarının yerleşmiş halindeki boy kesiti

Kulenin tepe bölgesine yakın farklı aralıklarla ankre edilen kablolar Adıyaman tarafında;

101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110 ve 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160 numaralı kablolarla kenar açıklığa,

201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210 ve 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260 numaralı kablolarla ana açıklığa,

bağlanmıştır (Şekil 3.11.).



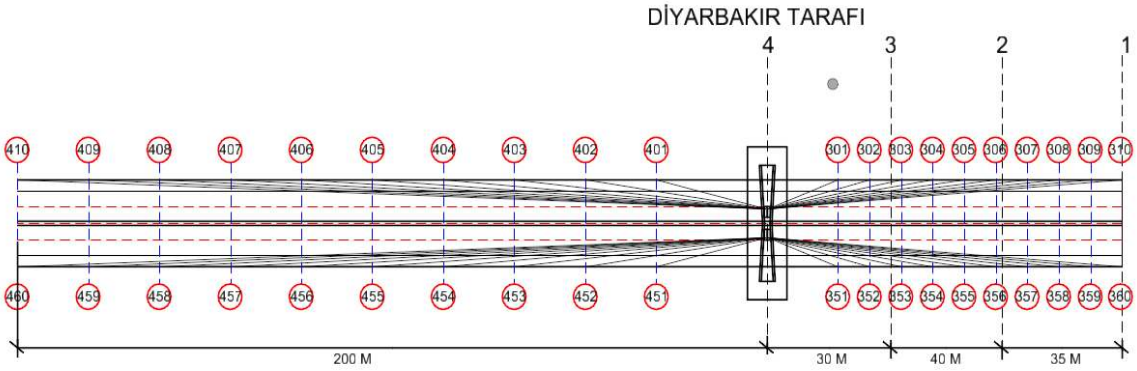
Şekil 3.11. Köprünün Adıyaman tarafındaki kısmının kablolarının yerleşmiş halindeki planın üstten görünümü

Kulenin tepe bölgesine yakın farklı aralıklarla ankre edilen kablolar Diyarbakır tarafında;

301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310 ve 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360 numaralı kablolarla kenar açıklığa,

401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410 ve 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460 numaralı kablolarla ana açıklığa

bağlanmıştır (Şekil 3.12.).



Şekil 3.12. Köprünün Diyarbakır tarafındaki kısmın kablolarının yerleşmiş halindeki planın üstten görünümü

Köprünün tasarım özelliklerinden gelen kabloların döşemedeki ve pilondaki kot (Z1, Z2), koordinat (X1, X2) değerleri doğrultusunda kabloların uzunlukları, döşemeyle (β) ve pilonla (θ) yaptıkları açılar ile her bir kablo ağırlığı bulunmuştur. Köprü simetrik olduğundan aşağıda Adıyaman tarafı için yapılan kablo hesabı Diyarbakır tarafı ile aynı değerdedir (Çizelge 3.1.).

Çizelge 3.1.'de köprünün Adıyaman tarafındaki kablo hesabı verilmiştir.

Çizelge 3.1. Köprünün Adıyaman tarafındaki kablo hesabı

Kablo No		Döşeme			Pilon				ßi (d)	θ (P)	Ağırlık
		X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	L	derece	derece	(ton)
1	101,151	-228.626	-11.45	562.14	-201.879	-1.00	618.202	62.987	62.88	27.12	2.750
2	102,152	-236.807	-11.45	561.90	-201.778	-1.00	620.695	69.236	58.13	31.87	3.023
3	103,153	-244.972	-11.45	561.65	-201.776	-1.00	623.391	76.072	54.25	35.75	3.591
4	104,154	-253.125	-11.45	561.41	-201.320	-1.00	626.741	84.033	51.03	38.97	4.462
5	105,155	-261.264	-11.45	561.16	-201.328	-1.00	629.510	91.504	48.33	41.67	4.859
6	106,156	-269.393	-11.45	560.92	-201.293	-1.00	632.378	99.264	46.05	43.95	5.857
7	107,157	-277.512	-11.45	560.67	-201.253	-1.00	635.135	107.093	44.05	45.95	6.950
8	108,158	-285.62	-11.45	560.43	-201.213	-1.00	638.203	115.248	42.44	47.56	7.480
9	109,159	-293.721	-11.45	560.19	-201.330	-1.00	640.948	123.156	40.98	49.02	7.993
10	110,160	-301.812	-11.45	559.95	-201.282	-1.00	643.909	131.398	39.72	50.28	8.528
1	201,251	-172.00	-11.45	563.781	-198.144	-1.00	618.186	61.258	62.64	27.36	2.241
2	202,252	-154.00	-11.45	564.221	-198.179	-1.00	620.366	72.203	51.04	38.96	2.641
3	203,253	-136.00	-11.45	564.613	-198.160	-1.00	622.979	85.905	42.80	47.20	3.142
4	204,254	-118.00	-11.45	564.956	-198.688	-1.00	626.180	101.824	36.96	53.04	4.446
5	205,255	-100.00	-11.45	565.250	-198.685	-1.00	628.991	117.944	32.71	57.29	5.567
6	206,256	-82.00	-11.45	565.496	-198.705	-1.00	631.874	134.668	29.53	60.47	7.151
7	207,257	-64.00	-11.45	565.693	-198.714	-1.00	634.782	151.758	27.08	62.92	8.954
8	208,258	-46.00	-11.45	565.841	-198.763	-1.00	637.730	169.156	25.15	64.85	9.980
9	209,259	-28.00	-11.45	565.941	-198.808	-1.00	640.689	186.740	23.60	66.40	11.018
10	210,260	-10.00	-11.45	565.993	-198.851	-1.00	643.655	204.464	22.32	67.68	12.063

Köprüde kullanılan kabloların Servis, Taşıma Gücü, Yapım, Deprem, Tasarım limitleri aşağıda verilmiştir.

GUTS : Garanti Edilmiş Kırılma ve Çekme Dayanımı 1860 N/mm^2

0.5 x GUTS : Servis limiti

0.70 x GUTS (ULS) : Taşıma gücü limiti

0.55 x GUTS : Yapım aşamasındaki limit

0.75 x GUTS : Yapım aşamasındaki deprem limiti

0.90 x GUTS : Tasarım limiti

Çizelge 3.2.'de köprünün Adıyaman tarafındaki kablo limitleri verilmiştir.

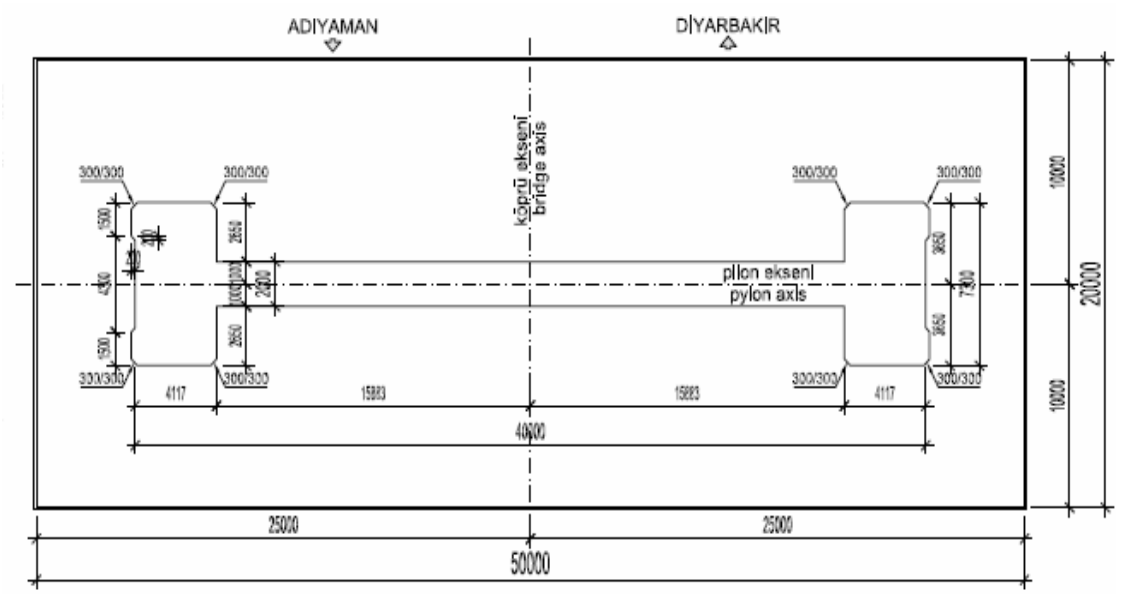
Çizelge 3.2. Köprünün Adıyaman tarafındaki kablo limitleri

Kablo No		N (kablo)	Alan (mm^2)	GUTS (kN)	0.5 GUTS (kN)	0.70 GUTS (kN)	0.55 GUTS	0.75 GUTS	0.90 GUTS	Min. Kuvvet (kN)	Eşdeğer Alan (mm^2)
1	101,151	37	5550	10323	5162	7226	5678	7742	9291	740	398
2	102,152	37	5550	10323	5162	7226	5678	7742	9291	740	398
3	103,153	40	6000	11160	5580	7812	6138	8370	10044	800	430
4	104,154	45	6750	12555	6278	8789	6905	9416	11300	900	484
5	105,155	45	6750	12555	6278	8789	6905	9416	11300	900	484
6	106,156	50	7500	13950	6975	9765	7673	10463	12555	1000	538
7	107,157	55	8250	15345	7673	10742	8440	11509	13811	1100	591
8	108,158	55	8250	15345	7673	10742	8440	11509	13811	1100	591
9	109,159	55	8250	15345	7673	10742	8440	11509	13811	1100	591
10	110,160	55	8250	15345	7673	10742	8440	11509	13811	1100	591
1	201,251	31	4650	8649	4325	6054	4757	6487	7784	620	333
2	202,252	31	4650	8649	4325	6054	4757	6487	7784	620	333
3	203,253	31	4650	8649	4325	6054	4757	6487	7784	620	333
4	204,254	37	5550	10323	5162	7226	5678	7742	9291	740	398
5	205,255	40	6000	11160	5580	7812	6138	8370	10044	800	430
6	206,256	45	6750	12555	6278	8789	6905	9416	11300	900	484
7	207,257	50	7500	13950	6975	9765	7673	10463	12555	1000	538
8	208,258	50	7500	13950	6975	9765	7673	10463	12555	1000	538
9	209,259	50	7500	13950	6975	9765	7673	10463	12555	1000	538
10	210,260	50	7500	13950	6975	9765	7673	10463	12555	1000	538

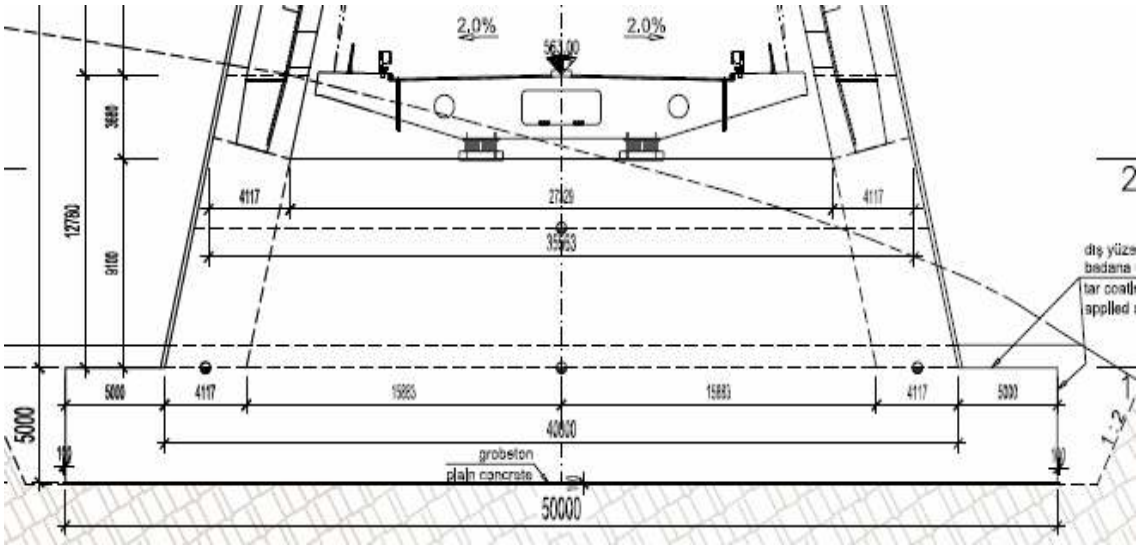
3.1.2.4 Köprü Temelleri

Tabandaki kireçtaşı birimine oturacak temeller için zemin emniyet gerilmesi Q_{em}=1000 kPa, Deprem durumunda ise zemin emniyet gerilmesi değerinin %50 fazlası Q_{em}=1500 kPa olarak belirlenmiştir.

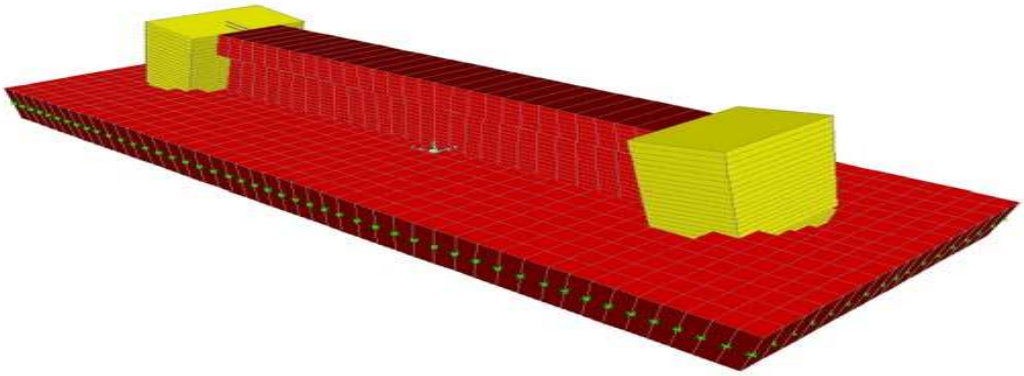
Boyutları birbiriyle aynı olan Diyarbakır ve Adıyaman tarafındaki pilonlar için 1'er adet toplam 2 adet pilon temeli tasarlanmıştır. Pilon temellerinin boyutları 50m x 20m x 5m 'dir (Şekil 3.13. , Şekil 3.14. , Şekil 3.15.).



Şekil 3.13. Pilon Temel Boyutu

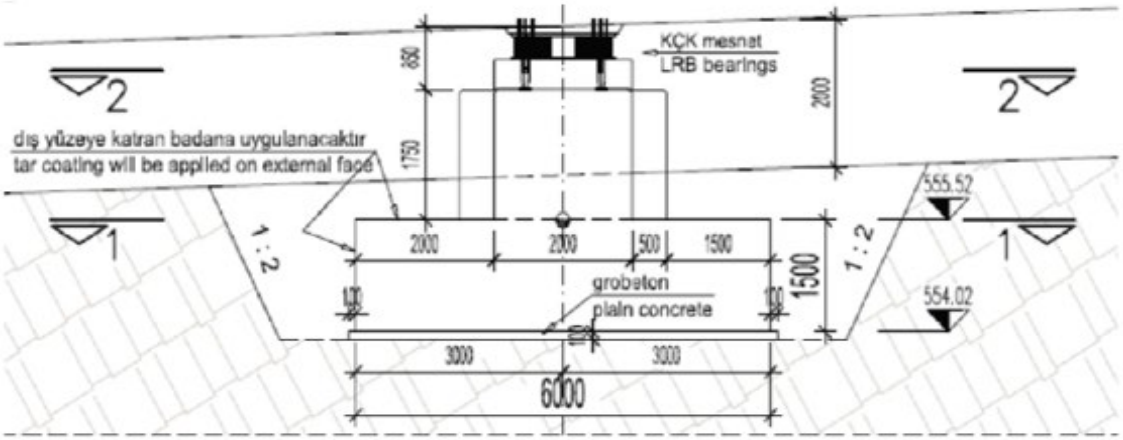


Şekil 3.14. Pilon Temelinin Enkesiti

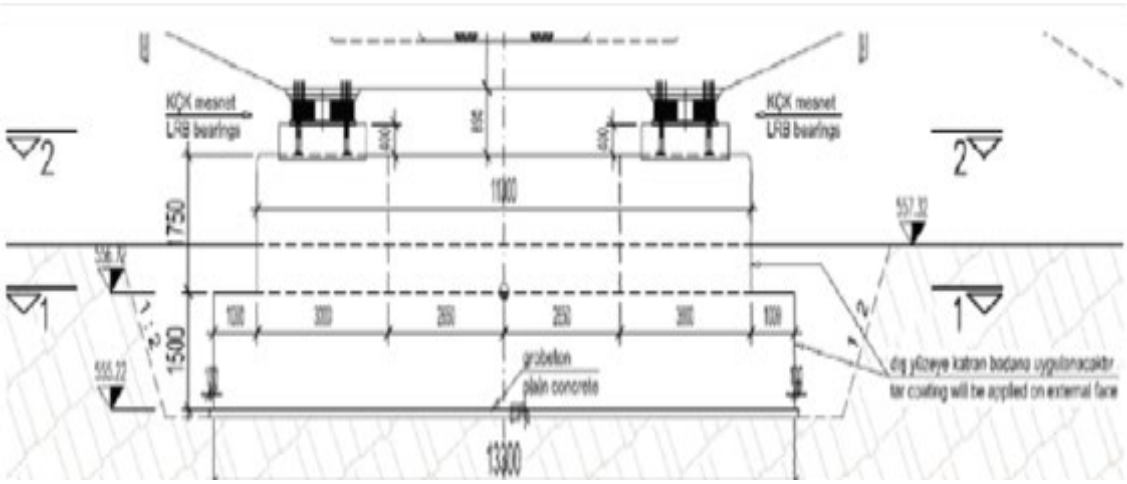


Şekil 3.15. Pilon Temelinin Sistem Modeli

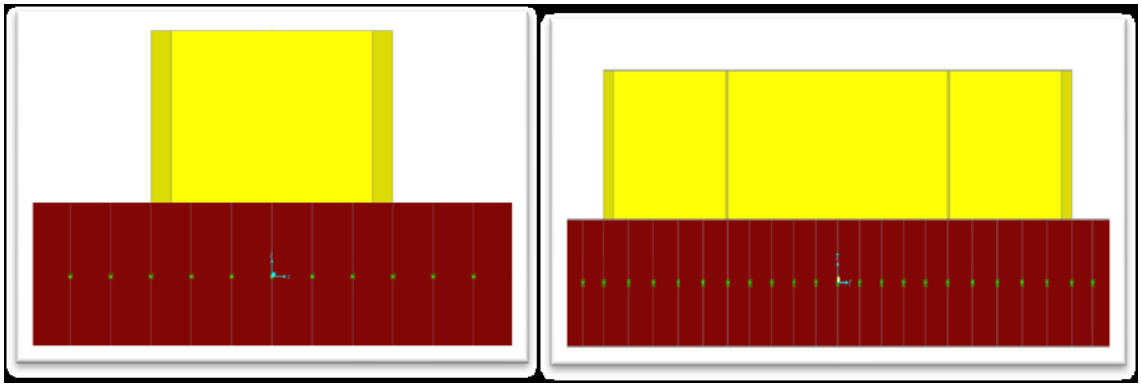
Diyarbakır ve Adıyaman tarafındaki iki kenar açıklıkta bulunan orta ayaklar için 2 şer adet olmak üzere toplam 4 adet boyutları birbiriyle aynı olan orta ayak temeli tasarlanmıştır. Orta ayak temellerinin boyutları 13.3 m x 6 m x 1.5 m dir (Şekil 3.16. , Şekil 3.17. , Şekil 3.18.).



Şekil 3.16. Kenar Açıklıktaki Orta ayak Kesiti

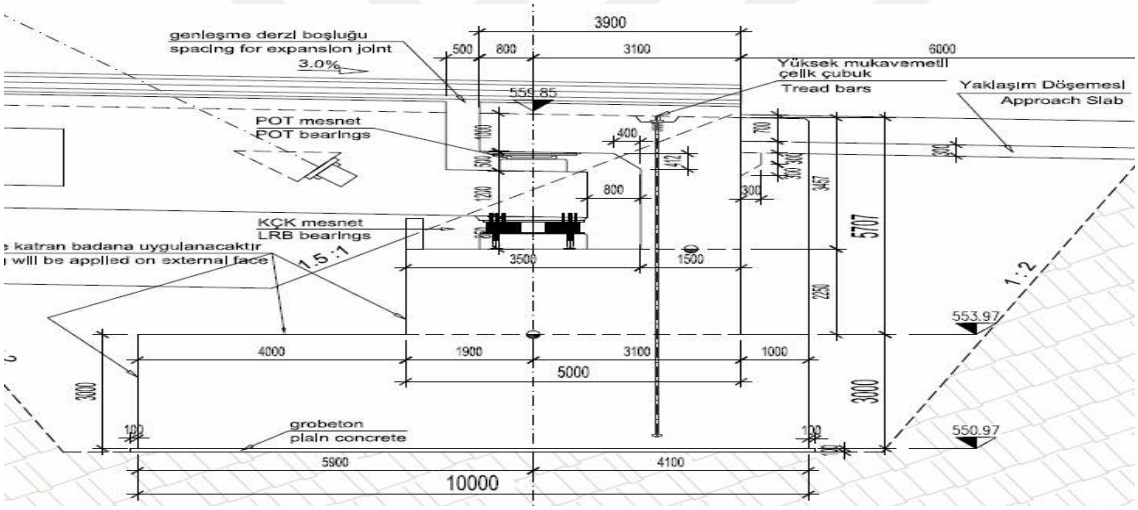


Şekil 3.17. Kenar Açıklıktaki Orta ayak Planı

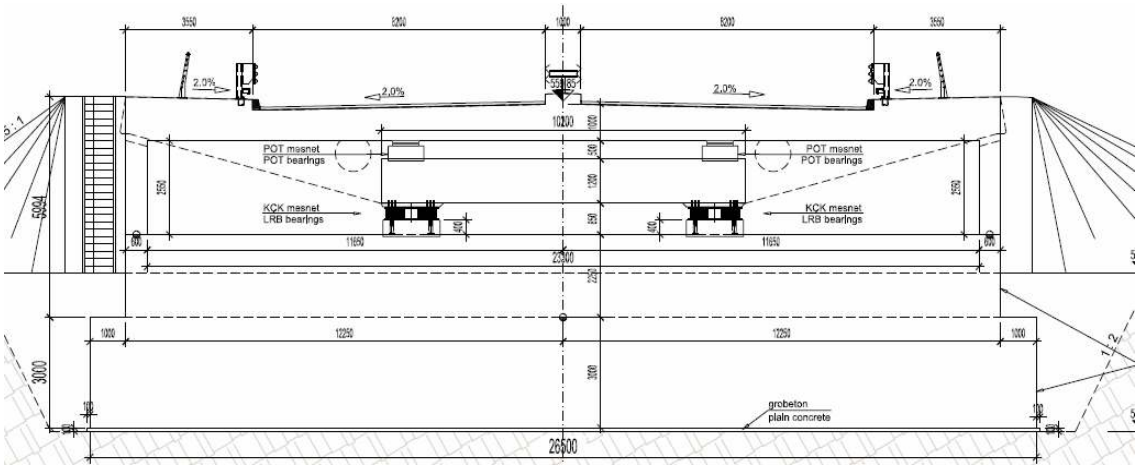


Şekil 3.18. Kenar Açıklıktaki Orta ayak Sistem Modeli

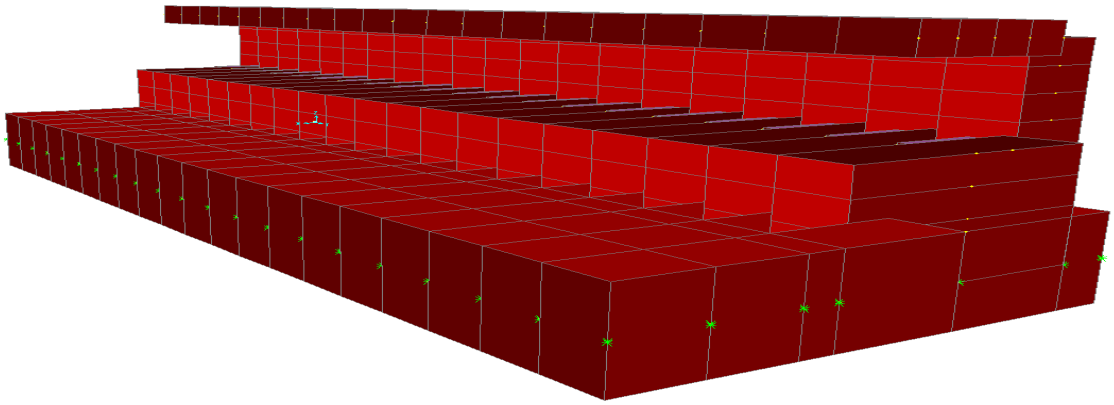
Diyarbakır ve Adıyaman tarafındaki iki kenar açıklıkta bulunan kenar ayaklar için 1'er adet olmak üzere toplam 2 adet boyutları birbiriyle aynı olan kenar ayak temelleri tasarlanmıştır. Kenar ayak temellerinin boyutları 26.5 m x 10 m x 3 m 'dir (Şekil 3.19. , Şekil 3.20. , Şekil 3.21.).



Şekil 3.19. Kenar Açıklıktaki Kenar ayak Temel Boyutu

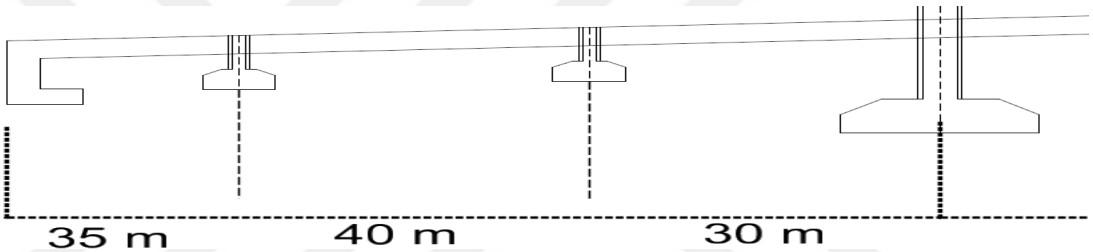


Şekil 3.20. Kenar Açıklıktaki Kenar ayak Kesiti



Şekil 3.21. Kenar Açıklıktaki Kenar ayak Sistem Modeli

Şekil 3.22. ’de köprünün Adıyaman tarafındaki kule temeli, kenar açıklık orta ayak temelleri ve kenar ayak temelinin boyuna kesiti gösterilmiştir. Bu temeller C30 beton sınıfı ile imal edilmiştir.



Şekil 3.22. Kenar Açıklık boy kesiti

Temelde kullanılan St-500 Betonarme Çeliği

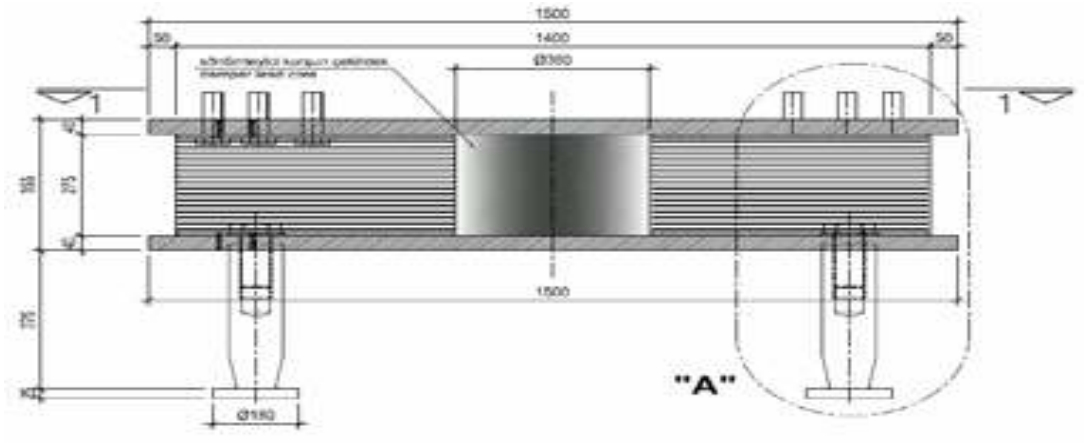
Min. akma dayanımı f_y = 5000 kg/cm^2 = 500 Mpa

Elastisite Modülü E= 2,100,000 kg/cm^2 = 210,000 Mpa

özelliğindedir. Radye temel olarak tasarlanan temellerde genellikle Φ26, Φ32 ‘lik donatı çaplarında çubuklar seçilmiştir. Bu çubuklar birbirlerine maşonlarla bağlanmıştır.

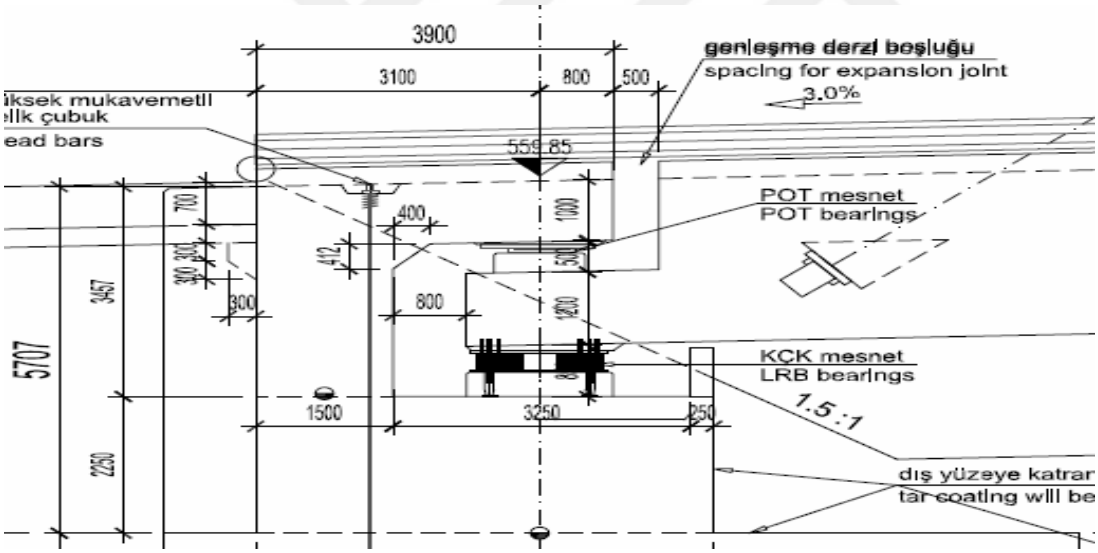
3.1.2.5 Köprüde Kullanılan Mesnetler

Köprünün kule, kenar açıklık orta ayakları ve kenar açıklık kenar ayağında kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler kullanılmıştır. Kullanılan mesnetlerin boyutları 1200 mm ile 1600 mm arasında değişmektedir. Kurşun çekirdekli mesnet elastomer mesnet ile içine bir kurşun silindirin yerleştirilmesinden oluşan kombinasyondur. Elastomer mesnet temelde destekleme ve yeniden merkezleme fonksiyonunu üstlenirken, kurşun çekirdek etkili enerji sönümlenmesini sağlar. Servis durumda bu mesnetler köprüye gereken rijitliği sağlarken deprem durumda ise sönümleyici olarak çalışmaktadır (Şekil 3.23.).



Şekil 3.23. Kurşun Çekirdekli Kaucuk Mesnet Kesiti

Köprünün kenar açıklık kenar ayaklarının düşey yönde havalanmasını engellemek amacıyla üstyapı ile kenar ayak arasına pot mesnet konulmuştur. Burada kullanılan pot mesnetin kapasitesi köprünün en dışındaki kabloların düşey bileşenlerine göre belirlenmiştir (Şekil 3.24.).



Şekil 3.24. Kurşun Çekirdekli Kauçuk ve Pot Mesnet Kesiti

3.1.3 Köprüde Kullanılan Tavsiye ve Şartnameler:

Nissibi kablo askılı köprüsünün yapı elemanlarının hesapları aşağıdaki şartname ve tavsiyelerde belirtilen hususlar gözetilerek yapılmıştır.

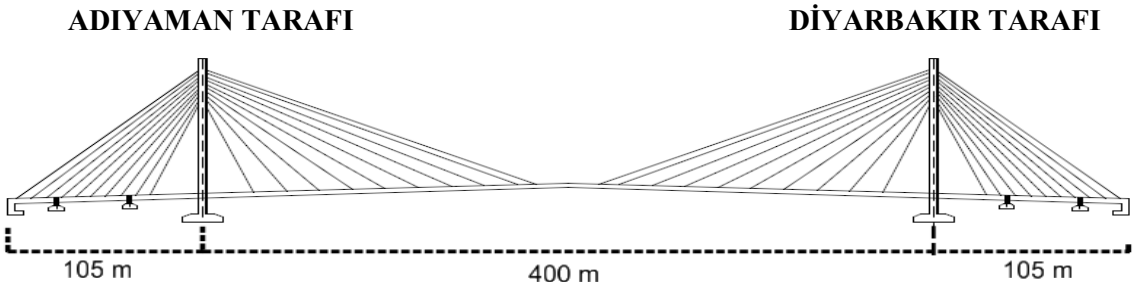
- Eğik Askı Kabloları Üzerinde Tavsiyeler, Fransa Bakanlıklar Arası Ön germe Komisyonu, SETRA

- Gergi Kablolarının Dizayn, Test ve Montaj Kılavuzu (USA / PTI Post Tensioning Institute, 5. Baskı)
- FIB Tavsiyeleri – Ön germe Halatlarının Eğik Askı Kablosu Olarak Kullanımı, CEB-FIP Bülten No 30
- FIB Tavsiyeleri – Ard germe Halatlarının Dayanıklılığı, CEB-FIP Bülten No 33, Aralık 2005
- Betonarme, ön gerilmeli beton, çelik ve kompozit yapı elemanlarının tasarımında AASHTO LRFD ve Eurocode şartnamesi,
- Köprünün Deprem Tasarımında "AASHTO Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Desing" şartnamesi,
- Köprünün mesnetleri ve genleşme derzlerinin dizaynında AASHTO LRFD, ASTM, Karayolları Teknik Şartnamesi,

3.1.4 Köprünün Geometrik Özellikleri

Köprü estetik, ekonomik ve yapım kolaylığı göz önünde bulundurularak geometrisi oluşturulmuştur (Şekil 3.25.).

Köprü ana açıklığı	: 400 m
Köprü yan açıklığı	: 105 m
Köprü toplam Boyu	: 610 m
Köprü ana açıklıktaki platform genişliği	: 22.90 m
Köprü kenar açıklıktaki platform genişliği	: 24.50 m
Köprü taşıt yolu genişliği	: 16 m
Trafik şeridi sayısı	: 4 adet
Ana açıklıktaki tretuvar genişliği	: 2.95 m
Kenar açıklıktaki tretuvar genişliği	: 3.75 m
Asfalt kaplama kalınlığı	: 0.07 m
Pilon yüksekliği	: 84 m (Tabliye üzerinden yüksekliği)
Kablo adedi	: 80 adet (20x4)



Şekil 3.25. Köprünün Geometrisi

3.1.5 Köprüde Kullanılan Malzeme Özellikleri

Nissibi eğik kablo askılı köprüsünün yapı elemanlarında kullanılan malzeme özellikleri Çizelge 3.3. ‘de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Köprüde kullanılan Malzeme Özellikleri

Eleman	Malzeme
Üstyapı-Çelik	S355
Üstyapı-Beton	C40
Kule	C50
Temeller	C30
Kablo	Gr 1660 / 1860

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Nissibi Eğik Kablo Askılı Köprüsünün Hesap Esasları

Bu bölümde köprüye etki eden yükler, kullanılan Bilgisayar programı hakkında bilgi sunulmuş, daha sonra pilon burkulma ve pilon temel hesabı yapılmıştır.

4.1.1 Köprüye Etki Eden Yükler

Nissibi eğik kablo askılı köprüsüne etki eden yükler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1-Zati Yükler

2-Hareketli Yükler

3-Rüzgâr Yükü

4-Termal Etkiler

5-Kabloya verilen ön germe Yükü

6-Yaya Yükleri

7-Deprem Yükleri

8-Gergili Kablolunun Ayarlanması

9-Gergili Kablonun Değiştirilmesi

10-Kaza sonucu Gergili Kablonun Kırılması

4.1.1.1 Zati Yükler

Birim Hacim Ağırlıkları:

Donatılı Beton Birim Hacim Ağırlığı	= 25 kN/m^3
Çelik Birim Hacim Ağırlığı	= 78.5 kN/m^3
İzolasyon Birim Hacim Ağırlığı	= 22 kN/m^3
Asfalt Birim Hacim Ağırlığı	= 24 kN/m^3
Yaya ve Oto korkuluk Birim Ağırlığı	= 2 kN/m^3
Aydınlatma Birim Ağırlığı	= 3 kN/m^3

Üst yapı elemanlarının kesit alanı:

Diyafram plakası alanı	= 50.00 m^2
Tabliye Enkesit alanı	= 1.23 m^2
Berkitme-1 Enkesit alanı	= 4.20 m^2

Berkitme-2 Enkesit alanı = 4.20 m^2

Boşluk = 5.00 m^2

Her bir kesitteki tekil yük:

Diyafram plakası = 50.00 m^2 x 0.02 m x 78.50 KN/m^3 = 78.50 kN

Berkitme-1 = 4.20 m^2 x 0.02 m x 78.50 KN/m^3 = 6.59 kN

Berkitme-2 = 4.20 m^2 x 0.016 m x 78.50 KN/m^3 = 5.28 kN

Boşluklar = -5.00 m^2 x 0.02 m x 78.50 KN/m^3 = -7.85 kN

g = 82.52 kN

Tabliye zati yükü:

Ano ağırlığı hesabı:

1.23 m^2 x 18.00 m x 78.5 KN/m^3 = 1737.99 kN

6 x 82.52 KN = 495.12 kN

g = 2233.11 kN

Anahtar Ano ağırlığı hesabı:

1.23 m^2 x 20.00 m x 78.5 kN/m^3 = 1931.10 kN

6 x 82.52 kN = 495.12 kN

g = 2426.22 kN

İlave Yükler:

7 cm asfalt kaplama = 0.07 m x 16.00 m x 24.0 kN/m^3 = 26.88 kN/m

1 cm izolasyon = 0.01 m x 16.00 m x 22.0 kN/m^3 = 3.52 kN/m

Orta kaldırım = 1 m x 0.30 m x 25 kN/m^3 = 7.50 kN/m

Oto Korkuluk (2 adet) = 1 x 2.00 kN/m = 2.00 kN/m

Yaya Korkuluğu (2 adet) = 2 x 2.00 kN/m = 4.00 kN/m

Aydınlatma = 3.00 kN/m

g = 46.90 kN/m

İlave yük toplamı (Normal Ano için) = 46.9 kN/m x 18.00 m = 844.2 kN

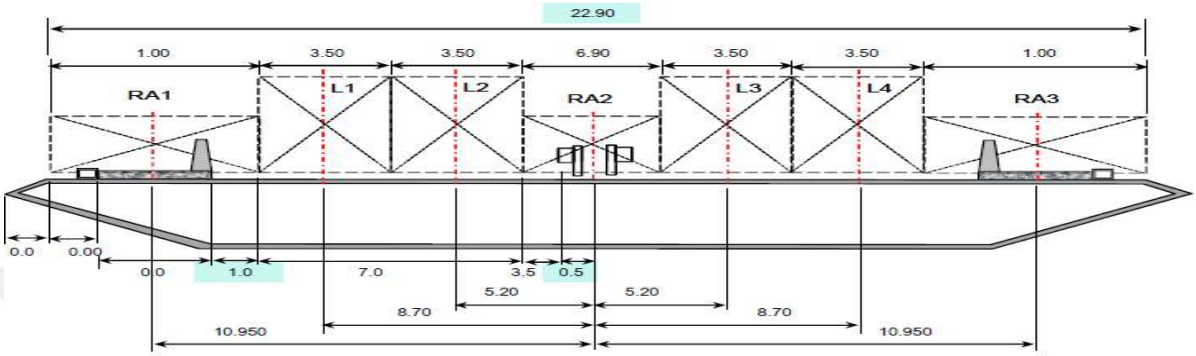
İlave yük toplamı (Anahtar Ano için) = 46.9 kN/m x 20.00 m = 938 kN

Toplam zati yük (Normal Ano için) = 2231.11 kN + 844.2 kN = 3077.31 kN

Toplam zati yük (Anahtar Ano için) = 2426.22 kN + 938 kN = 3364.22 kN

4.1.1.2 Hareketli Yükler

Köprüye düşey yönde etkiyen trafik yükünün köprü karakteristiğine etkisini belirlemek amacıyla hareketli yük analizi yapılmaktadır (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1. Köprü kesiti

Taşıt yolu genişliği, w = 8.00 m

Şerit Genişliği = 3.50 m

Şerit sayısı, n1 = 8/3

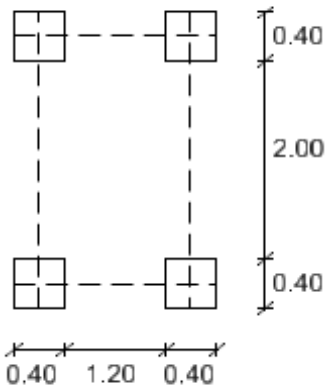
n1 = 2 adet

w1 = 2 m

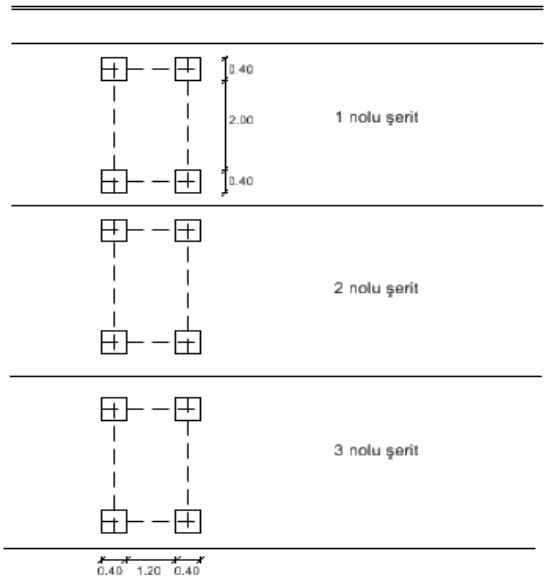
Hareketli yük analizi 3 farklı modelle incelenmiştir (EN-1991-2 4.3).

Yükleme Modeli 1

Bu modelle Şekil 4.1.1.2(II) 'de belirtilen kamyon tipinin Şekil 4.2.'deki yükleme modeli ile yükün köprü üzerine düzgün dağıtılması yöntemiyle yapılmaktadır.



Şekil 4.2. Modelde uygulanan kamyon tipi



Şekil 4.3. Köprüye uygulanan yükleme modeli

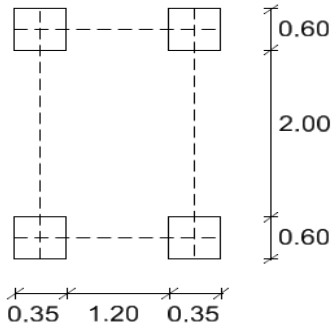
1, 2 ve 3 nolu şeritlere uygulanan tekil yüklemelere şerit azaltma çarpanı ve dinamik faktör dahil edilerek oluşturulan karakteristik değer tablosu Çizelge 4.1.'de verilmiştir (EN-1991-2 4.3.2).

Çizelge 4.1. Karakteristik değer tablosu

Şerit No	TS	UDL	UDL
	Aks Yükü (Qik) (kN)	1 m^2 gelen yayılı yük qik (kN/m^2)	1 m gelen yayılı yük qik (kN/m)
1	300	9	31.5
2	200	2.5	8.75
3	100	2.5	8.75
Diğerleri	0	2.5	8.75
Arta kalan kısım	0	2.5	8.75

Yükleme Modeli 2

Tek aks yükü 400 kN olan Şekil 4.4. 'de belirtilen kamyon yükünün köprü üzerindeki lokal bölgelere uygulanması ile yapılan analiz yöntemidir (EN-1991-2 4.3.3).



Şekil 4.4. Modelde uygulanan kamyon tipi

Lokal bölgede yapılacak analiz için kamyon yüküne aşağıdaki formül ile hesaplanan dinamik faktör dahil edilmelidir.

$\Delta\mathbb{Q}_{fat} = 1.30 \times (1-(D/26))$; $\Delta\mathbb{Q}_{fat} \geq 1$ D : tahkik yapılacak noktanın genleşme derzine olan mesafesi

Yükleme Modeli 3

Köprüye bilinen özel bir araç yükünün uygulanması ile yapılan analiz yöntemidir. (EN-1991-2 4.3.4)

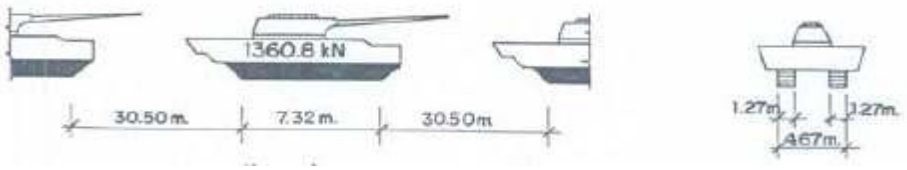
Bu model için köprüye tank ve uzun araç yüklenmesi şeklinde ayrı iki farklı yükleme yapılmıştır.

a) Tank Yüklemesi

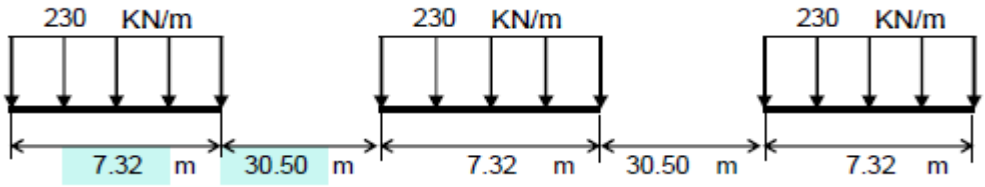
Nissibi köprüsü için Şekil 4.5. ’de tipi belirtilen 1680 kN ağırlığında tank yüklemesi yapılmıştır. Tank yüklemesi iki farklı hesap yöntemiyle analiz edilmiştir.

- Köprünün tek tarafının en dış şeritine tank, diğer şeritlerde yük olmadan yapılan yükleme
- Köprünün tek tarafının en dış şeritine tank, diğer şeritlerde normal taşıt yükü yüklenerek yapılan yükleme

Dinamik faktör bu analizde dikkate alınmayacaktır.



Şekil 4.5. Modelde uygulanan tank tipi

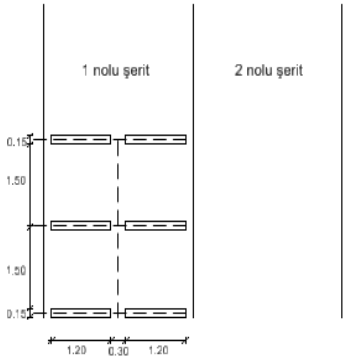


Şekil 4.6. Köprüye uygulanan yükleme modeli

b) Uzun Araç Yüklemesi

Nissibi köprüsü için Şekil 4.7. ‘de tipi belirtilen 1800 kN ağırlığında uzun araç yüklemesi yapılmıştır. Aracın hızının 70 km/sa küçük olması durumda dinamik faktör dikkate alınmayacak, Ancak aracın hızının 70 km/sa büyük olması durumunda dinamik faktör aşağıdaki formül ile artırılacaktır.

$\mathbb{Q} = 1.40 - (L/500)$; $\mathbb{Q} \geq 1$ L : Aracın gittiği yolun uzunluğu



Şekil 4.7. Köprüye uygulanan yükleme modeli

4.1.1.3 Yorulma Analizi

Köprüler üzerinde çalışan trafik, köprüde yorgunluğa neden olan bir gerilme spektrumu oluşturmaktadır. Köprüde oluşan gerilme spektrumu araçların geometrisine, aks yüklerine ve kat ettikleri mesafeye bağlı olarak değişmektedir (Çizelge 4.2. , Çizelge 4.3. , Çizelge 4.4.). Kamyon yükleri altında yorulma analizi EN-1991-2 Bölüm 4.6.5 ’e göre yapılmıştır.

Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından ölçülen günlük kamyon trafiği 15000 adet olarak belirlenmiştir. Köprü ömrü 75 yıl kabul edilmiştir.

Çizelge 4.2. Kamyon tipleri, aks yükleri

Kamyon Tipi				Trafik Tipi		
Kamyon		Aks Aralığı (m)	Aks Yükü (KN)	Uzun Mesafeden gelen Kamyon % si % D1	Orta Mesafeden gelen Kamyon % si % D2	Kısa Mesafeden gelen Kamyon % si % D3
K1		4.50	70 130	0.20	0.40	0.80
K2		4.20 1.30	70 120 120	0.05	0.10	0.05
K3		3.20 5.20 1.30 1.30	70 150 90 90 90	0.50	0.30	0.05
K4		3.40 6.00 1.80	70 140 90 90	0.15	0.15	0.05
K5		4.80 3.60 4.40 1.30	70 130 90 80 80	0.10	0.05	0.05
				1.00	1.00	1.00

$$n_{Di} = 15000 \times K_P \times (D_1 / (D_1 + D_2 + D_3)) \textbf{ (Günlük)}$$

Çizelge 4.3. Kamyon tiplerinin mesafeye göre dağılımı (Günlük)

Kamyon Tipi	K_p	n_{ki}	Mesafeye göre dağılım		
			n_{D1}	n_{D2}	n_{D3}
K1	0.50	7500	1071	2143	4286
K2	0.30	4500	1125	2250	1125
K3	0.10	1500	882	529	88
K4	0.05	750	321	321	107
K5	0.05	750	375	188	188
	1.00	15000	3775	5431	5794
			15000		

K_p : Her bir kamyon tipinin yıllık ölçümlerine göre günlük geçiş yüzdeleri

n_{ki} : Her bir kamyon tipinin yıllık ölçümlerine göre günlük geçiş adetleri

n_{Di} : Her bir kamyon tipinin günlük geçiş yüzdelerinin mesafelere göre dağılımı

$n_{Dİ} = n_{D1}$ x Köprü Ömrü x 365 **(Yıllık)**

Çizelge 4.4. Kamyon tiplerinin mesafeye göre dağılımı (Yıllık)

Kamyon Tipi	Mesafeye göre dağılım		
	n_{D1}	n_{D2}	n_{D3}
K1	29,318,625	58,664,625	117,329,250
K2	30,796,875	61,593,750	30,796,875
K3	24,144,750	14,481,375	2,409,000
K4	8,787,375	8,787,375	2,929,125
K5	10,265,625	5,146,500	5,146,500
	103,313,250	148,673,625	158,610,750
	410,597,625		

4.1.1.4 Rüzgâr Yükü

Rüzgâr yükünün hesabı Eurocode (EN-1991-1-4 bölüm 8) şartnamesine göre hazırlanmıştır.

$F_{wk} = (½) \times \rho \times V_b^2 \times C \times A_{ref}$ Rüzgar kuvveti

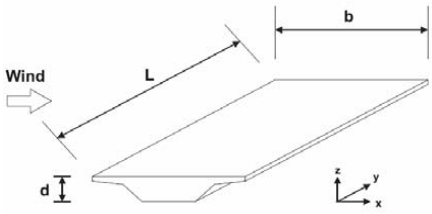
$V_b = 33.6$ m/sn Rüzgar Hızı

$\rho = 1.25$ kg/m^3 Havanın yoğunluğu

$C = [\ 1 + 7.00 / \ln (z/0.01)] \times 0.04 \ln^2 (z/0.01)$ Sürükleme katsayısı

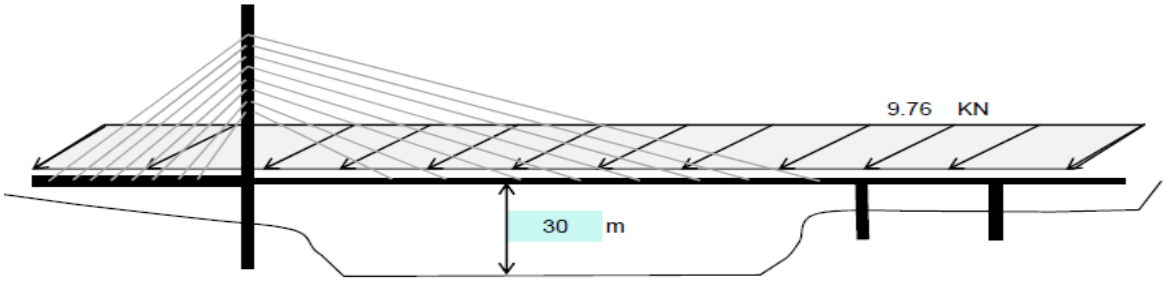
z=30 için C =5.12 (Köprünün deniz seviyesinden yüksekliği)

$A_{ref} = d_{tot} \times L = 2.7$ m^2 L=1 ; $d_{dot} = 2.7$ m^2 (Köprünün boyuna 1 m lik kısmı için)



Şekil 4.8. Tabliye Kesiti

F_{wk} = (1/2) x 1.25 x $(33.6)^2$ x (5.12) x 2.70 = 9762 N = 9.76 kN



Şekil 4.9. Köprüye Etki Eden Rüzgâr Yükü

4.1.1.5 Termal Etkiler

Köprüdeki termal etkilerin hesabı Eurocode (EN-1991-1-5) şartnamesine göre hazırlanmıştır.

Çizelge 4.5. Minimum, Maksimum Hava Sıcaklığı

T_{min} (^{O}C)	T_{max} (^{O}C)
-24	42

Köprü Yapım Sıcaklığı, T_{ref} : 10 ^{O}C

T_{min} : 50 yıllık periyotta gerçekleşebilecek en düşük yıllık hava sıcaklığı

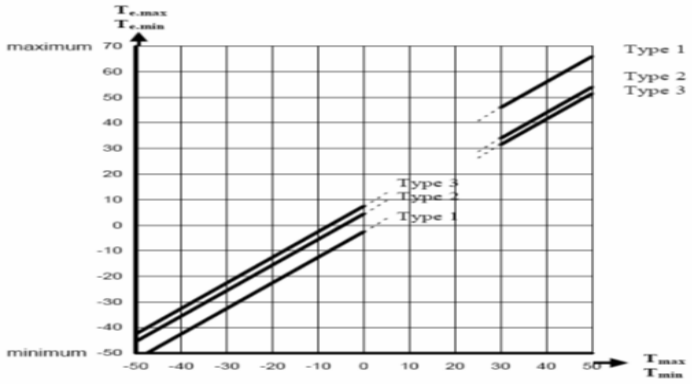
T_{max} : 50 yıllık periyotta gerçekleşebilecek en yüksek yıllık hava sıcaklığı

$T_{e,min}$: Minimum Homojen Köprü Sıcaklık Bileşeni

$T_{e,max}$: Maksimum Homojen Köprü Sıcaklık Bileşeni

ΔT_N : Köprü Boyunca Homojen Sıcaklık Değişim Aralığı

Çizelge 4.6. Köprüdeki Betonarme, Çelik ve Kompozitin Maksimum, Minimum Sıcaklık Değeri



Köprü Orta Açıklığındaki Maksimum, Minimum Sıcaklık Değerleri (Çelik Kısım, Type 1)

$T_{e,max} = T_{max} + 16 \longrightarrow T_{e,max} = 58\ ^{O}C$

$T_{e,min} = T_{min} - 3 \longrightarrow T_{e,min} = -27\ ^{O}C$

Köprünün Betonarme Çelikten Birleşiminden Oluşan Kompozit Kısımdaki Maksimum, Minimum Sıcaklık Değerleri (Kompozit Kısım, Type 2)

$T_{e,max} = T_{max} + 4 \longrightarrow T_{e,max} = 46\ ^{O}C$

$T_{e,min} = T_{min} + 4 \longrightarrow T_{e,min} = -20\ ^{O}C$

Köprü Kenar Açıklıklarındaki Maksimum, Minimum Sıcaklık Değerleri (Betonarme Kısım, Type 3)

$T_{e,max} = T_{max} + 2 \longrightarrow T_{e,max} = 44\ ^{O}C$

$T_{e,min} = T_{min} + 8 \longrightarrow T_{e,min} = -16\ ^{O}C$

$\Delta T_{N,neg} = T_{e,min} - 10 = -37\ ^{O}C$, $\Delta T_{N,pos} = T_{e,max} - 10 = 48\ ^{O}C$

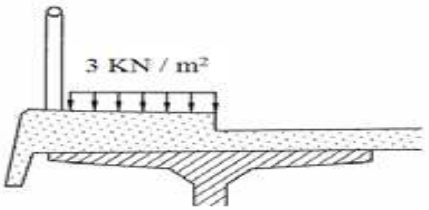
4.1.1.6 Kabloya verilen ön germe Yükü

Her halat %10-15 Garanti Edilmiş Kırılma ve Çekme Dayanımı (GUTS) ile gerilir. (Emay A.Ş Nissibi Köprüsünün kablo kurulum metodu)

GUTS = 1860 x kablodaki halat sayısı x halatın kesit alanı

4.1.1.7 Yaya Yükleri

Yaya yükü 3 kN/m^2 alınacaktır (EN 1991-2 4.4) (Şekil 4.10.).



Şekil 4.10. Köprüye etki eden yaya yükü

4.1.1.8 Deprem Yükleri

1. Derece deprem bölgesinde yer alan Nissibi köprüsünün olası bir deprem durumunda pilon ve temelde hasar meydana gelmemesi için deprem analizi yapılmaktadır. Nissibi köprüsü çok modlu spekral analiz yöntemi ile yapılmıştır. Nissibi Köprüsünün köprü sınıfı B'dir. B sınıfı köprünün ivme katsayısı (A) $0.09 \leq A \leq 0.19$ aralığındadır (AASHTO, 2002).

Köprü, Karayolları Genel Müdürlüğünün öngördüğü güvenlik performans seviyesine karşılık gelen 50 yılda aşılma olasılığı %2 (yineleme süresi 2475 yıl) olan deprem seviyesine göre tasarlanmıştır. Ancak köprünün yapımı esnasında deprem ihtimali göz önünde bulundurularak ve en kritik durumu yansıtan bitmemiş köprü modeli üzerinde 50 yılda aşılma olasılığı %50 (yinelenme süresi 75 yıl) ve 50 yılda aşılma olasılığı %10 (yinelenme süresi 475 yıl) olan deprem kayıtları kullanılarak tahkikler yapılmıştır (Çizelge 4.7.).

Ortadoğu Teknik Üniversitesinin ürettiği zaman tanım alanındaki (Time-History) deprem dataları doğrultusunda non-lineer analiz yapılmıştır. Aşağıda isimleri belirtilen 7 farklı deprem datasına göre yapılan analiz sonuçlarının ortalaması alınarak köprü dizayn edilmiştir.

- Imperial Valley 15.10.1979
- Landers 28.06.1992
- Düzce 12.11.1999
- Landers 23.07.1992
- Victoria, Mexıco 06.09.1980
- Westmoreland 26.04.1981
- Parkfield 28.06.1965

Çizelge 4.7. Spektral İvme Değerleri

Koordinat		Kısa Periyod için Spektral İvme (g) - S_S			1.0 sn Periyodu için Spektral İvme (g) – S_1		
		50 yılda aşılma olasılığı			50 yılda aşılma olasılığı		
Boy.	En.	% 50	% 10	% 2	% 50	% 10	% 2
39.0	35.8	0.12	0.29	0.53	0.04	0.08	0.14
39.0	36.0	0.12	0.29	0.53	0.04	0.08	0.14
39.0	36.2	0.12	0.29	0.53	0.04	0.08	0.14
39.0	36.4	0.12	0.29	0.53	0.04	0.08	0.15
39.0	36.6	0.12	0.29	0.53	0.04	0.08	0.15
39.0	36.8	0.12	0.29	0.53	0.04	0.09	0.15
39.0	37.0	0.13	0.29	0.54	0.05	0.09	0.16
39.0	37.2	0.14	0.30	0.55	0.05	0.10	0.17
39.0	37.4	0.15	0.31	0.55	0.06	0.11	0.18
39.0	37.6	0.17	0.34	0.57	0.06	0.13	0.22
39.0	37.8	0.22	0.42	0.68	0.08	0.16	0.28
39.0	38.0	0.33	0.66	1.04	0.10	0.24	0.42
39.0	38.2	0.46	1.04	1.70	0.13	0.39	0.76
39.0	38.4	0.43	1.01	1.67	0.13	0.38	0.76
39.0	38.6	0.28	0.56	0.89	0.10	0.22	0.39

Ss değerleri:

50 yılda aşılma olasılığı %50 = 0.33 (D1 depremi, 75 yıllık deprem)

50 yılda aşılma olasılığı %10 = 0.66 (D2 depremi, 475 yıllık deprem)

50 yılda aşılma olasılığı %2 = 1.04 (D3 depremi, 2475 yıllık deprem)

S1 değerleri:

50 yılda aşılma olasılığı %50 = 0.10 (D1 depremi, 75 yıllık deprem)

50 yılda aşılma olasılığı %10 = 0.24 (D2 depremi, 475 yıllık deprem)

50 yılda aşılma olasılığı %2 = 0.42 (D3 depremi, 2475 yıllık deprem)

$S_{ae}(T) = 0.4 \times S_{MS} \times (0.6 \times S_{MS} / T_0) \times T$ $\quad T \leq T_0$

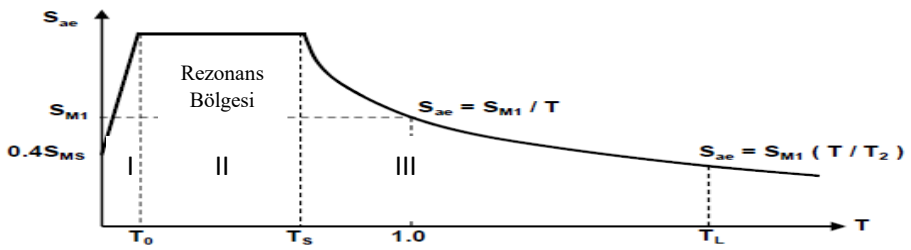
$S_{ae}(T) = S_{MS}$ $\quad T_0 < T \leq T_s$

$S_{ae}(T) = S_{M1}/T$ $\quad T_S < T \leq T_L$

$S_{ae}(T) = S_{M1} \times T_L / T^2$ $\quad T > T_L$

$T_L = 12$ sn

Çizelge 4.8. Spektral İvme Grafiği



D1 deprem seviyesi

D1 Depremi	
Periyod (sn)	İvme (T)
0.000	0.132
0.061	0.330
0.303	0.330
0.353	0.283
0.403	0.248
0.453	0.221
0.503	0.199
0.553	0.181
0.603	0.166
0.653	0.153
0.703	0.142
0.723	0.138
1.000	0.100
1.100	0.091
1.200	0.083
1.300	0.077
1.400	0.071
1.500	0.067
1.600	0.063
1.700	0.059
1.800	0.056
1.900	0.053
2.000	0.050
2.100	0.048
2.200	0.045
2.300	0.043
2.400	0.042
2.500	0.040
2.600	0.038
2.700	0.037
2.800	0.036
2.900	0.034
3.000	0.033
3.100	0.032
3.200	0.031
3.300	0.030
3.400	0.029
3.500	0.029
4.000	0.025

$S_s = 0.33 \longrightarrow F_a = 1.00$

$S_1 = 0.10 \longrightarrow F_v = 1.00$

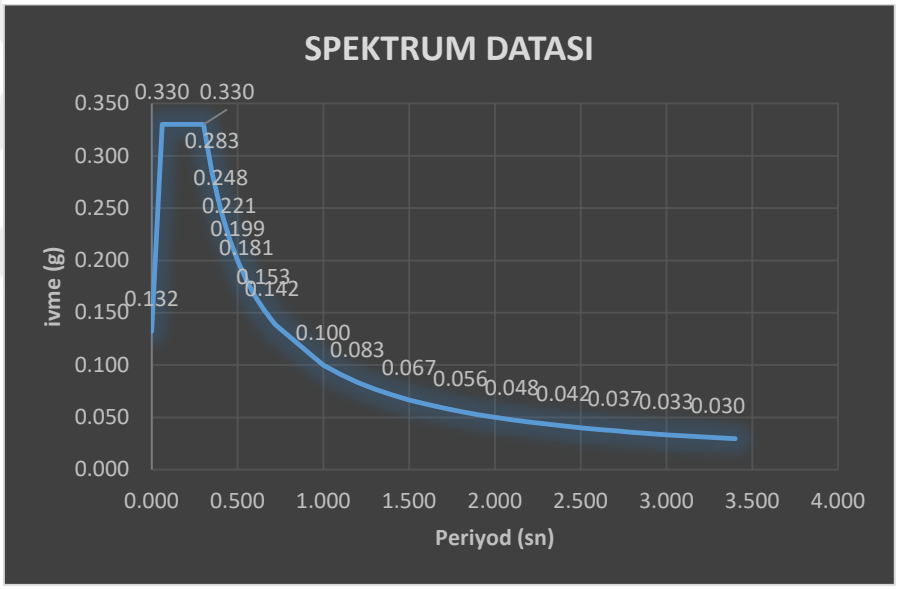
$S_{ms} = F_a \times S_s = 0.330$

$S_{m1} = F_v \times S_1 = 0.100$

$T_s = S_{m1} / S_{ms} \longrightarrow T_s = 0.303$

$T_o = 0.2 \times T_s \longrightarrow T_o = 0.061$

Çizelge 4.9. D1 Deprem Spektral İvme Grafiği



B sınıfı köprülerin ivme katsayısı $0.9 \leq A \leq 0.19$ aralığındadır. (AASHTO,2002) D1 deprem seviyeside köprünün I ve III nolu aralıklarda kaldığı görülmüştür. 50 yılda aşılma olasılığı %50 (yinelenme süresi 75 yıl) olan D1 deprem seviyesinde köprünün güvenli tarafta kaldığı görülmüştür.

D2 deprem seviyesi

D2 Depremi	
Periyod (sn)	İvme (T)
0.000	0.264
0.073	0.660
0.364	0.660
0.414	0.580
0.464	0.517
0.514	0.467
0.564	0.426
0.614	0.391
0.664	0.361
0.714	0.336
1.000	0.240
1.100	0.218
1.200	0.200
1.300	0.185
1.400	0.171
1.500	0.160
1.600	0.150
1.700	0.141
1.800	0.133
1.900	0.126
2.000	0.120
2.100	0.114
2.200	0.109
2.300	0.104
2.400	0.100
2.500	0.096
2.600	0.092
2.700	0.089
2.800	0.086
2.900	0.083
3.000	0.080
3.100	0.077
3.200	0.075
3.300	0.073
3.400	0.071
3.500	0.069
4.000	0.060

$S_s = 0.66 \longrightarrow F_a = 1.00$

$S_1 = 0.24 \longrightarrow F_v = 1.00$

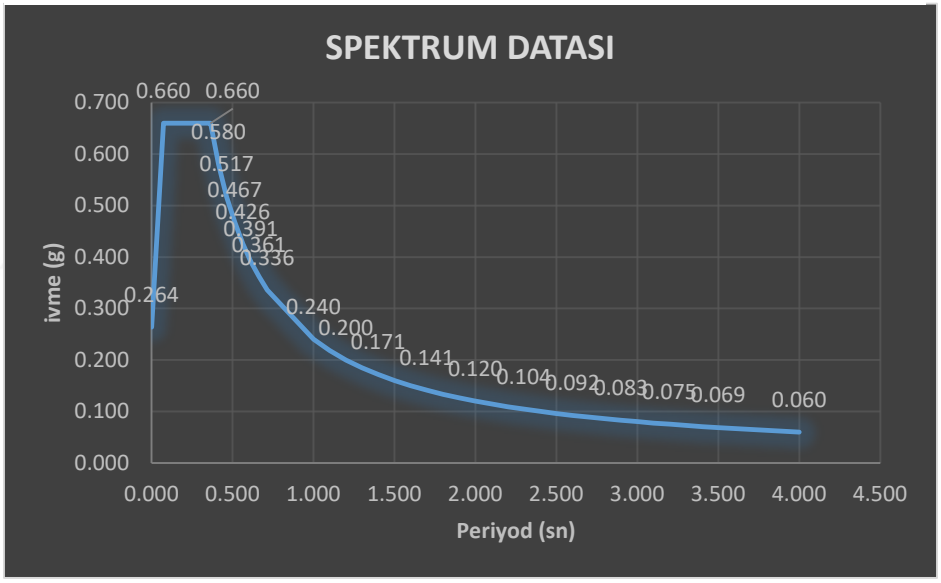
$S_{ms} = F_a \times S_s = 0.660$

$S_{m1} = F_v \times S_1 = 0.240$

$T_s = S_{m1} / S_{ms} \longrightarrow T_s = 0.364$

$T_o = 0.2 \times T_s \longrightarrow T = 0.073$

Çizelge 4.10. D2 Deprem Spektral İvme Grafiği



B sınıfı köprülerin ivme katsayısı $0.9 \leq A \leq 0.19$ aralığındadır. (AASHTO,2002) D2 deprem seviyeside köprünün III nolu aralıkta kaldığı görülmüştür. 50 yılda aşılma olasılığı %10 (yinelenme süresi 475 yıl) olan D2 deprem seviyesinde köprünün güvenli tarafta kaldığı görülmüştür.

D3 deprem seviyesi

D3 Depremi	
Periyod (sn)	İvme (g)
0.000	0.416
0.081	1.040
0.404	1.040
0.444	0.946
0.484	0.868
0.524	0.802
0.564	0.745
0.604	0.695
0.644	0.652
0.684	0.614
1.000	0.420
1.100	0.382
1.200	0.350
1.300	0.323
1.400	0.300
1.500	0.280
1.600	0.263
1.700	0.247
1.800	0.233
1.900	0.221
2.000	0.210
2.100	0.200
2.200	0.191
2.300	0.183
2.400	0.175
2.500	0.168
2.600	0.162
2.700	0.156
2.800	0.150
2.900	0.145
3.000	0.140
3.100	0.135
3.200	0.131
3.300	0.127
3.400	0.124
3.500	0.120
4.000	0.105

$S_s = 1.04 \rightarrow F_a = 1.00$

$S_1 = 0.42 \rightarrow F_v = 1.00$

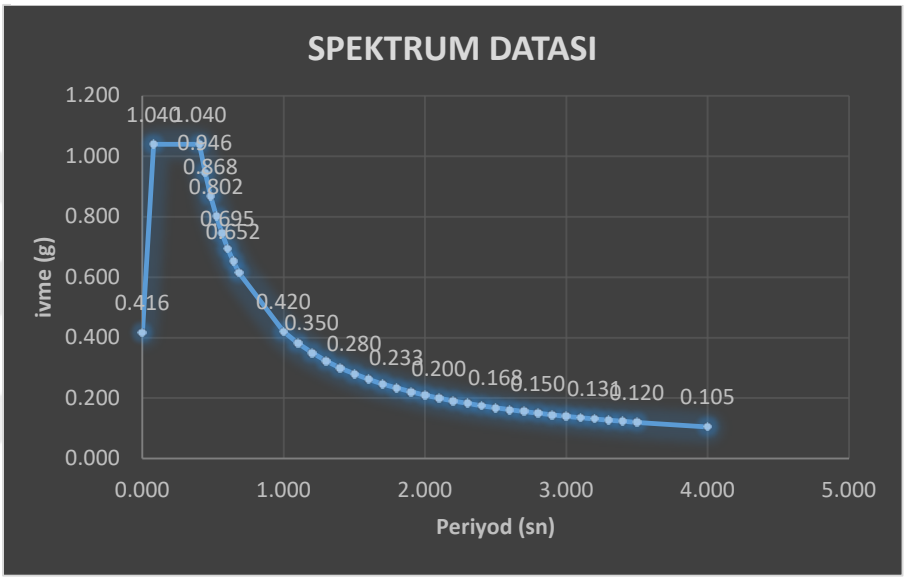
$S_{ms} = F_a \times S_s = 1.04$

$S_{m1} = F_v \times S_1 = 0.420$

$T_s = S_{m1} / S_{ms} \rightarrow T_s = 0.404$

$T_o = 0.2 \times T_s \rightarrow T_O = 0.081$

Çizelge 4.11. D3 Deprem Spektral İvme Grafiği



B sınıfı köprülerin ivme katsayısı 0.9 ≤ A ≤ 0.19 aralığındadır. (AASHTO,2002) D3 deprem seviyeside köprünün III nolu aralıkta kaldığı görülmüştür. 50 yılda aşılma olasılığı %2 (yinelenme süresi 2475 yıl) olan D3 deprem seviyesinde köprünün güvenli tarafta kaldığı görülmüştür.

4.1.1.9 Gergili Kablolunun Ayarlanması

Gergili kablo her iki ankraja (pilon, döşeme) ya geçici olarak yada kalıcı şekilde irtibatlanır ve her bir halat için belirlenen gerilme düzeyine kadar gerdirilir. Nissibi Köprüsünün projesine uygun geometriye gelmesi için kablolar %18-34 Garanti Edilmiş Kırılma ve Çekme Dayanımı (GUTS) ile gerdirilmiştir. (Emay A.Ş Nissibi Köprüsünün kablo kurulum metodu)

4.1.1.10 Gergili Kablonun Değiştirilmesi

Kablo değiştirme işlemi gerektiğinde değiştirilecek kabloya en yakın trafik şeridi trafiğe kapatılacaktır. (SETRA Bölüm 14.2.7)

4.1.1.11 Kaza sonucu Gergili Kablonun Kırılması

Kablonun kaza sonucu kırılması her iki ankraja (pilon, döşeme) gergili kablo çekmesinin ters yönde bir kuvvet ile etkimesidir.

4.1.1.12 Yükleme Kombinasyonları

Nissibi Köprüsü için servis durumu, taşıma gücü, deprem durumu, olağan dışı yük kombinasyonları kullanılarak analiz yapılmıştır. Yük kombinasyonları Çizelge 4.12. ‘de açıklanan yükler kullanılarak oluşturulmuştur.

Çizelge 4.12. Yüklerin Adı

SW	Zati Yükler
PR	Öngerilme Kuvvetleri
TS	Aks Yükleri
UDL	1 m^2 gelen yayılı yükler
T	Sıcak Değişim Yükleri
W	Rüzgar Etkileri
Gr-5	Özel Araç yükleri (Tank, Uzun Araç)
EQ	Deprem Yükleri
CCh	Kablo Değişimi
CRp	Kablo Kopması
VC	Araç Çarpması

- **Servis Yükleri Kombinasyonları**

COMBO 1 : 1 SW +1 PR + 0.75 TS + 0.4 UDL + 0.5 T
COMBO 2 : 1 SW +1 PR + 0.6 T
COMBO 3 : 1 SW +1 PR + 0.2 W

- **Taşıma Gücü Yük Kombinasyonları**

COMBO 1 : 1.35 SW +1 PR + 1.35 TS + 1.35 UDL + 0.9 W
COMBO 2 : 1.35 SW +1 PR + 1.35 TS + 1.35 UDL - 0.9 W
COMBO 3 : 1.35 SW +1 PR + 1.35 TS + 1.35 UDL + 1.5 W
COMBO 4 : 1.35 SW +1 PR + 1.35 TS + 1.35 UDL – 1.5 W
COMBO 5 : 1.35 SW +1 PR + 1.35 TS + 1.35 UDL + 1.5 T
COMBO 6 : 1.35 SW +1 PR + 1.35 TS + 1.35 UDL – 1.5 T
COMBO 7 : 1.35 SW +1 PR + 1.35 Gr-5 (Uzun Araç)
COMBO 8 : 1.35 SW +1 PR + 1.35 Gr-5 (Tank)

- **Deprem Durumu Yük Kombinasyonları**

COMBO 1 : 1 SW +1 PR + 0.5 T + 1 EQ
COMBO 2 : 1 SW +1 PR + 0.5 T - 1 EQ
COMBO 3 : 1 SW +1 PR - 0.5 T + 1 EQ
COMBO 4 : 1 SW +1 PR - 0.5 T - 1 EQ

- **Olağandışı Durumlardaki Yük Kombinasyonları**

COMBO 1 : 1 SW +1 PR + 0.75 TS + 0.4 UDL + 0.5 T + 0.2 W + 1 CCh
COMBO 2 : 1 SW +1 PR + 0.75 TS + 0.4 UDL + 0.5 T + 1 CRp
COMBO 3 : 1 SW +1 PR + 0.75 TS + 0.4 UDL + 0.5 T + 1 VC

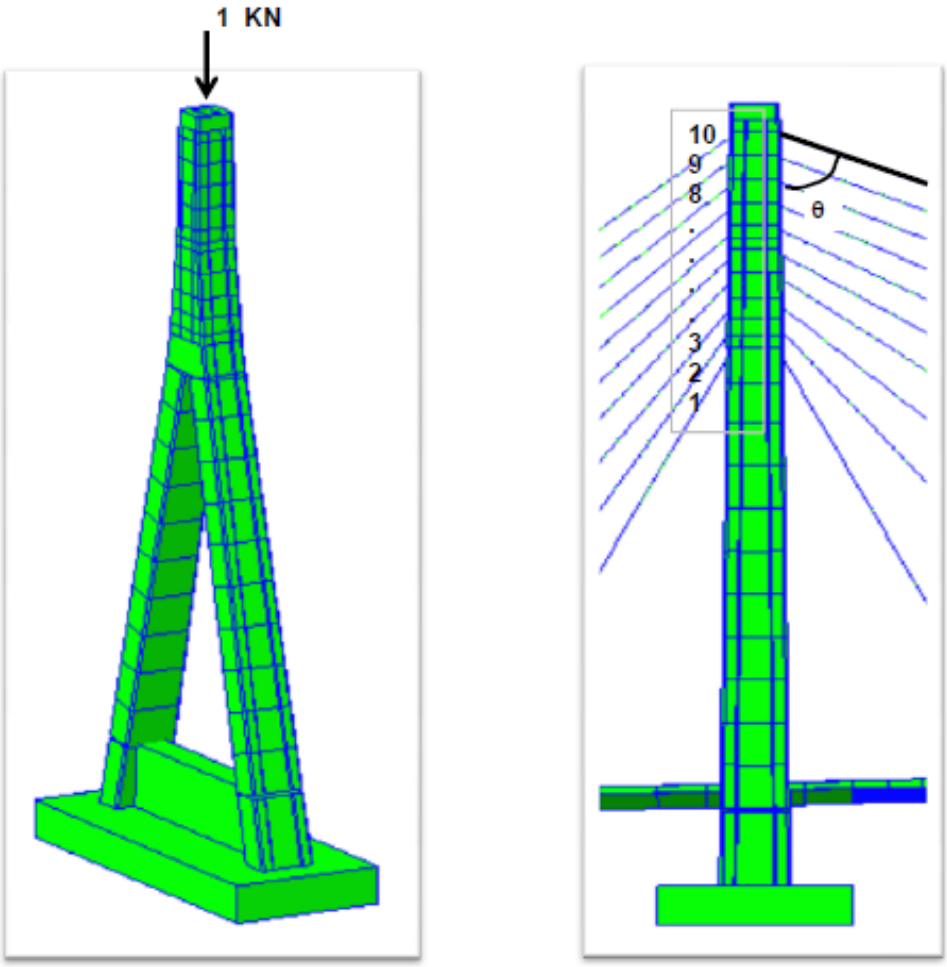
4.1.2 Kullanılan Bilgisayar Programı

Nissibi eğik kablo askılı köprüsünün tasarım ve tüm hesap raporları Midas Civil programı ile yapılmıştır.

4.1.3 Pilon Burkulma Hesabı

Nissibi Köprüsü kablolardan gelen yüksek basınç kuvveti, rüzgâr ve deprem kuvveti nedeniyle pilonlarda burkulma etkisi kritik önem arz etmektedir.

Bu bölümde pilon tepe noktasına 1 kN'luk birim düşey yükleme ile pilon burkulma yükü hesaplanmıştır (Şekil 4.11.). Burkulma analiz sonucuna göre 1 kN'luk birim düşey yüklemenin kaç katında pilonun burkulacağını veren k_{buck} kat sayısı Midas Civil Programı ile hesaplanmıştır.



Şekil 4.11. kN 'luk yükün pilona uygulanması

Kritik burkulma yükü;

$$P_k = P_{sw} + k_{buck} \times P_o$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Hesaplanan pilon kritik burkulma yükü, kablo kopma kuvvetinin %90'ı olarak alınan kablo düşey bileşenlerinin toplamından büyük olmalıdır.

$$P_k \geq \Sigma C_{i\text{-}0.90GUTS}$$

k_{buck} (Kritik burkulma katsayısı) =1.45 x 106

P_{sw} = 30457 kN

Po = 1 kN birimlik düşey yükleme

Çizelge 4.13. Pilonda aynı yükseklikteki kabloların kopma kuvvetlerinin düşey bileşenleri

Kablo No		N (kablo)	C= 0.9 GUTS (KN)	β	θ	C Cosθ (KN)	ΣC COSθ (KN)
1	101,151	37	9291	1.097	0.473	9,290	18580
2	102,152	37	9291	1.015	0.556	9,290	18580
3	103,153	40	10044	0.947	0.624	10,043	20086
4	104,154	45	11300	0.891	0.680	11,299	22598
5	105,155	45	11300	0.843	0.727	11,299	22598
6	106,156	50	12555	0.804	0.767	12,554	25108
7	107,157	55	13811	0.769	0.802	13,810	27620
8	108,158	55	13811	0.741	0.830	13,810	27620
9	109,159	55	13811	0.715	0.856	13,810	27620
10	110,160	55	13811	0.693	0.878	13,810	27620
1	201,251	31	7784	1.093	0.478	7,783	15566
2	202,252	31	7784	0.891	0.680	7,783	15566
3	203,253	31	7784	0.747	0.824	7,783	15566
4	204,254	37	9291	0.645	0.926	9,290	18580
5	205,255	40	10044	0.571	1.000	10,043	20086
6	206,256	45	11300	0.515	1.055	11,299	22598
7	207,257	50	12555	0.473	1.098	12,555	25110
8	208,258	50	12555	0.439	1.132	12,555	25110
9	209,259	50	12555	0.412	1.159	12,555	25110
10	210,260	50	12555	0.390	1.181	12,555	25110

Kablo No		ΣC COSθ (KN)
1	101,151,201,251	34146
2	102,152,202,252	34146
3	103,153,203,253	35652
4	104,154,204,254	41178
5	105,155,205,255	42684
6	106,156,206,256	47706
7	107,157,207,257	52730
8	108,158,208,258	52730
9	109,159,209,259	52730
10	110,160,210,260	52730
		446432

$$P_k = P_{sw} + k_{buck} \times P_o = 1480457 \text{ kN} \geq \Sigma C_{i\text{-}0.90GUTS} = 446432 \text{ kN} \ \surd$$

4.1.4 Pilon Temel Hesabı

Temel Enine:

$M_{22\text{-alt}} = 500$ tm

$M_{22\text{-üst}} = 100$ tm

Temel Boyuna:

$M_{11\text{-alt}} = 700$ tm

$M_{11\text{-üst}} = 50$ tm

Temel Betonarme Hesabı

Minimum Donatı

b = 100 cm

h = 500 cm

Malzeme

Beton = C30 $f_c' = 300$ kg/cm^2

Çelik = St-500 $f_y = 5000$ kg/cm^2

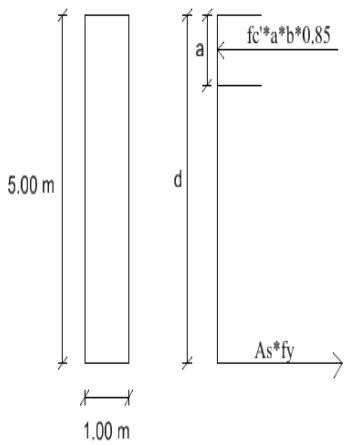
d = 490 cm φ = 0.90 (Eğilme için kapasite azaltma faktörü)

paspayı=10 cm

C30 için $f_c' = 30\ N/mm^2$; $f_r = 0.97 \times \sqrt{f_c} = 5.31\ N/mm^2 = 54.13\ kg/cm^2$ (1kg=9.81 N)

$S_c = 100 \times 500^2 / 6 = 4166667\ cm^3$

$M_{cr} = 4166667 \times 54.13 = 2255.4$ tm ---> $1.2M_{cr} = 2706.5$ tm



Şekil 4.12. Temel betonarme kesiti

Temel Boyuna Alt Donatısı

M_u = 700 t-m/m

Φ 32 / 20 As = Π x R^2 x (adet)= Π x $(16)^2$ x 5= 40.21 cm^2/m

Φ 32 / 20 2 x As = 80.42 cm^2/m

a = As x f_y / 0.85 x f_c' x b ==> a =80.42 x 5000/0.85 x 300 x 100=15.77 cm

$\varphi.M_n = \varphi \times (A_s \times f_y \times (d - a/2))$ ==> $\varphi M_n = 0.9 \times (80.42 \times 5000 \times (490-(15.77/2)) = 1744.8$ tm

$M_u < \varphi M_n$ ==> 700.0 < 1744.8 √

$1.2\ M_{cr} < \varphi M_n$ ==> 2706.5 > 1744.8 **X**

$\varphi M_n > 1.33\ M_u$ ==> 1744.8 > 931.0 √

Temel Boyuna Üst Donatısı

M_u= 50 t-m/m

Φ **32** / **20** ==> As=40.21

a = A_s x f_y / 0.85 x f_c' x b ==> a = 40.21 x 5000/0.85 x 300 x 100 = 7.88 cm

φM_n=φ x (A_s x f_y x (d - a/2)) => φM_n=0.9 x (40.21 x 5000 x (490 - 15.77 / 2)) = 879.5 tm

$M_u < \varphi M_n$ ==> 50 < 879.5 √

1.2 $M_{cr} < \varphi M_n$ ==> 2706.5 > 879.5 **X**

$\varphi M_n > 1.33 M_u$ ==> 879.5 > 66.5 √

Temel Enine Alt Donatısı

M_u = 500 t-m/m

Φ **32** / **20** $A_s = \Pi \times R^2 \times (adet) = \Pi \times (16)^2 \times 5 = 40.21\ cm^2/m$

Φ **32** / **20** $2 \times A_s = 80.42\ cm^2/m$

a = A_s x f_y / 0.85 x f_c' x b ==> a =80.42 x 5000 / 0.85 x 300 x 100 = 15.77 cm

$\varphi.M_n$ =φ x (A_s x f_y x (d - a / 2)) ==> φM_n = 0.9 x (80.42 x 5000 x (490 -15.77 / 2))=1744.8 tm

$M_u < \varphi M_n$ ==> 500.0 < 1744.8 √

1.2 $M_{cr} < \varphi M_n$ ==> 2706.5 > 1744.8 **X**

$\varphi M_n > 1.33 M_u$ ==> 1744.8 > 665.0 √

Temel Enine Üst Donatısı

M_u= 100 t-m/m

Φ **32** / **20** ==> As=40.21

a = A_s x f_y / 0.85 x f_c' x b ==> a =40.21 x 5000 / 0.85 x 300 x 100 = 7.88 cm

φM_n =φ x (A_s x f_y x(d - a / 2)) ==> φM_n = 0.9 x (40.21 x 5000 x (490-15.77/2)) = 879.5 tm

$M_u < \varphi M_n$ ==> 100 < 879.5 √

1.2 $M_{cr} < \varphi M_n$ ==> 2734 > 879.5 **X**

$\varphi M_n > 1.33 M_u$ ==> 879.5 > 133 √

4.2 Nissibi Eğik Kablo Köprüsünün Yapım Aşamaları

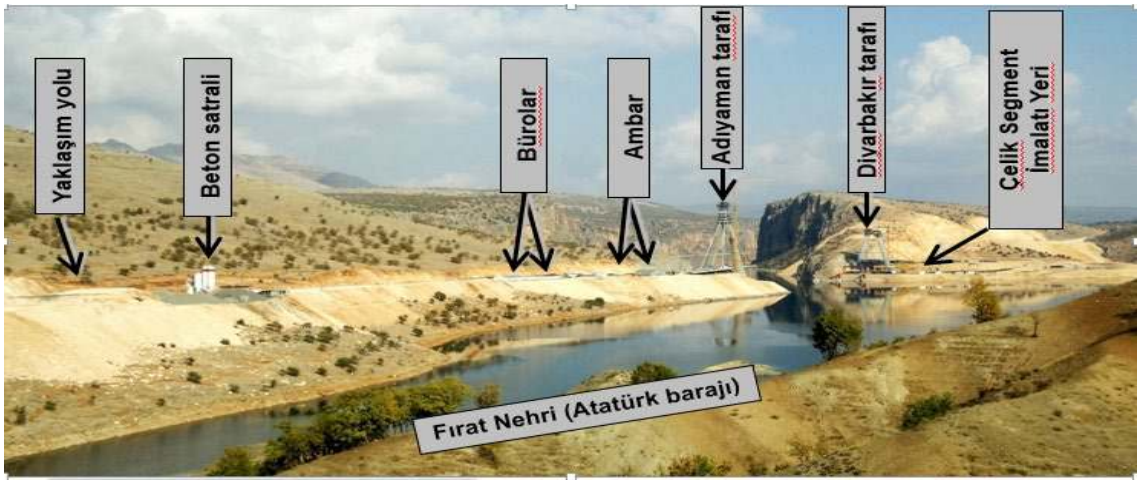
Nissibi Eğik Kablo Askılı Köprüsünün Yapımı 7 aşamada aşağıda sıralandığı

1. Pilon, orta ayak ve kenar ayak temellerinin yapılması,
2. Pilon, orta ayak ve kenar ayakların mesnet bandı kotuna kadar yapılması,
3. Kenar açıklıklarda yeralan ard germeli döşeme imalatının yapılması,
4. Pilon imalatına başlanması,
5. Geçici ayaklar konularak ilk çelik segment imalatlarına başlanması,
6. Orta açıklıkta segment imalatlarının kablo germe işlemleri ile beraber yürütülerek çelik imalatının tamamlanması,
7. Köprü ince işlerinin tamamlanarak trafiğe açılması,

şekilde yapılmıştır.

Nissibi Köprüsünün yapım aşamaları Diyarbakır ve Adıyaman tarafında aynı anda uygulanarak tamamlanmıştır. Köprü projesinin istenilen geometriye getirilebilmesi için her aşamadaki yüklerin analizleri yapılarak imalat ilerlemiştir.

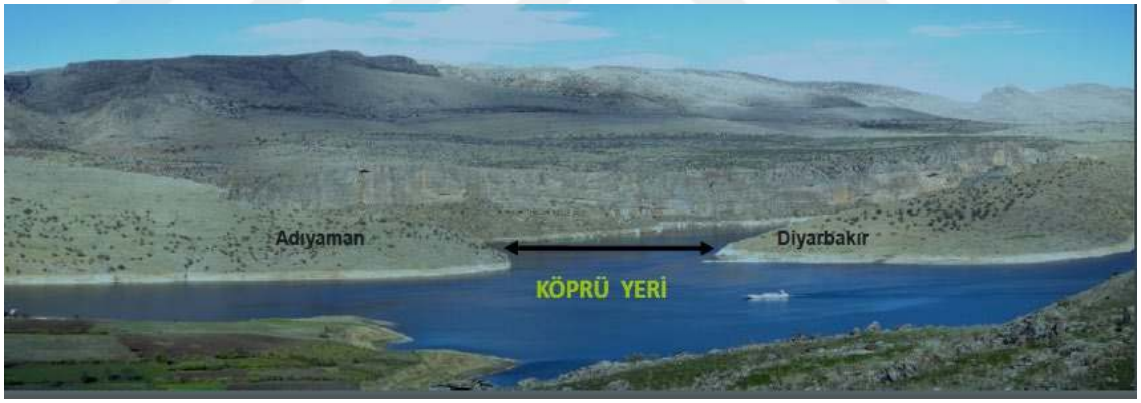
Nissibi Eğik kablo askılı köprüsünün proje alanının Adıyaman tarafında Beton santrali, Büro, Ambar Diyarbakır tarafında çelik segment imalatı için şantiye kurulmuştur (Şekil 4.13.).



Şekil 4.13 Şantiye Sahası

4.2.1 Pilon, Orta Ayak ve Kenar Ayak Temellerinin Yapılması

Temellerin imalatına başlanması için arazinin hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Zeminin projeye uygun hale getirilmesi için arazide patlayıcı kullanılmıştır. Patlayıcı kullanılması ekonomi ve zaman yönünden avantaj sağlamıştır (Şekil 4.14., Şekil 4.15., Şekil 4.16., Şekil 4.17.).



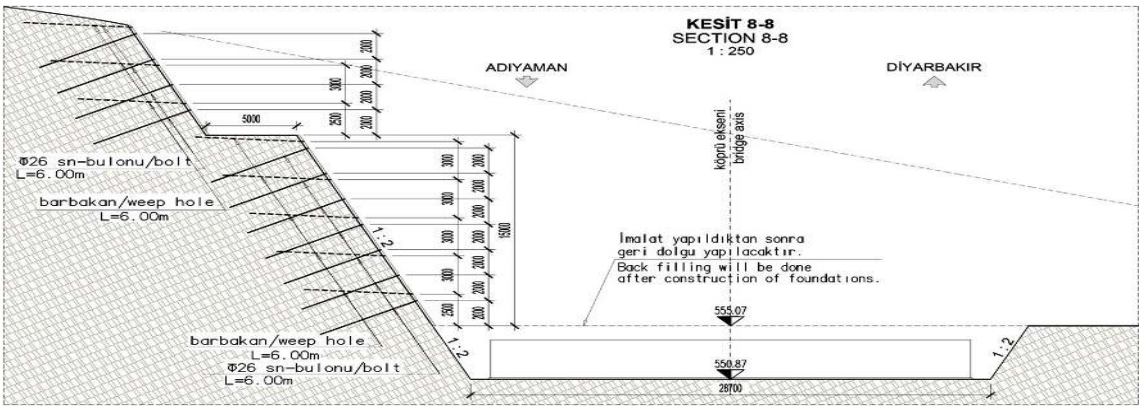
Şekil 4.14 Köprünün İmal Edildiği Yer

Şekil 4.15 Patlayıcı madde için çukur açılması

Şekil 4.16 Patlatmanın Yapılması

Şekil 4.17 Arazinin temel imalatına hazır hale getirilmesi

Yarma yapılan kesimlere kazı şevleri uygulanmıştır. Kaya olan zeminde güvenli tarafta kalmak amacıyla kazı şevi 1/2 oranında yatırılmıştır. Yarma şevi olarak da adlandırılan kazı şevinde şev destekleme sistemi olarak püskürtme beton hasır çelik ve 26 mm çapında 6 m uzunluğunda SN tipi kaya bulonu kullanılmıştır. Ayrıca yeraltı suyu ve yağmur sularının deşarjı için şevlere yer yer barbakanlar yerleştirilmiştir (Şekil 4.18., Şekil 4.19., Şekil 4.20., Şekil 4.21.).



Şekil 4.18. Şev Destekleme Sisteminin Kesiti

Şekil 4.19. Şev Destekleme Sisteminin İmalatı

Şekil 4.20. Şev Destekleme Sisteminin İmalatı

Şekil 4.21. Şev Destekleme Sistem İmalatının Tamamlanması

Bu aşamalardan sonra Grobetonu dökülen pilon, kenar açıklıklardaki kenar orta ayaklarının ve kenar ayağının temel imalatına başlanılmıştır. 50 m x 20 m x 5 m boyutunda olan her bir pilon temeli için 5000 m^3, 13.3 m x 6 m x 1.5 m boyutunda olan her bir kenar açıklıktaki orta ayakların temelli için (2 adet) 239,4 m^3, 26.5 x 10 x 3 boyutunda olan her bir kenar açıktaki kenar ayağın temeli için 795 m^3 beton kullanılmıştır. İki tarafta inşa edilen temeller için toplam 12068.8 m^3 beton kullanılmıştır. Sıcaklık farkının olumsuz etkisini ortadan kaldırmak maksadıyla pilon temelleri 6 aşamada dökülmüştür (Şekil 4.22. , Şekil 4.23. , Şekil 4.24.).

Şekil 4.22. Pilon Temel İmalatı

Şekil 4.23. Kenar Açıklık Orta Ayak Temel İmalatı

Şekil 4.24. Kenar Açıklık Kenar Ayak Temel İmalatı

4.2.2 Pilon, Orta Ayak ve Kenar Ayakların Mesnet Bandı Kotuna Kadar Yapılması

Pilon, Orta ayak ve Kenar ayak temellerinin imalatlarından sonra mesnet bandı kotuna kadar yapılacak ayak imalatlarına başlanılmıştır.

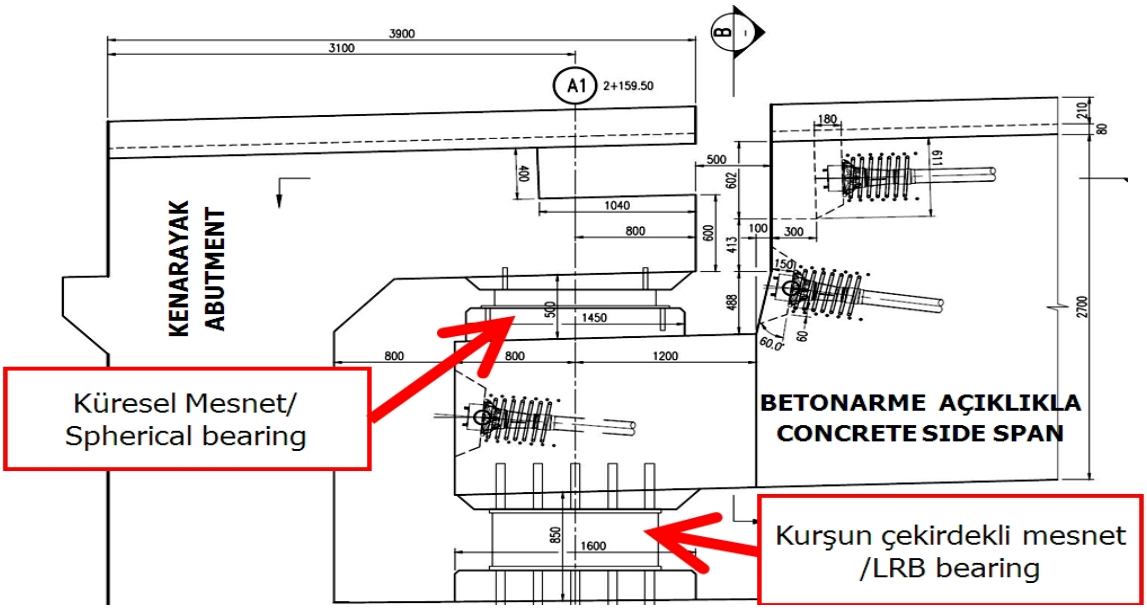
Her bir pilon temeli üzerinde 4.117 m x 7.30 m x 6 m boyutunda iki adet ayak, 31.766 m x 2 m x 6 m boyutunda bağlantı kirişi bulunmaktadır. Pilon temelinden ayaklar yatay ile yaklaşık 73 derece açı yaparak yükselmektedir (Şekil 4.25.).

Şekil 4.25. Pilon Temelinin Mesnet Bandı Kotuna Getirilmesi

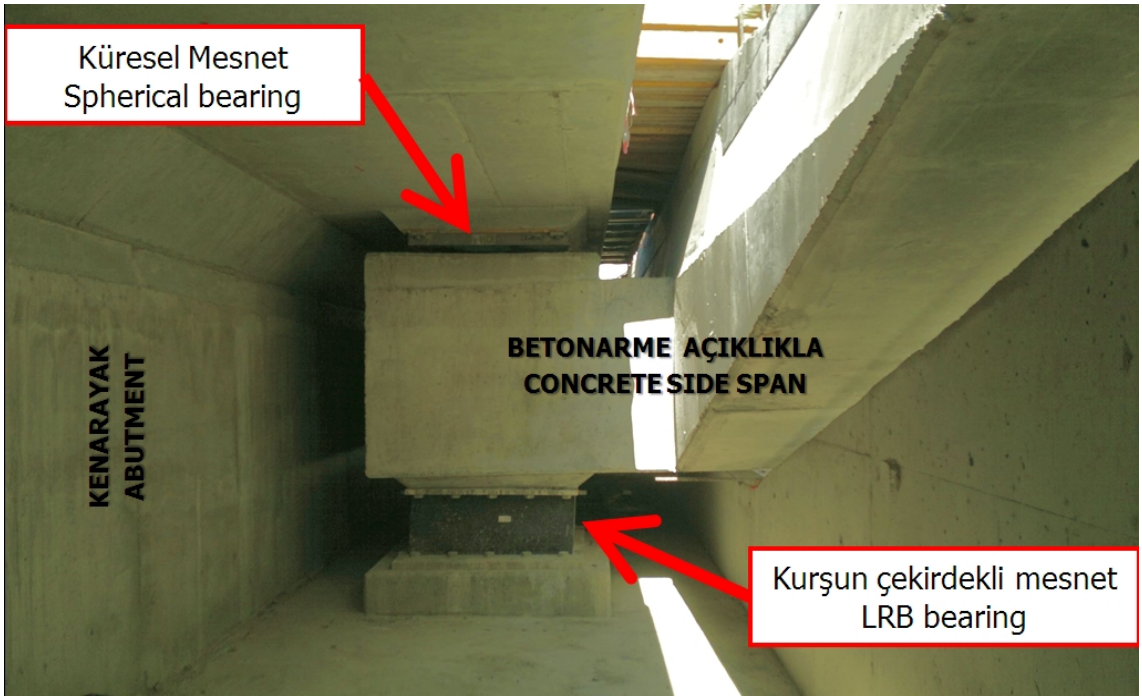
Her bir kenar açıklıktaki orta ayak temeller üzerinde 3 m x 3 m x 1.75 m boyutlarında 2 adet ayak, 2.65 m x 2 m x 1.75 m boyutunda bağlantı kirişi bulunmaktadır. Temellerden ayaklar dik şekilde yükselmektedir (Şekil 4.26.).

Şekil 4.26. Orta ayak Temelinin Mesnet Bandı Kotuna Getirilmesi

Her bir kenar açıklıktaki kenar ayak temeller üzerinde 24.5 m x 5 m x 2.25 m boyutunda kenar ayak bunun da üzerinde 24.5 m x 3.9 m x 3.457 m boyutunda başka bir ayak bulunmaktadır. 24.5 m x 3.9 m x 3.457 m boyutundaki ayak içinde 24.5 m x 1.6 m x 1.2 m boyutunda boşluk bırakılmıştır. Bırakılan bu boşluk içerisine kurşun çekirdekli kauçuk mesnet ve pot mesnet yerleştirilmiştir. Temellerden ayaklar dik şekilde yükselmektedir (Şekil 4.26. , Şekil 4.27.).



Şekil 4.26. Kenar ayak Temelinin Mesnet Bandı Kotuna Getirilmesi



Şekil 4.27. Kenar ayak Temelinin Mesnet Bandı Kotuna Kadar İmalatının Tamamlanması

Temellerin üstünde inşa edilen her ayak üzerinde birer adet olmak üzere toplam 16 adet kurşun çekirdekli kauçuk mesnet, köprü başındaki kenar ayaklar üzerinde birer adet olmak üzere toplam 4 adet küre şeklinde pot mesnet köprüde kullanılmıştır. Ayrıca kenar ayaklarda boyuna yönde ±400 mm, enine yönde ±150 mm deplasman yapabilen toplam 2 adet 5m uzunluğunda genleşme derzi bulunmaktadır (Şekil 4.28. , Şekil 4.29. , Şekil 4.30.).

Şekil 4.28. Mesnetin Yerleştirilmesi

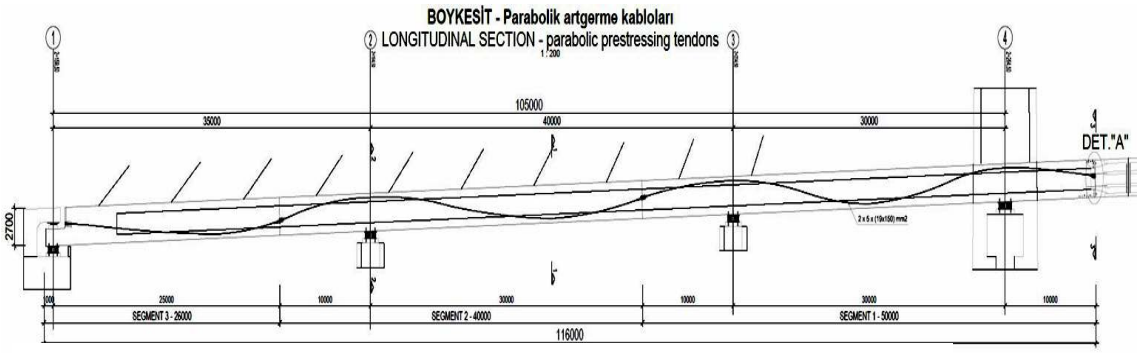
Şekil 4.29. Kenar ayaktaki Pot Mesnetin Yerleştirilmesi

Şekil 4.30. Kenar Açıklıktaki Genleşme Derzi

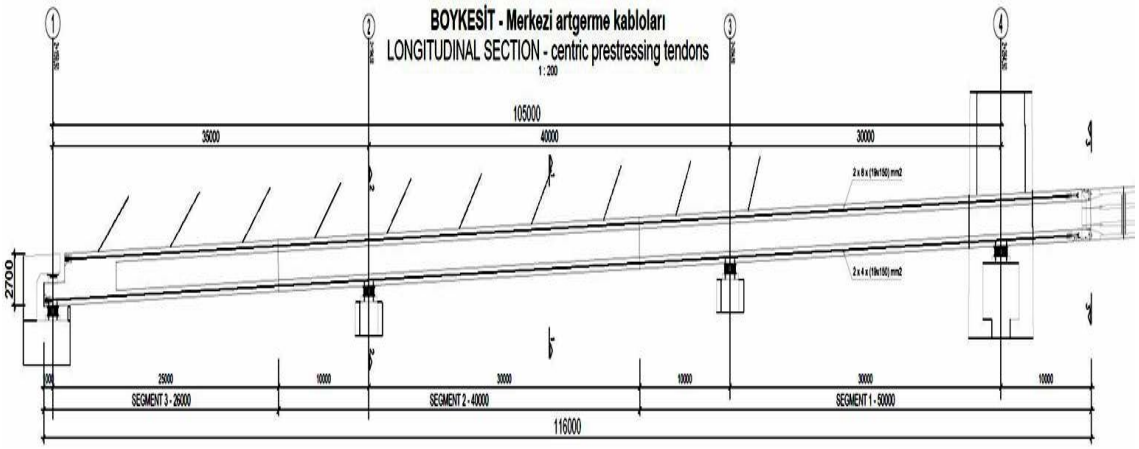
İki tarafta inşa edilen ayaklar için toplam 1431.2 m^3 beton kullanılmıştır.

4.2.3 Kenar Açıklıklarda Yeralan Ard Germeli Döşeme İmalatının Yapılması

Köprünün 105 m'lik kenar açıklığı ile pilondan sonraki 10 m 'lik kısım ard germeli betonarme döşeme ile imal edilmiştir. 115 m boyunda, 24.5 m genişliğinde, 2.70 m yüksekliğinde olan ard germeli döşemenin imalatına pilondan başlanarak 3 farklı fazda inşa edilmiştir. Pilondan köprü dışına doğru imal edilen döşemenin ilk fazı 50 m, ikinci fazı 40 m, üçüncü fazı 25 m oluşmaktadır. Döşeme içerisinde 2 adet parabolik ard germe kabloları, 2 adet merkezi (düz) ard germe kabloları bulunmaktadır. Her iki tarafta inşa edilen döşeme için 9500 m^3 beton kullanılmıştır. Döşemeler C40 beton sınıfı ile inşa edilmiştir. Döşeme içinde yer alan ard germe kablo miktarı yaklaşık 180 ton dur. Ard germe için kullanılan kablo Grade1860 ϕ 15.7 mm düşük gevşemeli 7 tel özelliğindedir (Şekil 4.31., Şekil 4.32., Şekil 4.33., Şekil 4.34., Şekil 4.35., Şekil 4.36., Şekil 4.37.).



Şekil 4.31. Kenar Açıklık Parabolik Ard germe Kablosunun Boy Kesiti



Şekil 4.32. Kenar Açıklık Merkezi Ard germe Kablosunun Boy Kesiti

Şekil 4.33. Kenar Açıklık Ard germe Kablolarının Yerleştirilmesi

Şekil 4.34. Kenar Açıklık 2. Faz İmalata Başlanması

Şekil 4.35. Ard germe imalatı

Şekil 4.36. Germe İşleminin Yapılması

Şekil 4.37. Ard germe İşlemine Çimento Enjeksiyo-nunun Yapılması

4.2.4 Pilon İmalatına Başlanması

Yol Platformu dışından köprü eksenine doğru yükselen, temeller ile 73 derecelik açı yapan ayaklar 3 m ’lik anolar halinde inşa edilerek 65.07 m yükseklikte birleştirilmiştir. 96.78 m yüksekliğinde olan pilonun 65.07 m ’sinde birleşen ayaklar 31.71 m eksene dik şekilde inşa edilmiştir. Aşağıdan yukarı doğru daralan şekilde yükselen pilon ayağının dik kısmındaki bir kesit dıştan dışa 4.730 m x 5.273 m boyutunda olup 3.130 m x 4.073 m boyutunda boşluklu bir yapıdan oluşmaktadır. Pilonun eğimli olan ayak kısmı betonarme yapıdan, dik yükseklen kısmı betonarme ile kaplanmış çelik kutudan oluşmakta olup pilon C50 beton sınıfında imal edilmiştir. Pilonların içinde ve dışında hidrolik tırmanır kalıp sistemi kullanılmıştır. Her bir pilona birer adet kule vinç ve yük-personel için 2’şer adet asansör kurulmuştur (Şekil 4.38., Şekil 4.39.).

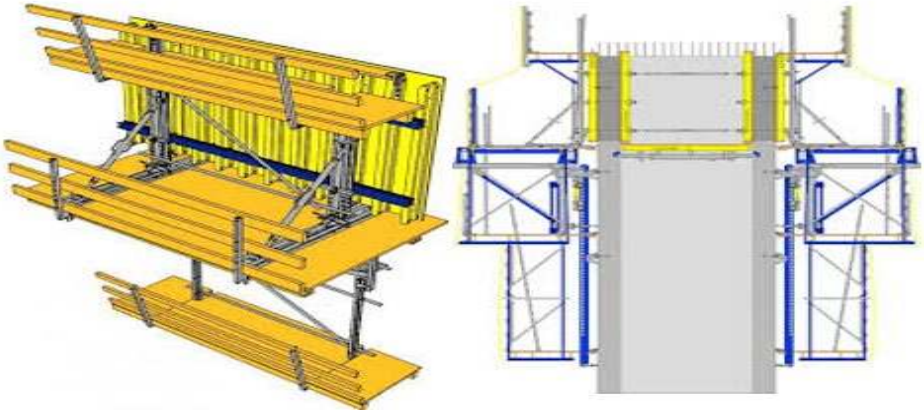
Her bir pilonun eğimli olan ayakları arasına 2 sıra halinde 4 adet çelik destek yerleştirilmiştir. Çelik desteklerde hidrolik silindir bulunmaktadır. Pilonun Eğimli ayakları birleştikten sonra bu destekler kaldırılmıştır (Şekil 4.38.).

Şantiyede kurulan beton santralinden temin edilen beton belirli bir yüksekliğe kadar pompalarla, daha yüksek kısımlara kovalar vasıtasıyla dökümü sağlanmıştır. Pilon imalatında toplam 7500 m^3 beton kullanılmıştır. Pilonun her bir 3 m’lik ano imalatı 1 hafta sürdüğünden 96.78 m’lik pilonun imalatı yaklaşık 225 günde tamamlanmıştır (Şekil 4.38., Şekil 4.39., Şekil 4.40.) .

Şekil 4.38. Pilon İmalatının Eğimli Ayaklarının İmalat Aşamaları

Şekil 4.39. Pilon İmalatının Dik Yükselen Ayak İmalatı

Şekil 4.40. Pilonda Kullanılan Çelik Kutunun İmalatı ve Pilona Taşınması



Şekil 4.41. Pilon İmalatında Kullanılan Kalıp Sistemi

Şekil 4.42. Kalıp Sisteminin Pilondaki Görünümü

4.2.5 Geçiçi Ayak Konularak Çelik Segment İmalatına Başlanması

Nissibi eğik kablo askılı köprüsünün 400 m olan ana açıklığının pilonlardan sonraki 10'ar metrelik kısımları ard germeli betonarme yapıdan 380 m 'lik kısmı ortotropik çelik segmentten oluşmuştur. Ana açıklıkta kullanılan çelik segmentlerin imalatına pilonlardan her iki tarafta karşılıklı aynı anda başlanılmıştır. Her bir tarafın İlk iki segmenti 10 m, 8 m sonraki 9 segmenti 18 m, ortadaki anahtar segmet 20 m boyunda olup ana açıklığın üst yapısı toplam 23 segmentte inşa edilmiştir. S355 özelliğindeki çelik segmentlerin tamamı Osmaniye'de üretilmiştir. Pilonlardan sonra kullanılan ilk iki segmentin boyunun kısa olması nedeniyle Osmaniyeden şantiye alanına uygulanmak üzere hazır halde nakledilebilmiştir (Şekil 4.43., Şekil 4.44.).

Şekil 4.43. İlk Çelik Segmentin Fabrikada Üretimi

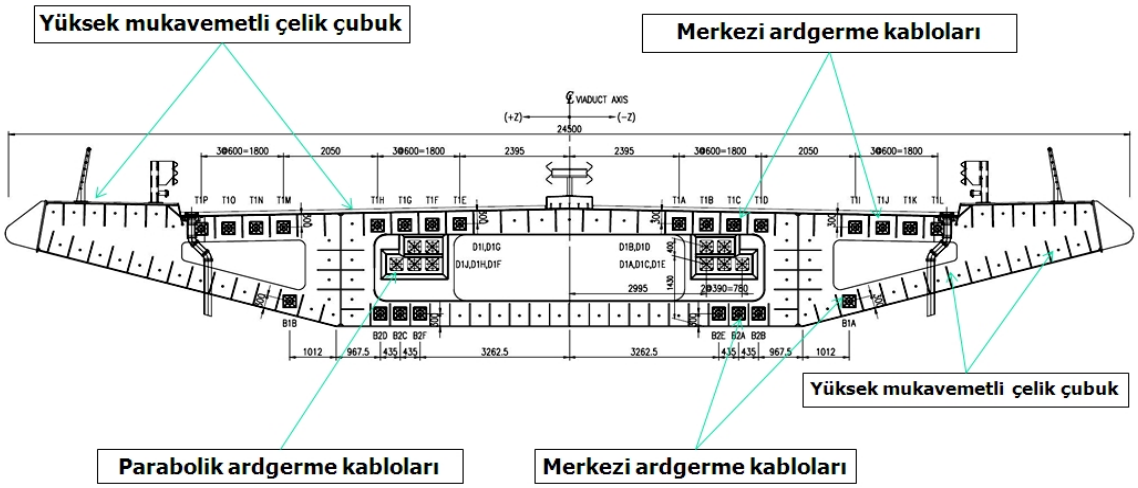
Şekil 4.44. İlk Çelik Segmentin İnşaat Alanına Taşınması

Ard germeli betonarme döşeme ile birleşen ilk çelik segmentin boyu 10 m'dir. Geciçi ayakların yerleştirildiği üstyapıya ilk segment vinç ile kaldırılarak yerleştirilmiştir (Şekil 4.46.).

Çelik ile beton Nelson kesme çivisi ve 26.5 m uzunluğunda yüksek mukavemetli 81 adet çelik çubuk ile birbirine bağlanmıştır (Şekil 4.45., Şekil 4.47., Şekil 4.48., Şekil 4.49., Şekil 4.50.).

Merkezi ard germe kabloları beton ve çelik bağlantısını sağlamlaştırmak amacıyla çelik kısmın dışına kadar çıkarılmıştır.

Daha sonra 8 m'lik ikinci segment ilk segmente kaynaklanmıştır (Şekil 4.2.5.9).



Şekil 4.45. İlk Çelik Segmentin Kesiti

Şekil 4.46. İlk Çelik Taşınması

Şekil 4.47. İlk Çelik Segmentin Montajı

Şekil 4.48. İlk Çeliğin Betona Nelson Çivisi ile Montajı

Şekil 4.49. İlk Çelik Segmentin Yüksek Mukavemetli Çelik ile Montajı

Şekil 4.50. Ard germe Kablolarının Beton ve Çelik Bağlantısının Yapılması

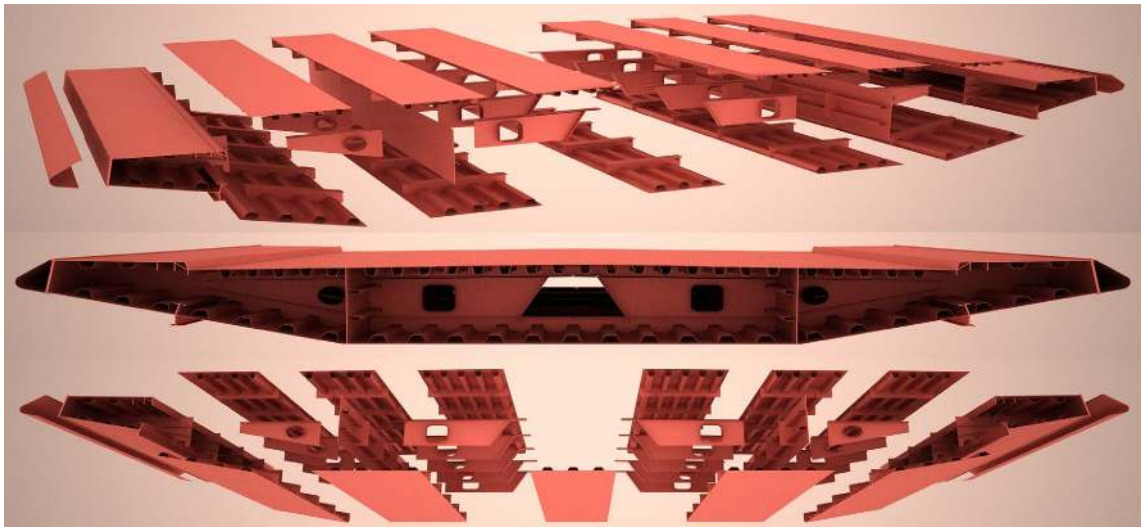
Şekil 4.51. İlk Çelik Segmentin İmalatının Tamamlanması

4.2.6 Orta Açıklık Segment İmalatlarının Kablo Germe İşlemleri İle Beraber Yürütülerek Çelik İmalatının Tamamlanması

İlk iki segmentin imalatlarından sonra gelen S355 özelliğinde olan 18 m'lik çelik segmentler ile 20 m 'lik anahtar segment Osmaniye'den şantiye sahasına levhalara bölünerek nakledilmiştir. Şantiye sahasında kurulan çelik segment atölyesinde 8 ile 60 mm arasında olan bu levhalar bir araya getirilmiştir. Hazırlanan her bir segment üst yapıya taşınmadan önce segmentlerin üstyapıda birbirini karşılaması amacıyla kendinden sonra gelen segment ile atölyede birleştirilmiştir. Bu aşamadan sonra nehirde bulunan feribot ile segmentler proje bölgesine taşınmıştır (Şekil 4.52., Şekil 4.53., Şekil 4.54., Şekil 4.55., Şekil 4.56., Şekil 4.57.).

Şekil 4.52. Çeliğin Fabrikada Üretimi

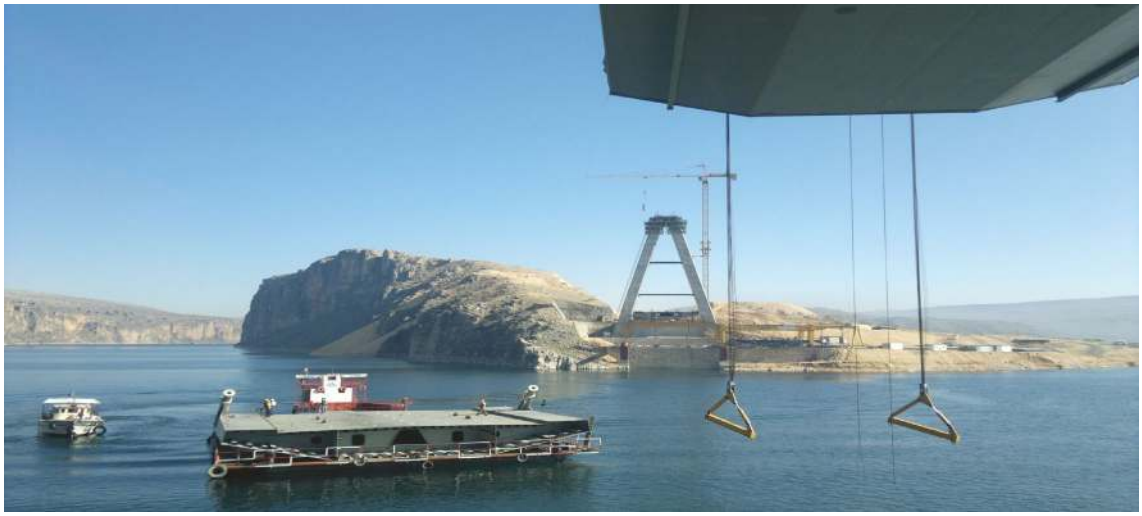
Şekil 4.53. Çeliğin Fabrikada Üretimi



Şekil 4.54. Çelik Segment Levhaları

Şekil 4.55. Çelik Segment Levhalarının Şantiye Bir Araya Getirilmesi

Şekil 4.56. Çelik Segmentin Üst Yapıya Taşınmaya Hazır Hale Getirilmesi



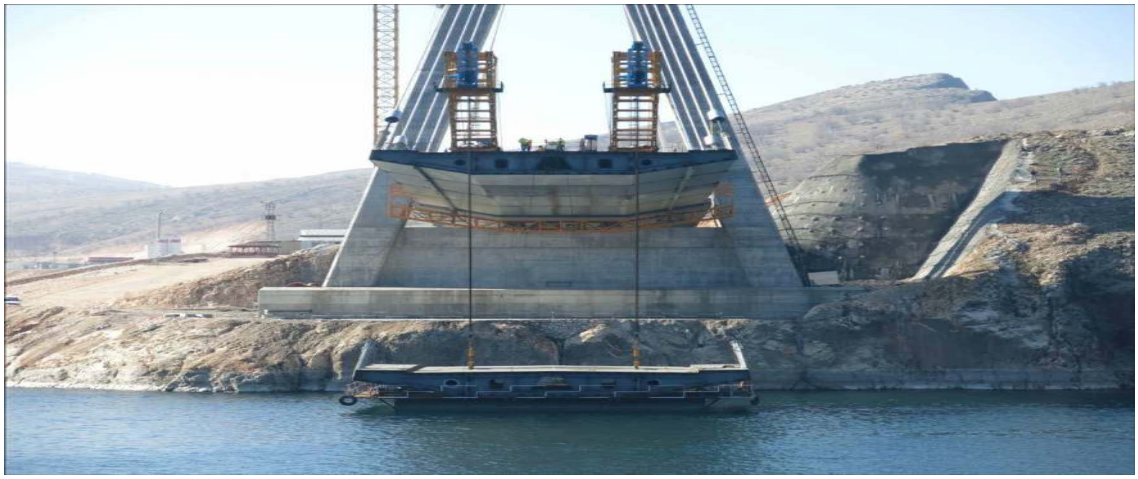
Şekil 4.57. Çelik Segmentin Feribotla Taşınması

Ortalama ağırlığı 250 ton olan her bir segmentin kaldırılması özel ağır kaldırma yöntemi ve hidrolik krikolar yardımıyla kaldırılmış olup aşağıda sıralandığı şekilde montajlanmıştır.

- Segmentin kaldırılması,
- Montajı yapılmış olan segmentle birleşim kaynağının yapılması,
- Kaldırma halatlarının serbest bırakılması,
- Kabloların montajı (2 adet çelik tarafı, 2 adet beton tarafı),
- Yeni segmentin montajı için vincin ileriye alınması,

Bu işlemler 14 gün sürmüştür. Dolayısıyla 23 segmentten oluşan üst yapı imalatı yaklaşık 322 günde tamamlanmıştır (Şekil 4.58., Şekil 4.59., Şekil 4.60., Şekil 4.61.).

Şekil 4.58. Halatın Segmente Bağlanması

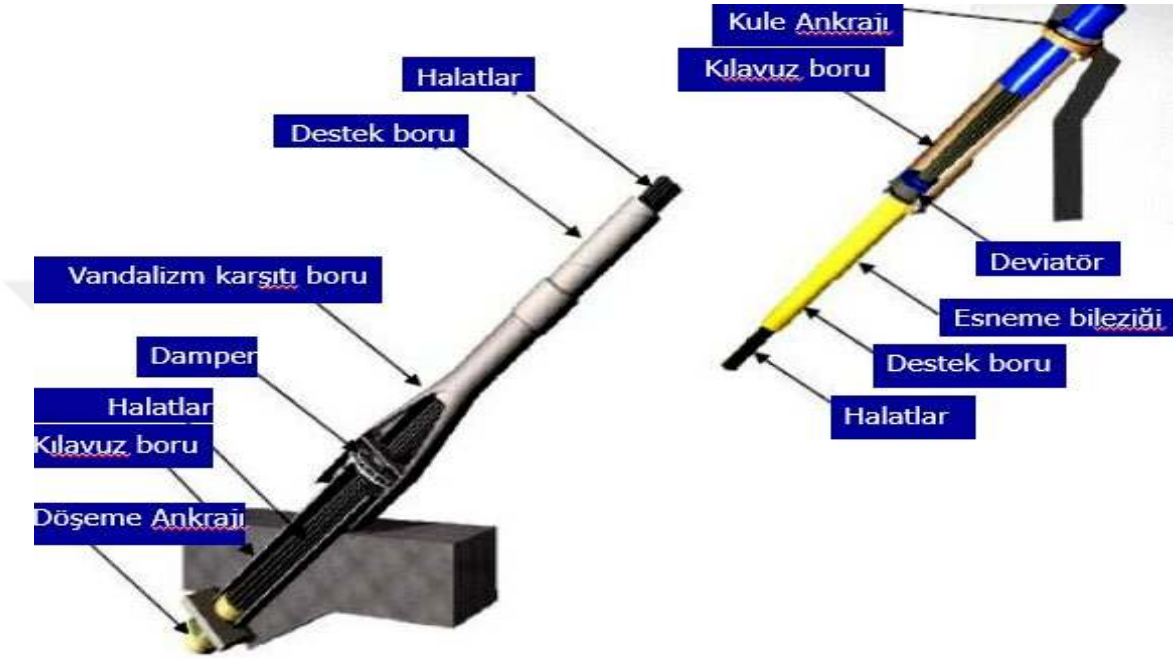


Şekil 4.59. Ağır Kaldırma Yöntemiyle Segmentin Kaldırılması

Şekil 4.60. Çeliğe Üst Yapıda Final Pozisyonunun Verilmesi

Şekil 4.61. Üstyapıda Bir Önceki Çelik Segment ile Kaynak İşleminin Yapılması

Çelik segmentler kaldırıp final pozisyonuna getirildikten sonra kaynak işlemi uygulanmıştır. Her bir birleşimi için toplam 6 kilo kaynak işlemi yapılmıştır. Kaynak işleminin ardından kaldırma halatları serbest bırakılmıştır. Her çelik segment için 2 adet çelik, 2 adet beton tarafında kablolar yerleştirildikten sonra yeni segmentin yerleşimi için vinç ileri alınmıştır (Şekil 4.62., Şekil 4.63., Şekil 4.64., Şekil 4.65.).



Şekil 4.62. Kablo Kesitinde Bulunan Malzemeler

Şekil 4.63. Çelik Segmetin Kabloya Bağlantısının Yapılması

Şekil 4.64. Kabloya Germe İşleminin Uygulanması

Şekil 4.65. Kabloya Uygun Germe Verilmesi Aşaması

Şekil 4.66. Kablonun Pilona Bağlantısı

Adıyaman ve Diyarbakır taraflarından eş zamanlı kontrollü ilerleyen döşeme imalatı anahtar anonun yerleştirilmesi ile tamamlanmıştır (Şekil 4.67).

Şekil 4.67. Anahtar Segmentin Yerleştirilmesi

4.2.7. Köprü İnce İşlerinin Tamamlanarak Trafiğe Açılması

Köprünün üst yapısındaki çelik imalatları tamamlandıktan sonra yol yüzeyi, kaldırım, oto korkuluk, drenaj, asfalt, elektrik imalatları yapılarak köprü kullanıma hazır hale getirilmiştir (Şekil 4.68., Şekil 4.69., Şekil 4.70., Şekil 4.71., Şekil 4.72., Şekil 4.73.).

Şekil 4.68. Tabliye İzolasyonun Yapılması

Şekil 4.69. Tabliye İzolasyonun Yapılması

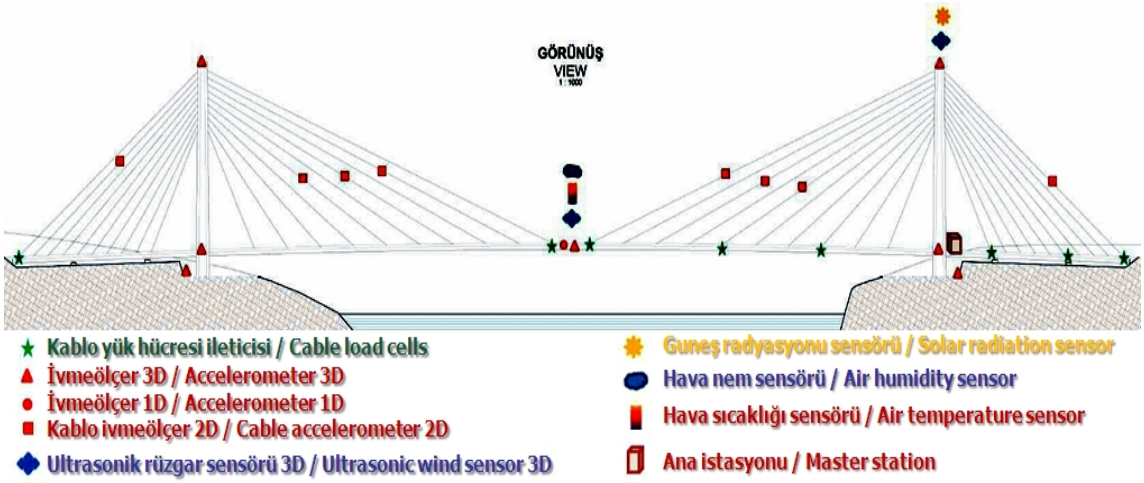
Şekil 4.70. Üstyapı Mastik Asfaltının Serilmesi (3 cm)

Şekil 4.71. Üstyapı Taş Mastik Asfaltının Serilmesi (4 cm)

Şekil 4.72. Otokorkuluk İmalatının Yapılması

Şekil 4.73. Aydınlatma İşlerinin Yapılması

Olağan ve olağanüstü durumlarda köprüdeki parametrelerin kontrol edilmesi amacıyla köprünün şekilde belirtilen bölgelerine takip sistemi yerleştirilmiştir (Şekil 4.74.).



Şekil 4.74. Köprü İzleme Sisteminin Kurulması

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Eğik kablo askılı köprülerin gelişimi ve yapı elemanları hakkında bilgiler sunularak, Nissibi Köprüsünün yapım aşamaları resimlerle özetlenmiş, köprüde kullanılan tavsiye ve şartnameler hakkında bilgi verilerek pilon burkulma ve pilon temel hesapları yapılmıştır.

Nissibi Köprüsü ülkemizde uygulanan ilk eğik kablo askılı köprü olduğundan sonraki çalışmalar için öncü bir yapı olma özelliği taşımaktadır.

Yurtdışında yapılan Eğik kablo askılı köprü teknolojisi Nissibi Köprüsünde kullanıldığından, bu köprünün imalatının da yerli bir firma tarafından yapılması neticesiyle kendinden sonra gelen başta Kömürhan köprüsü olmak üzere daha sonraki Eğik kablo askılı köprü çalışmaları için örnek teşkil etmektedir.

Nissibi Eğik kablo askılı köprüsü için 50 yılda aşılma olasılığı %50 (D1:yineleme süresi 75 yıl), %10 (D2:yineleme süresi 475 yıl), %2 (D3:yineleme süresi 2475 yıl) olan deprem kayıtları kullanılarak analiz yapılmıştır. B köprü sınıfında olan Nissibi köprüsünün ivme katsayı aralığının D1, D2, D3 deprem seviyesinin spektral ivme değeri ile karşılaştırılmış olup köprünün güvenli aralıkta kaldığı tespit edilmiştir.

Pilon burkulma hesaplamaları sonucunda pilona etki eden kablo düşey bileşen tasarım limitinin (0.90 x GUTS) toplam değeri 446432 kN ve pilon burkulma değeri (Pk) 1480457 kN olarak hesaplanmıştır. Pilon burkulma değeri kabloların düşey tasarım limitinin yaklaşık 3,3 katı olduğundan pilonun burkulması gibi bir durumun söz konusu olmadığı görülmüştür. Ancak kabloların düşey tasarım limitlerinin üzerinde yükleme olması durumunda kablolarda hasar veya kopma meydana geleceğinden söz konusu köprü için düzenli aralıklarla kablolara kablo takip sistemleriyle bu durumlar kontrol altında tutulmaktadır.

Eğik kablo askılı köprülerle ilgili ülkemizde yeterli doküman bulunmadığından bilgiye ulaşmada sıkıntılar yaşanmaktadır.

6. KAYNAKLAR

AASHTO, 2002. American Association of state Highway and Transportation officials, Washington, ABD

AASHTO LRFD, 2004. American Association of state Highway and Transportation officials, Washington, ABD

Çelik Yapılar Erişim: [https://www.gulsanholding.com.tr/images/pdf/Celik-Yapılar-Haberleri.pdf]. Erişim Tarihi: 25.03.2019

EN-1991-1, European Standard

EN-1991-2, European Standard

Emay A.Ş, Nissibi Köprüsünün Kablo Kurulum Metodu

Gergili Eğik Askılı Köprüsü. Erişim: [https://www.gulsanholding.com.tr/images/pdf/nissibi_koprusu.pdf]. Erişim Tarihi: 01.04.2019

Incorporation architectural technology desember, 1988.

İnternational Database and Gallery of Structures [http://structurae.net/structures/ bridges-and-viaducts]. Erisim Tarihi: 10.02.2019

Nissibi Köprüsü Projesi Erişim: [https://www.gulsanholding.com.tr/images/pdf/yol-teknolojileri-nissibi.pdf]. Erişim Tarihi: 15.03.2019

SETRA, Haziran 2002. Eğik Gergili Kablolar. Fransa

SOYLUK, K., GÖKMEN, E., 2014. ***Asma Köprülerin ve Eğik Kablo Askılı Köprülerin Karşılaştırmalı Maliyet Analizi***, Ankara.

YÜKSEL PROJE. 2011. Adıyaman-Kahta-Siverek-Diyarbakır yolunda Nissibi Köprüsü Kesin Hesap Raporu, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Hatip YILDIZ, 1987 yılında Diyarbakır'da doğmuştur. İlköğrenimini İsmet paşa ilkokulu-Arif Eminoğlu İlköğretim okulunda, orta öğrenimini Fatih Lisesinde tamamlamıştır. 2009 yılında Dicle Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Matematik, 2013 yılında Dicle Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümlerinden mezun olmuştur. 2013 yılında Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı İnşaat Mühendisliği Yapı Ana Bilim Dalı, Nissibi Eğik Kablo Askılı Köprüsünün hesap esasları ve Yapım Aşamaları konusunda yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. 2013 yılında atandığı Karayolları Genel Müdürlüğüne bağlı 9. Bölge Müdürlüğünde Tesisler Kontrol Mühendisi olarak görevini sürdürmektedir.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ İNTİHAL FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	Hatip YILDIZ
ÖĞRENCİ NO	13806004
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2018-2019
YARIYIL	☐ Güz ☒ Bahar
ANABİLİM DALI	İnşaat Mühendisliği / Yapı
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	Nissibi Köprüsünün Hesap Esasları ve Yapım Aşamalarının İncelenmesi
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma SınavıSonrası
SAYFA SAYISI	101
BENZERLİK ORANI	% 10
RAPORLAMA TARİHİ	28 / 06 / 2019

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 101 sayfalık kısmına ilişkin, 28 / 06 / 2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 10 'dır.

Uygulanan filtrelemeler:

☐Kabul/Onay sayfaları hariç,
☐Kaynakça hariç
☐Alıntılar hariç/dâhil
☐Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

28 / 06 / 2019
Hatip YILDIZ
Öğrenci

28 / 06 / 2019 Prof. Dr. Mehmet Sedat HAYALİOĞLU **Tez Danışmanı**	28 / 06 / 2019 Prof. Dr. Zeynel Fuat TOPRAK **Anabilim Dalı Başkanı**