

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÖNGERİLMELİ BETONARME PREKAST KİRİŞLERDE FARKLI KESİT VE
HALAT SAYISINA BAĞLI UYGUN AÇIKLIĞIN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Onur Oğuz ÖZTÜRK

**TEMMUZ 2018
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :



Trabzon



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Onur Oğuz ÖZTÜRK Tarafından Hazırlanan**

**ÖNGERİLMELİ BETONARME PREKAST KİRİŞLERDE FARKLI KESİT VE HALAT
SAYISINA BAĞLI UYGUN AÇIKLIĞIN BELİRLENMESİ**

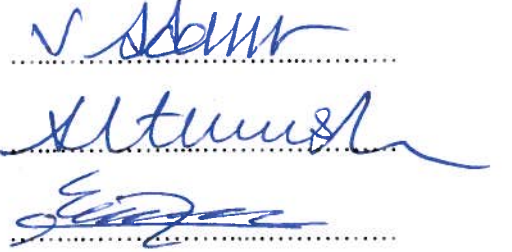
**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 20 / 06 / 2018 gün ve 1758 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Süleyman ADANUR

Üye : Prof. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK

Üye : Doç. Dr. Murat Emre KARTAL



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

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

“Öngerilmeli Betonarme Prekast Kirişlerde Farklı Kesit ve Halat Sayısına Bağlı Uygun Açıklığın Belirlenmesi” isimli tez çalışmasını bana öneren ve her aşamasında hem bilgi ve tecrübesini ve desteğini benden esirgemeyen danışmanım ve saygıdeğer Hocam Prof. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Akademik çalışmalarımızda birbirimize destek olduğumuz çalışma arkadaşlarım, İnş. Müh. Fatma ÖNALAN, İnş. Yük. Müh. Ebru KALKAN, Arş. Gör. Olguhan Şevket KARAHASAN, İnş. Yük. Müh. Hatice ERDOĞMUŞ, İnş. Yük. Müh. Ali YETİŞKEN, İnş. Müh. Yunus Emrahan AKBULUT ve İnş. Müh. Özgün BIÇAK'a teşekkür ederim.

Okul hayatımın ilk yıllarından itibaren her koşulda en büyük destekçilerim ve dostlarım olan Selim AKDEMİR, Betül BAYTAR, Hatice TURGUT, Ümmü Gülsüm ÖZKAN ve Çağla İLHAN'a teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım süresince bana her türlü desteği veren ve yanımda olan babam Şaban ÖZTÜRK'e, annem Hatice ÖZTÜRK'e ve kardeşim Özge Nur ÖZTÜRK'e teşekkür eder ve bu çalışmanın, yeni çalışmalara öncülük etmesini ve ülkemize faydalı olmasını temenni ederim.

Onur Oğuz ÖZTÜRK

Trabzon 2018

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Öngerilmeli Betonarme Prekast Kirişlerde Farklı Kesit ve Halat Sayısına Bağlı Uygun Açıklığın Belirlenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 10.07.2018

Onur Oğuz ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA NO</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMASI.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	IX
SUMMARY	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XV
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XVI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Konuyla İlgili Yapılan Çalışmalar	2
1.3. Tezin Amacı ve İçeriği.....	9
1.4. Öngerilmeli Beton.....	10
1.4.1. Genel	10
1.4.2. Öngerilme Yöntemleri.....	12
1.4.2.1. Öngerilme.....	12
1.4.2.2. Ard Germe.....	13
1.4.2.3. Kimyasal Öngerilme	13
1.4.3. Öngerilmeli Betonarme Malzemesi	13
1.4.3.1. Beton	13
1.4.3.2. Öngerilme Donatıları.....	14
1.4.3.3. Öngerilmeli Betonda Malzeme Özellikleri ve Dayanımları	15
1.4.4. Öngerilme Hesabının Temel İlkeleri.....	16
1.4.5. Öngerilme Kayıplarının Hesabı	16
1.4.5.1. Ankraj Kaçağı Kaybı.....	17
1.4.5.2. Betonun Ani Elastik Kısalmasına Bağlı Öngerilme Kaybı.....	17
1.4.5.3. Sürtünme Kaybı.....	18
1.4.5.4. Sünme ve Büzülme (Rötre) Kaybı	18
1.4.5.5. Gevşeme (Relaksasyon) Kayıpları	19

1.4.6.	Öngerilme Kuvvetinin Hesabının Temel İlkeleri.....	20
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	24
2.1.	Giriş.....	24
2.2.	Analizlerde Kullanılan Parametreler	24
2.3.	Analizlerde Amaçlanan Sonuçlar	24
2.4.	Analiz Sonuçları.....	25
2.4.1.	Yüksekliği 90 cm Olan Prekast Öngerilmeli Kirişin Optimum Açıklığının Belirlenmesi	25
2.4.1.1.	Kirişin Seçilmesi	25
2.4.1.2.	Öngerilmeli Kiriş Kablolarının Sayısının Belirlenmesi	25
2.4.1.3.	Gerilme ve Mesafelerin Elle Çözüm ile Belirlenmesi	26
2.4.1.3.1.	Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi.....	28
2.4.1.3.2.	Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi	28
2.4.1.3.3.	Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi	31
2.4.1.3.4.	Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi	31
2.4.1.4.	Analizlerin SAP2000 Yardımıyla Doğrulanması.....	33
2.4.1.4.1.	Maksimum Açıklık İçin Araç Köprüsünün Analizi	41
2.4.1.4.2.	Maksimum Açıklık İçin Yaya Köprüsünün Analizi	42
2.4.2.	Yüksekliği 100 cm Olan Öngerilmeli Prekast Kirişin Optimum Açıklığının Belirlenmesi	43
2.4.2.1.	Kirişin Seçilmesi	43
2.4.2.2.	Öngerilmeli Kiriş Kablolarının Sayısının Belirlenmesi	43
2.4.2.3.	Gerilme ve Mesafelerin Elle Çözüm ile Belirlenmesi	44
2.4.2.3.1.	Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi.....	44
2.4.2.3.2.	Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi	44
2.4.2.3.3.	Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi	47
2.4.2.3.2.	Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi	47
2.4.2.4.	Analizlerin SAP2000 Yardımıyla Doğrulanması.....	49
2.4.2.4.1.	Maksimum Açıklık İçin Araç Köprüsünün Analizi	49
2.4.2.4.2.	Maksimum Açıklık İçin Yaya Köprüsünün Analizi	49
2.4.3.	Yüksekliği 110 cm Olan Öngerilmeli Prekast Kirişin Optimum Açıklığının Belirlenmesi	51
2.4.3.1.	Kirişin Seçilmesi	51
2.4.3.2.	Öngerilmeli Kiriş Kablolarının Sayısının Belirlenmesi	51

2.4.3.3.	Gerilme ve Mesafelerin Elle Çözüm ile Belirlenmesi	52
2.4.3.3.1.	Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi.....	52
2.4.3.3.2.	Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi	52
2.4.2.3.3.	Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi	55
2.4.3.3.4.	Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi	55
2.4.3.4.	Analizlerin SAP2000 Yardımıyla Doğrulanması.....	57
2.4.3.4.1.	Maksimum Açıklık İçin Araç Köprüsünün Analizi	57
2.4.3.4.2.	Maksimum Açıklık İçin Yaya Köprüsünün Analizi	57
2.4.4.	Yüksekliği 120 cm Olan Öngerilmeli Prekast Kirişin Optimum Açıklığının Belirlenmesi	59
2.4.4.1.	Kirişin Seçilmesi	59
2.4.4.2.	Öngerilmeli Kiriş Kablolarının Sayısının Belirlenmesi	59
2.4.4.3.	Gerilme ve Mesafelerin Elle Çözüm ile Belirlenmesi	60
2.4.4.3.1.	Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi.....	60
2.4.4.3.2.	Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi	60
2.4.4.3.3.	Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi	63
2.4.4.3.4.	Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi	63
2.4.4.4.	Analizlerin SAP2000 Yardımıyla Doğrulanması.....	65
2.4.4.4.1.	Maksimum Açıklık İçin Araç Köprüsünün Analizi	65
2.4.4.4.2.	Maksimum Açıklık İçin Yaya Köprüsünün Analizi	65
2.4.5.	Yüksekliği 130 cm Olan Öngerilmeli Prekast Kirişin Optimum Açıklığının Belirlenmesi	67
2.4.5.1.	Kirişin Seçilmesi	67
2.4.5.2.	Öngerilmeli Kiriş Kablolarının Sayısının Belirlenmesi	67
2.4.5.3.	Gerilme ve Mesafelerin Elle Çözüm ile Belirlenmesi	68
2.4.5.3.1.	Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi.....	68
2.4.5.3.2.	Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi	68
2.4.5.3.3.	Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi	71
2.4.4.3.4.	Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi	71
2.4.5.4.	Analizlerin SAP2000 Yardımıyla Doğrulanması.....	73
2.4.5.4.1.	Maksimum Açıklık İçin Araç Köprüsünün Analizi	73
2.4.5.4.2.	Maksimum Açıklık İçin Yaya Köprüsünün Analizi	73
2.4.6.	Yüksekliği 140 cm Olan Öngerilmeli Prekast Kirişin Optimum Açıklığının Belirlenmesi	75

2.4.6.1.	Kirişin Seçilmesi	75
2.4.6.2.	Öngerilmeli Kiriş Kablolarının Sayısının Belirlenmesi	75
2.4.6.3.	Gerilme ve Mesafelerin Elle Çözüm ile Belirlenmesi	76
2.4.6.3.1.	Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi.....	76
2.4.6.3.2.	Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi	76
2.4.6.3.3.	Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi	79
2.4.1.3.4.	Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi	79
2.4.6.4.	Analizlerin SAP2000 Yardımıyla Doğrulanması.....	81
2.4.6.4.1.	Maksimum Açıklık İçin Araç Köprüsünün Analizi	81
2.4.6.4.2.	Maksimum Açıklık İçin Yaya Köprüsünün Analizi	81
2.4.7.	Yüksekliği 150 cm Olan Öngerilmeli Prekast Kirişin Optimum Açıklığının Belirlenmesi	83
2.4.7.1.	Kirişin Seçilmesi	83
2.4.7.2.	Öngerilmeli Kiriş Kablolarının Sayısının Belirlenmesi	83
2.4.7.3.	Gerilme ve Mesafelerin Elle Çözüm ile Belirlenmesi	84
2.4.7.3.1.	Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi.....	84
2.4.7.3.2.	Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi	84
2.4.7.3.3.	Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi	87
2.4.7.3.4.	Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi	87
2.4.7.4.	Analizlerin SAP2000 Yardımıyla Doğrulanması.....	89
2.4.7.4.1.	Maksimum Açıklık İçin Araç Köprüsünün Analizi	89
2.4.7.4.2.	Maksimum Açıklık İçin Yaya Köprüsünün Analizi..	89
2.5.	Sonuçların Toplu Verilmesi	91
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	111
4.	KAYNAKLAR.....	120
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ÖNGERİLMELİ BETONARME PREKAST KİRİŞLERDE FARKLI KESİT VE HALAT SAYISINA BAĞLI UYGUN AÇIKLIĞIN BELİRLENMESİ

Onur Oğuz ÖZTÜRK
Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK
2018, 117 Sayfa

Bu tez çalışması kapsamında, öngerilmeli prekast kirişler için köprü açıklığına bağlı en uygun kesit seçiminin ve kablo yerleşiminin yapılması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, uygulamada yaygın olarak kullanılan ve yükseklikleri 90 cm, 100 cm, 110 cm, 120 cm, 130 cm, 140 cm, 150 cm olan 7 (yedi) farklı öngerilmeli prekast kiriş yüksekliği dikkate alınmış olup, her bir kirişin farklı kablo sayıları için kullanılabilecekleri minimum ve maksimum mesafeler belirlenmiştir. Analizler sırasında, araç ve yaya köprüleri için farklı yükleme durumları göz önünde bulundurulmuştur.

Tez çalışması dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde öngerilmeli betonarme kirişler hakkında genel bilgiler, tasarım ilkeleri ve daha önce yapılan çalışmalara yer verilmiştir. İkinci bölümde tez kapsamında yapılan çalışmalar sunulmuştur. Bu bölümde her bir öngerilmeli prekast kirişe yerleştirilebilecek kablo sayıları hesaplanmış olup, yaya ve araç yükleri altında geçilebilecek maksimum ve minimum mesafeler elle yapılan çözümlemelerin yanında SAP2000 sonlu eleman paket programıyla da hesaplanmıştır. Üçüncü bölümde, yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara ve önerilere yer verilmiştir. Son bölümde ise yararlanılan kaynaklar verilmiş olup, bu bölümü özgeçmiş takip etmiştir.

Çalışma sonucunda, öngerilmeli prekast kirişler için köprü açıklığına bağlı en uygun kesit seçiminin ve kablo yerleşiminin farklı yükleme durumları altında yapılması ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kablo, Köprü açıklığı, Öngerilmeli Prekast Kiriş

Master Thesis

SUMMARY

DETERMINATION OF APPROPRIATE OPENING FOR PRESTRESSED REINFORCED CONCRETE PRECAST BEAMS DEPENDING ON SECTION PROPERTIES AND TENDON NUMBER

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Professor Ahmet Can ALTUNIŞIK
2018, 117 Pages

In this thesis study, it is aimed to determine the appropriate opening for prestressed reinforced concrete precast beams depending on section properties and tendon number. For numerical example, seven different reinforced concrete precast beam section including 90 cm, 100 cm, 110 cm, 120 cm, 130 cm, 140 cm and 150 cm total height are selected to evaluate the maximum and minimum openings considering both pedestrian and vehicle loads.

The thesis work consists of four parts. In the first part, general information about prestressed reinforced concrete beams, design principles and beams elements have been included. In the second part, the work done within the scope of the thesis is given. The number of tendons that can be placed in each prestressed precast beams is determined and, maximum-minimum distances for pedestrian and vehicle bridges are manually calculated. Also, the results are validated by SAP2000 software, numerically. In the third section, the conclusions and recommendations related to the thesis are given. In the last part, the sources utilized were followed by resumes.

As a result of the study, appropriate opening for prestressed reinforced concrete precast beams depending on section properties and tendon number.

Key Words: Pedestrian and Vehicle Load, Prestressed Reinforced Concrete Precast Beam

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA NO

Şekil 1.1.	Öngerilmeli basit kiriş açıklık ortasında gerilme dağılımı	11
Şekil 1.2.	Sırasıyla öngerilme halatı ve öngerilme çubuğu.....	15
Şekil 1.3.	Öngerilme torunu ve ankraj kilidi.....	15
Şekil 1.4.	Öngerilmeli ve betonarme bir kirişin davranışı	20
Şekil 1.5.	Öngerilmeli elemanda dış merkezlik	21
Şekil 1.6.	Enjeksiyon işleminden önce dış merkezli kabloya sahip kiriş açıklığındaki gerilmeler	21
Şekil 1.7.	Etkin öngerilme ile sabit yük altında gerilmeler.....	22
Şekil 1.8.	Etkin öngerilme ile işletme yükü altındaki gerilmeler.....	22
Şekil 1.9.	Çatlama durumu.....	22
Şekil 1.10.	Taşıma gücü sınır durumu	23
Şekil 2.1.	I 90 kirişi	25
Şekil 2.2.	Öngerilme kablolarının yerleştirilmesi	26
Şekil 2.3.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	29
Şekil 2.4.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	29
Şekil 2.5.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	30
Şekil 2.6.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	30
Şekil 2.7.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	31
Şekil 2.8.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	32
Şekil 2.9.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	32
Şekil 2.10.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	33
Şekil 2.11.	Model olarak kirişin seçilmesi	34
Şekil 2.12.	Kirişin uzunluğunun programa tanıtılması	34
Şekil 2.13.	Betonun malzeme özelliklerinin belirlenmesi	35
Şekil 2.14.	Öngerilme donatısının malzeme özelliklerinin belirlenmesi	35
Şekil 2.15.	Prekast kirişin seçimi	36
Şekil 2.16.	Prekast kirişin kesit özelliklerinin programa tanımlanması.....	36
Şekil 2.17.	Öngerilme donatısının malzeme özelliklerinin tanımlanması	37

Şekil 2.18.	Öngerilme donatı, yükleri ve koordinatlarının girilmesi	38
Şekil 2.19.	Yük tiplerinin atanması.....	38
Şekil 2.20.	Yük kombinasyonları.....	39
Şekil 2.21.	Kendi ağırlığı + Öngerilme kombinasyonu	39
Şekil 2.22.	Kendi ağırlığı + öngerilme + yaya yükü kombinasyonu	40
Şekil 2.23.	Kendi ağırlığı + öngerilme + araç yükü kombinasyonu	40
Şekil 2.24.	Araç yükünün tanımlanması	41
Şekil 2.25.	Yaya yükünün tanımlanması.....	41
Şekil 2.26.	Servis yükü altında araç köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları	42
Şekil 2.27.	Servis yükü altında yaya köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları....	42
Şekil 2.28.	I 100 kirişi	43
Şekil 2.29.	Öngerilme kablolarının yerleştirilmesi	44
Şekil 2.30.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	45
Şekil 2.31.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	45
Şekil 2.32.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	46
Şekil 2.33.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	46
Şekil 2.34.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	47
Şekil 2.35.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	48
Şekil 2.36.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	48
Şekil 2.37.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	49
Şekil 2.38.	Servis yükü altında araç köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları	50
Şekil 2.39.	Servis yükü altında yaya köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları....	50
Şekil 2.40.	I 110 kirişi	51
Şekil 2.41.	Öngerilme kablolarının yerleştirilmesi	52
Şekil 2.42.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	53
Şekil 2.43.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	53
Şekil 2.44.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	54
Şekil 2.45.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	54
Şekil 2.46.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	55
Şekil 2.47.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	56
Şekil 2.48.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	56
Şekil 2.49.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	57
Şekil 2.50.	Servis yükü altında araç köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları	58

Şekil 2.51.	Servis yükü altında yaya köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları....	58
Şekil 2.52.	I 120 kirişi	59
Şekil 2.53.	Öngerilme kablolarının yerleştirilmesi	60
Şekil 2.54.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	61
Şekil 2.55.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	61
Şekil 2.56.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	62
Şekil 2.57.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	62
Şekil 2.58.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	63
Şekil 2.59.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	64
Şekil 2.60.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	64
Şekil 2.61.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	65
Şekil 2.62.	Servis yükü altında araç köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları	66
Şekil 2.63.	Servis yükü altında yaya köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları....	66
Şekil 2.64.	I 130 kirişi	67
Şekil 2.65.	Öngerilme kablolarının yerleştirilmesi	68
Şekil 2.66.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	69
Şekil 2.67.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	69
Şekil 2.68.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	70
Şekil 2.69.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	70
Şekil 2.70.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	71
Şekil 2.71.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	72
Şekil 2.72.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	72
Şekil 2.73.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	73
Şekil 2.74.	Servis yükü altında araç köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları	74
Şekil 2.75.	Servis yükü altında yaya köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları....	74
Şekil 2.76.	I 140 kirişi	75
Şekil 2.77.	Öngerilme kablolarının yerleştirilmesi	76
Şekil 2.78.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	77
Şekil 2.79.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	77
Şekil 2.80.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	78
Şekil 2.81.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	78
Şekil 2.82.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	79
Şekil 2.83.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	80

Şekil 2.84.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	80
Şekil 2.85.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	81
Şekil 2.86.	Servis yükü altında araç köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları	82
Şekil 2.87.	Servis yükü altında yaya köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları....	82
Şekil 2.88.	I 150 kirişi	83
Şekil 2.89.	Öngerilme kablolarının yerleştirilmesi	84
Şekil 2.90.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	85
Şekil 2.91.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	85
Şekil 2.92.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	86
Şekil 2.93.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	86
Şekil 2.94.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	87
Şekil 2.95.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	88
Şekil 2.96.	Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	88
Şekil 2.97.	Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları	89
Şekil 2.98.	Servis yükü altında araç köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları	90
Şekil 2.99.	Servis yükü altında yaya köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları....	90

TABLÖLAR DİZİNİ

SAYFA NO

Tablo 1.1.	Çeliğin düzensizlik ve eğrilik sürtünme kayıpları.....	18
Tablo 1.2.	Rötre birim şekil değiştirmeleri.....	19
Tablo 2.1.	Araç köprüsü için geçilen maksimum mesafeler.....	91
Tablo 2.2.	Yaya köprüsü için geçilen maksimum mesafeler	91
Tablo 2.3.	I 90 kirişi araç köprüsü değerleri.....	92
Tablo 2.4.	I 90 kirişi yaya köprüsü değerleri.....	93
Tablo 2.5.	I 100 kirişi araç köprüsü değerleri.....	94
Tablo 2.6.	I 100 kirişi yaya köprüsü değerleri.....	95
Tablo 2.7.	I 110 kirişi araç köprüsü değerleri.....	96
Tablo 2.8.	I 110 kirişi yaya köprüsü değerleri.....	97
Tablo 2.9.	I 120 kirişi araç köprüsü değerleri.....	98
Tablo 2.10.	I 120 kirişi yaya köprüsü değerleri.....	99
Tablo 2.11.	I 130 kirişi araç köprüsü değerleri.....	101
Tablo 2.12.	I 130 kirişi yaya köprüsü değerleri.....	103
Tablo 2.13.	I 140 kirişi araç köprüsü değerleri.....	105
Tablo 2.14.	I 140 kirişi yaya köprüsü değerleri.....	106
Tablo 2.15.	I 150 kirişi araç köprüsü değerleri.....	107
Tablo 2.16.	I 150 kirişi yaya köprüsü değerleri.....	109

SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Beton brüt kesit alanı
CR_C	: Betonun sünmesinden dolayı oluşan öngerilme kaybı
CR_S	: Öngerilme çeliğinin gevşemesinden kaynaklanan öngerilme kaybı
e	: Dış merkezlik
$e_{araç}$	: Araç köprüsü için eksantriste değeri
e_{yaya}	: Yaya köprüsü için eksantriste değeri
E_c	: Beton elastisite modülü
E_{ps}	: Öngerilme Kablosunun elastisite modülü
E_s	: Öngerilme uygulama anında beton elastisite modülü
ES	: Elastik kısalma nedeniyle öngerilme kaybı
f_0	: Başlangıç kesitinde kablodaki gerilme
f_{cir}	: Öngerilme halatının serbest bırakılma sırasındaki ortalama gerilme
f_{ck}	: Karakteristik beton dayanımı
f_p	: Kablodaki gerilme
f_{pi}	: Başlangıç gerilmesi
f_{pk}	: Karakteristik kopma dayanımı
f_x	: Ankrajdan (x) uzaklığında kablodaki gerilme
f_y	: Donatı akma dayanımı
I	: Kesitin brüt atalet momenti
K	: Düzensizlik katsayısıdır
L	: Kirişin boyu
M	: Moment
$M_{araç}$	: Araç köprüsü hesaplarında kullanılan moment değeri
M_{cr}	: Çatlama momenti
M_d	: Tasarım momenti
M_0	: Kendi ağırlığından oluşan moment
M_u	: Taşıma gücü momenti
M_{yaya}	: Yaya köprüsü hesaplarında kullanılan moment değeri
n	: Öngerilme kablo sayısı
P	: Kesitteki toplam öngerilme kuvveti

P	: Öngerilme donatılarına verilen öngerilme kuvveti
P_{et}	: Etkin öngerilme
P_i	: Başlangıç öngerilme kuvveti
q	: Yayılı yük
$q_{araç}$	: Araç köprüsü için hesap yayılı yükü
q_{yaya}	: Yaya köprüsü için hesap yayılı yükü
RH	: Yıllık ortalama bağıl nem oranı
SH	: Beton büzülmesine bağlı olarak öngerilme kaybı
y_{alt}	: Prefabrike kirişin ağırlık merkezinin kirişin en üst lifine olan mesafesi
$y_{üst}$	: Prefabrik kirişin ağırlık merkezinin kirişin en üst lifine olan mesafesi
e	: Logaritma tabanı
α	: Radyan cinsinden açısal sapma
μ	: Sürtünme katsayısı
σ	: Betonda oluşan gerilme
$\sigma_{altaraç}$	: Araç köprüsünde kirişin alt bölgesinde oluşan gerilme
$\sigma_{altyaya}$	: Yaya köprüsünde kirişin alt bölgesinde oluşan gerilme
$\sigma_{üstaraç}$	: Araç köprüsünde kirişin üst bölgesinde oluşan gerilme
$\sigma_{üstyaya}$	: Yaya köprüsünde kirişin üst bölgesinde oluşan gerilme
ε_{SH}	: Rötire şekil değiştirme değerleri
Δf_{pSH}	: Rötire kaybı
ξ_T	: Toplam öngerilme kayıp oranı

1.GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Köprüler; yol, demiryolu, akarsu vb. engelleri geçebilmek için yapılan, mesnet eksenlerinin açıklığı 10 m'den çok olan ve üzerine dolgu gelmeyen sanat yapılarıdır (KGMİYFŞ, 2013). Köprüler, kullanım amacı, taşıyıcı sistem tipi ve kullanılan malzeme özelliğine bağlı olarak çeşitli şekilde sınıflandırılabilirler. Kullanım amacına göre; yaya köprüleri, araç köprüleri, demiryolu köprüleri, boru hattı köprüleri, yük köprüleri, su kemeri köprüleri vb. örnek olarak gösterilebilirken, taşıyıcı sistem tipine bağlı olarak; kemer köprüler, kirişli köprüler, kafes köprüler, dengeli konsol köprüler, kablolu köprüler, asma köprüler vb. günümüzde yaygın olarak inşa edilmektedir. Ayrıca, kullanılan malzeme özelliğine göre; çelik köprüler, betonarme köprüler, öngerilmeli prekast köprüler, kompozit köprüler, ahşap köprüler, taş köprüler bölgesel özelliklerde dikkate alınarak tercih edilmektedirler.

Günümüzde köprülerin ekonomik ve depreme dayanıklı şekilde projelendirilmesi ve inşa edilmesinin yanında, büyük açıklıkların geçilebilmesi ve yapım süresinin kısa tutulması da oldukça önem kazanmıştır. Gelişen teknoloji ve mühendislik bilgisi ile birlikte, yüksek yapıların inşası giderek artmakta ve bu durum farklı özelliklere sahip malzemelerin kullanımı arttırmaktadır. Bu durum, projelendirme aşamasında kullanılan taşıyıcı sistem kesitlerinin belirgin bir şekilde azalmasını, ayrıca yapının hafif olmasını ve estetik görünmesine olanak sağlamıştır. Söz konusu gelişmelerin en önemli uygulamalarından bir tanesi de betonarme yapılardır. Bu yapılarda, toplam tasarım yükünün büyük bir bölümünü elemanların kendi öz ağırlıkları oluşturmaktadır. Bu sebeple, kesitlerde oluşacak çekme gerilmelerini önlemek ve ya azaltmak amacıyla, gerçek yükleme öncesinde kesitin uygun bir noktasından öngerilme adı verilen bir ön basınç uygulaması yapılmasıyla ilgili ilk düşünceler ortaya çıkmıştır (Ünal ve Kürklü, 2007).

Öngerilme, büyük açıklıkların daha ekonomik geçilebilmesi için kesiti yani ölü yükü artırmak yerine, betona önceden bir basınç kuvveti vererek işletme yükleri altındaki çekme gerilmesini yok etmek ve ya belli seviyelere kadar azaltmak olarak tanımlanır (URL-1).

Öngerilme yöntemi ile yapılmış olan bütün yükleme hallerinde, taşıyıcı elemanların kesitlerinde çekme gerilmelerinin oluşmaması ya da gerilmelerin çatlama meydana getirmeyecek kadar az olması istenmektedir.

Bütün mühendislik yapılarında olduğu gibi, öngerilmeli köprülerde de en önemli konu emniyettir. Bunun yanında, malzeme ve iş gücü maliyetlerinin göz önüne alınmasıyla birlikte, projelendirme aşamasında optimum şartları elde etmek mühendislik alanında ayrıca önem arz etmeye başlamıştır.

Optimizasyon kelime anlamı itibari ile “en iyileme” demektir. Mevcut bir durumdan en iyi şekilde yararlanmak; bir başka deyişle belirlenen parametreleri tüm verileri kullanarak ideal olarak seçmek anlamını taşır. Yapıların optimum tasarımındaki amaç, en ekonomik şekilde yeterli emniyete sahip olan yapıyı tasarlamaktır. Ancak yapının sağlam olması malzemenin fazla kullanılması ile doğru orantılıyken, yapının ekonomik olması da malzemenin az kullanılmasını durumunu gerektirmektedir. Bir yapı tasarlanırken emniyetten hiçbir şekilde taviz verilemeyeceği su götürmez bir gerçektir. Bu nedenle belli bir emniyete sahip olan yapıyı mümkün olduğunca en az malzemeyi kullanmak suretiyle tasarlamak amaç edinilmektedir. Öte yandan, bu amaç doğrultusunda projelendirilen yapıların ise etkiyen yükler altındaki davranışının kabul edilebilir sınırlar içinde kalması gerekmektedir. Böylece, inşaat mühendisliğinde temel kabul olan emniyet, ekonomi ve estetik üçgeninin bütün kenarları aynı seviyede sağlanmış olacaktır.

Bu çalışmanın amacı, günümüzde yaygın olarak kullanım alanı bulunan farklı yükseklikteki öngerilmeli prekast kirişler için, köprü açıklığına bağlı ve farklı yükleme durumları altında en uygun kesit seçiminin ve kablo yerleşiminin yapılmasıdır. Tez kapsamında yapılan hesaplamalar sırasında, mevcut formülasyonların yanında SAP2000 sonlu eleman paket programı da kullanılmış olup, elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

1.2. Konuyla İlgili Yapılan Çalışmalar

AlHarty ve Frangopol (1994), bileşenler ve sistemler için ikinci moment güvenilirlik yöntemini, öngerilmeli beton kirişlerin tasarımında optimizasyon araçları ile entegre etmişlerdir. Eğilme davranışını tahmin etmek için kullanılan modellerin yanı sıra yükleme, malzeme özellikleri, öngerme kuvveti seviyeleri de rastgele değişkenler olarak kabul edilmiştir. Dikkate alınan performans fonksiyonları, ilk ve son aşamalardaki

gerilimlere ve kirişin eğilme dayanımına bağlanmıştır. Sistem güvenilirlik yöntemleri, bu sınır durumlarında öngerilmeli betonarme kirişlerin yetersiz performans olasılığını hesaplamak için kullanılmıştır. İnşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan çift bantlı öngerilmeli beton kirişlerin güvenilirlik temelli tasarım örnekleri tasarım şeması formatında sunulmuştur.

Algahtani vd. (1995), kısmen öngerilmeli beton kirişlerin optimum tasarımı için etkili bir formülasyon geliştirmişlerdir. Çalışma kapsamında, gerilme, dayanım, çatlama momenti, kesme dayanımı, donatı miktarı, kesit ve kablo profili gibi farklı kısıtlamalar ve etkiler dikkate alınmış olup, elde edilen sonuçlar Amerikan Beton Enstitüsü yönetmeliğine uygun şekilde formüle edilmiştir.

Ohkubo vd. (1998), uygulamaya dönük yapısal tasarımlarda; ekonomi, güvenlik, hizmet koşulları, estetik ve benzeri hedeflerin dikkate alması gerektiğini ve kriterler arasında göreceli değerlendirmelerin belirli aralıklarda yapılabileceğini belirtmişlerdir. Tasarım yöntemi, büyük ölçekli öngerilmeli beton köprü sisteminin optimum tasarım problemine uygulamıştır.

Ma vd. (1999), öngerilmeli betonarme prekast kirişlerdeki ankraj bölgesini, mevcut ankraj donanımını ve germe kuvveti için gerekli ilave dağıtma alanını kapsayacak şekilde tasarlamışlardır. Analitik ve tam ölçekli deneysel çalışmalar ışığında optimize edilmiş ankraj bölgesine ait detaylar geliştirilmiştir.

Araz (2000), öngerilmeli sürekli kirişlerin tasarımı yapılırken eksantrisite ve öngerme kuvvetinin uzun işlemler sonucu bulunduğunu, bu değerleri daha kısa sürede bulacak bir bilgisayar programının ihtiyacından bahsetmiştir. Çalışmasında yük-dengeleme yöntemiyle sürekli kirişlerin tasarımını yapan bir bilgisayar programı geliştirmiştir. Literatürdeki mevcut örnekler ile karşılaştırarak programın doğruluğunu göstermiştir.

Nowak vd. (2001), Eurocode 1 (1994), Norma IAP-89 ve AASHTO LRFD (1998) olmak üzere üç yönetmeliğe göre öngerilmeli beton köprülerin güvenilirlik seviyelerini belirlemişler ve elde ettikleri verilerin karşılaştırmalarını yaparak sunmuşlardır. AASHTO LRFD koşulları ile elde edilen sonuçların daha uygun olduğu kanısına varmışlardır.

Çağatay vd. (2003), eğilme altındaki öngerilmeli beton kirişlerin optimum tasarımı için bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Tasarım değişkenleri ve gerilmeler üzerindeki kısıtlamalara bağlı olarak; öngerilme kuvveti, kablo konfigürasyonu ve kesit boyutları için optimum değerler belirlenebilmektedir. Çalışma kapsamında, 28 farklı kısıtlama parametresi kullanılmıştır. Hedef işlev olarak; beton, öngerme kuvveti ve kalıp maliyeti

yer almakta olup, ilgili fonksiyonların kullanılması ile birlikte minimum maliyet ve minimum ağırlıkla beton dizaynı ile minimum öngerme kuvveti tasarımının yapılması mümkündür.

Greco vd. (2003) gerçekleştirdikleri çalışma kapsamında, bir prekast fabrikasındaki tasarım ve yapım süreci planlamasının ana hatlarını ve yöntemlerini referans alarak, maliyet optimizasyon aşamalarını analiz etmişlerdir. Maliyet fonksiyonunun belirlenmesinde değişkenlerin gerekliliğine önem verilmiş ve yeni bir hesaplama modeli önerilmiştir.

Wagdy G. (2003), öngerilmeli betonarme kiriş köprüler için çok kapsamlı bir tasarım yapmışlardır. Üstyapıda sürekli hareketli yüklere maruz olan iki basit açıklıktan oluşan bir yapı dikkate alınırken altyapı ise tek parça ve çok kolonlu bir yapı söz konusudur. Tasarımında AASHTO (2002) şartnamesini dikkate almışlardır. Çalışmalarında tasarım adımlarını özetleyerek ayrıntılı akış şemasını köprünün tüm elemanları çizmişlerdir.

Barakat vd. (2003, 2004), öngerilmeli beton kirişlerin güvenilirlik merkezli optimum tasarımına uluslararası yönetmelikleri ve ilgili kısıtlamaları da içeren genel bir yaklaşım sunmuşlardır. Yükleme, malzeme özellikleri, öngerme kuvveti ve yapısal performansın çeşitli aşamalarda tahmin edilmesi için kullanılan bu yaklaşım modelinde; ilk, son ve nihai aşamalar rastgele değişkenler olarak dikkate alınmıştır. Başlangıç ve son aşamalarda; gerilme, gerilme kayıpları, kesme mukavemeti, eğilme mukavemeti, çatlama momenti, çatlak genişliği vb. birkaç limit durum göz önünde bulundurulmuştur.

Akgül ve Frangopol (2004) tarafından yapılan çalışmada sınır durum denklemleri, rastgele değişkenler, gerçek belirleyici parametreler ve sabit katsayılar olmak üzere dört kategoriden oluşan, mevcut olan öngerilmeli beton köprülerin kullanım süresi boyunca performans analizini gerçekleştirmek için bir yöntem oluşturmuşlardır. Çalışmalarında sadece kirişler ve tabliyeleri dikkate almışlardır. Geliştirdikleri bu yöntem mevcut yedi köprüye uygulanmıştır.

Tuan vd. (2004), öngerilmeli kirişlerde analitik ve deneysel çalışmalar yaparak mesnet bölgelerinde oluşan çatlakların oluşumunu incelemişlerdir. Sonuç kısmında, çatlak oluşumunun azaltılmasına yardımcı olabilecek önerilerde bulunmuşlardır.

Du ve Au (2005), 25-40 metre arası açıklığındaki basit mesnetli ve T kesitli ardgerme beton kirişlerin Hong Kong (1997), Çin (1991) ve AASHTO LRFD (1998)

olmak üzere 3 farklı yönetmeliğe göre tasarımını yaparak, bu yönetmeliklerin karşılaştırmasını yapmışlardır.

Chu vd. (2005), reaktif toz beton, metal boru, öngerilmeli betonarme boru ve normal beton boru da dahil olmak üzere mevcut basınçlı borular için emniyetli çalışma problemini çözmek amacıyla optimum tasarım çalışması sunmuşlardır. Ön gerilmeli ve yüksek dayanımlı beton boruların en uygun modelleri yapı optimizasyon yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Optimizasyon sırasında; boru maliyeti ve gerilmeler sırasıyla nesne fonksiyonu ve kısıtlama koşulu olarak tanımlanmıştır. Tasarım değişkenleri olarak boru kalınlığı ile kasnak takviye aralığı seçilmiştir.

Akoğul (2007), yaptığı yüksek lisans tezi çalışmasında AASHTO (2002)'ya göre Türkiye'de bulunan prekast kirişli betonarme köprülerin ve viyadüklerin depreme dayanıklı tasarımına ilişkin durumlar incelenmiştir. Köprü tasarım aşamalarındaki belirsizlikler açıklanmaya çalışılırken, AASHTO koşullarının uygulanması aşamasında karşılaşılan sorunlara çözümler geliştirilmiştir. Yapılan çalışmada, elastomer mesnetlerin modellenme biçiminin tasarım aşamasında deprem davranışına olan etkisine odaklanmıştır. Gerçek bir köprü örneği üzerindeki elastomer mesnetlerin etkileri incelenmiştir. Basit, elastomerli ve elastomersiz olarak üç ayrı model çözülmüştür.

Uluğ (2008), ülkemizde, köprü ve viyadüklerin tasarımı için güncel bir yönetmelik olmadığını, yapılan tasarımların ise yurt dışındaki yönetmeliklerin kendi ülkemizin şartlarına uyarlanmasıyla yapıldığını bildirmiştir. AASTHO-LRFD (1998) yönetmeliği tasarım kriterleri hakkında detaylı bir bilgilendirme yaparak AASHTO (1996) yönetmelik kriterlerine göre tasarlanmış bir köprüyü, AASHTO-LRFD yönetmeliği ile tasarlayarak incelemiş ve tasarım sonucunda öngerme kablo ve donatı miktarının arttığını belirtmiştir.

Sarsık (2008), köprü üstyapısında kullanılan farklı tiplerdeki 9 tip öngerilmeli prefabrik I kesitli köprü kirişinin değişen köprü açıklıklarında hesaplayarak efektif olarak kullanıldıkları açıklıkları bildirmiştir. Çalışmada 4 şeritli ve 22,50m genişlikli bir köprü ele alınmıştır. Öngerme kablolarının zamana bağlı öngerilme kayıpları hesaplanarak, dört farklı yükleme safhası sonucu kesitlerde oluşan asal gerilmeleri emniyet gerilmeleriyle kontrol etmiştir. Öngerme kablosu sayısının artmasıyla çeşitli açıklıklardaki öngerme kayıplarının değişimini incelemiştir.

İbrahim ve Mübarak (2010) çalışmasında simetrik statik yüklemeye maruz öngerme betonarme kirişli köprünün ANSYS programıyla, sonlu elemanlar metodunu kullanarak modelleme yapmış ve sonuçlarını deneysel sonuçlarla kıyaslamışlardır.

Dlouhy vd. (2010), sundukları çalışma kapsamında ön gerilmeli yapıların otomatik optimizasyonuna yönelik bir durum değerlendirmesi yapmışlardır. İlgili yöntem, Scia Engineer isimli bir yazılımın özel bir modülünde uygulanmıştır. Öngerme kablolarının optimum şekli ile sayılarının birlikte bulunmasının, çözümün yakınsaması açısından oldukça karmaşık bir durum oluşturduğu belirtilmiştir.

Marti vd. (2010), öngerilmeli beton yaya köprülerinin ekonomik optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Köprüler, U kesitinde bir prekast kirişe, 3 m ila 6 m arasında genişliğe ve 20 m ila 40 m arasında açıklığa sahiptir. Seçilen örnekte; kiriş ve levhanın geometrisi, malzeme özellikleri ile aktif ve pasif takviye için 59 farklı tasarım değişkeni bulunmaktadır.

Aydın ve Ayvaz. (2010), öngerilmeli beton köprü kirişlerinin genetik algoritmaya dayalı kesit şeklini optimize etmek üzerine çalışmışlardır. Kirişlerin maliyeti optimum tasarım kriteri olarak belirlenmiştir. Tasarım değişkenleri olarak; prefabrik öngerilmeli kirişlerin enine kesit boyutları, öngerme çeliğinin kesit alanı ve köprü kesiti içindeki kirişlerin sayısı belirlenmiştir. Tasarım aşamasında gerilme, yer değiştirme ve geometrik kısıtlamalar dikkate alınmıştır. Analizler sırasında, yükleri hesaplarken ve öngerilmeli kirişleri tasarlarken AASHTO dikkate alınmıştır.

Tadros vd. (2010), öngerilmeli kirişlerde oluşan çatlakların, ABD’de bulunan farklı yönetmeliklerdeki önerilerini irdelemiş ve çatlakların oluşmasının neden olduğu mekanizmaları açıklamışlardır. Kirişe yerleştirilen öngerme kablolarının düzeninin bu mekanizmalardan biri olduğunu vurgulamışlardır.

Rizkalla vd. (2011), öngerilmeli kirişlerde, zamana bağlı öngerilme kayıpları, üretimdeki değişkenler ve değişken beton özelliklerini dikkate alarak meydana gelen sehimin belirlenmesi için bir yöntem önermişlerdir

Wang vd. (2012), öngerilmeli kompozit kutu kirişlerde tasarım özelliklerine bağlı kesit optimizasyonu üzerine çalışmışlardır.

Ahsan vd. (2012), öngerilmeli betonarme prekast kirişli köprülerin uygun tasarımına ait bir optimizasyon yaklaşımı sunmuşlardır. Çalışmada; malzeme, imalat ve montaj maliyetleri göz önünde bulundurularak yapının toplam maliyetini en aza indirmek hedeflenmiştir. Özel bir kiriş açıklığı ve köprü genişliği için, köprü sisteminin maliyetini en aza indirmek amacıyla düşünülen başlıca tasarım değişkenleri; kiriş açıklığı, döşeme donatı miktarı, kesit boyutları, kablo sayısı ve yerleşimi olarak belirtilmiştir.

Aydın ve Ayvaz. (2013) yaptıkları bu çalışmada, çok açıklıklı köprülerin en uygun açıklık sayısını ve optimum kesit özelliklerini belirlemek amacıyla öngerilmeli beton köprülerin genel maliyet optimizasyonu araştırılmıştır. Öngerilmeli kirişlerin açıklık sayısı, kesit boyutları ve Öngerme Çeliği alanı tasarım değişkenleri olarak kabul edilmiştir. Öngerilmeli Beton kirişler, iskeleler ve temeller, AASHTO'ya göre tasarlanmıştır. Köprünün toplam maliyeti optimize kriteri olarak alınmıştır. Bir bilgisayar programı, optimum tasarım gerçekleştirmek için kodlanmıştır ve uygulamadan sayısal örnekler tasarlanmıştır. Bu örneklerden biri bu yazıda kullanılmıştır. Genetik Algoritmanın, Öngerilmeli Beton köprülerin genel maliyet optimizasyonunda etkili bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Madhkhan vd. (2013) yaptıkları bu çalışmada, köprülerde basit ve eklenmiş ön gergili kirişlerin tasarım değişkeninin optimum değerlerinin belirlenmesi, tüm yapının kullanım ömrü maliyeti dikkate alınarak ele alınmaktadır. Bu amaçla, FORTRAN ile, OBPB adlı bir program yazılmıştır. Kullanım ömrü maliyetini başlangıç maliyetinden biraz daha fazla olmasına rağmen, yaşam döngüsü maliyetinin optimizasyonu daha ekonomik olduğu belirtilmiştir. Kullanım ömrü hesaplayan ve optimum bir tasarım sağlayan basit ve birleştirilmiş ön gergili köprü kirişlerini analiz edebilen bir program geliştirilmiştir.

Guo vd. (2014), geniş açıklıklı köprüleri ve hizmet süresini göz önüne alarak, ana açıklığın eğilmesi sorununu. öngerilmeli donatının tasarımını matris yöntemiyle optimize ederek tendon grubuna ek eğilme momenti etkisi incelemiştir.

Colajanni vd. (2014), öngerilmeli kirişlerde eğilme ve kesme kuvveti etkisinde betonarme donatısının dizilimi hakkında önerilerde bulunmuşlardır. Mevcut bir öngerilmeli köprü seçilerek daha ucuz ve uygun bir dizilim belirlemişlerdir.

Yapar vd. (2015), lineer olmayan öngerilmeli kiriş analizi üzerine çalışmışlardır. Dikkat edilmesi gereken hususlar üzerinde durmuşlar ve kirişlerde meydana gelen çatlakları açıklamaya çalışmışlardır.

Wang vd. (2014) gerçekleştirdikleri bu çalışmada, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak otomatik olarak en uygun gerilme ve kopma modellerini üreten öngerilmeli beton kirişler için performans dayalı optimizasyon yöntemini sunmuştur. Önerilen yöntemin geçerliliğini değerlendirmek için 9 adet öngerilmeli kiriş üretilmiştir. Yöntemin tahminleri, literatürdeki öngerilmeli kirişlerin 9 örneği ve diğer mevcut test sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Quaranta vd. (2014) çalışmasında, özel diferansiyel evrim temelli bir teknik kullanarak öngerilmeli beton kirişlerin maliyetinin en aza indirilmesi ile ilgilenmiştir. Optimum tasarım, mevcut Avrupa bina kurallarına uygun olarak formüle edilen kısıtlamaların varlığında tek amaçlı optimizasyon problemi olarak ortaya çıkmıştır. Tasarım değişkenleri, kesitin şeklini ve öngerilme çeliğinin miktarını tanımlayan geometrik boyutları içermiştir.

Afey vd. (2016), öngerilmeli prekast kirişlerin hatalı taşıma, bölgesel hasar ve kullanıma bağlı oluşabilecek dayanım kayıplarını karbon fiber takviyeli polimerlerle güçlendirilmesini incelemişlerdir.

Bendtsen ve Sanjayan (2016), yaptıkları bu çalışmada öngerilmeli betonarme kirişlerin kesme kapasitesini arttırmak için çelik liflerin kullanılmasına dair bir çalışma yapmıştır.

Ivashenko (2016) betonarme yapıların imalatında öngerilme değeri, normal değerler olarak önerilen maksimum ve minimum değerler sınırları dahilinde keyfi olarak verildiğini belirtmiştir ve bunun optimize edilmesi maksadıyla algoritma oluşturmuştur.

Gao vd. (2017), gerçekleştirdikleri bu çalışmada, öngerilmeli betonarme köprülerde verimli bir tasarım elde edebilmek için çok parametrelili bir optimizasyon tekniği önerilmiştir. Bu optimizasyon tekniğinde tasarım değişkenleri olarak, kirişteki öngerilme tendonlarının sayısı, kablo kuvvetleri, kablo alanları ve kirişlerin ve kulelerin enine kesit boyutları olarak belirlenmiştir. Basınç ve yer değiştirme kısıtlamaları, yapının güvenliğini ve hizmet verilebilmesini sağlamak için aynı anda kullanılmıştır.

Bonopera vd. (2017), öngerilmeli kirişler üzerinde öngerilme kuvvetinin kirişin doğal frekansı üzerindeki etkisini incelemek için serbest titreşim testleri gerçekleştirmişler

Kim vd. (2017), yaptıkları çalışmada ön gerilmeli kompozit kirişlerin performansını tahmin etmek için anlık ve zamana bağlı ön germe kayıplarını öngören mevcut denklemlerin kullanılabilir olup olmadığını göstermişlerdir.

Pino vd. (2017), yaptıkları çalışmada öngerilmeli beton kirişlerin darbeye bağlı taşıt hasar onarımındaki etkinliğini sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir.

Toydemir vd. (2017), yaptıkları bu çalışmada dört köprünün sismik performans seviyelerini, ortam titreşim testine dayalı sonlu eleman modellemesini kullanılarak belirlemişlerdir. Çalışmada, sonlu eleman modellemesi, analitik modal analizler, ortam titreşim testleri ve köprülerin deprem analizleri yer almaktadır. Örnek olarak, Ankara-Sivas

hızlı tren hattı için inşa edilen dört adet öngerilmeli prekast I kirişli köprü seçilmiş olup, bu köprüler üzerinde analitik ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Al-Sherrawi vd. (2018), öngerilmeli prekast kirişlerin derz bölgelerinde farklı epoksi malzemeleri kullanarak bu bölgelerin statik test serileri sonucu yapısal davranışlarını incelemiştir.

Anania vd. (2018), öngerilmeli bir köprüde korozyonun etkisi ve öngerme kablo tasarım hatasına bağlı olarak bir araştırma yapmışlardır.

Brandes ve Kurama (2018), prekast/öngerilmeli beton yapılarda doğal agregalar yerine geri dönüştürülmüş beton agregalar kullanarak belirli dönemlerdeki öngerilme kayıpları ile oluşan sehim değerlerini incelemiştir.

Penades-Pla vd. (2018), yaptıkları çalışmada öngerilmeli prekast köprüyü maliyet açısından optimize ettikten sonra köprünün çevresel koşullar altındaki kullanım ömrünün değerlendirilmesini yapmışlardır.

1.3. Tezin Amacı ve İçeriği

Literatür araştırması kısmında, öngerilmeli betonarme kirişlerinin tasarımında kullanılan farklı şartnamelerin birbiriyle kıyaslanması, kirişlerin çalışma prensiplerinin daha iyi anlaşılması adına yapılan çalışmaları ve en uygun tasarımı yakalayabilmek adına farklı yöntemlerle optimizasyonu elde etmek için yapılan çalışmalara değinilmiştir. literatür çalışmalarında görülmüştür ki, optimizasyonu elde etmek adına yapılan çalışmalarda hangi şartname ve ya teknik kullanılırsa kullanılsın optimizasyon kirişin en kesiti üzerinden saptanmaya çalışılmıştır.

Literatüre katkı sağlayacağı düşünülen bu tez çalışmasında; daha önce yapılan çalışmalarda olduğu gibi farklı en kesitte elemanlar üreterek farklı elemanların üretilmeye çalışılmasından ziyade, fabrikalarda üretilen 7 adet farklı ebattaki öngerilmeli kirişin, farklı öngerilme halatları altındaki kullanıldıkları minimum ve maksimum mesafenin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda hazırlanan tez üç bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde genel bilgiler üzerinde durulmakta, konuyla ilgili daha önce yapılmış çalışmalara yer verilmekte ve konunun önemi vurgulanmaktadır. Ayrıca öngerilmeli betonarme kirişlere ait genel bilgilere, öngerilme kuvvetinin hesabının temel ilkeleri ve öngerilme kayıplarının hesabı ile ilgili denklemlere de yer verilmektedir.

İkinci bölümde, tez kapsamında yapılan çalışmalar ve bu çalışmalardan elde edilen bulgular sunulmaktadır. Öncelikle seçilen kirişlerin ebatları gösterilmiştir. Seçilen ebatlara uygulanabilecek öngerilme halatları belirlendikten sonra kullanım amacına göre yaya ve araç köprüleri için her bir öngerilme halatı ile geçilebilen maksimum ve minimum mesafeler üç farklı analizle belirlenmiştir. Üç grupta yapılan analizlerin elle hesap sonuçları verildikten sonra SAP2000 programıyla sonlu eleman modelleri oluşturulup elde edilen sonuçlar, elle yapılan hesaplamalar ile elde edilen sonuçlarla kıyaslanarak tablolarda sunulmaktadır.

Üçüncü bölümde, tez çalışmasından elde edilen sonuçlara ve yapılan önerilere yer verilmektedir. Bu bölümü kaynaklar ve özgeçmiş izlemektedir.

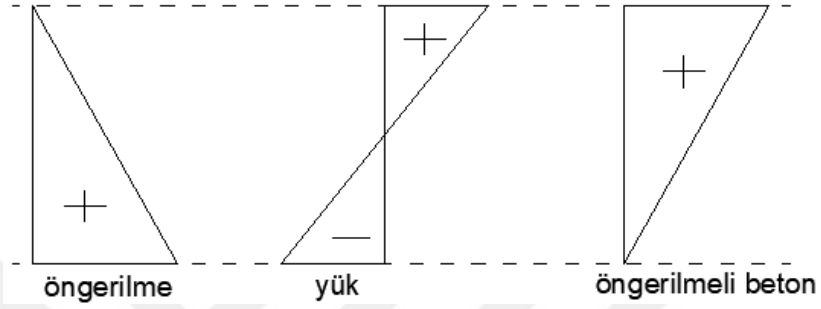
1.4. Öngerilmeli Beton

1.4.1. Genel

Öngerilme, bir sistem ya da yapıda, performans artırımı sağlamak amacıyla yapılan kalıcı iç kuvvetlerin oluşturulması işlemidir. Betonun çekme dayanımının basınç dayanımına oranla çok daha küçük olması gerçeğinden dolayı, dış yüklerin neden olduğu iç kuvvetleri azaltmak maksadıyla bu kuvvetler uygulanmaktadır. Öngerilmeli beton, elemana gelen yüklerin etkisini, çeliğin gerilmesi ile istenilen şekilde dengelenen betondur (ÖYHYK, 1979).

Betonarme yapı elemanlarında, donatı hesap çekme dayanımının daha yarısına ulaşmadan, betonun çekme dayanımının düşüklüğünden kaynaklanan çekme bölgesinde çatlamlar meydana gelir. Çatlaklar kabul edilebilir sınırlar içinde olsa dahi bu durum donatıyı korozyona uğratar. Betonarmenin bu eksikliğini giderilmesi için, kesitte hiç çekme gerilmesinin olmaması veya oluşan çekme gerilmelerinin çatlamaya olanak vermeyecek kadar küçük kalması istenmektedir. Bu ancak, kesitin çekme gerilmesi oluşması beklenen bölümüne bir ön yükleme ile basınç gerilmesi verilmesiyle mümkündür (Özden vd., 1994). Dolayısıyla betonarme bir kesitte tarafsız eksen altındaki bölge normal gerilmeler bakımından etkisiz olduğu için, özellikle kendi ağırlığından dolayı geniş açıklıklarda ekonomik olmamaktadır. Öngerilmeli beton ise özellikle geniş açıklıklarda kullanılabilmekte ve kesit boyutlarında önemli tasarruflar sağlamaktadır (Ofazoğlu, 2007).

Basit mesnetli bir kirişin açıklık ortasında dış yüklerden meydana gelen çekme gerilmesinin, kirişe bir öngerilme verilmek suretiyle ortadan kaldırılması Şekil 1.1’de şematik olarak gösterilmiştir. Bu şekilden de anlaşılacağı üzere, basit kiriş açıklık ortasında dış yüklerin etkisiyle kesit alt bölgesinde çekme gerilmeleri meydana gelmektedir. Bu kirişe öngerilme yöntemiyle bir kuvvet verildiğinde, çekme gerilmelerinin ortadan kaldırıldığı görülmektedir.



Şekil 1.1. Öngerilmeli basit kirişin açıklık ortasındaki gerilme dağılımı

Öngerilmeli betonun bazı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Başlıca avantajları şöyle sıralanabilir (Öztürk vd., 2014);

- a) Daha narin veya küçük olan kesitlerle büyük açıklıkların geçilebilmesi sağlanır.
- b) Genellikle üretimi bir tesiste yapıldığı için üretimin her aşamasını denetleme yapmak mümkündür. Böylece daha uzun ömürlü ve daha kaliteli elemanlar üretilir.
- c) Çatlakların önlenmesi veya izin verilen sınırlar içerisinde tutulabilmesiyle yapının ekonomik ömrü uzatılır.
- d) Sadece çatlamamış kesitten ziyade kesitin tümü basınç gerilmelerine karşı koyduğundan, beton kesit daha verimli kullanılmaktadır.
- e) Aşırı yükleme oluşması halinde öngerilme donatısındaki birim deformasyonlar %0.01 değerini geçmediği takdirde oluşan tüm çatlaklar aşırı yükler ortadan kalktığında yeniden kapanır.
- f) Öngerilme diyagonal çekme gerilmelerini azaltmaktadır. Kabloların eğimli yerleştirilmesi halinde kesme gerilmelerini azaltılacağından daha narin kesitler kullanmak mümkün hale gelir. Böylece elemanın kendi ağırlığı azalarak maliyeti düşerken taşıma ile yerleştirme aşamasında da kolaylık sağlanmış olur.

- g) Öngerilme donatısının titreşim boyunun küçük olmasından dolayı yorulma dayanımı büyük olmaktadır. Böylece yorulmaya bağlı çatlakların oluşması engellenir veya küçük kalması sağlanır.
- h) Şekil değiştirmeler ve yer değiştirmeler kullanım yüklerinde küçük kalmaktadır.
- i) Öngerilmeli beton inşaat süresinin kısalığından dolayı ekonomi sağlar.
- j) Özellikle köprü inşaatlarında I, T ya da sandık kesitli geniş başlıklı elemanlar kullanılması inşaat sırasında iskele ve kalıp kurulmasını ortadan kaldırır veya en aza indirirken gerekli çalışma alanını da sağlamaktadır.
- k) Yerinde dökme beton kullanılan köprü inşaatlarında karmaşık ya da büyük geometriye sahip kavşakların yapımı kolaylaşmaktadır.
- l) Her türlü estetik görünüş kolayca sağlanabilir.

Dezavantajları ise şöyledir;

- a) Çeliğe nazaran en büyük dezavantajı elemanların kendi ölü ağırlığıdır. Ancak yüksek dayanımlı betonların üretimiyle bu olumsuzluğun ortadan kaldırılması mümkündür.
- b) İşçilik ve malzeme bakımından daha hassastır.
- c) Öngerilme kayıpları önemli bir problemdir ve mutlaka dikkate alınmak zorundadır.
- d) Bazen yapı ya da eleman onarılamayabilir.

1.4.2. Öngerilme Yöntemleri

Öngerilmeli beton; kimyasal öngerilme yöntemi, önceden germe (öngerilme) yöntemi ve sonradan germe (ardgerme) yöntemi olmak üzere üç kısma ayrılmaktadır.

1.4.2.1. Kimyasal Öngerilme

Kimyasal öngerilme, betonun sertleşmesi sırasında büzülme yerine genişmesi özel çimentolar kullanılarak meydana getirilmesi işlemidir. Betonun öngerilme donatısı yerleştirilmiş olan bölümleri, donatı ile beton arasındaki aderans nedeniyle genişlemeyecektir. Bu durum; donatıda çekme meydana getirirken, betonda ise basınç gerilmesi oluşturacaktır. Bu yöntem, genişleme yönünün öngerilme verilecek yön dışında

gerçekleşebilmesi ve genişlemenin kontrol edilememesinden ötürü çok fazla kullanılmamaktadır (Öztürk vd., 2014).

1.4.2.2. Öngerilme

Öngerilme, beton dökümünden önce öngerilme çeliğinin çekilmesi işlemidir (ÖYHYK, 1979). Bu yöntemde, belirli sayıdaki öngerilme halatları gerilerek ankrajlanır. Beton gerilme işlemi yapılmış bu halatların içine dökülür. Belirli bir mukavemete ulaşıncaya kadar bakımı yapılarak halatlar serbest bırakılır. Beton ile donatılar arasındaki aderans donatının kısılmasına engelleyeceğinden dolayı beton bir basınç gerilmesi ile yüklenir (Ortaç, 2017).

Öngerilme elemanlarda donatıların çapının küçük seçilmesi beton ile donatı arasındaki aderansın mümkün olduğunca çok olması için daha uygundur (Ali, 2010).

1.4.2.3. Ardgerme

Ardgerme, öngerilme çeliğinin beton dökümünden ve yeterli dayanıma ulaşmasından sonra gerilmesi işlemidir (ÖYHYK, 1979). Bu yönetime göre, öngerilme donatılarının gerilme işlemi gerçekleşmeden önce betonunun dökülme işlemi gerçekleştirilir ve yeterli mukavemeti kazanması istenir. Beton dökümü işlemi gerçekleşmeden önce ince cidarlı borular (kılıf) yerleştirilir. Donatılar bu borulara serbest bir şekilde veya beton belirli bir mukavemet kazandıktan sonra yerleştirilebilirler. Halatların gerilmesinden sonra ve ankrajlanma işlemi yapılarak özel bir harç ile kılıflar ile donatılar arasındaki boşluklar doldurulur. Bu harç, donatı ile donatıyı çevreleyen betonun aderansını sağlamış olur.

1.4.3. Öngerilmeli Beton

1.4.3.1. Beton

Öngerilmeli betonarme elemanlarda kullanılan betonun özellikleri aşağıda verilmektedir;

- **Agrega:** Yıkanmış, dayanıklı, temiz ve yuvarlak agrega kullanılmalıdır. Uygun agrega temini zor olduğu durumlarda ise eleme, yıkama ve uygun granülometrenin sağlanması koşuluyla kırma taş kullanılabilir.

- **Çimento:** Çimento olarak portland çimentosu kullanılmalıdır. Beton üretiminde kullanılacak olan agreganın maksimum tane çapı, donatıların arasındaki mesafeye, kalıp en kesit boyutlarına göre değişmekle birlikte, 20 ila 25 mm'yi asla geçmemelidir. Tercih olarak 16 mm çaplı agrega tercih edilmeli ve düzgün bir geometriye sahip olmalıdır.

- **Katkı Malzemeleri:** CaCl_2 kullanılması kesinlikle istenmemektedir. Mineral katkılarda ise alkali-agrega reaksiyonun oluşmasına izin verilmeyecek şekilde dikkat edilmeli, kimyasal ve mineral katkıları beton ve öngerilme çeliğine zarar vermeyecek şekilde tercih edilmelidir.

- **Su:** İçilebilir her su kullanılabilir.

1.4.3.2. Öngerilme Donatıları

Betonarme yapıların çekme gerilmesine karşı olan yetersizliği, günümüzde öngerilme yöntemiyle çekme bölgesine öngerilme elemanları konularak giderilebilmektedir. Öngerilmeli ve ya ardgermeli yapılarda kullanılan malzemeler aşağıda verilmektedir (Kozak, 2011);

- **Öngerilme Teli:** Düz ve kıvrık olan çeşitli çaplardaki yüksek dayanımlı çelik tellerdir.

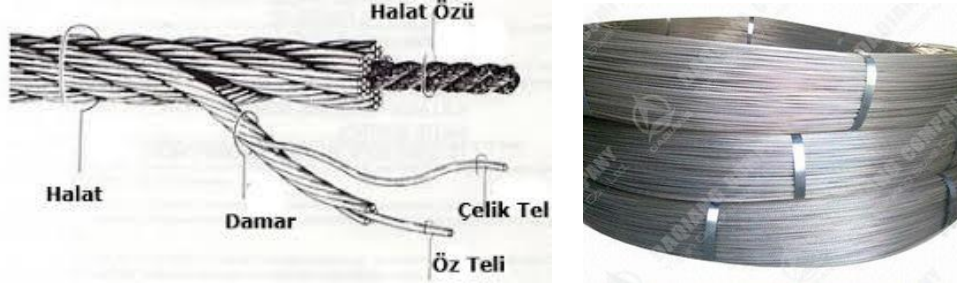
- **Öngerilme Çubuğu:** Çeşitli çaplarda üretilmiş yüksek dayanımlı özel alaşımlı çelik çubuktur.

- **Öngerilme Toronu:** Bir veya birden fazla telin veya en az iki telin birbirine sarılmasıyla elde edilmiş örgüdür.

- **Öngerilme Çeliği:** Donatı olarak kullanılan; tel, toron, çubuk veya bunlardan oluşan kablodur.

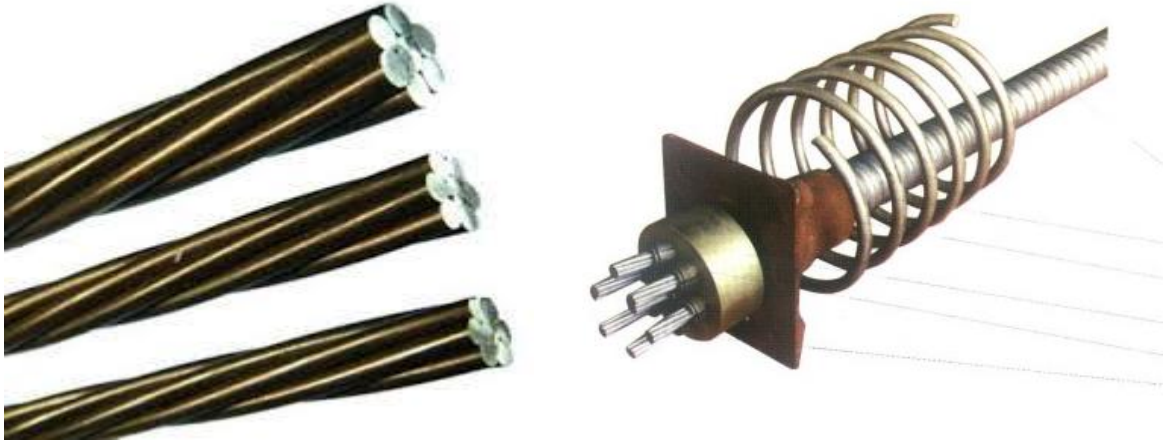
- **Öngerilme Kablo:** Tel, toron veya çubukların grup olarak kullanılmasıdır. Bu kablolar ard çekme yöntemlerinde kullanılır.

- **Kılıf:** Ardgerme yönteminde, öngerilme halatlarını yerleştirmek için, öngerilme donatısının geçeceği yörüngede boşluk bırakmakta kullanılan metal yada plastik borulardır.



Şekil 1.2. Sırasıyla öngerilme halatı ve öngerilme çubuğu [Hüsem, 2016, URL-2]

- Ankraj Kilidi: Kesme işleminden sonra öngerilme kablosunun içeri kaçmasını engellemek için üretilmiş ve yerine konmuş ayardır.
- Öngerilme Verme Aygıtı: Öngerilme vermek için kullanılan aygıtlardır.



Şekil 1.3. Öngerilme torunu ve ankraj kilidi [Hüsem, 2016,]

1.4.3.3. Öngerilmeli Betonda Malzeme Özellikleri ve Dayanımları

Öngerilme uygulanacak elemanlarda C35 üzerindeki dayanıma sahip betonların kullanımı tavsiye edilmektedir. Poisson Oranı öngerilmeli beton için 0.20 olarak dikkate alınır. Su/çimento oranı ise 0.55'i aşmamalıdır (Ali, 2010). Beton dökümü esnasında betonun segregasyona uğratılmadan dökülmeli, betonun sıkıştırılması esnasında öngerilme elemanlarının etrafında boşluk kalmayacak şekilde sıkıştırıldığına dikkat edilmelidir. Sıkıştırılma sırasında kılıflara zarar verilmediğinden emin olunmalı ve yerinden oynatmamaya özen gösterilmelidir.

Öngerilmeli beton elemanları ile kullanılacak olan teller için, yaygın olarak 5 mm ve 7 mm çapındaki teller kullanılmaktadır. Öngerilme çeliklerinin çekme gerilmeleri $f_s=1600-1800$ MPa arasında değişmektedir. Öngerilme işleminde kullanılan toronlar 2, 3 veya 7 telin birbiriyle sarılmasıyla elde edilen demetlerdir. En yaygın olarak 7 telli toron kullanılmaktadır.

1.4.4. Öngerilme Hesabı

TS 3233 (ÖYHYK, 1979)'te, mesnet ve açıklığa, öngerilme eleman tipine, öngerilme verilmesine göre değişik sınır gerilmeler verilmiştir. Öngerilme aktarımı sırasındaki sınır değerler, basınç durumunda; fabrikada yapılan elemanda $0.60 f_{ck}$, şantiyede yapılan elemanda $0.55 f_{ck}$ 'dir. Çekme durumunda ise; birbirine eklene parçalar halinde imal edilen elemanların bağlantı noktalarında $0.60 f_{ck}$, basit mesnetli elemanların mesnet bölgelerinde $0.50 \sqrt{f_{ck}}$, diğer elemanlarda $0.50 \sqrt{f_{ck}}$ olmalıdır. Kullanım yükleri altında izin verilen gerilmeler ise basınç durumunda; köprü elemanlarında $0.40 f_{ck}$, diğer yapı elemanlarında $0.45 f_{ck}$ 'dir. Çekme durumunda ise birbirine eklenen parçalar halinde imal edilen elemanların bağlantı noktalarında 0, çekme bölgesinde ek donatı kullanıldığı, sınırlı öngerilme uygulamasında, sehim değerlerinin öngörülen sınırı aşmadığının kanıtlandığı durumda $1.0 \sqrt{f_{ck}}$ alınır.

Öngerilme donatısında sınır değerleri, geçici yükleme olan başlangıç değerleri ile sürekli olan kullanım yükleri durumunda da aşılmamalıdır. Öngerilme donatısına verilecek en yüksek öngerilme değeri $0.8 f_{pk}$ olmalıdır. Aktarmadan sonra oluşacak çekme gerilmesi ise $0.7 f_{pk}$ olmalıdır.

1.4.5. Öngerilme Kayıplarının Hesabı

Öngerilme kayıpları, ani kayıplar olabileceği gibi zaman içerisinde de ortaya çıkabilen kayıplardır. Kısa dönem öngerilme kayıpları şu şekilde sıralanabilir:

- 1) Ankraj kayıpları
- 2) Beton elastik kısalması nedeniyle oluşan kayıplar

- 3) Sürtünme kayıpları
- 4) Sünme ve rötre kayıpları
- 5) Donatıda gerilme kayıpları (Relaksasyon)

Ayrıca öngerilme kablo kuvvetinde zamana bağlı kayıplarda oluşur. Bu kayıplar uzun süreli kayıplar olarak adlandırılmaktadır.

1.4.5.1. Ankraj Kayıpları

Bu tür kayıplar, kullanılan ankrajların uygun olmaması durumunda, ankraj bloğu veya kilit sisteminde aşınma olduğu durumlarda gerçekleşmektedir. Bu nedenle, öngerilme işleminde kullanılmakta olan cihazların kilit sistemindeki dişlerinin, hesaplanan öngerilme kuvvetini karşılayacak düzeyde olması gerekmektedir.

1.4.5.2. Betonun Elastik Kısılması Nedeniyle Oluşan Kayıplar

Bu tür kayıplar, öngerilme işlemi uygulandıktan sonra öngerilme çeliğindeki gerilmenin betona aktarılması sonucu oluşur. Öngerilme kuvveti betona uygulandığında, betonda elastik sınırlar içinde kaldığı kabul edilen bir kısalma oluşur. Bu kısalmaya bağlı olarak göre, uygulanan öngerilme kuvvetinde bir azalma meydana gelir. Bu kayıp denklem (1.1) de verilen bağıntı ile ifade edilebilir:

$$ES = \frac{E_s}{E_{ci}} f_{cir} \quad (1.1)$$

Ardgermeli elemanlarda ise tüm kabloların aynı anda çekildiği varsayıldığından herhangi bir elastik kısalma olmadığı kabul edilir. Ancak ardgerme uygulanan sistemlerde kablolar genellikle aynı anda çekilemezler, bu nedenle her bir kablonun çekilmesinden dolayı diğer kabloda belirli bir seviyede gerilme kaybı meydana gelir.

1.4.5.3. Sürtünme Kayıpları

Sürtünme kayıpları sonradan gerilme uygulanarak üretilen elemanlarda kayıpların önemli bir kısmını oluşturur. Bu kayıplar kablonun şeklinde ve yerel eğriliklere bağlıdır.

Elemanın davranışına bağlı olarak kablonun şeklindeki eğrilik tasarım aşamasında belirlenir. Yerel eğrilikler ise, kılıfın yerleştirilmesi aşamasında yapılan hatalardan kaynaklanan istenmeyen eğriliklerdir. Bazı nedenlerle önlenemeyen bu istenmeyen eğrilikler için, farklı kılıf ve tel tiplerine bağlı olarak eğrilik sürtünme katsayıları verilmiştir. Bu değerler gözlemlere ve deneylere dayalı yaklaşık eğrilik değerleridir. Eğrilik sürtünme katsayılarının Tablo 1.1. verilen tablodaki değerler arasından seçilebileceği TS3233 (ÖYHYK, 1933)'de ifade edilmektedir.

Tablo 1.1. Çeliğin düzensizlik ve eğrilik sürtünme kayıpları

Aderans türü	Donatı türü	Düzensizlik katsayısı	Eğrilik sürtünme katsayısı
Spiral kılıf içinde enjeksiyonlu öngerme	Çelik teller	0.003-0.005	0.15-0.25
	Çubuklar	0.0003-0.002	0.08-0.30
	7 telli toron	0.015-0.006	0.15-0.25
Aderanssız öngerme çeliği	<i>Mastik kaplı</i> 7 telli toron	0.003-0.006	0.05-0.15
	<i>Önceden yağlanmış</i> 7 telli toron	0.001-0.006	0.05-0.15

Ankrajdan herhangi bir (x) uzaklığında kabloda meydana gelen gerilme, denklem (1.2) ile elde edilir (Ali, 2010).

$$f_x = f_0 e^{-\mu(\alpha + Kx)} \quad (1.2)$$

1.4.5.4. Sünme ve Rötire Kayıpları

Betonda rötre; çimento tipi, karışım oranı, kür tipi ve süresi, agrega tipi doğrudan etkilemektedir. Öngerilmeli betonarme elemanların fabrika koşullarında üretilmesi, daya iyi ve hassas bir üretim yapılmasına olanak sağladığından normal betona göre rötre daha az miktarda gerçekleşir. Rötire hesabı için bazı şekil değiştirme değerleri TS3233 (ÖYHYK, 1933)'de Tablo 1.2 deki gibi verilmektedir.

Tablo 1.2. Rötre birim şekil değıştirme değeri

Elemanlar	Kuru	Normal	Nemli ortam
Öngerme	500.10^{-6}	300.10^{-6}	100.10^{-6}
Ardgerme	350.10^{-6}	200.10^{-6}	70.10^{-6}

Bu değeri uzun süreli (1 yıl) değeriştir. Yük aktarma ve sonrası için bu değeriilerin yarısı veya $\frac{3}{4}$ 'ü dikkate alınmalıdır. Rötre kaybı, denklem (1.3) yardımcıyla hesaplanır.

$$\Delta f_{pSH} = E_{ps} \cdot \epsilon_{SH} \quad (1.3)$$

Rötre, AASHTO (2002)'da, 9.16.2.1.1'de verilen denklem (1.4) yardımcıyla hesaplanabilmektedir.

$$SH=117-1,03RH \quad (1.4)$$

1.4.5.5. Donatıda Gerilme Kayıpları (Relaksasyon)

Çelik bir tel veya kablo gerilme işlemi gerçekleştirilip uçlarından sabit olan iki noktadan bağlandığında, zamanla bir gevşeme meydana gelmektedir. Bu durum donatıda bir miktar gerilme kaybı oluşmasına neden olur. Bu gerilme kaybı donatıya uygulanan gerilme düzeyine ve zamana bağlıdır. Öngerilme çeliğinin gevşeme özelliğinden kaynaklanan bu gerilme kayıpları üretici firmalar tarafından belirlenmektedir. Çeliğın akma gerilmesinden daha düşük değerielerde gerilmesi durumunda zamanla oluşan gerilme kayıpları denklem (1.5) ile edilir:

$$1 - \frac{f_p}{f_{pi}} = \frac{\log t}{10} \cdot \left(\frac{f_{pi}}{f_y} - 0,55 \right) \quad (t \geq 1 \text{ saat}) \quad (1.5)$$

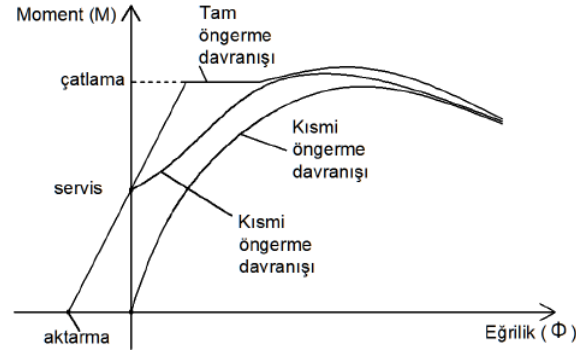
Burada $0,55 \geq \frac{f_{pi}}{f_y}$ olması durumunda kayıp yok sayılır. Bu kayıp AASHTO (2002)'da, 9.16.2.1.4 de denklem (1.6) ve denklem (1.7) deki şekilde verilmiştir.

$$CR_s = 138 - 0,4ES - 0,2(SH + CR_c) \quad (1.6)$$

$$CR_s = 34 - 0,1ES - 0,05(SH + CR_c) \quad (1.7)$$

1.4.6. Öngerilme Kuvvetinin Hesabı

Öngerilmeli elemanların gerilme analizi yapılabilmesi için, boyutlarının bilinmesi gerekmektedir. Eğilmeye maruz elemanlarda analizler, açıklık ve mesnette eğilme momenti etkisinde, elverişsiz durumlarda dikkate alınarak yapılır. Öngerilmeli kirişlerin analizi servis, çatlama, aktarma ve taşıma gücü olarak dört aşamada gerçekleştirilir. Bunlardan ilk üç aşamada kirişler elastik davranış gösterdiklerinden dolayı elastik malzeme kabulüyle yapılırken, dördüncü aşama ise taşıma gücü yaklaşımıyla yapılır. Eğer öngerilmeli elemana sınırlı bir öngerilme uygulanırsa çatlama aşaması servis aşamasından önce olabilir. Şekil 1.2.'de öngerilmeli ve betonarme bir kirişin davranışı görülmektedir.

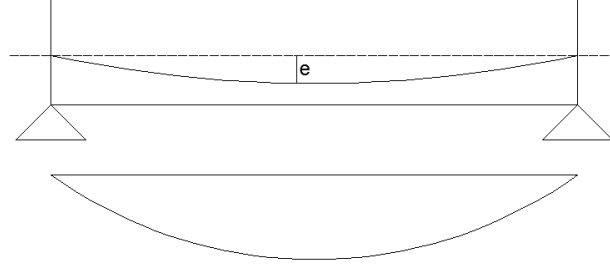


Şekil 1.4. Öngerilmeli ve betonarme bir kirişin davranışı (Hüsem, 2016)

Öngerilmeli bir elemanda önce öngerilme hesabı dikkate alınarak gerilme hesabı yapılır. Betondaki gerilme elastik olarak hesaplanır. Başlangıç ya da etkin öngerilme kuvveti “P” altında kesitin ortasında betonda oluşan gerilme denklem (1.8) de verilmiştir.

$$\sigma = (t) = \frac{P}{A} \quad (1.8)$$

Eğer betona bir “e” dış merkezliği ile öngerilme kuvveti etkiyor ise dış merkezlik etkisi de hesaplarda dikkate alınır. Bu durumda $P.e$ momentinden dolayı herhangi bir noktadaki gerilme denklem (1.9) daki gibi hesaplanmaktadır:

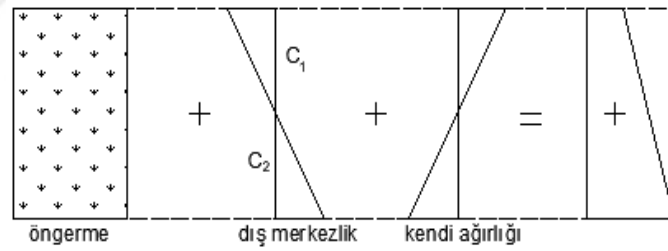


Şekil 1.5. Öngerilmeli elemanda dış merkezlik

$$\sigma = (t) = \frac{P}{A} + \frac{P.e}{I} y \quad (1.9)$$

Eğilme tasarımında dikkat edilmesi gereken 5 (beş) elverişsiz durum bulunmaktadır.

1. Öngerilme kuvvetinin betona aktarılmasının hemen sonrasında, başlangıç öngerilme kuvveti olan P_i ve kendi ağırlığının olduğu durum (Hüsem, 2016)

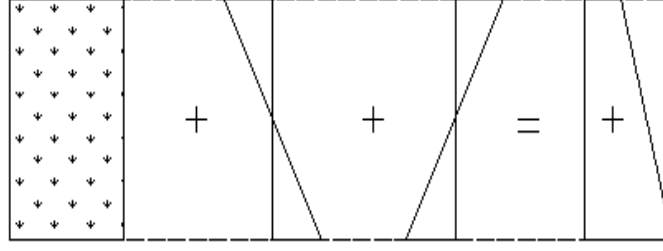


Şekil 1.6. Enjeksiyon işleminden önce dış merkezli kabloya sahip kiriş açıklığındaki gerilmeler

Bu durumda, öngerilmenin merkezde oluşturduğu ters sehim, dış merkezlik etkisi sonucu oluşan moment ve kiriş kendi ağırlığı dikkate alınarak toplam gerilmeler hesaplanmalıdır.

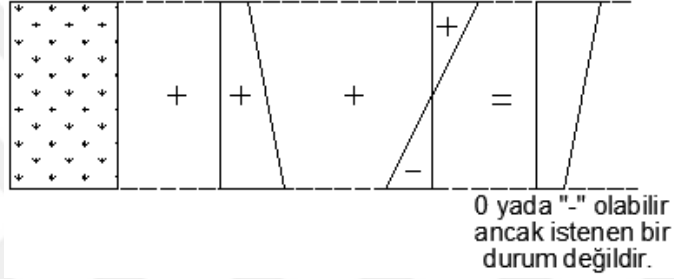
$$f_{1,2} = \frac{P_i}{A} \pm \frac{P_i.C_{1,2}.e}{I} \pm \frac{M_0.C_{1,2}}{I} \quad (1.10)$$

2. Öngerilme betona verildikten sonra elemana etkiyecek olan sabit yükler altındaki analiz durumu (Hüsem, 2016)



Şekil 1.7. Etkin öngerilme ile sabit yük altında gerilmeler

3. Elemanın işletme yükleri altındaki yani kullanıma hazır hale geldiği durumdur. Kayıpların göz önüne alındığı etkin (P_{et}) öngerilme ile işletme yükünün birlikte olduğu durumda genelde çekme gerilmelerine izin verilmez (Hüsem, 2016).

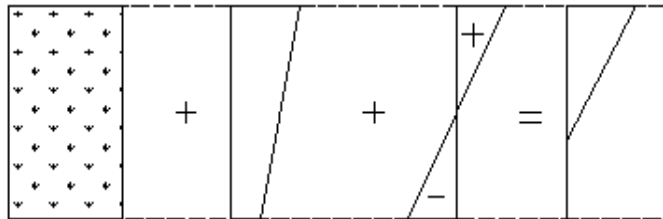


Şekil 1.8. Etkin öngerilme ile işletme yükü altındaki gerilmeler

Bu durumda kullanılması gereken formül (1.11) de verilmiştir.

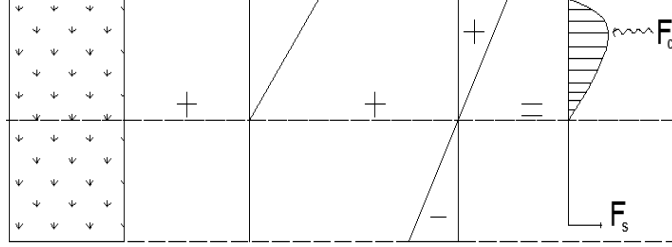
$$f_{1,2} = \frac{P_{et}}{A} \pm \frac{P_{et} \cdot e}{I} C_{1,2} \pm \frac{M_p C_{1,2}}{I} \quad (1.11)$$

4. Çatlama durumu, basit mesnetli kirişte artan yükler ile açıklık ortasındaki kesitin çekme lifinde (en dış lifinde) betonun çekme dayanımına ulaşıldığı sınır durumudur (Hüsem, 2016).



Şekil 1.9. Çatlama durumu

5. Taşıma gücü durumu, artan dış momente denk olarak kesitin en büyük momentidir (Hüsem, 2016).



Şekil 1.10. Taşıma gücü sınır durumu

En elverişsiz yüklemeden elde edilmiş olan tasarım momenti (M_d) değeri eğilme elemanlarındaki taşıma gücü momenti (M_u) değerinden daha küçük olduğu gösterilmelidir. Ayrıca, kesit çatlama momentide hesaplanarak, taşıma gücü momentinin çatlama momentinden %33 daha büyük ($M_u > 1.33M_{cr}$) olduğu gösterilmelidir. Elemanda güç tükenmesi ve çatlama bu durumda oluşmamaktadır (Hüsem, 2016).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Bu tez çalışmasında, öngerilmeli, betonarme yaya ve araç köprülerinin, farklı kiriş ve öngerilme kablo sayısı altında geçilebilecek en uygun mesafenin bulunması amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışmada, 7 farklı ebat kiriş seçilmiştir. Her kiriş için elle, SAP2000 programları ile çözüm yapılmıştır. Yapılan analizler üç grup olarak yapılmıştır. 1 nolu analiz sadece kendi ağırlığı altında çözümdür. Bu analiz yapılan hesapların doğruluğunu kontrol etmek için kullanılmıştır. 2 nolu analiz öngerilme kuvveti ve kendi ağırlığı altında kirişe verilen kombinasyondur. 3 nolu analiz ise kendi ağırlı, öngerilme kuvveti ve servis yükleri kombinasyonu altında yapılan analizdir. Limit değerleri 2 nolu analizde çekme gerilmesi 3.45 MPa iken basınç gerilmesi 18 MPa, 3 nolu analizde çekme gerilmesi 3.16 MPa iken basınç gerilmesi 18 MPa olarak alınmıştır.

2.2. Analizlerde Kullanılan Parametreler

Kirişlerde C40 beton kullanıldığı varsayılmıştır. Öngerilme kablo donatısı akma sınırı 1860 MPa, donatı alanı 140 mm² olarak dikkate alınmıştır. Öngerilme donatılarına 195.51 kN/m' lik öngerilme kuvveti verilmiştir. Analizlerde tabliye ağırlığı 5.972 kN/m, ilave kalıcı yükler 4.623 kN/m, yaya yükü 2.5 kN/m², araç yükü 10 kN/m² olarak alınmıştır. Tabliye yüksekliği 20 cm olarak alınmıştır.

2.3. Analizlerde Amaçlanan Sonuçlar

Yaya ve araç köprüleri için maksimum ve minimum açıklığın geçilmesi maksadıyla 2 tür analiz yapılmıştır. Maksimum açıklığın geçilmesi maksadıyla yapılan analizler, kirişin farklı öngerilme halatları kullanılması sonucu geçilebilecek maksimum mesafeyi bulmak maksadıyla yapılmıştır. Minimum açıklığın geçilebilmesi amacıyla yapılan analizler seçilen kirişin, farklı öngerilme halatları kullanılarak o yükler altında, kirişin olabilecek en kısa halini bulmak amacıyla hesaplanmıştır. Bu analizde kirişin öngerilme

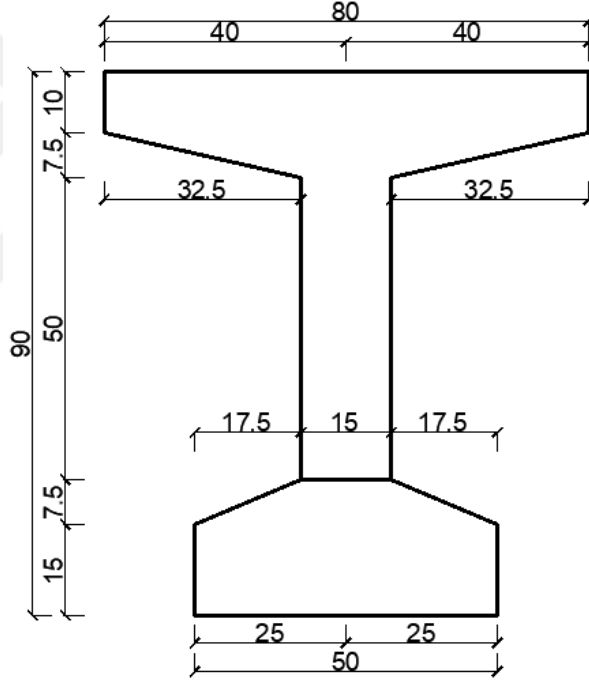
kuvvetinin sınır değerleri doğrultusunda kirişi minimum mesafede kullanımına müsaadesi tespit edilmiştir.

2.4. Analiz Sonuçları

2.4.1. Yüksekliği 90 cm Olan Öngerilmeli Prekast Kirişin Optimum Açıklığının Belirlenmesi

2.4.1.1. Kirişin Seçilmesi

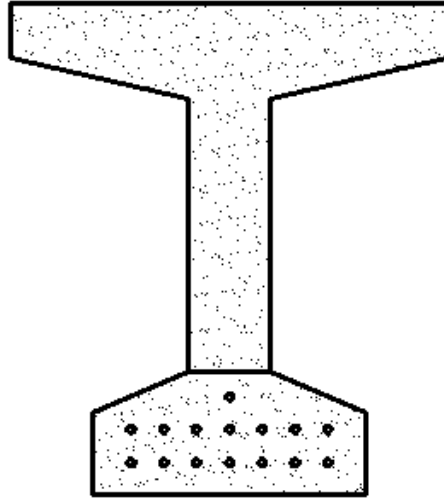
Seçilen kirişin boyutları Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. I 90 kirişi

2.4.1.2. Öngerilmeli Kiriş Kablolarının Sayısının Belirlenmesi

Öngerilme kablosu sayısı belirlenirken seçilen kiriş için 6 cm pas payı ve 6 cm kablolar arası mesafe olacak şekilde sınırlandırılmalara uyulmuştur. Bu sınırlandırmalar göz önüne alındığında I 90 kirişi için en alt sıra 7 orta sıra 7 ve üst sıra 1 olmak üzere 15 adet öngerilme kablosu kirişte mevcut olmuştur.



Şekil 2.2. Öngerilme kablolarının yerleştirilmesi

2.4.1.3. Gerilme ve Mesafelerin Elle Çözüm ile Belirlenmesi

- Yüksekliği 90 cm olan kiriş ile geçilebilecek maksimum açıklığın hesaplanması;

$$0.045L = \text{Kiriş yüksekliği} + \text{Tabliye yüksekliği} \quad (2.1)$$

$$0.045L = 90 + 20 \quad (2.2)$$

$$L = 24.44 \text{ m}$$

- Kirişin atalet momenti, kesit alanı, kirişlere gelen yayılı yükler ve eğilme rijitliği gibi değerlerin hesaplanması;

$$I = 0.030238 \text{ m}^4, y_{\text{alt}} = 0.487 \text{ m}, y_{\text{üst}} = 0.413 \text{ m}, A = 0.29 \text{ m}^2$$

- Kirişe gelen yüklerin hesabı;

$$q = 25 * A \quad (2.3)$$

$$q = 25 * 0.29 \quad (2.4)$$

$$q_{\text{yaya}} = 5.972 + 4.623 + 7.25 + (2.5 * 0.8) \quad (2.5)$$

$$q_{\text{araç}} = 5.972 + 4.623 + 7.25 + (10 * 0.8) \quad (2.6)$$

$$q = 7.25 \text{ KN} / \text{m}, q_{\text{yaya}} = 19.845 \text{ KN} / \text{m}, q_{\text{araç}} = 25.845 \text{ KN} / \text{m}$$

- Momentlerin bulunması; deneme yanılma sonucu kiriş uzunluğu 22,8 m seçilmiştir.

$$M = \frac{q \times L^2}{8} \quad (2.7)$$

$$M = \frac{7.25 \times 22.8^2}{8} \quad (2.8)$$

$$M_{yaya} = \frac{19.845 \times 22.8^2}{8} \quad (2.9)$$

$$M_{araç} = \frac{25.845 \times 22.8^2}{8} \quad (2.10)$$

$$M = 471.105KNm, M_{yaya} = 1289.528KNm, M_{araç} = 1679.408KNm$$

- Eksantrisitenin belirlenmesi; deneme yanılma yoluyla 13 öngerilme halatı seçilmiştir.

$$e_{araç} = 0.487 - \frac{7 \times 0.06 \times 6 \times 0.12}{13} \quad (2.11)$$

$$e_{yaya} = 0.487 - \frac{7 \times 0.06 \times 7 \times 0.12}{14} \quad (2.12)$$

$$e_{araç} = 0.399308, e_{yaya} = 0.397$$

- Araç köprüsü gerilme değerleri;

$$\sigma = \frac{P \times n \times (1 - \xi_T)}{A} + \frac{P \times n \times (1 - \xi_T) \times e}{I} \times y + \frac{M \times y}{I} \quad (2.13)$$

$$\sigma_{altaraç} = \frac{(-1) \times (195.51 \times 13)}{0.29} + \frac{(-1) \times (195.51 \times 13) \times 0.399}{0.030238} \times 0.487 + \frac{1679.408 \times 0.487}{0.030238} \quad (2.14)$$

$$\sigma_{üstaraç} = \frac{(-1) \times (195.51 \times 13)}{0.29} + \frac{(195.51 \times 13) \times 0.399}{0.030238} \times 0.413 + \frac{(-1) \times 1679.408 \times 0.413}{0.030238} \quad (2.15)$$

$$\sigma_{altaraç} = 1938.335KN / m^2, \sigma_{üstaraç} = -17840.55KN / m^2$$

- Yaya köprüsü gerilme değerleri

$$\sigma_{altyaya} = \frac{(-1) \times (195.51 \times 14)}{0.29} + \frac{(-1) \times (195.51 \times 14) \times 0.397}{0.030238} \times 0.487 + \frac{1289.528 \times 0.487}{0.030238} \quad (2.16)$$

$$\sigma_{üstyaya} = \frac{(-1) \times (195.51 \times 14)}{0.29} + \frac{(195.51 \times 14) \times 0.397}{0.030238} \times 0.413 + \frac{(-1) \times 1289.528 \times 0.413}{0.030238} \quad (2.17)$$

$$\sigma_{altyaya} = 485.284 \text{ KN} / \text{m}^2, \quad \sigma_{üstyaya} = -17854.2 \text{ KN} / \text{m}^2$$

- 2 nolu analiz sonucu gerilme değerleri;

$$\sigma_{altaraç} = \frac{(-1) \times (195.51 \times 13)}{0.29} + \frac{(-1) \times (195.51 \times 13) \times 0.399}{0.030238} \times 0.487 + \frac{471.105 \times 0.487}{0.030238} \quad (2.18)$$

$$\sigma_{altyaya} = \frac{(-1) \times (195.51 \times 14)}{0.29} + \frac{(-1) \times (195.51 \times 14) \times 0.397}{0.030238} \times 0.487 + \frac{471.105 \times 0.487}{0.030238} \quad (2.19)$$

$$\sigma_{altaraç} = -17522.4 \text{ KN} / \text{m}^2, \quad \sigma_{üstaraç} = -1336.901 \text{ KN} / \text{m}^2$$

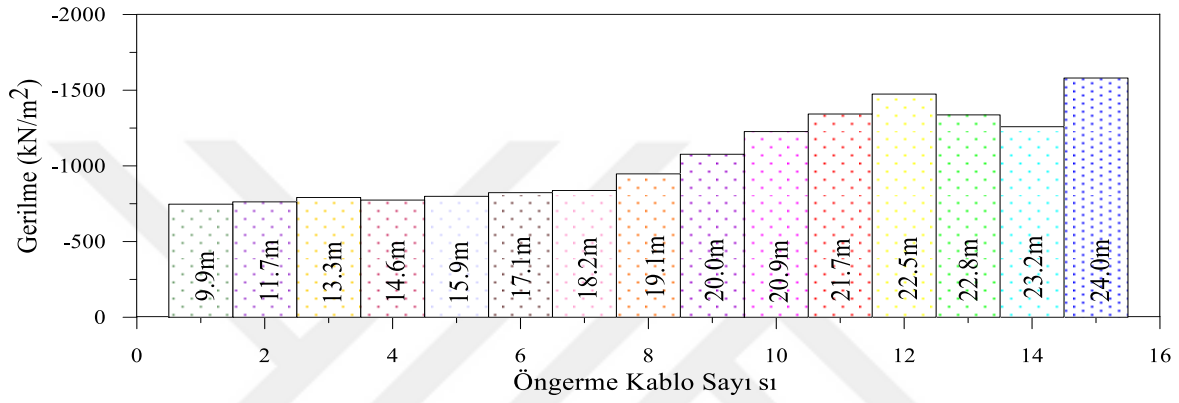
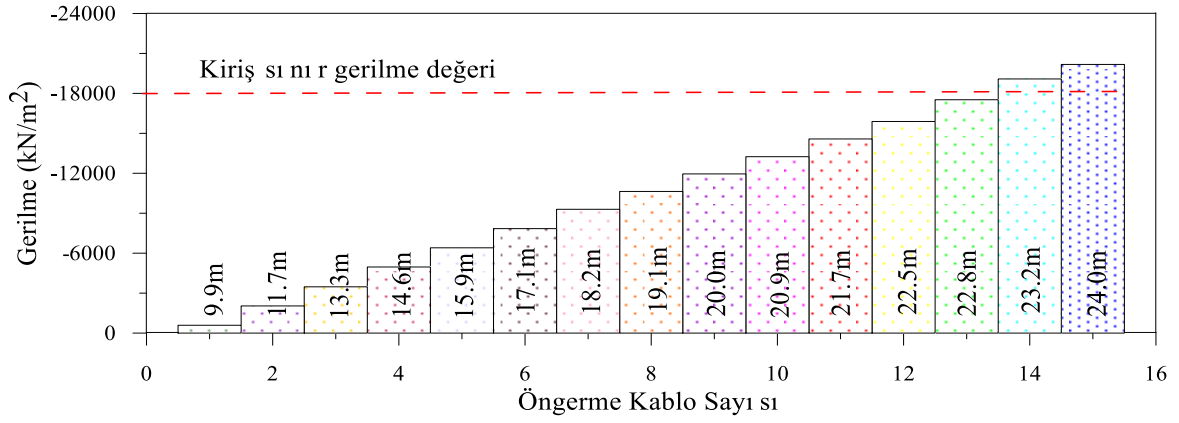
$$\sigma_{altyaya} = -16920.5 \text{ KN} / \text{m}^2, \quad \sigma_{üstyaya} = -3093.227 \text{ KN} / \text{m}^2$$

2.4.1.3.1. Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi

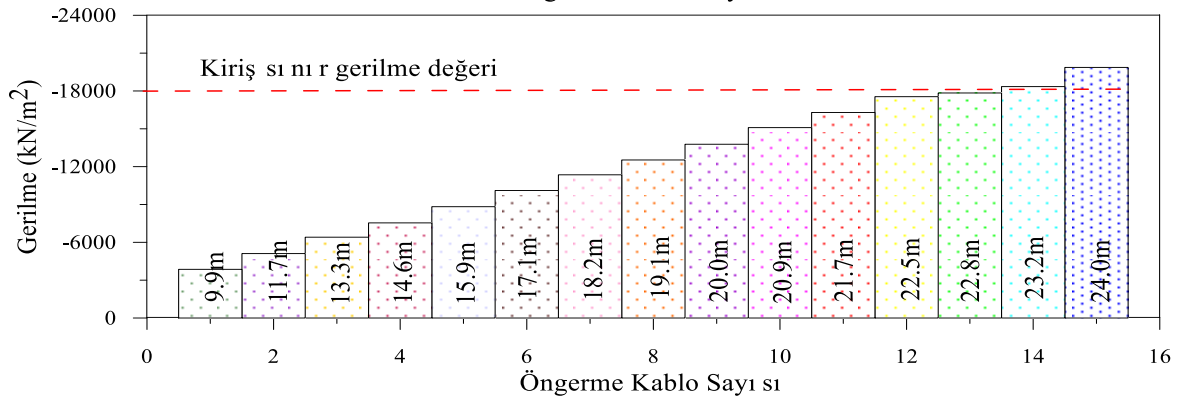
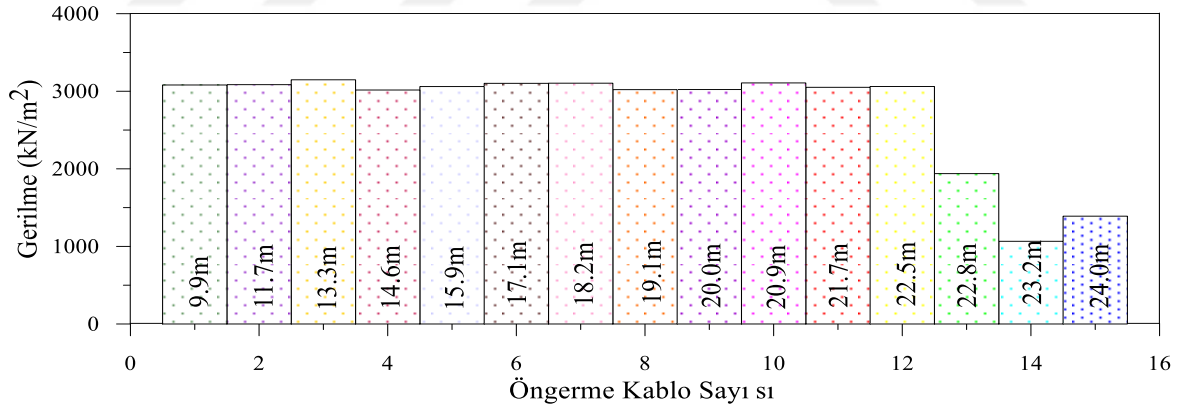
Analizler sonucu görülmüştür ki I90 kirişi alt ve üst lifleri göz önüne alındığında 14 veya 15 öngerilme kablosu kullanılamamaktadır. Bu kiriş için geçilen maksimum açıklık 22,8 metredir ve 13 öngerilme kablo ile geçilmektedir. 2 ve 3 nolu analizler için farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen mesafe ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.3 ve Şekil 2.4 de belirtilmiştir.

2.4.1.3.2. Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi

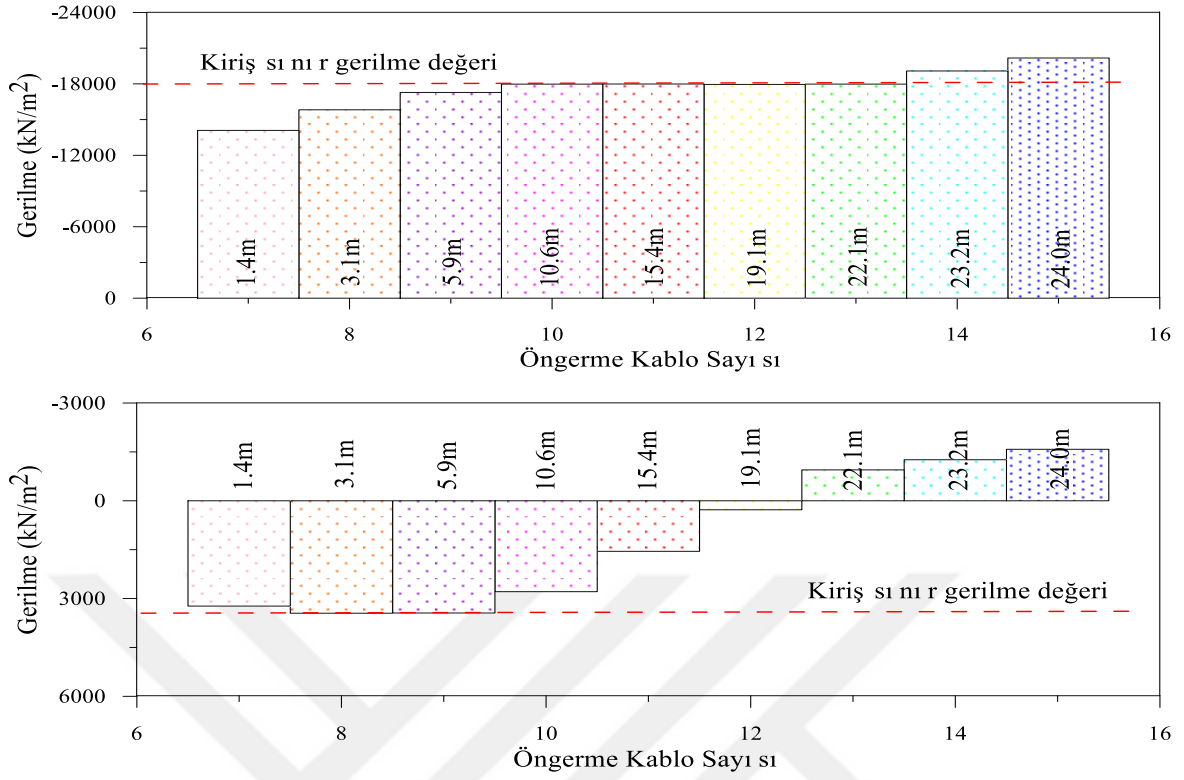
Analizler sonucu görülmüştür ki I90 kirişi için 14 veya 15 öngerilme kablosu kullanılamamaktadır. 2 ve 3 nolu analizler için farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen minimum mesafeler ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.5 ve Şekil 2.6 da verilmiştir.



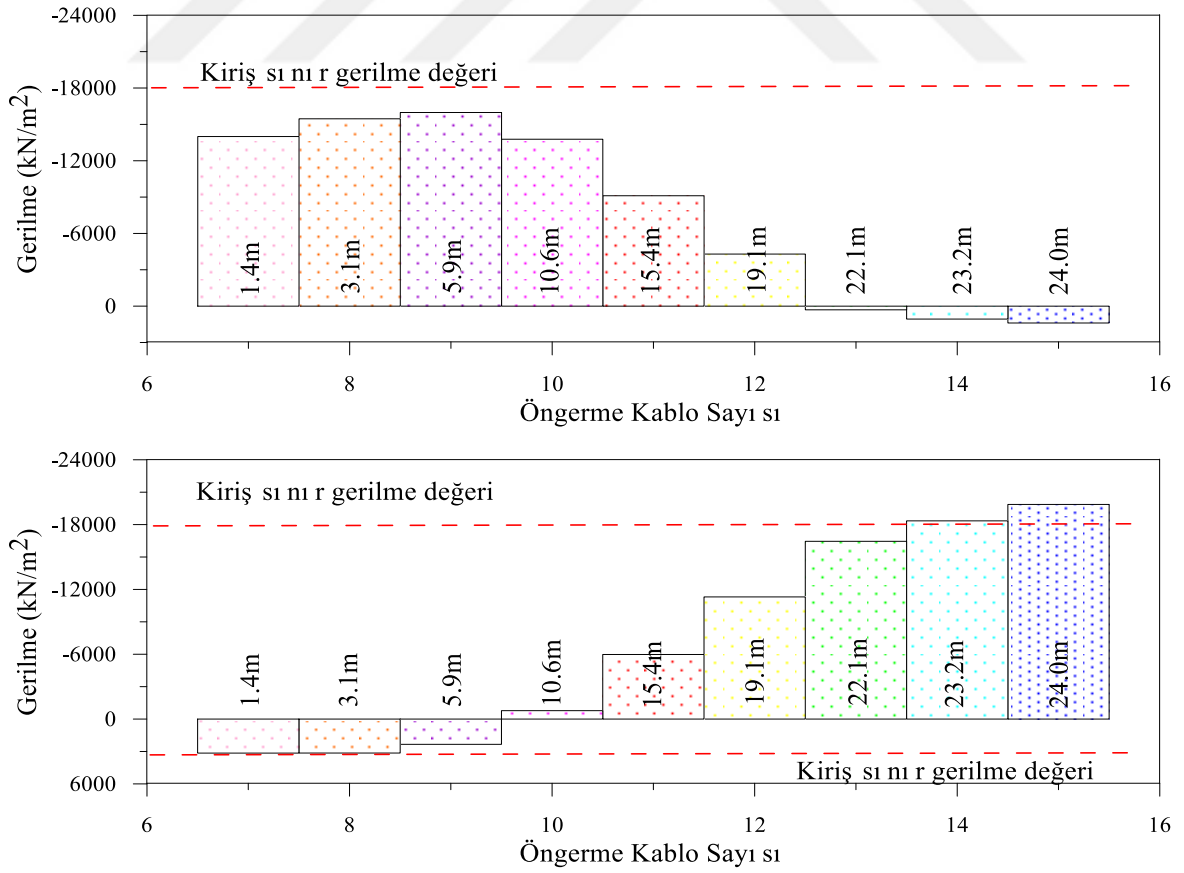
Şekil 2.3. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.4. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.5. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



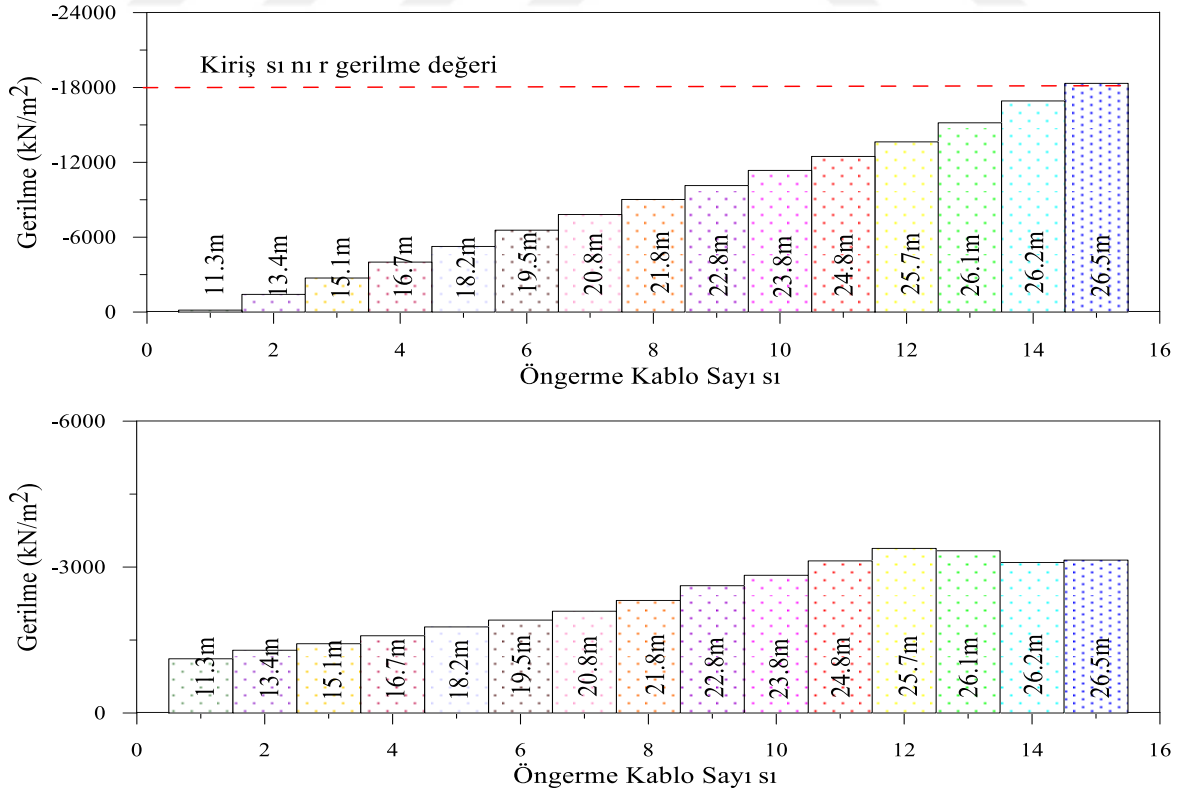
Şekil 2.6. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları

2.4.1.3.3. Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi

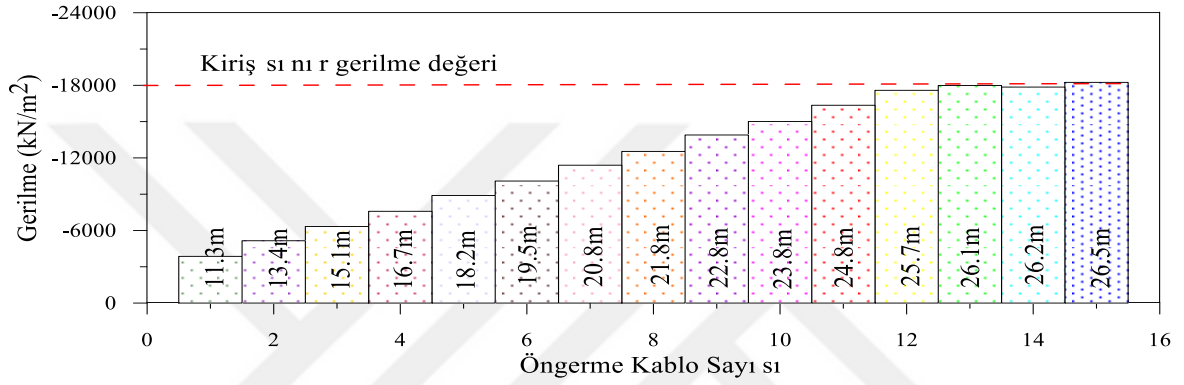
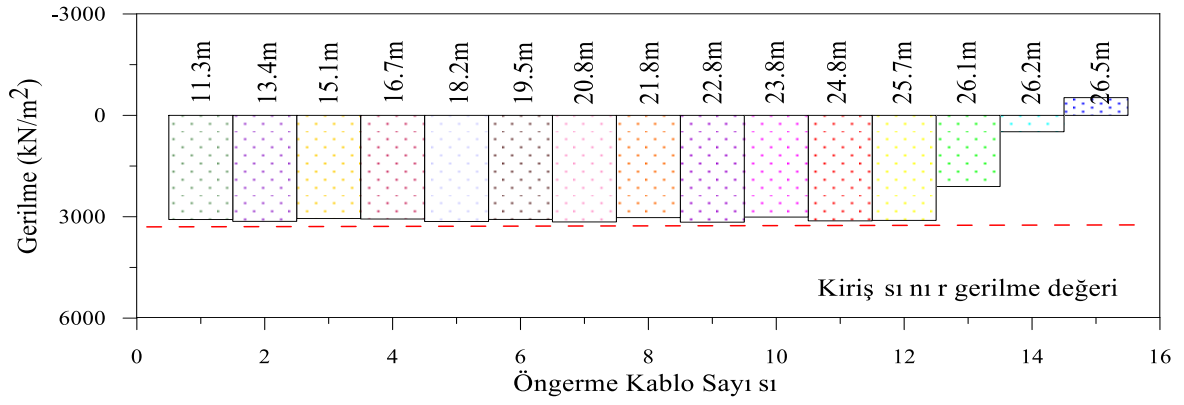
Analizler sonucu görülmüştür ki I90 kirişinde 15 öngerilme kablosu alt ve üst liflerindeki gerilme değerleri göz önüne alındığında kullanılamadığı, 12, 13 ve 14 öngerilme kablosunun ise I90 kirişi için geçilmesine izin verilen maksimum değer olan 24.44 m değerini aştığından kullanılamamaktadır. Bu kiriş için geçilen maksimum açıklık 24.8 metredir ve 11 öngerilme kablosu ile geçilmektedir. 2 ve 3 nolu analizler için farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen mesafe ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.7 ve Şekil 2.8 de belirtilmiştir.

2.4.1.3.4. Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi

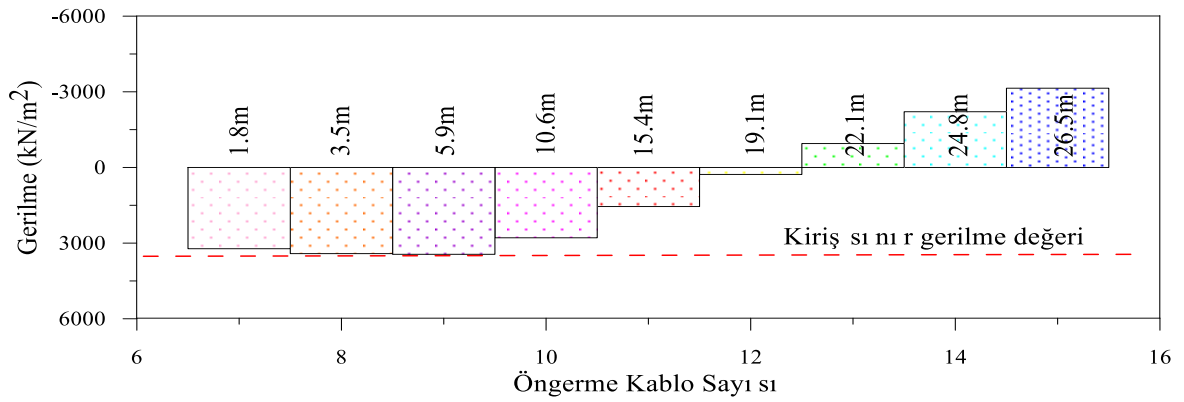
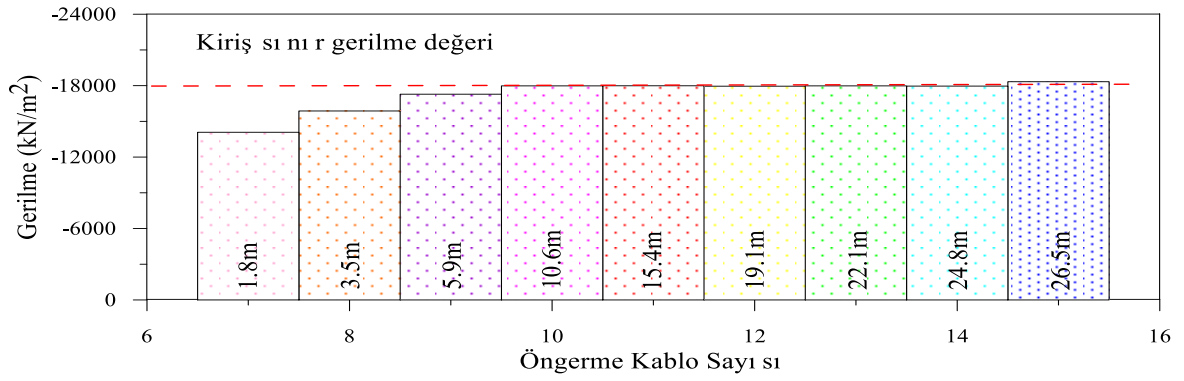
Analizler sonucu görülmüştür ki I90 kirişi için 15 öngerilme kablosu kullanılamamaktadır. 2 ve 3 nolu analizler için farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen minimum mesafeler ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.9 ve Şekil 2.10 da verilmiştir.



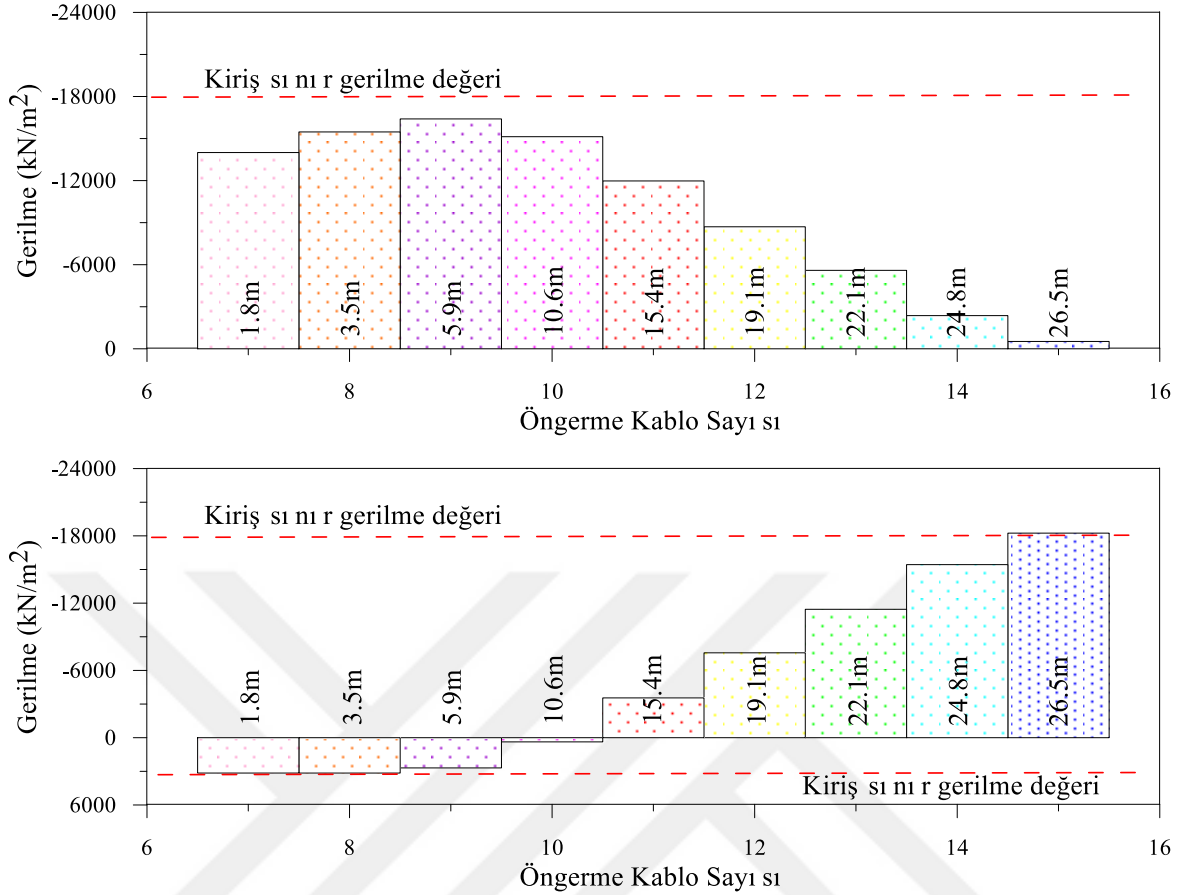
Şekil 2.7. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.8. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.9. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.10. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları

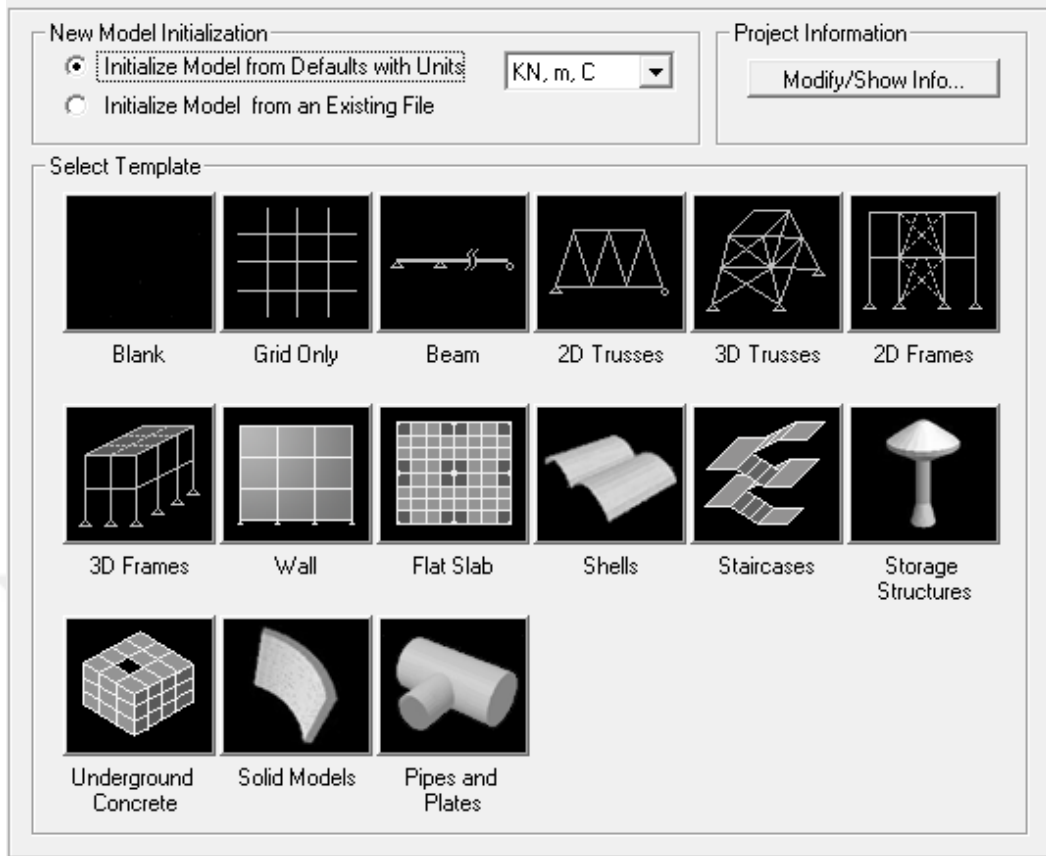
2.4.1.4. Analizlerin SAP2000 Yardımıyla Doğrulanması

- Modelin seçilmesi;

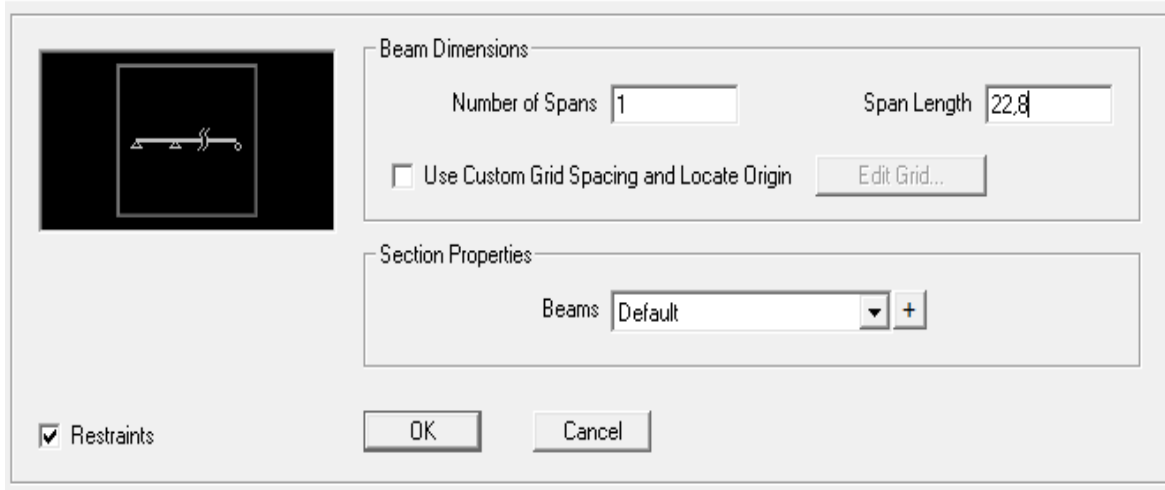
SAP2000 programı çalıştırıldıktan sonra File>New Model sekmesi ile çalışma sayfası açılır. Beam sekmesi seçilir (Şekil 2.11). Number of Spans kısmına 1, Span Length kısmına ise kirişin uzunluğu olan 22.8 m değeri girilir (Şekil 2.12)

- Malzeme özelliklerinin belirlenmesi;

Malzeme özelliği parametrelerini tanımlamak için Define>Materials sekmesi tıklanır. Öngerilmeli kirişte kullanılan betonun (Şekil 2.13) ve öngerilme çeliğinin malzeme özelliklerini (Şekil 2.14) tanımlamak için Add New Material butonuna basılır ve beton sekmesinden 4000 psi, tendon sekmesinden A416Gr270 tanımlanır.



Şekil 2.11. Model olarak kirişin seçilmesi



Şekil 2.12. Kirişin uzunluğunun programa tanıtılması

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: 4000Psi ■

Material Type: Concrete

Material Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 25

Mass per Unit Volume: 2,5493

Units

KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 33855578

Poisson's Ratio, U: 0,2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 9,900E-06

Shear Modulus, G: 14106491

Other Properties for Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f_c: 27579,032

☐ Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

☐ Switch To Advanced Property Display

[OK](#) [Cancel](#)

Şekil 2.13. Betonun malzeme özelliklerinin belirlenmesi

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: A416Gr270 ■

Material Type: Tendon

Material Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 76,9729

Mass per Unit Volume: 7,849

Units

KN, m, C

Uniaxial Property Data

Modulus of Elasticity, E: 1,965E+08

Poisson's Ratio, U: 0,

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1,170E-05

Shear Modulus, G: 98250300

Other Properties for Tendon Materials

Minimum Yield Stress, F_y: 1689905,2

Minimum Tensile Stress, F_u: 1861584,6

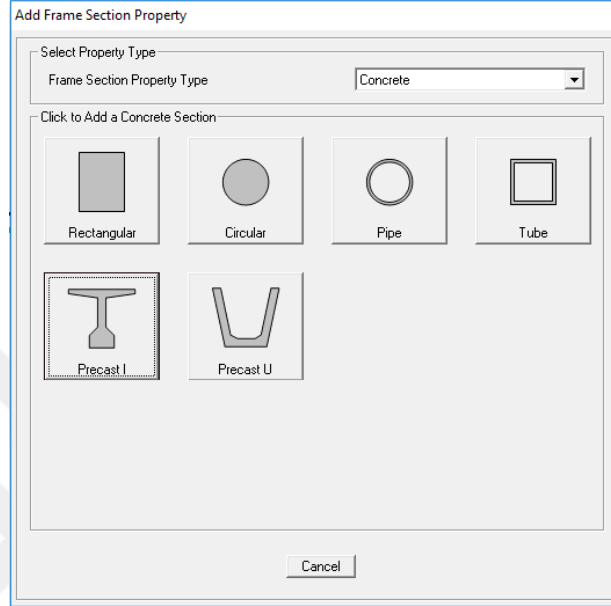
☐ Switch To Advanced Property Display

[OK](#) [Cancel](#)

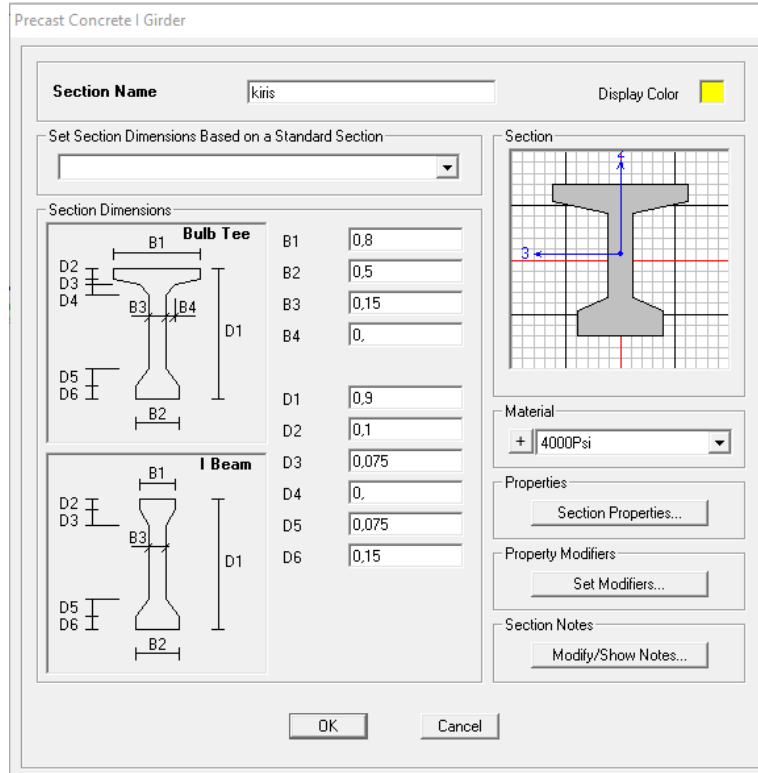
Şekil 2.14. Öngerilme donatısının malzeme özelliklerinin belirlenmesi

- Kesit özelliklerinin tanımlanması

Kesit özelliklerini tanımlamak için, Define>Section Properties sekmesi içindeki beton sekmesinden prekast kiriş seçilerek (Şekil 2.15) gerekli kiriş detayları (Şekil 2.16) girilir.



Şekil 2.15. Prekast kirişin seçimi



Şekil 2.16. Prekast kirişin kesit özelliklerinin programa tanımlanması

Öngerilme kablosunun malzeme özelliklerinin girilmesi için Define>Section Properties sekmesi altında bulunan Tendon Section seçilerek malzeme özellikleri girilir (Şekil 2.17)

Şekil 2.17. Öngerilme donatısının malzeme özelliklerinin tanımlanması

- Kesit özelliklerinin atanması;

Atama işlemi için kiriş eleman tıklanarak seçim işlemi gerçekleştirilir ve Assign>Frame>Frame Sections sekmeleriyle atama işlemi gerçekleştirilir.

- Öngerilme kablolarının oluşturulması;

Öngerme kablolarını oluşturmak için Draw Frame/Cable butonu tıklanır. Açılan pencerede tendon seçilir ve iki mesnet arasına öngerilme donatısı yerleştirilir. Daha sonra açılan pencere ise öngerilme donatısı, öngerilme donatısının yükü ve kirişteki konumu programa girilir (Şekil 2.18).

Tendon Data For Line Object 3

Tendon Layout Data

Point ID	Segment Type	From Point (n - 1) to Point(n)	1 Coord m	2 Coord m	3 Coord m
2	Linear		22.8	-0.427	0.06
Start of Tendon			0.	-0.427	0.06
2	Linear		22.8	-0.427	0.06

Notes: 1. Parabolic and circular "intermediate point" segments use points (n-1), (n) and (n+1).
2. Parabolic and circular "end point" segments use points (n-2), (n-1) and (n).

Tendon Layout Display

Double Click Picture For Expanded Display

Mouse Pointer Location

Distance	1	2	3
	9.9032		

Tendon Layout Display Options

☒ Show 1-2 Axes
☐ Show 1-3 Axes
☐ Show 2-3 Axes

Snap Option

☐ No Snap
☒ Snap To Tendon

Units

KN, m, C

Move

Move Tendon...

Tendon End Point Objects

I-End 1
J-End 2

Tendon Section

6inch Add... Show...

Tendon Loads

Yes, 1 Add... Show...

Tendon Local Axes Angle

0. Modify...

Max. Tendon Discretization

Length 1.524

Group Loaded By Tendon

ALL

Coordinate System

Local
Object Type
Current Tendon

OK Cancel

Şekil 2.18. Öngerilme donatı, yükleri ve koordinatlarının girilmesi

- Yük tipleri, yükleme durumları ve yük bileşenlerinin tanımlanması;

Define>Load Patterns menüsünden ölü yük dead yük olarak öngerilme yükü other ve servis yükleri live olarak seçilir (Şekil 2.19).

Define Load Patterns

Load Patterns

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
prestress	OTHER	0	
prestress	OTHER	0	
ağırlık	DEAD	1	
yaya	LIVE	0	
arac	LIVE	0	

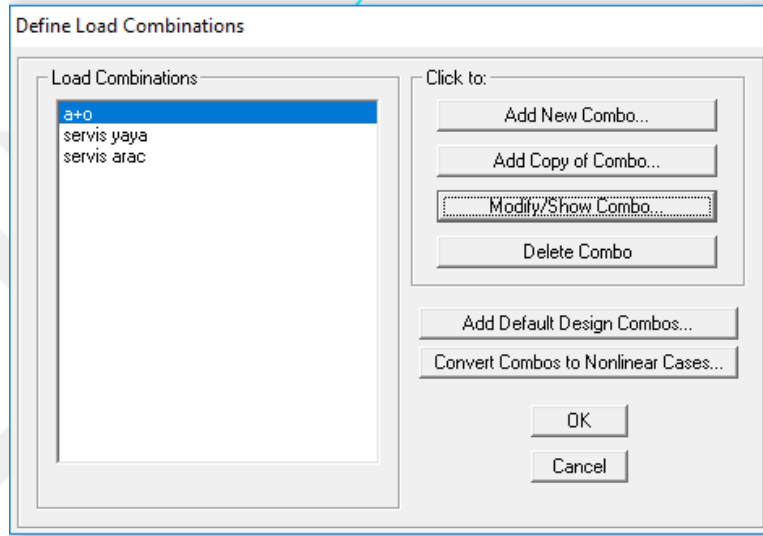
Click To:

Add New Load Pattern
Modify Load Pattern
Modify Lateral Load Pattern...
Delete Load Pattern
Show Load Pattern Notes...

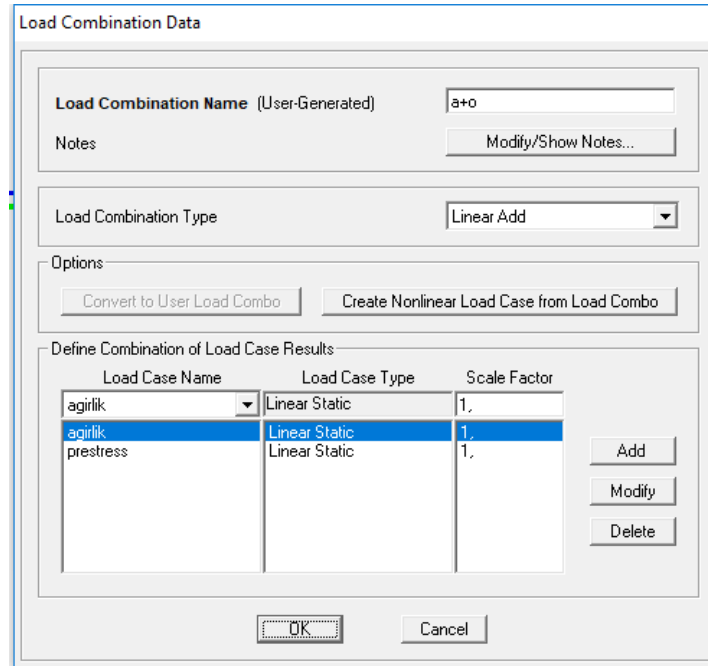
OK
Cancel

Şekil 2.19. Yük tiplerinin atanması

Yük kombinasyonlarını belirlemek için Define>Combinations sekmesi tıklanır. Açılan Define Load Combinations penceresindeki Add New Combo butonu tıklanarak 3 adet kombinasyon oluşturulur (Şekil 2.20). Bunlardan biri 2 nolu analiz olan kendi ağırlığı ve öngerme yükü kombinasyonudur (Şekil 2.21). İkincisi yaya köprüsü için kullanılan kendi ağırlığı, öngerilme kuvveti ve yaya yükü kombinasyonudur (Şekil 2.22). Üçüncü kombinasyon ise araç köprülerinde kullanılacak olan kendi ağırlığı, öngerilme kuvveti ve araç yükünden oluşan kombinasyondur (Şekil 2.23).



Şekil 2.20. Yük kombinasyonları



Şekil 2.21. Kendi ağırlığı + Öngerilme kombinasyonu

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
prestress	Linear Static	1.
prestress	Linear Static	1.
yaya	Linear Static	1.
agirlik	Linear Static	1.

Şekil 2.22. Kendi ağırlığı + öngerilme + yaya yükü kombinasyonu

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
agirlik	Linear Static	1.
agirlik	Linear Static	1.
prestress	Linear Static	1.
arac	Linear Static	1.

Şekil 2.23. Kendi ağırlığı + öngerilme + araç yükü kombinasyonu

- Yüklerin atanması;

Yük atama işlemi için Kiris eleman seçilir. Assign>Frame Loads>Distributed ile ekrana gelen Assign Frame Distributed Loads penceresinden yapılır.

Frame Distributed Loads

Load Pattern Name: arac KN, m, C

Load Type and Direction: ☒ Forces ☐ Moments
 Coord Sys: GLOBAL
 Direction: Gravity

Options: ☐ Add to Existing Loads
☒ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

Trapezoidal Loads:

	1.	2.	3.	4.
Distance	0,	0,25	0,75	1,
Load	0,	0,	0,	0,

☒ Relative Distance from End-I ☐ Absolute Distance from End-I

Uniform Load: Load

Şekil 2.24. Araç yükünün tanımlanması

Frame Distributed Loads

Load Pattern Name: yaya KN, m, C

Load Type and Direction: ☒ Forces ☐ Moments
 Coord Sys: GLOBAL
 Direction: Gravity

Options: ☐ Add to Existing Loads
☒ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

Trapezoidal Loads:

	1.	2.	3.	4.
Distance	0,	0,25	0,75	1,
Load	0,	0,	0,	0,

☒ Relative Distance from End-I ☐ Absolute Distance from End-I

Uniform Load: Load

Şekil 2.25. Yaya yükünün tanımlanması

- Analzin yapılması;

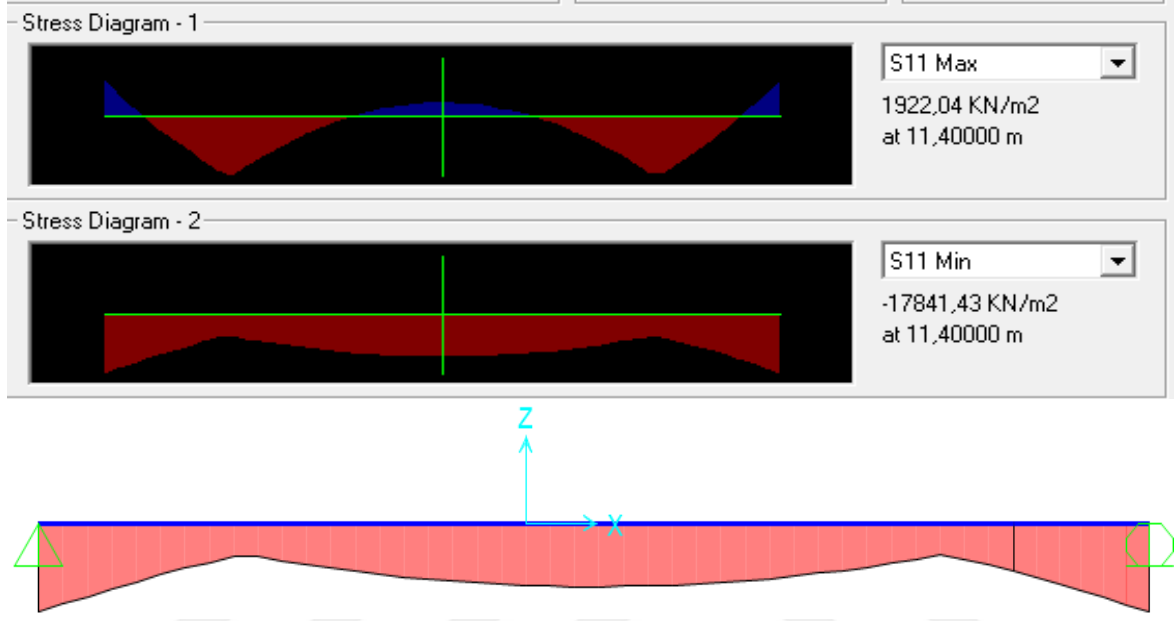
Analizi başlatmak için, Analyze menüsü altındaki Run Analysis sekmesi veya klavyedeki F5 tuşu kullanarak çıkan pencerede analizi başlatmak için Run Now tuşuna basılır.

2.4.1.4.1. Maksimum Açıklık İçin Araç Köprüsünün Analizi

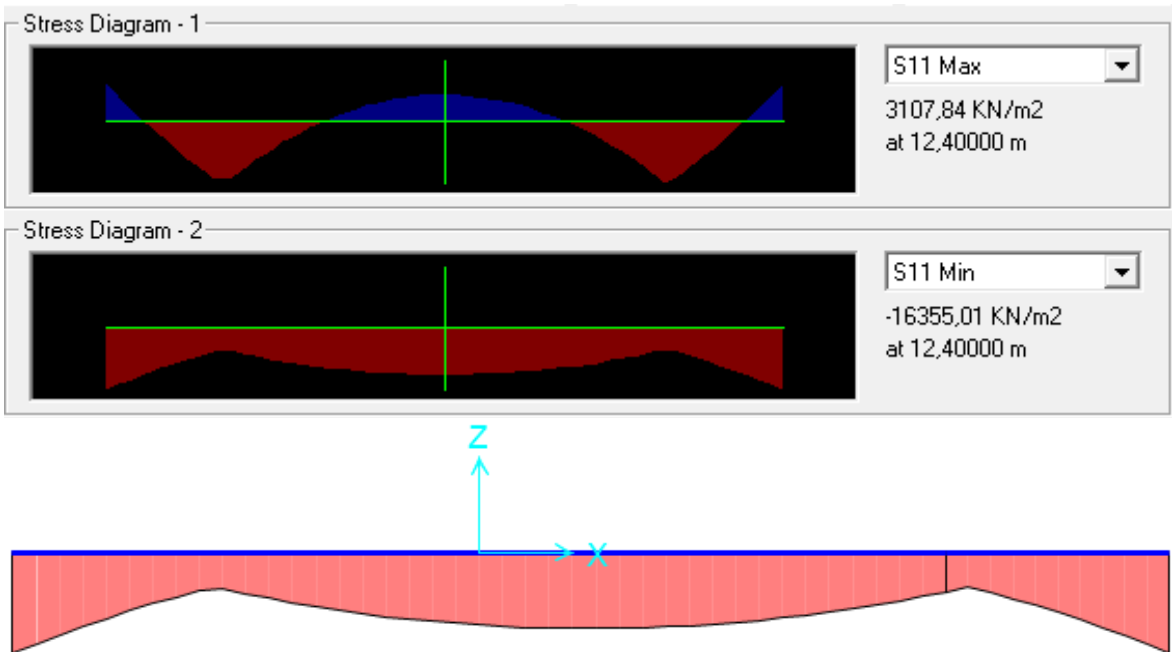
Araç köprüsü için maksimum açıklığın geçilebilmesi maksadıyla yapılan SAP2000 analizi sonucu Şekil 2.26'daki gibidir.

2.4.1.4.2. Maksimum Açıklık İçin Yaya Köprüsünün Analizi

Araç köprüsü için maksimum açıklığın geçilebilmesi maksadıyla yapılan SAP2000 analizi sonucu Şekil 2.27'deki gibidir.



Şekil 2.26. Servis yükü altında araç köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları

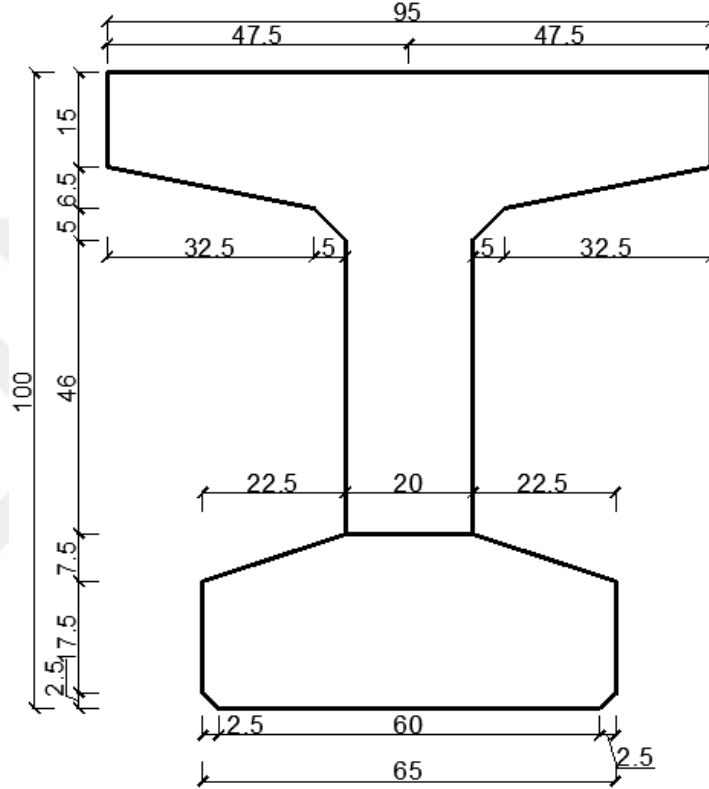


Şekil 2.27. Servis yükü altında yaya köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları

2.4.2. Yüksekliği 100 cm Olan Öngerilmeli Prekast Kirişin Optimum Açıklığının Belirlenmesi

2.4.2.1.Kirişin Seçilmesi

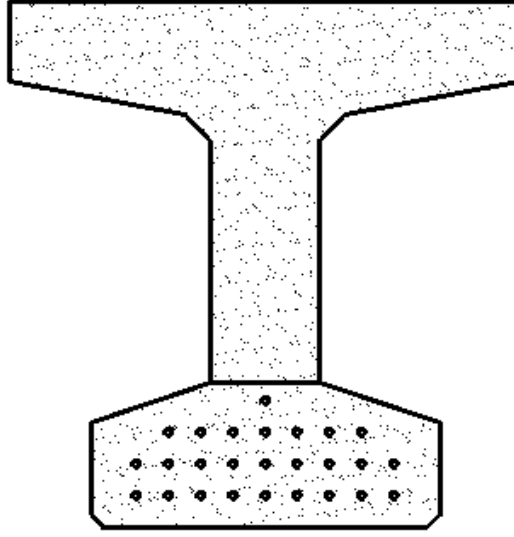
Seçilen kirişin boyutları Şekil 2.28’de gösterilmiştir.



Şekil 2.28. I 100 kirişi

2.4.2.2. Öngerilmeli Kiriş Kablolarının Sayısının Belirlenmesi

Öngerilme kablosu sayısı belirlenirken seçilen kiriş için 6 cm pas payı ve 6 cm kablolar arası mesafe olacak şekilde sınırlandırılmaları uyulmuştur. Bu sınırlandırmalar göz önüne alındığında I 100 kirişi için en alt sıra 9 ikinci sıra 9 ve üçüncü sıra 7 ve dördüncü sıra 1 olmak üzere 26 adet öngerilme kablosu kirişte mevcut olmuştur.



Şekil 2.29. Öngerilme kablolarının yerleştirilmesi

2.4.2.3. Gerilme ve Mesafelerin Elle Çözüm ile Belirlenmesi

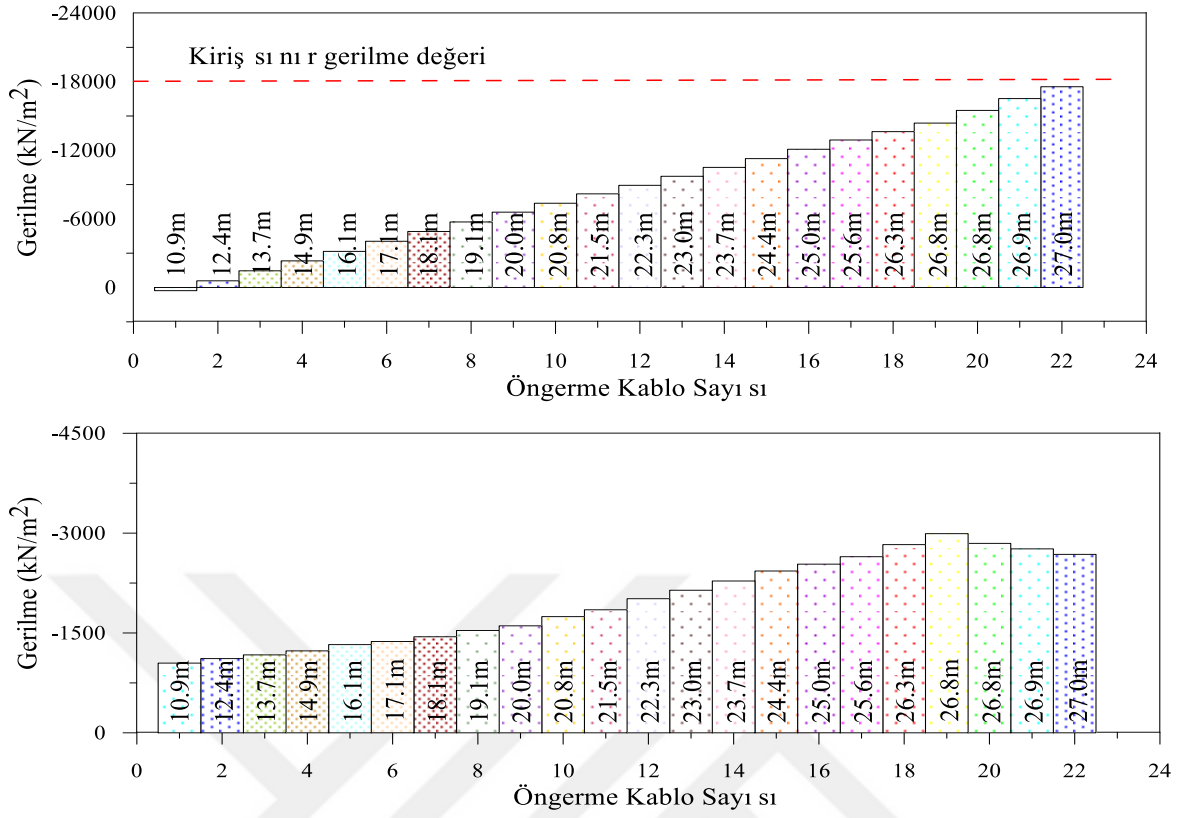
İlk olarak kirişlere gelen yayılı yükler ve eğilme rijitliği değerleri hesaplanmıştır. Yüksekliği 100 cm plan kiriş geçilebilen maksimum mesafe 26.67 m'dir. Optimum açıklığın belirlenmesinde kullanılan hesaplamalar öngerilme kuvveti altında ve servis yüklemesi altında olmak üzere iki bölümde hesaplanmıştır.

2.4.2.3.1. Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi

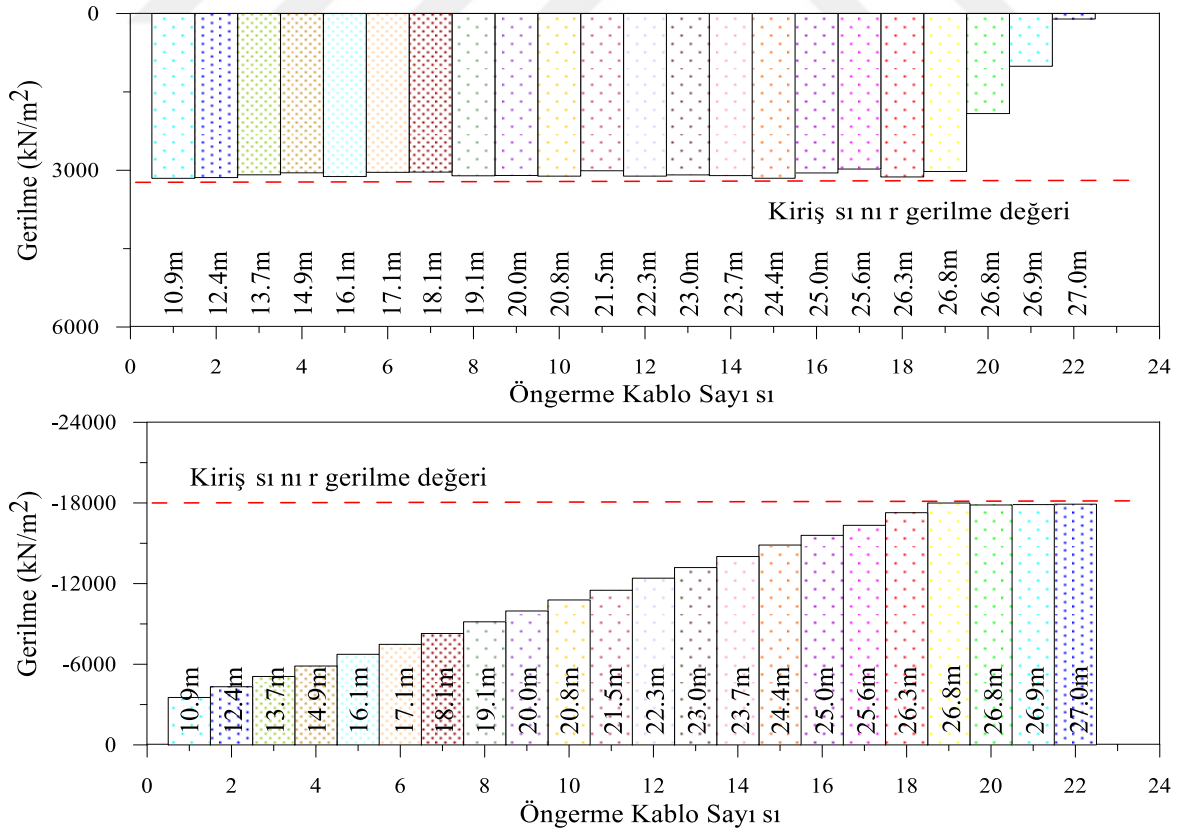
Analizler sonucu görülmüştür ki I100 kirişi alt ve üst lifleri göz önüne alındığında 23, 24, 25 ve 26 öngerilme kablosu kullanılamamaktadır. Bu kiriş için geçilen maksimum açıklık 27 metredir ve 22 öngerilme kablo ile geçilmektedir. 2 ve 3 nolu analizler için farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen mesafe ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.30 ve Şekil 2.31 de belirtilmiştir.

2.4.2.3.2. Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi

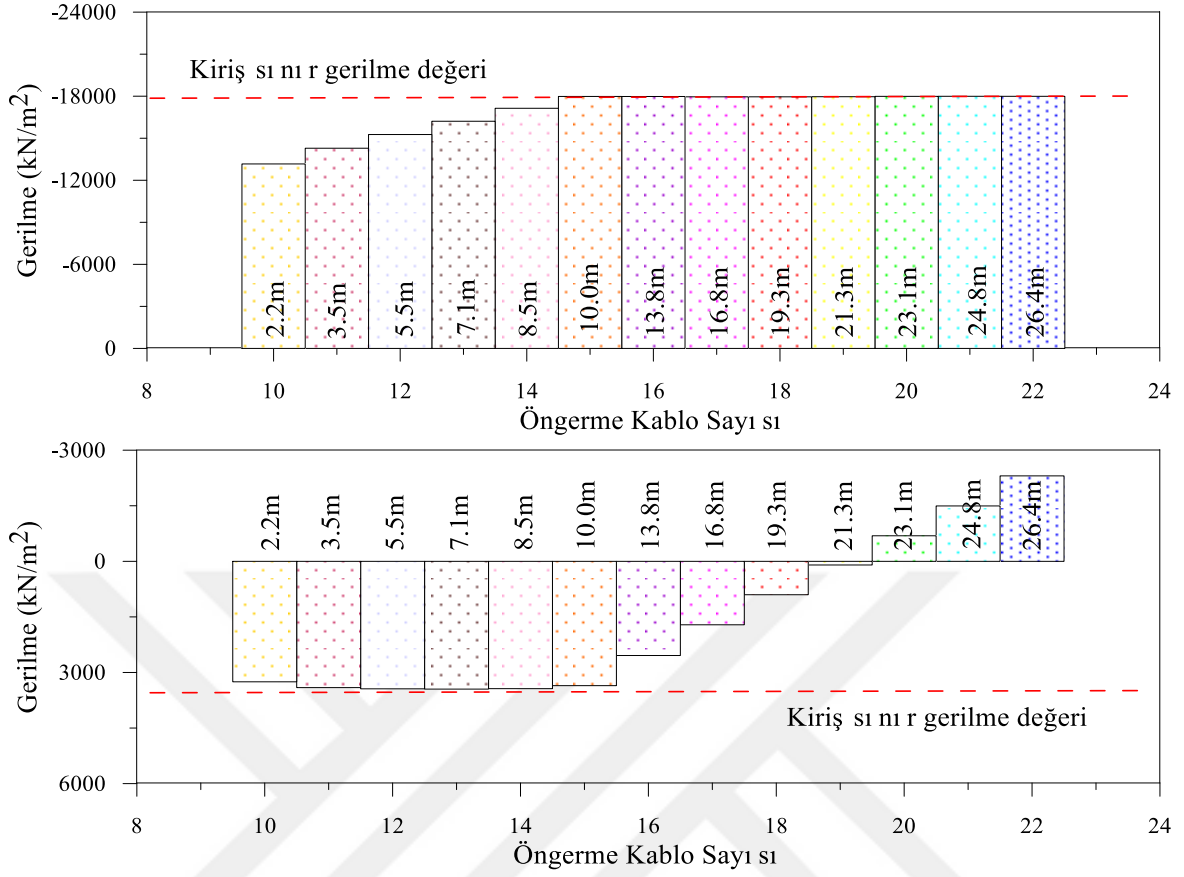
Analizler sonucu görülmüştür ki I100 kirişi için 23, 24, 25 ve 26 öngerilme kablosu kullanılamamaktadır. 2 ve 3 nolu analizler için farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen minimum mesafeler ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.32 ve Şekil 2.33 de verilmiştir.



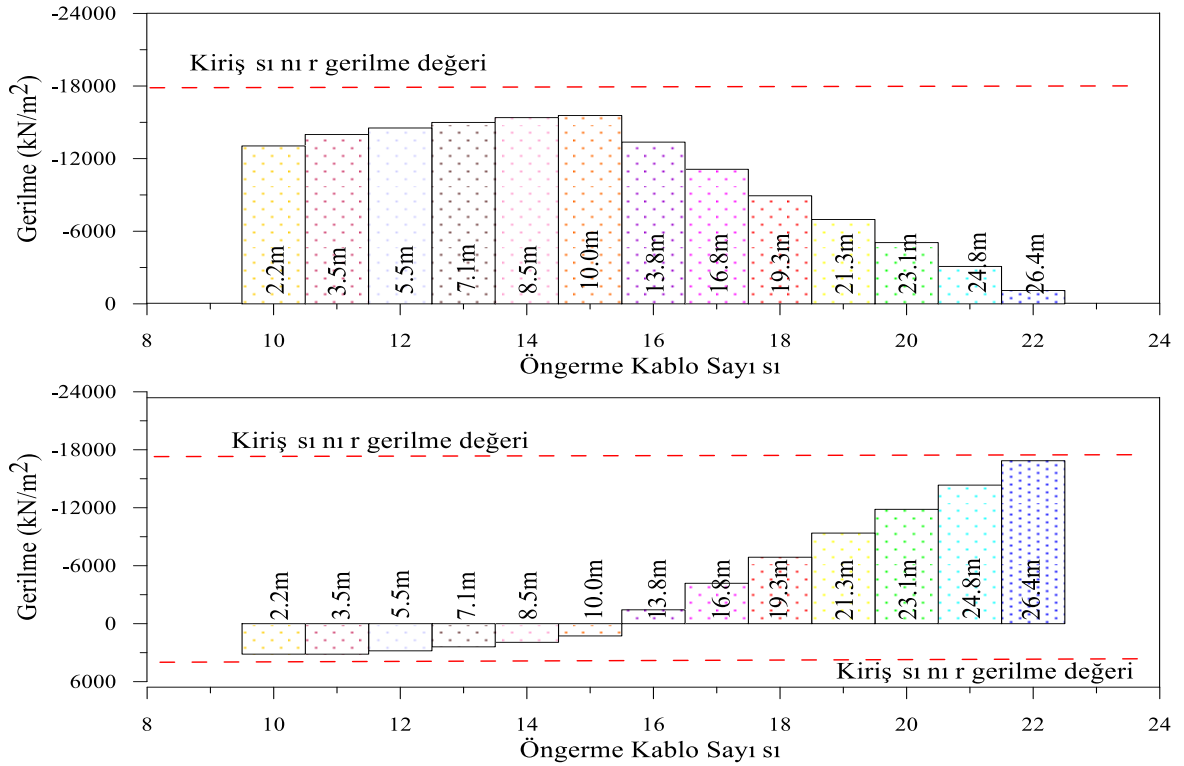
Şekil 2.30. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.31. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.32. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



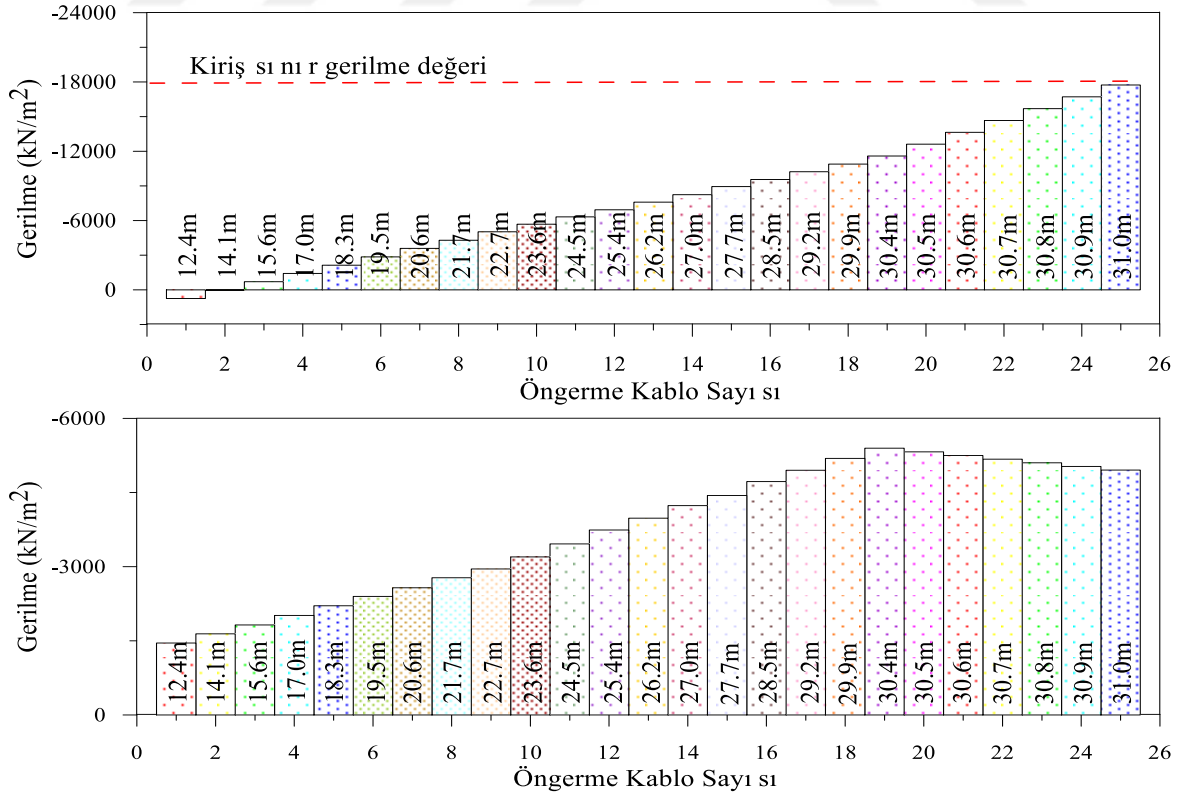
Şekil 2.33. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları

2.4.2.3.3. Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi

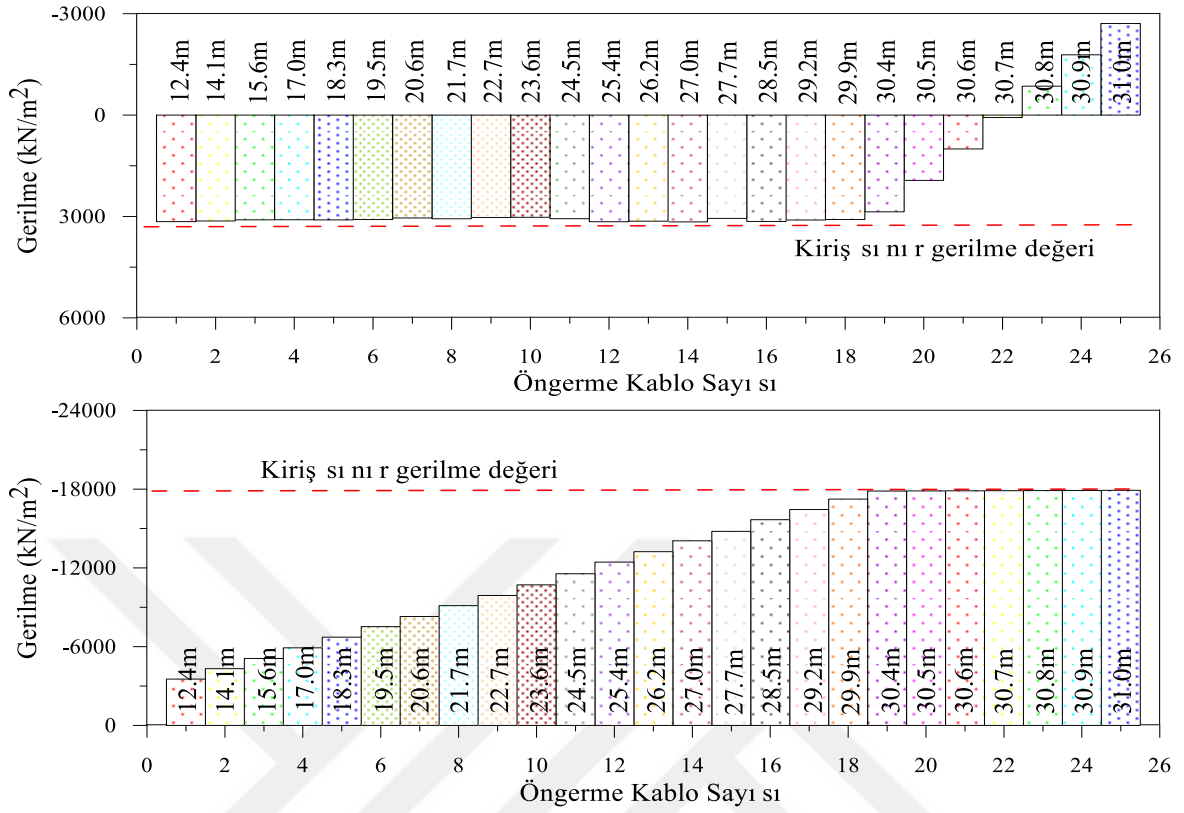
Analizler sonucu görülmüştür ki I100 kirişinde 26 öngerilme kablosu alt ve üst liflerindeki gerilme değerleri göz önüne alındığında kullanılamadığı, 15 ve sonrası öngerilme kablolarının ise I100 kirişi için geçilmesine izin verilen maksimum değer olan 26.67 m değerini aştığından kullanılamamaktadır. Bu kiriş için geçilen maksimum açıklık 27 metredir ve 14 öngerilme kablo ile geçilmektedir. 2 ve 3 nolu analizler için farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen mesafe ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.34 ve Şekil. 2.35 de belirtilmiştir.

2.4.2.3.2. Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi

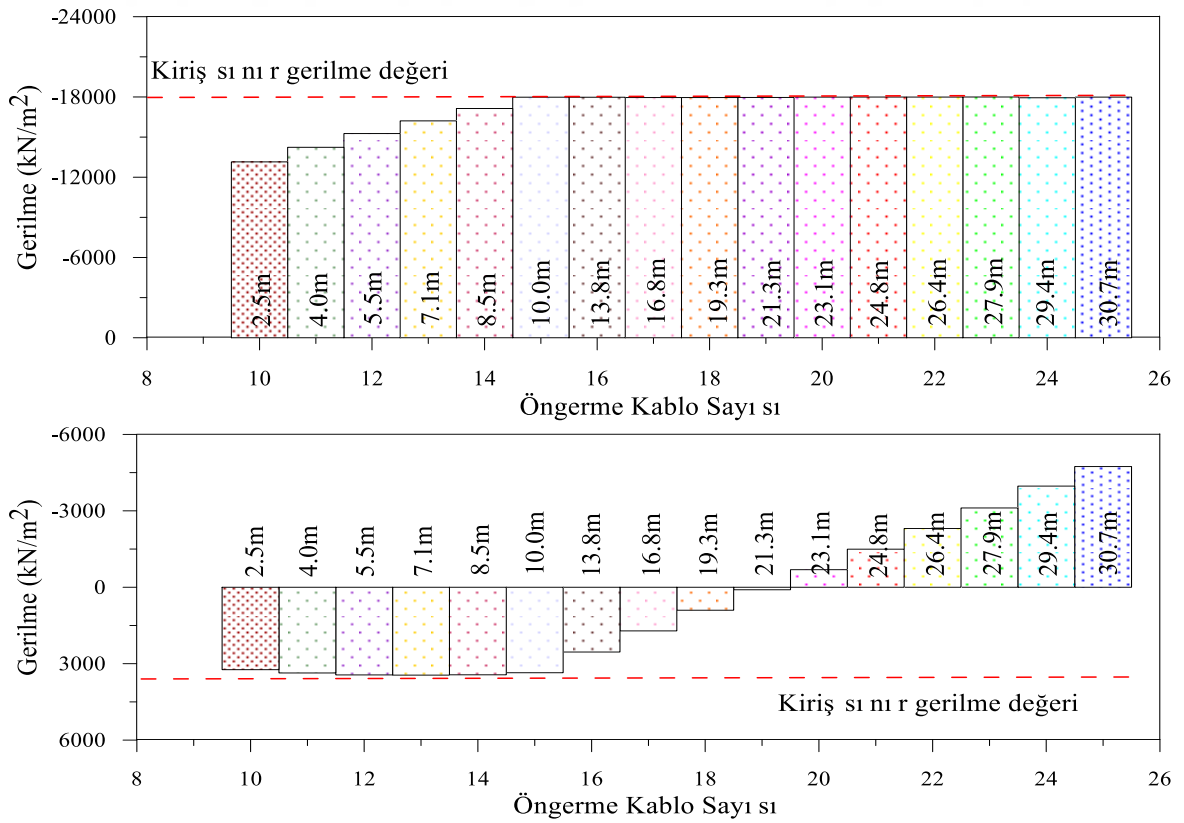
Analizler sonucu görülmüştür ki I100 kirişi için 26 öngerilme kablosu kullanılamamaktadır. 2 ve 3 nolu analizler için farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen minimum mesafeler ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.36 ve Şekil 2.37 de verilmiştir.



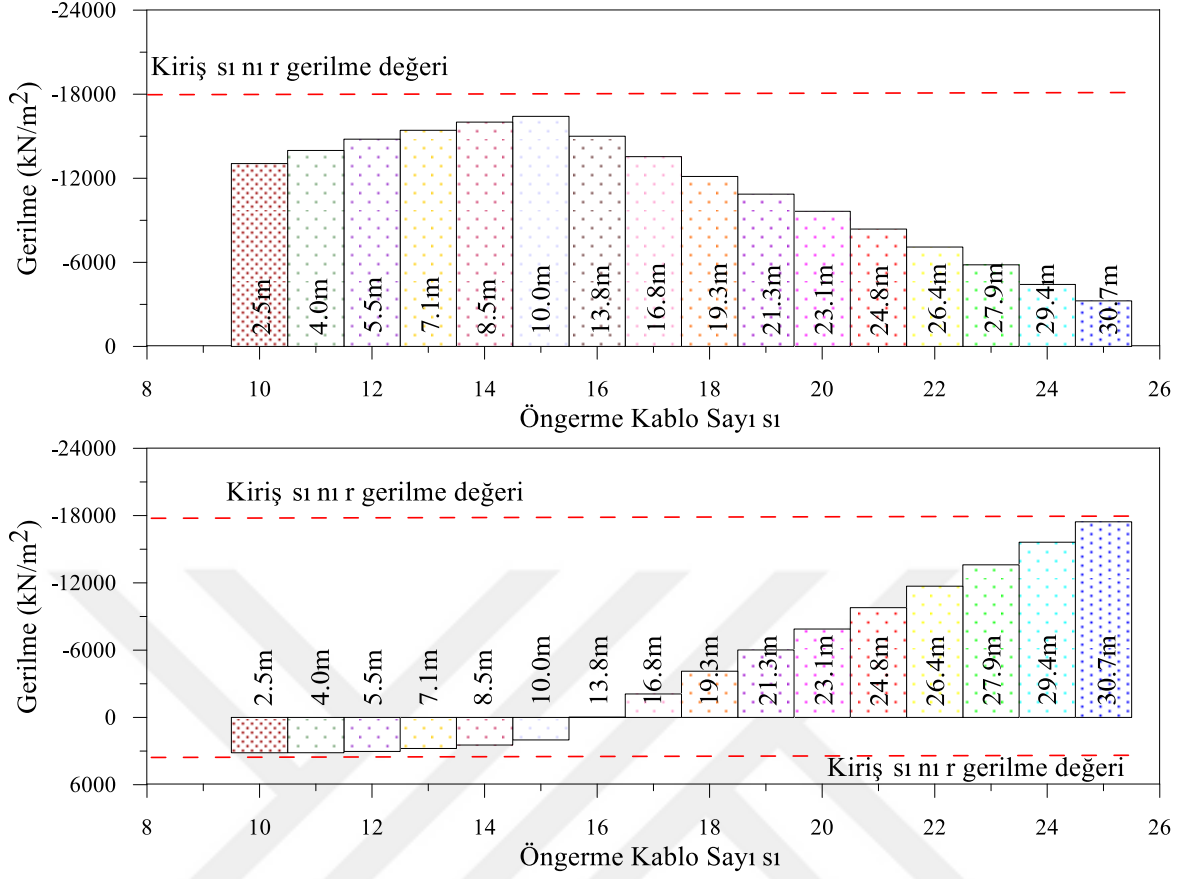
Şekil 2.34. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.35. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.36. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.37. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları

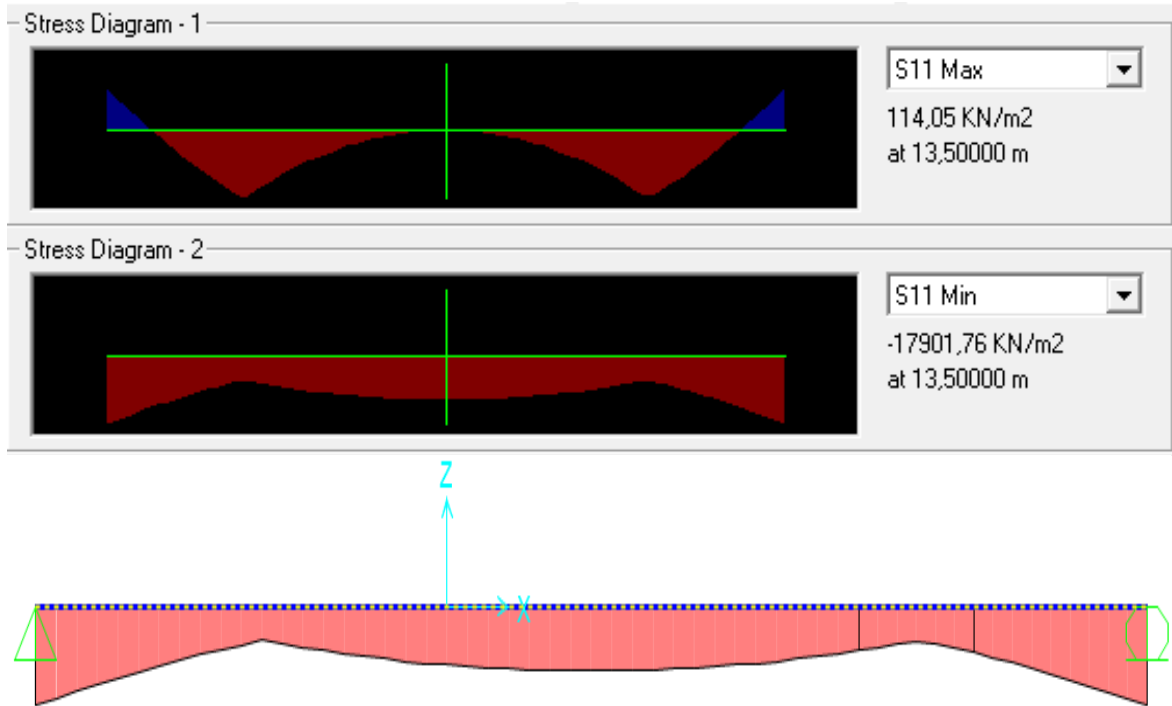
2.4.2.4. Analizlerin SAP2000 Yardımıyla Doğrulanması

2.4.2.4.1. Maksimum Açıklık İçin Araç Köprüsünün Analizi

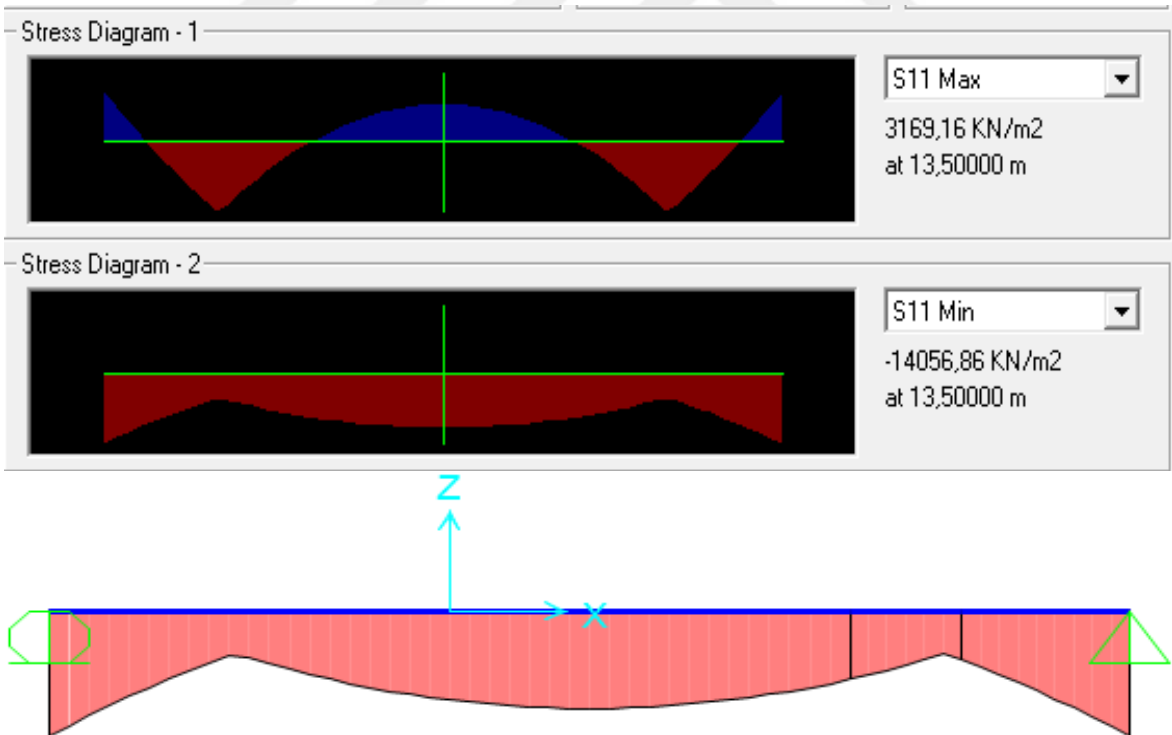
Araç köprüsü için maksimum açıklığın geçilebilmesi amacıyla yapılan SAP2000 analizi sonucu Şekil 2.38'deki gibidir.

2.4.2.4.2. Maksimum Açıklık İçin Yaya Köprüsünün Analizi

Araç köprüsü için maksimum açıklığın geçilebilmesi amacıyla yapılan SAP2000 analizi sonucu Şekil 2.39'daki gibidir.



Şekil 2.38. Servis yükü altında araç köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları

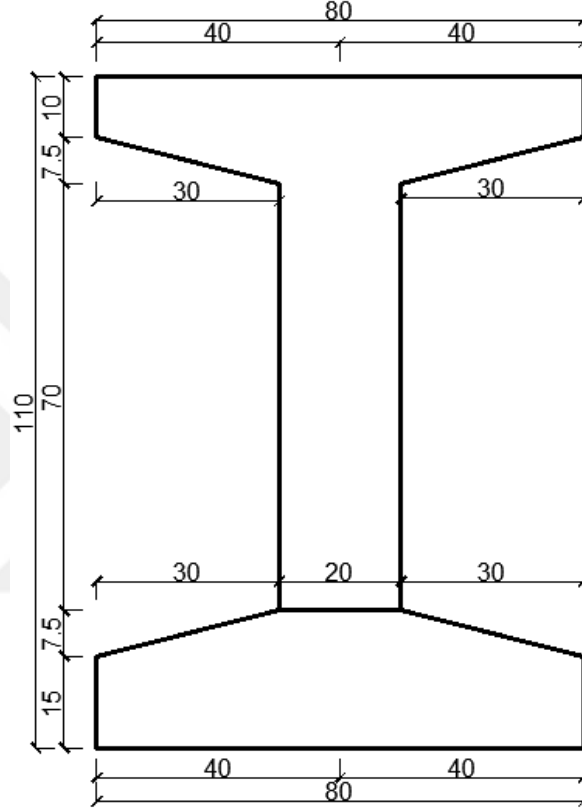


Şekil 2.39. Servis yükü altında yaya köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları

2.4.3. Yüksekliği 110 cm Olan Öngerilmeli Prekast Kirişin Optimum Açıklığının Belirlenmesi

2.4.3.1. Kirişin Seçilmesi

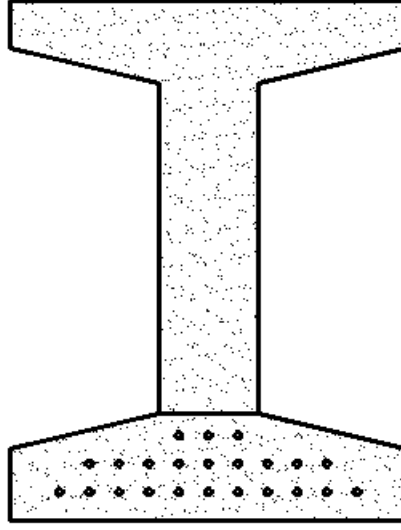
Seçilen kirişin boyutları Şekil 2.40'da gösterilmiştir.



Şekil 2.40. I 110 kirişi

2.4.3.2. Öngerilmeli Kiriş Kablolarının Sayısının Belirlenmesi

Öngerilme kablosu sayısı belirlenirken seçilen kiriş için 6 cm pas payı ve 6 cm kablolar arası mesafe olacak şekilde sınırlandırılmalarına uyulmuştur. Bu sınırlandırmalar göz önüne alındığında I 110 kirişi için en alt sıra 11 orta sıra 9 ve üst sıra 3 olmak üzere 23 adet öngerilme kablosu kirişte mevcut olmuştur.



Şekil 2.41. Öngerilme kablolarının yerleştirilmesi

2.4.3.3. Gerilme ve Mesafelerin Elle Çözüm ile Belirlenmesi

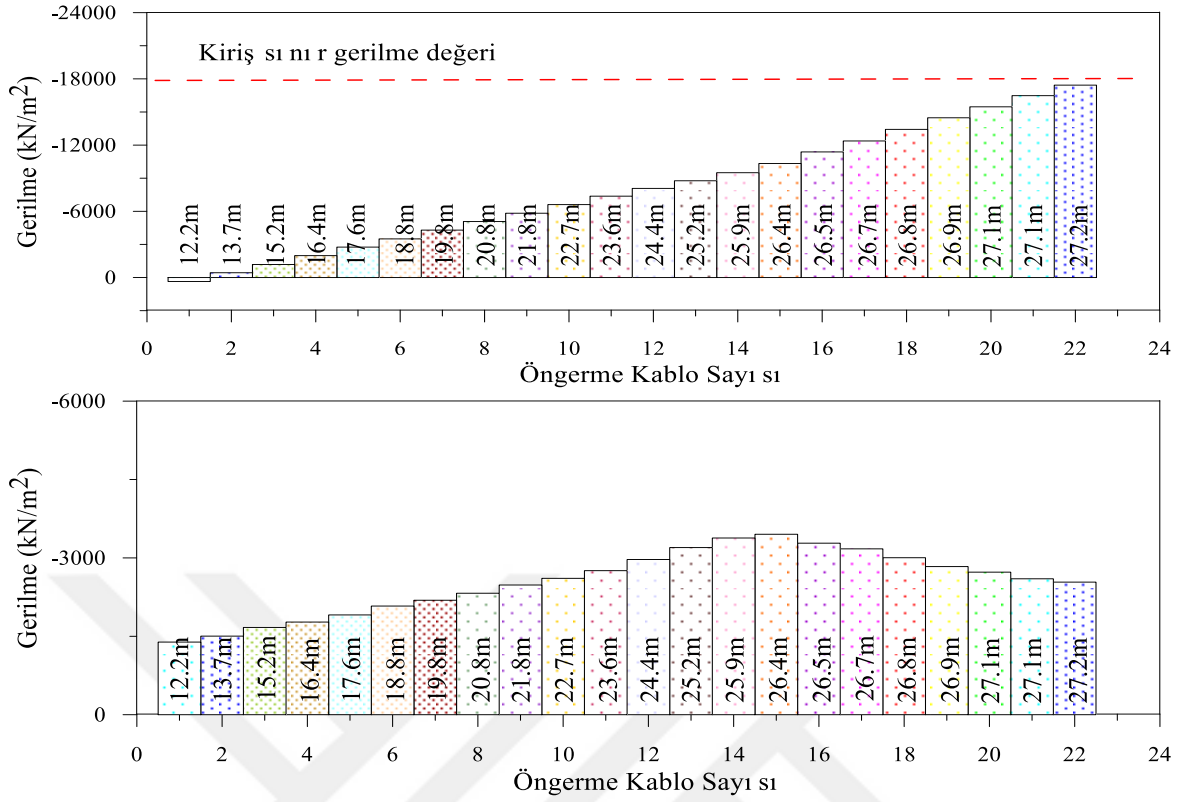
İlk olarak kirişlere gelen yayılı yükler ve eğilme rijitliği değerleri hesaplanmıştır. Yüksekliği 110 cm plan kiriş geçilebilen maksimum mesafe 28.89 m'dir. Optimum açıklığın belirlenmesinde kullanılan hesaplamalar öngerilme kuvveti altında ve servis yüklemesi altında olmak üzere iki bölümde hesaplanmıştır.

2.4.3.3.1. Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün analizi

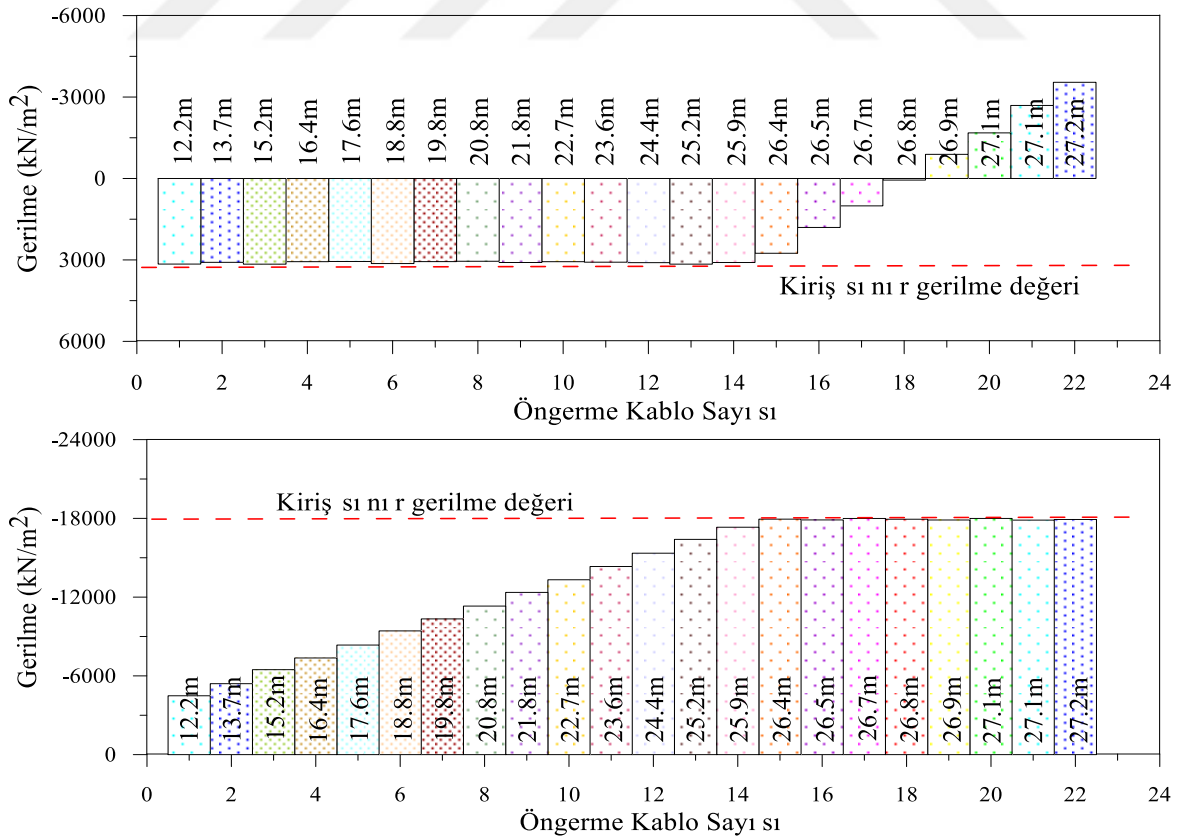
Analizler sonucu görülmüştür ki I110 kirişi alt ve üst lifleri göz önüne alındığında 23 öngerilme kablosu kullanılamamaktadır. Bu kiriş için geçilen maksimum açıklık 27,2 metredir ve 22 öngerilme kablo ile geçilmektedir. 2 ve 3 nolu analizler için farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen mesafe ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.42 ve Şekil 2.43 de belirtilmiştir.

2.4.3.3.2. Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi

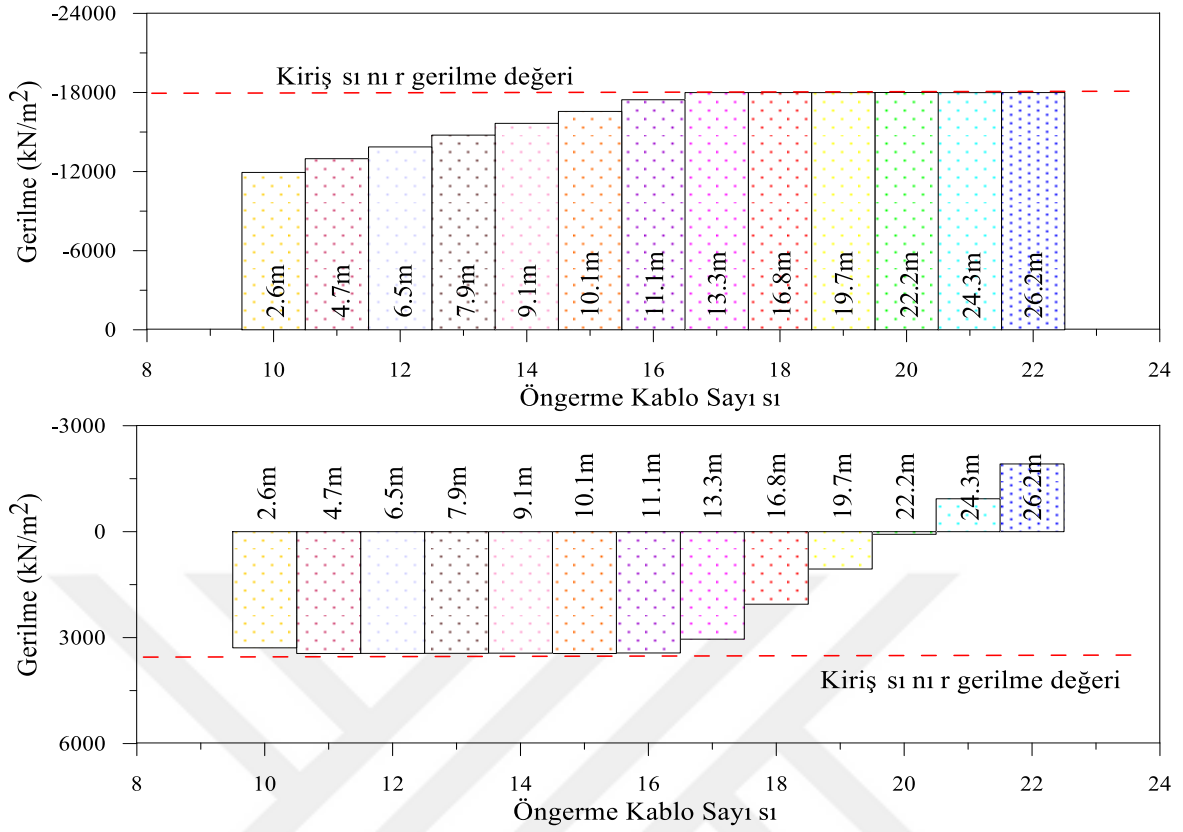
Analizler sonucu görülmüştür ki I110 kirişi için 23 öngerilme kablosu kullanılamamaktadır. 2 ve 3 nolu analizler için farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen minimum mesafeler ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.44 ve Şekil 2.45 de verilmiştir.



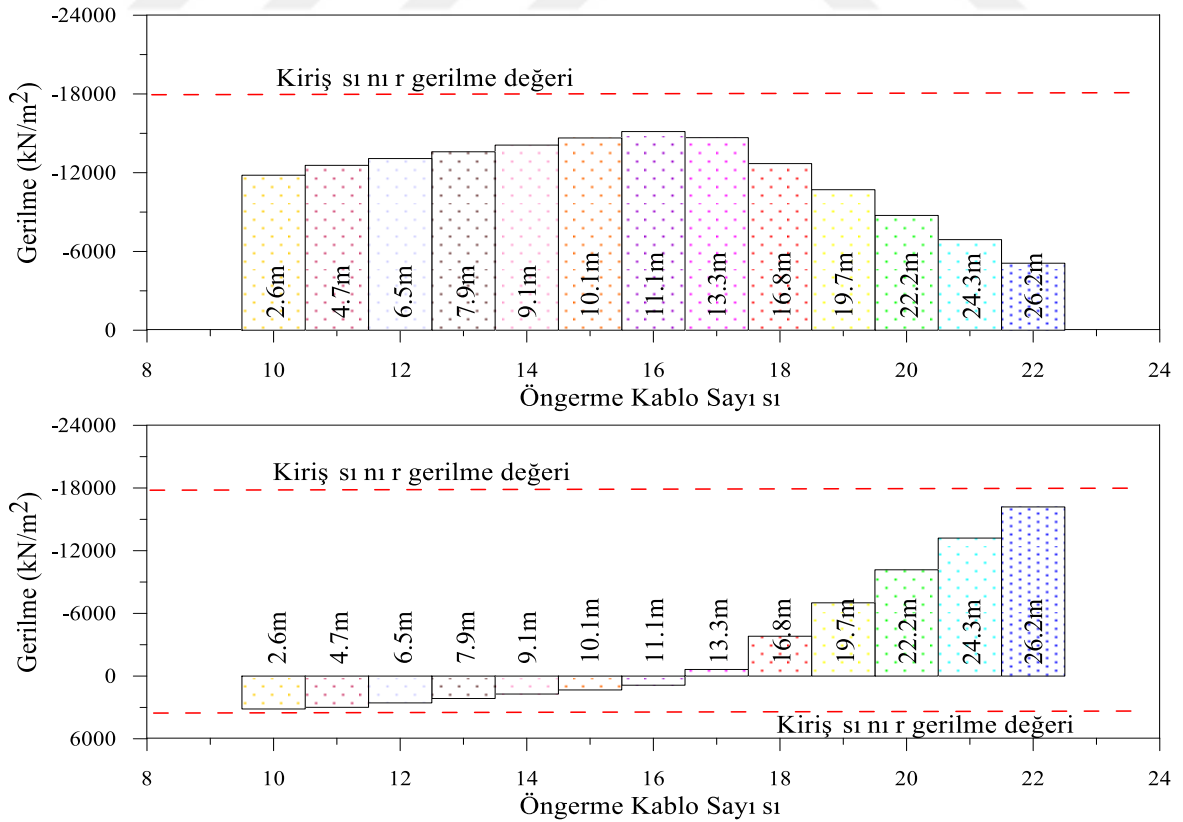
Şekil 2.2 Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.43. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.44. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



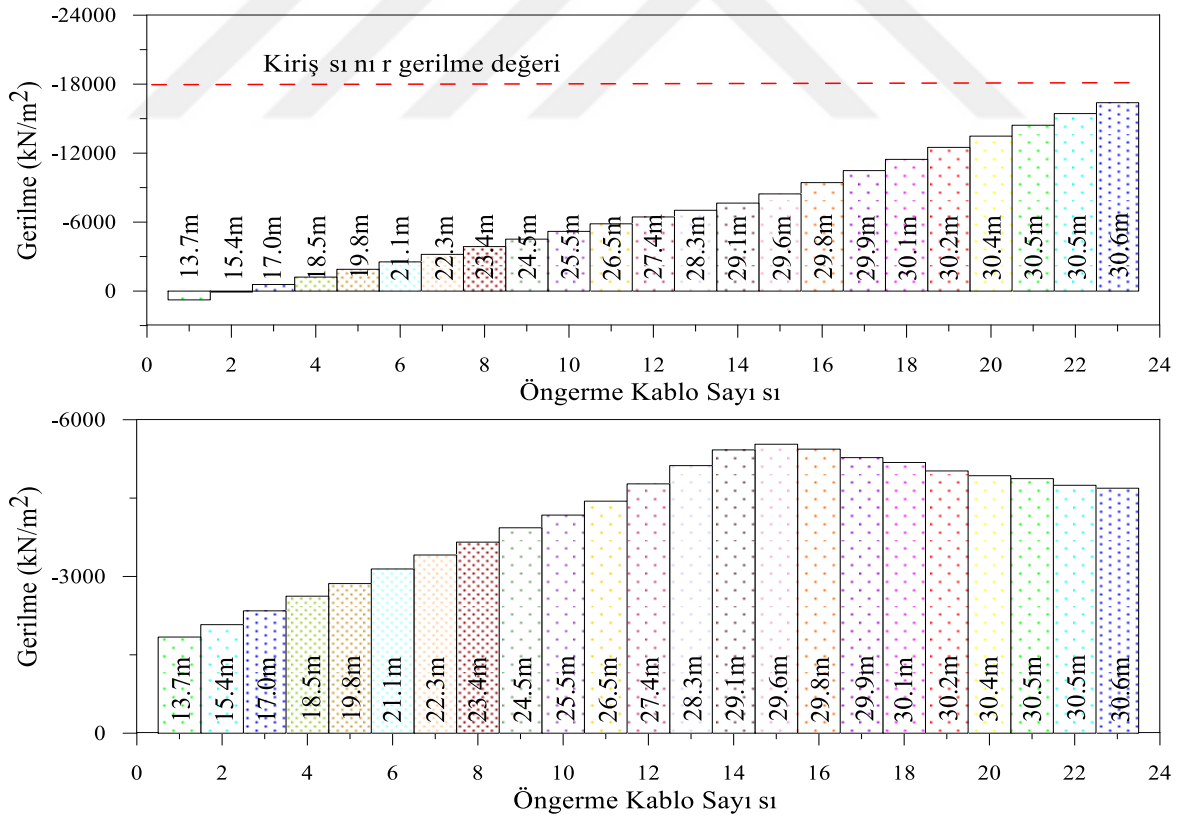
Şekil 2.45. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları

2.4.2.3.3. Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi

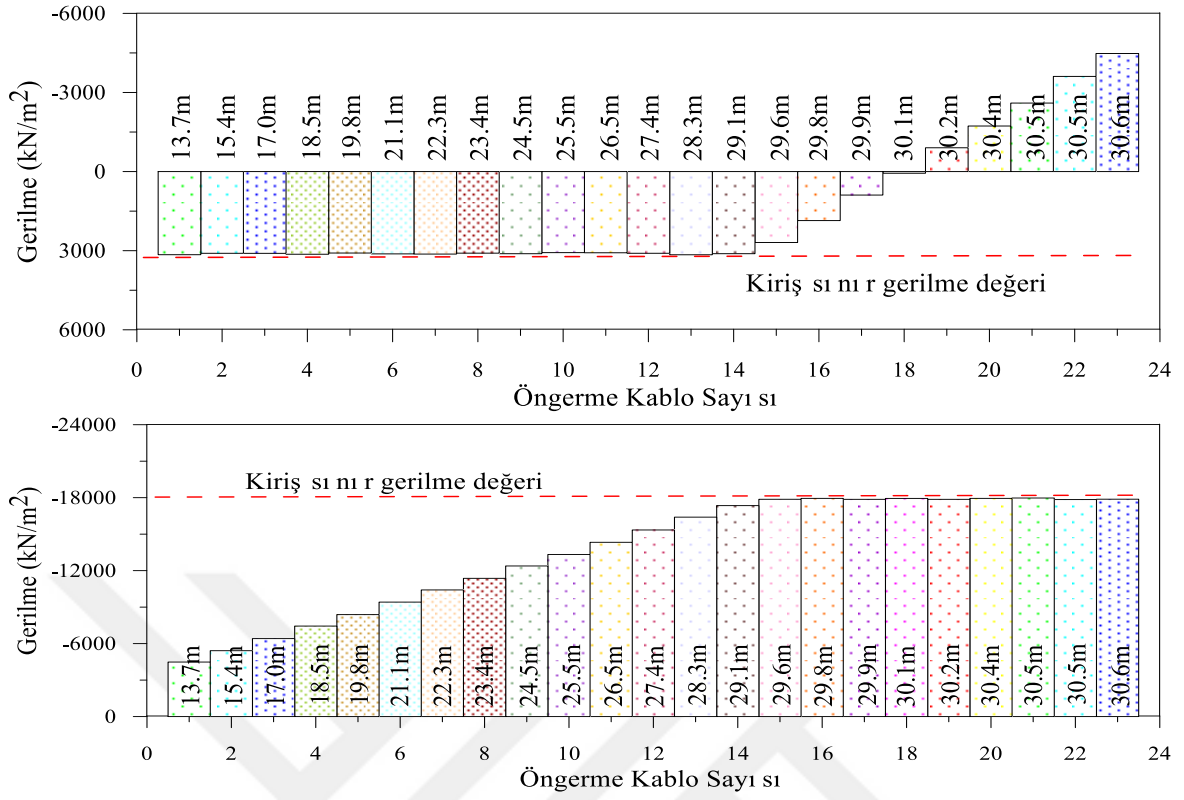
Analizler sonucu görülmüştür ki; I110 kirişi için, 15 ve üzerindeki öngerme kablosu, köprünün geçilmesine izin verilen maksimum değer olan 28.89 m'yi aştığından kullanılamamaktadır. Bu kiriş için geçen maksimum açıklık 29.1 metredir ve 14 öngerilme kablo ile geçilmektedir. 2 ve 3 nolu analizler için farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen mesafe ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.46 ve Şekil 2.47 de belirtilmiştir.

2.4.3.3.4. Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi

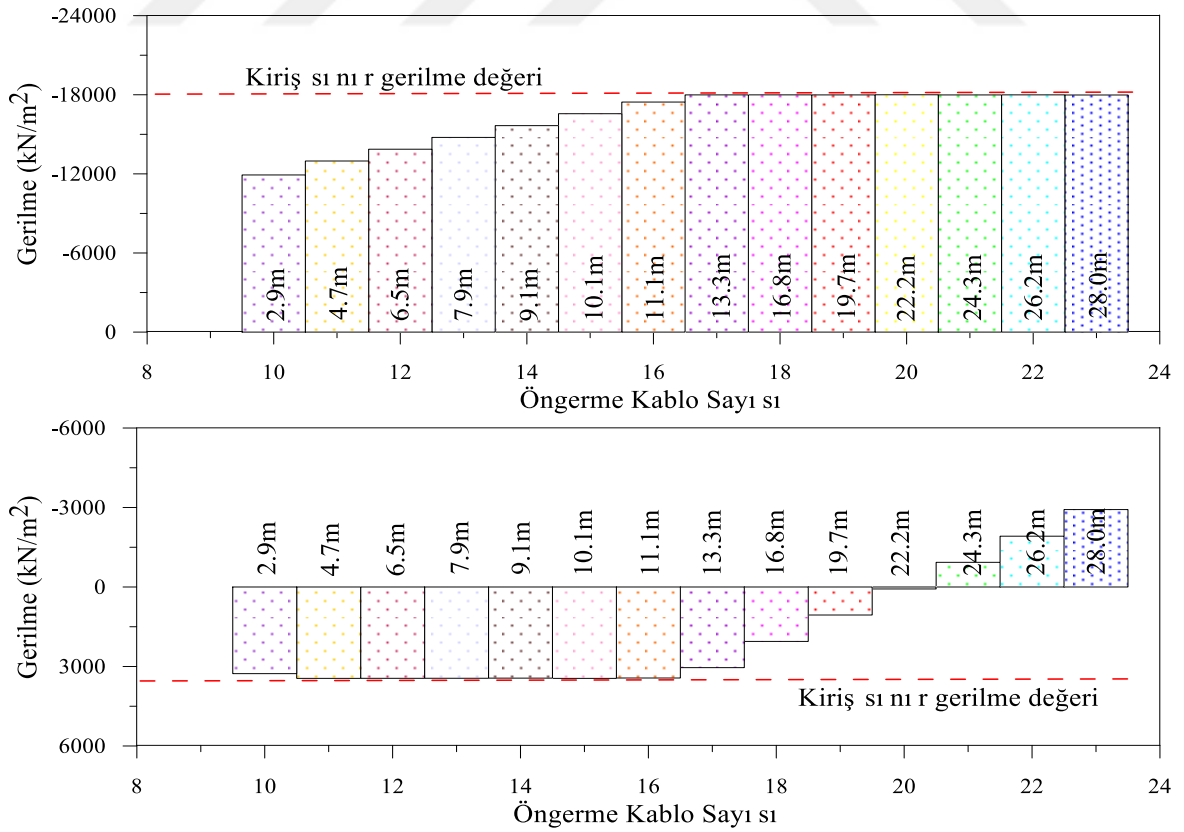
2 ve 3 nolu analizler için farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen minimum mesafeler ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.48 ve Şekil 2.49 da verilmiştir.



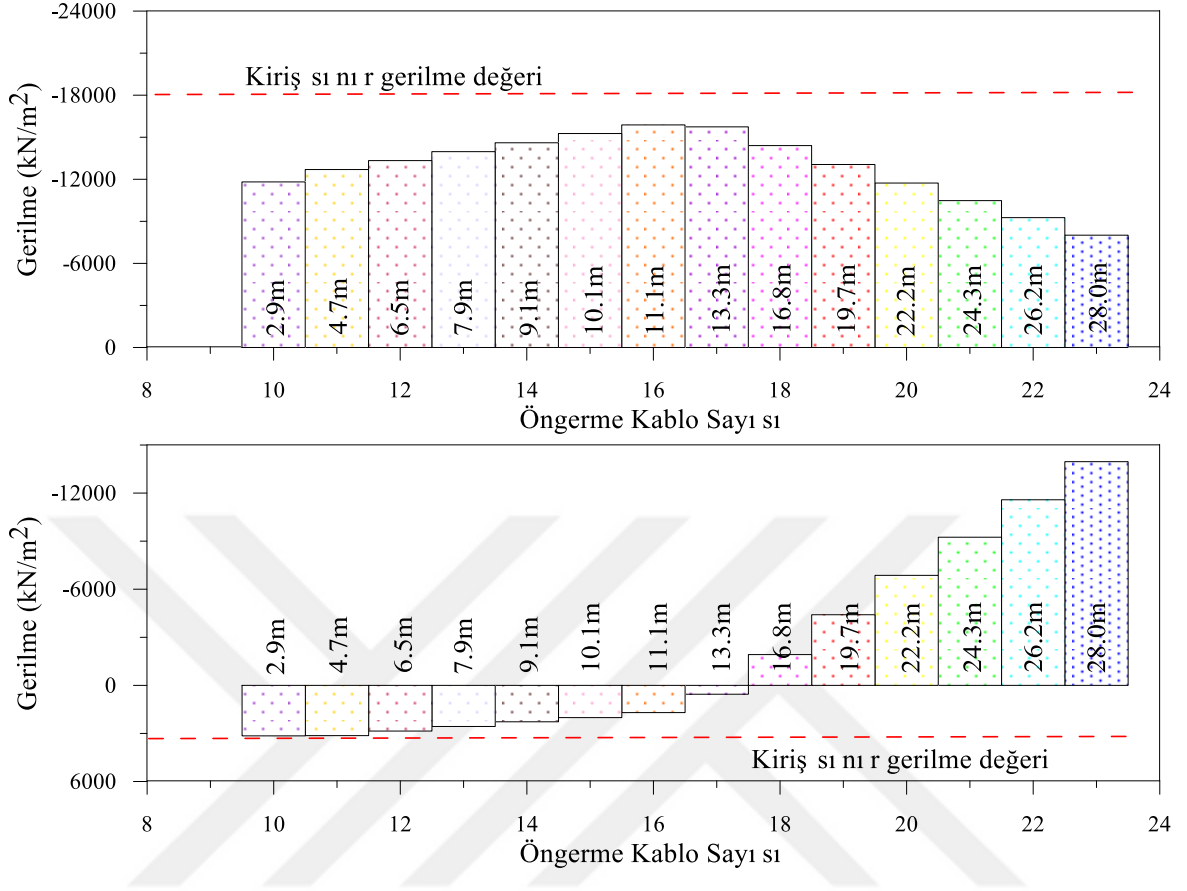
Şekil 2.46. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.47. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.48. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.49. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları

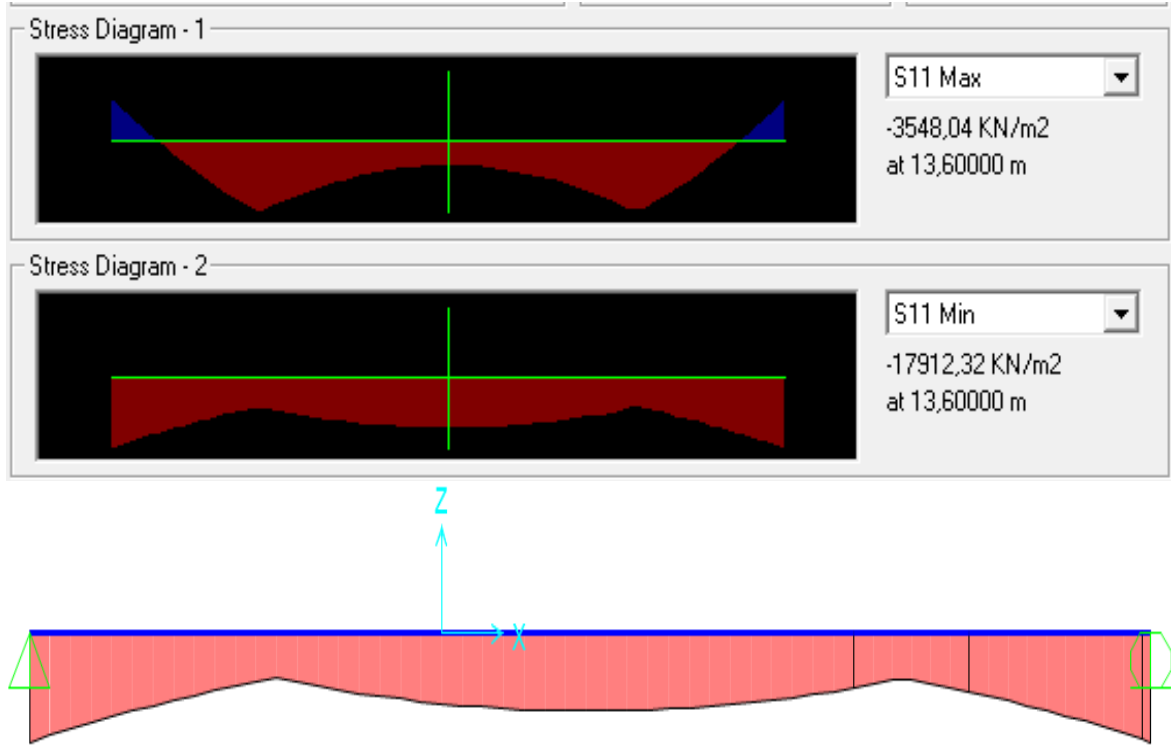
2.4.3.4. Analizlerin SAP2000 Yardımıyla Doğrulanması

2.4.3.4.1. Maksimum Açıklık İçin Araç Köprüsünün Analizi

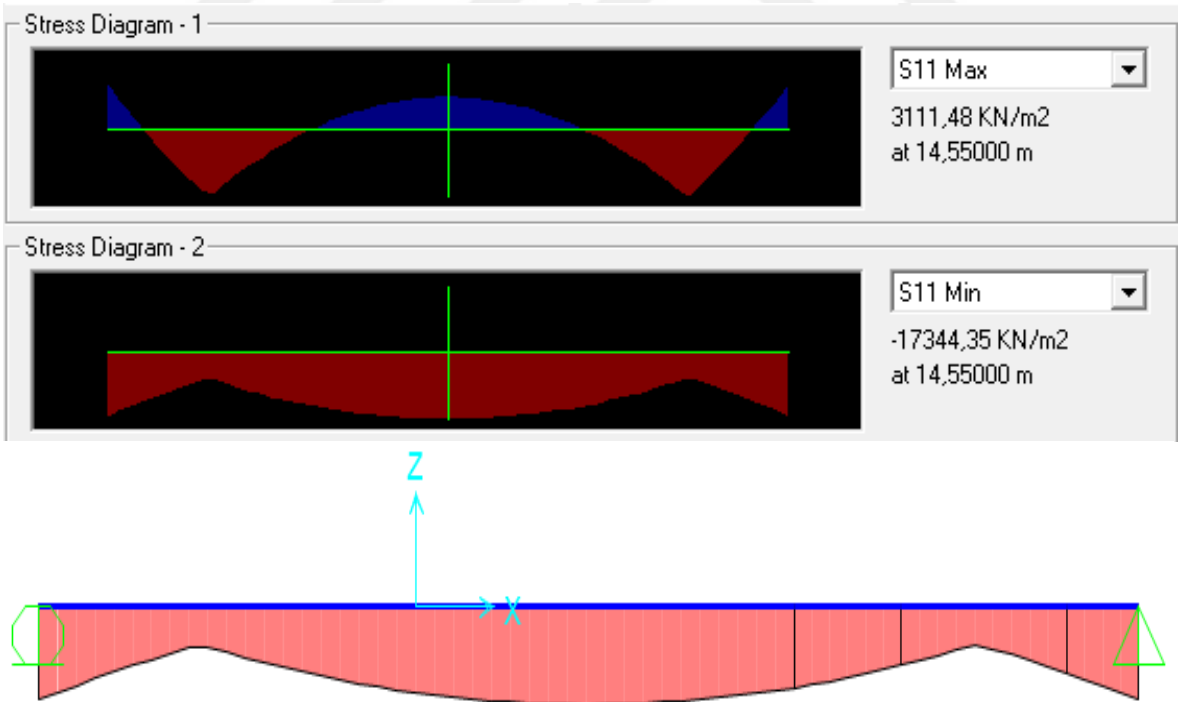
Araç köprüsü için maksimum açıklığın geçilebilmesi maksadıyla yapılan Sap2000 analizi sonucu Şekil 2.50'deki gibidir.

2.4.3.4.2. Maksimum Açıklık İçin Yaya Köprüsünün Analizi

Araç köprüsü için maksimum açıklığın geçilebilmesi maksadıyla yapılan Sap2000 analizi sonucu Şekil 2.51'deki gibidir.



Şekil 2.50. Servis yükü altında araç köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları

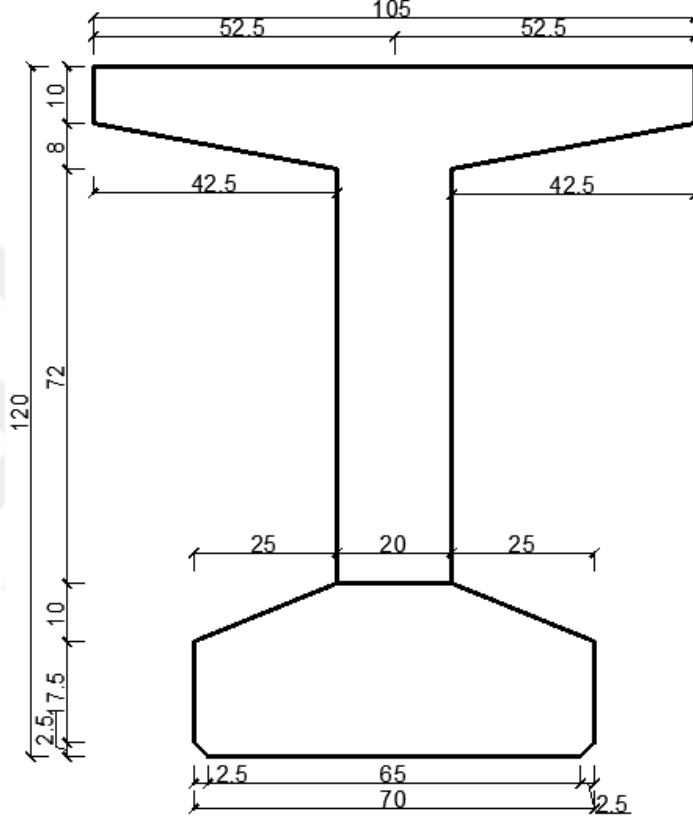


Şekil 2.51. Servis yükü altında yaya köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları

2.4.4. Yüksekliği 120 cm Olan Öngerilmeli Prekast Kirişin Optimum Açıklığının Belirlenmesi

2.4.4.1.Kirişin Seçilmesi

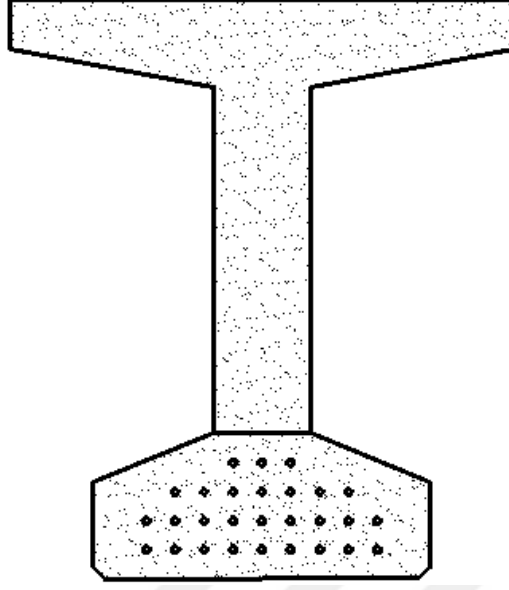
Seçilen kirişin boyutları Şekil 2.52’de gösterilmiştir.



Şekil 2.52. I 120 kirişi

2.4.4.2. Öngerilmeli Kiriş Kablolarının Sayısının Belirlenmesi

Öngerilme kablosu sayısı belirlenirken seçilen kiriş için 6 cm pas payı ve 6 cm kablolar arası mesafe olacak şekilde sınırlandırılmalarına uyulmuştur. Bu sınırlandırmalar göz önüne alındığında I 120 kirişi için en alt sıra 9 ikinci sıra 9 üçüncü sıra 7 ve dördüncü sıra 3 olmak üzere 28 adet öngerilme kablosu kirişte mevcut olmuştur.



Şekil 2.53. Öngerilme kablolarının yerleştirilmesi

2.4.4.3. Gerilme ve Mesafelerin Elle Çözüm ile Belirlenmesi

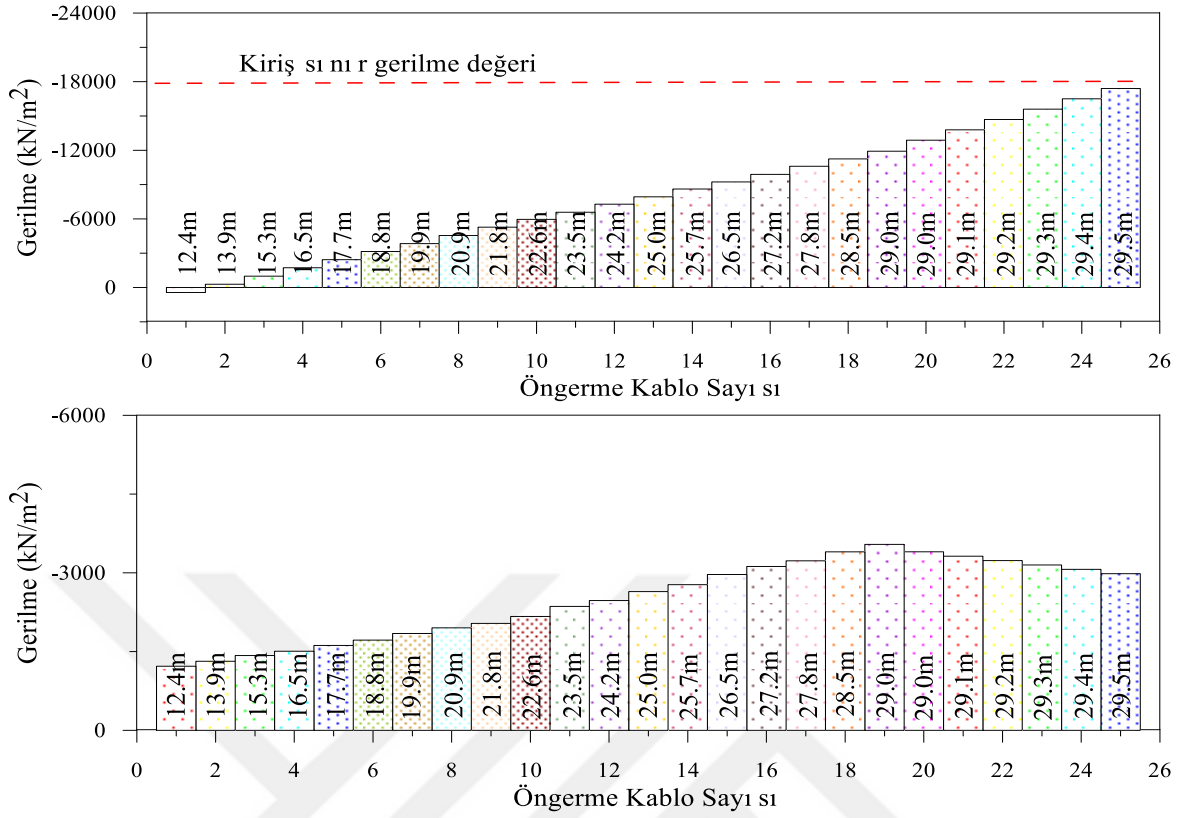
İlk olarak kirişlere gelen yayılı yükler ve eğilme rijitliği değerleri hesaplanmıştır. Yüksekliği 120 cm plan kiriş geçilebilen maksimum mesafe 31.11 m'dir. Optimum açıklığın belirlenmesinde kullanılan hesaplamalar öngerilme kuvveti altında ve servis yüklemesi altında olmak üzere iki bölümde hesaplanmıştır.

2.4.4.3.1. Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi

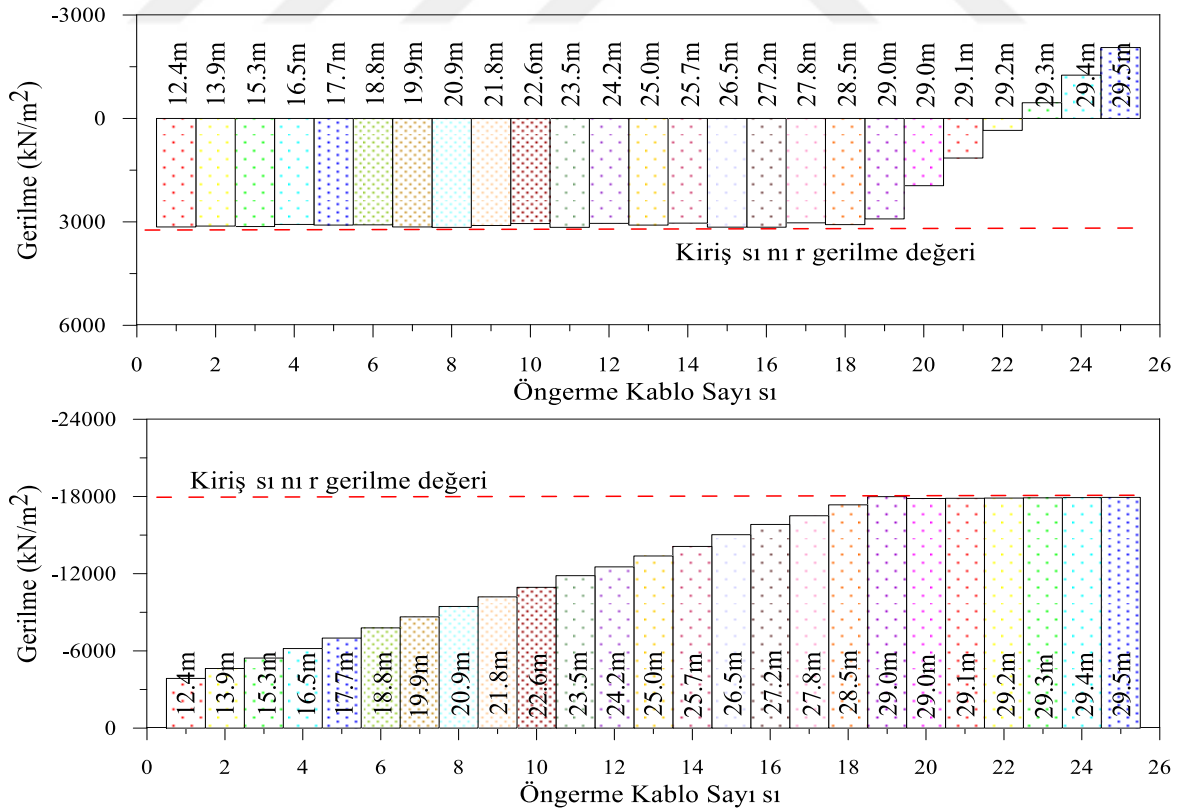
Analizler sonucu görülmüştür ki I120 kirişi alt ve üst lifleri göz önüne alındığında 26, 27 ve 28 öngerilme kablosu kullanılamamaktadır. Bu kiriş için geçilen maksimum açıklık 29,5 metredir ve 25 öngerilme kablo ile geçilmektedir. 2 ve 3 nolu analizler için farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen mesafe ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.54 ve Şekil 2.55 de belirtilmiştir.

2.4.4.3.2. Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi

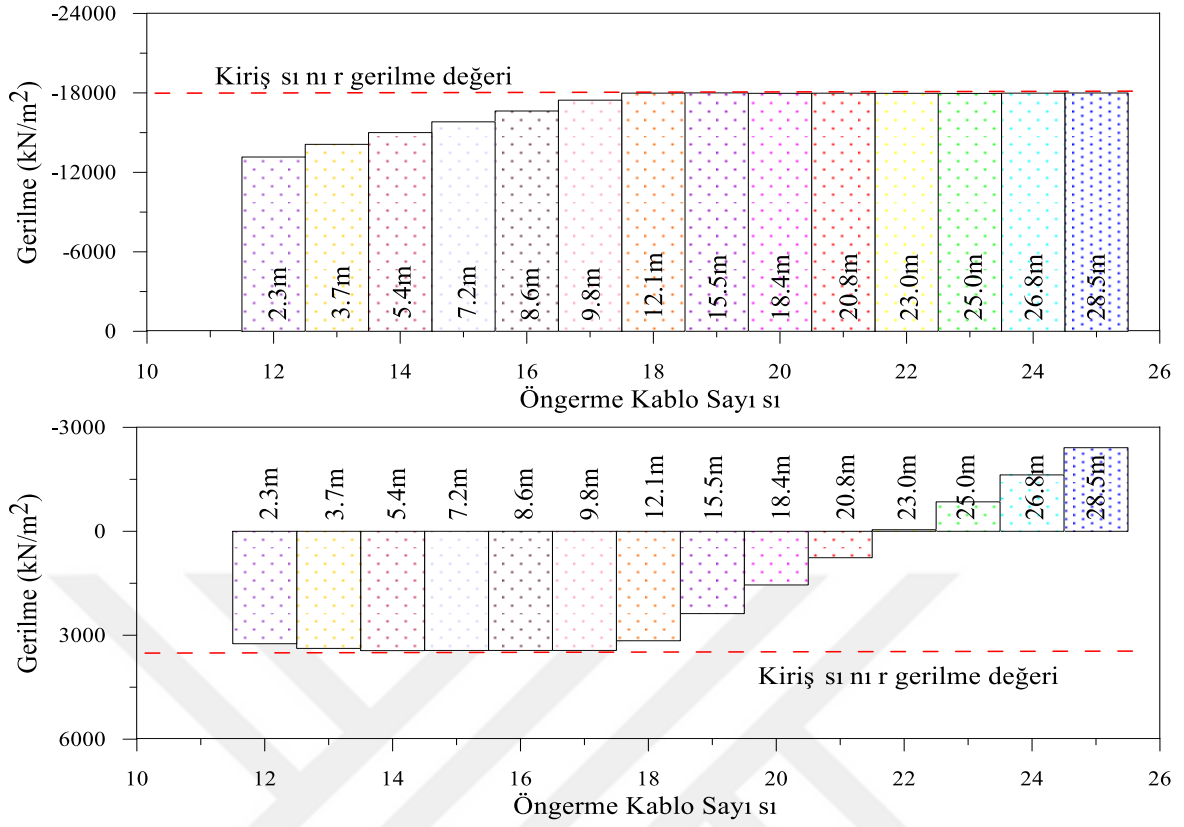
Analizler sonucu görülmüştür ki I120 kirişi için 26, 27 ve 28 öngerilme kablosu kullanılamamaktadır. Analizler için farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen minimum mesafe ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.56 ve Şekil 2.57 de verilmiştir.



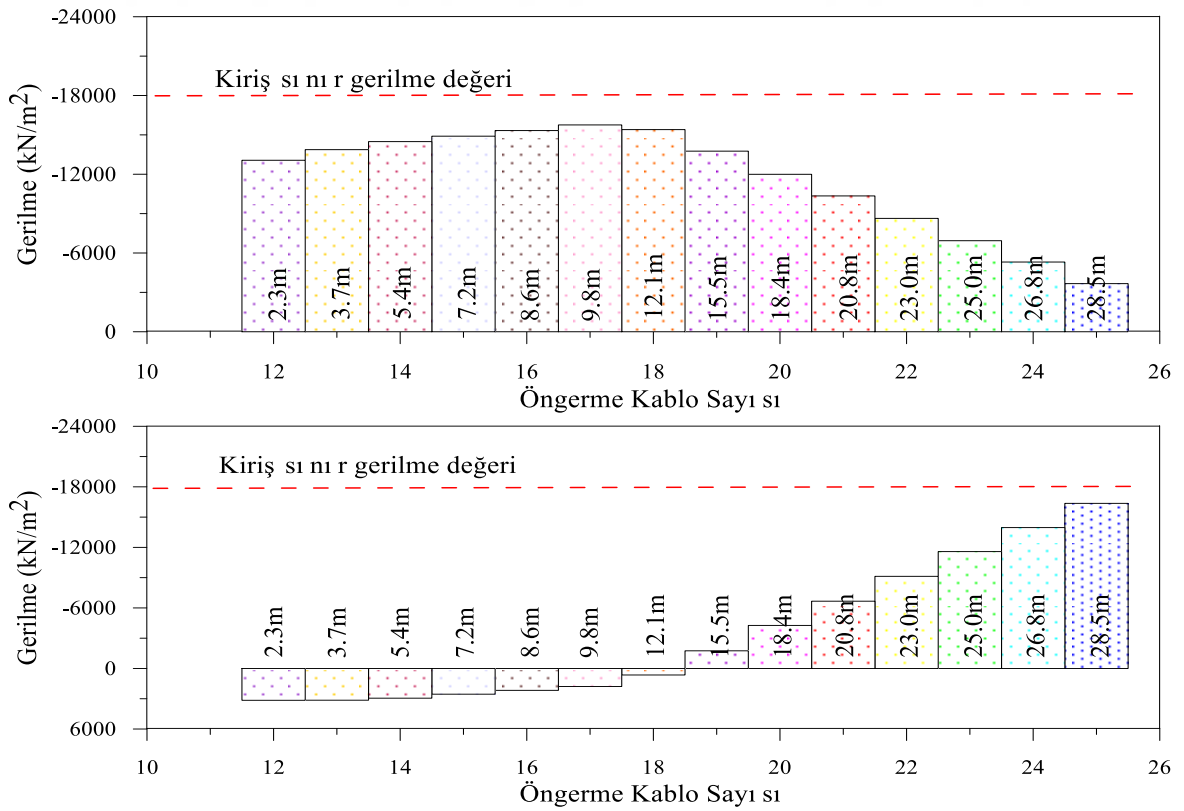
Şekil 2.54. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.55. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.56. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



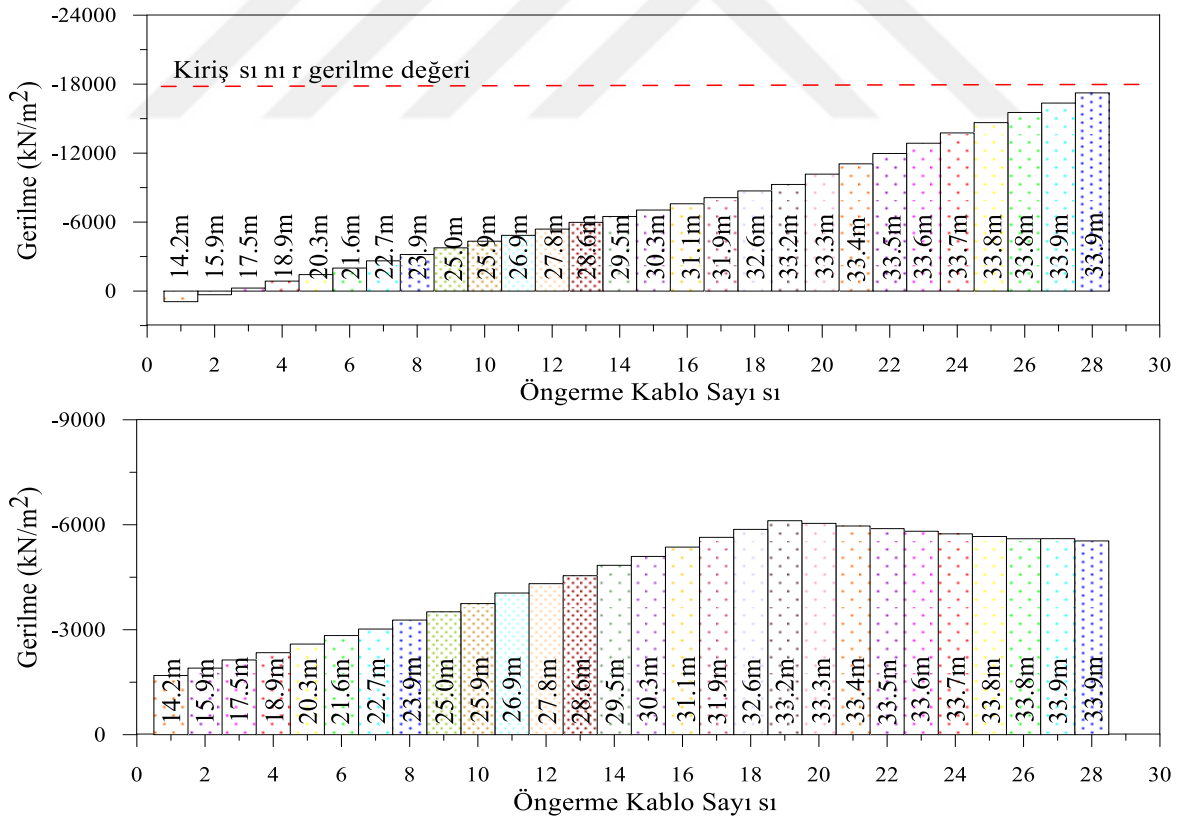
Şekil 2.57. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları

2.4.4.3.3. Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi

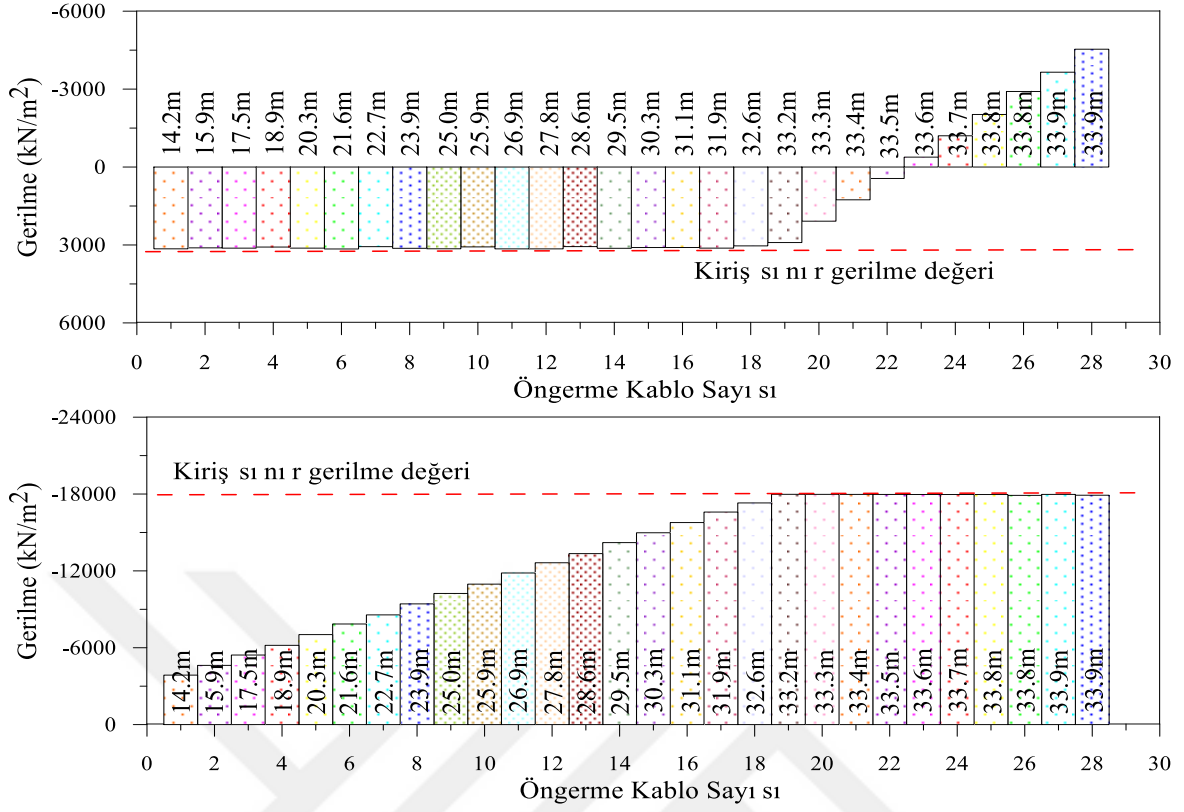
Analizler sonucu görülmüştür ki; I120 kirişi için, 17 ve üzerindeki öngerme kablosu, köprü'nün geçilmesine izin verilen maksimum değer olan 31.11 m'yi aştığından kullanılamamaktadır. Bu kiriş için geçilen maksimum açıklık 31.1 m'dir ve 16 öngerme kablo ile geçilmektedir. 2 ve 3 nolu analizler için farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen mesafe ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.58 ve Şekil 2.59 da belirtilmiştir.

2.4.4.3.4. Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi

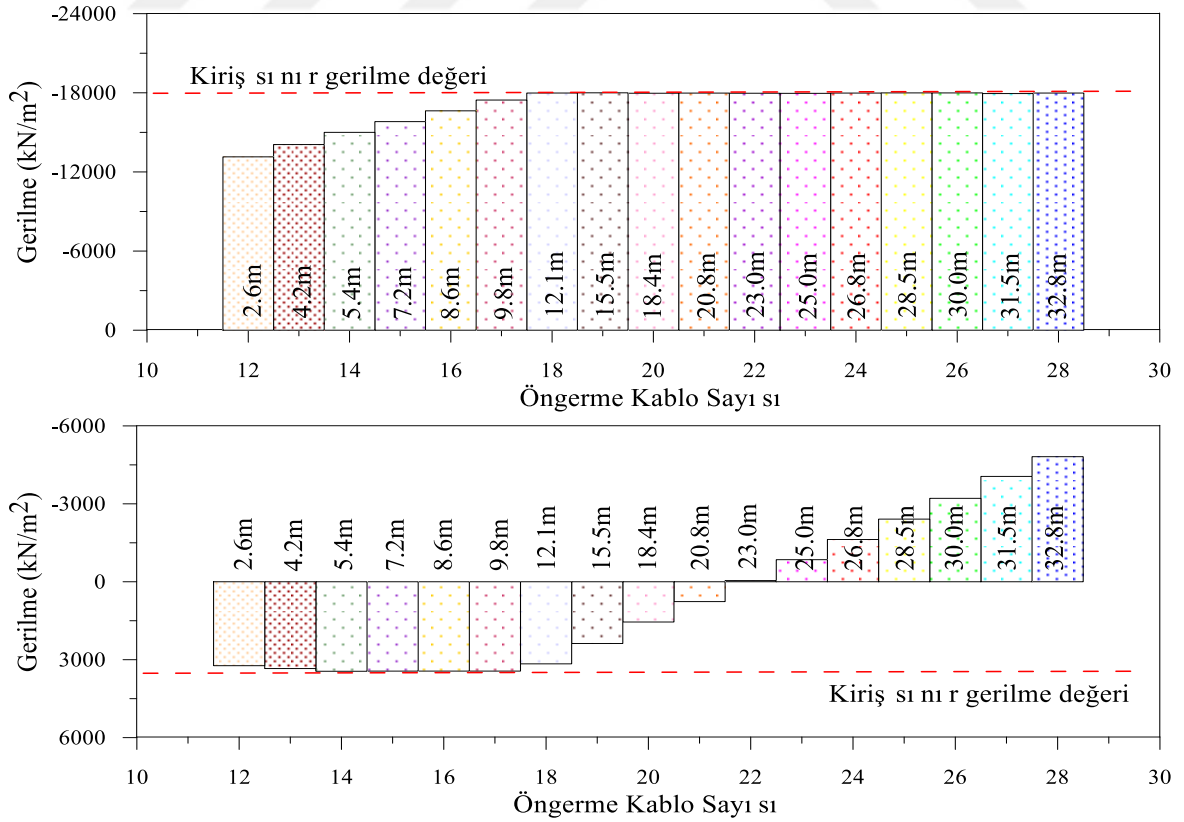
2 ve 3 nolu analizler için farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen minimum mesafeler ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.60 ve Şekil 2.61 de verilmiştir.



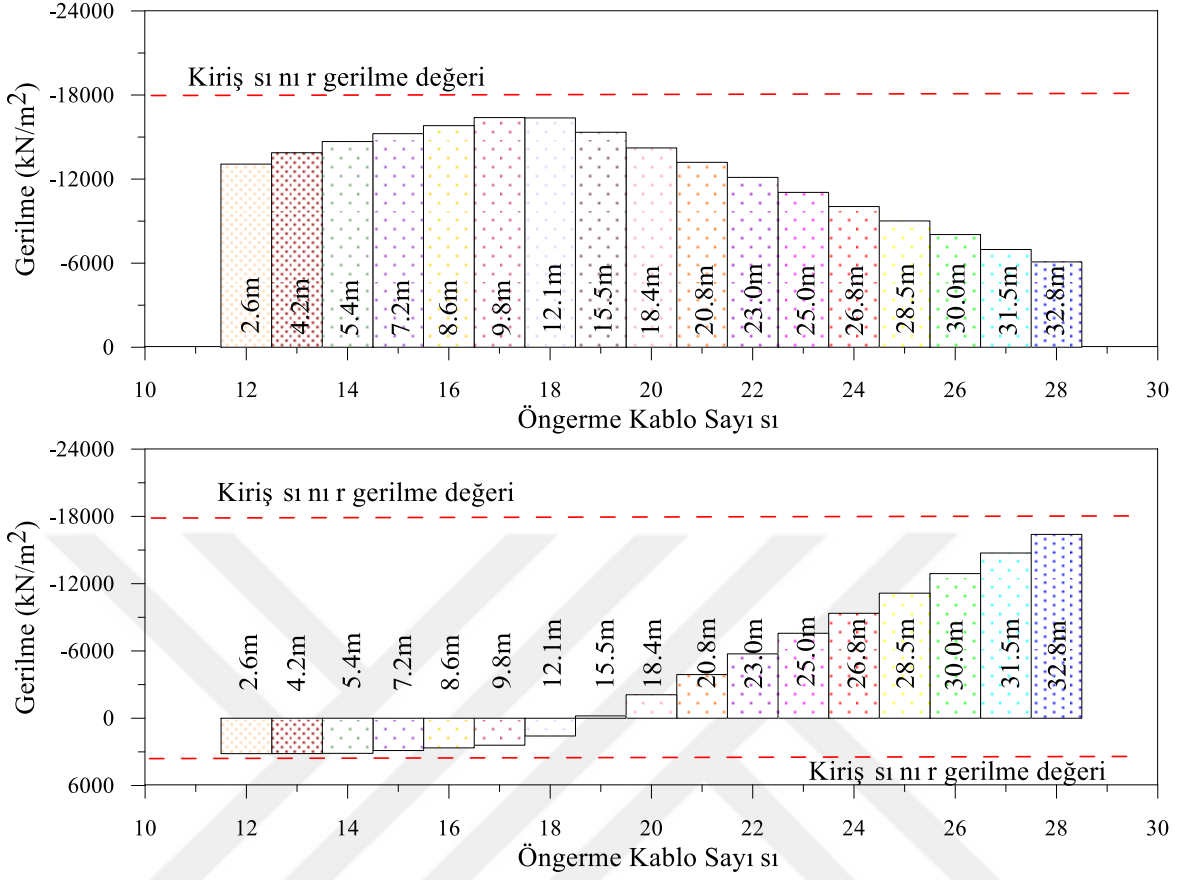
Şekil 2.58. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.59. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.60. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.61. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları

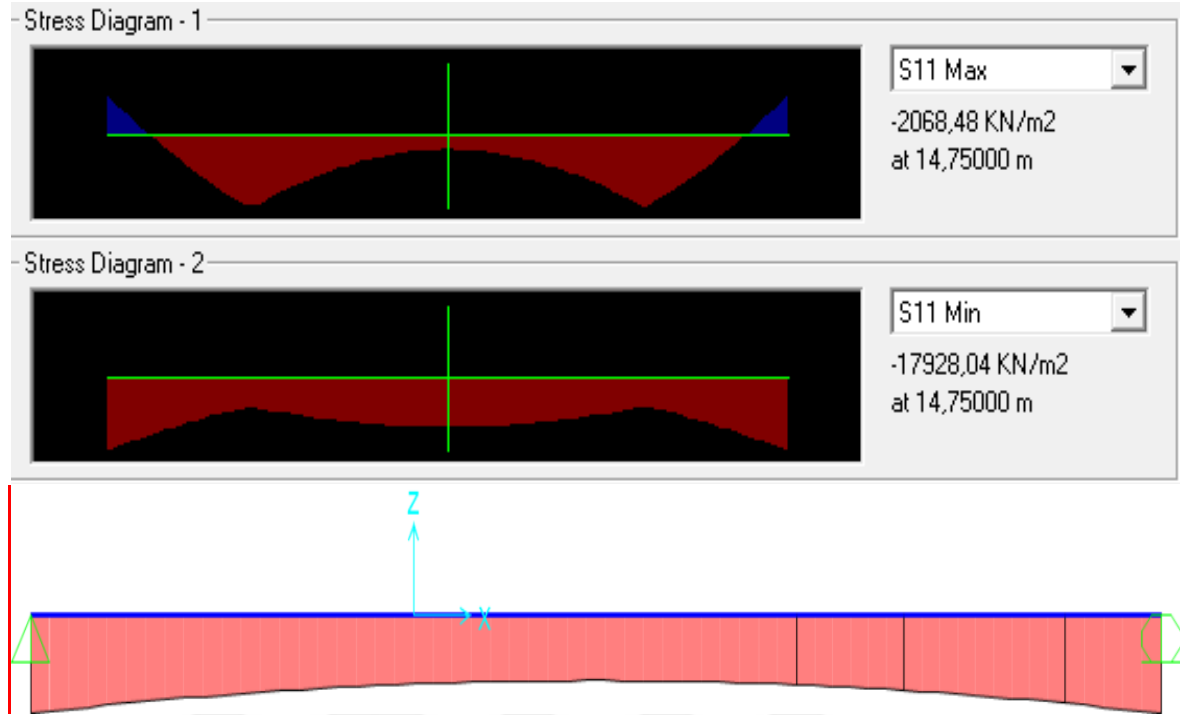
2.4.4.4. Analizlerin SAP2000 Yardımıyla Doğrulanması

2.4.4.4.1. Maksimum Açıklık İçin Araç Köprüsünün Analizi

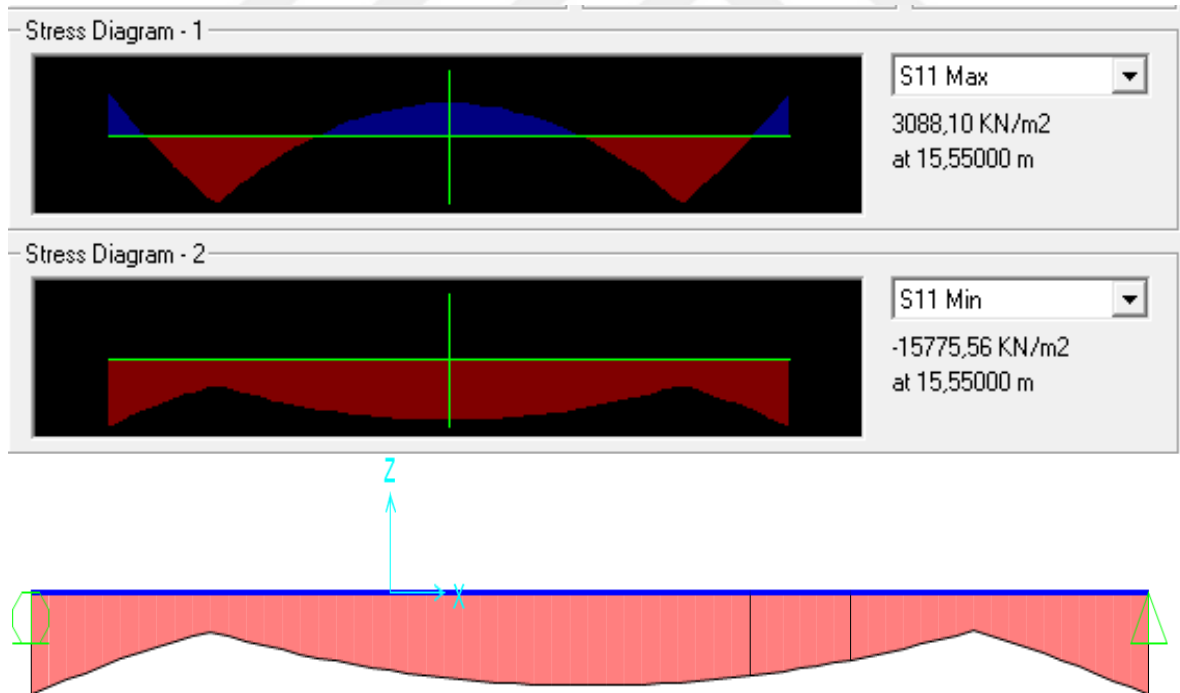
Araç köprüsü için maksimum açıklığın geçilebilmesi maksadıyla yapılan SAP2000 analizi sonucu Şekil 2.62'deki gibidir.

2.4.4.4.2. Maksimum Açıklık İçin Yaya Köprüsünün Analizi

Araç köprüsü için maksimum açıklığın geçilebilmesi maksadıyla yapılan SAP2000 analizi sonucu Şekil 2.63'deki gibidir.



Şekil 2.62. Servis yükü altında araç köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları

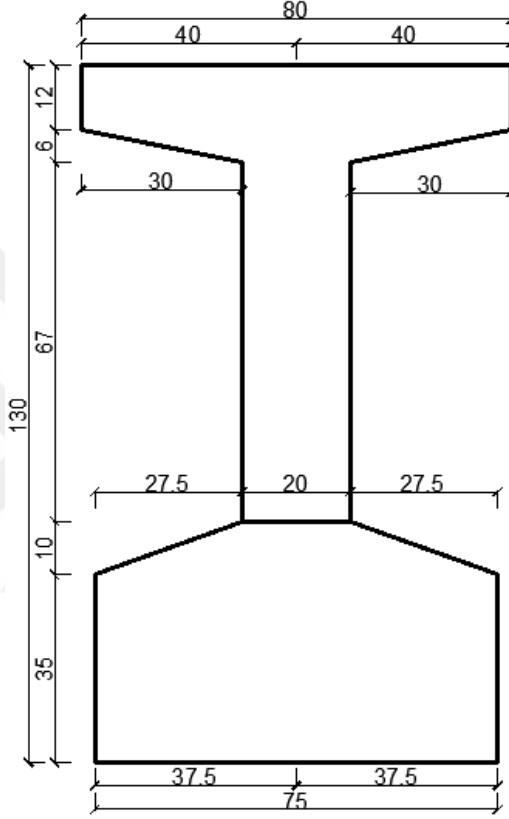


Şekil 2.63. Servis yükü altında yaya köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları

2.4.5. Yüksekliği 130 cm Olan Öngerilmeli Prekast Kirişin Optimum Açıklığının Belirlenmesi

2.4.5.1. Kirişin Seçilmesi

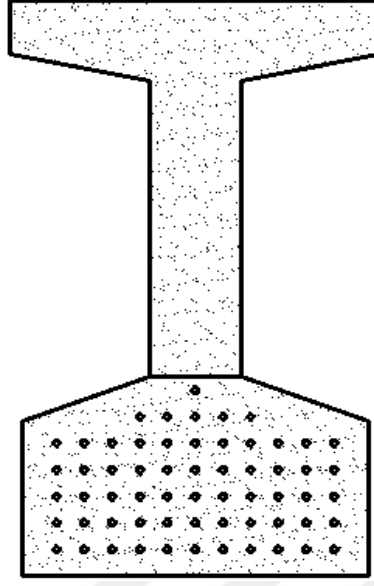
Seçilen kirişin boyutları Şekil 2.64’de gösterilmiştir.



Şekil 2.64. I 130 kirişi

2.4.5.2. Öngerilmeli Kiriş Kablolarının Sayısının Belirlenmesi

Öngerilme kablosu sayısı belirlenirken seçilen kiriş için 6 cm pas payı ve 6 cm kablolar arası mesafe olacak şekilde sınırlandırılmaları uyulmuştur. Bu sınırlandırmalar göz önüne alındığında I 130 kirişi için en alt sıra 11 ikinci sıra 11 üçüncü sıra 11 ve dördüncü sıra 11 beşinci sıra 11 altıncı sıra 5 yedinci sıra 1 olmak üzere 61 adet öngerilme kablosu kirişte mevcut olmuştur.



Şekil 2.65. Öngerilme kablolarının yerleştirilmesi

2.4.5.3. Gerilme ve Mesafelerin Elle Çözüm ile Belirlenmesi

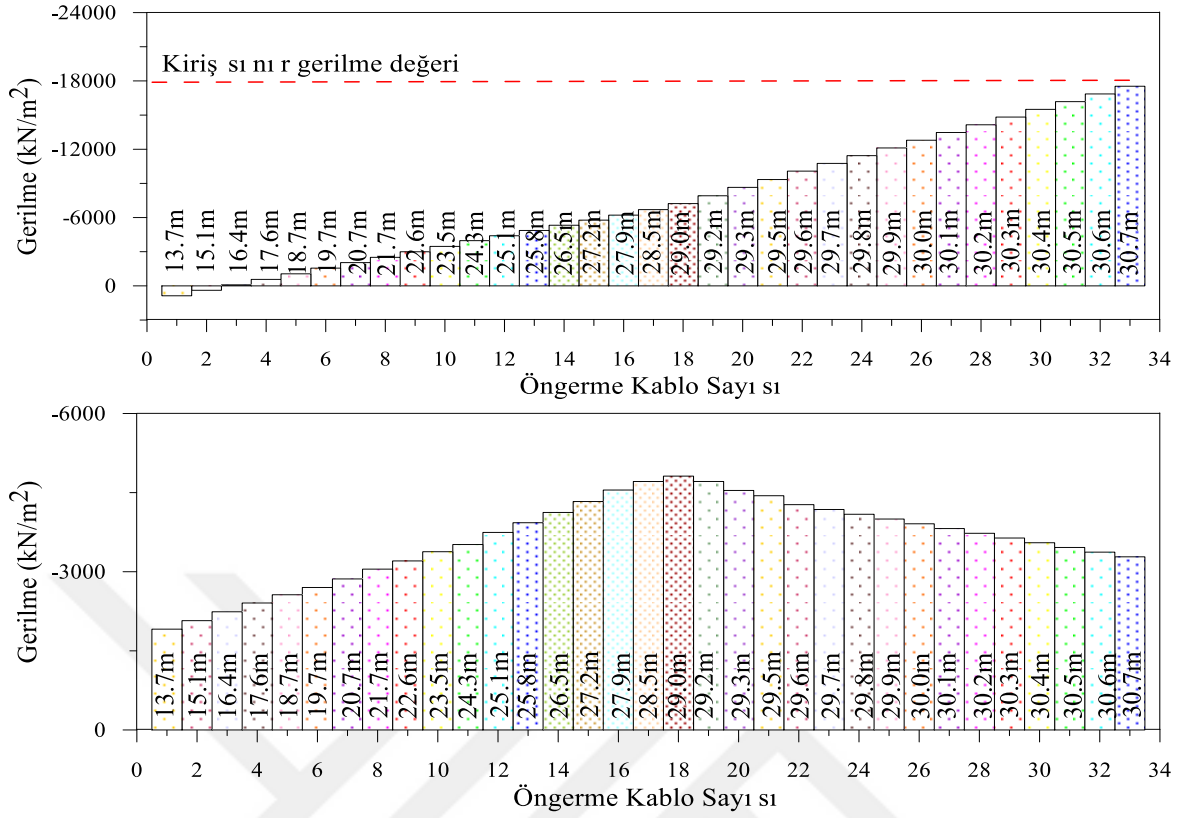
İlk olarak kirişlere gelen yayılı yükler ve eğilme rijitliği değerleri hesaplanmıştır. Yüksekliği 130 cm plan kiriş geçilebilen maksimum mesafe 33.33 m'dir. Optimum açıklığın belirlenmesinde kullanılan hesaplamalar öngerilme kuvveti altında ve servis yüklemesi altında olmak üzere iki bölümde hesaplanmıştır.

2.4.5.3.1. Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi

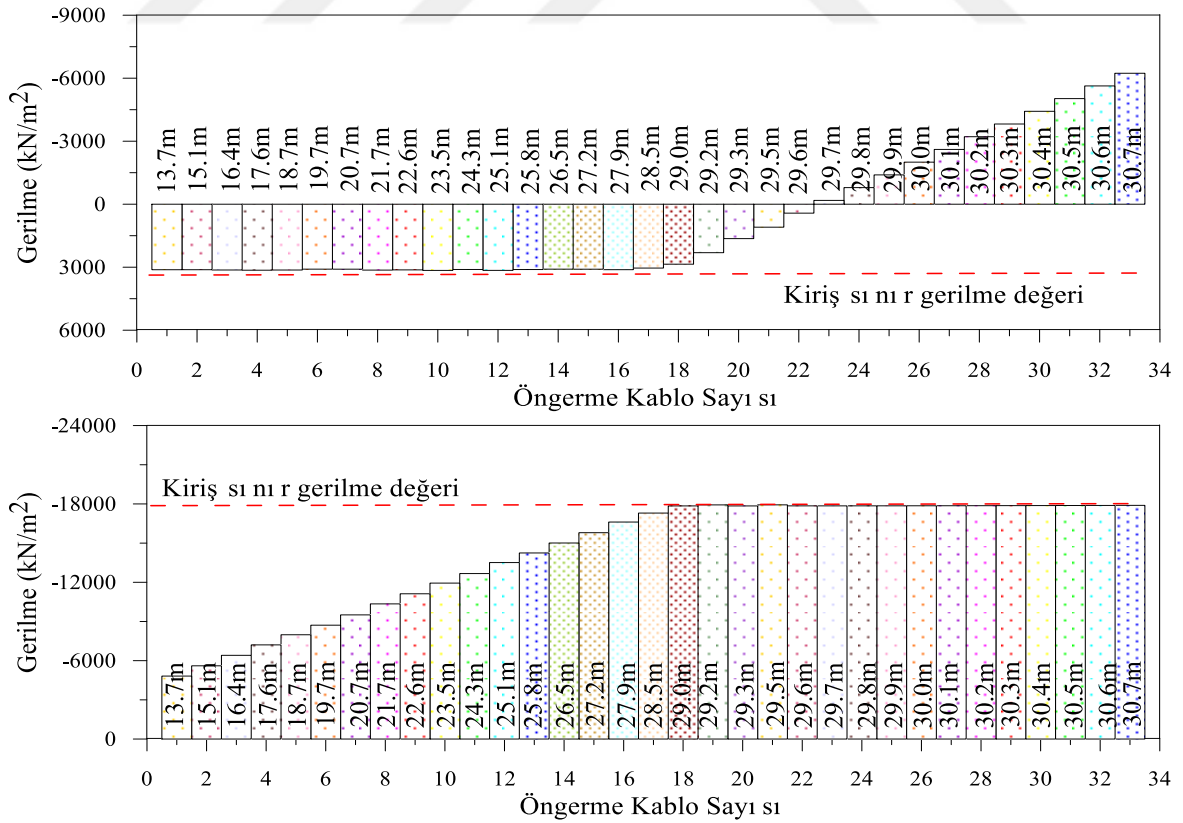
Analizler sonucu görülmüştür ki I130 kirişi alt ve üst lifleri göz önüne alındığında maksimum 33 öngerilme kablosu kullanıldığı 34 ve üzeri öngerilme kablosu kullanılamamaktadır. Bu kiriş için geçilen maksimum açıklık 30,7 metredir ve 33 öngerilme kablo ile geçilmektedir. Farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen mesafe ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.66 ve Şekil 2.67'de belirtilmiştir.

2.4.5.3.2. Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi

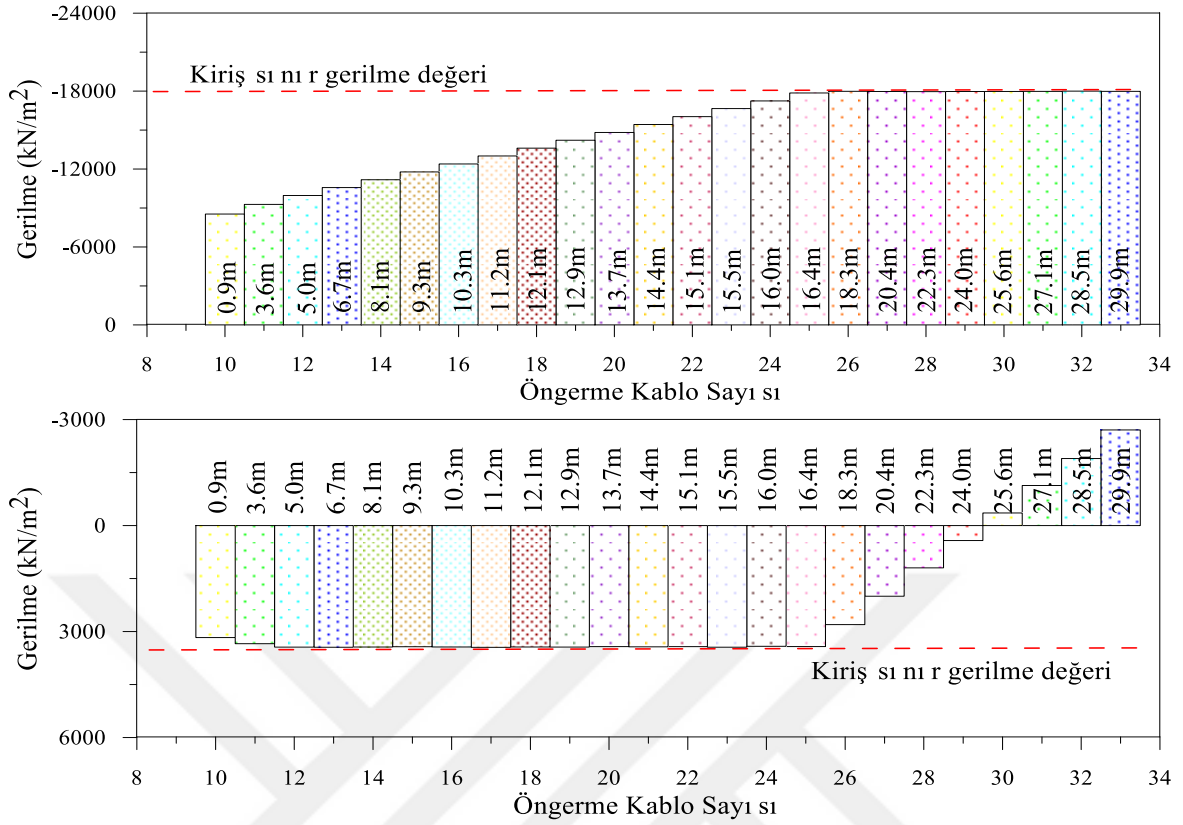
Analizler sonucu görülmüştür ki I130 kirişi için 34 ve üzeri öngerilme kablosu kullanılamamaktadır. Farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen minimum mesafeler ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.68 ve Şekil 2.69'da verilmiştir.



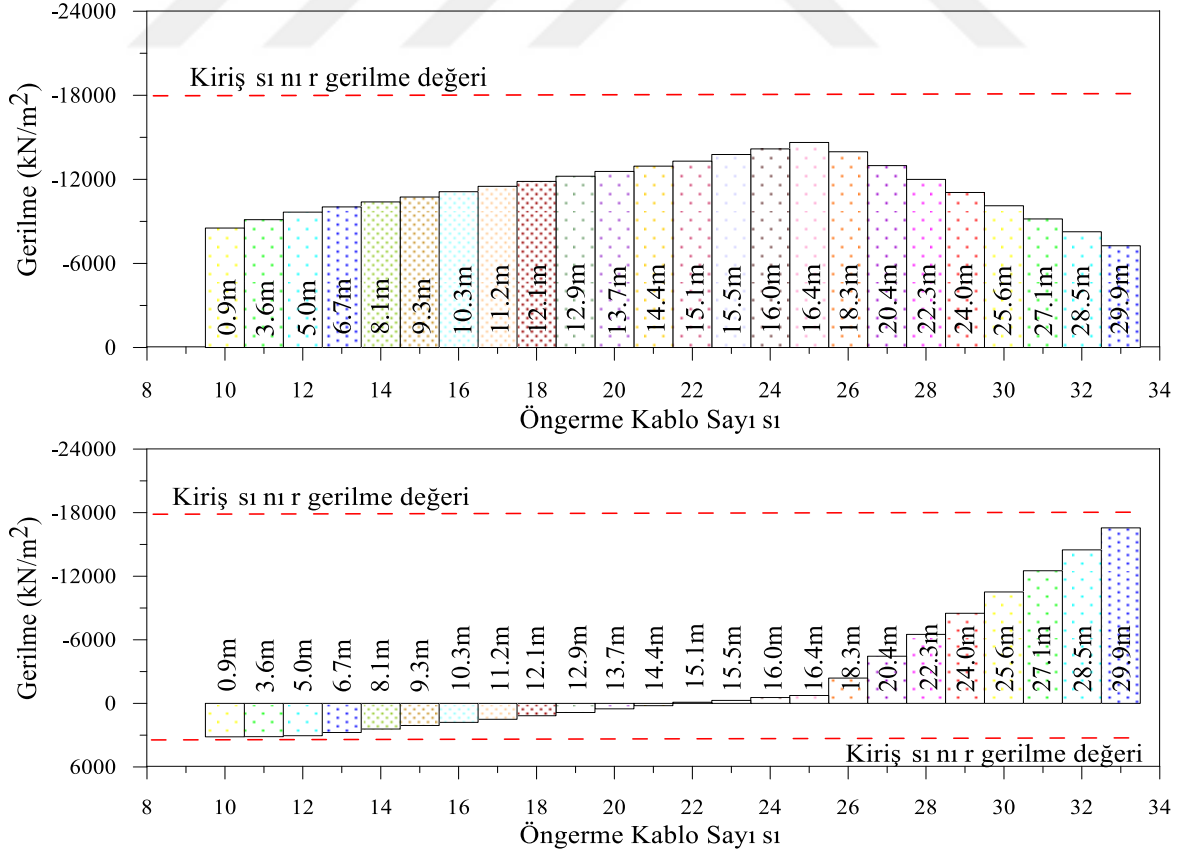
Şekil 2.66. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.67. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.68. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



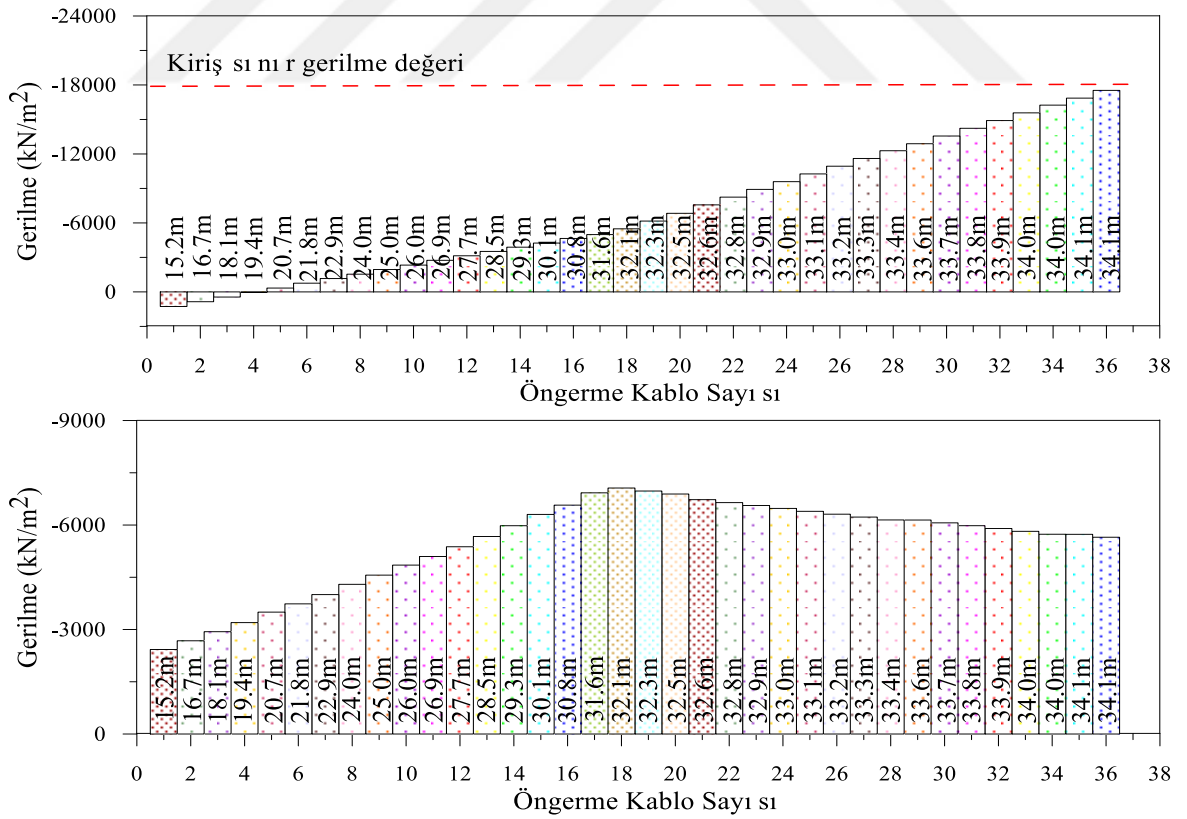
Şekil 2.69. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları

2.4.5.3.3. Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi

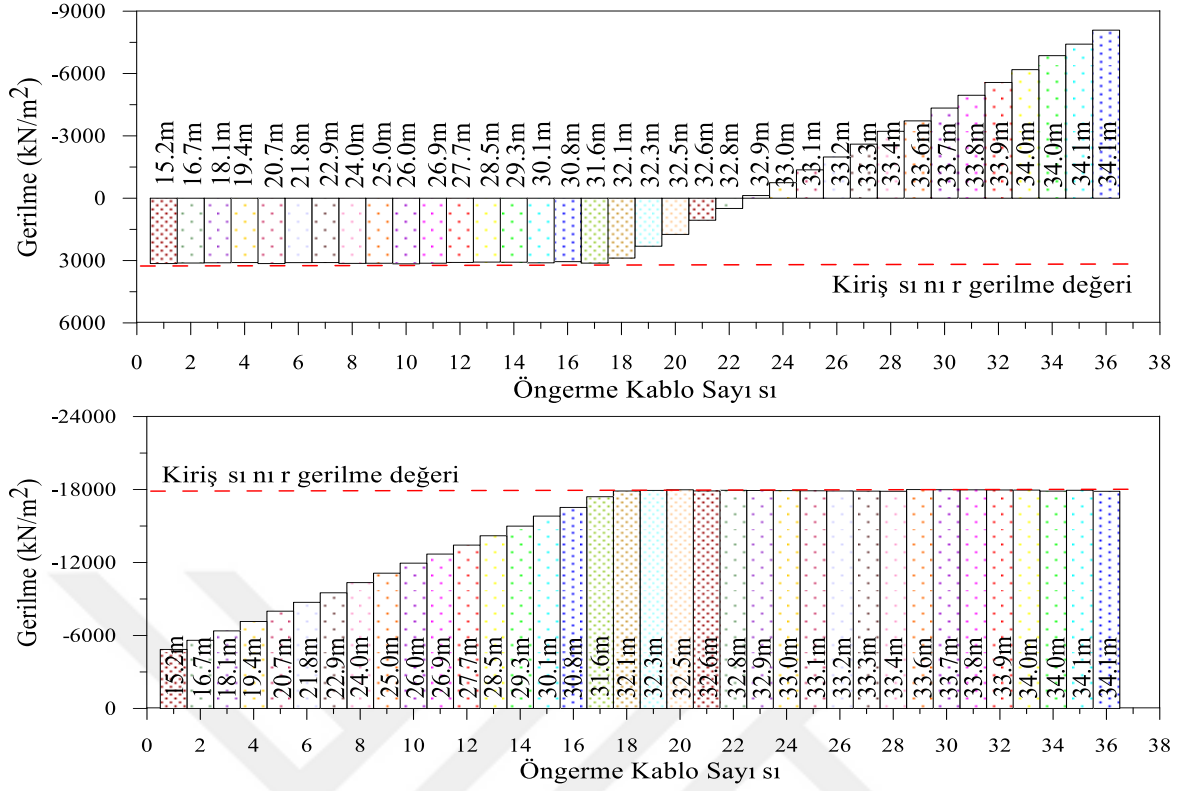
Analizler sonucu görülmüştür ki I130 kirişinde 37 ve üzeri öngerilme kablosu alt ve üst liflerindeki gerilme değerleri göz önüne alındığında kullanılamadığı, 28 ve üzerindeki öngerme kablosu ise, köprünün geçilmesine izin verilen maksimum değer olan 33.33 m'yi aştığından kullanılamamaktadır. Bu kiriş için geçilen maksimum açıklık 33.3 metredir ve 27 öngerilme kablo ile geçilmektedir. 2 ve 3 nolu analizler için farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen mesafe ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.70 ve Şekil 2.71'de belirtilmiştir.

2.4.4.3.4. Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi

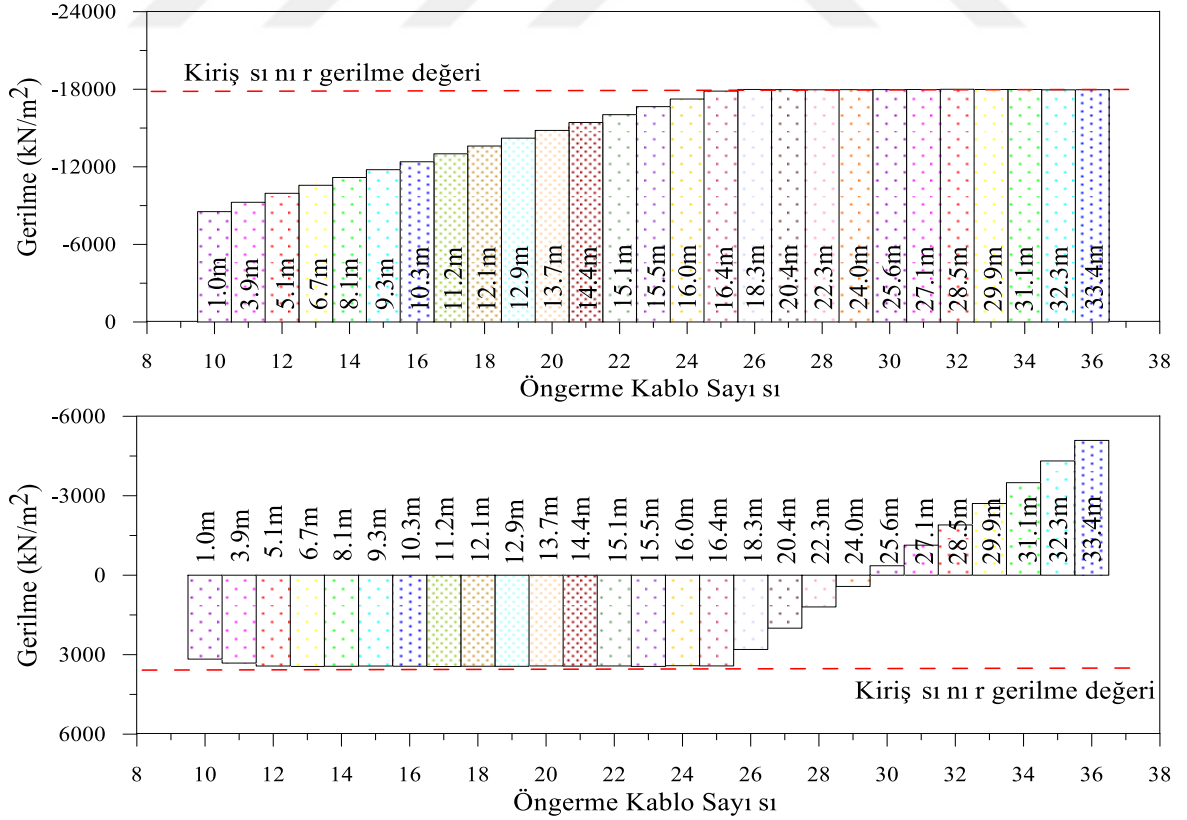
2 ve 3 nolu analizler için farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen minimum mesafeler ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.72 ve Şekil 2.73'de verilmiştir.



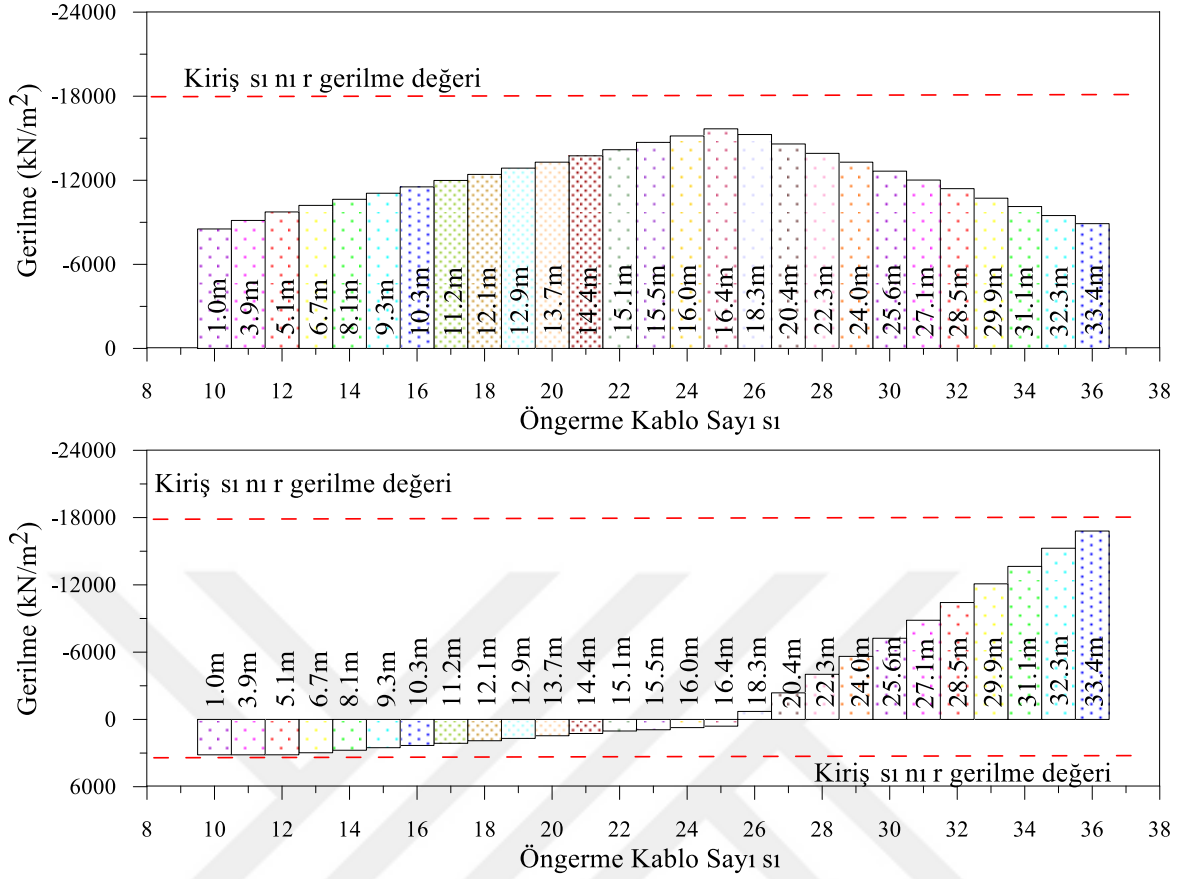
Şekil 2.70. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.71. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.72. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.73. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları

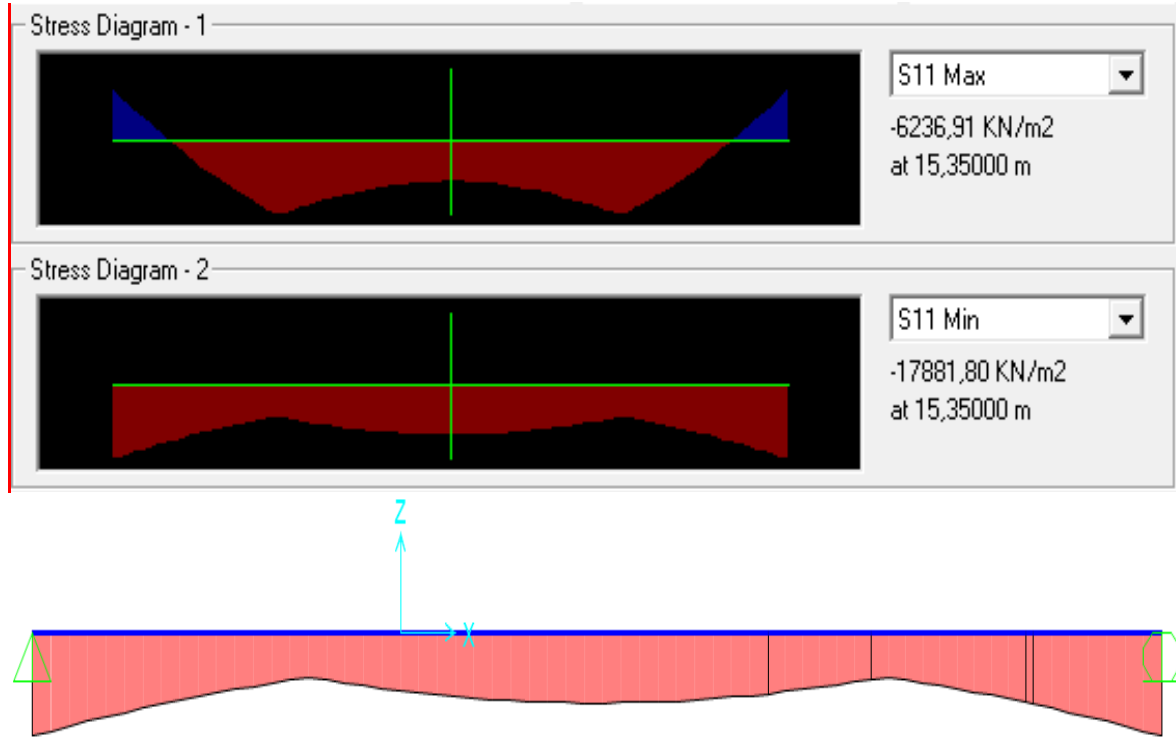
2.4.5.4. Analizlerin SAP2000 Yardımıyla Doğrulanması

2.4.5.4.1. Maksimum Açıklık İçin Araç Köprüsünün Analizi

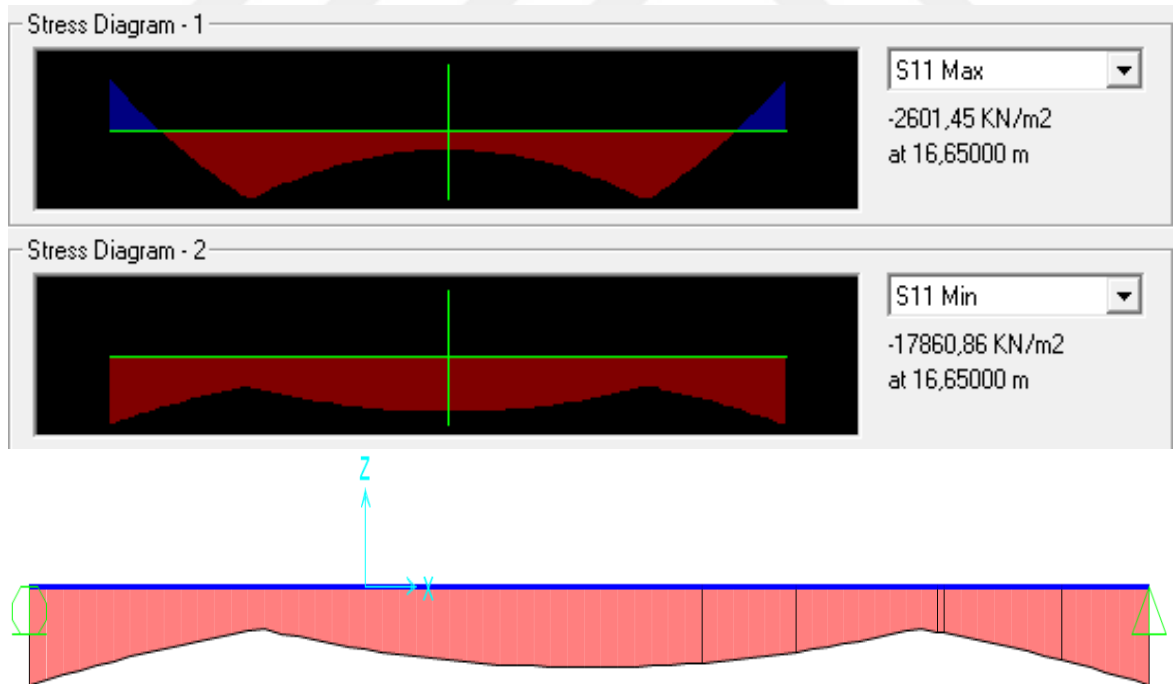
Araç köprüsü için maksimum açıklığın geçilebilmesi maksadıyla yapılan SAP2000 analizi sonucu Şekil 2.74'deki gibidir.

2.4.5.4.2. Maksimum Açıklık İçin Yaya Köprüsünün Analizi

Araç köprüsü için maksimum açıklığın geçilebilmesi maksadıyla yapılan SAP2000 analizi sonucu Şekil 2.75'deki gibidir.



Şekil 2.74. Servis yükü altında araç köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları

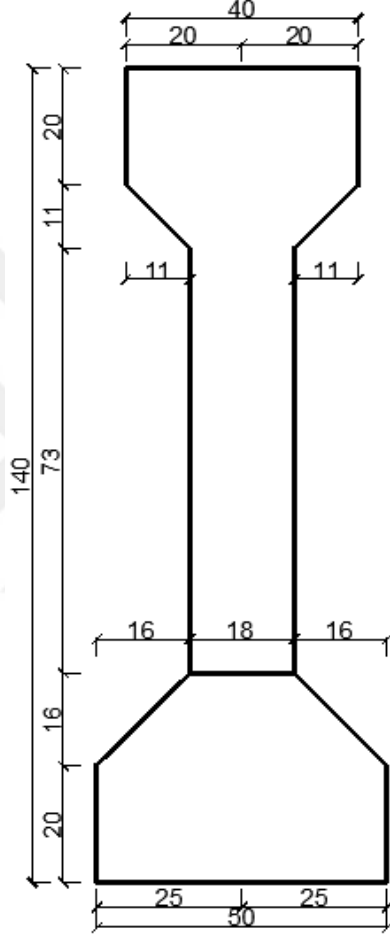


Şekil 2.75. Servis yükü altında yaya köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları

2.4.6. Yüksekliği 140 cm Olan Öngerilmeli Prekast Kirişin Optimum Açıklığının Belirlenmesi

2.4.6.1.Kirişin Seçilmesi

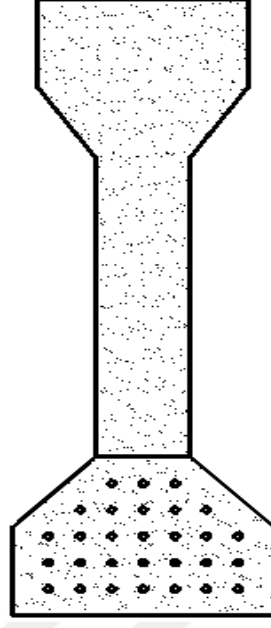
Seçilen kirişin boyutları Şekil 2.76.'da gösterilmiştir.



Şekil 2.76. I 140 kirişi

2.4.6.2. Öngerilmeli Kiriş Kablolarının Sayısının Belirlenmesi

Öngerilme kablosu sayısı belirlenirken seçilen kiriş için 6 cm pas payı ve 6 cm kablolar arası mesafe olacak şekilde sınırlandırılmalarına uyulmuştur. Bu sınırlandırmalar göz önüne alındığında I 140 kirişi için en alt sıra 7 ikinci sıra 7 üçüncü sıra 7 dördüncü sıra 5 beşinci sıra 3 olmak üzere 29 adet öngerilme kablosu kirişte mevcut olmuştur.



Şekil 2.77. Öngerilme kablolarının yerleştirilmesi

2.4.6.3. Gerilme ve Mesafelerin Elle Çözüm ile Belirlenmesi

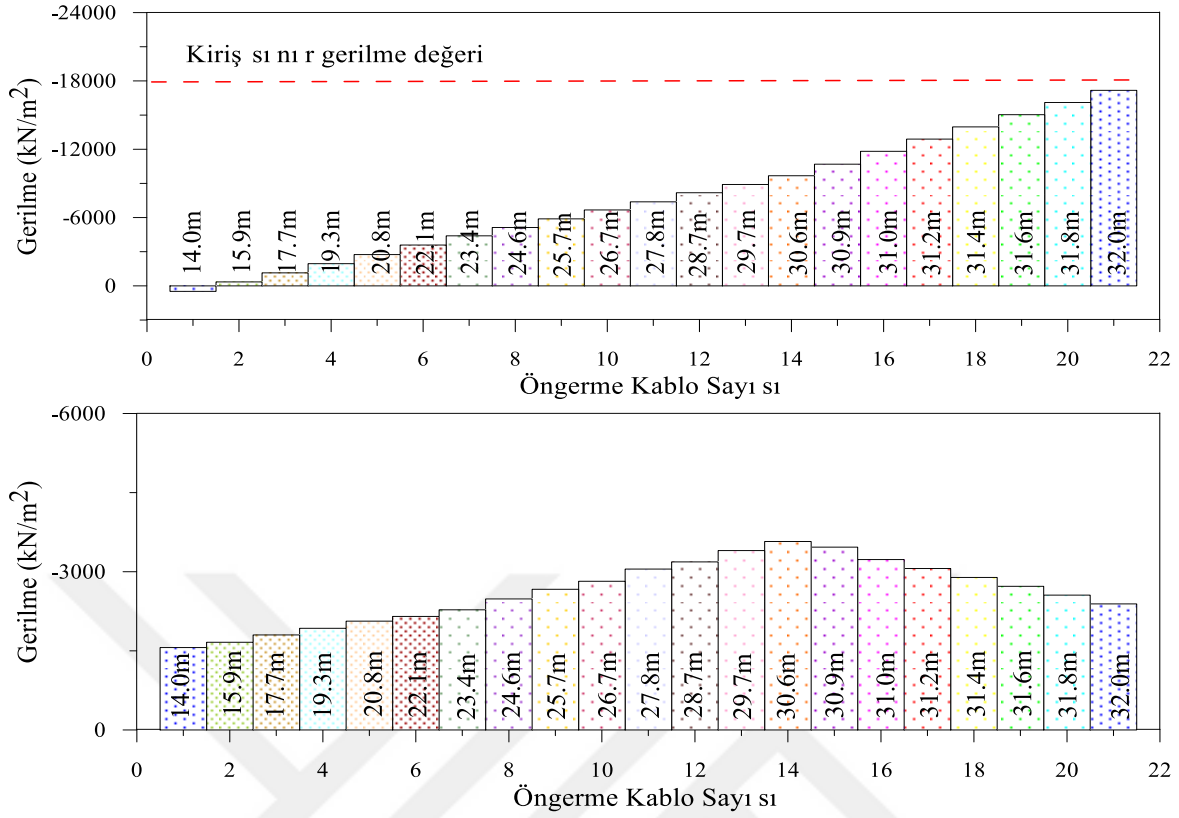
İlk olarak kirişlere gelen yayılı yükler ve eğilme rijitliği değerleri hesaplanmıştır. Yüksekliği 140 cm olan kiriş geçilebilen maksimum mesafe 35.56 m'dir. Optimum açıklığın belirlenmesinde kullanılan hesaplamalar öngerilme kuvveti altında ve servis yüklemesi altında olmak üzere iki bölümde hesaplanmıştır.

2.4.6.3.1. Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi

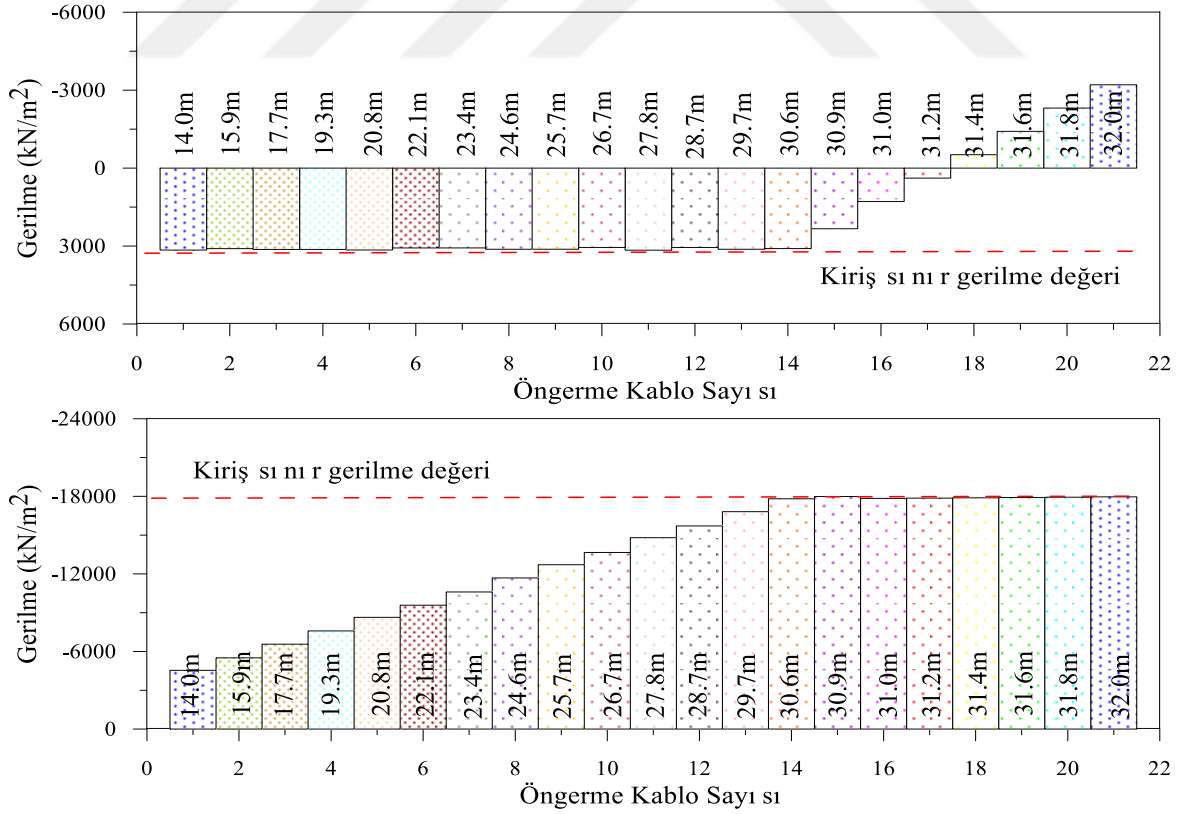
Analizler sonucu görülmüştür ki I140 kirişi alt ve üst lifleri göz önüne 22 ve 23 öngerilme kablosu kullanılamamaktadır. Bu kiriş için geçilen maksimum açıklık 32 metredir ve 21 öngerilme kablo ile geçilmektedir. Farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen mesafe ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.78 ve Şekil 2.79'da belirtilmiştir.

2.4.6.3.2. Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi

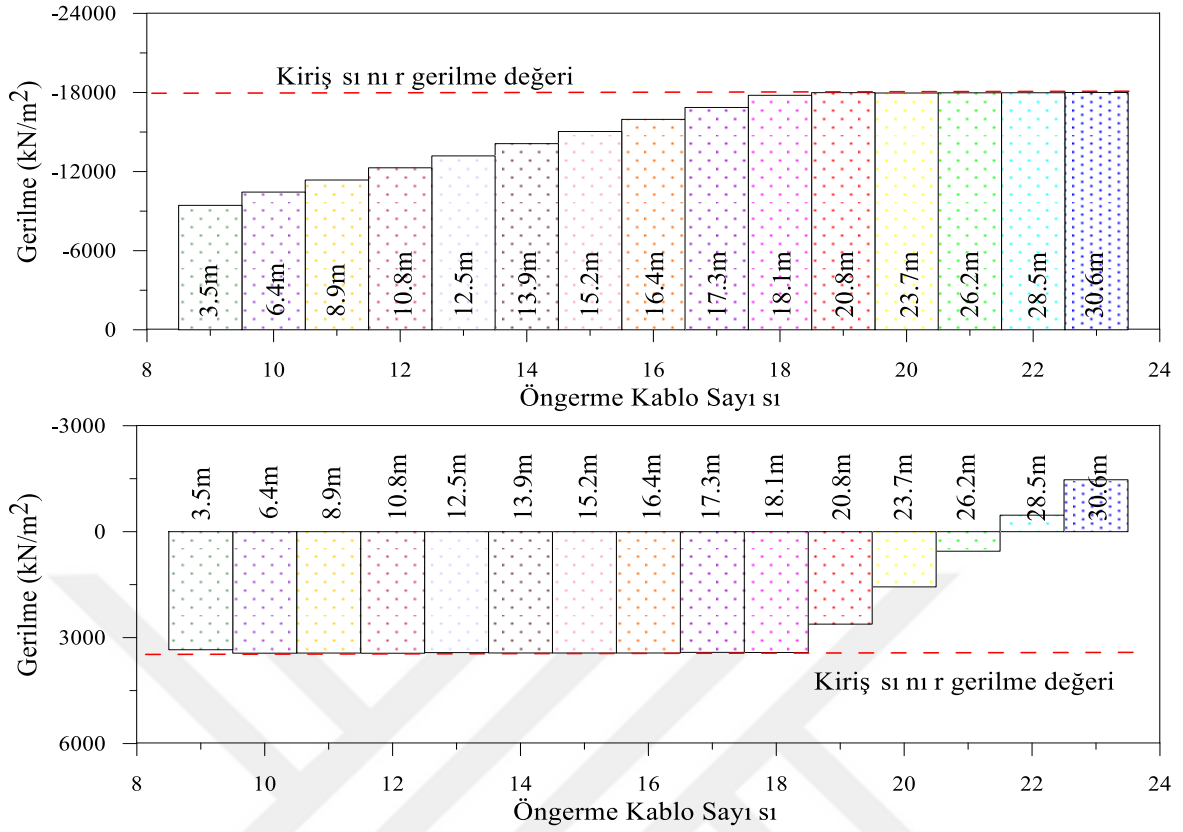
Analizler sonucu görülmüştür ki 140'lık kiriş için 22 ve 23 öngerilme kablosu kullanılamamaktadır. Farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen minimum mesafeler ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.80 ve Şekil 2.81'de verilmiştir.



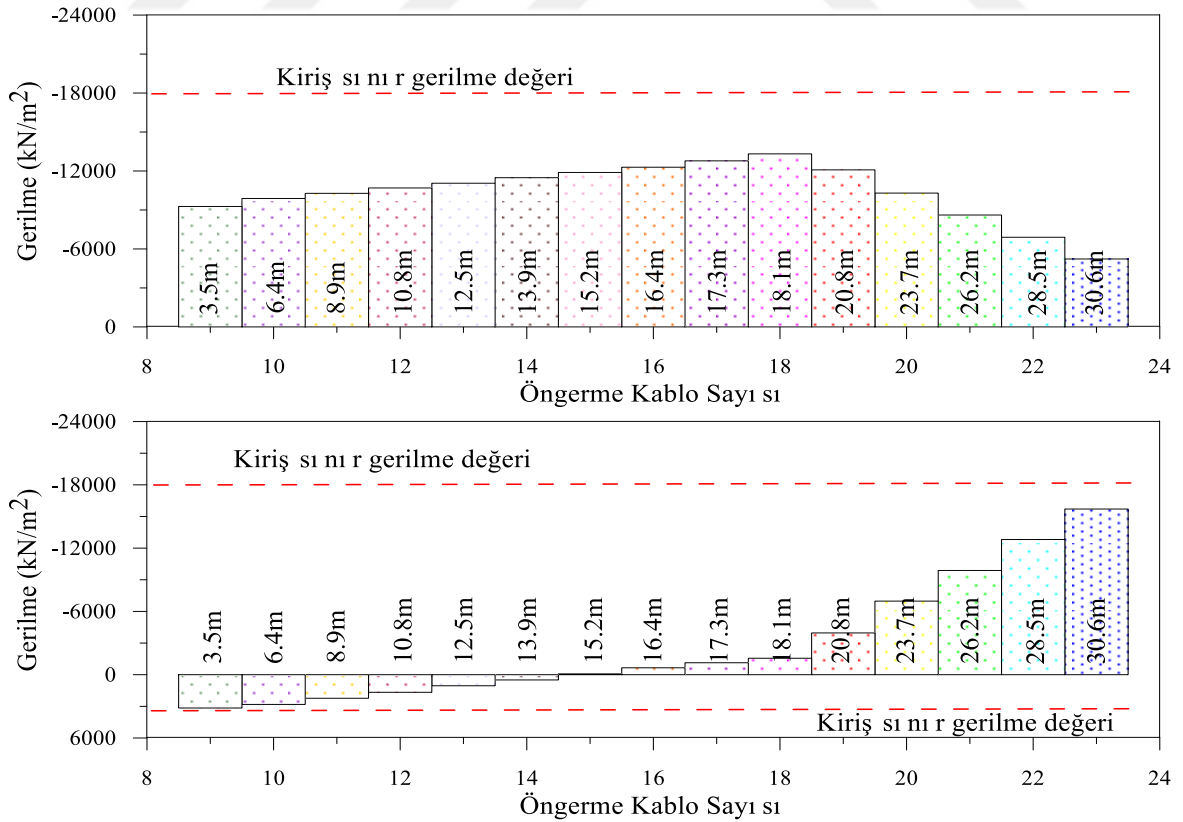
Şekil 2.78. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.79. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.80. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



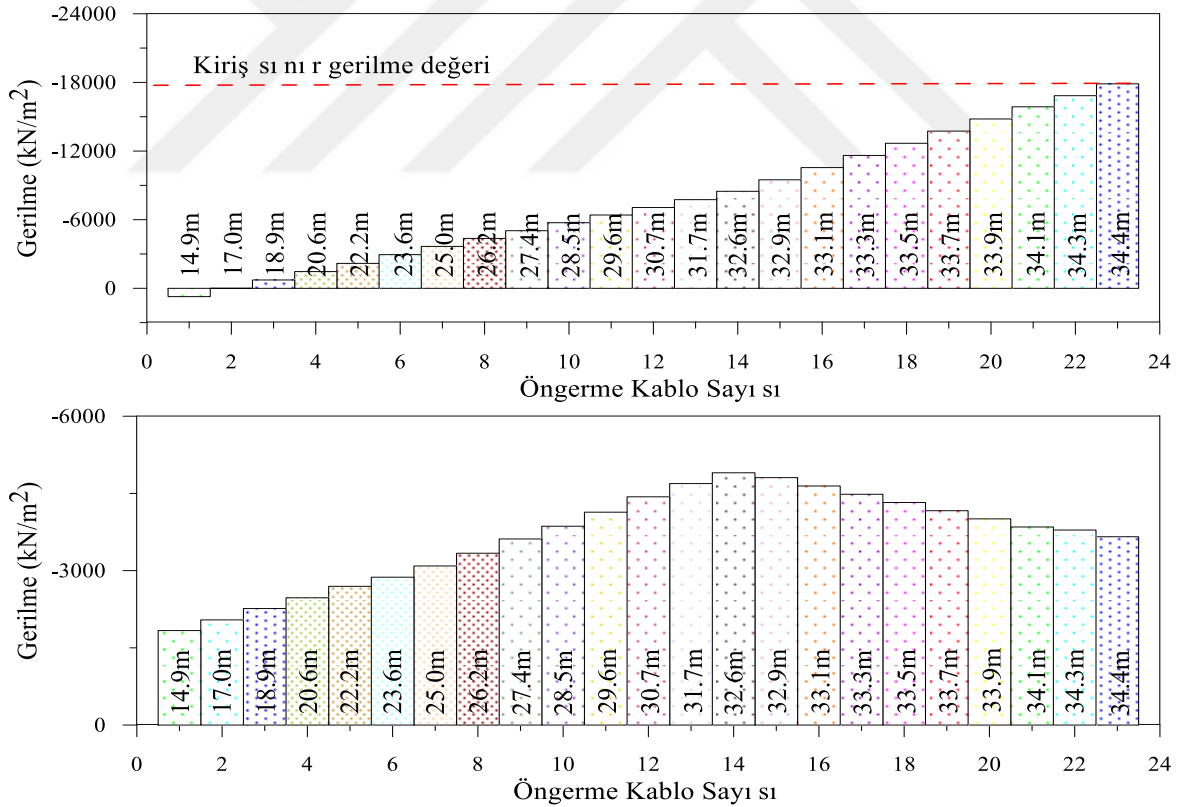
Şekil 2.81. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları

2.4.6.3.3. Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi

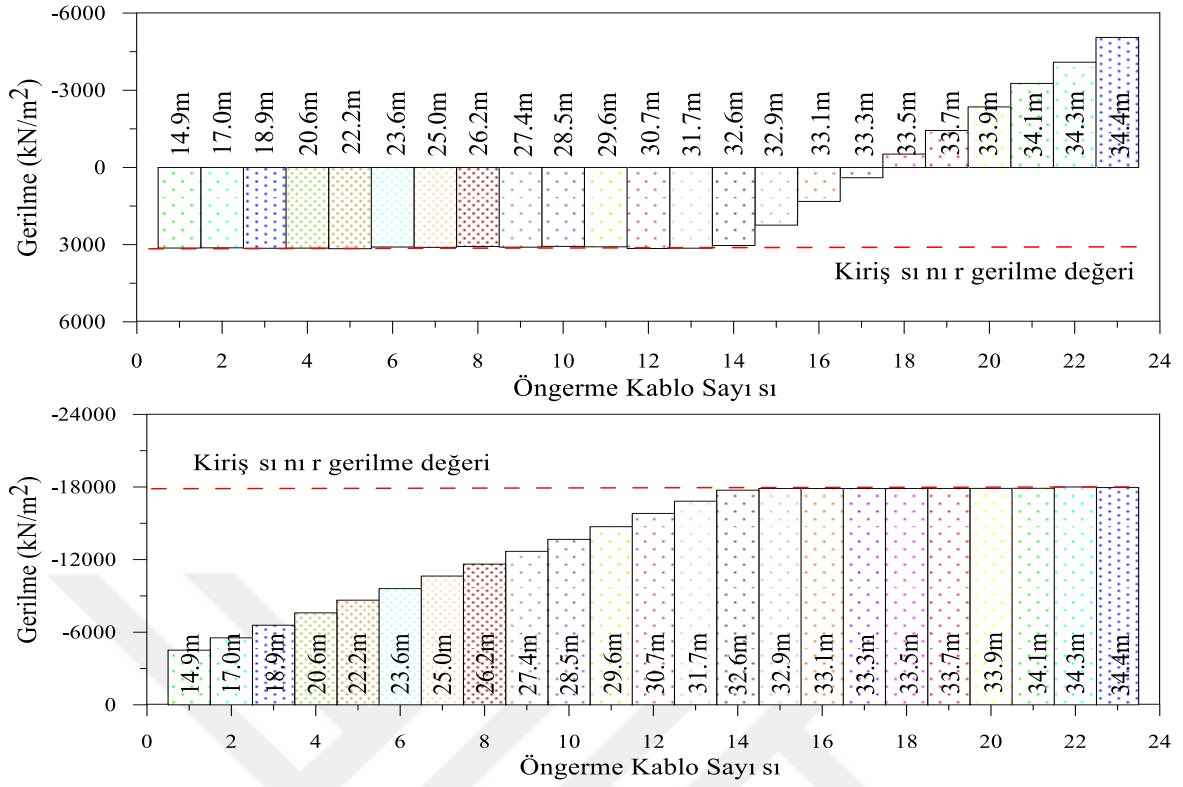
Analizler sonucu görülmüştür ki I140 kirişi alt ve üst lifleri göz önüne alındığında bu kiriş için geçilen maksimum açıklık 34,4 metredir ve 23 öngerilme kablo ile geçilmektedir. 2 ve 3 nolu analizler için farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen mesafe ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.82 ve Şekil 2.83'de belirtilmiştir.

2.4.1.3.4. Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi

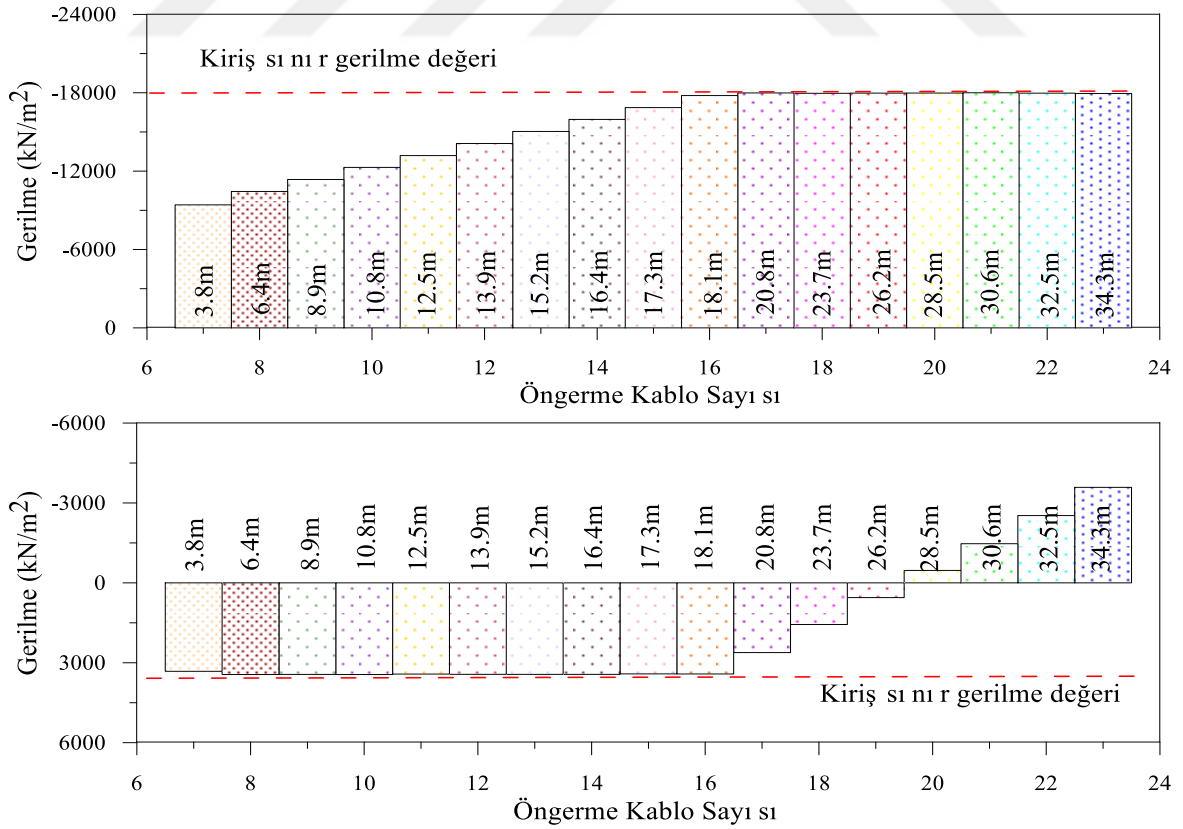
2 ve 3 nolu analizler için farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen minimum mesafeler ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.84 ve Şekil 2.85'de verilmiştir.



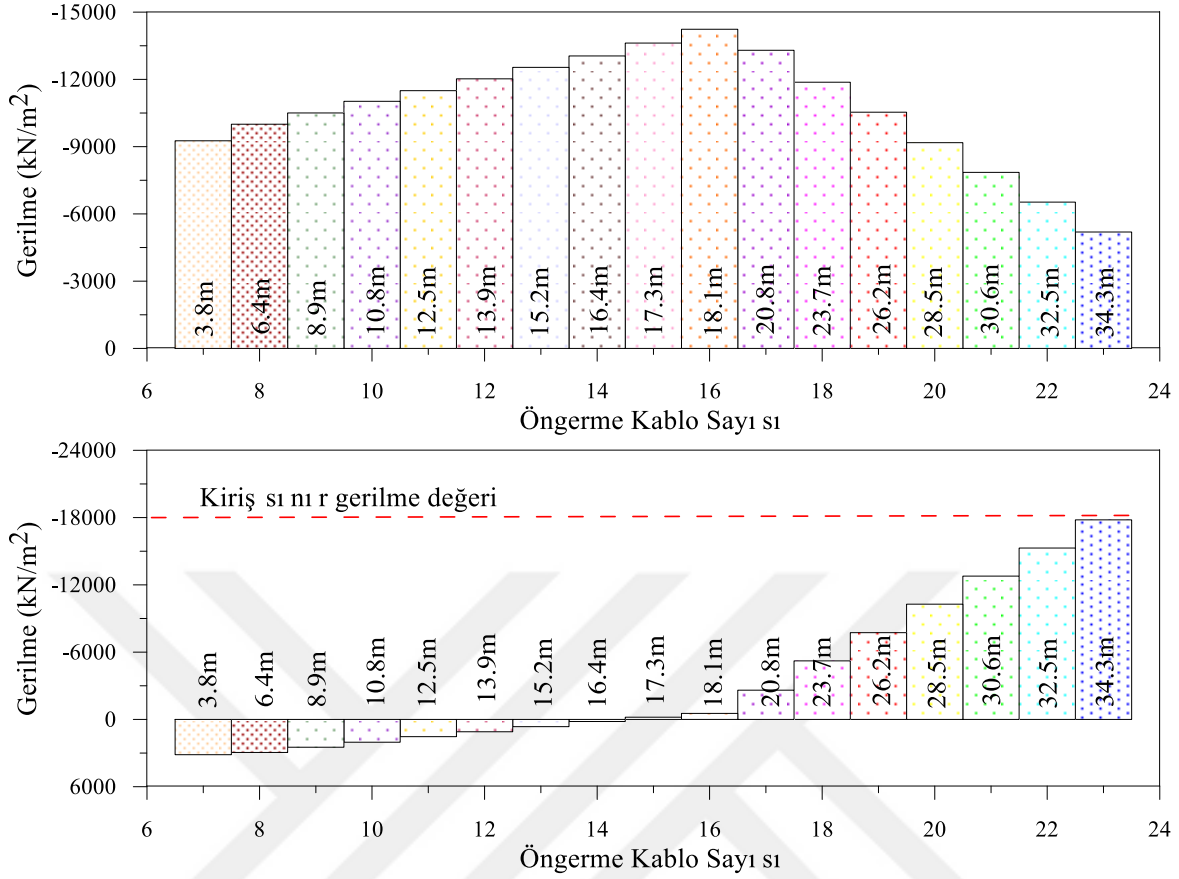
Şekil 2.82. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.83. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.84. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.85. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları

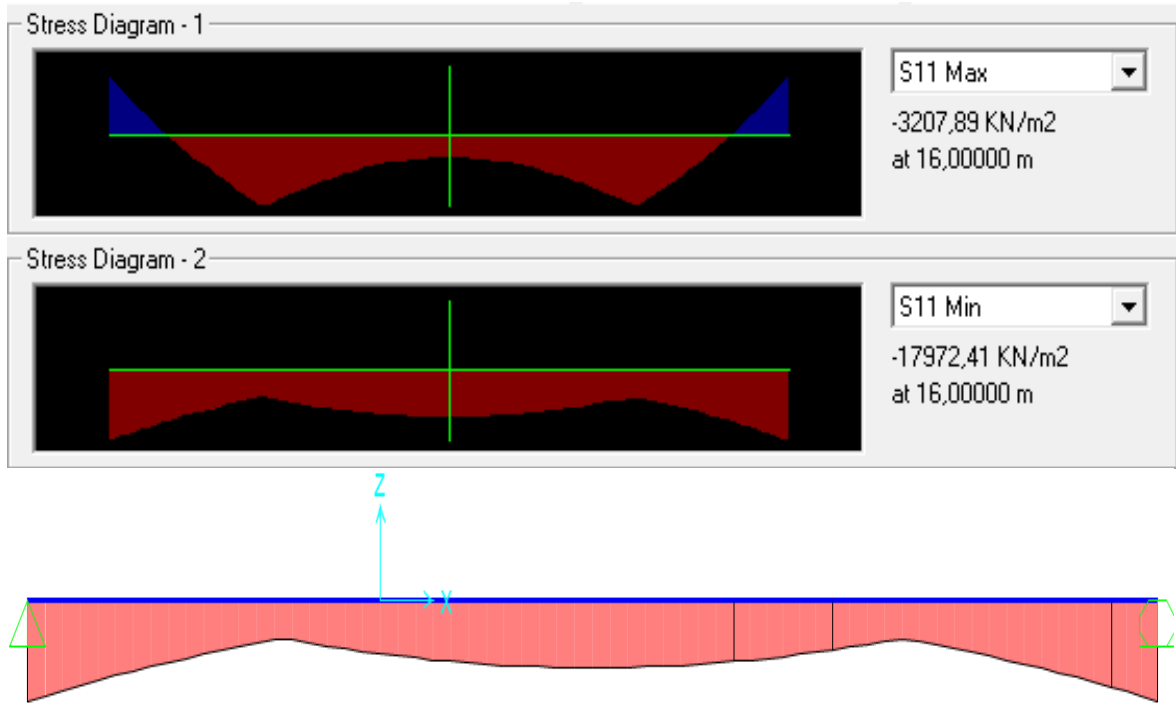
2.4.6.4. Analizlerin SAP2000 Yardımıyla Doğrulanması

2.4.6.4.1. Maksimum Açıklık İçin Araç Köprüsünün Analizi

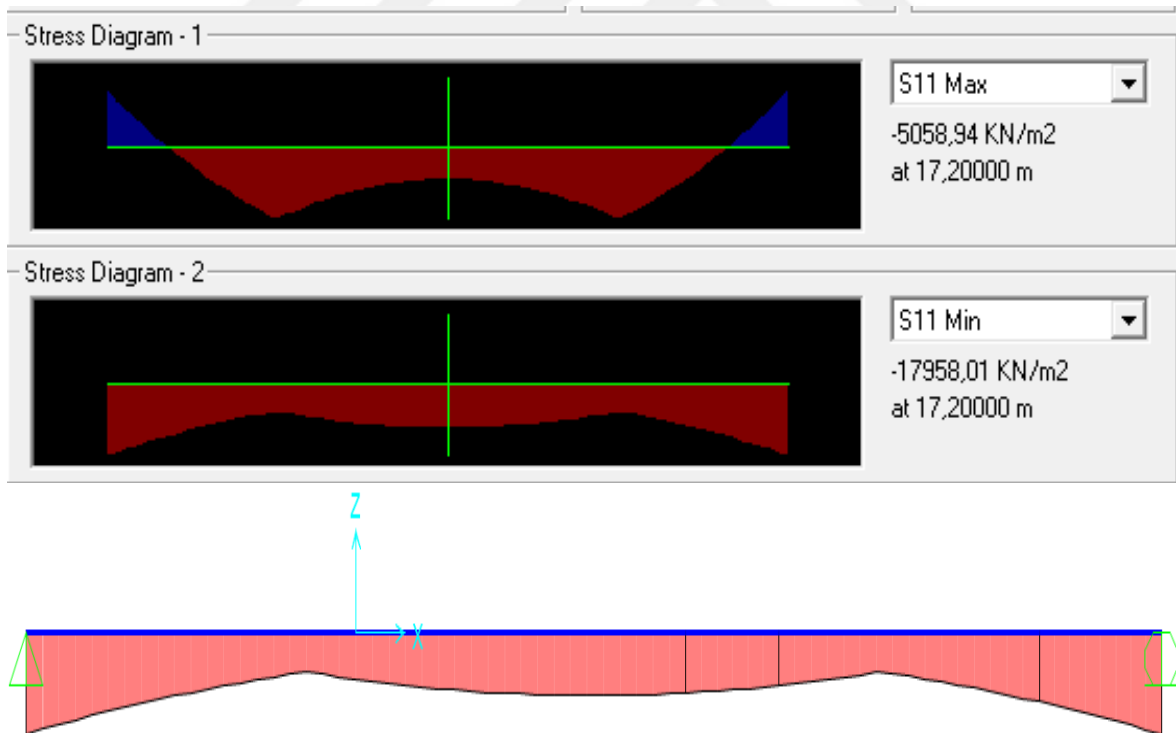
Araç köprüsü için maksimum açıklığın geçilebilmesi amacıyla yapılan SAP2000 analizi sonucu Şekil 2.86'daki gibidir.

2.4.6.4.2. Maksimum Açıklık İçin Yaya Köprüsünün Analizi

Araç köprüsü için maksimum açıklığın geçilebilmesi amacıyla yapılan SAP2000 analizi sonucu Şekil 2.87'deki gibidir.



Şekil 2.86. Servis yükü altında araç köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları

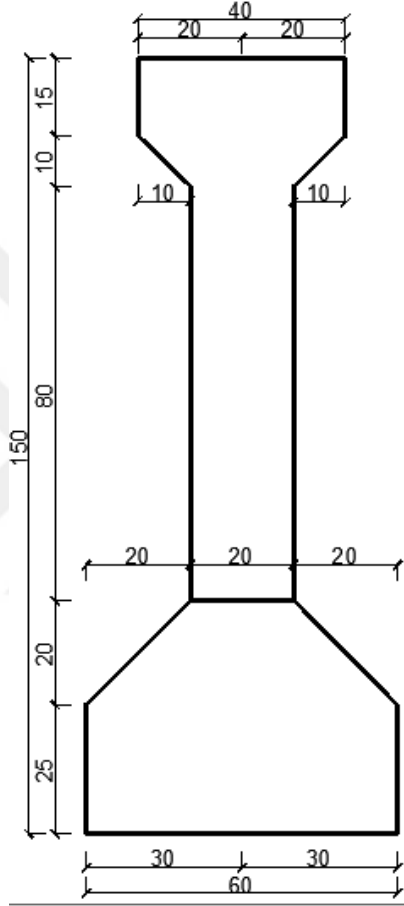


Şekil 2.87. Servis yükü altında yaya köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları

2.4.7. Yüksekliği 150 cm Olan Öngerilmeli Prekast Kirişin Optimum Açıklığının Belirlenmesi

2.4.7.1.Kirişin Seçilmesi

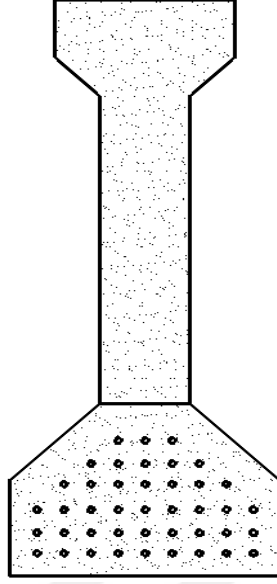
Seçilen kirişin boyutları Şekil 2.88.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.88. I 150 kirişi

2.4.7.2.Öngerilmeli Kiriş Kablolarının Sayısının Belirlenmesi

Öngerilme kablosu sayısı belirlenirken seçilen kiriş için 6 cm pas payı ve 6 cm kablolar arası mesafe olacak şekilde sınırlandırılmalarına uyulmuştur. Bu sınırlandırmalar göz önüne alındığında I 150 kirişi için en alt sıra 9 ikinci sıra 9 üçüncü sıra 9 dördüncü sıra 7 beşinci sıra 5 ve altıncı sıra 3 olmak üzere 42 adet öngerilme kablosu kirişte mevcut olmuştur.



Şekil 2.89. Öngerilme kablolarının yerleştirilmesi

2.4.7.3. Gerilme ve Mesafelerin Elle Çözüm ile Belirlenmesi

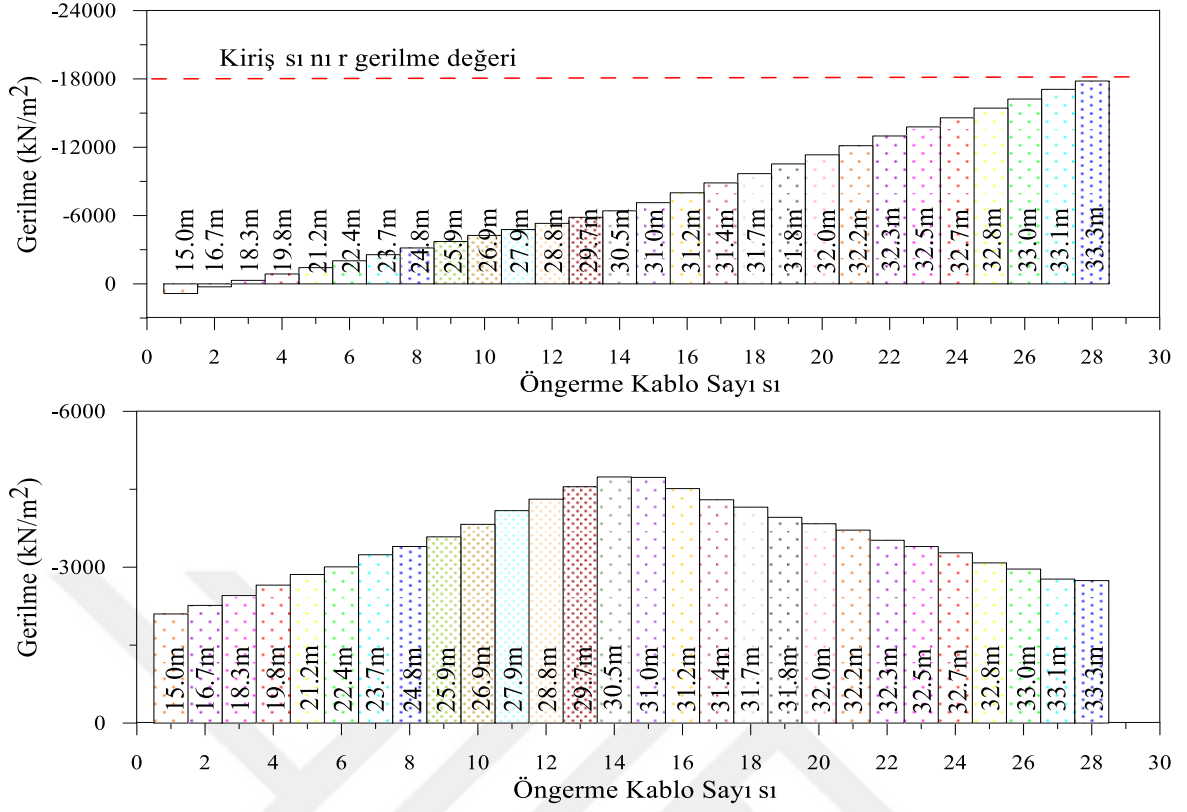
İlk olarak kirişlere gelen yayılı yükler ve eğilme rijitliği değerleri hesaplanmıştır. Yüksekliği 150 cm olan kiriş geçilebilen maksimum mesafe 37.78 m'dir. Optimum açıklığın belirlenmesinde kullanılan hesaplamalar öngerilme kuvveti altında ve servis yüklemesi altında olmak üzere iki bölümde hesaplanmıştır.

2.4.7.3.1. Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi

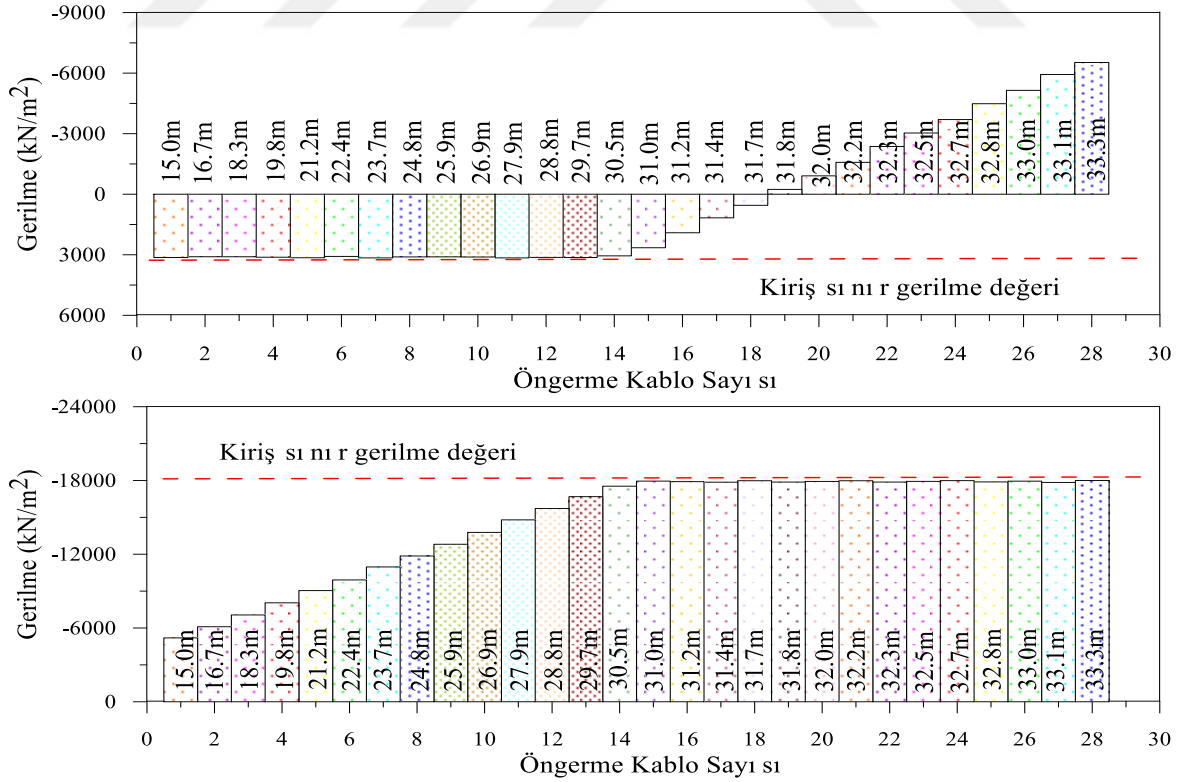
Analizler sonucu görülmüştür ki I150 kirişi alt ve üst lifleri göz önüne alındığında 29 ve üstü öngerilme kablosu kullanılamamaktadır. Bu kiriş için geçilen maksimum açıklık 33,3 metredir ve 28 öngerilme kablo ile geçilmektedir. Farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen mesafe ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.90 ve Şekil 2.91'de belirtilmiştir.

2.4.7.3.2. Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Araç Köprüsünün Analizi

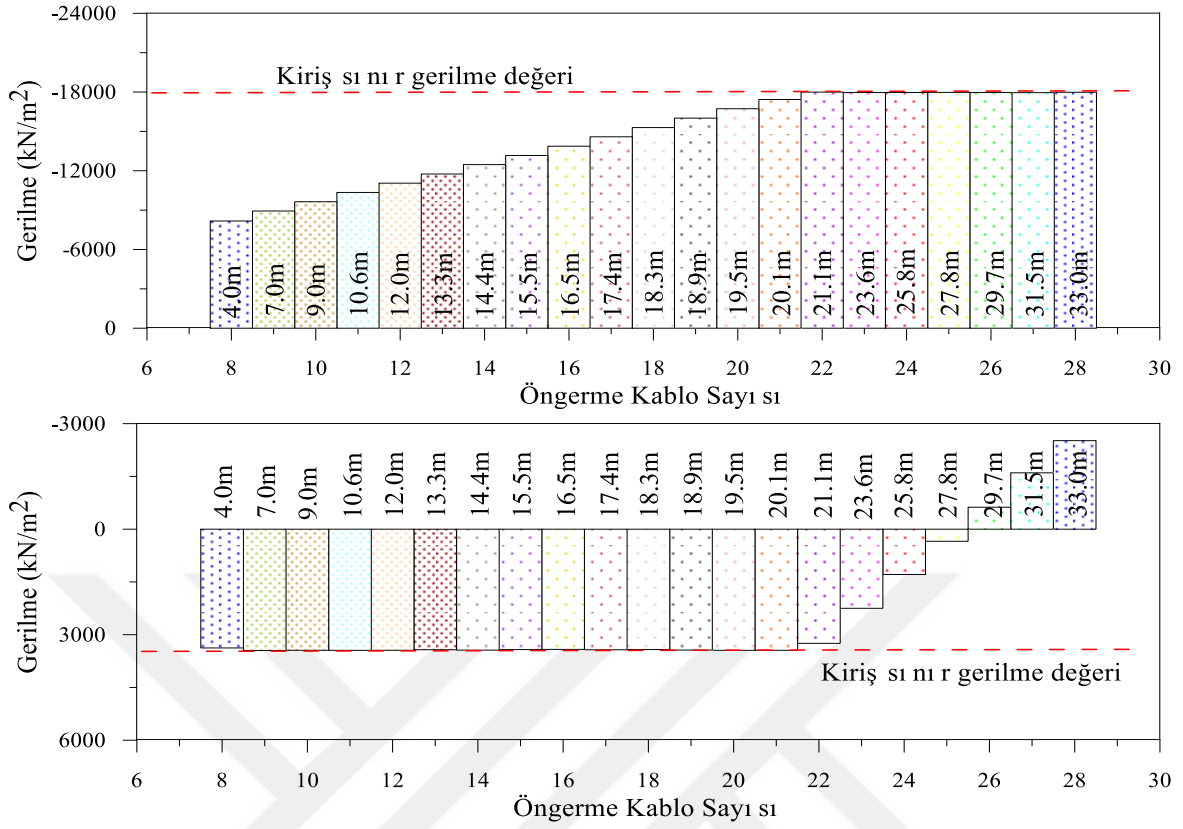
Analizler sonucu görülmüştür ki 150'lik kiriş için 29 ve üzeri öngerilme kablosu kullanılamamaktadır. Farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen minimum mesafeler ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.92 ve Şekil 2.93 de verilmiştir.



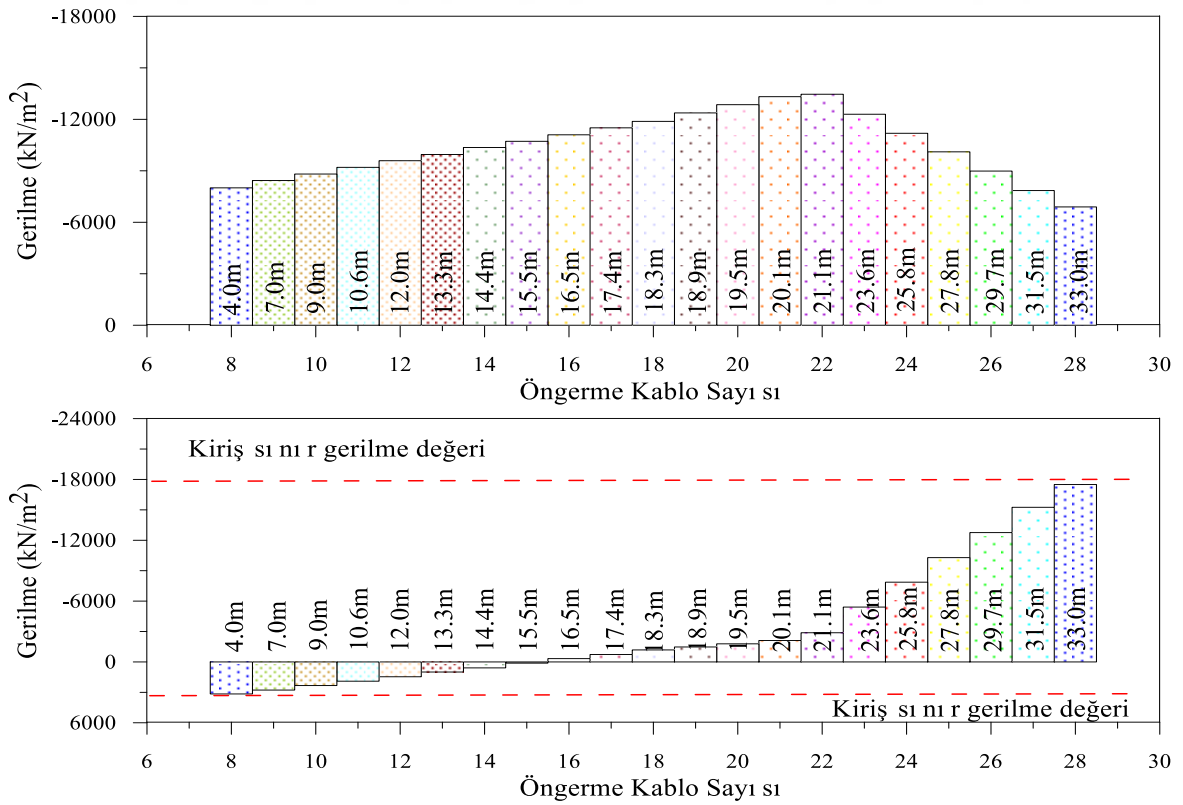
Şekil 2.90. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.91. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.92. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



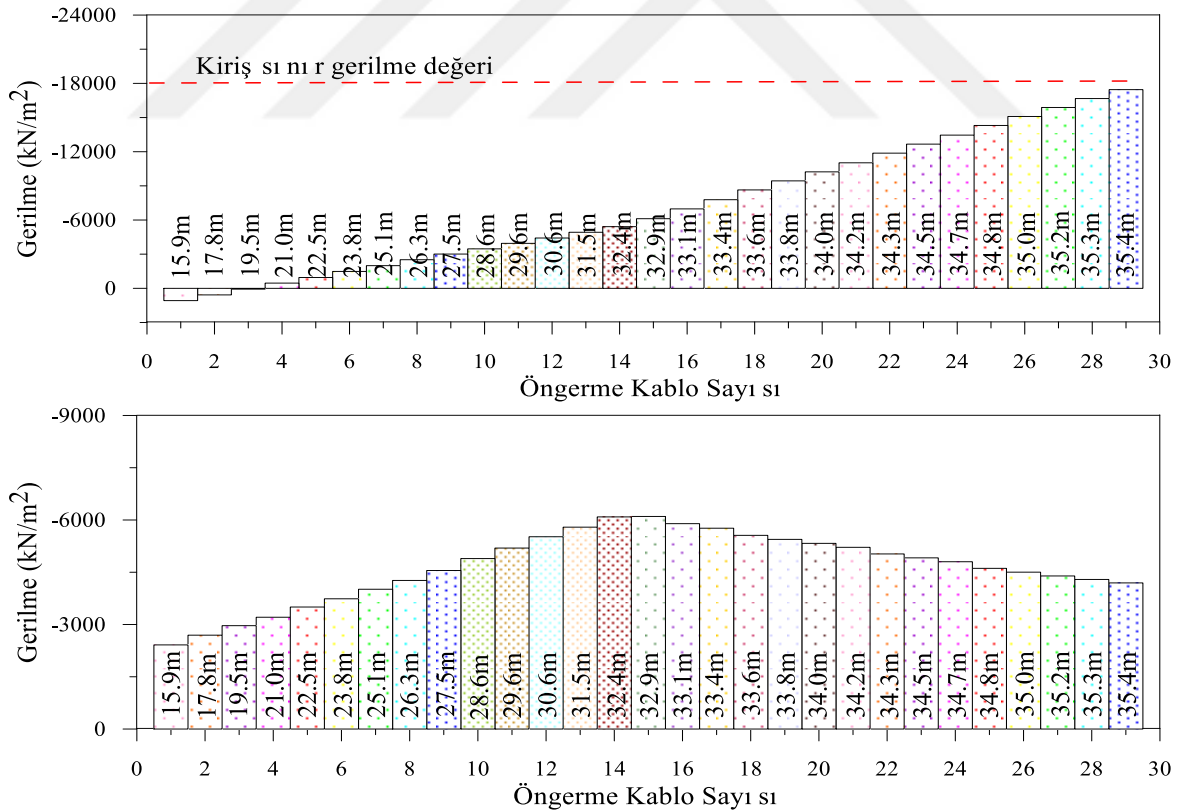
Şekil 2.93. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları

2.4.7.3.3. Maksimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi

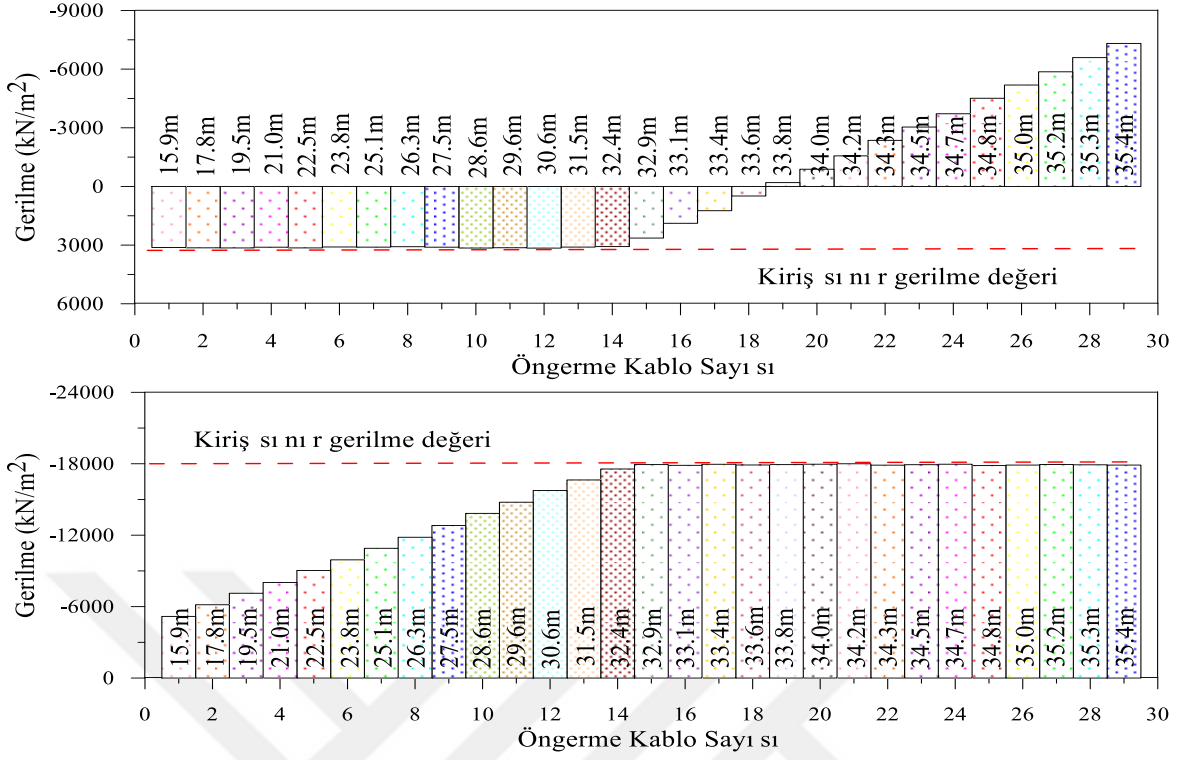
Analizler sonucu görülmüştür ki I150 kirişi alt ve üst lifleri göz önüne alındığında 30 öngerilme kablosu kullanılamamaktadır. Bu kiriş için geçilen maksimum açıklık 35,4 metredir ve 29 öngerilme kablo ile geçilmektedir. 2 ve 3 nolu analizler için farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen mesafe ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.94 ve Şekil 2.95’de belirtilmiştir.

2.4.7.3.4. Minimum Açıklığın Geçilebilmesi İçin Yaya Köprüsünün Analizi

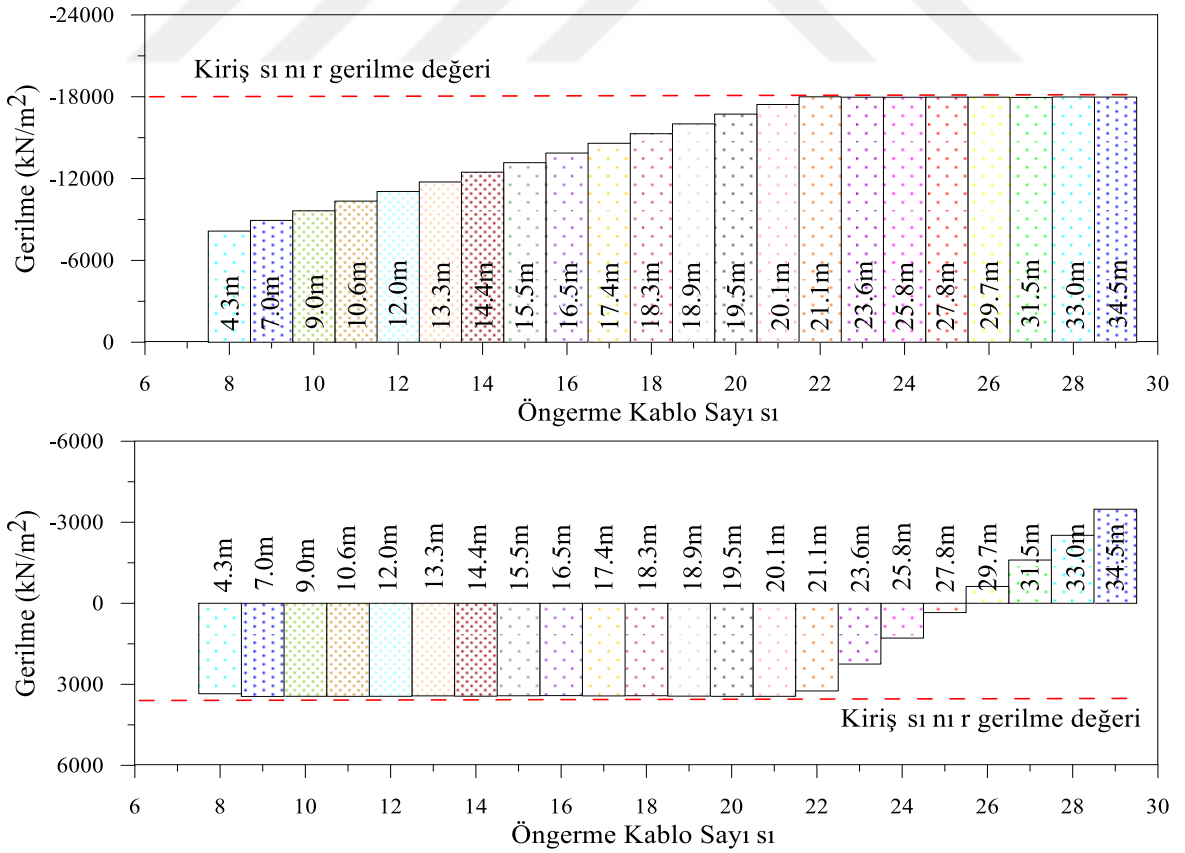
Analizler sonucu görülmüştür ki 150’lik kiriş için 30 ve üzeri öngerilme kablosu kullanılamamaktadır. 2 ve 3 nolu analizler için farklı öngerilme kablo sayısı o kabloyla geçilebilen minimum mesafeler ve liflerde oluşan gerilme değeri Şekil 2.96 ve Şekil 2.97 de verilmiştir.



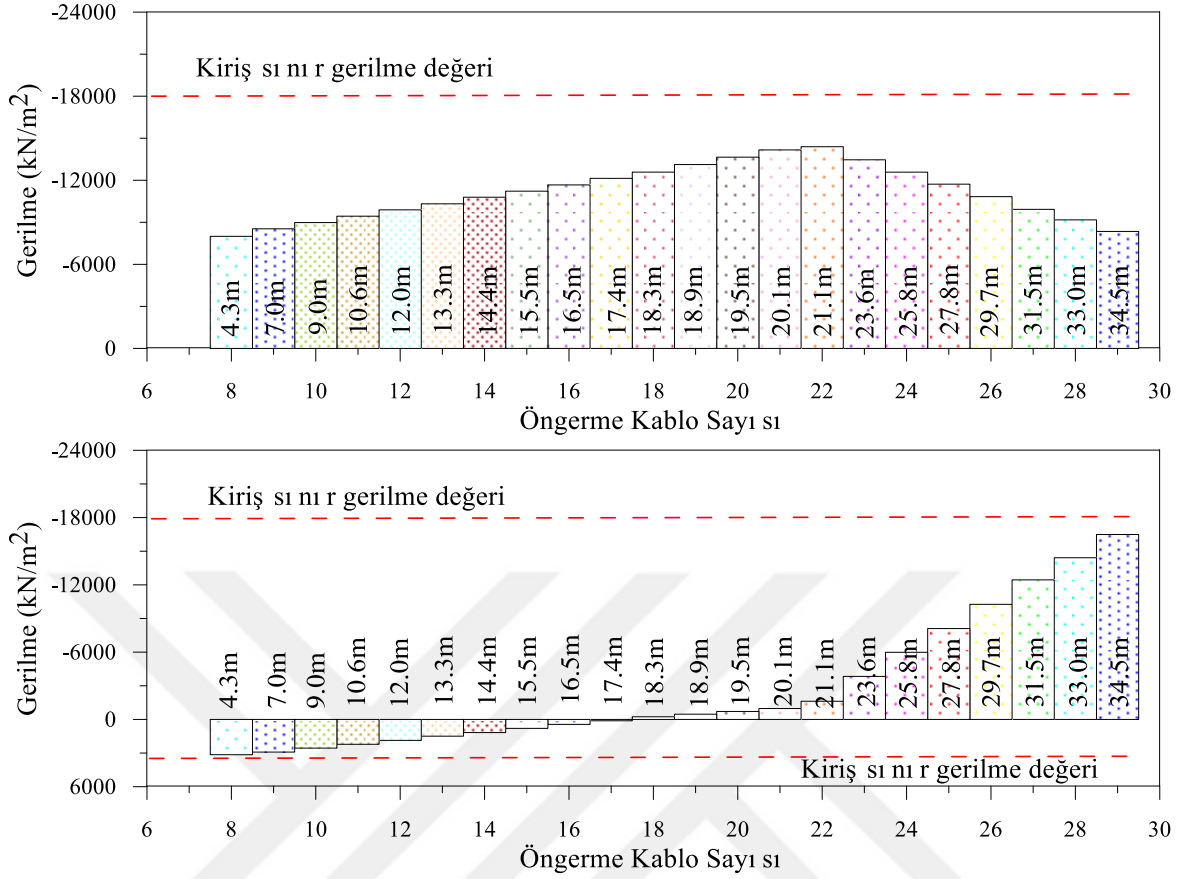
Şekil 2.94. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.95. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.96. Sırasıyla 2 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları



Şekil 2.97. Sırasıyla 3 nolu analiz alt ve üst liflerdeki sonuçları

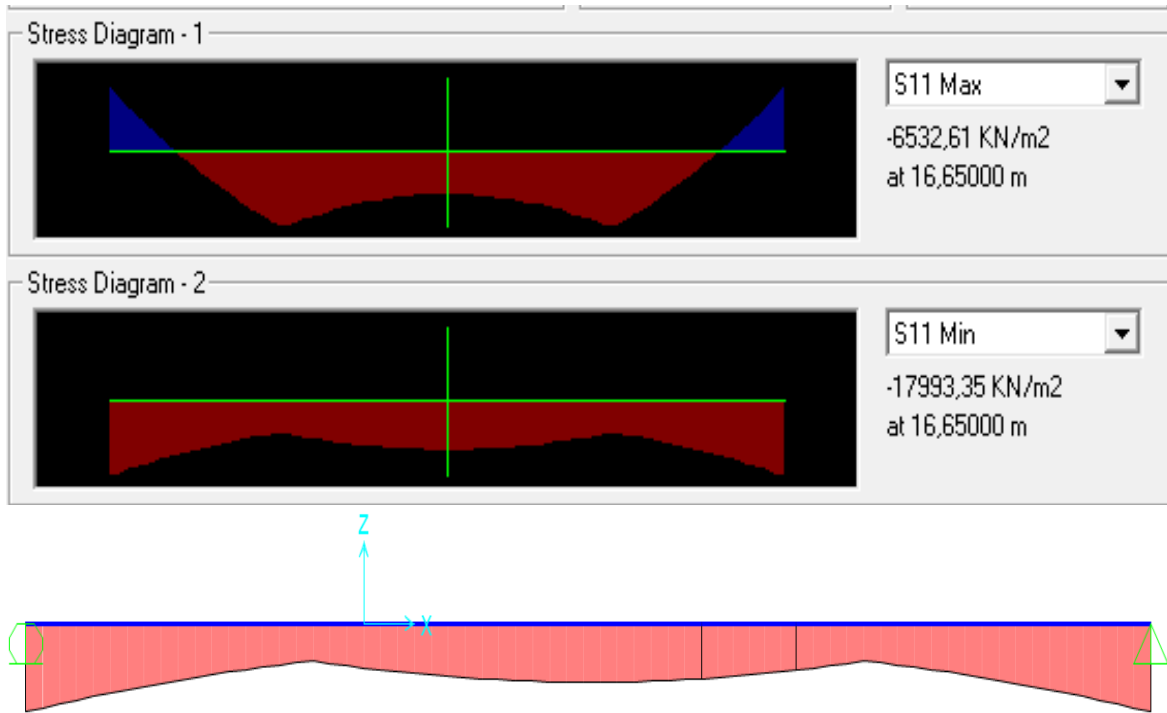
2.4.7.4. Analizlerin SAP2000 Yardımıyla Doğrulanması

2.4.7.4.1. Maksimum Açıklık İçin Araç Köprüsünün Analizi

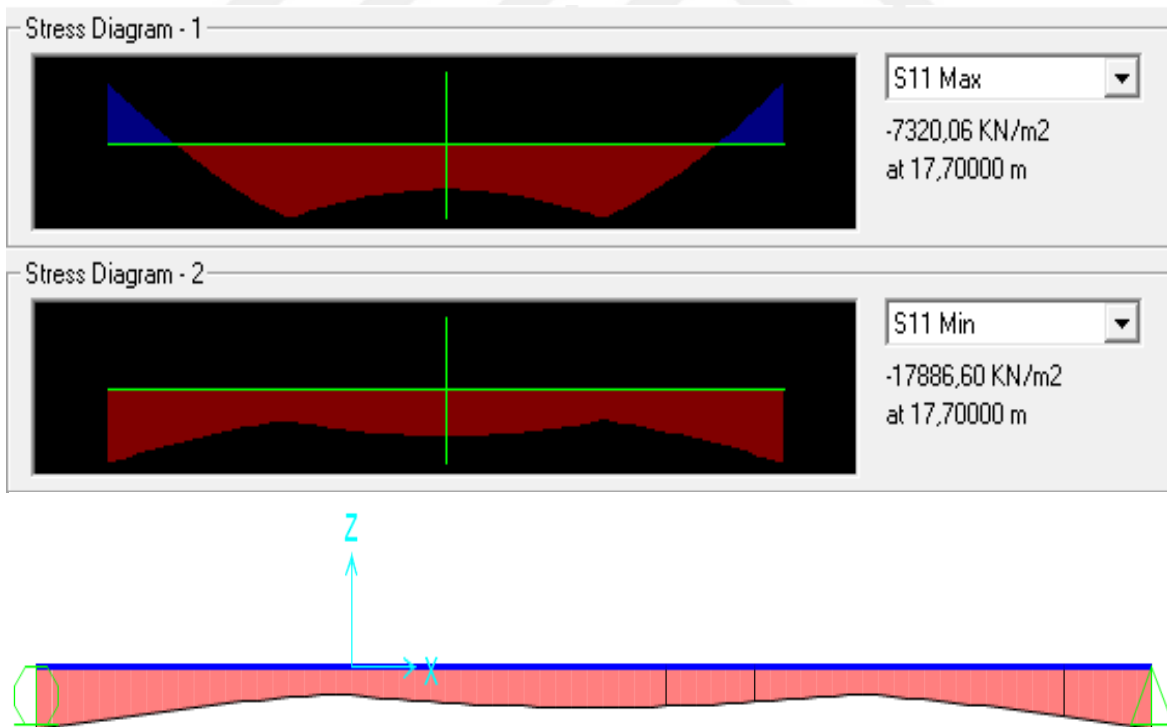
Araç köprüsü için maksimum açıklığın geçilebilmesi maksadıyla yapılan SAP2000 analizi sonucu Şekil 2.98'deki gibidir.

2.4.7.4.2. Maksimum Açıklık İçin Yaya Köprüsünün Analizi

Araç köprüsü için maksimum açıklığın geçilebilmesi maksadıyla yapılan SAP2000 analizi sonucu Şekil 2.99'daki gibidir.



Şekil 2.98. Servis yükü altında araç köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları



Şekil 2.99. Servis yükü altında yaya köprüsünün alt ve üst lif gerilme diyagramları

2.5 Sonuçların Toplu Verilmesi

Örnek olarak seçilen I90, I100, I110, I120, I130, I140 ve I150 kirişlerinin geçilebildiği maksimum mesafeler ve önerilmeli kablo sayıları Tablo 2.1 ve Tablo 2.2 de verilmiştir. Yine bu kirişlerin farklı önerilme kablo sayısı altında geçilen mesafe ve 2 ile 3 nolu analizler sonucu oluşturduğu gerilme değerleri, geçilmesine müsaade edilen maksimum ve minimum mesafeler aşağıda tablolarda yer verilmiştir.

Tablo 2.1. Araç köprüsü için geçilen maksimum mesafeler

Kiriş	Maksimum Mesafe (metre)	Kablo Sayısı
I90	22.8	13
I100	27.0	22
I110	27.2	22
I120	29.5	25
I130	30.7	33
I140	32.0	21
I150	33.3	28

Tablo 2.2. Yaya köprüsü için geçilen maksimum mesafeler

Kiriş	Maksimum Mesafe	Kablo Sayısı
I90	24.8	11
I100	27.0	14
I110	29.1	14
I120	31.1	16
I130	33.3	27
I140	34.4	23
I150	35.4	29

Tablo 2.3. I 90 kirişı araç köprüsü değerleri

Araç köprüsü		Aktarma evresi		Araç servis			Aktarma evresi		Araç servis	
tel say	maks mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif	min mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif
13	22.8	-1336.901	-17522.4	-17840.55	1938.335	22.1	-947.8591	-17981.1	-16453.69	302.9722
12	22.5	-1474.541	-15890.9	-17546.74	3061.022	19.1	276.2105	-17955.4	-11305.62	-4298.369
11	21.7	-1342.71	-14577.3	-16292.32	3050.975	15.4	1550.411	-17988.8	-5978.84	-9110.44
10	20.9	-1226.723	-13244.9	-15094.38	3107.528	10.6	2789.334	-17980.5	-777.8215	-13774.22
9	20	-1076.945	-11952.4	-13775.97	3022.035	5.9	3443.395	-17282.6	2338.262	-15979.49
8	19.1	-947.2184	-10636.2	-12529.05	3020.833	3.1	3449.465	-15820.7	3144.37	-15460.9
7	18.2	-837.5445	-9296.4	-11353.61	3103.923	1.6	3230.873	-14093.8	3149.599	-13997.599
6	17.1	-822.9849	-7844.4	-10106.29	3102.256					
5	15.9	-798.8942	-6403.7	-8824.995	3060.525					
4	14.6	-774.1847	-4963.7	-7541.495	3016.192					
3	13.3	-791.3129	-3474.3	-6407.139	3147.727					
2	11.7	-762.271	-2039.4	-5108.195	3085.183					
1	9.9	-747.0925	-588.2	-3858.671	3080.914					

Tablo 2.4. I 90 kirişı yaya köprüsü değerleri

Yaya köprüsü		Aktarma evresi		Yaya servis			Aktarma evresi		Yaya servis	
tel say	maks mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif	min mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif
14	26.2	-3093.227	-16920.5	-17854.2	485.2836	24.8	-2209.434	-17962.7	-15435.04	-2367.326
13	26.1	-3334.347	-15167	-17982.85	2106.132	22.1	-947.8591	-17981.1	-11450.46	-5596.714
12	25.7	-3383.731	-13639.7	-17586.68	3108.117	19.1	276.2105	-17955.4	-7568.539	-8705.045
11	24.8	-3127.006	-12473.3	-16352.62	3122.075	15.4	1550	-17989	-3549	-11975
10	23.8	-2831.29	-11352.8	-15011.82	3010.183	10.6	2789	-17981	373	-15131
9	22.8	-2560.33	-10203.19	-13738.79	2978.2	5.9	3443.395	-17282.6	2694.853	-16399.98
8	21.8	-2314.126	-9024.4	-12533.52	3026.114	3.5	3416.787	-15782.1	3153.367	-15471.5
7	20.8	-2092.679	-7816.3	-11396.02	3153.938	1.8	3222.456	-14083.8	3152.784	-14001.68
6	19.5	-1910.273	-6562.3	-10087.04	3079.04					
5	18.2	-1769.705	-5258.9	-8892.576	3140.215					
4	16.7	-1587.794	-4004.3	-7584.949	3067.432					
3	15.1	-1424.079	-2728.2	-6327.128	3053.38					
2	13.4	-1290.442	-1416.6	-5151.639	3136.412					
1	11.3	-1114.473	-155	-3860.275	3082.806					

Tablo 2.5. I 100 kirişı araç köprüsü değerleri

Araç köprüsü		Aktarma evresi		Araç servis			Aktarma evresi		Araç servis	
tel say	maks mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif	min mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif
22	27	-2680.99	-17557.7	-17909.4	104.6278	26.4	-2306.71	-17991.8	-16865.8	-1105.75
21	26.9	-2763.53	-16522.5	-17879.3	1009.183	24.6	-1379.83	-18127.4	-14021.3	-3465.5
20	26.8	-2846.3	-15487.1	-17849.9	1914.494	23.1	-689.497	-17988.6	-11836.3	-5060.26
19	26.8	-2991.8	-14378.9	-17995.4	3022.667	21.3	98.60774	-17963.3	-9378.72	-6971.23
18	26.3	-2827.15	-13630.5	-17276.2	3127.862	19.3	901.6653	-17955.3	-6879.44	-8930.54
17	25.6	-2645.81	-12901.4	-16335.9	2976.745	16.8	1712.888	-17956.7	-4182.94	-11118.6
16	25	-2534.21	-12091.4	-15590.1	3051.157	13.8	2542.217	-17979.2	-1435.97	-13365.2
15	24.4	-2431.02	-11271.7	-14867.7	3152.768	10	3355.66	-17983.2	1266.717	-15560.4
14	23.7	-2280.75	-10506.6	-14014.1	3102.138	8.5	3436.772	-17137.9	1927.511	-15387.4
13	23	-2141.93	-9728.15	-13192.4	3088.529	7.1	3448.846	-16212.5	2395.81	-14991.1
12	22.3	-2014.56	-8936.46	-12402.7	3111.942	5.5	3441.294	-15264.3	2809.389	-14531.4
11	21.5	-1848.28	-8189.9	-11504.4	3009.557	3.5	3408.51	-14286.9	3152.614	-13990.1
10	20.8	-1745.44	-7369.76	-10783	3112.301	2.2	3252.015	-13165.9	3150.91	-13048.7
9	20	-1607.21	-6590.67	-9962.98	3100.582					
8	19.1	-1536.74	-5732.99	-9157.41	3105.677					
7	18.1	-1442.78	-4902.54	-8286.37	3034.841					
6	17.1	-1372.2	-4044.99	-7480.48	3039.559					
5	16.1	-1324.97	-3160.34	-6739.72	3119.831					
4	14.9	-1231.02	-2329.89	-5868.69	3048.995					
3	13.7	-1170.72	-1460.42	-5091.45	3086.956					
2	12.4	-1114.97	-585.666	-4326.92	3139.651					
1	10.9	-1047.3	275.2691	-3529.17	3153.813					

Tablo 2.6. I 100 kirişı yaya köprüsü değerleri

Yaya köprüsü		Aktarma evresi		Yaya servis			Aktarma evresi		Yaya servis	
tel say	maks mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif	min mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif
25	31	-4954.66	-17738.9	-17911.6	-2711.08	30.7	-4738.43	-17989.7	-17445.8	-3251.32
24	30.9	-5027.85	-16714.6	-17901.3	-1783.57	29.4	-3971.23	-17940.1	-15625.2	-4423.49
23	30.8	-5101.27	-15690	-17891.6	-855.475	27.9	-3112.69	-17996.4	-13607.8	-5823.89
22	30.7	-5174.93	-14665.1	-17882.3	73.20074	26.4	-2306.71	-17991.8	-11703.6	-7092.96
21	30.6	-5248.82	-13640	-17873.5	1002.461	24.8	-1495.24	-17993.5	-9787.67	-8375.74
20	30.5	-5322.95	-12614.6	-17865.3	1932.304	23.1	-689.497	-17988.6	-7884.03	-9644.22
19	30.4	-5397.31	-11589	-17857.5	2862.732	21.3	98.60774	-17963.3	-6018.38	-10868.6
18	29.9	-5190.61	-10889.3	-17244.3	3090.932	19.3	901.6653	-17955.3	-4120.53	-12130.4
17	29.2	-4950.39	-10228.5	-16446.3	3104.807	16.8	1712.888	-17956.7	-2092.48	-13543.2
16	28.5	-4721.62	-9554.41	-15673	3147.285	13.8	2542.217	-17979.2	-25.4379	-15001.2
15	27.7	-4439.46	-8942.24	-14784.6	3056.38	10	3355.66	-17983.2	2007.384	-16419.5
14	27	-4235.22	-8239.71	-14064.1	3160.15	8.5	3436.772	-17137.9	2462.644	-16008.1
13	26.2	-3981.1	-7595.02	-13236.2	3139.293	7.1	3448.846	-16212.5	2769.18	-15424.2
12	25.4	-3741.94	-6933	-12440.5	3155.794	5.5	3441.294	-15264.3	3033.441	-14791.3
11	24.5	-3460.37	-6320.16	-11553.4	3066.349	4	3364.703	-14236.1	3148.979	-13985.9
10	23.6	-3197.72	-5685.37	-10707.1	3024.186	2.5	3235.544	-13146.8	3151.277	-13049.1
9	22.7	-2954	-5028.63	-9901.52	3029.305					
8	21.7	-2775.94	-4295.73	-9124.83	3067.892					
7	20.6	-2572.99	-3591.69	-8294.54	3044.311					
6	19.5	-2398.32	-2854.86	-7525.14	3091.362					
5	18.3	-2209.05	-2134.97	-6724.29	3101.929					
4	17	-2013.58	-1422.26	-5910.1	3097.028					
3	15.6	-1821.04	-706.158	-5102.2	3099.423					
2	14.1	-1641.23	24.70833	-4321.73	3133.632					
1	12.4	-1455.58	748.8005	-3528.68	3153.248					

Tablo 2.7. I 110 kirişı araç köprüsü değerleri

Araç köprüsü		Aktarma evresi		Araç servis			Aktarma evresi		Araç servis	
tel say	maks mes.	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif	min mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif
22	27.2	-2536.8	-17433.6	-17917.3	-3543.21	26.2	-1917.41	-17993	-16187.8	-5105.17
21	27.1	-2600.74	-16479.3	-17868.4	-2690.84	24.3	-931.395	-17986.9	-13207.1	-6900.53
20	27.1	-2727.66	-15468.1	-17995.3	-1679.64	22.2	74.3389	-17998.6	-10171.3	-8745.61
19	26.9	-2834.23	-14475.3	-17877.4	-889.597	19.7	1057.51	-17989.9	-7010.49	-10703.6
18	26.8	-3003.78	-13425.6	-17935.3	59.27871	16.8	2053.439	-17992.8	-3814.05	-12693.8
17	26.7	-3173.56	-12375.7	-17993.8	1008.74	13.3	3043.57	-17990.4	-633.796	-14669.4
16	26.5	-3281.99	-11381.2	-17881.1	1803.467	11.1	3434.373	-17446.8	872.9607	-15133.6
15	26.4	-3452.47	-10330.6	-17941.6	2754.683	10.1	3448.436	-16562.9	1327.751	-14647.7
14	25.9	-3380.99	-9498.61	-17326.5	3095.741	9.1	3439.301	-15658.1	1717.765	-14103.4
13	25.2	-3197.92	-8767.36	-16399.8	3155.411	7.9	3444.085	-14765.9	2146.644	-13594.1
12	24.4	-2969.51	-8077.07	-15346.4	3100.714	6.5	3446.086	-13871.1	2567.751	-13077.8
11	23.6	-2755.94	-7373.38	-14334.6	3083.457	4.7	3448.086	-12976.3	2988.857	-12561.6
10	22.7	-2609.36	-6609.18	-13321.7	3065.304	2.6	3289.145	-11936.2	3148.612	-11809.3
9	21.8	-2481.57	-5828.02	-12361.3	3094.536					
8	20.8	-2324.2	-5073.56	-11318.4	3049.181					
7	19.8	-2190.03	-4298.16	-10340.2	3062.325					
6	18.8	-2079.06	-3501.81	-9426.73	3133.971					
5	17.6	-1909.17	-2758.67	-8348.77	3057.025					
4	16.4	-1772.68	-1985.36	-7364.09	3064.319					
3	15.2	-1669.6	-1181.88	-6472.69	3155.855					
2	13.7	-1503.53	-435.287	-5405.42	3088.562					
1	12.2	-1389.66	358.4475	-4483.89	3152.894					

Tablo 2.8. I 110 kirişı yaya köprüsü değerleri

Yaya köprüsü		Aktarma evresi		Yaya servis			Aktarma evresi		Yaya servis	
tel say	maks mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif	min mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif
23	30.6	-4689.34	-16386.2	-17874.3	-4478.66	28	-2922.1	-17982.2	-13961.7	-8012.21
22	30.5	-4745.39	-15439	-17844.3	-3609.16	26.2	-1917.41	-17993	-11583.2	-9263.64
21	30.5	-4872.32	-14427.8	-17971.2	-2597.97	24.3	-931.395	-17986.9	-9246.12	-10477.7
20	30.4	-4928.6	-13480.4	-17941.8	-1728.01	22.2	74.3389	-17998.6	-6865.37	-11731.2
19	30.2	-5019.85	-12501.4	-17862.3	-903.15	19.7	1057.51	-17989.9	-4407.21	-13054.7
18	30.1	-5181.75	-11458.6	-17939.3	62.95078	16.8	2053.439	-17992.8	-1920.8	-14403.6
17	29.9	-5274.4	-10478.4	-17863	890.5945	13.3	3043.57	-17990.4	552.7701	-15741
16	29.8	-5436.99	-9434.95	-17941.5	1858.087	11.1	3434.373	-17446.8	1699.445	-15880
15	29.6	-5531.03	-8453.45	-17868.3	2688.514	10.1	3448.436	-16562.9	2012.027	-15265.7
14	29.1	-5422.43	-7654.95	-17346.4	3113.773	9.1	3439.301	-15658.1	2273.248	-14605
13	28.3	-5121.64	-7030.03	-16399	3154.74	7.9	3444.085	-14765.9	2565.286	-13972.2
12	27.4	-4772.01	-6449.2	-15343.5	3098.067	6.5	3446.086	-13871.1	2851.161	-13333.8
11	26.5	-4441.18	-5851.41	-14329.6	3078.965	4.7	3448.086	-12976.3	3137.035	-12695.4
10	25.5	-4174.78	-5195.43	-13331	3073.675	2.9	3270.007	-11918.9	3151.585	-11812
9	24.5	-3931.58	-4518.49	-12383.7	3114.77					
8	23.4	-3657.18	-3869.74	-11367.4	3093.477					
7	22.3	-3410.84	-3195.63	-10413.2	3128.31					
6	21.1	-3143.52	-2540.49	-9412.55	3121.165					
5	19.8	-2863.55	-1896.76	-8383.89	3088.74					
4	18.5	-2622.78	-1217.62	-7442.02	3134.705					
3	17	-2341.88	-574.733	-6411.31	3100.425					
2	15.4	-2077.34	82.9276	-5416.8	3098.846					
1	13.7	-1840.29	765.4144	-4483.16	3152.232					

Tablo 2.9. I 120 kirişı araç köprüsü değerleri

Yaya köprüsü		Aktarma evresi		Araç servis			Aktarma evresi		Araç servis	
tel say	maks mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif	min mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif
25	29.5	-2983.49	-17406.1	-17929.5	-2056.18	28.5	-2412.13	-17992.9	-16362	-3666.03
24	29.4	-3066.53	-16502	-17911.4	-1255.98	26.8	-1627.08	-17980.4	-13962.4	-5311.68
23	29.3	-3149.77	-15597.7	-17893.8	-455.22	25	-849.626	-17960	-11583.6	-6935.95
22	29.2	-3233.2	-14693.2	-17876.8	346.0935	23	-44.9797	-17967.6	-9130.22	-8636.84
21	29.1	-3316.83	-13788.5	-17860.3	1147.962	20.8	763.2134	-17978.9	-6667.11	-10347.7
20	29	-3400.66	-12883.6	-17844.3	1950.386	18.4	1548.946	-17967	-4265.61	-11995.3
19	29	-3541.73	-11919.9	-17985.4	2914.072	15.5	2376.349	-17998	-1749.79	-13760.3
18	28.5	-3399.57	-11247.1	-17349.5	3079.774	12.1	3159.717	-17983.7	645.2173	-15401.2
17	27.8	-3228.8	-10603.7	-16501.8	3028.067	9.8	3438.453	-17451.2	1789.026	-15757.1
16	27.2	-3121.18	-9895.42	-15827.5	3154.275	8.6	3438.5	-16632.4	2168.283	-15327.8
15	26.5	-2968.34	-9233.58	-15029	3153.083	7.2	3438.94	-15814	2548.621	-14899.7
14	25.7	-2774.42	-8613.93	-14117.9	3036.149	5.4	3444.898	-15001.3	2944.093	-14487
13	25	-2642.27	-7930.84	-13376.3	3093.245	3.7	3379.829	-14115.7	3144.712	-13874.2
12	24.2	-2472	-7286.91	-12530	3042.925	2.3	3245.112	-13158.5	3154.26	-13065.2
11	23.5	-2360.54	-6582.58	-11845.1	3158.308					
10	22.6	-2169.28	-5960.19	-10941.3	3048.869					
9	21.8	-2036.83	-5277.41	-10198.8	3105.132					
8	20.9	-1952.12	-4545.6	-9454.06	3159.093					
7	19.9	-1844.06	-3837.77	-8645.29	3147.273					
6	18.8	-1718.57	-3147.84	-7788.68	3086.325					
5	17.7	-1616.92	-2433.43	-6997.48	3092.546					
4	16.5	-1506.5	-1728.03	-6182.22	3074.065					
3	15.3	-1424.45	-993.486	-5444.79	3135.52					
2	13.9	-1315.6	-286.463	-4633.86	3121.48					
1	12.4	-1220.84	435.028	-3861.57	3147.13					

Tablo 2.10. I 120 kirişı yaya köprüsü değerleri

Yaya köprüsü		Aktarma evresi		Yaya servis			Aktarma evresi		Yaya servis	
tel say	maks mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif	min mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif
28	33.9	-5537.59	-17239.4	-17906.5	-4536.2	32.8	-4814.81	-17981.7	-16394.1	-6089.54
27	33.9	-5602.25	-16354.2	-17971.2	-3650.99	31.5	-4056.01	-17942.2	-14735.6	-6974.03
26	33.8	-5600.22	-15537.5	-17896.3	-2909.1	30	-3211.9	-17990.3	-12898.6	-8041.86
25	33.8	-5664.88	-14652.3	-17960.9	-2023.88	28.5	-2412.13	-17992.9	-11154.4	-9014.42
24	33.7	-5739.44	-13756.9	-17962.9	-1203.1	26.8	-1627.08	-17980.4	-9357.49	-10041
23	33.6	-5814.21	-12861.3	-17965.2	-381.897	25	-849.626	-17960	-7576.49	-11051.4
22	33.5	-5889.17	-11965.5	-17967.9	439.7297	23	-44.9797	-17967.6	-5738.6	-12120.1
21	33.4	-5964.33	-11069.5	-17971.1	1261.78	20.8	763.2134	-17978.9	-3893.28	-13196.5
20	33.3	-6039.69	-10173.3	-17974.7	2084.253	18.4	1548.946	-17967	-2094.97	-14224.6
19	33.2	-6115.24	-9276.88	-17978.6	2907.15	15.5	2376.349	-17998	-209.459	-15342.3
18	32.6	-5867.38	-8712.62	-17305.8	3034.994	12.1	3159.717	-17983.7	1583.908	-16365.3
17	31.9	-5640.07	-8127.27	-16592.6	3121.265	9.8	3438.453	-17451.2	2404.775	-16389.5
16	31.1	-5361.03	-7595.03	-15771.1	3096.387	8.6	3438.5	-16632.4	2642.469	-15814.8
15	30.3	-5094.61	-7049.85	-14976	3098.608	7.2	3438.94	-15814	2880.987	-15241
14	29.5	-4840.8	-6491.71	-14207.3	3127.928	5.4	3444.898	-15001.3	3131.049	-14679
13	28.6	-4543.15	-5978.59	-13346.8	3063.037	4.2	3340.917	-14075.7	3151.058	-13880.8

Tablo 2.10.'un devamı

Yaya köprüsü		Aktarma evresi		Yaya servis			Aktarma evresi		Yaya servis	
tel say	maks mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif	min mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif
12	27.8	-4316.13	-5392.93	-12634.2	3149.943	2.6	3230.631	-13143.7	3157.873	-13068.9
11	26.9	-4048.63	-4848.86	-11836.8	3149.835					
10	25.9	-3745.95	-4340.9	-10965.9	3074.146					
9	25	-3512.14	-3762.23	-10239	3146.444					
8	23.9	-3276.12	-3185.82	-9424.04	3128.264					
7	22.7	-3019.11	-2630.96	-8565.17	3064.989					
6	21.6	-2832.93	-2003.36	-7854.51	3153.935					
5	20.3	-2590.21	-1433.83	-7025.53	3121.358					
4	18.9	-2343.45	-868.455	-6188.09	3080.1					
3	17.5	-2135.3	-263.415	-5431.47	3121.835					
2	15.9	-1902.73	316.5336	-4623.72	3111.064					
1	14.2	-1692.52	919.4487	-3862.76	3148.352					

Tablo 2.11. I 130 kirişı araç köprüsü değerleri

Araç köprüsü		Aktarma evresi		Araç servis			Aktarma evresi		Araç servis	
tel say	maks mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif	min mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif
33	30.7	-3282.93	-17535.2	-17890.7	-6235.6	29.9	-2707.11	-17980.6	-16563.4	-7262.25
32	30.6	-3371.65	-16858.2	-17884.4	-5632.15	28.5	-1897.53	-17998.5	-14486.7	-8260.39
31	30.5	-3460.6	-16181.1	-17878.6	-5028.28	27.1	-1134.51	-17980.4	-12517.2	-9175.52
30	30.4	-3549.78	-15503.8	-17873.4	-4423.98	25.6	-357.116	-17973.4	-10514.6	-10116.3
29	30.3	-3639.21	-14826.3	-17868.8	-3819.26	24	423.9597	-17969.3	-8503.51	-11063.6
28	30.2	-3728.87	-14148.6	-17864.6	-3214.11	22.3	1197.315	-17959.2	-6510.22	-11997.1
27	30.1	-3818.77	-13470.7	-17861.1	-2608.54	20.4	1999.414	-17971.3	-4450.68	-12981.9
26	30	-3908.91	-12792.7	-17858.1	-2002.55	18.3	2803.176	-17984.7	-2387.31	-13969.7
25	29.9	-3999.28	-12114.5	-17855.6	-1396.14	16.4	3424.737	-17857.2	-743.894	-14632.6
24	29.8	-4089.9	-11436.1	-17853.7	-789.296	16	3417.148	-17243	-550.615	-14173.8
23	29.7	-4180.75	-10757.5	-17852.3	-182.033	15.5	3442.697	-16654.4	-280.956	-13774.1
22	29.6	-4271.84	-10078.7	-17851.5	425.653	15.1	3426.556	-16033.6	-107.388	-13300
21	29.5	-4441.38	-9339.2	-17929.5	1094.269	14.4	3432.085	-15429.6	218.1962	-12943.5
20	29.3	-4541.44	-8653.48	-17847.2	1639.001	13.7	3425.973	-14816.5	516.9514	-12566.3
19	29.2	-4711.7	-7913.46	-17926.8	2308.888	12.9	3438.984	-14218.3	859.7829	-12223.2
18	29	-4813.19	-7226.63	-17847.9	2856.161	12.1	3436.792	-13608.3	1167.572	-11853
17	28.5	-4711.45	-6697.01	-17300.6	3041.102	11.2	3446.121	-13007.2	1501.917	-11503.3

Tablo 2.11.'in devamı

Araç köprüsü		Aktarma evresi		Araç servis			Aktarma evresi		Araç servis	
tel say	maks mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif	min mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif
16	27.9	-4549.26	-6214.15	-16613.9	3118.253	10.3	3436.209	-12391.2	1791.912	-11119.3
15	27.2	-4330.89	-5774.74	-15797.7	3095.239	9.3	3429.266	-11777.5	2088.751	-10740.5
14	26.5	-4124.16	-5326.34	-15008.4	3092.977	8.1	3437.526	-11175.5	2420.632	-10388.9
13	25.8	-3929.06	-4868.92	-14245.9	3111.469	6.7	3443.886	-10572.1	2748.132	-10034
12	25.1	-3745.61	-4402.51	-13510.2	3150.714	5	3440.387	-9961.12	3052.91	-9661.39
11	24.3	-3515.95	-3971.83	-12668	3107.582	3.6	3343.651	-9277.97	3142.782	-9122.59
10	23.5	-3379.72	-3468.89	-11939.1	3152.061	0.9	3170	-8535.32	3157.446	-8525.61
9	22.6	-3204.89	-2995.81	-11121.2	3127.717					
8	21.7	-3049.29	-2507.85	-10347.7	3137.679					
7	20.7	-2863.65	-2043.13	-9504.85	3094.064					
6	19.7	-2701.76	-1560.03	-8716.8	3092.802					
5	18.7	-2563.63	-1058.56	-7983.5	3133.893					
4	17.6	-2407.32	-571.144	-7208.32	3142.585					
3	16.4	-2240.68	-91.7234	-6409.31	3132.852					
2	15.1	-2072.26	386.3193	-5606.21	3119.943					
1	13.7	-1911.32	870.1503	-4820.34	3120.376					

Tablo 2.12. I 130 kirişı yaya köprüsü değerleri

Yaya köprüsü		Aktarma evresi		Yaya servis			Aktarma evresi		Yaya servis	
tel say	maks mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif	min mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif
36	34.1	-5649.88	-17529.2	-17857.1	-8086.53	33.4	-5088.67	-17963.3	-16799.8	-8904.35
35	34.1	-5733.18	-16856.5	-17940.4	-7413.77	32.3	-4313.58	-17954.6	-15266.1	-9482.45
34	34	-5735.6	-16246.3	-17871.3	-6858.89	31.1	-3493.24	-17980.8	-13647	-10126.5
33	34	-5818.9	-15573.5	-17954.6	-6186.13	29.9	-2707.11	-17980.6	-12092.5	-10720.7
32	33.9	-5899.77	-14902.6	-17964.2	-5570.39	28.5	-1897.53	-17998.5	-10424.6	-11402.6
31	33.8	-5980.88	-14231.6	-17974.2	-4954.3	27.1	-1134.51	-17980.4	-8844.37	-12016.6
30	33.7	-6062.23	-13560.3	-17984.7	-4337.87	25.6	-357.116	-17973.4	-7237.1	-12651.5
29	33.6	-6143.81	-12888.9	-17995.7	-3721.09	24	423.9597	-17969.3	-5622.91	-13291.8
28	33.4	-6146.18	-12278.7	-17857.4	-3219.75	22.3	1197.315	-17959.2	-4023.25	-13920.9
27	33.3	-6228.48	-11606.8	-17869.6	-2601.93	20.4	1999.414	-17971.3	-2369.45	-14591.8
26	33.2	-6311.01	-10934.6	-17882.4	-1983.77	18.3	2803.176	-17984.7	-712.509	-15265.2
25	33.1	-6393.79	-10262.2	-17895.5	-1365.26	16.4	3424.737	-17857.2	601.1872	-15673.1
24	33	-6476.8	-9589.71	-17909.2	-746.401	16	3417.148	-17243	729.6525	-15164.1
23	32.9	-6560.05	-8916.99	-17923.2	-127.198	15.5	3442.697	-16654.4	920.5455	-14703.5
22	32.8	-6643.53	-8244.09	-17937.7	492.3517	15.1	3426.556	-16033.6	1032.9	-14182.1
21	32.6	-6727.92	-7570.49	-17884.8	1059.731	14.4	3432.085	-15429.6	1255.213	-13745.7
20	32.5	-6890.34	-6836.53	-17978.9	1740.824	13.7	3425.973	-14816.5	1455.598	-13292.4
19	32.3	-6976.14	-6161.84	-17928.6	2310.28	12.9	3438.984	-14218.3	1692.007	-12866.9

Tablo 2.12.'nin devamı

Yaya köprüsü		Aktarma evresi		Yaya servis			Aktarma evresi		Yaya servis	
tel say	maks mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif	min mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif
18	32.1	-7062.9	-5486.4	-17880.2	2881.121	12.1	3436.792	-13608.3	1899.776	-12419.3
17	31.6	-6924.35	-4985.26	-17407.3	3123.624	11.2	3446.121	-13007.2	2129.248	-11988.5
16	30.8	-6571.17	-4650.14	-16530	3053.369	10.3	3436.209	-12391.2	2322.473	-11529.7
15	30.1	-6304.57	-4248.03	-15815.9	3109.29	9.3	3429.266	-11777.5	2521.291	-11075.1
14	29.3	-5979.89	-3890.86	-14992.3	3080.574	8.1	3437.526	-11175.5	2748.75	-10642.8
13	28.5	-5670.42	-3521.93	-14197.4	3074.013	6.7	3443.886	-10572.1	2972.629	-10207.6
12	27.7	-5376.15	-3141.23	-13431.2	3089.606	5.1	3428.391	-9951.84	3155.337	-9740.62
11	26.9	-5097.08	-2748.78	-12693.6	3127.354	3.9	3316.926	-9257.29	3157.251	-9133.78
10	26	-4849.56	-2331.92	-11946.2	3157.586	1	3167.743	-8533.57	3157.245	-8525.45
9	25	-4561.77	-1946.22	-11123	3129.144					
8	24	-4297.73	-1542.13	-10344.6	3135.318					
7	22.9	-4002.94	-1161.85	-9508.21	3096.664					
6	21.8	-3736.88	-759.328	-8725.97	3099.895					
5	20.7	-3499.57	-334.573	-7997.87	3145.013					
4	19.4	-3198.36	40.75194	-7149.4	3097.012					
3	18.1	-2937.3	447.1312	-6376.56	3107.513					
2	16.7	-2676.59	853.786	-5604.38	3118.534					
1	15.2	-2426.21	1268.434	-4851.68	3144.612					

Tablo 2.13. I 140 kirişı araç köprüsü değerleri

Araç köprüsü		Aktarma evresi		Araç servis			Aktarma evresi		Araç servis	
tel say	maks mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif	min mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif
21	32	-2390.07	-17173	-17959.3	-3207.15	30.6	-1469.78	-17998.6	-15706.5	-5227.96
20	31.8	-2556.55	-16103.9	-17931.8	-2311.99	28.5	-466.987	-17978.2	-12816.7	-6900.31
19	31.6	-2723.86	-15033.9	-17906.3	-1414.99	26.2	553.6576	-17973.9	-9883.2	-8611.86
18	31.4	-2892.02	-13963.2	-17882.9	-516.142	23.7	1563.171	-17959.6	-6976.95	-10299
17	31.2	-3061.01	-12891.8	-17861.5	384.5511	20.8	2617.839	-17985.8	-3960.16	-12085.2
16	31	-3230.84	-11819.6	-17842.2	1287.089	18.1	3420.276	-17785.8	-1560.81	-13317.6
15	30.9	-3466.31	-10688.5	-17983.6	2333.739	17.3	3417.195	-16863.1	-1133.31	-12781.3
14	30.6	-3573.03	-9672.91	-17809.8	3097.698	16.4	3435.22	-15959.5	-654.135	-12291.2
13	29.7	-3401.38	-8907.03	-16813	3123.413	15.2	3435.184	-15039.6	-77.6232	-11888.5
12	28.7	-3186.36	-8180.05	-15710	3053.9	13.9	3434.203	-14118.8	496.5754	-11483.7
11	27.8	-3050.62	-7381.96	-14801.1	3158.474	12.5	3424.087	-13189.9	1048.411	-11058.9
10	26.7	-2819.32	-6669.58	-13658.3	3053.22	10.8	3441.797	-12285.9	1668.364	-10695.1
9	25.7	-2667.31	-5886.08	-12709.6	3122.054	8.9	3436.616	-11361.4	2232.281	-10281.1
8	24.6	-2484.52	-5130.19	-11685.6	3123.329	6.4	3440.045	-10444.6	2817.276	-9886
7	23.4	-2277.9	-4395.67	-10603.2	3072.261	3.5	3343.296	-9438	3157.043	-9270.92
6	22.1	-2152.77	-3588.06	-9578.71	3073.149					
5	20.8	-2063.13	-2748.62	-8641.13	3151.973					
4	19.3	-1927.49	-1950.43	-7590.95	3129.803					
3	17.7	-1801.83	-1143.29	-6565.2	3129.537					
2	15.9	-1662.73	-348.209	-5506.54	3099.758					
1	14	-1562.17	481.4418	-4542.22	3154.601					

Tablo 2.14. I 140 kirişı yaya köprüsü değerleri

Yaya köprüsü		Aktarma evresi		Yaya servis			Aktarma evresi		Yaya servis	
tel say	maks mes.	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif	min mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif
23	34.4	-3658.08	-17875.3	-17952	-5053.43	34.3	-3585.94	-17940	-17796.9	-5192.58
22	34.3	-3788.64	-16838.4	-17999.6	-4090.9	32.5	-2526.02	-17971	-15284.6	-6526.31
21	34.1	-3847.69	-15865.5	-17893.4	-3266.3	30.6	-1469.78	-17998.6	-12780.1	-7852.95
20	33.9	-4005.35	-14804.3	-17886.7	-2352.38	28.5	-466.987	-17978.2	-10278.2	-9177.37
19	33.7	-4163.84	-13742.2	-17881.9	-1436.84	26.2	553.6576	-17973.9	-7737.91	-10536.2
18	33.5	-4323.17	-12679.4	-17878.9	-519.687	23.7	1563.171	-17959.6	-5221.53	-11873.6
17	33.3	-4483.35	-11615.9	-17877.7	399.0903	20.8	2617.839	-17985.8	-2608.05	-13298.1
16	33.1	-4644.36	-10551.6	-17878.3	1319.488	18.1	3420.276	-17785.8	-536.951	-14236.1
15	32.9	-4806.21	-9486.58	-17880.7	2241.507	17.3	3417.195	-16863.1	-197.953	-13620.3
14	32.6	-4900.34	-8482.3	-17737.5	3032.883	16.4	3435.22	-15959.5	186.4312	-13045.2
13	31.7	-4690.88	-7750.32	-16829	3137.823	15.2	3435.184	-15039.6	644.4339	-12536.2
12	30.7	-4433.86	-7061.02	-15818.3	3151.01	13.9	3434.203	-14118.8	1100.404	-12025.4
11	29.6	-4135.57	-6408.74	-14718.8	3084.596	12.5	3424.087	-13189.9	1536.73	-11496.9
10	28.5	-3862.69	-5733.66	-13673.9	3067.198	10.8	3441.797	-12285.9	2032.893	-11022.1
9	27.4	-3615.22	-5035.79	-12683.7	3098.816	8.9	3436.616	-11361.4	2479.832	-10503.2
8	26.2	-3338.03	-4364.58	-11629.6	3073.114	6.4	3440.045	-10444.6	2945.286	-10000.8
7	25	-3091.09	-3666.23	-10640.5	3105.745	3.8	3320.299	-9417.37	3145.877	-9260.91
6	23.6	-2872.6	-2942.36	-9600.17	3092.391					
5	22.2	-2695.28	-2181.57	-8648.33	3158.435					
4	20.6	-2472.17	-1461.84	-7598.05	3136.168					
3	18.9	-2263.03	-729.588	-6577.8	3140.841					
2	17	-2042.76	-7.31919	-5533.61	3124.043					
1	14.9	-1835.3	726.4415	-4516.98	3131.956					

Tablo 2.15. I 150 kirişı araç köprüsü değerleri

Araç köprüsü		aktarma evresi		araç servis			aktarma evresi		araç servis	
tel say	max mes.	üstlif	alt lif	üst lif	alt lif	min mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif
28	33.3	-2741.84	-17816.5	-17996.1	-6526.23	33	-2516.87	-17983	-17497.5	-6895.24
27	33.1	-2771.06	-17086.1	-17842.6	-5931.03	31.5	-1602.01	-17951.4	-15251.7	-7848.66
26	33	-2964.17	-16234.4	-17944.8	-5146.62	29.7	-623.922	-17966.5	-12758.3	-8985.41
25	32.8	-3083.2	-15437.5	-17882.8	-4483.74	27.8	343.8717	-17974	-10287.6	-10105.3
24	32.7	-3276.99	-14585.3	-17986.5	-3698.21	25.8	1288.479	-17964.4	-7868.29	-11187.1
23	32.5	-3397.37	-13787.4	-17927.5	-3033.1	23.6	2249.826	-17967.1	-5411.91	-12296.4
22	32.3	-3518.66	-12988.9	-17870.5	-2366.5	21.1	3245.896	-17995.6	-2878.56	-13462.6
21	32.2	-3713.58	-12135.8	-17976.7	-1579.12	20.1	3444.014	-17433.4	-2113.69	-13320
20	32	-3836.23	-11336.3	-17922.7	-910.299	19.5	3444.877	-16725.3	-1785.97	-12853.7
19	31.8	-3959.78	-10536	-17870.7	-239.99	18.9	3437.597	-16011.1	-1476.31	-12374.2
18	31.7	-4155.83	-9682.15	-17979.4	549.2427	18.3	3422.173	-15290.9	-1184.69	-11881.2
17	31.4	-4298.05	-8868.11	-17861.3	1170.547	17.4	3429.252	-14587.4	-735.618	-11504.8
16	31.2	-4512.77	-8000.41	-17903.7	1910.775	16.5	3418.008	-13870.3	-327.156	-11098.3
15	31	-4728.39	-7132.04	-17948.2	2652.488	15.5	3423.617	-13165.7	118.6563	-10719.5

Tablo 2.15.'in devamı

Araç köprüsü		aktarma evresi		araç servis			aktarma evresi		araç servis	
tel say	max mes.	üstlif	alt lif	üst lif	alt lif	min mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif
14	30.5	-4736.92	-6416.94	-17533.8	3054.497	14.4	3439.293	-12468.5	586.7777	-10357.2
13	29.7	-4548.54	-5847.6	-16682.9	3133.499	13.3	3427.597	-11751	994.2375	-9950.02
12	28.8	-4309.37	-5315.83	-15719.4	3129.199	12	3443.272	-11053.9	1462.359	-9587.71
11	27.9	-4088.52	-4770.51	-14796.6	3154.954	10.6	3444.809	-10346.2	1899.147	-9202.22
10	26.9	-3825.03	-4256.75	-13779.3	3110.765	9	3443.18	-9636.24	2328.916	-8811.53
9	25.9	-3584.17	-3726.24	-12812.1	3103.682	7	3448.789	-8931.61	2774.728	-8432.71
8	24.8	-3398.16	-3155.13	-11858.9	3106.964	4	3377.256	-8169.88	3157.154	-8006.98
7	23.7	-3239.52	-2563.76	-10966.3	3155.144					
6	22.4	-3006.47	-2027.48	-9908.85	3081.245					
5	21.2	-2859.48	-1427.49	-9042.13	3148.534					
4	19.8	-2655.04	-870.023	-8048.08	3121.575					
3	18.3	-2453.42	-310.465	-7060.29	3099.253					
2	16.7	-2264.82	258.7192	-6101.32	3098.268					
1	15	-2100.07	845.5672	-5195.25	3136.429					

Tablo 2.16. I 150 kirişı yaya köprüsü değerleri

Yaya köprüsü		aktarma evresi		yaya servis			aktarma evresi		yaya servis	
tel say	max mes.	üstlif	alt lif	üst lif	alt lif	min mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif
29	35.4	-4194.18	-17450.4	-17889.6	-7313.82	34.5	-3482.64	-17977	-16490.6	-8349.33
28	35.3	-4293.63	-16668	-17911.8	-6588.62	33	-2516.87	-17983	-14418.3	-9174.33
27	35.2	-4393.32	-15885.4	-17934.4	-5863.08	31.5	-1602.01	-17951.4	-12446	-9925.27
26	35	-4502.39	-15095.9	-17890.1	-5187.14	29.7	-623.922	-17966.5	-10264	-10831.5
25	34.8	-4612.37	-14305.7	-17847.5	-4509.88	27.8	343.8717	-17974	-8102.29	-11722.7
24	34.7	-4801.64	-13456.9	-17960.8	-3717.23	25.8	1288.479	-17964.4	-5986.12	-12580.2
23	34.5	-4912.97	-12665.7	-17920.9	-3038	23.6	2249.826	-17967.1	-3837.04	-13462
22	34.3	-5025.21	-11873.8	-17882.8	-2357.44	21.1	3245.896	-17995.6	-1619.68	-14394.4
21	34.2	-5215.61	-11024.1	-17998.3	-1563.15	20.1	3444.014	-17433.4	-971.301	-14165.5
20	34	-5329.21	-10231.3	-17962.8	-880.623	19.5	3444.877	-16725.3	-710.772	-13649.5
19	33.8	-5443.71	-9437.72	-17929.1	-196.778	18.9	3437.597	-16011.1	-466.254	-13121.7
18	33.6	-5559.12	-8643.52	-17897.2	488.3844	18.3	3422.173	-15290.9	-237.749	-12582.1
17	33.4	-5763.89	-7783.19	-17955.5	1240.33	17.4	3429.252	-14587.4	120.4704	-12138.4
16	33.1	-5894.57	-6977.69	-17868.2	1884.462	16.5	3418.008	-13870.3	442.6623	-11668.1
15	32.9	-6101.6	-6115.68	-17931	2639.7	15.5	3423.617	-13165.7	797.9906	-11222.3

Tablo 2.16.'nın devamı

Yaya köprüsü		aktarma evresi		yaya servis			aktarma evresi		yaya servis	
tel say	max mes.	üstlif	alt lif	üst lif	alt lif	min mes	üst lif	alt lif	üst lif	alt lif
14	32.4	-6088.64	-5416.49	-17561.2	3074.789	14.4	3439.293	-12468.5	1173.112	-10791.2
13	31.5	-5794.5	-4925.41	-16638.5	3100.68	13.3	3427.597	-11751	1494.414	-10320.2
12	30.6	-5518.68	-4420.77	-15751.9	3153.237	12	3443.272	-11053.9	1869.535	-9889.08
11	29.6	-5194.12	-3952.22	-14769.4	3134.85	10.6	3444.809	-10346.2	2216.857	-9437.37
10	28.6	-4892.17	-3466.91	-13831.4	3149.384	9	3443.18	-9636.24	2557.953	-8981.05
9	27.5	-4550.53	-3011	-12815.4	3106.142	7	3448.789	-8931.61	2913.281	-8535.26
8	26.3	-4265.11	-2513.47	-11824.4	3081.457	4.3	3349.093	-8149.04	3147.021	-7999.48
7	25.1	-4012.26	-1991.84	-10897.5	3104.176					
6	23.8	-3738.03	-1486.02	-9928.5	3095.786					
5	22.5	-3502.03	-951.913	-9034.7	3143.032					
4	21	-3208.8	-460.163	-8028.37	3106.989					
3	19.5	-2966.47	69.25732	-7122.12	3145.016					
2	17.8	-2694.05	576.4104	-6156.71	3139.26					
1	15.9	-2414.62	1078.373	-5177.51	3123.298					

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında önerilmeli betonarme prekast kirişlerde farklı kesit ve halat sayısına bağlı uygun açıklığın belirlenmesi analitik yöntemlerle araştırılmıştır. Çalışmada I90, I100, I110, I120, I130, I140 ve I150 olmak üzere yedi farklı piyasada üretimde olan önerilmeli prekast kirişin farklı önerilmeli halat sayısına bağlı olarak gerilme değerleri hesaplanmış ve en uygun mesafe tespiti yapılmıştır. Araştırmalar yaya ve araç köprüleri için ayrı ayrı yapılmıştır. Köprülerin analizleri üç adet analizle incelenmiştir. 1 nolu analiz köprülerin kendi ağırlığı, 2 nolu analiz köprünün kendi ağırlı ve önerilme yükü altındaki analizi ve 3 nolu analiz ise köprünün kendi ağırlığı önerilme yükü altında ve servis yükleri altındaki analizlerdir. Bu analizler köprülerin üst ve alt lifi için ayrı ayrı yapılmıştır. Sonuçlar SAP2000 program çözümü ile karşılaştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Analizler yapılırken kirişin gerilme sınır değerlerini aşmayan her önerilme halatı için çözüm yapılmış ve tabloda gösterilmiştir. Ancak geçilebilecek maksimum mesafenin belirlenmesinde gerilme sınır değerleri ve AASHTO (2002) yönetmeliğinin izin verdiği maksimum geçilebilir mesafe dikkate alınarak sonuçlar elde edilmiştir.
- Önerilmeli kirişlerde 2 nolu analiz esnasında sınırlayıcı gerilmenin alt lifde oluştuğu görülmektedir.
- Önerilmeli kirişlerde 3 nolu analiz sırasında sınır değerleri ise önerilme donatı sayısı az iken alt lifde oluşan çekme gerilmesi iken, önerilme donatısı sayısının artmasıyla sınırlayıcı değer üst lifde oluşan basınç gerilmesi olduğu görülmektedir.
- Kirişlerin en alt lifinde bulunan kabloların kirişin geçilebilen maksimum mesafeye etkinliğinin daha fazla olduğu, liften uzaklaştıkça verimin azaldığı görülmektedir.
- Önerilmeli prefabrik kirişli beton köprü kirişlerinin etkin açıklıklarını belirlemek için yapılan analizler sonucunda I90 araç köprüsü sınırlayıcı değerler önerilmeli kirişlerin oluşturduğu gerilme değerleri iken, I90 yaya köprüsü için sınırlayıcı değerin köprünün geçilmesine izin verilen maksimum değer olduğu görülmüştür.
- Önerilmeli prefabrik kirişli beton köprü kirişlerinin etkin açıklıklarını belirlemek için yapılan analizler sonucunda I100 araç köprüsü için sınırlayıcı değerler

- Öngerilmeli kirişlerin gerilme değerleri iken, I100 yaya köprüsü için sınır değerinin kirişin geçilmesine izin verilen maksimum değer olduğu görülmüştür.
- Öngerilmeli prefabrik kirişli beton köprü kirişlerinin etkin açıklıklarını belirlemek için yapılan analizler sonucunda I110 araç köprüsü için sınırlayıcı değerler öngerilmeli kirişlerin gerilme değerleri iken, I110 yaya köprüsü için sınır değerinin kirişin geçilmesine izin verilen maksimum değer olduğu görülmüştür.
- Öngerilmeli prefabrik kirişli beton köprü kirişlerinin etkin açıklıklarını belirlemek için yapılan analizler sonucunda I120 araç köprüsü için sınırlayıcı değerler öngerilmeli kirişlerin gerilme değerleri iken, I120 yaya köprüsü için sınır değerinin kirişin geçilmesine izin verilen maksimum değer olduğu görülmüştür.
- Öngerilmeli prefabrik kirişli beton köprü kirişlerinin etkin açıklıklarını belirlemek için yapılan analizler sonucunda I130 araç köprüsü için sınırlayıcı değerler öngerilmeli kirişlerin gerilme değerleri iken, I130 yaya köprüsü için sınır değerinin kirişin geçilmesine izin verilen maksimum değer olduğu görülmüştür.
- Öngerilmeli prefabrik kirişli beton köprü kirişlerinin etkin açıklıklarını belirlemek için yapılan analizler sonucunda I140 araç köprüsü ve I140 yaya köprü için sınırlayıcı değerler öngerilmeli kirişlerin gerilme değerleridir.
- Öngerilmeli prefabrik kirişli beton köprü kirişlerinin etkin açıklıklarını belirlemek için yapılan analizler sonucunda I150 araç köprüsü ve I150 yaya köprü için sınırlayıcı değerler öngerilmeli kirişlerin gerilme değerleridir.
- Yapılan analizlerle Sap2000 uygulaması sonuçlarının karşılaştırılmasıyla yapılan hataların %₀ 3'ten düşük olduğu görülmüş doğruluğu kanıtlanmıştır.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ışığında yapılan bazı öneriler maddeler halinde aşağıda sunulmaktadır:

- Her bir kiriş yüksekliği için farklı geometrik boyutlar dikkate alınarak çözümler genişletilebilir.
- Yapılan analizler ve çözümler bir optimizasyon algoritması kullanılarak geliştirilebilir ve kullanım kolaylığı sağlanabilir.
- Bu çalışma genişletilerek bir mühendislik yazılımı hazırlanabilir.

4. KAYNAKLAR

- AASHTO. 2002. Standart Specifications for Highway Bridges. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington D.C.
- Afey, H. M., Sennah, K. ve Cofini, A., 2016. Retrofitting Actual-Size Precracked Precast Prestressed Concrete Double-Tee Girders Using Externally Bonded CFRP Sheets, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30, 2.
- Ahsan, R., Rana, S. ve Ghani, S. N., 2012. Cost Optimum Design of Posttensioned I-Girder Bridge Using Global Optimization Algorithm, *Journal of Structural Engineering-ASCE*, 138, 272-283.
- Akoğul, C., 2007. Prekast Kirişli Betonarme Köprülerin Aashto'ya Göre Depreme Dayanıklı Tasarımı, Yüksek lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akgül, F. ve Frangopol, D. M., 2004. Lifetime Performance Analysis of Existing Prestressed Concrete Bridge Superstructures, *Journal of Structural Engineering*, 130, 2, 1889-1903.
- Algahtani, A.S., Alsaadoun, S.S. ve Abulfeilat, E.A., 1995. Design Optimization Of Continious Partially Prestressed Concrete Beams, *Computers & Structures*, 55, 365-370.
- AlHarthy, A. S. ve Frangopol, D.M., 1994. Integrating System Reliability and Optimization in Prestressed Concrete Design, *Computers & Structures*, 64, 729-735.
- Ali, M. K., 2010. Öngermeli Betonarme Köprü Kirişi Modellemesi, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Al-Sherrawi, M., Allawi, A., Al-Bayati, B., Al Gharawi, M. ve El-Zohairy, A., 2018. Behavior of Precast Prestressed Concrete Segmental Beams, *Civil Engineering Journal-Tehran*, 4, 3, 488-496.
- Anania, L., Badala, A. ve D'Agata, G., 2018. Damage and Collapse Mode of Existing Post Tensioned Precast Concrete Bridge: The Case of Petrulla Viaduct, *Engineering Structures*, 162, 226-244.
- Araz, S., 2000. Öngerilmeli Sürekli Kirişlerin Bilgisayar ile Hesabı, Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Aydin, Z. ve Ayvaz, Y., 2010. Optimum Topology and Shape Design of Prestressed Concrete Bridge Girders Using a Genetic Algorithm, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 41, 1, 151-162.

- Aydin, Z. ve Ayvaz, Y., 2013, Overall Cost Optimization of Prestressed Concrete Bridge Using Genetic Algorithm, KSCE Journal of Civil Engineering, 17, 4, 769-776.
- Barakat, S., Bani-Hani, K. ve Taha, M. Q., 2004. Multi-Objective Reliability-Based Optimization of Prestressed Concrete Beams, Structural Safety, 26, 3, 311-342.
- Barakat, S., Kallas, N., ve Taha, M. Q., 2003. Single Objective Reliability-Based Optimization of Prestressed Concrete Beams , Computers & Structures, 81, 26-27, 2501-2512.
- Bendtsen, B. ve Sanjayan, J. G., 2016. Assessment of Shear Capacity Methods of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams Using Full Scale Prestressed Bridge Beams, Materials and Structures, 48, 11, 3473-3483.
- Bonopera, M., Chang, K. C., Chen, C. C. ve Tullini, N., 2017. Influence of Prestress Force on The Fundamental Frequency of Concrete Beams with Straight Unbonded Tendons, The Thirtieth KKHTCNN Symposium on Civil Engineering, İtalya.
- Brandes, M. R. ve Kurama, Y. C., 2018. Service-Load Behavior of Precast/Prestressed Concrete Beams with Recycled Concrete Aggregates, ACI Structural Journal, 115, 3, 861-873.
- Cagatay, I. H., Dundar, C. ve Aksogan, O., 2003. Optimum Design of Prestressed Concrete Beams by a Modified Grid Search Method, Structural Engineering and Mechanics, 15, 1, 39-52.
- Chu, Q., Zhong, T. Y. ve Yang, F. L., 2005. Optimization Design Study of Reactive Powder Concrete Prestressed Pipe, Progress in Safety Science and Technology Series, 5, 2186-2191.
- Colajanni, P., Recupero, A. ve Spinella, N., 2014. Design Procedure for Prestressed Concrete Beams, Computer and Concrete, 13, 2, 235-253.
- Dlouhy, L., ve Novak, M., 2010. Optimization of Reinforced and prestressed concrete Structures, Proceedings of the International Conference on Modelling and Simulation, 2010, Prague, 89-92.
- Du, J. S. ve Au, F. T. K., 2005. Deterministic and Reliability Analysis of Prestressed Concrete Bridge Girders: Comparison of the Chines Hong Kong and AASHTO LRFD Codes, Structural Safety, 27, 230-245.
- Gao, Q., Yang, M. G. ve Q., J. D., 2017. A Multi-Parameter Optimization Technique for Prestressed Concrete Cable-Stayed Bridges Considering Prestress in Girder, Structural Engineering and Mechanics, 64, 5, 567-577.
- Greco, G., Rago, A. ve Iaconianni, G., 2003. Production Planning and Cost Optimization for Prestressed Concrete Alveolar Slabs, System-Based Vision for Strategic and Creative Design, 1-3, 275-282.

- Guo, W., Wu, L. ve Niu, Y., 2014. Optimization of Prestress Reinforcement Design in Large-Span Prestressed Concrete Continuous Rigid Frame Bridges, 3rd International Conference on Civil Engineering and Transportation (ICCET 2013), Applied Mechanics and Materials: 501-504, 1339.
- Hüsem M. 2016. Öngerilmeli beton ders notu, Karadeniz teknik üniversitesi, Trabzon.
- Ivashenko, I. A. 2016. Optimization of the Prestress Value in Binding of Reinforced Concrete Structures , 2nd International Conference on Industrial Engineering, 2016, Procedia Engineering, 150, 1771-1775.
- Ibrahim, M. A. ve Mubarak H., 2010. Finite Element Modeling Of Continuous Reinforced Concrete Beam With External Pre-Stressed, European Journal of Scientific Research, 177-186.
- Karayolları Genel Müdürlüğü, 2013. Yollar Fenni Şartnamesi.
- Kim, J., Hong, W. K. ve Lim, G. T., 2017. Losses of Prestressed Forces of Pre-Tensioned Precast Composite Beams, Structural Design of Tall and Special Buildings, 26, 5.
- Kozak, M. 2011, Öngermeli Betonlar ve Özelliklerinin Teorik Olarak Araştırılması, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7,1, 100-106.
- Ma, Z. G., Saleh, M. A. ve Tadros, M. K., 1999. Optimized Post-Tensioning Anchorage in Prestressed Concrete I-Beams, PCI Journal, 44, 2, 56.
- Madhkhan, M., Kianpour, A.ve Harchegani, M. E. T., 2013. Life-Cycle Cost Optimization of Prestressed Simple-Span Concrete Bridges with Simple and Spliced-Girders, Iranian Journal of Science and Technology-Transactions of civil Engineering, 37, 1, 53-6.
- Nowak, A. S., Park, C. ve Casas J. R., 2001. Reliability Analysis Of Prestressed Concrete Bridge Girders: Comparison of Eurocode, Spanish Norma IAP and AASHTO LRFD, Structural Safety, 23, 331-334.
- Marti, J. V., Gonzalez-Vidoso, F. ve Alcala, J, 2010. Heuristic Optimization of Prestressed Concrete Precast Pedestrian Bridges, 11th International Conference on Computer Aided Optimum Design of Structures, WIT Transactions on the Built Environment: 106, 121.
- Ortaç E., 2017. Diferansiyel Gelişim Algoritması Tabanlı Öngerilmeli Beton Köprü Kirişlerinin Optimum Tasarımı, Yüksek lisans, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Ohkubo, S, Dissanayake, P. B. R. ve Taniwaki, K, 1998. An Approach to Multicriteria Fuzzy Optimization of a Prestressed Concrete Bridge System Considering Cost and Aesthetic Feeling, Structural Optimization, 15, 2, 132-140.

- ÖYHYK, Türk Standartları Enstitüsü (TS3233), 1979. Öngerilmeli Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Ankara, 1-44.
- Özden, K. ,Eren, İ., Trupia, A. L. ve Öztürk, T., 1994. Öngerilmeli Beton, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Öztürk, O. O., Topal, O., Ateş, F., Solmaz, S. ve Demirtaş, S., 2014. Betonarme Köprü Projelendirilmesi, Lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Quaranta, G., Fiore, A. ve Marano, G. C., 2014. Optimum Design of Prestressed Concrete Beams Using Constrained Differential Evolution Algorithm, Structural and Multidisciplinary Optimization, 49, 3, 441-453.
- Penades-Pla, V., Garcia-Segura, T., Marti, J. V. ve Yepes, V., 2018. An Optimization-LCA of a Prestressed Concrete Precast Bridge, *Sustainability*, 10, 3.
- Pino, V., Nanni, A., Arboleda, D. ve Roberts-Wollmann, C., 2017. Repair of Damaged Prestressed Concrete Girders with FRP and FRCM Composites, *Journal of Composites for Construction*, 21, 3.
- Rizkalla S., Zia, P. ve Storm, T., 2010. Predicting Camber, Deflection, and Prestress Losses in Prestressed Concrete Members, NCSU Report, North Carolina Department of Transportation.
- Sarsık, S. T., 2008. Öngerilmeli Prefabrike I Kesitli Köprü Kirişlerinin Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tadros, M.K., Baddie S.S. ve Tuan C.Y., 2010. Evaluation and Repair Procedures for Precast/Prestressed Concrete Girders with Longitudinal Cracking in the Web, National Cooperative Highway Research Program report 654, Transportation Research Board, Washington, DC.
- Toydemir, B., Kocak, A., Sevim, B. ve Zengin, B., 2017. Ambient Vibration Testing and Seismic Performance of Precast I Beam Bridges on a High-Speed Railway Line, *Steel and Composite Structures*, 23, 5, 557-570.
- Tuan, C.Y., Yehia, S.A. ve Jomgpitaksseel, N., 2004. End Zone Reinforcement for Pretensioned Concrete Girders, PCI Journal, 1-16.
- Uluğ, N.İ., 2008. Öngerilmeli Bir Köprü Tasarımı ve Performans Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- URL-1 www.aykutozdemir.com.tr/insaat/ongerilmeli-beton.html, 22 Mart 2018.
- URL-2 <https://turkish.alibaba.com/product-detail/1860mpa-prestressing-concrete-steelwire-4mm-5mm-1363343635.html>, 25 Mart 2018.
- ÜNAL O. ve Gökhan K., 2007. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 26-35.

- Wagdy G., 2003. Comprehensive Design Example For Prestressed Concrete (Psc) Girder Superstructure Bridge with Commentary, Modjeski and Masters, Inc., The Federal Highway Administration., Virginia.
- Wang, J., Qi, J. ve Zhang, J. 2014. Optimization Method and Experimental Study on the Shear Strength of Externally Prestressed Concrete Beams, *Advances in Structural Engineering*, 17, 4, 607-61.
- Wang, J., Li, Z. Q. ve Hao, X. W., 2012. Optimization Design of Cross-section of Prestressed Steel-Concrete Composite Box Girder , *International Conference on Material Engineering, Architectural Engineering and Informatization, China, Advanced Materials Research*, 366, 207-210.
- Wang, J., Yan, W. ve Gui, X., 2012. Application of Matlab Optimization Tool Box on Sections of Prestressed Steel-concrete Composite Box Girder, *Advanced Materials Research*, 366, 177-180.
- Yapar, O., Basu, P. K. ve Nordendale, N., 2015. Accurate Finite Element Modeling of Pretensioned Prestressed Concrete Beams, *Engineering Structures*, 101, 163-178.

ÖZGEÇMİŞ

Onur Oğuz ÖZTÜRK, 1991 yılında İstanbul’da doğdu. İlkokulu ve ortaokulu Sarıyer İlköğretim Okulu’nda tamamladıktan sonra lise öğrenimini Sarıyer Vehbi Koç Vakfı Lisesi’nde gördü. 2010 yılında girdiği Öğrenci Seçme Sınavı’nda gösterdiği başarı sonucu Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde “Lisans” eğitimi almaya hak kazandı. 4 yıl lisans eğitimi alarak 2014 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu ve lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda “Yüksek Lisans” eğitimine başladı.