

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÖNGERİLMELİ PREFABRİKE I KESİTLİ KÖPRÜ
KİRİŞLERİNİN OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Selahattin Tayfun SARSIK**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2008

**ÖNGERİLMELİ PREFABRİKE I KESİTLİ KÖPRÜ
KİRİŞLERİNİN OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Selahattin Tayfun SARSIK
501041152

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Ocak 2008

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Turgut ÖZTÜRK
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Tülay Aksu ÖZKUL
Doç.Dr. Necdet TORUNBALCI

OCAK 2008

ÖNSÖZ

Ülkemizde 1980'lerden bu güne kadar hızla artan nüfus yoğunluğu ve gelişen ekonomi ile beraber trafiğin sürekliliğini sağlayacak yüksek standartta yolların ve köprülerin yapılmasına gereksinim duyulmuştur.

Günümüzde köprülerin dayanıklı ve ekonomik yapılmasının yanında, yapım süresinin kısa tutulması ve büyük açıklıkların geçilebilmesi de önem kazandığından, köprü üst yapısının seçiminde önerilmeli prefabrike kirişlerin kullanımı öne çıkmıştır.

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışma, önerilmeli prefabrike I kesitli köprü kirişlerinin optimizasyonuna yönelik bir çalışmadır.

Tez çalışmam süresince sağladığı imkan ve bilgilerden dolayı değerli hocam Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK'e ve yardımlarını esirgemeyen Epro Mühendislik yöneticilerine ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık 2007

Selahattin Tayfun SARSIK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. KABULLER VE TASARIM PARAMETRELERİ	3
2.1 Genel Yerleşimler	3
2.2 Malzeme Özellikleri	4
2.2.1 Beton	4
2.2.2 Çelik	5
2.3 Beton Emniyet Gerilmeleri	6
2.3.1 Rötredene ve sünmeden kaynaklanan kayıplardan önce geçici emniyet gerilmeleri	6
2.3.2 Servis yükleri altında kayıplardan sonra emniyet gerilmeleri	6
2.4 Yükler	6
3. TİP KİRİŞLERİN GEOMETRİK ÖZELLİKLERİ	7
3.1 TİP I Kirişleri Geometrik Özellikleri	7
3.2 TİP II Kirişleri Geometrik Özellikleri	8
3.3 TİP III Kirişleri Geometrik Özellikleri	9
4. PREFABRİKE ÖNGERİLMELİ KİRİŞ AYRINTILI HESABI	11
4.1 Yük Analizi	11
4.1.1 Zati yükler	11
4.1.2 Hareketli yükler	11
4.2 Kesit Tesirleri Özeti	14
4.3 Öngerme Kablosu Sayısının Tespiti	14
4.4 Kılıflanacak Kablo Sayısının Tespiti	16
4.5 Kılıf Boyunun Hesaplanması	17
4.6 Öngerilme Kayıpları	18
4.6.1 Rötreden oluşan öngerilme kayıpları	18
4.6.2 Betonun elastik kısılmasında oluşan öngerilme kayıpları	18
4.6.3 Betonun sünmesinden oluşan öngerilme kayıpları	19
4.6.4 Öngerme çeliğinin gevşeme kayıpları	20
4.6.5 Toplam öngerme kayıpları	20
4.7 Yükleme Durumları ve Kesit Gerilmelerinin Tahkiki	20
4.7.1 Yükleme durumu 1	21
4.7.2 Yükleme durumu 2	22

4.7.3 Yükleme durumu 3	23
4.7.4 Yükleme urumu 4	23
4.8 Betonarme Donatısının (Aderans Donatısı) Hesaplanması	24
4.9 Taşıma Kapasitesi Kontrolü	25
4.9.1 Kompozit kiriş taşıma kapasitesi kontrolü	26
4.9.2 Prefabrike kiriş taşıma kapasitesi kontrolü	26
4.10 Maksimum – Minimum Öngerme Donatısı	27
4.11 Kesme Hesabı	28
4.12 Sehim Hesapları	30
4.12.1 Öngerme uygulama anında sehim	33
4.12.2 Servis yükleri altında sehim	33
4.12.3 Zamana bağlı sehim	33
5. TİP KİRİŞLERİ HESAP ÖZETLERİ	35
5.1 Tip Kirişleri Moment Tesirleri Özetleri	35
5.2 Tip Kirişleri Öngerme Özetleri	36
5.3 Tip Kirişleri Taşıma Kapasitesi ve Minimum Donatı Kontrolleri	38
5.4 Tip Kirişleri Gerilme Tahkikleri	40
6. SONUÇ	42
EK A TİP KİRİŞLERİ TAŞIMA KAPASİTESİ ARAŞTIRMASI	44
EK B TİP KİRİŞLERDE ÖNGERİLME KAYIPLARI ARAŞTIRMASI	47
EK C 22 M AÇIKLIKLI TİP II-A KİRİŞİ UYGULAMA DETAYLARI	56
EK D KİRİŞ METRAJLARI	59
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	61

KISALTMALAR

AASHTO :The American Association of State Highway and Transportation
Officials

PCI :Prestressed Concrete Institute

ASTM :American Society for Testing and Materials

KGM :Karayolları Genel Müdürlüğü

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 Prefabrike TİP I kirişleri mukavemet özellikleri.....	8
Tablo 3.2 Kompozit TİP I kirişleri mukavemet özellikleri	8
Tablo 3.3 Prefabrike TİP II kirişleri mukavemet özellikleri	9
Tablo 3.4 Kompozit TİP II kirişleri mukavemet özellikleri.....	9
Tablo 3.5 Prefabrike TİP III kirişleri mukavemet özellikleri.....	10
Tablo 3.6 Kompozit TİP III kirişleri mukavemet özellikleri	10
Tablo 4.1 Zati yüklerden oluşan moment tesirleri.....	14
Tablo 4.2 Hareketli yüklerden oluşan moment tesirleri	14
Tablo 4.3 Sabit ve hareketli yüklerden oluşan kesme kuvvetleri	14
Tablo 4.4 Betonun elastik kısalmasında oluşan öngerilme kayıpları	19
Tablo 4.5 Betonun sünmesinden oluşan öngerilme kayıpları	19
Tablo 4.6 Öngerme çeliğinin gevşeme kayıpları.....	20
Tablo 4.7 Toplam öngerme kayıpları	20
Tablo 4.8 Öngerme ve kesit tesirleri özeti.....	21
Tablo 4.9 Yükleme durumu 1 gerilme sonuçları	22
Tablo 4.10 Yükleme durumu 2 gerilme sonuçları	22
Tablo 4.11 Yükleme durumu 3 gerilme sonuçları	23
Tablo 4.12 Yükleme durumu 4 gerilme sonuçları	24
Tablo 4.13 Tipik elemanlarda uzun zamanda oluşacak sehim ve ters sehimlerin hesabında kullanılacak katsayılar.....	33
Tablo 5.1 Kiriş zati ağırlığından oluşan moment tesirleri	35
Tablo 5.2 Dış yüklerden kaynaklanan moment tesirleri.....	35
Tablo 5.3 Tip kirişleri öngerme özetleri	36
Tablo 5.4 Tip kirişleri taşıma kapasitesi ve minimum donatı kontrolleri	38
Tablo 5.5 Tip kirişleri gerilme özetleri.....	40
Tablo A.1 TİP I kirişleri taşıma kapasiteleri	44
Tablo A.2 TİP II kirişleri taşıma kapasiteleri.....	45
Tablo A.3 TİP III kirişleri taşıma kapasiteleri	46
Tablo B.1 TİP I-A kirişinde ayrıntılı öngerme kayıpları	47
Tablo B.2 TİP II-A kirişinde ayrıntılı öngerme kayıpları	48
Tablo B.3 TİP III-A kirişinde ayrıntılı öngerme kayıpları.....	49
Tablo B.4 TİP I-B kirişinde ayrıntılı öngerme kayıpları.....	50
Tablo B.5 TİP II-B kirişinde ayrıntılı öngerme kayıpları	51
Tablo B.6 TİP III-B kirişinde ayrıntılı öngerme kayıpları	52
Tablo B.7 TİP I-C kirişinde ayrıntılı öngerme kayıpları.....	53
Tablo B.8 TİP II-C kirişinde ayrıntılı öngerme kayıpları	54
Tablo B.9 TİP III-C kirişinde ayrıntılı öngerme kayıpları	55
Tablo D.1 Tip kirişleri metraj tablosu	59

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Köprü taşıyıcı elemanları.....	1
Şekil 1.2 : Gerilme durumları.....	2
Şekil 2.1 : Genel yerleşim planı	3
Şekil 2.2 : Boy kesit	3
Şekil 2.3 : TİP I kirişli en kesit	4
Şekil 2.4 : TİP II kirişli en kesit	4
Şekil 2.5 : TİP III kirişli en kesit.....	4
Şekil 3.1 : Prefabrike ve kompozit TİP I kirişleri en kesit detayları.....	7
Şekil 3.2 : Prefabrike ve kompozit TİP II kirişleri en kesit detayları.....	8
Şekil 3.3 : Prefabrike ve kompozit TİP III kirişleri en kesit detayları	9
Şekil 4.1 : Kirişe etkiyen zati ve ilave yükler	11
Şekil 4.2 : H ₃₀ -S ₂₄ kamyon yükü.....	12
Şekil 4.3 : Bir kiriş için H ₃₀ -S ₂₄ kamyon yükü.....	13
Şekil 4.4 : Eşdeğer şerit yüklemesi	13
Şekil 4.5 : Bir kiriş için eşdeğer şerit yüklemesi.....	13
Şekil 4.6 : Kiriş ortasında öngerme kablosu düzeni.....	15
Şekil 4.7 : Mesnet ekseninde öngerme kablosu düzeni.....	17
Şekil 4.8 : Kiriş üstü betonarme donatısı hesabına esas gerilme durumu	24
Şekil 4.9 : Kiriş altı betonarme donatısı hesabına esas gerilme durumu.....	24
Şekil 4.10 : Maksimum sehim için H ₃₀ -S ₂₄ kamyon yüklemesi.....	32
Şekil 4.11 : Maksimum sehim için eşdeğer şerit yüklemesi	32
Şekil A.1 : TİP I prefabrike kirişleri taşıma kapasitesi değişimi	44
Şekil A.2 : TİP I kompozit kirişleri taşıma kapasitesi değişimi.....	44
Şekil A.3 : TİP II prefabrike kirişleri taşıma kapasitesi değişimi	45
Şekil A.4 : TİP II kompozit kirişleri taşıma kapasitesi değişimi	45
Şekil A.5 : TİP III prefabrike kirişleri taşıma kapasitesi değişimi.....	46
Şekil A.6 : TİP III kompozit kirişleri taşıma kapasitesi değişimi	46
Şekil B.1 : TİP I-A kirişinde ayrıntılı öngerme kayıpları değişimi	47
Şekil B.2 : TİP II-A kirişinde ayrıntılı öngerme kayıpları değişimi	48
Şekil B.3 : TİP III-A kirişinde ayrıntılı öngerme kayıpları değişimi.....	49
Şekil B.4 : TİP I-B kirişinde ayrıntılı öngerme kayıpları değişimi.....	50
Şekil B.5 : TİP II-B kirişinde ayrıntılı öngerme kayıpları değişimi	51
Şekil B.6 : TİP III-B kirişinde ayrıntılı öngerme kayıpları değişimi.....	52
Şekil B.7 : TİP I-C kirişinde ayrıntılı öngerme kayıpları değişimi.....	53
Şekil B.8 : TİP II-C kirişinde ayrıntılı öngerme kayıpları değişimi	54
Şekil B.9 : TİP III-C kirişinde ayrıntılı öngerme kayıpları değişimi.....	55
Şekil C.1 : TİP II-A kirişi boyuna donatı detayları.....	56
Şekil C.2 : TİP II-A Kirişi enine donatı detayları.....	57
Şekil C.3 : TİP III-A Kirişi öngerme kabloları.....	58

SEMBOL LİSTESİ

a*	:Bir öngerme kablosu alanı
A_s	:Betonarme eğilme donatısı alanı
A_s*	:Toplam öngerme kablosu alanı
A_v	:Kayma donatısı alanı
b	:Etkili tabla genişliği
b'	:Prefabrike kiriş gövde kalınlığı
CR_c	:Betonun sünmesinden oluşan öngerilme kayıpları
CR_s	:Öngerme çeliğinin gevşeme kayıpları
d	:Faydalı yükseklik
d'	:Öngerme kabloları ağırlık merkezinin prefabrike kiriş alt kenarından mesafesi
e	:Öngerme kablolarının prefabrike kirişe eksantrisitesi
e_c	:Öngerme kablolarının kompozit kirişe eksantrisitesi
E_c	:Beton elastisite modülü
E_{ci}	:Öngerme uygulama anında beton elastisite modülü
ES	:Betonun elastik kısılmasından oluşan öngerilme kayıpları
edk	:Enine dağılım katsayısı
F	:Prefabrike kiriş en kesit alanı
F_c	:Kompozit kiriş en kesit alanı
f_c'	:Karakteristik beton basınç dayanımı
f_{ci}'	:Öngerme uygulama anında beton karakteristik basınç dayanımı
f_{cir}	:Öngerme uygulama aşamasında öngerme kuvveti ve prefabrike kiriş zati ağırlığından dolayı öngerme kabloları hizasında oluşan gerilme
f_{eds}	:Kiriş zati ağırlığı hariç tüm zati ağırlıkların etkisi ile öngerme kabloları hizasında oluşan gerilme
f_d	:Dış yüklerden dolayı çekme gerilmesi oluşan kiriş kenarında toplam zati ağırlıktan oluşan gerilme
f_e	:Bütün öngerilme kayıplarından sonra öngerme kuvvetinden kaynaklanan gerilme
f_i	:Betonun elastik kısılmasından kaynaklanan öngerilme kayıplarından sonra öngerme kuvvetinden kaynaklanan gerilme
f_{pc}	:Kompozit kesit ağırlık merkezinde oluşabilecek minimum basınç gerilmesi
f_r	:Çatlama gerilmesi
f_s	:Betonarme çeliği çekme emniyet gerilmesi
f_s'	:Öngerme çeliği karakteristik kopma dayanımı f _y ' :Betonarme çeliği basınç akma gerilmesi
f_{yk}'	:Betonarme çeliği çekme akma gerilmesi
g₁	:Prefabrike kiriş zati ağırlığı
g₂	:Bir kirişe gelen döşeme ağırlığı
g₃	:Bir kirişe gelen ilave yük
H	:Prefabrike kiriş yüksekliği
I	:Prefabrike kirişin tarafsız eksenini etrafındaki atalet momenti

I_c	:Kompozit kirişin tarafsız eksenini etrafındaki atalet momenti
M_{cr}	:Çatlama Momenti
M_{cr}^*	:Dış yüklerden dolayı oluşan eğilme çatlama momentine neden olan moment
M_{g1}	:Prefabrike kiriş zati ağırlığından kaynaklanan eğilme momenti
M_{g2}	:Döşeme ağırlığından kaynaklanan eğilme momenti
M_{g3}	:İlave yükten kaynaklanan eğilme momenti
M_k	:Kamyon yükünden kaynaklanan eğilme momenti
M_{max}	:Zati yükler harici yüklerden kaynaklanan eğilme momenti
M_n	:Eğilme taşıma kapasitesi
M_s	:Eşdeğer şerit yüklemesinden kaynaklanan eğilme momenti
M_u	:Faktörlü eğilme momenti
M_y	:Yaya yükünden kaynaklanan eğilme momenti
M_q	:Elverişsiz hareketli yükten kaynaklanan eğilme momenti
N	:Kılıfsız (aktif) öngerme kablosu adedi
P	:Öngerme kablolarına verilebilecek toplam öngerme kuvveti
P_1	:Bir öngerme kablosuna verilebilecek öngerme kuvveti
P_1'	:Kayıplardan sonra bir öngerme kablosunda bulunan öngerme kuvveti
P_e	:Bütün öngerilme kayıplarından sonra öngerme kablolarında bulunan öngerme kuvveti
P_i	:Betonun elastik kısalmasından kaynaklanan öngerilme kayıplarından sonra öngerme kablolarında bulunan öngerme kuvveti
P_{k1}	:Bir kirişe gelen kamyon ön teker yükü
P_{k2}	:Bir kirişe gelen kamyon arka teker yükü
S	:Kirişler arası net mesafe
SH	:Betonun büzülmesinden (rötre) oluşan öngerilme kayıpları
T	:Çekme gerilmesi kuvveti
t	:Tabla yüksekliği
V_c	:Betonun kesme kuvveti taşıma kapasitesi
V_{ci}	:Diyagonal çatlakların moment ve kesme etkilerinin sonucunda oluşması durumunda betonun kesme kuvveti taşıma kapasitesi
V_{cw}	:Diyagonal çatlakların gövdedeki asal çekme gerilmelerinin sonucunda oluşması durumunda betonun kesme kuvveti taşıma kapasitesi
V_d	:Toplam zati ağırlıktan kaynaklanan kesme kuvveti
V_{g1}	:Prefabrike kiriş zati ağırlığından kaynaklanan kesme kuvveti
V_{g2}	:Döşeme ağırlığından kaynaklanan kesme kuvveti
V_{g3}	:İlave yükten kaynaklanan kesme kuvveti
V_i	:Zati yükler harici yüklerden kaynaklanan kesme kuvveti
V_k	:Kamyon yükünden kaynaklanan kesme kuvveti
V_p	:Öngerme kuvvetinin düşey bileşeni
V_s	:Eşdeğer şerit yüklemesinden kaynaklanan kesme kuvveti; kayma donatısının kesme kuvveti taşıma kapasitesine katkısı
V_u	:Faktörlü kesme kuvveti
V_y	:Yaya yükünden kaynaklanan kesme kuvveti
V_q	:Elverişsiz hareketli yükten kaynaklanan kesme kuvveti
y_{alt}	:Prefabrike kiriş tarafsız ekseninden prefabrike kiriş alt kenarına mesafe
$y_{üst}$:Prefabrike kiriş tarafsız ekseninden prefabrike kiriş üst kenarına mesafe
y_{calt}	:Kompozit kiriş tarafsız ekseninden prefabrike kiriş alt kenarına mesafe
$y_{cüst}$:Kompozit kiriş tarafsız ekseninden prefabrike kiriş üst kenarına mesafe
W_{alt}	:Prefabrike kirişin alt kenarına göre mukavemet momenti
$W_{üst}$:Prefabrike kirişin üst kenarına göre mukavemet momenti

W_{calt}	:Kompozit kirişin prefabrike kiriş alt kenarına göre mukavemet momenti
$W_{cüst}$:Kompozit kirişin prefabrike kiriş alt kenarına göre mukavemet momenti
w_c	:Beton birim hacim ağırlığı
Q_s	:Eşdeğer şerit yüklemesinden bir kirişe gelen tekil yük
q_s	:Eşdeğer şerit yüklemesinden bir kirişe gelen yayılı yük
q_y	:Bir kirişe gelen yaya yükü
Φ	:Dayanım azaltma katsayısı; öngerme uygulama oranı
φ	:Titreşim katsayısı
α	:Betonun elastik kısalmasından kaynaklanan öngerilme kaybı oranı
β	:Toplam öngerilme kaybı oranı
β_1	:C45 betonu dayanım faktörü
γ	:Düşük gevşemeli öngerme çeliği tip faktörü
ρ^*	:Öngerme donatısı oranı
δ_1	:Öngerme anında kiriş kendi ağırlığından oluşan sehim
δ_2	:Döşeme ağırlığından dolayı oluşan sehim
δ_3	:İlave yüklerden dolayı oluşan sehim
δ_k	:Kamyon yükünden dolayı oluşan sehim
δ_p	:Öngerme anında öngerme kuvvetinden oluşan sehim
δ_s	:Standart şerit yüklemesinden dolayı oluşan sehim
Δ_1	:Öngerme uygulama anında sehim
Δ_2	:Servis yükleri altında sehim
Δ_{1u}	:Depolama sırasında oluşacak sehim
Δ_{2u}	:Uzun zaman diliminde oluşacak sehim
Δf_s	:Toplam öngerilme kayıpları

ÖNGERİLMELİ PREFABRİKE I KESİTLİ KÖPRÜ KİRİŞLERİNİN OPTİMİZASYONU

ÖZET

Bu çalışmada, köprü üst yapısında kullanılan 9 tip öngerilmeli prefabrike I kesitli köprü kirişinin değişen açıklıklarda hesabı yapılmış ve tip kirişlerin hangi açıklıklarda efektif olarak kullanılacağı belirlenmesi hedeflenmiştir.

Araştırmada dikkate alınan 22.50 m genişlikli 4 şeritli köprünün genel yerleşim planı ve kesitleri ile köprü elemanlarında kullanılan malzeme özellikleri ikinci bölümde belirtilmiştir.

Üçüncü bölümde incelenen öngerilmeli prefabrike köprü kirişlerinin geometrik özellikleri verilmiştir.

Dördüncü bölümde 22 m açıklıklı TİP II-A kirişinin ayrıntılı hesabı yapılmıştır. Kirişte kullanılan öngerme donatılarında zamana bağlı öngerilme kayıpları hesaplanmış ve kayıplardan sonra dört farklı yükleme safhasında kesitlerde oluşan asal gerilmeler emniyet gerilmeleriyle kontrol edilmiştir. Ayrıca eğilme ve kayma taşıma gücü tahkikleri ve sehim hesapları da detaylı bir şekilde yapılmıştır. 22 m açıklıklı TİP II-A kirişine ait uygulama detayları ek c’de verilmiştir.

Kirişlerin öngerme donatısı gereksinimlerini daha çok eğilme etkileri belirlediği için bu konu üzerinde daha detaylı durulmuştur. Beşinci bölümde incelenen diğer kirişlere ait sonuçlar tablolarda sunulmuştur.

Altıncı bölüm bu çalışmada varılan sonuçları kapsamaktadır. Çalışmanın başlıca özellikleri ve sayısal sonuçların değerlendirmesi bu bölümde sunulmuştur.

Çakışan açıklıklarda en uygun kirişin belirlenmesi maliyet analizi yapılarak belirlenebilir. Eklerde verilen beton, öngerme kablosu ve boyuna donatı metrajı maliyet konusunda fikir verebilir.

Kirişlerin öngerme donatısı miktarına bağlı olarak eğilme kapasitelerinin ve öngerme kayıplarının değişimi verilen eklerde diyagramlar şeklinde sunulmuştur.

OPTIMISATION OF PRESTRESSED PRECAST BRIDGE BEAMS WITH I CROSS SECTION

SUMMARY

In this study, 9 types prestressed precast I beams used bridge superstructure with various span lengths has been searched and it has been purposed to determine which span lengths are appropriate for type beams.

In this investigation, a bridge width of 22.50 meters including 4 traffic lanes has been taken into account. The layout plan and the sections of the bridge and the properties of the materials are presented in second chapter.

In third chapter, geometrical properties of prestressed precast bridge beams searched are demonstrated.

In fourth chapter, TYPE II-A beam which has 22.00 meters span length is solved in detail. Time dependent prestress losses are searched on the cables and principal stresses at the sections have been controlled with allowable stresses in four different conditions after prestress losses. In addition flexural and shear strengths and deflections have been checked for the beam.

Bending has more effect on the amount of prestressed steel. So this subject has been investigated more clearly. In fifth chapter, results of other beams searched are presented.

The last chapter covers the results achieved in this study. The basic features of the study, the evaluation of the numerical results are represented in this chapter.

Interaction between the amount of prestressed cables and flexural capacity has been shown in diagrams.

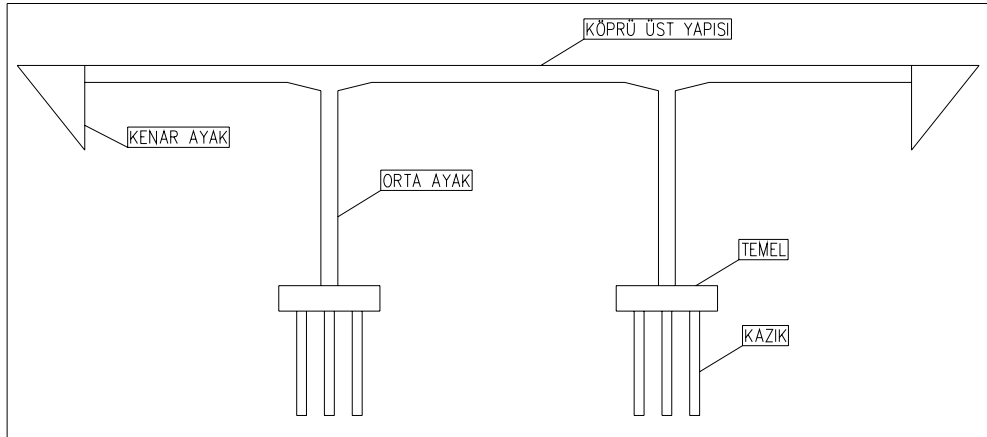
Interaction between the amount of prestressed cables and prestress losses has been searched for variable span lengths.

1. GİRİŞ

Karayolu, tren yolu ve ya nehirli ya da nehirsiz bir vadi üzerine insanların ve araçların bir taraftan bir tarafa geçebilmeleri için yapılan yapılar köprü olarak tanımlanır.

Köprüler; malzeme, mekanik sistem, kullanım gayesi gibi birçok yönden sınıflara ayrılabilir.[2] Malzemesine göre ahşap, kagir, beton, betonarme, öngerilmeli beton, çelik ve kompozit köprü; mekanik sistemine göre basit tek açıklıklı, mütemadi, kemer köprü, kullanım gayesine göre demir yolu, karayolu, yaya köprüsü olarak sınıflandırmak mümkündür.

Köprüler ana hatlarıyla Şekil 1.1’de görüldüğü gibi trafik yüklerini taşıyan ve bunları alt yapıya aktaran köprü üst yapısı ile kenar ayak, orta ayak ve temel sisteminden oluşan köprü alt yapısından oluşur.



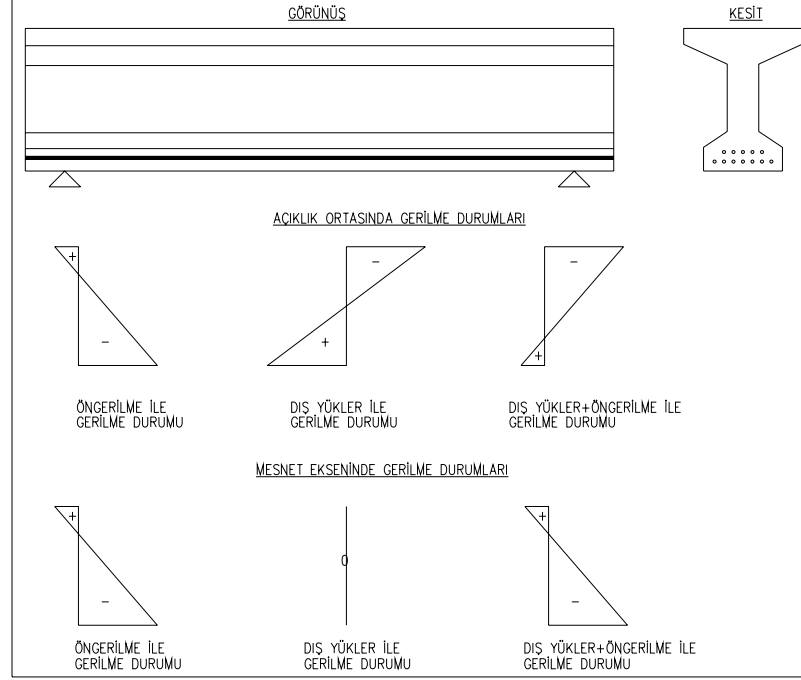
Şekil 1.1: Köprü Taşıyıcı Elemanları

Günümüzde köprülerin dayanıklı ve ekonomik yapılmasının yanında, yapım süresinin kısa tutulması ve büyük açıklıkların geçilebilmesi de önem kazandığından köprü üst yapısının seçiminde öngerilmeli prefabrike kirişlerin kullanımı öne çıkmıştır.

Öngerme dış yükler altında oluşan çekme gerilmelerine karşı betona önceden istenen düzeyde basınç verme olarak tanımlanır. Öngerme ile söz konusu olabilecek bütün yükleme hallerinde taşıyıcı elemanların ya hiçbir kesitinde çekme oluşmaması ya da oluşan çekme gerilmelerinin çatlama olmayacak kadar küçük kalması sağlanır.

Bu çalışmada incelenen öngerilmeli prefabrike I kesitli köprü kirişleri elastomer mesnetlerin üzerine oturmaktadır ve kirişlerin basit kiriş olarak çalıştığı kabul edilmiştir.

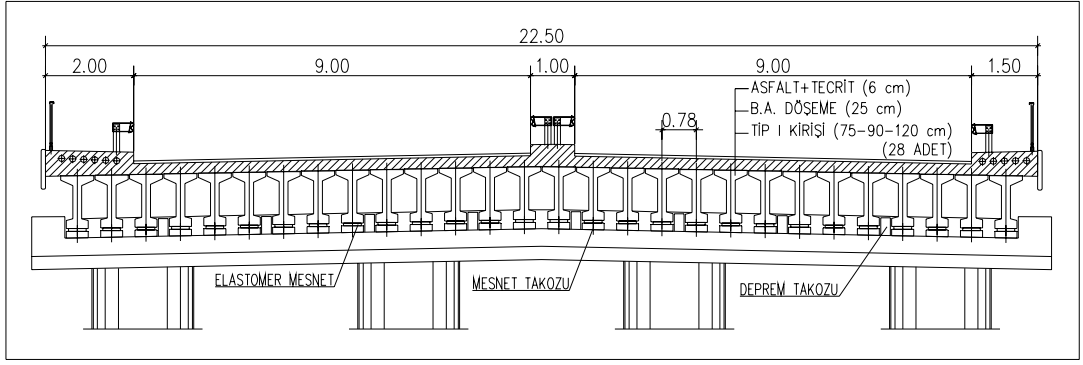
Şekil 1.2’de kirişlere etkiyen dış yüklerle, uygulanan öngerme ile ve bu iki yüklemenin birlikte etkimesi ile oluşan gerilme durumları görülmektedir.



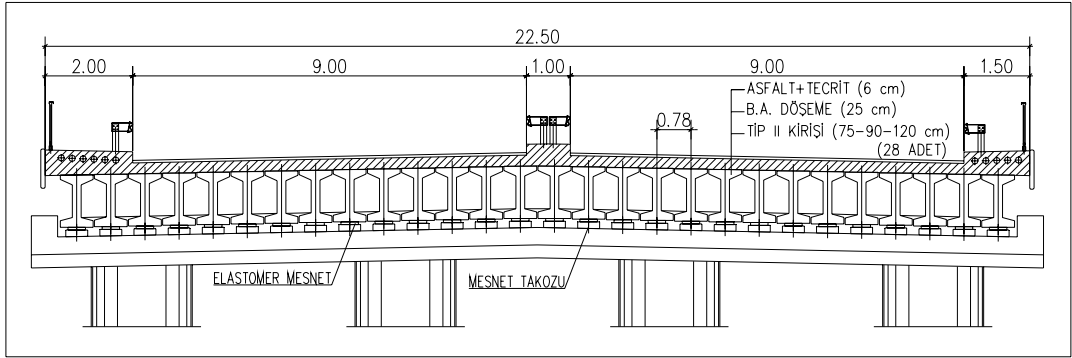
Şekil 1.2: Gerilme Durumları

Köprülerde Öngerilmeli Beton Kullanımının Avantajları

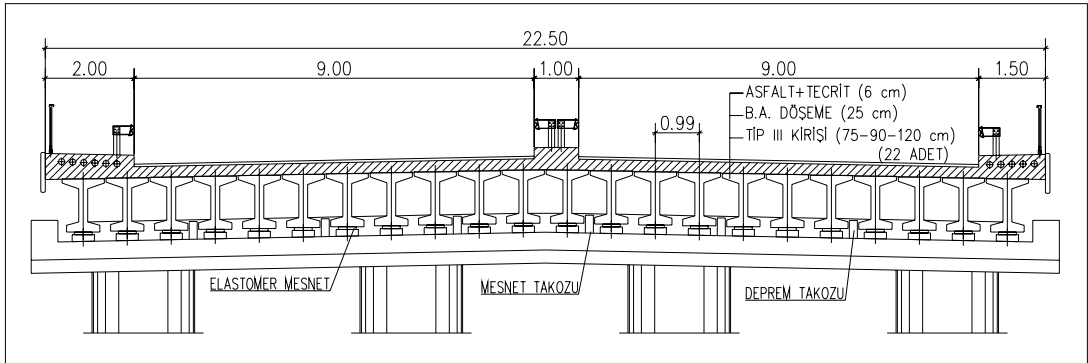
- Daha narin elemanlarla daha büyük açıklıkların geçilebilmesi
- Çatlakların önlenmesi veya belirli limitlerle sınırlandırılması sayesinde yapının ekonomik ömrünün uzaması
- Öngerme donatısı titreşim boyunun küçük olması sayesinde, öngerilmeli yapıların yorulma mukavemetinin büyük olması
- Aşırı yüklenme hallerinde, çelikteki birim deformasyon %0.01 değerini aşmadığı sürece oluşan tüm çatlakların, aşırı yüklerin ortadan kalkması halinde yeniden kapanması
- Şekil değiştirme ve deformasyonların kullanım yükleri altında küçük kalması
- İnşaat süresinin çok büyük oranlarda kısılması



Şekil 2.3: TİP I Kirişli En Kesit



Şekil 2.4: TİP II Kirişli En Kesit



Şekil 2.5: TİP III Kirişli En Kesit

2.2 Malzeme Özellikleri

2.2.1 Beton

Yerinde Dökme Döşeme Betonu

Beton sınıfı: C30

Beton karakteristik basınç dayanım: $f_c' = 30$ MPa

Elastisite modülü: $E_c = 29440$ MPa

Prefabrike Öngerilmeli Kiriş Betonu

Beton sınıfı: C45

Beton karakteristik basınç dayanımı: $f'_c = 45$ MPa

Elastisite modülü: $E_c = 36057$ MPa

Prefabrike Öngerilmeli Kiriş Betonu (Öngerme Uygulama Anında):

Beton sınıfı: C45

Beton karakteristik basınç dayanımı: $f'_{ci} = 31.5$ MPa

Elastisite modülü: $E_{ci} = 30167$ MPa

Elastisite modülleri, beton birim hacim ağırlığı (w_c) 25 kN/m³ alınarak;

$$E_c = 0.043 w_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \quad (2.1)$$

bağıntısıyla belirlenmiştir.

2.2.2 Çelik

Betonarme Çeliği

Çelik sınıfı: S420

Çelik basınç akma gerilmesi: $f'_y = 420$ MPa

Çelik çekme akma gerilmesi: $f_{sy} = 420$ MPa

Çelik çekme emniyet gerilmesi: $f_s = 168$ MPa

Elastisite modülü: $E_s = 200000$ MPa

Öngerme Çeliği

Tipi: 0.6'' 270K Düşük Gevşemeli ASTM A416

Karakteristik çelik kopma dayanımı: $f'_s = 1862$ MPa

Öngerme uygulama oranı: $\Phi = 0.75$

Kablo kesit alanı: $a^* = 140$ mm²

Müsaade edilen ilk öngerme kuvveti: $P_1 = 195.75$ kN

Elastisite modülü: $E_s = 193000$ MPa

2.3 Beton Emniyet Gerilmeleri

Emniyet gerilmeleri kesitte aderans donatısının bulunması durumu göz önünde bulundurularak AASHTO' ya göre belirtilmiştir.

2.3.1 Rötne ve Sünmeden Kaynaklanan Kayıplardan Önce Geçici Emniyet Gerilmeleri

Basınç gerilmesi: $-0.6f_{ci}' = -18.9 \text{ MPa}$

Öngerme uygulanan kiriş bölgesinde çekme gerilmesine müsaade edilmemiştir.

Diğer bölgelerde çekme gerilmesi: $0.623\sqrt{f_{ci}'} = 3.50 \text{ MPa}$

2.3.2 Servis Yükleri Altında Kayıplardan Sonra Emniyet Gerilmeleri

Basınç gerilmesi: $-0.4f_c' = -18 \text{ MPa}$

Öngerme uygulanan bölgede çekme gerilmesi: $0.498\sqrt{f_c'} = 3.34 \text{ MPa}$

Diğer bölgelerde çekme gerilmesi: $0.623\sqrt{f_c'} = 4.18 \text{ MPa}$

2.4 Yükler

Hesaplarda kullanılacak zati yüklerin belirlenmesinde aşağıda belirtilen birim ağırlıklar dikkate alınacaktır.

Demirli beton birim hacim ağırlığı: 25 kN/m^3

Demirsiz beton birim hacim ağırlığı: 20 kN/m^3

Asfalt kaplama birim hacim ağırlığı: 23 kN/m^3

Korkuluklar: 2.25 kN/m

Hareketli vasıta yükü olarak, KGM Yol Köprüleri için Teknik Şartnamesi'nde belirtilen H₃₀-S₂₄ standart kamyon yükü ile bu yüke eşdeğer şerit yüklemesi kullanılmıştır.

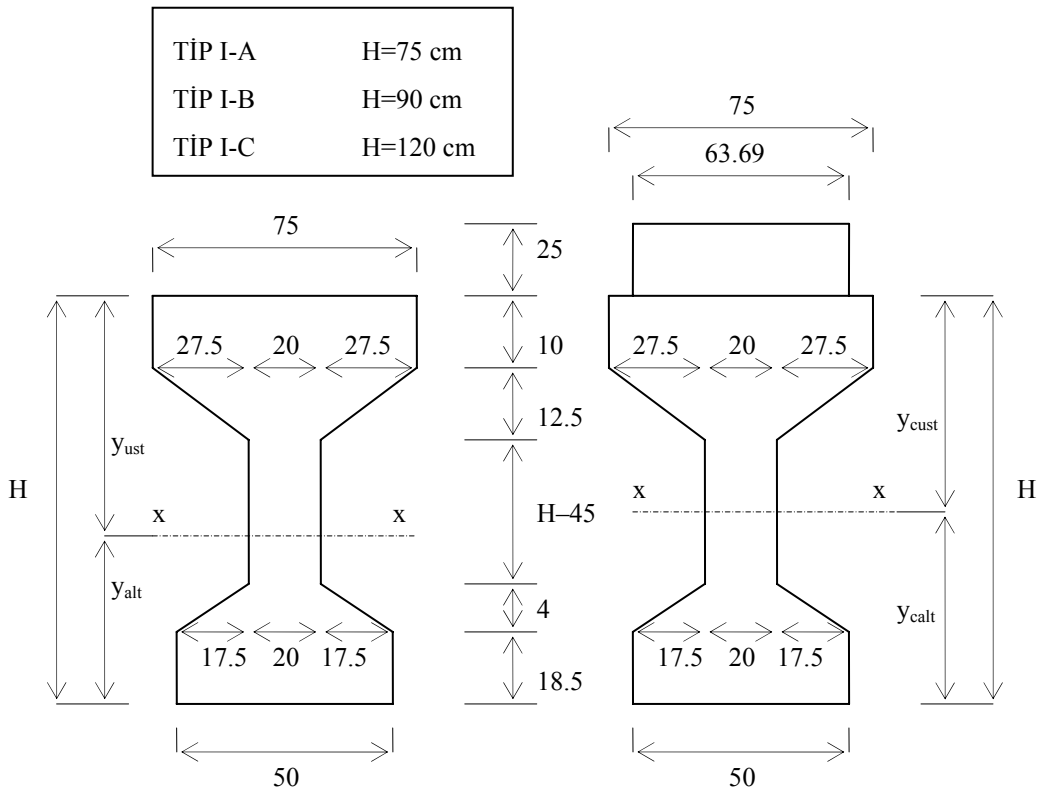
Yaya yükü olarak 3 kN/m^2 alınmıştır.

Ortalama 20 cm kaldırım ağırlığı, 80x10 cm boyutlarında cephe paneli ağırlığı, korkuluk ağırlığı ve yaya yüklerinin kirişlere eşit olarak dağıldığı varsayılmıştır.

3. TİP KİRİŞLERİN GEOMETRİK ÖZELLİKLERİ

TİP kirişler yükseklik değerine göre de sınıflandırılmıştır. 75 cm yüksekliğinde kirişler A, 90 cm yükseklikli kirişler B ve 120 cm yükseklikli kirişler C sınıfı olarak isimlendirilmiştir. Bkz Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3.

3.1 TİP I Kirişleri Geometrik Özellikleri



Şekil 3.1: Prefabrike ve Kompozit TİP I Kirişleri En Kesit Detayları

Kompozit kesit için etkili tablo genişliği (b), kirişler arası mesafe (S) ile modüler oran çarpımına eşittir. Modüler oran, yerinde dökme döşeme betonu elastisite modülü ile prefabrike öngerilmeli kiriş betonu elastisite modülü arasındaki orandır. Kirişler arası mesafe ise kiriş üst başlık genişliği ile kirişler arasına net mesafenin toplamına eşittir. TİP I kirişleri için etkili tabla genişliği;

$$b = 78 \times \frac{29440}{36057} = 63.69 \text{ cm olarak hesaplanmıştır.}$$

Tablo 3.1 ve Tablo 3.2' de TİP I kirişlerinin mukavemet özellikleri görülmektedir.

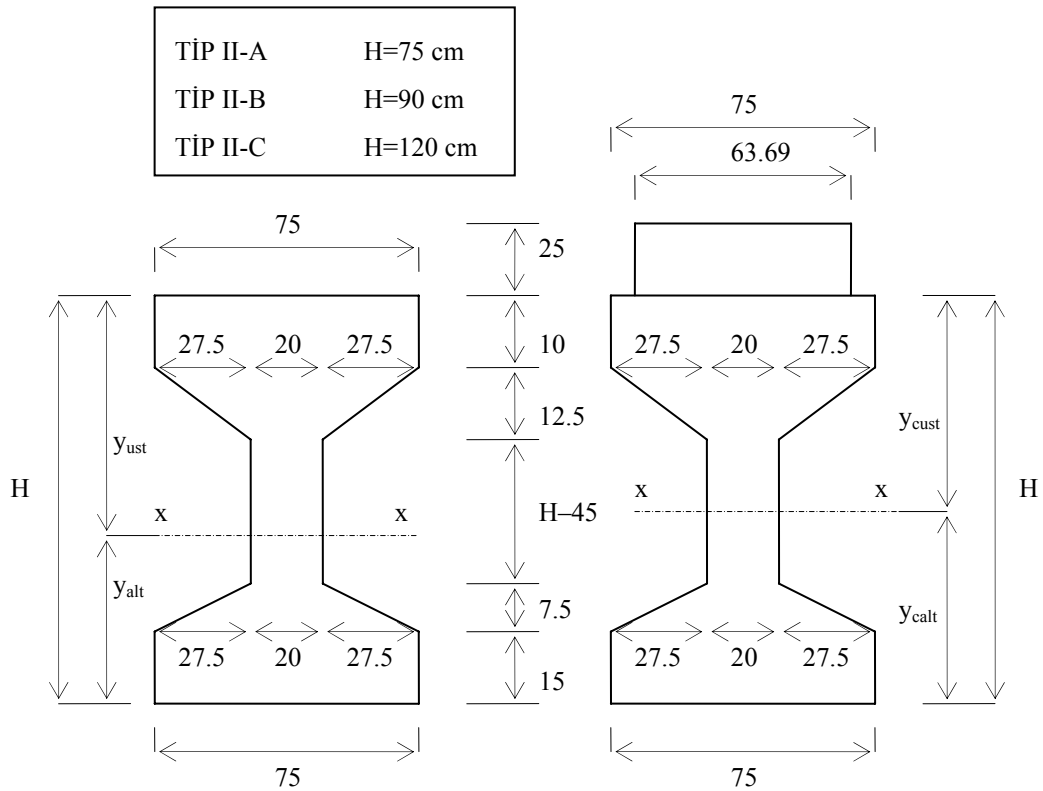
Tablo 3.1: Prefabrike TİP I Kirişleri Mukavemet Özellikleri

Kiriş Tipi	En Kesit Alanı	Tarafsız Eksen		Atalet Momenti	Mukavemet Momenti	
	(cm ²)	(cm)		(cm ⁴)	(cm ³)	
	F	y _{alt}	y _{üst}	I _x	W _{alt}	W _{üst}
Tip I-A	3008.75	40.54	34.46	1928447	47565	55968
Tip I-B	3308.75	48.40	41.60	3154342	65173	75824
Tip I-C	3908.75	63.95	56.05	6754650	105628	120505

Tablo 3.2: Kompozit TİP I Kirişleri Mukavemet Özellikleri

Kiriş Tipi	En Kesit Alanı	Tarafsız Eksen		Atalet Momenti	Mukavemet Momenti	
	(cm ²)	(cm)		(cm ⁴)	(cm ³)	
	F _c	y _{calt}	y _{cüst}	I _{cx}	W _{calt}	W _{cüst}
Tip I-A	4601	56.79	18.21	4307110	75839	236563
Tip I-B	4901	65.98	24.02	6383421	96755	265701
Tip I-C	5501	83.79	36.21	12154261	145058	335651

3.2 TİP II Kirişleri Geometrik Özellikleri

**Şekil 3.2:** Prefabrike ve Kompozit TİP II Kirişleri En Kesit Detayları

TİP II kirişleri için de etkili tabla genişliği $b = 63.69$ cm olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.3 ve Tablo 3.4' de TİP II kirişlerinin mukavemet özellikleri görülmektedir.

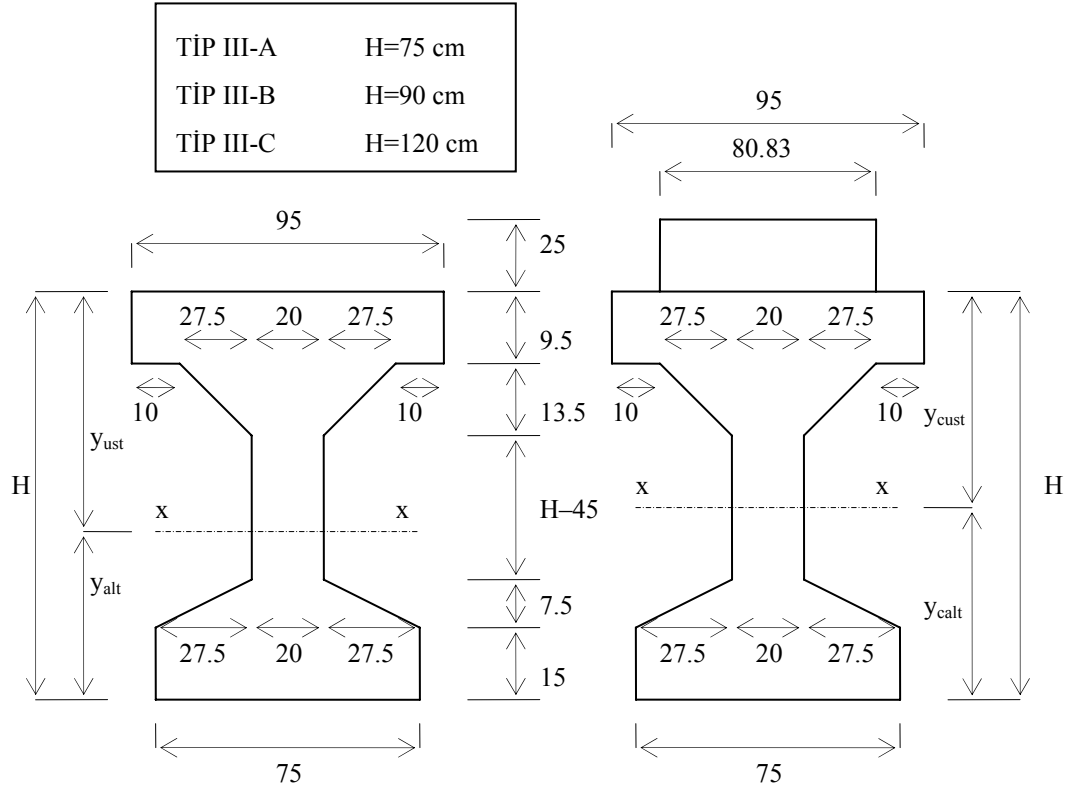
Tablo 3.3: Prefabrike TİP II Kirişleri Mukavemet Özellikleri

Kiriş Tipi	En Kesit Alanı	Tarafsız Eksen		Atalet Momenti	Mukavemet Momenti	
	(cm ²)	(cm)		(cm ⁴)	(cm ³)	
	F	y _{alt}	y _{üst}	I _x	W _{alt}	W _{üst}
Tip II-A	3425.00	36.63	38.37	2317304	63262	60394
Tip II-B	3725.00	43.92	46.08	3757297	85542	81545
Tip II-C	4325.00	58.60	61.40	7927462	135290	129103

Tablo 3.4: Kompozit TİP II Kirişleri Mukavemet Özellikleri

Kiriş Tipi	En Kesit Alanı	Tarafsız Eksen		Atalet Momenti	Mukavemet Momenti	
	(cm ²)	(cm)		(cm ⁴)	(cm ³)	
	F _c	y _{caıt}	y _{cüst}	I _{cx}	W _{caıt}	W _{cüst}
Tip II-A	5017	52.77	22.23	5212852	98778	234532
Tip II-B	5317	61.46	28.54	7667443	124748	268689
Tip II-C	5917	78.48	41.52	14366605	183057	346031

3.3 TİP III Kirişleri Geometrik Özellikleri



Şekil 3.3: Prefabrike ve Kompozit TİP III Kirişleri En Kesit Detayları

TİP III kirişleri için etkili tabla genişliği $b = 80.83$ cm olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.5 ve Tablo 3.6' da TİP III kirişlerinin mukavemet özellikleri görülmektedir.

Tablo 3.5: Prefabrike TİP III Kirişleri Mukavemet Özellikleri

Kiriş Tipi	En Kesit Alanı	Tarafsız Eksen		Atalet Momenti	Mukavemet Momenti	
	(cm ²)	(cm)		(cm ⁴)	(cm ³)	
	F	y _{alt}	y _{üst}	I _x	W _{alt}	W _{üst}
Tip III-A	3601.25	38.31	36.69	2515026	65648	68550
Tip III-B	3901.25	45.82	44.18	4054875	88490	91787
Tip III-C	4501.25	60.84	59.16	8484991	139458	143430

Tablo 3.6: Kompozit TİP III Kirişleri Mukavemet Özellikleri

Kiriş Tipi	En Kesit Alanı	Tarafsız Eksen		Atalet Momenti	Mukavemet Momenti	
	(cm ²)	(cm)		(cm ⁴)	(cm ³)	
	F _c	y _{calt}	y _{cüst}	I _{cx}	W _{calt}	W _{cüst}
Tip III-A	5622	55.99	19.01	5752293	102735	302620
Tip III-B	5922	65.16	24.84	8436468	129467	339677
Tip III-C	6522	83.05	36.95	15751686	189676	426241

4. PREFABRİKE ÖNGERİLMELİ KİRİŞ AYRINTILI HESABI

Kiriş hesabı mesnetten mesnede 22 m açıklıklı TİP II-A kirişi için yapılacaktır.

4.1 Yük Analizi

4.1.1 Zati Yükler

➤ Prefabrike Kirişe Etkiyen Zati Yükler

Kiriş zati ağırlığı: $g_1 = 1 \times 0.3425 \times 25 = 8.56 \text{ kN/m}$

Döşeme zati ağırlığı: $g_2 = 0.78 \times 0.25 \times 25 = 4.88 \text{ kN/m}$

➤ Kompozit Kirişe Etkiyen Zati Yükler

Kaldırımlar: $4.50 \times 0.20 \times 25 = 22.5 \text{ kN/m}$

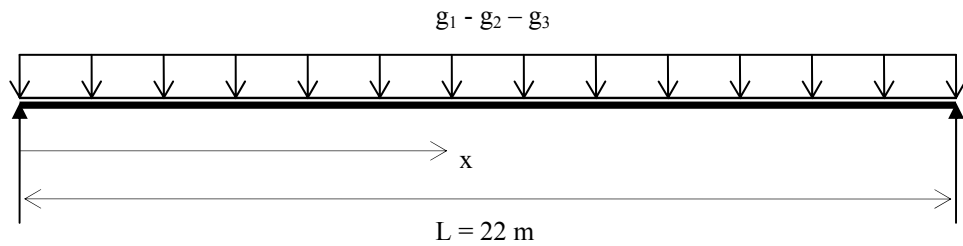
Asfalt kaplama: $18.00 \times 0.06 \times 20 = 21.6 \text{ kN/m}$

Korkuluklar: $4 \times 2.25 = 9.0 \text{ kN/m}$

Cephe elemanı: $2 \times 0.80 \times 0.10 \times 25 = 4.0 \text{ kN/m}$

Toplam ilave yük : $\Sigma = 57.1 \text{ kN/m}$

Bir kiriş için ilave yük: $g_3 = 2.04 \text{ kN/m}$



Şekil 4.1: Kirişe Etkiyen Zati ve İlave Yükler

4.1.2 Hareketli Yükler

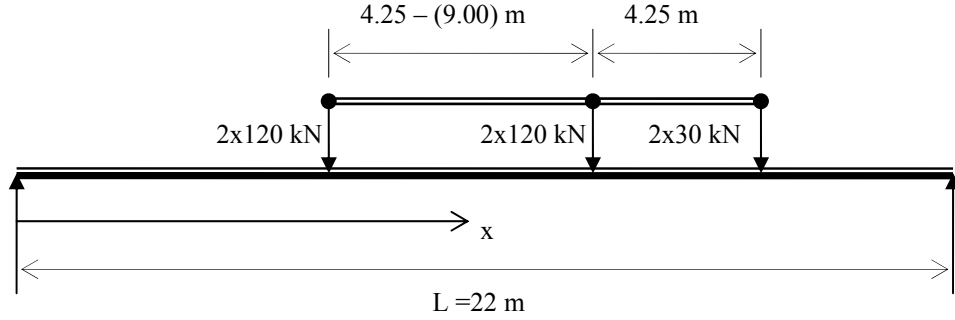
➤ Yaya Yükü

Toplam yaya yükü: $3.50 \times 3.0 = 10.5 \text{ kN/m}$

Bir kiriş için yaya yükü: $q_y = 0.375 \text{ kN/m}$

➤ H₃₀ - S₂₄ Kamyon Yüğü

Şekil 4.2’de toplam ağırlığı 540 kN olan H₃₀-S₂₄ kamyon yüğü görülmektedir



Şekil 4.2: H₃₀-S₂₄ Kamyon Yüğü

Titreşim Katsayısı

Araçların titreşiminden meydana gelen ilave etkileri göz önüne alan darbe etkisi;

$$\varphi = 1 + \frac{15}{L+37} \quad (4.1)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Enine Dağılım Katsayısı

Her bir kirişin alacağı hareketli yük miktarı kirişler arası mesafeye (S) bağlı olarak;

$$edk = \frac{S}{1.4012} \text{ oranı ile bulunmuştur.}$$

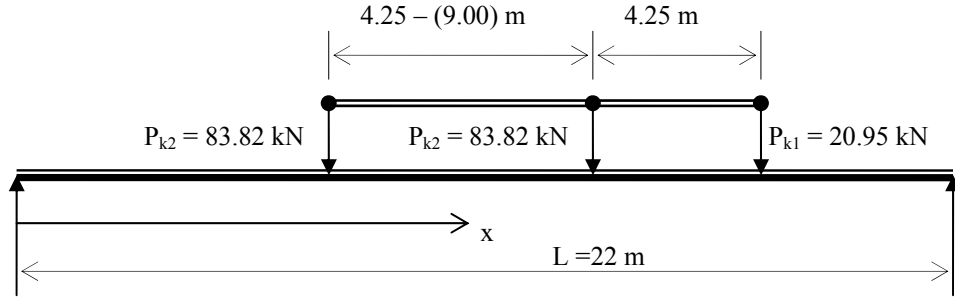
Yük dağılımı ve titreşim etkileri dikkate alınarak, hareketli kamyon ön ve arka teker yükleri bir kirişe aşağıda hesaplanan değerlerle etkir.

$$\varphi = 1 + \frac{15}{L+37} = 1 + \frac{15}{22+37} = 1.254$$

$$edk = \frac{S}{1.4012} = \frac{0.78}{1.4012} = 0.557$$

$$P_{k1} = 1.254 \times 0.557 \times 30 = 20.95 \text{ kN}$$

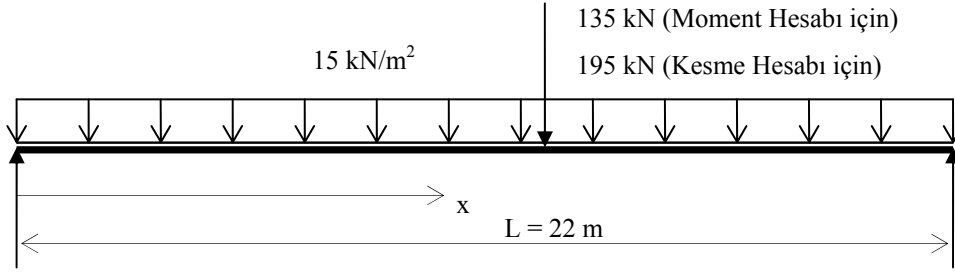
$$P_{k2} = 1.254 \times 0.557 \times 120 = 83.82 \text{ kN}$$



Şekil 4.3: Bir Kiriş İçin H₃₀-S₂₄ Kamyon Yüğü

➤ Eşdeğer Şerit Yükleme

Şekil 4.4'de H₃₀-S₂₄ kamyon yüküne eşdeğer şerit yüklemesi eğilme ve kesme hesapları için görülmektedir



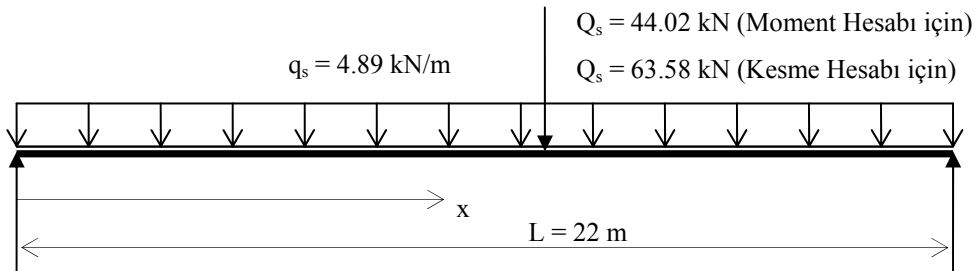
Şekil 4.4: Eşdeğer Şerit Yükleme

Bir kirişin 3 m.lik eşdeğer şerit yüklemesinden alacağı yüklerin hesabı aşağıda yapılmıştır.

$$Q_s = \frac{135 \times S \times \varphi}{3} = \frac{135 \times 0.78 \times 1.254}{3} = 44.02 \text{ kN (moment hesabı için)}$$

$$Q_s = \frac{195 \times S \times \varphi}{3} = \frac{195 \times 0.78 \times 1.254}{3} = 63.58 \text{ kN (kesme hesabı için)}$$

$$q_s = \frac{15 \times S \times \varphi}{3} = \frac{15 \times 0.78 \times 1.254}{3} = 4.89 \text{ kN/m}$$



Şekil 4.5: Bir Kiriş İçin Eşdeğer Şerit Yükleme

4.2 Kesit Tesirleri Özeti

Tablo 4.1: Zati Yüklerden Oluşan Moment Tesirleri

	Mesnetten Mesafe (x)						
	Mesnet Ekseni	H (0.75 m)	0.1L (2.2 m)	0.2L (4.4 m)	0.3L (6.6 m)	0.4L (8.8 m)	0.5L (11 m)
M_{g1}	0.0	68.2	186.5	331.5	435.1	497.3	518.0
M_{g2}	0.0	38.8	106.2	188.8	247.7	283.1	294.9
M_{g3}	0.0	16.3	44.4	79.0	103.6	118.4	123.4

Birimler kNm'dir.

Tablo 4.1'de g_1 kiriş zati ağırlığını, g_2 döşeme ağırlığını, g_3 ilave yükleri temsil etmektedir.

Tablo 4.2: Hareketli Yüklerden Oluşan Moment Tesirleri

	Mesnetten Mesafe (x)						
	Mesnet Ekseni	H (0.75 m)	0.1L (2.2 m)	0.2L (4.4 m)	0.3L (6.6 m)	0.4L (8.8 m)	0.5L (11 m)
M_k	0.0	118.3	319.8	556.6	710.5	781.5	806.6
M_s	0.0	70.9	193.7	344.4	452.0	516.5	538.1
M_y	0.0	3.0	8.2	14.5	19.1	21.8	22.7
M_q	0.0	121.3	327.9	571.1	729.6	803.3	829.3

Birimler kNm'dir.

Tablo 4.2'de görülen M_q momenti elverişsiz hareketli yükten kaynaklanan moment tesirini ifade etmektedir.

M_q momenti; $M_q = \text{Maksimum} (M_k , M_s) + M_y$ bağıntısıyla hesaplanmıştır. M_k ; H_{30} - S_{24} kamyon yükünden, M_s ; eşdeğer şerit yüklemesinden M_y ise hareketli yaya yüklerinden kaynaklanan momentleri belirtmektedir.

Tablo 4.3: Sabit ve Hareketli Yüklerden Oluşan Kesme Kuvvetleri

	V_{g1}	V_{g2}	V_{g3}	V_y	V_k	V_s	V_q
V (kN)	94.2	53.6	22.4	4.1	164.2	117.4	168.3

Tablo 4.3'de yüklemeler sonucu mesnet yüzünden H uzaklıkta oluşan kesme tesirleri görülmektedir.

V_q kesit tesiri; $V_q = \text{Maksimum} (V_k , V_s) + V_y$ bağıntısıyla hesaplanmıştır.

4.3 Öngerme Kablosu Sayısının Tespiti

Öngerme kablolarının miktarının tespiti, servis yükleri altında açıklık ortasında kiriş alt kenarındaki gerilmeler dikkate alınarak yapılmıştır. Servis yüklemesi kirişte bütün

yüklerin mevcut olduğu duruma karşılık gelmektedir. Bu durumda kiriş alt kenarında izin verilen çekme gerilmesi +3.34 MPa olarak belirlenmiştir.

Kiriş alt kenarında kayıplardan sonra öngerme kuvvetinden kaynaklanan gerilme (f_e);

$$\frac{M_{g1}}{W_{alt}} + \frac{M_{g2}}{W_{alt}} + \frac{M_{g3}}{W_{calt}} + \frac{M_q}{W_{calt}} + f_e \leq +3.34 \text{ MPa} \quad (4.2)$$

koşulu eşitlik durumuna getirilip değerler yerine konulduğunda $f_e = -19.15 \text{ MPa}$ olarak hesaplanır.

Kayıplardan sonra gerekli öngerme kuvveti (P_e);

$$f_e = - \frac{P_e}{F} - \frac{P_e \times e}{W_{alt}} \quad (4.3)$$

ifadesi ile bulunur.

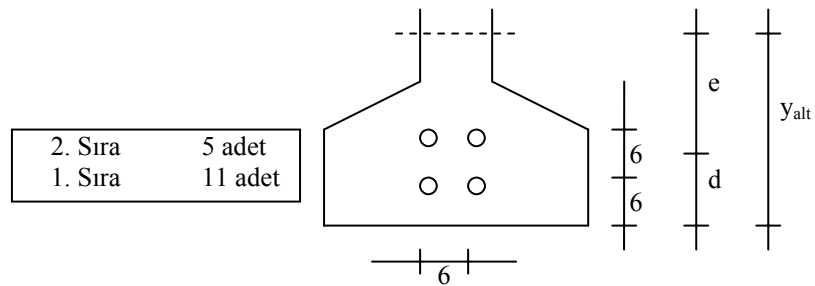
Kablo merkezinin prefabrike kesit tarafsız eksenine mesafesi olan eksantrisite (e), tahmini 30 cm olarak alınarak; $P_e = 2500.0 \text{ kN}$ olarak bulunmuştur.

Bir kabloya öngerme aşamasında en fazla $P_1 = 195.75 \text{ kN}$ 'luk öngerme kuvveti verilebilir. Servis yüklemesi aşamasında tüm öngerilme kayıpları oluşmaktadır. Tahmini kayıp oranı 0.17 alınarak bir kabloda bulunan öngerme kuvveti;

$$P_1' = P_1 \times (1-0.17) = 163.40 \text{ kN} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Bu durumda N gerekli öngerme kablosu sayısı;

$$N = \frac{P_e}{P_1'} = 15.30 \rightarrow 16 \text{ adet olarak belirlenmiştir.}$$



Şekil 4.6: Kiriş Ortasında Öngerme Kablosu Düzeni

Şekil 4.6'da gösterildiği gibi yerleştirilen öngerme kabloları merkezinin kiriş alt kenarına mesafesi; $d' = \frac{11 \times 6 + 5 \times 12}{16} = 7.875 \text{ cm}$ 'dir

Bu durumda eksantrisite $e = y_{alt} - d' = 28.76$ 'dır.

Kayıplardan sonra gerekli öngerme kuvveti, bulunan bu eksantrisiteye göre (4.3) ile tekrar hesaplandığında $P_e = 2565.9$ kN değerini alır.

Öngerme kablosu sayısı ise $N = \frac{P_e}{P_1'} = 15.70$ değerini alır ki bu değer seçilen 16

adet öngerme kablosunun yeterli olduğunu gösterir.

4.4 Kılıflanacak Kablo Sayısının Tespiti

Kılıflanacak öngerme sayısının tespiti, öngerme aşamasında mesnet ekseninde kiriş üst kenarındaki gerilmeler dikkate alınarak yapılmıştır. Öngerme aşaması sadece kiriş zati yükünün mevcut olduğu duruma karşılık gelmektedir. Bu durumda kiriş üst kenarında izin verilen çekme gerilmesi +3.50 MPa olarak belirlenmişti.

Öngerme aşamasında betonun elastik kısılmasında oluşan 0.12'lik bir öngerilme kaybının gerçekleştiği varsayılmıştır. Elastik kısılma kaybindan sonra öngerme kuvvetinden dolayı kiriş üst kenarında oluşabilecek beton gerilmesi (f_i);

$$-\frac{M_{g1}}{W_{üst}} + f_i \leq +3.50 \text{ MPa} \quad (4.4)$$

koşulu eşitlik durumuna getirilip değerler yerine konulduğunda $f_i = 3.50$ MPa olarak hesaplanır.

Şekil 4.6'daki kablo düzeninde elastik kısılma kaybindan sonra oluşabilecek maksimum öngerme kuvveti (P_i);

$$f_i = -\frac{P_i}{F} + \frac{P_i \times e}{W_{üst}} \quad (4.5)$$

ifadesi ile $P_i = 1900.1$ kN olarak bulunur.

Tahmini elastik kısılma kaybindan sonra bir kabloda bulunan öngerme kuvveti;

$$P_1' = P_i \times (1-0.12) = 172.26 \text{ kN} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

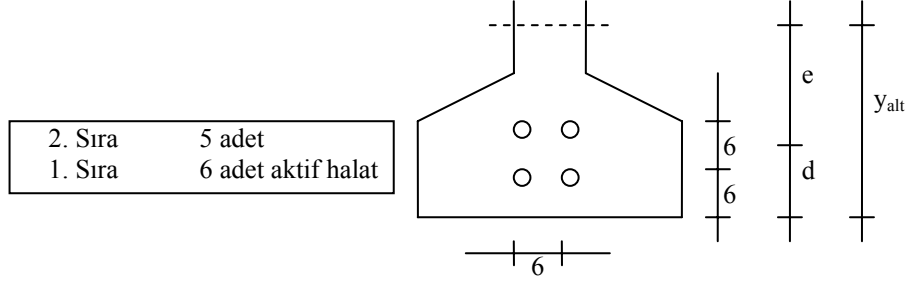
Kılıfsız (aktif) öngerme kablosu sayısı ise $N = \frac{P_i}{P_1'} = 11.03 \rightarrow 11$ değerini

alır. Bu da 5 adet kablonun kılıflanacağı anlamına gelir.

Şekil 4.7 de mesnet ekseninde öngerme kablosu düzeni görülmektedir. Bu düzende öngerme kabloları merkezinin kiriş alt kenarından mesafesi;

$$d' = \frac{6 \times 6 + 5 \times 12}{11} = 8.727 \text{ cm} , \text{ eksantrisite ise } e = 27.903 \text{ cm} \text{ olarak}$$

hesaplanır.



Şekil 4.7: Mesnet Ekseninde Öngerme Kablosu Düzeni

Elastik kısalma kaybindan sonra oluşabilecek maksimum öngerme kuvveti bu düzene göre (4.4) ifadesi ile tekrar hesaplandığında $P_i = 2058.3$ kN olarak bulunur.

Kılıfsız (aktif) öngerme kablosu sayısı ise $N = \frac{P_i}{P_1'} = 11.94$ değerini alır. Bu da 5 adet kablo kılıflanmasının yeterli olacağını göstermiştir.

4.5 Kılıf Boyunun Hesaplanması

Kılıflama boyu hesabı, öngerme aşamasında mesnet ekseninden “x” mesafede kiriş alt kenarındaki gerilmeler dikkate alınarak yapılmıştır. Öngerme aşamasında kiriş alt kenarında izin verilen basınç gerilmesi -18.90 MPa’dır.

Mesnetlenme ekseninden x mesafede 16 adet öngerme kablosunun oluşturduğu beton gerilmesi tahmini 0.08 ’lik elastik kısalma kaybı dikkate alınarak;

$$f_i = -\frac{P_i}{F} - \frac{P_i \times e}{W_{alt}} \quad (4.6)$$

ifadesi ile $f_i = -21.52$ MPa olarak hesaplanır.

$$\frac{M_{g1}(x)}{W_{alt}} + f_i \geq -18.90 \text{ MPa} \quad (4.7)$$

koşulu eşitlik durumuna getirilip değerler yerine konulduğunda “x” mesafedeki moment değeri; $M_{g1}(x) = 165.74$ kNm olarak hesaplanır.

$$M_{g1}(x) = \frac{g_1 \times (L-x) \times x}{2} = 165.74 \text{ kN/m} \text{ denkleminin çözünden } x = 1.93 \text{ m} \text{ olarak}$$

hesaplanmıştır. Son kılıflama mesnet ekseninden $1.93 + 50\Phi = 2.7$ m mesafede yapılmalıdır.

4.6 Öngerilme Kayıpları

Öngerilme kayıpları hesapları AASHTO' ya göre yapılacaktır.

Toplam kayıp;

$$\Delta f_s = SH + ES + CR_c + CR_s \quad (4.8)$$

ifadesi ile hesaplanacaktır. (4.8) ifadesinde;

SH: Betonun Büzülmesinden (Rötre) oluşan öngerilme kayıpları,

ES: Betonun elastik kısılmasından oluşan öngerilme kayıpları,

CR_c: Betonun sünmesinden oluşan öngerilme kayıpları,

CR_s: Öngerme çeliğinin gevşeme (relaksasyon) kayıpları temsil etmektedir.

4.6.1 Rötreden Oluşan Öngerilme Kayıpları

Betonun büzülmesinden (rötre) oluşan öngerilme kayıpları;

$$SH = (117.21 - 1.034 \times RH) \text{ MPa} \quad (4.9)$$

ifadesi ile verilmiştir. RH, yüzde olarak çevreye bağlı bağıl nemliliği temsil etmektedir. Bağıl nemlilik bu projede %70 alınmıştır.

$$SH = 117.21 - 1.034 \times 70 = 44.83 \text{ MPa}$$

$$\text{Kayıp oranı} = \frac{SH}{0.75 \times f_s'} = \frac{44.83}{1396.5} = \% 3.12$$

4.6.2 Betonun Elastik Kısılmasında Oluşan Öngerilme Kayıpları

Betonun elastik kısılmasında oluşan öngerilme kayıpları;

$$ES = \frac{E_s}{E_{ci}} \times f_{cir} \quad (4.10)$$

ifadesi ile verilmiş ve sonuçlar Tablo 4.4'de verilmiştir.

f_{cir} , öngerme kuvvetinin aktarımından hemen sonra öngerme kuvveti ve kiriş zati ağırlığından dolayı öngerme kabloları hizasında beton gerilmesidir ve (4.11) ifadesi ile hesaplanır.

$$f_{cir} = \frac{P}{F} + \frac{P \times e^2}{I_x} - \frac{M_{gl} \times e}{I_x} \quad (4.11)$$

(4.11) ifadesinde geçen “e”; öngerme kabloları merkezinin prefabrike kesit tarafsız eksenine ile mesafesini, “P”; bütün kablolara verilebilecek toplam öngerme kuvvetini temsil etmektedir.

Tablo 4.4: Betonun Elastik Kısalmasında Oluşan Öngerilme Kayıpları

x	Aktif Kablo	M _{g1}	e	P	f _{cir}	ES	Kayıp Oranı (α) ₁
		kNm	cm	kN	MPa	MPa	(%)
0	11	0.00	27.90	2153.25	13.52	86.51	6.14
H	11	68.23	27.90	2153.25	12.70	81.25	5.77
0.1L	14	186.49	28.49	2740.50	15.31	97.92	6.95
0.2L	16	331.54	28.76	3132.00	16.21	103.68	7.36
0.3L	16	435.15	28.76	3132.00	14.92	95.46	6.78
0.4L	16	497.31	28.76	3132.00	14.15	90.52	6.43
0.5L	16	518.03	28.76	3132.00	13.89	88.88	6.31

$$\text{Kayıp oranı} = \frac{ES}{0.75 \times f_s} \text{ 'dir.}$$

4.6.3 Betonun Sünmesinden Oluşan Öngerilme Kayıpları

Betonun sünmesinden meydana gelen öngerilme kayıpları;

$$CR_c = 12 \times f_{cir} - 7 \times f_{cds} \quad (4.12)$$

ifadesi ile tanımlanmış olup sonuçlar Tablo 4.5’de verilmiştir.

f_{cds}, kiriş zati ağırlığı hariç tüm zati ağırlıkların etkisi ile öngerme kabloları hizasında meydana gelen beton gerilmesi;

$$f_{cds} = \frac{M_{g2} \times e}{I_x} + \frac{M_{g3} \times e_c}{I_{cx}} \quad (4.13)$$

ifadesi ile hesaplanacak olup; “e”, öngerme kablolarının merkezinin prefabrike kesit tarafsız eksenini ile mesafesini, “e_c” ise kablo merkezinin kompozit kesit tarafsız eksenini ile mesafesini belirtmektedir.

Tablo 4.5: Betonun Sünmesinden Oluşan Öngerilme Kayıpları

x	Aktif Kablo	M _{g2}	M _{g3}	e	e _c	f _{cir}	f _{cds}	CRc	Kayıp Oranı
		kNm	kNm	cm	cm	MPa	MPa	MPa	(%)
0	11	0.00	0.00	27.90	44.04	13.52	9.84	93.35	6.63
H	11	38.85	16.25	27.90	44.04	12.70	9.83	83.59	5.94
0.1L	14	106.18	44.42	28.49	44.63	15.31	12.71	94.72	6.73
0.2L	16	188.76	78.96	28.76	44.90	16.21	14.61	92.19	6.55
0.3L	16	247.75	103.64	28.76	44.90	14.92	14.59	76.92	5.46
0.4L	16	283.14	118.44	28.76	44.90	14.15	14.58	67.75	4.81
0.5L	16	294.94	123.38	28.76	44.90	13.89	14.57	64.70	4.59

$$\text{Kayıp oranı} = \frac{CR_c}{0.75 \times f_s} \text{ 'dir.}$$

4.6.4 Öngerme Çeliğinin Gevşeme Kayıpları

Öngerme çeliğinin gevşemesinden kaynaklanan gerilme kayıpları;

$$CR_s = 34.47 - 0.1 \times ES - 0.05 \times (SH + CR_c) \quad (4.14)$$

bağıntısı ile verilmiş olup sonuçlar Tablo 4.6'da verilmiştir.

$$\text{Kayıp oranı} = \frac{CR_s}{0.75 \times f_s} \text{ 'dir.}$$

Tablo 4.6: Öngerme Çeliğinin Gevşeme Kayıpları

x	0	H	0.1L	0.2L	0.3L	0.4L	0.5L
Aktif Kablo	11	11	14	16	16	16	16
CR _s (MPa)	18.95	19.97	17.74	17.29	18.88	19.83	20.15
Kayıp Oranı (%)	1.35	1.42	1.26	1.23	1.34	1.41	1.43

4.6.5 Toplam Öngerme Kayıpları

Bütün kayıpların gerçekleşmesi durumunda toplam kayıplar Tablo 4.7'de yüzde cinsinden gösterilmiştir.

Tablo 4.7: Toplam Öngerme Kayıpları

x	Aktif Kablo	SH	ES	CR _c	CR _s	Toplam Kayıp (β)
0	11	3.12	6.14	6.63	1.35	17.24
H	11	3.12	5.77	5.94	1.42	16.25
0.1L	14	3.12	6.95	6.73	1.26	18.06
0.2L	16	3.12	7.36	6.55	1.23	18.26
0.3L	16	3.12	6.78	5.46	1.34	16.70
0.4L	16	3.12	6.43	4.81	1.41	15.77
0.5L	16	3.12	6.31	4.59	1.43	15.46

Değerler % cinsinden verilmiştir.

4.7 Yükleme Durumları ve Kesit Gerilmelerinin Tahkiki

Gerilme tahkikleri kirişin yüklenme durumlarına göre dört aşamada tahkik edilecektir.

Gerilme hesaplarında kayıpların minimum olmasından sadece betonun elastik kısılmasından kaynaklanan kayıplar, kayıpların maksimum olmasından ise toplam kayıplar kastedilmiştir.

Betonun elastik kısılmasından kaynaklanan kayıplardan sonra öngerme kablolarında kalan öngerme kuvveti; $P_i = (1 - \alpha/100) \times P$ şeklinde hesaplanır. “ α ”, elastik kısılma kaybı oranını belirtmektedir. Toplam kayıpların gerçekleşmesinden sonra öngerme kablolarında kalan öngerme kuvveti ise $P_e = (1 - \beta/100) \times P$ şeklinde hesaplanacak olup, “ β ” toplam kayıp oranını temsil etmektedir. “P” ise öngerme kablolarına verilebilecek toplam öngerme kuvvetidir.

Tablo 4.8: Öngerme ve Kesit Tesirleri Özeti

x	0	H	0.1L	0.2L	0.3L	0.4L	0.5L
Aktif Halat	11	11	14	16	16	16	16
d' (cm)	8.73	8.73	8.14	7.88	7.88	7.88	7.88
e (cm)	27.90	27.90	28.49	28.76	28.76	28.76	28.76
P (kN)	2153.25	2153.25	2740.50	3132.00	3132.00	3132.00	3132.00
α (%)	6.14	5.77	6.95	7.36	6.78	6.43	6.31
β (%)	17.24	16.25	18.06	18.26	16.70	15.77	15.46
P_i (kN)	2020.99	2029.02	2549.94	2901.42	2919.71	2930.68	2934.34
P_e (kN)	1782.04	1803.45	2245.50	2560.12	2608.85	2638.09	2647.83
M_{g1} (kNm)	0.0	68.2	186.5	331.5	435.1	497.3	518.0
M_{g2} (kNm)	0.0	38.8	106.2	188.8	247.7	283.1	294.9
M_{g3} (kNm)	0.0	16.3	44.4	79.0	103.6	118.4	123.4
M_q (kNm)	0.0	121.3	327.9	571.1	729.6	803.3	829.3

4.7.1 Yükleme Durumu 1

Öngerme uygulama aşamasıdır. Prefabrike kiriş sadece kiriş zati ağırlığını taşımaktadır. Kayıplar minimumdur ve kayıplardan sonra kesitlerde oluşan gerilmeler aşağıda verilen şartları verilen şartları sağlamalıdır.

$$\sigma_{alt} = -\frac{P_i}{F} - \frac{P_i \times e}{W_{alt}} + \frac{M_{g1}}{W_{alt}} > -18.9 \text{ MPa} \quad (4.15)$$

$$\sigma_{üst} = -\frac{P_i}{F} + \frac{P_i \times e}{W_{üst}} - \frac{M_{g1}}{W_{üst}} > -18.9 \text{ MPa} \quad (4.16)$$

$$\sigma_{alt} = -\frac{P_i}{F} - \frac{P_i \times e}{W_{alt}} + \frac{M_{g1}}{W_{alt}} < 0 \quad (4.17)$$

$$\sigma_{üst} = -\frac{P_i}{F} + \frac{P_i \times e}{W_{üst}} - \frac{M_{g1}}{W_{üst}} < +3.50 \text{ MPa} \quad (4.18)$$

Tablo 4.9: Yükleme Durumu 1 Gerilme Sonuçları

x	0	H	0.1L	0.2L	0.3L	0.4L	0.5L
σ_{alt}	-14.81	-13.79	-15.98	-16.42	-14.92	-14.02	-13.72
$\sigma_{üst}$	3.44	2.32	1.49	-0.15	-1.83	-2.84	-3.17

Birimler MPa'dır.

4.7.2 Yükleme Durumu 2

Prefabrike kiriş kendi zati ağırlığının yanında döşeme ağırlığını da taşımaktadır. Kayıpların minimum ve maksimum olmasına göre ayrı ayrı tahkikler yapılacaktır.

Maksimum kayıplar ile kesit gerilmeleri aşağıda verilen şartları sağlamalıdır.

$$\sigma_{alt} = -\frac{P_e}{F} - \frac{P_e \times e}{W_{alt}} + \frac{M_{g1} + M_{g2}}{W_{alt}} > -18.0 \text{ MPa} \quad (4.19)$$

$$\sigma_{üst} = -\frac{P_e}{F} + \frac{P_e \times e}{W_{üst}} - \frac{M_{g1} + M_{g2}}{W_{üst}} > -18.0 \text{ MPa} \quad (4.20)$$

$$\sigma_{alt} = -\frac{P_e}{F} - \frac{P_e \times e}{W_{alt}} + \frac{M_{g1} + M_{g2}}{W_{alt}} < +3.34 \text{ MPa} \quad (4.21)$$

$$\sigma_{üst} = -\frac{P_e}{F} + \frac{P_e \times e}{W_{üst}} - \frac{M_{g1} + M_{g2}}{W_{üst}} < +4.18 \text{ MPa} \quad (4.22)$$

Minimum kayıplar ile kesit gerilmeleri aşağıda verilen şartları sağlamalıdır.

$$\sigma_{alt} = -\frac{P_i}{F} - \frac{P_i \times e}{W_{alt}} + \frac{M_{g1} + M_{g2}}{W_{alt}} > -18.9 \text{ MPa} \quad (4.23)$$

$$\sigma_{üst} = -\frac{P_i}{F} + \frac{P_i \times e}{W_{üst}} - \frac{M_{g1} + M_{g2}}{W_{üst}} > -18.9 \text{ MPa} \quad (4.24)$$

$$\sigma_{alt} = -\frac{P_i}{F} - \frac{P_i \times e}{W_{alt}} + \frac{M_{g1} + M_{g2}}{W_{alt}} < 0 \quad (4.25)$$

$$\sigma_{üst} = -\frac{P_i}{F} + \frac{P_i \times e}{W_{üst}} - \frac{M_{g1} + M_{g2}}{W_{üst}} < +3.50 \text{ MPa} \quad (4.26)$$

Tablo 4.10: Yükleme Durumu 2 Gerilme Sonuçları

	x	0	H	0.1L	0.2L	0.3L	0.4L	0.5L
Kayıplar Maksimum	σ_{alt}	-13.06	-11.53	-12.04	-10.89	-8.68	-7.36	-6.92
	$\sigma_{üst}$	3.03	1.29	-0.81	-3.90	-6.50	-8.06	-8.58
Kayıplar Minimum	σ_{alt}	-14.81	-13.18	-14.30	-13.43	-11.00	-9.54	-9.05
	$\sigma_{üst}$	3.44	1.68	-0.26	-3.27	-5.93	-7.53	-8.06

Birimler MPa'dır.

4.7.3 Yükleme Durumu 3

Hareketli yükler hariç tüm zati yükler mevcuttur. Kiriş ve döşeme ağırlıklarının prefabrike kiriş, ilave yüklerin (kaldırım, korkuluk, asfalt kaplama v.b ağırlıkları) ise kompozit kiriş tarafından taşındığı kabul edilmiştir. Tüm kayıplar oluşmuştur ve kesitlerde oluşan gerilmeler aşağıda verilen şartları sağlamalıdır.

$$\sigma_{alt} = -\frac{P_e}{F} - \frac{P_e \times e}{W_{alt}} + \frac{M_{g1} + M_{g2}}{W_{alt}} + \frac{M_{g3}}{W_{calt}} > -18.0 \text{ MPa} \quad (4.27)$$

$$\sigma_{üst} = -\frac{P_e}{F} + \frac{P_e \times e}{W_{üst}} - \frac{M_{g1} + M_{g2}}{W_{üst}} - \frac{M_{g3}}{W_{cüst}} > -18.0 \text{ MPa} \quad (4.28)$$

$$\sigma_{alt} = -\frac{P_e}{F} - \frac{P_e \times e}{W_{alt}} + \frac{M_{g1} + M_{g2}}{W_{alt}} + \frac{M_{g3}}{W_{calt}} < +3.34 \text{ MPa} \quad (4.29)$$

$$\sigma_{üst} = -\frac{P_e}{F} + \frac{P_e \times e}{W_{üst}} - \frac{M_{g1} + M_{g2}}{W_{üst}} - \frac{M_{g3}}{W_{cüst}} < +4.18 \text{ MPa} \quad (4.30)$$

Tablo 4.11: Yükleme Durumu 3 Gerilme Sonuçları

x	0	H	0.1L	0.2L	0.3L	0.4L	0.5L
σ_{alt}	-13.06	-11.36	-11.59	-10.09	-7.63	-6.16	-5.67
$\sigma_{üst}$	3.03	1.22	-1.00	-4.24	-6.94	-8.57	-9.11

Birimler MPa'dır.

4.7.4 Yükleme Durumu 4

Nihai durumdur. Tüm zati ve hareketli yükler mevcuttur. Kiriş ve döşeme ağırlıklarının prefabrike kiriş, ilave yükler ile hareketli yüklerin kompozit kiriş tarafından taşındığı kabul edilmiştir. Tüm kayıplar oluşmuştur ve kesitlerde oluşan gerilmeler aşağıda verilen şartları sağlamalıdır.

$$\sigma_{alt} = -\frac{P_e}{F} - \frac{P_e \times e}{W_{alt}} + \frac{M_{g1} + M_{g2}}{W_{alt}} + \frac{M_{g3} + M_q}{W_{calt}} > -18.0 \text{ MPa} \quad (4.31)$$

$$\sigma_{üst} = -\frac{P_e}{F} + \frac{P_e \times e}{W_{üst}} - \frac{M_{g1} + M_{g2}}{W_{üst}} - \frac{M_{g3} + M_q}{W_{cüst}} > -18.0 \text{ MPa} \quad (4.32)$$

$$\sigma_{alt} = -\frac{P_e}{F} - \frac{P_e \times e}{W_{alt}} + \frac{M_{g1} + M_{g2}}{W_{alt}} + \frac{M_{g3} + M_q}{W_{calt}} < +3.34 \text{ MPa} \quad (4.33)$$

$$\sigma_{üst} = -\frac{P_e}{F} + \frac{P_e \times e}{W_{üst}} - \frac{M_{g1} + M_{g2}}{W_{üst}} - \frac{M_{g3} + M_q}{W_{cüst}} < +4.18 \text{ MPa} \quad (4.34)$$

Tablo 4.12: Yükleme Durumu 4 Gerilme Sonuçları

x	0	H	0.1L	0.2L	0.3L	0.4L	0.5L
σ_{alt}	-13.06	-10.13	-8.27	-4.31	-0.25	1.97	2.73
$\sigma_{üst}$	3.03	0.71	-2.40	-6.67	-10.06	-11.99	-12.65

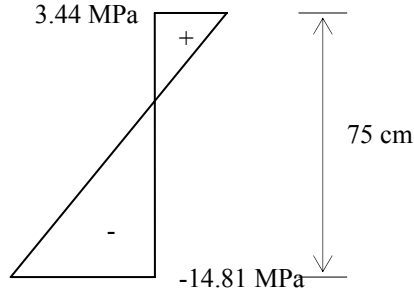
Birimler MPa'dır.

Tablo 4.9, Tablo 4.10, Tablo 4.11 ve Tablo 4.12'de görülen, yükleme durumlarına göre hesaplanmış gerilmeler emniyet gerilmelerini aşmamıştır.

4.8 Betonarme Donatısının (Aderans Donatısı) Hesaplanması

Kirişte kılıflamadan sonra oluşan çekme gerilmeleri betonarme donatısı ile karşılanacaktır.

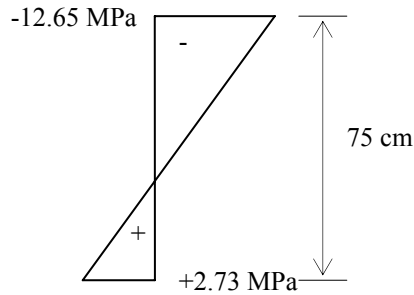
Kiriş Üstünde Kullanılacak Betonarme Donatısının Hesaplanması



Şekil 4.8: Kiriş Üstü Betonarme Donatısı Hesabına Esas Gerilme Durumu

$$A_s = T/f_s = 10.85 \text{ cm}^2 \quad \text{Seçilen: } 6\Phi 16 (12.06 \text{ cm}^2)$$

Kiriş Altında Kullanılacak Betonarme Donatısının Hesaplanması



Şekil 4.9: Kiriş Altı Betonarme Donatısı Hesabına Esas Gerilme Durumu

$$A_s = T/f_s = 8.11 \text{ cm}^2 \quad \text{Seçilen: } 6\Phi 14 (9.24 \text{ cm}^2)$$

4.9 Taşıma Kapasitesi Kontrolü

Taşıma kapasiteleri prefabrike ve kompozit kiriş için açıklık ortası için hesaplanmıştır. Kapasite hesaplarında kesit içindeki betonarme çeliğinin katkısı ihmal edilmiştir.

Kapasite hesaplarında eşdeğer basınç bloğu yüksekliğinin, tabla içinde kalıp kalmamasına göre kiriş kesiti, dikdörtgen veya tablalı kesit olarak dikkate alınacaktır.

➤ Dikdörtgen Kesitler İçin Taşıma Kapasitesi Hesaplanması

Dikdörtgen kesitler için taşıma kapasitesi;

$$\phi M_n = A_s^* \times f_{su}^* \times d \times \left(1 - 0.60 \times \rho^* \times \frac{f_{su}^*}{f_c'} \right) \times \phi \quad (4.35)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Taşıma kapasitesinin dikdörtgen kesit olarak (4.35) bağıntısı ile hesap edilebilmesi için eşdeğer basınç bloğu yüksekliği olarak tanımlanan;

$$(A_s^* \times f_{su}^*) / (0.85 \times f_c' \times b) \quad (4.36)$$

değerinin (4.37) şartını sağlaması gerekmektedir.

$$(A_s^* \times f_{su}^*) / (0.85 \times f_c' \times b) < t \quad (4.37)$$

$$f_{su}^* = f_s' \times \left[1 - (\gamma - \beta_1) \times \left(\rho^* \times \frac{f_s'}{f_c'} \right) \right] \quad (4.38)$$

➤ Tablalı Kesitler İçin Taşıma Kapasitesi Hesaplanması;

Tablalı kesitler için taşıma kapasitesi;

$$\phi M_n = \left[A_{sr} \times f_{su}^* \times d \times \left(1 - 0.6 \times \frac{A_{sr} \times f_{su}^*}{b' \times d \times f_c'} \right) + 0.85 \times f_c' \times (b - b') \times t \times \left(d - \frac{t}{2} \right) \right] \times \phi \quad (4.39)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Taşıma kapasitesinin tablalı kesit olarak (4.39) bağıntısı ile hesap edilebilmesi için eşdeğer basınç bloğu yüksekliği olarak tanımlanan;

$$(A_{sr} \times f_{su}^*) / (0.85 \times f_c' \times b') \quad (4.40)$$

değerinin (4.41) şartını sağlaması gerekmektedir.

$$(A_{sr} \times f_{su}^*) / (0.85 \times f_c' \times b') > t \quad (4.41)$$

$$A_{sr} = A_s^* - A_{sf} \quad (4.42)$$

$$A_{sf} = 0.85 \times (b - b') \times t / f_{su}^* \quad (4.43)$$

4.9.1 Kompozit Kiriş Taşıma Kapasitesi Kontrolü

Taşıma kapasitesi azaltma katsayısı:..... $\phi = 1$

Toplam öngerme donatısı alanı:..... $A_s^* = 16 \times a^* = 22.24 \text{ cm}^2$

Faydalı yükseklik:..... $d = \text{Kompozit Kesit Yüksekliği} - d' = 92.13 \text{ cm}$

Etkili tabla genişliği:..... $b = 63.69 \text{ cm}$

Prefabrike kiriş gövde kalınlığı:..... $b' = 20.00 \text{ cm}$

Öngerme donatısı oranı:..... $\rho^* = A_s^* / (b \times d) = 0.0038$

Tabla yüksekliği:..... $t = 41.25 \text{ cm}$

Düşük gevşemeli öngerme çeliği tip faktörü:..... $\gamma = 0.28$

C45 betonu dayanım faktörü:..... $\beta_1 = 0.72$

$$(A_s^* \times f_{su}^*) / (0.85 \times f_c' \times b) = 16.09 \text{ cm} < t = 41.25 \text{ cm}$$

Dikdörtgen kesit hesabı için eşdeğer basınç bloğu yüksekliği, tabla yüksekliğinden daha küçüktür. (4.37) şartı sağlanmıştır.

$$(A_{sr} \times f_{su}^*) / (0.85 \times f_c' \times b') = -38.85 \text{ cm} < t = 41.25 \text{ cm}$$

Tablalı kesit hesabı için eşdeğer basınç bloğu yüksekliği, tabla yüksekliğinden daha küçüktür. (4.41) şartı sağlanmamıştır.

Bu durumda kompozit kiriş kesiti, dikdörtgen kesit olarak dikkate alınmış ve (4.35) bağıntısı ile kompozit kiriş taşıma kapasitesi;

$\phi M_n = 3290 \text{ kNm}$ olarak hesaplanmıştır.

Zati ve hareketli yüklerin kombinasyonundan oluşan faktörlü moment;

$$M_u = 1.3 \times (M_{g1} + M_{g2} + M_{g3} + 1.67 M_q) \quad (4.44)$$

ifadesi ile hesaplanarak, $M_u = 3017 \text{ kNm}$ bulunmuştur.

Kompozit kiriş kesiti taşıma kapasitesi, kesite etkiyen faktörlü moment ile kıyaslandığında yeterli olduğu görülmektedir.

4.9.2 Prefabrike Kiriş Taşıma Kapasitesi Kontrolü

Taşıma kapasitesi azaltma katsayısı:..... $\phi = 1$

Toplam öngerme donatısı alanı:..... $A_s^* = 16 \times a^* = 22.24 \text{ cm}^2$

Faydalı yükseklik:..... $d = \text{Prefabrik Kesit Yüksekliği} - d' = 67.13 \text{ cm}$

Etkili tabla genişliği: $b = 75 \text{ cm}$

Prefabrike kiriş gövde kalınlığı: $b' = 20.00 \text{ cm}$

Öngerme donatısı oranı: $\rho^* = A_s^* / (b \times d) = 0.0044$

Tabla yüksekliği: $t = 16.25 \text{ cm}$

Düşük gevşemeli öngerme çeliği tip faktörü: $\gamma = 0.28$

C45 betonu dayanım faktörü: $\beta_1 = 0.72$

$$(A_s^* \times f_{su}^*) / (0.85 \times f_c' \times b) = 13.52 \text{ cm} < t = 16.25 \text{ cm}$$

Dikdörtgen kesit hesabı için eşdeğer basınç bloğu yüksekliği tabla yüksekliğinden daha küçüktür. (4.37) şartı sağlanmıştır.

$$(A_{sr} \times f_{su}^*) / (0.85 \times f_c' \times b') = 6.01 \text{ cm} < t = 16.25 \text{ cm}$$

Tablalı kesit hesabı için eşdeğer basınç bloğu yüksekliği tabla yüksekliğinden daha küçüktür. (4.41) şartı sağlanmamıştır.

Bu durumda prefabrike kiriş kesiti, dikdörtgen kesit olarak ele alınmış ve (4.35) bağıntısı ile prefabrike kiriş taşıma kapasitesi;

$$\phi M_n = 2336 \text{ kNm} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Prefabrike kiriş, kompozit olarak çalışmaya başlamadan önce kendi ağırlığı ve döşeme ağırlığının kombinasyonundan oluşan ve (4.45) ifadesi ile hesaplanan faktörlü momenti taşımalıdır.

$$M_u = 1.3 \times (M_{g1} + M_{g2}) \quad (4.45)$$

Değerler yerine konulduğunda $M_u = 1057 \text{ kNm}$ olarak bulunmuştur.

Prefabrike kiriş kesiti taşıma kapasitesi kesite etkiyen faktörlü moment ile kıyaslandığında yeterli olduğu görülmektedir.

4.10 Maksimum – Minimum Öngerme Donatısı

➤ Maksimum Öngerme Donatısı

Öngerilmeli beton elemanlar öngerme çeliğinin kopma dayanımına ulaştığı an için dizayn edildiklerinden donatı miktarları;

$$(\rho^* \times f_{su}^*) / f_c' \text{ dikdörtgen kesitler için,} \quad (4.46)$$

$$A_{sr} \times f_{su}^* / (b' \times d \times f_c') \text{ tablalı kesitler için} \quad (4.47)$$

$0.36\beta_1$ değerini genellikle aşmazlar.

Donatı miktarlarının $0.36\beta_1$ değerini geçmeleri durumunda ise taşıma kapasiteleri, dikdörtgen kesitler için;

$$\phi M_n = \phi \left[(0.36\beta_1 - 0.08\beta_1^2) \times f_c' \times b \times d^2 \right] \quad (4.48)$$

tablalı kesitler için;

$$\phi M_n = \phi \left[(0.36\beta_1 - 0.08\beta_1^2) \times f_c' \times b \times d^2 + 0.85f_c' \times (b - b') \times t \times \left(d - \frac{t}{2} \right) \right] \quad (4.49)$$

kabul edilirler.

Kompozit kesit için; $(\rho^* \times f_{su}^*) / f_c' = 0.15 < 0.36\beta_1 = 0.26$ olduğu için taşıma kapasitesi uygundur.

Prefabrike kesit için; $(\rho^* \times f_{su}^*) / f_c' = 0.17 < 0.36\beta_1 = 0.26$ olduğu için taşıma kapasitesi uygundur.

➤ Minimum Öngerme Donatısı

Donatı miktarı, kesitte en az çatlama momentinin 1.2 katı kadar taşıma kapasitesi oluşturmak için yeterli olmalıdır. Çatlama momenti;

$$M_{cr}^* = W_{calt} \times (f_r + f_e) - (M_{g1} + M_{g2}) \times (W_{calt} / W_{alt} - 1) \text{ kompozit kesit için,} \quad (4.50)$$

$$M_{cr}^* = W_{alt} \times (f_r + f_e) \text{ prefabrike kesit için} \quad (4.51)$$

şeklinde hesaplanabilir.

$$f_r = 0.623 \sqrt{f_c'} = 4.18 \text{ Mpa (Çatlama gerilmesi.)}$$

f_e : Kayıplardan sonra öngerme kuvvetinden kaynaklanan beton gerilmesi.

Kompozit kesitte öngerme donatı miktarı;

$$\phi M_n = 3290 \text{ kNm} > 1.2 \times M_{cr} = 2290.8 \text{ kNm} \text{ olduğu için yeterlidir.}$$

Prefabrike kesitte donatı miktarının;

$$\phi M_n = 2336 \text{ kNm} > 1.2 \times M_{cr} = 1818 \text{ kNm} \text{ olduğu için yeterli olduğu görülür.}$$

4.11 Kesme Hesabı

Kesme hesabı mesnet yüzünden H uzaklıkta incelenmiştir.

Hesap kesme kuvveti, $V_u = 1.3 \times (V_g + 1.67 \times V_q) = 586.7 \text{ kN}$ öngerilmeli betonun kesme kuvveti taşıma kapasitesi, V_c ve kayma donatısının kesme kuvveti taşıma kapasitesi, V_s ile karşılaştırılacaktır.

$$V_u \leq \phi \times (V_c + V_s) \quad (4.52)$$

şartı sağlanmalıdır. ϕ , dayanım azaltma faktörü kesme için 0.85 alınmıştır.

Öngerilmeli betonun taşıma gücü V_{ci} ve V_{cw} değerlerinden küçük olanı olarak dikkate alınır.

V_{ci} : Diyagonal çatlakların moment ve kesme etkilerinin sonucunda oluşması durumunda betonun kesme kuvveti taşıma kapasitesi

$$V_{ci} = 0.0498 \times \sqrt{f_c'} \times b' \times d + V_d + \frac{V_i \times M_{cr}}{M_{max}} \quad (4.53)$$

Prefabrike kiriş gövde genişliği: $b' = 20.00$ cm

Toplam zati yükten kaynaklanan kesme kuvveti: $V_d = 170.2$ kN

Toplam zati yükten kaynaklanan moment: $M_d = 123.3$ kNm

Faktörlü hesap kesme kuvveti: $V_u = 586.7$ kN

Faktörlü moment: $M_u = 423.6$ kNm

Faydalı yükseklik: $d = 91.27$ cm

Dış yüklerden dolayı çekme gerilmesi oluşan prefabrike kiriş kenarında efektif öngerme kuvvetinden kaynaklanan basınç gerilmesi:

$$f_e = \frac{P_e}{F} + \frac{P_e \times e}{W_{alt}} = 13.2 \text{ MPa}$$

Dış yüklerden dolayı çekme gerilmesi oluşan prefabrike kiriş kenarında toplam zati yükten kaynaklanan gerilme:

$$f_d = \frac{M_{g1} + M_{g2}}{W_{alt}} + \frac{M_{g3}}{W_{calt}} = 1.86 \text{ MPa}$$

Zati yükler harici yüklerden kaynaklanan moment:

$$M_{max} = M_u - M_d = 300.3 \text{ kNm}$$

Zati yükler harici yüklerden kaynaklanan kesme kuvveti:

$$V_i = V_u - V_d = 416.5 \text{ kNm}$$

Kesitte eğilme çatlaklarına sebep olan zati yükler harici yüklerden kaynaklanan moment:

$$M_{cr} = (0.498 \times \sqrt{f_c'} + f_e - f_d) \times W_{calt} = 1450.1 \text{ kNm}$$

Sonuç olarak $V_{ci} = 2262.8$ kN olarak hesaplanır.

$$V_{ci} \geq 0.1412 \times \sqrt{f_c'} \times b' \times d = 172.90 \text{ kN şartı sağlanmıştır.}$$

V_{cw} : Diyagonal çatlakların gövdedeki asal çekmelerin sonucunda oluşması durumunda betonun kesme taşıma gücü:

$$V_{cw} = (0.290 \times \sqrt{f_c'} + 0.3 \times f_{pc}) b' \times d + V_p \quad (4.54)$$

Öngörme kuvvetinin düşey bileşeni, $V_p=0$ 'dır. Kablolar kirişe kiriş boyunca paralel yerleştirilmiştir.

Kompozit kesit ağırlık merkezinde oluşabilecek minimum basınç gerilmesi:

$$f_{pc} = \frac{P_e}{F} - \frac{P_e \times e \times (y_{calt} - y_{alt})}{I} + \frac{(M_{g1} + M_{g2}) \times (y_{calt} - y_{alt})}{I} = 2.50 \text{ MPa}$$

Sonuç olarak $V_{cw} = (0.290 \times \sqrt{f_c'} + 0.3 \times f_{pc}) b' \times d + V_p = 492 \text{ kN}$ bulunur.

Beton tarafından karşılanan kesme kuvveti $V_{cw} < V_{ci}$ olduğundan beton tarafından karşılanan kuvvet $V_c = 492 \text{ kN}$ seçilmiştir.

$V_u = 586.7 \text{ kN} > \phi \times V_c = 418.2 \text{ kN}$. Kayma donatısı (etriye) hesabı yapılmalıdır.

Kayma donatısının taşınması gereken minimum kesme kuvveti:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = 198.3 \text{ kN}$$

$V_s < 0.664 \times \sqrt{f_c'} \times b' \times d = 820.7 \text{ kN}$ şartı sağlanmıştır.

$$V_s = \frac{A_v \times f_{sy} \times d}{s} \quad (4.55)$$

Seçilen etriye aralığı: $s = 15 \text{ cm} < 60$; $075H = 75 \text{ cm}$ etriye aralığı uygundur.

Gerekli donatı alanı: $A_v = 0.88 \text{ cm}^2$

Minimum donatı alanı: $A_v = 3.45 \times b' \times d / f_{sy} = 0.285 \text{ cm}^2$

Seçilen Etriye: $\Phi 10$ (çift kollu)

4.12 Sehîm Hesapları

Sehîm hesapları maksimum sehîmin oluşacağı açıklık ortası için yapılacaktır.

➤ **Öngörme Anında Kiriş Kendi Ağırlığından Dolayı Oluşan Sehîm**

Kiriş zati ağırlığı: $g_1 = 8.56 \text{ kN/m}$

Kiriş boyu: $L = 22.00 \text{ m}$

Öngörme anında beton elastisite modülü: $E_{ci} = 30167 \text{ MPa}$

Prefabrike kesit atalet momenti: $I = 2317304 \text{ cm}^4$

Kiriş kendi ağırlığından oluşacak sehîm:

$$\delta_1 = \frac{5 \times g_1 \times L^4}{384 \times E_{ci} \times I} \quad (4.56)$$

$$\delta_1 = 3.73 \text{ cm} \downarrow$$

➤ **Öngerme Anında Öngerme Kuvvetinden Dolayı Oluşan Sehim**

Öngerme anında etkili öngerme kuvveti:..... $P_i = 2934.34 \text{ KN}$

Kablo merkezinin eksantrisitesi:..... $e = 28.76 \text{ cm}$

Öngerme anında beton elastisite modülü:..... $E_{ci} = 30167 \text{ MPa}$

Prefabrike kesit atalet momenti:..... $I = 2317304 \text{ cm}^4$

Öngerme anında öngerme kuvvetinden oluşacak sehim:

$$\delta_p = \frac{P_i \times e \times L^2}{8 \times E_{ci} \times I} \quad (4.57)$$

$$\delta_p = -6.15 \text{ cm} \uparrow$$

➤ **Döşeme Ağırlığından Dolayı Oluşan Sehim**

Döşeme zati ağırlığı:..... $g_2 = 4.88 \text{ kN/m}$

Beton elastisite modülü:..... $E_c = 36057 \text{ MPa}$

Prefabrike kesit atalet momenti:..... $I = 2317304 \text{ cm}^4$

Döşeme ağırlığından dolayı oluşacak sehim

$$\delta_2 = \frac{5 \times g_2 \times L^4}{384 \times E_c \times I} \quad (4.58)$$

$$\delta_2 = 1.78 \text{ cm} \downarrow$$

➤ **Kompozit Kesite Etkiyen İlave Yüklerden Dolayı Oluşan Sehim**

İlave yük:..... $g_3 = 2.04 \text{ kN/m}$

Beton elastisite modülü..... $E_c = 36057 \text{ MPa}$

Kompozit kesit atalet momenti..... $I_c = 5212852 \text{ cm}^4$

İlave yüklerden Dolayı oluşacak sehim:

$$\delta_3 = \frac{5 \times g_3 \times L^4}{384 \times E_c \times I_c} \quad (4.59)$$

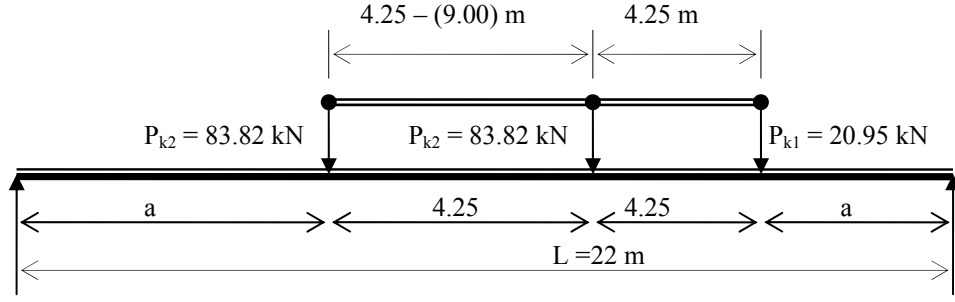
$$\delta_3 = 0.33 \text{ cm} \downarrow$$

➤ **H₃₀-S₂₄ Kamyon Yükünden Oluşan Sehim**

Kiriş boyu..... $L = 22.00 \text{ m}$

Beton elastisite modülü..... $E_c = 36057 \text{ MPa}$

Kompozit kesit atalet momenti $I_c = 5212852 \text{ cm}^4$



Şekil 4.10: Maksimum Sehîm için H₃₀-S₂₄ Kamyon Yüklemesi

$$a = (2200 - 2 \times 425) / 2 = 675 \text{ cm}$$

$$P_k = P_{k2} = 4 \times P_{k1} = 83.82 \text{ kN}$$

$$\delta_k = \frac{P_k \times (850+a)}{192 \times E_c \times I_c} + \left[3L^2 - 4 \times (850+a)^2 \right] + \frac{P_k \times L^3 + P_k \times \left[3L^2 - 4 \times (850+a)^2 \right]}{48 \times E_c \times I_c} \quad (4.60)$$

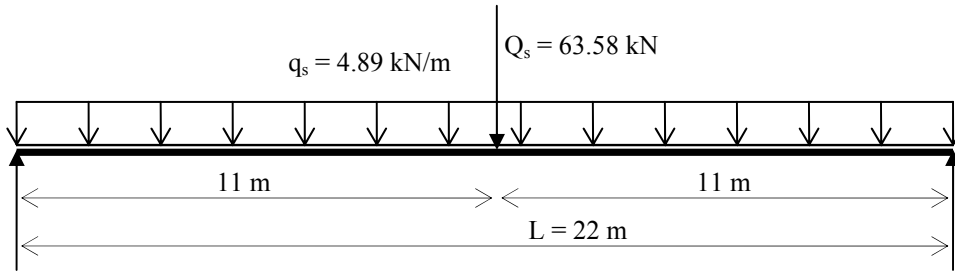
$$\delta_k = 1.93 \text{ cm} \downarrow$$

➤ **Kamyon Şerit Yükünden Oluşan Sehîm**

Kiriş boyu..... $L = 22.00 \text{ m}$

Beton elastisite modülü..... $E_c = 36057 \text{ MPa}$

Kompozit kesit atalet momenti $I_c = 5212852 \text{ cm}^4$



Şekil 4.11: Maksimum Sehîm için Eşdeğer Şerit Yüklemesi

$$\delta_s = \frac{Q_s \times L^3}{48 \times E_c \times I_c} + \frac{5 \times q_s \times L^4}{384 \times E_c \times I_c} \quad (4.61)$$

$$\delta_s = 1.56 \text{ cm} \downarrow$$

Kamyon şerit yükü ve kamyon teker yükü için yapılan sehîm hesaplarında büyük sehîm kamyon teker yükünden oluşmaktadır.

Hareketli yükün sebep olacağı ani sehîm, AASHTO'da verilen limit değerden (L/1000) fazla olmamalıdır.

$$\delta_k = 1.93 \text{ cm} \downarrow < L / 1000 = 2.2 \text{ cm}$$

4.12.1 Öngerme Uygulama Anında Sehim

Öngerme uygulama anında prefabrike kiriş öngerme kuvveti ve zati ağırlığı etkisindedir. Bu durumda sehim;

$$\Delta_1 = \delta_1 + \delta_p = 3.73 - 6.15 = -2.42 \text{ cm} \uparrow < L / 480 = 4.58 \text{ cm (TS 3233)}$$

4.12.2 Servis Yükleri Altında Sehim

Servis yükleri altında kiriş bütün zati ve hareketli yüklerin etkisindedir. Bu durumda sehim;

$$\Delta_2 = \delta_1 + \delta_p + \delta_2 + \delta_3 + \delta_k$$

$$\Delta_2 = 3.73 - 6.15 + 1.78 + 0.33 + 1.93 = 1.62 \text{ cm} \downarrow < L / 480 = 4.58 \text{ cm (TS 3233)}$$

4.12.3 Zamana Bağlı Sehim

Zamana bağlı sehim hesapları PCI yayınlarında belirtilen katsayı metoduna uygun şekilde yapılacaktır. Zamana bağlı davranışın sonucu olarak oluşacak sehimlerin hesaplanması için hesaplanmış olan elastik sehimler Tablo 4.13'den seçilen uygun katsayılarla çarpılacaktır.

Tablo 4.13 Tipik Elemanlarda Uzun Zamanda Oluşacak Sehim ve Ters Sehimlerin Hesabında Kullanılacak Katsayılar

Sehim		Kompozit Başlıksız Kesit	Kompozit Başlıklı Kesit
MONTAJ'DA	1-Sehim (↓) Çarpanı: Öngerme Anında Kiriş Zati Ağırlığından Dolayı Oluşan Elastik Sehimde Uygulanır.	1.85	1.85
	2-Ters Sehim (↑) Çarpanı: Öngerme Anında Öngerme Kuvvetinden Dolayı Oluşan Elastik Sehimde Uygulanır.	1.8	1.8
SERVİS'TE	3-Sehim (↓) Çarpanı: Öngerme Anında Kiriş Zati Ağırlığından Dolayı Oluşan Elastik Sehimde Uygulanır.	2.7	2.4
	4-Ters Sehim (↑) Çarpanı: Öngerme Anında Öngerme Kuvvetinden Dolayı Oluşan Elastik Sehimde Uygulanır.	2.45	2.2
	5-Sehim (↓) Çarpanı: Kirişe Gelen İlave Yüklerden Dolayı Oluşan Elastik Sehimde Uygulanır.	3	3
	6-Sehim (↓) Çarpanı: Kompozit Başlıktan Dolayı Oluşan Elastik Sehimde Uygulanır.	-	2.5

Hesaplarda, incelen kirişlere uygun olan kompozit başlıklı kesit için verilmiş katsayılarla çalışılacaktır.

➤ **Depolama Sırasında Montaja Kadar Oluşacak Ters Sehim**

$$\Delta_{1u} = 1.85 \times \delta_1 + 1.80 \times \delta_p$$

$$\Delta_{1u} = 1.85 \times 3.73 - 1.80 \times 6.15 = -4.17 \text{ cm} \quad \uparrow < L / 480 = 4.58 \text{ cm (TS 3233)}$$

➤ **Uzun Zaman Diliminde Kadar Oluşacak Ters Sehim**

$$\Delta_{2u} = 2.4 \times \delta_1 + 2.2 \times \delta_p + 2.3 \times \delta_2 + 3 \times \delta_3$$

$$\Delta_{2u} = 2.4 \times 3.73 - 2.2 \times 6.15 + 2.3 \times 1.78 + 3 \times 0.33$$

$$\Delta_{2u} = 0.51 \text{ cm} \quad \downarrow < L / 480 = 4.58 \text{ cm (TS 3233)}$$

5. TİP KİRİŞLERİ HESAP ÖZETLERİ

Tip kiriş hesap özetleri, öngerme miktarını belirleyen ve tahkiklerde elverişsiz olan açıklık ortaları için verilmiştir.

5.1 Tip Kirişleri Moment Tesirleri Özeti

Tablo 5.1: Kiriş Zati Ağırlığından Oluşan Moment Tesirleri

M_{g1}											
L (m)	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
TİP I-A	184.3	240.7	304.6	376.1	455.1	541.6	635.6	737.2	846.2	962.8	1086.9
TİP I-B	202.7	264.7	335.0	413.6	500.5	595.6	699.0	810.7	930.6	1058.8	1195.3
TİP I-C	239.4	312.7	395.8	488.6	591.2	703.6	825.7	957.7	1099.4	1250.8	1412.1
TİP II-A	209.8	274.0	346.8	428.2	518.1	616.5	723.6	839.2	963.3	1096.1	1237.4
TİP II-B	228.2	298.0	377.2	465.7	563.4	670.5	786.9	912.7	1047.7	1192.1	1345.7
TİP II-C	264.9	346.0	437.9	540.7	654.2	778.5	913.7	1059.7	1216.5	1384.1	1562.5
TİP III-A	220.6	288.1	364.6	450.2	544.7	648.2	760.8	882.3	1012.8	1152.4	1300.9
TİP III-B	238.9	312.1	395.0	487.7	590.1	702.2	824.1	955.8	1097.2	1248.4	1409.3
TİP III-C	275.7	360.1	455.7	562.7	680.8	810.2	950.9	1102.8	1266.0	1440.4	1626.1

Birimler kNm'dir.

Tablo 5.2: Dış Yüklerden Kaynaklanan Moment Tesirleri

L (m)		14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
TİP I TİP II	M_{g2}	119.4	156.0	197.4	243.8	294.9	351.0	411.9	477.8	548.4	624.0	704.4
	M_{g3}	50.0	65.3	82.6	102.0	123.4	146.8	172.3	199.9	229.4	261.0	294.7
	M_q	520.0	604.7	683.2	757.6	829.3	899.2	967.8	1035.5	1102.6	1169.1	1235.4
TİP III	M_{g2}	151.6	198.0	250.6	309.4	374.3	445.5	522.8	606.4	696.1	792.0	894.1
	M_{g3}	63.6	83.1	105.1	129.8	157.0	186.9	219.3	254.4	292.0	332.2	375.0
	M_q	660.0	767.5	867.1	961.6	1052.7	1141.4	1228.5	1314.5	1399.6	1484.1	1568.2

Birimler kNm'dir.

Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de M_{g1} kiriş zati ağırlığından, M_{g2} döşeme ağırlığından, M_{g3} ilave yüklerden, M_q ise elverişsiz hareketli yükten kaynaklanan momentleri temsil etmektedir.

M_q momentleri; $M_q = \text{Maksimum} (M_k , M_s) + M_y$ bağıntısıyla hesaplanmıştır.

5.2 Tip Kirişleri Öngerme Özetleri

Tablo 5.3: Tip Kirişleri Öngerme Özetleri

	L	N	A _s *	d'	e	e _c	P	α	β	P _i	P _e
	(m)	(adet)	(cm ²)	(cm)	(cm)	(cm)	(kN)	(%)	(%)	(kN)	(kN)
TİP I-A	14	7	9.73	6.00	34.54	50.79	1370.3	4.42	13.92	1309.7	1179.5
	16	9	12.51	7.33	33.21	49.46	1761.8	5.35	15.56	1667.4	1487.7
	18	11	15.29	8.18	32.36	48.61	2153.3	6.24	17.06	2018.9	1785.9
	20	14	19.46	9.00	32.36	47.79	2740.5	7.77	19.87	2527.7	2196.1
TİP I-B	18	9	12.51	7.33	41.07	58.64	1761.8	4.72	14.02	1678.7	1514.7
	20	11	15.29	8.18	40.22	57.79	2153.3	5.58	15.48	2033.2	1820.0
	22	13	18.07	8.77	39.63	57.21	2544.8	6.39	16.81	2382.1	2116.9
	24	16	22.24	10.13	38.27	55.85	3132.00	7.63	18.99	2893.2	2537.3
TİP I-C	22	10	13.90	7.80	56.15	75.99	1957.5	4.19	12.61	1875.4	1710.7
	24	11	15.29	8.18	55.77	75.61	2153.3	4.37	12.65	2059.2	1880.9
	26	13	18.07	8.77	55.18	75.02	2544.8	5.10	13.83	2414.9	2192.8
	28	15	20.85	9.60	54.35	74.19	2936.3	5.75	14.80	2767.6	2501.8
	30	18	25.02	11.00	52.95	72.79	3523.5	6.82	16.66	3283.1	2936.4
	32	21	29.19	12.86	51.09	70.93	4110.8	7.70	18.09	3794.4	3366.9
	34	24	33.36	15.00	48.95	68.79	4698.0	8.38	19.14	4304.2	3798.7
TİP II-A	14	8	11.12	6.00	30.63	46.77	1566.0	3.70	12.43	1508.1	1371.4
	16	9	12.51	6.00	30.63	46.77	1761.8	3.93	12.62	1692.5	1539.3
	18	11	15.29	6.00	30.63	46.77	2153.3	4.73	13.98	2051.3	1852.3
	20	13	18.07	6.92	29.71	45.85	2544.8	5.28	14.77	2410.3	2168.9
	22	16	22.24	7.88	28.76	44.90	3132.0	6.31	16.53	2934.3	2614.3
TİP II-B	18	9	12.51	6.00	37.92	55.46	1761.8	3.48	11.54	1700.4	1558.4
	20	11	15.29	6.00	37.92	55.46	2153.3	4.24	12.80	2062.1	1877.7
	22	12	16.68	6.50	37.42	54.96	2349.0	4.29	12.58	2248.2	2053.5
	24	15	20.85	7.60	36.32	53.86	2936.3	5.32	14.36	2780.0	2514.5
	26	18	25.02	8.33	35.59	53.13	3523.5	6.31	16.03	3301.3	2958.7
	28	21	29.19	8.86	35.07	52.61	4110.8	7.26	17.58	3812.5	3387.9
TİP II-C	22	10	13.90	6.00	52.60	72.48	1957.5	3.19	10.66	1895.1	1748.8
	24	11	15.29	6.00	52.60	72.48	2153.3	3.33	10.66	2081.6	1923.8
	26	13	18.07	6.92	51.67	71.56	2544.8	3.86	11.46	2446.5	2253.2
	28	14	19.46	7.29	51.31	71.20	2740.5	3.90	11.20	2633.7	2433.6
	30	17	23.63	8.12	50.48	70.36	3327.8	4.84	12.79	3166.8	2902.0
	32	19	26.41	8.53	50.07	69.96	3719.3	5.28	13.34	3522.9	3223.3
	34	22	30.58	9.00	49.60	69.48	4306.5	6.15	14.75	4041.5	3671.4

	L	N	A _s *	d'	e	e _c	P	α	β	P _i	P _e
	(m)	(adet)	(cm ²)	(cm)	(cm)	(cm)	(kN)	(%)	(%)	(kN)	(kN)
TİP III-A	14	9	12.51	6.00	32.31	49.99	1761.8	4.26	13.60	1686.7	1522.1
	16	11	15.29	6.00	32.31	49.99	2153.3	5.10	15.07	2043.5	1828.8
	18	13	18.07	6.92	31.39	49.07	2544.8	5.67	15.94	2400.4	2139.1
	20	16	22.24	7.88	30.44	48.12	3132.0	6.72	17.76	2921.6	2575.7
TİP III-B	18	11	15.29	6.00	39.82	59.16	2153.3	4.57	13.80	2054.8	1856.0
	20	13	18.07	6.92	38.90	58.24	2544.8	5.15	14.70	2413.6	2170.6
	22	15	20.85	7.60	38.22	57.56	2936.3	5.70	15.50	2768.9	2481.0
	24	19	26.41	8.53	37.30	56.64	3719.3	7.19	18.25	3451.7	3040.6
	26	22	30.58	9.00	36.82	56.16	4306.5	8.16	19.85	3955.2	3451.5
TİP III-C	22	12	16.68	6.50	54.34	76.55	2349.0	4.10	12.56	2252.6	2054.1
	24	13	18.07	6.92	53.92	76.12	2544.8	4.19	12.44	2438.1	2228.1
	26	15	20.85	7.60	53.24	75.45	2936.3	4.71	13.21	2798.0	2548.5
	28	17	23.63	8.12	52.72	74.93	3327.8	5.20	13.89	3154.8	2865.7
	30	20	27.80	8.70	52.14	74.35	3915.0	6.12	15.43	3675.6	3311.0
	32	24	33.36	9.75	51.09	73.30	4698.0	7.37	17.65	4351.9	3868.9
	34	27	37.53	10.67	50.18	72.38	5285.3	8.09	18.76	4857.7	4293.9

Tablo 5.3'de görülen tip kirişlerin farklı açıklıklar için verilen önerme özetleri, Bölüm 4'de örnek prefabrike kiriş hesabında belirtilen tasarım kurallarına uygun şekilde yapılan hesaplar sonucu oluşturulmuştur.

5.3 Tip Kirişleri Taşıma Kapasitesi ve Minimum Donatı Kontrolleri

Tablo 5.4: Tip Kirişleri Taşıma Kapasitesi ve Minimum Donatı Kontrolleri

	L (m)	Prefabrike Kiriş			Kompozit Kiriş		
		M_u	ΦM_n	$1.2 * M_{cr}$	M_u	ΦM_n	$1.2 * M_{cr}$
TİP I-A	14	394.8	1166.6	937.6	1588.7	1606.1	1278.3
	16	515.7	1435.8	1100.0	1913.3	1994.5	1470.9
	18	652.7	1691.4	1257.3	2243.2	2366.6	1646.5
	20	805.8	2050.5	1472.8	2583.1	2894.9	1906.1
TİP I-B	18	692.2	1786.8	1412.6	2282.7	2345.8	1787.6
	20	854.6	2119.6	1616.7	2631.8	2795.3	2017.8
	22	1034.0	2438.7	1815.3	2994.9	3228.4	2232.4
	24	1230.6	2861.8	2073.3	3373.7	3817.4	2527.5
TİP I-C	22	1152.0	2735.6	2206.8	3112.9	3353.6	2633.6
	24	1371.0	2977.8	2368.1	3514.1	3653.9	2779.7
	26	1609.0	3451.5	2662.4	3934.2	4241.9	3101.9
	28	1866.0	3895.8	2942.3	4374.0	4797.8	3397.6
	30	2142.1	4513.4	3317.4	4834.0	5578.1	3817.6
	32	2437.3	5048.4	3655.5	5314.8	6276.9	4180.2
	34	2751.4	5460.3	3962.5	5816.5	6895.6	4493.6
TİP II-A	14	428.0	1318.5	1107.2	1621.8	1818.0	1507.0
	16	559.0	1467.0	1206.1	1956.6	2025.7	1593.6
	18	707.5	1753.7	1390.5	2298.0	2428.9	1804.5
	20	873.5	1996.0	1553.0	2650.8	2784.9	1972.3
	22	1056.9	2335.9	1780.7	3017.8	3290.0	2232.7
TİP II-B	18	747.0	1818.0	1543.1	2337.5	2377.1	1934.4
	20	922.2	2181.9	1776.4	2699.5	2857.7	2200.5
	22	1115.9	2343.1	1892.6	3076.8	3076.2	2287.9
	24	1328.0	2806.7	2193.4	3471.1	3707.8	2636.9
	26	1558.6	3241.5	2483.4	3883.7	4304.6	2962.3
	28	1807.6	3646.6	2763.7	4315.5	4868.0	3265.6
TİP II-C	22	1233.9	2782.5	2399.9	3194.7	3400.5	2845.1
	24	1468.4	3040.3	2576.0	3611.5	3716.4	3006.9
	26	1723.3	3514.0	2882.6	4048.5	4304.3	3338.8
	28	1998.7	3745.5	3051.6	4506.6	4592.1	3477.7
	30	2294.4	4419.7	3486.9	4986.3	5430.9	3970.2
	32	2610.5	4857.9	3786.3	5488.0	5970.3	4272.3
	34	2947.0	5455.9	4202.9	6012.1	6750.4	4726.4

	L (m)	Prefabrike Kiriş			Kompozit Kiriş		
		M_u	ΦM_n	$1.2*M_{cr}$	M_u	ΦM_n	$1.2*M_{cr}$
TIP III-A	14	483.8	1498.2	1233.5	1999.4	2063.2	1678.1
	16	631.9	1799.3	1419.5	2406.2	2483.8	1892.0
	18	799.8	2058.4	1584.0	2819.0	2860.3	2061.9
	20	987.4	2427.4	1814.6	3243.8	3401.2	2324.8
TIP III-B	18	839.3	2228.4	1810.5	2858.5	2913.3	2290.2
	20	1036.1	2564.8	2022.4	3292.5	3367.2	2516.0
	22	1253.7	2890.3	2231.7	3743.2	3808.2	2729.2
	24	1492.0	3509.6	2606.9	4213.0	4652.1	3176.3
	26	1751.1	3947.5	2883.0	4703.3	5253.0	3469.5
TIP III-C	22	1371.7	3335.2	2762.6	3861.2	4079.4	3301.4
	24	1632.4	3579.6	2929.4	4353.4	4382.5	3441.7
	26	1915.8	4060.0	3235.1	4868.1	4978.5	3763.2
	28	2221.9	4529.3	3537.9	5406.3	5561.4	4073.4
	30	2550.7	5212.7	3962.1	5968.7	6411.6	4541.0
	32	2902.1	6062.1	4469.9	6555.9	7469.9	5114.8
	34	3276.2	6609.2	4841.2	7168.3	8208.2	5495.4

Birimler kNm'dir.

Tablo 5.4'de M_u faktörlü moment tesirlerini, ΦM_n taşıma kapasitelerini, $1.2M_{cr}$ çatlama momentlerinin 1.2 katı değerleri ifade etmektedir.

Faktörlü moment tesirleri, Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de verilen zati ve harekeli yüklerden meydana gelen moment tesirleri kullanılarak prefabrike tip kirişler için (4.45), kompozit tip kirişler için (4.44) bağıntıları ile elde edilmiştir. Taşıma kapasiteleri, (4.35) ve (4.39) bağıntıları ile minimum donatı miktarını belirleyen çatlama momentlerinin 1.2 katı, (4.50) ve (4.51) bağıntıları ile hesaplanmıştır.

Kirişler, üzerlerine etkiyen faktörlü momentleri taşımalıdır ve minimum donatı açısından taşıma kapasiteleri $1.2M_{cr}$ 'den büyük olmalıdır. Tablo incelendiğinde bütün tip kirişler ve açıklıklar için $M_u < \Phi M_n$ ve $1.2M_{cr} < \Phi M_n$ olduğu görülmektedir. Bu durum kirişlerin taşıma kapasitesi ve minimum donatı miktarı açısından yeterli olduğunu göstermektedir.

5.4 Tip Kirişleri Gerilme Tahkikleri

Tablo 5.5: Tip Kirişleri Gerilme Özetleri

	L (m)	Yükleme 1		Yükleme 2		Yükleme 3		Yükleme 4	
		σ_{alt}	σ_{ust}	σ_{alt}	σ_{ust}	σ_{alt}	σ_{ust}	σ_{alt}	σ_{ust}
TİP I-A	14	-9.99	0.44	-7.48	-1.70	-5.44	-2.28	1.41	-4.48
	16	-12.12	0.05	-8.84	-2.74	-6.13	-3.48	1.84	-6.04
	18	-14.04	-0.48	-9.89	-4.01	-6.44	-4.93	2.57	-7.82
	20	-17.26	-0.87	-12.13	-5.23	-7.49	-6.43	2.50	-9.63
TİP I-B	18	-10.51	-0.40	-7.48	-3.00	-5.10	-3.71	1.96	-6.28
	20	-12.35	-0.82	-8.61	-4.03	-5.59	-4.90	2.24	-7.75
	22	-14.01	-1.35	-9.48	-5.24	-5.79	-6.29	2.78	-9.41
	24	-16.60	-1.99	-11.21	-6.62	-6.53	-7.90	2.77	-11.28
TİP I-C	22	-9.17	-0.97	-6.38	-3.41	-4.23	-4.13	1.49	-6.60
	24	-9.48	-1.58	-6.16	-4.49	-3.75	-5.30	2.45	-7.98
	26	-10.98	-1.97	-7.08	-5.39	-4.16	-6.35	2.51	-9.24
	28	-12.25	-2.55	-7.73	-6.51	-4.31	-7.62	2.83	-10.71
	30	-14.45	-3.10	-9.26	-7.65	-5.05	-8.97	2.55	-12.25
	32	-16.22	-4.00	-10.31	-9.18	-5.35	-10.67	2.71	-14.16
	34	-17.59	-5.25	-10.92	-11.09	-5.25	-12.73	3.26	-16.41
TİP II-A	14	-8.39	-0.23	-6.50	-2.21	-4.93	-2.71	0.33	-4.93
	16	-8.81	-0.89	-6.34	-3.48	-4.49	-4.09	1.63	-6.66
	18	-10.44	-1.33	-7.32	-4.60	-4.94	-5.38	1.98	-8.29
	20	-11.59	-2.27	-7.74	-6.31	-4.86	-7.22	2.80	-10.45
	22	-13.72	-3.17	-9.05	-8.06	-5.42	-9.17	2.98	-12.71
TİP II-B	18	-7.69	-1.28	-5.39	-3.70	-3.71	-4.29	1.76	-6.83
	20	-9.23	-1.66	-6.38	-4.65	-4.26	-5.39	1.82	-8.21
	22	-9.28	-2.63	-5.84	-6.24	-3.47	-7.07	3.17	-10.16
	24	-11.43	-3.30	-7.33	-7.61	-4.31	-8.62	2.90	-11.97
	26	-13.40	-4.10	-8.58	-9.16	-4.86	-10.37	2.90	-13.97
	28	-15.19	-5.03	-9.61	-10.89	-5.13	-12.32	3.17	-16.17
TİP II-C	22	-6.91	-1.73	-4.73	-4.01	-3.15	-4.63	1.38	-7.02
	24	-7.15	-2.36	-4.56	-5.08	-2.78	-5.78	2.14	-8.38
	26	-8.25	-2.94	-5.20	-6.13	-3.08	-6.96	2.21	-9.75
	28	-8.25	-3.83	-4.71	-7.53	-2.40	-8.44	3.26	-11.43
	30	-10.15	-4.36	-6.09	-8.61	-3.24	-9.70	2.78	-12.88
	32	-5.20	-6.34	-10.04	-3.11	-11.26	3.27	-14.64	-10.95
	34	-12.61	-5.92	-7.40	-11.38	-3.58	-12.79	3.17	-16.36

	L (m)	Yükleme 1		Yükleme 2		Yükleme 3		Yükleme 4	
		σ_{alt}	σ_{ust}	σ_{alt}	σ_{ust}	σ_{alt}	σ_{ust}	σ_{alt}	σ_{ust}
TİP III-A	14	-9.63	0.05	-7.32	-2.16	-5.43	-2.69	0.99	-4.87
	16	-11.34	-0.25	-8.33	-3.13	-5.87	-3.82	1.60	-6.36
	18	-12.59	-0.99	-8.77	-4.65	-5.77	-5.47	2.67	-8.33
	20	-14.80	-1.71	-10.09	-6.22	-6.26	-7.23	3.10	-10.40
TİP III-B	18	-10.05	-0.66	-7.22	-3.39	-5.00	-4.05	1.70	-6.60
	20	-11.29	-1.27	-7.79	-4.64	-5.10	-5.43	2.33	-8.26
	22	-12.39	-2.00	-8.16	-6.07	-4.97	-7.00	3.17	-10.10
	24	-15.46	-2.47	-10.43	-7.33	-6.20	-8.49	2.62	-11.85
	26	-17.28	-3.25	-11.38	-8.95	-6.29	-10.32	3.20	-13.94
TİP III-C	22	-8.90	-1.22	-6.22	-3.83	-4.17	-4.51	1.38	-6.98
	24	-9.03	-1.90	-5.84	-5.01	-3.58	-5.77	2.44	-8.45
	26	-10.08	-2.46	-6.33	-6.10	-3.67	-6.99	2.81	-9.87
	28	-11.03	-3.10	-6.68	-7.33	-3.60	-8.35	3.33	-11.43
	30	-12.83	-3.63	-7.84	-8.48	-4.13	-9.68	3.25	-12.97
	32	-15.28	-4.21	-9.60	-9.73	-5.01	-11.16	2.81	-14.64
	34	-16.61	-5.14	-10.20	-11.37	-4.94	-12.97	3.33	-16.65

Birimler MPa'dır.

Yükleme durumları ve yüklemelerde sağlanması gereken emniyet gerilmeleri Bölüm 4.7'de açıklanmıştır. Tablo 5.4'de yüklemelerde altında prefabrike tip kirişlerinin alt ve üst kenarlarında oluşan gerilmeler gösterilmiştir. Bu gerilmeler emniyet gerilmeleri ile kıyaslandığında gerilmelerin emniyet gerilmelerini sağladığı görülecektir.

6. SONUÇ

Tip kirişlerinin tasarımı, AASHTO tarafından önerilen çekme ve basınç emniyet gerilmeleri esas alınarak yapılmıştır. Ayrıca kirişlerde zati ve hareketli yüklerin kombinasyonundan oluşan faktörlü kesit tesirlerinin, kirişlerin taşıma kapasitelerini aşmaması durumu kontrol edilerek kesit yeterlilikleri irdelenmiştir. Kirişlerde çatlakları sınırlamak ve sünekliliği sağlamak amacı ile maksimum - minimum donatı oranları ve sehim sınırları gibi kurallara uyulmuştur.

Tip kirişlerinin kullanım açıklarının belirlenmesinde en etkili parametrenin emniyet gerilmesi olduğu görülmüştür. Kirişler öngerme uygulama aşamasından servis durumuna kadar çeşitli yükleme durumlarının etkisi altında kalmaktadır. Tip kirişlerde kullanılan öngerme kablosu sayısı, servis durumunda zati ve hareketli yüklerden dolayı açıklık ortasında oluşan çekme gerilmesinin emniyet gerilmesinin altında kalmasını sağlayacak kadar seçilmiştir.

Belirli açıklıklardan sonra kablolarla aktarılan öngerme kuvveti, sadece kiriş yükünün mevcut olduğu öngerme safhasında kirişin altında ve servis aşamasında kirişin üstünde emniyet gerilmelerini aşan basınç gerilmelerinin meydana gelmesine neden olmuştur. Bu durumlarda kesit büyütülmüştür.

Basit kiriş olarak çalışan köprü kirişlerinin mesnet bölgelerinde oluşan gerilmeler zati ve hareketli yüklerin oluşturduğu momentin küçük olması nedeniyle daha çok kiriş boyunca tamamen düz olarak yerleştirilen öngerme kablolarından kaynaklanan gerilmelerdir. Mesnet bölgelerinde öngerme kabloları ile oluşan gerilmeler, kabloların kılıflanması yoluna gidilerek kontrol altında tutulmuştur.

Taşıma kapasitesi açısından ise kirişler herhangi bir yetersizlik göstermemektedir. Kirişler üzerlerine gelen yükü öngerilmeli kablo sayısının arttırılmasıyla rahatlıkla taşıyabilmektedirler. Ancak kablo sayısının arttırılmasının, emniyet gerilmesini aşabilecek basınç ve çekme gerilmeleri doğurabileceği unutulmamalıdır.

Bu durumlar göz önüne alındığında TİP I kirişleri ile geçilebilen açıklıklar TİP I-A kirişleri ile 20 m, TİP I-B kirişleri ile 24 m, TİP I-C kirişleri ile 34 m olarak belirlenmiştir. TİP II kirişlerinde ise geçilebilecek açıklıklar TİP II-A kirişleri ile 22 m, TİP II-B kirişleri ile 28 m ve TİP II-C kirişleri ile 34 m'dir. Son olarak geçilebilecek en büyük açıklıklar TİP III kirişleri kullanıldığında TİP III-A ile 20 m, TİP III-B kirişleri ile 26 m, TİP III-C kirişleri ile 34 m olarak bulunmuştur.

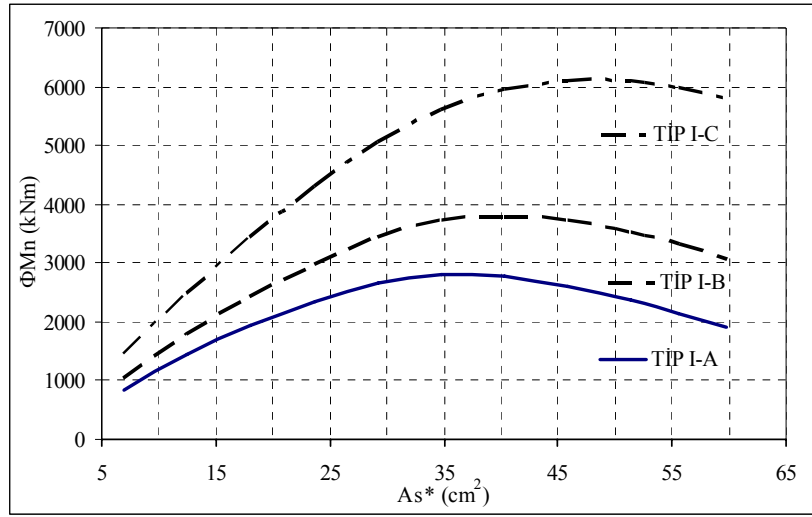
Çakışan açıklıklarda en uygun kirişin belirlenmesi maliyet analizi yapılarak belirlenebilir. EK D'de verilen beton, öngerme kablosu ve boyuna donatı metrajı maliyet konusunda fikir verebilir.

Taşıma kapasitesi ve öngerme kayıplarının öngerme kablosu miktarı ile değişimi EK A ve EK B'de ki şekillerde görülmektedir. Kiriş taşıma kapasiteleri öngerme kablosu miktarının artması ile bir artış gösterse de bu artış azalan bir artıştır ve belli miktarlardan sonra taşıma kapasitelerinde azalım görülmektedir. Öngerme kayıpları kablo miktarı arttıkça azalan bir artış içerisindedir.

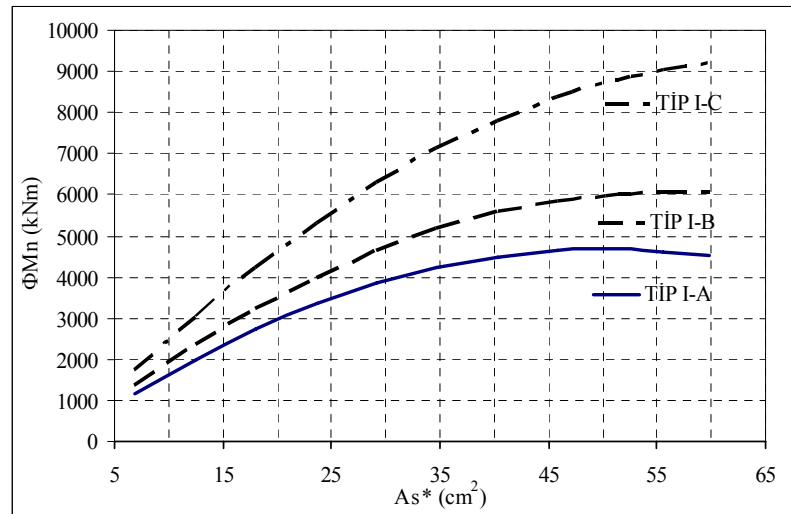
EK A TİP KİRİŞLERİ TAŞIMA KAPASİTESİ ARAŞTIRMASI

Tablo A.1: TİP I Kirişleri Taşıma Kapasiteleri

Kablo Miktarı (cm ²)	Prefabrike Kiriş ΦM_n (kNm)			Kompozit Kiriş ΦM_n (kNm)		
	TİP I-A	TİP I-B	TİP I-C	TİP I-A	TİP I-B	TİP I-C
6.95	852.0	1047.5	1438.7	1169.4	1365.0	1756.2
18.07	1934.0	2438.7	3451.5	2722.7	3228.4	4241.9
29.19	2647.5	3447.4	5063.9	3859.6	4667.4	6292.4
40.31	2766.7	3801.7	5951.3	4499.3	5593.6	7810.0
51.43	2374.7	3538.8	6101.3	4668.3	6022.2	8796.3
59.77	1910.8	3057.9	5802.8	4523.2	6044.5	9203.8



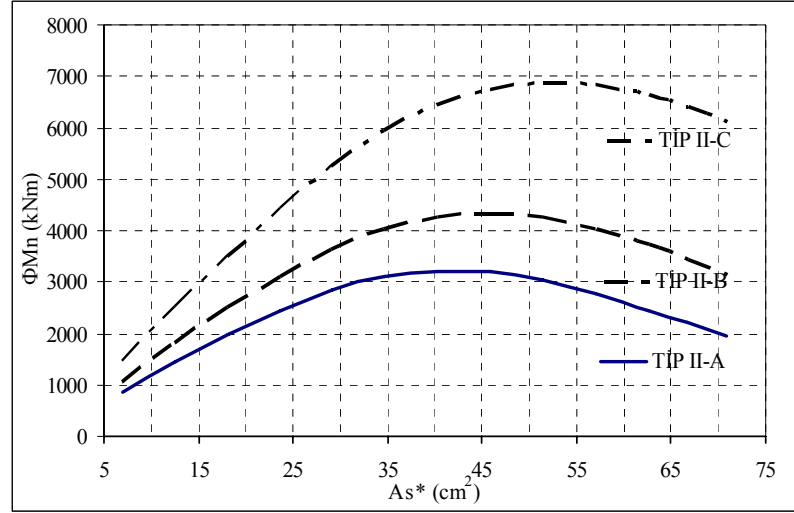
Şekil A.1: TİP I Prefabrike Kirişleri Taşıma Kapasitesi Değişimi



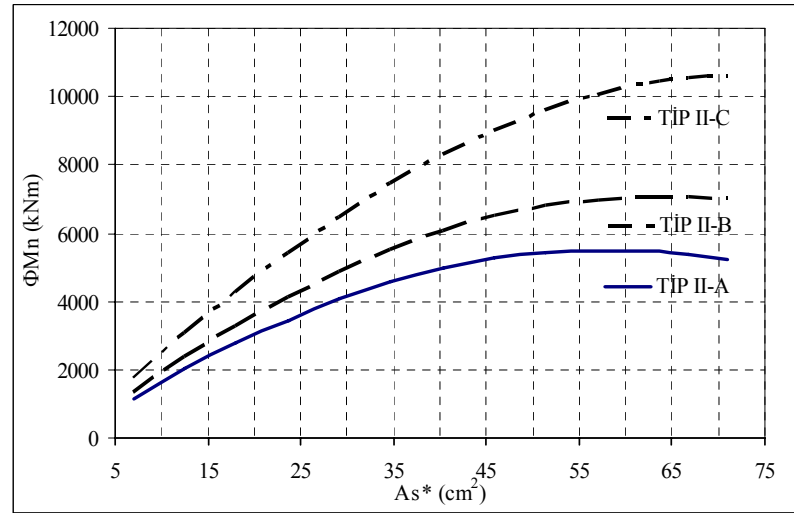
Şekil A.2: TİP I Kompozit Kirişleri Taşıma Kapasitesi Değişimi

Tablo A.2: TİP II Kirişleri Taşıma Kapasiteleri

Kablo Miktarı (cm ²)	Prefabrike Kiriş ΦM_n (kNm)			Kompozit Kiriş ΦM_n (kNm)		
	TİP II-A	TİP II-B	TİP II-C	TİP II-A	TİP II-B	TİP II-C
6.95	852.0	1047.5	1438.7	1169.4	1365.0	1756.2
18.07	1996.0	2500.9	3514.0	2784.9	3290.7	4304.3
29.19	2844.8	3646.6	5265.0	4059.2	4868.0	6494.2
40.31	3218.6	4269.1	6433.9	4980.7	6080.2	8302.3
51.43	3027.6	4249.3	6867.3	5440.3	6809.9	9601.0
62.55	2462.5	3726.6	6647.0	5466.1	7073.9	10420.2
70.89	1955.2	3127.6	6128.2	5237.8	7008.8	10630.3



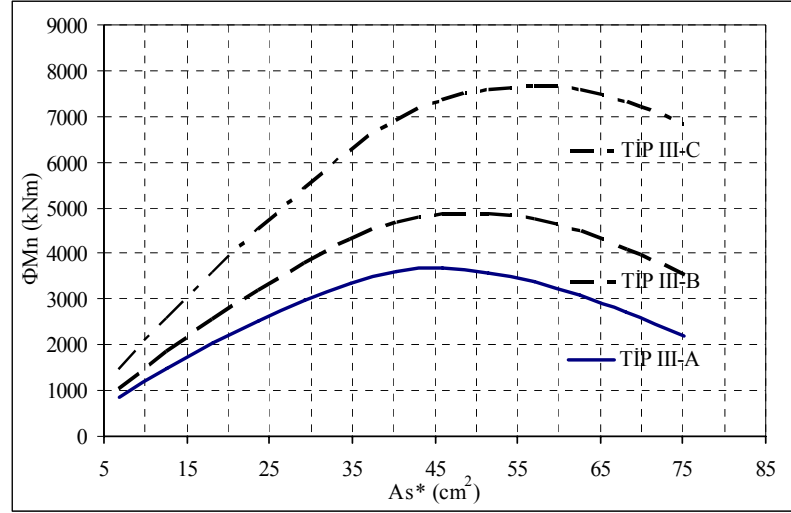
Şekil A.3: TİP II Prefabrike Kirişleri Taşıma Kapasitesi Değişimi



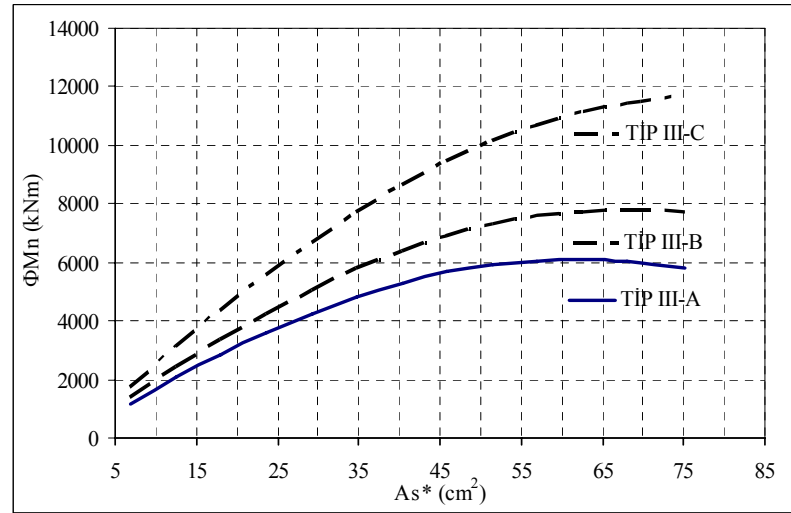
Şekil A.4: TİP II Kompozit Kirişleri Taşıma Kapasitesi Değişimi

Tablo A.3: TİP III Kirişleri Taşıma Kapasiteleri

Kablo Miktarı (cm ²)	Prefabrike Kiriş ΦM_n (kNm)			Kompozit Kiriş ΦM_n (kNm)		
	TİP III-A	TİP III-B	TİP III-C	TİP III-A	TİP III-B	TİP III-C
6.95	862.0	1057.6	1448.9	1181.3	1377.0	1768.3
18.07	2058.4	2564.8	3579.6	2860.3	3367.2	4382.5
29.19	2992.8	3804.0	5435.1	4242.0	5055.7	6688.6
40.31	3602.8	4691.5	6903.4	5302.2	6414.7	8654.6
51.43	3586.6	4888.2	7605.1	5915.2	7313.0	10142.4
62.55	3073.4	4484.8	7588.8	6089.4	7750.9	11143.0
75.06	2204.4	3533.0	6842.3	5813.6	7731.5	11707.7



Şekil A.5: TİP III Prefabrike Kirişleri Taşıma Kapasitesi Değişimi



Şekil A.6: TİP III Kompozit Kirişleri Taşıma Kapasitesi Değişimi

EK B TİP KİRİŞLERDE ÖNGERİLME KAYIPLARI ARAŞTIRMASI

Bu ekte 20 m açıklıklı A tipi, 24 m açıklıklı B tipi ve 32 m açıklıklı C tipi kirişlerde açıklık ortasında öngerilme kayıplarının öngerme donatısı miktarı ile değişimi araştırılmıştır.

SH: Betonun Büzülmesinden (Rötre) oluşan öngerilme kayıplarını,

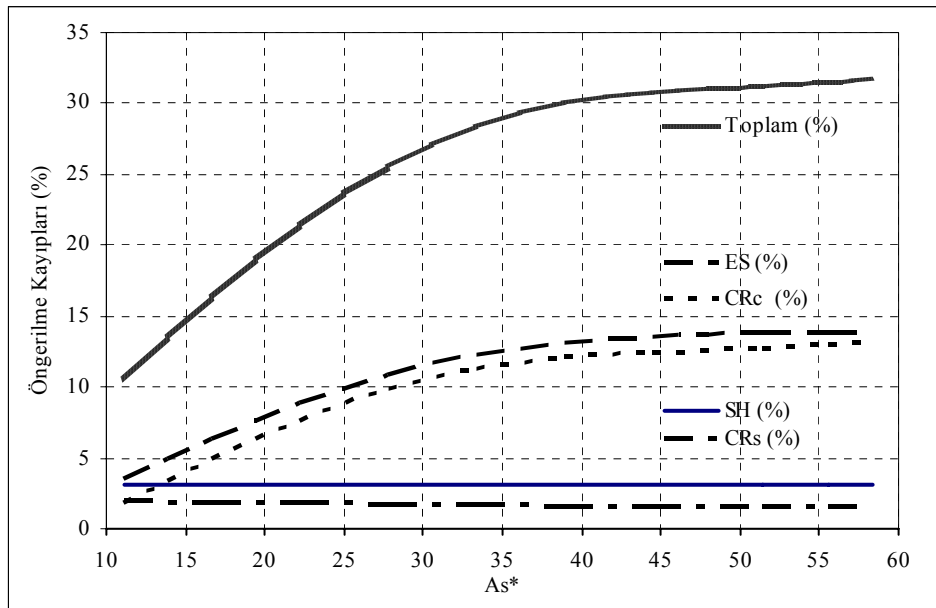
ES: Betonun elastik kısalmasından oluşan öngerilme kayıpları,

CR_c: Betonun sünmesinden oluşan öngerilme kayıplarını,

CR_s: Öngerme çeliğinin gevşeme (relaksasyon) kayıplarını temsil etmektedir.

Tablo B.1: TİP I-A Kirişinde Ayrıntılı Öngerme Kayıpları

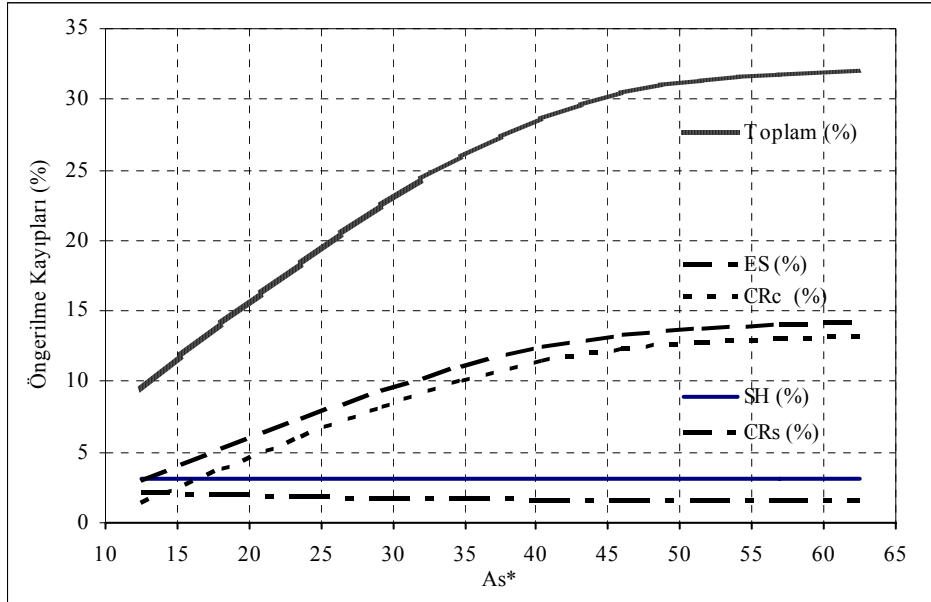
Kablo miktarı (cm ²)	SH (%)	ES (%)	CR _c (%)	CR _s (%)	Toplam (%)
11.12	3.12	3.58	1.82	2.02	10.55
16.68	3.12	6.39	4.96	1.90	16.37
22.24	3.12	8.86	7.68	1.79	21.45
27.80	3.12	10.90	9.86	1.69	25.57
33.36	3.12	12.29	11.29	1.63	28.33
38.92	3.12	13.16	12.13	1.58	30.00
44.48	3.12	13.55	12.47	1.56	30.70
51.43	3.12	13.77	12.75	1.55	31.19
55.60	3.12	13.82	12.97	1.56	31.47
58.38	3.12	13.87	13.19	1.56	31.75



Şekil B.1: TİP I-A Kirişinde Ayrıntılı Öngerme Kayıpları Değişimi

Tablo B.2: TİP II-A Kirişinde Ayrıntılı Öngerme Kayıpları

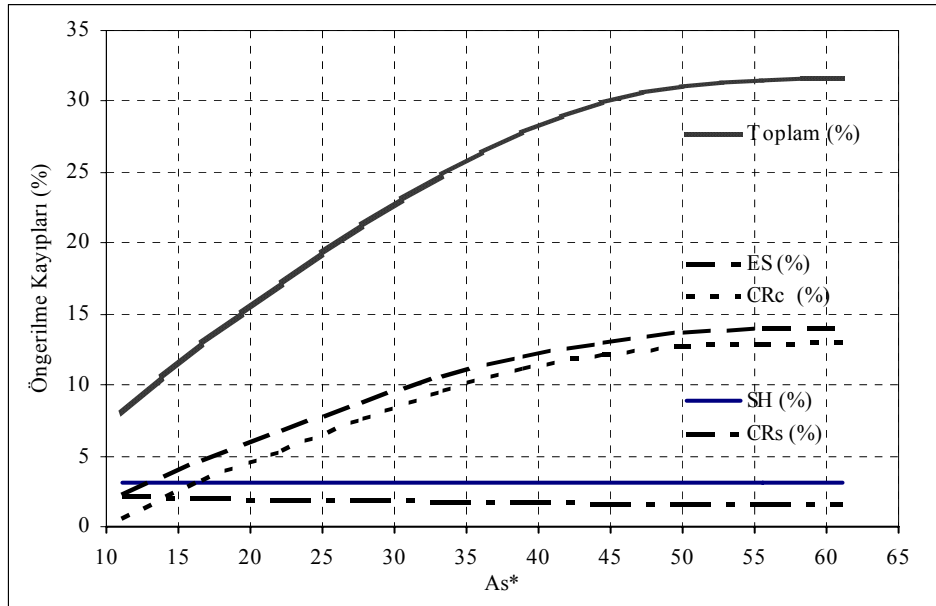
Kablo miktarı (cm ²)	SH (%)	ES (%)	CR _c (%)	CR _s (%)	Toplam (%)
12.51	3.12	3.01	1.36	2.06	9.55
18.07	3.12	5.28	3.87	1.96	14.23
23.63	3.12	7.32	6.09	1.86	18.40
29.19	3.12	9.34	8.26	1.77	22.49
34.75	3.12	11.03	10.05	1.69	25.88
40.31	3.12	12.41	11.47	1.62	28.63
45.87	3.12	13.33	12.38	1.58	30.42
51.43	3.12	13.81	12.82	1.55	31.30
56.99	3.12	14.04	13.04	1.54	31.75
62.55	3.12	14.15	13.23	1.54	32.04



Şekil B.2: TİP II-A Kirişinde Ayrıntılı Öngerme Kayıpları Değişimi

Tablo B.3: TİP III-A Kirişinde Ayrıntılı Öngerme Kayıpları

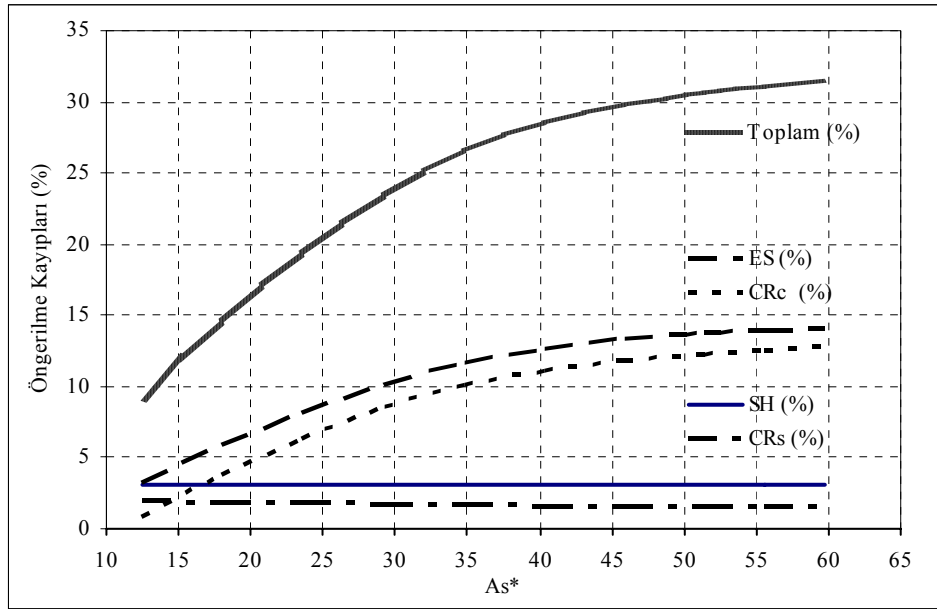
Kablo miktarı (cm ²)	SH (%)	ES (%)	CR _c (%)	CR _s (%)	Toplam (%)
11.12	3.12	2.30	0.56	2.09	8.08
16.68	3.12	4.67	3.18	1.98	12.96
22.24	3.12	6.72	5.43	1.89	17.16
27.80	3.12	8.73	7.61	1.80	21.26
33.36	3.12	10.53	9.53	1.72	24.89
38.92	3.12	12.01	11.08	1.64	27.86
44.48	3.12	13.03	12.10	1.59	29.85
50.04	3.12	13.66	12.69	1.56	31.03
55.60	3.12	13.91	12.91	1.55	31.49
61.16	3.12	14.00	13.02	1.54	31.68



Şekil B.3: TİP III-A Kirişinde Ayrıntılı Öngerme Kayıpları Değişimi

Tablo B.4: TİP I-B Kirişinde Ayrıntılı Öngerme Kayıpları

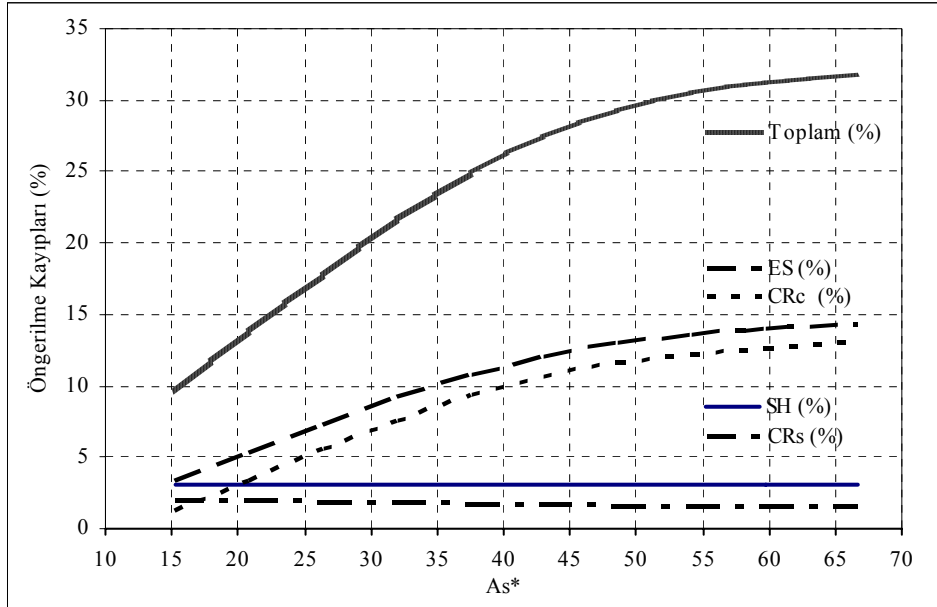
Kablo miktarı (cm ²)	SH (%)	ES (%)	CR _c (%)	CR _s (%)	Toplam (%)
12.51	3.12	3.18	0.83	2.02	9.14
18.07	3.12	5.85	3.80	1.90	14.67
23.63	3.12	8.18	6.35	1.79	19.44
29.19	3.12	10.17	8.51	1.70	23.50
34.75	3.12	11.67	10.10	1.63	26.52
40.31	3.12	12.66	11.12	1.58	28.49
45.87	3.12	13.31	11.80	1.55	29.79
51.43	3.12	13.73	12.27	1.53	30.65
55.60	3.12	13.90	12.52	1.53	31.08
59.77	3.12	14.03	12.79	1.53	31.48



Şekil B.4: TİP I-B Kirişinde Ayrıntılı Öngerme Kayıpları Değişimi

Tablo B.5: TİP II-B Kirişinde Ayrıntılı Öngerme Kayıpları

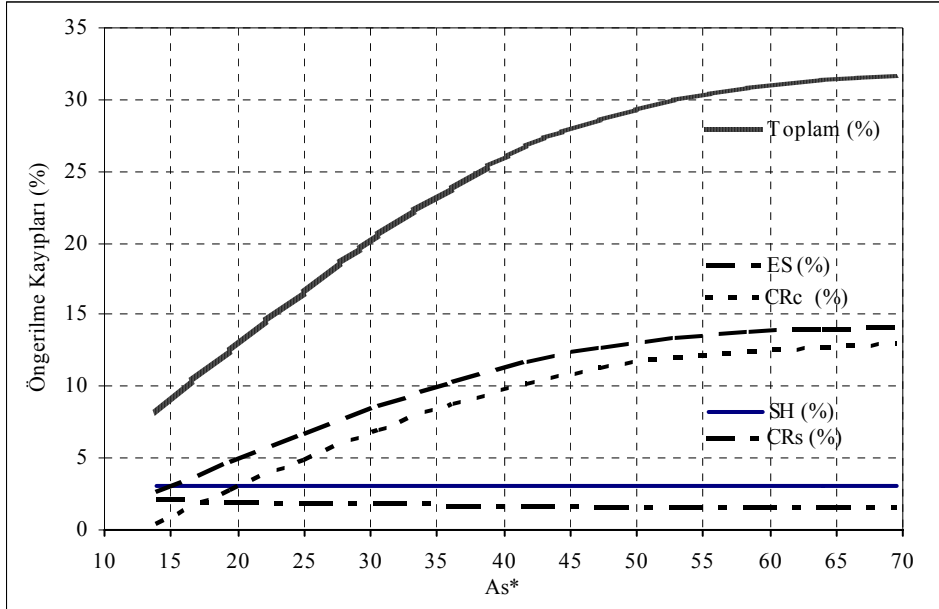
Kablo miktarı (cm ²)	SH (%)	ES (%)	CR _c (%)	CR _s (%)	Toplam (%)
15.29	3.12	3.30	1.20	2.02	9.64
20.85	3.12	5.32	3.43	1.93	13.80
26.41	3.12	7.30	5.57	1.84	17.83
31.97	3.12	9.18	7.58	1.75	21.64
37.53	3.12	10.82	9.32	1.68	24.94
43.09	3.12	12.07	10.63	1.62	27.44
48.65	3.12	12.97	11.56	1.57	29.23
54.21	3.12	13.60	12.20	1.54	30.46
59.77	3.12	13.95	12.58	1.53	31.18
66.72	3.12	14.22	12.97	1.52	31.82



Şekil B.5: TİP II-B Kirişinde Ayrıntılı Öngerme Kayıpları Değişimi

Tablo B.6: TİP III-B Kirişinde Ayrıntılı Öngerme Kayıpları

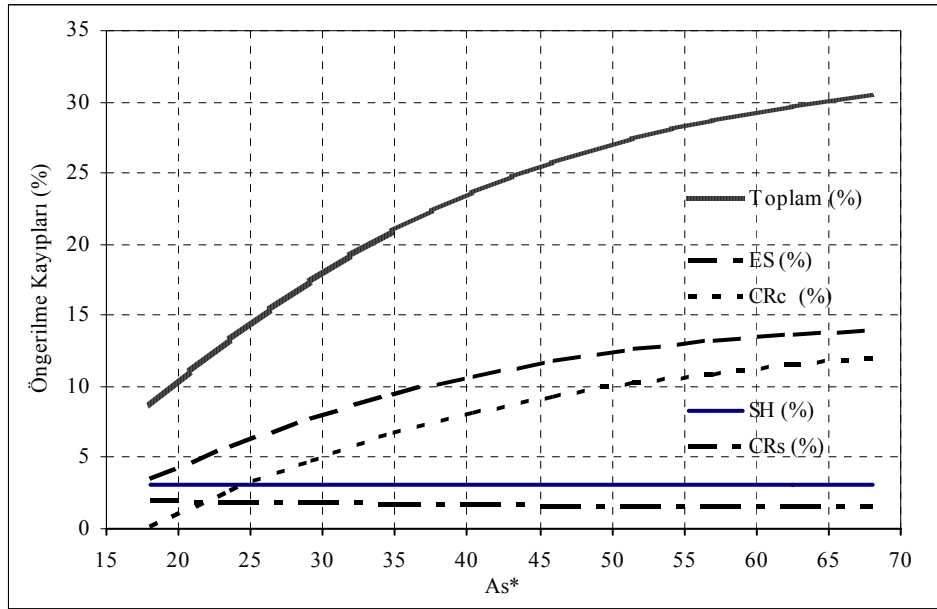
Kablo miktarı (cm ²)	SH (%)	ES (%)	CR _c (%)	CR _s (%)	Toplam (%)
13.90	3.12	2.62	0.45	2.05	8.25
19.46	3.12	4.72	2.75	1.96	12.55
25.02	3.12	6.70	4.91	1.87	16.60
30.58	3.12	8.66	7.01	1.78	20.57
36.14	3.12	10.30	8.76	1.70	23.89
41.70	3.12	11.70	10.25	1.63	26.71
47.26	3.12	12.68	11.26	1.59	28.65
52.82	3.12	13.36	11.95	1.55	29.98
58.38	3.12	13.80	12.40	1.53	30.86
63.94	3.12	14.01	12.67	1.52	31.33
69.50	3.12	14.13	12.91	1.52	31.69



Şekil B.6: TİP III-B Kirişinde Ayrıntılı Öngerme Kayıpları Değişimi

Tablo B.7: TİP I-C Kirişinde Ayrıntılı Öngerme Kayıpları

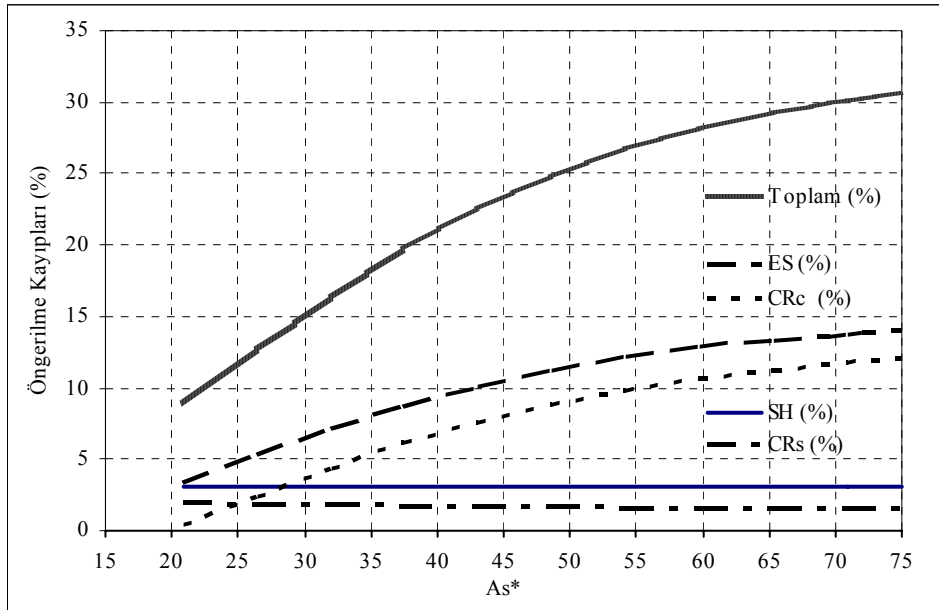
Kablo miktarı (cm ²)	SH (%)	ES (%)	CR _c (%)	CR _s (%)	Toplam (%)
18.07	3.12	3.53	0.18	1.95	8.78
23.63	3.12	5.75	2.64	1.85	13.36
29.19	3.12	7.75	4.84	1.76	17.47
34.75	3.12	9.43	6.68	1.68	20.91
40.31	3.12	10.74	8.13	1.62	23.61
45.87	3.12	11.78	9.28	1.58	25.76
51.43	3.12	12.59	10.20	1.54	27.45
56.99	3.12	13.16	10.89	1.52	28.69
62.55	3.12	13.60	11.46	1.50	29.69
68.11	3.12	13.94	11.98	1.50	30.54



Şekil B.7: TİP I-C Kirişinde Ayrıntılı Öngerme Kayıpları Değişimi

Tablo B.8: TİP II-C Kirişinde Ayrıntılı Öngerme Kayıpları

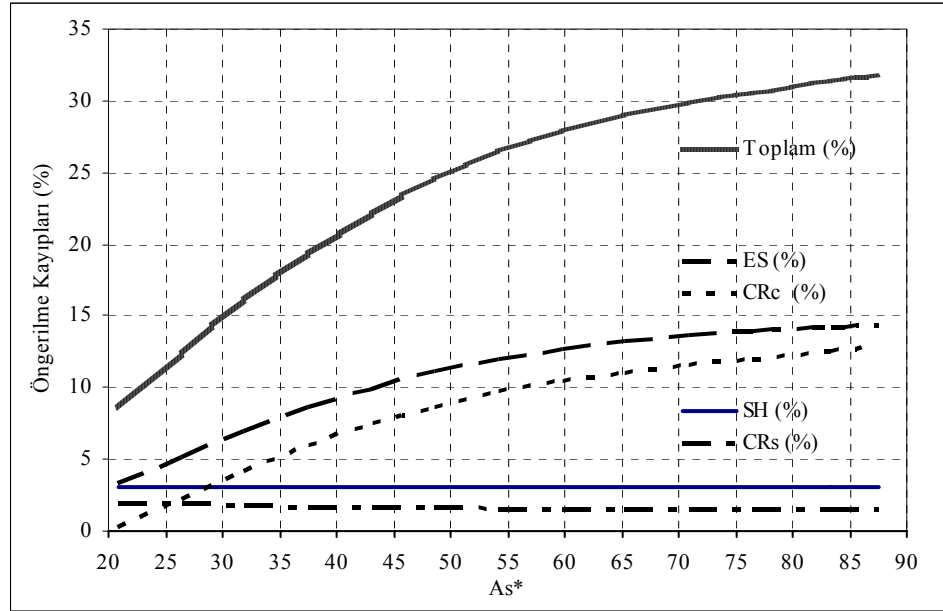
Kablo miktarı (cm ²)	SH (%)	ES (%)	CR _c (%)	CR _s (%)	Toplam (%)
20.85	3.12	3.42	0.43	1.97	8.94
26.41	3.12	5.28	2.44	1.89	12.73
31.97	3.12	7.07	4.37	1.80	16.37
37.53	3.12	8.71	6.13	1.73	19.69
43.09	3.12	10.09	7.62	1.66	22.49
48.65	3.12	11.22	8.85	1.61	24.81
54.21	3.12	12.14	9.85	1.57	26.68
59.77	3.12	12.82	10.61	1.54	28.09
65.33	3.12	13.34	11.23	1.52	29.21
70.89	3.12	13.74	11.74	1.50	30.11
75.06	3.12	13.97	12.08	1.50	30.67



Şekil B.8: TİP II-C Kirişinde Ayrıntılı Öngerme Kayıpları Değişimi

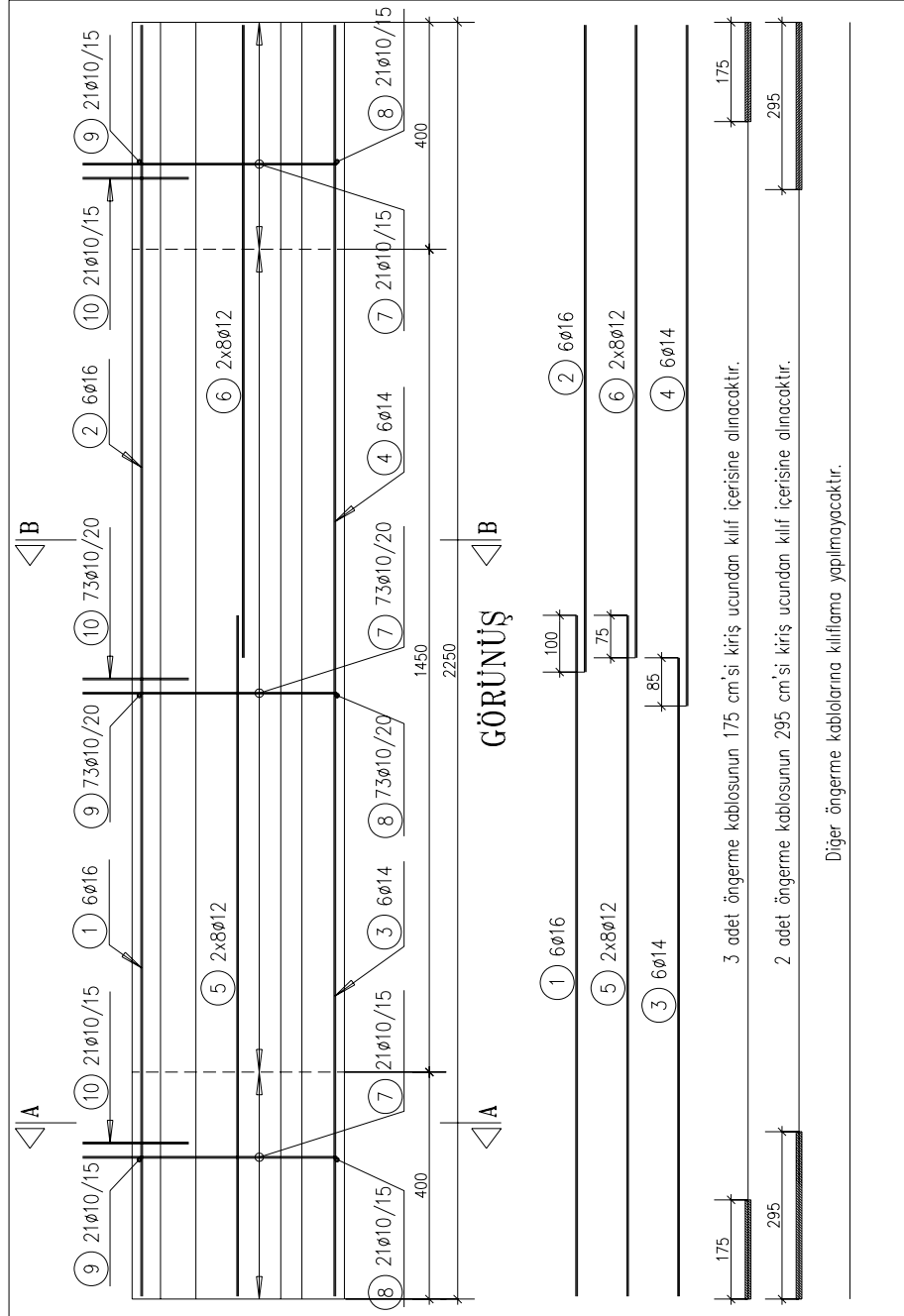
Tablo B.9: TİP III-C Kirişinde Ayrıntılı Öngerme Kayıpları

Kablo miktarı (cm ²)	SH (%)	ES (%)	CR _c (%)	CR _s (%)	Toplam (%)
20.85	3.12	3.31	0.29	1.97	8.70
26.41	3.12	5.17	2.30	1.89	12.48
31.97	3.12	6.96	4.22	1.81	16.11
37.53	3.12	8.59	5.98	1.73	19.42
43.09	3.12	9.97	7.47	1.67	22.23
48.65	3.12	11.11	8.71	1.62	24.56
54.21	3.12	12.03	9.71	1.57	26.44
59.77	3.12	12.72	10.47	1.54	27.86
65.33	3.12	13.24	11.08	1.52	28.97
70.89	3.12	13.64	11.58	1.51	29.85
76.45	3.12	13.91	11.99	1.50	30.53
83.40	3.12	14.19	12.50	1.50	31.31
87.57	3.12	14.33	12.83	1.50	31.78

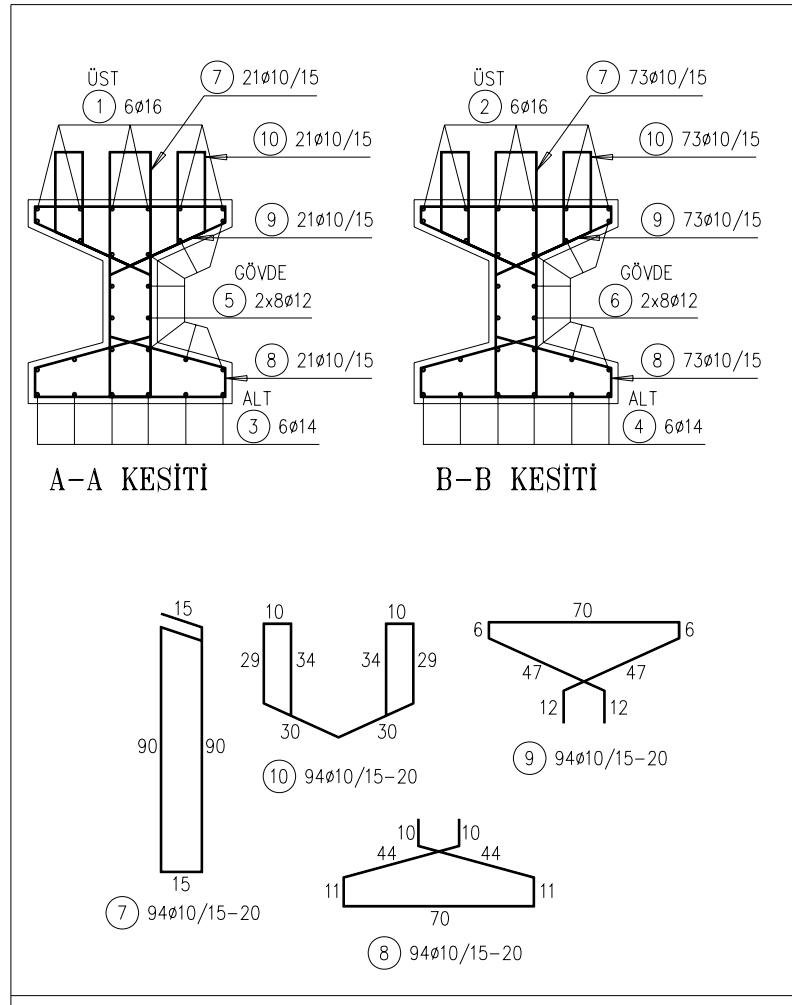


Şekil B.9: TİP III-C Kirişinde Ayrıntılı Öngerme Kayıpları Değişimi

EK C 22 M AÇIKLIKLI TİP II-A KİRİŞİ UYGULAMA DETAYLARI



Şekil C.1: TİP II-A Kiriş Boyuna Donatı Detayları



Şekil C.2: TİP II-A Kirişi Enine Donatı Detayları

EK D KİRİŞ METRAJLARI

Tablo D.1: Tıp Kirişleri Metraj Tablosu

	Kiriş Boyu	Beton Miktarı	Kablo Adedi	Toplam Kablo Boyu	Kiriş Üst Donatısı Miktarı	Kiriş Üst Donatısı Toplam Boyu	Kiriş Alt Donatısı Miktarı	Kiriş Alt Donatısı Toplam Boyu
	(m)	(m ³)	(adet)	(m)	(adet)	(m)	(adet)	(m)
TİP I-A	14	4.21	7	98	6Φ16	84	4Φ12	56
	16	4.81	9	144	6Φ16	96	4Φ14	64
	18	5.42	11	198	6Φ16	108	4Φ16	72
	20	6.02	14	280	6Φ16	120	4Φ14	80
TİP I-B	18	5.96	9	162	6Φ18	108	4Φ16	72
	20	6.62	11	220	6Φ18	120	4Φ16	80
	22	7.28	13	286	6Φ18	132	4Φ18	88
	24	7.94	16	384	6Φ16	144	4Φ16	96
TİP I-C	22	8.60	10	220	6Φ22	132	4Φ14	88
	24	9.38	11	264	6Φ20	144	4Φ20	96
	26	10.16	13	338	6Φ20	156	4Φ18	104
	28	10.94	15	420	6Φ20	168	4Φ20	112
	30	11.73	18	540	6Φ20	180	4Φ16	120
	32	12.51	21	672	6Φ20	192	4Φ16	128
TİP II-A	14	4.80	8	112	6Φ16	84	6Φ10	84
	16	5.48	9	144	6Φ16	96	6Φ12	96
	18	6.17	11	198	6Φ16	108	6Φ12	108
	20	6.85	13	260	6Φ16	120	6Φ16	120
	22	7.54	16	352	6Φ16	132	6Φ14	132
TİP II-B	18	6.71	9	162	6Φ18	108	6Φ14	108
	20	7.45	11	220	6Φ18	120	6Φ12	120
	22	8.20	12	264	6Φ18	132	6Φ18	132
	24	8.94	15	360	6Φ18	144	6Φ16	144
	26	9.69	18	468	6Φ18	156	6Φ16	156
	28	10.43	21	588	6Φ16	168	6Φ16	168
TİP II-C	22	9.52	10	220	6Φ22	132	6Φ12	132
	24	10.38	11	264	6Φ22	144	6Φ16	144
	26	11.25	13	338	6Φ22	156	6Φ16	156
	28	12.11	14	392	6Φ22	168	6Φ22	168
	30	12.98	17	510	6Φ20	180	6Φ18	180
	32	13.84	19	608	6Φ20	192	6Φ20	192
	34	14.71	22	748	6Φ20	204	6Φ18	204
TİP III-A	14	5.04	9	126	6Φ18	84	6Φ10	84
	16	5.76	11	176	6Φ18	96	6Φ14	96
	18	6.48	13	234	6Φ18	108	6Φ16	108
	20	7.20	16	320	6Φ18	120	6Φ16	120
TİP III-B	18	7.02	11	198	6Φ20	108	6Φ14	108
	20	7.80	13	260	6Φ20	120	6Φ16	120
	22	8.58	15	330	6Φ20	132	6Φ18	132
	24	9.36	19	456	6Φ20	144	6Φ16	144
	26	10.14	22	572	6Φ18	156	6Φ16	156
TİP III-C	22	9.90	12	264	6Φ24	132	6Φ14	132
	24	10.80	13	312	6Φ24	144	6Φ18	144
	26	11.70	15	390	6Φ22	156	6Φ20	156
	28	12.60	17	476	6Φ22	168	6Φ22	168
	30	13.50	20	600	6Φ22	180	6Φ20	180
	32	14.40	24	768	6Φ22	192	6Φ18	192
	34	15.30	27	918	6Φ22	204	6Φ18	204

KAYNAKLAR

- [1] **Özden Ö., Eren İ., Trupia A. L., Öztürk T.**, 1998. Öngerilmeli Beton, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [2] **Celasun H.**, 1974. Betonarme Köprüler ve Hesap Metotları, Çağlayan Kitabevi, İstanbul
- [3] **Sıdık Ş.**, 2006. Öngerilmeli Beton, Alp Yayınevi, Ankara
- [4] **Chen W. F., Duan L.**, 2000. Bridge Engineering Handbook, CRC Press, Washington D.C.
- [5] **Collins P. M., Mitchell D.**, 1991. Prestressed Concrete Structures, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey
- [6] **KGM**, Yol Köprüleri için Teknik Şartname, 1973. *Karayolları Genel Müdürlüğü*, Ankara
- [7] **TS-3233**, 1979. Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [8] **AASHTO**, 2002. Standard Specifications For Highway Bridges *Association of Executive Office*, Washington D.C.
- [9] **PCI**, 1985. PCI Design Handbook–Precast and Prestressed Concrete, *Prestressed Concrete Institute*, Chicago

ÖZGEÇMİŞ

31.05.1982 yılında Aydın'da doğan Selahattin Tayfun Sarsık ilk ve orta öğrenimini Muğla'nın Yatağan İlçesi'nde Tek Mehmet Akif Ersoy İlk Öğretim Okulu'nda tamamladı. Yatağan Lisesi'nde lise eğitimini 1999 yılında tamamladıktan sonra Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne girmeye hak kazandı. Lisans eğitimini burada tamamlamasından sonra 2005 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi'nde yüksek lisans eğitimine yapı mühendisliği programında başladı. Şu anda İstanbul Teknik Üniversitesi'nde yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.