



T.C.

**AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SEGMENTAL PREKAST ÖNGERİLMELİ BETON KİRİŞ
TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Khalid WAYSE HASSAN

DANIŞMANI

Prof. Dr. Mustafa KAYA

AKSARAY, 2020

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğın ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Khalid WAYSE HASSAN

TEŞEKKÜR

İlk olarak Allah'a teşekkür ederek başlamak istiyorum. Akabinde, sürekli çabalarımın meyvesi olan bu tezin tamamlanmasında ve bitirmesinde bana verdiği destekten ve tez döneminde gösterdiği sabırdan ötürü Prof. Dr. Mustafa Kaya'ya teşekkür etmek istiyorum. Bu tezi aileme, babama, anneme, karıma, çocuklarıma ve kardeşlerime adıyorum.

Ayrıca kız kardeşlerime ve bu tezde bana yardım eden sevgili dostlarıma da teşekkürlerimi sunarım. Bu tezin hazırlanmasına bana yardımcı olan herkese şükranlarımı sunarım.

Khalid WAYSE HASSAN

AKSARAY, 2020

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Proje İle İlgili Temel Bilgiler	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Tezin Yapısı	3
1.4 Tezin Sınırlandırılması	3
2. LİTERATÜR İNCELEMESİ	4
2.1 Öngerilmeli Beton Segmental Köprünün geliştirilmesi	5
2.2 Eski Projeli Tipik Prekast Segmental Köprüsünün Uygulama ve Tasarım	11
2.3 Malzeme	14
2.3.1 Beton	14
2.3.2 Çelik	16
2.3.3 Öngerilmeli toronları	16
2.3.4 Kanallar	18
3. GEOMETRİ, MODELLEME VE MALZEME ÖZELLİKLERİ	19
3.1 Geometri ve Malzeme	19
3.2 CSI Köprüsü'nde Modelleme	22
3.3 Köprü Modelleri	35
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	37
4.1 Yük Sandıkları	37
4.2 Sonuçların Analizi ve Tartışılması	37
5. SONUÇLAR	57
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	62

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEGMENTAL PREKAST ÖNGERİLMELİ BETON KİRİŞ TASARIMI

Khalid WAYSE HASSAN

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Mustafa KAYA

ÖZET

Bu tez, prekast öngerilmeli segmental tek köprü hücresinin analizi ve tasarımı ile ilgili bilgiler içermektedir. Bu çalışmada, kabloların sonradan germe işlemi, CSI-Bridge yazılımı ve AASHTO LRFD Specified Bridge'e göre yapılmıştır. Geniş açıklıklı, dört şeritli, ön gerilmeli segmental beton köprü tasarımında, değişkenler farklı beton sınıflarının kullanılması, kiriş yüksekliği, kiriş tabanının kalınlığının etkisi, kiriş yan duvarlarının etkisi ve uygulanan ön gerilme kuvvetlerinin etkisi araştırılmıştır.

Bu çalışmada, segmental prekast öngerilmeli beton kirişe en güvenli tasarım modelini elde etmek için farklı kriterlere göre 27 model tasarlanmıştır. Bu kriterler kiriş yüksekliğinin sabit 3 m, veya 3-4,5 m arasında değişken olması, kiriş taban kalınlığının sabit 0.25 m veya 0.25-0.5 m arasında değişken olması, kiriş yan duvarlarının kalınlığının değişken olması, (0.45, 0.5 veya 0.55 m) olması, segmental köprü hücrelerinin üretilmesinde C28, C42 veya C55 sınıfında betonlardan birisinin kullanılması ve bu segmentlerin birbirine montajlarında uygulanan art çekme kuvvetlerinin (3000, 3500, 4000) KN etkisinin kirişlerde oluşacak kesit tesirlerine etkisini araştırılmıştır.

Sonuç olarak belirtilen kriterlere göre tasarlanan 27 modelden C55 ve C42 beton kullanılan modellerden çoğunun analizlerinde bu kirişlerin AASHTO LRFD şartnamesinde belirtilen yükleri güvenli olarak taşıyabildiği fakat C28 beton kullanılan modellerin bu şartnamede belirtilen yükleri güvenli bir şekilde taşıyamadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Öngerilmeli Beton Kiriş, Prefabrik Segmental Kiriş.

Ocak, 2020; 62 Sayfa

M.Sc.THESIS

SEGMENTAL PRECAST PRESTRESSD CONCRETE GIRDER DESIGN

Khalid WAYSE HASSAN

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa KAYA

ABSTRACT

This thesis contains information on the analysis and design of the precast pre-stressed concrete segmental single bridge cell. In this structure, post-tensioning of the cable tendon with a large cross-sectional area, four traffic lanes according to AASHTO LRFD Specified, designed the Bridge by CSI-Bridge software, foundations of pre-stressed concrete, and losses in the pre-tensile strength, wide span, variable depth and resistance to shear force in the web girder, and varying in the thicknesses of bottom slab.

In this study 27 models were designed with some different criteria to get the best model of design segmental precast pre-stressed concrete beam, these criteria are depth of girder with constant (3) m and variable (3 – 4.5) m, and the different of the thickness bottom slab (0.25 – 0.5) m, varies the thickness of web girder (0.45, 0.5, 0.55) m, and different value of post-tension tendon stress (3000, 3500, 4000) KN, with the three different concrete grade C28, C42, C55.

As a result, in the analysis of 27 models designed according to the specified criteria, C55 and C42 concrete Grade was used, it was observed that these beams could safely carry the loads specified in the AASHTO LRFD specification, but the models using C28, concrete grade could not safely bear the loads specified in this specification.

Key Words: Prestressed Concrete Beam, Precast Segmental Beam.

Jan, 2020; 62 Pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Öngerilmeli beton kirişler.....	1
Şekil 1.2. Segmental öngerilmeli beton köprü.....	2
Şekil 2.1. Tek hücreli 25.2 m genişliğinde Lemah Ireng II Köprüsü, Endonezya Cumhuriyeti.....	4
Şekil 2.2. Sonrası gerginlik Ankrajı Sonlandır Tendon.....	6
Şekil 2.3. Yerinde gerilmiş sandık kirişli köprü kirişinin yerleştirilmesi.....	7
Şekil 2.4. Choisy-le-Roi'deki Seine Nehri Köprüsü (1962-1965).....	7
Şekil 2.5. Digby yakınlarındaki Nova Nehri Köprüsü, Nova Scotia, ABD (1962-1972).	8
Şekil 2.6. Kömürhan köprüsü, Malatya-Elazığ, Türkiye.....	10
Şekil 2.7. İmrahor viyadüğü, Ankara, Türkiye.....	10
Şekil 2.8. Tipik tek hücreli iki sandık kirişli çapraz kesit ve boylamsal açıklık.....	11
Şekil 2.9. Tipik tek hücreli iki sandık kirişli çapraz kesit boyutu.....	11
Şekil 2.10. Tipik tek hücreli sandık kirişli çapraz kesiti	12
Şekil 2.11. Tipik çok hücreli sandık kirişinin kesiti [1].....	12
Şekil 2.12. Öngerilmeli beton köprü tipi tipik açıklık aralıkları.....	13
Şekil 2.13. Yarım konsolun yükselmesi.....	14
Şekil 2.14. Öngerilmeli tendon.....	17
Şekil 2.15. Halat kanalı.....	18
Şekil 3.1. Sandık kirişinin kesiti (Orta aralıkta).....	19
Şekil 3.2. Sandık kirişinin kesiti(iç iskelede).....	19
Şekil 3.3. Köprüde kullanılan verilerin yazılıma girmesi.....	21
Şekil 3.4. Köprü düzeni iletişim kutusu.....	22
Şekil 3.5. Köprü şeridi veri iletişim kutusu.....	22
Şekil 3.6. Köprü eğimi veri iletişim kutusu.....	23
Şekil 3.7. Köprü taşıyıcısı verisi iletişim kutusu.....	23
Şekil 3.8. AASHTO iletişim kutusuna göre araçlar.....	24
Şekil 3.9. Araç sınıfı verileri ve ölçek faktörü iletişim kutusu.....	25
Şekil 3.10. İletişim kutusu yük şablonu.....	25
Şekil 3.11. Yük dağıtım tipi.....	26
Şekil 3.12. Hat yükü dağılım tipi.....	26
Şekil 3.13. Hat yükü dağıtım iletişim kutusu.....	26
Şekil 3.14. Alan yük dağılımının tipi.....	27
Şekil 3.15. Alan yükü dağıtım iletişim kutusu.....	27
Şekil 3.16. Köprü nesnesinin menü çubuğu.....	27
Şekil 3.17. Segmental köprü konusu veri iletişim kutusu.....	28
Şekil 3.18. Segmental köprü açıklığı birleşimi iletişim kutusu.....	28
Şekil 3.19. Segmental köprü kesiti değişim aralığı iletişim kutusu.....	29
Şekil 3.20. Köprü konusu köprü ayağı verileri iletişim kutusu.....	29
Şekil 3.21. Köprü nesnesi bent verileri iletişim kutusu.....	30
Şekil 3.22. Segmental köprü tanımlanan tendonu iletişim kutusu.....	30
Şekil 3.23. Segmental köprü konsol tendonunu tanımla iletişim kutusu.....	31

Şekil 3.24. Segmental köprü tendon verilerini tanımla iletişim kutusu.	31
Şekil 3.25. Yük durumu veri iletişim kutusu.	32
Şekil 3.26. Ayarlanmış yükün çalışma analizi.	32
Şekil 3.27. İstenen köprü tasarımı yük kombinasyonunun tanımlanması.	33
Şekil 3.28. Kutu kiriş köprü kesit görünümü.	33
Şekil 3.29. Düz kutu kiriş köprü ve kesit görünüm planı.	34
Şekil 3.30. Üç boyutlu kutu kiriş köprü görünümü.	34
Şekil 3.31. Kutu kiriş köprü kesit görünümü.	35
Şekil 3.32. Segmental prekast öngerilmeli beton konsol yöntemi yapımı.	35
Şekil 4.1. C28, C42 ve C55 sınıf betonlarda kayma gerilmesi.	38
Şekil 4.2. C28, C42 ve C55 sınıf betonda ilgili bükme momenti tablosu.	39
Şekil 4.3. C28, C42 ve C55 sınıf betonda eğilme gerilmesi şeması.	40
Şekil 4.4. C28, C42 ve C55 sınıf betonda yer değiştirme tablosu.	40
Şekil 4.5. Köprünün üst kısmındaki boylamasına gerilme (S11).	422
Şekil 4.6. Köprünün Alt kısmındaki boylamasına gerilme (S11).	43
Şekil 4.7. Ağın üst kısmında ana gerilme aralığı.	44
Şekil 4.8. Ağın Altı kısmında ana gerilme aralığı.	44
Şekil 4.9. Yatay eksen etrafındaki eğilme momenti C42 (M3).	45
Şekil 4.10. Beton Kayma kapasitesi oranı C42.	46

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Segmental sandık kirişli standartları AASHTO-PCI-ASBI.	9
Çizelge 2.2. Öngerilmeli beton köprü tipleri için tipik açıklık aralıkları.....	13
Çizelge 2.3. Tablo C5.4.2.11 - sınıfına göre beton karışımı özellikleri.....	15
Çizelge 2.4. AASHTO LRFD'den verilen ön germe telinin ve çubuğun özellikleri.....	16
Çizelge 2.5. Öngerilmeli halatın özellikleri - yedi tel, kaplamasız (ASTM A416/A416 M) 270 derece (pu = 1861 Mpa) düşük gevşeme.....	17
Çizelge 3.1. Sandık kirişinin kesit özellikleri.	20
Çizelge 3.2. Malzemenin özellikleri.	21
Çizelge 3.3. Köprüde uygulanan yükler.	24
Çizelge 3.4. Betonda Tasarım Köprüsünde Kullanılan Kriterler.....	36
Çizelge 4.1. Uygulanan yük durumu sonucunun tanımlanmış kombinasyonu.....	37
Çizelge 4.2. C28, C42 ve C55 sınıf betonlarda kayma gerilmesi.	38
Çizelge 4.3. C28, C42 ve C55 sınıf betonda bükme momenti gerilmesi.....	39
Çizelge 4.4. C28, C42 ve C55 sınıf betonda eğilme gerilmesi.	39
Çizelge 4.5. Beton C28, C42 ve C55 sınıf betonda yer değiştirme.	40
yer değiştirme (mm).....	40
Çizelge 4.6. C28 sınıf betonda gerilme kuvveti tipine göre yük kombinasyonunun kontrolü.....	41
Çizelge 4.7. C42 sınıf betonda gerilme kuvveti tipine göre yük kombinasyonunun kontrolü.....	41
Çizelge 4.8. C55 sınıf betonda gerilme kuvveti tipine göre yük kombinasyonunun kontrolü.....	42
Çizelge 4.9. C28, C42 ve C55 sınıfında segmental köprünün üst ve altındaki boylamasına gerilme sonucu.	43
Çizelge 4.10. C28, C42 ve C55 sınıflarla ilgili segmental köprüde ağı üst kısmında ve alt kısmında ana gerilme sonucu.	44
Çizelge 4.11. C28, C42 ve C55 sınıfında giriş köprü bölümündeki eğilme gerilmesinin sonucu.	46
Çizelge 4.12. C28, C42 ve C55 sınıfında segmental köprüsü beton Kayma kapasitesi oranı sonucu.	47
Çizelge 4.13. Derinlik kirişi (3m) ve alt levhanın kalınlığı (0.25m) ile sabit olduğunda, ağ kalınlığı (0.5) m, ve tendon geriliminin gerilme sonrası değeri (4000) KN olduğunda C28, C42 ve C55 beton sınıflarının tüm durumlarında talep edilen tüm gerilim tasarımlarının sonucu.	48
Çizelge 4.14. Alt levhanın kalınlığı sabit olduğunda, ve derinlik kirişin değişken olduğunda ve ağ kirişinin kalınlığı (0.5 m) olduğunda ve tendon geriliminin gerilme sonrası değeri (4000) KN olduğunda C28, C42 ve C55 beton sınıflarının tüm durumlarında talep edilen tüm gerilim tasarımlarının sonucu.....	49
Çizelge 4.15. Derinlik kirişi (3 m) sabit olduğunda ve alt levhanın kalınlığı (0.25-0.5) m değişken olduğunda, ağ kirişinin kalınlığı (0.5 m) olduğunda ve tendon geriliminin gerilme sonrası değeri (4000) KN olduğunda C28, C42 ve C55 beton sınıflarının tüm 50	
Çizelge 4.16. Derinlik kirişi ve alt levhanın kalınlığı değişken olduğunda, ağ kirişinin kalınlığı (0.5 m) olduğunda ve tendon geriliminin	

	gerilme sonrası değeri (3000) KN olduğunda C28, C42 ve C55 beton sınıflarının tüm durumlarında talep edilen tüm	51
Çizelge 4.17.	Derinlik kirişi ve alt levhanın kalınlığı değişken olduğunda, ağ kirişinin kalınlığı (0.5 m) olduğunda ve tendon geriliminin gerilme sonrası değeri (3500) KN olduğunda C28, C42 ve C55 beton sınıflarının tüm durumlarında talep edilen tüm	52
Çizelge 4.18.	Derinlik kirişi ve alt levhanın kalınlığı değişken olduğunda, ağ kirişinin kalınlığı (0.5 m) olduğunda ve tendon geriliminin gerilme sonrası değeri (4000) KN olduğunda C28, C42 ve C55 beton sınıflarının tüm durumlarında talep edilen tüm gerilim tasarımlarının sonucu.	53
Çizelge 4.19.	Derinlik kirişi ve alt levhanın kalınlığı değişken olduğunda, ağ kirişinin kalınlığı (0.45 m) olduğunda ve tendon geriliminin gerilme sonrası değeri (4000) KN olduğunda C28, C42 ve C55 beton sınıflarının tüm durumlarında talep edilen tüm gerilim tasarımlarının sonucu.	54
Çizelge 4.20.	Derinlik kirişi ve alt levhanın kalınlığı değişken olduğunda, ağ kirişinin kalınlığı (0.50 m) olduğunda ve tendon geriliminin gerilme sonrası değeri (4000) KN olduğunda C28, C42 ve C55 beton sınıflarının tüm durumlarında talep edilen tüm gerilim tasarımlarının sonucu.	55
Çizelge 4.21.	Derinlik kirişi ve alt levhanın kalınlığı değişken olduğunda, ağ kirişinin kalınlığı (0.55 m) olduğunda ve tendon geriliminin gerilme sonrası değeri (4000) KN olduğunda C28, C42 ve C55 beton sınıflarının tüm durumlarında talep edilen tüm gerilim tasarımlarının sonucu.	56

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

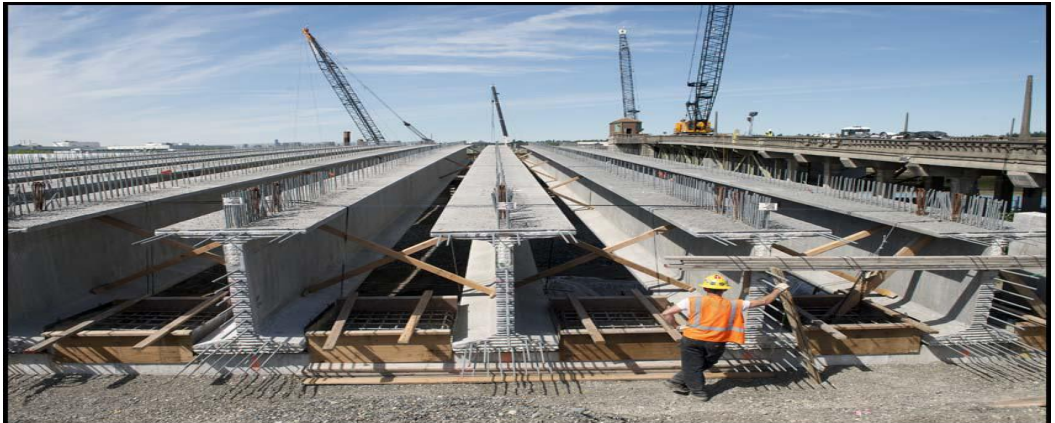
f'_c	ACI318'de (2008) beton için öngörülen 28 günlük basınç dayanımı
f_y	çelik akma dayanımı
p_u	Gerilme direnci
KN/m^2	Metrekare başına Kilonewton: $1,000 \text{ kN/m}^2 = 1 \text{ MPa}$
MPa	Megapaskal: $1 \text{ MPa} = 145 \text{ psi}$
M_3	Yatay eksen hakkında moment
M_2	Dikey eksen hakkında moment
P	Kuvvet
T	burulma
V_2	Dikey Kesme Kuvveti
V_3	Yatay Kesme Kuvveti
StrI	Yük Kombinasyonlarının Dayanımı
SerI	Yük Kombinasyonları Servisi I
Dreq1	Gerilme için istenen tasarım
Dreq2	Ana Gerilme için istenen tasarım
Dreq3	Bükülme Gerilme için istenen tasarım
Dreq4	Kayma Gerilme için istenen tasarım

1. GİRİŞ

1.1 Proje İle İlgili Temel Bilgiler

Köprü, bir engelden kolayca geçmek için yapılmış bir yapıdır. Bahsi geçen engel, nehir, su yolu, kanal, vadi, otoyol, demiryolu vb. olabilir. Geçmişte, köprüler, iki farklı alan arasında sağladıkları bağlantı nedeniyle, bir yerin gelişmesinde ve gelişen ticaret ve ekonomide önemli bir rol oynamıştır. Günümüzde teknolojinin gelişmesi nedeniyle, farklı teknik ve malzemelerin kullanımına bağlı olarak uzun açıklıklı köprü inşaatı yaygın hale gelmiştir. En yaygın köprülerden biri öngerilmeli beton köprülerdir. Bu köprüler çelik ve betonarme gibi diğer alternatiflerle karşılaştırıldığında hızlı inşaat kolaylığı ve ekonomik maliyetleri nedeniyle kullanılmaya başlanmıştır.

1889 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde inşa edilen California, San Francisco'daki Alvord Gölü Köprüsü, ilk beton köprüdür. Daha büyük köprüler için 1950'lere kadar kemerli betonarme köprüler kullanılmış, ancak 1960'ların sonunda çoğunlukla öngerilmeli beton köprüler kullanılmıştır. Köprü inşaatını hızlandırmak için, Şekil 1.1'de gösterildiği gibi öngerilmeli beton kullanılmıştır. Bu beton saha dışında üretilip sahaya taşınır ve sahada, ilgili yerde kurulur. Hizmet kolaylığını ve dayanıklılığını artırmak için kullanılan yüksek mukavemetli malzemeler, 1950'lerden bu yana köprü açıklığının arttırılmasında katkıda bulunmuştur [1].



Şekil 1.1. Öngerilmeli beton kirişler [2].

Son yıllarda, öngerilmeli beton köprülerin kullanımı hızla artmıştır. Hız ve inşaat kolaylığı, düşük maliyet ve minimum bakım nedeniyle, uygulama sürecinde trafikte herhangi bir bozulma olmamıştır.

Şekil 1.2’de gösterilen segmental köprünün inşası, 1950’de Avrupa’da başlamıştır. Almanya’daki Lahn Nehri’nden geçip, daha sonra 1962’de Fransa’daki Seine Nehri boyunca inşa edilmiştir. Bu tür köprülerin temel avantajları, uygulama hızı, yapım kolaylığı ve trafikte meydana gelen bozulmaların azaltılmasıdır.

Köprü mühendisliğinde, segmental sandık kirişli köprüler, son yıllarda dıştan gerdirilmiş köprüler olarak geliştirilmiştir. Oysaki “klasik” monolitik yapılarda, segmental bir köprü, dış tendonlarla birlikte gerilen küçük prekast elemanlarından oluşur. Uzun açıklıklı köprüler ve çok açıklıklı su geçişleri, tasarımcıları ve müteahhitlerinin çoğunun segmental köprülerle ilgilenmesine yol açtı. Güvenli ve dayanıklı segmental yapılar sağlamak için AASHTO tarafından kılavuz ilkelerin sağlanması önemli görünmektedir.



Şekil 1.2. Segmental öngerilmeli beton köprü [3].

1.2 Tezin Amacı

Tez çalışmasının amacı segmental prekast prefabrik beton köprüsünün (Sandık kirişli Köprü) tasarımı üzerinde bir inceleme yapmaktır. Böyle bir köprü, tek bir hücre, dört şerit, kayma dayanımı için derinlik ve taban kalınlığında değişkenlik, orta kaldırıma sahip iki yaya (sol ve sağ) yolu ve köprünün her iki yanında iki kenar kaldırımı içerir. Uzun açıklıklı ve çeşitli sandık kiriş derinliği için, sandık kirişli Köprünün öngerilmeli kablosunu dengeli konsol yöntemi kullanarak tasarlamıştır. Tasarım şartnamesinde, inşaat aşaması sırasında iskelede maksimum eğilme momentini, öngerilme kuvvetini, tel sayısını ve kablo düzenlemesini belirlemek için önemli verilerdir. Tasarım CSI-bridge-2017-v19.1 yazılımı ve AASHTO kullanılarak yapılacaktır. Bunlar çalışmanın analiz ve tasarım prosedürlerinin tamamında kullanılacaktır.

1.3 Tezin Yapısı

Tezde dünyadaki köprülerin tarihsel gelişimine ilişkin bir incelemeye başlanacaktır. Daha sonra farklı tipteki yazılım ve el hesaplamalarını kullanarak prekast segmental öngerilmeli köprüsünün tasarım ve analizine gerçekleştirilecektir. Bundan sonra köprü tasarımı için kullanılan malzemenin özelliklerine değinecektir.

Köprü tasarımından önce köprünün kavramsal tasarımı ana adım olarak izlenecektir. CSI bridge kullanarak segmental köprünün ve onun gereksinimlerinin modellenmesi Bölüm 3'te açıklanacaktır. Köprü için malzemenin kullanımı ilgili kurallara göre açıklanacaktır. Sonrasında, köprünün analiz ve tasarım sonuçları açıklanacak, karşılaştırılacak ve daha sonra detaylı olarak tartışılacaktır.

1.4 Tezin Sınırlandırılması

Tezde, prekast segmental ön gerilmeli beton köprünün tasarımını ve analizini ele almıştır. Köprü genişliğinin artması, malzemelerin geliştirmesi ve yazılım, bu tezin üzerinde durduğu ana konulardır.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Köprü tasarımı ülkenin coğrafi şartlarına dayanmaktadır ve her ülke, yükleme ve mesnet koşulları gibi kendi standartlarına ve kriterlerine sahiptir. Modern ulaşım sisteminde, otoyoldaki köprülerin ana noktaları emniyet, kalite ve toplam maliyetini sağlamaktır. Örneğin, gelişmiş ülkelerin çoğunda sismik etkiler, yoğun yağış, yoğun kar yağışı, dağlık arazi, ülkede kullanılan farklı tür taşıtlar gibi doğal koşullar ve çevresel koşullar için kendi kuralları vardır. Sonuç olarak, kullanılan ana kurallar ASSHTO LRFD Köprü Tasarım Şartnamesi Kuralları, Yapısal tasarım için IRC (Indian Road Congress) standardı ve Eurocode EN 1992-2 Beton yapılar için tasarım, Beton köprüler: tasarım ve detaylandırma kuralları [4].

Buna göre [5], yapısal verimlilik, daha iyi istikrar, hizmet verilebilirlik, inşaat ekonomisi ve estetik nedeniyle, sandık kirişleri, otoyol ve köprülerde geniş kabul görmüştür. 25m'den büyük olan ve Şekil 2.1'de belirtildiği gibi daha geniş köprü tabliyesi bulunan uzun açıklıklı köprüler, eksantrik yük altında, çapraz kesitin uzunlamasına ve enine bozulması durumu ile karşı karşıya kalırlar. Bu nedenle, bu gibi kirişli köprüler, köprü tabliyesindeki bozulmanın etkisini minimumda tutmak için, yüksek burulma direncine ihtiyaç duyarlar.



Şekil 2.1. Tek hücreli 25.2 m genişliğinde Lemah Ireng II Köprüsü, Endonezya Cumhuriyeti [6].

İki yatay plaka flanşlarla birleştirildiğinde bir sandık kirişi oluşturulur. Sandık kirişi genellikle öngerilmeli beton, yumuşak çelik veya betonarmeden oluşan kompozit bir yapıdır. Kesit, tipik olarak dikdörtgen veya yamuk şeklindedir. Ayrıca, Amerika Birleşik Devletleri'nin batı kesiminde, müteahhitlerin tecrübesi sonucunda betonarme sandık kirişli köprü inşaatı oldukça gelişmiştir. Kaliforniya Ulaştırma Bakanlığı (Caltrans), 1950'lerin başlarında sandık kirişli köprüler kurmaya başladı. 1960'lı yılların başlarında öngerilmeli beton kiriş teknolojisinin ortaya çıkmasından sonra Caltrans, birçok gerdirilmiş betonarme köprü kirişinin inşasıyla ekonomiye daha fazla katkıda bulundu. Gerdirilmiş sandık kirişli köprü inşaatında yapılan iyileştirmeler, 20. yüzyılın ikinci yarısında Amerika Birleşik Devletleri'nde devam etti [1].

2.1 Öngerilmeli Beton Segmental Köprünün geliştirilmesi

[7], öngerilmeli beton yapı ile konvansiyonel betonarme yapı arasındaki farkın, kullanımdan önce yapıya ilk yük uygulanmasının sonucu olduğunu belirtmiştir. İlk yükü veya ön germeyi uygulamanın nedeni, yapının hizmet süresi boyunca ortaya çıkan gerilmelerin engellenmesini sağlamaktır. 1928'de Eugene Freyssinet (Fransa) öngerilme için yüksek güçte yüksek mukavemetli çelik teller kullanmaya başladı. Freyssinet, çeliğin ankraj olmadan betona bağlandığı ön germe yöntemini de denemiştir. Ancak bu denemelere rağmen, bu yöntemin ilk pratik uygulaması Hoyer.E tarafından yapılmıştır [8].

1939'da Freyssinet, sonradan germe amacıyla demirler için konik takozlar ve çift etkili krikolar geliştirmiştir (Şekil 2.2). Bu nedenle sıkça öngerilmeli betonun babası [9] olarak bilinir. 1938'de Hoyer.E (Almanya) tarafından ön germe yöntemi geliştirildi. Daha sonra 1939'da Freyssinet ve Magnel.G. (Belçika) düz takozlar kullanarak germe sonrası için bir sabitleme sistemi geliştirdi [8]. İkinci Dünya Savaşı sırasında, öngerilmeli ve prekast beton uygulamaları hızla artmıştır. Örneğin, Guyon, Y., (Fransa) batı ve orta Avrupa'da bir çok öngerilmeli beton köprü inşa etti. Abeles, P. W., (İngiltere) kısmi öngerilme kavramını ortaya koydu.

Leonhardt, F., (Almanya), Mikhailov, V., (Rusya) ve Lin, T. Y., (ABD) öngerilmeli beton alanında ünlü isimlerdir [9].

1945 – 1948’de Freyssinet’in öngerilmeli beton köprüler için prekast segmental yapı kullanan ilk kişi olduğunu belirtmiştir. 1948’in başlarında, Paris yakınlarındaki Marne Nehri üzerindeki beş köprünün inşası için öngerilmeli beton kiriş kullanılmıştır. Bu köprülerde Freyssinet, özellikle hafif görünümde olan 74 m. açıklıklar kullanılmıştır. Profesyonel bir örgüt olan Uluslararası Öngerilmeli Beton Federasyonu (FIP), 1952 yılında Avrupa’da kurulmuştur [8].

1954’te ABD’de Prefabrik/Öngerilmeli Beton Enstitüsü (PCI) kuruldu. Öngerilmeli beton, çerçeve, park yapıları, stadyumlar, demiryolu traversleri, iletim hattı direkleri ve diğer yapı ve eleman türlerinin yapımında [7] kullanılmaya başlandı.



Şekil 2.2. Sonrası gerginlik Ankrajı Sonlandır Tendon [10].

Bilinen ilk prekast segmental köprü inşaatı, 1952’de New York Eyaletinde bulunan tek açıklıklı bir köprüydü. Köprü kirişleri, uzunlamasına ön-dökümden yapılmış üç prekast segmentten oluşmaktadır. Prekast segmentler sertleştikten sonra şantiyeye nakledilir ve soğuk derzlerle sonradan gerilme işlemi yapılır [7].

Özetle, bu dönemde Avrupa’da uzun açıklıklı öngerilmeli beton köprü yapım tekniklerinin geliştirildiği ve Almanya’da Dyckerhoff ve Widmann, Inc firması tarafından yapılan yerinde döküm konsol segmental konstrüksiyonunun geliştirildiğini görüyoruz. Yerinde döküm segmental yapımı teknolojisi, 1962’de

Paris'in güneyindeki Seine Nehri zerindeki Choisy-le-Roi Köprüsü'ndeki prekast bölümlerle kullanılmak üzere uyarlandı ve bu köprü 1965'te ana açıklığı 55m olmak üzere tamamlandı. Jean Muller tarafından tasarlanan ve Enterprises Campenon Bernard tarafından Choisy-le-Roi Köprüsü [7]. (ekil 2.3 ve ekil 2.4) yapılmıştır.



Şekil 2.3. Yerinde gerilmiş sandık kirişli köprü kirişinin yerleştirilmesi [1].



Şekil 2.4. Choisy-le-Roi'deki Seine Nehri Köprüsü (1962-1965) [11].

Kuzey Amerika'daki prekast segmental sandık kirişli köprü inşaatının bilinen ilk uygulaması, Quebec'teki Lievre Nehri üzerinde bir otoyol köprüsü dr. Lievre Nehri Köprüsü 1967 yılında inşa edilmiş ve 40 m'lik u açıklıkları ile 79 m'lik bir ana alana sahiptir. Digby yakınındaki ekil 2.5'de gösterilen Nova Riveria Bear Nehri Köprüsü 81m boyundadır. Bu kiriş altı adet i açıklık ve 62m ebadında son açıklık içerir. Bear

River Bridge, Aralık 1972’de trafiğe açılmıştır. ABD’de ilk prefabrik sandık kirişli köprü, Corpus Christi, Teksas yakınlarında inşa edildi ve 1973’te trafiğe açılmıştır [1].



Şekil 2.5. Digby yakınlarındaki Nova Nehri Köprüsü, Nova Scotia, ABD (1962-1972) [12].

AASHTO-PCI-ASBI Segmental Sandık Kiriş Standartı 1988 yılında oluşturulmuştur ve oluşturma amacı, orta ve kısa vadeli köprüler için, açıklığı 61 m’den ve genişliği 13,5’ten az olan tek hücreli prekast beton kiriş segmentinin standart kesitlerinin geliştirilmesiydi. Bahsedilen standard, Chicago’da Ortak Komite tarafından Ekim 1994’de AASHTO-PCI-ASBI, Illinois’de kabul edildi. Köprü Tasarım Şartnamesine dayanarak, köprüyü oluşturan segmentler bir kereden fazla çoğaltıldıkları için, çalışmanın kolaylaştırmasını ve inşaat maliyetinin düşürmesini sağlarlar. Bir tür şablon segment kullanması, başlangıçtaki tasarım için standart kesitlerinin geliştirilmesine yardımcı olur. “Metrik birimlerde standardize edilmiş segmental sandık kiriş kesitlerinin gelişimi 1998’de PCI/ASBI tarafından tamamlandı ve yayınlandı. Komitenin çalışmasının bir sonraki adımı, önerilen standart kesitlerinin tasarım örneklerini oluşturarak değerlendirmektir” [1, 7,].

Öngörilmeli Beton Enstitüsü (PCI) ve Amerikan Segmental Köprü Enstitüsü (ASBI) tarafından oluşan ortak bir komite, 30-45 m açıklıklarda, 30-60 m aralıklı dengeli konsol yapımı ve 8,4-13,5m.genişliğindeki köprü tabliyeleri oluşturmak için kullanılan prekast segmental sandık kirişli kesitler için bazı standartlar geliştirmiştir. Amerika Birleşik Devletleri’ndeki farklı köprü tasarım ofislerinden Komite üyeleri tarafından tasarım örnekleri ile standart tasarım taslakları oluşturulmuştur

(Prekast/Öngerilmeli Beton Enstitüsü, Amerikan Segmental Köprü Enstitüsü, Eylül 1996). Bu kesitler, aşağıdaki Çizelge 2.1 gösterildiği gibi inşaat yöntemi, köprü açıklığı ve dengeli konsol inşaatı nedeniyle iki grupta ayrılmıştır.

Çizelge 2.1. Segmental sandık kirişli standartları AASHTO-PCI-ASBI.

İnşaat Yöntemi	Derinlik mm	Açıklık m	Genişlik m	“A” mm
Açıklık ardından açıklık	1800	30.5 - 45.7	8.4 – 11.4	0 – 1500
			11.4 – 13.5	0 - 1350
Dengeli Konsol İnşaatı	1800	30.5 – 61.0	8.4 – 11.4	0 – 1500
			11.4 – 13.5	0 - 1350
Açıklık ardından açıklık	2100	30.5 - 45.7	8.4 – 11.4	0 – 1500
			11.4 – 13.5	0 - 1350
Dengeli Konsol İnşaatı	2100	30.5 – 61.0	8.4 – 11.4	0 – 1500
			11.4 – 13.5	0 - 1350
Açıklık ardından açıklık	2400	30.5 - 45.7	8.4 – 11.4	0 – 1500
			11.4 – 13.5	0 - 1350
Dengeli Konsol İnşaatı	2400	30.5 – 61.0	8.4 – 11.4	0 – 1500
			11.4 – 13.5	0 - 1350
Dengeli Konsol İnşaatı	2700	30.5 – 61.0	8.4 – 11.4	0 – 1500
			11.4 – 13.5	0 - 1350
Dengeli Konsol İnşaatı	3000	30.5 – 61.0	8.4 – 11.4	0 – 1500
			11.4 – 13.5	0 - 1350

Öngerilmeli/sonradan gerilmeli sandık kirişli köprü tipi dünyada ve Türkiye'de giderek daha yaygınlaşmaktadır. Türkiye'de inşa edilen bazı segmental kirişli köprülere örnekler şöyledir:

- Malatya, Kömürhan Köprüsü (1986 yılında hizmete açılan köprü), Şekil 2.6'da gösterilmiştir ve 76,5 m, 135 m - 76,5 m açıklık uzunluğu mevcut.
- Ankara, İmrahor Viyadüğü, Şekil 2.7'de gösterilmiştir, 72 m - 4 x 115 m - 72 m. açıklıklı.
- Giresun, Gülburnu Köprüsü, 82.5 m-165 m. -82.5 m açıklıklı.
- Artvin, Ortaköy Viyadüğü, 78 m - 78 m açıklıklı [13].



Şekil 2.6. Kömürhan köprüsü, Malatya-Elazığ, Türkiye [13].

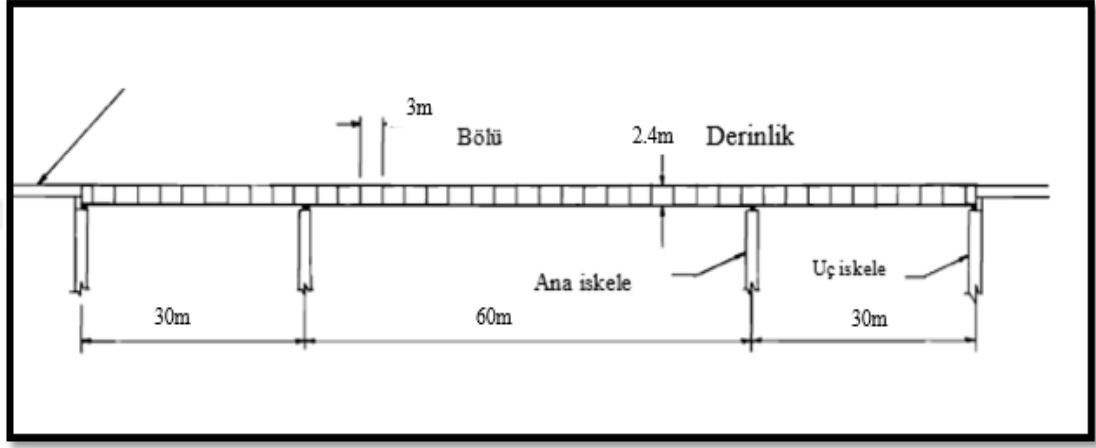


Şekil 2.7. İmrahor viyadüğü, Ankara, Türkiye [13].

Kompozit olmayan sandık kirişi genellikle dengeli konsol yöntemiyle kullanılır. Sandık kirişi, içi boş sandık şeklinde kiriş içeren ana kiriştir. Segmentin kendi ağırlığını azaltmak için çeşitli segment derinliği uygulanabilir. İnşaat aşamasında, kirişlerde yüksek asimetric devrilme momentlerinden kaçınmak için sandık kirişinin, konstrüksiyonundan simetrik olarak dışa doğru inşa edilmesi gerekir [14].

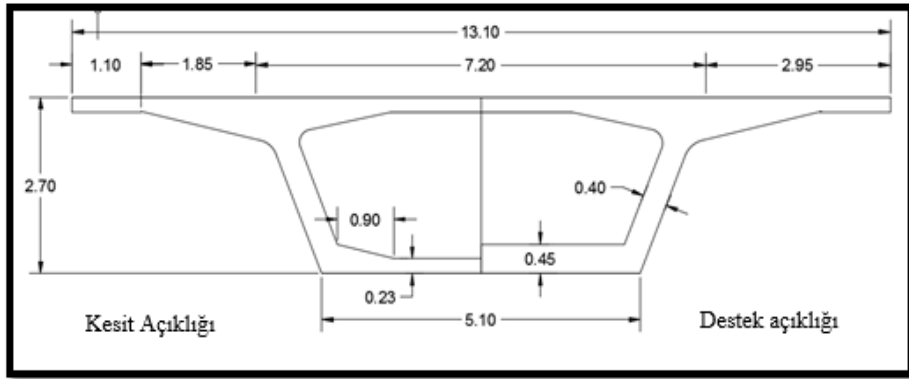
2.2 Eski Projeli Tipik Prekast Segmental Köprüsünün Uygulama ve Tasarım

[15], üç açıklıklı (30.5, 61.0 ve 30.5) m iki sandık kirişli tek hücreli bazı bölümleri analiz etti. Daha sonra Falsework'de yapılan köprü için, "minimum" maliyete sahip bir tasarıma götürecek boyutlar olarak iki açıklıklı (55m) belirlendi. Bu nedenle, minimum maliyet tasarımını elde ederek, yapısal problemi matematiksel olarak ifade ederek tasarımı optimize etmişlerdir. (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Tipik tek hücreli iki sandık kirişli çapraz kesit ve boylamsal açıklık [15].

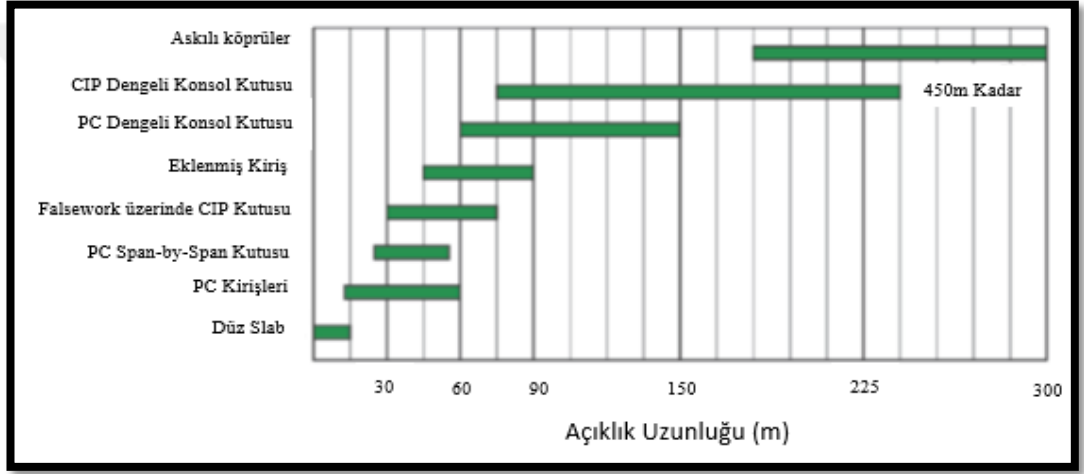
[16], Prekast Dengeli Konsol Köprüyü, AASHTO LRFD Köprü Tasarım Şartnameleri kullanılarak Tasarladı. Bu tasarımda 2700-2 Kesit Tipi, AASHTO-PCI-ASBI Standardına göre tasarlanmıştır. Köprü üç iç açıklık 61.0 m ve iki uç açıklıktan 45.7 m oluşan beş aralıklı prekast segmentten oluşmaktadır. Köprü tabliyesinin genişliği 13.1 m, kesit derinliği ise maksimum 2.7 m'dir, derinlik oranı ile 22 ve aşağıdaki şekil 2.9 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Tipik tek hücreli iki sandık kirişli çapraz kesit boyutu [16].

Çizelge 2.2. Öngerilmeli beton köprü tipleri için tipik açıklık aralıkları [1].

m olarak ifade edilen açıklık	Köprü Tipi
0 - 45 m	I-tipi öngerilmeli kiriş
38 - 90 m	Prekast segmental sabit derinlik
80 - 135 m	Prekast segmental değişken derinlik
120 – 180 m	Yerinde döküm segmental
180 – 360 m	Prekast segmental kirişlerle kablo bağlantısı
360 m up	Asma köprü

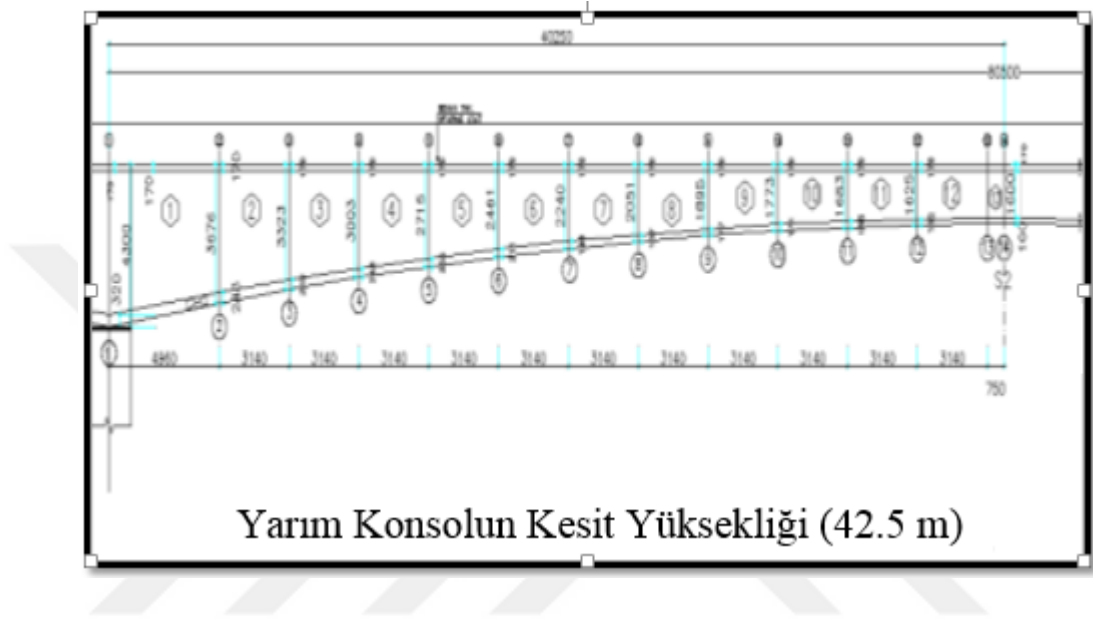


Şekil 2.12. Öngerilmeli beton köprü tipi tipik açıklık aralıkları [1].

[17], bu makalede, Microsoft Excel çalışma tablosu ve “Balcal Bridge 2.0” (‘Balance cantilever Bridge 2.0’) yazılımı kullanılarak, konsol yöntemiyle Box Girder Köprüsü'nün ön tasarım prosedürleri sunulmaktadır. Mevcut analiz ve tasarım yazılımının uygulanması genellikle pahalıdır ve sıklıkla kullanılmayan, özel bir yazılımın satın alınması çok maliyetlidir. Kuşkusuz, el ile hesaplamalar kullanarak gerilme sonrası kablonun tasarım aşamalarında birçok matematiksel denklem ve tekrar eden hesaplamalar da gereklidir. Dolayısıyla nihai sonuçların elde edilmesinde, zaman ve doğruluk faktörleri önem kazanacaktır.

[18], “Prekast Öngerilmeli Segmental” sandık köprü hücresinin analiz ve tasarımını ve “yapı destekleyici sütunlarla” inşa edilen Süper-yapıda çift hücreli ve segmental sandık derinliği çeşitlerini incelemiştir. İnceleme sonunda, Hint yasalarının hükümleri

kullanılmıştır (I.R.C). Tasarım (SAP2000 veya CSIBRIDGE) yazılımı tarafından uygulanmıştır. Bu nedenle, segmental sandık kirişinin seçimi, aşağıdaki nedenlerle 80.5 m açıklıktaki geleneksel prekast kirişlere kıyasla daha ekonomiktir. Her segmentin ağırlığı, geleneksel kirişe kıyasla çok daha az olduğu için, inşaat için düşük kapasiteli vinçler gerekecektir. Kablo kısıtlamaları fayda sağlayabilir ve bu da yapının toplam maliyetini önemli ölçüde azaltır (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Yarım konsolun yükselmesi [18].

2.3 Malzeme

2.3.1 Beton

AASHTO LRFD Köprü Tasarım Şartnamelerine göre, önerilmeli beton ve tabliyeler için minimum basınç dayanımı 28 Mpa'den az olmamalıdır. Prekast kirişlerde kullanılan ve tesis şartlarında üretilen betonun avantajları, PC kirişlerinde kullanılan daha yüksek elastisite modülü, büzülme ve buhar kürü işlemidir.

Farklı uygulamalar AASHTO LRFD madde 5.4.2.1'de bazı talimatlar verilmiştir. AASHTO LRFD Köprü Yapım Şartnamesinde verilen her bir beton sınıfı için mukavemet, minimum çimento içeriği, maksimum çimento suyu içeriği, hava içeriği ve kaba agrega dahil beton karışım özellikleri Tablo C5.4.2.1-1'de verilmektedir.

Bu sınıflar aşağıdaki şekilde kullanılmak üzere tasarlanmıştır:

A Sınıfı beton; başka bir sınıfın daha uygun olması dışında ve özellikle de tuzlu suya maruz kalan beton için genellikle tüm yapı elemanları için kullanılır.

B sınıfı beton; temeller, kaideler, büyük iskele milleri ve yerçekimi duvarlarında kullanılır.

C sınıfı beton; çelik ızgara döşemelerinde dolgu vb. için, 4.0 inç kalınlığındaki güçlendirilmiş korkuluklar gibi ince kesitlerde kullanılır.

D sınıfı beton; 28 Mpa'den büyük kuvvetler gerektiğinde kullanılır. Öngerilmeli beton için, nominal agrega büyüklüğünün 19mm ile sınırlandırılmasına dikkat edilmelidir.

S Sınıfı beton; su altında dökülen betonlarda kullanılır [19].

Çizelge 2.3'de AASHTO LRFD Köprü Yapım Şartnamesi, Tablo C5.4.2.1-1'de verilen beton karışım özellikleri ile betonun cinsi ve sınıfı.

Çizelge2.3. Tablo C5.4.2.11 - sınıfına göre beton karışımı özellikleri [19].

Beton sınıfı	Minimum Çimento İçeriği	Maksimum W/C Oranı	Hava İçeriği Aralığı	AASHTOM43 Başına Kalın Agrega (ASTMD448)	28 Günlük Basınç Dayanımı
	Kg/m ³	Kg Per Litter	%	Açıklıkların Kare Boyutu (mm)	Mpa
A	362	0.49	—	25 - No. 100	28
A(AE)	362	0.45	6.0 ± 1.5	25 - No. 100	28
B	306	0.58	—	50- No. 75 ve No. 75 - No. 100	17
B(AE)	306	0.55	5.0 ±1.5	50 - No. 75 and No. 75 ro No. 100	17
C	390	0.49	—	12.5 -No. 100	28
C(AE)	387	0.45	7.0 ±1.5	12.5 - No. 100	28
P	335	0.49	Başka bir yerde	25 -No. 100 50 veya	Başka bir yerde
S	390	0.58	—	25 - No. 100	—
Hafif	335	Sözleşme belgelerinde belirtildiği gibi			

2.3.2 Çelik

Betonarme, 20. yüzyılın en yaygın kullanılan yapısal malzemesidir. Betonun çekme dayanımı düşük olduğundan, çekme kuvvetlerini taşımak için betona çelik çubuklar yerleştirilmiştir. Çekme kuvvetlerine empoze edilmiş yükler veya deformasyonlar veya sıcaklık değişiklikleri veya büzülme gibi yükten bağımsız etkiler neden olabilir. Donatı çeliği AASHTO LRFD Madde 5.4.3'e uygun olacaktır.

AASHTO LRFD Madde 5.4.3.1, sahibinin onayı ile 420 Mpa'den, 450 Mpa'ye kadar akma gerilmesi olan donatı çeliklerinin kullanılmasına izin verir. Takviye çeliğinin elastisite modülü AASHTO LRFD Madde 5.4.3.2.'ye göre 200000 Mpa'dir.

2.3.3 Öngerilmeli toronları

Öngerilmeli toronları yüksek çekme dayanımlı çelik telden ve düşük gevşetmeli, yüksek dayanımlı çubuklardan yapılmıştır. Soğuk çekme işlemi nedeniyle korozyona ve hidrojen bombardımanına karşı nispeten dirençlidir ve AASHTO LRFD köprü inşaat şartnamelerinde belirtildiği üzere aşağıdaki malzeme standartlarına uygun olmalıdır:

- AASHTO M 203/M 203M (ASTM A416/A416M).
- AASHTO M 275/M 275M (ASTM A722/A722M).

Bu çelikler için çekme ve akma dayanımları, Çizelge 2.4'de belirtildiği gibi alınabilir.

Çizelge 2.4. AASHTO LRFD'den verilen ön germe telinin ve çubuğun özellikleri.

Malzeme	Sınıf veya tip	Çap (mm)	Çekme Dayanımı f_{pu} (Mpa)	Akma Dayanımı f_{py} (Mpa)
Halat	1720 Mpa	6 – 15.3	1723	Düşük gevşeme açıklığı için f_{pu} 'nun% 90'ı dışında f_{pu} 'nun% 85'i
	1860 Mpa	9.5 – 15.3	1860	
Bar	Tip 1, Plan	19 - 35	1035	f_{pu} 'nun% 85'i
	Tip 2, Deforme	16- 35	1035	f_{pu} 'nun% 85'i

Köprü yapımında kullanılan en yaygın halat tipleri iki boyutta mevcuttur. Halatlar en yaygın olarak iki nominal boyutta bulunur ve sırasıyla 12.7 mm inç ve 15.3 mm çapındaki yedi telden ve sırasıyla 74.2 mm² ve 140 mm² nominal kesit alanlarından oluşur (Çizelge 2.5) (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Öngerilmeli tendon [20].

Çizelge 2.5. Öngerilmeli halatın özellikleri - yedi tel, kaplamasız (ASTM A416/A416 M) 270 derece (pu = 1861 Mpa) düşük gevşeme.

Boyut (mm)	9.5	11.1	12.7	15.3
Nominal Alan (mm ²)	54.8	74.2	98.7	140
Nominal Ağırlık (Kg l m)	0.43	0.58	0.77	1.1
Minimum Kırılma gücü (KN)	102.3	137.9	183.7	260.7
Maksimum Sıcaklık Çekme Dayanımı (KN)	77	103.6	137.9	195.7
Minimum % 1 genişlemede akma dayanımı (KN)	92.1	124.1	165.5	234.4
Esneklik Modülü 196500 Mpa				

2.3.4 Kanallar

Betonda teller için kullanılan kanallar sert veya yarı sert olmalıdır ve polietilen veya galvanizli demirden yapılmışlardır. Kanallar betonda bir boşluk veya sürekli bir vakum oluşturmak ve tendonu germe sonrası germek için kullanılır. Bu Kanal zamanla eğilim veya korozyondan etkilenebilir, bu nedenle korozyona karşı bariyeri olan kanal malzemelerini dikkatlice seçmeliyiz (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. Halat kanalı [21].

Çizelge 3.1. Sandık kirişinin kesit özellikleri.

Açıklık (m)	47.5 - 80 - 47.5
Köprü tabliyesi Genişliği (m)	18
Şerit sayısı	4
Şerit genişliği (m)	3.6
Omuzların genişliği (m)	1.2

Köprünün, konsol yapım yöntemiyle inşa edilmesi önerildi. Segment köprüsünü tasarlamak için AASHTO LRFD Köprü Tasarım Şartnamesi (2012) kullanılmıştır. Segmentlerdeki tendonlar, Şekil 3.23’de gösterildiği gibi açıklık uzunluğu boyunca döşenmiştir. (32) 'de gösterilen tendonlar referans olarak kirişin merkez çizgisini göz önünde bulundurarak flanşın tepesine simetrik olarak yerleştirilir. 20(15,3 mm) çapa sahip olan üst flanştaki her tendon için gerilme 4000 kN’dir. Tüm tendonların çapaları, dört ankraj kullanarak, ağın yakınındaki flanşın ortasına yerleştirilir.

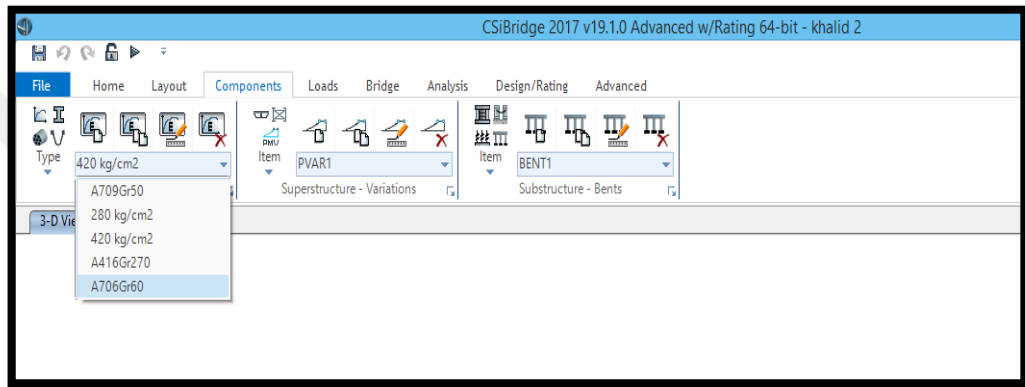
Ayrıca, Şekil 3.23’de, tendonlar döşemenin altına yerleştirildiği belirtilmektedir. (16) içeren tendonlar, ağın merkez hattını göz önüne alarak levhanın tabanına simetrik olarak yerleştirilir. Flanşın tepesindeki her tendonun gerilmesi yaklaşık 4000 kN’dir. Tendonların her biri 20’li (15,3 mm) çapa sahiptir. Her bir taraf için tek olan ankrajın yeri, gösterildiği gibi levhanın tabanından (0.76m) ile ağın ortasına yerleştirilir.

Ayrıca, kirişin derinliği iskelede parabolik perdelerle değişkendir. AASHTO’da LRFD Köprü Tasarım Şartnamesinin C5.14.2.3.10d Maddesinde, aşağıdaki sınırlamalar belirtilmiştir:

- Açıklık merkezinde $1/30 > d_o/L > 1/50$ Derinlik genişlik oranı.
- Kirişin derinliği = $(80/30) = 2.66666 \approx 2.70$ m.
- $d_o/b \geq 1/6$ ($2.7/18$) $< 1/6$ olduğunda tercihen tek bir hücre sandık kullanılmalıdır.
- Ardından orta açıklıktaki kirişin derinliği = $(1/6) * 18 = 3$ m.
İskelede kiriş derinliği: AASHTO’da iskelede değişken derinlik kirişi ile parabolik perdeler.
- LRFD Köprü Tasarım Şartnamesi Madde C5.14.2.3.10d.
- Optimum $1/18 = (L/18)$.
- İskeledeki kirişin derinliği = $(80/18) = 4.44444 \approx 4.5$ m.

- Üst levhanın kalınlığı: (ağ veya ağlar arasındaki açıklık $L/30$)= $(7.0/30) = 0.23 \approx 0.25$ m.
- Orta açıklıkta alt levhanın kalınlığı: 0.25 m.
- İskelede taban levhasının kalınlığı: 0.5 m.
- Segmental yapının uzunluğu: 3.6m.

Beton, güçlendirilmiş çelik malzeme ve tendonlar, yapı için kullanılan ana malzemelerdir. Aşağıdaki Şekil 3.3’de yazılımdaki girdi sandığı iletişim kutusunu göstermektedir . Malzemenin özellikleri Çizelge 3.2’de gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Köprüde kullanılan verilerin yazılıma girmesi.

Çizelge 3.2. Malzemenin özellikleri.

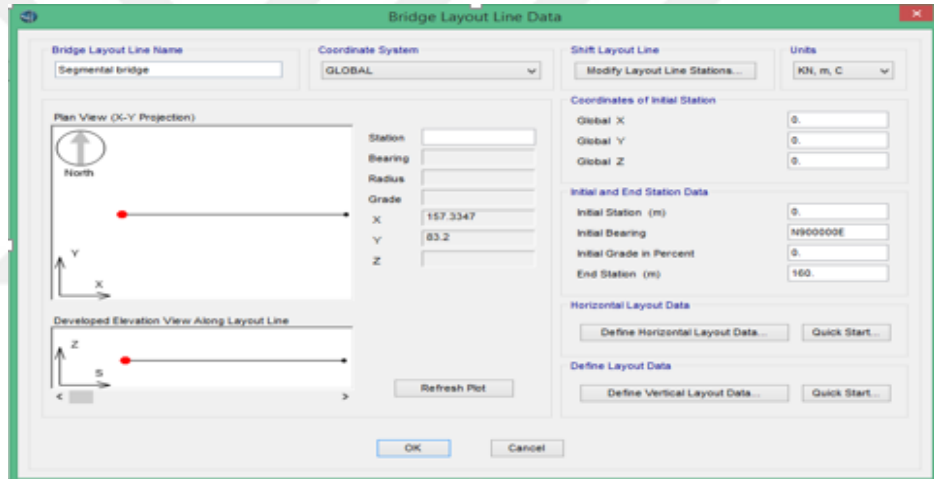
Özellikler	Değer
Beton (C42)	
Karakteristik gücü, f_{ck}	42 MPa
Young modülü, E_c	$6000\sqrt{42} \text{ MPa}$
Yoğunluk (Normal ağırlıkta beton)	25 KN/m^3
Çelik takviye çubuğu (Sınıf 415)	
Akma gerilmesi, f_y	415 MPa
Nihai çekme dayanımı, f_u	485 MPa

3.2 CSI Köprüsü'nde Modelleme

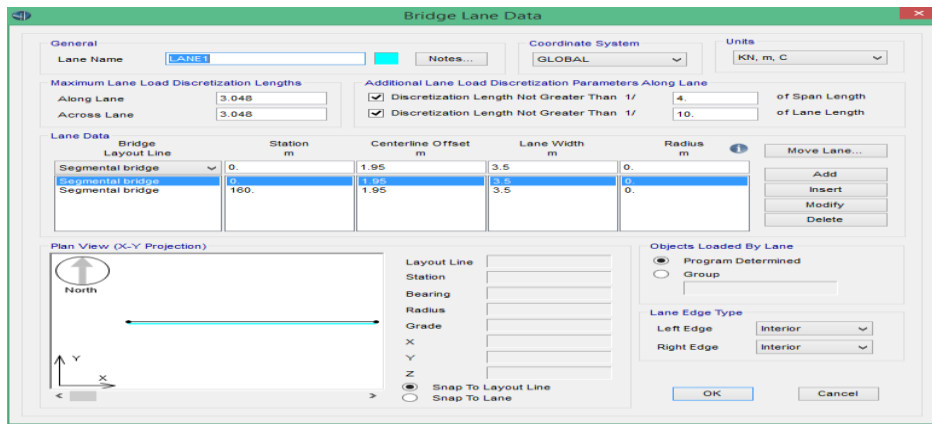
Segment köprüsünün modellenmesi CSI Bridge 2017 tarafından çelik, beton köprülerinin modellenmesi, hızlı, güçlendirilmesi ve farklı yönlerde farklı yükleme türlerini uygulamasıyla yapılmıştır. Son modeli bilgisayarlı bir yazılıma dönüştürmek için CSI-Bridge modeli, analizi ve köprü stilini bütünleştirir [22].

CSI Bridge, mühendisin gelişmiş köprü geometrilerini, analiz ve tasarımın sınır koşullarını ve yükleme kasalarını basit bir şekilde modellemesine öncülük edecektir.

Köprü modellerinde ana parametreler yerleşim çizgileri, açıklıklar, rulmanlar, dayanaklar, iskeleler, kıvrımlar, menteşeler ve gerginliklerdir. Ayrıca, yazılım ana eksen, kaplama ve katı nesnelerden modeller yaratır. (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5).



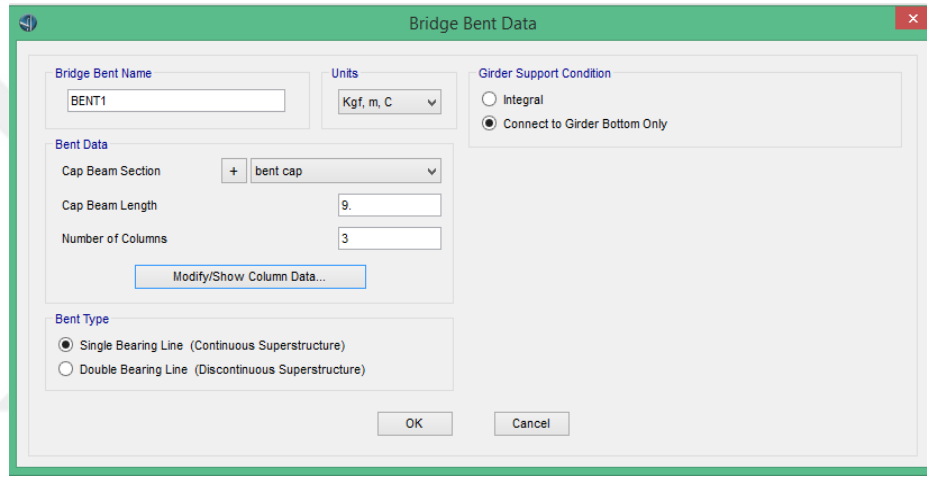
Şekil 3.4. Köprü düzeni iletişim kutusu.



Şekil 3.5. Köprü şeridi veri iletişim kutusu.

“CSI Köprüsü, analitik köprü sistemleri geliştirdikten sonra sabit miktarda nesne tabanlı bir modelleme yaklaşımı uyguluyor. Bu tasarımcıların nesneleri (karayolu yapımı, altyapı, dayanaklar, iskeleler, temel sistemi, vb.) bir düzenekte Ortak olarak köprü kompozisyonu atamasına izin verir” [22].

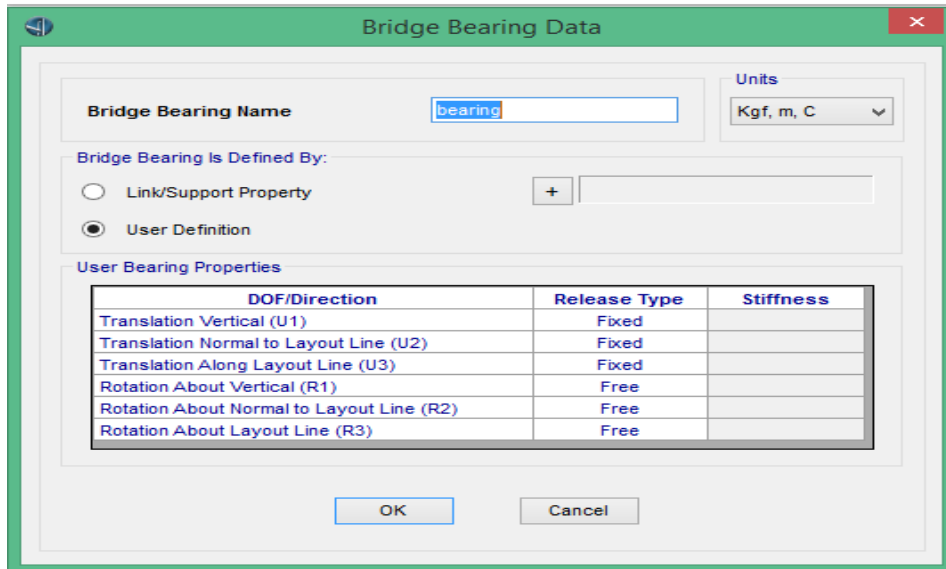
Her iskele, üç köprüden ve 9,6metre uzunluğunda, bölümsel köprüyü desteklemek için kullanılan kirişten oluşmaktadır. Köprünün mesnet tipleri Şekil 3.6’te gösterildiği gibidir, döndürme ve serbest dönüş şeklinde sabittir. Köprü farklı uzunluklarda üç açıklık içermektedir. Açıklıkların birinin uzunluğu en fazla 80 m, köprünün toplam uzunluğu 175 m’dir. (Şekil 3.7).



The image shows the 'Bridge Bent Data' dialog box. It has a title bar with a green background and a red close button. The dialog is divided into several sections:

- Bridge Bent Name:** A text field containing 'BENT1'.
- Units:** A dropdown menu set to 'Kgf, m, C'.
- Girder Support Condition:** Two radio buttons: 'Integral' (unselected) and 'Connect to Girder Bottom Only' (selected).
- Bent Data:**
 - Cap Beam Section:** A dropdown menu set to 'bent cap'.
 - Cap Beam Length:** A text field set to '9'.
 - Number of Columns:** A text field set to '3'.
 - A button labeled 'Modify/Show Column Data...'.
- Bent Type:** Two radio buttons: 'Single Bearing Line (Continuous Superstructure)' (selected) and 'Double Bearing Line (Discontinuous Superstructure)' (unselected).
- Buttons:** 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom right.

Şekil 3.6. Köprü eğimi veri iletişim kutusu.



The image shows the 'Bridge Bearing Data' dialog box. It has a title bar with a green background and a red close button. The dialog is divided into several sections:

- Bridge Bearing Name:** A text field containing 'bearing'.
- Units:** A dropdown menu set to 'Kgf, m, C'.
- Bridge Bearing Is Defined By:** Two radio buttons: 'Link/Support Property' (unselected) and 'User Definition' (selected).
- User Bearing Properties:** A table with three columns: 'DOF/Direction', 'Release Type', and 'Stiffness'.
- Buttons:** 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom right.

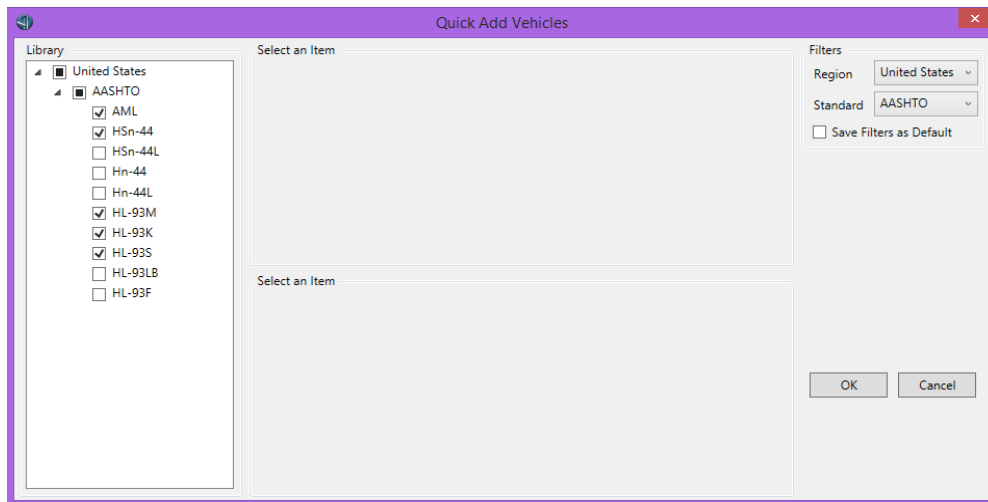
DOF/Direction	Release Type	Stiffness
Translation Vertical (U1)	Fixed	
Translation Normal to Layout Line (U2)	Fixed	
Translation Along Layout Line (U3)	Fixed	
Rotation About Vertical (R1)	Free	
Rotation About Normal to Layout Line (R2)	Free	
Rotation About Layout Line (R3)	Free	

Şekil 3.7. Köprü taşıyıcısı verisi iletişim kutusu.

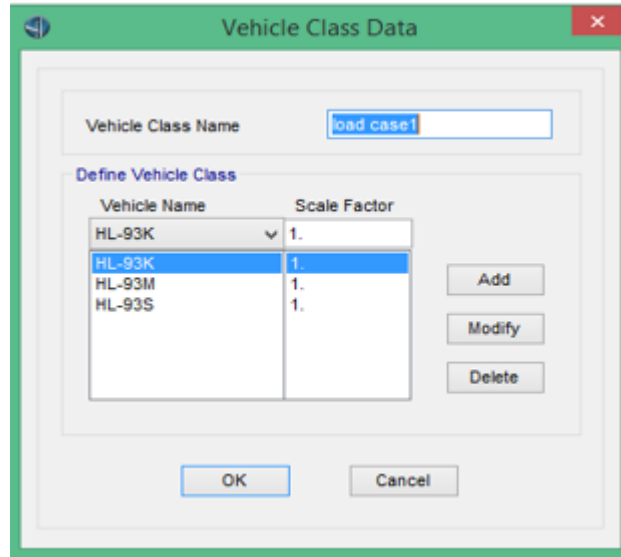
Köprüyü modellemenin bir sonraki adımı ise yükleme kasalarına atama ve kombinasyonları sağlamaktır. Tasarımcının yeri çevresel koşullarına göre gerekirse araç, rüzgar ve sismik yükleme yapılması gerekir. Tasarım bu kodla yapıldığı için AASHTO kodu seçilmelidir. Şekil 3.8 modelde göz önünde bulundurulması gereken AASHTO uyarınca araç tiplerinin seçimini göstermektedir. Araç tipini seçtikten sonra, seçilen her bir tipe girilecek ölçek faktörü seçilmelidir. (Şekil 3.9).

Çizelge 3.3. Köprüde uygulanan yükler.

Yük türleri	Değerler
Ölü Yük:	
Betonarme Birim Ağırlığı (DC):	(25 KN/m ³)
Gerilmiş Beton Birim Ağırlığı (DC):	(24.3 KN/m ³)
Giyen Yüzey (DW):	(1.32 KN/m ²)
Trafik Engelleri (DC):	(Her biri 6.75 KN/m)
Canlı yük	
Araç: HL-93 (4 tasarım şeridi), çoklu varlık faktörü ve uygun şekilde dinamik yük payı kullanarak elde edilmiştir.	

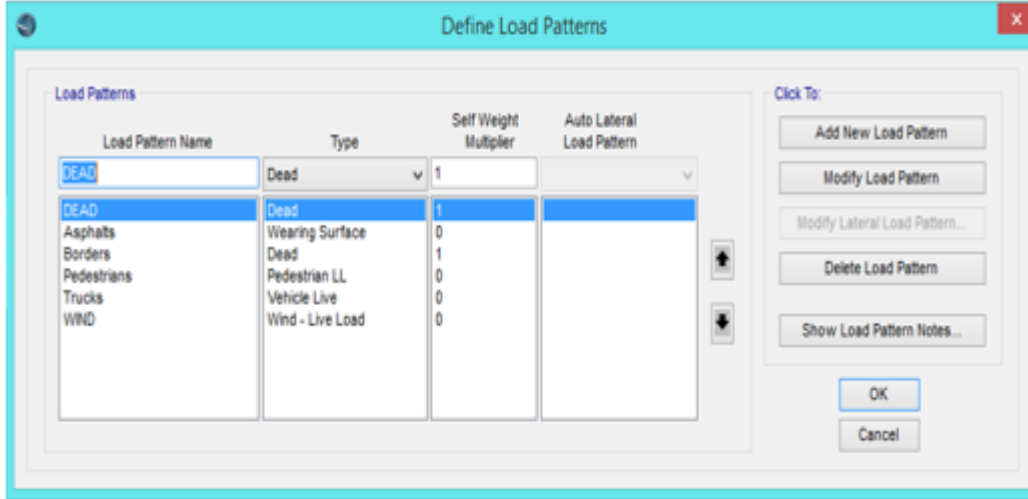


Şekil 3.8. AASHTO iletişim kutusuna göre araçlar.



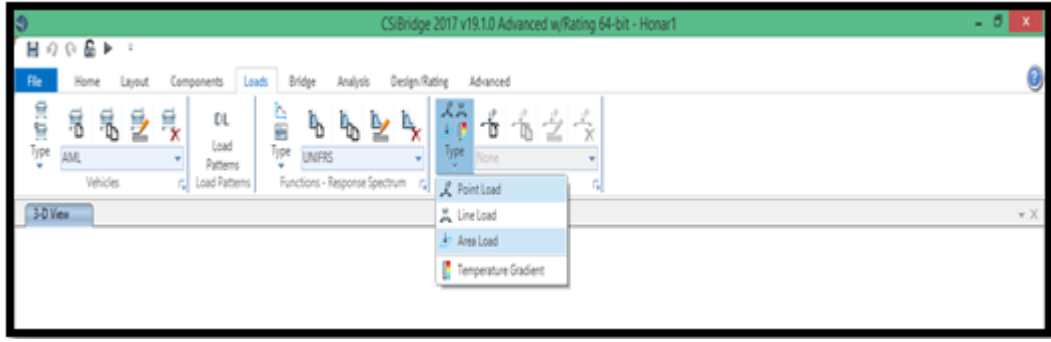
Şekil 3.9. Araç sınıfı verileri ve ölçek faktörü iletişim kutusu.

Yük kasaları, inşaat sırasında ve köprünün kullanım ömrü boyunca beklenen tüm yükleme koşulları dikkate alarak tasarlanmalıdır. AASHTO standardına göre yük kombinasyonu yapının dayanımı ve servis kolaylığı üzerine kuruludur. Aşağıdaki Şekil 3.10’da segmental köprü için kullanılmaya önerilen yüklerin listesidir.



Şekil 3.10. İletişim kutusu yük şablonu.

Yük dağılımının tanımlanmasından sonra, Şekil 3.11’da gösterildiği gibi üç tip yük olduğu görülmektedir (Nokta yükü, Hat yükü, Alan yükü, Sıcaklık Gradyanı).



Şekil 3.11. Yük dağıtım tipi.

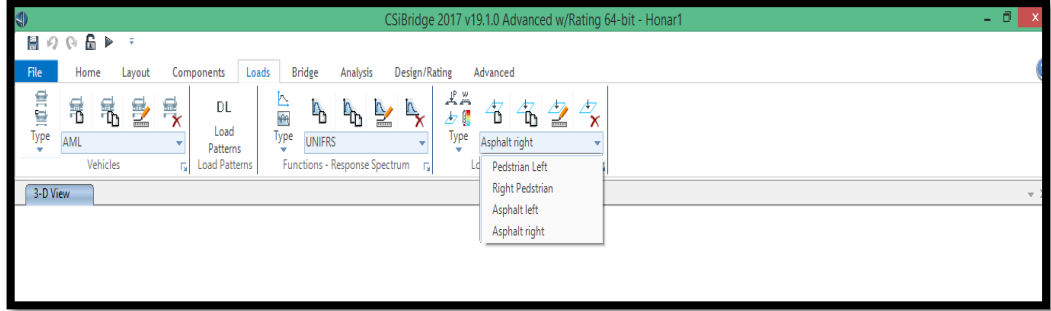
Şekil 3.12’de bu tanımlanmış modelin hat yükünü göstermektedir (sol kaldırım, sağ kaldırım, medyan kaldırım). Veri tanımına göre yeni hat yükü dağılımını ekledikten sonra, aşağıdaki Şekil 3.13’de yükün değerini ve kenardan yükün yerini gösterir.



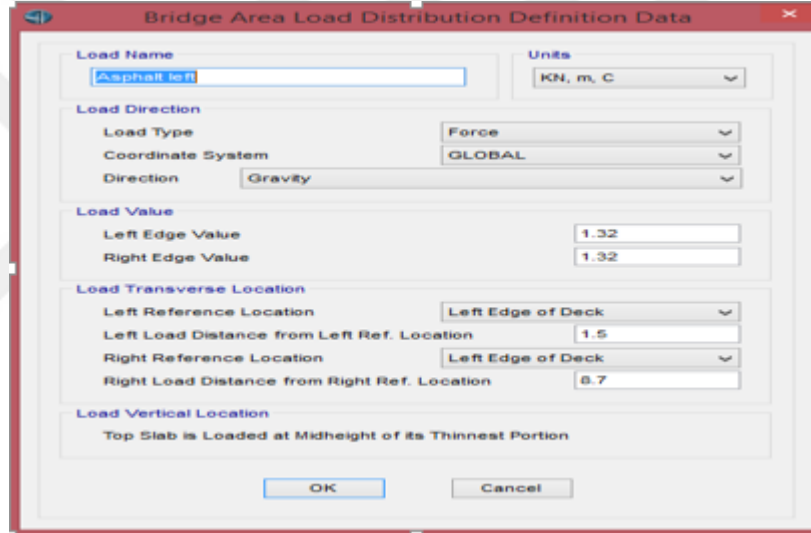
Şekil 3.12. Hat yükü dağılım tipi.

Şekil 3.13. Hat yükü dağıtım iletişim kutusu.

Şekil 3.14’de tanımlanan modelin Alan yükünü göstermektedir (Asfalt, Yaya). Yeni Alan yükü dağıtım tanımı verilerini eklemek için yenilerini tıkladıktan sonra, aşağıdaki Şekil 3.15’de yükün değerini ve kenardan yükün konumunu gösterir.

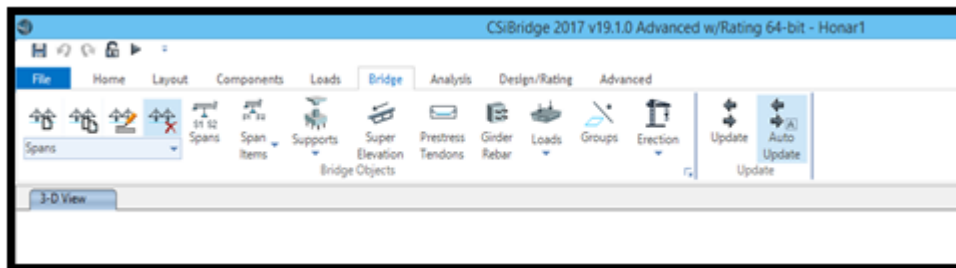


Şekil 3.14. Alan yük dağılımının tipi.



Şekil 3.15. Alan yükü dağıtım iletişim kutusu.

Köprü menü çubuğundan, Şekil 3.16’de gösterilen yeni köprü nesnesini eklemek için yenisini tıklayın.



Şekil 3.16. Köprü nesnesinin menü çubuğu.

Köprü nesnesi verilerinde yayılma uzunluğu ve tipi belirlenir. Üç adet dengeli konsol atama süresi vardır. Köprü nesnesi modeli, tüm köprü modelini oluşturan kapsamlı bir bileşenler topluluğudur. Parametrik model, köprü nesne modeli aracılığıyla yönetilir ve bunlar da içerir: tabliye bölümleri, diyaframlar, yataklar, tutucular, temel yaylılar, üst yapı varyasyonu, dayanaklar, eğilmeler, menteşeler, tendon düzenleri ve Şekil 3.17, Şekil 3.18, Şekil 3.19, Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’ de diğer hususların modellenmesi gösterilmektedir.

Span Label	Start Station	Length	End Station	Start Support	End Support
01-SA-P01	0	47.5	47.5	BABT1	BENT
02-P01-P02	47.5	80	127.5	BENT	BENT
03-P02-P03	127.5	47.5	175	BENT	BABT1

Şekil 3.17. Segmental köprü konusu veri iletişim kutusu.

Span Discretization	Start Station	Sp Disc Length	End Station	Type
1 StartA	0	7.5	7.5	I
2 BalCant1	7.5	80	87.5	I
3 Bal Cant2	87.5	80	167.5	I
4 EndA	167.5	7.5	175	I

Şekil 3.18. Segmental köprü açıklığı birleşimi iletişim kutusu.

Bridge Object Span Assignments

Bridge Object Name:

Span Definition

Span	Section	Section Varies
01-SA-P01	Section 1	Yes
02-P01-P02	Section 1	Yes
03-P02-P03	Section 1	Yes

Modify/Show Section Variation Along Selected Span...

OK Cancel

Şekil 3.19. Segmental köprü kesiti değişim aralığı iletişim kutusu.

Bridge Object Abutment Assignments

Bridge Object Name: Units:

Start Abutment End Abutment

Start Abutment

Superstructure Assignment

Support Name:

Abutment Direction (Bearing Angle):

Diaphragm Property:

Substructure Assignment

☐ None

☒ Abutment Property

☐ Bent Property

Substructure Location

Elevation (Global Z):

Horizontal Offset:

Note: Horizontal offset is from layout line to midlength of abutment.

Bearing Assignment

☒ Girder-by-Girder ☐ General

Bearing Property:

Restrainer Property at Bearing:

Elevation at Layout Line (Global Z):

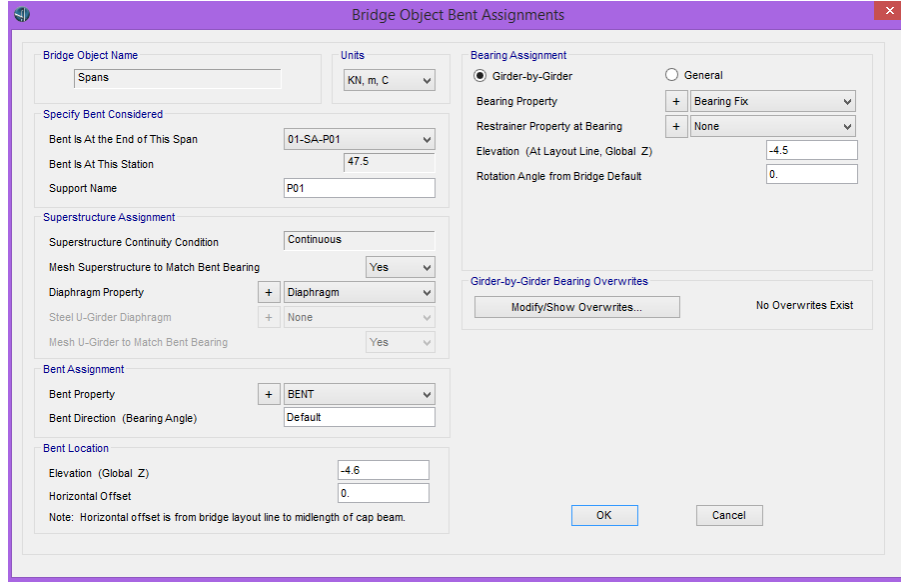
Rotation Angle from Bridge Default:

Girder-by-Girder Overwrites

Modify/Show Overwrites... No Overwrites Exist

OK Cancel

Şekil 3.20. Köprü konusu köprü ayağı verileri iletişim kutusu.



Bridge Object Bent Assignments

Bridge Object Name: Spans Units: KN, m, C

Specify Bent Considered

Bent Is At The End of This Span: 01-SA-P01

Bent Is At This Station: 47.5

Support Name: P01

Superstructure Assignment

Superstructure Continuity Condition: Continuous

Mesh Superstructure to Match Bent Bearing: Yes

Diaphragm Property: + Diaphragm

Steel U-Girder Diaphragm: + None

Mesh U-Girder to Match Bent Bearing: Yes

Bent Assignment

Bent Property: + BENT

Bent Direction (Bearing Angle): Default

Bent Location

Elevation (Global Z): -4.6

Horizontal Offset: 0.

Note: Horizontal offset is from bridge layout line to midlength of cap beam.

Bearing Assignment

☒ Girder-by-Girder ☐ General

Bearing Property: + Bearing Fix

Restrainer Property at Bearing: + None

Elevation (At Layout Line, Global Z): -4.5

Rotation Angle from Bridge Default: 0.

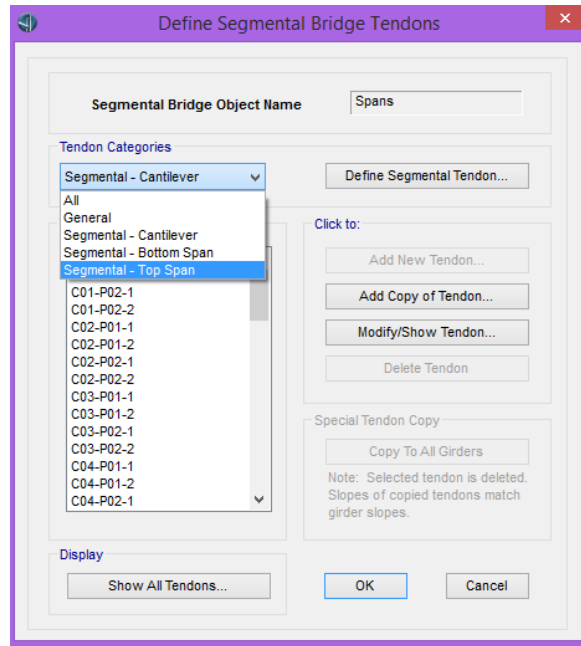
Girder-by-Girder Bearing Overwrites

Modify/Show Overwrites... No Overwrites Exist

OK Cancel

Şekil 3.21. Köprü nesnesi bent verileri iletişim kutusu.

CSi Bridge'deki sonradan germeyi, tendonları ve kuvvetleri düzenlemek için rafine edilmiş seçenekleri kullanarak tanımlayabiliriz. Sandık kirişlerini tanımlarken, CSi Köprüsü otomatik olarak tendon içindeki aspiratör konumlarını atayacaktır; mühendis onları da düzenleyebilir. Aşağıdaki Şekillerde gösterilen dört tendon kategorisi (Genel, Segmental-Konsol, Segmental-Alt Açıklık, Segmental-Üst Açıklık) bulunmaktadır (Şekil 3.22 ve Şekil 3. 23).



Define Segmental Bridge Tendons

Segmental Bridge Object Name: Spans

Tendon Categories

Segmental - Cantilever

All

General

Segmental - Cantilever

Segmental - Bottom Span

Segmental - Top Span

C01-P02-1

C01-P02-2

C02-P01-1

C02-P01-2

C02-P02-1

C02-P02-2

C03-P01-1

C03-P01-2

C03-P02-1

C03-P02-2

C04-P01-1

C04-P01-2

C04-P02-1

Display

Show All Tendons...

Define Segmental Tendon...

Click to:

Add New Tendon...

Add Copy of Tendon...

Modify/Show Tendon...

Delete Tendon

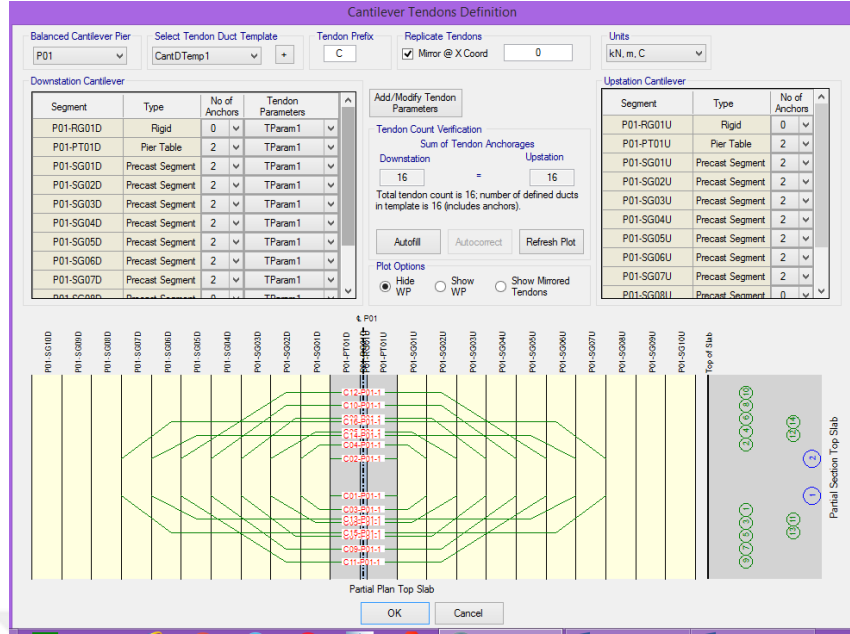
Special Tendon Copy

Copy To All Girders

Note: Selected tendon is deleted. Slopes of copied tendons match girder slopes.

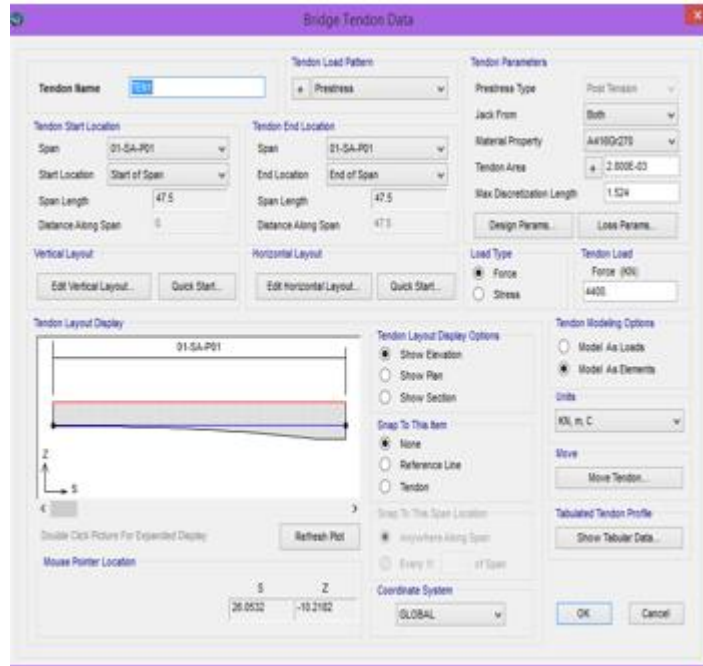
OK Cancel

Şekil 3.22. Segmental köprü tanımlanan tendonu iletişim kutusu.



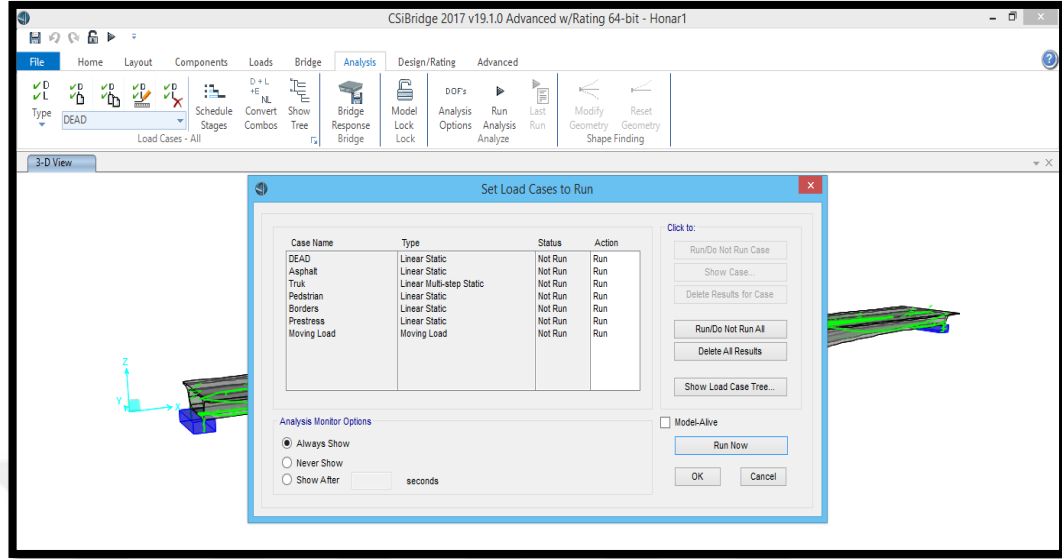
Şekil 3.23. Segmental köprü konsol tendonunu tanımla iletişim kutusu.

CSiBridge, Tendons, düz çizgiler, parabol, dairesel eğriler veya diğer isteğe bağlı şekiller olarak belirlenen geometrisi ile bağımsız nesneler olarak kolayca çizilebilir. Ayrıca, Şekil 3.24'te gösterilen bir sandık kirişinin içini örtmek için parametrik olarak tanımlanabilirler. Tüm kayıplar dahil olmak üzere Tendon yükleri kolayca tanımlanabilir.

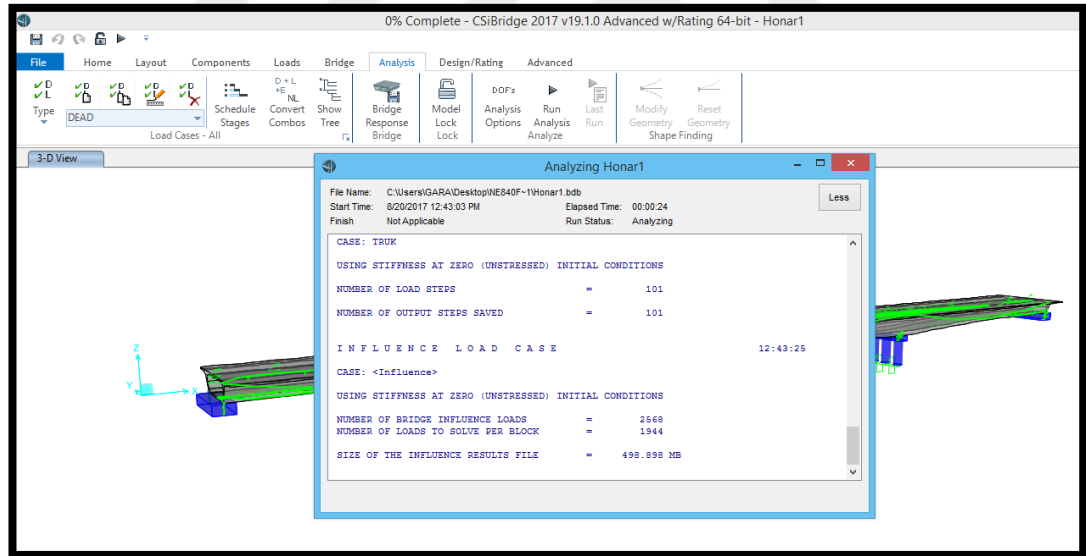


Şekil 3.24. Segmental köprü tendon verilerini tanımla iletişim kutusu.

Veri girişi bittikten sonra, tüm tasarım adımları ve ayarlanmış yük durumu, (Şekil 3.25 ve Şekil 3.26) Şekillerde gösterildiği gibi, analiz edilmeye başlar.

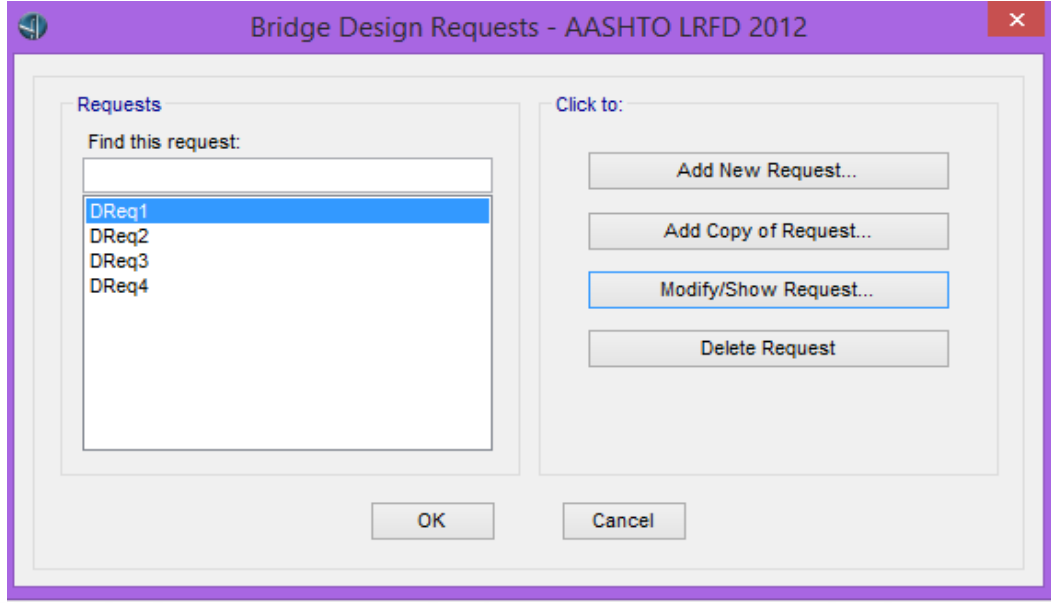


Şekil 3.25. Yük durumu veri iletişim kutusu.



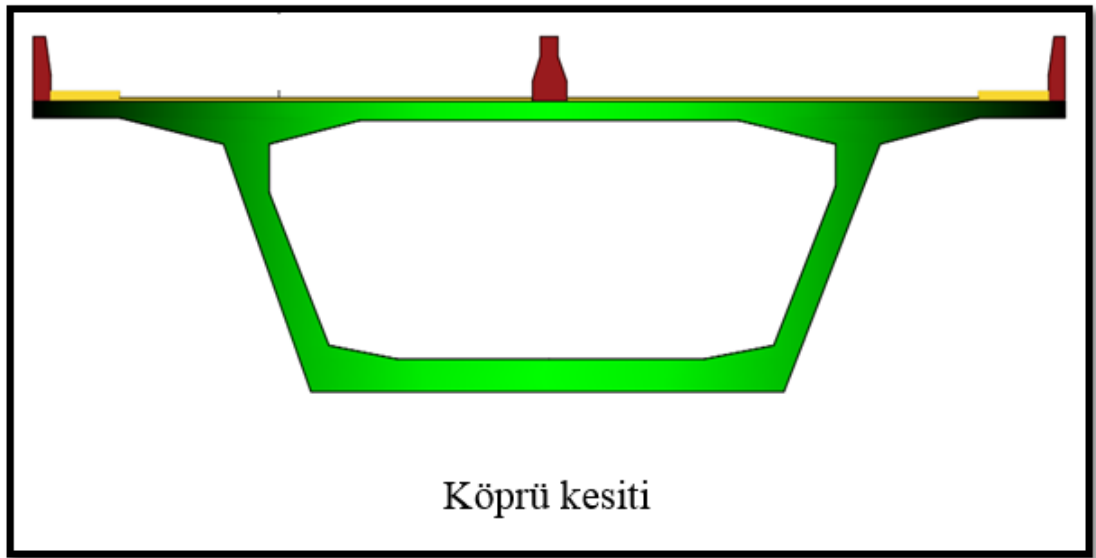
Şekil 3.26. Ayarlanmış yükün çalışma analizi.

Şekil 3.27'daki diyalog kutusunda, tek sandıklı kiriş için istenen köprü tasarımı belirlenmiştir. Burada DReq1 gerilme, DReq2, Temel gerilme, DReq3, Eğilme gerilmesi ve DReq4 kayma gerilmesidir.

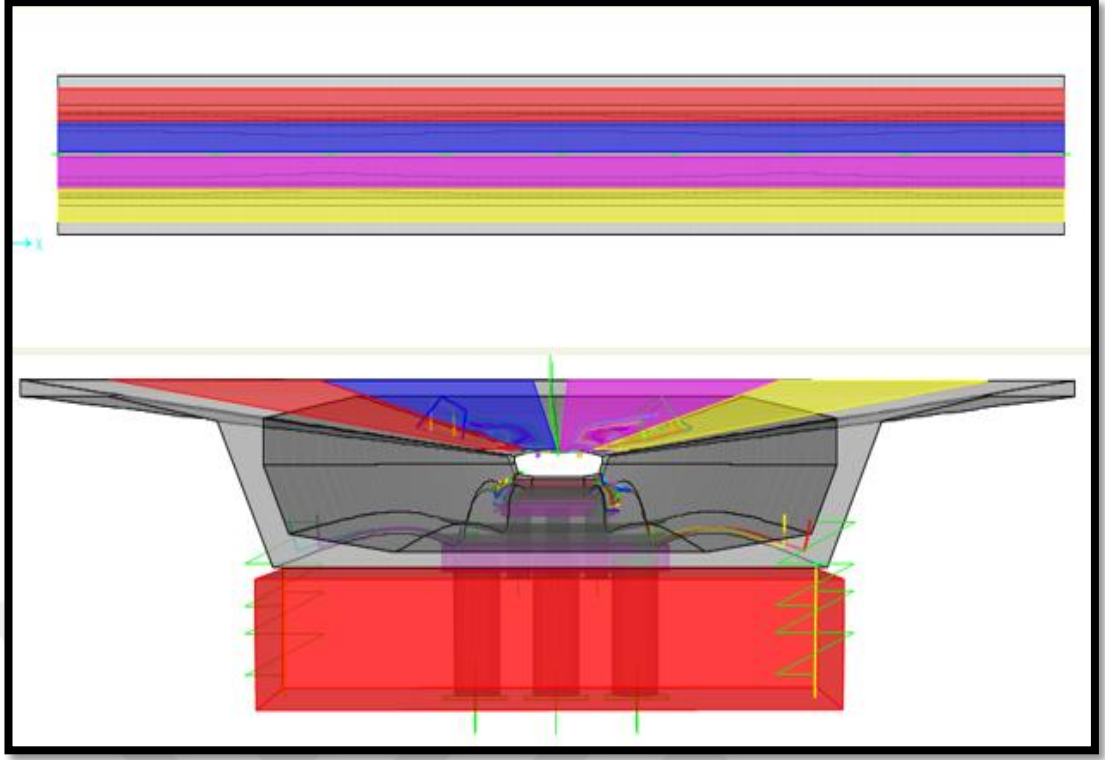


Şekil 3.27. İstenen köprü tasarımı yük kombinasyonunun tanımlanması.

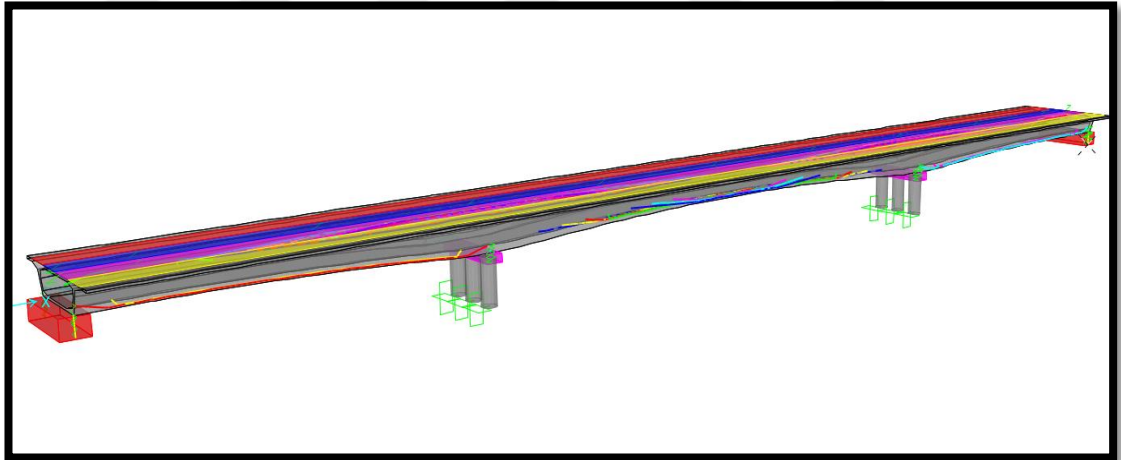
Modeli sonlu elemanlı bir modele dönüştürdükten sonra, model gerekli yük durumlarına ve kombinasyonlarına tabi tutulacaktır. Bunun üzerine, model analiz sonuçlarını almak için doğrudan çalıştırılacaktır. Analiz ve tasarım sonuçları bir sonraki bölümde parametrelere ve yük sınırlarına göre açıklanacaktır.



Şekil 3.28. Kutu kiriş köprü kesit görünümü.



Şekil 3.29. Düz kutu kiriş köprü ve kesit görünüm planı.



Şekil 3.30. Üç boyutlu kutu kiriş köprü görünümü.



Şekil 3.31. Kutu kiriş köprü kesit görünümü [23].



Şekil 3.32. Segmental prekast öngerilmeli beton konsol yöntemi yapımı [24].

3.3 Köprü Modelleri

Germe sonrası bir düz köprünün sonlu eleman modellemesi CSI Bridge 2017'de gerçekleştirilir. Bu çalışmada köprü tasarımında kullanılan kriterler:

- yükseklik kirişi.
- alt levhanın kalınlığı.
- beton sınıfı
- ağ kiriş kalınlığı.
- Tendon gerilme.

Çizelge3.4. Betonda Tasarım Köprüsünde Kullanılan Kriterler.

Numara	Kriterler	Beton Sınıfı		
1	Sabit yükseklik kirişi (3m) ve Sabit alt levhanın kalınlığı (0.25m), germe sonrası tendon gerilme 4000 KN, ağ kiriş kalınlığı 0.5m.	C28	C42	C55
2	Sabit yükseklik kirişi (3m) ve alt levhanın değişken kalınlığı (0.25-0.5m), germe sonrası tendon gerilme 4000 KN, ağ kiriş kalınlığı 0.5m.	C28	C42	C55
3	değişken yükseklik kirişi (3-4.5m) ve Sabit alt levhanın kalınlığı (0.25m), germe sonrası tendon gerilme 4000 KN, ağ kiriş kalınlığı 0.5m.	C28	C42	C55
4	değişken yükseklik kirişi ve değişken alt levhanın kalınlığı, germe sonrası tendon gerilme 3000 KN, ağ kiriş kalınlığı 0.5m	C28	C42	C55
5	değişken yükseklik kirişi ve değişken alt levhanın kalınlığı, germe sonrası tendon gerilme 3500 KN, ağ kiriş kalınlığı 0.5m	C28	C42	C55
6	değişken yükseklik kirişi ve değişken alt levhanın kalınlığı, germe sonrası tendon gerilme 4000 KN, ağ kiriş kalınlığı 0.5m	C28	C42	C55
7	değişken yükseklik kirişi ve değişken alt levhanın kalınlığı, germe sonrası tendon gerilme 4000 KN, ağ kiriş kalınlığı 0.45m.	C28	C42	C55
8	değişken yükseklik kirişi ve değişken alt levhanın kalınlığı, germe sonrası tendon gerilme 4000 KN, ağ kiriş kalınlığı 0.5m.	C28	C42	C55
9	değişken yükseklik kirişi ve değişken alt levhanın kalınlığı, germe sonrası tendon gerilme 4000 KN, ağ kiriş kalınlığı 0.55m.	C28	C42	C55

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Yük Sandıkları

Segmental köprü, AASHTO LRFD standardına göre çeşitli yük durumlarıyla analiz edildi ve tasarlandı. Yazılıma giren gerekli yük durumları ve kombinasyonları Bölüm 3'te ve aşağıdaki Çizelge (4-1) yük durumu faktörünü göstermektedir.

Çizelge 4.1. Uygulanan yük durumu sonucunun tanımlanmış kombinasyonu.

İstenilen Tasarım	Yük kombinau	Yük kombinasyonu adı	Ölü yük	Hareketli yük	Ön-gerilme	Asfalt	Kaldırım	Truks	Yaya
Dreq1	Str-I	Str-II1	1.25	1.75	1	---	---	---	---
	Grup1	Str-II2	0.9	1.75	1	---	---	---	---
Dreq2	Str-I	Str-II1	1.25	1.75	1	---	---	---	---
	Grup 1	Str-II2	0.9	1.75	1	---	---	---	---
Dreq3	SerII	Ser-II1	1	1.3	1	1	1	---	1
	Grup 2	Ser-II2	1	---	1	1	1	1.3	1
Dreq4	SerII	Ser-II1	1	1.3	1	1	1	---	1
	Grup 2	Ser-II2	1	---	1	1	1	1.3	1

Yük sandıklarında, analiz ve tasarım sırasında dört şerit için ölü yük, ilave ölü yük ve canlı yük dikkate alınmıştır. Önceki bölümde belirtildiği gibi, ölü yük çeşitli derecelerde betonun kendi ağırlığıdır. İlave ölü yük, beton bariyer, kaplama ve hizmet yüklerini içerir. Ayrıca canlı yük, AASHTO koduna göre dikkate alınmıştır.

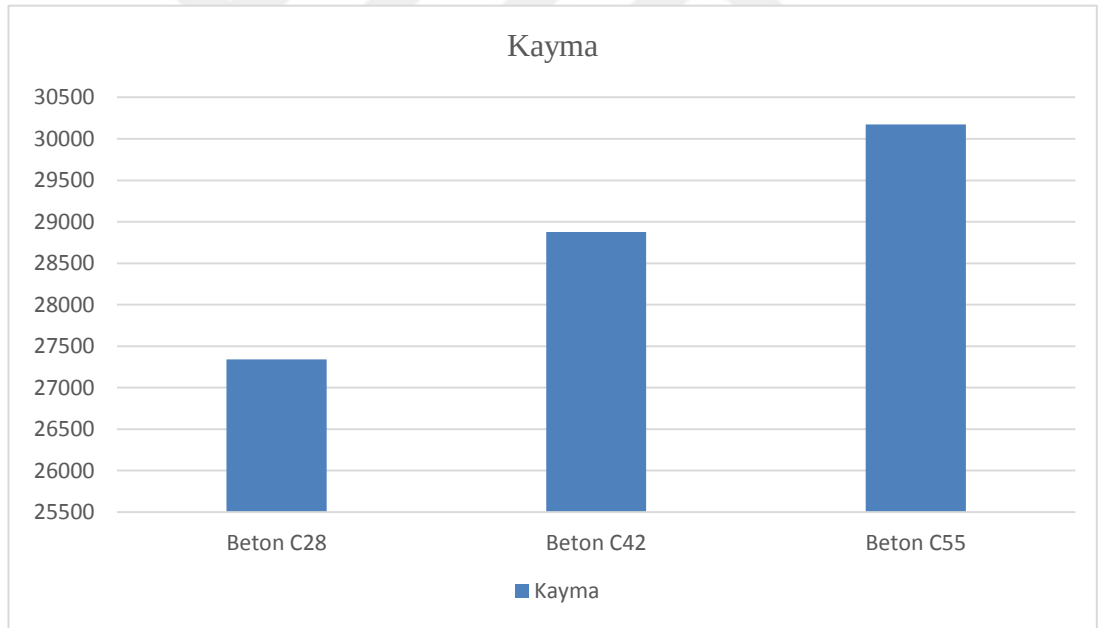
4.2 Sonuçların Analizi ve Tartışılması

Yukarıda belirtilen köprünün tasarımı için özel bir yazılım olarak CSI Bridge yazılımında modellenmiştir. Sonlu elemanlar programı ve köprünün ön analizi kalıcı yükler ve dayatılan yükler altında yapılmıştır. Köprü malzemesinin özellikleri ve

kesitin geometrisi Bölüm 3’te belirtilmiştir. Köprü boyunca yer alan tüm İskeleler, model analizinde dengeli bir konsol segmental köprü yöntemi kullanıldığından genişleme yatakları olarak tanımlanır ve köprü çerçevesi buna göre bölünür. Üç köprü modeli farklı beton sınıfı (C28, C42 ve C55) kullanılarak analiz edilmiş ve tasarlanmıştır. AASHTO Kodu, analiz ve tasarımda esas olarak dikkate alınmıştır. Aşağıdaki Şekilden görüldüğü gibi Şekil 4.1 ve Çizelge 4.2, sonuçlar birbirinden farklıdır. Gerilme değerleri, beton sınıfındaki değişikliklerden etkilenir. Beton sınıfının değerini artırarak elastisite modülündeki artıştan dolayı gerilme değeri artar.

Çizelge 4.2. C28, C42 ve C55 sınıf betonlarda kayma gerilmesi.

Betonun sınıfı	C28	C42	C55
Kayma Gerilmesi KN/m ²	27341.687	28876.874	30174.214



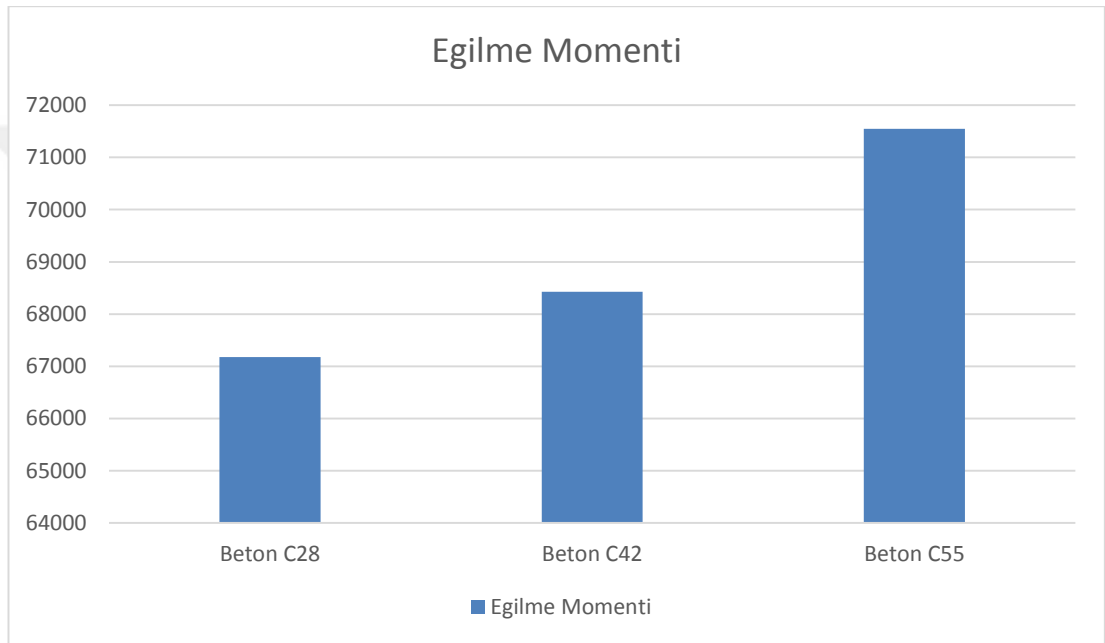
Şekil 4.1. C28, C42 ve C55 sınıf betonlarda kayma gerilmesi.

AASHTO’ya göre, beton için izin verilen gerilmenin araştırılması için iki zaman dilimi inşaat süresi boyunca gerçekleştirildi. Birincisi, sünme ve büzülme nedeniyle geçici gerilme olan öngerilme kayıplarından önce. İkincisi, hizmet sınırındaki gerilme öncesi kayıplardan sonra.

aşağıdaki Şekil 4.2 ve Çizelge 4.3’de segmental köprü yapısının analizi için C28, C42, C55 sınıf beton kullanılarak, maksimum sıkıştırma ve gerilmeyi göstermektedir.

Çizelge 4.3. C28, C42 ve C55 sınıf betonda bükme momenti gerilmesi.

Betonun sınıfı	C28	C42	C55
Egilme Momenti KN/m	67177.92	68428.82	71548.18



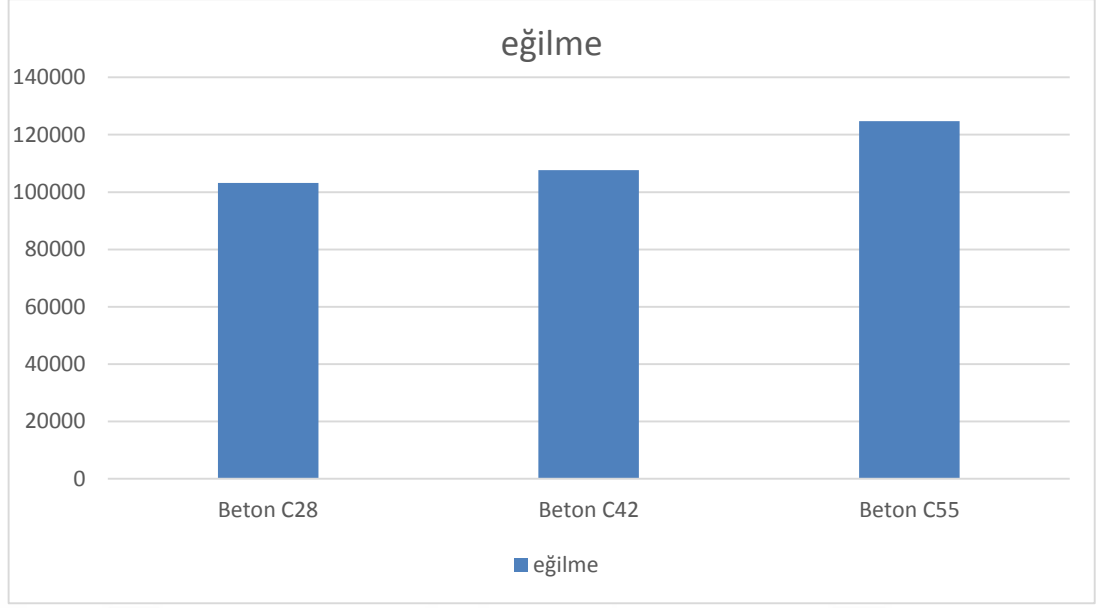
Şekil 4.2. C28, C42 ve C55 sınıf betonda ilgili bükme momenti tablosu.

Yukarıdaki Çizelge 4.3 ve yukarıdaki Şekil 4.2’de betonun Eğilme Momentine etkisini göstermektedir. göre Betonun sınıfı arttıkça eğilme momenti artar.

Yine, Tablo 4.4 ve Şekil 4.3, beton sınıfının Eğilme üzerindeki etkisini göstermektedir (yatay eksen M3 etrafındaki moment).

Çizelge 4.4. C28, C42 ve C55 sınıf betonda eğilme gerilmesi.

Betonun sınıfı	C28	C42	C55
Eğilme (yatay eksen M3 etrafında moment) KN/m	103192.63	107621.1	124751.6

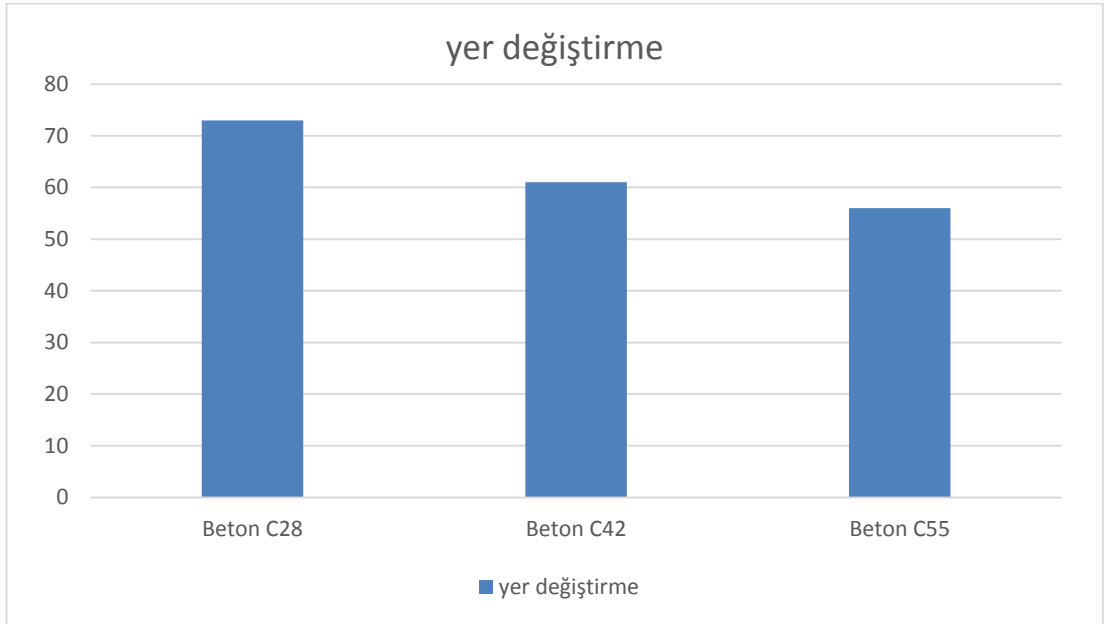


Şekil 4.3. C28, C42 ve C55 sınıf betonda eğilme gerilmesi şeması.

Betonun artış derecesine göre yer değiştirmenin etkisi aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Buna göre betonun sınıfı arttıkça yer değiştirmesi azalır.

Çizelge 4.5. Beton C28, C42 ve C55 sınıf betonda yer değiştirme.

Betonun sınıfı	C28	C42	55
yer değiştirme (mm)	73	61	56



Şekil 4.4. C28, C42 ve C55 sınıf betonda yer değiştirme tablosu.

Çizelge 4.5 ve Şekil 4.4’de, üç durumda beton sınıfına göre köprünün yer değiştirmesini gösterir. Buna göre beton sınıfı arttıkça yer değiştirmesi azalır.

AASHTTO LRFD 2012’ye göre maksimum yer değiştirme, $(80 * 1000) / 500 = 160\text{mm}$ 'ye eşittir.

Çizelge 4.6. C28 sınıf betonda gerilme kuvveti tipine göre yük kombinasyonunun kontrolü.

Kuvvet tipi	Maksimum kuvvet	Minimum kuvvet	Kontrol yükü kombinasyonu
M3	76020.48	-----	Str-I2
M3	-----	-102213.6	Str-I1
M2	2443.121	-2443.121	StrI Grup1
T	11492.367	-11492.367	StrI Grup1
V3	59.523	-59.523	StrI Grup1
V2	19728.47	-19728.39	Str-I1
P	--14066.16	-119549	Str-I1
Yer değiştirme	73mm		160mm

Çizelge 4.7. C42 sınıf betonda gerilme kuvveti tipine göre yük kombinasyonunun kontrolü.

Kuvvet tipi	Maksimum kuvvet	Minimum kuvvet	Kontrol yükü kombinasyonu
M3	71235.92	-----	Str-I2
M3	-----	-107184.4	Str-I1
M2	2791.175	-2791.175	StrI Grup1
T	11482.237	-11482.237	StrI Grup1
V3	67.358	-67.358	StrI Grup1
V2	19694.745	-19694.68	Str-I1
P	-12258.9	-112203.9	Str-I1
Yer değiştirme	61mm		160mm

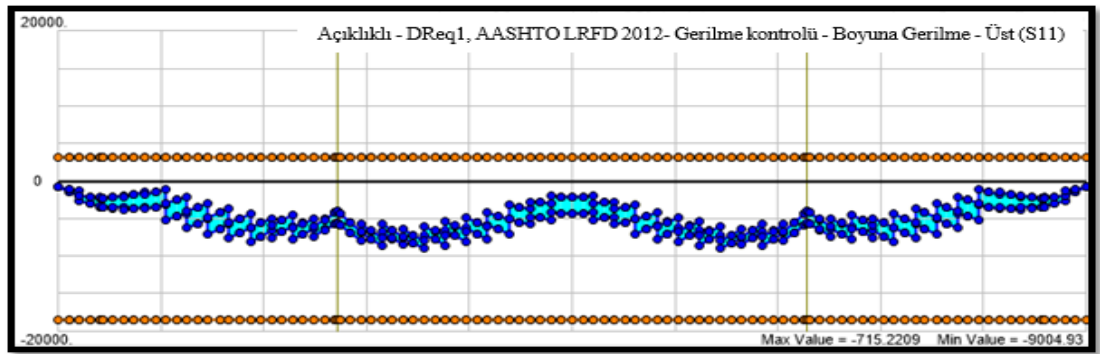
Çizelge 4.8. C55 sınıf betonda gerilme kuvveti tipine göre yük kombinasyonunun kontrolü.

Kuvvet tipi	Maksimum kuvvet	Minimum kuvvet	Kontrol yükü kombinasyonu
M3	124751.6	-----	Str-I2
M3	-----	-294818.8	Str-I1
M2	3033.481	-3033.481	StrI Grup1
T	11474.618	-11474.62	StrI Grup1
V3	72.816	-72.816	StrI Grup1
V2	20344.965	-20344.89	Str-I1
P	-7695.287	--5246.43	Str-I1
Yer değiştirme	56mm		160mm

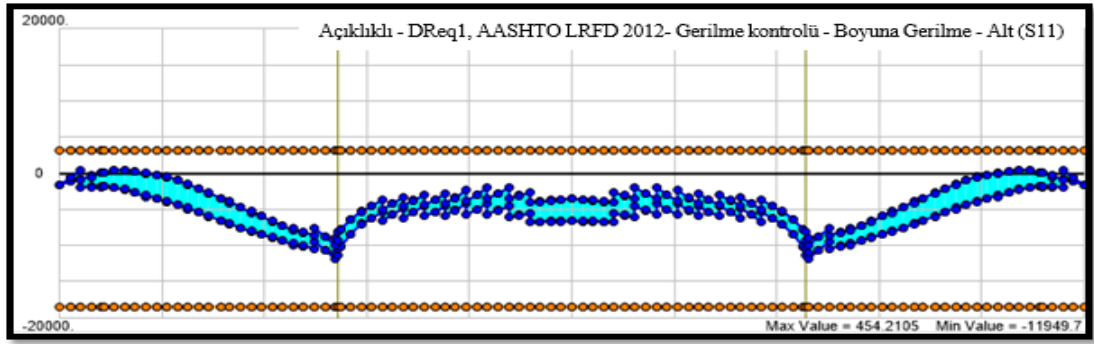
Yukarıdaki Çizelge 3.6, Çizelge3.7 ve Çizelge 3.8 C28, C42 ve C55 sınıfındaki tüm modelleme tasarımlarının Kontrol Yüğü Kombinasyonunu gösterir. Üç durumdada kontrol farkı yoktur.

AASHTO LRFD 2012 Koduna göre, prekast Öngerilmeli beton köprü tek hücrelerinin tasarımını kontrol etmek için dört sınırlama vardır. Bu tezde, C28, C42, C55 beton sınıfları, sabit ve değişken derinlik kirişi, alt levhanın sabit ve değişken kalınlığı, gerilim sonrası tendon stresinin üç değeri ve değişken kalınlığı kullanarak farklı kriterlere sahip 27 modül tasarladık.

İlk kontrol, Segmental beton köprünün üzerindeki ve altındaki uzunlamasına gerilim ile ilgilidir.



Şekil 4.5. Köprünün üst kısmındaki boylamasına gerilme (S11).



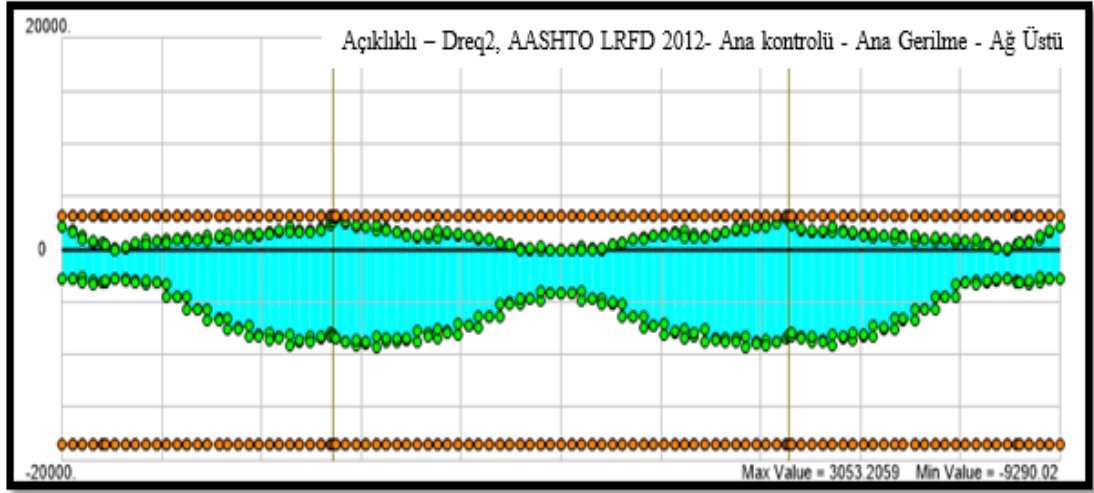
Şekil 4.6. Köprünün Alt kısmındaki boylamasına gerilme (S11).

Gösterilen Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’de C42 beton sınıfındaki sınırlı tasarım değerine göre, segmental köprünün üst ve alt kısmındaki maksimum ve minimum boylamasında gerilmeyi göstermektedir ve bu durumda, maksimum ve minimum gerilme, tasarımın iyi olmasına izin verilen sınırlar dahilindedir.

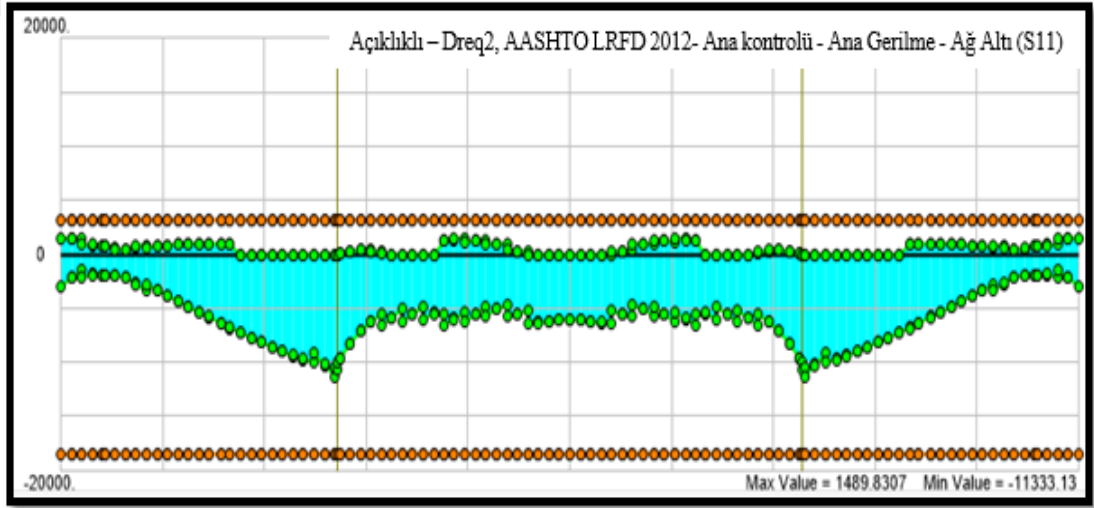
Boyuna Gerilmeye üç modülün sonuçları CSI Bridge Yazılımı Sonucu'ndan alınan Çizelge (4-9) gösterilmektedir. Ve tüm beton sınıflarında, boyuna gerilmeye bakımından tüm modüller doğrulanmıştır.

Çizelge 4.9. C28, C42 ve C55 sınıfında segmental köprünün üst ve altındaki boylamasına gerilme sonucu.

Gerilme	Konum	C28		Sınırlama	Test
Gerilme KN/m ²	Üst	Maksimum	-922.211	2625.787	Test edilmiş
		Minimum	-9400.41	-12410.56	
	Alt	Maksimum	322.101	2625.787	Test edilmiş
		Minimum	-12205.17	-12410.56	
		C42			
Gerilme KN/m ²	Üst	Maksimum	-715.221	3215.919	Test edilmiş
		Minimum	-9004.93	-18615.85	
	Alt	Maksimum	454.211	3215.919	Test edilmiş
		Minimum	-11949.7	-18615.85	
		C55			
Gerilme KN/m ²	Üst	Maksimum	-724.821	3714.835	Test edilmiş
		Minimum	-9607.9	-24840	
	Alt	Maksimum	-43.524	3714.835	Test edilmiş
		Minimum	-11872.93	-24840	



Şekil 4.7. Ağın üst kısmında ana gerilme aralığı.

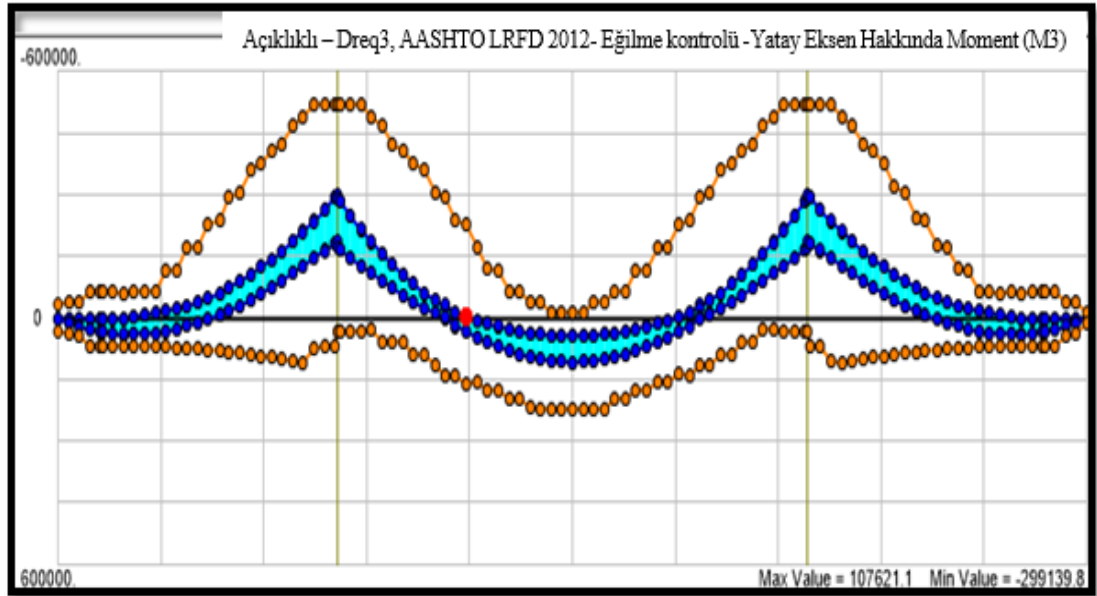


Şekil 4.8. Ağın Altı kısmında ana gerilme aralığı.

Yukarıdaki Şekil 4.7, 4.8, ağ kirişinin üstünde ve altında ana gerilimin maksimum ve minimum değerini göstermektedir; ve istenen tasarımın sınırlandırılması, C42, C55 beton sınıflarında izin verilen sınırlar dahilineyken bir kirişin üst ağında C28 beton sınıfında sınırları aşmaktadır. Temel gerilimdeki üç modülün sonuçları CSI Bridge Yazılımı Sonucu'ndan alınan tabloda (4-10) gösterilmektedir.

Çizelge 4.10. C28, C42 ve C55 sınıflarla ilgili segmental köprüde ağın üst kısmında ve alt kısmında ana gerilme sonucu.

Gerilme tipi	Konum	C28		Sınırlama	Test
Ana Gerilme KN/m ²	Ağ Üstü	Maksimum	2905.141	2625.787	Test edilmemiş
		Minimum	-9667.69	-12410.56	
	Ağ Altı	Maksimum	1477.955	2625.787	Test edilmiş
		Minimum	-11621.6	-12410.6	
		C42			
Ana Gerilme KN/m ²	Ağ Üstü	Maksimum	3053.201	3215.919	Test edilmiş
		Minimum	-9290.02	-18615.85	
	Ağ Altı	Maksimum	1490.102	3215.919	Test edilmiş
		Minimum	-11333.13	-18615.85	
		C55			
Ana Gerilme KN/m ²	Ağ Üstü	Maksimum	3114.754	3714.835	Test edilmiş
		Minimum	-9646.76	-24840	
	Ağ Altı	Maksimum	1519.103	3714.835	Test edilmiş
		Minimum	-11284.68	-24840	

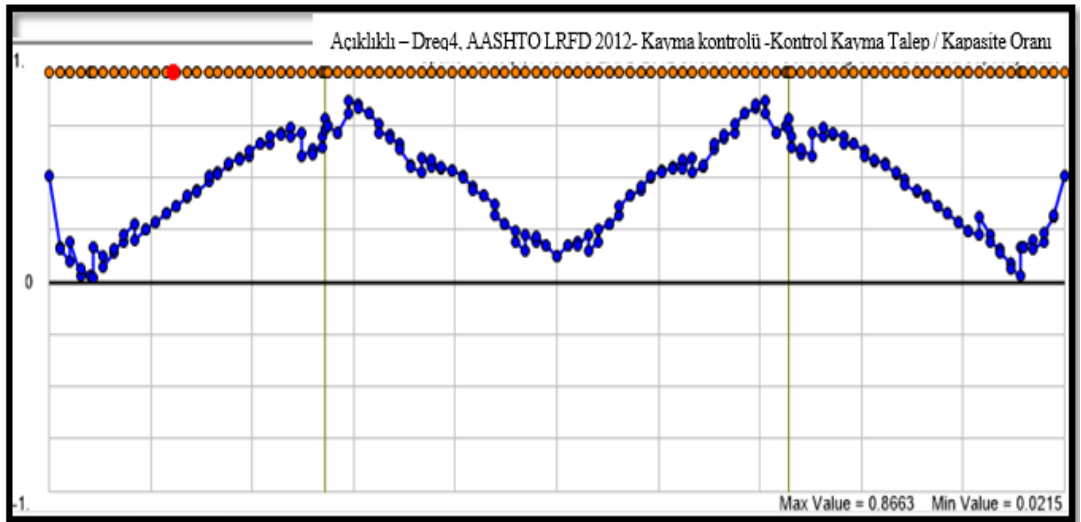


Şekil 4.9. Yatay eksen etrafındaki eğilme momenti C42 (M3).

Yine yukarıdaki şekil (4.9), istenen tasarımın köprü sınırlaması üzerindeki Eğilmenin (M3 yatay eksen için momentum) maksimum ve minimum değerini göstermektedir görüldüğü üzere izin verilen sınırlar içindedir. Temel stresteki üç modelin sonuçları CSI Bridge Yazılımı Sonucu'ndan alınan tabloda (4-11) gösterilmektedir.

Çizelge 4.11. C28, C42 ve C55 sınıfında giriş köprü bölümündeki eğilme gerilmesinin sonucu.

Gerilme tipi	Konum	C28			Test edilmiş
Eğilme (Moment) KN/m	Enter bridge section	Maksimum	103192.63		Test edilmiş
		Minimum	-308137.2		
		C42			
Eğilme (Moment) KN/m	Enter bridge section	Maksimum	107621.1		Test edilmiş
		Minimum	-299139.8		
		C55			
Eğilme (Moment) KN/m	Enter bridge section	Maksimum	124751.6		Test edilmiş
		Minimum	-294818.8		



Şekil 4.10. Beton Kayma kapasitesi oranı C42.

Yine yukarıdaki Şekil 4.10’de izin verilen limitler dahilinde istenen tasarımın kayma sınırlamasını kontrol etmek için köprüdeki Kayma Kapasitesi Oranının maksimum ve minimum değerini gösterildi Çizelge 4.12. Temel gerilmelerdeki üç modülün sonucu, CSI Bridge Software Sonuçlarından alınan Çizelge 4.13’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.12. C28, C42 ve C55 sınıfında segmental köprüsü beton Kayma kapasitesi oranı sonucu.

Gerilme tipi	Konum	C28		Sınırlama	Test edilmiş
Kayma Kapasitesi Oranı	Ağ Üstü	Maksimum	0.916	1	Test edilmiş
		Minimum	0.021	1	
	Ağ Altı	Maksimum	1.204	1	Test edilmemiş
		Minimum	0.144	1	
		C42			
Kayma Kapasitesi Oranı	Ağ Üstü	Maksimum	0.866	1	Test edilmiş
		Minimum	0.022	1	
	Ağ Altı	Maksimum	0.981	1	Test edilmiş
		Minimum	0.101	1	
		C55			
Kayma Kapasitesi Oranı	Ağ Üstü	Maksimum	0.851	1	Test edilmiş
		Minimum	0.027	1	
	Ağ Altı	Maksimum	0.871	1	Test edilmiş
		Minimum	0.101	1	

Aşağıdaki üç tablo 4.13, 4.14, 4.15, talep edilen tasarımın, tüm gerilim durumlarında, alt levhanın kalınlığı ve derinlik kirişinin sabitlerini ve değişkenlerini etkileyen sonuçları göstermektedir (Boyuna Gerilme, Ana Gerilme, Eğilme, Kayma Gerilmesi) ve bu değer farklı beton sınıflarında C28, C42, C55 için karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.13. Derinlik kirişi (3m) ve alt levhanın kalınlığı (0.25m) ile sabit olduğunda, ağ kalınlığı (0.5) m, ve tendon geriliminin gerilme sonrası değeri (4000) KN olduğunda C28, C42 ve C55 beton sınıflarının tüm durumlarında talep edilen tüm gerilim tasarımlarının sonucu.

Gerilme tipi	Konum		C28	C42	C55
Gerilme KN/m ²	Üst	Maksimum	291.67	218.01	592.43
		Minimum	-9976.09	-10121.89	-10206.33
	Alt	Maksimum	1187.22	1220.03	1344.61
		Minimum	-17511.27	-17459.52	-17935.33
Ana Gerilme KN/m ²	Ağ üstü	Maksimum	5458.365	5442.29	5651.45
		Minimum	-10134.23	-10224.49	-10322.87
	Ağ Altı	Maksimum	1859.36	1829.35	1915.57
		Minimum	-15455.09	-15418.35	-15796.24
Eğilme (Moment) KN/m	Yatay eksen M3 ile ilgili moment	Maksimum	132784.58	132193.85	136770.69
		Minimum	-266236.1	-265597.4	-272900.6
Kayma oranı	Köprü kesiti Girişi	Maksimum	1.265	1.188	1.165
		Minimum	0.016	0.025	0.022
	Kayma Kontrolü	Maksimum	1.412	1.153	1.128
		Minimum	0.124	0.010	0.094

Yukarıdaki Çizelge 4.13'te, sabit derinlik kirişinin ve alt levhanın kalınlığının, C28, C42, C55 tüm beton sınıflarında istenen tasarımın tüm gerilmeleri üzerindeki etkisi gösterilmektedir, ve tasarım, her üç modelde de izin verilen sınırları aştığını göstermektedir (doğrulanmadı).

Çizelge 4.14. Alt levhanın kalınlığı sabit olduğunda, ve derinlik kirişin değişken olduğunda ve ağ kirişinin kalınlığı (0.5 m) olduğunda ve tendon geriliminin gerilme sonrası değeri (4000) KN olduğunda C28, C42 ve C55 beton sınıflarının tüm durumlarında talep edilen tüm gerilim tasarımlarının sonucu.

Gerilme tipi	Konum		C28	C42	C55
Gerilme KN/m ²	Üst	Maksimum	-438.725	-530.30	-181.67
		Minimum	-10750.9	-10886.28	-11012.71
	Alt	Maksimum	1975.999	1858.97	2204.23
		Minimum	-23375	-23311.7	-23933.51
Ana Gerilme KN/m ²	Ağ üstü	Maksimum	4792.139	4771.60	4958.36
		Minimum	-10663.73	-10751.84	-10836.8
	Ağ Altı	Maksimum	2062.30	2030.58	2123.99
		Minimum	-20707.02	-20662.21	-21170.88
Eğilme (Moment) KN/m	Yatay eksen M3 ile ilgili moment	Maksimum	144566.22	143953.08	148691.3
		Minimum	-243761.8	-243162.8	-249900.4
Kayma oranı	Köprü kesiti Girişi	Maksimum	1.198	1.126	1.104
		Minimum	0.016	0.045	0.018
	Kayma Kontrolü	Maksimum	1.334	1.093	1.069
		Minimum	0.113	0.093	0.081

Yukarıdaki Çizelge 4.14, alt levhanın sabit kalınlığının, C28, C42, C55 tüm beton sınıflarında talep edilen tasarımın tüm gerilmeleri üzerindeki etkisi göstermektedir. Tasarım, bir modelde izin verilen sınırları aştığını gösteriyor -Beton sınıfı C28 (doğrulandı); ancak iki modelde izin verilen sınırlar dahilindedir -beton sınıfları C42, C55 (doğrulandı).

Çizelge 4.15. Derinlik kirişi (3 m) sabit olduğunda ve alt levhanın kalınlığı (0.25-0.5) m değişken olduğunda, ağ kirişinin kalınlığı (0.5 m) olduğunda ve tendon geriliminin gerilme sonrası değeri (4000) KN olduğunda C28, C42 ve C55 beton sınıflarının tüm durumlarında talep edilen tüm gerilim tasarımlarının sonucu.

Gerilme tipi	Konum		C28	C42	C55
Gerilme KN/m ²	Üst	Maksimum	-699.395	-701.08	-701.98
		Minimum	-9142.31	-9275.46	-9300.98
	Alt	Maksimum	704.85	767.103	874.61
		Minimum	-15783.82	-15681.77	-16118.39
Ana Gerilme KN/m ²	Ağ üstü	Maksimum	2618.76	2590.53	2721.12
		Minimum	-9088.03	-9192.81	-9259.78
	Ağ Altı	Maksimum	1446.66	1411.27	1472.48
		Minimum	-14846.	-14763.51	-15149.36
Eğilme (Moment) KN/m	Yatay eksen M3 ile ilgili moment	Maksimum	119389.54	118622.72	122260.02
		Minimum	-284558.8	-283345.5	-291262.6
Kayma oranı	Köprü kesiti Girişi	Maksimum	0.864	0.815	0.804
		Minimum	0.022	0.037	0.017
	Kayma Kontrolü	Maksimum	1.049	0.857	0.778
		Minimum	0.121	0.101	0.098

Yukarıdaki Çizelge 4.15, sabit derinlik kirişinin, C28, C42, C55 tüm beton sınıflarında talep edilen tasarımın tüm gerilmeleri üzerindeki etkisi göstermektedir ve tasarım, her üç modelde de izin verilen sınırları aştığını göstermektedir (doğrulanmadı).

Aşağıdaki üç Çizelge 4.16, 4.17, 4.18, istenen tasarımın tüm gerilimleri üzerine, gerilim sonrası tendon stresinin (3000, 3500, 4000) KN değerindeki değişmeyi etkileyen sonuçları göstermektedir (Boyuna Gerilme, Ana Gerilme, Eğilme, Kesme Gerilmesi) ve bu değer farklı beton sınıflarında C28, C42, C55 için karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.16. Derinlik kirişi ve alt levhanın kalınlığı değişken olduğunda, ağ kirişinin kalınlığı (0.5 m) olduğunda ve tendon geriliminin gerilme sonrası değeri (3000) KN olduğunda C28, C42 ve C55 beton sınıflarının tüm durumlarında talep edilen tüm gerilim tasarımlarının sonucu.

Gerilme tipi	Konum		C28 3000 KN	C42 3000 KN	C55 3000 KN
Gerilme KN/m ²	Üst	Maksimum	-155.776	-206.341	-933.434
		Minimum	-6796.15	-6846.65	-8188.18
	Alt	Maksimum	1831.75	1842.241	-713.311
		Minimum	-11896.27	-11858.13	-11415.44
Ana Gerilme KN/m ²	Ağ üstü	Maksimum	3869.438	3857.892	3838.92
		Minimum	-7072.79	-7134.65	-8507.18
	Ağ Altı	Maksimum	1998.188	1976.511	1885.201
		Minimum	-10986.28	-10955.48	-10605.09
Eğilme (Moment) KN/m	Yatay eksen M3 ile ilgili moment	Maksimum	111754.02	111522.76	144596.39
		Minimum	-287566.7	-286947.3	-269707.7
Kayma oranı	Köprü kesiti Girişi	Maksimum	0.845	0.802	0.834
		Minimum	0.016	0.038	0.059
	Kayma Kontrolü	Maksimum	1.129	0.922	0.847
		Minimum	0.128	0.1156	0.09

yukarıdaki Çizelge 4.16’de gösterilmektedir Gerilim sonrası tendon kuvveti değerinin istenen tasarımda tüm C28, C42, C55 beton sınıflarında 3000 KN olması durumunda ana Gerilim üst ağda doğrulanmaz.Sıkıştırma gerilimine aşırı derece izin veriliyor. Ayrıca Germe sonrası tendon kuvveti değeri 3000 KN olduğunda, tasarım tüm C28, C42, C55 beton sınıflarında doğrulanmadı.

Çizelge 4.17. Derinlik kirişi ve alt levhanın kalınlığı değişken olduğunda, ağ kirişinin kalınlığı (0.5 m) olduğunda ve tendon geriliminin gerilme sonrası değeri (3500) KN olduğunda C28, C42 ve C55 beton sınıflarının tüm durumlarında talep edilen tüm gerilim tasarımlarının sonucu.

Gerilme tipi	Konum		C28 3500 KN	C42 3500 KN	C55 3500 KN
Gerilme KN/m ²	Üst	Maksimum	-930.362	-792.645	-933.594
		Minimum	-8346.91	-7629.19	-8528.24
	Alt	Maksimum	161.318	1161.513	372.2068
		Minimum	-11458.45	-11902.24	-11647.61
Ana Gerilme KN/m ²	Ağ üstü	Maksimum	3363.61	3456.4516	3477.216
		Minimum	-8470.93	-8189.02	-8655.13
	Ağ Altı	Maksimum	1684.734	1706.497	1701.095
		Minimum	-10777.18	-11142.98	-10947.84
Eğilme (Moment) KN/m	Yatay eksen M3 ile ilgili moment	Maksimum	132103.46	109544.46	134629.73
		Minimum	-276500	-293137.8	-282329.1
Kayma oranı	Köprü kesiti Girişi	Maksimum	0.906	0.857	0.85
		Minimum	0.017	0.024	0.044
	Kayma Kontrolü	Maksimum	1.191	0.963	0.871
		Minimum	0.142	0.106	0.107

Çizelge 4.17’de gösterilmektedir Gerilim sonrası tendon kuvveti değerinin istenen tasarımda C28, C42 beton sınıflarında 3500 KN olması durumunda ana Gerilim üst ağda doğrulanmaz. Sıkıştırma gerilimine aşırı derece izin veriliyor. Çekme sonrası tendon kuvveti değeri 3500 KN olduğunda, tasarım beton derecesi C28, C42 durumlarında doğrulanmadı ve C55 beton sınıfında doğrulandı.

Çizelge 4.18. Derinlik kirişi ve alt levhanın kalınlığı değişken olduğunda, ağ kirişinin kalınlığı (0.5 m) olduğunda ve tendon geriliminin gerilme sonrası değeri (4000) KN olduğunda C28, C42 ve C55 beton sınıflarının tüm durumlarında talep edilen tüm gerilim tasarımlarının sonucu.

Gerilme tipi	Konum		C28 4000 KN	C42 4000 KN	C55 4000 KN
Gerilme KN/m ²	Üst	Maksimum	-930.596	-715.221	-933.755
		Minimum	-9388.69	-9004.93	-9598.76
	Alt	Maksimum	6.685	454.211	98.395
		Minimum	-11727.71	-11949.7	-11883.44
Ana Gerilme KN/m ²	Ağ üstü	Maksimum	3014.55	3053.201	3116.113
		Minimum	-9416.47	-9279.3	-9632.5
	Ağ Altı	Maksimum	1510.32	1490.102	1515.93
		Minimum	-11149.01	-11333.13	-11293.73
Eğilme (Moment) KN/m	Yatay eksen M3 ile ilgili moment	Maksimum	122366.84	107621.1	124603.48
		Minimum	-289704.1	-299139.8	-295024.1
Kayma oranı	Köprü kesiti Girişi	Maksimum	0.916	0.866	0.851
		Minimum	0.022	0.022	0.028
	Kayma Kontrolü	Maksimum	1.194	0.981	0.871
		Minimum	0.122	0.101	0.093

Çizelge 4.18’de gösterilmektedir Gerilim sonrası tendon kuvveti değerinin istenen tasarımda C28, beton sınıflarında 4000 KN olması durumunda ana Gerilim üst ağda doğrulanmaz. Sıkıştırma gerilimine aşırı derece izin veriliyor. Çekme sonrası tendon kuvveti değeri 4000 KN olduğunda, tasarım beton derecesi C28, durumlarında doğrulanmadı C42 ve C55 beton sınıfında doğrulandı.

Çizelge 4.19, 4.20, 4.21, farklı beton kalitesi C28, C42, C55 ile, web kalınlığı (0.45, 0.5, 0.55) m'nin istenen tüm tasarım gerilimi üzerindeki etkisini göstermektedir.

Çizelge 4.19. Derinlik kirişi ve alt levhanın kalınlığı değişken olduğunda, ağ kirişinin kalınlığı (0.45 m) olduğunda ve tendon geriliminin gerilme sonrası değeri (4000) KN olduğunda C28, C42 ve C55 beton sınıflarının tüm durumlarında talep edilen tüm gerilim tasarımlarının sonucu.

Gerilme tipi	Konum		Beton C28	Beton C42	Beton C55
Gerilme KN/m ²	Üst	Maksimum	-728.169	-729.845	-741.129
		Minimum	-9591.28	-9184.55	-9798.98
	Alt	Maksimum	222.041	378.255	-2.207
		Minimum	-12277.43	-12019.22	-11934.01
Ana Gerilme KN/m ²	Ağ üstü	Maksimum	3229.43	3378.585	3448.108
		Minimum	-10138.31	-9760.43	-10122.75
	Ağ Altı	Maksimum	1630.381	1687.154	1727.244
		Minimum	-11711.94	-11420.17	-11365.05
Eğilme (Moment) KN/m	Yatay eksen M3 ile ilgili moment	Maksimum	102311.1	106520.35	123614.33
		Minimum	-303135.5	-294347.8	-289806.4
Kayma oranı	Köprü kesiti Girişi	Maksimum	0.924	0.877	0.873
		Minimum	0.017	0.021	0.029
	Kayma Kontrolü	Maksimum	1.316	1.073	0.954
		Minimum	0.155	0.113	0.111

yukarıdaki Çizelge 4.19'de gösterilmektedir C28, C42 Beton sınıfı tasarımda doğrulamamıştır, çünkü üstteki ana gerilim izin verilen sıkıştırma seviyesinin üzerindedir ve ağ kalınlığında (0.45m) ağ sınırlamasında kaymayı kontrol eder; C55 beton sınıfı doğrulanmıştır.

Çizelge 4.20. Derinlik kirişi ve alt levhanın kalınlığı değişken olduğunda, ağ kirişinin kalınlığı (0.50 m) olduğunda ve tendon geriliminin gerilme sonrası değeri (4000) KN olduğunda C28, C42 ve C55 beton sınıflarının tüm durumlarında talep edilen tüm gerilim tasarımlarının sonucu.

Gerilme tipi	Konum		Beton C 28	Beton C42	Beton C55
Gerilme KN/m ²	Üst	Maksimum	-922.211	-715.221	-724.821
		Minimum	-9400.41	-9004.93	-9607.9
	Alt	Maksimum	322.101	454.211	43.524
		Minimum	-12205.17	-11949.7	-11872.93
Ana Gerilme KN/m ²	Ağ üstü	Maksimum	2905.141	3053.201	3114.754
		Minimum	-9667.69	-9290.02	-9646.76
	Ağ Altı	Maksimum	1477.955	1490.102	1519.103
		Minimum	-11621.6	-11333.13	-11284.68
Eğilme (Moment) KN/m	Yatay eksen M3 ile ilgili moment	Maksimum	130496.61	127296.22	133010.87
		Minimum	-308137.2	-299139.8	-294818.8
Kayma oranı	Köprü kesiti Girişi	Maksimum	0.916	0.866	0.851
		Minimum	0.021	0.022	0.027
	Kayma Kontrolü	Maksimum	1.204	0.981	0.871
		Minimum	0.144	0.101	0.023

Çizelge 4.20’de gösterilmektedir C28, Beton sınıfı tasarımda doğrulamamıştır, çünkü üstteki ana gerilim izin verilen sıkıştırma seviyesinin üzerindedir ve ağ kalınlığında (0.5m) ağ sınırlamasında kaymayı kontrol eder; C42,C55 beton sınıfı doğrulanmıştır.

Çizelge 4.21. Derinlik kirişi ve alt levhanın kalınlığı değişken olduğunda, ağ kirişinin kalınlığı (0.55 m) olduğunda ve tendon geriliminin gerilme sonrası değeri (4000) KN olduğunda C28, C42 ve C55 beton sınıflarının tüm durumlarında talep edilen tüm gerilim tasarımlarının sonucu.

Gerilme tipi	Konum		Beton C28	Beton C42	Beton C55
Gerilme KN/m ²	Üst	Maksimum	-905.808	-701.227	-709.246
		Minimum	-9225.578	-8832.17	-9424.04
	Alt	Maksimum	409.564	527.551	87.429
		Minimum	-12128.77	-11886.76	-11818.33
Ana Gerilme KN/m ²	Ağ üstü	Maksimum	2648.198	2796.419	2851.772
		Minimum	-9273.11	-8904.65	-9241.65
	Ağ Altı	Maksimum	1360.288	1333.565	1353.93
		Minimum	-11528.93	-11252.98	-11211.17
Eğilme (Moment) KN/m	Yatay eksen M3 ile ilgili moment	Maksimum	104257.68	108760.1	125928.96
		Minimum	-312884.4	-303897.9	-299796.8
Kayma oranı	Köprü kesiti Girişi	Maksimum	0.908	0.856	0.839
		Minimum	0.014	0.024	0.048
	Kayma Kontrolü	Maksimum	1.112	0.907	0.812
		Minimum	0.132	0.091	0.01

Çizelge 4.21’de gösterilmektedir C28, Beton sınıfı tasarımda doğrulamamıştır, çünkü üstteki ana gerilim izin verilen sıkıştırma seviyesinin üzerindedir ve ağ kalınlığında (0.55m) ağ sınırlamasında kaymayı kontrol eder; C42,C55 beton sınıfı doğrulanmıştır.

5. SONUÇLAR

Sabit kiriş yüksekliği ve alt levhanın kalınlığı nedeniyle, eğime gerilmesi kiriş üst kısmında artar fakat AASHTO LRFD 2012'ye göre oluşan gerilme izin verilen gerilme sınırlarının altındadır.

Sabit kiriş yüksekliği ve alt levhanın sabit kalınlığı, C28, C42, C55 sınıfı tüm farklı betonlarının alt levhada gerilmenin arttırma nedenidir. C28 ve C42 sınıf betonlarında AASHTO LRFD 2012'ye göre basınç sınırlarını aşmaktadır.

Yine sabit kiriş yüksekliği ve alt levhanın sabit kalınlığı, tüm farklı beton sınıflarında C28, C42, C55, momentte artışa neden olmaktadır, ve C28 sınıf betonlarda AASHTO LRFD 2012'ye göre öngörülen sınırlamayı aşmaktadır.

Sabit yükseklikli kiriş ve sabit bir alt taban levhası kullanıldığında, sandık kirişinin kesiti, C28, C42, C55 gibi farklı beton sınıflarındaki kaymayı kontrol etmemektedir ve AASHTO LRFD 2012'ye göre öngörülen sınırlamayı aşmaktadır.

Kiriş yüksekliğinin sabit ve alt levha uçlarının değişken kalınlığı, tüm C28, C42, C55 beton sınıflarındaki eğilme gerilmesini arttırmaktadır. C28 beton sınıfı beton kullanılan model kiriş altında eğilme gerilmesinin yüksek olmasından dolayı başarıyla test etmezken diğer sınıflarda beton kullanılan modeller başarılı olarak test edilmiştir.

Sabit yükseklik kirişte alt levhanın değişken kalınlığı, tüm C28, C42, C55 beton sınıflarında eğilme gerilmesinde artışa neden olur, çünkü tüm beton sınıfları için tüm levhalarda ve tüm sınırlamalarına aşırı derecede izin verdikleri için.

İstenen tasarımı doğrulamak için sabit yükseklikli kiriş ve alt levhanın değişken kalınlığına sahip son üç modelde, tüm C28, C42, C55 beton sınıfları doğrulanmıştır.

Germe işlemi sonrası tendon gerilme değerinin arttırması nedeniyle, eğilme gerilmesi, tüm C28, C42, C55 beton sınıflarında azalmıştır.

Germe işlemi sonrası tendon gerilme değeri arttığında, kayma gerilmesi tüm C28, C42, C55 beton sınıflarında artmıştır.

Germe işlemi sonrası tendon kuvveti değerinin istenen tasarımda tüm C28, C42, C55 beton sınıflarında 3000 KN olması durumunda eğime gerilmesi üst levhada doğrulanmamıştır.

Çekme sonrası tendon kuvveti değeri 3500 KN olduğunda, tasarım C28, C42 betonlar için doğrulanmamıştır fakat C55 beton sınıfında doğrulandı.

Levha kalınlığı arttığında, tüm gerilmeler azalmıştır.

C28 Beton sınıfı, tasarımda doğrulamamıştır çünkü üst levhadaki eğilme gerilmesi, levha kalınlığı (0,45, 0,5, 0,55) m’de izin verilen basınç sınırlamasının üzerindedir ve kayma kontrol düzeyi üzerindedir.

Bu çalışmadaki 27 modelden 10'u başarılıydı ve başarılı modellerden 7'si C55 beton sınıfında ve 3'ü C42 beton sınıfındadır.

Prekast segmental köprünün büyük bölümünde, segmental bölümü dökmek için C28 beton sınıfı kullanılmaz; bu sınıf sadece küçük ve orta bölümlerde kullanılır. Çünkü bu sınıf bu çalışmadaki hiçbir modelde başarılı olamadı. Ancak levhanın kalınlığını arttırırsak ve tendonun alanını arttırırsak, böyle bir sınıf başarılı olur, ancak bunlar köprünün tasarımında çok kritik durumlardır.

C55 beton sınıfını kullanan yedi segmental ön gerilmeli beton köprü modelini tasarlamak için başarılı olarak kabul edilmiştir. Bu betonun kullanımı kalınlığı 45 ila 50 cm arasında azaltabilir.

C42 Beton sınıfı kullanan modellerden, üç modelin tasarımı başarılı olmuştur. Levhanın kalınlığı 0.55 m olduğunda segmental prekast öngerilmeli beton köprüdeki bir model ve levhanın kalınlığı 0.5 m ve alt levhanın kalınlığı (0.25, 0.5) m olduğunda iki modelde başarılıdır.

C28 sınıfı bir beton kullanımı, ekonomik olarak diğer tiplerden daha iyidir. Bu durumda alt levhanın kalınlığı (0.25 - 0.5) m arasındadır.

KAYNAKLAR

1. Corven, J., 2015, Post-tensioned box girder design manual, Federal Highway Administration Office of Infrastructure – Bridges and Structures, SE Washington, No. FHWA-HIF-15-016.
2. URL-1 <http://cosssdotblog-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2012/06/stamets061112_3181.jpg>, Erişim tarihi: 23.02.2019.
3. URL-2
<https://lh3.googleusercontent.com/2cp8mOgezNXROyM_pMquvDytD4iqBJOy3NhwAG-t0cE-sW7nLjexTSqLNP-eXKkWmu96OVc=s128>, Erişim tarihi: 23.02.2019.
4. Chourasia M., D. S. Akhtar, 2015, Design and Analysis of Prestressed Concrete Box Girder by Finite Element Method (4 Cells & 1 Cell), International Journal of Civil and Structural Engineering Research 3(1): 413-421.
5. Ajith R., D. J. Dattatraya, 2015, Study on the Structural Behaviour and Design of a Typical Single Cell Post Tensioned Concrete Box Girder Bridge, Journal of Civil Engineering and Environmental Technology 2: 1-6.
6. URL-3 <http://www.wiecon.com.tw/images/2015New/Img_BRIDGEDESIGN-03.jpg> Erişim tarihi: 13.03.2019.
7. Pre-stressed Concrete Institute (PCI), 1978, PCI Design Handbook, 1stEdition, Precast/Pre-stressed Concrete Institute, Chicago, Illinois.
8. Podolny, W. and J. M. Muller, 1994, Construction and Design of Prestressed Concrete Segmental Bridges, New York Chichester Brisbane Toronto Singapore.
9. V. Marshall, and J. M. Robberts, 1995, Prestressed Concrete Design and Practice, Concrete Society of Southern Africa, Prestressed Concrete Division.
10. URL-4 <<https://files.structurae.net/files/350high/64/choisy01.jpg>> Erişim tarihi: 15.03.2019.
11. URL-5 <<https://docplayer.info/docs-images/62/47671723/images/277-0.jpg>>, Erişim tarihi: 18.2.2020.

12. URL-5 <https://lh3.googleusercontent.com/0o-gmzdZIDnkN4vnokilWeHfelY5e0P7_7Xq36hCol1tBhKf4-zau1EU4GUQjEy8fiyF=s113>, Erişim tarihi: 18.03.2019.
13. Yilmaz, A. İ., 2015, Segmental Concrete Box Girder Bridge Thermal Analysis Based On New Turkish Solar Zone Map 1-Developed To Assess Temperature Gradient Loading, Middle East Technical University.
14. Mathivat, J., 1983, the Cantilever Construction of Prestressed Concrete Bridges, John Wiley and Sons, Chichester.
15. Lacey, G., J. Breen, 1975, The design and optimization of segmentally precast prestressed box girder bridges.
16. Teddy S., Theryo, 2004, PE, Major Bridge Service Center, American Segmental Bridge Institute.
17. Muhd B., 2015, Computerised Design of Box-girder Bridge Using Balanced Cantilever Method, Universiti Teknologi Malaysia.
18. Hardik R. Trivedi, 2014, Segmental Bridge Design of Prestressed Box Superstructure for Cantilever Construction. International Journal of Bridge Engineering (IJBE), Vol. 2, No. 2, pp. 49-82.
19. AASHTO, L., 2012, AASHTO LRFD bridge design specifications. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.
20. URL-6 <<https://image.made-in-china.com/202f0j00MmCQVLohngzK/Prestressing-Unbonded-7-Wire-ASTM-Steel-Strand-Tendons.jpg>>, Erişim tarihi: 25.03.2019.
21. URL-7 <<https://image.made-in-china.com/2f0j00SKltMUJdLfuj/Cnm-SD-Post-Tensioning-Galvanized-Metal-Ducts.jpg>>, Erişim tarihi: 26.03.2019.
22. Harish M K, C. V. R., Ashwini B T, 2017, Analysis of Box Girder Bridges Under IRC Loading, International Journal of Scientific Development and Research (IJS DR), 2(9): 5.
23. URL-8 <<https://civildigital.com/wp-content/uploads/2013/09/Picture11.jpg>>, Erişim tarihi: 12.01.2020.

24. URL-9 <https://mcnarybergeron.com/wp-content/uploads/2019/05/2010-05-20_16.00.56-560x420.jpg>, Erişim tarihi: 12.01.2020.
25. Ajith, R., D. J. Dattatraya, ASCE7, 2006, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures ASCE/SEI 7-05, American Society of Civil Engineer, Reston: ASCE, pp. 109-133.
26. Billington, S. L., al writes. (1999). A precast segmental substructure system for standard bridges, PCI journal 44(4): 56-73.
27. Benaim, R., 2007, The design of prestressed concrete bridges: concepts and principles. CRC Press.
28. Post-tensioning Institute, Prestressed Concrete Institute, Precast Segmental Box Girder Bridge Manual, Post-tensioning Institute & Prestressed Concrete Institute, 1978, Glenview, Illinois 60025 & Chicago, Illinois 60606.
29. CsiBridge, Introduction to CsiBridge, 1995, Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, 94704 USA.
30. CsiBridge, Super Structure Design to CsiBridge, 1995, Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, 94704 USA.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Khalid HASSAN HASSAN

Eğitim Bilgileri (Kurum ve Yıl)

Lisans : 2008, ERBİL TEKNİK KOLEJİ, MÜHENDİSLİĞİ İNŞAAT
BÖLÜMÜ, Erbil , Iraq

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversite, Fen Bilimleri Enstitüsü 2014 – 2020

MESLEKİ DENEYİMLERİ

Duhok Politeknik Üniversitesi / Köprüler Bölümü