

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DENGELİ KONSOL YÖNTEMİ İLE İNŞA EDİLEN BETONARME KARAYOLU**  
**KÖPRÜLERİNİN YAPIM AŞAMALARINA GÖRE ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş. Müh. Selvi ERKAN**

**ŞUBAT 2011**  
**TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DENGELİ KONSOL YÖNTEMİ İLE İNŞA EDİLEN BETONARME  
KARAYOLU KÖPRÜLERİNİN YAPIM AŞAMALARINA GÖRE ANALİZİ**

**İnş. Müh. Selvi ERKAN**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“İnşaat Yüksek Mühendisi”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17.01.2011  
Tezin Savunma Tarihi : 02.02.2011**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Şevket ATEŞ  
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Süleyman ADANUR  
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Mustafa KAVRAZ**

**Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Trabzon 2011**

## ÖNSÖZ

“Dengeli Konsol Yöntemi İle İnşa Edilen Betonarme Karayolu Köprülerinin Yapım Aşamalarına Göre Analizi” başlıklı bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Ülkemizde de önem kazanan ve yaygınlaşan bu konuya yönelmemi sağlayan her aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve bilgilerini benimle paylaşan danışman Hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Şevket ATEŞ’e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tez çalışmamı başından beri takip eden, inceleyen ve son ana kadar değerli görüş ve bilgilerini benden esirgemeyen değerli Hocam Sayın Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK’a çok teşekkür ederim.

Bana sonsuz desteklerinden dolayı sevgili babam öğretmen Neşat YÜCE’ye ve annem hemşire Pervin YÜCE’ye, canım kardeşlerim Fizyoterapist Seda YÜCE ve Recep Kadir YÜCE’ye ayrıca tüm desteğiyle yanımda olan eşim Muhammet Çağrı ERKAN’a teşekkür eder çalışmanın ülkemize faydalı olmasını dilerim.

Selvi ERKAN  
Trabzon 2011

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET .....	V
SUMMARY .....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER DİZİNİ .....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar .....	2
1.3. Tezin Amacı ve İçeriği .....	8
1.4. Betonun Zamana Bağlı Malzeme Özelliklerine Ait Formülasyon.....	9
1.4.1. Basınç Dayanımı .....	9
1.4.2. Betonun Yaşı .....	9
1.4.3. Betonun Büzülmesi .....	10
1.4.4. Betonun Sünmesi.....	11
1.4.5 Çeliğin Gevşemesi.....	12
1.5. Beton Köprüler .....	13
1.5.1. Beton Köprü Dönemi .....	13
1.5.2. Betonun Özellikleri .....	13
1.5.3. İlk Beton Yapılar .....	14
1.5.4. Beton Kemer Köprüler .....	14
1.5.5. Ön Gerilmeli Beton Köprüler.....	15
1.5.6. İkinci Dünya Savaşından Sonra Beton Köprüler .....	16
1.5.7. Askılı Tip Köprüler .....	17
1.6. Prefabrike Dilimli Köprüler .....	22
1.7. Prefabrike Dilimli Köprü İnşaları .....	26

1.7.1.	Açıklık.....	26
1.7.2.	Dengeli Konsol.....	26
1.7.3.	Kademeli Konsol.....	26
1.8.	Ön gerilmeli Dilimler Halinde İnşa Edilen Köprülerin Gelişimi.....	30
1.8.1.	Konsollama Yöntemi.....	31
1.8.1.1.	Prefabrike İnşa Yöntemi.....	32
1.8.1.2.	Yerinde Döküm İnşa Tekniği.....	34
1.8.1.3.	Dengeli Konsol İnşası .....	35
1.8.1.4.	Aşamalı Yerleştirme Yöntemi.....	37
1.8.1.5.	Linn Cove Viyadüğü .....	38
1.8.1.6.	Gülburnu Köprüsü.....	39
1.8.1.7.	Konsol Sürecinin Sonu.....	41
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR .....	42
2.1.	Giriş.....	42
2.2.	Betonarme Karayolu Köprüsü.....	42
2.2.1.	Betonarme Karayolu Köprüsü ve Geometrik Özellikleri.....	42
2.2.2.	Köprü Tabliyesi.....	43
2.2.2.1.	Köprü Ayakları ve Kenar Mesnetler .....	43
2.2.2.2.	Orta Açıklık Mafsal Düzeneği .....	44
2.3.	Karayolu Köprüsü'nün Statik Davranışının Belirlenmesi .....	45
2.3.1.	Tabliye Davranışı .....	46
2.3.2.	Köprü Ayaklarının Davranışı .....	48
2.4.	Karayolu Köprüsü'nün Yapısal Davranışına Yapım Aşamalarının ve Zamana Bağlı Malzeme Deformasyonlarının Etkisinin Belirlenmesi .....	50
2.4.1.	Analizlerde Dikkate Alınan Yükleme Durumları .....	54
2.4.2.	Yapım Aşamalarına Bağlı Deformasyon Şekilleri.....	55
2.4.3.	Köprü Tabliyesinin Davranışı .....	55
2.4.4.	Köprü Ayaklarının Davranışı .....	58
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	60
4.	KAYNAKLAR.....	63

ÖZGEÇMİŞ

## ÖZET

Bu tez çalışmasında, dengeli konsol yöntemi ile inşa edilen betonarme karayolu köprülerinin yapım aşamalarına göre analizi belirlenmiştir. Bu amaçla betonarme bir köprü üzerinde analitik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapım aşaması içeren analizlerde, zamana bağlı hem geometri değişimleri hem de malzeme özellikleri dikkate alınmıştır. Zamana bağlı malzeme özellikleri için betonun elastisite modülü, sünme ve rötre değişkenleri ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlar yapım aşamalarının dikkate alınmadığı çözümler ile karşılaştırılmıştır.

Bu tez çalışması üç bölümden meydana gelmektedir. İlk bölümde genel bilgiler, çalışma hakkında bilgi ve formülasyonlar sunulmaktadır. İkinci bölümde; yapılan çalışmalar ve bu çalışmalardan elde edilen bulgulara yer verilmektedir. Üçüncü bölümde; tez çalışmasından elde edilen sonuçlara ve yapılan önerilere yer verilmektedir. Bu bölümü kaynaklar ve özgeçmiş izlemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Dengeli Konsol Yöntemi, Betonarme Karayolu Köprüsü, Sonlu Eleman Yöntemi, Yapım Aşaması, Zamana Bağlı Malzeme Özellikleri

## **SUMMARY**

### **Construction Stage Analysis of Reinforced Concrete Highway Bridge Constructed with Balanced Cantilever Method**

In this thesis, it is aimed to perform the construction stage analysis of reinforced concrete highway bridge constructed with balanced cantilever method. For this purpose, analytical studies are done on a reinforced concrete bridge. In the analyses including construction stages, time dependent geometrical variations and material properties such as elastic modulus, shrinkage and creep are considered. The result obtained from the analyses are compared with these of the analysis for non-construction stage.

Three main sections are considered in this thesis. In the first chapter, some information about issues, formulations and purpose of the study are given. In the second chapter of the thesis studies and findings are considered. In the third section of the thesis; conclusions and some suggestions related to the thesis study are represented. Lastly, references and autobiography are represented.

**Key Words :** Balanced Cantilever Method, Highway Bridge, Finite Element Method, Construction Stage, Time Dependent Material Properties

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Yapım aşamasındaki Plougastel Köprüsü (Brown, 1993).....	15
Şekil 1.2. Askılı tip tertibatlar.....	18
Şekil 1.3. Oberkassel Ren Nehri Köprüsü, Düsseldorf, Almanya, (Leonhardt,1984) .....	19
Şekil 1.4. Maracaibo Gölü Köprüsü, Venezuela, (Leonhardt, 1984).....	20
Şekil 1.5. Pont de Brotonne Köprüsü, Fransa (Leonhardt, 1984).....	21
Şekil 1.6. Long Key Köprüsü .....	27
Şekil 1.7. Seven Mile Köprüsü .....	27
Şekil 1.8. Ramp I .....	28
Şekil 1.9. Tipik açıklıklı üst yapı .....	29
Şekil 1.10. Tipik dengeli konsol üst yapısı .....	29
Şekil 1.11. Tipik ard germe.....	30
Şekil 1.12. Dengeli konsol inşası .....	36
Şekil 1.13. Aşamalı yerleştirme yöntemi .....	37
Şekil 1.14. Linn Cove Viyadüğü, Kuzey Karolina, ABD.(Rives,.1997) .....	38
Şekil 1.15. Gülburnu Köprüsü (Harputoğlu vd., 2007) .....	40
Şekil 2.1. Karayolu Köprüsü'nün plan, boy kesit ve eleman boyutları .....	42
Şekil 2.2. Değişken kesitli tabliye üst yapısı .....	43
Şekil 2.3. Tipik orta açıklık genişleme derzi mafsal düzeneği (Altunışık vd., 2010).....	44
Şekil 2.4. Köprü'nün üç boyutlu sonlu eleman modelleri.....	46
Şekil 2.5. Karayolu köprüsünün statik analizleri sonucunda elde edilen düşey yerdeğiştirmelerin tabliye boyunca değişimi.....	47
Şekil 2.6. Karayolu köprüsünün statik analizleri sonucunda elde edilen eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi.....	47
Şekil 2.7. Karayolu köprüsünün statik analizleri sonucunda elde edilen kesme kuvveti değerlerinin tabliye boyunca değişimi.....	48
Şekil 2.8. Karayolu köprüsünün statik analizleri sonucunda elde edilen normal kuvvet değerlerinin tabliye boyunca değişimi.....	48
Şekil 2.9. Karayolu köprüsünün statik analizleri sonucunda elde edilen yatay ve düşey yerdeğiştirmeleri ayak yüksekliği boyunca değişimi .....	49



Şekil 2.10.	Karayolu köprüsünün statik analizleri sonucunda elde edilen normal kuvvet ve kesme kuvveti değerlerinin ayak yüksekliği boyunca değişimi .....	50
Şekil 2.11.	Karayolu köprüsünün statik analizleri sonucunda elde edilen eğilme momentlerinin ayak yüksekliği boyunca değişimi .....	50
Şekil 2.12.	Karayolu köprüsünün çeşitli yapım aşamaları.....	51
Şekil 2.13.	Beton (a) ve öngerilmeli çelik (b) için kullanılan gerilme-şekildeğiştirme diyagramları .....	53
Şekil 2.14.	Beton için zamana bağlı malzeme özelliği değişimi .....	53
Şekil 2.15.	Öngerilmeli çelik için zamana bağlı malzeme özelliği değişimi.....	54
Şekil 2.16.	Karayolu köprüsünün yapım aşamalı analizleri sonucunda elde edilen deformasyon şekilleri ile tabliye ve ayaklara ait yerdeğiştirme değerleri .....	56
Şekil 2.17.	Karayolu köprüsünün yapım aşamalı analizleri sonucunda elde edilen düşey yerdeğiştirmeler .....	57
Şekil 2.18.	Karayolu köprüsünün yapım aşamalı analizleri sonucunda elde edilen eğilme momentleri .....	57
Şekil 2.19.	Karayolu köprüsünün yapım aşamalı analizleri sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri .....	57
Şekil 2.20.	Karayolu köprüsünün yapım aşamalı analizleri sonucunda elde edilen normal kuvvetleri .....	58
Şekil 2.21.	Karayolu köprüsünün yapım aşamalı analizleri sonucunda elde edilen yatay ve düşey yerdeğiştirmelerin ayak yüksekliği boyunca değişimi.....	58
Şekil 2.22.	Karayolu köprüsünün yapım aşamalı analizleri sonucunda elde edilen normal kuvvet ve kesme kuvveti değerlerinin ayak yüksekliği boyunca değişimi .....	59
Şekil 2.23.	Karayolu köprüsünün yapım aşamalı analizleri sonucunda elde edilen eğilme momentlerinin ayak yüksekliği boyunca değişimi.....	59

## TABLolar DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 2.1. Köprünün analizlerinde kullanılan malzeme özellikleri.....	46
Tablo 2.2. Malzeme deformasyonlarının dikkate alınması için seçilmesi gereken analiz parametreleri.....	53

## SEMBOLLER DİZİNİ

$A_c$	Kesit alanı
$E_{ci}$	Betonun 28 günlük elastisite modülü
$E_{ci}(t)$	Herhangi bir t günlük betonun elastisite modülü
$f_{cm}$	Betonun 28 günlük basınç dayanımı
$f_{cmo}$	Betonun ortalama basınç dayanımı
$h$	Kavramsal boyut
$k$	$k \approx \log(\rho_{1000}/\rho_{100})$
$RH$	Amosferdeki nem oranı %
$t$	Zaman
$t_s$	Büzülme anından itibaren beton yaşı
$u$	Atmosfer ile temas eden çevre uzunluğu.
$\beta_{cc}(t)$	Beton yaşına bağlı katsayı
$\beta_s$	Büzülme katsayısı
$\beta_{sc}$	Çimento tipine bağlı katsayı
$\varepsilon_{cso}$	Kavramsal büzülme katsayısı
$g$	Yerçekimi ivmesi
$\sigma_c(t_o)$	Gerilme
$\phi(t, t_o)$	Sünme katsayısı

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

İnsanoğlu basit köprüleri belki de varlığından itibaren çeşitli amaçlar için kullanmıştır. İlk köprülerin Çin'de yapıldığı, oradan Hindistan'a yayıldığı düşünülmektedir. Buna karşın M.Ö. 4000' de Mezopotamya' da ve M.Ö. 3000 yıllarında Mısır'da kemere benzer köprülerin inşa edildiği belirtilmiştir. Ülkemizde bilinen en eski köprünün Adıyaman ilimizde bulunan Cendere köprüsü olduğu tahmin edilmektedir

Çalışmanın konusu olan Dengeli Konsol Yöntemi, öngerilmeli-beton kullanarak büyük açıklıkların geçilmesinde çok yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, esas olarak, köprü üst yapısının her bir açıklığını, boyuna doğrultuda, "segment" denilen dilimlere bölerek parça parça inşa etmek olarak tanımlanacak bir yöntemin en yaygın olarak kullanılan alt yöntemidir.

Dengeli konsol yöntemiyle yapılan ilk öngerilmeli beton köprü uygulaması 1950–1951 yılları arasında Almanya'da yapılan 62.09m açıklıklı Balduin köprüsüdür. Köprü yapımı sırasında üst yapı dilimleri yerinde dökülmüştür. Dilimler yerinde dökülebileceği gibi öndöküm olarak da hazırlanabilmektedir. İlk öndöküm uygulaması 1962–1964 yılları arasında Fransa'da yapılan Choisy-le-Roi köprüsüdür. Ülkemizde ise dengeli konsol yöntemiyle inşa edilen 7 tane karayolu köprüsü vardır. İlk uygulama 1983–1986 yılları arasında inşa edilen ve trafiğe açılan Kömürhan köprüsüdür. Köprü 287m uzunluğunda, 11.50m genişliğindedir. Orta açıklığı 135m, kenar açıklıkları da 76'şar metre olmak üzere üç açıklıktan meydana gelmiştir. Köprü üstyapısı tek gözlü kutu formdan oluşmuş ve üstyapı dilimleri yerinde dökülmüştür. İkinci uygulama 1992-1994 yılları arasında Ankara'da inşa edilen İmrahor Viyadüğü'dür. Üçüncü uygulama ise Gülburnu Köprüsü'dür. Köprü ardgermeli yerinde dökme kutu kesite sahiptir ve Mayıs 2009'da trafiğe açılmıştır. Diğer 4 tanesi ise bitmiş olup henüz trafiğe açılmamıştır(Altunışık vd., 2009a; Altunışık vd., 2009b; Altunışık, 2010a).

## 1.2. Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Abbas (1993), iki açıklı tek kuleli bir kablolu köprü sisteminin dilimler halinde inşa edilmesi durumunda, zamana bağlı etkiler için analizini gerçekleştirmiştir. Zamana bağlı etkiler olarak rötire, sünme ve gevşeme dikkate alınırken, köprü iki boyutlu olarak modellenmiştir. Çalışma sonucunda kule ve tabliyede karşılaştırmalar yapılarak, zaman bağlı etkenlerin tepkiler üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Cassas'ın (1997), çalışması, dengeli konsol yöntemi kullanarak beton köprü inşa etmede en önemli husus devrilme nedeniyle denge kaybının sınır durumu hakkındadır. Öncelikle ana ilke olarak bu tür köprülerin inşasındaki iş ve yöntem üzerinde durmuştur.. Çalışmasında ana açıklıkları 80 m ile 140 m arasında olan köprüleri ele almıştır. Kısmi güvenlik katsayıları tabliyenin inşası esnasındaki tahmini hareketli yükler ve rüzgar kuvvetleri için de büyük oranda geçerli olduğunu vurgulamıştır.

Sonuç olarak; 120 m ana açıklıklı bir köprünün elemanlarının dengelenmesinde tasarım değerini karşılaştırılmasını incelemiş ve önerilen güvenlik katsayılarını kullanarak güvenlik faktörünü 1,5 olarak bulmuştur.

Cruz vd. (1998), dilimler halinde inşa edilmiş yapıların doğrusal olmayan, zamana bağlı analizlerini incelemişlerdir. Çalışmalarında betonarme, ard gerilmeli beton ve çelik-beton kompozit düzlemsel çerçeve yapıların doğrusal olmayan ve zamana bağlı analizi için genel adım adım modeli uygulamışlardır. Doğrusal olmayan zamana bağlı malzeme özellikleri, yaşlanma değişimlerinin yapısal etkisi ve ikincil etkiler ile maruz kalınan değişimler yapısal analizde göz önüne alınmaktadır. Model, yapının inşası ve kullanım ömrü boyunca yapısal davranışlara dayandırılabilir. Malzeme ve geometrik doğrusal olmama elastiklik, çatlaklar ve son yük seviyesi yapının uzun ve kısa süreli taşıma kapasitesi yapısal tepkiye neden olur. Geciken çatlama, doğrusal olmayan sünme veya sünme eğilmesi gibi birleşik olaylarda model tarafından göz önüne alınır.

Kwak ve Son (2001), dengeli konsol yöntemi ile inşa edilen köprülerin tasarım momentinin belirlenmesini araştırmışlardır. Araştırmalarına göre endüstriyel toplum ve evrensel ekonomik gelişmeler gereğince uzun açıklık ve köprü inşasında artış olmuştur. Üstelik inşa metotları değişime uğramış ve buna ek olarak artan konsol köprüler ile sabit mesnetli ya da sürekli açıklıklı köprü inşası gibi özel yöntemler ortaya çıkmıştır. Mevcut durumda dengeli konsol yöntemi, bu inşa metotları arasında betonarme kutu kirişli köprülerin inşasında iş iskelesi gerektirmeyen en önemli metoddur. Dengeli konsol

yöntemi ile toplumsal alanlarda, trafiğin yoğun olduğu bölgelerde, derin vadi ve suyollarında kurulması zor ve pahalı olan iş iskelesine gerek duyulmaması diğer yöntemlere göre büyük avantajlar sağlamaktadır. Kwak ve Son'a (2001) göre dengeli konsol yöntemiyle inşa edilen köprülerin tasarım ve analizi inşa esnasında yinelenen yapısal sistemdeki değişiklikleri ve betonun zamana bağlı değişimleri nedeniyle köprünün kullanım ömrü boyunca yer alan yeni içsel moment dağılımlarını göz önünde bulundurmayı gerektirir. İnşa esnasında yapısal sistemdeki değişikliklerde birlikte tüm ilgili köprü tasarım kurallarında betondaki sünme ve büzülme nedeniyle içsel momentteki değişimin göz önünde bulundurulması gerekir. Dengeli konsol terimi; köprü üst yapısının daha önce kurulmuş olan ayaklarından başlayarak her iki yöne yapılan çıkmalarla aşamalı olarak inşa edilmesinde kullanılır. Üst yapının her bir parçası bir öncekine ard gerilmeli kablolarla bağlanır. Yapı tamamlanıncaya kadar aynı işlemler tekrarlanır.

Cheng vd., (2003), Çin'de bulunan ve 550 m ana açıklığı ile dünyanın en büyük ana açıklık çelik kemer köprüsü olan Lupa Köprüsünün iki yapım aşamasında da rüzgâr etkisi altındaki davranışını incelemiştir. Birinci yapım aşamasında, ana açıklık kemeri kapatılmadan önce maksimum konsollu bir sistem dikkate alınmıştır. İkinci yapım aşamasında ise, ana açıklık kirişi hariç köprü sisteminin tamamen tamamlandığı durum dikkate alınmıştır. Çalışma sonucunda, ana açıklık kirişi hariç köprü sisteminin tamamen tamamlanmış olduğu ikinci modelin rüzgâr etkilerine karşı daha hassas olduğu görülmüştür.

Kwak ve Son (2004), dengeli konsol yöntemi kullanarak inşa edilen köprülerde açıklık oranı hesabı üzerinde çalışma yapmışlardır. Kwak ve Son'a (2004) göre dengeli konsol yöntemi basitçe köprü ayağından çıkan konsol bölümlerinin her iki tarafa dengeli bir biçimde uzatılarak orta açıklığa ulaşılmasıdır. Bu sırada açıklığı kapatma işleminde bir önceki ayaktan uzatılan yarım açıklık kullanılır. Konsol inşası ilk olarak 1950'lerin ilk yıllarında Avrupa'da ortaya çıkmıştır ve hala yüzlerce köprünün tasarım ve inşasında geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Almanya'daki birçok büyük köprü inşasında kullanılan yerinde döküm parçalardan farklı olarak, Fransa'da prefabrik dilim yöntemi üzerinde durulmuştur. Dilimlerin yerinde dökümü ve prefabrik olarak kullanımı karşılaştırıldığında yerinde döküm dilimlerle köprü inşası oldukça yavaş bir yöntem olup ve açık hava şartlarına maruz kalan betonun zamana bağlı şekil değiştirmesi taze betonun erken yüklenmesi sonucunda çok önemli sonuçlara neden olur. Diğer yandan prefabrik dilim inşasının çok hızlı bir yapım yöntemi olduğu görülmüştür. Çalışmanın en önemli bölümleri

şantiyede gerçekleştirildiğinden yapım esnasında açık hava şartlarının etkisine karşı yapımı süren dilimlerin korunması önemli olmaktadır.

Wang vd. (2004), konsol yöntemi kullanılarak inşa edilen asma köprülerin farklı yapım aşamalarının analizleri üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında iki sayısal süreç kurmuşlardır; bir tanesi ileriye dönük süreç analizi, diğeri ise geçmiş süreç analizidir. İlk yöntem köprü inşasındaki birbirini takip eden inşa aşamalarını sonraki yöntem ise inşa yöntemini geriye dönük uygulanmasıdır. Her iki yöntemde de köprü yapımının inşa işlemindeki başlangıç şekillerinin bulunmasında başarı ile uygulanabilir. Yapılan analiz sonuçlarına göre köprü şekli tasarlanıp inşa edilebilir. Yaptıkları çalışmada estetik görünüm, ekonomik şartlar ve yapım kolaylığı açısından açıklık mesafesi 200 m'den 1000 m'ye, yani orta açıklıktan uzun açıklığa kadar olan köprülerde asma köprü modelinin daha uygun olduğunu vurgulamışlardır. Çalışmalarının amacı, konsol yöntemiyle inşa edilen asma köprünün sonlu eleman yöntemi kullanılarak başlangıç şekil analizinin yapılmasıdır. Bu nedenle her iki doğusal hesap yöntemi ve doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılarak ileriye dönük ve geçmiş süreç analizleri gerçekleştirilmiştir. Yaptıkları çalışmanın sonlu eleman modellemesinde bazı varsayımları yapılmıştır.

- Malzeme homojen, izotropik ve doğrusal elastik davranışlıdır,
- Dış yükler ve yer değiştirme bağımsızdır,
- Bütün kablolar kuleye sabitlenmiş ve kirişe bağlantı noktalarından eklenmişlerdir,
- Büyük yer değiştirmeler ve dönmelere müsaade edilmiştir fakat şekil değiştirmeler çok küçüktür,
- Asma köprülerin analizinde devam eden geometrik doğrusal olmama durumu hesaba katılmaktadır.

Çalışmalarında asma köprünün geometrik durumu ve elemanlarının ön, başlangıç kuvvetlerinin bulunabilmesi için başlangıç şekil analizine yoğunlaşmışlardır. Asma köprülerin kiriş inşasında konsol yöntemi çok yaygın kullanılan yöntem olduğunu vurgulamışlardır. Konsol yöntemi büyük açıklıkla asma köprüler için doğal ve gerekli bir çözümdür. Her bir yapım aşamasında kiriş dilimleri kurulur ve ardından yeni kablolarla sabitlenir. Köprü tamamlanana kadar bu yapım yöntemine devam edilir. Konsol yöntem ve köprü kirişi inşasında yardımcı mesnete gerek kalmayacağından maliyet ve zaman yönünden fayda sağlanmış olacaktır. İki ana konsol yöntemi söz konusudur. Birincisi tek konsol yöntemi, diğeri ise ikili konsol yöntemidir. Tek konsol yönteminde yardımcı ayaklar üzerine köprünün yan açıklık kirişleri inşa edilir. Ardından merkez açıklığa ya da

kenetlenme ayağına gelene dek her iki tarafa konsollanarak ana açıklık oluşturulur. İkili konsol yönteminde ise kulenin her yanından kenetlenme ayaklarına kadar köprü kirişleri inşa edilerek iki taraflı konsollama yapılır.

Alp (2007), kademeli yükleme etkisi göz önüne alınarak yapısal analiz sonuçlarının yaygın olarak uygulanan yöntemlerle yapılan yapısal analiz sonuçlarının karşılaştırılmasını incelemiştir. Yapılan çalışmada, yükleme etkisini göz önüne alan ve üç boyutlu yapı analizini gerçekleştiren bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Kademeli yükleme etkisi göz önüne alınarak gerçekleştirilen yapı analiz sonuçlarının klasik analiz yöntemleriyle gerçekleştirilen yapı analiz sonuçlarından farkı bu bilgisayar programı yardımıyla ortaya konulmuştur. Çalışma sonucunda, düzensiz yapılar için kademeli analiz yönteminin son derece önemli olduğu farkı modellerin analiz sonuçları ile görülmüştür. Bilgisayar programı, klasik analiz yöntemlerinden farklı olarak bazı düğüm noktalarında %69.09'lara varan fazla sapma tespit etmiştir. Bu nedenle çalışmalarının sonucunda klasik analiz yöntemlerinin düzensiz yapılarda kullanışlı olmadığı, bu yöntemler yerine kademeli analiz yöntemlerinin kullanılması gerektiğini vurgulamıştır. Bununla birlikte elemanların kesit tesirlerinin ve özellikle mesnet reaksiyonlarının fazla çıkması yapı güvenliği açısından son derece tehlikeli olduğunu belirtilmiştir.

Karakaplan vd., (2009), yapım aşamaları dikkate alınarak elde edilen analiz sonuçlarının klasik çözümleme sonuçları ile karşılaştırılmalı olarak incelenmesi amacıyla seçilen bir yaya köprüsünün, bir öngerilmeli karayolu köprüsünün ve çok katlı bir binanın sonlu eleman analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Klasik yapı çözümlemelerinde yapının yapım aşamaları dikkate alınmadan sanki bir an içerisinde yapımının tamamlandığının ve yüklendiğinin kabul edildiğini ve bu varsayım ile gerçekleştirilen çözümlemeler her zaman için sağlıklı neticeler vermeyeceğinden bahsetmişlerdir. Çözümleme sırasında yapım aşaması dikkate alınmış yapılarda eleman yükleri yapısına göre klasik yapım aşamasız çözümleme sonuçlarından %10 ile %50 arasında farklılık gösterebileceğini ve bu nedenle analiz sonuçlarına göre, ardgermeli dengeli konsol yöntemiyle inşa edilen köprülerde ve uzun açıklıklı gergin eğik askılı köprülerde yapım aşamalarının mutlaka dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Altunışık vd. (2009b), çalışmalarında Elazığ-Malatya Karayolu üzerinde bulunan Kömürhan Köprüsü'nün yapım aşamaları ve zamana bağlı malzeme deformasyonları dikkate alınarak analizleri gerçekleştirilmiş, elde edilen kesit tesirleri karşılaştırmalı olarak vermişlerdir. Günümüzde mühendislik yapılarının analizlerinde geleneksel yöntemler



kullanılmış olduğunu, geleneksel yöntemlere dayalı hesaplamalarda yapıların yapım aşamaları dikkate alınmadan sanki bir an içerisinde inşasının tamamlanmış ve yüklendiğinin kabul edildiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle geleneksel yöntemlere dayalı hesaplamalar her zaman güvenilir sonuçlar vermeyebilmektedir. Sonuç olarak çözümlenmelerde yapım aşamalarının dikkate alınması ve elde edilen kesit tesirlerinin hesaplamalarda kullanılması önerilmektedir. Ayrıca, yapımı yıllar sürebilen önemli mühendislik yapılarında zaman bağımlı malzeme deformasyonlarının da dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır.

Soyluk vd. (2009), çalışmalarında kablolu köprülerin konsol dilimler halinde inşa edilmesi durumunda betonun sünmesi, rötresi ve yaşlanması ile çelikteki gevşeme gibizamana bağlı etkilerin dikkate alındığı lineer olmayan analizi gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla örnek sistem olarak seçilen Quincy Bayview kablolu köprüsünün üç boyutlu sonlu eleman modeli için, tabliyenin modellenmesine bağlı olarak üç ayrı analitik model oluşturulmuştur. Böylece kablolu köprülerde yaygın olarak kullanılan çubuk tabliye eleman ve rijit bağlantı eleman yaklaşımı, tabliyenin plak olarak modellenmesi suretiyle tahkik edilmiştir. Quincy Bayview köprüsünün lineer olmayan analizi, dengeli konsol yöntemi ile inşa edilmesi durumu için LARSA 2000 sonlu eleman programı ile gerçekleştirilmiştir. Köprünün konsol dilimler halinde inşa edilmesi durumunda, söz konusu program ile köprünün inşa aşamasının gelişimini gösteren adımları içeren bir dizi inşa adımının analizi yapılmıştır. Çalışmalarında analiz aşamasını, inşaat aşaması ve servis aşaması olmak üzere ikiye ayırmışlardır. Analizlerde inşaat aşaması için 970 günde tamamlanan 33 dilim ve servis aşaması için 3 dilimden oluşan 6 aylık, 1 yıllık ve 10 yıllık dilimler dikkate alınmıştır. Böylece oluşturulan köprü sonlu eleman modelleri hem kendi ağırlığı altında, hem de çevresel etkenler dikkate alınarak çözümlenmiş ve elde edilen köprü tepkileri çevresel etkenler açısından karşılaştırılmıştır.

Altunışık vd. (2010), yaptığı çalışmada uzun açıklıklı ve değişken kesitli, dengeli konsol yöntemiyle inşa edilen karayolu köprülerinin sonlu eleman analizlerinde bu etkilerin nasıl dikkate alınacağı açıklamışlardır. Köprülerin, değişik taşıyıcı sisteme ve malzeme özelliklerine sahip birçok uygulaması günümüzde mevcuttur. Fakat uzun açıklıkların geçilmesi gereken yerlerde genel olarak betonarme köprüler, asma köprüler ve kablolu köprüler tercih edilmektedir. Bu köprü tipleri arasında özellikle betonarme karayolu köprüleri yapım aşamalarından ve zamana bağlı malzeme değişimlerinden daha fazla etkilenmektedir. Altunışık vd.(2010b) betonarme karayolu köprüleri ile geniş ve uzun

bir vadiyi maksimum açıklık ve minimum sayıda ayakla geçebilmek için en uygun ve en iyi yöntem yerinde dökme dengeli konsol yöntemi olduğunu vurgulamışlardır. Dengeli konsol yöntemini şu şekilde açıklamıştır; dengeli konsol yöntemi önerilmeli beton kullanılarak büyük açıklıkların geçilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde, köprü üst yapısının her bir açıklığı boyuna doğrultuda dilim denilen parçalara bölünür ve bu dilimler parça parça inşa edilir. Zeminden ek bir destek alınmadan, sabit bir noktadan dışarıya doğru konsol biçiminde uzanan ve yük taşıyabilen bir yapı ardışık adımlarla inşa edilmektedir. Köprü orta ayağının her iki tarafında birbirini dengeleyecek biçimde yapılan bu yapım tekniği “Dengeli Konsol Yöntemi” olarak adlandırılmaktadır. Dengeli konsol yöntemi enkesit yüksekliği sabit veya değişken olan her türlü üstyapı için kullanılabilir. Fakat gerek yapım sırasında gerekse yapım sonrasında statik zorlanmalara karşı en uygun form olarak değişken yükseklikli enkesit uygulaması tercih edilmektedir. Bu yöntemle inşa edilen köprülerde genellikle kutu kesitli üstyapı formu kullanılmaktadır. Köprü genişliğine bağlı olarak tek veya çok gözlü kutu kesit tercih edilmektedir. Köprü üstyapısı orta ayaklar ile monolitik olarak birleşebildiği gibi, orta ayak başlığına yerleştirilen mesnetler yardımıyla da üst yapı çözümleri gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca, aynı anda birçok yerinde üretim yapılabilmesi sayesinde esneklik ve hızlı bir iş programı hazırlanabilmekte, dilimler boyunca aynı hareketli kalıp defalarca kullanılabilir. Açıklık ortaları sürekli olarak geçilebildiği gibi çeşitli çalışma prensiplerine göre hazırlanmış mafsal sistemleri de kullanılabilir.

Ateş (2010), uzun açıklıklı, betonarme kutu kesitli ve dengeli konsol yöntemiyle inşa edilen karayolu köprülerinin sonlu eleman analizlerinde yapım aşamalarının ve zaman bağlı malzeme deformasyonlarının dikkate alınması konusunda çalışmıştır. Örnek olarak Artvin-Erzurum karayolu üzerinde bulunan Budan Köprüsü seçilmiştir. Köprü, toplam 350 m uzunluğunda ve 15 m genişliğinde, orta açıklık 165 m ve kenar açıklıklar 92.5'er m olmak üzere toplam üç açıklıktan oluşmaktadır. Çalışma kapsamında, yapım aşamalarını dikkate alınmadığı analizlerde gerçekleştirilmiş, elde edilen verilerin karşılıklı olarak irdelenmesi sonucunda karayolu köprülerinin yapısal davranışlarının belirlenmesinde bu analiz yönteminin çok etkili olduğu belirtilmiştir.

Malm ve Sundquist (2010), dilimler halinde inşa edilen dengeli konsol köprülerin zamana bağlı analizlerini incelemiştir. Dilimler halinde inşa edilen beton konsol köprülerde çoğu kez tasarım hesaplarındaki yerdeğiştirmelerden daha büyük yerdeğiştirmelerin ortaya çıktığı görülmüştür. İnce ve uzun açıklık ile kalıcı yüklerin

birleşimi, köprünün kullanım ömrü boyunca artan büyük yerdeğiştirmelere neden olan öngerilme ile kısmen dengelenmiş sayılacağını belirtmişlerdir. Adım adım yerinde döküm ile inşa edilen dengeli konsol köprülerin analiz sonuçlarında zamana bağlı malzeme özellikleri, alt başlıklarda bulunan kablolardaki gerilmelerin neden olduğu yüksek gerilmeler ve tasarım hesaplamalarında varsayılan başlangıç değerlerinden yüksek yerdeğiştirmeler gösterir. Çalışmalarında dilimler halinde inşa edilen dengeli konsol köprülerde düşeydeki toplam yerdeğiştirmenin, kalıcı yükler, hareketli yüklerin neden olduğu aşağı yöndeki büyük yerdeğiştirmeler ve öngerilmenin neden olduğu yukarı yöndeki yerdeğiştirmelerin neden olduğunu vurgulamışlardır. Yerdeğiştirmelerdeki uzun süreli artışın, kullanım, dayanıklılık ve güvenilirlik açısından büyük önem taşıdığı sonucuna varmışlardır.

### **1.3. Tezin Amacı ve İçeriği**

Bu tez çalışmasında, dengeli konsol yöntemiyle inşa edilen karayolu köprülerinin yapısal davranışlarının, yapım aşamalarının ve zamana bağlı malzeme özelliklerinin dikkate alınarak belirlenmesi amaçlanmıştır.

Kullanımı uzun açıklıkların geçilmesinde yaygın olarak tercih edilen ve ülkemizde de kullanımı yaygınlaşan dengeli konsol yöntemi üzerinde çalışılmaya yeni başlanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada literatür araştırması yapılarak ilk kısımda konu ile ilgili yapılmış olan çalışmalara yer verilmiştir. Yapım aşamaları esnasında betonda ve çelikte meydana gelen ve zamana bağlı olan malzeme özellikleri incelenerek formülasyonları verilmiştir. Ardından beton yapılara geçiş yapılarak köprü çeşitlerine ve tezin konusu olan dengeli konsol yöntemine değinilerek örnekler ve şekiller ile anlatılmıştır.

İkinci bölümde çalışma kapsamında dikkate alınan betonarme karayolu köprüsü ve geometrik özellikleri verilerek sonlu eleman analizi üzerinde durulmuştur. Daha sonra dengeli konsol yönteminin en önemli unsuru olan yapım aşamaları ve dilimlerin inşası sırasında geçen ortalama iş bölümünün önemi vurgulanmıştır. Köprü inşası esnasında geçen zaman göz önüne alınarak zamana bağlı malzeme deformasyonlarının önemi, alınması gereken değişkenler ve bu değişkenlerin zamana göre değişimi ile ilgili grafiklere yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde tez çalışmasından elde edilen sonuçlara ve yapılan önerilere yer verilmektedir. Ardından kaynaklar ve özgeçmiş verilerek çalışma sonlandırılmıştır

## 1.4. Betonun Zamana Bağlı Malzeme Özelliklerine Ait Formülasyon

### 1.4.1. Basınç Dayanımı

Betonun  $t$  yaşındaki basınç dayanımı çimento tipine, sıcaklığa ve kür şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Betonun herhangi bir yaştaki basınç dayanımı,

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t)f_{cm} \quad (1.1)$$

şeklinde ifade edilmektedir (CEB-FIP, 1990). Burada,  $\beta_{cc}(t)$  betonun yaşına bağlı bir katsayıdır ve aşağıdaki denklem yardımıyla hesap edilebilmektedir.

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s \left[ 1 - \left( \frac{28}{t/t_1} \right)^{1/2} \right] \right\} \quad (1.2)$$

burada,  $f_{cm}(t)$   $t$  günlük bir betonun basınç dayanımı,  $f_{cm}$  betonun 28 günlük basınç dayanımı,  $t$  betonun gün cinsinden yaşını göstermektedir.  $t_1=1$  gündür ve  $s$  çimento tipine bağlı olarak değişen 0.20, 0.25 ve 0.38 gibi bir katsayıdır.

### 1.4.2. Betonun Yaşı

Betonun elastisite modülü zamanla birlikte değişmektedir. Elastisite modülü,

$$E_{ci}(t) = E_{ci} \sqrt{\beta_{cc}(t)} \quad (1.3)$$

şeklinde hesap edilmektedir. Burada,  $E_{ci}(t)$   $t$  günlük betonun elastisite modülünü,  $E_{ci}$  betonun 28 günlük elastisite modülünü,  $\beta_{cc}(t)$  ise betonun yaşına bağlı olarak belirlenen bir katsayıyı ifade etmektedir.

### 1.4.3. Betonun Büzülmesi

The CEB-FIP şartnamesine göre betonun toplam büzülme şekildeğiştirmesi,

$$\varepsilon_{cs}(t, t_s) = \varepsilon_{cso} \beta_s (t - t_s) \quad (1.4)$$

denklemleri ile hesap edilmektedir (CEB-FIP, 1990). Burada,  $\varepsilon_{cso}$  kavramsal büzülme katsayısını,  $\beta_s$  ise zamana bağlı devam eden büzülme gösteren bir katsayıyı ifade etmektedir.  $t$  betonun gün cinsinden yaşını,  $t_s$  ise beton için büzülmenin başladığı andan itibaren gün cinsinden yaşını göstermektedir. Kavramsal büzülme katsayısı aşağıdaki bağıntılar ile hesap edilebilmektedir.

$$\varepsilon_{cso} = \varepsilon_s(f_{cm}) \beta_{RH} \quad (1.5a)$$

$$\varepsilon_s(f_{cm}) = \left[ 160 + 10 \beta_{sc} \left( 9 - \frac{f_{cm}}{f_{cmo}} \right) \right] \quad (1.5b)$$

burada,  $f_{cm}$  MPa cinsinden betonun 28 günlük basınç dayanımını göstermektedir.  $f_{cmo}$  10MPa'dır.  $\beta_{sc}$  ise çimento tipine bağlı olarak 4 ve 8 arasında değişen bir katsayıyı ifade etmektedir.

$$\left. \begin{array}{ll} \beta_{RH} = -1.55 \beta_{sRH} & 40\% \leq RH < 90\% \\ \beta_{RH} = 0.25 & RH \geq 99\% \end{array} \right\} \quad (1.6)$$

burada,

$$\beta_{sRH} = 1 - \left( \frac{RH}{RH_o} \right)^3 \quad (1.7)$$

burada, RH % olarak atmosferdeki nem oranını göstermektedir.  $RH_o$  100%'dür. Zamana bağlı olarak devam eden büzülme,

$$\beta_s(t-t_s) = \sqrt{\frac{(t-t_s)/t_1}{350(h/h_o) + (t-t_s)/t_1}} \quad (1.8)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada,  $h$  mm cinsinden ifade edilen kavramsal bir boyuttur ve  $h = 2A_c/U$  ifadesi ile hesap edilmektedir.  $A_c$  kesit alanıdır,  $u$  ise atmosfer ile temas eden çevre uzunluğudur.  $h_o=100\text{mm}$  ve  $t_1=1$  gündür.

#### 1.4.4. Betonun Sünmesi

Sünme etkisi CEB-FIP şartnamesinde sünme modeli olarak adlandırılan bir yaklaşımla hesaplanmaktadır. Bu yaklaşımda,  $t_o$  anında sabit bir gerilme için,

$$\varepsilon_{cc}(t, t_o) = \frac{\sigma_c(t_o)}{E_{ci}} \phi(t, t_o) \quad (1.9)$$

ifadesi dikkate alınmaktadır. Burada,  $\sigma_c(t_o)$   $t_o$  anındaki yüklemeye karşılık gelen gerilmeyi,  $\phi(t, t_o)$  ise sünme katsayısını göstermektedir. Bu katsayı,

$$\phi(t, t_o) = \beta_c(t-t_o)\phi_o \quad (1.10)$$

ifadesi ile hesap edilmektedir. Burada,  $\beta_c$  yüklemeden sonra devam eden sünmeyi,  $t$  betonun gününü,  $t_o$  ise yükleme anındaki betonun yaşını göstermektedir. Sünme katsayısı,

$$\phi_o = \phi_{RH} \beta(f_{cm}) \beta(t_o) \quad (1.11a)$$

$$\phi_{RH} = 1 + \frac{1 - \left( \frac{RH}{RH_o} \right)}{0.46 \left( \frac{h}{h_o} \right)^{1/3}} \quad (1.11b)$$

$$\beta(f_{cm}) = \frac{5.3}{\sqrt{\frac{f_{cm}}{f_{cmo}}}} \quad (1.11c)$$

$$\beta(t_o) = \frac{1}{0.1 + \left(\frac{t_o}{t_1}\right)^{0.2}} \quad (1.11d)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Buradaki bütün parametreler yukarıda açıklanmaktadır. Zamana bağlı olarak devam eden sünme,

$$\beta_c(t - t_o) = \left[ \frac{(t - t_o)/t_1}{\beta_H + (t - t_o)/t_1} \right] \quad (1.12a)$$

$$\beta_H = 150 \left\{ 1 + \left( 1.2 \frac{RH}{RH_o} \right)^{18} \right\} \frac{h}{h_o} + 250 \leq 1500 \quad (1.12b)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada,  $t_1=1$  gün;  $RH_o=100$  ve  $h_o=100\text{mm}$ 'dir.

#### 1.4.5. Çeliğin Gevşemesi

CEB-FIP şartnamesine göre, öngerilemeli çeliğin gevşemesi 3 gruba ayrılmaktadır. Birinci grup, tel ve halat grupları için normal gevşemeyi; ikinci grup, tel ve halat grupları için gelişen ve devam eden gevşemeyi; son grup ise demir çubuklar ve donatılar için gevşemeyi göstermektedir.

30 yıla kadarki gevşeme tahmini,

$$\rho_t = \rho_{1000} \left( \frac{t}{1000} \right)^k \quad (1.13)$$

bağıntısı ile hesap edilmektedir. Burada,  $\rho_t$  t saat sonraki gevşemeyi,  $\rho_{1000}$  ise 1000 saat sonraki gevşemeyi göstermektedir.  $k \approx \log(\rho_{1000}/\rho_{100})$  yaklaşımında k 1. grup için 0.12,

ikinci grup için 0.19 olarak dikkate alınmakta,  $\rho_{100}$  ise 100 saat sonraki gevşemeyi göstermektedir. Normalde, gevşemenin uzun süreli değerleri için uzun süreli testler yapılmaktadır. 50 yıl üzeri gevşeme değerleri için 1000 saatlik gevşemenin 3 katı dikkate alınmaktadır.

## **1.5. Beton Köprüler**

### **1.5.1. Beton Köprü Dönemi**

İlerleyen bölümlerde modern köprü yapılarının geniş yelpazesi ve bu yapılardaki gelişmeler anlatılacaktır. Beton yapılar üstünde odaklanılacaktır. Belirli beton yapı çeşitlerinin tarihi gelişimi ve özellikleri sunulacaktır. Hareketli köprüler (baskül köprüler, açılır köprüler ve kanatlı köprüler) ve çoğu prefabrik beton kirişlerle yapılan karayolu köprüleri gibi belirli özellikteki köprüler bu bölümde yer almayacaktır. Verev köprülerinin ve eğimli köprülerin belli problemleri de bu bölümden çıkarılmıştır.

### **1.5.2. Betonun Özellikleri**

Beton, Roma zamanından beri yaygın olarak kullanılırdı. Basit harçlar ise çok daha önceden vardı. Romalıların kullandığına benzer dayanıklı ve su geçirmeyen harçlar ise, Brown (1993) 'nın belirttiği gibi, 18. yy'ın sonlarında yeniden keşfedilmişti.

Beton, belli miktarda kireç, su, kum ve/veya çakılın karıştırılmasıyla oluşturulan sert, homojen olmayan bir maddedir. İlk iki malzeme etkileşerek tutkal görevi gören sert bir kalıba dönüşür. Beton hacminin büyük kısmını dolgu malzemesi olan çakıl/kum oluşturur. Modern beton karışımına, betonun belli özelliklerine etki etmesi için özel mineral katkı maddeleri veya kimyasal karışımlar eklenir. Sağlamlık, özel kireç çeşitleri kullanılarak ve düşük su-kireç oranıyla artırılabilir; işlenebilirlik, geciktiriciler ve akışkanlaştırıcılarla sağlanabilir; dayanıklılık ise beton içinde kalan havanın hacmine bağlıdır. Betonun niteliği, betonun serilmesi ve kürlenmesi kadar, malzemelerin miktarı ve kimyasına da bağlıdır.

Beton, pek çok avantajından dolayı, modern çağda dünya çapında kullanılan bir yapı malzemesidir. Kalıplarla hemen hemen her şekle girebilir, malzemeleri nispeten ucuzdur



ve her yerde bulunabilir, basınç direnci yüksektir ve, iyi bir işçilik sağlanırsa, düşük bakım maliyetiyle uzun süre dayanır.

Betonarme betonu, beton ve betona gömülü çelikten oluşan bir bileşimdir. Bu çelik çubuklar betonarme betonunun çekme gerilimine dayanıklılığını artırma görevi görür, çünkü beton tek başına, basınca karşı kuvvetli olsa da, gerilme daha az dayanıklıdır. Bir binanın hangi miktarda ve nerelerde takviyeye ihtiyaç duyduğu binanın tasarımı sırasında belirlenir. Sağlam bir betonda çelik donatı, çeliğin yüzeyinde yatıştırıcı bir tabaka oluşturan betonun doğal alkalitesi ile korunur.

### **1.5.3. İlk Beton Yapılar**

Birçok isim betonarmenin başlangıcıyla ilgilidir. Yapı endüstrisinde betonarmenin kullanılmasına yol açan gelişmelerin kapsamlı bir tarihi incelemesi Menn (1990) tarafından yapılmıştır. 1756 yılında John Smeaton kirecin yapılışını keşfetti ve 1824'te Joseph Aspdin İngiltere'de Portland kirecini üretti. 1850'lerde, Birleşik Amerika'da, Thaddeus Hyatt (1816 - 1901) beton kirişlerin özelliğini inceledi.

Birkaç yıl sonra, 1867'de, Fransız mühendis Joseph Monier betonu çelik hasırlarla güçlendirilmiş çiçek saksılarının patentini aldı. Monier, ayrıca, 1875'te betonarme köprünün inşasındaki ilk kişi oldu (Menn: 1990). Sonraki yıllarda, betonarmenin karakteri ve analizi üzerine ilk bilimsel yaklaşımlar ortaya çıktı ve daha gelişmiş yapıların önünü açtı. Fransız mühendis François Hennebique (1842 – 1931) T şekilli kirişleri inceledi ve 1892 civarında bunların patentini aldı. Sonraki yıllarda Avrupa ülkelerinde pek çok köprü inşa edildi. Avrupa'da betonarme köprülerin yapımı yayılırken, betonarmenin ilk ulusal kanunları ortaya çıktı.

Menn'e (1990) göre, 1930'lara dek Birleşik Amerika'da hala çelik köprüler yaygındı, çünkü daha ucuzdular ve çabuk inşa edilebiliyorlardı. Sonraki yıllarda betonarme köprüler Yeni Dünya'da daha yaygınlaştı.

### **1.5.4. Beton Kemer Köprüler**

Robert Maillart (1872-1940) yeni yapı malzemesinin yapısal olanaklarını İsviçre'deki pek çok kemerli köprü üzerinde deniyordu. Çoğunluğu dağlık bölgelerde yer alan,

tasarladığı kırktan fazla köprü inceliği, şekil çeşitliliği ve güzelliğiyle ustaca yapılmıştı. Betonun bütün olanaklarının, üstün basınç direnci ve şekillenebilirlik de dâhil olmak üzere, sonuna dek kullanıldığını söylemek mümkündür. En çok bilinen yapılarından biri 90 m. genişliğindeki Salginatobel Köprüsü'dür. Bu köprüde üst yapı, çatıyı çapraz duvar panelleriyle taşıyan ince kemere dönüştürülmüştür. Melaragno (1998) bu bağlamda, bu özgün yapı ailesinin ruhunu tanımlamak için "yapısal sanat" terimini kullanır.

### 1.5.5. Ön Gerilmeli Beton Köprüler

1888 yılında bir Alman mühendis ön-gerilmeli betonun öğelerini inceledi. (Menn: 1990) Ancak, ön-gerilmeli beton köprülerin babası, Ecole des Ponts et Chaussées mezunu, Eugene Freyssinet olarak görülür. En çok bilinen köprüsü, Fransa'da 1925 – 1930 yılları arasında inşa edilen Plougastel Köprüsü'dür.



Şekil 1.1. Yapım aşamasındaki Plougastel Köprüsü (Brown, 1993).

Freyssinet bu köprü için, alana dubalarla getirilen ve üç kemer kirişi için de kullanılan büyük ahşap kalıp iskelesi kullanmıştır. Bu köprü'nün ön-gerilme bakımından

önemini vurgulanır, çünkü Freyssinet, Plougastel Köprüsü'nün yapımında beton akması olgusunun farkına varılmıştır ki bu, ön-gerilmeli yapılarda dikkat edilmesi gereken bir olgudur.

1941 ve 1949 yılları arasında, Freyssinet'in Fransa'da Marne Nehri'ndeki tasarımından sonra, beşi 74 m. lik benzer kirişlerle yapılan, altı ön-germeli beton köprü inşa edildi. Bu köprülerin dilimleri mavnalarla getirildi ve alana çok daha büyük takımlarla taşındı. Freyssinet hem "ön-gerilmeli" hem de "ard-gerilmeli" beton kavramlarını ortaya attı (Menn, 1990) ve böylece ön-gerilmeli beton köprülerin hızlı gelişiminin açılışını yapmış oldu.

### **1.5.6. İkinci Dünya Savaşından Sonra Beton Köprüler**

İkinci Dünya Savaşı sonrasında Avrupa ulaşım alt yapısının yeniden yapılandırılması ve geliştirilmesi gerekmektedir. Bu halde kutu kesitli çelik kirişler perçinleme yöntemi yerine kaynakla tutturulabilmekteydi. Bu tür köprülerin ilkleri Ren Nehri üzerinde Alman mühendis Fritz Leonhardt (doğum tarihi: 1909) tarafından inşa edilmiş olup aynı mühendis çok sayıda beton yapıyı da inşa etmiştir. Plougastel köprüsünün arkalarında kullanılmış olan kutu kirişler ise daha çok çelik ve beton köprü inşasında tercih edilmekteydi bunun sebebi ise özelliklerinin daha iyi şekilde anlaşılması ve kapalı boşluklu en kesitin avantajlarının gelişmesiydi. Çok sayıda ön-gerilmeli beton köprü inşa edilmiştir. Almanya'da Franz Dischinger (1887 – 1953) Freyssinet sisteminden farklı bir sistemle ön gerilmeli beton köprüler inşa etmiştir, ön gerilme kuvveti kaybındaki problemlerden dolayı ileri zamanlara kadar yaygın bir uygulamaya erişemeyen tam bağlanmamış kabloları kullanmıştır (Menn 1990). Ön gerilmeli farklı sistemlerin daha sonraki gelişmeleri bu yüzden asıl Freyssinet sistemine dayanmaktaydı. Yerinde dökülen konsol köprüler yaklaşık yarım asırdır kullanılmaktadır. 1950 ve 1951 yılları arasında Almanya'nın Balduinstein kentinde 62 m uzunluğundaki Lahn Köprüsünü inşa ederken Dischinger'in öğrencisi olan Ulrich Finsterwalder dengeli konsol yöntemini kullanmaya başlamıştır (Fletcher, 1984). Öngerilmeli beton köprüler sapmayı azaltmış, çatlaklar önlenmiş ve köprülerin yük taşıma istihkaki artmıştır (Menn, 1990). Buna rağmen, Freyssinet'in tam öngerilmeli sistem uygulaması çok ekonomik değildi. Bu yüzden kısmi öngerilmeli sistem tasarım kodlarına geçtiğinde kullanılmaya başlanmıştır. Kısmi

öngerilim beton yapılarda kısıtlı çekme gerilmesine imkan sağlamış olup bu gerilimden kaynaklanan beton çatlaklarını en aza indirmek üzere hafif donatı kullanmıştır.

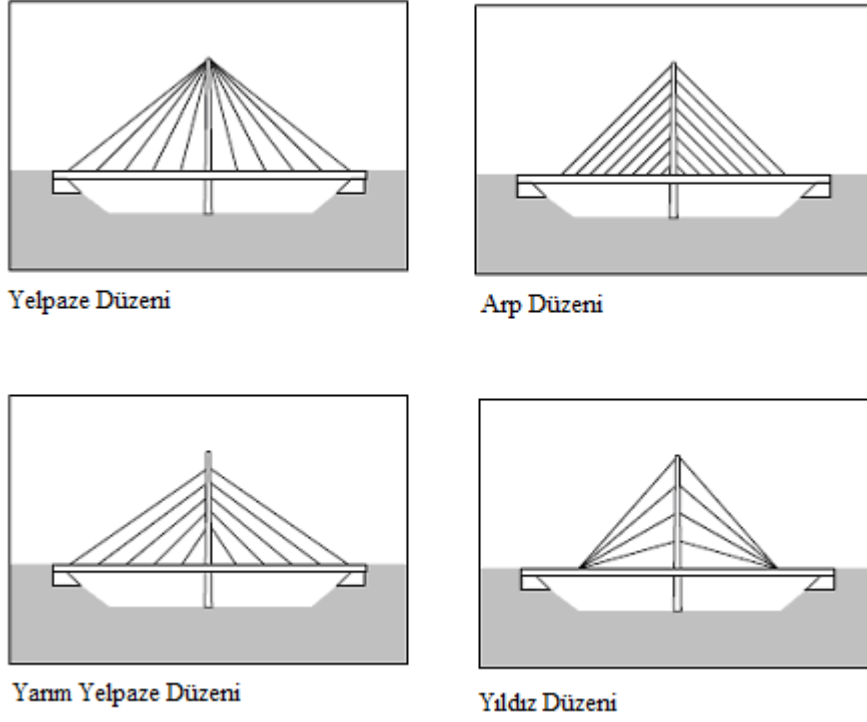
Menn (1990), tarafından da bildirildiği üzere, prefabrike anolu yapılar 1960'ların başında gündeme gelmiştir. İlerleyen dönemlerde ise, dilimlerin birleşiminde karşılaşılan sorunlarla ilgili çözümler geliştirilmiştir.

İlk öngerilimli beton köprülerin inşa edilmesinden bu yana çok sayıda teknolojik gelişme gündeme gelmiştir. Yapılan araştırmalar, beton ve gömülü çelik yapılarda dahili kuvvet akışının daha iyi anlaşılmasına imkan vermiş olup bu yapı malzemelerinin özelliklerinin geliştirilmesine yardımcı olmuştur.

### **1.5.7. Askılı Tip Köprüler**

Askılı tip köprüler çok farklı şekillerde bulunabilir. Köprü direkleri ve köprü üst yapısı beton ya da çelik olabilmekle beraber kompozit beton ya da çelik elemanları ihtiva edebilir. Köprü direkleri A, H, X, ters V ve Y şekilleri de dahil olmak üzere çok farklı şekil, kombinasyon ya da varyasyonlarda olabilmektedir. Askılı tip bir köprüde, köprü tabliyesi üzerinden direklere bağlı olan düz eğimli askılar köprü tabliyesini taşımaktadır. Direk ve askı için çok sayıda tertibat planı bulunmaktadır.

Bunun yanı sıra, askıların birbirlerine doğru eğimli olacağı şekilde bir merkezi ya da iki yatay düzlemi bulunan köprüler de tasarlanabilmektedir. Askı tipleri açısından askılı tip köprülerin farklı tertip edilme şekilleri bulunabilmektedir. Farklı tertipler Şekil 1.2'de gösterilmektedir. Askı tertiplerinin kule ile tam olarak simetrik olma zorunluluğu bulunmamaktadır. Bu tipler arasında varyasyonlar ve kombinasyonlar mevcuttur. Askılar, hem köprü tabliyesinde ve hem de direkte sabitlenebilmektedir ya da direğin üst kısmında bir yuvada bulunabilmektedir. Askıların sabitlenmesi aşınma ve yorulma mukavemeti bulunması gereken önemli yapısal ayrıntılardır.



Şekil 1.2. Askılı tip tertibatlar

Askılı tip köprüler yirminci yüzyılın icadı değildir. Geçen yüzyıllarda askılarla desteklenmiş köprü inşa etmek için bazı girişimlerde bulunulmuş olmasına rağmen bunların hiç birisinde başarı sağlanamamıştır, çünkü istatistik olarak büyük bir belirsizlik içerisinde olan sistem için yeterli hesaplama ve yanı sıra askılar için yeterli materyal mevcut değildi (Brown, 1993). Avrupa’da ulaşım alt yapısının ekonomik olarak yeniden yapılanmasının temel konu olduğu ikinci Dünya Savaşı sonrasında askılı tip köprüler gündeme gelmiştir. Franz Dischinger asılı demiryolu köprüsü tabliyesini desteklemek üzere kullanmıştır (Brown, 1993). Modern anlamda inşa edilmiş olan askılı tip köprülerden ilki 1952 yılında Alman mühendis Leonhardt (1984) tarafından yapılmış olan çelik üst yapılı Düsseldorf kenti Ren Nehri üzerinde bulunan üç askılı köprü serisidir. Bunlardan bir tanesi de Şekil 1.3’de gösterilmiş olan Oberkassel Ren Köprüsüdür. Bu tip ince köprüler, görünümdeki netlik ve basitliği ile bir askı uyumunu yansıtmaktadır. Daha sonrasında, sadece pek azının bu derlemede bahsedildiği çok sayıda askılı tip köprü dünya çapında inşa edilmiştir.



Şekil 1.3. Oberkassel Ren Nehri Köprüsü, Almanya (Leonhardt, 1984).

İnşa edilmiş olan ilk beton askılı tip köprü Venezuela'da 1958 ve 1962 yılları arasında yapılmış olan Maracaibo Gölü Köprüsüdür. Köprü tasarımcısı Riccardo Morandi, 235 uzunluğunda beş adet ana açıklığı bulunan beton tip bir yapı öngörmüştür (Brown, 1993). Tasarımcı, tabliye seviyesi üzerinde A – şekilli kuleleri taşıyan X – şekilli büyük ve karmaşık bir alt yapısı bulunan bir konsol tasarlamıştır. Merkezde bulunan beton açıklıklarler gerginliği sağlamak üzere oldukça büyük yapıdaydı ve kulelerin her tarafından bir grup askı ile asılı bulunmaktaydı. Karakteristik yaklaşımları ile birlikte bu tür yapılara ait bir görünüm Şekil 1.4'de verilmiştir.



Şekil 1.4. Maracaibo Gölü Köprüsü, Venezuela (Leonhardt, 1984).

Daha sonra yapılmış olan köprüler ise köprü tabliyesi için daimi desteği sağlayan düzgün aralıklı çok sayıda askıyı kullanmıştır. Menn (1990) bu tip çok askılı köprüleri ikinci nesil askılı tip köprüler olarak adlandırmaktadır. 1976 yılında tamamlanmış olan Fransa'daki Pont de Brotonne köprüsünden ikinci nesil köprülerin ilk örneği olarak bahsetmektedir. Pont de Brotonne köprüsü Şekil 1.5'de gösterilmiştir. 320 metre uzunluğundaki ana açıklık yüzeydeki askıların tek merkezi hattı tarafından desteklenmektedir. Leonhardt (1984) zayıf köprü tabliyesi açıklığına rağmen böylesi bir yapısal sistemle sağlanabilecek olan ve bu şekilde yapıyı demir yolu köprüsüne de uygun hale getiren gerginlikten bahsetmektedir. Podolny (1981) tarafında da bahsedildiği gibi beton köprülerde daha fazla öz yük titreşimlerin daha iyi şekilde söndürülmesini sağlamaktadır. Beton aynı zamanda köprü tabliyesi için de kullanılabilir çünkü eğimli askılar köprü üst yapısını desteklediği aksel horizontal baskıya katlanabilmektedir. Podolny (1981) hareketli yükün öz yüke olan oranı nispeten küçük olduğu için beton askılı tip köprülerin hareketli yüklerden dolayı sadece küçük sapsmalara neden olduğundan bahsetmektedir.



Şekil 1.5. Pont de Brotonne Köprüsü, Fransa (Leonhardt ,1984).

Birkaç avantajından dolayı askılı tip köprüler çok iktisadi yapılar haline gelmiştir. Çok askılı tertiplerin tabliyesinin daimi elastik desteğinden dolayı (Podolny 1981) zayıf üst yapı açıklıkları ile birlikte dahi yeterli gerginlik sağlanabilir. Görünümlerindeki hafiflikten dolayı çok askılı sistemlerin estetik olarak avantajları bulunmaktadır. Yapısal bir fazlalıkları bulunmakla beraber nispi bir kolaylıkla birlikte tek askıların onarımına ya da değiştirilmesine olanak tanımaktadır. Özellikle de prefabrike elemanların kullanımı ile birlikte mesela yapısal sistem asma köprülerinin aksine çabuk bir inşaya imkan tanımaktadır. Diğer temel avantajlarından birisi ise askılı tip köprülerin asma köprülerinde ana askıları tutma özelliği gibi kemer ayaklarda fazlaca ankraja ihtiyaç duymamasıdır. Swiggum vd (1994) bahsettiği üzere özellikle 250 – 300 metre arasındaki açıklık mesafeleri için askılı tip köprüler çok iktisadidir. Bununla beraber, günümüzde daha büyük açıklıklar da yapılmaktadır.

Modern bilgisayar yazılımlarından dolayı, gelişmiş analitik yeteneklerle beraber askılı tip köprülerdeki istatistikî olarak belirsiz sistem tam olarak analiz edilebilmektedir. Rüzgâr kanallarındaki ölçülmüş modellerle ve yapının bilgisayar ortamındaki simülasyonu ile birlikte aerodinamik ve sismik hareketler için daha iyi analiz teknikleri enine kesitin



optimizasyonuna olanak sunmuştur. Ölçüm süreci özel bir ilgiyi gerektirmektedir çünkü köprüye ait tüm özelliklerin rüzgâr tünelineki inceleme için ölçülmesi gerekmektedir. Örnek olarak bir test modelinde “ölçümlenmiş gerginlik, kütle, atalet, geometri ve yanı sıra “ölçümlenmiş sönümlemenin en zor yön olması” içerikleri bulunmaktaydı (Fairweather, 1987). Bu alandaki eğilim Fairweather’e (1987) göre sadece mevcut tasarımın onaylanması için değil fakat aynı zamanda ilk tasarım süresince doğrudan kullanımını sağlamak üzere aerodinamik testi birleştirmektir. Aerodinamik test ile hem aerodinamik ve hem de sismik mukavemet açısından yeni ayrıntıların etkilerini değerlendirmek mümkündür. Bu ayrıntılar ise yataktaki, bağlantı ve askı ankrajında, askılar ve özel şekilli askıların yapılmasında rüzgâr ve yağmur vibrasyonlarını önlemek için bağlantı kurulmasında kullanılan kütle sönümleyiciler ya da ayarlı sönümleme sistemleridir.

Askılı köprüler konsollama yöntemi ile inşa edilmektedir. Dolayısıyla askılar üst yapıdaki konsol kollarını desteklemek üzere kullanılmakta olup köprü üst yapısı için sabit destekleme sistemi olacaktır. Goni (1995), askılı tip köprüler olan Chesapeake ve Delaware Kanal Köprüsü ile ilgili ayrıntılı örnekler vermektedir. Aşamalı yerleştirme yöntemi kullanılarak yapılmaya başlanmış olup 1995 yılında tamamlanmıştır. Goni’ye göre, 229 metre uzunluğundaki ana açıklıkların birbiriyle bağlantılı olan ve bu şekilde paralel çerçeve ismini alan ve sıkı tip tertibatla tek bir hat üzerinden desteklenmiş olan iki adet paralel kutu kirişini kapsamaktadır. Her bir konsolun uç noktasında bulunan bir vinç tarafından karşılanan prefabrike dilimlerle beraber yerleştirilmiştir. Dilimlerin yerleştirilmesinden sonra, yeni askılar kurulmuş olup ilk olarak ön gerilme sağlanmıştır. İnşa yükleri, özellikle konsollar üzerinde bulunan vinçlerden ve prefabrike anolu dilimlerin yerleştirilmesinden oluşmaktadır. Yüzlerce yapısal adımdan (mesela: dilim yerleştirilmesi, öngerilme çeliği kurulumu ve öngerilmeli kuvvet ya da yüklerdeki değişiklikler) ve yapı işleminin ayrıntılı analizinden oluşan bir analiz programı uygulanmıştır. Rüzgârlardan dolayı tamamlanamayan konsol hareketleri ile ilgili olarak, Normile (1994) inşası için köprü üst yapısına yeterli gerginliği sağlama gereksinimine dikkat çekmektedir.

### **1.6. Prefabrike Dilimli Köprüler**

Dilimler halinde inşanın gelişiminden önce, beton köprüler yan yana yerleştirilmiş olan prefabrike anolu açıklıkları ihtiva etmekteydi, bunlarla beraber bu yapılarda köprünün

yatay aksına paralel durumda bulunan açıklıklar arasında bağlantı noktaları bulunmaktaydı. Modern dilimler halinde yapım yönteminin gelişmesiyle birlikte, dilimler yapının yatay aksına dikey biçimde bulunan bağlantı noktaları arasındaki yapısal elemanlara dönüşmüştür.

Dilimler halinde inşa edilen yapılar ilk olarak 1950'lerin başlarında ortaya çıktığında, Almanya'da Finsterwalder ve arkadaşları tarafından kullanıldığı şekilde yerinde dökülmüş ya da Eugene Freyssinet ve Jean Muller tarafından kullanıldığı şekilde prefabrike anolu biçimdeydi. Modern dilimler halinde yapının gelişmesi dengeli konsol yapısının gelişmesiyle aynı zamana denk gelmiştir.

Dengeli konsol yapısı ifadesi ile bir köprü üst yapısının aşamalı olarak inşası açıklanmaktadır. Söz konusu bu yapı, her iki cephenin dış tarafına doğru yapılan çıkıntılarla başlar. Bu konsollama her aşamanın eski aşamalarla bağlanması için gerilme kabloları kullanılarak elde edilmektedir.

Kendi özgün halinde dengeli konsol yapıyı kullanmaya yönelik ilk adımlar 1929 yılında Brezilya'da Rio Peixe Köprüsünü betonarme şekilde ve serbest konsollama yöntemi ile 68 metre uzunluğundaki açıklığı kullanarak yapan Baumgart tarafından atılmıştır. Bununla beraber, ard germe tekniği yeterli anlamda geliştirilene ve çatlaksız beton konsol yapısının oluşumuna imkan verdiği kabul görene kadar bu yöntem yaygın olarak kullanılmamıştır. 1950'den sonra ise Almanya'da pek çok büyük köprü dengeli konsol yöntemi kullanılarak inşa edilmiştir. Bu inşalarda orta açıklık üzerinde bir mafsal yerinde dökülen dilimler kullanılarak yerleştirilmiştir. Örnek yapılar ise şöyledir:

- Moselbrücke Koblenz, 1954: Road Köprüsü: 20 metre genişliğinde ve 101, 114 ve 123 metre uzunluğunda üç adet açıklıklıdır, en kesiti ise uç plakta bağlanmış olan farklı derinlikli kutu kesiti ihtiva etmektedir.

- Rheinbrücke Bendorf, 1964: İkiz otoyol köprüleri, 1.031 metre uzunluğunda, 71, 208 ve 71 metre uzunluğundaki açıklıklı, farklı kutu kesitli serbest yapıli konsol inşasına bir örnektir.

Fransa'da konsol inşası farklı bir boyut almış olup prefabrike anolu dilimlerin kullanıldığı görülmektedir.

Fransa'daki Marne Nehri üzerinde inşa edilmiş olan çok iyi bilinen altı adet köprü'nün inşası için prefabrike anolu dilimler Eugene Freyssinet tarafından kullanılmıştır (1946 – 1950). Prefabrike anolu dilimler aynı zamanda Jean Muller tarafından New York dışındaki bir köprü açıklığının geçilmesi için kullanılmış olup bu durumda yatay kirişler

bağlantı noktaları ve yatay art germeli kablolar ile birleştirilmiş üç prefabrike anolu dilimden ibarettir.

1960'lardan bu yana, Jean Muller prefabrike anolu dilimleri, köprülerin konsol yöntemi ile inşasında uygulamaktadır. En özgün şekliyle prefabrike anolu dilimler halinde yapılar için dilimlerin karşılaştırılması bir karakteristik özellik olup bu durum her bir dilimin uç yüzünün komşu dilimin bir izi olmasını sağlayacak olup bu şekilde inşa sırasındaki mükemmel uyum temin edilmektedir. İlk olarak temel alınan özellikler şöyledir:

- Seine, Choisy le Roi, Fransa üzerindeki köprü, 1962: Boyu:  $37+55+37 = 130$  metre, köprü üzerinde orta aralık dilimler arasındaki bağlantı noktaları ile birlikte inşa edilmiştir(ilk prefabrike anolu köprü örneği).

- Fransa'daki Viaduc d'Oleron, 1964 – 1966: Toplam uzunluk 2862 metre, açıklık uzunluğu genelde 79 metre, dördüncü açıklığın çeyreğinde mafsal bulunmaktadır: Dilimler sıralı bir dizide bulunmaktadır (uzun sıra yöntemi) ve inşa işi üst blokla yapılmıştır (ilk defa yapılmış olan geniş ölçekli ve sanayi tipi prefabrike anolu köprü inşası örneği).

Aynı dönemde, yerinde dökümü yapılmış olan bağlantı noktaları ile birlikte köprü inşası için diğer tasarımcılar da prefabrike dilimler halinde inşa yöntemini benimsemiştir. Buna örnek olarak bazı yapılar aşağıda belirtilmektedir:

- Avusturya, Ager Brücke, 1959 – 1962: Prefabrike dilimler yapı iskelesi ve yerinde dökümlenmiş olan bağlantı noktaları üzerine yerleştirilmiştir.

- Rio Caroni, Venezuela, 1962 – 1964: Her biri 96 m uzunluğunda olan çoklu açıklığı bulunan köprü. Prefabrike anolu 9.2 metre uzunluğundaki dilimler 0.40 metre genişliğindeki yerinde dökümlenmiş bağlantı noktaları tarafından bağlanmıştır buradaki amaç 8400 ton ağırlığında olan köprü 480 metre uzunluğundaki köprü tabliyesini oluşturulmasıdır ve bu köprü tabliyesi kalıcı destekle birlikte artımlı olarak kurulmuştur.

- Hollanda, Oosterschelde Köprüsü, 1962 – 1965: toplamda 5 km uzunluğunda ve açıklık uzunluğu 95 metre olan prefabrike dilimler halinde inşa edilmiş köprü: prefabrike dilimler yerinde dökümlenmiş ve 0.4 metre genişliğindeki bağlantı noktalarından ve yatay ard germe ile desteklenerek bağlanmıştır.

1960'lardan bu yana, yapı işlemlerinde küçültmeye gidilmiş olup pek çok durumu kapsayacak şekilde geliştirilmiştir buna örnek olarak ise konsol köprülerin aşamalı inşası, açıklığa dayalı inşa, çerçeve, kemer ve askı tipli köprü tabliyesinin prefabrike dilimli inşası verilebilir.

1980 yılında prefabrike dilimler halinde inşa yöntemi Florida Keys ve Birleşik Devletlerdeki Long Key ve Seven Mile Köprüleri üzerinde uygulanmıştır. Long Key Köprüsünde her biri 36 metre olan sekizerli gruplardan oluşan 100 adet açıklık bulunmaktaydı. Seven Mile Köprüsünde ise her biri 42 metre olan yedişerli gruplardan oluşan 270 adet açıklık bulunmaktaydı. Bu açıklıklar inşa kirisinin üzerine yerleştirilmiş olan 5.6 metre uzunluğundaki prefabrike dilimlerden sağlanmış olup yatay olarak ard germe kablolarının gerilimi ile desteklenmiştir. İnşa yöntemi açıklıktan açıklığa inşa yöntemi olarak bilinmektedir.

Yerinde dökümlenmiş olan dilimler halinde inşayı prefabrike dilimlili inşa ile karşılaştıracak olursak aşağıda sayılan özellikler aklımıza gelmektedir:

- Yerinde dökümlenmiş olan dilimler halindeki inşa yöntemi nispeten yavaş bir inşa yöntemidir. Yapılan iş hava koşullarına bağlı olmak üzere kendiliğinden gerçekleştirilmektedir. Betondaki zamana dayalı değişimler yeni dökülmüş olan betonun erken yüklenmesi sonucu büyük önem arz etmektedir.

- Prefabrike dilimli inşa işleri yapım için gerekli zaman bakımından tayin edilen hızlı bir inşa yöntemidir. İşin temel kısmı ise öndöküm alanında yapılmakta olup bu alan içerisinde beton kötü hava koşullarına karşı korunabilmektedir. Öndöküm işlemi temel atma işi ile eş zamanlı olarak başlayabilmektedir. Dilimler yapı içerisine yerleşinceye kadar beton yaşı arttığı için beton üzerinde gerçekleşen zamana dayalı değişimlerin önemi daha azdır. Bu durum ise nispeten önemli yatırım gerektiren araçları zorunlu kılmaktadır: öndöküm alanı, kalıplar, kaldırma düzeneği, nakil ve inşa ekipmanı gibi. Dolayısıyla bu yöntem iktisadi anlamda uygun olmak üzere belirli düzeyde iş hacmini gerektirmektedir. Tipik olarak, ortaya çıkan inşanın endüstriyel olarak devamı son ürünün daha kaliteli olmasıyla sonuçlanmaktadır.

1960'lardan beri, öndökümlü dilimler halindeki inşa işleri yöntemi yaygın bir kabul görmekte olup dünya çapında yoğun olarak kullanılmaktadır. Şu anda ise sadece kendi içinde 20.000'den fazla dilimi bulunan çok kapsamlı köprü planları kara ve demir yolları için şehir içi ve şehir dışı viyadükler olarak inşa edilmektedir. Öndökümlü dilimler halinde inşa işleri yönteminin Jean Muller tarafından başlatıldığı şekilde insanoğlunun gelecek bin yıldaki alt yapı ihtiyaçlarını karşılamak üzere faydalı olacağını düşünmek doğrudur.

## **1.7. Prefabrike Dilimli Köprü İnşaları**

Prefabrike dilimli köprüler ayrı ayrı prefabrike birimleri ya da “dilim” adı verilen ve prefabrikasyon beton tesislerinde açık ya da kapalı şekilde üretilmiş olan kısımları içerdiğinden dolayı bu şekilde isimlendirilmektedir. Her bir açıklığın ya da konsolun oluşması amacı ile dilimler yatay ard germe yöntemi ile birlikte daha sonra kurulur.

Yapım yöntemlerine göre genel olarak aşağıdaki gruplara ayrılmaktadır:

### **1.7.1. Açıklık**

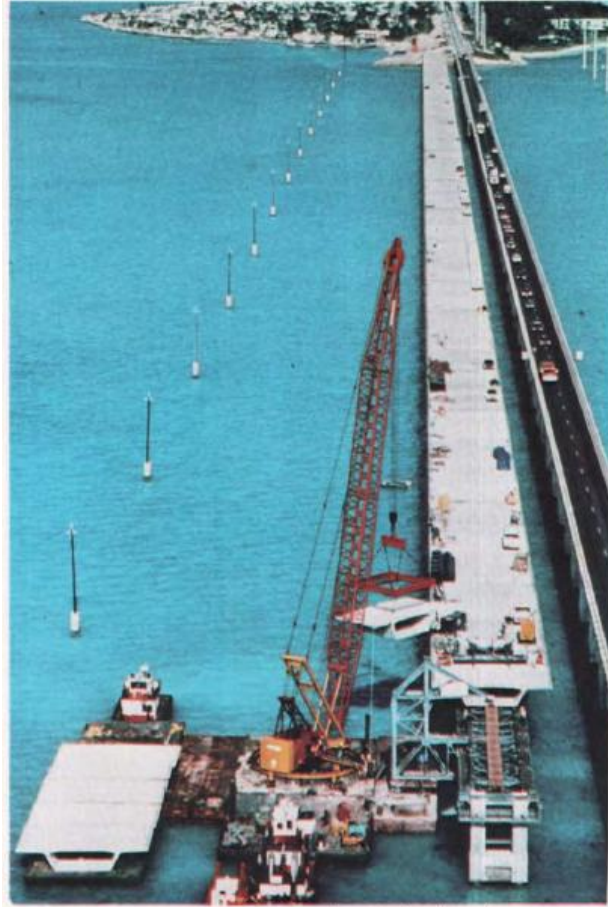
Temel ayakları arasındaki bir açıklıkta bulunan tüm dilimler özel destekli bir kiriş üzerinde ya da blok üzerinde kurulmuş olup temel ayaklarının yanında bulunan bir ya da iki uçtaki küçük yerinde döküm kapalı mafsal imal edildikten sonra yatay olarak art gerimliştir. Bunun örnekleri arasında Florida Keys’te bulunan Long Key ve Seven Mile Köprüleri bulunmaktadır (Şekil 1.6 ve 1.7) ve Tampa Körfezi üzerindeki Sunshine Skyway Köprüsündeki yüksek seviyeli örnekler de bulunmaktadır.

### **1.7.2. Dengeli Konsol**

Kirişin üstünde yerleşik bulunan ilk dilimin her bir yüzündeki konsola dilimler inşa edilmektedir. Durağanlık sabit kuleyle ya da sabit kiriş yanındaki diğer destek bloğu tarafından sağlanmaktadır. Konsollar ara açıklıktaki yerinde döküm noktaları tarafından birleşmektedir. Florida’daki Ramp I (Şekil 1.8) dahil olmak üzere çok sayıda örneği ile karşılaşılmaktadır.

### **1.7.3. Kademeli Konsol**

Dilimlerin bir doğrultu üzerinde devam ettiği ve köprünün bir ucundan başlayan ve kirişlere kadar devam eden kısımdır. İlave kalıcı kirişlerin ya da askılı kulelerin bir kirişten diğerine kadar konsolun inşa edilmesini gerektirmektedir. Bunların örnekleri arasında Kuzey Karolina’daki Linn Cove Viyadüğü ve Fransa’daki Fontenoy Köprüsü bulunmaktadır.



Şekil 1.6. Long Key Köprüsü



Şekil 1.7. Seven Mile Köprüsü



Şekil 1.8. Ramp I

Köprü inşa edilirken, dilimler arasında bulunan bağlantı noktaları yüzeyel boşlukları doldurmak için tutkal ile doldurulur ve hafif bir şekilde gömülmüş bağlantı noktası oluşur. Aynı zamanda dahili ard germe destekli kabloları tutmak ve korumak içinde de yardımcı olmaktadır. Harici art germe kabloları Florida Keys'teki ilk açık köprülerde kullanılmış olduğu için dilimler tutkal ile tutturulmamıştır fakat kuru bir şekilde bırakılmıştır. Bununla beraber Skyway'deki benzer açıklık yaklaşımlarını da kapsamak üzere tüm diğer yapılarda dilimler arası tutkalla doldurulmuş bağlantı noktaları bulunmaktadır.

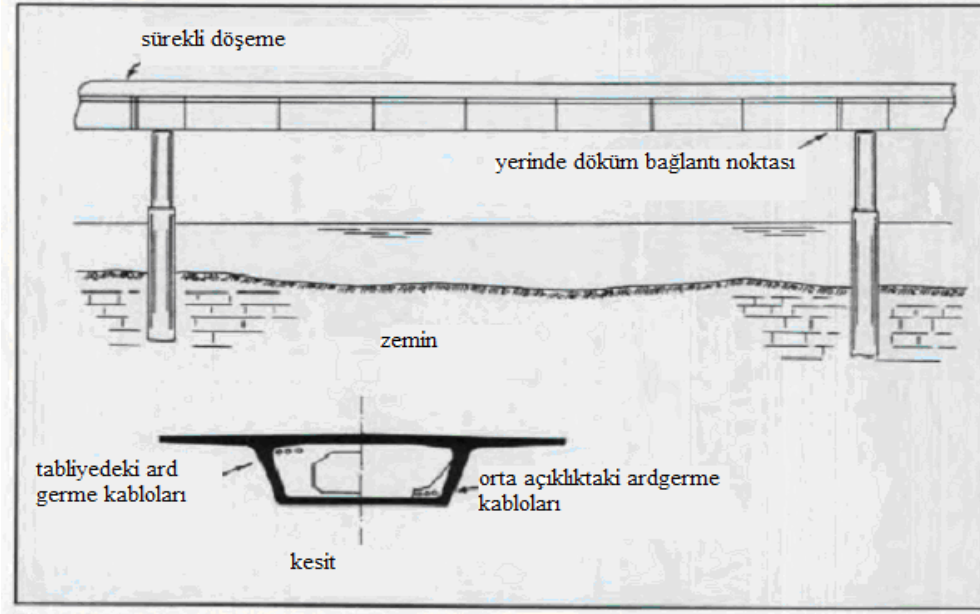
Geçici art germe çubukları kurulum ve yapısal kapasite ve üst yapı devamlılığı sağlayan kalıcı yatay ard germe kablolarının gerilmesinden önce her bir dilimin komşusuna olan yakınlığını sağlamak üzere kullanılmaktadır. Açıklıklı ve dengeli konsol yapısına ait şematik tipik açıklamalar Şekil 1.9-1.11'de gösterilmektedir.

Diğer tipteki köprü inşa sistemleri bazen dilimler halinde olarak ifade edilmektedir. Bunların arasında şu elemanlar bulunmaktadır:

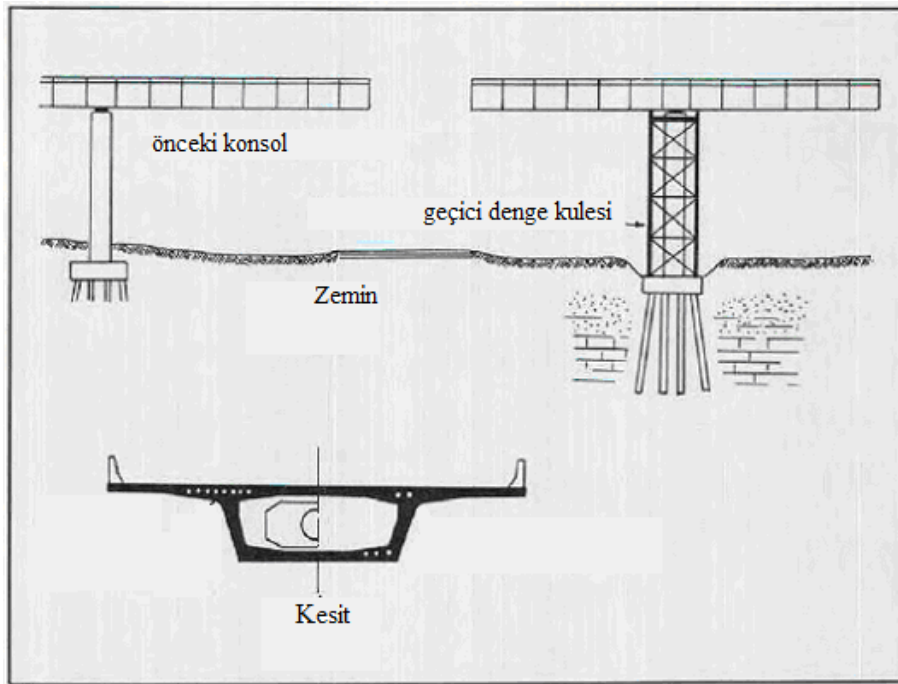
- Ardışık itme sistemi (incremental launching)
- Kısmi prefabrike anolu ve yerinde döküm yapılar
- Ard germeli dilimler halindeki I – kirişleri

- Yerinde döküm art germeli köprüler
- Prefabrike yaş bağlantılı dilimli

Bu sistemlerin özellikle art gerilme, iskelenin özel sistemlerinin, kulelerin veya taşıyıcıların inşası gibi çok sayıda ortak özellikleri bulunmaktadır.

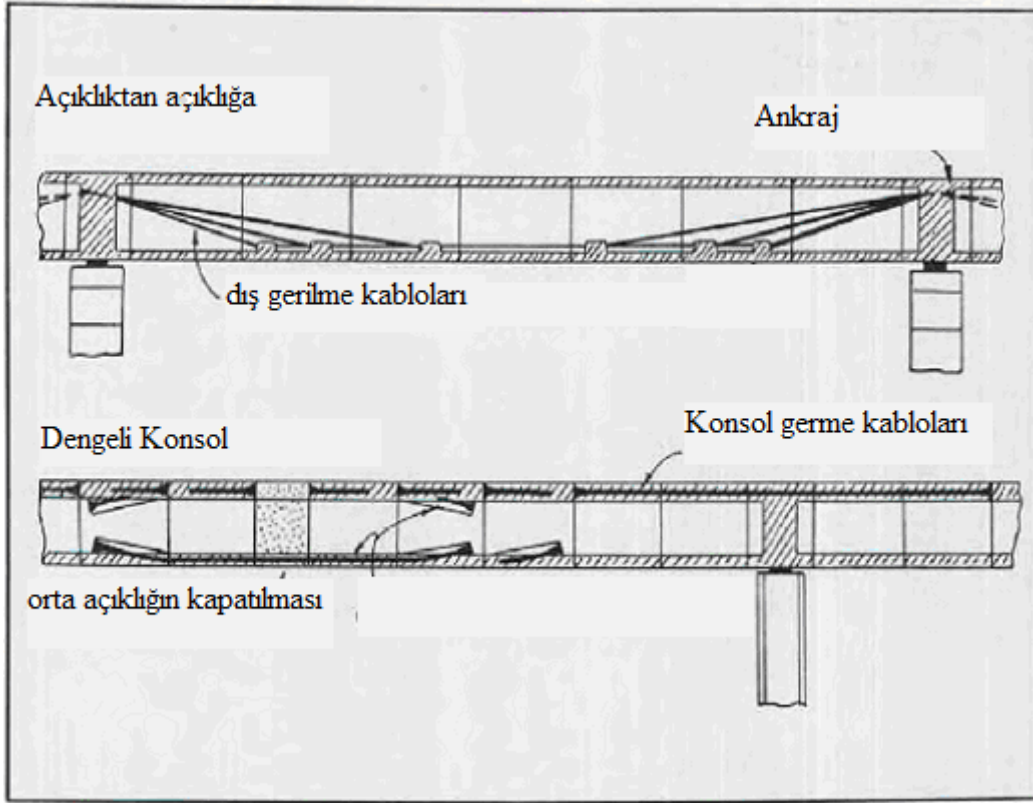


Şekil 1.9. Tipik açıklıklı üst yapı



Şekil 1.10. Tipik dengeli konsol üst yapısı





Şekil 1.11. Tipik ard germe

### 1.8. Ön gerilmeli Dilimler Halinde İnşa Edilen Köprülerin Gelişimi

Köprü inşasında ön gerilmeli beton uygulaması Fransız mühendis Eugene Freyssinet tarafından geliştirilmiş olup daha sonrasında yaygınlaşmıştır. Ön gerilme sadece günümüz ince ve uzun aralıklı beton köprülerinin yapılmasına olanak sağlamıştır. Ön gerilmedeki temel prensip, betonda herhangi bir gerilme kuvveti gelişmeden ve çatlığa neden olmadan önce yapım sürecinde olan elemanlarda görülen gerilimi dengeleyecek olan betondaki başlangıç basınç kuvvetini devreye sokmaktır. Menn (1990) yapıda görülen bu iki adet başlangıç gerilimini şu şekilde adlandırmaktadır:

- Belirli bir seviyeye kadar ön gerilmeli donatı çeliğinden alınan kuvvet,
- “Destek elemanlarındaki zahiri yerdeğiştirmeler”, örneğin mafsallar

Menn’e (1990) göre yukarıda verilen ikinci yöntem beton sünmesinden ve rötreden dolayı ön gerilim kuvvetinin yüksek kayıpları ile ilgili olarak daha az kullanılmaktadır. İlk yöntem için kullanılan öngerilmeli kablolar mukavemet seviyesi yüksek çelik içermekle beraber kablo, halat ya da çubuk olarak imal edilmektedir (Nilson ve Winter, 1986). Farklı

destek elemanlarındaki sürekli kirişler için, orta açıklık etrafındaki en kesitlerin alt dokularında ve orta destek elemanlarının üstünde bulunan üst dokularda yoğun gerilim görülecektir. Dolayısıyla gerilimin işlemde bulunan yapıda görüleceği kısımlara kabloların yerleştirilmesinde fayda vardır. Bu düşünce doğal olarak doğrudan ulaşmayan fakat üstte bulunan destek elemanından aşağıdaki orta açıklığa doğru ve daha sonrasında diğer destek elemanının arkasında doğru hareket eden kirişlerdeki yatay kablo uygulaması fikrine neden olmaktadır. Dengeli Konsol İnşasında ise konsol tabanından destek elemanına kadar uzayan konsol üzerindeki harketsiz yüke konsol kiriş askıları adı verilmekte olup açıklığın ortasında bulunan askılar ise entegrasyon (bütünleme) askıları olarak bilinmektedir (Mathivat, 1983).

Betonarme yapıyla mukayese edildiğinde öngerilimli betonun daha yüksek seviyede karmaşık olmakla beraber işgücü ve ön gerilmeli kablolar bakımından maliyeti daha yüksek olup diğer taraftan daha iktisadi malzeme kullanımından dolayı maliyeti düşürmektedir. Bununla beraber, sadece öngerilim uzun ve ince beton açıklıkları mümkün kılmaktadır.

### **1.8.1. Konsollama Yöntemi**

Beton köprülerin inşasında kullanılmadan önce, Podolny ve Muller (1982) tarafından bildirildiği üzere eski dönemlerde Asya'da ahşap yapılarda kullanılmıştır. Konsollama yöntemi ile inşa edilmiş olan temel çelik yapıların arasında Firth Rail Köprüsü ve Quebec Köprüsü bulunmaktadır. Konsollama prensibi ile beton köprülerin inşası özel sonuçların gelişmesine neden olmuştur.

Beton dilimli köprüler için konsollama bir inşa yöntemi olup bu yöntemde prefabrike dilimli ya da yerinde dökümlü dilimler kendiliğinden destekli bir üst yapı oluşturmak üzere bir zincir gibi birleştirilmekte ve gerilmektedir. Dilim en kesitinin üst kısmında bulunan öngerilim askıları konsolu destekler. Kademeli yerleşimin değişimi yönteminde, askılar genellikle açıklık kapanmadan önce konsolu desteklemek üzere kullanılmaktadır.

Ardışık yük aşamaları altında bulunan dilimlerin zamana bağlı malzeme davranışı tüm inşa aşamalarında kapsamlı bir hesaplamayı gerektirmektedir. Dilimlerin her birisi beton yaşının artmasıyla mukavemet düzeyini geliştirecektir. Konsolun yapısal davranışı için idame, dilimlerden her birinin alttaki tüm dilimlerden açıklık kapanıncaya kadar yük taşıması ve nakil yapmasıdır. Sapmaların hesaplanmasının yanı sıra, yapı üzerindeki

geometri ve beklenen yüklerle ilgili olarak bu bulgulardan moment ve gerilmenin hesaplanması mümkündür.

Konsol üst yapıların kirişlerindeki destek elemanlarını sabitlemek ve dikey ön gerilmeli kablo kurmak mümkündür. Bunun yanı sıra, kalıcı olan ayağa yakın konumda bulunan dikey ön gerilmeli ilave geçici ayaktan faydalanmak da çok yaygındır (Casas 1997). Bu ayak köprü üst yapısı üstündeki dengesiz yükten kaynaklanan döndürme momentine direnmesine yardımcı olmaktadır.

Bazı avantajlar konsollama yönteminin gelişimine katkıda bulunmuştur. En önemlisi kesinlikle ise hiçbir iskele ya da merkezin gerekli olmadığı ve inşa işlemi sırasında genel anlamda açıklıkların serbest bırakılmasını sağlayan sistemdir. Yerden ulaşım sadece ayakların ve dayanakların inşasında ve bu konumlardan başlayan konsollamanın başlangıç hazırlığında gereklidir.

Sadece nispeten küçük kalıp yapısı üst yapının dilimler halinde yapısından dolayı gerekmektedir. Köprü açıklıklarının yer üstünde oldukça fazla bir yükseklikte olması durumunda mesela iskelenin iktisadi olarak kullanımı için konsollama yöntemi oldukça makuldür ve fakat açıklıkların altında bulunan alanlar baskın tehlikesi altında bulunan oluklar gibi durumlar söz konusu ise ulaşılamaz durumda ya da makul değildir. Bilhassa bu tür durumlarda hızlı inşa işlemi konsollama yöntemi ile yapılabilmektedir.

Fletcher (1984), özellikle konsollama yönteminde “inşa aşamaları için tam hesaplamaların gerekli olduğunu ve bunların çoğu gerilim etkisinin zamana bağlı olmasından dolayı karmaşık olduğunu“ belirtmektedir. Bunun yanı sıra aşamalı inşa yönteminin etkileri de göz önünde bulundurulmak durumundadır. Bununla beraber, analiz edilmesi gereken istatistikî sistem oldukça basit düzeyli olup orta açıklıktaki kapanma öncesindeki konsol durumunda istatistik olarak da belirleyicidir.

### **1.8.1.1. Prefabrike İnşa Yöntemi**

Prefabrike dilimli inşa yöntemi köprü elemanlarının ya da dilimlerin köprü sahasından farklı bir yerde prefabrike dilimli olmak üzere yapıldığı ve daha sonra söz konusu köprü sahasına taşındığı ve orada kurulumunun gerçekleştiği anlamına gelmektedir. Mathivat (1983), açıklık arttıkça ekipman yerleştirimi için maliyetin de o oranda arttığı için prefabrike anolu segmentli inşa edilmiş köprülerdeki en azami anlamda iktisadi olarak yaklaşık 150 m olduğunu düşünmüştür. Prefabrike anolu dilimli inşa

yöntemi, yerinde dökümlü dilimler halinde inşa edilmiş olan köprülerle kıyaslandığında bazı avantajlara sahiptir. Dilimlerin döküm işlemi ön döküm sahasındaki tesis benzeri şartlar altında kontrollü olacak şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

Bu sanayileşmiş süreç üst yapının yerleştirilmesinden önce dilimlerin rahat bir biçimde kalite kontrolüne imkan vermekle beraber ön döküm kalıbının kullanımını ortadan kaldırarak ekonomik tasarruf sağlamaktadır. Kumlama, boyama ve kaplama gibi yüzey üstü işleri üst yapıdaki tüm yüzlerden kurulum öncesinde dilimlere ulaşılması halinde yapı iskelesi kurulmaksızın zemin seviyesinde gerçekleştirilebilmektedir.

Üst yapı dilimleri üst yapının inşası süresince ön dökümlü olabileceği için Mathivat (1983) tarafından dile getirilmiş olan bir diğer önemli avantaj ise üst yapının tam olarak dökülmesi işlemi tüm inşa sürecinden ayrı olarak ele alınabilmesidir. Prefabrike dilimlerin ön gerilme işlemi olmadan, öncesinde saha üzerinde işleme ihtiyacı bulunmadığından dolayı köprü üst yapısının birleştirilmesi işlemi yerinde dökümlenen yapım yöntemine kıyasla daha kısa zamanda gerçekleştirilebilmektedir. Dilimin malzeme teknik özelliklerinin erken dökümlemedeki etkileri de olumlu yöndedir.

Bununla beraber, prefabrike dilimlerin ön döküm sahası, muhafaza, nakliyat ve kurulum maliyeti de iktisadi bir çözüm sunmak üzere yerinde dökümü yapılan inşa yöntemiyle karşılaştırmak üzere masraf açısından değerlendirilmek durumundadır.

Ön dökümlü saha donanım açısından yatırım gerektirmektedir. Köprü geometrisi ve hizalaması yapmak amacıyla ayarlanabilir yapı iskelesi kurulmalıdır. Kaldırma ekipmanı dilimleri muhafaza sahasına yerleştirmek ve daha sonrasında ise inşa sahasına götürülmek üzere kamyonlara yüklemek için gereklidir.

Dilim prefabrikasyonunda yüksek oranda doğruluğu sağlamak için karşılıklı döküm yönteminin kullanılması sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Karşılıklı döküm, “bir uçtaki bölmenin diğer dilimdeki uçla” arasında kalıp yapılması anlamına gelmektedir (Levintov 1995). Dilim bağlantı noktası yüzlerinin her türlü çapaktan arındırılması gereklidir.

Lenintov (1995), beton dilim prefabrikasyonunu kısa hatlı döküm ve uzun hatlı döküm olmak üzere ayırmaktadır. Kısa hatlı döküm sadece bir dilim uzunluğunda bir kalıp ihtiva ederken karşılıklı döküm yöntemi için seyyar bir taşıyıcı üzerinde önceki dilimde bir noktaya yerleştirilmiş durumda bulunmaktadır. Kısa hatlı döküm yatay bir şekilde ya da yukarı doğru yönelmiş dilimlerle (Podolny ve Muller, 1982) gerçekleştirilebilirken bunun yanı sıra normal yatay pozisyon da karşılıklı döküm özelliğini kullanmaktadır. Tüm köprü hizalaması ise betonların yerleştirilmesinden önce kalıbın özenli bir şekilde hizalanmasını

gerektirmektedir. Kısa hatlı döküm için çok fazla çalışma alanı gereksinimi bulunmamaktadır.

Diğer taraftan uzun hatlı döküm ise takriben bütün bir köprü açıklığında bulunan kalıbın yapılması anlamına gelmektedir. Levintov'a göre (1995) kalıp sadece üst yapının alt yüzünü sabitlemek için inşa edilebilir ve bu inşaya eleman yüzlerinin ve dahili kalıpların hareketli küçük formları da dahildir. Kısa hatlı döküm için bu kalıp ayarlanabilir ve esnek kalıptan daha az maliyete sahip olmakla beraber daha fazla çalışma alanını gerektirmektedir. Bunun yanında Levintov (1995) uzun hatlı döküm yönteminin düz üst yapılar ya da sabit kavisli üst yapılarda kullanılabileceğine dikkat çekmektedir. Dilimler seyyar kalıp birimlerinin ve seyyar bölmenin adım adım ilerletilmesiyle uzun hatlı kalıp üzerinde karşılıklı döküm işlemine tabi olur.

Phipps ve Spruill (1990) Biloxi Interstate I – 110 viyadüğünün inşasında kullanılmış olan prefabrike anolu döngüyü tanımlamaktadır. Onlara göre yeni dökümü yapılmış olan dilimler kısa hatlı kalıpta seyyar bir kalıp yatağında işlenmiştir. Ön gerilmeli halatlar kesimle serbest bırakılmış olup beton numunelere ait kalite kontrolü ve muayene gerçekleştirilmiş olup iç kalıp birimleri yeni dilimden alınmıştır. Karşılıklı döküm için kendi pozisyonundan muhafaza sahasına konulması için önceden dökümlenmiş olan dilimi kaldırdıktan sonra yeni dilim kalıptan haddelenmiştir. Gerekli olan tüm düzenlemeye göre karşılıklı döküm için konumlandırılmıştır. Bağlantı noktası yüzeyinin ve ayrı bölmenin arındırılması işlemi diğer bir dilimin dökümü öncesinde yapılmıştır. Destek çubukları yerleştirme işlemini hızlandırmak üzere destek kafeslerinde önceden montaj edilmiştir. Ön gerilmeli halatlar beton yerleşimi öncesinde gerilen kutu giriş diliminde kullanılmıştır.

### **1.8.1.2. Yerinde Döküm İnşa Tekniği**

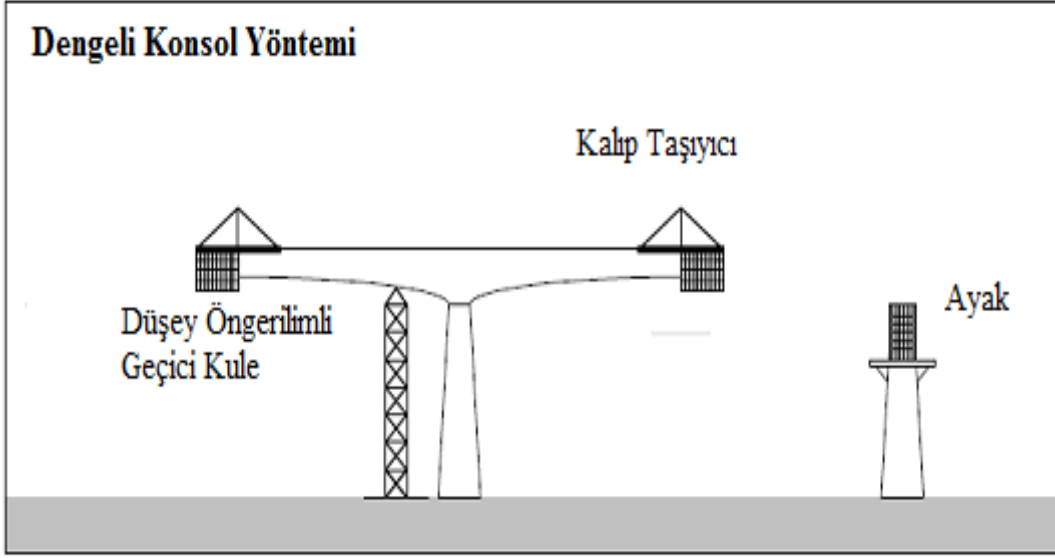
Podolny ve Muller (1982) tipik döküm döngüsü için bir örnek sunmaktadır. Önceden dökümlü dilimlerin en azından önceki elemanlardaki ön gerilimi sağlamak ve sonraki elemanı desteklemek üzere geliştirilmesi gerekmiştir. Bir dilim üzerindeki tüm işler tamamlandıktan sonra, taşıyıcısı eski pozisyonundan alınır ve köprü üst yapısı üzerine monte olan demirlere doğru itilir. Taşıyıcısının ilerletilmesi süresince dengeyi idame etmek üzere, taşıyıcıya karşıt ağırlık donanımı yerleştirilebilir. Yeni pozisyonuna ulaşması üzerine üst yapıdaki konumuna yerleştirilir. Harici kalıp temizlenip diğer dilimin geometrisine göre hizalanmaktadır ve yanı sıra istenilen kaviste birleştirilmektedir.

Bir önceki dilim bu yolla hazırlanan taşıyıcı kablo kanalları ve ağırlar ile diğer dilimlere bağlanacaktır ve monte olacaktır. Destek dilimi vinç yardımıyla monte edilmiş olan kafeslere yerleştirilebilir. Ön gerilmeli kablolar ulaşılabilirliklerinden dolayı betonun yerleşmesinden önce kanallarına yerleştirilebilmektedir.

Beton yerleşmesi işlemi farklı araçlarla (mesela pompalama ya da vinçle destekleme gibi) gerçekleştirilebilmektedir. Betonun vinçlere yerleştirirken özel bir dikkatin verilmesi gerekmektedir ve bu şekilde düzgün bir birleşme sağlanacaktır. Bunun için en sık kullanılan yöntem dahili ve harici titreşim araçları kullanılarak beton vibrasyonunu sağlamaktır. Beton kalitesini sağlamak üzere en önemli husus sağlamlık ve mukavemetin elde edilmesidir.

### **1.8.1.3. Dengeli Konsol İnşası**

Dengeli konsol inşası destek ayağının her iki yüzünden terazi şeklinde bir köprü üst yapısı oluşturma anlamına gelmektedir. Bu inşaa yöntemi aynı zamanda serbest konsol inşası olarak da bilinmektedir (Podolny ve Muller 1982). Fletcher (1984) konsollamanın başlangıç noktasından itibaren bir temel olarak vazife gören destek elemanının genellikle 6 – 12 metre arasındaki bir uzunlukta olduğu hakkında bilgi vermektedir. Konsol üst yapısının her iki kolunu da dengelemek üzere dilimler yaklaşık olarak uç noktasında eşit konumlara oturtulur. Yeni dilimlerin oturmaya başlaması ise Mathivat'ın (1983) yaptığı açıklamaya göre aynı döneme denk gelecektir. Bu yüzden köprü ayağı eğim momentlerine tabi olabilmekte ve buna göre tasarlanmak durumundadır. Dikey konumlu ön gerilmeli ya da karşıt dengeleyici ağırlıklı geçici kuleler ilave bir destek sağlayabilmektedir. Şekil 1.12 şematik olarak Dengeli Konsol İnşasındaki tipik bir inşaa sürecini göstermektedir.



Şekil 1.12. Dengeli konsol inşası

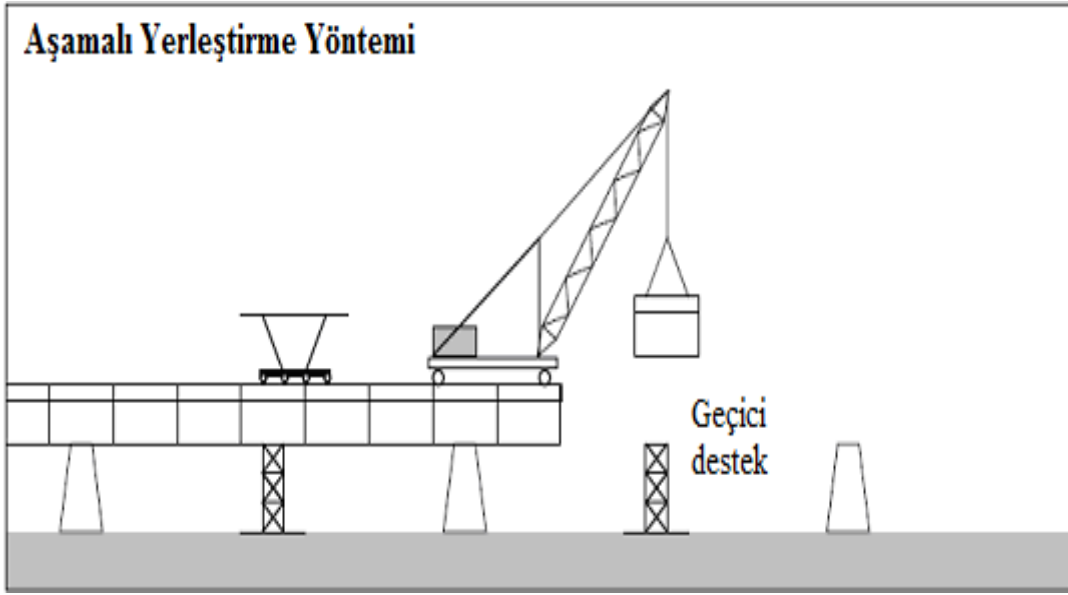
Dengeli konsol yerinde dökümlenmiş ya da prefabrike dilimlerle gerçekleştirilebilmektedir. Yerinde dökümlenmiş dengeli konsollar için iki çeşit taşıyıcı gereklidir, her biri konsolun bir ucuna yerleştirilir. Çok açıklı köprüler için ise taşıyıcıları bir ayaktan konsollama işlemi bitirildikten sonra ve diğer konsolda yeni bir kurulum sağlanabileceği zaman yerleştirilebilmektedir.

Farklı kutu kiriş derinliği bulunan köprülerin söz konusu olduğu durumlarda ise, ayak dilimi üst yapının en büyük parçasıdır. Bu dilim daha önce yerleştirilmiş olan iki taşıyıcısının hareket başlangıç noktaları olan bir çalışma platformu sağlamak üzere konsollama öncesinde inşa edilmek durumundadır. Aynı zamanda konsol kollarındaki kuvvet akışını ayaklara yönelten grafikleri de kapsamaktadır. Boyut, geometri ve inşadan dolayı üst yapının geri kalan kısmından ayrılma inşa süresi açısından kayda değer bir süre alacaktır. Büyük prefabrike anolu dilimlerle ya da ayak mili üzerine monte edilmiş olan yerinde dökümlü kalıpla birlikte yerleştirilebilir.

Fletcher (1984) tarafından özel olarak tasarlanmış olan ve konsollama için makul olan bir ayaktan bahsedilmektedir.

#### 1.8.1.4. Aşamalı Yerleştirme Yöntemi

Dengeli konsol yönteminin aksine aşamalı yerleştirmeli yöntemi Şekil 1.13'de gösterildiği üzere tek yönlü bir süreçten ibarettir. Tüm konsol dilimleri sırasıyla bütün açıklıklar boyunca inşa edilmiş olan konsolun uç noktasına yerleştirilmektedir. Hem yerinde dökümlenmiş olan ve hem de prefabrike dilimli inşa yöntemi kullanılabilir. Üst yapı üstünde bulunan geçici kulelerin bir ucunda bulunan askılar genelde konsolu desteklemektedir. İlerleyen konsol üst yapısında bu destek mekanizmasının geliştirilmesi gerekmektedir. Bir diğer destek yöntemi ise olan geçici kulelerin kullanılması işidir. Mathivat'a göre (1983) bu yöntem uzunlamasına 30 – 50 metre arasında bulunan açıklıklar için önemli olmakla beraber dengeli konsol daha büyük açıklıklar için de kullanılmaktadır.



Şekil 1.13. Aşamalı yerleştirme yöntemi

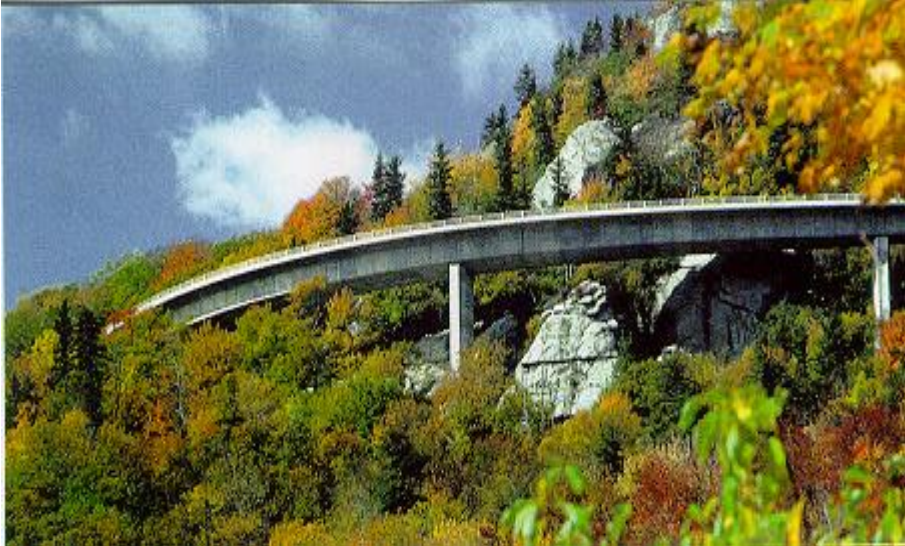
Aşamalı yerleştirme yönteminde Mathivat'ın (1983) bahsettiği gibi bazı avantajlar bulunmaktadır. İlk olarak dengeli konsol yönteminde olduğu gibi aşamalı yerleştirme sürecinde kilit kısımlarının bulunmasına gerek yoktur. Bu yüzden süreç kontrolü kolaydır. Bunun yanı sıra, köprü üst yapısının hali hazırda tamamlanmış kısmı yerleştirme bölgesine ulaşım için bırakılmaktadır. Aşamalı yerleştirme yönteminde yatay elemanlar rahatlıkla yerleştirilebilmektedir.



Yapısal bir bakış açısından aşamalı yerleştirme yöntemi üst yapı tasarımında avantajlıdır. Sadece yapım aşamasındaki üst yapının hareketsiz ağırlığından gelen dikey kuvvetler mevcuttur. Dengeli konsol yönteminin aksine, üst yapı ve ayaklar arasında basit bir kuvvet akışı bulunmaktadır. Ayaklar üzerine binen yatay kuvvet bulunmamakla beraber ayakların dengesiz bir kuvveti kaldırma zorunluluğu yoktur. Bu yüzden kalıcı mafsalların hemen kurulması mümkündür (Mathivat 1983).

### 1.8.1.5. Linn Cove Viyadüğü

Aşamalı yerleştirme yönteminin ilginç örneklerinden biri de Şekil 1.14'te gösterilmiş olan Linn Cove Viyadüğüdür (Anon. 1984). Bu viyadük Kuzey Karolina'nın çevreye dönük alanlarında yapılmış olup dağa dönük eğimli kısmına ulaşamaz ve oldukça kıvrımlı durumda bulunan hizalama projeyi zor şartlara sokmuştur. Karşılıklı dökümlü prefabrike dilimler kamyonlara yüklenmiştir. Yukarıda anlatılmış yöntemden farklı olmak üzere açıklıkların üzerinde askı kullanılmamakla beraber çelik kısımlar destek sağlaması için açıklıkların altına yerleştirilmiştir. Yukarı kısımdan aşağıya doğru indirilmiş olan prefabrike dilimlerle ilişkili olarak aşamalı yerleştirme yönteminin uygulanması teknik olarak olabildiğince doğal çevrenin korunmasına yardımcı olmuştur.



Şekil 1.14. Linn Cove Viyadüğü, Kuzey Karolina, ABD.(Rives ,1997)

### 1.8.1.6. Gülburnu Köprüsü

Gülburnu köprüsü serbest konsol metodu ile inşa edilmekte olan ardgermeli yerinde dökme kutu kesitli bir köprüdür. Köprü 3 açıklıklı olup kenar açıklıkları 82.5 metre, orta açıklığı 165 metre olmak üzere toplam 330 metre uzunluğundadır. Üst yapıyüksekliği orta ayak üzerinde 8.25 metre, köprü ortasında ve uçlarında 3.50 metredir. Köprü gabarisi orta ayaklarda 7.50 metreden başlayarak orta açıktaki yaklaşık 12.50 metreye yükselmektedir.

Köprü açıklıklarının büyük seçilmiş olması, deniz tabanının jeolojik ve topografik özellikleri ile yakından ilgilidir. Ana kayanın denizde yaklaşık 15 ila 20 metre derinde olması, denizdeki ayak adedinin mümkün olduğunca azaltılmasına ve ayakların daha sığ olan kenar kısımlara konulmasına yol açmaktadır.

Deniz içinde iskele kurulması mümkün olmadığı için burada yapım yöntemi olarak “Serbest Konsol Metodu” (Free Cantilever Method) seçilmiştir. Serbest konsol metodu deniz ve ırmak gibi suyolu veya derin vadi geçişlerinde veya zeminin herhangi bir sebeple iskele yapmaya müsait olmadığı yerlerde sıkça kullanılmaktadır.

Türkiye’de serbest konsol metodunun daha önce inşa edilmiş iki uygulaması bulunmaktadır. Bunların birincisi 1986 yılında hizmete giren 76.5 m. – 135 m. – 76.5 m. açıklıklı Malatya Kömürhan Köprüsü, ikincisi Ankara Mamak yolundaki 6 x 115.00 metre açıklıklı İmrahor Köprüsüdür.

Serbest konsol metodunda genellikle ayaklar üst yapı ile monolitik bir şekilde bağlanmaktadır. Ancak ayağın üst yapı ile rijit bir şekilde bağlanması halinde üst yapının ısı genleşmeleri, rötre ve sünmesi sebebiyle köprü ayağında taşınması imkansız eğilme momentleri ortaya çıkmakta ve yapı rijitliğinin büyümesinin bir sonucu olarak deprem yükleri de artmaktadır. Buna bağlı olarak temel kazıklarının çapı ve/veya adedinin uygulanan tasarıma göre daha fazla seçilmesi gerekecektir. Bütün bu sakıncaları ortadan kaldırmak için üst yapının ayaklardan ayrılmasına karar verilmiştir (Harputoğlu vd. 2007).

Harputoğlu vd. (2007) Gülburnu Köprüsü’nün analiz yöntemini şu şekilde açıklamıştır; İnşaat sırasında köprü çeşitli aşamalardan geçmektedir. Önce Giresun tarafındaki, sonra Trabzon tarafındaki bölümler serbest konsol olarak inşa edilecek ve kenar ayaklara oturtulacaktır. Orta anonun yapılması ile, farklı yaşta ve farklı miktarlarda sünme yapmış olan iki köprü bölümü birleştirilerek konsol durumdan üç açıklıklı sürekli bir köprü durumuna geçilmiş olacaktır. Sonra orta ayaklara sürtünmeli sarkaç tipi mesnetler yerleştirilecek ve geçici ayaklar devreden çıkarılacaktır. Köprünün sürekli hale

gelmesinden sonra betonun sünmesi son bulana kadar sürekli yükler altında çıkan eğilme momenti dağılımı değişme uğrayacak ve mesnet üzerindeki eksi işaretli eğilme momentleri azalırken orta açıklıktaki artı işaretli eğilme momentleri artacaktır. Bunları karşılamak üzere kutu kesit içinde hazırlanmış ankraj noktalarından kesit alt başlığında yer alan süreklilik demetleri gerdirilecektir. Daha sonra köprüye kaldırım ve asfalt yükleri ile hareketli yükler etkitilecektir. Yapım aşamalarında köprü geometrisinde, taşıyıcı sisteminde ve geçen zamana bağlı olarak malzeme özelliklerinde değişiklikler olmaktadır.

İnşaat durumu analizinde gözönüne alınan döngü aşağıdaki gibidir:

Serbest konsol metodunda önce orta ayaklar ve mesnet anosu uygun bir kalıp sistemi ile inşa edilmektedir. Sonra ayağın iki tarafına özel kalıp arabaları bağlanarak 3.4 ila 5 metre uzunlukta birer ano imal edilmektedir. Kalıp arabası kalıp, beton ve beton içerisindeki teçhizatın ağırlığını, bir önce dökülmüş olan anoya basarak taşımaktadır. Beton yeterli mukavemeti kazanınca, daha önce kutu kesit üst başlığı içinde bırakılmış kılıf borularından öngerilme demetleri geçirilmekte ve artçekme tatbik edilmektedir. Artçekme tatbik edilir edilmez kalıp arabası bir ano boyu kadar ötelenmekte ve yeni bir döngüye başlanmaktadır. Ayağın iki tarafındaki birer anonun imal edildiği bir döngü, yaklaşık olarak 1 haftada tamamlanmaktadır. Köprü mesnetin iki yanındaki açıklıkların ortasına geldiğinde, kalıp arabası sökülerek bir başka ayağa taşınmaktadır (Harputoğlu vd. 2010).



Şekil 1.15. Gülburnu Köprüsü (Harputoğlu vd., 2007).

### 1.8.1.7. Konsol Sürecinin Sonu

Konsol süreci son olarak her iki kirişin orta açıklıkta buluşmasıyla tamamlanacak olup birbirine bağlanması gerekmektedir. Bu bağlantıyı kurmak için yapısal sistemde üç farklı yöntem bulunmaktadır (Mathivat 1983). Üst yapıda yatay hareketlere izin veren bir mafsallı bağlama sistemi kurulabilir. Mathivat'ın da bahsettiği gibi (1983) bu sistem yapısal olarak basit olmakla beraber mafsalların karmaşık ayrıntıları bulunmaktadır. Podolny ve Muller (1982) mafsallı sistemin asgari seviyede düşük yük taşıma kapasitesinden, sünme ve gevşeme için yüksek yeterliliğinden de bahsetmektedir. Bunların yanı sıra, iki üst yapının diğer yarı kısımlarının ise sapma açıları arasında bulunmaktadır (Podolny ve Muller 1982, s: 36).

İkinci olarak da, orta açıklık üst yapısı konsollar arasında oturmuş olan kirişlerin üstünde bulunacak şekilde tasarlanabilmektedir. Bu yapıda ise daha kısa konsollar ve asılı duran açıklık arasında bulunan sapma açısı daha küçük olacaktır ve “desteklerin farklı yerleşimi” daha net olarak hesaplanabilmektedir (Podolny ve Muller 1982, s: 38). Ancak bağlantıların yapısal sistemde özel ayrıntılara ihtiyacı bulunmaktadır.

Son olarak, tüm üst yapı orta açıklıkta sabitlenebilmektedir. İstatistikî olarak belirsiz olan bu sistemin yapılanması bazı nedenlerden dolayı konsol inşasında en sık tercih edilen yöntemdir. (Mathivat, 1983) daha sert biçimde bulunan sapmaların “mafsallı yapılardakine göre daha küçük olduğunu” belirtmektedir.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

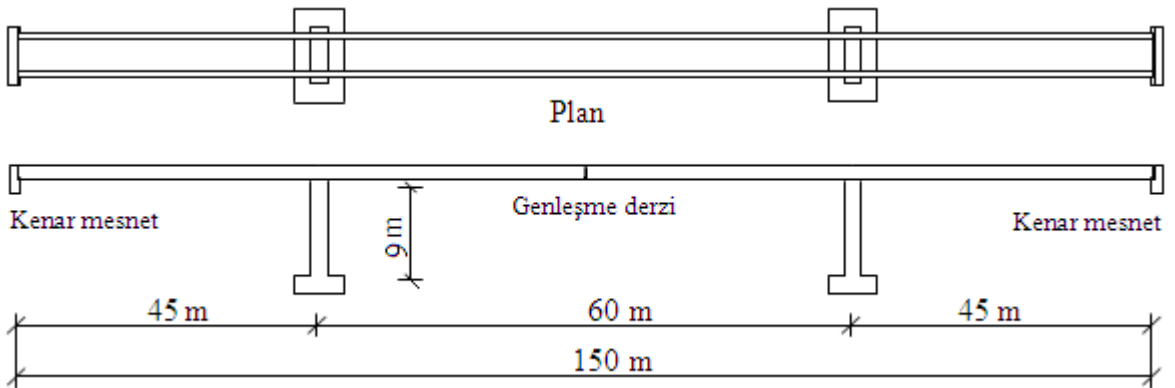
### 2.1. Giriş

Bu tez çalışmasında, karayolu köprülerinin yapısal davranışlarının yapım aşamaları ve zamana bağlı malzeme değişimleri dikkate alınarak belirlenmesi ve elde edilen sonuçların yapım aşamalarının dikkate alınmadığı statik analiz sonuçları ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışmada, dengeli konsol yöntemiyle inşa edilen üç açıklıklı öngerilmeli betonarme bir karayolu köprüsü uygulama olarak seçilmiştir.

### 2.2. Betonarme Karayolu Köprüsü

#### 2.2.1. Betonarme Karayolu Köprüsü ve Geometrik Özellikleri

Çalışmada örnek olarak seçilen köprü tek tabliyeye sahip, kutu kesitli ve öngerilmeli betonarme bir köprüdür. Köprü, ana açıklığı 60 m ve kenar açıklıkları 45 m olmak üzere toplam üç açıklıklıdır. Köprü toplam uzunluğu ve genişliği sırasıyla 150 m ve 22.5 m'dir. Köprü boy kesiti ve eleman boyutlarına ait genel görünüşler Şekil 2.1'de verilmektedir. Köprü taşıyıcı sistemi başlıca tabliye, ayaklar, kenar mesnetler ve orta açıklık genişleme derzinden oluşmaktadır.



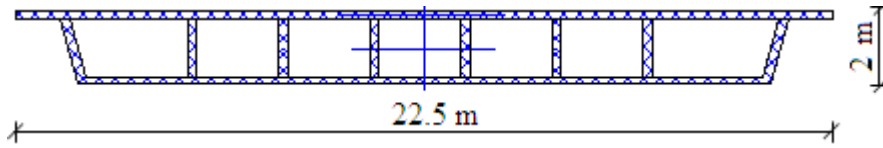
Şekil 2.1. Karayolu Köprüsü'nün plan, boy kesit ve eleman boyutları

### 2.2.2. Köprü Tabliyesi

Çalışma kapsamında seçilen karayolu köprüsü, kutu kesitli ve öngerilmeli betonarme bir köprüdür. Köprü, ana açıklığı 60 m ve kenar açıklıkları 45 m olmak üzere toplam üç açıklıklıdır. Köprü toplam uzunluğu ve genişliği sırasıyla 150 m ve 22.5 m'dir. Köprü taşıyıcı sistemi başlıca tabliye, ayaklar, kenar mesnetler ve orta açıklık genişleme derzinden oluşmaktadır.

Betonarme köprü, çok hücreli kutu kesite sahip yerinde dökme ve ardgermeli taşıyıcı sistemli tabliyeye sahiptir. Tabliye toplam uzunluğu ve genişliği sırasıyla 150 m ve 22.5 m'dir. Köprü'nün üst yapısı dengeli konsol ve öngerilmeli kutu kesit sistemiyle inşa edilmiştir. Mevcut dengenin muhafazası, orta ayaklarda her iki tarafa doğru aynı zamanda inşa edilen dilimlerin yan yana getirilip, öngerilme ile bağlanmaları sonucu sağlanmıştır.

Köprü tabliyesi her biri 3 m ve/veya 4.5 m uzunluğunda olan toplam 40 dilimden oluşmaktadır. Her bir dilim donatılı kutu kesite sahiptir. Donatılı kutu kesitin yüksekliği orta ayaklar üzerinde 2 m olmakla beraber tabliye boyunca sabittir. Kutu kesitin üst tabla ve alt tabla kalınlığı köprü uzunluğu boyunca sabit olup, 25 cm'dir. Kullanılan betonun basınç dayanımı 40 MPa'dır. Kutu kesitler tabliye boyunca 15.7 mm çaplı yüksek dayanımlı öngerme halatlar ile birbirine bağlanmıştır. Kullanılan halatların çekme dayanımı 1860 MPa'dır. Değişken kutu kesitin şematik olarak gösterimi Şekil 2.2'de verilmektedir.



Şekil 2.2. Değişken kesitli tabliye üst yapısı

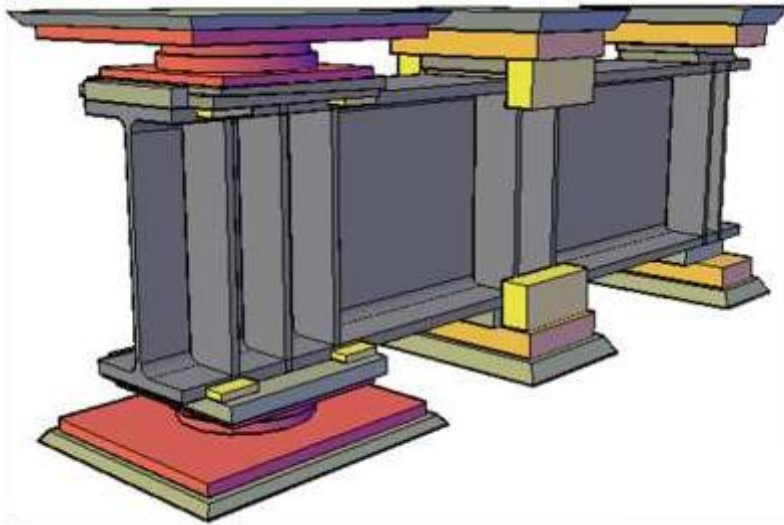
#### 2.2.2.1. Köprü Ayakları ve Kenar Mesnetler

Betonarme karayolu köprüsü'nün sağ ve sol tarafında kalan kenar ayakları 60'ar adet ve 25 ila 40 m arasında değişen boya sahip ankraj çubukları ile kayaya ankre edildiği kabul edilmiştir. Ayrıca, köprü üst yapısını kenar ayak perdesine bağlamak amacıyla her bir ayakta belirli sayıda S420 kalitesinde Ø50 çapında çekme çubukları kullanıldığı dikkate

alınmıştır. Her biri 9 m yüksekliğinde olan orta ayaklar dairesel kesitten oluşmaktadır. Kesitin çapı ayak yüksekliği boyunca sabit olup 2m'dir. Karayolu köprüsünün orta ayak temelleri analizlerde hesaba katılmamıştır.

### 2.2.2.2. Orta Açıklık Mafsal Düzeneği

Dengeli konsol yöntemiyle inşa edilen karayolu köprülerinde orta açıklık iki farklı türde oluşturulabilmektedir. Birinci türde orta açıklıkta genişleme derzi bulunmakta, diğerinde ise orta açıklıkta kilit anosu yer almaktadır. Seçilen karayolu köprüsünün orta açıklığında, üstyapı orta açıklık konsollarını birbirine bağlamak amacı ile kutu kesitin içinde çelik kirişlerden oluşan ve moment aktarmayan mafsal şeklinde tasarlanan bir düzeneğin bulunduğu düşünülmüştür. Bu şekilde, orta açıklıktaki konsol uçları serbest bırakılmış ve ısı değişimi sebebiyle üstyapıda oluşacak genişlemelere izin verilmiştir. Ayrıca, iki uç arasında bir bağlantı oluşturularak düşey yükler altında üstyapının ortak hareket etmesini sağlanmıştır. Köprünün bir tarafında çelik kirişin dönme ve hareket serbestlikleri engellenerek tam ankastre bir bağlantı oluşturulmuştur. Diğer taraftaki mesnetlerde ise dönmelere ve yatay yöndeki hareketlere izin verilmiş ve bu kısmın mafsal olarak hareket etmesi sağlamıştır. Ayrıca, enine doğrultudaki hareketi kenar takozlar ile engellenmiştir. Şekil 2.3'te orta açıklık mafsal düzeneğinin şematik görünüşü verilmektedir.



Şekil 2.3. Tipik orta açıklık genişleme derzi mafsal düzeneği (Altunışık vd., 2010b)



### 2.3. Karayolu Köprüsü'nün Statik Davranışının Belirlenmesi

Karayolu köprüsünün statik davranışını analitik olarak belirlemek için köprünün üç boyutlu sonlu eleman modeli SAP2000 (2008) programında oluşturulmuştur. Köprünün üç boyutlu sonlu eleman modeli, aşağıda belirtilen modelleme kriterleri dikkate alınarak oluşturulmuştur.

- Köprü tabliyesi ve ayaklar altı serbestlik derecesine sahip çubuk elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Üç boyutlu modellemede değişken kesitli elemanlar direk olarak tanımlanmıştır.
- Üç boyutlu modelde direk değişken kesitli eleman tipleri kullanılmıştır. Her bir orta ayak 15 adet sonlu elemana bölünmüş olup, üstyapı dilimleri ise 3.0 m ve 4.5 m uzunluğunda parçalara ayrılmıştır.
- Ardgerme kabloları moment aktarmayan çubuk elemanlar kullanılarak simüle edilmiştir ve üstyapı dilim uçlarına proje verilerinde belirtilen düşey lokasyonlarında bağlanmıştır. Ardgerme yükleri birim uzamalar cinsinden etki ettirilmiştir.
- Kenar ayak mesnetleri yüksek rijitliklere sahip yaylarla tanımlanmıştır. Bu şekilde kenar ayakların düşey serbestlikleri tamamen tutulmuş, fakat diğer iki doğrultudaki hareketler yarı tutulu olacak şekilde temsil edilerek dönmelere izin verilmiştir.
- Orta açıklık genişleme derzindeki mafsal düzeneği yay eleman ile simüle edilmiştir. Yay elemanı boyuna yönde serbest olup, enine ve düşey hareketi yüksek rijitliğe sahip olacak şekilde modellenmiştir.

Köprünün modellenmesi sırasında dikkate alınan malzeme özellikleri Tablo 2.1'de verilmektedir. Köprünün yukarıda belirtilen modelleme kriterleri dikkate alınarak oluşturulan üç boyutlu sonlu eleman modeli Şekil 2.4'te verilmektedir.

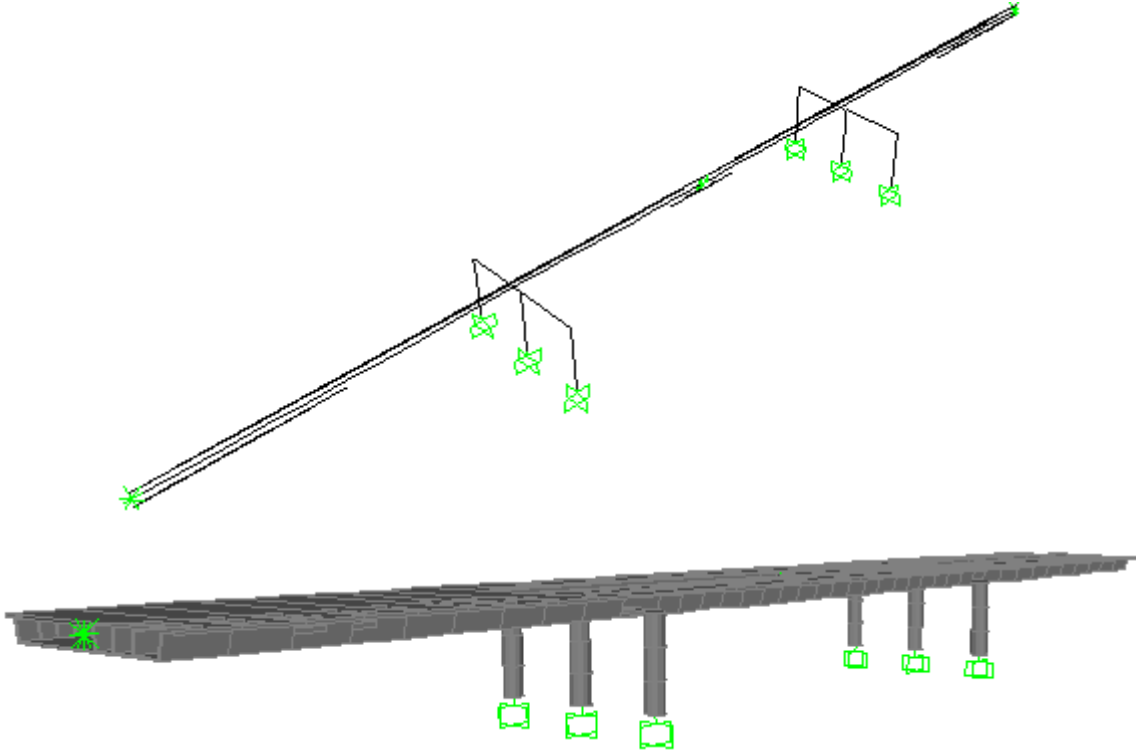
Tablo 2.1. Köprünün analizlerinde kullanılan malzeme özellikleri

Eleman	Elastisite Modülü (kN/m <sup>2</sup> )	Poisson Oranı	Yoğunluk (kN/m <sup>3</sup> )
Tabliye	3.40E7	0.2	25
Ayaklar	3.30E7	0.2	25
Öngerme Elemanları	1.95E8	-	-



Köprünün sonlu eleman analizlerinde aşağıda belirtilen yükleme durumları dikkate alınmıştır:

- Sabit Yük: Tüm elemanların kendi ağırlıklarıdır ve program tarafından direk olarak hesap edilmektedir.
- Ek Sabit Yükler: Asfalt, bordür, boru hattı ve destekleri, korkuluk gibi ek olarak etki eden ağırlıklardır 8-10 cm'lik asfalt dikkate alınarak ve gerekli şartnameler göz önünde bulundurularak her bir dilim için yaylı yük şeklinde 45 kN/m olarak etki ettirilmiştir. Bu yük SAP2000 programı tarafından direk olarak sonlu eleman modal analizine ilave edilecek ek kütleye çevrilmiştir.

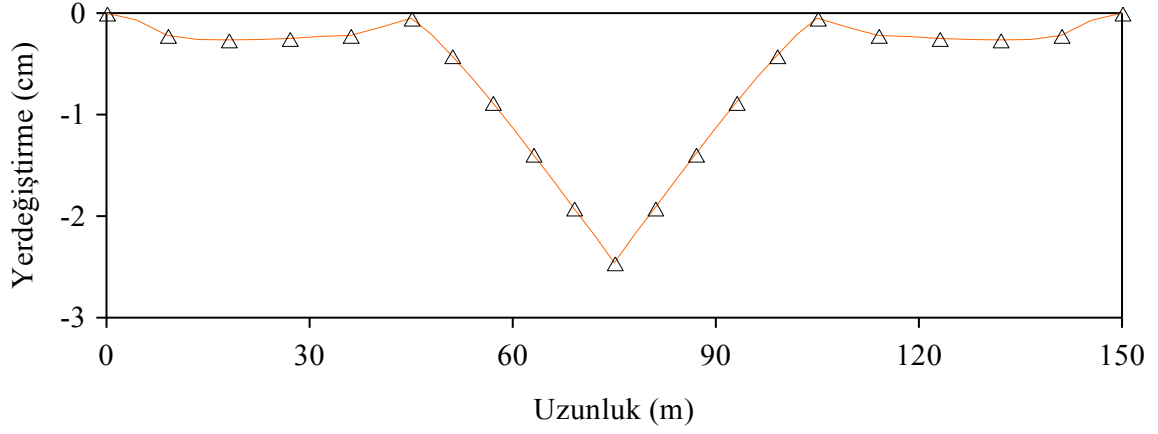


Şekil 2.4. Köprünün üç boyutlu sonlu eleman modelleri

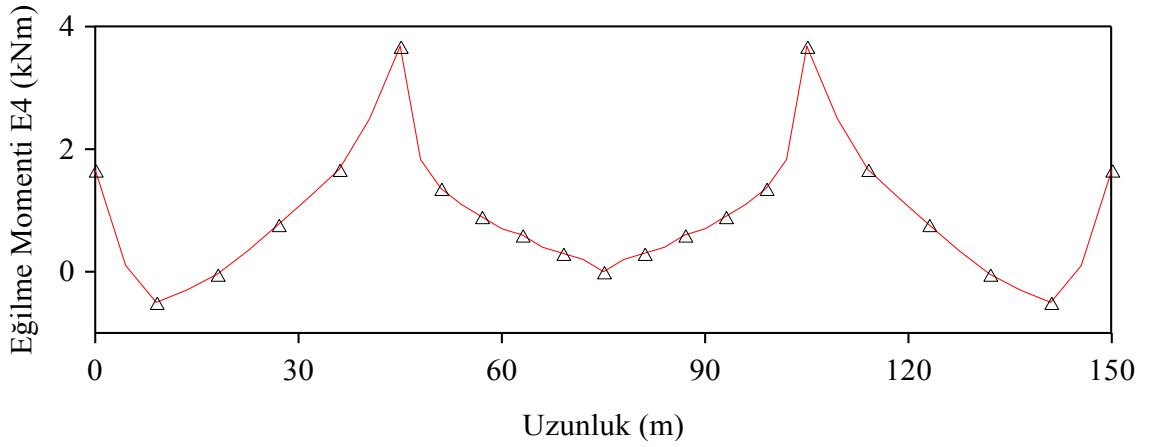
### 2.3.1. Tabliye Davranışı

Köprünün statik analizleri sonucunda elde edilen düşey yerdeğiştirmelerin, eğilme momentlerinin, kesme kuvveti ve normal kuvvet değerlerinin tabliye boyunca değişimi Şekil 2.5 – 2.8’de verilmektedir. Şekil 2.5 – 2.8’de görüldüğü gibi yerdeğiştirmeler köprü açıklık ortasına doğru artmakta, eğilme momenti ile kesme kuvveti ve normal kuvvet

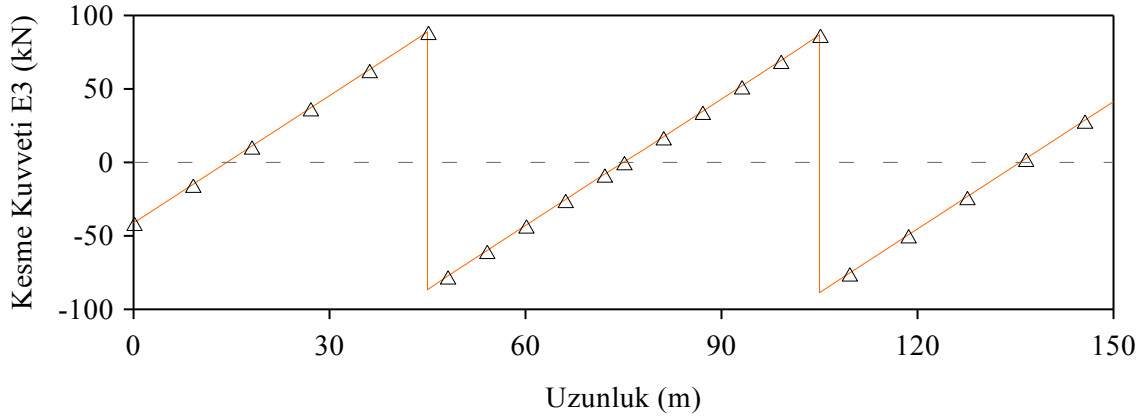
değerleri ise ayaklar üzerinde maksimum değere sahip olup köprü açıklık ortasında minimum değere ulaşmaktadır.



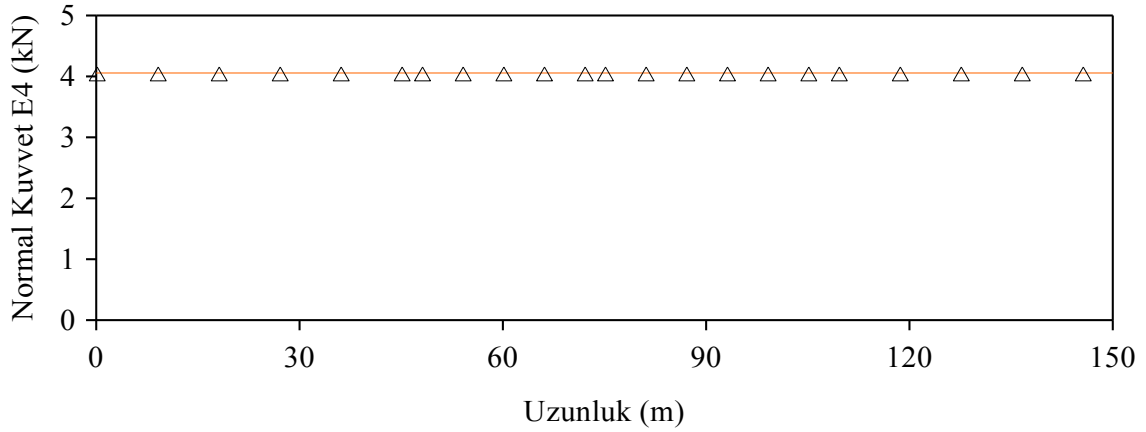
Şekil 2.5. Karayolu köprüsünün statik analizleri sonucunda elde edilen düşey yerdeğiştirmelerin, tabliye boyunca değişimi



Şekil 2.6. Karayolu köprüsünün statik analizleri sonucunda elde edilen eğilme momentlerinin, tabliye boyunca değişimi



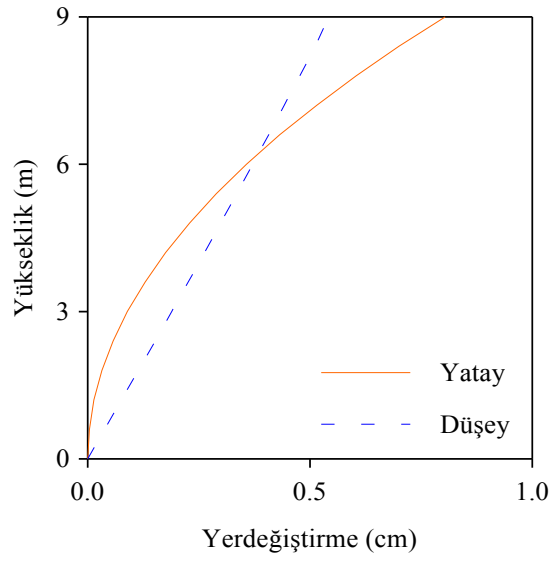
Şekil 2.7 Karayolu köprüsünün statik analizleri sonucunda elde edilen kesme kuvveti değerlerinin tabliye boyunca değişimi



Şekil 2.8. Karayolu köprüsünün statik analizleri sonucunda elde edilen normal kuvvet değerlerinin tabliye boyunca değişimi

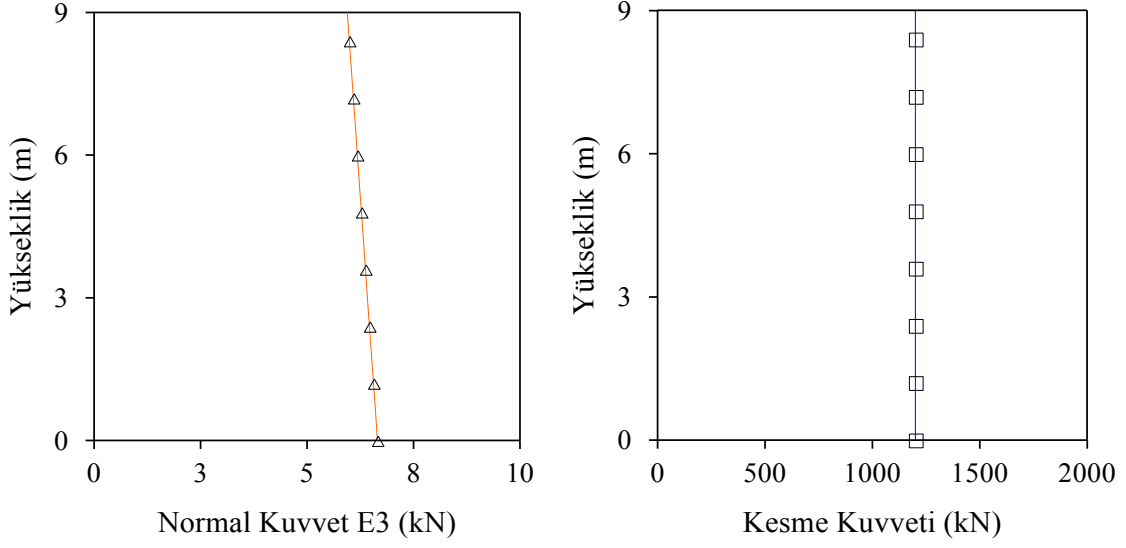
### 2.3.2. Köprü Ayaklarının Davranışı

Karayolu köprüsünün statik analizleri sonucunda elde edilen yatay ve düşey yerdeğiştirmelerin ayak yüksekliği boyunca değişimi Şekil 2.9'da verilmiştir. Şekil 2.9 incelendiğinde, yerdeğiştirmelerin ayak yüksekliği boyunca arttığı ve maksimum yerdeğiştirmenin ayak uç noktasında 0.81 cm olarak elde edildiği görölmektedir.

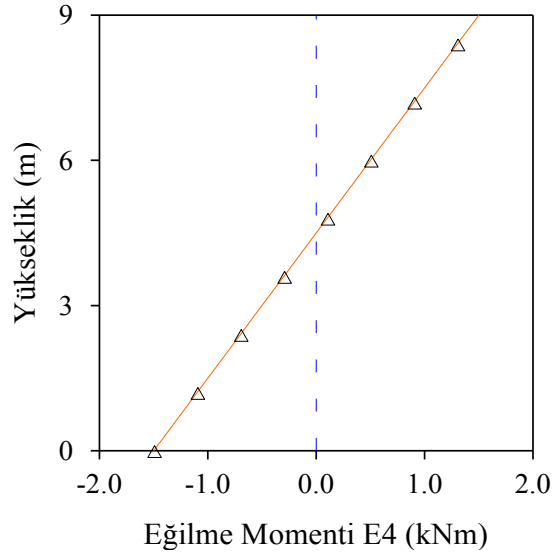


Şekil 2.9. Karayolu köprüsünün statik analizleri sonucunda elde edilen yatay ve düşey yerdeğiştirmelerin ayak yüksekliği boyunca değişimi

Ayak yüksekliği boyunca elde edilen normal kuvvet ve kesme kuvveti değerleri Şekil 2.10'de verilmektedir. Şekil 2.10 incelendiğinde, ayak yüksekliği boyunca normal kuvvet değerlerinin azaldığı, kesme kuvveti değerlerinin ise hemen hemen aynı kaldığı görölmektedir. Ayak yüksekliği boyunca elde edilen eğilme momenti değerleri Şekil 2.11'de verilmektedir. Şekil 2.11 incelendiğinde, ayak yüksekliği boyunca eğilme momenti değerlerinin değişim gösterdiği, ayak ortasına doğru eğilme momenti değerlerinin yön değiştirdiği görölmektedir.



Şekil 2.10. Karayolu köprüsünün statik analizleri sonucunda elde edilen normal kuvvet ve kesme kuvveti değerlerinin ayak yüksekliği boyunca değişimi

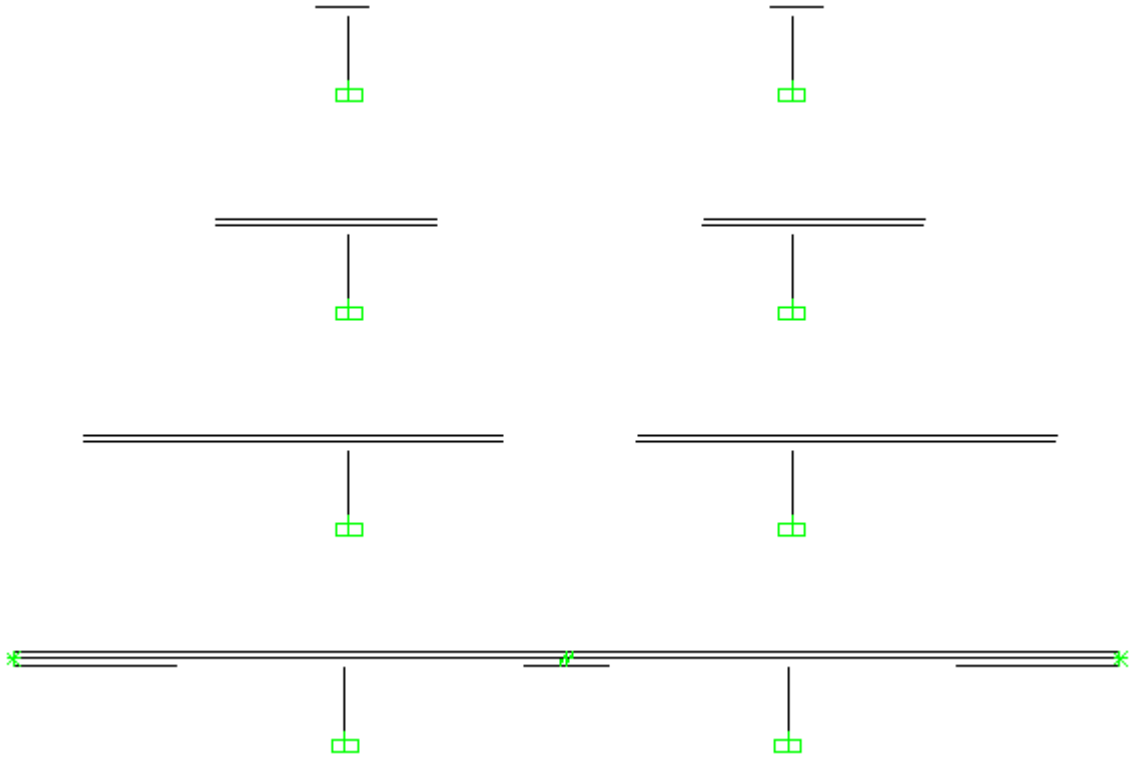


Şekil 2.11. Karayolu köprüsünün statik analizleri sonucunda elde edilen eğilme momentlerinin ayak yüksekliği boyunca değişimi

#### 2.4. Karayolu Köprüsü'nün Yapısal Davranışına Yapım Aşamalarının ve Zamana Bağlı Malzeme Deformasyonlarının Etkisinin Belirlenmesi

Karayolu Köprüsü'nün yapısal davranışına yapım aşamalarının etkisini belirlemek amacıyla köprünün sonlu eleman modeli proje hesap raporları dikkate alınarak toplam 22 adımda oluşturulmuştur. Modellemeler sırasında toplam adım sayısı ve maksimum

iterasyon sayısı sırasıyla 200 ve 50 olarak dikkate alınmıştır. Karayolu köprüsünün çeşitli yapım aşamalarına ait sonlu eleman modeli Şekil 2.12’de verilmektedir. Karayolu köprüsünün yapısal davranışına zamana bağlı malzeme deformasyonlarının etkisini belirlemek amacıyla yapım aşamalı sonlu eleman modelinde beton malzemesi için elastisite modülündeki değişimler, rötre ve sünme etkileri, çelik malzemesi için ise çeliğin gevşemesi dikkate alınmıştır. Çünkü beton ve çelik gibi yapısal malzemelerin bu özellikleri iklim şartlarına bağlı olarak devamlı değişkenlik gösterebilmektedir. Köprünün analizlerinde dikkate alınan malzeme parametreleri Tablo 2.2’de verilmektedir.

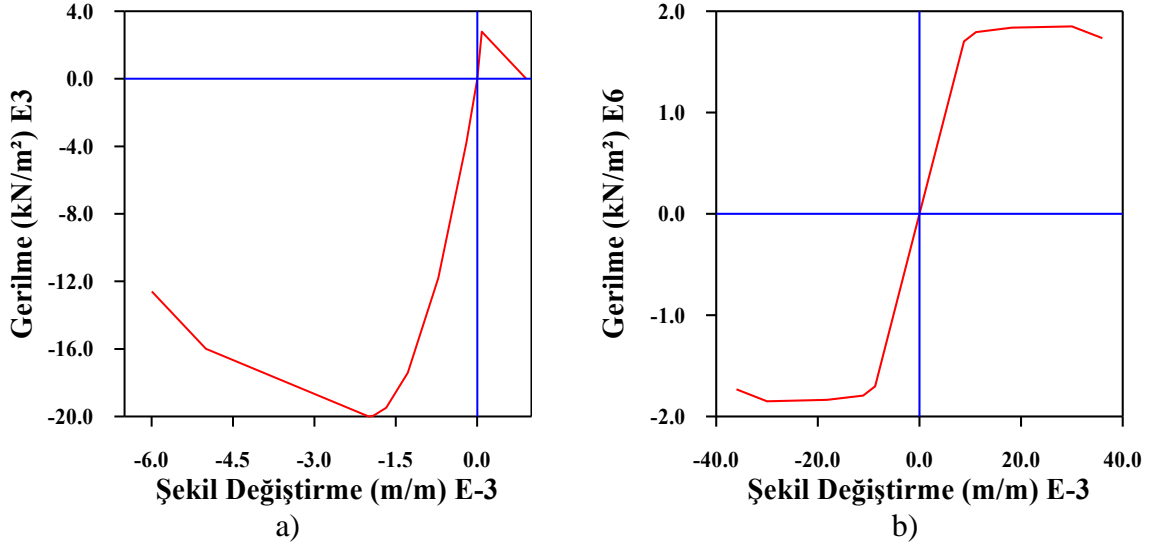


Şekil 2.12. Karayolu köprüsünün çeşitli yapım aşamaları

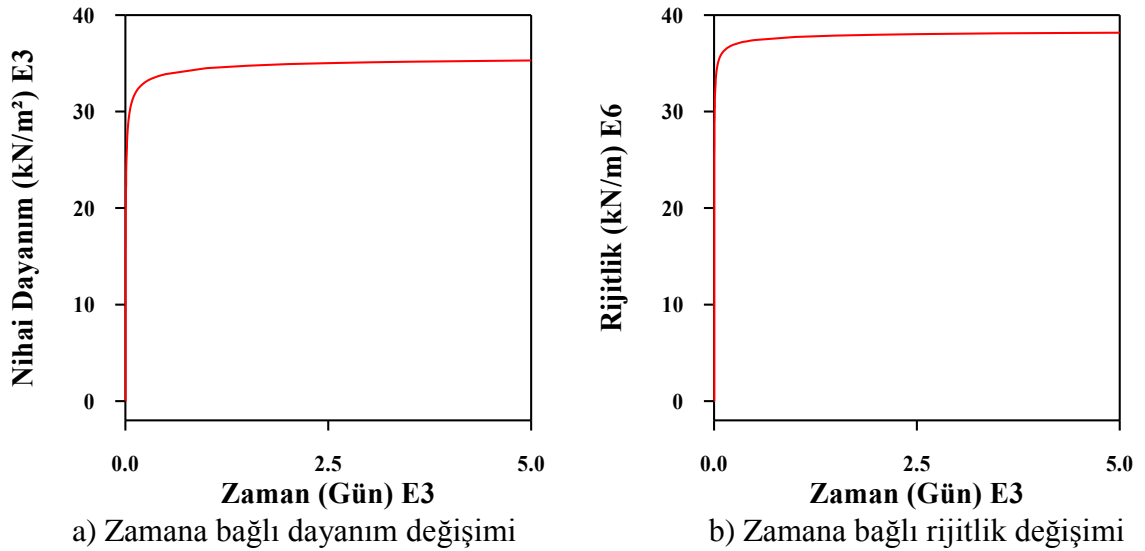
Tablo 2.2. Malzeme deformasyonlarının dikkate alınması için seçilmesi gereken analiz parametreleri

PARAMETRELER	TAŞIYICI SİSTEM ELEMANLARI			
		Tabliye	Ayaklar	Öngerilmeli Çelik
Malzeme Özelliği		Beton	Beton	Tendon
		Isotropik	Isotropik	Tek eksenli
Lineer Olmayan Malzeme Verileri	Histerezis (Gecikme) tipi	Kinematik	Kinematik	Kinematik
	Gerilme-Şekil değ. diyagramı	Kullanıcı Tanımlı	Kullanıcı Tanımlı	Kullanıcı Tanımlı
Zamana Bağlı Özellikler	Elastisite modülü	✓	✓	-
	Sünme	✓	✓	-
	Büzülme	✓	✓	-
	Sünme etkileri	Tam	Tam	-
	Çimento tipi katsayısı	0.25	0.25	-
	Bağıl nem (%)	60	60	-
	Sünmeye maruz kesit oranı	1	1	-
	Rötre katsayısı (Bsc)	5	5	-
	Rötre başlangıç günü	0	0	-
	Çelgin gevşemesi	-	-	✓
	Gevşeme analiz tipi	-	-	Tam
	Parametre sınıfı	-	-	1

Beton ve çelik için zaman bağılı değişen malzeme özellikleri Şekil 2.13-2.15'de verilmektedir. Analizlerde dikkate alınan bu parametreler SAP2000 sonlu eleman programı içerisinde de bulunan CEB-FIP tasarım kodun yardımıyla belirlenmiştir. Köprünün inşasının başlamasından günümüze kadar geçen süre ortalama olarak 5000 gün olarak dikkate alınmıştır.



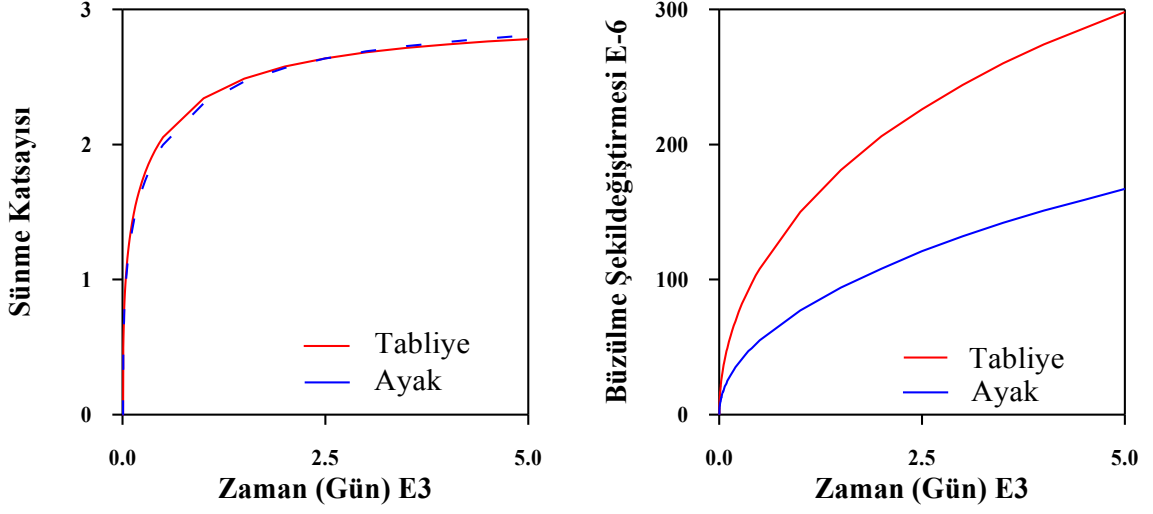
Şekil 2.13. Beton (a) ve öngerilmeli çelik (b) için kullanılan gerilme-şekil değiştirme diyagramları



Şekil 2.14. Beton için zamana bağlı malzeme özelliği değişimleri

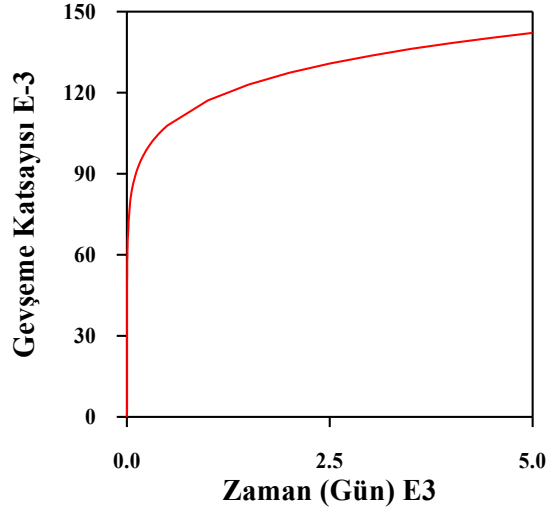


Şekil 2.14'in devamı.



c) Zamana bağlı sünme katsayısı

d) Zamana bağlı büzülme şekil değiştirme



Şekil 2.15. Öngerilmeli çelik için zamana bağlı malzeme özelliği değişimi

#### 2.4.1. Analizlerde Dikkate Alınan Yükleme Durumları

Karayolu köprüsünün yapısal davranışına yapım aşamalarının ve zaman bağlı malzeme deformasyonlarının etkisini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen analizlerde aşağıda belirtilen yükleme durumları dikkate alınmıştır:

- Sabit Yükleme: Tüm elemanların kendi ağırlıklarındır
- Ek Sabit Yükleme: Asfalt, bordür, boru hattı ve destekleri, korkuluk gibi ek olarak etki

eden ağırlıklardır 8-10 cm'lik asfalt dikkate alınarak ve gerekli şartnameler göz önünde bulundurularak her bir dilim için yaylı yük şeklinde 45 kN/m olarak etki ettirilmiştir.

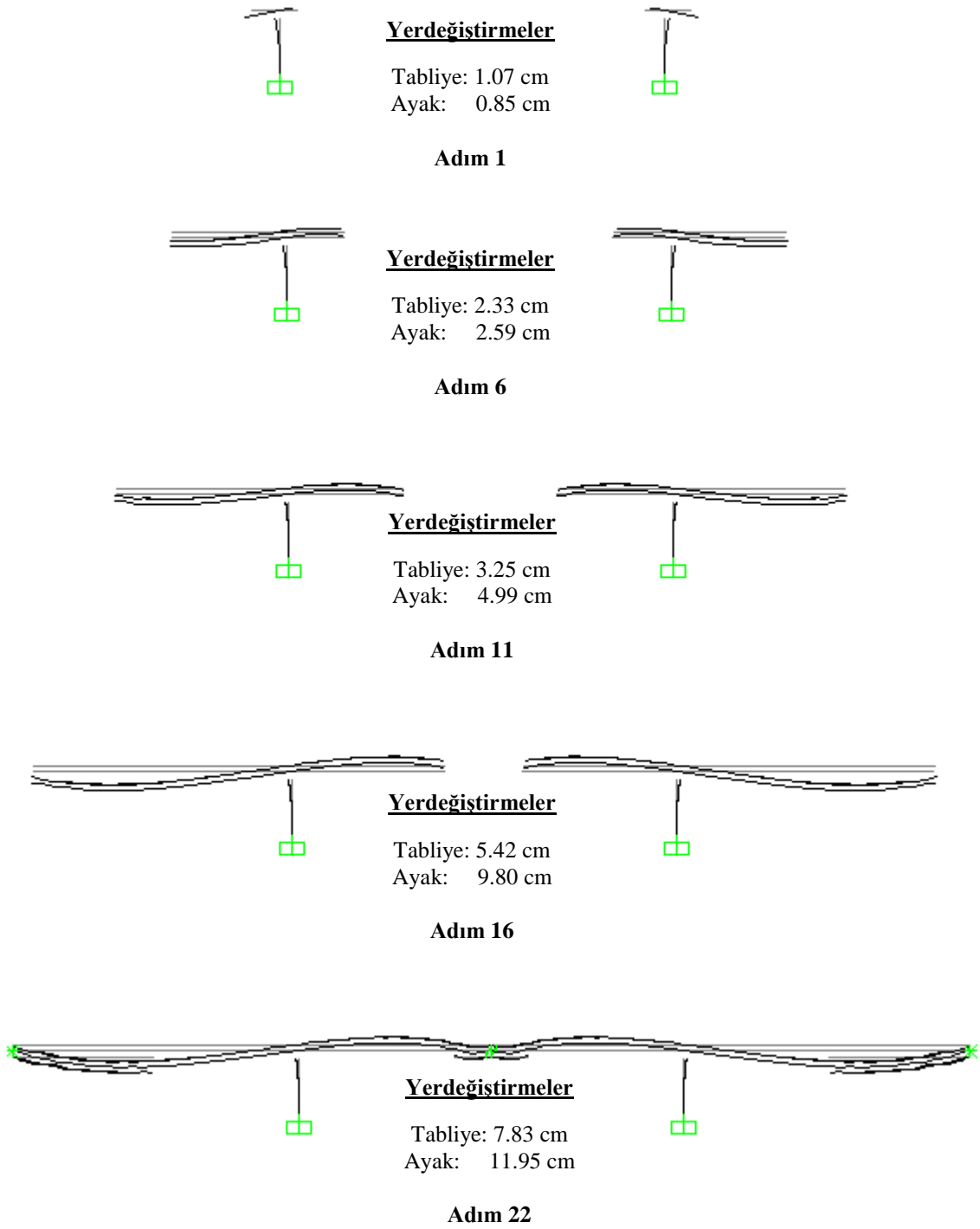
- Kalıp Arabası Yüğü: Bir dilimin yapımı öncesinde, önceki dilime uygulanan ve yapım bittiğinde sonraki dilime kaydırılan kalıp arabası yüküdür. Hesap Kontrol Raporunda baz alındığı gibi 500 kN olarak uygulanmaktadır. Hem çift numaralı hem de tek numaralı dilimlerde mevcuttur. Köprü yapımı bittiğinde tamamen iptal edilmektedir.
- Uzama Yüğü: Kablolara Hesap Kontrol Raporunda belirtilen öngerilme uygulayacak eşdeğer uzama yüküdür.

#### **2.4.2. Yapım Aşamalarına Bağlı Deformasyon Şekilleri**

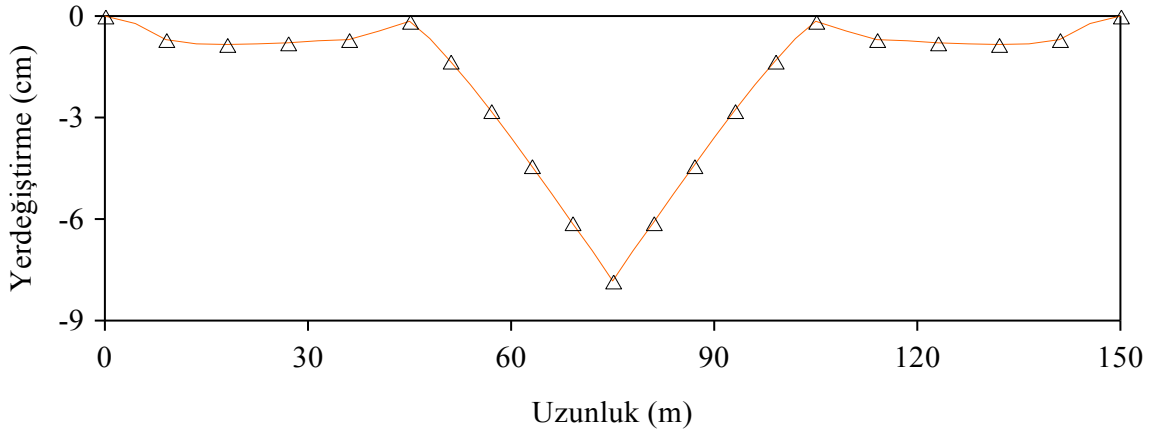
Karayolu köprüsünün yapım aşamalı analizleri sonucunda elde edilen deformasyon şekilleri ile tabliye ve ayaklara ait deformasyon değerleri için Şekil 2.16'te verilmektedir. Şekil 2.16'de görüldüğü gibi köprü yapımı ilerledikçe konsol uç noktalarında oluşan düşey deformasyonlar ile ayaklarda oluşan yatay deformasyonlar artmaktadır.

#### **2.4.3. Köprü Tabliyesinin Davranışı**

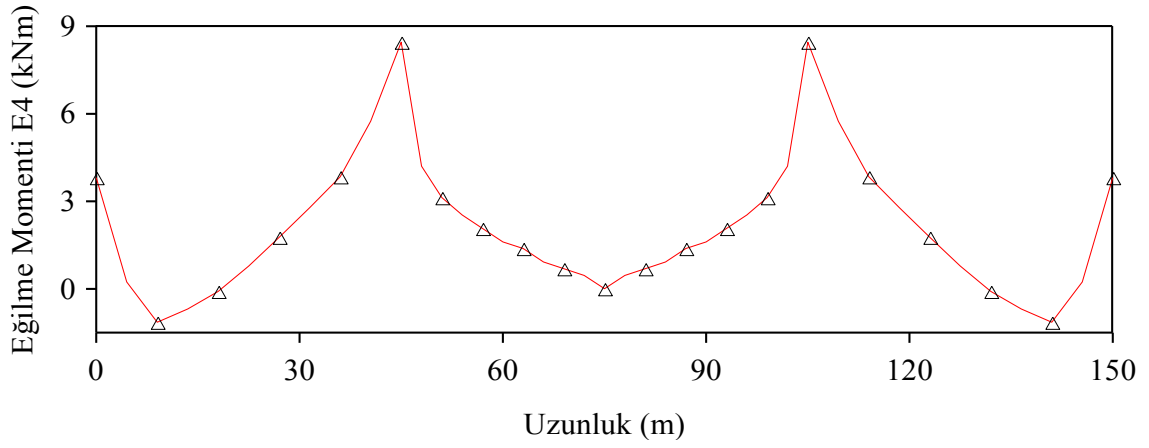
Karayolu köprüsünün yapım aşamalı analizleri sonucunda elde edilen düşey yerdeğiştirmelerin, eğilme momentlerinin, kesme kuvveti ve normal kuvvet değerlerinin tabliye boyunca değişimi Şekil 2.17–2.20 'de verilmektedir. Şekil 2.17–2.20'de görüldüğü gibi yerdeğiştirmeler köprü açıklık ortasına doğru artmakta, eğilme momenti ile kesme kuvveti ve normal kuvvet değerleri ise ayaklar üzerinde maksimum değere sahip olup köprü açıklık ortasında minimum değere ulaşmaktadır.



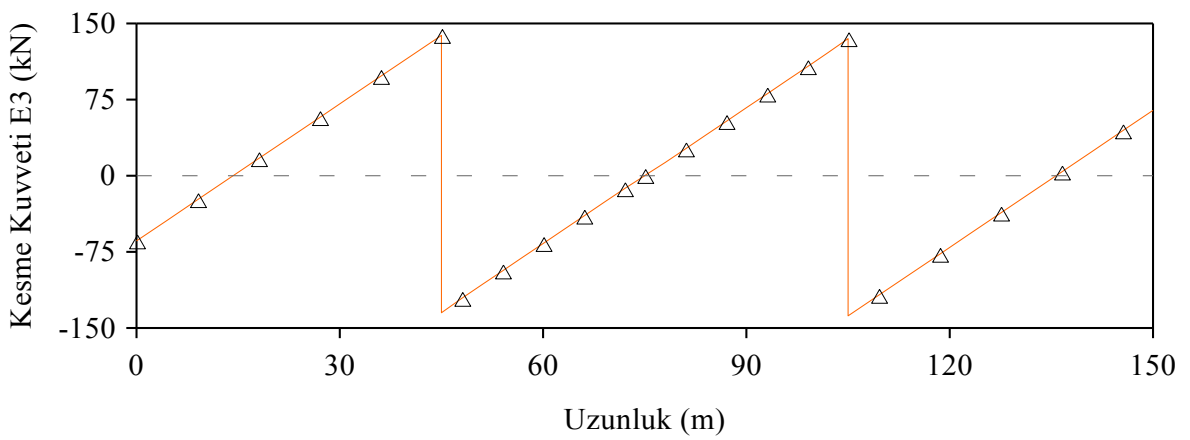
Şekil 2.16. Karayolu köprüsünün yapım aşamalı analizleri sonucunda elde edilen deformasyon şekilleri ile tabliye ve ayaklara ait yerdeğiştirme değerleri



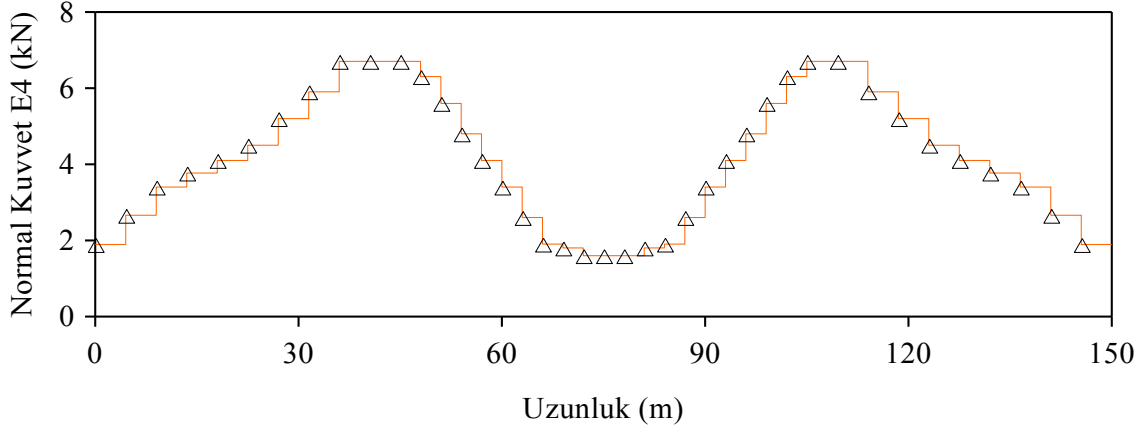
Şekil 2.17. Karayolu köprüsünün yapım aşamalı analizleri sonucunda elde edilen düşey yerdeğiştirmeler



Şekil 2.18. Karayolu köprüsünün yapım aşamalı analizleri sonucunda elde edilen eğilme momentleri



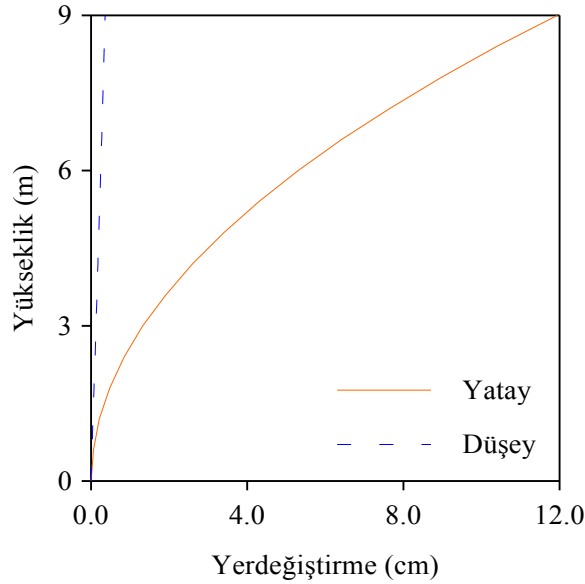
Şekil 2.19. Karayolu köprüsünün yapım aşamalı analizleri sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri



Şekil 2.20. Karayolu köprüsünün yapım aşamalı analizleri sonucunda elde edilen normal kuvvetleri

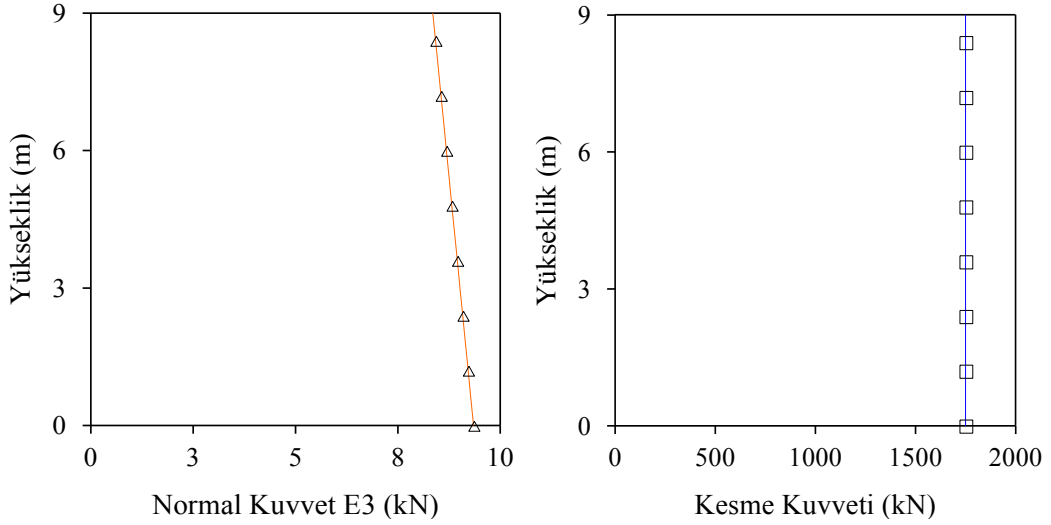
#### 2.4.4. Köprü Ayaklarının Davranışı

Karayolu köprüsünün yapım aşamalı analizleri sonucunda elde edilen yatay ve düşey yerdeğiştirmelerin ayak yüksekliği boyunca değişimi Şekil 2.21’de verilmiştir. Şekil 2.21 incelendiğinde, yerdeğiştirmelerin ayak yüksekliği boyunca arttığı ve maksimum yerdeğiştirmenin ayak uç noktasında 11.94 cm olarak elde edildiği görölmektedir.

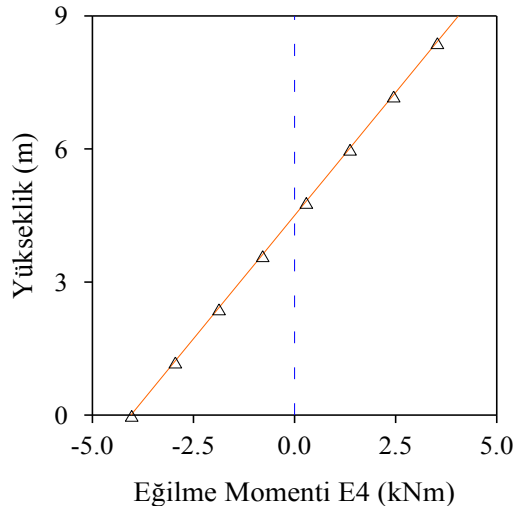


Şekil 2.21. Karayolu köprüsünün yapım aşamalı analizleri sonucunda elde edilen yatay ve düşey yerdeğiştirmelerin ayak yüksekliği boyunca değişimi

Ayak yüksekliği boyunca elde edilen normal kuvvet ve kesme kuvveti değerleri Şekil 2.22’de verilmektedir. Şekil 2.22 incelendiğinde, ayak yüksekliği boyunca normal kuvvet değerlerinin azaldığı, kesme kuvveti değerlerinin ise hemen hemen aynı kaldığı grlmektedir. Ayak yüksekliği boyunca elde edilen eğilme momenti değerleri Şekil 2.23’de verilmektedir. Şekil 2.23 incelendiğinde, ayak yüksekliği boyunca eğilme momenti değerlerinin değişim gösterdiği, ayak ortasına doğru eğilme momenti değerlerinin yön değiştirdiği grlmektedir.



Şekil 2.22. Karayolu köprüsünün yapım aşamalı analizleri sonucunda elde edilen normal kuvvet ve kesme kuvveti değerlerinin ayak yüksekliği boyunca değişimi



Şekil 2.23. Karayolu köprüsünün yapım aşamalı analizleri sonucunda elde edilen eğilme momentlerinin ayak yüksekliği boyunca değişimi

### 3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, dengeli konsol yöntemiyle inşa edilen karayolu köprülerinin yapısal davranışlarına yapım aşamalarının ve zaman bağlı malzeme özelliklerinin etkisi araştırılmıştır. Tez kapsamında yapılan çalışmalar, iki kısma ayrılmıştır. Yapım aşamalarının dikkate alınmadığı birinci kısımda, uygulama için seçilen Karayolu Köprüsü'nün üç boyutlu sonlu eleman modeli proje verileri dikkate alınarak oluşturulmuş, lineer statik analizler gerçekleştirilerek köprünün yapısal davranışı belirlenmiştir. Yapım aşamalarının ve zaman bağlı malzeme özelliklerinin dikkate alındığı ikinci kısımda ise, Karayolu köprüsünün lineer olmayan statik analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde betonun zamana bağlı dayanım değişimi, elastisite modülünün değişimi, sünme ve rötre etkileri ile çeliğin gevşemesi dikkate alınmıştır. Köprünün her iki analiz durumu için elde edilen kesit tesirleri birbiriyle karşılaştırılmalı olarak irdelenmiştir. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda sunulmaktadır:

Yapım aşamalarının ve zamana bağlı malzeme özelliklerinin dikkate alınmadığı statik analizler sonucunda;

✓ Karayolu köprüsünün statik analizleri sonucunda elde edilen düşey yerdeğiştirmelerin, eğilme momentlerinin, kesme kuvveti ve normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi dikkate alındığında, yerdeğiştirmelerin köprü açıklık ortasına doğru arttığı, eğilme momentleri ile kesme kuvveti değerlerinin ayaklar üzerinde maksimum değere ulaşmış köprü açıklık ortasına doğru minimum değere ulaştığı görülmüştür. Normal kuvvet değerleri ise tabliye uzunluğu boyunca sabit kalmaktadır. Maksimum düşey yerdeğiştirme değeri 2.46 cm olarak elde edilmiştir. Maksimum eğilme momenti, kesme kuvveti ve normal kuvvet değerleri ise sırasıyla 3.68E4 kNm, 85E3 kN ve 4E4 kN olarak elde edilmektedir.

✓ Karayolu köprüsünün statik analizleri sonucunda elde edilen boyuna ve düşey yerdeğiştirmelerin ayak yüksekliği boyunca değişimi dikkate alındığında, hem boyuna hemde düşey yerdeğiştirmelerin köprü ayak yüksekliği boyunca arttığı görülmektedir. Maksimum boyuna yerdeğiştirme değeri 0.81 cm olarak elde edilmiştir. Maksimum düşey yerdeğiştirme değeri de 0.54 cm olarak elde edilmiştir.

✓ Karayolu köprüsünün statik analizleri sonucunda elde edilen normal kuvvet ve kesme kuvveti değerlerinin ayak yüksekliği boyunca değişimi dikkate alındığında, normal

kuvvet değerlerinin ayak yüksekliği boyunca azaldığı görülmüştür. Kesme kuvveti değerleri ise ayak yüksekliği boyunca sabit kalmaktadır. Maksimum normal kuvvet değeri  $5.99 \text{ E}3 \text{ kN}$  olarak kolon alt ucunda elde edilirken, maksimum kesme kuvveti değeri  $1200 \text{ kN}$  olarak elde edilmiştir.

✓ Karayolu köprüsünün statik analizleri sonucunda elde edilen eğilme momenti değerlerinin ayak yüksekliği boyunca değişimi dikkate alındığında, ayak yüksekliği boyunca eğilme momenti değerlerinin değişim gösterdiği, ayak ortasına doğru eğilme momenti değerlerinin yön değiştirdiği görülmektedir. Maksimum eğilme momenti değeri ayak üst noktasında  $1.5\text{E}4 \text{ kNm}$  değerine ulaştığı belirlenmiştir.

Karayolu Köprüsü'nün yapısal davranışına yapım aşamalarının ve zamana bağlı malzeme deformasyonlarının etkisini belirlemek amacıyla köprünün sonlu eleman modeli proje hesap raporları dikkate alınarak toplam 22 adımda oluşturulmuş, beton malzemesi için elastisite modülündeki değişimler, rötre ve sünme etkileri ile çelik malzemesi için çeliğin gevşemesi dikkate alınmıştır. Yapım aşamalarının ve zaman bağlı malzeme deformasyonlarının dikkate alınarak gerçekleştirilen analizlerin etkisini daha iyi belirlemek amacıyla elde edilen veriler yapım aşamalarının dikkate alınmadığı analiz sonuçları ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

✓ Karayolu köprüsünün yapım aşamalı analizleri sonucunda elde edilen düşey yerdeğiştirmelerin, eğilme momentlerinin, kesme kuvveti ve normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi dikkate alındığında, yerdeğiştirmelerin köprü açıklık ortasına doğru arttığı, eğilme momentleri ile kesme kuvveti değerleri ile normal kuvvet değerlerinin ayaklar üzerinde maksimum değere ulaşip köprü açıklık ortasına doğru minimum değere ulaştığı görülmüştür. Maksimum düşey yerdeğiştirme değeri  $7.83 \text{ cm}$  olarak elde edilmiştir. Maksimum eğilme momenti, kesme kuvveti ve normal kuvvet değerleri ise sırasıyla  $8.45\text{E}4 \text{ kNm}$ ,  $138\text{E}3 \text{ kN}$  ve  $6.7\text{E}4 \text{ kN}$  olarak elde edilmektedir.

✓ Karayolu köprüsünün yapım aşamalı analizleri sonucunda elde edilen boyuna ve düşey yerdeğiştirmelerin ayak yüksekliği boyunca değişimi dikkate alındığında, hem boyuna hemde düşey yerdeğiştirmelerin köprü ayak yüksekliği boyunca arttığı görülmektedir. Maksimum boyuna yerdeğiştirme değeri  $11.94 \text{ cm}$  olarak elde edilmiştir. Maksimum düşey yerdeğiştirme değeri de  $0.36 \text{ cm}$  olarak elde edilmiştir.

✓ Karayolu köprüsünün yapım aşamalı analizleri sonucunda elde edilen normal kuvvet ve kesme kuvveti değerlerinin ayak yüksekliği boyunca değişimi dikkate alındığında, normal kuvvet değerlerinin ayak yüksekliği boyunca azaldığı görülmüştür.



Kesme kuvveti değerleri ise ayak yüksekliği boyunca sabit kalmaktadır. Maksimum normal kuvvet değeri  $8.35 \text{ E}3 \text{ kN}$  olarak kolon alt ucunda elde edilirken, maksimum kesme kuvveti değeri  $1750 \text{ kN}$  olarak elde edilmiştir.

✓ Karayolu krsnn yapım aşamalı analizleri sonucunda elde edilen eğilme momenti değerlerinin ayak yüksekliği boyunca değişimi dikkate alındığında, ayak yüksekliği boyunca eğilme momenti değerlerinin değişim gösterdiği, ayak ortasına doğru eğilme momenti değerlerinin yön değiştirdiği grlmektedir. Maksimum eğilme momenti değeri ayak üst noktasında  $4.05\text{E}4 \text{ kNm}$  değerine ulaştığı belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, karayolu krleri gibi yapımı uzun yıllar süren mühendislik yapılarının yapısal davranışlarının doğru bir şekilde belirlenmesi için yapım aşamalarının ve zaman bağlı malzeme deformasyonlarının dikkate alınması çok büyük önem arz etmektedir.

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

- Krlerin yapım aşamalarının ve zaman bağlı malzeme deformasyonlarının dikkate alındığı dinamik analizleri gerçekleştirilebilir.
- Farklı tür taşıyıcı sisteme sahip krlerin yapısal davranışları da yapım aşamaları ve zaman bağlı malzeme özellikleri dikkate alınarak belirlenebilir.
- Farklı tür zemin sınıfları dikkate alınarak karayolu krlerinin statik ve dinamik davranışları belirlenebilir.

#### 4. KAYNAKLAR

- Abbas S., 1993. "Nonlinear Geometric Material And Time Depent Analysis Of Segmentally Erected, Three Dimensional Cable Stayed Brdiges", Doktora Tezi, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley, 44-83
- Alp, Y.Z., 2007. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tez Özetleri Kataloğu ,270
- Altunışık, A.C., Bayraktar, A., Sevim, B., Adanur, S. ve Domaniç, A., 2009a. Karayolu Köprülerinin Sonlu Eleman Analizinde Yapım Aşamalarının ve Zamana Bağlı Deformasyonların Dikkate Alınması, Yapı Dünyası Dergisi, 161, 11-15.
- Altunışık, A.C., Bayraktar, A., Sevim, B., Domaniç, A. ve Adanur, S., 2009b. Yapım Aşamaları Dikkate Alınarak Köprülerin Davranışlarının Belirlenmesi, Sakarya International Symposium of Earthquake Engineering, October, Sakarya, Türkiye, Bildiriler Kitabı, 209-219.
- Altunışık, A.C., 2010a. Karayolu Köprülerinin Yapısal Davranışlarının Analitik ve Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Altunışık, A.C., Bayraktar, A., Sevim, B., Adanur, S. ve Domaniç, A., 2010. Costruction Stage Analyses of Kömürhan Highway Bridge Using Time Dependent Material Properties, Structural Engineering and Mechanics, 36, 2, 207-224.
- Anon. 1984. "Viaduct", Civil Engineering, New York. 54, 7, 34-36.
- Ateş, Ş., 2010. Construction Stage Analysis of Box Girder Bridges, Ninth International Congress on Advances in Civil Engineering, September, Trabzon, Turkiye, CD, ACE 2010-SEE 139
- Brown, D. J., 1993. Bridges. Macmillan Publishing Company, New York, NY.
- Casas, J. R., 1997. Reliability-Based Partial Safety Factors in Cantilever Construction of Concrete Bridges. Journal of Structural Engineering, ASCE, 123, 3, 305-312.
- CEB-FIP Model Code, 1990. British Library, ISBN: 0 7277 1696 4
- Cheng, J., Jiang, J.J., Xiao, R.C. ve Xia, M. 2003. Wind-Induced Load Capacity Analysis And Parametric Study of a Long-Span Steel Arch Bridge Under Construction. Computers and Structures, 81, 2513-2524.
- Cruz, P.J.S., Mari, A.R. ve Roca, P., 1998. "Non-Linear Analysis of Segmentally Constructed Structures", Journal of Structural Engineering, 10, 112-176.

- Fairweather, V., 1987. "Twisting in the Wind." *Civil Engineering*, New York, 57, 10, 60-62.
- Fletcher, M.S., 1984. "In-Situ Free Cantilever Concrete Bridges." *Highways and Transportation*, 31, 11, 10-18.
- Goñi, J.J., 1995. "The Chesapeake & Delaware Canal Bridge." *Concrete International* 17, 2, 28-32.
- Harputoğlu, Z., Çelebi, N. ve Tulumtaş, F., 2007. Gülburnu Köprüsü, Köprüler ve Viyadükler Sempozyumu, 29-30 Kasım, Antalya, 225-236.
- Karakaplan, A., Caner, A., Kurç, Ö., Domaniç, A. ve Lüleç, A., 2009. Yapı Çözümlemesinde Yeni Bir Devir: Yapım Aşaması, *Teknik Dergi*, 321, 4905-4917.
- Kwak H. G. ve Son J.K., 2001. Determination of Design Moments in Bridges Constructed by Balanced Cantilever Method, *Engineering Structures*, Volume 24, 639-648
- Kwak H.G. ve Son J.K., 2004. Design Moment Variations in Bridges Constructed by Balanced Cantilever Method, *Construction and Building Materials*, 18, 753-766
- Leonhardt, F., 1984. *Brücken: Ästhetik und Gestaltung*, In German and English, Translated Title: *Bridges: Aesthetics and Design*, The MIT Press, Cambridge, MA.
- Levintov, B., 1995. "Construction Equipment for Concrete Box Girder Bridges." *Concrete International*, 17, 2, 43-47.
- Malm, R. ve Sundquist, H., 2010. Time-Dependent Analyses of Segmentally Constructed Balanced Cantilever Bridges. *Engineering Structures*, 32, 1038-1045.
- Mathivat, J., 1983. *The Cantilever Construction of Prestressed Concrete Bridges*, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc, New York, NY.
- Melaragno, M.G., 1998. *Preliminary Design of Bridges for Architects and Engineers*. MarcelDekker, Inc., New York, NY.
- Menn, C., 1990. *Prestressed Concrete Bridges*, Birkhäuser Verlag, Basel (Switzerland), ISBN 0817624147.
- Nilson, A.H., Winter, G., 1986. *Design of Concrete Structures*, Tenth Edition, McGraw-Hill, Inc., New York, NY.
- Normile, D., 1994. "Short Course in Modern Bridges." *Technology Review*, 97, 8, 52-59.
- Phipps, A.R., Spruill, Q.D., 1990. "Biloxi Interstate-110 Viaduct." *PCI-Journal*, Prestressed Concrete Institute, 35, 1, 120-132.
- Podolny, W., 1981. "The Evolution of Concrete Cable-Stayed Bridges." *Concrete International*, 3, 8, 34-42.

- Podolny, W., Muller, J.M., 1982. Construction and Design of Prestressed Concrete Segmental Bridges, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY.
- Rives, M.R., 1997. Blue Ridge Parkway: The Story Behind The Scenery. Fifth Printing, KC Publications, Las Vegas, NV.
- SAP2000, 2008. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures, Inc, Berkeley, California, USA.
- Swiggum, K.E., Anderson, S.D., Russell, J.S., 1994. Case Study of Burlington Cable-Stayed Bridge, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 120, 3, 649-666.
- Soyluk, K., Diri, T.G, Sıcacık, E.A., Time Dependent Nonlinear Analysis of Segmentally Erected Cable-Stayed Bridges, Ninth International Congress on Advances in Civil Engineering, September, Trabzon, Turkiye, CD, ACE 2010-SEE 053
- Wang, P.H., Tang, T.Y. ve Zheng, H.N., 2004., Analysis of Cable-Stayed Bridges During Construction by Cantilever Methods, Computer and Structures, 82, 329-346.
- Yüksel Domaniç Mühendislik Ltd. Şti. 2008. Malatya-Elazığ Yolu Üzerinde Bulunan Kömürhan Köprüsü'nün Detaylı İncelenerek İleri Dinamik Analizinin Yapılması ve Onarım Güçlendirme Projelerinin Hazırlanması, Ön İnceleme Raporu, 1-83.

## ÖZGEÇMİŞ

Selvi ERKAN 1984 yılında Trabzon'da doğdu. İlköğrenimini Mehmet Akif Ersoy İlköğretim Okulu'nda, orta ve lise öğrenimini Trabzon Yunus Emre Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2003-2004 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi lisans öğrenimine başladı. İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 29 Haziran 2007 tarihinde mezun olup, aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Temmuz 2009 da Sinop Gençlik ve Spor İl Müdürlüğü'ne inşaat mühendisi olarak atandı. Muğla Gençlik ve Spor İl Müdürlüğü'nde görevine devam eden Selvi ERKAN evli olup iyi derecede İngilizce ve Almanca bilmektedir.