

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SÜRME METODUNUN ÇELİK YAPI KÖPRÜ  
İNŞAATINDA UYGULANABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan  
Berat ERTEKİN**

**Tezi Yöneten  
Prof. Dr. Cemal EYYUBOV**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Ocak 2011  
KAYSERİ**

Prof. Dr. M. Cemal EYYUBOV danışmanlığında **Berat ERTEKİN** tarafından hazırlanan “Sürme Metodunun Çelik Yapı Köprü İnşaatında Uygulanabilirliğinin Araştırılması” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

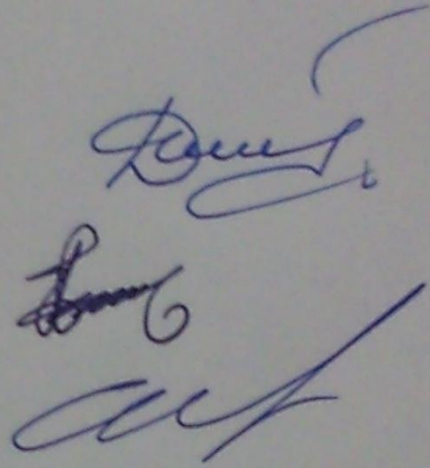
14.01.2011

**JÜRİ:**

Başkan: Prof. Dr. Cemal EYYUBOV

Üye : Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR

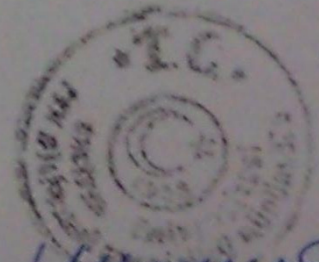
Üye : Prof. Dr. Cengiz Duran ATIŞ

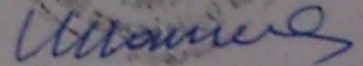


**ONAY:**

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 25/01/2011 tarih ve 2011/03-08 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

25/01.../2011...





Prof. Dr. Necmettin MARAŞLI  
Enstitü Müdürü

**TEŞEKKÜR**

Mühendisliğe dair eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerini anlayış ve sabırla benimle paylaşan Değerli ve Sayın Hocam Prof. Dr. Cemal EYYUBOV' a teşekkürlerimi sunarım.

Çok sevdiğim saygıdeğer aileme, güler yüzleri ve varlıklarıyla beni mutlu eden değerli arkadaşlarım Sevgi Şahin, Türker Akyürek, Yener Filiz ve tez kapsamında bilgilerinden istifade ettiğim İn. Yük. Müh. Sayın İlker Yılmaz Türker'e teşekkürlerimi sunarım.

B.E.

# SÜRME METODUNUN ÇELİK YAPI KÖPRÜ İNŞAATINDA UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

**Berat ERTEKİN**

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2011  
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cemal EYYUBOV**

## ÖZET

Bu tezde genel olarak köprü taşıyıcı sistemlerinin tasarım ve montaj teknikleri incelenmiş ve sürme metodunun çelik köprülerdeki uygulanabilirliğinin yanı sıra, hesap ve uygulamada nelere dikkat edilmesi gerektiği araştırılmıştır.

Ülkemizin ekonomik kalkınmasını temin edebilmek için ekonomi, enerji ve kültür merkezleri arasında hızlı ve güvenli ulaşımı sağlamamız ve bunu yaparken de kültürel ve doğal değerlerimize sahip çıkmamız gerekmektedir.

Ulaşımı temin için yapılması gereken yol kısımlarını bazen aşılması zor olan araziler (bataklık, nehir, dağ dereleri, sarp ve derin kayalıklar, vb.) üzerinden geçirmek gerekli olabilir. Şayet güzergâh değişimi mümkün değilse ulaşımın temini genellikle köprülerle sağlanır.

Bu gibi zor jeomorfolojik ve hidrolojik şartlarda klasik köprü inşaatı metotlarının uygulanabilmesi oldukça zor ve pahalı olabilir. Ayrıca köprü güzergâhı üzerinde çevresel ve kültürel anlamda korunması gerekli değerler varsa yine burada da çoğu zaman karmaşık ve tahrip edici olan klasik köprü montaj teknikleri uygulanamaz. Bu şartlar doğrultusunda köprü inşaatında sürme metodu vazgeçilmez bir teknik olarak uygulanabilir. Sürme metodunda köprü üst yapısı esas taşıyıcı sistemini, karada montaj yapıp sürme ile diğer kıyıdaki mesnet üzerine ulaştırarak inşa etmek mümkündür.

**Anahtar Kelimeler:** Sürme metodu, çelik köprüler, köprü montajı

## RESEARCH ABOUT APPLICABILITY OF THE METHOD OF BRIDGE LAUNCHING IN STEEL BRIDGES

**Berat ERTEKİN**

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**M.Sc. Thesis, January 2011**

**Thesis Supervisor: Prof. Dr. Cemal EYYUBOV**

### ABSTRACT

In this thesis, in general bridge structural systems' design and assembly techniques are reviewed. Also, in addition to applicability of Launching Method on steel bridges, what needs to be paid attention in calculating and implementing is researched.

In order to ensure the economic development of our country; we need to provide fast and safe transportation between economy, energy and cultural centers. In doing so, we need to protect our cultural and natural values.

Sometimes, to be able to provide transportation the parts of the road that is necessary to build might have to be passed over formidable lands such as swamps, rivers, mountain streams, steep and deep cliffs, etc. If the route change is not possible transportation is usually provided with bridges.

In difficult geomorphological and hydrological conditions, to apply classic bridge construction methods can be very difficult and expensive. In addition, if there are cultural and environmental values to be protected around the bridge area, most of the time complex and destructive classic bridge assembly techniques cannot be applied in areas like this. In accordance of these conditions, Launching Method may be applied as an indispensable technique. In Launching Method, bridge erection is possible by building its superstructure carrier system by assembling it on a near by land and launching it on top of the abutment.

**Keywords:** launching method, steel bridges, bridge erection

## İÇİNDEKİLER

<b>KABUL ve ONAY .....</b>	<b>i</b>
<b>TEŞEKKÜR.....</b>	<b>ii</b>
<b>ÖZET.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iv</b>
<b>SEMBOLLER LİSTESİ .....</b>	<b>viii</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ.....</b>	<b>ix</b>
<b>1. BÖLÜM.....</b>	<b>1</b>
<b>KÖPRÜLERİN SINIFLANDIRILMASI VE SİSTEM SEÇİMİNİ ETKİLEYEN</b>	
<b>FAKTÖRLER.....</b>	<b>1</b>
1.1. Köprülerin Sınıflandırılması.....	1
1.1.1. Malzemesine Göre Sınıflandırma.....	2
1.1.2. Mekanik Sistemine Göre Sınıflandırma .....	4
1.1.3. Kiriş Şekillerine Göre Sınıflandırma.....	7
1.1.4. Plandaki Şekillerine Göre Sınıflandırma.....	7
1.1.5. Hizmet Süresine Göre Sınıflandırma .....	8
1.2. Sistem Seçimini Etkileyen Faktörler .....	8
<b>2. BÖLÜM.....</b>	<b>11</b>
<b>YÜKLER VE YÜK KOMBİNASYONLARI .....</b>	<b>11</b>
2.1. Köprüye Etkiyen Yükler.....	11
2.2. Yük Kombinasyonları .....	18
<b>3. BÖLÜM.....</b>	<b>19</b>
<b>ÇELİK KÖPRÜLERİN KONSTRÜKTİF TEŞKİLLERİNİN İNCELENMESİ...19</b>	
3.1. Çelik Köprülerde Üst Yapı Taşıyıcı Sistem Teşkilleri.....	19
3.1.1. Beton-Çelik Kompozit Kesitli I-Kirişli Köprüler.....	20
3.1.2. Beton Çelik Kompozit Kesitli Kutu Kirişli Köprüler .....	22
3.1.3. Ortotropik Tabliyeli Köprüler .....	25
3.2. Asma Ve Eğik Askılı Köprülerde Taşıyıcı Sistem Teşkil Esasları .....	27

3.2.1. Aasma Köprüler .....	27
3.2.1. Eğik Askılı Köprüler .....	33
3.3. Köprü Ayakları .....	36
3.4. Mesnet Elemanları .....	37
3.4.1. Mesnet Tipleri .....	38
3.4.1.1. Levha Mesnetler .....	38
3.4.1.2. Pandül Ve Pimli Mesnetler .....	39
3.4.1.3. Silindirli Mesnetler .....	39
3.4.1.4. Elastomer Mesnetler .....	40
3.4.1.5. Kavisli Mesnetler .....	41
3.4.1.6. Pot Mesnetler .....	41
<b>4. BÖLÜM .....</b>	<b>42</b>
<b>KÖPRÜ MONTAJ TEKNİKLERİNİN İNCELENESİ .....</b>	<b>42</b>
4.1. Atölye Montajı .....	42
4.2. Köprü Parçalarının Yollanması .....	42
4.3. Köprülerin Montajı .....	42
4.3.1. İskele Üzerinde Montaj .....	43
4.3.2. Çekme Metodu .....	45
4.3.3. Askı Metodu (Portafo Montaj) .....	46
4.3.4. Pontonlar Vasıtasıyla Montaj .....	47
4.3.5. Ripaj Metodu .....	48
4.3.6. Hareketli Kalıp Ve Gezer Vinç Sistemleri .....	49
4.3.7. Sürme Metodu .....	50
4.4. Köprülerin Mesnetlerine Oturtulması Ve Tespiti .....	50
4.5. Montajdan Sonraki İşler .....	51
4.5.1. Atölyedeki Boya İşleri .....	51
4.5.2. Montajdan Sonraki Boya İşleri .....	52
<b>5. BÖLÜM .....</b>	<b>54</b>
<b>ÇELİK KÖPRÜLERİN SÜRME METODU İLE İNŞASI VE SÜRME</b>	
<b>ESNASINDAKİ DAVRANIŞLARI .....</b>	<b>54</b>
5.1. Konsol Uç Şehimini Ve Mesnet Momentini Azaltıcı Yöntemler .....	54

5.1.1. Gaga Teşkili Ve Hesap Şeması .....	59
5.1.2. Geçici Ayak Düzenlemesi .....	59
5.1.3. Asma Germe Düzenegi (Kingpost) .....	59
5.2. Sürme Teknikleri .....	61
5.3. Sürme Mesnetleri .....	62
5.4. Sürme Esnasında Köprü Kirişinde Meydana Gelebilen Yerel Ve Genel Stabilite Problemleri .....	63
5.5. İnceleme Konusu Olan Köprü Kirişi Ve Gaga Sistemi.....	67
5.6. İnceleme Konusu Olan Köprü Kirişinin Yerel Yükler Altındaki Dayanımı .....	69
5.7. Sürme Platformu Üzerinde Mesnet Yerinin Seçimine Ait Hesaplar .....	69
5.8. Köprü Kirişi Üst Başlığı Gerilmesi İle Gaga Ucundaki Çökme Miktarı Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi.....	73
5.8. Sonuç ve Öneriler .....	81
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>83</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>85</b>

**SEMBOLLER LİSTESİ**

A	Alan
C	Merkezkaç kuvveti
$C_s$	Türk Deprem Yönetmeliği' ndeki spektrum katsayısına karşılık gelmektedir.
E	Elastisite modülü
$f_y$	Akma dayanımı
H	Yatay reaksiyon kuvveti
$h_t$	Asma-germe sisteminde ayak yüksekliği
$h_w$	Gövde yüksekliği
I	Atalet momenti
k	Rijitlik
L	Açıklık boyu
$L_n$	Gaga uzunluğu
$L_b$	Mesnet genişliği
M	Moment
n	Modüler oran
$P_e(x)$	Eşdeğer statik deprem yükü
q	Köprü kirişi birim boy ağırlığı
R	Düşey reaksiyon kuvveti
T	Periyot
$t_w$	Gövde kalınlığı
V	Maksimum hız
$w(x)$	Köprünün birim boyunun ağırlığı
W	Ağırlık
$\Delta_{uç}$	Gaga uç çökmesi
$\varphi$	Darbe yükü
$\gamma$	Emniyet faktörü
$\sigma$	Gerilme

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Köprü yapısını oluşturan başlıca elemanlar.....	1
Şekil 1.2. Kafes kirişli köprü.....	5
Şekil 1.3. Rijit çerçevesi köprü.....	5
Şekil 1.4. Kemer köprü.....	5
Şekil 1.5. Eğik askılı köprüler a) kablolar pılona farklı seviyelerden bağlı b) kablolar pılona tepe noktasından bağlı.....	6
Şekil 1.6. Asma köprü şematik çizimi.....	6
Şekil 1.7. Köprü türlerinin uygun olduğu açıklıklar.....	7
Şekil 1.8. Plandaki şekillerine göre köprüler.....	8
Şekil 2.1. H <sub>30</sub> -S <sub>24</sub> standart kamyon ve yarım treyler yükü.....	12
Şekil 2.2. Rüzgârın sebep olduğu rezonans sonucu yıkılan Tacoma asma köprüsü.....	14
Şekil 2.3. 1995 Hyogo-Ken Nanbu depreminde yıkılan Higashi-Nada viyadüğü.....	16
Şekil 2.4. 1995 Hyogo-Ken Nanbu depreminde hasar alan Hanshin otoban köprüsü.....	17
Şekil 3.1. Betonarme plak taşıyan çelik kirişler.....	20
Şekil 3.2. Betonarme tabliyesi tamamlanmamış kompozit I köprü kirişli köprü iskeleti.....	21
Şekil 3.3. I enkesitli kompozit kirişli çelik köprü üst yapısı.....	22
Şekil 3.4. Kutu enkesitli kompozit kirişli çelik köprü iskeleti.....	23
Şekil 3.5. Kutu enkesitli kompozit kirişli çelik köprüler için AASHTO-LRFD kriteri.....	23
Şekil 3.6. Kutu enkesitli kompozit kirişli çelik köprü üst yapısı.....	24
Şekil 3.7. Kendi ağırlığı altında eğilmeli yanal burkulmaya uğramış bir köprü.....	25
Şekil 3.8. Yetersiz berkitme tasarımı sonucu yıkılmış bir çelik köprü.....	26
Şekil 3.9. Köprülerde ortotropik üst yapı düzenlenmesi.....	27
Şekil 3.10. Asma köprü elemanları.....	28
Şekil 3.11. Asma köprülerde taşıyıcı sistem düzenleri.....	29
Şekil 3.12. Asma köprülerde uygulanan kule tipleri.....	30

<b>Şekil 3.13.</b> Asma köprü kulelerinin enine doğrultudaki çerçeve düzenleri.....	30
<b>Şekil 3.14.</b> Asma köprü ana kablosu için harici ankraj bloğu düzenlenmesi.....	31
<b>Şekil 3.15.</b> Asma köprü kulesi için Birdsall hesap şeması.....	31
<b>Şekil 3.16.</b> Asma köprü ana kablosu ve giriş sistemi için hesap şeması.....	32
<b>Şekil 3.17.</b> Asma köprü kule ayaklarına ait 4 farklı enkesit düzeni.....	33
<b>Şekil 3.18.</b> Eğik askılı köprü elemanları.....	34
<b>Şekil 3.19.</b> Eğik askılı köprü örneği.....	34
<b>Şekil 3.20.</b> Eğik askılı köprülerde reaksiyon kuvvetleri.....	35
<b>Şekil 3.21.</b> Askı şekillerine göre eğik askılı köprüler.....	35
<b>Şekil 3.22.</b> Eğik askılı köprülerde kabloların rijitliğine dair hesap şeması.....	35
<b>Şekil 3.23.</b> Eğik askılı köprülerde kule tipleri ve kabloların kuleye ankrajlanması.....	36
<b>Şekil 3.24.</b> Köprü ayakları enkesit şekilleri a) Köprü ayağının su içinde kalması durumunda b) Köprü ayağının karada olması durumunda.....	37
<b>Şekil 3.25.</b> Levha mesnet.....	39
<b>Şekil 3.26.</b> Pandül (solda) ve pimli mesnetler.....	39
<b>Şekil 3.27.</b> Silindirli mesnetler.....	40
<b>Şekil 3.28.</b> Elastomer mesnet.....	40
<b>Şekil 3.29.</b> Küresel kavisli mesnet.....	41
<b>Şekil 3.30.</b> Pot mesnet.....	41
<b>Şekil 4.1.</b> İskeleler üzerinde köprü inşaatı.....	44
<b>Şekil 4.2.</b> Köprünün çekilerek yerine koyulması.....	45
<b>Şekil 4.3.</b> Kemer köprünün askı metodu ile inşası.....	47
<b>Şekil 4.4.</b> Gezer vinç ve hareketli kalıp sistemi ile köprü inşası.....	49
<b>Şekil 4.5.</b> Köprü ayaklarına oturan bir tür kren ile ardgermeli betonarme köprü inşaatı.....	50
<b>Şekil 5.1.</b> Iowa nehri üzerinde sürme metoduyla inşa edilen köprü.....	55
<b>Şekil 5.2.</b> Sürme metodunda gaganın hedef mesnede oturmadan önceki durumu için hesap şeması.....	56
<b>Şekil 5.3.</b> Sürme metodunda gaganın hedef mesnede oturduktan sonraki durumu için hesap şeması.....	57
<b>Şekil 5.4.</b> Köprü inşaatında kullanılan geçici çelik ayaklar (kırmızı renkte).....	59

<b>Şekil 5.5.</b> Asma germe sistemi (kingpost) elemanları.....	60
<b>Şekil 5.6.</b> Sürme metodunda kullanılan kuyruk yapısı ve yük aktarma halatları.....	62
<b>Şekil 5.7.</b> Sürme metodunda kullanılan tek silindirli mesnet.....	63
<b>Şekil 5.8.</b> Sürme metodunda kullanılan çok sayıda küçük silindirden oluşan mesnet.....	63
<b>Şekil 5.9.</b> $L_b$ uzunluğu boyunca mesnet reaksiyonu ve giriş başlık ve gövdesinde gerilme dağılımı hesap şeması.....	64
<b>Şekil 5.10.</b> Köprü girişinde mesnet reaksiyonlarının olduğu noktalarda oluşabilen yerel stabilite problemleri.....	65
<b>Şekil 5.11.</b> Kendi ağırlığı altında elastik burkulma analizi yapılmış köprü girişine ait 2. burkulma modu.....	66
<b>Şekil 5.12.</b> Köprü girişinin eğilmeli yanal burkulmaya uğramaması için gerekli $L/b$ oranlarının gösterildiği grafik.....	67
<b>Şekil 5.13.</b> a) Köprü girişi enkesidi, b) Köprü girişi ve gaga yapısı.....	68
<b>Şekil 5.14.</b> Sürme platformu üzerindeki ve konsolluğun olduğu kısımdaki açıklıkların isimleri.....	68
<b>Şekil 5.15.</b> Sürme platformu üzerinde 2 numaralı mesnedin yeri değiştirilerek yapılan hesaplara ait hesap şemaları.....	70
<b>Şekil 5.16.</b> Konsol uç çökmesi ile $l_1/l_2$ oranı arasındaki ilişki.....	71
<b>Şekil 5.17.</b> 3 numaralı mesnede ait reaksiyon kuvveti ile $l_1/l_2$ oranı arasındaki ilişki.....	72
<b>Şekil 5.18.</b> 2 numaralı mesnede ait reaksiyon kuvveti ile $l_1/l_2$ oranı arasındaki ilişki.....	72
<b>Şekil 5.19.</b> Gaga ucuna ait $\Delta_{uc}$ çökmesi.....	73
<b>Şekil 5.20.</b> Strengeler ile şantiyede giriş üst başlığında ölçüm yapılması.....	74
<b>Şekil 5.21.</b> Sürme esnasında göçmüş San Cristobal kompozit enkesitli çelik köprüsü.....	75
<b>Şekil 5.22.</b> Sürme esnasında köprü girişinde açığa çıkan gerilmelere ait kontur çizimleri.....	77
<b>Şekil 5.23.</b> Tablo 5.2’de gösterilen gerilmelerin giriş üzerindeki doğrultuları.....	77
<b>Şekil 5.24.</b> Gaga uç deplasmanı ve konsol miktarı arasındaki ilişki.....	78
<b>Şekil 5.25.</b> Giriş uç deplasmanı ve konsol miktarı arasındaki ilişki.....	79

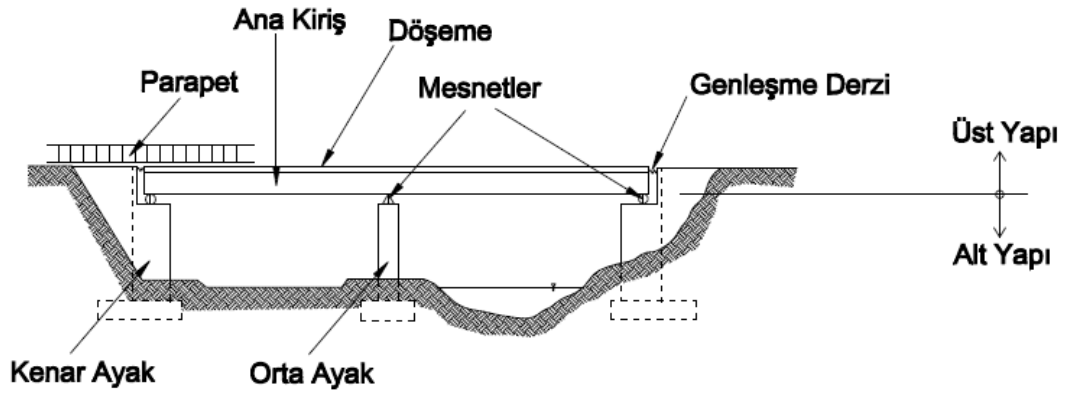
<b>Şekil 5.26.</b> 2. mesnede ait reaksiyon kuvveti ve konsol miktarı arasındaki ilişki.....	79
<b>Şekil 5.27.</b> Kirişte açığa çıkan gerilmeler ile gaga ucundaki çökme arasındaki ilişki.....	79
<b>Şekil 5.28.</b> a) Reaksiyon kuvveti yön değiştirdiğinde balast yükü olmazsa açığa çıkacak durum, b) Balast yükü olması hali.....	81

## 1. BÖLÜM

### KÖPRÜLERİN SINIFLANDIRILMASI VE SİSTEM SEÇİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

#### 1.1. Köprülerin Sınıflandırılması

Herhangi bir engelle ayrılmış iki yakayı birbirine bağlayan veya trafik akımının, başka bir trafik akımını kesmeden üstten geçmesini sağlayan ahşap, kâgir, beton veya çelik yapılara köprü denmektedir. Tipik bir köprü şekil 1.1’de de gösterildiği üzere temel ve ayak sisteminden müteşekkil köprü alt yapısından, ana kiriş, döşeme, parapet vb. yapı elemanlarından müteşekkil köprü üst yapısından ve alt yapı ile üst yapının arasında kuvvet alışverişini sağlayarak köprü üst yapısını ayakta tutan mesnet aparatlarından oluşur.



Şekil 1.1. Köprü yapısını oluşturan başlıca elemanlar.

Köprüler malzemesine, mekanik sistemine, kullanış amacına, kiriş şekillerine, plandaki şekillerine ve hizmet süresine göre sınıflandırılabilirler [7].

### 1.1.1. Malzemesine Göre Sınıflandırma

Köprüler malzemesine göre ahşap, kârgir, beton, betonarme, öngerilmeli beton, çelik, kompozit, alüminyum ya da mukavim bir malzemeden inşa edilebilir. 1800'lerde yapılan ahşap köprüler daha çok sanatkârlar tarafından inşa edilmiştir. Kafes sistem türünden taşıyıcı sisteme önem verilmiştir. Ayrıca kemer türünden ahşap taşıyıcı sisteme de ahşap köprülerde rastlanır. Kafes sistem köprülerde alt başlık çekme gerilmelerine maruzken, üst başlık basınç gerilmeleri taşırlar. Köşegen türünden olanlar ise kesme kuvvetine karşı koyarlar. Daha sonra ahşap köprülerde çelik çubuklar kullanılmıştır. Ancak 1870'den sonra bakımının masraflı olması dolayısıyla ve modern trafik yüklerine karşı yeterince mukavim olmamasından yavaş yavaş terk edilmiştir. Çelik ve çelik köprüler önceleri taş ve ahşap köprü yapım tekniğine uygun yapılmışsa da, daha sonra bu tür malzemenin kendine has imkânlarının olduğu anlaşılmıştır. On dokuzuncu yüzyılda bu tür köprülerde önemli ilerlemeler yapıldı. Bu köprülerin bir türü olan asma köprülerde, köprü tabliyesi, iki ayağa bağlı çelik halatlara asılı olarak taşınır. Diğer bir tür de kafes taşıyıcı sistemi olan çelik köprülerdir. Bunların özelliği yüksek titreşimlere mukavim olmalarıdır. İlk betonarme köprüler taş köprülere benzer şekilde inşa edilmiştir. Ancak 20. yüzyılda bu tür malzemenin kendisine has özelliği fark edilmiş ve farklı yapım türü geliştirilmiştir. Özellikle kemer köprülerin daha narin yapılabilmesine imkân vermiştir. Yol, bu kemerin üstünde, kemerle düşey kolonlarla bağlı olabileceği gibi, altta kemere asılı da düzenlenebilir. Genellikle büyük açıklıklı betonarme kemer köprüler, üç açıklıdır. 1940'larda öngerilmeli betonun gelişmesiyle, betonun düşük çekme gerilmesi mahzuru önlenmiştir. Öngerilme, köprülere beton dökümünden önce gerilen ve betonun dökülmesi ve sertleşmesinden sonra serbest bırakılan çelik çubuklarla verilebilir. Diğer bir tür gerginlik verme şekli de betonun dökülüp sertleştikten sonra, yerleştirilen öngerilme kablolarına kuvvet tatbik edip bunun uçlarından ankre edilmesidir. Öngerilmede, betonun yüksek basınç mukavemeti, çeliğin yüksek çekme mukavemetiyle birleştirilmektedir. İlk öngerilmeli beton köprüler 1936'da Almanya'da ve daha sonra Fransa'da yapılmıştır. Çeliğin ucuzlaması bunun daha yaygın kullanılmasını sağlamıştır. Ayrıca kaynak tekniğinin ilerlemesi daha sağlam birleşme yerlerinin yapımını sağlamıştır. Çeliğin mukavemetinin yüksekliğinden dolayı, taşıdığı yükün ağırlığına oranı yüksektir. Değişik çelik alaşımlarının kullanılması çelik köprülerin mukavemetinin daha yüksek ve dış tesirlere daha

dayanıklı olmasını sağlamıştır. Her ne kadar alüminyum kullanılmasıyla, daha hafif köprüler elde edilebilirse de pahalı olması bunların yaygınlaşmasını önlemiştir. Ancak daha sonra betonarme yapı türünün gelişmesi ve 1950'lerden sonra öngörülen betonun uygulanmağa başlanması, köprü inşaatında önemli adımların atılmasına yol açmıştır. Köprü inşaatında önemli gelişmeleri ayrıca matematiksel ve deneysel araştırmalar, bilgisayar kullanımı hızlandırmıştır. Bu tür metotları kullanarak, mühendisler statik ve dinamik yükler altında köprüde ortaya çıkacak gerilmeleri daha kesin elde edebilecek duruma gelmişlerdir. Bu suretle daha büyük açıklıkların daha narin köprülerle geçilmesi mümkün olmuştur [1].

Diğer yapı malzemelerine göre çeliğin esas avantajı dayanımından ve sünekliğinden ileri gelmektedir. Çelik betonla kıyaslandığında yüksek çekme ve basınç dayanımına sahiptir. Rijitliklerinin ağırlıklarına oranı olarak bir kıyaslama yapılırsa çelik betondan çok daha yüksek bir değere sahiptir. Bu sebeple yapısal çelik köprü inşaatında verimli ve ekonomik bir malzemedir. Değişik açıklık ölçülerinde çelik köprü inşa edilebilmesine rağmen büyük açıklıklar için çelik köprü yapımı daha uygun bir çözümdür. Çelik köprüler Avrupa ve gelişmiş diğer ülkelerde sahip oldukları popüleriteyi aşağıdaki olumlu özelliklerine borçludurlar;

- Büyük açıklıklar geçilirken ve ağır yükler taşınırken ölü yüklerinin küçük olması ve daha küçük temel yapılarına ihtiyaç duyulması,
- İnşaatının hızlı ve ön üretimli elemanlarla yapılabilmesi
- İnşaat aşamasında daha küçük şantiye gereksinimi ve inşaat esnasında çevreye daha az rahatsızlık verilmesi
- Deprem yüklerine daha etkin karşı koyabilmeleri
- Beton köprülerden daha uzun ömürlü olmaları
- Küçük derinlikli elemanlar kullanılabilmesi ve zarif oluşu
- Daha küçük işletme maliyeti

Çelik köprülerde korozyona uğrama durumu söz konusudur. Ama artık birçok Avrupa ülkesinde ve gelişmiş diğer ülkelerde korozyona karşı değişik teknikler mevcuttur. Bazen kullanılan boyalar ile bazen de uygun çelik alaşımıyla bu sorunun üstesinden rahatlıkla gelinebilmektedir. Çelik köprülerde kullanılan çelikler aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir,

- Karbon çeliği: En ucuz yapı çeliğidir. Dayanımdan daha ziyade rijitliğin ön planda olduğu işlerde kullanılır. ASTM A572, British 50 ve Euronorm 25 Grade 235 ve Grade 275 çelikleri bu sınıfa dahildir.
- Yüksek Dayanımlı Çelikler: Çelik alaşımında yapılan düzenlemelerle yüksek dayanım ve nitelik elde edilir. ASTM A36, British 40 ve Euronorm 155 Grade 360 çelikleri bu sınıfa dahildir. Ayrıca atmosferik etkilere dayanıklılık gibi olumlu bir özellik de çelik alaşımında yapılan değişiklikle çeliğe kazandırılabilir ve bu tür çelikler de bu gruba dahil edilirler. Çeliğin bu türü “weathering steel” olarak anılır ve ASTM A588 çeliği bu sınıfa girer.
- Isıl işleminden geçmiş karbon çelikleri: Çeliğin bu türü en yüksek dayanıma sahiptir.

Çelik malzemesinin mukavemeti, sünekliği, kaynaklanabilirliği, atmosferik etkilere direnci ve benzeri fiziksel özellikleri karbon oranına, geçirdiği ısıl ve soğuk işlemlere bağlıdır [4].

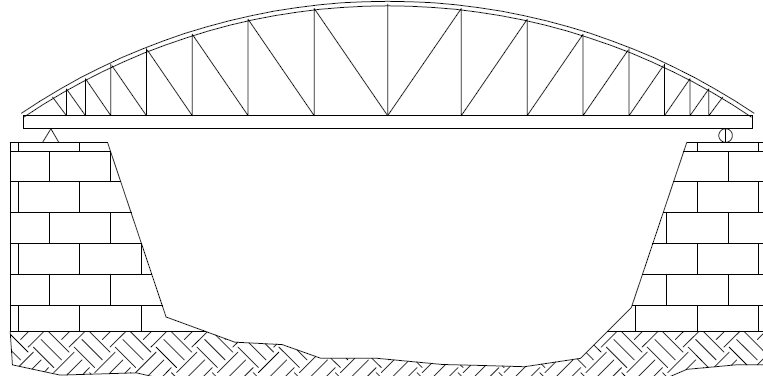
### 1.1.2. Mekanik Sistemine Göre Sınıflandırma

Köprüler mekanik sistemlerine göre;

- Basit tek açıklıklı kirişler
- Sürekli kirişler
- Gerber kirişler
- Kemerler
- Rijit çerçeveler
- Asma sistemler
- Hareketli sistemler

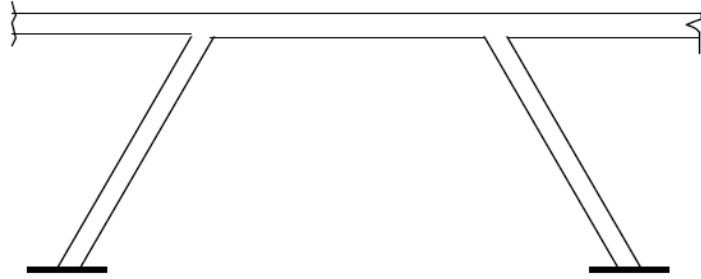
olarak sınıflandırılabilirler.

Kiriş köprüler esas taşıyıcı sistemi düşey destekler üzerinde eğilmeye çalışan elemanlardan oluşur. Bu köprüler dolu gövdeli kirişlerden, kutu kesitli kirişlerden ya da kafes kirişlerden teşkil edilmiş olabilir. Basit kiriş olarak çalışan tek açıklıklı köprüler dolu gövdeli olarak 50m’ ye kadar inşa edilebilirler. Kutu kesitli sürekli kirişler olarak tasarlanan çelik köprüler ise 250 m’ ye kadar açıklığa sahip olabilirler. Kafes kirişlerden teşkil edilmiş çelik köprüler ise 30m’ den 375 m’ ye kadar değişen açıklıklara sahip olabilirler.



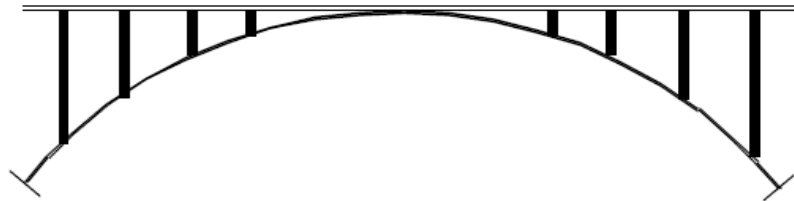
**Şekil 1.2.** Kafes kirişli köprü.

Rijit çerçevesel sistemde yatay taşıyıcı sistem düşey taşıyıcı sistemle moment alışverişi yapacak şekilde tasarlanır ve düşey elemanlarla beraber yatay elemanlar da bir miktar boyuna kuvvete maruz kalırlar. 25 m' den 200 m' ye kadar değişen açıklıklarda inşa edilebilirler.



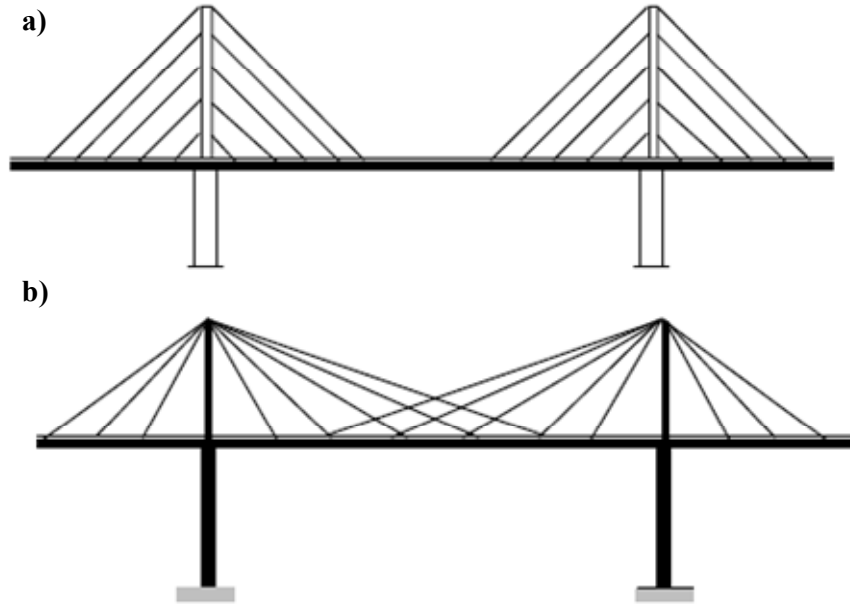
**Şekil 1.3.** Rijit çerçevesel köprü.

Kemer köprülerde yükleri temele transfer eden esas taşıyıcı sistem kavisli elemanlardan oluşmaktadır. Esas zorlar aksenal kuvvet halinde olup kısmen de eğilme momenti açığa çıkabilir. Kemer köprülerin 200 m' den 500 m' ye kadar olan açıklıklarda kullanılması uygundur.



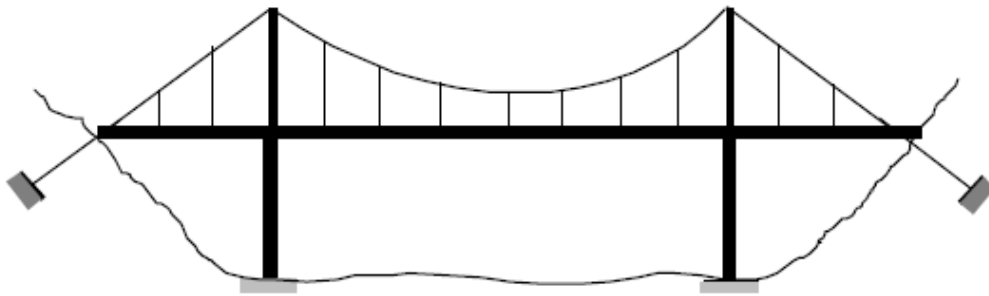
**Şekil 1.4.** Kemer köprü.

Eğik askılı koprlerde boyuna kirişler düşey ya da düşeye yakın düzlemler içinde yer alan kablolar tarafından desteklenir. Kabloların bir ucu kuleye diğer ucu da genellikle alt tarafından olmak üzere boyuna kirişe bağlıdır. 150m ile 700m arasında değişen açıklıklarda ekonomik olarak uygulanabilir.



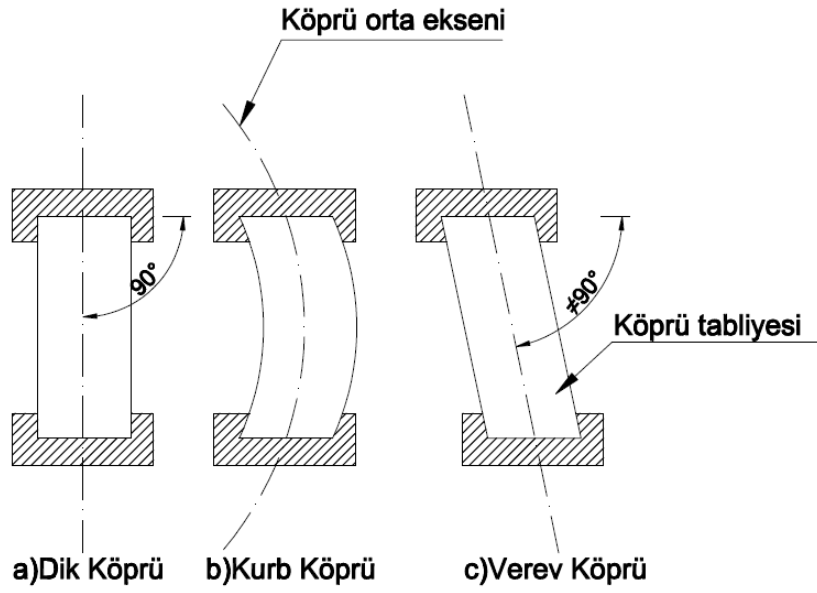
**Şekil 1.5.** Eğik askılı koprler a) kablolar pilona farklı seviyelerden bağlı  
b) kablolar pilona tepe noktasından bağlı.

Asma koprlerde kablolar kuleler üzerinde geçirilerek kıyılarda mesnetlenirler. Daha sonra bu ana kablolarla bağlı yardımcı kablolar ile kopr tabliyesi taşınır. Büyük açıklıklar için en iyi çözümdür.



**Şekil 1.6.** Asma kopr şematik izimi.





Şekil 1.8. Plandaki şekillerine göre köprüler.

### 1.1.5. Hizmet Süresine Göre Sınıflandırma

Köprüler hizmet sürelerine göre;

- Geçici köprüler
- Daimi köprüler

olarak sınıflandırılabilirler. Anlık ulaşımı sağlamak için inşa edilen askeri amaçlı köprüler geçici köprülere örnek olarak gösterilebilirler. Bu köprüler taşınabilecek kadar hafif ve uygun boyutta ya da kısa sürede montaj-demontajı mümkün köprülerdir. Bununla beraber daimi köprülerin hizmet ömrü oldukça uzun ve konumları sabittir.

### 1.2. Sistem Seçimini Etkileyen Faktörler

Köprü sisteminin seçimini etkileyen faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Açıklık
- Trafik yoğunluğu
- Gabari
- Zemin şartları
- Nakliye şartları
- Topoğrafik şartlar
- Meteorolojik şartlar
- Estetik

- Maliyet
- Montaj şartları
- Bakım onarım ve işletme şartları

Açıklığın tanımı köprünün boyuna yönündeki iki mesnedi arasındaki mesafe olarak yapılabilir. Açıklık seçimi engelin yerine, izin verilen kiriş derinliğine, görelî üst yapı ve alt yapı maliyetine, orta ayak yapılabilirliğine ve köprünün taşıyacağı yüklere göre yapılır [7]. Açıklık arttıkça taşıyıcı sistem statik ve dinamik hesap şeması değişir. Açıklık artışına bağlı olarak köprü yapısının iç kuvvetlerinde, deplasman değerlerinde, köprü üst yapısının köprü alt yapısına aktardığı mesnet reaksiyonlarında, köprü alt yapısının da temel zeminine aktardığı kuvvetlerde artışlar gözlenir. Tasarımcılar açığa çıkan bu olumsuzlukları giderebilecek şekilde malzeme ve taşıyıcı sistem tercihlerini belirlerler. Trafik yoğunluğu köprü üzerinden birim zamanda geçecek taşıt ve/veya yayaların sayısı ile ilgili olup; yoğunluk arttıkça köprüye gelen yüklerde de artış gözlenecektir ve köprü taşıyıcı sisteminden beklentiler de artacaktır. Ayrıca malzeme yorulması daha da önem kazanacaktır. Zira köprüler işletme ömürleri boyunca devamlı olarak tekrarlı hareketli yüklere maruz kalmaktadır. Bu hareketli yüklerin büyüklüklerindeki ve uygulama sıklıklarındaki artış yorulmayı hızlandıracaktır. Gabari ise köprü üst yapısı alt kotunun köprü altındaki tabi zeminin üst kotuyla veya bu zemin üzerinde bulunan başka bir yolun üst kotuyla ya da kimi hallerde köprünün üzerinden geçtiği deniz veya akarsu üst kotuyla arasındaki farktır. İhtiyaç duyulan gabari mesafesi köprü ayaklarının hesap şemasını önemli ölçüde etkileyen bir unsurdur. Temel zemini köprü temelinden gelen yükleri taşımakla beraber köprüye etkileyen sismik yükler üzerinde de etkilidir. Temel zeminin sınıfı taşıyıcı sistemin ağırlık kontrolünde, temel sisteminin seçiminde ve mekanik sistemin tasarımında belirleyici rol oynar. Köprü projesinde tercih edilen malzemenin bulunabilirliği ve ilgili projenin inşa edilebilirliği de sistem tasarımını etkileyen unsurlar arasındadır ve kimi zaman bu nakliye şartlarına doğrudan bağlı olmaktadır. Malzeme ve ekipman temini uygulanabilirlik açısından önemlidir. Ayrıca bazen atölyede imal edilen parçaların inşaat sahasına nakliyesi de önemli bir konu haline gelmektedir. Sistem seçiminde hava koşullarının da belirleyici etkisi vardır. Sıcaklık farklılıklarının çok ciddi olduğu yerlerde köprü yapısı ve malzemesi bundan olumsuz yönde etkilenecektir. Örneğin donma çözülme olayının sıklıkla ve şiddetli bir şekilde seyrettiği yerlerde betonarme yapı elemanlarının ömrü kısalmaktadır. Köprü projesi yapılırken de diğer bütün projelerde olduğu gibi estetik ve

ekonomik olma durumu birlikte aranır. Proje aşamasında birçok alternatif proje üretilir ve bunlar arasından en ekonomik olanı tercih edilir. Fakat kimi zaman ekonomik olan görsel olarak çevreyle uyum göstermeyebilir, yerleşim yerindeki tarihi dokuyla örtüşmeyebilir, ya da montajı ve projenin bitmiş hali tabiata zarar verebilir. Bu gibi durumlarda önceliği ekonomi olan yaklaşım yerini estetik ve tabiat öncelikli tasarıma devreder.

## 2. BÖLÜM

### YÜKLER VE YÜK KOMBİNASYONLARI

#### 2.1. Köprüye Etkiyen Yükler

Aşağıdaki yükler köprü tasarımında dikkate alınır.

- Ölü yükler
- Hareketli yükler
- Darbe yükü
- Boyuna kuvvetler
- Sıcaklık değişiminden kaynaklı yükler
- Rüzgâr yükü
- Sismik yükler
- Demiryolu köprülerinde vagonların küçük yanal hareketlerinden kaynaklı yükler (racking force)
- Merkezkaç kuvveti
- Parapetlere gelen yükler
- Genleşme noktalarındaki sürtünme kuvvetleri
- Yapım aşaması yükleri

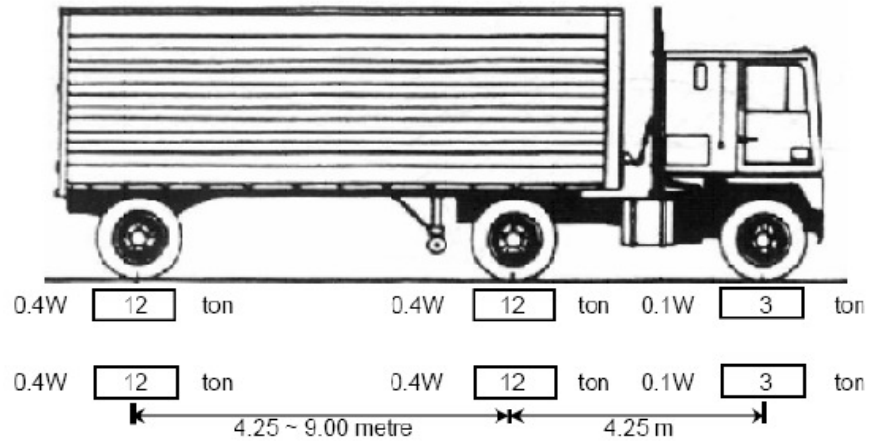
**Ölü yükler:** Taşıyıcı sistemin zati ağırlığı ve köprü üzerindeki kalıcı elemanların ağırlığından oluşur. Başlangıçta tahmin edilir ve gerçek boyutlar belirlendikten kabul edilen ölü yükün nihai değerlerle örtüşüp örtüşmediği kontrol edilir.

**Hareketli yükler:** Köprü teknik şartnamelerinde belirtilen yüklerdir. Köprü üzerinden geçmesine izin verilen ya da geçmesi olası trafik yüklerinin köprü üzerinde en olumsuz durumu oluşturacak şekilde hesaplara katılması gerekir.

**Tablo 2.1.** Standart kamyon yükleri [16].

Yük Sınıfı		H <sub>30</sub> - S <sub>24</sub>	H <sub>20</sub> - S <sub>16</sub>	H <sub>15</sub> - S <sub>12</sub>	H <sub>10</sub>
W ağırlığı (ton)		30.0	20.0	15.0	10.0
Q (ton)	Eğilme etkisi için	13.5	9.0	6.8	9.0
	Kesme etkisi için	19.5	13.5	9.8	13.0
q (t/m)		1.5	1.0	0.8	5.0
s (cm)		75	50	38	25

H<sub>30</sub>-S<sub>24</sub> Karayolları Genel Müdürlüğü Köprüler Dairesi Başkanlığı'nca gerekli görüldüğü hallerde, H<sub>20</sub>-S<sub>16</sub> proje saatlik trafiği 100–400 taşıt olan ya da ağır sanayi merkezlerine giden yollarda, H<sub>15</sub>-S<sub>12</sub> proje saatlik trafiği 100 taşıttan az olan yollarda ve H<sub>10</sub> köy yollarında uygulanmaktadır. Basit kiriş olarak modellenen köprülerde standart kamyon yükü ön plana çıkarken sürekli kiriş olarak tasarlanan köprülerde şerit yükler ön plana çıkmaktadır. Hareketli yükler altında köprü üst yapısında sehim limiti kompozit köprüler için açıklığın 1/800 katını aşmamalıdır.

**Şekil 2.1.** H<sub>30</sub>-S<sub>24</sub> standart kamyon ve yarım treyler yükü [16].

**Darbe yükü:** Hareketli yükün düşey salınma ve periyodik yer değiştirmelere sebep olan etkisidir. Bu etki hareketli yük bir katsayıyla çarpılarak dikkate alınır. Bu katsayı köprü türü ve açıklığına bağlıdır.

$$\varphi = 1 + \frac{15}{L + 37} \leq 1.3 \quad (2.1)$$

olarak hesaplanır. Burada L metre olarak köprü açıklığıdır.

**Boyuna kuvvetler:** Araçların hızlanma ve yavaşlama isteğine bağlı olarak açığa çıkar. Örneğin frenleme esnasında açığa çıkabilir. Bu kuvvetin yol yüzeyinden 1.20 metre yukarıdan etkidiği varsayılır. Çok şeritli yollarda birden fazla aracın aynı anda fren yapması halleri incelenir[4].

**Sıcaklık değişiminden kaynaklı yükler:** Köprü yapısında mesnetler sıcaklık değişiminden kaynaklı genişleme ve büzülme şekil değişimlerini kısıtlayıcı tarzda ise açığa çıkar. Çelik için sıcaklık genişleme katsayısı  $11.7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  olarak alınabilir.

**Rüzgâr yükü:** Bu yük köprü yapısına aşağıda belirtildiği gibi etkiyebilir.

- Yatay ve açıklığa dik olarak etkir.
- Yatay ve açıklığa paralel olarak etkir.
- Düşey ve alttan kaldırıcı şekilde etkir.
- Köprü üzerindeki araçlara etkir.

Küçük açıklıklı köprülerde önemli olmazken orta açıklıklı köprülerde köprü alt yapısı, büyük açıklıklı köprülerde hem köprü altyapısı hem de köprü üst yapısı rüzgâr yükü altında incelenir. Özellikle asma köprüler gibi önemli yapılarda rüzgâr yüklerinin gerçekçi bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla gelişen teknoloji ile rüzgâr tüneli deneyleri yapının maketi üzerinde gerçekleştirilir. Gerçekçi sonuçlar elde edebilmek için bazen yapının etrafında rüzgâr akımını etkileyen nesnelere de köprüyle beraber modellenerek rüzgâr tüneli deneyine dahil edilir. Böylelikle köprü yapısının aerodinamik davranışı ve rüzgâr yükleri altındaki titreşim karakteri belirlenir. En büyük amaçlardan birisi de köprünün titreşim frekansını ortaya koymak ve rezonansa mani olacak ek tedbirler geliştirmektir. Bilindiği üzere rezonans titreşim genliğinin sonsuza gitmesidir ki bu mühendislik yapılarında yıkıma neden olur. Şekil 2.2’de rüzgâr yükü altında yapılan tasarım eksikliği sonucu rezonansa uğramış bir köprü görülmektedir.

**Demiryolu köprülerinde vagonların küçük yanal hareketlerinden kaynaklı yükler:** Demiryolu köprülerinde yanal çaprazlar rüzgâr yükü ve merkezkaç kuvveti altında tasarlanırken bu etkiyi de hesaba katmak bakımından 6 kN/m lik ilave bir hareketli yük dikkate alınır fakat ana kirişlerin hesabında dikkate alınmaz.



**Şekil 2.2.** Rüzgârın sebep olduğu rezonans sonucu yıkılan Tacoma asma köprüsü.

**Parapetlere gelen yükler:** Parapetlerin ya da korkulukların tepe noktalarına aynı anda hem düşey hem de yatay olarak  $1.50 \text{ kN/m}^2$  lik bir yükün etkidiği varsayılır [4].

**Sismik kuvvetler:** Eğer köprü deprem kuşağında yer alıyorsa köprünün kütlelerine bağlı olarak deprem kaynaklı yatay ve düşey kuvvetler açığa çıkacaktır. Açığa çıkacak olan bu sismik kuvvetler uygun bir hesap yöntemiyle proje hesap, çizim ve uygulamasına yansıtılmazsa köprü yapısında çok ciddi hasarlar meydana gelebilmektedir. Köprü yapısının proje hesapları ne kadar dikkatli yapılırsa yapılsın yine de büyük köprü inşaatlarının güzergâh seçiminde aktif faydan uzakta kalmak uygun olacaktır.

Deprem yükü çözümlemeye, sırası ile artan doğruluk derecesi ile dört yöntem önerilmektedir [29].

- Düzgün yayılı yük yöntemi
- Tek modlu spektrum çözüm yöntemi
- Çok modlu spektrum çözüm yöntemi
- Zaman alanında çözüm yöntemi

Düzgün yayılı yük yöntemi bir eşdeğer statik çözüm şekli olup boyuna ve enine doğrultuda deprem çözümlemesi için kullanılabilir. Bu yöntem deprem davranışında esas olarak birinci titreşim modunun etkili olduğu düzenli köprüler için uygundur. İç kuvvet ve yer değiştirmeler yeter doğrulukta hesaplanmasına karşılık, bu yöntem kenar ayaklarda enine kesme kuvvetini yüzde yüze varan ölçüde büyük verebilmektedir. Bu durumun taşıyıcı sistem açısından istenmiyorsa, tek modlu

spektrum çözüm yöntemi önerilir. Yöntemde önce köprü uzunluğunca etki ettiği kabul edilen bir  $\rho_0$  düzgün yayılı yükü altında yer değiştirmeler hesaplanır. Bu yük herhangi bir değer kabul edilebileceği gibi, bir birim de alınabilir. Köprü rijitliği ve toplam ağırlığı hesaplanır.

$$C_s = \frac{1.2AS}{T^{2/3}} \quad (2.2)$$

Burada S yerel zemin katsayısıdır. A köprü önem derecesine bağlı olarak yer ivme katsayısıdır. T ise köprü hakim periyodudur. Bu  $C_s$  katsayısı Türk Deprem Yönetmeliği'ndeki spektrum katsayısına karşılık gelmektedir.

$$K = \frac{p_0 L}{v_{s,\max}} \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK}} \quad p_e = \frac{C_s W}{L} \quad (2.3)$$

olarak eşdeğer düzgün yayılı yük hesaplanır ve sisteme uygulanır.

Tek modlu spektrum çözüm yönteminde köprüde boyuna ve enine deprem etkisinin hesabı için statik yer değiştirmeler hesaplanır. Bu yer değiştirme fonksiyonu ve  $w(x)$  birim boy köprü ağırlığı kullanılarak

$$\alpha = \int v_s(x) dx \quad \beta = \int w(x) v_s(x) dx \quad \gamma = \int w(x) v_s^2(x) dx \quad (2.4)$$

Katsayıları ve T köprü titreşim periyodu ile  $p_e(x)$  eşdeğer statik deprem yükü hesaplanır.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\gamma}{p_0 g \alpha}} \quad , \quad p_e(x) = \frac{\beta C_s}{\gamma} w(x) v_s(x) \quad (2.5)$$

Geometrisi düzenli olamayan köprülerde, modları basitleştirmek mümkün olmadığı gibi, toplam etkiyi tek modla elde etmek de olanaksızdır. Enine ve boyuna titreşim modlarının etkileşimini göz önüne alabilecek üç boyutlu çerçeve çözümüne dayalı bir bilgisayar programı ile çözüm yapılabilir. Köprü taşıyıcı sistemi, her düğüm

noktası 6 serbestlik derecesine sahip olacak şekilde modellenir. Yapı kütlesi en az 3 öteleme kütlesi olarak göz önüne alınmalıdır. Üst yapı çubuk elemanları, birleşim ve mesnet noktaları dışında en az dörtte bir noktalarında tanımlı düğüm noktaları ile modellenebilir. Deprem takozları ve genişleme derzleri uygun rijitlikte bir veya birkaç çubukla temsil edilebilir. Bunun gibi temel zemin koşulları, elastik eşdeğer yaylarla göz önüne alınabilir. En az açıklık sayısının üç katı ve en çok 25 mod göz önüne alınarak çözüm yapılır ve mod etkilerinin birleştirilmesinde tam karesel birleştirme kuralı kullanılır.



**Şekil 2.3.** 1995 Hyogo-Ken Nanbu depreminde yıkılan Higashi-Nada viyadüğü [5].

Ayrıca iş sahibinin onayı ile seçilen deprem kayıtları kullanılarak zaman artımı ile çözüm yapmak da mümkündür. Yerel olarak elde edilmiş kayıt yoksa yerel spektruma uyumlu beş deprem kaydı kullanılabilir. Elde böyle bir yerel spektrum yoksa yerel koşullara uygun bir spektrum elde etmek için  $C_s$  katsayısı kullanılabilir [29].

Köprü yapılarının diğer yapılara kıyasla daha elastik davranması istenir. Çünkü çoğu zaman plastik mafsallı oluşumu az sayıdaki mesnetlenme durumu yüzünden statik dengenin bozulmasına ve mekanizma oluşumuna sebep olur. Bu sebeple bağlantı yerlerine gelen deprem yüklerinin tasarımında taşıyıcı sistem davranış katsayısı  $R$ , 0.8 değerini bile alabilir. AASHTO yönetmeliğine göre köprü ayakları çerçevesel sistemlerde  $R=5$  ve alttan ankastre üstten mafsallı sistemlerde  $R=3$  için tasarlanırlar. Eğer deprem hesapları zaman alanında elastik çözüm yöntemi ile yapılmışsa, alt yapı ve bağlantılar için  $R=1$  alınmalıdır.



**Şekil 2.4.** 1995 Hyogo-Ken Nanbu depreminde hasar alan Hanshin otoban köprüsü [5].

**Merkezkaç kuvveti:** Yolun planda eğri kısımlarında hareketli yükler merkezkaç kuvveti açığa çıkarırlar. Eğer köprü kurba denk gelmiş ise ya da planda eğriselse bu kuvvete maruz kalır. Aşağıdaki formülle hesaplanan bu yük hareketli yükle beraber ilgili kısımda hesaba katılır.

$$C = \frac{W V^2}{12.7 R} \quad (2.6)$$

Burada, C - merkezkaç kuvveti; W - eşdeğer yayılı yük (kN/m); V - maksimum hız (km/h), R - eğrilik yarıçapı (m) 'dir.

**Yapım aşaması yükleri:** Özellikle büyük açıklıklı köprülerde bu yükler önemli değerlere ulaşır. Örneğin sürme metodunda yapım aşaması mesnet reaksiyonu köprünün işletme halinde açığa çıkabilecek mesnet reaksiyonundan iki kat daha büyük olabilmektedir.

## 2.2. Yük Kombinasyonları

Köprü proje hesaplarında dikkate alınan yük kombinasyonları genel yaklaşım itibariyle aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Büyük açıklıklı ve önemli köprü projelerinde deprem ve rüzgâr yüklerinin köprü tabliyesine dik bileşenleri de hesaplara dahil edilir. Ülkeler bu yüklerin hangi katsayılarla çarpılarak hesaba dahil edileceğini yönetmeliklerinde açıklarlar.

**Tablo 2.2.** Yük kombinasyonlarında göz önüne alınan haller.

G.No.	YÜK KOMBİNASYONU	YÜKLER
1	Normal kuvvetlere bağlı gerilmeler	Ölü yük, Hareketli yük, Darbe yükü ve Merkezkaç kuvveti
2	1+ Arasına açığa çıkan yüklere bağlı gerilmeler	1+ Rüzgâr yükü, Diğer yanal yükler, Boyuna kuvvetler ve Sıcaklık yükleri
3	Yapım aşamasında açığa çıkan gerilmeler	-
4	1+2+ Uç durumlarda açığa çıkan gerilmeler	1+2+ Deprem ya da 1+2-Rüzgâr +Deprem

### 3. BÖLÜM

#### ÇELİK KÖPRÜLERİN KONSTRÜKTİF TEŞKİLLERİNİN İNCELENMESİ

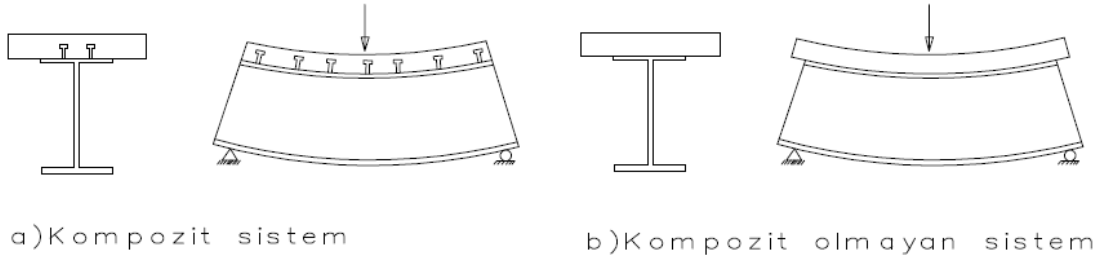
Çelik köprülerde taşıyıcı sistem düzenlemesi genellikle üst yapıda farklılık arz eder. Bununla beraber asma ve eğik askılı köprüler gibi özel köprü türlerinde bir bütün olarak köprü taşıyıcı sistemi kendine özgü detayları bünyesinde barındırır.

#### 3.1. Çelik Köprülerde Üst Yapı Taşıyıcı Sistem Teşkilleri

Çelik köprü üst yapı teşkili üç ana başlık altında toplanabilir.

- Beton çelik kompozit kesitli I kirişli köprüler
- Beton çelik kompozit kesitli Kutu kirişli köprüler
- Ortotropik tabliyeli köprüler

Kompozit sistemlerde, betonarme plak ile çelik kirişlerin birlikte çalışması betonarme plak çelik kiriş ara yüzeyinde açığa çıkan kayma gerilmelerine karşı koyan kesme kamaları ile sağlanır. Böylelikle basınç bölgesinde çelikten tasarruf yapma ve yeni kesidin yüksek ataletinden yararlanma imkânı mümkün olur. Ortotropik tabliye sisteminde ise daha hafif bir köprü üst yapısı teşkil etmek mümkündür.



Şekil 3.1. Betonarme plak taşıyan çelik kirişler.

### 3.1.1. Beton-Çelik Kompozit Kesitli I-Kirişli Köprüler

Eğilme ve kesme etkileri altında I enkesit şekilli kirişler oldukça iyi davranış sergilerler. Ayrıca kesit şekli olarak da oldukça sadedir. Köprü tabliyesi tasarımında kullanılan beton sınıfı genel olarak C16 ile C41 arasında değişir. Kompozit kesidin hesabında etkili beton alanı modüler oranla eşdeğer çelik alana dönüştürülür. Modüler oran çeşitli durumlar için farklı değerler alır. Modüler oran kısa süreli yükler için “n” değerini alırken uzun süreli yükler için “3n” değerini alır. AASHTO-LRFD standardında “n” değerleri aşağıdaki şekilde verilmiştir[6]. Modüler oran genel olarak çelik elastisite modülü değerinin beton elastisite modülü değerine oranı olarak da tarif edilebilir [27].

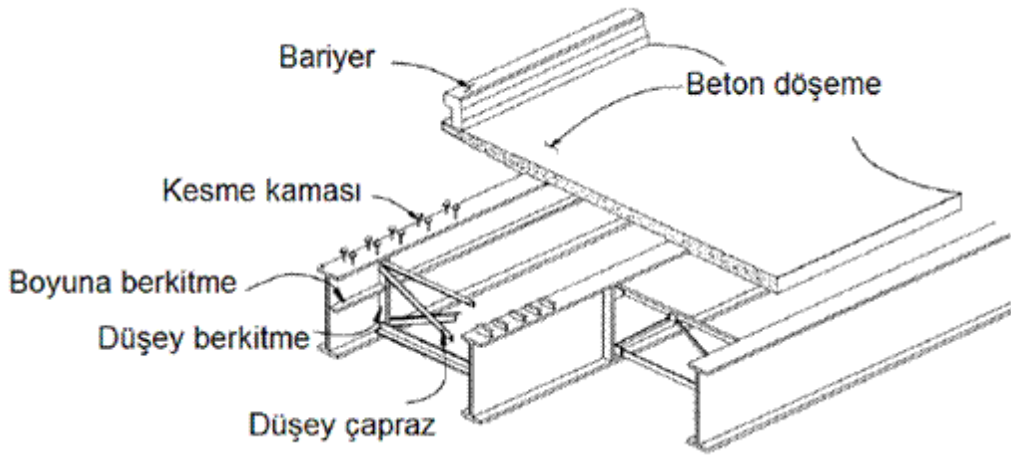
$$n = \begin{cases} 10 & \text{for } 16 \leq f'_c < 20 \text{ MPa} \\ 9 & \text{for } 20 \leq f'_c < 25 \text{ MPa} \\ 8 & \text{for } 25 \leq f'_c < 32 \text{ MPa} \\ 7 & \text{for } 32 \leq f'_c < 41 \text{ MPa} \\ 6 & \text{for } f'_c \leq 41 \text{ MPa} \end{cases} \quad (3.1)$$

Kompozit kesit ölçüleri etkili tabla genişliğine bağlı olarak hesaplanır. Etkili tabla genişliği tasarım açıklığının 1/4'ü, döşeme kalınlığının 12 katı ile kiriş üst başlık genişliğinin yarısının toplamı ya da kirişler arası mesafe değerlerinden küçük olanına eşit olarak hesaplara katılır [28].

I enkesitli köprü kirişleri hadde mamulü profillerden olabileceği gibi dolu gövdeli yapma kiriş olarak da tasarlanabilirler ki çoğu zaman bu yola başvurulur. Yapma kirişleri davranış bakımından üç grup altında incelenirler. Kompakt kesitler yük altında yerel burkulmalara uğramadan tüm kesit boyunca plastik sınırdan çalışmaya başlayabilir ve inelastik bölgede dönme kapasitesi elastik dönme kapasitesinin üç katı kadar olabilmektedir. Non- kompakt kesitte ise en dış lif kesitte yerel burkulmalar oluşmadan akma bölgesine geçer ama kesit boyunca plastikleşme olmadan yerel burkulmalar gözlenir. Narin kesitlerde ise kesit en dış lifi dahi akma bölgesine girmeden yerel burkulmalar altında çalışmaz hale gelir [6].



**Şekil 3.2.** Betonarme tabliyesi tamamlanmamış kompozit I köprü kirişli köprü iskeleti.



**Şekil 3.3.** I enkesitli kompozit kirişli çelik köprü üst yapısı.

Resimde gösterilen kompozit sistem beton döşeme, çelik yapma I kiriş, berkitme levhaları ve I kirişleri birbirine bağlayan düşey çaprazlar ve beton döşemeyle çelik sistemin birlikte çalışmasını temin eden kesme kamalarından oluşmaktadır. Tasarımın ilk adımı I kirişin ölçülerini tayin etmekle başlar. Çelik kiriş ile beton döşemenin toplam derinliği genel olarak etkili açıklığın  $1/25$ 'i kadardır. Çelik kirişin derinliği ise etkili açıklığın  $1/30$ 'u kadardır. Hazır profiller genel olarak kompakt kesit özellikleri taşımakla beraber kiriş başlıkları için yine de kontrol yapmak gerekli olabilir. Hazır profillerin eğilme dayanımını artırmak için kiriş başlıklarına takviyeler yapılabilir.

Genellikle hazır I profiller ile 30 metreye kadar karayolu köprüsü ve 25 metreye kadar da demiryolu köprüleri inşası yapılır. Yapma kirişler ise mühendise çeşitli tasarım kolaylıkları sağlar. Kiriş başlığının ve gövdesinin ölçüleri daha etkili biçimde tayin edilebilir. Yapma kirişler yeterli eğilme ve kesme dayanımına ve rijitliğe sahip olmalıdır. Ayrıca tasarımında imalat kolaylığına ve ekonomiye dikkat edilmelidir.

### 3.1.2. Beton Çelik Kompozit Kesitli Kutu Kirişli Köprüler

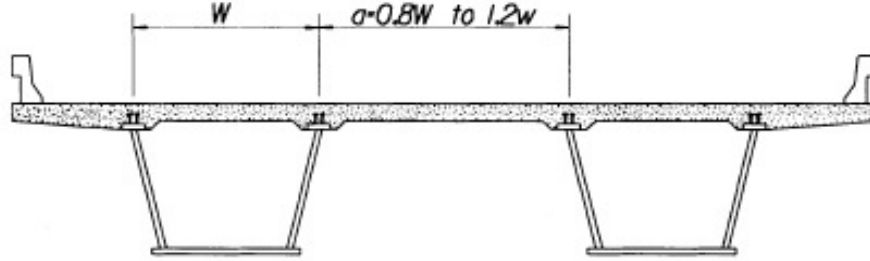
Kutu kirişler yaygın olarak kentsel ulaşım yollarında, kurb köprülerde ve büyük açıklıklı köprülerde kullanılırlar. Kutu kirişler büyük eğilme ve burulma rijitliğine sahiptir. Bununla beraber eğilmeli yanal burkulma dayanımları da yüksektir. Kapalı yüzeyler oluşturduğu için korozif etkilere karşı açık kesitlere oranla daha mukavimdir. Estetik olarak ise sade ve zarif görünüşleri vardır. Beton çelik kompozit kesitli kutu kirişli köprüler 30~60 metre açıklıklarda uygun bir çözümdür.



**Şekil 3.4.** Kutu enkesitli kompozit kirişli çelik köprü iskeleti.

Kompozit kutu kirişli köprüler genellikle bir ya da iki kutudan oluşurlar. Tek kutulu kesitlerin eksantrik yükler altında tasarımı daha basit ve etkilidir. Tek kutulu kesitler kendi içinde hücrelere bölündükleri takdirde daha rijit ve kesme kuvvetlerine karşı daha mukavim olurlar. Böylelikle büyük açıklıkların geçilmesi mümkün olur. Bununla beraber kutuyu oluşturan levhalar daha efektif çalışırlar. Yük dağılımları homojenleşir. Birden fazla kutu kirişten oluşan köprü tabliyelerinde iç kısımdaki kirişlerin burulma rijitliğinden daha çok eğilme rijitliklerinden istifade edilir. Bu tür köprü kirişlerinin

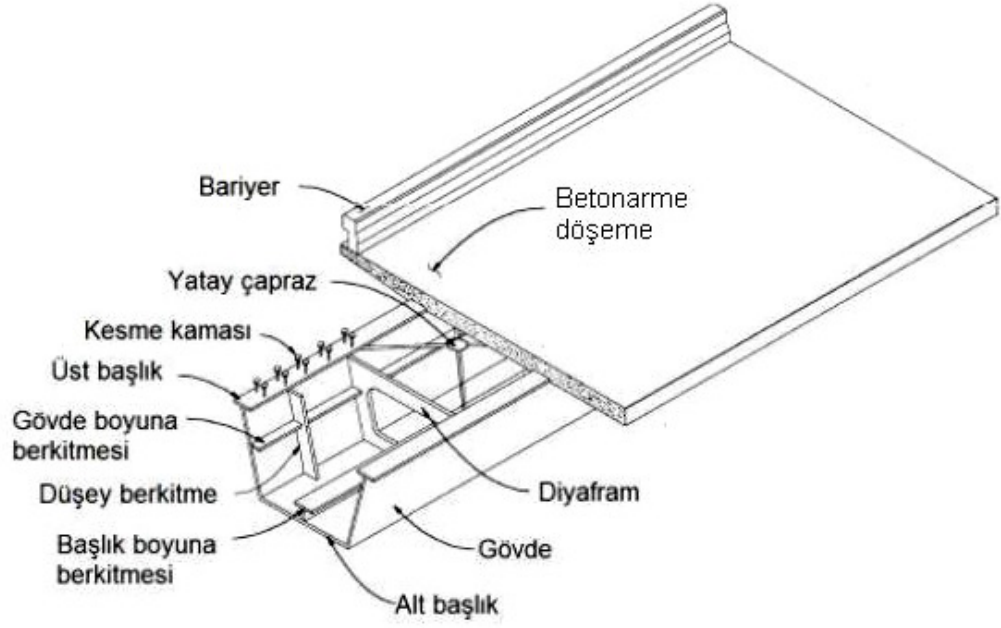
tasarım esasları AASHTO-LRFD standartlarında verilmiş olup buradaki ifadelerin geçerli olabilmesi için çoklu kutu kirişli köprü tabliyesinin teşkili aşağıdaki gibi olmalıdır.



**Şekil 3.5.** Kutu enkesitli kompozit kirişli çelik köprüler için AASHTO-LRFD kriteri.

Az sayıda ve daha büyük kutu kirişli sistemler daha iyi davranış sergilemektedirler. Bu tür köprü üst yapısı tasarımında aşağıdaki resimde gösterildiği üzere bir tek kutu kiriş sistemi bir alt başlık, iki üst başlık, iki gövde levhası ve bunları yerel burkulmalara karşı rijitleştiren berkitme levhaları ve burulmaya karşı rijitlik katan diyafram ve yatay çaprazlardan oluşur. Kesme kamaları ise I en kesitli kompozit köprülerde olduğu gibi betonarme döşeme ile çelik kutu kirişin birlikte çalışmasını temin eder. Negatif mesnet bölgelerinde kutu kiriş alt başlığı iç kısmından kesme kaması ile donatılarak burada da betonarme plak uygulaması ile kompozit davranışa geçilebilir.

Kutu enkesitli sistemlerde yatay çaprazlar montaj aşamasında hayati önem taşımaktadır. Montajı tamamlanmış sistemde betonarme plak U şeklindeki çelik sistemi kapalı kutu haline getirmekte ve kesme kamalarının da sayesinde sistemin eğilme ve burulma rijitliğini artırmaktadır. Oysa betonarme plak prizini tamamlayana kadar çelik kirişin dayanımına bir katkısı olmadığı gibi onun taşıması gereken bir yük konumundadır. İşte bu anda yatay çaprazlar olmaz ise sistemin burulma rijitliği yetersiz kalacaktır. Ayrıca öz ağırlıklar ve montaj yükleri altında eğilmeli yanal burkulmaya maruz kalacaktır. Montaj aşamasında kapalı kutu kesit davranışının oluşturulabilmesi için gerekli çapraz elemanların asgari en kesit alanı 45 derecelik her bir çapraz için milimetre cinsinden kutu genişliğinin %76' sı kadardır. Elde edilen alan  $\text{mm}^2$  olarak düşünülecektir. Ayrıca bu elemanlar için narinlik değeri 140' ı aşmamalıdır [6]. 45m' den küçük açıklıklı köprü sistemlerinde mesnet üstlerinde ve montaj esnasında kirişin kaldırma noktalarında ve daha büyük açıklıklı köprülerde kiriş boyunca bu yatay çaprazların düzenlenmesi gerekmektedir [28].



Şekil 3.6. Kutu enkesitli kompozit kirişli çelik köprü üst yapısı.



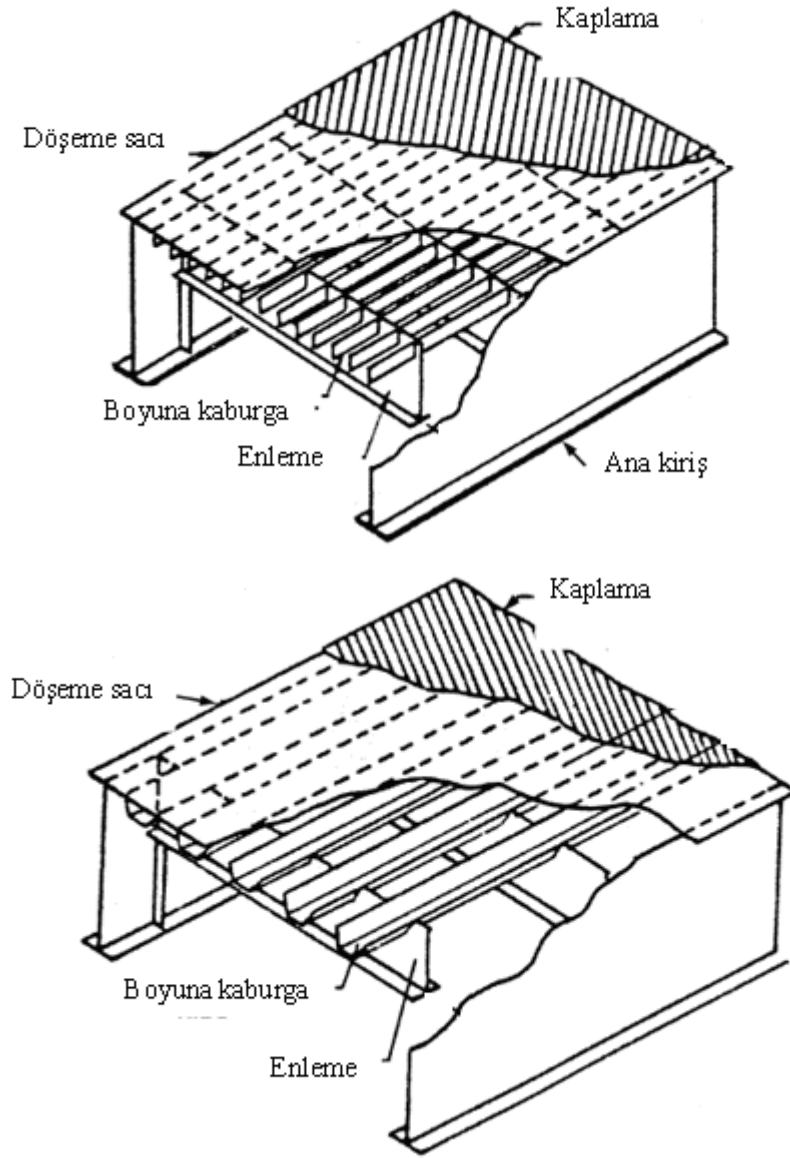
Şekil 3.7. Kendi ağırlığı altında eğilmeli yanal burkulmaya uğramış bir köprü.



**Şekil 3.8.** Yetersiz berkitme tasarımı sonucu yıkılmış bir çelik köprü.

### 3.1.3. Ortotropik Tabliyeli Köprüler

Modern ortotropik tabliyeli köprü taşıyıcı sistemleri 1950'li yıllarda Alman mühendisler tarafından projelendirilmiştir. Ortotropik kelimesi ise ortogonal ve anizotropik kelimelerinden türetilmiştir. Alman mühendisler tarafından geliştirilen bu sistemde aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi iki tür kaburga sistemi kullanılmaktadır. Bunlardan ilki hesabının sade olması dolayısıyla başlangıçta sıkça tercih edilen açık kesitli kaburga sistemidir. Diğeri ise kapalı kesitlerden oluşan kaburga sistemidir. Kaburga diye tabir edilen bu levhalar kutu kesitli köprü ana kirişini yerel burkulmalar sonucu güç tükenmesine karşı güçlendirme görevi taşırlar [6].



**Şekil 3.9.** Köprülerde ortotropik üst yapı düzenlenmesi.

Ortotropik tabliye sistemi büyük açıklıklı bütün köprü sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle günümüzde gelişmiş bilgisayar teknolojisi ve yaygın kullanımdan kaynaklı bu alandaki imalat sanayisinin gelişimi gerek tasarım aşamasını gerekse uygulama aşamasını kolay kılmıştır. Ortotropik sistem bütün çelik köprü türlerinde rahatlıkla uygulanabilmektedir. Diğer sistemlere göre hafif oluşu da ekonomikliğin bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Kapalı kesitli kaburga sistemi özellikle basınca çalışan kiriş kısımlarında tercih edilmelidir. Çekme bölgesinde ise mühendis inisiyatif kullanabilir.

## 3.2. Asma Ve Eğik Askılı Köprülerde Taşıyıcı Sistem Teşkil Esasları

### 3.2.1. Asma Köprüler

Asma köprünün yapısal bileşenleri dört ana grupta toplanabilir [6].

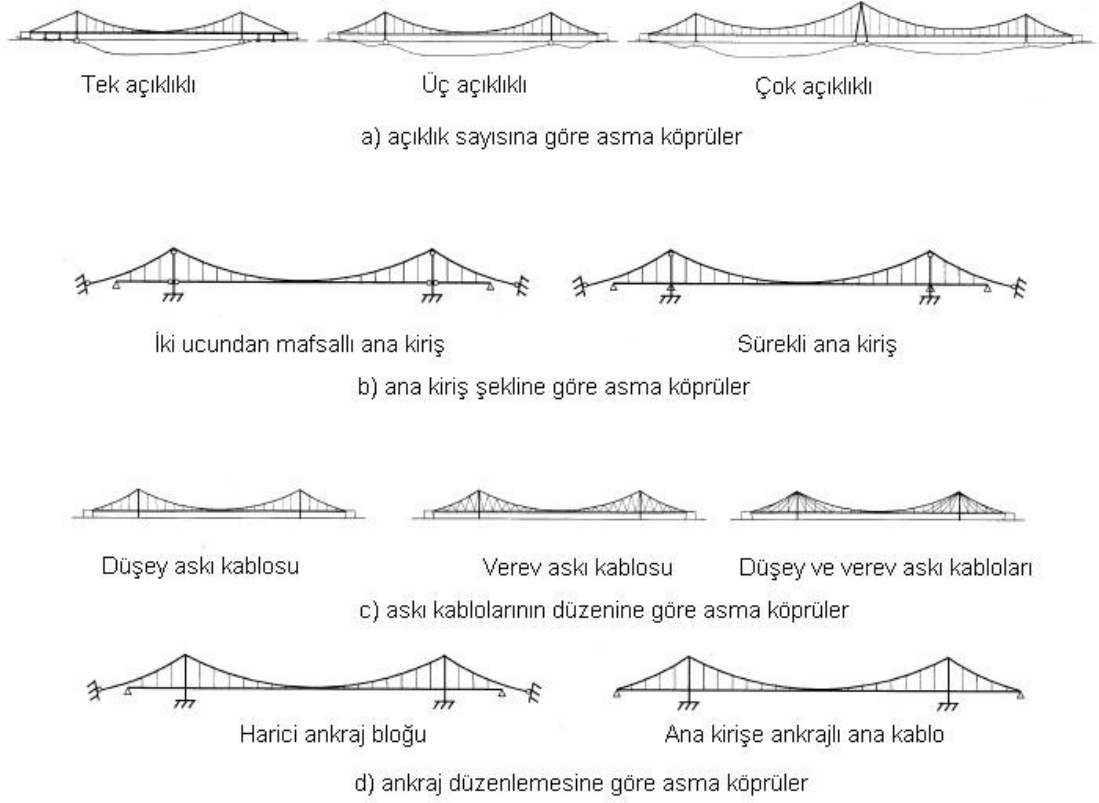
**Ana kirişler:** Hem köprü üzerine gelen hareketli yüklerin taşınmasında vazife alırlar hem de yanal taşıyıcı elemanlara başlık görevi üstlenirler. Bununla beraber köprünün aerodinamik stabilitesinin sağlanmasına da katkıda bulunurlar.

**Ana kablolar:** Askı kablolarının kendilerine aktardıkları yükü ana kule ve ankrajlara aktarır. Askı kabloları bir ucundan ana kabloya bağlı iken diğer ucundan köprü tabliyesine bağlıdır. Böylelikle zati ve hareketli yükleri ana kabloya iletebilirler.

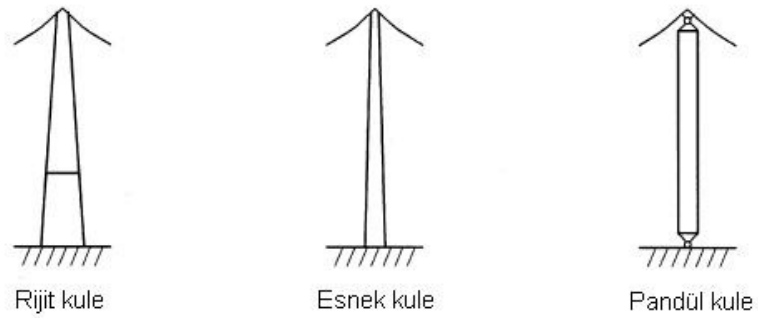
**Ana kuleler:** Ana kabloların kendilerine aktardığı yükleri temel yapısına iletirler.

**Ankrajlar:** Ana kablolar bir uçlarından kütleli beton bloklara Ankrajlar vasıtasıyla bağlanırlar. Ankraj bloğu ile beraber köprünün son mesnedi olarak çalışırlar.

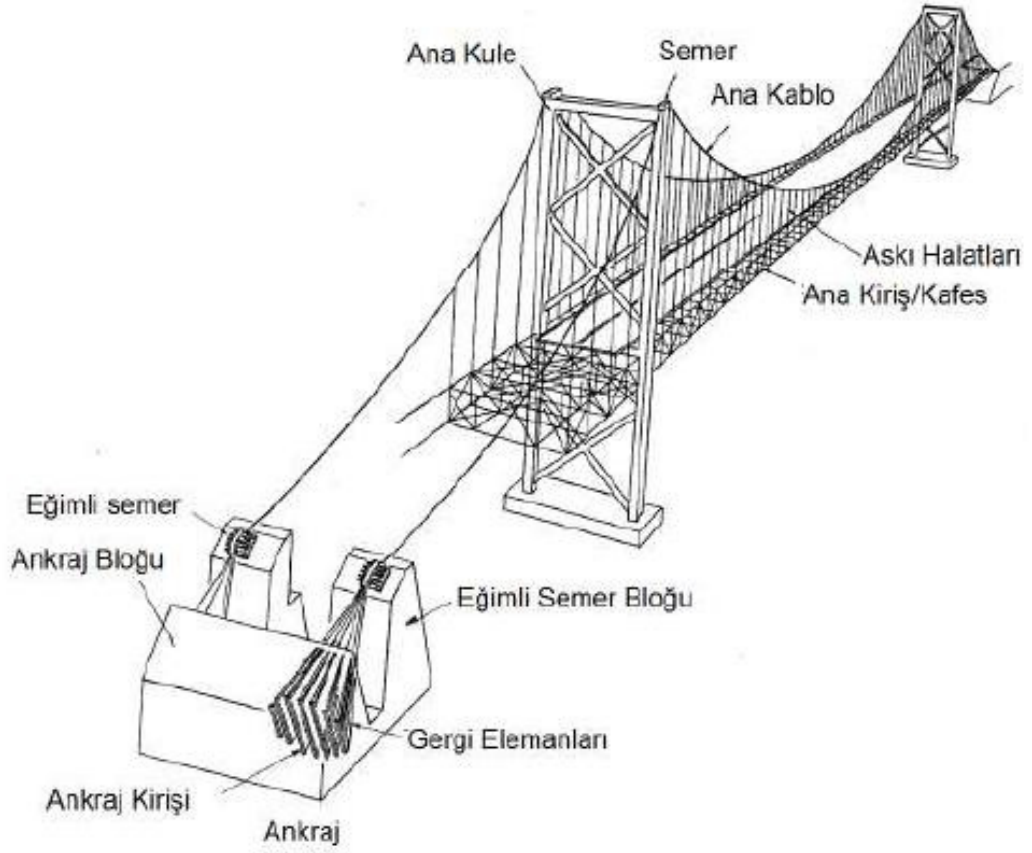
Asma köprüler açıklık sayılarına, ana kirişlerinin sürekliliğine, askı halatlarının düzenine ve ankraj sistemlerinin teşkillerine göre birbirlerinden farklılık gösterirler. Asma köprülerin ana kirişleri genellikle kendi içlerinde iki adet moment mafsallı barındırırlar. Otoyol ve demiryolu olarak tasarlanan köprülerde ise mafsalsız tasarıma gidilir. Askı kabloları düşey ya da sönüm etkisini artırabilmek için verevine tasarlanabilirler. Düşey ve verev kabloların kombine olarak kullanılması bu etkiyi daha da artırır. Ana kablolar köprü ana kirişinden bağımsız bir ankraj bloğuna bağlanabileceği gibi ana kirişin uç kısmına da bağlanabilir. Pek tercih edilmeyen bu sistemde köprü üst yapısına eksenel yük olarak ana kablo reaksiyonu aktarılır. Ana kuleler rijit, esnek ya da moment almayacak şekilde tasarlanabilirler [6]. Rijit kuleler çok açıklıklı köprülerde yeterli rijitliği temin için kullanılırken esnek kuleler büyük açıklıklı köprülerde tercih edilirler. Mafsallı kuleler ise nispeten küçük açıklıklı köprülerde tercih edilirler.



**Şekil 3.10.** Asma köprülerde taşıyıcı sistem düzenleri.

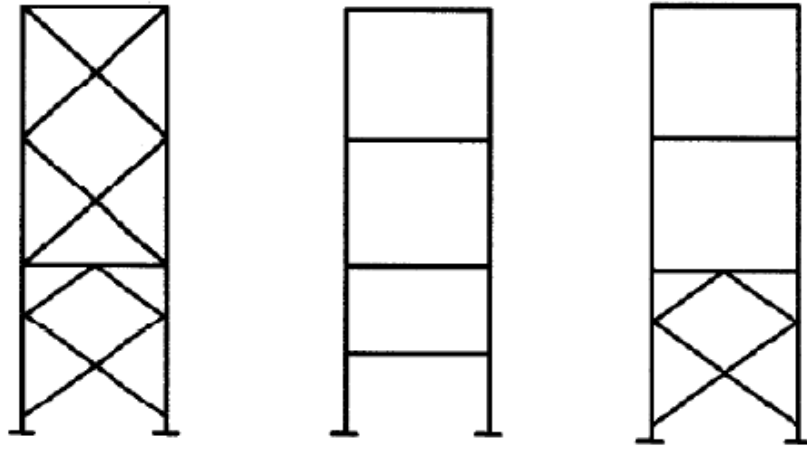


**Şekil 3.11.** Asma köprülerde uygulanan kule tipleri.



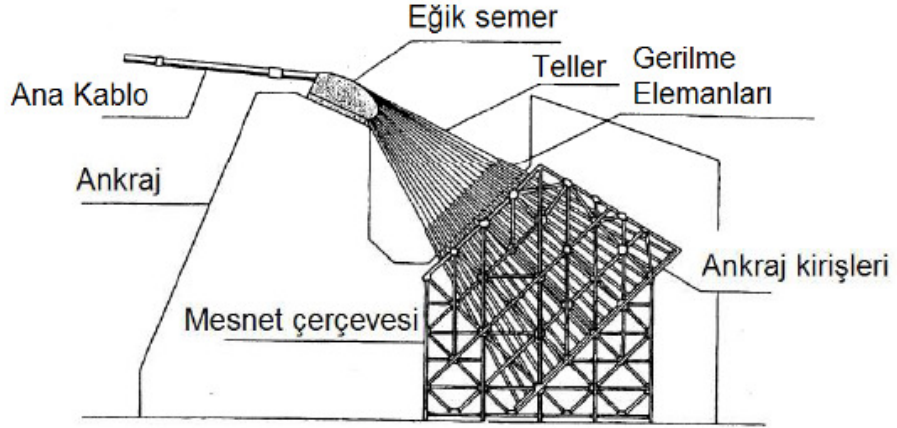
Şekil 3.12. Asma köprü elemanları.

Ana kuleler enine doğrultularında da farklı şekillerde tasarlanabilirler. Kuleler enine doğrultuda rijit çerçeve, kafes ya da bunların kombinesinden teşkil edilebilirler. Bu düzenleme kule davranışını değiştirdiği gibi estetik görünüşü de etkiler.



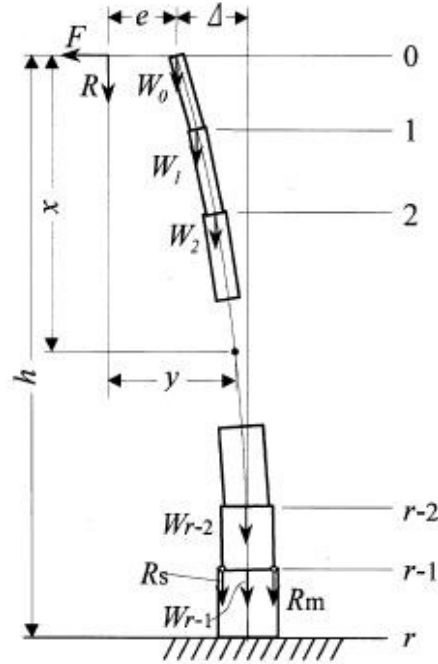
Şekil 3.13. Asma köprü kulelerinin enine doğrultudaki çerçeve düzenleri.

Ankraj mesnetleri donatılı kütle betondan yapılabileceği gibi tabii zeminin yeterli sağlamlıkta olduğu durumlarda bir tünel şeklinde zemin içine doğru da olabilir. Buna tünel ankraj sistemi denilmektedir.



Şekil 3.14. Asma köprü ana kablosu için harici ankraj bloğu düzenlenmesi.

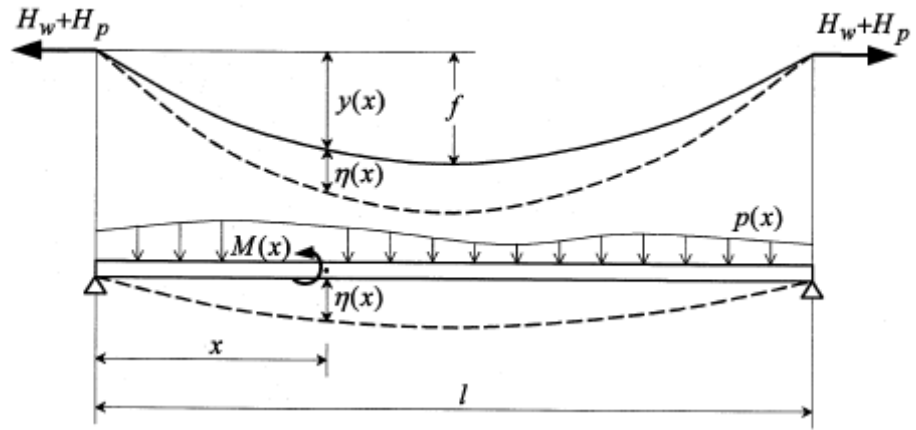
Ana kuleler üzerlerine gelen yatay ve düşey yükler altında tasarlanırlar. Günümüzde geliştirilen modern hesap yöntemiyle kulelerin elastik burkulma yükü ve doğal titreşim faktörleri belirlenir. Genel bir yaklaşım olarak Birdsall'ın önerdiği analitik model aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.15. Asma köprü kulesi için Birdsall hesap şeması.

Kule gerekli görülen bir  $\Delta$  deplasmanı ve e eksantritesi altında  $W_i$  öz ağırlıkları, R ve F reaksiyon kuvvetleri altında tasarlanır. F yatay kuvveti rüzgâr ya da deprem kaynaklı olabilir. Asma köprüler bir bütün olarak iki farklı teorik yaklaşımdan biri ile hesaplanırlar. Bunlar elastik teori ve defleksiyon teorileridir. İki yaklaşım da bazı temel kabullere dayanır [6]. Buna göre;

- Kablolar tam olarak bükülebilir
- Ana kiriş yatay, doğrusal ve sabit atalet momentine sahiptir
- Kabloların koordinatları parabolik, kabloların ve ana kirişin zati ağırlıkları birim boyda sabit
- Bütün zati ağırlıklar kablolarca taşınır



Şekil 3.16. Asma köprü ana kablosu ve kiriş sistemi için hesap şeması.

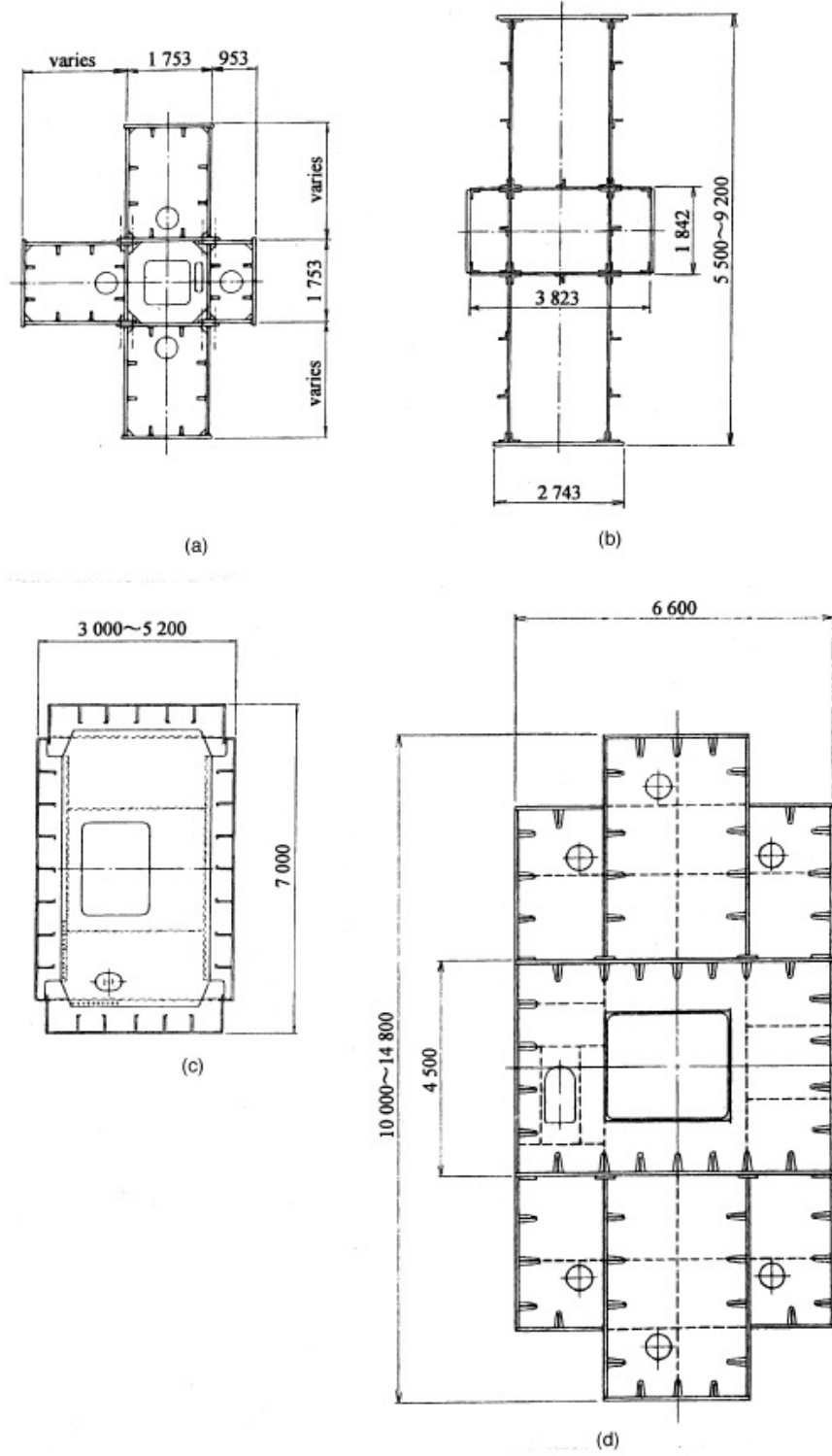
Defleksiyon teorisine göre;

$$M(x) = M_0(x) - H_p y(x) - (H_w + H_p) \eta(x) \quad (3.2)$$

Elastik teoriye göre;

$$M(x) = M_0(x) - H_p y(x) \quad (3.3)$$

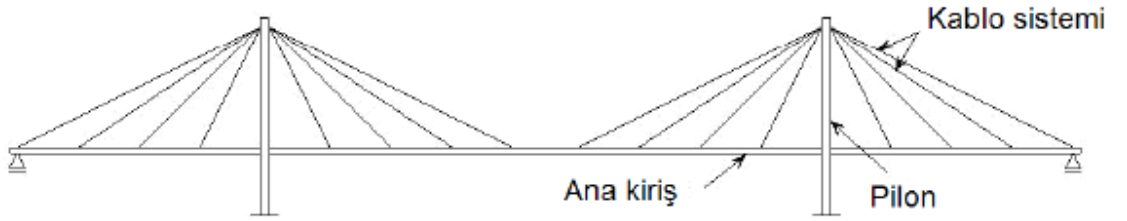
Burada  $M_0$  hareketli yüklerden kaynaklanan momenttir.



Şekil 3.17. Asma köprü kule ayaklarına ait 4 farklı enkesit düzeni.

### 3.2.1. Eğik Askılı Köprüler

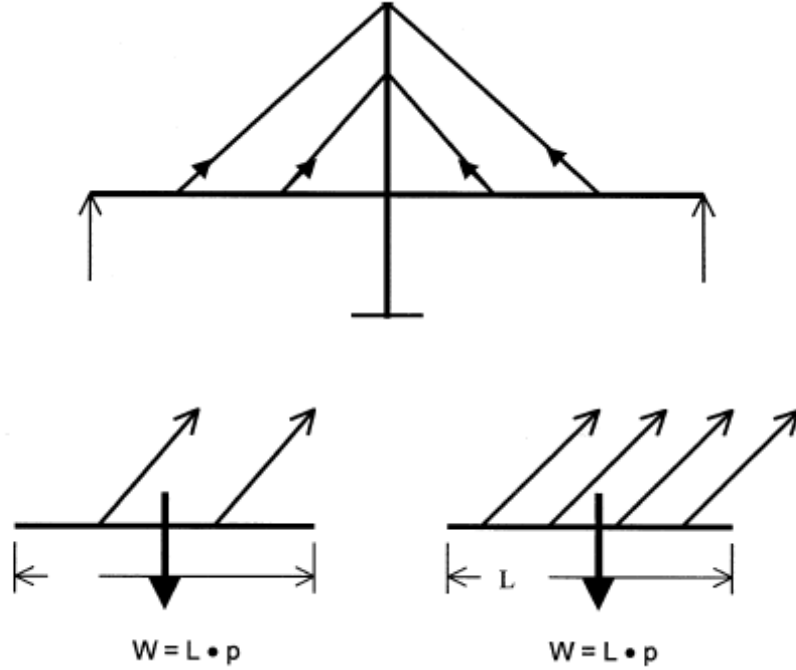
Eğik askılı köprülerin tasarımındaki genel yaklaşım köprüye gelen yükleri taşıyan ana kirişin yükünü hafifleterek geçilen açıklığı artırabilmektir. Ana kirişin taşıdığı yükün bir kısmı destek kablolarına oradan da pylon olarak adlandırılan kulelere aktarılır. Böylelikle ekonomik ve etkili bir tasarım elde edilmiş olunur. Mühendislerin yenilikçi ve iddialı buldukları bu çözüm 1000 metreye kadar olan açıklıklarda kullanılabilir. Eğik askılı köprülerde kule yüksekliği tabliye üst noktasından itibaren açıklığın %20' si kadar alınır. Ön boyutlandırmada kullanılacak bu değer kesin tasarımdan sonra nihai değerini alır [6].



Şekil 3.18. Eğik askılı köprü elemanları.



Şekil 3.19. Eğik askılı köprü örneği.



**Şekil 3.20.** Eğik askılı köprülerde reaksiyon kuvvetleri.

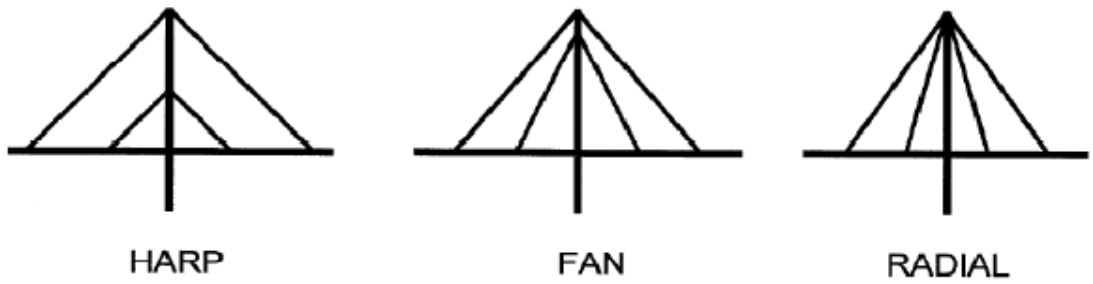
Eğik askılı köprülerde orta ayaklar yerlerini kablolarla bırakmıştır. Eğik askılı köprülerin düşey yükler altındaki davranışı elastik mesnetlere oturan bir kirişe benzetilebilir [6]. Eğik askılı köprülerde iki kablo arasındaki kiriş kısmının momenti kablolar arası mesafenin karesi ile orantılıyken elastik mesnetli bir kirişin global olarak üzerine alacağı moment onun enkesit atalet momentine ve elastik mesnet yaylarının rijitliğine bağlıdır.

$$M = a.p.\sqrt{(I/k)} \quad (3.4)$$

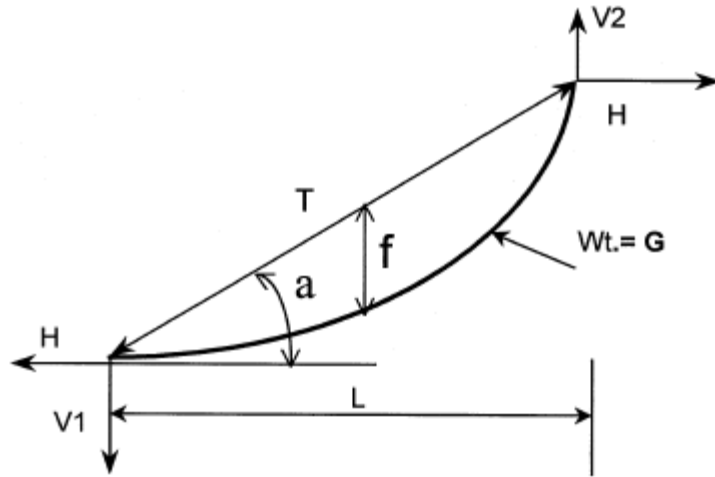
Burada M global momenti, p yükü, a yükün etkime karakterini temsil eden katsayı, I ana kiriş enkesit atalet momentini ve k elastik mesnet yaylarının yay sabitini göstermektedir. Görüldüğü gibi ana kiriş ile mesnet yaylarının görelî rijitliği oranı global momentin büyüklüğünü etkilemektedir. Ana kiriş narinleştikçe global moment azalmaktadır. Bu ifadeye göre kabloların eşit yük aldığı gibi bir varsayım yapılırsa global moment kablo sayısından ve aralarındaki mesafeden bağımsızdır. Buna göre küçük derinlikli ana kirişlerle köprü tasarlamak mümkün olmaktadır. Fakat ana kiriş narinleştikçe burkulma problemi açığa çıkmaktadır. Yine de iyi bir kablo düzeni ile burkulma problemiyle karşılaşılmeden küçük derinlikli köprüler yapılabilmektedir.

$$P(cr) = \left\{ \int EIw''^2 ds + \sum EC * Ac * Lc \right\} / \left[ \int (Ps/Pc)w'^2 ds \right] \quad (3.5)$$

Burada E elastisite modülü, I atalet momenti, A alan, L açıklık ve w da sapmaları gösterir. Bu ifade kritik burkulma yükünü verir ve buna göre kritik burkulma yükü ana kiriş rijitliğinden daha ziyade kabloların rijitliğine bağlıdır. Bu durumda eğilme momenti altında boyutlandırılan bir köprü kirişi burkulma problemiyle karşılaşmamaktadır.



Şekil 3.21. Askı şekillerine göre eğik askılı köprüler.

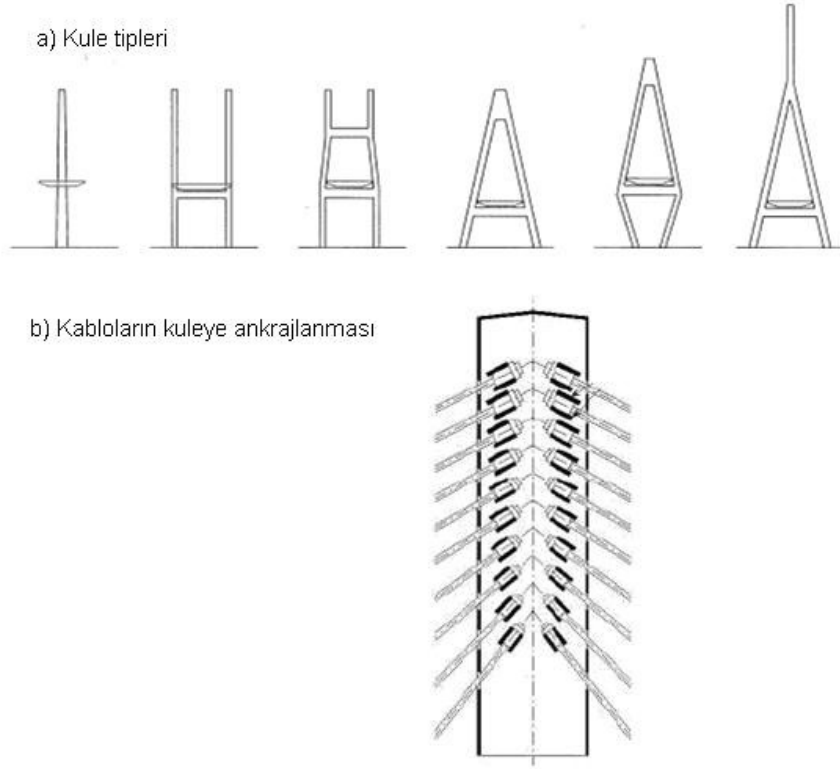


Şekil 3.22. Eğik askılı köprülerde kabloların rijitliğine dair hesap şeması.

$$EA(\text{eff}) = EA / \left\{ 1 + G^2 EA \cos^2 a / (12 T^3) \right\} \quad (3.6)$$

Eğimli kabloların etkili rijitliği yukarıdaki ifadeyle verilir. Burada E kablo elastisite modülü, A kablo enkesit alanı, G kablunun toplam ağırlığı, a açı ve T kabloya gelen eksenel çekme kuvvetidir. Bu ifadeye göre kablunun etkili rijitliği T kuvveti arttıkça

artış eğilimindedir. Bu sebeple kabloların montaj esnasında nihai dayanımlarının %40' ı kadar gerginlik verilir.



Şekil 3.23. Eğik askılı köprülerde kule tipleri ve kabloların kuleye ankrjanması.

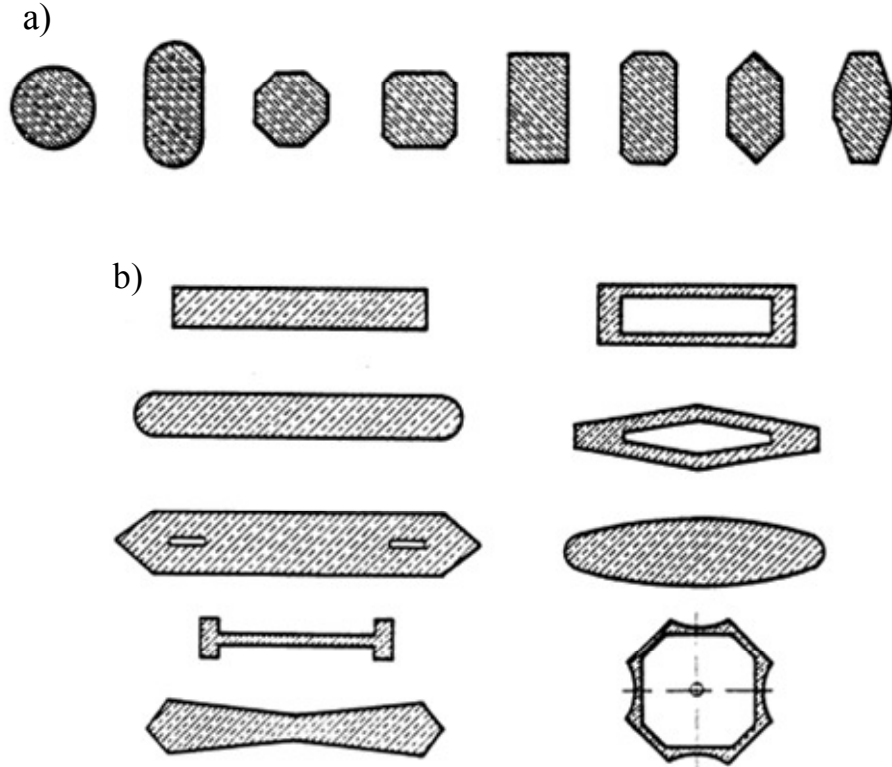
### 3.3. Köprü Ayakları

Köprü ayakları aşağıdaki yükler altında boyutlandırılırlar

- Zati yükler
- Üst yapıdan gelen hareketli ve darbeli yükler
- Köprüye ve taşıtlara gelen rüzgâr yükü
- Üst yapıya aktarılan merkezkaç kuvveti
- Taşıtların fren yükü
- Mesnetlerden aktarılan sürtünme kuvveti
- Toprak basıncı
- Su basıncı
- Buz yükü
- Deprem yükü

- Sıcaklık ve rötre kaynaklı kuvvetler
- Taşıt çarpması
- Öngerilme kuvveti
- Temel deplasmanları

Köprü ayaklarının en kesit ve strüktür yapısının seçimi üzerine gelen yüklere, estetik kaygılara ve mekâna bağlıdır. Örneğin akarsu içinde bulunan bir ayak üzerine gelen su basıncını olabildiğince azaltıcı bir geometrik şekle sahip olarak tasarlanırken, şehir içinde yer kaplamayacak köprü ayaklarına ihtiyaç duyulur.



**Şekil 3.24.** Köprü ayakları enkesit şekilleri a) Köprü ayağının su içinde kalması durumunda b) Köprü ayağının karada olması durumunda.

### 3.4. Mesnet Elemanları

Mesnet elemanları köprü süt yapısıyla alt yapısı arasında konumlandırılırlar. Mesnet elemanlarının temel görevi;

- Üst yapı yüklerini alt yapıya aktarmak
- Üst yapı ile alt yapının görelî hareketlerine imkân vermek

olarak ifade edilebilir [6].

Üst yapının maruz kaldığı yükler doğrudan mesnetleri de etkiler. Mesnet tasarım şekline göre bazı serbestlik derecelerine sahip olarak bu etkilere tepkisiz kalabilir. Böylelikle üst yapıdan gelen bazı tesirlerin alt yapıya aktarılmasına mani olur. Mesnetler kimi doğrultularda ötelenme ve kimi eksenler etrafında dönme serbestliğine sahip olabilirle.

### 3.4.1. Mesnet Tipleri

Mesnetler serbestlik derecelerine göre iki grupta toplanabilirler. Sabit mesnetler bazı doğrultularda ötelenme serbestliğine ve eksenler etrafında dönme serbestliğine sahiptir. Genleşme aparatları ise tem olarak dönme ve ötelenme serbestliklerine sahiptir.

#### 3.4.1.1. Levha Mesnetler

Bu mesnet türü birbiri üzerinde kayabilen iki levhadan oluşur. Çoğu zaman diğer mesnetlerin tamamlayıcısı olarak çalışırlar. Bu iki levhanın arasında doğan sürtünme kuvveti istenmeyen bir etkidir ve bunun ortadan kaldırılabilmesi için levha yüzeyleri politef ya da teflon gibi maddelerle kaplanırlar. Yaygın uygulama şekli levhalardan birinin paslanmaz çelik diğerinin de politef ile kaplı olması şeklindedir. Levha mesnetlerin dönme kısıtlayıcı etkileri yüzünden AASHTO tarafından 15 metre ve üzeri açıklıklarda tek başlarına kullanılmamaları istenmektedir [6]. Küçük açıklıklarda mesnet dönmeleri küçük mertebede olduklarından bu mesnetlerin kullanılmasında sakınca görülmemiştir.



Şekil 3.25. Levha mesnet.

### 3.4.1.2. Pandül Ve Pimli Mesnetler

Pandül mesnetler alt ve üst uçlarında eklemlere sahiptir. İki ya da üç boyutlu çalışırlar. Birbirine eklemlenmiş bir parçayla bağlı iki levhadan oluşurlar. Pimli mesnetler bir düzlem içinde dönme ve ötelenme serbestliğine sahiptirler. Bu mesnet tipleri ilk mesnet teşkilllerinden olup kullanım alanları köprülerin muazzam büyüklüklere ulaşması sebebiyle sınırlı kalmaktadır.

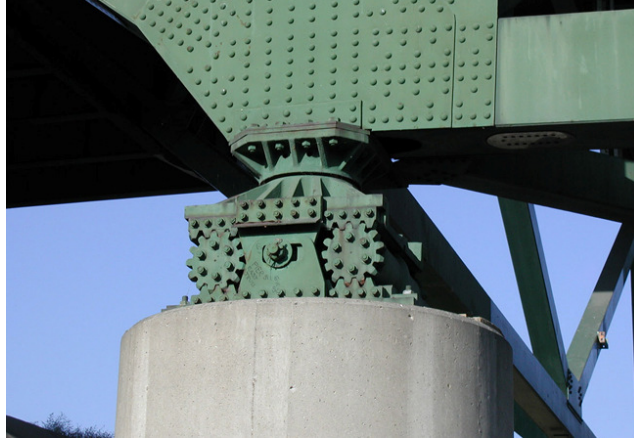
Bu mesnetler 100mm'lik ötelenme ve 1800kN'luk reaksiyona kadar kullanılabilirler. Mesnetlerde meydana gelecek korozyon sürtünme kuvvetine sebep olur ve açığa çıkan bu kuvvet tasarımdaki kabulleri geçersiz bırakır. O sebeple düzenli bakıma ihtiyaçları vardır [6].



Şekil 3.26. Pandül (solda) ve pimli mesnetler.

### 3.4.1.3. Silindirli Mesnetler

Bir ya da daha fazla silindirin iki levha arasına koyulmasıyla teşkil edilirler. Tek silindirli olanları bir düzlem içinde hem dönme hem de ötelenme serbestliğine sahiptirler. Fakat düşey yük kapasiteleri sınırlıdır. Grup silindirden oluşanlar ise sadece ötelenme serbestliğine sahiptirler. Grup silindirli mesnetlere dönme serbestliği pimli mesnetlerle kombine edilmesiyle kazandırılır. Grup silindirli mesnetlerin yük taşıma kapasiteleri yüksek olmakla beraber tek silindirliye göre maliyeti yüksektir.



**Şekil 3.27.** Silindirli mesnetler.

#### **3.4.1.4. Elastomer Mesnetler**

Köprülerde yaygın olarak kullanılan yalıtım sistemleridir. Uygulama örnekleri bu mesnetlerin 50 yılın üzerinde etkili bir şekilde hizmet yaptığını göstermiştir. Bu mesnetlerde doğal veya yapay kauçuk kullanılır. Bu mesnetler kalınlığı 8mm~20mm arasındaki ince kauçuk levhalar ile kalınlığı 2mm~3mm civarındaki ince çelik levhaların üst üste getirilmesiyle oluşur. İki tür levha basınç ve ısı altında birbirine yapıştırılır. Elastomer mesnetler düşey doğrultuda rijit olup, bu mesnetlerde düşey yük altında 1mm~3mm arasında düşey bir kısalma olur. Düşey rijitlikleri yatay rijitliklerinin birkaç yüz katıdır [29].



**Şekil 3.28.** Elastomer mesnet.

### 3.4.1.5. Kavisli Mesnetler

Birbiri üzerinde kayabilen kavisli levhalardan oluşabilir. Bazı hallerde küresel formda olabilirler. Kavisin geometrisine göre dönme ve kısmi ötelenme serbestliğine sahip olurlar. Kayan yüzeyler mutlaka politef vb. bir madde ile kaplanırlar.



Şekil 3.29. Küresel kavisli mesnet.

### 3.4.1.6. Pot Mesnetler

Pot mesnetler düşey, yatay, boyuna enine yük kombinasyonları ve dönmeleri taşımak için geliştirilmiştir. Bu tür mesnetlerde dönme ve ötelenme serbestliği yanında sismik yalıtım da sağlanmaktadır. Birbirleri üzerindeki kayabilen ve dönebilen metal levhalar ve elastomerden imal edilirler. Birbirleri üzerinde kayabilen levhaları metal bir arada tutar. Levhalardan biri metal pistonu, diğeri de metal pistonu kavrayacak bir kanala sahiptir [20]. Metal pistonla kanal yüzeyinin arasına ise elastomer koyulur. Böylelikle bir doğrultuda ötelenme serbestliği ve sismik yalıtım temin olunurken diğerk doğrultularda mesnet reaksiyonları elde edilir.



Şekil 3.30. Pot mesnet.

## 4. BÖLÜM

### KÖPRÜ MONTAJ TEKNİKLERİNİN İNCELENESİ

#### 4.1. Atölye Montajı

Köprünün bütün parçalarının imali bittikten sonra, bunların doğruluğunu tahkik etmek için atölyede geçici bir montaj yapılır. Bu sayede, parçalarda bir kusur görülürse bunun hemen düzeltilmesi veya yenisinin yapılması mümkündür. Eğer atölyede böyle bir montaj yapılmaz ve parçalarda da bir kusur varsa, bu ancak şantiyede meydana çıkar. Bu kusurun düzeltilmesi şantiyede mümkün olsa bile, montaj gecikmiş olur. Parçanın düzeltilmesi için atölyeye iadesi lazım gelirse, durumun ne kadar zararlı olduğu meydandadır. Bundan dolayı atölyede böyle bir kontrol montajının yapılması muhakkak lazımdır [10].

#### 4.2. Köprü Parçalarının Yollanması

Atölyede hazırlanan köprü parçalarının doğruluğu anlaşıldıktan sonra, bunları yollamak için hazırlık başlar. Atölyede, kurşun veya çelik sülyeninden ibaret olan ilk boya astar tabakası vurulan parçalar denkleir. Bu çelik parçalara ait denkleir boyutları ve ağırlıkları taşıt vasıtalarının ve yolların cinsine ve haline göre tespit olunur. Köprünün tertibi sırasında, teşkil edilecek ekler bu bakımdan incelenmelidir. Bu hususta, evvelce, ekler bahsinde lazım gelen bilgi verilmiştir. Perçinler, montaj bulonları ve küçük aletler kutular içinde taşınırlar. Çelik köprü projesinin hazırlanmasında, montaj için lazım gelen makine ve krenlerin yollanması işi de düşünölmüş olmalıdır [10].

#### 4.3. Köprülerin Montajı

Küçük köprü halinde ve taşıma işi de mümkünse, montaj atölyede yapılır. Bu takdirde teknil köprü, hususi vagonlar üzerinde taşınarak, büyük portafö bir kren veya diğör uygun demiryolu krenleri ile yerine konur. Köprü daha büyük ve taşıma şartları yine

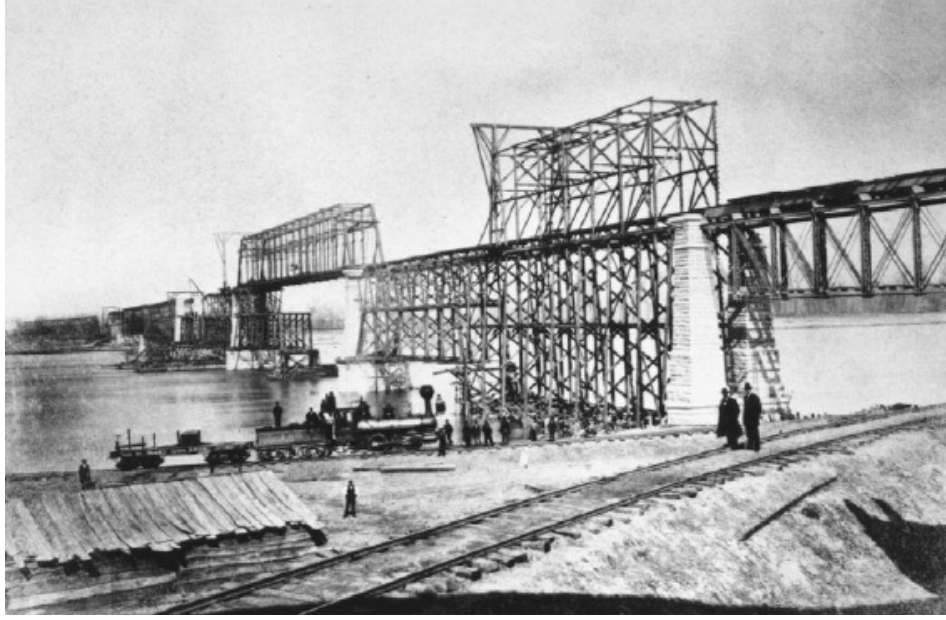
uygun ise, yalnız ana kirişler atölyede tam yapılır ve şantiyeye getirildikten sonra, yerlerine büyük krenler ile konurlar. Köprü büyük olur veya taşıma şartları uygun gelmezse, atölyede hazırlanan türlü parçalar şantiyeye taşınır ve orada türlü metotlarla birbirine eklenerek köprü kurulur. Bu hususta ilk yapılacak iş, türlü parçaları bir program altında ayırarak istif etmektir. Atölyede her parça üzerine bir numara ve harf yazılmıştır. Atölyede hazırlanan montaj resminde de, her parçanın numarası ve harfi gösterilmiştir. Bu sayede montaj bir sıra altında ve kolaylıkla yapılır. Küçük köprülere ait parçaların ayrılması ve istifi amele vasıtasıyla olur. Büyük köprülere ait büyük, parçalar halinde ise türlü inşaat krenleri veya havai hatlardan istifade edilir. Çelik köprülerin kurulması için, köprünün tipine, büyüklüğüne ve üzerinden aşılacak olan engelin genişliğine, derinliğine ve cinsine göre türlü montaj metotları kullanılır [10]. Tatbik edilen, başlıca montaj metotları şunlardır:

- İskele üzerinde montaj,
- Çekme metodu,
- Askı metodu (portafo montaj),
- Pontonlar vasıtası ile montaj,
- Ripaj metodu
- Harekeli kalıp ve gezer vinç sistemleri
- Sürme metodu

#### **4.3.1. İskele Üzerinde Montaj**

Bu metodun kullanılması için kurulacak köprünün tam altına bir iskele inşa edilir. İskele çok defa ahşap kazıklar ve ahşap kirişler vasıtasıyla yapılır. Üzerine köprü kurulacak olan nehir veya yolda geliş ve gidiş varsa ve bunun montaj esnasında da devam etmesi lazımsa, iskelenin altında büyük gözlerin bırakılması lazım gelir. Bu zaman, icap ederse ve daha ekonomik olursa, iskele inşasında çelik malzemedan ya da çağdaş iskele sistemlerinden istifade olunur [10]. İskelenin üst yüzü, kurulacak çelik köprü ana kirişlerinin alt şekline uygun olarak yapılır. Kemer köprülerin montajı için üst yüzü, kemer şekline uygun bir iskele inşa olunur. İskele, işçi ve amelenin rahatça çalışabileceği boyutta ve şekilde olmalıdır. Montaj için kullanılan kren gibi vasıtaların cinsi de düşünülmelidir. Bu hususta portal krenler kullanılacaksa, bunlar köprü boyunca hareket edeceklerinden, iskele, kren raylarını taşıyacak mukavemette ve alacak boyutta olmalıdır. Kuru dereler üzerindeki iskeleler tabanlar üzerine dikilen direklerle yapılırlar.

Nehirler üzerinde çok defa kazık çakmak icap eder. Yuvarlak kesitli direklerle teşkil edilen bu iskele, raylar arasına ve bunlara paralel konan tabanlara oturur.



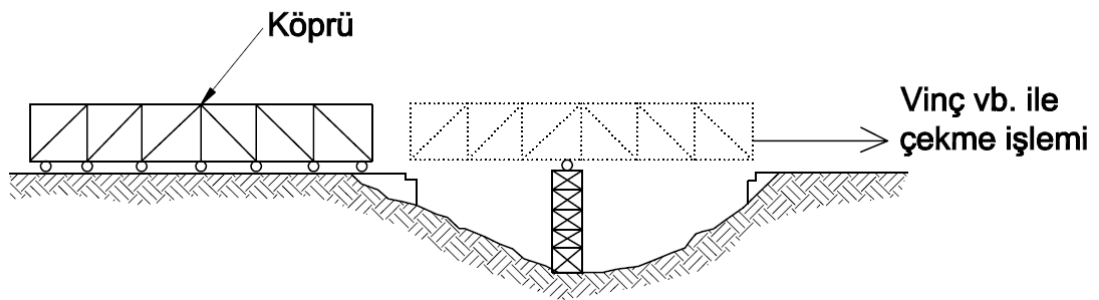
**Şekil 4.1.** İskeleler üzerinde köprü inşaatı.

İskelenin mukavim olmasından başka çok az deforme olması lazımdır. Bu sebepten, iskeleyi teşkil eden parçaların boyutları biraz fazla olur. Mümkün oldukça küçük açıklıklarla teşkil edilmeli ve ana kirişin her bir düğüm noktası altına bir kazık sırası getirilmelidir. İskelenin kurulması bittikten sonra, çelik köprüye ait parçalar, kaldırma makinelerinden istifade ile yerlerine getirilir ve birbirlerine montaj bulonları ile geçici olarak tutturulur. Kafes kirişlerde önce alt başlık çubukları sıralanır ve geçici ekler yapılır. Sonra dikim çubukları, ait oldukları düğüm levhalarına montaj bulonları ile bulonlanır. Bunun için, krenden sarkan parça, ucundaki delikler, düğüm levhasındaki deliklerin karşısına gelecek şekilde manevra edilir. Bu suretle karşılıklı gelen bir kaç deliğe montaj kamaları sokulur ve çekiç vurularak diğer deliklerin tamamen birbirine tekabül etmesine çalışılır. Bundan sonra montaj bulonları ile geçici bir ek yapılır. Kullanılacak montaj bulonlarının adedi, ek için kullanılan perçin adedinin üçte biri kadardır. Dikim çubukları yerine konduca, üst başlık çubukları da getirilerek geçici olarak eklenir. Bu suretle kaba olarak kurulan ana kirişe son ve kesin şekil vermek için, bir nivelman aleti ile düğüm noktalarının projedeki yerleri tayin edilir olması gereken konuma getirilir. Bu işlerin yapılması sırasında iskelede de çöküntüler olabileceğinden, düğüm noktalarının yeri bir daha tahkik edilir. Düğüm noktaları hakiki yerlerine

gelince, montaj noktalarının adedi çoğaltılır ve sıkıştırılır. Bundan sonra bulonlama ya da perçinleme işi başlar. Bu sırada da, ara sıra, nivelman, aleti ile düğüm noktalarının yerleri kontrol edilmelidir.

Köprü altındaki boşluğun gayet derin olması veya nehirde şartların, uygun olmaması yüzünden iskele kurmak çok pahalı olabilir. Bu takdirde başka metotlara başvurmak lazım gelir.

#### 4.3.2. Çekme Metodu



**Şekil 4.2.** Köprünün çekilerek yerine koyulması.

Çekme metodunda köprü, sahilde veya yol eksenini boyunca kurulur ve karşı sahilde, bir çelik kablo vasıtasıyla çekilerek yerine konur. Bunun için, sahilde yol eksenini doğrultusunda arazi düzlenir ve özel bir çelik yol döşenir. Bu hattın üzerine küçük tekerlekli alçak arabalar konur. Köprü bu arabaların üzerine kurulur. Çekilecek köprü iskeletinin ağırlığını azaltmak için yalnız ana kirişleri ile enlemeleri monte edilir. Bu iskelet, karşı sahile konmuş bir vinç ve çelik kablo vasıtasıyla çekilmeye başlanır. Bu suretle ayakları üzerine oturtulan köprünün boylamaları, döşemesi ve yol kısmı yapılarak köprü tamamlanır. Bu metodun tatbik olunabilmesi için şu şartlar mevcut olmalıdır: a) Ana kirişlerin alt başlıkları düz olmalıdır. b) Gerek köprü ve gerekse köprü başları düz bir hat üzerinde olmalıdır. c) Köprü, çok mesnetli ve mafsalsız kirişlerden yapılmış olmalıdır. Tek açıklıklı köprü halinde geçici orta ayak yaparak bu sonuncu şart yerine getirilebilir. Köprü çekilmeye başlanınca, ana kirişler, bir ucu boşta kiriş haline gelirler. Gittikçe çoğalan bu portafoluk yüzünden ana kirişin ucu aşağıya doğru eğilmeye başlar. Bu suretle ana kirişin uç seviyesi, orta mesnetler üzerinde tertip olunan ruloların seviyesinden aşağıda kalır. Buna göre bir çare olmak üzere ana kirişlerin ucuna gaga teşkil ederler. Bu gaganın başlığı yukarıya doğru konkavdır. Çekme sırasında uçları kalkık olan bu gagalar rulolara binerler ve arkasından sürüklenen ana kirişin de rulolara oturmasına yardım ederler. Portafol bir duruma düşen

ana kirişlerde negatif momentler ortaya çıkar, İki mesnetli kirişlerde, yalnız çekmeye göre hesaplanan alt başlık çubuklarında basınç gerilmeleri ortaya çıkar. Kafes kiriş halinde, alt düğüm noktaları birbirine ahşap direklerle desteklenerek başlıklar kuvvetlendirilir. Nehirde yeterli derinlikte su varsa, duba veya mavnalar üzerine yapılan ahşap kulelerden istifade olunur. Çekilen köprünün ucu, bu ahşap kalenin üzerine oturduktan sonra, çekme işi kolaylaşır. Bu suretle, köprü ucundaki mesnet de beraber çekileceğinden, köprünün nehir'e düşme tehlikesi de yok edilmiş olur. Bu metotla montaj dolayısıyla doğacak gerilme durumu, mukavemet hesabı sırasında göz önünde bulundurulmuş olmalıdır [10].

#### 4.3.3. Askı Metodu (Portafo Montaj)

Bu metot Gerber sistemi köprülerle kemerlerde tatbik olunur.

**Gerber sistemi köprülerde:** Yan gözlerdeki köprü kısmının iskele metodu ile kurulduğunu düşünelim. Buralarda, çok defa su bulunmadığı veya varsa da az süratli olduğu ve nehirdeki geliş ve gidişin de orta gözden yapılacağı düşünülürse, yan gözlerde iskele metodunun kullanılmasında bir mahzar yoktur. Gerber köprüsünün konsol kısımlarının, yan gözler üzerine konacak krenler vasıtasıyla monte edilmesi mümkündür. Montaj ilerledikçe, krenler konsol kısmı üzerinde ilerleyebilirler. Konsol kısmının inşasından sonra, askı kirişi, biraz sonra anlatılacak olan pontonlar ile montaj metodu kullanılarak yerine konur. Yan gözlerdeki köprü kısmı konsollara mesnet teşkil eder. Bundan dolayı gerber köprülerinde bu metodun tatbikinde bir zorluk yoktur.

**Kemer köprülerde:** Bu halde kemer çubukları, kenar veya orta ayaklardan itibaren, krenler ve kabloların yardımıyla, portafo olarak monte edilir. Portafo olarak ilerleyen kemer parçasına mesnet teşkil edecek kısım olmadığından, bu maksat için kablolar kullanılır. Monte edilen kemer parçaları, yer yer kablolarla asılır. Bu kabloların yatık olmaması için kenar ayak üzerine kule inşa edilir. Bu kulenin tepesinde geçen kablo sahile veya köprünün diğer münasip kısmına bağlanır. Kemerin ilk birkaç çerçevesi iskele veya konsol döşeme üzerinde yapılır. Bundan sonra yapılacak birkaç çerçeve de, evvelkilere dayanarak boşlukta durabilir. Çerçevesiler ilave edildikçe portafoluk ve bundan dolayı da gerilmeler artar. Bu suretle kemer parçalarının kablolarla asılması icap eder. Bu işe, iki taraftan birden başlanır. Kilit parçayla, birbirine ulaşan iki uç bağlandıktan sonra kablolarla lüzum kalmaz. Orta ayaklarda montaj simetrik olarak devam eder. Çubuklar, kemer portafosu ucundaki bir vinç vasıtasıyla manevra edilir.

Montaj için, bir sahilden diğer bir sahile gerilmiş kablolu krenler de kullanılır. Takriben 1870 senesinden beri tatbik edilmekte olan portafo montaj için kullanılan birçok yöntem vardır.



Şekil 4.3. Kemer köprüünün askı metodu ile inşası.

#### 4.3.4. Pontonlar Vasıtasıyla Montaj

Gerek eski köprülerin yerinden alınarak uzaklaştırılması ve gerekse yeni köprülerin yerlerine konması için pontonlar kullanılabilir. Bunun için, köprü yakınında, su içinde inşa edilmiş iskeleler lazımdır. Bu metottaki prensip şudur: Birbirine kuvvetli olarak bağlanmış dubalar veya mavnalar üzerine bir iskele yapılır. Bu sistem, yüklenerek veya su ile doldurularak alçaltılır ve bu halde iken kaldırılması istenen köprüün altına getirilir. Bundan sonra, yükler boşaltılarak veya sular dışarıya pompalanarak, sistem yükseltilir. Bu suretle eski köprüyü yüklenmiş olan pontonlar çekilerek köprü uzaklaştırılır. Pontonlar köprü yakınında teşkil edilmiş bir iskeleye yanaşır ve köprü iskele üzerine çekilir. Bu husus için köprü, pontonlar üzerindeki rulolara oturtulmuş olmalıdır. Sahildeki iskele üzerinde monte edilmiş yeni köprüün yerine getirilmesi için yukarıdaki manevraların tersi yapılır. Yeni köprü, iskeleye yanaşmış ve bunun seviyesine indirilmiş olan pontonların üzerine çekilir (veya sahile tespit edilmiş pontonların üzerinde monte edilir). Bundan sonra eski köprüün veya yeni inşa edilmiş

olanın orta ayakları arasına çekilir. Bunun için ponton seviyesi, ayak seviyesinden yüksek olmalıdır. Köprü icap eden manevralarla tam yerine getirildikten sonra, ponton seviyesi indirilecek mesnetleri üzerine verilir. Med ve cezir olan deniz sahillerinde yapılan köprülerde, suyun alçalması ve yükselmesinden de istifade edilir. Burada, pontonların taşıyabileceği yük daha evvelden hesapla tayin ve tespit olunmuş olmalıdır. Bu metoda bir örnek olarak, Magdeburg civarındaki bir çelik köprünün değiştirilmesini verebiliriz. Bu köprünün eski kirşleri, gemiler üzerine yapılan ponton vasıtasıyla kaldırılmıştır. İş çabuk yapmak için, eski köprü yerinden 60 metre kadar uzakta kazık ayaklar teşkil edilmiştir. Ponton bu kazık ayaklar arasına çekilir ve köprü, pontonun alçaltılmasıyla bunların üzerine verilir. Sahilde monte edilen yeni köprünün pontona bindirilmesi için, köprü yerinden 15 metre uzakta V-iskelesi yapılmıştır. Yeni köprüyü yükleyen ponton, köprünün oturtulacağı orta ayaklar arasına çekilmiş ve icap eden manevralar yapılarak, köprü mesnetlerine verilmiştir. Bütün bu manevralar, 1876 senesinin ekim ayının 11'i ile 14'ü arasında olmak üzere 4 gün sürmüştür. Şayet, köprünün indirilmesi ve yükseltilmesi için pontonları batırmak veya yükseltmek yeterli gelmiyorsa krenler kullanılır. Köprünün kaldırılması veya indirilmesi için kren kullanılacaksa bunlar gerber kirişinin konsolları üzerine konurlar.

#### **4.3.5. Ripaj Metodu**

Bu metot, daha ziyade, işlemekte olan hatlardaki eski köprülerin değiştirilmesinde kullanılır. Hat üzerindeki geliş ve gidiş dolayısıyla eski köprünün atılması ve yerine yenisinin konması, mümkün olduğu kadar kısa bir zamanda olmalıdır. Bunu temin için tatbik edilen bu metodun ana prensibi şudur: Değiştirilecek köprünün hemen yanında ve buna paralel bir montaj iskelesi kurulur. Yeni köprünün bu iskele üzerindeki montajı sırasında, eski köprüde gidiş ve geliş devam eder. Yeni köprü tabliyesinin inşası sona erince geliş ve gidiş, işin cinsine göre birkaç saat veya birkaç gün tatil edilir. Eski köprü sökülür veya yana itilerek dereye yuvarlanır. Bundan sonra yeni köprü, enine yönde çekilerek ayaklara oturtulur. Bu çekme işi için yeni köprü, rulolar veya küçük arabalar veyahut özel patent tertipleri üzerine konan kuvvetli traversler üzerine kurulur ve vinçler veya patent tertipler vasıtasıyla yana çekilir. Montaj iskelesinin üst seviyesi, mesnet tertibat seviyelerinden 5- 10 cm kadar yüksek yapılır. Bir göze ait ripaj işi, eski köprü söküldükten ve bütün hazırlıklar yapıldıktan sonra, 10 -15 dakika kadar sürer. Ripaj metodu bir de şu amaçla tatbik olunabilir: Çift veya daha çok hatlı çelik

yollarında yan yana birkaç köprü yapılıncaksa, geniş montaj iskelesi masrafından kaçınmak için, dar bir montaj iskelesi kurulur ve her bir köprü, montajı bittikten sonra, yan tarafa çekilerek yerine konur [10].

#### 4.3.6. Hareketli Kalıp Ve Gezer Vinç Sistemleri

Köprü montajı sanayileşmiş ülkelerde pahalı ve komplike mekanik sistemlerle de yapılabilmektedir. Köprü inşası için böyle özel yöntemlere başvurmanın üç temel sebebi bulunmaktadır. Bunlardan ilki projenin çok önemli ve kendine has montaj tekniği gerektirmesi, ikincisi uluslar arası büyük müteahhitlik firmalarının bu komplike sistemlere yaptıkları ilk yatırım maliyetini göz ardı edebilecek kadar çok projeyi hayata geçirebilme imkanı bulabilmeleri, üçüncüsü ise işçi sayısını azaltabilmektir.

Hareketli kalıp ve gezer vinç sistemleri bir köprü üst yapısının bir açıklığını tek seferde inşa edebilecek kadar büyük, bazen de köprü üst yapısını tek seferde hareket ettirebilecek kadar güçlüdürler. Bu hizmetleri satın almak çoğu zaman mümkün ve ekonomik değildir. Bu sistemler bazen iki köprü açıklığının toplam uzunluğu kadar büyüklükte ve köprü üst yapısından daha komplike olabilmektedirler.



Şekil 4.4. Gezer vinç ve hareketli kalıp sistemi ile köprü inşası.



**Şekil 4.5.** Köprü ayaklarına oturan bir tür kren ile ardgermeli betonarme köprü inşaatı.

#### **4.3.7. Sürme Metodu**

Bu metot çekme metoduyla benzer özelliklere sahiptir. Diğer montaj tekniklerinin uygun olmadığı halde başvurulan bu yöntemde ilk olarak köprü ayakları inşa edilir. Daha sonra kıyı kesimde üst yapı sürme platformu üzerinde kısım kısım inşa edilir. Köprü üst yapısı aşama aşama karşı kıyıya ya da bir sonraki ayağa hidrolik bir sistemle itirilerek ulaştırılır. Oluşan konsol kiriş durumu köprünün hesap şeması değişeceğinden montaj aşaması statik hesabı ayrıca yapılır. Ayrıca konsol uç sehimini azaltmak için gaga denilen ve sonradan köprü üst yapısından demontajı yapılacak olan hafif bir çelik sistem ana kirişin ucuna eklenir. Konsol uç sehimini azaltıcı başka tedbirler de mevcuttur. Hem betonarme hem de çelik köprü inşaatında uygulanabilen bu yöntem hakkında sonraki bölümde daha geniş bilgi verilecektir.

#### **4.4. Köprülerin Mesnetlerine Oturtulması Ve Tespiti**

Montajı yapılan köprüler, mesnet tertiplerine oturtulmadan evvel, mesnet noktalarının plandaki tam yeri ve yüksekliği tayin olunur. Bundan sonra, köprü hakiki ve son durumuna getirilerek mesnetleri üzerine oturtulur. Bu iş için krikolar kullanılır. Mesnetlere oturtulma işi, +10°C sıcaklıkta yapılmalıdır. Kullanılacak krikolar, köprünün ağırlığına göre türlü çaptaki hidrolik krikolardır. Bunlar köprünün aşağı

yukarı hareketi için köprübaşlarındaki enlemelerin altına konurlar. Bu sebeple nihayet enlemelerin hesabında bu durum de göz önünde bulundurulmuş olmalıdır.

#### **4.5. Montajdan Sonraki İşler**

Köprünün montajı bittikten sonra sırasıyla; çelik veya betonarme döşemenin inşası, su akıtma tertipleri ile yalıtım tabakasının yapılması, yolun döşenmesi, korkulukların takılması işleri yapılır. Bundan sonra köprünün boyanması tamamlanır. Evvelce de görüldüğü üzere, çelik inşaatın korozyon tehlikesine karşı, boyanması lazımdır. Çeliği, nemli havaya ve kömür dumanları gibi zararlı gazlara karşı koruyan boya tabakası sürüldüğü yüzeylere iyice yapışacak şekilde ve köprünün deformasyonları dolayısıyla çatlamayacak derecede elastik olmalıdır. Boya tabakası zaman zaman muayene olunmalı ve yenilenmelidir. Boyanın köprü ömrü üzerindeki büyük tesiri düşünülerek buna layık olduğu önem verilmelidir. Bakımına itina edilmeyen çelik köprülerin, pas tesiriyle 20 ~ 30 sene içinde harap olduğu görülmüştür. Boya işi, biri atölyede diğeri montajdan sonra olmak üzere iki defada yapılır

##### **4.5.1. Atölyedeki Boya İşleri**

Atölyede, çelik parçaların üzerindeki hadde kabuğu kaldırılır ve pas eser ve izleri yok edilir, yüzeyler temiz ve düzgün bir hale konur. Pası kazımak için tel fırça, sünger taşı, kaba zımpara kâğıdı kullanılır. Pas izlerini yok etmek için de, çelik parçaları sulu bir asit banyosuna sokulur. Asidin de çeliğe zararlı olduğu düşünülerek, asit banyosundan çıkan parçaları kireç suyu banyosuna sokmak lazımdır. Bundan sonra, çelik parçaları İyice kurutmak ve bu suretle ıslak çeliğin tekrar paslanmasına meydan vermemek icap eder. Bunun için, kireç suyu banyosundan çıkan çelik parçaları sıcak su banyosuna sokulurlar. Burada ısınmış olan parçalar, dışarı çıkarıldığı zaman çabucak kururlar. Kurumuş olan parçalara bir kat kaynar keten yağı sürülür. Keten yağı, boyanın girmeyeceği ince aralıklara girerek bunları doldurur. Keten yağı sürülmesi, çabuk donması dolayısıyla, çok yayılmamıştır. Temizlenen ve icabında keten yağı sürülen parçalara bir kat astar sürülür. Astar katı kurşun veya çelik sülyeninden teşekkül eder. Astarın sürülmesinden önce bütün aralıklar, sülyen macunu ile tıkanmalıdır. Kurşun sülyeni açık kırmızıdır ve koyu kırmızı renkte olan çelik sülyeninden daha iyidir. Boyanın sürülmesi için içine bir miktar petrol yağı katılır. Bir kat astarla boyanın parçaları iş yerine yollanır. Yüksek teknikte üretilen boyalarla bu işler daha pratik ve kolay şekilde yapılabilmektedir [10].

#### **4.5.2. Montajdan Sonraki Boya İşleri**

Bunun için, ilk olarak, birinci astar katı muayene edilir. Taşıma ve montaj sırasında zedelenmiş yerleri tamir edilir. Bundan sonra ikinci ve icabında üçüncü astar katı sürülür. Bu işlerden sonra boya tabakalarının sürülmesine başlanır. Boyanın esası üstübeçtir. Boya çok defa üç ve bazen de dört kat sürülür, ilk kat boya, köprünün geçici kabulünden ve diğerleri de kesin kabulünden önce sürülür. Köprülerde kullanılan boyanın rengi, çok defa gridir. Bu renk boyaya is mürekkebi ilavesiyle yapılır. Boyanın çabuk kurumması için içine sikatif maddeler ilave olunur. Bu maddenin ilavesi iyi netice vermediğinden yalnız müstesna hallerde kullanılmalıdır. Boya güzel ve kuru havalarda sürülmelidir. Bir kat kurumadan diğerini sürmemelidir. Türlü katlan birbirinden ayırt edebilmek için, her kat renginin koyuluk derecesi başka başka yapılır.

#### **4.6. Montajdan Sonraki Sehime Karşı Tedbir (Montaj Oku)**

Köprünün kurulması ve mesnetleri üzerine oturtulmasından sonra iskeleler kaldırıldığı zaman, köprü kendi ağırlığını taşımaya başlar. Bu ağırlık dolayısıyla ana kirişler bir miktar sehim yapar. Bu sehim miktarı, köprünün ilk yüklenilmesi sırasında, biraz daha çoğalır. İlave yük kaldırıldığı zaman, bundan doğan ilave sehim miktarının bir kısmı daimi olarak kalır. Köprünün yüklenmesi tekrarlandığı zaman, elastik şekil değişimi olmalıdır. Böyle olmazsa yani her yüklemeye daimi sehim verme miktarı artıyorsa, köprünün hayatı tehlikededir. Alt başlığı yatay olan düz köprülerde, köprünün kendi ağırlığından doğan sehim miktarı ile ilk yükleme sırasında olan daimi sehim miktarı dolayısıyla ana kirişler, orta kısımlarında aşağıya doğru bir miktar sarkarlar. Bu hal, görünüş bakımından çirkindir ve köprü yıkılıyor tesirini oluşturur. Bu fena tesirin önüne geçmek için, projenin tertibi sırasında, ana kirişlere yukarıya doğru bir eğrilik verilir. Buna ters sehim de denir. Bu eğrilik okuna (Montaj oku) denir. Montaj oku düz kirişlerde açıklığın 1/1000'i ve kemerlerde de 1/1500'i kadardır (Kemer köprülerde, iskelenin alınması sırasında, kemerin bir miktar alçalması dolayısıyla görünüşte bir çirkinlik ortaya çıkmaz. Fakat kemerdeki gerilme durumu, basınç poligonunun yer değiştirmesi sebebi ile değişir. Bu suretle ilave gerilmeler açığa çıkar. Bundan başka, kemer üzerindeki parçaların montajı, boyutların değişmesi yüzünden güçleşir. Bunun için kemerlere de bir montaj oku verilmek icap eder. Atölye resimleri yapılırken montaj oku da düşünülmesi ve delik yerleri buna göre işaret olunmalıdır. Atölye resimlerinin çizilmesinde montaj oku düşünülmeyerek, ana kirişlere, köprünün kurulması sırasında

montajı zorlayarak, yukarıya doğru eğrilik vermek doğru değildir. Çünkü sonradan köprüde, elastik olmayan deformasyonlar ortaya çıkar. Düz ana kirişli bir köprüde, daimi sehim miktarlarının meydana gelmesinden sonra, montaj oku dolayısıyla, yukarıya doğru hafif bir eğrilik kalırsa, bunun mahzuru yoktur. Zaten, altı düz bir kirişin, inşasından sonra göze yatay görünmesi için yukarıya doğru hafifçe eğri olması uygundur.

## 5. BÖLÜM

### ÇELİK KÖPRÜLERİN SÜRME METODU İLE İNŞASI VE SÜRME ESNASINDAKİ DAVRANIŞLARI

Bu teknik yıllardan beri küçük ölçekli köprülerin inşaatında kullanılmakta olup ilk olarak II. Dünya savaşı sırasında İngiliz ordusu tarafından kullanılmıştır. Amerika'da çelik köprüler üzerine sürme metodu ilk kez 1970 yılında Kansas City Southern Railroad köprüsünün inşasında kullanılmıştır. Dokuz açıklıklı bu köprünün toplam uzunluğu 633m'dir. Sürme işlemi köprünün iki yakasından eş zamanlı olarak başlamış ve köprü ortasında tamamlanmıştır. Günümüze kadar ağırlıklı olarak ard germeli betonarme köprülerin inşaatında olmak üzere 1000 kadar farklı köprünün inşaatı için uygulanmış bir yöntemdir [23]. Sürme metodu eğik askılı köprülerde de uygulanabilmektedir.

#### 5.1. Konsol Uç Sehimini Ve Mesnet Momentini Azaltıcı Yöntemler

Bu metotta sürme esnasında konsol mesnet momentini ve konsol uç sehimini azaltmak için yaygın olarak kullanılan üç metot bulunmaktadır. Bunlar:

- Gaga teşkili
- Geçici ayak düzenlemesi
- Asma germe (kingpost) düzeneği

olarak sıralanabilir. Bununla birlikte öngerme tekniği de uygulanan yöntemler arasındadır.

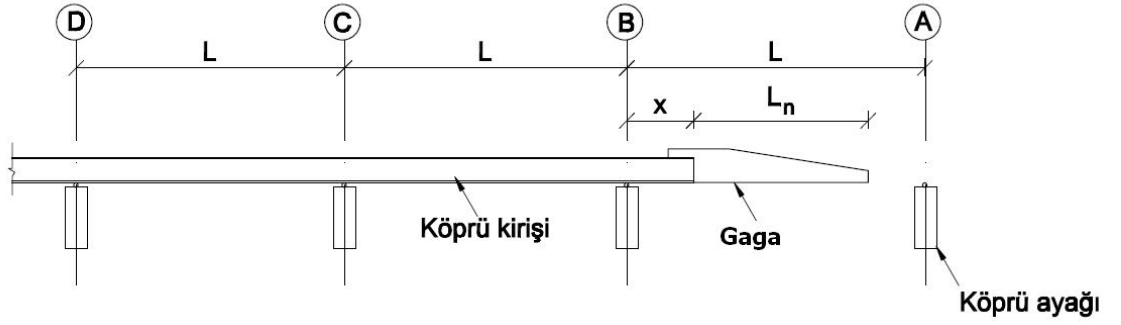
### 5.1.1. Gaga Teşkil Ve Hesap Şeması

Gaga sisteminin görevi köprü üst yapısının öz ağırlığı arttıkça daha da önem kazanmaktadır. Kompozit köprüler genellikle çelik kirişlerin sürülmesi ve sürme işleminin bütün açıklıklarda tamamlanmasından sonra tabliye betonunun dökülmesi suretiyle inşa edilirler. Sürme metodunun uygulanmaya başlandığından beri birçok şekilde gaga teşkil edilmiştir. Gagalar kimi zaman rijit kafes kiriş şeklinde, kimi zaman da dolu gövdeli kirişler şeklinde düzenlenirler. Gagaların geometrik ölçüleri açıklığa ve köprü ana kirişinin derinliğine bağlı olarak belirlenir.



**Şekil 5.1.** Iowa nehri üzerinde sürme metoduyla inşa edilen köprü.

Gaga yapısı gerek moment diyagramına uygun olarak gerekse deplasman grafiğine dayanılarak önden arkaya doğru büyüyen derinlikte yapılırlar. Gaga derinliği en nihayetinde köprü ana kirişinin derinliğiyle eşdeğer derinliğe ulaşır. Köprü üst yapısı bazen iki bazen de daha fazla ana kirişten oluşur. Çoklu kiriş düzenlemesine sahip köprü üst yapılarında gaga ile ana kirişin birleştiği noktada köprü enine doğrultusunda rijit diyafram oluşturularak bütün ana kirişlerin gaga yapısına homojen olarak yük aktarabilmesi amaçlanır.



**Şekil 5.2.** Sürme metodunda gaganın hedef mesnede oturmadan önceki durumu için hesap şeması.

Gaga ve üst yapı sistemi sürme işlemi boyunca elastik sınırlarda çalışmalıdır. Bu sistemin çalışma prensibini belirleyen üç adet boyutsuz parametre vardır.

- Gaga sistem boyu açıklık ile mukayese edilir,  $(L_n/L)$
- Köprü üst yapısı birim boy ağırlığıyla gaga yapısı birim boy ağırlığı mukayese edilir,  $(q_n/q)$
- Gaga yapısı eğilme rijitliğiyle köprü üst yapısı eğilme rijitliği mukayese edilir,  $(E_n I_n/EI)$

Burada n indisi gaga yapısını temsil etmektedir. Gaga uzunluğu genellikle  $L_n = (0.40 \sim 0.65)L$  olarak belirlenir. Ardgermeli betonarme köprülerde bu değer 0.65 katsayısı ile belirlenirken çelik köprülerde 0.50 katsayısıyla belirlenebilir. Gaga yapısına ön uzunluk verildikten sonra birim boy ağırlığı için tahmini bir değer üretilir. Birim boy ağırlığı aşağıdaki ifadeye göre belirlenebilir [9].

$$q_n = k L_n^2 \quad (5.1)$$

Birimler metre ve kilo Newton cinsindedir. “k” katsayısı köprü üst yapısının ağırlığı göz önünde bulundurularak  $0.012 \leq k \leq 0.030$  aralığından bir değer olarak seçilir. Köprü üst yapısı ağırlaştıkça k katsayısı da büyük değerler alır. Örneğin demiryolu köprüleri için bu değer 0.030 değerine yakın alınmalıdır. Bu değerler hesaplandıktan sonra aşağıdaki kabullere bağlı kalınarak ön tasarıma esas olabilecek moment ve mesnet reaksiyonu büyüklükleri belirlenebilir.

- Gaga ve köprü üst yapısı sabit birim ağırlık ve rijitliğe sahiptir (trapez şekilli sistemlerde ortalama değerleri kullanmak gerekecektir).
- C mesnedinin gerisinde sonsuz adet L büyüklüklü açıklık vardır.

- Varsa öngerilme kuvveti enkesit ağırlık merkezinden geçmektedir (bilinmeyenlerin sayısını azaltmak için).

$\alpha = \frac{x}{L}$  olup  $0 \leq \alpha < 1 - L_n/L$  aralığında değer alır. Sürme işleminin başlangıcında  $\alpha = 0$  olur ve B mesnedinde moment ifadesi boyutsuz olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{M_B^*}{qL^2} = -\frac{1}{2} \frac{q_n}{q} \left( \frac{L_n}{L} \right)^2 \quad (5.2)$$

Burada yıldız işareti konsol kütlesinden kaynaklı momenti göstermektedir. Sürme işleminin başlamasından sonra ise;

$$\frac{M_B^*}{qL^2} = -\frac{\alpha^2}{2} - \frac{q_n}{q} \frac{L_n}{L} \left( \alpha + \frac{1}{2} \frac{L_n}{L} \right) \quad (5.3)$$

Olarak bulunur. C mesnedinde ise moment değeri;

$$\frac{M_C}{qL^2} = -\frac{k_5 + k_4}{k_3 + k_1 q L_2} - \frac{k_2}{k_3 + k_1} \frac{M_B^*}{qL^2} \quad (5.4)$$

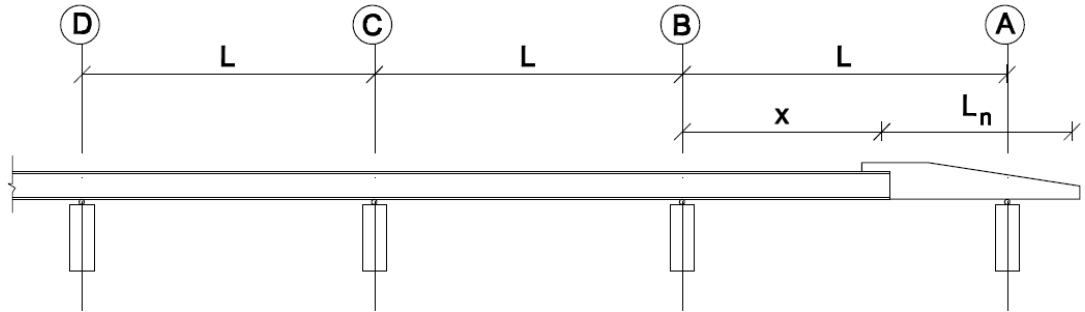
Burada  $k_i$  katsayıları yüke, açıklığa ve rijitliğe bağlı ifadeleri temsil etmektedir.

$$k_1 = \frac{L}{3EI}, \quad k_2 = \frac{L}{6EI}, \quad k_3 = \frac{L}{2\sqrt{3}EI}, \quad k_4 = \frac{qL^3}{24EI} \quad (5.5)$$

B mesnedinde oluşan tepki kuvveti ise;

$$\frac{R_B}{qL} = \frac{M_C}{qL^2} + \frac{(1+\alpha)2}{2} + \frac{q_n}{q} \frac{L_n}{L} \left( 1 + \alpha + \frac{1}{2} \frac{L_n}{L} \right) \quad (5.6)$$

Olarak bulunur. İlk açıklık kapandıktan sonra ikinci açıklık için sürme işlemi başlar. Bu durumda hesap şeması aşağıdaki hali alır.



**Şekil 5.3.** Sürme metodunda gaganın hedef mesnede oturduktan sonraki durumu için hesap şeması.

Yeni durumda A mesnedinde tepki kuvveti,

$$\frac{R_A}{qL} = \frac{\left( \frac{k_5 + k_4}{k_3 + k_1} k_2 - k_4 - k_8 \right) \frac{1}{qL^2} + \frac{k_7}{2} \frac{q_n}{q} \left( \frac{L_n}{L} + \alpha - 1 \right)^2}{k_1 + k_6 - k_2^2 / (k_3 + k_1)} + \frac{\alpha^2}{2} + \frac{q_n}{q} \frac{L_n}{L} \left( \alpha + \frac{1}{2} \frac{L_n}{L} \right) \quad (5.7)$$

Olarak verilebilir. B mesnedindeki moment değeri ise;

$$\frac{M_B}{qL^2} = \frac{M_B^*}{qL^2} + \frac{R_A}{qL} \quad (5.8)$$

Olarak ifade edilir.

$$\begin{aligned} k_5 &= \frac{qL^3}{24\sqrt{3}EI} \\ k_6 &= \frac{L}{3EI} \left[ 1 + \left( \frac{EI}{E_n I_n} - 1 \right) (1 - \alpha)^3 \right] \\ k_7 &= \frac{L}{EI} \left[ \alpha^2 + \left( \frac{1}{n} - \frac{\alpha}{3} \right) + \frac{EI}{E_n I_n} \left( \frac{1}{6} - \frac{\alpha^2}{2} + \frac{\alpha^3}{3} \right) \right] \\ k_8 &= \frac{qL^3}{2EI} \left\{ \left[ \alpha(2 - \alpha) + \frac{q_n}{q} (1 - \alpha)^2 \right] \left( \frac{\alpha^2}{2} + \frac{\alpha^3}{3} \right) - \left( \frac{\alpha^3}{3} + \frac{\alpha^4}{4} \right) \right\} + \\ &+ \frac{qL^3}{24EI} \frac{EI}{E_n I_n} \left[ 4\alpha^2 (1 - \alpha)^3 + \frac{q_n}{q} (4\alpha^5 - 15\alpha^4 + 20\alpha^3 - 10\alpha^2 + 1) \right] \end{aligned} \quad (5.9)$$

şeklinde hesaplanırlar. Gaga sistemi optimum şekilde boyutlandırılmalıdır. Öyle ki yeterli rijitlikte olmaz ise deplasman miktarı artacak, gereğinden fazla rijit tasarlanırsa da kütlelerinin artmasından dolayı ana kirişe fazla yük aktaracak ve yine deplasmanın artmasına sebep olacaktır. Gaga sistemi bazen hidrolik sistemlerle donatılır. Bu sistemler genellikle burnun ucuna monte edilir. Amacı sürme esnasında burnun ucunu yukarıda tutmak ve mesnede gelindiğinde mesnedin üzerine rahatça burnu oturtabilmektir. Ayrıca burnu oluşturan kafes ya da dolu gövdeli kirişler gerek mesnede ulaştıklarında beraber çalışmaları gerekse eğilmeli yanal burkulmaya maruz kalamamaları için yatayda ve düşeyde rijitlik örgüleriyle birbirlerine bağlanırlar.

### 5.1.2. Geçici Ayak Düzenlemesi

Geçici ayaklar, sadece köprü montajı için gerekli olan ayaklardır ve montaj işlemi sonrasında kaldırılırlar. Bu ayaklar sadece montaj yükleri altında tasarlandıklarından esas ayaklardan daha küçük boyutlara sahip olurlar. Esas ayaklar arasındaki büyük açıklığı daha küçük dilimlere bölmektir. Bu sayede sürme işlemi esnasında oluşan konsol kirişin boyu küçültülmüş olur ve böylelikle gerilme ve şekil değiştirmeler önemli ölçüde azaltılır. Aşağıdaki resimde esas ayaklar betonarme iken geçici ayaklar çelik olarak tasarlanmıştır. Geçici ayakların çelik olarak tasarlanması söküm ve yeniden kullanım işlemini mümkün kılar.



Şekil 5.4. Köprü inşaatında kullanılan geçici çelik ayaklar (kırmızı renkte).

### 5.1.3. Asma Germe Düzeneği (Kingpost)

Bu yöntemde köprü kirişi açıklığının iki katından daha fazla bir uzunlukta kıyıda inşa edilir ve daha sonra inşa elden bu bölümün üzerine pandül olarak asma germe sistemine dikmelik yapacak ayaklar monte edilir. Bu ayağın yüksekliği  $L_n$  gaga uzunluğu ve  $L$  geçilen açıklık olmak üzere;

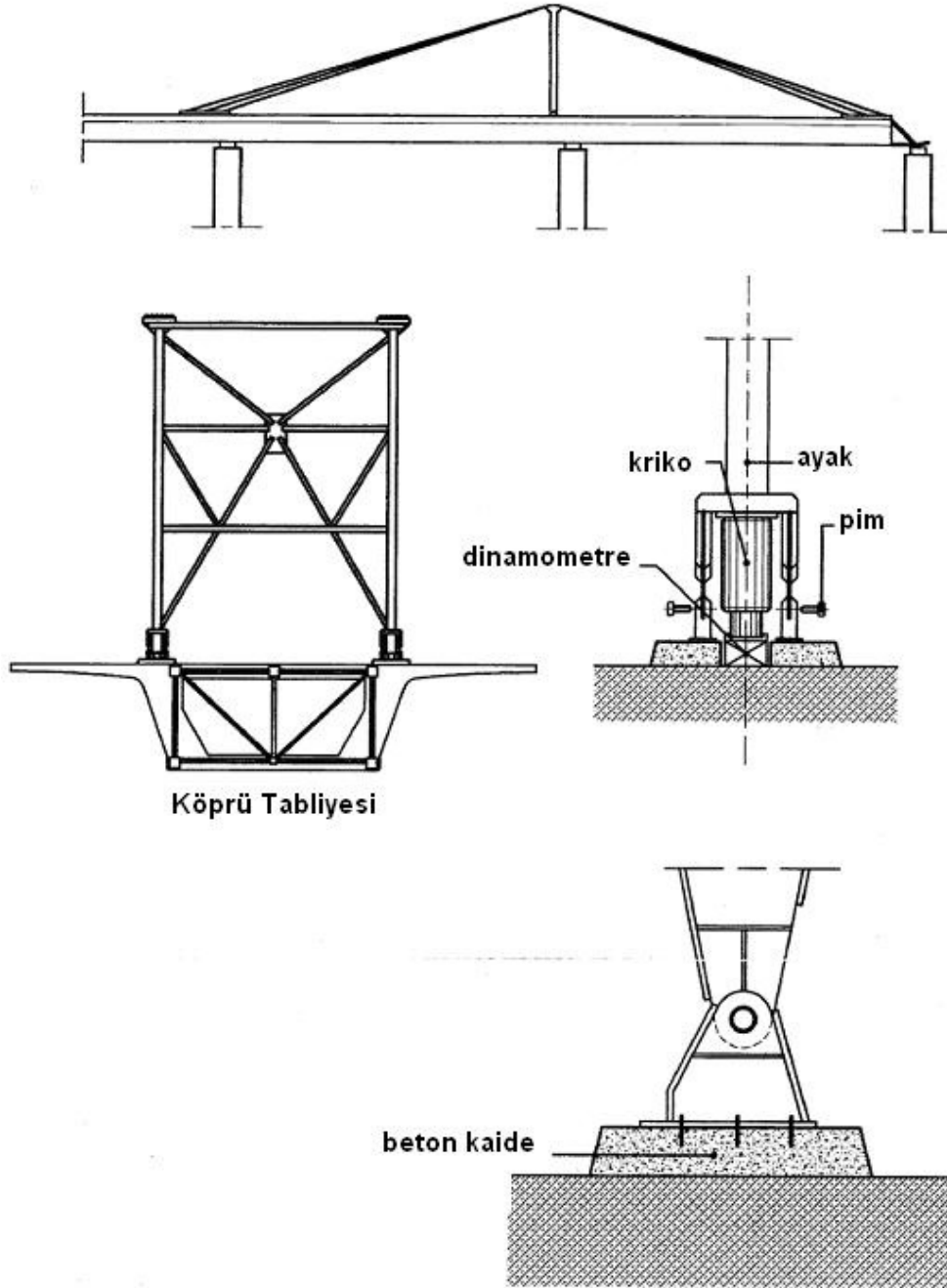
$$0.4 \leq \frac{h_t}{L - L_n} \leq 0.44 \quad (5.10)$$

İfadesi ile belirlenir. Gaga uzunluğu ise;

$$0.40 \leq \frac{L_n}{L} \leq 0.60$$

(5.11)

İfadesi ile belirlenir.



**Şekil 5.5.** Asma germe sistemi (kingpost) elemanları.

Bu sistemde konsol uç sehimini önemli nispette azaltabilmek mümkünse de kendi içinde önemli güçlükleri barındırır. Bunlar;

- Kıyıda büyük uzunlukta köprü üst yapısı inşa edilmelidir ki bu çok büyük bir şantiye alanı gerektirir.

- Kablolar sürekli ve belirli seviyelerde gergin tutulabilmelidir.
- Ayak yapısı köprü tabliyesine oturmaktadır ve bu kısımda gerilme yığılmaları sonucu hasarlar açığa çıkabilmektedir.
- Karmaşık hesap yükü söz konusudur.

## 5.2. Sürme Teknikleri

Köprü üstyapısı, rahatlıkla hareket ettirilebilsin diye kıyıda betonarme plak, kaplama malzemesi, parapet vb. köprü elemanları olmadan iskelet halinde inşa edilir ve sürme işlemine tabi tutulur. Nadiren de olsa kompozit köprüler betonarme plaklarıyla beraber inşa edilir ve ağır bir sistem olarak sürme işlemine tabi tutulurlar. Sürme teknikleri hafif ve ağır üst yapı haline göre farklı yöntemlerle uygulanır. Hafif üst yapı durumunda genellikle köprü kirişlerinin arka kısmına bir kuyruk yapısı düzenlenir. Bu kuyruk yapısı köprü ana kirişiyle aynı enkeside sahip kısa kirişlerden düzenlenir. Kuyruk yapısı rijit ve üzerine gelecek yükleri köprü üst yapısına homojen bir şekilde aktarabilecek şekilde tasarlanır. Konsol uç noktasıyla kuyruk kısmı arasında betonarme bir temel yapısı üzerine çelikten rijit bir iskele inşa edilir. Bu iskele üzerine hidrolik sistem monte edilir. Yüksek mukavemetli halatlar bir ucundan hidrolik sisteme bir ucundan da kuyruk yapısına bağlanırlar. Hidrolik sistem halatlar vasıtasıyla kuyruğu dolayısıyla da köprü üst yapısını kendine çeker. Böylelikle sürme işlemi başlamış olur. Hidrolik sistem çekme mesafesini doldurunca ya da yeni köprü kısmını sisteme dahil etmek gerektiğinde halatlar çözülür. Kuyruk sökülür ve araya yeni köprü kısmı eklenir. Daha sonra kuyruk ve halatlar yeniden monte edilirler. İşlemler sürme işlemi tamamlana kadar ardışık olarak devam eder. Hidrolik sistem genellikle iki adet krikodan oluşur ve her bir kriko 2500 kN'luk itme ve çekme kuvveti üretebilir. Gerekli olan kuvvet sistemde açığa çıkan sürtünme kuvvetlerine ve sistem ağırlığına bağlı olarak hesaplanır. Ağır üst yapı durumunda ise sürtünme kuvvetine dayalı düzenekler kullanılır. Köprü kirişleri altına yerleştirilen hidrolik kriko köprü üst yapısını mesnet üzerinden 2~3mm yukarıya kaldırır. Düşey olarak çalışan bu kriko alt yüzeyinde kaygan bir zemine oturtulmuştur. Üst yüzeyi ise köprü kirişi alt yüzeyine kaymayacak şekilde temas etmektedir. Yatayda çalışan bir başka hidrolik mekanizma ise köprü üst yapısını ileri doğru ittirir. Yatayda çalışan hidrolik sistem limit duruma gelince köprü tekrar aşağı indirilerek mesnede oturtulur. Yatay çalışan hidrolik sistem tekrar geri çekilir. İşlemler ardışık olarak tekrarlanarak sürme işlemi tamamlanır. Sürme hızı 1m/dak. civarındadır.



**Şekil 5.6.** Sürme metodunda kullanılan kuyruk yapısı ve yük aktarma halatları.

### **5.3. Sürme Mesnetleri**

Bu mesnetler köprü üst yapısıyla sürme platformu arasındaki sürtünme kuvvetlerini azaltacak şekilde tasarlanmışlardır. Görevleri bununla sınırlı değildir. Sürme esnasında çok büyük bir konsolluk durumu oluşmaktadır. Konsol kiriş mesnet reaksiyonu ise taşıyıcı sistemin şekline göre 1000~5000 kN değerlerine ulaşabilmektedir. Bu büyük mesnet reaksiyon kuvvetlerinin köprü kirişinde plastik şekil değişimine sebep olmaması gerekir. Bunun için de bu büyük kuvvetlerin olabildiğince geniş bir alana yayılması gerekir. Sürme mesnetleri bu şartı yerine getirebilmelidir.



**Şekil 5.7.** Sürme metodunda kullanılan tek silindirli mesnet.



**Şekil 5.8.** Sürme metodunda kullanılan çok sayıda küçük silindirden oluşan mesnet.

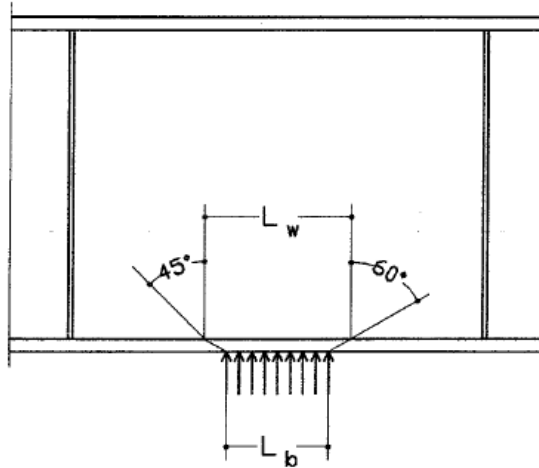
#### **5.4. Sürme Esnasında Köprü Kirişinde Meydana Gelebilen Yerel Ve Genel Stabilite Problemleri**

Eğilen yapı elemanlarının farklı kısımlarının yerel olarak kabarması yerel şekil değiştirme olarak isimlendirilir. Bu şekil değiştirme eleman enkesinde normal ve

kayma gerilmelerinin etkisinden oluşur. Çubuk açıklığının orta kısımlarına doğru enkesit başlıklarında normal gerilmenin etkili olduğu, gövde de kayma gerilmelerinin ya da kayma ve normal gerilmelerin birlikte etkili olduğu bilinmektedir. Mesnet kısımlarında ise gövdede kayma gerilmelerinin ya da her iki gerilme halinin birlikte etkili olduğu bilinmektedir [2].

Çelik kiriş tasarımında yerel burkulmaların oluşmaması için tedbirler alınır. Kiriş gövde ve başlıklarının normal ve kayma gerilmeleri altında buruşmaması için düşey ve yatay berkitme levhaları kullanılır. Tekil yüklerin etkideği noktalarda daha sık berkitme levhası kullanmak gerekebilir.

Sürme esnasında köprü kirişi hareketli olduğu için mesnet reaksiyonları kirişin bütün noktalarında bulunmuş olur. Kirişin tamamı berkitme levhalarıyla donatılmayacağı düşünülürse farklı bir tasarım mantığıyla hareket edilmelidir. Bu durumda kiriş enkesit ölçüleri öyle belirlenmelidir ki berkitme levhalarının olmadığı kısımlarda da mesnet reaksiyonunu güvenle tolere edebilsin. BS 5400 standardına göre  $L_b$  uzunluğu boyunca yayılı düzlem yerel yük etkisinde açığa çıkan düşey basınç gerilmesi MPa biriminde aşağıdaki ifadeyle verilen eşitsizliğe uygun olmalıdır. Bu yerel yükün kiriş başlığında  $60^\circ$  ve kiriş gövdesinde  $45^\circ$ 'lik bir açıyla yayıldığı kabul edilir.



**Şekil 5.9.**  $L_b$  uzunluğu boyunca mesnet reaksiyonu ve kiriş başlık ve gövdesinde gerilme dağılımı hesap şeması.

$$\sigma_z \leq 3f_y \frac{t_w}{\sqrt{L_w h_w}} \sqrt{\frac{355}{f_y}} \quad (5.12)$$

Burada  $f_y$  kiriş malzemesi akma dayanımı (MPa olarak),  $t_w$  ve  $h_w$  sırasıyla kiriş gövdesinin kalınlık ve derinliğidir.

Berkitme levhası bulunmayan kiriş kısımlarında yerel yükleme durumunda üç farklı göçme modu söz konusudur. Bu göçme halleri;



**Şekil 5.10.** Köprü kirişinde mesnet reaksiyonlarının olduğu noktalarda oluşabilen yerel stabilite problemleri.

- Yerel yükün uygulandığı alt başlığın hemen üstünden gövdenin plastik şekil değiştirmeye başlaması akabinde alt başlığın akması
- Yerel yükün uygulandığı noktadan itibaren kalınlığının 50 katı boyundaki bir gövde kısmının burkulması akabinde gövdede ve kiriş alt başlığında plastik şekil değiştirmelerin olması
- Normal ve kayma gerilmeler etkisinde kiriş gövdesinin genel burkulması

olarak açıklanabilir. EC3 standardına göre I ve U enkesitli kirişlerin yerel akma dayanımı  $R_y$  ve kiriş alt başlık normal gerilmesi  $\sigma_x$  olmak üzere;

$$R_y = (L_b + L_y)t_w \frac{f_y}{\gamma_{M1}}, \quad L_y = 2t_b \sqrt{\frac{b_b}{t_w}} \sqrt{1 - (1.1 \frac{\sigma_x}{f_y})^2} \quad (5.13)$$

olarak verilmektedir. Ayrıca kiriş başlık genişliğinin kalınlığına oranı da  $b_b / t_b \leq 25$  şartını sağlamalıdır. Aynı standarda göre kiriş gövdesinin yerel burkulma dayanımı  $R_b$  olmak üzere;

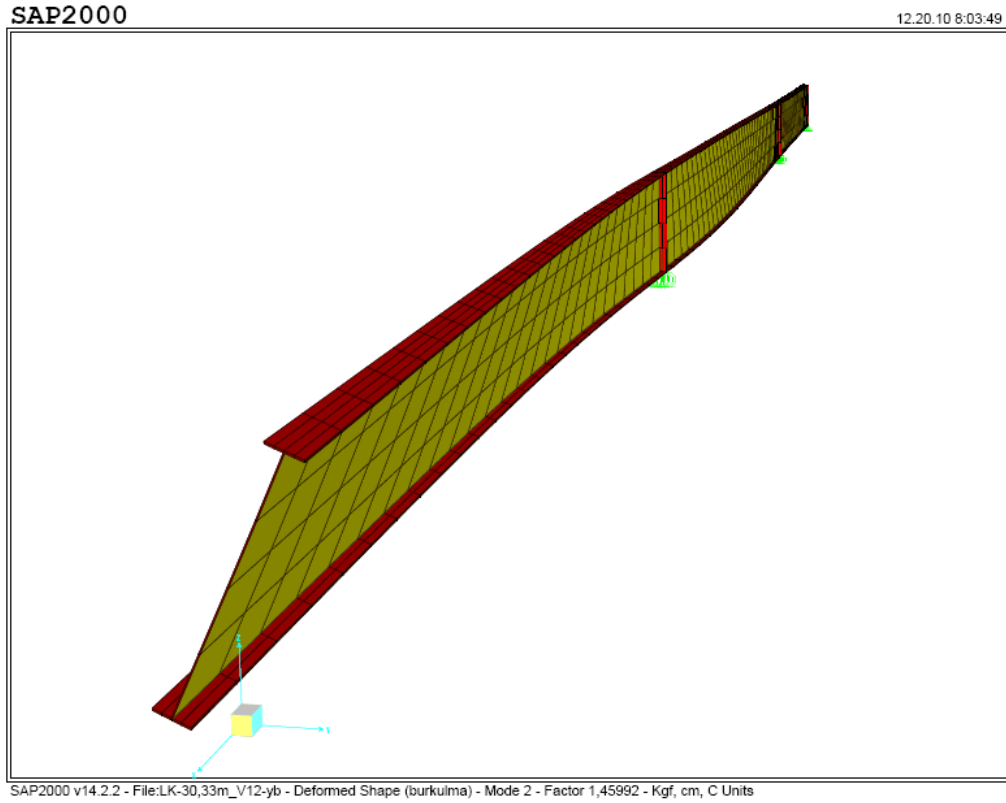
$$R_b = 0.5t_w^2 \sqrt{E_s f_y} \left[ \frac{\sqrt{t_b/t_w} + 3(t_w/t_b)(L_b/h_w)}{\gamma_{M1}} \right] \quad (5.14)$$

olarak verilmektedir. Teorik olarak bulunan mesnet reaksiyonu %30 artırılarak kesidin taşıma gücün  $R_R$  'yi aşıp aşmadığı kontrol edilmelidir.

$$R_D \cong 1.3R_{\max} \quad (5.15)$$

$$\gamma_L R_D \leq R_R$$

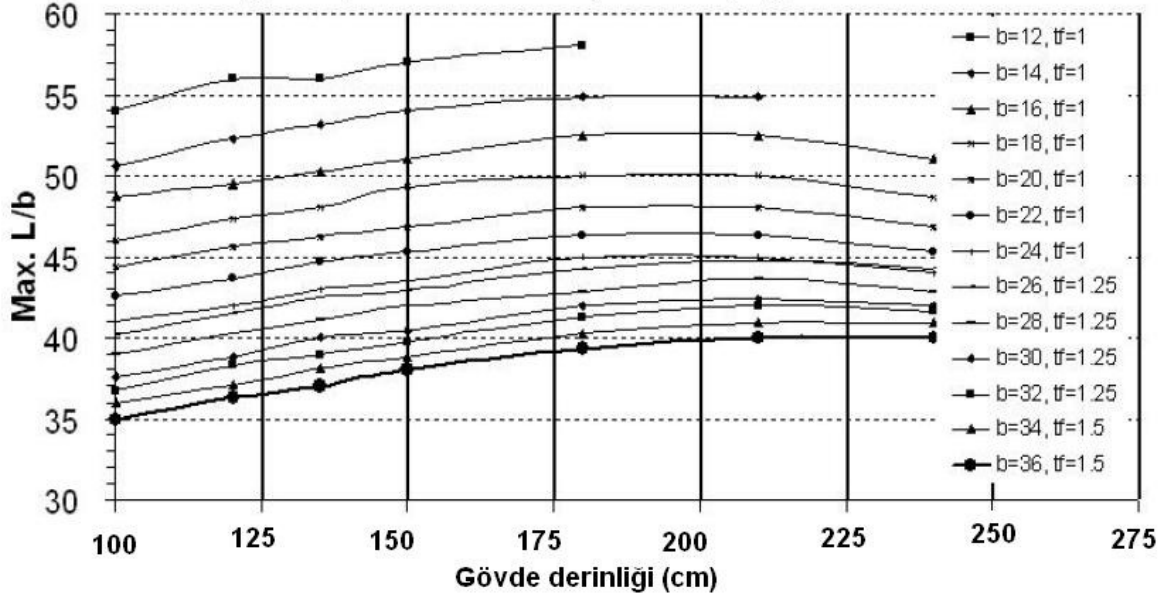
olmalıdır. Burada  $\gamma_{M1} = 1.10$  ve  $\gamma_L$ , ilgili standarda ait yük katsayısıdır [9].



**Şekil 5.11.** Kendi ağırlığı altında elastik burkulma analizi yapılmış köprü kirişine ait 2. burkulma modu.

Sürme esnasında açığa çıkabilecek bir diğer stabilite problemi de eğilmeli yanal burkulmadır. Bu tez kapsamında analizi yapılan köprü enkesidini tek başına sürme işlemine tabi tuttuğumuzda rüzgârsız ve titreşimsiz ortamda kendi ağırlığı altında ulaşabileceği azami konsol boyu 30m olmaktadır. Bu değer üzerinde konsol uzunluklarında köprü kirişinde eğilmeli yanal burkulma meydana gelmektedir. Literatürde bu konuda yapılan çalışmalarda sürme işleminde köprü kirişlerinin mutlaka yanal doğrultularda desteklenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Desteklenmemiş kiriş uzunluğunun basınç başlığının genişliğine olan oranı  $L/b$  belli değerleri aşmamalıdır. Yapılan çalışmalarda konsol kirişin eğilmeli yanal burkulmasını önlemek için çekmeye

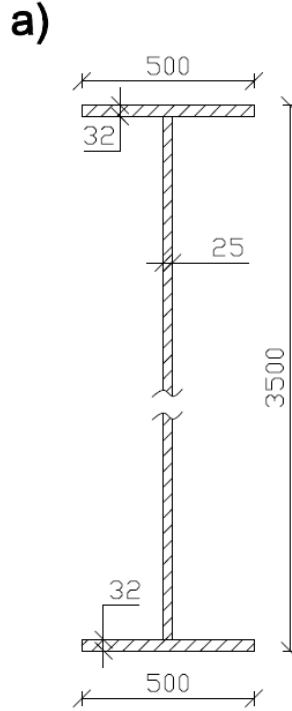
çalışan kiriş üst başlıklarının stabilite bağları ile bağlanması etkili sonuç vermektedir [30].



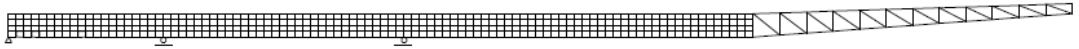
Şekil 5.12. Köprü kirişinin eğilmeli yanal burkulmaya uğramaması için gerekli L/b oranlarının gösterildiği grafik.

### 5.5. İnceleme Konusu Olan Köprü Kirişi Ve Gaga Sistemi

Şekil 5.13'te gösterilen kiriş enkesidi ve gaga yapısı SAP2000v14.2 programında analitik olarak modellenmiştir. Modeller iki farklı şekilde oluşturulmuş ve ÇM ve LM olarak adlandırılmışlardır. Birincisinde (ÇM) köprü kirişi ve gaga yapısı çubuk eleman olarak modellenmiştir. Gaga yapısı köprü kirişine sonsuz rijit bir elemanla düğümlenmiştir. İkinci kısım modellerde (LM) ise köprü kirişi levhalarla, gaga yapısı da çubuk elemanlarla modellenmiştir. Levhalarla kurulan modellerden, köprü kirişinin gövde başlık gerilmeleri ile konsol uç çökmeleri elde edilmiştir. ÇM modellerinin kurulma sebebi mesnet yerlerinde tek reaksiyon kuvveti elde edebilmektir. Ele alınan örnekte sürme açıklığı 90 metredir. Sürme işlemine konsolsuz durumdan başlanmış ve yaklaşık 1.10 metrelik ilerlemeler halinde devam edilmiştir. Her adımda ilerlemede mesnet reaksiyonları, konsol uç deplasmanı ve köprü kirişinde açığa çıkan gerilmeler yazdırılmıştır. Enkesit ölçüleri 5 adet 90m açıklığı olan gerçek bir köprü referans alınarak seçilmiştir.



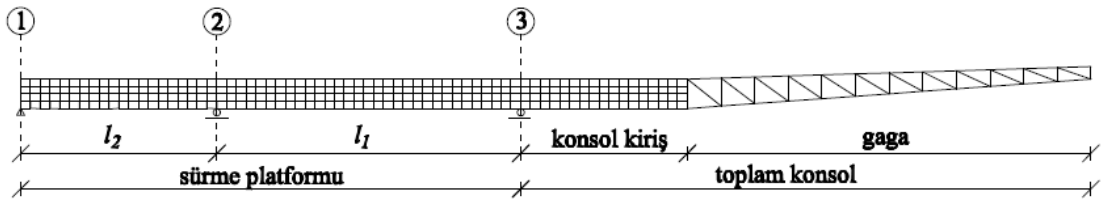
b)



Şekil 5.13. a) Köprü kirişi enkesidi, b) Köprü kirişi ve gaga yapısı.

Mevcut çalışmada sürme platformu üzerinde 3 mesnet olması kabulü yapılmıştır. Bu mesnetlerin arasında kalan iki açıklık uzunluğunun birbirlerine oranının ne olması gerektiği ele alınmıştır. Çünkü orta mesnedin konumu mesnet reaksiyonlarının büyüklüğünü ve konsol uç çökmesinin büyüklüğünü belirlemektedir.

İlk olarak çeşitli  $l_1/l_2$  oranları için azami toplam konsol uzunluğu için hesaplar yapılmış ve mesnet reaksiyonlarının büyüklüğü belirlenmiştir. Daha sonra elde edilen veriler incelenerek orta mesnedin yerini tayin edecek olan  $l_1/l_2$  oranına karar verilmiştir.



Şekil 5.14. Sürme platformu üzerindeki ve konsolluğun oluştuğu kısımdaki açıklıkların isimleri.

### 5.6. İnceleme Konusu Olan Köprü Kirişinin Yerel Yükler Altındaki Dayanımı

Kiriş malzemesinin Fe37 çeliği olduğu varsayılmıştır. Çelik elastisite modülü 210.000MPa ve sürme mesnedinin genişliği 360mm olarak hesaplara katılmıştır.

Kiriş gövdesinde izin verilen maksimum düşey gerilme  $\sigma_z = 3f_y \frac{t_w}{\sqrt{L_w h_w}} \sqrt{\frac{355}{f_y}}$ ,

$$\sigma_z = 3.240 \frac{25}{\sqrt{400.3436}} \sqrt{\frac{355}{240}}$$

$$\sigma_z = 18,67 \text{ MPa}$$

Yerel akma dayanımı  $R_y = (L_b + L_y)t_w \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$ ,

$$L_y = 2t_b \sqrt{\frac{b_b}{t_w}} \sqrt{1 - \left(1.1 \frac{\sigma_x}{f_y}\right)^2} = 64 \sqrt{\frac{500}{25}} \sqrt{1 - \left(1.1 \frac{141}{240}\right)^2}$$

$$L_y = 218,42 \text{ mm}$$

$$R_y = (360 + 218,42) 25 \frac{240}{1,1} = 3,155 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$R_y = 3155 \text{ kN}$$

Yerel burkulma dayanımı  $R_b = 0.5t_w^2 \sqrt{E_s f_y} \left[ \frac{\sqrt{t_b/t_w} + 3(t_w/t_b)(L_b/h_w)}{\gamma_{M1}} \right]$ ;

$$R_b = 0,5.25^2 \sqrt{210000.240} \left[ \frac{\sqrt{32/25} + 3(25/32)(360/3436)}{1,1} \right] = 2,777 \cdot 10^6 \text{ N}$$

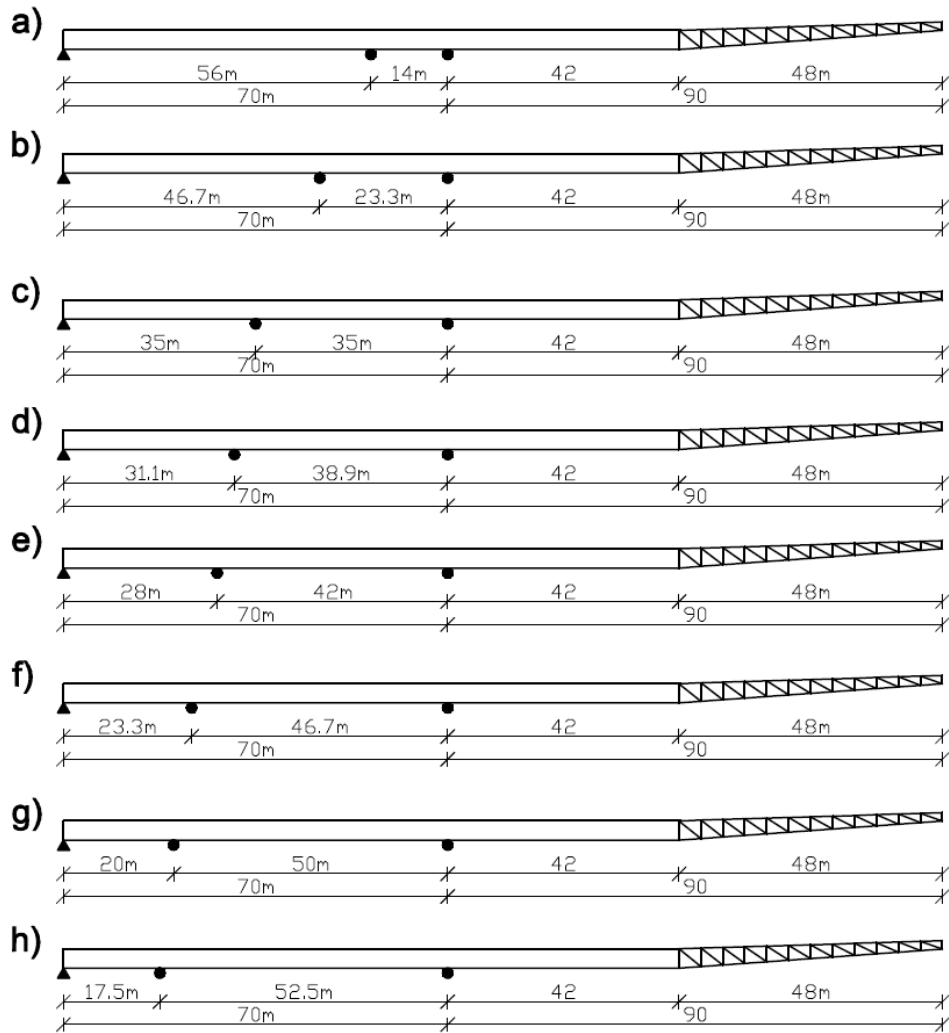
$$R_b = 2777 \text{ kN}$$

Kirişin mesnet reaksiyonları ilgili emniyet katsayıları ile çarpılarak izin verilen bu değerlerle mukayese edilir.

### 5.7. Sürme Platformu Üzerinde Mesnet Yerinin Seçimine Ait Hesaplar

Burada mesnet yerinin seçimine karar verilirken açığa çıkan mesnet reaksiyonlarının büyüklüğünün 5. bölüm 6. kısımda yapılan hesaplarda bulunan köprü kirişine ait yerel akma ve burkulma dayanımlarının aşılmamasına dikkat edilmiştir. Bununla beraber

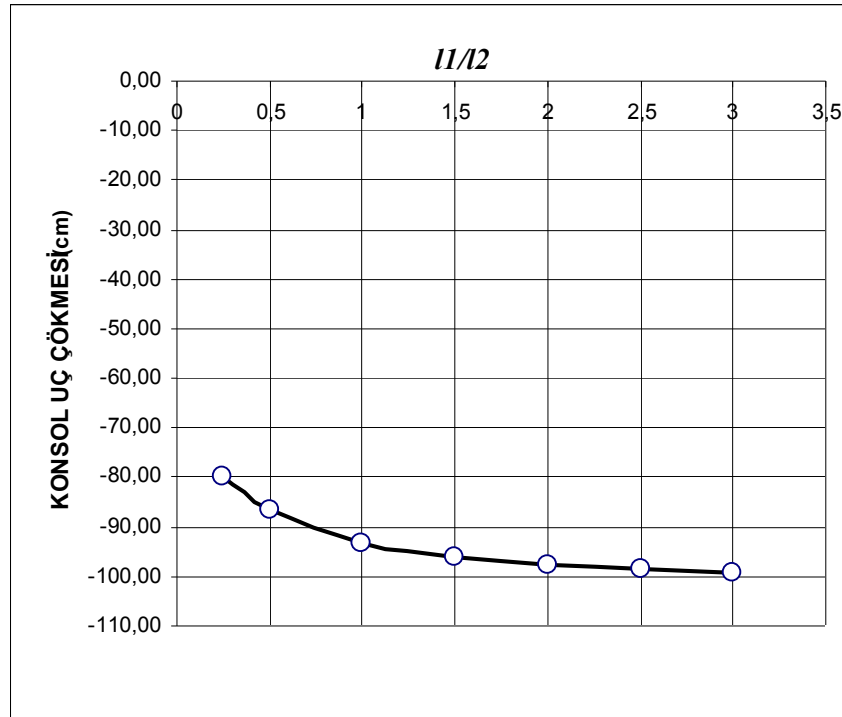
kiriş gövdesinde açığa çıkan düşey gerime bileşeninin de göz önüne alınması gerekmektedir. Hesaplarda  $l_1/l_2$  oranına [0,25~3,00] aralığında değerler verilerek kiriş zati ağırlığı altında SAP2000v14.2 programında hesaplar yapılmıştır. Köprü kirişi ve gaga yapısı çubuk elemanlarla modellenmiştir.  $l_1/l_2$  küçüldükçe konsol uç çökmesi azalmakta fakat 3 numaralı mesnet reaksiyonu artmaktadır. Mesnet reaksiyonunun artması kiriş üzerinde yerel stabilite kaybı riskini artırmaktadır. Gerek konsol uç çökmesinin artması gerekse mesnet reaksiyonunun artması sürme işlemi için olumsuz durumlardır. Bununla beraber negatif işaretli reaksiyon kuvvetine sahip R2 mesnedinde ise hesap kabullerinin geçerli olabilmesi için balast yükü tatbiki gereklidir.



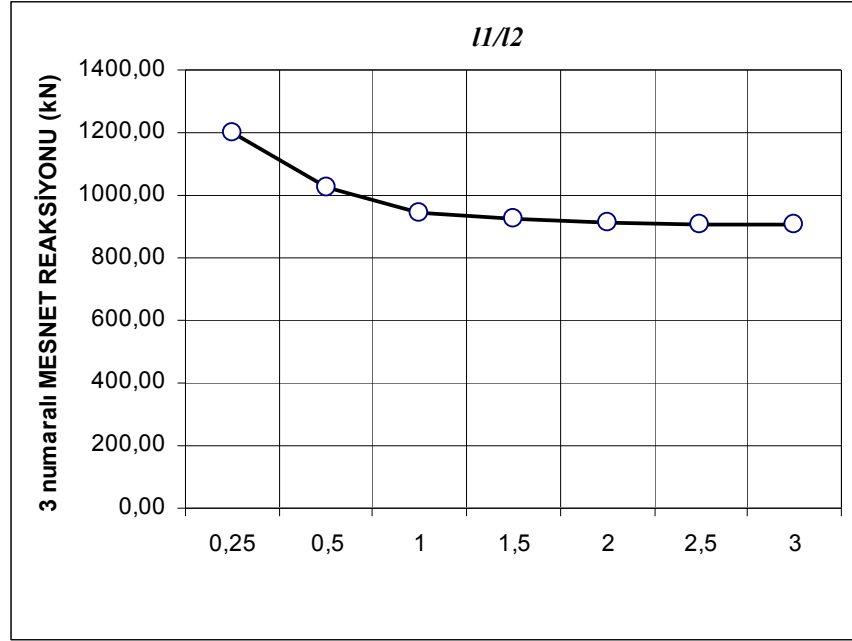
Şekil 5.15. Sürme platformu üzerinde 2 numaralı mesnedin yeri değiştirilerek yapılan hesaplara ait hesap şemaları.

**Tablo 5.1.**  $l_1/l_2$  oranlarına karşılık gelen mesnet reaksiyonları ve konsol uç çökmeleri.

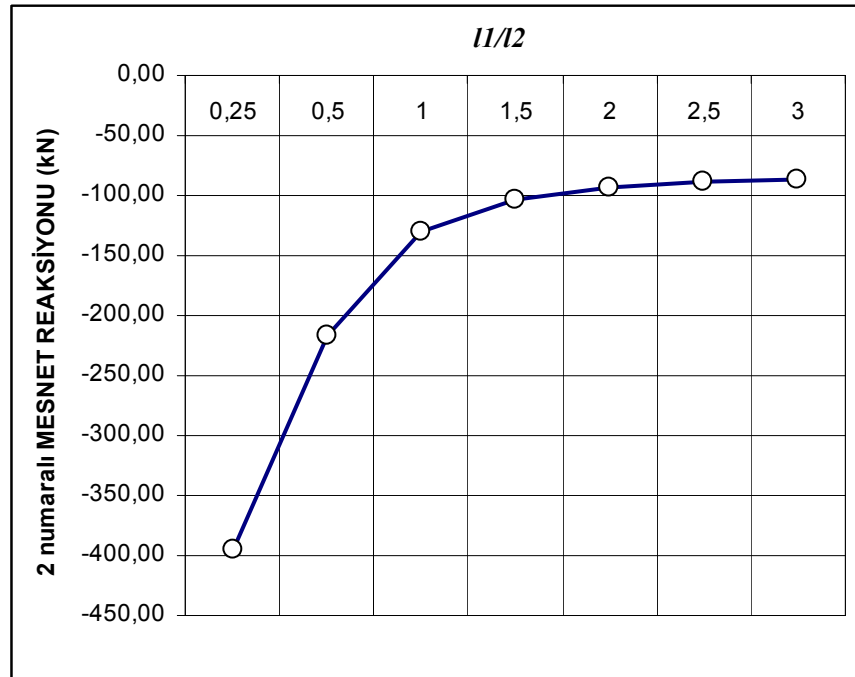
$l_1/l_2$	R1	R2	R3	$\Delta_{U\check{C}}$ (cm)
	kN			
0,25	205,74	-395,60	1198,47	-79,75
0,5	198,84	-216,65	1026,42	-86,74
1	191,44	-129,64	946,81	-93,30
1,5	188,73	-103,51	923,39	-96,17
2	188,40	-92,67	912,88	-97,69
2,5	189,44	-87,94	907,12	-98,60
3	191,32	-86,27	903,56	-99,19

**Şekil 5.16.** Konsol uç çökmesi ile  $l_1/l_2$  oranı arasındaki ilişki.

Bu balast yükü 2 numaralı mesnette kirişin yukarı kalkmasını engelleyecektir. Balast yükü tatbik noktasına bağlı olarak 2 numaralı mesnet reaksiyonuna eşit ya da daha büyük olmalıdır.  $l_1/l_2$  değeri küçüldükçe uygulanması gerekli olan balast yükü değeri de büyümektedir. Bu yükün artması sürme işlemini de güçleştirmektedir. Bu çalışmada  $l_1/l_2=1,50$  değeri seçilerek konsol uç sehimi ve mesnet reaksiyonlarının büyüklüğü bakımından optimum sonuç elde edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 5.17. 3 numaralı mesnede ait reaksiyon kuvveti ile  $l_1/l_2$  oranı arasındaki ilişki.

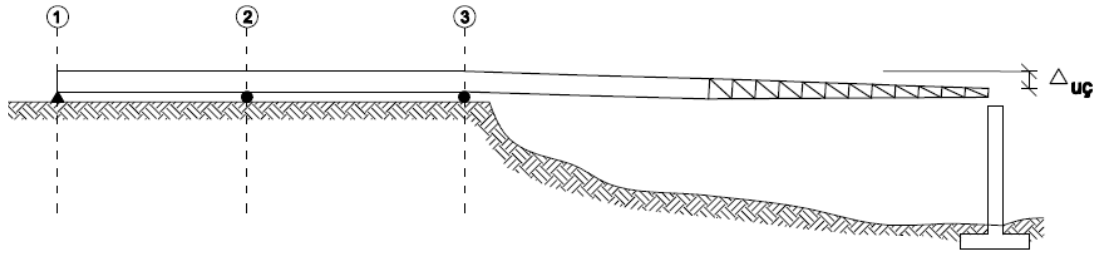


Şekil 5.18. 2 numaralı mesnede ait reaksiyon kuvveti ile  $l_1/l_2$  oranı arasındaki ilişki.

### 5.8. Köprü Kirişi Üst Başlığı Gerilmesi İle Gaga Ucundaki Çökme Miktarı Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi

Sürme metodu ile köprü inşaatı kendi içinde önemli riskler barındırmaktadır. Bu risklerin doğurabileceği olumsuzluklara karşı tedbir almak can ve mal emniyeti açısından önemlidir. Ortaya çıkabilecek temel aksaklıklar şöyle sıralanabilir;

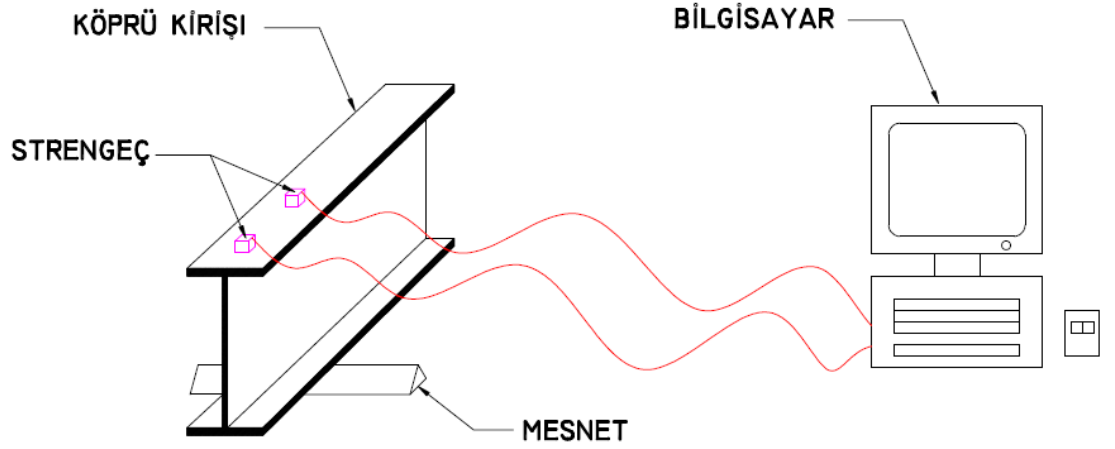
- Gaga yapısı ucundaki  $\Delta_{uc}$  çökmesinin hesaplarda öngörülenden büyük olması ve köprü kirişinin hedef mesnede oturtulamaması
- Köprü kirişinde yerel ve genel stabilite kayıpları sonucu montaj esnasında göçme durumu oluşması



Şekil 5.19. Gaga ucuna ait  $\Delta_{uc}$  çökmesi.

Her iki problemin de pratikte sorun olmaktan çıkabilmesi için gerek analitik hesaplamalar aşamasında gerek uygulama aşamasında dikkatli davranmak ve bu ikisi arasında koordinasyonu sağlamak gereklidir. Sürme metoduyla yapılan köprü inşaatında analitik hesaplamalar doğru olsa dahi uygulama sahasındaki hatalar da sonucu olumsuz etkilemektedir. Örneğin San Cristobal köprüsü sürme metodu ile inşa edilirken hesap modelindeki eksiklikler ve kötü işçilik sonucu sürme esnasında yıkılmıştır [19].

Bu çalışmada sürme esnasında şantiyede 3 numaralı mesnet üzerinde kiriş üst başlığında açığa çıkan gerilmelerin strengeler ile ölçülmesi ve buradan da gaga ucundaki çökme miktarının tahmin edilebilmesi amaçlanmıştır.

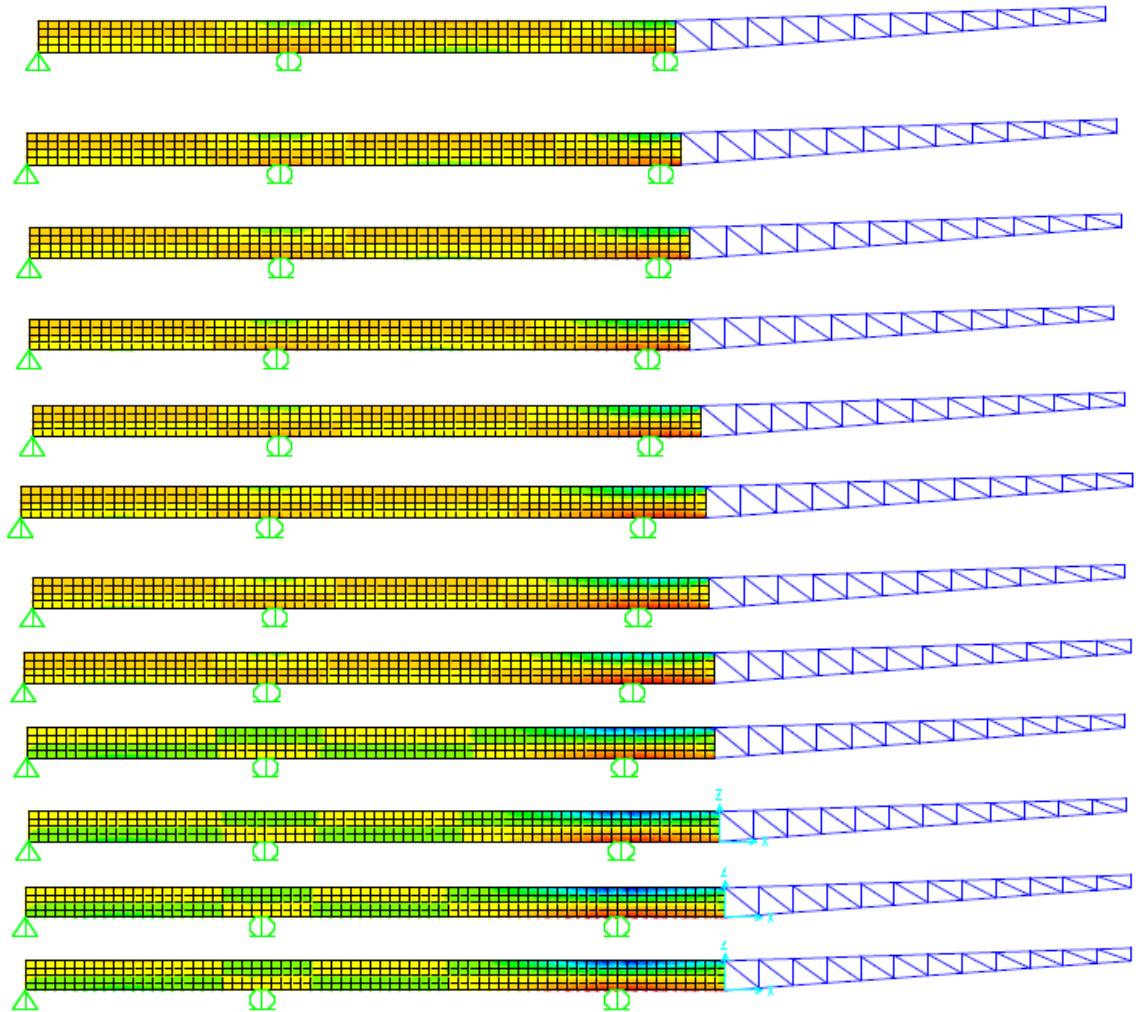


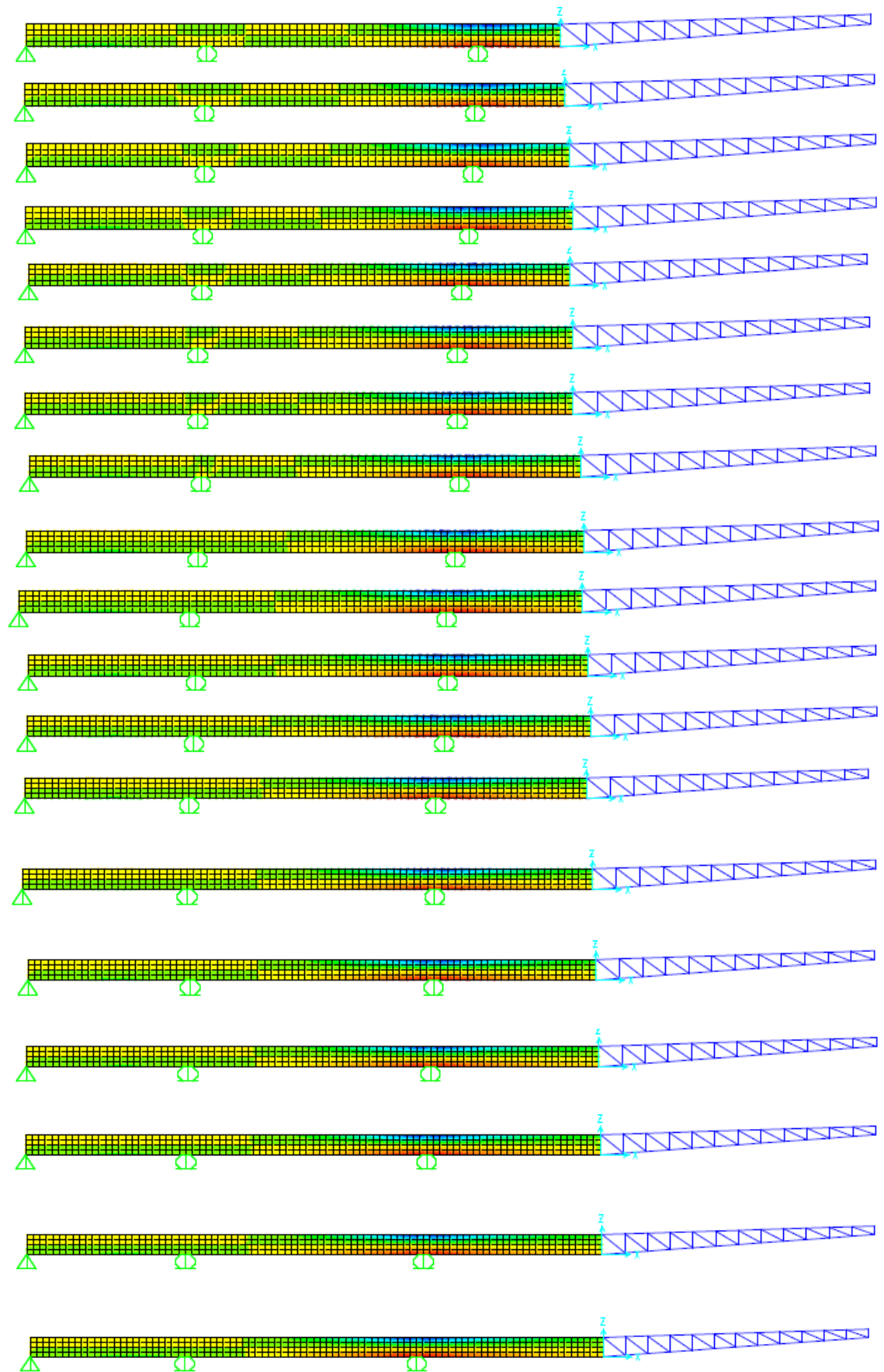
**Şekil 5.20.** Strengeler ile şantiyede kiriş üst başlığında ölçüm yapılması.

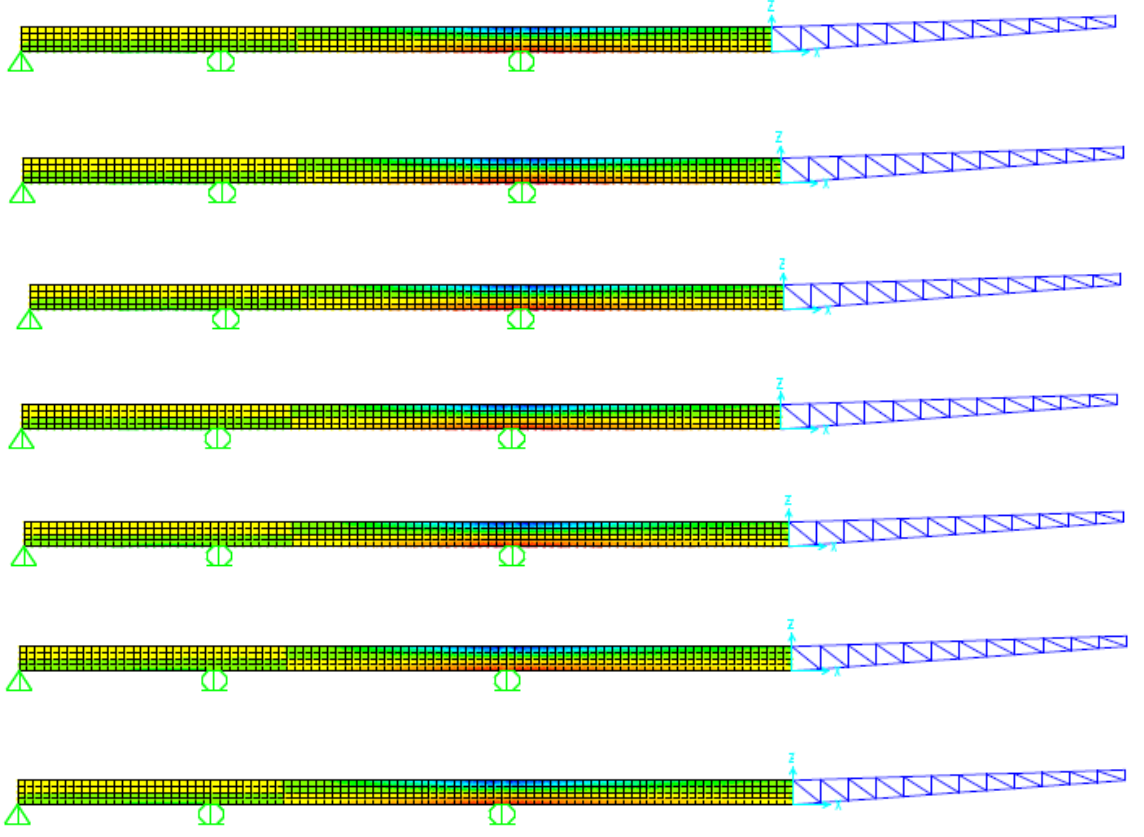
Sürme işleminin başarıya ulaşabilmesi için gaga ucunun hedef mesnede oturması şarttır. Dolayısıyla gaga ucundaki çökme değerinin hesap aşamasında öngörülen değeri aşmaması gerekir. Bununla beraber sürme esnasında gaga ucunun yerine oturup oturmayacağını görebilmek için açıklık boyunca sürme işleminin tamamlanmasını beklemek çok da akılcı değildir. Çünkü olumsuzluğun tespiti ve telafisi için geç kalınmış olacaktır. Sürme işlemi esnasında kiriş başlığındaki gerilmelerden yola çıkarak hesapladığımız gaga ucundaki çökme değerine dayalı olarak sürme işleminin gidişatının olumlu mu yoksa olumsuz mu olacağına karar vermek mümkün gözükmemektedir. Böylelikle olumsuzluk anında sürme işlemi durdurulacak ve köprü kirişi geri çekilecektir. Aksaklığın sebebi araştırılacak, giderilecek ve sürme işlemine devam edilecektir. SAP2000v14.2 programıyla köprü kirişinin sürülmesi işlemi ardışık hesaplarla modellenmiş ve gerilme ve deplasmanlar yazdırılmıştır. Aşağıda sürme işleminin ilk anından itibaren köprü kirişinde açığa çıkan gerilme konturları gözükmemektedir. Şekil 5.22’de gösterilen kontur çizimlerinde koyu mavi renk St37 çeliği emniyet gerilmesine yakın bir gerilme değerini temsil etmektedir. Kırmızı renk ise basınç bölgesini temsil etmekte olup bu gerilmelerin mutlak değeri koyu mavi rengin temsil ettiği değere eşittir. Şekil 5.22 gaganın iç kuvvetlerine dair bilgi içermemektedir.



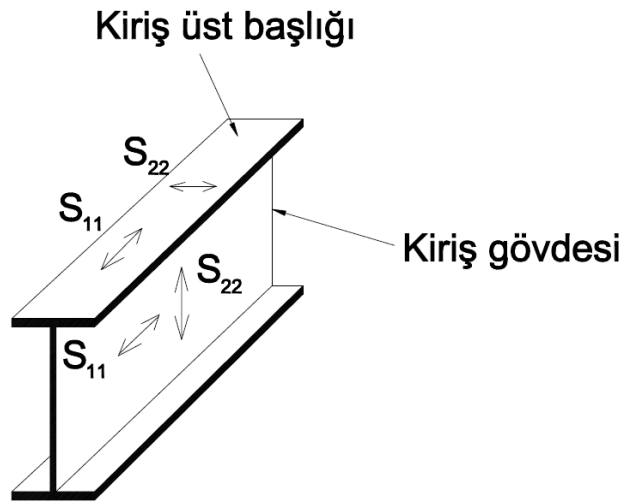
Şekil 5.21. Sürme esnasında göçmüş San Cristobal kompozit enkesitli çelik köprüsü.







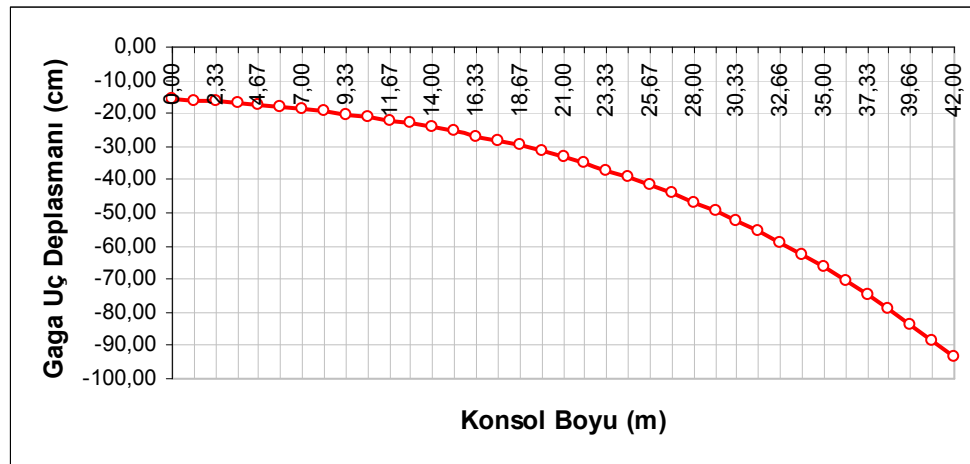
**Şekil 5.22.** Sürme esnasında köprü kirişinde açığa çıkan gerilmelere ait kontur çizimleri.

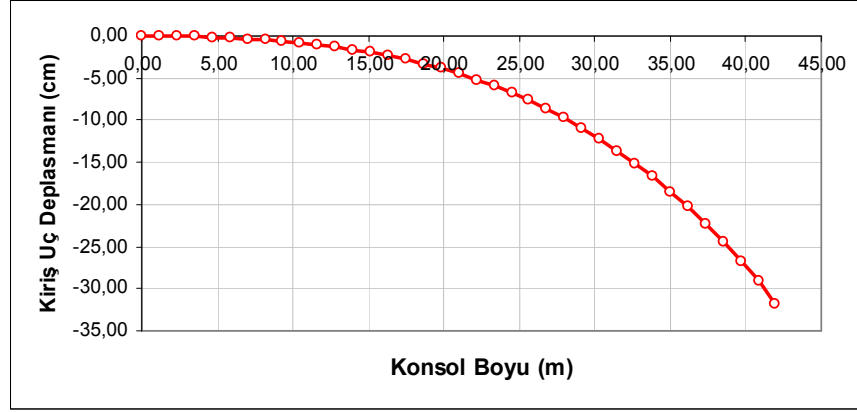


**Şekil 5.23.** Tablo 5.2’de gösterilen gerilmelerin kiriş üzerindeki doğrultuları.

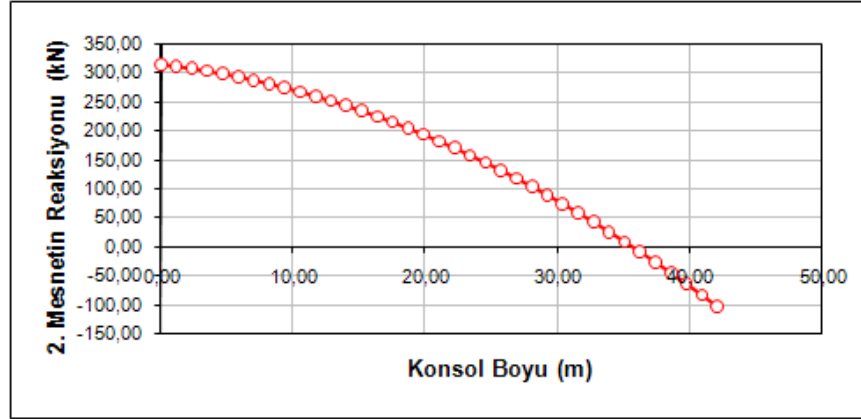
**Tablo 5.2.** Sürme esnasında açığa çıkan gerilme, deplasman ve reaksiyon kuvvetleri.

Konsol Boyu (m)	Mesnet Düşey Reaksiyonları (kN)			Sehim Değerleri (cm)		3 Numaralı Mesnette Gerilme Değerleri (Mpa)			
	1. Mesnet	2. Mesnet	3. Mesnet	Kiriş Ucunda(↓)	Gaga Ucunda(↓)	Üst Başlıkta S11(+)	Üst Başlıkta S22(+)	Gövdede S11(-)	Gövdede S22(-)
0,00	83,01	315,73	255,44	0,00	-15,70	25,69	3,00	-25,25	-14,52
1,17	83,86	312,36	267,80	-0,02	-16,13	17,70	1,97	-15,80	-12,88
2,33	84,83	308,52	280,52	-0,05	-16,55	18,78	1,96	-16,79	-10,78
3,50	85,91	304,21	293,59	-0,10	-17,03	20,93	2,93	-23,51	-13,34
4,67	87,12	299,43	307,01	-0,16	-17,57	20,32	2,42	-21,20	-12,75
5,83	88,45	294,17	320,79	-0,24	-18,16	21,34	1,64	-24,78	-14,17
7,00	89,89	288,44	334,92	-0,35	-18,81	22,21	2,25	-24,96	-14,36
8,17	91,46	282,23	349,41	-0,48	-19,53	23,31	2,08	-27,44	-15,42
9,33	93,14	275,55	364,25	-0,64	-20,32	24,98	2,39	-28,67	-15,93
10,50	94,94	268,40	379,44	-0,83	-21,19	26,29	2,46	-30,91	-16,89
11,67	96,87	260,78	394,99	-1,05	-22,13	28,39	2,66	-32,69	-17,58
12,83	98,91	252,68	410,89	-1,32	-23,16	30,16	2,83	-34,99	-18,53
14,00	101,07	244,11	427,14	-1,62	-24,28	32,33	3,02	-37,13	-19,33
15,17	103,35	235,07	443,75	-1,97	-25,50	34,45	3,23	-39,60	-20,31
16,33	105,75	225,55	460,71	-2,36	-26,82	36,79	3,43	-42,04	-21,21
17,50	108,27	215,56	478,03	-2,80	-28,24	39,19	3,66	-44,71	-22,23
18,67	110,91	205,10	495,70	-3,30	-29,77	41,73	3,88	-47,43	-23,21
19,83	113,66	194,16	513,72	-3,86	-31,42	44,39	4,13	-50,33	-24,28
21,00	116,54	182,75	532,10	-4,48	-33,19	47,14	4,37	-53,30	-25,33
22,17	119,54	170,87	550,83	-5,17	-35,09	50,05	4,64	-56,44	-26,47
23,33	122,65	158,52	569,92	-5,93	-37,13	53,03	4,91	-59,67	-27,59
24,50	125,89	145,69	589,36	-6,77	-39,31	56,18	5,21	-63,04	-28,78
25,67	129,24	132,39	609,15	-7,68	-41,63	59,40	5,50	-66,52	-29,98
26,83	132,72	118,61	629,29	-8,68	-44,11	62,78	5,82	-70,14	-31,23
28,00	136,31	104,36	649,79	-9,77	-46,75	66,24	6,13	-73,86	-32,49
29,17	140,02	89,64	670,65	-10,96	-49,55	69,86	6,47	-77,73	-33,81
30,33	143,85	74,45	691,86	-12,24	-52,53	73,56	6,81	-81,70	-35,14
31,50	147,80	58,78	713,42	-13,63	-55,69	77,40	7,17	-85,81	-36,51
32,66	151,83	42,64	735,34	-15,13	-59,04	81,34	7,53	-90,03	-37,91
33,83	155,96	26,03	757,60	-16,74	-62,58	85,42	7,92	-94,38	-39,35
35,00	160,37	8,94	780,23	-18,48	-66,33	89,60	8,32	-98,85	-40,81
36,16	164,80	-8,62	803,20	-20,34	-70,28	93,92	8,72	-103,44	-42,32
37,33	169,35	-26,65	826,53	-22,34	-74,46	98,33	9,13	-108,16	-43,85
38,50	174,01	-45,15	850,22	-24,47	-78,86	102,88	9,56	-113,00	-45,42
39,66	178,80	-64,13	874,26	-26,75	-83,49	107,53	9,99	-117,96	-47,01
40,83	183,70	-83,59	898,65	-29,18	-88,36	112,31	10,42	-123,04	-48,64
42,00	188,73	-103,51	923,39	-31,77	-93,48	117,20	10,88	-128,25	-50,31

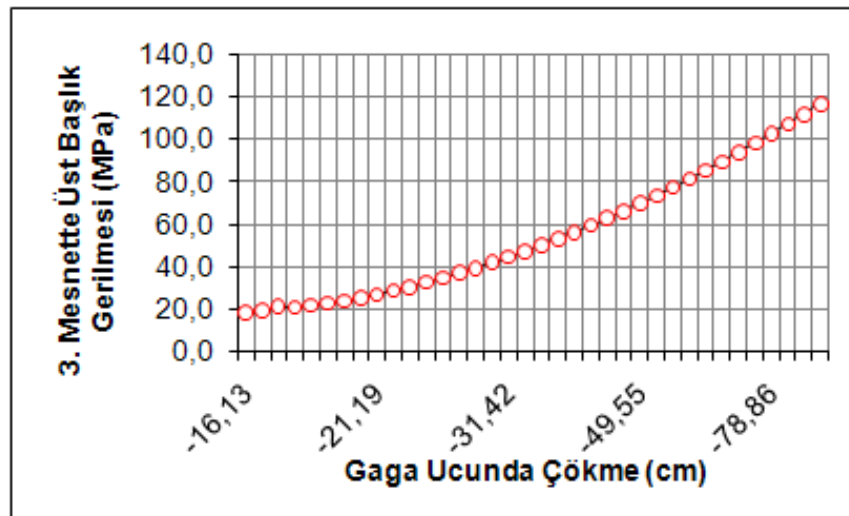
**Şekil 5.24.** Gaga uç deplasmanı ve konsol miktarı arasındaki ilişki.



Şekil 5.25. Kiriş uç deplasmanı ve konsol miktarı arasındaki ilişki.



Şekil 5.26. 2. mesnede ait reaksiyon kuvveti ve konsol miktarı arasındaki ilişki.



Şekil 5.27. Kirişte açığa çıkan gerilmeler ile gaga ucundaki çökme arasındaki ilişki.

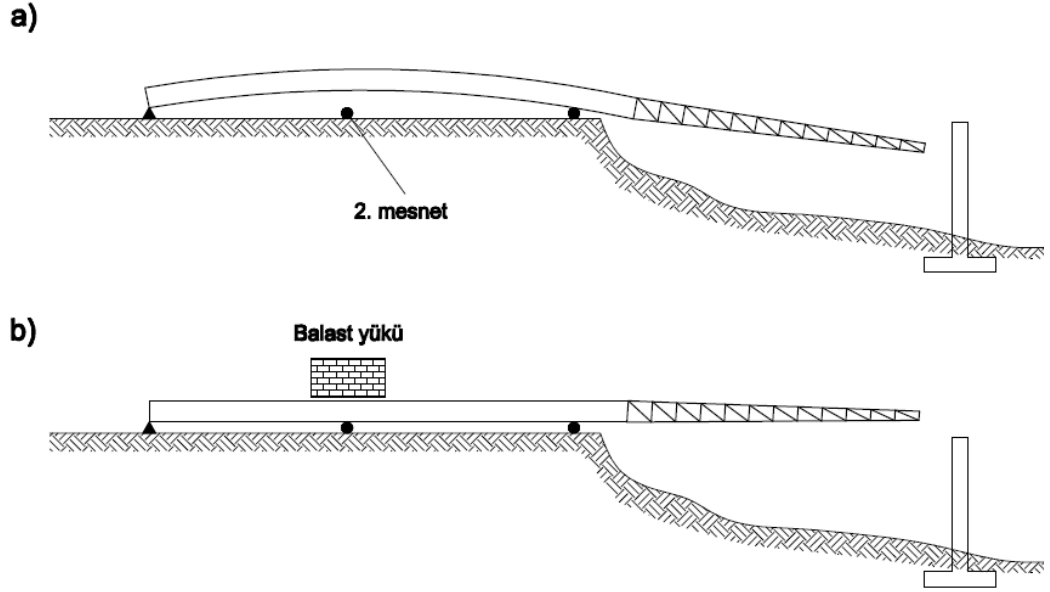
Yapılan hesaplarda gaga uç çökmesi  $\Delta_{uç}$  (cm) ile köprü kirişi üst başlığının boyuna doğrultusundaki gerilme değeri S11 (MPa) arasında korelasyon katsayısının karesi  $R^2=0,9999$  olmak üzere;

$$S11 = -300.10^{-6} \Delta_{uç}^3 + 77,3.10^{-3} \Delta_{uç}^2 + 312,9.10^{-3} \Delta_{uç} + 17,863 \quad (5.16)$$

eşitliği mevcuttur. Gaga uç çökmesi ile kirişte açığa çıkan gerilmeler bağımlı değişkenlerdir. Bu bağımlılık bir fonksiyonla ifade edilebilir. Değişkenler arasındaki bağımlılığın derecesi korelasyon katsayısıyla ölçülür [3]. Teorik olarak  $R^2=1$  olmalıdır. Çünkü gerilme ve deplasman birbirlerine tam olarak bağımlı iki değişkendir.  $R^2$  değerinin az miktarda 1'den uzaklaşmasının sebebi sonlu elemanlar modelinden kaynaklanmaktadır. Bu bağımlılığı etkileyen faktörler, enkesit alanları, malzeme elastisite modülü, enkesit atalet momenti, vb. olarak sıralanabilir. Ayrıca 2. mesnet reaksiyonu  $R_2$  (kN) ve toplam konsol boyu  $l_k$  (m) arasında da bir bağıntı söz konusudur. Bu bağıntı korelasyon katsayısının karesi  $R^2=1$  olmak üzere;

$$R_2 = -0,1738 l_k^2 - 2,6828 l_k + 315,73 \quad (5.17)$$

şeklinde verilebilir. Bu ifade sayesinde balast yükünün yerine ve büyüklüğüne karar verilebilmektedir. Toplam konsol boyu 35,60m olduğunda 2 numaralı mesnette tepki kuvveti sıfıra eşitlenmekte ve bu andan sonra mesnet reaksiyonu yön değiştirmektedir. Bu sebeple balast yüküne ihtiyaç duyulacaktır. Toplam konsol boyu 90m'ye yaklaştığında ihtiyaç duyulan balast yükü tam olarak 2 numaralı mesnet üzerinde uygulandığında 103,50 kN değerinden büyük ya da ona eşit olmalıdır.



**Şekil 5.28.** a) Reaksiyon kuvveti yön değiştirdiğinde balast yükü olmazsa açığa çıkacak durum, b) Balast yükü olması hali.

### 5.8. Sonuç ve Öneriler

Sürme metodunun çelik köprülerin inşaatında uygulanabilirliğinin araştırılması konusunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- 1) Köprü yapım teknikleri üzerine yapılan incelemelerde, köprü inşasının son derece karmaşık bir uygulama olduğu görülmüş ve köprü yapım tekniklerinin sadeleştirilmesi üzerine mühendislik çalışmalarının devam etmesi gereği kanaatine varılmıştır.
- 2) Gerek ekonomik açıdan gerekse çevrenin korunabilmesi bakımından sürme metodu ile köprü inşası büyük faydalar sağlamaktadır.
- 3) Sürme işleminden önce SAP2000v14.2 programı ile yapılan bilgisayar analizlerinden elde edilen sonuçlar sürme işleminin kontrolü için gerekli olan verilere sahip olmamızı sağlamıştır. Sürme esnasında 3 numaralı mesnette oluşan gerilme ile gaga uç deplasmanı arasında kurulan bağıntı sürme işleminin sahadaki kontrolünü sadeleştirecektir.
- 4) Sürme işlemi sırasında sürme platformunun uzunluğu ve üzerindeki mesnet teşkili ve sayısı balast yükü gerektirmeyecek şekilde seçilmelidir. Bu sağlanamadığı takdirde mesnet üzerinde yukarı doğru hareketin önlenmesi için tedbirler alınmalıdır.

- 5) Sürülen kiriş ucunun hedef mesnede ulaşip ulaşamayacağı sahada bilgisayar kontrollü sistemlerle gerilme-deplasman arasındaki bağıntıya bağlı olarak sürme işleminin her anında kontrol edilmelidir.
- 6) Sürme platformu üzerinde köprüyü ileriye doğru hareket ettiren hidrolik aksamlar herhangi bir aksaklık anında köprüyü geri çekebilecek kabiliyette de olmalıdır.

### KAYNAKLAR

- [1] Wikimedia Commons, Bridge, <http://en.wikipedia.org/wiki/Bridge> , December 2010
- [2] Eyyubov, C., Çelik Yapılar I. Cilt, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2004.
- [3] Bayazıt, M., Oğuz, B., Mühendisler İçin İstatistik, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1994.
- [4] Kumar, S. ve ark., Design Of Steel Structures (web course), Department of Civil Engineering Indian Institute of Technology Madras, 2010.
- [5] Chen, W., Duan, L., Bridge Engineering Seismic Design, CRC Press, Washington, 2003.
- [6] Chen, W., Duan, L., Bridge Engineering Hand Book, CRC Press, Boca Raton, 2000.
- [7] Türker, İ.Y., İMO Ankara Çelik Köprülerin Tasarımı Seminer Notları, Aralık 2009.
- [8] AASHTO, “Steel Bridges Erection Practices”, Transportation research board, Washington D.C., 2005.
- [9] Rosignoli, M., Bridge Launching, Thomas Telford, USA, 2002.
- [10] Peynircioğlu, H., Köprüler, Cilt III, Çelik Köprüler, Marifet Matbaası, İstanbul, 1958.
- [11] Swanson, J., Miller, R., AASHTO LRFD Bridge Design Specifications – Loads Design Example, USA, 2004.
- [12] Johansson, B. ve ark., Commentary And Worked Examples To En 1993-1-5 “Plated Structural Elements”, programme of CEN / TC 250, Ekim, 2007.
- [13] AASHTO-LRFD, “Design Example Horizontally Curved Steel I-Girder Bridge”, Transportation research board, USA, 2005.
- [14] AASHTO, “Steel Bridge Bearing Design and Detailing Guidelines”, USA, 2004.
- [15] National Steel Bridge Alliance, “Steel Bridge Design Handbook”, USA, <http://www.aisc.org/contentNSBA.aspx?id=20244>, 2010.
- [16] T.C. Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, “Yol Köprüleri İçin Teknik Şartname”, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 1982.
- [17] Arslan, A., Asma köprüler, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, Aralık, 1969.

- [19] Nader, M. ve ark., “Launching Of The San Cristobal Bridge”, National Research Council, Washington, DC, 2007.
- [20] O’Brien, E.J., Keogh, D.L., Bridge Deck Analysis, Taylor & Francis e-Library, London, 2005
- [21] Bruneau, M., Wilson, J.C., Tremblay, R., Performance of steel bridges during the 1995 Hyogo-ken Nanbu (Kobe-Japon) earthquake, Canada, 1996.
- [22] VSL International LTD., “The Incremental Launching Method In Prestressed Concrete Bridge Erection”, Switzerland, Nisan, 1977.
- [23] Iowa Department of Transportation, “Monitoring Of The Launched Girder Bridge Over The Iowa River on US20”, USA, Marh, 2004.
- [24] Maiorana, E., Miazzon, A., High Strength Steels For Launching Bridges Structures, Italy, 2007.
- [25] Baur, W., “bridge Erection By Launching Is Fast, Safe And Efficient”, Civil Engineering-ASCE, Vol. 47, No.3, March 1977.
- [26] Roark, R.J., “Formulas for Stres and Strain”,4th Edition, McGraw-Hill, 1965.
- [27] Doğangün, A., Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2005.
- [28] AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Customary U.S. Units (4th Edition) with 2008 and 2009 U.S. Edition Interims
- [29] Celep, Z., Kumbasar, N., Deprem Mühendisliğine Giriş, Beta Dağıtım, İstanbul, 2004.
- [30] Zhao, Q. ve ark., “Monitoring Steel Girder Stability Gor Safer Bridge Erection”, USA, 2006

**ÖZGEÇMİŞ**

**Adı- Soyadı** : Berat ERTEKİN

**Baba Adı** : Ahmet

**Ana Adı** : Gülseren

**Doğum Yeri** : Boğazlıyan

**Doğum Tarihi** : 15.05.1984

İlköğretimini Boğazlıyan' da Necatibey İlköğretim Okulu'nda tamamladı. Orta öğretimini, 2002 yılında Boğazlıyan Anadolu Lisesi' nden mezun olarak tamamladı. Aynı yıl Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü' nü kazandı. 1 yıl hazırlık görerek 2007 yılında mezun oldu. 2008 yılında Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisansa başladı. Şu an bir proje ofisinde statiker inşaat mühendisi olarak çalışmaktadır.

**Adres** : Çarşı mah. M. İmamoğlu cad. leylak sok. No:23

Boğazlıyan/Yozgat

**Telefon** : 0537-357 76 09

**e-posta** : e.berat@hotmail.com