

47026

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ASMA KÖPRÜLERİN VE EĞİK ASKILI
KÖPRÜLERİN YAPISAL ELEMANLARININ
İNCELENMESİ

İnş. Müh. Ahmet TÜRKER

F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. İbrahim EKİZ

İSTANBUL, 1995

İÇİNDEKİLER

1. BÖLÜM : KABLOLU KÖPRÜ SİSTEMLERİNE GİRİŞ

1.1	KABLOLU KÖPRÜ SİSTEMLERİ	1
-----	--------------------------	---

2. BÖLÜM : KABLolar

2.1	GİRİŞ	8
2.2	BASİT KABLO TİPLERİ	9
2.3	PASLANMAYA KARŞI KORUMA	20
2.4	MEKANİK ÖZELLİKLER	26
2.4.1	Statik Mukavemet	26
2.4.2	Gevşeme	27
2.4.3	Yorulma Mukavemeti	28

3. BÖLÜM : RİJİTLİK KİRİŞLERİ (TABLİYELER)

3.1	GİRİŞ	32
3.2	RİJİTLİK KİRİŞİNİN ETKİSİ	33
3.2.1	Eksenel Rijitlik	33
3.2.2	Düşey Yönde Eğilme Rijitliği	37
3.2.3	Yanal Yönde Eğilme Rijitliği	40
3.2.4	Burulma Rijitliği	42
3.3	MESNETLENME ŞARTLARI	44
3.4	RİJİTLİK KİRİŞİNİN ENKESİTİ	53
3.4.1	Köprü Tabliyesi	53
3.4.2	Rijitlik Kirişinin Enkesiti	54
3.4.3	Rijitlik Kafeslerinin Enkesiti	75

4. BÖLÜM : KULELER

4.1	GİRİŞ	90
4.2	KULELERİN YAPISAL DAVRANIŞI	91
4.2.1	Kablo Sisteminin Düşey Kuvvetlerine Maruz Kalan Kuleler	106
4.2.2	Kablo Sisteminin Boyuna Kuvvetlerine Maruz Kalan Kuleler	128
4.3	KULE ENKESİTİ	134

5. BÖLÜM : KABLO BİRLEŞİM DETAYLARI

5.1	GİRİŞ	143
5.2	TEK HALATLI KABLOLARIN ANKRAJI	143
5.3	ÇOK HALATLI KABLOLARIN ANKRAJI	151
5.4	KABLOLARLA RİJİTLİK KİRİŞİ ARASINDAKİ DETAYLAR	153
5.5	ANA KABLO İLE ASKILARIN BAĞLANTISI	159
5.6	KABLO VE KULE BAĞLANTILARI	164
5.7	KABLO İLE ANKRAJ BLOĞUNUN BİRLEŞİMİ	171

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında sürekli ilgisini ve desteğini gördüğüm, bana değerli fikir ve görüşleri ile yol gösteren Sayın Prof. İbrahim EKİZ' e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımın her kademesinde sürekli ilgisini ve desteğini gördüğüm tüm ARKADAŞLARIMA, bana bu imkanı sağlayan AİLEME, ve çalışmama her zaman olanak sağlayan İMECE A.Ş. Yönetimine teşekkür ederim.



ÖZET

Uzun yıllar boyunca, kablolu köprü tasarımı, hesap yöntemleri önemli rol oynamıştır. Hesap yöntemlerinde problemlerle karşılaşmamak için klasik tipte köprüler tasarlanıyordu. Sonuç olarak değişik tipte köprülerin tasarımından kaçınılıyordu.

Son yıllarda elektronik bilgisayarların gelişmesi ile durum tamamen değişmiş, hesap sırasında karşılaşılan problemler de buna bağlı olarak çözülmüştür.

Günümüzde, bilgisayarlar sayesinde çok karışık yapı sistemleri, davranışlarını tam olarak irdelemeye gerek kalmaksızın analiz edilebiliyor. Ancak, bilgisayarlar hiçbir zaman kendi başlarına sistemleri geliştirip daha iyi bir çözüm alamazlar.

Bu yüzden kablolu köprü tasarımı yeni bir boyut kazanmıştır. Artık, tasarım sırasında istenilen sistem kolayca analiz edilebiliyor, böylece farklı sistemler denenip optimasyon yapılabilir.

Bu sistemlerin seçimi için kablolu köprüleri oluşturan yapı elemanlarının davranışlarının ve detaylarının bilinmesi gerekmektedir.

Bu düşünceden hareketle, bu çalışma; " Asma Köprülerin ve Eğik Askılı Köprülerin Yapı Elemanlarının İncelenmesi ", köprü sistemleri ailesinde uzun açıklıkları geçmek için kullanılan kablolu köprüleri oluşturan elemanların incelenmesini içermektedir.

Boğaziçi Köprüsü ile Fatih Sultan Mehmet Köprüsünün inşasından sonra bu konu Türkiye' de de güncel hale gelmiştir.

Bu çalışmada ilk önce bu iki kablolu köprü sisteminin - eğik askılı ve asma sistemler- genel tanıtımı ve içerdikleri kablo sisteminin dizilişine göre değişik tipleri anlatılmıştır.

Daha sonraki bölümlerde sırası ile kablolar, rijitlik kirişleri, kuleler ve bu elemanlar arasındaki birleşim detayları anlatılmıştır.

Kablolarla ilgili ikinci bölümde genel olarak kablo tipleri, paslanmaya karşı korunmaları ve mekanik özellikleri incelenmiştir. İncelenen mekanik özellikler arasında kabloların, statik mukavemeti, gevşeme özelliği ve yorulma mukavemeti vardır.

Kablolu köprülerde trafik yükünü taşıyan ve daha sonra kablo sistemine aktaran rijitlik kirişleri (tabliyeler) üçüncü bölümde anlatılmıştır. Burada kirişlerin değişik yükler altındaki eksenel, eğilme ve burulma rijitlikleri , mesnetlenme şartları ve enkesit özellikleri incelenmiştir.

Dördüncü bölümde kuleler konusu ele alınmıştır. Burada kulelerin değişik yüklere ve kablo sistemlerine karşı yapısal davranışı, farklı kablo sistemleri için kule tipleri ve kule enkesitleri anlatılmıştır.

Son bölümde ise kablo birleşim detayları hakkında bilgi verilmiştir. Daha önce anlatılan elemanların kablo ile birleşimi, tek halatlı kablolarla çok halatlı kabloların ankrajı, asma sistemlerde ana kablo ile askıların bağlantısı ve kablo ile ankraj bloğunun birleşimi bu bölümde incelenmiştir.

SUMMARY

In the design process of cable supported bridges analytical problems have played a dominant role for a long period. In order not to face with such problems, designers used the classical bridge types. Thus, less effort has been aimed at developing new bridges.

However, due to the latest developments within electronic computers, the situation has been changed, and according to this, the problems have been solved.

Today the almost unlimited capacity of electronic computers means that very complicated structural systems can be analysed without any deeper understanding of their behaviour. But, the computer will not on its own suggest favourable modifications to the structural system.

Thus, designing of cable supported bridge is easier now. Several systems can be analysed and an optimum solution can be reached easily.

For these systems, it is essential to know about the behaviour and detail of the structural elements comprising the cable supported bridges.

Therefore, this research concentrates on " The Structural Elements of Suspended Bridges and Cable Stayed Bridges ", which are used to pass big span lengths.

After the construction of Boğaziçi Bridge and Fatih Sultan Bridge, this topic become more important in Turkey.

In this study, first of all the general description of suspended bridges and cable-stayed bridges is done. Then, basic types of each bridge are introduced according to their cable system configuration.

In the next chapters, topics like cables, stiffening girders, pylons, and cable anchorage and connection are introduced.

In the second chapter, cables are introduced. Their types, corrosion protection and mechanical properties are studied. Mechanical properties comprises static strength, relaxation and fatigue strength.

In cable supported bridges the traffic load is transferred to the cable system by the stiffening girders which are introduced in chapter three. Here, the axial, flexural and torsional stiffness, supporting conditions and cross-sections of stiffening girder are studied.

In the fourth chapter pylons are introduced. Here, structural behaviour of the pylons depending on different loadings and cable systems, and their cross-sections are studied.

In the last chapter cable anchorage and connection is introduced. Here, anchoring of single strand and multi-strand cables, connection between cable and stiffening girder, connection between main cable and hanger, connection between cable and pylon, connection between cable and anchor block are studied.

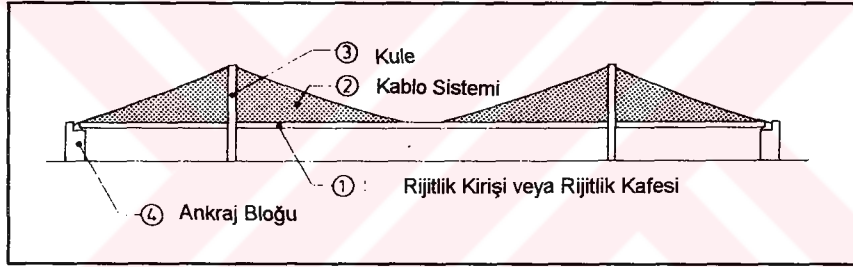
1. BÖLÜM : KABLOLU KÖPRÜ SİSTEMLERİNE GİRİŞ

1.1 KABLOLU KÖPRÜ SİSTEMLERİ

Köprü sistemleri ailesinde kablolu köprüler uzun açıklıkları geçme özellikleri ile tanınırlar. Genelde, kablolu köprüler 250 m ile 1500 m ve üzeri açıklıkları geçmek için uygundur.

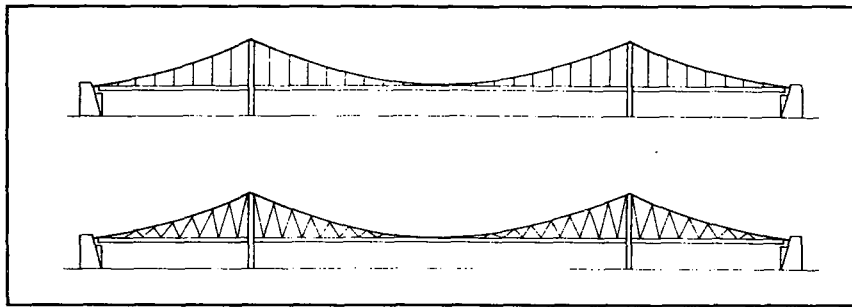
Birçok asma köprü sistem olarak 4 ana kısma ayrılabilir. Şekil 1.1' de de görüldüğü gibi;

- (1) Rijit kiriş ve tabliye,
- (2) Rijit kirişi tutan kablo sistemi ,
- (3) Kablo sistemini tutan kuleler (veya ayaklar),
- (4) Ana kablo sistemini tutan ankraj blokları.



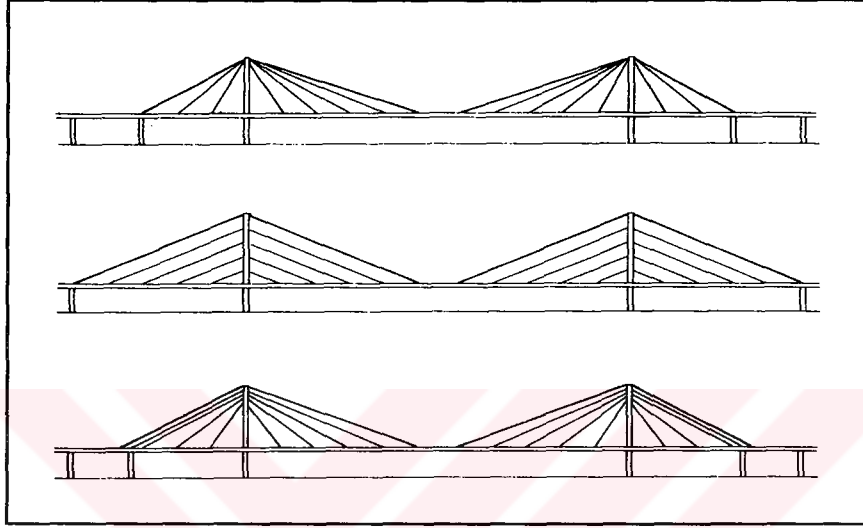
Şekil 1.1 Asma köprülerin ana kısımları.

Kablolu köprüler, kablo sistemlerinin dizilişi ile birbirlerinden ayrılırlar. Şekil 1.2' deki sistem, rijitlik kirişlerini düşey veya biraz eğik askılarla parabolik ana kabloya bağlayan köprüleri, yani, ASMA KÖPRÜLERİ gösterir.



Şekil 1.2 Asma köprü sistemleri: üst, düşey askılı; alt, eğik askılı.

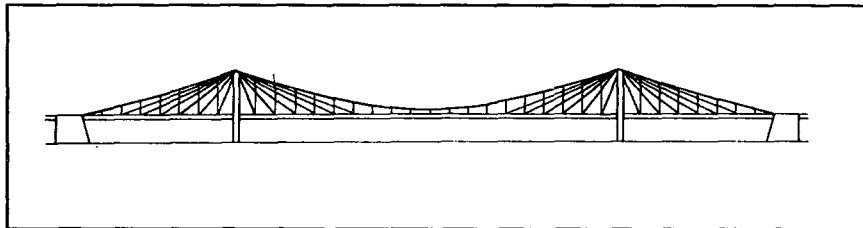
Şekil 1.3' te ise rijit kiriş ile kuleleri birbirine bağlayan eğik askılara sahip, EĞİK ASKILI KÖPRÜLER gösterilmektedir. Fan sistemlerde tüm eğik askılar kulenin üst kısmından çıkarlar ve yayılırlar. Harp sistemlerde ise paralel askılar kullanılır.



Şekil 1.3 Eğik askılı köprü sistemleri: üst, basit fan sistemi
orta, harp sistemi; alt, geliştirilmiş fan sistemi.

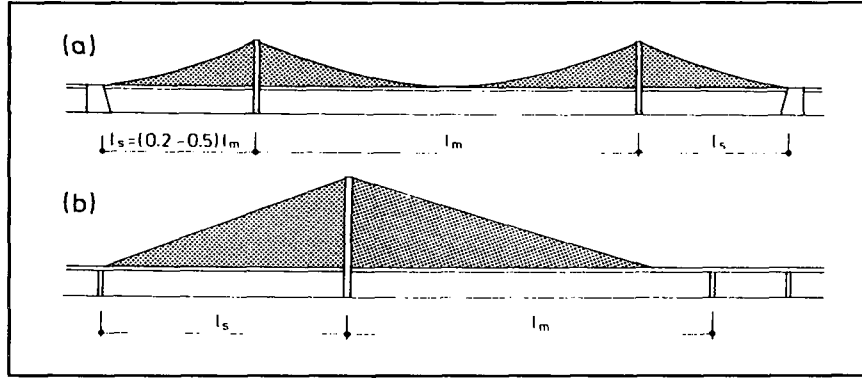
Bu iki basit eğik askılı sistemlerin yanında daha karışık sistemler de bulunabilir. Öyle ki, geliştirilmiş fan sistemlerinde kabloların kule tepesindeki ankraj noktaları her kablonun ankrajını ayıracak şekilde yayılmıştır.

Asma sistemleri ve eğik askılı sistemleri içeren birleşik sistemler, 19. yy' da uygulanmıştır (Şekil 1.4). Buna örnek olarak, ana kablo ile askı çubukları, fan modelindeki gibi eğik askılarla desteklenmiş Brooklyn Köprüsü gösterilebilir.



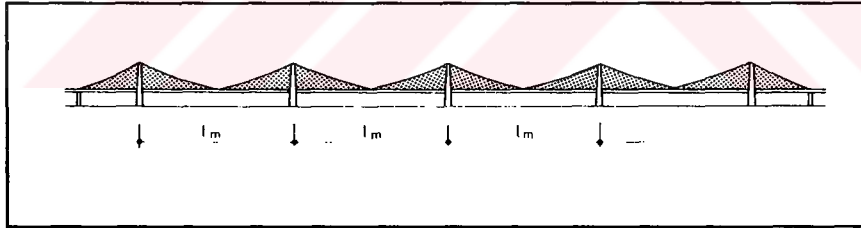
Şekil 1.4 Birleşik köprü sistemi.

En yaygın asma köprü tipi, üç açıklığı olan, büyük ana açıklığı, kenarlardan iki küçük açıklıkla bütünleşen modellerdir (Şekil 1.5a). Bazı durumlarda ise eğik askılı köprülerde, büyük ana açıklık ile, birşekilde, küçük yan açıklığın bulunduğu, iki açıklıklı asimetrik tipler kullanılmıştır (Şekil 1.5b).



Şekil 1.5 Üç ve iki açıklıklı köprüler.

Çok açıklıklı, eşit büyüklükte ana açıklıklara sahip asma köprüler de az da olsa yapılmıştır (Şekil 1.6).

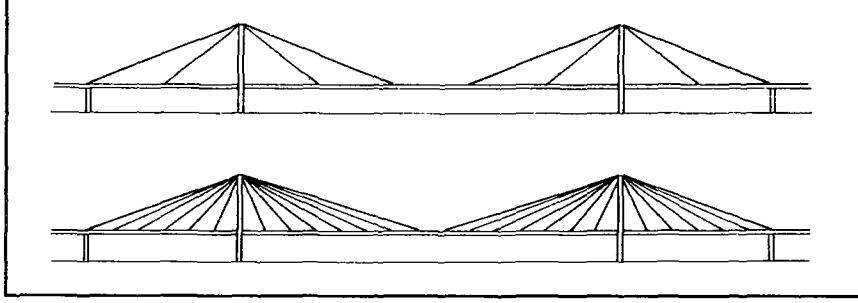


Şekil 1.6 Çok açıklıklı köprüler.

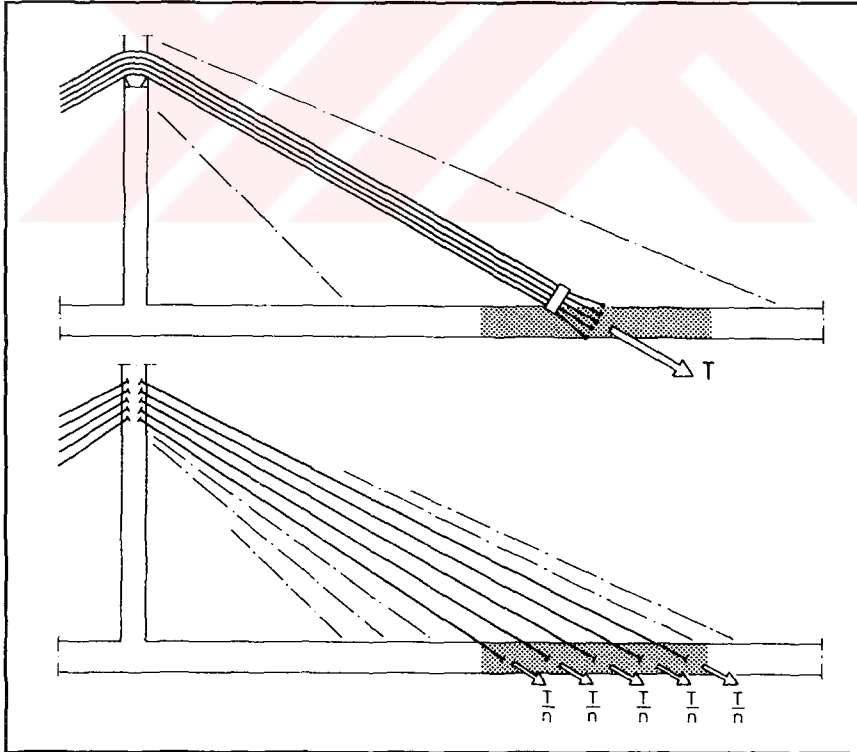
Eğik askılı köprülerdeki gelişmeler, az fakat ağır gergi kabloları yerine, daha çok sayıda, rijit kirişi tutan sürekli kabloların, yani çok kablolu sistemlerin geliştirilmesiyle gerçekleşmiştir (Şekil 1.7).

Çok kablolu sistemlerde, her bir gergi kablosu, prefabrik tek-büklüme sahiptir. Az kablolu sistemlerde ise gergi kabloları daha büyüktür ve birkaç prefabrik büklümden oluşan kabloların birleşmesiyle elde edilir. Rijitlik kirişi ile gergi kablusunun ankrajı sırasında büklümlerin tek tek ankrajları gerekmektedir. Bu da ancak her bir büklümün ayrı ayrı tesbit edilerek daha geniş bir yüzeye yayılmasıyla mümkündür, ve de tasarımı daha komplikedir (Şeki 1.8). Bunun yanında, bir noktada yoğunlaşmış ağır kabloların

kullanılması, büyük kuvvetlerin aktarılması sırasında rijitlik kirişinin, lokal mukavemete maruz kalmasına sebebiyet verir. Bundan başka, çok-kablolu sistemlerin montajının daha kolay olması ve ileride paslanma ve yorgunluk gibi etkenlerden zarar gören gergi kablolarının değiştirilmesinde sağlayacağı kolaylık nedeniyle, gelecekte, çok-kablolu sistemlerin eğik askılı köprülerde tercih edileceğini gösterir.



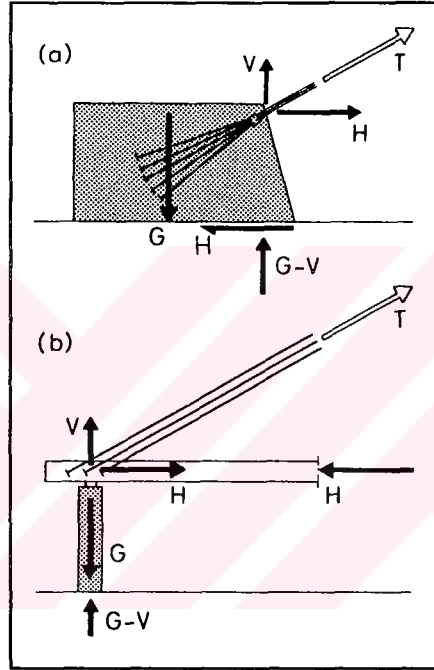
Şekil 1.7 Fan sisteminde eğik askılı köprü: üst, az kablolu sistem; alt, çok kablolu sistem.



Şekil 1.8 Tek bükümlü kabloya ve çok bükümlü kabloya sahip sistemlerin karşılaştırması.

Kabloların diziliş yanında, köprüler, uç noktalarındaki ankrajın şekline göre de tanımlanabilirler.

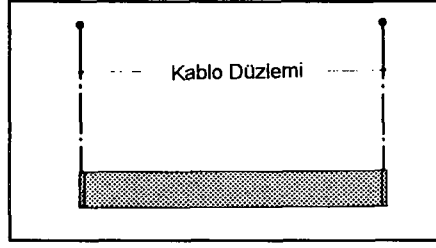
Toprağa ankrajlanan sistemlerde kablo kuvvetinin yatay ve düşey bileşkeleri ankraj bloğuna aktarılır (Şekil 1.9a). Kendi içinde ankrajlanan sistemlerde ise kablo kuvvetinin yatay bileşkesi rijitlik kirişine, düşey bileşkesi ise ankraj bloğuna aktarılır (Şekil 1.9b).



Şekil 1.9 Yan açıklık ile ankraj bloğu arasındaki bağlantı şekilleri.

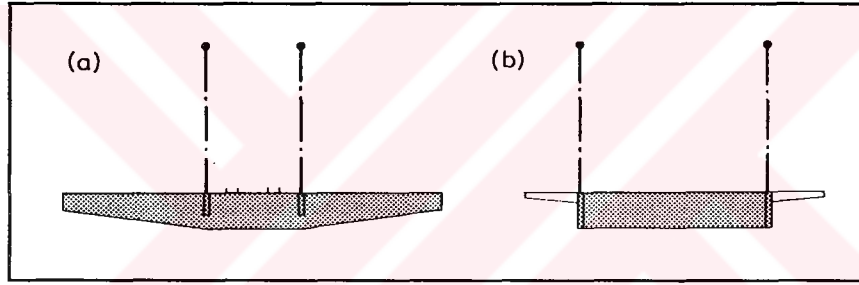
Esasen her iki yöntem hem asma köprülerde hem de eğik askılı köprülerde kullanılabilir. Ancak, pratikte, toprağa ankrajlanan, asma köprülerde, kendi içinde ankrajlanan ise eğik askılı sistemlerde kullanılır.

Köprülerin enine yöndeki kablo sistemlerinin düzenlenmesi için birçok değişik çözüm modelleri vardır. Asma köprülerde kullanılan düzenleme rijit kirişi uçlarından tutan iki düşey kablo düzlemini içerir (Şekil 1.10). Bu düzenlemeyle, ki birçok eğik askılı köprülerde de kullanılır, rijitlik kirişi kablolarla düşey olduğu kadar burulma yönünde de tutulur.



Şekil 1.10 İki düşey kablo düzlemine sahip sistemler.

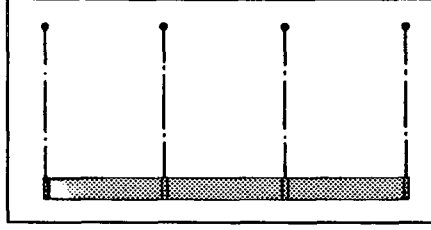
Köprü tabliyesinin üç ayrı trafik bölgesine bölünmesi durumunda, örneğin, ortada tren yolu ve kenarlarda otoyolu olduğunda, iki kablo düzlemi orta alanla dış alanların ortasındaki bölgeye konulabilir (Şekil 1.11a).



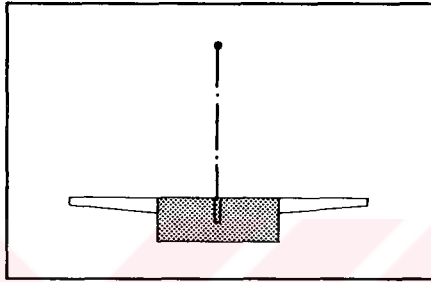
Şekil 1.11 Üç ayrı trafik şeridini ayıran, iki düşey kablo düzlemine sahip sistemler.

Bu düzen, özellikle orta alanın ağır yüklemelere maruz kalıp da kirişlere büyük eğilme momentleri uygulandığı zamanlar çekicilik kazanır. Diğer bir yandan kablo düzlemlerinin tabliyelerin uçlarından ortalarına doğru kayması kablo sisteminin burulmaya karşı etkisini azaltır. Köprülerdeki kablo düzleminin ortaya doğru kaydırılmasından dolayı yayalar ve bisikletlilerin kullanabileceği konsol şeritler geliştirilmiştir (Şekil 1.11b). İki'den fazla kablo düzlemi, geniş açıklıklı tabliyelerde bu yüzyılın başlarında kullanılmaya başlanmıştır (Şekil 1.12).

Sadece bir kablo düzlemi olan sistemler de eğik askılı köprülerde kullanılmıştır. Burada rijitlik kirişi kablolarla sadece düşey yönde tutulmuştur ve burulma momentleri rijitlik kirişine aktarılmıştır. Bu da burulma rijitliği yüksek kutu kesitli kirişler gerektirmektedir (Şekil 1.13).

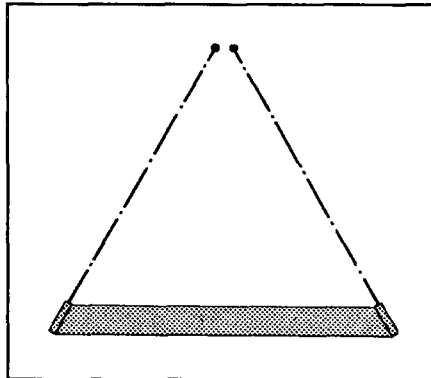


Şekil 1.12 Üç ayrı trafik şeridini ayıran, dört düşey kablo düzlemi.



Şekil 1.13 Bir orta kablo düzlemli sistem.

Tabliyenin uçlarından çıkıp, bir noktada birleşen, eğik kablo düzlemlerinin kullanıldığı ' A ' şeklinde ayakları olan eğik askılı köprüler de vardır. Burada kiriş hem düşey yönde hem de burulma yönünde tutulmuştur (Şekil 1.14). En verimli kablo sistemi, düşey ve burulma yönünde tutulacak, çok-kablolu sistemlerle oluşturulacak, yani, sonuç olarak, rijitlik kirişinin uçlarından veya onlara yakın bir yerden tutulmuş iki veya daha çok kablo düzlemine sahip sistemlerdir.



Şekil 1.14 İki eğik kablo düzlemli sistem.

2. BÖLÜM : KABLolar

2.1 GİRİŞ

Kablolu köprülerde kullanılan birkaç tip kablo vardır. Kablonun şekli veya dizilişi kuruluşuna bağlıdır;

- Paralel tel
- Paralel halat
- Tek halat
- Kenetlenmiş halat
- Çubuk.

Kullanılan terimlerin tanımı:

Kablo - fleksibil çekme elemanı, bir veya daha fazla tel, halat grubundan oluşabilir

Tel - soğuk çelik çubuktan çekilmiş tek, bitevi uzunluk

Halat (Büklem) - tellerin bir merkez çevresinde helezon şeklinde dizilmeleri

Kenetlenmiş halat - halat gibidir ancak bazı tel katmanları daha sıkı bir ortam sağlamak amacıyla şekillendirilmiştir

Paralel-tel halatlar - teller helezon şeklinde bükülmeler olmadan paralel olarak düzenlenmiştir

Modern kablolu köprülerde kullanılan tüm kabloların en basit elemanı, normal yapılarda kullanılan çelikten daha mukavemetli olan çelik tellerdir.

Birçok durumda, çelik teller, çapı 3 mm ile 7 mm arasında değişen, silindirik şeklindeki elemanlardır. Tipleştirmek gerekirse, 5 mm' lik teller asma köprülerin ana kablolarında, 7 mm' lik teller ise eğik askılı köprülerin paralel-tel halatlarında kullanılır.

Tellerin çelik malzemesinin üretimi Siemens-Martin prosesi ile veya yapı çeliğine konan karbon miktarının daha fazlasını ihtiva eden kimyasal karışımlara sahip elektro çelik gibi olabilir.

Tablo 2.1 kablo çeliği ile yapı çeliği arasındaki bazı özelliklerin karşılaştırmasını gösterir.

Tablo 2.1 Kablo ve yapı çeliği arasındaki karşılaştırma.

	Kablo çeliği	Yapı çeliği	
		Yumuşak	Yüksek mukavemetli
Akma gerilmesi (MN/m ²)	1200	240	690
Çekme mukavemeti (MN/m ²)	1600	370	790
Uzama (%)	4	24	18
Elastisite modülü (MN/m ²)	205 x 10 ³	210 x 10 ³	210 x 10 ³
Tipik kimyasal bileşimler			
C	% 0.80	% 0.20	% 0.15
Si	% 0.20	% 0.30	% 0.25
Mn	% 0.60		% 0.80
Cu	% 0.05	% 0.20	% 0.30
Ni	% 0.05		% 0.80
Cr	% 0.05	% 0.30	% 0.50
P	% 0.03	% 0.04	% 0.03
S	% 0.02	% 0.04	% 0.03

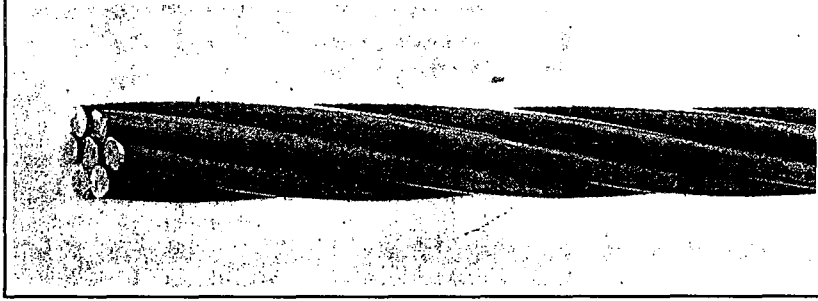
Görüldüğü gibi kablo çeliğinin mukavemeti yumuşak yapı çeliğinin 5 katı, ve yüksek mukavemetli yapı çeliğinin de 2 katı kadardır. Bu yüksek mukavemete karşılık kablo çeliğinin duktilitesi azalmış ve de uzama kırılması yapı çeliğinininkinin 1/5 ' i kadar düşmüştür.

Kimyasal bileşim sırasında, kablo çeliğinin karbon miktarının yapı çeliğinininkinin beş katı kadar olması önemli bir noktadır, çünkü, yüksek karbon miktarı kablo çeliğinin kaynaklanmasını uygunsuz kılar.

2.2 BASİT KABLO TİPLERİ

Tel, kabloların en basit formu olduğu halde, esas kablonun yapılması için gerekli basit elemanlar genelde birkaç telden oluşan prefabrike halatlardır (bükümler).

Yedi-telli halatlar kablolu köprülerde kullanılan en basit halat şeklidir. Kablolarda kullanılan halatlar genellikle 5 mm' lik tellerden, maksimum 15 mm' lik çap oluşturacak şekilde düzenlenirler (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Yedi-telli halat.

Yedi-telli halatlar, ortada düz, çevresinde ise tek kat olarak, helezon yönünde sarılmış, eğimi olan altı tele sahiptirler. Tel aksının eğimi ile halat aksı arasındaki farkın az olmasından dolayı yedi-telli halatın rijitliği düz olanınkine yakındır. Böylece, yedi-telli halatların elastisite modülü tellerin kendi değerlerinin % 5-6 ' sı kadar daha az olur. Bu da $E = 195 \times 10^3 \text{ MN/ m}^2$ ' dir.

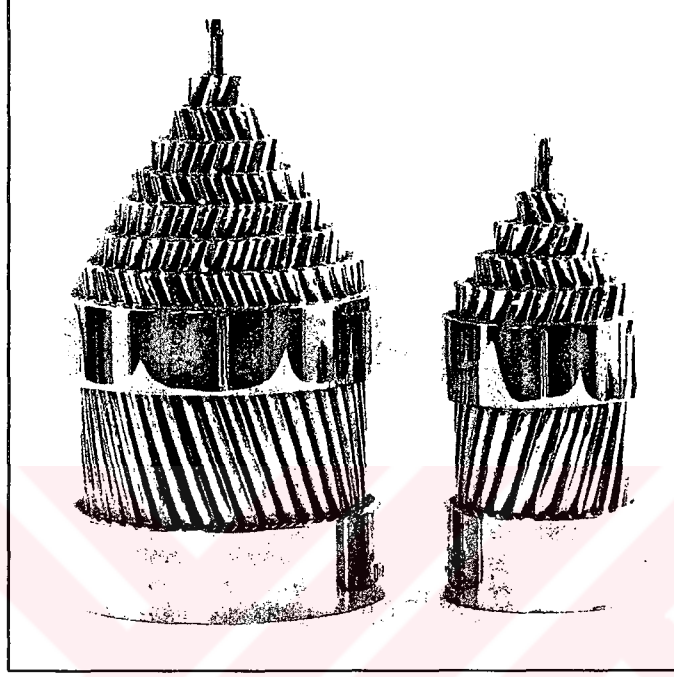
Çok-telli helezon halatlar ortada düz bir çekirdek ve etrafında ters yönlü tabakalar şeklinde düzenlenerek üretilir (Şekil 2.2).

Helezon halata ilk yükleme uygulandığı zaman meydana gelecek olan uzama sadece tellerin elastik deformasyonundan meydana gelecek olan uzama değildir. Bunun yanında halatların sıkıştırılmasından dolayı geriye dönmeyen bir uzama oluşacak. Bu elastik olmayan davranışı gidermek için halat kullanım öncesi ön-uzamaya tabii tutulur. Böylece kullanım sırasında ideal elastığe yakın bir davranış gösterir. Ön-uzama için gerekli olan kuvvet, halatın servis sırasında alması beklenen maksimum kuvvetin üzerinde olur. Bunun için de % 10-20 fazla yükleme yapılır.

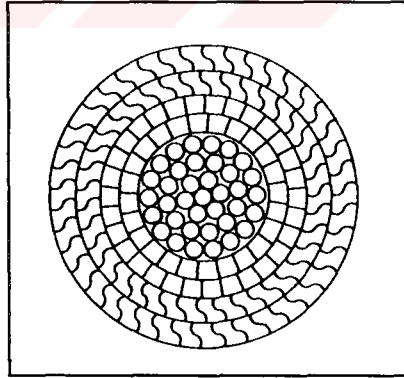
Kenetlenmiş halatlarda değişik şekillerdeki teller halata pürüzsüz ve sıkı yüzey vermek için kullanılır. Bu tür kablolar, merkezde normal helezon halatlara sahiptir. Merkezin çevresinde ise bir, veya daha fazla kat dış şeklinde teller vardır. Dış katlarda ise özel z-şeklinde teller bulunur (Şekil 2.3).

Kama ve z-şeklinde tellerin sıkıca kullanılması bu tip halatlarda yoğunluğun %90 ' lara ulaşmasını sağlar. Aksi takdirde daire kesitlere sahip tellerden oluşan helezon şeklindeki kablolarda bu oran % 70 civarındadır. Dış yüzeylerde kullanılan özel şekilli teller kenetlenmiş halatı semer ve ankraj noktalarında yanıl basınca karşı daha dayanıklı

yapar. Bunun sebebi ise tellerin yüzeysel temas etmeleri yani daire kesitli teller gibi sadece bir temas noktasına sahip olmamalarıdır.



Şekil 2.2 Çok-telli helczon halat.



Şekil 2.3 Kenetlenmiş halatın kesiti.

Köprüler için üretilen kenetlenmiş halatlar 40 mm ile 120 mm arasında değişen çaplara sahiptirler. Genelde, en büyük kesitli kenetlenmiş halatlar, her gergi kablosu tek halattan oluşan çok-kablolu eğik askılı köprülerde kullanılır. Buna örnek olarak Almanya'

daki Friedrich Ebert Köprüsü gösterilebilir (123 mm çapında). Bunun yanında, çapı 60 mm ile 80 mm arasında değişen birkaç halattan oluşan gergi kabloları da mevcuttur.

Katmanların sarılıp dolanmalarından dolayı helezon halatlar kendiliğinden sıkıştırılmış olur. Yani telleri bir arada tutmak için herhangi bir şekilde kaplamaya veya etrafına şeritler sarmaya gerek yoktur. Kenetlenmiş halatlarda, kendiliğinden sıkıştırılmış olmanın yanında dış katmanda özel şekilli tellerin de kullanılması yüzeyin sıklığı konusunda büyük avantaj sağlar.

Bu katmanlar, kendiliğinden sıkıştırma etkisi yanında, bir de halatların kolayca kıvrılmasını sağlar. Böylece, halatın kıvrılması (eğilmesi) sırasında tellerde hiçbir uzama veya kısalma gerekmez ve bu da, halat semerlerin üzerinden geçerken avantaj sağlar.

Halatların bükülmelerinden dolayı helezon halatların mukavemetinde ve rijitliğinde azalmalar olur. Buradan yola çıkılarak, düz tellerden oluşan paralel-tel halatları geliştirilmiştir. Ancak, halatın eğilmesi sırasında meydana gelen problemler kullanılmasını engellemiştir. Bu problem, halatın eğilmesi sırasında, dışta kalan tellerin uzama, içte kalanların ise büzülmesiyle meydana gelen istenmeyen gerilmelerdir.

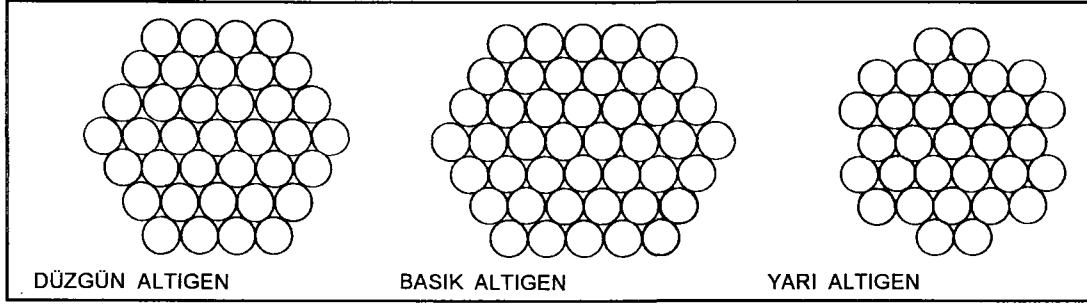
Fakat, 1960 ' lı yıllarda Amerika' da yapılan testler sonucu, kümeler halindeki paralel-tel halatlarının yerel distorsiyonu ile eğilip düzelmesi sonucunda kalıcı distorsiyona maruz kalmadığı görülmüştür. Bu testler 37, 61, 91, ve 127-telli halatlarla oluşan düzgün altıgen şekillerle yapılmıştır.

Şu andaki uygulamalarda, 5 mm' lik teller genellikle asma köprülerin ana kablolarının oluşturulmasında kullanılan paralel-telli halatlarda kullanılır. 7 mm' lik teller ise bazı durumlarda çok-kablolu, eğik askılı köprülerin gergi kablolarını oluşturan halatlarda kullanılır.

Paralel-telli halatlar;

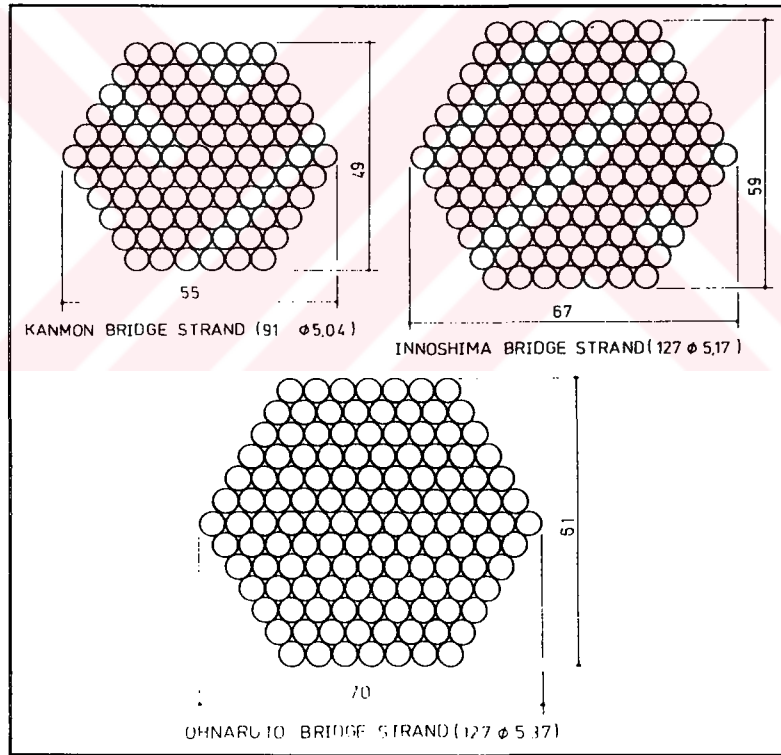
- Düzgün altıgen
- Basık altıgen
- Yarı altıgen

olarak üretilirler (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Paralel-telli halatların şekilleri.

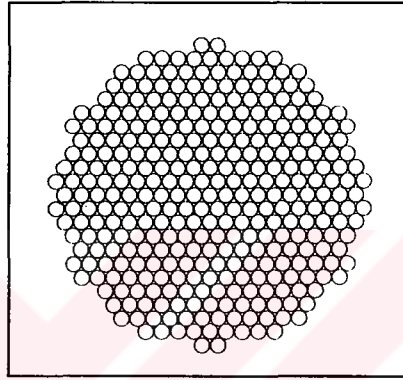
Asma köprülerin ana kablolarını paralel-tel ile yapma ve de, daha büyük tel ve halat kullanma fikri Japonlar tarafından ortaya atılmıştır. Böylece, Kanmon, Innoshima ve Ohnaruta Köprülerinde şekil 2.5 'de gösterilen paralel-tel halatları kullanılmıştır.



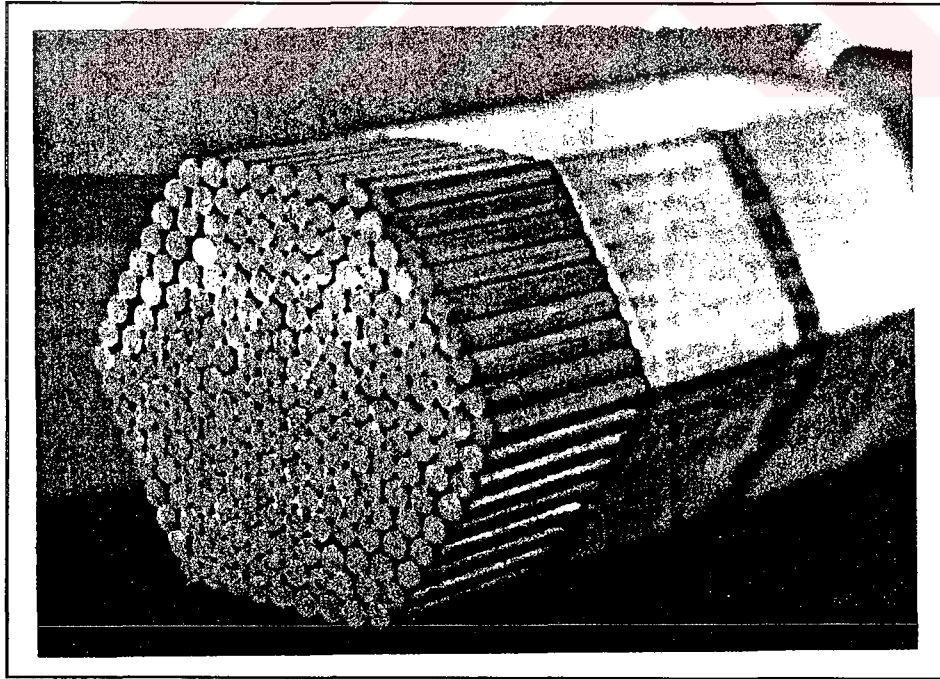
Şekil 2.5 Japon asma köprülerinde kullanılan paralel-tel halatları.

Kanmon Köprüsünde, 91 adet çapı 5.04 mm olan teller kullanılmıştır. Ohnaruta Köprüsünde ise bunlara karşılık gelen değerler, 127 ile 5.37 mm' dir. Bu farktan dolayı paralel-tel halatlarının toplam ağırlığı 17.5 tondan 41 tona yükselmiştir.

Eğik askılı köprülerde, oldukça büyük boyutlarda paralel-telli halatlar da bulunabilir. Şekil 2.6, Arjantin' deki Parana Köprüsünde kullanılan en büyük paralel-tel halatını göstermektedir (337 adet 7 mm' lik tel). Şekil 2.7 ise Japonya' daki Rokko Köprüsünde kullanılan Paralel-tel halatını göstermektedir (217 adet 5 mm' lik tel).

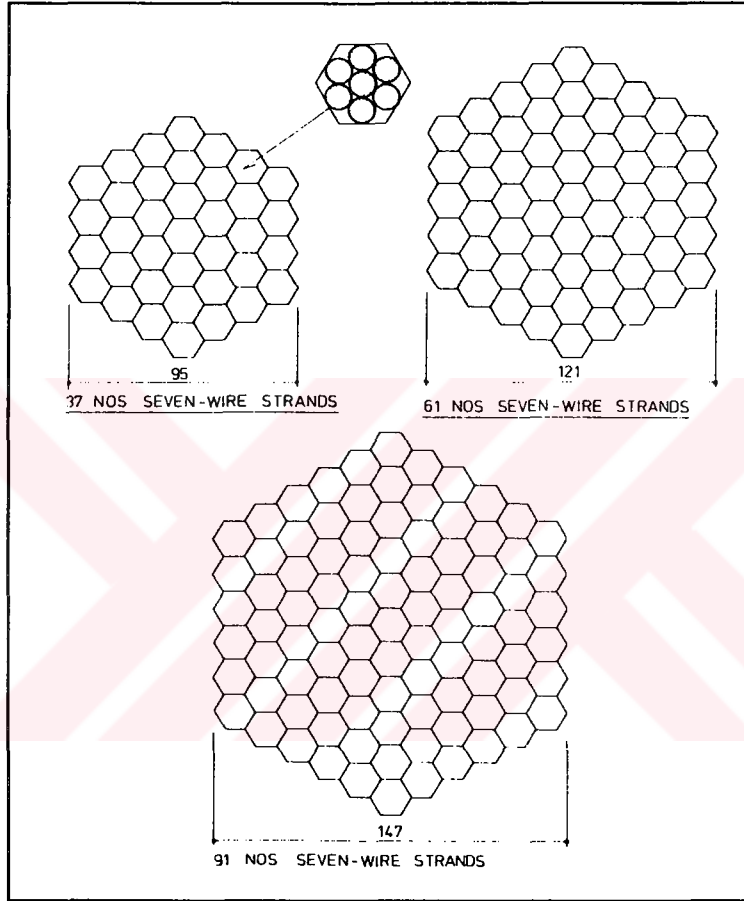


Şekil 2.6 Parana Köprüsünde kullanılan paralel-tel halatı.



Şekil 2.7 Rokko Köprüsünde kullanılan paralel-tel halatının modeli.

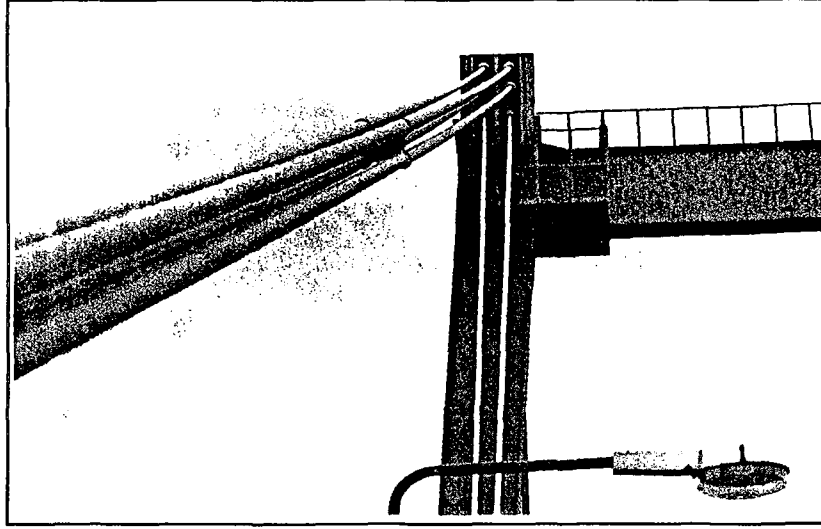
Eğik askılı köprülerin gergi kablolarında, paralel yedi-telli halatlardan oluşan, altıgen formunda olan farklı paralel-tel halatları da kullanılmıştır. Şekil 2.8, en çok kullanılan 37, 61 veya 91 adet yedi-telli halattan oluşan üç değişik paralel halat modelini göstermektedir.



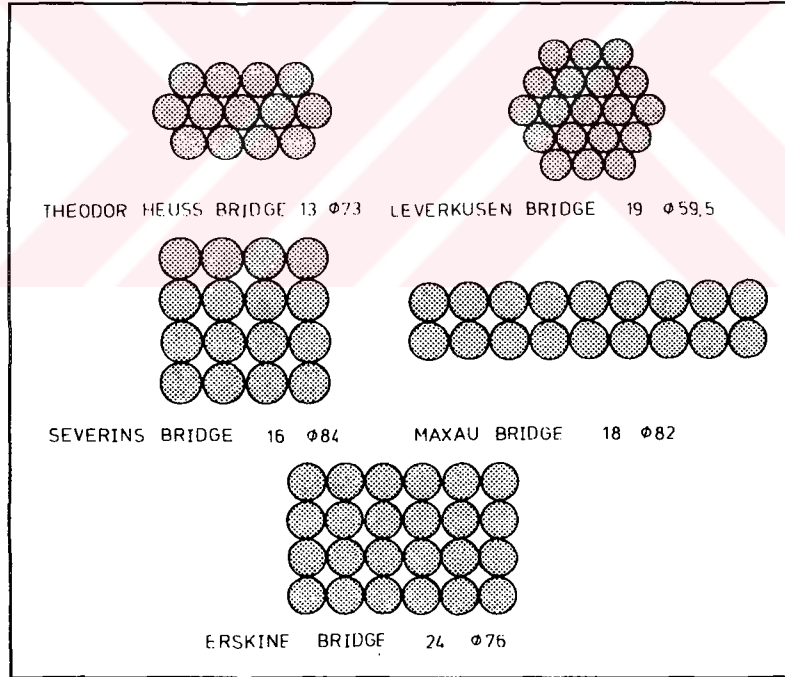
Şekil 2.8 Yedi-telli halattan oluşan paralel halat kablo.

Büyük kablo kesiti gerektiğinde, eğik askılı ve asma köprülerde, paralel halat kabloları çok-telli helis halatlarla birlikte uygulanırlar. İlk zamanlar inşa edilen eğik askılı köprülerde,örneğin Strömsund Köprüsünde, her bir gergi kablosunun helis halatı, şekil 2.9' da da görüldüğü gibi ayrı olarak yerleştirilmiştir. Daha sonraları, büyük gergi kablolarını, tüm helis halatları sıkıştırılmış bir kesit içerisinde birleştirerek kullanmak tercih edildi.

Şekil 2.10, eğik askılı köprülerde kullanılan çok kablolu gerginin tipik kesitlerini göstermektedir.



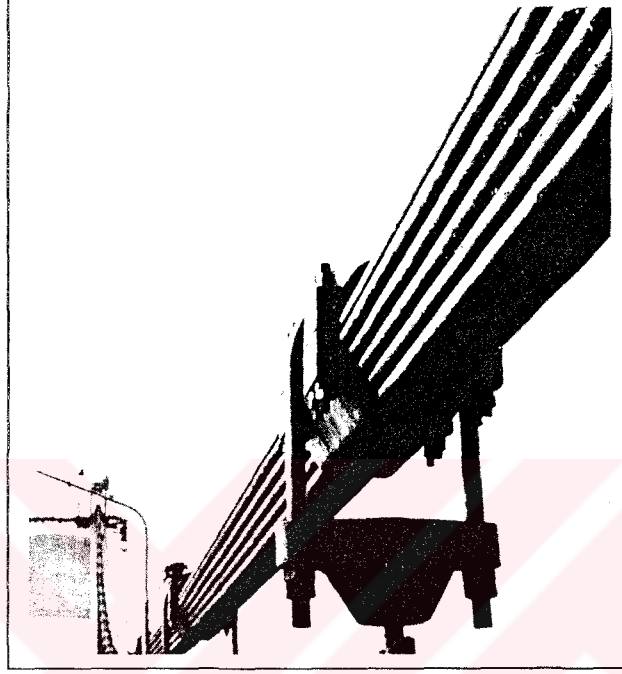
Şekil 2.9 Dört ayrı helis halattan oluşmuş gergi kablosu (Strömsund Köprüsü).



Şekil 2.10 Çok-halatlı gergi kablolarının kesitleri.

Şekilden de görüleceği gibi kablodaki halatların modeli, altıgen, kare, ve basık dikdörtgen gibi oldukça farklı şekillerde olabilir.

Asma köprülerde, helis halatlardan yapılan ana kablolar genellikle tamamlandıktan sonra altıgen şeklini alırlar. Şekil 2.11' de Tancarville Köprüsünde kullanılan bu tip kablo gösterilmektedir.



Şekil 2.11 Tancarville Asma Köprüsünün helis halatlardan oluşmuş ana kablosu.

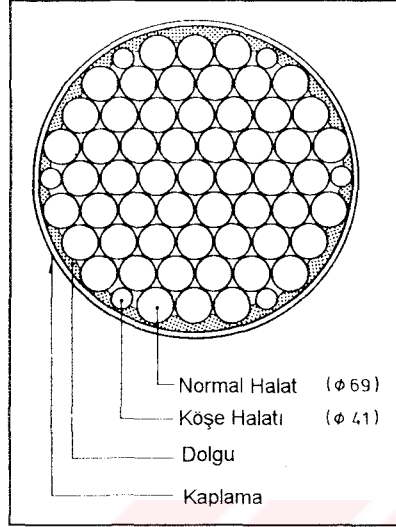
Helis halatlardan oluşmuş ana kablolarla sahip Little Belt Köprüsünde, kullanılan normal halatlardan daha küçük çapta köşe halatları kullanılarak dairesel şekilde kablolar yapılmıştır (Şekil 2.12). Halatların yerleştirilmesinden sonra, polietilen dolgu malzemesinin katılması ve tüm kablonun çelik tellerle kaplanması ile tam bir dairesel kesit oluşturulur. Bu prosedür ile, gel-git metodu sonucunda elde edilen dairesel şeklin aynisi elde edilir. Aynı zamanda, paslanmaya karşı koruma da artırılmış olur.

Little Belt Köprüsünde ana kablolarla kullanılan helis halatların uzunluğu yaklaşık olarak 1500 m' dir ve asma köprülerde bugüne kadar kullanılan en uzun miktardır.

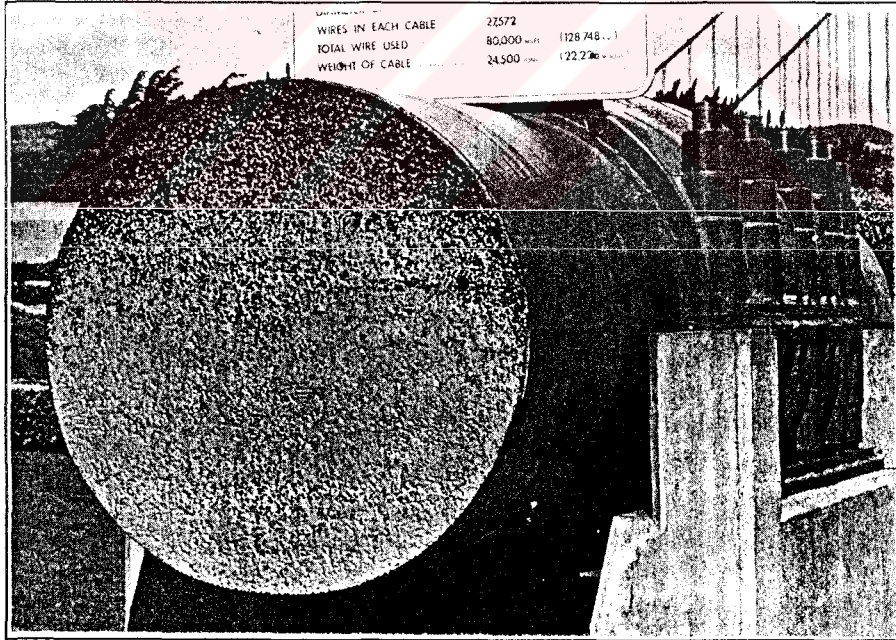
Büyük kablo uzunluklarına sahip asma köprülerde ana kablolar ya gel-git metodu ile veya paralel-tel metodu ile yapılırlar.

Bir yüzyıl boyunca, gel-git metodu, asma köprülerin ana kablolarının inşaatı sırasında tercih edilen metod olmuştur. Bu metod ile, 30000 adete kadar 5 mm' lik tele

sahip kablo kesitleri, sahada, ayrı tellerin kule semerlerinin üzerinden, bir ankraj noktasından diğerine tek tek çekilmesi ile yapılmıştır (Şekil 2.13).



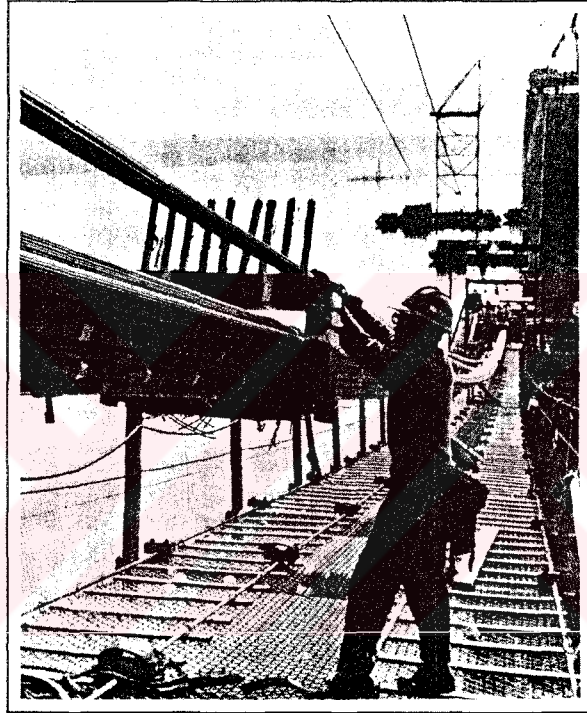
Şekil 2.12 Little Belt Köprüsünün ana kablosunun kesiti



Şekil 2.13 Golden Gate Köprüsünün 27572 adet telden oluşmuş ana kablosu.

Prefabrike paralel-tel halatların, asma köprülerin ana kablolarının inşaatı sırasında kullanılmasına başlanmasının sebepleri, işçi sayısını azaltması, havaya karşı duyarlı olması

ve yapımı hızlandırması olarak gösterilebilir. Basitçe, gel-git metodu ile paralel-tel halat metodu arasındaki fark, birincisinde teller tek tek, ikincisinde ise prefabrike halatlar halinde çekilirler (Şekil 2.14). Paralel-tel halatlarının birim boylarının ağırlığının daha fazla olmasından dolayı daha stabildirler ve yapım sırasında rüzgardan daha az etkilenirler. Bunun yanında, paralel-tel halat metodunda, inşa sırasında yapılan kablo sarkma ayarlaması prefabrike halat için bir defa yapılırken, gel-git metodunda, bu, herbir tel için tekrarlanır.



Şekil 2.14 Asma köprü ana kablosunun paralel-tel metodu ile yapılması.

Paralel-tel halat metodunun uygulanmasını sınırlayıcı etken, halatın ağırlığıdır, çünkü, üretilecek olan halatın uzunluğu, iki ankraj noktası arası boyunca uzanan ana kabloya eşdeğer olması gerekmektedir. Bununla birlikte, üretilen halatlardan oluşturulan makaraların ağırlığı ve büyüklüğü yerel ulaşım imkanlarına bağlı olarak da sınırlıdır. Üretim yerinden inşaat sahasına direk olarak deniz yolu ile ulaşılabiliriyorsa, o zaman daha büyük ve daha ağır makaralarla sınırlandırılabilir.

Buna bağlı olarak, paralel-tel halatlarının üretim yerlerinin inşa sahasının yanına kurulmasına imkan varsa ulaşım problemi tamamen veya büyük ölçüde azalır.

Kabloya uygulanan sıkıştırma ve kaplama gibi son müdahaleler her iki metod için de aynıdır.

Asma köprülerin ana kablolarında prefabrike paralel-tel halatlarının kullanımı başladıktan sonra bunun gel-git metodunun tamamen yerini alacağı tahmin ediliyordu.

Birinci Boğaziçi Köprüsü için, 1969' da teklif aşamasında iken, danışman mühendisler, ana kabloların tasarımlarını prefabrike paralel-tel halatların uygulanması yönünde esas almışlardı, ancak, en düşük teklifin diğer metodu içermesi yapım sırasında gel-git metodunun uygulanmasını gerektirdi. Böylece, o zamanlarda paralel-tel halat metodunun uygulanması tüm şartlar altında diğer metod ile yarışacak kadar gelişmemiştir.

Sınırlayıcı etken olarak prefabrike halatın boyu ile ağırlığı gösterilmiş, bu nedenle, bu tecrübeden sonra, bu metodun kullanılması ancak, ana açıklığı uzunluğu 1000 m' nin altında olan köprülerde uygun olabileceği düşünülmüştür.

Bununla beraber, 1970' li yılların sonlarına doğru Japonya' da yapılan araştırmalar sonucunda Bisan-Seto Köprülerinin ana kablolarının yapımında paralel-tel halat metodunun kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür. Sonuç olarak 990 m ve 1100 m açıklıklara sahip bu köprülerden sonra 1000 m'lik limit geçerliliğini kaybetmiştir.

2.3 PASLANMAYA KARŞI KORUMA

Oldukça küçük çaplardaki tellerin ana yük taşıyıcı elemanlar olarak kullanılması ve bu tellerin en ufak bir paslanma sonucunda mukavemetlerinin tolerans edilemeyecek derecede düşmesi bu korumayı önemli kılar. Bitmiş kablolarda teller arasında boşluklar olduğunu ve bu tellerin çoğunun kontrol ve onarım için ulaşılamıyacak olmasını ve de tellerin içerdiği çelik maddelerin gerilme paslanmasına karşı hashas olduğu düşünülürse ne derecede ciddi paslanma problemiyle karşı karşıya olunduğu görülür.

Tek bir tel için en etkili koruma yöntemi, sıcak galvanizleme ile elde edilir. Bu da yaklaşık 3 N/m² ağırlığındaki zink ile mümkündür. 5 mm' lik tel için yaklaşık 0.05 N/m ağırlığında veya telin çelik ağırlığının %3.5' ine denk gelen zink kullanılır.

Galvanize teller günümüzde genellikle asma köprülerin ana kablolarında, eğer kablolar gel-git metodu ile veya prefabrike paralel-tel halat metodu ile yapılmışsa kullanılır. Paslanmaya karşı korumayı daha fazla artırmak için, kablolar dairesel olarak sıkıştırıldıktan sonra, tamamlanmış kablonun üzeri yumuşatılmış galvanize telle kaplanmadan önce zink tozu yapıştırılır. Bu yöntemle çift-koruma sağlanmış olur, ve eğer gereken titizlik gösterilirse çok etkili bir koruma yöntemi olur.

Bu açıkça 1946 yılında Brooklyn Köprüsünün incelenmesi sırasında tespit edilmiş ve 60 yıllık kabloların çok iyi durumda olduğu gözlenmiştir.

Son zamanlarda yapılan asma köprülerde, ana kabloların yumuşak tellerle kaplanması yerini plastik kablo örtülerine bırakmıştır. Plastik örtüler aşağıdaki elemanları içermektedir:

- (1) polyester film örtü;
- (2) akrilik reçine ile birinci kaplama;
- (3) sıkıştırılmış, dokunmamış cam tabaka;
- (4) akrilik reçine ile ikinci kaplama;
- (5) 150 mm genişliğinde dokunmuş cam;
- (6) akrilik reçine ile üçüncü kaplama;
- (7) son kaplama ise akrilik reçine ile kumdan oluşan ve pürüzlü yüzeye sahip karışım.

Prefabrike paralel-tel halatlarının kullanılmasına başlanmasındaki önemli nedenlerden bir tanesi, plastik kaplamalardan çok şeylerin beklenmesiydi, ancak bazı yönlerden dolayı bu beklentiler tam olarak gerçekleşmedi. Bundan dolayı plastik kaplamalar çelik tel kaplamalarının yerini henüz alamadı. Fakat, plastik kaplamaların, çekmeye maruz kalmadığı zaman uygulandığında, kablo telleri arasındaki sürtünmeyi yükseltmediğinden dolayı, kabloların büküldüğü yerlerde kullanımı çekicilik kazanır. Bu yüzden plastik kaplamalar açılmal değişikliğin çok olduğu semer yollarında, geriye kalan kısımlarda da çelik tel kaplamalar uygulanabilir.

Galvanize edilmiş veya edilmemiş teller eğik askılı köprülerin gergi kablolarındaki halatlarda kullanılır.

Bazı durumlarda gergi kablolarının tüm korunması her telin galvanize edilmesiyle sağlanır. Burada gergi kabloları galvanize tellerden oluşmuş helezon halatlardan meydana gelir. Bu yöntem, asma köprülerdeki çift-koruma kadar etkili olmasa da tellerin tamamen sıcak galvanizeye tabii tutulması ve tamamlanmış halatların dikkatle kurulması yeterli derecede korozyonun sağlanmasına yardımcı olur.

Kenetlenmiş halatlar genellikle, farklı katlarda değişen korumayla yapılırlar. Bu yüzden en yaygın olanı, dıştaki z-şeklindeki tellerin galvanize edilmiş, içtekilerin ise edilmemiş olduğu halidir. İçteki yuvarlak tellerin arasındaki boşlukları azaltmak veya yok etmek için, üretim sırasında bu boşluklar kırmızı kurşunla doldurulurlar. Bazı durumlarda ise teller galvanize edilmemiştirler ve paslanmaya karşı dış koruma normal boyama işlemleriyle gerçekleştirilir. Bu yöntem Köhlbrand Köprüsünde kullanılmış ancak 3-4 yıllık kulanımdan sonra tellerde kırılmalar görülmüş ve tüm halatların yüksek maliyetle değişimi gerekmişti.

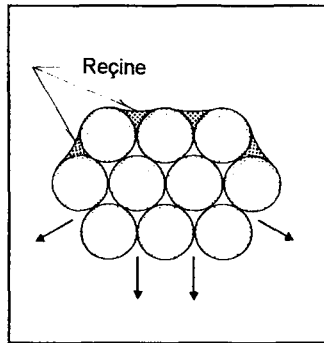
Bu köprünün böyle erken yıpranmasının nedenlerine bakılırsa, köprünün konumunun endüstriyel yerleşimin olduğu bir bölgede olması, ve bu yüzden havadaki kükürt ve fosfor oranının yüksek olması; soket yanlarında, iç tellerin kırmızı kurşundan olan korumasının sıcaktan hasar görmüş olması; dış tellerin bazılarında çentiklerin bulunması; halatların rijitlik kirişine bağlandığı noktadaki açısal değişikliklerin soketlerde yoğunlaşması ve böylece bu noktadaki halatlarda büyük eğilme olması gösterilebilir. Bunlara ek olarak, gergi kablolarının alt kısımlarının yoldan seken tuzlu suya maruz kalması ve kötü işçilikten dolayı halatların yer yer iyi boyanmamış olması da etkili olmuştur.

Fransada, kenetlenmiş halatlardaki paslanma problemini çözmek için, dış tellerde nikel-krom cinsi paslanmaz çelik kullanımına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Ancak, yapılan deneyler, galvanize edilmiş dış tellere sahip halatlarda elde edilen korumadan daha fazla bir koruma sağlamamıştır.

Bunun nedenlerinden biri ise, galvanize tellerin üzerindeki zink katmanının, içteki galvanize edilmemiş teller üzerindeki elverişli etkisinden kaynaklanabilir. Bu tür bir etki paslanmaz çelik ile elde edilemedi.

Kanada'daki Papineau-Leblanc Köprüsünün inşa edilmesiyle birlikte, paslanmaya karşı etkili bir koruma yöntemi de bulunmuştur. Burada galvanize halatın çevresi, üretim sırasında, atölyede, 5 mm'lik polietilen katman ile çevrilmiştir.

Birkaç kenetlenmiş halattan oluşan kablolarda, üst yüzdeki halatların arasındaki boşlukları doldurmak için çoğu zaman reçine kullanılmaktadır. Böylece suyun kablo içerisine girmesi engellenmiş olur. Üst kısma konmasının diğer bir özelliği ise elde olmayan sebeplerle içeriye girmeyi başaran suyun alta doğru kaçmasını sağlamaktır (Şekil 2.15).



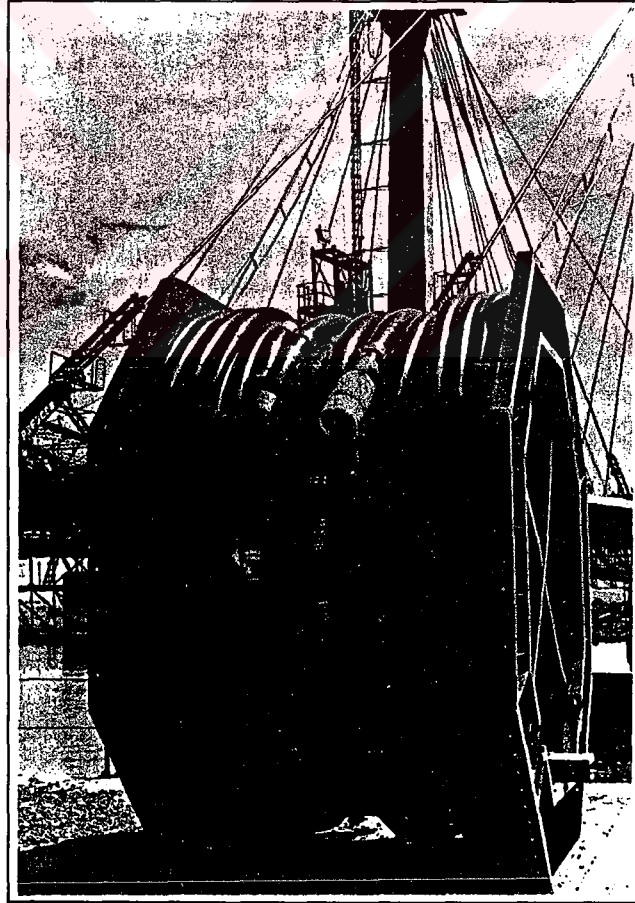
Şekil 2.15 Su geçişini azaltmak için üstteki halatların arasının reçine ile doldurulması.

Çok kablolu, eğik askılı körülerde kullanılan paralel telli halatlar, asma köprülerin ana kablolarında kullanılan yöntemle benzer şekilde, plastik örtü kullanılarak paslanmaya

karşı korunabilirler. Mannheim' deki North Köprüsünde, galvanize edilmemiş teller ilk önce poliyuretan kromlu çinkoya batırılmış, daha sonra polyester film ile sarılarak 4 mm kalınlığındaki poliyuretan ile kaplanmıştır. Son olarak da, daha fazla koruma için kablo boyanmıştır.

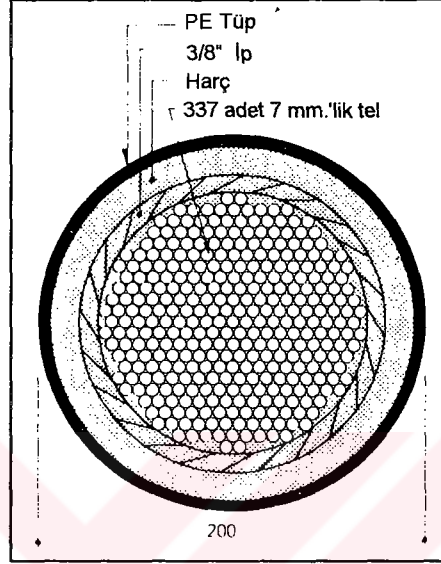
Son yapılan eğik askılı köprülerde kullanılan prefabrike paralel tel halatlarda, paslanmaya karşı önlem, telleri bir tüp içerisine koyarak ve daha sonra içerisine harç enjekte ederek sağlanmıştır. Burada kullanılan teller genellikle galvanize edilmemiştir.

Tüp paslanmaz çelikten, veya polyetilenden olabilir. Paslanmaz çelik, iyi bilinen ve uzun süren bir koruma şekli sunar, ancak, yapımı sırasında bazı problemler yaratır, çünkü, yüksek elastisite modülünden dolayı, ince cidar kalınlığına sahip tüpleri düz tutmak zor olur. Polyetilenden yapılan tüplerle ise, tüm gergi kablosu (teller, soketler ve tüp) bir arada üretilebilir ve sarılarak istenilen yere taşınabilir (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 Paralel-tel halatlarının polyetilin tüplerle makara gibi sarılması.

Köprüye monte edildikten sonra, kabloya zati ağırlıktan dolayı gerilmeler verilir, ve daha sonra da içerisine harç enjekte edilir (Şekil 2.17). Böylece harçtaki çatlamlar azaltılmış olur.



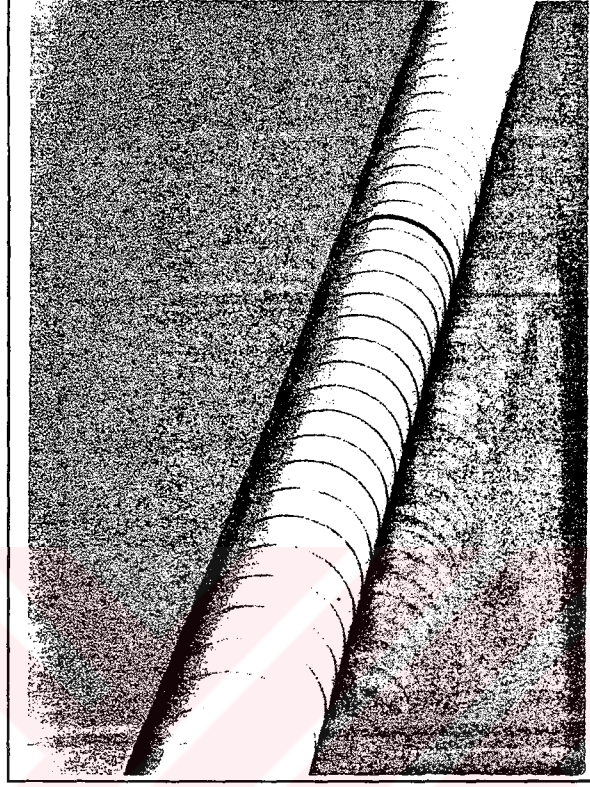
Şekil 2.17 Parana Köprüsünde kullanılan, içi harç doldurulan polietilen tüpe sahip paralel-telli halat.

Birkaç büyük eğik askılı köprüde kullanılmasına rağmen, harç doldurulmuş polietilen tüplerle sağlanan koruma bazı köprü mühendislerinde şüphe yaratmıştı. Korkuları, polietilin ve harçta meydana gelecek olan çatlakların korumanın etkisini düşüreceği şeklindeydi. Nitekim, bazı köprülerde bu gerçekleşti. Örneğin Parana Köprüsünde polietilin tüplerde çatlaklar gözlemlenmiş, böylece etkili bir koruma sağlanamamış oldu. Parana Köprüsündeki bu problem ise halatların makara şeklinde uzun süre sarılı kalmasına, böylece tüplerde büzülme (creep) meydana gelmesine bağlanabilir.

Ancak yinede, birçok köprüde bu yöntem başarı ile uygulanmış ve bu koruma yönteminin etkinliği gerçek şartlar altında halen test edilmektedir.

Bugüne kadar elde edilen tecrübelerle, eğik askılı köprülerde başarılı bir sonuç elde etmek için, polietilin tüplerin üretiminde, sarılmasında ve açılmasında, harç enjekte edilmesinde büyük dikkate ve titizliğe gerek vardır.

Polietilin tüplerin kullanıldığı birçok köprüde, polietilinin siyah yüzeyi daha fazla koruma yapılmadan bırakılabilir. Fakat, Pasco-Kennewick Köprüsünde tüpler beyaz plastik ile kaplanmıştı (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 Beyaz plastik kaplamaya sahip Pasco- Kennewick Köprüsünün paralel-tel halatları.

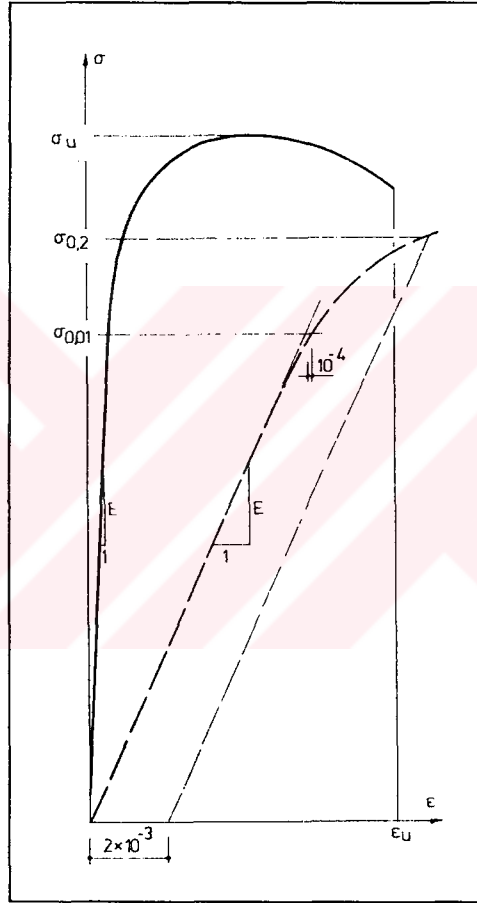
Bu beyaz kaplama esnetik sebeplerden dolayı kaplanmış olmasına rağmen, şüphesiz, polietilini iklimsel şartlara karşı koruduğu söylenebilir.

Sonuç olarak özetlemek gerekirse, kablolu köprülerde paslanmaya karşı korunma sağlanması için oldukça fazla çapa harcandığı halde, halen en ideal çözüm bulunamamıştır. Bu alandaki gelişmeler, uzun süreli güvenilirlik ve de yedek parça sağlanması açısından gereklidir.

2.4 MEKANİK ÖZELLİKLER

2.4.1 Statik Mukavemet

Kablolarda kullanılan teller için gerilme-deformasyon ilişkisi şekil 2.19' daki gibidir.



Şekil 2.19 Kablolarda kullanılan tellere ait tipik gerilme-deformasyon diyagramı.
(Noktalı eğrinin yatay ölçeği 10 kez büyütülmüştür.)

Burada tasarımcılar için gerekli en önemli parametreler:

elastisite modülü: E

orantı limiti (% 0.01 gerilmesi): $\sigma_{0.01}$

% 0.2 gerilmesi: $\sigma_{0.2}$

kopma gerilmesi: σ_u

kopmadaki toplam uzama: ϵ_u

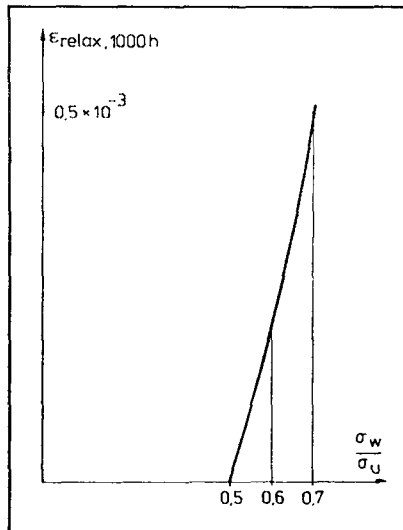
Elastisite modülü yapı çeliğinkinden biraz daha düşüktür. Böylece tasarım sırasında, $E=205 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ gibi bir değer kullanılır.

Kablolar için kullanılan tellerde garanti edilen minimum çekme mukavemeti 1600 MN/m² ve garanti edilen % 0.2 deneme gerilmesi 1400 MN/m²' dir. Orantı limiti (% 0.01 deneme gerilmesi] ise çekme mukavemetinin % 75-80 civarı olur. Tasarım sırasında orantı limiti önemli bir noktadır, çünkü, bu gerilme servis durumundaki en üst limiti gösterir. Bunu göz önünde bulundurursak, köprünün ömrü boyunca sık aralıklarla, tellerin kalıcı uzamasına sebebiyet verecek yüklere maruz kalması kabul edilemez.

Kopma noktasındaki uzama yumuşak çeliğinkinden oldukça küçük olmasına rağmen, gerilme deformasyon diyagramından da görüleceği gibi, kablo çeliği gerçek plastik davranışı göstermiyor. Bununla birlikte, meydana gelen plastik deformasyonlar genellikle, inşa sırasında meydana gelecek eksikliklerden doğacak farklı başlangıç gerilmelerine sahip tellerdeki kuvvetlerin tekrar dağılımına ve de kalıcı yüklerden dolayı oluşan eğilmelerden gelen maksimum gerilmeleri azaltmaya izin verecek miktardadır. Diğer yandan, kablo çeliğinin plastik deformasyonu, tüm yapının tasarımının plastik dizayn olarak yapılmasına izin verecek kadar çok değildir.

2.4.2 Gevşeme (Relaxation)

Kablo çeliğindeki emniyet gerilmesi düzeyini sağlamak için, gevşemenin etkilerinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Şekil 2.20' de de görüldüğü gibi, eğer kalıcı gerilmenin değeri çekme mukavemetinin % 50' sinden daha fazla alınırsa, gevşeme önemli bir ivme sağlar. Böylece kalıcı yüklerden gelen gerilmenin $0.45\sigma_u$ ' yu geçmemesi gerekmektedir, veya, özel, düşük gevşeme özelliğine sahip çelik kullanılmalıdır.



Şekil 2.20 100 saat boyunca σ_w sabit gerilmesine maruz kalan normal kablo telinin kalıcı deformasyonu.

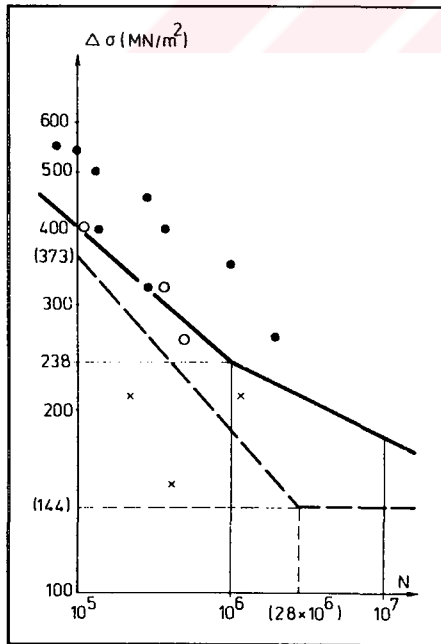
2.4.3 Yorulma Mukavemeti (Fatik)

Çeliğin yorulma mukavemetinin nihai çekme gerilmesiyle orantılı bir şekilde artmasından dolayı, kabloların tasarımında titreşimli yüklerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Fakat, kabloların ana taşıyıcı elemanlar olması ve bu nedenle oldukça fazla kalıcı yükler taşıması, ve de araç trafiğinden meydana gelen kuvvetlerin köprü tabliyesinde rijitlik kirişleri tarafından dağıtılması yorulma problemlerini bir ölçüye kadar azaltır.

Bunun için, araba trafiğine sahip otoyol köprülerinde, çelikten ve hafif rijitlik kirişine sahip olsa da yorulma mukavemeti sadece birkaç kablonun ölçülerini etkiler. Ağır betonarme kirişlere sahip köprülerde ise zati yük kuvvetleri o kadar büyük olur ki yorulma etkileri ihmal edilebilir.

Demiryolu köprülerinde ise yorulma etkisi, trafik yükü ile zati yük arasındaki oranın yüksek olmasından dolayı daha önemlidir.

Yorulmaya karşı dayanıklılık genellikle, yükleme sayısı (N) ile gerilme aralığı ($\Delta\sigma$) arasındaki ilişkiyi veren Wöhler eğrisi ile gösterilir. Logaritmik grafikte Wöhler eğrisinin düz çizgilerden oluştuğu kabul edilmiştir (Şekil 2.21).



- Paralel-telli kablolar ($\varnothing 7$)
- Paralel-halatlı kablolar (7 telli halatlar)
- x Kenetlenmiş halatlar

Şekil 2.21. Wöhler eğrileri. Paralel telli halatlar için, Birkenmaier ve Narayanan'ın önerdikleri düz çizgiyle, yapı çeliği yorulma tasarım eğrileri esas alınarak önerilen ise kesik çizgi ile belirtilmiştir.

Paralel-telli halatlar için Birkenmaier ve Narayanan, şekilde düz çizgi ile gösterilen ve aşağıdaki gibi ifade edilen Wöhler eğrisini önermişlerdir:

$$\log \Delta\sigma = \begin{cases} -\frac{1}{4.5} \log N + 3.710 & \text{for } N \leq 10^6 \text{ } (\Delta\sigma \geq 238 \text{ MN/m}^2) \\ -\frac{1}{8} \log N + 3.127 & \text{for } N > 10^6 \text{ } (\Delta\sigma < 238 \text{ MN/m}^2) \end{cases} \quad (2.1)$$

Görüldüğü gibi, Wöhler eğrisi sadece gösterilen paralel tel halatın (19 adet 7 mm'lik tel) ve paralel halatlı kabloların (7 adet yedi-telli halat) deney sonuçlarını içerir. Bu kabloların yüksek yorulma mukavemetine sahip ankrajları vardır.

Belirtmekte fayda var ki Birkenmaier ve Narayanan tarafından önerilen bu eğri, şu ana kadar tüm mühendisler ve otoriteler tarafından paralel-tel ve paralel-halatlı kabloların yorulma kontrolü için onaylanmıştır. Bunun için, bazı durumlarda yorulma kontrolü daha konservatif varsayımlara dayanır, ve böyle bir Wöhler eğrisi de kesik çizgilerle gösterilmiştir.

$$(\log \Delta\sigma = -(1/3.5) \log N + 4.0 \text{ for } N \leq 2.8 \times 10^6).$$

Bu bağıntıda, üzerinde durulması gereken, trafik yüklerinin ve güvenlik katsayısının seçiminde göz önünde bulundurulmuş konservatiflik derecesi ile yakından ilgili olarak Wöhler eğrisinin seçilmesidir.

Şekil 2.21, alışlagelmiş soketlerle kenetlenmiş halatların test sonuçlarını da gösterir. Görüldüğü gibi, bu halatların yorulma gerilmesinin tahmini hiçbir Wöhler eğrisine uymamaktadır. Bu nedenle, kenetlenmiş halatların yorulma kontrolü oldukça düşük wöhler eğrileriyle yapılmalıdır.

Yapının yorulma kontrolü yapılırken, şartnamelere uygun normal yüklemenin yapılmaması gerekmektedir, çünkü bunlar maksimum yüklemelerdir ve köprü ömrü boyunca bu yüklere sadece birkaç kez veya hiç maruz kalmıyacaktır.

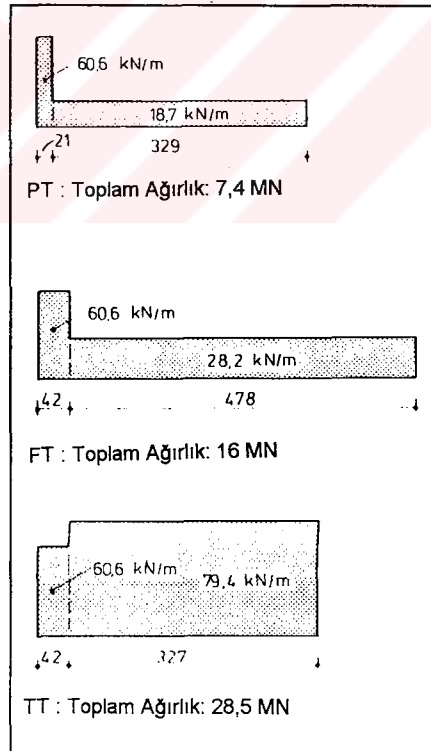
Yakın geçmişe kadar Alman standartları, yorulma kontrolünde kullanılacak yüklerin demiryolu projelerinin % 100' ü ve yol projelerinin de % 50' si olacağı şeklindeydi. Aslında bu yükler, çok sayıda tekrarlanan yükler yönünden, gerçek değerlerle kıyaslandığında oldukça büyüktürler. Böylece, ağır ve tamamen yüklü yük trenlerini göz önünde bulundurarak seçilen demiryolu proje yüklerinin, yolcu taşıyan vagonlu trenlere oranla yaklaşık 4 kat daha fazla olduğu açıkça görülmektedir. Bunun yanında yük trenleri genelde kısmen dolu olur. Sadece, özellikle maden cevheri ve

kömürün taşındığı demiryollara sahip köprülerin bu yükler altında yorulma kontrolünün yapılması yerinde bir yöntem olur.

Aynı şekilde, karayolları için belirlenmiş olan proje yükleri de yüksek durumlara karşılık gelir. Birçok şartnamede, şerit yükü 6 ile 8 KN/m arasında değişmektedir. Ancak, hareket eden ve yaklaşık 10 metre uzunluğundaki, ve şerit genişliğindeki bir yolcu taşıtının gerçek yükü 0.5 KN/m' den fazla zor olur. Burada yolcu taşıtının % 80-90 civarında dolu olduğu göz önünde bulundurulmuştur. Sonuç olarak çok sayıda tekrarlanan yüklemeye, proje yükünün küçük bir parçasını içerir.

Birleşik köprü olarak projelendirilen, ve 6 şerit otoyol ile çift raydan oluşan demiryolu olan Great Belt Köprüsünün kabloları için yapılan yorulma kontrolünde sadece demir yolu yükleri gözönünde bulundurulmuştur, çünkü yapının kullanımı sırasında etkiyecek olan otoyolu yüklerinin, demiryolu yükleri yanında çok küçük olduğu görülmüş ve ihmal edilmiştir.

Trenlerden oluşan gerilme değerleri idealize edilmiş birkaç modele göre yapılmıştır (Şekil 2.22). Bu trenler şartnamedeki değerlere göre gerçeğe daha yakın seçilmiştir



Şekil 2.22 Great Belt Köprüsü'nün yorulma kontrolü için idealize edilmiş tren yükleri.

(Burada PT: Yolcu trenini, FT: Yük trenini, TT: Büyük kapasiteli yük trenini göstermektedir.)

Tahminlere göre, geleceğin tren trafiği, 100 yıllık bir süre için hesaplanabilir. Böylece her kablo için gerilme spektrumu bulunabilir. Tablo 2.2, eğik askılı bir köprünün ankraj kablolarının değerlerini gösterir.

Tablo 2.2 Eğik askılı bir köprünün değerleri.

Yüklemeye sayısı	Tren veya tren kombinasyonu	Gerilme, $\Delta\sigma$ (MN/m ²)	100 yıldaki tekrar sayısı (N)
1	PT + TT	235	2.3×10^3
2	TT	188	143.7×10^3
3	FT + FT	162	105.0×10^3
4	PT + FT	128	53.5×10^3
5	PT + PT	94	24.2×10^3
6	FT	81	3.49×10^3
7	PT	47	2.48×10^3

Bu tablo, çok sık tekrarı olan yüklerin oluşturduğu gerilmelerin farklarının yorulma üzerindeki etkilerinin az veya hiç, büyük gerilme farklarının ise az tekrarlanan yüklerden geldiğini açıkça gösterir.

Gerilme spektrumu oluşturulduktan sonra, yorulma kontrolü genellikle Palmgren-Miner formülü ile yapılır:

$$\sum_{i=1}^n \frac{N_{p,i}}{N_i} \leq 1 \quad (2.2)$$

burada,

$N_{p,i}$: i yüklemesinin tekrar sayısı

N_i : Wöhler eğrileri ile bulunan gerilme değişiminin ($\Delta\sigma_i$) izin vereceği tekrar sayısını gösterir.

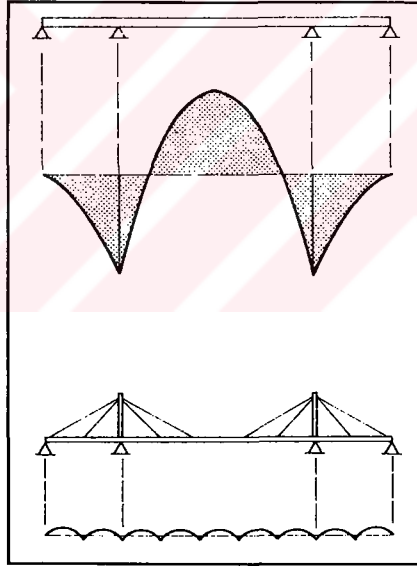
Palmgren-Miner formülü yorulma için yaygın ve kabul edilir olmasına rağmen, yorulma probleminin ne kadar karışık olduğu ve bu yüzden bu basit formülün ne kadar yüzeysel çözüm olduğu bilinmektedir. Bu yüzden beklenen gerilme spektrumuna maruz kalmış kablolarla çok sayıda yorulma testi yapılması daima tavsiye edilmektedir.

3. BÖLÜM : RİJİTLİK KİRİŞLERİ (TABLİYELER)

3.1 GİRİŞ

Kablolu köprülerde, tabliye ile bütünleşmiş rijitlik kirişi, dış yüklerin büyük bir çoğunluğuna maruz kalan yapı elemanıdır. Bunun sebebi ise tüm trafik yükünün rijitlik kirişinin tabliyesine etkimesini ve de zati yükler rüzgar yükünün kablo sistemine oranla kirişte daha fazla olmasına bağlanabilir.

Sonuç olarak, rijitlik kirişi, yerel yükleri aktarabilmelidir, ki burada genel yükün ana temellere aktarılmasında kablo sistemlerinin önemi büyüktür. Bu özellik Şekil 3.1' de gösterilmiştir. Üstte, zati yükler altında üç açıklıklı bir köprünün moment diyagramı, alta ise orta açıklıktan dört kablo ile tutulmuş, üç açıklıklı, eğik askılı bir köprünün moment diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Üç açıklıklı kiriş ile eğik askılı köprünün moment diyagramlarının karşılaştırılması.

Eğik askılı köprülerde, tabliyenin rijitlik kirişleri genelde eğilme momentlerine ve bunun yanında eğik kabloların normal kuvvetlerine maruz kalır.

Esas problem, rijitlik kirişinin yukarıdaki moment ve kuvvetlere bağlı olarak tasarımının yapılmasıdır. Karşılaşılan olaylar göstermiştir ki en elverişli çözüm ortotropik tip tabliye ile rijitlik kirişinin birleştirilerek bir bütün parçanın oluşturulması ile mümkündür.

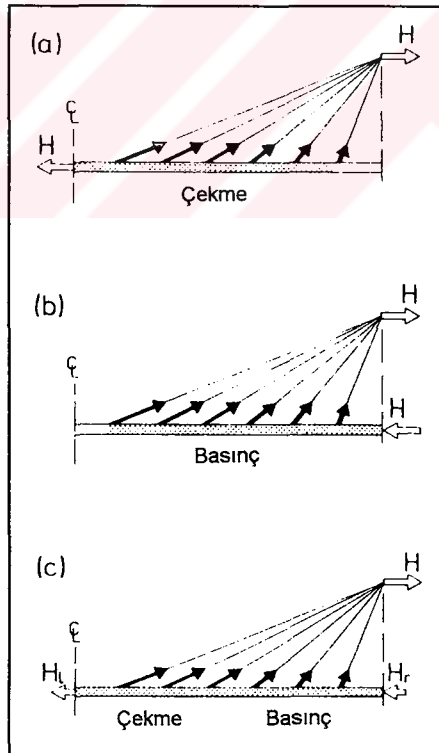
Genelde, kablolarla mesnetlenme, zati ağırlık yönünde oldukça etkili, trafik yükleri altında daha az, rüzgar yükleri karşısında ise oldukça etkisiz kalırlar. Eğik askılı köprülerde, kablolu mesnetlenmeden dolayı eğilme momentlerinde oldukça büyük azalmalar görülür. Buna karşılık olarak da rijitlik kirişleri kablolardaki yatay kuvvetleri normal kuvvet olarak aktarırlar. Bunun yanında, rijitlik kirişi, kablo sistemine eğilmeden ve burulmadan dolayı meydana gelen yükleri taşımasında yardımcı olur.

3.2 RİJİTLİK KİRİŞİNİN ETKİSİ

3.2.1 Eksenel Rijitlik

Kablo sistemleri her ne kadar çekmeye çalışmak zorundaysa da, rijitlik kirişleri genelde hem çekme hem de basınç kuvvetlerini aktarmaktadırlar. Böylece, ikisine birden çalışınca denge şartlarını sağlama imkanları oluşmuş olur.

Şekil 3.2, eğik askının çekmesine maruz kalmış bir kirişin, dengede durmasını sağlayan üç değişik olasılığı göstermektedir.



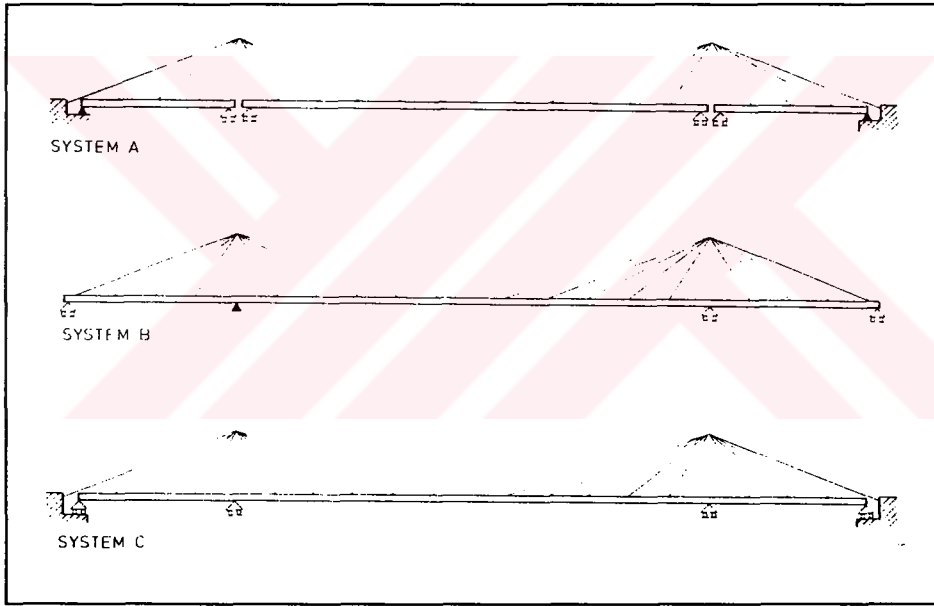
Şekil 3.2 Rijitlik kirişinin yatay dengesini sağlamak için üç olasılık.

(a) Bu sistemde rijitlik kirişi orta açıklıkta yatay çekme kuvvetine (H) maruz kalmıştır. Bu da kablo kuvvetlerinin yatay bileşkesinin toplamına eşittir. Sonuçta, kiriş, tam olarak çekmeye çalışmaktadır.

(b) Burada, rijitlik kirişi, kule ucundan yatay basınç kuvvetine (H) maruz kalmıştır. Böylece kiriş tam olarak basınca çalışır. Bu örnek, birçok eğik askılı köprüde kullanılan kendi içinde mesnetlenme yöntemidir.

(c) Son durumda ise, rijitlik kirişi, açıklık ortasında çekme kuvvetine (H_I), kule üzerinde ise basınç kuvvetine (H_r) maruz kalmıştır. $H_I + H_r$ 'ın toplam yatay kablo kuvvetine eşit olması ile denge şartları sağlanır. Orta açıklıktaki çekmenin (H_I), kiriş uçlarından toprağa aktarılması sistemi kısmen mesnetlenmiş sayar.

Yukarıdaki, dengedeki sistemler, şekil 3.3' deki gibi mesnetlenebilir.



Şekil 3.3 Fan şeklindeki kablo sistemine sahip üç değişik sistem.

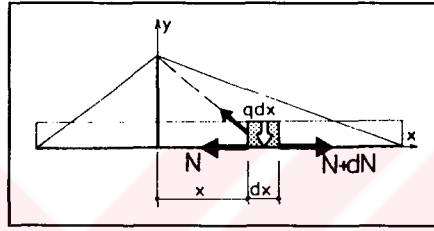
A' daki sistemde rijitlik kirişleri kulelerin olduğu yerlerde genleşme derzlerine sahiptir. Uçlarda ise basit mesnetlenmiştir. Bu, kulelerde sıfır normal kuvvet ve tüm kiriş boyunca çekmeye sahip, toprağa ankarajlı bir sistem demektir.

B' de ise, rijitlik kirişi bir uçtan diğer uca kadar süreklidir. Uç noktalarda ve de kulelerin birinde kayıcı mesnete bağlıdır. Ankraj kablosu direk olarak rijitlik kirişine bağlıdır, böylece daha önce de bahsedildiği gibi, kendi içerisinde mesnetlenmiştir. kiriş ise basınca çalışmaktadır.

C' deki sistemde, rijitlik kirişi yine sürekli ve de kayıcı mesnetlerle tutulmuştur, fakat, burada ankraj kablosu uç ayaklara (ankraj bloklarına) tutturulmuştur. Bu da, ana açıklığın ortasında çekmenin, yan açıklıklar ile orta açıklığın kenarlarında basıncın etkili olduğunu gösterir.

Aşağıda, bu üç sistemin sürekli olduğu ve açıklık boyunca sabit bir q yüküne maruz kaldığı idealize edilerek bulunan bazı karakteristikler gösterilmiştir.

Rijitlik kirişindeki normal kuvvet, $dN = q(x/h)dx$, ifadesinin integralini alarak bulunabilir. Burada; dN , kuleden x mesafe uzaklıktaki bir qdx yükünün oluşturacağı normal kuvveti gösterir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Rijitlik kirişine etkiyen qdx yükünün aktarılması.

Şekil 3.3' deki üç sistem için, gerekli sınır şartları;

Sistem A : Kulelerde $N = 0$

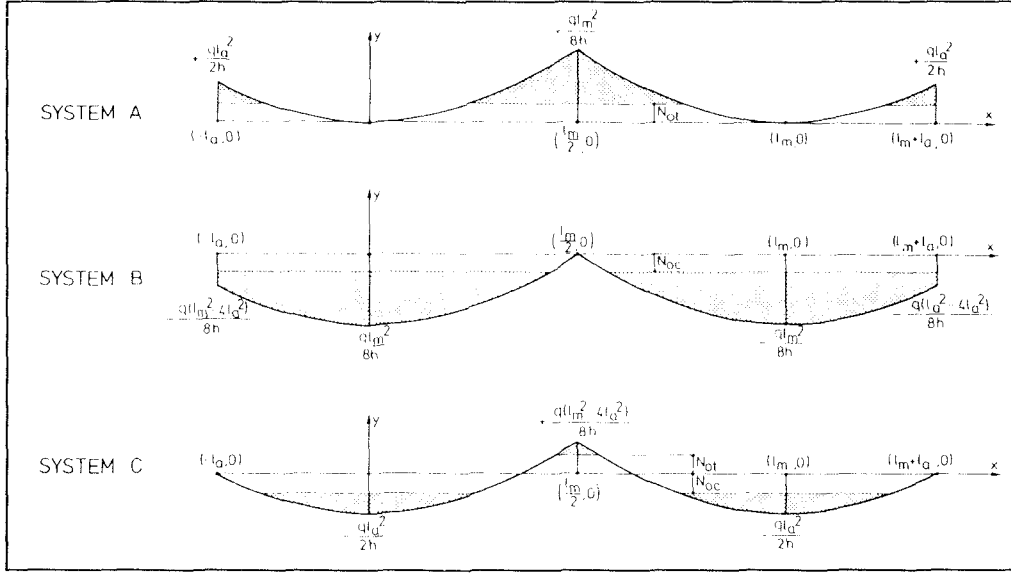
Sistem B : Ana açıklık ortasında $N = 0$

Sistem C : Yan açıklıkların ucunda $N = 0$, olarak yazılabilir.

Bu şartlarla normal kuvvet değerleri;

$$N(x) = \begin{cases} \int_0^x dN = \frac{1}{2} \frac{q}{h} x^2 & \text{A} \\ - \int_x^{l_m/2} dN = \frac{1}{2} \frac{q}{h} \left(x^2 - \frac{l_m^2}{4} \right) & \text{B} \\ - \int_x^{l_a} dN = \frac{q}{h} (x^2 - l_a^2) & \text{C} \end{cases} \quad (3.1)$$

ile bulunabilir. Buna karşılık gelen normal kuvvet diyagramları şekil 3.5' de gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Şekil 3.3' deki sistemlere ait normal kuvvet diyagramları

Görüldüğü gibi, üç sistemdeki normal kuvvetler işaret ve büyüklük yönünden büyük farklılıklar gösterir. Bu nedenle, bu yükleri aktaracak rijitlik kirişini oluşturmak için gerekli olan malzeme miktarı sistemden sisteme değişmektedir.

Bu yüzden, rijitlik kirişine eklenecek olan çelik malzemenin miktarının yüzeysel bir tahmini, normal kuvvet eğrisinin altındaki alanı (A_N) hesaplayarak yapılabilir:

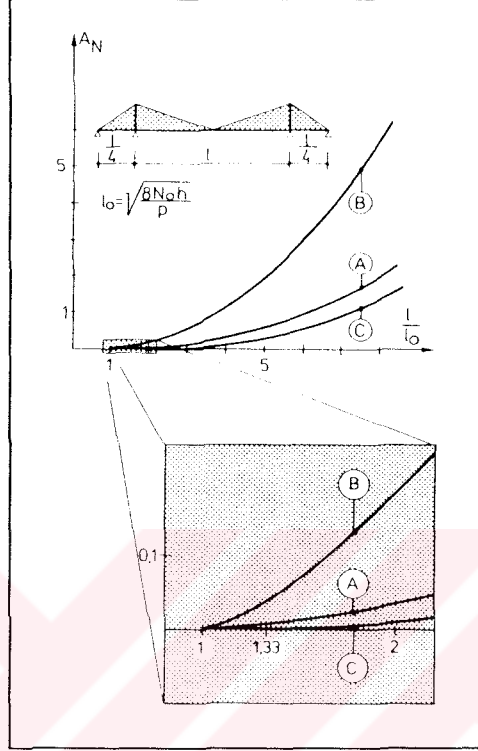
$$A_N = \int N(x) dx.$$

Ancak, rijitlik kirişine ekler yapmadan, rijitlik kirişinin bu yükleri belli bir sınıra kadar, (N_{0c} (basınç), N_{0t} (çekme)) aktarma kapasitesi vardır. Bu yüzden, normal kuvvet eğrisinde, bu sınırların dışında kalan alanlar, A_N' ye dahil edilmelidirler. Sonuç olarak, A_N , şekil 3.5' deki taranmış alanı içerecek.

Yan açıklıkların, ana açıklığa oranı 0.25 ve $N_{0c} = N_{0t} = N_0$ olan bir köprüde A_N varyasyonları, relatif ana açıklık oranı l/l_0 ile şekil 4.6' da gösterilmiştir. Burada, l_0 , A ve B sistemlerinde güçlendirilmeden kullanılabilecek maksimum ana açıklık uzunluğudur.

Şekil 3.6' dan da görüleceği gibi, sistem B, açıklık uzunlukları l_0' ı geçince diğerlerine oranla daha fazla malzeme kullanımına yol açmaktadır. Örneğin, $l = 4l_0$ olduğu zaman, sistem B' deki rijitlik kirişine gereken ek malzeme, sistem C' ninin 8 katı kadardır. Fakat, sistem B' nin kendi içerisinde mesnetlenebilir özelliğinin olması, temellere sadece düşey yükleri aktarmasına ve bu nedenle, belkide, kırışteki fazlalığı

dengeleyecek miktarda ekonomiye sebebiyet vermektedir. Bu, günümüzde bulunan ve relatif açıklık uzunluğu, l/l_0 , 1 ile 2 arasında değişen eğik askılı köprüler için geçerlidir.



Şekil 3.6 Şekil 3.5' deki normal kuvvet eğrilerinin altında kalan alanın varyasyonları.

Artan açıklık uzunlukları ile, temellerde yapılan ekonomi yönünden, C' deki sistem de rekabet edebilecek bir duruma gelmiştir. Aslında, belirtmek gerekirse, C' deki sistem birçok yönü ile kablo net sistemine karşılık gelmektedir.

3.2.2 Düşey Yönde Eğilme Rijitliği

Düşey yüklerin aktarılmasında, rijitlik kirişlerinin de yer alması, tüm sistemin kuruluşuna bağlıdır. İlke olarak, kirişlerin etkisi, düşey yöndeki eğilme rijitliklerine bağlı olarak, aşağıdaki kısımlara ayrılırlar:

1. etki; kablo ankraj noktaları arasındaki yükleri yerel olarak taşır
2. etki; genel yüklerin taşınmasında kablo sistemine yardımcı olur
3. etki; bir noktada yoğunlaşmış kuvvetleri dağıtır (noktasal yükler)

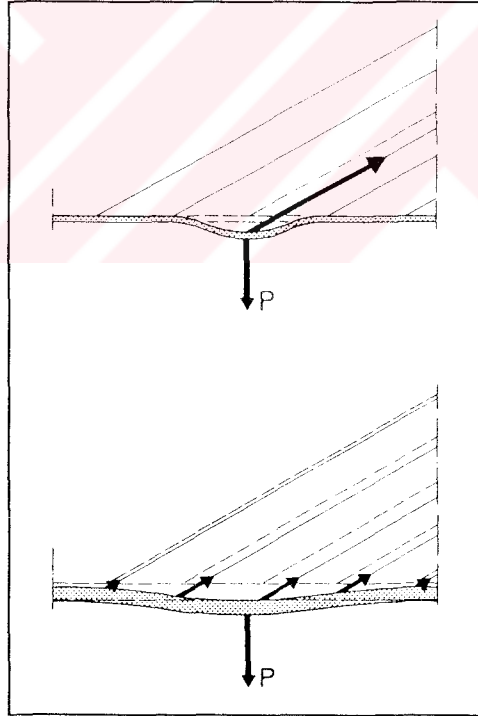
Rijitlik kirişinin direk olarak trafik yüklerine ve kendi ağırlığına maruz kalması, diğer yandan sadece kablo ankraj noktalarında kablo sistemine mesnetlenmesi, ankraj noktaları arasında deplasman yapan açıklıklar oluşturur.

Rijitlik kirişlerinin 1. etkisi, çelik köprülerde ara kirişlerin döşeme üzerindeki yükleri ana kirişlerin (makasların) kablolarla ankraj noktasına taşınması ile oluşur.

Rijitlik kirişlerinin 2. etkisi, stabil olmayan kablo sistemine sahip köprülerde (harp sistemlerde) meydana gelir. Bu gibi durumlarda, kirişlerin ve de ayakların eğilme rijitliği genel dengeyi oluşturmak için önemli rol oynar. Rijitlik kirişi, trafik yükünün bir kısmını sadece kablo ankraj noktalarına değil, köprünün ana ankraj noktalarına da taşınması gerekmektedir.

Rijitlik kirişlerinin, noktasal kuvvetleri dağıtmasından (3. tesir) genellikle, kirişi, çok sayıda kablo tutan, örneğin asma köprülerde, ve çok-kablolu eğik askılı köprülerde, yararlanılır.

Şekil 3.7' de de görüldüğü gibi noktasal kuvvetlerin birçok kabloya dağıtılması, kabloların proje kuvvetlerini düşürür, ve de bu noktalarda kirişin eğilmesi azalır.



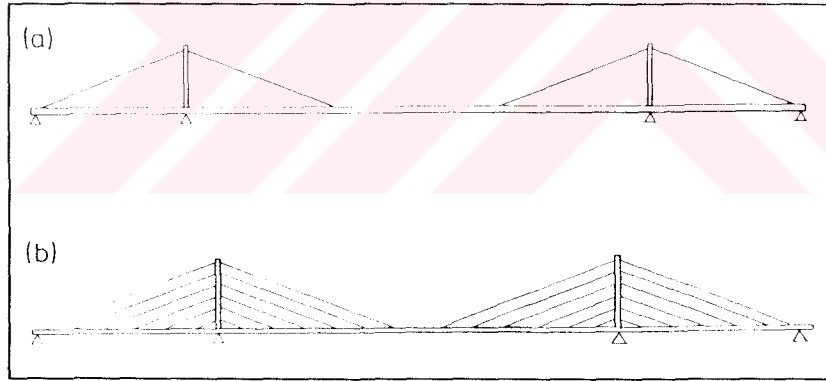
Şekil 3.7 Noktasal kuvvetin rijitlik kirişi tarafından dağıtılması.

Bir noktada yoğunlaşmış kuvvetin dağıtımı, ana ankraj noktası, üst ankraj kablosunun bağlandığı uçtan daha içeride bulunan çok kablolu sistemlerde de bulunur. Burada ankraj ayağının reaksiyonu, noktasal kuvvet olup, dağıtılarak birkaç kablonun ankraj kablosu olarak çalışmasını sağlar.

Yukarıda anlatılan tesirlerin kullanılması, köprüde uygulanan yapı sistemine büyük ölçüde bağlıdır. Bunu anlatmak için, şekil 3.8' de iki gergi kablolu köprü gösteriliyor:

- (a) her kuleden sadece bir gergi kablosu,
- (b) çok kablolu harp sistemi.

Sistem (a)' da rijitlik kirişinin 1. tesiri önem kazanır. Burada, kiriş, ana açıklığın üçte biri kadar bir mesafe için yükü kablo ankraj noktalarına taşımak zorundadır. 2. ve 3. tesirler ise, kablo sistemi birinci dereceden stabil olduğu için fazla önem taşımazlar. Noktasal yüklerin yayılması ise kablo ankraj noktaları arasındaki mesafenin fazla olmasından dolayı zorlaşır.



Şekil 3.8 Üç açıklıklı eğik askılı iki sistem.

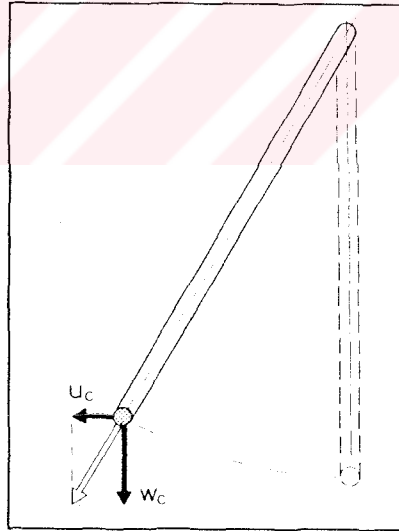
(b)' deki sistemde ise ankraj noktalarının sıklığı nedeni ile 1. tesir fazla önem taşımamaktadır. Diğer yandan, kablo sisteminin stabil olmamasından dolayı, 2. tesir ve, trafikten dolayı noktasal yük ile uç nokta reaksiyonlarının iç kısımda olmasından dolayı 3. tesir oldukça önem kazanır.

3.2.3 Yanal Yönde Eğilme Rijitliği

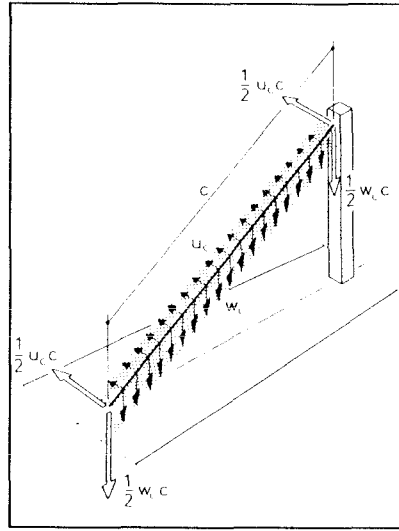
Rüzgardan veya depremden meydana gelen yanal kuvvetler rijitlik kirişine ve kablo sistemine etki ederler ve kirişin düşey aksı etrafında eğilmesine sebebiyet verirler. Eğer kablo sistemi kendi içerisinde ankrajlanan tipte ise, rijitlik kirişine etki eden tüm yanal kuvvetler eğilmeyle aktarılırlar.

Rijitlik kirişine etki eden rüzgar yükü, sadece kirişin üstüne etkiyen değil, aynı zamanda bazı kabloları etkileyen rüzgar yükünün de etkisi vardır. Bu yüzden yanal rüzgar yükleri altında kablolar yana kayacak ve böylece zincir eğrisi düzlemi ile kabloların zati ağırlığı (w_c) ile rüzgar yükünün (u_c) bileşkesi birbirleriyle çakışacak (Şekil 3.9). Dolayısıyla, rüzgar yükü kabloların ankraj noktalarına, zati yüklerle aynı şekilde, yanal rüzgar yükünün yarısı rijitlik kirişine, diğer yarısı da kuleye verilecek şekilde aktarılacak (Şekil 3.10).

Yanal kuvvetlere maruz kalmış üç değişik yapı sistemine sahip rijitlik kirişleri Şekil 3.11' de gösterilmiştir. (a)'daki sistemde, rijitlik kirişi üç adet basit mesnetli sistemden oluşmakta, dolayısıyla ana açıklıktaki yanal kuvvet açıklık boyunca pozitif momentler oluşturacaktır.

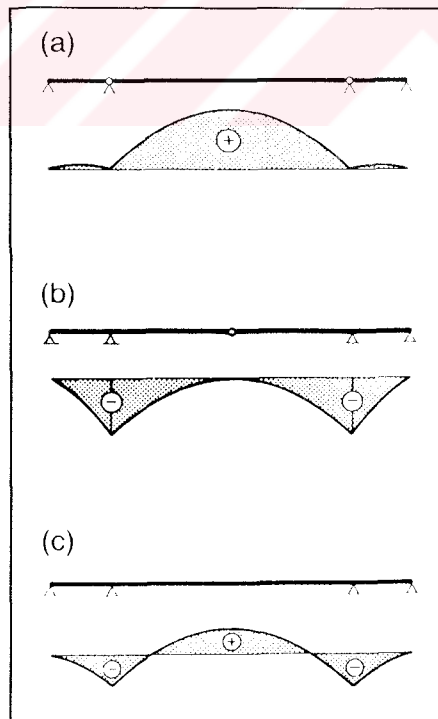


Şekil 3.9 Kendi ağırlığı ile rüzgar yüküne maruz gergi kablosunun yanal hareketi.



Şekil 3.10 Kendi ağırlığı ile rüzgar yükünden ankraj noktalarına etkileyen düşey ve yanal kuvvetler.

(b)' deki sistemde, rijitlik kirişi ana açıklık ortasından mafsallanmıştır ve momentler ana açıklık boyunca negatiftir. Son olarak (c)' deki sistemde rijitlik kirişi sürekli, böylece ana açıklıktaki momentler pozitif, kule yanlarında ise negatif değerdedir.



Şekil 3.11 Rijitlik kirişleri için yanal yönde üç değişik yapı sistemi.

(c)' deki maksimum proje momenti (a) ve (b)' deki momentlerle karşılaştırılırsa, görüldüğü gibi oldukça düşüktür.

Şekil 3.11' deki moment diyagramları kendi içerisinde mesnetlenen sistemlerde kullanılan tiplerdir. Burada tüm yanal kuvvetler eğilme olarak rijitlik kirişine aktarılmıştır. Toprağa ankrajlanmış sistemlerde, yanal yükler hem kirişlerin hem de kablo sisteminin yardımı ile aktarılır. İkisi arasındaki dağılım kirişin mesnetlenme koşullarına göre etkilenir. Böylece, esnekliği fazla bir kiriş, yanal kuvvetlerin büyük bir kısmının kablo sistemi tarafından aktarılacağı anlamına gelir. Basit mesetli açıklıkların, sürekli açıklıklar olarak değişmesi rijitlik kirişinin yanal deplasmanlarının önemli derecede azalmasını sağlar. Bunun yanında kablo sistemi ile aktarılan kuvvet de azalır. Sonuç olarak sürekli rijitlik kirişi kullanılarak kazanılan avantajlar toprağa ankrajlanan sistemler için daha az önemlidir.

3.2.4. Burulma Rijitliği

Kirişe gerekli olan burulma rijitliği, kablo sisteminin sunduğu burulmaya karşı mesnetlenme derecesine bağlıdır. Böylece, ortada sadece bir kablo düzlemine sahip köprülerde, burulma rijitliği olan kirişler, tüm sistemin trafik yükleri altında stabil kalabilmesi için gereklidir.

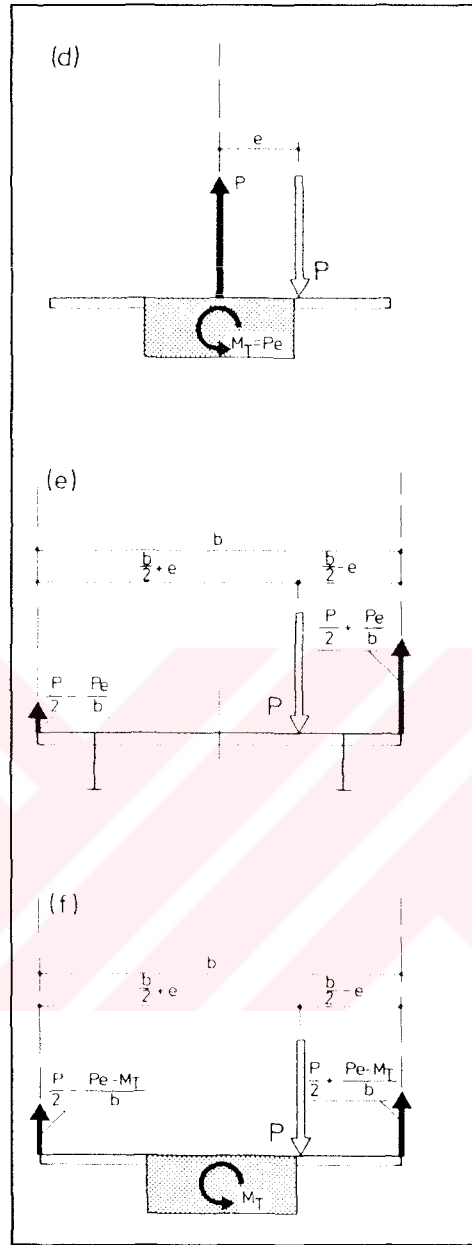
Rijitlik kirişlerinin, uçlarında iki tane kablo düzlemine sahip köprülerde, burulma rijitliği şart değildir, fakat yüklerin iki kablo düzlemi arasında düzgün yayılması açısından yararlıdır.

Şekil 3.12' de, (d), ortada kablo düzlemi olan ve burulmaya karşı rijit kirişe sahip, (e), iki kablo düzlemi olup, burulmaya karşı rijit olmayan kirişe sahip, (f), ise iki kablo sistemine ve burulmaya karşı rijit kirişe sahip sistemleri göstermektedir.

(d)' deki sistemde toplam burulma P_e kiriş tarafından karşılanmaktadır. Bu nedenle, boyutları gerekli burulma rijitliği sağlayacak ölçülerde, kutu kesit kirişe ihtiyaç vardır.

(e)' deki sistemde, ekzantrik P kuvveti, iki kablo düzlemi arasında moment kolu ilkesi ile dağıtılmış, böylece kirişte burulma momentleri oluşmamıştır.

(f)' deki sistemde ise burulma momenti P_e kısmen rijitlik kirişi tarafından, kısmen de kablo sistemi tarafından alınmıştır. Belirtildiği gibi, bu, iki kablo düzlemine etkileyen kuvvetler arasındaki farkı azaltır, böylece kirişin burulma rijitliği, iki kablo sistemi arasındaki kuvvet dağılımı için daha iyi bir ortam sağlamış olur.

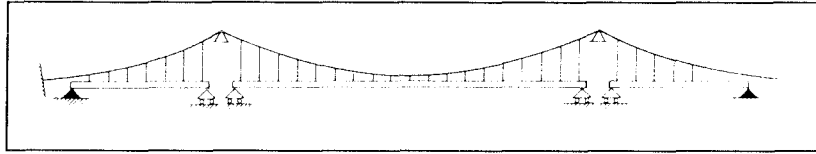


Şekil 3.12. Eksantrik P kuvvetinin değişik kablo düzlemlerine sahip sistemlerde aktarımı.

3.3 MESNETLENME ŞARTLARI

Düşey ve yatay yüklerin aktarılmasında rijitlik kirişi, kablo sistemi ve kuleler arasındaki dağılım, kirişin mesnetlenme şartlarına doğrudan bağlıdır.

Alışlagelmiş üç açıklıklı asma köprülerde, rijitlik kirişleri genellikle birbirinden ayrı, kulelerde ve uç ankraj bloklarında basit mesnetlenmiş, üç tane kirişten oluşur (Şekil 3.13). Genellikle, ankraj bloklarındaki mesnetler sabit mesnet, kule yanlarındakiler ise tüm uzamalara izin verecek şekilde kayıcı mesnet olarak yapılırlar.

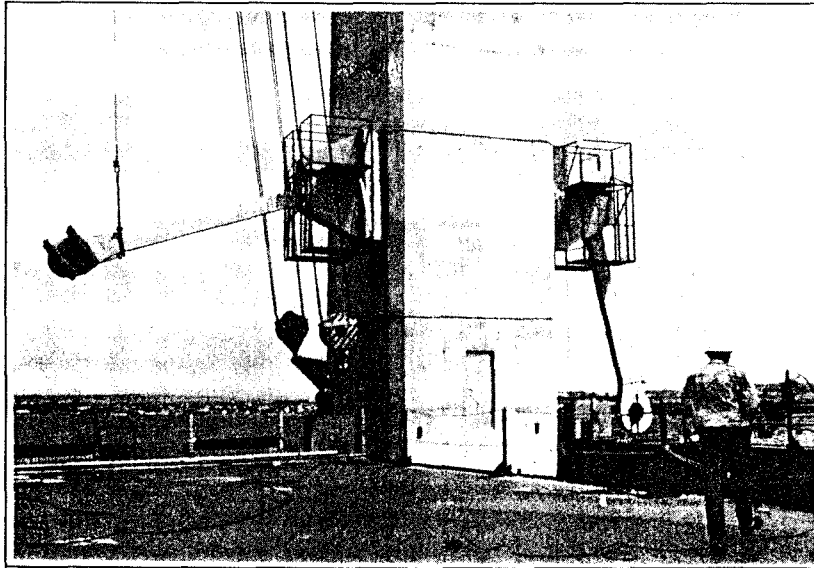


Şekil 3.13 Üç açıklıklı asma köprünün mesnetlenme durumu.

Şekil 3.13' de gösterilen mesnetlenme şartları sıcaklık değişikliklerinden doğacak deformasyonlar açısından avantajlıdır. Rijitlik kirişinde meydana gelecek en büyük boyuna yerdeğiştirme, uzun askıların olduğu yerlerde olacak. Böylece askılarda, az da olsa yanal ötelenme olacaktır.

Zati yüklenme durumunda rijitlik kirişinin bağlantı yerleri küçük kuvvetlere maruz kalır, ve esas yük kablo sistemi tarafından taşınır. Fakat, trafik yükü karşısında bağlantı yerleri yükleme durumuna göre çekmeye veya basınca çalışabilir.

Bazı asma köprülerde, kule ile rijitlik kirişi arasındaki bağlantı ucu mafsallı elemanlarla gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.14).



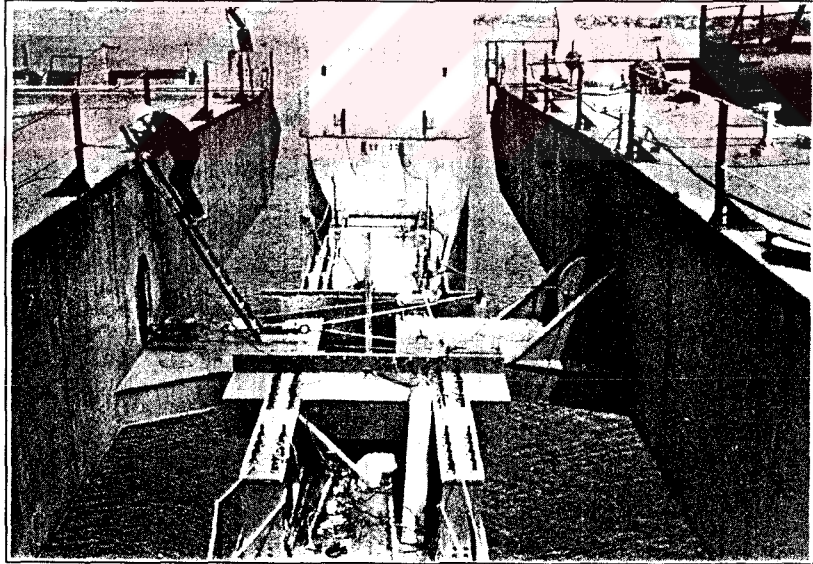
Şekil 3.14 Düşey yüklerin rijitlik kirişinden kuleye aktarılmasında kullanılan ucu mafsallı elemanlar.

Bu elemanlar sadece düşey kuvvetleri aktarmak için kullanılırlar. Rüzgardan gelen yanal kuvvetleri aktarmak için rüzgar bağlantılarına gerek vardır. Bu da, rijitlik kirişinden uzatılan ve iki yüzeyi kayıcı olan elemanların kule kirişine mesnetlenmesiyle gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.15).

İki ucundan kayıcı mesnetlerle tutulmuş köprülerde orta açıklık boyuna yönde sadece kablolarla tutulur. Yatay kuvvetler rijitlik kirişinden ana kabloya aktarılırken orta açıklıktaki kısa askılar yer değiştirerek yana doğru yatarlar (Şekil 3.16).

Küçük yanal kuvvetlere maruz köprülerde (örneğin otoyolu köprülerindeki fren kuvveti), gerekli olan yer değiştirme az olduğu için, yukarıdaki sistem tam olarak uygulanabilir. Büyük yanal kuvvetler altında kalan ana açıklıklar daha fazla tutulmalıdırlar. Bu sebeble, bu tür mesnetler şu şekilde olabilir;

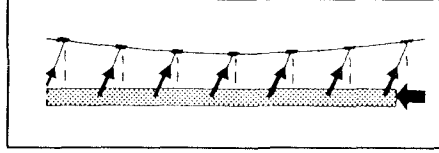
- (1) Kulelerin birinde sabit mesnet uygulayarak.
- (2) Kiriş ile ana kabloyu orta açıklıkta kelepçe ile birleştirerek (Şekil 3.17).
- (3) Ana açıklık kirişindeki hareketlerin simetrik ve serbestçe olmasını sağlayan hidrolik bir alet kullanılarak (Şekil 3.18).
- (4) Kulelerde titreşim sönümleyiciler yerleştirerek ve frenden dolayı oluşan kısa dönemli yüklemelere izin vermeyip sadece sıcaklıktan dolayı olan hareketlere izin vererek.



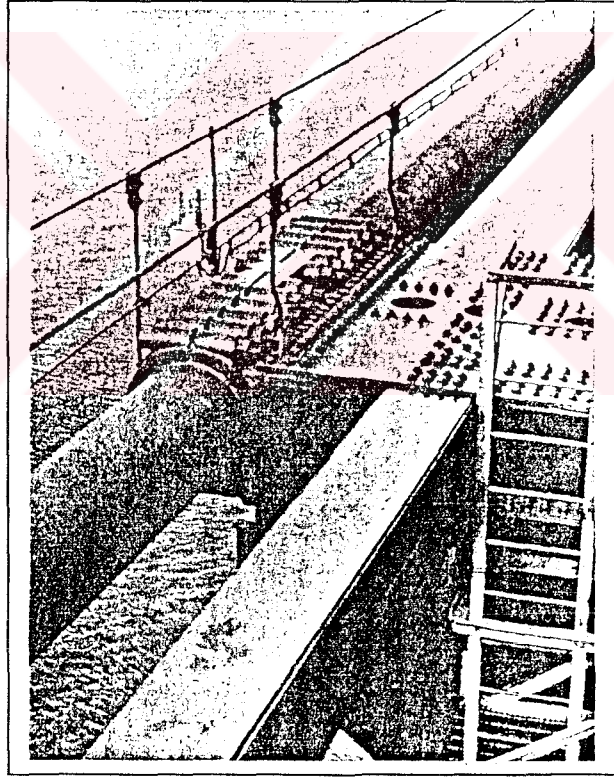
Şekil 3.15 Kule Kirişi ile rijitlik kirişi arasındaki rüzgar bağlantısı.

Kendi içerisinde mesnetlenmiş eğik askılı köprülerde, rijitlik kirişindeki maksimum normal kuvvet kulelerin olduğu noktalarda oluşur, bu yüzden rijitlik kirişlerini

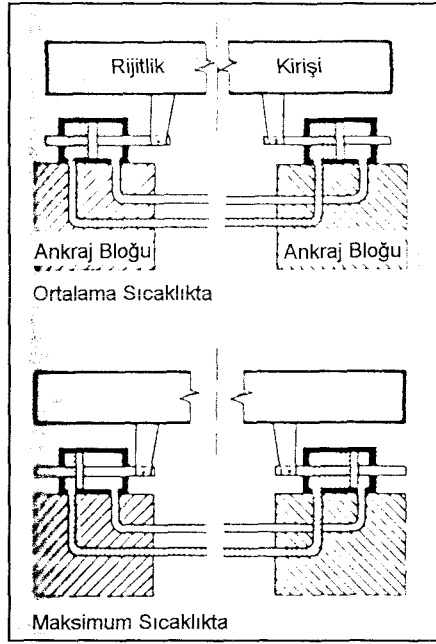
sürekli yapmak avantaj sağlar. Sadece iki kuleden gelen üst kabloların rijitlik kirişi ile bağlantı noktalarının arasına, ki burada normal kuvvet sıfırdır, genişleme derzi konabilir.



Şekil 3.16 Açıklık ortasındaki kısa askıların boyuna kuvvetleri aktarmak için yan yatmaları.

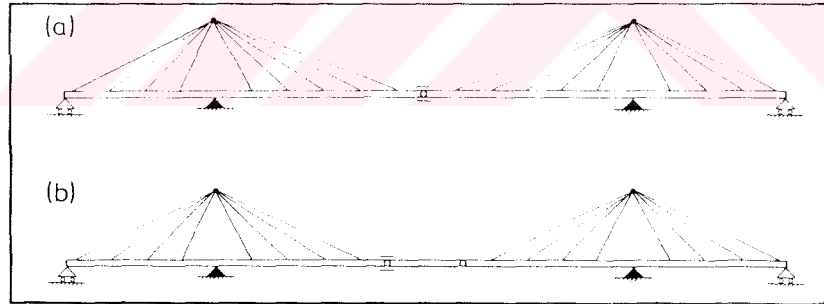


Şekil 3.17 Tagus Köprüsündeki, ana kablo ile rijitlik kirişini bağlayan kelepçe.



Şekil 3.18 Kirişin hareketini kontrol eden hidrolik sistem.

Şekil 3.19, orta açıklığın ortasında genişleme derzine sahip iki sistemi gösterir.

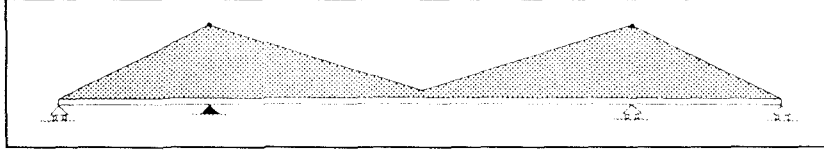


Şekil 3.19 Orta açıklıkta derze sahip eğik askılı iki sistem.

(a)'daki sistemde genişleme derzi tam olarak açıklığın ortasına konmuştur. (b)'de ise derz, asılı bir açıklığın ucuna konmuştur.

Çok kablolu sistemlerde (a)'daki çözüm tercih edilir, çünkü, açıklık boyunca kabloların sık yerleşimi uygun olur. (b)'deki çözüm ise asimetrik trafik yükleri karşısında konsol gibi davranan bir kolun diğerine oranla daha fazla deplasman yapmasını önlemek için kullanılır. Bu tip çözüm sadece betonarme kirişli eğik askılı köprülerde kullanılmıştır.

Eğik askılı köprülerde en çok kullanılan sistem Şekil 3.20' de gösterilendir.



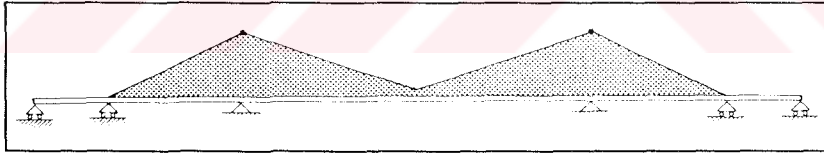
Şekil 3.20 Sürekli rijit kirişe sahip kablolu köprü.

Burada rijitlik kirişi baştan sona kadar sürekli dir. Kiriş, bir sabit mesnet ile üç veya dört adet kayıcı mesnete sahiptir.

Toprağa ankrajlı asma köprülerde de sürekli rijitlik kirişi kullanılabilir. Burada elde edilen avantaj, trafik yükü altında kule noktalarında meydana gelecek büyük açı değişikliklerinin elenmesidir. Bu tren yükü taşıyan köprülerde çok önemlidir.

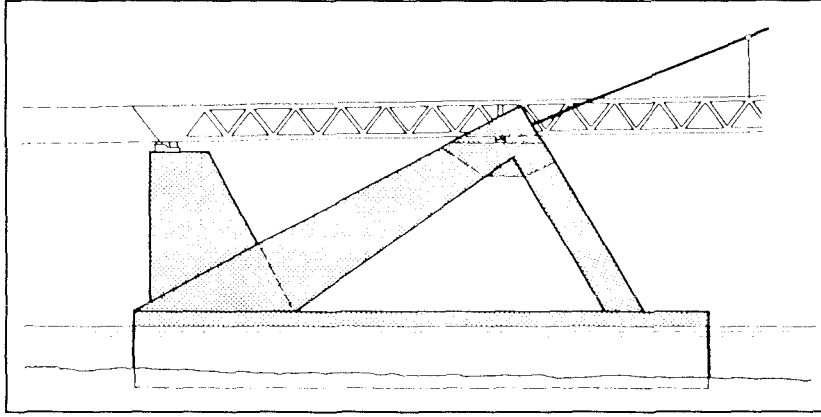
Diğer yandan, asma köprülerde sürekli rijitlik kirişlerinin kullanılması, kule yanlarındaki mesnetlerde, büyük negatif momentlerin oluşmasını sağlar. Bu da kule yanındaki kiriş kesitindeki gerilmeleri artırır ve belki de o bölgede yüksek mukavemetli çelik kullanılmasını gerektirir.

Sürekli rijitlik kirişine sahip sistemlerde, en büyük açısal değişiklikler uç mesnetlerde oluşur. Açısal değişiklikleri azaltmak için, rijitlik kirişine kısa kirişler eklenebilir (Şekil 3.21).



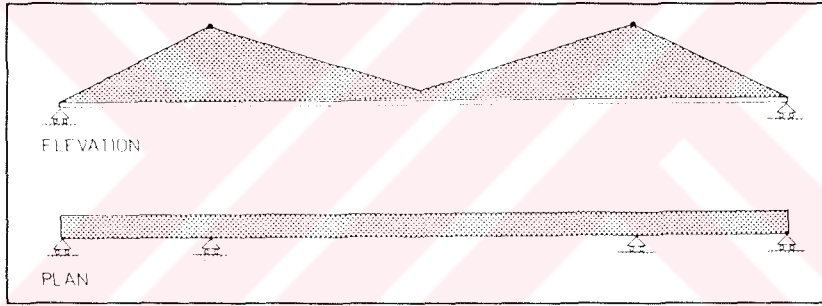
Şekil 3.21 Rijitlik kirişi kısa açıklıklı kirişlerle devam eden kablolu köprü.

Bu fikir, Danimarkadaki Great Belt' i aşmak için yapılan asma köprüde kullanılmıştır. Burada kısa kirişler ankraj bloğunun üzerine kurulmuştur (Şekil 3.22).



Şekil 3.22 Ankrage bloğunun üzerine yerleştirilmiş kısa açıklıklı kiriş.

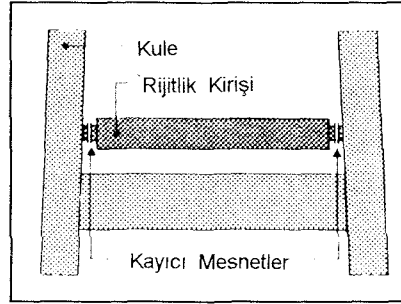
Rijitlik kirişleri baştan sona kadar kablo sistemiyle tutulmuş asma köprülerde ve de çok-kablolu eğik askılı köprülerde, kule noktalarındaki düşey mesnetler gözardı edilebilir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23 Düşey yönde sadece uçtaki ankrage bloklarına, yanal yönde ise blokların yanısıra kulelerden de tutulmuş kablolu köprü.

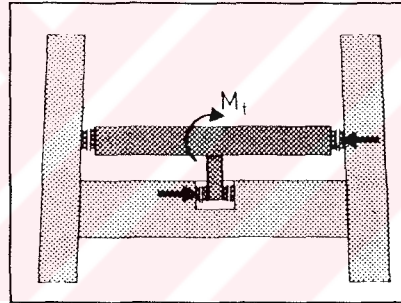
Bu tip düzenleme, rijitlik kirişinin kulelerdeki momentlerinde büyük azalmalara sebebiyet verir.

Rijitlik kirişinin kulelerde yanal mesnetlenmesi düşey yönde kulenin iki ayağına konulan kayıcı mesnetlerle sağlanır (Şekil 3.24). Etkili bir yanal mesnet elde etmek için kayıcı mesnetler yaylarla ön gerilmeye tabi tutulurlar.



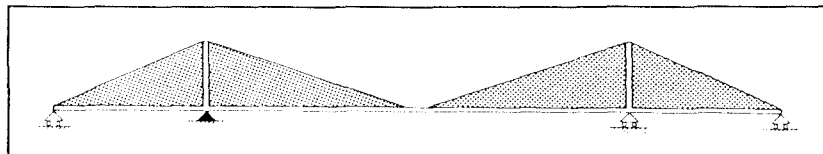
Şekil 3.24 Yanal kuvvetlerin aktarılması için rijitlik kirişi ile kule arasında kullanılan kayıcı mesnet.

Rijitlik kirişine yeterli burulma rijitliği oluşturamayan sistemlerde, örneğin asma köprülerde veya sadece bir kablo düzlemine sahip eğik askılı köprülerde, burulmaya karşı rijitlik kulelerin olduğu yerde sağlanır (Şekil 3.25). Burada düşey hareketler serbest bırakılmış, yanal hareketler ile burulma ise önlenmiştir.



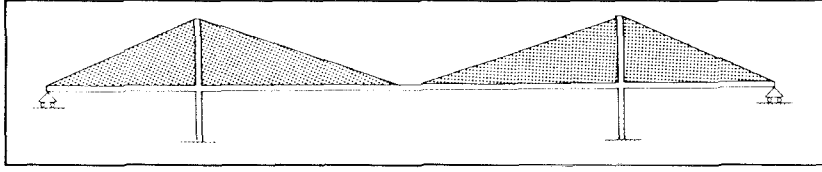
Şekil 3.25 Yanal kuvvetlerin ve burulma momentlerinin aktarılması için rijitlik kirişi ile kule arasında kullanılan mesnet.

Önceki örneklerde rijitlik kirişinin mesnetlenme şartlarını incelerken, kiriş ile kule arasında direk bağlantıların olmadığı kabul edilmiştir. Ancak, şekil 3.26' daki sistem eğik askılı köprülerde sıkça rastlanan bir durumdur. Burada kuleler rijitlik kirişine bağlıdır ve de mesnetler temel bloğu ile kiriş arasındadır. Bu tür sistemlerde mesnetlerden biri sabit mesnet, diğeri ise kayıcı mesnet olur.



Şekil 3.26 Kulelerin rijitlik kirişlerine bağlı olduğu köprü sistemi.

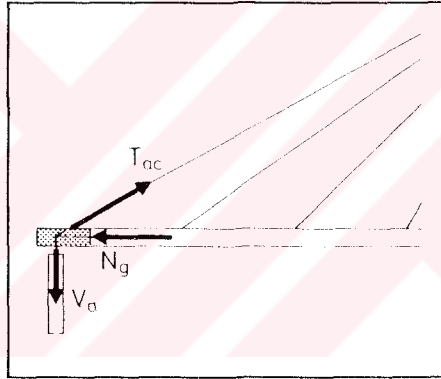
Altındaki temel blokları ile kirişin arasındaki mesafe fazla ise şekil 3.27' de gösterilen sistem kullanılabilir.



Şekil 3.27 Kulelerin rijit bir şekilde kirişe bağlandığı ve alt temele kadar uzandığı köprü sistemi.

Kiriş altındaki bu yüksek ve narin kuleler sıcaklıktan doğan hareketlere karşı fleksibil davranış gösterir, böylece özel mesnetlere gerek kalmaz.

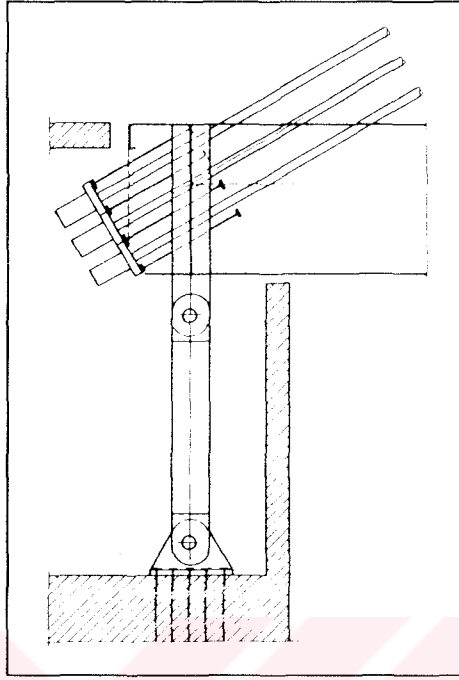
Uçtaki ankraj bloklarında, rijitlik kirişi, ankraj kablolarının çekmesinden meydana gelen kuvvetleri aktaracak özellikte mesnetlere sahiptir (Şekil 3.28).



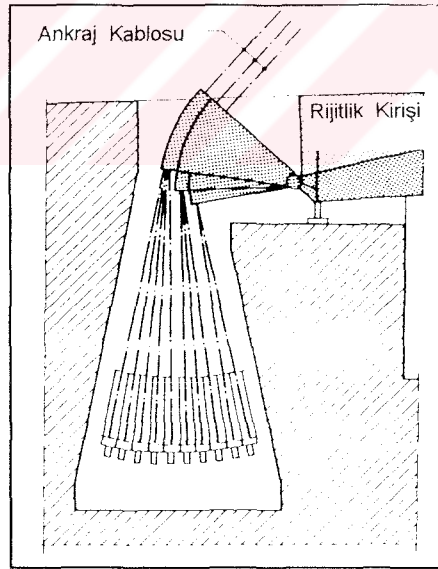
Şekil 3.28 Kirişin kablodan gelen düşey kuvvetleri aktarmak için ucundan bağlanması.

Birçok durumda, rijitlik kirişi ile blok arasındaki bağlantı şekil 3.29' da gösterilen uç bağlantı ile gerçekleştirilir. Eğer yan açıklıklar orta açıklıkla karşılaştırıldığında küçükse, mesnet her türlü yükleme karşısında çekmeye maruz kalır. Bu durumda bağlantı, ucu delikli çubuk elemanlarla yapılır. Ancak uç mesnet basınca da maruz kalırsa, uçtaki bağlantı kolon gibi tasarlanmalıdır, örneğin kutu kesitli olarak.

Şekil 3.30' da çekme kuvvetlerini aktarmaya uygun diğer bir rijitlik kirişi ve blok bağlantısı gösterilmiştir. Burada, üç gergiden oluşan ankraj kablosu ayrı ayrı semerlerden geçirilerek düşey yönde temel boyunca ankrajlanırlar. Bu sistem ilk kez Danube Köprüsünde kullanılmıştır.



Şekil 3.29 Kiriş ucunun ankraj kablolarının takıldığı yerden mesnetlenmesi.



Şekil 3.30 Semelerden geçirilerek bloğa ankrajlanan kablolar.

3.4 RİJİTLİK KİRİŞİNİN ENKESİTİ

Kablolu köprü tasarımında rijitlik kirişi seçimi önemli bir noktadır. Burada rijitlik kirişinin sisteme katılmasından çok sisteme aktarılacak düşey zati yük ve yanal rüzgar yükün büyüklüğünü belirleyici olması önemlidir. Aerodinamik stabilite de rijitlik kirişinin şekli ile ilgilidir.

3.4.1 Köprü Tabliyesi

Modern kablolu köprülerde tabliye ile bütünleşmiş kiriş, rijitliği ve mukavameti artırır. Köprü tabliyesi betonarmeden veya çelikten yapılabilir.

Yol köprülerinde betonarme döşeme kalınlığı 180 mm. ile 250 mm. arasında yapılır. 3000-5000 mm.' de bir ise döşeme kirişi ile mesnetlenir. Eğer rijitlik kirişi tamamen betonarme ise döşeme de betonarme olur. Bunun dışında, betonarme döşeme, kompozit kirişlerde, yani döşeme dışındaki tüm elemanlarda çeliğin kullanıldığı durumlarda da kullanılır.

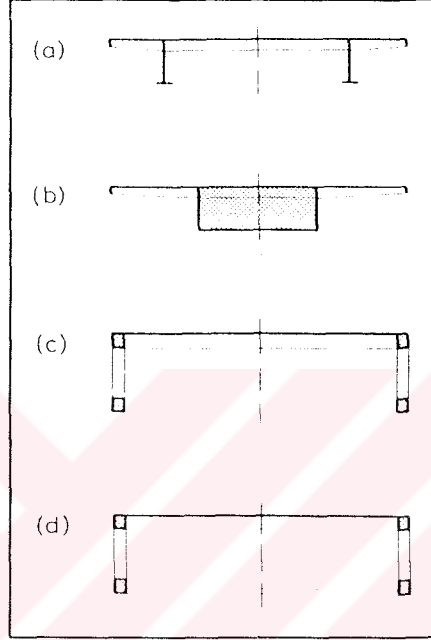
Köprü tabliyesinde betonun kullanılmasının esas avantajı döşemenin maliyetini azaltmasıdır. Ancak beton kullanılması zati yükü artırır, böylece daha büyük kesitli kablolar, kuleler ve temel blokları gerekir. Bu yüzden köprü tabliyesinde beton veya çelik kullanılmasının karşılaştırması sadece tabliyenin maliyeti göz önünde bulundurularak yapılmamalı, aksine, tüm diğer taşıyıcı sistemler de göz önünde bulundurulmalıdır.

Rijitlik kirişinin bir kısmında betonun kullanılması, kendi içerisinde ankrajlanan eğik askılı köprülerde avantaj sağlar, çünkü, burada kiriş basınca maruz kalır. Çelik tabliyenin birim alan maliyeti betonunkinden çok daha fazladır, ancak zati ağırlığının daha düşük olması (beton döşemenin % 30-50' si kadar) sistemin diğer kısımlarında maliyeti düşürür.

Çelik tabliye genellikle ince levhalardan oluşur (12 mm.) ve boyuna yönde yaklaşık levha kalınlığının 25 katı kadar aralıklarla açık veya kapalı kesitli nervürlerle rijitleştirilirler. Boyuna nervürler ise 3000-5000 mm. aralıkta yerleştirilmiş döşeme kirişleri ile taşınırlar.

3.4.2 Rijitlik Kirişinin Enkesiti

Rijitlik kirişi kafesinin tasarımı sırasında göz önünde bulundurulması gereken önemli nokta, kirişin karşılayabileceği burulma rijitliğinin derecesidir. Bu, şekil 3.31' deki dört basit enkesitle anlatılmaya çalışılacak.



Şekil 3.31 Rijitlik kirişi kafesi için dört basit enkesit.

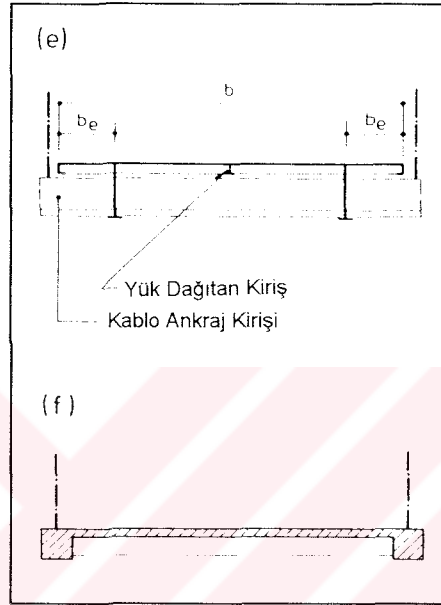
(a)'daki enkesitte rijitlik kirişi tabliyeye ve de iki düşey levha kirişe sahiptir. Kesit açık olduğu için burulma rijitliği çok azdır bu yüzden kablo sisteminin burulma rijitliğini sağlaması gerekmektedir. Bu yüzden tabliyenin iki ucuna bağlı kablo düzlemi gerekmektedir.

(b)'deki kiriş kutu kesitli olduğu için gerekli burulma rijitliği mevcuttur. Bu tip sistemlerde kablo sisteminin burulmaya karşı rijitlik alması gerekmemektedir. Ancak tüm sistemin burulmaya karşı rijitliğini artırmak için kablolar da burulmaya karşı tutulabilir.

(c)'deki sistem (a)'dakine benzer ancak düşey levha yerine kafes sistemlere sahiptir. Bu değişikliğin burulma rijitliğine hiçbir katkısı olmaz, bu yüzden sistem yine burulma rijitliğine sahip değildir. Burada düşey kablo düzlemleri kafes sistemin üzerine gelecek şekilde düzenlenmiştir ve asma köprülerde kullanılmıştır. Bu 1930'lu yıllarda yapılan Golden Gate Köprüsünün ilk hali idi. Ancak, daha sonra, sistemin burulma rijitliğinin olmamasının aerodinamik stabiliteyi etkilediği görülmüştür. Bu yüzden (c)'deki

orijinal kesit daha sonra değiştirilmiş ve de alt başlıklar rüzgara karşı kuşaklanmış ve (d)'deki kesit elde edilmiş.

Kesit (d), tabliye levhası ile ikisi düşey biri yatay olmak üzere 3 kafes sisteme sahiptir. Bu hali ile burulma özellikleri (b)'deki sisteme benzer. Bu tip kesit birçok moderin asma köprülerde rijitlik kafesi ile birlikte kullanılmıştır.



Şekil 3.32 Köprüye düşey yönde ve burulmaya karşı rijitlik veren kablo sistemine sahip rijitlik kirişleri.

Şekil 3.32, eğik askılı köprülerde kullanılan iki basit kesiti gösterir. Burada kablo düzlemleri, rijitlik kirişinin düşey ve burulma yönünden tutulmasını sağlarlar.

Şekil 3.32 (e)'deki rijitlik kirişi tabliye ve iki levha kirişten oluşuyor. Kablo düzlemleri tabliye alanının dışına yerleştirilmiştir. Bu nedenle, kuvvetlerin rijitlik kirişinden kablolarla aktarılması, enine kablo ankraj kirişleriyle sağlanmalıdır.

Bu kesitin önemli bir geometrik parametresi, levha kirişin gövdesi ile tabliye kenarı arasındaki uzaklık olan b_c 'dir. Döşeme kirişlerinin mesnetlerini göz önünde bulundurduğumuzda b_c için en uygun değer $0.2b$ olur, fakat ankraj kirişlerindeki momentler düşünülürse ana kirişler için en uygun yer uca en yakın yer olur. Sonuç olarak b_c için optimum değer $0 - 0.2b$ arasındaki sonuçların değerlendirilmesi ile bulunmalıdır.

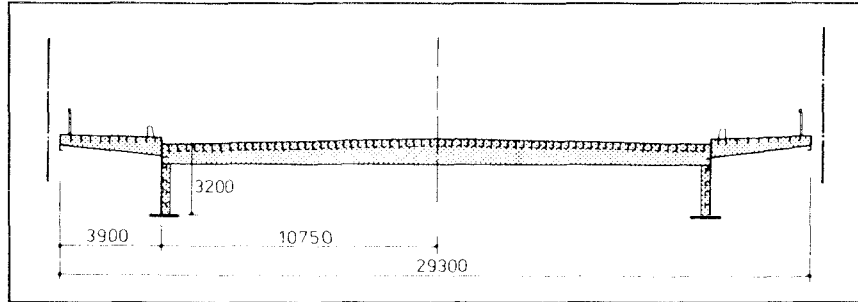
Geniş tabliyeye sahip köprülerde döşeme kirişlerinin açıklığı önem kazanır. Bu yüzden yükü dağıtmak için tabliyenin orta noktası boyunca özel dağıtma kirişleri konur. Böylece noktasal tekerlek yüklerinden gelen momentler azaltılmış olur. Fakat bu kiriş konmasa da, bir kısım dağılım ortotropik tabliyenin mütemadi nervürleri tarafından sağlanır.

(f)' deki şekil, son zamanlarda eğik askılı köprülerde kullanılan betonarme rijitlik kirişine sahip basit bir enkesittir. Burada nervürler kesitin önemli bir kısmını kaplar ve de tam olarak kablo düzleminin altında yer alır.

Bu tür bir düzenleme ile gergi kablolarının ankraji çok basit bir şekilde yapılabilir. Kablolar uç kirişlerin içindeki tüplerden geçirilerek alttan soketlerle ankrajlanırlar. Bunun yanında enkesitin büyük bir kısmının kablo ankraj noktasında olması yatay kablo kuvvetlerinin daha verimli bir şekilde rijitlik kirişine aktarılmasını sağlar.

Betonarme döşemeyi uç kirişler arasında mesnetlemek için döşeme kirişlerinin 3-4 metrede bir konması gerekmektedir. Bu kirişler ince betonarme nervürler veya betonarme döşeme ile kompozit davranan çelik levhalar ile yapılır. Çelik döşeme kirişlerinin kullanılması zati ağırlıkların azalması yönünden avantajlıdır.

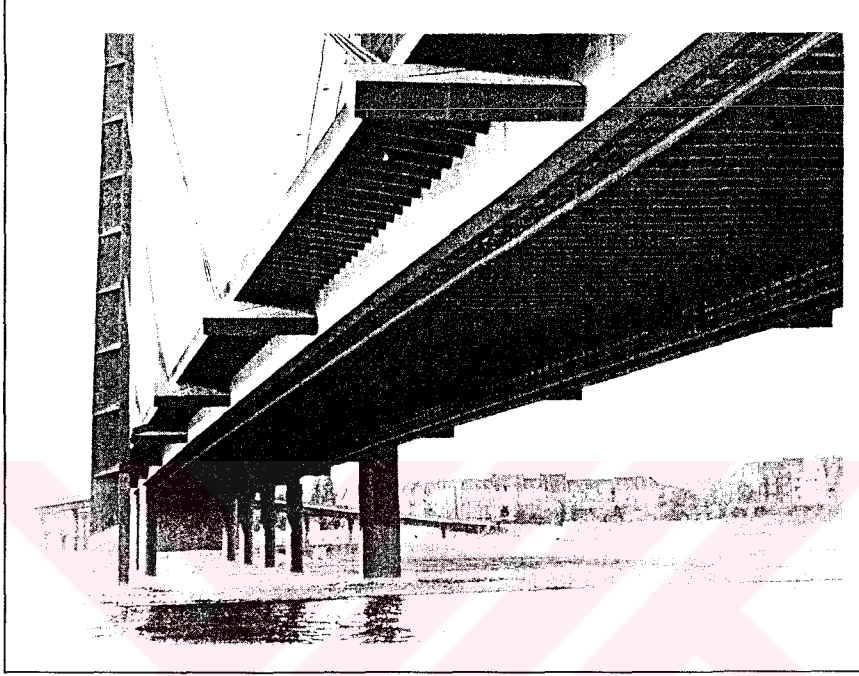
Şekil 3.32' de gösterilen enkesite benzer bir kesit Knie Köprüsünde kullanılmıştır. Şekil 4.45' de gösterilen bu kesitin ortotropik çelik tabliyesinin toplam genişliği 29.3 metre, konsol kısımları ise 3.9 metredir. Burada b_c/b oranı 0.133' dür. İki levha kirişin derinliği 3.2 metredir (320 metre olan ana açıklığın 1/100' ü kadar). Alt flanjlının genişliği ise 1 metredir.



Şekil 3.33 Düsseldorf'daki Knie Köprüsünün rijitlik kirişinin enkesiti.

Tabliye levhası genelde 12 mm.' lik bir kalınlığa sahiptir, ancak, fazla gerilmeye maruz kalan kısımlarda 30 mm.' ye kadar çıkartılmıştır. Levha 300 mm.' de bir nervürlerle tutulmuştur. Döşeme kirişleri ise 1100 mm. derinliğinde ve 2300 mm. aralıklarla yerleştirilmiştir. Sadece yaya ve bisiklet yükü alan konsol kısımlarda levha

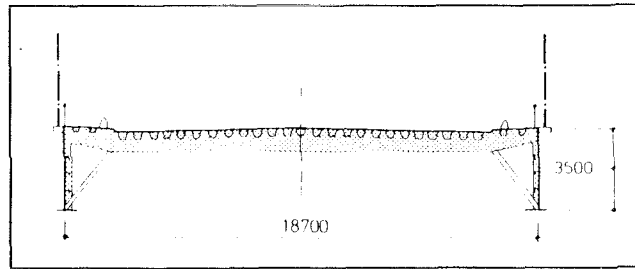
kalınlığı 10 mm.' ye kadar düşürülmüş, nervürler arasındaki mesafe de 400 mm.' ye yükseltilmiştir. Kablo ankraj kirişi olarak, eğik kutu kesitli kirişler kullanılmıştır (Şekil 3.34). Knie Köprüsünde kablo ankraj noktaları arasındaki mesafe ana açıklıkta 64 metredir, böylece ağır ankraj kirişlerinin miktarı az tutulmuştur.



Şekil 3.34 Knie Köprüsünün eğik ankraj kirişleri.

Çok kablolu köprülerde ankraj kirişlerinin sayısı fazla olur ve bu nedenle ana kirişleri tabliyenin kenarına yakın bir yere koyarak, bu kirişlerin boyutlarını küçültmek mümkündür.

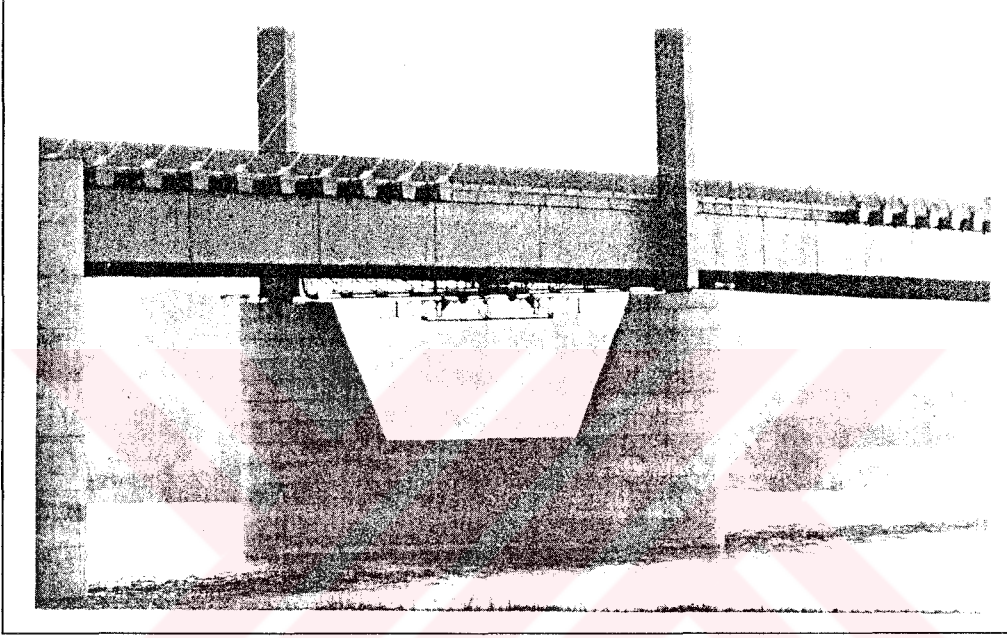
Şekil 3.35' de Rees'deki çok kablolu Rhine Köprüsünün enkesiti gösterilmektedir.



Şekil 3.35 Rhine Köprüsünün enkesiti.

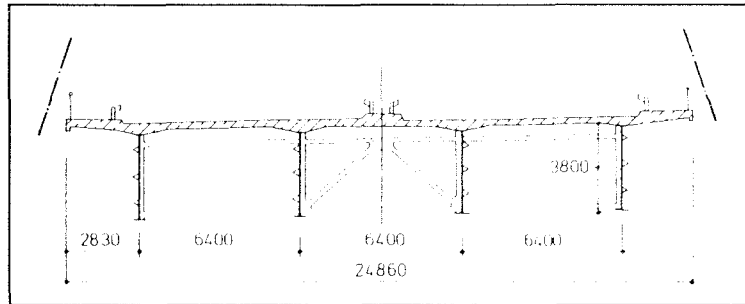
YATIRIM
KURUMU
T.C. İÇİŞLERİ BAKANLIĞI
MİLLÎ GÜVENLİK GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
ULUSLARARASI GÜVENLİK VE
KORUMA BÖLÜMÜ

Burada ana kirişler köprü tabliyesinin uç noktalarına konmuştur, böylece, ankraj kirişleri basit konsol levhalarla tutturulmuştur (Şekil 3.36).



Şekil 3.36 Ana rijitlik kirişinin gövdesine mesnetlenen ve gergi kablolarını tutan küçük levhalar (Rees'deki Rhine Köprüsü).

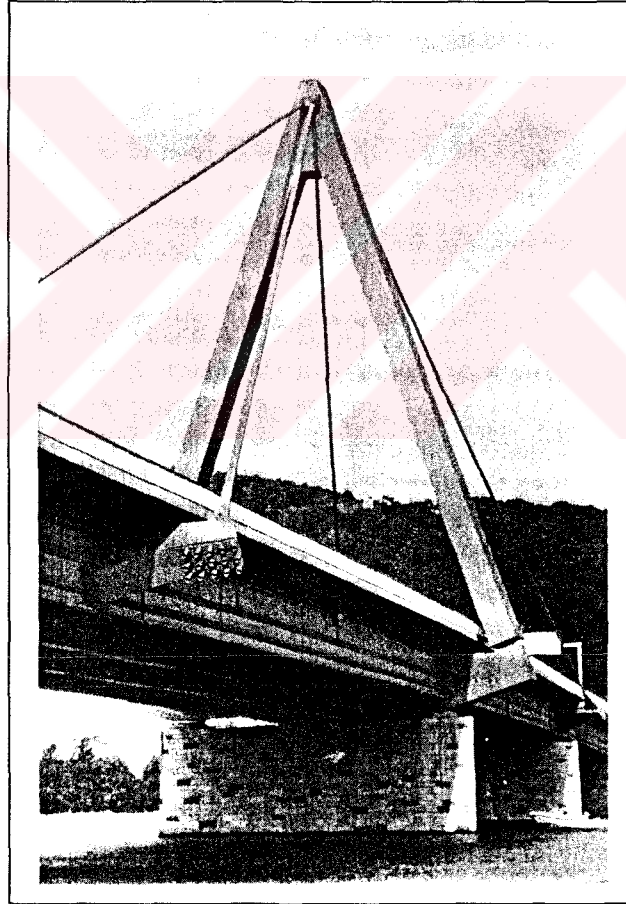
Açık enkesite sahip köprülerde ana kiriş sayısı diğer durumlarda olduğu gibi iki ile sınırlandırılmamıştır. Steyregger Köprüsünde, rijitlik kirişinde 4 tane levha kiriş kullanılmıştır (Şekil 3.37).



Şekil 3.37 Steyregger Köprüsünün enkesiti.

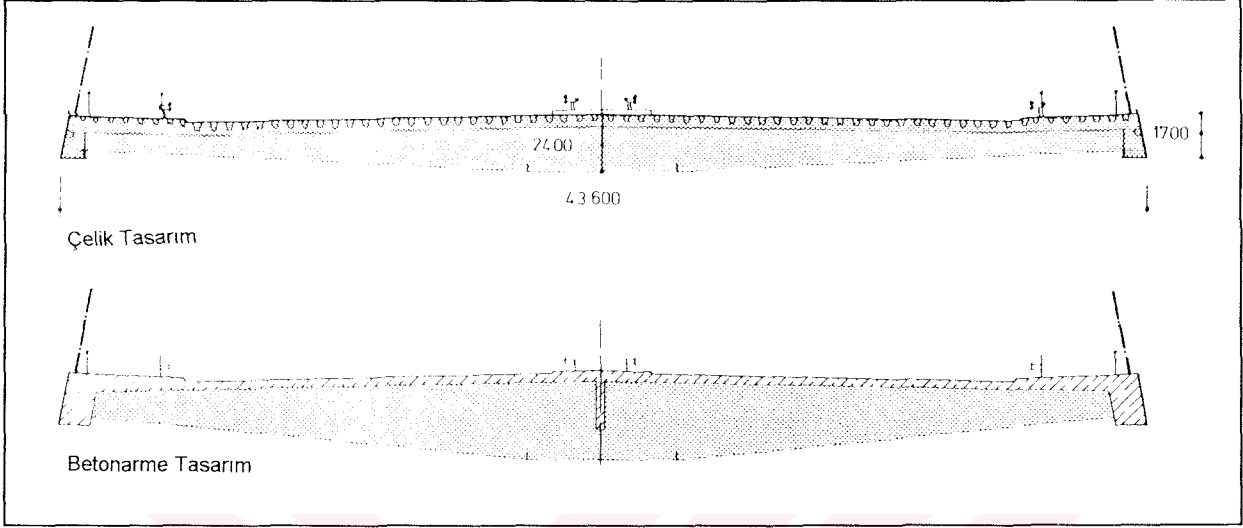
Betonarme köprü döşemesi, 4 ana kirişin yardımı ile döşeme kirişlerine gerek duyulmadan açıklıkları geçebilir. Levha kirişlerin derinliği 3.6 metre olup, ana açıklığın (161.2 m.) $1/45'$ ine karşılık gelmektedir.

Fazla ana kirişin kullanılmasının dezavantajı, ankraj kirişlerindeki eğilmenin artmasıdır. Buna sebep ise, tabliye yükünün çoğunun ortadaki kirişlere aktarılması, böylece kenar kirişlere oranla moment kolunun artması gösterilmiştir. Sonuç olarak kirişlerin sayısının artması daha ağır ankraj kirişlerinin sistemde kullanılması demektir. Bu da az ankraj noktalı sistemlerin kullanılmasının daha fazla tercih edilmesini sağlar. Steyregger Köprüsünde, kuleden, sadece bir set gergi kablosu çıkartılmıştır, böylece ankraj kirişi sayısı minimum olan 2' ye indirgenmiştir (Şekil 3.38).



Şekil 3.38 Çok-halatlı gergi kablolarının büyük ankraj kirişlerine bağlantısı (Steyregger Köprüsü).

Son dönemlerde tasarlanmış ve de basitleştirilmiş, en kullanışlı enkesitler şekil 3.39 ve 3.40' da gösterilmiştir.



Şekil 3.39 Flehe'deki Rhine Köprüsü için önerilen enkesitler.

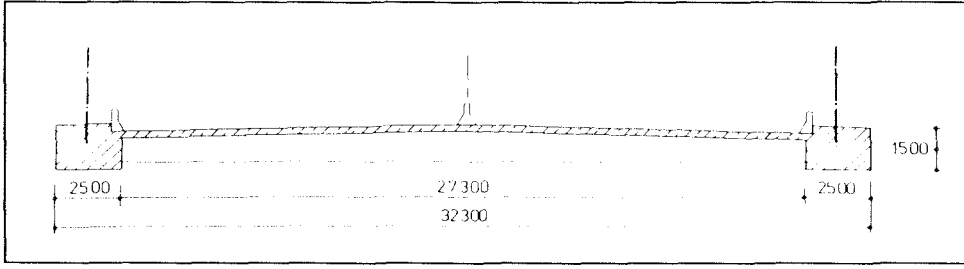
Rhine Köprüsü için F. Leonhardt, çok-kablolu fan sistemi ve 3.39' daki rijitlik kirişi kesitlerini tasarlamıştı. Otoyol genişliği 41 metre olan bu sistemde gergi kablolarının kolay bağlantısı için ana kirişler tabliyenin uçlarında seçilmiştir. Çelik olarak tasarlanan açık kesit, betonarme olarak tasarlanan ise ana kirişleri nervürlü düşünülmüş.

Fazla yol genişliğinden dolayı, ana döşeme kirişlerinin beşinci metresinde büyük eğilme momentleri oluşmuştur. Bu yüzden döşeme kirişlerini ana kirişlerden daha derin yapma gereği duyulmuştur. Bu daha fazla betonarme olarak tasarlanan tabliyede belirgin olmuştur. Çelik-betonarme kompozit döşeme kirişlerinin derinliği, kenardaki ana kirişlerinkinin yaklaşık iki katı olmuştur.

Ana açıklığı 370 metre ve derinlik açıklık oranı sadece 1/154 olan bu sistem için sunulan en elverişli mesnetlenme, A-şeklindeki kuleden çıkacak iki eğik fan sistemidir.

Şekil 3.39' deki tasarım ortada kablo düzlemi olan ve kutu kesitli rijitlik kirişine sahip olan köprülerde kullanılamaz.

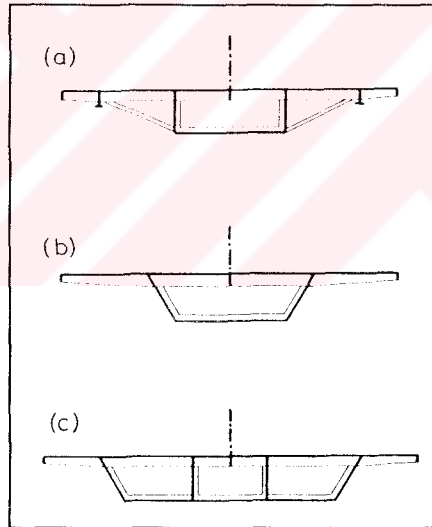
Florida' daki Dames Point Köprüsü için tasarlanan betonarme enkesit şekil 3.40' da gösterilmiştir. Görüldüğü gibi bu kesitte de ana kirişler dolu nervürler olarak yapılmış ve otoyolun kenarlarından, kablo düzleminin altına yerleştirilmiştir. Döşeme kirişleri de betonarme nervürler olarak, aynı derinlikte tasarlanmışlar. Döşeme kirişleri prekast T-kirişleri olarak planlanmış, kenar kirişleri ve tabliye döşemesi ise boyuna monolitiklik sağlamak için yerinde dökülmesi önerilmiştir.



Şekil 3.40 Florida'daki Dames Point Köprüsü için önerilen enkesit.

Birbirinden ayrı otoyollara sahip birçok eğik askılı köprüde kablo düzlemi ortadan geçirilmiştir. Bu tip köprülerde rijitlik kirişi büyük burulma rijitliğine sahip olmalıdır. Bu nedenle kapalı kutu kesitlere ihtiyaç vardır.

Şekil 3.41 ortadan kablo düzlemine sahip eğik askılı köprülerde kullanılan basit enkesitleri göstermektedir.



Şekil 3.41 Orta kablo düzlemi ile tutulmuş basit rijitlik kirişi enkesitleri.

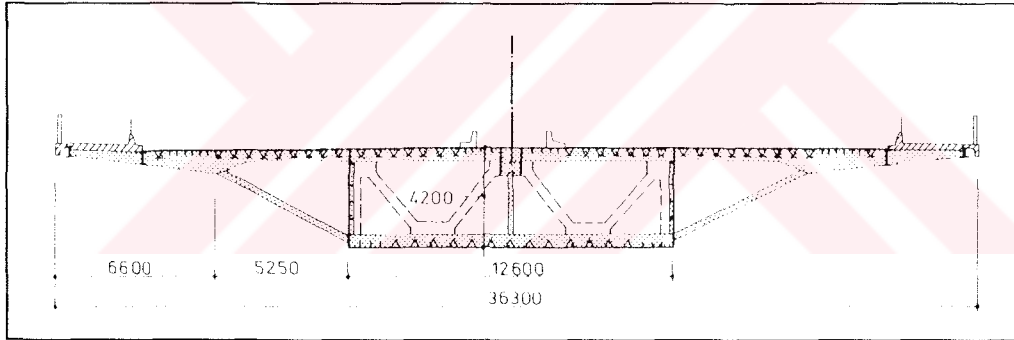
(a)'daki kesit, dar, dörtgen kutu kiriş ve de onunla birleşmiş, diyagonal elemanlarla kutunun altına mesnetlenmiş uzun kollu tabliyeye sahip sistemi gösterir. Diyagonal elemanların tabliye ile birleştiği noktalarda uzunlamasına sekonder kirişler kullanılır. Eğer tüm döşeme kirişleri diyagonellerle mesnetlenmişse, sekonder kirişlerin tek fonksiyonu noktasal tekerlek yüklerini dağıtmak olur, ancak sadece bir kısmı

mesnetlenmiş ise, o zaman buna ek olarak aradaki döşeme kirişlerine de mesnet teşkil ederler.

(b)' de gösterilen uygulamada, daha geniş, trapezoid kutu kirişi, döşeme kirişlerini daha etkili bir şekilde tutmakta ve böylece diyagonellere gerek kalmamaktadır.

Fazla genişliğe sahip köprülerde çok gözlü kutu kirişler kullanmak, (c), avantaj sağlar. Böylece, döşeme kirişleri birkaç ana kiriş ile mesnetlenmiş ve de sürekli olur.

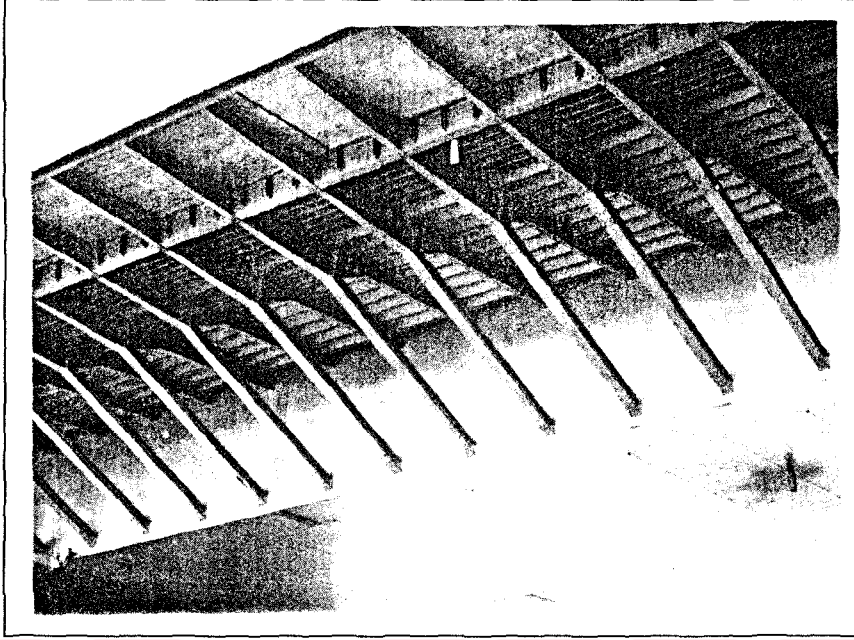
Bonn' daki Friedrich Ebert köprüsünde toplam tabliye genişliğinin üçte biri genişliğinde tek gözlü dörtgen kutu kirişi uygulaması yapılmıştır (Şekil 3.42). Kutunun derinliği, ana açıklık uzunluğunun (280 m.) $1/67'$ sine karşılık gelen 4.20 metredir. Ortotropik tabliye, Y-şeklindeki nervürlerle mesnetlenmiş 12 mm. kalınlığındaki levhalara ve de 2.24 metre aralıklarla yerleştirilmiş döşeme kirişlerine sahiptir. Gövdeler genellikle 10-12 mm. kalınlığında olup, boyuna ve 2.24 metre aralıklarla düşey yönde elemanlarla rijitleştirilmiştir. Alt levha genellikle 10-12 mm. kalınlığında olup, üçgen elemanlarla boyuna yönde rijitleştirilmiştir. Eğik dikmeler ise şekil 3.43' de görüldüğü gibi her döşeme kirişine konmuştur.



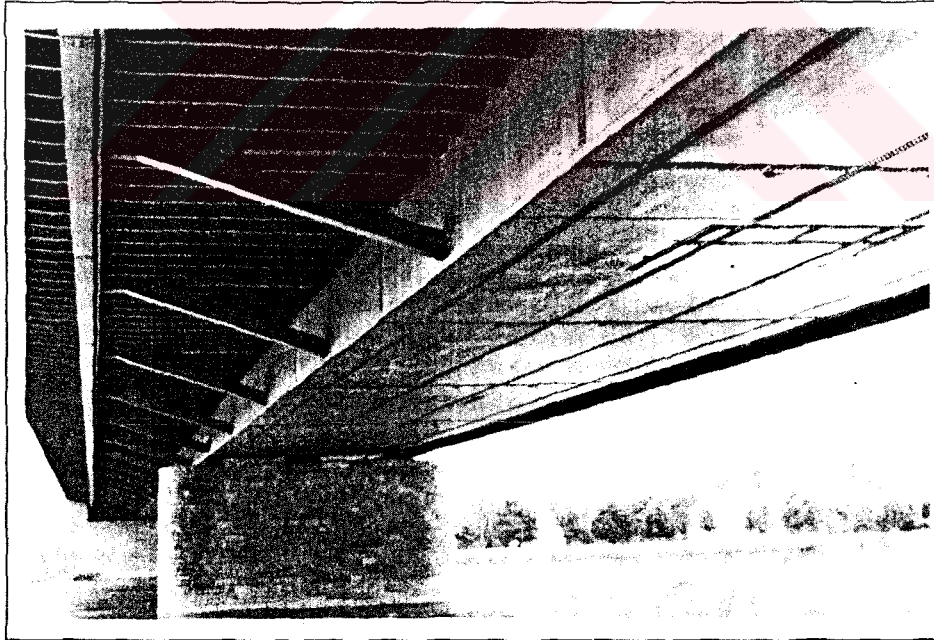
Şekil 3.42 Bonn' daki Friedrich Ebert Köprüsünün rijitlik kirişi enkesiti.

Her döşeme kirişinde eğik dikmelere sahip Bonn' daki Friedrich Ebert köprüsüne karşılık, şekil 3.44' deki, dikmeleri arasında, döşeme kirişleri arasındaki mesafenin 10 katı kadar mesafe bulunan Maxau' daki Rhine Köprüsü görülüyor. Bundan dolayı, Maxau Köprüsünde boyuna levha kiriş aradaki dokuz döşeme kirişinin mesnetlenmesinde büyük rol oynar.

İskoçya' daki Erskine Köprüsünde rijitlik kirişi şekil 3.45' de de görüldüğü gibi hegzagonal şeklindedir. Bu tip bir kesitin seçilmesindeki nedenler, düşük aerodinamik sürüklenme katsayısına (0.7) sahip olması ve de döşeme kirişlerinin konsol uzunluklarını azaltmasıdır.

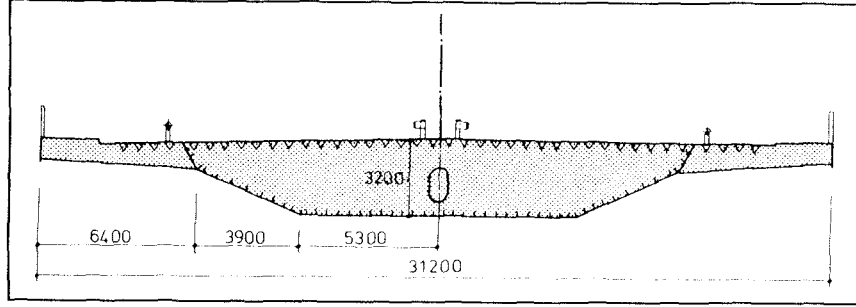


Şekil 3.43 Tüm döşeme kirişleri eğik elemanlarla tutulu olan rijitlik kirişine sahip Friedrich Ebert Köprüsü.



Şekil 3.44 Her 10 döşeme kirişinden birinin mesnetlendiği eğik elemanlara sahip Rhine Köprüsü.

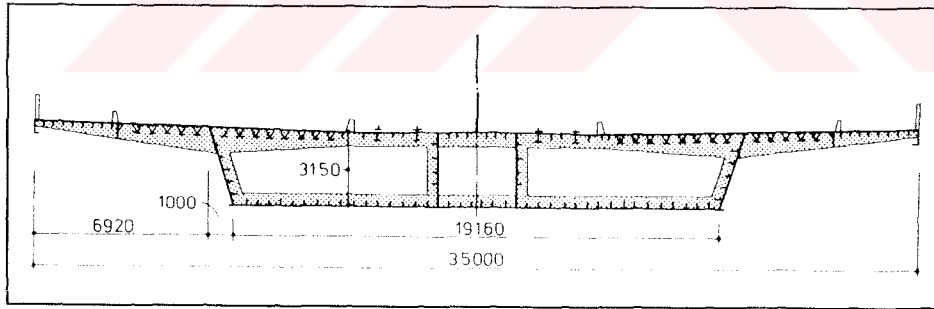
Ortotropik tabliye 13 mm. kalınlığında levhalara, ve de 4.27 metre aralıklarla konmuş döşeme kirişi arasında mesnetlenen V-şeklindeki nervürlere sahiptir. Kutu kirişin içerisinde ise döşeme kirişleri yerlerini tam diyaframlara (bölme duvarlara) bırakmıştır.



Şekil 3.45 Erskine Köprüsünün rijitlik kirişinin enkesiti.

Rijitlik kirişinin derinliği, ana açıklık uzunluğunun (305 m.) 1/93' üne karşılık gelen 3.2 metredir. Bu narinlik göz önünde bulundurularak Erskine Köprüsü sadece her kuleden çıkan bir set gergi kablo sistemine sahiptir, böylece rijitlik kirişi kablo sistemi tarafından tutulmayan 100 metreyi aşan açıklığa sahiptir.

Düsseldorf'daki Oberkasseler Köprüsünün rijitlik kirişi üç gözlü kutu olarak tasarlanmış (Şekil 3.46).

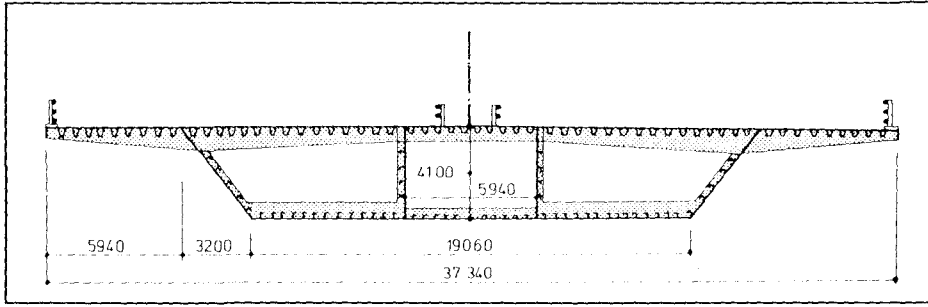


Şekil 3.46 Düsseldorf'daki Oberkasseler Köprüsünün rijitlik kirişinin enkesiti.

35 metre genişliğinde ortotropik tabliyeye ve otoyol olarak kullanılan kısımların altında Y-şeklinde nervürlere sahiptir. Nervürleri tutmak için 2.5 metrede bir döşeme kirişleri vardır. Alt flanjin genişliği 19.2 metredir. Dış gövdeler ise tabliyeye trapezoidal şekil vermek için biraz yatıktır. Kirişin derinliği ise ana açıklığın 1/80' nine karşılık olan 3.2 metredir.

Üç gözlü kutu tabliyenin ortasındaki dar gözün genişliği sadece 3.1 metredir. Bu genişlik ise kulenin otoyol seviyesindeki genişliğine eşittir, böylece kiriş ile kule arasında rijit moment bağlantısı yapılmıştır. Buna ek olarak orta göz, kuvvetlerin ankraj noktasından aktarılmasına yardımcı olur.

Diğer bir üç gözlü tabliye Avusturalya'daki West Gate Köprüsünde kullanılmıştır (Şekil 3.47).



Şekil 3.47 Avusturalya'daki West Gate Köprüsünün rijitlik kirişinin enkesiti.

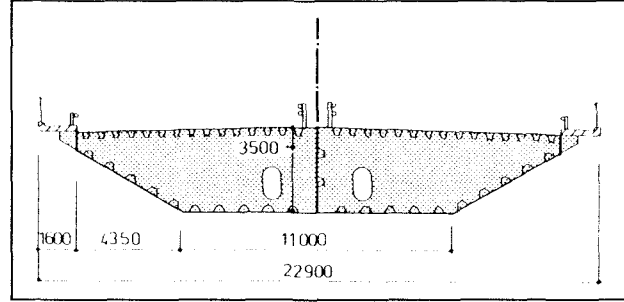
Oberkasser Köprüsü ile karşılaştırıldığında West Gate köprüsü daha geniş bir orta göze sahiptir ve dış gövdelerin eğimi daha fazladır. Kiriş derinliği 4.1 metre olmasına rağmen açıklığın da daha fazla olmasından dolayı narinlik oranları birbirine yakındır (1/82).

West Gate Köprüsü başlangıçta kompozit tabliye olarak planlanmış, 10 mm.'lik çelik tabliyenin üzerine 100 mm.'lik beton döşeme düşünülmüş fakat kutu kesitli, benzer bir tabliyeye sahip başka bir açıklığın göçmesi, tabliyenin tasarımının değiştirilmesine neden olmuştur. Daha sonra da ortotropik tabliye olarak tasarlanmış, 12 mm.'lik tabliye levhası kullanılmış, trapezoid kirişlerle rijitlendirilmiş ve de 3.2 metrede bir döşeme kirişleri ile mesnetlenmiştir.

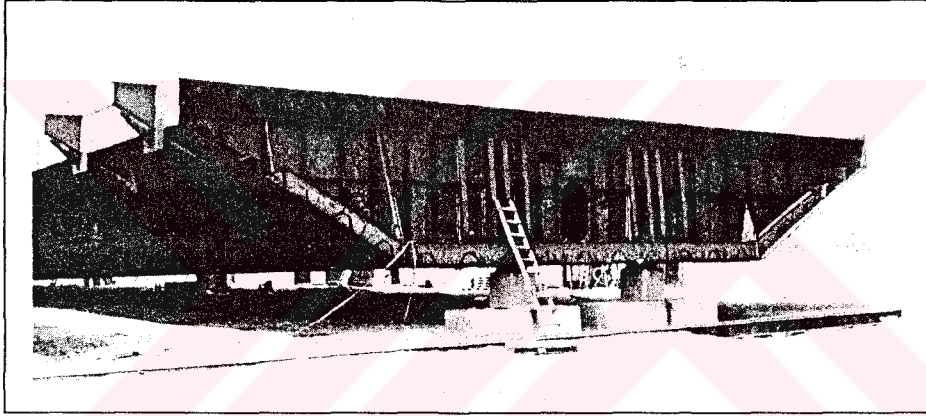
Danimarkadaki Faro Köprüsünde rijitlik kirişi şekil 3.48' de gösterildiği gibi trapezoidal kesite sahip iki gözlü kutudan yapılmıştır.

Oberkasseler ve West Gate Köprülerinin kutu üzerinden dışarıya asılmış olan tabliyelerinin tersine burada tüm tabliye kutunun üzerine oturmaktadır. Bu tip bir kuruluşun sebebi ise kutu içerisindeki tüm kirişlerin ve bölme duvarlarının paslanmaya karşı korunmalarını, içerideki havayı kurutarak sağlama olanağının olmasıdır. Böylece boyama işlemi sadece dıştaki temiz yüzeylere sahip gövdelerde ve de alt levhalarda gerekmektedir. Faro Köprüsündeki çelik tabliyenin genişliği 19.7 metredir. 12 mm.'lik

tabliye levhası, kutu içerisinde 4 metrede bir bulunan 8 mm.' lik levhadan yapılmış bölme duvarlara mesnetlenmiştir (Şekil 3.49).

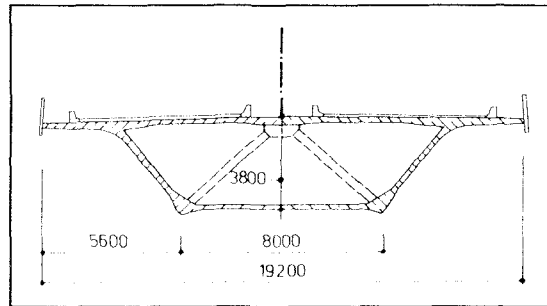


Şekil 3.48 Danimarkadaki Faro Köprüsünün rijitlik kirişinin enkesiti.



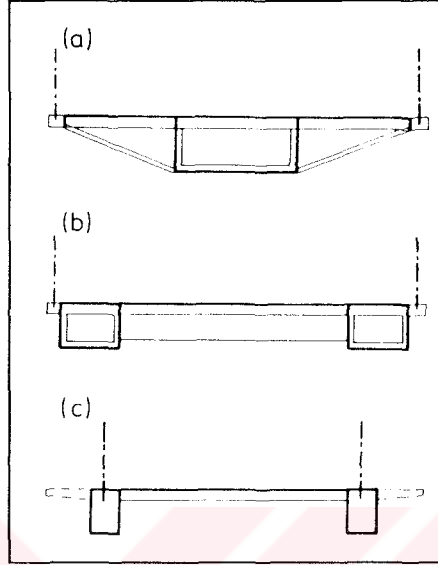
Şekil 3.49 Faro Köprüsünün rijitlik kirişi elemanı.

Orta kablo düzlemi ile kutu şekilli rijitlik kirişinden oluşan betonarme eğik askılı köprüler de vardır. Örnek olarak şekil 3.50' de gösterilen Fransadaki Brotonne Köprüsü verilebilir. Burada rijitlik kirişi, tek gözlü, toplam açıklığın (320 m.) 1/84' üne karşılık gelen 3.80 metre derinliğinde trapezoid kutu kesite sahip olarak yapılmıştır.



Şekil 3.50 Brotonne Köprüsünün rijitlik kirişinin enkesiti.

Şekil 3.51 kutu kesitli ana kirişlere sahip, uçlarından kablo sistemi ile tutulmuş basit rijitlik kirişi enkesitlerini gösterir.



Şekil 3.51 İki kablo düzlemine sahip köprülerde kullanılan burulmaya karşı rijit enkesitler.

(a)' da, oldukça dar olan kutu kirişi, merkeze yerleştirilmiş, kablolar ise otoyol alanının dışındaki konsollara ankrasızdır. Yükün kutu kirişlerin gövdesinden kablo sistemine aktarılması için enine kirişlerin ankras noktalarına yerleştirilmesi gerekmektedir. Şekilde buna çözüm olarak kablo bağlantı yerlerinden kutunun alt kısmına diyagonal bağlantılar yapılmıştır. Şekil 3.41 (a)' daki enkesit ile 3.51 (a)' daki enkesit birbirlerine çok benzerler. Ancak davranış olarak diyagonal bağlantılar için aynı şey söylenemez. 3.41 (a)' daki bağlantı basınca çalışırken 3.51 (a)' daki bağlantı çekmeye çalışır.

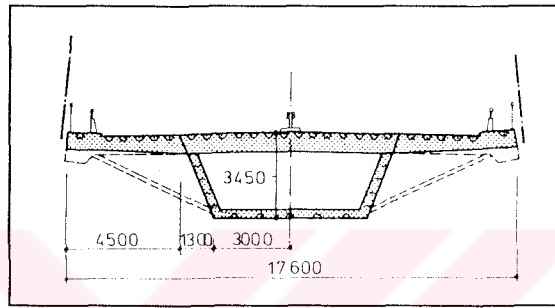
(b)' deki enkesit, tabliyenin kenarlarına yerleştirilmiş iki kutu kirişten oluşan köprü tabliyesini gösterir. Bu, ana kirişlerin kablo sistemi ile doğrudan yan gövdelere bağlantısı demektir. Ancak burada iç gövdelerden yükü kablo sistemine aktarmak için enine yönde güçlü kirişlere ihtiyaç vardır.

(c)' deki sistemde yine iki kutu kirişi kullanılmıştır, ancak bu kez kablo düzlemleri kutu kirişlerin tam olarak üzerindedir. Bu yüzden yükün ana kirişin gövdesinden kablolarla iletilebilmesi için kutu kirişin içerisine, ankras noktalarına yönelik diyaframların konması yeterlidir.

Sadece bir otoyol taşıyan köprülerde (c)' deki sistem gereksiz yere büyük tabliye alanına sahiptir çünkü kablo düzleminin dışında kalan kısımlardan trafik taşımak için

yararlanılamaz. Fakat daha fazla trafik şeritlerine sahip köprülerde, örneğin ortadaki yolun yan tarafında bisiklet ve yayalar için sekonder şeritlerin olması, şekilde kesik çizgilerle gösterilen konsolların bu amaçlara uygun olarak (c)' deki sistemin daha verimli kullanılmasını sağlar.

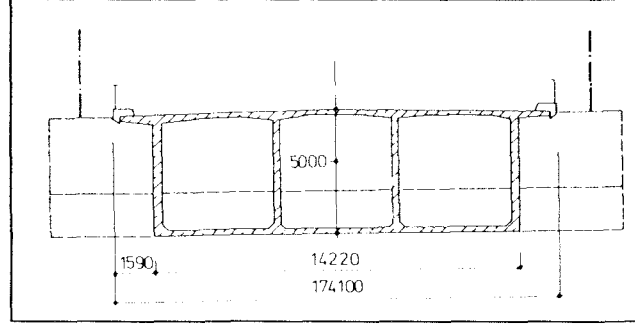
Köhlbrand Köprüsünde kullanılan rijitlik kirişi enkesiti 3.51 (a)' da gösterilen özelliklerden yola çıkarak tasarlanmıştır (Şekil 3.52). Ancak burada, kutu kirişi trapezoidaldir ve bu yüzden kesitin aerodinamik özelliklerini geliştirir, döşeme kirişleri için daha yeterli bir mesnet imkanı sağlar.



Şekil 3.52 Köhlbrand Köprüsünün rijitlik kirişinin enkesiti.

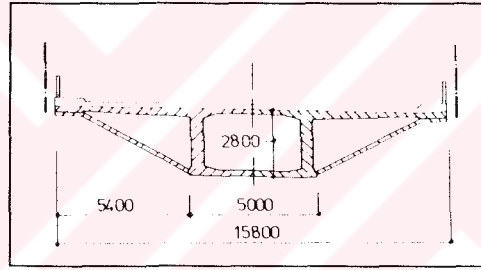
Ortotropik tabliye, 110 mm. derinliğindeki trapezoidal nervürler ve de 1.96 metre ile 2.15 metre arası değişen mesafelerde yerleştirilmiş döşeme kirişleri tarafından tutulan 12 mm. kalınlığındaki levhalardan oluşmuştur. Gövdeler ve alt levhalar 10 mm. kalınlığındadır, ancak boyutlar bazı ankraj noktalarında büyütülmüştür. Kablo ankraj noktalarındaki eğik bağlantılar enkesiti 400 mm. x 60 mm. ve 300 mm. x 26 mm. arasında değişen düz elemanlarla sağlanmıştır. Kutu kirişin derinliği, ana açıklığın (325 m.) $1/94'$ üne eşit olan 3.45 metredir.

Maracaibo Köprüsünün rijitlik kirişi üç gözlü betonarme kutu olarak inşa edilmiştir (Şekil 3.53). Tabliyenin genişliği 17.4 metre, kutunun genişliği ise 14.2 metredir. Kiriş derinliği ise 5 metre olup, ana açıklığın (235 m.) $1/47'$ si kadardır. Oldukça büyük kiriş derinliğinin sebebi, her ana açıklığın kablo sistemi tarafından sadece iki noktadan tutulmasından dolayı gerekli eğilme rijitliğinin sağlanabilmesidir. Kutu kirişin dört gövdesi 250 mm. kalınlığındadır ki bu değer 5 metrelik kiriş derinliği yanında oldukça incedir. Ankraj kirişi ise 2 m. x 6 m. boyutlarında öngerilmeli dolu kesitten yapılmıştır.



Şekil 3.53 Maracaibo köprüsünün rijitlik kirişinin enkesiti.

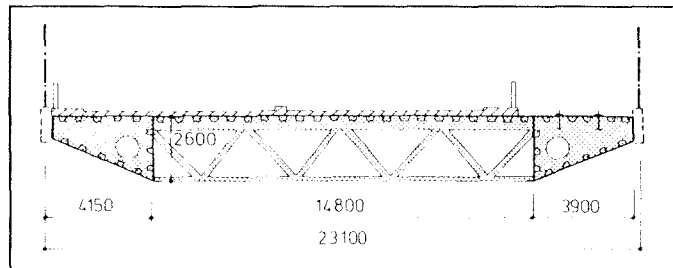
Viena' daki Donaukanal üzerine yapılan eğik askılı köprüde de üç gözlü kutu rijitlik kirişi yapılmış ancak bu kez trapezoidal kesit kullanılmıştır (Şekil 3.54). İçteki ana gövdeler 500 mm., dıştaki eğik elemanlar ise 150 mm. kalınlığındaki prefabrike plaklardan yapılmıştır.



Şekil 3.54 Vienna' daki Donaukanal üzerine kurulmuş köprünün rijitlik kirişinin enkesiti.

Kirişin yüksekliği, ana açıklığın (119 m.) $1/42'$ sine karşılık gelen 2.8 metredir. Kablo ankraj noktalarında, gergi kablolarının bağlandığı küçük çelik elemanları tutan ağır ankraj kirişleri vardır.

Arjantin' de Parana Nehri üzerine kurulmuş eğik askılı köprülerde uçlarında 3.9 metre genişliğinde kutu kirişlere sahip rijitlik kirişleri kullanılmıştır (Şekil 3.55).



Şekil 3.55 Parana Köprüsünün rijitlik kirişinin enkesiti.

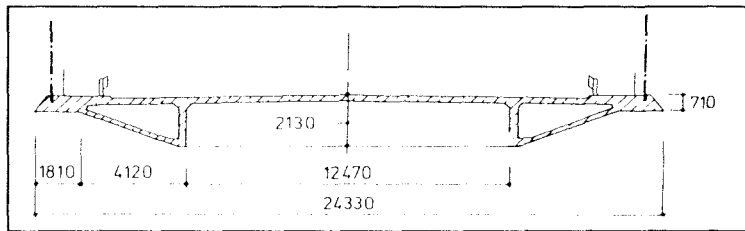
Burada kutu kirişler aerodinamik özellikleri artırmak amacı ile eğik alt flanjlardan yapılmıştır. Kutu kirişlerin derinliği, ana açıklığın (320 m.) $1/127'$ si olan 2.6 metreye eşittir. Köprü dört şeritli bir otoyol ve de asimetrik olarak uç kirişlerin birinin üzerinde demiryoluna sahiptir. Otoyol altındaki kısımda tabliye, ortotropik çelik tabliyeye ve üzerinde betonarme plağı olan kompozit döşemeye sahiptir. Üzerinde demiryolu olan kısımda ise raylar çelik tabliye üzerindeki ahşap kaplamaya oturmaktadır. Köprü tabliyesini kutu kirişler arasında tutmak için 3.14 metre aralıklarla kafes sistem döşeme kirişleri kullanılmıştır. Ankraj noktalarında ise döşeme kirişleri dolu gövdeye sahip levha kirişleri ile yapılmıştır.

Eksantrik yüklemekten dolayı iki kutu kiriş arasına alttan yanal rijitliği sağlayan kuşaklar konmuştur (Şekil 3.56). Bu tüm rijitlik kirişinin burulmaya karşı rijitliğini büyük ölçüde artırır.



Şekil 3.56 Parana Köprüsünün alttan yanal kuşaklara sahip rijitlik kirişi.

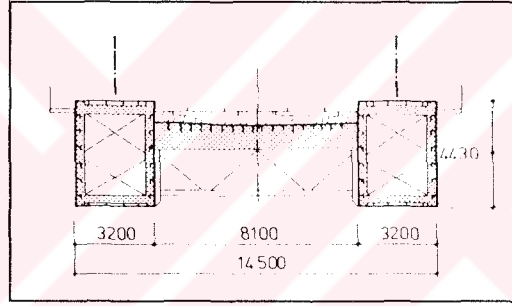
Uç noktalarda kutu şeklinde kirişlerin kullanıldığı bir başka köprü de Amerikadaki Pasco-Kennewick köprüsüdür (Şekil 3.57).



Şekil 3.57 Pasco-Kennewick Köprüsünün rijitlik kirişinin en kesiti.

Burada uç kirişler üçgen şeklindedir ve tüm kiriş betonarmeden yapılmıştır. Kirişin derinliği 2.13 metredir, bu da ana açıklığın (299 m.) $1/140'$ na eşittir. Tabliye döşemesi 200 mm. kalınlığındadır ve de 2.74 metre aralıktaki döşeme kirişleri ile tutulmuştur. Uç kirişlerin dışında tabliye döşemesinin kalınlığı kabloların ankarajına izin verecek şekilde 710 mm.' ye kadar yükseltilmiştir.

İki kutulu rijitlik kirişi Belgrad' daki Save Nehri üzerine kurulmuş çelik demiryolu köprüsünde de kullanılmıştır. Burada, kutu kirişler, demiryolu alanının dışına şekil 3.58' de de görüldüğü gibi dikdörtgen şeklinde düzenlenmiştir. Kutu kirişlerin levha kalınlığı 12 ile 50 mm. arasında değişmektedir. İki kiriş, ortotropik çelik tabliye ile bağlanmıştır. Tabliye levhasının kalınlığı 10 mm. olup 400 mm. aralıklarla boyuna nervürlerle tutulmuştur. Döşeme kirişleri ise 2.5 m aralıklarla konmuştur. Eksantrik yüklerin enine dağılımını düzenlemek için her 6 döşeme kirişinden biri K-bağlantısı ile güçlendirilmiştir. Ana kirişlerin derinliği ana açıklığın (254 m.) $1/57'$ si olan 4.43 metredir.

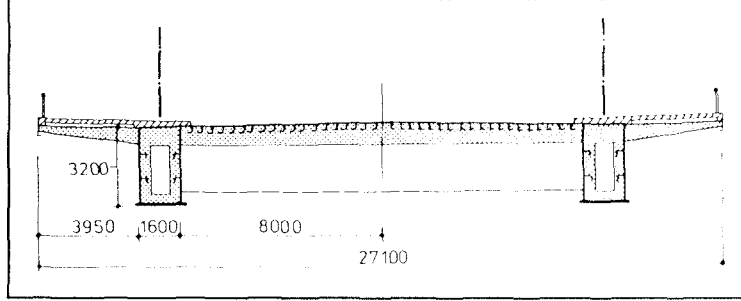


Şekil 3.58 Save Nehri üzerindeki demiryolu köprüsünün rijitlik kirişinin enkesiti.

İki dörtgen kutunun kullanıldığı bir diğer köprü de Düsseldorf' daki Theodor Heuss Köprüsüdür. Bu köprü, otoyolu yanında yaya ve bisiklet taşımak için de tasarlanmış, bu yüzden, kirişler tabliyenin kenarından bir miktar içeride yapılmıştır (Şekil 3.59). Herbir kiriş 1.6 metre genişliğinde, 3.2 metre derinliğindedir. Kablo düzlemleri kirişleri ortalayacak şekilde yerleştirilmiştir. Ana açıklık 260 metre, narınlık oranı ise $1/81'$ dir.

Kirişler arasındaki tabliyenin levhası 14 mm. kalınlığındadır. Boyuna, 400 mm. aralıklarla L-profilleri ile mesnetlenmiştir. Döşeme kirişleri ise 1.8 metre aralıklarla konmuştur. Kutu kirişlerin dışında kalan tabliye prefabrike beton plaklardan yapılmıştır ve sadece hafif trafik yükünü taşımaktadır.

Kutu kirişler kablo ankraj noktalarından 2.6 metre derinliğinde enine kirişlerle bağlıdır (Şekil 3.60). Bu kiriş eksantrik trafik yükünü enine yönde dağıtmak için kullanılmıştır.



Şekil 3.59 Theodor Heuss Köprüsünün rijitlik kirişinin enkesiti.

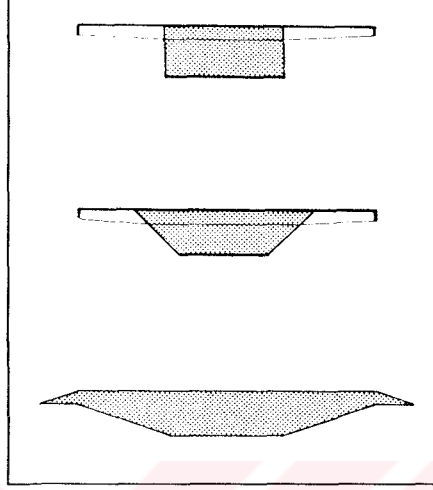


Şekil 3.60 Theodor Heuss Köprüsünün rijitlik kirişinin alttan görünüşü.

Daha önce, rijitlik kirişi enkesitlerinin seçiminde aerodinamik özelliklerin önemli rol oynadığı belirtilmişti. Bu konuyu daha da vurgulamak için şekil 3.61' de aerodinamiklik derecesine göre çizilmiş enkesitler gösteriliyor.

Yarı-aerodinamik kesitlerde rüzgarın kiriş etrafındaki akışı birtakım levhaların yan yatırılması ile geliştirilmiştir. Kesitte yumuşak değişiklikler yaparak, sürüklenme katsayısını 1.0' in altına düşürmek mümkündür.

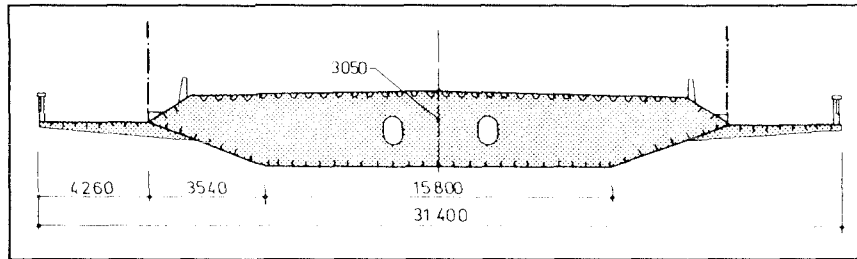
Gerçek bir aerodinamik kesit, rüzgar akımını bölmek için keskin uçlar, "rüzgar burnu", yapılarak sağlanabilir. Bunun için levhalara rüzgar yönü ile ilgili olarak eğim verilir. Bu rüzgarın sürüklenme katsayısını 0.5' e kadar indirebilir.



Şekil 3.61 Aerodinamiklik sırasına göre dizilmiş kutu şeklindeki rijitlik kirişleri.

Aerodinamik kesitlerin uygulanması, rüzgardan doğacak titreşimlerden kurtulmanın en etkili yoludur.

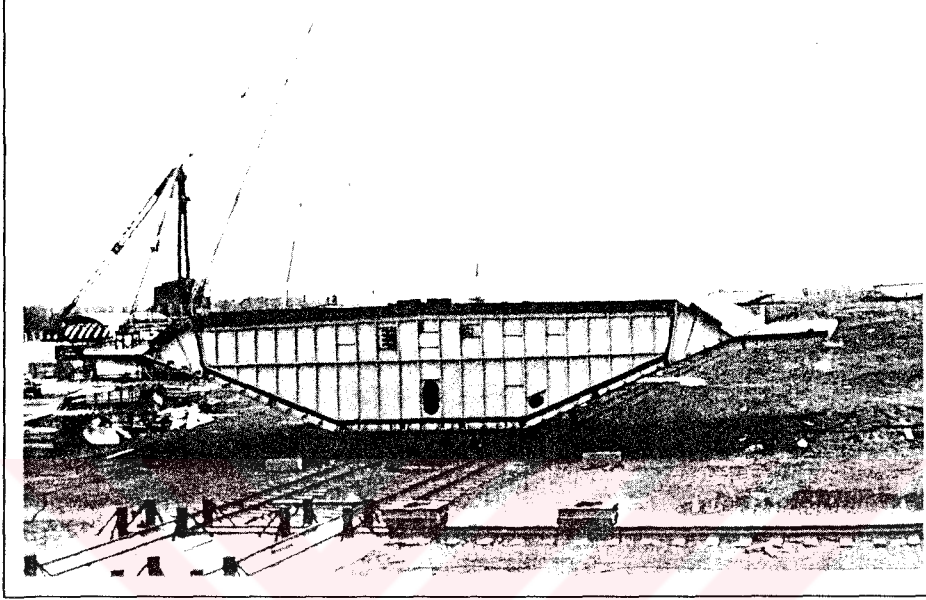
Aerodinamik kesit prensibi ilk kez 1960' lı yılların ortasında Severn Köprüsünde uygulanmıştır. Kutu kesit, hegzagonal yapılmış, yaya yolları kirişin kenarından konsol olarak tasarlanmıştır (Şekil 3.62).



Şekil 3.62 Severn Köprüsünün rijitlik kirişinin enkesiti.

Kutunun derinliği 3.05 metre olup, bu, tüm açıklığın (988 m.) 1/324' ünü teşkil etmektedir.

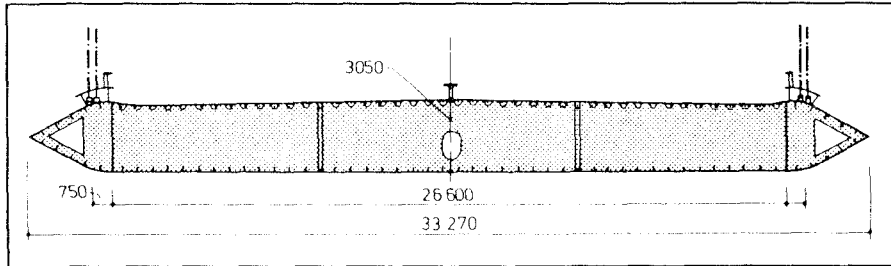
Buna benzer bir kesit daha sonra Boğaz Köprüsünde ve Humber Köprüsünde de kullanılmıştır. Ancak derinlik, Humber Köprüsünde 4.5 metreye yükseltilmiş ve alt flanjin genişliği de azaltılmıştır (Şekil 3.63).



Şekil 3.63 Humber Köprüsünün rijitlik kirişinin bir parçası.

Bu, yayalar için konsollara sahip üç köprüde askılar kutunun dış uçlarına tutturulmuştur.

Little Belt Köprüsünün enkesiti ise yayalar için konsollar olmadığından biraz daha farklıdır (Şekil 3.64).



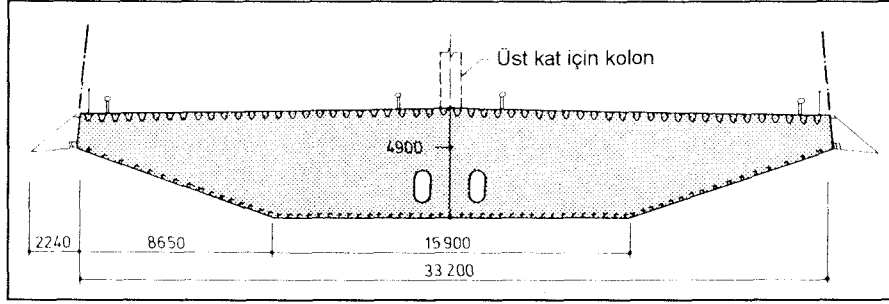
Şekil 3.64 Little Belt Köprüsünün rijitlik kirişinin enkesiti.

Diğer farklılıklar ise;

- flanaj ile rüzgar burnu arasındaki kavisli geçiş, ve
- kablo düzleminin kutunun ucundan değil de tabliye levhasının ucundan olmasıdır.

Little Belt Köprüsünün ortotropik tabliyesi 12 mm. kalınlığında levhalara sahiptir. Boyuna yönde trapez nervürlerle tutulmuştur. Üç metrede bir ise bölme duvarlar mevcuttur.

760 metre ana açıklığa sahip Burrard Nehri üzerindeki eğik askılı köprünün enkesiti şekil 3.65' deki gibi önerilmiştir.



Şekil 3.65 Burrard Nehri üzerindeki eğik askılı bir köprü için önerilen enkesit.

Dikkat edilirse rüzgar burunları aşağıya doğru yönlendirilmiştir. Bu alttan esecek rüzgara karşı tabliyenin aerodinamik özelliğini geliştirmek için düşünülmüştür. Gergi kablolarının ankrajları arasındaki kiriş genişliği 33.2 metredir. Tasarımı sırasında, ileriki safhalarda, üst katın yapılacağı düşünülerek, enine kirişler büyük eğilme momentlerine dayanacak şekilde tasarlanmıştır. Bu yüzden enine kirişler, dolu bölme duvarlar olarak yapılmış, böylece tabliye ile alt levha ana kirişte flanş gibi kullanılmıştır. Kirişin derinliği, ana açıklığın 1/156' sı olan 4.9 metreye eşittir.

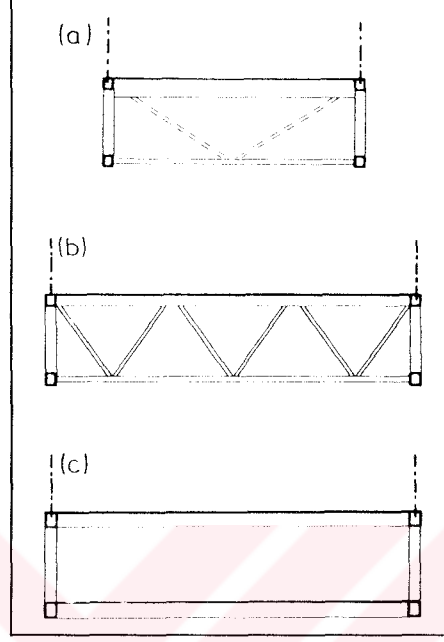
3.4.3. Rijitlik Kafeslerinin Enkesiti

Şu ana kadar rijitlik kirişleri içi dolu levhalarla yapılmış olarak anlatıldı, fakat kablolu köprüler tarihinde, kafes sistemler uzun süre gerekli eğilme ve burulma rijitliklerini sağlayan yapı elemanları olarak kullanılmıştır. Günümüzde, bazı durumlarda, iki katlı trafik yükü taşıyan köprülerde, kafes sistemler uygulanıyor.

Modern yaklaşım ile rijitlik kirişi uzay kafes olarak yapılıyor. Uzay kafesi dört elemanla (ikisi dikey, ikisi yatay) bağlanmış dört başlık elemanından oluşmaktadır. Ancak üstteki elemanlar genellikle yerlerini, yanıl kuvvetlere karşı başlıklar arası gövde görevi yapan köprü tabliyesine bırakırlar.

Günümüzde, eğer trafik tek kat ile taşınacaksa, üstte otoyola sahip tipik enkesit şekil 3.66 (a)'daki gibi olur. Burada köprü tabliyesi kafes sistemlere mesnetlenmiş döşeme

kirişleri ile taşınırlar. Tabliye döşemesi ise kutu şeklindeki başlık elemanlara bağlanıp üst başlığın bir parçasını oluşturur.



Şekil 3.66 Rijitlik kafesi için basit enkesitler.

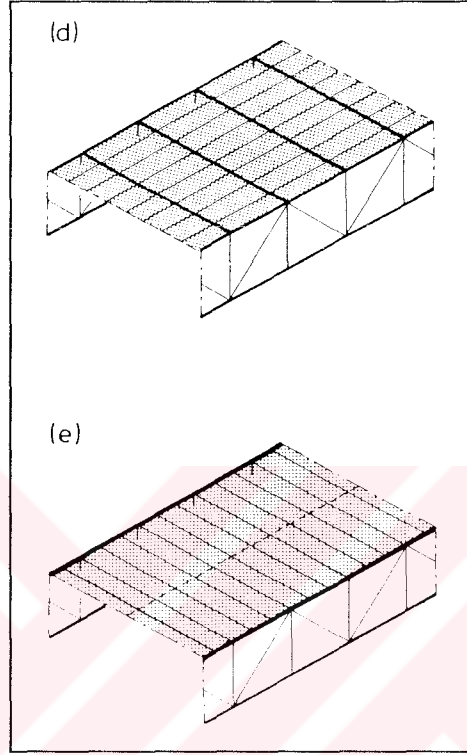
Burulma momentlerinin aktarılmasını sağlamak için, şekilde kesik çizgilerle gösterilen diagonal kuşaklar tüm açıklık boyunca konulmalıdır. Genellikle bu bağlantıların 50-100 metre aralıklarla konması yeterlidir.

Büyük otoyol genişliğine sahip köprülerde enkesit şekil 3.66 (b)' deki gibi olur. Burada döşeme kirişleri yerine enine kafes sistemler (makaslar) kullanılmıştır. Bu sisemlerin derinlikleri ana kafes sistemi ile aynı olur. Köprü tabliyesi üzerindeki düşey yükü ana sisteme taşıması yanında, yukarıda anlatılan burulma momentlerinin aktarılmasında da rol alır. Burada tabliye levhası yine üst başlık ile bütünleşerek yanal kuvvetlere karşı gövde görevi görür.

İki katlı trafik taşıyan köprülerde, köprü tabliyesi, rijitlik kafesinin hem üst hem de alt kısmı için düzenlenmelidir (Şekil 3.66 (c)). Bu durumda kafes düşey iki ana makasa ve yatay rijit bağlantıyı sağlayan ve başlık görevi gören köprü tabliyelerine sahiptir.

İki katlı çözümlerde diagonal kuşaklar alt tabliyenin gerekli temiz açıklık gereksiniminden dolayı rijitlik kafesi içerisine konamaz. Buna karşılık, diagonal elemanlar yerine, ana makasların düşey elemanları (dikmeler) ile döşeme kirişlerinin oluşturduğu rijit bir çerçeve kullanılır.

Genellikle, rijitlik kafesinin düğüm noktaları arasındaki mesafe, maksimum tabliye döşemesi açıklığını aşar. Şekil 3.67, köprü döşemesinin mesnetlenmesi için kullanılan iki çözümü göstermektedir.



Şekil 3.67 Tabliye döşemesinin mesnetlenebilmesi için kullanılan, döşeme kirişi ve gergiden oluşan iki çözüm.

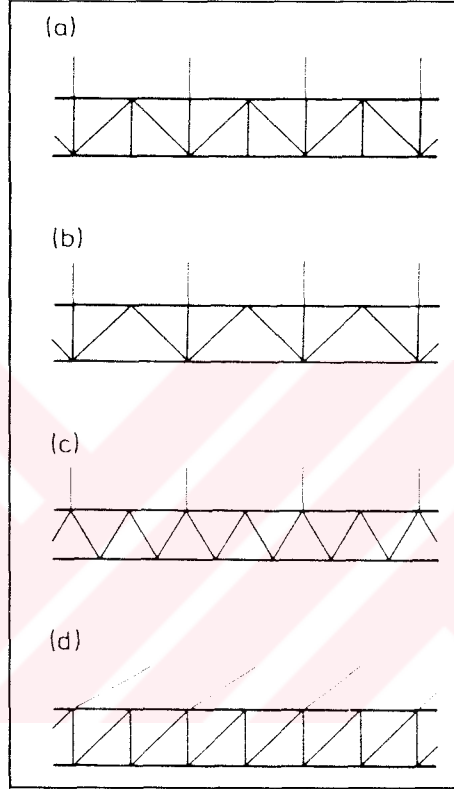
(d)' deki çözümde düğüm noktalarındaki döşeme kirişleri gergilerle desteklenmiş böylece köprü döşemesine enine yönde mesnetlenme olanağı sağlanmıştır. Bu tip bir kuruluş köprü tabliyesinin kafes sistemden ayrı çalıştığı durumlarda tercih edilir. Ortotrop tabliyelerde ise enine yönde nervürler gerektiğinden (d)' deki sistem uygun değildir.

(e)' deki çözümde döşeme kirişleri sadece düğüm noktalarına değil, aralara da yerleştirilmiştir, böylece tabliye döşemesi için gereken açıklık sağlanmış olur. Boyuna yöndeki açıklık için ise nervürler kullanılmıştır.

Düğüm noktaları dışında, üst başlıklara bağlanmış döşeme kirişleri eğilmeye karşı tasarlanmalıdır, buna bağlı olarak da boyutlar büyütülmelidir. Büyük otoyol genişliğine sahip köprülerde, köprü tabliyesinin ortasından yük dağıtıcı gergilerin kullanılması

avantaj sağlar (kesik çizgi ile gösterilmiştir). Böylece, noktasal tekerlek yüklerinden döşeme kirişlerinde oluşan momentler azalır.

Rijitlik kafesinde kullanılan kuşaklama sistemi diğler yapılar da kullanılan ve sabit derinliğe sahip kafeslerinki ile aynıdır. Şekil 3.68' de ana kirişler için uygun kafes sistemler gösterilmektedir.



Şekil 3.68 Ana kirişler için uygun kafes sistemleri.

Warren makası, (a), tüm düğüm noktalarında dikmelere sahiptir ve asma köprülerde oldukça fazla uygulanmaktadır. Bunun nedeni ise askı bağlantılarının, üst başlığın dikmelerle kesiştiği noktalarda kolayca sağlanabilmesinin verdiği avantajdır. Bunun yanında (b)'deki sistem düğüm noktalarından enine yönde kullanılabilir.

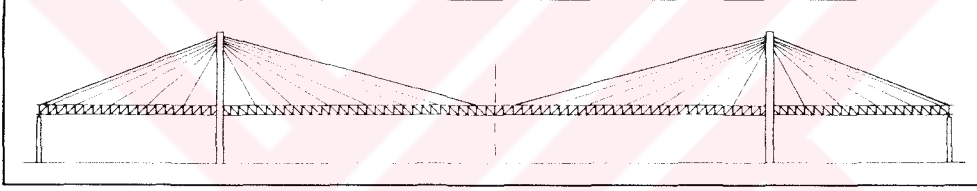
Döşeme kirişleri ile tutulmuş, üstten sadece bir tabliyeye sahip tek katlı sistemlerde, (Şekil 3.66 (a)), aralardaki dikmeler ihmal edilebilir, ve (b)'deki gibi basitleştirilebilir.

Dikmeleri olmayan basit Warren kafesi, (Şekil 3.68 (c)), yapımı ile ilgili olarak, basit düğüm noktalarını, düzgün geometrisini ve tüm sistem için sadece dört elemanın

bağlanmasını düşünecek olursak avantaj sağlar, ancak diğer yandan, eğer diagonal kuşaklar kullanılacaksa bazı zorluklar ortaya çıkar çünkü, ana kafeste dikmeler mevcut değildir. Bu yüzden kuşaklamaya uygun en iyi yöntem diagonal elemanlar yerine konacak çapraz çerçevelerdir. Çapraz çerçevelerin düşey düzlemde gerekmemesinin nedeni ise gerekli çerçeve davranışının ana kafeslerdeki eğik elemanlarla kolayca oluşturulabilmesidir.

Şekil 3.68 (d)' de gösterilen Pratt kafesi kullanılarak düğüm noktaları için eşit, basit ve düzgün bir geometri oluşturulabilir. Dikmelere sahip olduğu için enine kuşaklama Warren kafesinde olduğu gibi kolayca uygulanabilir.

Pratt kafesleri büyük köprülerin rijitlik kirişlerinde çok az kullanılmıştır, buna rağmen şekil 3.69' da gösterilen çok kablolu eğik askılı köprülerde uygulanan bir çözüm şeklindedir. Burada diyagonellerin yönü ana açıklığın ortasında ve de kulelerde değiştirilmelidir.



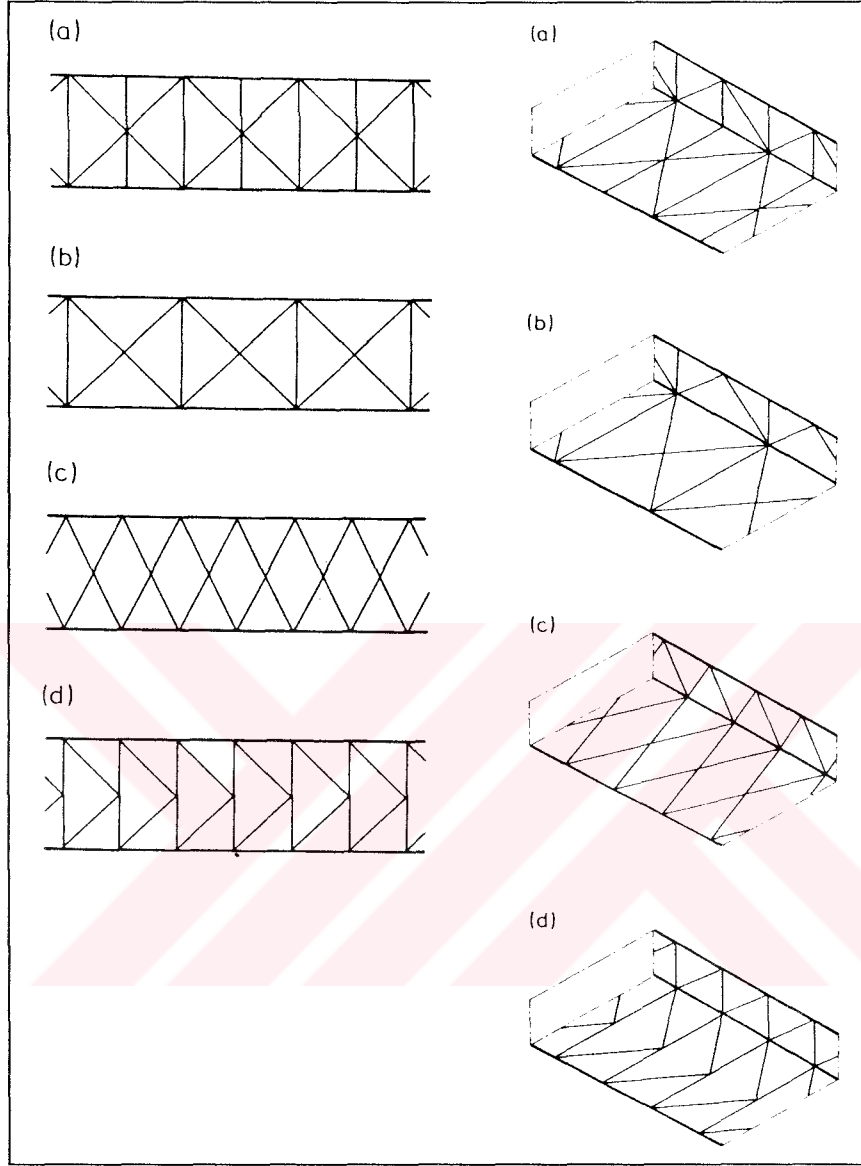
Şekil 3.69 Pratt kafesinin rijitlik kafesi olarak kullanıldığı çok kablolu eğik askılı köprü.

Yatay yanal ötelenmeleri önlemek için, simetrik sistemler kullanılır. Şekil 3.70, değişik şekillerde yapılan ve yanal ötelenmeyi önleyen bağlantıları (kuşakları) göstermektedir.

Düşey ana kafesler ile yatay kuşaklar genellikle şekil 3.71' de gösterildiği gibi şekil 3.70 ile şekil 3.68' deki sistemlerin uyumlu bir şekilde birleştirilmesi ile oluşturulur.

Farklı bağlantıların uygulamalarını aşağıdaki örneklerde görebiliriz.

İki katlı Sanfransisko-Oakland Körfezi Köprüsü, (Şekil 3.72), ana kirişte dikmelere sahip Warren kafesinin kullanıldığı birçok örnekten sadece bir tanesidir. Şekilde de görüldüğü gibi, döşeme kirişleri ana kafeslerin düğüm noktaları arasına yerleştirilmiştir, bu yüzden, betonarme döşemenin ana taşıyıcı sistemini aradaki sık yerleştirilmiş gergiler teşkil eder.



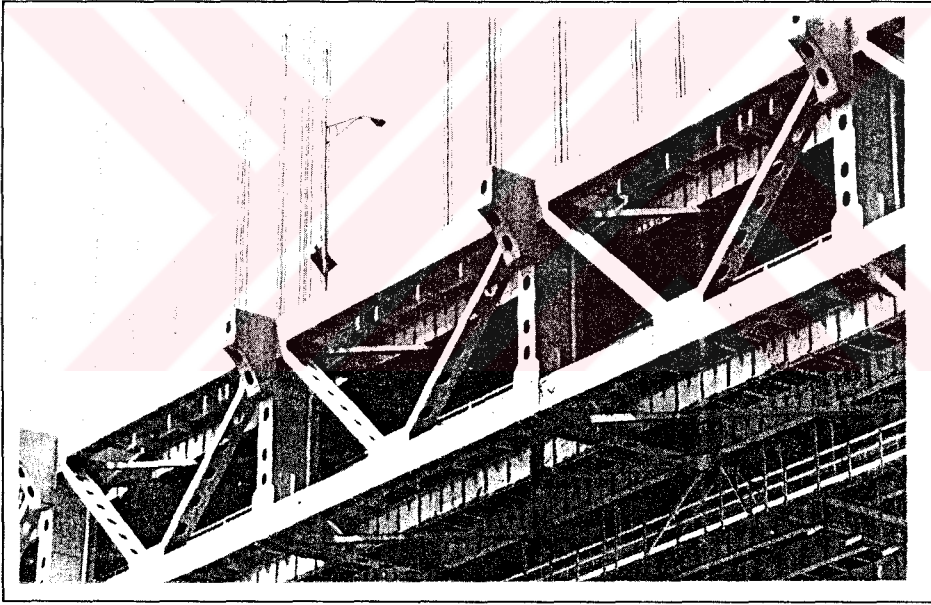
Şekil 3.70 ve 3.71 Ana kafesler arasındaki yanıl bağlantı sistemleri ve bu sistemlere uygun ana kafes sistemleri.

Bu da şekil 3.67 (e)' deki sisteme karşılık gelir. Köprünün kesiti ise şekil 3.66 (c)'ye benzer. 1930' lu yılların uygulaması olan bu köprüde, yanıl kuvvetlere karşı üst ve alt başlıklarda K-kuşakları kullanılmıştır.

Verrazano Narrows Köprüsünde ana kafesler Warren kafesi gibi yapılmış, ancak sadece üst başlıktaki düğüm noktalarına dikmeler konmuştur (Şekil 3.73).



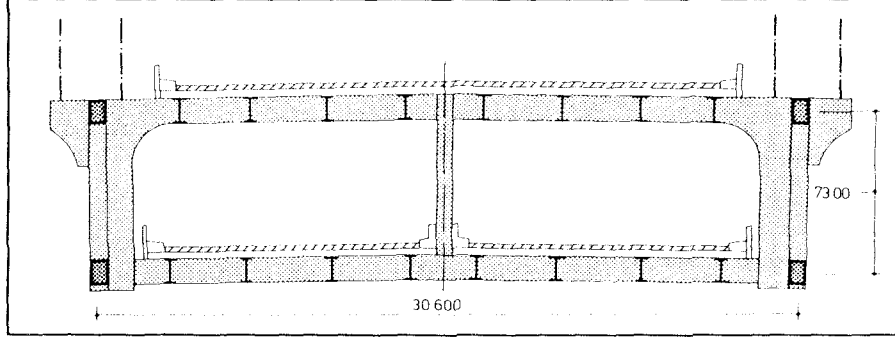
Şekil 3.72 San Fransisko-Oakland Körfezi Köprüsünün rijitlik kafesi.



Şekil 3.73 Verrazano Narrows Köprüsünün rijitlik kafesi.

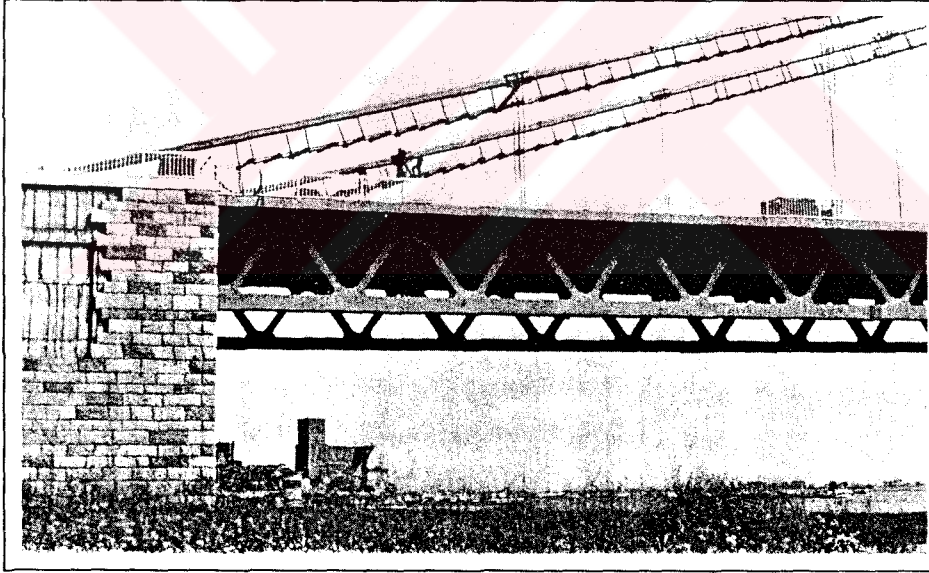
Dikmeler özellikle askı bağlantı noktalarından geçen çapraz çerçeve için kullanılmıştır. Bu çerçevenin enine elemanları döşemeyi tutan gergilerin mesnetlendiği döşeme kirişleridir (Şekil 3.74). Enkesitin ortasında, çerçevenin enine kirişleri (döşeme kirişleri) düşey elemanlara bağlıdır. Bu da tabliyelerinin sadece birine etkiyen noktasal kuvvetlerin yayılmasına izin verir. Ancak iki tabliyenin de tam yüke maruz kaldığı zamanlar, iki enine kirişin düşey deplasmanları birbirine eşit olur, böylece ortadaki düşey

eleman pasif kalır. Sonuç olarak ortadaki elemanın düşey yük aktarma kapasitesi sınırlı kalır, ancak, diğer yandan çerçevenin diagonal rijitliğine katkısı oldukça fazladır.



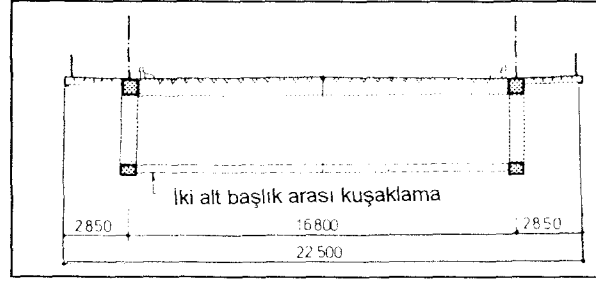
Şekil 3.74 Verrazano Narrows Köprüsünün enkesiti.

Şekil 3.75' de gösterilen Emmerich Köprüsü, basit Warren kafesinin kullanıldığı ilk asma köprüdür.



Şekil 3.75 Emmerich Köprüsünün rijitlik kafesi.

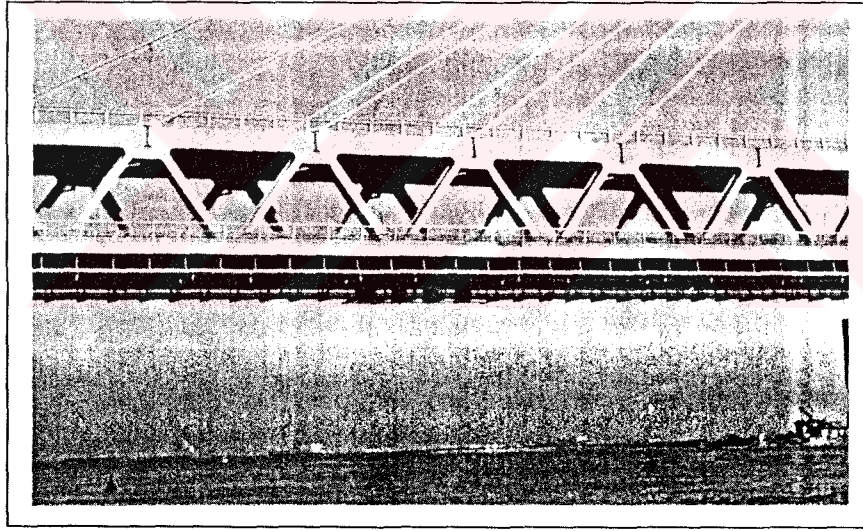
Görüldüğü gibi sistem rahatlatıcı bir görünüme ve de basit kafes geometrisine sahiptir. 3.76' daki kesitte görüldüğü gibi Emmerich Köprüsünün tabliyesi ortotropik olarak çelikten yapılmıştır. Tabliye aynı zamanda rijitlik kirişlerinin üst başlığını oluşturmaktadır.



Şekil 3.76 Emmerich köprüsünün enkesiti.

Ana açıklıkta yatay kuşaklama iki alt başlık arasına yerleştirilmiştir. Yan açıklıklarda (151.5 m.) ise alttaki kuşaklama yapılmamış, çünkü kablo sisteminin burulmaya karşı mukavemeti istenilen rijitliği sağlamaktadır.

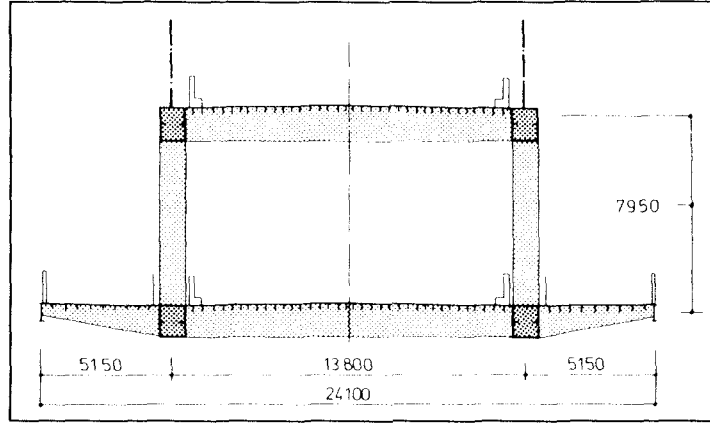
Basit Warren kafesinin kullanıldığı bir diğer örnek de şekil 3.77' de gösterilmiştir.



Şekil 3.77 Rokko Köprüsünün rijitlik kafesi.

Buradaki Rokko Köprüsü inşa edilen ilk iki katlı, eğik askılı köprüdür. Köprünün kesiti şekil 3.66 (c)' deki kesite karşılık gelir. Her iki tabliye de ortotropiktir ve de çelikten yapılmıştır. Tabliyeler rijitlik kirişlerinin üst ve alt başlıklarını oluştururlar (Şekil 3.78).

Rokko Köprüsünün ortotropik tabliyesi 2.45 metrelik aralıklarla döşeme kirişlerine mesnetlenir. Bu mesafe ana kafeslerin düğüm noktaları arasındaki mesafenin $1/5$ ' i kadardır. Bu nedenle, tabliye kuruluşu şekil 3.67 (e)' deki gibi olur.

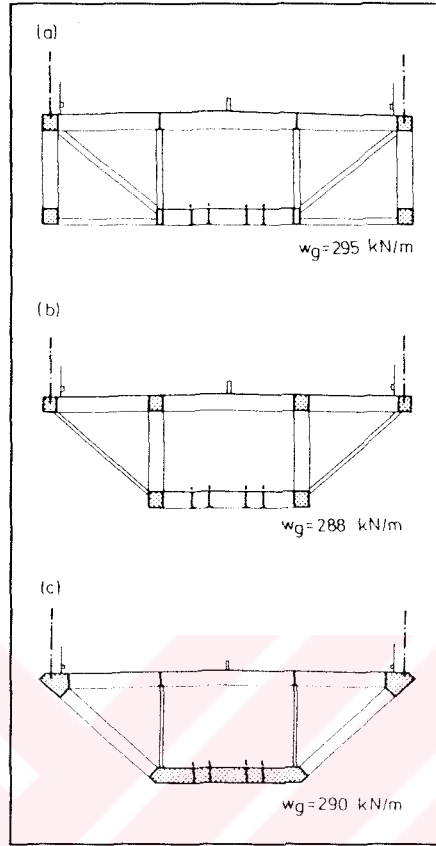


Şekil 3.78 Rokko Köprüsünün enkesiti.

Sadece otoyol amaçlı olarak yapılan köprülerde iki katın genişliği genellikle aynı olur, şerit sayısı da buna bağlı olarak eşit olur. Ototolu ile demiryolu taşıyacak olan iki katlı köprülerde, demiryolunun alt tabliyede olması fonksiyonel olarak daha avantajlıdır, ve de tabliye genişlikleri genellikle birbirinden farklı olur. Bu gibi durumlarda karşılaşılan özel problemler şekil 3.79' da gösterilen ve Great Belt Köprüsü için 1977-1978 yıllarında önerilen kesitlerin incelenmesi sırasında anlatılacaktır. Bu köprüde, üst tabliye 29 metre genişliğinde ve 6 şerit otoyola, alt tabliye ise 11 metre genişliğinde iki demiryoluna izin verecek şekilde tasarlanacaktı.

3.79 (a)' daki kesit iki katlı otoyol köprülerinde kullanılan, ana kirişlerin kablo düzleminin tam altında bulunduğu modeli gösterir. Burada, demiryollarının ortada olmasının nedennnnnnni, fazla burulmaya sebebiyet vermemesidir, ancak büyük tren yüklerinin kirişler ve kablo sistemine aktarılabilmesi için iki yanda oldukça ağır çapraz bvağlantılara gerek vardır.

(b)' deki kesitte ana kirişler demiryolu alanının hemen kenarına konmuştur, böylece ağır tren yükü ana kirişler direk olarak aktarılırlar. Bu tür bağlantı ile ana kirişler ile kablolar arasında direk bağlantı olmaz. Bu yüzden kuvvetleri uç kirişlere, oradan da askılara aktarmak için ek elemanlara ihtiyaç vardır. Şekilde de görüldüğü gibi, bu ana kirişlerin altından uç kirişlere doğru eğik elemanlar kullanılarak sağlanabilir.



Şekil 3.79 1977-1978 yıllarında Great Belt köprüsü için üzerinde çalışılan enkesitler.

(c)'deki kesitte ana kirişler enine yönde eğimli konmuş böylece trapezoid bir kesit oluşturulmuş oldu. Bunun sonucunda ana kirişler ile kablo sistemi arasında, gerekli genişlikler sağlanarak, direk yük aktarımı gerçekleştirilmiştir.

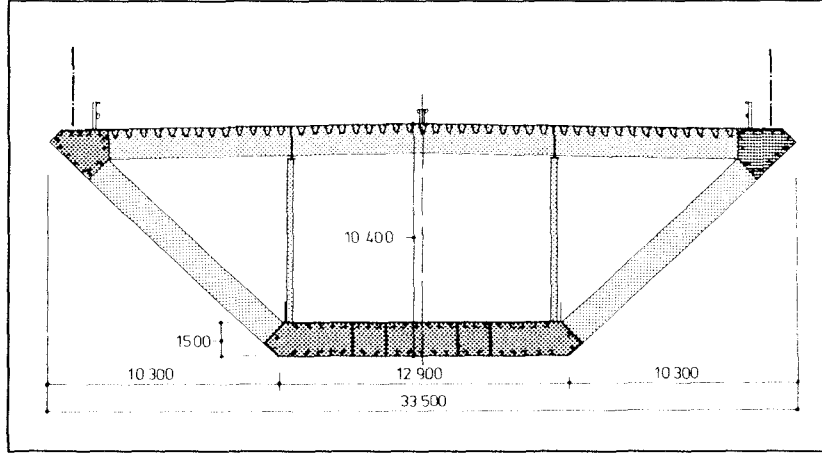
Buna ek olarak, demiryolu tabliyesinin kenarından sekonder kolonlar çıkartılarak döşeme kirişleri için etkin mesnetler oluşturulabilir.

Gösterilen birim uzunluğa gelen ağırlıktan, (a)'daki kesitin diğerlerine oranla daha ağır olduğu söylenebilir.

Great Belt Köprüsü için ihale aşamasında teklif edilen tasarımlar şekil 3.80' de daha detaylı olarak gösterilen ve (c)'deki kesite benzeyen şekile dayalı idi. Burada, üstteki tabliye 12 mm. kalınlığında ve ortotropik olup boyuna yönde trapez kesitli nervürlerle tutulmuştur. Döşeme kirişleri ise 4 metre aralıklarla yerleştirilmiştir. Döşeme kirişleri uç kirişlerle ve de kolonlarla tutulmuş gergilerle mesnetlenmiştir.

Kablolar, ana kirişlerin üst başlıklarını oluşturan pentagonal uç kirişlerine ankrajlanmışlardır. Ana kafeslerin kuşaklama elemanları kutu şeklinde olup boyutları 1250

mm. x 750 mm.' dir. Dikdörtgen şeklinin verilmesindeki amaç, kuşaklara yeterli eğilme rijitliğini vermek ve onları enine çerçeveye dahil etmektir.



Şekil 3.80 Great Belt Köprüsünün ihalesi aşamasında kullanılan kirişin enkesiti.

Demiryolu tabliyesi ise çok-gözlü kutu kirişlerden yapılmış ve eaylar ile uç noktaların altına gövde levhası konmuştur.

Şekil 3.80' deki kesitten yola çıkarak, Great Belt Köprüsü için 1978 yılında iki teklif değerlendirilmiştir. Bunlardan biri 780 metre uzunluğunda ana açıklığı olan eğik askılı köprü, diğeri ise 1416 metre ana açıklığa sahip asma köprü projesi idi.

Asma köprü tasarımı, rijitlik kirişi derinliği-açıklık oranı 1/140' dı. Köprü'nün ağır yüklere maruz kalacağı düşünülürse bu değerde köprü oldukça narin gözükmemektedir. Ancak araştırmalar sonucunda yüksek bir kirişin narin kirişten daha fazla problem çıkartacağı gözlemlenmiş. Kablo sisteminin deformasyonlarının rijitlik kirişini eğilmeye zorladığını ve bunun rijitlik kafesinin derinliğine bağlı olmadığını bulmuşlar. Buradan, meydana gelen gerilmeler, derinlikle orantılıdır. Derin kafesler yüksek mukavemetli çelikten yapılmalıdır. Fakat burada da trenlerden gelen dinamik yüklerden meydana gelen yorgunluk problemi ortaya çıkar. Gerçekte, optimum kafes derinliği 10 metreden az ve de demiryolu tabliyesinin elverdiği yükseklikte olmalıdır.

Burada vurgulanması gereken nokta, bu sonuçların sadece uzun açıklıklı köprüler için geçerli olması, normal açıklıklı asma köprülerde uygulanmamasıdır.

Eğik askılı köprü tasarımı ise, rijitlik kafesi-açıklık oranı 1/78 idi, ve kullanılan kiriş derinliği de demiryolu için gerekli temiz yüksekliğe uygundu. Bu bağlayıcı nedenler olmasa daha narin bir rijitlik kafesi kullanılabilirdi.

Üsste yol ve trafik yükü, altta ise demiryolu taşıyan köprülerle ilgili problemler şekil 3.81' deki dört kesit karşılaştırılarak sonuçlandırılacaktır.

İlk zamanlar otoyol taşımak için tasarlanmasına rağmen, Tagus Nehri Köprüsü demiryolu taşımak için tasarlanan ilk büyük asma köprüdür. İkinci aşamada, şekilde de görüldüğü gibi, iki demiryolu alt tabliyenin ortasına yerleştirilmiştir. Tren yüklerinin ana kafese aktarılmasını sağlamak için tren yolunun her iki kenarında çapraz elemanlar kullanılmıştır. Kafes kirişleri ile birlikte çapraz kuşaklar, sistemin diagonal rijitliğini de sağlamış oldu.

Ana makasların yerleri, düşey kablo düzlemine ilişkin olarak, eklenen trenyolundan dolayı, mukavemeti ve rijitliği artırmak için eklenen gergi kablolarının takılmasına izin verecek şekilde içe doğru yerdeğiştirmiştir. Gergiler kafesten geçirilip, alt başlığa ankrajlanmıştır.

Genelde, üzerinde durulması gereken, Tagus Köprüsünün enkesitinin ikinci aşamadan sonra birçok yönden etkilendiğini ve bu yüzden, uygulanan birçok karışık detaydan, eğer ilkten düşünülse idi, kurtulmuş olunacağıdır.

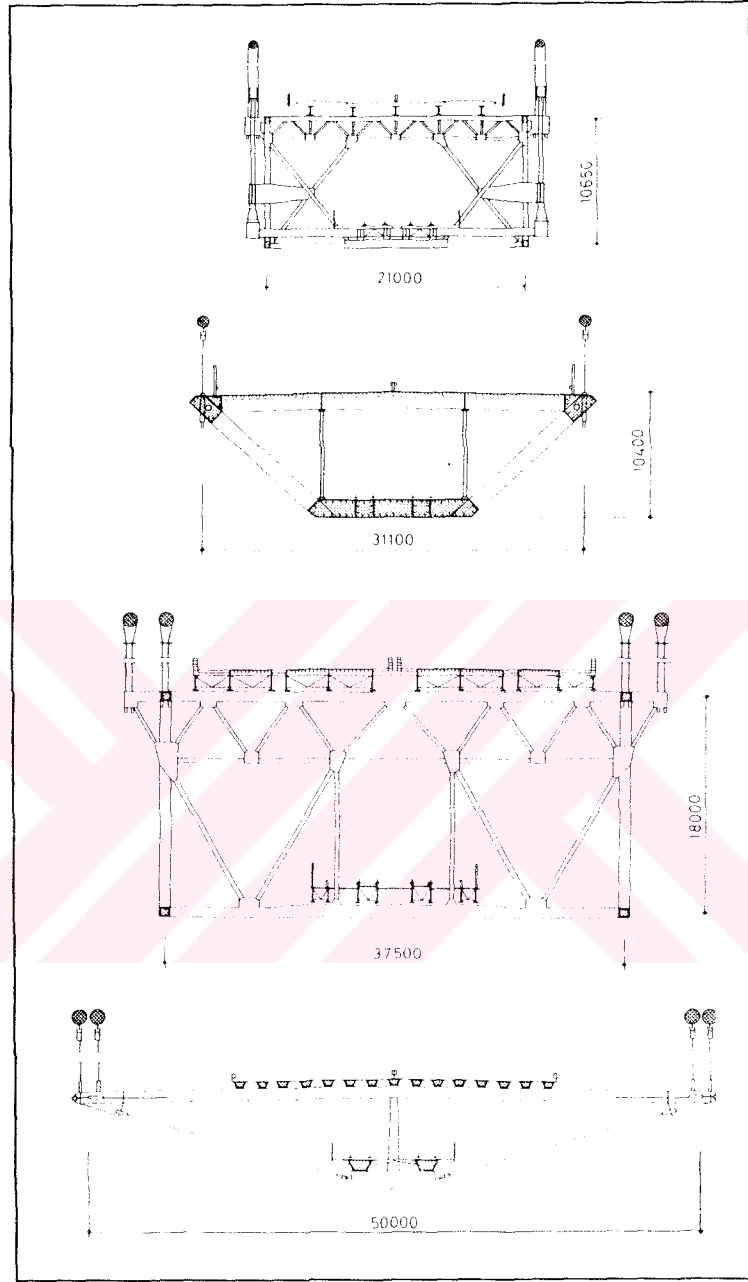
Great Belt' in tasarımı anlatılmıştır, ancak bu karşılaştırmada belirtilmesi gereken, Great Belt Köprüsünün tren yüklerinin, şekil 3.81' de anlatılan diğer köprülere oranla oldukça büyük alınmasıdır. Bundan dolayı Great Belt' in tasarımı diğerlerine göre en yoğun kesite sahip olanıdır.

1970' lerin başında tasarlanan Akashi-Kaikyo Köprüsü için ilginç boyutlarda kafes düşünülmüş. 1780 metre ana açıklığa sahip bu köprüde kiriş derinliği 18 metre olarak seçilmiş ve bu da ana açıklığın 1/99' una karşılık gelmekte idi. Kafes içerisinde ise, tren yüklerini ana makasa aktarmak için iki kat çapraz kuşak düşünülmüştü.

Akashi-Kaikyo için yapılan tasarımda, farklı yapı elemanları arasında birlikte çalışma prensibi uygulanmamış. Bu nedenle, ana makasın üst başlığı ile alt başlığı tabliyeler ile bütünleşmemiştir.

Messina Köprüsü için teklif edilen kesit ise, şüphesiz hepsi içerisinde en ilginç olanı idi. 3300 metre ana açıklığa sahip bu tasarımda 'rijitlik' kirişi eğilme ve burulma rijitliklerine sahip değildi. Otoyol tabliyesine etkiyen kaldırma kuvvetlerini azaltmak için birçok sayıda, üzeri ızgara ile örtülü boyuna delikler düşünülmüştü. Bunların yanında, kablo sisteminin burulmaya karşı direncini yükseltmek için kablo sistemleri arasındaki mesafe 50 metre olarak seçilmiş.

Tren yüklerinin ve otoyol yüklerinin bir kısmının kablo sistemine aktarılabilmesi için trenyolu seviyesinden askı bağlantılarına eğik kablolar yerleştirilmiş.



Şekil 3.81 Üste otoyolu, altta demiryolu taşıyan dört köprü için önerilen enkesitler.

Yanal yönde, rüzgar kafesi (kablo düzleminin dışında, boyuna başlıklara, enine dikmelerle çapraz düşey bağlantılara ve öngerilmeli kablo diagonellere sahip) konmuş. Otoyol tabliyesinin yanal yönde hiçbir etkisi olmaması ile birlikte kirişin yapısal elemanlar ile beraber çalışması sağlanmamış.

Özetle, Great Belt, Akashi-Kaikyo, ve Messina' nın tasarımları aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

- (1) Great Belt' in tasarımında gerekli direnç, tüm yapısal elemanları birlikte çalışan yoğun bir kesitin uygulanması ile gerçekleştirilmiştir.
- (2) Akashi-Kaikyo' nun tasarımında birlikte çalışma prensibi uygulanmamış, fakat gerekli direnç çok büyük bir kafes sistem kullanılarak sağlanmıştır.
- (3) Messina' nın tasarımında ise gerekli direnç, kablo sistemlerini çalıştırarak ve aerodinamik kuvvetleri azaltarak sağlanmıştır.

Yukarıdaki karşılaştırmalar yapılırken akla gelen diğer bir etken de köprülerin yerel durumlarının değişik olmasıdır. Örneğin, Great Belt' in bulunduğu yerde hiçbir deprem riskinin olmaması ve sadece uygun hızda esen rüzgarların olması, diğer yandan Akashi-Kaikyo' nun olduğu yerde büyük deprem risklerinin ve tayfunların olması gibi. Messina ise diğer iki bölgenin özellikleri arasında şartlara sahip bir yerde bulunuyor.

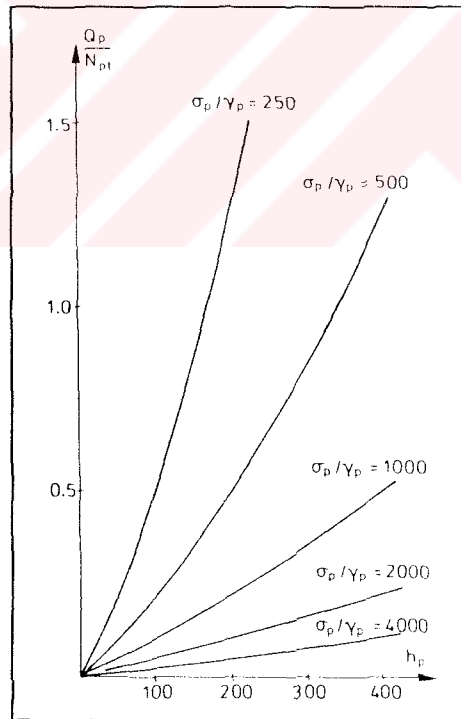
4. BÖLÜM : KULELER

4.1 GİRİŞ

Normalde, köprü ayakları birer kule yapısıdır. Boşta duran kule tasarımında, rüzgar veya depremden doğan yanal kuvvetlerden oluşan momentler etkindir. Köprü kulelerinde ise, kablo sisteminin mesnetlenmesi ile doğan eksenel kuvvetler tasarım için önemlidir.

Şekil 4.1 kule yüksekliği ile Q_p/N_{pt} oranı arasındaki ilişkiyi, değişik σ_p/γ_p değerleri için göstermektedir. Burada;

- h_n = kule yüksekliği (m.)
- Q_n = kule ayaklarının zati ağırlığı (MN)
- N_{nt} = kuleye etkiyen normal kuvvet (MN)
- σ_p = kule malzemesinin emniyet gerilmesi (MN/m²)
- γ_n = kule malzemesinin özgül ağırlığı (MN/m³)



Şekil 4.1 Değişik gerilme-yoğunluk oranlarına göre relatif kule ağırlığının kule yüksekliği ile ilişkisi.

Çelikten imal edilmiş kulelerde σ_p/γ_p oranı genellikle 1000-2000 (m.) arasında olur. Bu sınırdaki değerlerle, kule ayaklarının ağırlıkları, kule yüksekliği ile lineer şekilde artar (sabit normal kuvvet için), ve de daha yüksek kuleler için kule ağırlıkları normal kuvvetin oldukça altında olur. Örneğin, $h_p = 300$ metre olan bir kulede, kule yüksekliğinden dolayı normal kuvvet artışı sadece % 17-35' dir.

Betonarme kuleler için σ_p/γ_p oranı 500-250 (m.) arasındadır. Bu da yüksekliğin artması ile kule ağırlığının oldukça büyümesine sebebiyet verir.

$\sigma_p/\gamma_p = 250$ metre olan bir kule yaklaşık 175 metre yükseklikte iken kendi ağırlığı normal kuvvete eşit olur. $h_p = 300$ m.' de ise kule ağırlığı üstten gelen kablo kuvvetinin 2.3 katı kadar olur.

Büyük zati ağırlıklarına rağmen 150-200 metreye kadar betonarme kuleler uygulanabilir, yerel durumlara bağlı olarak da bu değerler daha da yükseltilebilir. Ancak kule malzemesinin seçiminde, zemin durumu, kule inşaatının hızı, inşaat safhasındaki stabilitesi gibi birçok etken vardır. Sonuç olarak, kule malzemesi seçimi sadece miktara bağlı fiyat tahmini ile yapılmamalıdır.

4.2 KULELERİN YAPISAL DAVRANIŞI

Kulenin üzerine etkiyen N_{pt} kuvveti, kablo kuvvetlerinin mesnetteki düşey bileşkesidir. Basit bir şekilde, şekil 4.2' de gösterildiği gibi kuleden çıkan sadece iki eğik askılı (ağırlıksız) bir sistemde ve $\bar{T}_A$ ve $\bar{T}_C$ kuvvetlerinin yatay dengesi ile bu kuvvetlerin düşey bileşkelerinin toplamı $\bar{R}_T$ eksenel kuvvetini verir.

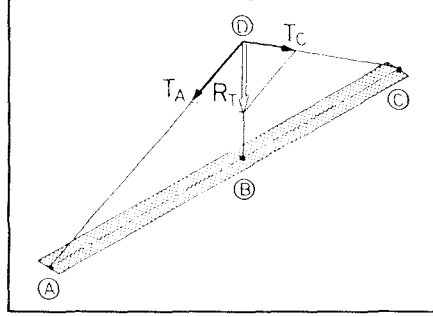
$$\bar{R}_T = \bar{T}_A + \bar{T}_C \quad (4.1)$$

Kablo düzlemi, kule üstü ile ankraj noktaları A ve C olarak tanımlanırsa, $\bar{R}_T$ kuvveti bu düzlemde etkimektedir. Sadece düşey yüklemede kulenin burkulmasını göz önünde bulundurursak, üstteki $\bar{R}_T$ kuvveti kule aksı ile kiriş aksının kesiştiği B noktasına doğru yönelmiş olarak kalır (Şekil 4.3). Bu, kulenin yanal yer değiştirmelerinde, etkili kolon yüksekliğinin $2h_p$ değil de sadece h_p olduğunu gösterir.

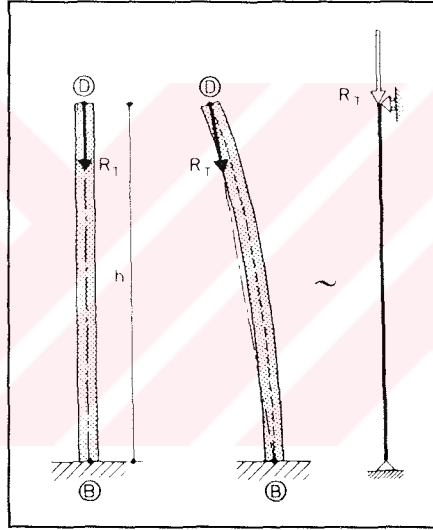
Yanal yükleme durumunda ise rijitlik kirişi yatay düzlemde eğilebilir, böylece ankraj noktaları A, C ve kule tabanı B düz bir çizgi üzerinde olmazlar. Şekil 4.4' de görüldüğü gibi kiriş yerdeğiştirerek A'BC şeklini alır.

Bu halde kablo düzlemi kule üstündeki D noktası ile A" dan C' ye giden düz çizgi ile tanımlanır. Kablo kuvvetlerinin düşey bileşkesi $\bar{R}_T$ ise A'-C üzerindeki B' noktasına

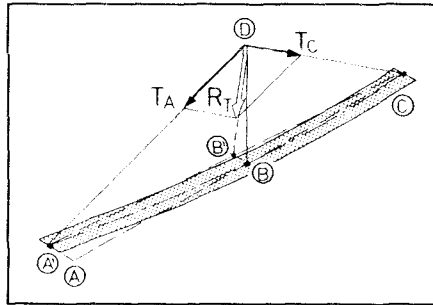
doğru yönelecek. Bu, şekil 4.5' deki yerdeğiştirmiş kolon için de uygulanabilir. Sonuç olarak kule için en doğru matematiksel model, basit mesnetlenmiş, R_T eksenel kuvvete ve alttan R_{Teg} momentine sahip olan modeldir.



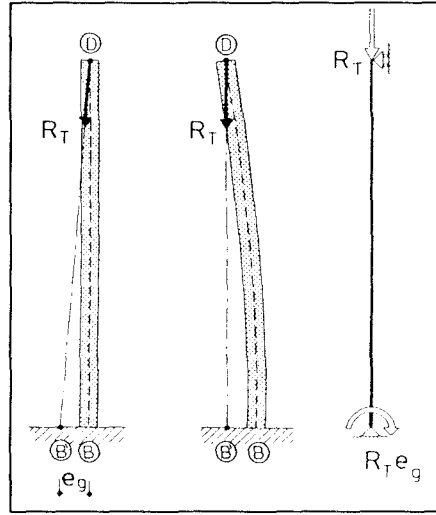
Şekil 4.2 Kule üzerine etkiyen kablo kuvvetleri.



Şekil 4.3 Kule üzerinin yanal yerdeğiştirmesinden dolayı R_T kuvvetinin B noktasına doğru yönelmesi.



Şekil 4.4 Rijitlik kirişi yanal yönde yerdeğiştirdiğinde R_T kuvvetinin yönü.



Şekil 4.5 Kulenin burkulmasından dolayı R_T kuvvetinin B' noktasına yönelmesi.

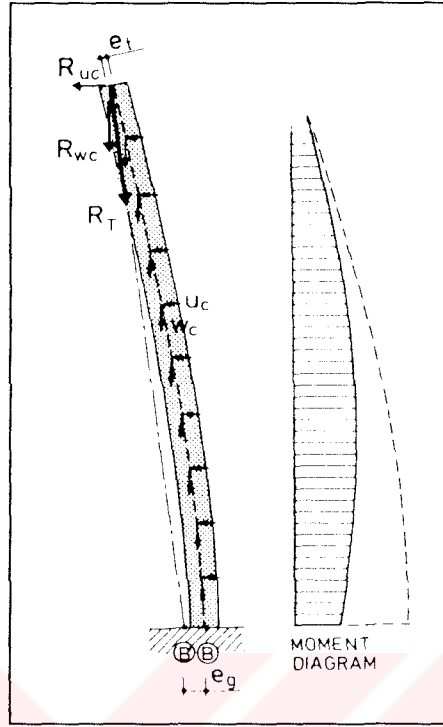
Şu ana kadar kule sadece kablo kuvvetlerinin etkisinden meydana gelen R_T kuvvetine göre incelenmiştir. Bu her ne kadar yapı elemanına etkiyen en önemli kuvvet ise de başka kuvvetler de vardır. Göz önünde bulundurulacak diğer kuvvetler ise;

- kablo zati reaksiyonu $\bar{R}_{wc}$
- kablodaki rüzgar yükü $\bar{R}_{uc}$
- kulenin zati ağırlığı w_n
- kuleye etkiyen rüzgar yükü u_n

Şekil 4.6 tüm kuvvetlerin uygulandığı zaman enine yönde burkulmanın irdelenmesini gösterir. Dikkat edilmesi gereken nokta, kablolardan gelen $\bar{R}_T$ reaksiyonu B' noktasına doğru iken kablo zati ağırlığının reaksiyonu $\bar{R}_{wc}$ ($=\Sigma 1/2 w_{cc}$) ve kulenin zati ağırlığının düşey yönde kalmasıdır.

Şekilde gösterildiği gibi, kablolardan gelen kuvvetlerde belirli bir eksantrisite, e_t , kabul edilir. Bunun sebebi ise inşa sırasında meydana gelebilecek hataları karşılamaktır. Genellikle e_t değeri 100 mm. alınır.

Ana kuvvetin ($\bar{R}_T$) B' doğrultusunda olması, kuledeki maksimum momentin, moment diyagramlarında da gösterildiği gibi orta yüksekliğin yakınında bir yerde olacağını gösteriyor. $\bar{R}_T$ 'nin düşey kaldığı durumlardaki moment diyagramı ise kesik çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 4.6' da gösterilen kuvvetler kulenin fan şeklindeki (veya asma sistemli) kablo sistemine mesnet görevi yaptığı durumdaki halini gösterir.



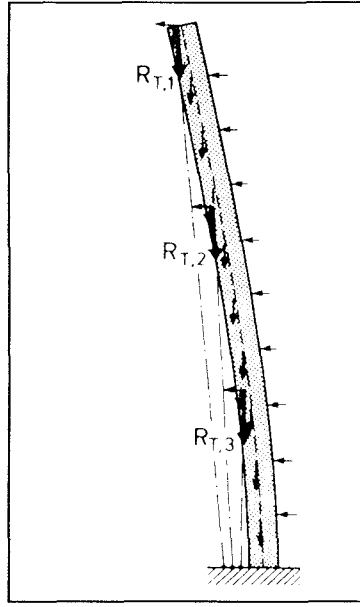
Şekil 4.6 Serbest duran kuleye etkiyen kuvvetler ve moment diyagramı (fan veya asma sistem)

Eğer harp şeklindeki kablo sistemini tutuyorsa, kablo sisteminden gelen kuvvetler farklı yüksekliklerde etkiyecektir. Şekil 4.7' de üç set gergi kablosuna sahip kablo sistemini tutan kule gösteriliyor.

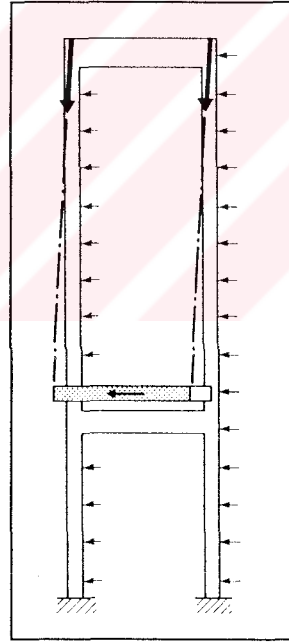
Serbest duran kolon tipli kulelerde, kiriş seviyesinde kule genişliğinin olabilecek en küçük genişlikte olması istenir. Bu yüzden burkulma tasarım sırasında önemli bir faktör olur, buna bağlı olarak da ikinci mertebeden analizlerin yapılması gerekir.

Diğer tip kulelerde, örneğin şekil 4.8' de gösterilen portal tipi kulelerde büyük yanal rijitlikler sağlanmış ve bu yüzden ikinci mertebe etkilerinin önemi azalmış olur. Bu özellikle, rijitlik kirişini yanal tutan ve toprağa ankrajlanmış kablo sistemi varsa doğru olur. Bu gibi durumlarda enine yönde rijitlik gereklidir ve birinci mertebe analizi yeterlidir, ancak yerdeğiştirmiş geometrinin hesaplanması, moment değişikliklerinin bulunması ve yapılan analizin geçerliliğinin kontrol edilmesi gerekmektedir.

Eğer birinci mertebe analizi yapılmışsa, kuvvetlerin belirli bir noktaya yönelmiş olmaları veya düşey yönde olmaları gibi kriterler önemsiz kalır. Her kablo sisteminden gelen kuvvet sadece tek bir kuvvet olarak gösterilir.



Şekil 4.7 Serbest duran kuleye etkiyen kuvvtler (harp sistem)

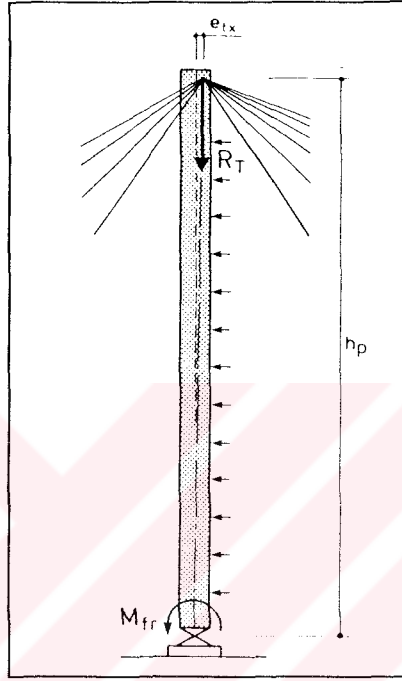


Şekil 4.8 Toprağa ankrajlanmış kablo sistemini tutan portal tipi kule.

Kulenin, köprünün boyuna yönündeki tasarımı tüm sistemin mesnetlenme şartlarına göre belirlenir.

En basit şekli ile, kule tabanından mafsallanmış, kablo sistemi ise üstten tutulmuştur (Şekil 4.9). Bu durumda kablolardan gelen ana kuvvet eksenel yönde etkir ve üstten küçük bir eksantrisiteye, e_{tx} , sahip olduğu kabul edilir.

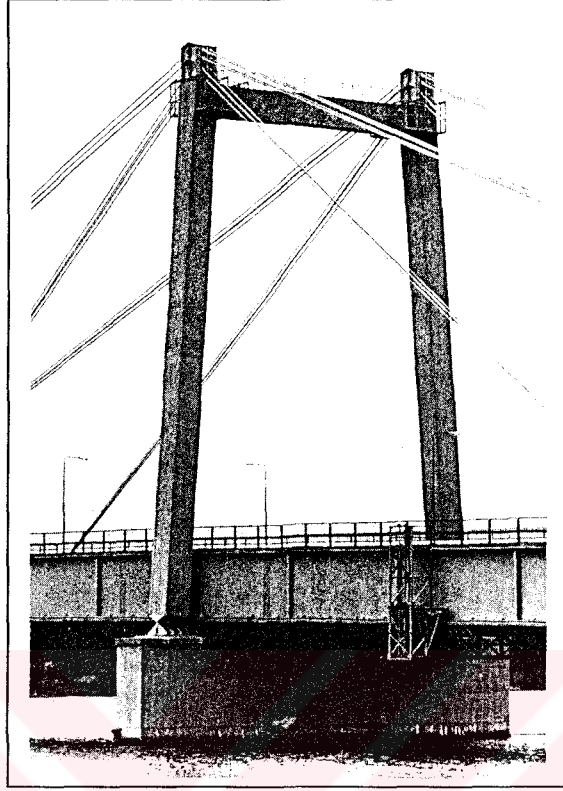
Buna ek olarak boyuna esen rüzgardan dolayı oluşacak momentler ve alttaki mesnetteki sürtünmeden doğacak M_{fr} momentleri de göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 4.9 Tabanından mafsallanmış kule.

Mafsallı mesnet ile kulenin kolon uzunluğu h_p yüksekliğine eşit olur. Mafsallı kulelerin uygulanması, kablo sisteminden çok yük almayan yapılarla sınırlıdır. Aksi takdirde büyük kulelerin mesnetlenmesinde kullanılırsa oldukça pahalıya mal olur. Bunun yanında mafsallı kulelerin yapımı sırasında kabloların takılmasından önceki stabilitenin sağlanması için özel önlemlerin alınması gerekmektedir.

Portal tipi mafsallı kuleler Strömsund Köprüsünde kullanılmıştır (Şekil 4.10). Mafsallı bağlantıların kullanılmasının nedeni, gergi kablolarının takılması sırasında kule üzerinin gerekli boyuna yerdeğiştirmelerine ve gergi kablolarının gerilmesine izin vermesidir. Kulenin yapımı sırasında, sadece 28 metre yüksekliğe sahip kulenin geçici stabilitesi önceden yapılmış yan açıklık kirişinden uzatılan destekler ile sağlanmıştır.



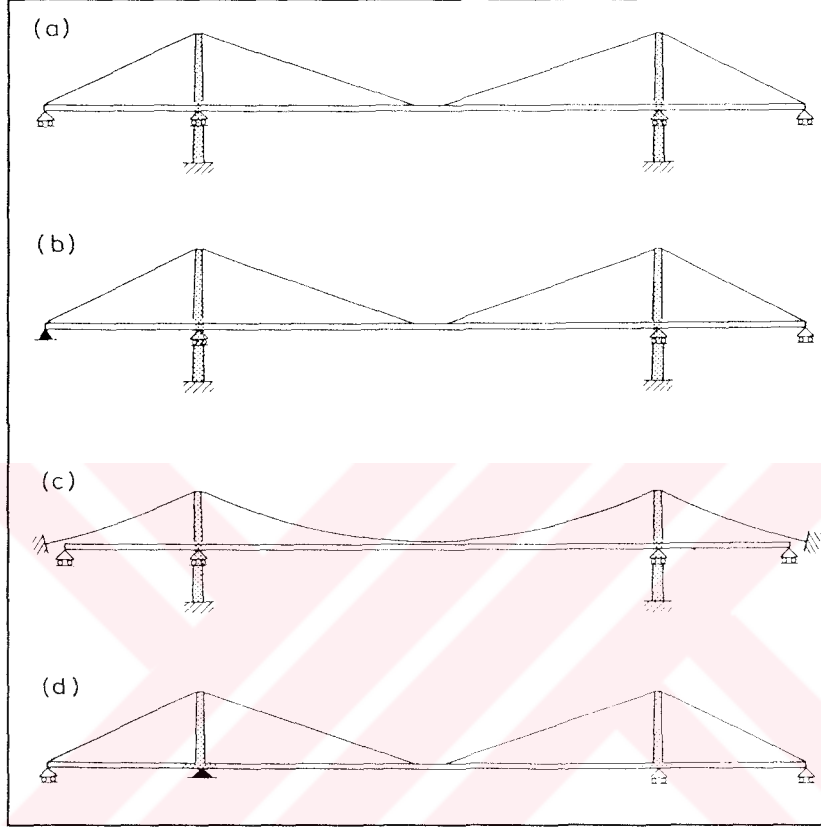
Şekil 4.10 Strömsund Köprüsünün alttan mafsallı kulesi.

Tabanından ankastre olarak tutturulmuş kulelere sahip dört değişik sistem incelenecektir (Şekil 4.11). Bu dört sistemin özellikleri:

- (a) Kuleler bloklara mesnetlenmiş, kendi içinde ankrajlanmış kablo sistemine sahip, kirişler boyuna yönde hareket edebilecek şekilde mesnetlenmiş.
- (b) Kuleler bloklara mesnetlenmiş, kendi içinde ankrajlanmış kablo sistemine sahip, kirişler boyuna yönde bir noktada sabit mesnetlenmiş.
- (c) Kuleler bloklara mesnetlenmiş, toprağa ankrajlanmış kablo sistemine sahip, kirişler boyuna yönde hareket edebilecek şekilde mesnetlenmiş.
- (d) Kuleler rijitlik kirişine mesnetlenmiş, kendi içerisinde ankrajlanmış kablo sistemine sahip.

(a)'daki durumda, en kritik deplasman iki kule tepesinin de boyuna ve aynı yönde yerdeğiştirmesi ile gerçekleşir (Şekil 4.12). Bu eğilme sırasında tüm kiriş reaksiyonları düşey yönde olduğu için rijitlik kirişinin düşey yüklerinden kabloya gelen N_{pt} kuvveti de

düşey yönde olur. Bu yüzden kulenin boyuna yöndeki etkili kolon uzunluğu, $l_c = 2h_p$ olur. Buna tüm boyuna kuvvetlerin kulenin üst kısmına etkidiğini de eklersek kulenin oldukça ciddi eğilme rijitliklerine sahip olması gerektiği anlaşılır.

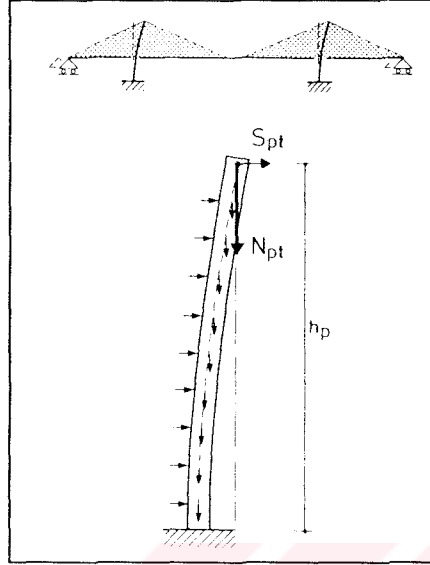


Şekil 4.11 Tabanından ankastre olarak tutulmuş kulelere sahip dört değişik sistem.

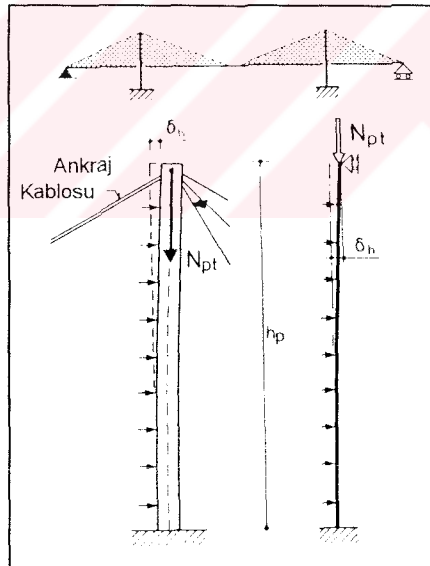
(b)' deki durumda rijitlik kirişine etkiyen tüm boyuna kuvvetler sabit mesnete aktarılıyor. Kule üstünün boyuna yönde tutulması ankraj kabloları tarafından sağlanıyor. Bu iki önemli özellik gerekli eğilme rijitliğini azaltır böylece sonuç olarak daha narin bir kule elde edilir.

Kule tabanından ankastre ve boyuna yönde de üstten ankraj kabloları ile tutulu olduğu için etkili kolon yüksekliği yaklaşık $0.7 h_p$ olacaktır ki bu (a)' daki değerin yaklaşık olarak üçte birine eşittir. Ancak, ankraj kablolarında ve rijitlik kirişinde trafik yükü ve sıcaklık değişikliklerinden meydana gelen uzamalardan dolayı kulenin üzerinde boyuna yönde sınırlı bir yerdeğiştirme, δ_h , meydana gelir. Ankraj kabloları tarafından sağlanan yatay yönde tutulma gösteriyor ki N_{pt} kuvveti her zaman düşey yönde değildir,

eğik bir hal alabilir (Şekil 4.13). Bunun yanında ankraj kablosu, boyuna rüzgar yüküne karşı, kuleye mesnet görevi de görür.



Şekil 4.12 İki kulenin beraber burkulması.



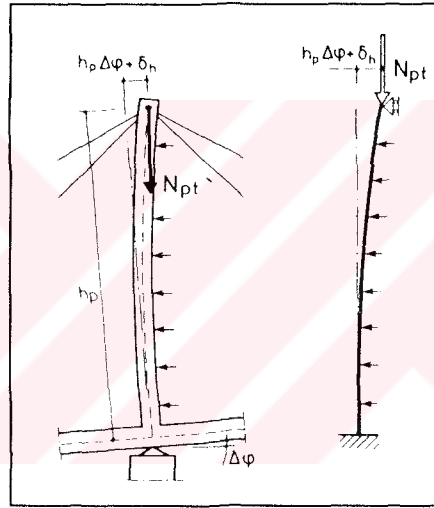
Şekil 4.13 Kule üstünün boyuna yönde sınırlı yerdeğiştirmesi.

Kulenin burkulmasını incelerken genellikle ankraj kablosunun boyuna yönde sabit mesnet görevi gördüğü kabul edilir. Böylece, analizlerin tabanda ankastre ve üstten basit

mesnetli ve N_{pt} eksenel kuvvetine maruz kalmış, üstte δ_h kadar yerdeğiştirmesi olan ve boyuna yönde rüzgar yükü alan bir sistem alınarak yapılması gerekir.

(c)' deki sistemde, toprağa ankrajlanmış yan açıklığın ana kablosu kule üstüne (b)' deki benzer boyuna yönde bir mesnet teşkil eder. Ancak trafik yükünden dolayı, kulenin boyuna yerdeğiştirmeleri, özellikle yan açıklıkları büyük bir asma köprü ise, daha büyük olabilir.

(d)' de ise, (b)' de olduğu gibi, kule, üstten ankraj kabloları ile iyi bir şekilde tutulmuştur, fakat kirişle olan rijit bağlantıdan dolayı momentler altta oluşmaktadır. Bu yüzden kulelerin burkulmasını incelerken üstten basit mesnetli, alttan da ankastre olduğu ve de kolonun N_{pt} eksenel kuvvetine, alttan $\Delta\varphi$ açısal değişikliğine ve boyuna yönde rüzgar yüküne maruz kaldığı kabul edilir (Şekil 4.14).

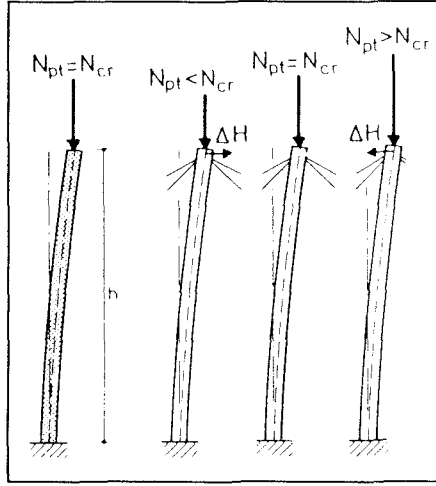


Şekil 4.14 Rijitlik kirişine ankastre kulenin yerdeğiştirmeleri.

Kule üstünün ankraj kablolarının uzamasından dolayı yatay yerdeğiştirmelere karşı direnci N_{pt} eksenel kuvvetinin büyüklüğünün boşa duran kabloun kritik yüküne, N_{cr} , olan ilişkisine bağlıdır.

Kritik kuvvete eşit eksenel kuvvete maruz elastik kolonun hangi şartlarda olursa olsun dengede durduğunu belirterek kule üstünün yatay direnci ile ilgili olarak aşağıdaki sonuçlar çıkartılabilir (Şekil 4.15).

Eğer bir ucu boşa kulede eksenel kuvvet N_{pt} kiritik kuvvetten küçükse o zaman kule düşey pozisyonuna geri dönmek isteyecektir ve de kablo sistemi buna karşılık kule üstüne ΔH yatay kuvvetini, kuleyi eğilmiş şekilde tutmak için uygulayacaktır. Yani kule, boyuna yerdeğiştirmeye karşı (δ_h), ΔH kuvveti ile direnmeye çalışacaktır.



Şekil 4.15 Bir ucu boşa olan kuleye etkiyen normal kuvvetin, kritik kuvvetle ilgili olarak kablodan gelen ΔH kuvvetinin yönü.

Eğer eksenel kuvvet N_{pt} kritik kuvvete eşit ise, kuleyi yerdeğiştirmiş şekilde tutmak için yatay kuvvete ihtiyaç yoktur ve kule, üst kısmın boyuna yerdeğiştirmesine karşı herhangi bir direnç göstermemektedir. Sonuçta, kulenin kablo sistemine sunduğu mesnetlenme şekli, sürtünmesiz boyuna hareket eden mesnetle eşit olur.

Son olarak, eğer eksenel kuvvet N_{pt} kritik kuvvetten büyük ise, kule daha fazla eğilmeye çalışır ve de yatay kuvvet ΔH kuleyi yerinde tutmak için gerekmektedir.

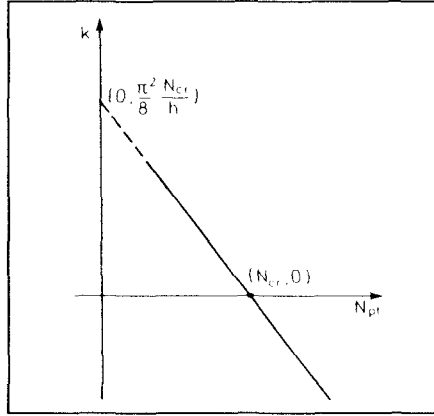
Kulenin yatay yerdeğiştirmelerine karşı direnci yay sabitleri ile tanımlanabilir:

$$k = \frac{\Delta H}{\delta_h} \quad (4.2)$$

Sabit bir kesite sahip kulede yay sabiti, k , şekil 4.16' da gösterildiği gibi normal kuvvetle değişir. Görüldüğü gibi yay sabiti;

$$\begin{aligned} N_{pt} < N_{cr} & \text{ için } \text{pozitif,} \\ N_{pt} > N_{cr} & \text{ için } \text{negatif, } N_{pt} = 0 \text{ için ise,} \end{aligned}$$

$$\frac{\pi^2}{8h} N_{cr} = \frac{\pi^4}{32} \frac{EI}{h^3} \sim 3.04 \frac{EI}{h^3}$$



Şekil 4.16 Yay sabitinin, k, normal kuvvete göre değerleri.

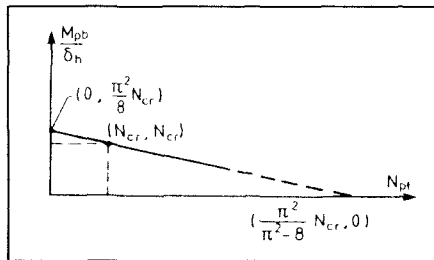
Ancak doğru değeri $3EI/h^3$ ' tür. Bu değerler sabit kesit varsayımı üzerine verilmiştir. Fakat, normal kuvvet ve yay sabiti arasındaki ilişki Şekil 4.16' da gösterildiği gibidir ve de değişken kesitler için de geçerlidir.

Kulenin tabanındaki moment, sabit enkesit için;

$$M_{pb} = N_{pt}\delta_h + \Delta H h = (N_{pt} + kh)\delta_h = \left[\frac{\pi^2}{8} N_{cr} + \left(1 - \frac{\pi^2}{8} \right) N_{pt} \right] \delta_h \quad (4.3)$$

Şekil 4.17' deki grafikten moment M_{pb} ' nin N_{pt} arttıkça düştüğü görülebilir, ve

$$M_{pb} = 0 \text{ for } N_{pt} = \frac{\pi^2}{\pi^2 - 8} N_{cr} \sim 5.28 N_{cr}$$

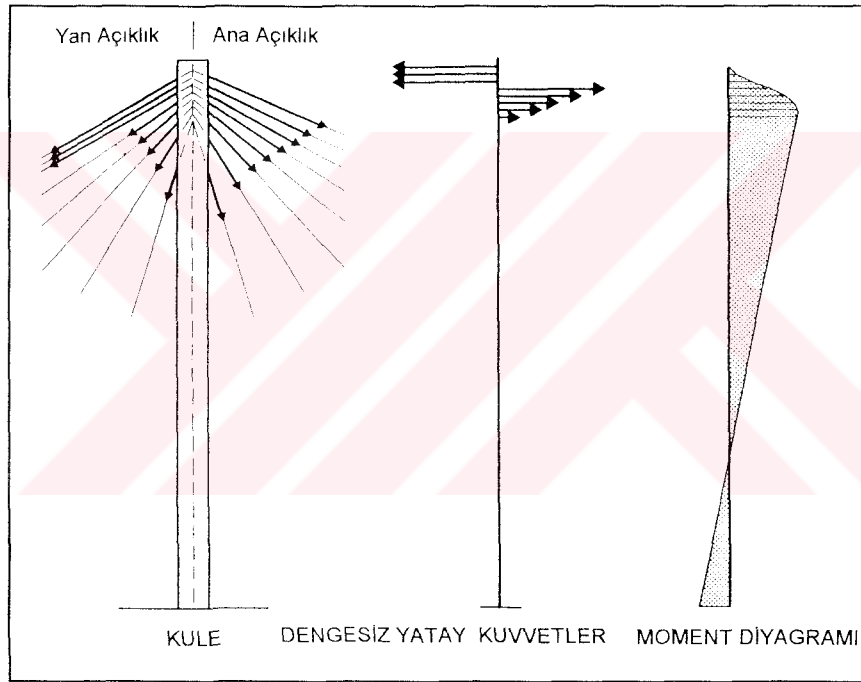


Şekil 4.17 Kule tabanındaki M_{pb} momentinin normal kuvvet N_{pt} ile değişimi.

Genellikle amaç kuleleri narin yapmaktır. Bu durumda maksimum N_{pt} , N_{cr} 'ye yakın olur. Fakat stabilite gibi inşaat sırasında ortaya çıkan problemler boyutlandırma için önemli etken olurlar.

Şekil 4.8 - 4.17 arası ele alınan kulelerde kablo sisteminden gelen toplam kuvvetin kule üstündeki bir noktadan gelmesine, asma sisteme veya basit fan sistemine sahip köprülerde rastlanır.

Tüm gergi kablolarının ankrajlarının kule üst noktasında yoğunlaşmasından dolayı basit fan sistemleri çok az kullanılmıştır. Bu yüzden yerini geliştirilmiş fan sistemi almıştır. Burada ankrajlama, kulenin üst kısmında, Şekil 4.18' de gösterildiği gibi yayılarak yapılmıştır.



Şekil 4.18 Geliştirilmiş fan sistemi için kullanılan kulenin moment diyagramı.

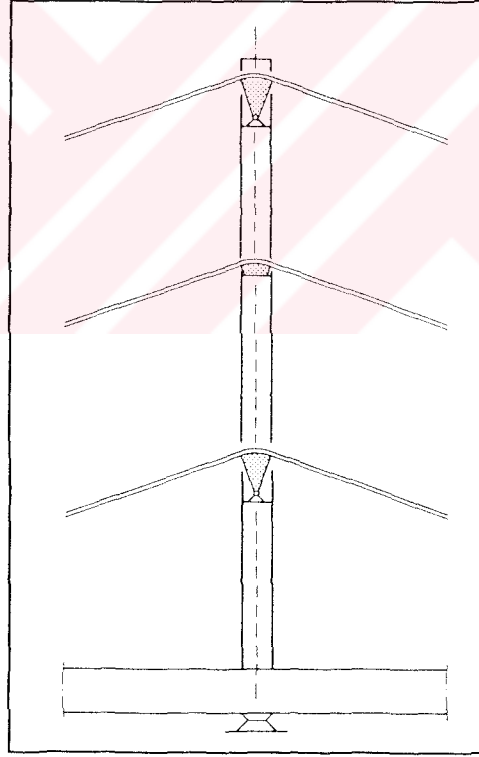
Bu durumda, kabloların farklı seviyelerde ankre edilmelerinden dolayı, yatay kuvvetler aktarılırken kule eğilmeye maruz kalmaktadır. Şekildeki örnekte, kulenin yan açıklığı zati ağırlığının, ana açıklığı ise zati ağırlığının yanında trafik yükünün etkisi altındadır. Bu, kablolar simetri olsada yatay kuvvetleri arasında fark oluşabileceğini, bunun sonucunda da bir taraftaki fazla kuvvetin ankraj kablosuna aktarılırken şekilde de görüldüğü gibi momenler oluşturduğunu göstermiştir. Önemli bir nokta ise maksimum momentin altta değil de kulenin üstünde oluşmasıdır.

Meydana gelen bu momentler kablo ankraj noktaları arasındaki mesafe ile orantılıdır. Bu yüzden ankraj bölgesinin mümkün oldukça sık yapılması gerekmektedir.

Eğer kule tarafından mesnetlenmiş kablo sistemi harp sistemiyse, kablo ankraj noktaları kulenin rijitlik kirişi üzerindeki bölgede, tüm kule boyunca dağılmıştır. Bu, dengesiz yatay kablo kuvvetleri farklı ankraj noktalarından aktarılırken oldukça büyük değerlerde eğilme momentleri oluşturmaktadır. Ancak, dengesiz kuvvetlerin kuledeki etkisi, kule ile rijitlik kirişinin eğilme rijitliklerinin birbirine olan oranından etkilenmektedir.

Eğer harp sistemi tutan kulenin eğilme rijitliği, rijitlik kirişi ile karşılaştırıldığında küçükse, kulenin, köprü sisteminin genel stabilitesine katkısı çok az olur. Bu gibi durumlarda, kulenin eğilmesini daha da azaltmak için bazı gergi kablolarının altına boyuna hareketli mesnetler konur, böylece, gergi kablolarında kuleye yatay yük aktarımı tamamen engellenmiş olur.

Düsseldorf' daki Theodor Heuss Köprüsünde Şekil 4.19' da gösterildiği gibi, üstteki ve alttaki gergi kabloları hareketli mesnetlerle tutulmuştur.

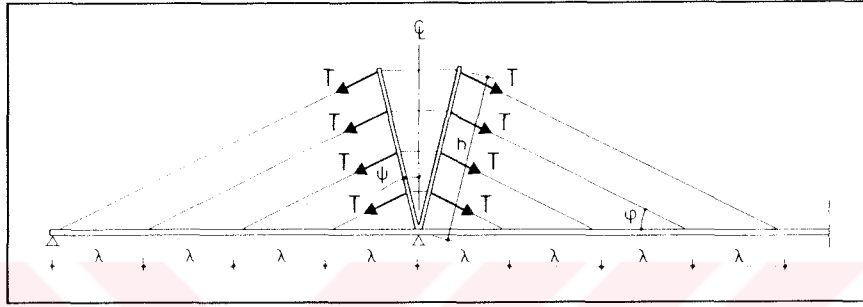


Şekil 4.19 Üst ve alt gergi kabloları kule üzerinde kayıcı mesnetlerle tutulmuş harp sistemi.

Hareketli mesnetlerin uygulanması, az kablolu köprülerde çekici olabilmekte, fakat çok-kablolu harp sistemlerde kullanmak avantajlı olmamaktadır. Bunun yanında hareketli mesnetlerin sisteme katılması tüm yapının verimliliğini azaltmaktadır.

Düşey kablo kuvvetine maruz kuleler genellikle köprüye dik yönde yapılırlar. Fakat farklı kuruluşları da olabilir.

Örnek olarak şekil 4.20' de gösterilen V-şeklindeki kule, iki eğik ayağa ve harp sisteminde dört set gergi kablосуna sahiptir.



Şekil 4.20 V-şeklinde kule ile tutulmuş harp sistemi.

Sadece ana normal kuvvetleri göz önünde bulundurup, kulenin zati ağırlığını ihmal edersek, kule miktarı (ağırlığı) için aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$Q_p = 20 \frac{\gamma_p}{\sigma_p} T \lambda \frac{\sin^2 \varphi}{\cos \psi \cos (\varphi - \psi)} \quad (4.4)$$

$\partial Q / \partial \psi$ 'nin türevi alınırsa, kule ayaklarının maksimum eğimi bulunabilir.

$$\frac{\partial Q_p}{\partial \psi} = 20 \frac{\gamma_p}{\sigma_p} T \lambda \sin^2 \varphi \left(\frac{\sin \psi}{\cos^2 \varphi} - \frac{\sin(\varphi - \psi)}{\cos^2(\varphi - \psi)} \right) = 0$$

Böylece, kule ayaklarının yönü, eğik ve yatay kabloların arasındaki açı ortayının yönünde olur. Kule ayaklarının bu yönde olması, gergi kablolarındaki T kuvvetinin sabit olmasına da yol açar.

Eğer $\psi = \varphi/2$ olursa, 4.4' deki denklem 4.5' deki şekli alır.

$$Q_{pv} = 20 \frac{\gamma_p}{\sigma_p} T \lambda \frac{2 \sin^2 \varphi}{1 + \cos \varphi} \quad (4.5)$$

Düşey kulenin miktarı (ağırlığı), Q_{pc} , 4.4' deki denklemde $\psi = 0$ alınırsa bulunabilir.

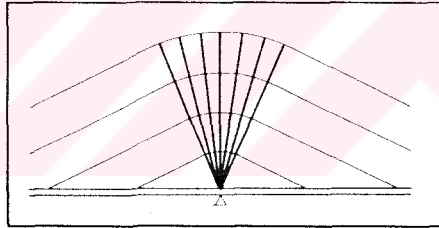
$$Q_{pc} = 20 \frac{\gamma_p}{\sigma_p} T\lambda \frac{\sin^2 \varphi}{\cos \varphi} \quad (4.6)$$

V-şeklindeki kulenin teorik değeri ile düşey kulenin miktarı oranı:

$$\frac{Q_{pv}}{Q_{pc}} = \frac{2 \cos \varphi}{1 + \cos \varphi} \quad (4.7)$$

$\varphi = 26.6^\circ$ olursa gergi kablolarının eğimi 1:2 ve Q_{pv}/Q_{pc} oranı 0.94 olmaktadır. Böylece, teorik olarak V-şeklinde bir kule kullanılırsa % 6' lık ekonomi sağlanmış olur. Ancak burada sadece ana düşey yüklerin hesaba katıldığını ve daha doğru bir sonuç için daha detaylı analizlerin yapılmasını gerektiğini hatırlatmakta yarar vardır.

Sadece bilgi olarak, harp sistemlerde kullanılabilecek teorik en verimli kule, şekil 4.21' deki gibi rijitlik kirişinden yayılan ve birçok ayağa sahip olanıdır. Bu tip bir kule ile teorik miktar, $Q_{po} = 20(\gamma_p/\sigma_p)T\lambda \sin \varphi$ olur. $\varphi = 26.6^\circ$ alınırsa, $Q_{po} = 0.93Q_{pc}$ olur ve eski değerden yaklaşık % 1 oranında daha fazla ekonomiklik sağlanır. Sonuç olarak V-şekli teorik sonuca yakın bir değer vermektedir.

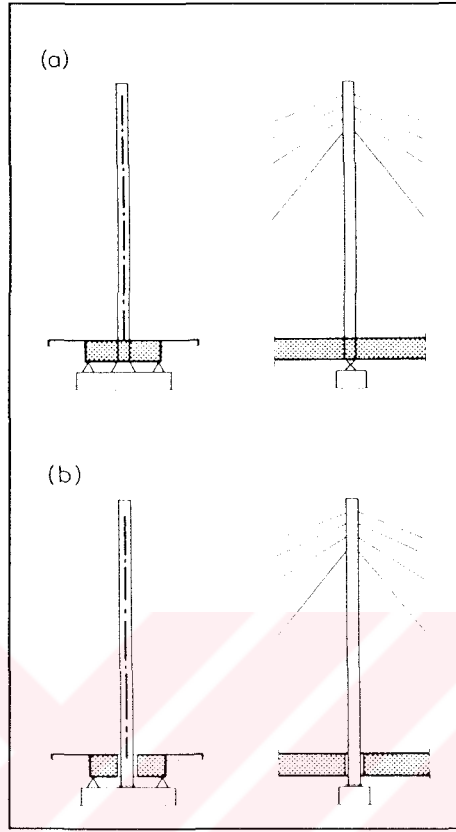


Şekil 4.21 Harp sistemlerde kullanılabilecek teorikteki en verimli kule şekli.

4.2.1 Kablo Sisteminin Düşey Kuvvetlerine Maruz Kalan Kuleler

Kule şekli seçerken kule için en önemli görevin, kablo sisteminden gelen reaksiyonların alt sisteme (temellere) aktarılabilmesi olduğu unutulmamalıdır. En iyi ekonomiyi sağlamak için, düşey kuvvetlerin kule kesitinde sadece normal kuvvetler oluşturmasını sağlamak gerekmektedir.

Ortadan tek bir kablo düzlemine sahip kulelerde en çabuk çözüm, şekil 4.22' de de gösterildiği gibi kuleyi, eksenini kablo düzleminde, ucu boşta kolon gibi yapmaktır. Bu durumda kule, ya moment-bağlantısı ile rijitlik kirişine bağlanır, (a), veya rijitlik kirişinden geçirilerek blok üzerine sabitleştirilir, (b).

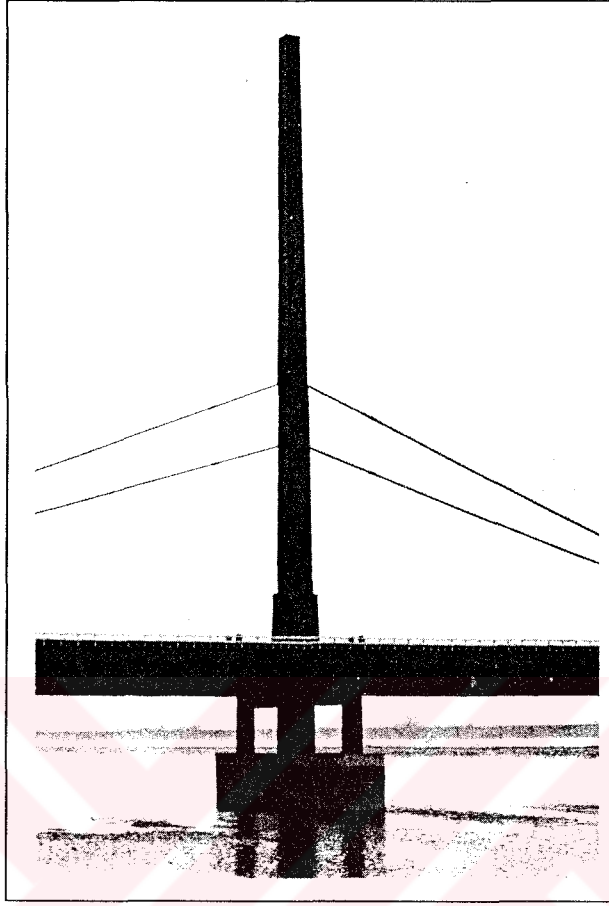


Şekil 4.22 Ortadan kablo düzlemine sahip sistemi tutan bir ucu boşta kule için iki çözüm.

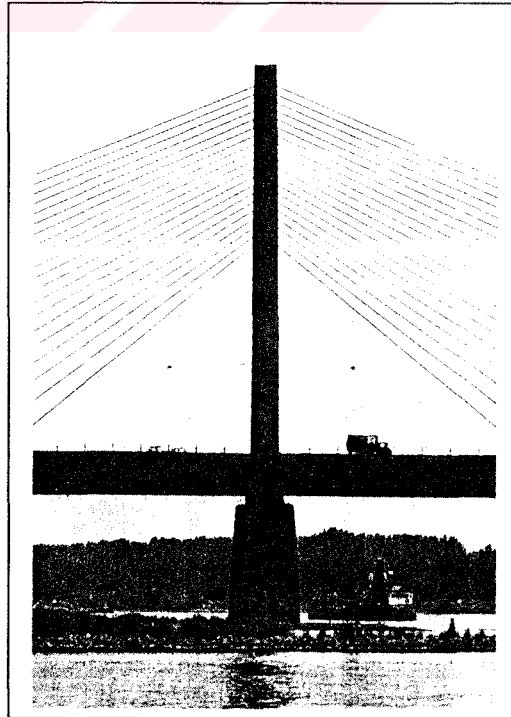
(a)'daki çözümde rijitlik kirişinin altında kulenin altına gelecek şekilde bir mesnetin yerleştirilmesi gerekmektedir. Yanal stabilite ise, rijitlik kirişinin içerisindeki enine kirişlere rijit moment-bağlantıları yapılarak sağlanmaktadır. Enine kirişin uçları da mesnetlenmelidir, böylece rijitlik kirişindeki burulma momentleri ile kuledeki enine kuvvetlerden oluşan eğilme momentleri aktarılmış olacaktır.

(a)'daki çözüm ilk defa Hamburgdaki Norderelbe Köprüsünde uygulanmıştır (Şekil 4.23). Burada mesnetler rijitlik kirişinin tam altına yerleştirilmemiş, böylece blok üzeri ile rijitlik kirişi arasına kısa kolonlar yapılmıştır.

(b)'deki çözümde kulenin yanal stabilitesi, kuleyi direk olarak bloğa sabitleştirerek sağlanmıştır. Böylece iki uç mesnet sadece rijitlik kirişinden gelen kuvvet ve momentleri aktarırlar. Bu çözüm şekil 4.24' de gösterilen Friedrich Ebert Köprüsünde kullanılmıştır.

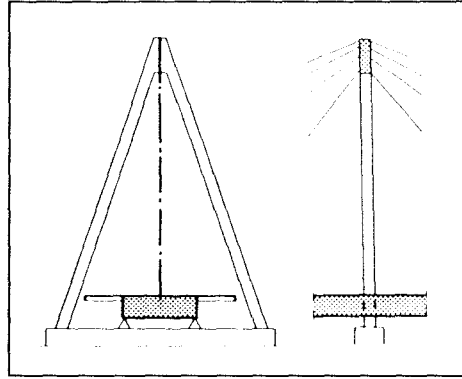


Şekil 4.23 Norderelbe Köprüsünün kulesi.



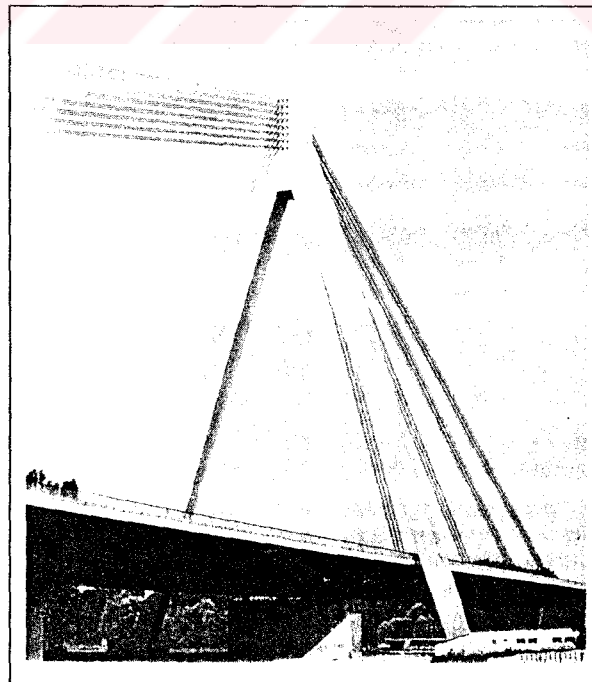
Şekil 4.24 Friedrich
Ebert Köprüsünün
kulesi.

Ortadaki kablo düzlemi A-şeklindeki kulelerle de tutulabilir. Bu tip kuleler şekil 4.25' de gösterildiği gibi iki eğik ayağa sahiptirler.



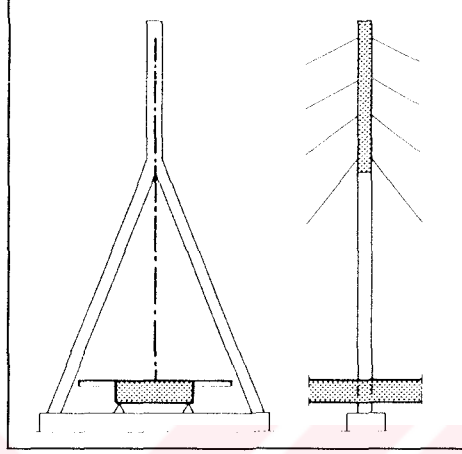
Şekil 4.25 Ortadaki fan sistemini tutan A-şeklindeki kule.

Ana düşey kuvvetin endirek olarak aktarılmasından dolayı bu tip bir çözüm oldukça pahalıdır. Ancak rijitlik kirişinin genişliğinin azalmasına imkan veren bir çözümdür çünkü, sadece gergi kabloları geçeceğinden trafik şeritleri arasında az bir boşluk bırakılabilir. Böylece A-şeklinden dolayı artan maliyet, rijitlik kirişinde yapılan ekonomi ile telafi edilebilir. A-şeklindeki kule ile orta kablo düzlemine sahip sistem Speyerdeki Rhine Köprüsünde uygulanmıştır (Şekil 4.26).



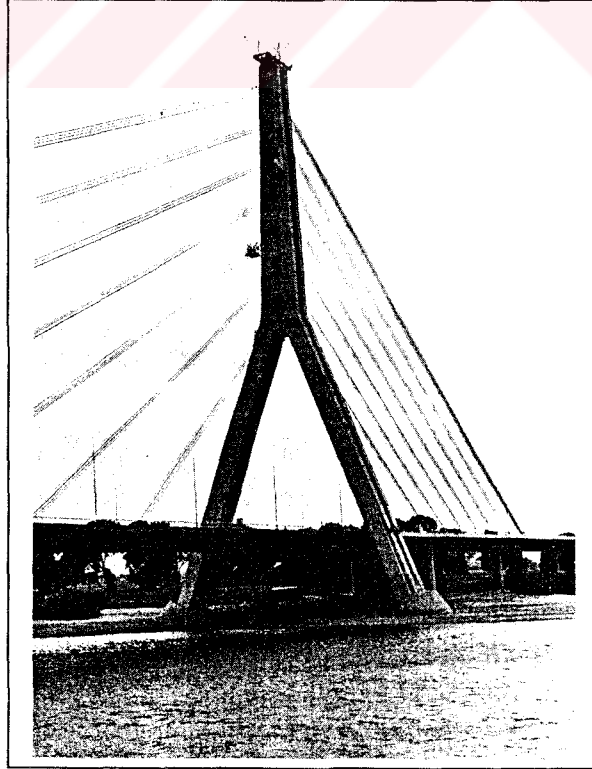
Şekil 4.26
Rhine
Köprüsünün
kulesi.

Şekil 4.22' deki kuleler fan sistemler ile harp sistemlerde uygulanabilirler. Şekil 4.25' deki A-şeklindeki kule sadece gergi kabloları kule üstünden yayılan fan sistemlerde kullanılabilir. Ancak şekil 4.27' de gösterilen şekil ile, geliştirilmiş harp sistemler de bu tip kuleler ile tutulabilir.



Şekil 4.27 Geliştirilmiş harp sistemini tutan λ -şeklindeki kule.

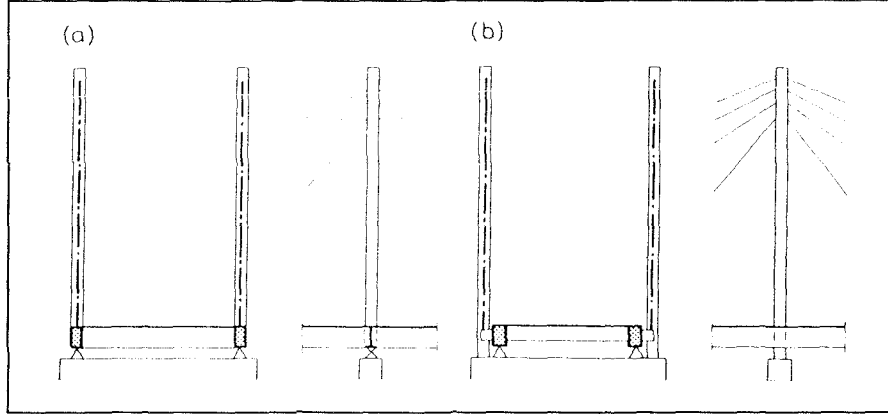
λ -şeklinde alışılmışın dışında boyutlara sahip kule Flehedeki Rhine Köprüsünde kullanılmıştır (Şekil 4.28).



Şekil 4.28
Ffleddeki Rhine
Köprüsünün
kulesi.

Bu kule betonarmeden yapılmış ve yerden yüksekliği 150 metre olarak inşa edilmiştir.

İki düşey kablo düzlemine sahip köprülerde kule, iki adet ve uçları boşta kolonlar olarak yapılabilir (Şekil 4.29). Bunlar, şekil 4.22' deki çözümlere karşılık gelmektedir.



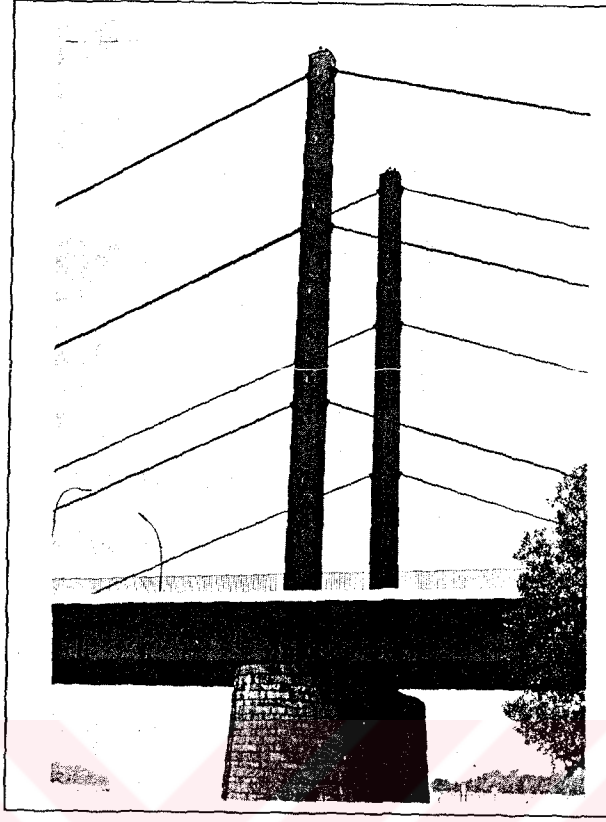
Şekil 4.29 Ucu boşta iki kolondan oluşan kule sistemleri.

(a)'daki çözüm rijit moment-bağlantısı olan, (b)'deki de sabit mesneti olan sistemleri içermektedir. Burada önemli olan nokta, (b)'deki çözümde, kule aksı ile kablo düzlemi birbiriyle çakışmalı ve gergi kablolarının ankrajı da rijitlik kirişinin dışındaki küçük çıkıntılarla (konsollarla) sağlanmalıdır.

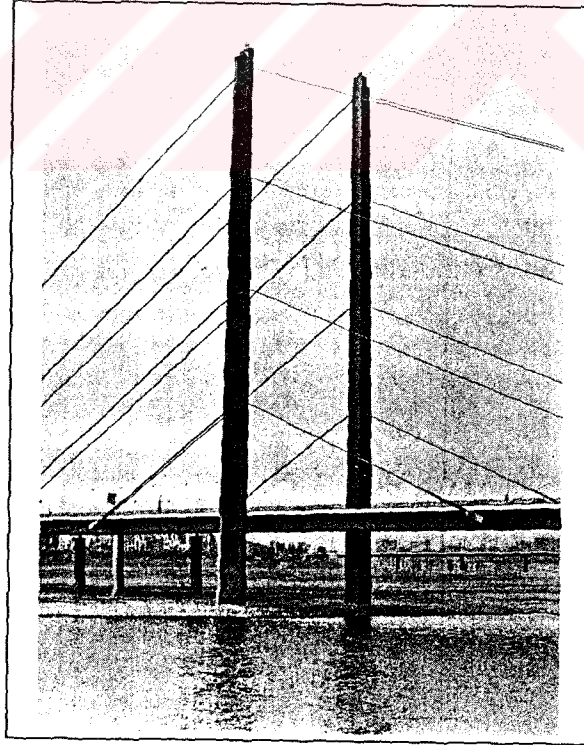
Şekil 4.29 (a)'daki sistem Düsseldorf'daki Theodor Köprüsünde, (Şekil 4.30), (b)'deki sistem ise 114 metre yüksekliğinde çelik kulelere sahip Knie Köprüsünde uygulanmıştır (Şekil 4.31).

Bir ucu boşta kolonlar büyük açıklıklı köprülerde kullanılmazlar, çünkü gerekli olan yanal stabilite ancak kulelerin eğilme rijitliklerinin artırılması ile sağlanabilir ki bu da ekonomik bir çözüm olmaz. Bu yüzden, yüksek kulelerde iki kolon arasında bağlantı yapılmaktadır.

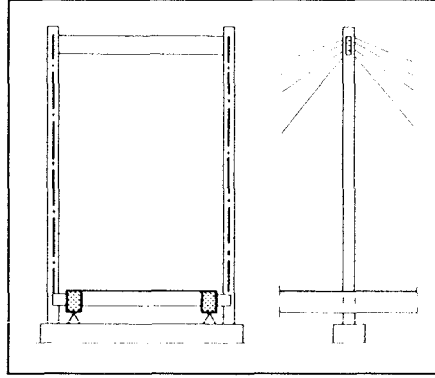
Bu yanal bağlantı basit bir kiriş ile sağlanmaktadır. Kolonların üstten birleştirilmesi ile yanal kuvvetlere karşı bir çerçeve oluşturulur (Şekil 4.32). Bu sistem şekil 4.33' de de görüldüğü gibi Pasco-Kennewick Köprüsünün betonarme kulelerinde uygulanmıştır.



Şekil 4.30
Theodor Heuss
Köprüsünün
kulesi.



Şekil 4.31 Knie
Köprüsünün
kulesi.



Şekil 4.32 Üstten giriş ile birleştirilmiş iki ayağa sahip portal tipi kule.

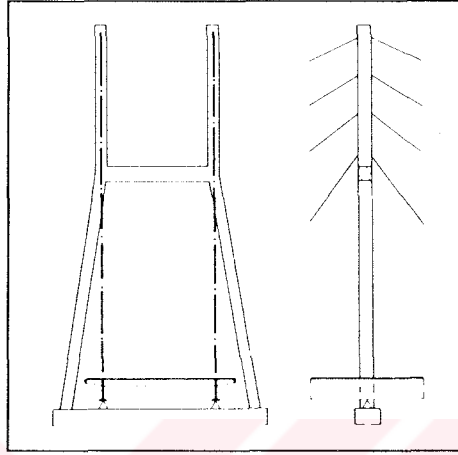


Şekil 4.33 Pasco-Kennewick Köprüsünün kulesi.

Tabliye genişliğinin kablo düzlemleri arasındaki mesafeyi aştığı durumlarda (örneğin kablo dışında konsol veya şeritleri olması), yol seviyesinde ayaklar arasındaki mesafeyi artırmak için eğik kule ayakları gerekebilir. Bu, asma veya fan sistemine sahip

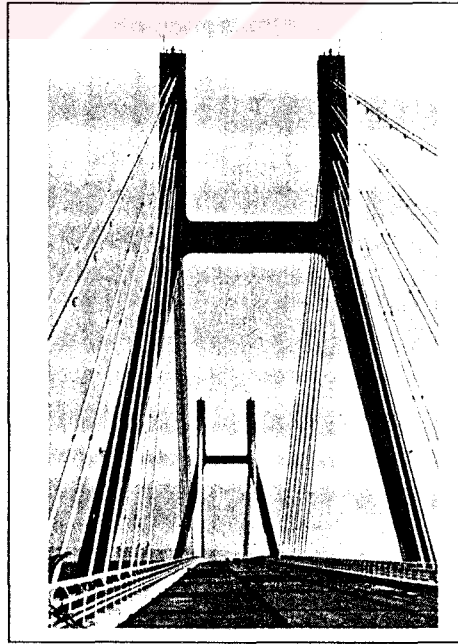
köprülerde özel problemler çıkartmaz, ancak geliştirilmiş fan veya harp sistemlere sahip köprülerde kabloların takılacağı yerlerde eğik ayakların olması istenmemektedir.

İki adet geliştirilmiş harp sistemine ve kablo düzlemini aşan tabliyeye sahip kuleler şekil 4.34' deki gibi uygulanmaktadırlar.



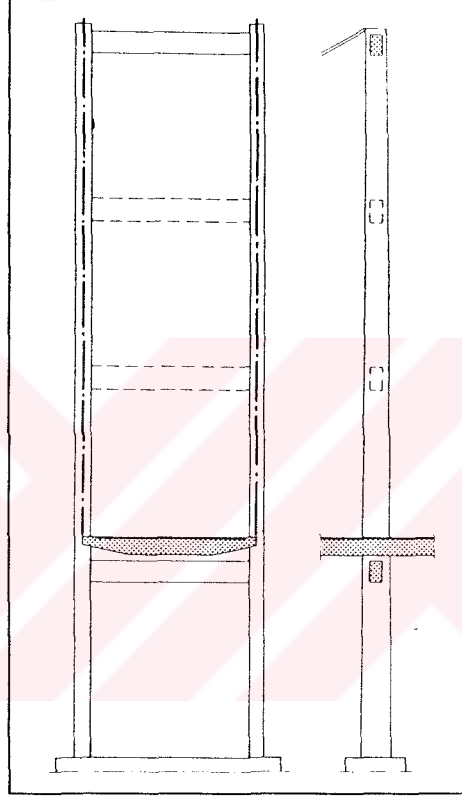
Şekil 4.34 İki adet geliştirilmiş harp sistemine ve kablo düzlemini aşan tabliyeye sahip kule.

Görüldüğü gibi kule ayakları üstte eğik yapılmamıştır ve kablolar o bölgede takılmıştır. Eğim ise enine kirişin altından başlamaktadır. Bu tip diziliş Japonyadaki eğik askılı köprülerde, ilk olarak da Kobe' deki Rokko Köprüsünde kullanılmıştır (Şekil 4.35).



Şekil 4.35 Rokko Köprüsünün kuleleri.

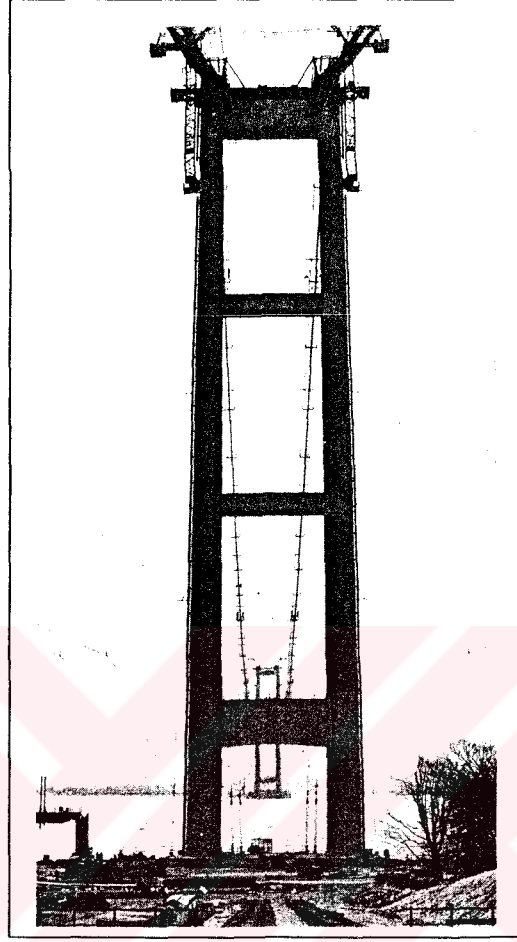
Yüksek seviyede tabliyeye sahip kule sistemlerinde genellikle, kule ayakları tabliyenin altından alttaki temel bloklarına kadar devam eder. Bu gibi durumlarda kule ayakları genellikle enine kirişlerle hem üstten hem de rijitlik kirişinin hemen altından birleştirilirler (Şekil 4.36). Kule yüksekliğinin artması ile enine kirişlerin sayısının artırılması faydalı olur. Bu, 180 metre yüksekliğe ve betonarme kulelere sahip Humber Köprüsünde uygulanmıştır (Şekil 4.37).



Şekil 4.36 Enine kirişlerle bağlanmış portal tipi kule.

İki ayağı kirişlerle bağlı kuleler, prensipte düşey yönde ankastre olarak mesnetlenmiş ve yanal kuvvetleri kesme ve eğilme olarak aktaran çerçeve gibi tasarlanmalıdırlar.

En yüksek mertebede yanal rijitlik, kule ayaklarını diyagonal elemanlarla bağlayarak elde edilir. Böylece kule, düşey yönde ankastre kafes sistem gibi davranır (Şekil 4.38). Ancak, kiriş tabliyesi seviyesinde bırakılması gereken boşluk nedeniyle diyagonal elemanlar o bölgeye konulmazlar, bunun sonucunda da yanal kuvvetler o kısımda kesme ve eğilme olarak aktarılırlar.

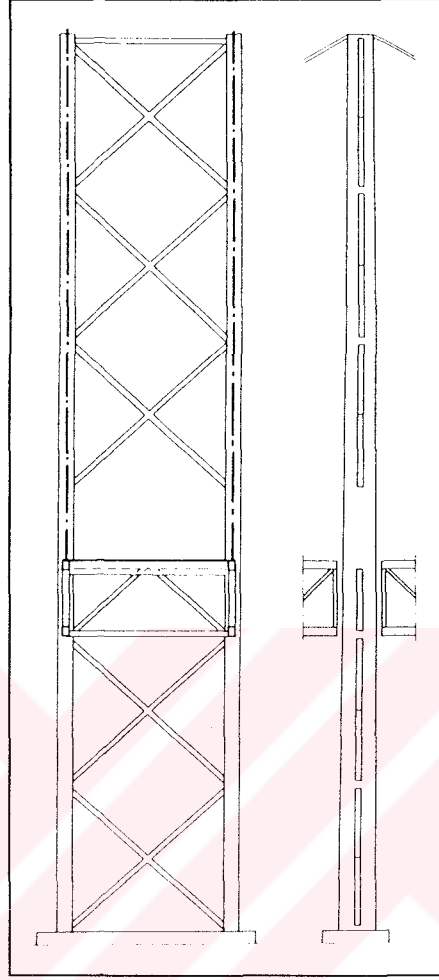


Şekil 4.37 Humber Köprüsünün kulceleri.

Diyagonal bağlantılar bazı büyük asma köprülerde kullanılmıştır. Örnek olarak şekil 4.39' da gösterilen San Francisco-Oakland Körfezi Köprüsü, Fifth of Forth Köprüsü ve Tagus Nehri Köprüsü verilebilir.

Şekil 4.36 ve 4.38' de gösterilen kule tipleri asma köprülerde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Kablo sisteminin yerleşimini kule ayağının aksı ile aynı düzlemde yapabilmek için, rijitlik kirişini şekil 4.40' da görüldüğü gibi düzenlemek gerekmektedir.

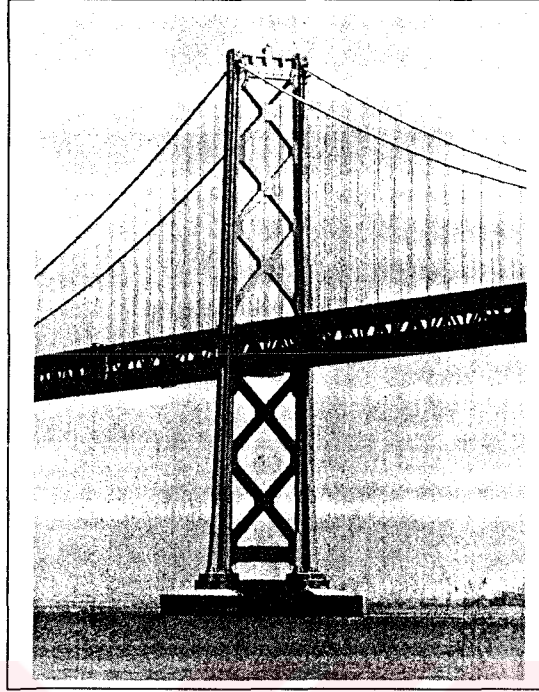
(a)' daki çözümde rijitlik kafesi kulenin ayağının aksı ile aynı düzleme konmuş, böylece şekilde görüldüğü gibi düzenlenmiştir. Yolun kenarları kafesten biraz içeride yapılmış, böylece tüm otoyol genişliğinin kule ayakları arasından geçişi mümkün olmuştur. Otoyol ile kablo sistemi arasında kalan alan ise yaya yolları olarak düzenlenmiştir. Kulenin etrafından da ankastre yaya yolları yapılarak süreklilik sağlanmıştır (Golden Gate Köprüsü, şekil 4.41).



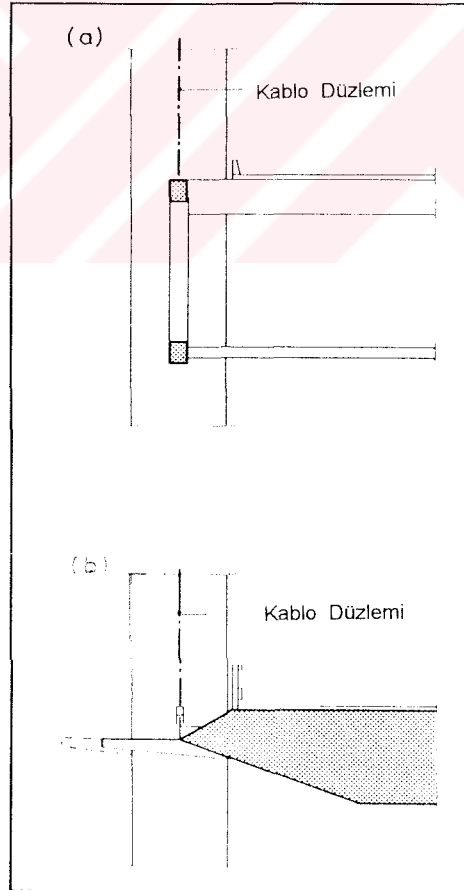
Şekil 4.38 İki ayak arasında diyagonal elemanlara sahip kule.

(b)' deki çözümde ise aerodinamik kesitli rijitlik kirişi kullanılmıştır. Askı bağlantıları kesitin ucundaki elemanlarla sağlanmıştır. Otoyol için kesitin üzerindeki yatay levha kullanılmış, otoyol ile kablo sistemi arasındaki gerekli mesafe ise üst levhanın eğik kısmı ile geçilmiştir. Yine, bu çözümde de yaya yolları kule ayaklarına dıştan bağlanmıştır.

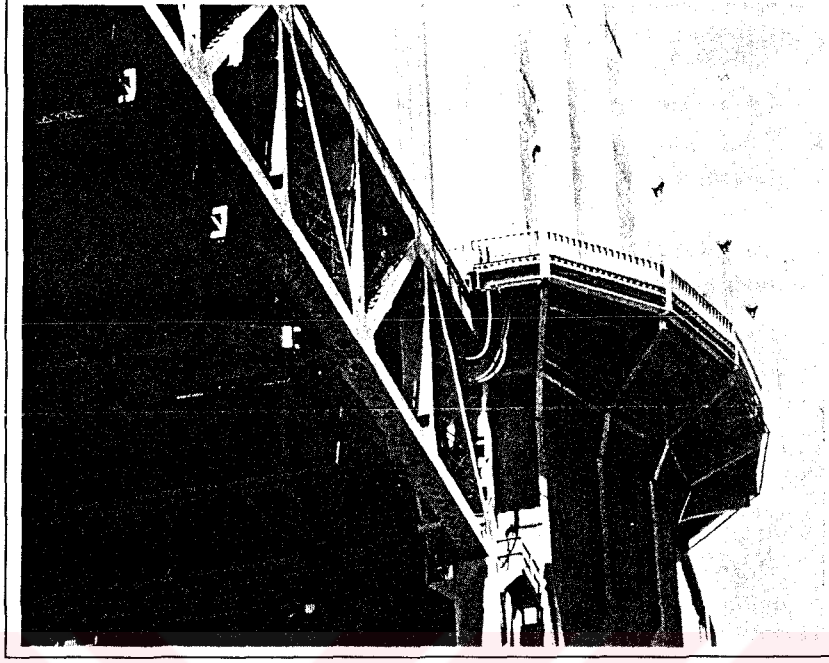
Şekil 4.40' deki kuruluş daha fazla kulelerde basit mesnetlenmiş köprülerde bulunur. Burada kafesler veya kirişler kulenin iki yanında süreksizdirler, böylece birleşim detayları problemleri olmamaktadır.



Şekil 4.39
Sanfrancisco-
Oakland Körfezi
Köprüsünün
kulesi.



Şekil 4.40 Kule
ayağının aksı ile
kablo düzleminin
ayarlanması.



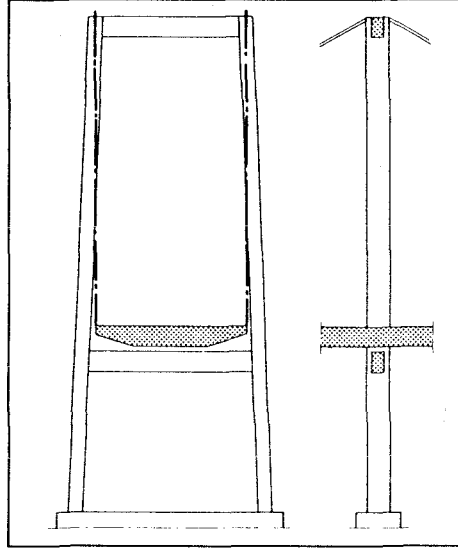
Şekil 4.41 Golden Gate Köprüsünde yaya yollarının devamı için kulenin etrafından geçirilen ankastre tabliye.

Sürekli rijitlik kirişlerine sahip köprülerde tüm kesit kuleden geçer ve bu da farklı bir kule tipini gerektirmektedir. Portal tipli kulelerde kirişin sebestçe geçmesi için şekil 4.42' de de gösterildiği gibi kule ayakları eğik yapılır. Kule üstündeki bağlantı sayesinde kablodan gelen düşey kuvvetler ayaklara doğru normal kuvvet olarak yönlendirilirler.

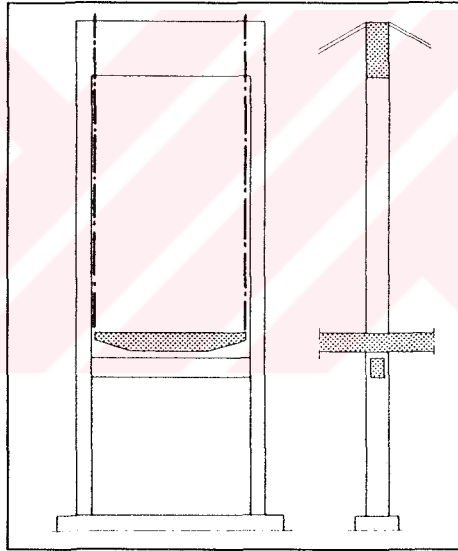
Diğer bir olasılık ise şekil 4.43' de gösterilmiştir. Burada kule ayakları dik yapılmıştır, fakat rijitlik kirişinin dışına gelecek şekilde konmuştur. Kablo sistemi ise üstteki kirişin üzerine yerleştirilmiştir. Sonuç olarak üstteki kiriş büyük eğilme momentlerine maruz kalmaktadır ve bu yüzden şekil 4.42 ile karşılaştırıldığında daha derin bir kirişe gerek vardır.

Eğik kule ayakları Little Belt köprüsünün betonarme kulesi için kullanılmıştır (Şekil 4.44). Ancak burada, kablo sistemi rijitlik kirişine otoyolun tam kenarına gelecek şekilde ve rijitlik kirişinin sürekli olmasına izin vermeyecek şekilde düzenlenmiştir.

Kule üzerinde birleşen iki eğik fan kablo sistemine sahip köprülerde, A-şeklinde kuleler kullanılmasına rağmen, prensipte iki kablo sistemi, şekil 4.45' de gösterildiği gibi tek bir düşey kule ile de tutulabilmektedir.

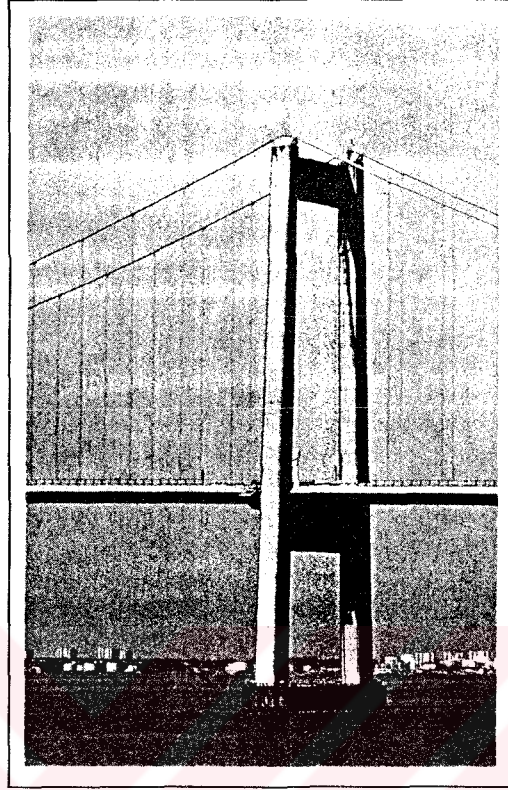


Şekil 4.42 Rijitlik kirişinin dışından geçen eğik ayaklara sahip portal tipi kule.

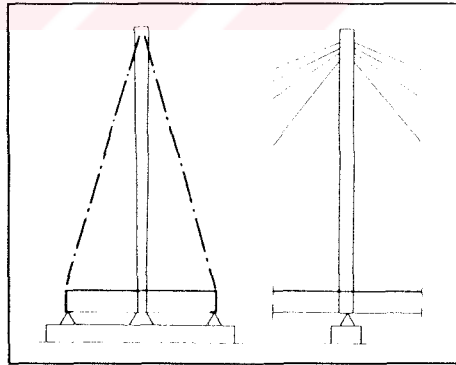


Şekil 4.43 Kablo sistemi enine kirişe mesnetlenmiş düşey ayaklara sahip portal tipi kule.

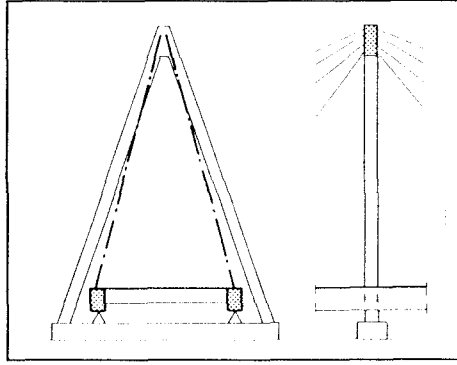
A-şeklindeki kulelerde, şekil 4.46' de de gösterildiği gibi, köprü tabliyesi trafik şeritlerinin seçiminde, hiçbir sınırlayıcı yapısal elemana bağlı değildir. A-şeklindeki kule, ilk defa Rhine Nehri üzerindeki Severins Köprüsünde uygulanmıştır. Kule ayakları alttaki temel bloğuna kadar uzatılmış ve rijitlik kirişi kule ayaklarından konsol olarak çalışan kirişlerle mesnetlenmiştir (Şekil 4.47).



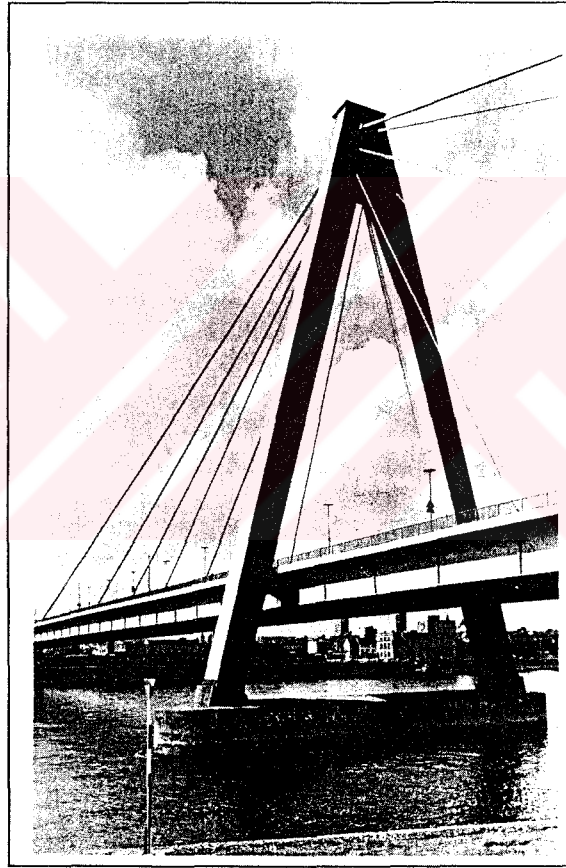
Şekil 4.44 Little Belt Köprüsünün kulesi.



Şekil 4.45 Tek bir kule ile tutulan iki eğik kablo sistemi.



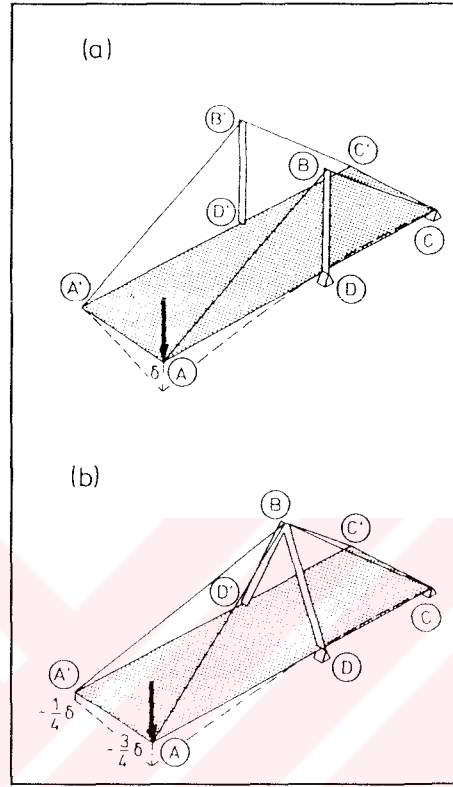
Şekil 4.46 İki eğik askılı kablo sistemini tutan A-şeklindeki kule.



Şekil 4.47 Severins Köprüsünün kulesi.

Ana düşey kuvvetin, kablo sisteminin mesnetlendiği yerden tabana aktarılması sırasında kullanılan eğik ayaklar normal kuvvetin artmasına ve ayakların daha uzun yapılmasına sebebiyet verir. Bunun etkisi şekil 4.48' de gösterilmiştir. Burada Q_p/Q_{pv} oranının genişlik-yükseklik (b_p/h_p) oranı karşısındaki değişimi gösterilmiştir.

A-şeklindeki kule ile iki eğik kablo düzleminin beraber kullanılması, eksantrik trafik yükleri altında, özel deformasyonlara sebebiyet verir (Şekil 4.49).



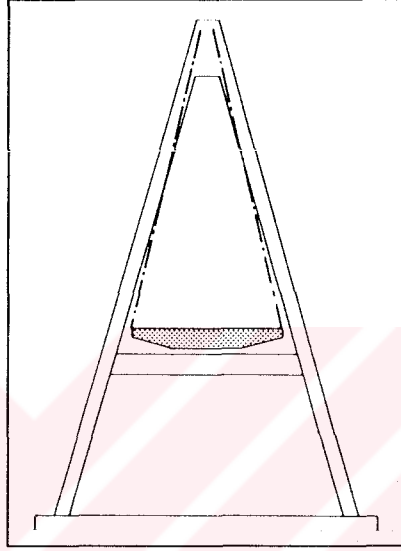
Şekil 4.49 Ucu boşta kuleler ile A-şeklindeki kulenin kullanılması sonucu meydana gelen deformasyonların karşılaştırılması.

Üstten serbest iki kule ve iki düşey kablo düzlemi olan (a)'daki sistemde, düşey kuvvetler altında A' da meydana gelecek deplasman δ y, ab ve bc kablolarında uzamaya neden olacak. Eğer rijitlik kirişinin burulma rijitliği az ise, yük almayan kablo düzleminde hiçbir deplasman olmayacak ve sonuç olarak tüm deplasmanlar şekilde kesik çizgilerle gösterildiği gibi olacak.

A-şeklinde kuleye ve iki eğik kablo düzlemine sahip (b)'deki sistem BC ve BC' ankraj kabloları ile tutulmuştur, dolayısıyla B noktasının boyuna deplasmanı (a)'daki sistemdekini sadece yarısı kadar olacak. Böylece, A' daki düşey deplasman azalıp yaklaşık olarak $\frac{3}{4}\delta$ y kadar olacak, fakat, aynı zamanda yüklenmeyen A' noktası da yaklaşık olarak $\frac{1}{4}\delta$ y kadar deplasman yapacak. İki sistemin deplasmanlarını karşılaştıracak olursak, burulma, (b)'deki sistemde yaklaşık olarak (a)'dakinin yarısına düşmüştür. Buna benzer bir etki, portal tipi kulelerde burulma rijitliğine sahip ayakların

üstten rijit kirişlerle tutulması ile sağlanmaktadır. A-şeklindeki kulenin veya burulma rijitliğine sahip portal tipi kulelerin kullanılması ile sağlanan burulma deformasyonlarındaki azalmanın aerodinamik stabilite üzerinde de olumlu yönde etkisi vardır çünkü burulma hareketlerine yönelik eğilim azaltılmıştır.

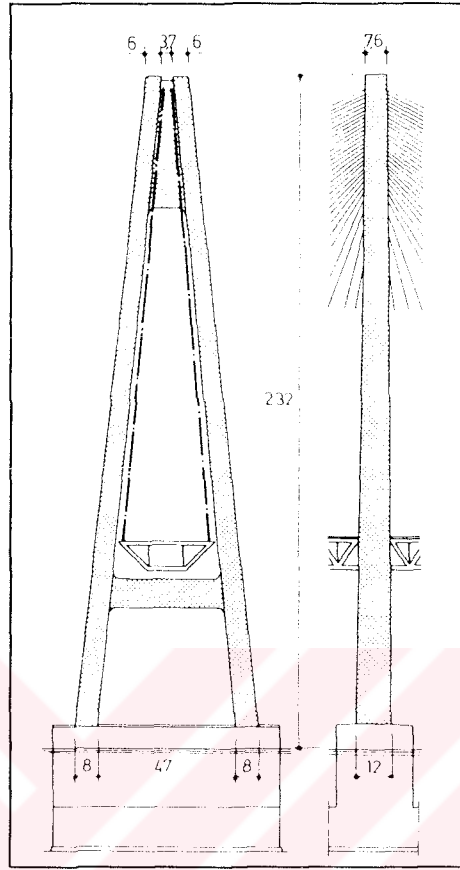
Yüksek seviyede tabliyeye sahip, basit, A-şeklindeki kule, şekil 4.50' de gösterildiği gibi olur.



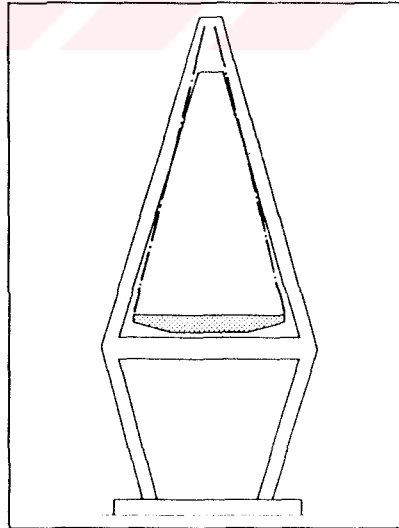
Şekil 4.50 Yüksek seviyede tabliyeye sahip A-şeklindeki kule.

Burada, eğik kule ayakları alttaki temel bloğuna kadar uzanır ve rijitlik kirişinin hemen altında enine kirişe sahiptir. Bu tip bir kule 1978 yılında Great Belt üzerine tasarlanan eğik askılı köprüye 232 metre yüksekliğinde olacak şekilde düşünülmüştü. Şekil 4.51' de de görüldüğü gibi fan sisteminin kabloları kule ayaklarının iç tarafından geçirilmiş ve gergi kabloları üstten 43 metre derinliğindeki enine kirişe ankrajlanmıştır.

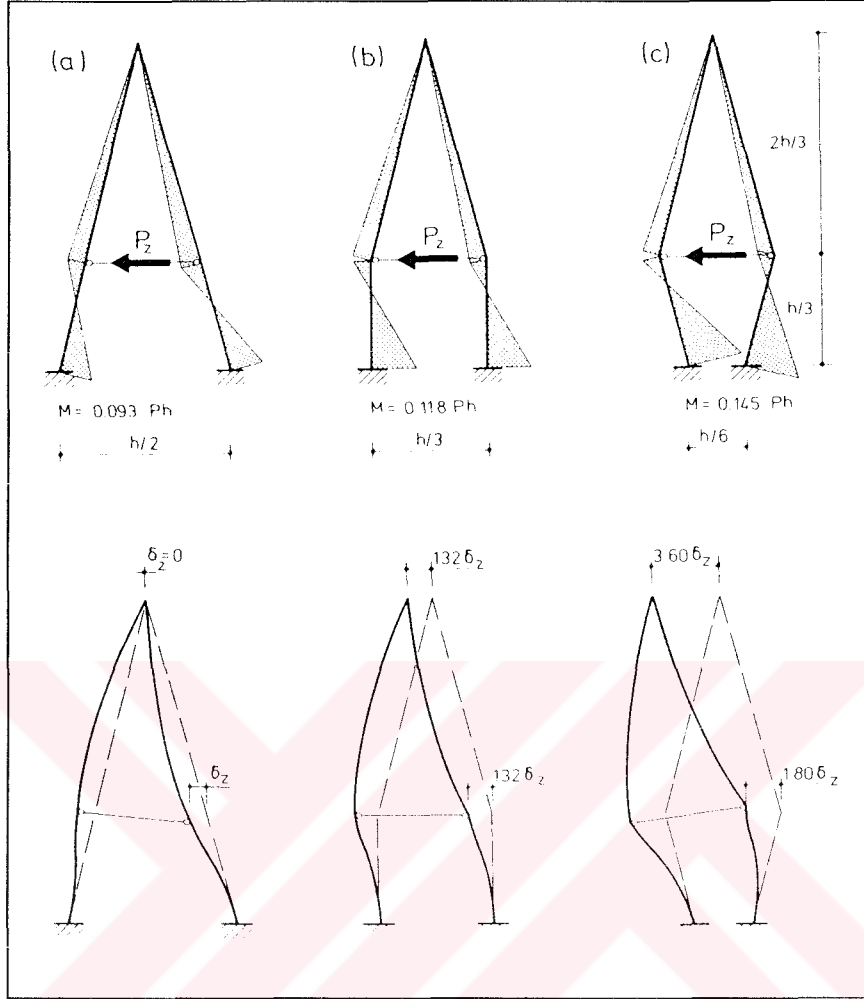
Bazı durumlarda, şekil 4.50' de gösterildiği gibi, alta doğru açılan kule ayaklarının olması, üst yapı için elverişsiz olabilir. Bu yüzden şekil 4.52' de gösterilen, ve enine kirişten sonra ayaklarının yönü değişen kule tipi geliştirilmiştir. Böylece altta, kulenin genişliği oldukça azaltılmış olur. Ancak bu tip bir kuruluş, alt kısımda büyük bir eğilme rijitliği gerektirmektedir, çünkü, kiriş altındaki ayaklar, üstteki yanal kuvvetlerin aktarımı için yanlış yönde konmuştur. Bu özellik şekil 4.53' de A-şeklinde üst kısma sahip üç değişik tipteki kule ile gösterilmiştir.



Şekil 4.51 Great Belt'e kurulacak eğik askılı köprü için önerilen A-şeklindeki betonarme kule.



Şekil 4.52 Rijitlik kirişinin altından içe doğru eğik ayaklara sahip A-şeklindeki kule.



Şekil 4.53 A-şeklindeki üç tip kulenin momentleri ve deformasyonları.

Altındaki enine kiriş seviyesinde yanal P kuvvetine maruz kalmış sistemde, üç değişik kule tipinin moment değerleri şekilde gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, (c)'deki sistemin tabanındaki moment, (a)'dakinden %56 daha fazladır.

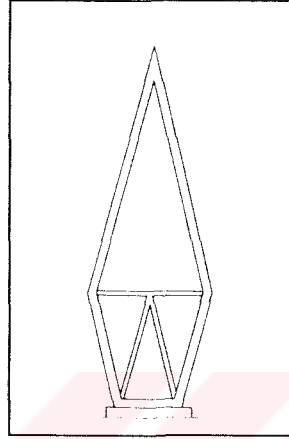
Yanal deplasmanlardaki fark ise daha da fazladır. (a)'daki sistemde δ_z deplasmanı enine kirişin olduğu yerde kule ayağının eğilmesinden meydana gelmektedir. Üstten ise, kablo sisteminin asılı olduğu yerde yanal deplasmanlar oluşmamaktadır.

Düşey kule ayaklarına sahip olan (b)'deki sistemde, enine kirişin olduğu yerde ve üstte aynı miktarda, $1.32\delta_z$ deplasman meydana gelmektedir.

İçeride doğru eğik alt kısma sahip köprülerde, (c), yanal deplasman $1.8\delta_z$ e ulaşmaktadır ve bu deplasman üstte ikikataına ulaşmaktadır.

Böylece içe doğru eğik ayaklara sahip kulelerin daha az stabiliteye sahip olduğu gösterilmiştir. (c)'deki sistemdeki yanal deplasmanları (a)'daki değere indirmek için kule ayaklarının atalet momentlerinin 3.6 kat büyütülmesi gerekmektedir.

İçe doğru eğik ayaklara sahip kulelerin yanal rijitliğini artırmak için alt kısmı şekil 4.54' da görüldüğü gibi bağlamak gerekmektedir.



Şekil 4.54 İçe doğru eğik ayaklara sahip kulenin, rijitlik kirişinin hemen altından K-bağlantısı ile yanal yönde rijitlendirilmesi.

Buradaki K-bağlantısı, enine kirişe yeterli yanal mesnet teşkil etmektedir. Böylece otoyol seviyesinde sadece küçük deplasmanlar meydana gelecektir. Kule ayaklarının alt kısmının bu şekilde yapılması Japonyadaki Ajigawa Köprüsünde uygulanmıştır. Burada iki adet K-bağlantısı kullanılmış böylece depreme karşı oldukça önemli yanal rijitlik sağlanmış oldu.

İçe eğik köprü ayakları Köhlbrand Köprüsünde de kullanılmıştır, ancak burada çelik kulenin alt kısmındaki elemanların uzunlukları az olduğundan eğilme deformasyonları fazla önem kazanmamıştır.

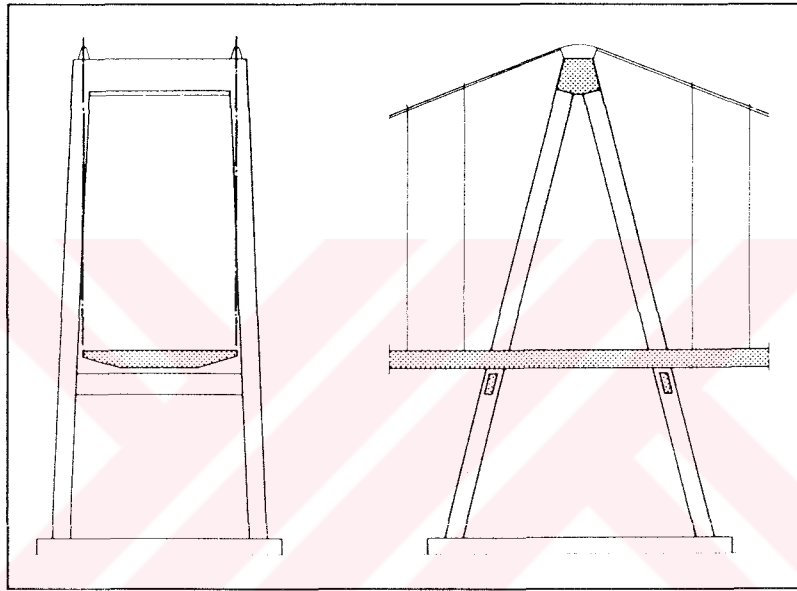
4.2.2 Kablo Sisteminin Boyuna Kuvvetlerine Maruz Kalan Kuleler

Köprü aksına dik yöndeki düzlemde ayaklara sahip kulelerde kule üzeri boyuna yönde büyük esnekliğe sahiptir. Bu tip kuleler önceleri, kule üstünün kablo sistemi tarafından boyuna yönde tutulduğu köprülerde kullanılmıştır.

Çok açıklıklı köprülerde, kule üst kısmında boyuna yönde oldukça büyük rijitlik gerekmektedir. Bu gerekli rijitlik, düşey ve boyuna yönde kablo sistemine mesnetlenme imkanı sağlayabilen üçgen kulelerin kullanılması ile gerçekleştirilmiştir.

Toprağa ankrajlı kablo sistemi için, örneğin asma sistemde, üçgen kule üstten temel bloğuna kadar eğik fakat kendi içerisinde düz olmalıdır.

Şekil 4.55, üstten enine kiriş ile bağlanmış, dört ayağa sahip bir kuleyi göstermektedir. Burada, ayaklar rijitlik kirişini altından enine kirişlerle bağlanmış, böylece, kirişin yanal ve burulma bağlantıları sağlanmış oldu.

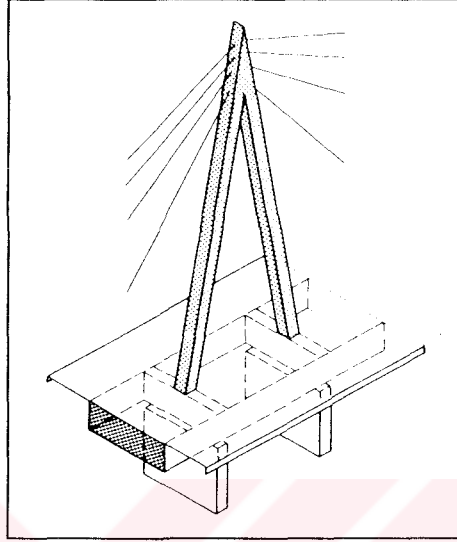


Şekil 4.55 Ana kablo sistemine düşey ve boyuna yönde mesnetlenme imkanı veren portal tipi üçgen kule.

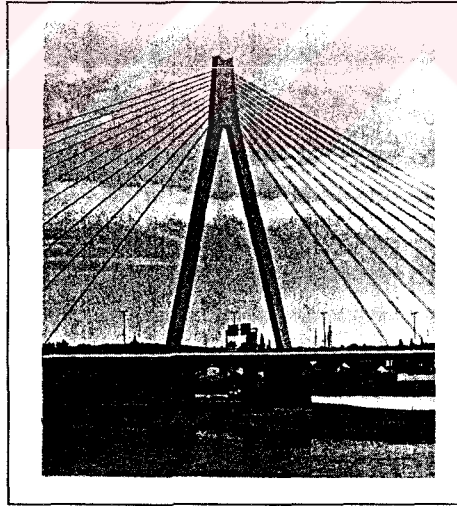
Kendi içerisinde ankrajlanmış sisemlerde, üst kısım üçgen şeklinde ve alttaki rijitlik kirişi ile arasında bağlantı olmalıdır, çünkü büyük yatay kuvvetler bu iki eleman arasında aktarılacaktır. Bu tür bir tasarım da üçgen kısım ile rijitlik kirişinin birbirine bağlı ve aynı malzemeden yapılması ile mümkündür.

Ortada kablo düzlemine sahip köprülerde üçgen kule orta şeritte olmalıdır (Şekil 4.56). Bu durumda kule ayakları rijit moment-bağlantısı ile rijitlik kirişindeki kutular içerisindeki bölme duvarlara mesnetlenmelidirler. Tam olarak her kule ayağının altında düşey kuvvetleri temellere aktarabilecek mesnetler konmalıdır. Bu mesnetler genellikle çekme kuvvetlerini de aktarabilecek şekilde ankrajlanmalıdırlar.

Şekil 4.56' daki durum Rhine Nehri üzerindeki iki açıklıklı eğik askılı köprüde uygulanmıştır (Şekil 4.57). Bu köprüde kule, çok-kablolu geliştirilmiş fan sistemini tutmaktadır.

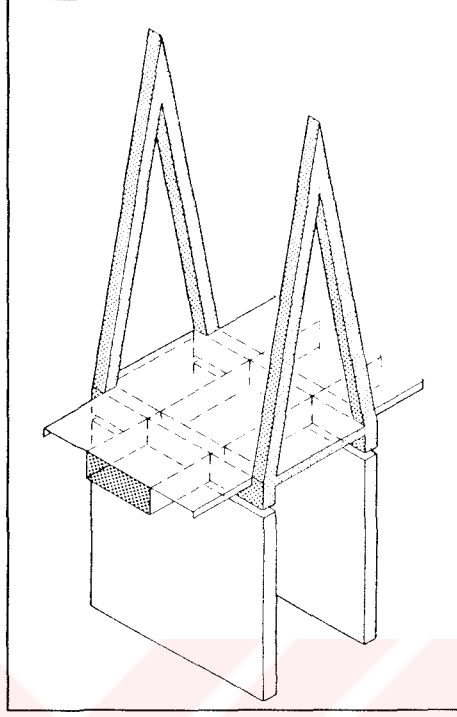


Şekil 4.56 Orta şeritten geçen ve rijitlik kirişine mesnetlenen üçgen kule.



Şekil 4.57 Rhine Nehri üzerindeki bir köprünün kulesi.

Rijitlik kirişinin iki düşey kablo düzlemi ile tutulduğu durumlarda, şekil 4.58' de gösterildiği gibi iki adet üçgen kullanılmalıdır. Bu üçgenler, ya uçları serbest ya da enine kirişle bağlanmış olurlar.



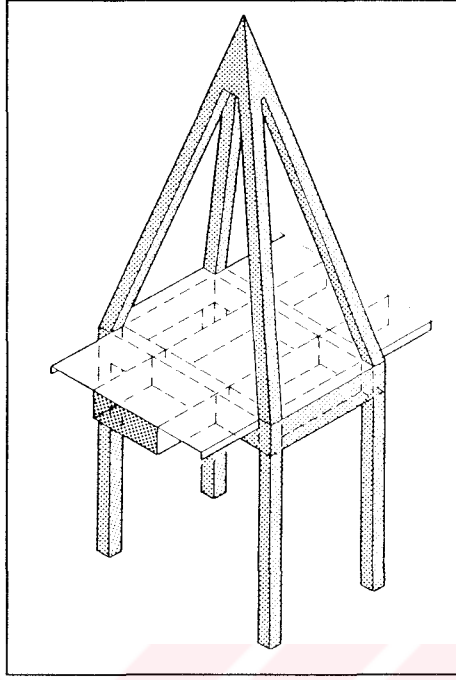
Şekil 4.58 Düşey bloklar tarafından mesnetlenmiş ve rijitlik kirişine bağlanan iki adet üçgen kuleye sahip sistem.

Yanal stabiliteyi sağlamak için köprü tabliyesi altına, kule ayakları arasına rijit moment-bağlantısı olan enine kirişler konmaktadır. Bunun yanında, her üçgenin iki ayağı arasında da bağlantı gerekmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi bu bağlantı, tabliyeye ek bir kısım ile basitçe yapılabilir.

Yüksek seviyeli köprülerde, kulelerde özel bir alt kısım gerekmektedir, ve bu bölgede düşey elemanlar olmalıdır. Şekil 4.58' de çözüm olarak iki düşey blok kullanılmış ve üstten, kule ayaklarından kuvvetlerin aktarılabilmesi için ankastre veya boyuna yönde hareket edebilecek şekilde mesnetlenmiştir.

4.58' deki çözümde, kule üst kısmı ile rijitlik kirişi aynı malzemeden yapılmalıdır, alt kısım ise farklı yapılabilir. Örneğin çelik rijitlik kirişi betonarme bloklara mesnetlenebilir.

İki eğik kablo düzlemine sahip köprülerde kulenin üst kısmı piramit şeklini alır (Şekil 4.59). Buna ek olarak, şekilde gösterildiği gibi üstten eğik olan ayaklar alttan düz olarak devam etmektedir. Eğikten düze geçiş otoyol seviyesinde olur, böylece tablie levhası boyuna ve enine yönde bağlantı levhası olarak kullanılabilir.



Şekil 4.59 Üst kısmı piramit şeklinde olan kule yapısı.

Yatay kuvvetlerin kirişten bloğa aktarımını tam olarak sağlayabilmek için, alt kısımda çerçeve davranışını oluşturmak gerekmektedir. Bu yüzden kule ayakları iki yönde de tabliye levhasının altından kirişlerle bağlanmıştır.

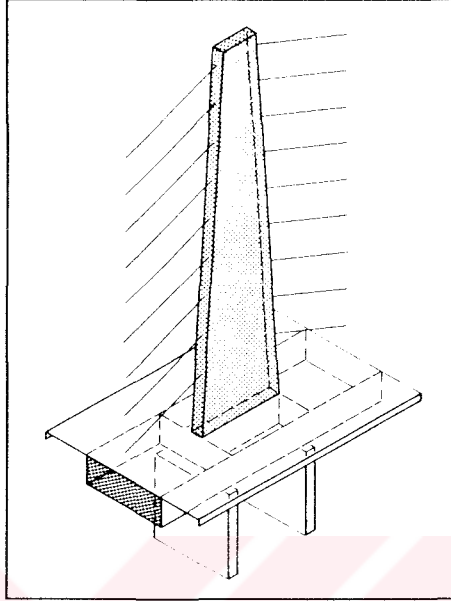
Sonuçta, toprağa ankre edilen sistemlerin mesnetlendiği üçgen kuleler rijitlik kirişinden ayrı olurlar. Kendi içerisinde ankrajlanmış sistemlerde ise üçgen kuleler, rijitlik kirişi ile bağlantılıdır. Bu sebeble, toprağa ankre edilen sistemlerde rijitlik kirişinin yapı malzemesinin seçimi kendi içerisinde ankrajlanan sisteme göre daha bağımsızdır.

Genelde, üçgen kuleler, kuleye eğik ayakların akslarının kesiştiği noktadan takılmış kablo sistemleri için yeterli boyuna mesnetlenme olanağı sağlarlar. Bu özellikten dolayı üçgen kuleler asma ve fan kablo sistemleri için uygundur. Harp sistemler için ise uygun değildir.

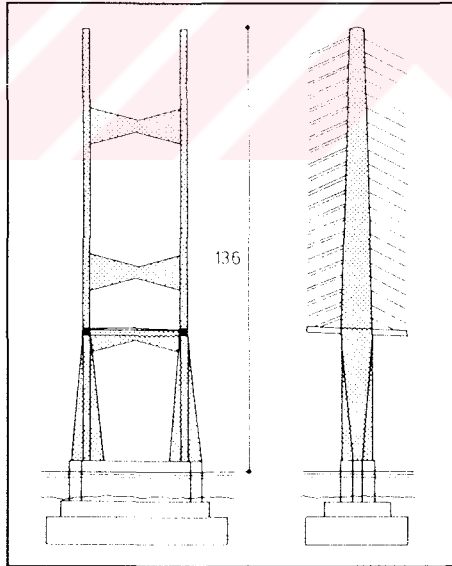
Harp sistemlere boyuna mesnetlenme imkanı vermek için kule, ankastre kiriş-kolon olarak ve boyuna yönde büyük eğilme rijitliğine sahip olarak tasarlanır. Bu şekil 4.60' de gösterildiği gibi tabliyenin üst kısmında, gittikçe azalan değişken dikdörtgen kesite sahip kule ile sağlanır. Gereken etkiyi verebilmek için kule rijitlik kirişine ve altyapıya, momentleri aktarabilmesi açısından ankastre olarak yapılır.

Boyuna yönde büyük eğilme rijitliğine sahip, Dames Point Köprüsü için tasarlanan betonarme kule şekil 4.61' de gösterilmiştir. Burada çok kablolu harp

sisteminin deplasman özelliklerini geliştirmek için kule altyapıya ankastre olarak yapılmıştır.



Şekil 4.60 Harp sistemi boyuna yönde tutmak için büyük eğilme rijitliğine sahip kule.



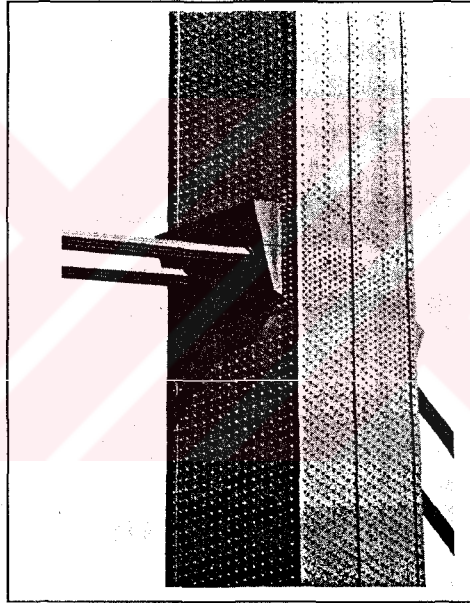
Şekil 4.61 Dames Point Köprüsü için önerilen betonarme kule.

4.3 KULE ENKESİTİ

Kule enkesiti tasarlanırken tüm ana kuvvetler ve fonksiyonel istekler bilinmektedir. Bu yüzden problem oldukça açık ve nettir. Kablo sistemi tarafından oluşan aksenal kuvvet genelde gerekli kule enkesiti için gerekli ana etkindir.

Normal çelik kuleler genellikle, kutu şeklinde, kareyi andıran etkili kolon kesiti ile yapılırlar. İstenilen kesit boyutlarının küçük olması için kalın yan levhalar (kalınlığı 25 mm. ile 100 mm. arasında değişen) kullanılır.

1960' ların ortasına kadar, çelik kuleler, diğer kısımlar kaynaklı olmasına rağmen, perçinli birleşimlerle yapılmıştır (Şekil 4.62). Ancak yakın geçmişte kayanaklama kuleler için de tercih edilmeye başlanmıştır.

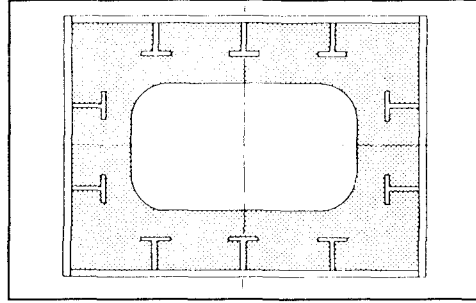


Şekil 4.62 Kuledeki perçinli birleşimler (Leverkusendeki Rhine Köprüsü).

Eğik askılı köprülerde bulunan normal kesit ölçülerine sahip kuleler genellikle, tüm kesiti içeren parçalar halinde üretilirler ve uygulamada sadece tek yönde bağlantılar yapılarak kurulurlar.

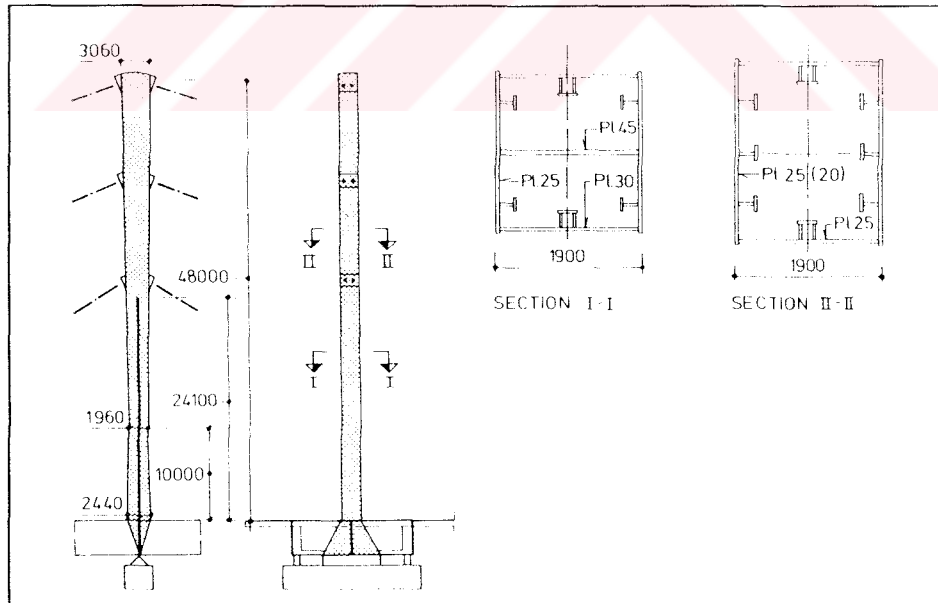
Kuledeki büyük basınç gerilmelerinden dolayı herbir levhanın burkulmsaya karşı yeterli rijitliğe sahip olması gerekmektedir. Ancak, boyuna rijit elemanların, normal kuvvetleri alabilecek alana sahip olmaları burkulma için fazladan boyut verilmesini genelde gerektirmemektedir.

Bu yüzden, normal boyutlar sahip bir kulenin tipik kesiti şekil 4.63' de verildiği gibi olur. Burada, boyuna rijit elemanlar levha kalınlığının 30-40 katı kadar mesafelere yerleştirilmiştir. Boyuna rijit elemanları tutmak için, kutu içerisine bölme levhaları konmuştur. Kuleye etki eden burulma az olduğundan bölme levhaların aralıkları burkulma ile ilgili değerler göz önünde bulundurularak karar verilir.



Şekil 4.63 Normal ölçülere sahip kaynaklı kulenin enkesiti.

Duisburg ve Neuenkamp arasındaki Rhine Köprüsündeki kulenin kesiti enine boyutu 1900 mm. ve sabit, boyuna boyutu ise ilginç bir şekilde 2440 mm. ile 1960 mm. arasında değişen dörtgen kesitle, şekil 4.64' de gösterildiği gibi yapılmıştır.

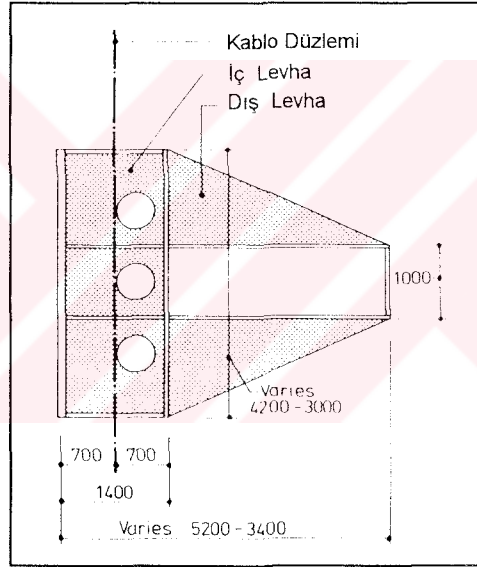


Şekil 4.64 Rhine Köprüsü'nün kulesi ve kesitleri.

Üst yarı kısımda kule, T-kesitli üç nervür ile rijitlendirilmiş boyuna levhalara sahip tek-gözlü kesitten yapılmıştır. Enine levhalar ise tek, çift gövdeli elemanlarla güçlendirilmiştir.

Kulenin alt yarı kısmında ise ortada enbüyük kalınlığa sahip levha ile iki-gözlü kesit kullanılmıştır. Bu tür bir düzenleme, boyuna eğilme rijitliğini azaltmak için yapılmıştır. Nedeni ise, gergi kablolarında oluşan uzamadan dolayı yatay yerdeğiştirmelerin istenmedik momentler oluşturmasını engellemektir. Esneklik ise kulelerin ana kısmında akma gerilmesi 700 MN/m² olan yüksek çekme gerilmesine sahip çelik kullanılarak sağlanmıştır. Kule tüm kesiti içeren dört kısımdan üretilmiştir.

Knie Köprüsünün kuleleri için daha ayrıntılı kesit kullanılmıştır. T-şeklinde kurulmuş dört gözden oluşmaktadır. Şekil 4.65' de görüldüğü gibi kesit üst üste konmuş iki dörtgen kesitten oluşmuştur.



Şekil 4.65 Knie Köprüsünün kulesinin enkesiti.

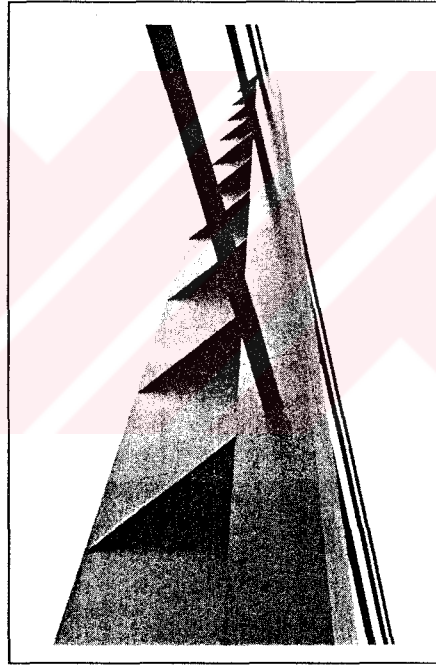
Birinci parça enine sabit genişliğe, 1400 mm., ve boyuna değişken, 4200 mm.-3000 mm., ölçülere sahiptir. Diğer parça ise boyuna sabit ölçüye, 1000 mm., ve enine yönde değişken, 5200 mm.-3400 mm., ölçülere sahiptir.

Kablo semerleri boyuna yöndeki gözün ortasına yerleştirilmiştir. Böylece, kablo düzlemi ile kulenin iç yüzeyi arasındaki mesafe 700 mm.'dir. Bu, rijitlik kirişinin enine kirişlerinin açıklığı için avantajlı bir durumdur, ancak, düşey yüklerin eksantritesinden dolayı oluşan istenmeyen momentler kule için elverişsiz bir durumdur. Bunun kullanılan malzeme miktarında büyük etkisi vardır. Buna ek olarak, kulenin üretimi ve yapımı

sırasında, kule eğik bir şekilde inşa edilmeli (kule üstünde dışa doğru 560mm.' lik başlangıç deplasmanı verilmeli) ve zati yükleri aldıktan sonra düşey yönde düz bir şekil alması gerekmektedir.

Eksantrisiteyi olabildiğince küçük tutmak için, köprü tabliyesinin karşısına rastgelen levhanın kalınlığı büyük olur. Böylece rijitlik kirişinin altındaki kule levhalarında kalınlık olarak 90 mm. seçilmiştir.

Enine rijitlik 1400 mm. genişliğindeki gözlerin içerisindeki bölme duvarlarla sağlanmıştır. 1000 mm.' lik genişliğe sahip gözlerde ise bölme duvar kullanılmamış, merdiven ve asansör için boşluk bırakılmıştır. Ancak bu göze rijitlik vermek için dıştan, üçgen şeklinde bölme levhalar 8 metrede bir kullanılmıştır. Bu kesiti oldukça stabil yapmış, ve aynı zamanda ilginç bir görüntü katmıştır (Şekil 4.66).

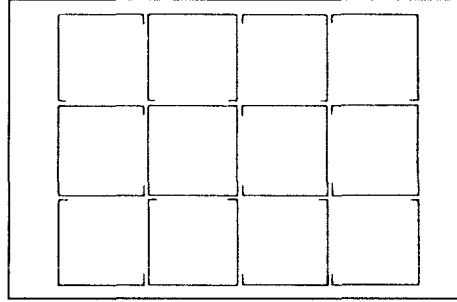


Şekil 4.66 Knie Köprüsünün kulesi üzerindeki dış levhalar.

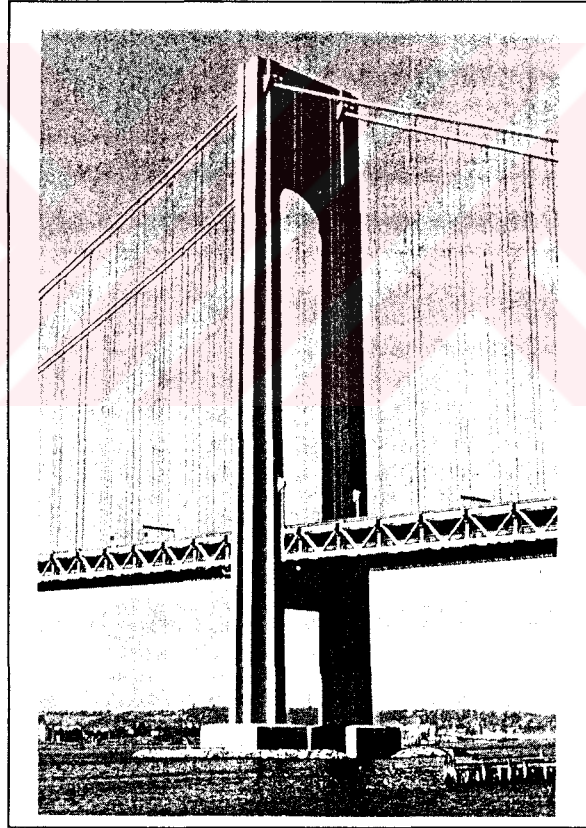
Büyük kesit boyutlarına sahip çelik kuleler genellikle büyük asma köprülerde kullanılırlar. Bunlar inşa ve ulaşım zorluklarından dolayı, tüm kesiti içeren parçalar halinde üretilmezler.

Kesitin alt parçalara bölünmesi, çok-gözlü kesitlerin kullanılması ile mümkündür (Şekil 4.67). Burada her göz, inşa ve ulaşım sorunları yaratmayacak boyutlarda imal edilir.

Çok-gözlü kesitler 1960' lı yıllara kadar Amerikadaki asma köprülerin yapımında kullanılmıştır. Verrazano Narrows Köprüsünün yapımında 192 metre yükseklikteki kuleler için bu metod kullanılmıştır (Şekil 4.68).



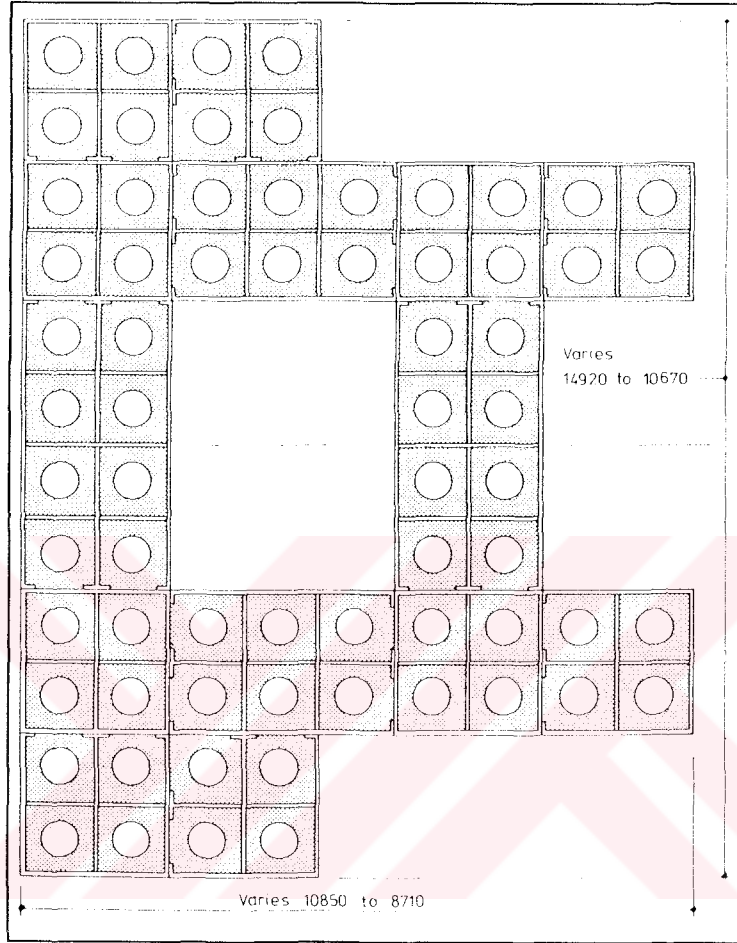
Şekil 4.67 Çok-gözlü bir kulenin enkesiti.



Şekil 4.68 Verrazano Narrows Köprüsünün kulesi.

Şekil 4.69' da gösterildiğı gibi, herbir kule ayağı 68 tane gözden oluşmaktadır. Kesitlerin küçük olmasından dolayı (herbir göz yaklaşık 1.1m.x 1.1m.) üretim 4' lü, 6' lı

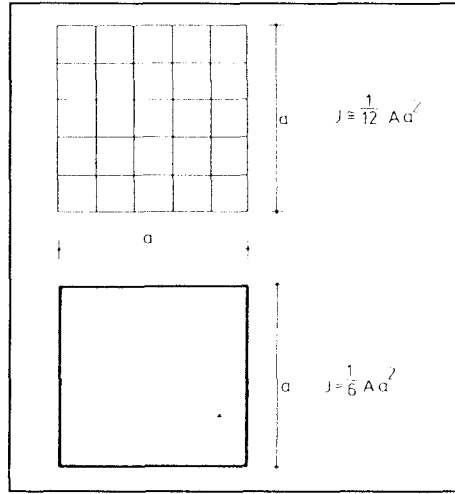
ve 8' li ünitelerin perçinle birleştirilmesinden hazırlanmıştır. Alt kısımlarda ise yüksek mukavemete sahip civatalar kullanılmıştır.



Şekil 4.69 Verrazano Narrows Köprüsünün kulesinin enkesiti.

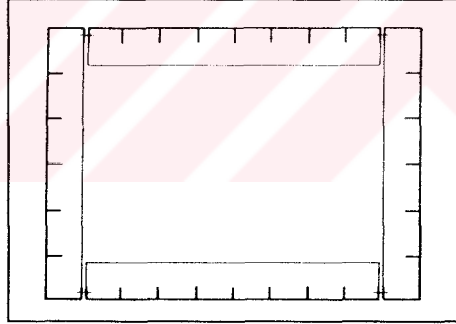
Verrazano Narrows Köprüsünün kulelerinin anlatılmasının ana nedeni bu tekniğin çok uygulanmış olması ancak gelecekteki tasarımlar için uygun bir model olmamasıdır.

Genellikle, çok gözlü kesitlerin kullanılması, basınç kuvvetlerinin ve momentlerin taşınması için optimum bir çözüm değildir, çünkü, merkeze yakın çok fazla ve sık eleman kullanılmıştır. Bu özellik şekil 4.70' de gösterilmiştir. Burada, çok-gözlü kutu kesite (tüm levhaların kalınlığı eşit) ve tek gözlü kutu kesite sahip enkesitin atalet momentleri verilmiştir. Görüldüğü gibi, tek gözlü kesitin atalet momenti çok-gözlü olan kesitinkinden iki kat daha fazladır.



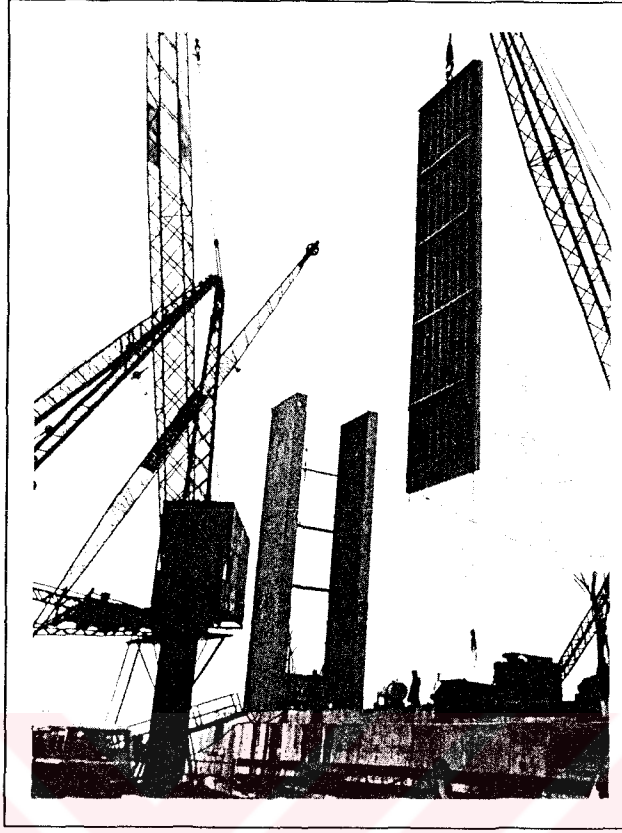
Şekil 4.70 Çok-gözlü kesit ile tek gözlü kesitin atalet momentlerinin karşılaştırılması.

Bu sonuçtan yola çıkarak, kule kesitleri herbiri bir kenarda olan dört panelin birleşimi ile kutu kesit şeklinde tasarlanmıştır (Şekil 4.71). Modern inşaatlarda, rijit panellerin imalatı sırasında kaynaklama tekniği kullanılmaktadır. Sahadaki alt bağlantı ise civatalar ile yapılmaktadır.

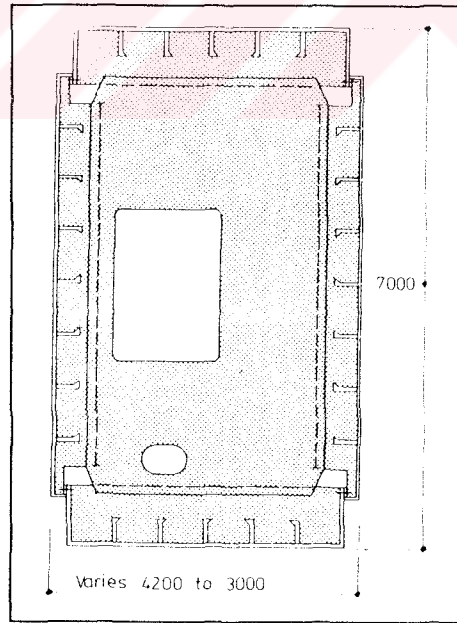


Şekil 4.71 Dört rijit panelden oluşan tek gözlü kule kesiti.

Tek gözlü, dört rijit panelden oluşmuş kule ilk kez Severn Köprüsünde uygulanmıştır (Şekil 4.72). Daha sonra aynı metod Boğaz Köprüsünde, şekil 4.72' deki kesit kullanılarak uygulanmıştır. Burada yan levhaların kalınlığı 20 mm. ve 22 mm. arasında değişmektedir. Yatay bölme duvarlar, yan panellerin enine rijit elemanlarına vidalanmış, rijit levhalardan oluşmaktadır.



Şekil 4.72 Severn Köprüsünün kule ayaklarının yapımı.

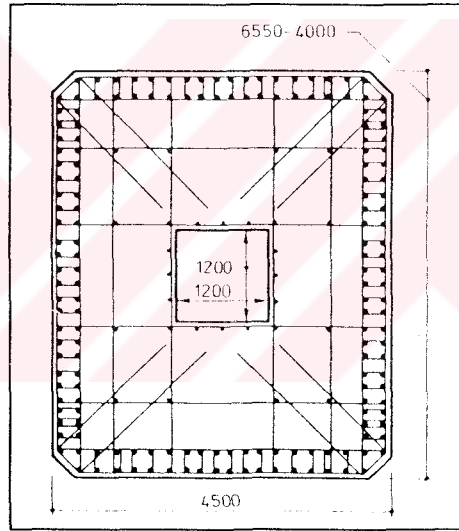


Şekil 4.73 Boğaz köprüsünün kulesinin enkesiti.

Betonarme kuleler genellikle içte boşluğa sahiptirler. Fakat, eksenel kuvvetin yoğunluğundan dolayı büyük duvar kalınlıklarına ihtiyaç vardır. Bitmiş yapıda etken olan, kablo sisteminden gelen normal kuvvet, genellikle kesit üzerinde basınç meydana getirir, ancak yapım sırasında, kule, kendi ağırlığına maruz kalmış konsol gibi çalışır, ve buna ek olarak yatay rüzgar kuvvetlerinden dolayı kısmen çekme etkisi altında da kalabilir. Bunun yanında, inşa sırasında meydana gelecek dengesizliklerden dolayı kule ayaklarında moment meydana gelebilir. Bunların sonucunda tasarım sırasında boyuna donatı bu inşa sırasındaki geçici etkenler de göz önünde bulundurularak seçilir.

Kule ayaklarındaki düşey donatı genellikle tor çelikten yapılır ve çepeçevre etriyelerle tutulur. Ön-gerilmeli donatı kulelerdeki enine kirişlerde ve kablo ankraj noktalarında kullanılabilir.

Little Belt Köprüsünün betonarme kulelerinin çok dolu kesite sahip ayakları vardır, ancak içte normal boyutta bir çekirdek boşluğa sahiptir (Şekil 4.74).



Şekil 4.74 Little Belt Köprüsünün kulesinin enkesiti.

Büyük dolu kesitin kullanılmasındaki amaç, dış ölçüleri küçük tutabilmek ve kuleye gerekli esnekliği sağlayabilmektir. Böylece kablo sistemindeki uzamalardan dolayı meydana gelecek boyuna deplasmanlara karşı esnek bir kule yapılmış olacak. Ancak, esneklikten dolayı, inşa sırasında kuleyi boyuna kablolarla geçici olarak mesnetlemek gerekmektedir.

5. BÖLÜM : KABLO BİRLEŞİM DETAYLARI

5.1 GİRİŞ

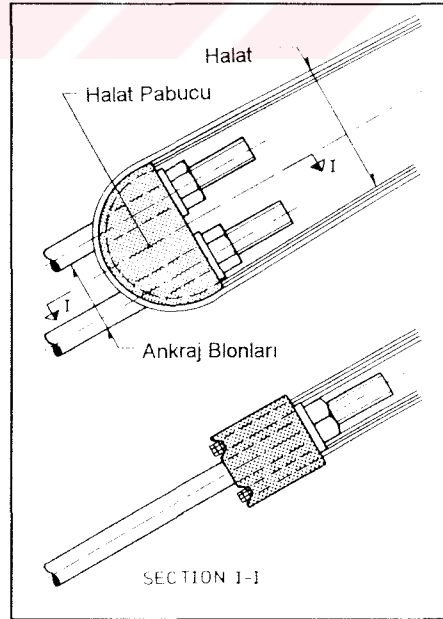
Kablolu köprülerde, rijitlik kirişindeki ve kulelerdeki birleşimlerin yanısıra elemanların ve temellerin birleşiminde diğer tip yapılarda bilinen esaslar doğrultusunda yola çıkılabilir. Fakat iş kablo sisteminin rijitlik kirişine, kulelere ve temellere bağlanmasına gelince özel detayların uygulanmasını gerektirir. Bu esnada detayların yeterli bir şekilde tasarımı oldukça önemlidir, çünkü, kablolar ana yük taşıyıcı elemanlardır.

5.2 TEK HALATLI (BÜKLÜMLÜ) KABLOLARIN ANKRAJI

Tek halatlı kabloların ankrajını etkileyen özellikler:

(1) Yüksek gerilmelerden dolayı halattaki kuvvet küçük bir kesitte yoğunlaşmıştır.

(2) Çelik yapıların diğer elemanlarla birleşimini sağlayan kaynaklama, civatalama ve perçinleme gibi teknikler çelik tellerin diğer elemanlarla birleşimi için kullanılamaz.



Şekil 5.1 Halat pabucu ile ankraj.

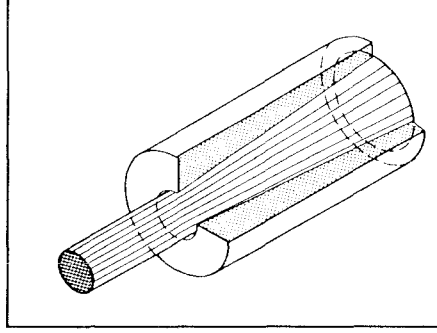
Köprü inşaatı sırasında ayrı ayrı tellerden oluşturulan kablonun (git-gel çekim metodu) ankrajı tellerin halat pabuçları çevresine sarılmasıyla gerçekleştirilir (Şekil 5.1). Böylece tellerdeki aksenal kuvvet, yarım daire şeklindeki temas ile yanal basınç olarak halat pabuçlarına, oradan da ankraj bulonuna aktarılır. Diziler şeklinde başı delikli çubuklar da halat pabuçlarındaki kuvveti aktarmak için kullanılabilir (Şekil 5.2). Kablolar eğer yerinde monte edilecekse bu şekilde ankraj yapılamaz. Bu sebeple bu detay sadece git-gel çekim metoduyla ankraj yapılan asma köprülerde kullanılır.



Şekil 5.2 Verrazano Narrows Köprüsünde kullanılan ucu delikli çubuklardan ve disklerden oluşan halat pabucu.

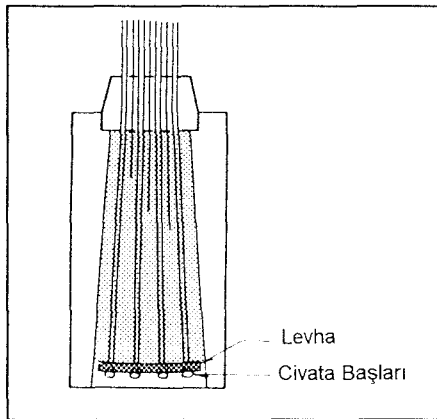
Önceden hazırlanmış kablolarda, ankrajmanın en yaygın yolu halatların uçlarının soketlenmesidir. Bunun için içerisinde konik boşluk olan çelik silindirler kullanılır (Şekil 5.3). Halatın süpürge gibi açılan ucu buraya yerleştirilmiştir.

Buna bağılı olarak konik boşluğun içi, oranla daha düşük bir erime derecesine sahip olan metalik karışımıla doldurulmuştur. Kablo çekmeye maruz kaldığı zaman kama tesiri oluşacak ve elik koni içerisindeki madde üç-eksenli gerilme sonucu tellerdeki kuvvet aktarmasını etkili bir şekilde gerçekleştirecektir.



Şekil 5.3 Kablo soketi

Yüksek mukavemetteki tellerin elde edilebilmesi için soğuk çekme metodu kullanılır. Metal karışımının dökümü için gerekli olan yüksek sıcaklık, tel mukavemetinin düşmesine sebebiyet verebilir. Yapılan deneyler sonucu, eğer döküm sıcaklığı 4 kez $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerine çıkarsa mukavemette %10'un üzerinde bir düşüş olabilir. Dökülen metal, çinko, kurşun, bakır, veya alüminyum alışımlarını içerir. Kurşun alışıımı ile döküm sadece $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de mümkündür. Ancak uygun olmayan büzölme özellikleri sebebiyle bu alışıımın kullanımı terkedildi. Onun yerine, çinkoya dayalı, $400\text{--}420\text{ }^{\circ}\text{C}$ döküm sıcaklığı gerektiren alışıımlar kullanıldı. Büzölmeye karşı dayanıklı görünen, %2 bakır ihtiva eden çinko-bakır karışımı geliştirildi. Galvanize tellerde yukarıda bahsedilen mukavemet düşüşü oldukça azdır, çünkü galvanize sırasında teller yüksek derecede sıcaklığa tabi tutulurlar. Birçok modern uygulamada paralel-tel halatlarının ankrajları sırasında özel soketler kullanılmıştır (Şekil 5.4).

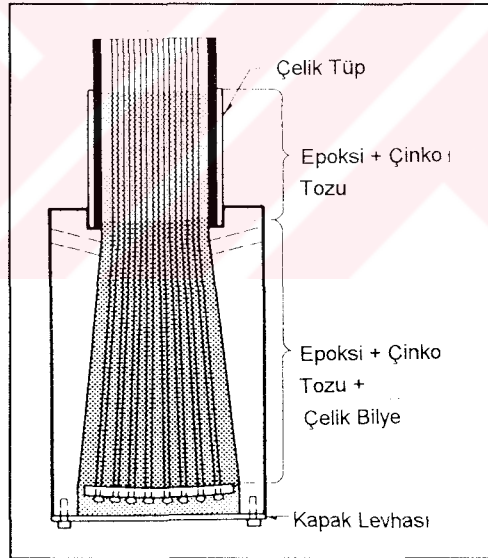


Şekil 5.4 Paralel-tel halat soketi.

Burada teller soket ucundaki levhanın deliklerinden geçirilmiş ve kaymaması için uçlarına cıvata başı konmuştur. Soket içerisindeki konik boşluk sıcak döküm malzemesi ile (metalik alışım) doldurulabilir, ancak ankrajın yorulmaya karşı dayanıklılığını artırmak için epoksi reçineli, çinko tozu ve küçük çelik bilyelerin (çapı 1-2 mm) karışımından oluşan soğuk döküm malzemesi tercih edilir.

Şekil 5.5, soğuk döküm malzemesi ile doldurulan bir soket tipini gösterir. Bu tip soketler yorgunluğa karşı daha yüksek dayanıklılık gösterirler, ve de bu yüzden yüksek amplitüdlü (HiAm) soketler diye adlandırılırlar. Epoksi reçineli Freyssinet ankrajlarında da kullanılmıştır (Şekil 5.6). Burada yedi-telli halatlar ilk önce kama metodu ile ankraj levhasına ankrajlanırlar. Monte edildikten sonra, zati yükün uygulanmasıyla birlikte, levhadan uzayan tüpün içerisine epoksi reçinesi doldurulur. Böylece, trafik yükü altında meydana gelen ek kablo kuvveti, kayma kuvveti şeklinde kablodan tüpe aktarılır.

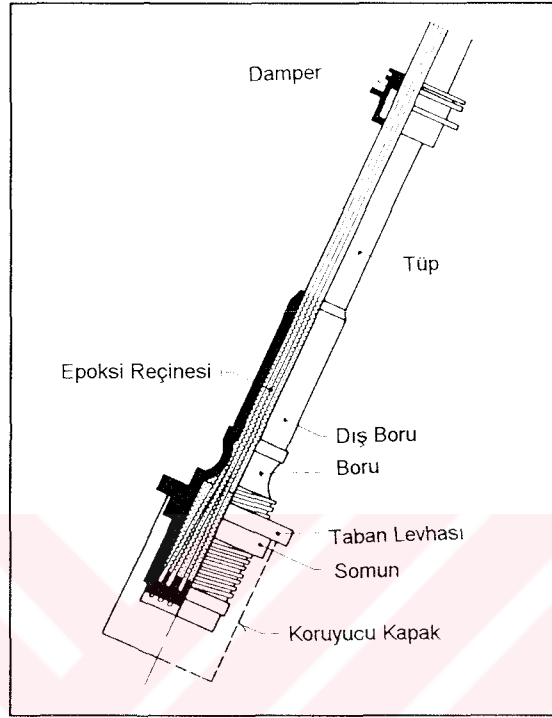
Sonuç olarak, yorulmaya karşı direnci az olan kama ankrajı gerilme değişimlerinin az olduğu bir ortama kavuşur.



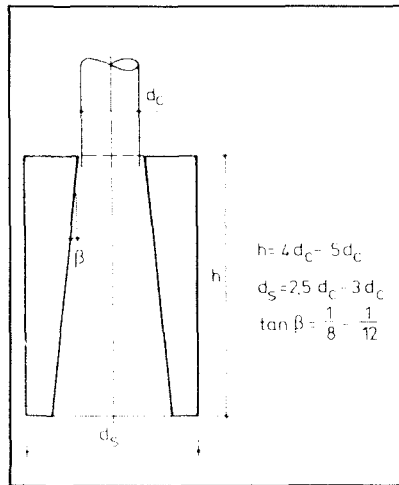
Şekil 5.5 HiAm soketi

Basit mesnet soketinin boyutları Şekil 5.7' de gösterilen sınırlar içerisinde olur. Burada ankraj soketi, akma mukavemeti 250-300 MN/m² olan çelikten yapılmalıdır. Genelde iç koninin eğimi (β), epoksi reçinesi içeren soketlerde en az, metalik alışım ihtiva edenlerde ise en büyük olur. Soketler boyutlandırılırken, kablo kuvvetinin basınç olarak aktarılmasından emin olmak için

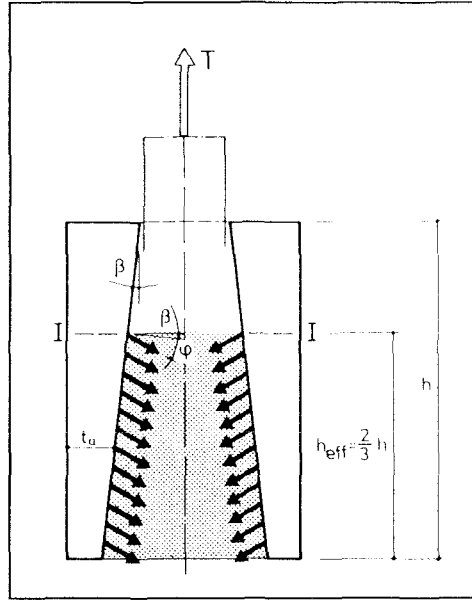
soketin cidar kalınlığının kontrol edilmesi gerekmektedir, çünkü dolgu malzemesinin yarattığı basınç soket cidarlarının yüzük çekmesine sebep olur.



Şekil 5.6 Freyssinet ankrajı



Şekil 5.7. Basit mesnet soketinin sınır boyutları.



Şekil 5.8 Soket içerisindeki kuvvet aktarımı

Duvar kalınlığının hesabı aşağıdaki yaklaşık metoda bağlıdır. Şekil 5.8 ' de gösterildiği gibi soketin etkili yüksekliği tüm yüksekliğin $2/3$ 'ü olarak kabul edilir, çünkü, kablunun sokete girdiği bölgelerde kablolar sıkışık olduğundan dolgu malzemesi alacak boşluğa sahip değildir. Ayrıca, döküm malzemesinin uyguladığı basıncın, soket duvarının iç yüzeyine φ açısında etkidiği kabul edilir. Buradan da sürtünme katsayısı, $\mu = \tan \varphi$, tanımlanır. Metalik dolgu malzemelerinde $\tan \varphi$ genelde 0.2 , epoksi içeren HiAm ankrajlarında ise 0.45 olarak alınır.

Toplam yüzük çekmesi, P_t ;

$$P_t = T / (2 \pi \tan (\varphi + \beta)) \quad (5.1)$$

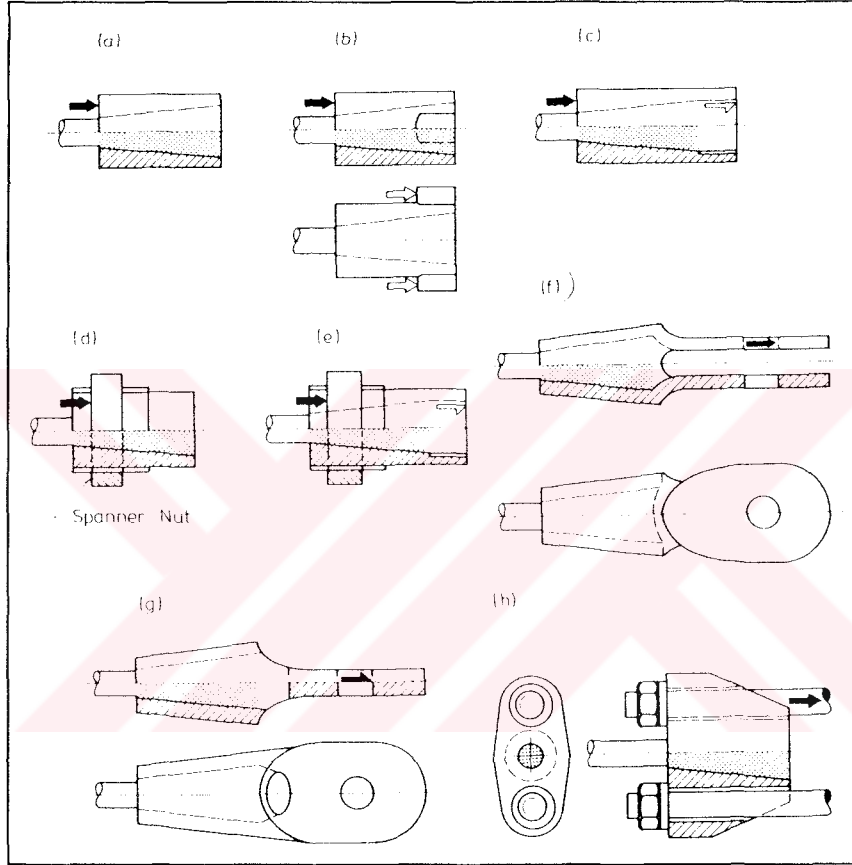
şeklinde bulunur. Burada ' T ' kablo kuvvetini, ve ' β ' açısı da iç koninin eğimini verir. Eğer yüzük çekmesinin soketin etkili yüksekliği tarafından karşılandığı kabul edilirse;

$$h_{eff} = 2h / 3 \quad \text{buradan da,}$$

$$\begin{aligned} \sigma &= 3P_t / 2ht_a \\ &= 3T / (4 \pi \tan (\varphi + \beta) ht_a) \end{aligned} \quad (5.2)$$

Burada t_a soketin etkili bölgesindeki ortalama kalınlığı gösterir. Şekil 5.8' de I-I kesitindeki aksel normal gerilmeler de kontrol edilmelidir, çünkü, toplam kablo kuvveti T' nin bu kesitten aktarılması gerekmektedir.

Yukarıda anlatılan basit mesnet soketlerinin yanında daha karışık olanları da vardır. Bu soketler, germe, ayarlama, ve yük transferi gibi konulara uygun bir şekilde tasarlanmıştır. Şekil 5.9, kablolu köprülerde kullanılabilecek soket tiplerini gösterir.



Şekil 5.9 Kablolu köprülerde kullanılan soket tipleri.

(a) Basit mesnet soketini gösterir. Burada kablonun gerilmesini ayarlamak için gerekli aletleri kullanmak zordur. Bu nedenle ölü uç ankrajlarında kullanılırlar.

(b) Basit mesnet soketinin daha gelişmiş bir modelidir. Halatın başlangıç gerilmeleri için gerekli aletleri monte edebilmek için iki adet mesnete sahiptir.

(c) Mesnet soketlerinden, içten bulonların vidalanabilmesi için gerekli dişlere sahip olanıdır. Burada bulon sadece geçici olarak başlangıç gerilmeleri sırasında kullanılır. Daha sonra yük mesnet tarafından aktarılır.

(d) Kablo uzunluğunun ayarlanmasına izin veren, dıştan dişlere ve somuna

sahip olan soket tipidir. Son durumda, şekilde gösterildiği gibi yük somunla aktarılır.

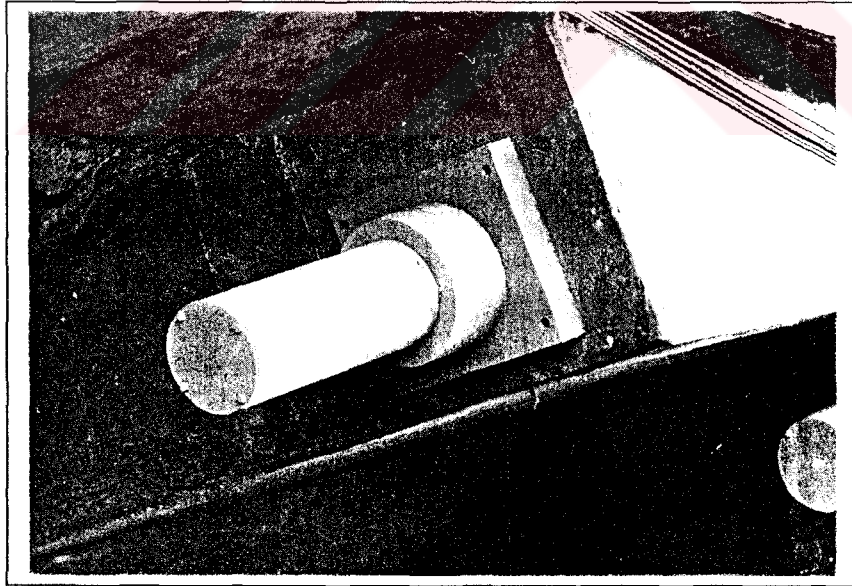
(e) İçten ve dıştan dişlere sahip soketlerdir. Böylece, bulon, gerilmelerin ayarlanmasına yardımcı olurken, son yük transferi de somun tarafından gerçekleştirilir. Bu tip soketler genellikle, ileride, kablo uzunluğunun yeniden ayarlanması söz konusu olduğunda kullanılır.

(f) Elemanların mafsallı tip birleşimlerini sağlayan açık sokettir. Bu tip soketler, kablo ile yapı arasında büyük açı değişikliklerinin mümkün olduğu durumlarda kullanılır. Diğer yandan ise, açık soket, kablo uzunluğunun ayarlanması için kullanılmaya uygun değildir.

(g) Açık soketin fonksiyonlarına sahip kapalı sokettir.

(h) Kablo kuvvetinin, iki bulona veya civataya aktarılmasını sağlayan soket tipidir. Bunlar genellikle asma köprülerde kullanılırlar.

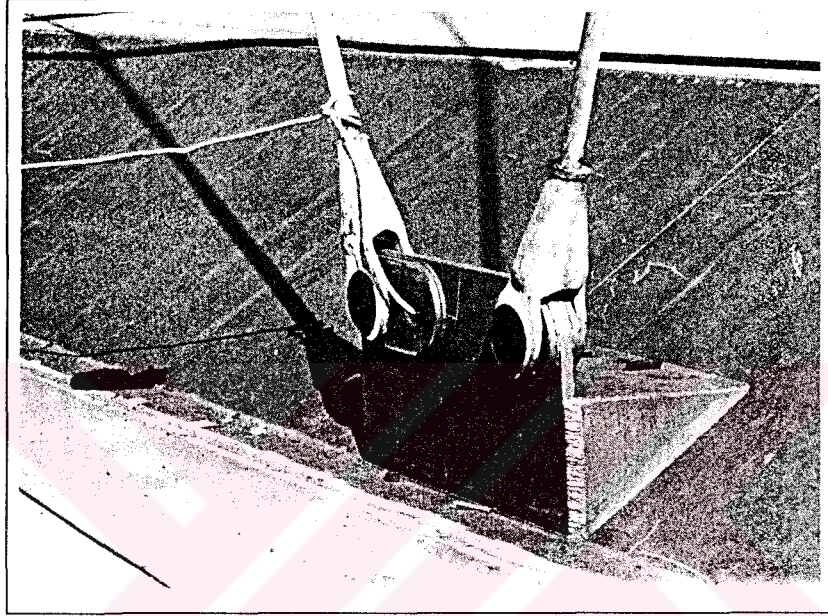
(c) ' de tanımlanan, içten dişlere sahip soket tipi, Pasco-Kennwick Köprüsü'nün HiAm ankrajlarında kullanılmıştır (Şekil 5.10). Burada, soket mesnet gibi davranır, ve de, kablo kuvveti ayar levhaları aracılığı ile taban levhasına aktarılır. Soketin sonuna, ince bir kapak konmuş, böylece, bulon ile epoksi zarar görmekten korunmuş. İçte ve dışta dişlere sahip soketler, (e), de Rhine Köprüsünde kullanılmıştır.



Şekil 5.10 Pasco-Kennwick Köprüsünde kullanılan HiAm soketler.

Mafsallı açık soketler, askı halatlarının ve gergi kablolarının bağlantıları için

kullanılmıştır. Şekil 5.11 Severn Köprüsünde kullanılan, eğik askılar ile rijitlik kirişi arasındaki bağlantıyı sağlayan soketleri göstermektedir. Örnek olarak Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'nün askı halatları da gösterilebilir. Burada, askı halatları çiftli bir şekilde düzenlenmiş, böylece, gerektiğinde bunlardan birinin çok kolay bir şekilde değiştirilmesi olanağı sağlanmıştır.



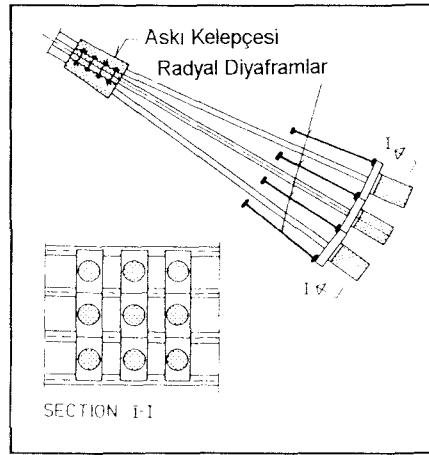
Şekil 5.11 Severn Köprüsünde kullanılan açık soketler.

5.3 ÇOK HALATLI (BÜKLÜMLÜ) KABLoların ANKRAJı

Çok halatlı kabloların ankrajı, halatların kelepçeden tek tek ayrılıp, ayrı ayrı ankrajı ile mümkündür.

Şekil 5.12 eğik askılı köprülerde kullanılan bu tip ankrajı gösterir. Burada görüldüğü gibi, kelepçeden ayrılan halatlar, bloklara ve radyal diyaframlara mesnetlenmiş soketlere saplanmıştır.

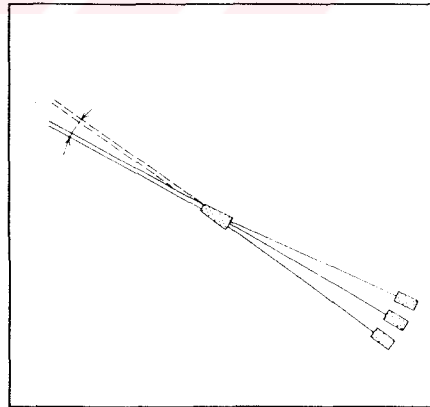
Kelepçe, civatalarla birleştirilmiş iki çelik parçadan oluşmaktadır. Yapının tamamlanmasından sonra, eğer kelepçenin kaymasını engelleyecek gerekli sürtünme varsa, kelepçe sadece kabloya tutturulur. Aksi takdirde, kelepçe, çubuklarla bitişikteki yapıya tutturulur.



Şekil 5.12 Çok halatlı kablonun ankrajı.

Şekil 5.12' deki dizilişte, gergi kablosunun salkmasından dolayı, kablonun yönünde açısal değişiklikler meydana gelir. Şekil 5.13' de görüldüğü gibi, bu değişiklikler kelepçenin takıldığı noktadan itibaren önlenir, böylece, soketlerde istenmedik açısal değişiklikler oluşmaz. Halatların takılması sırasında, kademe kademe takılmalarına izin verilmesi açısından, kelepçe, geçici olarak enine yönde mesnetlenir.

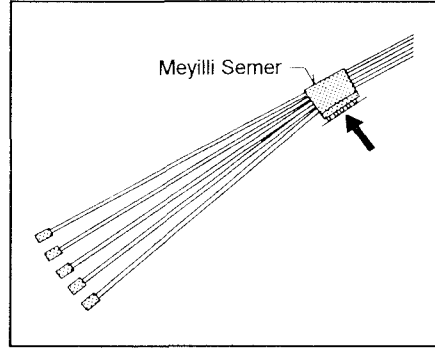
Alt kademelerin yerleştirilmesi sırasında kelepçenin sadece alt kısmı takılır. Daha sonra yukarıya doğru bükülecek olan halatlar takılıp gerekli ön gerilmeler verildikten sonra kelepçenin üst kısmı da takılır. Bu arada, kademeler arasındaki karşılıklı kaymaya izin vermesi açısından, kelepçedeki civatalar gevşetilebilir.



Şekil 5.13 Kelepçedeki açısal değişiklik

Halatların düşey düzlemde simetrik yayılması durumu sadece üç veya daha az kademeler içeren sistemlerde uygundur. Bunun sebebi ise, inşa sırasında, birden fazla kademelerin yukarıya doğru bükülmesinin getirdiği zorluklardır. Üçten fazla kademeler

içeren çok kablolu sistemlerden doğan problemleri çözmek için tek taraflı yayılma yöntemi kullanılabilir (Şekil 5.14). Burada, kelepçe yerine, enine yükleri bitişik yapıya aktaracak mesnete sahip meyilli-semer kullanılmıştır. Bu tip uygulamaya, asma köprülerin ankraj bloklarında, halatların, aşağıdan başlayarak yukarıya doğru kademe kademe takılmasında rastlanır.



Şekil 5.14 Meyilli semer ile tek taraflı yayılmış halatlar.

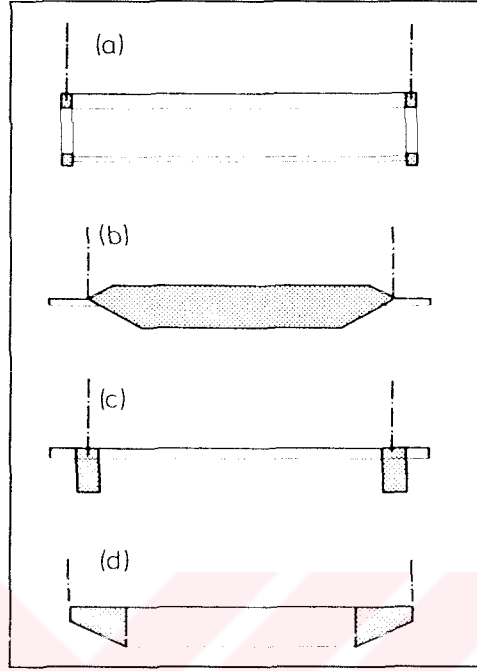
Çok halatlı eğik askılı köprülerin çoğunda, kelepçe, gergi kablosunun rijitlik kirişine gireceği noktada olur. Böylece, halatların yayılışı kirişin içerisinde gerçekleşir. Buna rağmen halatların dışarıda ayrıldığı durumlara da rastlanır (Knie Köprüsü).

Genel olarak çok halatlı kabloların ankrajı sırasında birçok zorlukların meydana geldiği söylenebilir. Bu yüzden eğik askılı köprülerde çok halatlı kabloların yerine, tek-halatlı kablolar içeren çok-kablolu sistemlerin kullanılmasına doğru bir eğilim vardır.

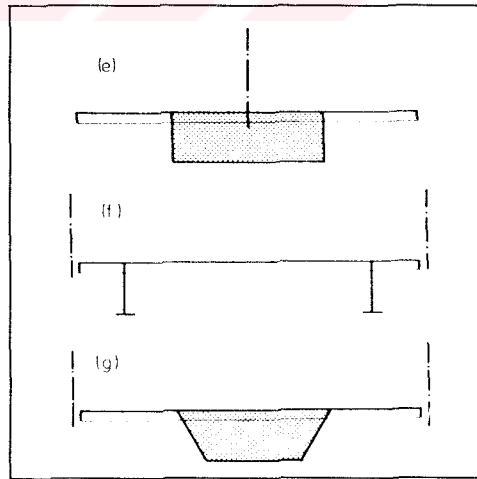
5.4 KABLOLARLA RİJİTLİK KİRİŞİ ARASINDAKİ DETAYLAR

Kablolu köprülerde, yüklerin kablolardan rijitlik kirişine nasıl aktarıldığı iyice irdelenmeli, ona göre bu önemli kısımlar için yeterli detaylar tasarlanmalıdır.

Bazı durumlarda, rijitlik kirişi Şekil 5.15 (a)-(d)' de görüldüğü gibi, kabloların doğrudan doğruya bağlanmasına elverişli kesitlere sahiptir. Bu tür kesitlerde, yüklerin kablolardan rijitlik kirişinin ana elemanlarına aktarılmasında küçük diyaframlar veya mesnetler kullanılır.



Şekil 5.15 Kabloların doğrudan bağlanmasına izin veren rijitlik kirişleri.

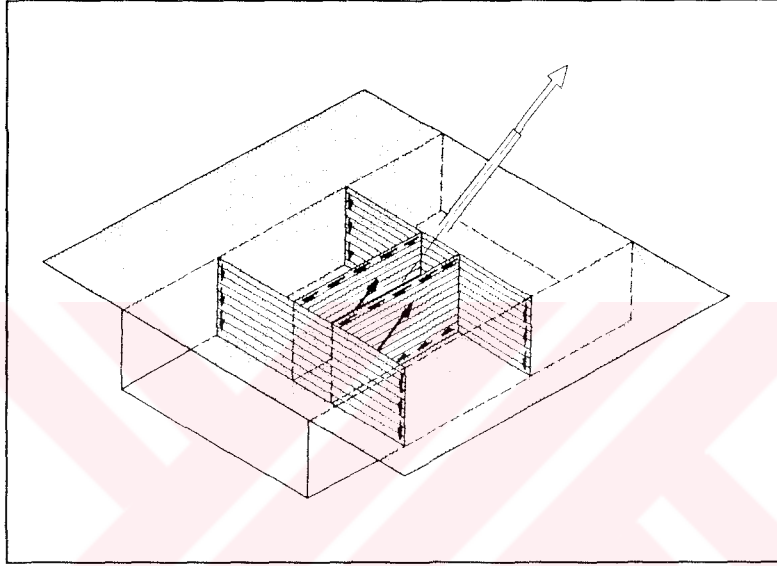


Şekil 5.16 Kabloların doğrudan bağlanmasına izin vermeyen rijitlik kirişleri.

Diğer durumlarda ise rijitlik kirişinin ana yük taşıyıcı elemanının kablo

düzleminden farklı bir konumda olmasından dolayı sisteme, büyük, yapısal elemanların eklenmesi gerekmektedir. Şekil 5.16 (e)-(g)' deki kesitlerde kablolar rijitlik kirişi ile ancak ikinci dereceden yapısal elemanların, yani, tabliye kirişleri veya uç kirişleri yardımıyla birleşim sağlayabilecek.

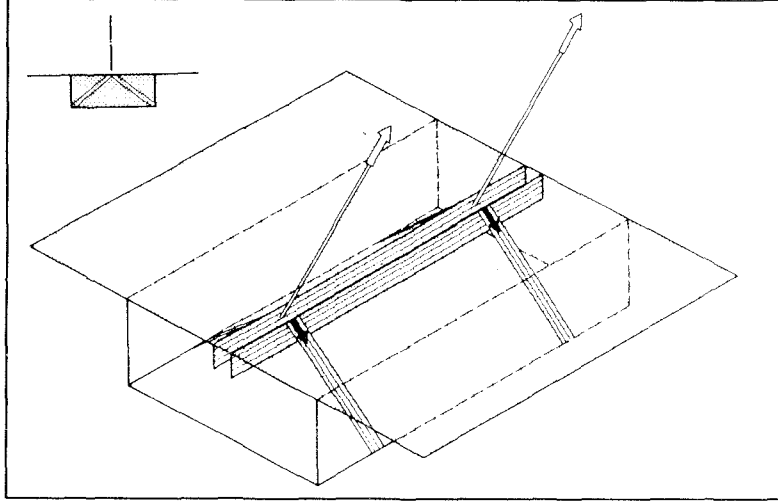
Şekil 5.17, gergi kablosu ile geniş, tek hücreli, kutu kiriş arasındaki birleşimi gösterir. Burada, kablo ankraj noktasında, iki enine, iki de boyuna bölme kullanılmıştır.



Şekil 5.17 Çok halatlı gergi kablosu ile rijitlik kirişinin bağlantısı.

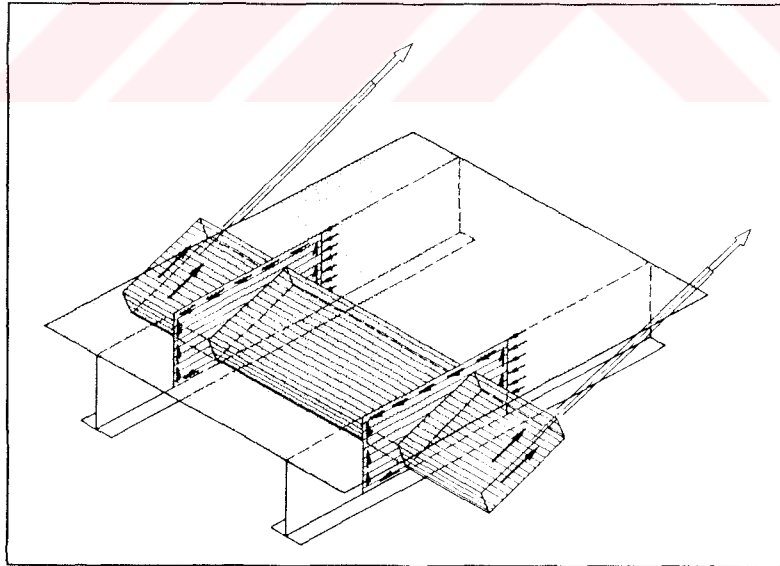
Kuvvet, ilk olarak, kablodan sokete, mesnet bloklarına, küçük radyal diyaframlara, oradan da boyuna bölmelere aktarılır. Yatay kablo kuvveti kayma olarak rijitlik kirişinin tabliye plağına ve de alt flanjına aktarılır. Düşey kablo kuvveti ise boyuna bölmelerden enine bölmelere, oradan da kayma olarak kiriş gövdesine aktarılır. Bu, aktarılan kablo yükü büyük olan, birkaç çok-halatlı gergi kablolarına sahip köprülerde kullanılır. Çok kablolu sistemlere sahip köprülerde, her ankraj noktasına aktarılan kuvvet daha uygun büyüklükte olduğu için büyük bölmelere ihtiyaç yoktur. Şekil 5.18' de gösterilen sistem kullanılabilir.

Gergi kabloları, tabliye plağının altındaki, sürekli, boyuna kirişe ankrajlanmıştır. Burada, düşey kuvvetler iki eğik çubukla kutunun alt kısmındaki dış gövdeye aktarılmıştır. Bu tip sistemler Brotonne ve Friedrich Ebert Köprülerinde kullanılmıştır. Buna rağmen, ileriki zamanlarda eğik çubuklar yerlerini K-bağlantısına bırakmışlardır.



Şekil 5.18 Tek halatlı gergi kablosu ile rijitlik kirişinin bağlantısı.

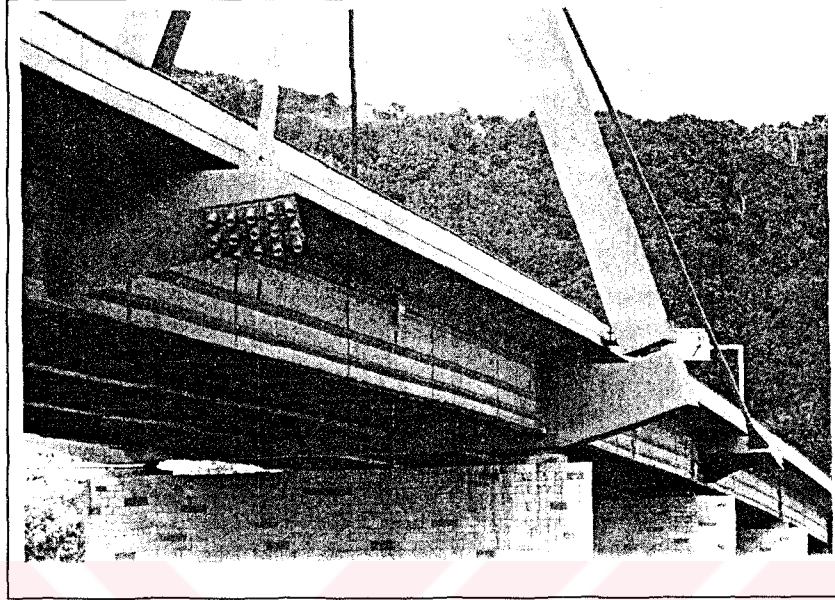
Uçlarından bir miktar uzakta iki levha kirişe sahip rijitlik kirişleri Şekil 5.19'da gösterilmiştir. Burada, gergi kabloları köprü yol tabanı dışındaki, eğik, ankraj kirişi üzerine bağlanmıştır. Kablo kuvveti ise eğilme ve kayma olarak levha kirişlerin gövdelerine aktarılırlar. Buna örnek olarak Knie Köprüsü gösterilebilir.



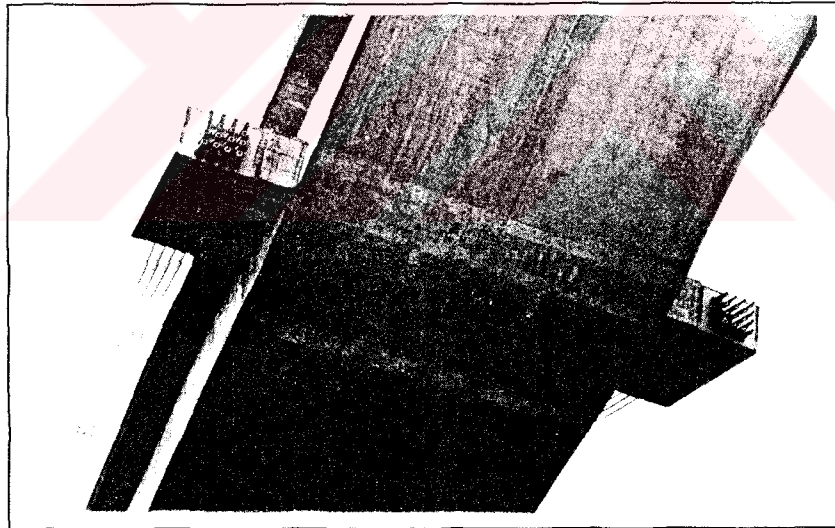
Şekil 5.19 Rijitlik kirişinin gövdesi ile gergi kablosu arasındaki kuvvet aktarımını sağlayan eğik ankraj kirişi.

Şekil 5.20 Steyregger Köprüsünün ankraj kirişlerini gösterir. Burada rijitlik

kirişı dört adet levha kirişe sahiptir. Şekil 5.21' de ise Maracaibo Köprüsünün üç-gözlü kutu şeklindeki rijitlik kirişinin ankraj kirişleri gösterilmektedir.



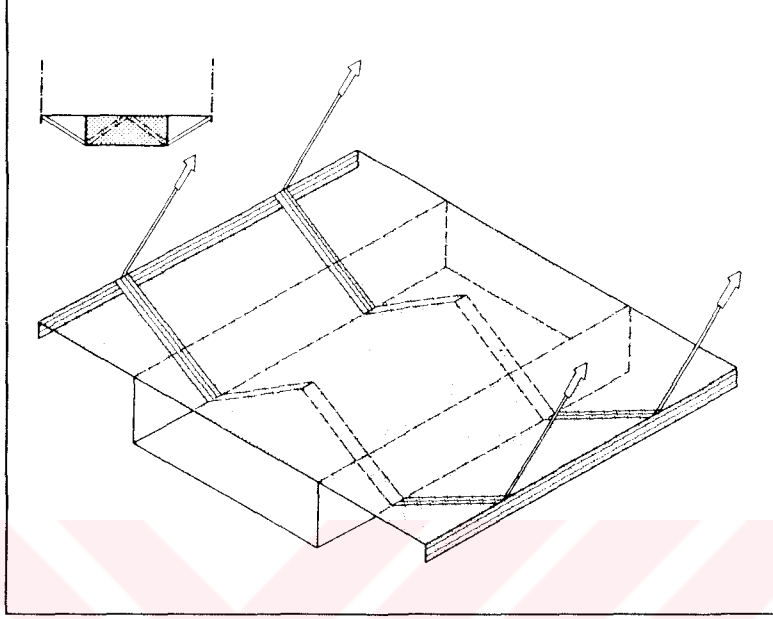
Şekil 5.20 Steyregger Köprüsünün eğik ankraj kirişleri.



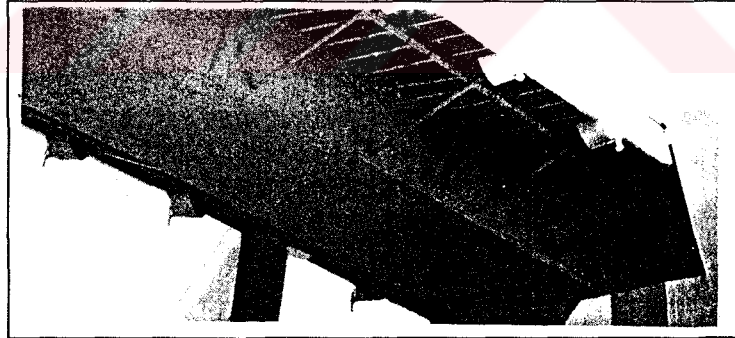
Şekil 5.21 Maracaibo Köprüsünün eğik ankraj kirişleri.

Eğik ankraj kirişleri, büyük kablo kuvvetlerinin aktarılacağı noktalarda kullanılır. Çok kablolu sistemler için tasarlanmış basit bir kuruluşu vardır (Şekil 5.22). Burada, kenar kirişler boyuna sürekli, ve , ankraj noktalarından eğik bağlarla kutu kirişin alt flanşına bağlıdır. Bu ilke Köhlbrand Köprüsünde kullanılmıştır, ancak, bu

köprüde tek-halatlı kablolar kenar kirişlerden uzatılmış küçük mesnetlere ankrajlanmıştır (Şekil 5.23).

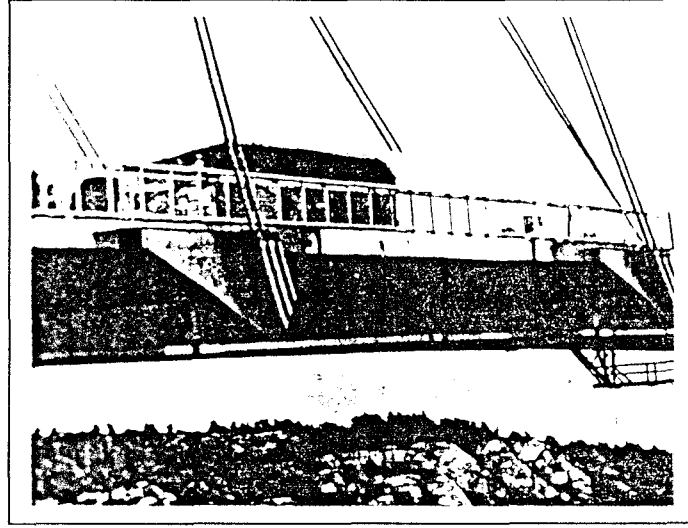


Şekil 5.22 Tabliye kenarlarına tutturulmuş tek-halatlı gergi kabloları ile kutu kirişin bağlantısı.



Şekil 5.23 Köhlbrand Köprüsünde kuvvetleri aktarmak için kullanılan eğik bağlar.

Çok kablolu sistemlerde, her kablonun ankrajından aktarılacak yükün düşey bileşkesi belli bir büyüklükle sınırlıdır. Bu yüzden dolayı, düşey yönde enine kirişler kullanılır. Bu Tjörn Köprüsünde kullanılmıştır (Şekil 5.24). Burada, ankraj noktasındaki enine kiriş, döşeme kirişlerinden biraz daha derindir ve de sınırlı düşey yükün aktarılmasında yardımcıdır.



Şekil 5.24 Tjörn Köprüsünde kullanılan düşey yönde enine kirişler.

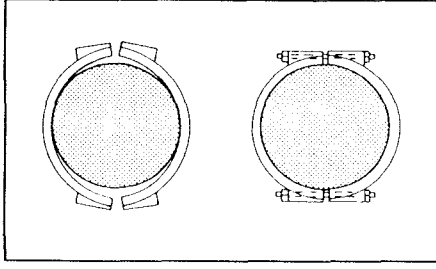
5.5 ANA KABLO İLE ASKILARIN BAĞLANTISI

Asma köprülerde ana kablo ile askılar arasındaki bağlantı, kablo bandlarının askılara mesnet görevi yapacak şekilde şekillendirilip ana kaploya kenetlenmesiyle sağlanır.

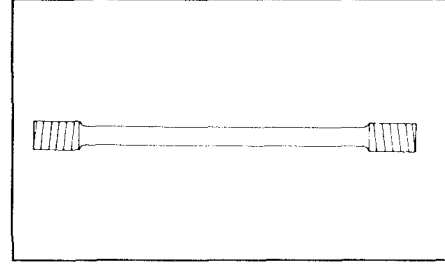
Kablo bandı, yüksek dayanımlı çelik dişli çubuklarla birleştirilmiş, gerekli sürtünmeyi sağlayan, iki yarım parçadan oluşmuş, yarı silindirik elemanlardır. Gerilmeye tabii tutulduktan sonra, kablo bandının kablonun şekliyle uyumlu olması, bu yüzden de ince duvar kalınlığı ve de oldukça iyi düktil olması gerekmektedir.

Şekil 5.25' de kablo bandının kenetlenme çubuğunun sıkılmadan önceki ve sonraki durumu görülüyor. Sıkma sırasında kablo bandı eğilmeye maruz kalacak ve bu da, bandın kablonun tüm yüzeyi ile temas etmesi sağlanıncaya kadar çapı düşürtecektir. Somunlar sıkılırken dişli çubuk yüksek gerilmeye maruz kalır, kırılma riski ortaya çıkar. Bu yüzden, maksimum çekme gerilmesinin orta kısımda, dişsiz yüzeyde gerçekleşmesini sağlayan özel çubuklar kullanılır (Şekil 5.26). Bu tür çubukla, sıkıştırma plastik sınırlara kadar olur ve böylece gevşemeye karşı maksimum tolerans tanınmış olur.

Kablo bandında gerekli olan sürtünme kablonun eğimine bağlıdır. En fazla sürtünme kule yanlarında gereklidir. Bu yüzden her kablo bandının dişli çubuk sayısı orta açıklıktan kulelere doğru çoğalır.

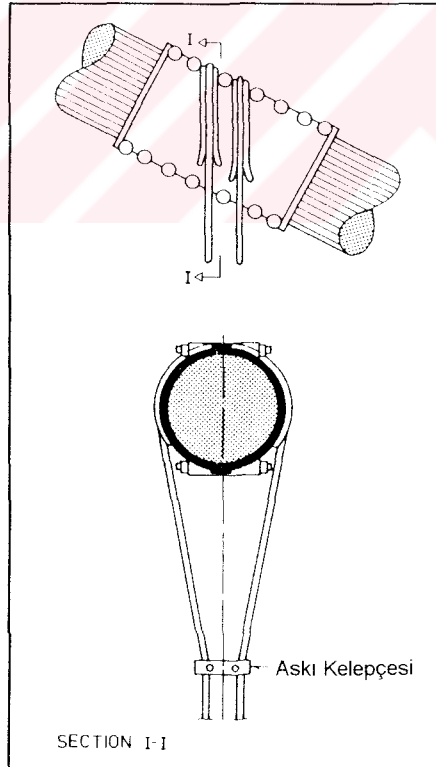


Şekil 5.25 Kablo bandının sıkılmadan önceki ve sonraki hali.

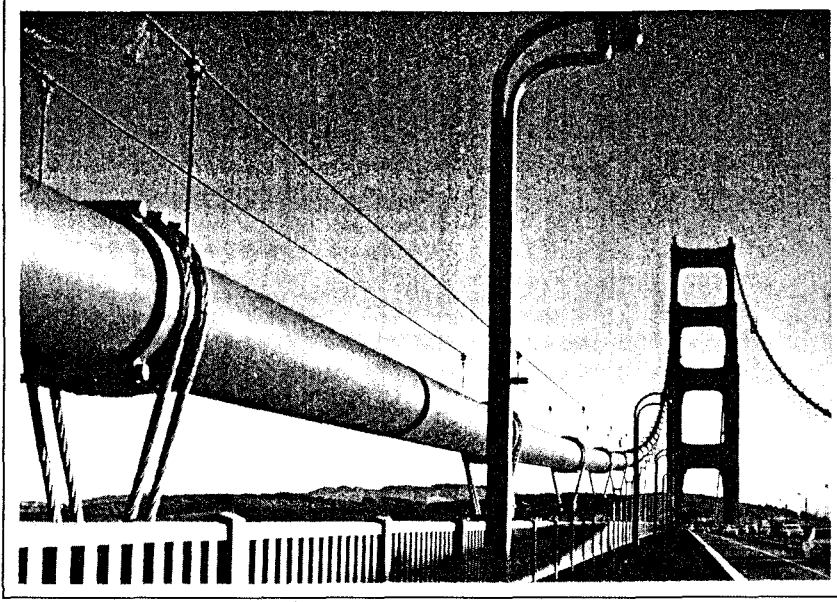


Şekil 5.26 Ortada dişsiz yüzeye sahip özel çubuk.

Askılara mesnet görevi yapan kablo bandları üst yüzeyde yuvalara sahiptir. Böylece askılar band etrafında sarılarak mesnetlenirler (Şekil 5.27). Burada kablo bandının altında askı kelepçesi de gösterilmiştir. Bu, askı halatları arasındaki mesafeyi azaltır. Bu tür kelepçe, askı halatlarının rijitlik kirişine bağlantısı için, aralarındaki gerekli mesafeyi elde etmeye yarar. Bu kelepçeler birçok büyük asma köprülerde kullanılmıştır, ancak gerekmedikçe kullanılmasından kaçınılmalıdır, çünkü, kullanıldığı noktalarda paslanmaya karşı direnci azaltırlar (Şekil 5.28).



Şekil 5.27 Yuvalı kablo bandı.

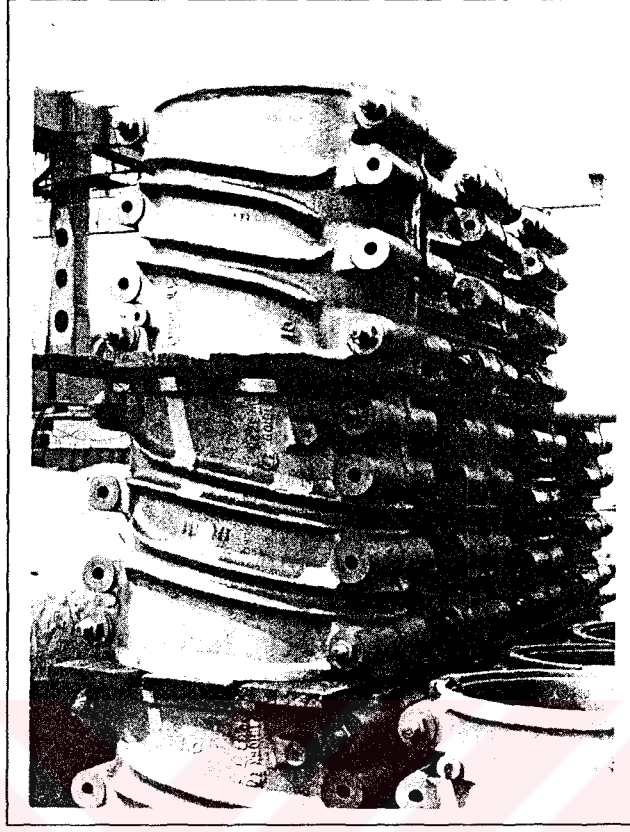


Şekil 5.28 Golden Gate Köprüsünde kullanılan kelepçeler.

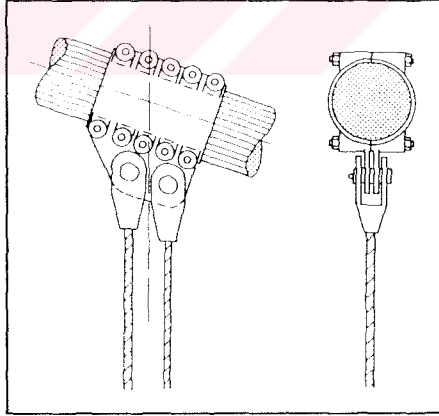
Ana kablonun eğimi açıklık boyunca değiştiğinden bandlardaki yuvaların her zaman düşey yönde olmasını sağlamak gerekmektedir. Bu da birçok değişik kalıbın üretilmesine, sonuç olarak da üretim maliyetinin artmasına sebebiyet verir. Diğer yandan ise askı ile kablo bandının birleşimi için özel parçaların gerekmemesi maliyet yönünden avantaj sağlar. Bu tür özellik Verrazano Narrows Köprüsünde kullanılmıştır (Şekil 5.29)

Askıları kablo bandının çevresinden dolamak yerine, askıların bir ucuna soket, kablo bandı üzerine de mafsallık bağlayarak söz konusu bağlantı yapılabilir (Şekil 5.30). Bu şekilde büyük bir sayıda kablo bandı tek tip olarak üretilir. Mafsallar ise daha sonra kablo bandının alt kısmı dökülünce açılabilir. Ancak, ana kablonun eğimi değiştiğinde gerekli kenetleme çubuğunun artması, değişik sayıda kablo bandı boyutları gerektirir. Bu tip bir uygulamaya Little Belt Köprüsünde rastlanır (Şekil 5.31).

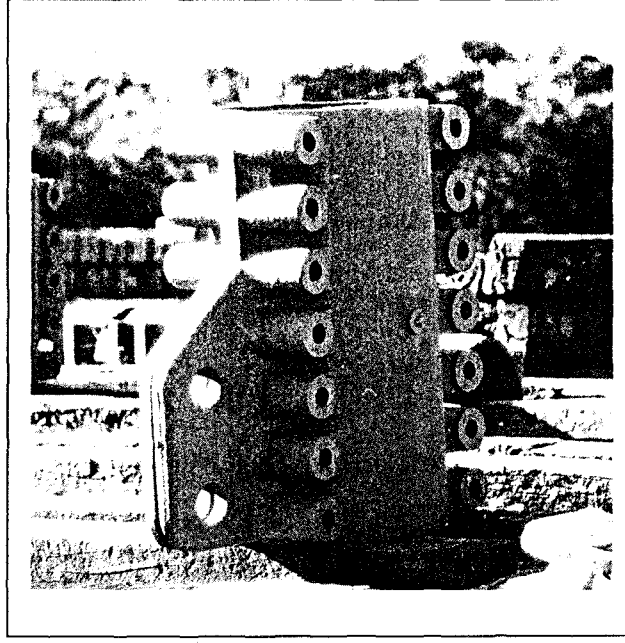
Daha değişik tipte bağlantılar da kullanılmıştır (Şekil 5.32). Bu tip bağlantılar eğik askılı asma köprülerde kullanılır.



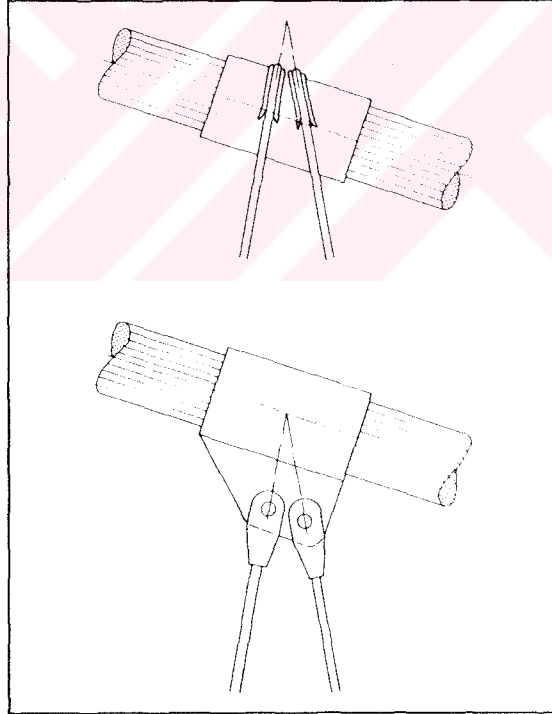
Şekil 5.29 Verrazano Narrows Köprüsünde kullanılan yuvallı kablo bandı.



Şekil 5.30 Ana kabloya soketlerle tutturulan askılar.



Şekil 5.31 Little Belt Köprüsünün kablo bandları.



Şekil 5.32 Eğik askılar için kablo bandları.

5.6 KABLO VE KULE BAĞLANTILARI

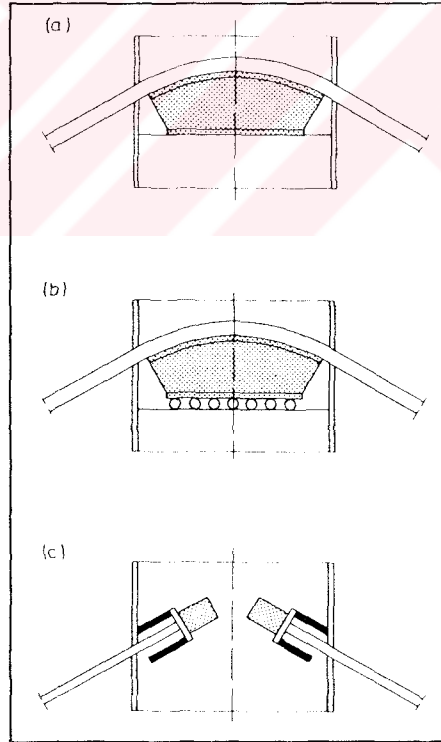
Kablolarla kule arasındaki bağlantılar iki tipte yapılabilir.

- Semerle,
- Kabloların kuleye ankrajı ile.

Şekil 5.33' de bu bağlantı için üç olasılık görülüyor.

(a) Burada kablo, bitevi olarak, kuleye sabitlenmiş semerin üzerinden geçirilmiştir. Bu tip bağlantılar asma köprülerde tercih edilir. Bazen, çok-halath eğik askılı körülerde de kullanılır.

(b) Bu çözümde yine semer kullanılmıştır, fakat burada boyuna hareketlere olanak vermek için semerin altına bilyeler konmuştur. Bu asma köprülerin yapımı sırasında kullanılan bir metottur. Yapım sırasında kulelerde meydana gelecek istenmeyen dönmeler böylece engellenir. Bu tip semerler her ne kadar yapım sırasında kullanılırlarsa da sonuçta semer kuleye sabitleştirilir ve böylece son bağlantı (a) 'daki gibi olur.



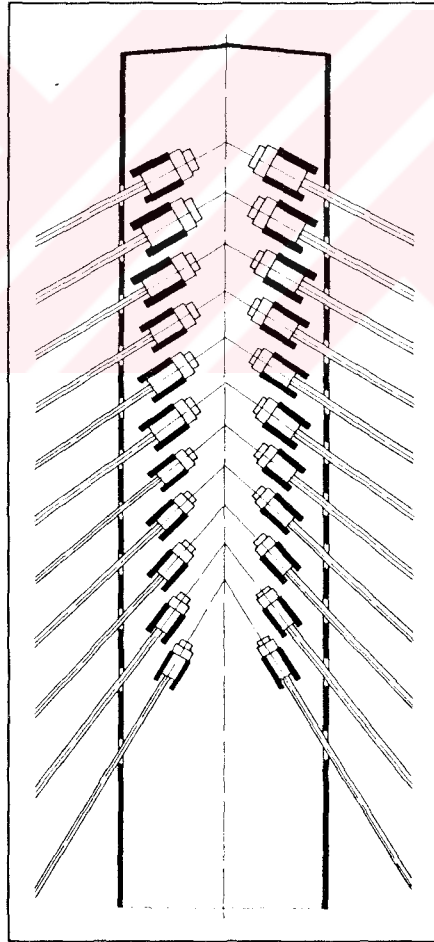
Şekil 5.33 Kablo ve kule arasındaki bağlantı tipleri.

Çözüm (b) eski eğik askılı köprülerde kulelerdeki dönmeyi önlemek için de kullanılmış, ancak, yapısal verimliliği azaltması sebebiyle kullanımı terk edilmiştir.

(c) Bu tip çözümlerde kablo kulede kesilmiş ve her iki ucundan da ankre edilmiştir. Bu tip çözüm, modern çok kablolu köprülerde tercih edilir, çünkü bu yöntem, gergi kablolarının değişken sayısı, boyutu, ve açısı yönünden büyük serbestlik dereceleri ifade eder. Bunun yanısıra, ulaşım ve yapım kolaylıkları ve avantajları vardır. Her gergi kablusunun iki ankraj noktasından uzaklığı bilindiğinden prefabrike kablolar kullanılabilir.

Çözüm (c) sadece tek-halatl kabloların ankrajına uygundur, çünkü kule boyutları, çok-halatl kabloların açılmasına müsait değildir.

Çok kablolu sistemlerde büyük sayıda gergi kabloları vardır, ve bu kabloların ankrajı için kule üzerinde geniş bir ankraj bölgesi mevcuttur. Şekil 5.34' de geliştirilmiş fan sistemine ait kablo ankrajları gösterilmiştir.



Şekil 5.34 Geliştirilmiş çok kablolu fan sistemlerde kabloların kuledeki dizilişleri.

bağlı olarak uygulanabilir. Bundan dolayı, bu sistem yedi-telli halatlardan oluşan gergi kablolarının olduğu durumlarda kullanılmıştır.

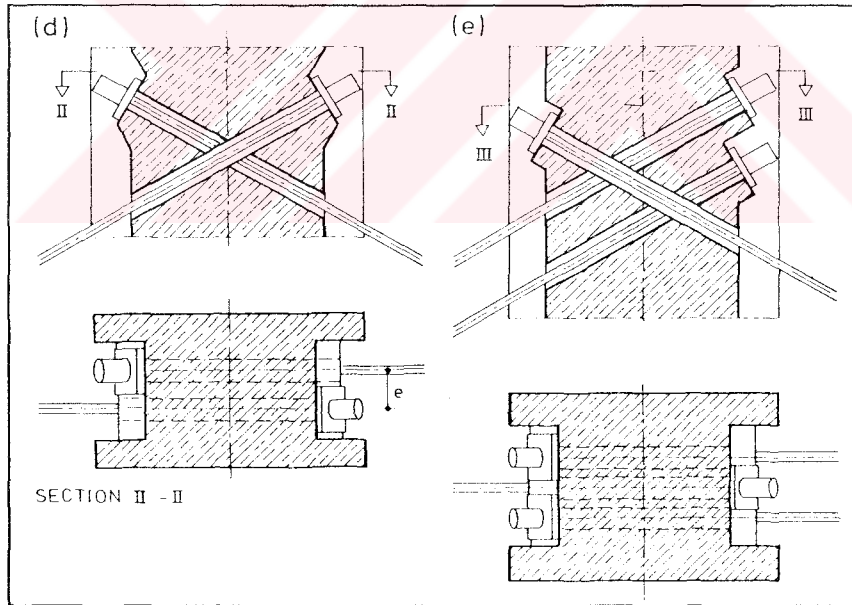
Burada kablolar tek tek, önceden inşa edilmiş, paslanmaz çelikten veya polietilinden yapılmış tüplerden çekilerek bir gergi kirişinden diğerine ankre edilirler.

Dolu kesit alanına ve ucunda soketlere sahip prefabrike gergi kablolarına (b)'deki çözüm uygulanamaz, fakat şekilde kesik çizgilerle gösterildiği gibi bağlamalar kullanılırsa bu mümkün olabilir. Bu şekilde, prefabrike gergi kabloları düz olacak ve özel problemlerle karşılaşılmayacak.

Son olarak, çok kablolu sistemlerin ankraji şekil 5.35(c)'deki gibi yapılabilir. Burada gergi kabloları kulelerin içinde uzanarak karşı tarafa bağlanmıştır. Böylece yatay kablo kuvveti bileşkeleri kule içerisinde basınca sebebiyet verir.

Kule içerisindeki gergi kablolarının kesişmelerinden dolayı eğer her gergi kablosu tek-halat içeriyorsa kule içerisinde oluşacak olan eksantrisite kaçınılmaz olacaktır (Şekil 5.36 (d)). Bu eksantrisiteler kule ayağında burulmaya sebebiyet verir.

Eksantrisite etkisinden tam olarak kurtulmak için gergi kablolarının iki halattan yapılp şekil 5.36 (e)'deki gibi düzenlenmeleri gerekmektedir.

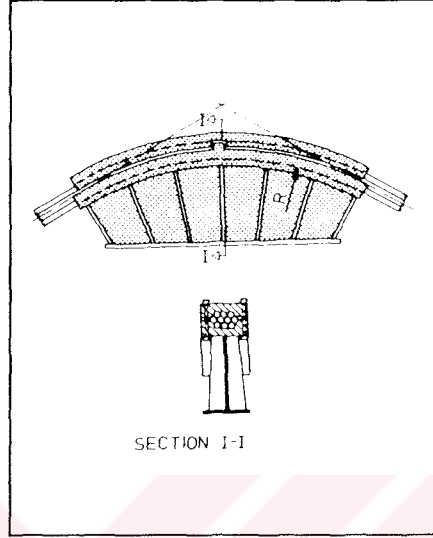


Şekil 5.36 Gergi kablolarının beton kule içerisinde oluşturduğu eksantrisite.

Görüldüğü gibi sol açıklığa ait halatlar üst üste gelecek şekilde, sağ açıklığa ait olanlar ise yan yana gelecek şekilde düzenlenmişlerdir. Bu diziliş Dames Point Köprüsünde kullanılmıştır.

Çok halatlı kablolarla sahip köprülerde, kablolar ile kule arasındaki birleşimi kablo semeri gerçekleştirir.

Şekil 5.37, eğik askılı köprülerde kullanılan kablo semerine bir örnektir.



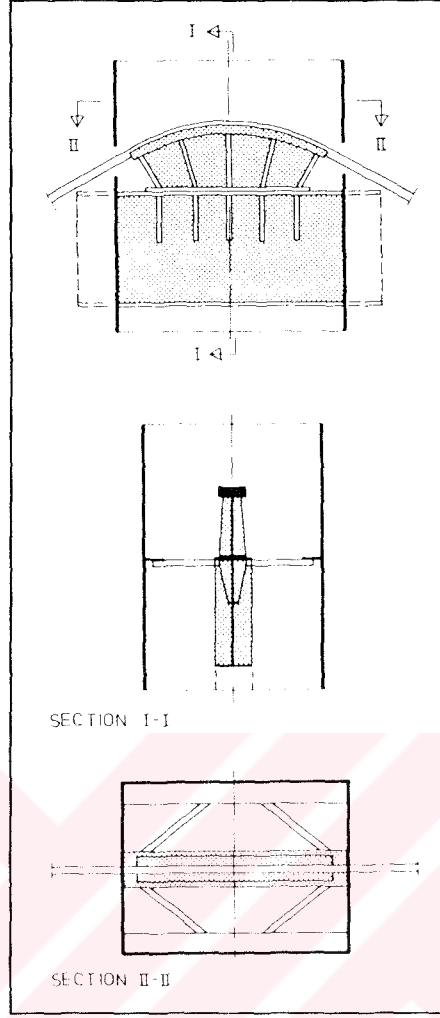
Şekil 5.37 Kablo semeri ve kapağı.

Semer ile kapağı genelde çelik dökümle yapılır. Alt kısımdaki taban levhası, kablo düzlemindeki levhalar ve radyal rijitlik levhaları kaynak yöntemiyle de yapılabilir.

Kablo ile semer arasındaki sürtünme, yan baskılardan gelecek değerin üzerinde olmalıdır, bu yüzden semer kapağı alt kısımlara yüksek mukavemetli civatalarla bağlanmıştır. Eğer yan baskılardan dolayı eğri kablo uzunluğuna etki edecek sürtünme kuvveti kablo kuvvetinin farkını aktarmaya yeterli ise semer kapağı ihmal edilebilir.

Kablo semeri ile kulenin yan levhaları arasındaki bağlantı, kule içerisindeki boyuna kısa kirişle sağlanır (Şekil 5.38).

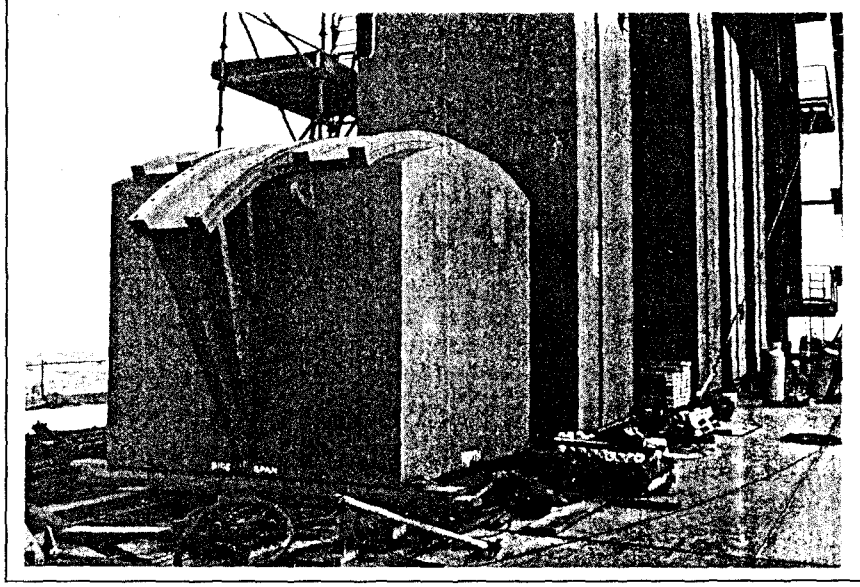
Bu düzenle kablo kuvvetinin düşey bileşkesi sadece enine yan levhalarla aktarılır ve bu sebeple levhaların yerel güçlendirilmesine gerek vardır.



Şekil 5.38 Kule içerisinde kirişle mesnetlenmiş semer.

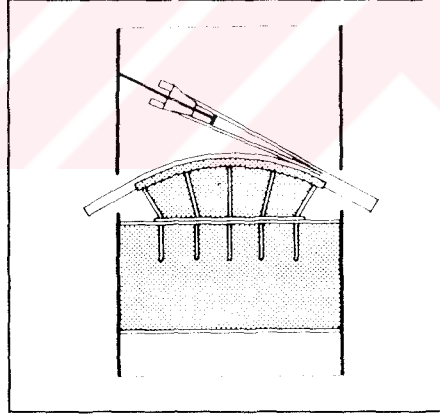
Şekil 5.38'de boyuna kirişin kulenin dışına olası uzantısı kesik çizgilerle gösterilmiştir. Bu tür bir uzantı geçici olarak inşa sırasında kullanılabilir. Böylece kablo semerinin yükseltilip gergi kablosuna gerekli gerilmenin verilmesine olanak sağlar. Bunun için, semerin gerekli yer değiştirmesine izin verecek yükseklikte boşluğu olan enine yan levhalar gereklidir. Yükseltme işlemi tamamlandıktan sonra kirişin altındaki boşluk doldurulabilir. Aynı zamanda, boyuna kirişin çıkıntıları da kesilerek çıkartılabilir.

Eğer kablo gerilmesi semerin yerdeğiştirmesini gerektirmeden yapılmışsa, semer, kulenin ilgili kısmıyla birarada, bütünleşmiş şekilde inşa edilebilir. Bu West Gate Köprüsünde kullanılmıştır (Şekil 5.39).



Şekil 5.39 West Gate Köprüsünün semeri.

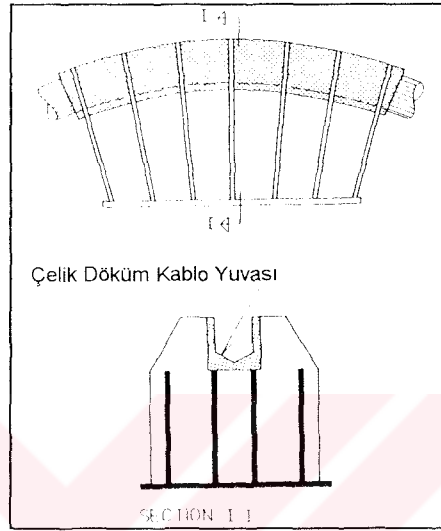
Çok-halatlı kabloların kullanıldığı eğik askılı köprülerde semerin iki yanında farklı sayıda halatların kullanılması durumu doğabilir. Bu sebeple halatların bazıları soketler ve diyaframlar yardımı ile kuleye ankre edilebilirler (Şekil 5.40).



Şekil 5.40 Ek halatların semerin üst kısmına soket ve diyaframların yardımı ile ankraji.

Asma köprülerde bulunan semerler uzun yıllar boyunca çelik dökümler olarak yapılmıştır, fakat, son zamanlarda yapılan bir semerin ana kısmı, levhaların kaynaklanmasıyla kurulmuştur. Şekil 5.41 tipik bir asma köprü semerini gösterir.

Burada, elik döküm semer yivi, boyuna ve radyal levhalarla taban levhasına kaynaklanmıştır. Tamamlanmış köprülerde, kablo semeri kule üzerinde sabitleştirilmiştir, ancak yapım sırasında semer ile kule tepesi arasında boyuna yerdeğişmeler gerekebilir. Bu özellikle, büyük eğilme rijitliğine sahip kuleleri olan köprülerde geçerlidir.



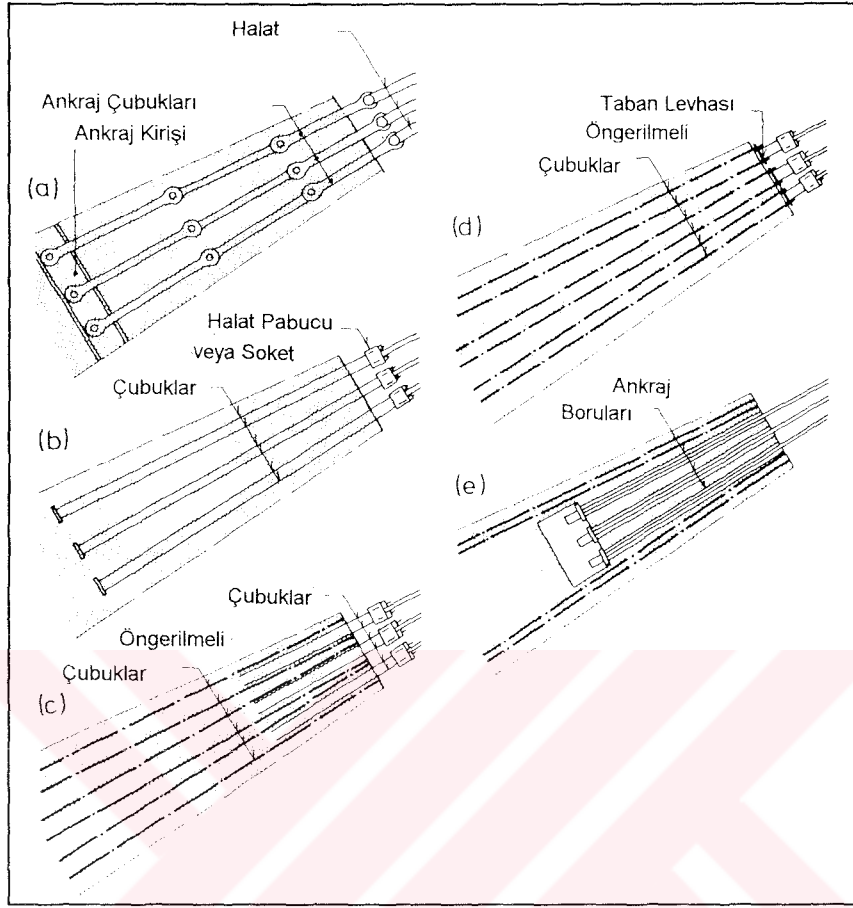
şekil 5.41 Asma köprülerde kullanılan semer tipi.

5.7 KABLO İLE ANKRAJ BLOğUNUN BİRLEşİMİ

Toprağa ankrajlı kablo sistemlerine sahip köprülerde, ana kaplodaki toplam kuvvet ankraj blokları tarafından toprağa aktarılır. Kuvvetlerin kablolardan ankraj bloklarına aktarılması, herbir halatın tek tek beton bloğa ankrajı ile gerçekleşir. Böylece, kablo daha önce şekil 5.14' de gösterildiği gibi meyilli semer kullanılarak halatlara ayrılmıştır.

Halatların yayılması ankraj bloğundaki kablo tesbit odalarında gerçekleşir, ve bu odanın en ucunda halatlar, soketler veya pabuçlar yardımı ile ankre edilirler. Halat soketlerindeki kuvvetler, betona gömülü elik çubuklara oradan da ankraj bloğuna aktarılırlar.

şekil 5.42' de halat kuvvetlerinin ankraj bloğuna aktarılmasında kullanılan çözümler görülüyor.



Şekil 5.42 Halat kuvvetlerinin ankraj bloğuna aktarımını sağlayan çözümler.

(a)'daki çözüm bu yüzyılın ilk yarısında Amerika'da yapılan asma köprülerde kullanılanıdır. Burada, halat kuvvetleri, ucu delikli çubuklar zinciri ile ankraj bloğunun arkasındaki ankraj kirişine aktarılmıştır. Herbir çubuğun uzunluğu ve buna bağlı olarak dizi sayısı, çubukların kesildiği çelik levhanın büyüklüğüne veya ulaşım ile inşaatın getireceği kısıtlamalara bağlı olarak hesaplanmıştır.

Halat kuvvetlerinin delikli çubuklarla aktarılmasında şekil 5.1' deki gibi halat pabuçları kullanılmıştır. Bunlar uzunluk ayarına izin vermemelerinden dolayı, bazı çubuklara uzatılmış delikler açılmış ve bunlarla gerekli ayarlar yapılmıştır.

Halat kuvvetleri, delikli çubukların yerine, ucundan vidalanmış çubuklarla da aktarılabilir. Bu yöntemle, pabuçlar ile vidalı çubuklar arasında uzunluk ayarlamaları da yapılabilir (Şekil 5.42(b)). Çözüm (b)'nin aplikasyonunu sınırlayıcı neden ise çubukların boyunun uzun ve de ağır olmasından dolayı meydana gelecek inşaat problemleridir.

Öngerilme tekniklerinin betonarme yapılarda kullanımına başlanmasından sonra, halat kuvvetlerini beton ankraj bloğuna aktarmak için son-gerilmeli çubukların veya kabloların kullanılmasında avantaj görülmüştür. Şekil 5.42(c)' deki çözüm halat pabuçlarının veya soketlerinin, nispeten daha kısa, betona gömülü çubuklarla birleşmesiyle mümkündür. Burada, çubuklar betona, ancak bağlantının kaldırabileceği miktarda kuvvet aktarımına izin verecek şekilde gömülürler. Geriye kalan kuvvetlerin aktarımı için ise öngerilmeli çubuklar kullanılır.

Halat kuvvetlerinin öngerilmeli çubuklara aktarımı, betonun dış yüzeyinde, dişli çubukların taban levhasından geçirilerek öngerilmeli çubuklara bağlanmasıyla gerçekleştirilebilir (Şekil 5.42(d)). Bu çözüm Severn Köprüsünde uygulanmıştır (Şekil 5.43).

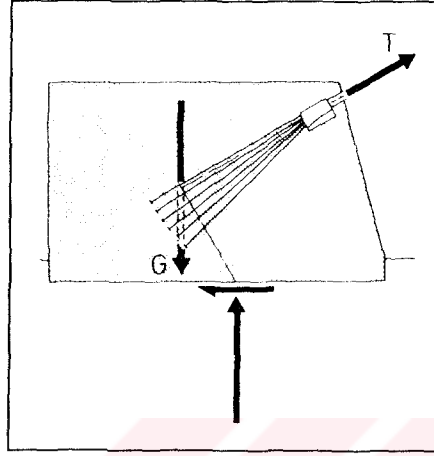


Şekil 5.43 Severn Köprüsünde halat kuvvetlerinin öngerilmeli çubuklar ile aktarımı.

Ana kabloları paralel-tel metoduyla inşa edilmiş köprülerde 5.42(e)' deki çözüm uygulanabilir. Burada halatlar sıradan soketlerle donatılmış ve de ankraj tüplerinden çekilerek betonun içerisine ankrajlanmıştır. Yine, daha önce anlatıldığı gibi geri kalan kuvvetler öngerilimli çubuklarla aktarılmıştır.

Kablo kuvvetleri ankraj bloklarına aktarıldıktan sonra bu kuvvetlerin toprağa verilmesinde yerel durumların etkisi ortaya çıkar.

Ankraj blokları içerisinde en yaygın olanı 5.44' de gösterilen Ağırlık (Gravity) Tipi olanlardır. Bu tip ankraj bloklarında, kablo kuvvetinin düşey bileşkesini mukabele etmek ve de temel düzeyinde yeterli basınç sağlayıp yatay kablo bileşkesinin aktarımını sağlamak amacıyla çok büyük zati yüke ihtiyaç vardır.

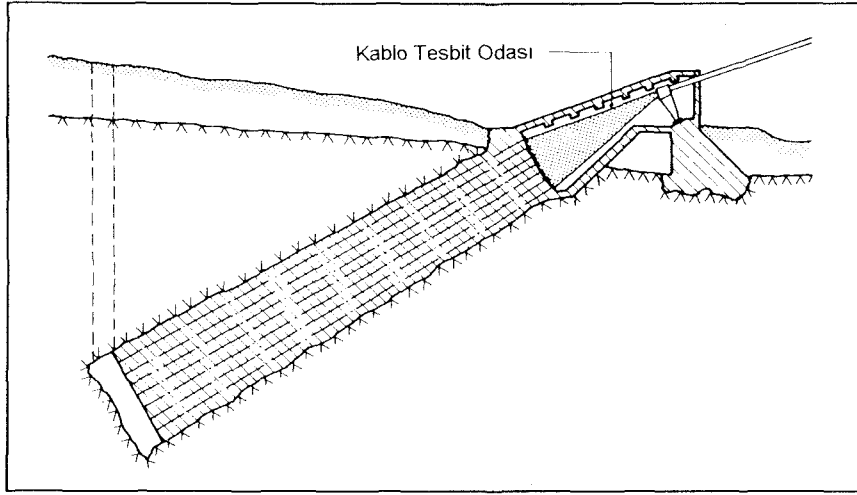


Şekil 5.44 Ağırlık tipi ankraj bloğu

Büyük asma köprülerde ankraj blokları çok büyük boyutlarda olur, ve tüm uğraş onların görünüşünü güzelleştirmek için mimari yönden olur. Örneğin, Verrazano Narrows köprüsü, maksimum 1120 MN ' luk bir kablo kuvvetine sahiptir ve bunun için uzunluğu 105 m., genişliği 49 m. ve görölür yüksekliği 50 m. civarında olan bir ankraj bloğuna gerek duyulmuştur.

Fatih Sultan Mehmet Köprüsünde ise kablolardan gelen yükleri kaya zemine aktaran, planda 50 m. x 60 m., derinlikte ise 35 m. olan ankraj blokları kullanılmıştır.

Ankrajın yapılacağı yerde sağlam kayaların bulunması her zaman avantaj sağlar. Bu gibi durumlarda ankrajlar kayanın içine gömülür ve böylece ağırlık bloklarına gerek kalmaz.



Şekil 5.45 Firth of Fourth Köprüsünün ana kablo ankraji.

Şekil 5.45' de Firth of Fourth Köprüsünün ankrajlarından biri gösterilmiştir. Bura ankraj, kayalara, oyularak ve daha sonra da beton doldurularak sağlanmıştır. Halat kuvvetleri ise, 5.42(d)' deki şekilde görüldüğü gibi, öngerilmeli, uzunlamasına çubuklarla beton bloğuna aktarılmıştır. Bu ankrajla aktarılan kablo kuvveti 276 MN 'dur.

Sonuç olarak betonarme bloğun boyutları,

- kablo kuvvetlerinin büyüklüğüne,
- sert zeminin kayma mukavemetine,
- ve beton ile zemin arasındaki sürtünmeye bağlıdır.

KAYNAKLAR

CELASUN Hüseyin : Asma Köprüler ,İ.D.M.M. Akademisi Yayın Müdürlüğü
Basımevi, 1981 İSTANBUL

M.S. Troitsky : Cable-Stayed Bridges, Van Nostrand Reinhold
Company, 1988 İNGİLTERE

NIELS J. Gimsing : Cable Supported Bridges, John Wiley and Sons, 1983
NORVEÇ