

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KABLO ASKILI STADYUM KONSOL ÇATISININ  
TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Turgay YILDIZ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapı Mühendisliği Programı**

**MAYIS 2012**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KABLO ASKILI STADYUM KONSOL ÇATISININ  
TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Turgay YILDIZ  
(501081076)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapı Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Filiz PİROĞLU**

**MAYIS 2012**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501081076 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Turgay YILDIZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**KABLO ASKILI STADYUM KONSOL ÇATISININ TASARIMI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Doç. Dr. Filiz PİROĞLU** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Yrd. Doç. Dr. Barlas Özden ÇAĞLAYAN**.....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Yrd. Doç. Dr. Nilgün AKTAN** .....  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :** **4 Mayıs 2012**  
**Savunma Tarihi :** **21 Haziran 2012**



*Eşim ve Taha bebeğe,*





## ÖNSÖZ

Çelik yapılar ülkemizde son yıllarda ve özellikle 1999 depremlerinden sonra yaygınlaşmakta ve farklı uygulama alanları bulmaktadır. Depremler sonrasında ortaya çıkan yapı malzemelerini çeşitlendirme amacındaki yeni arayışlar yanında projelendirme hizmetlerindeki, imalat ve uygulama çalışmalarındaki gelişmeler sebebiyle de yapı çeliğinin malzeme olarak tercih edilebilirliği artmaktadır. Çelik yapıların tasarım ve uygulamaları hakkında sözü edilen değişime paralel olarak, gerek inşaat mühendisliği, gerekse mimarlık ile ilgili akademik çalışmalar, makaleler, kitaplar ve kongre, sempozyum gibi bilimsel toplantılar kapsamında süren tartışmalar ülkemiz mühendislik çalışmaları içerisinde önem ve ağırlık kazanmaktadır.

Türkiyeli mühendislerin yurtdışı faaliyetleri, büyük ölçekli uluslararası projeler, bazı yazılım programlarının kullanımının yaygınlaşması, inşaat mühendisliğinin pek çok alanında olduğu gibi çelik yapıların tasarımı konusunda da tercih edilen çeşitli tasarım yöntemi veya normlarına göre karşılaşılan sonuçların sunduğu farklılıklar, bu farklılıkların ortaya çıkardığı sakıncalar önemli tartışma başlıklarından bazılarını oluşturmaktadır.

Bu tartışmalar, çalışmamızda sınırlı bir yönüyle, çelik yapı tasarımı açısından ele alınmış, Türk Deprem Yönetmeliğinin (TDY-2007) ve kapsamındaki TS648 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları ile Amerikan Çelik Binalar için Tasarım ve İnşaat Yönetmeliğinin (ANSI-AISC 360-10 Specification for Structural Steel Buildings) kapsamı olan ASD-Allowable Stress Design (Güvenlik Gerilmeleri ile Tasarım) ve LRFD-Load and Resistance Factor Design (Yük ve Dayanım Katsayılarıyla Tasarım) felsefelerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Yapısal çözümleme de büyük faydalar sağladığına inandığım bu tez çalışmasının bundan sonraki meslek hayatımda farklı standart, yönetmelik ve analiz yazılımlarını kullanmamda, araştırarak öğrenmemde ve mesleki gelişmeleri takip etmemde öncü olacağını düşünüyorum.

Her mühendislik dalı gibi inşaat mühendisliğinin de teknolojiyle birlikte gelişeceği ve her geçen gün daha ileri seviyeye ulaşacağı bilinmektedir. Meslek hayatımızda bize düşen en büyük görev bu ilerlemenin gerisinde kalmamaktır.

Yüksek lisans tez çalışmalarım boyunca, engin bilgi ve deneyimleri ile değerli fikirlerini, sabırlı davranışını kısıtlı vakitlerinde esirgemeyen bana yol gösteren değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Filiz Piroğlu'na ve üzerimde emeği olan tüm öğretim üyelerine teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

Ayrıca öğrenim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen sevgili aileme de teşekkür ederim.

Mayıs 2012

Turgay YILDIZ  
İnşaat Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SEMBOL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY .....	xxi
<b>1. ÇEKMEYE ÇALIŞAN TAŞIYICI SİSTEMLER .....</b>	<b>1</b>
1.1 Tarihsel Gelişim .....	1
<b>2. KABLO SİSTEMLER.....</b>	<b>7</b>
2.1 Giriş.....	7
2.2 Kablo Sistemlerin Tanımı .....	11
2.3 Kablo Sistemlerin Yapım Elemanları .....	13
2.3.1 Kablolar.....	13
2.3.1.1 Kablo türleri .....	14
Normal tel grupları.....	14
Kapalı tel grupları .....	15
Paralel tel grupları.....	17
Çelik halatlar .....	17
2.3.1.2 Kablolarda paslanmaya karşı önlemler .....	18
2.3.2 Düğüm noktaları .....	19
2.3.3 Asılma noktaları.....	21
2.3.4 Kablo uçlarının bitiş olanakları.....	22
2.3.5 Ağ gözleri.....	23
2.3.6 Ağ kenarları.....	23
2.3.7 Destek elemanları.....	24
2.3.7.1 Pilon, kolon, dikme .....	24
2.3.7.2 Basınç kemerleri .....	25
2.3.7.3 Basınç ve çekme çemberleri.....	25
2.3.7.4 Kenar kabloları.....	25
2.3.7.5 Betonarme perde duvarlar .....	25
2.3.7.6 Betonarme\çelik çerçeve ve makaslar .....	25
2.3.7.7 Destek elemanlarının kombinasyonu .....	25
2.3.8 Ankraj elemanları.....	26
2.4 Taşıyıcı Sistem İlkeleri Açısından Kablo Sistemler.....	27
2.4.1 Tek kablo sistemler .....	28
2.4.1.1 İp eğrileri.....	28
2.4.1.2 Optimum sarkma.....	31
2.4.1.3 Çekmeye çalışan malzemelerin teknik özellikleri.....	31
2.4.1.4 Kablolarda kesit tayini .....	33
2.4.1.5 Kablo sistemlerde mesnetlenme olasılıkları .....	33

<b>3. YAPININ TANITILMASI .....</b>	<b>35</b>
3.1 Çatı Genel Özellikleri .....	35
3.2 Tasarım Parametreleri .....	38
3.2.1 Malzeme .....	38
3.2.1.1 Beton (TS500-2000).....	38
3.2.1.2 Donatı (TS708).....	38
3.2.1.3 Yapı çeliği (TS648 ve TS-EN 10025).....	38
3.2.1.4 Birleşim elemanları (TS648).....	39
3.3 Yapıya Etkiyen Karakteristik Yükler .....	40
3.3.1 Kalıcı (sabit, zati, öz, ölü) yükler (D-Sd).....	40
3.3.2 Hareketli yükler.....	41
3.3.2.1 İnsan ve servis yükleri (L-Lr).....	41
3.3.2.2 Kar yükü (S).....	41
3.3.3 Yatay yükler .....	42
3.3.3.1 Deprem yükü (E).....	42
3.3.3.2 Rüzgar yükü (W).....	49
3.3.4 Diğer yüklemeler.....	53
3.3.4.1 Sıcaklık yüklemesi (T).....	53
3.4 Yükleme Kombinasyonları.....	53
3.5 Ullevi Stadyumu Taşıyıcı Sistemi .....	55
3.5.1 Üst yapı .....	55
3.5.2 Kablo sistemi.....	59
3.5.3 Betonarme kısım .....	59
3.5.3.1 Pilon .....	63
3.5.3.2 Kolon ve kirişler.....	63
<b>4. ANALİZ VE TASARIM UYGULAMALARI.....</b>	<b>65</b>
4.1 Analiz Uygulamaları .....	65
4.1.1 Final durum analizi.....	65
4.1.2 İnşaat aşamaları analizi .....	65
4.1.3 Rüzgar analizi.....	65
4.1.4 Deprem analizi .....	66
4.2 Tasarım Uygulamaları .....	71
4.2.1 Tasarım felsefeleri.....	71
4.2.1.1 Yapısal güvenlik için genel tasarım denklemi .....	71
4.2.1.2 Yapısal güvenliğin probabilistik değerlendirilmesi .....	72
4.2.1.3 ASD ve LRFD tasarım felsefelerinin karşılaştırılması .....	73
4.2.2 Sistemin düşey yükler altında (sabit, servis, hareketli yükler) tasarımı....	75
4.2.2.1 İkincil çatı kirişlerinin tasarımı .....	75
4.2.2.2 Çatı konsol kirişlerinin tasarımı .....	84
4.2.2.3 Kablo tasarımı .....	86
4.2.3 Sistemin yatay yükler altında (deprem ve rüzgar yükleri) tasarımı .....	89
4.2.3.1 Çatı konsol kirişlerinin tasarımı .....	89
4.2.3.2 Çatı düzlemi rijitlik elemanlarının tasarımı .....	90
4.2.3.3 Kablo tasarımı .....	92
4.2.3.4 Pilon tasarımı.....	93
4.2.3.5 Betonarme kesitlerde tasarım .....	93
<b>5. SONUÇLAR .....</b>	<b>95</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>99</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>101</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>115</b>

## KISALTMALAR

<b>AISC</b>	: American Institute of Steel Construction
<b>ANSI</b>	: American National Standards Institute
<b>LRFD</b>	: Load and Resistance Factor Design (Yük ve Dayanım Katsayılarıyla Tasarım)
<b>ASD</b>	: Allowable Strength Design (Güvenlik Gerilmeleri ile Tasarım)
<b>ANSI-AISC 341-10</b>	: Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (Çelik Binalar İçin Depreme Dayanıklı Tasarım ve İnşaat Yönetmeliği)
<b>ANSI-AISC 358-10</b>	: Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications (Süneklik Düzeyi Orta ve Yüksek Çelik Moment Aktaran Çerçeveler İçin Onaylanmış Birleşimlerinin Tasarımı)
<b>ANSI-AISC 360-10</b>	: Specification for Structural Steel Buildings (Çelik Binalar İçin Tasarım ve İnşaat Yönetmeliği)
<b>DBYBHY</b>	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
<b>TDY</b>	: Türk Deprem Yönetmeliği
<b>TS</b>	: Türk Standartları
<b>TS 648</b>	: Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
<b>TS 498</b>	: Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
<b>TS500</b>	: Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
<b>St</b>	: Steel
<b>Fe</b>	: Çelik
<b>SAP</b>	: Structural Analysis Program



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1:</b> Bazı kablo türlerinin elastisite modülleri .....	18
<b>Çizelge 2.2:</b> Bazı yapı malzemelerinin kopma uzunlukları.....	33
<b>Çizelge 3.1:</b> Analiz için kullanılan beton malzemelerinin özellikleri .....	38
<b>Çizelge 3.2:</b> Analiz için kullanılan donatı malzemesinin özellikleri.....	38
<b>Çizelge 3.3:</b> Analiz için kullanılan yapı çeliği malzemelerinin özellikleri .....	39
<b>Çizelge 3.4:</b> Türkiye'de yerel zemin sınıfı Z3 olan bölgelerde kullanılabilir deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları ( $\alpha_{st}$ ) [13].....	46
<b>Çizelge 3.5:</b> Elastik Spektral İvme Ölçekleme Katsayısı ( $\alpha_{AT}$ )'nin hesaplanması ...	48
<b>Çizelge 3.6:</b> TS 498-1997, Çizelge 5 (tüm Türkiye için) .....	50
<b>Çizelge 3.7:</b> Stadyum üst yapısı kullanılan çelik elemanlar .....	56
<b>Çizelge 3.8:</b> Stadyum betonarme kısım kullanılan çelik elemanlar .....	59
<b>Çizelge 4.1:</b> Her mod şeklinin kütle katılımına etkisi .....	68
<b>Çizelge 4.2:</b> Seçilen depremlere ait x-y doğrultuları taban kesme kuvvetleri.....	70
<b>Çizelge 4.3:</b> Güvenlik İndeksi, $\beta$ değerleri .....	74
<b>Çizelge 4.4:</b> AISC-ASD yönetmeliğine göre kesitlerin sınıflandırılmasında basınç elemanları için genişlik-kalınlık oran sınırları .....	77
<b>Çizelge 4.5:</b> AISC - LRFD yönetmeliğine göre eğilmeye maruz kesitlerin sınıflandırılmasında basınç elemanları için genişlik-kalınlık oran sınırları .....	79
<b>Çizelge 4.6:</b> TDY-2007 yönetmeliğine göre özel sismik şartlar uygulandığında kesitlerin sınıflandırılmasında basınç elemanları için genişlik-kalınlık oran sınırları .....	80
<b>Çizelge 4.7:</b> Düşey yükler altında ikincil çatı kiriş kapasiteleri .....	81
<b>Çizelge 4.8:</b> Düşey yükler altında konsol kiriş kapasiteleri .....	85
<b>Çizelge 4.9:</b> Düşey yükler altında oluşan kablo çekme kuvvetleri.....	88
<b>Çizelge 4.10:</b> Düşey-yatay yükler altında konsol kiriş kapasiteleri .....	89
<b>Çizelge 4.11:</b> Düşey-yatay yükler altında konsol ucu bağlantı kiriş kapasiteleri.....	90
<b>Çizelge 4.12:</b> Düşey-yatay yükler altında çatı rijitlik eleman kapasiteleri.....	91
<b>Çizelge 4.13:</b> Düşey-yatay yükler altında oluşan kablo çekme kuvvetleri.....	92





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1 : Basınç veya çekmeye çalışan taşıyıcı sistemlerin öncü örnekleri: (a)Gize piramitleri. (b)Konik bir çadır.....	1
Şekil 1.2 : Membranla örtülü bir roma amfi tiyatrosu [1]. .....	3
Şekil 2.1 : İlkel bir kablolu yapı [2].....	7
Şekil 2.2 : Chunju Jeonju stadyumu, Güney Kore. ....	9
Şekil 2.3 : Mbombela Stadyumu, Nelspruit, Güney Afrika. ....	9
Şekil 2.4 : Huanglong Spor Merkezi, Çin. ....	10
Şekil 2.5 : Malabo Stadyumu, Ekvator Ginesi. ....	10
Şekil 2.6 : Eksenel çekme kuvveti altında kablo geometrisinin değişimi [2].....	12
Şekil 2.7 : Kablo bağlantı şekilleri: (a)Harp, (b)Fan, (c)Radial. ....	12
Şekil 2.8 : TS 1918’de gösterilen bazı çelik kablo demet örnekleri.....	15
Şekil 2.9 : Tel grupları: (a) Tam kapalı tel grubu. (b)Yarı kapalı tel grubu.....	16
Şekil 2.10 : Sol ve sağ sarmallı çelik halatlar.....	17
Şekil 2.11 : TS 1918 çelik halat çapının ölçülmesi. ....	18
Şekil 2.12 : Kablo sistemlerde düğüm noktaları çözüm örnekleri.....	21
Şekil 2.13 : Asılma noktaları için çözümler ve uygulama örnekleri. ....	22
Şekil 2.14 : Kablo uçlarının bitiş örnekleri.....	23
Şekil 2.15 : Kablolu yapılarda çeşitli pylon tipleri [4]. ....	25
Şekil 2.16 : Çekmeye çalışan sistemlerde bazı destek elemanı örnekleri [1].....	26
Şekil 2.17 : Hafif yapılarda ankrajlar: (a)Genel ilkeler ve yapım olanakları. (b)Blok temeller ağırlık temelleri. (c)Hafif temeller-ankraj temelleri.....	27
Şekil 2.18 : Kablolarda eksenel yüke bağlı gerilme ve sehim değişimi [2]. ....	30
Şekil 2.19 : Kabloların mesnetlere bağlanma olasılıkları.....	34
Şekil 3.1 : Ullevi stadyumu (İsveç-Göteborg).....	35
Şekil 3.2 : Ullevi stadyumu en kesit görünüşü. ....	36
Şekil 3.3 : Kablo askıların teşkili.....	37
Şekil 3.4 : Asma çatı birleşim detayı.....	37
Şekil 3.5 : Tribün detayı. ....	40
Şekil 3.6 : Kar yoğunlukları.....	41
Şekil 3.7 : DBYBHY (2007)’de yerel zemin sınıfı Z3 olan elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş deprem kayıtlarının uyumu [13]. ....	45
Şekil 3.8 : Türkiye Deprem Yönetmeliği (2007) elastik tasarım ivme spektrumlarının 4 farklı deprem bölgesi ve değişik yerel zemin sınıfları için gösterimi. ...	47
Şekil 3.9 : Rüzgar yükü. ....	49
Şekil 3.10 : Dört tarafı kapalı yapılara rüzgar etkimesi durumu [12].....	50
Şekil 3.11 : Bir tarafı açık veya açılabilen yapılara rüzgar etkimesi durumu [12]....	51
Şekil 3.12 : Kar yükü ve rüzgar yükünün aynı anda etkimesi [12]. ....	52
Şekil 3.13 : Sistem matematiksel modelinin izometrik görünüşü. ....	56
Şekil 3.14 : Ullevi stadyumu üst yapı çelik kısım eleman numaralandırma. ....	57
Şekil 3.15 : Ullevi stadyumu üst yapı çelik kısım eleman yerleşimi.....	58
Şekil 3.16 : Çelik halatın yapısı.....	59

Şekil 3.17 : Stadyum radial (değiştirilmiş fan) kablo yerleşimi ve numaraları. ....	60
Şekil 3.18 : Ullevi stadyumu betonarme kısım eleman numaralandırma. ....	61
Şekil 3.19 : Ullevi stadyumu betonarme kısım eleman yerleşimi. ....	62
Şekil 4.1 : Stadyum 1.(0.973sn) ve 2.(0.966sn) mod şekilleri.....	67
Şekil 4.2 : Stadyum 3.(0.806sn) ve 4.(0.739sn) mod şekilleri.....	67
Şekil 4.3 : Stadyum 5.(0.678sn) ve 6.(0.676sn) mod şekilleri.....	67
Şekil 4.4 : Stadyum 7.(0.567sn) ve 8.(0.562sn) mod şekilleri.....	67
Şekil 4.5 : Yük etkisi ve kapasitenin frekans dağılımları [20].....	72
Şekil 4.6 : LRFD ve ASD tasarım felsefelerinin karşılaştırılması [19]. ....	73
Şekil 4.7 : Seçilen aşık kiriş elemanı HE240A için kesit özellikleri. ....	75
Şekil 4.8 : Kesit geometrisinin ASD ve LRFD yönetmeliklerine göre tanımı. ....	76
Şekil 4.9 : AISC-ASD ve LRFD yönetmeliklerine göre profil eksenlerinin tanımı..	76
Şekil 4.10 : Seçilen konsol kiriş elemanı HE800B için kesit özellikleri. ....	84
Şekil 4.11 : Konsol ucu bağlantı kiriş elemanı HE600B için kesit özellikleri. ....	85
Şekil 4.12 : Seçilen rijitlik elemanı D500-t20 için kesit özellikleri.....	90
Şekil 4.13 : Ullevi stadyumu betonarme kısım elemanları kapasite durumları. ....	94
Şekil A.1 : Kablo askılı yaya köprüsü. Casalecchio direno (Bologna), İtalya [27].	102
Şekil A.2 : Yaya köprüsü Parque de Alzamora, Zaragoza, İspanya [27]. ....	103
Şekil A.3 : Hafif raylı tren köprüsü, Kudüs, İsrail [27]. ....	104
Şekil A.4 : Adige kablo askılı köprü, Lavis (Trento), İtalya [27].....	105
Şekil A.5 : Yaya köprüsü A13 otoyolu, Bologna, İtalya [27]. ....	106
Şekil A.6 : Zuid üzeri üst geçit, Willemsvaart, Belçika [27].....	107
Şekil A.7 : Fabian Wav kablo askılı köprü, Swansea, İngiltere [27].....	108
Şekil A.8 : Membran iskele Ichnusa, Cagliari, İtalya [27]. ....	109
Şekil A.9 : Kablo askılı yaya köprüsü, Pire, Yunanistan [27]. ....	110
Şekil A.10 : Villanova d'albenqa Köprüsü (Savona), İtalya [27]. ....	111
Şekil A.11 : Genova fuar çatısı, İtalya [27]. ....	112
Şekil A.12 : Oggiono (LC), Yüzme havuzu çatısı, İtalya [27]. ....	113
Şekil A.13 : Nanjing, Jiangsu Province Tren İstasyonu, Çin. [27].....	113
Şekil A.14 : Lommel Velodrome, Belçika [27]. ....	114

## SEMBOL LİSTESİ

<b>T</b>	: Tel adedi
<b>n</b>	: Sıralı tel grubu sayısı
<b>L</b>	: Açıklık
<b>f</b>	: Sarkma oku
<b>H<sub>x</sub></b>	: Tepki kuvveti düşey bileşen
<b>H<sub>y</sub></b>	: Tepki kuvveti yatay bileşen
<b>E<sub>mod</sub></b>	: Eşdeğer kablo elastisite modülü
<b>E</b>	: Kablo elastisite modülü
<b>E<sub>c</sub></b>	: Betonarme malzeme elastisite modülü
<b>E<sub>s</sub></b>	: Çelik malzeme elastisite modülü
<b>W<sub>k</sub></b>	: Kablo ağırlığı
<b>A</b>	: Kablo en kesit alanı
<b>A<sub>t</sub></b>	: Kablo faydalı en kesit alanı
<b>α</b>	: Kablonun yatayla yaptığı açı
<b>H</b>	: Kablo kuvvetinin yatay bileşeni
<b>δ</b>	: Kablo özgül ağırlık
<b>σ</b>	: Kısa süreli mukavemet
<b>F<sub>ck</sub></b>	: Beton karakteristik basınç mukavemeti
<b>F<sub>yk</sub></b>	: Donatı karakteristik akma mukavemeti
<b>σ<sub>u</sub></b>	: Yapı çeliği kopma gerilmesi
<b>σ<sub>a</sub></b>	: Yapı çeliği akma gerilmesi
<b>σ<sub>em</sub></b>	: Yapı çeliği emniyet gerilmesi
<b>τ<sub>em</sub></b>	: Yapı çeliği emniyetli kayma gerilmesi
<b>q</b>	: Yüzeğe yayılı rüzgar basıncı
<b>cp</b>	: Yapı yüzeyinin konumuna bağlı katsayı
<b>V</b>	: Rüzgar hızı
<b>w</b>	: Eşdeğer statik basınç veya emme
<b>D</b>	: Sabit yük
<b>L<sub>r</sub></b>	: Çatı hareketli yükü
<b>S</b>	: Kar yükü
<b>R</b>	: Yağmur yükü
<b>W</b>	: Rüzgar yükü
<b>E</b>	: Deprem Yükleme
<b>R<sub>n</sub></b>	: Nominal mukavemet
<b>Q<sub>i</sub></b>	: Farklı yük etkileri
<b>γ<sub>i</sub></b>	: Yük arttırma faktörü
<b>Ω</b>	: Güvenlik katsayısı olup
<b>D</b>	: Boruların Dış Çapı
<b>F<sub>a</sub></b>	: Müsaade edilebilir eksenel gerilme
<b>F<sub>b</sub></b>	: Müsaade edilebilir eğilme gerilmesi
<b>G</b>	: Kayma modülü
<b>F<sub>v</sub></b>	: Müsaade edilebilir kayma gerilmesi

$F_y$	: Malzemenin akma gerilmesi
$K$	: Etkili boy çarpanı
$K_{33}, K_{22}$	: Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki etkili boy $K$ çarpanları
$J$	: Kesit için burulma sabiti
$L_b$	: Elemanın yanal mesnetlenmemiş boyu
$L_p$	: Tüm plastik kapasite için sınırlayıcı yanal mesnetlenmemiş boy
$M_{33}, M_{22}$	: Elemandaki kuvvetli ve zayıf yönlerde eğilme momentleri
$S$	: Kesit modülü (Mukavemet Momenti)
$S_{33}, S_{22}$	: Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki kesit modülleri
$Z$	: Plastik modül
$b_e$	: Etkili başlık genişliği
$b_f$	: Başlık genişliği
$D$	: Elemanın tüm yüksekliği
$f_a$	: Hem basınçta hem de çekmedeki eksenel gerilme
$f_b$	: Eğilmedeki normal gerilme
$f_{b33}, f_{b22}$	: Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki eğilmede normal gerilme
$f_v$	: Kayma gerilmesi
$f_{v2}, f_{v3}$	: Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki eğilmede kayma gerilmesi
$R$	: Atalet yarıçapı
$r_{33}, r_{22}$	: Kuvvetli ve zayıf yönlerdeki atalet yarıçapları
$T$	: Kalınlık
$t_f$	: Başlık kalınlığı
$t_w$	: Gövde kalınlığı
$\phi$	: Mukavemet azaltma faktörü
$\phi_b$	: Eğilme için mukavemet azaltma faktörü, 0.9
$\phi_c$	: Basınç için mukavemet azaltma faktörü, 0.85
$\phi_t$	: Çekme için mukavemet azaltma faktörü, 0.9
$\phi_v$	: Kayma için mukavemet azaltma faktörü, 0.9
$D_a$	: Akma gerilmesi arttırma katsayısı
$d_b$	: Kiriş enkesit yüksekliği
$d_c$	: Kolon enkesit yüksekliği
$M_d$	: Düşey ve deprem yüklerinin etkisi altında oluşan eğilme momenti
$M_p$	: Eğilme momenti kapasitesi
$N_d$	: Düşey ve deprem yükü etkisi altında hesaplanan eksenel kuvvet
$t$	: Kalınlık
$t_{bf}$	: Kiriş kesitinin başlık kalınlığı
$t_{cf}$	: Kolon kesitinin başlık kalınlığı
$t_w$	: Gövde kalınlığı
$V_d$	: Düşey ve deprem yüklerinin etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti
$V_p$	: Kesme kuvveti kapasitesi
$W_p$	: Plastik mukavemet momenti
$\Omega_o$	: Büyütme katsayısı
$\sigma_a$	: Yapı çeliğinin akma gerilmesi
$\sigma_{bem}$	: Narinliğe göre TS-648'e hesaplanan basınç emniyet gerilmesi
$\sigma_{em}$	: Emniyet gerilmesi

## KABLO ASKILI STADYUM KONSOL ÇATISININ TASARIMI

### ÖZET

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmanın konusu, dünya futbol şampiyonası için İsveç-Göteborg'ta 1957-1958 yılları arasında mimar F. Jaenecke & S. Samuelson ve mühendis Wermes Ingenjorsbyra & Svenska Industribyggen AB tarafından inşa edilen Ullevi Stadyumu Eğik Kablo Askılı Konsol Çatısının doğrusal olmayan analiz yöntemi ile düşey ve yatay yükler altında hesabının incelemesi, tasarımının günümüz Türk ve Amerikan yönetmeliklerine uygun yeniden yapılmasıdır.

Kablo askılı yapılar önemli yapılardır. Bu nedenle, kullanım ömürleri boyunca meydana gelebilecek çeşitli seviyelerdeki depremlere karşı yeterli performansı gösterebilecek ekonomik çözümler elde edilebilmesi için, bu tür yapıların tasarımlarında şekil değiştirme bazlı doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin uygulanması gereklidir.

Beş bölümden oluşan yüksek lisans tezinin birinci bölümünde çekmeye çalışan sistemlerin tarihi gelişimi hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca çekmeye çalışan taşıyıcı sistemlerin mühendislik ve mimarlıktaki önemine değinilmiştir.

İkinci bölümde, kablolu sistemlerin tarihi gelişimi hakkında bilgi verilmiş, kablolu sistemlerin tarihsel süreç içinde gelişimine katkıda bulunan faktörler sıralanmıştır. Yine bu bölümde kablolu yapıların temel özellikleri ve yapısal elemanları anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, kablolu konsol çatının tanıtılması, geometrik özellikleri, tasarım parametreleri kapsamında malzeme özellikleri, yapıya etkiyen karakteristik yükler, yükleme kombinasyonları ve taşıyıcı sistem elemanları hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölüm kablo askılı konsol çatının analiz ve tasarım uygulamalarına ayrılmıştır. Stadyum çatısının genel tasarım uygulaması ve deprem davranışının taşıyıcı kablo elemanlar, dolayısı ile konsol çatıya etkisi üzerine bilgiler verilmiştir.

Kablo askılı çatının taşıyıcı sisteminin tasarım aşamaları ve analizleri hakkında yapılan çalışmalar sunulmuştur. Bu kapsamda kablo, konsol çelik kiriş, çatı rijitlik elemanları, betonarme pylon, kolon, kiriş ve temele ait kesitlerin kontrolleri gösterilmiştir.

Son bölümde ise yapılan çalışmalar ve amacı değerlendirilmiş, yapının farklı tasarım felsefelerine göre boyutlandırılması ortaya çıkan farkların değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmanın sayısal sonuçları, eleman kapasiteleri Türk ve Amerikan yönetmeliklerince değerlendirilmesi halinde en az ekonomik tasarımın Türk yönetmeliklerince belirlendiği görülmektedir. Ayrıca Amerikan yönetmeliği kendi içinde değerlendirildiği zaman, LRFD tasarım yönteminin ASD'ye göre daha ekonomik tasarım ve rasyonel sonuçlar verdiği görülmüştür.



## **DESIGN OF CABLE STAYED STADIUM CONSOLE ROOF**

### **SUMMARY**

The subject of this work as a master degree thesis is reconfiguration (by using the recent Turkish and American regulations) of the design of the sloping cable suspended console roof of Ullevi Stadium which was built for the world soccer championship in Goteborg, Sweden in 1957-58 by architects F. Jaenecke & S. Samuelson and engineers Wermes Ingenjorsbyra & Svenska Industribyggen.

The first section of this five-sectioned thesis is about the historical development of the tension systems. Also mentioned the importance of tension construction systems for engineering and architecture.

In the second section, the history and development of the cabled systems is described, and the fundamental characteristics and structural components are explained for cabled structures.

The third section consists of the detailed information about cabled console roof, its geometrical characteristics, material characteristics in terms of design parameters, characteristics loads effecting structure, loading combinations and structural systems.

The fourth section consists of the cable suspended console analysis and design applications. In addition, it consists of general design application of the stadium roof, the effects of earthquake behavior over cable carrying components and console roof. Also, the design stages and analysis of the carrying system of the cable suspended roof are explained. Finally, cross section controls for cable, console steel beam, roof rigid components, reinforced concrete pile, column, beam and foundation are shown.

At the final stage analysis, the roof geometry is arranged by optimizing the cable forces of the completed roof.

Construction loads of each stage of the building is defined and analyzed. After last construction stage, the purpose of this analysis is to have a convenient geometry for roof superstructure and pile. According to this analysis, cable front stretch forces are calculated. Nonlinear behaviors of the cables are considered. In addition, time relative behaviors of the materials (such as stretching, shrinking and the change of elasticity module) are considered.

In this work, wind loading and analysis are realized with reference to İstanbul High Buildings Wind Regulations.

While handling the solution for the cable suspended roof under earthquake loads, first of all the natural vibration modes and periods of the system are calculated. Mode number is taken as mode 50, and the mass total ratio is defined as at least 90% horizontally in two directions and at least 90% of roof mass vertically. In vertical axis only the roof components join the movement so that the mass of piles is not included in vertical axis.

Natural vibration mod shapes and periods are determined by using self-value analysis. Natural vibration mods under system self-load are considered as a beginning condition. In order to get this result, system is analyzed under system self-loads with nonlinear calculation.

Considering the importance of cable suspended roof and its elastic structure, elastic behavior is provided for chosen earthquake data. Also, considering the possibility of earthquake during the construction of the roof, the analysis is done by using earthquake data with the most critical conditioned incomplete roof model. According to this analysis, after an earthquake occurring during the construction period, the roof damage is prevented by taking additional actions.

The method of ASD, LFRD and Plastic Design is informed and their comparisons are done.

After carrying out the vertical and horizontal calculations of the system, the capacities of the components are determined. Before calculating the capacity ratios of the axial and bending tensions, existing axial and bending tensions are calculated at each control point for each load combination. Then, the permissible tensions for these points are calculated. After that, dimensioning of each component for each control point and tension capacity ratios for each load combination are calculated. Along each control point, control capacity ratios based on related load combination are calculated. The values over than 1.0 mean that tension limits are exceeded. Component capacities are used while comprising the design regulations.

The solutions are done for cables under the vertical loads of the system, and cable cross section controls are done under obtained internal forces. Before doing all these analysis, fictive elasticity modules of nonlinear behavioral cables are found due to the axial pulling forces caused by cable shape modifications. In order to get this, two staged solution is done.

The analysis is done with selected starting cable cross sections, and by using cable geometry with the obtained cable pulling forces, fictive elasticity modules are calculated for each cable and cross section controls are done. At the second stage, cable pulling forces are re-calculated by using the cross sections and elasticity modules which are obtained at the first stage. This operation is done totally twice and consecutive approach is ended at the second step. Using the same method, two staged calculation is done to find the effect of axial load over cable force. At the first stage, axial pulling forces are found for selected cable cross sections, and at the second stage calculation, the obtained axial pulling forces are applied to the system as axial starting pulling, then, cables are checked with the second stage results.

Cables are the components which are only ment to pull. Therefore, they are checked with the biggest calculated pulling force. By dividing the breaking off values given by manufacturer into a safety coefficient, the safely carriable load is calculated.

A pre-tension can be applied to the cable with an amount of 10% to 50% of the safely carriable force of the cable. Thus, the slope of the pulling mented cable is overcome under vertical loads.

Cables are component which are joint at two ends and they only work for axial pulling force. They don't carry pressure force so that this information is considered in analysis. Especially under earthquake effects, cables start to press and become slack. Regarding structure stability, this is a problem to be solved.



After doing earthquake analysis, internal forces of the cables and existing cable cross sections are compared.

In earthquake cases, cable forces increase. However, it is calculated that new pulling forces for this case don't pass the level of safe carriable capacity.

In the result of analysis under vertical loads, internal forces inside pile cross sections are obtained. While checking the pile cross sections, axial force and slopped slopping position are considered. Also, cutting analysis are done for pile cross sections. The design of concrete pile cross sections are done with carrying force method under increased loads.

In the design of pile, first of all the twisting calculation is done. In case of which the tower is affected by vertical components of 90% of cable breaking off forces, it is determined that the tower is not twisted. After that, according to the most inconvenient effects obtained after all analysis, concrete calculations are done.

In concrete sections (for the components working for pressure) maximum equipment ratio is selected as 0.04. This value is 0.06 for the adding region. Minimum equipment ratio is taken as 0.01.

The design of concrete sections is based on TS500 and Turkish Earthquake Regulation, and the design work is handled by using Sap2000 v15.1 program package, then, component capacity ratios are calculated and listed.

In order to determine the concrete sections, optimum capacity ratios ( $0.7 < \text{capacity ratio} < 1.0$ ) are considered.

In the last section, the related works and the purpose are evaluated, and also there is an evaluation about the dimensioning differences in case of the different design philosophies of the same structure.



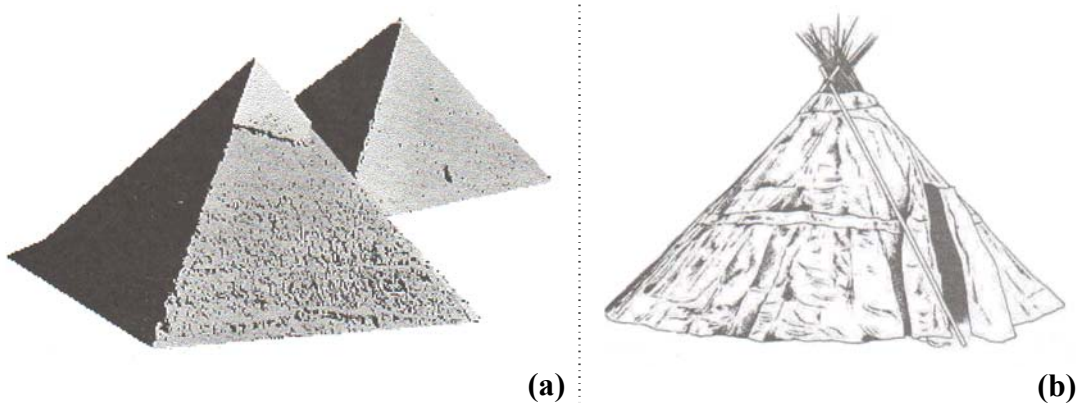
# 1. ÇEKMEYE ÇALIŞAN TAŞIYICI SİSTEMLER

## 1.1 Tarihsel Gelişim

İnsanlığın gelişim sürecinde, insanoğlunun doğa etkilerinden korunma çabası kadar, yerçekimini yenme, ona karşı koyma, direnme uğraşı da gözlenmektedir. İnsanın en doğal gereksinimlerinden olan barınma gereksinimi söz konusu olduğunda, basınca ve çekmeye çalışan taşıyıcı sistemlerin, bir içgüdü veya rastlantı sonucu da olsa, daha tarih başlarında, aynı zaman dilimlerinde uygulanmaya başlanmış olması, dünyanın farklı bölgelerinde yaşayanlar tarafından biliniyor olması ilginçtir. Tarihsel süreç içinde, taşıyıcı sistemlerin uzun bir zaman dilimine yayılarak yavaş geliştikleri, daha az malzeme kullanımına doğru iyileştirmelerin getirildiği görülmektedir [1].

Çekmeye çalışan taşıyıcı sistemlerin örnekleri olan çadır ve kablo sistemler, tarih öncesi devirlerde biliniyordu. Sarmaşık, asma ağacı gibi doğal malzemelerin bükülebilen kısımlarından yapılan halatlarla uçurum ve nehirlerin üzerinden geçiliyordu.

Basınç ve çekmeye çalışan taşıyıcı sistemler olarak antik çağdaki dünyanın yedi harikasından günümüze kadar ayakta kalabilen gize piramitleri ve ağaç dallarının üzeri önceleri hayvan postlarıyla örtülürken sonraları dokumalarla kaplanan çadırlar örnek verilebilir, (Şekil 1.1).



**Şekil 1.1 :** Basınç veya çekmeye çalışan taşıyıcı sistemlerin öncü örnekleri: (a)Gize piramitleri. (b)Konik bir çadır.

Ülkemizde kara çadırlar (kıl çadırlar), yüzyıllardır kara yün ya da kara kıldan dokunarak elde edilen yün çulların, direkler üzerine gerilmesiyle kurulurlar. Amaca göre 3 veya daha çok sayıda direk üzerine gerilen, tek veya çok bölümlü örnekleri bulunmaktadır [1].

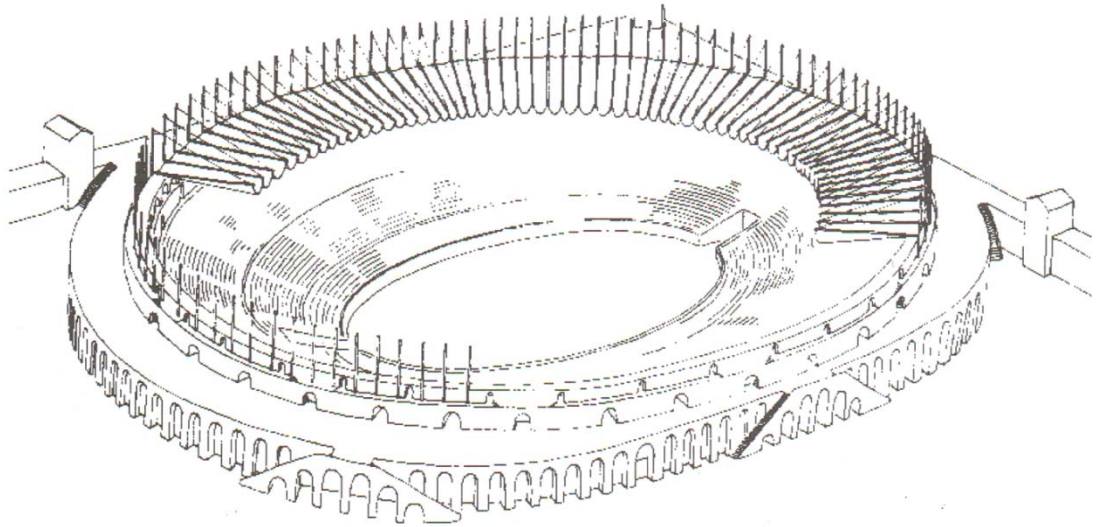
Çadırın tarihçesi paleolitik döneme, hatta daha öncesine kadar uzanmaktadır. Paleolitik döneme ait bir kalıntıda - buluntu yeri Sibiryaya - çadırlara rastlanmıştır. İ.Ö. 20000 yıllarında ağaç dallarından veya hayvan postlarından yararlanılarak çadırlar yapılmıştı. Yahudi ırkının Mısır'daki göçebe yaşantıları çadırlarda sürmüştür. Eski Mısırlılar eğlencelerinde ve toplantılarında çadırı, geçici mekânlar olarak değerlendirmişlerdi.

Daha sonraki dönemlerde çadırlar, askeri amaçlar, eğlence mekânları, sirkler, panayır ve pazar yerleri vb. gibi işlevlerde yaygın kullanım alanı bulabilmişlerdir. Yerleşik toplumlarda ise, daha çok basınca çalışan ve stabilitesini kütleleriyle sağlayan taşıyıcı sistemlerin uygulandığı bilinmektedir. Göçebeler, çadırlarıyla doğaya uymayı ilke edinirlerken, yerleşik toplumlar, adeta yerçekimini ret edercesine, doğa yasalarını alt edebileceklerini, bilgi ve beceri düzeylerinin ne denli ileri olduğunu yapılarında göstermek istemişlerdir. Ölümünden sonraki yaşamlarında sonsuzluğa ermek arzusunda olan Mısır Firavunlarının bugünün ölçüleri içinde dahi devasa kabul edilen piramitleri, bu düşüncenin önemli basamaklarından biri olarak örneklenebilir

İnsanların, bilgi ve teknik düzeyleri daha da ilerleyip, malzeme olanakları çeşitlendikçe, daima daha büyük alanları, arada mekânı bölücü, parçalayıcı yapı elemanları olmaksızın, serbestçe fakat bir önceki yapıdan daha az malzeme kullanarak örtme istemlerine paralel olarak, basınca çalışan taşıyıcı sistemler büyük bir gelişime/evrime uğramışlardır. Böylece en fazla malzeme gerektiren masif yığma taşıyıcı sistemlerden, daha büyük alanları daha az malzemeye örtmeye/geçmeye uygun taşıyıcı sistemlere ve/veya taşıyıcı sistem elemanlarına ulaşılmıştır. Örneğin, ahşap veya kâgir kiriş ve lentolardan kemerlere, dairesel kemerden parabolik ve gotik kemerlere, kemerlerin bir doğrultuda ötelenmesiyle elde edilen ve en kesitleri silindir geometrili olan tonozlara, haçvari tonoz, manastır tonozu, küresel kubbe, gotik (parabolik) kubbe vb. gibi eğri yüzeyli taşıyıcı sistemlere veya öğelere doğru izlenen gelişmeler kısaca hatırlanabilir. Sayılan bu örneklerin taşıyıcı sistemlerinde, statik çalışmalarını belirleyen gerilme türünün, basınç gerilmesi olduğu bilinmektedir. Bu taşıyıcı sistemler, yığma sistem olarak adlandırılırlar. Çekmeye

alışan taşıyıcı sistemlerde böyle bir gelişim 19. ve 20. yüzyıl başlarına kadar izlenmemiştir. Her ne kadar, ilkel bir çadırdan padişah otağına veya geniş alanı rtten bir sirk çadırına doğru bir gelişim varsa da, çadırların rüzgâr etkisi altında dengesiz, kontrol edilmesi zor olan titreşim eğiliminden ötürü, büyük ve serbest açıklıklı meknlerde ve yapılarda kullanılabilmesi uzun süre gecikmiş ve ancak 20. yüzyılda gerekleēebilmiřtir [1].

Çadırlar gibi, sadece çekmeye çalışan kablo sistemlerin mimarlık tarihi içinde yer alabilecek kadar önemli örnekleri, bir kaç istisna dışında, hemen hiç yok gibidir. Romalıların, arena ve tiyatro yapılarının üzerlerini halatların üzerine gerdikleri bezlerle rttikleri, o döneme ait yazılı ve Őekilli belgelerden anlaşılmaktadır. Örneğin, Roma'daki Kolloseum adıyla bilinen arenanın (yapım yılı İ.S. 70) zerinde, kenardaki direkler tarafından gerilen, çadır benzeri bir örtü bulunmaktaydı. 154 m x 186 m' lik elips alanlı bu yerde doğal malzemeli halatlar kullanılmıştı. Syraks ve Pompei kentlerinin tiyatro binalarının çatılarında da örtme görevi için halat ve bez kullanılmış olup yüzden fazla Roma arenası, tiyatro binaları ve amfi tiyatroların üzerinde buna benzer örtülerin olduğu söylenebilir (Şekil 1.2). Bu bilgiler o dönemlerde yapılmış olan resimler ve gravürlerden anlaşılmaktadır [1]. Kolloseum'un duvar üstlerinde direklerin tespit edildiği yerlerin izlerine rastlanmaktadır. İsa'dan sonraki ilk yüzyıl içinde yaygın olan bu uygulamanın neden bırakılmış olduğu bilinmemektedir.



**Şekil 1.2 :** Membranla rtl bir roma amfi tiyatrosu [1].

Bundan sonra doğal liflerden oluşan halatlarla, mimarlık ve mühendislik tarihi açısından önemsiz olan, küçük ölçekli bir takım asma köprülerin yapımları dışında, bu konudaki gelişimin uzun süre durmuş olduğu anlaşılmaktadır [1].

Çekmeye çalışan sistemlerin mühendislik ve mimarlıktaki bugünkü önemli yerlerini alabilmeleri:

- Yüksek dayanımlı/nitelikli çeliğin ve bunlardan yapılan kabloların imal edilip paslanmaya karşı korunabilmesi,
- Yüzeysel çalışan membran malzemelerin yapay veya mineral liflerden üretilmeye başlanması ve doğal ipliklerden örülen türlerin yapay malzemelerle kaplanarak daha dirençli duruma getirilmeleri,
- Bilgisayarların gelişimine paralel olarak hesaplama, biçimlendirme, membran kesimi yaklaşımlarında teknolojik ve kuramsal alt yapının gelişmesi,
- Frei Otto, P. Strohmeyer, W. Bird, Trostel, Lancaster gibi bu sistemleri kuram, üretim ve uygulama vb. gibi yönleriyle tüm dünyaya tanıtan, mühendis, mimar ve diğer yaratıcı kişilerin çabaları sonucunda gerçekleştirilmiştir.

Adı geçenlerden Rudolph Trostel, pnömatik sistemlerin hesap yöntemlerine esas olacak modelleri geliştirmiştir. Lancaster adlı bir mühendis, 1917 yıllarında, pnömatik ilkeler doğrultusunda, taşıyıcı sistemler yapılmasını yapılabileceğini öne sürmüştür [1].

Çekmeye çalışan taşıyıcı sistemlerin mühendislikteki önemi, genellikle sistemin hafifliğinden kaynaklanan özelliklerdir. Burkulma sorunu olmadığı için, alışılmış iskelet sistemlerle aşamayacak büyüklükte açıklıklar geçilebilmektedir. Böylece günümüzde ihtiyaç duyulan büyüklükte mekânların, aralarda düşey taşıyıcılar olmadan örtülebilmesi olanağı sağlanmaktadır. Taşıyıcı sistemin esasını oluşturan çatının hafifliği, bu çatının oturduğu duvar, kolon ve diğer tüm alt taşıyıcıların daha hafif olmasını, temellerin küçülmesini beraberinde getirmektedir. Çekmeye çalışan taşıyıcı sistemlerde malzeme; dayanabileceği son limite kadar yüklenebilir, yüklerin gerektirdiği kadar ince yapılabilir. Ayrıca özel bir üretim sürecinden geçen ve kablo sistemlerde kullanılan kabloların taşıma gücü, konvansiyonel çelik malzemedeki 5-10 kat daha fazladır. Bu sistemlerin olumsuz yanı olarak tasarım, hesaplama ve uygulama gibi tüm yapım sürecinde, uzman bir yaklaşım gerektirmesi söylenebilir. Çoğu kez standart detaylar yetersiz kalmakta, her noktanın özel olarak ele alınması,

Üretim in özel olarak yapılması gereği doğmaktadır. Montaj süreçleri de konvansiyonel strktrlerden farklı bir yaklaşım gerektirebilmektedir. Taşıyıcı sistem genellikle pylonlar ve üst örtü ile birlikte stabil olduğundan önce yerleştirilen mafsallı pylonların geçici olarak dengelenmeleri zorunluluğu çıkar. Hafif olmaları nedeniyle dinamik yüklere karşı daha hassastırlar [1].

ekmeye alışan taşıyıcı sistemleri Kablo Sistemler, Membran ve Pnömatik Sistemler olarak ayırabiliriz. Bu tezde Kablo Sistemler ele alınarak ayrıntılı incelenecektir.





## 2. KABLO SİSTEMLER

### 2.1 Giriş

Kablolu yapıların ilk uygulamaları, öncelikle taşıyıcı olan bir kirişin zincirler veya eğik elemanlar yardımıyla bir destek noktasına asılmasıyla oluşmuştur. Bu tip basit uygulama örnekleri ile günümüzde kırsal kesimdeki özellikle dere ve vadi geçişlerindeki köprülerde karşılaşılmaktadır. Ahşaptan yapılmış bir platformun, ipler veya teller yardımıyla yamaçlardaki kayalara veya önceden hazırlanan destek noktalarına bağlanması ile oluşturulan geçit, bir kablolu yapı olarak nitelendirilebilir ve günümüzdeki kablolu köprülerin ilkel bir uygulaması sayılabilir, (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : İlkel bir kablolu yapı [2].

Modern anlamdaki kablolu yapılar ilk olarak 19.yüzyıl başlarında tasarlanmış ve inşa edilmişlerdir. Günümüzde kablolu yapıların yapımı özellikle yüksek dayanımlı kabloların ve yapı elemanlarının imal edilebilmesi ile mümkün olmuş, teknolojinin ve özellikle malzeme bilimi ile bilgisayar teknolojisi alanlarındaki gelişmeler ile her geçen gün kablolu sistemlerin geçebildiği açıklıklar artmıştır ve artmaya devam etmektedir [2]. Kablolu sistemlerin tarihsel süreç içinde gelişimine katkıda bulunan faktörleri şu şekilde sıralayabiliriz.

Yapı analiz yöntemlerindeki gelişmeler;

Kablolu sistemler yüksek dereceden hiperstatik sistemlerdir ve özellikle kabloların kendi şekil değiştirmeleri nedeniyle doğrusal olmayan davranışa sahiptirler. Bu açılarından bakıldığında kablolu sistemlerin davranışının anlaşılması ve analizinin yapılması geleneksel yapı analizi yaklaşımlarından farklıdır. Özellikle kabloların doğrusal olmayan davranışı yeni analiz yöntemlerinin uygulama alanına girmektedir.

*Bilgisayarlı modelleme ve çözümleme yazılımlarındaki gelişmeler;*

Kablolu sistemlerin yüksek dereceden hiperstatik sistemler olması ve özellikle kabloların doğrusal olmayan davranışları, yapılacak analizlerde gelişmiş bilgisayar yazılımlarının kullanılmasını gerektirmektedir. Bu açıdan mühendislik yazılımlarındaki gelişmeler kablolu sistemlerin her geçen gün daha ekonomik olarak projelendirilmesi sağlamaktadırlar.

*Yüksek dayanımlı çelik ve beton teknolojisinin gelişmesi;*

Kablolu sistemlerin geçtiği açıklıkların artması malzeme kalitesinin (kablo, taşıyıcı eleman kesitlerinde kullanılan çelik ve beton ) artmasını zorunlu kılmaktadır. Yüksek dayanımlı çelik ve betonun uygulanması kablolu sistemlerin gelişimine önemli ölçüde ivme kazandırmıştır.

*Yapım teknolojilerindeki gelişmeler;*

Yapım teknolojilerinin ve inşaat makinelerinin gelişimi kablolu sistemlerin çok daha hızlı ve ekonomik olarak inşasına izin vermektedir.

*Zamanla kazanılan deneyim ve gözlemlerin artması;*

Yapılan her kablolu yapının ileride yapılacak yapılara önemli ölçüde bilgi aktarmaktadır. Mühendisler ve inşaat yapımcıları kazanılan bu deneyim sonucunda hem yapılan proje ve imalata güveni arttırmakta hem de gelecekte yapılacak kablolu yapılar için önemli ölçüde bilgi kaynağı oluşturmaktadır.

*Ölçeklendirilmiş model çalışmalarının (Özellikle rüzgar testleri) gelişmesi;*

19.yüzyıl ortalarında inşa edilen Takoma Narrows Asma Köprüsü'nün rüzgar etkisiyle yıkılmasından sonra, özellikle kablolu ve asma yapıların rüzgar etkileri altındaki davranışı önem kazanmış ve özellikle bu konuda laboratuvar çalışmaları başlatılmıştır.

Günümüzde estetik görünüşleri ile şehirler ve ülkeler için bir prestij yapısı olarak tercih edilen kablolu yapılar bütün dünya mühendislerinin ilgi alanı haline gelmiştir. Tezin konusu ile ilgili günümüz kablo askılı yapı örneklerinden bazıları Şekil 2.2, 2.3, 2.4, 2.5'te yer almaktadır. Daha fazla örnek Şekil A.1 – Şekil A.14 arası sıralı şekilde ekler kısmında yer almaktadır.



**Şekil 2.2 :** Chunju Jeonju stadyumu, Güney Kore.



**Şekil 2.3 :** Mbombela Stadyumu, Nelspruit, Güney Afrika.





Şekil 2.4 : Huanglong Spor Merkezi, Çin.



Suspension roof  
tensosturcture. Cable stay  
system OSS 14, 19, 24 and  
32 stainless steel.

Şekil 2.5 : Malabo Stadyumu, Ekvator Ginesi.

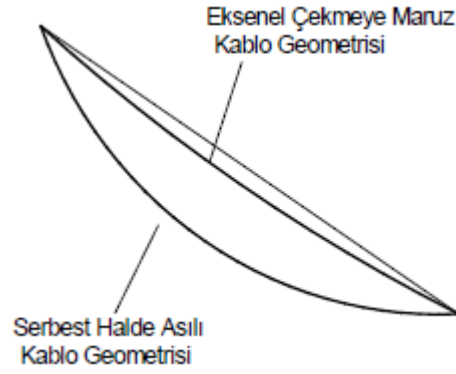
## 2.2 Kablo Sistemlerin Tanımı

Yapının ana yüklerinin, ankraj noktaları arasına gerilmiş çekme elemanları (kablo, halat, v.b.) tarafından taşındığı taşıyıcı sistemler, kablo sistemler olarak tanımlanmaktadır. Kablo sistemlerin ana taşıyıcı elemanları sadece çekme gerilmesiyle etkileneceği için bunların herhangi bir şekilde basınca da (ayni anda çekme ve basınca) dayanıklı olan malzemelerden olması gerekmez. Diğer taraftan hem basınç, hem de çekmeye dayanıklı yapı malzemeleri (örneğin çelik) kablo şeklinde esnek bir yapı elemanı olarak da, profil eleman şeklinde rijit bir yapı elemanı olarak da kullanılabilir. Kısaca çok sayıda kablonun çeşitli geometrilere bir araya getirilip, düğüm noktalarıyla birleştirilerek tek ve çift eğrilikli ayırık yüzeyler oluşturduğu ve sadece çekmeye çalışan taşıyıcı sistemlere kablo sistemler denir [1].

Kablo sistemlerin avantajları olarak sayılabilecek tüm özellikler, bu sistemlerin hafifliğinden, kabloların yüksek dayanımlarından, çekmeye çalışan elemanlarda burkulma sorununun olmamasından ve bu nedenle de malzeme dayanımının elverdiği kadar ince yapılabilmesinden kaynaklanmaktadır.

Strüktürel açıdan kablo terimi ile eğilme rijitliği ve basınç dayanımı yok denecek kadar az olan, esnek/bükülebilir, çizgisel bir taşıyıcı öge ifade edilmektedir. Bu kapsamda halkalı zincirler, marangoz cetveli gibi küçük rijit parçaların birleştirilmesiyle ortaya çıkan uzun çizgisel elemanlar da kablo benzeri çalışma yapan strüktürel elemanlar olarak kabul edilirler. Kabloların biçimi, kabloların esnek ve bükülebilir olması nedeniyle, dış etkiler ve iç kuvvetler tarafından belirlenir. Bu biçimler, tek kablo ile ilgili ip poligonları paragrafında açıklanmaktadır.

Kablolu sistemlerin diğer geleneksel sistemlerden ayıran en temel özelliği, taşıyıcı sistemin bir parçasını kabloların oluşturmasıdır. Kablolu çatılarda kablolar çatı ana kirişlerine (makaslarına) ve pilonlara belirli bir açıyla bağlanırlar. Kablolar bu tür sistemlerin doğrusal olmayan davranış gösteren en önemli elemanlarıdır. Kablolarda oluşan aksel çekme kuvveti etkisiyle, serbest haldeki geometrisi değişir. Bu durum rijitliğinin etkilenmesine neden olur, Şekil 2.6. Kablolar bağlantı noktasına bağlanmadan önce bir ön çekme kuvvetine maruz bırakılırlar ve bu durumda sisteme bağlanırlar. Bu başlangıç durumundaki çekme kuvveti kablo davranışını etkileyen önemli bir faktördür [2].



**Şekil 2.6 :** Eksenel çekme kuvveti altında kablo geometrisinin değişimi [2].

Kablolu sistemlerde kullanılan kablolar genelde yüksek dayanımlı çelikten imal edilirler ve akma dayanımları 1860 Mpa ve daha yüksektir. Bu kabloların kopma uzama oranları %3.5 mertebesinde [2]. Özellikle çatı kirişi ve kabloların tasarımında, kabloların bu eksenel yük altındaki uzamasının göz önüne alınması önemlidir. Kablo boyları belirlenirken bu uzama oranları oldukça etkindir. Kullanılan bu tellerin korozyondan ve nem diğer etkilerinden korunması gerekmektedir. Bunun için en etkin yöntemler galvanizleme, kabloların çeşitli polietilen esaslı katmanlarla sarılması ve son yıllarda geliştirilmekte olan ve nem oranını kontrol altında tutmak amacıyla halatlar içine kuru hava üflenmesiyle korozyona engel olma yöntemleridir. Bu tür koruma sistemi genelde asma yapılarda da kullanılmaktadır.

Kablolar pilonlara ve taşıyıcı diğer elamanlara çok çeşitli şekillerde mafsallı olarak bağlanırlar. Geometrik olarak estetik ve statik kaygılarla oluşturulmuş çeşitli bağlantı türleri Şekil 2.7 de gösterilmiştir.



**Şekil 2.7 :** Kablo bağlantı şekilleri: (a)Harp, (b)Fan, (c)Radial.

Kablolar en kesitte bir düşey düzlemde oluşturulabileceği gibi, iki veya daha fazla düşey veya eğik düzlemde de teşkil edilebilir.

Kablo askılı yapılarda genel olarak 3 tip kablo yerleşimi kullanılmaktadır; Harp, Fan ve Radial (Değiştirilmiş Fan). Harp sisteminde ise kablolar kulede eşit aralıklarla

ankre edilmektedir. Bu yerleşim her ne kadar estetik olarak çekici olsa da kablolar efektif olarak kullanılamamakta ve ekonomik olmayan bir tasarım oluşturmaktadır. Fan sisteminde, bütün kablolar pylonun tepe noktasında ankre edilmekte ve bu sayede kabloların taşıma kapasitelerinden maksimum ölçüde faydalana bilinmektedir. Ancak bu sistemin en büyük dezavantajı, pilyondaki kablo ankraj bölgesinin çok büyük yapım zorluğu çıkarmasıdır. Radial “değiştirilmiş fan” sistemde kablolar olabildiğince pylon tepe bölgesine yakın fakat aralıklı olarak ankre edilmektedir. Böylelikle her iki sisteminde avantajlarına sahiptir [3].

### 2.3 Kablo Sistemlerin Yapım Elemanları

Kablolar, bir taşıyıcı sistemin esas elemanları olabilecekleri gibi, membran sistemlerde yüzeyleri germek veya iskelet sistem gibi başka bir taşıyıcı sistemin yardımcı elemanı olarak büyük konsolları uçlarından bir çekirdeğe asmak gibi diğer amaçlarla da kullanılmaktadırlar [1]. Kablo sistemlerin belli başlı yapım öğeleri şunlardır:

- Kablolar* : Ana yükleri taşıyan, çekmeye çalışan elemanlar.
- Düğüm noktaları* : Bir noktadan geçen kabloları birleştiren elemanlar.
- Asılma noktaları* : Kabloların bağlandığı mesnet noktaları.
- Kabloların bitişleri* : Kablo uçlarının bağlanmaya hazır özel biçimleri.
- Ağ gözleri* : Kabloların tanımladığı çokgen alanlar.
- Kenar elemanları* : Kablo sistemi kenarlarda geren sağlayan elemanlar.
- Destek elemanları* : Kablo sistemi genelde geren tüm elemanlar.
- Ankrajlar* : Kablo sistemi zemine mesnetleyen elemanlar.

#### 2.3.1 Kablolar

Kablo adıyla kısaca tanımlanan kablo demetleri ve çelik halatlar, konstrüktif özellikleri yönünden lif veya tel gibi ince, uzun, çizgisel birimlerin çok sayıda bir araya getirilerek birleştirilmesiyle yapılan elemanlardır. Teller, çekirdek olarak da adlandırılan bir öz etrafında helisel sarılarak veya düz hatlar boyunca uzatılıp yine tellerle tutturularak bir araya getirilirler [1].

Tarihsel süreç içinde bugün anladığımız türdeki kablolar yoktu. Kablo benzeri kullanımda bilinen ilk örnekler İ.Ö. 285 yıllarında Çin'de bambulardan üretilmişti. İlkel kavimlerin sarmaşık dallarından yapıp bir şeyler asma veya kuyudan su çekme

v.b. gibi işlevler için kullandıkları basit elemanlar kablonun başka bir tarihsel örneğidir. Günümüzde kullanılan, yani ince tellerin birleştirilip bir çekirdek etrafında döndürülmesiyle üretilen kablolar benzeyen ilk çelik kablo 1834 yılında, Albert isimli bir Alman tarafından geliştirilmiştir [1].

Zincir, profillendirilmiş ince metal bantlar, çalışma yönünden kabloya benzeyen diğer elemanlardır. Bu örnekler rijit halka veya dilimlerin sık aralıklarla birbirleriyle mafsallı noktalarda birleşmesinden meydana gelmektedir. Örnek olarak, zincir gösterilebilir. Çok uzun olan rijit malzemeli çizgisel elemanlar da, ancak çekme kuvvetiyle yük taşıyabilirler. Dolayısıyla kablonun en basit tanımı, bükülebilen ve sadece çekme kuvvetlerini karşılayabilen, eğilme ve basınca direnemeyen bir taşıyıcı sistem elemanı, olarak yapılabilir.

Kabloların kopma gerilmeleri, yapı çeliğinin yaklaşık 6 katına eşittir. Bu dayanımı elde etmek için, sıcakta haddelenmiş yüksek karbonlu çelik çubuklar fabrikalarda bir aygıtın çenesinden soğutularak çekilir. Çok kez tekrarlanan çekme işlemi sonucunda, çeliğin bünyesindeki kristaller çizgiselleştirilir, telin en kesitinde de küçülme oluşur. Sonuç olarak, tellerin mikro strüktürü gelişerek çekme dayanımı artar. Sonra teller, paslanmaya karşı bir önlem olarak saf çinko ile kaplanır.

### **2.3.1.1 Kablo türleri**

Kablolar, çelik tellerden veya metal olmayan organik kökenli lifler gibi bazı diğer malzemelerden üretilirler. Kablo sistemlerin yapımında kullanılan kablolar genellikle çelikten üretilir ve bunlar da tel grupları (demetler) ve çelik halatlar olarak iki ana başlık altında incelenebilir [1].

Kablo veya çelik halat üretiminde kullanılan tellerin çapları bugün için 0,5 - 6 mm arasında değişmektedir. Bu boyutların özel siparişlerde aşılacağı açıktır. Tel grupları da kendi aralarında üç ana başlıkta incelenebilirler [4]:

- Normal tel grupları
- Kapalı tel grupları
- Paralel tel grupları

#### **Normal tel grupları**

Bir çekirdek (öz) etrafında, helisel sarılan tellerden oluşur. Çekirdekten sonraki ilk sıraya 6 tel, bundan sonraki sıralara 6'nın katları kadar tel yerleştirilir. Taşınacak (kabloda oluşacak) yükün, çekme kuvvetinin büyüklüğüne bağlı olarak, ya tel adedi

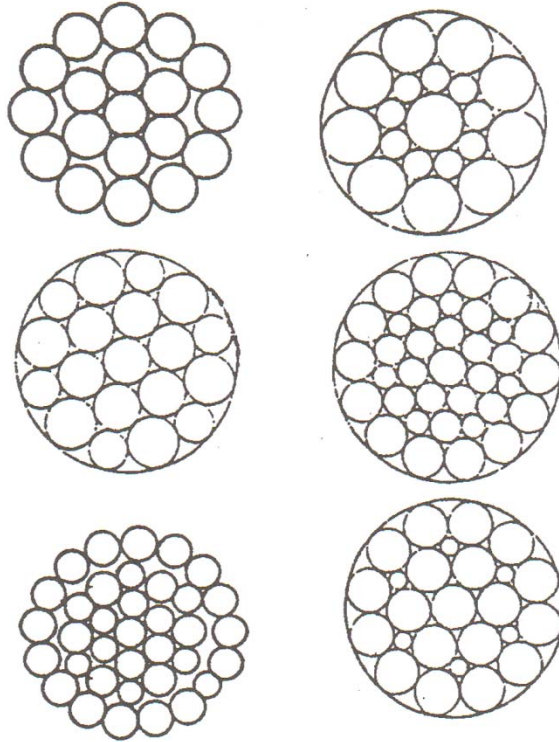


artırılır ya da tellerin en kesitleri büyütülür. Çekirdek, ayrı bir sıra kabul edilmeden n sıralı bir tel grubunda, tel adedi çekirdekle birlikte aşağıdaki (2.1) eşitliği ile bulunabilir [1].

$$T = 3 * (1+n) * n + 1 \quad (2.1)$$

Bugün Amerika'da, 7 ile 277 telden oluşan tel grupları fabrikasyon olarak üretilmektedir (Şekil 2.8). Ancak farklı çaplara sahip tellerin daha farklı sayılarda dizilmesi de olasıdır. Bu şekilde iç boşlukları daha az, daha yoğun bir kablo türü elde edilmektedir. Son sıralarda eksik sayıda tel yer alabilir.

Kablolar döndürülme yönüne göre sağ veya sol sarmal olarak tanımlanırlar. Bir kablo demetinin birim uzunluktaki dönme sayısı ne kadar fazla olursa E - Modülü, dolayısıyla taşıma gücü de, buna ters orantılı olarak azalır [1].



**Şekil 2.8 :** TS 1918'de gösterilen bazı çelik kablo demet örnekleri.

### **Kapalı tel grupları**

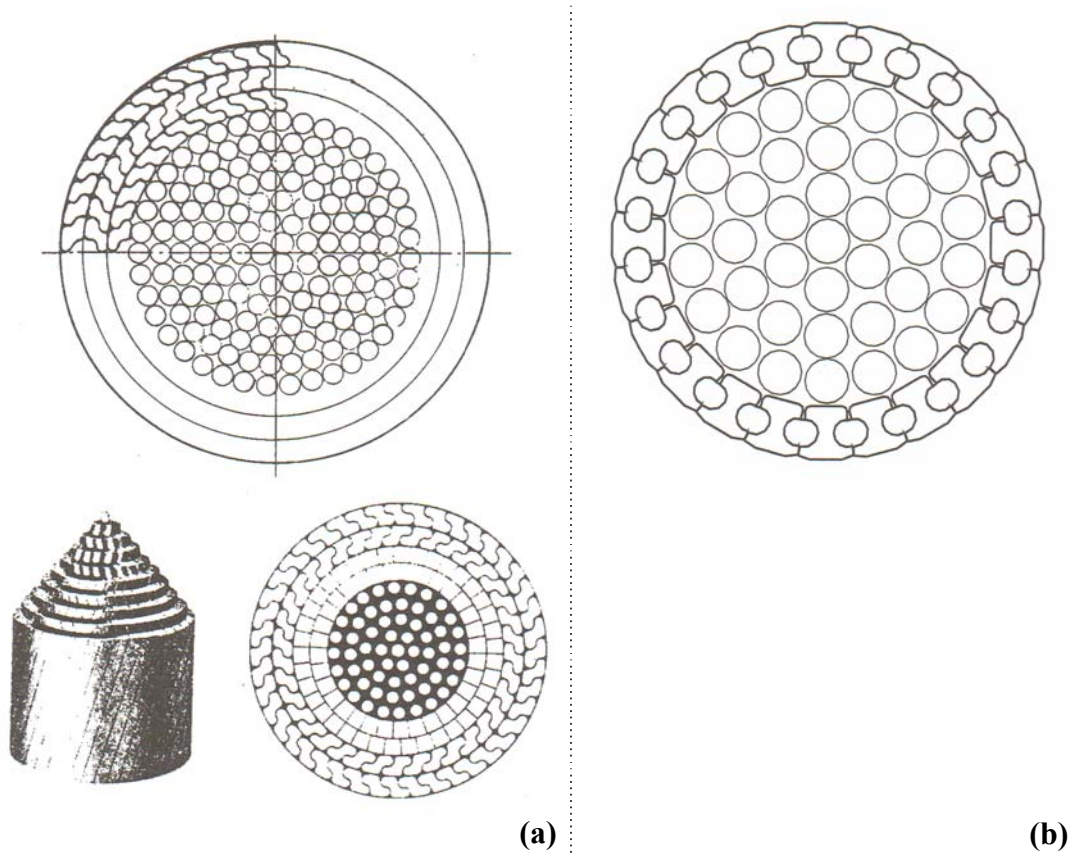
Taşıma gücü daha önemli olan ana taşıyıcı kabloların paslanmasını azaltmak veya engellemek amacıyla, kapalı tel grupları üretilir. Tam kapalı veya yarım kapalı tel gruplarından da söz edilebilir [1].

*Tam kapalı tel grubu:* Ortası normal bir tel grubu özelliğinde olan kablonun üst kısımlarına, bir iki sıra yamuk kesitli (biçimli) teller, son sıralara Z biçimli tellerden

oluşan 1-2 sıra gelir. Su, nem, pislik gibi paslanmayı artırıcı şeylerin içeriye sızması önleildiği için, paslanmaya en dayanıklı tel gruplarındandır. Z - biçimli üst teller ile yamuk kesitli tellerin paslanmaya karşı koruyucu tabakaları, çok daha kalın ve dayanıklı yapılarak paslanma eğilimi azaltılır. Z biçimli teller, her bir tabakada diğerine ters döndürülür (Şekil 2.9a).

*Yarım kapalı tel grubu:* Bir tel grubunun son sırasındaki teller H kesitli yapılarak, yuvaların içinden (arasından) daire kesitli teller geçirilir. Bu kablolar, normal tel gruplarına oranla, paslanması zor olan ancak tam kapalı tel grupları kadar dayanıklı olmayan elemanlardır (Şekil 2.9b).

Özetlenecek olursa, tüm kapalı (tam ve yan) tel gruplarında su, nem, pislik vb. tellerin içine giremez veya daha zor girer. Böylece, dıştaki tellerin pas karşı korunması amacıyla, daha kalın çinko kaplama vb. pas önlemi alınabilir. İçte kalan tellerin kaplanması ise inceltiler. Kapalı tel gruplarının üretim maliyeti, özel tel üretimi nedeniyle daha yüksektir. Fakat paslanmaya karşı dayanıklılığı nedeniyle önemli taşıyıcı kablolarında (örneğin kenar kablolarında) tercih edilirler [1].



**Şekil 2.9 :** Tel grupları: (a) Tam kapalı tel grubu. (b)Yarı kapalı tel grubu.

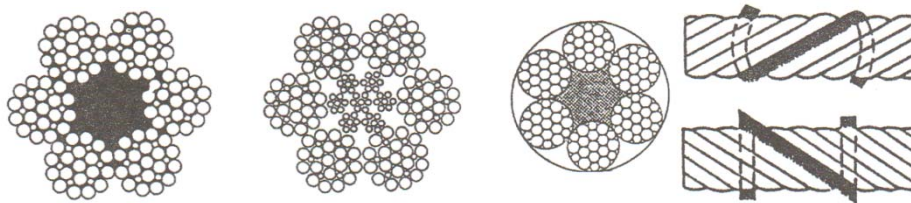
### Paralel tel grupları

Tellerin döndürülmeden yan yana getirilmesiyle elde edilen, yani helisel sarılmayan tellerden oluşan kablolar "paralel tel grubu" denir. Teller istenen kablo en kesiti elde edilince, bağlama telleri ile birbirine tutturulurlar. Paralel tel grubu elde etmenin başka bir yolu, helisel sarılmış az sıralı (örneğin 7 veya 19 telli) tel gruplarını, düzgün olarak yan yana sıralamaktır. Paralel tel gruplarında kablonun toplam taşıma gücü, yaklaşık olarak, tellerin veya tel gruplarının her birinin taşıma gücünün toplamına eşittir.

### Çelik halatlar

Bir çekirdek etrafına helisel olarak sarılan tel grupları (kablo demetleri), çelik halatları oluşturur. Her bir tel grubunda 7- 43 adet tel bulunur. Başka bir deyişle çelik halatlar, normal tel gruplarının tekrar helisel döndürülmesiyle elde edilen yeni bir tel grubudur (Şekil 2.10). İki kez sarılma nedeniyle, birim uzunluktaki dönme sayısı, normal tel gruplarına göre daha fazladır. Birim uzunluktaki dönme sayısının artması kablonun esnekliğini arttırıp, çekme gerilmesinin azalmasına neden olduğundan, hareket eden aygıtlarda örneğin asansör, teleferik kablolarında tercih edilirler [4].

Aynı enkesit alanına sahip kablolar karşılaştırıldığında, paralel tel gruplarının dayanımlarının yüksek olduğu, daha sonra sırasıyla kapalı ve normal tel gruplarının geldiği ve en alt sırada çelik halatların yer aldığı söylenebilir. Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi, normal tel grubunun E - Modülü çelik halattan % 30 - 40 daha fazladır. Kapalı tel grupları hem yüksek E - modülü, hem de paslanma dirençleri yönünden, kablo sistemlerin önemli taşıyıcı kabloları için uygun olmaktadır. Ne var ki, yapımlarının daha zor ve pahalı olması nedeni ile normal tel gruplarının kullanımı daha yaygındır.

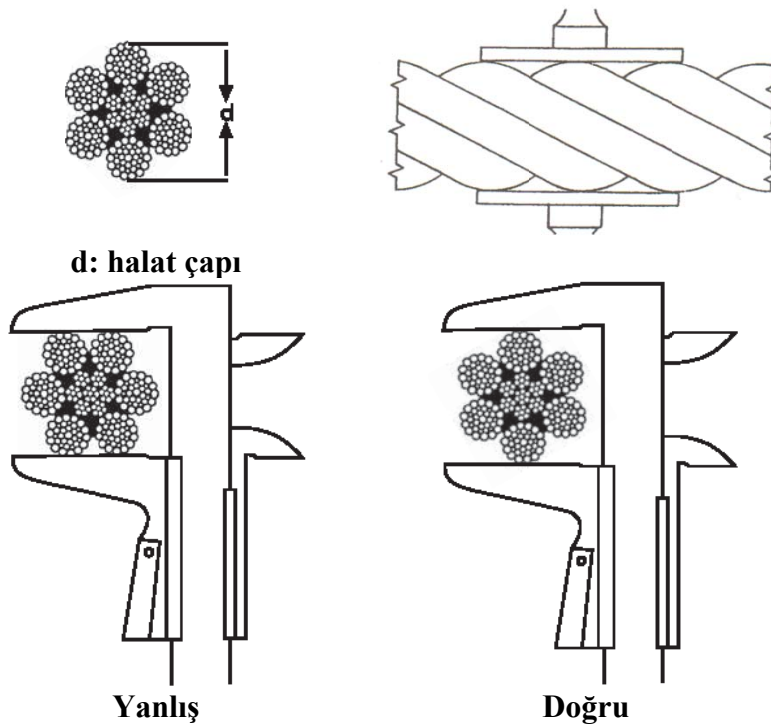


Şekil 2.10 : Sol ve sağ sarmallı çelik halatlar.

Montaj işlemi açısından ise kabloların elden geldiğince bükülebilir olması tercih nedenidir. Bu bükülebilirlik, ince teller kullanılmasıyla sağlanabilirse de, paslanmaya karşı kalın teller arzu edilmektedir. Böylece aşırı kalın olmamak koşulu ile bir optimum tel kalınlığı bulunmalıdır (Şekil 2.11).

**Çizelge 2.1** : Bazı kablo türlerinin elastisite modülleri.

Kablo Türü	Elastisite Modülü
Çelik halatlar	10.0 - 12.5 MN/cm <sup>2</sup>
Normal tel grubu	12.5 - 14.5 MN/cm <sup>2</sup>
Kapalı tel grubu	14.5 - 17.2 MN/cm <sup>2</sup>
Paralel tel grubu	21.0 MN/cm <sup>2</sup>



**Şekil 2.11** : TS 1918 çelik halat çapının ölçülmesi.

### 2.3.1.2 Kablolarda paslanmaya karşı önlemler

Bir çekmeye çalışan taşıyıcı sistemin tüm yüklerini taşıyan ve ince tellerin bir araya getirilmesiyle üretilen kabloların paslanmaları vahim sonuçlar doğuracak bir durumdur. Bu taşıyıcı sistemlerde paslanma önlemlerinin alınmasına diğer çelik konstrüksiyonlara oranla çok daha fazla önem verilmelidir. Uygulanan koruma önlemleri aşağıda özetlenmiştir [1].

*Galvanizasyon* : Teller çenelerden çekilme işlemi bitince çinko ile kaplanır. Kaplama ne kadar kalın olursa, korunma o kadar iyidir. Daha fazla bir korunma için iç teller daha ince, dış eller daha kalın çinko ile kaplanırlar.

*Boyama* : Kablolar antipasla boyanabilir. (Periyodik olarak bakım gerekir.)

- Kaplama* : Kablonun tümü koruyucu plastik malzeme ile kaplanabilir.
- Örtme* : Kablolar, bitümle kaplanmış saçlarla, paslanmaz (galvanizli) saçlarla veya diğer benzer malzemelerle örtülebilir.

### 2.3.2 Dügüm noktaları

Kablo sistemlerin ana konstrüksiyon elemanları olan kabloları birbirine bağlayan, ek olarak çatı örtü elemanlarına mesnet oluşturan birleşim elemanları düğüm noktalarıdır. Asılma noktaları da, bir bakıma mesnet özelliğinde olan düğüm noktalarından başka bir şey değildir.

Düğüm noktalarının görevleri arasında kablo sisteminin geometrisini sabitleştirmek, sisteme ön gerilme verebilmesini sağlamak, çatı örtüsü ve ısıtma, tesisat vb. aygıtların asılmasını gerçekleştirmek sayılabilir. İki veya daha çok sayıda kablonun bir noktada bağlantısı, bir düğüm elemanı ile gerçekleşir. Düğüm noktası veya onun benzeri bir özel bağlantı parçasının olmadığı durumlar enderdir. Birleşen kablolar bir düzlem içinde veya üç boyutlu hacim (uzay) içinde dağılırlar.

Düğüm noktalarının tasarımı ve boyutlandırılması, bağlanacak kabloların çapına, taşınacak kuvvetlerin büyüklüğüne, ağ gözlerinin sonuç geometrisine bağlı olarak etkilenir ve belirlenir. Kablolar düğüm noktasında son bulabilirler veya devam edebilirler. Taşıyıcı sistemlerde kullanılan düğüm noktaları çelik veya metal döküm olarak veya bir bütünden tıraşlanarak presleme yolu ile yapılabilir. Alüminyum malzeme kullanımı da söz konusudur. Küçük açıklıklarda veya plastik halatların yer aldığı uygulamalarda, sentetik (yapay) düğüm noktaları düşünülebilir. Kablo ağı bünyesindeki yerlerine göre düğüm noktaları için:

- Ağ içinde yer alan ara düğüm noktaları
- Kenar düğüm noktaları
- Yön değiştirme için kullanılan düğüm noktaları
- Aynı veya farklı doğrultuda kabloları birleştiren düğüm noktaları

gibi adlar kullanmak mümkündür.

Düğüm noktaları, farklı biçimlerde çözümlenebilir (Şekil 2.12). Ayrıca, iki kablonun birleştirilmesi ile çok sayıda kablonun birleştirilmesi arasında bir ayırım yapılabilir. Kablo ağlarında, genellikle iki doğrultuda giden (iki yönlü bir ağ içindeki) iki kablo birleşir. Çok sayıda kablo birleşimi özel noktalarda ortaya çıkar.

*Bağlantısız:* Çizgisel çekme elemanları herhangi bir bağlayıcı madde olmaksızın bir noktada birleşmektedir. (Örneğin bir tenis raketinin tellerinin birbirinin üzerinden geçtiği ve orada öngerilmeli tellerin oluşturduğu yuvalarda sabitlenerek birleşmesi gibi.)

*Yapıştırılmalı:* Tel gruplarının birbirlerine doğrudan yapıştırılması. (Özellikle plastik malzemeli düğüm noktalarında düşünülebilir.)

*Kaynaklama:* Tel grupları, doğrudan birbirlerine veya düğüm noktalarıyla birlikte kaynaklanır. Plastik halatlarda halatların birbirlerine yapıştırılması olasıdır.

*Kaplama:* Kablolar, bir metal veya plastik koruyucu malzeme ile kaplanır. Düğüm noktaları gibi, bütün kabloların da kaplanması düşünülebilir.

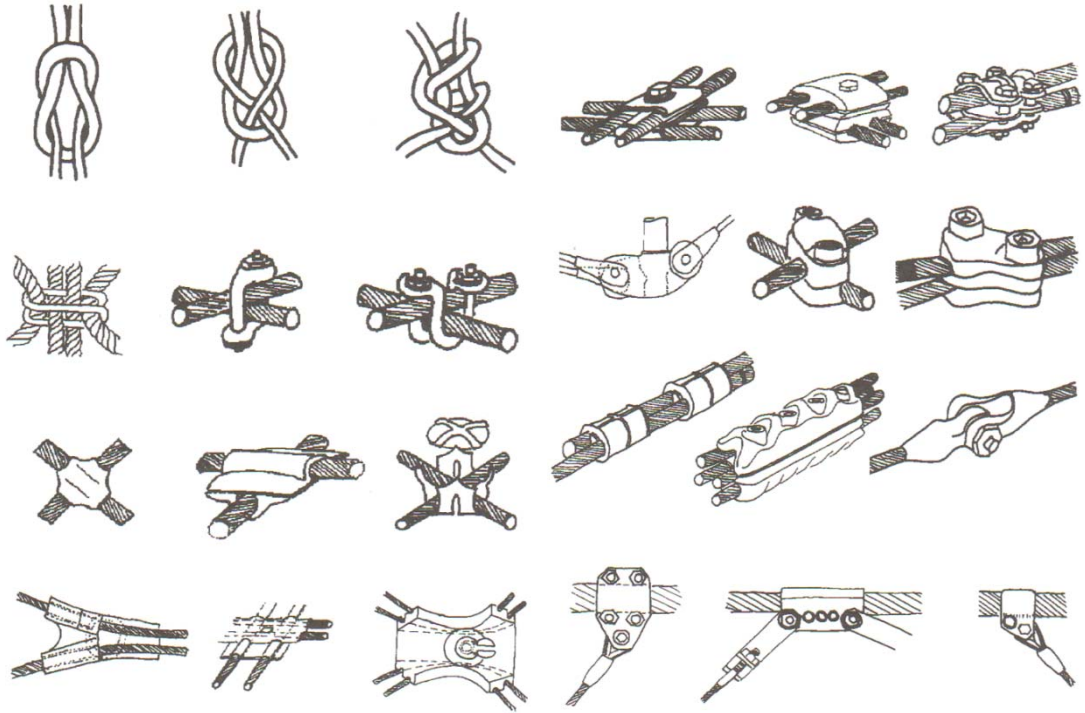
*Bağlama:* Birbirine değen iki kablo, değme noktasında bir tel ile sarılabilir. İki ip parçasının birbirlerine düğümlenmesi de bu kapsamda düşünülebilir.

*Halka:* Çeşitli geometrilere sahip halkalar, düğüm noktası özelliğinde iş görürler. Arasına kablo yerleştirilen halkalar bir vida yardımıyla sıkılarak sabitlenir.

*Presleme:* Tek veya iki parçalı preslenmiş düğüm noktaları bulunmaktadır. Düğüm noktası iki parçadan oluşuyorsa bunlar perçin, bulon veya özel geçme detayları ile birbirine tutturulurlar. Dökme düğüm noktalarında döküm işlemi için erime noktası düşük olan metaller uygundur (örneğin çinko veya çinko alaşımları).

Ağlar zeminde düz olarak monte edilip gerçek yerine kaldırıldıktan, destek elemanları ile öngerilerek son şekillerini aldıktan sonra, birleşme noktalarında açılı değişimleri oluşur. Düğüm noktalarının bu açılı değişimlerine olanak sağlaması doğru olacaktır. Bu nedenle bazı düğüm noktaları döner biçimde tasarlanabilir.

Ayrıca düğüm noktalarının yuvarlak oval, yumuşak, keskin köşesiz biçimlerde tasarlanması, açılı dönmelerinde kablo tellerinin kesilmesini, nakliyat ve montaj sürecinde olabilecek hasarları önlemesi açısından önemlidir. Paslanmayı engelleyici önlemler ek olarak düşünülmeli ve yapılmalıdır.



Şekil 2.12 : Kablo sistemlerde düğüm noktaları çözüm örnekleri.

### 2.3.3 Asılma noktaları

Asılma noktaları, kablolardaki çekme kuvvetlerin, asılmanın yapıldığı yardımcı elemanlara aktarıldığı noktalarıdır. Kablolar genellikle uçlarından veya kablo ağı içinde birkaç noktadan asılabilirler. Asılmanın yapılabileceği yardımcı elemanlar şunlardır:

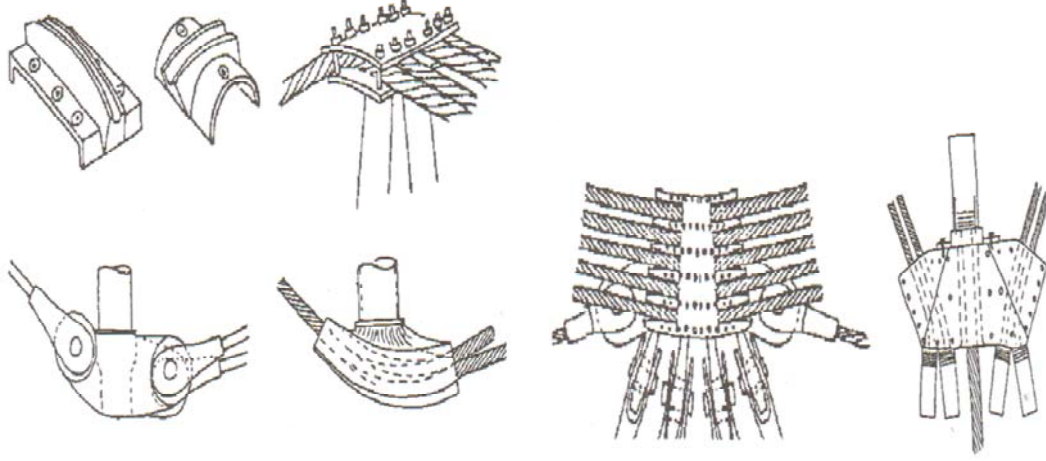
- Basınç çubukları, pylonlar, bir ucu mafsallı veya ankastre kolonlar vb.
- Kemerler, çemberler
- Ön gerilmeli kenar kabloları
- Ankraj blokları, temeller vb.

Asılma noktaları gerçekte bir düğüm noktası özelliğindedir. Fakat buradaki fark, kablolardaki çekme kuvvetinin yukarıda açıklanan destek elemanlarından birine (genellikle basınca çalışan bir elemana) aktarıldığı mesnet noktalan özelliğinde olması, bu nedenle asılma noktalarının düğüm noktalarından büyük boyutlarda yapılmalarıdır. Asılmanın yapıldığı eleman ile bağlanan kablo arasındaki açı 0 (sıfır) derece ile 180 derece arasında değişebilir.

Asılma noktalarında, kablonun iç kuvveti kenar kablosuna teğet ve dik olmak üzere iki bileşene ayrılmaktadır. Bu kuvvetler de doğal olarak asılma noktası tarafından karşılanmak zorundadır. Ayrıca düğüm noktaları için söylenenler, asılma



noktalarının tasarımı, üretimi ve çalışma özellikleri için de geçerlidir. Bağlantıyı sağlamak için kaynaklama, boru etrafına sarılma, özel kablo uçları takılıp destek elemanına bağlama, kelepçeleri bulonla sıkıştırma vb. yapılabilir (Şekil 2.13).



**Şekil 2.13** : Asılma noktaları için çözümler ve uygulama örnekleri.

#### 2.3.4 Kablo uçlarının bitiş olanakları

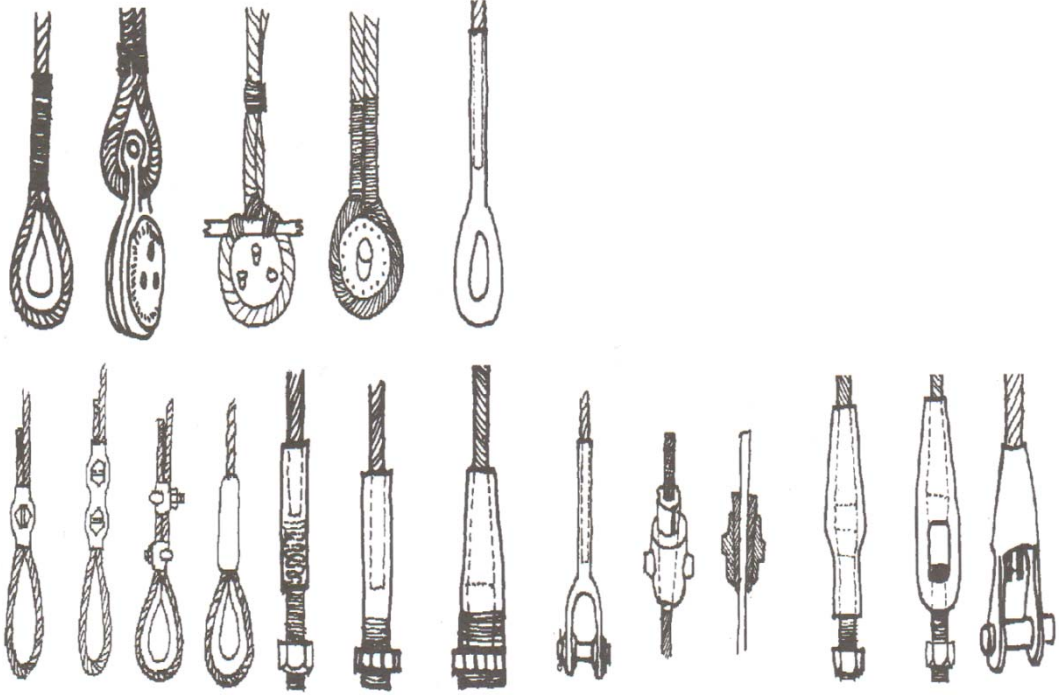
Kablolar, uçlarından bir asılma veya düğüm noktasına veya başka bir kabloya bağlanacağı için, bitiş yerlerinde bunu sağlayacak ve kolaylaştıracak önlemler de gerekmektedir. Kablo ucu (bitiş detayı) olarak tanımlanabilecek bu noktada kablo, genelde bir destek elemanı olarak tanımlanan bir yere tutturulacaktır.

Bu olanaklar şunlardır:

- Özel bulonlu bir elemanla bitiş.
- Özel sarmal bir eleman ile bitiş.
- Manşonlu, yüksüklü, ankraj halkalı bitiş.

Kablo uçlarını bağlamada geçmeli veya sıkıştırılmalı manşonlar, ankraj halkaları vb. parçalar da kullanılmaktadır. İki tip bağlantı yaygındır. Gömülen parçalar ve çinko döküm yuvalar. Yuvalı bitişte teller yuvaya yerleştirildikten sonra, ergimiş durumdaki saf çinko, tüm telleri saracak şekilde yuvaya dökülür. Gömme bitişlerde kablodan daha yumuşak çelikten yapılmış bir parçanın içine kablo yerleştirildikten sonra preslenerek bitiş sağlanır (Şekil 2.14).





Şekil 2.14 : Kablo uçlarının bitiş örnekleri.

### 2.3.5 Ağ gözleri

Kablo ağlarının kablolarla sınırlanan küçük geometrik şekilleri "göz" olarak adlandırılır. Bu gözler, üçgen, dörtgen, altıgen şekillerde olabilir. Yerde düzgün kare, dikdörtgene yakın olan şekiller, kablo ağına öngerilme verildikten sonra deforme olarak baklava dilimini andıran dörtgenlere dönüşürler. Kablo ağlarının geometrilerinde uzay strüktürlerin düzgünlüğü (gözlerin, kenarların ve köşelerin özdeş olması) gerekmemektedir.

Yine de bu geometriler kısaca 2 - yönlü veya 3 - yönlü ağlar olabilmektedir. Üç yönlü ağlar, statik açıdan daha olumludur. Ancak iki yönlü ağlar özellikle kablo sistemlerde montaj kolaylığı yönünden tercih edilirlerken tek tabakalı uzay kafes sistemlerde 3-yönlü ağlar statik yönden ağırlık kazanırlar.

### 2.3.6 Ağ kenarları

Genellikle, bir kablo sisteminin asılma noktalarının yer aldığı kenar kabloları ile sınırlandığı, kablo ağı arasındaki büyük boşluklar veya bitiş yerleridir. Bir kablo ağının kenarları etek adı ile de tanımlanabilir. Ağ kenarlarında yük yığılması olacağından kenarlar pekiştirilmelidir. Çadır veya membran sistemlerdeki ağ kenarlarına, metal çemberler veya kablolar eklenerek yırtılma eğilimleri azaltılır.

### **2.3.7 Destek elemanları**

Kabloların asıldığı kablo ağına öngerilme veren, sistemi tümünden asmaya yarayan ve sonuç geometrilerini sabitleştiren elemanlar destek elemanlardır. Bu elemanlar genellikle rijit malzemeli, eğilme ve basınç gerilmesi altında çalışan elemanlardır. Kablolar tamamen çekmeye çalıştıkları halde, bunların yüklerini karşılayıp mesnetlere aktaracak yardımcı elemanlara gerek vardır. En çok rastlanan yardımcı elemanlar şunlardır.

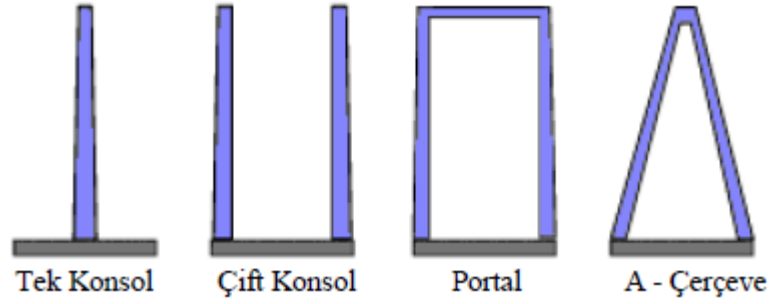
#### **2.3.7.1 Pilon, kolon, dikme**

Düşey veya eğik konumda ve çeşitli biçimlerde uygulanmaktadır. Mafsallı veya zemine ankastre mesnetlenebilir. Buna göre aksel basınca veya basınçla birlikte eğilmeye çalışır. Bu gerilmelere dayanımlı malzeme olan içi boş çelik profillerden veya betonarmeden yapılır (Şekil 2.16.a;b;c).

Kablolu yapılarda pilonlar kablolardan gelen yüksek çekme kuvvetinin oluşturacağı basınç kuvveti ile birlikte eğilme momenti ve deprem sırasında meydana gelen ek yatay kuvvetleri de karşılayan önemli elemanlardır. Pilonlar yüksek miktarda basınç kuvveti etkisindeki elemanlardır. Bu yüksek basınç kuvveti nedeniyle pilonlarda burkulma etkisi kritik olabilmektedir. Özellikle çelik pilonlarda bu durum daha önemli hale gelmektedir. Pilonlar, yine kablolar gibi yüksek dayanımlı çelikten veya yüksek dayanımlı beton kullanılarak oluşturulan betonarme kesitlerden meydana gelirler. Betonarme kesitlerde ard germe de kullanılabilir [4]

Çelik olan kuleler özellikle anolar halinde fabrika ortamında oluşturulduklarından yapım hızı yüksektir; buna karşılık betonarmenin basınç altında davranışı çelikten daha iyi olduğu için, ekonomik çözümler sağlama yönünden betonarme kesitler de kullanılmaktadır. Pilonlar ayrıca tabliyenin mesnetlendiği elemanlardır. Bu mesnetlenme şekli moment aktaran veya aktarmayan türde olabilmektedir. Kablolar pilonlara mafsallı şekilde bağlıdırlar. Pilonların rijitliği sistemin yapacağı sehim açısından da önemlidir. Pilonun köprü eksenini içeren düşey düzlemdeki rijitliği arttıkça sistemin yapacağı sehim azalmaktadır. Pilonlar en kesitte tek konsol, iki adet paralel konsol, iki adet eğik konsol veya enine doğrultuda portal kirişlerle oluşturulan çerçeveler şeklinde olabilmektedir. Pilonlar kablolardan gelen aksel kuvvetlerin etkisini taşıdığı gibi, aynı zamanda rüzgar ve deprem etkilerine de karşı

koymaktadırlar. En kesitte çeşitli şekilde düzenlenen ve yukarıda tanımlanan pylon tipleri Şekil 2.15’de şematik olarak verilmişlerdir.



Şekil 2.15 : Kablolularda çeşitli pylon tipleri [4].

### 2.3.7.2 Basınç kemerleri

Şekil 2.16.d’de tek kemerli basınç kemer örneği yer almaktadır. Şekil 2.16.e’da iki kemerli basınç kemer örneği yer almaktadır. Kemerler birbirinden ayrı veya birbirini kesecek şekilde düzenlenebilir.

### 2.3.7.3 Basınç ve çekme çemberleri

Özellikle bisiklet tekeri tipindeki kablo sistemlerde, iç tarafta çekme, dış tarafta basınç çemberleri bulunur (Şekil 2.16.f).

### 2.3.7.4 Kenar kabloları

Kabloların doğrudan doğruya ankrajlar veya basınç elemanlarına bağlanmadığı durumlarda serbest olan kenardaki kablolarla diğer kablolar bağlanır. Kenar kablosuna öngerilme verilmeli ve çekmeye çalışması sağlanmaktadır. Kenar kablosunu gerilerek de kablo ağları öngerilebilir. Kenar kablosu da destek elemanı olarak düşünüldüğünde, esnek malzemeli tek destek elemanı olmaktadır (Şekil 2.16.g).

### 2.3.7.5 Betonarme perde duvarlar

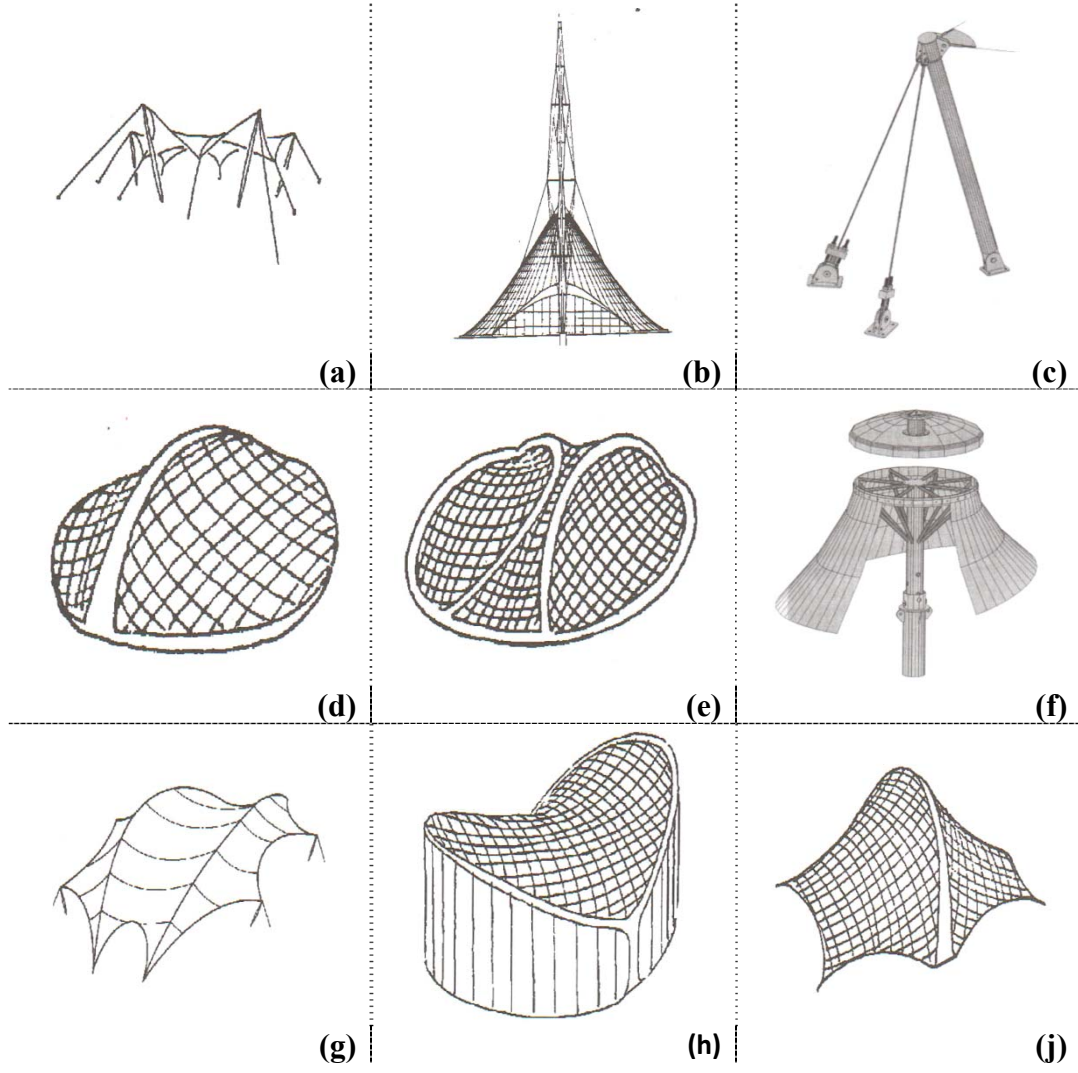
Şekil 2.16.h’de betonarme perde duvar örneği yer almaktadır.

### 2.3.7.6 Betonarme\çelik çerçeve ve makaslar

Destek elemanı olarak betonarme\çelik çerçeveler kullanılabilir.

### 2.3.7.7 Destek elemanlarının kombinasyonu

Şekil 2.16.j’de yukarıda sayılan destek elemanlarının kombinasyonu yer almaktadır.



Şekil 2.16 : Çekmeye çalışan sistemlerde bazı destek elemanı örnekleri [1].

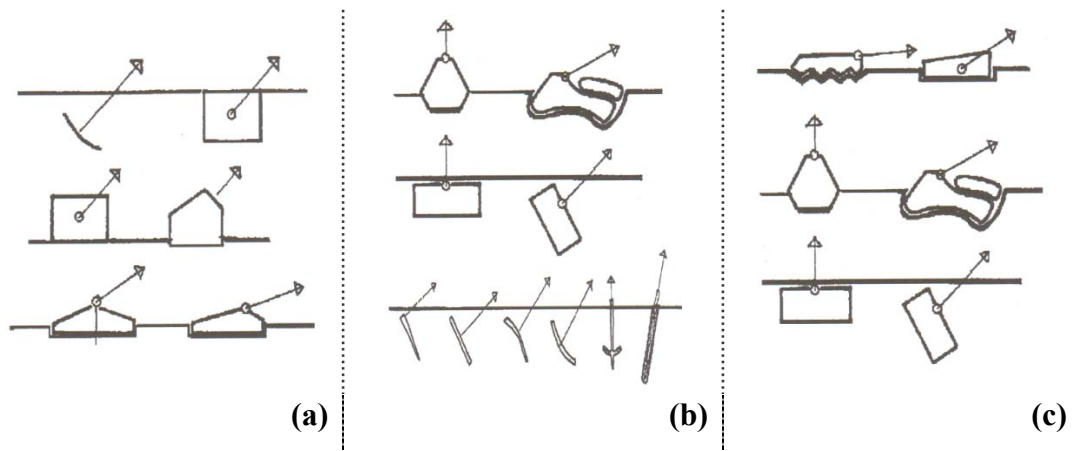
### 2.3.8 Ankraj elemanları

Çekmeye çalışan bir taşıyıcı sistemi gerçek konumunda (pozisyonunda) tutabilmek, hafif olan taşıyıcı sistemin yüklerini zemine aktarabilmek için sistemin yere ankre edilmesi gerekir. Alışılmış, betonarme karkas gibi ağır taşıyıcı sistemlerde toplam bina yüklerinin temellere etkiyen bileşke kuvveti, yerçekimi doğrultusunda (yani aşağıya doğru) gerçekleşir.

Çekmeye çalışan taşıyıcı sistemlerde yükler, zemine aktarıldığı gibi başka bir ortama, örneğin duba veya şamandıralar yardımıyla suya, yine balonlar aracılığı ile havaya, aktarılabilir. Ayrıca, toprağa mesnetlenmede klasik (konvansiyonel) bina temellerinden farklı olarak sonuç kuvvetler, sadece dünyanın merkezine doğru değil, binanın hafifliği ve rüzgârın kaldırma gücüne (emme etkisi) bağlı olarak zaman zaman yukarıya doğru da gerçekleşir. Bu nedenle temellerde binanın kendi munzam

yüklerine dayanacak konvansiyonel temellere ek olarak daha çok sürtünme kuvveti oluşturacak bir düzen de öngörülür (Şekil 2.17.a).

Zemin ve temel elemanı arasında yaratılan sürtünme ile sağlanan mesnetlenme ankraj temelleri\hafif temeller olarak adlandırılırlar (Şekil 2.17.b). Ankraj elemanlarının uçları vidalı, burgulu, kama tipli olabilirler veya bu ankrajlar ayrıca beton enjeksiyonu ile takviye edilebilir. Ağırıkları ve kütleleriyle yüklere direnen temeller ise blok temeller (ağırlık temelleri) adı ile tanımlanır (Şekil 2.17.c). Bu iki etkiyi birleştirerek hem sürtünme etkisinden, hem de blokların ağırlığından yararlanılan temel türlerini oluşturmak olasıdır.



**Şekil 2.17 :** Hafif yapılarda ankrajlar: (a)Genel ilkeler ve yapım olanakları. (b)Hafif temeller-ankraj temelleri. (c)Blok temeller ağırlık temelleri.

#### 2.4 Taşıyıcı Sistem İlkeleri Açısından Kablo Sistemler

Etkiyen yüklerin çoğunluğunun, destek elemanları tarafından gerilen veya mesnetler arasına asılan kablolarca salt çekme kuvveti ile taşındığı, basınca ve eğilme dayanımına gerek duymayan taşıyıcı sistemler *kablo sistemler* olarak tanımlanır. Benzer şekilde yerli ve yabancı literatürde asma sistemler (hanging roof structures), kablo askılı taşıyıcı sistemler (cable stayed structural systems), kablo ağları (cable networks), gergi strüktürler veya asma-germe sistemler (tensile structures) gibi tanımlara da sıkça rastlanmaktadır.

Kabloların imal edildiği çelik tellerin yüksek dayanımları ile salt çekme gerilmesi ile etkilenen taşıyıcı öğelerin oluşturduğu statik avantajlar, kablo sistemlerin etkinliğini doğuran nedenlerdir. Bilindiği gibi basınç etkisindeki bir taşıyıcı eleman burkulma (flambaj) tehlikesiyle karşı karşıyadır. Böylece taşıyıcı eleman; yapıldığı malzemenin kopma sınırı henüz daha aşılmadan kullanılamaz duruma gelir. Aynı

mesnet koşullarında, aynı yükler etkisinde, aynı malzeme ve enkesite sahip, fakat uzunlukları farklı olan iki düşey konumlu taşıyıcı eleman (kolon, çubuk, dikme vb.), birbiri ile karşılaştırıldığında, boyu daha uzun olanın basınç etkisi ile daha çabuk burkulduğu, başka bir deyişle uzun olanın daha az yük taşıyacağı bir gerçektir. Oysa çekme kuvveti ile etkilenen taşıyıcı öğelerde bu durum söz konusu değildir. Bu nedenle çekme öğeleri statik hesaplarının elverdiği kadar ince yapılabilirler ve böylece malzeme en etkin biçimde kullanılmış olur. Çekmeye çalışan taşıyıcı elemanlarda gerilmeler, enkesite eşit ve düzgün bir şekilde yayılır.

Kablo sistemler, kabloların geometrik düzenlemesine, taşıyıcı sistemi oluşturmadaki özelliklerine, statik ve konstrüktif farklılıklarına göre çeşitli adlarla tanımlanırlar. Örneğin, kabloların çatıda betonla kaplanarak monolitik bir yüzey halinde çalıştığı durumlarda asma kabuklardan söz edilir. Kablolarla çatı örtüsünün ayrı çalıştığı, rüzgâr ve kar yüklerinin çatı örtüsü tarafından karşılanarak kablolarla, oradan da destek/ankraj elemanlarına aktarıldığı durumlarda, *kablo sistemler* terimi tercih edilmektedir. Burada da daha geniş kapsamlı olan bu tanım kullanılacaktır.

Kablo sistemler, kabloların taşıyıcı sistem içinde oluşturdukları geometriler yönünden *tek kablo sistemler*, *çift kablo sistemler*, *kablo ağları* olarak üç ana bölümde ele alınır. Geometri (şekil) ve statik çalışma yönünden kablo ağlarıyla bir bisiklet tekerine benzeyen, *iç ve dış çemberli kablo sistemler* de mevcuttur.

#### **2.4.1 Tek kablo sistemler**

Sabit noktalar arasına asılmış kablolardan meydana gelen tek tabakalı düzenlemelere *tek kablo sistemler* denir. Bilindiği gibi, kablonun geometrik biçimi, dış etkiler ve iç kuvvetler tarafından belirlenir.

##### **2.4.1.1 İp eğrileri**

Kabloların yükler altında aldığı biçimler, ip eğrisi (funikular eğri) adı altında incelenirler. Kablo, etki eden yüke bağlı olarak önce bir çokgene, daha sonra giderek parabole yakın bir eğriye dönüşür. Kablo sarkarak yükü taşır. Ancak öngerilme kuvvetinin dış yüke oranla fazla olduğu veya belirleyici yüklerin kablo eksenine doğrultusunda etki ettiği durumlarda kablonun düz olduğu kabul edilebilir.

Kablodaki çekme kuvveti ve mesnetlerdeki tepki kuvvetlerinin büyüklüğü aşağıdaki etmenlerden etkilenmektedir:

- Kabloların asılma noktaları arasındaki kendi uzunluğu (L)
- Geçilen açıklık (L)
- Sarkma oku (f)
- Basıklık oranı (f/L)

Kabloların, yük altında sarkmalarının zorunlu olduğu söylenmişti. Sarkma arttıkça kablodaki çekme kuvveti azalır; buna bağlı olarak da mesnetteki tepki kuvvetleri küçülür. Özetle tepki kuvvetleri ve iç kuvvetler sarkma mesafesi ile ters orantılıdır.

Sarkma azaldıkça tepki kuvvetlerinin düşey bileşenleri ( $H_y$ ) sabit kalırken, yatay bileşenleri ( $H_x$ ) büyüyerek sonsuza yaklaşacağına göre,  $f = 0$  olduğunda,  $H_x = \infty$  olur

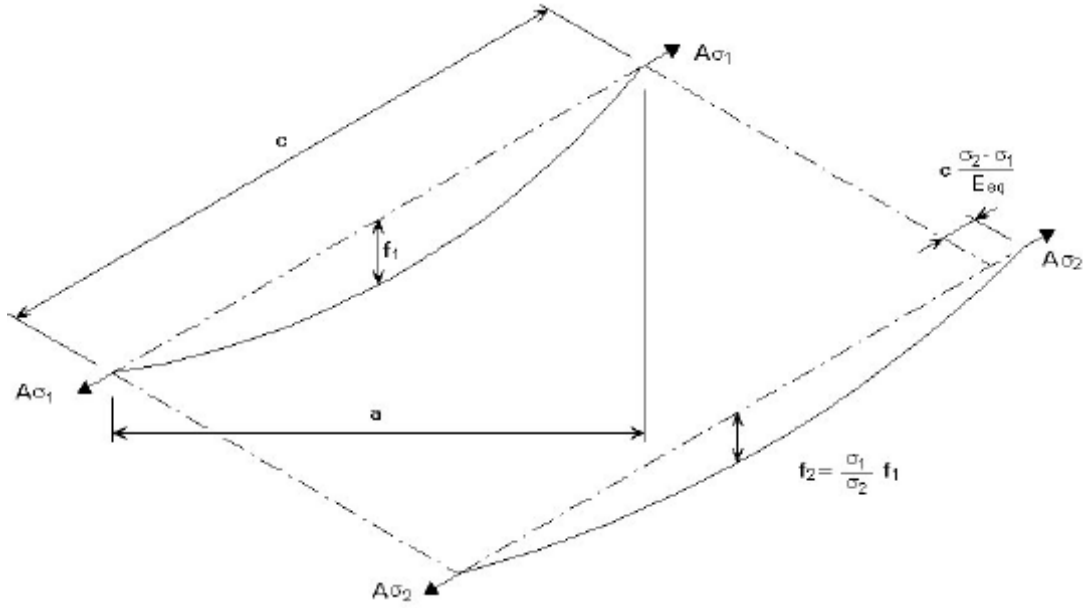
Bu kuramsal olarak mümkün olamayacağına göre, düşey yükler altında sarkmanın zorunluluğu açıkça ortaya çıkar. Sarkma, sadece yükün, kablonun eksen boyunca etkidiği durumda ortaya çıkmaz. Kablo ağırlığından doğacak kuramsal sarkma ise, öngerilme kuvveti tarafından yok edilebilir. Statik çözümlemede; kablonun uzamadığı ve tam bükülebilir olduğu, kablodaki çekme kuvvetinin kablo eğrisine daima teğet olduğu varsayılır. Bu durumda kablo, statik yönden belirli olur. Çünkü mesnetlerdeki dört bilinmeyene karşılık üç denge şartı denklemleri yazılabilmektedir.

Bilinmeyenler : ( $H_{1X}, H_{1Y}, H_{2X}, H_{2Y}$ )

Denge şartı denklemleri : ( $\Sigma H_X = 0, \Sigma H_Y = 0, \Sigma M = 0$ )

Kablo tam bükülebilir olduğundan herhangi bir noktadaki moment de sıfır olacağından dördüncü bilinmeyen denklem de bulunmuş olur.

Kablolu yapıların servis yükleri (öz ağırlıklar, hareketli yükler vb.) altında davranışı doğrusal değildir. Bu doğrusal olmayan davranışın kaynağı büyük bir oranda kablolardır. Kabloların üstündeki aksenal yüklerden ve kendi ağırlığından kaynaklanan sehim kablonun rijitliğini değiştirmektedir. Klasik yapı elemanlarında sehimlerin rijitliğe etkisi terkedilebilecek kadar azdır ve bu nedenle genelde ihmal edilir. Buna karşılık kablolarda durum farklıdır. Serbest halde duran bir kablo ile üstünde yüksek miktarda çekme kuvveti etkisi olan kablonun rijitliğinin doğru belirlenmesi, kablolu yapıların analizi açısından önemlidir. Aksenal kuvvete bağlı rijitlik değişimi birkaç farklı yöntemle yapılabilmektedir. Şekil 2.18'de kablolarda sehim ve gerilmenin yüke bağlı olarak değişimi gösterilmiştir.



**Şekil 2.18** : Kablolarda eksenel yüke bağlı gerilme ve sehim değişimi [2].

Bu yöntemlerden en yaygın kullanılanı “Eşdeğer Elastisite Modülü” yöntemidir. Bu yöntemde kablo elemanının eşdeğer elastisite modülü kablo üstündeki çekme kuvvetine ve sehim miktarına bağlı olarak hesaplanmaktadır. Eşdeğer elastisite modülü formülü çeşitli kaynaklarda verilmiştir. Denklem (2.2)’de AASHTO 2004 LFRD ‘ye göre eşdeğer elastisite modülü formülü yer almaktadır [5,6]

$$E_{MOD} = E_X \left[ 1 + \frac{E \times A \times (Wk)^2 \times (\cos\alpha)^5}{12 \times H_y^3} \right] \quad (2.2)$$

- $E_{MOD}$  : Eşdeğer kablo elastisite modülünü (Mpa)
- $E$  : Kablo elastisite modülünü (Mpa)
- $W_k$  : Kablo ağırlığını (N)
- $A$  : Kablo en kesit alanını ( $mm^2$ )
- $\alpha$  : Kablonun yatayla yaptığı açığı ( $^\circ$ )
- $H_y$  : Kablo kuvvetinin yatay bileşenini (N)

göstermektedir.

Bilgisayar programlarıyla yapılan analizlerde, bu eşdeğer rijitliğin yanında, kablolardaki çekme kuvvetleri de göz önüne alınarak bu kuvvetlerin ikinci mertebe etkileri hesaba katılabilmektedir. Bu şekilde ayrıca, kabloların serbest titreşim modlarının da analiz dışında kalması sağlanabilmektedir.



### 2.4.1.2 Optimum sarkma

Sarkma oku ile kablodaki çekme kuvvetinin ters oranda olması, optimum sarkmanın hangi değerde olduğu sorusunu ortaya atmaktadır. Sarkma arttıkça kablo daha fazla yük taşıyabilir. Diğer taraftan kablonun boyu uzar (fazla kablo sarfiyatı), kabloyu destekleyecek alt elemanların (örneğin pylonların), gergi direklerinin ve diğer destek elemanlarının yüksekliği artar. Örtülen mekânda kullanılmayacak boşluklar oluşur. Başka bir deyişle kabloların sarkmaları arttığında taşıma güçlerinin artmasına paralel olarak kablo boyları uzar, inşaat hacmi artar, ancak kullanım alanı artmaz. Bu aynı zamanda daha fazla ısıtma, aydınlatma ve havalandırma giderleri doğuran bir durumdur. Dolayısıyla her iki durumu dengeleyecek optimal ara değerlerin kullanılması yeğlenilmektedir.

Taşıma gücü açısından optimal sarkmalar, L kablonun geçtiği açıklığı göstermek üzere aşağıdaki gibidir:

Tekil yük altında optimal sarkma denklem (2.3)'te yer almaktadır;

$$f = 1/2 L \quad (2.3)$$

Eşit yayılı yük altında optimal sarkma denklem (2.4)'te yer almaktadır;

$$f = 3/10 L \quad (2.4)$$

Zincir eğrisi durumunda optimal sarkma denklem (2.5)'te yer almaktadır;

$$f = 1/3 L \quad (2.5)$$

Oysa pratikte sarkma oranı çoğunlukla daha küçük olup  $f=1/8 L$  ile  $f=1/20 L$  gibi bir değer arasında değişir [1].

### 2.4.1.3 Çekmeye çalışan malzemelerin teknik özellikleri

*Kısa süreli mukavemet* : Kısa süreli etki eden yükler karşısındaki mukavemet, çizgisel elemanlarda (çubuk elemanlarda)  $N/mm^2$  gibi, yüzeysel elemanlarda, örneğin membran malzemedede,  $N/mm$  olarak verilir.

*Uzun Süreli Mukavemet* : Uzun süre aynı yük altında kalan kablolar değişik bir davranış gösterirler (plastik deformasyon, sünmeler). Bu yükler öngerilme, kar yükü olabilir. Özellikle öngerilme, ısı farklarında etkilenir. 100, 1.000 ve 10.000 saatlik aralıklarla deneme yapılarak uzun süreli mukavemet denenir.

*Kopma Uzunluğu* : İp, kablo, halat gibi çekme etkisindeki bir yapı elemanının dayanımının en güzel ifadesi kopma uzunluğu kavramıdır. Sabit bir noktadan sarkan,

öngerilmesiz bir çekme elemanının, kendi ağırlığı altında koptuğu uzunluğa denir. Genellikle bu uzunluk km olarak verilir. Kopma uzunluğu malzemedan malzemeye değişmekte olup yapı elemanının kalınlığıyla, enkesit alanıyla vb. ilişkili değildir. Aynı malzeme ve kalitede enkesit alanı 1 mm<sup>2</sup> olan tek bir tel ile bu tellerden yapılmış örneğin enkesit alanı 5 cm<sup>2</sup>'lik bir tel grubunun kopma uzunluğu aynı olacaktır. Alttaki eşitlikte görüldüğü gibi, çekmeye çalışan bir malzemenin kopma uzunluğu, o malzemenin emniyet gerilmesinin özgül ağırlığına bölünmesiyle ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle doğal ip, suni elyaf gibi hafif malzemelerin kopma uzunluğu bir çelik kablondan daha uzun çıkmaktadır. Kısaca kopma uzunluğu, bir taşıyıcı elemanın kalınlığı veya ağırlığıyla değil doğrudan doğruya malzemesinin özgül ağırlığı ve emniyet gerilmesi ile ilişkilidir.

Kopma uzunluğunun nasıl hesaplandığı aşağıdaki eşitlikte görülmektedir. Eşitlikteki değişkenlerin neleri belirttiği de izleyen satırlarda gösterilmektedir.

Kopma uzunluğunun hesaplanması denklem (2.6) ve (2.7)'ye göre yapılır.

$$\sigma = P/A = A \times L \times \delta / A \quad (2.6)$$

$$L = \sigma / \delta \quad (2.7)$$

A	: En kesit alanı	cm <sup>2</sup>
L	: Uzunluk	km
$\delta$	: Özgül ağırlık	kN/cm <sup>3</sup>
$\sigma$	: Kısa süreli mukavemet	kN/cm <sup>2</sup>

Yaygın olarak bilinen bazı yapı malzemelerinin kopma uzunlukları Çizelge 2.2'de gösterilmektedir. Burada ilginç olan nokta, etkinlik kavramının taşıma gücünün fazla olup olmamasına dikkat edilmeksizin, birim ağırlığın taşıdığı toplam yüke göre değerlendirilmesinin doğru olacağı görüşünün böylece sergilenmesidir. Çelik kablondan emniyet gerilmesi yüksek olduğu halde, kendi özgül ağırlığına göre kıyaslandığında perlon ipliği daha etkin bir malzeme olarak görülmekte, başka bir deyişle, daha az ağırlıkla daha fazla yük taşıyabilmektedir. Hatta bir örümcek ağının ince ipliği dahi bu kavram çerçevesinde insan yapısı birçok malzemenin etkinliğinin üzerinde yer almaktadır [1].

**Çizelge 2.2 :** Bazı yapı malzemelerinin kopma uzunlukları.

Yapı Elemanı Türü	Kopma Uzunluğu
Çelik profiller	6.5 km
Çelik kablolar	19-38 km
Pamuk ipliği	25-50 km
Perlon iplik	48 km
Cam elyaf	70 - 120 km

#### 2.4.1.4 Kablolarda kesit tayini

Kablonun faydalı kesit alanı  $A_t$  ve kablodaki maksimum çekme kuvveti  $T_{max}$  ise denklem (2.8)'den gerekli kablo alanı hesaplanabilir.

$$\sigma_{emn} = T_{max} / A_t \quad (2.8)$$

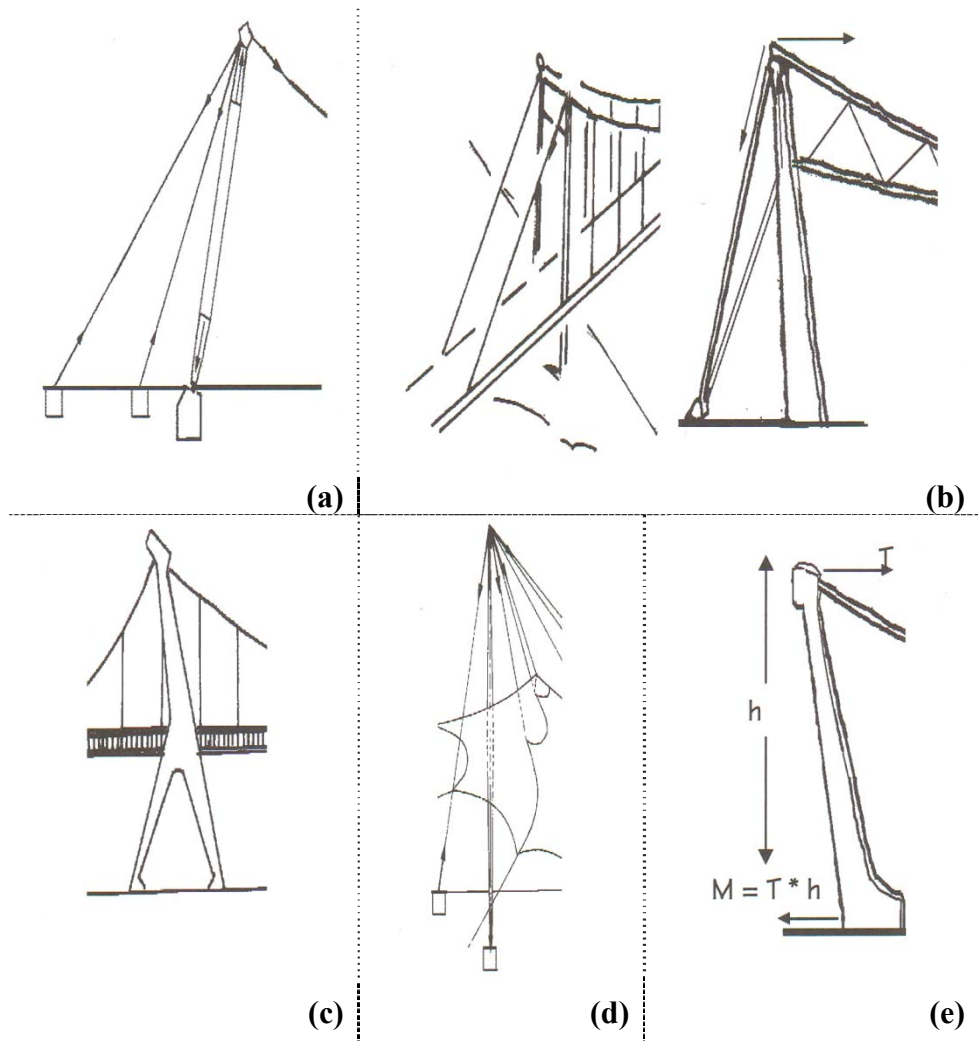
Faydalı alan bulununca, bunun 3/2'si (1.5 katı) aranan enkesit alanını verir. Emniyet katsayısı 2.5 olup, kablo türüne bağlı olarak belirlenir.

#### 2.4.1.5 Kablo sistemlerde mesnetlenme olasılıkları

Özellikle tek kablo ve çift kablo gibi bir eksen doğrultusunda çalışan kabloların bir noktadan destek elemanına asıldığı durumlarda, mesnetlenme olanakları kablonun bitiş durumu ile ilişkilidir. Ortaya üç seçenek çıkmaktadır.

- Kablo, destek elemanına, oradan da mesnete (ankraj noktasına) kadar uzandığında düşey taşıyıcı eleman (dikme, kolon veya pilon) aksenal olarak yüklenir. Bu durum kablo ile destek elemanının tanımladığı düzlemde düşey olarak etki eden yükler için geçerlidir. Yan\yatay kuvvetlere karşı koyabilme için mesnetin ankastreliği gerekir (Şekil 2.19c). Düşey\eğik taşıyıcı, açıklık geçen kablo ile gergi kablosunun açığırtayında düzenlendiğinde basınca çalışma özelliği artar, eğilme etkisi azalır (Şekil 2.19b).
- Kablo, destek elemanı olan düşey taşıyıcıda son buluyorsa, mesnette, dikmenin yüksekliği ile kablodaki kuvvetin çarpımından oluşan bir moment ortaya çıkar. Dolayısıyla, bu momenti karşılayabilmek için, düşey taşıyıcı yere muhakkak ankre edilmelidir. Düşey taşıyıcı artan momente paralel olarak alta doğru bir büyüme gösterir. Üstte ince, altta kalın bir pilon ortaya çıkar (Şekil 2.19e).

- Tek bir düzlem oluşturmayıp uzay içine yayılmış en az üç kablunun ortasına doğru yerleştirilmiş olan bir düşey taşıyıcıda sadece basınç gerilmesi görülecektir. Bu nedenle mesnetin ankastre özellikte yapılması gerekmez. Pilon, uçlarında ince, ortasında kalın bir görünüm alır (Şekil 2.19a;d).



**Şekil 2.19** : Kabloların mesnetlere bağlanma olasılıkları.

Kabloların taşıyıcı sistem içinde oluşturdukları geometriler yönünden çift kablo sistemler, kablo ağları ve iç ve dış çemberli kablo sistemler bu tez çalışmasının kapsamında olmadığı için incelenmeyecektir.

### 3. YAPININ TANITILMASI

#### 3.1 Çatı Genel Özellikleri

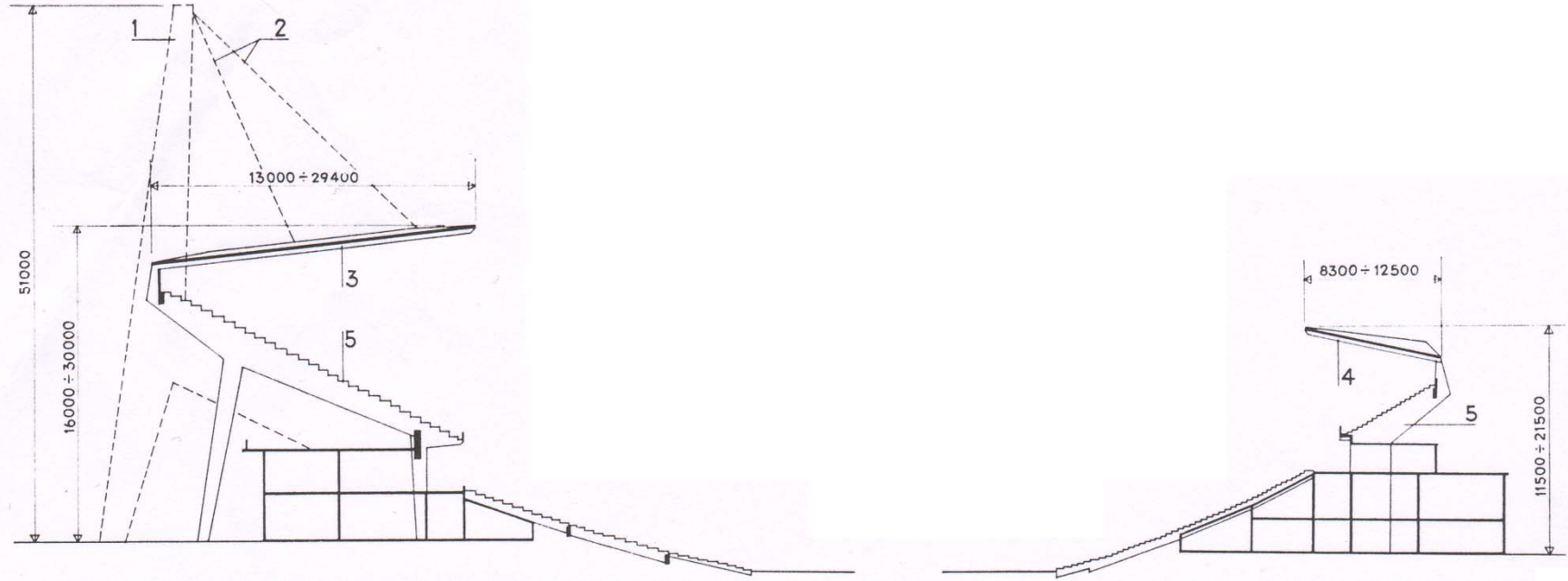
Ullevi stadyumu dünya futbol şampiyonası için İsveç-Göteborg'da 1957-1958 yılları arasında mimar F. Jaenecke & S. Samuelson ve mühendis Wermes Ingenjorsbyra & Svenska Industribyggen AB tarafından inşa edilmiştir (Şekil 3.1). İşin montaj süresi 4 ay sürmüştür. Kapalı tribünlerin toplam kapasitesi 55 000 kişidir.

Stadyum oval bir plan en kesite sahip olup çevre uzunluğu 700 m' dir. Taşıyıcı sistem giriş tarafında yer alan kapalı tribün çatısı iki adet, her biri 51 m yüksekliğinde beton pilonlara asılmıştır. Her bir pilonun hissesine 2000 m<sup>2</sup> çatı alanı düşmektedir. Kabloların çekmesi nedeniyle çatı düzleminde oluşan basınç kuvvetleri boyuna doğrultuda teşkil edilen  $\phi 500$  mm çaplı basınç borusu ile karşılanmaktadır. Her bir çatı kirişi bir düğüm levhası yardımıyla borulara kaynaklanmıştır. Bunun dışında kalan tüm tribün çatısı 46 adet ışınal doğrultuda kaynaklanmış ve beton çerçeveye rijit bağlanmış konsollardan oluşmaktadır.

Sistem kablo askılı çatı olduğundan hafif çatı sistemi tercih edilmiştir. Siporex'den oluşan hafif beton plakları geniş başlıklı çelik aşıklara mesnetlendirilmiştir. Çatı ağırlığı 500 ton ( $\sim 0.40$  kN/m<sup>2</sup>) olarak hesap edilmiştir.



Şekil 3.1 : Ullevi stadyumu (İsveç-Göteborg).



- 1- Betonarme pilon 2 adet- 51m yüksekliğinde
- 2- Taşıyıcı kablolar ( $\phi 36 \times 12$  adet -  $\phi 57 \times 16$  adet)
- 3- Çatı kablo askılı konsol kirişi
- 4- Çelik konsol kirişi
- 5- Betonarme tribün çerçevesi

**Şekil 3.2 :** Ullevi stadyumu en kesit görünüşü.



## 3.2 Tasarım Parametreleri

### 3.2.1 Malzeme

#### 3.2.1.1 Beton (TS500-2000)

TS500-2000 standardının [7] önerdiği şekilde denklem (3.1)'e göre betonun elastisite modülü hesaplanıp, Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

$$E_c (MPa) = 3250 \sqrt{f_{ck} (MPa)} + 14000 \quad (3.1)$$

**Çizelge 3.1 :** Analiz için kullanılan beton malzemelerinin özellikleri.

Eleman	Malzeme	F <sub>ck</sub> (Beton karakteristik basınç mukavemeti)	E <sub>c</sub> (Beton elastisite modülü)
Pilon + Kolonlar	C50	50 MPa	37000 MPa
Temeller ve Üstyapı	C35	35 MPa	37000 MPa

1000 kN/m<sup>2</sup> = 1 MPa

#### 3.2.1.2 Donatı (TS708)

Analizlerde kullanılacak donatı malzemesinin özellikleri Çizelge 3.2'de verilirken, betonarme kolon ve kiriş elemanları için paspayı 4 cm, radye temel için ise 7 cm alınmıştır.

**Çizelge 3.2 :** Analiz için kullanılan donatı malzemesinin özellikleri.

Eleman	Malzeme	F <sub>yk</sub> (Donatı karakteristik akma mukavemeti)	E <sub>s</sub> (Donatı çeliği elastisite modülü)
Tüm Betonarme Elemanlar	S420 BÇIII	420 MPa	200000 MPa

#### 3.2.1.3 Yapı çeliği (TS648 ve TS-EN 10025)

Taşıyıcı sistemin konsol çatı kirişleri Avrupa norm profilleri (geniş başlıklı HEA profilleri), Çatı düzlemi rijitlik elemanları ise daire kesitli boru profillerle teşkil edilecektir.

Sistemin tasarımında Fe33 (S186), Fe37(S235), Fe44(S275), Fe52 (S355) yapı çeliği kullanılması öngörülmektedir. Yapı çeliğinin özellikleri ile ilgili olarak, DBYBHY-2007 4.2.3.1 ve TS648 standardı geçerlidir [8,9].

Taşıyıcı sistemin yapı çeliğine ait malzeme emniyet gerilmeleri ve elastisite modülü Çizelge 3.3'te verilmiştir.



**Çizelge 3.3 :** Analiz için kullanılan yapı çeliği malzemelerinin özellikleri.

Eleman	Malzeme	$\sigma_u$ (Yapı çeliği kopma gerilmesi)	$\sigma_a$ (Yapı çeliği akma gerilmesi)	$\sigma_{em}$ (Yapı çeliği emniyet gerilmesi)	$\tau_{em}$ (Yapı çeliği emniyetli kayma gerilmesi)	$E_s$ (Malzeme Elastisite modülü)
Çatı rijitlik elemanları (boru profiller)	Fe33/S185	363 MPa	185 MPa	112 MPa	65 MPa	210000 MPa
Levha ve lamalar	Fe37/S235	363 MPa	235 MPa	141 MPa	82 MPa	
Konsol giriş ve aşık elemanları	Fe44/S275	431 MPa	275 MPa	165 MPa	96 MPa	
Kablo birleşim elemanları	Fe52/S355	510 MPa	355 MPa	212 MPa	122 MPa	
Kablo elemanlar	Çelik özlü alat; Kopma Dayanımı : 1960 N/mm <sup>2</sup>					125000 MPa

#### 3.2.1.4 Birleşim elemanları (TS648)

Birleşim aracı olarak kaynak ve bulon kullanılmıştır. DBYBHY-2007 4.2.3.2'ye uygun olarak, deprem yükleri etkisindeki elemanların birleşim ve eklerinde ISO 8.8 (akma gerilmesi,  $\sigma_a = 640$  MPa) ve ISO 10.9 kalitesinde (akma gerilmesi,  $\sigma_a = 900$  MPa), deprem yükleri etkisinde olmayan elemanların birleşim ve eklerinde ise ISO 5.6 (akma gerilmesi,  $\sigma_a = 300$  MPa) bulon kullanılacaktır.

Kaynaklı birleşimler ve kaynak malzemesi ile ilgili olarak DBYBHY-2007 4.2.3.3 ve 4.2.3.4 geçerlidir. Kaynaklı birleşimlerde çelik malzemesine ve kaynaklama yöntemine uygun elektrod kullanılacak ve elektrodun akma dayanımı birleştirilen malzemelerin akma dayanımından daha az olmayacaktır. Moment aktaran çerçevelerin kaynaklı kolon-kiriş birleşimlerinde tam penetrasyonlu küt kaynak veya köşe kaynağı dikişleri kullanılacaktır. Bu kaynaklarda kullanılan elektrodun minimum Charpy-V-Notch (CVN) dayanımı (Çentik Dayanımı) -298C'de 27 Nm (27 J) olacaktır [8].

Kaynaklı birleşimlerde çelik malzemesine ve kaynaklama yöntemine uygun elektrod kullanılmış ve elektrodun akma dayanımı birleştirilen malzemenin akma dayanımından daha az olmayacak şekilde seçilmiştir.

İMO-01.R-01'e göre köse kaynak dikişleri için kaynak emniyet gerilmesi ilave metalin (elektrod malzemesi) çekme dayanımının %30'u kadar alınacaktır [10].

### 3.3 Yapıya Etkiyen Karakteristik Yükler

Ullevi stadyumunun tasarımında kullanılan yükler TS498-1997 [11], TS ISO 9194-1997 (kalıcı yükler, hareketli yükler, kar, buz ve rüzgar yükleri) ve DBYBHY-2007 (deprem yükleri) yönetmeliklerinden alınacaktır.

#### 3.3.1 Kalıcı (sabit, zati, öz, ölü) yükler (D-Sd)

Yapı elemanlarının (taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan) öz yükleridir. Ullevi stadyumunun tasarımında kullanılan kalıcı yükler şunlardır:

- Betonarme birim hacim ağırlığı:

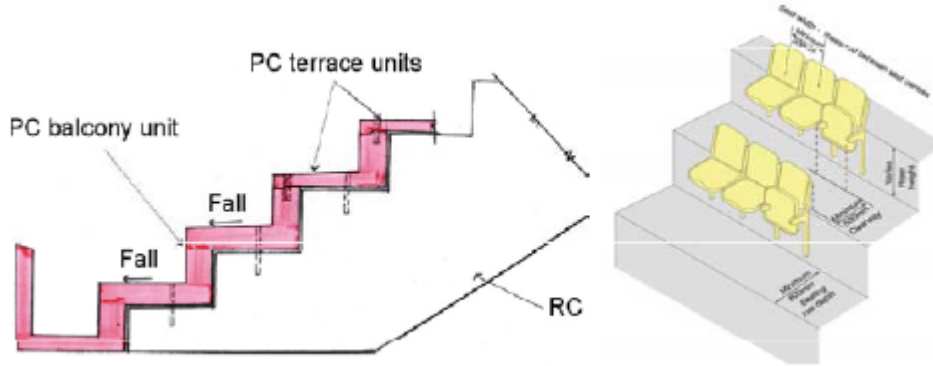
$$\gamma_{\text{Concrete}} = 25.00 \text{ kN/m}^3$$

- Çelik birim hacim ağırlığı:

$$\gamma_{\text{Steel}} = 78.50 \text{ kN/m}^3$$

- Tribün prekast döşeme ağırlığı (Şekil 3.5) :

Prekast döşeme ağırlığı	5.20	kN/m <sup>2</sup>
Kaplama + koltuk	0.50	kN/m <sup>2</sup>
Sd =5.70		kN/m <sup>2</sup>



Şekil 3.5 : Tribün detayı.

İlgili düzlemlere Sd (super dead) yüklemesi olarak etkilmiştir.

- Çatı kaplama ağırlığı : Siporex hafif beton plak  $q_{\text{çatı}}=0.36 \text{ kN/m}^2$
- Stadyum çatısını taşıyan her iki pylonun tepe noktasına asılmış aydınlatmaların ağırlığını hesaba katmak için ilgili noktalara 40.00 kN tekil kuvvet etkilmiştir.
- Stadyum çatısının konsol uçlarına asılan aydınlatmaların ağırlığını hesaba katmak için ilgili elemanların üzerine 0.40 kN/m çizgisel kuvvet etkilmiştir.
- Tribün konsol kiriş uçlarına asılan reklam panolarının ağırlığını hesaba katmak için ilgili elemanların üzerine 1.00 kN/m çizgisel kuvvet etkilmiştir.

### 3.3.2 Hareketli yükler

Yapı elemanlarına zaman zaman etkiyen ve yer değiştiren statik yüklerdir. Ullevi stadyumunun tasarımında kullanılan hareketli yükler şunlardır:

#### 3.3.2.1 İnsan ve servis yükleri (L-Lr)

TS 498-1997' e göre tribünlerde ayakta bulunan hareketli insan yükü olarak  $q_{tribün}=7.50 \text{ kN/m}^2$  alınmalıdır. Tribünlerde sabit koltuk olması durumunda  $q_{tribün}=5.00 \text{ kN/m}^2$ . Ayrıca çatı düzlemine bakım ve servis hizmetleri için hareketli yük olarak  $q_{çatı}=0.30 \text{ kN/m}^2$  alınmış ve Lr (roof live load) yüklemesi olarak etkilmiştir.

#### 3.3.2.2 Kar yükü (S)

Kar yoğunluğu için tek değer vermek mümkün değildir, çok değişkendir. Şekil 3.6'da gösterildiği üzere normal kar yoğunluğu  $100-300 \text{ kg/m}^3$  arasındadır, sulu yağın kar  $400-500 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa varabilir, buz  $900-970 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğu ile sudan daha hafiftir ve suda yüzer. Eriyerek su halini aldığıında  $1000 \text{ kg/m}^3$  olduğu düşünülürse iyi bir karşılaştırma yapılabilir [12].

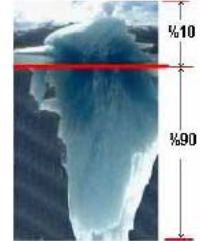


Yeni yağmış, sulu olmayan yumuşak kar:  $100 \text{ kg/m}^3$



Yeni yağmış sulu yumuşak kar:  $400-500 \text{ kg/m}^3$

Buz:  $900-970 \text{ kg/m}^3$ . Buz sudan hafiftir, bu nedenle Eisberg suda yüzer, ancak en çok %10 u su üstünde görülür. En az %90 'ı su altındadır.



Beklemiş sıkı kar:  $300 \text{ kg/m}^3$



Su:  $1000 \text{ kg/m}^3$

Şekil 3.6 : Kar yoğunlukları.

Kar, yapının çatı döşemesine etkiyen hareketli yük tipidir. Yapının yapılacağı yere, yerin deniz seviyesinden yüksekliğine ve çatı eğimine bağlıdır. TS 498-1997 madde 7 ve 8 e göre hesaplanır. Türkiye dört kar bölgesine ayrılmıştır. Yapının inşa

edileceği il veya ilçenin kar yükü bölge numarası yönetmeliğın 14-18 sayfalarındaki çizelgeden alınır. Eğimli çatıdaki karın yükü çatı döşemesine etkiyen düzgün yayılı yüke dönüştürülür. Birimi  $kN/m^2$  dir.

Ullevi stadyumunun çatı eğimi  $7^\circ$ 'dir. TS 498 Madde 7 uyarınca  $30^\circ$  'ye kadar eğimli çatılarda kar yükü hesap değeri ( $P_k$ ), kar yükü ( $P_{k_0}$ ) değerine eşit kabul edilir ve çatının plandaki alanına düzgün yayılı yük olarak etkililir. Yapı konum itibari ile II. bölgede ve denizden 500 m yukarıda kabul edilmiştir. Buna göre  $q_{kar}=0.75kN/m^2$  alınmıştır. Elverişsiz sonuç vermesi itibari ile çatı sol ve sağ düzlem olarak ayrılmış ve kar yüklemesi her bir düzleme ayrı ayrı yapılmıştır. Tribünlerin ön kısmında kar birikmesi oluşacağı düşüncesiyle, bu bölgelerde  $q_{kar}=1.25kN/m^2$  alınmıştır.

Stadyum çatı alanının büyüklüğü göz önünde bulundurulduğunda, çatı yağmur esnasında azımsanmayacak bir düşey yağmur yükü ile karşı karşıya kalacaktır. Bu etkiyi hesaplarda göz önüne almak için çatı düzlemine dik yağmur yükü olarak  $q_{yağmur}=0.50kN/m^2$  alınmış ve çatı düzlemine R (Rain Load) yüklemesi olarak etkililmiştir.

### 3.3.3 Yatay yükler

Yapıya yatay olarak etkidiği varsayılan statik ve dinamik yüklerdir. Ullevi stadyumunun tasarımında kullanılan yatay yükler şunlardır:

#### 3.3.3.1 Deprem yükü (E)

Bir bölgenin depremselliği depreme maruz kalma derecesidir. Bir bölgenin depremselliğini belirlemede faylardan yararlanıldığı gibi deprem kayıtlarından da faydalanılmaktadır. Deprem sırasında oluşan yüzey dalgaları yapıda basınç-çekme gerilmeleri ve/veya kayma gerilmeleri oluşturmaktadır. Analizde kullanılan depremlerde faydaki yırtılma boyunun deprem büyüklüğü ile orantılı olduğu görülmektedir. Enerjinin zamanla geniş ortamlara yayılmasından ve ortamın sönümünden dolayı faydan uzaklaştıkça maksimum ivme azalmaktadır. Aynı zamanda büyük depremlerin büyük genlikli dalgalar ürettiği ve deprem genliğinin uzaklıkla azaldığı bilinmektedir. Depremin büyüklüğü de dalga hareketi ile ters orantılıdır [13].

Depremin merkez üstünden uzaklaştıkça depremin enerjisi yayılmakta ve maksimum ivme hızla düşmektedir. Deprem hareketinin maksimum ivmesi oldukça önemlidir.

Ayrıca ivmenin yanında depremin süresi de çok önemlidir [13]. Maksimum ivmeleri düşük olsa bile süresi uzun olan depremlerde önemli hasarlar meydana gelmektedir.

Deprem hesabı için kullanılabilen yöntemler üç grupta toplanabilir. Bunlar;

- Eşdeğer Statik Deprem Yüğü Yöntemi (EDY)
- Mod Birleştirme Yöntemi (MBY)
- Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi (ZTH)

MBY ve ZTH yöntemleri, tüm binaların ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılabilir. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi ile deprem hesabı (Time History Analysis) ivme kayıtları kullanılarak çözüm yapılır [14].

Dinamik analiz aşamaları sırasıyla aşağıda özetlenmiştir.

#### *Deprem Parametrelerinin Tanımlanması ve Taşıyıcı Sistem Modeli Oluşturulması:*

Tasarımı yapılacak stadyum yapısının birinci derece deprem bölgesinde, Z3 yerel zemin sınıfı üzerinde olduğu kabul edilecek ve spor tesisi, tiyatro ve konser alanları olarak kullanılacaktır. Bu parametreler esas alınarak belirlenen deprem karakteristikleri ve ilgili DBYBHY-2007 maddeleri aşağıda verilmiştir.

- Etkin yer ivmesi katsayısı (1. Derece deprem bölgesi)  $A_0=0.40$  (DBYBHY-2007 2.4.1-Tablo 2.2)
- Bina önem katsayısı (İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar)  $I=1.20$  (DBYBHY-2007 2.4.2)
- Spektrum karakteristik periyotları (Z3 yerel zemin sınıfı)  $T_A=0.15$  s,  $T_B=0.60$  s (DBYBHY-2007 2.4.3-Tablo 2.4)
- Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (deprem yüklerinin tamamının, üsteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar)  $R=4$  (DBYBHY-2007 Tablo 2.5)

Dayanıma Göre Tasarım Yaklaşımı kapsamında deprem etkisi altında taşıyıcı sistemde meydana gelen doğrusal olmayan (nonlineer) yapısal davranışı dikkate almak amacı ile elastik deprem yükleri, taşıyıcı sistemin türüne ve süneklik düzeyine bağlı olarak aşağıdaki bağıntı ile tanımlanan Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı  $R_a(T)$ 'ye bölünerek azaltılırlar.

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı  $R$ , Süneklik (kapasite) Katsayısı  $\mu$  ile Dayanım Fazlalığı Katsayısı  $D$ 'nin çarpımına karşı gelmektedir ( $R = D\mu$ ). Yukarıda verilen

birinci bağıntıda Dayanım Fazlalığı Katsayısı konservatif bir yaklaşımla  $D = 1.5$  olarak alınmıştır.

- Hareketli yük katılım katsayısı (Spor tesisi, arenalar)  $n = 0.60$

Deprem parametreleri tanımlandıktan sonra taşıyıcı sistemin üç boyutlu matematiksel modeli SAP2000 v.15.1.0 paket programında [15] oluşturulmuştur.

*Zaman tanım alanı fonksiyonu tanımlanması:*

Zaman tanım alanı fonksiyonlarının tanımlanmasında kaydedilmiş veya benzeştirilmiş yer hareketlerinin kullanımına izin verilmektedir. Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre analizde kullanılmak üzere en az üç adet deprem kaydı belirlenmelidir. İvme kayıtlarının uyması gereken koşullar deprem yönetmeliğinin 2.9.1 bölümünde verilmiştir. Bu koşullar aşağıdaki gibidir:

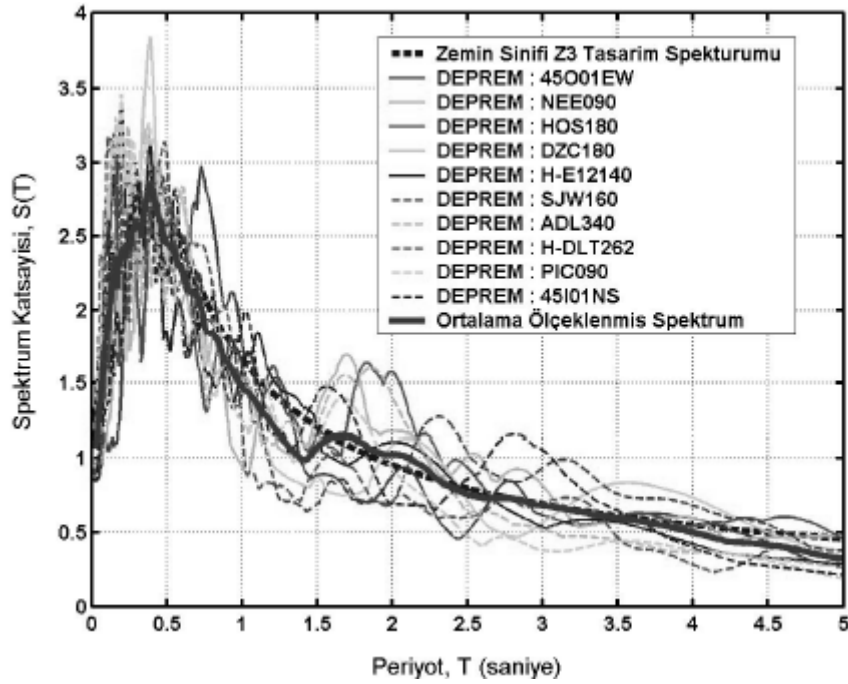
- Kuvvetli yer hareketi süresi, binanın doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- Deprem yer hareketlerinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması  $A_0 g$  'den daha küçük olmayacaktır.
- Her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için bulunan spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyot  $T_1$ 'e göre  $0.2T_1$  ile  $2T_1$  arasındaki periyotlar için, yönetmelikte tasarım için bölüm 2.4'te tanımlanan spektrumun  $S_{ae}(t)$  elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır.
- Yönetmelik gereğince zaman tanım alanında doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, 3 adet kayıt kullanılması halinde sonuçların maksimumu 7 adet deprem kaydı kullanılması halinde sonuçların ortalaması alınabilmektedir. Bu tez çalışmasında 7 adet kayıt tanımlanarak sonuçların ortalaması alınacaktır.

Bu çalışmada, Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center, <http://peer.berkeley.edu/smcat>) kuvvetli yer hareketi veri bankasında bulunan deprem kayıtları kullanılmaktadır. Burada, dünyanın çeşitli yerlerinde aktif tektonik faaliyet gösteren bölgelerde meydana gelen 92 sığ kabuksal depremden alınan 4062 kayıt mevcuttur.

İMO Teknik Dergi, 2008 4423-4444, Yazı 292 adı ile kayıtlı Fahjan, Y. M., 2008. TDY Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve

Ölçeklenmesi çalışmasından alınan Türkiye’de yerel zemin sınıfı Z3 olan bölgelerde (Stadyum yapısının zemin sınıfı Z3 olan bir bölgede olduğu kabulü ile) kullanılabilir deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları aşağıdaki tabloda özet halinde verilmiştir [13].

Türkiye’nin genel fay yapısı doğrultu atımlı (strike-slip) olduğundan ölçekleme yapmak için genellikle doğrultu atımlı fayların oluşturduğu deprem kayıtları seçilmiştir. Fakat diğer fay türlerine ait her zemin cinsi için de en az iki tane kayıt ölçeklenmiştir. Yakın fay bölgesinde yer hareketlerinin özellikleri diğerlerine nazaran çok farklı olduğu için kayıtların hem yakın fay hem de uzak fay bölgelerini kapsayacak şekilde seçilmesine özen gösterilmiştir. Ölçekleme yapılırken kaydın her iki bileşeninin tepki spektrumu ayrı ayrı ele alınmış ve ayrı ayrı ölçekleme katsayısı hesaplanmıştır. Kayıtlar seçilirken her bir kayda ait tek bir bileşen (N-S veya E-W) seçilmiş olmasına dikkat edilmiştir. Fakat tasarım ivme spektrumuna daha iyi uyum sağlayan kayıtların bulunamadığı durumlarda yalnız bir yatay bileşen kullanılmıştır.



**Şekil 3.7 :** DBYBHY (2007)’de yerel zemin sınıfı Z3 olan elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş deprem kayıtlarının uyumu [13].

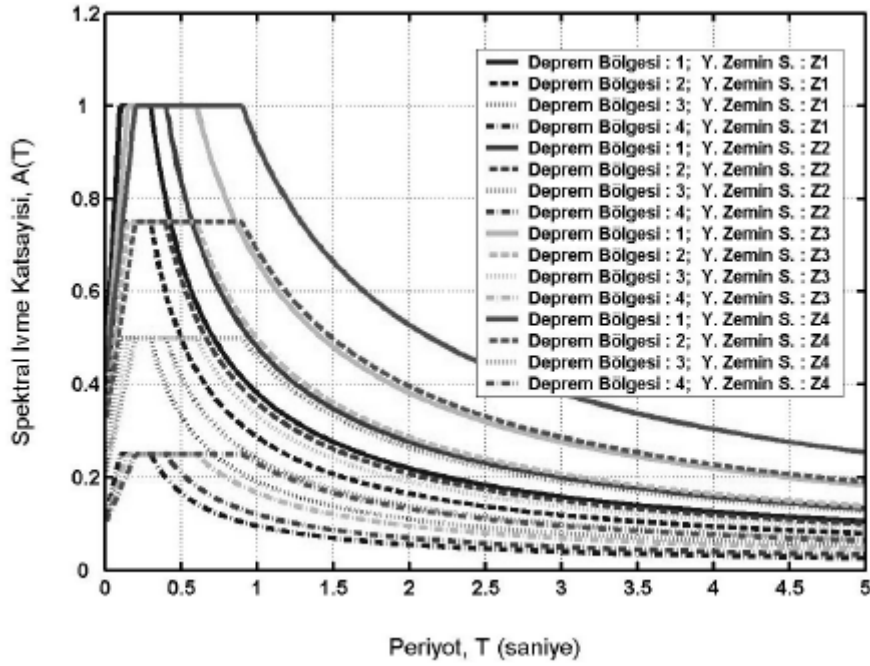
Şekil 3.7’de elastik spektral ivme değerlerinin Z3 zemin sınıfı için oluşturulan elastik spektrum ivme değerlerinin %90’ından daha az olmadığı açıkça görülmektedir. Yönetmelikteki bu uygunluk şartının sağlanması amacıyla deprem kayıtlarının ölçeklenme katsayısı ile ötelenmesi gerekmektedir. Şekilde görülen ivme spektrumu ölçeklenmiş kayıtlar kullanılarak elde edilmiştir [13].

**Çizelge 3.4 :** Türkiye'de yerel zemin sınıfı Z3 olan bölgelerde kullanılabilir deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları ( $\alpha_{st}$ ) [13].

PEER Kayıt No	Deprem	Tarih	İstasyon	Kayıt	Fay Kırığına en yakın mesafe (km)	Büyükklük (M)	Kayıt Süresi (sn)	Anlamlı Süre (sn)	Faylanma Şekli	Ölçekleme Katsayısı ( $\alpha_{st}$ )	Oransal Göreceli Hata (%)
P0170	<b>Imperial Valley</b>	15.10.1979	6605 Delta	H-DLT262	43.60	6.5	99.9	51.0	SS	4.46	23.14
P0183	<b>Imperial Valley</b>	15.10.1979	931 El Centro Array #12	H-E12140	18.20	6.5	39.0	19.0	SS	8.46	16.60
P0574	<b>Taiwan SMART1(45)</b>	14.11.1986	30 SMART1 001	45001EW	39.00	7.3	44	21.9	RN	6.60	16.55
P0578	<b>Taiwan SMART1(45)</b>	14.11.1986	62 SMART1 101	45101NS	39.00	7.3	44	21.6	RN	5.97	24.45
P0752	<b>Loma Prieta</b>	18.10.1989	1652 Anderson Dam (L Abut)	ADL340	21.40	6.9	39	12.7	RO	14.82	24.02
P0778	<b>Loma Prieta</b>	18.10.1989	47179 Salinas - John & Work	SJW160	32.60	6.9	39.9	21.4	RO	13.72	23.33
P0876	<b>Landers</b>	28.06.1992	23542 San Bernardino-E & Hospitalit	HOS 180	80.50	7.3	120	38.5	SS	9.85	13.90
P0967	<b>Northridge</b>	17.01.1994	24612 LA - Pico & Sentous	PIC090	32.70	6.7	40	20.2	RN	11.16	27.64
P0989	<b>Northridge</b>	17.01.1994	24586 Neenach - Sacatara Ck	NEE090	53.20	6.7	48	26.2	RN	16.92	15.90
P1096	<b>Kocaeli</b>	17.08.1999	Düzce	DZC180	12.70	7.4	27.2	11.7	SS	3.53	21.36



Şekil 3.8’de Türkiye Deprem Yönetmeliği elastik tasarım ivme spektrumlarının 4 farklı deprem bölgesi ve değişik yerel zemin sınıfları için gösterimi yer almaktadır.



**Şekil 3.8 :** Türkiye Deprem Yönetmeliği (2007) elastik tasarım ivme spektrumlarının 4 farklı deprem bölgesi ve değişik yerel zemin sınıfları için gösterimi.

*Elastik Spektral İvme Ölçekleme Katsayısı* ( $\alpha_{AT}$ ), DBYBHY (2007)’de tanımlanan spektral ivme katsayısı  $A(T)$ ’nin en önemli özelliği, etkin yer ivmesi katsayısı,  $A_0$ , ve bina önem katsayısının,  $I$ , spektrum katsayısı,  $S(T)$ , ile lineer olarak çarpılmasıyla elde edilmesidir. Bu çalışmada, bu özellik kullanılarak sadece  $S(T)$  için kayıtlar seçilip ölçekleme yapılmakta ve bu işlemde bulunan ölçekleme katsayısı  $\alpha_{ST}$  (ölçekleme katsayısı) olarak adlandırılmaktadır. Spektral ivme katsayısı  $A(T)$ ’ye ait ölçekleme katsayısı,  $\alpha_{AT}$ ,  $S(T)$ ’ye ait spektrum ölçekleme katsayısı  $\alpha_{ST}$ ,  $A_0$  ve  $I$  çarpılarak elde edilir (3.2).

$$\alpha_{AT} = A_0 I \alpha_{ST} \quad (3.2)$$

Zaman tanım alanında yapılan doğrusal elastik analizlerde, Deprem Yönetmeliği’nde (DBYBHY, 2007) önerilen azaltılmış tasarım ivme spektrumu kullanıldığında, ölçeklenmiş kayıtların bu azaltılmış spektruma uyması gerekir. Bu durumda ölçekleme katsayısı,  $\alpha_{AT}$ , taşıyıcı sistem davranış katsayısına ( $R$ ) bölünür. Bu çalışmanın taşıyıcı sistem davranış katsayısı  $R=4$  için aşağıdaki Elastik Spektral İvme Ölçekleme Katsayısı seçilen her bir deprem için hesaplanmıştır (3.3).

$$\alpha_{AT} = [A_0 I \alpha_{ST}] / R \quad (3.3)$$

Gerçek deprem kayıtlarının genliğine yapılacak ölçekleme miktarları, çıkan hareketin kullanılacağı problemin türüne göre belirli limitleri aşmaması önerilir. Yapılan çalışmalarda yapıların doğrusal elastik analizlerinde üst limit olarak 4'ün kabul edilebileceği, fakat doğrusal elastik olmayan analizlerde ölçekleme katsayısı ( $\alpha_{AT}$ ) 0.5 ile 2 arasında sınırlandırılması gerektiği belirtilmiştir. Sıvılaşma için ise 2'den büyük ölçekleme katsayısı ( $\alpha_{AT}$ ) kullanılmaması tavsiye edilir.

**Çizelge 3.5 :** Elastik Spektral İvme Ölçekleme Katsayısı  $\alpha_{AT}$ 'nin hesaplanması.

Deprem	Kayıt	Ölçekleme Katsayısı ( $\alpha_{st}$ )	Doğrusal Elastik Olmayan Analizlerde	Doğrusal Elastik Analizlerde
			Elastik Spektral İvme Ölçekleme Katsayısı ( $\alpha_{AT}$ ) A0=0.40 - I=1.20 - R=4.00	
Imperial Valley	H-E12140	8.46	4.06*	1.02
Imperial Valley	H-DLT262	4.46	2.14	0.54
Taiwan SMART1(45)	45I01NS	5.97	2.87	0.72
Taiwan SMART1(45)	45001EW	6.60	3.17*	0.79
Loma Prieta	SJW160	13.72	6.59*	1.65
Loma Prieta	ADL340	14.82	7.11*	1.78
Landers	HOS 180	9.85	4.73*	1.18
Northridge	PIC090	11.16	5.36*	1.34
Northridge	NEE090	16.92	8.12*	2.03
Kocaeli	DZC180	3.53	1.69	0.42

Seçilen deprem kaydının genlikleri,  $\alpha_{AT}$  ölçekleme katsayısı ile doğrusal olarak çarpılarak ölçeklenmiş kayıt elde edilir (Çizelge 3.5). PEER veri bankasında bulunan deprem kayıtlarının ivme birimi “g” olduğundan analiz programına elastik spektral ivme ölçekleme katsayısını ( $\alpha_{AT}$ ) tanımlarken yer çekimi ivme değeri olan 9.81 m/s<sup>2</sup> ile çarpılması gereklidir [13].

Rijit diyafram tanımının yapılamadığı yapılarda kütle ve yükseklikle orantılı yük dağılımı yapılır [14].

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılmıştır. Bu analizin sonuçları, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizin başlangıç koşulları olarak dikkate alınmıştır [16].

### 3.3.3.2 Rüzgar yükü (W)

Çok yüksek olmayan, normal yapılar için statik olduğu kabul edilen ve yapıya yatay etkileyen yüküdür. TS 498-1997 madde 11.2.3 ve 11.3 e göre hesaplanır. Rüzgarın esiş yönünde çarptığı yapı yüzeylerinde basınç arka yüzeylerde emme kuvveti oluşur (Şekil 3.9, 3.10, 3.11). Rüzgar kuvvetinin birimi  $\text{kN/m}^2$ 'dir.  $w$  basınç kuvveti yapının geometrisine, rüzgarın hızına bağlıdır (3.4), (3.5). Rüzgar hızı yapı yüksekliğince belli bir yüksekliğe kadar artar. Bu nedenle cepheye etkileyen kuvvet de yapı yüksekliğince artar [12].

$$w = c_p q \quad (3.4)$$

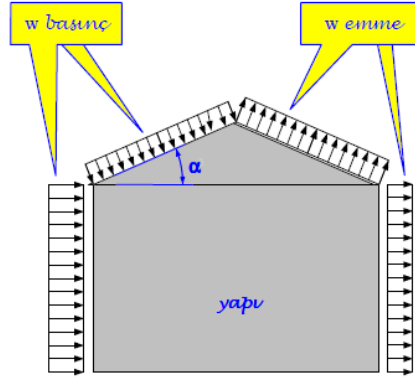
$$q = \frac{V^2}{1600} \quad (3.5)$$

$q$  : Yüze yayılı rüzgar basıncı ( $\text{kN/m}^2$ )

$c_p$  : Yapı yüzeyinin konumuna bağlı katsayı

$V$  : Rüzgar hızı (m/s)

$w$  : Eşdeğer statik basınç veya emme ( $\text{kN/m}^2$ )



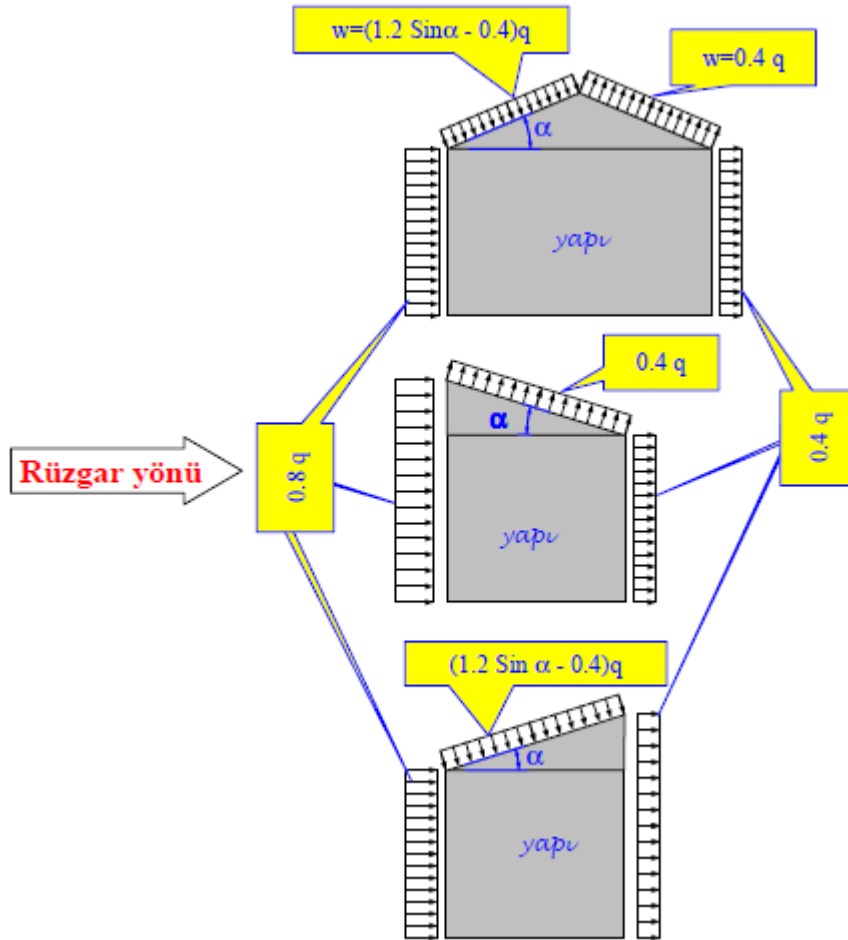
Şekil 3.9 : Rüzgar yükü.

TS 498-1997, Çizelge 5 den  $q$  değeri, Çizelge 6'dan da  $c_p$  katsayısı alınır. Çizelge 5 tüm Türkiye için geçerlidir (Çizelge 3.6). Rüzgar hızının yüksek olduğu bölgelerdeki önemli yüksek yapılarda rüzgar hızı meteoroloji bölge müdürlüklerinden öğrenilerek Çizelge 5 yardımıyla yapı yüksekliğince  $q$  değerinin değişiminin belirlenmesi yararlıdır.

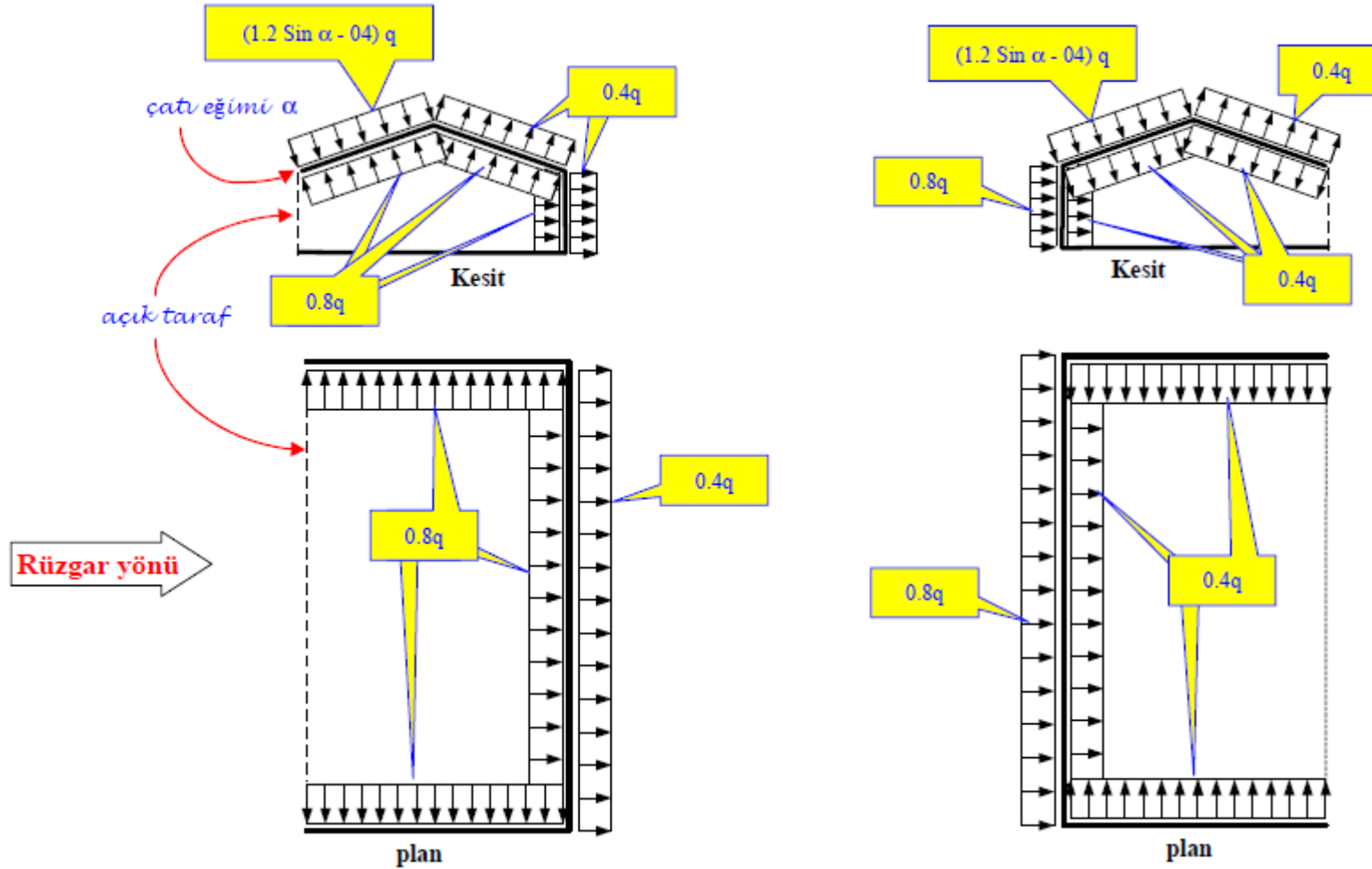
Ullevi stadyumu açık yapılar sınıfına girmektedir. Yapı üzerine çeşitli rüzgar durumlarında, gelebilecek en elverişsiz kuvvetlerin elde edilebilmesi için gerekli süperpozisyonlar özenle yapılmıştır (Şekil 3.12). Yapıdaki maksimum yükseklik 30 metre olduğu için TS 498 Çizelge 5 uyarınca  $q_{\text{rüzgar}}=1.1 \text{ kN/m}^2$  alınmıştır.

Çizelge 3.6 : TS 498-1997, Çizelge 5 (tüm Türkiye için)

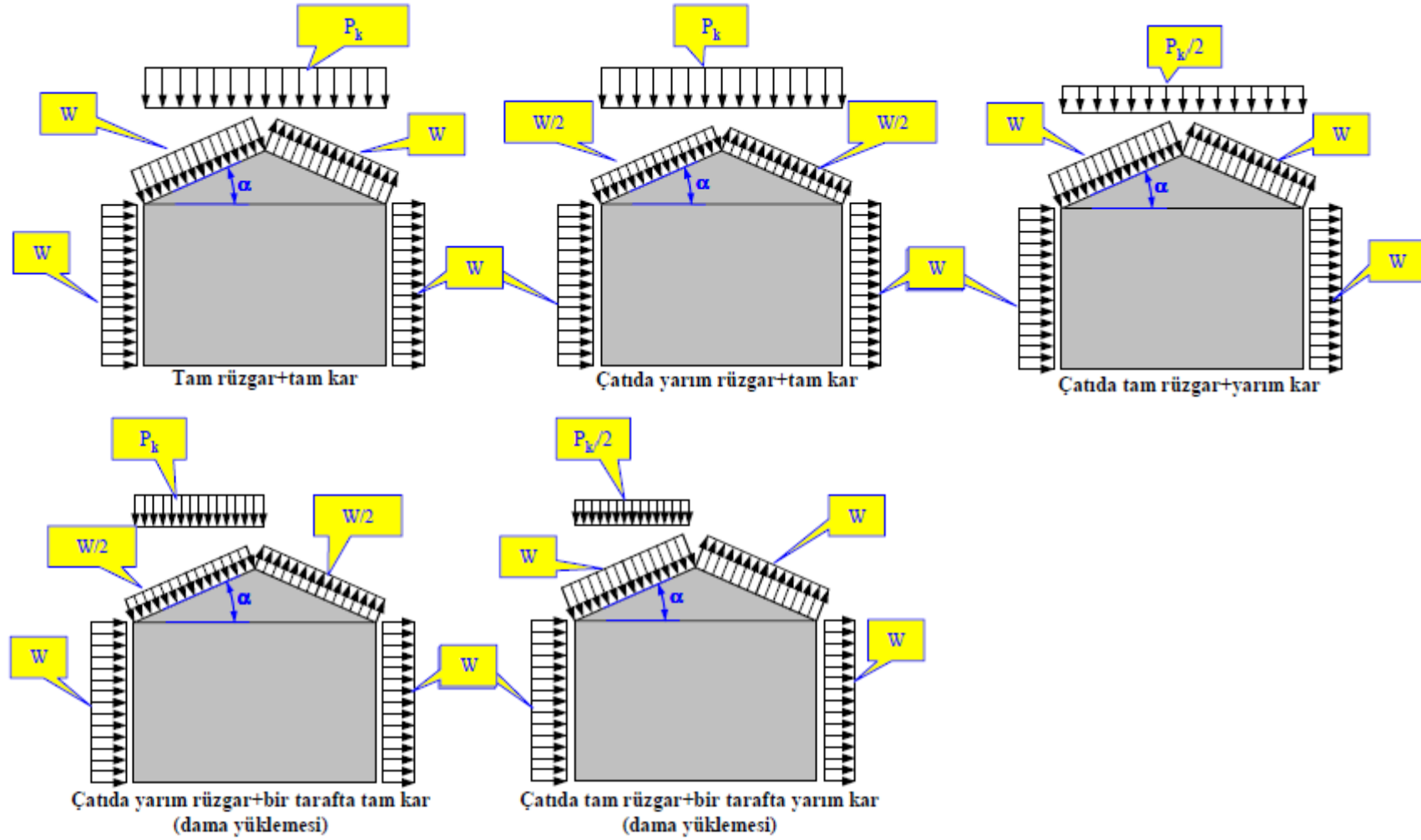
Yapı yüksekliğince gerilmenin sabit alındığı yükseklik bölgesi m	V Rüzgar Hızı m/s	q (Basınç-emme) kN/m <sup>2</sup>
0m-8m	28	0.5
8m-20m	36	0.8
20m-100m	42	1.1
100m ve yukarısı	46	1.3



Şekil 3.10 : Dört tarafı kapalı yapılara rüzgar etkimesi durumu [12].



Şekil 3.11 : Bir tarafı açık veya açılabilen yapılara rüzgar etkimesi durumu [12].



Şekil 3.12 : Kar yükü ve rüzgar yükünün aynı anda etkimesi [12].

### 3.3.4 Diğer yüklemeler

#### 3.3.4.1 Sıcaklık yüklemesi (T)

Çelik yapısal özelliğinden ötürü iyi bir ısı iletkenidir. Bu özelliği nedeniyle çelik yapılarda ısı değişiminden kaynaklanan istenmeyen gerilmeler oluşabilmektedir. Yapının yalnız çatı konsol kirişlerine düzgün sıcaklık değişimini dikkate almak için +30°C ve - 20°C etkilmiştir.

### 3.4 Yükleme Kombinasyonları

Çelik yapı elemanlarının düşey yükler ile yatay kuvvetleri (deprem ve rüzgâr) ve sıcaklık yüklemeleri altında analizi ile elde edilen iç kuvvetler, TDY2007 2.7.5, TS648 Çelik Yapılar Standardına, ASD ve LRFD Yöntemine uygun olarak, aşağıdaki şekilde birleştirilecektir.

*LRFD tasarım felsefesine göre yükleme kombinasyonları* (ASCE/SEI 7-10 Bölüm 2.3) aşağıda tanımlanmıştır. Yapı ve elamanları için gerekli dayanım, arttırılmış yükleri içeren değişik kritik yük kombinasyonlarından elden edilmelidir [17].

1.4D

1.2D + 1.6L + 0.5(Lr veya S veya R)

1.2D + 1.6(Lr or S or R) + (L veya ±0.5W)

1.2D ± W + L + 0.5(Lr veya S veya R)

0.9D ± W

1.2D ± E + L + 0.2S

0.9D ± E olmak üzere toplam 63 adet kombinasyon elde edilmiştir.

*ASD tasarım felsefesine göre yükleme kombinasyonları* (ASCE/SEI 7-10 Bölüm 2.3) aşağıda tanımlanmıştır. Yapı ve elamanları için gerekli mukavemet, nominal yükleri içeren değişik kritik yük kombinasyonlarından elde edilmelidir [17].

D

D + L

D + (Lr veya S veya R)

$$D + 0.75L + 0.75(Lr \text{ veya } S \text{ veya } R)$$

$$0.6D \pm W$$

$$D \pm 0.75(0.6 W) + 0.75L + 0.75(Lr \text{ veya } S \text{ veya } R)$$

$$D \pm (0.6W \text{ veya } 0.7E)$$

$$D \pm 0.75(0.7E) + 0.75L + 0.75S$$

0.6D  $\pm$  0.7E olmak üzere toplam 50 adet kombinasyon elde edilmiştir.

*Türk Deprem Yönetmeliği TDY2007 ve TS648'e göre yükleme kombinasyonları aşağıda tanımlanmıştır [7,8].*

$$D + L$$

$$D + L \pm Ex \pm 0.3Ey$$

$$D + L \pm 0.3Ex \pm Ey$$

$$0.9D \pm Ex \pm 0.3Ey$$

$$0.9D \pm 0.3Ex \pm Ey$$

$$D + L \pm W$$

0.9D  $\pm$  W olmak üzere toplam 13 adet kombinasyon elde edilmiştir.

TS648 ve Türk Deprem Yönetmeliği'nin önerdiği yük kombinasyonlarına göre tasarımda emniyet gerilmelerinin düşey yük+rüzgar yüklemeleri için %15, düşey yük+deprem yüklemeleri için %33 arttırılmasına müsaade edilmektedir. Birleşim ve eklerin tasarımında ise her iki yükleme durumu için izin verilen artış %15'dir. ASD yöntemi kullanılması halinde emniyet gerilmeleri arttırılmamalıdır.

Betonarme elemanların (betonarme pilon, ana kiriş ve kolonlar ile radye temel) boyutlandırılmasında kullanılan yükleme kombinasyonları için TS500-2000'e uygun olarak, aşağıdaki şekilde birleştirilecektir [7].

$$1.4D + 1.6L$$

$$D + 1.3L \pm 1.3W$$

$$0.9D \pm 1.3W$$

$$D + L \pm E$$



$0.9D \pm E$

$D + 1.2L \pm 1.2T$  olmak üzere toplam 15 adet kombinasyon elde edilmiştir.

D : Sabit yük

L : Döşeme hareketli yükü

$L_r$  : Çatı hareketli yükü

S : Kar yükü

R : Yağmur yükü

W : Rüzgar yükü

E : Deprem Yükleme

T : Sıcaklık Değişimi

### **3.5 Ullevi Stadyumu Taşıyıcı Sistemi**

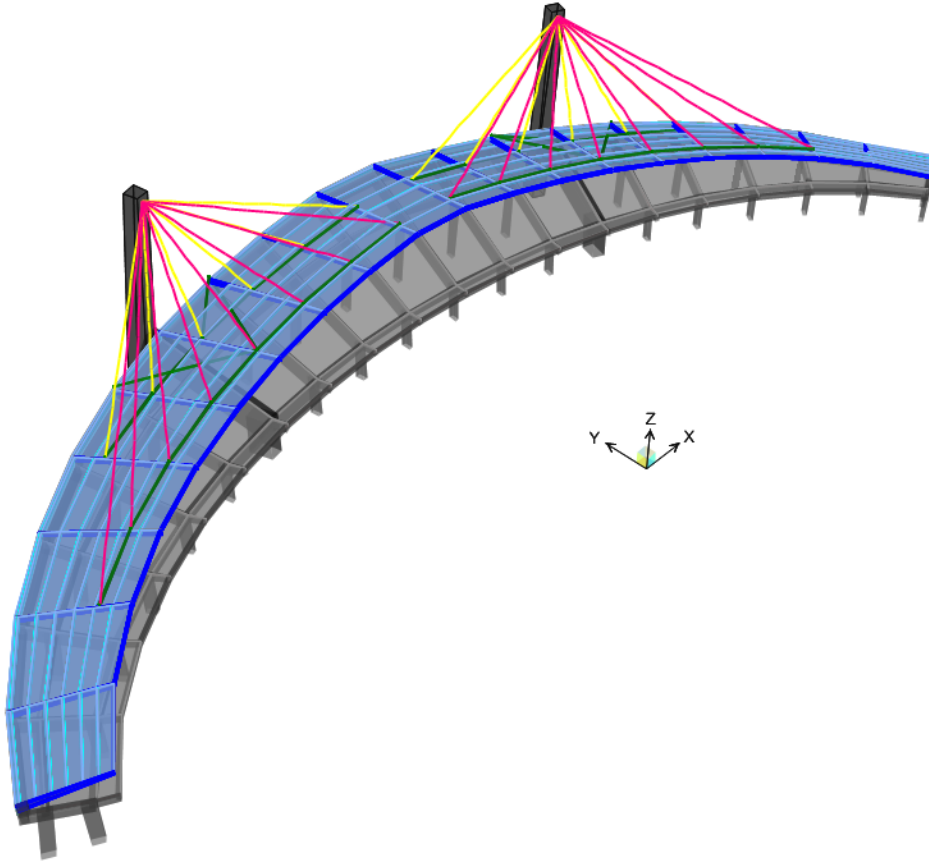
Bu bölümde tezin konusu olan Ullevi konsol çatısının taşıyıcı sistemine ait bilgiler verilecektir. Ayrıca sistem için oluşturulan matematiksel model detaylıca tanıtılacaktır.

Tasarımı yapılan sistemin üç boyutlu Sap2000 modeli kurulmuştur. Sap2000 modelinde çelik konsol çatı kirişleri, betonarme pilon ve betonarme kirişler çubuk elemanla temsil edilmiş ve kesitlerin tüm özellikleri tanımlanmıştır. Tribün prekast döşemesi ve çatı hafif beton kaplama plağı kabuk (membrane), kablolar ise iki ucu mafsallı, moment taşımayan elemanlar olarak tanımlanmıştır. Ayrıca kablo elemanlarının basınç kuvveti taşımadığı hesaba katılmıştır. Matematiksel model Şekil 3.13 'de görülmektedir.

#### **3.5.1 Üst yapı**

Üstyapı kesitinin seçimi çatının tüm davranışını, inşaat yöntemini ve maliyetini çok büyük oranda etkilemektedir. Enkesit seçiminde kesitin aerodinamik özellikleri de çatı stabilitesi açısından önemlidir. Ullevi stadyumu çatısının taşıyıcı konsol kirişleri çelik kesit, konsol kirişlerin kenar düzlemlerde rijit bağlantı yaptıkları elemanlarda ise betonarme kesit kullanılmıştır. Çelik konsol kesit hem ana açıklığın hafiflemesini dolayısıyla kablo kesitlerinin azalmasını sağlamış hem de yüksek burulma rijitliği sayesinde rüzgarda oluşabilecek stabilite problemlerini ortadan kaldırmıştır. Kenar açıklıktaki betonarme kesit ise çatının dengelenmesi açısından ters ağırlık olarak kullanılmıştır. Çatı düzleminde yanal yükler altında çekmeye ve basınca çalışan iki

tip rijitlik elemanı kullanılmıştır. Stadyum çatısı üst yapı için kullanılan elemanlar Çizelge 3.7’de özetlenmiştir.

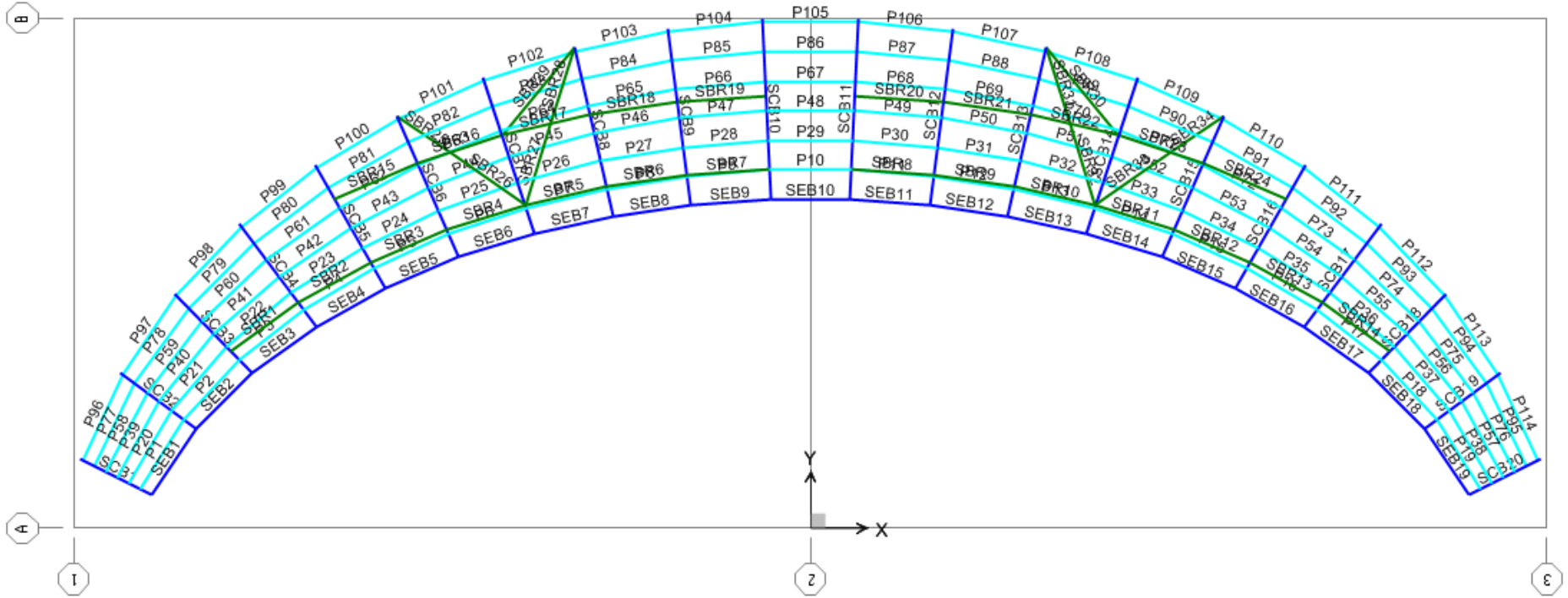


Şekil 3.13 : Sistem matematiksel modelinin izometrik görünüşü.

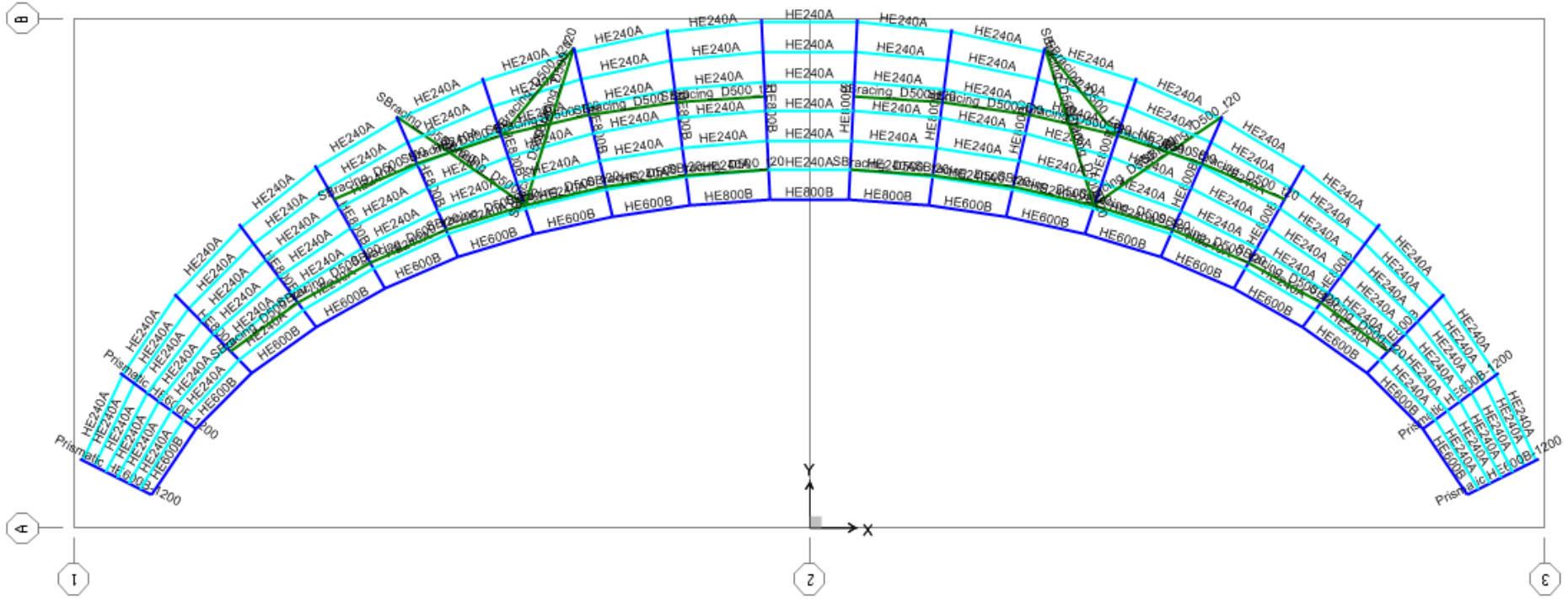
Çizelge 3.7 : Stadyum üst yapısı kullanılan çelik elemanlar.

Eleman Adı	Hesap Öneki	Kesit	Adet
Çelik konsol kirişler-1	SCB	HE 800 B	16 adet
Çelik konsol kirişler-2 (Kablosuz)		HE 600 B h:12000 (kenar mesnet)	4 adet
		HE 600 B h:600 (uç kesit)	
Çelik konsol ucu bağlantı kirişleri	SEB	HE 600 B	19 adet
Çelik aşıklar	P	HE 240 A	114 adet
Çelik rijitlik elemanları	SBR	Boru Kesit $\phi 500-t:15$	34 adet
Çelik Kablo	CBL-L	$\phi 36$ (sol kısım)	6
	CBL-R	$\phi 36$ (sağ kısım)	6
	CBL-L	$\phi 57$ (sol kısım)	8
	CBL-R	$\phi 57$ (sağ kısım)	8

Ullevi stadyumu üst yapı çelik kısım eleman numaralandırması ve çelik kısım eleman yerleşimi sırasıyla Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’de gösterilmiştir.



Şekil 3.14 : Ullevi stadyumu üst yapı çelik kısım eleman numaralandırma.

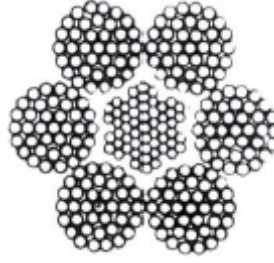


Şekil 3.15 : Ullevi stadyumu üst yapı çelik kısım eleman yerleşimi.

### 3.5.2 Kablo sistemi

Konsol ucundaki sehimin uygun görülen sınırlar içinde kalması için halat elemanlar kullanılmıştır. Stadyum çatısını her bir pilonda 8 adet  $\phi 57\text{mm}$  çaplı ve 6 adet  $\phi 36\text{mm}$  çaplı olmak üzere toplam 28 adet halat taşımaktadır (Şekil 3.16). Değiştirilmiş fan (radial) olarak adlandırılan kablo yerleşimi kullanılmıştır. Bu sistemde kablolar olabildiğince pylon tepe bölgesine yakın fakat aralıklı olarak ankre edilmektedir. Böylelikle hem fan hem de harp kablo yerleşim şeklinin avantajlarına sahiptir.

Stadyum radial (değiştirilmiş fan) kablo yerleşimi ve kablo numaraları Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



Şekil 3.16 : Çelik halatın yapısı.

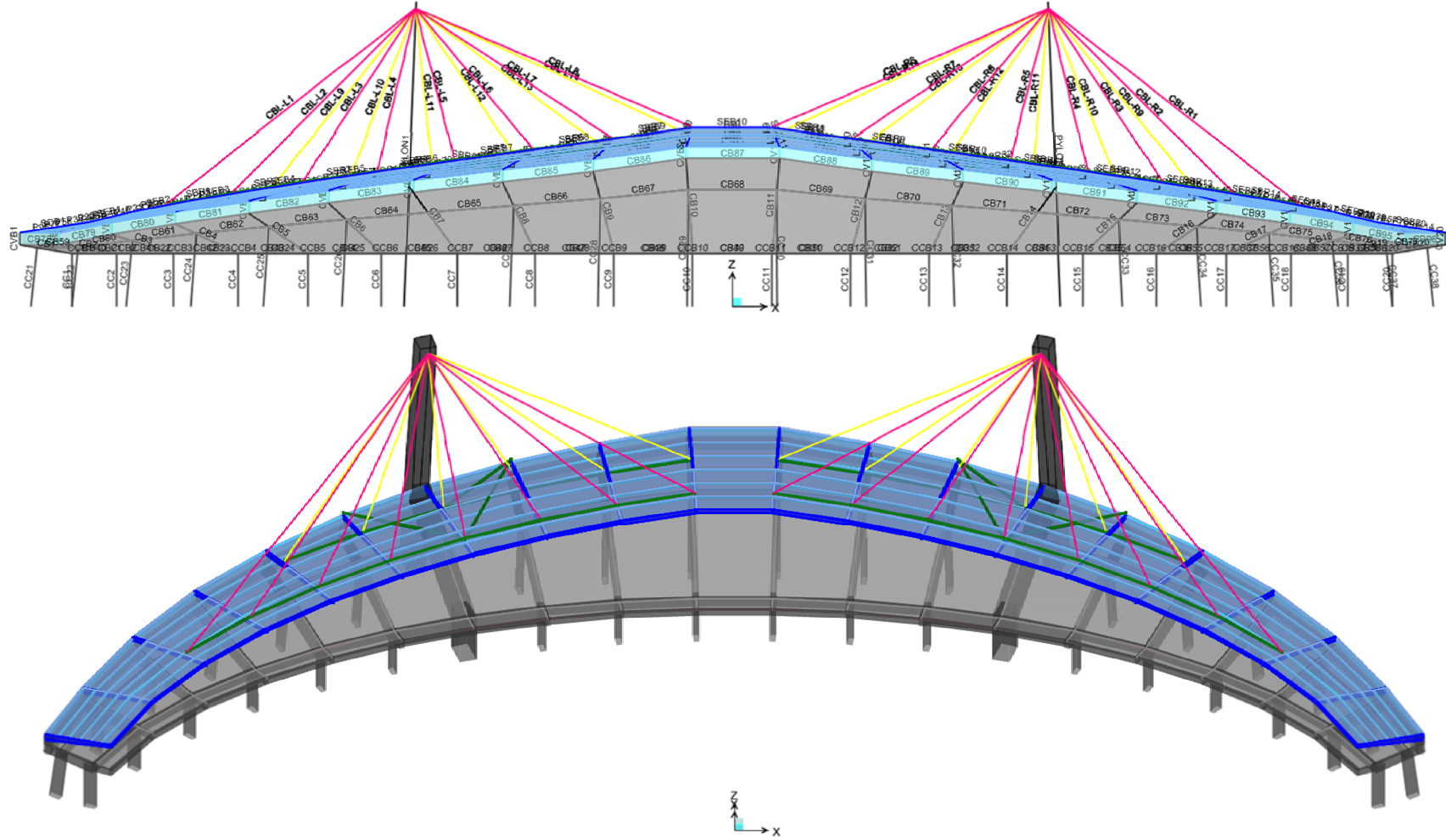
### 3.5.3 Betonarme kısım

Stadyum çatısı betonarme kısım için kullanılan elemanlar Çizelge 3.8’de özetlenmiştir.

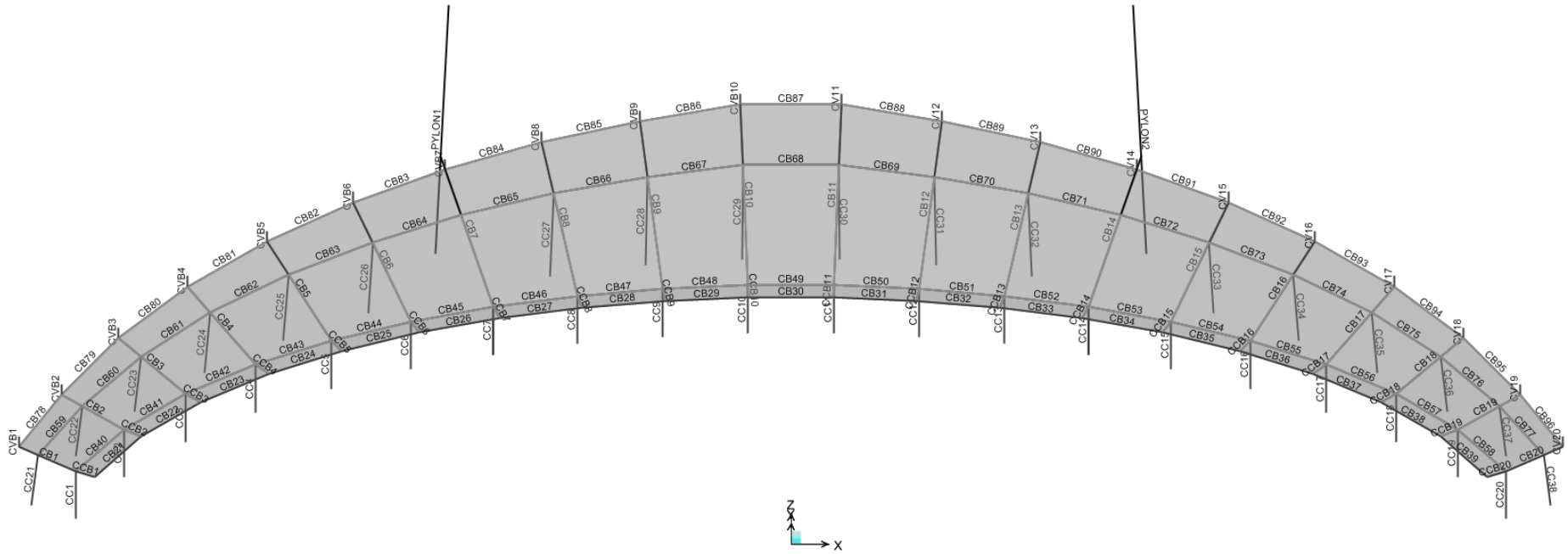
Çizelge 3.8 : Stadyum betonarme kısım kullanılan çelik elemanlar.

Eleman Adı	Hesap Öneki	Kesit	Adet
Pylon	Pylon	500x300 (taban kesit)	2 adet
		300x300 (tepe kesit)	
Pylon ayağı	CC	500x300	2 adet
Betonarme kolonlar		200x100	38 adet
Çelik konsol kiriş bağlantı dikmesi	CVB	150x100	20 adet
Pylon bağlantı kirişi	CB	500x300	2 adet
Betonarme kirişler		300x100	114 adet
		220x100	44 adet
		120x60	6
Betonarme konsol kiriş	CCB	150x100	6

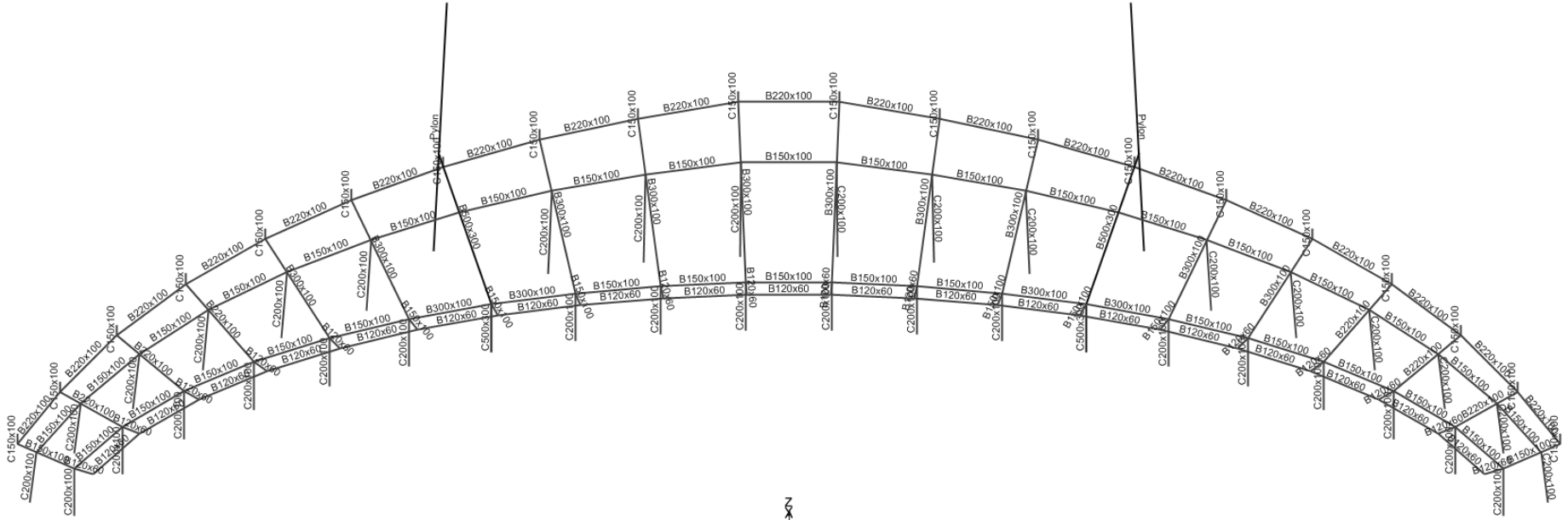
Ullevi stadyumu üst yapı betonarme kısım eleman numaralandırması ve betonarme kısım eleman yerleşimi sırasıyla Şekil 3.18 ve Şekil 3.19’da gösterilmiştir.



Şekil 3.17 : Stadyum radial (değiştirilmiş fan) kablo yerleşimi ve numaraları.



Şekil 3.18 : Ullevi stadyumu betonarme kısım eleman numaralandırma.



Şekil 3.19 : Ullevi stadyumu betonarme kısım eleman yerleşimi.



### **3.5.3.1 Pilon**

Günümüzde kullanımda olan bu tip yapıların büyük çoğunluğunda pilon malzemesi olarak beton tercih edilmektedir. Yüksek basınç kuvvetleri ve burkulma davranışı sebebiyle çelik pilonlar fazla kullanılmamaktadır. Kablolardan aktarılan kuvvetleri güvenli bir şekilde temele aktarmakla görevli olan pilon aynı zamanda çatının estetik açıdan en önemli parçası olmaktadır. Pilon şekli hem estetik olmalı hem de ana açıklıktaki deplasmanları kontrol edebilmesi ve deprem güvenliğini sağlayabilmek amacıyla da boyuna ve enine yönde yeterince rijit olmalıdır. Bu tip yapılarda genel olarak A tipi, H tipi ve ters-Y tipi pilonlar kullanılmaktadır. Ullevi stadyumu çatısında Y tipi pilonlar kullanılmıştır. Bu sayede kabloların pilonun dik kısmına ankre edilmesi suretiyle yapım kolaylığı sağlamış ayrıca da enine yönde hem deprem hem de rüzgar etkilerine karşı rijitlik sağlanmıştır.

### **3.5.3.2 Kolon ve kirişler**

Yapının betonarme kolon ve kiriş elemanları dikdörtgen kesit olarak boyutlandırılmıştır. Paspayları 5 cm alınmıştır. Betonarme elemanlar tasarlanırken TS500'ün öngördüğü kurallar çerçevesinde yapılmıştır.



## **4. ANALİZ VE TASARIM UYGULAMALARI**

### **4.1 Analiz Uygulamaları**

#### **4.1.1 Final durum analizi**

Final durumu analizinde çatının bitmiş durumundaki kablo kuvvetleri optimize edilerek, çatı geometrisi ayarlanmıştır. Bunun için Sap2000 v15.1.0 yazılımı kullanılmıştır.

#### **4.1.2 İnşaat aşamaları analizi**

Kablolu yapıların yapım aşamaları sistemin çözümü açısından oldukça önemlidir. Yapım aşamalarının analiz esnasında dikkate alınması sistemin gerçek davranışının belirlenmesi açısından oldukça önemlidir.

Kablolu yapılarda sistemin inşaatı tamamlanmadan önce örneğin sadece pilonların yapıldığı aşamada özellikle rüzgar yükleri altında kritik davranışlar oluşabilmektedir. Bu aşamada, pilonlar aksenal basınç kuvveti ile yüklenmemiş ve kablolarla tutulmamış halde iken, rüzgar etkisi altında burulma hareketi yapması istenmeyen bir durumdur.

İnşaatın her bir aşamasına ait inşaat hali yükleri de tanımlanarak analiz yapılmıştır. Bu analizle, son inşaat aşamasından sonra çatı üstyapı ve pilonun istenen geometride olması amaçlanmıştır. Buna göre kablo ön germe kuvvetlerinin ne olacağı bulunmuştur. Kabloların doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınmıştır. Ayrıca malzemelerin zamana bağlı davranışları (sünme, büzülme ve elastisite modülü değişimi) hesaba katılmıştır.

#### **4.1.3 Rüzgar analizi**

Çatı rüzgar analizleri statik ve dinamik olarak ikiye ayrılmaktadır. Statik rüzgar etkilerinden başka çatı üstyapısına ve kablolara etkiyen aerodinamik rüzgar etkileri söz konusudur. Çatının bu etkiler altında incelenmesi çok önemlidir. Aksi takdirde yıkıcı sonuçlar doğabilir. Çatı kesitinin aerodinamik olarak bu etkileri en aza

indirecek şekilde tasarlanması gerekir. Ullevi stadyumunun tasarımında kesitin aerodinamik özellikleri CFD (Computational Fluid Dynamics) yöntemiyle analiz edilmesi gereklidir. Bu sayede çekme, kaldırma ve döndürme katsayıları elde edilmiş olur. Bu katsayılar kullanılarak çatıyı rezonansa getirecek kritik rüzgâr hızı tespit edilir. Ayrıca 3 boyutlu kesit modeli rüzgar tüneli testine tabi tutulması ve rüzgar güvenliği incelenmesi açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada İstanbul Yüksek Yapılar Rüzgar Yönetmeliği referans alınarak rüzgar yüklemesi ve analizleri gerçekleştirilmiştir [18].

#### 4.1.4 Deprem analizi

Kablo askılı çatının deprem yükleri altında çözümleri yapılırken, sistemin öncelikle doğal titreşim modları ve periyotları hesaplanmıştır. Mod sayısı olarak 50 mod seçilmiştir ve kütle katılım oranı yatay her iki doğrultuda en az %90, düşeyde ise çatı kütlelerinin en az %90'ı olarak belirlenmiştir. Düşey doğrultuda harekete sadece çatı elemanları katılacağı için pylonların düşey doğrultudaki kütle katılımına etkisi aranmamıştır [2].

Doğal titreşim mod şekilleri ve periyotları özdeğer analizi yapılarak elde edilmiştir. Doğal titreşim modları, sistemin zati yükler altında çözümü elde edildikten sonra, bu çözüm başlangıç durumu olacak şekilde bulunmuştur. Bunun için öncelikle sistemin zati yükler altında doğrusal olmayan çözümü yapılmıştır.

Kablolu yapılar yer değiştirmeye duyarlı sistemler olduğu için sönüm oranları %1-2 dolaylarındadır. Çözümde sönüm oranı olarak %2 alınmıştır.

Deprem yükü azaltma katsayısı (R) şu şekilde kabul edilmiştir.

Pylonlarda (konsol davranışı)  $R=4$

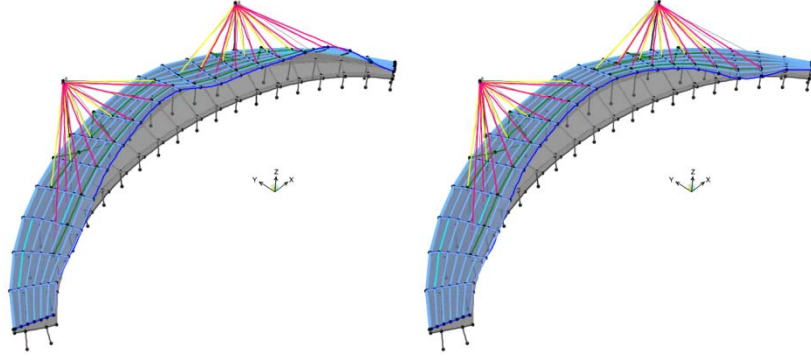
Çatıda (çerçeve davranışı)  $R=4$

Kablolar  $R=1$

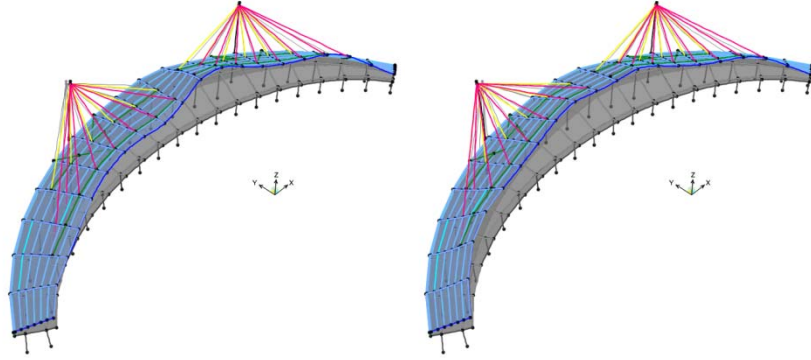
Kesme hesaplarında tüm kesitlerde  $R=1$

Deprem hesabına esas olan kütle 222135.7 kN olarak hesaplanmıştır.

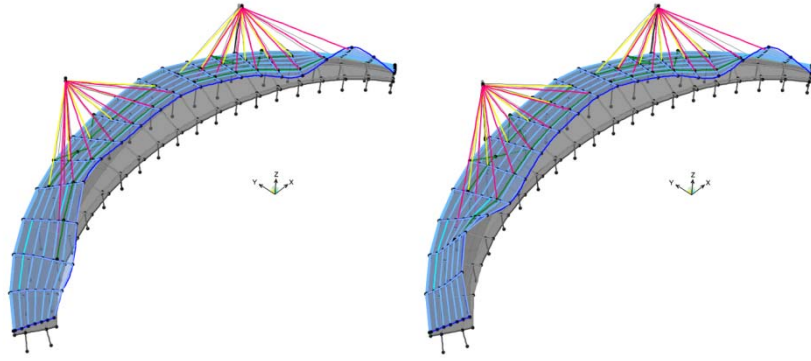
Sistemin yapılan çözümleri sonucunda ilk 8 moda ait mod şekilleri Şekil 4.1; 4.2, 4.3, 4.4'de verilmiştir. Mod şekilleri periyodu büyük olanlar önde yer alacak şekilde sıralanmıştır.



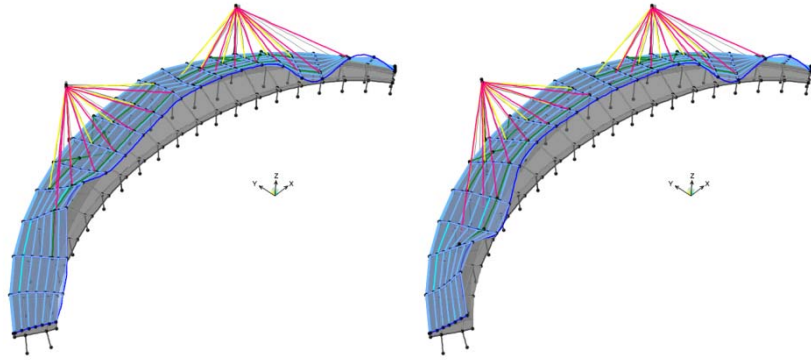
**Şekil 4.1 :** Stadyum 1.(0.973sn) ve 2.(0.966sn) mod şekilleri.



**Şekil 4.2 :** Stadyum 3.(0.806sn) ve 4.(0.739sn) mod şekilleri.



**Şekil 4.3 :** Stadyum 5.(0.678sn) ve 6.(0.676sn) mod şekilleri.



**Şekil 4.4 :** Stadyum 7.(0.567sn) ve 8.(0.562sn) mod şekilleri.

Kütle katılım oranları toplam 50 mod için X yönü için ( köprü enine doğrultu ) % 93.99 Y yönü için ( köprü boyuna doğrultu ) %95.43 dür. Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Min %90 şartı sağlanmıştır. Düşeyde ise %50.34 dür (Toplam yapı kütlelerine göre). Çatı kütlesi toplam yapı kütlelerinin % 33’ü dür. Dolayısıyla düşey modları oluşturan yapının kütle katılım oranı çatı kütlesi dikkate alındığında %99 olmaktadır.

**Çizelge 4.1 : Her mod şeklinin kütle katılımına etkisi.**

		Periyot sn	Toplam X %	Toplam Y %	Toplam Z %
Mode	1	0.973	0.021	0.000	0.000
Mode	2	0.966	0.021	0.004	0.004
Mode	3	0.806	0.045	0.004	0.004
Mode	4	0.739	0.045	0.010	0.034
Mode	5	0.678	0.055	0.010	0.034
Mode	6	0.676	0.055	0.019	0.035
Mode	7	0.567	0.073	0.019	0.035
Mode	8	0.562	0.073	0.031	0.037
Mode	9	0.558	0.102	0.031	0.037
Mode	10	0.529	0.102	0.035	0.038
Mode	11	0.521	0.143	0.035	0.038
Mode	12	0.502	0.143	0.035	0.038
Mode	13	0.483	0.153	0.035	0.038
Mode	14	0.482	0.153	0.040	0.039
Mode	15	0.439	0.162	0.040	0.039
Mode	16	0.437	0.162	0.041	0.039
Mode	17	0.414	0.162	0.041	0.040
Mode	18	0.408	0.166	0.041	0.040
Mode	19	0.399	0.166	0.043	0.041
Mode	20	0.383	0.166	0.043	0.044
Mode	21	0.377	0.166	0.074	0.048
Mode	22	0.376	0.168	0.074	0.048
Mode	23	0.353	0.168	0.075	0.048
Mode	24	0.348	0.218	0.075	0.048
Mode	25	0.339	0.682	0.075	0.048
Mode	26	0.336	0.682	0.077	0.052
Mode	27	0.325	0.683	0.077	0.052
Mode	28	0.306	0.683	0.084	0.052
Mode	29	0.281	0.683	0.302	0.064
Mode	30	0.275	0.683	0.315	0.064
Mode	31	0.265	0.684	0.322	0.064
Mode	32	0.251	0.685	0.367	0.064
Mode	33	0.246	0.685	0.514	0.065

**Çizelge 4.1 (devam) :** Her mod şeklinin kütle katılıma etkisi.

		Periyot sn	Toplam X %	Toplam Y %	Toplam Z %
Mode	34	0.241	0.685	0.712	0.065
Mode	35	0.232	0.964	0.713	0.065
Mode	36	0.210	0.964	0.719	0.069
Mode	37	0.206	0.964	0.855	0.091
Mode	38	0.176	0.967	0.855	0.095
Mode	39	0.170	0.968	0.857	0.109
Mode	40	0.156	0.968	0.881	0.115
Mode	41	0.149	0.990	0.881	0.116
Mode	42	0.139	0.990	0.923	0.177
Mode	43	0.121	0.990	0.955	0.181
Mode	44	0.100	0.993	0.967	0.188
Mode	45	0.097	0.995	0.985	0.189
Mode	46	0.094	0.996	0.987	0.306
Mode	47	0.067	0.996	0.988	0.617
Mode	48	0.056	0.999	0.988	0.618
Mode	49	0.051	0.999	0.995	0.618
Mode	50	0.038	0.999	0.999	0.976

Kablo askılı çatının önemi ve esnek yapısı göz önüne alındığında, seçilen deprem kayıtları için elastik davranması sağlanmıştır. Ayrıca çatının yapımı esnasında deprem ihtimali göz önünde bulundurularak ve en kritik durumu yansıtan bitmemiş çatı modeli üzerinde deprem kayıtları kullanılarak tahkikler yapılmıştır. Bu tahkiklere göre ek tedbirler alınarak yapım esnasında oluşabilecek bir deprem sonrasında çatıda hasar oluşmaması sağlanmıştır. Kablo askılı çatıların çok yumuşak bir yapıya sahip olmaları nedeniyle deprem etkileri altında yüksek deplasman istemleri olmaktadır.

Analizlerde her bir zaman artımında yapı modelinde deprem etkisine karşı gelen maksimum yer değiştirmeler hesaplanmıştır.

Seçilen deprem kayıtları doğrultusunda zaman tanım aralığında doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. 10 farklı deprem dasetine göre yapılan analiz sonuçlarının ortalaması alınmıştır. Dinamik analiz için 50 modlu çözüm yapılmış, x ve y doğrultusunda mobilize olan kütlelerin %90'ın üzerinde olduğu gözlenmiştir. Çatının seçilen depremlere ait x-y doğrultuları deprem taban kesme kuvvetleri Çizelge 4.2'de özetlenmiştir.

**Çizelge 4.2 :** Seçilen depremlere ait x-y doğrultuları taban kesme kuvvetleri.

Deprem Adı	Adım Şekli	X Doğrultusu (kN)	Y Doğrultusu (kN)
THX-Imperial Valley1	Max	48689.9	
THX-Imperial Valley1	Min	-61584.6	
THY-Imperial Valley1	Max		45925.4
THY-Imperial Valley1	Min		-43294.9
THX-Imperial Valley2	Max	53657.7	
THX-Imperial Valley2	Min	-44557.8	
THY-Imperial Valley2	Max		69632.5
THY-Imperial Valley2	Min		-55512.9
THX-Taiwan1	Max	39740.6	
THX-Taiwan1	Min	-40785.5	
THY-Taiwan1	Max		43035.4
THY-Taiwan1	Min		-49344.1
THX-Taiwan2	Max	43712.1	
THX-Taiwan2	Min	-55002.8	
THY-Taiwan2	Max		35442.4
THY-Taiwan2	Min		-54550.5
THX-Loma Prieta1	Max	54216.7	
THX-Loma Prieta1	Min	-59366.8	
THY-Loma Prieta1	Max		53937.4
THY-Loma Prieta1	Min		-61995.6
THX-Loma Prieta2	Max	73549.2	
THX-Loma Prieta2	Min	-54198.6	
THY-Loma Prieta2	Max		56974.7
THY-Loma Prieta2	Min		-50010.5
THX-Landers	Max	33151.1	
THX-Landers	Min	-38057.8	
THY-Landers	Max		37263.5
THY-Landers	Min		-39313.4
THX-Northridge1	Max	47141.4	
THX-Northridge1	Min	-47528.9	
THY-Northridge1	Max		55543.1
THY-Northridge1	Min		-53934.0
THX-Northridge2	Max	58464.1	
THX-Northridge2	Min	-50078.4	
THY-Northridge2	Max		37221.6
THY-Northridge2	Min		-31857.5
THX-Kocaeli	Max	60156.4	
THX-Kocaeli	Min	-54855.5	
THY-Kocaeli	Max		37814.7
THY-Kocaeli	Min		-40284.1
THX-EQ	Max	51247.9	
THX-EQ	Min	-50601.7	
THY-EQ	Max		47279.1
THY-EQ	Min		-48009.8



## 4.2 Tasarım Uygulamaları

### 4.2.1 Tasarım felsefeleri

Çelik yapılarda kullanılan tasarım felsefeleri 3'e ayrılır [19]. Bunlar;

- ASD Tasarım Felsefesine Göre Tasarım:

*Allowable Strength Design; Güvenlik Gerilmeleri ile Tasarım* (son 110 senedir kullanılıyor).

- LRFD Tasarım Felsefesine Göre Tasarım:

*Load and Resistance Factor Design; Yük ve Dayanım Katsayılarıyla Tasarım (Limit Tasarım)* (~30 yıldır kullanılıyor).

- Plastik Tasarım

Plastik tasarım, limit tasarımın özel bir durumudur. Limit tasarım mukavemeti, plastik momentine ( $M_p$ ), erişilmiş durumu gösterir. Plastik moment mukavemeti,  $M_p$ , eleman enkesitindeki bütün liflerde gerilme  $F_y$ 'ye ulaştığı andaki moment mukavemetini gösterir.

Yapısal tasarım hangi tasarım felsefesi kullanılırsa kullanılsın yeterli güvenliği sağlamalıdır [20]. Tasarımda kontrol edilmesi gereken limit durumlar iki gruba ayrılabilir.

Dayanım (veya güvenlik) limit durumları:

sünek maksimum mukavemet (plastik mukavemet), burkulma, yorulma, kırılma, vb.

İşletme limit durumları:

Yapının kullanımı ile ilgili durumlar (deplasman, titreşim, kalıcı deformasyon, çatlama vb.)

#### 4.2.1.1 Yapısal güvenlik için genel tasarım denklemi

Yapısal güvenlik için genel tasarım denklemi (4.1) denkleminde gösterildiği şekildedir.

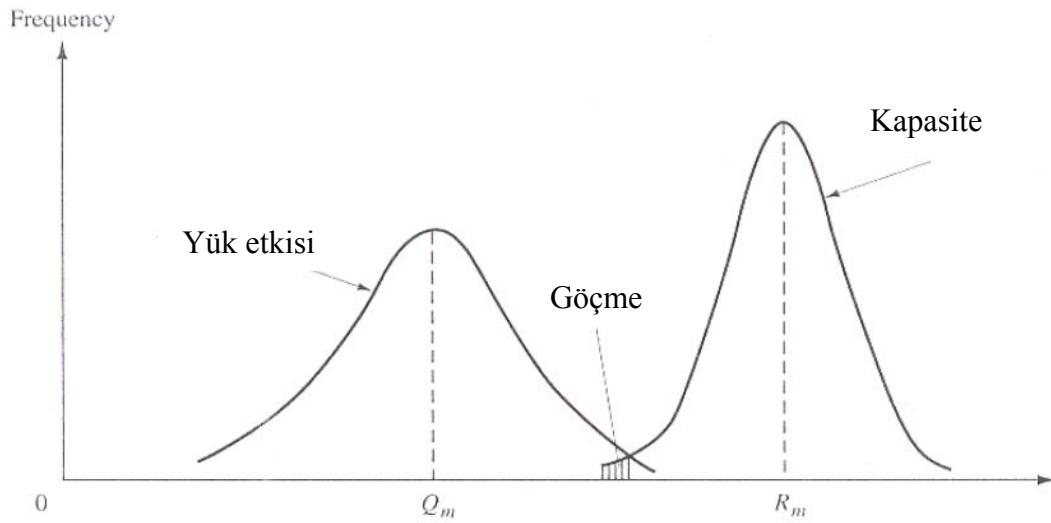
$$\phi R_n \geq \gamma_i Q_i \quad (4.1)$$

Nominal yüklerin ne kadar fazla, kapasitenin ne kadar az alınacağı yönetmeliklerde belirtilir.

- $R_n$  : Nominal mukavemet (kesit ve malzeme özellikleri kullanılarak bulunan dayanım)
- $Q_i$  : Farklı yük etkileri (düşey, deprem, hareketli, kar vb.)
- $\phi$  : Mukavemet azaltma faktörü (eleman boyutlarındaki ve dayanımdaki sapmaları ve işçiliği göz önüne alır)
- $\gamma_i$  : Yük arttırma faktörü (tasarım aşamasında yüklerin az tahmin edilmesi olasılığını ve gerçek yükleri tahmin etmenin zorluğunu göz önüne alır)

#### 4.2.1.2 Yapısal güvenliğin probabilistik değerlendirilmesi

Yapısal güvenliğin probabilistik değerlendirilmesi Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



Şekil 4.5 : Yük etkisi ve kapasitenin frekans dağılımları [20].

*ASD'nin genel formu denklem (4.2)'de yer almaktadır:*

$$\frac{\phi R_n}{\gamma} = \frac{R_n}{\Omega} \geq \Sigma Q_i \quad (4.2)$$

“ $\Omega$ ” güvenlik katsayısı olup, hesaplanması için denklem (4.3) kullanılır.

$$\Omega = \frac{\gamma}{\phi} \quad (4.3)$$

ASD yönteminde bütün yüklerin aynı ortalama değişkenliğe (sapmaya) sahip olduğu kabul edilir. Yapı ve elamanları için gerekli mukavemet, nominal yükleri içeren değişik kritik yük kombinasyonlarından elde edilmelidir.

*LRFD'nin genel formu denklem (4.4)'de yer almaktadır:*

$$\phi R_n \geq \gamma_i Q_i \quad (4.4)$$

Yukarıdaki tasarım denkleminde (4.4)'e göre dayanım  $\phi R_n$ , arttırılmış yüklerle  $\Sigma \gamma_i Q_i$  en az eşit veya büyük olmalıdır. Yük çarpanları  $\gamma_i$  her yük tipi için farklı olabilir. Yapı ve elamanları için gerekli dayanım, arttırılmış yükleri içeren değişik kritik yük kombinasyonlarından elden edilmelidir.

*Plastik tasarım genel formu* [21]:

Plastik tasarımda diğer limit durumlara (instabilite, yorulma, gevrek kırılma vb.) izin verilmez. Eğilmeye çalışan elemanlarda (kiriş ve kolonlar) tasarım denkleminde (4.5) ve (4.6)'da olduğu gibi yazılabilir:

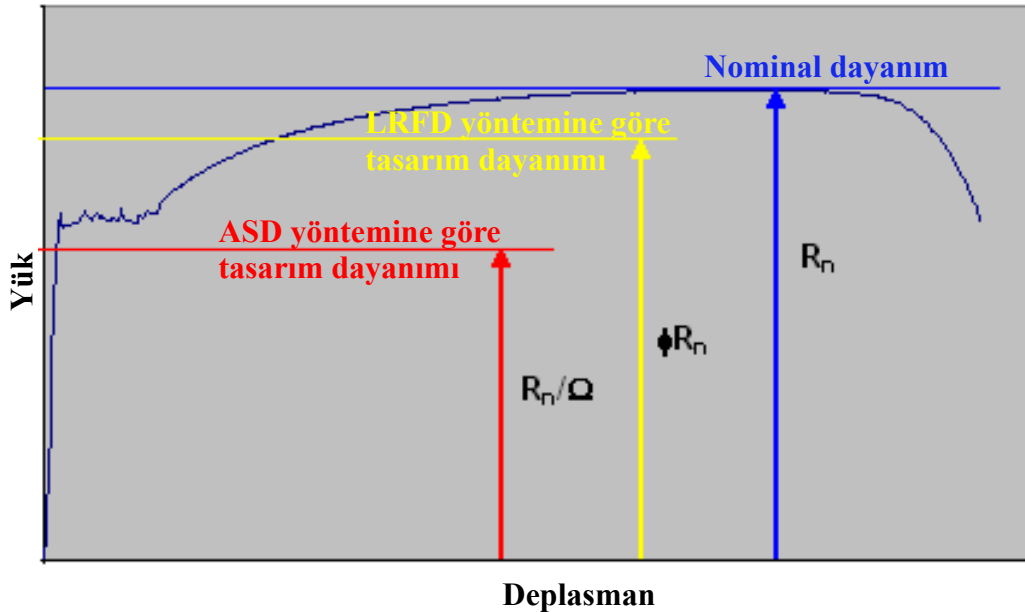
$$M_p \geq 1.7 \Sigma Q_i \quad (4.5)$$

$$R_n = M_p \quad (4.6)$$

Görüldüğü gibi, plastik tasarım limit tasarımın özel bir durumudur ve LRFD tarafından daha rasyonel bir şekilde kullanılmaktadır. Yani, plastik tasarım LRFD'nin bir parçasıdır [19].

#### 4.2.1.3 ASD ve LRFD tasarım felsefelerinin karşılaştırılması

LRFD ve ASD tasarım felsefelerinin karşılaştırılması için Şekil 4.6 ve denklem (4.7) verilmiştir.



Şekil 4.6 : LRFD ve ASD tasarım felsefelerinin karşılaştırılması [19].

$$R_n = \frac{\text{LRFD yöntemine göre tasarım mukavemeti}}{\text{ASD yöntemine göre tasarım mukavemeti}} = \Omega \phi = 1.5 \quad (4.7)$$

*ASD yöntemine göre [22-26];*

$\Omega = 1.67$  (Yüklerin nominal değerinden %40 fazla, ve kapasitenin de nominal değerinden %15 daha az olduğu kabulüyle çekme elemanları ve kirişler için)

$\Omega = 1.92$  (Yüksek kolonlar için)

$\Omega = 2.00 \sim 3.00$  (Birleşimler için)

*LRFD yöntemine göre [22-26];*

Dayanım azaltma katsayısı  $\phi$  eleman tipine ve göz önüne alınan limit duruma göre değişir:

*Çekme Elemanları*

$\phi_t=0.90$  akma limit durumu için

$\phi_t=0.75$  kırılma limit durumu için

*Basınç Elemanları*

$\phi_c=0.90$

*Kirişler*

$\phi_b=0.90$  eğilme için

$\phi_v=0.90$  kesme için

*Kaynaklar*

$\phi$ =etki eden kuvvet tipiyle aynı, çekme, kesme vb.

*Bulonlar*

$\phi=0.75$

LRFD'deki dayanım azaltma katsayıları Çizelge 4.3,  $\phi$ ,  $\beta$  değerlerini verir:

**Çizelge 4.3 : Güvenlik indeksi,  $\beta$  değerleri.**

Yük Kombinasyonları	Güvenlik İndeksi, $\beta$
Ölü yük + Hareketli Yük (veya kar yükü)	3.0 (elemanlar için)
	4.5 (birleşimler için)
Ölü yük + Hareketli Yük + Rüzgar yükü	2.5 (elemanlar için)
Ölü yük + Hareketli Yük + Deprem Yükü	1.75 (birleşimler için)

Rüzgar ve deprem yükleri için güvenlik indeksi daha düşüktür, çünkü tüm düşey yükler yapıda mevcutken aynı anda şiddetli bir rüzgarın esmesi veya deprem hareketi

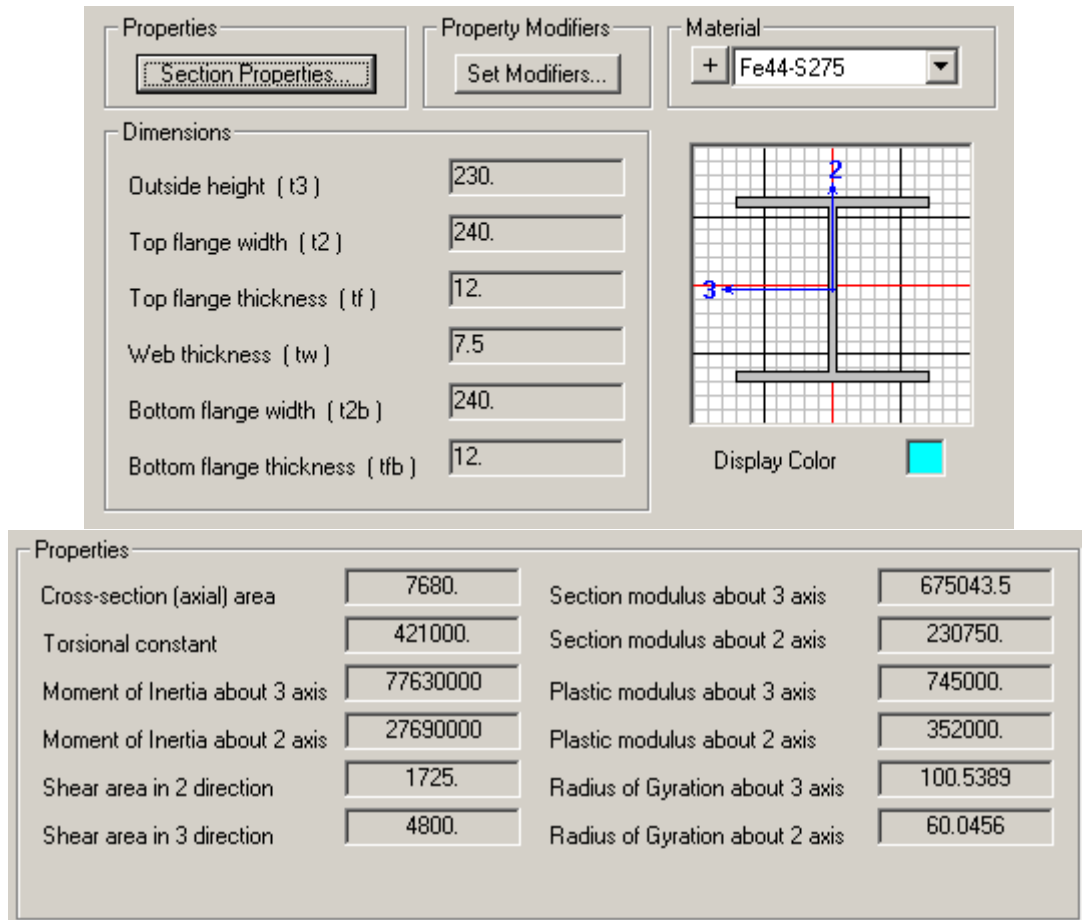
olması olasılığı daha düşüktür. Güvenlik indeksinin birleşimler için yüksek olmasının sebebi ise birleşimleri elemanlardan daha güçlü yapmaktır.

#### 4.2.2 Sistemin düşey yükler altında (sabit, servis, hareketli yükler) tasarımı

Eksenel ve eğilme gerilmelerine ait kapasite oranları hesaplanırken önce her yük kombinasyonu için her kontrol noktasında mevcut aksel ve eğilme gerilmeleri hesaplanır. Ardından bu noktalara ait müsaade edilebilir gerilmeler hesaplanır. Daha sonra da her bir eleman için her kontrol noktasında boyutlandırma yük kombinasyonlarının her biri için gerilme kapasite oranları hesaplanır. Her kontrol noktası boyunca ilgili yük kombinasyonuna bağlı kontrol kapasite oranları hesaplanır. 1.0 den büyük değerler gerilme sınırının aşıldığını gösterir.

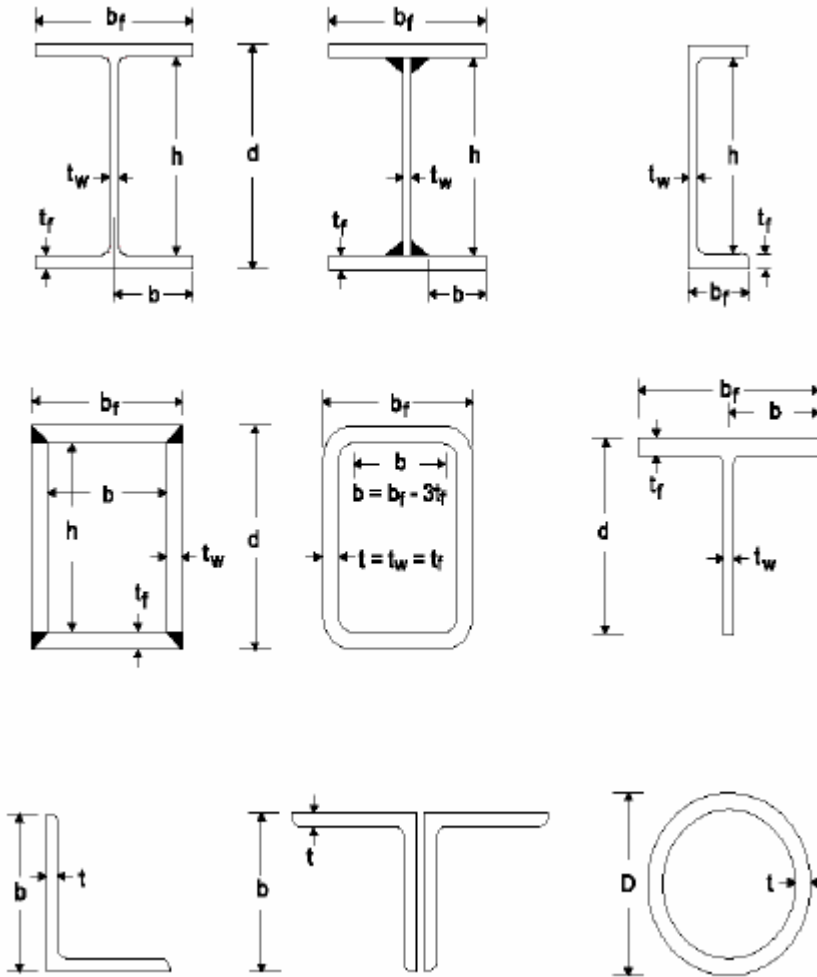
##### 4.2.2.1 İkincil çatı kirişlerinin tasarımı

Ana konsol kirişlerine mafsalı olarak mesnetlenen ve deprem yükleri etkisinde olmayan ikincil çatı kirişlerinin (aşıklar) düşey yükler altında gerilme ve sehim kontrolleri yapılacaktır. Şekil 4.7’de kesite ait özellikler verilmiştir, birim mm’dir.

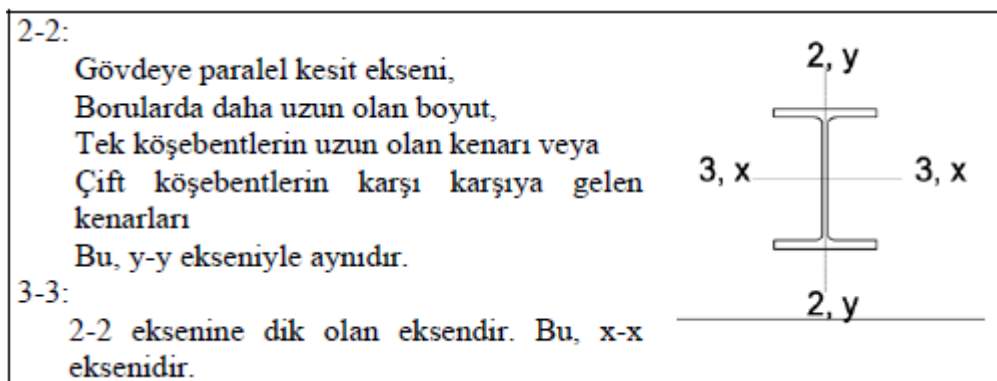


Şekil 4.7 : Seçilen aşık kiriş elemanı HE240A için kesit özellikleri.

Kesit geometrilerinin ve eksen takımının tanımı Şekil 4.8, 4.9’da gösterildiği gibidir. Kesit sınıflandırılmasına kompaktlık koşulunun uygunluğu sırasıyla ASD, LRFD ve TDY’ye yönetmeliklerine göre hesaplanmıştır. Kontrol edilen oranlar için sırası ile Çizelge 4.4, 4.5, 4.6 verilmiştir.



Şekil 4.8 : Kesit geometrisinin ASD ve LRFD yönetmeliklerine göre tanımı.



Şekil 4.9 : AISC-ASD ve LRFD yönetmeliklerine göre profil eksenlerinin tanımı.

**Çizelge 4.4 :** AISC-ASD yönetmeliğine göre kesitlerin sınıflandırılmasında basınç elemanları için genişlik-kalınlık oran sınırları.

Kesitin Tanımı	Kontrol Edilen Oran	Kompakt Kesit	Kompakt Olmayan Kesit	Narin Kesit
I-kesitler	$b_f / 2t_f$ (Hadde)	$\leq 65 / \sqrt{F_y}$	$\leq 95 / \sqrt{F_y}$	Sınır Yok
	$b_f / 2t_f$ (Kaynaklı)	$\leq 65 / \sqrt{F_y}$	$\leq 95 / \sqrt{F_y / k_c}$	Sınır Yok
	$d / t_w$	$\frac{f_a}{F_y} \leq 0.16$ için $\leq \frac{640}{\sqrt{F_y}} \left( 1 - 3.74 \frac{f_a}{F_y} \right)$	Sınır Yok	Sınır Yok
		$\frac{f_a}{F_y} > 0.16$ için $\leq 257 / \sqrt{F_y}$		
$h / t_w$	Sınır Yok	Sadece basınç ise $\leq 253 / \sqrt{F_y}$ Aksi durumda $\leq 760 / \sqrt{F_b}$	$\leq \frac{14000}{\sqrt{F_y (F_y + 16.5)}}$ $\leq 260$	
Kutu kesitler	$b / t_f$	$\leq 190 / \sqrt{F_y}$	$\leq 238 / \sqrt{F_y}$	Sınır Yok
	$d / t_w$	I kesitler gibi	Sınır Yok	Sınır Yok
	$h / t_w$	Sınır Yok	I kesitler gibi	I kesitler gibi
	Diğer	$t_w \geq t_f / 2, d_w \leq 6b_f$	-	-
U kesitler	$b / t_f$	I kesitler gibi	I kesitler gibi	Sınır Yok
	$d / t_w$	I kesitler gibi	Sınır Yok	Sınır Yok
	$h / t_w$	Sınır Yok	I kesitler gibi	I kesitler gibi
	Diğer	Sınır Yok	Sınır Yok	Kaynaklı: $b_f / d_w \leq 0.25,$ $t_f / t_w \leq 3.0$ Hadde: $b_f / d_w \leq 0.5,$ $t_f / t_w \leq 2.0$

**Çizelge 4.4 (devam) :** AISC-ASD yönetmeliğine göre kesitlerin sınıflandırılmasında basınç elemanları için genişlik-kalınlık oran sınırları.

Kesitin Tanımı	Kontrol Edilen Oran	Kompakt Kesit	Kompakt Olmayan Kesit	Narin Kesit
T kesitler	$b_f / 2t_f$	$\leq 65 / \sqrt{F_y}$	$\leq 95 / \sqrt{F_y}$	Sınır Yok
	$d / t_w$	Uygulanamaz	$\leq 127 / \sqrt{F_y}$	Sınır Yok
	Diğer	Sınır Yok	Sınır Yok	Kaynaklı: $b_f / d_w \geq 0.5$ , $t_f / t_w \geq 1.25$ Hadde: $b_f / d_w \geq 0.5$ , $t_f / t_w \geq 1.10$
Çift köşebent	$b / t$	Uygulanamaz	$\leq 76 / \sqrt{F_y}$	Sınır Yok
Tek köşebent	$b / t$	Uygulanamaz	$\leq 76 / \sqrt{F_y}$	Sınır Yok
Borular	$D / t$	$\leq 3300 / F_y$	$\leq 3300 / F_y$	$\leq 13000 / F_y$ (Sadece basınçta) Eğilme için sınır yok.
Dörtköşe	-	Kompakt varsayılmıştır.		
Dörtgen veya Dairesel	-	Kompakt olmayan varsayılmıştır.		
Genel	-	Kompakt olmayan varsayılmıştır.		



**Çizelge 4.5 :** AISC - LRFD yönetmeliğine göre eğilmeye maruz kesitlerin sınıflandırılmasında basınç elemanları için genişlik-kalınlık oran sınırları.

Kesitin Tanımı	Kontrol Edilen Oran $\lambda$	Kompakt Kesit $\lambda_p$	Kompakt Olmayan Kesit $\lambda_r$	Narin Kesit $\lambda_{narin}$
I-kesitler	$b_f / 2t_f$ (Hadde)	$\leq 65 / \sqrt{F_y}$	$\leq 141 / \sqrt{F_y - 10.0}$	Sınır Yok
	$b_f / 2t_f$ (Kaynaklı)	$\leq 65 / \sqrt{F_y}$	$\leq 162 / \sqrt{\frac{F_y - 16.5}{k_c}}$	Sınır Yok
	$h_c / t_w$	For $P_u / \phi_b P_y \leq 0.125$ , $\leq \frac{640}{\sqrt{F_y}} \left( 1 - \frac{2.75 P_u}{\phi_b P_y} \right)$ For $P_u / \phi_b P_y > 0.125$ $\leq \left\{ \begin{array}{l} \frac{191}{\sqrt{F_y}} \left( 2.33 - \frac{P_u}{\phi_b P_y} \right) \\ \geq \frac{253}{\sqrt{F_y}} \end{array} \right\}$	$\leq \frac{970}{\sqrt{F_y}} \left[ 1 - 0.74 \frac{P_u}{\phi_b P_y} \right]$	$\leq \left\{ \begin{array}{l} \frac{14000}{\sqrt{F_y} (F_y + 16.5)} \\ \leq 260 \end{array} \right\}$
Kutu kesitler	$b / t_f$ $h_c / t_w$	$\leq 190 / \sqrt{F_y}$ I kesitler gibi	$\leq 238 / \sqrt{F_y}$ I kesitler gibi	Sınır Yok $\leq 970 / \sqrt{F_y}$
U kesitler	$b / 2t_f$ $h_c / t_w$	I kesitler gibi I kesitler gibi	I kesitler gibi I kesitler gibi	Sınır Yok I kesitler gibi
T kesitler	$b_f / 2t_f$ $d / t_w$	Uygulanamaz Uygulanamaz	$\leq 95 / \sqrt{F_y}$ $\leq 127 / \sqrt{F_y}$	Sınır Yok Sınır Yok
Tek köşebent	$b / t$	Uygulanamaz	$\leq 76 / \sqrt{F_y}$	Sınır Yok
Çift köşebent (avrılmış)	$b / t$	Uygulanamaz	$\leq 76 / \sqrt{F_y}$	Sınır Yok
Borular	$D / t$	$\leq 2070 / F_y$	$\leq 8970 / F_y$	$\leq 13000 / F_y$ (Sadece basınç) Eğilme için sınır yok.
Dairesel dolu Çubuk	-	Kompakt varsayılmıştır		
Dörtköşe	-	Kompakt-olmayan varsayılmıştır		
Genel	-	Kompakt-olmayan varsayılmıştır		

**Çizelge 4.6 :** TDY-2007 yönetmeliğine göre özel sismik şartlar uygulandığında kesitlerin sınıflandırılmasında basınç elemanları için genişlik-kalınlık oranları sınırları.

<i>Eleman Tanımı</i>	<i>Narinlik Oranları</i>	<i>Sınır Değerler</i>	
		<i>Süneklik Düzeyi Yüksek Sistem</i>	<i>Süneklik Düzeyi Normal Sistem</i>
Eğilme ve Eksenel basınç etkisindeki <b>I</b> Kesitlerinde <b>U</b> Kesitlerinde	$b/2t$ $b/t$	$0.3\sqrt{E_s/\sigma_s}$	$0.5\sqrt{E_s/\sigma_s}$
Eğilme etkisindeki <b>I</b> Kesitleri <b>U</b> Kesitleri	$h/t_w$	$3.2\sqrt{E_s/\sigma_s}$	$5.0\sqrt{E_s/\sigma_s}$
Basınç etkisindeki <b>T</b> Kesitleri <b>L</b> Kesitleri	$h/t_w$	$0.3\sqrt{E_s/\sigma_s}$	$0.5\sqrt{E_s/\sigma_s}$
Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki <b>I</b> Kesitleri <b>U</b> Kesitleri	$h/t_w$	$ N_d/\sigma_s A  \leq 0.10$ için $3.2\sqrt{E_s/\sigma_s} \left(1 - 1.7 \left  \frac{N_d}{\sigma_s A} \right  \right)$	$ N_d/\sigma_s A  \leq 0.10$ için $5.0\sqrt{E_s/\sigma_s} \left(1 - 1.7 \left  \frac{N_d}{\sigma_s A} \right  \right)$
		$ N_d/\sigma_s A  > 0.10$ için $1.33\sqrt{E_s/\sigma_s} \left(2.1 - \left  \frac{N_d}{\sigma_s A} \right  \right)$	$ N_d/\sigma_s A  > 0.10$ için $2.08\sqrt{E_s/\sigma_s} \left(2.1 - \left  \frac{N_d}{\sigma_s A} \right  \right)$
Eğilme veya eksenel basınç etkisindeki dairesel halka kesitler (borular)	$D/t$	$0.05 \frac{E_s}{\sigma_s}$	$0.08 \frac{E_s}{\sigma_s}$
Eğilme veya eksenel basınç etkisindeki dikdörtgen kutu kesitler	$b/t$ veya $h/t_w$	$0.7\sqrt{E_s/\sigma_s}$	$1.2\sqrt{E_s/\sigma_s}$
<p><b>Tanımlar</b></p> <p><math>b</math> : <b>I</b>, <b>U</b> kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde başlık genişliği</p> <p><math>h</math> : <b>I</b>, <b>U</b>, <b>T</b> kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde gövde yüksekliği <b>L</b> kesitlerinde büyük kenar uzunluğu</p> <p><math>D</math> : dairesel halka kesitlerde (borularda) dış çap</p> <p><math>t</math> : <b>I</b>, <b>U</b>, <b>T</b> kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde başlık kalınlığı halka kesitlerde (borularda) kalınlık</p> <p><math>t_w</math> : <b>I</b>, <b>U</b>, <b>T</b>, <b>L</b> kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde gövde kalınlığı</p>			

İkincil çatı kirişler için düşey sabit ve hareketli yükler altında oluşan iç kuvvetler (kesit zorları)  $M_{maks}$  ve  $V_{maks}$  bulunmuş, Çizelge 4.7’de kapasiteler özetlenmiştir.

Normal gerilme tahkiki denklem (4.8)’e göre yapılır :

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq \sigma_{em} \quad (4.8)$$

Kayma gerilmesi tahkiki denklem (4.9)’e göre yapılır :

$$\tau = \frac{T \times S_x}{I_x \times t_w} = \tau_{em} \quad (4.9)$$

Sehim tahkiki; tüm elemanlar için yapılmış, gerilme/gerilme limiti = kapasite değerleri TDY, ASD ve LRFD yük kombinasyonları için karşılaştırılmıştır.

**Çizelge 4.7 : Düşey yükler altında ikincil çatı kiriş kapasiteleri.**

Eleman Adı	Kesit	LRFD		ASD		TDY	
		Kapasite	Kombinasyon	Kapasite	Kombinasyon	Kapasite	Kombinasyon
P1	HE300A	0.114	LRFD-28	0.136	ASD-4	0.220	TDY-1
P2	HE300A	0.139	LRFD-28	0.160	ASD-4	0.198	TDY-4
P3	HE300A	0.169	LRFD-28	0.198	ASD-4	0.194	TDY-4
P4	HE300A	0.179	LRFD-28	0.296	ASD-4	0.210	TDY-4
P5	HE300A	0.172	LRFD-28	0.284	ASD-4	0.206	TDY-4
P6	HE300A	0.129	LRFD-28	0.154	ASD-4	0.178	TDY-1
P7	HE300A	0.546	LRFD-28	0.646	ASD-4	0.465	TDY-4
P8	HE300A	0.494	LRFD-28	0.584	ASD-4	0.409	TDY-4
P9	HE300A	0.407	LRFD-28	0.474	ASD-4	0.303	TDY-4
P10	HE300A	0.291	LRFD-28	0.328	ASD-4	0.201	TDY-4
P11	HE300A	0.408	LRFD-28	0.475	ASD-4	0.304	TDY-4
P12	HE300A	0.494	LRFD-28	0.584	ASD-4	0.410	TDY-4
P13	HE300A	0.544	LRFD-28	0.643	ASD-4	0.463	TDY-4
P14	HE300A	0.125	LRFD-28	0.149	ASD-4	0.178	TDY-1
P15	HE300A	0.168	LRFD-28	0.201	ASD-4	0.197	TDY-4
P16	HE300A	0.175	LRFD-28	0.287	ASD-4	0.202	TDY-4
P17	HE300A	0.167	LRFD-28	0.196	ASD-4	0.191	TDY-4
P18	HE300A	0.138	LRFD-28	0.159	ASD-4	0.196	TDY-4
P19	HE300A	0.113	LRFD-28	0.136	ASD-4	0.220	TDY-1
P20	HE300A	0.095	LRFD-18	0.115	ASD-4	0.194	TDY-1
P21	HE300A	0.141	LRFD-18	0.167	ASD-4	0.230	TDY-1
P22	HE300A	0.165	LRFD-28	0.187	ASD-4	0.221	TDY-4
P23	HE300A	0.178	LRFD-28	0.210	ASD-4	0.222	TDY-4
P24	HE300A	0.274	LRFD-28	0.318	ASD-4	0.242	TDY-4
P25	HE300A	0.296	LRFD-28	0.342	ASD-4	0.248	TDY-4
P26	HE300A	0.400	LRFD-28	0.462	ASD-4	0.322	TDY-4
P27	HE300A	0.435	LRFD-28	0.500	ASD-4	0.350	TDY-4

**Çizelge 4.7 (devam) : Düşey yükler altında ikincil çatı kiriş kapasiteleri.**

Eleman Adı	Kesit	LRFD		ASD		TDY	
		Kapasite	Kombinasyon	Kapasite	Kombinasyon	Kapasite	Kombinasyon
P28	HE300A	0.468	LRFD-28	0.535	ASD-4	0.360	TDY-4
P29	HE300A	0.452	LRFD-28	0.513	ASD-4	0.336	TDY-4
P30	HE300A	0.468	LRFD-28	0.535	ASD-4	0.360	TDY-4
P31	HE300A	0.433	LRFD-28	0.498	ASD-4	0.348	TDY-4
P32	HE300A	0.397	LRFD-28	0.458	ASD-4	0.319	TDY-4
P33	HE300A	0.292	LRFD-28	0.337	ASD-4	0.244	TDY-4
P34	HE300A	0.270	LRFD-28	0.313	ASD-4	0.238	TDY-4
P35	HE300A	0.175	LRFD-28	0.204	ASD-4	0.217	TDY-4
P36	HE300A	0.162	LRFD-28	0.184	ASD-4	0.218	TDY-4
P37	HE300A	0.140	LRFD-13	0.166	ASD-4	0.230	TDY-1
P38	HE300A	0.095	LRFD-13	0.115	ASD-4	0.194	TDY-1
P39	HE300A	0.107	LRFD-28	0.129	ASD-4	0.232	TDY-1
P40	HE300A	0.128	LRFD-18	0.152	ASD-4	0.225	TDY-1
P41	HE300A	0.140	LRFD-18	0.166	ASD-4	0.224	TDY-4
P42	HE300A	0.157	LRFD-28	0.180	ASD-4	0.233	TDY-4
P43	HE300A	0.187	LRFD-28	0.212	ASD-4	0.247	TDY-4
P44	HE300A	0.276	LRFD-28	0.314	ASD-4	0.254	TDY-4
P45	HE300A	0.351	LRFD-28	0.401	ASD-4	0.303	TDY-4
P46	HE300A	0.407	LRFD-28	0.462	ASD-4	0.337	TDY-1
P47	HE300A	0.457	LRFD-28	0.515	ASD-4	0.386	TDY-1
P48	HE300A	0.462	LRFD-28	0.518	ASD-4	0.385	TDY-1
P49	HE300A	0.456	LRFD-28	0.515	ASD-4	0.385	TDY-1
P50	HE300A	0.405	LRFD-28	0.461	ASD-4	0.336	TDY-1
P51	HE300A	0.350	LRFD-28	0.399	ASD-4	0.301	TDY-4
P52	HE300A	0.275	LRFD-28	0.312	ASD-4	0.253	TDY-4
P53	HE300A	0.185	LRFD-28	0.209	ASD-4	0.244	TDY-4
P54	HE300A	0.155	LRFD-28	0.179	ASD-4	0.231	TDY-4
P55	HE300A	0.139	LRFD-13	0.165	ASD-4	0.222	TDY-4
P56	HE300A	0.128	LRFD-13	0.152	ASD-4	0.225	TDY-1
P57	HE300A	0.107	LRFD-28	0.129	ASD-4	0.232	TDY-1
P58	HE300A	0.115	LRFD-13	0.138	ASD-4	0.266	TDY-1
P59	HE300A	0.121	LRFD-18	0.144	ASD-4	0.239	TDY-1
P60	HE300A	0.115	LRFD-18	0.137	ASD-4	0.231	TDY-1
P61	HE300A	0.122	LRFD-18	0.145	ASD-4	0.232	TDY-1
P62	HE300A	0.126	LRFD-18	0.149	ASD-4	0.232	TDY-1
P63	HE300A	0.129	LRFD-1	0.139	ASD-2	0.233	TDY-1
P64	HE300A	0.301	LRFD-28	0.346	ASD-4	0.308	TDY-1
P65	HE300A	0.321	LRFD-28	0.365	ASD-4	0.325	TDY-1
P66	HE300A	0.341	LRFD-28	0.381	ASD-4	0.336	TDY-1
P67	HE300A	0.342	LRFD-28	0.380	ASD-4	0.337	TDY-1
P68	HE300A	0.341	LRFD-28	0.381	ASD-4	0.336	TDY-1

**Çizelge 4.7 (devam) : Düşey yükler altında ikincil çatı kirişleri kapasite tablosu.**

Eleman Adı	Kesit	LRFD		ASD		TDY	
		Kapasite	Kombinasyon	Kapasite	Kombinasyon	Kapasite	Kombinasyon
P69	HE300A	0.321	LRFD-28	0.365	ASD-4	0.325	TDY-1
P70	HE300A	0.300	LRFD-28	0.345	ASD-4	0.308	TDY-1
P71	HE300A	0.129	LRFD-1	0.139	ASD-2	0.233	TDY-1
P72	HE300A	0.125	LRFD-13	0.147	ASD-4	0.232	TDY-1
P73	HE300A	0.122	LRFD-13	0.145	ASD-4	0.232	TDY-1
P74	HE300A	0.115	LRFD-13	0.137	ASD-4	0.231	TDY-1
P75	HE300A	0.121	LRFD-13	0.144	ASD-4	0.239	TDY-1
P76	HE300A	0.115	LRFD-18	0.138	ASD-4	0.266	TDY-1
P77	HE300A	0.133	LRFD-13	0.157	ASD-4	0.311	TDY-1
P78	HE300A	0.138	LRFD-1	0.148	ASD-2	0.252	TDY-1
P79	HE300A	0.138	LRFD-1	0.149	ASD-2	0.252	TDY-1
P80	HE300A	0.139	LRFD-1	0.149	ASD-17	0.253	TDY-1
P81	HE300A	0.139	LRFD-1	0.150	ASD-2	0.254	TDY-1
P82	HE300A	0.140	LRFD-1	0.151	ASD-2	0.254	TDY-1
P83	HE300A	0.140	LRFD-1	0.151	ASD-2	0.255	TDY-1
P84	HE300A	0.140	LRFD-1	0.150	ASD-2	0.255	TDY-1
P85	HE300A	0.141	LRFD-1	0.151	ASD-2	0.256	TDY-1
P86	HE300A	0.159	LRFD-1	0.171	ASD-2	0.251	TDY-1
P87	HE300A	0.141	LRFD-1	0.151	ASD-2	0.256	TDY-1
P88	HE300A	0.140	LRFD-1	0.150	ASD-2	0.255	TDY-1
P89	HE300A	0.140	LRFD-1	0.151	ASD-2	0.255	TDY-1
P90	HE300A	0.140	LRFD-1	0.151	ASD-2	0.254	TDY-1
P91	HE300A	0.139	LRFD-1	0.150	ASD-2	0.254	TDY-1
P92	HE300A	0.139	LRFD-1	0.149	ASD-22	0.253	TDY-1
P93	HE300A	0.138	LRFD-1	0.149	ASD-2	0.252	TDY-1
P94	HE300A	0.138	LRFD-1	0.148	ASD-2	0.252	TDY-1
P95	HE300A	0.133	LRFD-18	0.157	ASD-4	0.312	TDY-1
P96	HE300A	0.128	LRFD-1	0.149	ASD-19	0.329	TDY-6
P97	HE300A	0.153	LRFD-1	0.164	ASD-25	0.275	TDY-1
P98	HE300A	0.152	LRFD-1	0.163	ASD-23	0.275	TDY-1
P99	HE300A	0.152	LRFD-1	0.163	ASD-23	0.276	TDY-1
P100	HE300A	0.153	LRFD-1	0.164	ASD-5	0.276	TDY-1
P101	HE300A	0.131	LRFD-5	0.163	ASD-2	0.277	TDY-1
P102	HE300A	0.158	LRFD-1	0.171	ASD-23	0.277	TDY-1
P103	HE300A	0.152	LRFD-1	0.163	ASD-6	0.280	TDY-9
P104	HE300A	0.154	LRFD-1	0.165	ASD-4	0.279	TDY-1
P105	HE300A	0.174	LRFD-1	0.187	ASD-4	0.273	TDY-1
P106	HE300A	0.154	LRFD-1	0.165	ASD-6	0.279	TDY-1
P107	HE300A	0.152	LRFD-1	0.163	ASD-5	0.283	TDY-9
P108	HE300A	0.158	LRFD-1	0.171	ASD-18	0.277	TDY-1
P109	HE300A	0.131	LRFD-4	0.163	ASD-2	0.277	TDY-1

**Çizelge 4.7 (devam) :** Düşey yükler altında ikincil çatı kirişleri kapasite tablosu.

Eleman Adı	Kesit	LRFD		ASD		TDY	
		Kapasite	Kombinasyon	Kapasite	Kombinasyon	Kapasite	Kombinasyon
P110	HE300A	0.153	LRFD-1	0.164	ASD-6	0.276	TDY-1
P111	HE300A	0.152	LRFD-1	0.163	ASD-18	0.276	TDY-1
P112	HE300A	0.152	LRFD-1	0.163	ASD-18	0.275	TDY-1
P113	HE300A	0.153	LRFD-1	0.164	ASD-19	0.275	TDY-1
P114	HE300A	0.129	LRFD-1	0.149	ASD-25	0.330	TDY-7

#### 4.2.2.2 Çatı konsol kirişlerinin tasarımı

İkincil kirişlerin mafsallı olarak mesnetlendiği ve deprem yükleri etkisinde olan çatı konsol kirişlerinin düşey yükler altında gerilme ve sehim kontrolleri yapılacaktır. Şekil 4.10'da elemana ait özellikler verilmiştir.

Dimensions

Outside height ( t3 )	800.
Top flange width ( t2 )	300.
Top flange thickness ( tf )	33.
Web thickness ( tw )	17.5
Bottom flange width ( t2b )	300.
Bottom flange thickness ( tfb )	33.

Display Color ■

Properties

Cross-section (axial) area	33400.	Section modulus about 3 axis	8977500.
Torsional constant	9590000.	Section modulus about 2 axis	993333.3
Moment of Inertia about 3 axis	3.591E+09	Plastic modulus about 3 axis	10230000
Moment of Inertia about 2 axis	1.490E+08	Plastic modulus about 2 axis	1553000.
Shear area in 2 direction	14000.	Radius of Gyration about 3 axis	327.8948
Shear area in 3 direction	16500.	Radius of Gyration about 2 axis	66.7913

**Şekil 4.10 :** Seçilen konsol kiriş elemanı HE800B için kesit özellikleri.

Çatı konsol kiriş uçlarında yer alan ve rijit bağlantılı olan konsol ucu kirişlerinin düşey yükler altında gerilme ve sehim kontrolleri yapılacaktır. Şekil 4.11'de elemana ait özellikler verilmiştir. Çatı konsol ve konsol ucu kirişleri için düşey sabit ve hareketli yükler altında oluşan iç kuvvetler (kesit zorları)  $M_{maks}$  ve  $V_{maks}$  bulunmuş, Çizelge 4.8'de kapasiteler özetlenmiştir.

**Dimensions**

Outside height ( t3 )

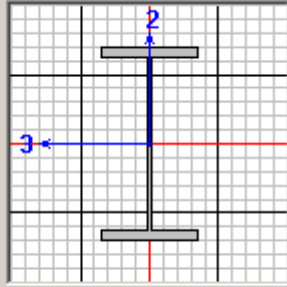
Top flange width ( t2 )

Top flange thickness ( tf )

Web thickness ( tw )

Bottom flange width ( t2b )

Bottom flange thickness ( tfb )



Display Color

**Properties**

Cross-section (axial) area	<input type="text" value="27000."/>	Section modulus about 3 axis	<input type="text" value="5700000."/>
Torsional constant	<input type="text" value="6770000."/>	Section modulus about 2 axis	<input type="text" value="902000."/>
Moment of Inertia about 3 axis	<input type="text" value="1.710E+09"/>	Plastic modulus about 3 axis	<input type="text" value="6425000."/>
Moment of Inertia about 2 axis	<input type="text" value="1.353E+08"/>	Plastic modulus about 2 axis	<input type="text" value="1391000."/>
Shear area in 2 direction	<input type="text" value="9300."/>	Radius of Gyration about 3 axis	<input type="text" value="251.6611"/>
Shear area in 3 direction	<input type="text" value="15000."/>	Radius of Gyration about 2 axis	<input type="text" value="70.7892"/>

**Şekil 4.11** : Konsol ucu bağlantı kiriş elemanı HE600B için kesit özellikleri.

**Çizelge 4.8** : Düşey yükler altında konsol kiriş kapasiteleri.

Eleman Adı	Kesit	LRFD		ASD		TDY	
		Kapasite	Kombinasyon	Kapasite	Kombinasyon	Kapasite	Kombinasyon
SCB1	HE600B-1200	<b>0.423</b>	LRFD-13	<b>0.471</b>	ASD-4	<b>0.373</b>	TDY-1
SCB2	HE600B-1200	<b>0.634</b>	LRFD-13	<b>0.677</b>	ASD-4	<b>0.496</b>	TDY-1
SCB3	HE800B	<b>0.352</b>	LRFD-13	<b>0.341</b>	ASD-4	<b>0.241</b>	TDY-1
SCB4	HE800B	<b>0.403</b>	LRFD-13	<b>0.427</b>	ASD-4	<b>0.248</b>	TDY-1
SCB5	HE800B	<b>0.401</b>	LRFD-13	<b>0.465</b>	ASD-4	<b>0.291</b>	TDY-4
SCB6	HE800B	<b>0.464</b>	LRFD-13	<b>0.613</b>	ASD-4	<b>0.438</b>	TDY-4
SCB7	HE800B	<b>0.773</b>	LRFD-13	<b>0.928</b>	ASD-4	<b>0.776</b>	TDY-1
SCB8	HE800B	<b>0.462</b>	LRFD-28	<b>0.597</b>	ASD-4	<b>0.431</b>	TDY-1
SCB9	HE800B	<b>0.534</b>	LRFD-14	<b>0.595</b>	ASD-5	<b>0.348</b>	TDY-1
SCB10	HE800B	<b>0.481</b>	LRFD-14	<b>0.498</b>	ASD-5	<b>0.393</b>	TDY-1
SCB11	HE800B	<b>0.480</b>	LRFD-20	<b>0.527</b>	ASD-6	<b>0.395</b>	TDY-1
SCB12	HE800B	<b>0.535</b>	LRFD-20	<b>0.597</b>	ASD-6	<b>0.350</b>	TDY-1
SCB13	HE800B	<b>0.463</b>	LRFD-28	<b>0.599</b>	ASD-4	<b>0.433</b>	TDY-1
SCB14	HE800B	<b>0.765</b>	LRFD-18	<b>0.918</b>	ASD-4	<b>0.763</b>	TDY-1
SCB15	HE800B	<b>0.441</b>	LRFD-18	<b>0.582</b>	ASD-4	<b>0.405</b>	TDY-4
SCB16	HE800B	<b>0.391</b>	LRFD-18	<b>0.453</b>	ASD-4	<b>0.276</b>	TDY-4
SCB17	HE800B	<b>0.400</b>	LRFD-18	<b>0.424</b>	ASD-4	<b>0.246</b>	TDY-1
SCB18	HE800B	<b>0.352</b>	LRFD-18	<b>0.342</b>	ASD-4	<b>0.241</b>	TDY-1
SCB19	HE600B-1200	<b>0.634</b>	LRFD-18	<b>0.677</b>	ASD-4	<b>0.498</b>	TDY-1
SCB20	HE600B-1200	<b>0.422</b>	LRFD-18	<b>0.470</b>	ASD-4	<b>0.372</b>	TDY-1

**Çizelge 4.8 (devam) : Düşey yükler altında konsol giriş kapasiteleri.**

Eleman Adı	Kesit	LRFD		ASD		TDY	
		Kapasite	Kombinasyon	Kapasite	Kombinasyon	Kapasite	Kombinasyon
SEB1	HE600B	0.171	LRFD-10	0.208	ASD-20	0.181	TDY-6
SEB2	HE600B	0.166	LRFD-28	0.198	ASD-4	0.202	TDY-7
SEB3	HE600B	0.338	LRFD-28	0.403	ASD-4	0.414	TDY-13
SEB4	HE600B	0.405	LRFD-28	0.464	ASD-4	0.345	TDY-1
SEB5	HE600B	0.355	LRFD-28	0.393	ASD-4	0.120	TDY-4
SEB6	HE600B	0.324	LRFD-28	0.368	ASD-4	0.191	TDY-9
SEB7	HE600B	0.326	LRFD-28	0.372	ASD-4	0.192	TDY-4
SEB8	HE600B	0.454	LRFD-13	0.537	ASD-4	0.268	TDY-4
SEB9	HE800B	0.399	LRFD-13	0.496	ASD-4	0.333	TDY-4
SEB10	HE800B	0.410	LRFD-23	0.513	ASD-4	0.417	TDY-4
SEB11	HE800B	0.397	LRFD-18	0.493	ASD-4	0.329	TDY-4
SEB12	HE600B	0.453	LRFD-18	0.536	ASD-4	0.258	TDY-4
SEB13	HE600B	0.322	LRFD-28	0.367	ASD-4	0.197	TDY-4
SEB14	HE600B	0.313	LRFD-28	0.355	ASD-4	0.170	TDY-9
SEB15	HE600B	0.351	LRFD-28	0.383	ASD-4	0.153	TDY-4
SEB16	HE600B	0.393	LRFD-28	0.450	ASD-4	0.328	TDY-1
SEB17	HE600B	0.324	LRFD-28	0.386	ASD-4	0.394	TDY-13
SEB18	HE600B	0.162	LRFD-28	0.193	ASD-4	0.199	TDY-6
SEB19	HE600B	0.171	LRFD-9	0.208	ASD-24	0.181	TDY-7

#### 4.2.2.3 Kablo tasarımı

Bu bölümde sistemin düşey yükler altında çözümleri yapılmış, çıkan iç kuvvetler altında kablo kesit kontrolleri yapılmıştır. Tüm bu analizler yapılmadan önce kendi şekil değiştirmelerinden dolayı oluşan aksel çekme kuvvetlerinden dolayı doğrusal olmayan davranış gösteren kabloların fiktif elastisite modülleri bulunmuştur. Bunun için iki aşamalı çözüm yapılmıştır. Seçilen başlangıç kablo kesitleri ile analiz yapılmış ve elde edilen kablo çekme kuvvetleri ile kablo geometrisi kullanılarak fiktif elastisite modülleri her kablo için hesaplanmış ve kesit kontrolleri yapılmıştır. İkinci aşamada ise, birinci aşamada bulunan kesitler ve elastisite modülleri kullanılarak tekrar kablo çekme kuvvetleri hesaplanmıştır. Bu işlem toplam iki kere yapılmış ve ardışık yaklaşım ikinci adımda sonlandırılmıştır. Benzer şekilde, aksel yükün kablo kuvvetine etkisi için iki aşamalı hesap yapılmıştır. Birinci aşamada seçilen kablo kesitleri için aksel çekme kuvvetleri bulunmuş ve bulunan bu aksel çekme kuvvetleri ikinci aşama hesapta aksel başlangıç çekmesi olarak sisteme etkilerek ikinci aşama sonuçları ile kablolar kontrol edilmiştir.



Kablolar sadece çekmeye çalışan elemanlardır. Bu nedenle hesaplanana en büyük çekme kuvvetine göre kontrol edilirler. Üreticinin verdiği kopma değerleri bir güvenlik katsayısına bölünerek emniyetle taşınacak yük hesaplanır.

P çekme kuvveti etkisi altındaki bir kabloda oluşan normal gerilme **(4.10)**;

$$\sigma = P / A_{\text{etkili,kablo}} \quad (4.10)$$

Kablonun etkili kesit alanı **(4.11)**;

$$A_{\text{etkili,kablo}} = P / \sigma_{\text{em}} \quad (4.11)$$

Kablo imalinde ortaya çıkan burulma etkilerinden dolayı kablonun kesit alanı A ise, hesaplarda esas alınacak  $A_{\text{etkili,kablo}}$  alanı yeter yaklaşıklıkla **(4.12)** ve **(4.13)** ile hesaplanır;

$$A_{\text{etkili,kablo}} = 2/3 A_{\text{kablo}} \quad (4.12)$$

$$A_{\text{kablo}} = 1.5 \times A_{\text{etkili,kablo}} \quad (4.13)$$

Ullevi stadyumunun halat hesaplarında kullanılacak halat çapları sırası ile 36 ve 57 mm'dir.

1960 N/mm<sup>2</sup> dayanımına sahip, n = 2.5 (güvenlik katsayısı) olan halatlarımızın emniyetle taşıyabilecekleri maksimum çekme kuvveti;

$$A_{d=36\text{mm}} = 1017.9 \text{ mm}^2 \rightarrow A_{\text{etkili, d=36mm}} = (2/3) \times A_{d=36\text{mm}}$$

$$\rightarrow A_{\text{etkili, d=36mm}} = 678.6 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow P_{d=36\text{mm}} = A_{\text{etkili,kablo}} \times \sigma_{\text{em}} = 678.6 \text{ mm}^2 \times 1960 \text{ N/mm}^2$$

$$\rightarrow P_{d=36\text{mm}} = 1330.1 \text{ kN}$$

$$\rightarrow P_{\text{em,d=36mm}} = 1330.1 \text{ kN} / n$$

$$\rightarrow P_{\text{em,d=36mm}} = 1330.1 \text{ kN} / 2.5 = 532.04 \text{ kN}$$

$$A_{d=57\text{mm}} = 2551.8 \text{ mm}^2 \rightarrow A_{\text{etkili, d=57mm}} = (2/3) \times A_{d=57\text{mm}}$$

$$\rightarrow A_{\text{etkili, d=57mm}} = 1701.2 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow P_{d=57\text{mm}} = A_{\text{etkili,kablo}} \times \sigma_{\text{em}} = 1701.2 \text{ mm}^2 \times 1960 \text{ N/mm}^2$$

$$\rightarrow P_{d=57\text{mm}} = 3334.4 \text{ kN}$$

$$\rightarrow P_{\text{em,d=57mm}} = 3334.4 \text{ kN} / n$$

$$\rightarrow P_{\text{em,d=57mm}} = 3334.4 \text{ kN} / 2.5 = 1333.7 \text{ kN}$$

Kabloya emniyetle taşıyacağı kuvvetin %10 ila %50 miktarı kadar ön gerilme verilebilir. Bu sayede çekmeye çalışan kablunun düşey yükler altında oluşabilecek sehimini karşılar.

Kablo kuvvetleri aşamalı analizler sonucu yük kombinasyonlarının en elverişsiz haline göre hesaplanmış ve kablo çekme kuvvetleri kapasitesi ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.9).

**Çizelge 4.9 : Düşey yükler altında oluşan kablo çekme kuvvetleri.**

Kablo Adı	Kablo Çapı m	Kablo Boyu m	Düşey Yükler Altında Oluşan Kablo Çekme Kuvveti kN	Kablo Çekme Kuvveti Kapasitesi kN
CBL-L1	57	68.4	879.8	1333.7
CBL-L2		55.9	682.3	1333.7
CBL-L3		44.9	499.6	1333.7
CBL-L4		36.4	359.0	1333.7
CBL-L5		32.5	321.4	1333.7
CBL-L6		34.7	382.8	1333.7
CBL-L7		41.9	509.2	1333.7
CBL-L8		52.1	465.1	1333.7
CBL-L9	36	43.5	250.5	532.0
CBL-L10		33.3	266.0	532.0
CBL-L11		28.1	271.8	532.0
CBL-L12		30.5	289.9	532.0
CBL-L13		38.9	320.8	532.0
CBL-L14		50.3	248.9	532.0
CBL-R1	57	68.4	879.5	1333.7
CBL-R2		55.9	681.7	1333.7
CBL-R3		44.9	497.8	1333.7
CBL-R4		36.4	375.4	1333.7
CBL-R5		32.5	318.6	1333.7
CBL-R6		34.7	382.3	1333.7
CBL-R7		41.9	509.5	1333.7
CBL-R8		52.1	465.2	1333.7
CBL-R9	36	43.5	250.4	532.0
CBL-R10		33.3	265.6	532.0
CBL-R11		28.1	271.3	532.0
CBL-R12		30.5	289.9	532.0
CBL-R13		38.9	320.8	532.0
CBL-R14		50.3	249.0	532.0

#### 4.2.3 Sistemin yatay yükler altında (deprem ve rüzgar yükleri) tasarımı

##### 4.2.3.1 Çatı konsol kirişlerinin tasarımı

Depremlı durum oluşın iç kuvvetler altında konsol kiriş için gerilme kontrolleri yapılmıştır. Yalnız TDY kombinasyonu durumunda emniyet gerilmeleri %33 oranında arttırılmıştır. Ayrıca kapasiteler Çizelge 4.10'da verilmiş, kıyaslama yapılmıştır.

**Çizelge 4.10 : Düşey-yatay yükler altında konsol kiriş kapasiteleri.**

Eleman Adı	Kesit	LRFD		ASD		TDY	
		Kapasite	Kombinasyon	Kapasite	Kombinasyon	Kapasite	Kombinasyon
SCB1	HE600B-1200	0.349	LRFD-60	0.443	ASD-47	0.518	TDY-2
SCB2	HE600B-1200	0.643	LRFD-60	0.774	ASD-47	0.848	TDY-2
SCB3	HE800B	0.366	LRFD-56	0.408	ASD-41	0.706	TDY-4
SCB4	HE800B	0.641	LRFD-56	0.777	ASD-41	0.875	TDY-4
SCB5	HE800B	0.639	LRFD-56	0.738	ASD-41	0.861	TDY-2
SCB6	HE800B	0.435	LRFD-62	0.497	ASD-41	0.807	TDY-4
SCB7	HE800B	0.389	LRFD-63	0.452	ASD-42	0.720	TDY-5
SCB8	HE800B	0.454	LRFD-63	0.537	ASD-42	0.788	TDY-5
SCB9	HE800B	0.639	LRFD-63	0.772	ASD-42	0.931	TDY-5
SCB10	HE800B	0.307	LRFD-60	0.383	ASD-47	0.452	TDY-2
SCB11	HE800B	0.126	LRFD-60	0.159	ASD-47	0.176	TDY-2
SCB12	HE800B	0.437	LRFD-56	0.567	ASD-43	0.682	TDY-2
SCB13	HE800B	0.641	LRFD-60	0.836	ASD-47	0.981	TDY-2
SCB14	HE800B	0.405	LRFD-58	0.497	ASD-43	0.692	TDY-2
SCB15	HE800B	0.419	LRFD-56	0.552	ASD-43	0.766	TDY-2
SCB16	HE800B	0.409	LRFD-60	0.526	ASD-43	0.745	TDY-4
SCB17	HE800B	0.481	LRFD-56	0.661	ASD-43	0.811	TDY-4
SCB18	HE800B	0.808	LRFD-57	0.897	ASD-44	0.903	TDY-3
SCB19	HE600B-1200	0.487	LRFD-56	0.676	ASD-43	0.804	TDY-4
SCB20	HE600B-1200	0.302	LRFD-56	0.335	ASD-41	0.488	TDY-2

Bu sonuçlara göre konsol kesitinde analiz sonucu oluşın gerilme/gerilme limiti oranı 1.0' den küçüktür. Yani konsol kesitin depremlı durumda kapasitesi yeterlidir.

Depremlı durum oluşın iç kuvvetler altında konsol kiriş ucu için gerilme kontrolleri yapılmıştır. Yalnız TDY kombinasyonu durumunda emniyet gerilmeleri %33 oranında arttırılmıştır. Ayrıca kapasiteler Çizelge 4.11'de verilmiş, kıyaslama yapılmıştır.

**Çizelge 4.11 : Düşey-yatay yükler altında konsol ucu bağlantı kiriş kapasiteleri.**

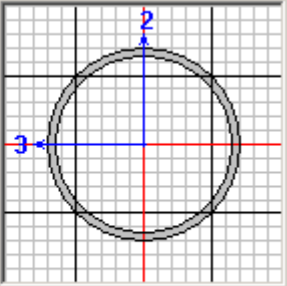
Eleman Adı	Kesit	LRFD		ASD		TDY	
		Kapasite	Kombinasyon	Kapasite	Kombinasyon	Kapasite	Kombinasyon
SEB1	HE600B	0.640	LRFD-56	0.783	ASD-41	0.951	TDY-4
SEB2	HE600B	0.619	LRFD-60	0.711	ASD-47	0.841	TDY-2
SEB3	HE600B	0.174	LRFD-1	0.188	ASD-44	0.189	TDY-3
SEB4	HE600B	0.159	LRFD-1	0.173	ASD-42	0.175	TDY-3
SEB5	HE600B	0.344	LRFD-57	0.452	ASD-44	0.499	TDY-3
SEB6	HE600B	0.462	LRFD-28	0.565	ASD-44	0.575	TDY-3
SEB7	HE600B	0.452	LRFD-28	0.517	ASD-44	0.491	TDY-5
SEB8	HE600B	0.300	LRFD-57	0.397	ASD-44	0.452	TDY-5
SEB9	HE800B	0.764	LRFD-57	0.952	ASD-42	1.231	TDY-5
SEB10	HE800B	0.110	LRFD-1	0.131	ASD-47	0.139	TDY-2
SEB11	HE800B	0.574	LRFD-61	0.639	ASD-42	0.946	TDY-3
SEB12	HE600B	0.779	LRFD-57	0.867	ASD-42	0.941	TDY-3
SEB13	HE600B	0.146	LRFD-60	0.185	ASD-47	0.294	TDY-2
SEB14	HE600B	0.113	LRFD-1	0.139	ASD-47	0.149	TDY-2
SEB15	HE600B	0.318	LRFD-56	0.371	ASD-41	0.451	TDY-2
SEB16	HE600B	0.356	LRFD-56	0.418	ASD-41	0.499	TDY-2
SEB17	HE600B	0.273	LRFD-56	0.301	ASD-41	0.428	TDY-2
SEB18	HE600B	0.260	LRFD-56	0.285	ASD-41	0.408	TDY-2
SEB19	HE600B	0.178	LRFD-1	0.219	ASD-47	0.237	TDY-2

#### 4.2.3.2 Çatı düzlemi rijitlik elemanlarının tasarımı

**Dimensions**

Outside diameter ( t3 )

Wall thickness ( tw )



Display Color ■

**Properties**

Cross-section (axial) area	30159.289	Section modulus about 3 axis	3480382.
Torsional constant	1.740E+09	Section modulus about 2 axis	3480382.
Moment of Inertia about 3 axis	8.701E+08	Plastic modulus about 3 axis	4610667.
Moment of Inertia about 2 axis	8.701E+08	Plastic modulus about 2 axis	4610667.
Shear area in 2 direction	15097.088	Radius of Gyration about 3 axis	169.8529
Shear area in 3 direction	15097.088	Radius of Gyration about 2 axis	169.8529

**Şekil 4.12 : Seçilen rijitlik elemanı D500-t20 için kesit özellikleri.**

Depremlı durum oluşan iç kuvvetler altında Şekil 4.12’de verilen rijitlik elemanı için gerilme kontrolleri yapılmıştır. Yalnız TDY kombinasyonu durumunda emniyet gerilmeleri %33 oranında arttırılmıştır. Ayrıca kapasiteler izelge 4.12’de verilmiş, kıyaslama yapılmıştır.

**Çizelge 4.12 : Düşey-yatay yükler altında çatı rijitlik eleman kapasiteleri.**

Eleman Adı	Kesit	LRFD		ASD		TDY	
		Kapasite	Kombinasyon	Kapasite	Kombinasyon	Kapasite	Kombinasyon
SBR1	D500_t20	0.350	LRFD-28	0.404	ASD-44	0.423	TDY-5
SBR2	D500_t20	0.341	LRFD-28	0.445	ASD-44	0.494	TDY-3
SBR3	D500_t20	0.153	LRFD-1	0.166	ASD-41	0.168	TDY-2
SBR4	D500_t20	0.305	LRFD-61	0.327	ASD-42	0.478	TDY-3
SBR5	D500_t20	0.154	LRFD-1	0.167	ASD-42	0.179	TDY-3
SBR6	D500_t20	0.263	LRFD-60	0.333	ASD-47	0.360	TDY-2
SBR7	D500_t20	0.418	LRFD-60	0.531	ASD-47	0.592	TDY-2
SBR8	D500_t20	0.515	LRFD-60	0.657	ASD-47	0.739	TDY-2
SBR9	D500_t20	0.553	LRFD-10	0.711	ASD-47	0.796	TDY-2
SBR10	D500_t20	0.405	LRFD-28	0.485	ASD-44	0.509	TDY-5
SBR11	D500_t20	0.456	LRFD-28	0.554	ASD-44	0.578	TDY-3
SBR12	D500_t20	0.115	LRFD-18	0.143	ASD-43	0.150	TDY-2
SBR13	D500_t20	0.121	LRFD-13	0.144	ASD-4	0.137	TDY-3
SBR14	D500_t20	0.115	LRFD-13	0.137	ASD-4	0.138	TDY-3
SBR15	D500_t20	0.122	LRFD-13	0.145	ASD-4	0.148	TDY-3
SBR16	D500_t20	0.125	LRFD-13	0.151	ASD-44	0.159	TDY-3
SBR17	D500_t20	0.129	LRFD-1	0.142	ASD-42	0.157	TDY-5
SBR18	D500_t20	0.300	LRFD-28	0.373	ASD-44	0.423	TDY-5
SBR19	D500_t20	0.321	LRFD-28	0.412	ASD-44	0.455	TDY-3
SBR20	D500_t20	0.134	LRFD-56	0.170	ASD-43	0.189	TDY-2
SBR21	D500_t20	0.138	LRFD-1	0.149	ASD-41	0.150	TDY-2
SBR22	D500_t20	0.138	LRFD-1	0.149	ASD-41	0.150	TDY-2
SBR23	D500_t20	0.139	LRFD-1	0.150	ASD-42	0.151	TDY-3
SBR24	D500_t20	0.139	LRFD-1	0.151	ASD-42	0.152	TDY-3
SBR25	D500_t20	0.140	LRFD-1	0.153	ASD-42	0.155	TDY-3
SBR26	D500_t20	0.140	LRFD-1	0.153	ASD-42	0.170	TDY-3
SBR27	D500_t20	0.140	LRFD-1	0.165	ASD-42	0.193	TDY-3
SBR28	D500_t20	0.141	LRFD-1	0.159	ASD-42	0.189	TDY-3
SBR29	D500_t20	0.141	LRFD-61	0.169	ASD-42	0.200	TDY-3
SBR30	D500_t20	0.152	LRFD-1	0.164	ASD-42	0.165	TDY-3
SBR31	D500_t20	0.152	LRFD-1	0.164	ASD-42	0.165	TDY-3
SBR32	D500_t20	0.153	LRFD-1	0.165	ASD-42	0.171	TDY-3
SBR33	D500_t20	0.184	LRFD-62	0.215	ASD-41	0.402	TDY-4
SBR34	D500_t20	0.158	LRFD-1	0.176	ASD-43	0.185	TDY-2

### 4.2.3.3 Kablo tasarımı

Kablolar iki ucu mafsallı elemanlardır ve sadece eksenel çekme kuvvetine çalışırlar. Basınç kuvveti taşımadıkları için yapılacak analizlerde bu özellik dikkate alınmalıdır. Özellikle deprem etkileri altında kabloların basınca geçerek boşalması yapı stabilitesi açısından çözülmesi gereken bir problemdir.

Deprem analizleri yapıldıktan sonra kablolarda oluşan iç kuvvetler ve mevcut kablo kesitleri ile karşılaştırılması Çizelge 4.13’de gösterilmiştir.

Bu sonuçlara göre depremlili durumda kablo kuvvetleri artmaktadır. Oluşan çekme kuvvetleri seçilen kablo kesitlerinin emniyetli taşıma kapasitesini geçmemiştir.

**Çizelge 4.13 : Düşey-yatay yükler altında oluşan kablo çekme kuvvetleri.**

Kablo Adı	Kablo Çapı mm	Kablo Boyu m	LRFD-Enve kN	ASD-Enve kN	TDY-Enve kN	En Elverişsiz kN	Kablo Çekme Kuvveti Kapasitesi kN
CBL-L1	57	68.4	1095.6	925.2	1017.9	1095.6	1333.7
CBL-L2		55.9	893.6	762.6	894.2	894.2	1333.7
CBL-L3		44.9	739.9	619.1	776.2	776.2	1333.7
CBL-L4		36.4	638.1	509.1	685.1	685.1	1333.7
CBL-L5		32.5	586.1	464.5	628.8	628.8	1333.7
CBL-L6		34.7	574.3	486.0	619.2	619.2	1333.7
CBL-L7		41.9	865.2	690.1	886.0	886.0	1333.7
CBL-L8		52.1	651.3	540.4	678.6	678.6	1333.7
CBL-L9	36	43.5	319.8	290.5	332.9	332.9	532.0
CBL-L10		33.3	337.6	299.0	344.3	344.3	532.0
CBL-L11		28.1	351.5	300.2	359.2	359.2	532.0
CBL-L12		30.5	376.9	313.0	363.8	376.9	532.0
CBL-L13		38.9	458.2	378.4	454.1	458.2	532.0
CBL-L14		50.3	345.6	285.4	354.4	354.4	532.0
CBL-R1	57	68.4	1109.8	933.5	1033.6	1109.8	1333.7
CBL-R2		55.9	930.0	781.5	931.3	931.3	1333.7
CBL-R3		44.9	744.5	620.9	780.6	780.6	1333.7
CBL-R4		36.4	631.5	511.7	675.5	675.5	1333.7
CBL-R5		32.5	588.8	464.7	633.8	633.8	1333.7
CBL-R6		34.7	582.1	489.9	627.3	627.3	1333.7
CBL-R7		41.9	885.4	700.8	907.2	907.2	1333.7
CBL-R8		52.1	647.6	538.6	674.2	674.2	1333.7
CBL-R9	36	43.5	322.1	289.1	335.4	335.4	532.0
CBL-R10		33.3	337.1	297.8	347.8	347.8	532.0
CBL-R11		28.1	350.9	300.8	361.0	361.0	532.0
CBL-R12		30.5	376.9	319.1	375.9	376.9	532.0
CBL-R13		38.9	450.1	374.2	446.1	450.1	532.0
CBL-R14		50.3	344.7	284.9	353.5	353.5	532.0

#### **4.2.3.4 Pilon tasarımı**

Düşey yükler altında yapılan analizler sonucunda pilon kesitlerinde oluşan iç kuvvetler elde edilmiştir. Pilon kesitleri kontrol edilirken aksenal kuvvet ve eğik eğilme durumu dikkate alınmıştır. Ayrıca pilon kesitleri için kesme tahkikleri yapılmıştır. Betonarme pilon kesitlerinin tasarımı taşıma gücü yöntemiyle, arttırılmış yükler altında yapılmıştır.

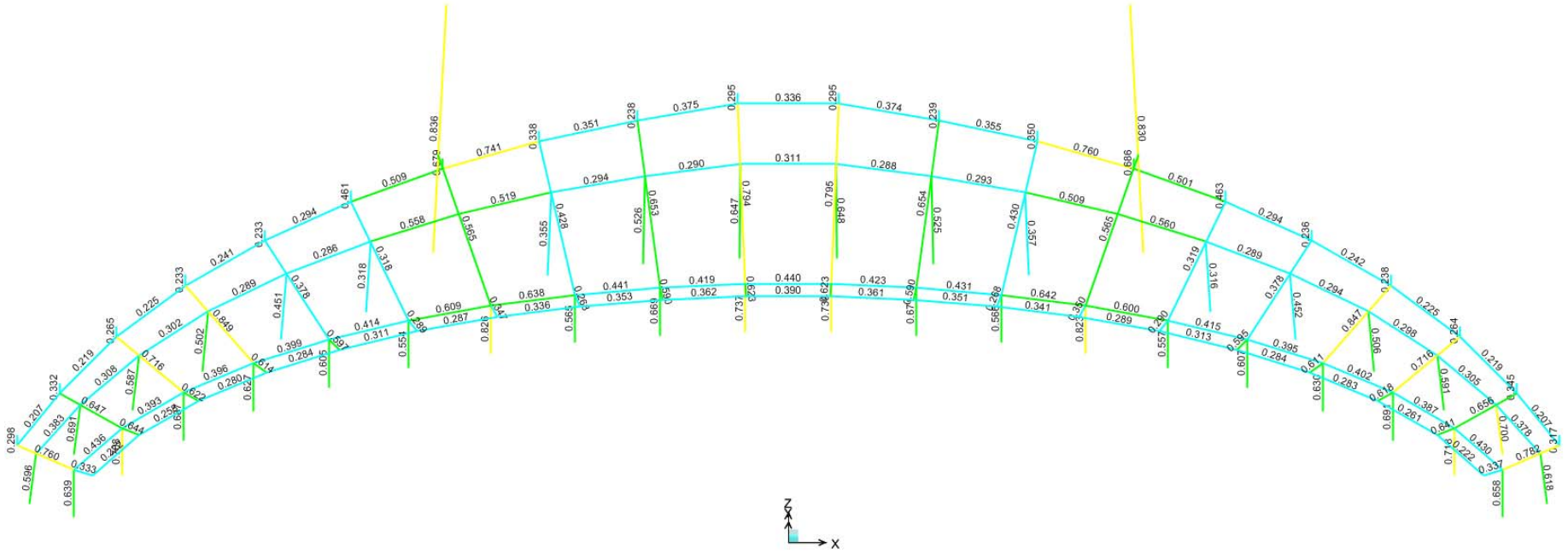
Pilonun tasarımında ilk olarak burkulma hesapları yapılmış, kabloların kopma kuvvetlerinin %90'ının düşey bileşenlerinin kuleye basınç kuvveti olarak etkimesi durumunda kulenin burkulmadığı tespit edilmiştir. Daha sonra ise tüm analizler sonucu oluşan en elverişsiz tesirlere göre betonarme hesapları yapılmıştır.

Betonarme kesitlerde (basınca çalışan elemanlarda) maksimum donatı oranı 0.04 olarak seçilmiştir. Bu değer bindirme bölgelerinde 0.06 olacaktır. Minimum donatı oranı ise 0.01 alınmıştır.

#### **4.2.3.5 Betonarme kesitlerde tasarım**

Betonarme kesitlerin tasarımı için TS500 ve Türk Deprem yönetmeliği esas alınmış, tasarım işi Sap2000 paket programı ile yapılmış, eleman kapasite oranları hesaplanıp Şekil 4.13'de gösterilmiştir.

Betonarme kesitlerin belirlenmesinde optimum kapasite oranları ( $0.7 < \text{Kapasite oranı} < 1.0$ ) esas alınmıştır.



Şekil 4.13 : Ullevi stadyumu betonarme kısım elemanları kapasite durumları.



## 5. SONUÇLAR

Ülkeler ve toplumlar geliştikçe prestijli yapılar ön plana çıkmaktadır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde inşa edilen prestij yapılarından biri de büyük açıklıklı kablolu tribün çatısı yapılarıdır. Mühendislik ve yapım teknolojilerindeki gelişmeler yardımıyla bu tür büyük açıklıklı kablolu yapılar deprenselliği yüksek olan bölgelerde de inşa edilebilmektedir. Deprensellik bakımından son derece riskli olan ülkemizde de önümüzdeki yıllarda büyük açıklı kablolu yapıların inşa edilmesi, mühendislik birikiminin ulaştığı düzey dikkate alındığında, bir gereklilik olarak mühendislerin karşısına çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasında, Ullevi Stadyumu eğik kablo askılı konsol çatısının analiz ve tasarım uygulamaları hakkında bilgiler verilmiştir.

Kablo askılı çatıların tasarımı çok basamaklı ve her aşamada elde edilen sonuçlara göre geri dönüşlü bir süreçtir. Yapılan her analiz ve tasarım bir diğer analizi etkilemektedir. Bu durumda kablo askılı bir çatıda sadece rüzgar veya deprem etkilerinden birinin tasarımı belirlemesi söz konusu değildir.

Ülkemizin bir deprem ülkesi olması nedeniyle her yapıda olduğu gibi kablo askılı çatıların tasarımında da deprem analizleri önem arz etmektedir. Özellikle pilonların yüksek ve rijit olmaları nedeniyle deprem etkileri açısından dikkatli bir şekilde incelenmelidir. Düşey ivmelerin etkin olduğu durumlarda kablo kuvvetlerinin değişimleri tahkik edilmelidir.

Kablo askılı yapılar önemli yapılardır. Bu nedenle, kullanım ömürleri boyunca meydana gelebilecek çeşitli seviyelerdeki depremlere karşı yeterli performansı gösterebilecek ekonomik çözümler elde edilebilmesi için, bu tür yapıların tasarımlarında şekil değiştirme bazlı doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin uygulanması gereklidir.

Ayrıca çalışmanın sonuçları tasarım felsefeleri açısından değerlendirildiğinde;

- Sayısal sonuçlarından da görüldüğü gibi TS 648 şartnameler arasında en az ekonomik olanıdır.

- AISC-LRFD’de aksel basınca maruz elemanların burkulma hesabında kullanılan rijitlik indirgeme katsayısı sayesinde daha küçük burkulma uzunluğu ve narinlik ile daha küçük en kesitler kullanılarak tasarım yapılabilmektedir. Bu da yine ekonomi sağlamaktadır.
- AISC-LRFD plastik tasarım yapmaktadır. TS 648’ de plastik tasarım yapılmamaktadır.
- Ülkemizde kullanımda olan T.S. 648 “Çelik Yapıların Yapım ve Hesap Kuralları” yönetmeliğinin oluşturulmasında yine AISC ( ASD ) yönetmeliğinin kullanıldığı, bu Standart da geçen güvenlik çarpanı 1,67 değerinin T.S. 648’ e aynen geçtiği ve 0.60 çarpanı olarak kullanıldığı not edilmelidir. Burada  $1/1.67=0.5988$  hesabı dikkate alınmalıdır
- LRFD, ASD’ye göre belirsizliklerin ve çelik elemanların gerçek davranışlarının göz önüne alınmasında daha gerçekçidir.
- LRFD, ASD’ye göre belirsizliklerin ve çelik elemanların gerçek davranışlarının göz önüne alınmasında daha gerçekçidir.
- Düşük L/D oranları için LRFD’yi kullanmak daha ekonomiktir, yüksek L/D oranları için ( $L/D \approx 3$ )LRFD, ASD’den biraz daha fazla maliyete sebep olur.
- LRFD betonarme yapıların tasarımında kullanılan Limit Tasarım yöntemi gibi bir başka tasarım yöntemidir
- $\gamma$  and  $\phi$ ’yi değiştirmek ASD’deki  $\Omega$ ’yı değiştirmekten daha rasyoneldir.
- LRFD her yük tipi için farklı yük arttırma katsayısı ve dayanım için farklı dayanım azaltma katsayısı kullanır. Yük arttırma katsayısı ve dayanım azaltma katsayısı değişik yükleme durumlarındaki ve dayanımdaki belirsizlik derecesini tanımlar. Yani, üniform bir güvenlik mümkündür.
- LRFD ve ASD farklı limit durumlar kabul eder (elastik ve plastik); en önemli fark ise yükler ve kapasitenin göz önüne alınmasıdır.
- LRFD genel olarak dayanıma göre limit kapasite tasarımı açısından gerçek davranışıyla daha uyumludur. Kolaylıkla geliştirilebilir yük ve mukavemet faktörlerinin belirlenmesi konusunda hala çalışılmaktadır.

- ASD onlarca yıldır süren bir eğitim süreci nedeniyle tecrübeli bir çok mühendis tarafından hala kullanılmaktadır. Dolayısı ile Amerika'da tamamen LRFD'ye geçiş süreci uzunca bir süreç gerektirecektir.
- Göçme modları açısından ASD ve LRFD yaklaşımları esas olarak aynıdır.

Yapılan incelemelerde görüldü ki; T.S. 648'te stabilite sınırlamaları için kullandığımız Amerikan standartının Türk standardına konu olan bölümü ASD (Allowable Strength Design) için 1978 yılı basımı kullanılmış ve bu basımdan sonra en son 1989 yılı basımı yapılmıştır. AISC'nin son basımı olan 2010 yılı basımında; kullanılan formülasyonların ve sınırlamaların tamamı yük kombinezonları ve kesit taşıma kapasitesi sınırlamalarındaki katsayılar dışında tamamen LRFD (Load and Resistance Factor Design) bölümünden alınma olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak ülkemizde kullanılan standartlara mevzu olan Amerikan standardı genel itibariyle 2005 yılından sonra kullanıldığı ülkede geçerliliğini kaybetmiştir.

Ülkemizde henüz yüksek yapıların kullanımda çelik yap elemanlar pek fazla tercih edilmemektedir. Tahmin ediliyor ki ilerleyen zamanlarda uygulama kolaylığı ve hızı bakımından çelik yap teknolojisinin tercih oranı artacaktır. Buda dikkate alınarak, çelik yapı standartlarımızın revize edilerek günümüz dünya standartlarına (özellikle Amerikan standartlarına) uygun hale getirilmesi gerekir.



## KAYNAKLAR

- [1] **Türkçü, H. Ç.** (2009). Çağdaş Taşıyıcı Sistemler, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [2] **Boduroğlu, M. K.** (2007). Kablolü Köprülerin Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi İle Deprem Performansının Belirlenmesi Üzerine Sayısal Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tez Çalışması, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [3] **Kurtman, B., Harputoğlu Z.** (2011). Nissibi Eğik Kablo Askılı Köprüsü Tasarım Uygulaması, Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- [4] **Karataş, H.** (1979). Asma Sistemler, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul.
- [5] **AASHTO LRFD** (2004). American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington.
- [6] **Piroğlu F.** (1990). Kablolü Taşıyıcı Sistemlerin Nonlinear Statik Analizi için Bir Yöntem, Doktora Tez Çalışması, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [7] **TS-500** (2000). Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [8] **DBYBHY** (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [9] **TS-648** (1980). Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [10] **İMO-01.R-01** (2005). Çelik Yapılarda Kaynaklı Birleşim ve Muayene Kuralları, İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul.
- [11] **TS-498** (1997). Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [12] **Topçu A.** (2012). Ders Notları, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- [13] **Fahjan, Y. M.** (2008). Türkiye Deprem Yönetmeliği Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi, Kocaeli.
- [14] **Özmen G., Orakdögen E., Darılmaz K.** (2009). Örneklerle SAP 2000, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [15] **SA2000** (2000). Structural Analysis Program, Computers and Structures, New York.
- [16] **Aydinoğlu M. N.** (2012). Depreme Dayanıklı Tasarımın Genel İlkeleri, Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

- [17] **ASCE/SEI 7-10** (2010). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (Binalar ve Diğer Yapılar için Minimum Tasarım Yükleri). Structural Engineering Institute of American Society of Civil Engineers, Washington.
- [18] **İYBRY** (2008). İstanbul Yüksek Binalar Rüzgar Yönetmeliği, Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [19] **Akbaş B.** (2012). TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi - Bahar Dönemi Meslek İçi Eğitim Seminerleri Kapsamında “Çelik Yapılarda LRFD ve ASD Tasarım Yöntemlerinin Esasları” konulu seminer notları, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [20] **Deren H., Erdoğan U., Piroğlu F.** (2000). Çelik Yapılar, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- [21] **Arda, T. S., Yardımcı, N.** (2000). Çelik Yapıda Karma Elemanların Plastik Hesabı, İstanbul.
- [22] **ANSI/AISC 360-10** June 22, (2010). Specification for Structural Steel Buildings (Çelik Binalar için Tasarım ve İnşaat Yönetmeliği) American Institute of Steel Construction, Chicago.
- [23] **AISC Steel Construction Manual** (2010). (Çelik Binalar için Tasarım ve İnşaat Kılavuzu) American Institute of Steel Construction, Chicago.
- [24] **ANSI/AISC 341-10** June 22, (2010). Specification for Structural Steel Buildings (Çelik Binalar için Depreme Dayanıklı Tasarım ve İnşaat Yönetmeliği) American Institute of Steel Construction, Chicago.
- [25] **ANSI/AISC Seismic Design Manual** (2010). (Depreme Göre Tasarım Kılavuzu) American Institute of Steel Construction, Chicago.
- [26] **ANSI/AISC 358-10** (2010). Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Application (Süneklik Düzeyi Orta ve Yüksek Çelik Moment Çerçeveler İçin Deprem Yükü Taşıyan Onaylanmış Moment Birleşimlerinin Tasarımı). American Institute of Steel Construction, Chicago.
- [27] **Redaelli engineering references.** (ty). *Redaelli Engineering*. Alındığı tarih: 01.06.2010, adres: <http://www.redaellitensoteci.com>
- [28] **Url-1** <<http://peer.berkeley.edu/smcat>>, alındığı tarih: 01.06.2012.

## **EKLER**

**EK A:** Günümüz kablo askılı yapı örneklerinden bazıları.

## EK A



Stayed footbridge with sloping mast, 74 m span. Stay cables FLC 54 and FLC 32.



Şekil A.1 : Kablo askılı yaya köprüsü. Casalecchio direno (Bologna), İtalya [27].





Pedestrian stayed footbridge for Zaragoza Expo 2008 with 94 + 191 m span. Full locked coil strands FLC 35, 40, 45 e 128.



Şekil A.2 : Yaya köprüsü Parque de Alzamora, Zaragoza, İspanya [27].



Ponte ferroviario strallato di 225 m di luce libera con pennone inclinato di altezza 120 m. 70 stralli FLC 30, 40, 50 e 90.

Stayed Bridge, 225 m span and 120 m tall mast. N. 70 stay cables FLC 30, 40, 50 and 90.



Şekil A.3 : Hafif raylı tren köprüsü, Kudüs, İsrail [27].

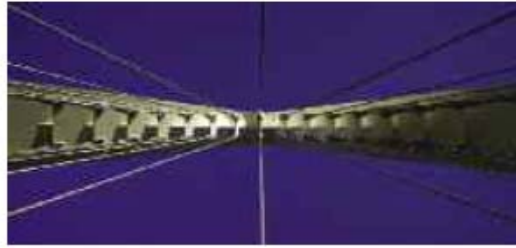


Cable stayed road bridge,  
130+130 m span. FLC 116  
e 128 stay cables.



Şekil A.4 : Adige kablo askılı köprü, Lavis (Trento), İtalya [27].





Stayed-stabilized  
footbridge with portal mast  
system, 90 m free span.



Şekil A.5 : Yaya köprüsü A13 otoyolu, Bologna, İtalya [27].



Cable stayed footbridge,  
76 m span and 42 m tall  
curved A-mast.

Şekil A.6 : Zuid üzeri üst geçit, Willemsvaart, Belçika [27].



Stayed road bridge, 70 m span. Stay cables system with FLC 56 and adjustable socket type TBF.



Şekil A.7 : Fabian Wav kablo askılı köprü, Swansea, İngiltere [27].





Membrane stayed roof of 1829 m<sup>2</sup>. Galvanized and stainless steel cable system.



Şekil A.8 : Membran iskele Ichnusa, Cagliari, İtalya [27].



Cable stayed footbridge,  
43 m span. Stay cables  
OSS 17 and FLC 55, 86.



Şekil A.9 : Kablo askılı yaya köprüsü, Pire, Yunanistan [27].





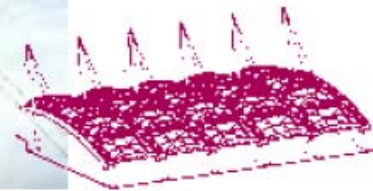
Cable stayed road bridge,  
with 35 m span and  
inclined mast.



Şekil A.10 : Villanova d'albença Köprüsü (Savona), İtalya [27].



Suspension roof  
steel/membrane system.  
Suspension cables FLC 30.



Şekil A.11 : Genova fuar çatısı, İtalya [27].



Cable stayed roof, 26 m span.



Şekil A.12 : Oggiono (LC), Yüzme havuzu çatısı, İtalya [27].



Şekil A.13 : Nanjing, Jiangsu Province Tren İstasyonu, Çin. [27].





Stay cables for stadium  
roof of 7000 m<sup>2</sup>, with  
83 x 100 m span.



Şekil A.14 : Lommel Velodrome, Belçika [27].

## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad** : Turgay YILDIZ  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Adana - 1984  
**E-Posta** : turgayildizz@gmail.com  
**Lisans** : Yıldız Teknik Üniversitesi - 2006  
**Mesleki Deneyim** :

• *ÜÇEM Piramit Yapı Denetim Ltd. Şti. (2003-2005)*

Mimari tasarım ve statik çözüm yapılması. Denetimimiz altındaki şantiyelerin günlük kontrolü.

• *MEDİT Yapı End. Ltd. Şti. (2005-2006)*

Dünya Bankası denetiminde, Türkiye genelinde “İlköğretim Okullarını Güçlendirme” projesinde 36 adet ilköğretim okulunun güçlendirme tespitinin yapılması.

• *İYBER İmalat İnşaat Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. (2006-2007)*

Paket program yardımıyla çelik konstrüksiyon projeleri hesap ve tasarım işlerinin yapılması. Detay resimleri , teklif, metraj ve hakediş hazırlama işleri. İmalat ve montaj kontrolleri.

• *ANT PROJE Ltd. Şti. (2007-2008)*

Doğuş Grubunun müteahhitliğinde yapılan “TÜVTÜRK ARAÇ MUAYENE İSTASYONLARI” çelik projelerindeki bazı tilerin hesap ve imalat çizimlerinin yapılması.

• *PROCETURK Mühendislik ve Proje Danışmanlık Hizmetleri (2008-2012)*

2008 yılında kendi işini kuran Turgay YILDIZ, halen sektörde betonarme, çelik, ahşap, yığma yapı projeleri yapmaktadır. Özellikle İstanbul ve Türkiye genelinde, ayrıca yurt dışında bir çok projenin hesap ve tasarımının yapılması işlerini proje ofis ekibiyle yürütmektedir.