

# TS 648 STANDARDI'NIN YERİNE GEÇMEK ÜZERE HAZIRLANAN İMO-02/2005 STANDARDI'NIN(\*) GEREĞİ VE GETİRDİKLERİ

İMO İstanbul Şubesi Çelik Yapılar Komisyonu

## 1. GİRİŞ

TS648 Standardı'nın Aralık 1980'de yayınlanmasına kadar ülkemizde çelik yapıların projelendirilmesi ile ilgili hesaplar genellikle DIN1050 ve DIN4114 standartları uyarınca yapılmıştır. TS648 standardı'nın yürürlüğe girmesi ile birlikte ülkemizdeki çelik yapı projelerini yönlerebilecek alternatif bir ulusal standart projelerin hizmetine sunulmuştur.

Ülkemizde çelik yapılar giderek daha fazla ilgi görmekte ve yaygınlaşmaktadır. 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerini izleyen yıllarda yapıların depremde sünek davranışı ön plana çıkmış ve doğal olarak da çelik yapıların depremde üstün davranış performansı gündeme gelmiştir. Ülkemizde de 1999 yılında meydana gelen Kocaeli ve Düzce depremlerinin ardından aynı şeyler yaşanmıştır. Bu iki ardışık büyük afetin sonrasında 1997 yılında yürürlüğe girmiş olan zorunlu "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik – bundan böyle ABYYHY olarak zikredilecektir" tekrar ele alınıp güncelleştirilme çalışmaları başlatılmıştır. Bunun yanısıra bu yönetmeliğin çelik yapılara ayrılmış olan ve oldukça yetersiz olan 8. Bölüm'ünün de yeniden düzenlenmesi gereği ortaya çıkmıştır.

Benzer şekilde çelik yapıların hesap ve yapım kurallarını içeren TS 648 ve çelik yapılarda kaynaklı birleşimlerin boyutlandırılmasına ilişkin TS 3357'in yetersizliklerine ve yeni tasarım konseptlerini gözönüne alacak şekilde güncelleştirilmesi gereksinimi de gözönüne alınarak İMO İstanbul Şubesi'nce Çelik Yapılar ile ilgili olarak gerek üniversiteden, gerekse de bu konuda piyasada çalışan ve belli birikimi olan kişilerden bir komite oluşturulmuştur. Bu komite ilk olarak bu iki çelik standardının yenilenmesi ve güncelleştirilmesi çalışmalarına başlamıştır. Bunun sonucunda İMO-01/2005 Standardı "Çelik Yapılarda Kaynaklı Birleşimlerin Tasarım ve Yapım Kuralları"nı içermekte olup halen basım aşamasındadır. İMO-02/2005 Standardı ise "Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları"nı kapsamakta olup basıma hazır hale gelmiştir.

(\*) İMO İstanbul Şubesi Çelik Yapılar Komisyonu standart çalışmasıdır.

Öte yandan Deprem Yönetmeliği'nin hazırlanan ön taslağı Mayıs 2005 içinde yayınlanarak eleştirilere açılmış olduğundan, taslağın yakın zamanda devreye girmesi sözkonusudur. Hazırlanan bu taslak incelendiğinde, kullanımı zorunlu olamayan TS 648 ve TS 3357 standartlarına referans verdiği görülmüştür. Deprem Yönetmeliğimiz zorunlu bir standart olduğu gözönüne alındığında, dolaylı olarak TS 648 ve TS 3357'in de zorunlu hale geldiği açıktır. Lakin yukarıda da değinildiği gibi, bu iki standardın yetersizlikleri nedeniyle zorunlu olan Deprem Yönetmeliği'ne gereken desteği veremeyeceği açıktır. Bu nedenle sadece TS 648 ve TS 3357'e referans vermek yerine "ve eşdeğerleri" tanımının taslağa ilave edilmesi önerilmiştir.

Sunulan bu yazıda, mevcut TS 648 Standardı'nın yerine geçmek üzere İMO İstanbul Şubesi Çelik Yapılar Komitesi tarafından hazırlanan ve baskı aşamasına gelen "İMO – 02/2005 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları" isimli standartta yapılan önemli değişiklikler ve ilaveler konu edilecektir.

## 2. ÇELİK YAPILARDA KULLANILAN YAPISAL ÇELİK CİNSLERİ

Mevcut TS 648'in güncelleştirilmesine yönelik olarak yapılan ilk önemli değişiklik, çelik yapılarda kullanılan çelik cinslerinin yeniden tanımlanması olmuştur. Bilindiği gibi kaynak dikişinin mekanik özelliklerinin kullanılan ana malzemeye benzer ve uygun olması gerekmektedir. Bu şarta yönelik olarak kullanılan ana malzemeye ait kimyasal bileşim ve kaynak malzemesinin, kaynaklama işlemi sırasında sıcaklığın etkisi altında kalan katmanlarda (ITAB) oluşan termik etkiler nedeniyle mukavemetinin yitirilmesine ve gevrekleşmeye neden olabilecek şekilde seçilmesi gerekir. Bu nedenle çelik yapılarda hava koşullarına dayanıklı çelikler ve yüksek mukavemetli çelikler kaynağa daha uygun olmaktadır. Bunun yanısıra bazı önlemlerin de alınması gerekmektedir. Bu amaçla yüksek mukavemetli çeliklerde alaşımli kaynak malzemesi kullanılır. Hidrojen mümkün mertebe kaynak işleminden

uzak tutulmaya ve bu işlemde sonra soğuma hızının da yavaş olmasının sağlanmasına çalışılır.

Mevcut TS 648 - Bölüm 2’de tanımlanan yapı çelikleri bu gereksinime cevap verememektedir. Ayrıca hazırlanmış olan Deprem Standardı Taslağı Madde 8.2.3.3’de “Kaynaklı birleşimlerde çelik malzemesine ve kaynaklama yöntemine uygun elektrod kullanılacak ve elektrodun akma dayanımı birleştirilen malzemenin akma dayanımından daha az olmayacaktır” denilmektedir. Buna bağlı olarak kullanılması gereken yapı çelikleri için de TS 648 referans olarak verilmektedir. Deprem standardının zorunlu olduğu dikkate alındığında mevcut TS 648’in bu bağlamda yetersiz kaldığı açıktır.

Öte yandan DIN 17700’de çelik cinsleri akma sınır değerlerine göre sınıflandırılırken, çentik darbe işi deneyleri sonuçlarına bağlı olarak özellikle kaynaklı çelik yapılarda ortaya çıkan farklı gevrek kırılma eğilimlerine yönelik olarak da alt gruplara ayrılmışlardır ve bu özellik çelik cinslerini ifade eden notasyona -1, -2 ve -3 uzantıları eklenerek tanımlanmıştır. Bu notasyonda uzantısı -3 olan çelik cinsi,

-2 olana göre daha uygun olmakta ve gevrek kırılma eğilimi için şart olan ince taneli bir iç yapı ve bunun sonucunda kaynaklanabilirlik elde edilmektedir. Dolayısıyla TS 648’ in yenilenmesi çalışmalarında bu konu ilk olarak gözönüne alınmış ve çelik yapılarda kullanılan yapı çelikleri yeniden güncelleştirilerek tanımlanmıştır (Tablo 1).

### 3. ÇEKME ÇUBUKLARI

Çekme çubuklarının tahkikinde kayıplı (faydalı) enkesit alanlarının en elverişsiz olanı dikkate alınarak hesaplar yürütülmektedir. TS 648 Madde 2.3.6 ve Çizelge 2’de bu durum tanımlanmıştır. Öte yandan g ü n ü m ü z d e çubuğa etkiyen aksenal çekme kuvveti, çubuk enkesitini oluşturan dikdörtgen elemanların bazılarıyla bulonlar kullanılarak aktarıldığında, faydalı enkesit alanının yanısıra etkili faydalı enkesit alanı

alanı  $F_e$ ’nin de hesaplarda gözönüne alınması gerekmektedir. Yeni standartta (İMO-02/2005) bu durum

$$F_e = U \times F_n \quad (3.1)$$

ifadesiyle yer almakta ve U azaltma faktörü, çeşitli durumlar için ayrı ayrı tanımlanmaktadır.

### 4. YEREL BURKULMA

TS 648 Madde 2.4.2’de çelik yapılarda yapılması gereken tahkikler gerilme tahkiki, stabilite tahkiki, devrilme tahkiki ve deformasyon tahkiki olarak sıralanmaktadır. Bilindiği gibi elemanların kesit seçiminde genelde birinci derecede gerilme tahkikleri rol oynasa da, özellikle basınç çubuklarında burkulma problemi ön plana çıkmaktadır. Öte yandan oluşabilecek yerel burkulmaların da çelik elemanın yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde azaltabileceği bilinmektedir. Özellikle bu durum, çelik yapılarının deprem performanslarını yakından ilgilendirmektedir (Şekil 1 ve 2).

#### 4.1. Kesitlerin Sınıflandırılması

Öte yandan mevcut 1997 Deprem Yönetmeliği’nde çelik yapıların deprem hesabında kullanılmak üzere “süneklik düzeyi normal” ve “süneklik düzeyi yüksek” tanımları mevcuttur. Çelik yapıların depremde yutacakları enerjiye bağlı olarak yapılan bu sınıflandırma, deprem yükü azaltma katsayısını diğer bir deyimle yapı davranış katsayısını direkt olarak etkilemekte ve yapıya gelen deprem etkisi hesaplarda o oranda azalmaktadır.

Tablo 1 - Mekanik Özellikler

Çelik cinsi	Kalınlık t [mm]	Akma sınırı [N/mm <sup>2</sup> ]	Kopma mukavemeti [N/mm <sup>2</sup> ]	Elastisite modülü [N/mm <sup>2</sup> ]	Kayma modülü [N/mm <sup>2</sup> ]	Lineer ısı genişleme katsayısı
St 37-2	t ≤ 40	240	360	210 000	81 000	12 x 10 <sup>-6</sup>
USt 37-2	40 < t ≤ 80	215				
RSt 37-2						
St 37-2						
St 52-3	t ≤ 40	360	510			
	40 < t ≤ 80	325				
StE 355	t ≤ 40	360	510			
WStE 355	40 < t ≤ 80	325				
TStE 355						
EstE 355						
GS-52		260	520			
GS-20 Mn 5	t ≤ 100	260	500			
C 25 N	t ≤ 16	300	480			
	16 < t ≤ 80	270				



Şekil 1



Şekil 2

Nitekim, hazırlanmış olan yeni Deprem Yönetmeliği Ön Taslağı'nın çelik yapılara ayrılan 8. Bölüm'ünde süreklilik düzeyi yüksek ve normal çerçeveler için eksik olan tanımlar yapılmış ve kullanılan çelik enkesitler için yerel burkulmalar açısından gövde ve başlık enkesit boyutları için enkesit koşulları tanımlanmış ve narinlik üst sınırları belirlenmiştir (ABYYHY-Taslak-Tablo 8.2).

Bu açıdan bakıldığında, mevcut TS 648'in yetersiz kaldığı açıktır. Sadece yapma dolu gövdeli kirişler için Bölüm 3.6'da gövde ve başlık enkesit boyutlarına bağlı olarak çeşitli narinlik üst sınırları bulunmaktadır.

İMO İstanbul Şubesi Çelik Yapılar Komisyonu tarafından mevcut TS 648'in yerine geçmek üzere hazırlanan ve baskı aşamasına gelen İMO-02/2-005 Standardı'nda ise,

çelik elemanların yerel burkulma problemine yönelik olarak 3 farklı tanım getirilmiştir, şöyle ki: "kompakt olan kesitler", "kompakt olmayan kesitler" ve "narin elemanlardan oluşan kesitler".

Bir kesitin "kompakt" olarak sınıflandırılabilmesi için başlık elemanlarının gövde levha veya levhalarına sürekli olarak birleştirilmiş olması ve kesitin basınca çalışan düzlemsel elemanlarının (genişlik/kalınlık) oranlarının Tablo 2'de verilen uygulanabilirlik sınırlarını aşmaması gerekmektedir.

Kompakt olma koşullarını sağlamayan çelik kesitler "kompakt olmayan kesitler" adı altında sınıflandırılmıştır. Bu sınıflamaya giren kesitlerin basınca çalışan düzlemsel elemanlarının (genişlik/kalınlık) oranları Tablo 2'de kompakt olmayan kesitler için verilen üst sınır değerleri aşmaması gerekir.

Öte yandan, eğer herhangi bir kesitin basınca çalışan düzlemsel elemanlarının (genişlik/kalınlık) oranları Tablo 2'de kompakt olmayan kesitler için verilmiş olan üst sınır değerlerini aşması halinde, bu kesit "narin düzlemsel elemanlardan oluşan kesit" olarak adlandırılır.

Bu yeni tanımlara bağlı olarak örneğin narin düzlemsel elemanlardan oluşturulmuş olan bir basınç çubuğu söz konusu olduğunda, TS 648 - Bölüm 3.2.2'de tanımlanan basınç emniyet gerilmesi'nin nasıl modifiye edilerek hesaplarda gözönüne alınması gerektiği tariflenmiştir. Rijitleştirilmemiş basınç elemanlarından oluşan çeşitli tipteki kesitler için  $Q_s$  azaltma katsayısı ayrı ayrı tanımlanmıştır (4.1 - 4.6 denklemleri):

Burada

$b$  : rijitleştirilmemiş basınç elemanının genişliğidir (L kesitlerde kol uzunluğu, T kesitlerde ise başlık genişliğinin yarısıdır

*Tek korniyer halinde:*

$$20/\sqrt{\sigma_a} < b/t < 41/\sqrt{\sigma_a} \text{ ise } Q_s = 1,340 - 0,01685 \cdot (b/t) \cdot \sqrt{\sigma_a} \quad (4.1)$$

$$b/t \geq 41/\sqrt{\sigma_a} \text{ ise } Q_s = 1091 / [\sigma_q \cdot (b/t)^2] \quad (4.2)$$

*Kolonların veya diğer basınç elemanlarının gövdelerinden taşan korniyer kolu veya levhalar ile kirişlerin basınç başlıklarının kiriş gövdelerinden dışarı taşan kısmı için:*

$$25/\sqrt{\sigma_a/k_c} < b/t < 52/\sqrt{\sigma_a/k_c} \text{ ise } Q_s = 1,293 - 0,01165 \cdot (b/t) \cdot \sqrt{\sigma_a/k_c} \quad (4.3)$$

$$b/t \geq 52/\sqrt{\sigma_a/k_c} \text{ ise } Q_s = 1844 \cdot k_c / [\sigma_q \cdot (b/t)^2] \quad (4.4)$$

*T kesitlerin gövde elemanı için:*

$$34/\sqrt{\sigma_a} < b/t < 47/\sqrt{\sigma_a} \text{ ise } Q_s = 1,908 - 0,02695 \cdot (b/t) \cdot \sqrt{\sigma_a} \quad (4.5)$$

$$b/t \geq 47/\sqrt{\sigma_a} \text{ ise } Q_s = 1407 / [\sigma_q \cdot (b/t)^2] \quad (4.6)$$

t : rijitleştirilmemiş elemanın et kalınlığıdır.

$\sigma_a$ : akma sınırı gerilmesidir.

$$k_c = \frac{4,05}{(h/t)^{0,46}} \quad (4.7a)$$

$$\text{Eğer } h/t > 70 \text{ ise } k_c = 1,0 \text{ alınacaktır.} \quad (4.7b)$$

Rijitleştirilmiş elemanlardan oluşan basınç çubukları için ise,  $b_e$  azaltılmış etkin genişlik çeşitli kesit tipleri için aşağıda görüldüğü gibi tanımlanarak,

*kare veya dikdörtgen kutu kesitlerin başlık levhalarında:*

$$b_e = \frac{170}{\sqrt{\sigma}} \cdot \left[ 1 - \frac{13}{(b/t) \cdot \sqrt{\sigma}} \right] \leq b \quad (4.8)$$

*uniform şekilde basınca maruz diğer elemanlar:*

$$b_e = \frac{170}{\sqrt{\sigma}} \cdot \left[ 1 - \frac{12}{(b/t) \cdot \sqrt{\sigma}} \right] \leq b \quad (4.9)$$

$Q_a$  azaltma katsayısı'na geçilmiş ve bu katsayı, gözönüne alınan enkesit için etkin alanın gerçek alana oranı olarak tariflenmiştir. Burada

b : rijitleştirilmiş basınç elemanının gerçek genişliği (cm)

$b_e$  : azaltılmış genişlik (cm)

t : elemanın et kalınlığı (cm)

$\sigma$  : rijitleştirilmiş elemanlarda bu bölümde açıklanan kesit özelliklerine dayanılarak hesaplanan basınç gerilmesidir. ( eksenel + eğilme gerilmesi) ( $t/cm^2$ )

Sonuçta rijitleştirilmiş ve rijitleştirilmemiş basınç elemanlarından oluşan kesitler için Q azaltma katsayısı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır,

a) Enkesit tümüyle rijitleştirilmemiş elemanlardan oluşmuş ise  $Q = Q_s$ , yani ( $Q_a = 1,0$ )

b) Enkesit tümüyle rijitleştirilmiş elemanlardan oluşmuş ise  $Q = Q_a$ , yani ( $Q_s = 1,0$ )

c) Enkesit rijitleştirilmiş ve rijitleştirilmemiş elemanlardan oluşmuş ise

$$Q = Q_s \cdot Q_a \quad (4.10)$$

ve TS 648 - Bölüm 3.2.2'de  $\lambda \leq \lambda_p$  olması durumunda tanımlanan basınç emniyet gerilmesi ifadesi, bu katsayı ile aşağıda görüldüğü gibi modifiye edilerek hesaplarda gözönüne alınması öngörülmüştür:

$$\sigma_{bem} = \frac{Q \cdot \left[ 1 - \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right] \cdot \sigma_a}{n} \quad (4.11)$$

## 4.2. Deformasyon Tahkikleri

Mevcut TS 648 – Madde 2.4.2.4'de deformasyonların tahkik edilmesi ve sınırlandırılması konu edilmekte ve günümüz ihtiyaçlarını tam karşılayamayacak seviyede sehim limitleri verilmektedir.

TS 648 yerine geçmek üzere hazırlanan İMO-02 /2005 Standardı'nda ise yapının bizzat hizmet kalitesi esas alınarak tasarımı öngörülmüştür. Bu amaçla yapının görünümünü veya etkin şekilde kullanımını önemli oranda etkileyen seviyedeki deformasyonların yanısıra, yapıyı kullananların rahatsız olmalarına neden olacak seviyedeki titreşimler veya salınımlardan, yapının yük taşıyıcı özelliği olmayan mimari detaylarını oluşturan elemanlarının hasar görmesine neden olacak seviyede deformasyonlar, titreşimler veya salınımlarından kaçınılması gerektiği belirtilmiştir. Örneğin darbe, titreşim gibi etkiler yaratan yükler için boyutlandırmada uygun sınırlar gözönüne alınması gerekliliği; rezonanstan kaçınmak için yapının veya bir bölümünün serbest titreşim frekansının, titreşim yaratan yükün frekansından yeterli miktarda farklı olmasının önemi; kullananlara rahatsızlık vermemek için insanların üzerinde yürüyecekleri yapıların titreşiminin sınırlandırılması gereği; insanların üzerinde yürüdükleri konut veya ofis gibi binaların döşemelerinin ve yine üzerinde ritmik şekilde zıplanan veya dans edilen döşemelerde (spor salonu döşemesi veya diskotek döşemesi gibi) döşemeler için en düşük frekansa bağlı olarak sınırlamaların getirilmesi gibi durumlara yönelik olarak İMO-02/2005 Standardı'nda bu gibi durumlarda gözönüne alınması gereken koşullar, gerek düşey ve yatay deplasmanlar için ve gerekse de titreşim amplitüdü veya frekansları için sınır değerler verilmiştir.

Ayrıca, yapıda yaratılan titreşim frekansı ve ivmenin rahatsız edici seviyede veya yapıda servis veren ekipmanlara hasar verici seviyede olmadığını göstermek için yapının dinamik analizinin de yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

Benzer şekilde, rüzgarın darbeleri etkisi ve vorteks etkisinden dolayı kaynaklanan titreşimlerin yüksek yapılar, büyük açıklıklı çatılar, anten kuleleri, bacalar veya yüksek gerilim hattı direklerinin boyutlandırılmasında dikkate alınması gereğine işaret edilmiştir.

Mevcut TS 648' in yerine geçmek üzere hazırlanan İMO-02/2005 Standardı'nda ayrıca, yapının tümsel stabilitesinin de sağlanması gerektiği belirtilmiştir. Gerektiğinde yapının deforme olmuş geometrisi üzerinde oluşan II. mertebe yüklerin etkisinin de hesaplarda gözönünde bulundurulması gerektiği hatırlatılmıştır.

Tablo 2 - Basınca Çalışan Elemanların (Sınır Genişlik/Kalınlık) Oranları

Elemanın Tanımı	(genişlik / kalınlık) oranı	(sınır genişlik/kalınlık) oranı	
		kompakt	kompakt değil
I kesitli hadde ürünleri ile eğilmeye çalışan U kesitlerin başlıkları <sup>a)</sup>	b/t	$17 / \sqrt{\sigma_a}$	$25 / \sqrt{\sigma_a}$
Eğilmeye çalışan I kesitli kaynaklı yapma kirişlerin başlık elemanları	b/t	$17 / \sqrt{\sigma_a}$	$25 / \sqrt{\sigma_a}$
Hadde profili kiriş veya kolonların gövdelelerinden dışarı taşan levhalar; yapma kirişlerin takviye levhaları	b/t	uygulanmıyor	$25 / \sqrt{\sigma_a}$
Korniyerler veya kirişlerin çok parçalı basınç elemanlarının veya diğer basınç elemanlarının gövdelerinden dışarıya doğru uzanan levhalar; Yapma kirişlerin basınç başlıkları	b/t	uygulanmıyor	$25 / \sqrt{\sigma_a / k_c}$
T profillerin gövde levhaları	d/t	uygulanmıyor	$34 / \sqrt{\sigma_a}$
Sadece bir kenarı boyunca basit mesnetli, rijitleştirilmemiş elemanlar, örneğin tek korniyerden oluşan basınç çubuklarının bir kolu, aralarında, aralarında mesafe bulunan ve iki korniyerden oluşan basınç çubuklarının bir kolu	b/t	uygulanmıyor	$20 / \sqrt{\sigma_a}$
Eğilmeye veya basınca <sup>d)</sup> çalışan kutu kesitlerin başlıkları, birleşim araçlarının yer aldığı çizgiler arasındaki	b/t	$50 / \sqrt{\sigma_a}$	$63 / \sqrt{\sigma_a}$
Her iki kenarından mesnetli üniform basınç etkisindeki rijitleştirilmiş elemanlar	b/t h/t <sub>w</sub>	uygulanmıyor	$67 / \sqrt{\sigma_a}$
Eğilme basıncı etkisindeki gövde elemanları <sup>a)</sup>	d/t	$170 / \sqrt{\sigma_a}$	---
	h/t <sub>w</sub>	---	$202 / \sqrt{\sigma_a}$
Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki gövde elemanları	d/t <sub>w</sub>	$\sigma_b / \sigma_a \leq 0,16$ olması halinde $\frac{170}{\sigma_a} \cdot \left(1 - 3,74 \cdot \frac{\sigma_b}{\sigma_a}\right)$	---
		$\sigma_b / \sigma_a \leq 0,16$ olması halinde $68 / \sqrt{\sigma_a}$	---
	h/t <sub>w</sub>	---	$202 / \sqrt{\sigma_a}$
Eksenel basınç etkisindeki borular	D/t	$232 / \sqrt{\sigma_a}$	---
Eğilme etkisindeki borular			---

**Not:**

a) Hibrit (başlığı ve gövdesi ayrı, ayrı çelik kalitesindeki levhalardan oluşmuş) kirişler için  $\sigma_a$  yerine, başlığın akma sınırı gerilmesi  $\sigma_{yt}$  kullanılacaktır.

c) Kompakt olmayan elemanlar için verilen sınırları (sınır değerleri) aşan narin kesitli elemanlar için boyutlandırma kuralları Bölüm 2.5.2'de verilmiştir.

d) Bölüm 3.2 bakınız.

e)  $h/t > 70$  olması halinde  $k_c = \frac{4,05}{(h/t)^{0,46}}$  aksi halde  $k_c = 1,0$  olarak gözönüne alınacaktır.

## 5. EĞİLMEME ÇALIŞAN KİRİŞLER

### 5.1. Dolu Gövdeli Kirişler

4. Bölüm'de de belirtildiği gibi, benzer şekilde eğilmeye çalışan kirişler için de yerel burkulma açısından tanımlanan "kompakt olan" ve "kompakt olmayan" kesitler ayırımı önemlidir. Mevcut TS 648-

Bölüm 3.3 ve 3.4' de dolu gövdeli kirişler için bu durum gözönüne alınmamıştır.

Bu duruma yönelik olarak hazırlanan İMO-02/2005 Standardı'nda gerekli güncelleştirmeler ve değişiklikler yapılmıştır, şöyle ki :

a) I ve U kesitli elemanların kuvvetli asal eksenleri

etrafında eğilmeleri'nde izin verilen sınır gerilme, kesitin kompakt ve kompakt olmaması halleri için ayrı ayrı tanımlanmıştır.

- b) Bilindiği gibi çelik yapılarda eğilmeye çalışan kirişlerin basınca çalışan başlıklarında ortaya çıkabilecek yanal burkulma, önemli bir stabilite problemini oluşturmaktadır. Boyutlandırmada bu hususa özellikle dikkat edilmeli ve yanal burkulma olmayacak şekilde bir kesit seçimine gidilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla hazırlanan yeni standartta a - şıkında tanımlanan izin verilen sınır gerilmelere paralel olarak, gerek kompakt gerekse de kompakt olmayan kesitler için  $L_c$  - yanal burkulma boylarının üst sınır değerleri de tanımlanmıştır.
- c)  $L_c$ 'den daha fazla uzunlukta yanal olarak tutulmuş kesitler için de izin verilen basınç emniyet gerilmeleri tanımlanmış ve bu ifadelerde yanal burkulma da gözönünde tutulmuştur.
- e) a - şıkında tanımlanan kesitlerin zayıf eksen eğilmelerine yönelik olarak izin verilen eğilme sınır gerilme ifadeleri, kesitin kompakt ve kompakt olmaması halleri için de ayrı ayrı verilmiştir.
- f) a-e şıklarında ele alınan ve kompakt ve kompakt olmayan kesitler için tanımlanan izin verilen sınır eğilme gerilmesi ve buna karşı gelen yanal burkulma boyu üst sınır değeri ( $L_c$ ), benzer şekilde kutu kesitli kirişler, dikdörtgen ve dairesel enkesitli içi boş elemanlar için de ayrı ayrı tanımlanmıştır.
- g) Hazırlanmış olan yeni İMO- 02/2005 Standardı'nda izin verilen kayma gerilmesi ifadesinde ve enine takviyelerin (berkitmelerin) teşkilinde çok önemli değişiklikler sözkonusu değildir (bkz. TS 648 – Bölüm 3.6.4.1, Bölüm 3.6.4.2 ve Bölüm 3.6.4.3).

## 5.2. Dolu Gövdeli Yapma Kirişler

Öte yandan levhalardan yapma dolu gövdeli kirişler için hazırlanan yeni İMO-02/2005 Standardı'nda gövde levhası yüksekliğinin gövde levhası kalınlığına oranı olan  $h/t_w$  değerinin  $(200 / \sqrt{0,66 \cdot \sigma_a})$  ( $\sigma_a$  (t/cm<sup>2</sup>) cinsinden akma sınır gerilmesi) değerinden büyük olması halinde, yukarıda Bölüm 5.1'de tanımlanan izin verilen eğilme sınır gerilmesi yerine, basınç başlığında izin verilen eğilme sınır gerilmesi aşağıda görülen şekilde azaltılmıştır:

$$\sigma'_b \leq \sigma_b \cdot R_{PG} \cdot R_e \quad (5.1)$$

Burada RPG katsayısı aynen TS 648-Bölüm 3.6.5'de tanımlanan şekildedir. Hazırlanan yeni İMO-02/2005 Standardı'nda ise ilave olarak  $R_e$  katsayısı da gözönünde tutulmaktadır. Bu katsayı hibrid kirişlerin sözkonusu olması halinde gövde ve başlık levhası enkesit alanlarının birbirine oranının yanısıra,

dolu gövdeli yapma kirişin gövde levhasının akma sınır gerilmesini de dikkate alan bir parametredir. Hibrid olmayan kirişler için ise bu katsayının değeri 1 (bir) olmaktadır.

Hazırlanan yeni İMO-02/2005 Standardı'nda ayrıca ilave olarak dolu gövdeli yapma kirişlerde kayma ve eğilme nedeniyle çekme gerilmelerinin birlikte etkimesi halinde, gövde düzlemindeki çekme gerilmesi için sınır değerler tanımlanmıştır.

**a. Eksenel Basınç Kuvveti ile Momentin Aynı Anda Etkimesi Hali:** Eksenel basınç kuvveti ile momentin aynı anda etkimesi halini içeren TS 648-Bölüm 3.4 hazırlanan yeni standartta aynen korunmuştur.

**b. Gövde Yüksekliği Değişken Elemanlar:** Bilindiği gibi çelik çerçevelerde sıkça kullanılan gövde yüksekliği değişken kolonlar ve kirişler için mevcut TS 648' de ilgili bir bölüm ve buna ilişkin hesap esasları bulunmamaktadır. Hazırlanan yeni İMO-02/2005 Standardı'nda bu durum gözönüne alınmış ve enkesit yüksekliklerinin çubuk boyunca değişimi ( ) lineer olan ve sırasıyla  $d_l$  ve  $d_o$  kalın ve ince ucun kesit yüksekliği ve elemanın boyu olmak üzere aşağıdaki koşulu sağlayan kesitler için

$$\gamma = (d_l - d_o) / d_o \leq \begin{cases} 0,268 \cdot \ell / d_o \\ 6,0 \end{cases} \quad (5.2)$$

sadece eksenel basınç, sadece eğilme ve eksenel basınç kuvveti ile birlikte momentin de aynı anda etkimesi halleri için izin verilen sınır gerilme ifadeleri ayrı ayrı verilmiştir.

## 6. ÖZEL TASARIM PROBLEMLERİ

Hazırlanan yeni İMO-02/2005 Standardı'nda "Özel Tasarım Problemleri" adı altında yepyeni bir bölüm ele alınmış ve burada mevcut TS 648 – Bölüm 3'den farklı olarak, çeşitli çelik yapı uygulamalarında gözlenmiş ve boyutlandırmayı önemli ölçüde etkilediği saptanmış problemlere yer verilmiştir. Tanımlanan bu problemlere bağlı olarak boyutlandırma esasları da açıklanmıştır. Bu problemleri şöyle sıralayabiliriz:

### 6.1. Kiriş Gövdesi ve Başlıklarında Stabilitè Problemleri

Üst başlık yüzeyine dik olarak gövde levhası düzleminde göre simetrik etkiyen tekil yüklere maruz kalan kirişlerde başlık ve gövde levhalarında çeşitli stabilite problemleri ortaya çıkmaktadır. Bu elemanların gövde akma dayanımı, gövde yerel burkulması ve yanal gövde burkulması kriterlerini sağlayacak şekilde boyutlandırılmaları gerekir.

Örneğin her iki başlığa etkiyen tekil basınç kuvvetleri halinde, gövde levhası akması, gövde levhası yerel burkulması, gövde levhasının bir kolon gibi burkulması problemleri gözönünde tutulmalıdır

ve bu kriterleri sağlayacak şekilde boyutlandırma yapılmalıdır.

**a) Kiriş Gövdesinde Yerel Akma:** Etkiyen tekil yüklerden dolayı I - haddde profillerinin başlık levhası ile gövde levhasının kesiştiği bölgede veya levhalardan kaynaklanarak yapılan I - kesitlerde, boyun köşe kaynaklarının ikizkenar dik üçgen kesitinin gövde levhası üzerindeki dar açılı kenarı hizasındaki bölgede hesaplanan basınç gerilmesi verilen sınır değeri ( $0,66 \sigma_a$ ) aşması halinde, takviye levhalarının kullanılması gerekmektedir. Hazırlanan İMO-02/2005 Standardı'nın bu bölümünde takviye levhaları gözönünde tutularak, basınç gerilmesinin nasıl hesaplanacağı ve tahkik edileceğine yer verilmektedir.

**b) Kiriş Gövdesinde Yerel Gövde Buruşması:** Hazırlanan İMO-02/2005 Standardı'nın bu bölümünde de kiriş gövdesinde yerel buruşmaların olmaması için etkiyen tekil yüklerin tanımlanan sınır değerlerini aşması durumunda takviye levhalarının kullanılması gerekliliğine işaret edilmektedir.

**c) Takviye Levhasının Burkulması:** a ve b şıklarında tanımlanan problemler sonucunda kullanılan takviye levhalarının bir basınç çubuğu gibi tahkik edilmesi tavsiye edilmektedir. Bu hesaba yönelik olarak elemanın enkesitinin ve burkulma boyunun nasıl saptanacağı, hazırlanan yeni standartta aynen TS 648 - Bölüm 3.6.4'de olduğu gibi tanımlanmıştır.

## 6.2. Su Birikmesi

Çatı yüzeyine su gider noktaları doğrultusunda yeterli eğim verilmediğinde veya

su toplanmasına neden olacak parapet gibi yetersiz kapasitede su giderinin varlığı gibi engellerin mevcudiyeti halinde (şekil 3), su birikmesi tehlikesine karşı çatı sisteminin yeterli rijitliği ve stabilitesi olup olmadığı yapı analiz yöntemleri kullanılarak araştırılmalıdır.

TS 648'in yerine geçmek üzere hazırlanan İMO-02/2005 Standardı'nda gözönüne alınan çatı taşıyıcı sisteminin yeterli seviyede stabil olduğu ve buna yönelik herhangi bir araştırmaya gerek olmadığı sonucuna varılabilmesi için gerekli koşullar ve hesap esasları tanımlanmıştır.

## 6.3. Yorulma

Özel tasarım problemlerine ayrılan bu bölümde mevcut TS 648'de yer almayan "yorulma" prob-



Şekil 3

lemi, buna yönelik gözönüne alınması gereken koşullar, taşıyıcı eleman tipi, detayı ve yeri, yük tekrar sayıları, yorulma kategorileri, gerilme aralığı ve hesap esasları TS 648'in yerine geçmek üzere hazırlanan İMO-02/2005 Standardı'nın kapsamı içine alınmıştır, zira sanayi yapılarında kren yolları ve bunları taşıyan elemanlar ile birleşimleri, makina platformlarını taşıyan çelik taşıyıcı sistemlerin elemanları ve birleşimleri, yüksek gerilim hatlarının direkleri, antenler ve bacalar yorulma gözönüne bulundurulurken boyutlandırılmadıkları.

Yorulma, gerilmenin yeterli sayıda değişiminden sonra gevrek kırılma şeklinde ortaya çıkmaktadır. Hesaplarda gözönüne alınan gerilme aralığı, basınçtan çekmeye geçen gerilme değişimlerinden en büyük çekme ve basınç gerilmesi değerlerinin mutlak değerlerinin toplamı olarak saptanmaktadır.

## 7. BİRLEŞİM ARAÇLARI

TS 648 - Bölüm 5 birleşim araçlarına ayrılmıştır. Bu bölümün birleşim araçlarının hesaplanmasında oldukça yetersiz kaldığı uzun zamandır bilinmektedir. Bu nedenle bu standardın yerine geçmek üzere hazırlanan İMO-02/2005 Standardı'nda bu bölüm gereksinimlere yönelik olarak daha kapsamlı ve ayrıntılı bir şekilde yeniden şekillendirilmiş ve düzenlenmiştir.

### 7.1. Kaynak

Daha önce Bölüm 1'de değinildiği gibi, kaynak dikişinin mekanik özelliklerinin kullanılan ana malzemeye benzer ve uygun olması gerekmektedir. Ayrıca hazırlanmış olan Deprem Standardı Taslağı Madde 8.2.3.3'de "Kaynaklı birleşimlerde çelik malzemesine ve kaynaklama yöntemine uygun elektrod kullanılacak ve elektrodun akma dayanımı birleştirilen malzemenin akma dayanımından daha az olmayacaktır" denilmektedir. Bu nedenle mevcut TS 3357'nin bu tanımlamaya cevap veremeyeceği açıktır. Bu nedenle bu kısımda TS 3357'nin yerine geçmek üzere hazırlanmış ve halen baskı aşamasında olan İMO-01/2005 Standardı'na referans verilmiş ve boyutlandırma hesapları ve elektrod seçimine yönelik kısa bir bilgilendirme bölümü eklenmiştir. İMO-01/2005 Standardı ve kapsamı bu yayındaki diğer bir makalede etraflıca ele alınmaktadır.

### 7.2. Normal Bulonlar

TS 648'in yerine geçmek üzere hazırlanan İMO-02/2005 Standardı'nın bu bölümünde kaba ve uygun bulonlara yönelik olarak kullanılacak çelik cinsleri, bunların çeşitli geometrik ve mukavemet özellikleri tariflenmiş ve bunlara dayalı olarak boyutlandırma esaslarına ve bu amaçla kullanılacak ifadelere yer verilmiştir. Bunun yanısıra tasarımda gözönüne alınacak bulon aralıkları ve emniyet gerilmeleri de tablolarda verilmiştir.

Tablo 3 - DIN ISO 898-Kısım 1 Uyarınca Bulonların Üretiminde Kullanılan Çeliklerin Oda Sıcaklığındaki Mekanik Özellikleri

MUKAVEMET SINIFLARI								
Özellik		3.6	4.6	5.6	8.8		10.9	12.9
					≤M16	≥M16		
Çekme Mukavemeti $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Nominal	300	400	500	800	800	1000	1200
	min.	330	400	500	800	830	1040	1220
Vicker Sertliği <sup>2)</sup> HV $F \geq 98N$	min.	95	120	155	230	255	310	372
	max.	220			300	336	382	434
Brinell Sertliği <sup>2)</sup>	min.	90	114	147	219	242	295	353
HB $F \geq 30 D^2$	max.	209			285	319	363	412
Rockwell Sertliği <sup>2)</sup> HR	min. HRB	52	67	79	-	-	-	-
	min. HRC	-	-	-	20	23	31	38
	max. HRB	95			-	-	-	-
	max. HRC				30	34	39	44
Dış Yüzey Sertliği HV 0.3	max.				320	356	402	454
Akma Sınırı <sup>3)</sup> $R_{eL}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Nominal	180	240	300	-	-	-	-
	min.	190	240	300	-	-	-	-
%0.2'e kalıcı deformasyona karşı gelen Gerilme Sınırı $R_{p0.2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Nominal				640	640	900	1080
	min.				640	660	940	1100
Test gerilmesi $S_p$	$S_p / R_{eL}$ veya $R_{p0.2}$	0.94	0.94	0.94	0.91	0.91	0.88	0.88
	[N/mm <sup>2</sup> ]	180	225	280	580	600	830	970
Kopma uzaması $A_s$ [%]	min.	25	22	20	12	12	9	8
Eğik yüklemde mukavemet	Bulon için eğik yüklemde elde edilen mukavemet değerleri DIN ISO 898, Kısım 1'deki Bölüm 5.2'de verilen minimum çekme mukavemeti değerleri ile aynı olmalıdır.							
Çentik vuruşunda yapılan minimum iş [Joule]		-	25	25	30	30	20	15

<sup>1)</sup>Çelik yapıda kullanılan M12'den büyük bulonlar için

<sup>2)</sup>ISO/TC 17/SC 6 N 357 dökümanından (bkz. DIN 50150) faydalanılarak hesaplanan sertlik değeri

<sup>3)</sup> $R_{eL}$  akma sınırının belirlenemediği hallerde %0.2'lik birim kalıcı deformasyon değerine karşı gelen  $R_{p0.2}$  sınır değeri geçerlidir.

### 7.3. Yüksek Mukavemetli Bulonlar

Mevcut TS 648-Madde 5.5'de yer alan bilgiler çerçevesinde yüksek mukavemetli bulonlarla teşkil edilen bir birleşimin boyutlandırılmayacağı açıktır. Öte yandan hazırlanmış olan Deprem Standardı Taslağı - Madde 8.2.3'de "Birleşimde kullanılacak bulonlar 10.9 ve 8.8 kalitesinde olacaktır.

Bu bulonlara kendilerine uygulanacak öngerme kuvvetinin en az yarısı uygulanmalıdır." denilmektedir. Ülkemizde Deprem Yönetmeliği'nin zorunlu bir yönetmelik olduğu düşünüldüğünde mevcut TS 648' in bu bağlamda bu ihtiyaca cevap veremeyeceği açıktır.

Yüksek mukavemetli bulonların boyutlandırılmasına ilişkin bu tasarım açığının giderilmesine yönelik olarak hazırlanan İMO-02/2005 Standardı'nda bu bölüm etrafıca ele alınmıştır. Önce yüksek mukavemetli bulonların malzeme kaliteleri tanımlanmış ve buna ait mukavemet özellikleri verilmiştir (Tablo 3). Gerek SL ve SLP tipi birleşimler ve gerekse

de sürtünme kuvvetli birleşimlerin hesap esasları açıklanmış, boyutlandırmada gözönüne alınacak ilgili emniyet gerilmeleri tanımlanmış ve yüksek mukavemetli bu bulonların hangi tip yüklemelerde kullanılabileceği belirtilmiştir. Bunun yanısıra farklı birleşim araçlarının aynı birleşimde birlikte kuvvet aktarabilme koşullarına da yer verilmiştir.

Bilindiği gibi yüksek mukavemetli bulonların en önemli özelliğini öngerilmelendirilebilmeleri oluşturmaktadır. Tasarlanan bir birleşimde bu bulonlara gövdeleri doğrultusunda çekme kuvveti gelmesi halinde öngerilmelendirilmiş bulonların kullanılması avantaj olmaktadır. Öte yandan sürtünme tipli rijit birleşimlerde birleşimden aktarılacak kuvveti, birinci derecede uygulanan öngerilme kuvveti belirlemektedir. Dolayısıyla hazırlanan İMO-02/2005 Standardı'nda bulonların öngerilmesinde uygulanan yöntemlere ve buna bağlı olarak çeşitli bulon çaplarına karşı gelecek şekilde gerekli uygulanacak öngerilme kuvvetlerine ilişkin bir tablo düzenlenerek verilmiştir.