

ÇELİK DONATILARIN DEPREM YÖNETMELİĞİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

M. Hulusi ÖZKUL (*)

ÖZET

TS 500 ve TS 708 standartları betonarme yapılarda kullanılacak çelik çubukların taşınması gereken özellikleri ele almaktadır. Ancak bu iki standardın çelik donatıların mekanik özellikleri için öngördüğü değerler ile Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'in 1998 baskısı bazı farklılıklar içermektedir. Bu yazıda, Afet Yönetmeliğinin getirdiği yeni koşulların olası nedenlerin değinilecek ve bir örnekleme yapılarak yurdumuzda satılan donatıların standartlar ve Deprem Yönetmeliği açısından durumu ele alınacaktır.

1. GİRİŞ

TS 500 "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları" standardı betonarme donatı çeliklerinin TS 708 "Beton Çelik Çubukları" standardına uygun olması gereğine değinmiş ve Çizelge 3.1'de TS 708'den alıntılar yapmıştır. Buna göre donatı çelikleri, donatı çubuğu ve hasır donatı olarak iki gruba ayrılmaktadır. Bir başka gruplandırma da "doğal sertlikte" ve "soğukta işlem görmüş" başlıkları altında yapılmıştır. Doğal sertlikte olan donatılar minimum akma sınırı değerleri temel alınarak S220a, S420a ve S500a olmak üzere ve soğukta işlem görmüş donatılar ise aynı şekilde S420b, S500bs ve S500bk alt gruplarına ayrılmıştır. Son iki çelik sınıfının hasır donatıda kullanılması öngörülmüştür. Minimum çekme dayanımları, S220a sınıfı için 340 MPa, doğal sertlikteki S420a çeliği için 500 MPa ve diğer çelikler için 550 MPa olarak verilmiştir. Minimum kopma uzama oranları olarak, çapı 32 mm ve daha küçük çeliklerde S220a için %18, S420a ve S500a için %12, soğukta işlem görmüş S420b için %10 ve S500bs ve S500bk için %8 ve %5 değerleri yer almıştır.

Öte yandan "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" in 1998 tarihli yeni baskısında "7.2.5. Malzeme Dayanımları" bölümünde

7.2.5.4'te belirtilen elemanlar hariç olmak üzere, betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında S420'den daha yüksek dayanımlı donatı çeliğinin kullanılacağı belirtilmiştir. Aynı zamanda çeliğin kopma uzama oranının %10'dan az olamayacağı kaydedilmiştir. Yönetmeliğin getirdiği diğer bir koşul, deneysel olarak bulunan ortalama akma dayanımının, standardda öngörülen karakteristik akma dayanımının 1.3 katından büyük olamayacağıdır. Ayrıca deneysel olarak bulunan ortalama kopma dayanımı, (çekme dayanımı olması gerekir) yine deneysel olarak bulunan ortalama akma dayanımının 1.25 katından daha az olamayacaktır. Aşağıda, "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik"te, betonarme çelik çubukları için TS 500 ve TS 708 standartlarına ek olarak yeni koşullar getirilmesinin olası nedenleri üzerinde durulacaktır.

2. ACI 318 İLE KARŞILAŞTIRMA

A.B.D.'de geçerli olan betonarme yapı standardı, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318)" 21. Bölümde, "Deprem Etkilerine Karşı Tasarım" konusunu ele almaktadır. Burada, kullanılacak çelik donatıların ya ASTM A 706 standardında belirtilen çelikler olması gerektiği, ya da ASTM A 615'de verilen 40 ve 60 sınıfındaki çeliklerin aşağıdaki koşulları sağlaması durumunda kullanılabilceği belirtilmiştir.

- Gerçek (deneysel) akma sınırı \leq standardda öngörülen değer + 120 MPa

- Gerçek (deneysel) çekme dayanımı \geq 1.25 Gerçek (deneysel) akma sınırı

Yine ACI 318, Bölüm 21'de deprem etkilerine karşı tasarımda kullanılacak çeliklerde akma sınırı 420 MPa ile sınırlandırılmıştır (En yüksek 60 sınıfı (akma sınırı 420 MPa olan) çeliklerin kullanılmasına izin verilmiştir).

ASTM A 706 standardı kapsamındaki çelikler bir tek sınıfı içermektedir ve minimum akma sınırı 420

(*) Prof. Dr., İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul

MPa ve minimum çekme dayanımı 550 MPa olarak sınırlandırılmıştır. Öte yandan aynı standard akma sınırı için maksimum sınırlaması da getirmiş ve 540 MPa değerini aşmaması öngörülmüştür. Bu değer, yukarıda ASTM A 615 standardının kapsadığı çelikler için getirilen birinci sınırlandırma ile aynıdır. Ayrıca ASTM A 706'da gerçek (deneysel) çekme dayanımının, gerçek akma sınırınının 1.25 katını aşmaması gerektiği koşulu da getirilmiştir, ki bu koşul yukarıda verilen ikinci koşul ile aynı içeriktedir.

ACI 318 standardı betonarme yapılarda ASTM A 706, ASTM A 615, ASTM A 616 ve ASTM A 617 standardlarında özellikleri belirtilen çelik donatıların kullanılabilmesini belirtirken (Bölüm 3), aynı standardın "Deprem Etkilerine Karşı Tasarım" başlıklı 21. Bölümünde ise sadece ASTM A 706 standardındaki çelikler ile ASTM A 615 standardına giren ancak 40 ve 60 sınıfındaki (akma sınırları 300 ve 400 MPa olan çelikler) çeliklerden yukarıda belirtilen iki koşulu sağlayanların kullanılabilmesine değinilmiştir. ASTM A 615'de yer alan 75 sınıfındaki (akma sınırı 520 MPa) çeliklerin kullanılmasına izin verilmemiştir.

Öyle anlaşılıyor ki, "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik", ACI 318 - Bölüm 21'de verilen "Deprem Etkilerine Karşı Tasarım"daki yaklaşımı benimsemiştir. TS 500 standardı çelik sınıflarını S500'e (akma sınırı 500 MPa) kadar genişletirken, Afet Yönetmeliği S420 ile sınırlandırmıştır. Ayrıca, TS 500'de maksimum akma sınırı ile ilgili bir sınırlandırma bulunmazken, Yönetmelik deneysel olarak ölçülen akma sınırının, standardda belirtilen karakteristik değerinin %30'dan fazla üzerine çıkamayacağı sınırlamasını getirmiştir. Bu sınırlama, ACI 318, Bölüm 21'deki sınırlamaya yakındır. S420 sınıfı çelik için öngörülen maksimum akma sınırı Afet Yönetmeliğinde $1.3 \times 420 = 546$ MPa iken ACI 318 Bölüm 21'de $420 + 120 = 540$ MPa'dır. Minimum (Deneysel Çekme Dayanımı / Akma Sınırı) oranı olarak her iki yönetmelik ve standardda aynı değer benimsenmiştir. %10'luk minimum kopma uzama oranı da benzer şekilde yer almıştır.

3. İRDELEME

"Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik" in 1998 tarihli baskısında getirilen sınırlamalar aşağıda ele alınmıştır:

1- Donatı çelikleri S420 sınıfı ile sınırlandırılmıştır. Buradaki amaç daha sünek eğilme davranışı gösteren betonarme elemanlar elde etmek, aynı zamanda daha sünek donatı kullanmak olabilir. Gerçekten de, birçok durumda çeliğin sünekliği akma sınırı ile ters orantılıdır.

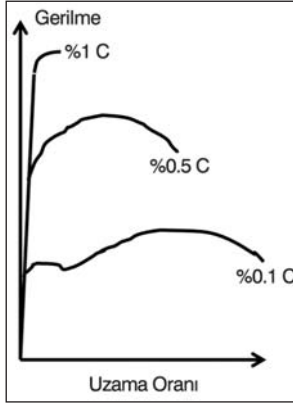
2- Çelik çubuklarda deneysel olarak ölçülen akma sınırının, standardda yer alan değerden en çok %30 daha büyük olmasına izin verilmiştir, yani akma sınırına bir üst limit değeri getirilmiştir. Betonarme çerçeve hesapları yapılırken, kiriş-kolon birleşim noktalarına yakın yerlerde donatıdaki gerilmenin akma sınırına ulaşması sonucu plastik mafsalların oluşacağı varsayılır. Kullanılan çelikte akma sınırının hesaplarda öngörülen değerinin çok üstüne çıkması durumunda, plastik mafsallar oluşmadan önce kesme ve beton-donatı aderansından kaynaklanan ani ve gevrek göçmeler oluşabilecektir [1,2]. Çünkü kesitlerin kesme ve aderans dayanımları belli bir moment değerinde plastik mafsalların oluşacağı varsayımına dayandırılmaktadır. Ayrıca, kirişlerdeki donatıların akma sınırlarının öngörülen değerinin çok üzerine çıkması, kuvvetli kolon-zayıf kiriş yaklaşımını da alt üst edebilir. Bu nedenlerle akma sınırına bir üst sınır getirilmesi yerinde bir önlem olarak görülmektedir.

3- (Deneysel Çekme Dayanımı / Deneysel Akma Sınırı) oranının en az 1.25 ya da daha büyük olması gerektiği belirtilmiştir.

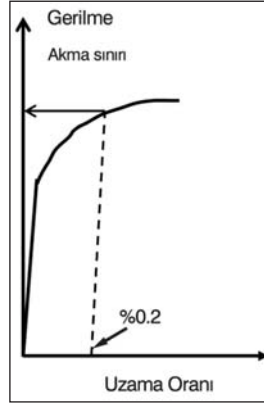
TS 708 standardı çelikleri sıcak haddeme işlemi ile üretilen ve soğuk mekanik işlem uygulanarak üretilen olmak üzere iki gruba ayırmıştır. Ia ve IIIa (TS 500'e göre S220a ve S420a) çelikleri birinci gruba, IIIb (S420b) çeliği ikinci gruba girmektedir. Normal olarak Ia çeliği düşük karbonlu (karbon oranı %0.1-0.2) ve IIIa çeliği ise orta karbonlu (%0.3-0.5) olarak tanımlanabilir [3]. IIIb çeliği ise düşük karbonlu Ia çeliğinin soğukta işlem görmüş (örneğin burulmuş) şeklindedir.

Farklı oranlarda karbon içeren çeliklerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri Şekil 1'de verilmiştir [3]. Düşük karbonlu ve sıcak haddelenmiş çelikte elastik bölgede lineer olarak artan eğri akma gerilmesine ulaşıldıktan sonra yataylaşır (plato). Daha sonra tekrar yükselerek (pekleşme) bir maksimum noktadan (çekme dayanımı) geçer ve alçalarak kopar (kopma dayanımı). Orta karbonlu çeliklerde plato bölgesinin uzunluğu azalır ve karbon oranı arttıkça yatay bölge kaybolur (Şekil 1). Gerilme-şekil değiştirme eğrisinde yatay bölge bulunmayan çeliklerde akma sınırı %0.2 kalıcı şekil değiştirme oluşturan gerilme olarak bulunur. Benzer şekilde soğukta işlem görmüş çeliklerde de plato bölgesi bulunmaz ve akma sınırı %0.2 kalıcı şekil değiştirme kuralı ile hesaplanır (Şekil 2). Karbon oranı yüksek çeliklerde ve soğukta işlem görmüş çeliklerde plato bölgesinin yok olması ile birlikte akma sınırı ile çekme dayanımı arasındaki fark azalır. Bu çeliklerde aynı zamanda sünekliğin bir ifadesi olan kopma uzama oranları da azalmaktadır. Bu nedenle

Afet Yönetmeliğinde (deneysel çekme dayanımı/ deneysel akma sınırı) oranına minimum 1.25 sınırının getirilmesi, hem kesitlerin plastik mafsallaşmadan sonra ani göçmesinin önüne geçmek, hem de daha sünek malzeme kullanılmasını sağlamak amacıyla yönelik olabilir.



Şekil 1 - Çeliklerde Gerilme-Şekil Değişirme



Şekil 2 - Akma Sınırının Bulunması Eğrilerinin Karbon Oranı ile Değişimi

4. TÜRKİYE'DE ÜRETİLEN ÇELİKLER İLE İLGİLİ BİR ÖRNEKLEME

İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'na deney yapılmak üzere çelik donatı numuneleri getirilmekte ve bunlar üzerinde TS 708 standardına uygun çekme deneyleri gerçekleştirilmektedir. 2000 yılında laboratuvarımıza getirilen çelikler üzerinde gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarının değerlendirmesi yapılmış ve her bir anma çapı için elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Değerlendirmeler TS 708 standardı ve Afet Bölge-lerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik'e

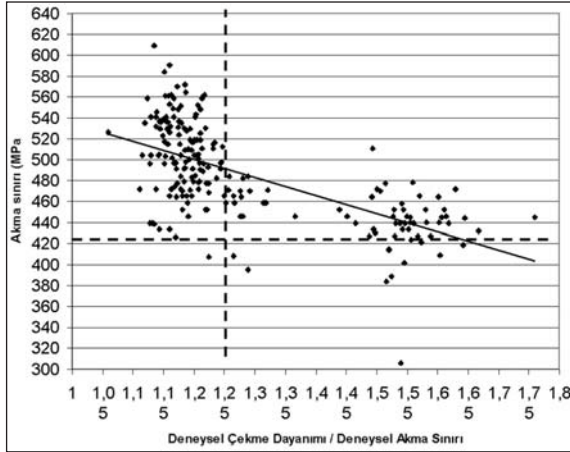
göre ayrı ayrı yapılmıştır. Ayrıca tabloda minimum akma sınırı koşulunu sağlayan çubukların, toplam denenen çubuk sayısına oranları, benzer şekilde Afet Yönetmeliği'nde verilen akma sınırı aralığında ($420 \leq \sigma_a \leq 546$ MPa) kalan çeliklerin sayısal oranı, ve aynı yönetmeliğin (Deneysel Çekme Dayanımı / Deneysel Akma Sınırı) ≥ 1.25 koşulunu sağlayan çeliklerin oranları verilmiştir.

Tablo 1'den görülmektedir ki TS 708 "Beton Çelik Çubukları" standardını sağlama oranı %69.5 ile %100 arasında değişmektedir. Özellikle büyük çaplardaki çubuklarda %90'ın üzerinde standarda uygunluk sağlanmıştır. Benzer değerlendirme Afet Yönetmeliğine uygunluk açısından yapıldığında ise farklı bir durum ortaya çıkmakta, oranlar önemli oranda düşmektedir. Bazı çaplarda denenen numune sayısı 40-64 arasında değişirken diğer bazı çaplarda ise 200'ün üzerine çıkmıştır. Bu nedenle sonuçların genel eğilimi göstermek açısından yeterli oldukları düşünülebilir. Bu durumda, sonuçların TS 708 standardı'na uygunluğu özellikle büyük çaplarda ($\varnothing \geq 12$ mm) % 90 oranlarına çıkabilirken ($\varnothing 16$: % 88.9), Afet Yönetmeliği koşullarını sağlayan çubukların oranları çok düşük kalmaktadır. $\varnothing 8$ ve $\varnothing 26$ 'lıklar dışındaki çubuklarda % 70'in üzerindeki oranlarda söz konusu yönetmeliğin sağlanamadığı görülmektedir (sağlanmama oranları $\varnothing 8$: %58, $\varnothing 26$: %66). Bu aykırılıkta, bazı çeliklerde akma sınırının 420-546 MPa aralığına girmemesi yanında asıl belirleyici olan etkenin (Deneysel Çekme Dayanımı / Deneysel Akma Sınırı) ≥ 1.25 koşulunun sağlanamaması olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 3'de (Deneysel Çekme Dayanımı / Deneysel Akma Sınırı) oranının akma sınırı ile değişimi $\varnothing 14$ çelikleri için verilmiştir. Genel olarak söz konusu oran arttıkça akma sınırının düştüğü görülmektedir. Deney sonuçlarının iki farklı öbek oluşturdukları söylenebilir; birinci öbek yüksek akma sınırlı, ancak düşük (Deneysel Çekme Dayanımı / Deneysel Akma Sınırı) oranlı, ikincisi ise tam tersi özellikte olmak üzere. Şekil 3'de verilen grafik kesikli çizgilerle 4 bölgeye ayrılmıştır. Afet Yönetmeliğini sağlayan bölge sağ-üstte kalmaktadır. Sol-üstte kalan bölgede yer alan donatıların ise akma sınırları önceki bölgedekilerden ortalama olarak daha büyük olmakla birlikte (Deneysel Çekme Dayanımı / Deneysel Akma Sınırı) ≥ 1.25 koşulu sağlanamadığı için Yönetmeliğe uymamaktadır.

Tablo 1 - Nervürlü Çelik Çubuklarda Standardları Sağlama Oranları

| Çelik Çapı (mm) | Toplam Numune Sayısı | Akma Sınırı ≥ 420 (%) | Deneysel Akma Sınırı 420-546 (%) | Deny. Çek. Day./Deney. Akma Sınırı ≥ 1.25 (%) | TS 708'e Uygun (%) | Afet Yönetmeliğe Uygun (%) |
|------------------|----------------------|----------------------------|----------------------------------|--|--------------------|----------------------------|
| $\varnothing 8$ | 174 | 70.0 | 57.5 | 71.8 | 69.5 | 42.0 |
| $\varnothing 10$ | 202 | 87.6 | 48.0 | 39.0 | 86.6 | 27.2 |
| $\varnothing 12$ | 205 | 94.1 | 40.5 | 29.3 | 93.7 | 23.9 |
| $\varnothing 14$ | 222 | 93.7 | 84.2 | 36.0 | 92.3 | 30.2 |
| $\varnothing 16$ | 235 | 88.9 | 74.5 | 34.5 | 88.9 | 22.1 |
| $\varnothing 18$ | 64 | 92.2 | 70.3 | 29.7 | 92.2 | 21.9 |
| $\varnothing 20$ | 116 | 95.7 | 65.5 | 23.3 | 94.8 | 12.9 |
| $\varnothing 22$ | 64 | 100 | 71.9 | 17.2 | 100 | 14.1 |
| $\varnothing 24$ | 40 | 100 | 77.5 | 25.0 | 97.5 | 22.5 |
| $\varnothing 26$ | 53 | 98.1 | 67.9 | 35.8 | 98.1 | 34.0 |



Şekil 3 - (Deneysel Çekme Dayanımı / Deneysel Akma Sınırı) Oranının Akma Sınırı ile Değişimi (Ø 14 mm için)

5. SONUÇ

“Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik”in 1998 baskısında, TS 708 “Beton Çelik Çubukları” standardında bulunmayan bazı koşullar yer almaktadır. Yönetmelik akma sınırına bir üst sınır getirirken, (Deneysel Çekme Dayanımı / Deneysel Akma Sınırı) oranına bir alt sınır getirmiştir. Bu koşullar özellikle yapıların deprem etkileri altındaki davranışları açısından gereklidir. 2000 yılına ait bir örnekleme yapılarak, denenen çeliklerin büyük oranda TS 708 standardına uygun oldukları, ancak Afet Yönetmeliği’ni aynı oranlarda sağlamadıkları gözlenmiştir. Bu nedenle Türkiye’de üre-

tilen çelik donatı çubuklarının üretim aşamasında gerekli değişikliklerin yapılarak yönetmeliğe uygun hale getirilmesi gerekir. Öte yandan son günlerde Afet Yönetmeliğine uygun olan donatıların “deprem çeliği”, ya da “sismik çelik” adları ile satıldıkları ve özel istek üzerine üretildikleri gözlenmektedir. Oysa yurdumuzun büyük bölümünün deprem kuşağında olduğu düşünülürse, tüm çeliklerin bu özelliklerde olması gereği ortaya çıkacaktır. Ayrıca TS 500 standardında, çelik çubukların sağlaması gereken koşullar Afet Yönetmeliği’ne göre yeniden düzenlenerek deprem etkisindeki yapılar ile ilgili ayrı bir bölümde verilmelidir.

TEŞEKKÜR

Deney sonuçlarının derlenmesindeki yardımları için öğrencimiz İnş. Müh. Osman Arslaner’e teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- [1] *Building Code Requirement for Reinforced Concrete (ACI 318-89) (Revised 1992) and Commentary - ACI 318R-89 (Revised 1992)*, American Concrete Institute.
- [2] *Notes on ACI 318-89, Building Code Requirement for Reinforced Concrete, Portland Cement Association, 1990, Ed. S.K. Ghosh, B.G. Rabbat.*
- [3] *Malzeme Bilimi, K. Onaran, Bilim Teknik Yayınevi, 5. basım, İstanbul, 1995.*