

# TÜRKİYE'DE KULLANILAN BETON ÇELİK ÇUBUKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

İnş. Müh. Mete YILDIZ  
İMO İst. Şb. Beton AR-GE Laboratuvarı

İnş. Y. Müh. İ. Engin BAL  
Rose School/İtalya  
İMO İst. Şb. Eski Mesleki Denetim Görevlisi

## Özet

Bu çalışmada gerek İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi AR-GE Laboratuvarı'nda 2001-2006 yılları arasında üzerlerinde gerekli testlerin yapılması suretiyle incelenen beton çelik çubukların özellikleri ve gerekse başka laboratuvarlarda incelemesi yapılarak sonuçları akademik ortamda yayınlanan testlerin sonuçları, beklenen deprem ile etkileşimleri de göz önüne alınarak topluca değerlendirilmiştir. Daha önce gerçekleştirilmiş olan çalışmaların yanısıra İMO AR-GE Laboratuvarı'na ait 2712 numune üzerinde gerçekleştirilen çekme deneylerinin sonuçları da, özellikle 1998 ve 2006 Deprem Yönetmeliklerine uyum ışığında gözden geçirilmiştir.

## 1. Betonarme Çeliğinin Davranışı

Mevcut deprem mühendisliği ilkeleri gözönüne alındığında, betonarme elemanların ve onların donatılarının tasarım kuvvetlerinin belirli bir azaltma katsayısına bölünmesi ile

elde edilen bir yatay yükleme altında akma sınırına ulaşmaları beklenmektedir. Bu yüzden de, özellikle betonarme çeliğinin elastik olmayan davranışı her geçen gün daha da önem kazanmaktadır.

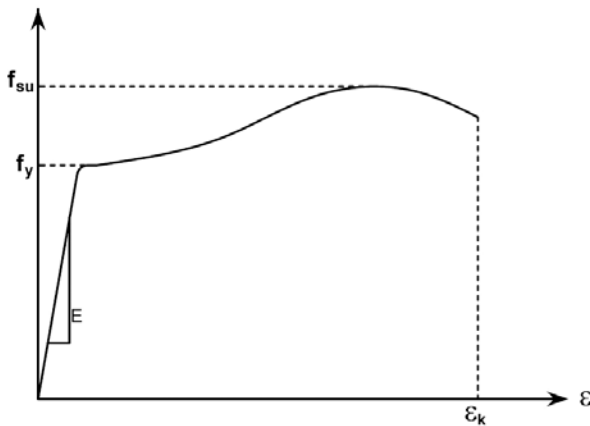
Tek boyutlu geometrileri sayesinde betonarme çubuklarının malzeme davranışlarını sadece tek eksenli bir gerilme-şekil değiştirme eğrisi ile tarif etmek mümkün olmaktadır. Bu gerilme şekil değiştirme ilişkisi monotonik yükleme altında oldukça basit olabilirken, tekrarlı tersinir (*cyclic*) yükleme altında ilişki özellikle de kuvvet yönünün çekmeden basınca döndüğü durumlarda burkulma etkisi ile beraber git gide karmaşıklaşmaktadır.

Monotonik yükleme altında yumuşak bir çeliğin temsili gerilme-şekil değiştirme diyagramı ve diyagrama ait karakteristik noktalar **Şekil 1**'de verilmiştir.

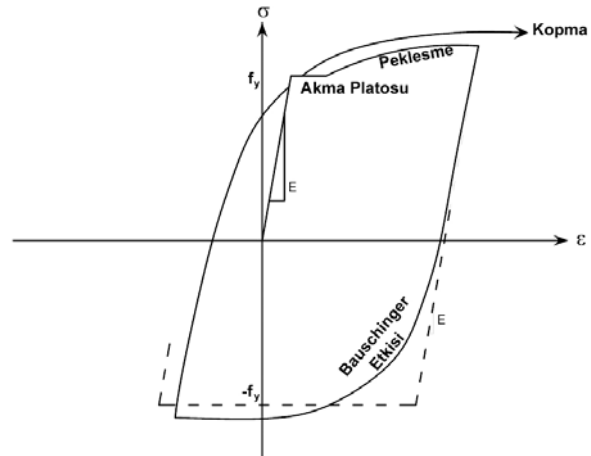
$f_y$  ile gösterilen "akma mukavemetini" bir akma platosu takip eder ki bu plato özellikle Avrupa'da kulla-

nılan çelik türlerinde nispeten daha kısadır. Bundan sonra pekleşme aşamasına gelinir. Bu aşamada gözlenen en yüksek gerilme değeri "çekme mukavemeti" olarak anılır. Çekme mukavemetine ulaşılması ve buna bağlı şekil değiştirmenin de aşılmasını takiben eğri bir miktar daha azalan gerilme şeklinde devam eder ve kopma noktasına ulaşılır. Kopma noktasında elde edilen şekil değiştirme "kopma uzaması" olarak tarif edilir. Bu üç nokta bu makale sırasında sürekli tekrar edilecek ve ayrıca Yönetmeliklerde de sürekli referans verilen en önemli karakteristik noktalardır. Burada önemli bir husus da, kopmanın en yüksek gerilme değerinde gerçekleşmediği tespitidir. Tabii bu durum sünekliğin bir göstegesidir ve çeliğin karbon oranına bağlı olarak da değişebilir.

Tasarım ve güçlendirme hesaplamalarında olmasa bile, özellikle bilimsel araştırma maksatlı matematik modellemelerde betonarme çe-



**Şekil 1.** Yumuşak bir çeliğe ait şematik gerilme-şekil değiştirme eğrisi ile monotonik davranışa ait üç karakteristik nokta



**Şekil 2.** Tersinir yükler altındaki donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (burkulmasız hal)

liğinin monotonik davranışından çok tersinir yükler altındaki davranışı önem kazanır. Bu davranış aşağıda **Şekil 2**'de kısaca özetlenmiştir.

Akmaıy takip eden platodan sonraki davranış doğrusal bir davranış değildir ve basınç bölgesinde akma gerilmesinin de üstüne çıkarak devam eder. Bu durum "*Bauschinger etkisi*" olarak da bilinir. Bu davranışın bir diğer önemli özelliği de, hem basınç ve hem de çekme yönlerinde, ilk yüklemmeden sonraki çevrimlerde elde edilen akma gerilmesine karşılık gelen şekil değiştirmelerde gözlenen gerilme değerlerinin ilk çevrimde elde edilen akma gerilmesinden yüksek olmalarıdır.

## 2. Betonarme Çeliğinin Yapı Davranışı Üzerindeki Etkileri

Betonarme yapıların özellikle yatay yükler altındaki deprem davranışı dikkate alındığında betonarme çeliği ile ilgili en önemli iki parametre kopma uzaması ( $\epsilon_k$ ) ve pekleşme oranı olarak adlandırılan "*Çekme Mukavemeti / Akma Mukavemeti*" oranıdır ( $f_{su} / f_y$ ). Kopma uzaması, betonarme kesitlerin donatıları çekme etkisi altındayken ve kesit göçmeye yaklaşırken donatıların sergilediği performans açısından oldukça önem taşımaktadır. Pekleşme oranının önemi ise birkaç farklı sebebe bağlanabilir. İlk olarak, bu değer ne kadar büyük ise pekleşmenin tanjantının eğimi artacak ve tersine yüklem sırasında oluşması muhtemel donatı burkulması da o kadar gecikecektir. Pekleşme oranının daha önemli etkisi ise eleman ucundaki en büyük momenti kontrol etmesidir. Bu değer büyük olması kesit sonundaki en büyük moment değerinin daha da büyük olması ve kesitin plastikleşen bölgesinin daha büyümesi anlamına gelir ki bu da sünek davranışın bir ifadesidir. Günümüzde Türkiye de dahil olmak üzere dünyanın gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülkesinde uygu-

lanan modern deprem yönetmelikleri kapasite tasarımına büyük önem vermektedir. Tasarım mühendislerinin çok yakından bildiği "*güçlü kolon-zayıf kiriş*" kontrolü de bu kapasite tasarımı kontrollerinden biridir. Bu felsefeye göre tasarım mühendisi elindeki malzeme ve kesit değerlerinden yola çıkarak ve yüklemmeden de bağımsız kalarak elemanlarda hangi göçme tipinin hangi sırada gerçekleşeceğini tayin eder. En çok bilinen örnekte de olduğu gibi bilinçli olarak kirişler kolonlardan zayıf tasarlanır ve böylece her tür tehlikeli hasarın kirişlerde oluşmasına yol açılır. Aynı şekilde kesitlerde kesme etkisinden oluşacak gevrek kırılma, kesitin kesme kapasitesi eğilme kapasitenin yeter derecede güvenlikle üstüne çıkarılması ile geciktirilir çünkü kesitte kesmeye bağlı gevrek kırılmadan daha önce sünek kırılmanın oluşması sağlanır. Tabi tüm bu hesaplamalar özellikle betonarme çeliğinin davranışına oldukça bağlıdır. Örneğin, düşey donatıya bağlı eğilme kırılması düşey donatının beklenenden çok daha güçlü olması nedeni ile gecikir ise yüklem arttıkça kesit aynı zamanda kesmeye bağlı gevrek kırılmanın oluşacağı sınıra da yaklaşır ve geçer. Yani bir başka deyişle gereğinden fazla dayanıma sahip donatı, kesitin mühendis tarafından tayin edilen davranışın dışına çıkmasına ve istenmeyen gevrek bir kırılmaya sebebiyet verilmesine neden olabilir.

Yukarıda bahsedilen yapısal sebeplerden ötürü gerek Türk Deprem Yönetmelikleri [1 ve 2], gerek ACI 318R-05 Amerikan Betonarme Yönetmeliği [3] ve gerekse Eurocode [4 ve 5] donatı dayanımına bir üst sınır getirmişlerdir. Buna göre Türk Deprem Yönetmeliği 1998 ve 2006 basımlarında deneysel olarak bulunan ortalama akma mukavemetinin standartta öngörülen karakteristik değer 1.3 katından daha fazla

olmasını yasaklamıştır. Ancak bu yasaklama sadece deprem yönetmelikleri bazında yapılmıştır ve demir-çelik üreticilerini bağlayan TS-708'de henüz bu konuda bir revizyona gidilmemiş olması, bu şartın Türkiye'de uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Benzer şekilde ACI 318R-05 de deneysel olarak bulunan ortalama akma mukavemeti ile karakteristik akma mukavemeti arasındaki farkın 120 MPa'dan daha fazla olmaması gerektiğini belirtir ki bu da S420a çeliği için en fazla 1.29 kat bir artış anlamına gelmektedir. Eurocode'da durum bir miktar daha farklıdır. Düşük süneklığe sahip yapılarda deneysel ve karakteristik akma oranları arasında bir şart aranmazken, orta ve yüksek sünek yapılarda, %5 olasılıkla aşılması muhtemel deneysel akma dayanımının (deneysel ortalamadan, deneysel standard sapmanın 1.644 katının çıkartılması ile bulunur) karakteristik akma dayanımına oranının 1.25'den küçük veya ona eşit olması istenir.

## 3. Türkiye'de Betonarme Çeliği Üretimi ve Kullanımı

Türkiye'de betonarme çeliğinin kullanımını 1970'li yılların ortalarına kadar sadece Ia olarak adlandırılan S220 çeliği ile sınırlı kalmıştır. Gerek 1973 yılında TSE 708'in [6] IIIa çeliklerini de içerecek şekilde değiştirilmesi ve gerekse METAŞ ve Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın çabaları ile (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, İnşaat Sektöründe Vasıflı Çelik Kullanımını Teşvik Sempozyumu) IIIa çeliği kullanılmaya başlanmıştır. Akyüz ve Uyan [7] 1978 ila 1988 yılları arasında Ia ve IIIa çeliklerinin kullanımının neredeyse yarı yarıya olduğunu bildirmiştir. Akyüz ve diğerleri [8] bu oranı 1988-1999 yılları için yeniden gözden geçirmiş ve IIIa çeliklerinin bu 10 yıllık periyotta Ia çeliklerinden 5 ila 6 kat daha fazla kullanıldığı sonucuna varmışlardır. Bu da 1988-1998

arasında Ia çeliklerinin yaklaşık % 15, IIIa çeliklerinin ise yaklaşık % 85 kullanım oranına denk gelmektedir. Ilgaz [10] ise benzer şekilde 1990'lı yıllar için IIIa çeliğinin %70 ila %80 oranında tercih edildiğinin altını çizmektedir. 2000'li yıllara gelindiğinde ise büyük üreticilerin birçoğunun Ia çeliği üretmeyi bıraktıkları bilinmektedir. Tüm bu bilgiler birleştirilerek geçmiş yıllardaki bina üretim hızı ile de karşılaştırılınca **Şekil 3** elde edilmiştir.

Hem Avrupa ve hem de Türkiye'de pratikte yoğun olarak karşılaşılan bir üretim problemi de cevher yerine hurda demir kullanılarak hadde edilen ürünlerdir. Subaşı ve Çulcu [11] bu durumu inceleyerek hurda demirden üretilen beton çelik çubuklarının akma mukavemeti değerlerinin cevherden üretilen çelik çu-

bukların akma mukavemetine göre %10 daha fazla olduğu, hurda demirden üretilen beton çelik çubuklarının kopma uzaması değerlerinin ise cevherden üretilen çelik çubukların kopma uzamalarına göre %7 daha az olduğu, kopma/akma mukavemeti değerlerinin hurda demirden üretilen çelik çubuklarında 1.23, cevherden üretilen çelik çubuklarda ise 1.57 değerine sahip olduğu sonuçlarına varmışlardır. Bu durumda hurda demirden üretilen yuvarlak hadde ürünlerinin özellikle yüksek süneklik beklenen betonarme binalarda kullanımı çok uygun görülmemektedir.

#### 4. Ia Çelik Çubukları ve Geçmiş Çalışmaların Değerlendirilmesi

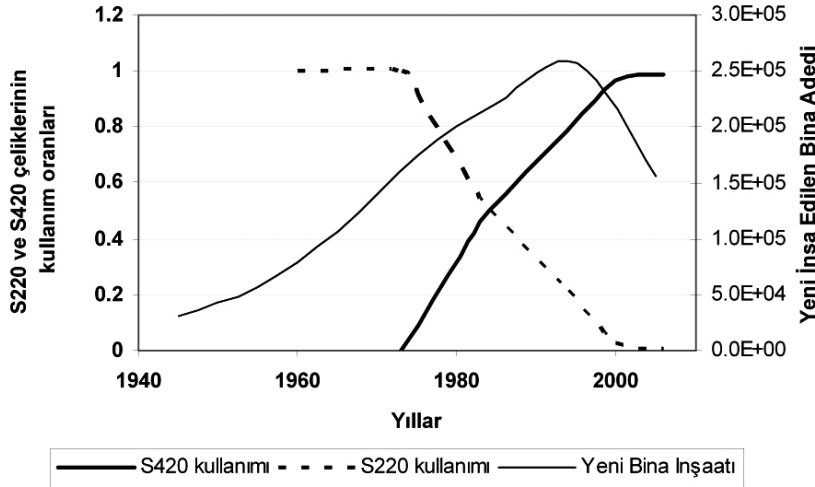
Türkiye'de kullanılan betonarme çeliklerinin özellikleri ile ilgili yapı-

mış en kapsamlı ve faydalı çalışmalar 1978 - 1988 yılları arası İTÜ Laboratuvarlarında test edilen numunelerle alakalı Akyüz ve Uyan'ın çalışması [7], yine aynı laboratuvarlarda 1988-1998 yılları arasında test edilen numunelerle ilgili Akyüz ve diğerlerinin [8] çalışmaları ile Özkul [9] tarafından yine adı geçen laboratuvarlarda 2000 yılında test edilen çelik numuneler üzerinde yapılan deney sonuçlarının 1998 deprem yönetmeliği ışığında değerlendirildiği araştırmadır.

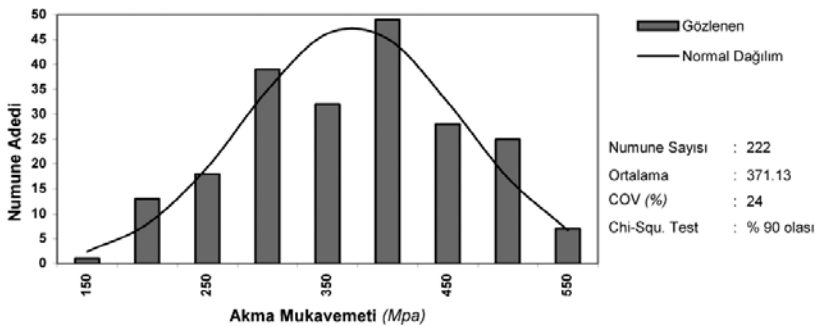
Ia çelik çubukları ile ilgili yukarıda bahsi geçen çalışmalardan alınarak uyarlanan sonuçlara göre Ia çubuklarının akma mukavemetleri normal dağılım izlemektedir (**Şekil 4**). Kikare testi de bu dağılımın % 90 olasılıkla normal dağılıma uyduğu sonucunu vermektedir [12]. Kikare testinde test, standart sapmanın % 30'u dağılımın kuyruk kısımlarından kesildikten sonra gerçekleştirilmiştir (*truncation*) [13].

Bilindiği üzere genellikle standartlarda verilen karakteristik değerler dağılımda % 95 oranında sağlanma (veya % 5 oranında aşılma) olasılığına karşılık gelen değer olarak verilirler. Yani basit anlatımla, piyasadan alınan herhangi bir Ia çeliğinin deneysel olarak bulunan akma dayanımının standardın belirlediği akma dayanımından daha düşük olma olasılığının % 5 olduğu kabul edilmektedir. **Şekil 4**'de verilen dağılım göz önüne alındığında ise % 5 aşılma olasılığına karşılık gelen akma mukavemeti değeri 225 MPa olarak bulunmuştur. Bir başka deyişle akma dayanımı baz alındığında, gerçek gözlemlen elde edilen dağılım, standart tarafından kabul edilen dağılım şartını, daha da güvenli tarafta kalarak sağlamıştır denilebilir.

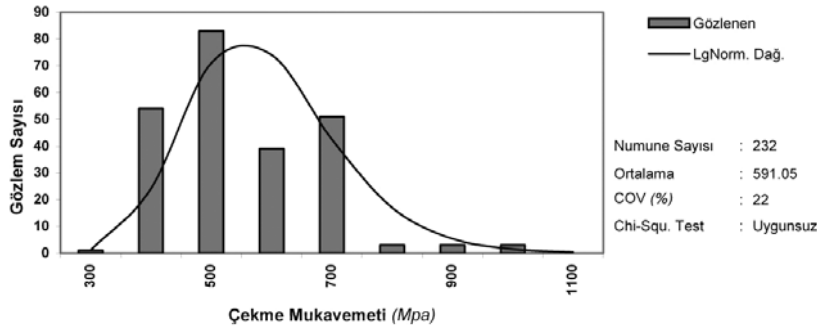
Çekme mukavemetleri dikkate alındığında (**Şekil 5**) numunelerden elde edilen gözlemlere en yakın dağılımın Lognormal dağılım olduğu sap-



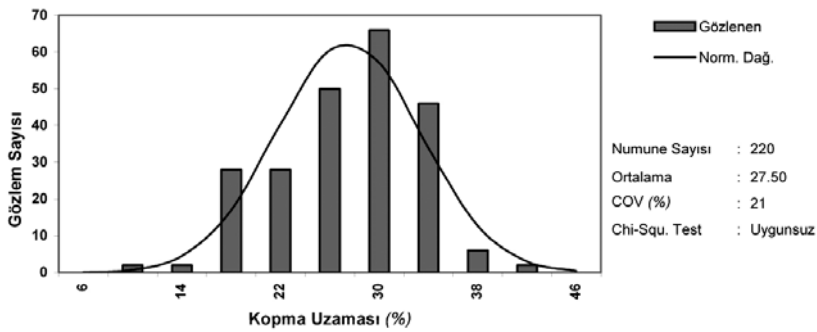
**Şekil 3.** S220 ve S420 çelik kullanımının ve yeni bina inşaatının yıllara göre değişimi



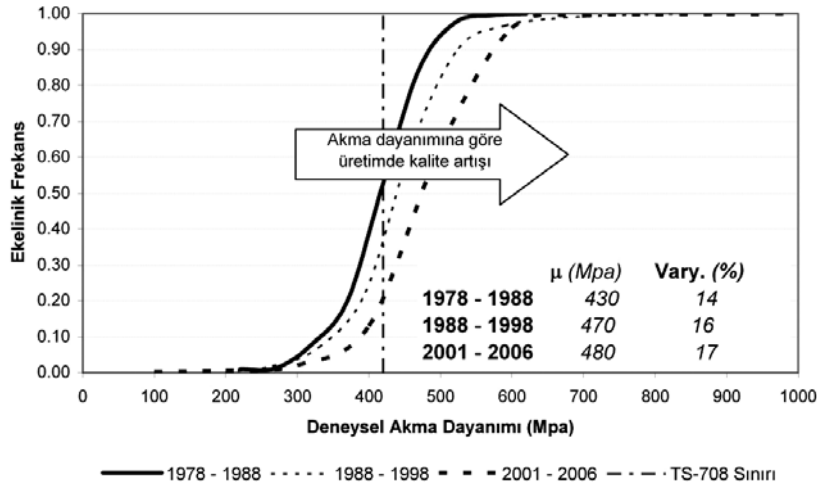
**Şekil 4.** Ia çeliklerine ait akma mukavemeti dağılımı (Akyüz ve Uyan, 1992'den uyarlanmıştır)



**Şekil 5. Ia çeliklerine ait çekme mukavemeti dağılımı (Akyüz ve Uyan, 1992'den uyarlanmıştır)**



**Şekil 6. Ia çeliklerine ait kopma uzaması oranı dağılımı (Akyüz ve Uyan, 1992'den uyarlanmıştır)**



**Şekil 7. IIIa çeliklerinde son 28 yıldaki üretim iyileşmesi ve akma dayanımı artışı**

tanmasına rağmen Kikare testi sağlanmamıştır. Çekme mukavemetlerinden elde edilen gözlemlerin ortalaması 591 MPa olarak bulunmuştur. Bu ortalama çekme mukaveme-

tinin aynı numunelere ait ortalama akma mukavemetine oranı, 1.58, Yönetmelikte verilen 1.15 şartını sağlamaktadır ve çok üzerindedir. Elbette numunelerin tek tek değer-

lendirilmesi bazı numunelerin bu şartı sağlamamasına sebep olabilir. Yine aynı grafikten elde edilecek bir başka yorum da test edilen numunelerin karakteristik çekme dayanımları, yani yine % 5 aşılma olasılığına denk gelen çekme mukavemeti değeridir. Bu değer 222 numune üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen dağılım için 377 MPa olarak gözlemlenmiştir ki bu değer de TS-708'de belirtilen minimum çekme dayanımı<sup>(1)</sup> değeri olan 340 MPa'dan daha yüksektir.

Kopma uzaması değerleri de yine aynı makalede incelenmiştir. **Şekil 6**'da verilen kopma uzaması dağılımı dikkate alındığında karakteristik kopma uzaması oranının %20 civarında olduğu görülecektir.

## 5. IIIa Çelikleri Çubuklarının Değerlendirilmesi

### 5.1. IIIa çeliklerinde üretim iyileşmesi

Günümüzde inşa edilen yapılar düşünüldüğünde, sık kullanılan IIIa çelikleri daha fazla önem kazanmaktadır. Bu makale kapsamında daha önceki çalışmaların sonuçları ile İMO AR-GE Laboratuvarı'nın son 6 yıllık periyotta 2712 numuneden elde ettiği sonuçlar karşılaştırılarak üretimde bir iyileşme sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiştir.

**Şekil 7**'de özetlenen sonuçlara göre akma mukavemetleri bazında son 28 yılda büyük bir gelişme kaydedilmiştir. Akyüz ve Uyan'ın çalışmasından [7] alınan sonuçlara göre 1978-1988 yılları arasında üretilen ve laboratuvarında test edilen IIIa çelik çubuklarının yaklaşık yarısı standarta öngörülen minimum akma sınırının altında kalmıştır. Akyüz ve diğerlerinin [8] 1988-1998 yılları arasındaki numuneler için yenilediği çalışmada ise test edilen numune-

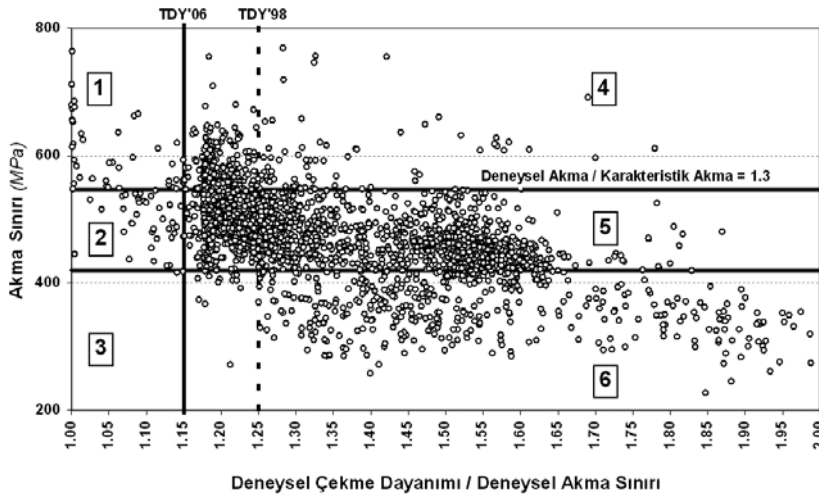
(<sup>1</sup>) TS-708'in Mart 1996 basımında "Çizelge 1 – Beton Çelik Çubukları Mekanik Özellikleri" başlıklı tabloda verilen değerler TS-500'e geçirilirken "Minimum Çekme Mukavemeti" ibaresi "Minimum Kopma Dayanımı" olarak değiştirilmiştir. Aynı hata Deprem Yönetmeliği'nin hem 1998 ve hem de 2006 baskılarında da mevcuttur. Buradaki ibarenin esasen "Minimum Çekme Mukavemeti" olması gerekir.

lerin yaklaşık %35'inin verilen minimum akma sınırının altında kaldığı saptanmıştır. Ancak son 6 yıllık periyotta İMO AR-GE Laboratuvarı tarafından test edilen numunelerde akma sınırına uymama oranı %17'ye kadar düşmüştür.

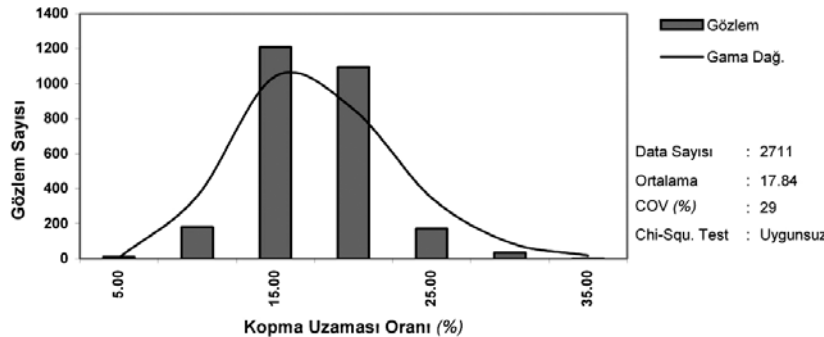
### 5.2. Son 6 yıllık periyotta IIIa çeliklerinin durumu

Son altı yıllık dönemde üretilen IIIa çelikleri göz önüne alındığında, üretimin ilgili standart ve yönetmeliklere uygunluğu İMO AR-GE Laboratuvarı tarafından test edilen 2712 numune üzerinde araştırılmıştır. Bu numunelerin deneysel akma sınırlarının standartta belirtilen karakteristik akma sınırı ile karşılaştırması yapılmıştır. Bunun yanısıra “pekleşme oranı” olarak da tabir edilen “deneysel çekme dayanımı / deney-

sel akma sınırı” oranı da tüm numuneler için araştırılmıştır. Peklleşme oranının deneysel akma sınırı ile karşılıklı olarak bir grafiğe dökülmesi sonucunda **Şekil 8**'de görülen sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre, değerlendirilen numunelerden %17'si TS-708'de belirtilen minimum akma sınırı şartını sağlamamaktadır. Yine bu numunelerden %3.5'i 2007 yılında yayınlanan deprem yönetmeliğinin minimum 1.15 pekleşme oranı şartını sağlamamaktadır. Ancak 1998 basımlı deprem yönetmeliğinde verilen minimum 1.25 pekleşme oranı şartı uygulanırsa numunelerin % 41'inin bu şartı sağlayamadığı görülecektir. Bu durumda yeni deprem yönetmeliğinin uygulamada ne tür bir esneklik sağladığı daha rahat anlaşılacaktır.



Şekil 8. Yönetmelik şartlarına uyumluluğun grafiksel olarak incelenmesi



Şekil 9. İMO AR-GE Laboratuvarı tarafından test edilen IIIa numunelerinde kopma uzaması

**Şekil 8**'de verilen grafikte esasen 6 bölge vardır. Bunlardan sadece 5 numaralı bölgede kalan numuneler, ki bunların oranı % 67'dir, üç Yönetmelik şartından hepsini sağlamaktadırlar. Bu şartlar, deneysel akma dayanımının 420 MPa ile bunun 1.3 katı arasında kalması ve ayrıca pekleşme oranının da 1.15'den büyük olmasıdır. 5 numaralı bölgenin dışında kalan bölgelerde bu üç şarttan biri veya hiçbiri sağlanmamaktadır.

Esasen yukarıda bahsedilen pekleşme oranı TS-708'de 500/420, yani 1.19 olarak verilmiştir ancak bu sınır deprem bölgelerinde yapılacak yapılar için geçerli değildir. Peklleşme oranı Eurocode 8'de de yüksek sünekliliğe sahip yapılar için 1.15 ile 1.35 arasında tayin edilmiştir.

Yine İMO AR-GE Laboratuvarı tarafından test edilen numuneler kopma uzaması oranı açısından da değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmenin sonuçları **Şekil 9**'da görülebilir. Ortalama olarak numunelerin % 18 oranında uzama oranına sahip oldukları görülmektedir. Dağılımdan elde edilen karakteristik uzama oranı ise %11 civarındadır ki bu da TS-708 ve deprem yönetmeliklerinde verilen karakteristik kopma uzamasından bir miktar daha fazladır ve güvenli taraftadır denilebilir. Kopma dayanımı gama dağılımını izlemektedir ve Kikare testini sağlamamaktadır.

### 6. Korozyon Problemine İlişkin Kısa Bir Değerlendirme

Donatının üretimi, test ve kontrol edilmesi veya yerinde doğru olarak kullanımı da esasen donatıdan tam olarak beklenen performansın alınabileceği anlamına gelmez. Donatının, yapının ekonomik ömrü içerisinde, kendinden beklenen vazifeyi, kendinden beklenen anda, örneğin binanın yapımından yıllar sonra karşılaşılabilecek bir deprem anında, tam



anlamıyla yerine getirebilmesi için su ve nemden azami ölçüde korunması gerekmektedir. Ancak ülkemizde, özellikle konut tipi yapılarda, dahili ve harici sebepler neticesinde buna çok dikkat edilmemekte, yapının özellikle yatay yükler altındaki davranışı düşünüldüğünde hayati rolleri olan donatıların korozyona maruz kalarak kesit kaybına uğraması ve/veya beton ile bağını kaybetmesine sebebiyet verilmektedir.

İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi'ne bağlı Beton AR-GE Laboratuvarı'nın son yıllarda yaptığı yerinde tespitler neticesinde, korozyon hasarının nedenlerini dahili ve harici nedenler olmak üzere ikiye ayırmıştır. Dahili nedenler, ortamda nem ve su olmasa bile, betonarme elemanın korozyon hasarına maruz kalmasına sebebiyet verici, elemanın kendi ve malzemesi ile alaklı sebeplerdir. Harici sebepler ise, betonarme elemanlarda korozyon hasarına neden olabilecek çevresel etkililerdir. Ancak bu etkilerin var oluşu, kesinlikle korozyon olacağı anlamına gelmez elbette. Ancak harici ve dahili nedenlerin aynı anda var olması korozyonu doğurabilir.

Korozyona sebebiyet veren dahili nedenlerden bazıları kısaca;

- Betonda geçirimsizliğin sağlanamaması,
- Yapıda su izolasyonunun ya hiç olmaması veya zayıf olması,
- Toprağa gömülü bodrum katlarda direnç sisteminin eksik veya yetersiz olması, olarak sıralanabilir.

Harici sebeplerin en çok bilinenleri ise;

- Kuzeye bakan cephe elemanlarının varlığı,
- Yüksek yer altı su seviyesi,
- Temel civarındaki rögarlar,
- Yalıtımı eksik veya az olan teras katları, şeklinde tespit edilmiştir.

Korozyonun donatı kaybının yanı sıra, donatı ile beton arasındaki aderansı da azalttığı veya yok ettiği bilinmektedir. Bu durum, özellikle mevcut yapıların değerlendirilmesinde hayati öneme sahiptir. Korozyon hasarının yapı üzerindeki etkilerini dikate almak amacı ile, DBYBHY 2007'de de korozyon hasarı olan elemanların planda işaretlenmesi ve korozyonun bu elemanların eleman kapasite hesaplarında dikkate alınması gerektiği belirtilmekle birlikte, bunun nasıl yapılacağına dair detaylı bir açıklamaya gidilmemektedir. Donatı korozyonunun yapı elemanlarının davranışlarına ne gibi yapısal etkileri olduğu, halen süregelen bir araştırma konusudur.

## 7. Sonuçlar ve Değerlendirmeler

Akma sınırı, çekme mukavemeti, pekleşme oranı ve kopma uzaması oranı değerlendirmelerinden sonra varılan sonuç, IIIa çeliklerinin 1998 deprem yönetmeliği göz önüne alındığında tüm numunelerin % 60'ının, 2007 deprem yönetmeliği göz önüne alındığında da %33'ünün istenilen şartlardan biri veya birkaçını birden sağlamadığıdır. İstatistiksel kabuller düşünüldüğünde bu oranın % 5'lere indirilmesi gerekmektedir. Özellikle IIIa çelikleri göz önüne alındığında son 30 yılda üretim kalitesinin birkaç kat arttığı söylenebilir. Ayrıca, daha kötü üretimin süneklilik düzeyi düşük binalara yönlendirilmesinin bir yolu (Eurocode 8'de olduğu gibi) bulunabilirse betonarme çeliği üretimi çok daha verimli kullanılmış olacaktır.

IIIa çeliklerinin kullanımı Türkiye'de 70'li yılların ortalarında başlamış ve 2000'li yıllarda had safhaya ulaşarak Ia çeliklerinin kullanım ve üretimini büyük ölçüde durdurmuştur. Karşılaştırmalı veriler neticesinde, Türkiye'deki mevcut betonarme yapıların yaklaşık % 55'inde Ia tipi düz yüzeyli çelik betonarme çubukların kullanılmış olduğu yazarlar tarafından tahmin edilmektedir.

## 8. Referanslar

- [1] "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1998, Ankara.
- [2] "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007, Ankara.
- [3] ACI 318R-05, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary", Amerikan Beton Enstitüsü, 2005.
- [4] Eurocode 8, Bölüm 1, "General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings", Avrupa Standartları, 2005.
- [5] Eurocode 2, "Design of Concrete Structures", Avrupa Standartları, 2004.
- [6] TS 708, "Beton Çelik Çubuklar", Türk Standartları Enstitüsü, Necatibey Caddesi, 112, Bakanlıklar, Ankara, Mart 1996.
- [7] Akyüz S., Uyan M., "Türkiye'de Kullanılan Beton Çelik Çubuklar Üzerine Bir İnceleme", Teknik Dergi, İnşaat Mühendisleri Odası Yayınları, 1992; 35: 497-508.
- [8] Akyüz S., Uyan M., ve Yıldırım H., "Türkiye'de Kullanılan Beton Çelik Çubuklar Üzerine Bir İnceleme", Hazır Beton Dergisi, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, 1999; 35:93-100.
- [9] Özkul, M. H., "Çelik Donatıların Deprem Yönetmeliği Açısından İncelenmesi", TMH Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı: 426 - 2003/4 (<http://e-imo.imo.org.tr/DosyaDizin/WPX/Portal/Yayin/tmh/2003/426-HOzkul-Celik.zip>)
- [10] Ilgaz A. Yapısal Çelik Üretiminde Son Teknolojik Gelişmeler, 1nci Demir Çelik Sempozyumu Bildirileri, Ankara, 1999.
- [11] Subaşı S., Çullu M., "Demir Cevheri ve Hurdadan Üretilen Beton Çelik Çubukların Yeterliliklerinin Araştırılması", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2005, Ankara.
- [12] NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods, <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/> En son erişim: 11 Ekim 2005.
- [13] DPLOT Manual, Yu. Belokopytov, CERN, CH-1211 Geneva 23, Switzerland, and Institute for High Energy Physics, Protvino, Russian Federation, En son erişim: 12 Ekim 2005. <http://delphiwww.cern.ch/~belokop/dplot/node1.html>