

## BETONARME DONATI ÇELİĞİNDEKİ YENİLİKLER

Mehmet Canbaz<sup>a</sup>, Hakan Erol<sup>a</sup> ve Ahmet Topçu<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye  
mcanbaz@ogu.edu.tr, herol@ogu.edu.tr, atopcu@ogu.edu.tr

### Özet

Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelikteki değişiklikler ve 1999 depremleri sonrasında betonarme donatı çeliğine daha fazla önem verilmiş, yapılarda kullanılan donatı miktarı artmış, düz donatı kullanımı yasaklanmış, donatı standart kontrolleri daha düzenli yapılmaya başlanmıştır. Donatı çeliğine ait standartta 2010 yılında yapılan değişiklikle donatı adlandırması ve sınıflandırmaları değiştirilmiş, nervür şekli farklı yeni tip donatılar üretilmiştir. Ayrıca donatıların kontrol yöntem ve değerlendirilmelerinde de değişiklikler olmuştur. Bu çalışmada eski beton çelik çubuklar standardı ile yeni adı ile "Betonarme için donatı çeliği" standartları karşılaştırılarak uygulamaya yönelik değişiklikler ve yenilikler değerlendirilmiştir. Mevcut kullanılan donatı çeliklerinin yeni standarda uyumları irdelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda uygulamada kullanılan bazı donatı çeliklerinin dayanım ve süneklik açısından yeni standarda uymadığı görülmüştür. Bazı donatı çeliklerinin plastik şekil değiştirme yapmadan kırıldığı gözlenmiştir. Bu bağlamda yeni tip donatı çeliklerini tanıyarak bilinçli donatı çeliği tercihi yapılmalıdır. Yapı emniyeti açısından kullanılmadan önce donatı çeliğinden alınacak numuneler üzerinde yapılacak deneylerle standartlara uygunluk daha sık kontrol edilmelidir. Standartlara uygun olmayan donatı çelikleri yapıda kullanılmamalıdır.

**Anahtar kelimeler:** Donatı çeliği, betonarme, mekanik özellikler, fiziksel özellikler, TS 708.

## INNOVATIONS OF REINFORCED CONCRETE STEEL BAR

### Abstract

After the Construction in Seismic Zones Regulation changes and earthquakes in 1999, more attention is given to the reinforced concrete steel bar, banned the use of plain steel bars, steel bars properties controls began to be more regular. TS 708 codes were renovated in 2010, different new types, rib shape, mechanical properties of steel bars were defined. Control methods and evaluation of steel bars have also been changed. In this study, steel bar used in construction were investigated in compliance with new standards. At the end of the experimental studies, strength and ductility of steel bars were not conformed to the new standard. Some steel bars yield strengths were extreme deviations, were fractured without plastic deformation. In this context, conscious choices were made by allowing new types of steel bar. Structure of the safety, compliance with codes should be checked frequently with experimental study on steel bars before using in construction. Steel bars which were non-compliance with codes should not used in structures.

**Keywords:** Steel bar, reinforced concrete, mechanical properties, physical properties, Turkish Code 708. onatı çeliği, betonarme, mekanik özellikler, fiziksel özellikler, TS 708.

### 1. Giriş

Demir çelik üretimi yönünden Türkiye dünyada ilk ona girmesine rağmen TS 500, TS 708, afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmeliği gibi çeşitli standartlarda [1-4] belirtilen ölçüde kaliteli betonarme donatı çeliği üretiminde son yıllarda iyileşmeler olsa bile yeterli düzeye ulaşamamıştır. Düşük oranda kalsa da bu çelik çubuklar halen yapılarda kullanılmaktadır. Betonarme donatı çubukların kalitesinin belirlenmesine yönelik olarak yapılan çalışmalarının oldukça az olduğu görülmüştür. Bu araştırmalar incelendiğinde, çeşitli çap ve özelliklerde üretilen çelik çubuklardan 1978-1988 yılları arasında alınan numuneleri üzerinde yapılan deneylerin istatistiksel olarak irdelendiği 1992 yılında yapılan çalışmada TS 708'e göre düz yüzeyli çubukların büyük bir oranda akma ve çekme dayanımını sağladığı, nervürlü çubukların ise % 53 gibi bir oranda akma dayanımını sağlayamadığı belirtilmiştir. Çap arttıkça akma dayanımına uygun olma olasılığının azaldığı belirtilmiştir. Düz yüzeyli numunelerin nervürlü çubuklara göre kopma uzama oranını yeterince sağlayamadığı, düz yüzeyli çubukların üretiminde yeterli sünekliğin verilemediği belirtilmiştir [5]. Betonarme çelik çubuklardan 1978-1988 yılları arasında alınan numuneler üzerinde yapılan diğer bir çalışmada ise uygun olmayan akma dayanım sınırı % 53'ten % 30 düşüğü belirtilmiştir [6]. Beton çelik çubukları üzerinde 1999 yılında Eskişehir'de yapılan bir çalışmada TS 708'e göre çubukların kopma uzama oranları sağladığı, akma dayanımları büyük oranda sağlamadığı belirtilmiştir [7]. Betonarme donatı çeliği açısından "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik" in irdelendiği bir çalışmada 2000 yılında alınan çeşitli çaplardaki numunelerin yarısından fazlasının yönetmeliğe uygun olmadığı, üretim aşamasında gerekli değişikliklerin yapılarak yönetmeliğe uygun hale getirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Genel olarak çeliğin sünekliği ile akma dayanımının ters orantılı olması nedeni ile daha sünek donatıların kullanılması

açısından donatı çeliklerinin S420 ile sınırlandırılması olumlu karşılanmıştır. Çeliğin akma sınırının hesaplarda kullanılan değerin oldukça üstünde olması durumunda, çelik akmadan beton ezilebileceğinden, bu durumda ani ve gevrek göçmelerin oluşmasına yol açabileceğinden akma dayanımına % 30 gibi bir üst sınır getirilmesi yerinde bir önlem olduğu belirtilmiştir. Deneysel olarak bulunan ortalama çekme dayanımı, yine deneysel olarak bulunan ortalama akma dayanımının 1,25 katından az olmaması gerektiği koşulunun, genel olarak sağlanmadığı belirtilmiştir [8]. Eskişehir bölgesindeki inşaatlardan 2003 yılı içinde alınan çelik çubuk numuneleri üzerinde yapılan çekme deneyi sonuçlarının istatistiksel olarak araştırıldığı bir çalışmada, daha önceki yıllarda üretilenlere kıyasla akma sınırlarında ve çekme dayanımlarında iyileşmeler olduğu belirtilmiştir [9]. Demir cevheri ve hurda demirden üretilen beton çelik çubuklarının yeterliliklerinin araştırıldığı bir çalışmada, farklı çapta numuneler üzerinde yapılan deneylerde, hurda demirden üretilen beton çelik çubukların çekme dayanımlarının %15 daha düşük, akma dayanımlarının % 10 daha fazla, kopma uzama değerlerinin % 7 daha düşük olduğu belirtilmiştir. Hurda demirden üretilen beton çelik çubukların cevherden üretilenlere göre daha az sünek davrandığı belirtilmiştir. Hurda demirden elde edilen beton çelik çubukların, aderansının zayıf olduğu ve kırışlarda kullanıldığında düşük süneklik ile gevrek bir kırılma meydana getirdiği belirtilmiştir. Hurda demirden üretilen beton çeliklerinin afet bölgelerinde yapılacak olan yapılarda kullanılmasının uygun olmadığı vurgulanmıştır [10]. Çelikte oluşan gerilme kadar önemli olan şekil değiştirme arasında ilişkileri belirlemede çok çeşitli bağıntılar kullanılmakla beraber günümüzde bulanık yaklaşımlarda geliştirilmektedir [11]. Ayrıca betonarme açısından çeliğin kalitesine ve dayanıklılığına bağlı olarak beton donatı aderansına yönelik çalışmalarda artmıştır [12]. Düzce ilinde 1999 yılı depremlerinde yıkılan betonarme binalarda kullanılan çelik çubuklardan alınan numuneler üzerinde yapılan çalışmada farklı çaplarda özellikle 8 mm çaplı numunelerde yoğunlukların TS 708'e göre % 25'e ulaşan oranlarda daha düşük olduğu belirtilmiştir. TS 708'de 220 MPa olarak belirtilen en az akma dayanım sınırı % 30'a ulaşan oranlarda sağlanmadığı, 340 MPa olarak belirtilen en az çekme dayanım sınırının ise % 10'a ulaşan oranlarda sağlanmadığı belirtilmiştir. Yerinde yapılan incelemelerde beton içine gömülü çelik çubukların bazılarının korozyona uğradıkları belirtilmiştir. Nervürlü donatı kullanımının % 10'u geçmediği vurgulanmıştır. Çelikler yerlerinden çıkarılırken pas paylarının yetersiz olduğu, etriye aralıklarının ise gelişi güzel ve gerekenden çok daha fazla olduğu, sıklaştırmanın yapılmadığı, kenetlenme boylarının yeterince bırakılmadığı belirlenmiştir. Bodrum katlarda bulunan taşıyıcı kolonlarda kayma kuvvetinin etkisiyle donatıların tek taraflı olarak betonu patlatıp "U" şeklinde dışa doğru çıktığı belirtilmiştir [13].

Özellikle büyük bir bölümü deprem etkisinde olan ülkemizde standarda uygun olmayan kalitesiz çeliklerin kullanımı tehlikeli bir durum oluşturmaktadır. Daha kaliteli betonarme donatı çeliği üretimi için TS 708 standardı yenilenmiştir. Bu çalışmada TS 708 standardında yapılan değişiklikler irdelenmiş ve mevcut çeliklerin bu standarda uygunluğu araştırılmıştır.

## 2. TS 708 (2010) ve Getirdiği Yenilikler

Çizelge 1. Betonarme donatı çeliklerinin kimyasal bileşim üst sınır yüzdeleri.

Sembol	C	S	P	N	Cu	Karbon eş değeri
S220	0.25	0.05	0.05	-	-	-
S420	0.45	0.05	0.05	-	-	-
B420-B500	0.22	0.05	0.05	0.012	0.80	0.50
Sapma	0.02	0.005	0.005	0.002	0.05	0.02

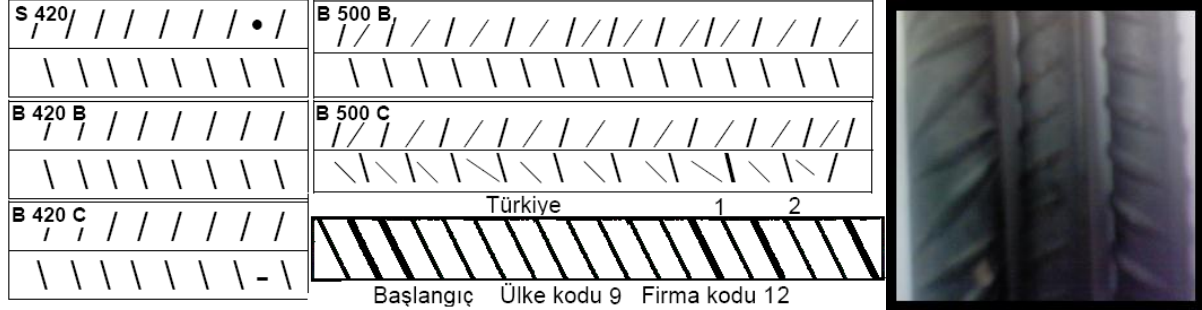
TS 708-1996 Eylül 2010 yılında iptal edilmiş, yeni TS 708-2010 yürürlüğe girmiştir. Yeni standardın tanımladığı çeliklerin üretimi için çelik üreticilerine 30 Eylül 2011 gününe kadar geçiş süresi verilmiştir. Yeni standartta çelik sınıfları değiştirilerek yeni çelik sınıfları tanımlanmıştır. Ia ve IIIa sınıfları kaldırılarak S220 ve S420, IVa kaldırılarak B 420 ve B 500 çelik çubuk sınıfları oluşturulmuştur. Yeni betonarme çelik çubukları için kimyasal özellikler Çizelge 1'de verilmiştir. Kimyasal bileşim olarak bakırında dikkate alındığı görülmüştür [2].

Çizelge 2. Betonarme donatı çeliklerinin mekanik özellikleri.

Sınıf	S220 düz	S420 nervürlü	B420B nervürlü	B420C nervürlü	B500B nervürlü	B500C nervürlü	B500A profilli	
Akma dayanımı, MPa	≥220	≥420	≥420	≥420	≥500	≥500	≥500	
Çekme dayanımı, MPa	≥340	≥500	-	-	-	-	≥550	
Çekme/akma dayanım oranı	≥1.2	≥1.15	≥1.08	1.35>	≥1.15	≥1.08	1.35>	≥1.15
Deneysel akma/karakteristik akma	-	1.3≥	-	1.3≥	-	1.3≥	-	
Kopma birim uzaması, %	18	10	12	12	12	12	5	
En büyük yükte toplam uzama, %	-	-	≥5	≥7.5	≥5	≥7.5	≥2.5	

Yeni standarda göre betonarme donatı çeliklerinin mekanik özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde yeni çubuk sınıflarının bazılarında çekme dayanımı için alt sınır kaldırılmıştır. Bu çeliklerde çekme-akma dayanımı oranı olarak alt sınır verilmiştir. B 420C ve B 500C sınıfı çelik çubuklar için çekme-akma dayanım oranına üst sınır getirilmiştir. Deneysel akma dayanımı, hesaplarda kullanılan akma dayanımının S 420, B 420C

ve B 500C çelikleri için % 30'undan fazla olması istenmemektedir. Kopma birim uzamalarında donatı çap artışının etkisi dikkate alınmamış, küçük çaplı numuneler için istenen kopma birim uzama yüzdeleri geliştirilmiştir. Kopma birim uzamasının belirlenmesinde kullanılan ölçü boyu olarak uzun çubuk sisteminden (10 d<sub>0</sub>) vazgeçilmiş ve kısa çubuk sistemine (5 d<sub>0</sub>) geçilmiştir. Ayrıca yeni standartta en büyük yükte toplam birim uzama yüzdesi için alt sınır getirilmiştir [2].



Şekil 1. Betonarme donatı çeliklerinin yüzey geometrisi.

Yeni standarda göre betonarme donatı çeliklerinin yüzey geometrilerine göre S 220 düz yuvarlak çelik, S 420, B 420B ve B 420C alt ve üst yüzeylerde tek sıra enine nervürlü, B 500B alt yüzeyde tek sıra enine nervür, üst yüzeyde çift açılı enine nervür şeklinde ve B 500C her iki yüzeyde çift açılı enine nervür şeklinde ayrılmıştır. Ayrıca çelik çubuklar üzerinde yapılan kodlama sayesinde herhangi bir betonarme donatı çubuğunun hangi ülkeden ve hangi firmadan temin edildiği rahatlıkla belirlenmesi sağlanmıştır. Yüzey geometrisine göre yapılan sınıflandırma ve kodlama Şekil 1'de gösterilmiştir [2].

Uygunluk değerlendirmesi standart kapsamına yeni alınmıştır. Bu başlık altında fabrika üretim kontrolünün nasıl yapılacağı, başlangıç tip deneyleri, fabrika imalat kontrolünün sürekli gözetimi ve denetiminin nasıl olacağı, uzun vadeli kalite seviyesi belirlenmiştir. Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde karakteristik C<sub>v</sub> değeri hesaplaması standarda yeni ilave edilen diğer bir uygulama olmuştur. Yorulma, betonarme çelik çubukların önemli bir teknolojik özelliğidir. Uygunluk değerlendirilmesi kapsamında yolculu deneyinin de yapılması gerektiği vurgulanmıştır [2].

### 3. Deneysel Çalışma

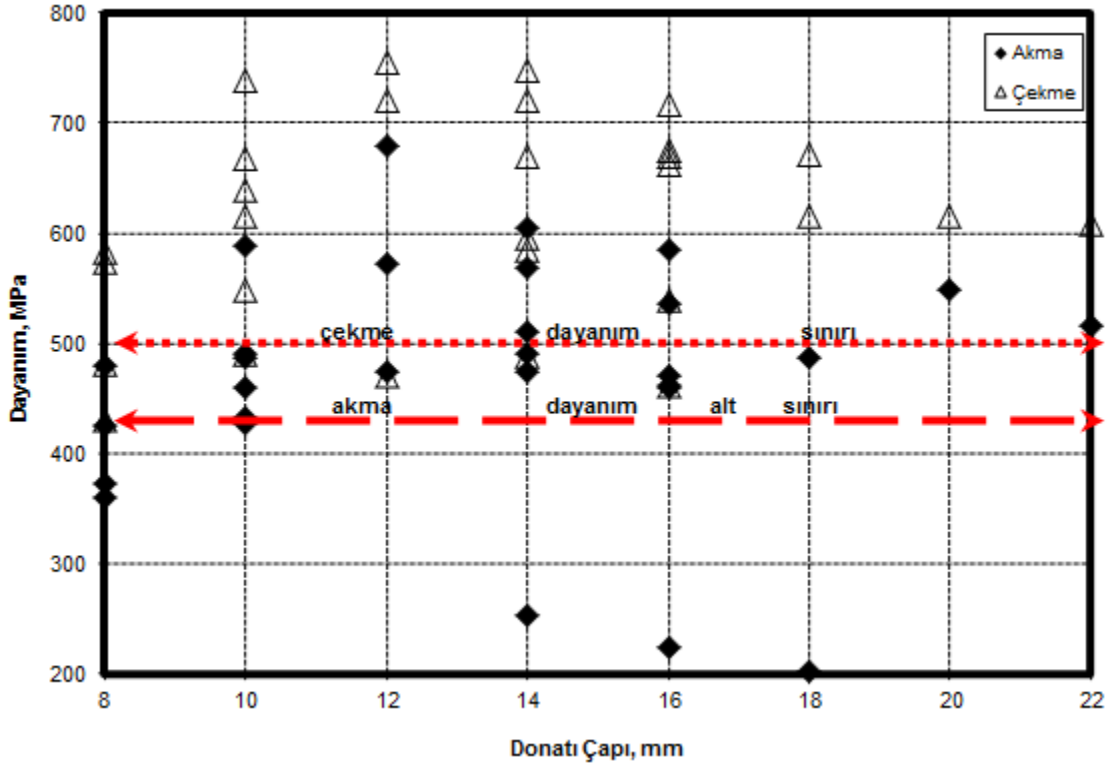
Bu çalışmada Eskişehir'de kullanılan S420(IIIa) nervürlü betonarme donatı çeliğinden numuneler alınmıştır. Farklı zamanlarda 4 farklı şantiyeden 8 mm çaplı, 6 farklı şantiyeden 10 mm çaplı, 3 farklı şantiyeden 12 mm çaplı, 5 farklı şantiyeden 14 mm çaplı, 6 farklı şantiyeden 16 mm çaplı, 2 farklı şantiyeden 18 mm çaplı, bir şantiyeden 20 mm çaplı ve diğer bir şantiyeden 22 mm çaplı çelik çubuklar alınmıştır. Her bir çelik çubuktan en az üç numune alınarak çekme deneyi yapılmış, elde edilen akma dayanımları, çekme dayanımları, elastisite modülü ve kopma uzamalarının ortalaması alınmıştır. Bu ortalamalar tek değer olarak dikkate alınarak çapa bağlı olarak, dayanım, elastisite modülü, kopma uzaması dayanım oranı grafikleri çizilerek irdelenmiştir. TS 708 standardına uygunluğu araştırılmıştır.

### 4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

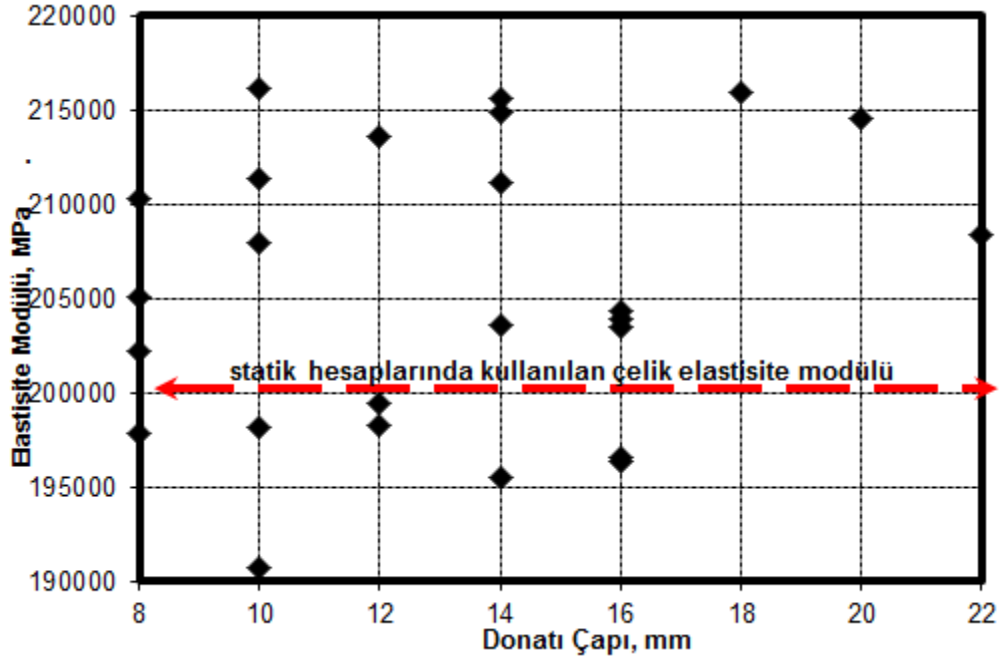
Alınan çelik çubuk numuneleri üzerinde yapılan çekme deneyi sonunda hesaplanan çekme ve akma dayanımları donatı çapına bağlı olarak Şekil 2'de gösterilmiştir. TS 708 standardına göre deneyde kullandığımız çelik çubuk numunelerinin akma dayanımları en az 420 MPa, çekme dayanımları ise en az 500 MPa olmalıdır. Akma sınır koşulunu numunelerin % 18'i sağlamazken, çekme sınır koşulunu % 7'si sağlamamıştır. Akma sınır koşulunu sağlamayan numunelerin betonarme donatı çeliği olarak sıkça kullanılan 8, 14, 16, 18 mm çaplı numunelerdir. 8 ve 16 mm çaplı numuneler çekme dayanım sınırını da sağlayamamıştır. Sürekli üretimi yapılan bu donatı çeliklerinde yeterli kalitenin sürekli devam ettirilememesi nedeni ile üreticilerin bu konuda ciddi çalışmalar yapmasını gerektirmektedir. TS 708 standardının yeni sürümünde uygunluk değerlendirilmesi kısmında imalat kontrolü için getirilen şartların istenilen kaliteyi sağlamak ve sürdürülebilmek adına olumlu katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Şekil 2 incelendiğinde akma dayanımlarının 12-18 mm çaplar arasında daha fazla saçıldığı, büyük bir kısmının akma dayanımlarının çekme dayanım sınırını geçtiği görülmektedir. Yetersiz dayanımlar yapının taşıma gücünü olumsuz yönde etkileyeceği gibi, gereğinden fazla akma dayanımları ise yapının istenilen sünek davranışını olumsuz yönde etkileyerek ani ve gevrek kırılma ile taşıma gücünün aşılması gibi istenilmeyen durumların yaşanmasına yol açacaktır.

Çelik çubuk numunelerinin çekme deneyi sonuçlarına göre hesaplanan elastik davranış kısmındaki sabiti olan elastisite modülleri donatı çapına bağlı olarak Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde elastisite modüllerinin en fazla saçılması 10 mm çaplı numunelerde görülürken, 16 mm çaplı numunelerde bu saçılma azalmıştır.

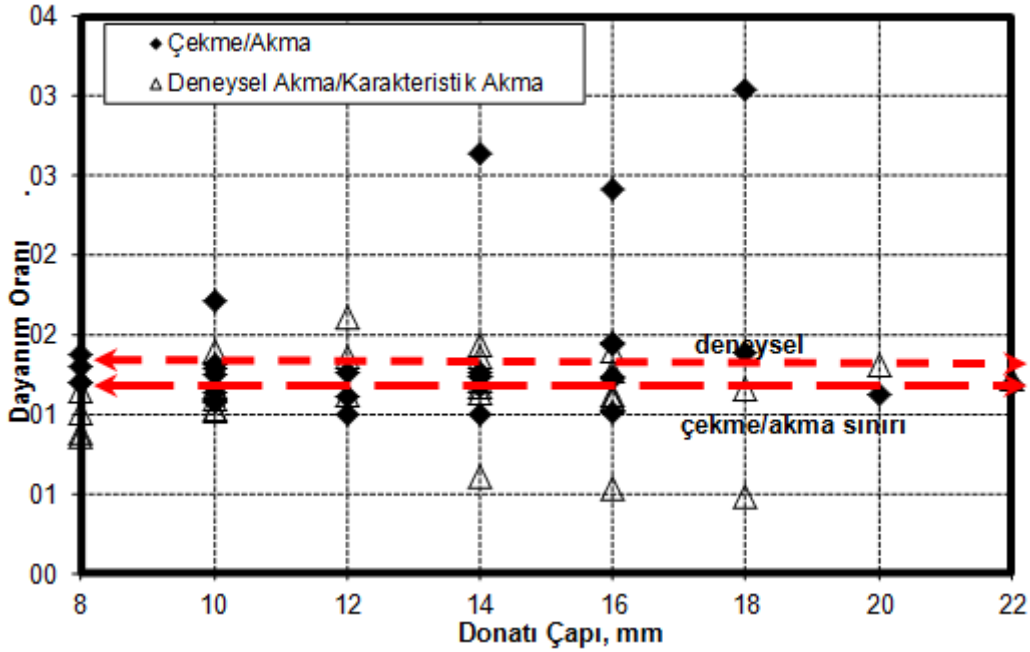
Deneyel sonuçlar değerlendirildiğinde çelik çubuk çaplarına göre elastisite modülünün 200000 MPa sınırında ki sapma miktarı % 10'a ulaşmıştır. Genel olarak betonarme statik hesaplarında donatı çeliğinin elastisite modülü olarak TS 500 standardında da belirtilen 200000 MPa kullanılmaktadır. Bu yaklaşımla donatı çeliğinin elastisite modülünün çelik dayanım sınıfından, çelik çubuk çapından, kimyasal bileşiminden, üretim şekline etkilenmediği varsayılmaktadır. Genel olarak betonarme yapılarda donatı çelikleri akma sınırının altında çalıştırıldığından donatı çeliğinin elastisite modülü, kalitesinin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Elastisite modülünün artması elastik bölgede şekil değiştirme kabiliyetinin azaldığını, dayanımların arttığının bir göstergesi olurken, azalması da süneklik açısından önemli olan şekil değiştirme yeteneğinin arttığını fakat taşıma gücü açısından önemli olan dayanımın azaldığını göstermektedir. Sabit bir değer alınmak yerine elastisite modülü değişiminin daha fazla irdelenmesi betonarme donatı çeliğinin davranışının daha gerçekçi belirlenmesi ve istenilen yönde iyileştirilmesine olanak sağlayacaktır.



Şekil 2. Betonarme donatı çeliklerinin çapa bağlı olarak dayanımları.



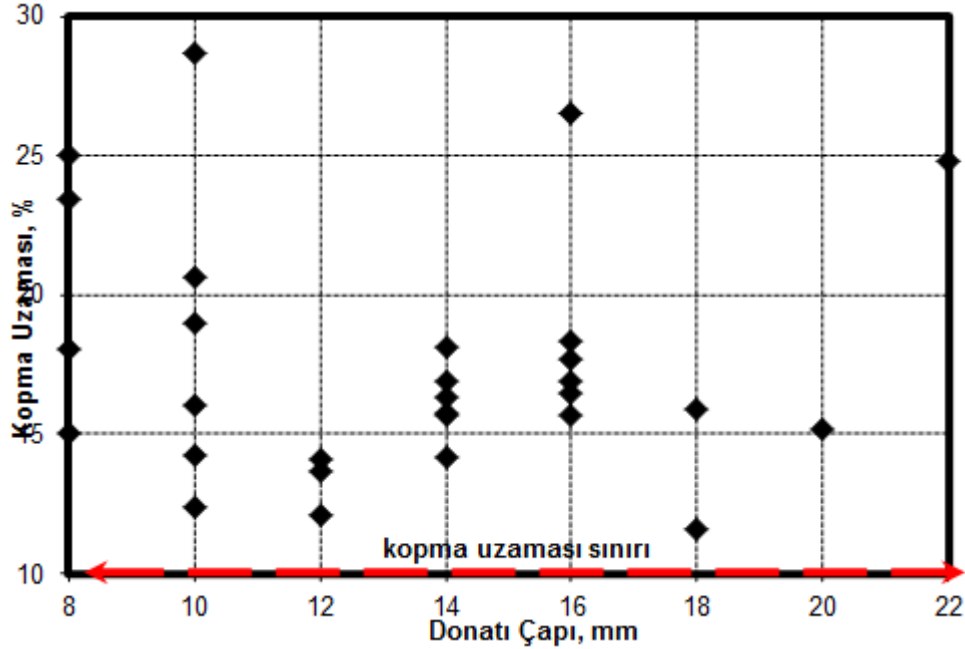
Şekil 3. Betonarme donatı çeliklerinin çapa bağlı olarak elastisite modülleri.



Şekil 4. Betonarme donatı çeliklerinin çapa bağlı olarak dayanım oranları.

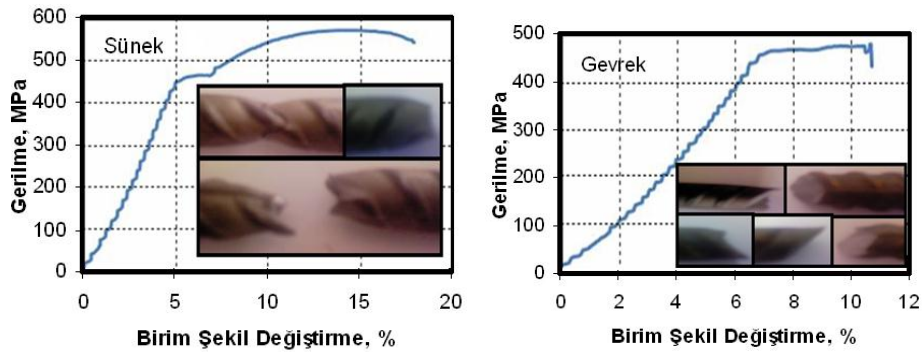
Farklı çaplara göre çelik çubukların deneysel çekme, deneysel akma dayanımı oranları ile deneysel akma dayanımının karakteristik akma dayanımına oranları Şekil 4'de gösterilmiştir. TS 708 standardına göre deneysel olarak bulunan akma dayanımı ile çekme dayanımı arasındaki oranın en az 1,15 olması istenmektedir. Yani çelik çubukların çekme dayanımı, akma dayanımından en az % 15 daha fazla olmalıdır. Deneysel olarak bulunan akma dayanımı karakteristik akma dayanımına eşit ve fazla olabilir. Fakat bu fazlalık % 30'u geçmemelidir. Şekil 4 incelendiğinde çelik çubukların % 25'inin deneysel çekme-deneysel akma dayanım oranı şartını sağlayamadığı görülmüştür. Betonarme yapılarda gelen yükler etkisinde donatı çeliği akma dayanımı sınırını aşsa da çekme dayanımına kadar artan yükleri güvenle taşıyabilmekte ve plastik (kalıcı) şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Çekme dayanımından sonra çelik çubuk üzerinde boyun verme meydana gelerek çapın incelendiği kesitte kopma gerçekleşmektedir. Çekme dayanımının akma dayanımına yakın olması, çeliğin daha az plastik şekil değiştirme ile kısa sürede çekme dayanımına ulaşması ve sonrasında kopmasına yol açmaktadır. Bu durum deprem gibi farklı kuvvetlerin etkilediği ülkemizde betonarme yapılar için dikkate alınmalıdır. Deneysel akma dayanımı ile karakteristik akma dayanımı arasındaki oran incelenecek olursa, çelik çubuk numunelerinin yaklaşık % 25'inin

standartta belirtilen % 30 oranını aştığı görülmüştür. Betonarme yapılarda özellikle kiriş gibi taşıyıcı elemanlarda denge altı donatı miktarı kullanılarak donatı çeliklerinin akması istenir. Böylece yapı üzerine gelen zorlamalar donatının akması, betonda çatlaklar oluşarak yapının daha sünek davranmasına yol açar. Akma dayanımının karakteristik akma dayanımından çok fazla olması durumunda, donatı çeliğinde akma oluşmadan betonun basınç etkisinde ezilmesi ve gevrek bir davranışla ani olarak taşıma gücünü kaybetmesine yol açacaktır. Bu istenmeyen bir durumdur. Bu açıdan yeni standartta akma dayanımı için bir üst sınır getirilmesi güvenlik açısından önemli ve olumlu bir adımdır.



Şekil 5. Betonarme donatı çeliklerinin çapa bağlı olarak kopma birim uzamaları.

Donatı çapına bağlı olarak çelik çubuk numunelerinin çekme deneyi sonunda hesaplanan kopma birim uzamaları Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde çelik çubuk numunelerinin kopma birim uzama oranları standartta belirtilen % 10 sınırının üzerinde olduğu görülmüştür. En fazla kopma birim uzama oranları 8, 10, 16, 22 mm çaplı numunelerde görülürken, en az kopma birim uzama oranları 12 mm çaplı numunelerde görülmüştür. Kopma birim uzamalarında en fazla saçılma 10 mm çaplı numunelerde görülmüştür. Şekil 6'da çelik çubukların gerilme şekil değiştirme diyagramları verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde donatı çeliği numunelerinin elastik şekil değiştirme sonunda plastik şekil değiştirme yapmadan gevrek olarak kırıldığı akma dayanımlarının çekme dayanımlarına çok yakın olduğu görülmüştür. Bu numunelerde çekme dayanımına ulaştıktan sonra görülen boyun verme oluşmamakta numune gevrek olarak kırılmaktadır. Bu davranış betonarme yapılarda donatı çeliğinin plastik şekil değiştirme yeteneğinden faydalanılarak yapılan çeşitli açılardaki eğme hareketlerine izin vermemesinden dolayı etriyelerin, donatı ucunda kancaların yapılamamasına veya yapılsa bile bu kısımlarda mikro çatlak oluşumlarına yol açmasına neden olur. Bu durum, yeterli kenetlenmenin sağlanamamasından dolayı beton ve donatının birlikte çalışamamasına neden olur.



Şekil 6. Betonarme donatı çeliklerinin gerilme-şekil değiştirme davranışları.

## 5. Sonuç ve Öneriler

Yapılan çalışmada şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Betonarme çelik çubuk numunelerinin % 18'i akma alt sınırı koşulunu sağlamamıştır. Akma sınırı koşulunu sağlamayan numunelerin betonarme yapıların inşasında sıkça tercih edilen çaptaki numuneler olması dikkat çekicidir.
- Çelik çubuk numunelerinin % 7'si çekme dayanımı alt sınır koşulunu sağlayamamıştır.
- Çelik çubuk numunelerinin çekme deneyinden elde edilen elastisite modülleri 190-220 GPa arasında değiştiği görülmüştür.
- Çelik çubuk numunelerinin % 25'i deneysel olarak bulunan çekme-akma dayanım alt sınır koşulunu sağlayamadıkları görülmüştür. Aynı şekilde numunelerin % 25'i deneysel akma-karakteristik akma dayanım üst sınır koşulunu sağlayamamışlardır.
- Farklı çaplardaki çelik çubuk numunelerinin hepsi kopma birim uzama oranı alt sınırını sağlamışlardır.
- Çekme deneyi sonunda bazı çelik çubuk numunelerinin boyun vermeden ani bir şekilde gevrek olarak kırıldığı görülmüştür. Bu tür çeliklerin yapılarda kullanılmaması önerilir. Kullanılması durumunda donatı çeliğinin eğilmesi, bükülmesi, açılmal şekiller verilmesi mümkün olmamakla beraber, bu tür kalıcı şekil değiştirmeye uğratılma bile oluşacak çatlaklar donatının davranışını olumsuz etkileyecektir.

Betonarme donatı çeliği özelliklerinde iyileşmeler olsa dahi halen günümüz teknolojisi ve olanakları ile istenilen kalite sürekli olarak sağlanamamaktadır. Yeni TS 708 standardı ile getirilen koşullarla kalitenin artırılması ve sürekliliği konusunda olumlu gelişmeler sağlanabilecektir. Ancak betonarmede kullanılan tüm donatı çeşitlerini kapsamaması, çelik çubukların yorulma, korozyon gibi dayanıklılık problemlerine karşı halen çözüm getirememesi en büyük eksikliğidir. Elastisite modülü değişimi, akma dayanımı altında, gerilmeden daha etkili kavram olduğu düşünülmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar yetersiz olmakla beraber geliştirilmesi gereken bir konu olduğu düşünülmektedir.

## Kaynaklar

- [1] TS 708, Beton çelik çubukları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara Mart 1996.
- [2] TS 708, Çelik - betonarme için - donatı çeliği, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2010.
- [3] TS 500, Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [4] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık Bakanlığı, Ankara, 1997.
- [5] Akyüz, S. ve Uyan, M., Türkiye'de kullanılan beton çelik çubuklar üzerine bir inceleme, İMO Teknik Dergi, ss.497-508, Nisan 1992.
- [6] Akyüz, S, Uyan, M. ve Yıldırım, H., Türkiye'de kullanılan çelik çubuklar üzerine istatistik bir değerlendirme, Hazır Beton Dergisi, Yıl. 6, Sayı. 35, ss. 93-100, Eylül-Ekim 1999.
- [7] Topçu, İ.B. ve Canbaz, M., Yapı çeliklerinde çekme deneyi, İnşaat Mühendisliği Sempozyumu, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, ss. 360-363, 1999.
- [8] Özkul, M.H., Çelik donatıların deprem yönetmeliği açısından incelenmesi, Türkiye Mühendislik Haberleri, Yıl. 48/2003-4, Sayı. 426, ss. 52-55, 2003.
- [9] Topçu İ.B., Akpınar A.F. ve Karakurt C., Eskişehir'de kullanılan yapı çeliklerinin istatistiksel olarak incelenmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi, Cilt 19, S.1, 1-10, 2006.
- [10] Subaşı S. ve Çullu M., Demir cevheri ve hurda demirden üretilen beton çelik çubukların yeterliliklerinin araştırılması, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 21, No 4, 621-629, 2006.
- [11] Demir F., Çeliğin gerilme şekil değiştirme davranışı için bir bulanık yaklaşımı, Deprem Sempozyumu Kocaeli 2005, ss. 1359-1361, 2005.
- [12] Söylev T.A., Çelik-beton arayüz kalitesinin incelenmesi, Beton 2004 Kongresi, İstanbul, ss. 67-77, 2004.
- [13] Özgan E. ve Kap T., Düzce ilinde 1999 yılı depremlerinde yıkılan betonarme binalarda kullanılan çelik çubukların çok yönlü analizi, Deprem Sempozyumu Kocaeli 2005, ss. 827-837, 2005.