

DEMİR CEVHERİ ve HURDA DEMİRDEN ÜRETİLEN BETON ÇELİK ÇUBUKLARIN YETERLİLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Serkan SUBAŞI ve Mustafa ÇULLU*

Yapı Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, subasi@gazi.edu.tr

*Polatlı Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Hacettepe Üniversitesi, Polatlı, Ankara, mcullu@hacettepe.edu.tr

(Geliş/Received: 06.07.2005; Kabul/Accepted: 27.12.2005)

ÖZET

Bu çalışmada, demir cevheri ve hurda demirden üretilen beton çelik çubukların çekme, akma mukavemetleri, kopma uzaması, kopma/akma mukavemeti değerleri bakımından yeterlilikleri araştırılmıştır. Bu amaçla Kardemir Karabük Demir Çelik fabrikasından Ø12, Ø14, Ø16, Ø18 ve Ø20 mm çaplarında nervürlü olarak demir cevherinden ve hurda demirden üretilen beton çelik çubukları temin edilmiştir. Deney numuneleri spektral analiz ve çekme mukavemeti deneyine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak; cevherden üretilen beton çelik çubukların çekme mukavemeti değerlerinin hurda demirden üretilen beton çelik çubuklara göre %15 daha yüksek olduğu, kopma/akma mukavemeti değerleri bakımından hurda demirden üretilen çelik çubukların afet bölgelerinde yapılacak olan yapılarda kullanılmasının uygun olmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Beton çelik çubuğu, hurda demir, çekme mukavemeti, akma mukavemeti.

INVESTIGATION OF ADEQUACY OF STEEL BARS, PRODUCED FROM IRON ORE AND SCRAPED STEEL, FOR CONCRETE

ABSTRACT

In this study; steel bar whose raw material is iron ore produced by an integrated iron-steel plant in our country and steel bar, whose raw material is scraped steel, produced in electrical arc furnace are compared with respect to tension and yield strength, elongation of rupture, rupture/yield strength and their adequacy were investigated. For this purpose; ribbed steel bars, having diameters of 12, 14, 16, 18, 20 mm, supplied from Kardemir Karabük iron-steel plant some of them produced from iron ore and the others produced from scraped steel in electrical arc furnace. As a result, tensile strength of rebar produced from iron ore is 15% higher than tensile strength of rebar produced from scraped steel. Because of rupture/yield strength values It will not be suitable to use rebar, produced from scraped steel, in the structure built in disaster area.

Keywords: Steel bar for concrete, scraped steel, tension strength, yield strength.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Betonarme, beton ile çeliğin uyumlu birlikteliği ile oluşturulan kompozit bir malzemedir. Bu malzemeyle oluşturulan betonarme taşıyıcı sistemde, yük etkisi altındaki taşıyıcı elemanlarda oluşan basınç gerilmeleri beton tarafından karşılanırken, çekme gerilmeleri beton içerisine yerleştirilen çelik çubuklar tarafından karşılanır. Beton içerisindeki çelik, çekme gerilmelerini taşıdığı gibi, taşıyıcı sistemde sünekliği sağlar. Bu katkısı ile tasarım yükleri üzerindeki yükler karşısında, ya da deprem yükü gibi beklenme-

yen ani yüklemelerde, yapının toptan göçmesini önler. Bu nitelikteki yüklemelerde, binaların göçmeden evvel büyük deformasyonlar gösterme kabiliyeti, çeliğin taşıyıcı sisteme kazandırdığı en önemli özelliktir [1].

Son yıllarda yurdumuzda meydana gelen depremler yapı malzemelerinin kalitesi konusunda hassasiyetler oluşturmuştur. Betonarme yapılardaki beton kalitesinin ne derece önemli olduğu yaşadığımız acı tecrübelerle gündeme gelmiştir. Ancak yapı dayanımında beton kadar büyük öneme sahip olan beton çeliklerinin malzeme kalitesi üzerinde yeterince durulma-

maktadır. Ancak yapıların maliyeti içinde önemli yer tutan beton çeliklerinin kalitesinin artırılması ile yapılarda kullanılması gereken miktarlar azaltılarak yapıların maliyeti düşürülebilmektedir[2].

Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında hazırlanan deprem yönetmeliğinde, betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında kullanılacak olan donatı çeliğinin, kopma birim uzamasının %10'dan az olmaması gerektiği ve donatı çeliğinin deneysel olarak bulunan ortalama akma dayanımının, ilgili çelik standardında öngörülen karakteristik akma dayanımının 1,3 katından fazla olmaması gerektiği belirtilmektedir [3]. Aynı yönetmelikte ayrıca, deneysel olarak bulunan ortalama kopma dayanımının, yine deneysel olarak bulunan ortalama akma dayanımının 1,25 katından daha fazla olması gerektiği belirtilmektedir [3].

Demir ve Çelik sanayisinde üretilen yarı ve nihai ürünler, geçmişten günümüze her zaman diliminde, çeşitli endüstriyel sektörlerdeki yapıların temel hammaddeğini oluşturur. Gerek miktar, gerekse cins ve kalitelerinin gelişimi ile sanayinin gelişip büyümesinde en önemli unsurlardan birini teşkil ederek, insanlık tarihinde, uygarlıkların gelişmesinde en önemli malzeme olma özelliğini kazanıp korumuşlardır. Buna paralel olarak demir çelik üretim teknolojisi zaman içerisinde değişimini sürdürmüştür [1].

Günümüzde çelik üretimi cevherden ve hurda çelikten yapılmaktadır. Cevherden çelik üretimi yüksek fırından elde edilen sıvı ham demirin, Bazik Oksijen Konverterinde sıvı ham çelik haline getirilmesi ve akabinde ikincil metalürji yöntemleriyle istenilen çelik bileşimine getirilmesi kademelerini içerir [4].

Hurdadan çelik üretimi ise elektrik ark ocağı ve ikincil metalürji kademelerini kapsar. İkincil metalürji yöntemleriyle istenilen bileşimde elde edilen sıvı ham çelik sürekli dökümle tek aşamada kütük haline getirilir. Daha sonra nihai ürünleri elde etmek üzere, kütükler haddelenir [4].

Nihai ürün olarak üretilen bu beton çeliklerinin yapıdaki önemi göz önüne alındığında, bu çeliklerin üretiminde kullanılan hammaddenin önemi gündeme gelmektedir. Bu çalışmada, ülkemizde entegre demir çelik fabrikalarında hammaddesi demir cevheri olarak üretilen betonarme çeliğiyle, hammaddesi hurda demir olan ve elektrik ark ocaklarında üretilen beton çelik çubukların çekme, akma mukavemetleri, kopma uzaması ve kopma/akma mukavemeti değerleri bakımından yeterlilikleri araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI (REVIEW OF LITERATURE)

Betonun güçlendirilmesinde kullanılan çeliğin üretilmesi için, pek çok metot olmasına rağmen, esas olan, oksijen-çelik yapımı ile elektrik ark çelik yapımıdır. Her iki metot da, bileşimin saptandığı ve önemli elemanların miktarlarının ayarlandığı metotlar olup sıkı kontroller gerektiren tekniklerdir [1].

Üretim standartlarının pek çoğunda müsaade edilmemesine rağmen, Avrupa da dahil, dünyanın pek çok bölgesinde kullanılan yöntem, işlenmiş ürünlerin yeniden haddelene tekniğidir. Bu haddelerin temel kaynakları, kullanım süresi dolmuş, demiryolu rayları ve akslarından ve gemi hurdalarından elde edilen metallerdir. Avrupa'da, üretim standartlarında, genellikle yeniden haddelenen malzemelerin kullanımına izin verilmemektedir, fakat bu durum küçük imalatçıların bu tür çelik üretmesini engelleyememektedir [1].

Yüksek fırın prosesi, sıvı ham demir üretiminde etkin rol oynamakta ve dünyadaki toplam demir üretiminin %95'den fazlası bu yolla üretilmektedir. Yüksek fırının sıvı ham demir üretimindeki etkin rolü, dizaynındaki gelişmeler, uzun bir zaman periyodunda üretimin sürekli olması, doğal gaz, fuel-oil, kömür, koklaşmayan kömür enjeksiyonu ile kok tüketiminde meydana gelen büyük azalış, parça cevher, pelet, sinter gibi demir oksit şarj malzemelerinin kullanılabilmesi gibi özelliklerinden ileri gelmektedir. Ancak prosesin bir takım dezavantajları vardır. Bunlar özellikle metalürjik kömüre bağımlı oluşu, sadece büyük üretim kapasitelerinde (2-3 milyon ton) ekonomik üretimin yapılabilmesi, cevher hazırlama, sinter tesisi ve kok fırınları gibi yatırım maliyetleri yüksek olan yan tesislere ihtiyaç göstermesidir [5].

Elektrik ark ocaklarında üretilen sıvı ham çelik üretimi ülkemizin ihtiyacının %60'lık kısmını karşılamaktadır [6].

Ülkemizde 1995-2001 yılları arasında entegre tesislerde ve elektrik ark ocaklarında sıvı ham çelik üretim miktarları Tablo 1'de verilmiştir [6].

TS 708'de beton çelik çubuklarının maden cevherinden üretilen veya hurdadan üretilen şeklinde bir ayırım yapılmadan çubuk sınır mukavemet değerleri verilmiştir. Tablo 2'de beton çelik çubukların mukavemet değerleri gösterilmiştir [7].

Çeliğin mekanik özellikleri kimyasal bileşimine bağlı olduğundan, alaşım elementleri ilavesi ile istenen

Tablo 1. 1995-2001 yılları arası sıvı ham çelik üretimi (%) [6] (Liquid crude steel production between 1995-2001, (%))

| Üretim Tesisi | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Entegre Tesisler | 33,3 | 37,7 | 37,5 | 36,4 | 35,9 | 36,5 | 35,2 |
| Elektrik Ark Ocakları | 66,7 | 62,3 | 62,5 | 63,6 | 64,1 | 63,5 | 64,8 |

Tablo 2. Beton çelik çubukların sınır mukavemet değerleri (Limit strength values of steel bars for concrete)

| Çelik Türü | Akma Mukavemeti N/mm ² | Çekme Mukavemeti N/mm ² | Kopma Uzaması % L ₀ =10.d |
|------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| S220a | Min 220 | Min 340 | 2d |
| S420a | Min 420 | Min 500 | 5d |
| S500a | Min 500 | Min 550 | 10d |

mekanik özellikleri sağlanabilmektedir. Geleneksel yöntemlerle üretilen beton çeliklerinde mekanik özellikler kimyasal bileşimin modifiye edilmesi ile veya sıcak haddeleme sonrası soğuk deformasyon uygulanması ile sağlanmaktadır [2]. TS 708’de S220a, S420a ve S500a kalite beton çelik çubuklarının pota analizi Tablo 3’te verilmiştir [7].

Tablo 3. Çelik çubukların kimyasal özellikleri [7] (Chemical properties of steel bars)

| Sembol | % Kütlece (maks.) | | | | |
|--------|-------------------|-------|-------|-------|------|
| | C | P | S | N | C* |
| S220a | 0,25 | 0,050 | 0,050 | - | - |
| S420a | 0,40 | 0,050 | 0,050 | - | - |
| S500a | 0,22 | 0,050 | 0,050 | 0,012 | 0,50 |

(1) Yeterli oranda azot bağlayıcı elementler bulunduğu takdirde, tabloda belirtilen %N değerlerinden daha yüksek değerler kabul edilebilir.

*C_{Esdeğeri}=C+(Mn/6)+((Cr+Mo+V)/5)+((Ni+Cu)/15)

Akma gerilmesinin arttırılması için ikinci bir yöntem sıcak haddeleme sonrası soğuk deformasyondur. Bu metod yüksek mukavemetli kaynaklanabilir beton çeliklerinin üretimini mümkün kılar. Ancak soğuk deformasyon, ilave bir işlem olduğundan özellikle küçük çaplarda maliyeti oldukça artırır [2]. Kaynak yapılacak beton çeliklerinin karbon eşdeğerinin %0,4 değerini geçmemesi gerektiği TS 500 “Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları” standardında belirtilmektedir [8]. Hurda demirden elde edilen beton çelik çubukların, betonarme eleman içerisinde aderansının zayıf olduğu ve kırımlarda kullanıldığında kesme gerilmelerine karşı düşük süneklik göstererek gevrek bir kırılma meydana geldiği bilinmektedir [9-11].

3. MALZEME VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

3.1. Malzeme (Material)

Çalışmada kullanılan beton çelik çubukları, Kardemir Karabük Demir Çelik Fabrikası entegre tesislerinde demir cevherinden ve elektrik ark ocaklarında hurda demirden üretilen nervürlü beton çelikleridir. Deneyler Ø12, Ø14, Ø16, Ø18, Ø20 mm çaplarında ve S420a beton çeliği sınıfında olan beton çelik çubukları üzerinde gerçekleştirilmiştir.

3.2. Metot (Method)

3.2.1. Kimyasal kompozisyon (Spektral analiz deneyi) (Chemical composition (Spectral analysis) test)

Spektral analiz numuneleri üzerinde çekme deneyi yapılan numunelerden 100 mm boyunda parçalar kesilerek elde edilmiştir. Kesilen numunelerin yüzeyleri tornalama ile düzgün hale getirilmiştir. Yüzeyleri düzeltilen numuneler spektral analiz cihazının potası içerisine yerleştirilerek üzerlerinden yüksek gerilimli akım geçirilmek suretiyle alayım elementleri ve oranları tespit edilmiştir. Kimyasal analiz deneyi TS 2162 “Alaşımız Yapı Çeliklerinden İmal Edilen Sıcak Hadde Mamulleri-Teknik Teslim Şartları” standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir [12].

3.2.2. Çelik çubukların çekme mukavemeti deneyi (Tensile strength test of steel rods)

Beton çelik çubukların akma dayanımı, çekme mukavemeti ve kopma uzamasının belirlenmesi amacıyla çelik çubuklar TS 138 EN 10002-1 “Metalik Malzemeler-Çekme Deneyi-Ortam Sıcaklığında Deney Metodu” standardında belirtilen esaslara uygun olarak aksel çekme gerilmesine maruz bırakılmıştır [13].

Deney numunelerinin boyları (L_u), çekme aletinde numuneyi kavramak için bulunan iki çene boyuna (2x7 cm), çeneler arası mesafe (L_c=10d) eklenerek bütün çaplardaki numuneler için belirlenmiştir.

Beton çelik çubukların akma mukavemetlerinin (R_e) hesaplanmasında;

$$R_e = \frac{P_a}{f_o}$$

Çekme mukavemetinin (R_m) hesaplanmasında;

$$R_m = \frac{P_k}{f_o}$$

Kopma uzamasının hesaplanmasında ise;

$$A_t = \left[\frac{(L_u - L_o)}{L_o} \right] \cdot 100, \text{ formülleri kullanılmıştır.}$$

Formüllerde;

R_e= Akma mukavemeti (MPa)

R_m= Çekme mukavemeti (MPa)

A_t= Kopma uzaması (%)

P_a= Akma kuvveti (N)

P_k= Kopma kuvveti (N)

f_o= Numune boy ağırlığından hesaplanan ilk kesit alanı (mm²)

L_u= Kopmadan sonra işaretlenen iki nokta arasındaki numune uzunluğu (mm)

L_o= Numunenin ilk ölçü uzunluğu (mm)

ifade etmektedir.

Tablo 4. Spektral analiz sonuçları (Results of spectral analysis)

| Hammadde | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | Al | Co | Cu | Nb | V | Fe |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|--------|--------|
| Hurda | 0,24 | 0,19 | 0,81 | 0,02 | 0,05 | 0,15 | 0,04 | 0,13 | 0,02 | 0,03 | 0,21 | <0,002 | <0,001 | <98,06 |
| Cevher | 0,25 | 0,19 | 1,07 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,08 | 0,02 | 0,04 | 0,07 | <0,002 | <0,001 | <98,10 |

3.2.3. İstatistik metotlar (Statistics methods)

Deneyel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler üzerinde açıklayıcı istatistikleri hesaplanmış ve grupların ortalamaları arasında fark olup olmadığı varyans analizi tekniği ile belirlenmiştir. Bu çalışmada yapılan varyans analizi “gruplar arasında fark vardır” kararına varırken yanlış olma olasılığı (anlamlılık düzeyi) en çok $\alpha = 0.01$ olarak (1. tip hata) kabul edilmiştir [14]. Ayrıca gruplara ait verilerin ortalama değerlerinin görülebilmesi bakımında çubuk grafikleri çizilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULT AND DISCUSSION)

4.1. Spektral Analiz (Spectral Analysis)

Çekme deneyine maruz bırakılan numunelerin spektral analizleri gerçekleştirilerek numunelerin içeriğinde bulunan elementlerin maksimum yüzdeleri bulunmuştur. Spektral analiz sonuçları Tablo 4’te gösterilmiştir.

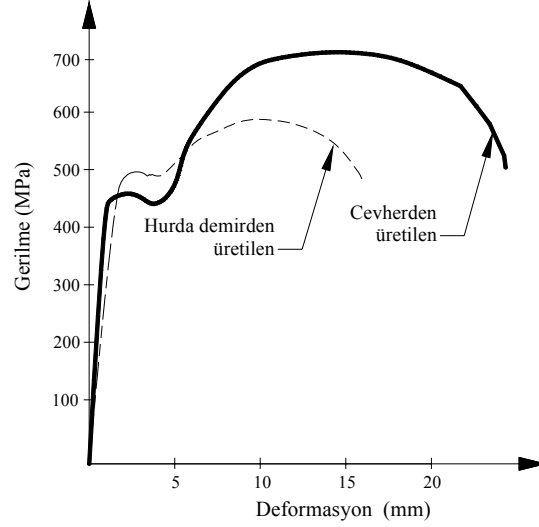
Gerçekleştirilen spektral analiz sonuçlarına göre hurda demirden üretilen çelik çubuklarda Cr, Ni, Cu miktarlarının cevherden üretilen çelik çubuklara göre daha fazla, Mn miktarının ise az olduğu görülmüştür. Ayrıca hurda ve cevher demirlerinin karbon eşdeğerleri hesaplandığında; hurda demirin %0,44, cevherin ise %0,45 olduğu görülmüştür. Her iki hammaddeden üretilen beton çelik çubukların kaynaklanabilirlik açısından önemli bir parametre olan karbon eşdeğerlerinin TS 500 standardında belirtilen sınırlar dışında kaldığı görülmektedir.

4.2. Çekme Mukavemeti (Tensile Strength)

Her iki hammadde grubundan üretilen 12, 14, 16, 18 ve 20 mm çaplarındaki beton çelik çubukları üzerinde gerçekleştirilen çekme mukavemeti deneyi sonucunda çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve kopma uzaması değerleri hesaplanmıştır. 20 mm çapındaki demirlere ait gerilme-deformasyon grafiği Şekil 1’de verilmiştir.

Deney sonucunda elde edilen çekme mukavemeti verilerine ait açıklayıcı istatistikler Tablo 5’te, akma mukavemeti verilerine ait olan istatistikler Tablo 6’da Kopma uzamasına ait istatistikler ise Tablo 7’de verilmiştir.

Cevher ve hurda demirden elde edilen beton çelik çubuklarına ait çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve kopma uzaması değerlerinin birbirinden olan farklılığını test etmek için her bir çelik çubuk çapında cevher ve hurda demirleri arasında varyans analizi gerçekleştirilmiştir (Tablo 8, 9, 10).



Şekil 1. Cevher ve hurda demirden üretilen demirlere ait gerilme-deformasyon grafiği (Stress-strain graphics of steel bars, produced from iron ore and scrap steel)

Gerçekleştirilen varyans analizi sonuçlarına göre bütün çaplardaki beton çelik çubuklarında çekme mukavemeti değerlerinin cevher ve hurda demirden üretilmesine bağlı olarak $\alpha=0,01$ anlamlılık düzeyinde farklılık göstermektedir. Diğer bir ifadeyle çekme mukavemeti değerlerinin çelik çubuğun üretim hammaddesine bağlı olarak farklılık gösterdiği görülmüştür.

Akma mukavemeti değerleri üzerinde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçlarına göre, beton çelik çubuklarının üretim hammaddesine bağlı olarak akma mukavemeti değerlerinin $\alpha=0,01$ anlamlılık düzeyinde birbirinden farklı olduğu görülmüştür.

Kopma uzaması değerleri üzerinde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçlarına göre, beton çelik çubuklarının üretim hammaddesine bağlı olarak kopma uzaması değerlerinin 12 ve 16 mm çapındaki çelik çubuklarda $\alpha=0,01$ anlamlılık düzeyinde birbirinden farklı olduğu, diğer çubuk çaplarında ise anlamlı bir farklılığın olmadığı görülmüştür.

Ayrıca çelik çubuk çaplarındaki farklılık değerlendirilmeye alınmadan çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve kopma uzaması değerlerinin üretim hammaddesine göre farklılığını test etmek için varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Açıklayıcı istatistikler Tablo 11’de varyans analizi sonuçları ise Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 5. Beton çeliklerinin çekme mukavemeti deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler (Explanatory statistics which belong to tensile strength test results of steel bars for concrete)

| Numunenin kaynağı | Çubuk Çapı (mm) | N | Ort. Çekme Mukavemeti | | | |
|-------------------|-----------------|----|-----------------------|----------|---------|----------|
| | | | (MPa) | Std.Hata | Minumum | Maksimum |
| Cevher | 12 | 3 | 730,3 | 12 | 715 | 754 |
| | 14 | 3 | 723,6 | 2,33 | 719 | 726 |
| | 16 | 3 | 719,3 | 3,28 | 713 | 724 |
| | 18 | 3 | 680,3 | 3,53 | 675 | 687 |
| | 20 | 3 | 731,3 | 7,88 | 722 | 747 |
| | Toplam | 15 | 716,96 | 5,67 | 675 | 754 |
| Hurda | 12 | 3 | 613,6 | 2,6 | 609 | 618 |
| | 14 | 3 | 668,3 | 1,33 | 667 | 671 |
| | 16 | 3 | 599,3 | 1,33 | 598 | 602 |
| | 18 | 3 | 624,3 | 0,33 | 624 | 625 |
| | 20 | 3 | 613,0 | 4,04 | 605 | 618 |
| | Toplam | 15 | 623,73 | 6,39 | 598 | 671 |

Tablo 6. Beton çeliklerinin akma mukavemeti deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler (Explanatory statistics which belong to yield strength test results of steel bars for concrete)

| Numunenin kaynağı | Çubuk Çapı (mm) | N | Ort. Akma Mukavemeti | | | |
|-------------------|-----------------|----|----------------------|----------|---------|----------|
| | | | (MPa) | Std.Hata | Minumum | Maksimum |
| Cevher | 12 | 3 | 478,0 | 4,36 | 471 | 486 |
| | 14 | 3 | 460,6 | 2,60 | 456 | 465 |
| | 16 | 3 | 454,0 | 1,15 | 452 | 456 |
| | 18 | 3 | 436,0 | 2,31 | 432 | 440 |
| | 20 | 3 | 446,6 | 7,75 | 437 | 462 |
| | Toplam | 15 | 455,07 | 4,10 | 432 | 486 |
| Hurda | 12 | 3 | 516,6 | 3,93 | 509 | 522 |
| | 14 | 3 | 528,6 | 1,76 | 526 | 532 |
| | 16 | 3 | 466,3 | 1,45 | 464 | 469 |
| | 18 | 3 | 509,6 | 0,67 | 509 | 511 |
| | 20 | 3 | 499,3 | 4,41 | 491 | 506 |
| | Toplam | 15 | 504,13 | 5,76 | 464 | 532 |

Tablo 7. Beton çeliklerinin kopma uzaması deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler (Explanatory statistics which belong to rupture extension test results of steel bars for concrete)

| Numunenin kaynağı | Çubuk Çapı (mm) | N | Ort. Kopma uzaması | | | |
|-------------------|-----------------|----|--------------------|----------|---------|----------|
| | | | (mm) | Std.Hata | Minumum | Maksimum |
| Cevher | 12 | 3 | 19,3 | 0,33 | 19 | 20 |
| | 14 | 3 | 19,3 | 0,33 | 19 | 20 |
| | 16 | 3 | 19,3 | 0,33 | 19 | 20 |
| | 18 | 3 | 18,6 | 0,33 | 18 | 19 |
| | 20 | 3 | 18,3 | 0,33 | 18 | 19 |
| | Toplam | 15 | 19,00 | 0,17 | 18 | 20 |
| Hurda | 12 | 3 | 17,6 | 0,33 | 17 | 18 |
| | 14 | 3 | 18,0 | 0,58 | 17 | 19 |
| | 16 | 3 | 17,3 | 0,33 | 17 | 18 |
| | 18 | 3 | 18,0 | 0,58 | 17 | 19 |
| | 20 | 3 | 17,6 | 0,67 | 17 | 19 |
| | Toplam | 15 | 17,73 | 0,18 | 17 | 20 |

Tablo 8. Çekme mukavemeti değerleri varyans analizi sonuçları (Results of variance analysis of tensile strength values)

| Çubuk Çapı (mm) | Varyansın Kaynağı | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F-testi | Anlamlılık düzeyi (α) |
|-----------------|-------------------|---------------------|-----------------|--------------------|---------|--------------------------------|
| 12 | Gruplar Arası | 1 | 20416,667 | 20416,667 | 90,206 | 0,001 |
| | Gruplar İçi | 4 | 905,333 | 226,333 | | |
| | Toplam | 5 | 21322,000 | | | |
| 14 | Gruplar Arası | 1 | 4592,667 | 4592,667 | 423,938 | 0,000 |
| | Gruplar İçi | 4 | 43,333 | 10,833 | | |
| | Toplam | 5 | 4636,000 | | | |
| 16 | Gruplar Arası | 1 | 4592,667 | 4592,667 | 423,938 | 0,000 |
| | Gruplar İçi | 4 | 43,333 | 10,833 | | |
| | Toplam | 5 | 4636,000 | | | |
| 18 | Gruplar Arası | 1 | 4704,000 | 4704,000 | 249,770 | 0,000 |
| | Gruplar İçi | 4 | 75,333 | 18,833 | | |
| | Toplam | 5 | 4779,333 | | | |
| 20 | Gruplar Arası | 1 | 21004,167 | 21004,167 | 178,506 | 0,000 |
| | Gruplar İçi | 4 | 470,667 | 117,667 | | |
| | Toplam | 5 | 21474,833 | | | |

Tablo 9. Akma mukavemeti değerleri varyans analizi sonuçları (Results of variance analysis of yield strength values)

| Çubuk Çapı (mm) | Varyansın Kaynağı | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F-testi | Anlamlılık düzeyi (α) |
|-----------------|-------------------|---------------------|-----------------|--------------------|---------|--------------------------------|
| 12 | Gruplar Arası | 1 | 2242,667 | 2242,667 | 43,406 | 0,003 |
| | Gruplar İçi | 4 | 206,667 | 51,667 | | |
| | Toplam | 5 | 2449,333 | | | |
| 14 | Gruplar Arası | 1 | 6936,000 | 6936,000 | 467,596 | 0,000 |
| | Gruplar İçi | 4 | 59,333 | 14,833 | | |
| | Toplam | 5 | 6995,333 | | | |
| 16 | Gruplar Arası | 1 | 228,167 | 228,167 | 44,161 | 0,003 |
| | Gruplar İçi | 4 | 20,667 | 5,167 | | |
| | Toplam | 5 | 248,833 | | | |
| 18 | Gruplar Arası | 1 | 8140,167 | 8140,167 | 939,250 | 0,000 |
| | Gruplar İçi | 4 | 34,667 | 8,667 | | |
| | Toplam | 5 | 8174,833 | | | |
| 20 | Gruplar Arası | 1 | 4160,667 | 4160,667 | 34,866 | 0,004 |
| | Gruplar İçi | 4 | 477,333 | 119,333 | | |
| | Toplam | 5 | 4638,000 | | | |

Tablo 10. Kopma uzaması değerleri varyans analizi sonuçları (Results of variance analysis of rupture extension values)

| Çubuk Çapı (mm) | Varyansın Kaynağı | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F-testi | Anlamlılık düzeyi (α) |
|-----------------|-------------------|---------------------|-----------------|--------------------|---------|--------------------------------|
| 12 | Gruplar Arası | 1 | 4,167 | 4,167 | 12,500 | 0,024 |
| | Gruplar İçi | 4 | 1,333 | 0,333 | | |
| | Toplam | 5 | 5,500 | | | |
| 14 | Gruplar Arası | 1 | 2,667 | 2,667 | 4,000 | 0,116 |
| | Gruplar İçi | 4 | 2,667 | 0,667 | | |
| | Toplam | 5 | 5,333 | | | |
| 16 | Gruplar Arası | 1 | 6,000 | 6,000 | 18,000 | 0,013 |
| | Gruplar İçi | 4 | 1,333 | 0,333 | | |
| | Toplam | 5 | 7,333 | | | |
| 18 | Gruplar Arası | 1 | 0,667 | 0,667 | 1,000 | 0,374 |
| | Gruplar İçi | 4 | 2,667 | 0,667 | | |
| | Toplam | 5 | 3,333 | | | |
| 20 | Gruplar Arası | 1 | 0,667 | 0,667 | 0,800 | 0,422 |
| | Gruplar İçi | 4 | 3,333 | 0,833 | | |
| | Toplam | 5 | 4,000 | | | |

Tablo 11. Beton çelik çubuklara ait açıklayıcı istatistikler (Explanatory statistics belonging to steel bars for concrete)

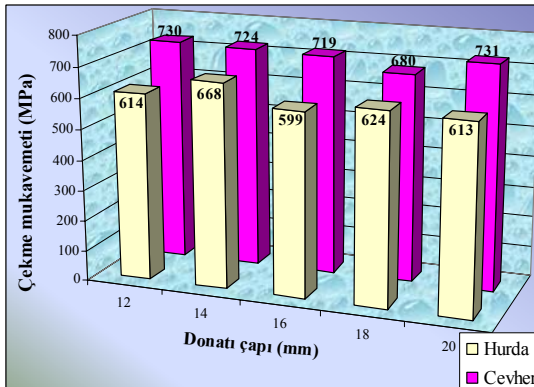
| Deneyin Türü | Üretim | | Art. | | | |
|------------------|------------|----|----------|-----------|---------|----------|
| | Hammaddesi | N | Ortalama | Std. Hata | Minimum | Maksimum |
| Akma Mukavemeti | Cevher | 15 | 455,07 | 4,10 | 432 | 486 |
| | Hurda | 15 | 504,13 | 5,76 | 464 | 532 |
| | Toplam | 30 | 479,60 | 5,73 | 432 | 532 |
| Çekme Mukavemeti | Cevher | 15 | 717,00 | 5,67 | 675 | 754 |
| | Hurda | 15 | 623,73 | 6,39 | 598 | 671 |
| | Toplam | 30 | 670,37 | 9,62 | 598 | 754 |
| Kopma Uzaması | Cevher | 15 | 19,00 | 0,17 | 18 | 20 |
| | Hurda | 15 | 17,73 | 0,21 | 17 | 19 |
| | Toplam | 30 | 18,37 | 0,18 | 17 | 20 |

Tablo 12. Beton çelik çubuklara ait varyans analizi sonuçları (Results of variance analysis belonging to steel bars for concrete)

| Deneyin türü | Varyansın Kaynağı | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F-testi | Anlamlılık düzeyi (α) |
|------------------|-------------------|---------------------|-----------------|--------------------|---------|--------------------------------|
| | | | | | | 0,000 |
| Akma mukavemeti | Gruplar Arası | 1 | 18056,533 | 18056,533 | 48,148 | 0,000 |
| | Gruplar İçi | 28 | 10500,667 | 375,024 | | |
| | Toplam | 29 | 28557,200 | | | |
| Çekme mukavemeti | Gruplar Arası | 1 | 65240,033 | 65240,033 | 119,339 | 0,000 |
| | Gruplar İçi | 28 | 15306,933 | 546,676 | | |
| | Toplam | 29 | 80546,967 | | | |
| Kopma uzaması | Gruplar Arası | 1 | 12,033 | 12,033 | 22,562 | 0,000 |
| | Gruplar İçi | 28 | 14,933 | 0,533 | | |
| | Toplam | 29 | 26,967 | | | |

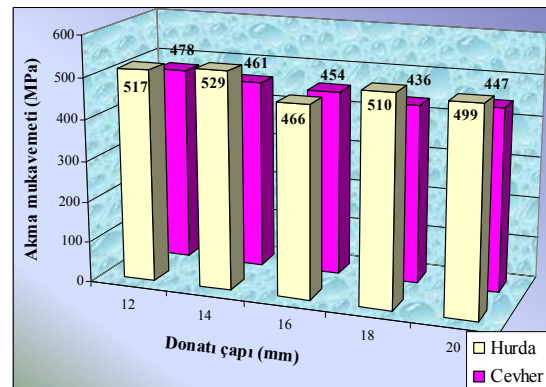
Gerçekleştirilen varyans analizi sonuçlarına göre; beton çelik çubuklarının çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve kopma uzaması değerlerinin üretim hammaddesine bağlı olarak $\alpha=0,01$ anlamlılık düzeyinde farklı olduğu görülmüştür.

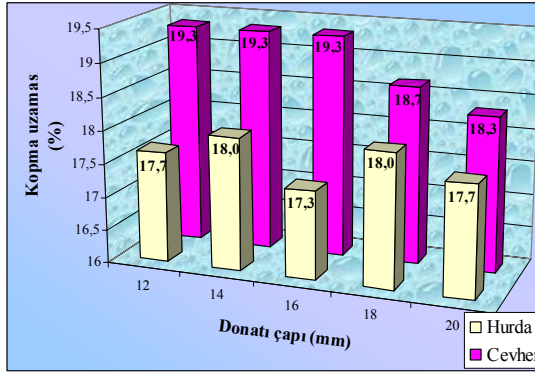
Çekme deneyi sonuçlarına göre, cevherden elde edilen beton çelik çubukların çekme mukavemeti sonuçlarının ortalama 717 MPa ile hurda demirden üretilen çeliklere ait çekme mukavemeti değerinden %15 daha büyük olduğu görülmektedir. Beton çelik çubuklara ait çekme mukavemeti değerleri Şekil 2'de görülmektedir.

**Şekil 2.** Beton çelik çubuklara ait ortalama çekme mukavemeti değerleri (Mean values of tensile strength belonging to steel bars for concrete)

Cevherden elde edilen beton çelik çubukların akma mukavemeti sonuçlarının ortalama 455 MPa ile hurda demirden üretilen çeliklere ait akma mukavemeti değerinden %10 daha küçük olduğu görülmektedir. Beton çelik çubuklara ait akma mukavemeti değerleri Şekil 3'te görülmektedir.

Cevherden elde edilen beton çelik çubukların kopma uzaması değerlerinin ortalama %19 ile hurda demirden üretilen çeliklere ait kopma uzaması değerinden %7 daha büyük olduğu görülmektedir. Beton çelik çubuklara ait kopma uzaması değerleri Şekil 4'te görülmektedir.

**Şekil 3.** Beton çelik çubuklara ait ortalama akma mukavemeti değerleri (Mean values of yield strength belonging to steel bars for concrete)



Şekil 4. Beton çelik çubuklara ait ortalama kopma uzaması değerleri (Mean values of rupture extension belonging to steel bars for concrete)

Çelik çubukların deprem yönetmeliğinde bulunan ve afet bölgelerinde yapılacak olan yapılar için getirilmiş olan kopma mukavemeti/akma mukavemeti oranının 1,25'ten az olmaması şartına uygunluğunu kontrol etmek amacıyla kopma/akma mukavemeti değerleri hesaplanmıştır. Kopma/akma mukavemeti değerlerine ait açıklayıcı istatistikler Tablo 13'te verilmiştir. Cevher ve hurda demirden üretilen çelik çubuklara ait kopma/akma mukavemeti değerleri üzerinde gerçekleştirilen varyans analizi sonucuna göre grup ortalamaları arasında $\alpha=0,01$ anlamlılık düzeyinde farklılık olduğu görülmüştür (Tablo 14). Ayrıca kopma/akma mukavemeti ortalama değerlerine ait grafik Şekil 5'te görülmektedir.

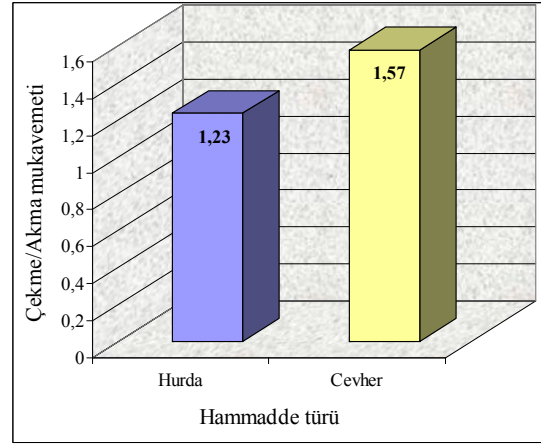
Kopma/akma mukavemeti değerlerinin hurda demirden üretilen çelik çubuklarında deprem yönetmeliğinde belirtilen 1,25 sınırının altında kaldığı ve afet bölgelerinde yapılacak olan yapılarda kullanılmasının uygun olmadığı, cevherden üretilen çelik çubukların kopma/akma mukavemeti değerlerinin ise deprem yönetmeliğinde belirtilen sınırların üzerinde kaldığı görülmüştür.

Tablo 13. Beton çelik çubuklara ait açıklayıcı istatistikler (Explanatory statistics belonging to steel bars for concrete)

| Üretim hammaddesi | Art. N | Art. Ortalama | Std. Hata | Min. | Maks. |
|-------------------|--------|---------------|-----------|------|-------|
| Cevher | 15 | 1,576 | 0,010 | 1,51 | 1,65 |
| Hurda | 15 | 1,238 | 0,009 | 1,18 | 1,29 |
| Toplam | 30 | 1,407 | 0,032 | 1,18 | 1,65 |

Tablo 14. Kopma/akma mukavemeti değerleri varyans analizi sonuçları (Results of variance analysis of rupture/yield strength values)

| Varyansın Kaynağı | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı | Kareler Ortalaması | F-testi | Anlamlılık düzeyi (α) |
|-------------------|---------------------|-----------------|--------------------|---------|--------------------------------|
| Gruplar Arası | 1 | 0,8580 | 0,8580 | 622,909 | 0,000 |
| Gruplar İçi | 28 | 0,0385 | 0,001378 | | |
| Toplam | 29 | 0,8970 | | | |



Şekil 5. Ortalama kopma/akma mukavemeti değerleri (Average values of rupture/yield strength)

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Cevher ve hurda demirden olmak üzere 12, 14, 16, 18 ve 20 mm çaplarında üretilen beton çelik çubukları üzerinde gerçekleştirilen spektral analiz, çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve kopma uzaması deneyleri sonuçlarına göre;

- Spektral analiz sonucunda, hurda demirden üretilen çelik çubuklarda Cr, Ni, Cu miktarlarının cevherden üretilen çelik çubuklara göre sırasıyla %80, %38 ve %66 daha fazla, Mn miktarının ise %24 daha az olduğu,
- Karbon eşdeğeri bakımından hurda demirin %0,44, cevherin ise %0,45 ile TS 500 standardında belirtilen sınırlar dışında olduğu,
- Elektrik ark ocaklarında hurda demirden üretilen beton çelik çubuklarının çekme mukavemeti değerlerinin, cevherden üretilen beton çelik çubuklarının çekme mukavemeti değerlerinden %15 daha küçük olduğu,
- Hurda demirden üretilen beton çelik çubuklarının akma mukavemeti değerlerinin ise cevherden üretilen çelik çubukları 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,
- Kopma/akma mukavemeti değerleri bakımından hurda demirden üretilen çelik çubukların "Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik"te belirtilen sınır değerinin altında kaldığından dolayı, afet bölgelerinde yapılacak olan yapılarda kullanılmasının uygun olmadığı görülmüştür.

Sonuç olarak; cevherden üretilen beton çelik çubukların çekme mukavemeti, hurda demirden üretilen beton çelik çubukların çekme mukavemetinden fazla olduğu görülmüştür. Cr, Ni ve Cu gibi elementlerin mukavemet değerlerini artırırken sünekliği azaltmaktadır. Bundan dolayı bu elementlerin belirli sınırları aşmaması istenmektedir. Deneysel sonuçlarında da hurda demirden üretilen beton çelik çubukların cevherden üretilenlere göre daha az sünek davrandığı görülmüştür. Hurda demirden üretilen beton çeliklerinin çekme mukavemeti değerleri TS 708 “Beton Çelik Çubukları” standardında belirtilen sınırlar içerisinde kalmasını sağlamak için süneklik değerlerinin düşük olduğundan dolayı deprem yönetmeliğine göre, afet bölgelerinde yapılacak olan yapılarda kullanılması uygun değildir. Ayrıca betonarme elemanın dayanıklılığı üzerinde önemli bir etkiye sahip olan ve servis ömrünü etkileyen korozyon potansiyelinin, hurda demirden üretilen beton çelik çubuklar üzerinde araştırılmasında fayda bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Badem, M.T., **Beton Çeliklerin Mekanik Özellikleri ve Denizli’de Kullanılan Beton Çelikleri**, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2001.
2. Ocaksönmez, S.S., **Beton Çeliklerin Oksidasyonu ve Oksit Tabakasının Karakterizasyonu**, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran, 1996.
3. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Deprem Yönetmeliği, 1998.
4. Schulz, E., Ameling, D., Gerstenberg, B., Hüffken, E., Peters, K.H., Simon, R.W., “State of the Art and Development Potential of the Currently Applied Metallurgical Production Processes”, **Metallurgical Plant on Technology**, Cilt 5, 32-49, 1990.
5. Aydın, S., “Sıvı Ham Demir Üretiminde Yeni Prosesler”, **İTÜ, Metalurji Dergisi**, Sayı 74, Haziran, 1991.
6. Türkiye Demir Çelik Üreticileri Derneği Raporları, <http://www.dcu.org.tr>, 2005.
7. TS 708, “Beton Çelik Çubukları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1996.
8. TS 500, “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
9. Kankam, C.K., Asamoah, M., “Strength and Ductility Characteristics of Reinforcing Steel Bars Milled from Scrap Metals”, **Materials and Design**, Cilt 23, 537-545, 2002.
10. Kankam, C.K., “Bond Strength of Reinforcing Steel Bars Milled from Scrap Metals”, **Materials and Design**, Cilt 25, 231-238, 2004.
11. Kankam, C.K., Asamoah, M., “Shear Strength of Concrete Beams Reinforced with Steel Bars Milled from Scrap Metals”, **Materials and Design**, Article in press, 2005.
12. TS 2162 EN 10025, “Alaşsız Yapı Çeliklerinden İmal Edilen Sıcak Hadde Mamülleri-Teknik Teslim Şartları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1996.
13. TS 138 EN 10002-1 “Metalik Malzemeler-Çekme Deneyi-Ortam Sıcaklığında Deney Metodu”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2004.
14. Neter, J. ve ark., **Applied Statistics, 3.th edition**, Allyn and Bacon Inc., London, 1988.

