

## **ESKİŞEHİR'DE KULLANILAN YAPI ÇELİKLERİNİN İSTATİSTİKSEL OLARAK İNCELENMESİ**

İlker Bekir TOPÇU<sup>1</sup>, Ahmet Fatih AKPINAR<sup>2</sup>, Cenk KARAKURT<sup>3</sup>

**ÖZET :** TS 500 ve TS 708 standartları betonarme yapılarda kullanılacak çelik çubukların taşıması gereken özellikleri ele almaktadır. Eskişehir bölgesindeki inşaatlardan 2003 yılı içinde alınan çelik çubuk numuneleri üzerinde yapılan çekme deneyi sonuçlarının TS 708'de öngörülen koşullar açısından istatistiksel analizi yapılmıştır. TS 138'e göre çelik çubuklar üzerinde çekme deneyi yapılarak akma sınırları, çekme dayanımları ve kopma uzama oranları saptanmıştır. Denenen nervürlü çelik çubukların (IIIa) daha önceki yıllarda üretilenlere kıyasla akma sınırlarında ve çekme dayanımlarında çok önemli bir iyileşme olduğu ortaya çıkmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER :** Çekme deneyi, akma sınırı, çekme dayanımı, kopma uzama oranı.

## **STATISTICAL INVESTIGATION OF STRUCTURAL STEELS USED IN ESKİŞEHİR**

**ABSTRACT :** TS 500 and TS 708 standards are deal with the required properties of reinforced concrete steel bars. Statistical analysis have been carried out of the results of steel tensile test specimens taken by from constructions built in Eskişehir region in 2003 according to TS 708. The yield strength, rupture strength and total elongation ratios were determined by the tension test made on the steel tensile test bars in accordance with TS 138. It is observed that a great improvement on the yield strength and tensile strength of deformed steel bars (IIIa) compared with the steel bars produced previous decade.

**KEYWORDS :** Tensile tests, yield strength, tensile strength, total elongation ratios.

---

<sup>1, 2, 3</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi,  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26480 Batı Meşelik, ESKİŞEHİR

## ***I. GİRİŞ***

Şubat 2000’de yenilenen “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları” standardı TS 500’e göre, inşaatlarda düz yüzeyli betonarme çelik donatı kullanımı yasaklanarak nervürlü çelik donatı kullanımına geçilmiştir. Yürürlükte olan “Beton Çelik Çubukları” standardı TS 708’e göre betonarme çelik donatılar donatı çeliği ve hasır donatı olmak üzere iki guruba ayrılmaktadır. Bir başka sınıflamada ise imalat yöntemine göre çelik donatılar sıcak haddeleme işlemi ile üretilen çelikler, sıcak haddeleme esnasında ısı işlem uygulanarak imal edilen çelikler ve soğuk mekanik işlem uygulanarak imal edilen çelikler olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır.

En küçük akma sınırı gerilmelerine göre de 220 MPa (I), 420 MPa (III) ve 500 MPa (IV) olarak çelikler üç grupta incelenmiştir. Yüzey özelliklerine göre ise düz yüzeyli (D), nervürlü (N) ve yüzey profili (P) olmak üzere üç tipe ayrılmıştır. TS 708’de çelik donatı sınıflarına bağlı olarak verilen beton çelik donatılarının mekanik özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir [1].

Betonarme kesit hesaplarında Tablo 1’de verilen değerler esas alınır. Bu çeliklerin elastisite modülleri  $E_s=2 \times 10^5$  MPa’dır. Çalışmada 2003 yılında deneye tabi tutulmak üzere Eskişehir’deki laboratuvarımıza getirilen ülkemizde üretilen çelik çubukların TS 708’de öngörülen koşulları ne oranda yerine getirdiği veya getirmediği istatistiksel olarak ortaya konmaya çalışılmıştır.

Öte yandan “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki 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 kullanılmayacağı belirtilmiştir. Aynı zamanda çeliğin kopma uzama oranının %10’dan az olamayacağı kaydedilmiştir. Yönetmeliğin getirdiği diğer bir koşul, deneysel olarak bulunan ortalama akma dayanımının 1,3 katından büyük olamayacağıdır. Ayrıca deneysel olarak bulunan ortalama çekme dayanımı yine deneysel olarak bulunan ortalama akma dayanımının 1,25 katından daha az olamayacaktır [2].

## **II.YAPI ÇELİKLERİ**

Çelik çubukların mekanik özellikleri çekme deneyi ile belirlenir. TS 138'e göre yapılan çekme deneyi sonunda "gerilme-şekil değiştirme" eğrisi elde edilir [3]. Bu eğriden yararlanarak çeliğin üç önemli özelliği olan akma dayanımı, çekme dayanımı ve kopma uzaması oranı belirlenir. Akma dayanımı, deney aletinde uzamanın sürmesine rağmen yükün artmadığı veya azaldığı ilk gerilme değeridir (Re). Soğukla işlem görmüş çubuklarda, bu sınırın belirtilen şekilde belirlenme olanağı bulunmadığından, % 0.2 kalıcı uzamaya karşılık gelen gerilme değeri (Rp 0.2) olarak belirlenmesi yeterlidir. Tablo 1'de belirtilen akma dayanımı, akma üst noktasıdır. Çekme dayanımı, deney cihazında yükün eriştiği en büyük değere karşı gelen gerilme değeridir. Kopma uzaması oranı, çeneler arası serbest uzunluğu  $L_c > 10f + (30-50 \text{ mm})$  olan deney numunesi üzerinde TS 138'de belirtilen şekilde yapılan deney sonucunda bulunan değerdir.

Çeliklerin karbon içeriği  $\% 0.1 < C < \% 2$  'dir. Çelikler içerdiği karbon oranına bağlı olarak üç sınıfa ayrılır; az karbonlu çelikler  $\% 0.1 < C < \% 0.2$ , orta karbonlu çelikler  $\% 0.2 < C < \% 0.5$ , yüksek karbonlu çelikler  $\% 0.5 < C < \% 2$ . Beton IIIb çelik çubukları Ia çelik çubuğunun soğukta burulması ile elde edilir, nervürler spiral şeklinde görülür. Beton IIIa çeliği orta karbonlu sıcak haddelenmiştir, nervürler eksene paraleldir [4].

Yapı çeliklerinin mekanik özellikleri konusunda bir çok çalışma yapılmıştır. Onaran'ın çalışmasında, Karabük Demir Çelik Tesisleri tarafından üretilen yapı çelikleri üzerinde bir seri mekanik deneyler yapılmış ve bu deneylerden beton çelik çubuklarda çap büyüdükçe akma ve çekme dayanımı düşmekte, kopma uzama ve büzülme oranının büyümekte olduğunu, Brinell sertliği (HB) için belli bir eğilimin olduğu gözlenmiştir [5]. Akyalı ve arkadaşlarının çalışmasında ise İTÜ İnşaat Fakültesi Malzeme Laboratuvarında değişik firmaların ürettiği beton çelik çubukları üzerinde yaptıkları deneylerden elde ettikleri sonuçların DIN 1045 Alman Betonarme Şartnamesi'ndeki Beton Çeliği I ve Beton Çeliği IIIb sınıfına uygun olduğunu göstermişlerdir [6].

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın 1975 yılında düzenlediği "İnşaat Sektöründe Vasıflı Çelik Kullanılmasını Teşvik Sempozyumu"nda verilen 14 bildiri sonunda kısaca şu sonuçlara varıldığı görülmüştür: İmalatçıların yüksek kaliteli ve TS damgalı malzeme üretmesi. Betonarmede yüksek kaliteli çelikler kullanılması ve böylece gereksiz çelik tüketimini önlenmesi yoluna gidilmesi, büroların klasik hesap yöntemlerini terk edip yeni hesap yöntemlerine geçmesi, İnşaat Mühendisleri Odasına yasal destek sağlanması, TS 498 ve TS 500 standartlarının en kısa zamanda gözden geçirilerek günün şartlarına uygun şekilde geliştirilmesi öngörülmüştür [7].

**Tablo 1.** Beton çelik çubuklarının mekanik özellikleri.

Tipler		Düz Yüzeyle (D)		Nervürlü (N), Profilli (P)			
Sınıflar		Sıcak haddeleme işlemi ile imal edilen (a)		Sıcak haddeleme esnasında ısı işlem uygulanmış (a)	Soğuk mekanik işlem uygulanarak imal edilen (b)		
Sembol		I-a	III-a	IV-a	III-b	IV-bs	IV-bk
Anma çapı (d) (mm)		6-50	6-50	6-50	6-12	14-28	4-16
En küçük akma dayanımı Re veya Rp 0.2 (MPa)		220	420	500	420		500
En küçük çekme dayanımı (MPa)		340	500	550	500		550
Çekme/Akma en küçük dayanım oranı Rm/Re		1, 2	1, 1	1,08	-	-	-
Kaynaklama şekli		A	A GP	A, E, ND MAG,GP	A ND	A, E ND	A (4) ND
En küçük kopma uzaması	$6 \leq d \leq 28 \sigma \%$	18	12	12	10	8	5
	$32 \leq d \leq 50$ $L_0=10d$	18	10	10			
Eğme deneyi için (eğme açısı 180°)		2d	5d	4d	-	-	-
Mandrel Çapı	$d \leq 12$	-	5d	5d	5d	4d	-
	$14 \leq d \leq 20$	-	6d	6d	6d	6d	-
	$20 \leq d \leq 50$	-	8d	8d	8d	-	-

Akyüz ve arkadaşlarının 1978-1988 yılları arasında üretilen çelik çubuklar üzerinde gerçekleştirdikleri araştırmalar sonucunda, ülkemizde üretilen veya ithal edilen beton çelik çubukların akma sınırlarını dikkate almış ve bu tür çubukların % 53 gibi oldukça büyük bir oranda TS 708'e uygun olmadığı görülmüştür. Çap arttıkça akma sınırında uygun olmama yüzdesi artmıştır. Çekme dayanımı ve kopma uzama oranı değerleri ise % 90'ın üstünde TS 708'de istenen şartları sağlamıştır [8]. Akyüz ve arkadaşlarının 1988-1998 yılları arasında yaptığı çalışmalarda ülkemizde üretilen veya ithal edilen beton çelik çubukların akma sınırları 1978-1988 on yıllık periyodu için TS 708'e uymama oranı % 53 iken 1988-1998 on yıllık periyodunda % 30'a düştüğü görülmüştür. Kopma dayanımı bakımından ise % 7.5 den % 11'e çıktığı görülmüştür. Kopma uzama yönünden ise her iki 10 yıllık periyotlar için TS 708'e uyum % 98'den büyük olduğu görülmüştür. (Ia) çeliklerinin akma sınırı ve çekme dayanımlarının her iki 10 yıllık periyot için TS 708'e uyumu % 100'e yakın sonuçlar bulunmuştur. Kopma uzama yönünden ise uyumsuzluğun % 10'dan % 2.7'ye düştüğü görülmüştür [9].

Özkuş, yapı çeliklerini "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik" açısından incelemiş ve TS 708'de olmayan bazı hususların burada dile getirildiğini belirtmiştir. Yeni yönetmelik akma sınırına bir üst sınır getirirken, (Deneysel Çekme Dayanımı / Deneysel Akma Sınırı) oranına bir alt sınır getirmiştir. 2000 yılına ait bir örnekleme yapılarak denenen çeliklerin büyük oranda TS 708 standardına uygun oldukları ancak Afet Yönetmeliğini aynı oranda sağlayamadığını gözlemlemiştir. Bu nedenle Türkiye'de üretilen çelik donatı çubuklarının üretim aşamasında gerekli değişikliklerin yapılarak yönetmeliğe uygun hale getirilmesi önerilmektedir. 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 gerekmektedir. Ayrıca TS 500 standardında, çelik çubukların sağlaması gereken koşullar Afet Yönetmeliğine göre yeniden düzenlenerek deprem etkisindeki yapılar ile ilgili olarak ayrı bir bölümde verilmelidir [2].

### **III. ARAŞTIRMANIN KAPSAMI**

Bu çalışmada Eskişehir’de faaliyet gösteren değişik yapı denetim şirketi laboratuvarları tarafından özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 2003 yılında yaptırılan çelik çubuk çekme deneyi sonuçlarının TS 708’e uygunluğunun istatistiksel olarak incelenmiştir. Bunun için nervürlü (IIIa) çubuklar anma çaplarına göre: Ø 8, 10, 12, 14, 16, 18 (mm) olarak alt sınıflara bölünmüş ve her alt sınıfın akma serisi, çekme dayanımı ve kopma uzama oranlarının eklenik frekans eğrileri de elde edilmiştir. Buradan da bu büyüklüklerin her bir çap için TS 708 standardına uygunluğu araştırılmıştır.

### **III. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

#### **III.1. Dayanım ve Uzama Oranlarının Değerlendirilmesi**

Eklenik frekans eğrilerinin çiziminde yatay eksenin (akma sınırı veya çekme dayanımı veya kopma uzama oranı) aralık sayısı aşağıdaki formül ile belirlenmiştir [10].

$$m=1+3.3 \log N \quad (1)$$

Örneğin (IIIa) çelik sınıfında Ø12 çaplı çelik çubukların toplam sayısı 278’dir. Akma sınırları 412 ile 932 MPa arasında değişmektedir. N değeri 278 olarak alındığında aralık sayısı yaklaşık 10 olarak bulunmuştur. Buna göre Ø12 çaplı çelik çubukların eklenik frekans eğrisi Şekil 1’deki gibi elde edilir.

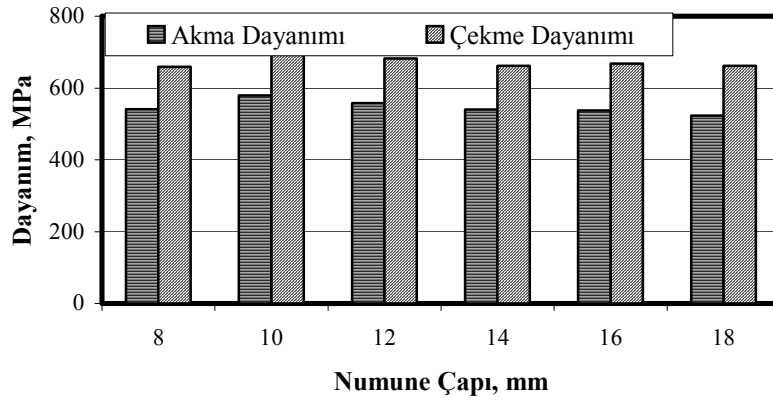
Akma sınırının TS 708’e uygunluğu için TS 708’de verilen en küçük akma sınırı 420 MPa’dır. Ø8, 12, 14, 16, 18 (mm) çaplı çelik çubukların akma dayanımlarının TS 708’e uymama oranları Tablo 2’de verilmiştir.

Farklı çelik çubuk çapları göz önüne alınarak (uymayanların sayısı) / (toplam numune sayısı) oranı 0.0043 olarak elde edilmiştir. Bu oran Akyüz ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada 1988-1998 periyodu için % 30 olarak bulunmuştur [9]. Bu oran açısından kayda değer bir iyileşme söz konusudur.

**Tablo 2.** Akma, çekme dayanımlarının ve kopma uzamalarının TS 708'e uyumları.

Çap (mm)	TS 708'e Uymama %' si		
	Akma Dayanımı	Çekme Dayanımı	Kopma Uzaması
8	0.007	0.015	0.000
10	0.011	0.006	0.017
12	0.004	0.000	0.004
14	0.000	0.008	0.004
16	0.000	0.007	0.000
18	0.000	0.000	0.000

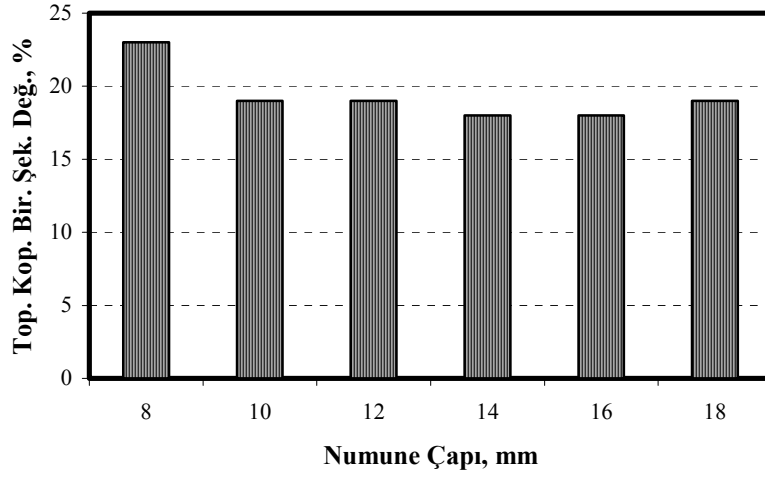
TS 708'de verilen en küçük kopma dayanımı 500 MPa'dır. Akma sınırı için yapılan inceleme, çekme dayanımları içinde yapılmış ve sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Tüm çelik çubuk çapları dikkate alındığında (uymayanların sayısı)/(toplam numune sayısı) oranı 0.0069'dur. Akyüz ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada 1988-1998 periyodu için bu oran 0.11 olarak bulunmuştur [9]. Bu sonuca göre çekme dayanımı açısından da yapı çeliklerinde iyileşme olduğu belirlenmiştir.

**Şekil 2.** Numune çapı-dayanım ilişkisi.

TS 708'de verilen en küçük kopma uzama oranı % 12'dir. Farklı çaptaki çelik çubukların kopma uzama değerlerinin TS 708'e uygunsuzluk oranları Tablo 2'de verilmiştir. Kopma uzaması bakımından Akyüz ve arkadaşlarının 1988-1998

yıllarında üretilen çelikler üzerindeki yaptığı çalışmalardaki gibi 2003 yılında üretilen çeliklerinde TS 708'in koşulunu sağlayabildiği görülmektedir. Tüm çaplar göz önüne alındığında (uymayanların sayısı)/(toplam numune sayısı) oranı 0.0043'dür. Çeşitli çaplardaki çelik çubukların akma ve çekme dayanımlarının ortalama sonuçları Şekil 2'de verilmiştir.

Akma ve çekme dayanımı değerleri farklı çapta çubuklar için yaklaşık aynı değerleri gösterirken, TS 708'de verilen 420 ve 500 MPa değerinden daha yüksek dayanımlar elde edilmiştir. Şekil 3'te her çap çubuk için kopma uzamalarının ortalaması verilmiş ve kopma birim şekil değiştirmelerin TS 708'de verilen % 12 değerinden daha büyük olduğu görülmüştür [11].



Şekil 3. Numune çapı-toplam şekil değiştirme ilişkisi.

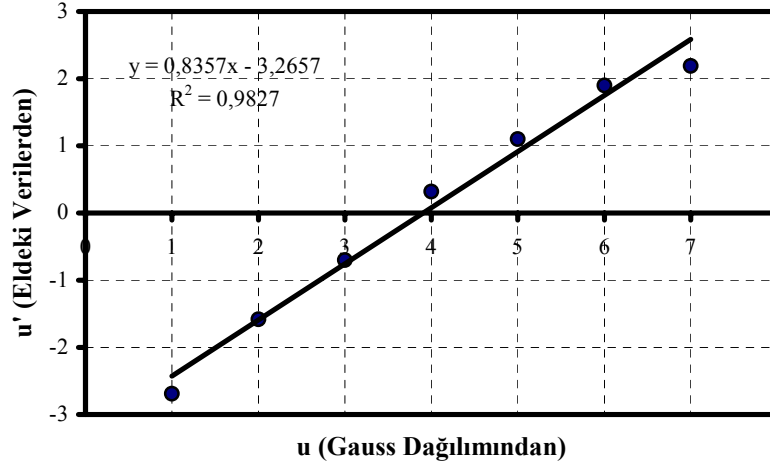
### III.2. Akma Dayanım Sonuçlarının Gauss Dağılımına Göre Değerlendirilmesi

Bu adımda, akma dayanımı dağılımının Gauss dağılımına uygun olup olmadığı incelenmiştir [12].  $x_i$  dağılımdaki herhangi bir akma dayanımı,  $\bar{x}$  ortalama dayanım dağılımını ve  $s$  dağılımın standart sapması ise değişken dönüşümü yapılarak dağılımın değişkeni boyutsuz hale getirilebilir.



$$u' = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad (2)$$

Gauss eğrisine ait değeri.  $u'$  ile de verilerden elde edilen değeri gösterirsek ve grafik çizildiğinde sonuçlar bir doğru üzerinde çıkarsa dağılımın Gauss dağılımına uyduğu söylenebilir. Gerçektende Şekil 4'den görülebileceği gibi sonuçlar bir doğru şeklinde çıkmıştır. Böylece akma dayanımı dağılımlarının Gauss'a uyduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4. u-u' ilişkisi diyagramı.

#### IV. SONUÇLAR

- Çelik çubukların akma sınırları 1988-1998 10 yıllık periyodu [9] için TS 708'e uymama oranı % 30 iken 2003 yılında bu oran % 0.43'e düşmüştür.
- Çekme dayanımı 1988-1998 10 yıllık periyodu [9] için % 11'den % 0.69'a düşmüştür.
- Akma ve çekme dayanımlarında çok önemli bir iyileşme görülmektedir.
- Kopma uzaması yönünden ise 1988-1998 yıllarında olduğu gibi [9] TS 708'e uyum % 97'nin üzerindedir.

Çelik çubuklardaki bu büyük iyileşme oranı ülkemiz insanları ve inşaat sektörümüz adına umut verici bir tablodur.

**KAYNAKLAR**

- [1] TS 708, “*Beton Çelik Çubukları*”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara Mart 1996.
- [2] Özkul, M.H., “Çelik Donatıların Deprem Yönetmeliği Açısından İncelenmesi”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Yıl. 48/2003-4, Sayı. 426, ss. 52-55, 2003.
- [3] TS 138, “*Çekme Deneyleri (Metalik Malzeme İçin)*”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1978.
- [4] Onaran, K., “*Malzeme Bilimi*”, Bilim Teknik Yayınevi, 1995.
- [5] Onaran, K., “Testing of the Mechanical Properties of Construction Steel”, *Bulletin of the Technical University of İstanbul*, Vol. 11, No.1, ss. 29-44, 1958.
- [6] Akyalı, H., Kocataşkın, F., Özden. C., “*Betonarme Malzemeler*”, Karayolları Teknik Bülteni, Ekim 1962.
- [7] Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, “*İnşaat Sektöründe Vasıflı Çelik Kullanılmasını Teşvik Sempozyumu*”, Kasım 1975, Ankara.
- [8] Akyüz, S., Uyan, M., “*Türkiye’de Kullanılan Beton Çelik Çubuklar Üzerine Bir İnceleme*”, *İMO Teknik Dergi*, Nisan 1992.
- [9] Akyüz, S, Uyan, M., Yıldırım, H., “*Türkiye’de Kullanılan Çelik Çubuklar Üzerine İstatistik Bir Değerlendirme*”, *Hazır Beton Dergisi*, Yıl. 6, Sayı. 35, Eylül-Ekim 1999, ss. 93-100.
- [10] Bayazıt, M., Oğuz, B., “*Mühendisler İçin İstatistik*”, Birsen Yayınevi, 1985.
- [11] Topçu, İ. B., Canbaz, M., “*Yapı Çeliklerinde Çekme Deneyi*”, İnşaat Mühendisliği Sempozyumu, 2-3 Haziran 1999, S. D. Ü., Isparta, ss. 360-363.
- [12] Bayazıt, M., “*İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri*”, *İTÜ Rektörlüğü Yayın No. 1573*, s. 236, 1996.