

Yurdumuzda kullanılan muhtelif tip çelik donatılmış kirişlerin davranış ve mukavemeti

Metin Arıkan*-Dr. Uğur Ersoy**

I — GİRİŞ

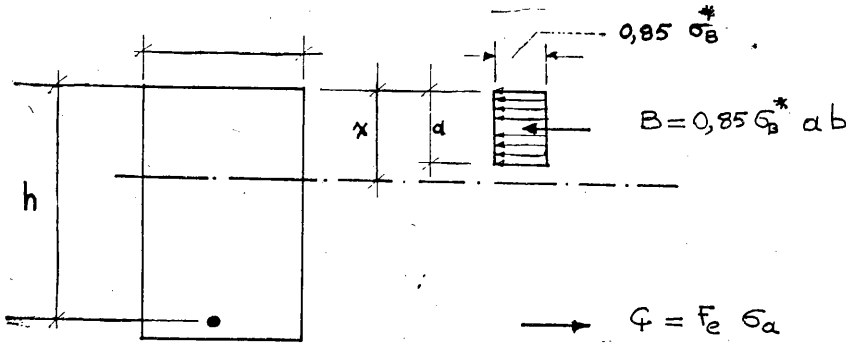
Betonarme yapı elemanlarında aranan önemli özellikler, yüksek taşıma gücü, az deformasyon ve minimum çatlak genişliğidir. Bu özellikler kullanılan donatının karakteriyle değişirler.

Aşağıda gösterildiği gibi, kiriş geometrisi ve yükleme şekli aynı kalmak şartı ile, kesitin taşıma gücü, yaklaşık olarak kullanılan donatının mukavemeti, yani akma gerilmesine orantılı olarak değişir. Normal donatılı kirişlerde beton mukavemeti ancak moment kolunu etkiler ve bu etki genel olarak ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Bu aşağıdaki şekilde kolayca görülebilir.

Deformasyonlar, donatı olarak kullanılan çelik cinsi ile, çatlak genişliği ve aralığı ise, donatının nervürlü olup olmaması, nervür geometrisi ve çelik kalitesi ile etkilenir.

Araştırmanın Gayesi

Yapı elemanlarında taşıma gücü, deformasyon, çatlak genişliği ve aralığının çelik cinsi ile nasıl etkilendiğini incelemek için 6 adet kiriş eğilmeye tabi tutularak denendi. Donatı olarak torçelik (Özel, St—III b, soğuk işleme tabi tutulmuş, burulmuş, nervürlü), Metaş (normal, St—III a, nervürlü ve yüksek mukavemetli) ve normal, nervürsüz çelik (St—I) kullanılmıştır.



Denge Şartları :

$$0,85 \sigma_c^* a b = F_e \sigma_s$$

$$M = F_e \sigma_s \left(h - \frac{a}{2} \right)$$

Bu iki denklemden,

$$M = F_e \sigma_s \left(h - 0,59 \frac{F_e \sigma_s}{b \sigma_c^*} \right)$$

Şekil 1 — Dikdörtgen Kesitli Bir Kirişin Taşıma Gücü

II — DENEY ELEMANLARI VE DENEY TEKNİĞİ

1 . Deney Elemanları

Deney elemanı olarak ebadı Şekil 2 de gösterilen kirişler kullanılmıştır. Kirişlerin kayma gerilmelerinden dolayı kırılmasını önlemek için kesme kuvvetlerinin bulunduğu bölgelerde etriye kullanılmıştır. Şekil 2 de deney elemanlarının boyutları, tablo 1 de ise deney elemanlarının özellikleri gösterilmiştir.

2. Malzeme ve Elemanların Hazırlanması

a) Beton

Bu araştırma için hazırlanan elemanlarda, 28 günlük silindirik basınç mukavemeti yaklaşık olarak 300 kg/cm olan bir beton karışımı kullanılmıştır. 1 metreküp beton için kullanılan malzeme listesi aşağıda verilmiştir.

- 650 kg kum
- 410 kg ince çakıl 3 mm < D < 7 mm
- 825 kg iri çakıl 7 mm < D < 15 mm
- 410 kg Çorum fabrikası markalı «Normal Portland Çimentosu»
- 185 kg su

b) Çelik

Kirişlerde donatı olarak üç tip çelik kullanılmıştır. Soğukta çekilmiş ve burulmuş torçelik (St—III b), normal, nervürlü metaş (St—III a) ve normal, nervürsüz çelik (St—I). Her tip çelik için karakteristik «gerilme—birim uzama» ($\sigma - \epsilon$) eğrileri Şekil 3de verilmiştir.

*) ODTÜ. İnşaat Mühendisliği Bölümünde Asistan.

**) ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümünde Asosye Profesör.

Deney elemanı	Donatı	Donatı porsantajı	Çelik cinsi	Akma gerilmesi	Beton silindir	Beton çekme mukavemeti
				σ_a (kg/cm ²)	σ_B^* (kg/cm ²)	$\sigma_{B\zeta}$ (kg/cm ²)
1	2—Ø 10	0,009	Düz	2600	190	25
2	2—Ø 10	0,009	Torçelik	4900	300	30
3	2—Ø 10	0,009	Metaş	5900	290	33
4	2—Ø 10	0,009	Metaş	5800	290	33
5	2—Ø 18	0,028	Düz	2800	360	37
6	2—Ø 18	0,028	Düz	2700	300	32

17

Yük ve mesnet arasındaki ilk çatlaklar kiriş eksenine dik olarak görülmüş, yük arttıkça kayma gerilmelerinin etkisi ile bu çatlaklar kiriş eksenine yaklaşık olarak 45 derece bir açı yapacak şekilde eğikleşmiştir. Bu bölgeye konan etriyeler, kayma çatlaklarının kiriş kırılmasını etkilemesini önlemiştir.

Çatlak aralıklarının düz demirle donatılmış kirişlerde daha fazla (ortalama 11 — 12 cm) metaş ve torçelikle donatılmış kirişlerde daha az (6 — 7 cm) olduğu görülmüştür.

Kırılma anında yaklaşık olarak 2 mm olan maksimum çatlak genişliği, beton dağıldıktan sonra 4 mm ye kadar çıkmıştır. Tablo 2 de deney sonuçları, Şekil 6 da ise kirişlerin deneyden sonraki durumları gösterilmiştir.

2. Kiriş Deformasyonları

a) Yük — Sehim Değişimi (P—Δ Eğrisi)

Her yüklemede sehim, kiriş ortasına yerleştirilmiş bir komparator vasıtasıyla ölçülmüştür.

En fazla sehim beklenildiği gibi 2—Ø 10 düz çelikle donatılmış olan kirişte ölçülmüştür (76,4 mm). 10'luk Metaş ve Torçelikle donatılmış kirişlerin maksimum sehimleri birbirine yakın olmuştur.

En az sehim, donatısı 2—Ø 18 olan 5 ve 6 no.lu kirişlerde müşahade edilmiştir (18 mm).

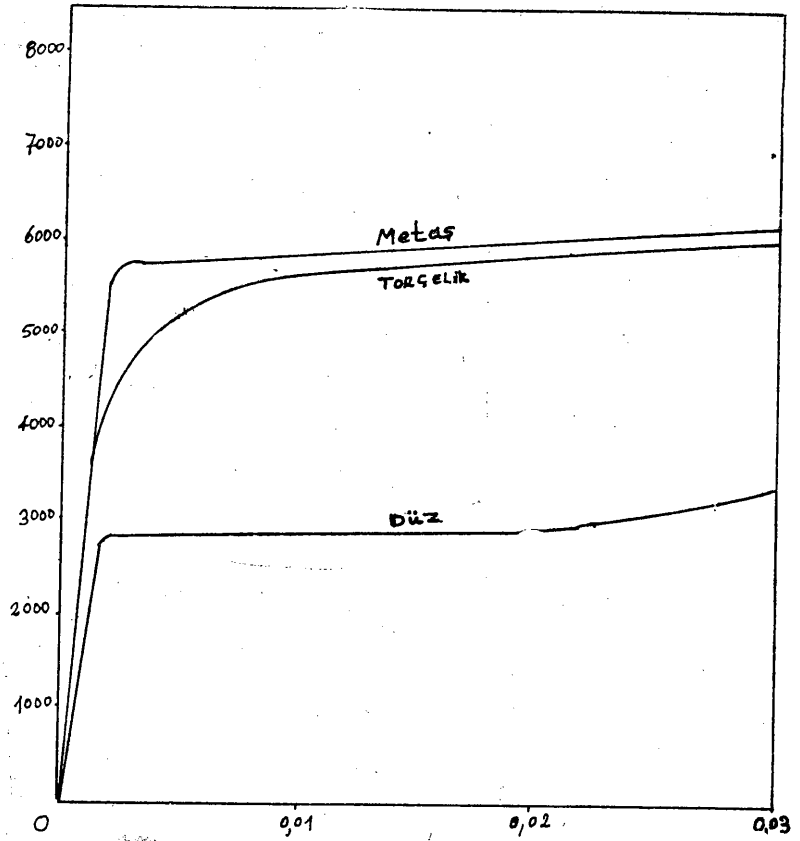
Kirişlerin yük — sehim eğrileri genellikle aynı karakteri göstermiştir. İlk çatlama anına tekabül eden yüke kadar lineer olan eğri,

bu noktadan sonra genel olarak lineerliğini kaybetmiştir. Eğrilerin çatlama sonrası eğiminin, ilk eğime nazaran çok daha az olduğu Şekil 7 den kolayca görülebilir. Donatı akma sınırına eriştikten sonra, kiriş yükü aynı kaldığı veya çok az arttığı halde sehim kırılma anına kadar artmaya devam etmiştir.

b) Moment — Dönme Açısı Değişimi

Dönme açısını hesaplamak için altta ve üstte kiriş boyuna paralel olarak yerleştirilmiş rotasyon aletinden faydalanılmış olup, hesab tarzı Şekil 8 de izah edilmiştir. Hesaplarda, kiriş derinliğince, birim uzama ve kısalma dağılımının lineer olduğu kabul edilmiştir. Bu husus gerek ODTÜ de, gerekse diğer birçok laboratuvarlarda yapılan deneylerle ispatlanmış olduğundan burada ayrıca tartışması yapılmayacaktır.

Şekil 9 da kirişlerin moment — birim dönme açısı eğrileri göz-

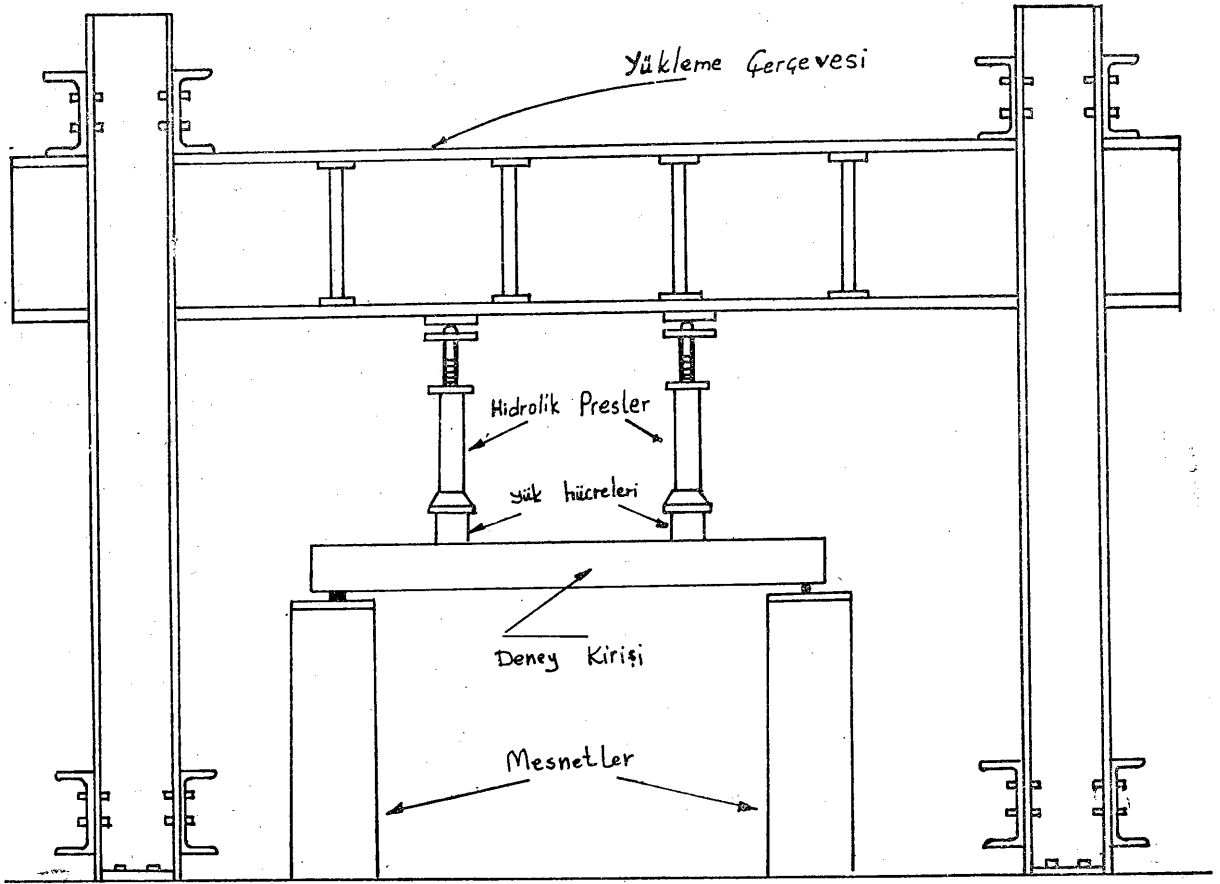


Şekil 3 — Kullanılan 3 tip Çeliğin Tipik (σ—ε) Eğrileri

Tablo 2 — Deney Sonuçları

Kiriş	σ_a (kg/cm ²)	σ_B (kg/cm ²)	Donatı	Kırılma yükü P(kg)	Kırılma momenti M _t (t—cm)	Maksimum çatlak genişliği (mm)
1	2600	190	2—Ø 10(D)	1400	70	2,8
2	4900	300	2—Ø 10(T)	3000	150	1,9
3	5900	290	2—Ø 10(M)	3100	155	2,5
4	5800	290	2—Ø 10(M)	3300	165	2,0
5	2800	360	2—Ø 18(D)	4800	240	2,3
6	2700	300	2—Ø 18(D)	4500	225	1,5

Not : (M) Metaş
(T) Torçelik
(D) Düz



Şekil 4 — Yükleme Sistemi

terilmiştir. En fazla birim dönme açısı, 2—Ø 10 düz çelikle donatılmış kirişte ölçülmüştür. Yük — sehim eğrilerinde de görüldüğü gibi kirişlerin moment — dönme açısı eğrileri genellikle aynı karakteri göstermektedir. İlk çatlağın meydana gelmesinden sonra dönme açısının artışı hızlanmıştır. Donatı akma sınırına ulaştıktan sonra sabit veya az artan moment altında rotasyon süratle çoğalmıştır.

c) Çelik ve Betonda Birim Deformasyon

Çelik ve betondaki birim deformasyon eğrileri Şekil 10 ve 11 de gösterilmiştir. Betonda en fazla birim kısalma 2—Ø 10 nervürlü çelikle donatılmış kirişte ölçülmüştür (0,00573 cm/cm). En az birim kısalma ise nervürlü çelikle donatılmış kirişlerde müşahade edilmiştir (0,00410 cm/cm). Eğriler genellikle aynı özellikleri göstermişlerdir.

Çelikte en fazla birim uzama, betonda olduğu gibi, 2—Ø 10 nervürlü çelikle donatılmış kirişte ölçülmüştür (0,02820 cm/cm). Bu değer aynı çeliğin akma sınırındaki birim uzamasının hemen hemen 25 katıdır. Nervürlü, Metaş ve Torçelikle donatılmış kirişlerde, maksimum birim uzamalar sırasıyla 0,0118 cm/cm ve 0,0108 cm/cm olarak ölçülmüştür. Ölçülen kritik deformasyon değerleri tablo 3 de verilmiştir.

Tablo 3 de «3» numaralı elemanın kırılma adındaki deformasyon değerleri diğer elemanlarına nazaran küçüktür. Bu kirişte deformasyonların küçük olmasının nedeni elemanın donatı akma sınırına ulaştığı anda yüksek olan kayma gerilmelerinin etkisi ile mesnet ve yük arasındaki eğik bir çatlaktan kırılmasıdır.

d) Tarafsız Eksenin Değişmesi

Şekil 12 de tarafsız eksenin mo-

ment ile değişmesi 2—Ø 10 Metaş çeliği ile donatılmış bir eleman için verilmiştir. Deney sonucu elde edilen şeklin taşıma gücü teorisi ile uygunluğu ilginçtir. Malum olduğu üzere, bu teoride, donatı akma sınırına ulaştıktan sonra artan deformasyonla tarafsız eksenin yükseleceği ileri sürülmektedir.

Şekil 12 de bu husus açık olarak görülmektedir.

3. Kirişlerin Taşıma Gücü

Kirişlerin taşıma gücüne, donatı akma sınırına ulaştığı zaman eriştiği kabul edilmiştir. Akma sınırı belirli, normal çeliklerde, bu sınıra ulaşıldığında deformasyon artmasına rağmen gerilme sabit kalacağından, bu tip çelikle donatılmış kirişlerdeki toplam çekme kuvveti akma sınırından sonra sabit kalır. Hernekadar beton basıncı bölgesinin küçülmesi ile moment kolundaki artış mukavemet

A black and white photograph of a large, dark, rectangular structure, possibly a piece of machinery or a large container, with several circular gauges or dials mounted on its side. The structure is set against a light background.

TÜRKİYE MÜHENDİSLİK HABERLERİ

momentini etkilerse de, momentdeki artış genel olarak % 5 i geçmez. (3) Yani bu tip çelik donatılmış kirişlerin taşıma gücüne, donatı akma sınırına ulaştığı zaman eriştiği kabulü makûldur.

Soğuk işleme tabi tutulmuş özel beton çeliklerinde (Torçelik gibi) belirli bir akma sınırı yoktur. Çelik itibarı akma gerilmesine ulaştıktan sonra, az da olsa gerilme artışı devam eder. Bundan dolayı bu tip çelik donatılmış kirişlerin kırılma momenti, itibarı akma gerilmesine tekabül eden momentten oldukça büyüktür. (4) (5) Torçelik donatılmış kirişlerde ki bu moment artışı Şekil 9 da açık olarak görülebilir. Tablo 4 de denenen elemanların ulaştığı maksimum momentler, taşıma gücü teorisine göre hesaplanan momentlerle karşılaştırılmıştır. Taşıma gücü, önce kirişte kullanılan donatının ölçülen akma sınırına göre, bilâhare şartnamelerde bu tip çelik için verilen minimum akma gerilmesine göre hesaplanmış olup, her iki değer de Tablo 4 de gösterilmiştir. Buna ilâveten, Tablodaki şartnamelerde verilen çelik emniyet gerilmeleri kullanılarak hesap edilen mukavemet momentleri de deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

M_t = Bu tip çeliğin şartnamelerde gösterilen minimum sına göre hesaplanan moment.

3) Tablodaki M_t ve M_u değer-

lerin hesaplarında kullanılan çeliktaki minimum akma ve emniyet gerilmeleri aşağıda verilmiştir.

Tablo 4 de görüldüğü gibi kirişler, taşıma gücüne göre hesaplanan moment teğelerine ulaşmışlardır. Tablonun 4. kolonunda verilen değerler, her deney sonucu elde edilen momentlerin, teorik momentlerden daima daha büyük olduğunu göstermektedir. Deney sonucu elde edilen maksimum momentlerin, şartnamede gösterilen minimum akma gerilmesine göre hesaplanan moment değerlerine oranı en az 1,21 olup, denenen altı eleman için ortalama 1,36 dır. Kesit mukavemet momentleri şartnamede öngörülen emniyet gerilmesine göre hesaplandığında, bu oranın nervürsüz çelik (St—I) donatılmış kirişlerde yaklaşık olarak 2,0, nervürlü Metaş (St—III—a) veya Torçelik (St—III—b) donatılmış kirişlerde ise yaklaşık olarak 3,0 olduğu görülmüştür. Bu rakam(, kesit momenti emniyet gerilmeleri kullanılarak hesaplandığına göre, bir emniyet katsayısı olarak kabul edilebilir. Tablo 4 ün 8. kolonundaki rakamlar incelenirse emniyet katsayısının nervürlü çelik donatılmış kirişlerde daha yüksek

olduğu görülür.

Daha önce belirtildiği gibi, M_t / M_u oranı emniyet katsayısını temsil eder. St—III çeliği ile donatılmış kirişlerdeki emniyet katsayısının St—I ile donatılmış kirişlerdekine nazaran % 50 daha büyük olmasının başlıca üç nedeni vardır.

i) Şartnamede öngörülen emniyet gerilmeleri St—I için $\frac{2,2}{1,4} = 1,6$, St—III için ise $\frac{4,2}{3,0} = 2,1$ emniyet katsayılarını vermektedir.

ii) Deneyde kullanılan St—I çeliklerinde ölçülen akma sınırı, şartnamede verilen minimum değerden yaklaşık olarak % 23 fazla iken bu fazlalık St—III—a (Metaş) için yaklaşık olarak % 40 dır.

iii) St—III—b (Torçelik) de hernekadar ölçülen itibarı akma sınırı, verilen minimum değerden ancak % 19 fazla ise de, bu çelikteki gerilmeler akma sınırından sonra artmaya devam etmekte ve momenti etkilemektedir.

IV — YORUMLAR

Yapılan altı adet kiriş deneyi sonunda kesin kanaatler belirtmek ve genellemeler yapmak doğru olmaz. Burada deney sonucu elde edilen bulgular özetlenecektir.

1. Nervürsüz çelik donatılmış kirişlerde çatlaklar arasındaki mesafe nervürlü çelik donatılanlara nazaran daha fazla olup, çatlakların daha geniş olduğu müşahade edilmiştir.

2. St—I nervürsüz çelik donatılmış kirişler, St—III nervürlü çeliklerle donatılmış kirişlere nazaran daha fazla deformasyon kabiliyetine sahiptir. St—III ile donatılmış kirişlerin davranışının St—I ile donatılanlara nisbetle daha gevrek olduğu görülmüştür.

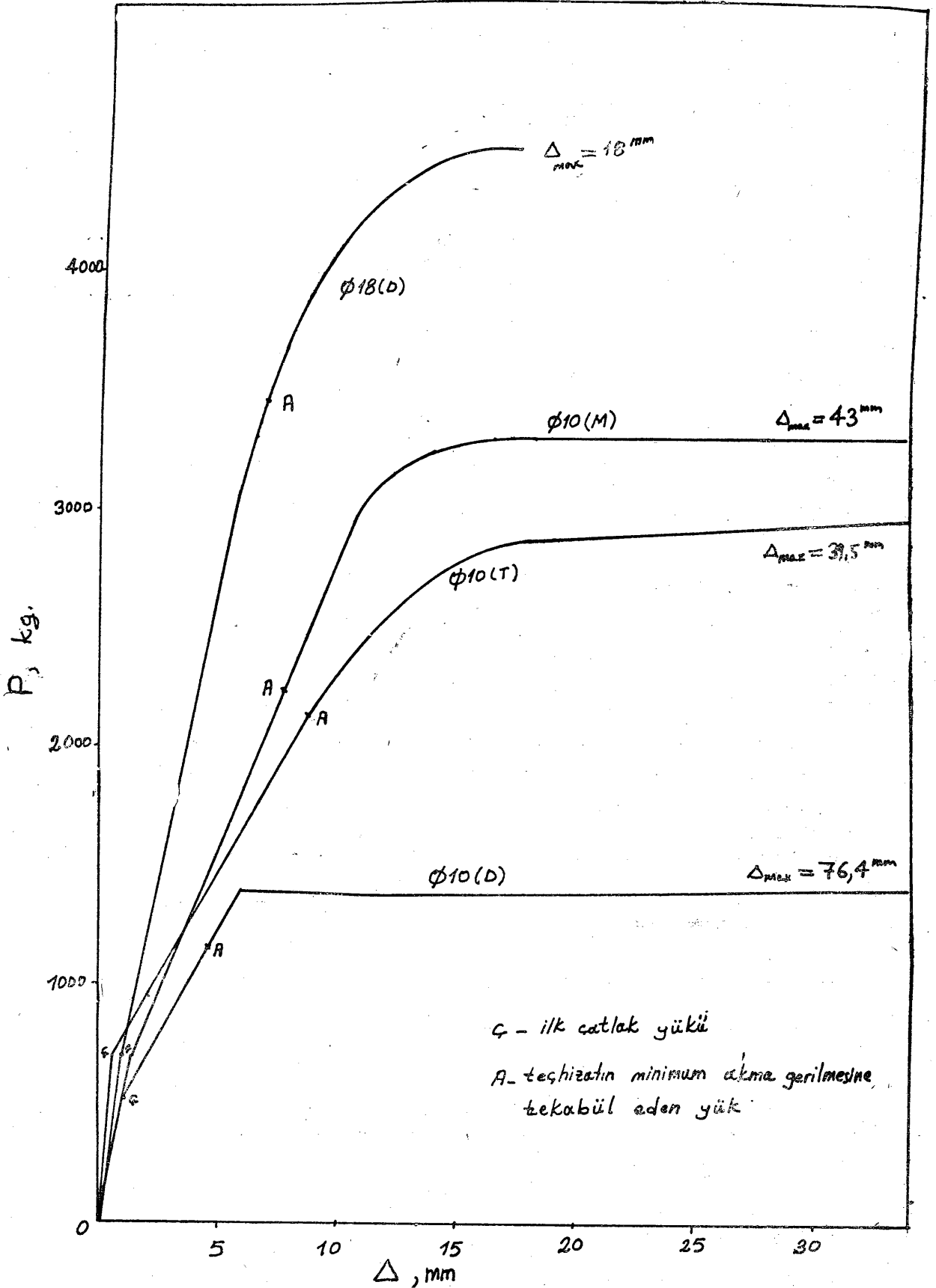
Tablo 4 — Teorik Mukavemet Momentlerinin Deney Sonuçları ile karşılaştırılması

Kiriş No.	M_t	M_u	M_t / M_u	M_a	M_t / M_a	M_u	M_t / M_u
1	2	3	4	5	6	7	8
1	70	68,5	1,02	58	1,21	36,8	1,91
2	150	126,0	1,18	108	1,38	51,5	2,92
3	155	150,0	1,03	107	1,45	50,8	3,00
4	165	154,0	1,07	112	1,47	53,2	3,10
5	240	222,0	1,08	174	1,38	111,0	2,21
6	225	212,0	1,06	173	1,30	110,0	2,02

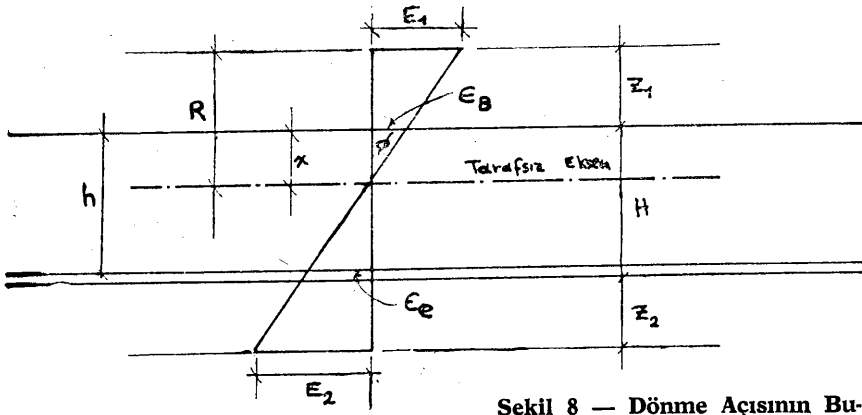
Not : 1) Tablodaki moment değerleri t— cm cinsindendir.

2) M_t = Deneyde ulaşılan maksimum moment.

M_u = Çelik numunelerinden elde edilen σ_a 'ya göre hesaplanan moment (σ_a tablo — 1 den alınmıştır).



Şekil 7 — Kirişlerin Yük — Şehim Eğrileri



Şekil 8 — Dönme Açısının Bulunması

Not : 2 — Ø 18(D) ve 2 — Ø10(M) kirişlerinden yalnız birer adet gösterilmiştir

duğu müşahade edilmiştir.

8. Denenen bütün kirişlerin kırılma momentleri taşıma gücü teorisi ile hesaplanan değerlerden büyüktür.

9. Şartnamede öngörülen, emniyet gerilmelerine göre hesap yapıldığı takdirde, St—I nervürlü çeliklerle donatılmış kirişlerde emniyet katsayısı yaklaşık olarak 2,0 iken, St—III nervürlü çeliklerle donatılmış kirişlerde bu katsayının yaklaşık olarak 3,0 olduğu görülmüştür. Bunun nedenleri daha önce detaylı olarak izah edilmiştir.

Bu deneylerin hazırlanmasında ve ölçü aletlerinin imâlinde büyük emekleri geçen ODTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Statik Laboratuvarı teknisyenlerinden Orhan Avcı ve Burhan Avcı'ya ve diğer laboratuvar personeline teşekkürü borç bilmekteyiz.

Literatür

1. Atımtay, E., «Time Dependent Deformations of Concrete Beams, Reinforced for Tension Only», MS Thesis, Orta Doğu Teknik Üniversitesi 1967.

2. Hognestad, E., Hanson, N.M., and McHenry D., «Concrete Stress Distribution in Ultimate Strength Design», jo-

urnal of American Concrete Institute, December 1955.

3. Ferguson, P.M., «Reinforced Concrete Fundamentals» John Wiley and Sons, Nnc. New—York 1964.

4. Sinha and Ferguson, P.M., «Ultimate Strength with High Strength Reinforcing Steel with an Indefinite Yield Point», Journal of American Concrete Institute, April 1964.

5. Karaesmen, E., Ersoy, U., ve Yaltkaya, E., «Soğukta Burulmuş Nervürlü Torçeliklerin Özellikleri ve Bu Tip Çelik ile İnşa Edilmiş Yapı Elemanlarının Mukavemet ve Davranışı», Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnş. Müh. Blm., Yapı Statik Lab. Raporu, No. 8 — 105, 1969.

Notasyonlar

a = beton basınç gerilme diyagramının derinliği

B = betondaki toplam basınç kuvveti

b = kiriş gövde genişliği

Ç = donatıdaki toplam çekme kuvveti

F_e = toplam donatı alanı

h = kiriş faydalı yüksekliği

M_a = donatının şartnamede gösterilen minimum akma gerilmesi esas alınarak hesaplanan mukavemet momenti

M_e = donatının şartnamede gösterilen emniyet gerilmesi esas alınarak hesaplanan mukavemet momenti

M_t = deneyde ulaşılan maksimum moment

M_u = donatıdan alınan numunelerden elde edilen akma gerilmesine göre hesaplanan mukavemet momenti

P = kirişe tatbik edilen munferit yük

X = tarafsız eksene olan mesafe

σ_a = çeliğin akma gerilmesi

σ_B* = beton silindir basınç mukavemeti

ε_B = kiriş üst yüzündeki beton birim kısalması

ε_e = donatıdaki birim uzama

Δ = kiriş açıklık ortasındaki sehim

Ø = birim dönme açısı

μ = donatı yüzdesi

$$R = \frac{E_1}{e_1 + e_2} (Z_1 + H + Z_2)$$

$$x = R - Z_1$$

$$E_B = \frac{E_1}{R} \cdot x$$

$$E_e = \frac{E_B}{x} (h - x)$$

$$\phi = \frac{E_B}{x}$$

3. Donatı yüzdesi arttıkça deformasyon kabiliyeti azalmakta ve kiriş davranışı daha gevrek olmaktadır.

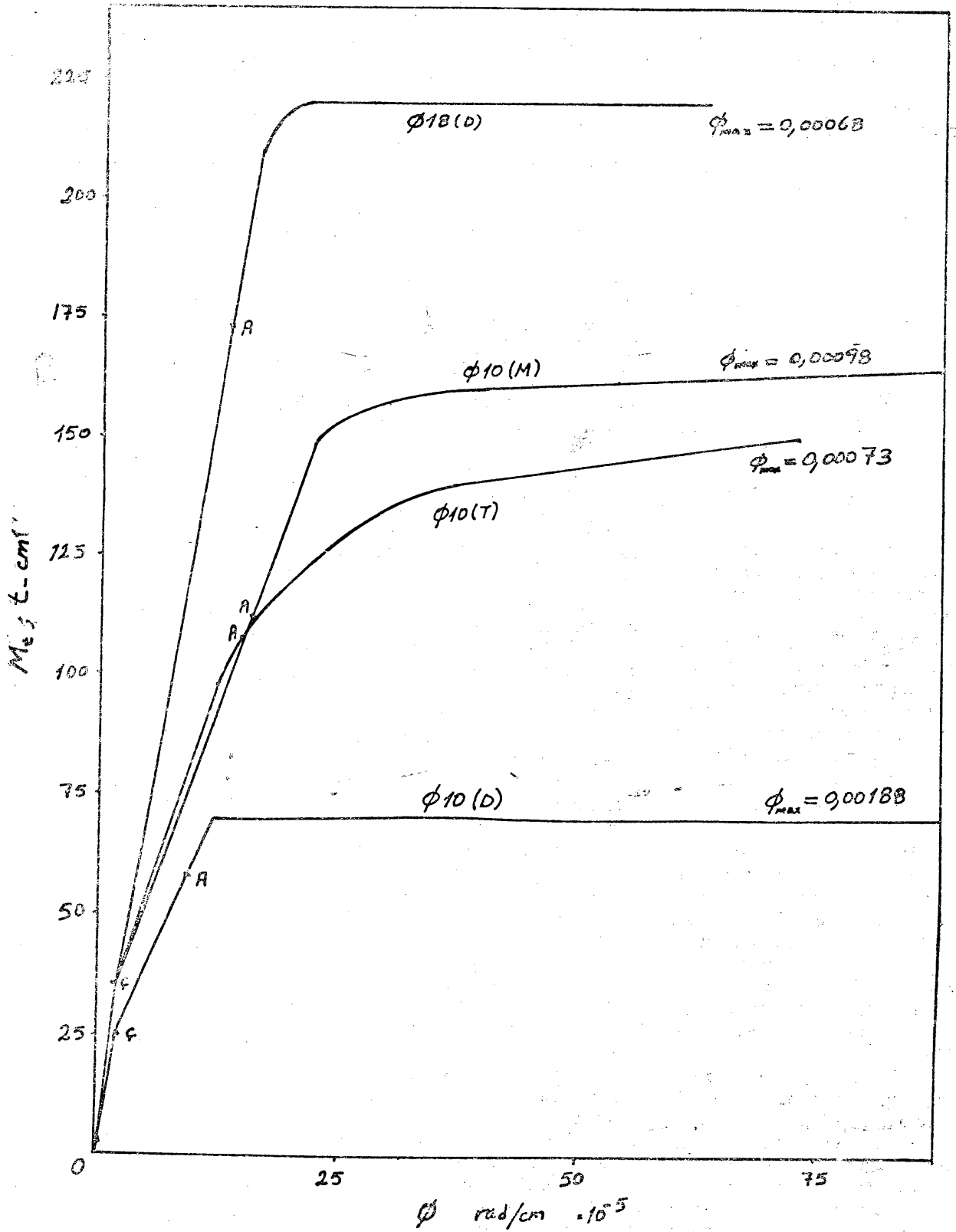
4. Bütün kirişlerde, donatı şartnamede verilen emniyet gerilmelerine ulaştığında meydana gelen sehim kabul edilen maksimum değerlerin altındadır (En fazla sehim kiriş — 6 da müşahade edilmiş o-

$$\text{lup } \Delta \text{ max} = \frac{L}{500} \text{ dür).}$$

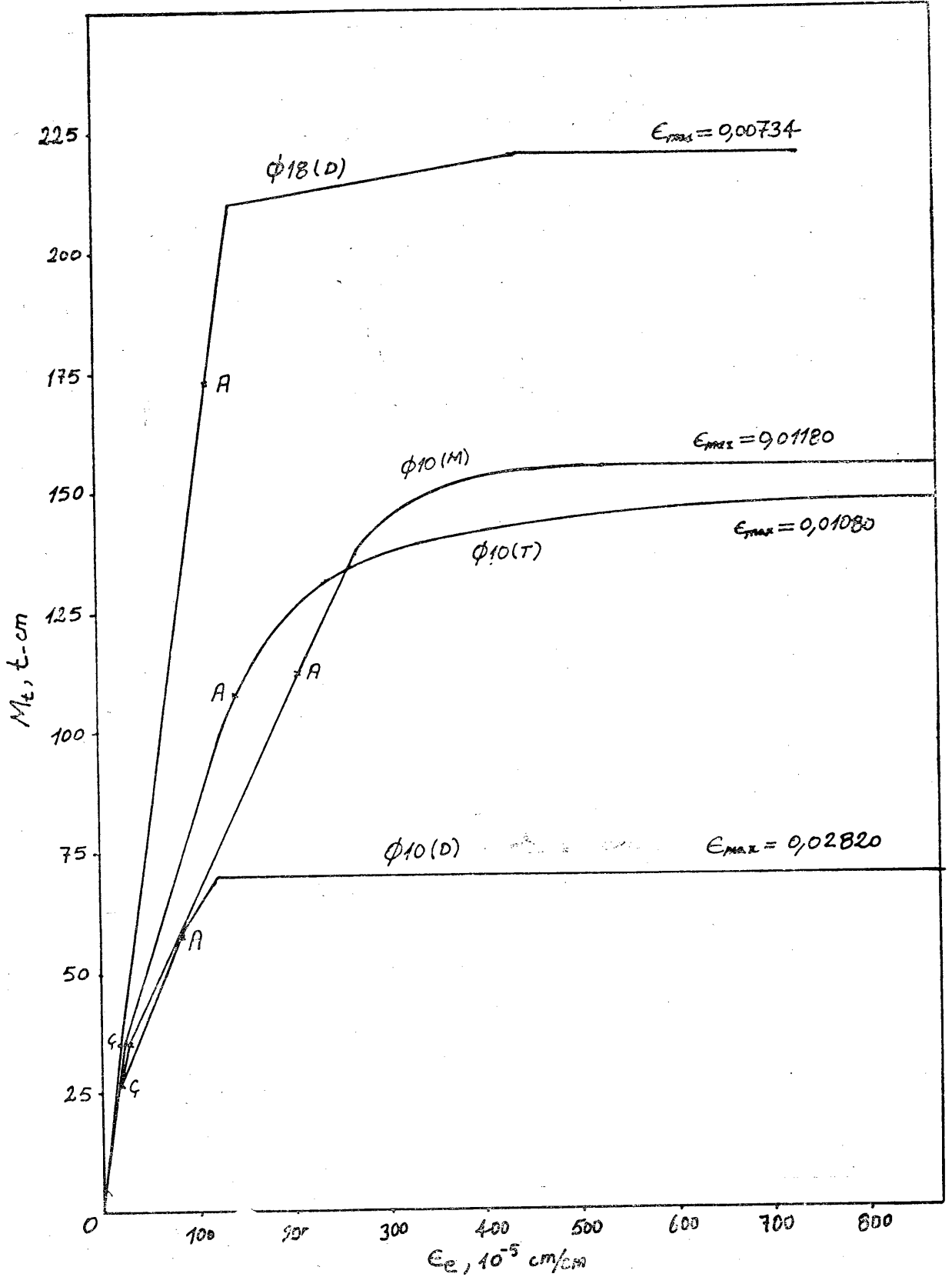
5. Bütün kirişlerde, donatı şartnamede öngörülen minimum akma gerilmesine ulaştığında müşahade edilen sehim, dönme açısı ve betondaki birim kısalma muhtelif şartname ve araştırma bulgularının ışığı altında kabule şayandır. Yani hiç bir kirişin davranışı kabul edilemeyecek derecede gevrek değildir.

6. Betonda ölçülen maksimum birim kısaltmalar ACI ve CEB ce öngörülen değer üstündedir.

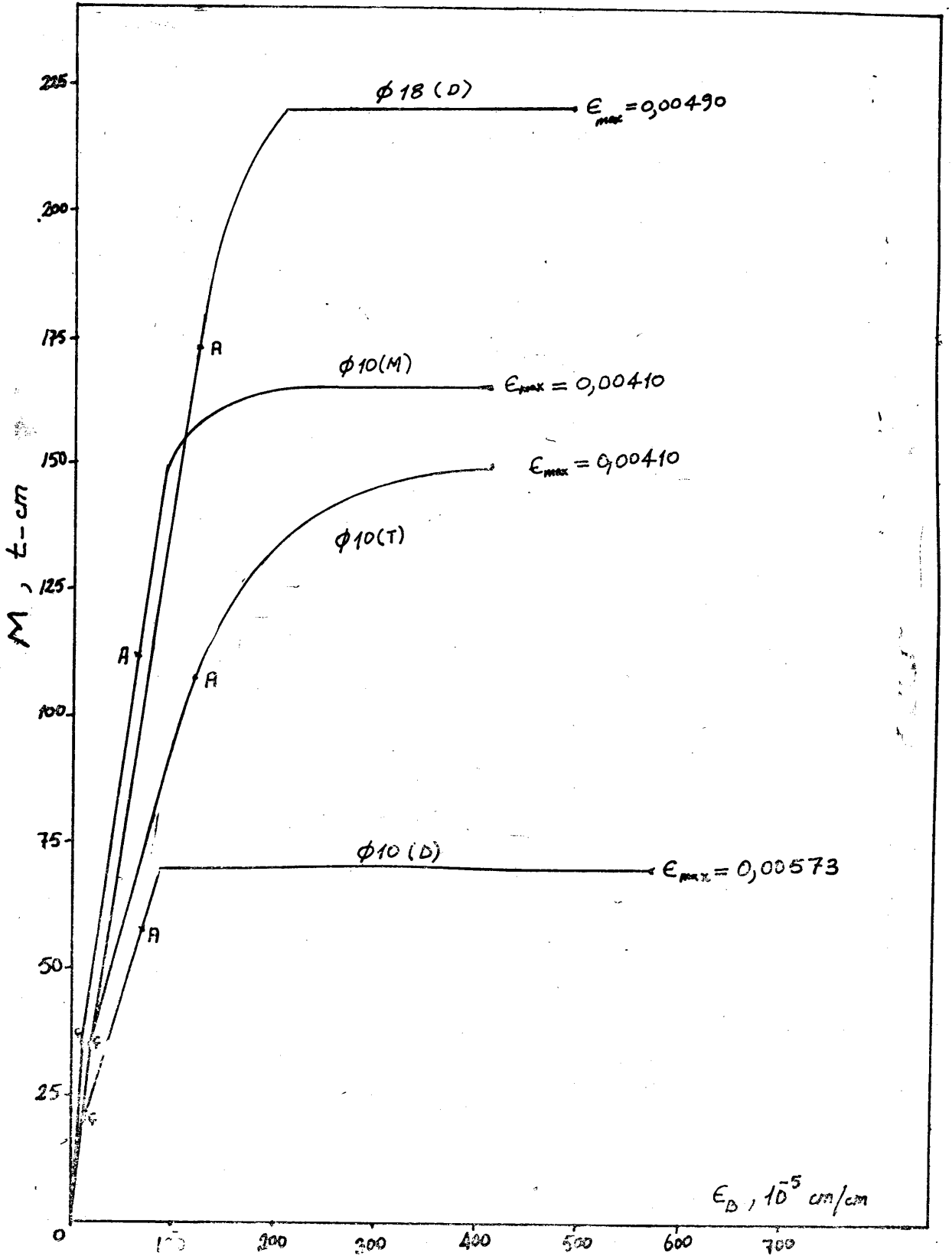
7. Kirişlerdeki donatı şartnamelerinde öngörülen minimum akma gerilmesine ulaştığında, St—III ile donatılmış kirişlerdeki sehim ve birim dönme açısının, St—I ile donatılmış kirişlere nisbetle % 90—% 100 daha fazla ol-



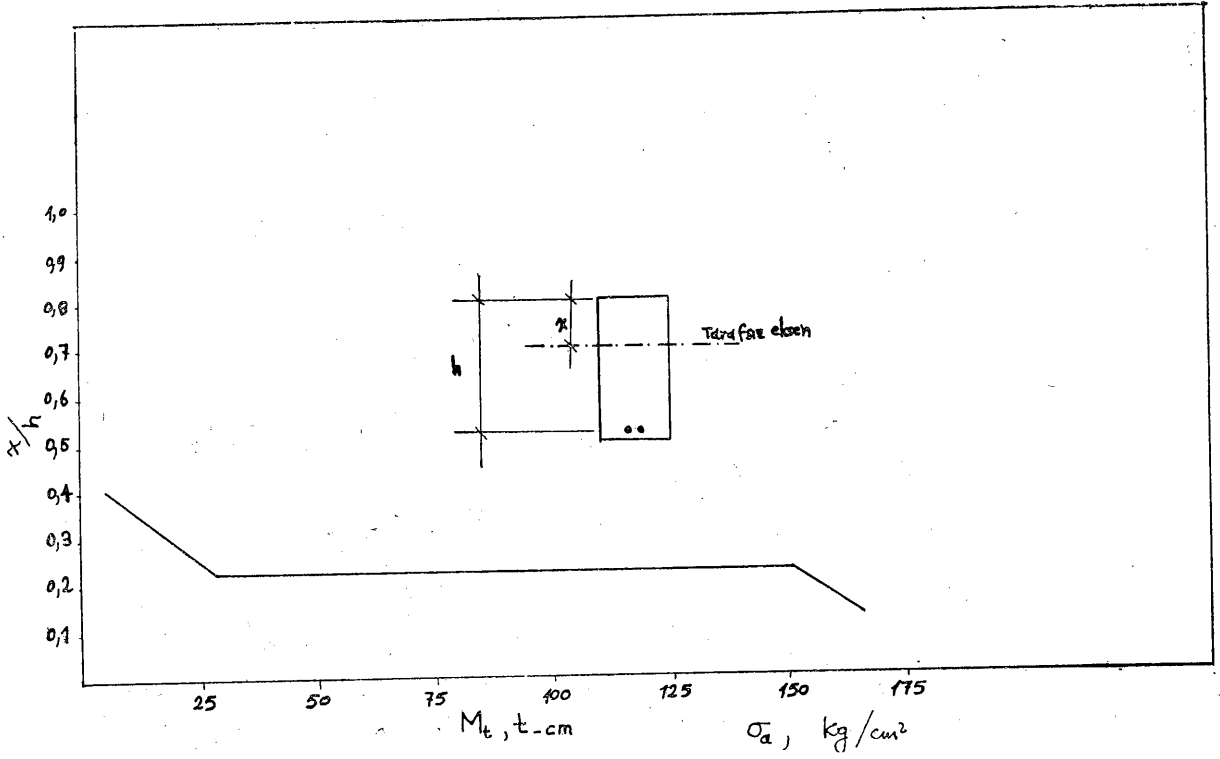
Şekil 9 — Kirişlerin Moment—Birim Dönme Açısı Eğrilmeleri



Şekil 10 — Donatının Birim Uzaması



Şekil 11 — Betonun Birim Kısılması



Şekil 12 — Tarafsız Eksenin Artan Moment Altında Değişimi

MÜHENDİSLİK ÖLÇÜ ÂLETLERİ :

TEODOLİT — TAKEOMETRE, NİVO, PUSULA, EKLİMETRE, PRİZMA, HASSAS ŞERİT METRE'ler.

Marka : F. W. BREITHAUPT und SOHN (Kuruluşu : 1762), Menşei: Batı Almanya. Üstün Kalite — İthalâtçı Fiyatı.

○ İ. B. Döküm Radyatörleri Bayiliği :

İZSAL DÖKÜM SANAYİİ A.Ş. MAMULÜDÜR.

○ FAMERİT Sanayi Ltd. Şti. - İzmir Mamûlleri :

Sun'î taş yer döşemeleri, Prefabrike Merdiven basamakları, Duvar ve dış cephe kaplamaları, yurdumuzda ilk defa Dekoratif (Waschbeton) kaplamalar.

Teşhir yeri ve Ankara Mümessilliği :

TALÂT KOCABAY, Yüksek Mühendis

Mithatpaşa Caddesi No. 13, Yenışehir — ANKARA — Tel. : 12 24 63 - 12 34 80

(Mühendislik — 287)

**BREITHAUPT
KASSEL**

