

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Beton, Ele, anı Seh, ve
Zam, Bağlı Seh, Hesp,

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Alp Sezener

1987

1103
1500

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME ELEMANLARDA ANİ SEHİMLERİN VE
ZAMANA BAĞLI SEHİMLERİN HESAPLANMASI**

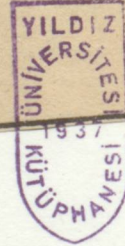
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

MÜH. ALP SEZENER

İSTANBUL 1987

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
GENEL KİTAPLIĞI

Kot : R 150
Alındığı Yer : Fen Bil. Ens. 114
Tarih : 24.12.1988
Fatura : 6500 TL
Fiatı : 1/24
Ayniyat No : 45926
Kayıt No : 624.012.45
UDC : 378.242
Ek :



16.
YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



BETONARME ELEMANLARDA ANİ SEHİMLERİN VE
ZAMANA BAĞLI SEHİMLERİN HESAPLANMASI

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)
MÜH. ALP SEZENER

İSTANBUL 1987

İÇİNDEKİLER

Tablolar

İşaretler

Kısaltmalar

Tanımlar

Özet

1. BÖLÜM	.....	(ACI) Yönetmenliğine göre sehimler hesabı	... 1
1.1	Giriş	.....	1
2.	Sehimlerin kontrolü ve önerilen hesap metodları	.....	1
2.1	Sehimlerin kontrolü nedeni	.....	1
2.2	(ACI) yönetmenliğinde bulunan ve sehimleri kontrol için geliştirilen iki tablo	.....	2
2.3	Sehimlerin hesaplanması	.....	4
2.3.1	Sehim hesaplarında kullanılacak eğilme rijitliği (EI) hesabı	.....	4
2.4	Ani sehimler hesabı	.....	6
2.4.1	Örnek	.....	7
2.4.2	Örnek	.....	10
2.5	Betonda zamanla meydana gelen sehimlerde etkili olan iki önemli faktör (rötre ve sünme)	.....	17
2.5.1	Rötre	.....	17
2.5.2	Sünme	.....	17
2.6	Zamana bağlı (uzun süreli) sehimler	.....	18
2.7	Zamanla meydana gelen sehimlerde sünme etkisi	.....	19
2.7.1	Sünme birim deformasyonu (ϵ_{cp})	.....	21
2.7.2	Sünme katsayısı (C_t)	.....	22
2.7.3	Sünme düzeltme katsayıları $(CF)_a$ ve $(CF)_h$	.....	22
2.7.4	Sünme üzerinde basınç donatısının etkisi	.....	24
2.8	Zamanla meydana gelen sehimlerde rötrenin etkisi	.....	25
2.8.1	Rötre birim deformasyonu (ϵ_{sh})	.....	26
2.8.2	Çevre nemliliğine göre rötre düzeltme katsayıları $(CF)_h$	.....	27
2.8.3	Rötre eğimi (ϕ_{sh})	.....	27
2.8.4	Çeşitli mesnet şartlarına sahip kirişlerde rötreden oluşan sehimler hesabı	.....	28
2.9	Basınç çeliğinin rötre ile sünme üzerindeki ortak etkisi	.....	31
2.10	(ACI) yönetmenliğine göre sünme ve rötreden oluşan sehimler hesabı	.....	31

2.10.1	Örnek	33
2.11	Sünme ve rötreden oluşan sehımlerin diğır	
	yollarla hesaplanması	33
2.11.1	Sünme ve rötıre etkileri ayrı ayrı düşünölerek	
	yapılan uzun süreli sehım hesabı	33
2.11.2	Sünme ve rötıre birlikte düşünölerek yapılan	
	uzun süreli sehım hesabı	34
2.11.3	Örnek	35
3.1	(ACI) yönetmenliğinde eğilebilir elemanların	
	minumum derinliği	38
3.2	(ACI) yönetmenliğine göre sehımlerin bulunması-	
	kiriş örnekleri	39
3.2.1	Örnek	39
3.2.2	Örnek	42
2. BÖLÜM	 (CEB) e göre ortalama egrilik ve sehım hesabı	47
3.3	(CEB) e göre işletme yükleri altında, betonarme	
	elemanlardaki ortalama egrilikler ve sehımlerin	
	hesabı için iki yöntem	47
3.3.1	Çift Doğrusal Metod	47
3.3.2	Genel Katsayılar Metodu (basitleştirilmiş çift	
	doğrusal metod)	53
3.4	Örnekler	54
3.5	Sonuç	84
<u>EKLER</u>	.....	85
EK 4.1	Beton karakteristikleri	86
EK 4.2	Anı (elastik) sehım (a_c)	106
EK 4.3.2	Düzelıme katsayıları $K_s - K_p - K_{cs}$	117
EK 4.4	Dikdörtgen kesitler için genel düzelıme katsayıları .	136
EK 4.5	Rötredem oluşan sehımler	147
Kaynaklar	.....	148
Tezi hazırlayanın Özgeçmişı	.....	149

TABLolar

Tablo 1	(ACI) e göre tek doğrultulu döşemelerde ve kirişlerdeki minumum kalınlıklar	2
Tablo 2	(ACI) yönetmenliğinde izin verilir max. sehimler ..	3
Tablo 3	Betonun ilk yüklenme yaşına göre sünme düzeltme katsayıları	23
Tablo 4	Nemli ortamdaki beton için sünme düzeltme katsayısı	24
Tablo 5	Çevre nem yüzdelerine göre Rötne düzeltme katsayıları	27
Tablo 6	Normal ve hafif ağırlıklı betonlar için yükleme yapıldığı güne ve ortalama çevre nemliliğine bağlı olarak, Betonda sünme ile rötne etkilerini birlikte göz önüne alan katsayı (T)	34
Tablo 7	Çeşitli ani sehim değerleri ve kesitin aldığı gerilme yüzdelerine göre min. derinlikler	38
Tablo 8	En az sehim değeri verecek minumum derinlikler	38

İŞARETLER

a_c	: Ani (elastik) sehim
a_{cs}	: Rötreden ileri gelen sehim
A_s	: Çekme donatısı enkesit alanı
A'_s	: Basınç donatısı enkesit alanı
b	: Dikdörtgen kesitin genişliği (genel) , Tablalı kesitte tabla genişliği
b_w	: Tablalı kesitte gövde genişliği, Dikdörtgen kesit genişliği
C_t	: Sünme katsayısı
d	: Etkili derinlik (çekme donatısı ağırlık merkezinin en dış beton lifinden uzaklığı)
E	: Elastiklik modülü
E_c	: Betonun elastiklik modülü
E_s	: Çeliğin elastiklik modülü
f_r	: Kırılma modülü (kırılma mukavemeti)
f_{ck}	: Betonun karakteristik basınç mukavemeti
f_{ct}	: Betonun hesapta kullanılan çekme mukavemeti
f_{yd}	: Çeliğin hesapta kullanılan akma mukavemeti
H	: Ortamın nem yüzdesi
h	: Kiriş kesitinin toplam yüksekliği

h_f	: Tablalı kesitte tabla kalınlığı, Döşemede tüm kalınlık
I	: Eylemsizlik momenti
I_c	: Çatlamamış beton kesit (brüt beton kesit) eylemsizlik momenti
I_{cr}	: Betona dönüştürülmüş çatlamış kesit eylemsizlik momenti
I_e	: Sehim hesabında kullanılan etkili atalet momenti
L	: Açıklık uzunluğu, Eleman boyu
M	: Elemanda işletme yüklerinden ileri gelen eğilme momenti
M_{cr}	: Elemanda çatlamaya sebep olacak moment (çatlama momenti)
n	: Modüler oran (E_s/E_c)
P	: Tekil yük
P_D	: Kalıcı tekil yük
P_L	: Hareketli tekil yük
w	: Uniform yük
w_D	: Kalıcı uniform yük
w_L	: Hareketli uniform yük
y_t	: Tarafsız eksen ile en dış beton çekme lifi arasındaki mesafe
α, β	: Katsayı, (α ; ikinci bölümde modüler oranı gösteriyor)
Δ	: Sehim
Δ_i	: Ani sehim
$(\Delta_i)_D$	: Kalıcı yüklerden oluşan ani sehim
$(\Delta_i)_L$	: Hareketli yükten oluşan ani sehim
$(\Delta_i)_{D+L}$	: Kalıcı hareketli yükten oluşan ani sehim
ϵ	: Birim deformasyon (birim kısalma veya birim uzama)
ϵ_{cp}	: Sünme birim deformasyonu
ϵ_{sh}	: Rötire birim deformasyonu
ϵ_i	: Betonda aniden oluşan (elastik) birim deformasyon
ρ	: Çekme donatısı yüzdesi
ρ'	: Basınç donatısı yüzdesi
ϕ	: Eğim, eğrilik
ϕ_{cp}	: Sünme eğimi veya sünme eğriliği
ϕ_{sh}	: Rötire eğimi veya rötire eğriliği
χ	: Eskime katsayısı
γ	: Sünme katsayısı

KISALTMALAR

(ACI)	: American Concrete Institute
(CEB)	: Comité Euro-International du Beton

SI birimleri (Uluslararası birimler sistemi)

N : Newton

kN : Kilo newton (1000N)

Tek yük : kN

Yayıllı yük şiddeti : kN/m ve kN/m²

Mukavemet ve Gerilme : N/mm²

Moment : kNm

Kesit boyutları : mm

Donatı kesit alanları : mm²

TANIMLAR

İşletme yükü (servis yükü / kullanılma yükü) : Yapıyı normal koşullar altında ve öngörülen ömrü süresince etkilemesi beklenen yükler ve etkiler - Hareketsiz yükler, hareketli yükler, Rüzgar etkisi, Deprem etkisi..... yük yönetmenliklerinde verilen deterministik yolla belirlenmiş yükler (standart yükler/ Nörmatif yükler)

Kalıcı yük : yapıyı öngörülen ömrü boyunca etkilemesi beklenen yüklerdir. (örneğin zati ağırlıklar.. gibi) Ayrıca hareketli yükler yapıda yer değiştirmeden beş yıl veya daha fazla kalacağı tahmin ediliyor ise bu tip hareketli yükler kalıcı yük olarak düşünülmelidir.

HESAPLANMASI.ÖZET

İşletme yükleri etkisinde kalan yapılarda mukavemet yönünden sakıncalı olmayan, ama yapının işletme aksaklığı göstermesine, giderek işletme dışı kalmasına neden olan deformasyonların (sehimlerin) ve çatlakların oluşmaması veya izin verilir sınırlar içersinde olması istenir. Bu çalışmada, aniden oluşan ve betondaki rötre ile sünmeden dolayı zamanla meydana gelen sehimler iki bölüm halinde incelenmiştir. Birinci bölümde, sehimler ve sehimlerin oluşmasında etkili olan faktörler anlatılmıştır. Ayrıca "ACI" (Amerikan Beton Enstitüsü) nün benimsediği üç ayrı metodla sehimlerin hesabı ve bunlara ait örnekler gösterilmiştir. İkinci bölümde ise, betonarme elemanlarda, aniden ve zamanla oluşacak ortalama eğrilikler ve sehimlerin hesabı için "CEB" (Avrupa Beton Komitesi) nin önerdiği iki pratik metod kısaca anlatılmış, Ve bunlara ait örnekler gösterilmiştir. Ayrıca bu iki pratik metotta kullanılan ekler verilmiştir.

SUMMARYCALCULATION OF IMMEDIATE DEFLECTIONS AND LONG-TERM DEFLECTIONS AT REINFORCED CONCRETE MEMBERS.

The deformations (deflections) and cracks that are not harmful for the structures in respect of strength are not wanted, or only allowed to appear within the acceptable limits, because they become responsible for the long-term service defects which might cause detrimental consequences.

In this research, the immediate deflections and the long-term deflections caused by the shrinkage and creep of concrete are discussed within two chapters.

In the first chapter, deflections and the factors affecting their occurrence are told. Besides that, computation of deflections according to three different methods which are approved by "ACI" (American Concrete Institute) are cited with examples. In the second chapter, two practical methods proposed by "CEB" (Comite Euro-International du Beton) concerning the computation of immediate and long-term occurrences of average curvatures and deflections of the reinforced concrete members are briefly mentioned and the related examples are given. Besides that, the appendices used in the latter two practical methods are presented.

1. BÖLÜM

(ACI) YÖNETMENLİĞİNE GÖRE SEHİMLERİN HESABI

1.1 GİRİŞ

Betonarme elemanların deformasyon hesabı, homojen ve doğrusal elastik davranış gösteren malzemelerden yapılmış (örneğin çelik) elemanlara oranla çok daha karmaşık ve kesin olmaktan uzaktır. Bunun en önemli nedenlerinden biri, çatlamanın deformasyon üzerindeki etkisidir. Çatlama sistematik bir olay değildir. Ve açıklık boyunca büyük değişiklikler gösterebilir. Betonarme elemanlarda çatlama eğilme gerilmeleri nedeni ile olabileceği gibi kayma gerilmelerinin oluşturduğu eğik çekme gerilmelerinden de meydana gelebilir. Bu iki tür çatlamanın deformasyon üzerindeki etkileride değişik olur. Bütün bu nedenlerle elemanın eğilme rijitliği (EI) açıklık boyunca değişeceğinden deformasyonun kesin hesabı olmaksızdır.

Betonarme elemanlarda meydana gelen toplam deformasyonun, ani yüklenmelerden (örneğin, kalıbın sökülmesi sırasında) ve buna ilaveten ilk deformasyonun üç katı kadar büyüklükte oluşacak deformasyonun zamana bağlı olarak değiştiğide unutulmamalıdır. Zamana bağlı deformasyon, betonda oluşan rötre ve sunmeye, basınç donatısına ve çevre koşullarına göre değişir.

Bütün bu nedenlerle deformasyon (sehim) kontrolü için geliştirilen veya geliştirilecek yöntemlerin mukavemet hesabı için geliştirilmiş yöntemler kadar gerçekçi sonuç vermesi beklenemez. Zaten deformasyon hesabında aranan kesinlik hiçbir zaman mukavemet hesabında aranan kesinlik kadar fazla değildir.

Ancak son yıllarda çeşitli deney sonuçlarından yararlanılarak geliştirilen modern ve pratik yöntemler kullanıldığı takdirde deformasyon hesaplarında yapılabilecek hata oranı en fazla %20 mertebesinde dir. Bu çapta bir hata kabul edilebilir sınırlar içersindedir.

2. SEHİMLERİN KONTROLU VE ÖNERİLEN HESAP METODLARI

2.1. Sehimlerin kontrol nedeni

Sehimleri kontrol altında tutmak lazumu vardır. Kullanılan beton ve yüksek mukavemetli çelik, ileri mukavemet hesaplarına giriş dana narin yapıların tasarlanmasını mümkün kılmıştır. Modern bina inşaatlarında danı taşıyıcı duvarlara ve perdeler e sık sık ihtiyaç duyulmuştur. Bu gibi taşıyıcı elemanların (doşeme giriş, kolon, perde v.s) deformasyonları (sehimleri) sonucu taşıyıcı olmayan elemanlar yıkılarak veya

geniş çatlaklar oluşturarak hasara yol açabilirler.

Bunun için işletme yükleri altındaki eğilebilir elemanların izin verilir sınırlar içersinde olmasına ehemmiyet verilir. Amerikan beton komitesinin (ACI) 435 sayılı raporuna göre izin verilir sehimler, sehimlerin etkilerine göre dört geniş başlık altında gruplandırılmıştır.

- a) Kabul edilebilir duyarlılık
- b) Yapının işletilebilirliği
- c) Taşıyıcı olmayan elemanlar üzerindeki etkiler
- d) Taşıyıcı elemanlar üzerindeki etkiler

2.2. (ACI) yönetmenliğinde bulunan ve sehimleri kontrol için geliştirilen iki tablo

işletme yükleri altında son deformasyon sınırında olan ve yeterli rijitliğe haiz hasar görmüş elemanların sehimleri daha önce alınacak tedbirlerle kontrol altına alınabilir. Oluşan sehimler, normal olarak elemanlarda yatay ve düşey yer değiştirmelerdir. Mesnetlenmemiş veya bölümleri birbirine bağlı olmayan, ve diğer buna benzer yapısal düzenlemeler geniş sehimler neticesi hasar görürler. Bundan dolayı izin verilen sınırlar içersinde sehim meydana gelmesi açısından aşağıdaki tablo 1 de tanımlandığı gibi bu kalınlık değerlerinden az olmamak şartı ile elemanların kalınlıklarını tayin etmek gereği vardır.

TABLO 1

ELEMAN	Minumum kalınlık, (h)			
	Basit mesnetli	Bir ucu ankastre	iki ucu ankastre	konsol
Tek doğrultulu döşemelerde	L/20	L/24	L/28	L/10
Kirişlerde veya nervürlü tek doğrultulu döşemelerde	L/16	L/18,5	L/21	L/8

NOT: (L) , eleman açıklık uzunluğudur. Ayrıca verilen bu değerler normal ağırlıklı betonlar içindir. $w = 2320 \text{ kg/m}^3$ ve $f_{yd} = 414 \text{ N/mm}^2$ için Bununla beraber beton ağırlığı ($w = 1920$ ile 2320 kg/m^3) arasında olanlar içinde yeni bir düzeltme gerekmez.

Sehimler tablo 2 deki sınırlar içinde hesaplanmalıdır.

TABLO 2 İZİN VERİLEBİLİR MAX SEHİMLER

Eleman tipi	Düşünülen sehim	Sehim sınırı
Yalancı tavan taşıma- yan basit mesnetli çatı döşemelerinde	sadece hareketli yükten ileri gelen ani sehimin güven- lik sınırı	L/180
Bölme duvara bağlan- ması yada bölmeleri taşıması düşünülen basit mesnetli döşe- melerde yada döşeme nin aşırı sehiminden dolayı taşıyıcı olma- yan elemanların hasar görmesi beklenen du- rumlarda	sadece hareketli yükten ileri gelen ani sehimin güven- lik sınırı	L/360
Bölme duvara bağlan- ması yada bölmeleri taşıması düşünülen kenarları sürekli dö- şemelerde yada döşe- menin aşırı sehiminden dolayı taşıyıcı olma- yan elemanların hasar görmesi beklenen du- rumlarda	Hareketli yükün kısa süreli et- kisi ile, rötre ve sünme v.s gibi uzun süreli etki- lerden oluşan top- lam sehimin güven- lik sınırı	L/480
Bölme duvara bağlan- ması yada bölmeleri taşıması düşünülen kenarları sürekli dö- şemelerde yada döşe- menin aşırı sehiminden dolayı taşıyıcı olma- yan elemanların hasar görmesi beklenmeyen durumlarda		L/240

NOT: Tablo 2 ; döşeme ile beraber luzumlu olan bütün yapı şekilleri ve yük durumları için geçerli olmak üzere limit sınır ara değerlerini genişletip basitleştirmiştir.

2.3. SEHİMLERİN HESAPLANMASI

İşletme yükleri altında betonarme elemanlarda sehımlerin tam doğrulukla tanımlanması zordur. Donatısı simetrik olmayan ($A_s > A_s'$) kirişlerde, betondaki rötreden dolayı sehımler meydana gelirkı bu sehıme yüklerden ileri gelen sehım eklenir. Kalıcı işletme yükleri altındaki elemanlarda sünmeden ileri gelen ve azar azar büyüyen sehımlerde görülür.

Değişik sıcaklık ve nem oranları tesiri ile değişik boyutlarda rötne ve sünme meydana gelir. Çeşitli şartlarda zamanla yükler altında eskiyen beton ve diğer kesit dışındaki faktörlerde rötne ve sünmeyi artırır.

Sehımler neticesinde betonda oluşacak çatlaklar eğilme rijitliğini (EI) yı azaltır. Bu belirsiz büyüyen, genişleyen çatlaklar elemanlarda etkili atalet momenti (I_e) nin belirlenmesini zorlaştırır. Bununla birlikte sehımlerin belirlenmesi %20 hata payı dahilinde mümkündür. Bu kı bir çok pratik maksatlar ve durumlar için yeterli doğruluktadır.

Sehımler iki aşamada hesaplanabilir.

- 1) İlk yüklemekten meydana gelen ani sehım (beton kalıplarının sökülmesinden sonraki sehım gibi...)
- 2) Zamanla meydana gelen ve ani sehıme eklenen sehım (betondaki rötne ve sünmeden dolayı oluşan)

2.3.1. Sehım hesaplarında kullanılacak eğilme rijitliği (EI) hesabı

Bilindiğı gibi betonarme elemanlarda eğilmeğe karşı direnç gösteren unsurlar, betonun haiz olduğı elastisite modülü (E_c) ile betonarme kesitin atalet momenti (I)dır. Bunların birbirleri ile çarpımı eğilme rijitliği olarak adlandırılır. O halde (E_c) ve (I) yı belirleyelim.

(ACI) yönetmenliğinde normal ağırlıklı betonlar için kullanılan beton elastisite modülü.....($E_c = 4730 \sqrt{f_{ck}} \text{ (N/mm}^2\text{)}$) olarak verilmiştir.

(f_{ck} : Betonun karakteristik basıç mukavemeti)

Atalet momenti (I) ise : elemanın çatlamış veya çatlamamış olması ile doğrudan ilgilidir. Şayet işletme yükleri betonu çatlatmayaçak büyüklükte max çekme gerilmeleri oluşturuyorsa çatlamamış kesit temel alınarak hesap yapılır. Yani çekme gerilmeleri betonun kırılma modülü (f_r) den küçük olması gerekir. Buradanda anlaşılacağı gibi bu varsayım; çekme çatlakları meydana gelmeden önce yapılan bir kabuldür. Bu durumda (I) olarak (I_c) alınmalıdır. (I_c) , çatlamamış beton kesitte merkezden geçen eksene göre alınan atalet momentidir. (donatının eşdeğer beton alanına dönüştürülmesi dikkate alınmayacaktır.).

Dana doğrusu çatlamamış kesitte alınan atalet momentinde, donatı eşdeğer beton alanına dönüştürülerek dikkate alınabilir. Bundan dolayı atalet momenti %30 oranında artabilir. Bunun önemi fazla değildir. Elemanda meydana gelen eğilme momentinin meydana getirdiği çekme gerilmeleri, betonun kırılma modülünü aşacak kadar büyük ise çatlaklar çeşitli aralıklarla eleman boyunca oluşur. Ve kesitin atalet momenti çatlaklar yüzünden değişir. Bu değişim az donatılı kesitlerde, çok donatılı kesitlere nazaran daha fazladır.

Çatlamış kesitin atalet momenti (I_{cr}), beton kesitin çekme bölgesindeki (çatlamış) betonun atalet momenti ihmal edilerek ve betonarme kesit eşdeğer beton kesite dönüştürülerek belirlenir. Yani donatı alanı eşdeğer beton alanına dönüştürülürken modüler oran ($n = E_s/E_c$) ile çarpılır.

Beton kesitteki çekme çatlakları arasındaki çatlamamış beton biraz çekme gerilmesi taşır. Çünkü çekme gerilmesi çelikten betona aderans sayesinde geçer. Bunun için betonun gerekli aderans boyuna ihtiyacı vardır.

Bu sayede çatlaklar arası beton, çelikle beraber çekme gerilmeleri taşıyarak elemanın rijitliğini sağlar. Birde eleman içinde betonu çatlatmayacak kadar az eğilme momentine maruz bölgelerde vardır. Bu yüzden çatlamış elemanlarda etkili atalet momenti (I_e) alınması istenir. Bu ise, beton kesitte çatlamamanın etkisi göz önüne alınarak bulunan atalet momentidir.

(ACI) 318 bildirgesine göre bir kesitte etkili atalet momenti aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_{max}} \right)^3 \cdot I_c + \left(1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{max}} \right)^3 \right) \cdot I_{cr} \quad \dots\dots\dots(1)$$

I_c = Çatlamamış beton kesitin atalet momenti

I_{cr} = Eşdeğer betona dönüştürülmüş çatlamış kesitin atalet momenti

M_{max} = İşletme yükleri altındaki elemanda meydana gelen max moment (sehimin hesaplandığı kesitte)

M_{cr} = Kesitte ilk çatlamaya neden olan moment

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_c}{y_t} \quad \dots\dots\dots(2)$$

f_r = Betonun kırılma modülü (eğilme tesiri ile oluşacak çatlama hesaplarında kullanılır. Birim uzunluktaki betonun çekme gerilmesi kapasitesidir). Normal ağırlıklı betonlar için $f_r = 0,62 \sqrt{f_{ck}} \text{ (N/mm}^2\text{)}$ tüm hafif betonlar için $f_r = 0,47 \sqrt{f_{ck}} \text{ (N/mm}^2\text{)}$

y_t = Beton kesitin tarafsız eksenine ile en uç çekme gerilmesi lifi arasındaki mesafe

NOT : (1) eşitliğinde iki sınır vardır. I_c ve I_{cr} dir. yani $I_c > I_e > I_{cr}$

Bu eşitlik çatlakların genişlemesine bağlıdır. M_{cr}/M_{max} oranı küçülürse I_e de o oranda küçülür.

(1) eşitliği ampirik formül olarak Branson tarafından geliştirilmiştir. Bu formül iyi bir doğruluk göstermiştir.

Sürekli kirişler için etkili atalet momenti olarak, pozitif ve negatif moment bölgeleri için belirlenen (I_e) değerlerinin ortalaması alınmalıdır.

2.4. ANİ SEHİMLERİN HESABI

işletme yüklerinden ileri gelen ani sehımlerin hesabında elastik teori eşitlikleri kullanılır.

$$\Delta = \beta \cdot \left(\frac{M \cdot L^2}{E_c \cdot I_e} \right) \dots \dots \dots (5)$$

Δ = İşletme yükü altında elemandaki ani (elastik) sehım

β = Mesnetlenme şartlarına ve yük durumuna bağlı katsayı

E_c = Betonun elastisite modülü

M = Sehım hesabı yapılan kesitte işletme yüklerinden meydana gelen max moment

L = Elemanın açıklık uzunluğu

I_e = Eğer betonarme eleman çatlamış ($M_{max} > M_{cr}$) ise, eleman boyunca değişik yerler için hesaplanan etkili atalet momentlerinin ortalamasıdır.

I_e değerleri Branson tarafından geliştirilen eşitlikle bulunmalıdır.

(1) eşitliği ile..)

Eğer betonarme eleman işletme yükleri altında çatlamamış ($M_{max} < M_{cr}$) ise bu durumda I_e yerine sehım hesabı yapılan yerdeki çatlamamış beton kesitin atalet momenti (I_c) alınarak hesap yapılmalıdır.

NOT : Ani (elastik) sehımleri hesaplamaya yarayan pratik tablolar tezin ek kısmında mevcuttur. (Ek 4.2.2 ve 4.2.3 de)

Elemanlarda kalıcı yük tesiri ile oluşacak ani sehımler tüm kalıcı yükler düşünülerek hesap yapılır. Fakat hareketli yüklerden oluşacak ani sehımler ise $(\Delta_1)_L = (\Delta_1)_{D+L} - (\Delta_1)_D$ den bulunur.

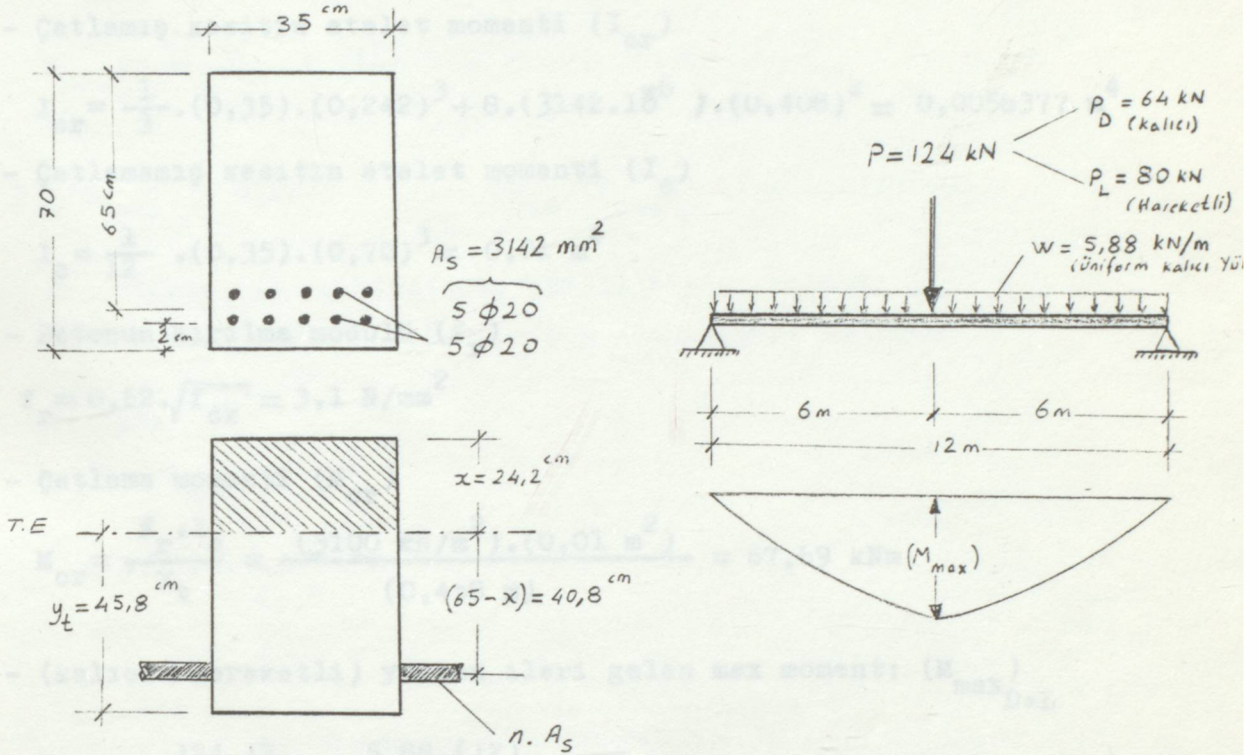
$(\Delta_1)_L$ = Elemanda sadece hareketli yüklerden ileri gelen sehım

$(\Delta_1)_{D+L}$ = Elemanda kalıcı ve hareketli yüklerin toplamından ileri gelen ani sehım

$(\Delta_1)_D$ = Elemanda kalıcı yüklerden ileri gelen ani sehım

Ani sehımlerin hesabı çözülecek iki örnekle açıklanacaktır.

ÖRNEK 2.4.1)



şekilde uzunluğu 12 m olan basit mesnetli kirişte ani sehımler araştırılacaktır. Bu kiriş taşıma gücü metoduna göre (ACI) yönetmenliği kullanılarak çözülecektir.

Malzeme Gurubu: C25 / S500 dir. ($f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$ ve $f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$ dir) Tekil yükün 80 kN lık kısmı hareketli yük gibi düşünülecektir.

ÇÖZÜM :

Tablo 8 den basit mesnetli kirişte en az sehım değeri verecek şekilde hesaplanan minimum derinlik $L/16 = 1200 \text{ cm}/16 = 75 \text{ cm}$ dir.

Fakat örnekte verilen kirişin derinliği 70 cm dir. Bu değer, sehım hesabı gerektirmeyecek şekilde verilen min. derinliktende küçük olduğundan kirişte sehım kontroluna ihtiyaç vardır. (ayrıca C25/S500 için $\rho_{def} = 0,0092 < \rho_{kesit} = 0,0128 < \rho_{max} = 0,0139$ olduğundan sehım hesabı yapılması lazımdır. ref. Prof. Altay Gündüz " Betonarme taşıma gücü ilkesine göre hesap")

- C25 betonunun Elastisite modülü

$$E_c = 4730 \sqrt{f_{ck}} = 23650 \text{ N/mm}^2$$

- Modüler oran; $n = E_s / E_c = \frac{200.000}{23650} \approx 8$ alındı

- tarafsız eksenin yeri

$$350 \cdot \frac{x^2}{2} = n \cdot A_s \cdot (650 - x)$$

$$175 \cdot x^2 = n \cdot (3142) \cdot (650 - x) \quad \longrightarrow \quad x = 242 \text{ mm dir.}$$

- Çatlamış kesitin atalet momenti (I_{cr})

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \cdot (0,35) \cdot (0,242)^3 + 8 \cdot (3142 \cdot 10^6) \cdot (0,408)^2 = 0,0058377 \text{ m}^4$$

- Çatlamamış kesitin atalet momenti (I_c)

$$I_c = \frac{1}{12} \cdot (0,35) \cdot (0,70)^3 = 0,01 \text{ m}^4$$

- Betonun kırılma modülü (f_r)

$$f_r = 0,62 \cdot \sqrt{f_{ck}} = 3,1 \text{ N/mm}^2$$

- Çatlama momenti (M_{cr})

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_c}{y_t} = \frac{(3100 \text{ kN/m}^2) \cdot (0,01 \text{ m}^2)}{(0,458 \text{ m})} = 67,69 \text{ kNm}$$

- (kalıcı+hareketli) yükten ileri gelen max moment: ($M_{max_{D+L}}$)

$$(M_{max_{D+L}}) = \frac{124 \cdot 12}{4} + \frac{5,88 \cdot (12)}{8} = 477,84 \text{ kNm}$$

$$M_{cr}/(M_{max_{D+L}}) = 0,14165 \quad \text{ve} \quad (M_{cr}/(M_{max_{D+L}}))^3 = 0,0028427$$

- Etkili atalet momenti (I_e) (1) eşitliği ile...

$$I_e = (M_{cr}/M_{max})^3 \cdot I_c + (1 - (M_{cr}/M_{max})^3) \cdot I_{cr}$$

$$I_e = (0,0028427) \cdot (0,01) + (0,997157332) \cdot (0,0058377)$$

$$I_e = 0,00584953 \text{ m}^4 \quad (\text{kalıcı+hareketli yük düşünülerek bulundu})$$

- (kalıcı+hareketli) yüklerden oluşan ani sehimin (Δ_1) hesabı

$$(\Delta_1)_{D+L} = (\Delta_1)_{zati} + (\Delta_1)_{P_{D+L}}$$

$$= \frac{5 \cdot (5,88) \cdot (12)^3}{384 \cdot (23650 \cdot 10^3) \cdot 0,00584953} + \frac{124 \cdot (12)^3}{48 \cdot (23650 \cdot 10^3) \cdot 0,00584953}$$

$$= 0,956 + 32,26$$

$(\Delta_1)_{0+L} = 33,2 \text{ mm}$ olarak bulunur.

b) Kalıcı yükten meydana gelen ani sehimin $(\Delta_1)_D$ hesabı

- kalıcı yükten meydana gelen max moment, $(M_{\max})_D$

$$(M_{\max})_D = \frac{64 \cdot 12}{4} + \frac{5,88 \cdot (12)^2}{8} = 297,84 \text{ kNm}$$

$$M_{cr}/(M_{\max})_D = 0,2273 \quad (M_{cr}/(M_{\max})_D)^3 = 0,01173882$$

Bu degerlerle (1) eşitliğinden etkili atalet momenti (I_e) :

$$I_e = 0,00588656 \text{ m}^4 \quad (\text{kalıcı yük düşünülerek bulundu})$$

Ve sonuçta

$$(\Delta_1)_D = (\Delta_1)_{\text{stat}} + (\Delta_1)_{P_D} \\ = 0,956 + \frac{P_D \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_e}$$

$$= 0,956 + \frac{64 \cdot (12)^3}{48 \cdot (23650 \cdot 10^3) \cdot (0,00588656)}$$

$$= 17,6 \text{ mm} \quad (\text{kalıcı yükten ileri gelen sehim})$$

c) Hareketli yükten meydana gelen sehim $(\Delta_1)_L$ in hesabı

$$(\Delta_1)_L = (\Delta_1)_{0+L} - (\Delta_1)_D$$

$$(\Delta_1)_L = 33,2 - 17,6 = 15,6 \text{ mm}$$

d) Sehim tahkiki :

Sehim tahkikleri taşıyıcı olmayan elemanlar üzerinde hasara sebep olacak hareketli yükten ileri gelen ani sehimle veya bu sehimle eklenen rötre ve sünmeden ileri gelen sehimlerin toplamı ile yapılmalıdır.

Tablo 2 den alınan basit mesnetli (mesnetlenmemiş) döşeme veya kirişler için hareketli yükten ileri gelen ani sehim sınırı $(L/360)$ idi

Buna göre

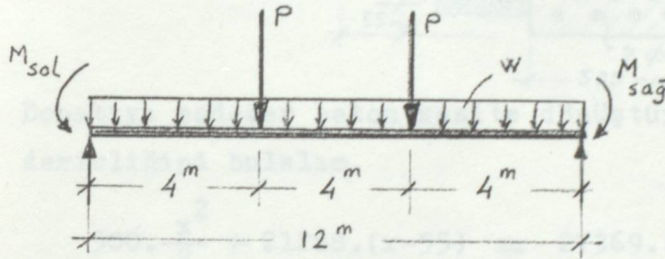
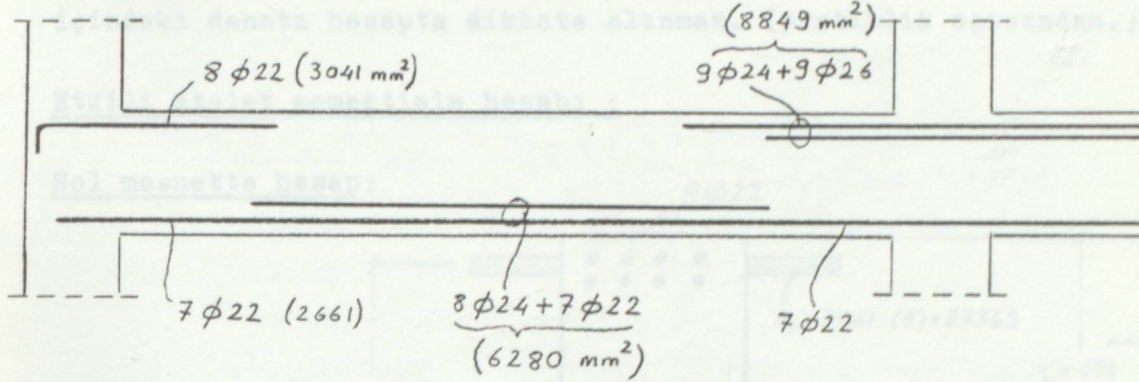
$$\text{izin verilen } (\Delta_1)_L = \frac{L}{360} = \frac{12000 \text{ mm}}{360} = 33,33 > 15,6 = (\Delta_1)_L \text{ sağladı.}$$

NOT : Bu örnekte rötre ve sünmeden ileri gelen sehimler hesapta dikkate alınmamıştır.

ÖRNEK 2.4.2

Şekildeki sürekli kirişteki ani sehim hesaplanacaktır.

Malzeme Gurubu : C20/S220. ($f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$, $f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$)



$$w_L = 2,19 \text{ kN/m} \quad (M_{sol})_{kalıcı} = 121 \text{ kNm}$$

$$w_D = 11,53 \text{ kN/m} \quad (M_{sol})_{kalıcı + Harek.} = 271 \text{ kNm}$$

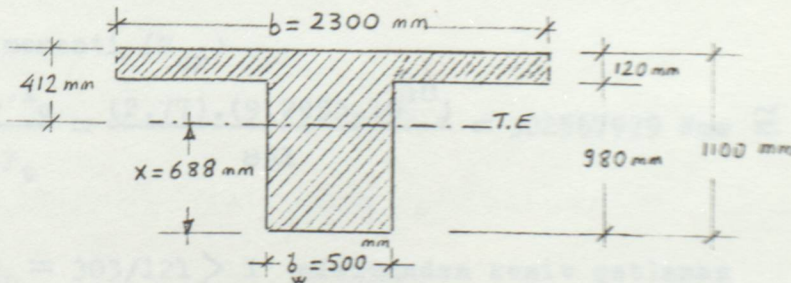
$$P_L = 142 \text{ kN} \quad (M_{sag})_{kalıcı} = 511 \text{ kNm}$$

$$P_D = 109 \text{ kN} \quad (M_{sag})_{kalıcı + Harek.} = 801 \text{ kNm}$$

$$(M_{arıklık})_{kalıcı} = 311 \text{ kNm} \quad (M_{arıklık})_{kalıcı + Harek.} = 510 \text{ kNm}$$

Çözüm : Üzerindeki yük durumu gösterilmiş olan sürekli kirişte etkili atalet momenti (I_e) hesabında kirişin (+) ve (-) moment bölgelerinde hesaplanan I_e lerin ortalaması alınır. Son (ACI) komitesinin bildiğine göre, büyük tekil yükle yüklenme durumlarında I_e yi ortalama ile bulmaktan çok, sadece (+) moment bölgesindeki I_e yi esas almak daha yeterli doğruluktadır. Bu örnekte I_e her iki duruma görede ayrı ayrı hesaplanacaktır.

a) Donatı düşünmeden tüm kesit için ağırlık merkezinin yeri. (sol mesnette)



$$x = \frac{500 \cdot 980 \cdot 490 + 2300 \cdot 120 \cdot 1040}{980 \cdot 500 + 2300 \cdot 120} = 688 \text{ mm}$$

- Çatlamamış kesitin atalet momenti (I_c) :

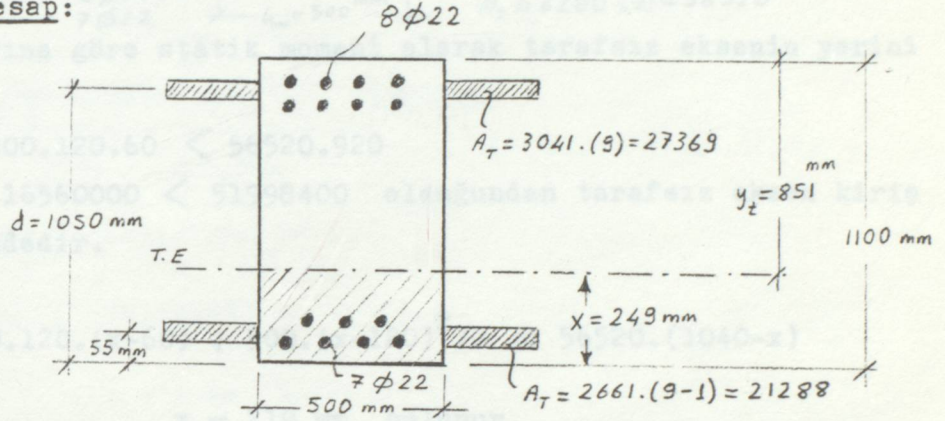
$$I_c = \frac{1}{3} \cdot (500) \cdot ((412)^3 + (688)^3) + \frac{1}{12} \cdot (120)^3 \cdot 1800 + 1800 \cdot 120 \cdot (352)^2$$

$$I_c = 9,2955 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4 = 0,092955 \text{ m}^4$$

Not: (ACI) yönetmenliğinde I_c hesaplanırken genel kabul olarak kesit içindeki donatı hesapta dikkate alınmaz. (pratiklik açısından.)

Etkili atalet momentinin hesabı :

Sol mesnette hesap:



Donatıyı eşdeğer beton kesite dönüştürdük. Bu durumda tarafsız eksen derinliğini bulalım.

$$500 \cdot \frac{x^2}{2} + 21288 \cdot (x-55) = 27369 \cdot (1050-x) \quad \dots \rightarrow x = 249 \text{ mm bulunur}$$

- Çatlamış kesit atalet momenti (I_{cr})

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \cdot (500) \cdot (249)^3 + 21288 \cdot (249-55)^2 + 27369 \cdot (1050-249)^2$$

$$I_{cr} = 2,09342 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4 = 0,0209342 \text{ m}^4$$

- kırılma modülü (f_r)

$$f_r = 0,62 \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0,62 \cdot \sqrt{20} = 2,77 \text{ N/mm}^2$$

- Çatlama momenti (M_{cr})

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_c}{y_t} = \frac{(2,77) \cdot (9,2955 \cdot 10^{10})}{851} = 302567979 \text{ Nmm} \approx 303 \text{ kNm}$$

$M_{cr}/(M_{max})_D = 303/121 > 1$ olduğundan kesit çatlamaz
bundan dolayı : $I_e = I_c = 0,092955 \text{ m}^4$

$M_{cr}/(M_{max})_{D+L} = 303/271 > 1$ olduğundan kesit çatlamaz
bundan dolayı : $I_e = I_c = 0,092955 \text{ m}^4$

Açıklık ortası kesitinde hesap:

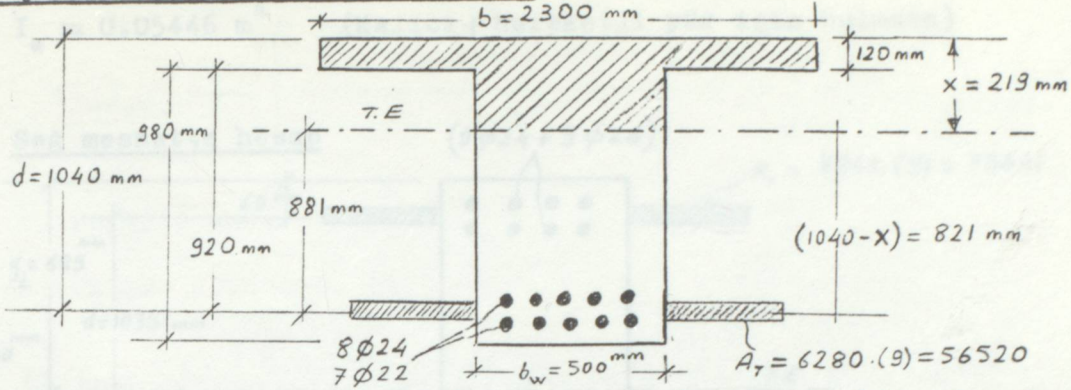


Tabla alt kenarına göre statik moment alarak tarafsız eksenin yerini bulalım.

$$2300 \cdot 120 \cdot 60 < 56520 \cdot 920$$

16560000 < 51998400 olduğundan tarafsız eksen kiriş gövdesi içersindedir.

O halde,

$$2300 \cdot 120 \cdot (x - 60) + 500 \cdot (x - 120)^2 / 2 = 56520 \cdot (1040 - x)$$

$$x = 219 \text{ mm bulunur.}$$

- Çatlamış kesitin atalet momenti (I_{cr})

$$I_{cr} = \frac{1}{12} \cdot (1800) \cdot (120)^3 + 1800 \cdot 120 \cdot (159)^2 + \frac{1}{3} \cdot 500 \cdot (219)^3 + 56520 \cdot (821)^2$$

$$I_{cr} = 4,556726982 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4 = 0,045567 \text{ m}^4$$

- Çatlama momenti (M_{cr})

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_c}{y_t} = \frac{(2,77) \cdot (9,2955 \cdot 10^{10})}{881} = 292264869,5 \text{ Nmm} \approx 292 \text{ kNm}$$

$$M_{cr} / (M_{max})_D = 292 / 311 = 0,9389$$

$$(M_{cr} / M_{max})^3 = 0,8276$$

(1) nolu formül yardımı ile,

$$I_e = 0,8276 \cdot (0,092955) + (0,1724) \cdot (0,045567)$$

$$I_e = 0,08478 \text{ m}^4 \text{ (Kalıcı yük için bulunan)}$$

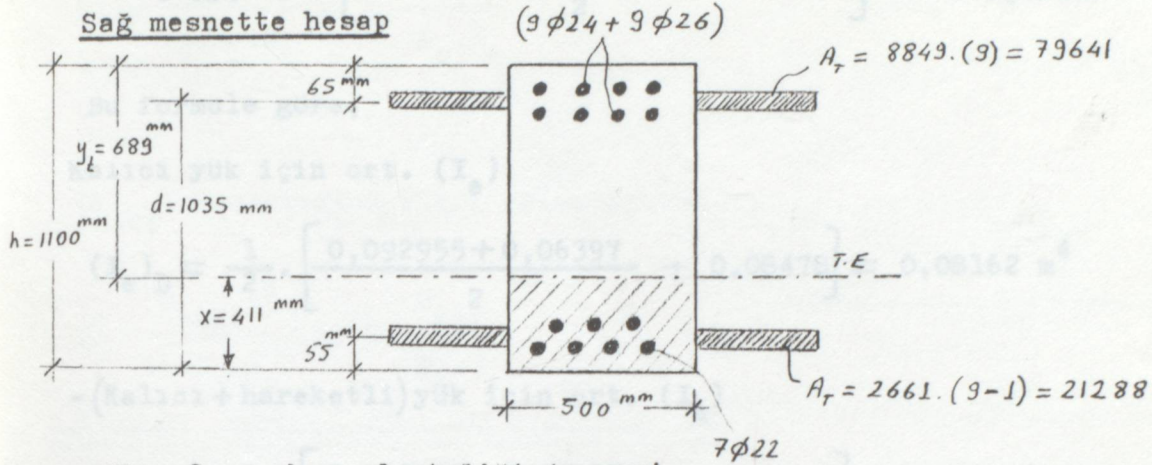
$$M_{cr} / (M_{max})_{D+L} = 292 / 510 = 0,572$$

$$(M_{cr} / M_{max})^3 = 0,187688656$$

(1) nolu formül yardımı ile,

$$I_e = 0,187688656 \cdot (0,092955) + 0,8123 \cdot (0,045567)$$

$$I_e = 0,05446 \text{ m}^4 \quad (\text{Kalıcı + hareketli yük için bulunan})$$



- Tarafsız eksen derinliğinin yeri,

$$500 \cdot \frac{x^2}{2} + 21288 \cdot (x - 55) = 79641 \cdot (1035 - x)$$

$$x = 411 \text{ mm bulunur.}$$

- Çatlamış kesitin atalet momenti (I_{cr})

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \cdot (500) \cdot (411)^3 + 21288 \cdot (356)^2 + 79641 \cdot (624)^2 = 4,5279 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$I_{cr} = 0,045279 \text{ m}^4$$

- Çatlama momenti (M_{cr})

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_c}{y_t} = \frac{(2,77) \cdot (9,2955 \cdot 10^{10})}{689} = 373708780,8 \text{ Nmm} \approx 374 \text{ kNm}$$

$$M_{cr} / (M_{max})_D = 374 / 511 = 0,7319$$

$$(M_{cr} / M_{max})^3 = 0,392$$

(1) nolu formül yardımı ile,

$$I_e = 0,392 \cdot (0,092955) + (0,608) \cdot (0,045279)$$

$$I_e = 0,06397 \text{ m}^4 \quad (\text{Kalıcı yük için bulunan})$$

Bulunan etkili atalet momentleri (I_e)

	Kalıcı yük için	(Kalıcı + hareketli) yük için
Sol mesnette	$I_e = 0,092955 \text{ m}^4$	$I_e = 0,092955 \text{ m}^4$
Açıklık ortasında	$I_e = 0,08478 \text{ m}^4$	$I_e = 0,05446 \text{ m}^4$
Sağ mesnette	$I_e = 0,06397 \text{ m}^4$	$I_e = 0,06397 \text{ m}^4$

I_e lerin basit ortalaması alınırsa,

$$(I_e)_{ort} = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{(I_e)_{sol \text{ mes.}} + (I_e)_{sağ \text{ mes.}}}{2} \right] + (I_e)_{açıklık}$$

Bu formüle göre,

Kalıcı yük için ort. (I_e)

$$(I_e)_D = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{0,092955 + 0,06397}{2} + 0,08478 \right] = 0,08162 \text{ m}^4$$

-(Kalıcı+hareketli)yük için ort. (I_e)

$$(I_e)_{D+L} = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{0,092955 + 0,05013}{2} + 0,05446 \right] = 0,063 \text{ m}^4$$

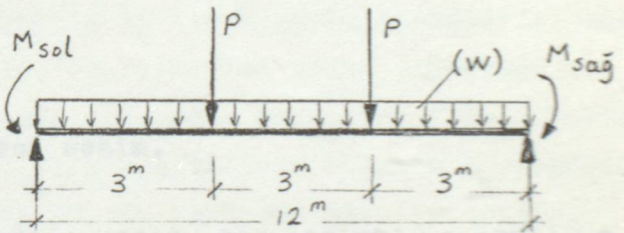
c) Ani sehımlerin hesabı :

- Kalıcı yükten oluşan ani sehım

Kalıcı yükler olarak, $M_{sol} = 121 \text{ kNm}$, $M_{sağ} = 511 \text{ kNm}$

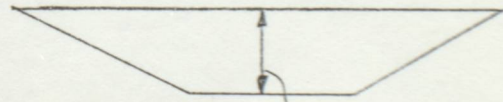
$w = 11,53 \text{ kN/m}$, $P = 109 \text{ kN}$ alınacaktır.

Not: Sehımler temiz açıklıklara göre hesaplanmalıdır.



Tekil yükten ileri gelen sehım,

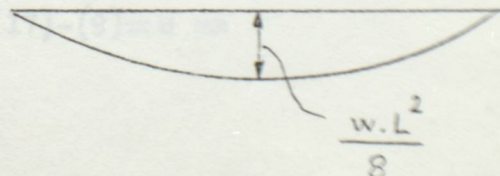
$$\Delta = \frac{23}{648} \cdot \frac{P \cdot L^3}{E_c \cdot I_e} = 61,3 \cdot \frac{P}{E_c \cdot I_e}$$



$$\frac{P \cdot L}{3} \begin{cases} 568 \text{ kNm (Hareketli)} \\ 436 \text{ kNm (Kalıcı)} \end{cases}$$

(w) uniform yükünden ileri gelen sehım,

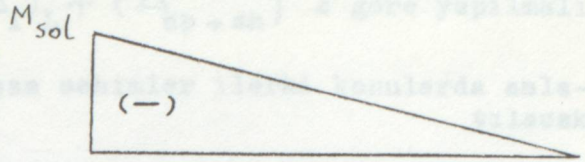
$$\Delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{w \cdot L^4}{E_c \cdot I_e} = 270 \cdot \frac{w}{E_c \cdot I_e}$$



$$\frac{w \cdot L^2}{8}$$

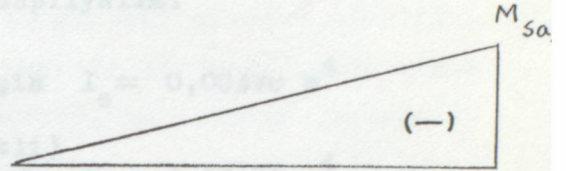
(M_{sol}) momentinden ileri gelen sehım,

$$\Delta = \frac{M_{sol} \cdot L^2}{16 \cdot E_c \cdot I_e} = 9 \cdot \frac{M_{sol}}{E_c \cdot I_e}$$



($M_{sağ}$) momentinden ileri gelen sehım,

$$\Delta = \frac{M_{sağ} \cdot L^2}{16 \cdot E_c \cdot I_e} = 9 \cdot \frac{M_{sağ}}{E_c \cdot I_e}$$



Sonuçta meydana gelen toplam ani (elastik) sehım, ($\leq \Delta$)

$$\leq \Delta = \frac{1}{E_c \cdot I_e} \cdot (61,3 \cdot P + 270 \cdot w + 9 \cdot M_{sol} + 9 \cdot M_{sağ})$$

- Elastisite modülü (E_c) = $4730 \cdot \sqrt{20} = 21153,2 \text{ N/mm}^2 = 21153200 \text{ kN/m}^2$

- Kalıcı yükten oluşan ani sehım,

$$(\Delta_i)_D = \frac{1}{(21153200) \cdot (0,08162)} \cdot (61,3 \cdot (109) + 270 \cdot (11,53) + 9 \cdot (121) + 9 \cdot (51))$$

$$(\Delta_i)_D = 0,00897 \text{ m} \cong 9 \text{ mm}$$

(kalıcı+Hareketli) yükten oluşan ani sehım,

$$(\Delta_i)_{D+L} = \frac{1}{(21153200) \cdot (0,08162)} \cdot (61,3 \cdot (251) + 270 \cdot (13,72) + 9 \cdot (271) + 9 \cdot (80))$$

$$(\Delta_i)_{D+L} = 0,0166 \text{ m} \cong 17 \text{ mm}$$

- Hareketli yükten oluşan ani sehım,

$$(\Delta_i)_L = (\Delta_i)_{D+L} - (\Delta_i)_D = (17) - (9) = 8 \text{ mm}$$

- sehım tahkiki,

$$(\Delta_i)_L = 8 \text{ mm} < L/360 = 33 \text{ mm} \quad \text{sagladı.}$$

Not: Bu tahkiki aslında $L/480 > (\Delta_i)_L + (\Delta_{cp+sh})$ e göre yapılmalıdır

Δ_{cp+sh} , (sünme ve rötreden oluşan sehimler ilerki konularda anlatılacaktır)

d) Ortalama I_e değerine göre değilde, Sadece açıklık ortası için bulunan I_e değerine göre ani sehimleri hesaplıyalım.

- Açıklık ortasında: Kalıcı yük için $I_e = 0,08478 m^4$
(kalıcı+hareketli)
yük için $I_e = 0,05446 m^4$ idi.

Sonuçta, Sehim değerleri açıklık I_e değeri ile daha önceden bulunan I_e değerlerinin ortalama değeri arasındaki oran kadar artacağından, kısaca:

$$(\Delta_i)_D = 9 \cdot \frac{0,08162}{0,08478} = 8,7 \text{ mm (Kalıcı yükten oluşan sehim)}$$

$$(\Delta_i)_{D+L} = 17 \cdot \frac{0,063}{0,05446} = 19,6 \text{ mm (Kalıcı+hareketli yükten oluşan sehim)}$$

- Hareketli yükten oluşan sehim, ise :

$$(\Delta_i)_L = (\Delta_i)_{D+L} - (\Delta_i)_D = 19,6 - 8,7 = 10,9 \text{ mm}$$

Not : Buradanda görüleceği gibi açıklık I_e ile bulunan sonuçlarla, ortalama I_e kullanılarak bulunan sonuçlar birbirine yakın çıkmaktadır. Elemanlarda açıklıkta büyük tekil yük bulunması durumunda (Bu örnekte olduğu gibi) ortalama I_e yerine açıklık kesiti için bulunan I_e değeri kullanılarak sehim hesabı yapılması pratik bakımdan tavsiye edilir.

2.5) Betonda zamanla meydana gelen sehimlerde etkili olan iki önemli faktör (Rötre ve sünme)

2.5.1) Rötre :

Beton zamana bağlı deformasyon gösteren bir malzemedir. 28 gün suda saklanan bir numune kurumaya bırakıldıktan sonra kısalmaya başlar. Bu olaya rötre (büzülme) denir. Daha kapsamlı bir anlatımla betondaki çimentonun hidratasyonu için gerekli su miktarı çimento ağırlığının yaklaşık %25 i kadardır. Ancak, işlenebilir bir beton elde etmek için katılan su miktarı %25 in çok üstündedir. Bu nedenle, beton kalıplara yerleştirildikten sonra hidratasyon için gerekmeyen su buharlaşarak betondan ayrılır. Beton buharlaşma nedeni ile su kaybettikçe hacımsal küçülme olur. Başka bir deyişle beton büzülerek kısalır. Bu olaya rötre (büzülme) denir.

2.5.2) Sünme :

Sünme, betonda rötreye ek olarak kalıcı (uzun süreli) yük altında meydana gelen deformasyon olarak tanımlanabilir. Sünme olayının oluşumunda çok basit olarak "sünger analogisi" ile anlatılacaktır. Su emmiş bir süngere basınç uygulandığı zaman, emilen su, basınçın büyüklüğüne bağlı olarak dışarı atılacak ve bu suyun doldurmuş olduğu boşluklar basınç nedeni ile küçülecektir. Bunun sonucu olarakta süngerin basınç uygulanan yandeki boyu kısalacaktır.

Betondaki sünme olayınında buna benzer bir biçimde oluştuğu söylenebilir.

Ayrıca şunu söylemek gerekirkki, sünme nedeni ile betonun elastisite modulu önemli ölçüde azalır.

2.6) ZAMANA BAĞLI (UZUN SÜRELİ) SEHİMLER

Betonarme kirişlerde sehimler zaman ile artar. ilave olan bu sehimler betondaki sünme ve rötire yüzündendir. Sünme nedeni ile elastisite modülünün azalması, elemanların eğilme rijitliğininide azaltır. Bu nedenle kalıcı yük altındaki kirişlerde, yükün uygulanmasından bir, iki yıl sonra oluşacak sehım, yükün uygulandığı anda oluşan anı sehımın iki veya üç katına kadar çıkabilir.

Betondaki rötire (büzülmeye), donatılı simetrik olmayan elemanlarda kesit boyunca uniform olmayan şekil değişimlerine sebep olurlar. Ve bu yüzden rötire eğrilikleri oluşur.

Bu eğrilikler tek donatılı elemanlarda dahada büyür. Çünkü betondaki rötire, elemanın basınç kısmında tutulmamıştır. Eğilir elemanlarda donatılı başlıca kesitin çekme bölgesindedir. Bundan dolayı rötire eğrilikleri, yüklerin yer değiştirmesinden ileri gelen eğriliklerle aynı özellikleri gösterir.

Beton çekme gerilmeleri ile rötire çekme gerilmeleri, yüklerin yer değiştirmeleri ve bununla beraber hasıl olan çatlaklar yüzünden birbirine karışır. Betondaki sünmenin etkileri tüm beton kesitte kısa olan basınç bölgesinde oluşur. Bu yüzden sünme ilave eğriliklere sebep olur.

Aşıkarak rötire ve sünmeden dolayı ilave olan sehimler aslında basınç donatısı kullanılmak süreti ile daha azaltılabilir. Böylece kesitin basınç bölgesindeki rötire, basınç donatısı sayesinde rötire eğriligi azaltıldığı için tutulmuş olur.

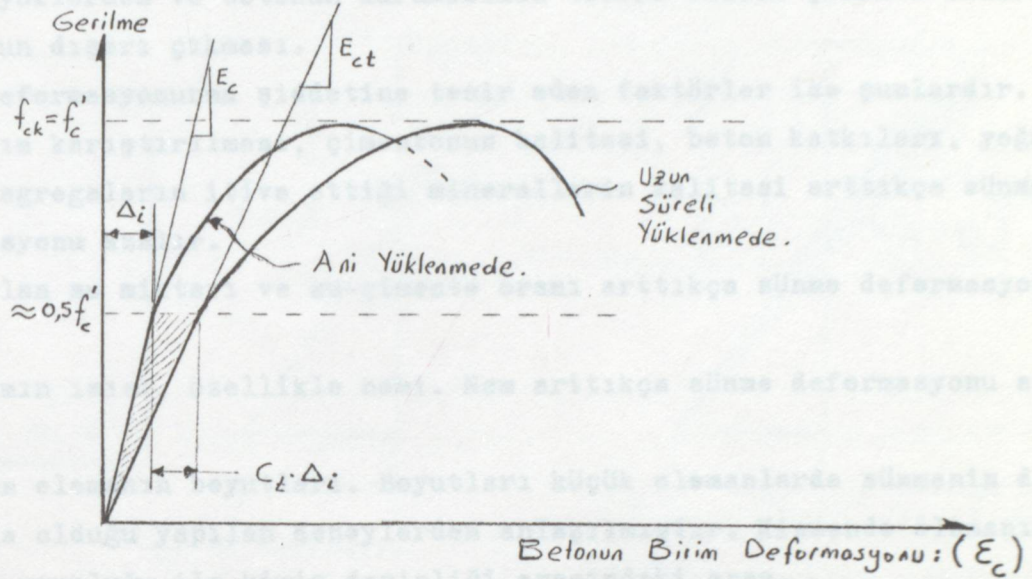
Bu düşünüşle, şayet simetrik kesitli elemanın üst ve altında eşit donatı varsa, rötire eğriligi sıfır olur. Genel durum olan simetrik olmayan kesitte ise, şayet donatıların ağırlık merkezi ile beton kesitin ağırlık merkezi üst üste gelirse bu durumdada rötire eğriligi sıfır olur.

Basınç donatısı zaima betondaki sünme etkisininide azaltır. çünkü, betonda basınç birim kısalmaları zamanla birlikte çoğalır. ve betondaki basınç gerilmesinin çok kısmı eger kesitte basınç donatısı var ise, bu donatı tarafından karşılanır. Bunun sonucu betondaki basınç gerilmeleri azalır. Dolayısı ile basınç donatısı sayesinde sünme birim kısalmalarıda azalır. Basınç donatısının sehım üzerindeki olumlu katkısı ile beraber zamanla meydana gelen sehime (nem, sıcaklık, dış şartlar, uzun zamanlı yükler altındaki betonun yaşı, gerilme-mukavemet oranı..v.s) gibi faktörler etkili olurlar. Bundan sonrada anlatılacağı gibi, sayılan bu faktörlerin etkileri zamana bağlı sehım nesabında anı (elastik) sehimlerle çarpılan çeşitli çarpma katsayıları ile göz önüne alınır.

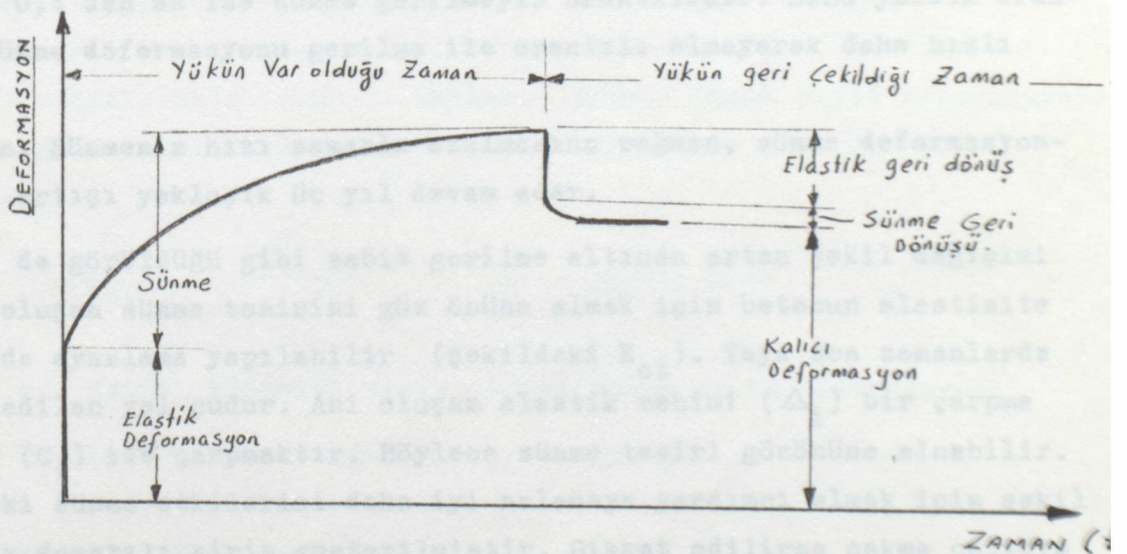
2.7) ZAMANLA MEYDANA GELEN ŞEHİMLERDE SÜNME ETKİSİ

Zamanla oluşan sehimler, ani oluşan elastik sehimlere sünme ve rötre etkilerinden oluşan sehimlerin eklenmesi ile bulunur.

Sünme, zamanla kalıcı yükler altında elastik sınır gerilmesi olarak kabul edilen ($0,5.f'_c$) den sonra elastik olmayan deformasyona sebep olur. Fakat bu deformasyon artışı zamanla azalır. Şekil 1) de gösterilmiştir.



Şekil 1) Ani ve uzun süreli yüklenmeler için tipik gerilme-birim deformasyon eğrileri.



Şekil 2) Sabit eksenel basınç gerilmesine maruz betonda tipik sünme eğrisi.

sünmenin veya plastik akışın iç mekanizması üzerine çok seneler araştırma çalışmaları yapılmıştır. Sünme deformasyonuna aşağıdaki sebeplerin sonuçlarından ileri geldiğine inanılır.

- 1) Betonun içindeki boşlukların kapanması.
- 2) Koyu kıvamlı çimento-su karışımı.
- 3) Agregalar arasındaki kristallenme oluşumu.
- 4) Dış yüklerden ve betonun kurummasının tesiri olarak çimente hamurundan suyun dışarı çıkması.

Sünme deformasyonunun şiddetine tesir eden faktörler ise şunlardır.

- 1) Harcın karıştırılması, çimentonun kalitesi, beton katkıları, yoğunluk ve agregaların itiva ettiği minerallerin kalitesi arttıkça sünme deformasyonu azalır.
- 2) Katılan su miktarı ve su-çimento oranı arttıkça sünme deformasyonu artar.
- 3) Ortamın ıslığı, özellikle nemi. Nem arttıkça sünme deformasyonu azalır.
- 4) Beton elemanın boyutları. Boyutları küçük elemanlarda sünmenin daha fazla olduğu yapılan deneylerden anlaşılmıştır. Kismende elemanın açıklık uzunluğu ile giriş derinliği arasındaki oran.
- 5) Yük uygulanan betonun ilk yüklenme anındaki yaşı. Betonun taze iken yüklenen numunedeki sünme deformasyonu, eski bir betona oranla daha fazla olur.
- 6) Gerilme düzeyi. Kalıcı yük uygulandığı anda betonda oluşan gerilmelerin beton basınç dayanımına oranı bir ölçü olarak kullanılabilir. Bu oran 0,4 den az ise sünme gerilmeyle orantılıdır. Daha yüksek oranlarda sünme deformasyonu gerilme ile orantılı olmayarak daha hızlı artar.
- 7) Zaman. Sünmenin hızı zamanla azalmasına rağmen, sünme deformasyonlarının artışı yaklaşık üç yıl devam eder.

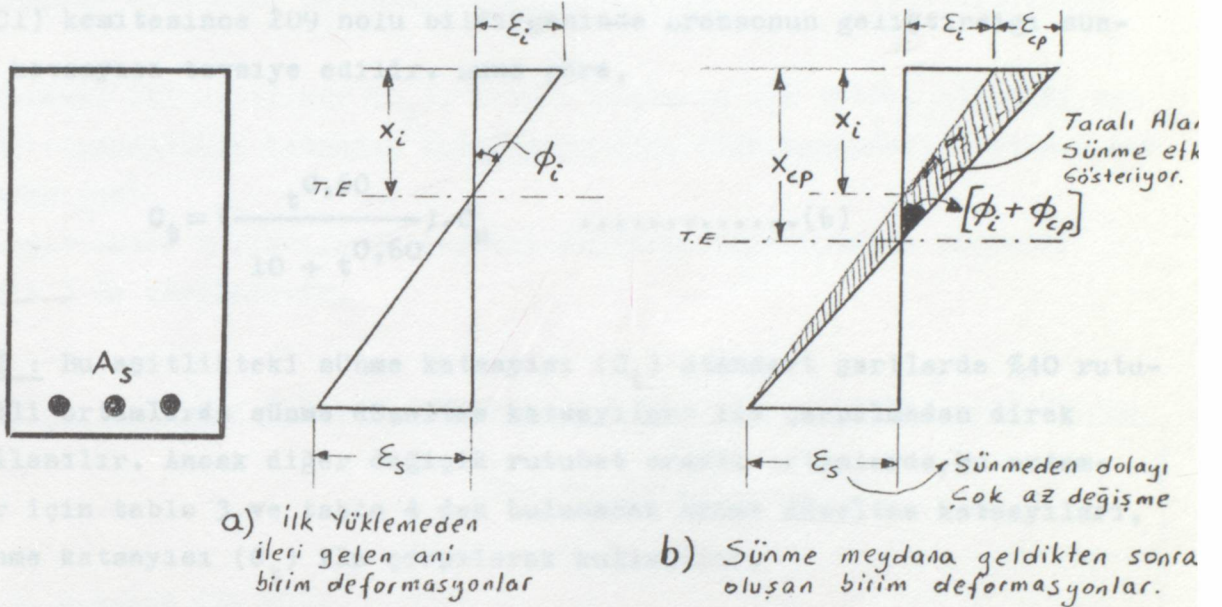
Şekil 1 de görüldüğü gibi sabit gerilme altında artan şekil değişimi sonucu oluşan sünme tesirini göz önüne almak için betonun elastisite modülünde ayarlama yapılabilir (şekildeki E_{ct}). Veya son zamanlarda tercih edilen yol şudur. Ani oluşan elastik sehimi (Δ_1) bir çarpma faktörü (C_t) ile çarpmaştır. Böylece sünme tesiri gözönüne alınabilir. Kirişteki sünme etkilerini daha iyi anlamaya yardımcı olmak için şekil 3 de tek donatılı giriş gösterilmiştir. Dikkat edilirse çekme çeliğin de önemli bir değişme yoktur. Çünkü çekme bölgesinde sünmeden dolayı beton çok az çekme kuvveti alır. Ve buna paralel olarak çelik donatıda çok az sünme çekme kuvvetlerine maruz kalır. Bundan dolayı çelikte

önemli değişiklik oluşmaz. 2

Tarafsız eksenin aşağı inmesi sırasında iki husus düşünülür.

1) Beton gerilmeleri basınç yüzünde değişir. (tarafsız eksenin yeri x_1 den x_{cp} ye iner.)

2) Basınç birim defor- ϕ eğriliğinin artması ile dahada artar.
masyonu



şekil 3) Sünmenin kiriş eğriliği üzerindeki etkisi

2.7.1) SÜNME BİRİM DEFORMASYONU (ϵ_{cp})

Sünme tesiri için bulunan birçok matematiksel formüller genellikle üslü fonksiyonlardır. Bundan dolayı sünme deformasyonu , son limitte bile bir yaklaşıklıkla bulunur. Bunların içinde sünme birim deformasyonu için en fazla kabul edilen formül hiperbolik tipte olan formüldür. Buna göre...

$$\epsilon_{cp} = \frac{t^\alpha}{a + b \cdot t^\alpha} \quad \dots\dots\dots (5-a)$$

ϵ_{cp} = 1 psi tatbik edildiği vakit oluşan sünme birim deformasyonu

a ve b Deneyle bulunmuş sabitlerdir.

t = Yükün tatbik edildikten sonraki bir (t) zamanı

α = Deneyle bulunan bir üs sayısı

2.7.2) SÜNME KATSAYISI (C_t)

Behim hesaplamak maksadı ile kullanılan sünme katsayısı (C_t), sünme birim deformas-ile elastik birim deformas-arasındaki oran olarak alınır.

$$C_t = \frac{\epsilon_{cp}}{\epsilon_i} \dots\dots\dots(5-b)$$

(ACI) komitesince 209 nolu bildirgesinde Bransonun geliştirdiği sünme katsayısı tavsiye edilir. Buna göre,

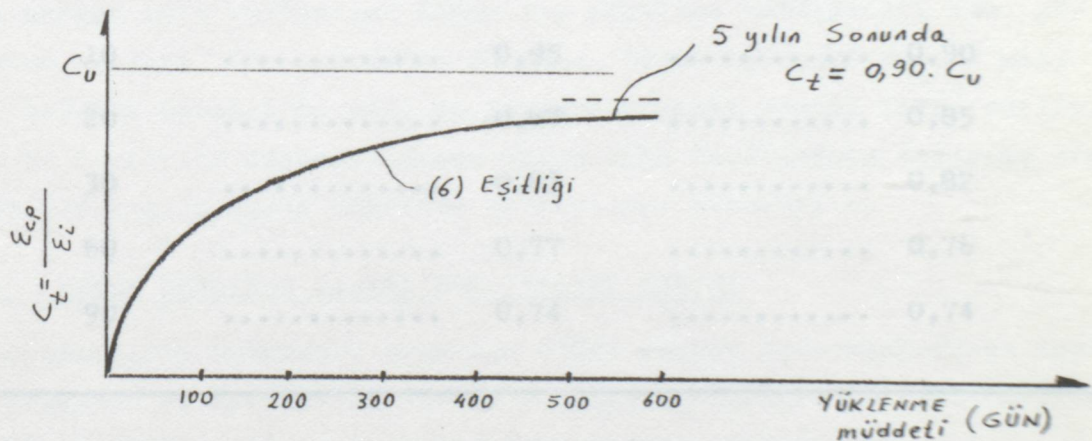
$$C_t = \left(\frac{t^{0,60}}{10 + t^{0,60}} \right) \cdot C_u \dots\dots\dots(6)$$

NOT : Bu eşitlikteki sünme katsayısı (C_t) standart şartlarda %40 rutubetli ortamlarda sünme düzeltme katsayıları ile çarpılmadan direk kullanılır. Ancak diğer değişik rutubet oranlı ortamlarda, bu ortamlar için tablo 3 ve tablo 4 den bulunacak sünme düzeltme katsayıları, sünme katsayısı (C_t) ile çarpılarak kullanılır.

C_t = Sünme katsayısı

t = İlk yüklemeden sonra geçen gün sayısı

C_u = Son durumdaki sünme katsayısı (%40 nemlilikte ortalama olarak 2,35 alınması tavsiye olunur)



Şekil 4) Yükleme müddeti süresince sünme katsayısındaki değişme

2.7.3) SÜNME DÜZELTME KATSAYILARI (CF)_a ve (CF)_h

- Sünme katsayısı(C_t) ile çarpılması gereken sünme düzeltme katsayılarının hesabı :

a) (CF)_a = Betonun ilk yüklenme yaşına göre sünme düzeltme katsayısı

b) $(CF)_h$ = Nemli ortam için betonun sünme düzeltme katsayısıdır.

Şimdi sırası ile bu düzeltme katsayılarını inceleyelim:

a) $(CF)_a$, ilk yüklenme yaşına göre sünme düzeltme katsayısı

- Nemli ortamdaki betonda : $(CF)_a = 1,25.t_a^{-0,118}$ (7)

- Buharlı ortamdaki betonda : $(CF)_a = 1,13.t_a^{-0,095}$ (8)

Yukardaki iki eşitlikte (t_a), betona yüklerin ilk tatbik edildiği zamanki (genellikle betondan kalıpların söküldüğü zamandaki) betonun gün olarak yaşı.

Bu eşitlikler kullanılarak çeşitli zamanlar için bulunan değerler tablo 3 de verilmiştir.

TABLO 3 BETONUN İLK YÜKLENME YAŞINA GÖRE SÜNME DÜZELTME KATSAYILARI

(t _a), Betonun ilk yüklendiği zamandaki gün olarak yaşı. (genellikle kalıplar söküldükten sonraki yaşı) (GÜN)	Düzeltilme katsayısı, (CF) _a	
	Nemli ortamdaki betonda	Buharlı ortamdaki betonda
10	0,95	0,90
20	0,87	0,85
30	0,83	0,82
60	0,77	0,76
90	0,74	0,74

b) nem oranı (H) ≥ %40 göre, Sünme düzeltme katsayısı $(CF)_h$

Şu formülle belirlenir.

$$(CF)_h = 1,27 - 0,0067.(H) \quad \text{.....(9)}$$

Bu formülle çeşitli çevre nemlilik yüzdelere göre bulunmuş değerler tablo 4 de verilmiştir.

TABLO 4 NEMLİ ORTAMDAKİ BETON İÇİN SÜNME DÜZELTME KATSAYISI

Çevre Nemlilik yüzdesi (%) (H)	Düzeltilme katsayısı $(CF)_h$
40 veya daha az	1,00
50	0,94
60	0,87
70	0,80
80	0,73
90	0,67
100	0,60

c) Bilindiği gibi boyutları küçük elemanlarda sünme deformasyonları daha fazladır. Genişliği 15 cm veya daha az olan elemanlarda genişlik tesirini içeren sünme düzeltme katsayısı (1) olarak alınır. Eğer 30 cm genişlikte ise (0,82) olarak alınabilir. Eğer eleman 30 cm den daha geniş ise genişlik sünme düzeltme katsayısı hesapta dikkate alınmaz.

d) Diğer sünme düzeltme katsayıları :

Sünme hesabı için kullanılan diğer tip düzeltme katsayıları ise, çimentonun miktarı, iyi agreganın yüzdesi, beton içindeki boşluk miktarı, bununla beraber bu sayılan faktörler genel olarak ihmal edilir. Fakat bu faktörler düşünüldüğünde bunun için hazırlanmış tablolar aracılığı ile ilgili sünme düzeltme katsayıları alınabilir.

2.7.4) SÜNME ÜZERİNDE BASINÇ DONATISININ ETKİSİ

Basınç çeliğinin bulunması sünmeden ötürü oluşan deformasyonları azaltır. Prof. Yu ve Winter' in basınç çeliğinin etkileri hakkında geliştirdikleri (ACI) -435 nolu raporundaki katsayı şudur.

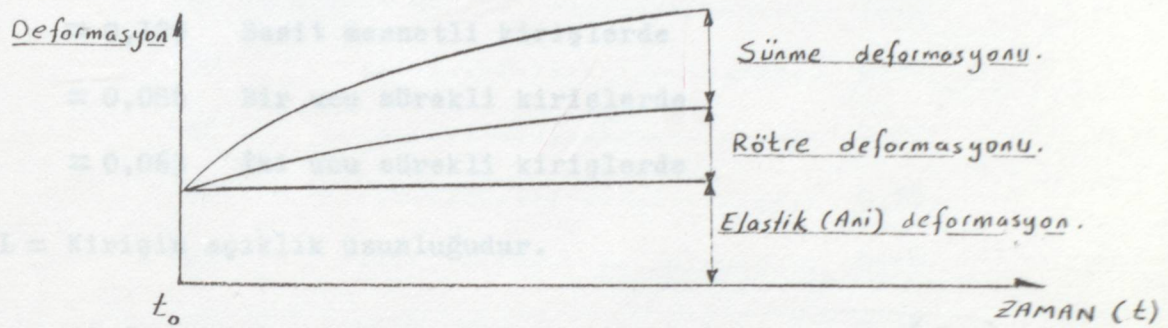
$$k_r = 0,85 - 0,45 \left(\frac{A_s}{A_g} \right) \geq 0,40 \quad \dots\dots\dots(10)$$

Böylece şekil 3 deki $(C_t \cdot \Delta_1)$ değeri, eğer basınç çeliğininde sünme üzerindeki etkisi düşünülürse, ... $(k_r \cdot C_t \cdot \Delta_1)$ şekline dönüşür.

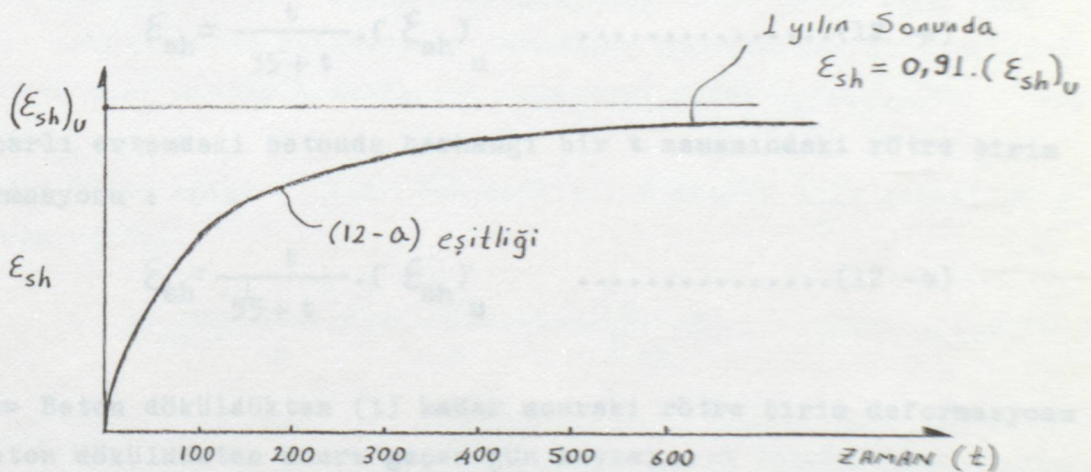
2.8) ZAMANLA MEYDANA GELEN SEHİMLERDE RÖTRENİN ETKİSİ

Beton kirişte oluşan rötre, sehime sebep olan sünme etkisine benzer. Rötre yalnız başına düz beton elemanda sadece , eğrilik oluşturmada kısalmaya meydana getirir. Eğer elemana çelik donatı konulursa bu durumda beton ile çelik arasındaki aderanstan dolayı rötre tutulmuş olur. Böylece tek donatılı kirişte donatı bulunan tarafta rötre tutulmuş ve donatı bulunmayan tarafta ise rötre önlenmemiş olur. Bundan dolayı eğrilik oluşacağı düşünülür. Esasında rötre ve sünmenin etkilerinin meydana gelmesi uzun zamanda olur.

Rötre, beton döküldükten sonra ilk birkaç ay içerisinde kesin olarak sünmeden evvel oluşur.



Şekil 5) Betonda (t_0) anında yük tatbikinden sonra oluşan, önce elastik (ani), sonra rötre ve daha sonra sünme deformasyonları meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 6) %40 nemli ortamdaki betonda zamanla, rötre birim deformasyonları değişmesi.

Tipik olarak rötrenin %91 i bir yılın sonunda meydana gelir. 5 yılın sonunda ise sünmenin %90 ı meydana gelir.

Eğer oluşan rötre birim kısalması biliniyor ise, rötre eğimi (ϕ_{sh}) ; rötre birim deformasyonunun fonksiyonu olarak belirlenmelidir. Böylece rötre eğimi, sünme etkisi altındaki basınç ve çekme çeliğine bağlıdır. Dolayısı ile rötreden oluşan sehim sonuçta mesnetlenme şartlarına bağlı olduğu görülür. Rötre sehimi (Δ_{sh}) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Delta_{sh} = \alpha_1 \cdot \phi_{sh} \cdot L^2 \dots\dots\dots(11)$$

α_1 = Mesnetlenme şartlarına bağlı bir katsayıdır. Bu ise,

$\alpha_1 = 0,50$	Konsol kirişlerde
$= 0,125$	Basit mesnetli kirişlerde
$= 0,086$	Bir ucu sürekli kirişlerde
$= 0,063$	İki ucu sürekli kirişlerde

L = Kirişin açıklık uzunluğudur.

2.8.1) RÖTRE BİRİM DEFORMASYON (rötre birim kısalması) (ϵ_{sh})

(ACI) komitesinin 209 nolu raporunda Bransonun geliştirdiği formüle göre kullanılan rötre Birim deformasyonu aşağıda verilmiştir.

- %40 nemli ortamdaki betonda herhangi bir (t) zamandaki rötre birim deformasyonu :

$$\epsilon_{sh} = \frac{t}{35+t} \cdot (\epsilon_{sh})_u \dots\dots\dots(12 -a)$$

- Buharlı ortamdaki betonda herhangi bir t zamanındaki rötre birim deformasyonu :

$$\epsilon_{sh} = \frac{t}{55+t} \cdot (\epsilon_{sh})_u \dots\dots\dots(12 -b)$$

ϵ_{sh} = Beton döküldükten (t) kadar sonraki rötre birim deformasyonu

t = Beton döküldükten sonra geçen gün sayısı

$(\epsilon_{sh})_u$ = Sen rötre deformasyonu. (Bu değer %40 nemli ortamda $800 \cdot 10^{-6}$ mm olduğu tahmin ediliyor)

(12-a) eşitliği grafik olarak şekil 6 da gösterilmiştir.

2.8.2) ÇEVRE NEMLİLİĞİNE GÖRE RÖTRE DÜZELTME KATSAYILARI, $(CF)_h$

$$(CF)_h = 1,40 - 0,010.H \quad (40 \leq H \leq 80) \quad \dots\dots\dots(12-c)$$

$$(CF)_h = 3 - 0,030.H \quad (H \geq 80) \quad \dots\dots\dots(12-d)$$

(12. a-b) eşitlikleri çeşitli nem yüzdelerine göre (12 c-d) eşitliği ile veya tablo 5 de verilen rötre düzeltme katsayıları ile çarpılması gerekir.

TABLO 5 ÇEVRE NEM YÜZDELERİNE GÖRE RÖTRE DÜZELTME KATSAYILARI

Çevre Nem Yüzdesi (H).%	Düzeltilme Katsayısı $(CF)_h$
40 veya daha az	1,00
50	0,90
60	0,80
70	0,70
80	0,60
90	0,30
100	0

2.8.3) RÖTRE EĞİMİ (ϕ_{sh})

Uniform olmayan rötre (Birim kısalmasından ileri gelen eğim için) çeşitli araştırmalar neticesinde formüller geliştirilmiştir. Kirişte iki yüzde ayrı miktarlarda donatı bulunması, rötre eğimlerinin esas sebebidir..

Millerin rötre eğimi için tek donatılı kirişler için geliştirdiği bir oran vardır.

$$\phi_{sh} = \left(\frac{\epsilon_{sh} - \epsilon_s}{d} \right) = \frac{\epsilon_{sh}}{d} \cdot \left(1 - \frac{\epsilon_s}{\epsilon_{sh}} \right) \quad \dots\dots\dots(13)$$

ϵ_s = Rötreden dolayı çelikte meydana gelen birim deformasyon (birim uzama)

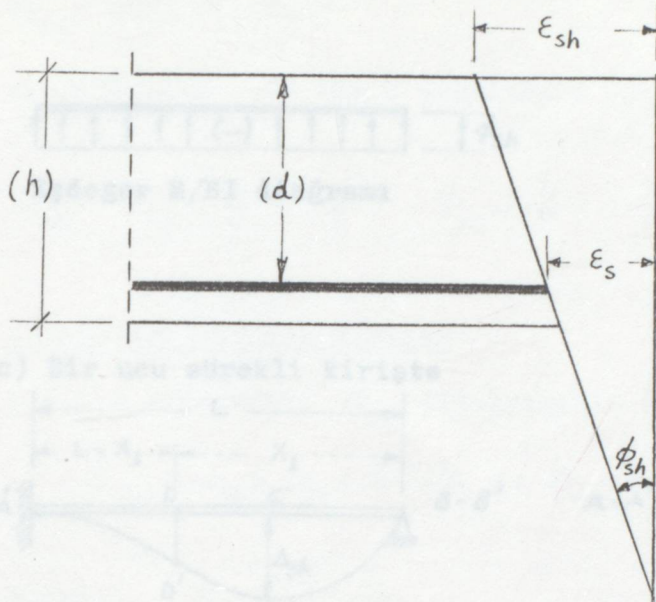
ϵ_{sh} = Donatı bulunmayan yüzdeki rötre birim deformasyonu (birim kısalması)

Miller, $(\epsilon_s / \epsilon_{sh})$ 'ın fonksiyonu olarak donatı yüzdelelerini bulmuştur.

Branson ise millerin ampirik formülünü geliştirerek ayrıca basınç çeliğinin rötre üzerindeki etkisini de formülü içersine sokmuştur. Buna göre :

$$\phi_{sh} = 0,7 \cdot \left(\frac{\epsilon_{sh}}{h} \right) (\rho - \rho')^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\rho - \rho'}{\rho} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad \leftarrow \dots (\rho - \rho') \leq \%3 \text{ için} \quad \dots (14-a)$$

$$\phi_{sh} = \frac{\epsilon_{sh}}{h} \quad \leftarrow \dots (\rho - \rho') > \%3 \text{ için} \quad \dots (14-b)$$



ϵ_{sh} = Rötire birim Deformasyonu.

ϕ_{sh} = Rötire eğimi.

Şekil 7 Tek donatılı kirişteki rötire birim kısalması ile oluşan rötire eğimi (ϕ_{sh})

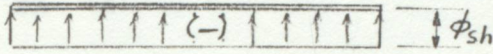
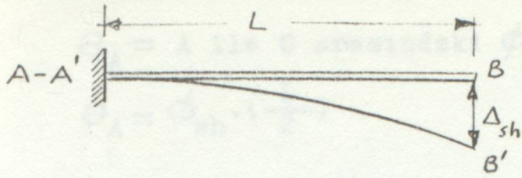
Yukarıdaki (14-a) ve (14-b) eşitlikleri (ACI) yönetmenliğinde rötire eğimi için en çok kabul gören eşitliklerdir.

2.8.4) ÇEŞİTLİ MESNET ŞARTLARINA SAHİP KİRİŞLERDE RÖTREDEN OLUŞAN SEHİMLERİN HESAPLANMASI

Rötire sehimlerini hesaplamak için dört ayrı şekilde mesnetlenmiş kirişteki (α_1) katsayılarından bahis edilmiş idi. Kiriş sehimlerinin bulunmasında Mohr metodu (moment alanı metodu) çok kullanılır. Mohr teoremine göre bir kirişte eğrilik (daha doğrusu eğilme rijitliği (M/EI) yük sayılmak şartı ile bulunacak kesme kuvvetleri eğimleri (ϕ) ve bu yüke (M/EI) göre bulunacak momentlerde kirişin çökmesini (sehimini) gösterir.

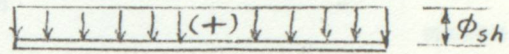
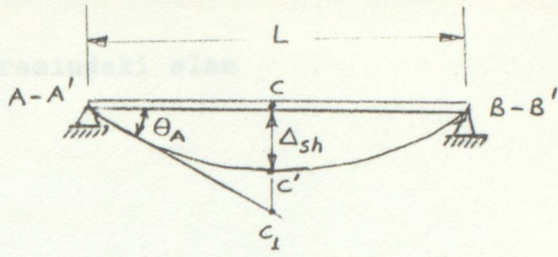
Şekil 8 de dört ayrı durumda mesnetlenmiş kirişlerin rötreden dolayı oluşan eğilme moment diyagramları çizilmiş ve bu moment diyagramının ortalaması alınarak bunlar kirişlerin (EI) larına bölünüp eğrilikler (M/EI eğilme rijitlikleri) bulunmuştur. Bunlar eşdeğer kesme kuvvetleri gibi düşünülerek birim rötire dönme açıları (rötire eğimi ϕ_{sh}) bulunmuştur.

a) Konsol kirişte



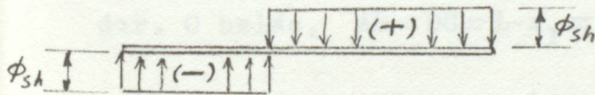
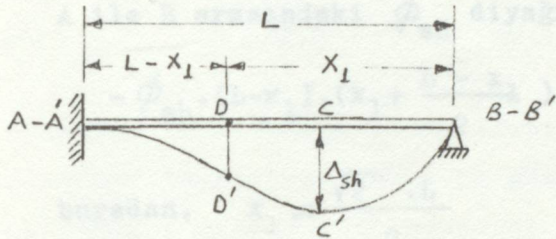
Eşdeğer M/EI diagramı

b) Basit mesnetli kirişte



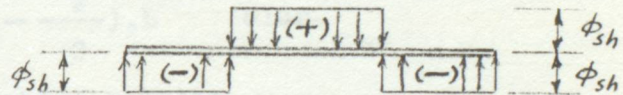
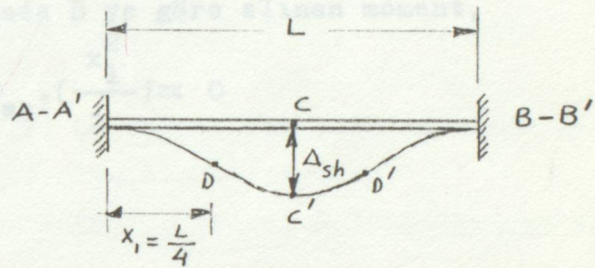
Eşdeğer M/EI diagramı

c) Bir ucu sürekli kirişte



Eşdeğer M/EI diagramı

d) İki ucu sürekli kirişte



Eşdeğer M/EI diagramı

(Şekil 8)

Şekil 8 de gösterilen kirişlerde SEHİMLERİN HESAPLANMASI

a) Konsol kirişte :

$\Delta_{sh} = BB' = A$ ile B arasındaki ϕ_{sh} diyagramında B ye göre alınan moment:

$$\Delta_{sh} = (\phi_{sh} \cdot L) \cdot \left(\frac{L}{2}\right) = 0,50 \cdot \phi_{sh} \cdot L^2$$

b) Basit mesnetli kirişte

$\Theta_A = A$ ile C arasındaki ϕ_{sh} diyagramındaki alan

$$\Theta_A = \phi_{sh} \cdot \left(\frac{L}{2}\right)$$

$$\Delta_{sh} = CC' = CC_1 - C_1C'$$

$$\Delta_{sh} = \Theta_A \cdot \left(\frac{L}{2}\right) - (A \text{ ile } C \text{ arasındaki } \phi_{sh} \text{ diyagramında } C \text{ ye göre alınan moment.})$$

$$\Delta_{sh} = \phi_{sh} \cdot \left(\frac{L}{2}\right) \cdot \left(\frac{L}{2}\right) - \phi_{sh} \cdot \left(\frac{L}{2}\right) \cdot \left(\frac{L}{4}\right) = 0,125 \cdot \phi_{sh} \cdot L^2$$

c) Bir ucu sürekli kirişte

A ile B arasındaki ϕ_{sh} diyagramında B ye göre alınan moment,

$$-\phi_{sh} \cdot (L-x_1) \cdot \left(x_1 + \frac{L-x_1}{2}\right) + \phi_{sh} \cdot \left(\frac{x_1^2}{2}\right) = 0$$

buradan, $x_1 = \frac{\sqrt{2} \cdot L}{2}$

A da ve C' noktalarında çizilen teğetler elastik eğriye yatay olduğundan dolayısı ile AD ve DC uzunluklarında birbirine eşit olmak zorundadır. O halde, $AD = DC = L - x_1 = \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2}\right) \cdot L$ olur.

C noktasındaki rötreden oluşan sehimi bulalım,

$\Delta_{sh} = CC' = A$ ile c arasındaki ϕ_{sh} diyagramında C ye göre alınan moment burada AC uzunluğu arasında ters işaretli fakat eşit yükler olduğundan D noktasında bir moment çifti oluşur. O halde momenti D noktasına göre almak gerekir.

$$\Delta_{sh} = \text{Moment çifti} = \phi_{sh} \cdot (L-x_1)^2$$

$$\Delta_{sh} = \phi_{sh} \cdot L^2 \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2}\right)^2 = \phi_{sh} \cdot L^2 \cdot \left(1 - \sqrt{2} + \frac{1}{2}\right)$$

$$\Delta_{sh} = 0,086 \cdot \phi_{sh} \cdot L^2$$

d) İki ucu sürekli kirişte

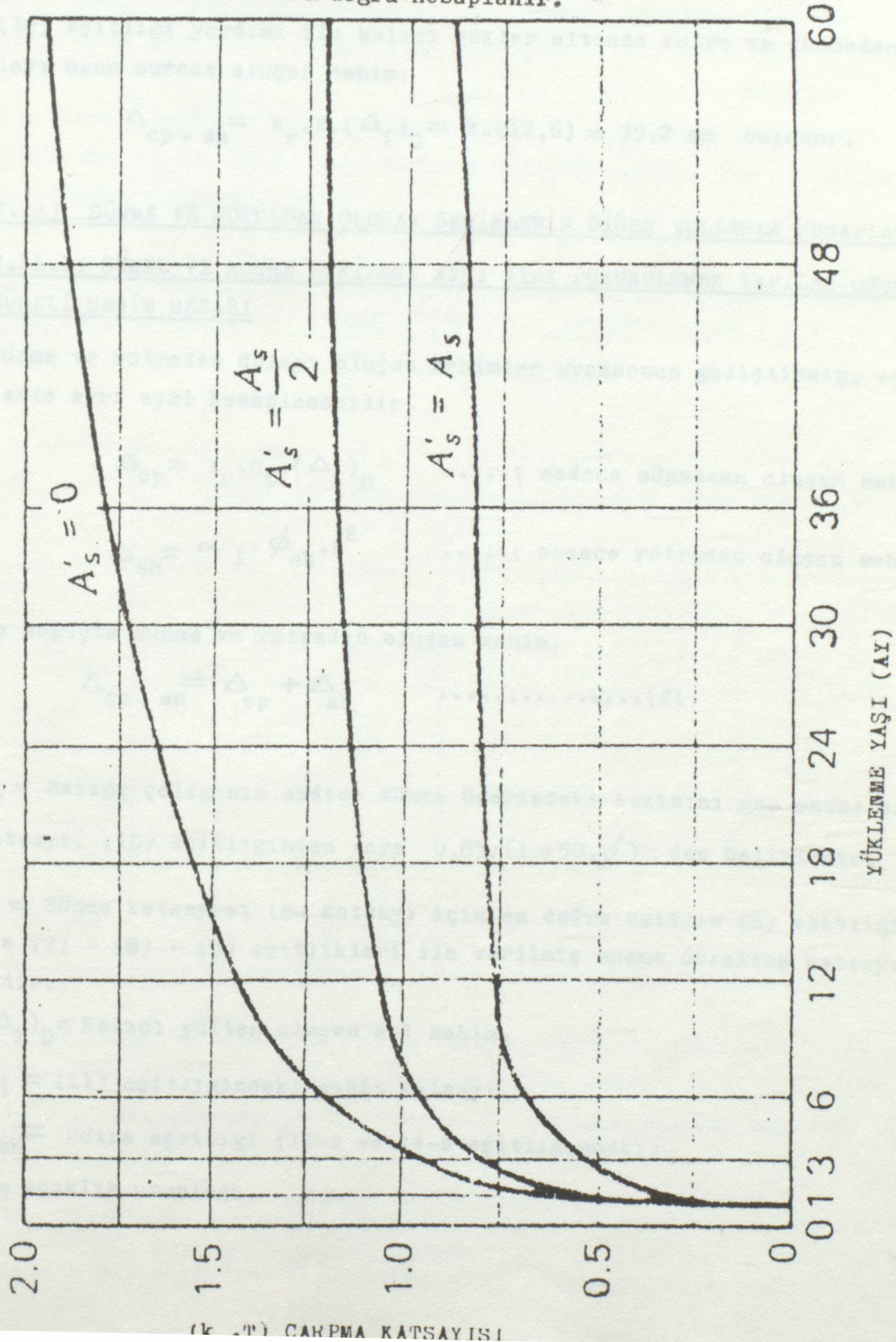
C noktası açıklık ortası olacağından $AD = DC = CD' = D'B = x_1 = \frac{L}{4}$

olduğu görülür.

$\Delta_{sh} = CC' = A$ ile C arasındaki ϕ_{sh} diyagramında C ye göre alınan moment (ancak burada ters işaretli iki eşit yükler olduğu için moment çifti meydana gelir. Bu durumda C noktasındaki momenti bulmak için

$(\Delta_i)_D$ = Kalıcı yüklerden oluşan ani (elastik) sehîm

$(k_r.T)$ = (ACI) yönetmenliğinde basınç çeliğinin ve betonun, rötne ve sünme üzerindeki etkisini içeren bir çarpma katsayısıdır. Ayrıca $(k_r.T)$ değerleri kalıcı yüklerin kalma müddetine ve A'_s/A_s oranının en çok kullanılan üç ayrı durumu için şekil 9 da verilmiştir. Bu şekil Yu-winter tarafından hazırlanmıştır. ve (ACI) yönetmenliğinde basılmıştır. Yu-winter in çarpma katsayısı $(k_r.T)$ kullanılarak yapılan zamana bağlı sehîmler % 20 hata ile doğru hesaplanır.



Şekil 9) (ACI) yönetmenliğine göre sünme ve rötne tesirlerini göz önüne

ÖRNEK 2.10.1)

Örnek 2.4.1 deki kiriste, rötire ve sünmeden dolayı uzun sürede meydana gelen sehimi (ACI) yönetmenliğine göre hesaplıyalım,

Çözüm: Kalıcı yüklerden oluşan ani sehim daha önce hesaplanmış idi.

$(\Delta_i)_D = 17,6 \text{ mm}$ Basınç çeligi kullanılmamış (tek donatılı) idi.

Bu durumda, (17) eşitliğine göre:

$$k_r \cdot T = 2,0 \text{ olur.}$$

(18) eşitliği yardımı ile kalıcı yükler altında rötire ve sünmeden dolayı uzun sürede oluşan sehim:

$$\Delta_{cp+sh} = k_r \cdot T \cdot (\Delta_i)_D = 2 \cdot (17,6) = 35,2 \text{ mm bulunur.}$$

2.11) SÜNME VE RÖTREDEN OLUŞAN SEHİMLERİN DİĞER YOLLARLA HESAPLANMASI

2.11.1) SÜNME VE RÖTRE ETKİLERİ AYRI AYRI DÜŞÜNÜLEREK YAPILAN UZUN SÜRELİ SEHİM HESABI

Sünme ve rötreden dolayı oluşan sehimler Bransonun geliştirdiği eşitlerle ayrı ayrı hesaplanabilir.

$$\Delta_{cp} = k_r \cdot C_t \cdot (\Delta_i)_D \quad \dots\dots (\text{sadece sünmeden oluşan sehim}) \dots\dots (1)$$

$$\Delta_{sh} = \alpha_1 \cdot \phi_{sh} \cdot L^2 \quad \dots\dots (\text{sadece rötreden oluşan sehim}) \dots\dots (2)$$

ve sonuçta sünme ve rötreden oluşan sehim,

$$\Delta_{cp+sh} = \Delta_{cp} + \Delta_{sh} \quad \dots\dots\dots (21)$$

k_r = Basınç çeliginin sadece sünme üzerindeki etkisini göz önüne alan katsayı. (10) eşitliğinden veya $0,85/(1+50.\rho')$ den belirlenir.

C_t = Sünme katsayısı (Bu katsayı için en doğru eşitlik (6) eşitliği ile (7) - (8) - (9) eşitlikleri ile verilmiş sünme düzeltme katsayılarıdır.

$(\Delta_i)_D$ = Kalıcı yükten oluşan ani sehim.

α_1 = (11) eşitliğindeki sabit katsayı.

ϕ_{sh} = Rötire eğriligi (14-a ve 14-b eşitliğindeki)

L = Açıklık uzunluğu.

2.11.2) SÜNME VE RÖTRE BİRLİKTE DÜŞÜNÜLEREK YAPILAN UZUN SÜRELİ SEHİM

HESABI

Bu metod (ACI) yönetmenliğindeki metoda benzer. Bu metodta zamana bağlı bir katsayı olan (T) çok doğru şekilde geliştirilmiştir.

$$\Delta_{cp+sh} = k_r \cdot f \cdot (\Delta_i)_D \dots\dots\dots (22)$$

k_r = Branson tarafından geliştirilen, basınç donatısının sünme ve rötre üzerindeki etkisini dikkate alan katsayıdır. (16) eşitliği: $k_r = 1/(1 + 50.f)$ ile belirlenmiştir.

T = Zamana bağlı katsayı (betonda sünme ve rötre etkilerini birlikte göz önüne alır). Bu katsayı Tablo 6 da verilmiştir. (bu tablo Branson tarafından hazırlanmıştır)

TABLO 6 NORMAL VE HAFİF AĞIRLIKLI BETONLAR İÇİN YÜKLEME YAPILDIĞI GÜNE VE ORTALAMA ÇEVRE NEMLİLİĞİNE BAĞLI, BETONDA SÜNME İLE RÖTRE ETKİLERİNİ BİRLİKTE GÖZ ÖNÜNE ALAN KATSAYI (T)

28 gün- lük be- tonun karekte- ristik basınç muk. (f_{ck})	Betona yükleme yapıldığı zamandaki ortalama nemlilik								
	% 100 (su içersinde)			% 70 (nemli ortamda)			% 50 (normal ortamda)		
	≤ 7. gün de	14. gün de	≥ 28. gün de	≤ 7. Günde	14. Günde	≥ 28. Günde	≤ 7. Günde	14. Günde	≥ 28. Günde
17 ile 28 $\frac{N}{mm^2}$ arası	2,0	1,5	1,0	3,0	2,0	1,5	4,0	3,0	2,0
28 $\frac{N}{mm^2}$	1,5	1,0	0,7	2,5	1,8	1,2	3,5	2,5	1,5

NOT: Tablodaki ara değerler için interpolasyon yapılabilir.

Aşağıda verilen ve tabloda kullanılan yüzde değerleri kalıcı yükler için kullanılmalıdır. Ve bu yüzdelerin karşılık geldiği zamanlar aşağıda verilmiştir.

% 25 : 1 ay veya daha az neme maruz beton için.

% 50 : 3 ay neme maruz kalmış beton için

% 75 : 1 yıl neme maruz kalmış beton için

% 100 : 5 yıl veya daha fazla neme maruz kalmış beton için.

ÖRNEK 2.11.3)

Örnek 2.4.1 deki kirişte 5 yıl süreli yükleme sonundaki sünme ve rötire sehimleri, basit (ACI) metodundan, daha kapsamlı metodlar kullanılarak hesaplanacaktır. Çevre nemliliği %70 ve beton, döküldükten 20 gün sonra yüklenmiş (yani betonun kalıpları 20 gün sonra sökülmiş)

a) Sünme ve rötire etkileri ayrı ayrı düşünülerek yapılan uzun süreli sehim hesabı

$$\Delta_{cp+sh} = \Delta_{cp} + \Delta_{sh} \quad \text{olduğu düşünülerek,}$$

sünmeden ileri gelen sehim : $\Delta_{cp} = k_r \cdot C_t \cdot (\Delta_i)_D$

$$k_r = 0,85 - 0,45 \cdot \left(\frac{A_s^*}{A_s} \right) = 0,85 \quad (\text{çünkü } A_s^* = 0 \text{ dır.})$$

$$\text{veya } k_r = 0,85 / (1 + 50 \cdot \rho') = 0,85 \quad (\text{çünkü } \rho' = 0 \text{ dır.})$$

(6) eşitliği kullanılarak,

$$t = 5 \cdot (365) \text{ gün}$$

$$C_t = \left(\frac{t^{0,6}}{10 + t^{0,6}} \right) \cdot C_u = 0,90 \cdot C_u$$

$$C_u = 2,35 \text{ (ortalama değer olarak kabul edilebilir)}$$

Buna göre,

$$C_t = 0,90 \cdot C_u = 2,12 \text{ bulunur}$$

Bulunan bu sünme katsayısı için çevre şartlarının da etkisini göz önüne alırsak, bulunacak sünme düzeltme katsayıları şunlardır.

Tablo 4 den veya eşitlik (9) dan % 70 nemliliğe göre sünme düzeltme katsayısı: $(CF)_h = 0,80$ olarak alınır.

Tablo 3 den betonun ilk yüklenme yaşı ile ilgili sünme düzeltme katsayısı: $(CF)_a = 0,87$ olarak alınır.

O halde düzeltilmiş sünme katsayısı şöyle olacaktır,

$$C_t = 2,12 \cdot (CF)_h \cdot (CF)_a$$

$$C_t = 2,12 \cdot 0,80 \cdot 0,87 = \underline{\underline{1,47}} \text{ olur.}$$

Örnek 2.4.1 deki basit kirişte kalıcı yükten oluşan ani sehim $(\Delta_i)_D = 17,6 \text{ mm}$ olarak bulunmuştur.

Buna göre,

$$\Delta_{cp} = k_r \cdot c_t \cdot (\Delta_i)_D = 0,85 \cdot (1,47) \cdot (17,6) = 22 \text{ mm (sünmeden ileri gelen sehim)}$$

Rötreden ileri gelen sehim :

$$\Delta_{sh} = \alpha_1 \cdot \phi_{sh} \cdot L^2$$

$$\alpha_1 = 0,125 \text{ (Basit mesnetli kırışlarda)}$$

Bu kırışta $\rho = \% 2,38$ ve $\rho' = 0$ olduğundan (14-a) eşitliğinden,

$$\phi_{sh} = 0,7 \cdot \left(\frac{\epsilon_{sh}}{h} \right) \cdot \sqrt[3]{\rho}$$

ve ϵ_{sh} ı bulmak için (12-a) eşitliği kullanılırsa,

$$\epsilon_{sh} = \frac{t}{35+t} \cdot (\epsilon_{sh})_u$$

$t = (5.365)$ gün sayısına göre ortalama şartlarda,

$$\epsilon_{sh} \cong (\epsilon_{sh})_u = 800 \cdot 10^{-6} \text{ mm/mm olarak kabul edilebilir.}$$

eşitlik (12 c-d) veya tablo (5) den %70 nemliliğe göre sünme düzeltme katsayısı, $(CF)_h = 0,70$ olarak bulunur. ve,

$$\epsilon_{sh} = (800 \cdot 10^{-6}) \cdot 0,70 = 560 \cdot 10^{-6} \text{ mm/mm}$$

$$\text{ve } \phi_{sh} = 0,7 \cdot \left(\frac{560 \cdot 10^{-6}}{h = 700 \text{ mm}} \right) \cdot \sqrt[3]{2,38} = 7,476 \cdot 10^{-7} \text{ mm/mm}$$

buna göre,

$$\Delta_{sh} = \alpha_1 \cdot \phi_{sh} \cdot L^2 = 0,125 \cdot (7,476 \cdot 10^{-7}) \cdot (12000)^2 = 13,5 \text{ mm (rötreden ileri gelen sehim)}$$

ve sonuçta sünme ve rötreden ileri gelen sehim :

$$\Delta_{cp+sh} = \Delta_{cp} + \Delta_{sh}$$

$$\Delta_{cp+sh} = 22 + 13,5 = 35,5 \text{ mm olarak bulunur.}$$

b) Sünme ve rötire etkilerini birlikte düşünülerek yapılan uzun süreli sehim hesabı

$$\Delta_{cp+sh} = k_r \cdot T \cdot (\Delta_i)_D \text{ olduğuna göre,}$$

$$(\rho' = 0 \text{ için}) \dots k_r = \frac{1}{1 + 50 \cdot \rho'} = 1,0$$

Tablo 6 dan %70 nemli ortamda, beton doküldükten 20 gün sonra yüklenmiş (225) betonunda (T) katsayısı interpolasyon ile ($T \cong 1,8$ bulunur.)

Örnek 2.4.1 de $(\Delta_i)_D = 17,6$ mm bulunmuştur. Buna göre,

sünme ve rötreden oluşan sehım :

$$\Delta_{cp+sh} = 1,0 \cdot (1,8) \cdot (17,6) = 32 \text{ mm olarak bulunur.}$$

YAPILAN ÖRNEKLERDE KULLANILAN ÜÇ METODUN KARŞILAŞTIRILMASI :

Aşağıdaki tabloda örnek 2.4.1 deki betonarme kırıştı sünme verötre etkisi düşünülerek üç ayrı metodia bulunan sehım değerleri karşılaştı-
rılmıştır. Buradanda kolayca görüleceği gibi basit metod olan (ACI)
yönetmenliğindeki metod daha kapsamlı diğer metodlarla hemen hemen
aynı neticeyi vermektedir.

metod	Δ_{cp+sh}
(ACI) metodu kullanılarak yapılan hesapta, (örnek 2.10.1)	35,2 mm
Sünme ve rötire ayrı ayrı düşünülerek yapı- lan hesapta, (örnek 2.11.3 -a)	35,5 mm
Sünme ve rötire birlikte düşünülerek yapı- lan hesapta, (örnek 2.11.3 -b)	32 mm

3.1) (ACI) YÖNETMENLİĞİNDE EĞİLEBİLİR ELEMANLARIN MİNİMUM DERİNLİĞİ

Tek doğrultuda çalışan elemanlar (örneğin giriş ve tek doğrultuda çalışan döşeme) için (ACI) minimum derinlikler belirlemiştir. Diğer etkileri gözötmeksizin, sehimleri gözöterek en az sehim meydana getirecek derinlikler bulunmuştur.

TABLO 7 ÇEŞİTLİ ANİ (ELASTİK) SEHİM DEĞERLERİ VE KESİTİN ALDIĞI GERİLME YÜZDELERİNE GÖRE MİNİMUM DERİNLİKLER.

Kesitin aldığı gerilme yüzdesi	ANİ SEHİM (Δ_c)				
	$\Delta = L/300$	$\Delta = L/360$	$\Delta = L/480$	$2\Delta = L/300$	$2\Delta = L/360$
100	L/23,2	L/19,3	L/14,5	L/11,5	L/9,7
67	L/35	L/29	L/21,5	L/17,5	L/14,5
60	L/39	L/32	L/24	L/19,5	L/16
50	L/46,5	L/38,5	L/29	L/23	L/19,5

NOT : Kesitteki çekme bölgesindeki çekme çeliğinin alacağı son gerilme (f_{yd} , çeliğin akma hesap gerilmesi) durumu kesitte % 100 gerilme var diye düşünölüyor. Ayrıca bu tablodaki son iki kolonda (2Δ) olarak gösterilen kısım ani sehim için rötre ve sünme etkisininide dikkate alındığına işaretettir. Ayrıca tablo 7) den bir kesite vermeyi düşündüğümüz minimum derinliğin kabaca ne kadar sehim yapabileceğini araştırabiliriz.

Minimum derinlikler hakkında (ACI) yönetmenliğinin 435 nolu tavsiyeleri ile pratik mühendislikteki inanılan tecrübeler arasında birbiri ile uygun gelen bilgiler Tablo 8 de gösterilmiştir.

TABLO 8 EN AZ SEHİM DEĞERİ VERECEK MİNİMUM DERİNLİKLER (h)

Elemanın tipi	basit mesnetli	Bir ucu sürekli	iki ucu sürekli	konsol	
Kirişte	$f_{yd} = 420 \frac{N}{mm^2}$	L/16	L/18,5	L/21	L/8
	$f_{yd} = 280 \frac{N}{mm^2}$	L/20	L/23	L/26	L/10
tek doğrultuda çalışan döşemede	$f_{yd} = 420 \frac{N}{mm^2}$	L/20	L/24	L/28	L/10
	$f_{yd} = 280 \frac{N}{mm^2}$	L/25	L/30	L/35	L/12,5

3.2) (ACI) YÖNETMENLİĞİNE GÖRE SEHİMLERİN BULUNMASI- KİRİŞ ÖRNEKLERİ

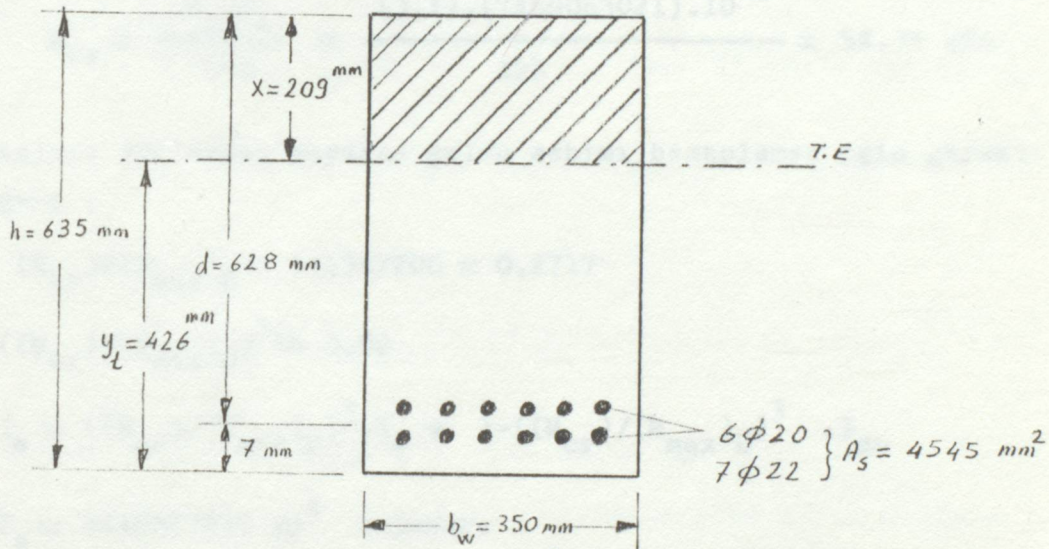
ÖRNEK 3.2.1

Aşağıdaki şekilde kirişin sehimini araştıralım. Basit mesnetli tek donatılı kirişin serbest açıklığı $L = 7,5 \text{ m}$, kalıcı işletme yükleri altındaki max eğilme momenti $(M_{\max})_D = 200 \text{ kNm}$. Ve hareketli yükten ileri gelen max eğilme momenti $(M_{\max})_L = 140 \text{ kNm}$ dir.

Sonuçta taşıma gücü metoduna göre yapılan bu hesapta taşıma gücü momenti $M_u = 540 \text{ kNm}$ olarak belirlenmiştir.

kirişin geniş sehimlere maruz kaldığında, kirişin mesnetlenme bölgelerinde ve diğer taşınan elemanların hasara uğrayabileceği kabul edilmiştir.

Verilen malzeme gurubu : C25 / S220 $(f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2, f_{yd} = 191 \text{ N/mm}^2)$



ÇÖZÜM : Tablo 8) den $f_{yd} = 280 \text{ N/mm}^2$ için basit mesnetli kirişte sehim hesabı gerektirmeyecek şekilde minimum kalınlık kontrolü yapalım

$\min h = L/20 = 750/20 = 37,5 \text{ cm} < 63,5 \text{ cm}$ Yani kirişimizin yüksekliği minimum derinlikten daha büyük çıktı. Fakat bununla beraber kirişin taşıdığı çatlayabilir elemanları ve mesnetlenme şartını düşünererek sehimini hesaplıyalım.

- Elastisite modülü (E_c) :

$$E_c = 4730 \cdot \sqrt{f_{ck}} = 4730 \cdot \sqrt{25} = 23650 \text{ N/mm}^2$$

- Donatı yüzdesinin (ρ) kontrolü,

$$\rho = A_s / b \cdot d = (4860 \text{ mm}^2) / 350 \cdot 635 = 0,0219 > \rho_{def} = 0,0209$$

donatı yüzdesi sehim sınırı üzerinde çıktı. (ref. Prof. Altay Gündüz taşıma gücü ilkesine göre hesap, Tablo 3.6-b)

Bu yüzden sehim hesabı yapılmalıdır. Sehimin sorun olacağı tahmin edil

- Donatılı eşdeğer beton kesite dönüştürerek çatlamış kesitteki tarafsız eksenin yerini bulalım. kesitin her iki tarafından Tarafsız eksene göre alınan statik momentten,

$$\frac{350 \cdot x^2}{2} = (8) \cdot (4545) \cdot (628 - x) \quad \dots \text{den } x = 209 \text{ mm bulunur.}$$

- Çatlamış kesitin atalet momenti, (I_{cr}) :

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \cdot (350) \cdot (209)^3 + (8) \cdot (4545) \cdot (628 - 209)^2 = 7448486343 \text{ mm}^4$$

- Betonun kırılma modulu, (f_r) :

$$f_r = 0,62 \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0,62 \cdot \sqrt{25} = 3,1 \text{ N/mm}^2$$

- Çatlama momenti, (M_{cr}) :

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_c}{y_t} = \frac{(3,1) \cdot (7468063021) \cdot 10^{-6}}{426} = 54,34 \text{ kNm}$$

- Kalıcı yüklerden meydana gelen sehimi hesaplamak için gerekli (I_e) değeri :

$$(M_{cr}) / (M_{max})_D = 54,34 / 200 = 0,2717$$

$$((M_{cr}) / (M_{max})_D)^3 = 0,02$$

$$I_e = ((M_{cr}) / (M_{max})_D)^3 \cdot I_c + 1 - ((M_{cr}) / (M_{max})_D)^3 \cdot I_{cr}$$

$$I_e = 7448877877 \text{ mm}^4 \text{ bulunur.}$$

- (Kalıcı + hareketli) yüklerden oluşan sehimi hesaplamak için gerekli (I_e) değeri :

$$(M_{cr}) / (M_{max})_{D+L} = 54,34 / 340 = 0,1598$$

$$((M_{cr}) / (M_{max})_{D+L})^3 = 0,00408$$

bulunan bu ara değerler yardımı ile (1 nolu I_e eşitliğinden)

$$I_e = 7448566216 \text{ mm}^4 \text{ bulunur.}$$

- Ani sehimin hesaplanması,

- Kalıcı yükten ileri gelen ani sehim : (basit kirişte)

$$(\Delta_i)_D = \frac{5 \cdot M \cdot L^2}{48 \cdot E_c \cdot I_e}$$

NOT : Sehimler hesaplanırken, Sehim hangi yükten ileri geliyorsa formüldeki (M) ve (I_e) değerleri yer

$(\Delta_i)_D = 0,00665 \text{ m} \approx 7 \text{ mm}$ bulunur.

- (Kalıcı+hareketli) yükten ileri gelen ani sehîm : (basit kirişte)

$$(\Delta_i)_{D+L} = \frac{5.M.L^2}{48.E_c.I_e} \quad \text{den ilgili değerler yerine konursa,}$$

$$(\Delta_i)_{D+L} = 0,01131 \text{ m} = 11,3 \text{ mm} \quad \text{bulunur.}$$

O halde sadece Hareketli Yükten ileri gelen ani sehîm :

$$(\Delta_i)_L = (\Delta_i)_{D+L} - (\Delta_i)_D = 11,3 - 7 = 4,3 \text{ mm} \quad \text{bulunur.}$$

- Zamanla oluşan sünme ve rötire sehîmlerini (ACI) yönetmenliğine göre hesaplıyalım :

$$k_r.T = 2-1,2.(A'_s/A_s) = 2,0 \quad (\text{tek donatılı kirişte } A'_s = 0)$$

$$\Delta_{cp+sh} = k_r.T.(\Delta_i)_D = 2,0 . (7) = 14 \text{ mm} \quad \text{bulunur.}$$

- Uzun süre sonunda oluşan Toplam Sehîm

$$(\Delta_i)_{D+L} + \Delta_{cp+sh} = 11,3 + 14 = 25,3 \text{ mm} \quad \text{olur.}$$

- sehîm tahkiki için gerekli olan sehîm değeri :

$$(\Delta_i)_L + \Delta_{cp+sh} \leq L/480 \quad (\text{izin verilen sehîm sınırı})$$

$$4,3 + 14 > 15,6 \text{ mm}$$

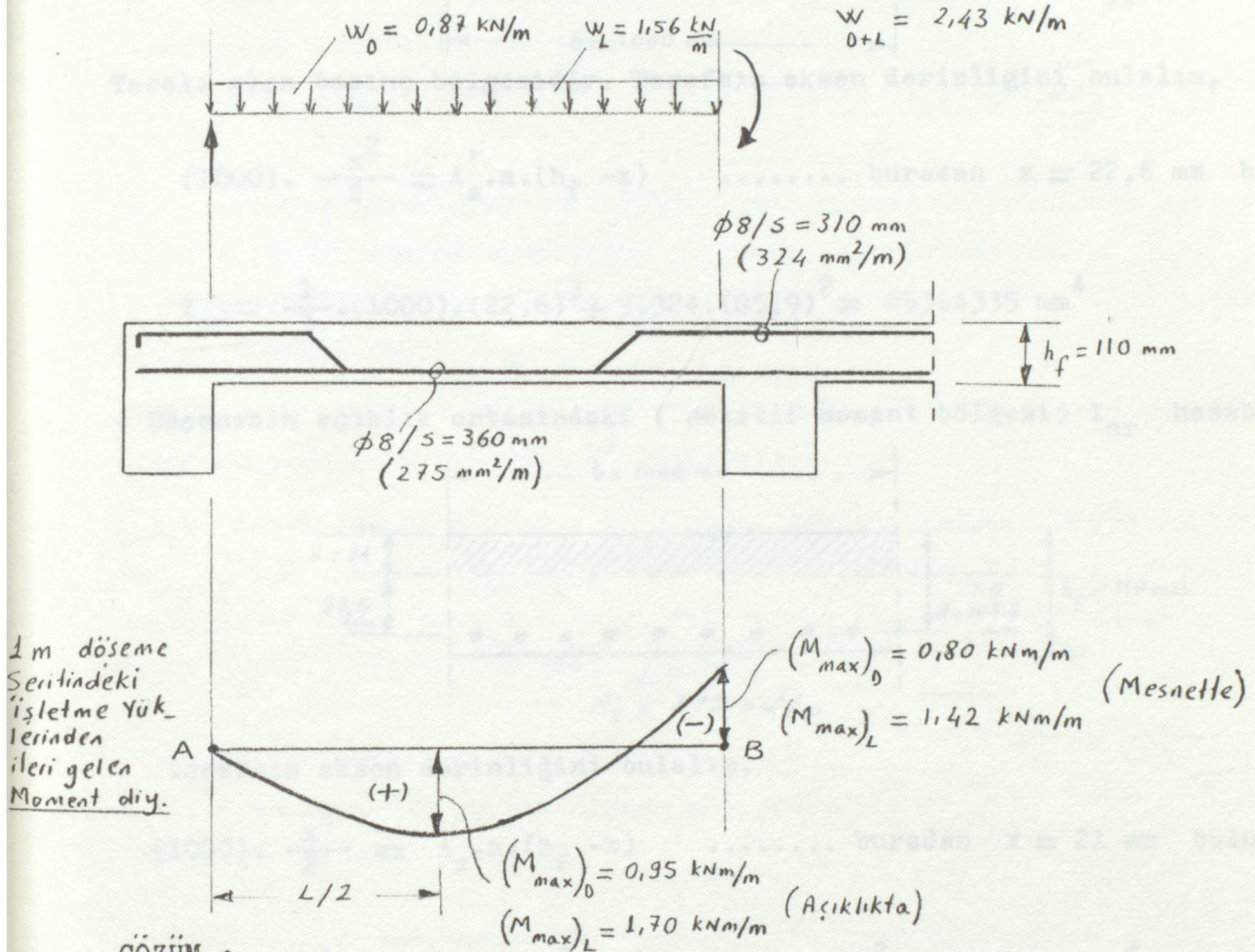
$$18,3 > 15,6 \text{ mm}$$

Buradanda anlaşılabacağı gibi kiriş yapıldıktan sonra konan hareketli yükten ve diğer unsurlar (sünme ve rötire) göz önüne alındığında görüldüğü gibi izin verilen sehîm sınırını biraz geçmiştir.

ÖRNEK 3.2.2

Şekilde görülen ve tek doğrultuda çalışan döşemede sehimli araştırılalım.
Döşeme kalınlığı 11 cm dir.

Malzeme Gurubu : C20/S220 ($f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$, $f_{yd} = 191 \text{ N/mm}^2$)



ÇÖZÜM :

- Betonun Elastisite modülü (E_c)

$$E_c = 4730 \cdot \sqrt{f_{ck}} = 21153 \text{ N/mm}^2$$

Modüler oran (n):

$$n = E_s / E_c \cong 9 \text{ alındı.}$$

- 1 metre genişliğindeki döşeme şeridinde açıklık momenti ($M_{açık.}$)

$$M_{açık} = M_0 - \frac{1}{2} \cdot (M_a + M_b) \quad \text{formülü yardımı ile} \quad (M_0 = \text{Uniform yükten açıklıkta oluşan max. moment})$$

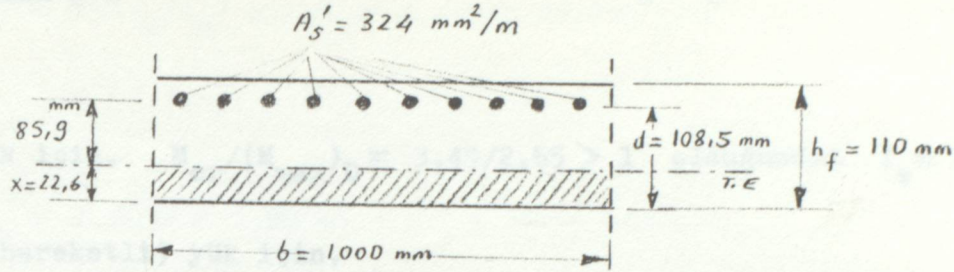
$$M_{açık} = \frac{1}{8} \cdot (2,43) \cdot (3,6)^2 - \frac{1}{2} \cdot (0 + 2,22) = 2,827 \text{ kNm/m}$$

a) - 1 metre genişlik için I_c ve I_{cr} nin hesaplanması :

$$I_c = \frac{1}{12} \cdot (1 \text{ m}) \cdot (0,11)^3 = 0,000111 \text{ m}^4$$

- döşemenin mesnet bölgesindeki (negatif moment bölgesi) I_{cr} hesabı

Bu bölgede 15,5 cm aralıkla $\phi 8$ demiri vardır. Ve 1 m. deki demir alanı $A'_s = 324 \text{ mm}^2$ dir.

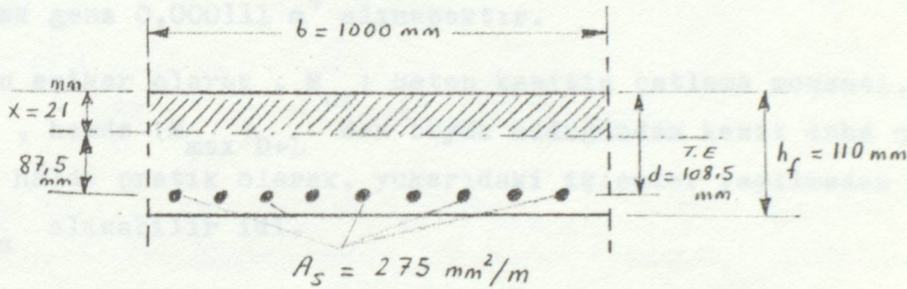


Taralı alan basınç bölgesidir. Tarafsız eksen derinliğini bulalım,

$$(1000) \cdot \frac{x^2}{2} = A'_s \cdot n \cdot (h_f - x) \quad \dots\dots\dots \text{buradan } x = 22,6 \text{ mm bulunur}$$

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \cdot (1000) \cdot (22,6)^3 + 9 \cdot 324 \cdot (85,9)^2 = 25364335 \text{ mm}^4$$

- Döşemenin açıklık ortasındaki (pozitif moment bölgesi) I_{cr} hesabı



tarafsız eksen derinliğini bulalım,

$$(1000) \cdot \frac{x^2}{2} = A_s \cdot n \cdot (h_f - x) \quad \dots\dots\dots \text{buradan } x = 21 \text{ mm bulunur.}$$

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \cdot (1000) \cdot (21)^3 + (9) \cdot (275) \cdot (87,5)^2 = 22036218 \text{ mm}^4$$

b) Etkili atalet momentini bulalım : (I_e)

$$f_r = 0,62 \sqrt{f_{ck}} = 2,77 \text{ N/mm}^2 = 2770 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{çatlama momenti, } M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_c}{y_t} = \frac{2770 \cdot (0,000111)}{0,088} = 3,49 \text{ kN/m}$$

Not : Burada iki tane y_t olduğundan $y_t = (87,4 + 89)/2 \approx 88 \text{ mm}$ alınabilir.

$$I_e = (M_{cr}/M_{max})^3 \cdot I_c + (1 - (M_{cr}/M_{max})^3) \cdot I_{cr} \quad \text{förmülü yardımı ile,}$$

Mesnette,

- Kalıcı yükler için, $M_{cr}/(M_{max})_D = 3,49/2,22 > 1$ olduğundan $I_e = I_c$

- (Kalıcı+hareketli) yük için,

$$M_{cr}/(M_{max})_{D+L} = 3,49/2,65 > 1 \text{ olduğundan } I_e = I_c \text{ alınır.}$$

Açıklıkta ,

- Kalıcı yük için, $M_{cr}/(M_{max})_D = 3,49/2,65 > 1$ olduğundan $I_e = I_c$ alınır.

- (Kalıcı+hareketli) yük için,

$$M_{cr}/(M_{max})_{D+L} = 3,49/2,65 > 1 \text{ olduğundan } I_e = I_c = 0,000111 \text{ m}^4 \text{ alınır.}$$

Kalıcı ve (kalıcı+hareketli) yükler için mesnet ve açıklıkta ayrı ayrı bulunan etkili atalet momentleri (I_e) hep aynı çıkmıştır.

O halde kalıcı yükler için, mesnet ile açıklığın ortalama (I_e) değeri olarak $0,000111 \text{ m}^4$,

(Kalıcı+hareketli) yükler için, mesnet ile açıklığın ortalama I_e değeri olarak yine $0,000111 \text{ m}^4$ alınacaktır.

NOT : Zaten aşıkarak olarak, M_{cr} : Beton kesitin çatlama momenti, hem $(M_{max})_D$ den, hemde $(M_{max})_{D+L}$ den büyük olduğundan kesit daha çatlamamıştır. O halde pratik olarak, yukarıdaki işlemler yapılmadan bu hesapta $I_e = I_c$ alınabilir idi.

C) Sehımlerin hesaplanması :

- (Kalıcı+hareketli) yükten oluşan ani sehım :

ek 4.2.2 nin de yardımı ile

$$(\Delta_i)_{D+L} = \frac{q.L^4}{184,6 \cdot E \cdot I_e} = \frac{2,43 \cdot (3,6)^4}{184,6 \cdot (21153 \cdot 10^3) \cdot (0,000111)} = 0,94 \text{ mm}$$

- kalıcı yükten oluşan ani sehım :

$$(\Delta_i)_D = \frac{(0,87) \cdot (3,6)^4}{184,6 \cdot (21153 \cdot 10^3) \cdot (0,000111)} = 0,34 \text{ mm}$$

- Hareketli yükten oluşan ani sehım :

$$(\Delta_i)_L = (\Delta_i)_{D+L} - (\Delta_i)_D$$

$$(\Delta_i)_L = 0,94 - 0,34 = 0,60 \text{ mm}$$

- Sünme ve rötire etkisi ile uzun sürede oluşan sehim :

$$k_r.T = 2-1,2.(A'_s/A_s) = 2,0 \quad (\text{çünkü döşeme açıklığında } A'_s = 0 \text{ dir.})$$

$$\Delta_{cp+sh} = k_r.T.(\Delta_i)_D$$

$$\Delta_{cp+sh} = 2.0,34 = 0,68 \text{ mm}$$

d) Sehimi tahkiki:

Döşeme üzerinde taşıyıcı olmayan duvar, bölme v.s gibi kırılabilir elemanların hasar görmemesi için olan, döşeme güvenlik sehimi sınırı $L/480$ olduğuna göre,

$$(\Delta_i)_L + \Delta_{cp+sh} \leq L/480 \text{ olmalı,}$$

$$0,60 + 0,68 < 7,5 \text{ mm}$$

$$1,28 < 7,5 \text{ mm tahkik sağlanıyor.}$$

Not : Sehimi tahkiki sonuçta $[(\Delta_i)_L + \Delta_{cp+sh}]$ e göre yapılması lazımdır. Çünkü beton döküldükten sonra betonarme elemanın toplam zati ağırlığından (kalıcı yüklerden) dolayı $(\Delta_i)_D$ ani sehimi oluşur. Bu sehimi değerini daha sonra arttıran $[(\Delta_i)_L + \Delta_{cp+sh}]$ sehimi değeridir. Ve taşıyıcı olmayan duvar, bölme v.s gibi elemanlara aniden ve zamanla oluşan bu sehimin hasara sebep vereceği beklendiği için tahkik bu sehimi değerine göre yapılır.

- Ayrıca Döşeme açıklığında t kadar zaman sonra meydana gelen toplam sehimi :

$$(\Delta_i)_{D+L} + \Delta_{cp+sh} = 0,94 + 0,68 = 1,62 \text{ mm dir.}$$

Sonuçta bu şartlarda mevcut olan bu sehimi kabul edilebilir sınır içindedir.

Özetle şimdiye kadar çözülen örnekler ışığı altında şunlar söylenebilir.

Kesitteki çatlakları gözeterak hesaplanan etkili atalet momenti (I_e) , (ACI) yönetmenliğine göre sistemin her iki mesnetine ve açıklık ortasına göre bulunan I_e değerlerinin ortalamasıdır. Bununla birlikte çoğu durumlarda (a açıklıkta büyük tekil yük bulunması durumunda) açıklık

ortasına göre bulunan I_e değeri, etkili atalet momenti olarak alınması yeterli olmaktadır.

Ayrıca, pratik olarak (1) nolu (Bransonun formülündeki) $(M_{cr}/M_{max})^3 < 0,1$ ise $I_e = I_{cr}$ alınabilir.

Birde, Hareketli yükü yapıda kalma süresine göre % oranda kalıcı yük gibi düşünmeliyiz. Örneğin bir kütüphane döşemesindeki kitap yığınlarının ağırlığını büyük oranda kalıcı yük gibi düşünebiliriz.

Fakat, çoğu durumda ise yalnızca zati ağırlıklar kalıcı yük gibi düşünülerek ani sehimler hesaplanır. Ve kalıcı yüklerden oluşan ani sehim değeri bir çarpma katsayısı ile çarpılarak zamanla oluşan sünme ve röt-re sehimleri bulunur.

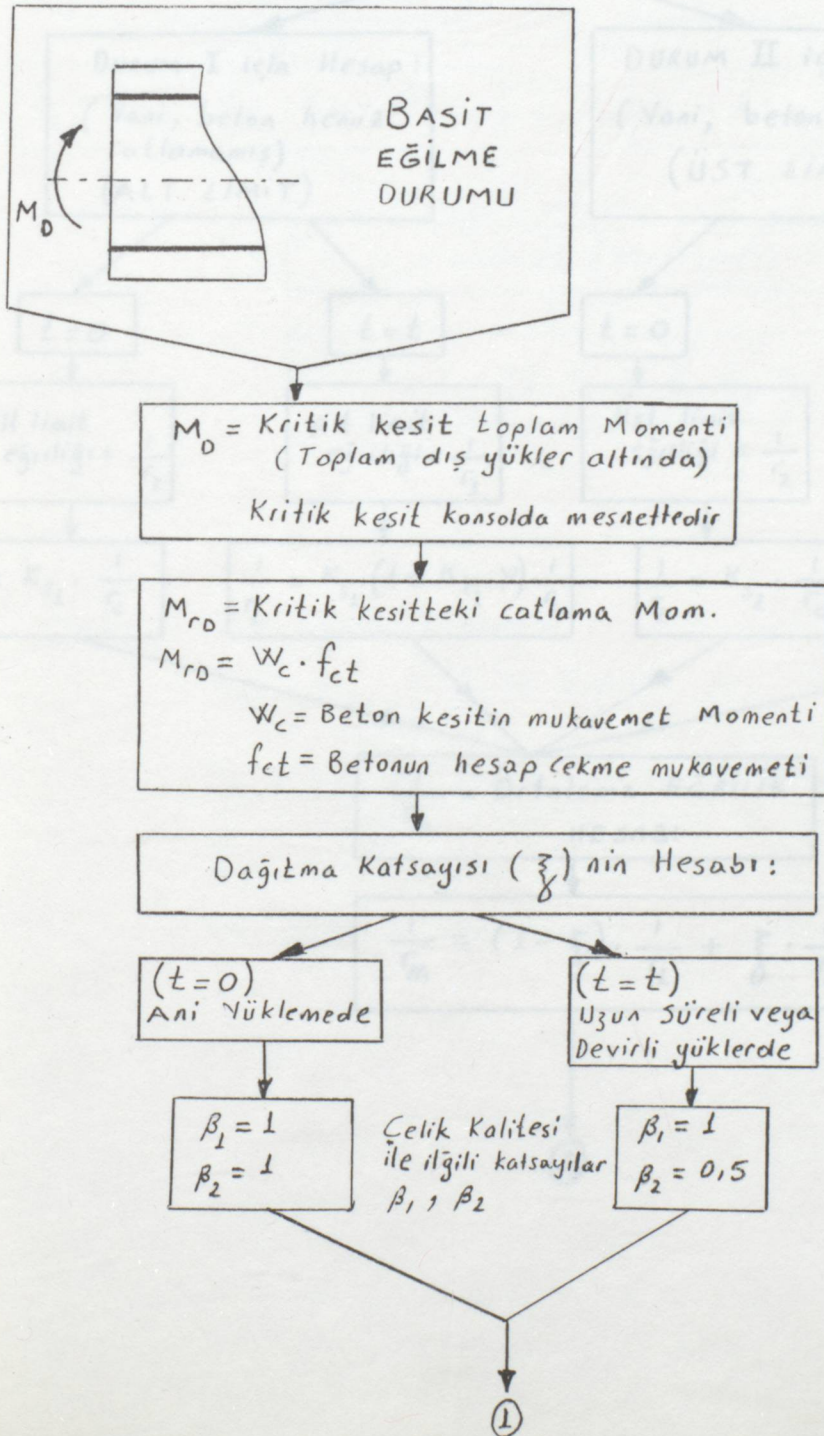
Şunu söylemek gerekirken pratikte yapılacak sehim hesapları yani sehim kontrolü daha kısa zamanda yapılabilmelidir. Bu amaçla bundan sonra Avrupa beton komitesinin bu konuda çıkardığı son bildirgesine göre basit eğilme ve eksenel kuvvetli birleşik eğilmeğe maruz elemanlarda zamanla oluşan sünme ve rötre sehimlerini, daha kısa yolla hesaplama-ya yarayan pratik metodlar ve bunlara ilişkin tablolar verilmiştir.

2. BÖLÜM

3.3. (CEB) e göre işletme yükleri altında betonarme elemanlardaki ortalama eğrilikler ve sehimler hesabı için iki yöntem.

- 1) Çift Doğrusal Metod kullanılarak yapılan hesap.
- 2) Genel Katsayılar Metodu (basitleştirilmiş çift doğrusal metod) kullanılarak yapılan hesap.

1) ÇİFT DOĞRUSAL METOD



①

$$\bar{\delta} = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \frac{M_{rD}}{M_D}$$

$= 0 \xleftarrow{\text{işin}} M_D < M_{rD}$

$\frac{1}{r_c} = \text{Elemanın kritik kesitindeki ana eğrilik.}$

$$\frac{1}{r_c} = \frac{M_D}{EI}$$

$I = \text{Çatlamamış Kritik kesitin atalet. Mom.}$
 $E = \text{Elastisite mod.}$

DURUM I için Hesap:
(Yani, beton henüz
catlamamış)
(ALT Limit)

DURUM II için Hesap:
(Yani, beton Catlamış)
(ÜST Limit)

$t=0$

$t=t$

$t=0$

$t=t$

Alt limit
eğriliği $= \frac{1}{r_1}$

Alt limit
eğriliği $= \frac{1}{r_1}$

Üst limit
eğriliği $= \frac{1}{r_2}$

Üst limit
eğriliği $= \frac{1}{r_2}$

$$\frac{1}{r_1} = K_{s1} \cdot \frac{1}{r_c}$$

$$\frac{1}{r_1} = K_{s1} \cdot (1 + K_{p1} \cdot \varphi) \cdot \frac{1}{r_c}$$

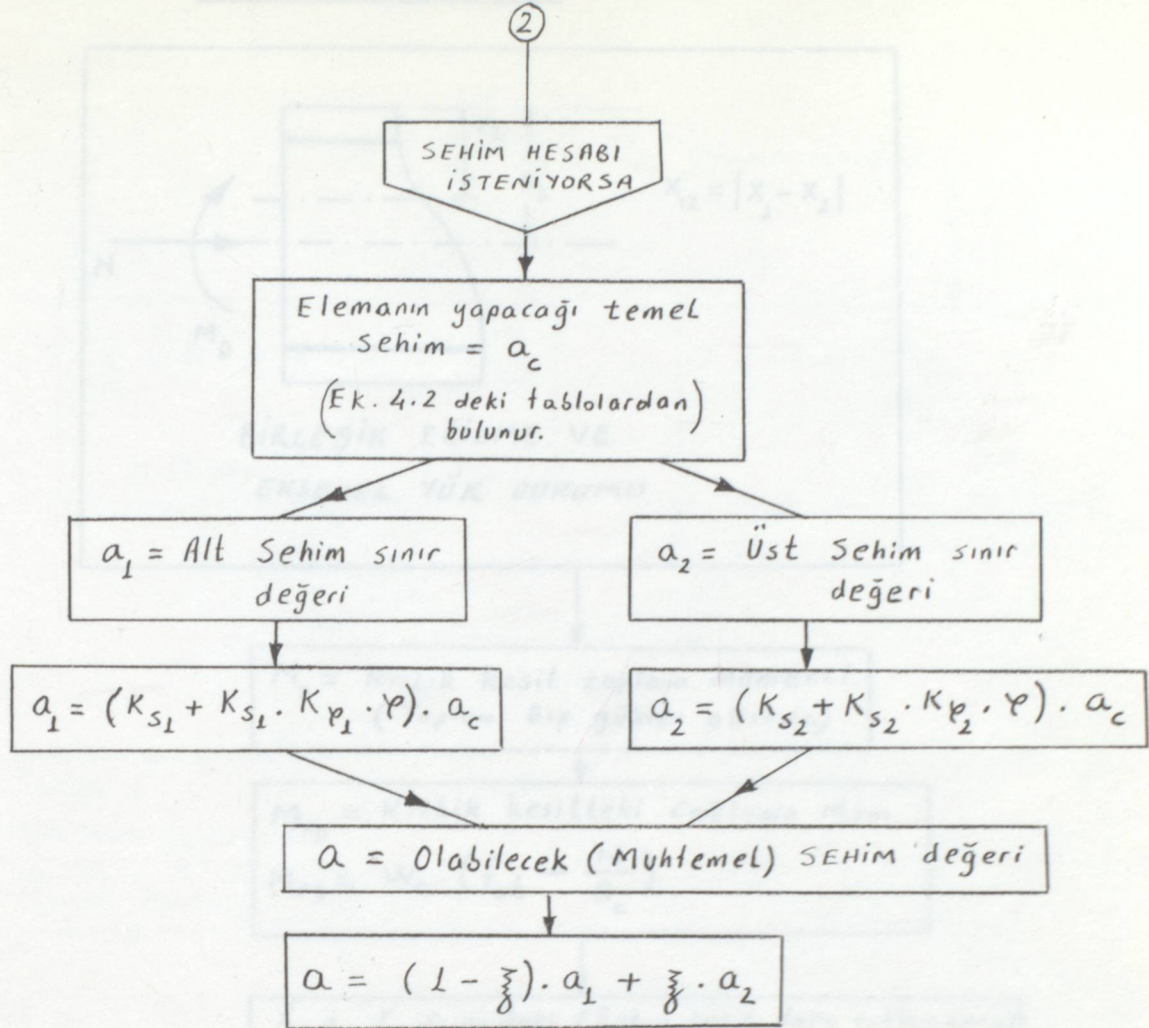
$$\frac{1}{r_2} = K_{s2} \cdot \frac{1}{r_c}$$

$$\frac{1}{r_2} = K_{s2} \cdot (1 + K_{p2} \cdot \varphi) \cdot \frac{1}{r_c}$$

$\frac{1}{r_m} = \text{Ortalama EĞRİLİK}$
HESABI

$$\frac{1}{r_m} = (1 - \bar{\delta}) \cdot \frac{1}{r_1} + \bar{\delta} \cdot \frac{1}{r_2}$$

②



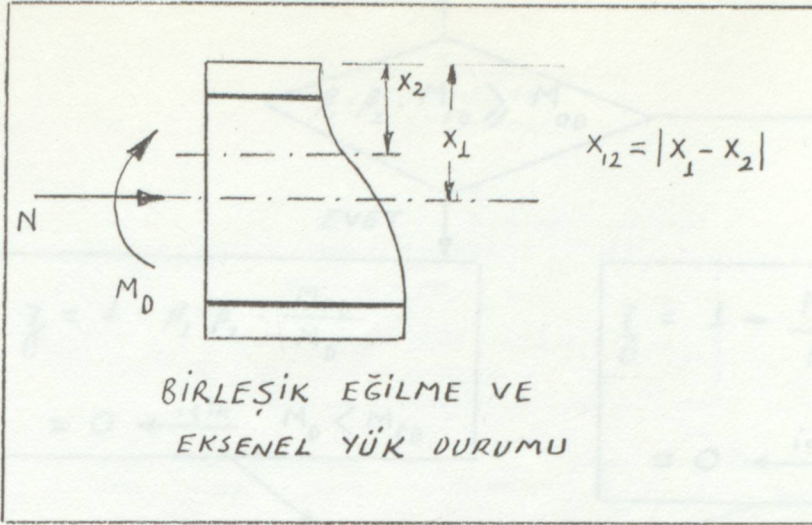
Not: φ = Sünme katsayısı

K_{p1}, K_{p2} = I. ve II. durum için sünme düzeltme katsayıları.

K_{s1}, K_{s2} = I. ve II. durumda donatı etkisi için düzeltme katsayıları.

Bu Algoritmada Rötire etkisi ile oluşacak eğrilikler ve sehimler dikkate alınmamıştır.

ÇİFT DOĞRUSAL METOD



M_D = Kritik kesit toplam momenti.
(Toplam dış yükler altında)

M_{rd} = Kritik kesitteki çatlama Mom.

$$M_{rd} = W_c \cdot \left(f_{ct} - \frac{N}{A_c} \right)$$

x_1 = I. durumdaki (Beton kesit daha çatlamamış)
tarafsız eksen derinliği.

x_2 = II. durumdaki (Beton kesit çatlamış)
tarafsız eksen derinliği.

$$x_{12} = |x_1 - x_2|$$

M_{00} = Uzun süreli yüklerin hesabında, (ξ) nin
belirlenmesinde mukayese yapmaya yarayan
kabul edilmiş moment değeri.

$$M_{00} = -N \cdot x_{12} \cdot \frac{L}{1 - \frac{K_{s1}}{K_{s2}}}$$

(ξ) = Dağıtma Katsayısının Hesabı

$\xi = 0$
Ani yükleme

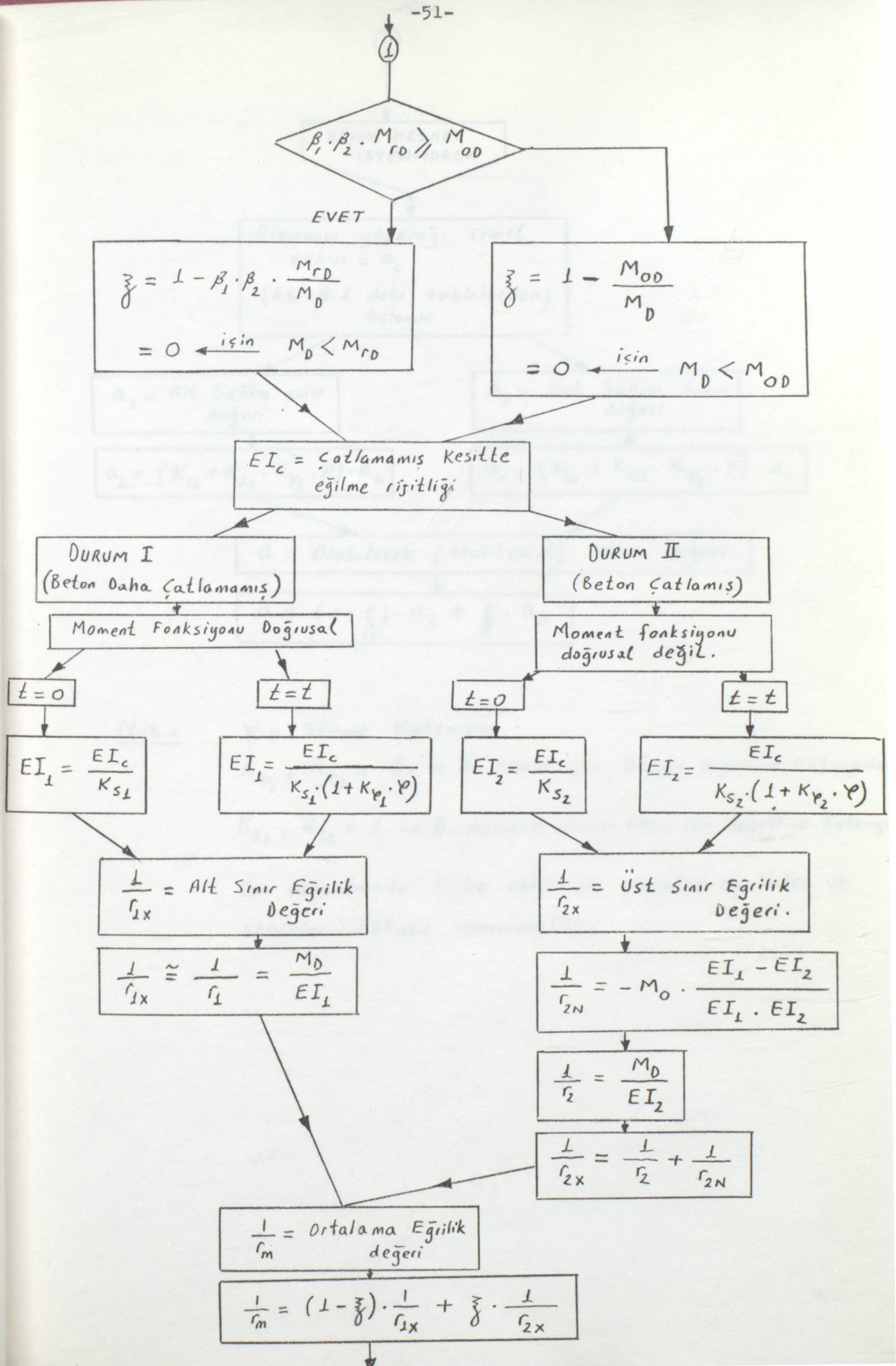
$$\beta_1 = 1$$

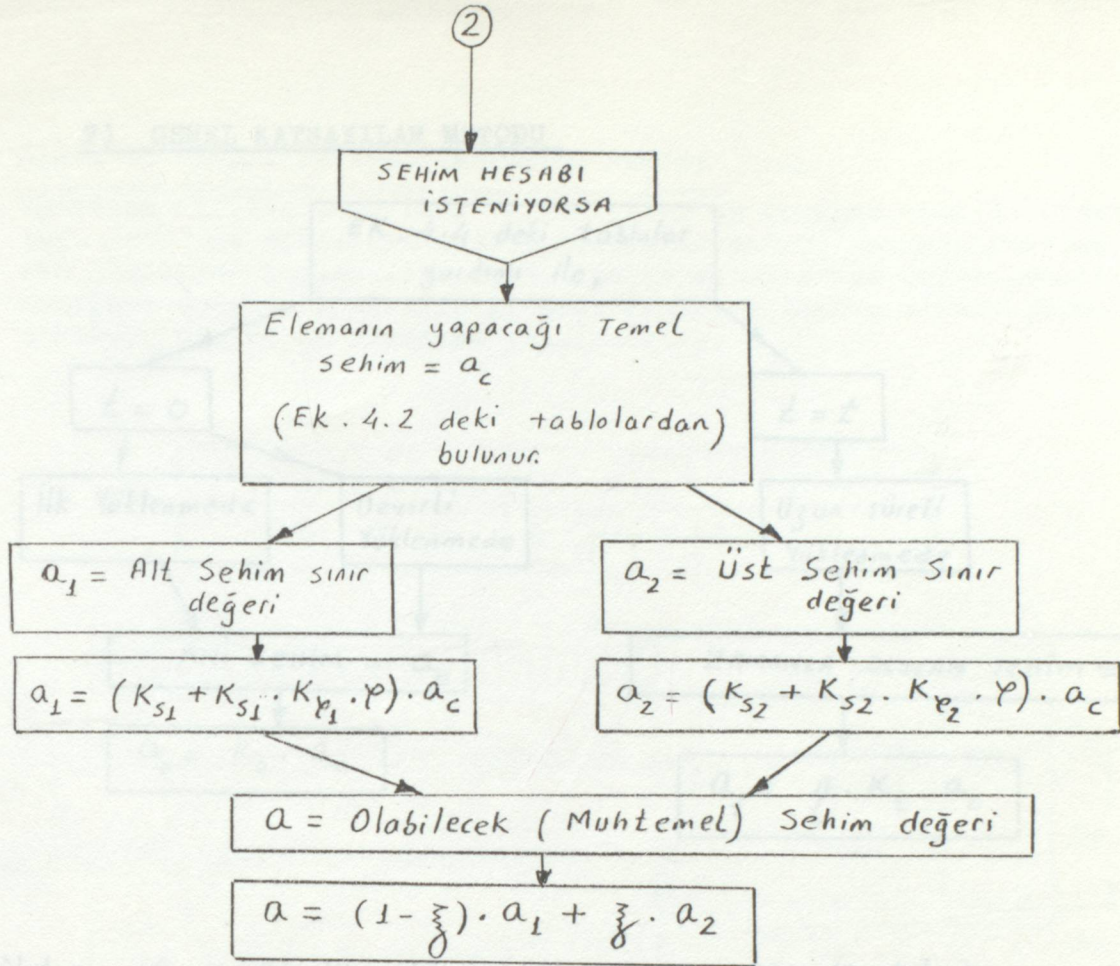
$$\beta_2 = 1$$

$\xi = \xi$
Uzun süreli veya
Devirli yüklerde

$$\beta_1 = 1$$

$$\beta_2 = 0.5$$





Not =

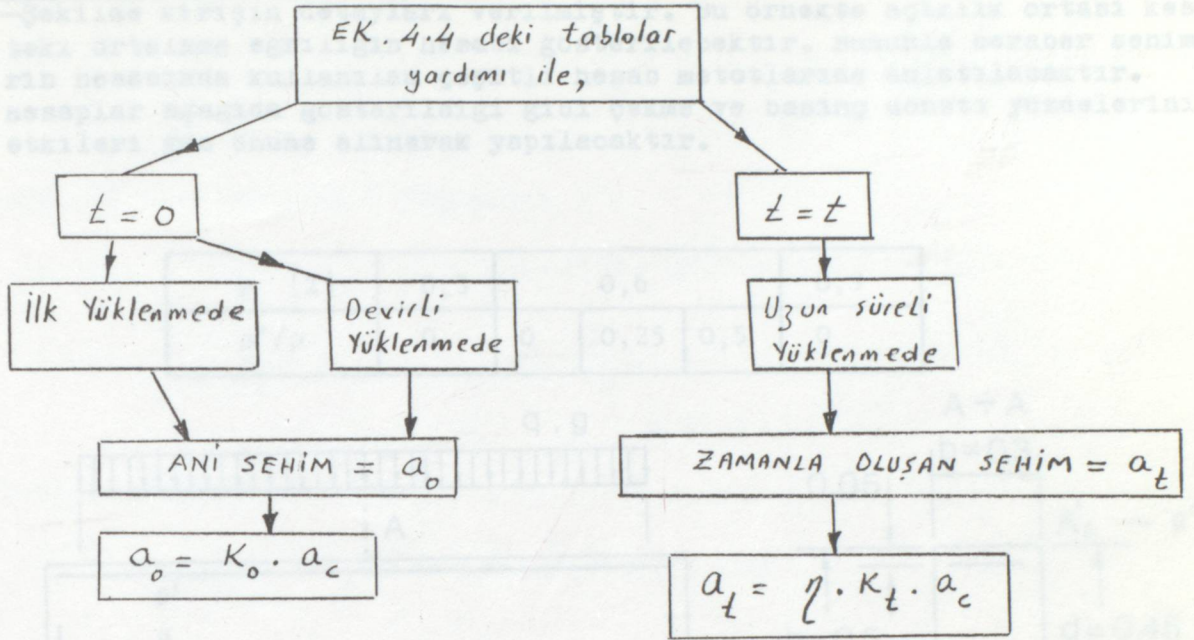
$\varphi = \text{Sünme Katsayısı}$

$K_{P1}, K_{P2} = \text{I. ve II. durum için Sünme Düzeltme Katsayısı}$

$K_{S1}, K_{S2} = \text{I. ve II. durumda donatı etkisi için düzeltme katsayısı}$

Bu algorithmada Rötire etkisi ile oluşacak eğrilikler ve sehimler dikkate alınmamıştır.

2) GENEL KATSAYILAR METODU



Not = a_c = Elastik sehım. (Ek. 4.2 den hesaplanabilir.)

$K_0, K_t, \eta \rightarrow$ (Ek 4.4 deki Tablolardan belirlenir.)

Verilen seçilmiş değeri girilirdir.

$K_{01} = 10,5$ $K_{t1} = 2,5$ $\eta = 2,5$ (Ek. 4.4 deki Tablolardan belirlenir.)

$\lambda = 30,6$ ve $\lambda'/\lambda = 0,5$ e göre ortalamaya eğrilik hesabı ve bu kimsin tepki yükü $q_{0,5}$ olarak alınır. $16,9$ KN/m lık sürekli yolda seçme elemanı muntazam eğrilik ortası sehimi hesabı yapılacaktır.

a) Ortalama eğrilik hesabı

- Ağırlık ortası hesabı :

$$R = \frac{1}{8} \cdot \frac{16,9 \cdot 6,0^2}{8} = 76,0 \text{ kN}$$

- Anı (Elastik) eğrilik :

$$\frac{1}{a_c} = \frac{R}{EI} = \frac{76,0}{30,5 \cdot 10^8 \cdot \frac{0,3 \cdot 0,5^3}{12}} = 7,37 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-1}$$

$$a_c = \frac{1}{7,37 \cdot 10^{-6}} = 135,5 \text{ mm} = 0,1355 \text{ m}$$

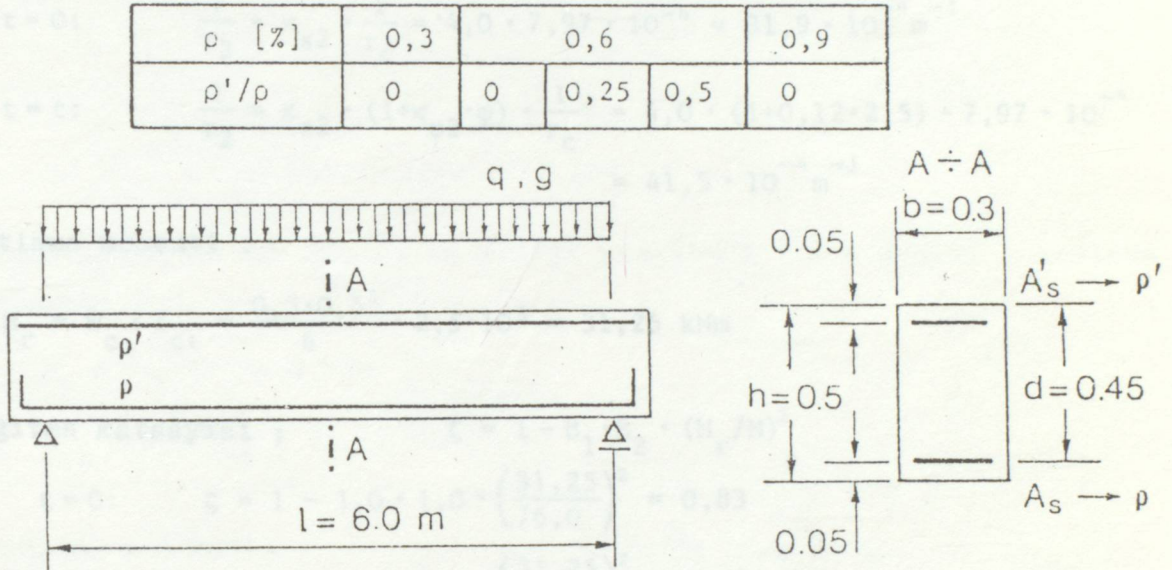
$$a_0 = K_0 \cdot a_c = 10,5 \cdot 0,1355 = 1,42275 \text{ m}$$

λ göre Ek (4.3.2) den alınan kimsin kimsinler girilirdir.

$$K_{01} = 0,91; K_{t1} = 0,765; \eta = 2,5; K_{t2} = 0,12$$

ÖRNEK 1) BETONARME BASİT MESNETLİ KİRİŞ:

-Şekilde kirişin detayları verilmiştir. Bu örnekte açıklık ortası kesit teki ortalama eğriliğin hesabı gösterilecektir. Bununla beraber sehminin hesabında kullanılan çeşitli hesap metotları da anlatılacaktır. Hesaplar aşağıda gösterildiği gibi çekme ve basınç donatı yüzdelerinin etkileri göz önüne alınarak yapılacaktır.



Şekil 1) Basit mesnetli betonarme kiriş.

Verilen betonun değerleri şunlardır.

$$E_{cm} = 30,5 \text{ kN/mm}^2; f_{ct} = 2,5 \text{ N/mm}^2; \varphi = 2,5; \text{rotre ihmal edildi} (\epsilon_{cs} = 0).$$

$\rho = 0,6\%$ ve $\rho'/\rho = 0,5$ e' göre ortalama eğrilik hesabı ve bu kirişin taşıma gücü yükünün yarısı olan $16,9 \text{ kN/m}$ lık kalıcı yükün sebep olacağı muhtem açıklık ortası sehminin hesabı yapılacaktır.

a) Ortalama eğriliğin hesabı:

- Açıklık ortası momenti :

$$M = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{16,9 \cdot 6,0^2}{8} = 76,0 \text{ kNm}$$

- Ana (Elastik) eğrilik :

$$\frac{1}{r_c} = \frac{M}{EI_c} = \frac{76,0}{30,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,3 \cdot 0,5^3}{12}} = 7,97 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1}$$

$$-\alpha = E_s/E_{cm} = 200/30,5 = 6,56 \quad \text{ve} \quad \alpha\rho = 6,56 \cdot 0,6 \cdot 10^{-2} = 0,04$$

$$-d/h = 0,9, d'/h = 0,1, \alpha\rho = 0,04, \rho'/\rho = 0,5 \text{ ve } X \cdot \varphi = 0,8 \cdot 2,5 =$$

e' göre ek (4.3.2) den alınan düzeltme katsayıları şunlardır.

$$\kappa_{s1} = 0,91; \quad \kappa_{\varphi 1} = 0,765; \quad \kappa_{s2} = 4,0; \quad \kappa_{\varphi 2} = 0,12$$

- Durum I deki eğrilik (Alt sınır) :

$$t = 0: \quad \frac{1}{r_1} = \kappa_{s1} \cdot \frac{1}{r_c} = 0,91 \cdot 7,97 \cdot 10^{-4} = 7,3 \cdot 10^{-4} m^{-1}$$

$$t = t: \quad \frac{1}{r_1} = \kappa_{s1} \cdot (1 + \kappa_{\varphi 1} \cdot \varphi) \cdot \frac{1}{r_c} = 0,91 \cdot (1 + 0,765 \cdot 2,5) \cdot 7,97 \cdot 10^{-4} = 21,1 \cdot 10^{-4} m^{-1}$$

- Durum II deki eğrilik (üst sınır) :

$$t = 0: \quad \frac{1}{r_2} = \kappa_{s2} \cdot \frac{1}{r_c} = 4,0 \cdot 7,97 \cdot 10^{-4} = 31,9 \cdot 10^{-4} m^{-1}$$

$$t = t: \quad \frac{1}{r_2} = \kappa_{s2} \cdot (1 + \kappa_{\varphi 2} \cdot \varphi) \cdot \frac{1}{r_c} = 4,0 \cdot (1 + 0,12 \cdot 2,5) \cdot 7,97 \cdot 10^{-4} = 41,5 \cdot 10^{-4} m^{-1}$$

- Çatlama momenti :

$$M_r = W_c \cdot f_{ct} = \frac{0,3 \cdot 0,5^2}{6} \cdot 2,5 \cdot 10^3 = 31,25 \text{ kNm}$$

- Dağıtma katsayısı : $\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot (M_r/M)^2$

$$t = 0: \quad \zeta = 1 - 1,0 \cdot 1,0 \cdot \left(\frac{31,25}{76,0} \right)^2 = 0,83$$

$$t = t: \quad \zeta = 1 - 1,0 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{31,25}{76,0} \right)^2 = 0,92$$

- Ortalama eğrilik : $\frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_1} + \zeta \cdot \frac{1}{r_2}$ dir.

$$t = 0: \quad \frac{1}{r_m} = (1 - 0,83) \cdot 7,3 \cdot 10^{-4} + 0,83 \cdot 31,9 \cdot 10^{-4} = 27,7 \cdot 10^{-4} m^{-1}$$

$$t = t: \quad \frac{1}{r_m} = (1 - 0,92) \cdot 21,1 \cdot 10^{-4} + 0,92 \cdot 41,5 \cdot 10^{-4} = 39,8 \cdot 10^{-4} m^{-1}$$

b) Çift doğrusal metod kullanılarak yapılan sehîm hesabı :

- Ana (elastik) sehîm :

$$a_c = \frac{5}{384} \cdot \frac{g \cdot l^4}{EI_c} = \frac{5}{384} \cdot \frac{16,9 \cdot 6,0^4}{30,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,3 \cdot 0,5^3}{12}} = 3,0 \text{ mm}$$

- $d/h = 0,9$, $d'/h = 0,1$, $\alpha\rho = 0,04$, $\rho'/\rho = 0,5$ ve $\chi \cdot \varphi \approx 0,8 \cdot 2,5 = 2$,
e' göre ek (4.3.2) den alınan düzeltme katsayıları şunlardır.

$$\kappa_{s1} = 0,91; \quad \kappa_{\varphi 1} = 0,765; \quad \kappa_{s2} = 4,0; \quad \kappa_{\varphi 2} = 0,12$$

- Durum I deki sehım (alt sınır) :

$$t = 0: \quad a_1 = \kappa_{s1} \cdot a_c = 0,91 \cdot 3,0 = 2,7 \text{ mm}$$

$$t = t: \quad a_1 = \kappa_{s1} \cdot (1 + \kappa_{\varphi 1} \cdot \varphi) \cdot a_c$$

$$= 0,91 \cdot (1 + 0,765 \cdot 2,5) \cdot 3,0 = 7,9 \text{ mm}$$

- Durum II deki sehım (üst sınır) :

$$t = 0: \quad a_2 = \kappa_{s2} \cdot a_c = 4,0 \cdot 3,0 = 12,0 \text{ mm}$$

$$t = t: \quad a_2 = \kappa_{s2} \cdot (1 + \kappa_{\varphi 2} \cdot \varphi) \cdot a_c$$

$$= 4,0 \cdot (1 + 0,12 \cdot 2,5) \cdot 3,0 = 15,6 \text{ mm}$$

- Yüklemeden oluşan moment ve kritik kesitteki (A-A kesiti) çatlama momentı (M_{rD}) (M_D)

$$M_D = \frac{g \cdot l^2}{8} = 76,0 \text{ kNm}$$

$$M_{rD} = W_c \cdot f_{ct} = 31,25 \text{ kNm}$$

-Dağıtma katsayısı :

$$\zeta_b = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot M_{rD} / M_D$$

$$t = 0: \quad \zeta_b = 1 - 1,0 \cdot 1,0 \cdot \frac{31,25}{76,0} = 0,59$$

$$t = t: \quad \zeta_b = 1 - 1,0 \cdot 0,5 \cdot \frac{31,25}{76,0} = 0,79$$

- Muntemel sehım :

$$a = (1 - \zeta_b) \cdot a_1 + \zeta_b \cdot a_2 \quad \text{dir.} :$$

$$t = 0: \quad a = (1 - 0,59) \cdot 2,7 + 0,59 \cdot 12,0 = 8,2 \text{ mm}$$

$$t = t: \quad a = (1 - 0,79) \cdot 7,9 + 0,79 \cdot 15,6 = 14,0 \text{ mm}$$

c) Genel katsayılar metodu kullanılarak yapılan sehım hesabı. :

- Kritik kesit için gerekli olan parametreler ,

$$\varphi = 2,5; \quad d/h = 0,9; \quad \alpha \rho = 0,04; \quad \rho' / \rho = 0,5;$$

$$M_{rD} / M_D = 31,25 / 76,0 = 0,41$$

- Elastik sehım daha önce hesaplanmıştı,

$$a_c = 3,0 \text{ mm}$$

- Ek (4.4) den alınan genel düzeltme katsayıları şunlardır.

$$\kappa_o = 2,8; \quad \kappa_t = 5,2; \quad \eta = 0,92$$

- 0 halde muhtemel sehimi hesaplırsak,

$$t = 0: \quad a = \kappa_0 \cdot a_c = 2,8 \cdot 3,0 = 8,4 \text{ mm}$$

$$t = t: \quad a = \eta \cdot \kappa_t \cdot a_c = 0,92 \cdot 5,2 \cdot 3,0 = 14,4 \text{ mm}$$

d) Sehimin integral yardımı ile kesin hesabı ve bu üç metodun birbiri ile karşılaştırılması.

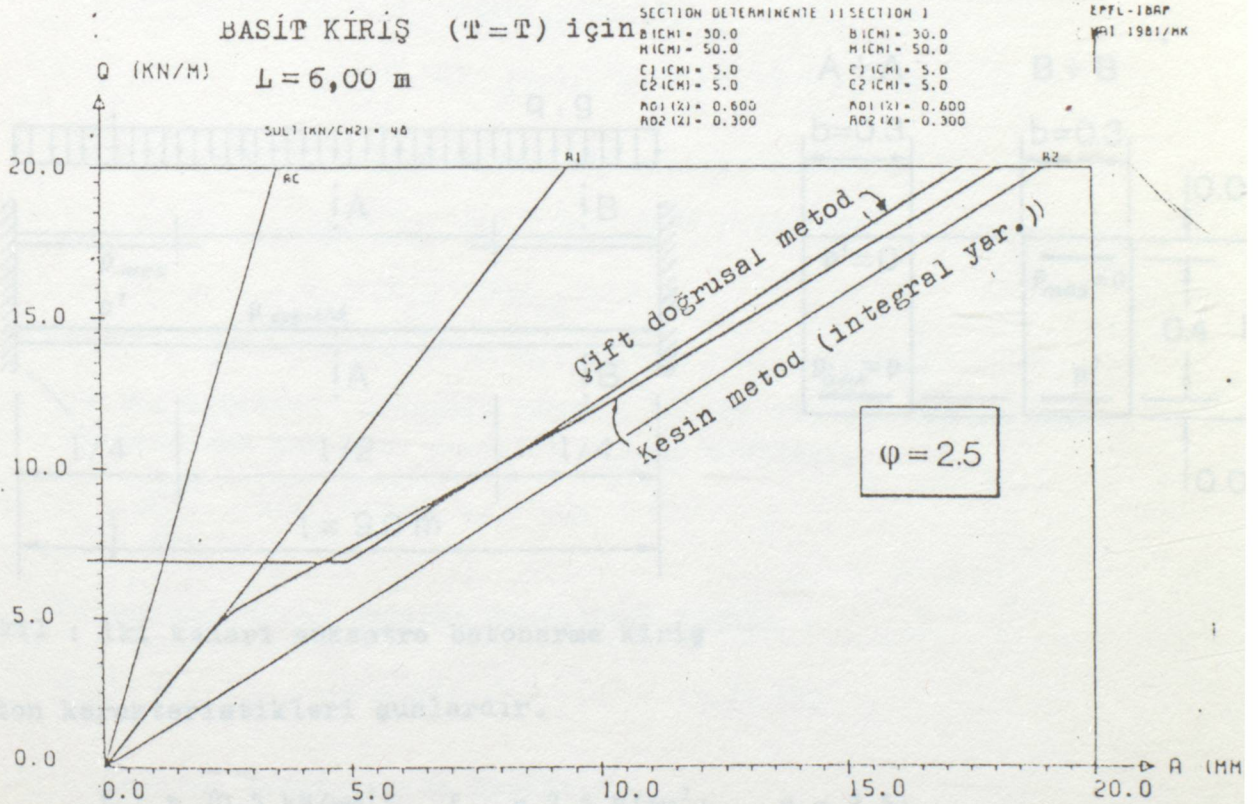
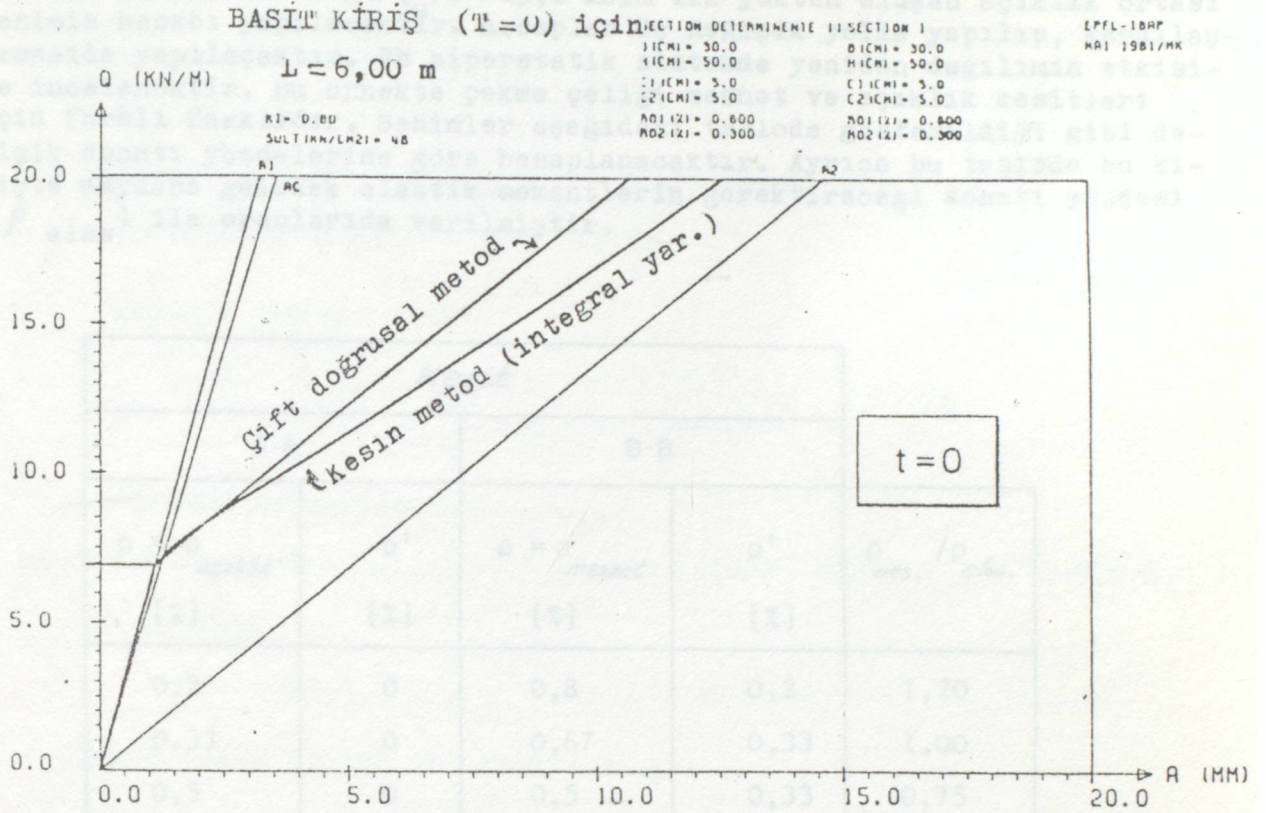
Sehimler integral yardımı ile hesaplanmıştır. Bu değerler değişik donatı yüzdelere göre bilgisayar ile hesaplanmıştır. hesaplar kalıcı yük ol $g = q_u/2$ e göre bulunmuştur. Bulunan değerler tabloda diğer pratik yol bulunan değerlerle karşılaştırılmıştır.

			a(t=0)					
ρ [%]	ρ'/ρ	g [kN/m]	exact method		bilinear method		global coefficients method	
			[mm]	[%]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
0,3	0	8,9	4,2	100	3,8	90	3,8	90
0,6	0	16,9	10,0	100	8,2	82	8,4	84
	0,25		10,0	100	8,2	82	8,4	84
	0,5		9,9	100	8,2	83	8,4	85
0,9	0	25,0	12,1	100	10,6	88	10,6	88
			a(t=t) for $\varphi = 2,5$					
0,3	0	8,9	10,9	100	11,2	103	11,0	101
0,6	0	16,9	16,2	100	15,0	93	15,6	96
	0,25		15,5	100	14,4	93	15,0	97
	0,5		14,9	100	14,0	94	14,3	96
0,9	0	25,0	19,2	100	18,5	96	18,6	97

Arka sayfadaki iki şekilde, basit mesnetli betonarme kiriş için ($\rho=0,6$ ve $\rho'/\rho=0,5$ olmak üzere) bilgisayar yardımı ile kesin metod ve çift doğrusal metodla belirlenen yük-sehim ilişkisi görülmektedir.

NOT : I) Yukardaki iki tablodan görüleceği üzere çift doğrusal metodla bulunan değerlerle, genel katsayılar metoduna göre bulunan değerler birbirine çok yakın çıkıyor.

- 2) Aynı zamanda bu tablolarda basınç donatısının sehîm üzerindeki olumlu etkisi görölmektedir. Zamana bağılı sehîmleri içeren ikinci tabloda basınç çeliğinin yüzdesi 0,08 i geçmemektedir.

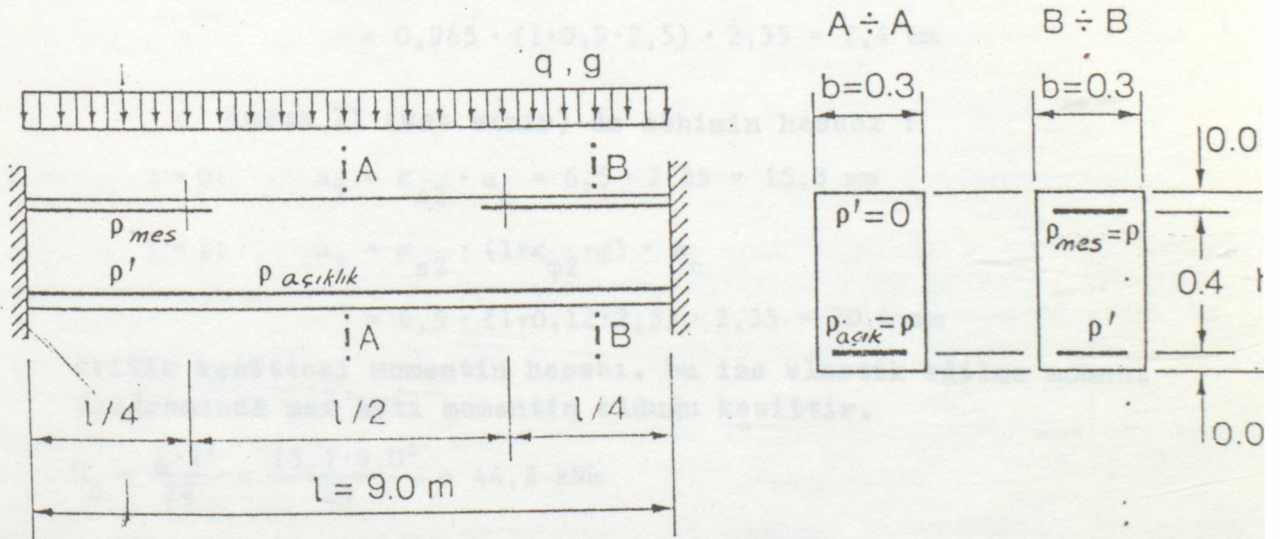


Şekil : Basit mesnetli betonarme kirişte ($\rho = \%0,6$ ve $\rho'/\rho = 0,5$ olmak üzere kesin ve basitleştirilmiş yolla bulunan yük-sehîm ilişkisini gösteriyor.

ORNEK 2) İKİ UCU ANKASTRE BETONARME KİRİŞ

Aşağıdaki şekilde kirişin detayları verilmiştir. Üniform dağılmış kalıcı yük olarak düşünülen $g = q_d/2 = 13,1 \text{ kN/m}$ lik yükten oluşan açıklık ortası sehimin hesabı yapılacaktır. Hesaplar üç değişik yolla yapılar, karşılaştırılmasında yapılacaktır. Ve hiperstatik sistemde yeniden dağılımın etkisi de incelenektir. Bu örnekte çekme çeliği mesnet ve açıklık kesitleri için farklı farklıdır. Sehimler aşağıdaki tabloda gösterildiği gibi değişik donatı yüzdelere göre hesaplanacaktır. Ayrıca bu tabloda bu kirişte meydana gelecek elastik momentlerin gerektireceği donatı yüzdesi (ρ_{elas}) ile oranları da verilmiştir.

Kesit				
A-A		B-B		
$\rho = \rho_{\text{a açıklık}}$ [%]	ρ' [%]	$\rho = \rho_{\text{mesnet}}$ [%]	ρ' [%]	$\rho_{\text{mes.}} / \rho_{\text{elas.}}$
0,2	0	0,8	0,2	1,20
0,33	0	0,67	0,33	1,00
0,5	0	0,5	0,33	0,75
0,67	0	0,33	0,5	0,50



Şekil : iki kenarı ankastre betonarme kiriş

beton karakteristikleri şunlardır.

$$E_{cm} = 30,5 \text{ kN/mm}^2; \quad f_{ct} = 2,5 \text{ N/mm}^2; \quad \varphi = 2,5;$$

rötre ihmal ediliyor ($\epsilon_{cs} = 0$).

Bununla beraber daha önce verilerde verilen beton değerleride betonda oluşacak sehîm için etkili birer faktördürler. Bunların üç değişik değerleri için sehîm üzerindeki etkileri, mesnet ve açıklık donatılarının birbirine eşit ve %0,5 olduğu durumuna göre incelenecektir.

Bu örnekte, çift doğrusal metod ve genel katsayılar metodu yardımı ile yapılacak sehîm hesabı ($\rho_{mes}/\rho_{elas}=1,0$)

a) sehîmlerin çift doğrusal metod kullanılarak hesabı

Aşağıda hesap sırası verilmiştir:

Elastik sehîmin hesabı

$$a_c = \frac{1}{384} \cdot \frac{g \cdot l^4}{EI_c} = \frac{1}{384} \cdot \frac{13,1 \cdot 9,0^4}{30,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,3 \cdot 0,5^3}{12}} = 2,35 \text{ mm}$$

- düzeltme katsayısının hesabı :

ek 4.3.2 den $d/h=0,9$; $\alpha\rho=6,56 \cdot 0,033=0,022$; $\rho'/\rho=0$ ve $\chi \cdot \psi \approx 0,8 \cdot 2,5 =$

e' göre

$$\kappa_{s1} = 0,965; \quad \kappa_{\phi 1} = 0,9; \quad \kappa_{s2} = 6,5; \quad \kappa_{\phi 2} = 0,12$$

durum I (alt sınır) de sehîmin hesabı :

$$t=0: \quad a_1 = \kappa_{s1} \cdot a_c = 0,965 \cdot 2,35 = 2,3 \text{ mm}$$

$$t=t: \quad a_1 = \kappa_{s1} \cdot (1 + \kappa_{\phi 1} \cdot \varphi) \cdot a_c \\ = 0,965 \cdot (1 + 0,9 \cdot 2,5) \cdot 2,35 = 7,4 \text{ mm}$$

durum II (üst sınır) da sehîmin hesabı :

$$t=0: \quad a_2 = \kappa_{s2} \cdot a_c = 6,5 \cdot 2,35 = 15,3 \text{ mm}$$

$$t=t: \quad a_2 = \kappa_{s2} \cdot (1 + \kappa_{\phi 2} \cdot \varphi) \cdot a_c \\ = 6,5 \cdot (1 + 0,12 \cdot 2,5) \cdot 2,35 = 20,0 \text{ mm}$$

kritik kesitteki momentin hesabı. bu ise elastik eğilme moment diagramında max artı momentin olduğu kesittir.

$$M_D = \frac{g \cdot l^2}{24} = \frac{13,1 \cdot 9,0^2}{24} = 44,2 \text{ kNm}$$

kritik kesitteki çatlama momentinin hesabı :

$$M_{rD} \approx W_c \cdot f_{ct} = \frac{0,3 \cdot 0,5^2}{6} \cdot 2,5 \cdot 10^3 = 31,25 \text{ kNm}$$

dağıtma katsayısının hesabı :

$$t=0: \quad \zeta_b = 1 - 1,0 \cdot 1,0 \cdot \frac{31,25}{44,2} = 0,29$$

$$t = t: \quad \tau_b = 1 - 1,0 \cdot 0,5 \cdot \frac{31,25}{44,2} = 0,65$$

sonuç olarak muhtemel sehimin hesabı :

$$t = 0: \quad a = (1-0,29) \cdot 2,3 + 0,29 \cdot 15,3 = 6 \text{ mm}$$

$$t = t: \quad a = (1-0,65) \cdot 7,4 + 0,65 \cdot 20,0 = 15,6 \approx 16 \text{ mm}$$

b) genel katsayılar metodu kullanılarak yapılan sehim hesabı :

aşağıda hesap sırası verilmiştir :

-elastik sehimin hesabı :

$$a_c = 2,35 \text{ mm}$$

- kritik kesitteki momentin hesabı :

$$M_D = 44,2 \text{ kNm}$$

- çatlama momentinin hesabı : : $M_{rD} = 31,25 \text{ kNm}$

- M_{rD} / M_D Oranının hesabı : $= 31,25 / 44,2 = 0,71$

- genel düzeltme katsayılarının hesabı :

ek 4.4 den aşağıdaki değerler yardımı ile

$$\varphi = 2,5; \quad d/h = 0,9; \quad \alpha\rho = 0,022; \quad \rho'/\rho = 0 \text{ and } M_{rD}/M_D = 0,71.$$

şunlar bulunurlar,

$$\kappa_o = 2,6; \quad \kappa_t = 7; \quad \eta = 1,0$$

sonuç olarak muhtemel sehimin hesabı :

$$t = 0: \quad a_o = \kappa_o \cdot a_c = 2,6 \cdot 2,35 = 6,1 \approx 6 \text{ mm}$$

$$t = t: \quad a_t = \eta \cdot \kappa_t \cdot a_c = 1,0 \cdot 7,0 \cdot 2,35 = 16,4 \approx 16 \text{ mm}$$

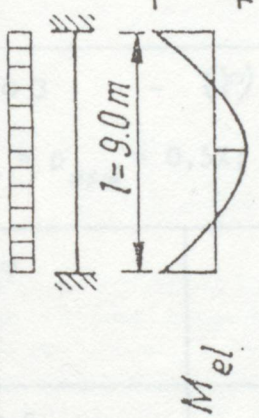
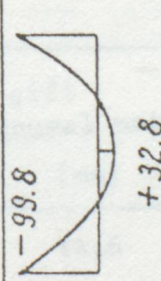
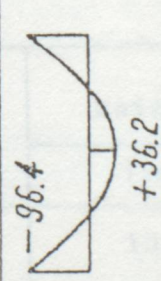
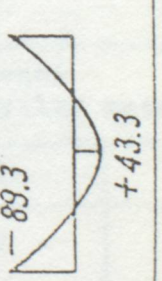
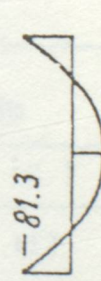
c) integral yardımı ile kesin hesap, ve sonuçların değerlendirilmesi.

Sehimler a) ve b) pratik metodlarına göre aynı değerler bulunarak hesaplandı. Bununla birlikte kesin sehimler, eğriliklerden integral yardımı ile hesaplandı. Ayrıca yeniden dağılmış momentlerle de hesap yapıldı. Ve bulunan bütün sehim değerleri($t=t$ zamanı oluştan) tablo 1 den tablo 5 e kadar gösterilmiştir.

Örnek sonunda kesin ve yaklaşık yük-sehim ilişkisini içeren iki ucu ankastre kirişde ($t=t$ ve $\varphi=2,5$ olmak üzere) $\rho_{mes}/\rho_{elas} = 1$ ve $0,75$ için iki şekil verilmiştir.

Burada bir şekilde açıklık ve mesnet için konulan çekme donatı yüzdeleri birbirlerinden farklı, diğer şekilde ise aynıdır. Aynı olan şekilde çift doğrusal metod ile kesin çözümün birbirine yakın neticeler verdiği görülmektedir.

TABLO I - Donatı dağılımının sehim üzerindeki etkisi
($0,4$) ($z = z$ için)

$E_{cm} = 30,5 \text{ kN/mm}^2$ $f_{ct} = 2,5 \text{ N/mm}^2$ $\varphi = 2,5$		 $g = q_u/2 = 13.1 \text{ kN/m'}$ -88.4 kNm $+44.2 \text{ kNm}$						
ρ_{mes} / ρ_{elas}	yeniden dağılmış momentler $M_{yeniden dağılmış}$ [kNm]	integralle yapılan kesim metod		$M_{el/as}$ kullanılarak yapılan çift doğrusal metod		genel katsayılar metodu		
		[mm]	[%]	[mm]	[%]	$M_{el/as}$ ile yapılan	[mm]	(M yeniden) yapılan dağıl. [%]
1,20		12,8	100	23,0	180	23,0	180	10,2 80
1,00		12,2	100	16,0	131	16,4	134	9,8 80
0,75		12,6	100	12,5	99	12,2	97	11,4 90
0,50		14,0	100	10,5	75	10,3	74	14,3 102

TABLO 2 - f_{ct} nin sehîm (a_t) üzerindeki etkisi. ($t=t$)

$\rho_{mes} = \rho_{açık} = 0,5\%$; $E_{cm} = 30,5 \text{ kN/mm}^2$; $\varphi = 2,5$

f_{ct} [N/mm ²]	kesin metod [mm]	çift doğrusal metod [mm]	genel katsayılar metodu.	
			[mm]	[%]
1,8	13,9	13,3	13,2	108
2,5	12,6	12,5	12,2	100
3,2	11,8	11,8	11,6	95

TABLO 3 - (φ) nin sehîm (a_t) üzerindeki etkisi. ($t=t$)

$\rho_{mes} = \rho_{açık} = 0,5\%$; $E_{cm} = 30,5 \text{ kN/mm}^2$; $f_{ct} = 2,5 \text{ N/mm}^2$

φ	kesin metod [mm]	çift doğrusal metod [mm]	genel katsayılar metodu.	
			[mm]	[%]
1,5	11,5	11,0	10,8	88
2,5	12,6	12,5	12,2	100
3,5	14,0	14,2	14,0	115

TABLO 4 - E_c nin sehîm (a_t) üzerindeki etkisi. ($t=t$)

$\rho_{mes} = \rho_{açık} = 0,5\%$; $f_{ct} = 2,5 \text{ N/mm}^2$; $\varphi = 2,5$

E_{cm} [kN/mm ²]	kesin metod [mm]	çift doğrusal metod [mm]	genel katsayılar metodu.	
			[mm]	[%]
21,5	14,4	14,6	13,7	112
30,5	12,6	12,5	12,2	100
39,5	11,8	11,2	11,4	93

TABLO 5 aşağıdaki değerlerden bulunan muhtemel sehım sınırı (σ_{at})

$$\rho_{mes} = \rho_{açık} = 0,5\%; E_{cm} = 30,5 \pm 9 \text{ kN/mm}^2; f_{ct} = 2,5 \pm 0,7 \text{ N/mm}^2; \varphi = 2,5 \pm 1$$

seğilen değerler	Kesin Metod [mm]	Çift doğrusal metod [mm]	Genel katsayılar metodu	
			[mm]	[%]
uygun olmayan	17,3	16,6	16,0	131
ortalama	12,6	12,5	12,2	100
uygun olan	9,7	9,0	9,1	75

NOT :1) tablo I den 5 e' kadar görölürki, örnek I için uygulanan çift doğrusal metod ile genel katsayılar metodu aynı doğruluktur.

2) Tablo 1 in sonuçlarına göre, momentlerin yeniden dağılması donatısı elastik eğilme momenti diagramına göre dağılmış kiriş için sıfır değildir. Fakat açıklık ve mesnet donatıları hemen hemen birbirine eşit olan kirişte yeniden dağılım etkisi daha az olur. Ve dolayısı ile çatlamış durumda momentlerde önemli değişmeler gözlenmez. Ağır donatılı betonarme kesitlerde ilave momentler meydana gelir. Ve sehımlerden meydana gelen çatlamalardan sonra momentler yeniden dağılırlar. Buradan görölürki çekme donatısı açıklık ve mesnette hemen hemen eşit olan kesitlerde basitleştirilmiş metodlarla (çift doğrusal ve genel kat. say. met. ile) yapılan hesaplar integral ile bulunan kesin sonuçlara yakın çıkıyor. (arka sayfadaki şekillerden kolayca anlaşılır.). Bununla beraber mesnet ve açıklık arasındaki çekme donatısı dağılımı kesin sehımlerle doğrudan doğruya alakalı değildir.(bu tablo 1 den görölmektedir). Bulunan sonuçlara göre, hiperstatik yapılarda muhtemel sehimi hesaplamak için kullanılan basitleştirilmiş metodlar hem basit hemde yeterli doğruluktur.

3) Tablo 2 ve 4 den görüleceği gibi beton çatladıktan sonra beton değerlerindeki değişme zamanla meydana gelen sehımlerde fazla değişikliklere sebep olmaz.

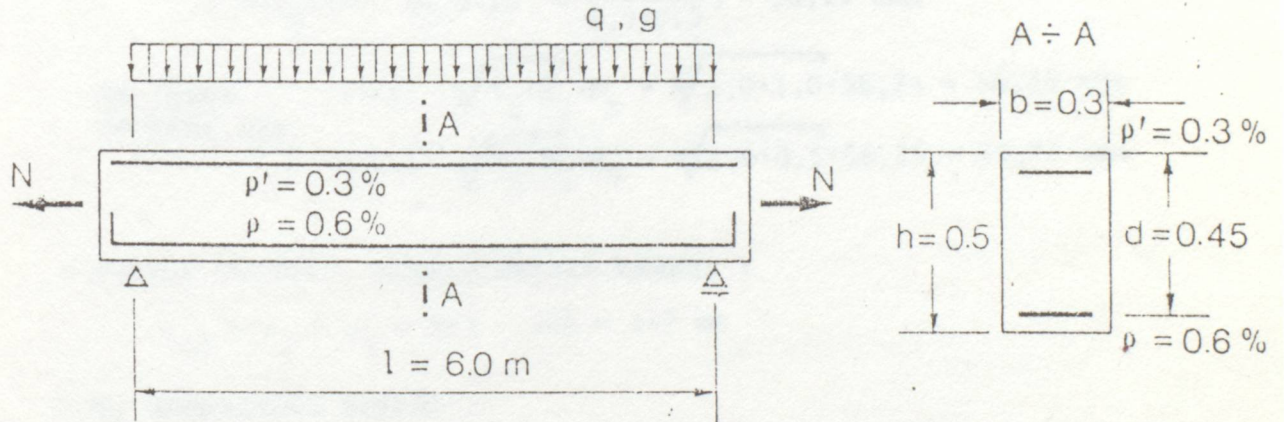
4) Özetle, bu örnekte gösterilen metodlarla betonarme taşıyıcılarda zamanla meydana gelen izin verilir sınırlar içersindeki muhtemel sehımler $\pm \%30$ hata payı ile hesaplanabilmektedir.

ÖRNEK 3 : Birleşik eğilmeye ve eksenel kuvvete maruz basit mesnetli betonarme kiriş.

Aşağıda şekilde betonarme kirişin detayları verilmiştir. Kiriş üzerinde kalıcı üniform yük vardır. ($g=16,9$ kN/m). Kiriş N normal kuvvete maruzdur. çekme ve basınç çeliklerinin yüzdesi sırası ile %0,6 ve %0,3 dir. Bu örnekte birleşik eğilmeye ve eksenel kuvvete maruz kirişte açıklık ortasında ortalama eğrilik ve muhtemel sehimin hesabı gösterilecektir. Aşağıdaki tabloda çeşitli N kuvvetleri ve bunların kesitte oluşturduğu beton normal gerilmeleri verilmiştir.

N [kN]	ÇEKME		BASINÇ		
	+ 300	0(*)	- 150	- 300	- 600
$\sigma_c = N/A_c [N/mm^2]$	+ 2,0	0	- 1,0	- 2,0	- 4,0

NOT : N=0 durumu örnek I de incelenmişti. (Basit eğilme durumudur.)



Şekil : Birleşik eğilme ve eksenel kuvvete maruz betonarme kiriş.

Beton için verilen değerler aşağıdaki gibidir.

$$E_{cm} = 30,5 \text{ kN/mm}^2; \quad f_{ct} = 2,5 \text{ N/mm}^2; \quad \varphi = 2,5; \quad \text{rötre ihmal edildi} \quad (\epsilon_c)$$

Bu örnekte N= ^{Basınç} -300 kN/m için açıklık ortasında ortalama eğrilik ve muhtemel sehimin hesabı yapılacaktır.

a) ortalama eğriliğin hesabı

Düzeltme katsayılarının (K) hesabı

Ek 4.3.2 den

$$d/h = 0,9; \quad d'/h = 0,1; \quad X \cdot \varphi \approx 0,8 \cdot 2,5 = 2,0; \\ \alpha \rho = 6,56 \cdot 0,6 \cdot 10^{-2} = 0,04; \quad \rho'/\rho = 0,5; \quad \text{değerleri yardımı ile}$$

$$K_{s1} = 0,91; \quad K_{\varphi 1} = 0,765; \quad K_{s2} = 4,0; \quad K_{\varphi 2} = 0,12 \text{ bulunur}$$

- temel eğilme rijitliğinin hesabı :

$$EI_c = 30,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,3 \cdot 0,5^3}{12} = 9,53 \cdot 10^4 \text{ kNm}^2$$

- durumI deki eğilme rijitliğinin hesabı :

$$t=0: EI_1 = EI_c / \kappa_{s1} = 9,53 \cdot 10^4 / 0,91 = 10,47 \cdot 10^4 \text{ kNm}^2$$

$$t=t: EI_1 = \frac{EI_c}{\kappa_{s1} \cdot (1 + \kappa_{\phi 1} \cdot \varphi)} = \frac{9,53 \cdot 10^4}{0,91 \cdot (1 + 0,765 \cdot 2,5)} = 3,60 \cdot 10^4 \text{ kNm}^2$$

- durum II deki eğilme rijitliğinin hesabı :

$$t=0: EI_2 = EI_c / \kappa_{s2} = 9,53 \cdot 10^4 / 4,0 = 2,38 \cdot 10^4 \text{ kNm}^2$$

$$t=t: EI_2 = \frac{EI_c}{\kappa_{s2} \cdot (1 + \kappa_{\phi 2} \cdot \varphi)} = \frac{9,53 \cdot 10^4}{4,0 \cdot (1 + 0,12 \cdot 2,5)} = 1,83 \cdot 10^4 \text{ kNm}^2$$

- çatlama momenti

$$M_r = W_c \cdot \left(f_{ct} - \frac{N}{A_c} \right) = \frac{0,3 \cdot 0,5^2}{6} \left(2,5 \cdot 10^3 + \frac{300}{0,3 \cdot 0,5} \right) = 56,25 \text{ kNm}$$

bu değer
yardımı ile

$$t=0: \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \cdot M_r = \sqrt{1,0 \cdot 1,0} \cdot 56,25 = 56,25 \text{ kNm}$$

$$t=t: \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \cdot M_r = \sqrt{1,0 \cdot 0,5} \cdot 56,25 = 39,77 \text{ kNm}$$

- normal kuvvetin eksantresinin hesabı :

$$x_{12} = x_1 - x_2 = 253 - 106 = 147 \text{ mm}$$

- M_o momentinin hesabı :

$$M_o = -N \cdot x_{12} \cdot \frac{1}{1 - \kappa_{s1} / \kappa_{s2}} = 300 \cdot 0,147 \cdot \frac{1}{1 - 0,91/4,0} = 57,32 \text{ kNm}$$

- dağıtma katsayısının hesabı (ζ_o)

$$t=0: \text{ with } \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \cdot M_r = 56,25 \text{ kNm}$$

$$M_o = 57,32 \text{ kNm}$$

$$M = \frac{g \cdot l^2}{8} = 76,0 \text{ kNm}$$

$$\zeta_o = 1,0$$

$$t=t: \text{ with } \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \cdot M_r = 39,77 \text{ kNm}$$

$$M_o = 57,32 \text{ kNm}$$

$$M = 76,0 \text{ kNm}$$

$$\zeta_o = 1,0$$

- elastik eğriligin hesabı

$$\frac{1}{r_c} = \frac{M}{EI_c} = \frac{76,0}{9,53 \cdot 10^4} = 7,97 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1}$$

- durum I (alt sınır) daki eğrilik : $\frac{1}{r_1} = \frac{M}{EI_1}$

$$\text{for } t=0: \quad \frac{1}{r_1} = \frac{76,0}{10,47 \cdot 10^4} = 7,26 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1}$$

$$\text{for } t=t: \quad \frac{1}{r_1} = \frac{76,0}{3,60 \cdot 10^4} = 21,11 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1}$$

- durum II (üst sınır): $\frac{1}{r_{2x}} = \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_{2N}}$
daki eğrilik :

$$\frac{1}{r_2} = \frac{M}{EI_2} \quad \frac{1}{r_{2N}} = - M_o \cdot \frac{EI_1 - EI_2}{EI_1 \cdot EI_2}$$

$$t=0: \quad \frac{1}{r_2} = \frac{76,0}{2,38 \cdot 10^4} = 31,93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1}$$

$$\frac{1}{r_{2N}} = - 57,32 \cdot \frac{10,47 - 2,38}{10,47 \cdot 2,38} \cdot 10^{-4} = - 18,61 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1}$$

$$\frac{1}{r_{2x}} = (31,93 - 18,61) \cdot 10^{-4} = 13,32 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1}$$

$$t=t: \quad \frac{1}{r_2} = \frac{76,0}{1,83 \cdot 10^4} = 41,53 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1}$$

$$\frac{1}{r_{2N}} = - 57,32 \cdot \frac{3,60 - 1,83}{3,60 \cdot 1,83} \cdot 10^{-4} = - 15,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1}$$

$$\frac{1}{r_{2x}} = (41,53 - 15,40) \cdot 10^{-4} = 26,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1}$$

- ortalama eğrilik : $\frac{1}{r_m} = (1-\zeta_o) \cdot \frac{1}{r_1} + \zeta_o \cdot (\frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_{2N}})$

$$t=0: \quad \frac{1}{r_m} = 0 + 1,0 \cdot 13,32 \cdot 10^{-4} = 13,32 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1}$$

$$t=t: \quad \frac{1}{r_m} = 0 + 1,0 \cdot 26,13 \cdot 10^{-4} = 26,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1}$$

b) sehimin çift doğrusal metoda göre hesabı

hesaplar örnek 1 de olduğu gibi basit eğilme ilke olarak alınıp yapılmıştır. Sadece dağıtma katsayısı olan (ζ_b) de normal kuvvet etkisi göz önüne alınmıştır.

hesaplar aşağıdaki gibidir.

- elastik sehimin hesabı :

$$a_c = 3,0 \text{ mm}$$

ek 4.4 den genel düzeltme katsayısı değerleri alınarak,

$$K_{s1} = 0,91; \quad K_{\varphi1} = 0,765; \quad K_{s2} = 4,0; \quad K_{\varphi2} = 0,12$$

- durum I deki (alt sınır) sehimin hesabı :

$$t = 0: \quad a_1 = 2,7 \text{ mm}$$

$$t = t: \quad a_1 = 7,9 \text{ mm}$$

- durum II deki (üst sınır) sehimin hesabı :

$$t = 0: \quad a_2 = 12,0 \text{ mm}$$

$$t = t: \quad a_2 = 15,6 \text{ mm}$$

- kritik kesitteki momentlerin hesabı :

$$M_D = \frac{g \cdot l^2}{8} = 76,0 \text{ kNm}$$

$$M_{rD} \approx W_c \cdot \left(f_{ct} - \frac{N}{A_c} \right) = \frac{0,3 \cdot 0,5^2}{6} \cdot (2,5 + 2,0) \cdot 10^3 = 56,25 \text{ kNm}$$

$$M_{oD} = -N \cdot x_{12} \cdot \frac{1}{1 - K_{s1}/K_{s2}} = 300 \cdot 0,147 \cdot \frac{1}{1 - 0,91/4,0} = 57,32 \text{ kNm}$$

$$\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot M_{rD} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 56,25 = 56,25 \text{ kNm} \longrightarrow t = 0, \text{ için.}$$

$$= 1,0 \cdot 0,5 \cdot 56,25 = 28,13 \text{ kNm} \longrightarrow t = t. \text{ için.}$$

- dağıtma katsayısının hesabı :

$$t = 0: \quad \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot M_{rD} < M_{oD}$$

$$M_D > M_{oD}$$

$$\rightarrow \zeta_b = 1 - \frac{M_{oD}}{M_D} = 1 - \frac{57,3}{76,0} = 0,25$$

$$t = t: \quad \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot M_{rD} < M_{oD}$$

$$M_D > M_{oD}$$

$$\rightarrow \zeta_b = 1 - \frac{M_{oD}}{M_D} = 0,25$$

- muhtemel sehimin hesabı : : $a = (1 - \zeta_b) \cdot a_1 + \zeta_b \cdot a_2$

$$t = 0: \quad a = (1 - 0,25) \cdot 2,7 + 0,25 \cdot 12,0 = 5,0 \text{ mm}$$

$$t = t: \quad a = (1 - 0,25) \cdot 7,9 + 0,25 \cdot 15,6 = 9,8 \text{ mm}$$

C)- genel katsayılar metodu kullanılarak yapılan sehim hesabı :

hesaplar örnek 1 de olduğu gibi basit eğilime ilke olarak alınıp yapılmıştır. Bununla birlikte çatlama momenti ve M_{rd}/M_d oranında normal kuvvet etkisi gözönüne alınmıştır.

kritik kesit için gerekli parametreler şunlardır.

$$M_{rD}/M_D = 56,25/76,0 = 0,74 \text{ (basit eğilme için bulunan } 0,4I \text{ ile karşılaştır}$$

elastik sehım (a_c) daha önce bulunmuş idi, $a_c = 3 \text{ mm}$

Ek 4.4 den genel düzeltme katsayıları ve η değeri bulunursa;

$$\kappa_o = 1,7; \quad \kappa_t = 4,7; \quad \eta = 0,92$$

değerlerine göre muhtemel sehimi hesablırsak,

$$t = 0: \quad a_o = \kappa_o \cdot a_c = 1,7 \cdot 3,0 = 5,1 \text{ mm}$$

$$t = t: \quad a_t = \eta \cdot \kappa_t \cdot a_c = 0,92 \cdot 4,7 \cdot 3,0 = 13,0 \text{ mm}$$

d) integral yardımı ile bulunan kesin çözüm ile diğer basitleştirilmiş metodların birbirleri ile karşılaştırılması.

Bu çalışmada basitleştirilmiş metodlarla (çift doğrusal metod ile genel katsayılar metodu ile) birleşik eğilme ve normal kuvvet etkisi altında sehım hesabı yeterli doğrulukta hesaplanmıştır. Ayrıca ortalama eğrilikler kullanılarak integralle yapılan sehım hesaplarının neticeleri verilmiştir. Çeşitli normal kuvvetler ve kalıcı yük olan $g = q_u/2 = 16,9 \text{ kN/m}$ lik yükle birlikte üç değişik yolla hesaplanan sehım değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

		muhtemel sehım [mm]							
normal kuvvet		durum	kesin metod		çift doğrusal metod		genel katsayılar me		
N [kN]	σ_c [N/mm ²]		t = 0	t = t	t = 0	t = t	t = 0	t =	
+ 300	+ 2,0	çatlamış	15,9	18,7	11,2	15,3	11,4	15,	
0	0		9,9	14,9	8,2	14,0	8,4	14,	
- 150	- 1,0		7,0	12,4	6,6	12,7	6,7	13,	
- 300	- 2,0		4,1	8,4	5,0	9,8	5,1	13,	
- 600	- 4,0	çatlamamış	2,6	7,9	2,7	7,9	2,7	8,	

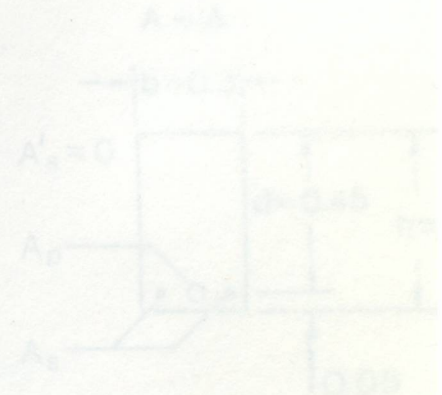
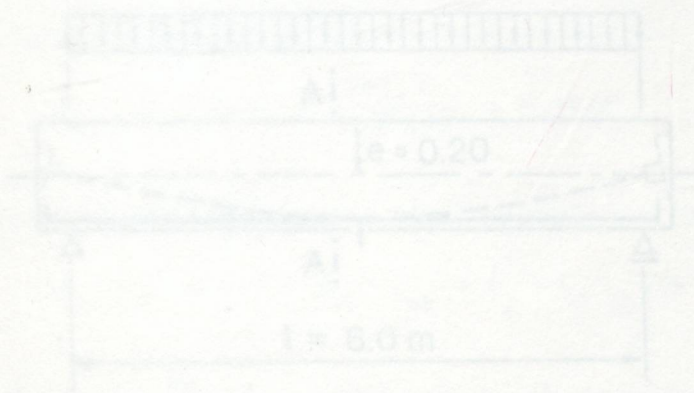
Not 1 : Basit eğilme durumunda çift doğrusal metod ile genel katsayılar metodu ile bulunan değerler arasında pek büyük farklılıklar yok idi. Fakat birleşik eğilme ve normal kuvvet etkisi altındaki elemanlarda çift doğrusal metod ile ve genel katsayılar metodu ile ayrı ayrı yapılan hesapta bulunan değerlerde biraz farklılıklar gözleniyor. Bunun sebebi genel katsayılar metodunda dağıtma katsayısı gözönüne alınmıyor. Genel katsayılar metodunda birleşik eğilme ve eksenel kuvvet durumunda, eğer normal kuvvet basınç ise kesin metodla bulunan değerlerden olduğundan büyük değerler bulunmaktadır.

2) Bu örnekte çift doğrusal metodla yapılan hesapta ani yüklemekten oluşan sehimler %30, zamanla oluşan sehimler ise %20 doğrulukla bulunmaktadır. Birleşik eğilme ve eksenel kuvvet durumunda eksenel kuvvet çekme (+) ise basitleştirilmiş metodlarla bulunan değer, eğrilikler kullanılarak integralle bulunan kesin değerden daha az, eğer eksenel kuvvet basınç (-) ise kesin değerden biraz daha büyük hesaplanmaktadır.

1) Kesit yüzü 300 x 500 mm'lik bir gerilme kuvveti tarafından karşılanacağına göre gerilme hesabı yapılır.

2) Kesit yüzü 300 x 500 mm'lik bir gerilme kuvveti tarafından karşılanacağına göre gerilme hesabı yapılır.

$$q = q_u / 2 = 169 \text{ kN/m}$$



Şekil : Eğrilimli beton kiriş

Beton için aşağıdaki değerler verilmiştir.

$$f_{ct} = 10.5 \text{ N/mm}^2; \quad f_{ct} = 2.5 \text{ N/mm}^2; \quad \alpha = 2.5$$

$$\text{Betonun çekme dayanımı: } f_{ct} = 10.5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ct} = 0.55 \cdot f_{ct} = 5.775 \text{ N/mm}^2$$

Yüklemeler kesitten gerildikten sonra aşağıdaki gibi ve daha sonra çapıtılarak betonun çekme dayanımı (f_{ct}) gerilme kuvveti (F) dolayında hesaplanabilir. Bu gerilme kuvveti (F) kesitten çekme kuvveti (F_{ct}) olarak kabul edilir.

$$\text{Kesit yüzü: } f_{ct} = 10.5 \text{ N/mm}^2$$

Betonun çekme dayanımı

$$F_{ct} = \frac{f_{ct} \cdot A_s}{\alpha} = \frac{10.5 \cdot 0.06}{2.5} = 0.252 \text{ MN}$$

1) Kesit yüzü 300 x 500 mm'lik bir gerilme kuvveti tarafından karşılanacağına göre gerilme hesabı yapılır.

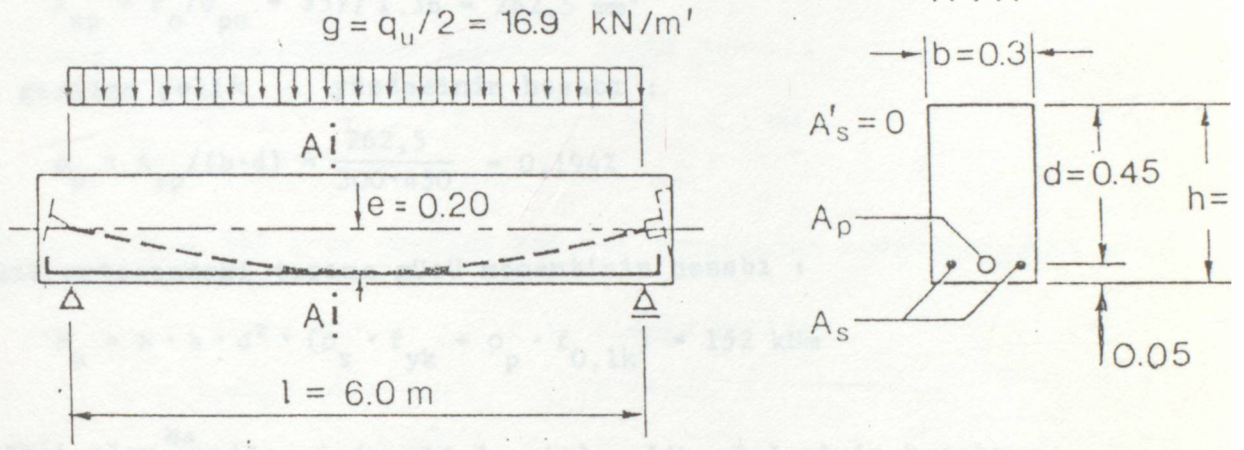
Betonun çekme dayanımı

Betonun çekme dayanımı

ORNEK 4 : ÖNGERİLMELİ BETON KİRİŞ

Aşağıdaki şekilde öngerilmeli beton kirişin detayları verilmiştir. Kalıcı yük olarak gene örnek 1 de olduğu gibi üniform olup değeri aynı alınmıştır $g = q_u/2 = 16,9 \text{ kN/m}$ (kirişin taşıma gücü yükünün yarısı alınmıştır). Bu örnekte bu kalıcı yük tesiriyle zamanla oluşacak sehîm, genel katsayı metodu yardımıyla iki ayrı durum için hesaplanacaktır.

- Kalıcı yükün %80'i ön gerilme kuvveti tarafından karşılandığına göre yapılan sehîm hesabı.
- Kalıcı yükün %40'ı ön gerilme kuvveti tarafından karşılandığına göre yapılan sehîm hesabı.



şekil : öngerilmeli beton kiriş

beton için aşağıdaki değerler verilmiştir.

beton : $E_{cm} = 30,5 \text{ kN/mm}^2$; $f_{ct} = 2,5 \text{ N/mm}^2$; $\varphi = 2,5$

ön gerilme değerleri : $f_{0,1k} = 1600 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{po} = 0,85 f_{0,1k} = 1'360 \text{ N/mm}^2$

Öngerilme kabloları gerildikten sonra bağlanırlarken ve daha sonra çeşitli nedenlerle (sürtünme kayıplar v.s) öngerilme kuvvetinde %15 dolayında azalma olur. Biz öngerilme kuvvetinin zamanla değişmediğini ($P = P_{\infty}$) sabit kaldığını varsayıyoruz.

Ön gerilmesiz donatı : $f_{yk} = 460 \text{ N/mm}^2$

kirişin taşıma gücü momenti

$$M_u = \frac{q_u \cdot l^2}{8} = \frac{33,8 \cdot 6,0^2}{8} = 152 \text{ kNm}$$

- kalıcı yükün %80 i ön gerilme kuvveti tarafından karşılandığına göre yapılan sehîm hesabı.

hesab aşağıdaki gibidir.

eşdeğer ön gerilmenin hesabı

$$p = 0,8 \cdot g = 0,8 \cdot 16,9 = 13,52 \text{ kN/m'}$$

beton içersinde normal kuvvetle beraber $t=0$ ve $t=t$ için ön gerilme kuvvetinin hesabı

$$P_{\infty} = \frac{l^2}{8e} \cdot p = \frac{6,0^2}{8 \cdot 0,20} \cdot 13,52 = 304,2 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c\infty} = P_{\infty} / A_c = 304,2 / 0,15 = 2,03 \text{ N/mm}^2$$

$$P_o = P_{\infty} / 0,85 = 357 \text{ kN}$$

ön gerilme çeliginin alanının hesabı :

$$A_{sp} = P_o / \sigma_{po} = 357 / 1,36 = 262,5 \text{ mm}^2$$

ön gerilme çelik yüzdesinin hesabı :

$$\rho_p = A_{sp} / (b \cdot d) = \frac{262,5}{300 \cdot 450} = 0,194\%$$

açıklık ortasındaki taşıma gücü momentinin hesabı :

$$M_u = x \cdot b \cdot d^2 \cdot (\rho_s \cdot f_{yk} + \rho_p \cdot f_{o,1k}) = 152 \text{ kNm}$$

gerekli olan ^{ön}gerilmesiz(pasif donatı) çelik yüzdesinin hesabı :
ment:

$$\rho_s = \left(\frac{M_u}{x \cdot b \cdot d^2} - \rho_p \cdot f_{o,1k} \right) / f_{yk}$$
$$= \left(\frac{152 \cdot 10^{-3}}{0,92 \cdot 0,3 \cdot 0,45^2} - \frac{0,194}{100} \cdot 1'600 \right) / 460 < 0 \Rightarrow A_s = 0$$

ön gerilme mekanik derecesi $\lambda = 1$ olmalıdır.

$$\lambda = \frac{A_{sp} \cdot f_{o,1k}}{A_{sp} \cdot f_{o,1k} + A_s \cdot f_{yk}} = 1,0$$

çatlama momentinin hesabı

$$M_r = W_c \cdot (f_{ct} + \frac{P_{\infty}}{A_c})$$
$$= \frac{0,3 \cdot 0,5^2}{6} \cdot (2,5 \cdot 10^3 + 2,03 \cdot 10^3) = 56,6 \text{ kNm}$$

ön gerilme kuvvetinin etkisi düşünülerek hesaplanan max moment

$$M_D = \frac{(g-p) \cdot l^2}{8} - \frac{3,38 \cdot 6^2}{8} = 15,2 \text{ kN/m} < M_r$$

bu kiriş daha çatlamamıştır. durum I dedir.

$(g-p) = 3.38 \text{ kN/m}$ lik yükten oluşan elastik sehim.

$$\begin{aligned} a_c &= \frac{5}{384} \cdot \frac{(g-p) \cdot l^4}{EI_c} = \frac{5}{384} \cdot \frac{6,0^4}{30,5 \cdot 10^6 \cdot 0,0031} \cdot (g-p) \\ &= 0,177 \cdot 10^{-3} \cdot (g-p) \\ &= 0,60 \text{ mm} \end{aligned}$$

pasif donatı ~~ö~~ngerilmesiz Çelik) bulunmayan kiriş için genel düzeltme katsayısının hesabı. $(I+V)$ düşünülerek bu katsayı bulunacaktır.

$$\kappa_t = 3,5$$

sonuçta, zamanla oluşacak mühtemel sehim hesabı.

$$a_t = \eta \cdot \kappa_t \cdot a_c = 1,0 \cdot 3,5 \cdot 0,60 = 2,1 \text{ mm}$$

=====

b) kalıcı yükün %40 ı ön gerilme kuvveti tarafından karşılandığına göre yapılan *sehim* hesabı.

buradada hesap sırası yukarıda olduğu gibidir.

$$p = 0,4 \cdot g = 0,4 \cdot 16,9 = 6,76 \text{ kN/m'}$$

$$P_\infty = \frac{l^2}{8e} \cdot p = \frac{6,0^2}{8 \cdot 0,20} \cdot 6,76 = 152,1 \text{ kN}$$

$$\sigma_{cc\infty} = P_\infty / A_c = 1,01 \text{ N/mm}^2$$

$$P_o = P_\infty / 0,85 = 179 \text{ kN}$$

$$A_{sp} = P_o / \sigma_{po} = 179 / 1,36 = 131,6 \text{ mm}^2$$

$$\rho_p = A_{sp} / (b \cdot d) = 0,098\%$$

buradan gerekli olan pasif donatı alanı bulunursa :

$$\begin{aligned} \rho_s &= \left(\frac{M_u}{\kappa \cdot b \cdot d^2} - \rho_p \cdot f_{0,1k} \right) / f_{yk} \\ &= \left(\frac{152 \cdot 10^{-3}}{0,92 \cdot 0,3 \cdot 0,45^2} - \frac{0,098}{100} \cdot 1600 \right) / 460 = 0,25\% \end{aligned}$$

$$A_s = \rho_s \cdot b \cdot d = 337 \text{ mm}^2$$

öngerilme mekanik derecesi λ ve diğer moment değerleri bulunursa :

$$\lambda = \frac{131,6 \cdot 1600}{131,6 \cdot 1600 + 337 \cdot 460} = 0,57$$

$$M_r = \frac{0,3 \cdot 0,5^2}{6} \cdot (2,5 \cdot 10^3 + 1,01 \cdot 10^3) = 43,8 \text{ kNm}$$

$$M_D = \frac{(g-p) \cdot l^2}{8} = \frac{10,14 \cdot 6,0^2}{8} = 45,6 \text{ kNm}$$

$$M_r/M_0 = 43,8/45,6 = 0,96$$

Buna göre ek 4.4'den genel düzeltme katsayıları, aşağıda hesaplanan yardımcı değerler yardımı ile

$$\rho = \rho_s = 0,25\%$$

$$\alpha \cdot \rho = \frac{200}{30,5} \cdot \frac{0,25}{100} = 0,016$$

$$\varphi = 2,5, \quad d/h = 0,9 \quad \alpha \rho = 0,016$$

$$\kappa_t = 7,5 \text{ bulunur}$$

elastik sehım ise

$$a_c = 0,177 \cdot 10^{-3} \cdot (g-p) = 0,177 \cdot 10^{-3} \cdot 10,14 = 1,79 \text{ mm}$$

$$\text{ve} : a_t = \eta \cdot \kappa_t \cdot a_c = 1,0 \cdot 7,5 \cdot 1,79 = 13,4 \text{ mm} \approx 13 \text{ mm}$$

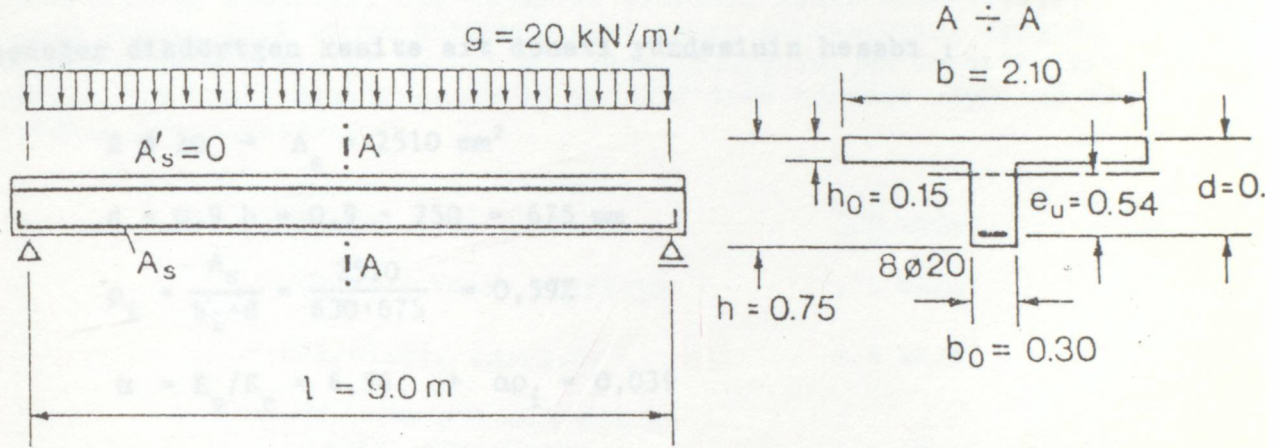
Aşağıda verilen tabloda ($g = q_u/2 = 16,9 \text{ kN/m}$) lik kalıcı yük etkisi ile öngerilmeli kirişte (a ve b durumu için) ve bu kirişin aynısı olan betonarme kirişte genel katsayılar yöntemiyle hesaplanan zamanla oluşacak sehım değerleri gösterilmiştir.

	öngerilmeli kiriş		betonarme (ön gerilmemiş)
	a) durumu	b) durumu	
p/g	0,8	0,4	0
λ	1,0	0,57	0
$\sigma_{c\infty}$ [N/mm ²]	2,03	1,01	0
a_c [mm]	0,60	1,79	3,0
κ_t	3,5	7,5	5,2
a_t [mm]	2	13	16

ÖRNEK 5 : T kiriş

g kalıcı yüküne maruz olan T kesitli betonarme kirişteki ani sehimi ve zamana bağlı sehimin hesabı :

$$g \approx q_u / 3,5 = 20 \text{ kN/m'}$$



şekil : betonarme t kiriş

beton için verilen değerler şunlardır.

$$E_{cm} = 30,5 \text{ kN/mm}^2; \quad f_{ct} = 2,5 \text{ N/mm}^2; \quad \varphi = 2,5; \quad \text{shrinkage is ignored} \\ (\epsilon_{cs} = 0).$$

aranan sehimler genel katsayılar metodu kullanılarak hesaplanacaktır. Önce T kesiti eşdeğeri olan dikdörtgen kesite dönüştürelim. Bunun için gerekli ara değerleri bulalım.

$$b/b_0 = 2,10/0,30 = 7 \\ h_0/h = 0,15/0,75 = 0,20$$

bu değerler için ek 4.2.I den bulunan değerler şunlardır.

$$b_i = 0,299 b = 0,299 \cdot 2,10 = 0,63 \text{ m} \\ e_u = 0,718 h = 0,718 \cdot 0,75 = 0,54 \text{ m} \\ I_c = \frac{b_i \cdot h^3}{12} = \frac{0,63 \cdot 0,75^3}{12} = 0,022 \text{ m}^4 \\ W_c = \frac{I_c}{e_u} = \frac{0,022}{0,54} = 0,041 \text{ m}^3$$

elastik sehimin hesabı :

$$a_c = \frac{5}{384} \cdot \frac{g \cdot l^4}{EI_c} = \frac{5}{384} \cdot \frac{20 \cdot 9,0^4}{30,5 \cdot 0,022} \cdot 10^{-3} = 2,55 \text{ mm}$$

yükten oluşan toplam moment ve çatlama momentinin hesabı :

$$M_{rD} = W_c \cdot f_{ct} = 0,041 \cdot 2,5 \cdot 10^3 = 101,8 \text{ kNm}$$

$$M_D = \frac{g \cdot l^2}{8} = \frac{20 \cdot 9,0^2}{8} = 202,5 \text{ kNm}$$

$$M_{rD}/M_D = 0,5$$

eşdeğer dikdörtgen kesite ait donatı yüzdesinin hesabı :

$$8 \text{ } \emptyset 20 \rightarrow A_s = 2510 \text{ mm}^2$$

$$d = 0,9 h = 0,9 \cdot 750 = 675 \text{ mm}$$

$$\rho_i = \frac{A_s}{b_i \cdot d} = \frac{2510}{630 \cdot 675} = 0,59\%$$

$$\alpha = E_s/E_c = 6,56 \rightarrow \alpha \rho_i = 0,039$$

bu değerler yardımı ile ek 4.4 den alınan genel düzeltme katsayıları şunlardır.

$$\kappa_o = 2,5 \rightarrow a_o = \kappa_o \cdot a_c = 2,5 \cdot 2,55 = 6,4 \text{ mm}$$

$$\varphi = 2,5, \quad \rho' = 0:$$

$$\kappa_t = 5,1 \rightarrow a_t = \eta \cdot \kappa_t \cdot a_c = 1,0 \cdot 5,1 \cdot 2,55 = 13,0 \text{ mm}$$

		A	B	C	D	E	F
	ϵ_s/ϵ_t	0,0293	0	0,0529	0,0165	0,0113	-0,7416
	ϵ_s/ϵ_t	0,1058	0	-0,0727	0,1029	0,1135	-0,3667
	ϵ_s/ϵ_t	0,4	0	2,7	7,7	8,3	0

BETONARME KIRIŞSIZ
DÖŞEME (kolon başlıkları
güçeli)

ÖRNEK 6 : BETONARME KIRIŞSIZ DÖŞEME

Arka sayfadaki şekilde betonarme kırışsız döşeme, donatı detayları da verilerek gösterilmiştir. Döşemenin kalınlığı 0,28 m ve donatı için minimum örtü beton kalınlığı ($d = 20$ mm) dir. Ve şekilde görüldüğü gibi döşemenin dış kenarları dış duvarlar üzerinde basit mesnetlidir. Döşeme taşıma gücü sınır durumuna göre hesap edilecektir. Aşağıda döşemenin maruz kaldığı kalıcı yük hesaplanmıştır. Bu örnekte, döşemenin bir kenar panelinde ve bu panelin orta noktası olan (A)daki sehîm hesaplanacaktır.

- plağın zati ağırlığı	7,0 kN/m ²
- 60 mm sıvanın ağırlığı	1,4 kN/m ²
- Bölmelerin ağırlığı	0,8 kN/m ²
- İşletme yükünün %30 u kalıcı yük olarak düşünülüyor.	1,2 kN/m ²
TOPLAM kalıcı yük :	$g = 10,4$ kN/m ²

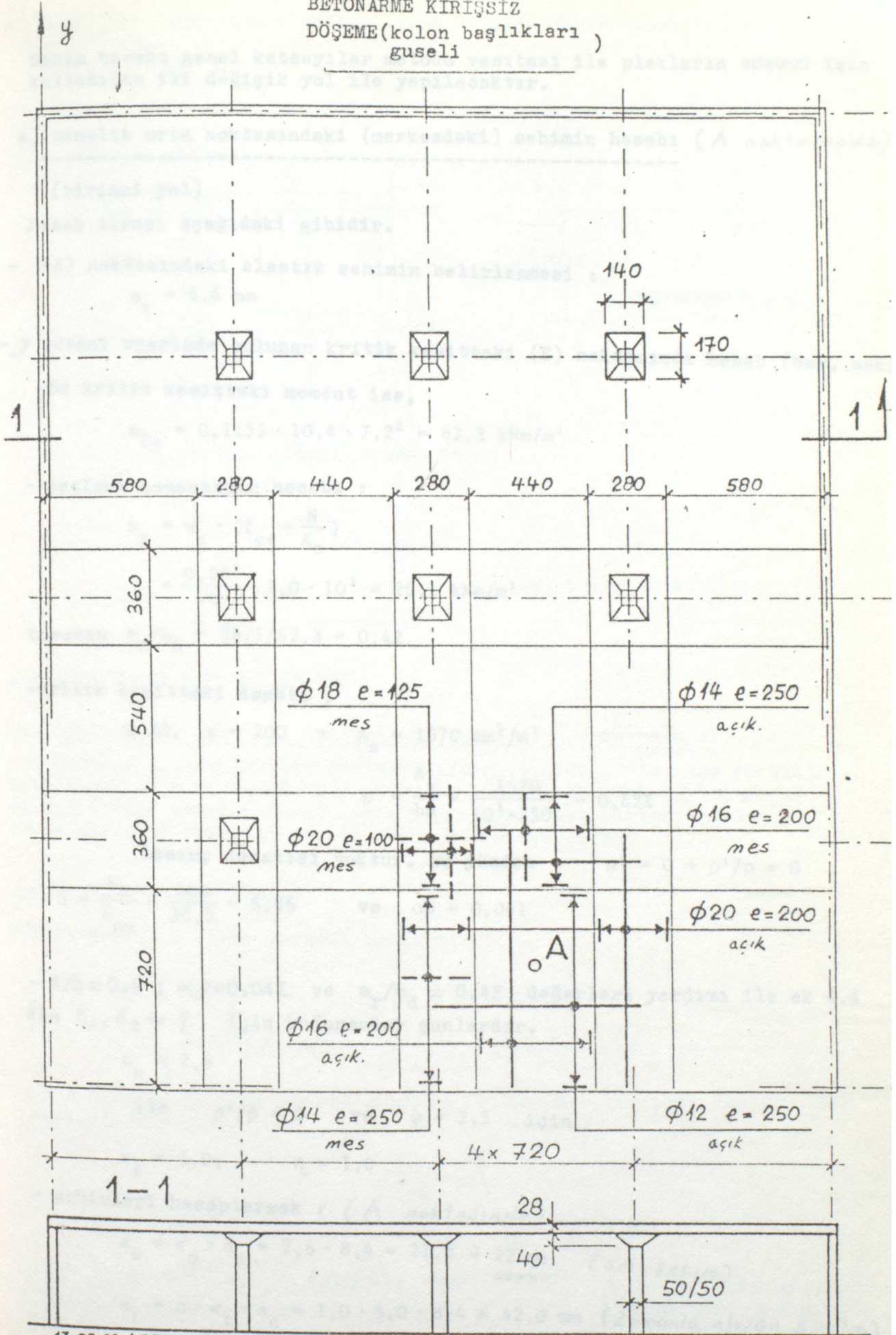
beton için verilen değerler şunlardır.

$$E_{cm} = 30,5 \text{ kN/mm}^2 ; \quad f_{ct} = 2,0 \text{ N/mm}^2 ; \quad \psi = 2,5 ; \text{ rötire ihmal edildi.} \\ (\epsilon_{cs} = 0)$$

eğilme moment değerleri ve bu momentlerin oluşturduğu elastik sehîmlerin değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Bu değerler ek 4.2.3 kullanılarak kolayca belirlenebilir.

	nokta	A	B	C	D	E	F
momentler	m_x / gl_x^2	0,0293	0	0,0589	0,0149	0,0112	-0,2415
	m_y / gl_x^2	0,1058	0	-0,0727	0,1089	0,1155	-0,2687
sehîm a_c [mm]		8,4	0	2,7	7,7	8,3	0

BETONARME KİRİŞSİZ
DÖŞEME(kolon başlıkları
guseli)



şekil : Betonarme kirişsiz döşeme (kolon başlıkları guseli)

Sehim hesabı genel katsayılar metodu vasıtası ile plakların çözümü için kullanılan iki değişik yol ile yapılacaktır.

a) panelin orta noktasındaki (merkezdeki) sehimin hesabı (A noktasında)

(birinci yol)

hesab sırası aşağıdaki gibidir.

- (A) noktasındaki elastik sehimin belirlenmesi :

$$a_c = 8,4 \text{ mm}$$

- y ekseninde bulunan kritik kesitteki (E) noktasında hesap (bak. sek)

-Bu kritik kesitteki moment ise,

$$m_{Ey} = 0,1155 \cdot 10,4 \cdot 7,2^2 = 62,3 \text{ kNm/m'}$$

- ortalama momentinin hesabı :

$$m_r = W_c \cdot \left(f_{ct} - \frac{N}{A_c} \right) \\ = \frac{0,28^2}{6} \cdot 2,0 \cdot 10^3 = 26,1 \text{ kNm/m'}$$

$$\text{buradan } m_r/m_D = 26,1/62,3 = 0,42$$

-kritik kesitteki donatı :

$$\emptyset 20, \quad e = 200 \quad \rightarrow \quad A_s = 1570 \text{ mm}^2/\text{m'}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{1570}{10^3 \cdot 250} = 0,63\%$$

baskın donatısı yoktur. Bu yüzden $\rho' = 0 \rightarrow \rho'/\rho = 0$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{30,5} = 6,56 \quad \text{ve} \quad \alpha\rho = 0,041$$

- $d/h=0,9$; $\alpha\rho=0,041$ ve $m_r/m_d = 0,42$ değerleri yardımı ile ek 4.4 den K_o, K_t ve η için bulunanlar şunlardır.

$$K_o = 2,6$$

$$\text{ile } \rho'/\rho = 0 \quad \text{ve} \quad \varphi = 2,5 \quad \text{için}$$

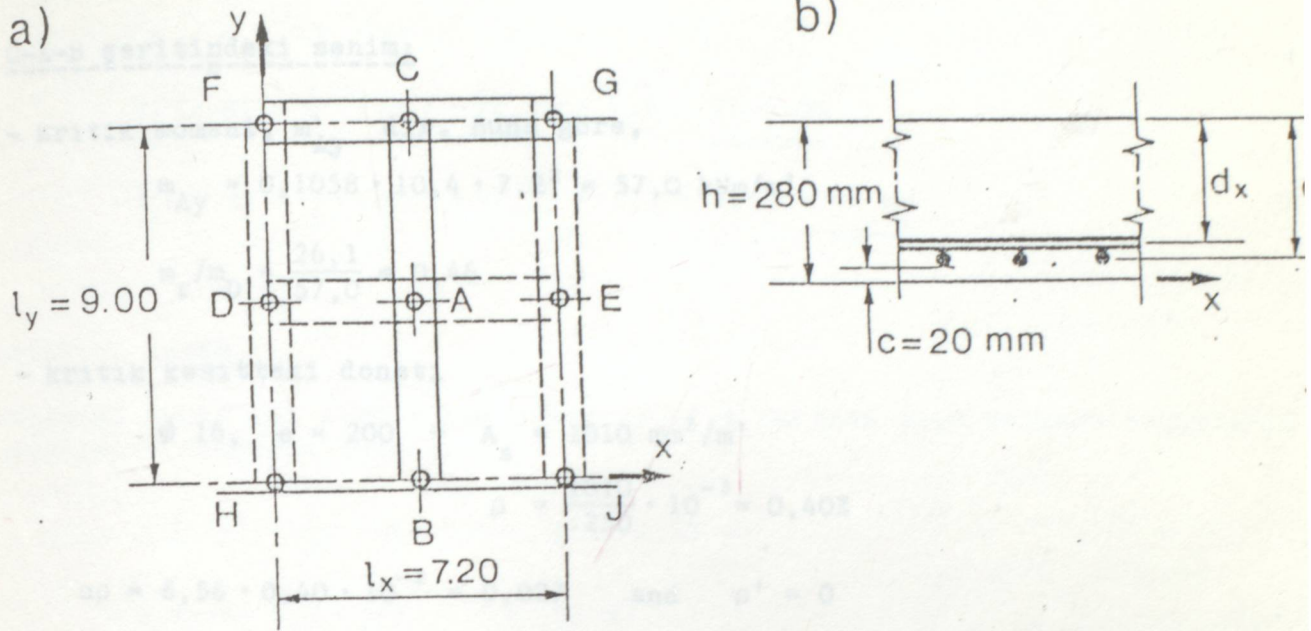
$$K_t = 5,0; \quad \eta = 1,0$$

- sehimleri hesaplırsak : (A noktasında)

$$a_o = K_o \cdot a_c = 2,6 \cdot 8,4 = 21,8 \approx 22 \text{ mm} \quad (\text{ani sehim})$$

$$a_t = \eta \cdot K_t \cdot a_c = 1,0 \cdot 5,0 \cdot 8,4 = 42,0 \text{ mm} \quad (\text{Zamanla oluşan sehim})$$

b) Ortogonal band metodu kullanılarak yapılan sehım hesabı : (Panelin merkezi olan A noktası)
(ikinci yol)



Şekil a) ortogonal şeritleri çizilmiş kenar panel.
b) donatı detayları.

A noktasındaki sehımın hesabı

İlk takım şeritlerle A noktası için yapılan sehım hesabı:

İlk takım şeritler şekilde gösterilmiştir. Bunlar x eksenine paralel mesnet şeridi olan F-C-G ve y eksenine paralel açıklık şeridi C-A-B ve x eksenine paralel fakat sehım yapmadığı kabul edilen (altında duvar bulunan) dogrusal mesnet olan H-B-J şerididir.

F-C-G şeritindeki sehım:

Kritik kesit C deki momenti bulalım.

$$m_{Cx} = 0,0589 \cdot 10,4 \cdot 7,2^2 = 31,8 \text{ kNm/m'}$$

$$m_r/m_D = \frac{26,1}{31,8} = 0,82$$

kritik kesitte bulunan donatı $\phi 14/s = 250 \text{ mm}$ dir. bu ise $A_s = 616 \text{ mm}^2/\text{m}$ (donatı alanı) dir.

$$\rho = \frac{616}{235} \cdot 10^{-3} = 0,26\%$$

$$\alpha\rho = 6,56 \cdot 0,26 \cdot 10^{-2} = 0,017 \quad \rho' = 0$$

ek 4.4 deki $d/h = 0,8$ ve $d/h = 0,9$ den $\alpha\rho = 0,0017$, $m_r/m_D = 0,82$ ve $k = 2,5$ değerleri için interpolasyon yapılarak K_o , K_t ve η değerleri bulunursa,

$$K_o \approx \frac{1}{2} (2,4 + 3,0) \approx 2,7; \quad K_t = \frac{1}{2} (7,8 + 10,6) = 9,2 \text{ ve } \eta = 1,0$$

$$a_{Cx}(t=0) = \kappa_o \cdot a_{cC} = 2,7 \cdot 2,7 = 7,3 \text{ mm}$$

$$a_{Cx}(t=\infty) = \eta \cdot \kappa_t \cdot a_{cC} = 1,0 \cdot 9,2 \cdot 2,7 = 24,8 \text{ mm}$$

C-A-B şeritindeki senim:

- kritik moment, m_{Ay} dir. Buna göre,

$$m_{Ay} = 0,1058 \cdot 10,4 \cdot 7,2^2 = 57,0 \text{ kNm/m'}$$

$$m_r/m_D = \frac{26,1}{57,0} = 0,46$$

- kritik kesitteki donatı

$$\emptyset 16, \quad e = 200 \rightarrow A_s = 1010 \text{ mm}^2/\text{m'}$$

$$\rho = \frac{1010}{250} \cdot 10^{-3} = 0,40\%$$

$$\alpha\rho = 6,56 \cdot 0,40 \cdot 10^{-2} = 0,027 \quad \text{and} \quad \rho' = 0$$

$$d/h = 0,9, \quad \alpha\rho = 0,027, \quad m_r/m_D = 0,46 \text{ ve } \varphi = 2,5, \text{ için ek 4.4 den}$$

$$\kappa_o = 3,5; \quad \kappa_t = 6,6 \quad \eta = 1,0$$

B ve C noktalarına göre A daki elastik senim:

$$\begin{aligned} a_{cAy} &= a_{cA} - \frac{1}{2} \cdot (a_{cB} + a_{cC}) \\ &= 8,4 - \frac{1}{2} \cdot (0 + 2,7) = 7,05 \text{ mm} \end{aligned}$$

buradan

$$a_{Ay}(t=0) = 3,5 \cdot 7,05 = 24,7 \text{ mm}$$

$$a_{Ay}(t=\infty) = 1,0 \cdot 6,6 \cdot 7,05 = 46,5 \text{ mm}$$

sonuçta, ilk takım şeritler yardımı ile A noktasındaki senimi bulursak,

$$a_A = \frac{1}{2} \cdot (a_{Bx} + a_{Cx}) + a_{Ay}$$

$$a_A(t=0) = \frac{1}{2} \cdot (0 + 7,3) + 24,7 = 28,4 \approx 28 \text{ mm}$$

$$a_A(t=\infty) = \frac{1}{2} \cdot (0 + 24,8) + 46,5 = 58,9 \approx 59 \text{ mm}$$

ikinci takım şeritlerle A noktası için yapılan senim hesabı:

İkinci takım şeritler şekilde gösterilmişti. Bunlar y eksenine paralel olan F-D-H ve G-E-J şeritleri ve x eksenine paralel olan D-A-E şeritidir.

yukarıda anlatılan çözüme benzer çözümle ikinci takım şeritlerle A nok-
tâ için sehîm hesaplanırsa:

$$a'_A = \frac{1}{2} \cdot (a_{Dy} + a_{Ey}) + a_{Ax}$$

$$a'_A(t=0) = \frac{1}{2} \cdot (19,6 + 21,6) + 0,4 = 21,0 \text{ mm}$$

=====

$$a'_A(t=\infty) = \frac{1}{2} \cdot (38,5 + 41,5) + 1,3 = 41,3 \approx 41 \text{ mm}$$

=====

Muntemel sehîm

Muntemel sehîm iki ayrı takım şeritlerle A noktası için bulunan sehîmlerin
ortalaması alınarak bulunur.

$$a_A(t=0) = \frac{1}{2} \cdot (28 + 21) = 24,5 \approx 25 \text{ mm}$$

=====

$$a_A(t=\infty) = \frac{1}{2} \cdot (59 + 41) = 50 \text{ mm}$$

=====

Sonuçta, iki ayrı metolla A noktası için bulunan sehîm değeri
aşağıdaki tabloda birbirleri ile karşılaştırılması yapılmıştır.

sehîm a_A [mm]	doğrudan doğruya genel kat. say. met. nın tatbik edilmesi ile (birinci yol a)	ortogonal şeritler metodu ile (b)		
		1. takım şeritlerle	2. takım şeritlerle	ortalaması
t = 0	22	28	21	25
t = t (φ = 2,5)	42	59	41	50

Not : Şerit metodu olan (b), diğer metod olan (a) ya nazaran
gerçeğe daha yakındır.

(a) metodunda muntemel sehîmler %20 hata payı ile hesaplanmaktadır.

3.5) SONUÇ

Birinci bölümde ve ikinci bölümde anlatıldığı gibi işletme yüklerine maruz betonarme elemanlardaki ani sehimler, elastik eşitlikler veya ek 4.2 yardımı ile kolayca hesaplanabilir. Ayrıca ani sehimlere eklenen ve rötre, sünme tesiriyle zamanla oluşan sehimler ister "ACI" e göre, isterse "CEB" nin önerdiği metodlar yardımı ile yaklaşık $\pm$ %20 hata payı ile doğru hesaplanabilmektedir.

Yirminci yüzyılın ikinci yarısından sonra gelişen bilgisayarlar bugün karmaşık ve uzun görünen hesapları çok daha kısa sürede çözebilmektedir. Sehim hesapları, integral ve geliştirilen bilgisayar programları yardımı ile kesin olarak hesaplanabilmektedir.

Şunuda belirtmek gerekirkki, sehimlerin, yönetmenliklerde öngörülen izin verilir sınırlar içersinde olmasına ehemmiyet verilir.

Sehim hesaplarında, mukavemet hesaplarının aksine % 100 doğruluk aranmaz. Çogu zaman yaklaşık $\pm$ %20 hata payı ile sehimleri doğru hesaplamak yeterli kabul edilir. (Ayrıca, projede öngörülen beton karakteristiklerinde, eğer şantiyede iyi bir denetim yapılmazsa, her zaman bir miktar hata payını zaten düşünmek gerekir.

Bu düşünce ile, bu çalışmamda örneklerle anlatmaya çalıştığım "ACI" ve "CEB" de verilen metodlarla betonarme elemanlardaki ani ve zamana bağlı sehimler yeterli doğrulukta ve pratik olarak hesaplanabilir.

4.1. BETON KARAKTERİSTİKLERİ

EKLER

4.1. BETON KARAKTERİSTİKLERİ

4.2. ELASTİK SEHİM (a_c)

4.3. DÜZELTME KATSAYILARI $K_s - K_p - K_{cs}$

4.4. DİKDÖRTGEN KESİTLER İÇİN GENEL DÜZELTME KATSAYILARI

4.5. RÖTREDEN OLUŞAN SEHİMLER

Beton Sınıfı	C12	C16	C20	C24	C28	C32	C40	C45	C50
E_{cm} (kg/cm ²)	26	(27,5)	28	(30,5)	32	(33,5)	35	36	37

Bu tablo, betonun elastik modülünü hesaplamak için kullanılır.

Betonun elastik modülü E_{cm} ve $E_{c,eff}$ olarak hesaplanır.

$E_{c,eff} = E_{cm} / (1 + \mu)$ (Burada μ betonun Poisson oranıdır.)

$E_{c,eff} = E_{cm} / (1 + \mu)$ (Burada μ betonun Poisson oranıdır.)

4.1 BETON KARAKTERİSTİKLERİ

Betonun Elastiklik Modülü

(CEB) nin önerdiği , beton secant modülü : (E_{cm})

$$E_{cm} = 9,5 \cdot (f_{ck} + 8)^{1/3}$$

Beton Sınıfı	C12	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
E_{cm} (kN/mm ²)	26	(27,5)	29	(30,5)	32	(33,5)	35	36	37

Uzun süreli sehîm hesaplarında kullanılması tavsiye edilen

Betonun etkili elastisite modülü $E_{c,eff}$ ve $E_{c,adj}$

$$E_{c,eff} = E_{cm} / (1 + \rho) \quad \rightarrow \text{(Sadece sünme etkisi düşünülerek bulunan)}$$

ρ = Betonun sünme katsayısı

$$E_{c,adj} = E_{cm} / (1 + \chi \cdot \rho) \quad \rightarrow \text{(Sünme ve betonun eskimesi düşünülerek bulunan)}$$

χ = Betonun Eskime katsayısı

SÜNME KATSAYISI (φ)ESKİME KATSAYISI (χ)

parametre		EK
φ_{fl}	h_o [cm]	
Çok nemli atmosferde (HR = 90%) 1,0	5	4.1.2 (1)
	10	(2)
	20	(3)
	40	(4)
	80	(5)
	160	(6)
Normal dış çevre (HR = 70%) 2,0	5	(7)
	10	(8)
	20	(9)
	40	(10)
	80	(11)
	160	(12)
Çok kuru atmosferde (HR = 40%) 3,0	5	(13)
	10	(14)
	20	(15)
	40	(16)
	80	(17)
	160	(18)

h_o = riktif kalınlık (cm cinsinden)

$$h_o = \lambda \cdot \frac{2A_c}{u}$$

λ = çevre şartlarına bağlı katsayı

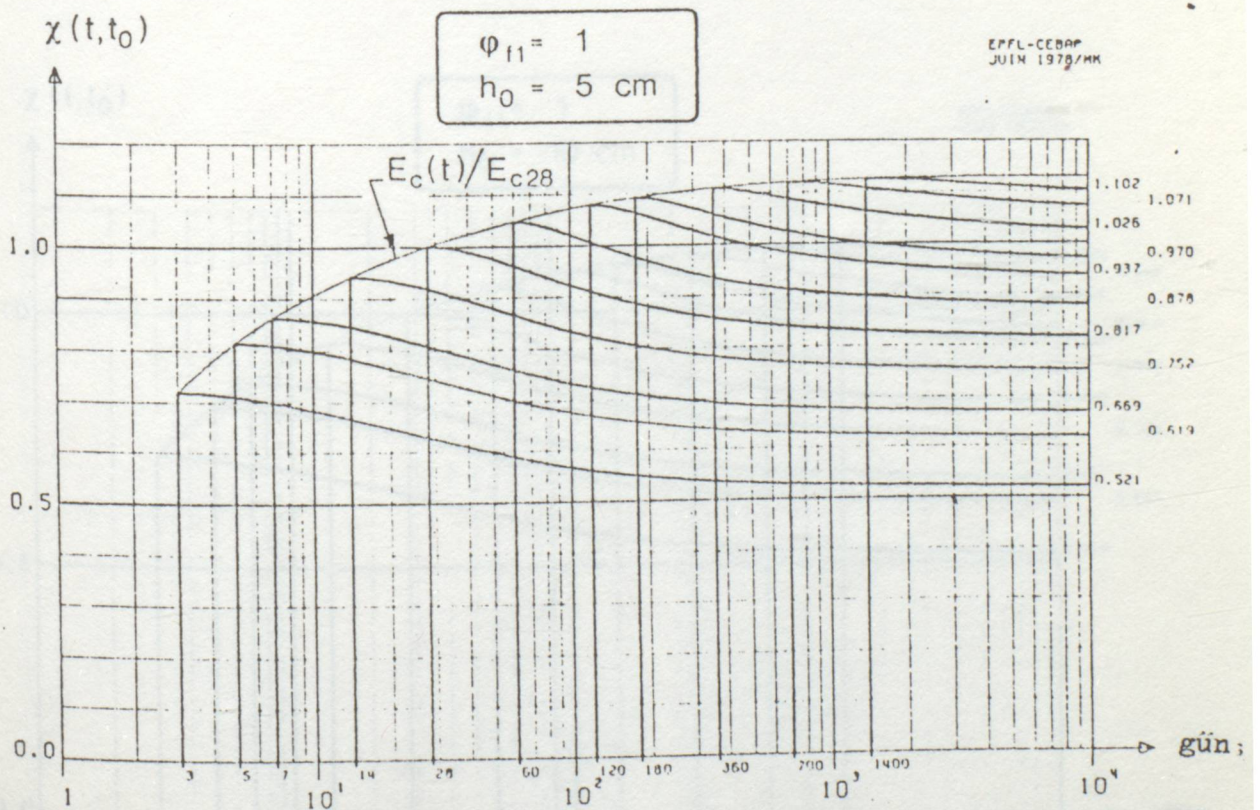
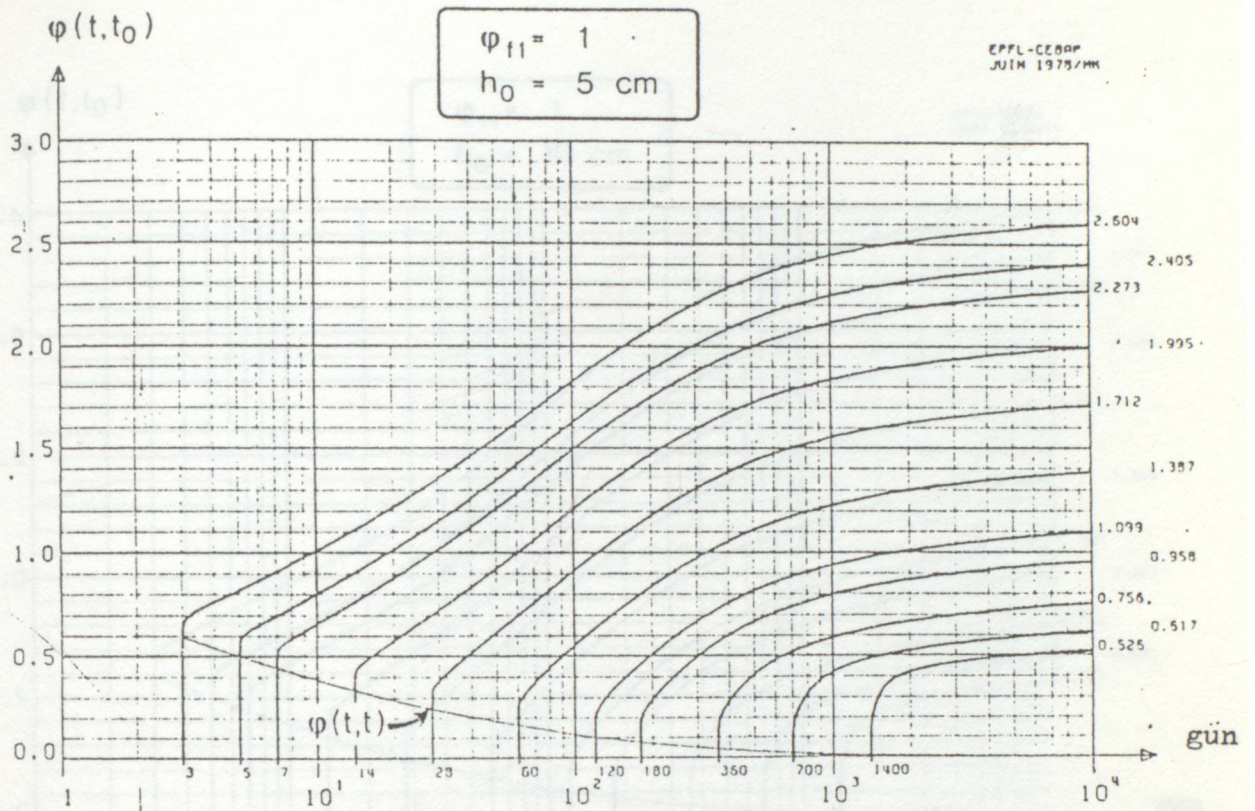
$\lambda = 5$ çok nemli atmosferdeki yapı için

$= 1,5$ genel dış çevre şartları için

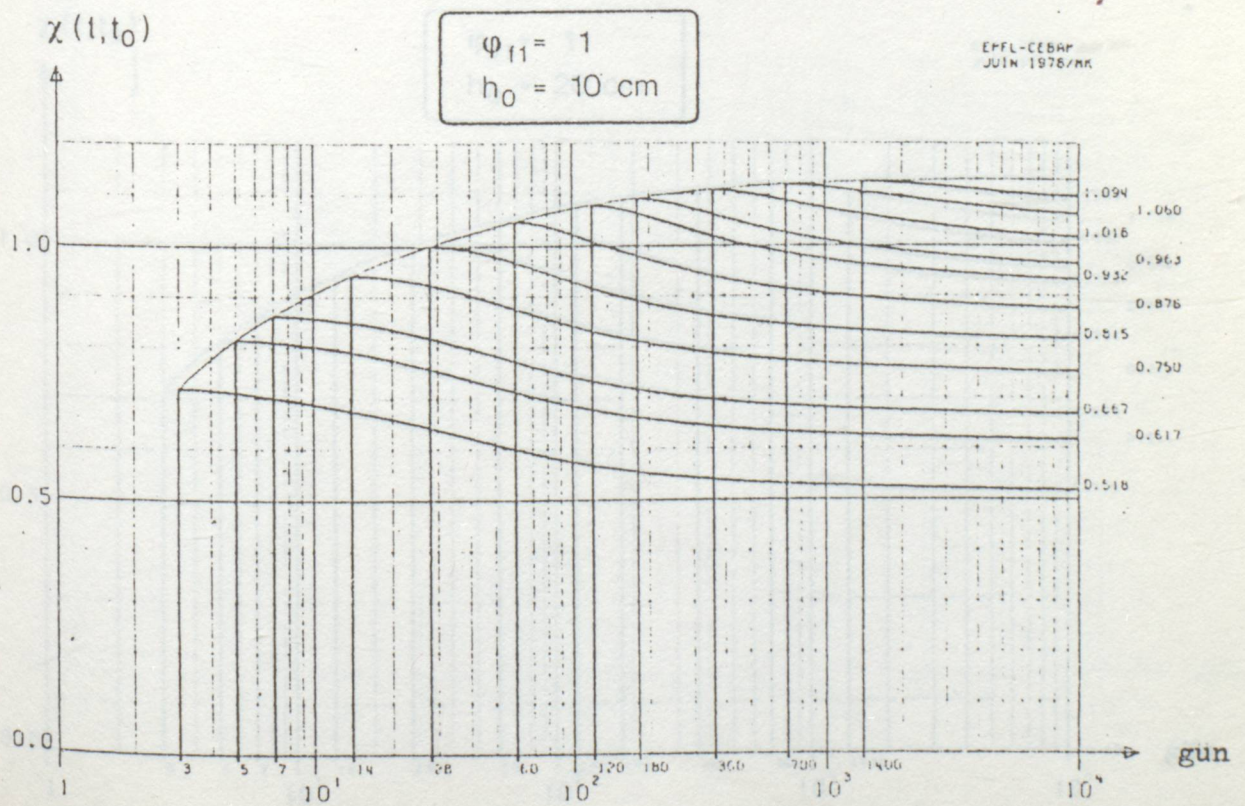
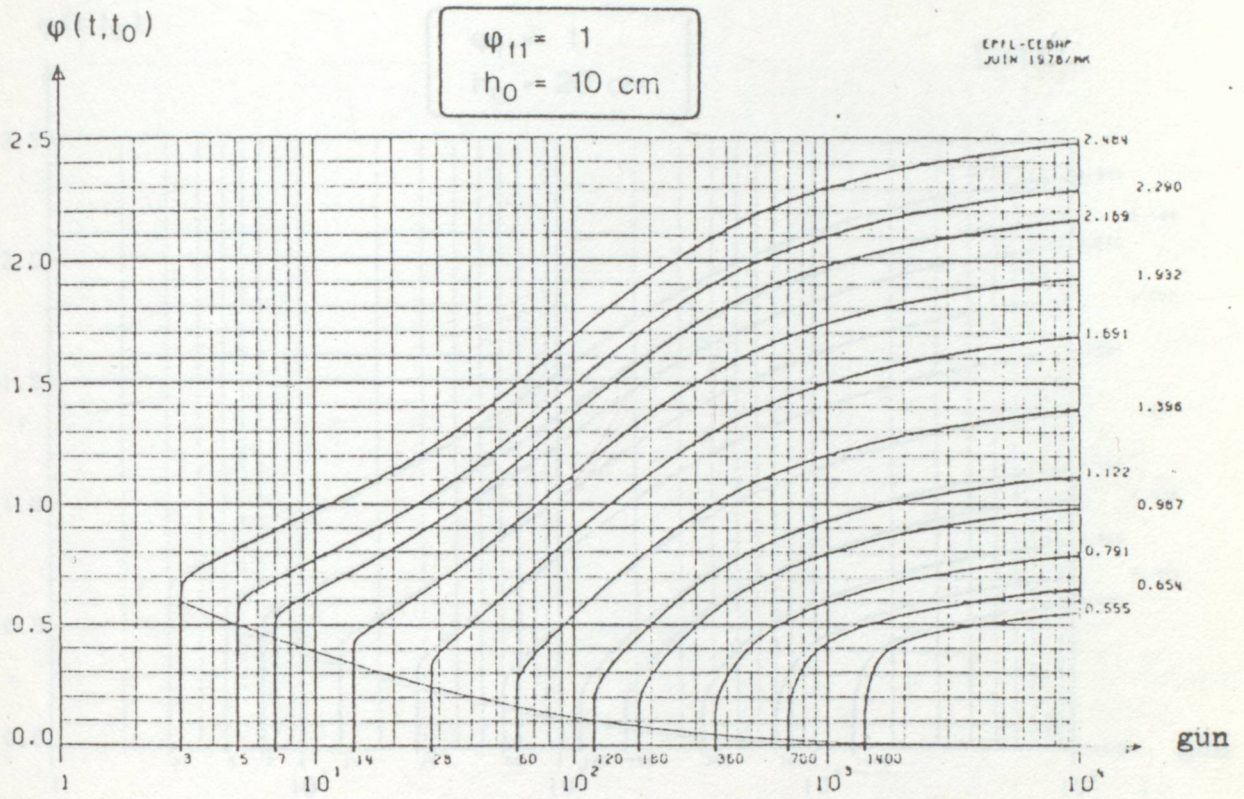
$= 1$ çok kuru atmosfer için

A_c = beton kesit alanı

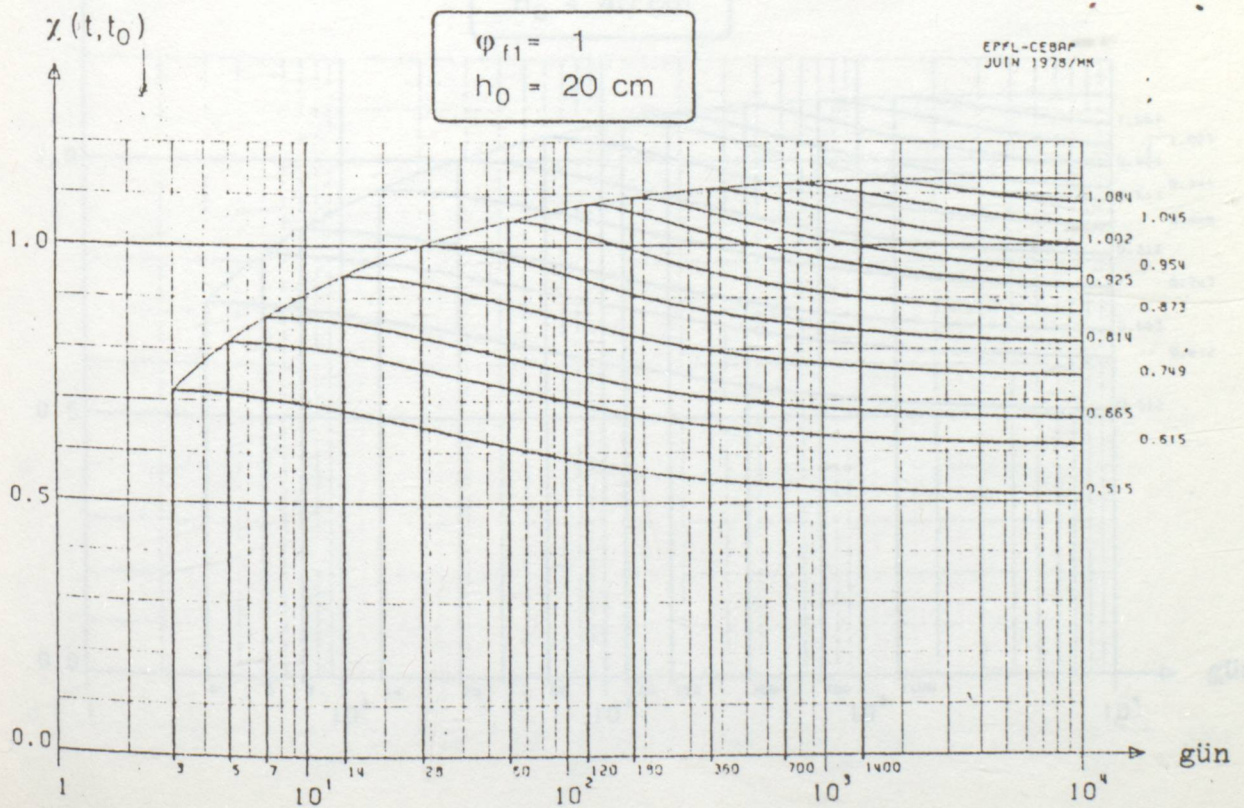
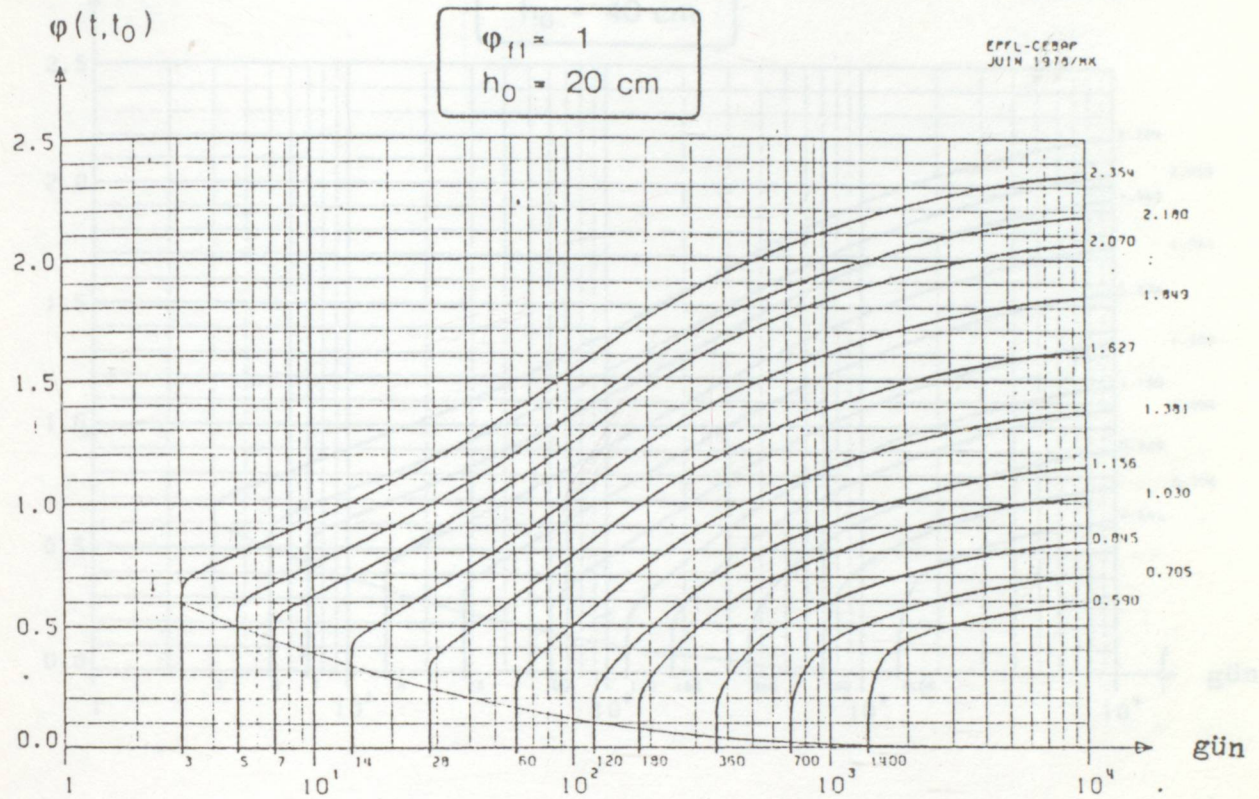
u = atmosferle teması olan çevre

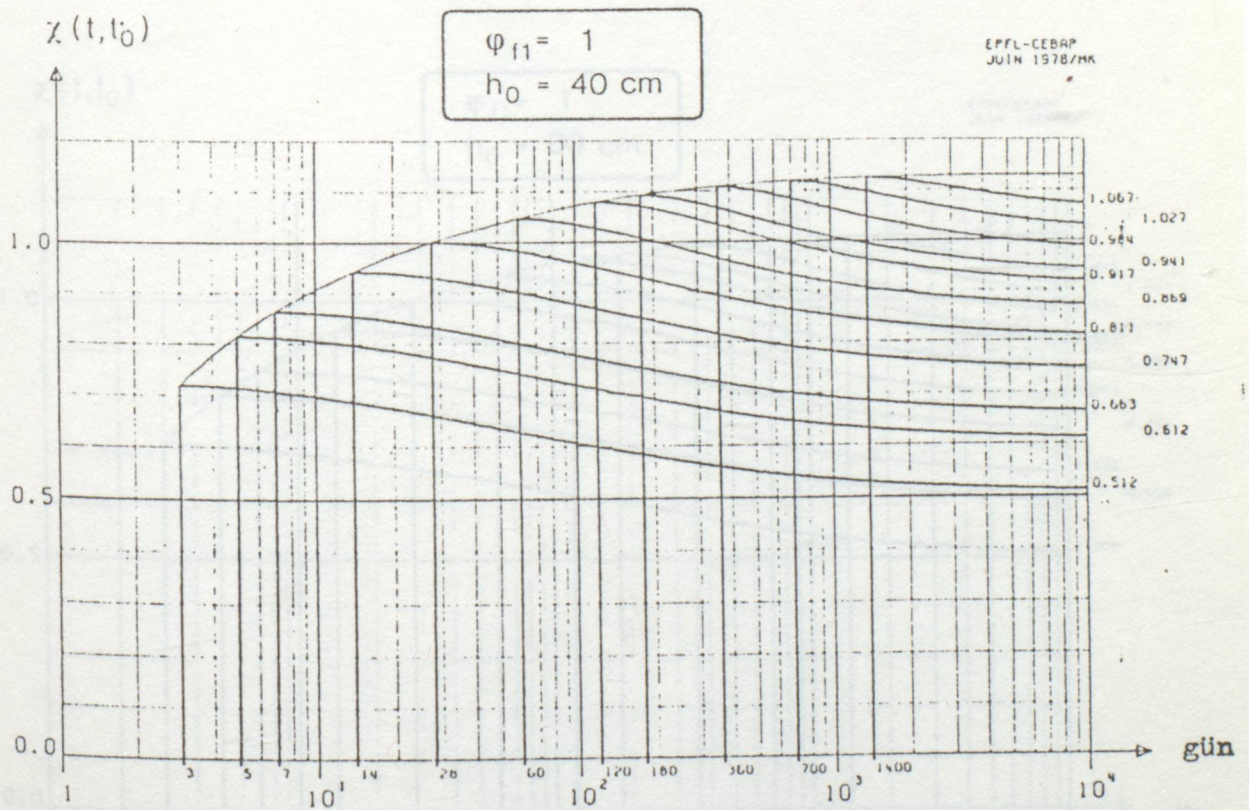
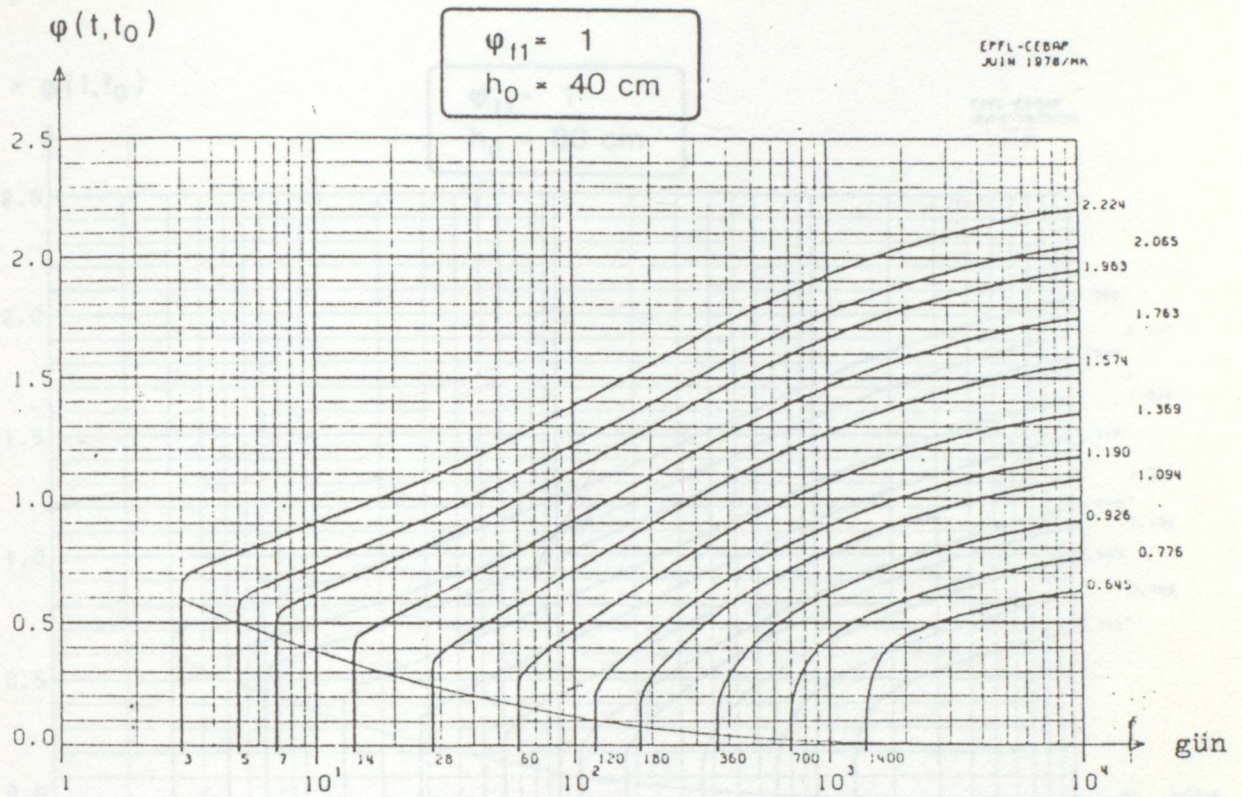


EK 4.1.2 (2)

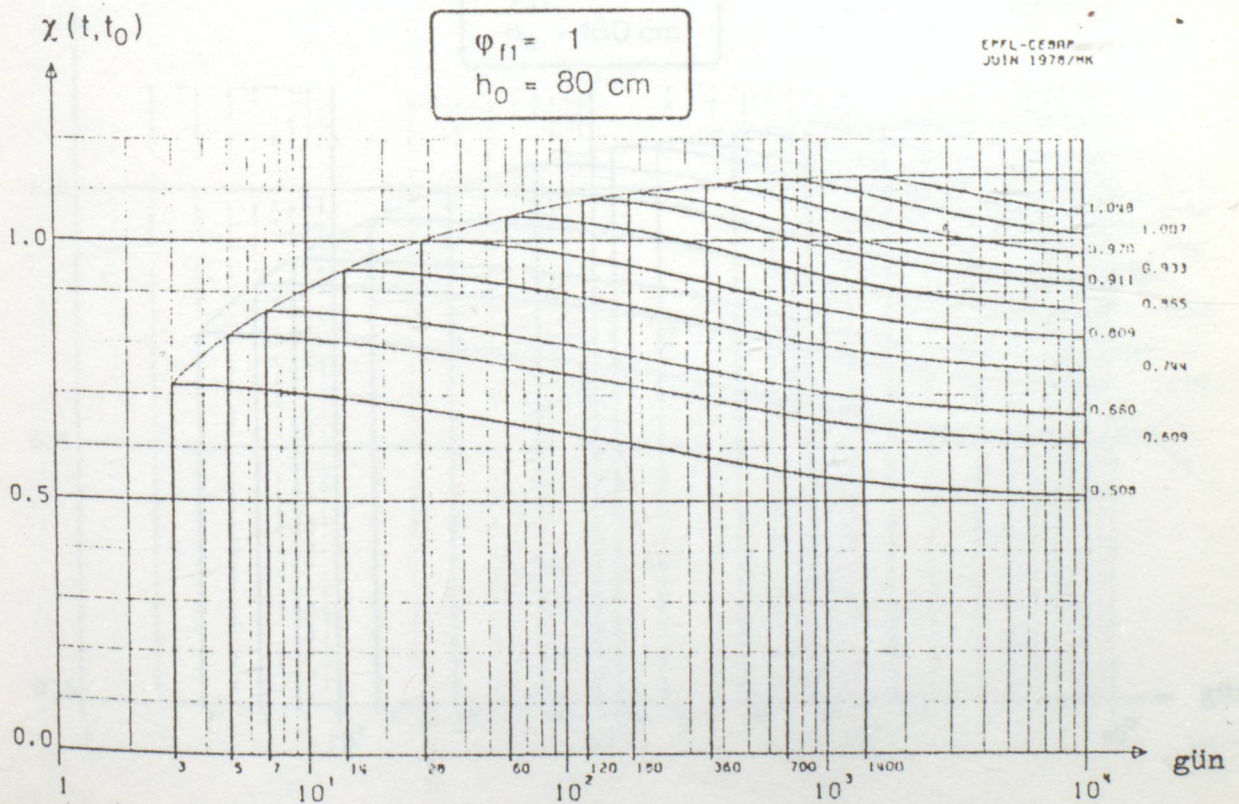
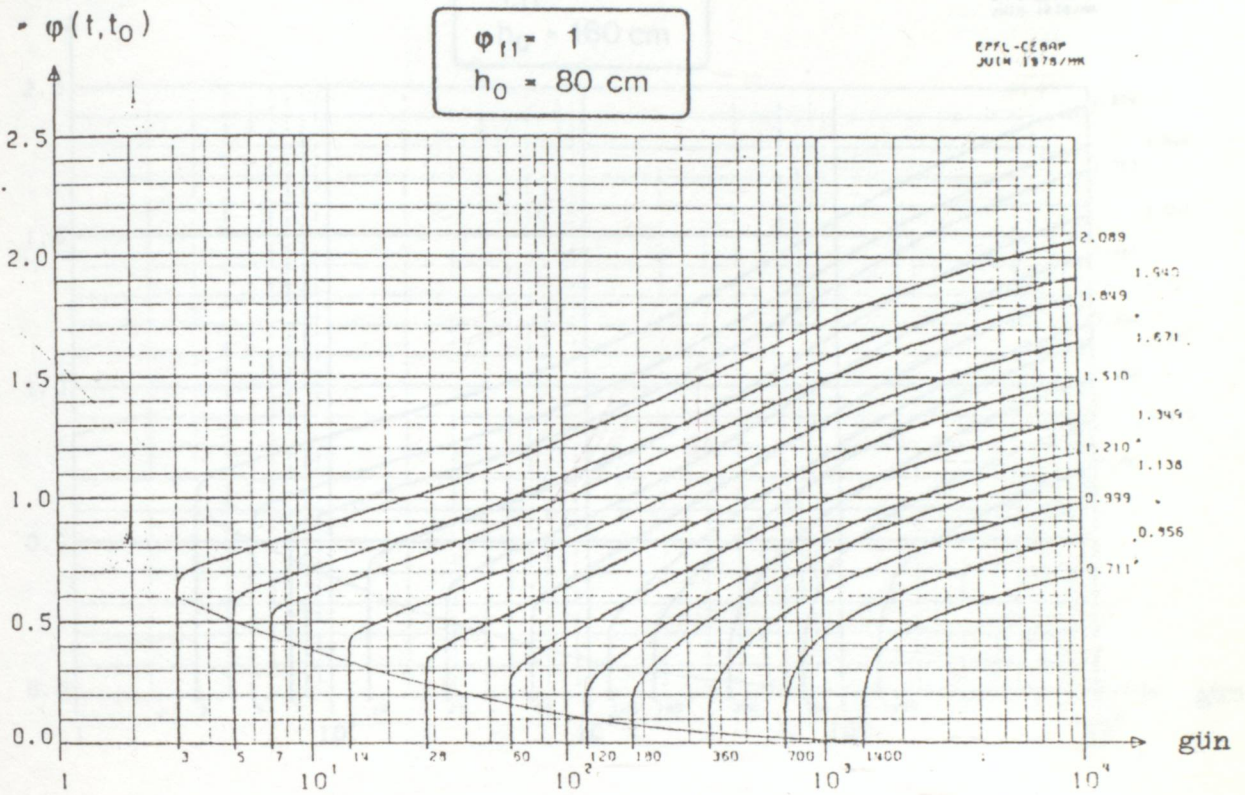


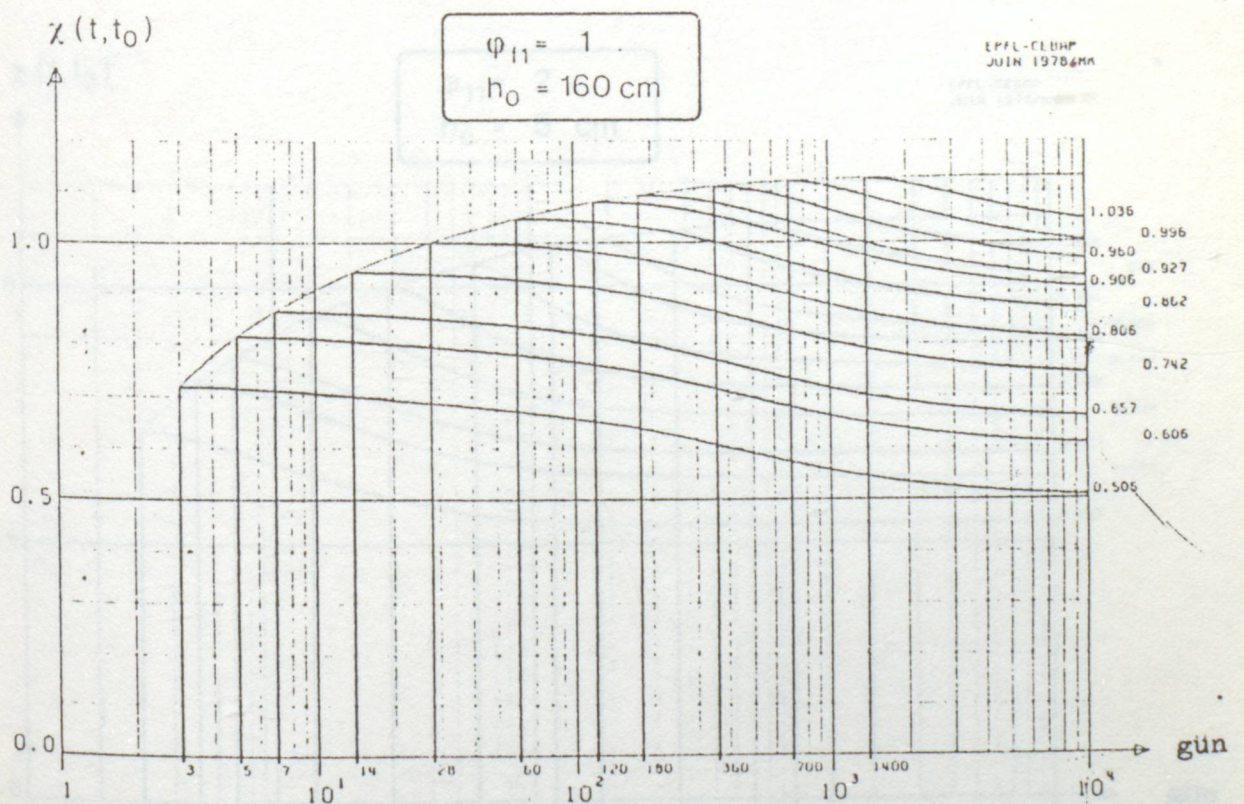
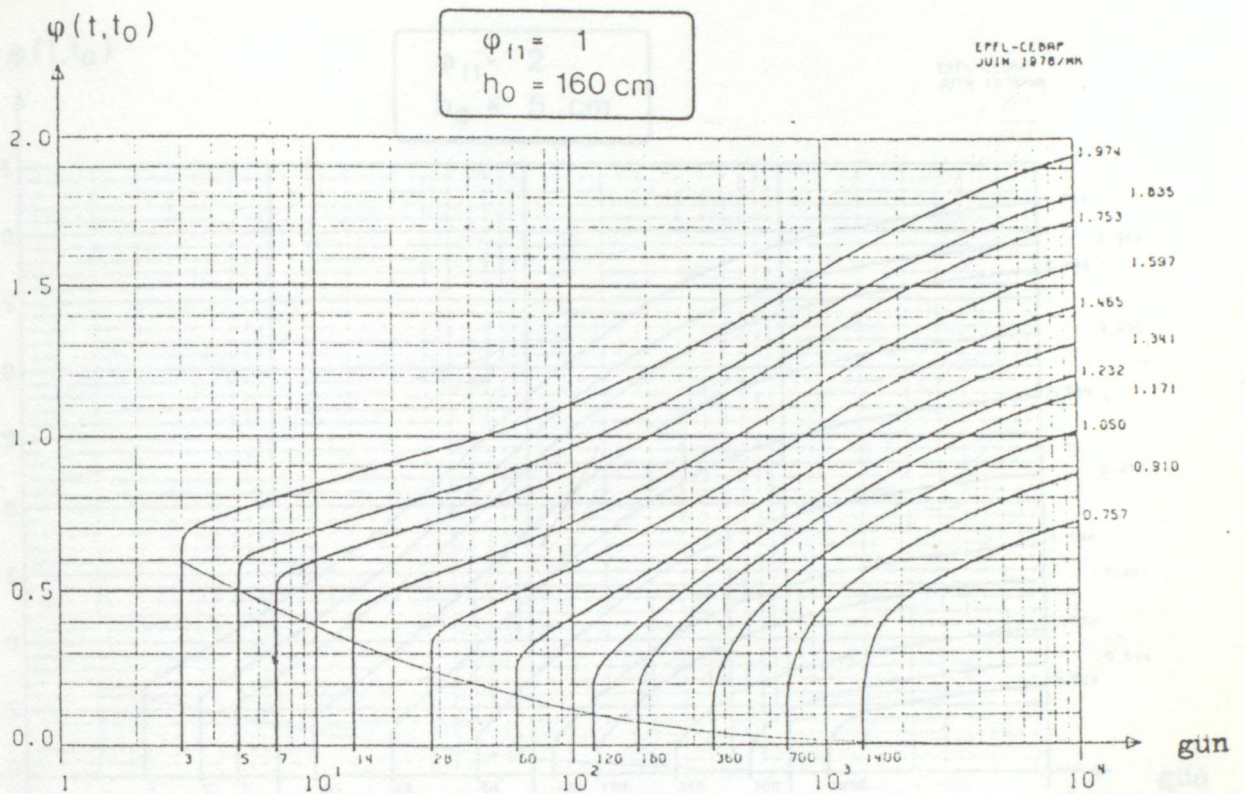
EK 4.1.2 (3)



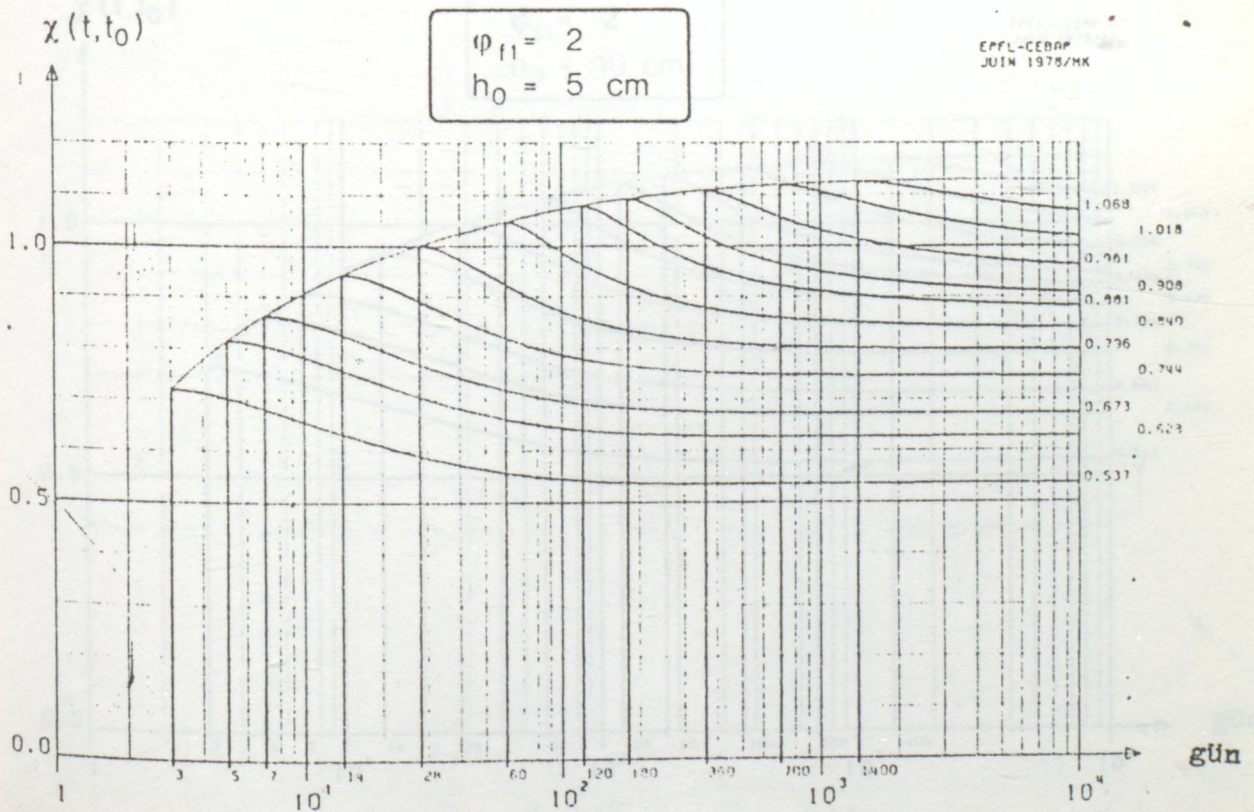
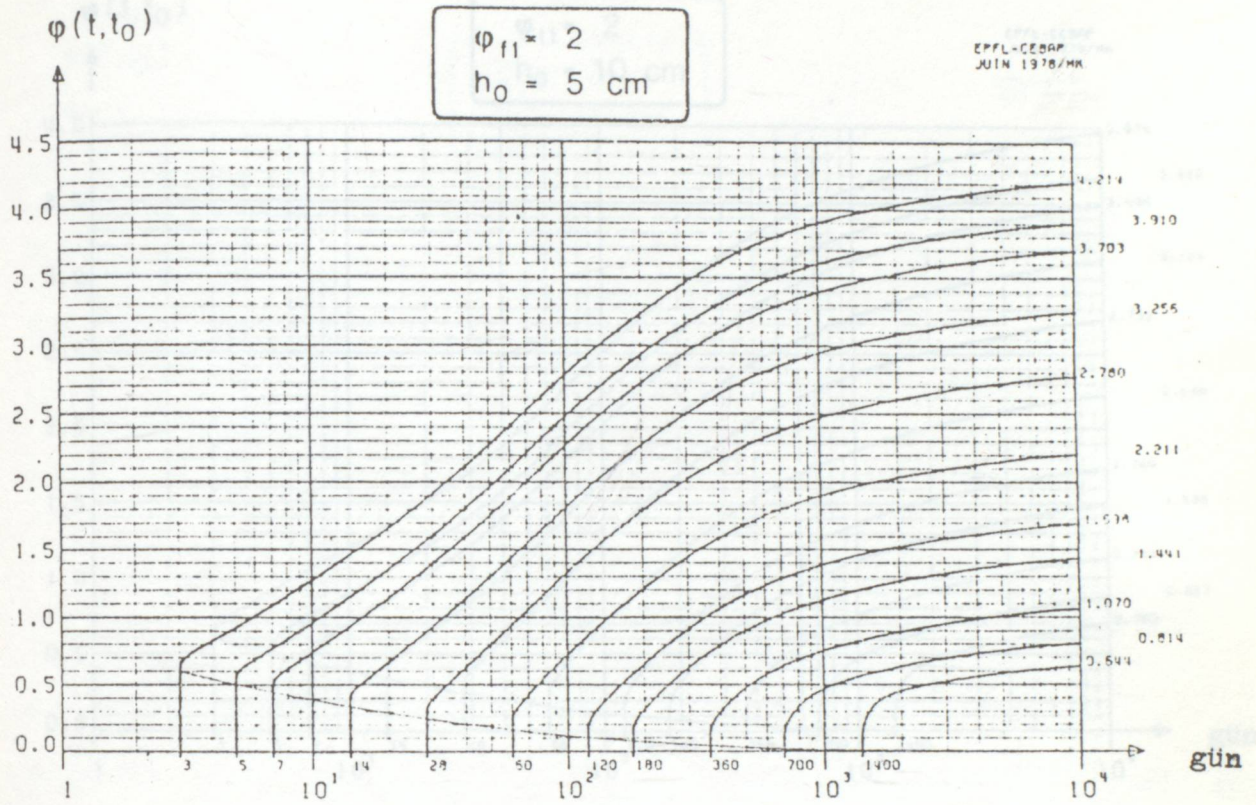


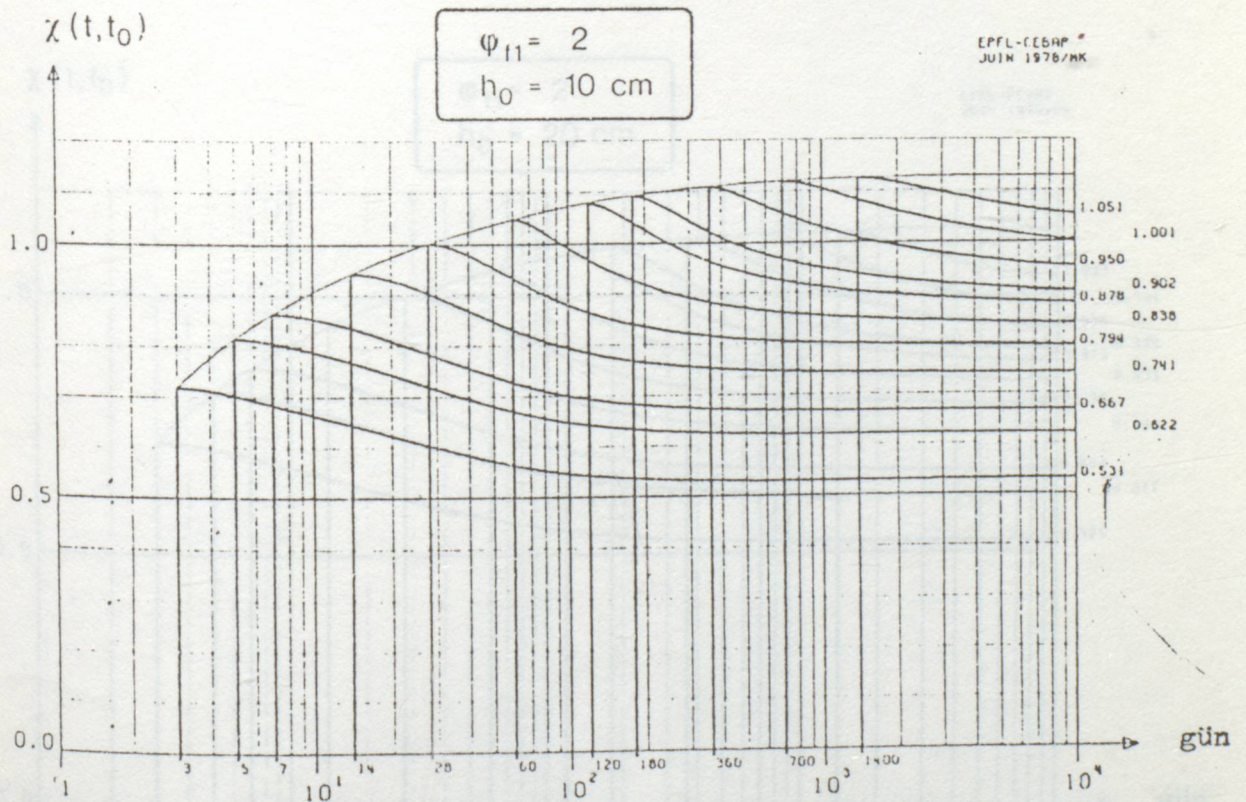
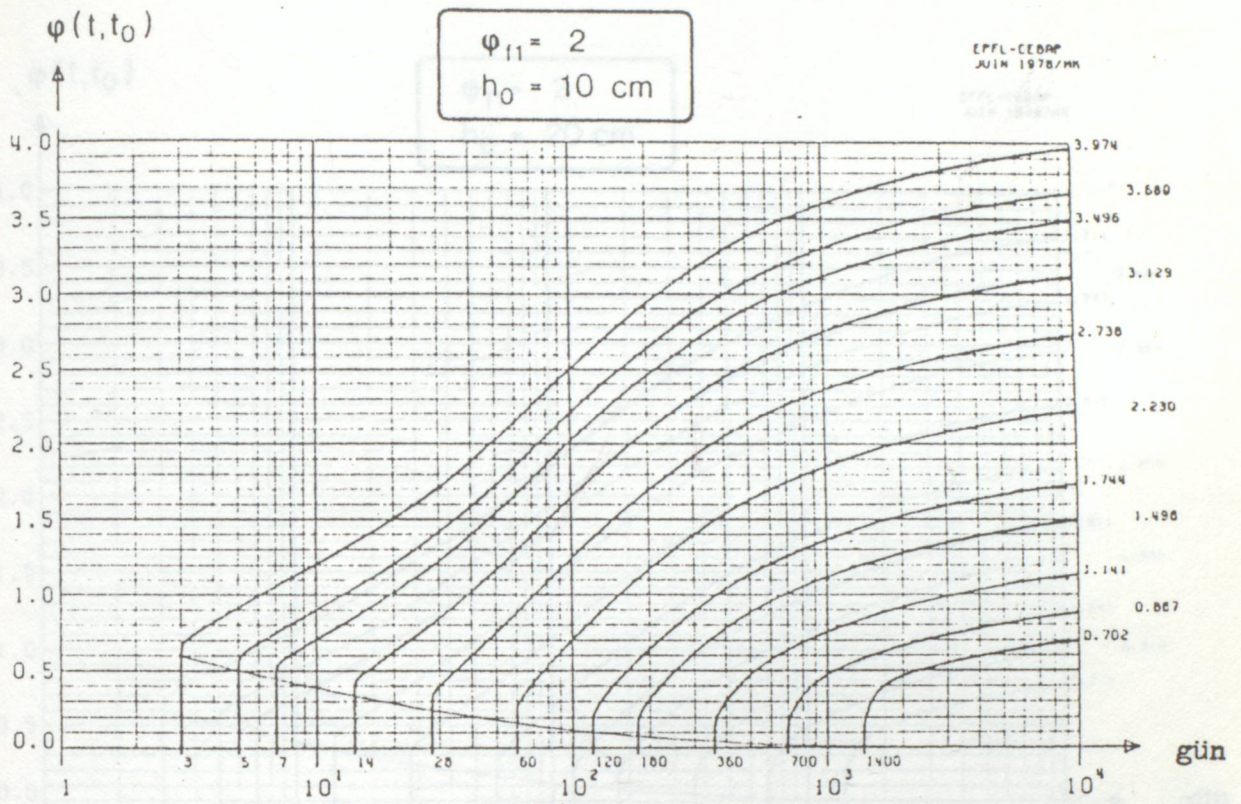
EK 4.1.2 (5)



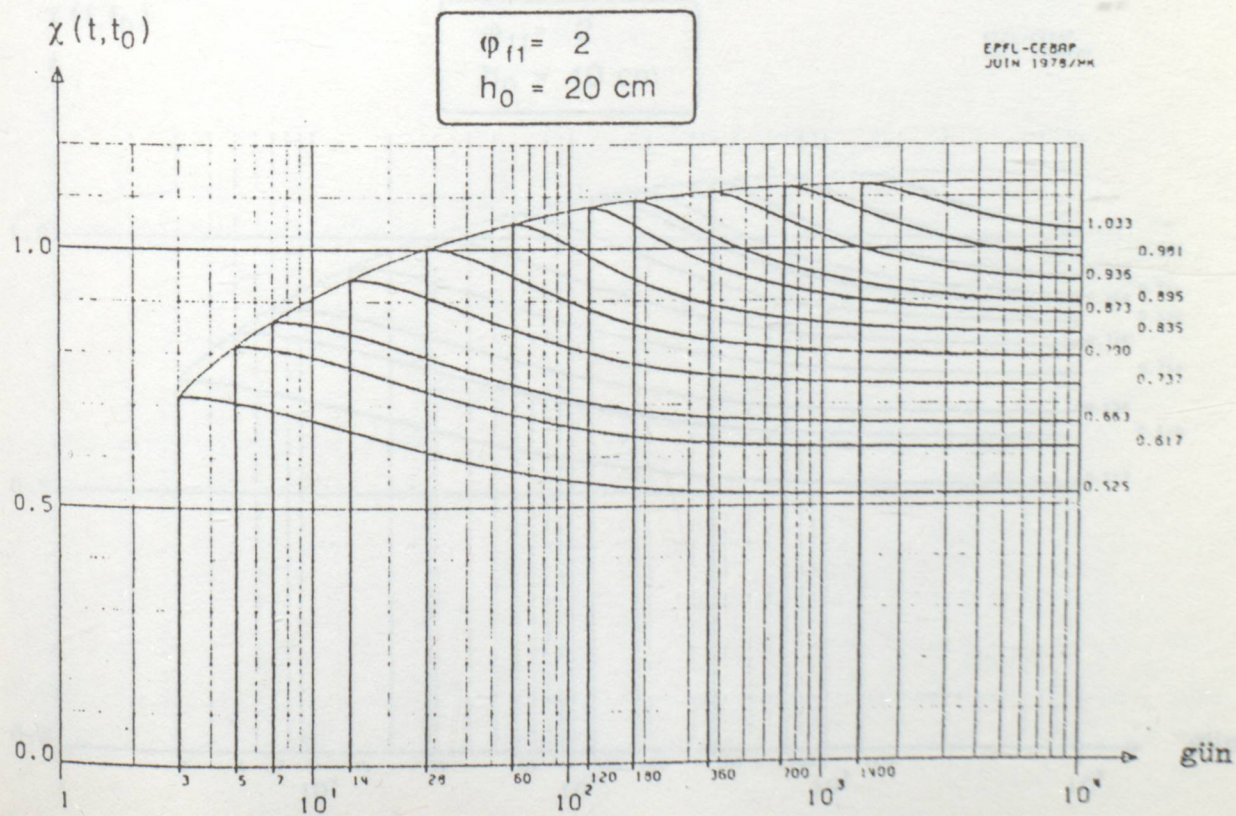
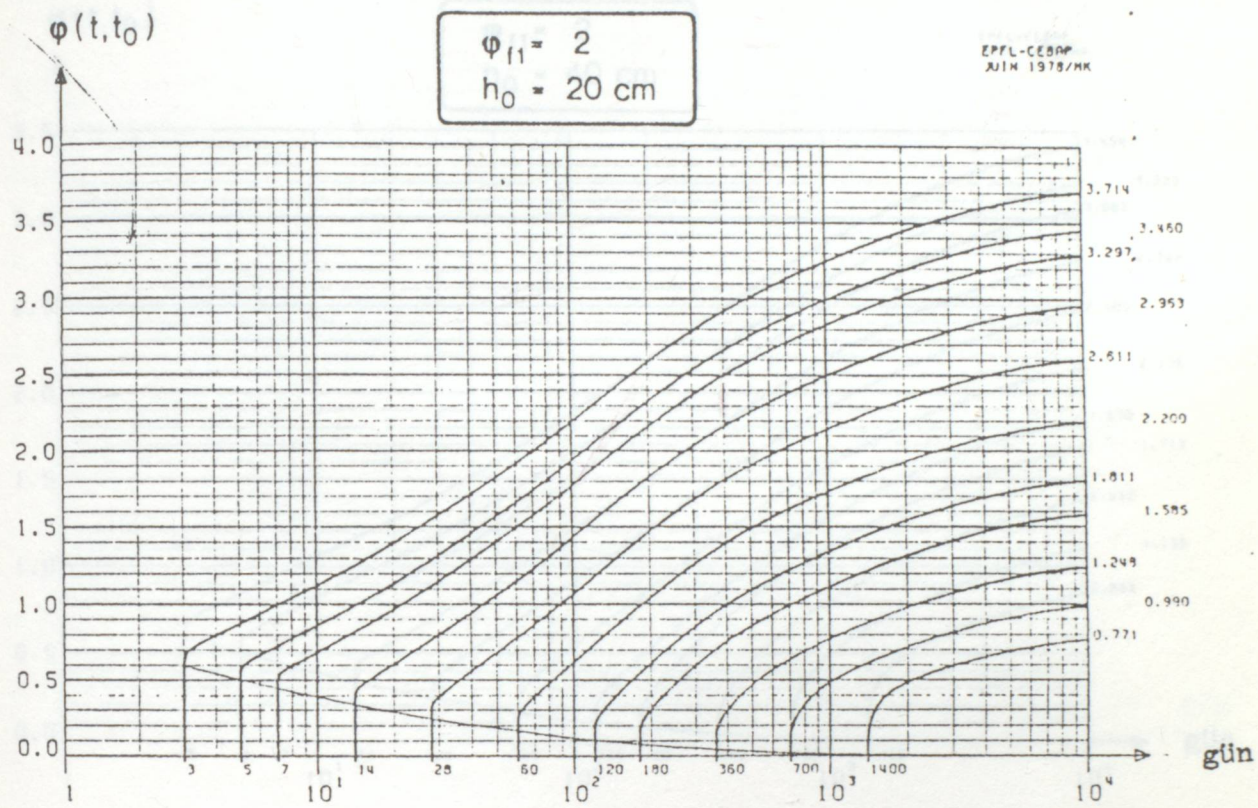


EK 4.1.2 (7)

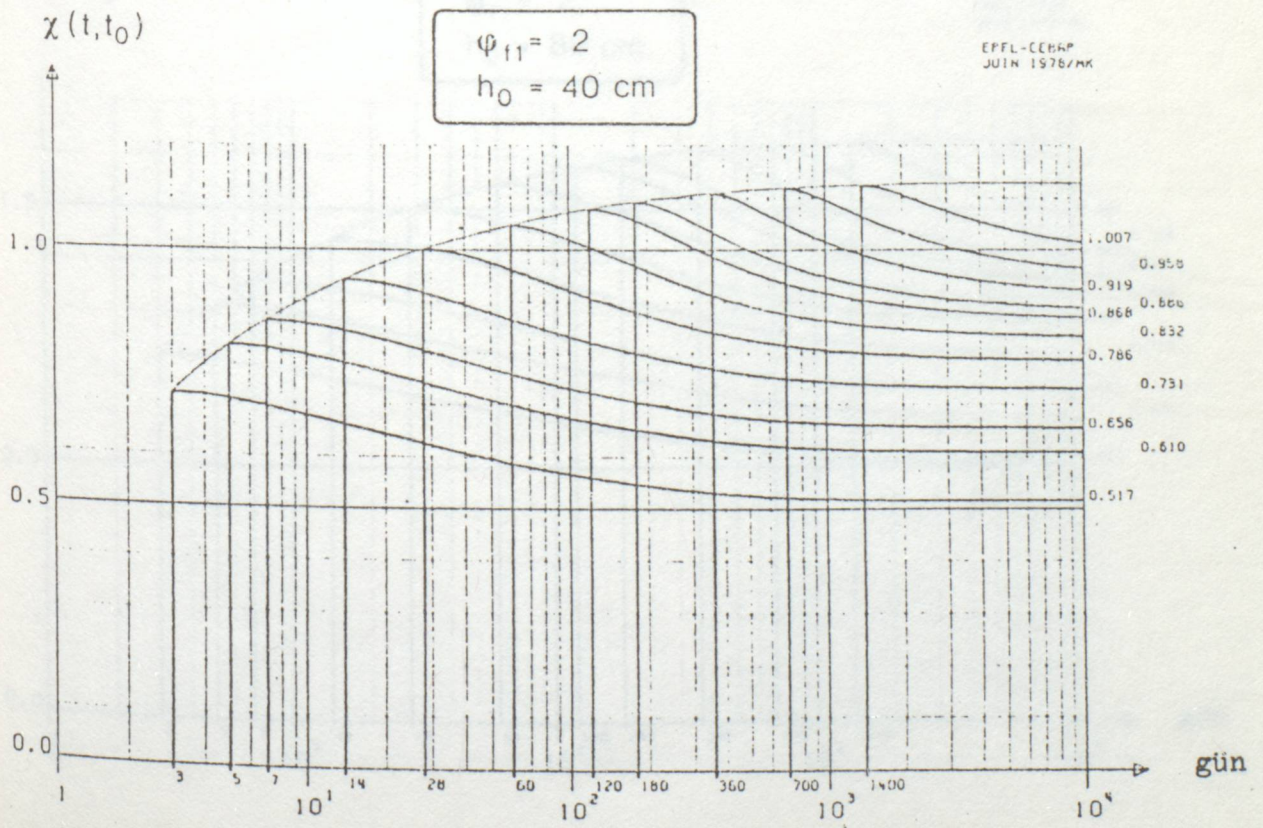
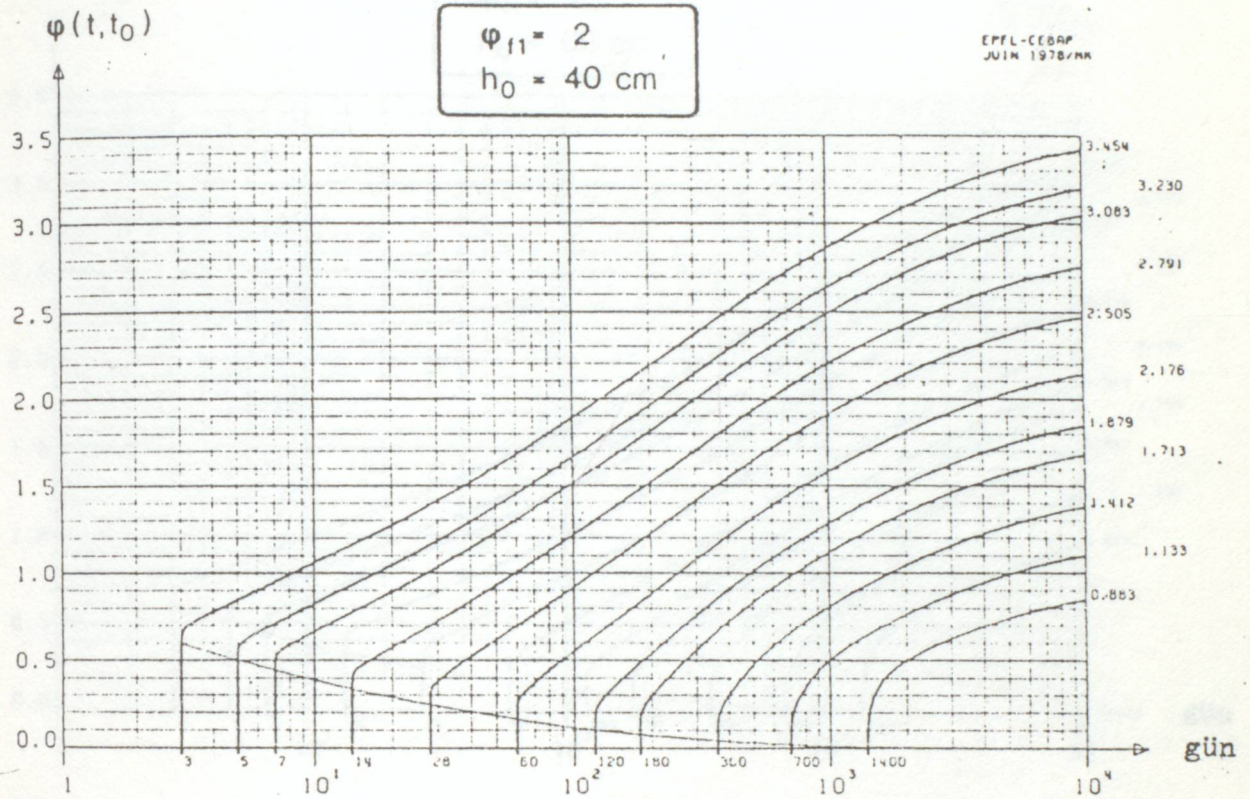


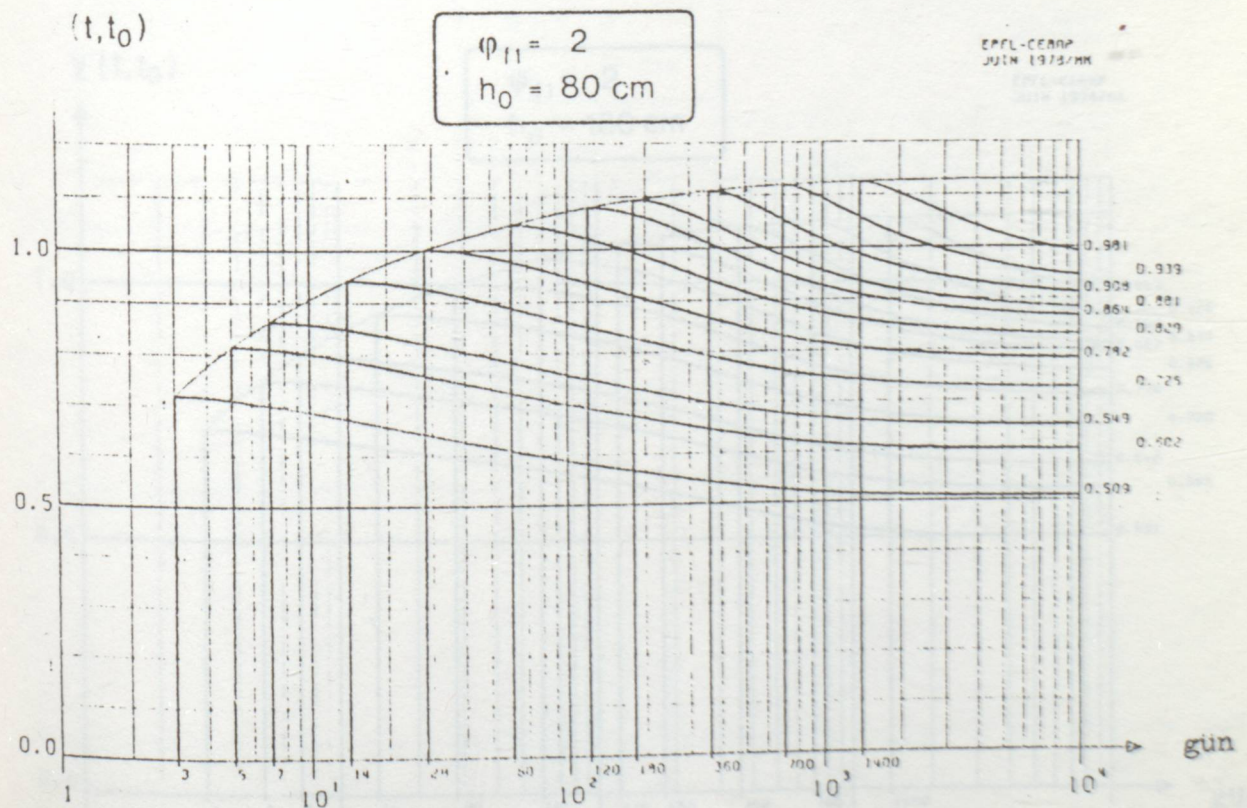
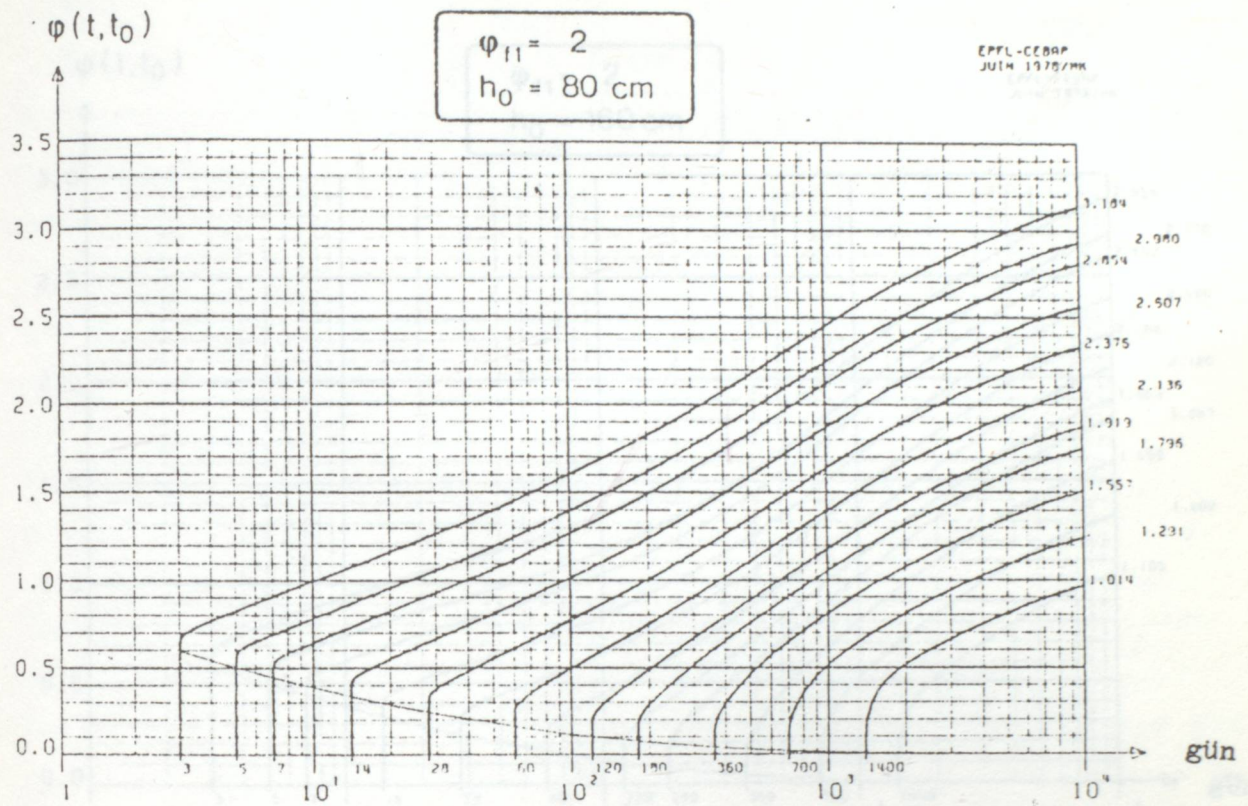


EK 4.1.2. (9)

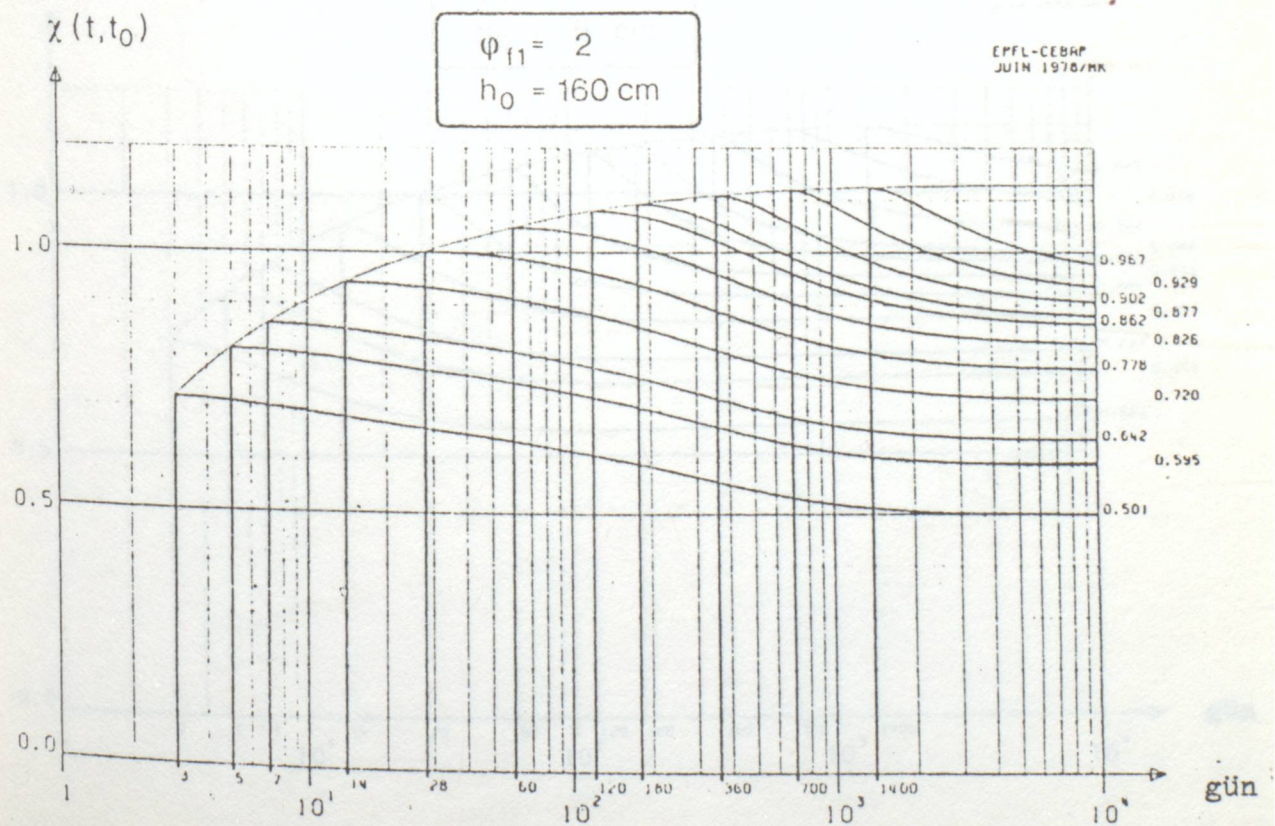
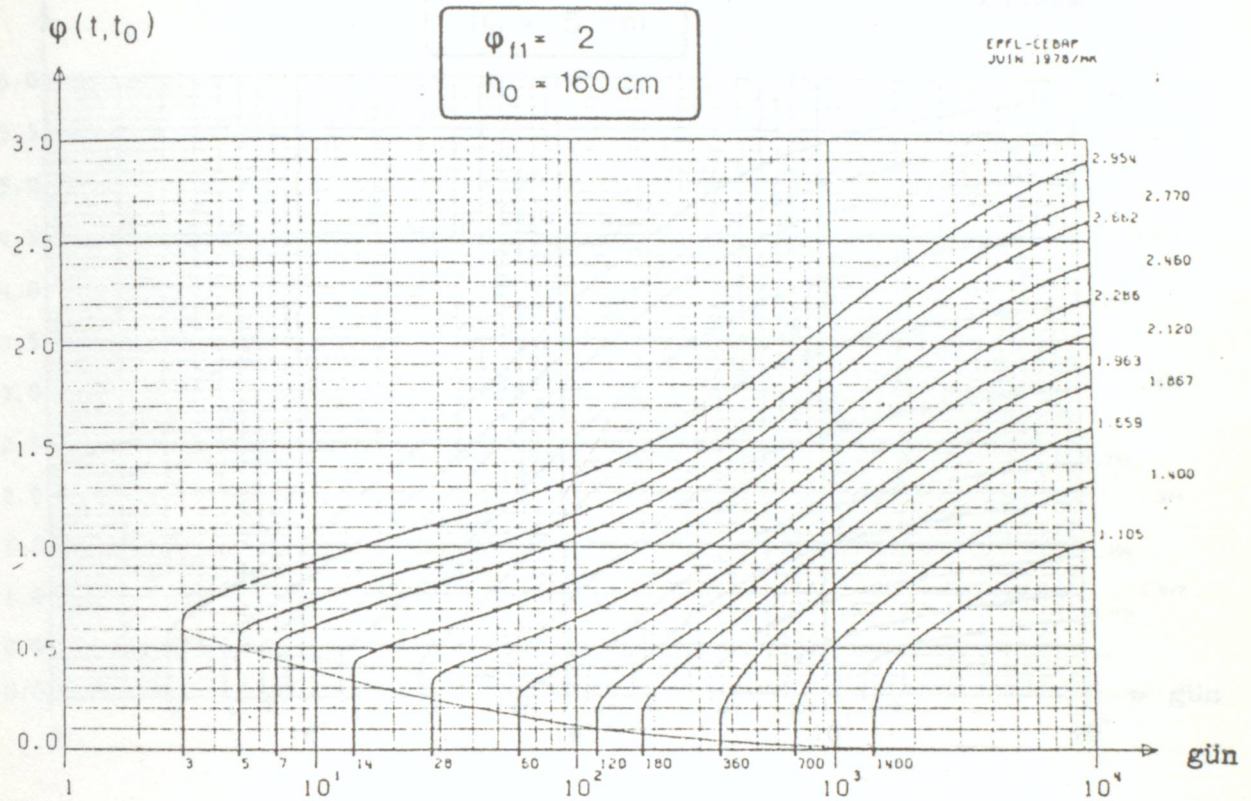


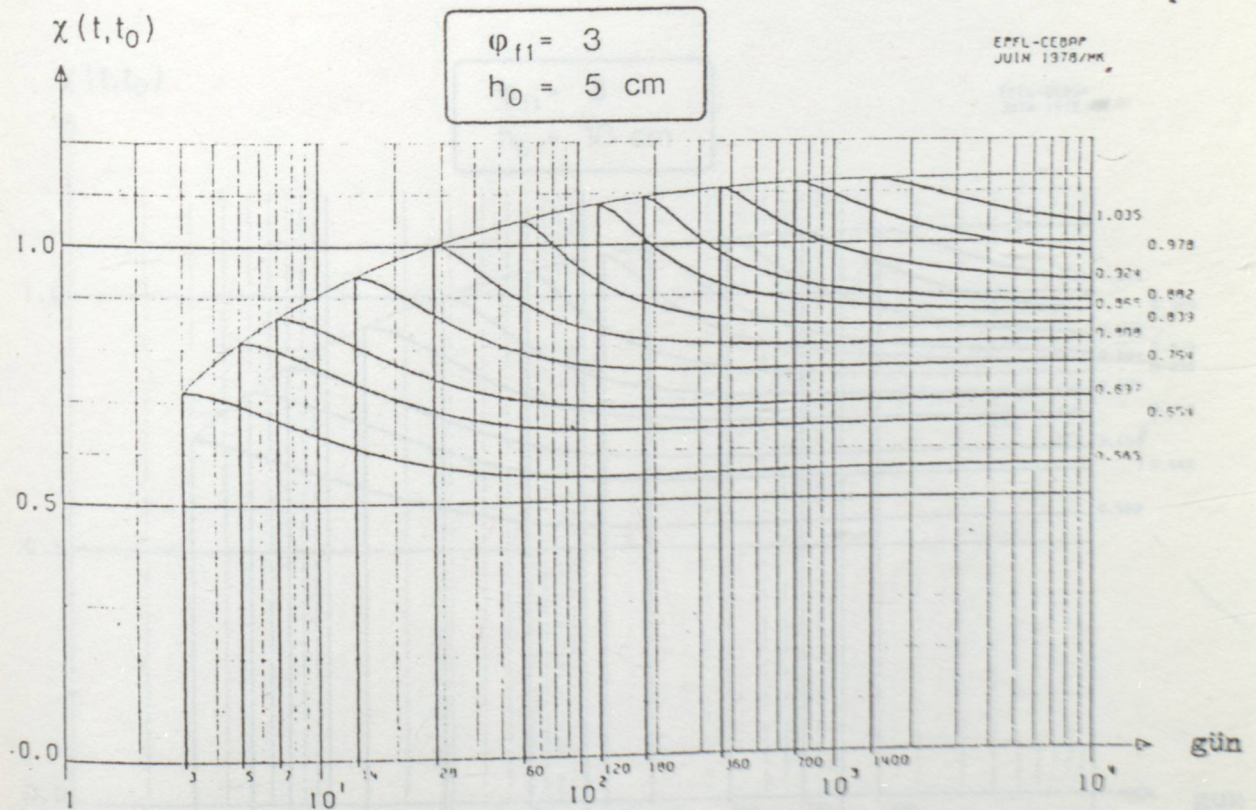
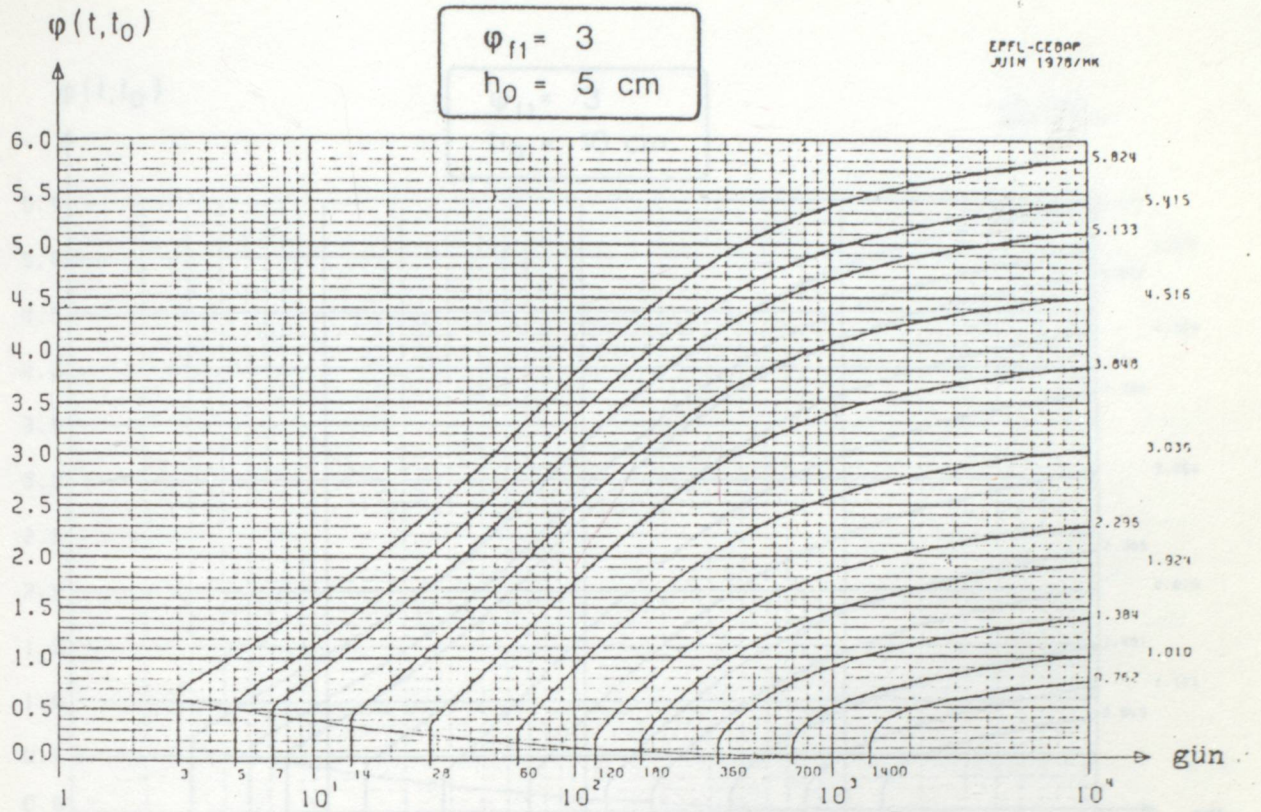
EK 4.1.2 (10)

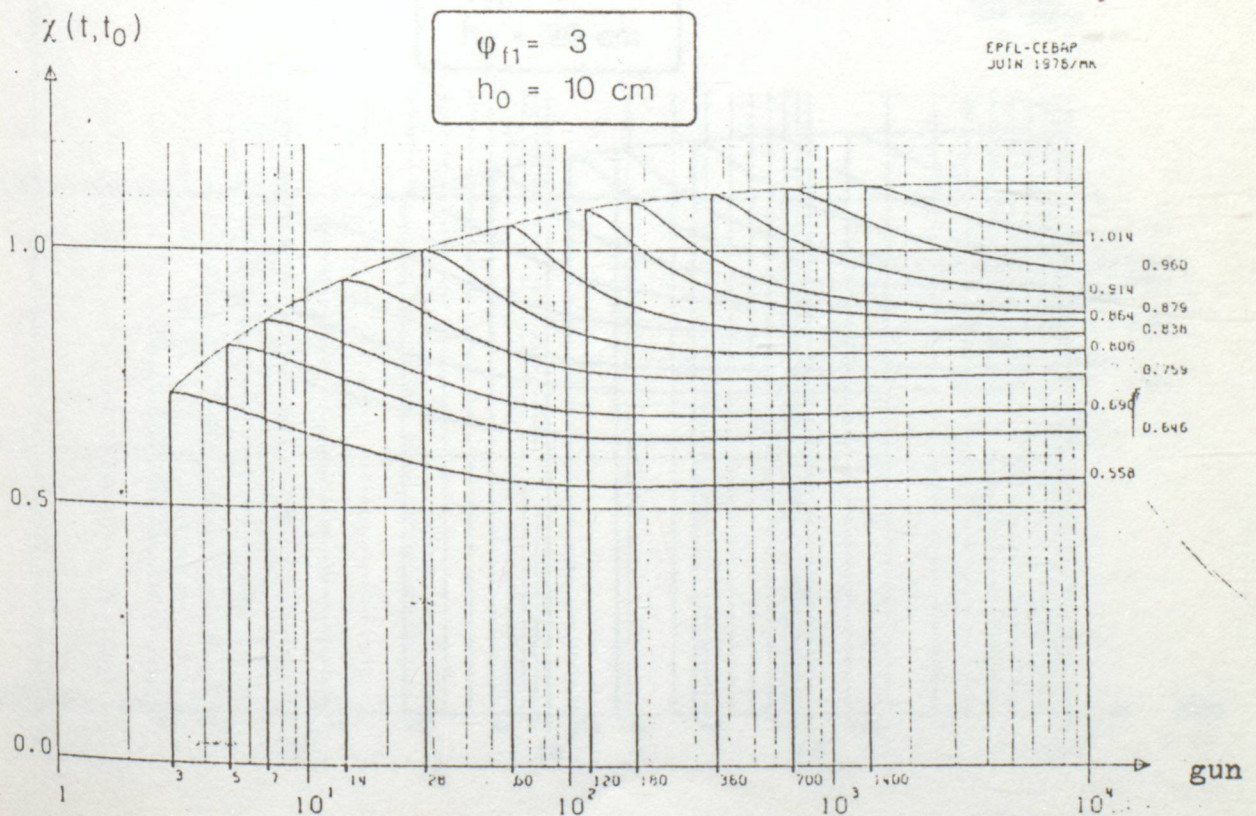
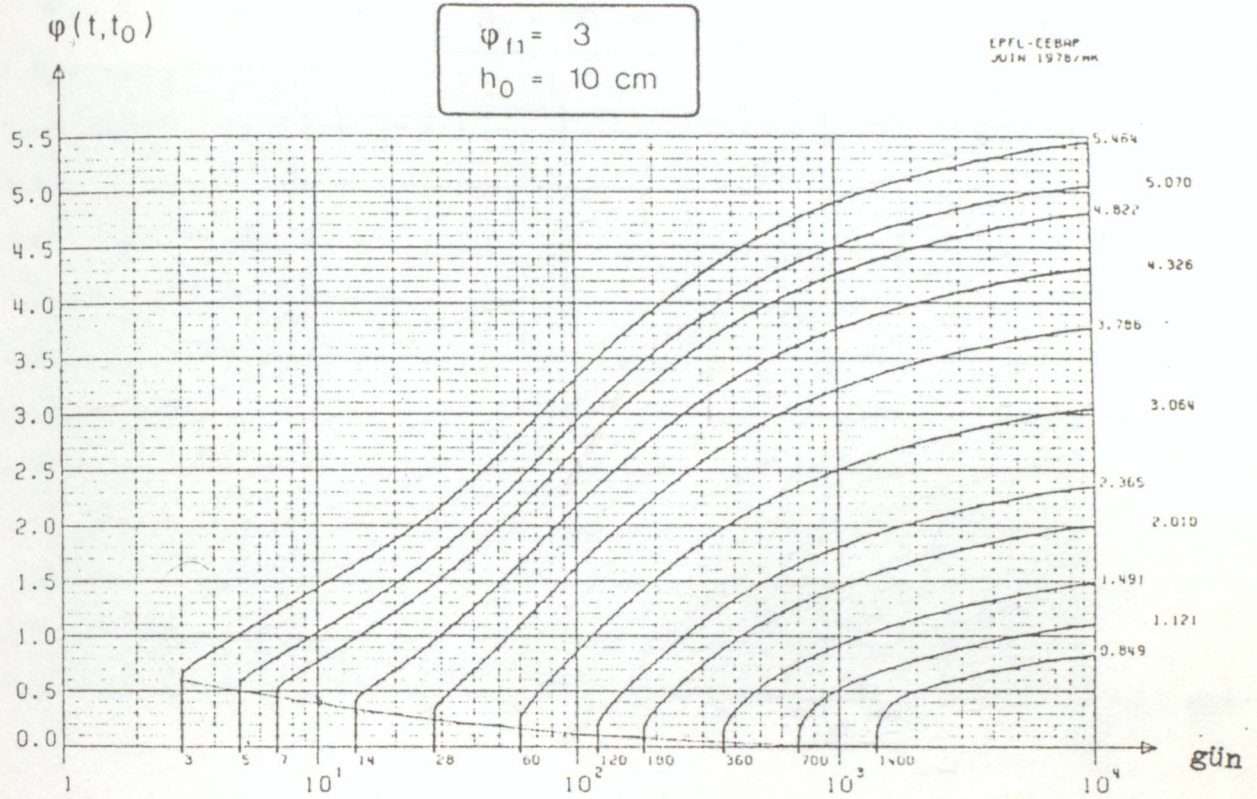


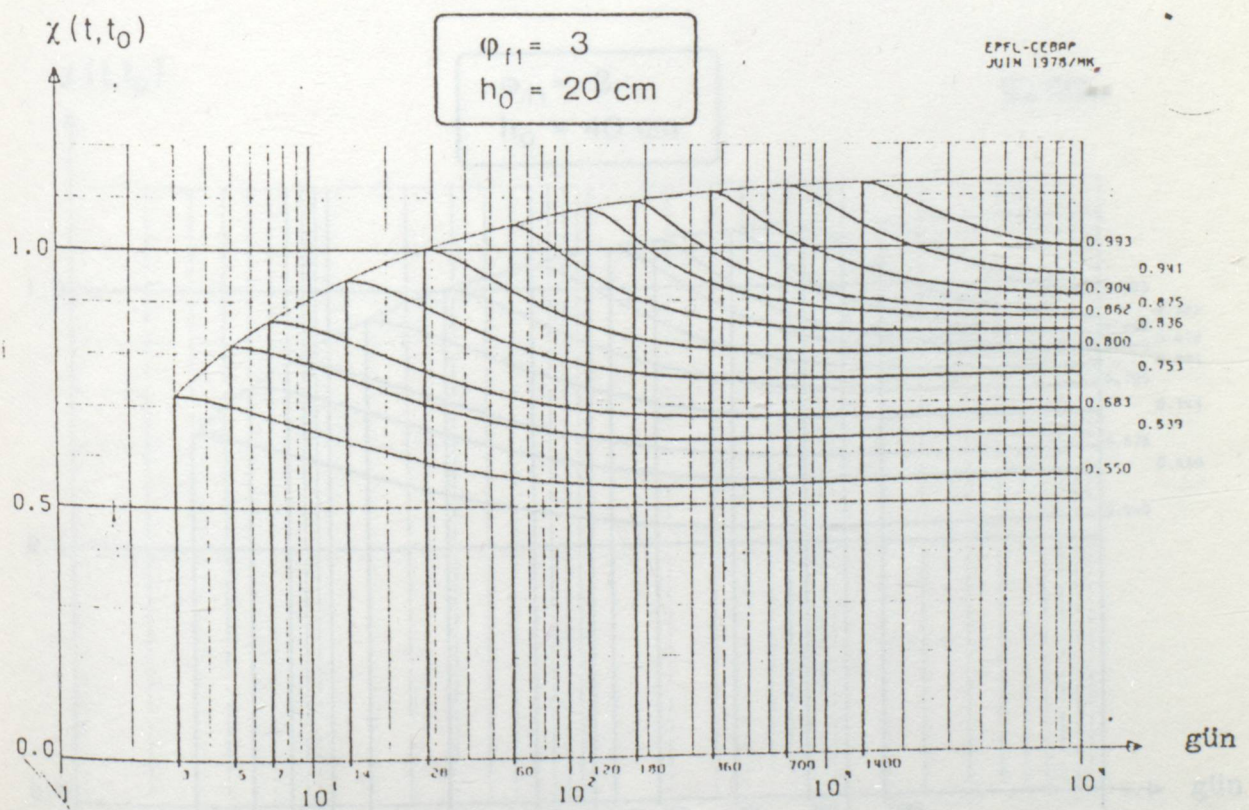
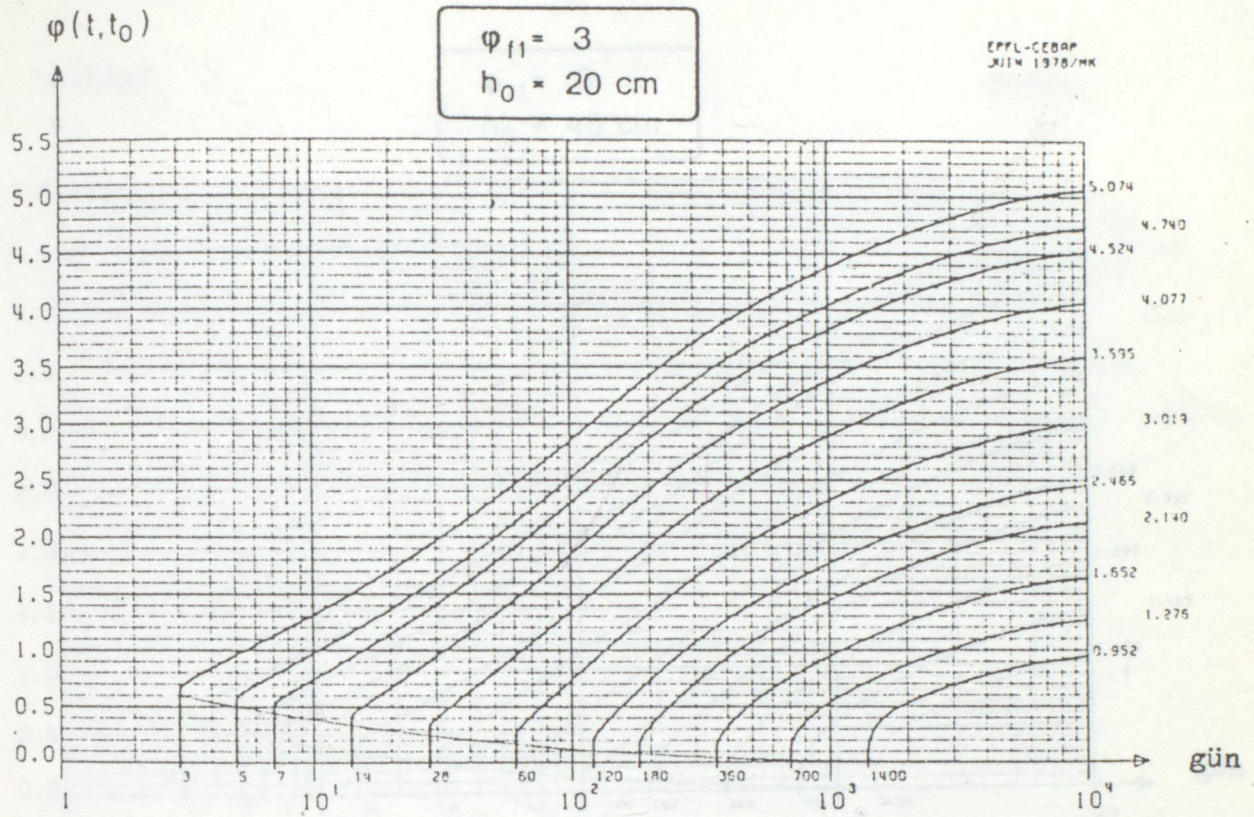


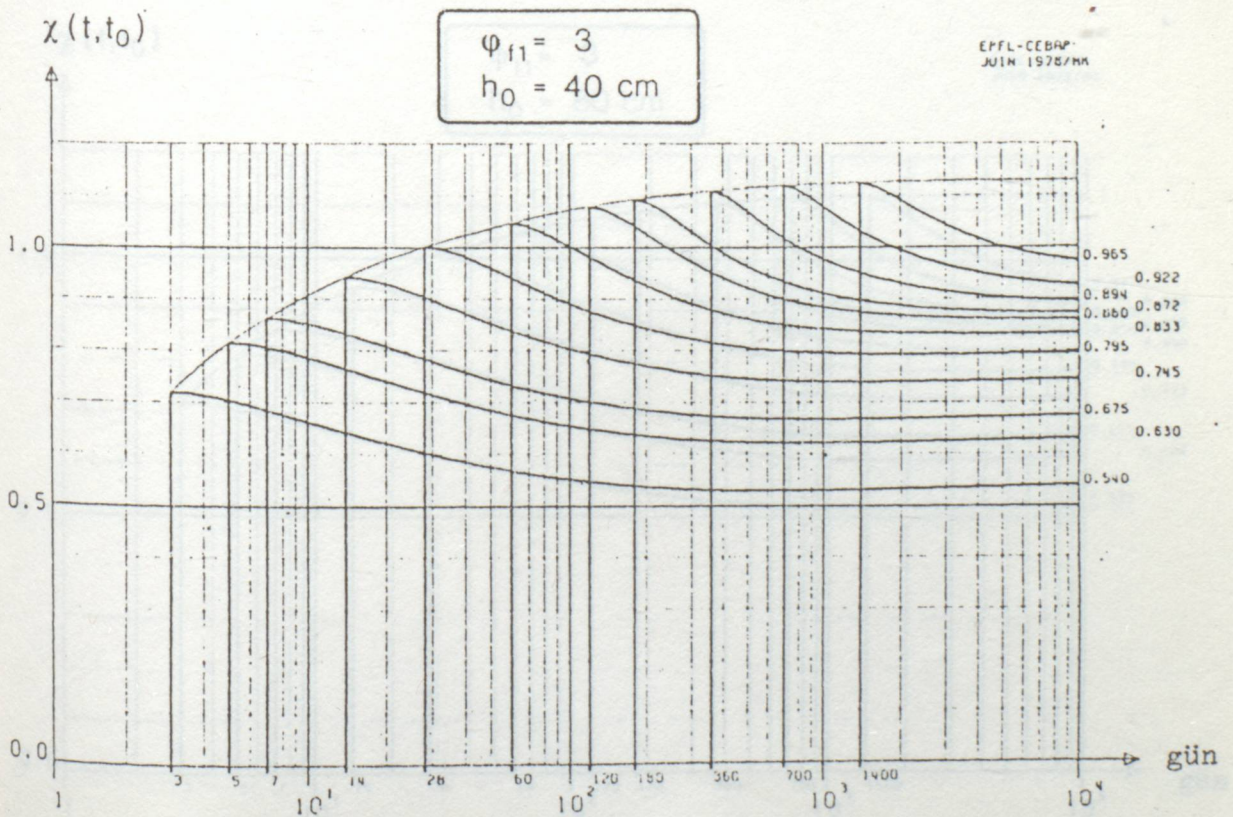
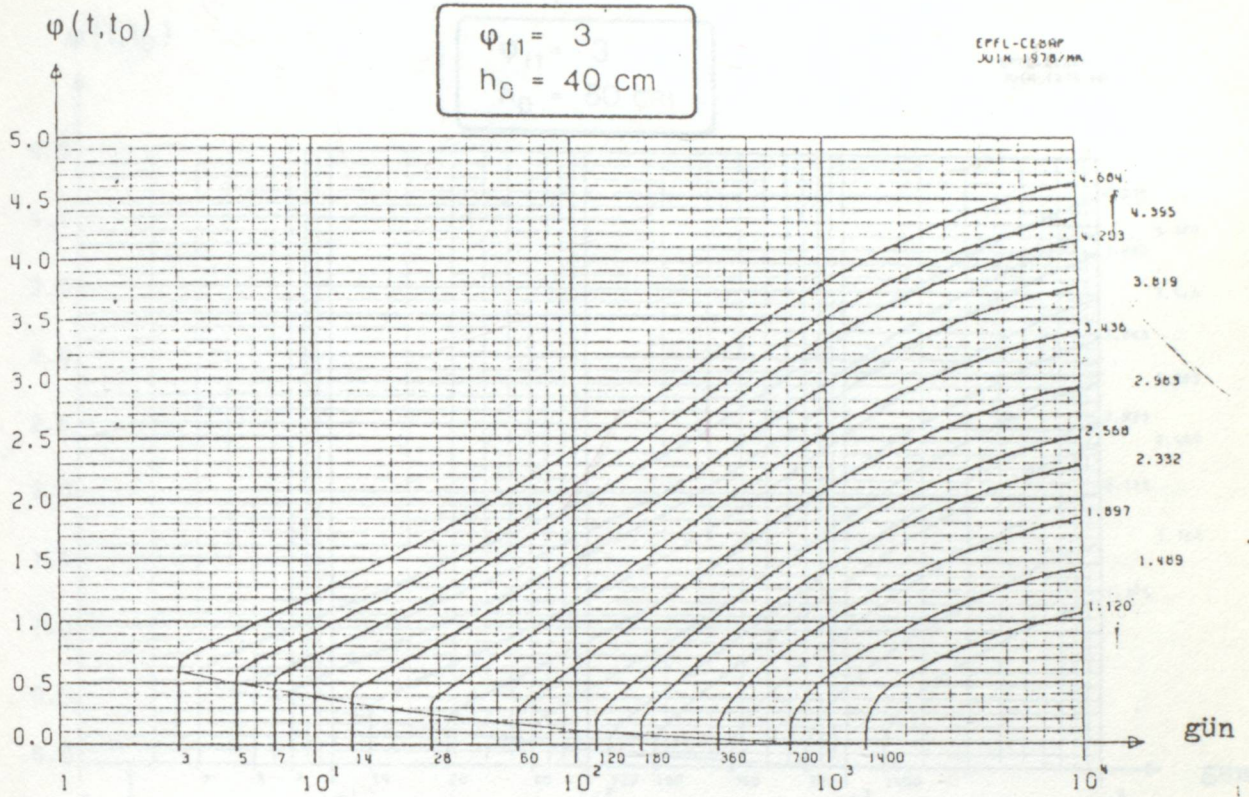
EK 4.1.2 (12)



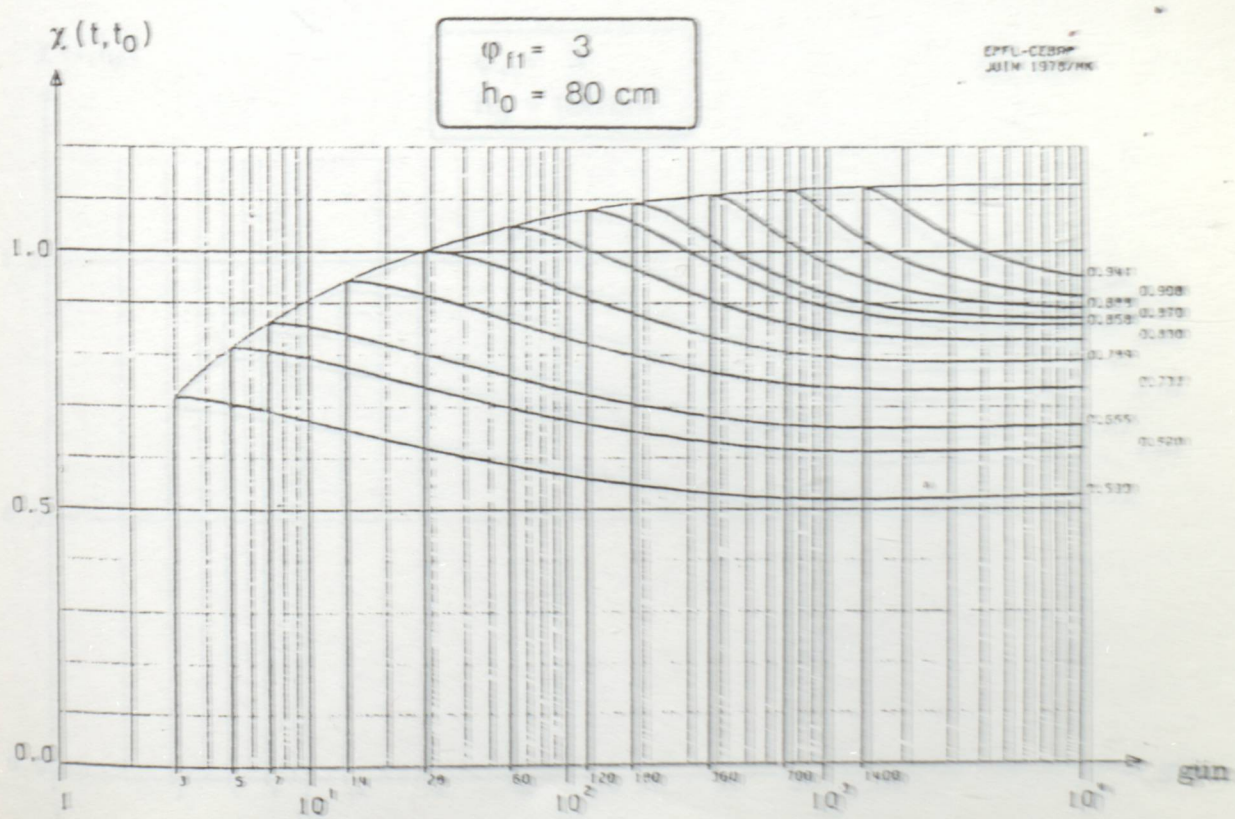
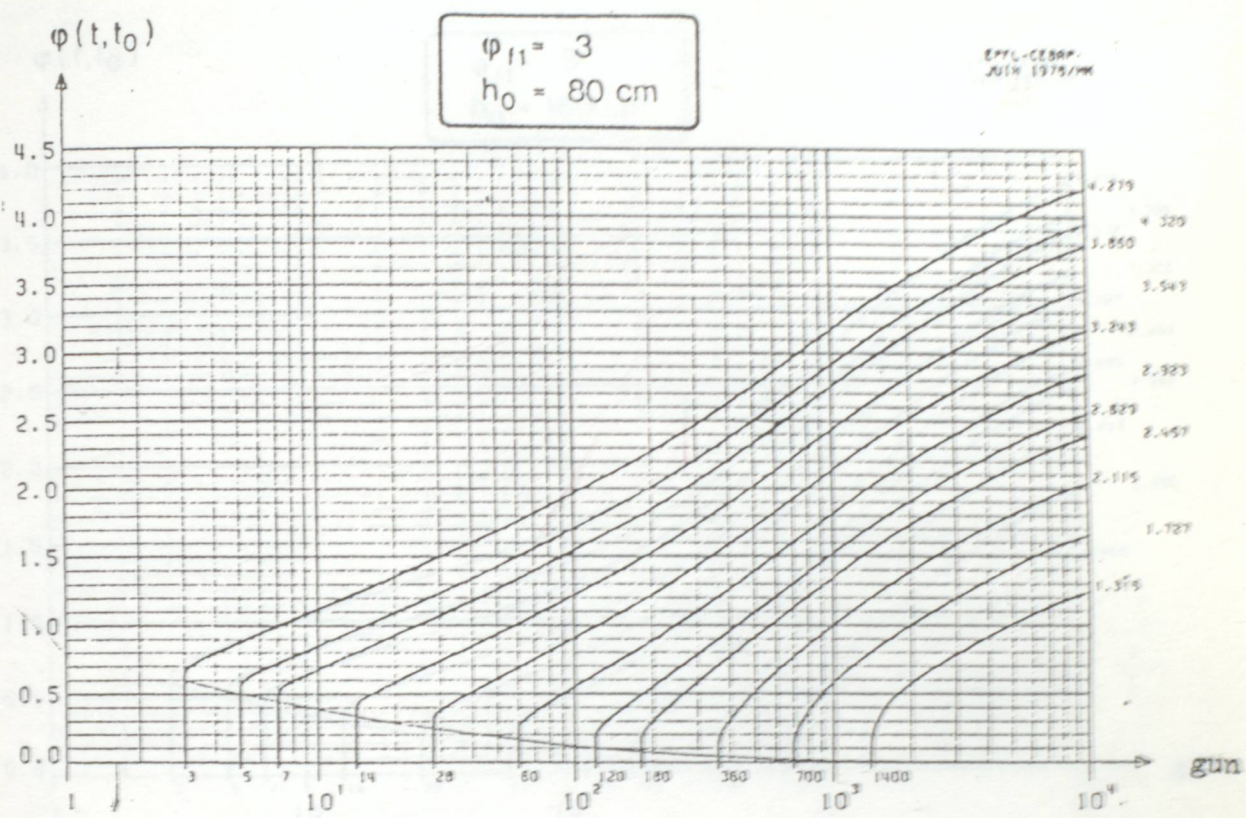








EK 4.1.2 (17)



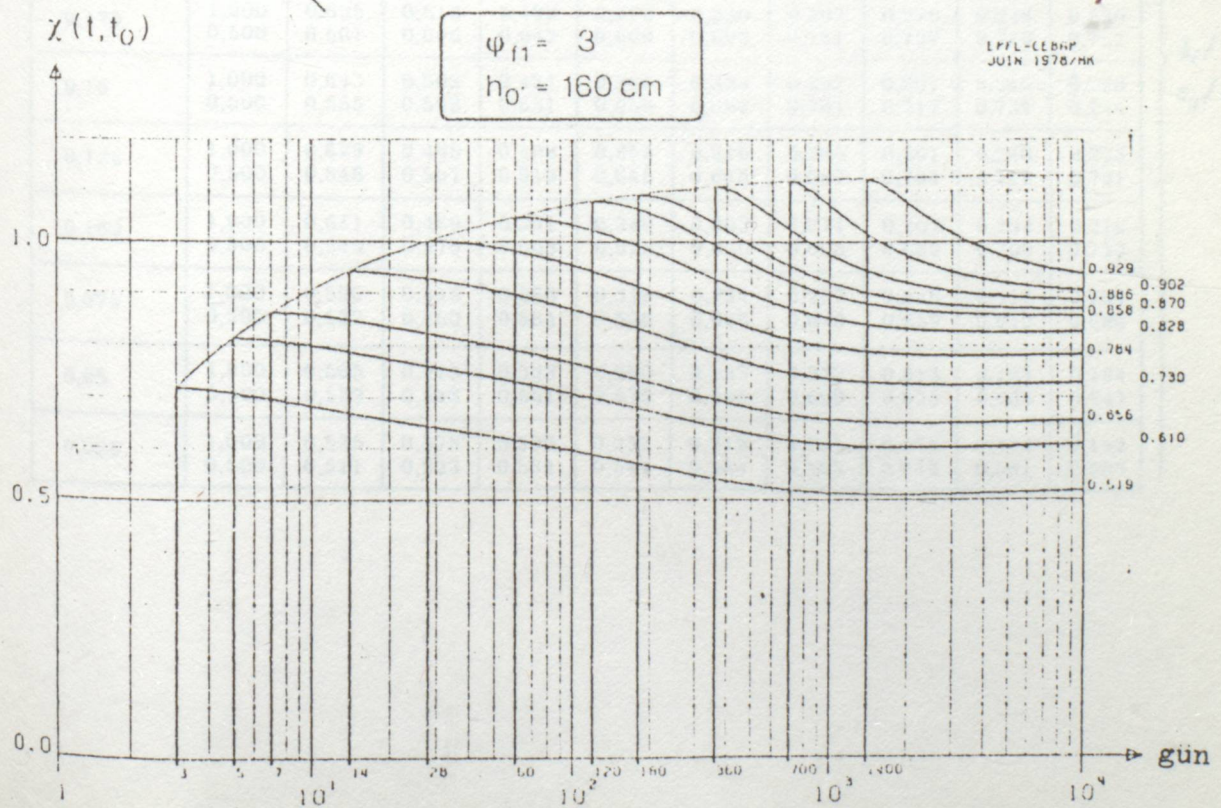
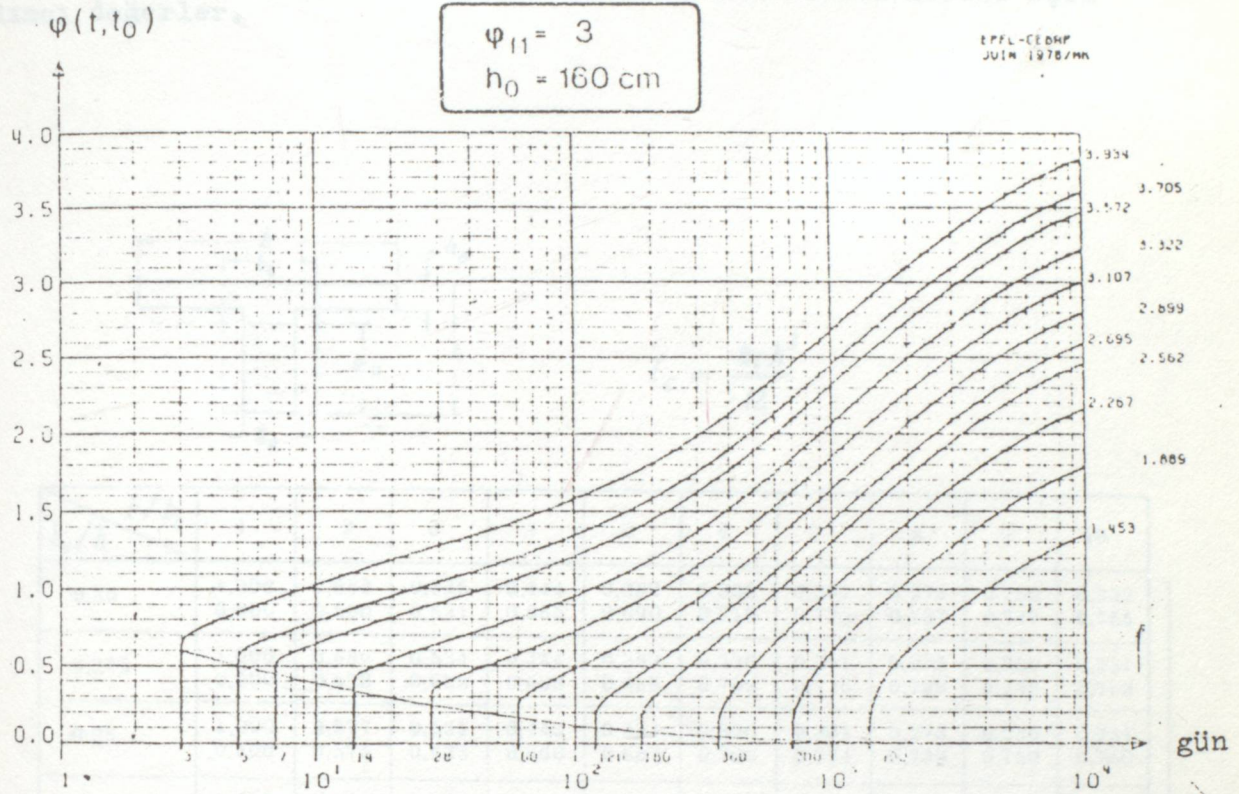
ELASTİK SÖNÜM (η)

BA 4.2.1

EK 4.1.2 (18)

1. Kuvvet karakteristikleri

2. Kuvvetin ağırlık merkezinin yarı ve ağırlık momentinin hesabı için verilmektedir.

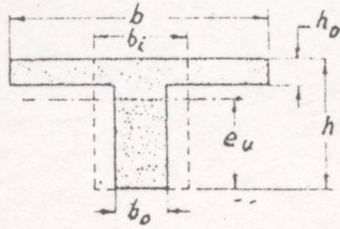


ELASTİK SEHİM (a_c)

Ek 4.2.I

T kesit karakteristikleri

T kesitte ağırlık merkezinin yeri ve atalet momentinin hesabı için yardımcı değerler.



$$I_c = \frac{b_i h^3}{12}$$

h_o/h \ b/b_o	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,30	1,000 0,500	0,683 0,580	0,535 0,631	0,444 0,665	0,382 0,690	0,336 0,710	0,301 0,725	0,273 0,737	0,250 0,747	0,232 0,755
0,275	1,000 0,500	0,680 0,578	0,534 0,628	0,444 0,663	0,382 0,689	0,336 0,709	0,301 0,726	0,273 0,739	0,250 0,749	0,231 0,758
0,25	1,000 0,500	0,677 0,575	0,531 0,625	0,443 0,660	0,381 0,687	0,336 0,708	0,301 0,724	0,273 0,739	0,250 0,750	0,231 0,760
0,225	1,000 0,500	0,671 0,571	0,527 0,620	0,440 0,656	0,380 0,683	0,335 0,705	0,301 0,722	0,273 0,737	0,250 0,749	0,231 0,759
0,20	1,000 0,500	0,664 0,566	0,521 0,614	0,436 0,650	0,377 0,677	0,333 0,700	0,299 0,718	0,272 0,733	0,249 0,746	0,231 0,757
0,175	1,000 0,500	0,655 0,561	0,513 0,606	0,429 0,642	0,372 0,669	0,330 0,692	0,297 0,711	0,270 0,727	0,248 0,740	0,230 0,752
0,15	1,000 0,500	0,643 0,555	0,502 0,598	0,421 0,631	0,365 0,659	0,324 0,682	0,292 0,701	0,267 0,717	0,245 0,731	0,228 0,744
0,125	1,000 0,500	0,629 0,548	0,488 0,587	0,408 0,619	0,355 0,645	0,316 0,668	0,285 0,687	0,261 0,704	0,240 0,718	0,223 0,731
0,100	1,000 0,500	0,611 0,540	0,469 0,575	0,391 0,603	0,340 0,628	0,303 0,650	0,274 0,668	0,257 0,686	0,232 0,700	0,216 0,713
0,075	1,000 0,500	0,590 0,532	0,445 0,560	0,368 0,584	0,319 0,606	0,284 0,626	0,257 0,643	0,236 0,659	0,218 0,673	0,204 0,686
0,05	1,000 0,500	0,565 0,522	0,415 0,543	0,338 0,561	0,290 0,579	0,257 0,595	0,232 0,609	0,213 0,623	0,197 0,635	0,184 0,647
0,025	1,000 0,500	0,535 0,511	0,378 0,523	0,300 0,534	0,252 0,544	0,219 0,554	0,191 0,563	0,178 0,672	0,164 0,581	0,152 0,589

b_i/b
 e_u/h

Kirişlerdeki elastik sehim (a_c)

EK 4.2.2

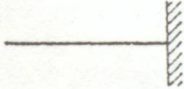
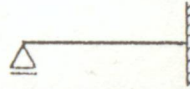
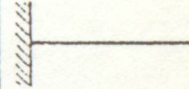
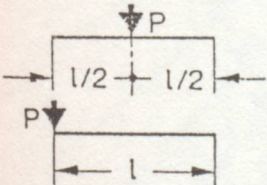
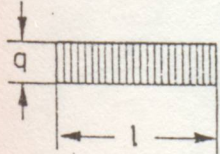
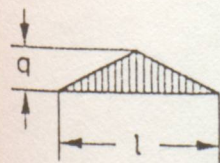
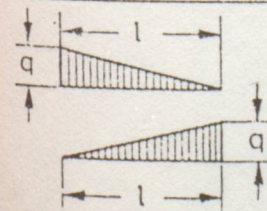
tekil, uniform, ve üçgen yükle yüklü kiristeki sehimin hesabı için gerekli olan η katsayısını veren tablo :

tekil yük için
sehim

$$a_c = \eta \cdot \frac{P \cdot l^3}{E_c I_c}$$

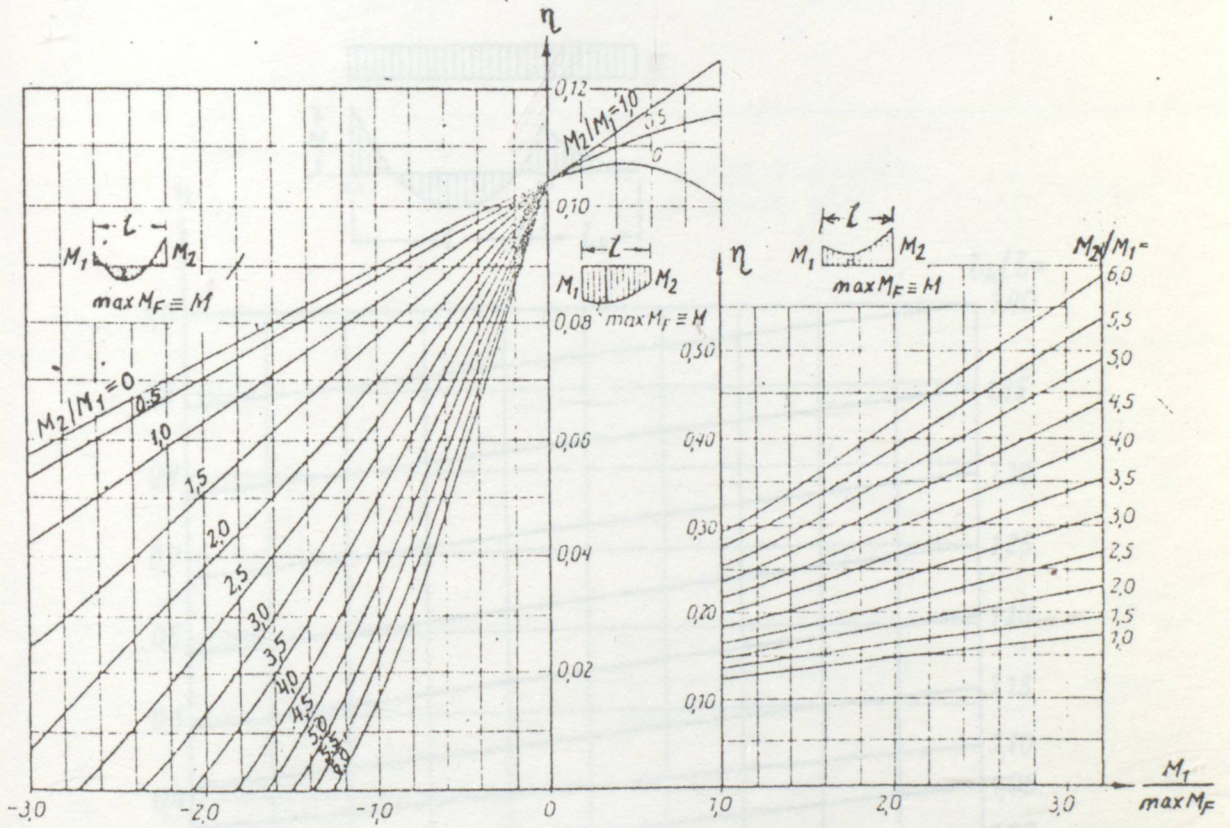
uniform, ve üçgen
yük için sehim

$$a_c = \eta \cdot \frac{g \cdot l^4}{E_c I_c}$$

STATİK SİSTEM YÜKLEME				
	$\sim$ $\frac{1}{3}$	$\frac{1}{48}$ $\sim$	$\frac{3}{322}$ $\sim$	$\frac{1}{192}$ $\sim$
	$\frac{1}{8}$	$\frac{5}{384}$	$\frac{1}{184.6}$	$\frac{1}{384}$
	$\frac{11}{192}$	$\frac{1}{120}$	$\frac{1}{274}$	$\frac{7}{3840}$
	$\frac{11}{120}$ $\frac{1}{30}$	$\frac{3}{460}$ $\frac{3}{460}$	$\frac{1}{328.1}$ $\frac{1}{419.3}$	$\frac{1}{764}$ $\frac{1}{764}$

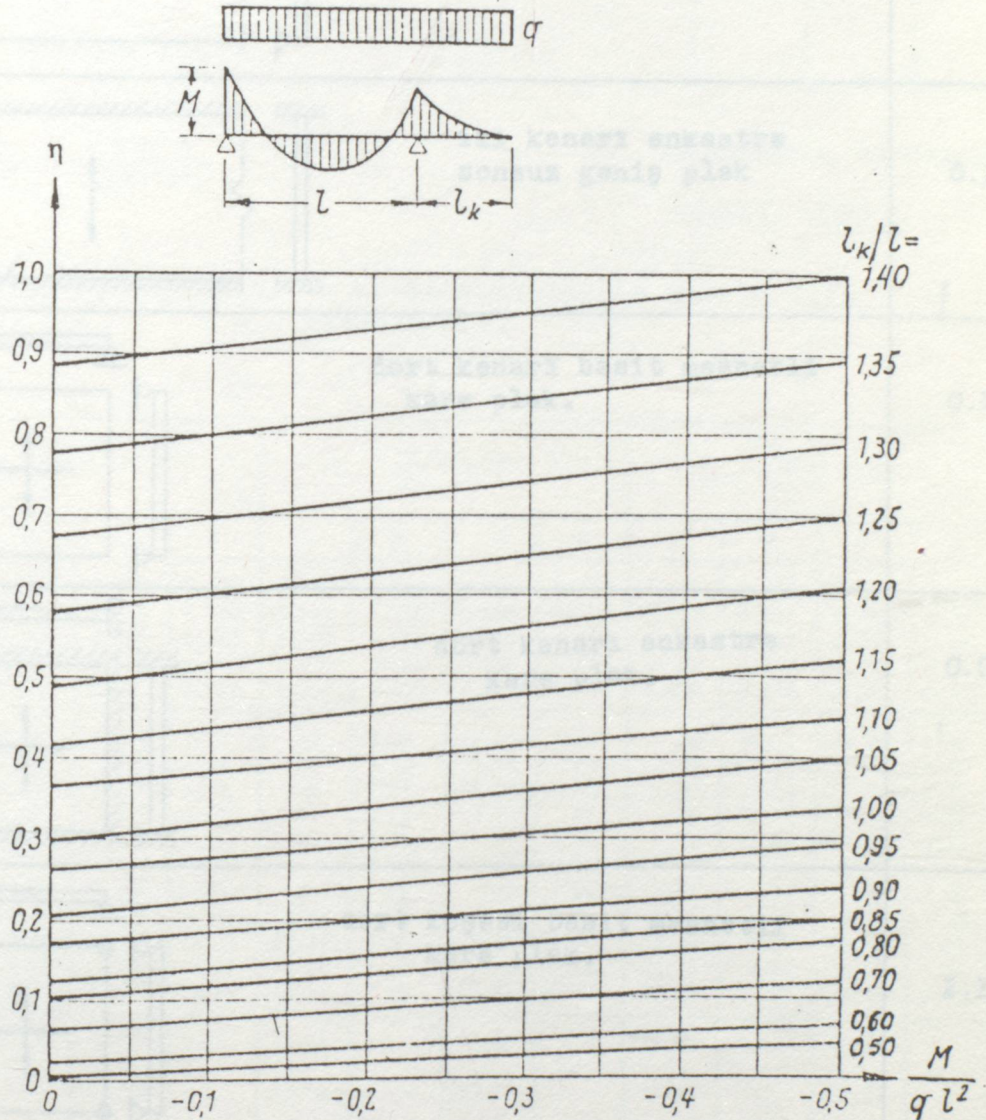
Uniform yüklerle yüklü sürekli kirişin ara açıklıklarındaki sehımlerin hesabı için gerekli olan η katsayısını veren diağram.

$$\text{sehim} : a_c = \eta \cdot \frac{M \cdot l^2}{E_c I_c}$$



Bir ucu konsol olan uniform yüklü sürekli kirişte sehimlerin hesabı için gerekli olan η katsayısı değerlerini veren diagram.

$$\text{sehim} : a_c = \eta \cdot \frac{q \cdot l^4}{E_c I_c}$$



PLAKLARDA ELASTİK SEHİMLER VE MOMENTLER

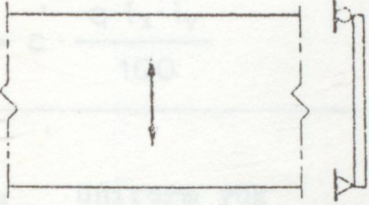
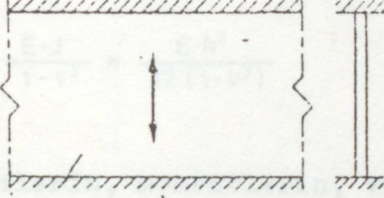
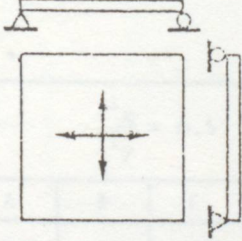
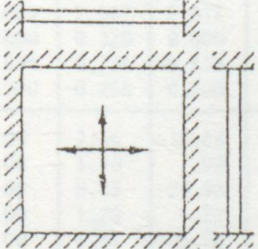
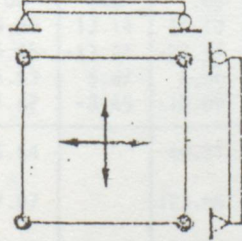
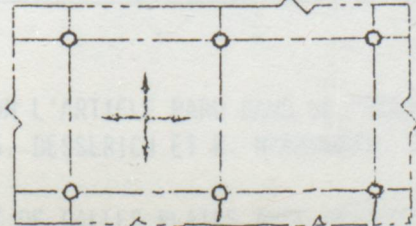
EK 4.2.3

I)-BASİT PLAKLARIN SEHİMİ

$$a = c \cdot \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{B}$$

q = Uniform yük

$B = \frac{EJ}{1-\nu^2}$ plağın eğilme rijitliği

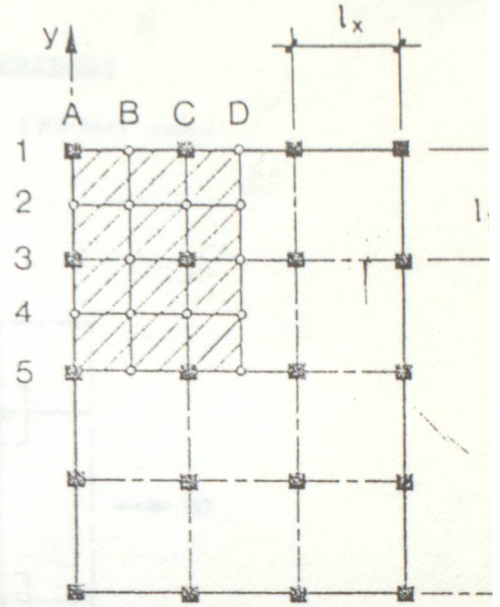
durum no	MESNETLENME SINIR ŞARTLARI	deformasyon katsayısı (c)
1	 iki kenarı basit mesnetli sonsuz geniş plak	1.00
2	 iki kenarı ankastre sonsuz geniş plak	0.200
3	 dört kenarı basit mesnetli kare plak.	0.312
4	 dört kenarı ankastre kare plak.	0.098
5	 dört köşesi basit mesnetli kare plak.	2.250
6	 kolonlara oturan iki yönde sonsuz geniş döşeme (kare paneller)	0.446

II. (3 x 4) PANELLİ DÖŞEME :

$a = c \cdot \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot (l_x \cdot l_y)^2}{B}$
$m = c \cdot \frac{q \cdot l_x \cdot l_y}{100}$
$R = c \cdot \frac{q \cdot l_x \cdot l_y}{100}$

q = uniform yük

$$B = \frac{E \cdot J}{1 - \nu^2} = \frac{E \cdot h^3}{12 (1 - \nu^2)}$$



kolonların boyutları :

$$0.05 l_x \cdot 0.05 l_y$$

senimlerin, momentlerin, ve kesme kuvvetlerin hesabı için
(c) katsayıları.

	$\frac{l_x}{l_y} = 0.5$				$\frac{l_x}{l_y} = 1.0$				$\frac{l_x}{l_y} = 2.0$				
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	
1	0.000	0.211	0.000	0.091	0.000	0.639	0.000	0.177	0.000	2.233	0.000	0.280	senim a
2	2.069	2.067	2.016	1.990	0.617	1.018	0.662	0.611	0.210	2.201	0.303	0.346	
3	0.000	0.320	0.000	0.129	0.000	0.700	0.000	0.212	0.000	2.153	0.000	0.295	
4	0.694	0.736	0.678	0.647	0.270	0.704	0.289	0.236	0.112	2.118	0.150	0.253	
5	0.000	0.258	0.000	0.103	0.000	0.630	0.000	0.147	0.000	2.112	0.000	0.237	
1	.00	7.16	-15.68	4.41	.00	8.70	-19.15	4.16	.00	14.41	-24.95	4.62	moment m_x ($\nu = 0$)
2	.00	1.13	-.09	-.49	.00	5.33	-3.19	.28	.00	13.72	-12.38	3.77	
3	.00	8.65	-24.98	5.49	.00	9.51	-25.38	4.80	.00	14.53	-27.57	4.75	
4	.00	1.20	-.22	-.64	.00	5.76	-3.70	.52	.00	14.18	-13.37	4.25	
5	.00	6.51	-15.28	3.91	.00	8.13	-17.93	3.46	.00	14.27	-23.60	4.39	
1	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	moment m_y ($\nu = 0$)
2	13.80	13.14	14.10	14.05	8.56	5.08	9.19	5.94	7.22	1.16	8.33	1.38	
3	-26.45	-13.41	-29.17	-15.26	-20.11	-3.31	-25.60	-4.31	-16.25	.09	-24.42	-.01	
4	6.63	5.87	6.86	6.75	5.00	1.32	5.36	1.84	4.76	-.24	5.63	-.29	
5	-17.82	-8.49	-19.09	-9.94	-14.75	-2.26	-17.87	-2.72	-12.58	-.69	-18.44	-.75	
1	16.54		44.31		16.68		44.60		16.65		45.32		kesme kuvvetleri R ($\nu = 0$)
2													
3	47.07		123.96		46.48		123.12		45.65		120.81		
4													
5	36.60		99.64		37.11		101.09		38.25		104.41		

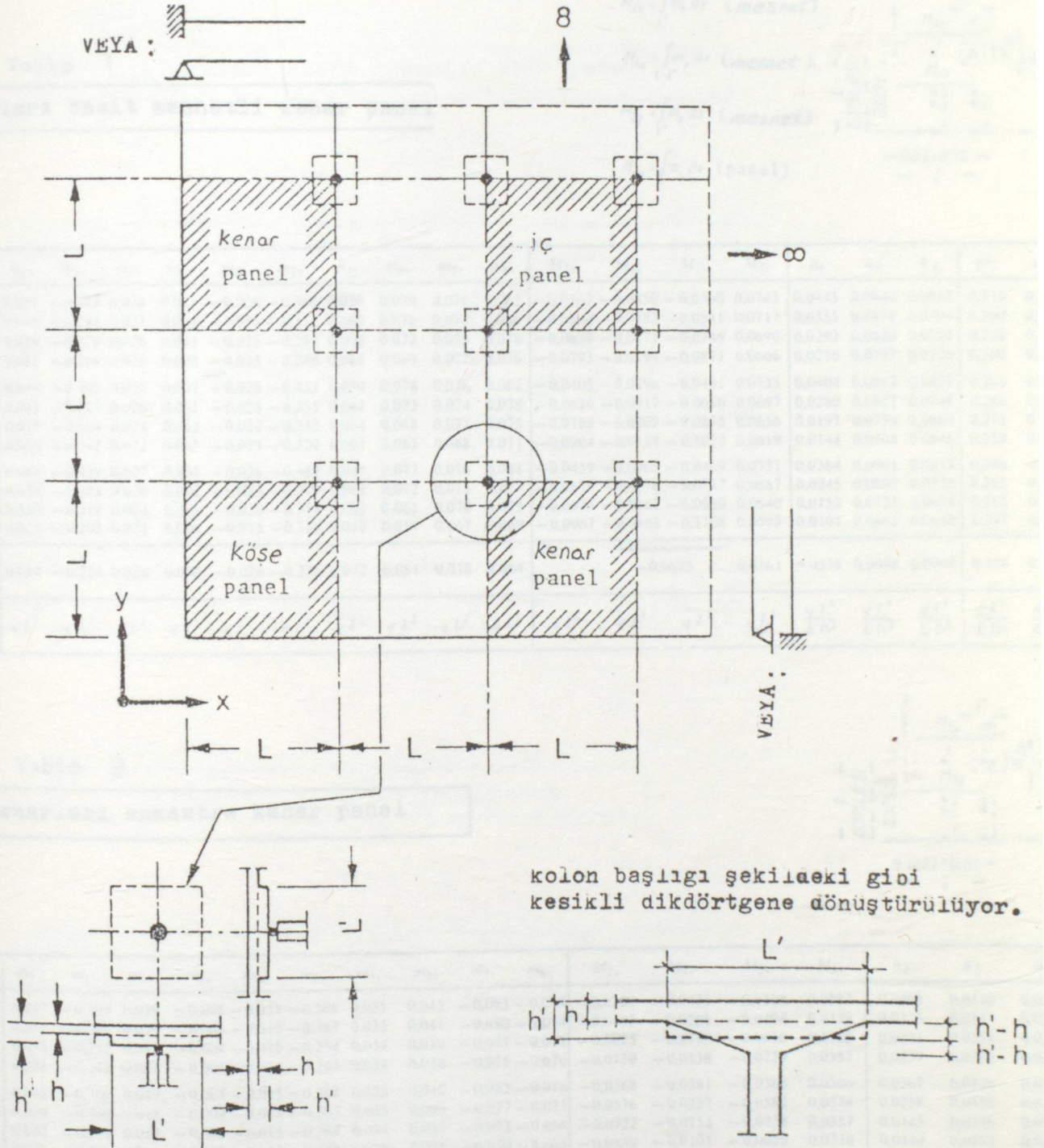
1) SELON L'ARTICLE PARU DANS LE "SCHWEIZER INGENIEUR UND ARCHITEKT", HEFT 37/1980
DE G. DESSERICH ET R. NARAYANAN, ZURICH,

2) TIRÉ DE DALLES PLATES AVEC PRÉCONTRAİNTE EN BANDES D'APPUI DE STAHLTON (1974)

III.) BAŞLIKLİ DÜZ DOŞEME VE BAŞLIKSIZ DÜZ DOŞEMEDeki

KARE PANELLER :

$\nu = 0.20$ (poisson oranı)



NOT : plağın kolon içersindeki birleşmesi ihmal ediliyor.
plak kolon üzerinde basit mesnetli diye düşünülüyor.

q = uniform yük

φ = deforme olan yüzdeki
iğilme açısı

Tablo 1

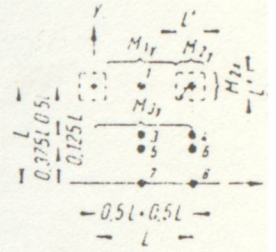
kenarları basit mesnetli kenar panel

$$M_{2x} = \int_{L'} m_2 dy \text{ (mesnet)}$$

$$M_{1y} = \int_{L'} m_1 dx \text{ (mesnet)}$$

$$M_{2y} = \int_{L'} m_2 dx \text{ (mesnet)}$$

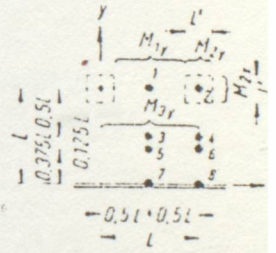
$$M_{1x} = \int_{L'} m_1 dy \text{ (panel)}$$



$\frac{h'}{h}$	$\frac{L'}{L}$	m_{1x}	m_{2x}	m_{3x}	m_{4x}	m_{1y}	m_{2y}	m_{3y}	m_{4y}	m_{5y}	m_{6y}	M_{2x}	M_{1y}	M_{2y}	M_{1x}	a_1	a_3	a_4	φ_1	φ_2
1.5	0.1	0.051	-0.343	0.028	0.001	-0.026	-0.360	0.070	0.079	0.076	0.082	-0.0343	-0.0550	-0.0360	0.0743	0.0445	0.0940	0.0852	0.314	0.
	0.2	0.045	-0.293	0.027	0.001	-0.026	-0.312	0.068	0.076	0.075	0.080	-0.0544	-0.0382	-0.0581	0.0717	0.0355	0.0878	0.0794	0.300	0.
	0.3	0.039	-0.278	0.026	0.001	-0.025	-0.297	0.066	0.072	0.073	0.078	-0.0689	-0.0271	-0.0746	0.0690	0.0293	0.0830	0.0754	0.288	0.
	0.4	0.035	-0.269	0.025	0.002	-0.023	-0.288	0.065	0.069	0.072	0.076	-0.0793	-0.0194	-0.0871	0.0666	0.0256	0.0797	0.0724	0.280	0.
2.0	0.1	0.049	-0.405	0.028	0.001	-0.026	-0.431	0.070	0.078	0.076	0.082	-0.0405	-0.0496	-0.0431	0.0735	0.0404	0.0913	0.0827	0.308	0.
	0.2	0.041	-0.327	0.026	0.001	-0.025	-0.355	0.067	0.073	0.074	0.078	-0.0630	-0.0317	-0.0666	0.0697	0.0280	0.0827	0.0748	0.288	0.
	0.3	0.033	-0.304	0.024	0.002	-0.022	-0.332	0.064	0.068	0.071	0.075	-0.0788	-0.0209	-0.0875	0.0656	0.0197	0.0758	0.0689	0.271	0.
	0.4	0.026	-0.292	0.023	0.003	-0.019	-0.320	0.061	0.063	0.068	0.071	-0.0904	-0.0139	-0.1022	0.0619	0.0148	0.0708	0.0646	0.258	0.
2.5	0.1	0.048	-0.439	0.027	0.001	-0.026	-0.469	0.069	0.077	0.076	0.081	-0.0439	-0.0466	-0.0469	0.0731	0.0384	0.0901	0.0815	0.306	0.
	0.2	0.039	-0.345	0.026	0.002	-0.024	-0.379	0.066	0.072	0.073	0.077	-0.0679	-0.0276	-0.0747	0.0687	0.0245	0.0802	0.0725	0.282	0.
	0.3	0.030	-0.317	0.024	0.003	-0.020	-0.351	0.062	0.065	0.070	0.073	-0.0844	-0.0168	-0.0950	0.0640	0.0152	0.0725	0.0658	0.263	0.
	0.4	0.021	-0.303	0.021	0.004	-0.015	-0.338	0.059	0.059	0.067	0.069	-0.0967	-0.0102	-0.1108	0.0593	0.0101	0.0665	0.0610	0.247	0.
Bölgesel düz döşemede		0.054	-0.224	0.028	0.000	-0.026	-0.230	0.072	0.081	0.078	0.084		-0.0875		0.0761	0.0538	0.0998	0.0907	0.328	0.
Katsayı		$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^3$	$q L^3$	$q L^3$	$q L^3$	$\frac{q L^4}{E h^3}$	$\frac{q L^4}{E h^3}$	$\frac{q L^4}{E h^3}$	$\frac{q L^3}{E h^3}$	$\frac{q}{L}$

Tablo 2

kenarları ankastre kenar panel



$\frac{h'}{h}$	$\frac{L'}{L}$	m_{1x}	m_{2x}	m_{3x}	m_{4x}	m_{1y}	m_{2y}	m_{3y}	m_{4y}	m_{5y}	m_{6y}	M_{2x}	M_{1y}	M_{2y}	M_{1x}	a_1	a_3	a_4	φ_1	φ_2
1.5	0.1	0.047	-0.309	0.019	-0.005	-0.015	-0.308	0.035	0.043	-0.083	-0.077	-0.0309	-0.0423	-0.0308	0.0387	0.0403	0.0410	0.0	0.0	0.0
	0.2	0.042	-0.266	0.019	-0.004	-0.015	-0.267	0.035	0.041	-0.080	-0.074	-0.0492	-0.0286	-0.0494	0.0379	0.0325	0.0377	0.0	0.0	0.0
	0.3	0.037	-0.252	0.018	-0.004	-0.015	-0.254	0.034	0.039	-0.077	-0.071	-0.0625	-0.0198	-0.0630	0.0368	0.0271	0.0354	0.0	0.0	0.0
	0.4	0.033	-0.245	0.017	-0.003	-0.014	-0.247	0.034	0.038	-0.075	-0.070	-0.0720	-0.0138	-0.0729	0.0357	0.0239	0.0338	0.0	0.0	0.0
2.0	0.1	0.045	-0.368	0.019	-0.005	-0.015	-0.368	0.035	0.042	-0.082	-0.076	-0.0368	-0.0381	-0.0368	0.0386	0.0367	0.0396	0.0	0.0	0.0
	0.2	0.039	-0.300	0.018	-0.004	-0.014	-0.303	0.035	0.040	-0.077	-0.071	-0.0576	-0.0237	-0.0582	0.0374	0.0258	0.0350	0.0	0.0	0.0
	0.3	0.032	-0.279	0.017	-0.003	-0.013	-0.284	0.034	0.037	-0.073	-0.068	-0.0722	-0.0153	-0.0738	0.0357	0.0185	0.0316	0.0	0.0	0.0
	0.4	0.025	-0.268	0.016	-0.002	-0.011	-0.274	0.033	0.035	-0.070	-0.065	-0.0830	-0.0101	-0.0855	0.0338	0.0140	0.0293	0.0	0.0	0.0
2.5	0.1	0.045	-0.400	0.019	-0.004	-0.015	-0.400	0.035	0.042	-0.081	-0.075	-0.0400	-0.0356	-0.0400	0.0385	0.0350	0.0389	0.0	0.0	0.0
	0.2	0.037	-0.318	0.018	-0.003	-0.014	-0.323	0.034	0.040	-0.075	-0.070	-0.0624	-0.0205	-0.0633	0.0371	0.0228	0.0337	0.0	0.0	0.0
	0.3	0.029	-0.293	0.016	-0.002	-0.012	-0.300	0.034	0.036	-0.071	-0.066	-0.0778	-0.0123	-0.0801	0.0350	0.0145	0.0298	0.0	0.0	0.0
	0.4	0.021	-0.280	0.015	-0.000	-0.009	-0.289	0.032	0.033	-0.067	-0.063	-0.0892	-0.0075	-0.0927	0.0328	0.0097	0.0270	0.0	0.0	0.0
Bölgesel düz döşemede		0.050	-0.200	0.020	-0.005	-0.015	-0.198	0.035	0.043	-0.087	-0.080		-0.0694		0.0388	0.0484	0.0442	0.0	0.0	0.0
Katsayı		$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^3$	$q L^3$	$q L^3$	$q L^3$	$\frac{q L^4}{E h^3}$	$\frac{q L^4}{E h^3}$	$\frac{q L^4}{E h^3}$	$\frac{q L^3}{E h^3}$	$\frac{q}{L}$

MOMENTLER VE SEHİMLER

Tablo 3

kenarları basit mesnetli köşe paneli

h'/h	L'/L	m_{1x}	m_{1y}	m_{2x}	m_{2y}	m_{3x}	m_{3y}	M_{2x}	a_1	a_2	φ_{1x}	φ_{2x}
1.5	0.1	0.076	0.000	-0.389	0.052	0.007	0.051	-0.0389	0.0810	0.0888	0.263	0.293
	0.2	0.072	0.000	-0.336	0.051	0.008	0.050	-0.0624	0.0749	0.0850	0.254	0.277
	0.3	0.068	0.000	-0.322	0.050	0.008	0.049	-0.0804	0.0703	0.0821	0.247	0.265
	0.4	0.065	0.000	-0.314	0.049	0.008	0.048	-0.0941	0.0671	0.0799	0.242	0.256
2.0	0.1	0.075	0.000	-0.460	0.052	0.008	0.051	-0.0460	0.0782	0.0871	0.259	0.287
	0.2	0.069	0.000	-0.381	0.050	0.008	0.049	-0.0736	0.0697	0.0818	0.247	0.265
	0.3	0.063	0.001	-0.360	0.049	0.008	0.048	-0.0944	0.0631	0.0776	0.238	0.247
	0.4	0.058	0.001	-0.351	0.048	0.008	0.046	-0.1109	0.0583	0.0745	0.229	0.233
2.5	0.1	0.074	0.000	-0.500	0.052	0.008	0.051	-0.0500	0.0770	0.0864	0.258	0.283
	0.2	0.068	0.000	-0.406	0.050	0.008	0.049	-0.0801	0.0672	0.0803	0.244	0.259
	0.3	0.061	0.001	-0.380	0.048	0.008	0.047	-0.1025	0.0596	0.0755	0.233	0.238
	0.4	0.054	0.002	-0.369	0.047	0.008	0.046	-0.1206	0.0541	0.0719	0.223	0.221
Başlıkta düz döşemede		0.078	0.001	-0.249	0.053	0.007	0.053		0.0869	0.0924	0.271	0.306
Katsayı		$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^3$	$\frac{q L^4}{E h^3}$	$\frac{q L^4}{E h^3}$	$\frac{q L^3}{E h^3}$	$\frac{q L^3}{E h^3}$

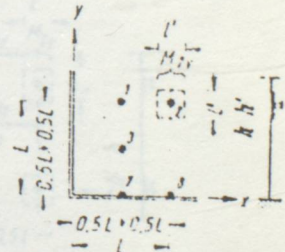


$$M_{2x} = \int m_x dx \quad (\text{mesnet})$$

Tablo 4

kenarları ankastre köşe paneli

h'/h	L'/L	m_{1x}	m_{1y}	m_{2x}	m_{2y}	m_{3x}	m_{3y}	M_{2x}	a_1	a_2	
1.5	0.1	0.042	-0.002	-0.303	0.025	0.000	-0.064	-0.077	-0.0303	0.0330	0.0305
	0.2	0.041	-0.002	-0.265	0.024	0.000	-0.063	-0.074	-0.0490	0.0302	0.0294
	0.3	0.039	-0.002	-0.255	0.024	0.001	-0.062	-0.071	-0.0629	0.0282	0.0284
	0.4	0.037	-0.002	-0.250	0.024	0.001	-0.061	-0.069	-0.0732	0.0270	0.0278
2.0	0.1	0.042	-0.002	-0.363	0.025	0.000	-0.064	-0.076	-0.0363	0.0317	0.0300
	0.2	0.040	-0.002	-0.303	0.024	0.001	-0.062	-0.071	-0.0582	0.0276	0.0282
	0.3	0.037	-0.002	-0.288	0.024	0.001	-0.060	-0.067	-0.0746	0.0247	0.0268
	0.4	0.034	-0.001	-0.281	0.024	0.002	-0.059	-0.064	-0.0872	0.0230	0.0260
2.5	0.1	0.042	-0.002	-0.395	0.025	0.000	-0.064	-0.075	-0.0395	0.0310	0.0298
	0.2	0.039	-0.002	-0.324	0.024	0.001	-0.061	-0.069	-0.0635	0.0264	0.0277
	0.3	0.036	-0.001	-0.306	0.024	0.002	-0.060	-0.065	-0.0814	0.0232	0.0262
	0.4	0.032	-0.000	-0.299	0.023	0.002	-0.059	-0.061	-0.0955	0.0211	0.0252
Başlıkta düz döşemede		0.043	-0.002	-0.193	0.024	-0.001	-0.066	-0.080		0.0360	0.0318
Katsayı		$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^3$	$\frac{q L^4}{E h^3}$	$\frac{q L^4}{E h^3}$	

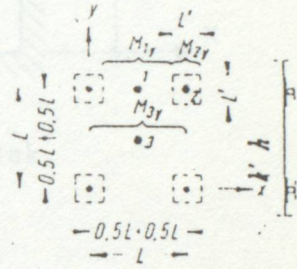


MOMENTLER VE SEHİMLER

Tablo 5

içteki panel

k' / h	L' / L	m_{1x}	m_{1y}	m_{2x}	m_{2y}	M_{1x}	M_{2x}	M_{3x}	a_1	a_3
1.5	0.1	0.048	-0.018	-0.314	0.032	-0.0448	-0.0314	0.0392	0.0412	0.0571
	0.2	0.043	-0.017	-0.268	0.030	-0.0298	-0.0497	0.0359	0.0329	0.0478
	0.3	0.038	-0.016	-0.252	0.028	-0.0202	-0.0626	0.0325	0.0274	0.0410
	0.4	0.033	-0.015	-0.243	0.026	-0.0141	-0.0718	0.0295	0.0239	0.0366
2.0	0.1	0.046	-0.018	-0.372	0.031	-0.0399	-0.0372	0.0382	0.0374	0.0530
	0.2	0.039	-0.016	-0.300	0.028	-0.0242	-0.0577	0.0335	0.0262	0.0401
	0.3	0.032	-0.013	-0.276	0.025	-0.0152	-0.0717	0.0284	0.0185	0.0306
	0.4	0.025	-0.011	-0.263	0.022	-0.0098	-0.0817	0.0238	0.0140	0.0244
2.5	0.1	0.046	-0.018	-0.403	0.031	-0.0373	-0.0403	0.0378	0.0356	0.0511
	0.2	0.037	-0.015	-0.317	0.027	-0.0208	-0.0623	0.0322	0.0229	0.0365
	0.3	0.029	-0.012	-0.289	0.023	-0.0120	-0.0769	0.0264	0.0145	0.0257
	0.4	0.021	-0.009	-0.273	0.021	-0.0070	-0.0873	0.0210	0.0097	0.0185
Başlık Düz döşemede		0.051	-0.019	-0.204	0.033	-0.0740	0.0412		0.0497	0.0665
Katsayı		$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^3$	$q L^3$	$q L^3$	$\frac{q L^4}{E h^3}$	$\frac{q L^4}{E h^3}$



$$M_{1x} = \int m_{1x} dx \text{ (mesnet)}$$

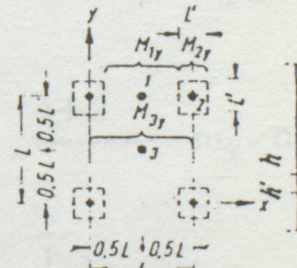
$$M_{2x} = \int m_{2x} dx \text{ (mesnet)}$$

$$M_{3x} = \int m_{3x} dx \text{ (panel)}$$

Tablo 6

iç panel için poisson oranı (ν) 0.20 yerine 0,00 alınmıştır

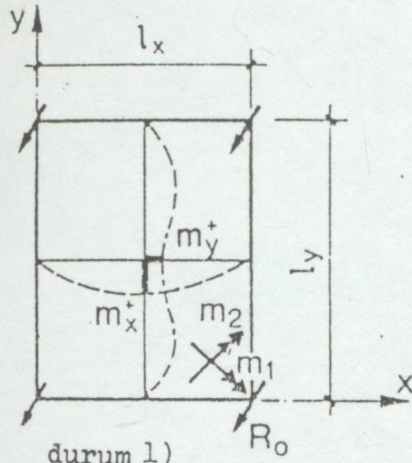
k' / h	L' / L	m_{1x}	m_{1y}	m_{2x}	m_{2y}	M_{1x}	M_{2x}	M_{3x}	a_1	a_3
1.5	0.1	0.054	-0.029	-0.289	0.027	-0.0471	-0.0289	0.0394	0.0436	0.0604
	0.2	0.049	-0.027	-0.242	0.025	-0.0325	-0.0465	0.0363	0.0355	0.0513
	0.3	0.044	-0.025	-0.224	0.023	-0.0232	-0.0589	0.0332	0.0300	0.0446
	0.4	0.040	-0.023	-0.213	0.022	-0.0169	-0.0680	0.0305	0.0265	0.0402
2.0	0.1	0.052	-0.029	-0.357	0.026	-0.0412	-0.0357	0.0384	0.0395	0.0559
	0.2	0.045	-0.025	-0.281	0.024	-0.0256	-0.0560	0.0338	0.0281	0.0428
	0.3	0.037	-0.021	-0.253	0.021	-0.0167	-0.0697	0.0289	0.0204	0.0332
	0.4	0.030	-0.017	-0.237	0.019	-0.0112	-0.0795	0.0246	0.0158	0.0268
2.5	0.1	0.051	-0.028	-0.395	0.026	-0.0380	-0.0395	0.0379	0.0375	0.0537
	0.2	0.042	-0.024	-0.302	0.023	-0.0215	-0.0614	0.0324	0.0245	0.0386
	0.3	0.033	-0.019	-0.268	0.020	-0.0128	-0.0758	0.0267	0.0159	0.0276
	0.4	0.025	-0.014	-0.249	0.017	-0.0078	-0.0860	0.0215	0.0109	0.0201
Başlık Düz döşemede		0.057	-0.030	-0.171	0.028	-0.0740	0.0412		0.0518	0.0692
Katsayı		$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^2$	$q L^3$	$q L^3$	$q L^3$	$\frac{q L^4}{E h^3}$	$\frac{q L^4}{E h^3}$



EK 4.2.3

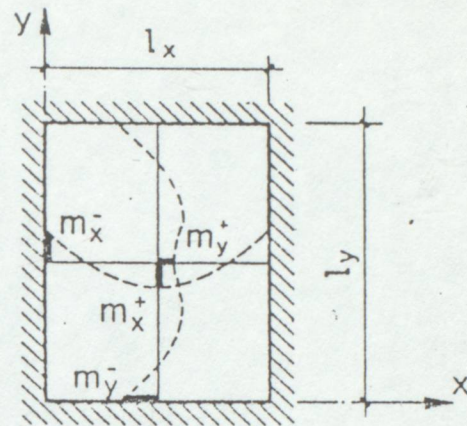
IV.) DİKDÖRTGEN PLAK ⁴⁾ $q = \text{uniform yük}$

$$\nu = 0.15 \quad \frac{l_x}{l_y} = 0.5 \text{ den } 1.0 \text{ e kadar.}$$



durum 1)

basit mesnetli plak

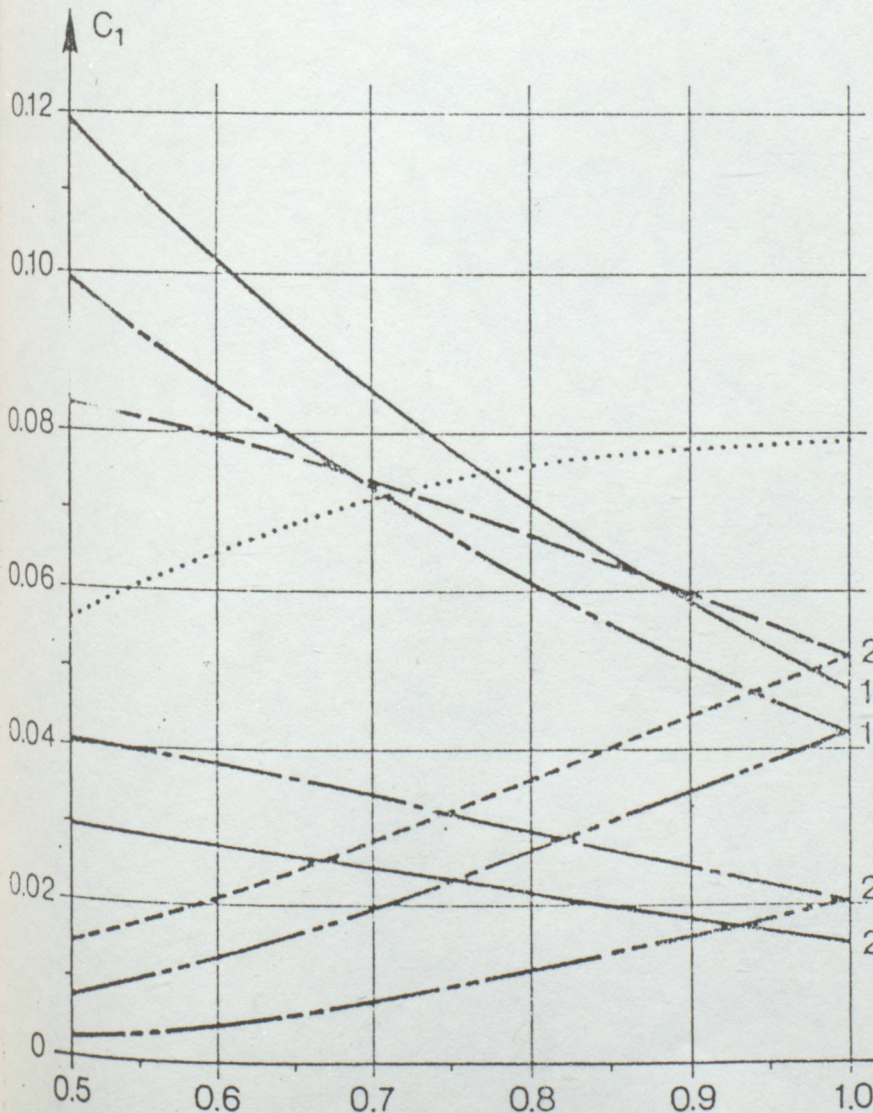


durum 2)

ankastre plak

DEFORMASYONLAR VE MOMENTLER

4)



DURUM :

$$\frac{1+2}{l_y} \quad a = c_1 \cdot \frac{q \cdot l_x^4}{E \cdot h^3}$$

$$\frac{2}{l_x} \quad m_x^- = -c_1 \cdot q \cdot l_x^2$$

$$\frac{2}{l_y} \quad m_y^- = -c_1 \cdot q \cdot l_y^2$$

$$\frac{1+2}{l_x} \quad m_x^+ = c_1 \cdot q \cdot l_x^2$$

$$\frac{1+2}{l_y} \quad m_y^+ = c_1 \cdot q \cdot l_y^2$$

$$\frac{1}{l_x} \quad R_0 = 2 \cdot m_{xy} \cdot c_1 \cdot q \cdot l_x$$

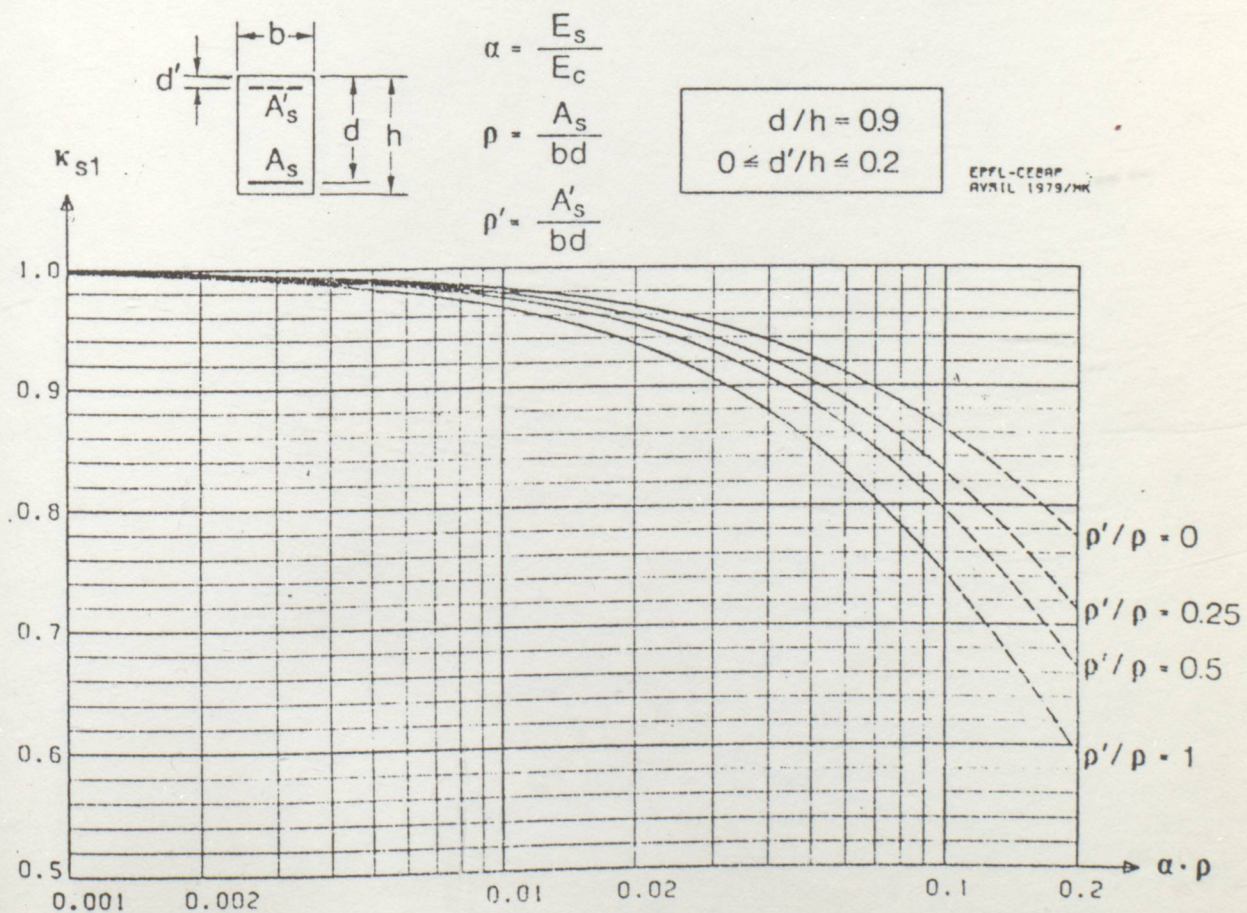
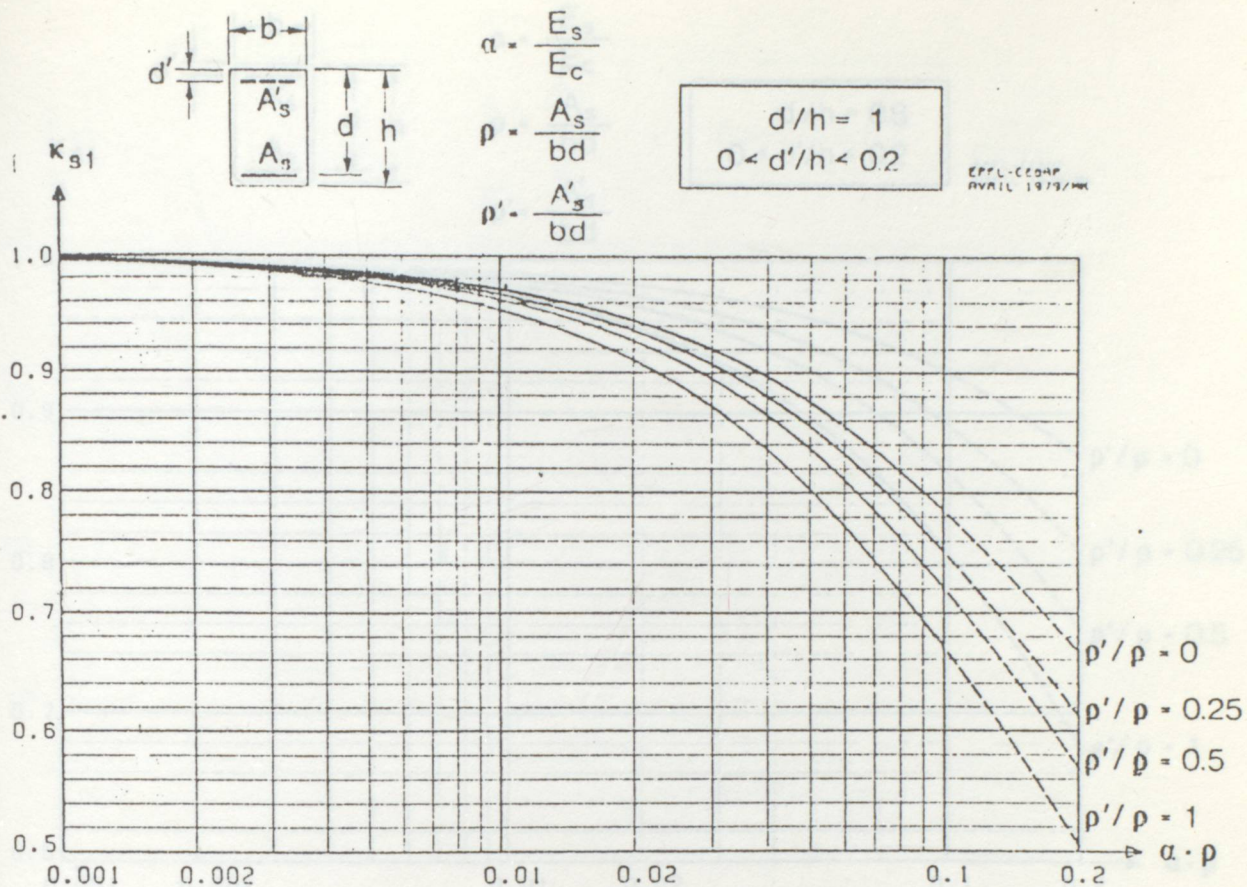
$$\text{köşede} \rightarrow m_1 = -m_2 = \dots$$

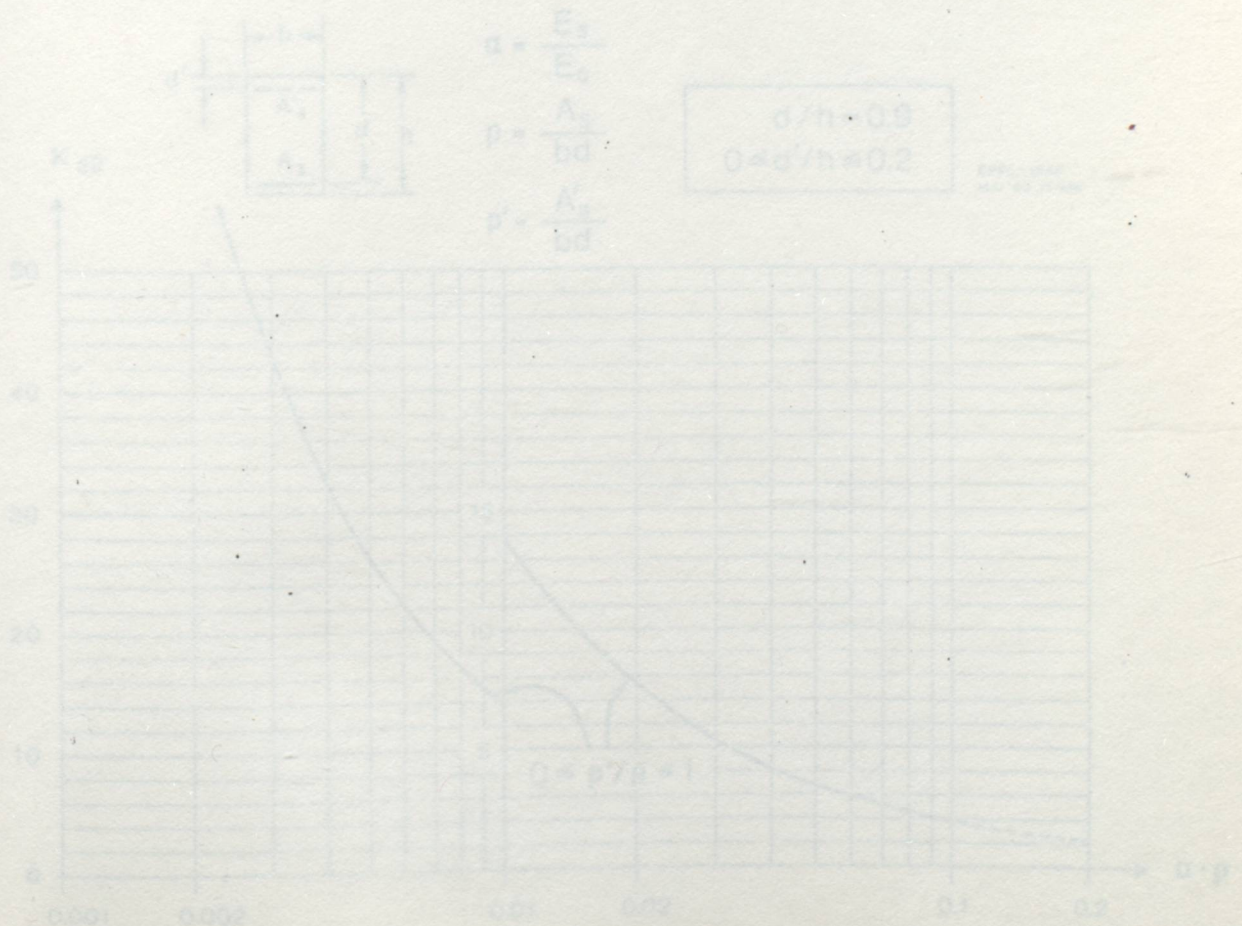
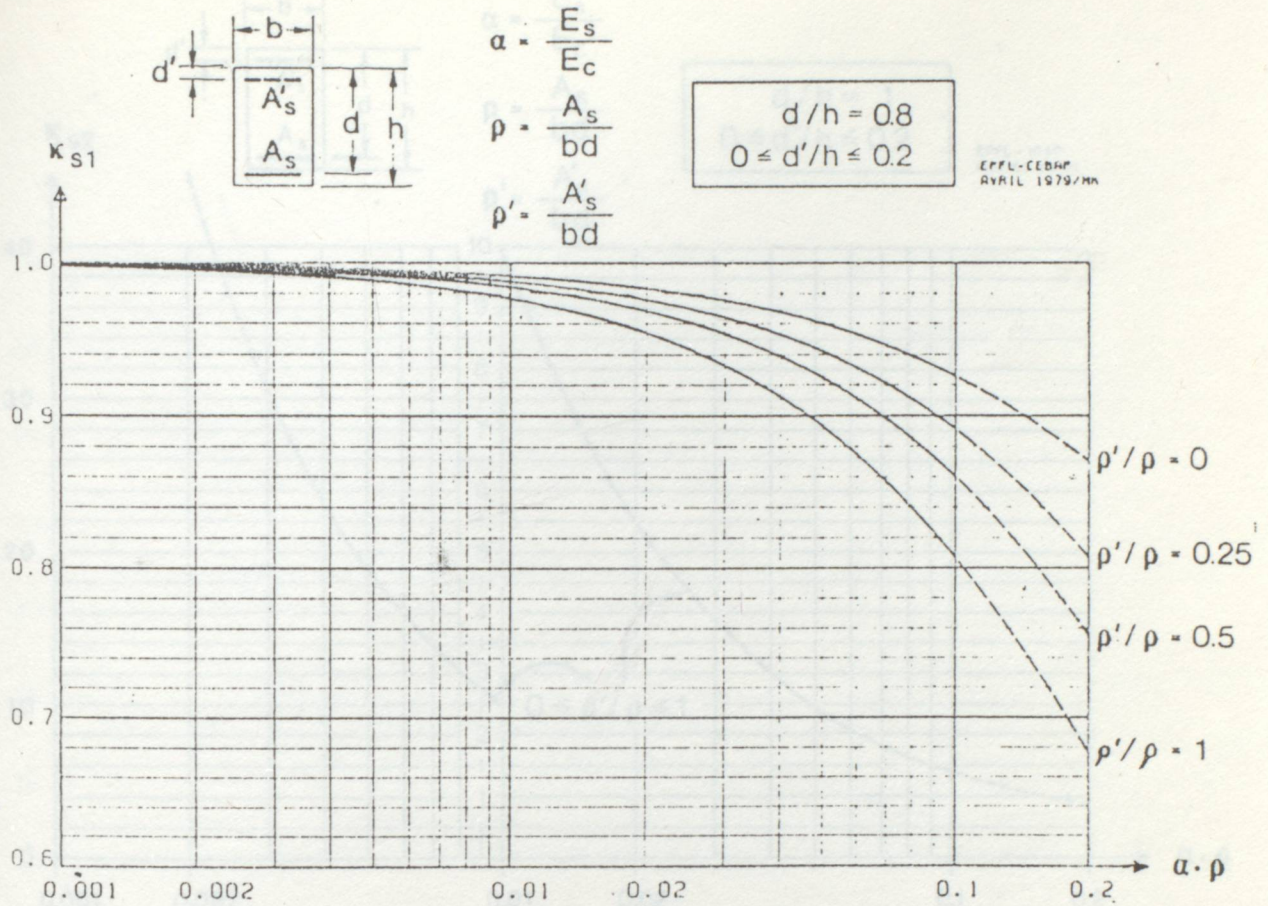
4) Selon R. Bares, "Tables for the Analysis of Plates, Slabs and Diaphragms"

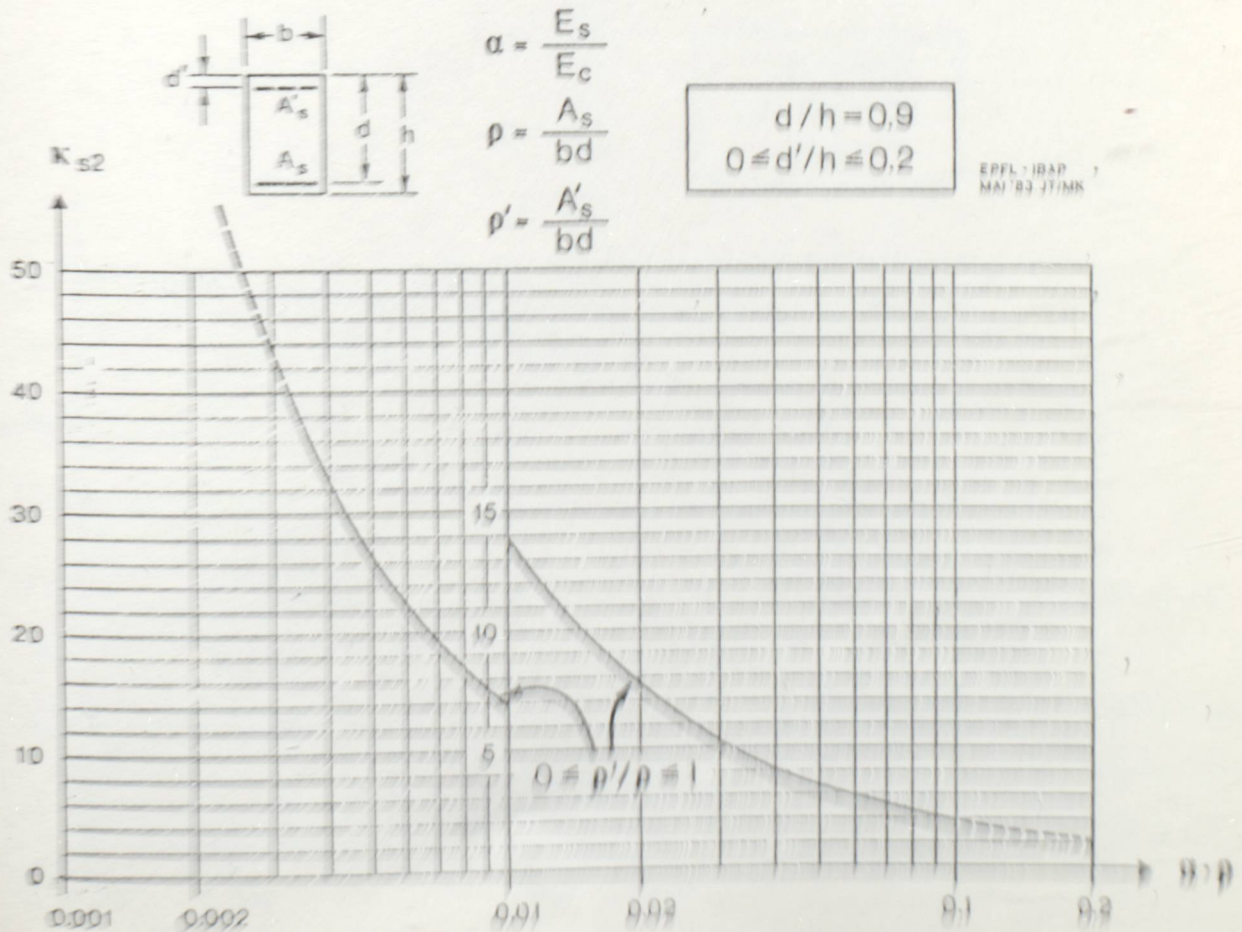
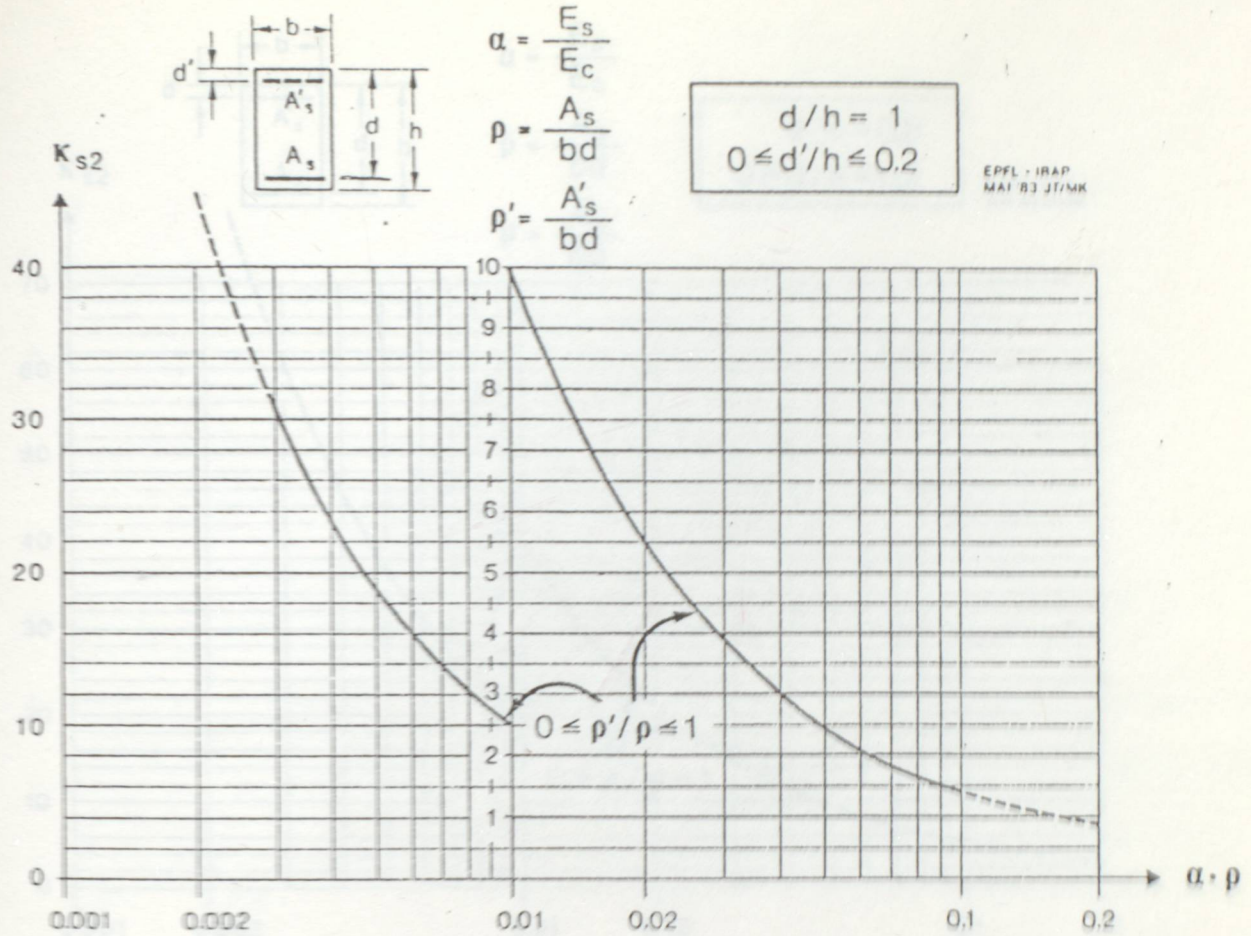
DİKDÖRTGEN KESİTLER İÇİN
KATSAYILAR DIAGRAMLARI

 $\kappa_s, \kappa_\varphi, \kappa_{cs}$

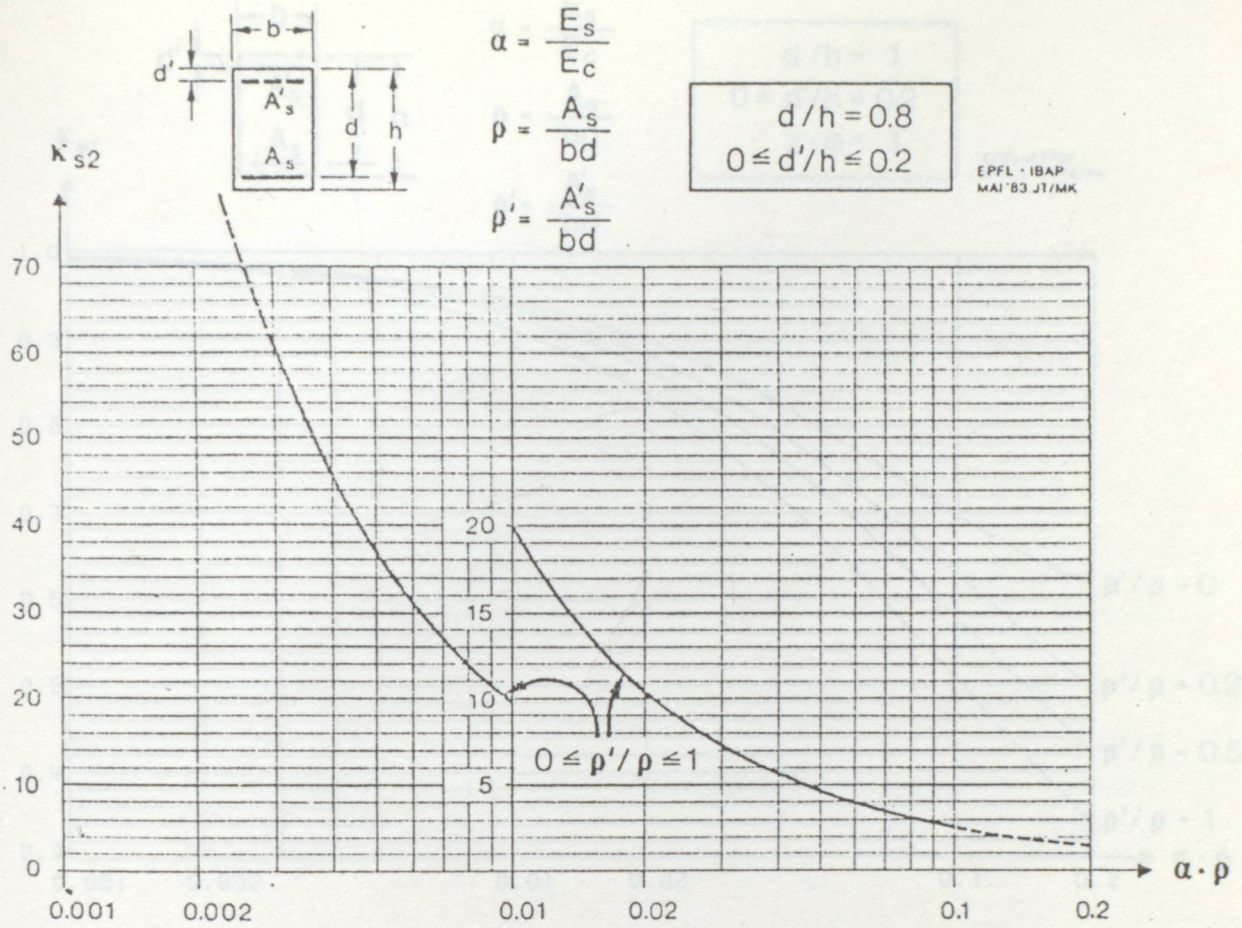
katsayı	parametre			ek
	d/h	d'/h	$\lambda \cdot \varphi$	
κ_{s1} Durum I de Donatı etkisini göz önüne alan düzeltme katsayısı	1.0 0.9 0.8	0 ÷ 0.2	-	4.3.2 (1)
κ_{s2} Durum II de Donatı etkisini göz önüne alan düzeltme katsayısı	1.0 0.9 0.8	0 ÷ 0.2	-	4.3.2 (2)
$\kappa_{\varphi 1}$ Durum I de Sünme etkisini göz önüne alan düzeltme katsayısı.	1.0	0 ÷ 0.2	1.0 2.0 3.0 4.0	4.3.2 (3)
			1.0 2.0 3.0 4.0	4.3.2 (4)
	0.8	0 ÷ 0.2	1.0 2.0 3.0 4.0	4.3.2 (5)
$\kappa_{\varphi 2}$ Durum II de Sünme etkisini göz önüne alan düzeltme katsayısı.	0.8 ÷ 1.0	0	1.0 2.0 3.0 4.0	4.3.2 (6)
		0.1	1.0 2.0 3.0 4.0	4.3.2 (7)
		0.2	1.0 2.0 3.0 4.0	4.3.2 (8)
κ_{cs1} Durum I de Rötme etkisini göz önüne alan düzeltme katsayısı	1.0 0.8	0 ÷ 0.2	2.5	4.3.2 (9)
κ_{cs2} Durum II de Rötme etkisini göz önüne alan düzeltme katsayısı.	0.8 ÷ 1.0	0 0.2	2.5	4.3.2 (10)

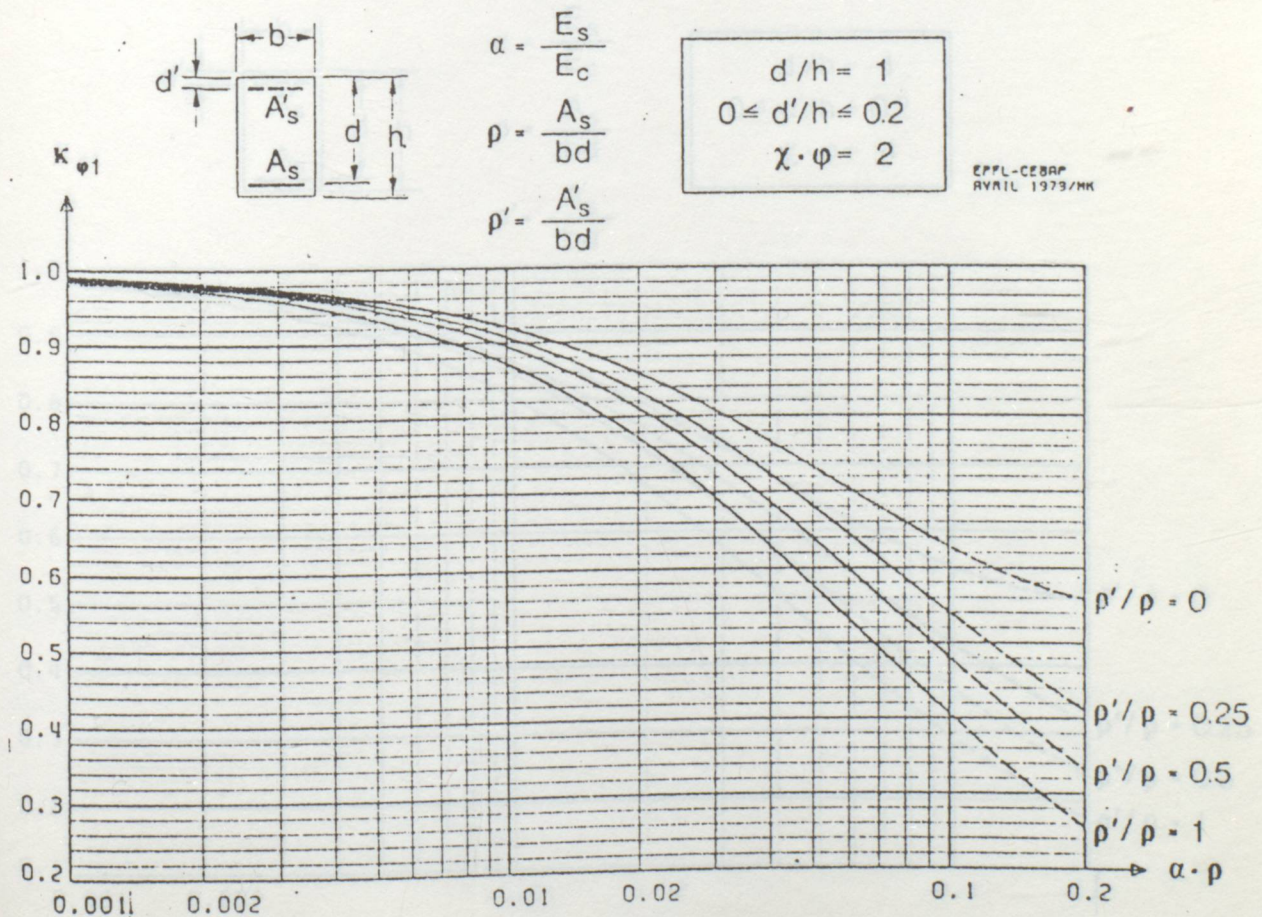
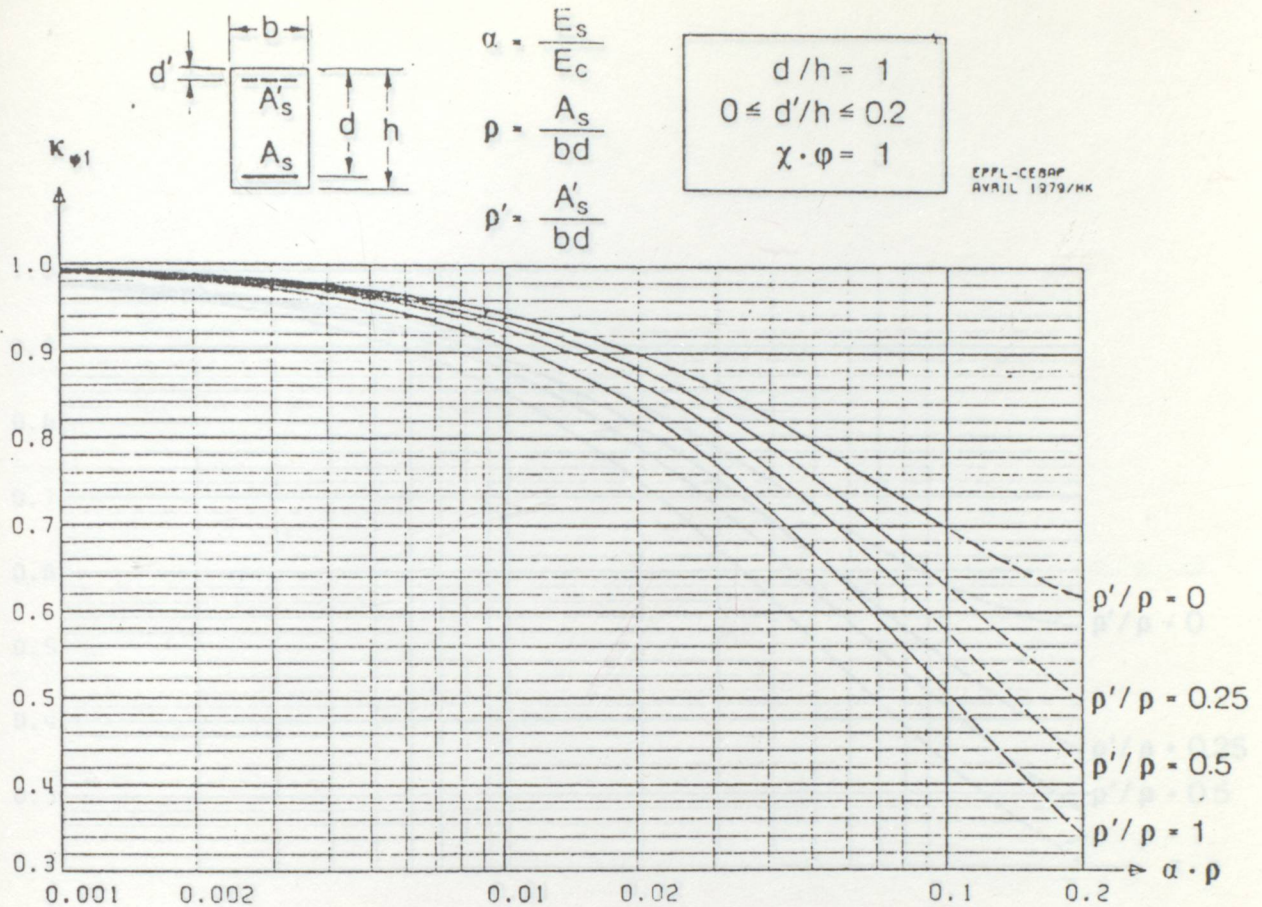


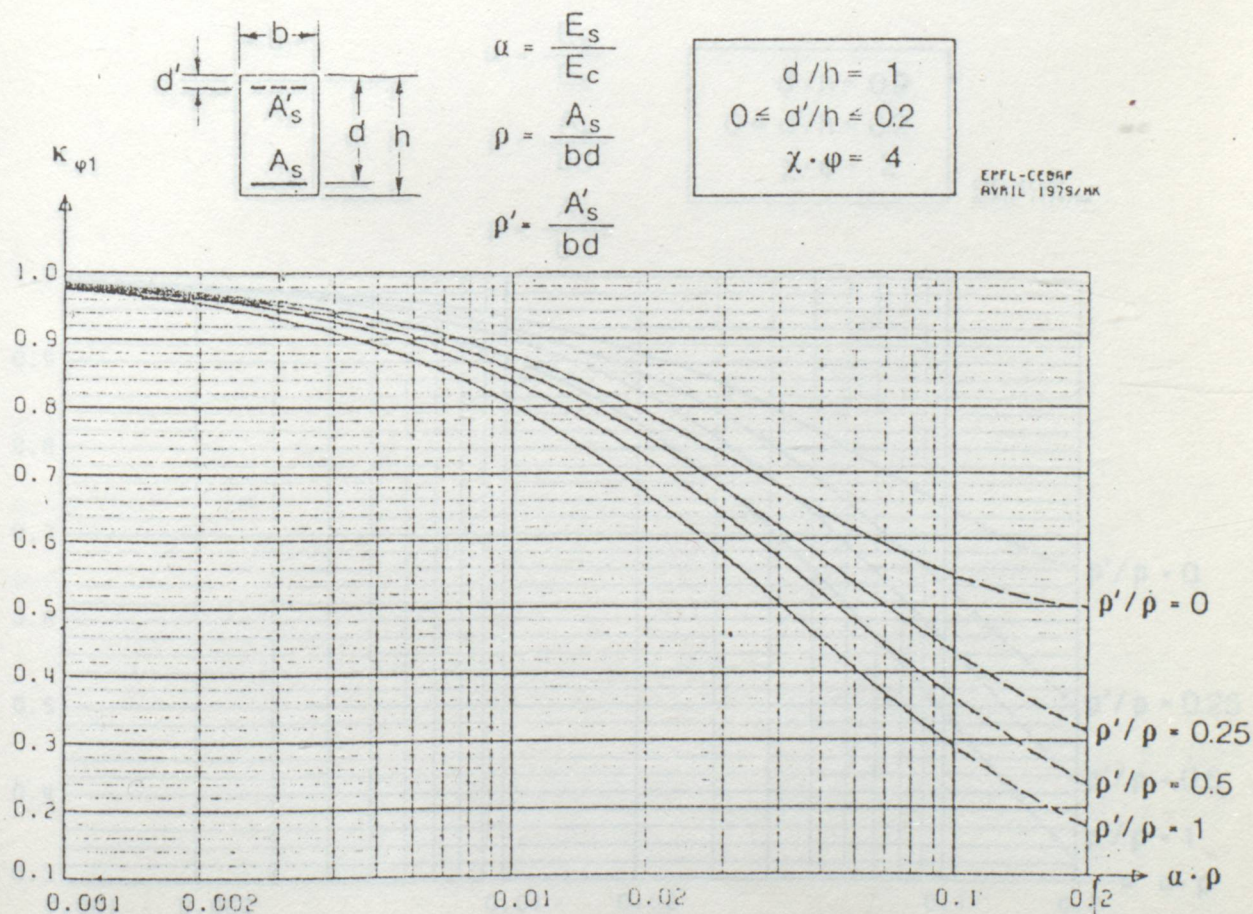
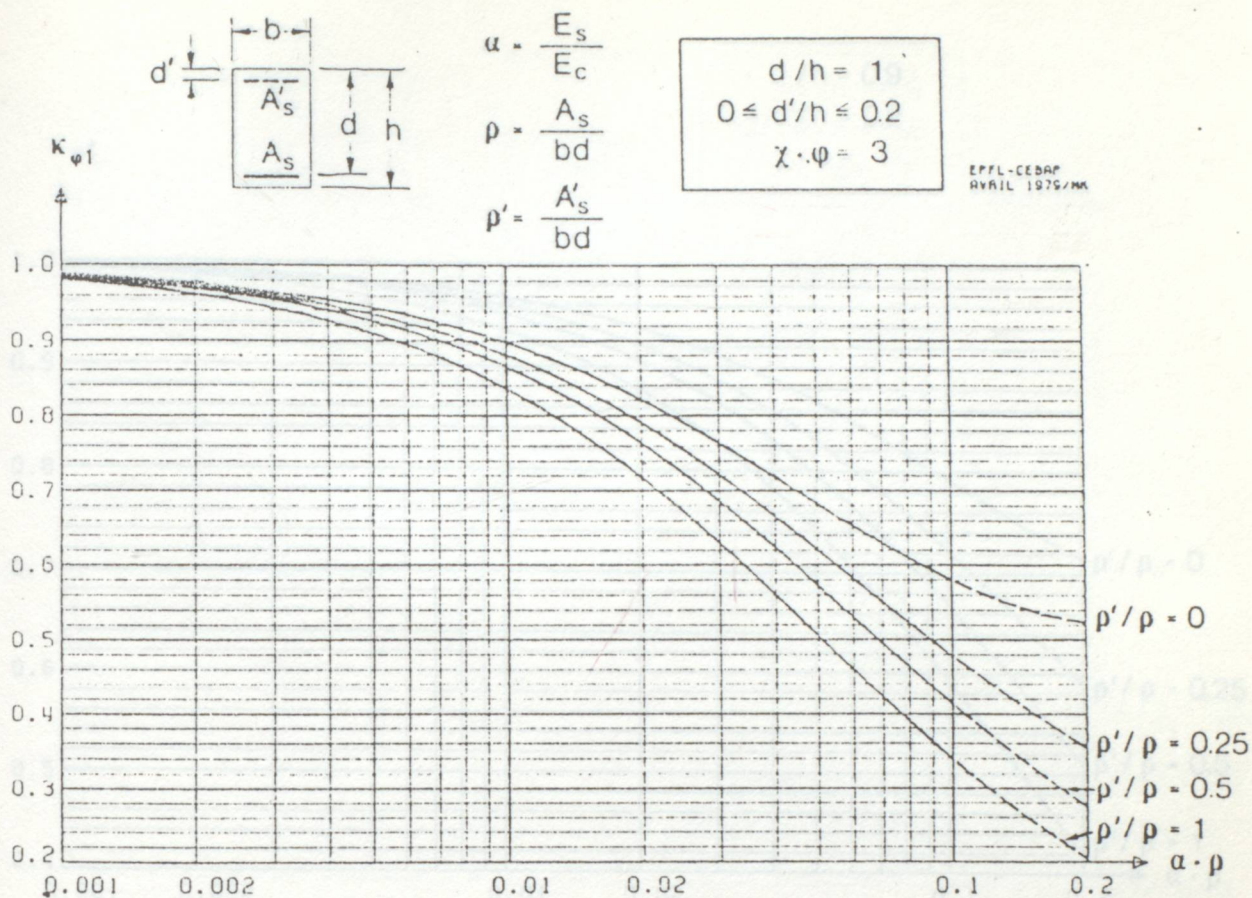




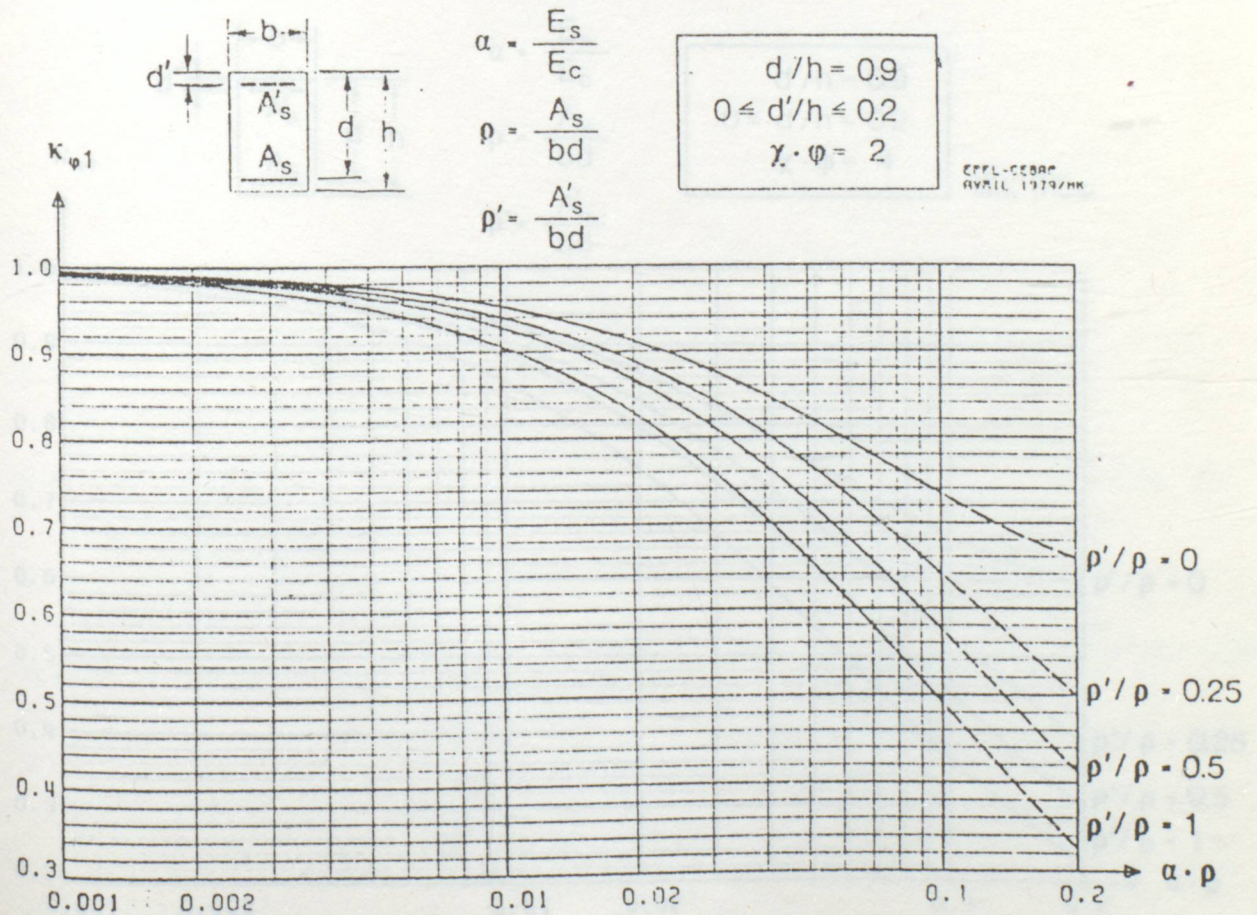
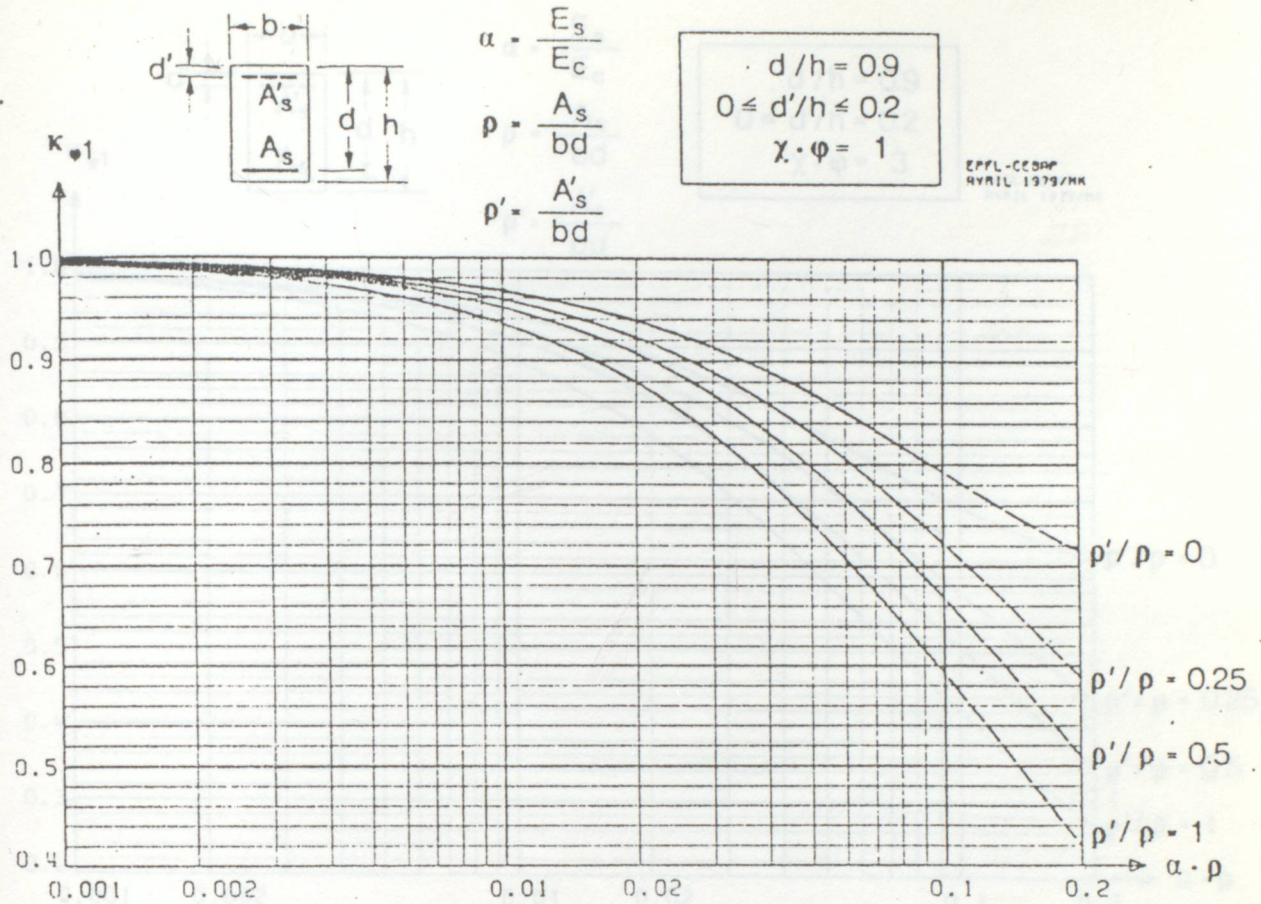
4.3.2 (2)

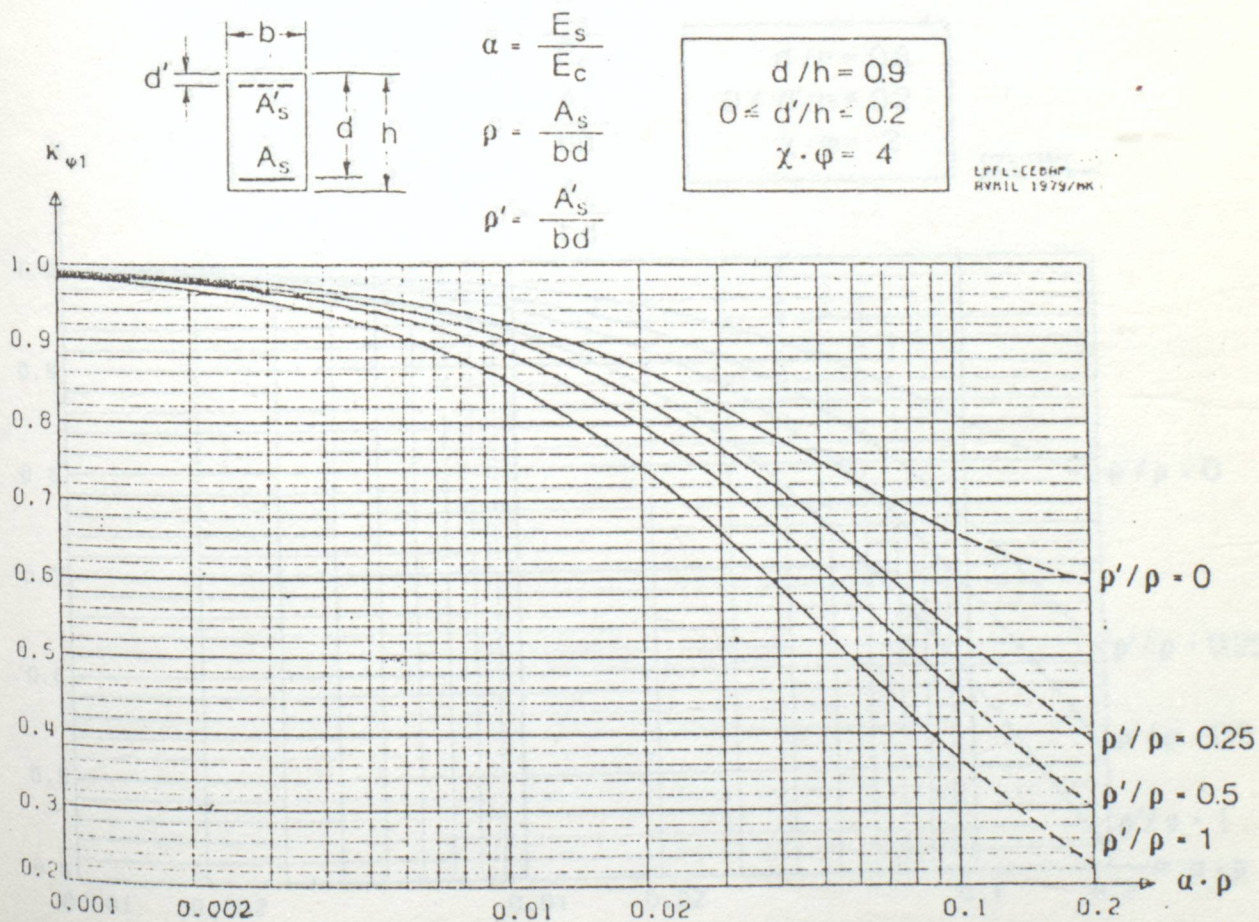
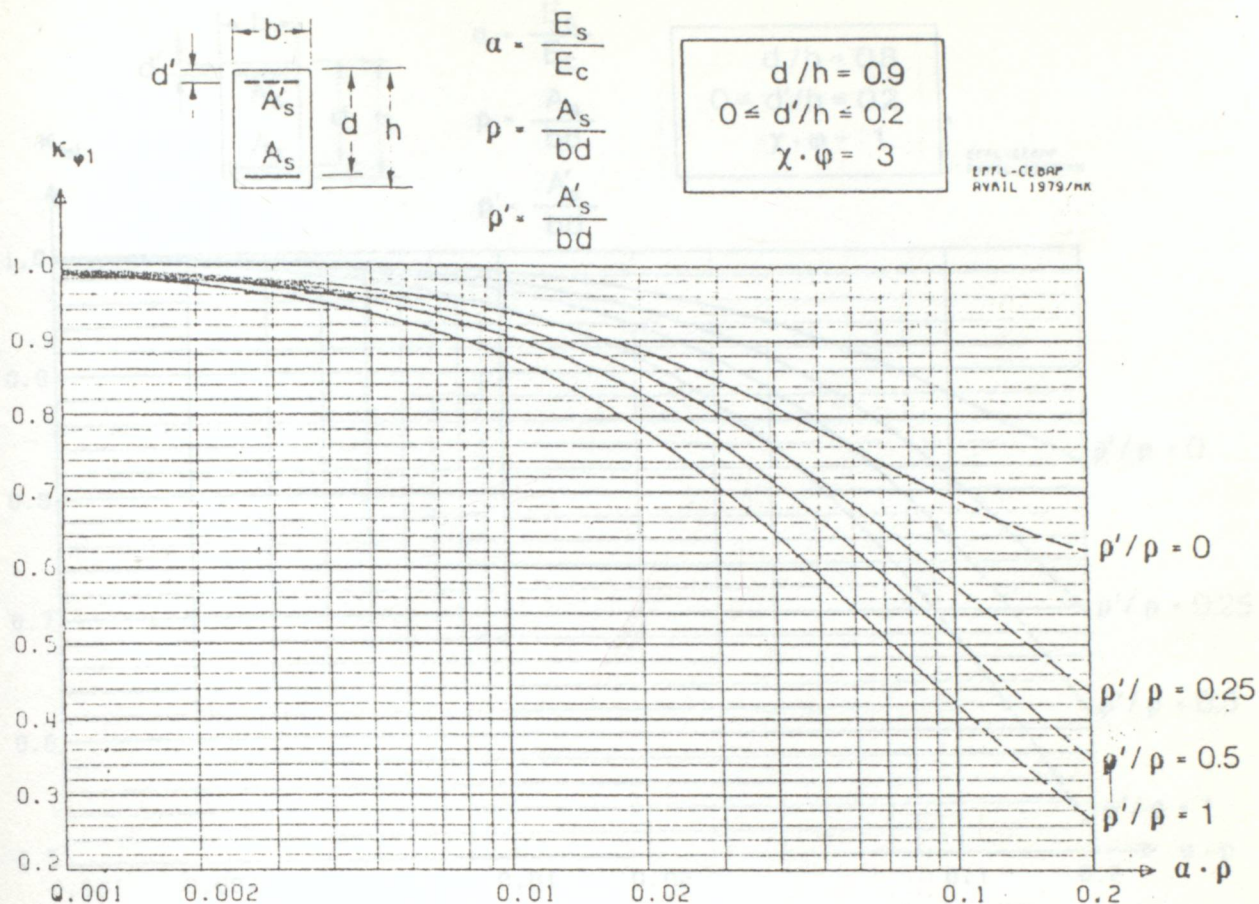


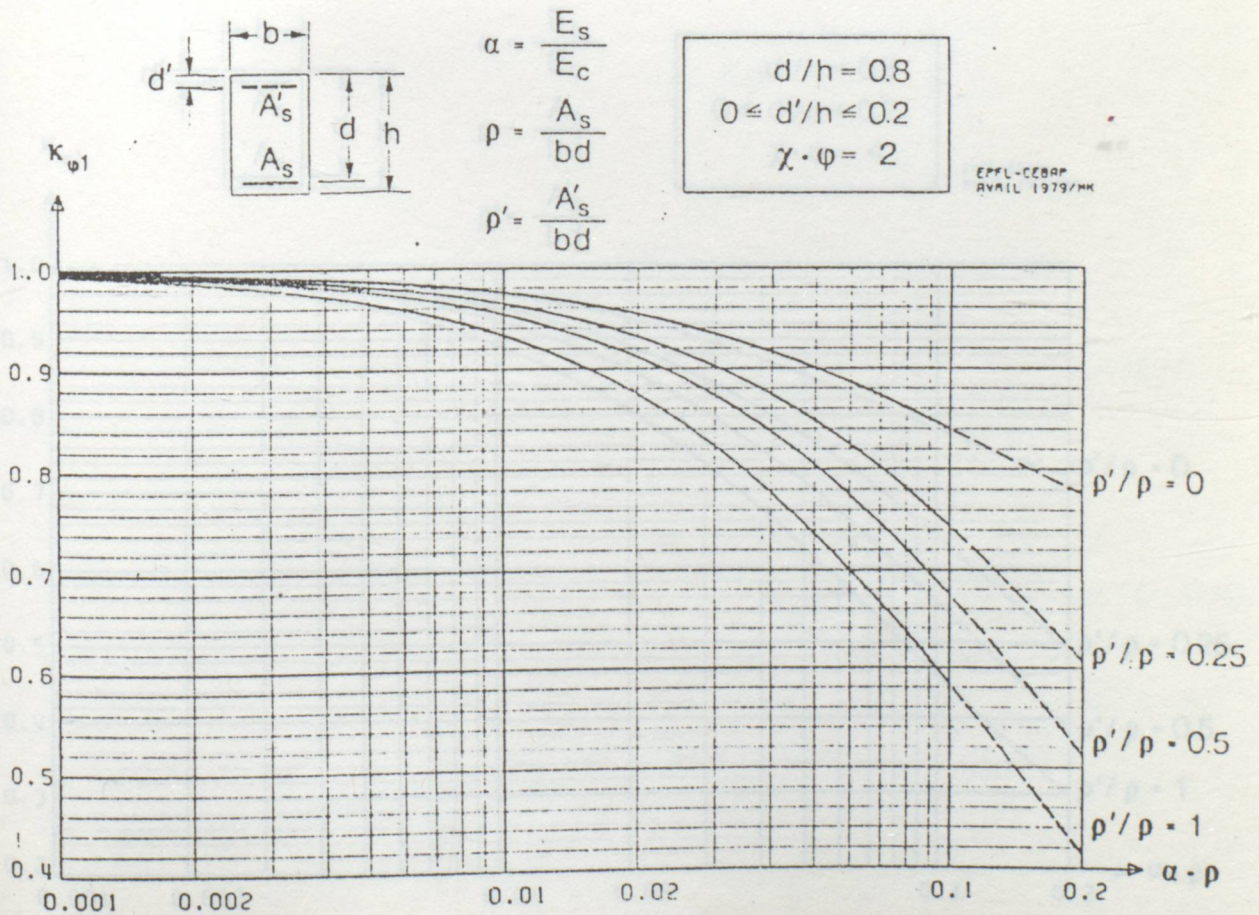
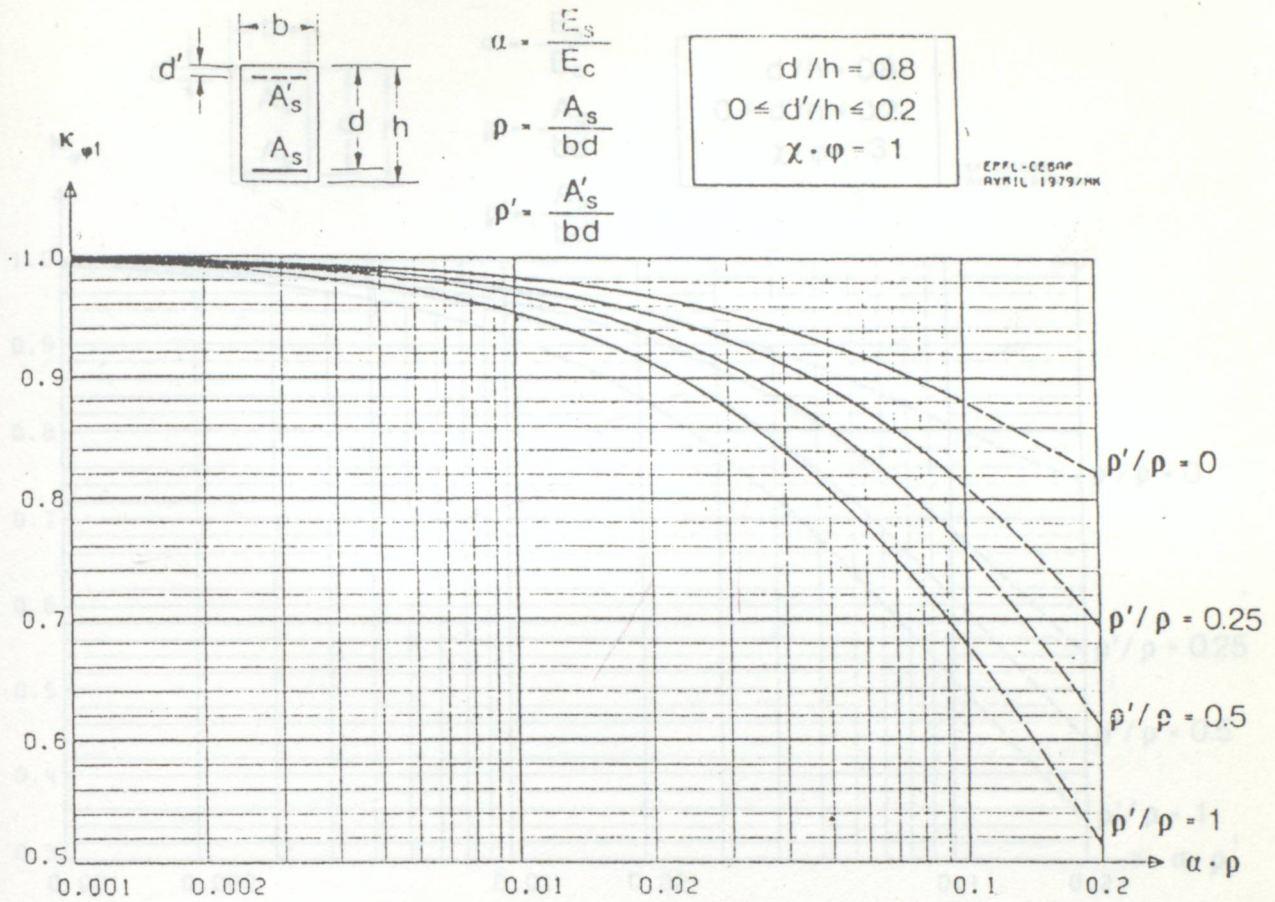


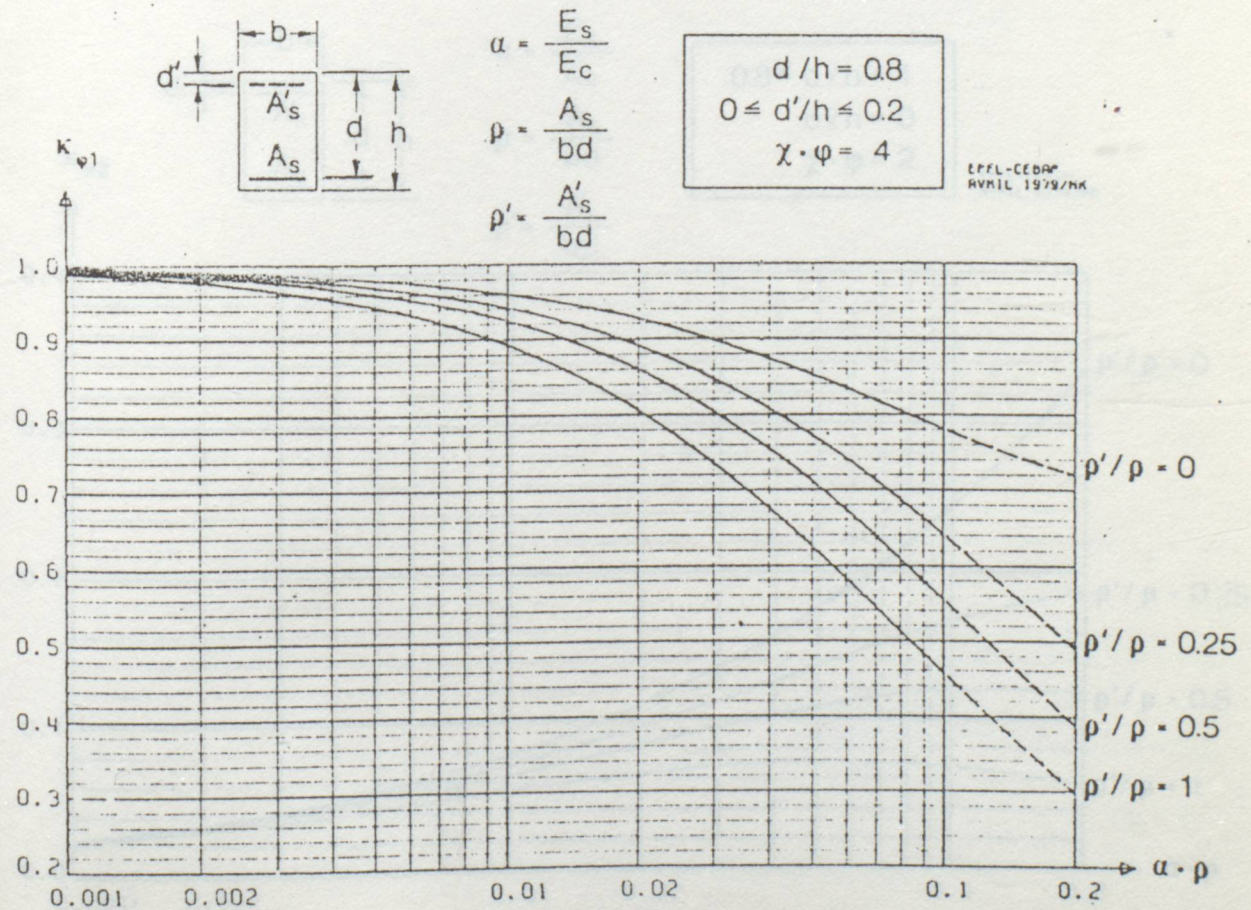
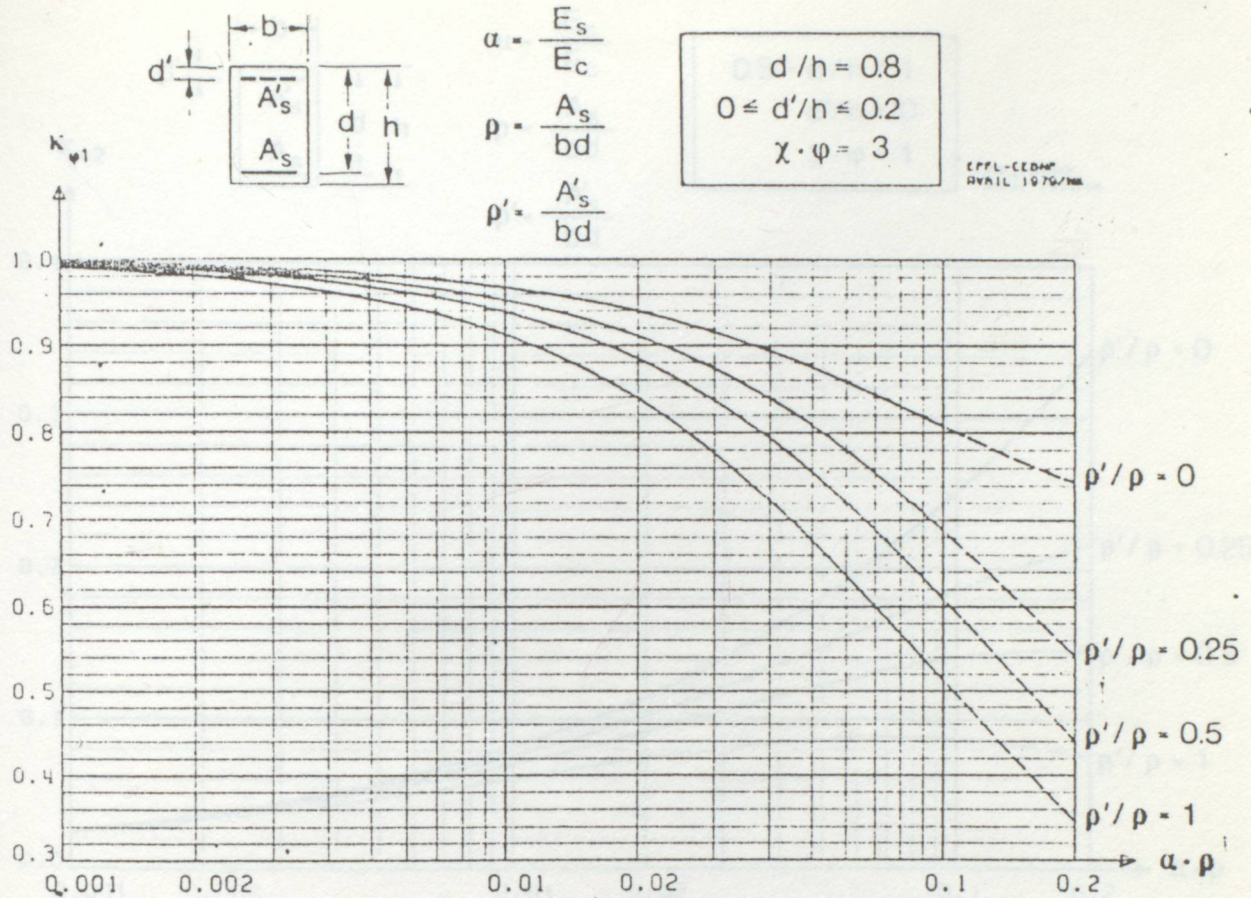


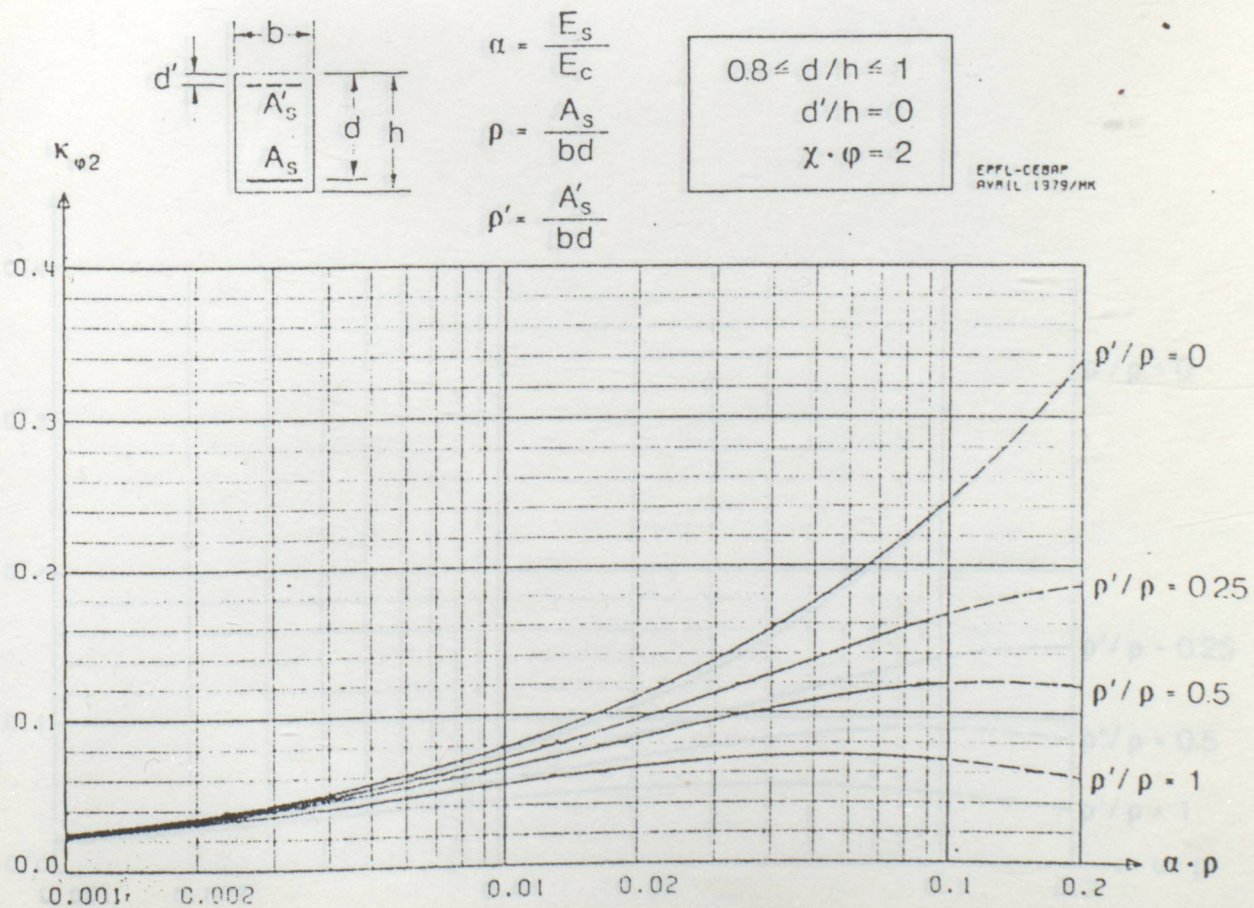
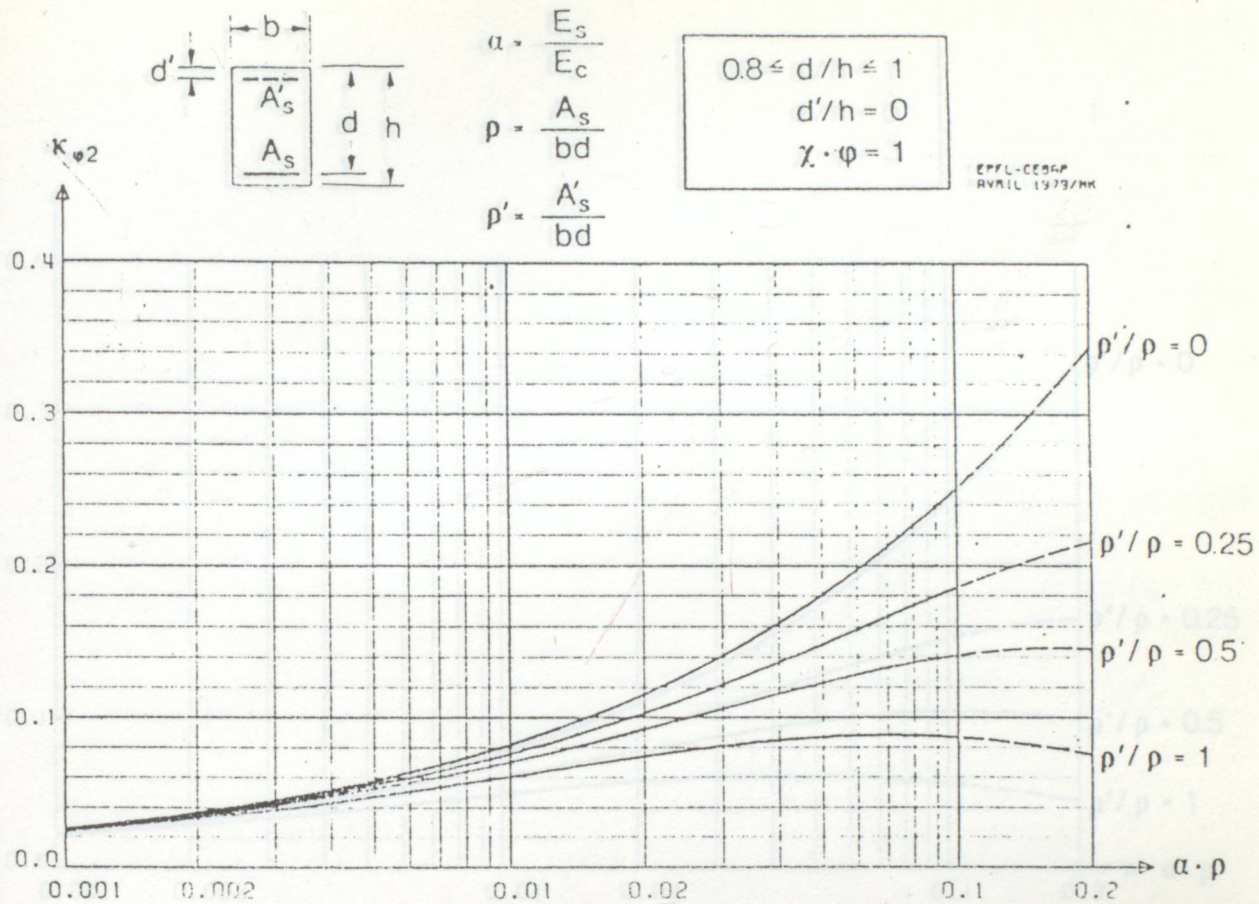
4.3.2 (4)

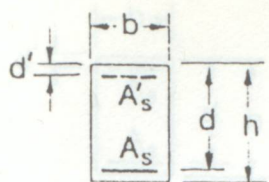












$$\alpha = \frac{E_s}{E_c}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

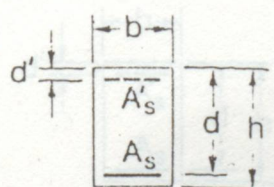
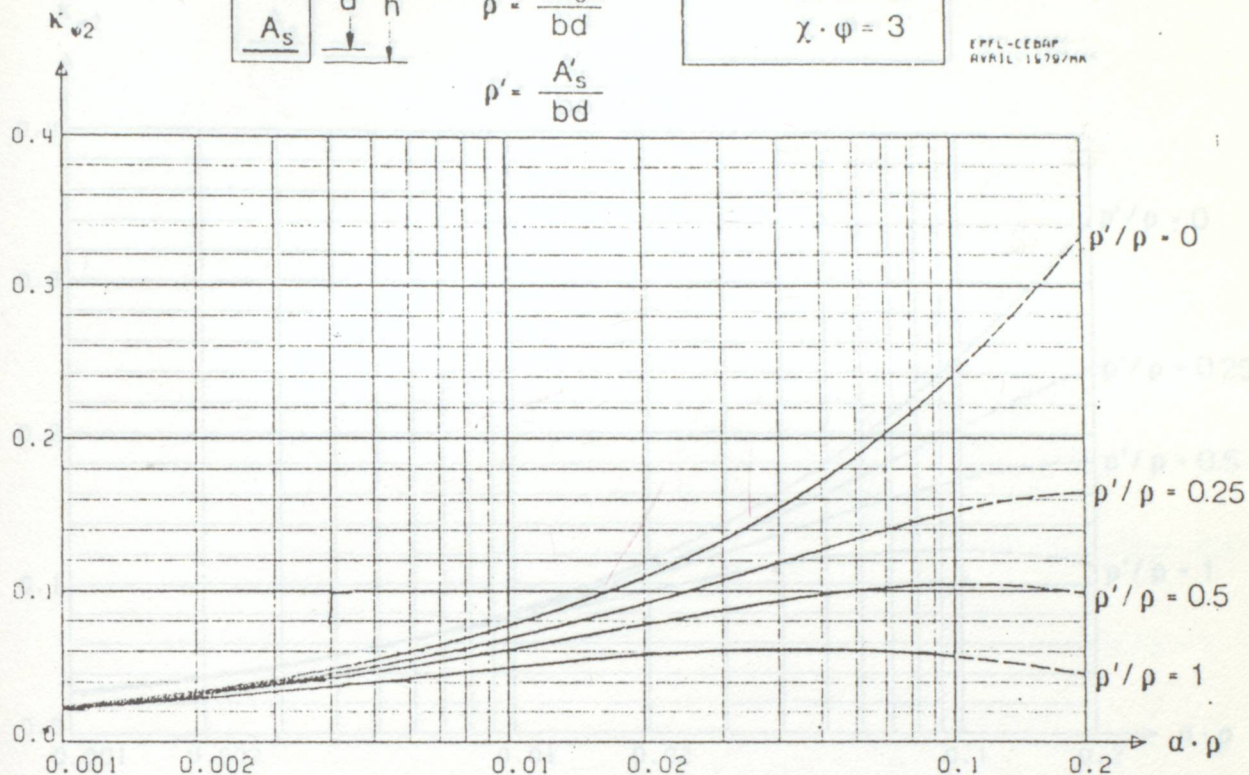
$$\rho' = \frac{A_s'}{bd}$$

$$0.8 \leq d/h \leq 1$$

$$d'/h = 0$$

$$\chi \cdot \varphi = 3$$

EPFL-CEBAP
AVRIL 1979/MK



$$\alpha = \frac{E_s}{E_c}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

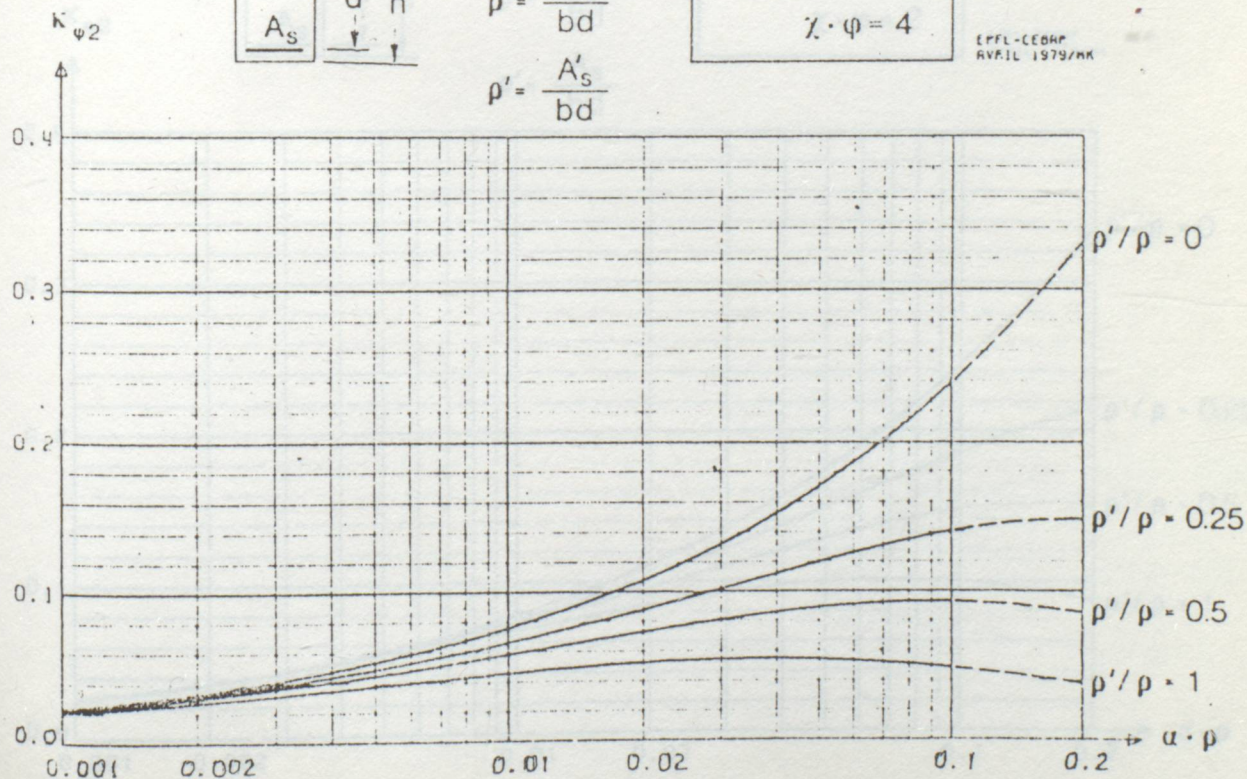
$$\rho' = \frac{A_s'}{bd}$$

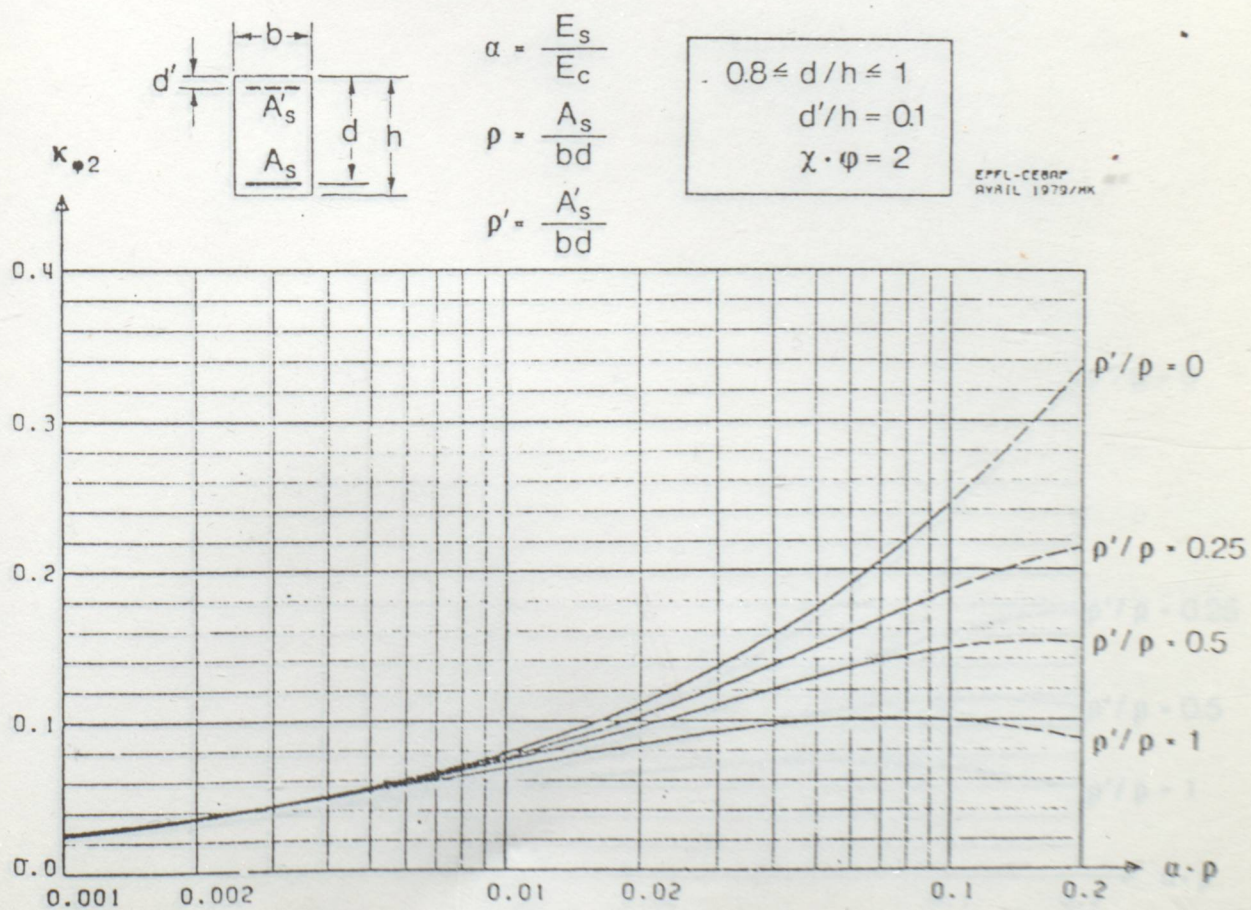
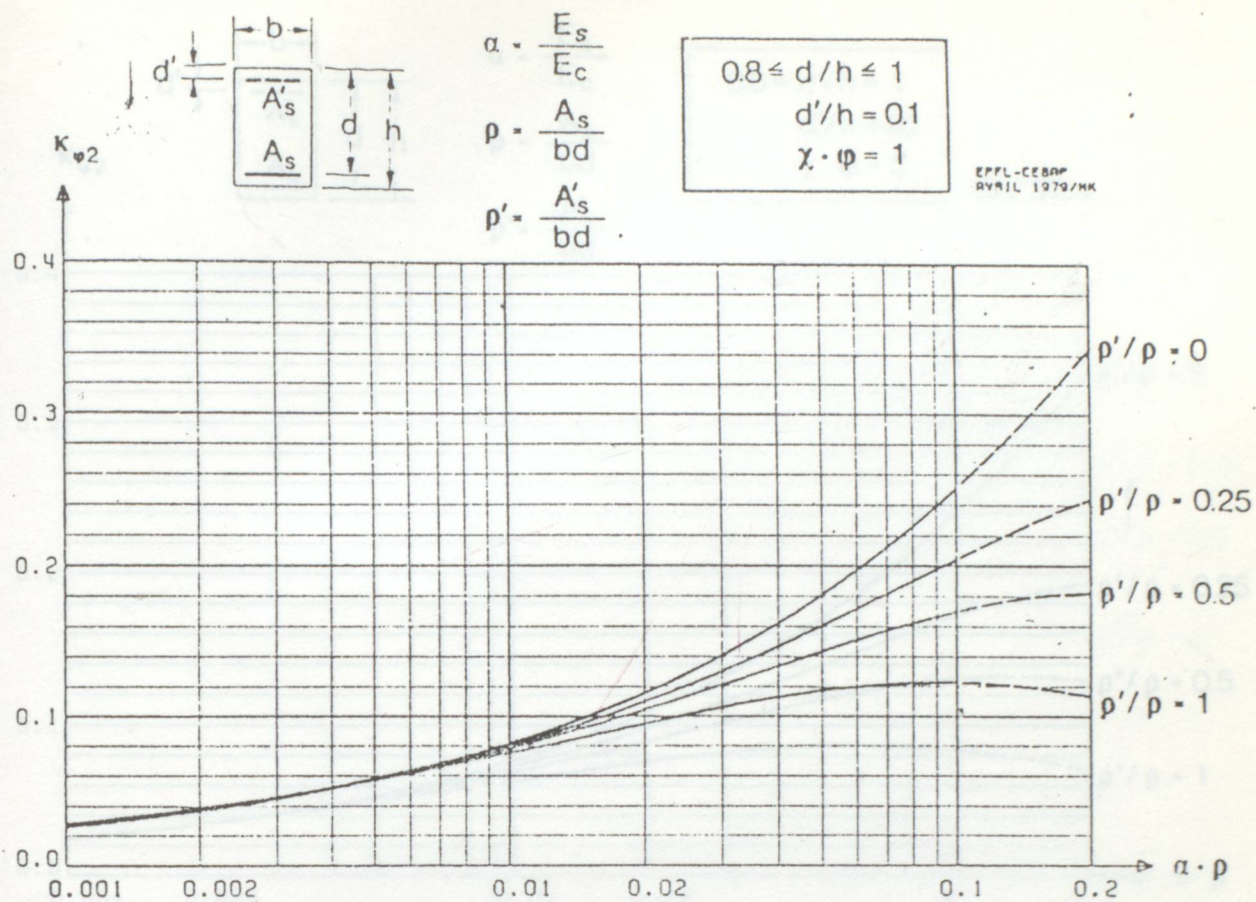
$$0.8 \leq d/h \leq 1$$

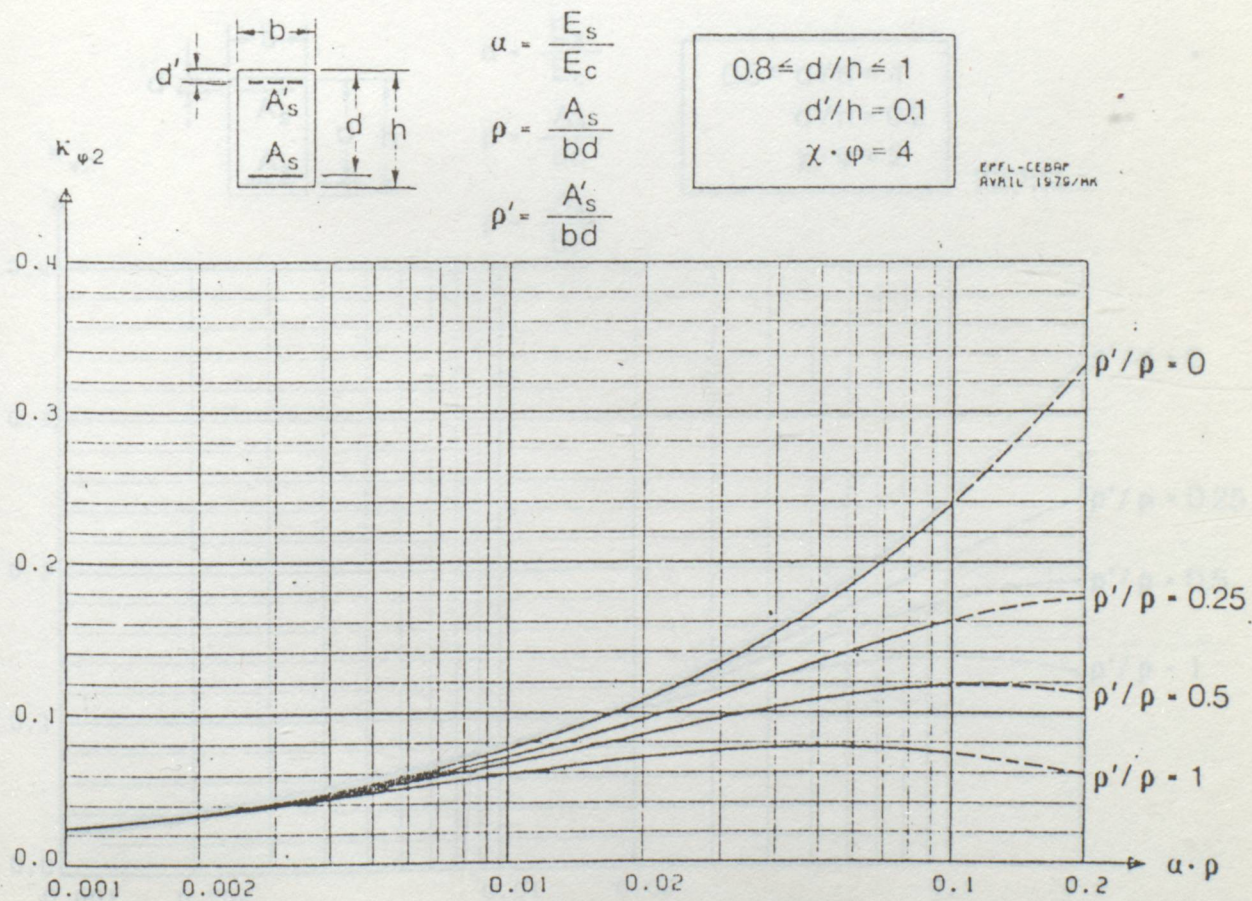
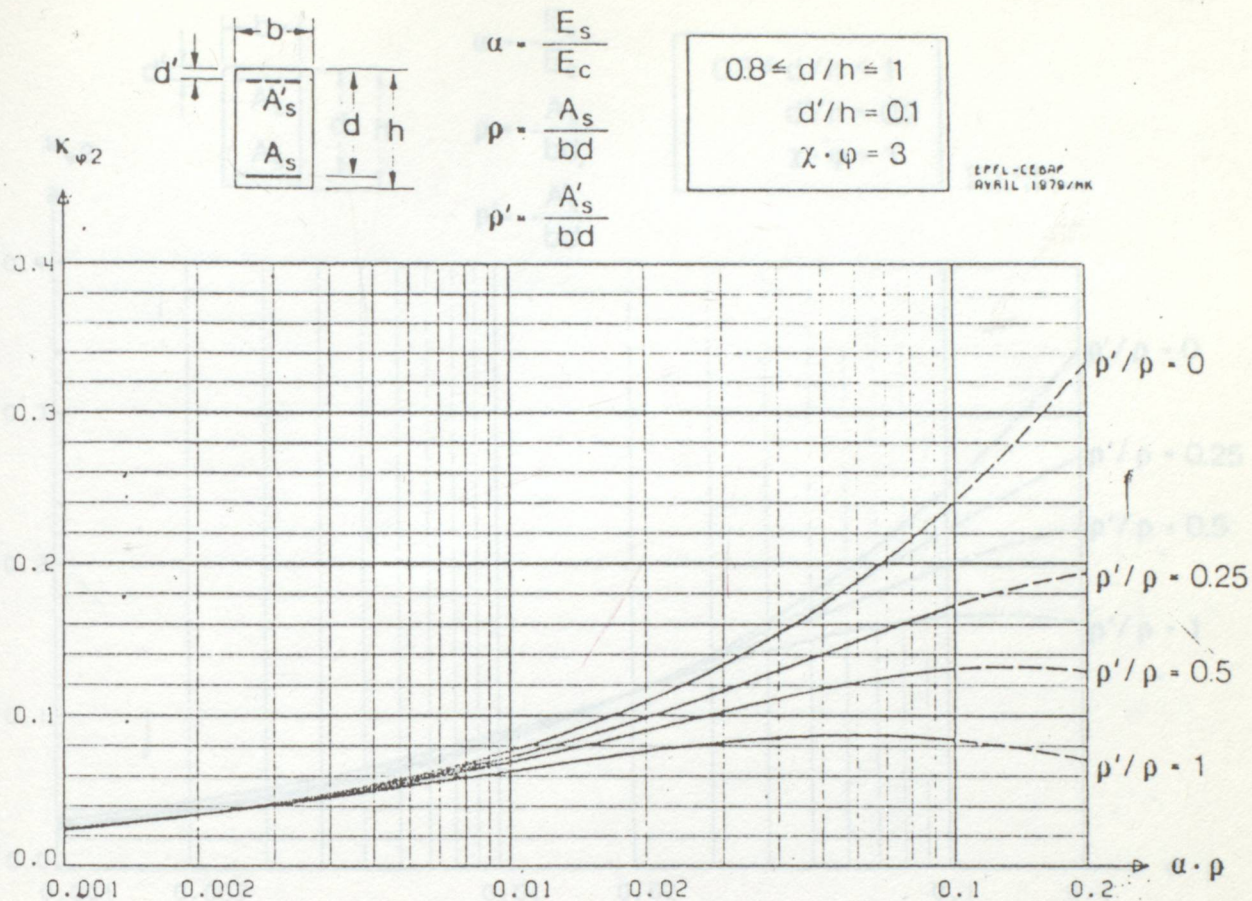
$$d'/h = 0$$

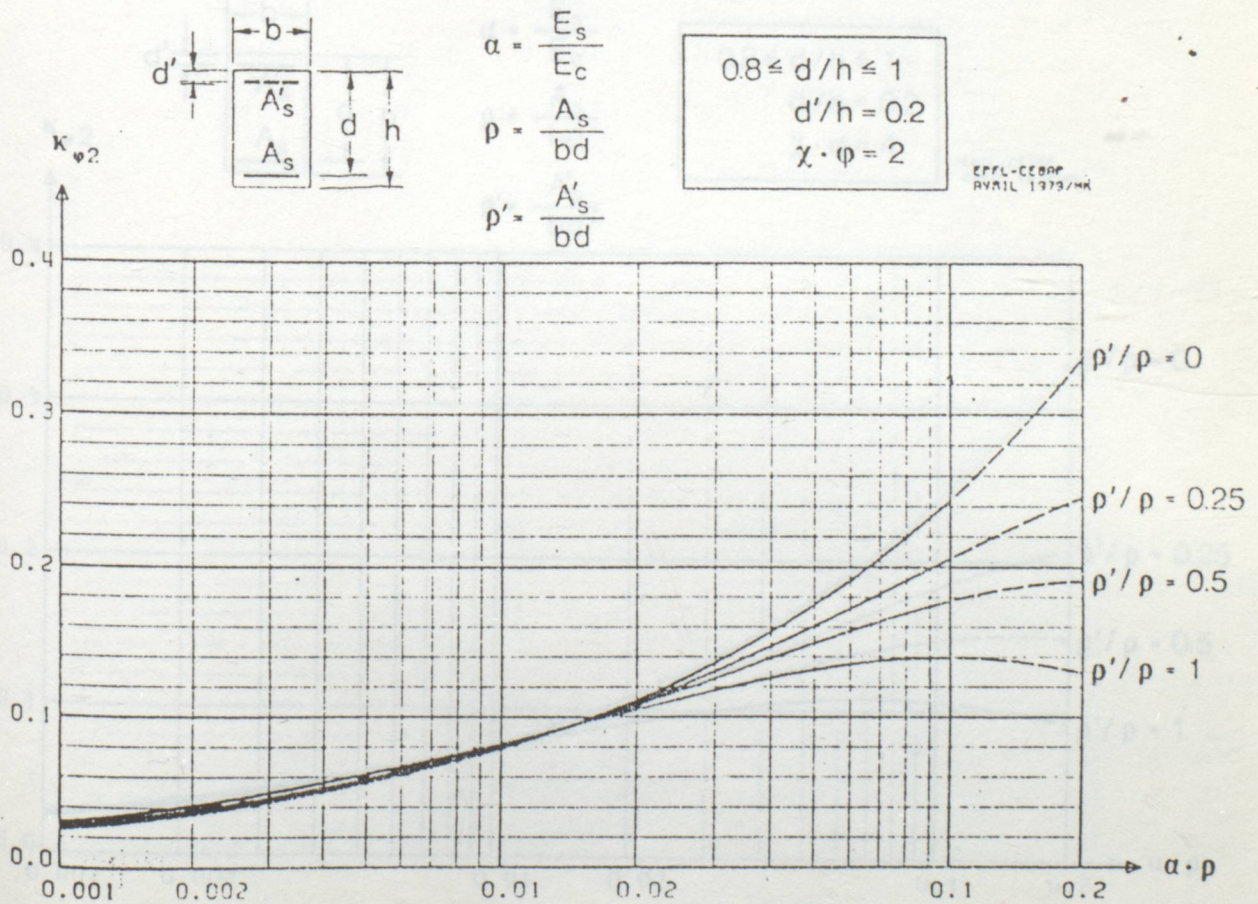
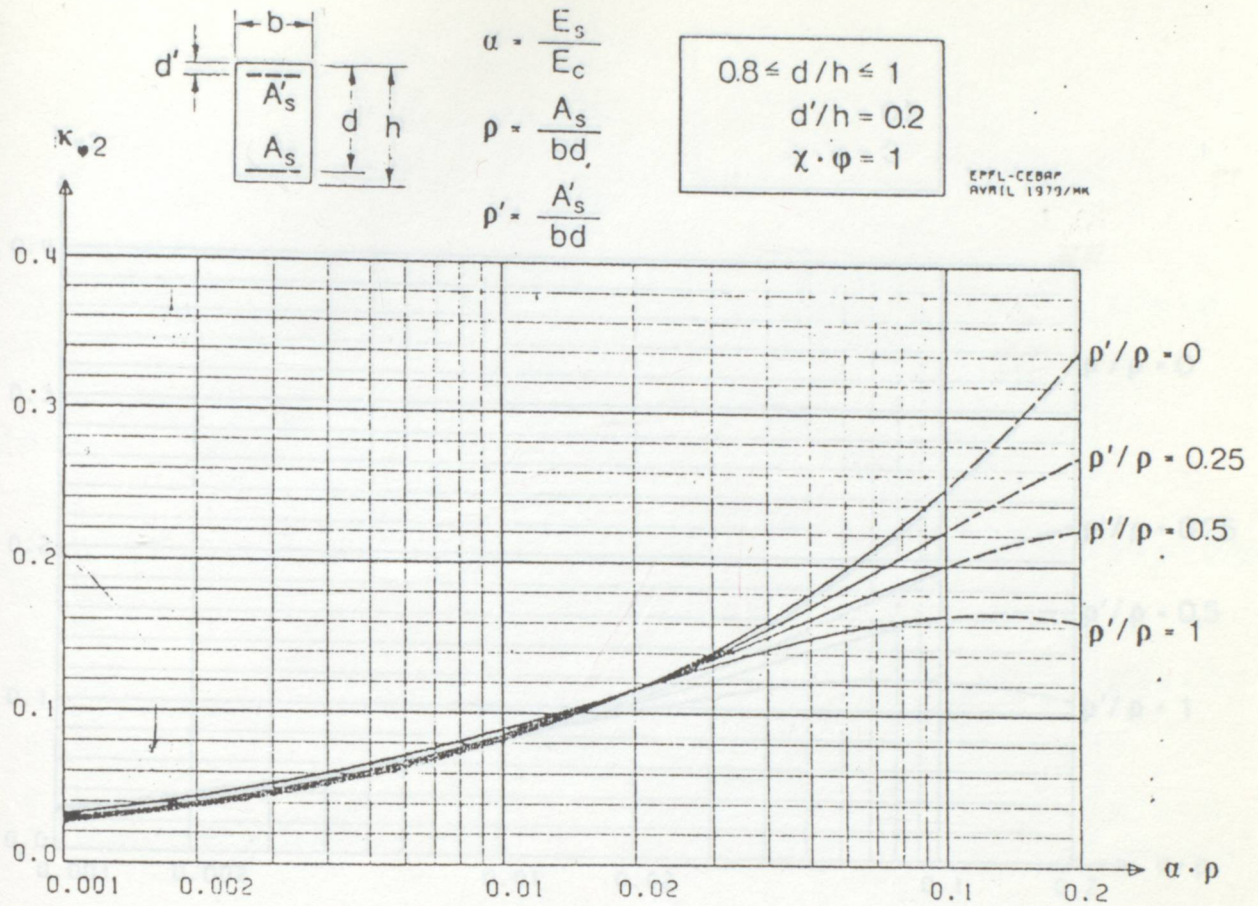
$$\chi \cdot \varphi = 4$$

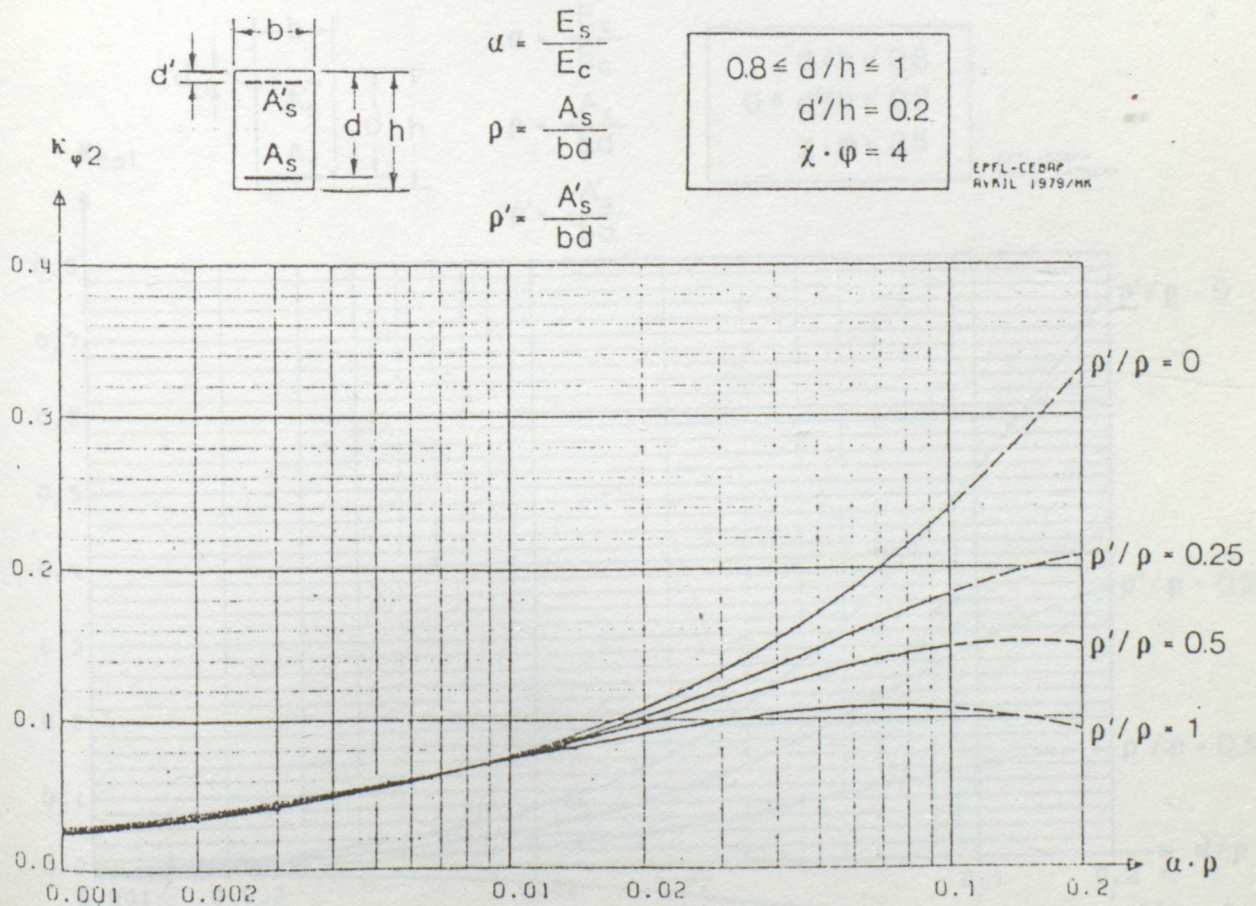
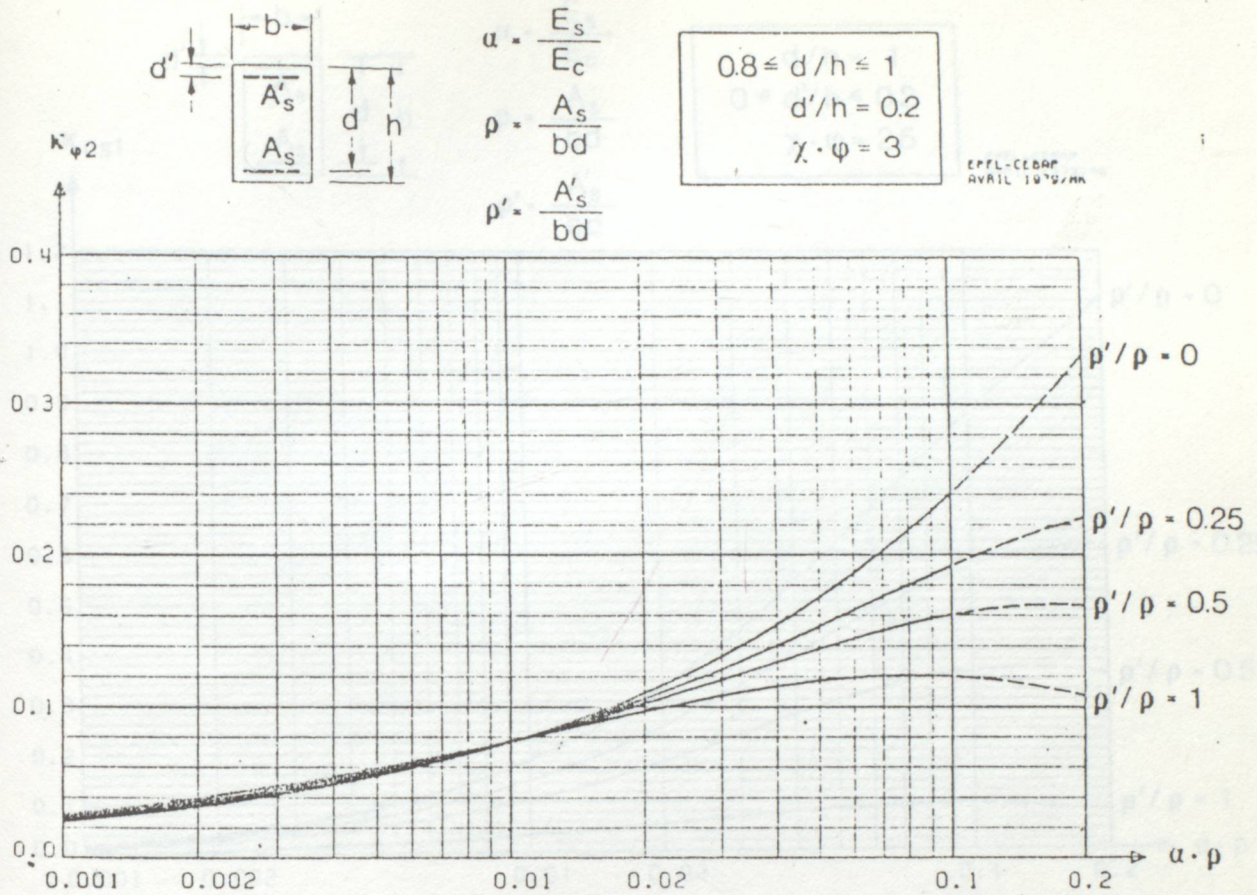
EPFL-CEBAP
AVRIL 1979/MK

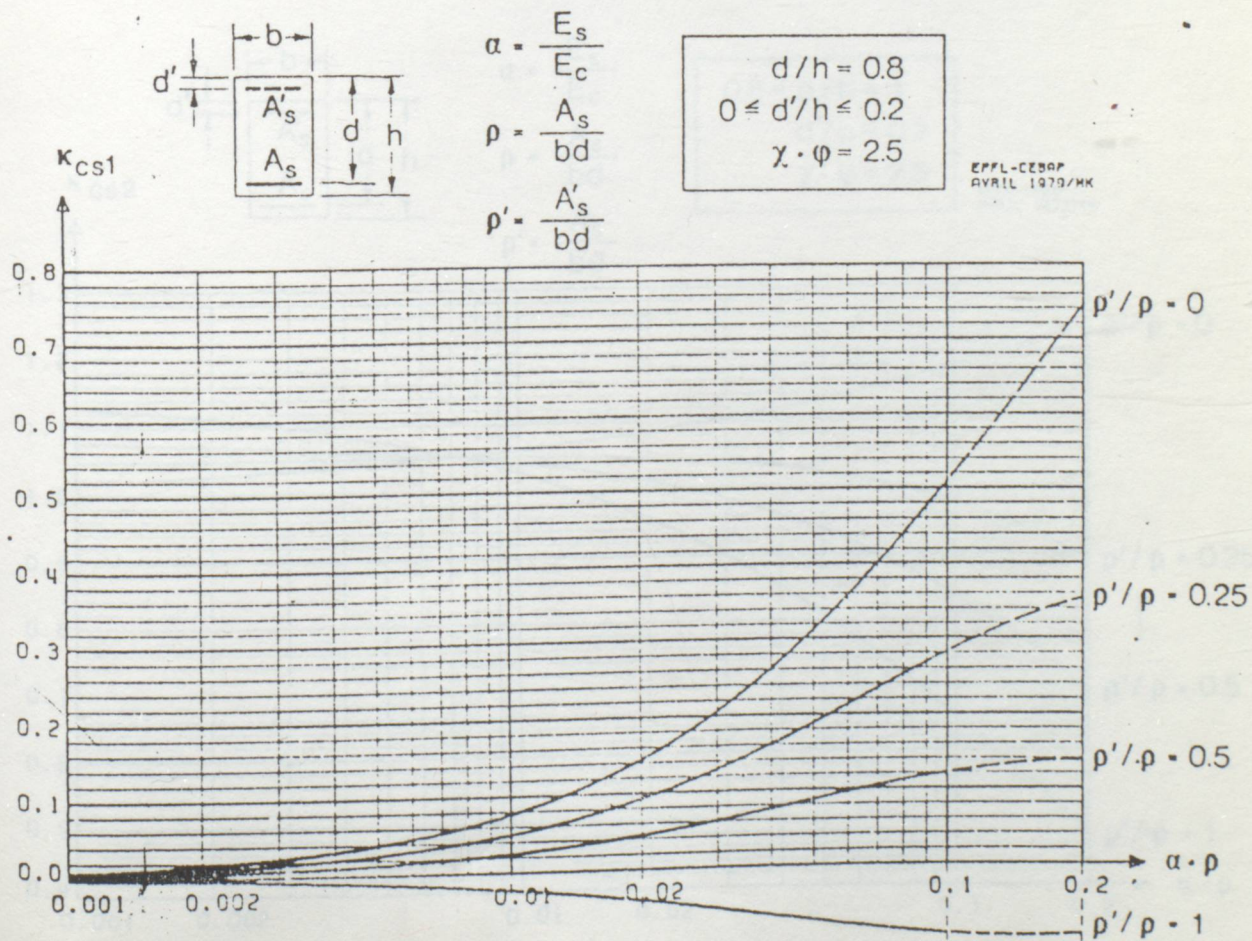
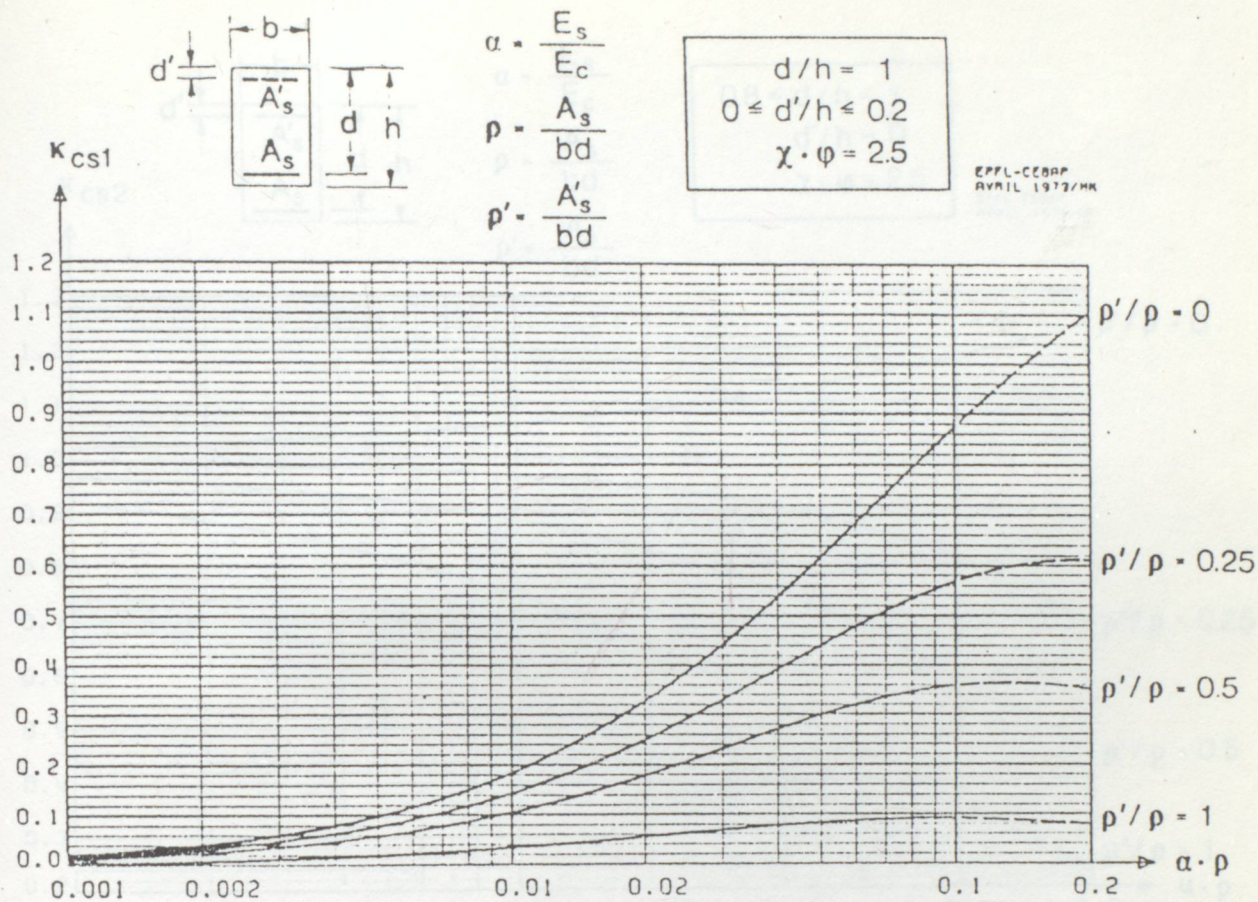


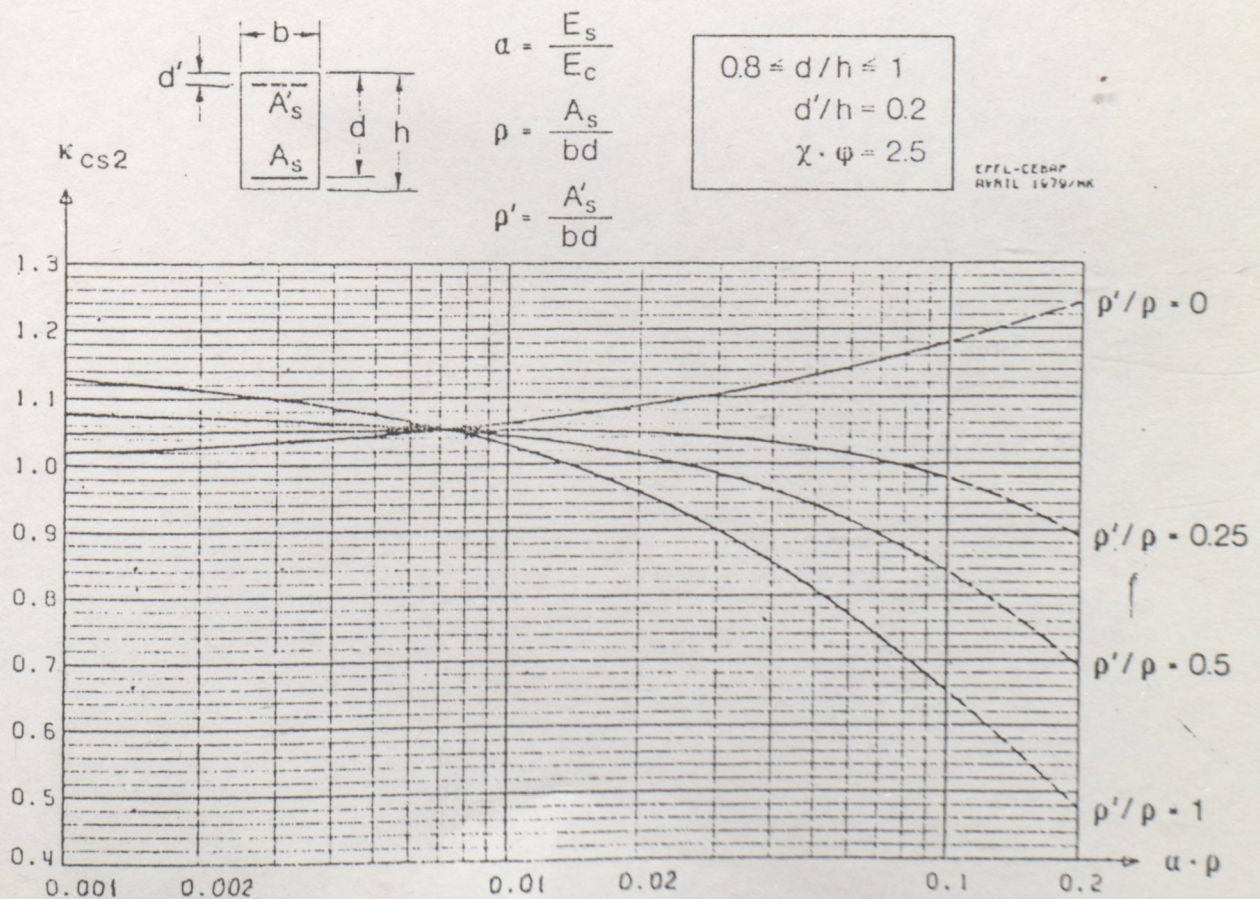
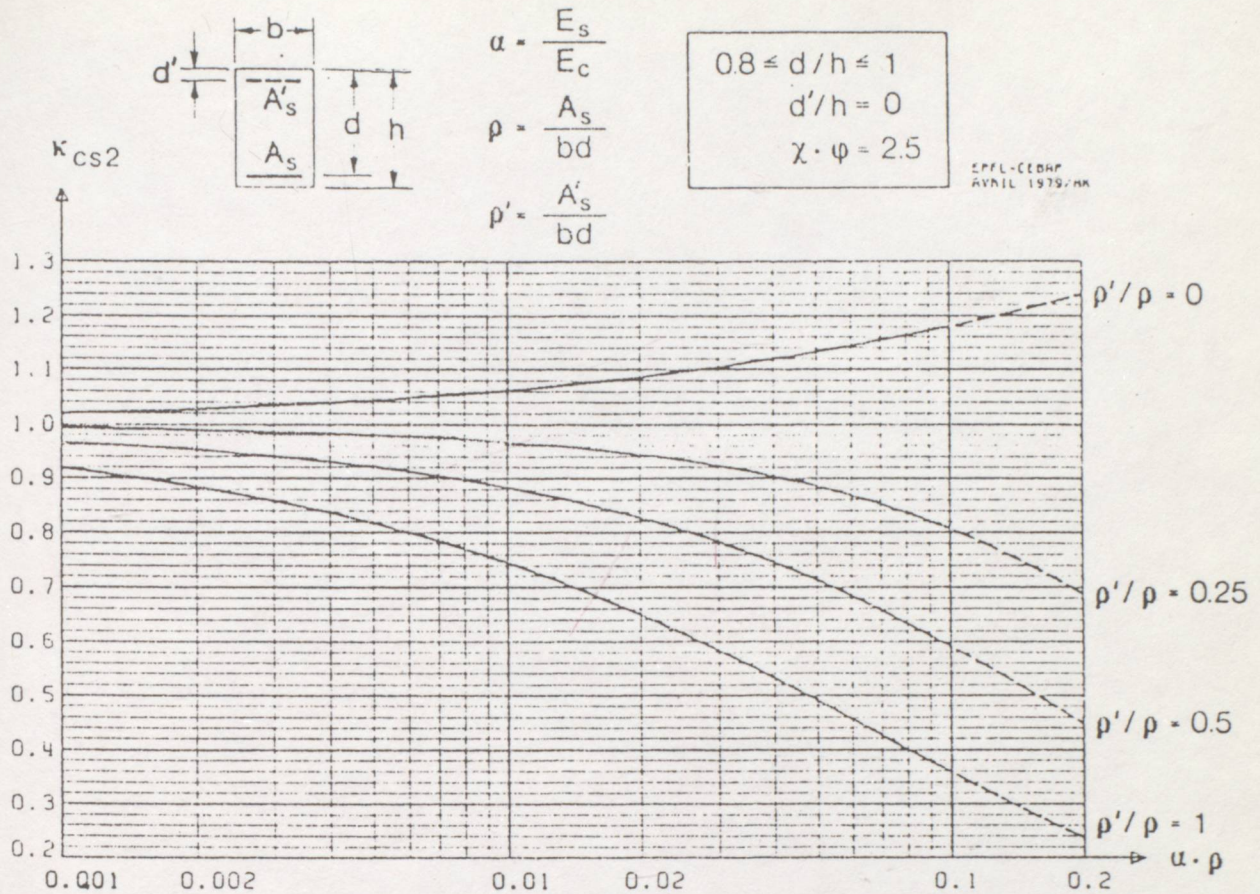












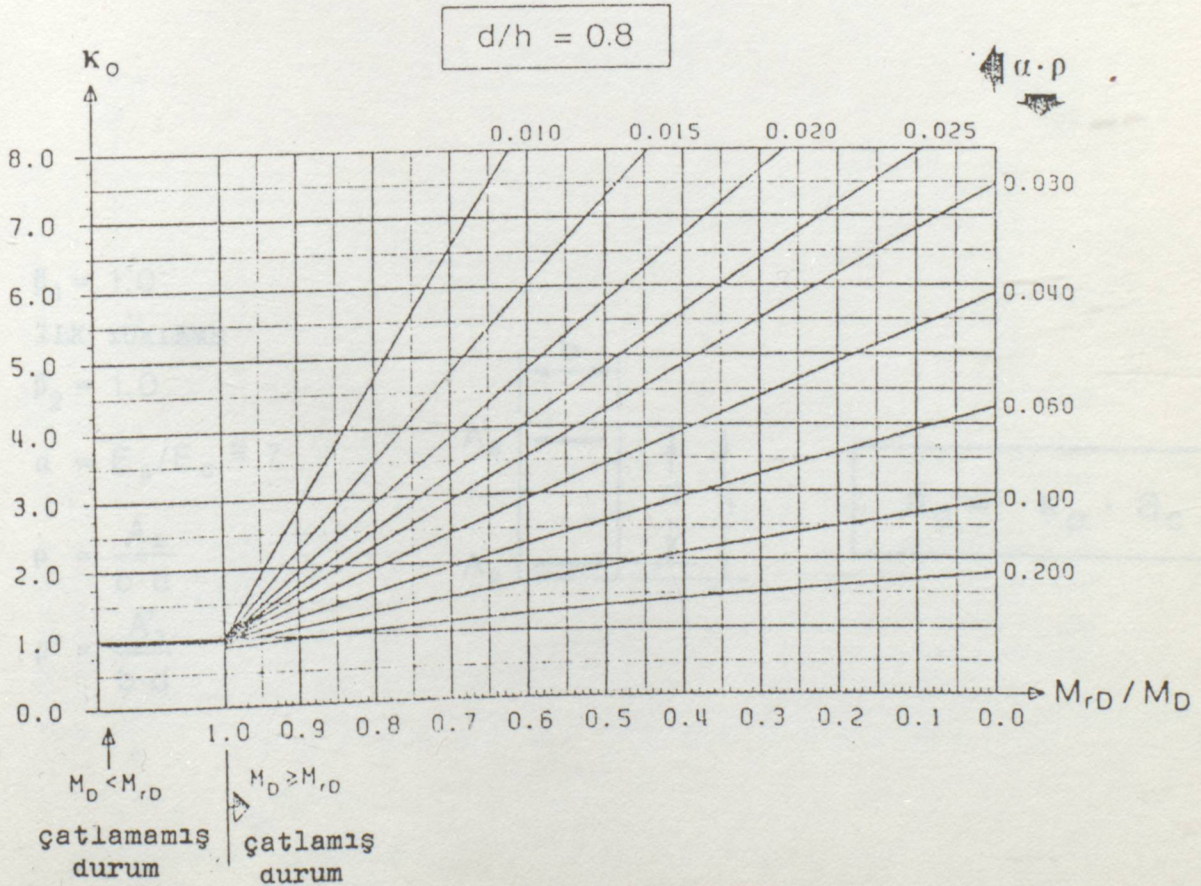
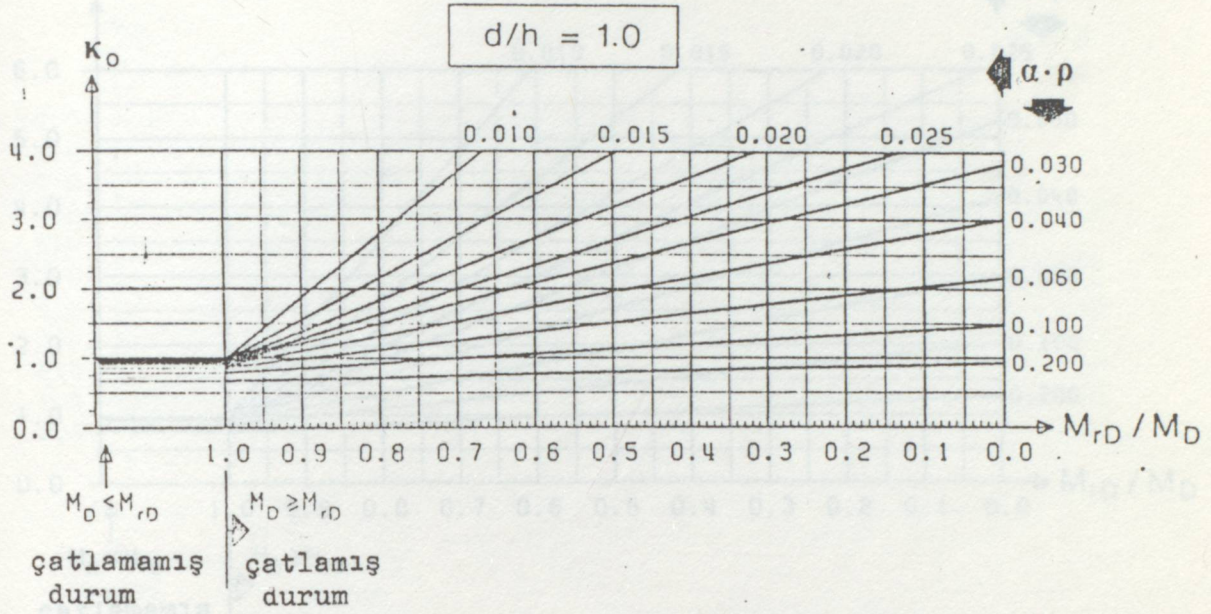
DİKDÖRTGEN KESİTLER İÇİN GENEL DÜZELTME KATSAYILARI

$$a_o = K_o \cdot a_c \quad \text{ani yükleme için}$$

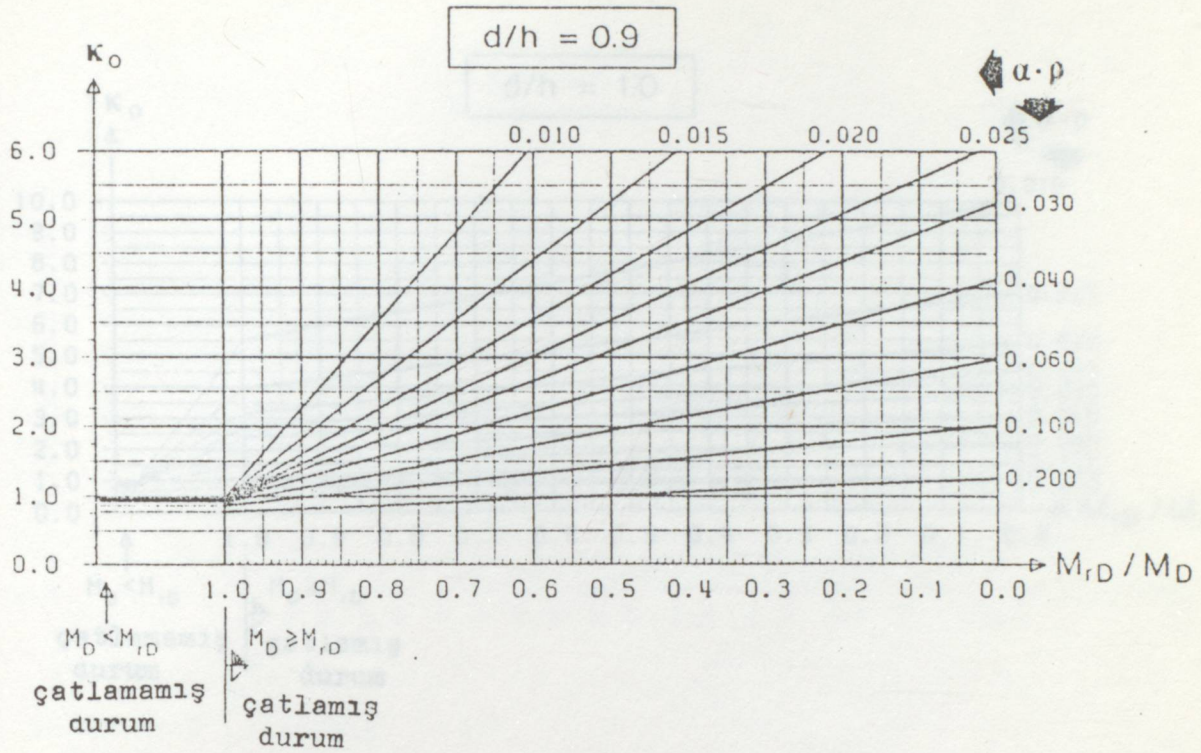
$$a_t = \eta \cdot K_t \cdot a_c \quad \text{uzun süreli yükleme için}$$

katsayı	parametre			ek
	yük	uzun süreli veya devirli	d/h	
K_o	ani	first loading	1.0 0.9 0.8	4.4 (1)
		cycles of load	1.0 0.9 0.8	4.4 (2)
$K_t \cdot \eta$	uzun süreli	$\varphi = 1,5$	1.0 0.9 0.8	4.4 (3)
		$\varphi = 2,5$	1.0 0.9 0.8	4.4 (4)
		$\varphi = 3,5$	1.0 0.9 0.8	4.4 (5)

Not : Bu diağramlar dikdörtgen kesitlere göre hazırlanmıştır. bununla beraber değişik geometriye sahip kesitlerde tatbik edilebilirler. Fakat sonuçlar daha az doğru bulunur. Bu tip kesitleri eşdeğeri olan dikdörtgen kesitlere dönüştürerek (aynı h ve atalet momenti (I) olmak üzere) bu diağramlardan istifade edilebilir. Bakınız ek



İLK YÜKLEME - 4.4 (1)



$\beta_1 = 1.0$

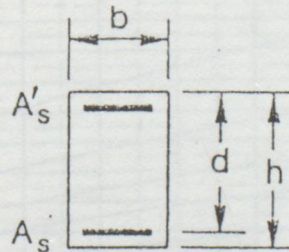
İLK YÜKLEME

$\beta_2 = 1.0$

$\alpha = E_s / E_c \cong 7$

$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$

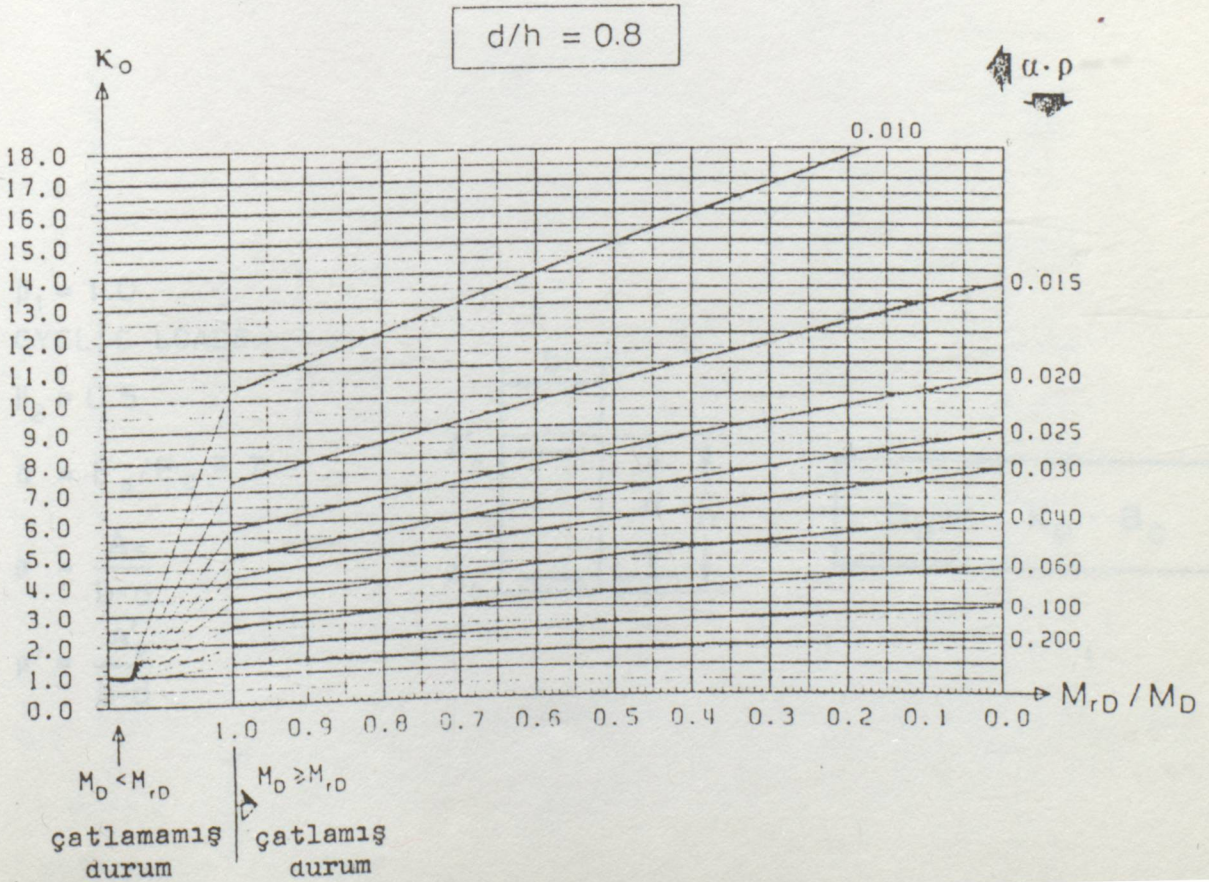
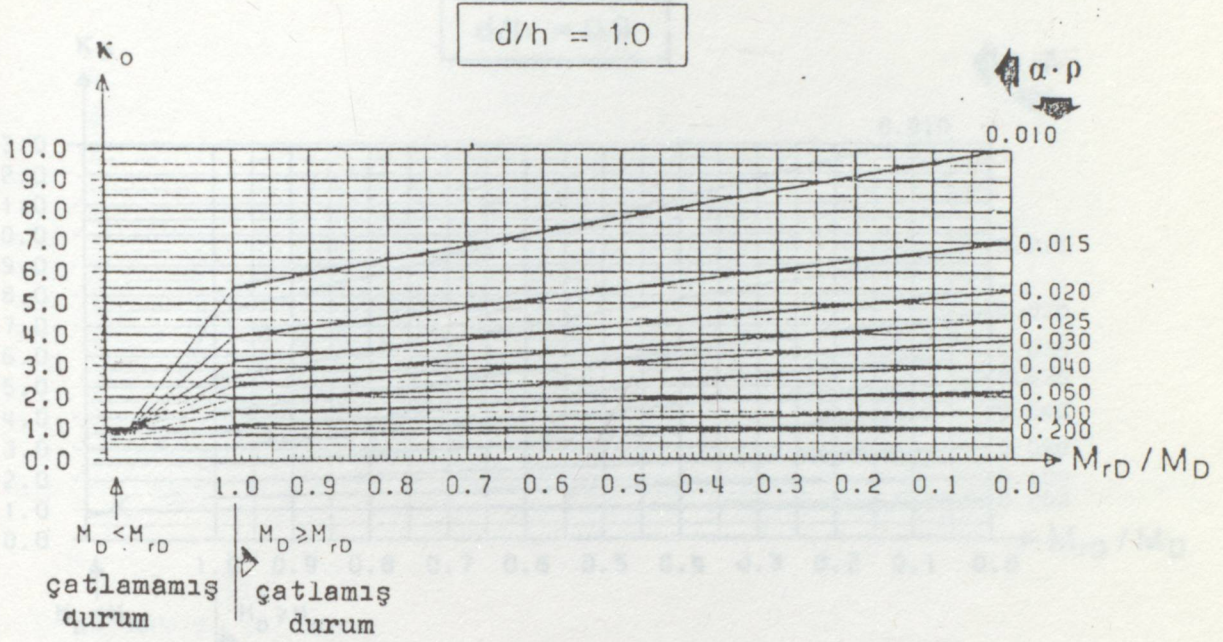
$\rho' = \frac{A'_s}{b \cdot d}$



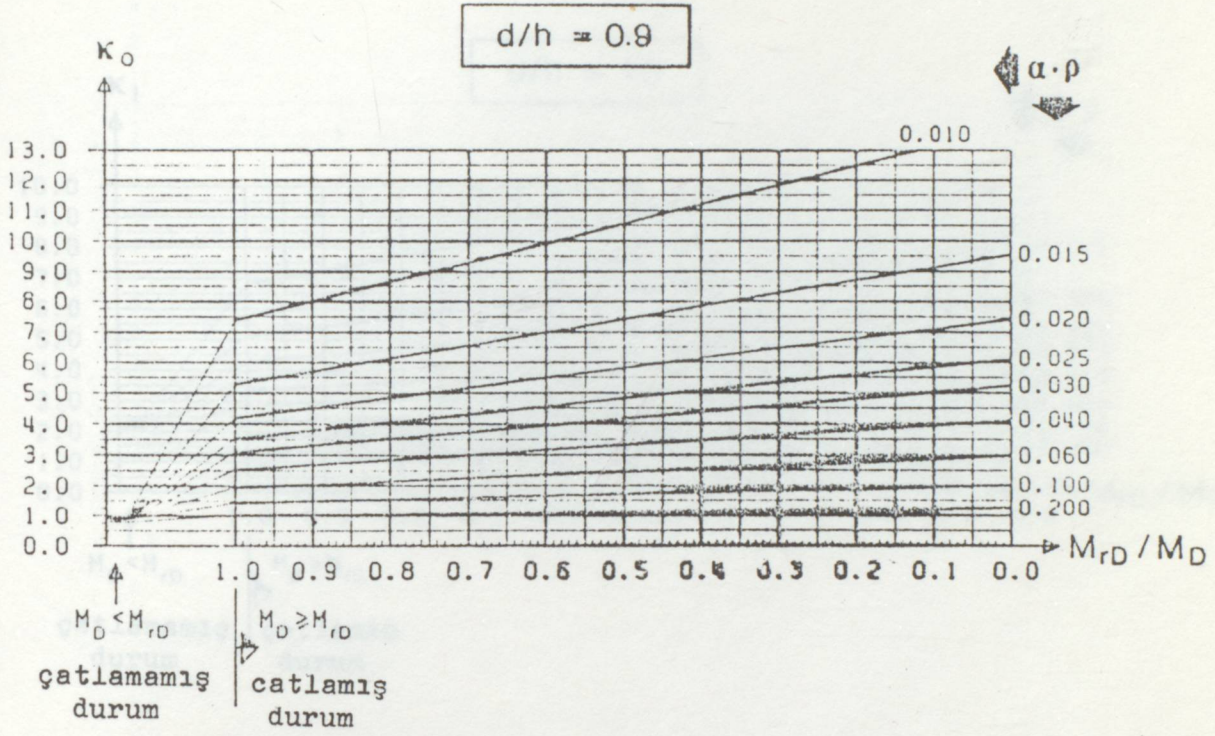
$a_o = \kappa_o \cdot a_c$

DEVİRLİ YÜKLER

4.4 (2)



DEVİRLİ YÜKLER - 4.4 (2)



$\beta_1 = 1.0$

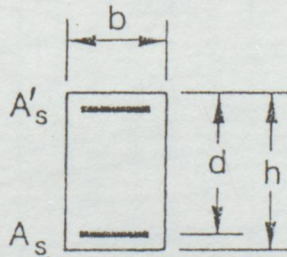
CYCLIC LOADS

$\beta_2 = 0.5$

$\alpha = E_s / E_c \approx 7$

$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$

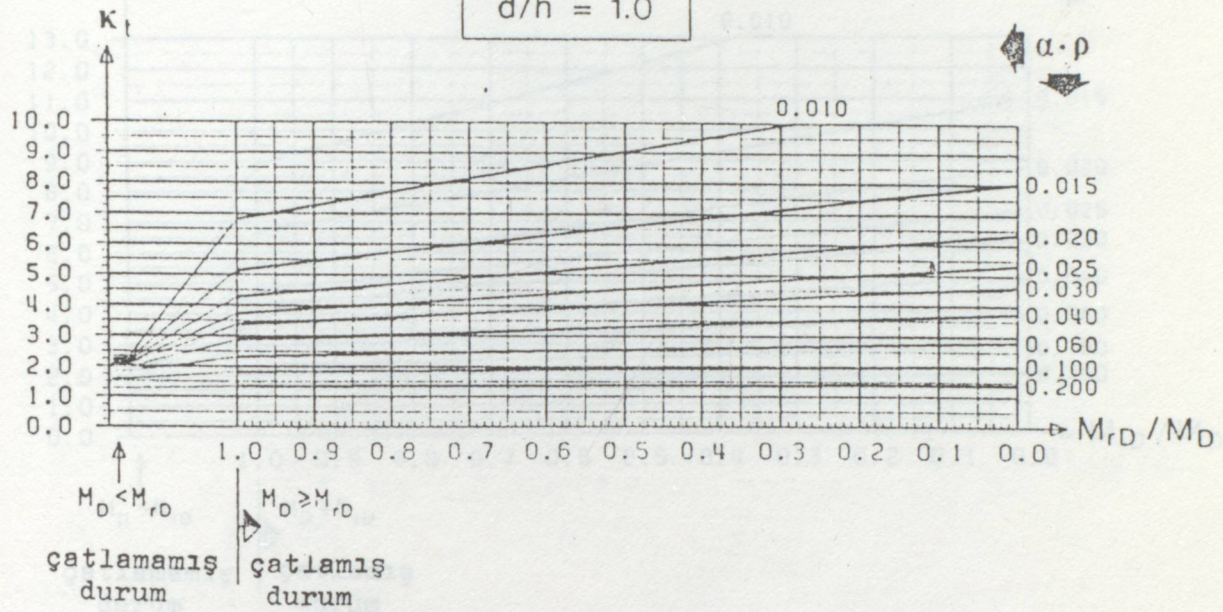
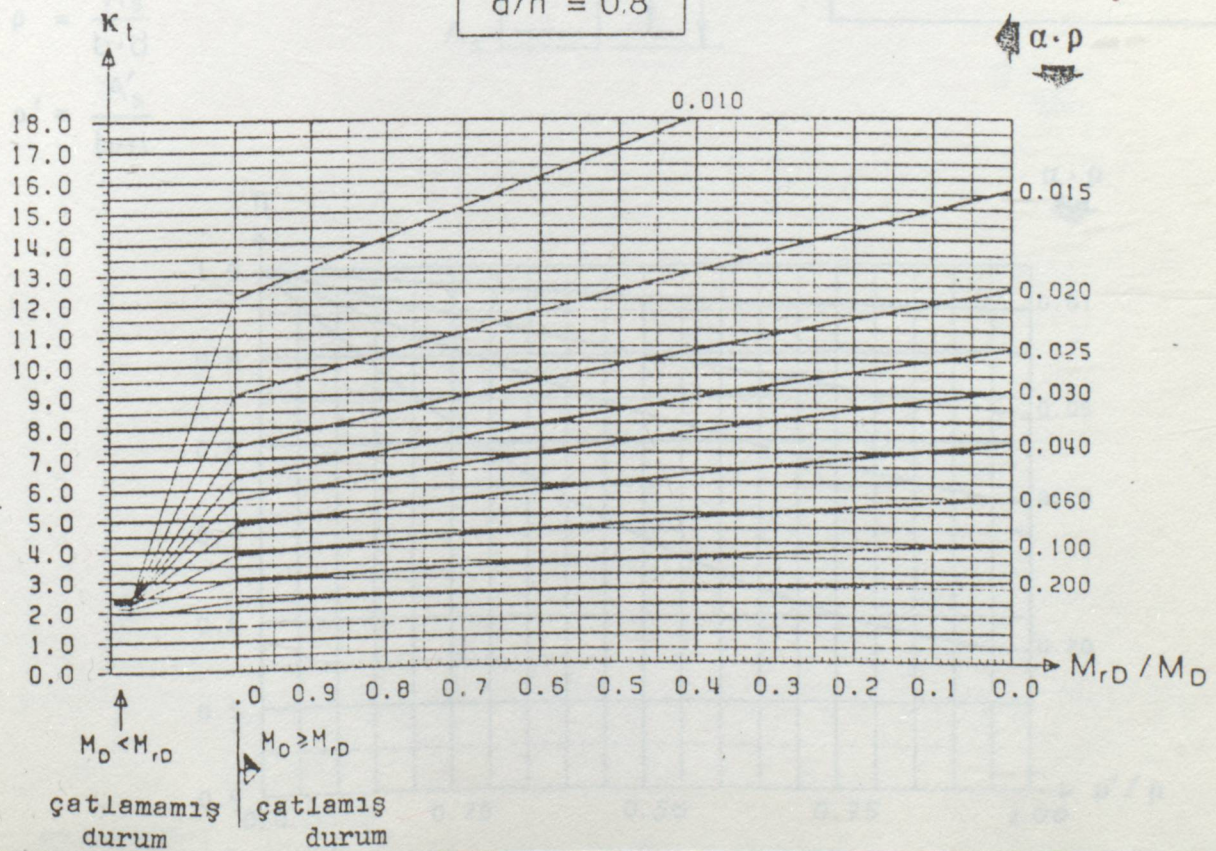
$\rho' = \frac{A'_s}{b \cdot d}$



$a_o = \kappa_o \cdot a_c$

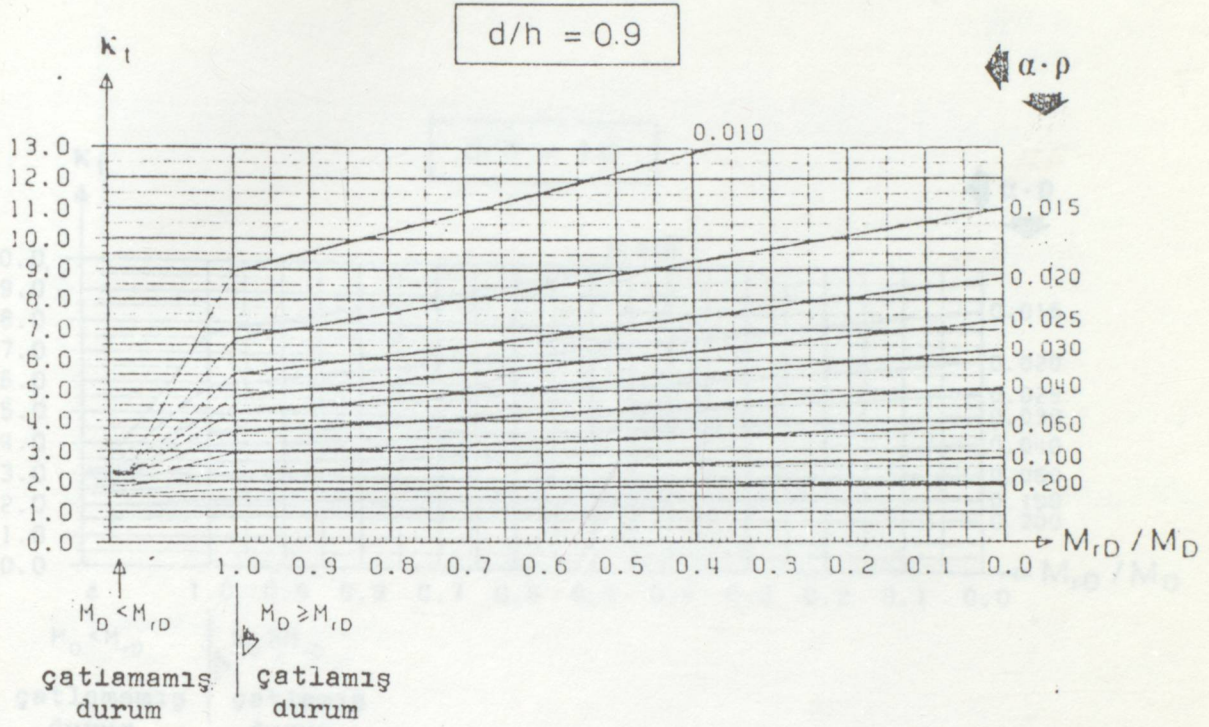
$$\varphi = 1.5$$

4.4 (3)

$$d/h = 1.0$$

$$d/h = 0.8$$


$$\psi = 1.5$$

4.4 (3)



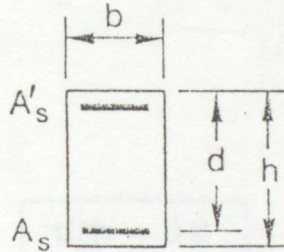
$$\beta_1^* = 1.0$$

$$\beta_2 = 0.5$$

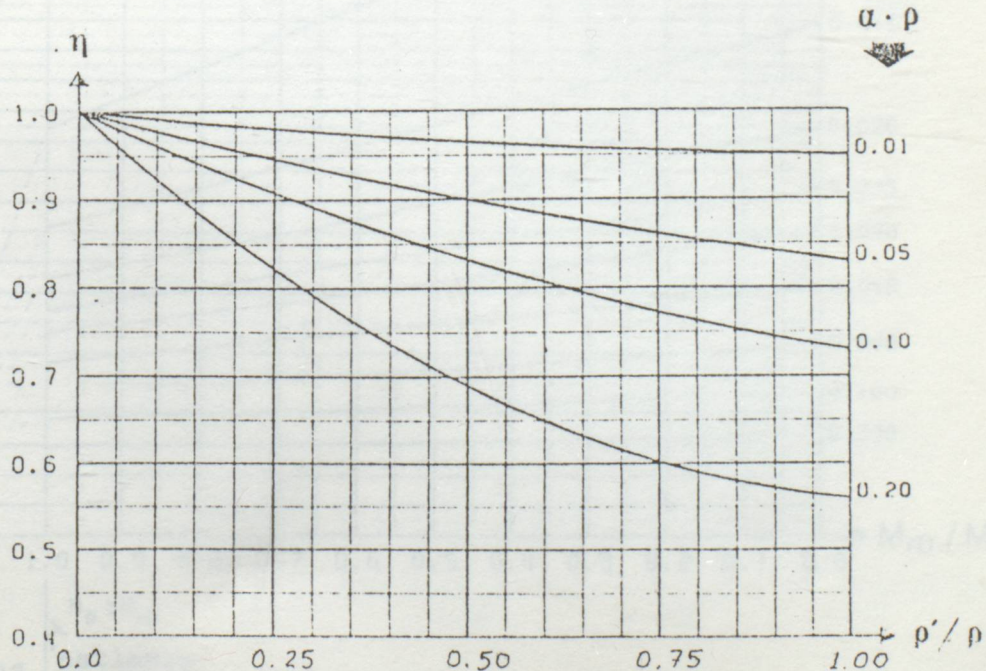
$$\alpha = E_s / E_c \approx 7$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$\rho' = \frac{A'_s}{b \cdot d}$$



$$a_t = \eta \cdot \kappa_t \cdot a_c$$

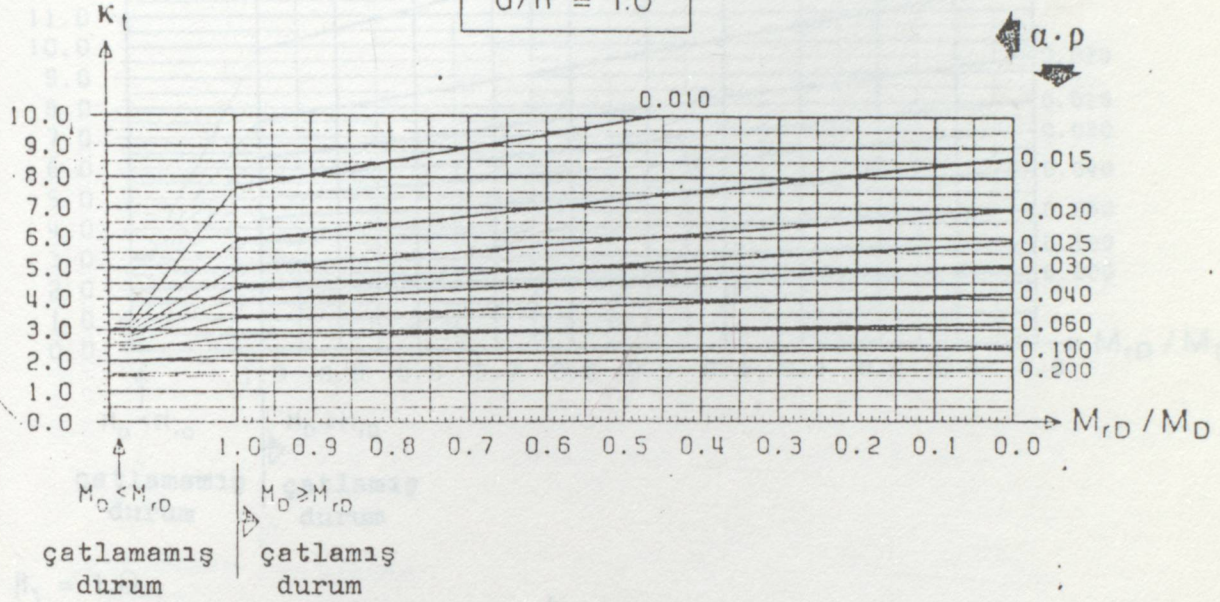


$$\varphi = 2.5$$

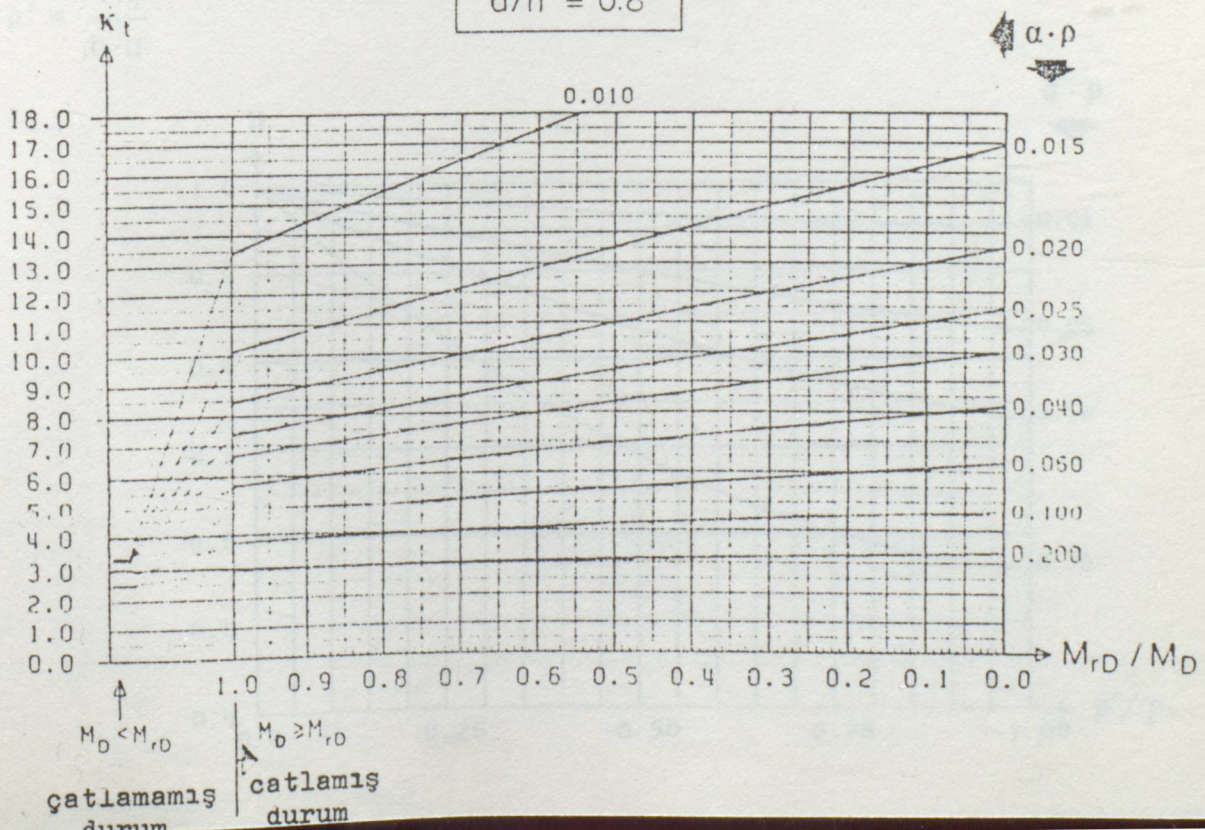
4.4 (4)

$$d/h = 0.9$$

$$d/h = 1.0$$



$$d/h = 0.8$$

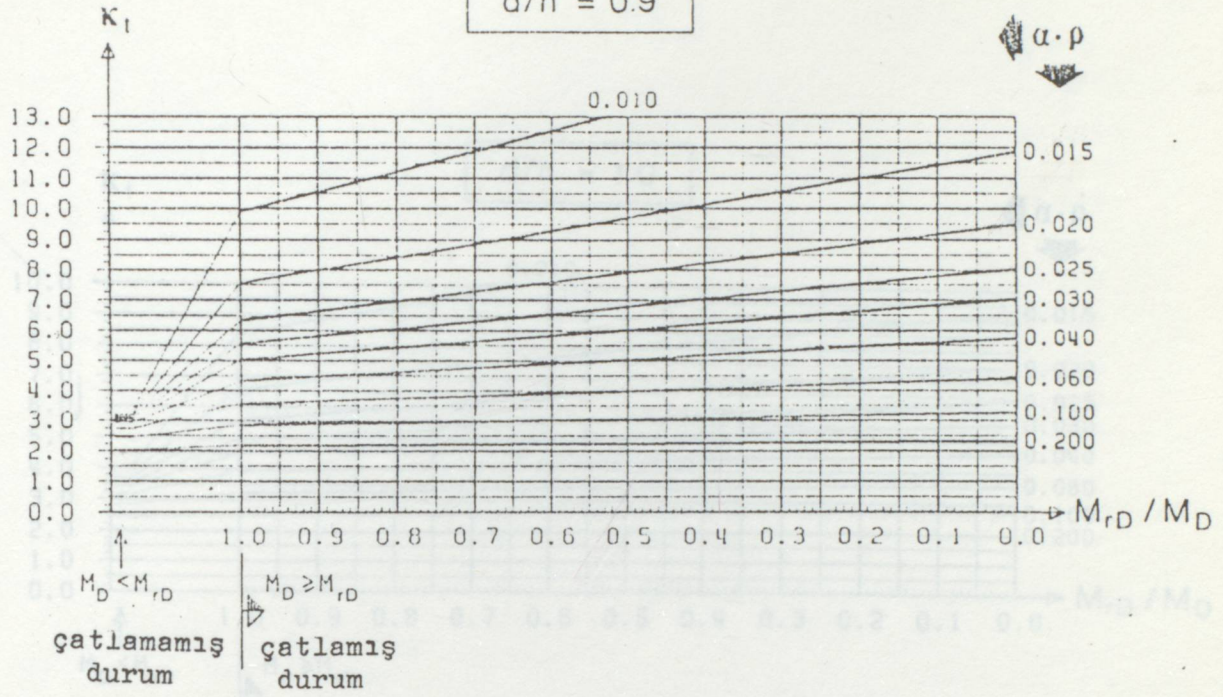


$\varphi = 2.5$

4.4 (4)

$\varphi = 3.5$

$d/h = 0.9$



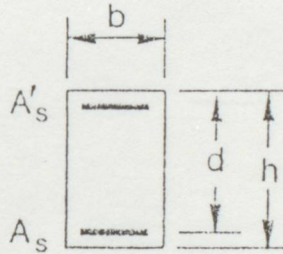
$\beta_1 = 1.0$

$\beta_2 = 0.5$

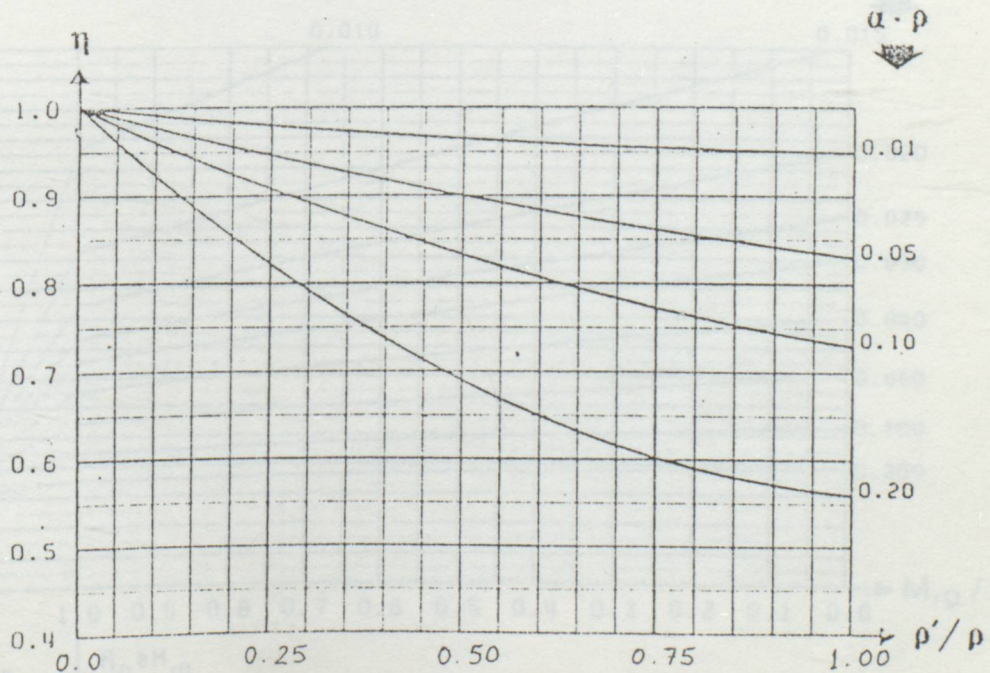
$\alpha = E_s / E_c \cong 7$

$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$

$\rho' = \frac{A'_s}{b \cdot d}$

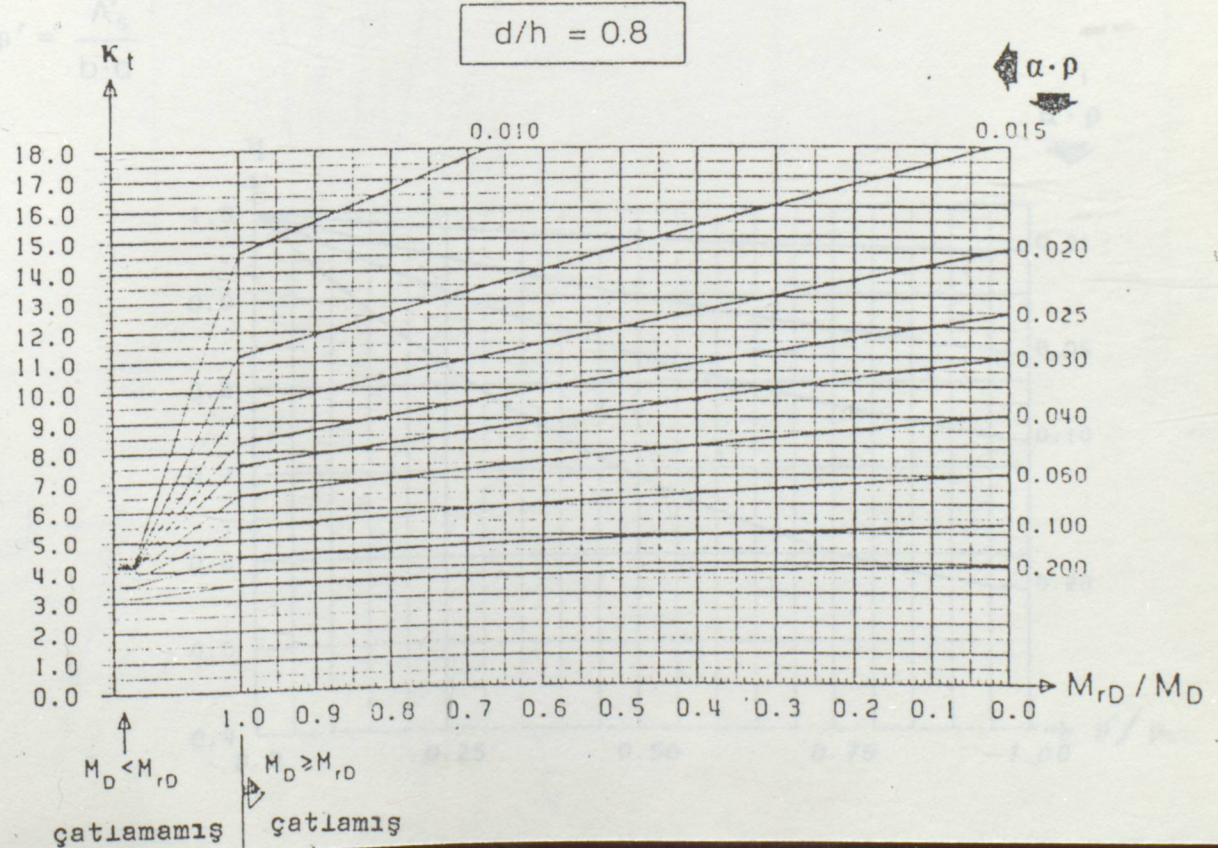
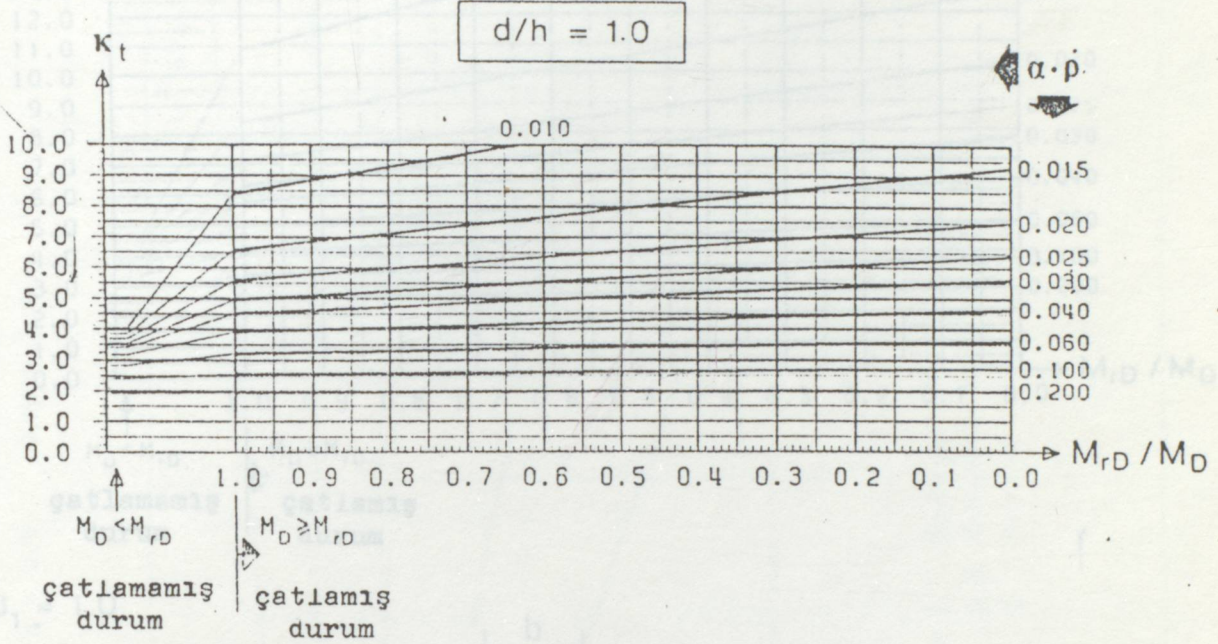


$a_t = \eta \cdot K_t \cdot a_c$



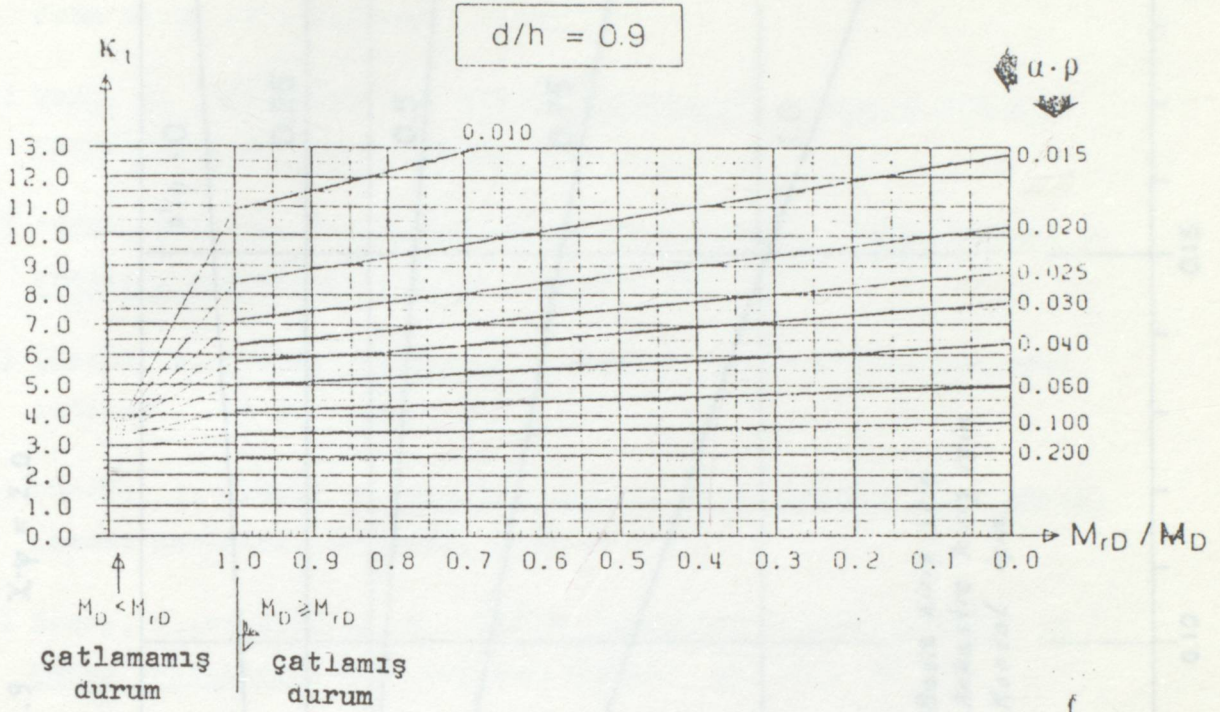
$\psi = 3.5$

4.4 (5)



$$\varphi = 3.5$$

4.4 (5)



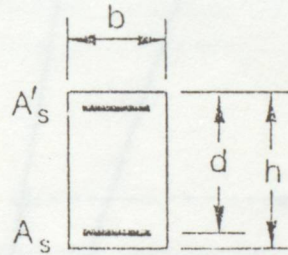
$$\beta_1 = 1.0$$

$$\beta_2 = 0.5$$

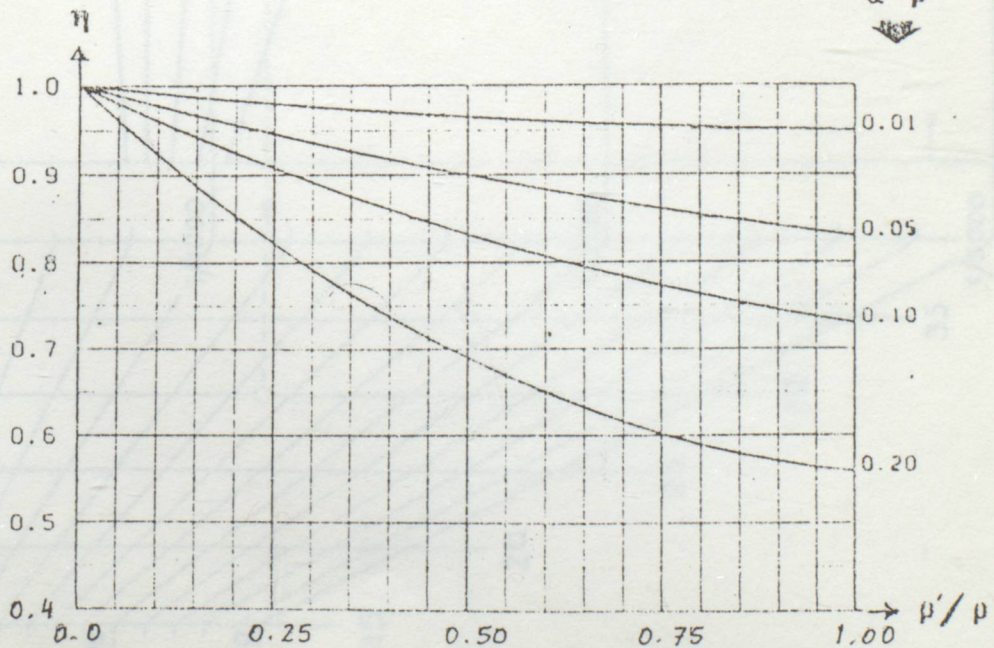
$$u = E_s / E_c \approx 7$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$\rho' = \frac{A'_s}{b \cdot d}$$

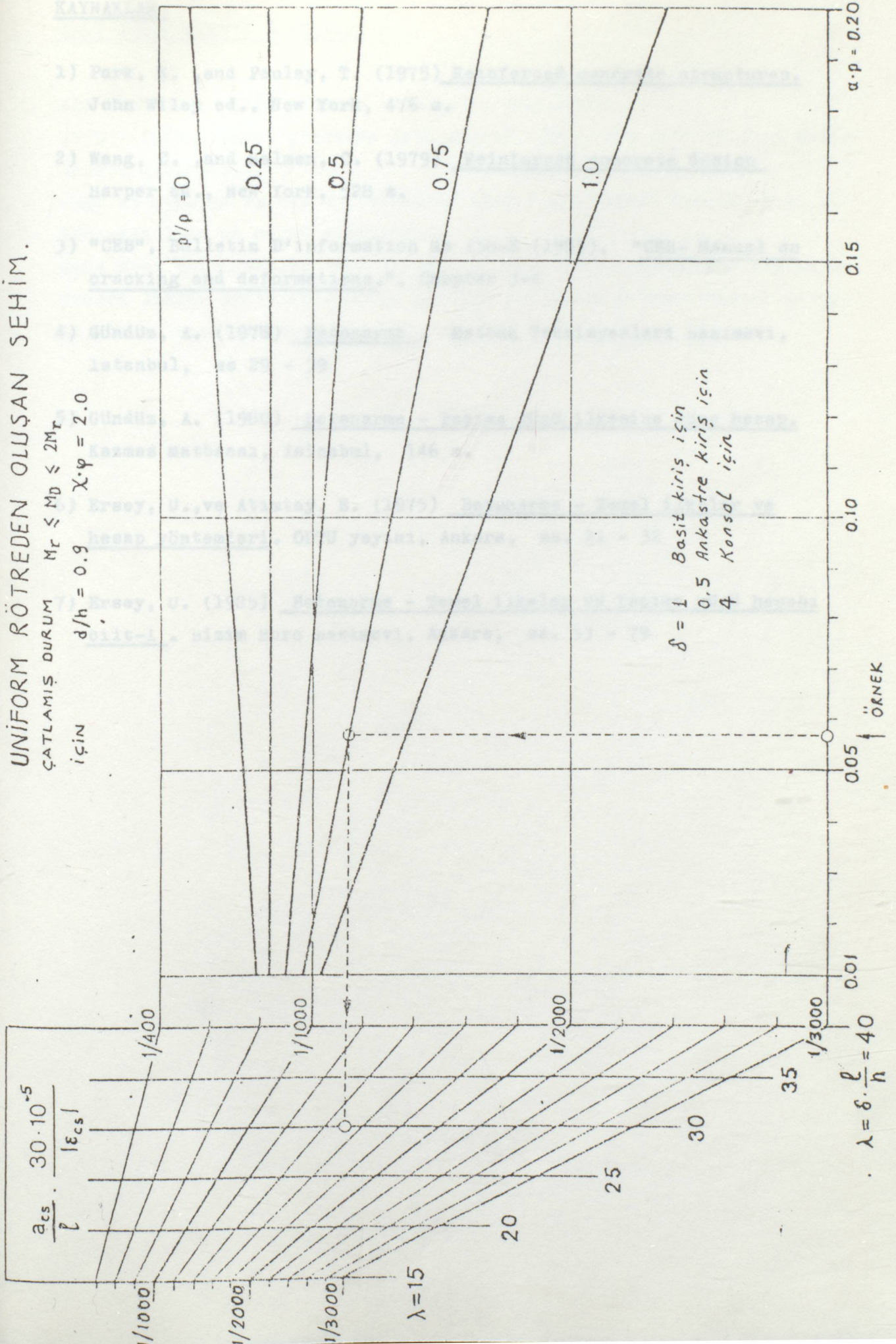


$$a_t = \eta \cdot \kappa_t \cdot a_c$$



UNIFORM RÖTREDEN OLUŞAN SEHİM.

ÇATLAMIS DURUM $M_r \leq M_D \leq 2M_r$
 için $d/h = 0.9$ $\chi \cdot \varphi = 2.0$



KAYNAKLAR

- 1) Park, R. ,and Paulay, T. (1975) Reinforced concrete structures.
John Wiley ed., New York, 476 s.
- 2) Wang, C. ,and Salmon, C. (1979) Reinforced concrete design
Harper ed., New York, 528 s.
- 3) "CEB", Bulletin D'information No 158-E (1985), "CEB- Manual on cracking and deformations.", Chapter 3-4
- 4) Gündüz, A. (1978) Betonarme . Matbaa Teknisyenleri Basımevi,
İstanbul, ss 29 - 39
- 5) Gündüz, A. (1980) Betonarme - Taşıma gücü ilkesine göre hesap.
Kazmaz Matbaası, İstanbul, 146 s.
- 6) Ersoy, U.,ve Atımtay, E. (1975) Betonarme - Temel ilkeler ve hesap yöntemleri. ODTU yayını, Ankara, ss. 21 - 32
- 7) Ersoy, U. (1985) Betonarme - Temel ilkeler ve Taşıma gücü hesabı cilt-1 . Bizim Büro Basımevi, Ankara, ss. 53 - 79

TEZİ HAZIRLAYANIN ÖZGEÇMİŞİ

ALP SEZENER , 1959 yılında İstanbulda doğmuştur.

1970 - 1976 yılları arasında Işık lisesi (İST.) nin orta ve lise bölümlerini bitirmiştir.

1980 de girdiği Yıldız Üniversitesi (İST.) nin İnşaat Mühendisliği bölümünden 1984 de mezun olmuştur.

Gene aynı üniversitede 1984 öğretim yılının ikinci döneminde başladığı yüksek lisans eğitiminde Masif yapılar ana bilim dalında master çalışmalarını tamamlamıştır.

