

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ **FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİKDÖRTGEN HALKA ŞEKLİNDEKİ BETONARME KESİTLERİN
TAŞIMA GÜCÜ YÖNTEMİNE GÖRE HESABI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İng. Müh. Hakan SARUHAN

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 1990

DİKDÖRTGEN HALKA ŞEKLİNDEKİ BETONARME KESİTLERİN
TAŞIMA GÜCÜ YÖNTEMİNE GÖRE HESABI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Hakan SARUHAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 4 Haziran 1990

Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Haziran 1990

Tez Danışmanı

: Doç. Dr. Melike ALTAN

Diğer Jüri Üyeleri

: Doç. Dr. Metin AYDOĞAN

. Y. Doç. Dr. Necmettin GÜNDÜZ

Herşeyimi borçlu olduğum iki insana; anneme ve babama

ÖNSÖZ

Bu çalışmada eğilme momenti ve normal kuvvetle zorlanan dikdörtgen halka şeklindeki betonarme kesitlerin kırılma limit durumlarına göre hesap esasları açıklanmıştır. Ayrıca tabii sertlikteki çeliklerin her iki cinsi için ve çeşitli kenar ve cidar oranlarına göre çizilen 8 abak ve bunların uygulanışına ait sayısal örnekler verilmiştir. Abakların düzenlenmesi amacıyla bir bilgisayar programı FORTRAN IV dilinde hazırlanmıştır.

Araştırma süresince, tezimi yöneten ve çalışmalarım esnasında ilgi ve teşviklerini esirgemeyen, değerli bilgilerinden faydalandığım Sayın Hocam Doç. Dr. Melike ALTAN'a teşekkür etmeyi borç bilirim.

Haziran 1990

İnş. Müh. Hakan SARUHAN

İÇİNDEKİLER

NOTASYON	IV
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. KABULLER	2
BÖLÜM 3. KESİTİN DEFORMASYONDAN SONRAKİ DURUMLARI ..	5
BÖLÜM 4. DİKDÖRTGEN HALKA KESİTİN HESABI	7
4.1. Tarafsız Eksenin Kesit İçinde Bulunduğu Durum	7
4.1.1. Geometrik Bağantılar	7
4.1.2. Beton Basınç Kuvveti ve Momentinin Hesabı	8
4.1.3. Donatıya Ait Değerlerin Hesabı	17
4.1.4. Denge Denklemleri	25
4.2. Tarafsız Eksenin Kesit Dışında Bulunduğu Durum	28
4.2.1. Geometrik Bağantılar	28
4.2.2. Beton Basınç Kuvveti ve Momentinin Hesabı	29
4.2.3. Donatı Basınç Kuvveti ve Momentinin Hesabı	36
4.2.4. Denge denklemleri	44
BÖLÜM 5. BİLGİSAYAR PROGRAMI AKIŞ DİYAGRAMI	45
BÖLÜM 6. UYGULAMALAR	47
BÖLÜM 7. ABAKLAR	51
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	62

NOTASYON LİSTESİ

- A_c : Beton Alanı
 A_{s1} : Üst Başlık Donatısı Alanı
 A_{s2} : Alt Başlık Donatısı Alanı
 A_{sg} : Bir Koldaki Gövde Donatısı Alanı
 b : Dikdörtgen Halka Şeklindeki Kesitin Genişliği
 d : Dikdörtgen Halka Şeklindeki Kesitin Faydalı Yüksekliği
 d' : Beton Örtüsü Kalınlığı
 E_c : Betonun Elastisite Modülü
 E_s : Çelik Elastisite Modülü (2×10^5 N/mm²)
 F_c : Betondaki Basınç Kuvveti Bileşkesi
 F_{sg} : Gövde Donatılarının Oluşturduğu Toplam Bileşke Kuvvet
 f_{cd} : Hesap Beton Basınç Dayanımı
 (Yardımcı Değer = $0.85 f_{cd}$)
 F_{s1} : Üst Başlık Donatısının Oluşturduğu Kuvvet
 F_{s2} : Alt Başlık Donatısının Oluşturduğu Kuvvet
 f_{yd} : Donatı Hesap Akma Dayanımı
 f_{yk} : Çeliğin Minimum Akma Sınırı (Karakteristik Değer)
 h : Dikdörtgen Halka Şeklindeki Kesitin Yüksekliği
 N : Normal Kuvvet
 n : Boyutsuz Normal Kuvvet
 M : Eğilme Momenti
 M_c : Betondaki Basınç Kuvvetinin Kesit Eksenine Göre Eğilme Momenti
 M_{sg} : Gövde Donatılarının Oluşturduğu Toplam Eğilme Momenti
 m : Boyutsuz Moment
 σ_c : Betondaki Gerilme (Basınç)
 σ_s : Donatıdaki Gerilme
 ϵ_c : Beton Birim Kısalması(‰)
 ϵ_{c1} : En Üst Beton Lifindeki Birim Kısalma(‰)
 $\bar{\epsilon}_{c1}$: İç Kesitte Üst Beton Lifindeki Birim Kısalma(‰)
 ϵ_{c2} : En Alt Beton Lifindeki Birim Kısalma(‰)
 $\bar{\epsilon}_{c2}$: İç Kesitte Alt Beton Lifindeki Birim Kısalma(‰)

- ϵ_{cu} : Betonda İzin Verilen En Büyük Birim Kısılma(‰)
 ϵ_{s1} : Basınç Donatısındaki Birim Boy Değişimi(‰)
 ϵ_{s2} : Çekme Donatısındaki Birim Boy Değişimi(‰)
 ϵ_{yd} : Donatının Akma Sınırındaki Birim Boy Değişimi(‰)
 ω : Mekanik Donatı Oranı
 ρ : Geometrik Donatı Oranı

$$A = \frac{A_{s2}}{A_{s1}} : \text{Bir Koldaki Gövde Donatısı Alanının Başlıklardan Birinin Donatı Alanına Oranı}$$

$$\alpha = \frac{b'}{b} : \text{Halka Kesitin Gövde Cidar Kalınlığının Kesitin Genişliğine Oranı}$$

$$\beta = \frac{d'}{d} : \text{Beton Örtüsü Kalınlığının Kesitin Faydalı Yüksekliğine Oranı}$$

$$\lambda_1 : \text{Alt Başlık Donatısındaki Birim Boy Değişiminin Akma Sınırındaki Birim Boy Değişimine Oranı}$$

$$\lambda_2 : \text{Üst Başlık Donatısındaki Birim Boy Değişiminin Akma Sınırındaki Birim Boy Değişimine Oranı}$$

$$x : \text{Tarafsız Eksenin Yeri } (\epsilon = 0 \text{ noktasının üst life olan uzaklığı})$$

$$k_{o,z} : (\epsilon = \text{‰ } 2) \text{ Noktasının Tarafsız Eksene Olan Uzaklığı}$$

$$k_{yd} : (\epsilon = \epsilon_{yd}) \text{ Noktasının Kesit Eksenine Olan Uzaklığı}$$

$$k'_{yd} : (\epsilon = -\epsilon_{yd}) \text{ Noktasının Kesit Eksenine Olan Uzaklığı}$$

ÖZET

Bu çalışmada eğilme momenti ve normal kuvvetle zorlanan dikdörtgen halka şeklindeki betonarme kesitlerin kırılma limit durumlarına göre hesap esasları açıklanmıştır.

Donatı ağırlık merkezinin, cidar kalınlığı ince olduğu için ortadan geçtiği kabul edilmiş, birbirine paralel kollardaki donatıların eşit olması hali incelenmiştir.

Hesaplarda beton kenar lif kısalmasının limit değeri $\epsilon_{cu} = 0.0035$ olarak alınmış, donatı olarak tabii sertlikteki çeliğin her iki cinsi gözönüne alınmıştır. Betona ait karakteristik ($\sigma - \epsilon$) diyagramının bir ikinci derece parabol ile diğeri dikdörtgen olan iki kısımdan oluştuğu kabul edilmiş ve yükün bir kısmının uzun süreli etkisini gözönüne almak için de gerilme değerleri 0.85 ile çarpılmıştır.

Kesitin deformasyondan sonraki kırılma limit durumları incelenmiş, buna göre tarafsız eksenin kesit içinde ve dışında bulunması durumunda betonun ve donatının oluşturduğu kuvvet ve momentler hesaplanmış denge denklemleri yazılarak boyutsuz büyüklükler elde edilmiştir.

Dış kesitteki beton üst lif kısalması ϵ_{c1} ve çelik alt lif uzaması ϵ_{s1} ; çeşitli kenar ve cidar oranları, her iki çelik cinsi (BÇI ve BÇIII), birbirine paralel olmayan kollardaki donatıların birbirlerine olan oranına göre sekiz adet abak ve bunların uygulanışına ait sayısal örnekler verilmiştir. Abakların düzenlenmesinde FORTRAN IV dilinde hazırlanan bir bilgisayar programı kullanılmıştır.

SUMMARY

THE CALCULATION OF THE REINFORCED-CONCRETE RECTANGULAR BOX SECTIONS ACCORDING TO ULTIMATE STRENGTH METHOD:

The calculation of sections are of great importance for designing the reinforced-concrete structures. Dimensioning the reinforced-concrete sections according to their limit conditions require long and tiresome calculations. Assisting tables and abac charts reduce these calculations a great deal.

Nowadays, once the problem is programmed with the computer, the result is obtained without any further need for tables and abac charts. However, as this opportunity is not always reachable, the assisting tables and abac charts are still required. Because of this; in application, the calculation of sections are made according to the tables and abac charts prepared previously, fitting the aim. It is clear that allowable section calculations can only be obtained when they are done according to the principles conforming the said regulations of the above mentioned tables and abac charts.

In this study, the calculation bases of the reinforced-concrete rectangular box sections loaded with bending moment and axial force are explained according to their breaking limit conditions.

In constructions, the rectangular box sections member loaded with bending moment and axial force are generally faces in columns and big viaduct pillars. For calculation this kind of members according to their breaking limit conditions, it is necessary to know the following:

a) Mechanical characteristics of the material, that is stress (strain)- deformation (σ - ϵ) diagrams and,

b) The changes in the shape of the section (deformation).

Since the application of reinforced concrete in the buildings, the theory of elasticity has lost its validity. The ultimate state is today a real method and it enables us to give dimensions of the sections and provides stress control.

In the second chapter of this study some assumptions are assested:

Since the wall thickness is thin center of gravity of the reinforcement is assumed to pass from the middle, the condition of equal reinforcements on parallel walls is examined.

The assumptions in the computations done according to the carrying capacity (Ultimate strength design):

a) The sections that are plane before changing their form, get also plane after deformation,

b) Tensile strength in concrete is neglected in sections subject to bending,

c) The adherence between concrete and steel is complete,

d) At ultimate strength, stresses and strains are not proportional. The diagram of compressive concrete stress distribution may be assumed a rectangle, trapezoid, parabola or any other shape which results in ultimate strength in reasonable agreement with comprehensive tests.

e) Maximum fiber stress in concrete does not exceed $0.85 f_{cd}$

f) The stress-strain relation of steel is elasto-plastic,

g) When reaching carrying capacity, the distribution of concrete stress in the pressure zone is like stress-strain curve obtained from samples experienced under axial compression,

h) The strain of the steel can be limited.

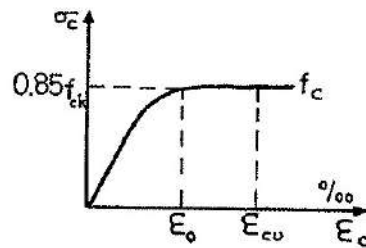


Figure 1. Stress-Strain Graph For Concrete

The stress (strain) - deformation (σ - ϵ) diagram of the concrete is made up of two parts; one being a second degree parabol, the other a rectangle. The 0.85 coefficient used on the diagrams is put to consider the long term effects of part of the load.

Some countries don't use any limit for maximum strain of concrete, but United States of America uses 0.003 and West Germany and CEB use 0.0035 a limit value.

In the Turkish standart numbered 500 is stipulated as 0.003 . However the latest experiments made in the United States in the nearest years have shown that this value is very close to 0.004 and therefore it is better to take it as 0.0035 .

In this study, the said contraction is taken as 0.035 . Abac charts and calculations are prepared on this value.

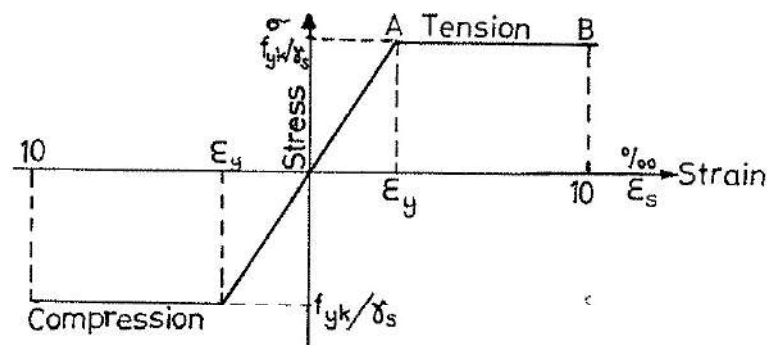


Figure 2. Stress-Strain Graph For Reinforcements (Tension and Compression)

Many countries accepted elasto-plastic curves for steel stress-strain diagrams. Maximum strain limits are 0.005 in East Germany, 0.005 in West Germany and 0.010 in CEB. Some countries accept no limit.

In this study, the said traction (extension) is taken as 0.010. Abac charts and calculations are prepared on this value.

In the third chapter of this study, the breaking limit conditions of a section of a reinforced-concrete member is examined from simple tension to simple bending, and then on, from combined tension to simple pressure.

In the forth chapter, the calculation of the box section is examined.

In the first part of the forth chapter, the neutral axis is examined according to its position in the section. Concrete pressure forces and moments, values concerning the reinforcement (force and moments) and coefficients concerning these are obtained.

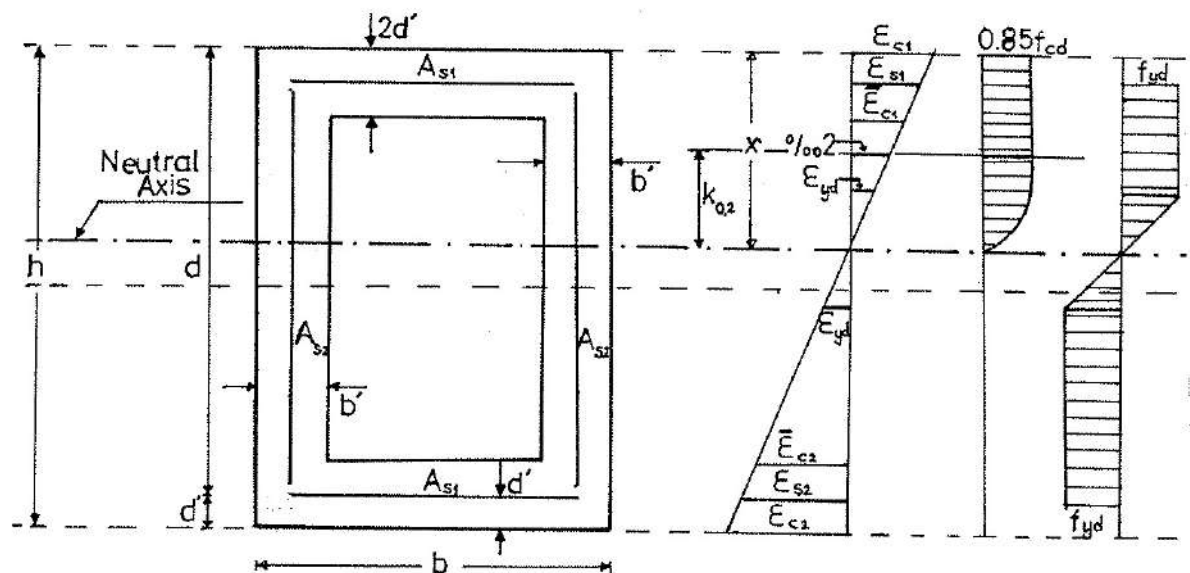


Figure 3. Stress and Strain Diagrams For The Position Of The Neutral Axis In The Section.

Balance equations are found for the position of the neutral axis in the section. The non-dimensional axial force and the non-dimensional moment are obtained depending on the coefficients and the mechanical percentage obtained previously.

In the second part of the forth chapter, the condition of the neutral axis out of the section is examined, and the non-dimensional sizes are obtained in the same way followed in the first part of the forth chapter.

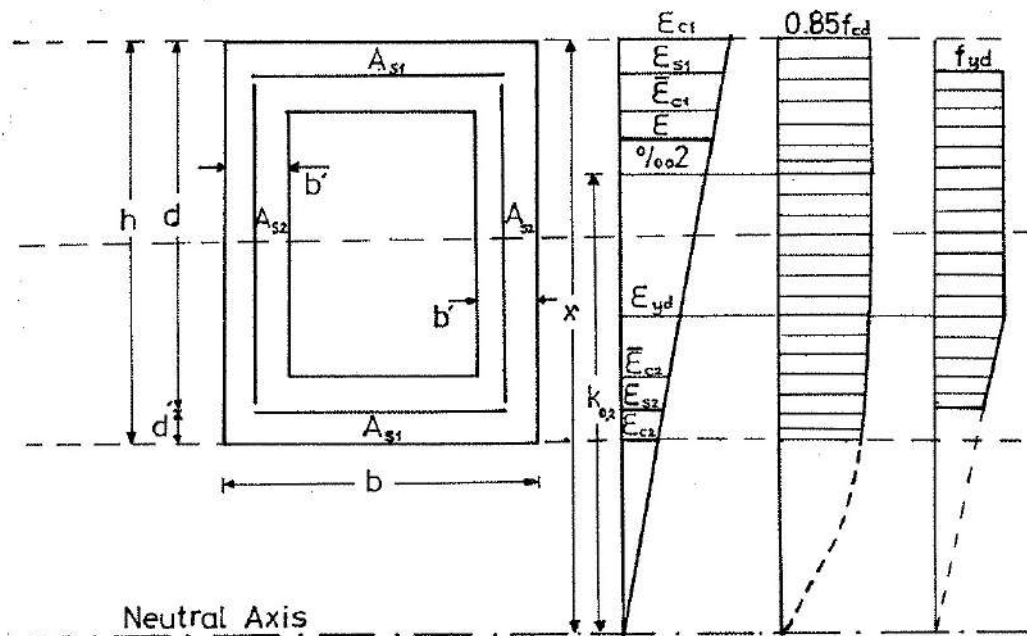


Figure 4. Stress and Strain Diagrams For The Position Of The Neutral Axis Out Of The Section.

In the last part of this study eight abac charts are prepared with respect to the contraction of the top fibres in the exterior section of concrete ϵ_{c1} and traction (extension) of the bottom fibres of steel ϵ_{s2} , for both of the two kinds of steel (BÇI (S220) and BÇIII (S400a)) according to different thickness and width proportions, and according to the distribution of the reinforcement on unparallel walls.

A computer programme in Fortran IV language has been prepared and used in arranging the said abac charts.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Betonarme yapıların projelendirilmesinde, kesit hesapları önemli bir yer tutmaktadır. Betonarme kesitlerin limit durumlara göre boyutlandırılması uzun ve yorucu işlemleri gerektirmektedir. Yardımcı tablo ve abaklar bu işlemleri büyük ölçüde azaltmaktadır. Günümüzde bilgisayarlar ile, bir defa problemi programladıktan sonra, sonuçlar abak ve tablolara gerek kalmadan elde edilebilmektedir. Ancak her an el altında bu olanağın bulunmaması, yine de yardımcı abak ve tabloları lüzumlu kılmaktadır. Bu nedenle kesitlerin hesabı, uygulamada, önceden hazırlanmış amaca uygun tabloların veya abakların kullanılması ile gerçekleştirilir. Kabul edilebilir kesit hesaplarının, ancak söz konusu tablo ve abakların ilgili yönetmeliklere uyan ilkelere göre hazırlanması ile gerçekleştirilebileceği açıktır.

Eğilme momenti ve normal kuvvetle zorlanan dikdörtgen halka kesitli elemanlara yapılarda genellikle kolonlarda veya büyük pylonlarda rastlanmaktadır. Bu tip elemanların kırılma limit durumlarına göre hesap edilebilmeleri için:

a) Malzemenin mekanik özellikleri, yani $(\sigma-\epsilon)$ karakteristik diyagramları ile

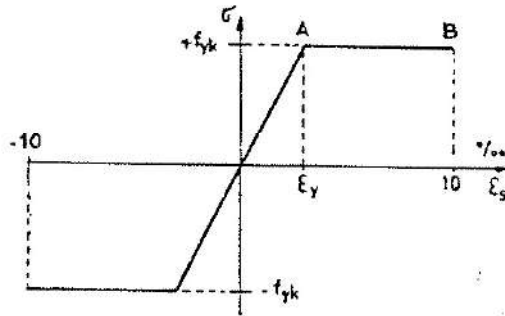
b) Kesitin şekil değiştirme durumunun bilinmesi gerekmektedir.

BÖLÜM 2. KABULLER

a- Basit ve bileşik eğilmeye maruz düzlem kesitler şekil değiştirmeden sonra da kırılma safhasına yakın bir duruma kadar düzlem kalırlar. (Bernouille-Navier Hipotezi)

b- Malzeme mekanik özellikleri:

Tabii sertlikteki çeliklere ait karakteristik $(\sigma-\epsilon)$ diyagramı (Şekil 2.1 a) da, betona ait karakteristik $(\sigma-\epsilon)$ diyagramı (Şekil 2.1 b) de verilmiştir.

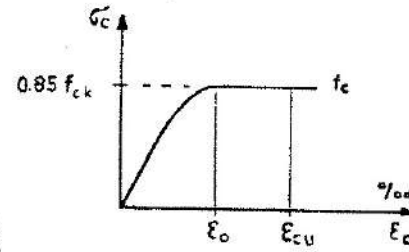


$$-\epsilon_y \leq \epsilon_s \leq \epsilon_y \dots \sigma_s = E_s \epsilon_s$$

$$\epsilon_s \geq \epsilon_y \dots \sigma_s = f_{yk}$$

$$\epsilon_s \leq -\epsilon_y \dots \sigma_s = -f_{yk}$$

a- Çelik



$$0 \leq \epsilon_c \leq 2 \dots \sigma_c = 0.85 f_{cd} \left[1 - \left(\frac{\epsilon_c - 2}{2} \right)^2 \right]$$

$$2 \leq \epsilon_c \leq 3.5 \dots \sigma_c = 0.85 f_{cd}$$

b- Beton

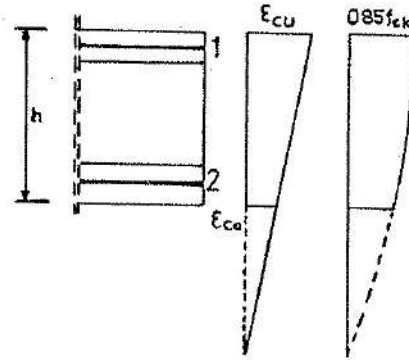
Şekil 2.1 Beton ve Çeliğe ait $(\sigma - \epsilon)$ Diyagramları

Betona ait karakteristik ($\varepsilon-\sigma$) diyagramı bir ikinci derece parabol ile diğeri dikdörtgen olan iki kısımdan oluşmaktadır. Diyagramdaki 0.85 katsayısı yükün bir kısmının uzun süreli etkisini gözönüne almak için konulmuştur.

ε_{cu} değeri; Tarafsız eksen kesit içinde olduğu durumlarda, TS500 [1] ve Amerikan yönetmeliğinde 0.003 olarak ve diğer bütün memleket yönetmeliklerinde 0.0035 olarak kabul edilmiş bulunmaktadır. Ancak Amerika Birleşik Devletlerinde yakın senelerde yapılan son deneyler, bu değer 0.004 'e yakın olduğunu ve dolayısıyla 0.0035 olmasının daha isabetli olacağını göstermiştir [2].

Burada söz konusu kısalma $\varepsilon_{cu} = 0.0035$ olarak kabul edilmiştir. Abak ve hesaplar bu değer gözönünde tutularak bulunmuştur.

— Tarafsız eksenin kesit dışında bulunduğu durumlarda



Şekil 2.2 Tarafsız Eksenin Kesit Dışında Bulunduğu Durumda Deformasyonlar ve Gerilmeler

$$\varepsilon_{cu} = 0.0035 - 0.75 \varepsilon_{ca} \quad (2.1)$$

olarak alınmıştır.

c- Hesap (σ - ε) diyagramları:

Çeliğe ait (σ - ε) hesap diyagramı (Şekil 2.1 a) daki değerleri $\gamma_e = 1.15$ değerine bölmekle elde edilen diyagramdır.

Betona ait (σ - ε) hesap diyagramı (Şekil 2.1 b) daki ordinatları γ_c değerine bölmekle elde edilen diyagramdır. γ_c değerleri TS 500 e göre;

$$\gamma_c = 1.2$$

$$\gamma_c = 1.5$$

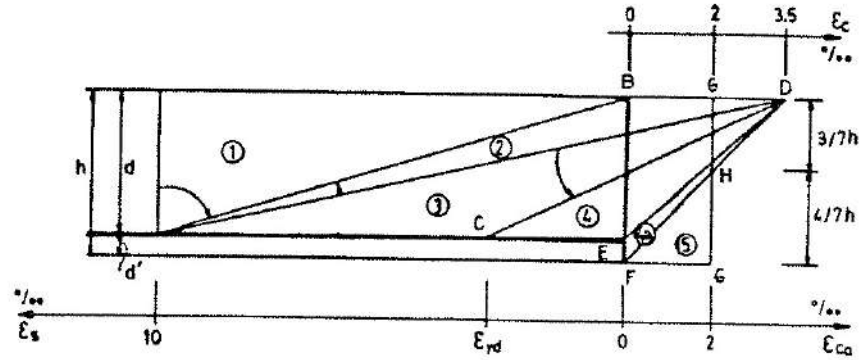
$$\gamma_c = 1.7$$

değerlerini almaktadır.

d- Donatı ağırlık merkezinin, cidar kalınlığı ince olduğu için ortadan geçtiği kabul edilmiştir. Birbirine paralel kollardaki donatıların eşit olması hali incelenmiştir.

BÖLÜM 3. KESİTİN DEFORMASYONDAN SONRAKİ DURUMLARI

Bir betonarme kesitin, basit çekmeden basit eğilmeye ve buradan bileşik eğilme ve basit basınca kadar olan kırılma limit durumlarındaki yerleri Şekil 3.1 de toplu olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Bir Betonarme Kesitte Deformasyon Doğruları

Kesitin kırılma limit durumunda malzemelerden birinin (kırılma) durumunda olması gerektiği düşünülerek (ϵ_c ve ϵ_s) lerle belirli olan 6 farklı bölge tesbit edilebilmektedir.

Bu bölgelerde ϵ_c ve ϵ_s 'ler aşağıda Çizelge I de verilen değerleri almaktadır.

Bölge No:	Çizelge I		
	$\epsilon_{c1} \times 10^3$	$\epsilon_{s2} \times 10^3$	$\epsilon_{c2} \times 10^3$
1	0	-10	
2	0 → 3.5	-10	
3	3.5 (Sabit)	-10 → $-\epsilon_{yd}$	
4	3.5 (Sabit)	$-\epsilon_{yd} \rightarrow 0$	
4a	3.5 (Sabit)	$0 \rightarrow +3.5 \frac{d'}{d}$	0
5	3.5 → 2	$+3.5 \frac{d'}{d} \rightarrow 2$	0 → 2

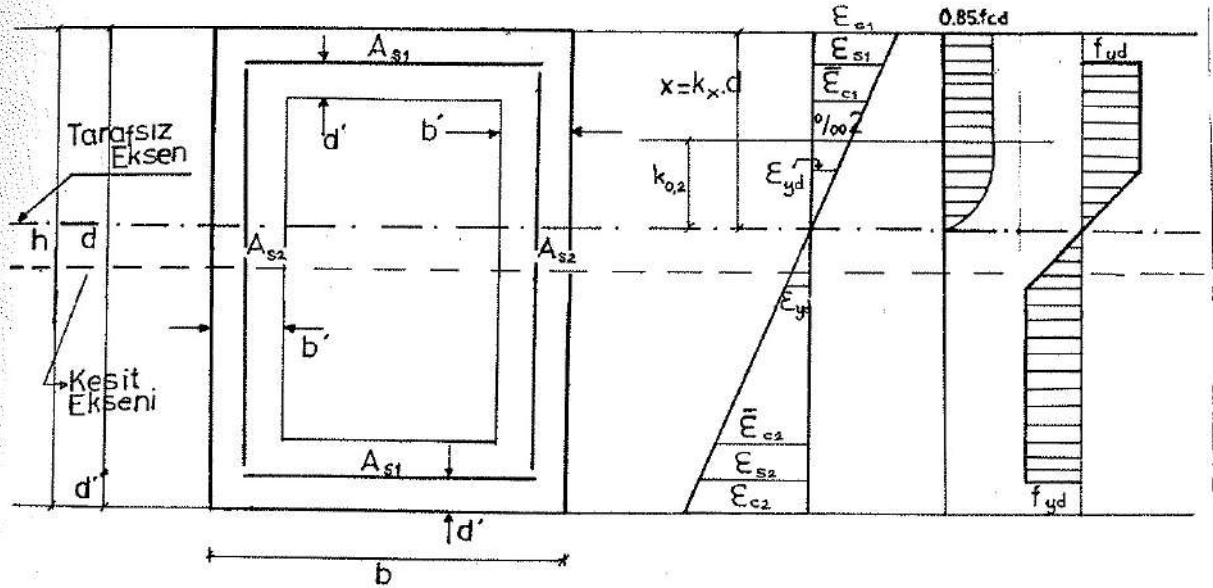
Kesitin (D-F) konumundan (G-G) konumuna gelirken Şekil 3.1 de gösterilmiş olan sabit H noktası etrafında döndüğü açıktır.

Kesitlerin kırılma durumuna göre hesabında kesit bu bölgelerden birisinin içinde olacaktır. Kesitin iki bölgeyi kesmesi gibi bir durum söz konusu değildir [3].

Kesitlerin 1.2 ve 3 nolu bölgelerdeki kırılma durumlarına ($\epsilon_c = 0.0035$, $\epsilon_s = 0.010 \epsilon_{yd}$) 1. nevi, diğer bölgelerdeki kırılma durumlarına 2. nevi, (DC) kırılma durumuna dengeli kırılma denildiği bilinmektedir [4].

BÖLÜM 4. DİKDÖRTGEN HALKA KESİTİN HESABI

4.1. Tarafsız Eksenin Kesit İçinde Bulunduğu Durum (Şekil 4.1)



Şekil 4.1 Tarafsız Eksenin Kesit İçinde Bulunduğu Hallerde Şekil Değiştirme Durumu, Beton ve Çeliğe Ait Gerilme Diyagramları

ϵ_{c1} ve ϵ_{s2} verilirse kesitin şekil değiştirme ve dolayısıyla da gerilme durumu tamamen belli olmaktadır.

4.1.1. Geometrik Bağıntılar

$$x = k_x d \quad (4.1)$$

$$k_x = \frac{\epsilon_{c1}}{\epsilon_{c1} + \epsilon_{s2}} \quad (4.2)$$

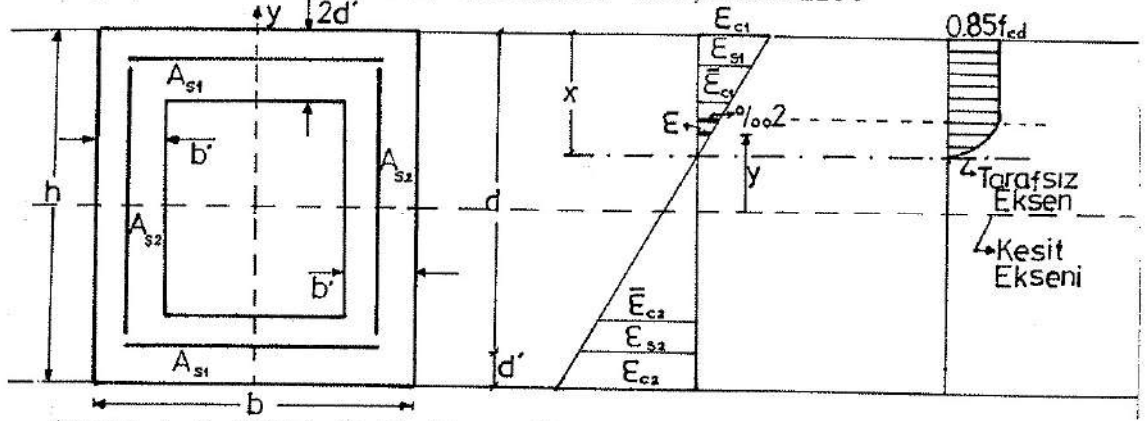
$$k_{o,2} = \frac{2x}{\epsilon_{c1}} \quad (4.3)$$

$$\epsilon_{s1} = \epsilon_{c1} \left(1 - \frac{\beta}{k_x}\right) \quad (4.4)$$

$$\bar{\epsilon}_{c1} = \epsilon_{c1} \left[1 - \frac{2\beta}{k_x}\right] \quad (4.5)$$

4.1.2. Beton Basınç Kuvvetinin ve Momentinin Hesabı

ε_{c1} ve ε_{s2} değerlerine göre kesitte farklı şekil değiştirme ve gerilme durumları oluşmaktadır.



Şekil 4.2 Şekil Değiştirme Durumu ve Betona Ait Gerilme Diyagramı

y : Kesite ait bir noktanın kesit eksenine olan uzaklığı

ε : y uzaklığındaki şekil değiştirme

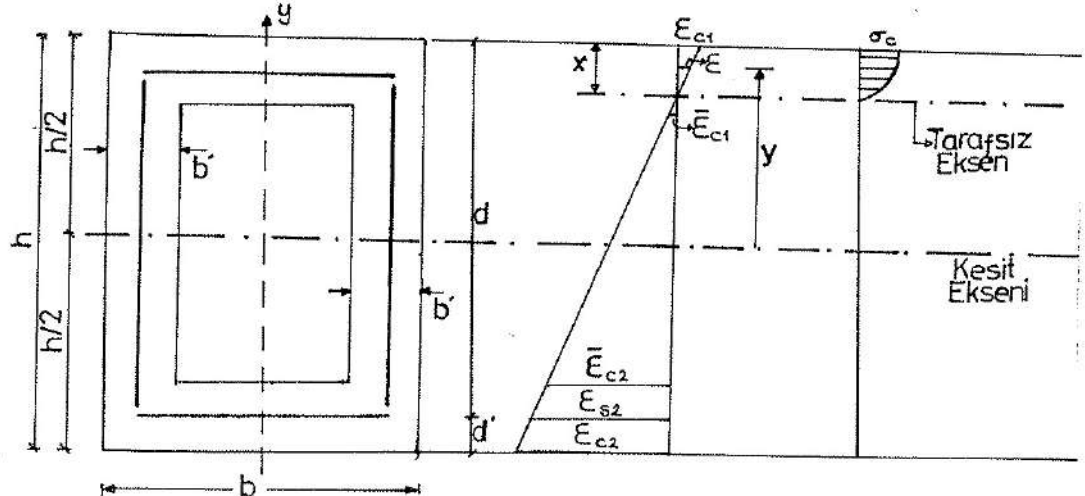
Şekil 4.2 den

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{c1} \left(y - \frac{h}{2} + x \right)}{x} \quad (4.6)$$

Tarafsız eksenin üst cidar kalınlığı içinde kalması veya dışında olması; ε_{c1} , $\bar{\varepsilon}_{c1}$ değerlerinin 0.002 değerinden büyük veya küçük olmalarına göre 5 durum mevcuttur.

$$a) k_x \leq 2\beta \quad (x \leq 2d')$$

$$1. 0 < \varepsilon_{c1} \leq 2$$



Şekil 4.3 Tarafsız Eksenin Üst Cidar Kalınlığı İçinde Kaldığı

$$F_c = \int_{\frac{h}{2}-x}^{\frac{h}{2}} \sigma_c b dy \quad (4.7)$$

Integrali hesaplanarak

$$F_c = \frac{0.85 f_{cd} b h \epsilon_{c1} k_x}{4 (1+\beta)} \left[-\frac{\epsilon_{c1}}{3} + 2 \right] \quad (4.8)$$

$$F_c = 0.85 f_{cd} b h \alpha_{nc} \quad (4.9)$$

şeklinde yazılabilir. Burada

$$\alpha_{nc} = \frac{\epsilon_{c1} k_x}{4 (1+\beta)} \left[-\frac{\epsilon_{c1}}{3} + 2 \right] \quad (4.10)$$

dir. Beton basınç kuvvetinin momenti:

$$M_c = \int_{\frac{h}{2}-x}^{\frac{h}{2}} \sigma_c b y dy \quad (4.11)$$

Integrali hesaplanarak

$$M_c = \frac{0.85 f_{cd} b h^2 k_x}{4 (1+\beta)^2} \left[-\epsilon_{c1}^2 \left[\frac{1}{6} + \frac{\beta}{6} - \frac{k_x}{12} \right] + (1+\beta) \epsilon_{c1} - \frac{2}{3} k_x \epsilon_{c1} \right] \quad (4.12)$$

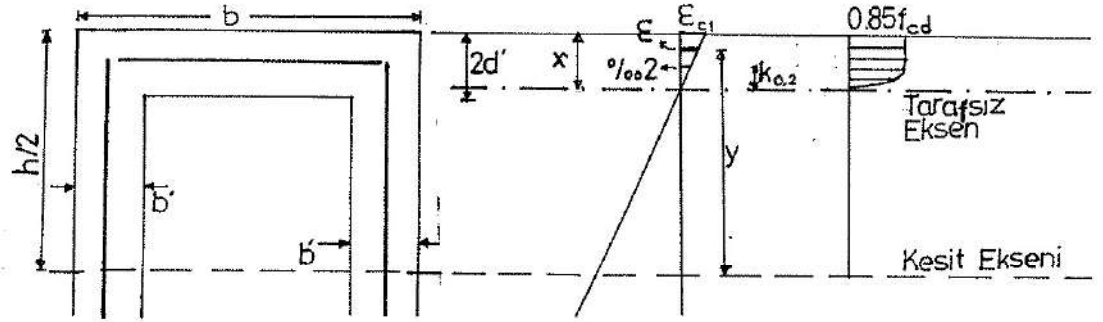
$$M_c = 0.85 f_{cd} b h^2 \alpha_{mc} \quad (4.13)$$

şeklinde yazılabilir. Burada:

$$\alpha_{mc} = \frac{k_x}{4 (1+\beta)^2} \left[-\epsilon_{c1}^2 \left[\frac{1}{6} + \frac{\beta}{6} - \frac{k_x}{12} \right] + (1+\beta) \epsilon_{c1} - \frac{2}{3} k_x \epsilon_{c1} \right] \quad (4.14)$$

dir.

$$2. \quad 2 \leq \varepsilon_{c1} \leq 3.5$$



Şekil 4.4 Taraflı Eksenin Üst Cidar Kalınlığı İçinde Bulunduğu Durumda Şekil Değiştirme ve Gerilme Diyagramları ($2 \leq \varepsilon_{c1} \leq 3.5$)

$$F_c = \int_{\frac{h}{2}-x}^{\frac{h}{2}-x+k_{0,2}} \sigma_c b \, dy + \int_{\frac{h}{2}-x+k_{0,2}}^{\frac{h}{2}} 0.85 f_{cd} b \, dy \quad (4.15)$$

integralleri hesaplanarak

$$F_c = 0.85 k_x \frac{f_{cd} b h}{(1+\beta)} \left[-\frac{2}{3} \frac{1}{\varepsilon_{c1}} + 1 \right] \quad (4.16)$$

$$F_c = 0.85 f_{cd} b h \alpha_{nc} \quad (4.17)$$

şeklinde yazılabilir. Burada:

$$\alpha_{nc} = k_x \frac{1}{(1+\beta)} \left[-\frac{2}{3} \frac{1}{\varepsilon_{c1}} + 1 \right] \quad (4.18)$$

dir.

Beton basınç kuvvetinin momenti;

$$M_c = \int_{\frac{h}{2}-x}^{\frac{h}{2}-x+k_{0,2}} \sigma_c b y \, dy + \int_{\frac{h}{2}-x+k_{0,2}}^{\frac{h}{2}} 0.85 f_{cd} b y \, dy \quad (4.19)$$

integralleri hesaplanarak

$$M_c = \frac{0.85 k_x f_{cd} b h^2}{(1+\beta)^2} \left[-\frac{k_x}{3 \varepsilon_{c1}^2} + \frac{2}{3} \frac{k_x}{\varepsilon_{c1}} - \frac{(1+\beta)}{3 \varepsilon_{c1}} - \frac{k_x}{2} + \frac{(1+\beta)}{2} \right] \quad (4.20)$$

$$M_c = 0.85 f_{cd} b h^2 \alpha_{mc} \quad (4.21)$$

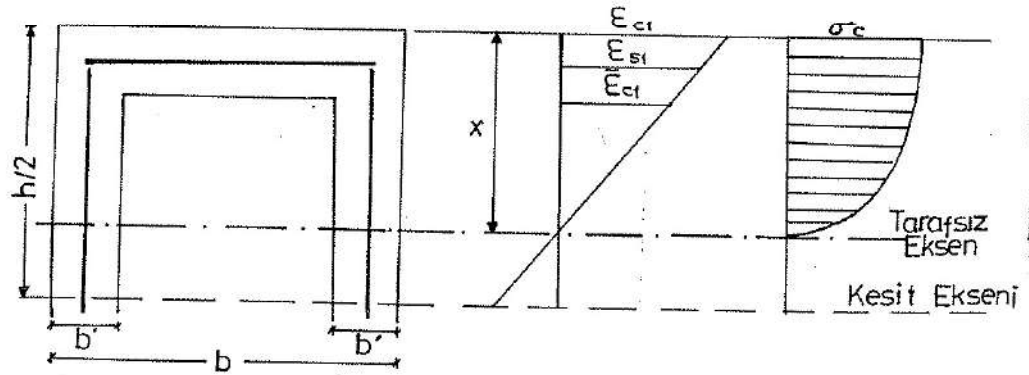
şeklinde yazılabilir. Burada:

$$\alpha_{mc} = \frac{k_x}{(1+\beta)^2} \left[-\frac{k_x}{3 \varepsilon_{c1}^2} + \frac{2}{3} \frac{k_x}{\varepsilon_{c1}} - \frac{(1+\beta)}{3 \varepsilon_{c1}} - \frac{k_x}{2} + \frac{(1+\beta)}{2} \right] \quad (4.22)$$

dir.

$$b) k_x \geq 2\beta \quad (x \geq 2d')$$

$$1. \quad 0 < \varepsilon_{c1} \leq 2$$



Şekil 4.5 Taraflı Eksenin Üst Cidar Kalınlığı Dışında Bulunduğu Durumda Şekil Değiştirme ve Gerilme Diyagramları ($0 < \varepsilon_{c1} \leq 2$)

$$F_c = \int_{\frac{h}{2}-2d'}^{\frac{h}{2}-d'} \sigma_c 2b' dy + \int_{\frac{h}{2}-d'}^{\frac{h}{2}} \sigma_c b dy \quad (4.23)$$

integralleri hesaplanarak

integralleri hesaplanarak

$$F_c = \frac{0.85 b h f_{cd} \epsilon_{c1}}{4(1+\beta)} \left[(1 - 2\alpha) \left[-\frac{8}{3} \frac{\beta^3 \epsilon_{c1}}{k_x^2} + 4 \beta^2 \frac{\epsilon_{c1}}{k_x} - 2\beta \epsilon_{c1} + 8\beta - \frac{8 \beta^2}{k_x} \right] + 2\alpha k_x \left[-\frac{1}{3} \epsilon_{c1} + 2 \right] \right] \quad (4.24)$$

$$F_c = 0.85 f_{cd} b h \alpha_{nc} \quad (4.25)$$

şeklinde yazılabilir. Burada:

$$\alpha_{nc} = \frac{\epsilon_{c1}}{4(1+\beta)} \left[(1 - 2\alpha) \left[-\frac{8}{3} \frac{\beta^3 \epsilon_{c1}}{k_x^2} + 4 \beta^2 \frac{\epsilon_{c1}}{k_x} - 2\beta \epsilon_{c1} + 8\beta - \frac{8 \beta^2}{k_x} \right] + 2\alpha k_x \left[-\frac{1}{3} \epsilon_{c1} + 2 \right] \right] \quad (4.26)$$

dir. Beton basınç kuvvetinin momenti;

$$M_c = \int_{\frac{h}{2}-x}^{\frac{h}{2}-2d'} \sigma_c 2 b' y dy + \int_{\frac{h}{2}-2d'}^{\frac{h}{2}} \sigma_c b y dy \quad (4.27)$$

integralleri hesaplanarak

$$M_c = \frac{0.85 f_{cd} b h^2}{4(1+\beta)^2} \left[\epsilon_{c1} \beta \left[(1 - 2\alpha) \left[-\frac{4}{3} \frac{\epsilon_{c1}}{k_x^2} \beta^2 + \frac{8}{3} \frac{\beta^3}{k_x^2} \epsilon_{c1} + \frac{2 \epsilon_{c1} \beta}{k_x} - \frac{10}{3} \frac{\epsilon_{c1} \beta^2}{k_x} - \epsilon_{c1} + \epsilon_{c1} \beta - \frac{4 \beta}{k_x} + \frac{20}{3} \frac{\beta^2}{k_x} + 4 - 4 \beta \right] \right] + \alpha k_x \epsilon_{c1} \left[-\frac{\epsilon_{c1} (1+\beta)}{3} + \frac{\epsilon_{c1} k_x}{6} + 2(1+\beta) - \frac{4}{3} k_x \right] \right] \quad (4.28)$$

$$M_c = 0.85 f_{cd} b h^2 \alpha_{mc} \quad (4.29)$$

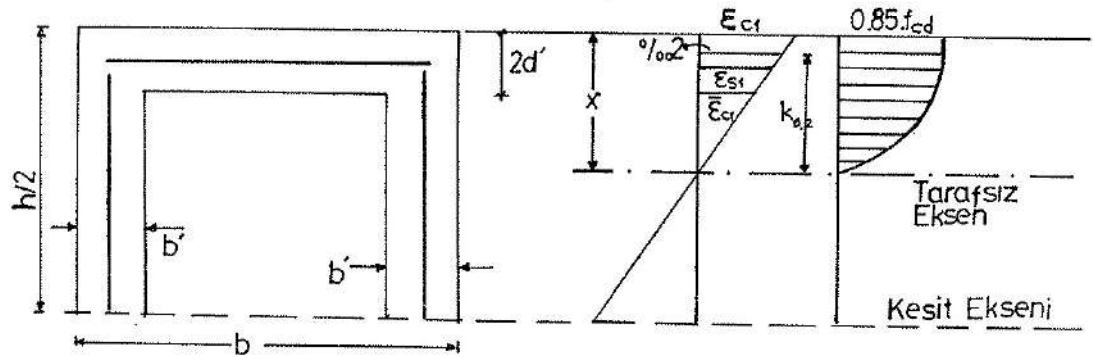
şeklinde yazılabilir. Burada:

$$\begin{aligned} \alpha_{mc} = & \frac{1}{4 (1+\beta)^2} \left[\varepsilon_{c1} \beta \left[(1 - 2\alpha) \left[-\frac{4}{3} \frac{\varepsilon_{c1}}{k_x^2} \beta^2 \right. \right. \right. \\ & + \frac{8}{3} \frac{\beta^3}{k_x^2} \varepsilon_{c1} + \frac{2 \varepsilon_{c1} \beta}{k_x} - \frac{10}{3} \frac{\varepsilon_{c1} \beta^2}{k_x} - \varepsilon_{c1} + \varepsilon_{c1} \beta \\ & - \frac{4 \beta}{k_x} + \frac{20}{3} \frac{\beta^2}{k_x} + 4 - 4 \beta \left. \right] \left. \right] + \alpha k_x \varepsilon_{c1} \left[-\varepsilon_{c1} \frac{(1+\beta)}{3} \right. \\ & \left. \left. + \frac{\varepsilon_{c1} k_x}{6} + 2 (1+\beta) - \frac{4}{3} k_x \right] \right] \quad (4.30) \end{aligned}$$

dir.

$$2. \quad 2 \leq \varepsilon_{c1} \leq 3.5$$

$$a) \quad \bar{\varepsilon}_{c1} \leq 2$$



Şekil 4.6, Tarafsız Eksenin Üst Cidar Kalınlığı Dışında Bulunduğu Durumda Şekil Değiştirme ve Gerilme Diyagramları ($\bar{\varepsilon}_{c1} \leq 2$)

$$F_c = \int_{\frac{h}{2} - x}^{\frac{h}{2} - 2d'} \sigma_c 2 b' dy + \int_{\frac{h}{2} - 2d'}^{k_{o,2} + \frac{h}{2} - x} \sigma_c b dy + \int_{k_{o,2} + \frac{h}{2} - x}^{\frac{h}{2}} 0.85 f_{cd} b dy \quad (4.31)$$

integralleri hesaplanarak

$$F_c = \frac{0.85 f_{cd} b h \varepsilon_{c1}}{4 (1+\beta)} \left[(1 - 2\alpha) \left[-\varepsilon_{c1} \left[\frac{8}{3} - \frac{\beta^3}{k_x^2} - \frac{4\beta^2}{k_x} + 2\beta - \frac{k_x}{3} \right] + 4 \left[-\frac{k_x}{2} - \frac{2\beta^2}{k_x} + 2\beta \right] \right] - \varepsilon_{c1} \left[\frac{8}{3} - \frac{k_x}{\varepsilon_{c1}} \right] + \frac{8 k_x}{\varepsilon_{c1}^2} \right] + \frac{0.85 k_x f_{cd} b h}{(1+\beta)} \left[-\frac{2}{\varepsilon_{c1}} + 1 \right] \quad (4.32)$$

$$F_c = 0.85 f_{cd} b h \alpha_{nc} \quad (4.33)$$

şeklinde yazılabilir. Burada:

$$\alpha_{nc} = \frac{\varepsilon_{c1}}{4 (1+\beta)} \left[(1 - 2\alpha) \left[-\varepsilon_{c1} \left[\frac{8}{3} - \frac{\beta^3}{k_x^2} - \frac{4\beta^2}{k_x} + 2\beta - \frac{k_x}{3} \right] + 4 \left[-\frac{k_x}{2} - \frac{2\beta^2}{k_x} + 2\beta \right] \right] - \varepsilon_{c1} \left[\frac{8}{3} - \frac{k_x}{\varepsilon_{c1}} \right] + \frac{8 k_x}{\varepsilon_{c1}^2} \right] + \frac{k_x}{(1+\beta)} \left[-\frac{2}{\varepsilon_{c1}} + 1 \right] \quad (4.34)$$

dir. Beton basınç kuvvetinin momenti;

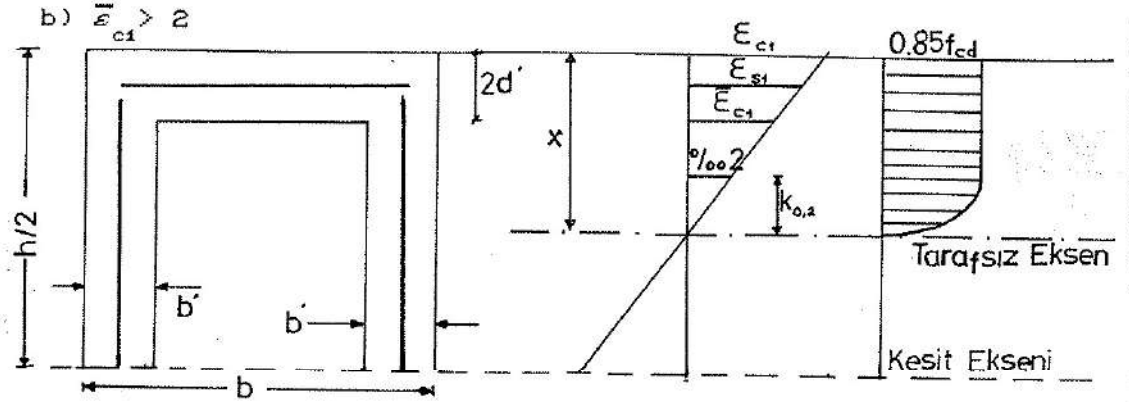
$$M_c = \int_{\frac{h}{2} - x}^{\frac{h}{2} - 2d'} \sigma_c^2 b y dy + \int_{\frac{h}{2} - 2d'}^{k_{0,2} + \frac{h}{2} - x} \sigma_c b y dy + \int_{k_{0,2} + \frac{h}{2} - x}^{\frac{h}{2}} 0.85 f_{cd} b y dy \quad (4.35)$$

integralleri hesaplanarak

$$\begin{aligned}
 M_c = & \frac{0.85 f_{cd} b h^2 \varepsilon_{c1}}{4 (1+\beta)^2} \left[(1 - 2\alpha) \left[-\varepsilon_{c1} \left[-\frac{k_x (1+\beta)}{6} + \frac{k_x^2}{12} \right. \right. \right. \\
 & - \frac{8}{3} \frac{\beta^4}{k_x^2} + \frac{4}{3} \frac{\beta^3}{k_x^2} - \frac{2\beta^2}{k_x} + \frac{10}{3} \frac{\beta^3}{k_x} + \beta - \beta^2 \left. \right] + \\
 & 4 \left[-\frac{1}{4} k_x (1+\beta) + \frac{k_x^2}{6} - \frac{\beta^2}{k_x} + \frac{5}{3} \frac{\beta^3}{k_x} + \beta - \beta^2 \right] \left. \right] - \\
 & \varepsilon_{c1} \left[\frac{4 k_x^2}{\varepsilon_{c1}^4} + \frac{4}{3} \frac{(1+\beta) k_x}{\varepsilon_{c1}^3} - \frac{8}{3} \frac{k_x^2}{\varepsilon_{c1}^3} \right] + 4 \left[\frac{8}{3} \frac{k_x^2}{\varepsilon_{c1}^3} \right. \\
 & + \left. \frac{k_x (1+\beta)}{\varepsilon_{c1}^2} - \frac{2 k_x^2}{\varepsilon_{c1}^2} \right] \left. \right] + 0.85 f_{cd} b h^2 \frac{1}{(1+\beta)^2} \left[-\frac{2 k_x^2}{\varepsilon_{c1}^2} \right. \\
 & - \frac{k_x}{\varepsilon_{c1}} (1+\beta) + \frac{2 k_x^2}{\varepsilon_{c1}} - \frac{k_x^2}{2} + \frac{k_x (1+\beta)}{2} \left. \right] \quad (4.36)
 \end{aligned}$$

$$M_c = 0.85 f_{cd} b h^2 \alpha_{mc} \quad (4.37)$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_{mc} = & \frac{\varepsilon_{c1}}{4 (1+\beta)^2} \left[(1 - 2\alpha) \left[-\varepsilon_{c1} \left[-\frac{k_x (1+\beta)}{6} + \frac{k_x^2}{12} \right. \right. \right. \\
 & - \frac{8}{3} \frac{\beta^4}{k_x^2} + \frac{4}{3} \frac{\beta^3}{k_x^2} - \frac{2\beta^2}{k_x} + \frac{10}{3} \frac{\beta^3}{k_x} + \beta - \beta^2 \left. \right] + \\
 & 4 \left[-\frac{1}{4} k_x (1+\beta) + \frac{k_x^2}{6} - \frac{\beta^2}{k_x} + \frac{5}{3} \frac{\beta^3}{k_x} + \beta - \beta^2 \right] \left. \right] - \\
 & \varepsilon_{c1} \left[\frac{4 k_x^2}{\varepsilon_{c1}^4} + \frac{4}{3} \frac{(1+\beta) k_x}{\varepsilon_{c1}^3} - \frac{8}{3} \frac{k_x^2}{\varepsilon_{c1}^3} \right] + 4 \left[\frac{8}{3} \frac{k_x^2}{\varepsilon_{c1}^3} \right. \\
 & + \left. \frac{k_x (1+\beta)}{\varepsilon_{c1}^2} - \frac{2 k_x^2}{\varepsilon_{c1}^2} \right] \left. \right] + \frac{1}{(1+\beta)^2} \left[-\frac{2 k_x^2}{\varepsilon_{c1}^2} - \frac{k_x}{\varepsilon_{c1}} (1+\beta) \right. \\
 & + \left. \frac{2 k_x^2}{\varepsilon_{c1}} - \frac{k_x^2}{2} + \frac{k_x (1+\beta)}{2} \right] \quad (4.38)
 \end{aligned}$$



Şekil 4.7 Taraflı Eksenin Üst Cidar Kalınlığı Dışında Bulunduğu Durumda Şekil Değiştirme ve Gerilme Diyagramları ($\bar{\varepsilon}_{c1} > 2$)

$$F_c = \int_{\frac{h}{2}-x}^{k_{0,2}+\frac{h}{2}-x} \alpha_2 b' dy + \int_{k_{0,2}+\frac{h}{2}-x}^{\frac{h}{2}-2d'} 0.85 f_{cd} 2b' dy + \int_{\frac{h}{2}-2d'}^{\frac{h}{2}} 0.85 f_{cd} b dy \quad (4.39)$$

integralleri hesaplanarak

$$F_c = 0.85 f_{cd} b h \alpha_{nc} \quad (4.40)$$

şeklinde yazılabilir. Burada:

$$\alpha_{nc} = \frac{1}{(1+\beta)} \left[\frac{\varepsilon_{c1} \alpha}{2} \left[-\frac{8}{3} \frac{k_x}{\varepsilon_{c1}^2} + \frac{8 k_x}{\varepsilon_{c1}^2} \right] + 2\alpha \left[-2\beta - \frac{2 k_x}{\varepsilon_{c1}} + k_x \right] + 2\beta \right] \quad (4.41)$$

dir.

Beton Basınç Momenti;

$$M_c = \int_{\frac{h}{2}-x}^{k_{0,2}+\frac{h}{2}-x} \alpha_2 b' y dy + \int_{k_{0,2}+\frac{h}{2}-x}^{\frac{h}{2}-2d'} 0.85 f_{cd} 2b' y dy + \int_{\frac{h}{2}-2d'}^{\frac{h}{2}} 0.85 f_{cd} b y dy \quad (4.42)$$

integralleri hesaplanarak

$$M_c = 0.85 f_{cd} b h^2 \alpha_{mc} \quad (4.43)$$

şeklinde yazılabilir. Burada:

$$\alpha_{mc} = \frac{1}{(1+\beta)^2} \left[\frac{\epsilon_{c1} \alpha}{2} \left[-\epsilon_{c1} \left[\frac{4 k_x^2}{\epsilon_{c1}^4} + \frac{4}{3} \frac{k_x (1+\beta)}{\epsilon_{c1}^3} - \frac{8}{3} \frac{k_x^2}{\epsilon_{c1}^2} \right] \right. \right. \\ \left. \left. + 4 \left[\frac{8}{3} \frac{k_x^2}{\epsilon_{c1}^3} + \frac{k_x (1+\beta)}{\epsilon_{c1}^2} - \frac{2 k_x^2}{\epsilon_{c1}^2} \right] \right] + 2\alpha \left[-\beta + \beta^2 - \frac{2 k_x^2}{\epsilon_{c1}^2} \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{(1+\beta) k_x}{\epsilon_{c1}} + \frac{2 k_x^2}{\epsilon_{c1}} + \frac{k_x (1+\beta)}{2} - \frac{k_x^2}{2} \right] + \beta - \beta^2 \right] \quad (4.44)$$

dir.

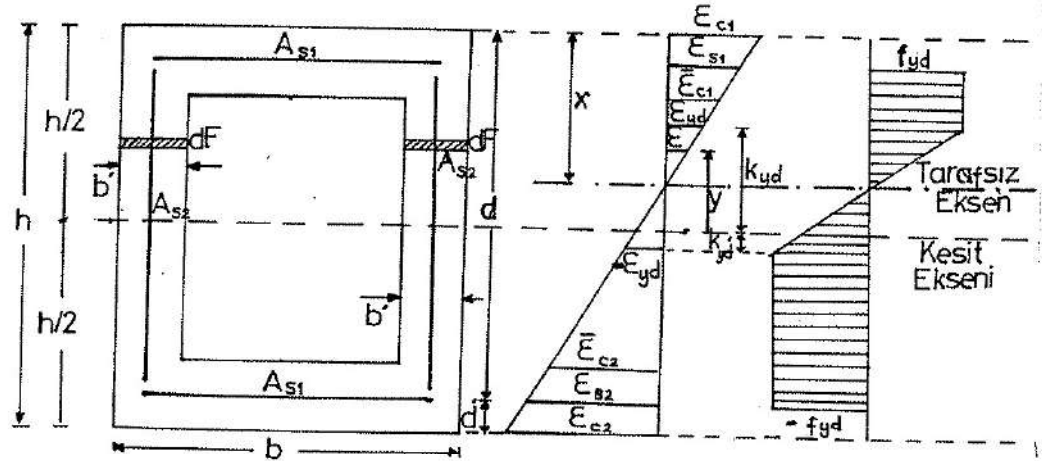
4.1.3. Donatıya Ait Değerlerin Hesabı

ϵ_{s1} ve ϵ_{s2} değerlerinin akma limitine erişmelerine göre 4 durum mevcuttur.

$$\epsilon_{s1} < \epsilon_{yd} \dots \dots \lambda_2 = \epsilon_{s1} / \epsilon_{yd} \quad \epsilon_{s1} \geq \epsilon_{yd} \dots \dots \lambda_2 = 1$$

$$\epsilon_{s2} < \epsilon_{yd} \dots \dots \lambda_1 = \epsilon_{s2} / \epsilon_{yd} \quad \epsilon_{s2} \geq \epsilon_{yd} \dots \dots \lambda_1 = 1$$

a) Üst ve Alt Başlıktaki Donatıların Akma Limitine Eriştiği Durum ($\epsilon_{s1} \geq \epsilon_{yd}$ ve $\epsilon_{s2} \geq \epsilon_{yd}$) (Şekil 4.8)



Şekil 4.8 Basınç ve Çekme Donatılarının Akma Limitine Eriştiği Durumda Şekil Değiştirme ve Gerilme Diyagramları

Şekilden

$$k_{yd} = x \left[\frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{c1}} - 1 \right] + \frac{h}{2} \quad (4.45)$$

$$k'_{yd} = x \left[\frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{c1}} + 1 \right] - \frac{h}{2} \quad (4.46)$$

$$dF = \frac{2 A_{s2}}{(d-d')} dy \quad (4.47)$$

Çelik gerilme diyagramının lineer olan kısmında

$$\sigma_s = E_s \varepsilon \quad (4.48)$$

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{yd} (y - \frac{h}{2} + x)}{(k_{yd} - \frac{h}{2} + x)} \quad (4.49)$$

$$\sigma_s = \frac{f_{yd}}{\varepsilon_{yd}} \varepsilon \quad (4.50)$$

Üst Başlık Donatısının Oluşturduğu Basınç Kuvveti:

$$F_{s1} = - A_{s1} f_{yd} \quad (4.51)$$

Alt Başlık Donatısının Oluşturduğu Çekme Kuvveti:

$$F_{s2} = A_{s2} f_{yd} \quad (4.52)$$

Her iki taraftaki gövde donatısının oluşturduğu kuvvet:

$$F_{sg} = \int_{-k_{yd}}^{k_{yd}} \sigma_s dF \quad (4.53)$$

integrali hesaplanarak

$$F_{sg} = A_{s2} f_{yd} \alpha_{nsg} \quad (4.54)$$

şeklinde yazılabilir. Burada:

$$\alpha_{nsg} = \frac{-2}{(1-\beta)} \left[2 k_x - 1 - \beta \right] \quad (4.55)$$

dir.

Bu durumda bileşke çekme durumunda pozitif kabulü ile

$$F_s = F_{s1} + F_{s2} + F_{sg} \quad (4.56)$$

$$F_s = -A_{s1} f_{yd} + A_{s1} f_{yd} + A_{s2} f_{yd} \alpha_{ng}$$

$$A_{s2} = A \cdot A_{s1} \quad (4.57)$$

$$F_s = A \cdot A_{s1} f_{yd} \alpha_{ng} \quad (4.58)$$

Üst başlık donatısının oluşturduğu moment;

$$M_{s1} = A_{s1} f_{yd} \left(\frac{h}{2} - d' \right)$$

$$M_{s1} = A_{s1} f_{yd} h \frac{1}{(1+\beta)} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] \quad (4.59)$$

Alt başlık donatısının oluşturduğu moment;

$$M_{s2} = A_{s2} f_{yd} \left(\frac{h}{2} - d' \right)$$

$$M_{s2} = A_{s2} f_{yd} h \frac{1}{(1+\beta)} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] \quad (4.60)$$

Gövde donatılarının oluşturduğu moment;

$$M_{sg} = \int_{-k'_{yd}}^{k_{yd}} \sigma_s y dF \quad (4.61)$$

integrali hesaplanarak

$$M_{sg} = A_{s2} f_{yd} h \alpha_{msg} \quad (4.62)$$

şeklinde yazılabilir. Burada:

$$\alpha_{msg} = \frac{-2}{(1-\beta^2)} \left[-\frac{1}{3} \frac{k_x^2 \varepsilon_{yd}^2}{\varepsilon_{c1}^2} - k_x^2 + k_x (1+\beta) - \beta \right] \quad (4.63)$$

dir.

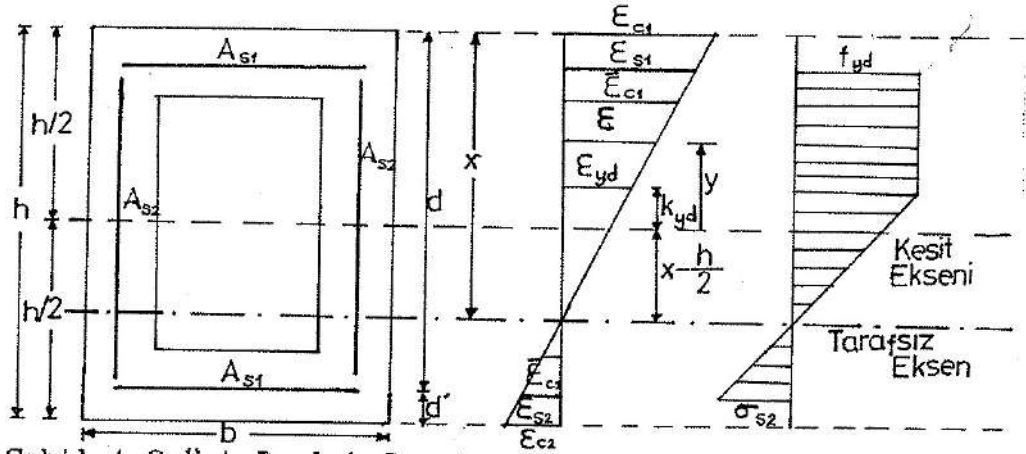
Bu değerler gözönüne alındığında toplam moment;

$$M_s = M_{s1} + M_{s2} + M_{sg} \quad (4.64)$$

$$M_s = A_{s1} f_{yd} h \left[\frac{1}{(1+\beta)} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] 2 + A \alpha_{msg} \right] \quad (4.65)$$

b) Ust Başlık Donatısının Akma Limitine Eriştiği, Alt Başlık Donatısının Elastik Bölge İçinde Kaldığı Durum

($\varepsilon_{s1} \geq \varepsilon_{yd}$ ve $\varepsilon_{s2} < \varepsilon_{yd}$) (Şekil 4.9)



Şekil 4.9 Ust Başlık Donatısının Akma Limitine Eriştiği, Alt Başlık Donatısının Elastik Bölge İçinde Kaldığı Durumda Şekil Değiştirme ve Gerilme Diyagramları

Ust Başlık Donatısının Oluşturduğu Basınç Kuvveti:

$$F_{s1} = -A_{s1} f_{yd} \quad (4.66)$$

Alt Başlık Donatısının Oluşturduğu Çekme Kuvveti:

$$F_{s2} = A_{s1} E_s \varepsilon_{s2} \quad (4.67)$$

$$F_{s2} = A_{s1} \frac{f_{yd}}{\varepsilon_{yd}} \varepsilon_{s2}$$

$$F_{s2} = A_{s1} f_{yd} \lambda_1 \quad (4.68)$$

Her iki taraftaki gövde donatılarının oluşturduğu kuvvet;

$$F_{sg} = \int_{-(\frac{h}{2}-d')}^{\frac{k_{yd}}{2}} \sigma_s dF \quad (4.69)$$

integrali hesaplanarak

$$F_{sg} = A_{s2} f_{yd} \alpha_{neg} \quad (4.70) \quad \text{şeklinde yazılabilir.}$$

$$\alpha_{msg} = \frac{-2}{(1-\beta)} \left[-\frac{k_x}{2} \frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{c1}} - \beta + k_x + \frac{\varepsilon_{c1}}{\varepsilon_{yd}} \left[-\frac{k_x}{2} - \frac{1}{2k_x} + 1 \right] \right] \quad (4.71)$$

$$F_s = F_{s1} + F_{s2} + F_{sg}$$

$$F_s = -A_{s1} f_{yd} + A_{s1} f_{yd} \lambda_1 + A_{s1} f_{yd} \alpha_{msg} \quad (4.72)$$

$$F_s = A_{s1} f_{yd} (\lambda_1 - 1 + \alpha_{msg}) \quad (4.73)$$

Üst Başlık Donatısının Oluşturduğu Moment:

$$M_{s1} = A_{s1} f_{yd} h \frac{1}{(1+\beta)} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right]$$

Alt Başlık Donatısının Oluşturduğu Moment:

$$M_{s2} = \lambda_1 A_{s1} f_{yd} h \frac{1}{(1+\beta)} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] \quad (4.74)$$

Gövde donatılarının oluşturduğu moment:

$$M_{sg} = \int_{-(\frac{h}{2}-d')}^{\frac{k_{yd}}{2}} \sigma_s y dF \quad (4.75)$$

integrali hesaplanarak

$$M_{sg} = A_{s2} f_{yd} h \alpha_{msg} \quad (4.76)$$

şeklinde yazılabilir. Burada;

$$\alpha_{msg} = \frac{-2}{(1-\beta^2)} \left[\frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{c1}} \left[-\frac{k_x^2}{6} \frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{c1}} + \frac{k_x^2}{2} - \frac{1}{4} k_x (1+\beta) \right] + \frac{\varepsilon_{c1}}{\varepsilon_{yd}} \left[\frac{k_x^2}{6} + \frac{1}{12 k_x} - \frac{\beta}{4 k_x} + \frac{\beta}{2} - \frac{k_x}{4} - \frac{k_x \beta}{4} \right] - \frac{\beta}{2} - \frac{k_x^2}{2} + \frac{k_x}{2} + \frac{k_x \beta}{2} \right] \quad (4.77) \quad \text{dir.}$$

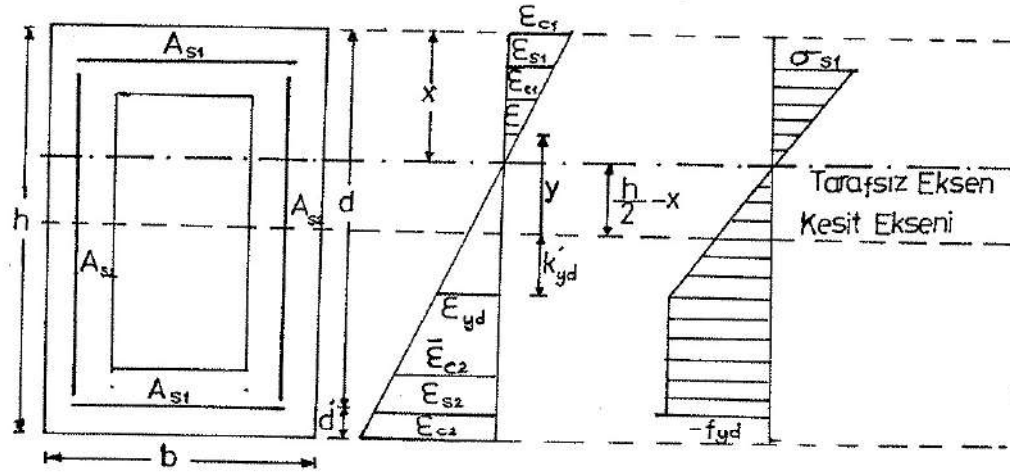
Bu değerler gözönüne alındığında toplam moment:

$$M_s = M_{s1} + M_{s2} + M_{sg}$$

$$M_s = A_{s1} f_{yd} h \frac{1}{(1+\beta)} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] (1+\lambda_1) + A_{s2} f_{yd} h \alpha_{msg} \quad (4.78)$$

$$M_s = A_{s1} f_{yd} h \left[\frac{1}{(1+\beta)} \left(\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right) (1+\lambda_1) + A_{s2} \alpha_{msg} \right] \quad (4.79)$$

c) Ust Başlık Donatısının Elastik Bölge İçinde Kaldığı, Alt Başlık Donatısının Akma Limitine Eriştiği Durum ($\epsilon_{s1} < \epsilon_{yd}$ ve $\epsilon_{s2} \geq \epsilon_{yd}$) (Şekil 4.10)



Şekil 4.10 Ust Başlık Donatısının Elastik Bölge İçinde Kaldığı, Alt Başlık Donatısının Akma Limitine Eriştiği Durumda Şekil Değiştirme ve Gerilme Diyagramları Ust Başlık Donatısının Oluşturduğu Basınç Kuvveti:

$$F_{s1} = -A_{s1} f_{yd} \lambda_2 \quad (4.80)$$

Alt Başlık Donatısının Oluşturduğu Çekme Kuvveti:

$$F_{s2} = A_{s2} f_{yd} \quad (4.81)$$

Gövde Donatılarının Oluşturduğu Kuvvet;

$$F_{sg} = \int_{-k_{yd}}^{\frac{h}{2}d'} \sigma_s dF \quad (4.82)$$

İntegrali hesaplanarak

$$F_{sg} = A_{s2} f_{yd} \alpha_{nsg} \quad (4.83)$$

şeklinde yazılabilir. Burada:

$$\alpha_{nsg} = \frac{-2}{(1-\beta)} \left[k_x + \frac{k_x}{2} \frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{c1}} - 1 + \frac{\varepsilon_{c1}}{\varepsilon_{yd}} \left[\frac{\beta^2}{2 k_x} - \beta + \frac{k_x}{2} \right] \right] \quad (4.84)$$

dir.

Bu durumda

$$F_s = -A_{s1} f_{yd} \lambda_2 + A_{s1} f_{yd} + A_{s2} f_{yd} \alpha_{nsg} \quad (4.85)$$

$$F_s = A_{s1} f_{yd} (1 - \lambda_2 + A_{s2} \alpha_{nsg}) \quad (4.86)$$

dir.

Üst Başlık Donatısının Oluşturduğu Moment;

$$M_{s1} = A_{s1} f_{yd} \lambda_2 h \frac{1}{(1+\beta)} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] \quad (4.87)$$

Alt Başlık Donatısının Oluşturduğu Moment;

$$M_{s2} = A_{s1} f_{yd} h \frac{1}{(1+\beta)} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] \quad (4.88)$$

Gövde Donatılarının Oluşturduğu Moment;

$$M_{sg} = \int_{-k_{yd}}^{\frac{h}{2} - d'} \alpha_s y \, dF \quad (4.89)$$

integrali hesaplanarak

$$M_{sg} = A_{s2} f_{yd} h \alpha_{msg} \quad (4.90)$$

şeklinde yazılabilir. Burada:

$$\alpha_{msg} = \frac{-2}{(1-\beta^2)} \left[-\frac{k_x^2}{6} \frac{\varepsilon_{yd}^2}{\varepsilon_{c1}^2} - \frac{k_x^2}{2} \frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{c1}} - \frac{k_x^2}{2} + \frac{k_x(1+\beta)}{2} \right. \\ \left. + \frac{1}{4} \frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{c1}} k_x(1+\beta) - \frac{\beta}{2} + \frac{\varepsilon_{c1}}{\varepsilon_{yd}} \left[\frac{1}{4} \frac{\beta^2}{k_x} - \frac{\beta^3}{12 k_x} - \frac{k_x^2}{6} - \frac{\beta}{2} + \frac{k_x(1+\beta)}{4} \right] \right] \quad (4.91)$$

dir.

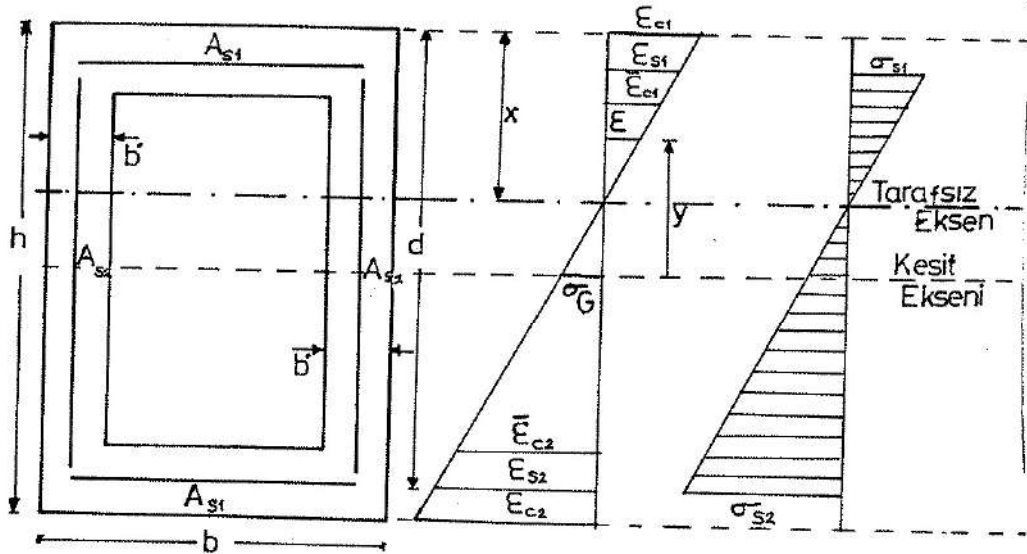
Bu değerler gözönüne alındığında toplam moment:

$$M_s = A_{s1} f_{yd} h \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] (1 + \lambda_2) + A_{s2} f_{yd} h \alpha_{msg} \quad (4.92)$$

$$M_s = A_{s1} f_{yd} h \left[\frac{1}{(1+\beta)} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] (1 + \lambda_2) + A_{s2} \alpha_{msg} \right] \quad (4.93)$$

dir.

d) Tüm Donatıların Akma Limitine Erişmediği, Elastik Bölge İçinde Kaldığı Durum ($\varepsilon_{s1} < \varepsilon_{yd}$ ve $\varepsilon_{s2} < \varepsilon_{yd}$) (Şekil 4.11)



Şekil 4.11 Tüm Donatıların Akma Limitine Erişmediği, Elastik Bölge İçinde Kaldığı Durumda Şekil Değiştirme ve Gerilme Diyagramları

$$\sigma_G = \frac{\lambda_2 f_{yd}}{(k_x - \beta)} \left[\frac{(1+\beta)}{2} - k_x \right] \quad (4.94)$$

Üst Başlık Donatısının Oluşturduğu Basınç Kuvveti:

$$F_{s1} = -A_{s1} f_{yd} \lambda_2 \quad (4.95)$$

Alt Başlık Donatısının Oluşturduğu Çekme Kuvveti:

$$F_{s2} = A_{s2} f_{yd} \lambda_1 \quad (4.96)$$

Her iki taraftaki gövde donatılarının oluşturduğu kuvvet gerilme diyagramındaki üçgen alanlarından yararlanarak

$$F_{sg} = \frac{2 A_{s2}}{(d-d')} \left[-\frac{1}{2} \sigma_{s1} (x-d') + \frac{1}{2} \sigma_{s2} (d-x) \right] \quad \text{den}$$

hesaplanarak $F_{sg} = A_{s2} f_{yd} \alpha_{nsg}$ şeklinde yazılabilir.

Burada:

$$\alpha_{nsg} = \frac{1}{(1-\beta)} \left[-\lambda_2 (k_x - \beta) + \lambda_1 (1 - k_x) \right] \quad (4.97) \quad \text{dir.}$$

Bu durumda:

$$F_s = A_{s1} f_{yd} (\lambda_1 - \lambda_2 + A_{s2} \alpha_{nsg}) \quad (4.98) \quad \text{dir.}$$

Üst Başlık Donatısının Oluşturduğu Moment;

$$M_{s1} = A_{s1} f_{yd} \lambda_2 \frac{h}{(1+\beta)} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] \quad (4.99)$$

Alt Başlık Donatısının Oluşturduğu Moment;

$$M_{s2} = A_{s2} f_{yd} \lambda_1 \frac{h}{(1+\beta)} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] \quad (4.100)$$

Gövde Donatılarının Oluşturduğu Moment; gerilme diyagramından yararlanarak:

$$M_{sg} = \frac{2 A_{s2}}{(d-d')} \left[\frac{1}{2} \sigma_{s1} (x-d') \left(\frac{h}{2} - x + \frac{2}{3} (x-d') \right) + \frac{1}{2} (\sigma_{s2} + \sigma_g) \left(\frac{h}{2} - d' \right) \left[\frac{h}{2} - d' - \frac{\left(\frac{h}{2} - d' \right)}{3} \frac{(2 \sigma_g + \sigma_{s2})}{(\sigma_g + \sigma_{s2})} \right] - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{2} - x \right) \sigma_g \right]$$

den hesaplanarak

$$M_{sg} = A_{s2} f_{yd} h \alpha_{msg} \quad (4.101)$$

şeklinde yazılabilir. Burada:

$$\alpha_{msg} = - \frac{1}{(1-\beta^2)} \left[\lambda_2 (k_x - \beta) \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{6} - \frac{k_x}{3} \right] + \left[\lambda_1 + \frac{\lambda_2}{(k_x - \beta)} \right] \right. \\ \left. \left[\frac{(1+\beta)}{2} - k_x \right] \right] \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} - \frac{\left(\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right) \left[\frac{\lambda_2}{(k_x - \beta)} (1+\beta-2k_x) + \lambda_1 \right]}{3 \left[\frac{\lambda_2}{(k_x - \beta)} \left(\frac{1+\beta}{2} - k_x \right) + \lambda_1 \right]} \right] \\ - \left[\frac{1}{2} + \frac{\beta}{2} - k_x \right] \frac{\lambda_2}{(k_x - \beta)} \left[\frac{1+\beta}{2} - k_x \right] \left[\frac{1}{2} + \frac{\beta}{2} - k_x \right] \frac{1}{3} \right] \quad (4.102)$$

dir. Bu değerler gözönüne alındığında toplam moment:

$$M_s = A_{s1} f_{yd} h \left[\frac{1}{1+\beta} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] (\lambda_1 + \lambda_2) + A. \alpha_{msg} \right] \quad (4.103)$$

4.1.4. Denge Denklemleri

1- Yatay Denge Denklemi:

$$N = F_c - F_s \quad (4.104)$$

değerler yerlerine yazılırsa;

$$N = 0.85 f_{cd} b h \alpha_{nc} - A_{s1} f_{yd} (\lambda_1 - \lambda_2 + A. \alpha_{msg}) \quad (4.105)$$

dir.

α_{msg} ve α_{nc} değerleri ϵ_{c1} ve ϵ_{s1} değerlerine göre ilgili durumdan alınacaktır.

Boyutsuz normal kuvvet (n) ve mekanik pirsantaj (ω)

$$n = \frac{N}{b h f_{cd}} \quad \omega = \rho_s \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \quad (4.106)$$

olduğuna göre

$$n = 0.85 \alpha_{nc} - \omega (\lambda_1 - \lambda_2 + A. \alpha_{msg}) \quad (4.107)$$

dir.

2- Moment Denge Denklemi:

$$M = M_c + M_s \quad (4.108)$$

değerler yerlerine yazılırsa;

$$M = 0.85 f_{cd} b h^2 \alpha_{mc} + A_s f_{yd} h \left[\frac{1}{1+\beta} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] (\lambda_1 + \lambda_2) + A. \alpha_{msg} \right]$$

... (4.109) dir.

Boyutsuz moment (m)

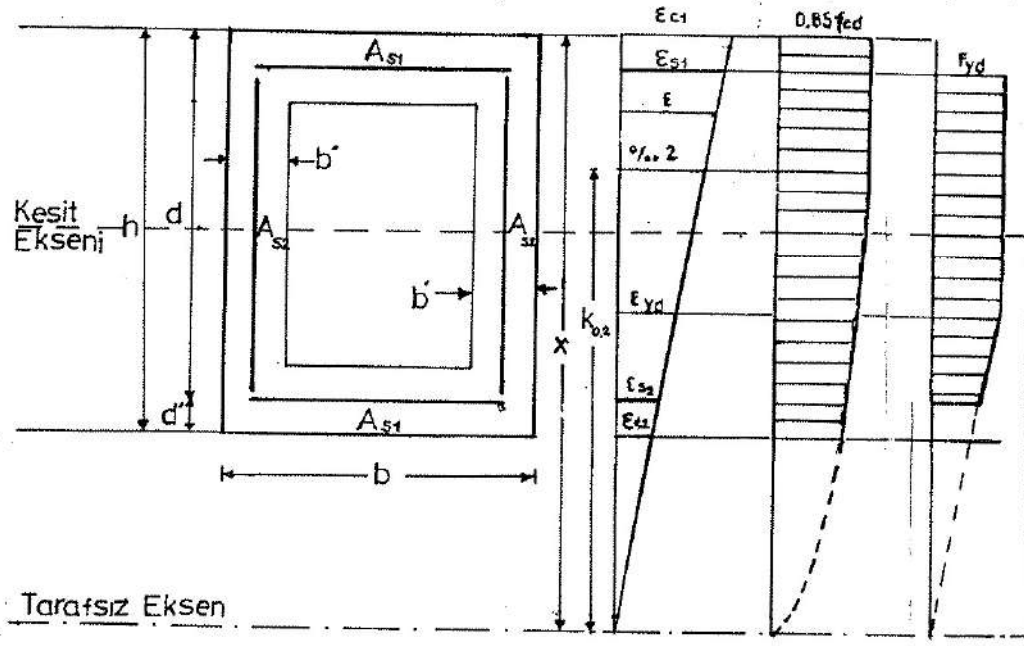
$$m = \frac{M}{b h^2 f_{cd}} \quad (4.110)$$

olduğuna göre;

$$m = 0.85 \alpha_{mc} + \omega \left[\frac{1}{1+\beta} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] (\lambda_1 + \lambda_2) + A. \alpha_{msg} \right] \quad (4.111)$$

bulunur.

4.2. Tarafsız Eksenin Kesit Dışında Bulunduğu Durum
(Şekil 4.12)



Şekil 4.12 Tarafsız Eksenin Kesit Dışında Bulunduğu Hallerde Şekil Değiştirme Durumu, Beton ve Çeliğe Ait Gerilme Diyagramları

4.2.1. Geometrik Bağlantılar:

$$x = k_x h \quad (4.112)$$

$$k_x = \frac{\epsilon_{c1}}{\epsilon_{c1} - \epsilon_{c2}} \quad (4.113)$$

$$k_{0,2} = \frac{2x}{\epsilon_{c1}} \quad (4.114)$$

$$\epsilon_{c2} = \frac{3.5 - \epsilon_{c1}}{0.75} \quad (4.115)$$

$$\bar{\epsilon}_{c1} = \epsilon_{c1} - \frac{3.5 \beta}{(1+\beta)} \left[\frac{\epsilon_{c1} - 2}{0.75} \right] \quad (4.116)$$

$$\varepsilon_{c2} = \varepsilon_{c1} + \frac{3.5 \beta}{(1+\beta)} \left[\frac{\varepsilon_{c1}^{-2}}{0.75} \right] \quad (4.117)$$

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_{c1} \left[1 - \frac{\beta}{(1+\beta)k_x} \right] \quad (4.118)$$

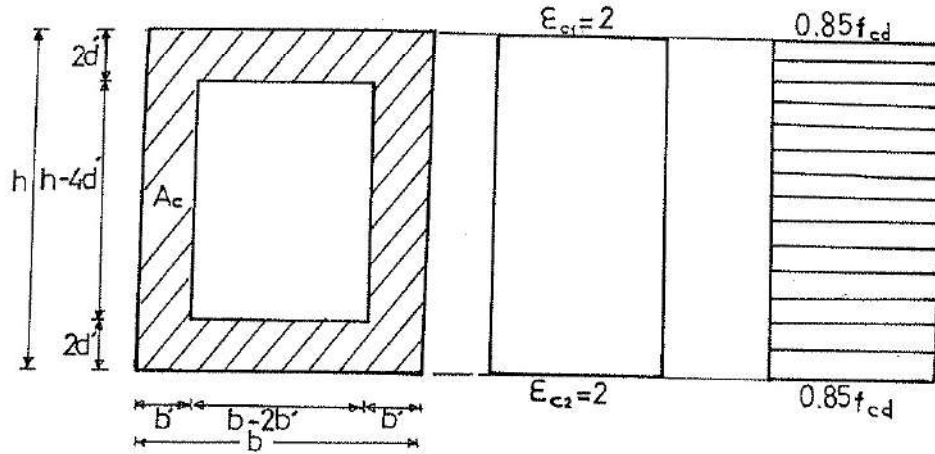
$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{c1} \left[1 - \frac{1}{(1+\beta)k_x} \right] \quad (4.119)$$

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{c1}}{x} \left[y + x - \frac{h}{2} \right] \quad (4.120)$$

$$k_{yd} = x \left[1 - \frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{c1}} \right] - \frac{h}{2} \quad (4.121)$$

4.2.2. Beton Basınç Kuvvetinin ve Momentinin Hesabı:

a) Basit Basınç Durumu ($\varepsilon_{c1}=2$ ve $\varepsilon_{c2}=2$)



Şekil 4.13 Basit Basınç Durumunda Betona Ait Şekil Değiştirme ve Gerilme Diyagramları

$$A_c = b h \left[1 - (1 - 2 \alpha) \left[1 - \frac{4 \beta}{(1+\beta)} \right] \right] \quad (4.122)$$

$$F_c = 0.85 f_{cd} b h \alpha_{nc} \quad (4.123)$$

şeklinde yazılabilir. Burada:

$$\alpha_{nc} = \left[1 - (1-2 \alpha) \left[1 - \frac{4 \beta}{(1+\beta)} \right] \right] \quad (4.124)$$

dir.

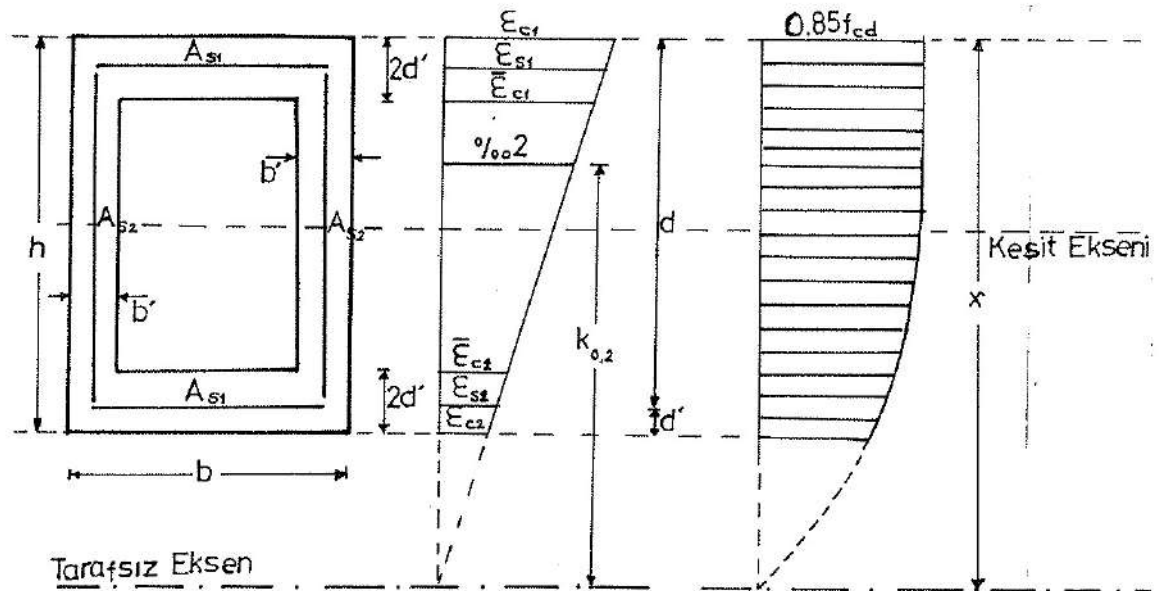
$$M_c = 0 \quad \text{dır.}$$

$$b) 2 < \bar{\varepsilon}_{c1} \leq 3.5$$

$\bar{\varepsilon}_{c1}$ ve $\bar{\varepsilon}_{c2}$ değerlerinin 0.002 değerinden büyük veya küçük olmalarına göre 3 durum mevcuttur.

$$1) \bar{\varepsilon}_{c2} < 2$$

$$a) \bar{\varepsilon}_{c1} > 2 \quad \text{durumu:}$$



Sekil 4.14 Tarafsız Eksenin Kesit Dışında Bulunduğu Durumda Betona Ait Şekil Değiştirme ve Gerilme Diyagramları ($\bar{\varepsilon}_{c1} > 2$)

$$\begin{aligned}
 F_c = & \int_{-\frac{h}{2}}^{-(\frac{h}{2}-2d')} \sigma_c b dy + \int_{-(\frac{h}{2}-2d')}^{k_{0,2}-x+\frac{h}{2}} \sigma_c 2b' dy + \int_{k_{0,2}-x+\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}-2d'} 0.85 f_{cd} 2b' dy + \\
 & + \int_{\frac{h}{2}-2d'}^{\frac{h}{2}} 0.85 f_{cd} b dy \quad (4.125)
 \end{aligned}$$

integralleri hesaplanarak

$$F_c = 0.85 f_{cd} b h \alpha_{nc} \quad (4.126)$$

şeklinde yazılabilir. Burada:

$$\begin{aligned}
 \alpha_{nc} = & \left[\frac{\varepsilon_{c1}}{4(1+\beta)} \left[(1-2\alpha) \left[-\varepsilon_{c1} \left[\frac{2\beta}{k_x^2} - \frac{4\beta^2}{k_x^2} \frac{1}{(1+\beta)} + \frac{8}{3} \frac{\beta^3}{k_x^2} \frac{1}{(1+\beta)^2} \right. \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. - \frac{4\beta}{k_x} + \frac{4\beta^2}{k_x} \frac{1}{(1+\beta)} + 2\beta \right] + 4 \left[\frac{2\beta^2}{k_x(1+\beta)} + 2\beta - \frac{2\beta}{k_x} \right] \right] \right] + \frac{\varepsilon_{c1}\alpha}{2} \\
 & \left[-\varepsilon_{c1} \left[\frac{8}{3} \frac{k_x}{\varepsilon_{c1}^3} - \frac{k_x}{3} + 1 - \frac{1}{k_x} + \frac{1}{3k_x^2} \right] + 4 \left[\frac{2k_x}{\varepsilon_{c1}^2} - \frac{1}{2k_x} + 1 \right. \right. \\
 & \left. \left. - \frac{k_x}{2} \right] \right] + 2\alpha \left[-\frac{2\beta}{(1+\beta)} - \frac{2k_x}{\varepsilon_{c1}} + k_x \right] + \frac{2\beta}{(1+\beta)} \quad (4.127)
 \end{aligned}$$

dir.

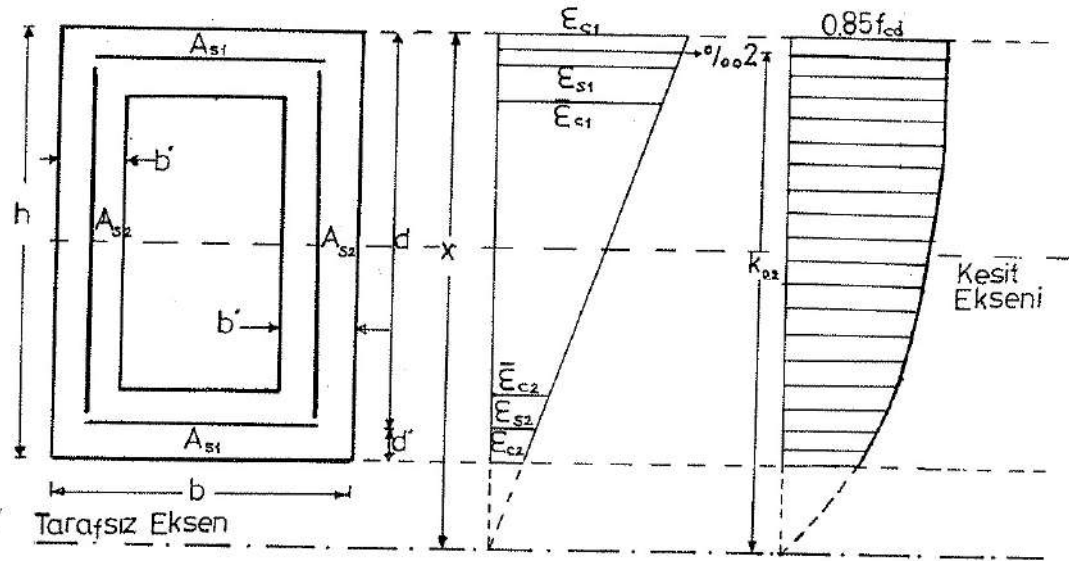
$$\begin{aligned}
M_c = & \int_{-\frac{h}{2}}^{-(\frac{h}{2}-2d')} \alpha_c b y dy + \int_{-(\frac{h}{2}-2d')}^{k_{0,2}-x+\frac{h}{2}} \sigma_c 2b'y dy + \int_{k_{0,2}-x+\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}-2d'} 0.85 f_{cd} 2b'y dy + \\
& + \int_{\frac{h}{2}-2d'}^{\frac{h}{2}} 0.85 f_{cd} b y dy \quad (4.128)
\end{aligned}$$

integralleri hesaplanarak $M_c = 0.85 f_{cd} b h^2 \alpha_{mc}$ (4.129) şeklinde yazılabilir. Burada:

$$\begin{aligned}
\alpha_{mc} = & \left[\frac{\epsilon_{c1}}{4 k_x} \left[(1-2\alpha) \left[-\frac{\epsilon_{c1}}{k_x} \left[-\frac{\beta}{(1+\beta)} + \frac{4\beta^2}{(1+\beta)^2} - \frac{20}{3} \frac{\beta^3}{(1+\beta)^3} + \right. \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \frac{4\beta^4}{(1+\beta)^4} - \frac{k_x^2 \beta}{(1+\beta)} + \frac{2k_x^2 \beta^2}{(1+\beta)^2} + \frac{2k_x \beta}{(1+\beta)} - \frac{6k_x \beta^2}{(1+\beta)^2} + \frac{16}{3} \frac{k_x \beta^3}{(1+\beta)^3} \right] + 4 \left[\frac{\beta}{(1+\beta)} \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. - \frac{3\beta^2}{(1+\beta)^2} + \frac{8}{3} \frac{\beta^3}{(1+\beta)^3} - \frac{k_x \beta}{(1+\beta)} + \frac{2\beta^2 k_x}{(1+\beta)^2} \right] \right] + 2\alpha \left[-\frac{\epsilon_{c1}}{k_x} \left[\frac{k_x}{6} + \frac{4k_x^4}{\epsilon_{c1}} - \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \frac{8}{3} \frac{k_x^4}{\epsilon_{c1}} + \frac{4}{3} \frac{k_x^3}{\epsilon_{c1}} + \frac{k_x^4}{12} - \frac{k_x^3}{6} - \frac{1}{12} \right] + 4 \left[\frac{8}{3} \frac{k_x^3}{\epsilon_{c1}} - \frac{2k_x^3}{\epsilon_{c1}^2} + \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \frac{k_x^2}{\epsilon_{c1}^2} + \frac{k_x^3}{6} + \frac{1}{12} - \frac{k_x^2}{4} \right] \right] + \alpha \left[-\frac{2\beta}{(1+\beta)} + \frac{4\beta^2}{(1+\beta)^2} + \frac{4k_x^2}{\epsilon_{c1}} - \frac{4k_x^2}{\epsilon_{c1}^2} - \right. \right. \\
& \left. \left. - \frac{2k_x}{\epsilon_{c1}} - k_x^2 + k_x \right] + \frac{\beta}{(1+\beta)} - \frac{2\beta^2}{(1+\beta)^2} \right] \quad (4.130)
\end{aligned}$$

dir.

$$b) \bar{\varepsilon}_{c1} < 2$$



Şekil 4.15 Taraflı Eksenin Kesit Dışında Bulunduğu Durumda Betona Ait Şekil Değiştirme ve Gerilme Diyagramları ($\bar{\varepsilon}_{c1} < 2$)

$$F_c = \int_{-\frac{h}{2}}^{-(\frac{h}{2}-2d')} \sigma_c b dy + \int_{-(\frac{h}{2}-2d')}^{\frac{h}{2}-2d'} \sigma_c 2b' dy + \int_{\frac{h}{2}-2d'}^{k_{0,2}-x+\frac{h}{2}} \sigma_c b dy + \int_{k_{0,2}-x+\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} 0.85 f_{cd} b dy$$

.... (4.131) integralleri hesaplanarak;

$$F_c = 0.85 f_{cd} b h \alpha_{nc} \quad (4.132)$$

şeklinde yazılabilir. Burada:

$$\alpha_{nc} = \left[\frac{\varepsilon_{c1}}{4(1+\beta)} \left[(1-2\alpha) \left[-\varepsilon_{c1} \left[\frac{15}{3} - \frac{\beta^3}{k_x^2} \frac{1}{(1+\beta)^2} + 4\beta + \frac{2\beta}{k_x^2} - \frac{4\beta^2}{k_x^2} \right. \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. \frac{1}{(1+\beta)} - \frac{4\beta}{k_x} \right] + 4 \left[4\beta - \frac{2\beta}{k_x} \right] \right] \right] + \frac{\varepsilon_{c1}}{4} \left[-\varepsilon_{c1} \left[\frac{8}{3} - \frac{k_x}{\varepsilon_{c1}^3} - \frac{k_x}{3} \right] + 4 \left[\frac{2k_x}{\varepsilon_{c1}^2} - \frac{k_x}{2} \right] \right] + \frac{\varepsilon_{c1}}{2} \left[-\varepsilon_{c1} \left[\frac{1}{3k_x^2} - \frac{1}{k_x} + 1 \right] + 4 - \frac{2}{k_x} - \frac{2k_x}{\varepsilon_{c1}} + k_x \right] \quad (4.133)$$

Beton Basınç Kuvvetinin Momenti:

$$M_c = \int_{-\frac{h}{2}}^{-(\frac{h}{2}-2d')} \sigma_c b y dy + \int_{-(\frac{h}{2}-2d')}^{\frac{h}{2}-2d'} \sigma_c 2b' y dy + \int_{\frac{h}{2}-2d'}^{k_{0,2}-x+\frac{h}{2}} \sigma_c b y dy + \int_{k_{0,2}-x+\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} 0.85 f_{cd} b y dy$$

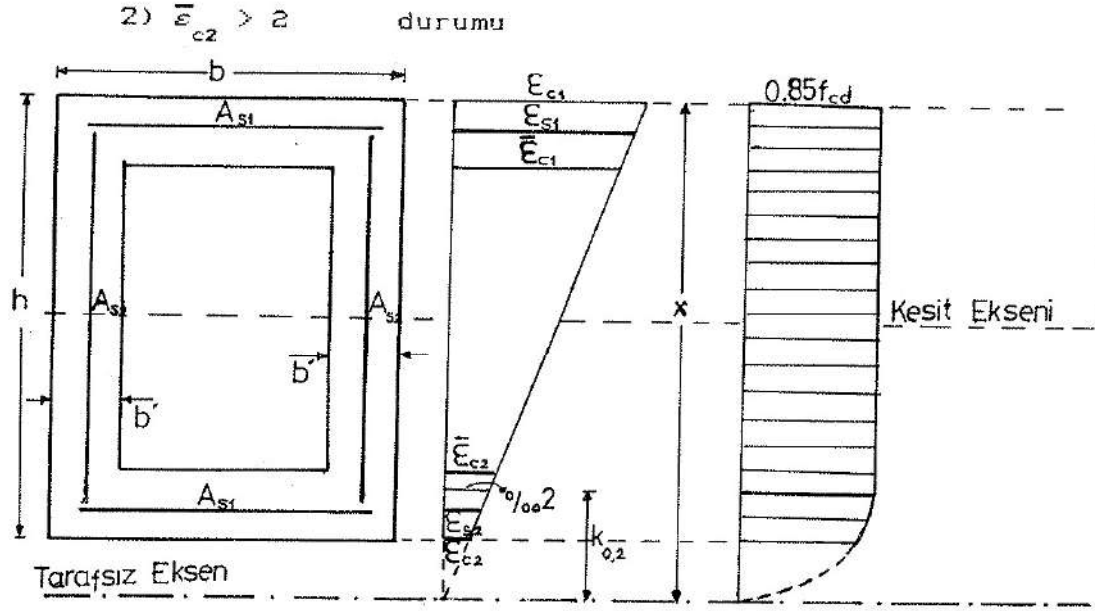
..... (4.134) integralleri hesaplanarak

$$M_c = 0.85 f_{cd} b h^2 \alpha_{mc} \quad (4.135)$$

şeklinde yazılabilir. Burada:

$$\begin{aligned} \alpha_{mc} = & \left[\frac{\varepsilon_{c1}}{4} \left[(1-2\alpha) \left[-\varepsilon_{c1} \left[\frac{2\beta}{k_x(1+\beta)} - \frac{8\beta^2}{k_x(1+\beta)^2} + \frac{32}{3} \frac{\beta^3}{(1+\beta)^3} \frac{1}{k_x} \right. \right. \right. \right. \\ & - \frac{\beta}{k_x^2(1+\beta)} + \frac{4\beta^2}{k_x^2(1+\beta)^2} - \frac{16}{3} \frac{\beta^3}{(1+\beta)^3 k_x^2} \left. \left. \left. \right] + 4 \left[\frac{\beta}{k_x(1+\beta)} - \frac{4\beta^2}{k_x(1+\beta)^2} \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \left. \frac{16}{3} \frac{\beta^3}{k_x(1+\beta)^3} \right] \right] - \varepsilon_{c1} \left[\frac{4k_x^2}{\varepsilon_{c1}^4} - \frac{8}{3} \frac{k_x^2}{\varepsilon_{c1}^3} + \frac{4}{3} \frac{k_x}{\varepsilon_{c1}^2} + \frac{k_x^2}{12} - \frac{k_x}{6} \right] + \right. \\ & 4 \left[\frac{8}{3} \frac{k_x^2}{\varepsilon_{c1}^3} - \frac{2k_x^2}{\varepsilon_{c1}^2} + \frac{k_x}{\varepsilon_{c1}} + \frac{k_x^2}{6} - \frac{k_x}{4} \right] + 2\alpha \left[-\varepsilon_{c1} \left[\frac{1}{6k_x} - \right. \right. \\ & \left. \left. \frac{1}{12k_x^2} \right] + 4 \left[\frac{1}{12} - \frac{1}{k_x} \right] \right] \left. \right] + \frac{1}{2} \left[-\frac{4k_x^2}{\varepsilon_{c1}^2} + \frac{4k_x^2}{\varepsilon_{c1}} - \frac{2k_x}{\varepsilon_{c1}} - k_x^2 + k_x \right] \end{aligned}$$

..... (4.136) dır.



Şekil 4.16 Taraflı Eksenin Kesit Dışında Bulunduğu Durumda Betona Ait Şekil Değiştirme ve Gerilme Diyagramları ($\bar{\varepsilon}_{c2} > 2$)

$$F_c = \int_{-\frac{h}{2}}^{-(x-\frac{h}{2}-k_{0,2})} \sigma_c b dy + \int_{-(x-\frac{h}{2}-k_{0,2})}^{-\frac{h}{2}+2d'} 0.85 f_{cd} b dy + \int_{-\frac{h}{2}+2d'}^{\frac{h}{2}-2d'} 0.85 f_{cd} 2 b' dy + \int_{\frac{h}{2}-2d'}^{\frac{h}{2}} 0.85 f_{cd} b dy \quad (4.137)$$

integralleri hesaplanarak $F_c = 0.85 f_{cd} b h \alpha_{nc}$ (4.138) şeklinde yazılabilir. Burada:

$$\alpha_{nc} = \frac{\varepsilon_{c1}}{4} \left[-\varepsilon_{c1} \left[\frac{8}{3} \frac{k_x}{\varepsilon_{c1}} - \frac{k_x}{3} + \frac{1}{3 k_x^2} + 1 - \frac{1}{k_x} \right] + 4 \left[\frac{2 k_x}{\varepsilon_{c1}} - \frac{k_x}{2} + 1 - \frac{1}{2 k_x} \right] \right] + 2 \alpha \left[1 - \frac{4 \beta}{(1+\beta)} + \frac{4 \beta}{(1+\beta)} k_x - 1 - \frac{2 k_x}{\varepsilon_{c1}} \right] \quad (4.139)$$

dir.

Beton Basınç Kuvvetinin Momenti:

$$M_c = \int_{-\frac{h}{2}}^{-(x-\frac{h}{2}-k_{0,2})} \sigma_c b y dy + \int_{-(x-\frac{h}{2}-k_{0,2})}^{-\frac{h}{2}+2d'} 0.85 f_{cd} b y dy + \int_{-\frac{h}{2}+2d'}^{\frac{h}{2}-2d'} 0.85 f_{cd}^2 b' y dy + \int_{-\frac{h}{2}+2d'}^{\frac{h}{2}} 0.85 f_{cd} b y dy \quad (4.140)$$

integralleri hesaplanarak

$$M_c = 0.85 f_{cd} b h^2 \alpha_{mc} \quad (4.141)$$

şeklinde yazılabilir. Burada:

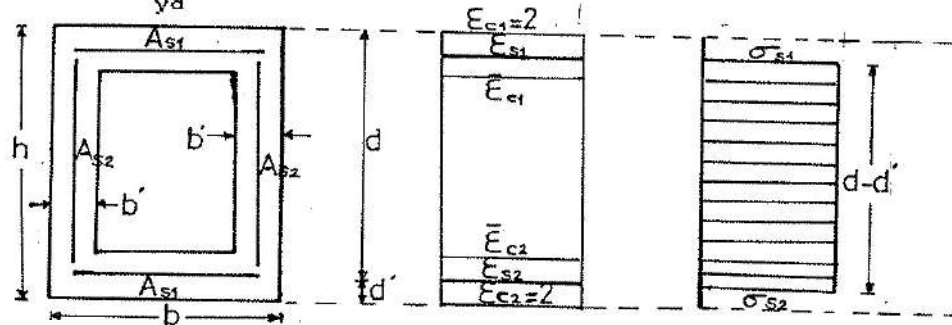
$$\alpha_{mc} = \left[\frac{\varepsilon_{c1}}{4} \left[-\varepsilon_{c1} \left[\frac{4 k_x^2}{\varepsilon_{c1}^4} - \frac{8}{3} \frac{k_x^2}{\varepsilon_{c1}^3} + \frac{4}{3} \frac{k_x}{\varepsilon_{c1}^2} + \frac{k_x^2}{12} - \frac{k_x}{6} + \frac{1}{6 k_x} \right] - \frac{1}{12 k_x^2} \right] + 4 \left[\frac{8}{3} \frac{k_x^2}{\varepsilon_{c1}^3} - \frac{2 k_x^2}{\varepsilon_{c1}^2} + \frac{k_x}{\varepsilon_{c1}^2} + \frac{k_x^2}{6} + \frac{1}{12 k_x} - \frac{k_x}{4} \right] \right] - \left[\frac{2 k_x^2}{\varepsilon_{c1}^2} + \frac{2 k_x^2}{\varepsilon_{c1}} - \frac{k_x}{\varepsilon_{c1}} - \frac{k_x^2}{2} + \frac{k_x}{2} \right] \quad (4.142)$$

dir.

4.2.3. Donatı Basınç Kuvvetinin ve Momentinin Hesabı:

a) Basit basınç durumu ($\varepsilon_{c1}=2$ ve $\varepsilon_{c2}=2$)

1) $\varepsilon_{yd} > 2$



Şekil 4.17 Basit Basınç Durumunda Kesitin Şekil Değiştirme ve Gerilme Diyagramları ($\varepsilon_{yd} > 2$)

$$\sigma_s = \varepsilon_s E_s = 2 \frac{f_{yd}}{\varepsilon_{yd}} \quad (4.143)$$

Gövde Donatılarının Oluşturduğu Kuvvet:

$$F_{sg} = \sigma_s 2 A_{s2} = 2 \frac{f_{yd}}{\varepsilon_{yd}} 2 A_{s2} \quad (4.144)$$

$$F_{sg} = A_{s2} f_{yd} (\lambda_1 + \lambda_2) = A_s A_{s1} f_{yd} (\lambda_1 + \lambda_2) \quad (4.145)$$

$$\sigma_{s1} = \frac{\varepsilon_{s1}}{\varepsilon_{yd}} f_{yd} = \lambda_2 f_{yd} \quad (4.146)$$

$$\sigma_{s2} = \frac{\varepsilon_{s2}}{\varepsilon_{yd}} f_{yd} = \lambda_1 f_{yd} \quad (4.147)$$

Üst Başlık Donatısının Oluşturduğu Kuvvet:

$$F_{s1} = \sigma_{s1} A_{s1} = \lambda_2 f_{yd} A_{s1} \quad (4.148)$$

Alt Başlık Donatısının Oluşturduğu Kuvvet:

$$F_{s2} = \sigma_{s2} A_{s1} = \lambda_1 f_{yd} A_{s1} \quad (4.149)$$

Tüm Donatıların Oluşturduğu Bileşke Kuvvet:

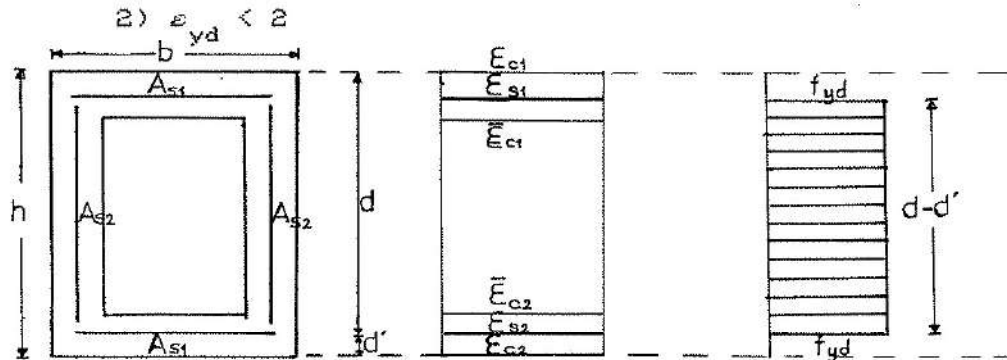
$$F_s = F_{s1} + F_{s2} + F_{sg} \quad (4.150)$$

$$F_s = \lambda_2 f_{yd} A_{s1} + \lambda_1 f_{yd} A_{s1} + A_s A_{s1} f_{yd} (\lambda_1 + \lambda_2) \quad (4.151)$$

$$F_s = f_{yd} A_{s1} (\lambda_1 + \lambda_2) (1 + A) \quad (4.152)$$

Basınç Kuvvetinin Momenti:

$$M_s = 0 \quad (4.153)$$



Şekil 4.18 Basit Basınç Durumunda Kesitin Şekil Değiştirme ve Gerilme Diyagramları ($\varepsilon_{yd} < 2$)

Gövde Donatılarının Oluşturduğu Kuvvet:

$$F_{sg} = f_{yd} 2 A_{s2} = f_{yd} (\lambda_1 + \lambda_2) A_s A_{s1} \quad (4.154)$$

$$F_{s1} = A_{s1} f_{yd} \quad (4.155)$$

$$F_{s2} = A_{s2} f_{yd} \quad (4.156)$$

Tüm Donatıların Oluşturduğu Bileşke Kuvvet:

$$F_s = F_{s1} + F_{s2} + F_{sg} \quad (4.157)$$

$$F_s = A_{s1} f_{yd} + A_{s2} f_{yd} + A_{s2} f_{yd} (\lambda_1 + \lambda_2) \quad (4.158)$$

$$F_s = A_{s1} f_{yd} (2 + (\lambda_1 + \lambda_2) A) \quad (4.159)$$

Basınç kuvvetinin Momenti:

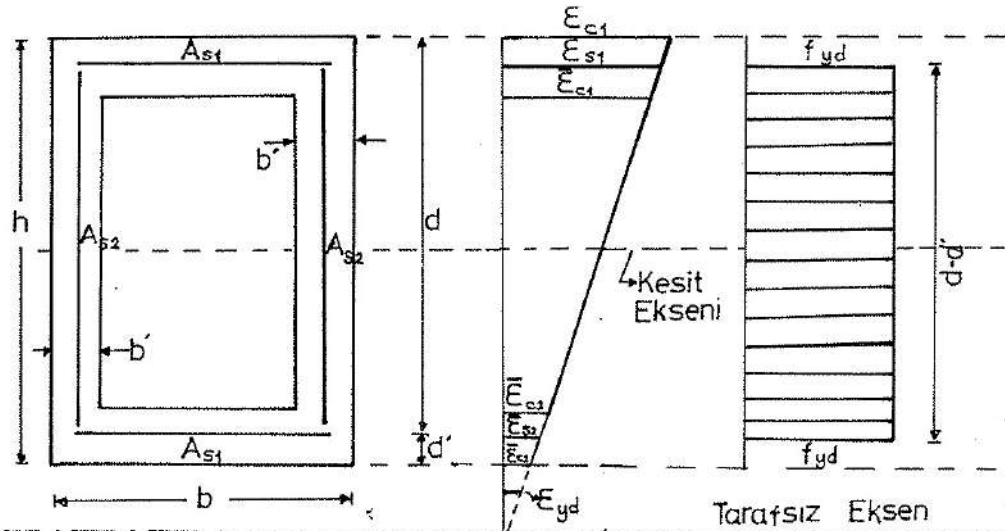
$$M_s = 0 \quad (4.160)$$

$$b) 2 < \varepsilon_{c1} \leq 3.5$$

ε_{s1} ve ε_{s2} değerlerinin akma limitine erişmelerine göre 3 farklı durum mevcuttur:

1) Tüm donatıların akma limitine eriştiği durum:

$$(\varepsilon_{s1} > \varepsilon_{yd} \text{ ve } \varepsilon_{s2} > \varepsilon_{yd}) \quad (\text{Şekil 4.19})$$



Şekil 4.19 Tüm Donatıların Aktığı Durumda Şekil Değiştirme ve Gerilme Diyagramları

$$\begin{aligned}
 F_{s1} &= A_{s1} f_{yd} \\
 F_{s2} &= A_{s2} f_{yd} \\
 F_{sg} &= A_s A_{s1} f_{yd} \alpha_{neg}
 \end{aligned}
 \quad (4.161)$$

Burada $\alpha_{neg} = 2(\lambda_1 + \lambda_2)$ (4.162) dir.

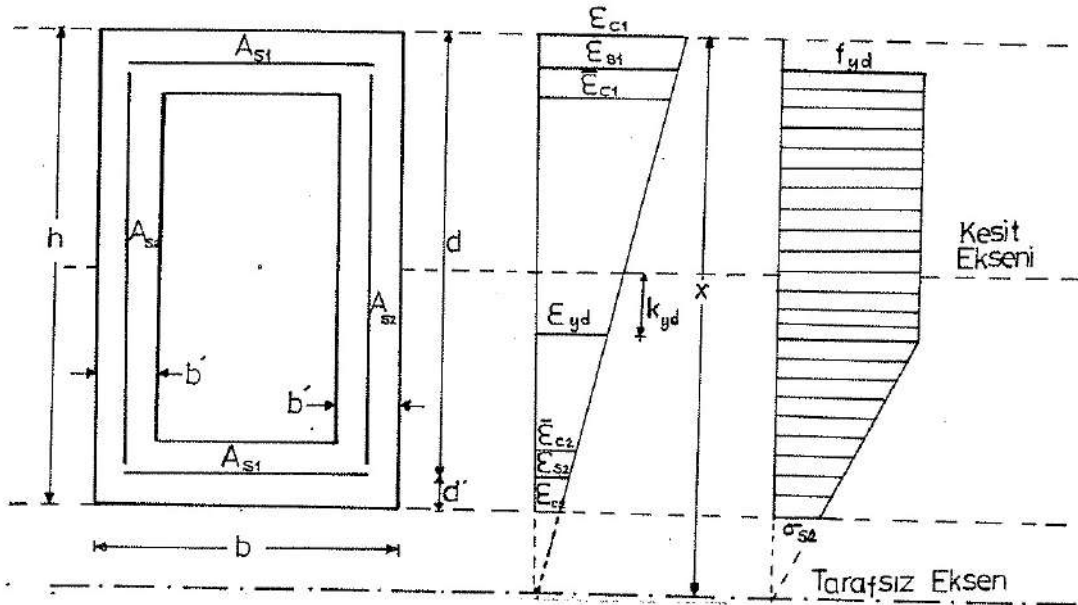
Tüm Donatıların Oluşturduğu Bileşke Kuvvet:

$$F_s = A_{s1} f_{yd} (\lambda_1 + \lambda_2) (1 + A) \quad (4.163)$$

Basınç Kuvvetinin Momenti:

$$M_s = 0 \quad (4.164)$$

2) Üst Başlık Donatısının Akma Limitine Eriştiği, Alt Başlık Donatısının Elastik Bölge İçinde Kaldığı Durum (Şekil 4.20) ($\epsilon_{s1} > \epsilon_{yd}$ ve $\epsilon_{s2} \leq \epsilon_{yd}$)



Şekil 4.20 Üst Başlık Donatısının Akma Limitine Eriştiği, Alt Başlık Donatısının Elastik Bölge İçinde Kaldığı Durumda Şekil Değiştirme ve Gerilme Diyagramları

$$F_{s1} = A_{s1} f_{yd}$$

$$F_{s2} = \lambda_1 A_{s1} f_{yd}$$

Gövde Donatılarının Oluşturduğu Kuvvet; gerilme diyagramından yararlanılıp

$$F_{sg} = \frac{2 A_{s2}}{(d-d')} \left[f_{yd} \left(\frac{h}{2} - d' + k_{yd} \right) + \left(f_{yd} + \sigma_{s2} \right) \frac{1}{2} \left(d - \frac{h}{2} - k_{yd} \right) \right]$$

..... (4.165) olarak hesaplanarak

$$F_{sg} = A_{s2} f_{yd} \alpha_{nsg} \quad \text{şeklinde yazılabilir.}$$

Burada:

$$\alpha_{nsg} = \frac{2}{(1-\beta)} \left[-\beta + k_x (1+\beta) - \frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{c1}} k_x (1+\beta) + (1+\lambda_1) \frac{1}{2} \left[1 - k_x (1+\beta) + \frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{c1}} k_x (1+\beta) \right] \right] \quad (4.166)$$

dır. Bu durumda donatıların oluşturduğu toplam bileşke kuvvet:

$$F_s = F_{s1} + F_{s2} + F_{sg}$$

$$F_s = A_{s1} f_{yd} (1 + \lambda_1 + A_{s2} \alpha_{nsg}) \quad (4.167)$$

dir.

Basınç Kuvvetlerinin Momentleri:

$$M_{s1} = F_{s1} \left(\frac{h}{2} - d' \right) = A_{s1} f_{yd} \left(\frac{h}{2} - d' \right) \quad (4.168)$$

$$M_{s1} = A_{s1} f_{yd} \frac{h}{(1+\beta)} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] \quad (4.169)$$

$$M_{s2} = F_{s2} \left(\frac{h}{2} - d' \right) = \lambda_1 f_{yd} A_{s1} \left(\frac{h}{2} - d' \right) \quad (4.170)$$

$$M_{s2} = \lambda_1 A_{s1} f_{yd} \frac{h}{(1+\beta)} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] \quad (4.171)$$

Gövde Donatılarının Oluşturduğu Moment; gerilme diyagramından yararlanılıp

$$M_{sg} = \frac{2 A_{s2}}{d-d'} \left[f_{yd} \left(\frac{h}{2} - d' \right) \frac{1}{2} \left(\frac{h}{2} - d' \right) - f_{yd} k_{yd} \frac{1}{2} k_{yd} - \frac{1}{2} (f_{yd} + \sigma_{s2}) \left(\frac{h}{2} - d' - k_{yd} \right) \left[k_{yd} + \frac{1}{3} \left(\frac{h}{2} - d' - k_{yd} \right) \left(\frac{2 \sigma_{s2} + f_{yd}}{\sigma_{s2} + f_{yd}} \right) \right] \right] \quad (4.172)$$

olarak hesaplanarak

$$M_{sg} = A_{s2} f_{yd} h \alpha_{msg} \quad (4.173)$$

şeklinde yazılabilir.

Burada:

$$\alpha_{msg} = \frac{2}{(1-\beta^2)} \left[\left(\frac{1}{8} (1-\beta)^2 \right) - \left(k_x (1+\beta) - \frac{(1+\beta)}{2} - \frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{c1}} k_x (1+\beta) \right)^2 \frac{1}{2} - \frac{1}{2} (1+\lambda_1) \left(\frac{1}{2} - k_x (1+\beta) + \frac{1}{2} + \frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{c1}} k_x (1+\beta) \right) \left[k_x (1+\beta) - \frac{1}{2} (1+\beta) - \frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{c1}} k_x (1+\beta) + \frac{1}{3} \left(1 - k_x (1+\beta) + \frac{\varepsilon_{yd}}{\varepsilon_{c1}} k_x (1+\beta) \right) \frac{(2\lambda_1+1)}{(\lambda_1+1)} \right] \right] \quad (4.174)$$

dir.

Bu durumda toplam moment:

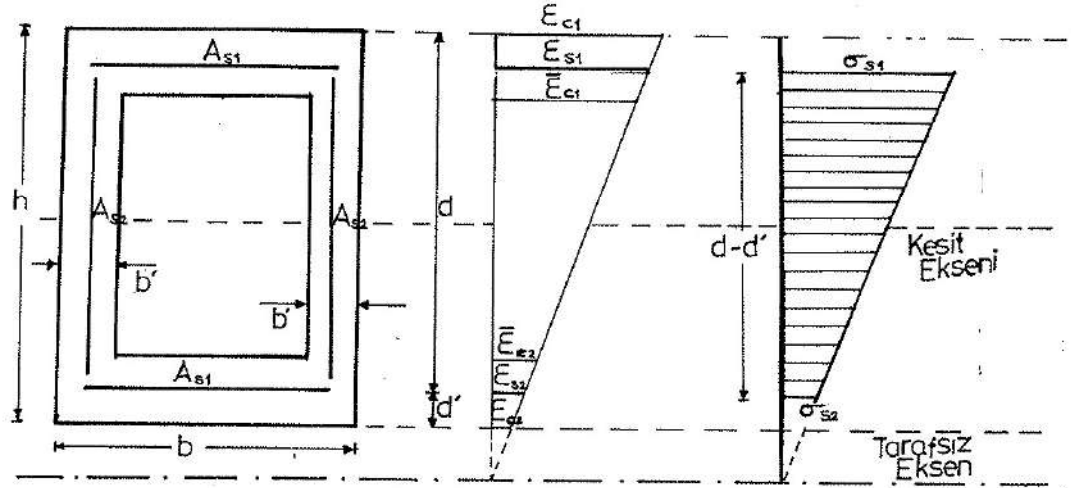
$$M_s = M_{s1} - M_{s2} + M_{sg} \quad (4.175)$$

$$M_s = A_{s1} f_{yd} \frac{h}{(1+\beta)} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] - \lambda_1 A_{s1} f_{yd} \frac{h}{(1+\beta)} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] + A_{s2} f_{yd} h \alpha_{msg}$$

$$M_s = A_{s1} f_{yd} h \left[\frac{1}{(1+\beta)} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] (1-\lambda_1) + \alpha_{msg} \right] \quad (4.176)$$

dir.

3) Tüm Donatıların Elastik Bölge İçinde Kaldığı,
Akma Limitine Erişmediği Durum ($\epsilon_{s1} \leq \epsilon_{yd}$ ve $\epsilon_{s2} \leq \epsilon_{yd}$) :
(Şekil 4.21)



Şekil 4.21 Tüm Donatıların Elastik Bölge İçinde Kaldığı,
Akma Limitine Erişmediği Durumda Şekil Değiştirme ve
Gerilme Diyagramları

$$F_{s1} = A_{s1} \lambda_2 f_{yd} \quad (4.177)$$

$$F_{s2} = A_{s2} \lambda_1 f_{yd} \quad (4.178)$$

Gövde Donatılarının Oluşturduğu Kuvvet; gerilme
diyagramından yararlanılıp

$$F_{sg} = 2 A_{s2} \frac{1}{2} (\sigma_{s1} + \sigma_{s2}) \quad (4.179)$$

$$F_{sg} = A_{s2} f_{yd} (\lambda_2 + \lambda_1)$$

olarak hesaplanarak

$$F_{sg} = A_{s2} f_{yd} \alpha_{nsg} \quad \text{şeklinde yazılabilir.}$$

Burada:

$$\alpha_{nsg} = \lambda_2 + \lambda_1 \quad (4.180) \quad \text{dir.}$$

Bu durumda:

$$F_s = F_{s1} + F_{s2} + F_{sg}$$

$$F_s = \lambda_2 A_{s1} f_{yd} + \lambda_1 A_{s1} f_{yd} + A_{s2} f_{yd} \alpha_{msg} \quad (4.181)$$

$$F_s = A_{s1} f_{yd} (\lambda_2 + \lambda_1) + A_{s2} f_{yd} \alpha_{msg}$$

$$F_s = A_{s1} f_{yd} (\lambda_2 + \lambda_1) (1 + \alpha) \quad (4.182)$$

Basınç Kuvvetlerinin Oluşturduğu Moment:

$$M_{s1} = A_{s1} f_{yd} \lambda_2 \frac{h}{(1+\beta)} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] \quad (4.183)$$

$$M_{s2} = A_{s1} f_{yd} \lambda_1 \frac{h}{(1+\beta)} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] \quad (4.184)$$

Gövde Donatılarının Oluşturduğu Moment , gerilme diyagramındaki yamuk alanlarından yararlanılıp ;

$$M_{sg} = \frac{1}{2} \left[\sigma_{s1} + \frac{\sigma_{s1} + \sigma_{s2}}{2} \right] \left[\frac{h}{2} - d' \right] \frac{2 A_{s2}}{(d-d')} \left[\left[\frac{h}{2} - d' - \frac{\left(\frac{h}{2} - d' \right)}{3} \right] \right. \\ \left. \left[\frac{\left(2 \frac{\sigma_{s1} + \sigma_{s2}}{2} + \sigma_{s1} \right)}{\left(\frac{\sigma_{s1} + \sigma_{s2}}{2} + \sigma_{s1} \right)} \right] \right] - \frac{1}{2} \left[\frac{\sigma_{s1} + \sigma_{s2}}{2} + \sigma_{s2} \right] \frac{2 A_{s2}}{(d-d')} \left[\frac{h}{2} - d' \right] \\ \left[\frac{\left(\frac{h}{2} - d' \right)}{3} - \frac{\left(2 \sigma_{s2} + \frac{\sigma_{s1} + \sigma_{s2}}{2} \right)}{\left(\sigma_{s2} + \frac{\sigma_{s1} + \sigma_{s2}}{2} \right)} \right] \quad (4.185)$$

olarak hesaplanarak

$$M_{sg} = A_{s2} f_{yd} h \alpha_{msg} \quad \text{şeklinde yazılabilir.}$$

$$\alpha_{msg} = \frac{(1-\beta)}{12(1+\beta)} \left[(3\lambda_2 + \lambda_1) \left[\frac{3}{2} - \frac{2\lambda_2 + \lambda_1}{3\lambda_2 + \lambda_1} \right] - (\lambda_2 + 3\lambda_1) \frac{1}{2} \right. \\ \left. \frac{(5\lambda_1 + \lambda_2)}{(3\lambda_1 + \lambda_2)} \right] \quad (4.186)$$

Bu durumda toplam moment:

$$M_s = M_{s1} + M_{s2} + M_{sg}$$

$$M_s = A_{s1} f_{yd} \lambda_2 \frac{h}{(1+\beta)} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] - A_{s1} f_{yd} \lambda_1 \frac{h}{(1+\beta)} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] +$$

$$A_{s2} f_{yd} h \alpha_{msg}$$

$$M_s = A_{s1} f_{yd} h \left[(\lambda_2 - \lambda_1) \frac{1}{(1+\beta)} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] + A \alpha_{msg} \right] \quad (4.187)$$

dir.

4.2.4. Denge Denklemleri

1. Yatay Denge Denklemi:

a) Basit Basınç Durumunda ($\varepsilon_{c1}=2$ ve $\varepsilon_{c2}=2$)

$$N = F_c + F_s \quad (4.188)$$

$$N = 0.85 f_{cd} b h \alpha_{nc} + f_{yd} A_{s1} (\lambda_1 + \lambda_2) (1+A) \quad (4.189)$$

α_{nc} değeri ε_{c1} değerine bağlı olarak ilgili durumdan alınacaktır.

Boyutsuz Normal Kuvvet (n) ve mekanik pürsantaj

$$n = \frac{N}{b h f_{cd}} \quad \omega = \rho_s \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \quad (4.190)$$

olduğuna göre:

$$n = 0.85 \alpha_{nc} + \omega (\lambda_1 + \lambda_2) (1+A) \quad (4.191)$$

b) $2 < \varepsilon_{c1} \leq 3.5$ durumunda :

$$N = F_c + F_s$$

$$N = 0.85 f_{cd} b h \alpha_{nc} + A_s f_{yd} (\lambda_1 + \lambda_2 + A_s \alpha_{msg}) \quad (4.192)$$

dir.

α_{nc} ve α_{msg} değerleri ε_{c1} , ε_{s1} ve ε_{s2} değerlerine bağlı olarak ilgili durumdan alınacaktır.

Boyutsuz Normal Kuvvet :

$$n = 0.85 \alpha_{nc} + \omega (\lambda_1 + \lambda_2 + A_s \alpha_{msg}) \quad (4.193)$$

dir.

2) Moment Denge Denklemi :

a) Basit Basınç Durumunda :

$$M = 0 \quad \text{dir.}$$

b) $2 < \varepsilon_{c1} \leq 3.5$ durumunda :

$$M = M_c + M_s \quad (4.194)$$

$$M = 0.85 f_{cd} b h^2 \alpha_{mc} + A_s f_{yd} h \left[(\lambda_2 - \lambda_1) \frac{1}{(1+\beta)} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] + A_s \alpha_{msg} \right] \quad (4.195)$$

dir.

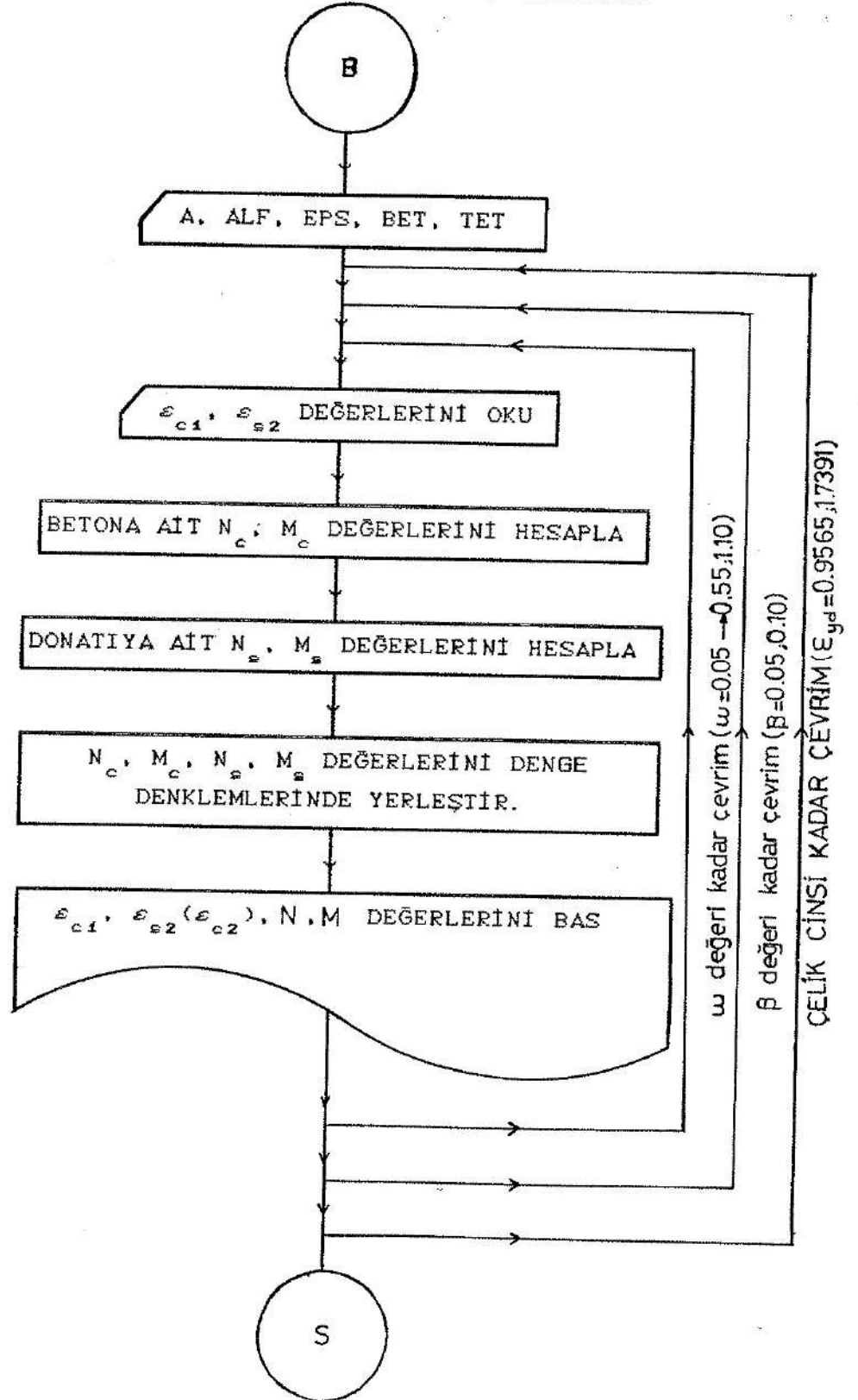
α_{mc} ve α_{msg} değerleri ε_{c1} , ε_{s1} ve ε_{s2} değerlerine bağlı olarak ilgili durumdan alınacaktır.

Boyutsuz Moment :

$$m = 0.85 \alpha_{mc} + \omega \left[(\lambda_2 - \lambda_1) \frac{1}{(1+\beta)} \left[\frac{1}{2} - \frac{\beta}{2} \right] + A_s \alpha_{msg} \right] \quad (4.196)$$

bulunur.

BÖLÜM 5. BİLGİSAYAR PROGRAMI AKIŞ DİYAGRAMI



BÖLÜM 6. UYGULAMALAR

1) Verilenler: $b = 200 \text{ cm}$, $h = 200 \text{ cm}$

$M = 10000 \text{ kN.m}$ (1000 t.m)

$N = 20000 \text{ kN}$ (2000 t)

$d'/h = 0.05$ $b'/b = 0.10$

Malzeme BS25/BÇIİIa

İstenenler: $A_{s1} = A_{s2}$ donatı miktarı ve seçimi

Çözüm : Boyutsuz normal kuvvet

$$n = \frac{N}{b h f_{cd}} = \frac{20 \times 10^6}{2 \times 10^3 \times 2 \times 10^3 \times 17} = 0.29$$

Boyutsuz moment

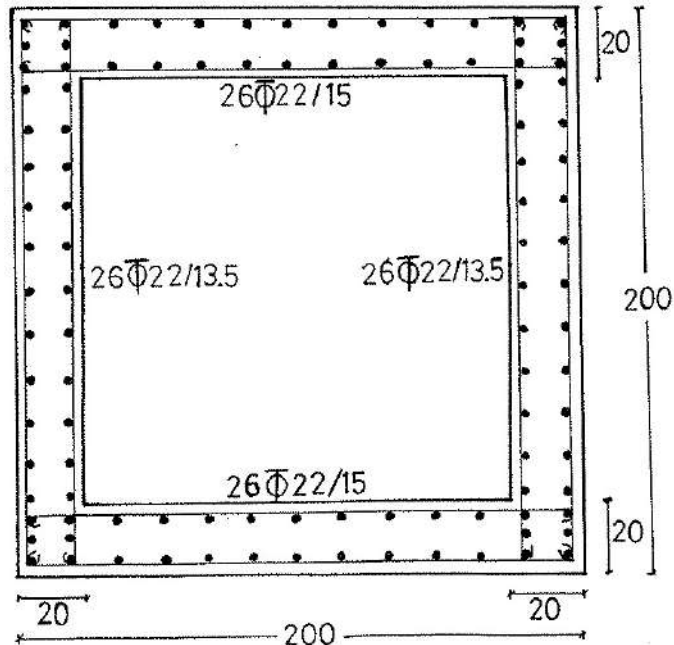
$$m = \frac{M}{b h^2 f_{cd}} = \frac{1 \times 10^{10}}{2 \times 10^3 \times 4 \times 10^6 \times 17} = 0.07$$

Abak 1e den $\varepsilon_{c1}/\varepsilon_{s2} = \text{‰} -3.5/0.0$; $\omega = 0.05$

$$A_{s1} = A_{s2} = \omega \frac{b h}{f_{yd}/f_{cd}} = 0.05 \frac{200 \times 200}{20.5} = 97.56 \text{ cm}^2$$

Seçilen donatı: $26\Phi 22$ (98.8 cm^2) (Şekil 6.1)

(Alt ve Üst Başlık Donatısı; Her iki taraftaki gövde donatısı)



Şekil 6.1

2) Verilenler: $b = 200 \text{ cm}$, $h = 250 \text{ cm}$

$M = 21250 \text{ kN.m}$ (2125 t.m)

$N = 21250 \text{ kN}$ (2125 t)

$d'/h = 0.05$ $b'/b = 0.10$

Malzeme BS25/BÇIİIIa $A_{s2} = \frac{2}{3} A_{s1}$

İstenenler: A_{s1} , A_{s2} donatı miktarı ve seçimi

Çözüm : Boyutsuz normal kuvvet

$$n = \frac{N}{b h f_{cd}} = \frac{21.25 \times 10^6}{2 \times 10^3 \times 2.5 \times 10^3 \times 17} = 0.25$$

Boyutsuz moment

$$m = \frac{M}{b h^2 f_{cd}} = \frac{2.125 \times 10^{10}}{2 \times 10^3 \times 2.5^2 \times 10^6 \times 17} = 0.10$$

Abak 1h dan $\epsilon_{c1}/\epsilon_{s2} = \text{‰} -3.5/1.0$; $\omega = 0.06$

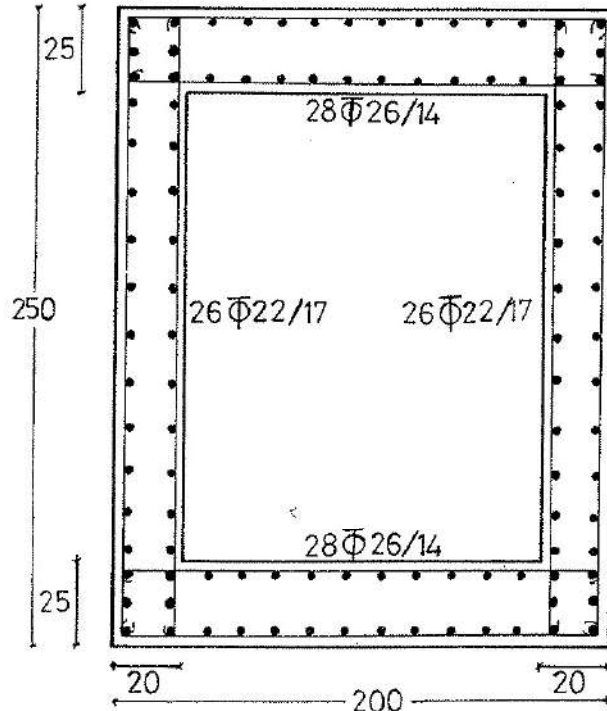
$$A_{s1} = \omega \frac{b h}{f_{yd}/f_{cd}} = 0.06 \frac{200 \times 250}{20.5} = 146.34 \text{ cm}^2$$

$$A_{s2} = \frac{2}{3} A_{s1} = \frac{2}{3} 146.34 = 97.56 \text{ cm}^2$$

Seçilen donatı: $28 \Phi 26$ (148.68 cm²) (Başlık donatısı)

$26 \Phi 22$ (98.80 cm²) (Gövde donatısı)

(Şekil 6.2)



Şekil 6.2

3) Verilenler: $b = 200 \text{ cm}$, $h = 240 \text{ cm}$

$M = 9500 \text{ kN.m}$ (950 t.m)

$N = 16000 \text{ kN}$ (1600 t)

$d'/h = 0.05$ $b'/b = 0.10$

Malzeme BS16/BÇI

$$A_{s2} = \frac{1}{2} A_{s1}$$

Istenenler: A_{s1} , A_{s2} donatı miktarı ve seçimi

Çözüm : Boyutsuz normal kuvvet

$$n = \frac{N}{b h f_{cd}} = \frac{16 \times 10^6}{2 \times 10^3 \times 2.4 \times 10^3 \times 11} = 0.30$$

Boyutsuz moment

$$m = \frac{M}{b h^2 f_{cd}} = \frac{0.95 \times 10^{10}}{2 \times 10^3 \times 2.4^2 \times 10^6 \times 11} = 0.075$$

Abak 1c den $\epsilon_{c1}/\epsilon_{s2} = \text{‰} -3.5/0.0$; $\omega = 0.06$

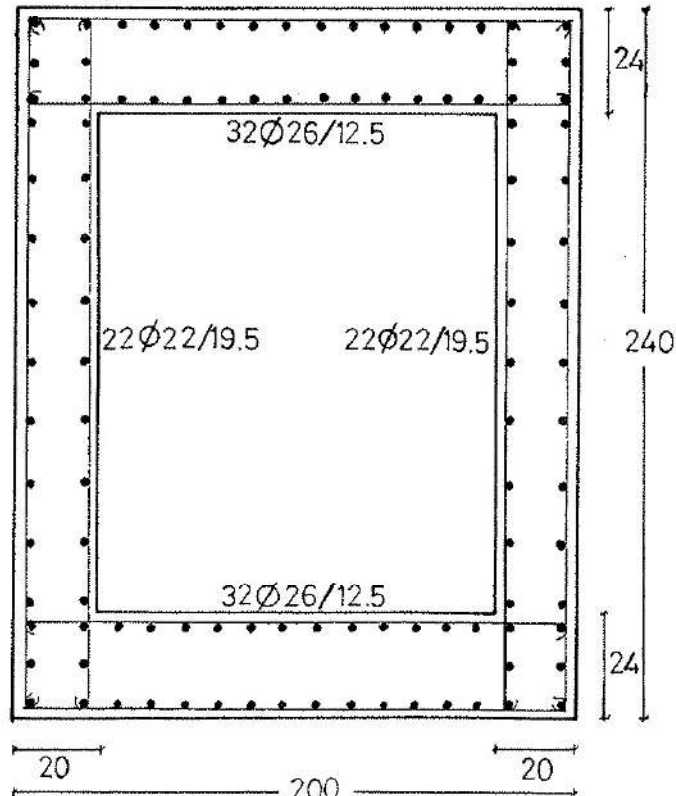
$$A_{s1} = \omega \frac{b h}{f_{yd}/f_{cd}} = 0.06 \frac{200 \times 240}{17.4} = 165.52 \text{ cm}^2$$

$$A_{s2} = \frac{1}{2} A_{s1} = \frac{1}{2} 165.52 = 82.76 \text{ cm}^2$$

Seçilen donatı: $32 \phi 26$ (169.92 cm^2) (Başlık donatısı)

$22 \phi 22$ (83.60 cm^2) (Gövde donatısı)

(Şekil 6.3)



Şekil 6.3

4) Verilenler: $b = 200 \text{ cm}$, $h = 200 \text{ cm}$
 $M = 11000 \text{ kN.m}$ (1100 t.m)
 $N = 12500 \text{ kN}$ (1250 t)
 $d'/h = 0.10$ $b'/b = 0.10$

Malzeme BS16/BÇI

$$A_{s2} = A_{s1}$$

Istenenler: $A_{s1} = A_{s2}$ donatı miktarı ve seçimi

Çözüm : Boyutsuz normal kuvvet

$$n = \frac{N}{b h f_{cd}} = \frac{12.5 \times 10^6}{2 \times 10^3 \times 2 \times 10^3 \times 11} = 0.28$$

Boyutsuz moment

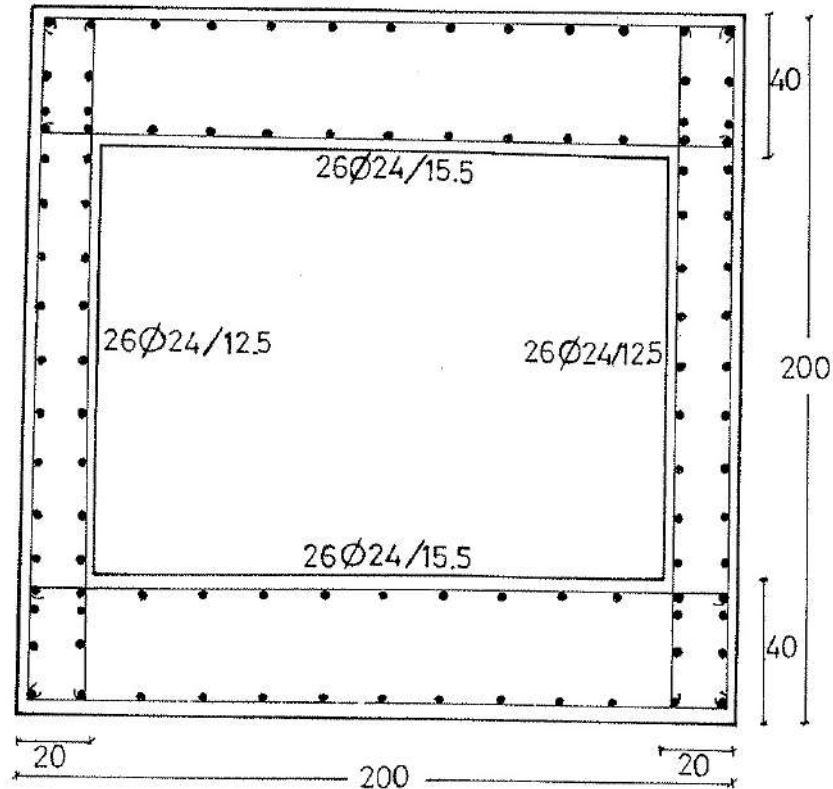
$$m = \frac{M}{b h^2 f_{cd}} = \frac{1.10 \times 10^{10}}{2 \times 10^3 \times 4 \times 10^6 \times 11} = 0.125$$

Abak 1b den $\epsilon_{c1}/\epsilon_{s2} = \text{‰} -3.5/1.0$; $\omega = 0.05$

$$A_{s1} = A_{s2} = \omega \frac{b h}{f_{yd}/f_{cd}} = 0.05 \frac{200 \times 200}{17.4} = 114.94 \text{ cm}^2$$

Seçilen donatı: $26\phi 24$ (117.52 cm^2) (Şekil 6.4)

(Üst ve alt başlık donatısı; her iki taraftaki gövde donatısı).

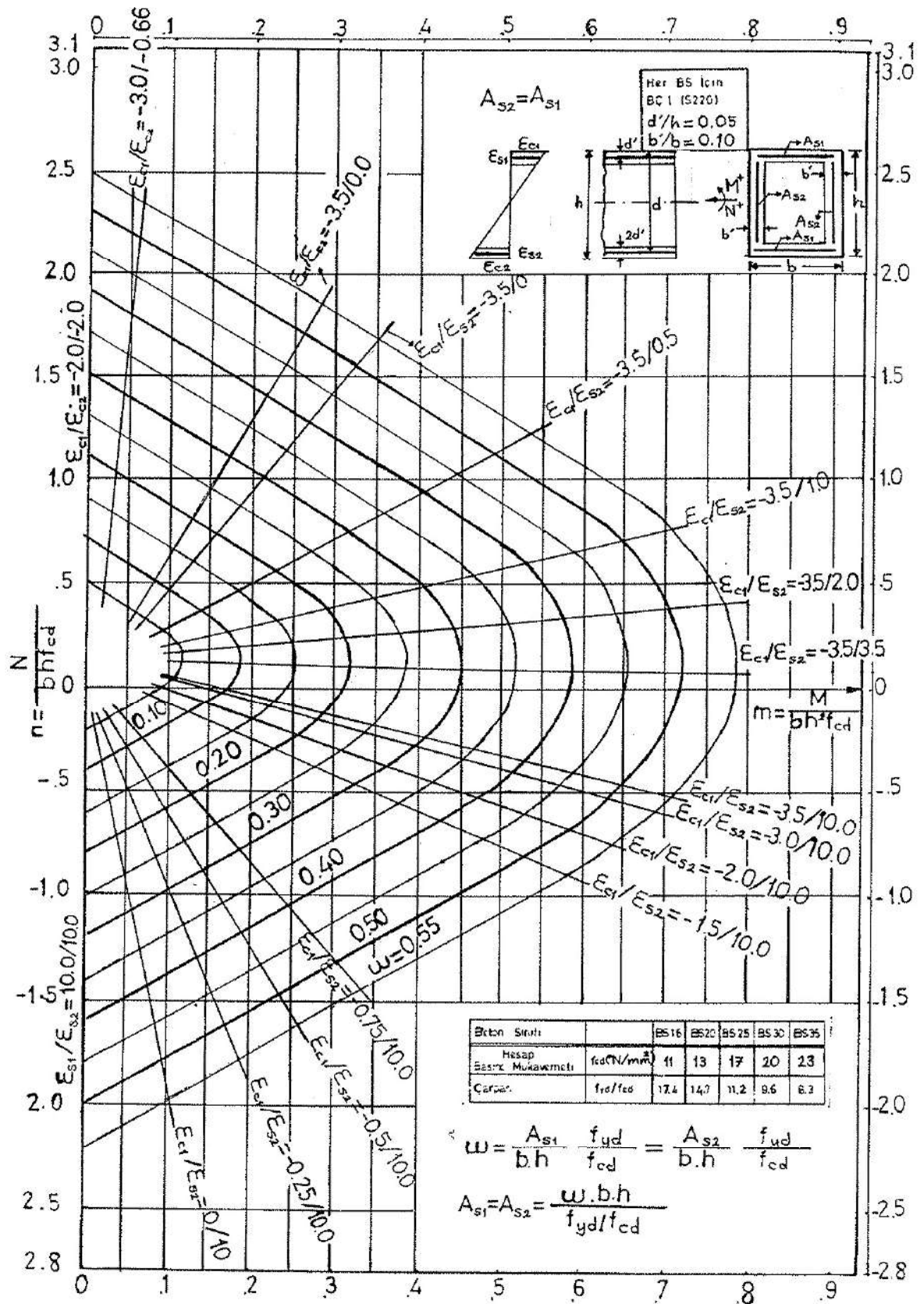


Şekil 6.4

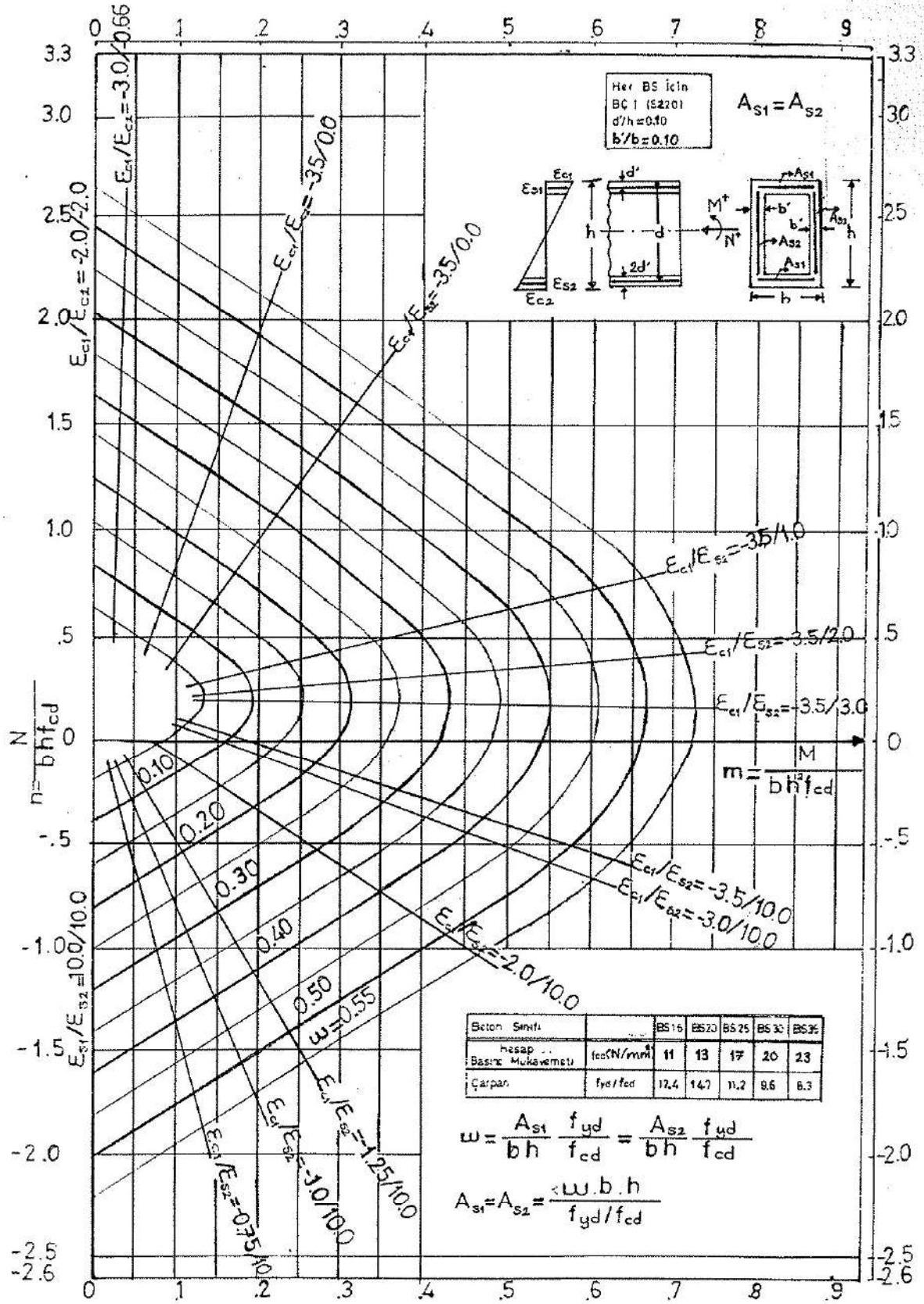
BÖLÜM 7. ABAKLAR

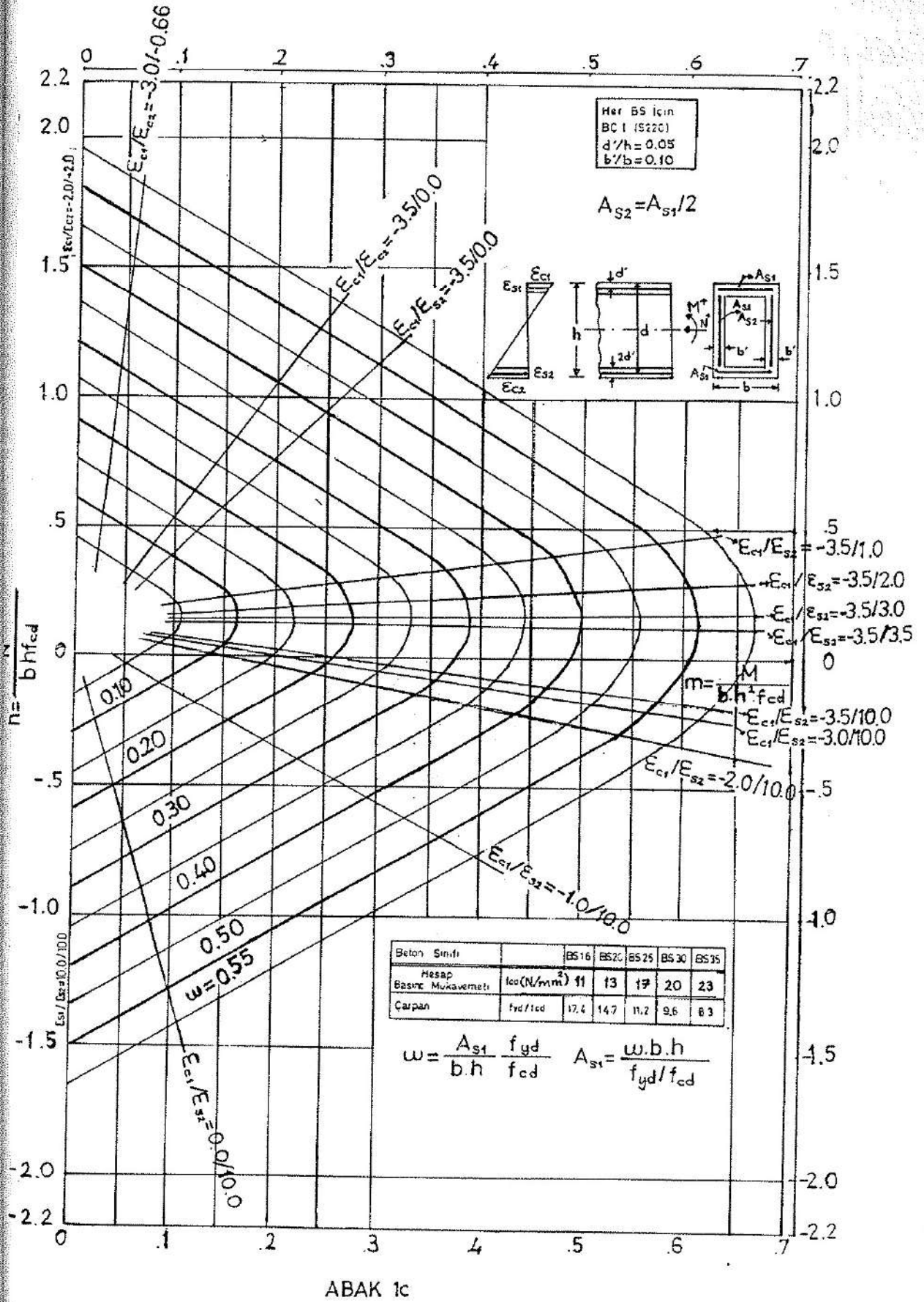
ABAKLARIN ÇİZİMİ :

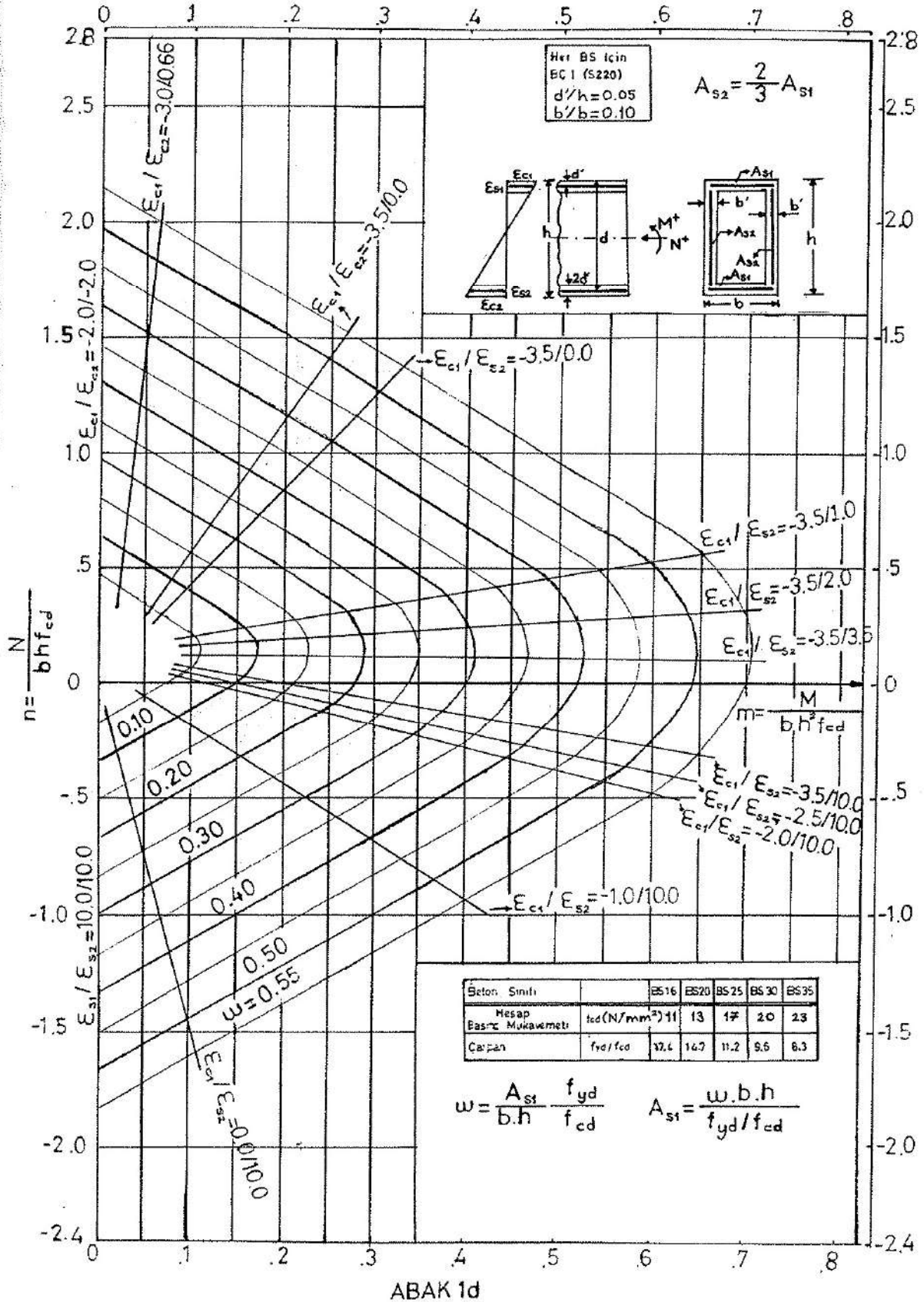
Abaklar çelik cinsleri BÇI, BÇIIa için ve $d'/h=0.05$, $d'/h=0.10$; $A = 1.0$, $A = 1/2$, $A = 2/3$; $\alpha = 0.10$ değerleri gözönüne alınarak çizilmiştir.

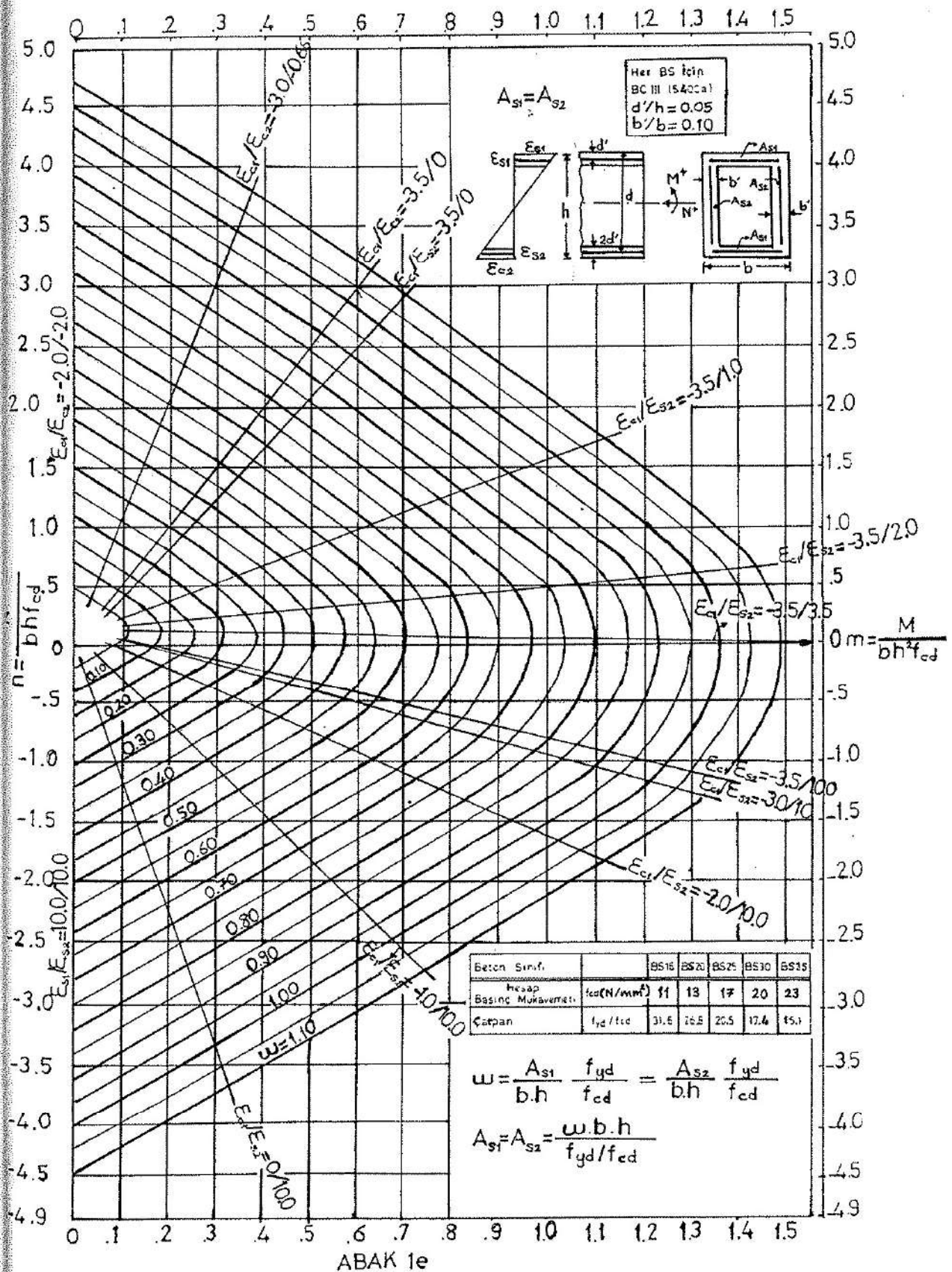


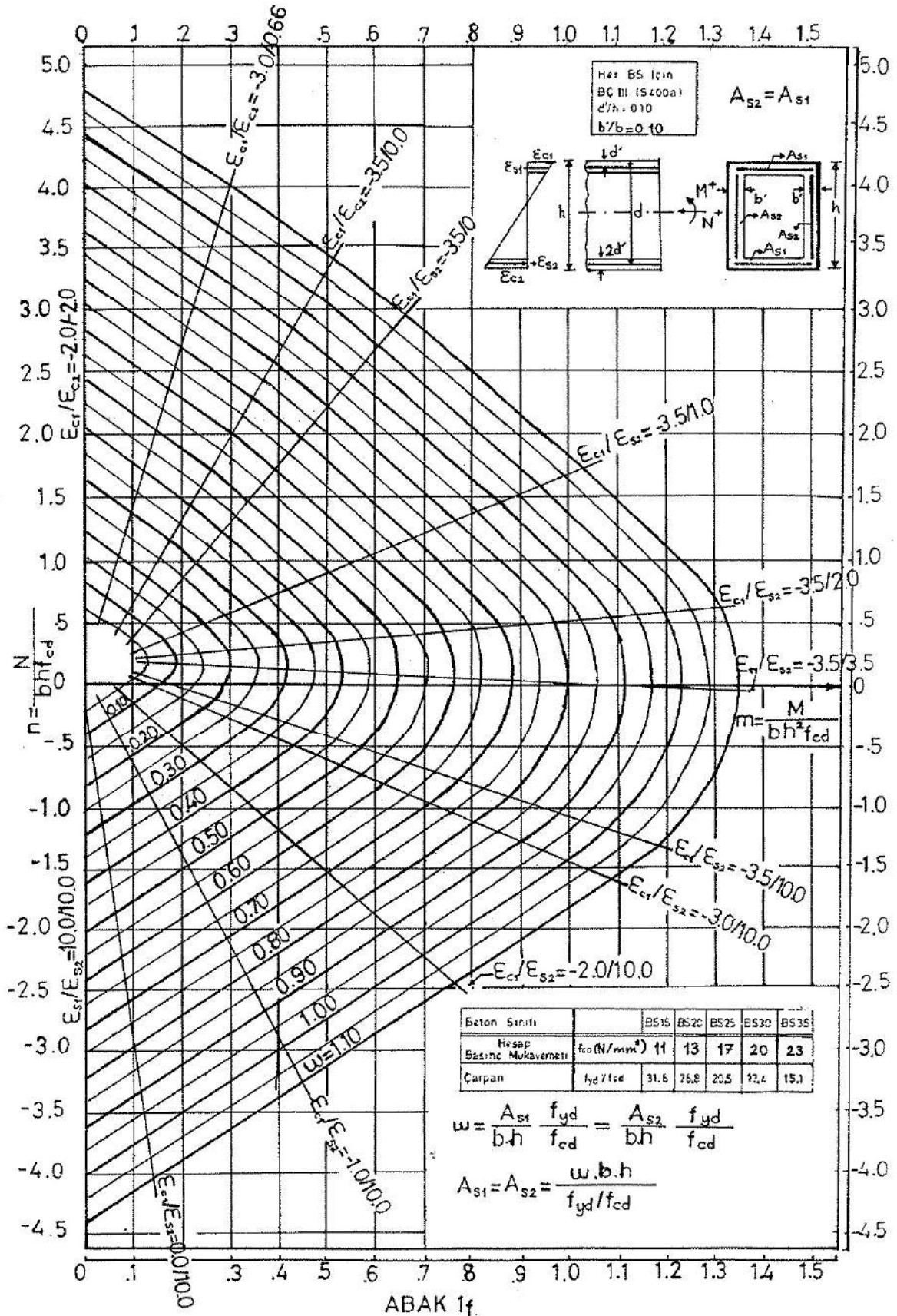
ABAK 1a

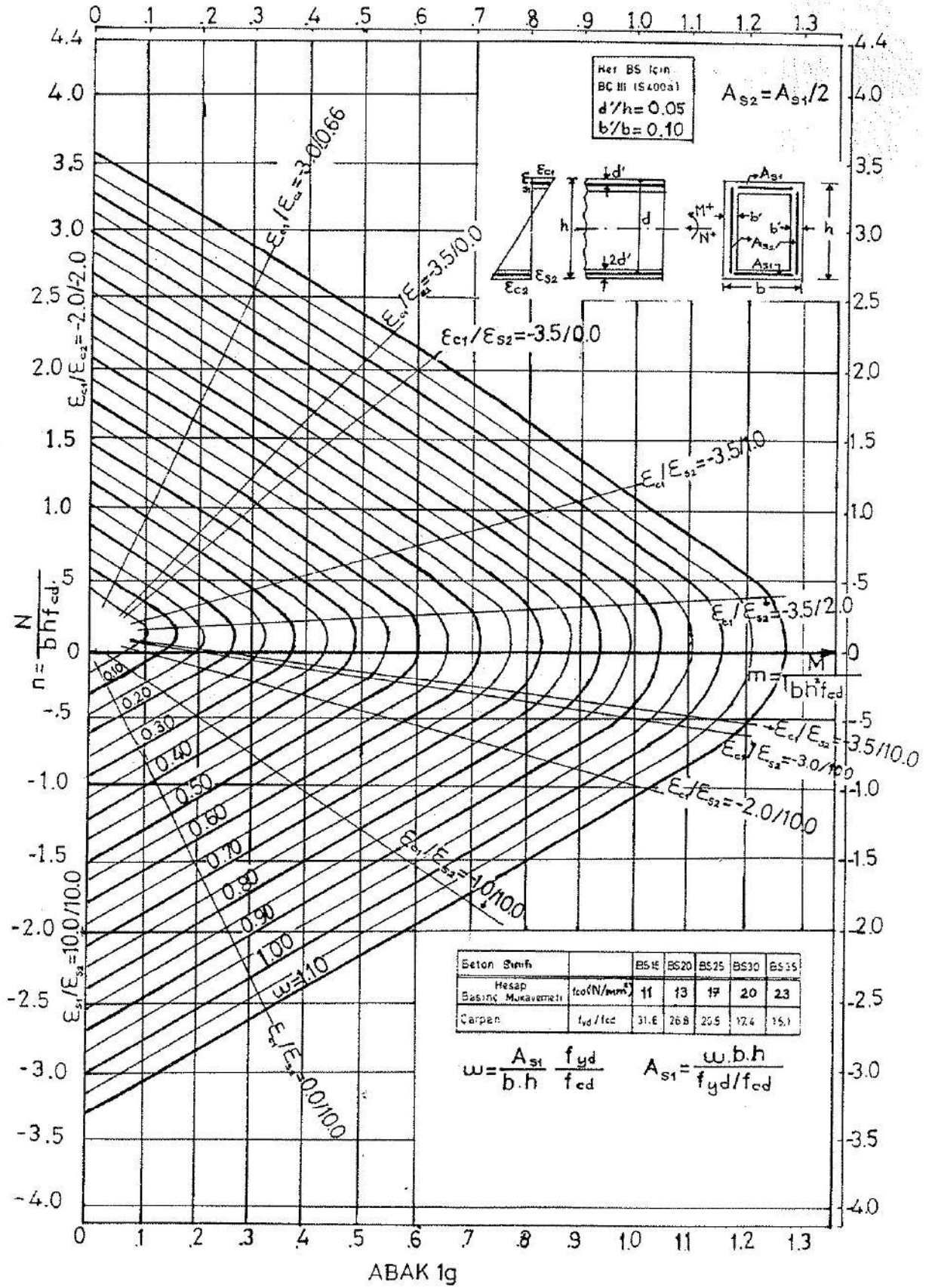


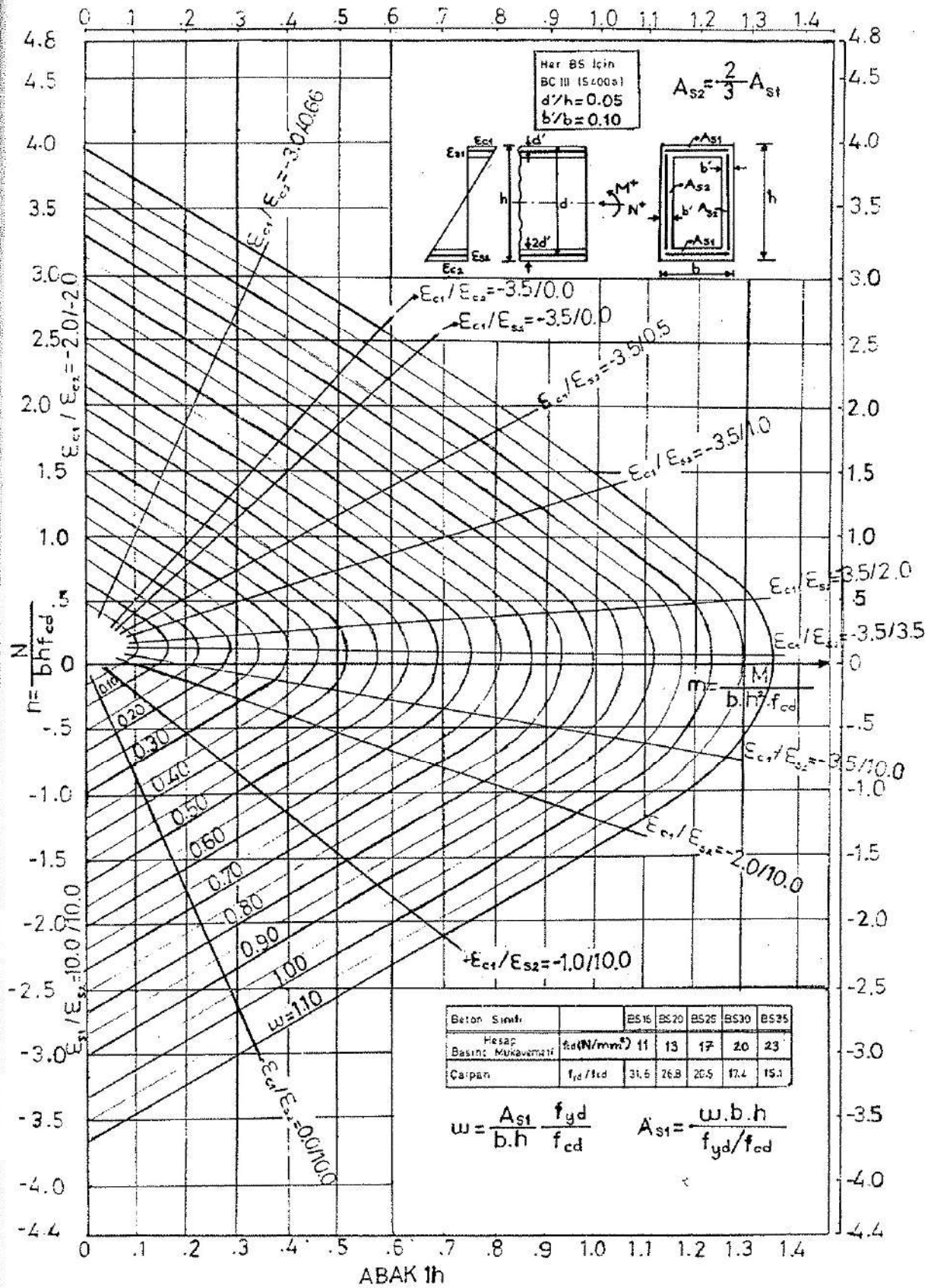












SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Eğilme momenti ve normal kuvvetle zorlanan dikdörtgen halka kesitlerin betonarme taşıma gücü yöntemine göre hesabı yapılmıştır.

Elde edilen bilgisayar programı ile dış kesitteki beton üst lif kısalması ϵ_{c1} ve çelik alt lif uzaması ϵ_{s2} ; çeşitli cidar ve kenar oranları, her iki çelik cinsi (BÇI ve BÇIIa), birbirine paralel olmayan kollardaki donatıların birbirlerine olan oranına göre sekiz adet abak elde edilmiştir. Bunların uygulanışına ait sayısal örnekler verilmiştir. Abakları kullanarak malzemesi ve boyutları belli olan bir kesitin normal kuvvet ve moment altında donatı miktarları boyutsuz büyüklüklerden yararlanılarak bulunabilir. Bilgisayar programındaki parametreler çelik cinsine, donatı oranı, kenar ve cidar oranlarına göre değiştirilerek yeni abaklar elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] TS 500, "Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları", Türk Standartları Enstitüsü, 1985
- [2] ÖZDEN, K., AYDOĞAN, M., ALTAN, M., "Basit ve Bileşik Eğilme Etkisindeki Betonarme Kesitlerin Kırılma Limit Durumuna Göre Hesabı Hakkında", I.T.U. Dergisi, C.42, Sayı 3-4, 1984
- [3] ÖZDEN, K., ALTAN, M., AYDOĞAN, M., "Betonarme Kesitlerin Boyutlandırılması", Uran Mühendislik A.Ş., Yayın No:2, İstanbul, 1987
- [4] ÖZDEN, K., "Betonarme I", Cilt I, I.T.U. İnş.Fak., Sayı:1110, 1978

ÖZGEÇMİŞ

Hakan SARUHAN, 1965 yılında Gümüşhane'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Gümüşhane'de tamamladı. 1982 yılında Gümüşhane Lisesinden mezun oldu. 1982-1983 öğretim yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 1986-1987 öğretim yılı Kış Döneminde tamamladı. 1987-1988 öğretim yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalı'na bağlı Yapı Mühendisliği - Y.A.B - Programında Yüksek Lisans öğrenimine başladı. İngilizce bilmektedir.