

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DAİRESEL KESİTLİ KOLONLARIN KUŞATMA VE  
PEKLEŞME ETKİLERİNİN GÖZ ÖNÜNE ALINARAK  
BOYUTLANDIRILMASI VE LİMİT TASARIMI**

İnş. Müh. Ayhan ÜNAL

**İTÜ YÜKSEKÖĞRETİM KÜTÜPHANE  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**F.B.E İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Sema Noyan Alacalı**

**İSTANBUL, 2002**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	iv
KISALTMA LİSTESİ .....	vii
ŞEKİL LİSTESİ .....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	ix
ÖNSÖZ .....	x
ÖZET .....	xi
ABSTRACT .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
1.1 Yapısal Tasarım .....	1
1.2 Çalışmanın Konusu, Amacı ve Kapsamı .....	2
2. BETON VE DONATI ÇELİĞİ MALZEMELERİ İÇİN DAVRANIŞ MODELLERİ .....	4
2.1 Giriş .....	4
2.2 Beton Davranış Modelleri .....	5
2.2.1 Monotonik yük etkisindeki beton için gerilme – birim deformasyon ilişkileri .....	5
2.2.1.1 Kuşatılmamış beton için gerilme – birim deformasyon ilişkileri .....	5
2.2.1.2 Kuşatılmış beton için gerilme – birim deformasyon ilişkileri .....	7
2.2.1.3 Beton basınç bölgesi gerilme dağılımı parametrelerinin belirlenmesi .....	13
2.2.2 Çevrimsel yükler etkisinde kalan beton için gerilme – birim deformasyon ilişkileri .....	14
2.3 Donatı Çeliği İçin Davranış Modelleri .....	15
2.3.1 Monotonik yük etkisinde kalan çelik için gerilme – birim deformasyon ilişkileri .....	16
2.3.2 Çevrimsel yük etkisinde kalan çelik için gerilme – birim deformasyon ilişkileri .....	19
3. DAİRESEL KESİTLİ BETONARME KOLONLARIN BOYUTLANDIRILMASI VE ÇÖZÜMLENMESİ .....	21
3.1 Giriş .....	21
3.2 Dairesel Kesitli Kolonlarda Parametrelerin Belirlenmesi .....	22
3.2.1 Basınç bölgesi parametrelerinin belirlenmesi .....	22
3.2.2 Beton basınç bölgesi gerilme dağılımı parametreleri .....	23
3.2.3 Donatılardaki gerilmeler .....	24
3.2.4 $\alpha_s$ parametresi .....	24

3.3	Son Limite Göre Tasarım .....	25
3.3.1	Kuşatılmamış durum.....	25
3.3.2	Kuşatılmış durum.....	28
3.3.3	Dengeli Eksantrisite.....	31
3.4	Akma Limitine Göre Çözümleme .....	33
3.4.1	Basınç kırılmasıyla son limite ulaşılması durumunda akma limitine ilişkin belirlemeler .....	34
3.4.2	Çekme kırılmasıyla son limite ulaşılması durumunda akma limitine ilişkin belirlemeler .....	36
4.	SAYISAL UYGULAMALAR.....	38
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	57
	KAYNAKLAR.....	58
	EKLER .....	61
	Ek 1 Akış Diyagramları.....	62
	Ek 2 Bilgisayar Programı Kullanım Kılavuzu.....	78
	Ek 3 Bilgisayar Programı ( Metin olarak ) .....	80
	Ek 4 Bilgisayar Programı ( Disket olarak ) .....	
	ÖZGEÇMİŞ.....	110

## SİMGE LİSTESİ

$A_{cp}$	Beton basınç bölgesi dairesel diliminin alanı
$A_{sj}$	Her bir boyuna donatının enkesit alanı
$A_{sh}$	Halka donatı enkesit alanı
$A_{shell}$	Beton örtüsü basınç bölgesi alanı
$A_{sv}$	Toplam boyuna donatı alanı
$\alpha$	$z_s$ parametresini belirlemek için gerekli açı
$c_b$	Dengeli eksantrisite anındaki tarafsız eksen derinliği
$c_{bc}$	Kuşatılmış kesit için dengeli eksantrisite anındaki tarafsız eksen derinliği
$c_u$	Kuşatılmamış durumdaki tarafsız eksen derinliği
$c_{uc}$	Kuşatılmış durumdaki tarafsız eksen derinliği
$c_{uh}$	Pekleşmeli durum tarafsız eksen derinliği
$c_y$	Akma aşamasındaki tarafsız eksen derinliği
$c_{yc}$	Kuşatılmış kesit için akma aşamasındaki tarafsız eksen derinliği
$d$	Çekme donatısı ağırlık merkezinin en dış beton basınç lifine olan uzaklığı
$D_h$	Halka donatı çapı
$D_v$	Boyuna donatı çapı
$D_{v1}^2$	İterasyon sırasında bulunan geçici donatı çapının karesi
$e$	Eksantrisite
$e_b$	Dengeli eksantrisite
$e_c$	Betondaki birim deformasyon
$e_{ccu}$	Kuşatılmış kesitin çekirdek beton yüzeyinde oluşan etkili maksimum birim deformasyon
$e_{cm}$	Betonun çekme kırılmasıyla akma limitine ulaşması halinde örtü betonundaki maksimum gerilme birim deformasyonu
$e_{ccm}$	Betonun çekme kırılmasıyla akma limitine ulaşması halinde çekirdek bölgedeki maksimum gerilme birim deformasyonu
$e_{co}$	Betonun maksimum gerilmedeki birim deformasyonu
$e_{cu}$	En dış beton basınç lifinde oluşan etkili maksimum birim deformasyon
$E_s$	Çelik elastisite modülü
$\epsilon_s$	Çekme donatısındaki birim deformasyon
$\epsilon_{sh}$	Donatı çeliği pekleşme birim deformasyonu
$\epsilon_{su}$	Donatı çeliği son limit birim deformasyonu
$\epsilon_{sud}$	Donatı çeliği son limit tasarım birim deformasyonu
$E_p$	Plastiklik modülü
$\epsilon_{20u}$	Betondaki gerilmenin maksimum değerinin yüzde yirmisine düştüğü zaman oluşan birim deformasyon
$\epsilon_{50h}$	Kuşatma donatısı ile sağlanan birim deformasyon
$\epsilon_{50u}$	Betondaki gerilmenin maksimum değerinin yarısına düştüğü zaman oluşan birim deformasyon
$\epsilon_{80u}$	Betondaki gerilmenin maksimum değerinin yüzde seksenine düştüğü andaki birim deformasyon
$F_c$	Çevrimsel yüklemde birim deformasyon artmadan gerilme artış katsayısı
$f_{cd}$	Betonun tasarım basınç dayanımı
$f_{ck}$	Betonun karakteristik basınç dayanımı
$F_{core}$	Kuşatılmış durumda çekirdek bölgede oluşan beton basınç bileşke kuvveti
$F_p$	Beton basınç bölgesi bileşke kuvveti
$f_{rk}$	Betonun eğilmede çekme dayanımı ( kırılma modülü )
$F_s$	Boyuna donatılardaki bileşke eksenel kuvvet

$F_{shell}$	Beton örtüsü basınç bölgesi bileşke kuvveti
$f_{su}$	Donatı çeliği son limit dayanımı
$f_{sud}$	Donatı çeliği son limit tasarım dayanımı
$f_{yd}$	Donatı çeliğinin tasarım değeri
$f_{yhd}$	Pekleşme evresinde bulunan donatı çeliğinin akma mukavemetinin tasarım değeri
$f_{ywk}$	Halka donatı karakteristik akma dayanımı
$f_{yk}$	Donatı çeliğinin karakteristik akma dayanımı
$\phi_u$	Son limit eğriliği
$\phi_{uc}$	Kuşatılmış kesite ilişkin son limit eğriliği
$\phi_{uh}$	Pekleşmeli kesite ilişkin son limit eğriliği
$\gamma_c$	Beton için malzeme güvenlik katsayısı
$\gamma_s$	Çelik için malzeme güvenlik katsayısı
$K$	Dairesel halkalar ya da spirallerle kuşatılan betona ilişkin kuşatma katsayısı
$k_1$	Ortalama basınç gerilmesi ile maksimum gerilme arasındaki oran
$k_2$	Beton basınç bileşkesi derinliği ile tarafsız eksen derinliği arasındaki oran
$k_{1c}$	Kuşatılmış durumda ortalama basınç gerilmesi ile maksimum gerilme arasındaki oran
$k_{2c}$	Kuşatılmış durumda beton basınç bileşkesi derinliği ile tarafsız eksen derinliği arasındaki oran
$k_{1y}$	Akma aşaması için ortalama basınç gerilmesi ile maksimum gerilme arasındaki oran
$k_{2y}$	Akma aşaması için beton basınç bileşkesi derinliği ile tarafsız eksen derinliği arasındaki oran
$k_3$	Deney elemanında ulaşılan maksimum gerilme ile betonun silindir dayanımı arasındaki oran
$M_d$	Hesap momenti
$M_u$	Son limit dayanımı
$M_y$	Akma momenti
$N_d$	Hesap yükü
$N_u$	Son limit yükü
$N_y$	Akma limitine ilişkin yük
$n$	Kolondaki boyuna donatı sayısı
$\theta$	Beton basınç bölgesi alan belirleme açısı
$\theta_c$	Kuşatılmış durum beton basınç bölgesi alan belirleme açısı
$\theta_b$	Dengeli eksantrisite anındaki beton basınç bölgesi alan belirleme açısı
$\theta_{bc}$	Kuşatılmış bölge için dengeli eksantrisite anındaki beton basınç bölgesi alan belirleme açısı
$\theta_y$	Akma aşamasındaki beton basınç bölgesi alan belirleme açısı
$\theta_{yc}$	Kuşatılmış bölge için akma aşamasındaki beton basınç bölgesi alan belirleme açısı
$R$	Kolon çapı
$R_h$	Dairesel kolonda halka donatı dış kenarlarından ölçülen beton çapı
$R'_h$	Dairesel kolonda halka donatı eksenleri arasındaki çekirdek beton çapı
$r_s$	Boyuna donatı ağırlık merkezleri ile kolon kesit merkezi arasındaki mesafe
$\rho_h$	Halka donatı hacimsel yüzdesi
$s_h$	Halka donatılar arasındaki mesafe
$\sigma_{ct}$	Betondaki çekme gerilmesi
$\sigma_{si}$	Her bir boyuna donatıdaki gerilme
$\sigma_p$	Pekleşme gerilmesi
$x_i$	Her bir boyuna donatının ağırlık merkezi ile en alt donatı arasındaki mesafe
$\psi$	Beton davranış modeli grafiği doğrusal bölüm eğimi

$\psi_c$  Kuşatılmış durum için beton davranış modeli grafiği doğrusal bölüm eğimi  
 $z_s$  En alt ve en üst donatı ağırlık merkezleri arasındaki mesafe (moment kolu)



## KISALTMA LİSTESİ

ACI	American Concrete Institute
BSI	British Standards Institution
CEB	Comite Euro – International du Beton
CP	Code of Practice
DIN	Deutsches Institut für Norming
FIP	Federation Internationale de la Precontrainte



## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Kuşatılmamış beton için $\sigma - \epsilon$ davranış modeli .....	6
Şekil 2.2	Betonun dairesel halkalar ya da dairesel spirallerle kuşatılması.....	8
Şekil 2.3	Betonun dikdörtgen halkalarla kuşatılması.....	9
Şekil 2.4	Kuşatılmış beton için $\sigma - \epsilon$ davranış modeli .....	11
Şekil 2.5	Beton basınç bölgesi gerilme dağılımı parametreleri .....	13
Şekil 2.6	Çevrimsel yük etkisinde kalan beton için gerilme - birim deformasyon davranış modeli.....	14
Şekil 2.7	Monotonik yük etkisinde kalan çeliğin pekleşmesiz $\sigma - \epsilon$ davranışını betimleyen model.....	16
Şekil 2.8	Monotonik yük etkisinde kalan çeliğin pekleşmeli $\sigma - \epsilon$ davranışını betimleyen model.....	17
Şekil 2.9	Çeşitli donatı çelikleri için pekleşmeli davranış modelleri.....	18
Şekil 2.10	Çevrimsel yük etkisinde kalan çelik için $\sigma - \epsilon$ davranış modeli .....	20
Şekil 3.1	Dairesel kesitli kolonlarda basınç bölgesi.....	21
Şekil 3.2	Dairesel dilimler.....	22
Şekil 3.3	Geometrik parametreler .....	25
Şekil 3.4	Kuşatılmamış durum için etkileşim diyagramları.....	26
Şekil 3.5	Kuşatılmış durum için etkileşim diyagramları.....	30
Şekil 3.6	Dengeli eksantrisite durumu için etkileşim diyagramları .....	32
Şekil 3.7	(a) Beton için akma / yumuşama limiti $L_{yc}$ ve son limit $L_{uc}$ , (b) Çelik için akma limiti ve $L_{ys}$ ve son limit $L_{us}$ .....	33
Şekil 3.8	Basınç kırılmasıyla son limite ulaşılması durumunda akma limiti parametreleri ve kuvvetleri.....	34
Şekil 3.9	Çekme kırılmasıyla son limite ulaşılması durumunda akma limiti parametreleri ve kuvvetleri.....	36
Şekil 4.1	$n = 10$ donatılı kuşatılmamış dairesel kolon .....	38
Şekil 4.2	$n = 10$ donatılı kuşatılmamış kolon için birim deformasyonlar ve geometrik parametreler .....	39
Şekil 4.3	Tarafsız eksen derinliği ve $\theta$ açısı.....	41
Şekil 4.4	$n = 10$ donatılı kuşatılmış dairesel kolon .....	44
Şekil 4.5	$n = 10$ donatılı kuşatılmış kolon için tarafsız eksen derinlikleri, $\theta$ açısı ve birim deformasyonlar .....	46

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Beton sınıflarına göre $\epsilon_{cu}$ değerleri .....	7
-------------	--	---



## ÖNSÖZ

Betonarme yapıların limit tasarımında kabul edilen hesap momentleri dağılımının gerçekleşebilmesi, plastik mafsalların düktilitesiyle ilintilidir. Sismik etkiler altında kalan yapılar enerjiyi tüketecek ölçüde düktil olmalıdır. Son yıllarda yapılan deneysel araştırmalar sık konulan dairesel halka ya da spiral donatı ile kuşatılan betonarme elemanların eğilme kapasitelerinin, düktilitesinin ve enerji tüketme kapasitesinin önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Ayrıca yapısal tasarımda pekleşme etkisinin dikkate alınmaması eğriliğın ve dolayısıyla kesit düktilitesinin olduğundan büyük tahmin edilmesine neden olur. Böyle bir durumda limit tasarımın güvenilirliğı olumsuz yönde etkilenebilir. Bu bağlamda bu çalışmada kuşatma ve pekleşme etkileri dikkate alınarak dairesel kesitli betonarme kolonların son limite göre boyutlandırılması, akma limitine göre çözümlenmesi ve düktilite oranının belirlenmesini sağılayan güvenilir ve duyarlı algoritmalar geliştirilmiştir.

Araştırmamda yardımları ve yönlendirmelerinden ötürü danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Sayın Sema Noyan Alacalı'ya çok teşekkür ederim.



## ÖZET

Dairesel kesitli betonarme kolonların kuşatma ve pekleşme etkileri altındaki davranışlarının incelendiği bu çalışmada tasarım için iteratif bir yöntem önerilmiş ve bu amaçla bir bilgisayar programı oluşturulmuştur. Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde; yapısal tasarımın hedefi, çalışmanın konusu, amacı ve kapsamı belirtilerek konuyla ilgili daha önce yapılan araştırmalardan bahsedilmiştir. İkinci bölümde tasarımda kullanılacak beton ve donatı çeliği malzeme davranış modelleri tanıtılmış, değişik yükleme tiplerindeki gerilme – birim deformasyon ilişkileri, kuşatılmış ve kuşatılmamış kesitler için incelenmiştir. Üçüncü bölümde bu davranış modelleri esas alınarak bileşik eğilme etkisindeki dairesel kesitli betonarme kolonların kuşatma ve pekleşme etkileri dikkate alınarak boyutlandırılması ve akma limitine göre çözümlenmesine ilişkin algoritmalar oluşturulmuştur. Dördüncü bölümde, önerilen algoritmalar yardımıyla konuya ilişkin sayısal uygulamalar irdelenmiş, beşinci bölümde sonuç ve önerilerde bulunulmuştur. Ekler bölümünde ise hesapları kolaylaştırmak amacıyla Microsoft Visual Basic 6.0 programlama dili kullanılarak oluşturulan bir bilgisayar programı (disket olarak), kullanım kılavuzu, akış diyagramı ve program metni sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Betonarme kolonlar, dairesel kesit, kuşatma, pekleşme.

## ABSTRACT

In this study concerning the analysis of the behavior of reinforced concrete circular columns under confining and hardening effects, an iterative method for design is recommended and for this aim, a computer programme has been developed. The study consists of five chapters. In the introductory chapter; there are descriptions about the aim of structural design, subject, aim and the content of the study and studies related with this subject have also been mentioned. In the second chapter; the behavior models of concrete and steel materials which will be used for design have been introduced and stress – strain relationships under effects of different loading types have been analyzed for confined and non – confined sections. In the third chapter; algorithms about the design and the yielding limit analysis of the columns under the effect of compound forces considering the confining and hardening effects are constituted by using these behaviour models. In the fourth chapter, with the help of suggested algorithms numeric examples are discussed and in the fifth chapter there are the results obtained from the study and some further suggestions. In the appendix; a computer programme has been developed by using Microsoft Visual Basic 6.0 programming language (on diskette) to carry out the calculations. There are also the flowchart diagrams, a users guide of the programme and the programme text.

**Keywords:** Reinforced concrete, circular section, confining, hardening.



## 1. GİRİŞ

Bu bölümde yapısal tasarım olgusu genel çizgileriyle açıklanarak çalışmanın konusu, amacı ve kapsamı belirtilecektir.

### 1.1 Yapısal Tasarım

Yapısal tasarım iteratif bir karar verme sürecidir. Yapısal sistemin yapısal çözümleme sonucu elde edilen yük etkilerine göre potansiyel göçme riski, kabul edilebilecek bir düzeyi aşmayacak şekilde boyutlandırılması ve tasarlanması süreçlerini içerir. Yapısal çözümleme, son limit durumlarla ve işletilebilme limit durumlarıyla ilgili koşulları kanıtlamak amacıyla yapısal sistem üzerindeki yük etkilerinin belirlenmesidir. Söz konusu yük etkileri, gerilmeler, kesitteki kuvvetler, momentler, geometrik büyüklükler, titreşimler ve benzeri etkiler olabilir.

Yapısal çözümleme, doğrusal, yeniden dağılımlı doğrusal, doğrusal olmayan ya da limit tasarım yaklaşımlarıyla gerçekleştirilebilir.

Doğrusal çözümlemede malzeme davranışları doğrusal elastik kabul edilir. Bu kabul yaklaşımda yük – yapısal sistem yanıtı (response) ilişkisinin doğrusal ve deformasyonların geriye dönüşümlü varsayıldığı anlamına gelir. Doğrusal yaklaşım sonuçlarının gerçekçi kabul edilebilmesi için yapısal yüklerin düşük düzeyde bulunması ve yapısal elemanların çatlamamış olması gerekir. CEB MC 90’da doğrusal yaklaşımın daha çok işletilebilme limit durumlarına ilişkin yük etkileri dağılımının belirlenmesinde kullanılması önerilir (CEB, 1991).

Yükleri son limit durum değerlerine yaklaşan bir yapısal sistemin fazla zorlanan kesimlerinde çelik akmaya ve/veya beton yumuşamaya (CEB,1983; Darvall vd.,1985; Mendis vd., 1984) başlar. Plastikleşen ve eğilme rijitlikleri azalan bu kesimler, yük etkilerinin taşınmasına eskisi gibi katılamazlar. Dolayısıyla paylarına düşen eğilme momenti ve muhtemelen öteki yük etkisi artımları henüz plastikleşmeye başlamamış ya da plastikleşmemiş kesimlere aktarılır. Böylece yapısal sistemdeki yük etkileri dağılımı sürekli değişir. Her yük düzeyi için doğrusal çözümlemeden elde edilenden farklı dağılımlar oluşur. Doğrusal olmayan malzeme davranışlarından kaynaklanan bu süreç “yük etkilerinin yeniden dağılımı” ya da yaygın olarak “momentlerin yeniden dağılımı” ya da kısaca “yeniden dağılım” terimiyle adlandırılır.

Yapıların gerçek davranışlarını tahmin etmek ve potansiyel plastik mafsallık kesitlerinin yeterli plastik deformasyon yapıp yapmadığını denetleyebilmek amacıyla yeniden dağılım olgusunun

da göz önüne alındığı “limit tasarım” yöntemi kullanılır. Bu yöntemde malzeme davranışlarının ve buna bağlı olarak moment eğrilik ilişkilerinin doğrusal olmayan davranışları matematiksel işlenebilirlik açısından idealleştirilebilir. Başka bir deyişle limit tasarım yaklaşımları, doğrusal olmayan yaklaşımların, tasarım kolaylığı için değiştirilmiş, ayarlanmış özel biçimleridir.

Limit tasarımda yeniden dağılım olgusu da göz önünde bulundurularak son limit tasarım yükleriyle dengede bir yük etkileri dağılımı kabul edilir. Taşıyıcı sistem bu dağılıma göre boyutlandırılır ve donatılır. Kritik kesitlerdeki plastik deformasyonların yeterliliği denetlenir. Bu çözümleme sonuçlarına göre gerekiyorsa boyutlar, donatı veya kabul edilen dağılım üzerinde değişiklikler yapılır. Son olarak da işletilebilme durumlarıyla ilgili koşulların gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir. Bu aşamada doğrusal bir yaklaşım kullanılır.

Son limit durumlarla ilgili yük etkileri dağılımının kabul edilmesi, boyutlandırma ve donatı hesabı, plastik deformasyonların yeterliliğiyle ilgili çözümleme aşamaları geriye dönüşümlü olduğundan yaklaşım yaygın olarak limit tasarım olarak adlandırılır.

## **1.2 Çalışmanın Konusu, Amacı ve Kapsamı**

Deprem tipi yüklerin etkisinde kalan yapılarda enerjinin tüketilmesi, kritik kesitlerin plastik dönme kapasiteleriyle ilintilidir. Limit tasarımda potansiyel plastik mafsallı kesitlerinin yeterli duktiliteye sahip olması gerekir. Bu bağlamda taşıyıcı elemanların eğilme kapasiteleri ve duktiliteleri bu elemanlar yanal donatıyla artırılarak (kuşatılarak) artırılabilir. Aynı zamanda donatılarda pekleşme etkisinin hesaba katılmaması kesitlerin eğrilik duktiliteleri ve plastik mafsallı dönme kapasitelerinin olduğundan büyük tahmin edilmesine neden olur.

Daha önce yapılan çalışmalarda bu olgular göz önünde bulundurularak dikdörtgen kesitli betonarme kiriş ve kolonlar incelenmiştir (Gündüz, A. ve Noyan, S., 1988a, 1988b, 1988c, 1991, 1993, 1994; Kurtuluş, 1999). Bu çalışmada ise kuşatma ve pekleşme etkileri dikkate alınarak dairesel kesitli betonarme kolonların son limit ve akma limit durumlarına göre çözümlenmesi ve tasarımına ilişkin algoritmalar sunulacaktır. Anılan algoritmaların belirlenmesinde kuşatılmış ve kuşatılmamış beton ve pekleşmeli çelik için tasarımda kullanmaya elverişli gerilme – birim deformasyon davranış modelleri önerilecektir. Yapısal eleman eğilme rijitliklerinin ve potansiyel plastik mafsallı dönme kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan kesit akma limiti ve son limit momentleri ve eğrilikleri, bu davranış modelleri temel alınarak hesaplanacaktır.

Çalışma beş bölümden oluşmuştur. Giriş bölümünü izleyen ikinci bölümde tasarımda kullanılacak beton ve çelik malzemelerin davranış modelleri tanıtılmış, değişik yükleme şekillerine göre özellikleri anlatılmıştır. Üçüncü bölümde limit tasarım modelleri ve denge denklemleri kullanılarak bileşik eğilme etkisindeki kuşatılmış ve kuşatılmamış dairesel kesitli kolonların boyutlandırılmasına ilişkin algoritmalar oluşturulmuştur. Dairesel kesitli kolonlarda şekil itibarıyla, tarafsız eksen derinliğine göre basınç ve çekme bölgesindeki donatı miktarları değişmektedir. Bu sebeple hesaplarda iteratif (deneme yanılma) yöntemler kullanılmış, her iterasyonda kabul edilen tarafsız eksen derinliği için beton basınç bölgesi, çekme ve basınç bölgelerindeki donatı sayıları ve dayanımları hesaplanarak, denge denklemleri buna göre oluşturulmuştur. İterasyonlarda moment ve normal kuvvet denge denklemlerinin uyumluluğu gözetilmiştir. İşlemleri hızlandırmak amacıyla bir bilgisayar programı geliştirilerek, kesitin yük etkisi altındaki kuşatma ve pekleşme özellikleri ayrıntılı olarak izlenebilmiştir. Boyutlandırma aşamasında kesitin boyuna donatıları son limite göre hesaplandıktan sonra akma aşamasındaki momentler de hesaplanarak akma limitine göre kesitlerin çözümlenmesi incelenmiştir. Hesaplarda beş çeşit donatı düzeni kullanılmıştır. Kullanıcı bu donatı düzenlerinden herhangi birini seçerek hesapları bu düzene göre yapabilecektir. Denge denklemlerinin oluşturulmasında kuşatma donatısı ile kuşatılmış çekirdek bölge ve kuşatılmamış örtü betonda oluşan etkiler ayrı ayrı dikkate alınmıştır. Ayrıca söz konusu denge denklemleri gerekli düzenlemeler yapılarak kuşatılmamış durum için de kullanılmıştır. Dördüncü bölümde dairesel kesitli betonarme kolonların kuşatma ve pekleşme etkileri dikkate alınarak son limite göre boyutlandırılması ve akma limitine göre çözümlenmesine ilişkin sayısal uygulamalar yapılmış, beşinci bölümde sonuç ve önerilerde bulunulmuş, ekler bölümünde ise akış diyagramları ve bilgisayar programları verilmiştir.

## 2. BETON VE DONATI ÇELİĞİ MALZEMELERİ İÇİN DAVRANIŞ MODELLERİ

### 2.1 Giriş

Betonarme yapılarda betonarme yapı elemanlarının davranış şekilleri, büyük ölçüde bu elemanların deformasyon özelliklerine bağlıdır. Taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan ya da limit tasarım yöntemleriyle çözümlenebilmesi için moment – eğrilik ilişkilerinin belirlenmesi gerekir.

Basit ya da bileşik eğilme etkisinde kalan betonarme yapı elemanlarında akma limit durumu eğriliklerinin, beton basınç gerilmeleri dağılımının doğrusal kabul edilerek elastik teoriye göre hesaplanması; son limit durum eğriliklerinin ise kesit hesaplarında kullanılan yaklaşık algoritmalarla belirlenmesi duyarlı yaklaşımlar olmaz. Çünkü, beton basınç gerilmelerinin kesit üzerindeki dağılımı onun  $\sigma - \epsilon$  eğrisine benzer, paraboliktir. Akma eğriliğinin ( $\phi_y$ ) hesaplanmasında dağılım profilinin üçgen kabul edilmesi, eğriliğin olduğundan küçük tahmin edilmesine neden olur (Park vd., 1975).

Diğer taraftan son limit durumla ilgili kesit hesaplarında, donatıdaki pekleşme nedeniyle oluşan dayanım artışı genellikle göz önüne alınmaz. Hesaplar, donatının akma mukavemeti temel alınarak yapılır. Bu, dayanım açısından ihtiyatlı bir yaklaşımdır. Ne var ki bir yapısal elemanda eğriliğin ya da elastik olmayan toplam dönmenin belirlenmesinde, donatının akma dayanımına göre hesaplanan tarafsız eksen derinliğinin kullanılması ihtiyatlı bir yaklaşım olmaz. Çünkü donatı pekleşiyorsa, çekme dayanımının büyümesi nedeniyle, yapısal elemanın donatının akma dayanımına göre hesaplanan tarafsız eksen derinliği gerçek derinlikten küçük bulunur. Eğrilik ve dönme tarafsız eksen derinliğiyle ters orantılı olduğu için; tarafsız eksen derinliğinin olduğundan küçük tahmin edilmesi, eğriliğin olduğundan büyük tahmin edilmesi anlamına gelir (Gündüz vd., 1988a).

Yapının deprem ya da herhangi bir şiddetli yük durumunda enerjiyi yutma kapasitesi kritik kesitlerin plastik dönme kapasiteleriyle ilgilidir. Plastik dönme kapasitesini etkileyen son limit ve akma limit durumu eğriliklerinin belirlenmesinde klasik yöntemlerin kabul edilmesi potansiyel plastik mafsal dönme kapasitelerinin olduğundan büyük tahmin edilmesine neden olur. Dolayısıyla anılan kapasitelerin güvenilir tahmini son limit ve akma limit durum eğriliklerinin temelini oluşturan malzeme davranış modellerinin gerçeğe yakınlığıyla ilintilidir. Bu amaçla bu bölümde beton ve çeliğe ilişkin  $\sigma - \epsilon$  ilişkilerini tanımlayan modeller

incelenecektir.

## 2.2 Beton Davranış Modelleri

Kuşatılmış ve kuşatılmamış betonun monotonik ve çevrimsel yük etkileri altındaki gerilme – birim deformasyon davranışı için birçok model önerilmiştir (Baker vd., 1964; 1969; Park vd., 1972; Sheikh vd., 1982; Ersoy vd., 1985a; CEB, 1991a; CEB, 1991d). Bu bölümde dairesel kesitli betonarme kolonların limit tasarımında kullanılacak güvenilir ve duyarlı malzeme davranış modelleri tanıtılacaktır.

### 2.2.1 Monotonik yük etkisindeki beton için gerilme – birim deformasyon ilişkileri

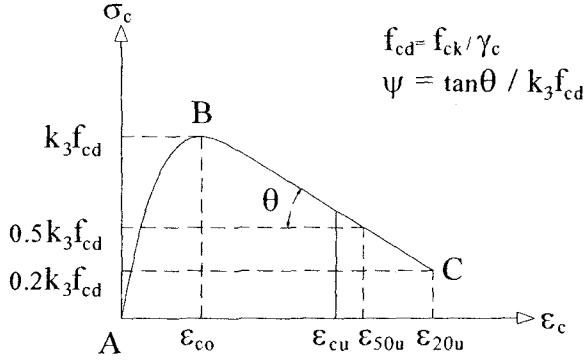
Bu bölümde monotonik yük etkisindeki kuşatılmamış ve kuşatılmış betonlar için tasarımda kullanabilecek gerilme – birim deformasyon ilişkileri açıklanacaktır. Ayrıca kolon en kesiti üzerindeki basınç gerilmeleri dağılımını belirleyen parametrelerin teorik olarak hesaplanmasını sağlayan bağıntılar tanıtılacaktır.

#### 2.2.1.1 Kuşatılmamış beton için gerilme – birim deformasyon ilişkileri

Tek eksenli basınç etkisinde kalan yanal donatıyla kuşatılmamış beton için gerilme – birim deformasyon ilişkisi, maksimum gerilmeye dek bir parabol ve bu gerilmeden sonra alçalan bir doğruyla tanımlanabilir (Kent vd., 1971; Thompson vd., 1980; Giannini vd., 1982; Park vd., 1982; CEB, 1983b). Bu tanımlamaya göre tasarım için geliştirilen gerilme – birim deformasyon dağılımı Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Modelde  $\sigma - \epsilon$  eğrisinin yükselen AB bölümü ikinci derece parabol, alçalan BC bölümü ise doğru kabul edilmiştir. Tasarım için eğri, etkili maksimum birim deformasyonla ( $\epsilon_{cu}$ ) sınırlandırılmıştır.

Deneysel araştırmalar birim deformasyonların çok büyük olduğu evrede betonun, maksimum gerilmenin %20’sine eşit bir gerilmeyi taşıyabileceğini göstermiştir. Bu nedenle alçalan doğru  $0.20k_3f_{cd}$  gerilmesi karşılığı  $\epsilon_{20u}$  kısalmasıyla sınırlandırılmıştır (Barnard, 1964; Kent vd., 1971).

Maksimum tasarım dayanımı ( $k_3f_{cd}$ ), bu gerilmedeki birim deformasyon ( $\epsilon_{co}$ ), alçalan doğrunun eğimine ilişkin  $\psi$  parametresi bağıntıları, az önce bahsedilen kabullere göre şöyle ifade edilebilir; (Gündüz, 1985).



Şekil 2.1 Kuşatılmamış beton için  $\sigma - \epsilon$  davranış modeli (Kachanov, 1974)

AB bölümü için ( $\epsilon_c \leq \epsilon_{co}$ ) :

$$\sigma_c = k_3 f_{cd} [ ( 2\epsilon_c / \epsilon_{co} ) - ( \epsilon_c / \epsilon_{co} )^2 ] \quad (2.1)$$

BC bölümü için ( $\epsilon_{co} \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{20u}$ ) :

$$\sigma_c = k_3 f_{cd} [ 1 - \psi ( \epsilon_c / \epsilon_{co} ) ] \quad (2.2)$$

Bu modelde bahsedilen parametreler ile ilgili yapılan kabuller ise şöyledir :

- Maksimum gerilmedeki birim deformasyon ( $\epsilon_{co}$ ) ; betonun ortalama basınç dayanımına, varyasyon katsayısına, yükleme hızına ve birim deformasyon dağılımının eğimine bağlı olarak değişir (Yamashiro vd., 1962; FIP / CEB , 1990). Uygulamada tüm beton sınıfları için  $\epsilon_{co}$  kısalmasının değeri 0.002 (Kent vd., 1971; Park vd., 1975) ya da 0.0022 (CEB, 1991a) kabul edilebilir.
- Basit ya da bileşik eğilme etkisinde kalan yapısal elemanlardaki kuşatılmamış beton için maksimum tasarım dayanımı  $k_3 f_{ck} / \gamma_c$  bağıntısıyla belirlenir. Bağıntıdaki  $k_3$  katsayısı, deney elemanında ulaşılan maksimum gerilmeye betonun silindir dayanımı arasındaki oranı belirtir. ACI, CP 110 ve TS – 500 standartları ile CEB – FIP Model Yönetmeliğinde idealleştirilmiş gerilme – birim deformasyon ilişkileri ve eşdeğer beton basınç gerilmeleri için anılan katsayının değeri 0.85 kabul edilmektedir (BSI, 1980; ACI, 1984a; TSE, 2000; CEB, 1991a). Deneysel sonuçlara göre duyarlı modeller için ihtiyatlı bir yaklaşımla  $k_3 = 1$  alınabilir (CEB, 1983b). Varyasyon katsayısının  $V_c < 0.15$  olması halinde betona ilişkin kısmi güvenlik katsayısının ( $\gamma_c$ ), değeri 1.5 kabul edilebilir (TSE, 2000; Gündüz, 1988a; CEB, 1991a). Gereken durumlarda bu değer; karakteristik dayanıma ilişkin riske, yapısal göçme riskine ve betonun varyasyon katsayısına göre olasılıksal yolla tahmin edilebilir.

- Beton dayanımı arttıkça eğrinin alçalan BC bölümünün eğimi büyür. Eğim, betondaki gerilmenin maksimum gerilmenin yarısına düştüğü zaman oluşan ve deneysel sonuçlara göre aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilen  $\epsilon_{50u}$ , birim deformasyonuyla belirlenebilir (Kent vd., 1971; Park vd., 1982).

$$\epsilon_{50u} = (3 + 0.29k_3f_{cd}) / (145k_3f_{cd} - 1000) \quad (2.3)$$

- Bağıntı kısa süreli yüklemeler içindir (Kent vd., 1971). Uzun süreli yüklemelerde alçalan doğrunun eğimi küçülür;  $\epsilon_{50u}$  birim deformasyonu büyür. Uygulamada betonun uzun süreli yüklemelerde kaldığı göz önünde bulundurularak  $\epsilon_{50u}$  birim deformasyonunun  $f_{ck}$  yerine  $k_3f_{cd}$  ya da  $f_{cd}$  ( $k_3 = 1$ ) dayanımına göre belirlenmesi uygun yaklaşım kabul edilmiştir. O halde BC doğrusunun eğimi bir  $\psi$  parametresiyle belirlenebilir (Gündüz, 1985).

$$\psi = \tan\theta / k_3f_{cd} = 0.5 / (\epsilon_{50u} - \epsilon_{co}) \quad (2.4)$$

- Basit ya da bileşik eğilme etkisinde kalan bir kesitin tasarımında, en dış beton basınç lifi için kabul edilen etkili maksimum birim deformasyon ( $\epsilon_{cu}$ ), kesitin son limit eğriliğini ve dolayısıyla plastik mafsal plastik dönme kapasitesini belirleyen önemli bir değişkendir. TS 500 – 2000’ de tüm beton sınıfları için götürü değeri 0.003 olarak kabul edilmiştir (TSE, 2000). Etkili birim deformasyon, beton mukavemeti arttıkça azalır (Park vd., 1975; FIP / CEB, 1990). Bu nedenle CEB / FIP MC 90’ da çeşitli beton sınıfları için Çizelge 2.1’ de verilen değerlerin kullanılması önerilmiştir (CEB, 1991a).

Çizelge 2.1 Beton sınıflarına göre  $\epsilon_{cu}$  değerleri

Beton sınıfı	C20	C30	C40	C50	C60	C70	C80
$10^3 \epsilon_{cu}$	4.3	3.6	3.3	3.0	2.8	2.6	2.4

Bu değerler model yönetmelikte kabul edilen gerilme – birim deformasyon ilişkisinde, betondaki gerilmenin ortalama dayanımının yarısına ( $0.5 f_{cm}$ ) düştüğü zaman oluşan birim deformasyonlardır. Deneysel sonuçlar (Park vd., 1975) göz önünde bulundurularak etkili birim deformasyon üst sınırının 0.004 kabul edilmesi önerilir.

### 2.2.1.2 Kuşatılmış beton için gerilme – birim deformasyon ilişkileri

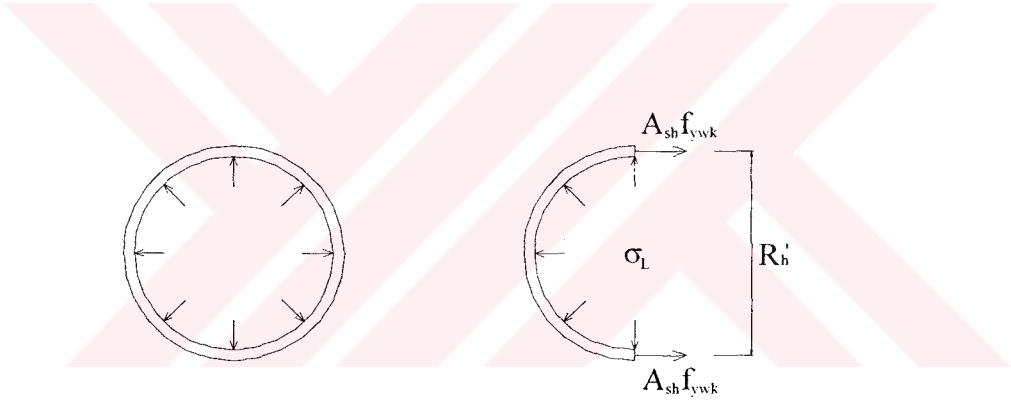
Deneysel araştırmalar, üç eksenli basınç etkisinde kalan betonda dayanım ve düktilitenin önemli ölçüde arttığını, betonarme yapı elemanlarında bu artışın yanal donatılarla sağlanabileceğini göstermiştir (Park vd., 1975; CEB, 1983B; Ersoy vd., 1987; FIP / CEB, 1990). Tek eksenli basınç dayanımı  $f_c$  olan bir beton silindir,  $\sigma_L$  değerinde bir aktif kuşatma (Gündüz, 1989b; Gündüz, 1991a) basıncı etkisinde kaldığı zaman elde edilen kuşatılmış beton eksenel basınç dayanımı ( $f_{cc}$ ), şu bağıntıyla belirlenebilir (Park vd., 1975; FIP / CEB, 1990).

TC MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI  
TEKİRNEZ İL MİLLÎ EĞİTİM MÜDÜRLÜĞÜ  
TEKİRNEZ İL MİLLÎ EĞİTİM MÜDÜRLÜĞÜ

$$f_{cc} = f_c + k_c \sigma_L \quad (2.5)$$

Yapılan deneyler (Mattock vd., 1961; Park vd., 1975),  $k_c$  aktif kuşatma katsayısı değerinin;  $C < C50$  için 4.0,  $C \geq C50$  için 3.0 kabul edilmesinin uygun olduğunu göstermiştir (FIP / CEB, 1990; Gündüz, 1991a).

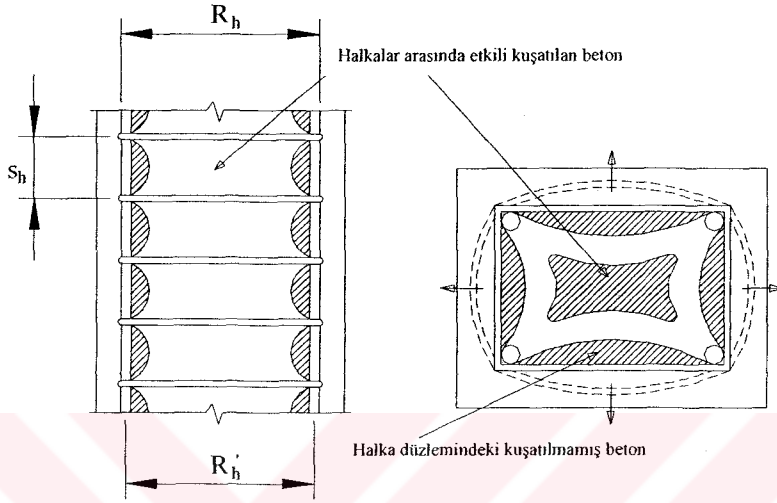
Betonarme kiriş ve kolonlara konulan yanal donatılar kuşattıkları betonun dayanımını ve duktilitesini artırdıkları halde, basınç gerilmelerinin düşük düzeyde olduğu yüklemelerde hemen hemen hiç zorlanmazlar ve kuşattıkları beton bölgenin davranışını etkilemezler. Gerilmeler betonun tek eksenli basınç dayanımına yaklaştıkça içsel çatlaklar büyür ve betonda hacimsel bir genişleme olur. Yanal şekil değiştirmeler büyür ve beton yanal donatıyı zorlamaya başlar. Bu aşamada yanal donatı çekirdek betonun yanal şekil değiştirmesini sınırlar. Bu olaya pasif kuşatma adı verilir (Gündüz, 1990a; Gündüz, 1991a).



Şekil 2.2 Betonun dairesel halkalar ya da dairesel spirallerle kuşatılması (Gündüz, 1989)

Daha önce de belirtildiği gibi dairesel halkalar ya da spiral ile yapılan kuşatma, dikdörtgen halkalarla yapılandan daha etkilidir (Park vd., 1982; İlki, 2000). Bunun nedeni, dairesel yanal donatının şekil itibariyle yalnız çekme kuvveti alması ve büyük deformasyonların olduğu evrede, çevreledikleri betonda hidrostatik basınçla elde edilene yakın bir kuşatma basıncı sağlamalarıdır (Şekil 2.2). Dikdörtgen halkalar ise çekirdek betonun uyguladığı basınç sebebiyle dışa doğru yaylanırlar, hem eksenel çekme hem de eğilme etkisinde kalırlar ve “minimum iş ilkesi”ne göre (Kachanov, 1974) dairesel biçim almaya çalışırlar. (Şekil 2.3).

Özetle, dikdörtgen halka kullanıldığı zaman, köşeler arasındaki içsel kemerlenme yüzünden çekirdek beton; halka düzleminde, kesitin merkezinde ve köşe kesimlerinde; halkalar arasında ise kesitin merkezinde etkili biçimde kuşatılabilir (Gündüz, 1989b; Gündüz, 1990a).



Şekil 2.3 Betonun dikdörtgen halkalarla kuşatılması (Gündüz, 1989)

Dairesel halkalar ya da spiral ile kuşatılmış betonun aksenal basınç dayanımının karakteristik değeri ( $f_{cck}$ ), aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir (Gündüz, 1989).

$$f_{cck} = f_{ck} + 2.05\rho_h f_{yw} = Kf_{ck} \quad (2.6)$$

$K = f_{cck} / f_{ck} = f_{ccd} / f_{cd}$ ; dairesel halkalar ya da spirallerle kuşatılan betona ilişkin kuşatma katsayısı.

$f_{ck}$ ; kuşatılmamış betonun karakteristik basınç dayanımı

$f_{yw}$ ; halka donatı karakteristik akma dayanımı

$\rho_h$ ; halka donatı hacimsel yüzdesi ( halka donatı hacminin, halka donatı dışından ölçülen beton çekirdek hacmine oranı )

$$\rho_h = 4A_{sh} / ( R'_h S_h ) \quad (2.7)$$

$A_{sh}$  ; halka donatı enkesit alanı

$R'_h$  ; dairesel kolonda halka donatı eksenleri arasındaki çekirdek beton çapı

$s_h$  ; halka donatılar arası mesafe

Beton sınıflarına ilişkin K değerleri kabul edilen  $k_c$  değerlerine göre şöyle belirlenebilir.

C < C50 için ;

$$K = 1 + ( 2.05\rho_h f_{yw} / f_{ck} ) \quad (2.8a)$$

C  $\geq$  C50 için ;

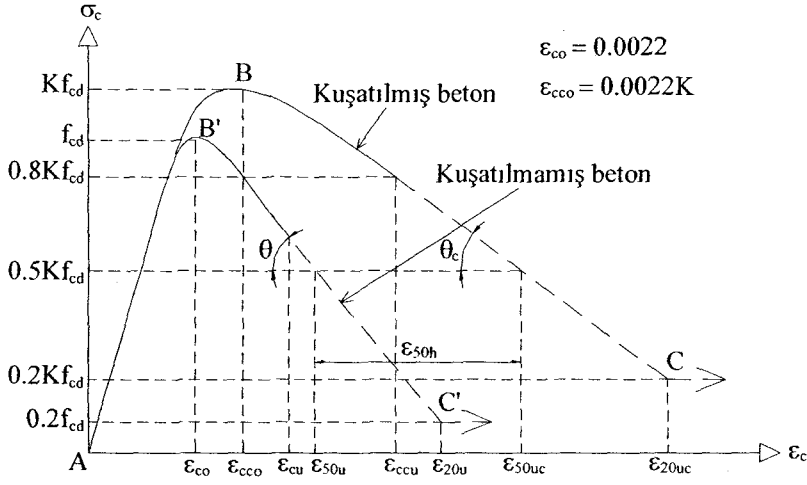
$$K = 1 + ( 1.5375\rho_h f_{yw} / f_{ck} ) \quad (2.8b)$$

### **Tasarım için kuşatılmış beton davranış modeli**

Bu çalışmada dairesel halka ya da spiral donatı ile kuşatılmış beton için önerilen gerilme – birim deformasyon davranış modeli Şekil 2.4’te gösterilmiştir.

Modelde kuşatılmış çekirdek betonun ve halka donatı dışında kalan kuşatılmamış örtü betonun tasarım dayanımları sırasıyla  $Kf_{cd}$  ve  $k_3f_{cd}$  kabul edilmiş,  $k_3$  değeri 0.85 ya da 1 alınmıştır. Kuşatılmış ve kuşatılmamış betonların maksimum gerilmeye dek davranışları ikinci derece parabollerle ifade edilmiş; kuşatılmış betonun başlangıç teğetinin eğimi, kuşatılmamış betonunkine eşit alınmış, kuşatmanın bu eğimi etkilemediği, başlangıç elastiklik modüllerinin aynı olduğu varsayılmıştır. Maksimum gerilmedeki birim deformasyon kuşatılmamış beton için 0.0022 alınmıştır. Buna göre kuşatılmış betonun maksimum gerilmedeki birim deformasyonu 0.0022 K olacaktır.

Kuşatılmış ve kuşatılmamış betonların maksimum gerilmeden sonraki davranışları alçalan doğrularla belirlenmiştir. Kuşatılmış beton için alçalan doğru ; kuşatılmamış betonda gerilmenin maksimum gerilmenin yarısına düştüğü zaman oluşan birim deformasyona ( $\epsilon_{50u}$ ), kuşatma donatısıyla elde edilen birim deformasyon ( $\epsilon_{50h}$ ) eklenerek bulunan  $\epsilon_{50uc}$  deformasyonu ile belirlenmiştir. Anılan birim deformasyonlar yapılan deneyler sonucu elde edilen aşağıdaki bağıntılarla hesaplanabilir (Kent vd., 1971; Park vd., 1982).



Şekil 2.4 Kuşatılmış beton için  $\sigma - \epsilon$  davranış modeli

$$\epsilon_{50u} = (3 + 0.29k_3f_{cd}) / (145k_3f_{cd} - 1000) \quad (2.9)$$

$$\epsilon_{50h} = 0.75\rho_h \sqrt{(R_h / s_h)} \quad (2.10)$$

$R_h$  ; dairesel kolonda yanıl donatı dış kenarlarından ölçülen beton çapı

$$\psi_c = \tan\theta_c / f_{cd} = (K - 0.5) / (\epsilon_{50u} + \epsilon_{50h} - 0.0022K) \quad (2.11)$$

Kuşatılmamış beton için (2.11) bağıntısı şöyle olur;

$$\psi = \tan\theta / f_{cd} = 0.5 / (\epsilon_{50u} - 0.0022) \quad (2.12)$$

Deformasyonların çok büyük olduğu evrede kuşatılmış ve kuşatılmamış betonların, sırayla  $0.2Kf_{cd}$  ve  $0.2f_{cd}$  gerilmelerini taşıyabileceği kabul edilebilir ve alçalan doğrular bu gerilmeler karşılığı  $\epsilon_{20uc}$  ve  $\epsilon_{20u}$  kısalmalarıyla sınırlandırılabilir. Bu kabullere göre kuşatılmış betonun davranışı aşağıdaki bağıntılarla tanımlanabilir (Gündüz, 1990a).

AB bölümü için ( $\epsilon_c \leq 0.0022K$ );

$$\sigma_c = Kf_{cd} [(2\epsilon_c / 0.0022K) - (\epsilon_c / 0.0022K)^2] \quad (2.13)$$

BC bölümü için ( $0.0022K < \epsilon_c \leq \epsilon_{20uc}$ );

$$\sigma_c = f_{cd} [ K - \psi_c ( \varepsilon_c / 0.0022K ) ] \quad (2.14)$$

Kuşatılmamış betonun davranışını tanımlayan bağıntılar da şöyle olur (Gündüz, 1990a);

AB' bölümü için (  $\varepsilon_c \leq 0.0022$  );

$$\sigma_c = k_3 f_{cd} [ ( 2\varepsilon_c / 0.0022 ) - ( \varepsilon_c / 0.0022 )^2 ] \quad (2.15)$$

B'C' bölümü için (  $0.0022 < \varepsilon_c \leq \varepsilon_{20u}$  );

$$\sigma_c = k_3 f_{cd} [ 1 - \psi ( \varepsilon_c / 0.0022 ) ] \quad (2.16)$$

Kuşatılmış kesitlerin tasarımında, çekirdek beton yüzeyinde oluşan etkili maksimum birim deformasyonun (  $\varepsilon_{ccu}$  ), bu yüzeydeki gerilmenin  $0.8Kf_{cd}$  değerine düştüğü zaman oluşan deformasyona eşit alınması uygun yaklaşım kabul edilebilir (Gündüz, 1991a).

$$\varepsilon_{ccu} = K [ ( 0.2 / \psi_c ) + 0.0022 ] \quad (2.17)$$

Kuşatılmamış kesitlere ilişkin etkili maksimum birim deformasyon (  $\varepsilon_{cu}$  ) için de aynı yaklaşımda bulunulabilir. Bu deformasyon, daha önce de belirtildiği gibi, üst sınırının 0.004'ü aşmaması koşuluyla, beton yüzeyindeki gerilmenin  $0.8f_{cd}$  değerine düştüğü zaman oluşan birim deformasyona (  $\varepsilon_{50u}$  ) eşit alınabilir (Gündüz, 1991a).

$$\varepsilon_{cu} = \varepsilon_{80u} = 0.2 / \psi + 0.0022 \quad (2.18)$$

Çeşitli betonlar için  $\gamma_{mc} = 1.5$  alınarak 2.18 bağıntısıyla  $\varepsilon_{cu}$  kısaltmaları hesaplandığında, Çizelge 2.1'de verilen CEB / FIP MC 90 değerlerine eşit ya da daha güvenli yönde sonuçlar elde edilir (Gündüz, 1991a). Beton dayanımı büyüdükçe, kuşatılmamış betonun maksimum gerilmeden sonraki davranışını ifade eden doğru dikleşir;  $\varepsilon_{50u}$  birim deformasyonu küçülür.

Belirli bir beton dayanımı ve  $R_h / s_h$  oranı için yanal donatı yüzdesi (  $\rho_h$  ) değişken alınarak irdeleme yapılırsa; halka donatı yüzdesi büyüdükçe kuşatılmış ve kuşatılmamış betona ilişkin  $\sigma - \varepsilon$  davranış modellerinde maksimum gerilmeden sonraki davranışını betimleyen durumların maksimum gerilmeden sonraki davranışını betimleyen doğrular arasındaki mesafenin küçüldüğü görülür. Dolayısıyla yüzde büyüdükçe  $\varepsilon_{50h}$  süneklik artımları küçülür, yanal donatının etkinliği azalır. Bu sebeple yanal donatı yüzdesinin %3 ile sınırlandırılması uygundur (Kent vd., 1971; Gündüz, 1991a).

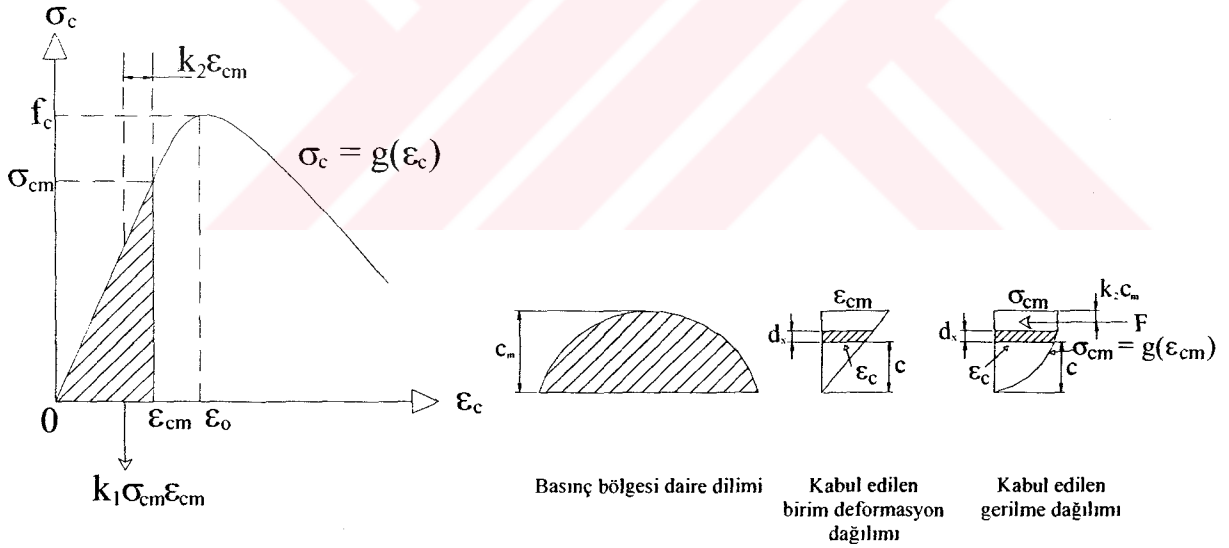
### 2.2.1.3 Beton basınç bölgesi gerilme dağılımı parametrelerinin belirlenmesi

Basit ya da bileşik eğilme etkisinde kalan bir kesitte beton basınç gerilmelerini hesaplayabilmek için iki parametreye ihtiyaç vardır. Bunlar ortalama gerilme ile maksimum gerilme arasındaki oranı ifade eden  $k_1$ , ve beton basınç bölgesi bileşkesi derinliği ile tarafsız eksen derinliği arasındaki oranı gösteren  $k_2$  katsayılarıdır.

Betondaki gerilmeler  $\sigma_c = g(\epsilon_c)$  gibi bir fonksiyonla ifade edilirse, belirli bir en üst beton basınç lifi birim deformasyonu ( $\epsilon_{cm}$ ) için bu katsayılar aşağıdaki bağıntılarla hesaplanabilir (Şekil 2.5) (Gündüz, 1990a).

$$k_1 = \left[ \int_0^{\epsilon_{cm}} g(\epsilon_c) d\epsilon_c \right] / \sigma_{cm} \epsilon_{cm} \quad (2.19)$$

$$k_2 = 1 - \left\{ \left[ \int_0^{\epsilon_{cm}} \epsilon_c g(\epsilon_c) d\epsilon_c \right] / \left[ \epsilon_{cm} \int_0^{\epsilon_{cm}} g(\epsilon_c) d\epsilon_c \right] \right\} \quad (2.20)$$

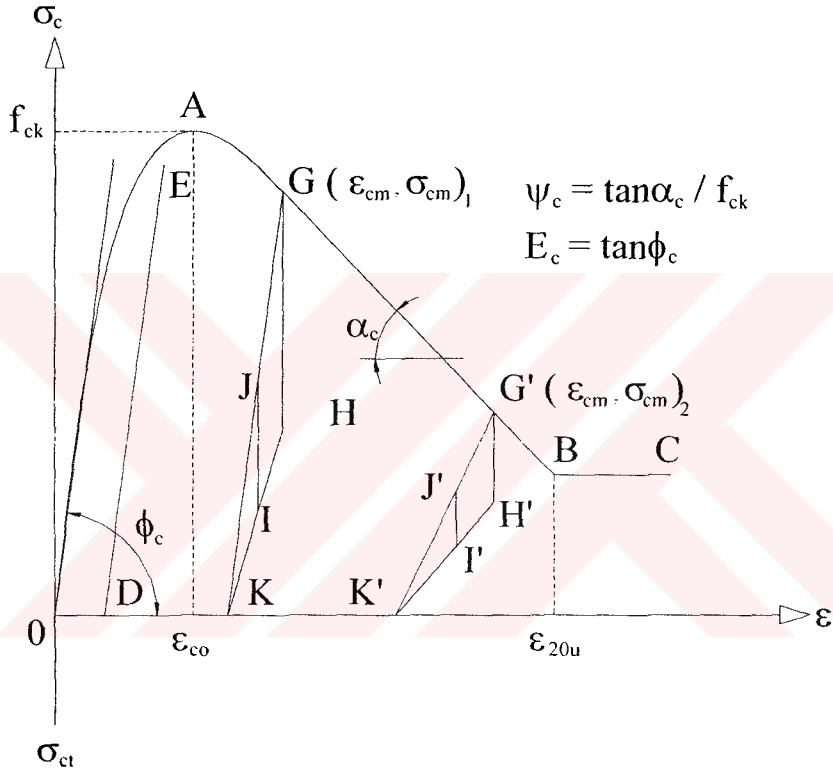


Şekil 2.5 Beton basınç bölgesi gerilme dağılımı parametreleri

(2.19) ve (2.20) bağıntıları kullanılarak kuşatılmamış ya da kuşatılmış yapısal elemanlarda, herhangi bir yük aşaması için beton basınç bölgesi gerilme dağılımı parametreleri hesaplanabilir (Gündüz, 1986a).

## 2.2.2 Çevrimsel yükler etkisinde kalan beton için gerilme – birim deformasyon ilişkileri

Çevrimsel (tekrarlanan ve tersinen, yön değiştiren) yükler altında kalan betonun gerilme – birim deformasyon davranışıyla ilgili olarak önerilen birçok model mevcuttur (1964; Park vd., 1972; Darwin vd., 1974; Park vd., 1975; Thompson vd., 1980; CEB, 1983b; CEB, 1991d). Bu bölümde söz konusu modellerden Thompson ve Park tarafından önerilen gerilme – birim deformasyon davranış modeli tanıtılacaktır (Thompson vd., 1980). Bu model diğerlerine göre daha az karmaşıktır ve kuşatma etkileri de göz önüne alınmıştır.



Şekil 2.6 Çevrimsel yük etkisinde kalan beton için gerilme – birim deformasyon davranış modeli (Thompson vd., 1980)

Modelde basınç altındaki betona ilişkin zarf eğrisi, maksimum gerilmeye kadar bir parabol ve sonra iki ayrı doğru olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır.

Zarf eğrisinin fonksiyonları ise aşağıdaki gibidir.

$\epsilon_c \leq \epsilon_{co}$  durumunda,

$$\sigma_c = f_{ck} [(2 \epsilon_c / \epsilon_{co}) - (\epsilon_c / \epsilon_{co})^2] \quad (2.21)$$

$\epsilon_{co} < \epsilon_c \leq \epsilon_{20u}$  durumunda,

$$\sigma_c = f_{ck} [ 1 - \psi_c ( \epsilon_c - \epsilon_{co} ) ] \quad (2.22)$$

$$\psi_c = 0.5 / \{ [( 3 + 0.29 f_{ck} ) / ( 145 - 1000f_{ck} )] + 0.75 \rho_h \sqrt{(R_h / s_h)} - \epsilon_{co} \} \quad (2.23)$$

$\epsilon_c > \epsilon_{20u}$  durumunda ise,

$$\sigma_c = 0.2f_{ck} \quad (2.24)$$

Modelde çekme etkisinde kalan beton için gerilme – birim deformasyon ilişkisi de aşağıdaki bağıntıyla tanımlanmıştır.

$$\sigma_{ct} = ( 2 f_{rk} / \epsilon_{co} ) \epsilon_c \quad (2.25)$$

$f_{rk} = 0.625 \sqrt{f_{ck}}$  MPa; betonun eğilmede çekme dayanımı (kırılma modülü). Çevrimsel yüklemeye ilişkin yükleme ve boşalma eğrileri Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Maksimum birim deformasyonun  $\epsilon_{cm} < \epsilon_{co}$  olması durumunda, boşalma doğrusu gerilme – birim deformasyon ilişkisinin orijindeki teğetine paralel olur ve yeniden yüklemeye aynı yörüngeyi izler (DE doğrusu).  $\epsilon_{cm} > \epsilon_{co}$  ise, boşalma eğrisi iki doğrulu olur. Eğrinin ilk bölümü (GH doğrusu), birim deformasyon artmadan  $0.5 E_c F_c$  olur ve  $F_c$  katsayısı şu bağıntıyla belirlenir;

$$F_c = 0.8 - [ 0.7 ( \epsilon_{cm} - \epsilon_{co} ) / ( \epsilon_{20u} - \epsilon_{co} ) ] \quad (2.26)$$

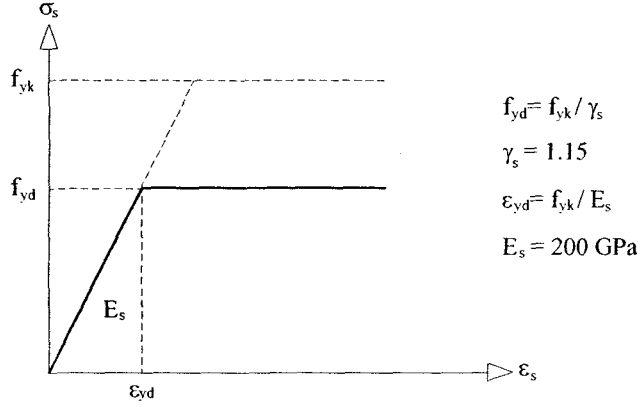
$F_c$  katsayısının değeri  $\epsilon_{cm} = \epsilon_{co}$  için 0.8 (maksimum),  $\epsilon_{cm} \geq \epsilon_{20u}$  için 0.1 (minimum) olur. sıfır gerilmeye ulaşılmadan yeniden yükleme oluşması halinde, deformasyonda bir artma olmadan gerilme artmaya başlar. Sonra zarf eğrisine dek, yüklemenin sıfır gerilmeden başlaması durumuna ilişkin doğrusal ve eğimi  $E_c F_c$  olan yörünge izlenir (IJG yörüngesi). Sıfır gerilmeye ulaşıldığı zaman (K noktası) beton çatlamamış ise beton, sınır değeri (2.25) bağıntısıyla belirli bir çekme gerilmesini taşıyabilir. Bu gerilme değerine ulaşıldıktan sonra gerilme sıfıra düşer.

### 2.3 Donatı Çeliği İçin Davranış Modelleri

Monotonik ve çevrimsel (tekrarlanan ve yön değiştiren) aksenal yüklere göre betonarme kolonlardaki donatıların davranışını inceleyen pek çok çalışma yapılmıştır. Bu bölümde donatı çeliği için iki davranış modeli incelenecektir.

### 2.3.1 Monotonik yük etkisinde kalan çelik için gerilme – birim deformasyon ilişkileri

Uygulamada Şekil 2.7’de gösterildiği gibi monotonik yükler için kabul edilen modelde elastik davranış yükselen bir doğru ile plastik davranış ise yatay bir doğru ile gösterilmiştir.

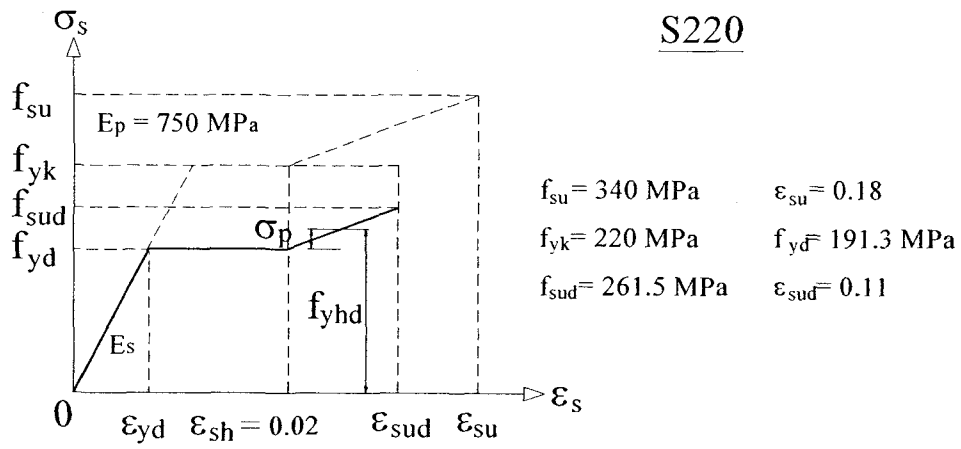


Şekil 2.7 Monotonik yük etkisinde kalan çeliğin pekleşmesiz  $\sigma - \epsilon$  davranışını betimleyen model (CEB, 1978; CEB, 1991a)

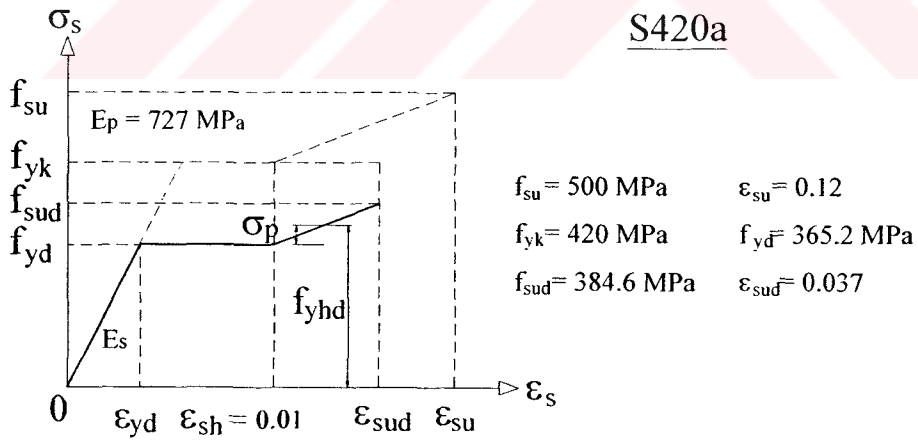
Bu davranış modelinde pekleşme nedeniyle oluşan dayanım artışı göz önüne alınmamıştır. Bu kabul daha önce de belirtildiği gibi dayanım açısından ihtiyatlı bir yaklaşımdır. Ancak limit tasarımda pekleşme etkisinin dikkate alınmaması kesit son limit eğriliklerine bağlı olarak kesit duktilitesinin ve dönme kapasitelerinin olduğundan büyük tahmin edilmesine neden olur. Bu da depreme dayanıklı yapı tasarımının güvenilirliğinin azalmasına neden olur.

Bu sebeplerle pekleşmenin de göz önüne alındığı bir davranış modeli Şekil 2.8’ de gösterilmiştir. Buna göre model elastik davranışı gösteren yükselen bir doğru, plastik davranışı gösteren yatay bir doğru ve yine pekleşmeyi ifade eden yükselen bir doğruyla temsil edilmiştir. Anılan modelde  $\epsilon_{sh}$  pekleşme sınırından daha büyük birim deformasyonlar söz konusu olduğu zaman akma mukavemeti  $\sigma_p$  gerilmesi kadar artarak  $f_{yhd} = f_{yd} + \sigma_p$  değerine ulaşır.

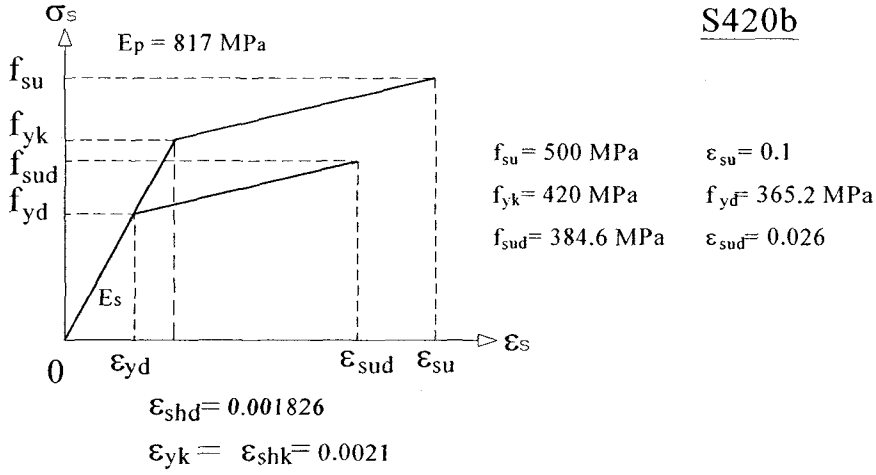




(a)



(b)



(c)

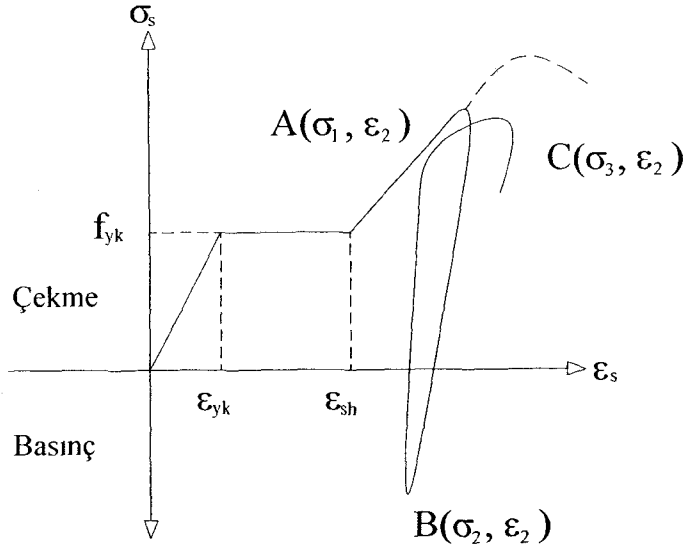
Şekil 2.9 Çeşitli donatı çelikleri için pekleşmeli davranış modelleri (Gündüz vd., 1988a, 1990b)

### 2.3.2 Çevrimsel yük etkisinde kalan çelik için gerilme - birim deformasyon ilişkileri

Çevrimsel yük etkisinde kalan çelik için çok sayıda gerilme – birim deformasyon modeli geliştirilmiştir. Bu bölümde (Aktan vd., 1973; CEB, 1983b) yayınlarında geliştirilen bir model tanıtılacaktır.

Deprem tipi yön değiştiren yüklerin etkisinde elastik sınırın ötesine geçme söz konusu olduğunda, gerilme – birim deformasyon eksen düzleminde çevrimsel davranış görülür. Geri yükleme sırasında, başlangıçtaki akma gerilmesinin çok altında, davranış doğrusallığını bozar. Bu durum “Bauschinger olayı” olarak bilinir (Celep ve Kumbasar, 1998).

Bauschinger olayı sebebiyle yön değiştiren yükler altında kalan çeliğin davranışının tahmin edilebilmesi, yük geçmişinin belirlenmesine bağlıdır. Bu modelde de pekleşme ve Bauschinger etkisi göz önüne alınmış, gerilme – şekil değiştirme davranışının çeliğin monotonik yüklemeyle ilgili özelliklerine ve ona daha önce uygulanan yüklere bağlı değiştiği kabul edilmiştir. Anılan özelliklere ve yük geçmişine bağlı davranışı betimleyen zarf eğrisi monotonik yük etkisinde kalan çeliğin  $\sigma - \epsilon$  ilişkisine benzemektedir.



Şekil 2.10 Çevrimsel yük etkisinde kalan çelik için  $\sigma - \epsilon$  davranış modeli (Aktan vd., 1973; CEB, 1983b)

Model üç bölümden oluşmaktadır:

- (i) Doğrusal yükselen elastik bölüm :  $\epsilon_s < \epsilon_{yk}$  için  $\sigma_s = \epsilon_s E_p$
- (ii) Akmayı izleyen yatay bölüm :  $\epsilon_{yk} < \epsilon_s < \epsilon_{sh}$  için  $\sigma_s = f_{yk}$ ;  $\epsilon_{sh} = 4.2447 \epsilon_{yk}$
- (iii) Pekleşme bölümü. Bu bölümde, yön değiştiren iki gerilme arasındaki her yarım çevrim (AB ya da BC gibi) için  $\sigma - \epsilon$  davranışı bir Ramberg – Osgood (Ramberg vd., 1943; CEB, 1983b) fonksiyonu tanımlanmakta ve fonksiyona ilişkin parametreler, deneysel verilere en küçük kareler yöntemi uygulanarak iteratif yolla belirlenmektedir.

### 3. DAİRESEL KESİTLİ BETONARME KOLONLARIN BOYUTLANDIRILMASI VE ÇÖZÜMLENMESİ

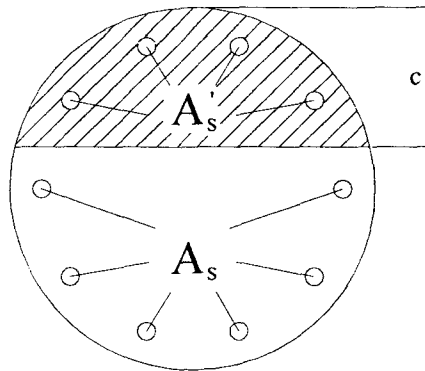
#### 3.1 Giriş

Bu bölümde kuşatma ve pekleşme etkileri dikkate alınarak bileşik eğilme etkisinde kalan dairesel kesitli betonarme kısa kolonların son limite göre tasarımı ile akma limitine göre çözümlenmesi için geliştirilen algoritmalar tanıtılacaktır. Algoritmalarda kuşatılmış beton ve pekleşmeli çelik için ikinci bölümde önerilen  $\sigma - \varepsilon$  davranış modelleri esas alınacaktır.

Dairesel kesitli kolonlarda Şekil 3.1'de görüldüğü gibi tarafsız eksen derinliği  $c$ , basınç ve çekme bölgesindeki donatı miktarına bağlı değişir. Bu nedenle dairesel kesitli kolonların analizinde,

- Tarafsız eksen derinliği için tahmini bir değer alıp çözümlenelerde iterasyondan faydalanılması,
- Kolon boyuna donatı sayısının çözüm öncesinde belirlenip sabit bir değer olarak alınması

uygun görülmüştür. Bu nedenle çalışmada önerilen algoritmalar sadece boyuna donatı sayısı 6, 8, 10, 12 ve 14 olan dairesel kolonlar için geliştirilmiştir. Anılan algoritmalar farklı boyuna donatı sayısına sahip dairesel kolonlar için de benzer şekilde oluşturulabilir.

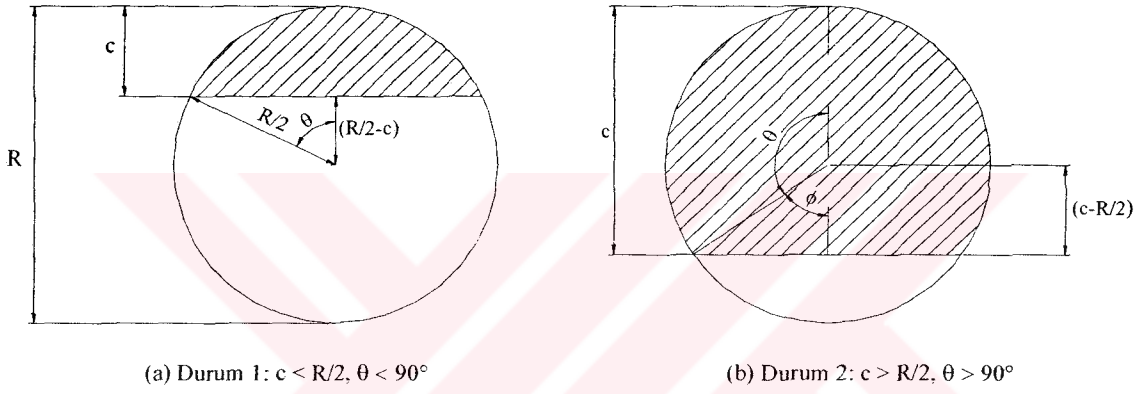


Şekil 3.1 Dairesel kesitli kolonlarda basınç bölgesi

### 3.2 Dairesel Kesitli Kolonlarda Parametrelerin Belirlenmesi

#### 3.2.1 Basınç bölgesi parametrelerinin belirlenmesi

Dairesel kesitli kolonlarda basınç bölgesinin geometrik şekli daire dilimi şeklinde olup, basınç bölgesinin alanı tarafsız eksen derinliğine bağlı değişmektedir. Bu nedenle beton basınç gerilme dağılımını belirleyen parametrelerin belirlenmesinde, basınç bölgesi alanının hesaplanması için özel bir yöntem gerekmektedir.



Şekil 3.2 Dairesel dilimler (Mac Gregor, 1997)

Dairesel kesitli bir kolonda tarafsız eksen derinliğinin kolon kesit çapının yarısından küçük olduğu durumda ( $c < R/2, \theta < 90^\circ$ )(Şekil 3.2a) beton basınç bölgesi daire diliminin alanı aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir (MacGregor, 1997);

$$A_{cp} = 0.25 R^2 (\theta - \sin\theta \cos\theta) \quad (3.1)$$

$A_{cp}$  ; Beton basınç bölgesi daire diliminin alanı

$R$  ; kolon çapı

$\theta$  ; Şekil 3.2'de görülen açı ( radyan ). Bu açı için de ;

$$\theta = \cos^{-1} \{ [ ( R / 2 ) - c ] / ( R / 2 ) \} \quad (3.2)$$

bağıntısını kullanabiliriz.

$c$  ; tarafsız eksen derinliği.

Burada dikkat edilmesi gereken nokta; tarafsız eksen derinliğinin kolon kesit çapının yarısını geçmesi durumunda ( $c > R/2$ ,  $\theta > 90$ ),  $\theta$  bağıntısının değişerek Şekil 3.2b'de görülen  $\phi$  açısına bağlı olarak ifade edilmesidir.

$$\phi = \cos^{-1} \{ [c - (R/2)] / (R/2) \} \quad (3.3)$$

$$\theta = 180 - \phi \quad (3.4)$$

### 3.2.2 Beton basınç bölgesi gerilme dağılımı parametreleri

Kuşatılmamış ve kuşatılmış kesitlerin tasarımı için beton basınç gerilme dağılımını belirleyen  $k_1$  ve  $k_2$  parametrelerinin duyarlı yaklaşımla, ilgili kesit durumuna ve ilgili beton  $\sigma - \varepsilon$  davranış modeline göre (2.19) ve (2.20) bağıntılarıyla hesaplanabileceği ikinci bölümde açıklanmıştır. Bu bölümde  $k_1$  ve  $k_2$  parametrelerini veren (2.19) ve (2.20) bağıntılarıyla belirli integraller çözülerek kuşatılmamış ve kuşatılmış durumlar için ayrı ayrı kullanmaya elverişli bağıntılar türetilecektir.

Kuşatılmamış durum için  $k_1$  ve  $k_2$  parametreleri; etkili maksimum birim deformasyon ( $\varepsilon_{cu}$ ), beton davranış modeli grafiği alçalan bölge eğimine ( $\psi$ ) bağlı olarak çözülmüş, sonuçta aşağıdaki bağıntılar elde edilmiştir. Maksimum gerilmedeki birim deformasyon ( $\varepsilon_{co}$ ), 0.0022 kabul edilmiştir.

$$k_1 = ( \varepsilon_{cu} - 0.000733 - 0.5 \psi \varepsilon_{cu}^2 + 0.0022 \psi \varepsilon_{cu} - 0.00000242 \psi ) / \varepsilon_{cu} \quad (3.5)$$

$$k_2 = 1 - \{ ( 0.5 \varepsilon_{cu}^2 - 0.333 \psi \varepsilon_{cu}^3 + 0.001 \psi \varepsilon_{cu}^2 - 0.0000000018 \psi - 0.000000403 ) / [ \varepsilon_{cu} ( \varepsilon_{cu} - 0.000733 - 0.5 \psi \varepsilon_{cu}^2 + 0.0022 \psi \varepsilon_{cu} - 0.00000242 \psi ) ] \} \quad (3.6)$$

Kuşatılmış durum için ise  $k_{1c}$  ve  $k_{2c}$  parametreleri; yine aynı bağıntılar kullanılarak kuşatma katsayısı ( $K$ ), etkili maksimum birim deformasyon ( $\varepsilon_{ccu}$ ) ve kuşatılmış beton davranış modeli grafiği alçalan bölge eğimine ( $\psi_c$ ) bağlı olarak çözülmüş ve;

$$k_{1c} = ( 0.0022 K^2 - 0.000733 K^2 + K \varepsilon_{ccu} - 0.5 \psi_c \varepsilon_{ccu}^2 + 0.0022 \psi_c K \varepsilon_{ccu} - 0.0022 K^2 - 0.00000242 \psi_c K^2 ) / ( K \varepsilon_{ccu} ) \quad (3.7)$$

$$k_{2c} = 1 - \{ (0.5 K f_{cd} \varepsilon_{ccu}^2 - 0.000000403 f_{cd} K^3 - 0.333 f_{cd} \psi_c \varepsilon_{ccu}^3 + 0.0011 K f_{cd} \psi_c \varepsilon_{ccu}^2 + 0.0000000035 f_{cd} \psi_c K^3 - 0.0000000053 f_{cd} \psi_c K^3) / [\varepsilon_{ccu} f_{cd} (0.0022 K^2 - 0.000733 K^2 + K \varepsilon_{ccu} - 0.5 \psi_c \varepsilon_{ccu}^2 + 0.0022 \psi_c K \varepsilon_{ccu} - 0.0022 K^2 - 0.00000242 \psi_c K^2)] \} \quad (3.8)$$

bağıntıları elde edilmiştir.

### 3.2.3 Donatılardaki gerilmeler

Çekme ve basınç bölgesindeki donatılarda oluşan  $\sigma_{si}$  gerilmeleri,  $\varepsilon_{si}$  birim deformasyonu değerine göre hesaplanır.  $\varepsilon_{si}$  birim deformasyonu ise kuşatılmamış durumda  $c_u$  ve  $\varepsilon_{cu}$ , kuşatılmış durumda ise  $c_{uc}$  ve  $\varepsilon_{ccu}$  değerlerinin fonksiyonudur. Karşılıklı etki diyagramlarında benzer üçgenler yardımıyla bu birim deformasyonlar hesaplanır. Her donatı düzeni için donatı konumları farklı olacağından birim deformasyon bağıntıları da farklı olacaktır. Donatının basınç bölgesinde bulunması durumunda  $\varepsilon_{si}$  birim deformasyonunun ve dolayısıyla  $\sigma_{si}$  gerilmesinin işareti (+) olur ve Şekil 2.8'deki davranış modeli esas alınarak ilgili duruma göre aşağıdaki gerilme bağıntıları kullanılır.

$$\bullet \quad \varepsilon_{si} < \varepsilon_{yd} \Rightarrow \sigma_{si} = \varepsilon_{si} E_s \quad (3.9)$$

$$\bullet \quad \varepsilon_{yd} < \varepsilon_{si} < \varepsilon_{sh} \Rightarrow \sigma_{si} = f_{yd} \quad (3.10)$$

$$\bullet \quad \varepsilon_{sh} < \varepsilon_{si} < \varepsilon_{sud} \Rightarrow \sigma_{si} = f_{yd} + [E_p (\varepsilon_{si} - \varepsilon_{sh})] \quad (3.11)$$

Donatı çekme bölgesinde ise  $\varepsilon_{si}$  birim deformasyonu ve dolayısıyla  $\sigma_{si}$  gerilmesinin işareti (-) olur ve yine benzer şekilde aşağıdaki gerilme bağıntıları kullanılır.

$$\bullet \quad |\varepsilon_{si}| < \varepsilon_{yd} \Rightarrow \sigma_{si} = \varepsilon_{si} E_s \quad (3.12)$$

$$\bullet \quad \varepsilon_{yd} < |\varepsilon_{si}| < \varepsilon_{sh} \Rightarrow \sigma_{si} = -f_{yd} \quad (3.13)$$

$$\bullet \quad \varepsilon_{sh} < |\varepsilon_{si}| < \varepsilon_{sud} \Rightarrow \sigma_{si} = -f_{yd} + [E_p (\varepsilon_{si} + \varepsilon_{sh})] \quad (3.14)$$

### 3.2.4 $z_s$ parametresi

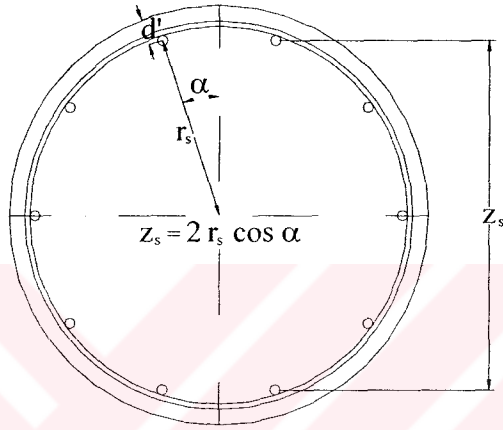
Şekil 3.3' te görülen en alt ve en üst boyuna donatıların ağırlık merkezleri arası mesafeyi belirten  $z_s$  parametresi her donatı düzeni için değişkendir. Bu nedenle her donatı düzeni için ayrı bir  $z_s$  parametresi tanımlanmalıdır. (3.16) bağıntısı ile ifade edilen  $z_s$  parametresi boyuna

donatı ağırlık merkezleri ile kolon kesit merkezi arasındaki mesafeyi gösteren  $r_s$  ile  $\alpha$  açısının fonksiyonu şeklinde türetilmiştir.

$$r_s = 0.5 R - d' \quad (3.15)$$

$$z_s = 2 r_s \cos \alpha \quad (3.16)$$

Şekil 3.3'te  $r_s$ ,  $z_s$  ve  $d'$  parametreleri ile  $\alpha$  açısı görülmektedir.



Şekil 3.3 Geometrik parametreler

### 3.3 Son Limite Göre Tasarım

Bu bölümde  $N_d$ ,  $M_d$  ve dolayısıyla  $e = M_d / N_d$  değerleri belirli, kuşatılmamış ve kuşatılmış kolonların tasarımı için geliştirilen algoritmalar ayrı ayrı tanıtılacaktır. Çözümüne birim deformasyonların uygunluğu, kuvvet ve moment denge denklemlerinin oluşturulması ile ulaşılabacaktır.

#### 3.3.1 Kuşatılmamış durum

Yanal donatı etkisinin dikkate alınmadığı kuşatılmamış kolonlarda beton basınç bölgesi Şekil 3.4'te taranarak gösterilmiştir.  $\theta$  açısı ve buna bağlı olarak  $F_p$  beton basınç kuvveti aşağıdaki bağıntılarla hesaplanabilir.

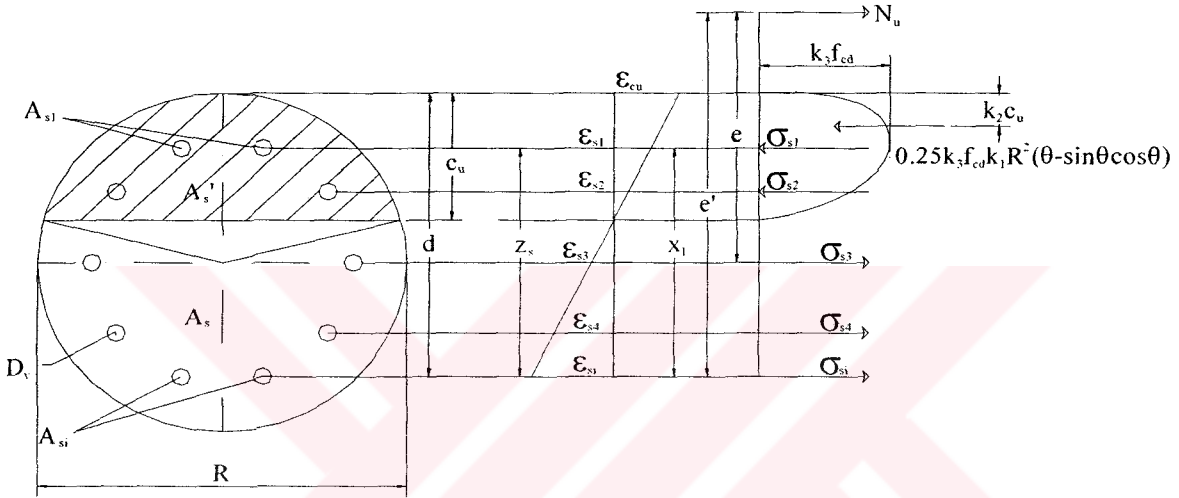
$$c_u \leq 0.5 R \Rightarrow \theta = \text{Arccos} [(0.5 R - c_u) / (0.5 R)] \quad (3.17a)$$

$$c_u > 0.5 R \Rightarrow \theta = \pi - \text{Arccos} [(c_u - 0.5 R) / (0.5 R)] \quad (3.17b)$$

$$F_p = 0.25 k_3 f_{cd} k_1 R^2 (\theta - \sin\theta\cos\theta) \quad (3.18)$$

$F_p$  ; beton basınç kuvveti

$k_3$  katsayısı 0.85 ya da 1 alınabilir.



Şekil 3.4 Kuşatılmamış durum için etkileşim diyagramları

Çekme ve basınç bölgesindeki donatılarda oluşan kuvvetler ise aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$F_s = \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} \quad (3.19)$$

(3.19) bağıntısı genel bir ifade olup  $\sigma_{si}$  ve  $A_{si}$  sırasıyla herbir boyuna donatıda oluşan gerilmeyi ve donatı alanını göstermektedir. Dolayısıyla beton ve donatılarda oluşan kuvvetlerin toplamı;

$$N_u = F_p + F_s \quad (3.20)$$

şeklinde yazılabilir.  $F_p$  ve  $F_s$  kuvvetlerinin değeri yerine yazılırsa;

$$N_u = 0.25 k_3 f_{cd} k_1 R^2 ( \theta - \sin\theta\cos\theta ) + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} \quad (3.21)$$

şeklinde kuvvet denge denklemi elde edilir.

$A_{si}$  ise boyuna donatı çapına ( $D_{vi}$ ) bağlı olarak ifade edilen her bir boyuna donatının enkesit alanıdır.

$$A_{si} = 0.25 \pi D_{vi}^2 \quad (3.22)$$

(3.21) bağıntısındaki basınç ve çekme kuvvetlerinin en alt donatı ağırlık merkezine göre momenti alınır (Şekil 3.4);

$$M_u = 0.25 k_3 f_{cd} k_1 R^2 ( \theta - \sin\theta\cos\theta ) ( d - k_2 c_u ) + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} x_i \quad (3.23)$$

moment denge denklemi elde edilir.

$d$  ; çekme donatısı ağırlık merkezinin en dış beton basınç lifine olan uzaklığı

$x_i$  ; her bir boyuna donatının ağırlık merkezi ile en alt donatı ağırlık merkezi arasındaki mesafe.

Donatılardaki gerilmeleri belirleyebilmek için birim deformasyonları hesaplamak gerekir. Bunun için kolon üzerinde buldukları koordinatlara göre her bir donatı için etkili maksimum birim deformasyon ( $\epsilon_{cu}$ ) ve kabul edilen tarafsız eksen derinliğinden ( $c_u$ ) faydalanarak benzer üçgenler yardımıyla birim deformasyonlar hesaplanır. Bu işlemler her iterasyonda tekrarlanmalıdır, çünkü daha önce bahsedildiği gibi tarafsız eksen derinliği değiştikçe donatılardaki birim deformasyonlar ve buna bağlı olarak gerilmeler de değişecektir.

(3.23) bağıntısındaki  $M_u$  değeri  $N_u$  cinsinden yazılırsa aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$N_u ( e + 0.5 z_s ) = 0.25 k_3 f_{cd} k_1 R^2 ( \theta - \sin\theta\cos\theta ) ( d - k_2 c_u ) + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} x_i \quad (3.24)$$

(3.21) bağıntısındaki  $N_u$  yerine  $N_d$  yazılarak  $D_{vi}^2$  çekilir ve bu değer (3.24) bağıntısında yerine yazılarak  $N_u$  hesaplanır. İşte iterasyonun ana ilkesi (3.24) bağıntısı ile hesaplanan  $N_u$  değerinin tasarım normal kuvvetine ( $N_d$ ) eşit olana dek tarafsız eksen derinliğinin ( $c_u$ ) değiştirilerek işlemlerin tekrarlanmasıdır.  $N_u$  ve  $N_d$  değerlerinin eşit olduğu andaki  $D_{vi}$  çapı sonuç boyuna donatı çapıdır ve  $D_v$  olarak adlandırılabilir. Buna göre toplam boyuna donatı alanı  $A_{sv} = n A_{si}$  olur.

Son limite ilişkin eğrilik ( $\phi_u$ ) aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir;

$$\phi_u = \varepsilon_{cu} / c_u \quad (3.25)$$

### Algoritma

$N_d$ ,  $M_d$  ve dolayısıyla  $e = M_d / N_d$  değerleri belirli bir kuşatılmamış kolon şöyle tasarlanabilir:

- Malzeme ( $f_{ck}$ ,  $f_{yk}$ ), kolon çapı ( $R$ ), paspayı ( $d'$ ), donatı sayısı ( $n$ ) ve  $k_3$  katsayısı belirlenir.
- $e$ ,  $r_s$ ,  $f_{cd}$  ve  $f_{yd}$  hesaplanır.
- Donatı çeliği cinsine göre  $E_p$  (Plastiklik modülü),  $\varepsilon_{yd}$ ,  $\varepsilon_{sh}$  ve  $\varepsilon_{sud}$  belirlenir.
- $\varepsilon_{50u}$ ,  $\psi$ ,  $k_1$  ve  $k_2$  hesaplanır ve  $\varepsilon_{cu}$  belirlenir.
- Donatı düzenine ( $n$ ) göre  $z_s$  hesaplanır.  $c_u$  için tahmini bir değer alınır. Her bir donatı için birim deformasyonlar hesaplanır.
- $c_u$ ' nun  $R/2$ 'den küçük olup olmadığına göre uygun bağıntı seçilerek  $\theta$  açısı hesaplanır.
- Bulunan birim deformasyon değerlerine göre donatılardaki gerilmeler hesaplanır.
- (3.21) bağıntısında değerler yerine konularak geçici donatı çapı bulunur.
- Bu çap değeri (3.24) bağıntısında yerine konularak  $N_u$  değeri bulunur.
- $N_u$  ve  $N_d$  değerleri karşılaştırılır. Bu değerler eşit değilse yeni bir  $c_u$  tahmin edilerek bu aşamadan sonraki işlemler  $N_u$  ve  $N_d$  eşitleninceye dek tekrarlanır.
- $N_u$  ve  $N_d$ 'nin birbirine eşit olduğu andaki  $D_v$  donatı çapına bağlı olarak toplam boyuna donatı alanı  $A_{sv} = n A_{si}$  hesaplanır.
- Son limite ilişkin eğrilik (3.25) bağıntısıyla hesaplanır.

### 3.3.2 Kuşatılmış durum

Kuşatılmış durumda  $R_h$  çekirdek bölge çapı için;

$$R_h = 0.85 R \quad (3.26)$$

bağıntısı kullanılarak beton örtüsü, kolon çapına bağlı olarak ifade edilmiştir (Ersoy, 1985b)

Halka donatı çapına  $D_h$  dersek halka donatı enkesit alanı;

$$A_{sh} = 0.25 \pi D_h^2 \quad (3.27)$$

olur.

Halka donatı eksenleri arasındaki çap ise aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$R'_h = R_h - D_h \quad (3.28)$$

Kuşatılmış bir kesitte basınç bölgesi, halka donatı ile kuşatılmış çekirdek betona ilişkin basınç bölgesi dilimi ile halka donatı dışında kalan kuşatılmamış örtü betona ait basınç bölgesi dilimlerinin toplamı şeklinde ifade edilecektir. Örtü beton tarafsız eksen derinliği ( $c_u$ ), kuşatılmış çekirdek beton tarafsız eksen derinliğinin ( $c_{uc}$ ) fonksiyonu şeklinde yazılabilir.

$$c_u = \varepsilon_{cu} c_{uc} / \varepsilon_{ccu} \quad (3.29)$$

(3.29) bağıntısında  $\varepsilon_{cu}$  ve  $\varepsilon_{ccu}$ , sırasıyla kuşatılmamış örtü betonu ve çekirdek betona ilişkin etkili maksimum birim deformasyonları göstermektedir (Şekil 3.5).

Kuşatılmamış örtü beton ve kuşatılmış çekirdek betona ait  $\theta$  ve  $\theta_c$  açıları aşağıdaki bağıntılarla hesaplanabilir.

$$c_{uc} \leq 0.5 R \Rightarrow \theta = \text{Arccos} [(0.5 R_h - c_{uc} + c_u) / (0.5 R_h)] \quad (3.30a)$$

$$\theta_c = \text{Arccos} [(0.5 R_h - c_{uc}) / (0.5 R_h)] \quad (3.30b)$$

$$c_{uc} > 0.5 R \Rightarrow \theta = \pi - \text{Arccos} [(c_u - c_{uc} + 0.5 R_h) / (0.5 R_h)] \quad (3.30c)$$

$$\theta_c = \pi - \text{Arccos} [(c_{uc} - 0.5 R_h) / (0.5 R_h)] \quad (3.30d)$$

Bu çalışmada beton örtüsündeki basınç bölgesi de bir daire dilimi olarak düşünülmüş ve alanı;

$$A_{shell} = 2 \frac{\hat{W}}{4} (R^2 - R_h^2) (\theta_c - \theta) \frac{1}{2\hat{W}}$$

bağıntısında gerekli kısaltmalar yapılarak,

$$A_{shell} = 0.25 (R^2 - R_h^2) (\theta_c - \theta) \quad (3.31)$$

şeklinde ifade edilmiştir. (3.31) bağıntısında kolon kesit alanından çekirdek bölge alanı çıkarılarak beton örtüsü alanı bulunmuş, bu alandan da  $\theta_c$  ve  $\theta$  (radyan) açılarına bağlı olarak ifade edilerek basınç bölgesi alanı elde edilmiştir.

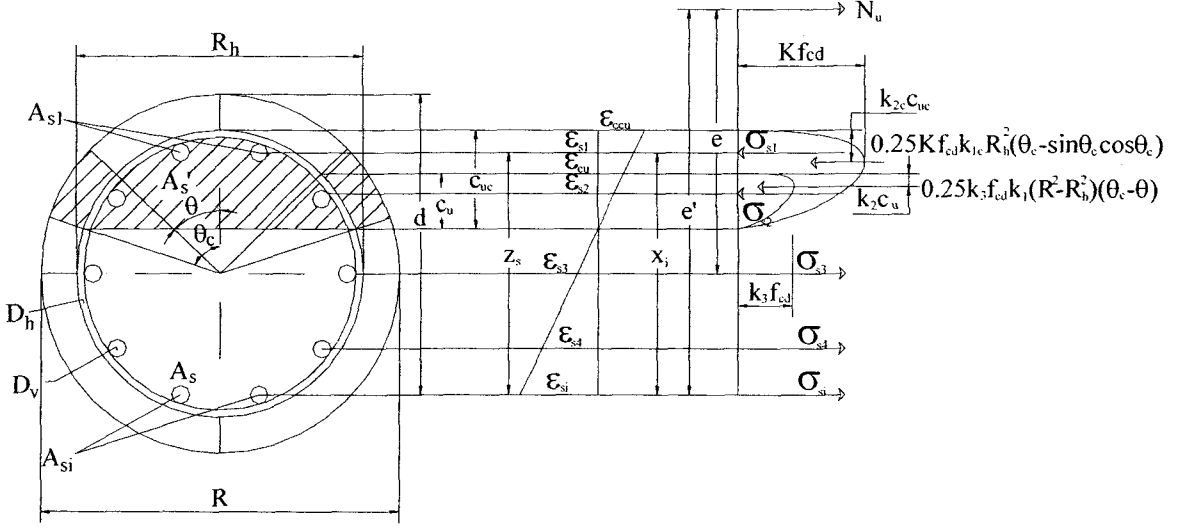
Beton örtüsündeki basınç kuvvetini aşağıdaki bağıntıyla gösterebiliriz.

$$F_{shell} = 0.25 k_3 f_{cd} k_1 (R^2 - R_h^2) (\theta_c - \theta) \quad (3.32)$$

Çekirdek bölge beton basınç kuvveti ise (3.1) bağıntısından;

$$F_{core} = 0.25 K f_{cd} k_{1c} R_h^2 (\theta_c - \sin \theta_c \cos \theta_c) \quad (3.33)$$

olarak bulunur.



Şekil 3.5 Kuşatılmış durum için etkileşim diyagramları

Basınç ve çekme bölgesindeki donatılarda oluşan kuvvetler kuşatılmamış durumda olduğu gibi (3.19) bağıntısı ile hesaplanır. (3.32) ve (3.33) bağıntıları ile belirli  $F_{shell}$  ve  $F_{core}$  beton basınç kuvvetleri ile (3.19) bağıntısı ile belirli  $F_s$  donatılarda oluşan kuvvetler toplanarak kuşatılmış durum için genel kuvvet denge denklemi elde edilir.

$$N_u = F_{core} + F_{shell} + F_s \quad (3.34)$$

$$N_u = [0.25 K f_{cd} k_{1c} R_h^2 (\theta_c - \sin \theta_c \cos \theta_c)] + [0.25 k_3 f_{cd} k_1 (R^2 - R_h^2) (\theta_c - \theta)] + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} \quad (3.35)$$

(3.35) bağıntısındaki basınç ve çekme kuvvetlerinin en alt donatı ağırlık merkezine göre momenti alınırsa moment denklemi aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir.

$$M_u = 0.25 K f_{cd} k_{1c} R_h^2 (\theta_c - \sin \theta_c \cos \theta_c) [0.5 (R_h + z_s) - k_{2c} c_{uc}] + 0.25 k_3 f_{cd} k_1 (R^2 - R_h^2) (\theta_c - \theta) [0.5 (R_h + z_s) - c_{uc} + c_u - (k_2 c_u)] + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} x_i \quad (3.36)$$

(3.36) bağıntısındaki  $M_u$  değeri  $N_u$  cinsinden yazılırsa aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$N_u (e + 0.5 z_s) = 0.25 K f_{cd} k_{1c} R_h^2 (\theta_c - \sin \theta_c \cos \theta_c) [0.5 (R_h + z_s) - k_{2c} c_{uc}] \\ + 0.25 k_3 f_{cd} k_1 (R^2 - R_h^2) (\theta_c - \theta) [0.5 (R_h + z_s) - c_{uc} + c_u - (k_2 c_u)] \\ + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} x_i \quad (3.37)$$

Çözümleme yine kuşatılmamış durumda olduğu gibi, (3.35) ifadesinden elde edilen  $D_{v1}^2$  değerinin (3.37) bağıntısında yerine konulup  $N_u$  ve  $N_d$  değerleri eşitleninceye dek tarafsız eksen derinliğini değiştirmek suretiyle yapılabilir.  $N_u$  ve  $N_d$  değerlerinin eşit olduğu andaki  $D_{v1}$  sonuç boyuna donatı çapıdır ve  $D_v$  olarak adlandırılabilir. Buna göre toplam boyuna donatı alanı  $A_{sv} = n A_{si}$  olur.

Son limite ilişkin eğrilik,  $\phi_{uc}$  aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir.

$$\phi_{uc} = \epsilon_{ccu} / c_{uc} \quad (3.38)$$

### Algoritma

$N_d$ ,  $M_d$  ve dolayısıyla  $e = M_d / N_d$  değerleri belirli bir kuşatılmış beton şöyle tasarlanabilir.

- Malzeme ( $f_{ck}$ ,  $f_{yk}$ ), kolon çapı ( $R$ ), paspayı ( $d'$ ), kuşatma donatısı çapı ( $D_h$ ), kuşatma donatısı aralığı ( $s_h$ ), donatı sayısı ( $n$ ) ve  $k_3$  katsayısı belirlenir.
- $e$ ,  $R_h$ ,  $R'_h$ ,  $A_{sh}$ ,  $r_s$ ,  $f_{cd}$ ,  $f_{yd}$  ve,  $\epsilon_{50h}$ ,  $\rho_h$ , hesaplanır.
- Donatı çeliği cinsine göre  $E_p$  (Plastiklik modülü),  $\epsilon_{yd}$ ,  $\epsilon_{sh}$  ve  $\epsilon_{sud}$  belirlenir.
- $K$ ,  $\epsilon_{50u}$ ,  $\psi_c$ ,  $\epsilon_{ccu}$ ,  $k_{1c}$  ve  $k_{2c}$  hesaplanır.
- Donatı düzenine ( $n$ ) göre  $z_s$  hesaplanır.  $c_{uc}$  için tahmini bir değer alınarak (3.29) bağıntısıyla  $c_u$  hesaplanır. Her bir donatı için birim deformasyonlar hesaplanır.
- $c_{uc}$ 'nin  $R/2$ 'den küçük olup olmadığına göre uygun bağıntı seçilerek  $\theta$  ve  $\theta_c$  açıları hesaplanır.
- Bulunan birim deformasyon değerlerine göre donatılardaki gerilmeler hesaplanır.
- (3.35) bağıntısında değerler yerine konularak geçici donatı çapı bulunur.
- Bu çap değeri (3.36) bağıntısında yerine konularak  $N_u$  değeri bulunur.
- $N_u$  ve  $N_d$  değerleri karşılaştırılır. Bu değerler eşit değilse yeni bir  $c_{uc}$  tahmin edilerek bu aşamadan sonraki işlemler  $N_u$  ve  $N_d$  eşitleninceye dek tekrarlanır.
- $N_u$  ve  $N_d$ 'nin birbirine eşit olduğu andaki  $D_v$  donatı çapına bağlı olarak toplam boyuna donatı alanı  $A_{sv} = n A_{si}$  hesaplanır.
- Son limite ilişkin eğrilik (3.38) bağıntısıyla hesaplanır.

### 3.3.3 Dengeli eksantrisite

Kesitin çekme ya da basınç kırılmasıyla son limit yüke ulaşmış veya ulaşmadığını belirlemek için dengeli eksantrisite ( $e_b$ ) hesaplanmalıdır. Kolonun maruz kaldığı eksantrisite; dengeli

eksantrisiteden küçükse ( $e < e_b$ ) basınç, büyükse ( $e > e_b$ ) çekme kırılması olduğu kabul edilir.

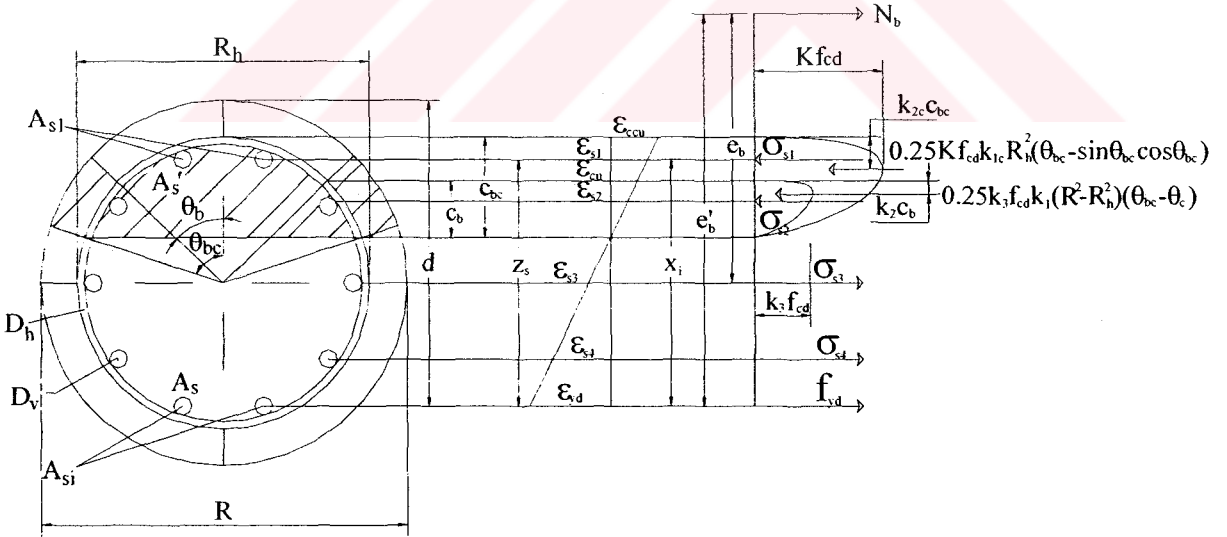
Dengeli durumla ilgili bütün parametrelere  $b$  indisi eklenmiştir. Tanım gereği dengeli limit durum için  $\varepsilon_s = \varepsilon_{yd}$  ve  $\sigma_s = f_{yd}$  olur. Dengeli eksantrisite  $e_b$ , uygunluk ilişkileri ile kuvvet ve moment denge denklemlerinden elde edilir.

Dengeli limit durum için tarafsız eksen derinliği ( $c_b$ ) ve ( $c_{bc}$ ) aşağıdaki bağıntılarla hesaplanabilir.

$$c_b = [ \varepsilon_{cu} / ( \varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd} ) ] 0.5 ( R + z_s ) \quad (3.39)$$

$$c_{bc} = [ \varepsilon_{ccu} / ( \varepsilon_{ccu} + \varepsilon_{yd} ) ] 0.5 ( R_h + z_s ) \quad (3.40)$$

$c_b$  ve  $c_{bc}$  (3.39) ve (3.40) bağıntılarıyla belirlendikten sonra buna bağlı olarak  $\theta_b$ ,  $\theta_{bc}$ , birim deformasyonlar ve gerilmeler hesaplanır. (3.24) bağıntısındaki  $N_u$  yerine (3.21) bağıntısı yazılır ve parametreler dengeli limit durum için uyarlanırsa dengeli eksantrisite ( $e_b$ ) değeri elde edilmiş olur.



Şekil 3.6 Dengeli eksantrisite durumu için etkileşim diyagramları

$$N_b ( e_b + 0.5 z_s ) = 0.25 K f_{cd} k_{1c} R_h^2 ( \theta_{bc} - \sin \theta_{bc} \cos \theta_{bc} ) [ 0.5 ( R_h + z_s ) - k_{2c} c_{bc} ] \\ + 0.25 k_3 f_{cd} k_1 ( R^2 - R_h^2 ) ( \theta_{bc} - \theta_b ) [ 0.5 ( R_h + z_s ) - c_{bc} + c_b - ( k_2 c_b ) ]$$

$$+ \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} x_i \quad (3.41)$$

$$e_b = \{ [ 0.25 K f_{cd} k_{1c} R_h^2 (\theta_{bc} - \sin\theta_{bc} \cos\theta_{bc}) [ 0.5 (R_h + z_s) - k_{2c} c_{bc} ] +$$

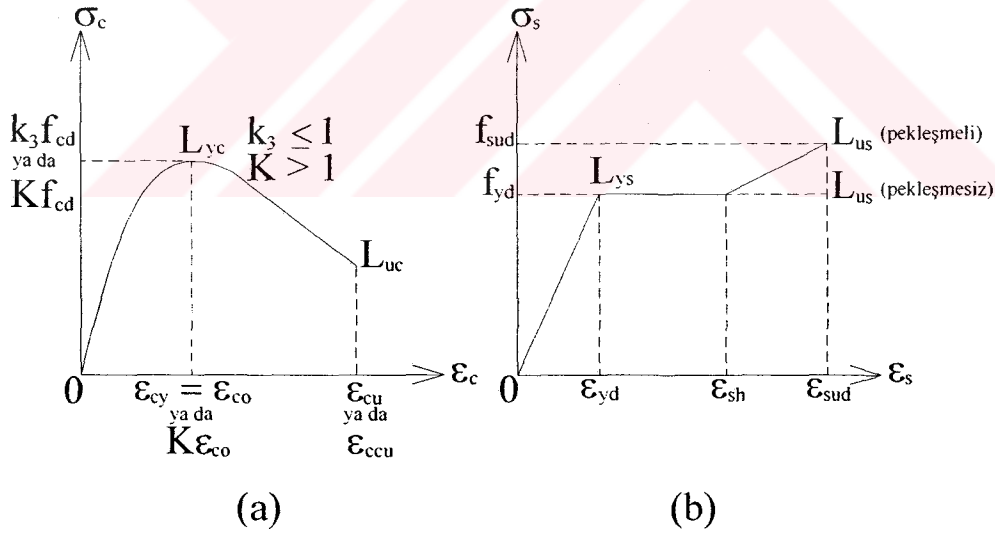
$$0.25 k_3 f_{cd} k_1 (R^2 - R_h^2) (\theta_{bc} - \theta_b) [ 0.5 (R_h + z_s) - c_{bc} + c_b - k_2 c_b ] + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} x_i ]$$

$$/ [ 0.25 K f_{cd} k_{1c} R_h^2 (\theta_{bc} - \sin\theta_{bc} \cos\theta_{bc}) + 0.25 k_3 f_{cd} k_1 (R^2 - R_h^2) (\theta_{bc} - \theta_b)$$

$$+ \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} ] \} - 0.5 z_s \quad (3.42)$$

### 3.4 Akma Limitine Göre Çözümleme

Bu bölümde, son limite basınç ya da çekme kırılmasıyla ulaşan dairesel kesitli kolonlarda akma limitine ilişkin yükün  $N_y$ , momentin  $M_y$  ve eğriliğin  $\phi_y$ , belirlenmesi için geliştirilen algoritmalar sunulacaktır.



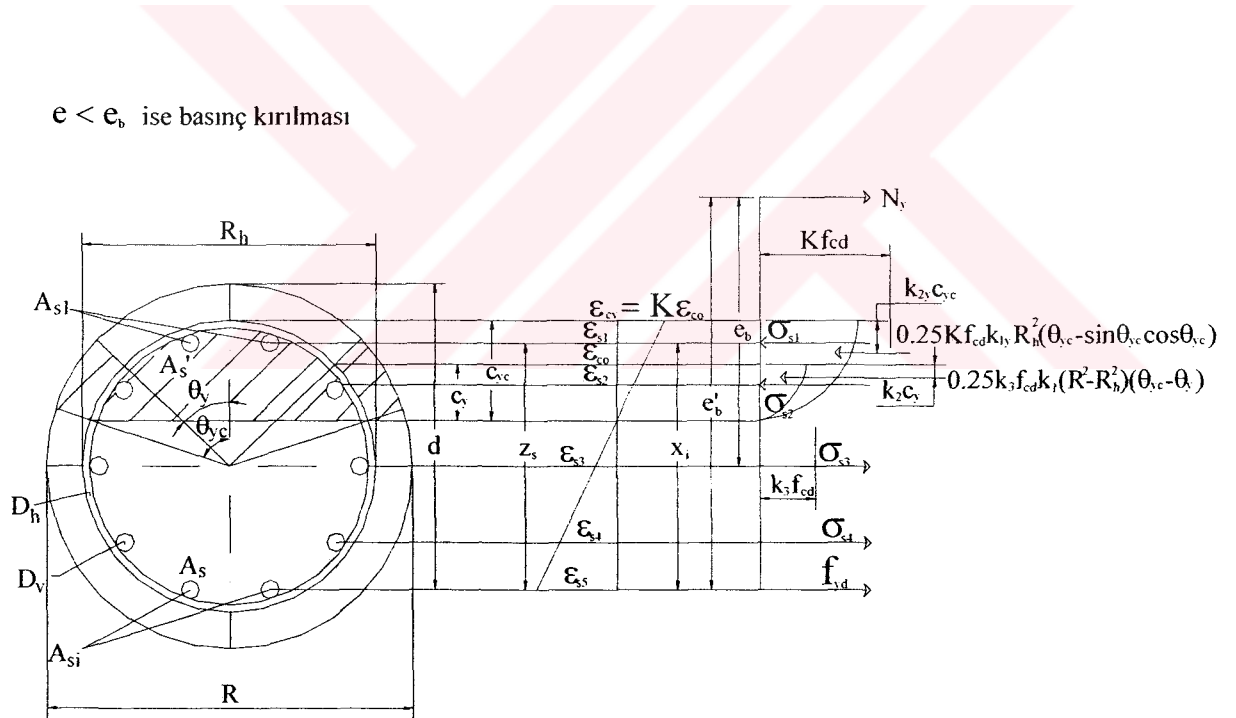
Şekil 3.7 (a) Beton için akma / yumuşama limiti  $L_{yc}$  ve son limit  $L_{uc}$ , (b) Çelik için akma limiti  $L_{ys}$  ve son limit  $L_{us}$

Betonarme bir yapısal elemanın akma limiti  $L_{yc}$  (Şekil 3.7) hangi malzemenin akma limitine önce ulaşıyorsa o limit ile belirlenebilir. Beton için akma/yumuşama limiti ( $L_{yc}$ ,  $\epsilon_{co}$ ) ve çelik için akma limiti ( $L_{ys}$ ,  $\epsilon_{yd}$ ) olarak tanımlanmıştır. O halde basınç kırılmasıyla son limite ulaşan

kolonlarda  $\epsilon_s < \epsilon_{yd}$  olduğu için akma limitine ilişkin  $N_y$ ,  $M_y$  ve  $\phi_y$  değerleri en dış beton basınç lifindeki birim deformasyon kuşatılmamış beton için  $\epsilon_{cy} = \epsilon_{co}$  (0.002 ya da 0.0022) kuşatılmış beton için  $\epsilon_{cy} = K \epsilon_{co}$  (0.002 K ya da 0.0022 K) kabul edilerek hesaplanabilir (Şekil 3.7). Çekme kırılmasıyla son limite ulaşan kolonlarda ise akma limitine ilişkin belirlemeler hangisine önce ulaşıyorsa  $\epsilon_s = \epsilon_{yd}$  ya da  $\epsilon_{cy} = \epsilon_{co}$  deformasyonuna göre yapılabilir. Başka bir anlatımla  $\epsilon_s = \epsilon_{yd}$  için;  $\epsilon_{cy} < \epsilon_{co}$  ise  $\epsilon_{yd}$ ,  $\epsilon_{cy} > \epsilon_{co}$  ise  $\epsilon_{cy}$  deformasyonu esas alınabilir (Gündüz, A. ve Noyan, S., 1988b)

### 3.4.1 Basınç kırılmasıyla son limite ulaşılması durumunda akma limitine ilişkin belirlemeler

Basınç kırılmasıyla son limite ulaşan kolonlarda  $\epsilon_s < \epsilon_{yd}$  olduğu için akma limitine ilişkin  $N_y$ ,  $M_y$  ve  $\phi_y$  değerleri en dış beton basınç lifindeki birim deformasyon  $\epsilon_{cy} = K \epsilon_{co}$  (0.002 K ya da 0.0022 K) kabul edilerek hesaplanabilir (Şekil 3.8)



Şekil 3.8 Basınç kırılmasıyla son limite ulaşılması durumunda akma limiti parametreleri ve kuvvetleri

$$\sigma_{cy} = K f_{cd} \quad (3.43)$$

Kuşatılmış çekirdek beton tarafsız eksen derinliği  $c_{yc}$  tahmin edilir. Örtü beton tarafsız eksen

derinliği  $c_y$ , benzer üçgenler yardımıyla  $c_{yc}$ 'nin fonksiyonu şeklinde yazılabilir.

$$c_y = c_{yc} / K \quad (3.44)$$

$c_y$  ve  $c_{yc}$  değerlerine bağlı olarak birim deformasyonlar yine karşılıklı etki diyagramında benzer üçgenler yardımıyla hesaplandıktan sonra  $\theta_y$  ve  $\theta_{yc}$  bulunur ve donatı gerilmeleri hesaplanır. Akma aşamasındaki beton basınç bölgesi gerilme dağılımı parametreleri  $k_{1y}$  ve  $k_{2y}$  (2.19) ve (2.20) bağıntıları ile hesaplanır. Kuvvet ve moment denge denklemleri yazılarak aşağıdaki bağıntılar elde edilir.

$$N_{y1} = [0.25 K f_{cd} k_{1y} R_h^2 (\theta_{yc} - \sin\theta_{yc} \cos\theta_{yc}) + 0.25 k_3 f_{cd} k_1 (R^2 - R_h^2) (\theta_{yc} - \theta_y) + \sum_{i=1}^n \sigma_{syi} A_{si}] \quad (3.45)$$

$$N_{y2} = [0.25 K f_{cd} k_{1y} R_h^2 (\theta_{yc} - \sin\theta_{yc} \cos\theta_{yc}) [0.5 (R_h + z_s) - k_{2y} c_{yc}] + 0.25 k_3 f_{cd} k_1 (R^2 - R_h^2) (\theta_{yc} - \theta_y) [0.5 (R_h + z_s) - c_{yc} + c_y - k_2 c_y] + \sum_{i=1}^n \sigma_{syi} A_{si} x_i] / (e + 0.5 z_s) \quad (3.46)$$

(3.43) ve (3.44) bağıntılarından elde edilen  $N_{y1}$  ve  $N_{y2}$  değerleri yaklaşık eşit oluncaya dek tarafsız eksen derinliği  $c_{yc}$  değiştirilerek işlemler tekrarlanır. Akma limitine ilişkin akma momenti  $M_y$  ve eğrilik  $\phi_y$  aşağıdaki bağıntılarla hesaplanır.

$$M_y = N_y e \quad (3.47)$$

$$\phi_y = \varepsilon_{cy} / c_{yc} \quad (3.48)$$

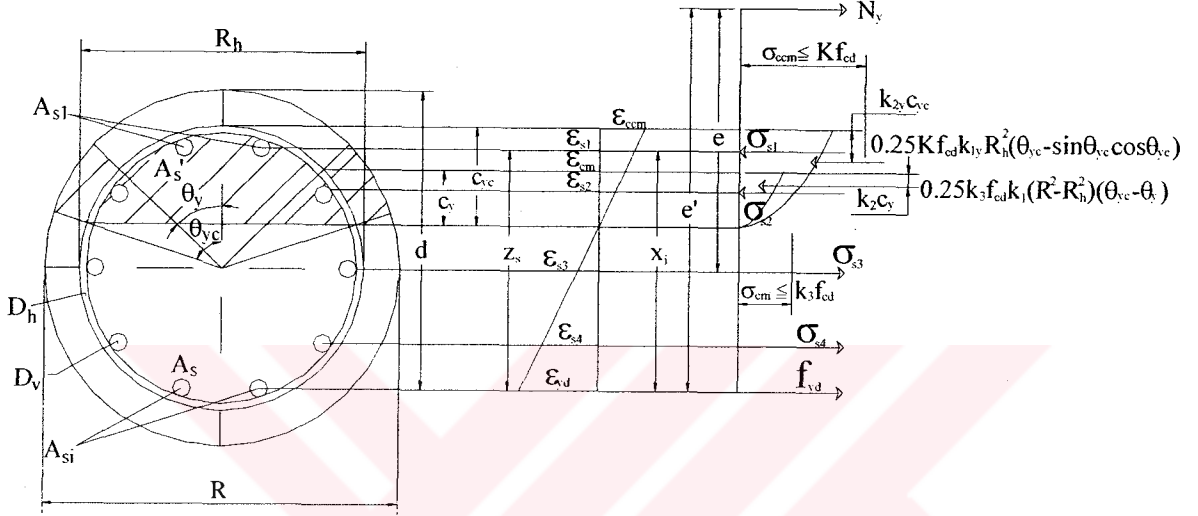
### Algoritma

- Dengeli eksantrisite durumu için  $c_b$  ve  $c_{bc}$  tarafsız eksen derinliği bulunur.
- $\theta_b$  ve  $\theta_{bc}$  açıları ve donatı birim deformasyonları bulunur.
- Donatı gerilmeleri hesaplanır.
- $e_b$  hesaplanıp  $e$  ile karşılaştırılarak kırılma tipi belirlenir.
- Tahmini bir  $c_{yc}$  tarafsız eksen derinliği alınır ve buna bağlı olarak  $c_y$  hesaplanır.
- Donatı birim deformasyonları belirlenir.
- $\theta_{yc}$  ve  $\theta_y$  açıları hesaplanır, donatılardaki gerilmeler bulunur.
- $k_1$  ve  $k_2$  değerleri hesaplanır (0.6681818182, 0.3764378479).
- $N_{y1}$  ve  $N_{y2}$  kuvvetleri hesaplanır. Bu değerler birbirlerine eşit oluncaya kadar  $c_{yc}$  değeri değiştirilerek işlemler tekrarlanır.
- $N_{y1}$  ve  $N_{y2}$ 'nin birbirine eşit olduğu normal kuvvet değeri  $N_y$  akma limitine ilişkin akma momentidir.  $e$  ile çarpılarak  $M_y$  akma momenti (3.47) bağıntısıyla belirlenir.

- Akma eğriliği (3.48) bağıntısıyla bulunur.

### 3.4.2 Çekme kırılmasıyla son limite ulaşılması durumunda akma limitine ilişkin belirlemeler

$e > e_n$  ise basınç kırılması



Şekil 3.9 Çekme kırılmasıyla son limite ulaşılması durumunda akma limiti parametreleri ve kuvvetleri

Çekme kırılmasıyla son limite ulaşan bir kesitte  $N_y$ ,  $M_y$  ve  $\phi_y$  değerlerini bulmak için  $c_{yc}$  değeri tahmin edilerek (3.44) bağıntısıyla  $c_y$  değeri hesaplanır. ( $\epsilon_s = \epsilon_{yd}$ ) karşılığı  $\epsilon_{ccm}$  ( $\leq \epsilon_{cy} = K \epsilon_{co}$ ) değeri aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır.

$$\epsilon_{ccm} = c_{yc} \epsilon_{yd} [0.5 (R_h + z_s) - c_{yc}] \leq \epsilon_{cy} = K \epsilon_{co} \quad (3.49)$$

Kuşatılmamış örtü betona ait  $\epsilon_{cm}$  ( $\leq \epsilon_{co}$ ) değeri de  $\epsilon_{ccm}$ 'ye bağlı olarak şöyle hesaplanabilir.

$$\epsilon_{cm} = \epsilon_{ccm} c_y / c_{yc} \quad (3.50)$$

$\epsilon_s$  birim deformasyonları benzer üçgenler yardımıyla hesaplandıktan sonra  $\theta_{yc}$  ve donatı gerilmeleri hesaplanır.  $\epsilon_{cm}$  ve  $\epsilon_{ccm}$  değerlerine bağlı olarak sırasıyla  $k_1$ ,  $k_2$  ve  $k_{1y}$ ,  $k_{2y}$  parametre değerleri (2.19) ve (2.20) bağıntıları esas alınarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$k_1 = [ ( \epsilon_{cm} / 0.0022 ) - ( \epsilon_{cm}^2 / 0.00001452 ) ] \quad (3.51)$$

$$k_2 = 1 - \{ [ ( \epsilon_{cm}^3 / 0.0033 ) - ( \epsilon_{cm}^4 / 0.00001936 ) ] / [ ( \epsilon_{cm}^3 / 0.0022 ) - ( \epsilon_{cm}^4 / 0.00001452 ) ] \} \quad (3.52)$$

$$k_{1y} = [ ( \epsilon_{ccm} / 0.0022 ) - ( \epsilon_{ccm}^2 / 0.00001452 ) ] \quad (3.53)$$

$$k_{2y} = 1 - \{ [ ( \epsilon_{ccm}^3 / 0.0033 ) - ( \epsilon_{ccm}^4 / 0.00001936 ) ] / [ ( \epsilon_{ccm}^3 / 0.0022 ) - ( \epsilon_{ccm}^4 / 0.00001452 ) ] \} \quad (3.54)$$

Bu değerler (3.45) ve (3.46) bağıntılarında yerine yazılarak  $N_{y1}$  ve  $N_{y2}$  değerleri elde edilir ve basınç kırılmasında olduğu gibi bu iki değer eşitleninceye kadar  $c_{yc}$  değiştirilerek işlemler tekrarlanır. Akma limitine ilişkin moment  $M_y$  ve eğrilik  $\phi_y$  (3.47) ve (3.48) bağıntılarıyla hesaplanır.

### Algoritma

- Dengeli eksantrisite durumu için  $c_b$  ve  $c_{bc}$  tarafsız eksen derinliği bulunur.
- $\theta_b$  ve  $\theta_{bc}$  açıları ve donatı birim deformasyonları bulunur.
- Donatı gerilmeleri hesaplanır.
- $e_b$  hesaplanıp  $e$  ile karşılaştırılarak kırılma tipi belirlenir.
- Tahmini bir  $c_{yc}$  tarafsız eksen derinliği alınır ve buna bağlı olarak  $c_y$  hesaplanır.
- $(\epsilon_s = \epsilon_{yd})$  karşılığı  $\epsilon_{ccm} (\leq \epsilon_{cy})$  ve  $\epsilon_{cm} (\leq \epsilon_{co})$  değerleri ve buna bağlı olarak donatı birim deformasyonları hesaplanır.
- $\theta_{yc}$  ve  $\theta_y$  açıları hesaplanır, donatılardaki gerilmeler bulunur.
- $k_1$ ,  $k_2$  ve  $k_{1y}$ ,  $k_{2y}$  değerleri (3.51), (3.52), (3.53) ve (3.54) bağıntılarına göre hesaplanır.
- $N_{y1}$  ve  $N_{y2}$  kuvvetleri hesaplanır. Bu değerler birbirlerine eşit oluncaya kadar  $c_{yc}$  değeri değiştirilerek işlemler tekrarlanır.
- $N_{y1}$  ve  $N_{y2}$ 'nin birbirine eşit olduğu normal kuvvet değeri  $N_y$  akma limitine ilişkin yük değeridir.  $e$  ile çarpılarak  $M_y$  akma momenti (3.47) bağıntısıyla belirlenir.
- Akma eğriliği (3.48) bağıntısıyla bulunur.

#### 4. SAYISAL UYGULAMALAR

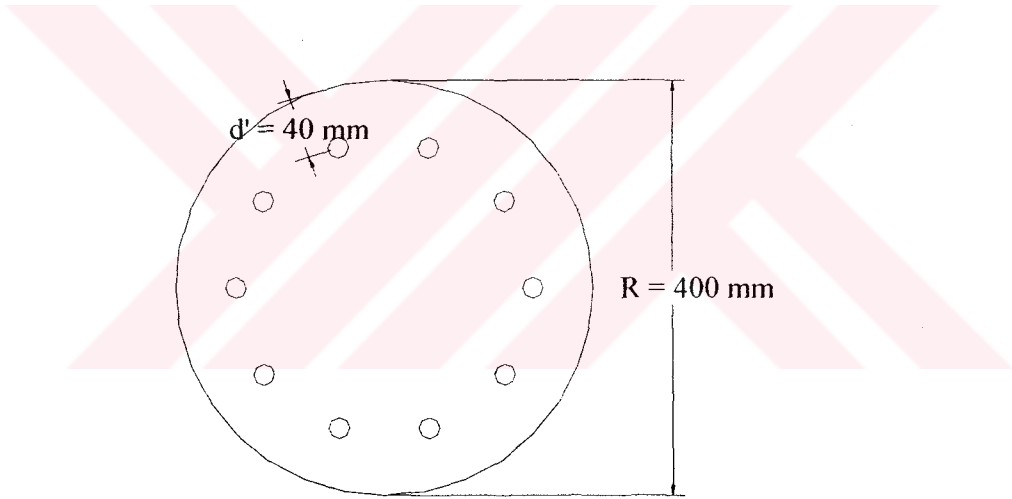
##### Uygulama 1

Sayısal uygulamada Şekil 4.1'de gösterilen dairesel kesitli betonarme kolonun boyuna donatıları hesaplanarak son limit eğriliği belirlenecektir. Hesaplar halka donatı etkisinin dikkate alınmadığı kuşatılmamış durum için yapılacaktır (Birimler N, mm ve radyan alınmıştır).

Veriler:

$$N_d = 500 \cdot 10^3 \text{ N}, M_d = 120 \cdot 10^6 \text{ Nmm}, f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2, f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2, k_3 = 0.85, D_h = 0,$$

$$d' = 40 \text{ mm}, R = 400 \text{ mm}, n = 10$$



Şekil 4.1 n = 10 donatılı kuşatılmamış dairesel kolon

$$e = M_d / N_d = 120 \cdot 10^6 / 500 \cdot 10^3 = 240 \text{ mm}$$

$$f_{cd} = f_{ck} / 1.5 = 20 / 1.5 = 13.333 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_{yk} / 1.15 = 420 / 1.15 = 365.217 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s = 365.217 / (2 \cdot 10^5) = 0.001826$$

$$f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow E_p = 727 \text{ N/mm}^2, \varepsilon_{sh} = 0.01, \varepsilon_{sud} = 0.037 \text{ (Şekil 2.8b)}$$

$$r_s = 0.5 R - d' = 0.5 \cdot 400 - 40 = 160 \text{ mm}$$

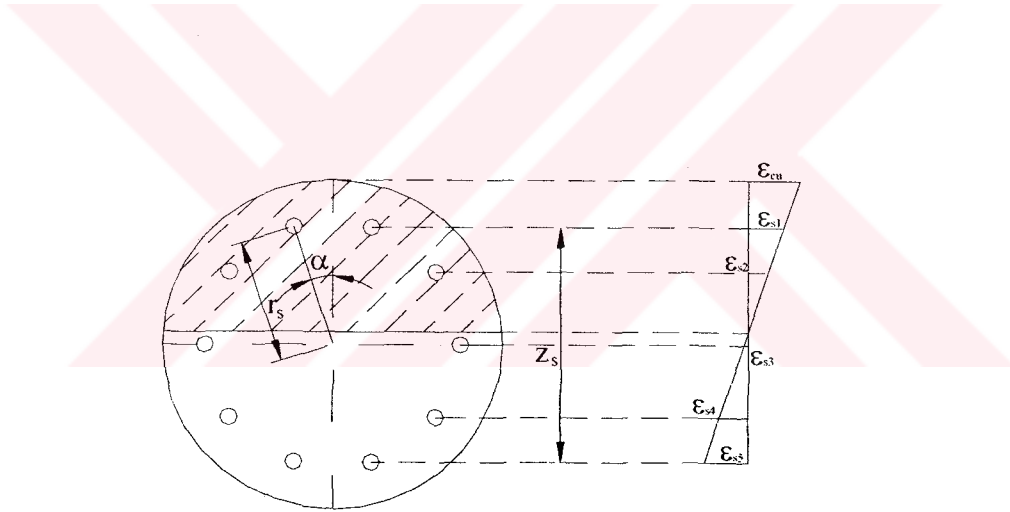
$$K = 1 + (2.05 \rho_h f_{yk} / f_{ck}) = 1 + (2.05 \cdot 0 \cdot 420 / 20) = 1$$

$$\varepsilon_{50u} = (3 + 0.29 k_3 f_{cd}) / (145 k_3 f_{cd} - 1000)$$

$$\varepsilon_{50u} = (3 + 0.29 \cdot 0.85 \cdot 13.333) / (145 \cdot 0.85 \cdot 13.333 - 1000) = 0.00977$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\psi = 0.5 / (\varepsilon_{50u} - 0.0022) = 0.5 / (0.00977 - 0.0022) = 66.05$$



Şekil 4.2  $n = 10$  donatılı kuşatılmamış kolon için birim deformasyonlar ve geometrik parametreler

$$k_1 = (\varepsilon_{cu} - 0.000733 - 0.5 \psi \varepsilon_{cu}^2 + 0.0022 \psi \varepsilon_{cu} - 0.00000242 \psi) / \varepsilon_{cu}$$

$$k_1 = (0.0035 - 0.000733 - 0.5 \cdot 66.05 \cdot 0.0035^2 + 0.0022 \cdot 66.05 \cdot 0.0035 - 0.00000242 \cdot 66.05)$$

$$/ 0.0035 = 0.774$$

$$k_2 = 1 - \{ (0.5 \epsilon_{cu}^2 - 0.333 \psi \epsilon_{cu}^3 + 0.001 \psi \epsilon_{cu}^2 - 0.0000000018 \psi - 0.000000403) / [ \epsilon_{cu} (\epsilon_{cu} - 0.000733 - 0.5 \psi \epsilon_{cu}^2 + 0.0022 \psi \epsilon_{cu} - 0.00000242 \psi) ] \}$$

$$k_2 = 1 - \{ (0.5 * 0.0035^2 - 0.333 * 66.05 * 0.0035^3 + 0.001 * 66.05 * 0.0035^2 - 0.0000000018 * 66.05 - 0.000000403) / [ 0.0035 ( 0.0035 - 0.000733 - 0.5 * 66.05 * 0.0035^2 + 0.0022 * 66.05 * 0.0035 - 0.00000242 * 66.05 ) ] \} = 0.423$$

$n = 10$  donatılı düzen için,

$\alpha$  açısı  $90^\circ$ 'lik daire diliminin  $1/5$ 'idir. Dolayısıyla  $\alpha$  açısı  $18^\circ$  olur.  $\cos\alpha$  da  $0.9510565163$  olacaktır.

$$z_s = 2 r_s \cos\alpha = 2 * 160 * 0.9510565163 = 304.338 \text{ mm}$$

$c_{uc} = c_u = 185 \text{ mm}$  tahmin edelim

$\theta_c = 0$  olur.

Birim deformasyonlar,

$$\epsilon_{s1} = [ c_u - 0.5 ( R - z_s ) ] \epsilon_{cu} / c_u = [ 185 - 0.5 ( 400 - 304.338 ) ] 0.0035 / 185 = 0.00259$$

$$\epsilon_{s2} = ( c_u - 0.5 R + 0.5877852523 r_s ) \epsilon_{cu} / c_u = ( 185 - 0.5 * 400 + 0.5877852523 * 160 ) 0.0035 / 185 = 0.00149$$

$$\epsilon_{s3} = ( c_u - 0.5 R ) \epsilon_{cu} / c_u = ( 185 - 0.5 * 400 ) 0.0035 / 185 = - 0.000283$$

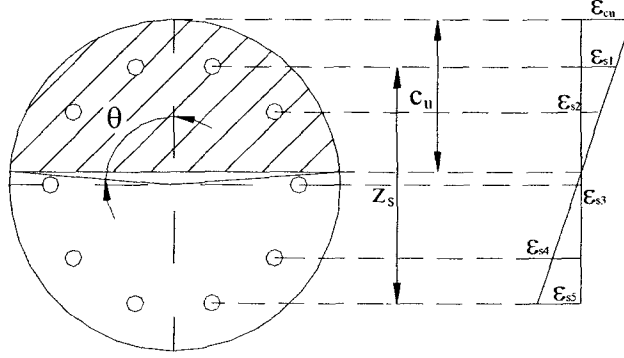
$$\epsilon_{s4} = ( c_u - 0.5 R - 0.5877852523 * r_s ) \epsilon_{cu} / c_u$$

$$\epsilon_{s4} = ( 185 - 0.5 * 400 - 0.5877852523 * 160 ) 0.0035 / 185 = - 0.00206$$

$$\epsilon_{s5} = [ c_u - 0.5 ( R + z_s ) ] \epsilon_{cu} / c_u \quad \epsilon_{s5} = [ 185 - 0.5 ( 400 + 304.338 ) ] 0.0035 / 185 = - 0.00316$$

$$c_u = 185 \text{ mm} < 0.5 R = 200 \text{ mm} \Rightarrow \theta = \text{Arccos} [ ( 0.5 R - c_u ) / ( 0.5 R ) ]$$

$$\theta = \text{Arccos} [ ( 0.5 * 400 - 185 ) / ( 0.5 * 400 ) ] = 1.495 \text{ rad}$$



Şekil 4.3 Tarafsız eksen derinliği ve  $\theta$  açısı

Donatı gerilmeleri,

$$\epsilon_{s1} > 0, \quad \epsilon_{yd} < \epsilon_{s1} < \epsilon_{sh} \quad \sigma_{s1} = f_{yd} = 365.217 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{s2} > 0, \quad \epsilon_{s2} < \epsilon_{yd} \quad \sigma_{s2} = \epsilon_{s2} E_s = 0.00149 * 2 * 10^5 = 298 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{s3} < 0, \quad |\epsilon_{s3}| < \epsilon_{yd} \quad \sigma_{s3} = \epsilon_{s3} E_s = -0.000283 * 2 * 10^5 = -56.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{s4} < 0, \quad \epsilon_{yd} < |\epsilon_{s4}| < \epsilon_{sh} \quad \sigma_{s4} = -f_{yd} = -365.217 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{s5} < 0, \quad \epsilon_{yd} < |\epsilon_{s5}| < \epsilon_{sh} \quad \sigma_{s5} = -f_{yd} = -365.217 \text{ N/mm}^2$$

$$N_d = 0.25 k_3 f_{cd} k_l R^2 (\theta - \sin\theta \cos\theta) + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si}$$

$$A_{si} = \pi D_{v1}^2 / 4 \text{ ( Her bir sırada iki donatı mevcuttur ),}$$

$$N_d = 0.25 k_3 f_{cd} k_l R^2 (\theta - \sin\theta \cos\theta) + 2 \pi D_{v1}^2 (\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s5}) / 4 \text{ bağıntısından}$$

$D_{v1}^2$  çekilerek;

$$D_{v1}^2 = 2 [ N_d - 0.25 k_3 f_{cd} k_l R^2 (\theta - \sin\theta \cos\theta) ] / [ \pi (\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s5}) ]$$

$$D_{v1}^2 = 2 [ 500000 - 0.25 \cdot 0.85 \cdot 13.333 \cdot 0.774 \cdot 400^2 ( 1.495 - \sin 1.495 \cos 1.495 ) ]$$

$$/ [ \pi ( 365.217 + 298 - 56.6 - 365.217 - 365.217 ) ]$$

$$D_{v1}^2 = - 9.977$$

$$N_u ( e + 0.5 z_s ) = 0.25 k_3 f_{cd} k_1 R^2 ( \theta - \sin \theta \cos \theta ) ( d - k_2 c_u ) + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} x_i \text{ bağıntısından}$$

$N_u$  çekilirse;

$$N_u = \{ 0.25 k_3 f_{cd} k_1 R^2 ( \theta - \sin \theta \cos \theta ) [ 0.5 ( R + z_s ) - k_2 c_u ] + 2 \cdot 0.25 \pi D_{v1}^2 [ z_s \sigma_{s1} +$$

$$( 0.5 z_s + 0.5877852523 r_s ) \sigma_{s2} + 0.5 z_s \sigma_{s3} + ( 0.5 z_s - 0.5877852523 r_s ) \sigma_{s4} ] \} / ( e + 0.5 z_s )$$

$$N_u = \{ 0.25 \cdot 0.85 \cdot 13.333 \cdot 0.774 \cdot 400^2 ( 1.495 - \sin 1.495 \cos 1.495 )$$

$$[ 0.5 ( 400 + 304.338 ) - 0.423 \cdot 185 ] + 2 \cdot 0.25 \pi (- 9.997) [ 304.338 \cdot 365.217$$

$$+ ( 0.5 \cdot 304.338 + 0.5877852523 \cdot 160 ) 298 - ( 0.5 \cdot 304.338 \cdot 56.6 ) -$$

$$( 0.5 \cdot 304.338 - 0.5877852523 \cdot 160 ) 365.217 ] \} / ( 240 + 0.5 \cdot 304.338 )$$

$$N_u = 341692.8$$

$N_u \neq N_d$  olduğuna göre;

$c_u = 192.559$  mm tahmin edelim.

Birim deformasyonlar,

$$\epsilon_{s1} = [ 192.559 - 0.5 ( 400 - 304.338 ) ] 0.0035 / 192.559 = 0.00263$$

$$\epsilon_{s2} = ( 192.559 - 0.5 \cdot 400 + 0.5877852523 \cdot 160 ) 0.0035 / 192.559 = 0.00157$$

$$\epsilon_{s3} = ( 192.559 - 0.5 \cdot 400 ) 0.0035 / 192.559 = - 0.000135$$

$$\epsilon_{s4} = ( 192.559 - 0.5 \cdot 400 - 0.5877852523 \cdot 160 ) 0.0035 / 192.559 = - 0.00184$$

$$\epsilon_{s5} = [ 192.559 - 0.5 ( 400 + 304.338 ) ] 0.0035 / 192.559 = - 0.0029$$

$$c_u = 192.559 \text{ mm} < 0.5 R = 200 \text{ mm}$$

$$\theta = \text{Arccos} [ ( 0.5 \cdot 400 - 192.559 ) / ( 0.5 \cdot 400 ) ] = 1.553 \text{ rad}$$

$$\epsilon_{s1} > 0, \quad \epsilon_{yd} < \epsilon_{s1} < \epsilon_{sh} \quad \sigma_{s1} = f_{yd} = 365.217 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{s2} > 0, \quad \varepsilon_{s2} < \varepsilon_{yd} \quad \sigma_{s2} = 0.00157 * 2 * 10^5 = 314 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{s3} < 0, \quad |\varepsilon_{s3}| < \varepsilon_{yd} \quad \sigma_{s3} = - 0.000135 * 2 * 10^5 = - 27 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{s4} < 0, \quad \varepsilon_{yd} < |\varepsilon_{s4}| < \varepsilon_{sh} \quad \sigma_{s4} = - 365.217 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{s5} < 0, \quad \varepsilon_{yd} < |\varepsilon_{s5}| < \varepsilon_{sh} \quad \sigma_{s5} = - 365.217 \text{ N/mm}^2$$

$$D_{v1}^2 = 2 [ 500000 - 0.25 * 0.85 * 13.333 * 0.774 * 400^2 ( 1.533 - \sin 1.533 \cos 1.533 ) ]$$

$$/ [ \pi ( 365.217 + 314 - 27 - 365.217 - 365.217 ) ] = 209.026$$

$$N_u = \{ 0.25 * 0.85 * 13.333 * 0.774 * 400^2 ( 1.533 - \sin 1.533 \cos 1.533 ) [ 0.5 ( 400 + 304.338 ) - 0.423 * 192.559 ] + 2 * 0.25 \pi 209.026 [ 304.338 * 365.217 + ( 0.5 * 304.338 + 0.5877852523 * 160 ) 314 - ( 0.5 * 304.338 * 27 ) - ( 0.5 * 304.338 - 0.5877852523 * 160 ) 365.217 ] \} / ( 240 + 0.5 * 304.338 )$$

$$N_u = 499271.2$$

$N_u \cong N_d$  olduğuna göre;

$$A_{sv} = n A_{si} = 10 * 0.25 \pi D_{v1}^2 = 2.5 * \pi * 209.026 = 1642 \text{ mm}^2$$

$$\text{Seçilen donatı } 10\phi 16 A_{sv} = 2011 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{Seçilen } A_{si} = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$\phi_u = \varepsilon_{cu} / c_u = 0.0035 / 192.559 * 10^{-3} = 0.0181 \text{ rad/m}$$

Aynı verilerle Ersoy (1985a) kaynağında önerilen çözüm yöntemi kullanılarak abaklar yardımıyla yapılan çözümlemede  $A_{sv}$  değeri  $1734 \text{ mm}^2$  bulunmuştur. Sonuçlardaki farklılık abaklarla hesap yapılmasından kaynaklanmaktadır.

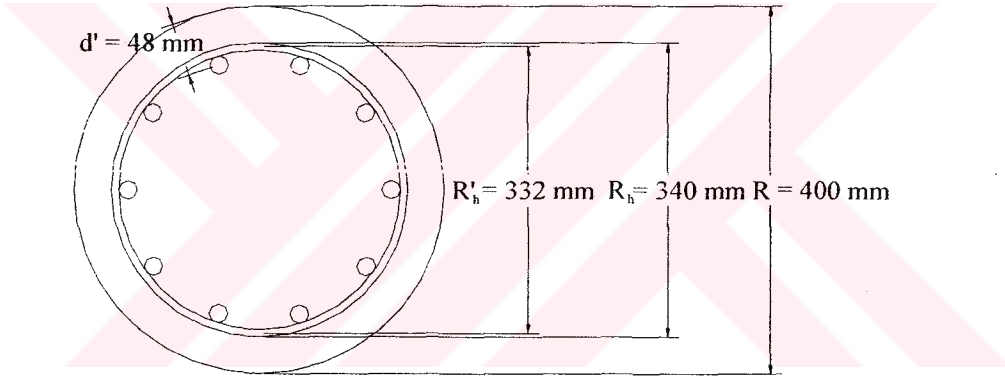
## Uygulama 2

Bu uygulamada ise Uygulama 1'deki veriler dikkate alınarak Şekil 4.4'te gösterilen dairesel kesitli betonarme kolonun halka donatı etkisi dikkate alınarak kuşatılmış durum için boyuna donatılarının hesabı, son limit eğriliği, akma limit durumuna göre akma momenti ve eğriliği belirlenecektir.

Veriler:

$$N_d = 500 \cdot 10^3 \text{ N}, M_d = 120 \cdot 10^6 \text{ Nmm}, f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2, f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2, f_{ywk} = 420 \text{ N/mm}^2,$$

$$k_3 = 0.85, D_h = 8 \text{ mm}, d' = 48 \text{ mm}, s_h = 150 \text{ mm}, R = 400 \text{ mm}, n = 10 \text{ (donatı sayısı)}$$



Şekil 4.4 n = 10 donatılı kuşatılmış dairesel kolon

$$e = M_d / N_d = 120 \cdot 10^6 / 500 \cdot 10^3 = 240 \text{ mm}$$

$$f_{cd} = f_{ck} / 1.5 = 20 / 1.5 = 13.333 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = f_{yk} / 1.15 = 420 / 1.15 = 365.217 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s = 365.217 / (2 \cdot 10^5) = 0.001826$$

$$f_{yk}, f_{ywk} = 420 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow E_p = 727 \text{ N/mm}^2, \epsilon_{sh} = 0.01, \epsilon_{sud} = 0.037 \text{ (Şekil 2.8b)}$$

$$R_h = 0.85 R = 0.85 \cdot 400 = 340 \text{ mm}$$

$$R'_h = R_h - D_h = 340 - 8 = 332 \text{ mm}$$

$$A_{sh} = 0.25 \pi D_h^2 = 0.25 \pi 8^2 = 50.26 \text{ mm}^2$$

$$r_s = 0.5 R - d' = 0.5 \cdot 400 - 48 = 152 \text{ mm}$$

$$\rho_h = 4 A_{sh} / (R'_h S_h) = 4 \cdot 50.26 / (332 \cdot 150) = 0.004037$$

$$\varepsilon_{50h} = 0.75 \rho_h \sqrt{(R_h / S_h)} = 0.75 \cdot 0.004037 \sqrt{(340 / 150)} = 0.00456$$

$$K = 1 + (2.05 \rho_h f_{yk} / f_{ck}) = 1 + (2.05 \cdot 0.004037 \cdot 420 / 20) = 1.174$$

$$\varepsilon_{50u} = (3 + 0.29 k_3 f_{cd}) / (145 k_3 f_{cd} - 1000)$$

$$\varepsilon_{50u} = (3 + 0.29 \cdot 0.85 \cdot 13.333) / (145 \cdot 0.85 \cdot 13.333 - 1000) = 0.00977$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.0035$$

$$\psi_c = (K - 0.5) / [\varepsilon_{50u} + \varepsilon_{50h} - (0.0022 K)]$$

$$\psi_c = (1.174 - 0.5) / [0.00977 + 0.00456 - (0.0022 \cdot 1.174)] = 57.35$$

$$\varepsilon_{ccu} = K [(0.2 / \psi_c) + 0.0022] = 1.174 [(0.2 / 57.35) + 0.0022] = 0.00667$$

$$k_{1c} = (0.0022 K^2 - 0.000733 K^2 + K \varepsilon_{ccu} - 0.5 \psi_c \varepsilon_{ccu}^2 + 0.0022 \psi_c K \varepsilon_{ccu} - 0.0022 K^2 - 0.00000242 \psi_c K^2) / (K \varepsilon_{ccu})$$

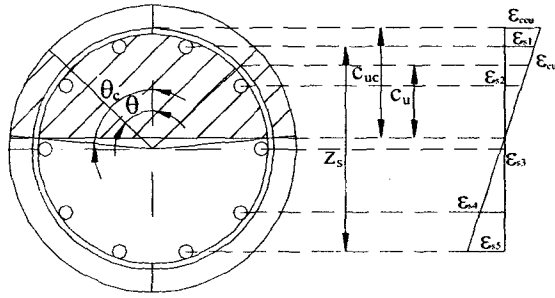
$$k_{1c} = (0.0022 \cdot 1.174^2 - 0.000733 \cdot 1.174^2 + 1.174 \cdot 0.00667 - 0.5 \cdot 57.35 \cdot 0.00667^2 + 0.0022 \cdot 57.35 \cdot 1.174 \cdot 0.00667 - 0.0022 \cdot 1.174^2 - 0.00000242 \cdot 57.35 \cdot 1.174^2) / (1.174 \cdot 0.00667) = 0.809$$

$$k_{2c} = 1 - \{ (0.5 K f_{cd} \varepsilon_{ccu}^2 - 0.000000403 f_{cd} K^3 - 0.333 f_{cd} \psi_c \varepsilon_{ccu}^3 + 0.0011 K f_{cd} \psi_c \varepsilon_{ccu}^2 + 0.0000000035 f_{cd} \psi_c K^3 - 0.0000000053 f_{cd} \psi_c K^3) / [\varepsilon_{ccu} f_{cd} (0.0022 K^2 - 0.000733 K^2 + K \varepsilon_{ccu} - 0.5 \psi_c \varepsilon_{ccu}^2 + 0.0022 \psi_c K \varepsilon_{ccu} - 0.0022 K^2 - 0.00000242 \psi_c K^2)] \}$$

$$k_{2c} = 1 - \{ (0.5 \cdot 1.174 \cdot 13.333 \cdot 0.00667^2 - 0.000000403 \cdot 13.333 \cdot 1.174^3 - 0.333 \cdot 13.333 \cdot 57.35 \cdot 0.00667^3 + 0.0011 \cdot 1.174 \cdot 13.333 \cdot 57.35 \cdot 0.00667^2 + 0.0000000035 \cdot 13.333 \cdot 57.35 \cdot 1.174^3 - 0.0000000053 \cdot 13.333 \cdot 57.35 \cdot 1.174^3) / [0.00667 \cdot 13.333 (0.0022 \cdot 1.174^2 - 0.000733 \cdot 1.174^2 + 1.174 \cdot 0.00667 - 0.5 \cdot 57.35 \cdot 0.00667^2 + 0.0022 \cdot 57.35 \cdot 1.174 \cdot 0.00667 - 0.0022 \cdot 1.174^2 - 0.00000242 \cdot 57.35 \cdot 1.174^2)] \} = 0.458$$

$n = 10$  donatılı düzen için,

$$z_s = 2 r_s \cos \alpha = 2 * 152 * 0.9510565163 = 289.121 \text{ mm}$$



Şekil 4.5  $n = 10$  donatılı kuşatılmış kolon için tarafsız eksen derinlikleri,  $\theta$  açısı ve birim deformasyonlar

$c_{uc} = 150 \text{ mm}$  tahmin edelim.

$$c_u = \epsilon_{cu} c_{uc} / \epsilon_{ccu} = 0.0035 * 150 / 0.00667 = 78.71 \text{ mm}$$

Birim deformasyonlar

$$\epsilon_{s1} = [ c_{uc} - 0.5 ( 0.85 R - z_s ) ] \epsilon_{ccu} / c_{uc}$$

$$\epsilon_{s1} = [ 150 - 0.5 ( 0.85 * 400 - 289.121 ) ] 0.00667 / 150 = 0.00554$$

$$\epsilon_{s2} = ( c_{uc} - 0.425 R + 0.5877852523 r_s ) \epsilon_{ccu} / c_{uc}$$

$$\epsilon_{s2} = ( 150 - 0.425 * 400 + 0.5877852523 * 152 ) 0.00667 / 150 = 0.00308$$

$$\epsilon_{s3} = ( c_{uc} - 0.425 R ) \epsilon_{ccu} / c_{uc} = ( 150 - 0.425 * 400 ) 0.00667 / 150 = - 0.000889$$

$$\epsilon_{s4} = ( c_{uc} - 0.425 R - 0.5877852523 r_s ) \epsilon_{ccu} / c_{uc}$$

$$\epsilon_{s4} = ( 150 - 0.425 * 400 - 0.5877852523 * 152 ) 0.00667 / 150 = - 0.00486$$

$$\epsilon_{s5} = [ c_{uc} - 0.5 ( R_h + z_s ) ] \epsilon_{ccu} / c_{uc} = [ 150 - 0.5 ( 340 + 289.121 ) ] 0.00667 / 150 = - 0.00732$$

$$c_{uc} = 150 \text{ mm} < 0.425 R = 170 \text{ mm}$$

$$\theta = \text{Arccos} [ ( 0.425 R - c_{uc} + c_u ) / ( 0.425 R ) ]$$

$$\theta = \text{Arccos} [ ( 0.425 * 400 - 150 + 78.71 ) / ( 0.425 * 400 ) ] = 0.951$$

$$\theta_c = \text{Arccos} [ ( 0.425 R - c_{uc} ) / ( 0.425 R ) ] = 1.453 \text{ rad}$$

Donatı gerilmeleri,

$$\epsilon_{s1} > 0, \quad \epsilon_{yd} < \epsilon_{s1} < \epsilon_{sh} \quad \sigma_{s1} = f_{yd} = 365.217 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{s2} > 0, \quad \epsilon_{yd} < \epsilon_{s2} < \epsilon_{sh} \quad \sigma_{s2} = f_{yd} = 365.217 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{s3} < 0, \quad |\epsilon_{s3}| < \epsilon_{yd} \quad \sigma_{s3} = \epsilon_{s3} * E_s = - 0.000889 * 2 * 10^5 = - 177.8 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{s4} < 0, \quad \epsilon_{yd} < \epsilon_{s4} < \epsilon_{sh} \quad \sigma_{s4} = - f_{yd} = - 365.217 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{s5} < 0, \quad \epsilon_{yd} < |\epsilon_{s5}| < \epsilon_{sh} \quad \sigma_{s5} = - f_{yd} = - 365.217 \text{ N/mm}^2$$

$$N_d = [0.25 K f_{cd} k_{1c} R_h^2 ( \theta_c - \sin \theta_c \cos \theta_c )] + [0.25 k_3 f_{cd} k_1 ( R^2 - R_h^2 ) ( \theta_c - \theta )]$$

$$+ \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} \text{ bağıntısında } A_{si} = \pi D_{v1}^2 / 4 \text{ yazılıp;}$$

$$N_d = [0.25 K f_{cd} k_{1c} R_h^2 ( \theta_c - \sin \theta_c \cos \theta_c )] + [0.25 k_3 f_{cd} k_1 ( R^2 - R_h^2 ) ( \theta_c - \theta )]$$

$$+ 2 \pi D_{v1}^2 ( \sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s5} ) / 4 \text{ bağıntısından } D_{v1}^2 \text{ çekilirse;}$$

$$D_{v1}^2 = 2 [ N_d - 0.25 K f_{cd} k_{1c} R_h^2 ( \theta_c - \sin \theta_c \cos \theta_c ) - 0.25 k_3 f_{cd} k_1 ( R^2 - R_h^2 ) ( \theta_c - \theta ) ] / [ \pi ( \sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s5} ) ]$$

$$D_{v1}^2 = 2 [ 500000 - 0.25 * 1.174 * 13.333 * 0.809 * 340^2 ( 1.453 - \sin 1.453 \cos 1.453 ) - 0.25 * 0.85 * 13.333 * 0.774 ( 400^2 - 340^2 ) ( 1.453 - 0.951 ) ] / [ \pi ( 365.217 + 365.217 - 177.8 - 365.217 - 365.217 ) ] = 135.762$$

$$N_u ( e + 0.5 z_s ) = 0.25 K f_{cd} k_{1c} R_h^2 ( \theta_c - \sin \theta_c \cos \theta_c ) [ 0.5 ( R_h + z_s ) - k_{2c} c_{uc} ]$$

$$+ 0.25 k_3 f_{cd} k_1 ( R^2 - R_h^2 ) ( \theta_c - \theta ) [ 0.5 ( R_h + z_s ) - c_{uc} + c_u - ( k_2 c_u ) ] + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} x_i$$

bağıntısından  $N_u$  çekilirse;

$$N_u = \{ 0.25 K f_{cd} k_{1c} R_h^2 ( \theta_c - \sin \theta_c \cos \theta_c ) [ 0.5 ( R_h + z_s ) - k_{2c} c_{uc} ] + 0.25 k_3 f_{cd} k_1 ( R^2 - R_h^2 ) ( \theta_c - \theta ) [ 0.5 ( R_h + z_s ) - c_{uc} + c_u - ( k_2 c_u ) ] + 2 * 0.25 \pi D_{v1}^2 [ z_s \sigma_{s1} + ( 0.5 z_s + 0.5877852523 r_s ) \sigma_{s2} + 0.5 z_s \sigma_{s3} + ( 0.5 z_s - 0.5877852523 r_s ) \sigma_{s4} ] \} / ( e + 0.5 z_s )$$

$$N_u = \{ 0.25*1.174*13.333*0.809*340^2 ( 1.453 - \sin 1.453 \cos 1.453 ) [ 0.5 ( 340 + 289.121 ) - 0.458*150 ] + 0.25*0.85*13.333*0.774 ( 400^2 - 340^2 ) ( 1.453 - 0.951 ) [ 0.5 ( 340 + 289.121 ) - 150 + 78.71 - ( 0.458*78.71 ) ] + 2*0.25 \pi 135.762 [ 289.121*365.217 + ( 0.5*289.121 + 0.5877852523*152 ) 365.217 - 0.5*289.121*177.8 - ( 0.5*289.121 - 0.5877852523*152 ) 365.217 ] \} / ( 240 + 0.5*289.121 )$$

$$N_u = 393147.1$$

$N_u \neq N_d$  olduğuna göre;

$c_{uc} = 153.7$  mm tahmin edelim.

$$c_u = 0.0035*153.7 / 0.00667 = 80.584 \text{ mm}$$

Birim deformasyonlar

$$\epsilon_{s1} = [ 153.7 - 0.5 ( 0.85*400 - 289.121 ) ] 0.00667 / 153.7 = 0.00557$$

$$\epsilon_{s2} = ( 153.7 - 0.425*400 + 0.5877852523*152 ) 0.00667 / 153.7 = 0.00317$$

$$\epsilon_{s3} = ( 153.7 - 0.425*400 ) 0.00667 / 153.7 = - 0.000708$$

$$\epsilon_{s4} = ( 153.7 - 0.425*400 - 0.5877852523*152 ) 0.00667 / 153.7 = - 0.00459$$

$$\epsilon_{s5} = [ 153.7 - 0.5 ( 340 + 289.121 ) ] 0.00667 / 153.7 = - 0.00699$$

$$c_{uc} = 153.7 \text{ mm} < 0.425 R = 170 \text{ mm}$$

$$\theta = \text{Arccos} [ ( 0.425*400 - 153.7 + 80.584 ) / ( 0.425*400 ) ] = 0.964$$

$$\theta_c = \text{Arccos} [ ( 0.425*400 - 153.7 ) / ( 0.425*400 ) ] = 1.475 \text{ rad}$$

Donatı gerilmeleri,

$$\epsilon_{s1} > 0, \quad \epsilon_{yd} < \epsilon_{s1} < \epsilon_{sh} \quad \sigma_{s1} = f_{yd} = 365.217 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{s2} > 0, \quad \epsilon_{yd} < \epsilon_{s2} < \epsilon_{sh} \quad \sigma_{s2} = f_{yd} = 365.217 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{s3} < 0, \quad \epsilon_{s3} < \epsilon_{yd} \quad \sigma_{s3} = \epsilon_{s3} E_s = - 0.000708*2*10^5 = - 141.592 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{s4} < 0, \quad \epsilon_{yd} < |\epsilon_{s4}| < \epsilon_{sh} \quad \sigma_{s4} = - f_{yd} = -365.217 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{s5} < 0, \quad \epsilon_{yd} < |\epsilon_{s5}| < \epsilon_{sh} \quad \sigma_{s5} = - f_{yd} = - 365.217 \text{ N/mm}^2$$

$$D_{v1}^2 = 2 [ 500000 - 0.25*1.174*13.333*0.809*340^2 ( 1.475 - \sin 1.475 \cos 1.475 ) -$$

$$0.25*0.85*13.333*0.774 ( 400^2 - 340^2 ) ( 1.475 - 0.964 ) ] / [ \pi ( 365.217 + 365.217 - 141.592 - 365.217 - 365.217 ) ] = 246.871$$

$$N_u = \{ 0.25 * 1.174 * 13.333 * 0.809 * 340^2 ( 1.475 - \sin 1.475 \cos 1.475 ) [ 0.5 ( 340 + 289.121 ) - 0.458 * 153.7 ] + 0.25 * 0.85 * 13.333 * 0.774 * ( 400^2 - 340^2 ) ( 1.475 - 0.964 ) [ 0.5 ( 340 + 289.121 ) - 153.7 + 80.584 - ( 0.458 * 80.584 ) ] + 2 * 0.25 \pi 246.871 [ 289.121 * 365.217 + ( 0.5 * 289.121 + 0.5877852523 * 152 ) 365.217 - 0.5 * 289.121 * 141.592 - ( 0.5 * 289.121 - 0.5877852523 * 152 ) 365.217 ] \} / ( 240 + 0.5 * 289.121 )$$

$$N_u = 499158.5 \text{ N}$$

$N_u \cong N_d$  olduğuna göre;

$$A_{sv} = n A_{si} = n 0.25 \pi D_{vj}^2 = 10 * 0.25 * \pi * 246.871^2 = 1938.93 \text{ mm}^2$$

Seçilen donatı  $10\phi 16$   $A_{sv} = 2011 \text{ mm}^2 \Rightarrow$  Seçilen  $A_{si} = 201.06 \text{ mm}^2$

$$\phi_{uc} = \epsilon_{ccu} / c_{uc} = 0.00667 / 153.7 * 10^{-3} = 0.0434 \text{ rad/m}$$

Dengeli durum,

$$c_b = [ \epsilon_{cu} / ( \epsilon_{cu} + \epsilon_{yd} ) ] 0.5 ( R + z_s )$$

$$c_b = [ 0.0035 / ( 0.0035 + 0.001826 ) ] 0.5 ( 400 + 289.121 ) = 226.425 \text{ mm}$$

$$c_{bc} = [ \epsilon_{ccu} / ( \epsilon_{ccu} + \epsilon_{yd} ) ] 0.5 ( R_h + z_s )$$

$$c_{bc} = [ 0.00667 / ( 0.00667 + 0.001826 ) ] 0.5 ( 340 + 289.121 ) = 246.996 \text{ mm}$$

$$c_b > 0.5 R \quad \theta_b = \pi - \text{Arccos} [ ( c_b - 0.5 R ) / ( 0.5 R ) ]$$

$$\theta_b = \pi - \text{Arccos} [ ( 226.425 - 0.5 * 400 ) / ( 0.5 * 400 ) ] = 1.703 \text{ rad}$$

$$c_{bc} > 0.5 R \quad \theta_{bc} = \pi - \text{Arccos} [ ( c_{bc} - 0.5 R_h ) / ( 0.5 R_h ) ]$$

$$\theta_{bc} = \pi - \text{Arccos} [ ( 246.996 - 0.5 * 340 ) / ( 0.5 * 340 ) ] = 2.041 \text{ rad}$$

Birim deformasyonlar,

$$\epsilon_{sb1} = [ c_{bc} - 0.5 ( R_h - z_s ) ] \epsilon_{ccu} / c_{bc}$$

$$\epsilon_{sb1} = [ 246.996 - 0.5 ( 340 - 289.121 ) ] 0.00667 / 246.996 = 0.00599$$

$$\epsilon_{sb2} = ( c_{bc} - 0.5 R_h + 0.5877852523 r_s ) \epsilon_{ccu} / c_{bc}$$

Dr. Öğr. Üyesi  
Yrd. Doç. Dr.  
Prof. Dr.

$$\varepsilon_{sb2} = (246.996 - 0.5 \cdot 340 + 0.5877852523 \cdot 152) \cdot 0.00667 / 246.996 = 0.0045$$

$$\varepsilon_{sb3} = (c_{bc} - 0.5 R_h) \varepsilon_{ccu} / c_{bc}$$

$$\varepsilon_{sb3} = (246.996 - 0.5 \cdot 340) \cdot 0.00667 / 246.996 = 0.00208$$

$$\varepsilon_{sb4} = (c_{bc} - 0.5 R_h - 0.5877852523 r_s) \varepsilon_{ccu} / c_{bc}$$

$$\varepsilon_{sb4} = (246.996 - 0.5 \cdot 340 - 0.5877852523 \cdot 152) \cdot 0.00667 / 246.996 = -0.000334$$

$$\varepsilon_{sb5} = [c_{bc} - 0.5 (R_h + z_s)] \varepsilon_{ccu} / c_{bc}$$

$$\varepsilon_{sb5} = [246.954 - 0.5 (340 + 289.121)] \cdot 0.00667 / 246.954 = -0.00183$$

Donatı gerilmeleri,

$$\varepsilon_{sb1} > 0, \quad \varepsilon_{yd} < \varepsilon_{sb1} < \varepsilon_{sh} \quad \sigma_{sb1} = f_{yd} = 365.217 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{sb2} > 0, \quad \varepsilon_{yd} < \varepsilon_{sb2} < \varepsilon_{sh} \quad \sigma_{sb2} = f_{yd} = 365.217 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{sb3} > 0, \quad \varepsilon_{yd} < \varepsilon_{sb3} < \varepsilon_{sh} \quad \sigma_{sb3} = f_{yd} = 365.217 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{sb4} < 0, \quad \varepsilon_{sb4} < \varepsilon_{yd} \quad \sigma_{sb4} = \varepsilon_{sb4} E_s = -0.000334 \cdot 2 \cdot 10^5 = -66.742 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{sb5} < 0, \quad \varepsilon_{yd} < \varepsilon_{sb5} < \varepsilon_{sh} \quad \sigma_{sb5} = -f_{yd} = -365.217 \text{ N/mm}^2$$

Dengeli eksantrite,

$$e_b = \{ [0.25 K f_{cd} k_{1c} R_h^2 (\theta_{bc} - \sin\theta_{bc} \cos\theta_{bc}) [0.5 (R_h + z_s) - k_{2c} c_{bc}] +$$

$$0.25 k_3 f_{cd} k_1 (R^2 - R_h^2) (\theta_{bc} - \theta_b) [0.5 (R_h + z_s) - c_{bc} + c_b - (k_2 c_b)] +$$

$$2 A_{si} [ \sigma_{sb1} z_s + \sigma_{sb2}(0.5 z_s + 0.5877852523 r_s) + \sigma_{sb3} 0.5 z_s$$

$$+ \sigma_{sb4}(0.5 z_s - 0.5877852523 r_s)] / [0.25 K f_{cd} k_{1c} R_h^2 (\theta_{bc} - \sin\theta_{bc} \cos\theta_{bc})$$

$$+ 0.25 k_3 f_{cd} k_1 (R^2 - R_h^2) (\theta_{bc} - \theta_b) + 2 A_{si} (\sigma_{sb1} + \sigma_{sb2} + \sigma_{sb3} + \sigma_{sb4} + \sigma_{sb5})] \} - 0.5 z_s$$

$$e_b = \{ [0.25 \cdot 1.174 \cdot 13.333 \cdot 0.809 \cdot 340^2 (2.041 - \sin 2.041 \cos 2.041) [0.5 (340 + 289.121) -$$

$$0.458 \cdot 246.996] + 0.25 \cdot 0.85 \cdot 13.333 \cdot 0.774 (400^2 - 340^2) (2.041 - 1.703) [0.5 \cdot (340 +$$

$$\begin{aligned}
& 289.121) - 246.996 + 226.425 - (0.423 \cdot 226.425) + 2 \cdot 201.06 ( 365.217 \cdot 289.121 + \\
& 365.217 ( 0.5 \cdot 289.121 + 0.5877852523 \cdot 152 ) + 365.217 \cdot 0.5 \cdot 289.121 - \\
& 66.741 ( 0.5 \cdot 289.121 - 0.5877852523 \cdot 152 )) ] / [ 0.25 \cdot 1.174 \cdot 13.333 \cdot 0.809 \cdot 340^2 \\
& (2.041 - \sin 2.041 \cos 2.041) + 0.25 \cdot 0.85 \cdot 13.333 \cdot 0.774 (400^2 - 340^2) ( 2.041 - 1.703 ) \\
& + 2 \cdot 201.06 ( 365.217 + 365.217 + 365.217 - 66.741 - 365.217 ) ] } - 0.5 \cdot 289.121
\end{aligned}$$

$$e_b = 95.804 \text{ mm}$$

$$e = 240 \text{ mm} > e_b = 95.804 \text{ mm} \text{ Çekme kırılması}$$

Akma limiti,

$$c_{yc} = 190 \text{ mm tahmin edelim.}$$

Birim deformasyonlar,

$$\epsilon_s = \epsilon_{yd} = 0.001826$$

$$\epsilon_{ccm} = c_{yc} \epsilon_{yd} / [ 0.5 ( R_h + z_s ) - c_{yc} ]$$

$$\epsilon_{ccm} = 190 \cdot 0.001826 / [ 0.5 ( 340 + 289.121 ) - 190 ] = 0.00278$$

$$c_y = c_{yc} / K = 190 / 1.174 = 161.84 \text{ mm}$$

$$\epsilon_{cm} = \epsilon_{ccm} c_y / c_{yc} = 0.00278 \cdot 161.84 / 190 = 0.00237$$

$$\epsilon_{sy1} = [ c_{yc} - 0.5 ( R_h - z_s ) ] \epsilon_{yd} / [ 0.5 ( R_h + z_s ) - c_{yc} ]$$

$$\epsilon_{sy1} = [ 190 - 0.5 ( 340 - 289.121 ) ] 0.001826 / [ 0.5 ( 340 + 289.121 ) - 190 ] = 0.00241$$

$$\epsilon_{sy2} = ( c_{yc} - 0.5 R_h + 0.5877852523 r_s ) \epsilon_{yd} / [ 0.5 ( R_h + z_s ) - c_{yc} ]$$

$$\epsilon_{sy2} = ( 190 - 0.5 \cdot 340 + 0.5877852523 \cdot 152 ) 0.001826 / [ 0.5 ( 340 + 289.121 ) - 190 ]$$

$$= 0.0016$$

$$\epsilon_{sy3} = ( c_{yc} - 0.5 R_h ) \epsilon_{yd} / [ 0.5 ( R_h + z_s ) - c_{yc} ]$$

$$\epsilon_{sy3} = ( 190 - 0.5 \cdot 340 ) 0.001826 / [ 0.5 ( 340 + 289.121 ) - 190 ] = - 0.000293$$

$$\epsilon_{sy4} = ( c_{yc} - 0.5 R_h - 0.5877852523 r_s ) \epsilon_{yd} / [ 0.5 ( R_h + z_s ) - c_{yc} ]$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_{sy4} &= (190 - 0.5 \cdot 340 - 0.5877852523 \cdot 152) \cdot 0.001826 / [0.5 (340 + 289.121) - 190] \\ &= -0.00102\end{aligned}$$

$$\varepsilon_{sy5} = -\varepsilon_{yd} = -0.001826$$

$$c_y = 161.84 < 0.5 R_h = 170 \quad \theta_y = \arccos [(0.5 R_h - c_{yc} + c_y) / (0.5 R_h)]$$

$$\theta_y = \arccos [(0.5 \cdot 340 - 190 + 161.84) / (0.5 \cdot 340)] = 1.583 \text{ rad}$$

$$c_{yc} = 190 > 0.5 R_h = 170 \quad \theta_{yc} = \pi - \arccos [(c_{yc} - 0.5 R_h) / (0.5 R_h)]$$

$$\theta_{yc} = \pi - \arccos [(190 - 0.5 \cdot 340) / (0.5 \cdot 340)] = 1.688 \text{ rad}$$

Donatı gerilmeleri,

$$\varepsilon_{sy1} > 0, \quad \varepsilon_{sy1} > \varepsilon_{yd} \quad \sigma_{sy1} = f_{yd} = 365.217 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{sy2} > 0, \quad \varepsilon_{sy2} < \varepsilon_{syd} \quad \sigma_{sy2} = \varepsilon_{sy2} E_s = 0.0016 \cdot 2 \cdot 10^5 = 320 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{sy3} < 0, \quad |\varepsilon_{sy3}| < \varepsilon_{yd} \quad \sigma_{sy3} = \varepsilon_{sy3} E_s = -0.000293 \cdot 2 \cdot 10^5 = -58.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{sy4} < 0, \quad |\varepsilon_{sy4}| < \varepsilon_{yd} \quad \sigma_{sy4} = \varepsilon_{sy4} E_s = -0.00102 \cdot 2 \cdot 10^5 = -204 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{sy5} < 0, \quad \varepsilon_{sy5} = -\varepsilon_{yd} \quad \sigma_{sy5} = -f_{yd} = -365.217 \text{ N/mm}^2$$

$$k_1 = [(\varepsilon_{cm} / 0.0022) - (\varepsilon_{cm}^2 / 0.00001452)]$$

$$k_1 = [(0.00237 / 0.0022) - (0.00237^2 / 0.00001452)] = 0.69$$

$$k_2 = 1 - \{[(\varepsilon_{cm}^3 / 0.0033) - (\varepsilon_{cm}^4 / 0.00001936)] / [(\varepsilon_{cm}^3 / 0.0022) - (\varepsilon_{cm}^4 / 0.00001452)]\}$$

$$k_2 = 1 - \{[(0.00237^3 / 0.0033) - (0.00237^4 / 0.00001936)] /$$

$$[(0.00237^3 / 0.0022) - (0.00237^4 / 0.00001452)]\} = 0.38$$

$$k_{1y} = [(\varepsilon_{ccm} / 0.0022) - (\varepsilon_{ccm}^2 / 0.00001452)]$$

$$k_{1y} = [(0.00278 / 0.0022) - (0.00278^2 / 0.00001452)] = 0.731$$

$$k_{2y} = 1 - \{[(\varepsilon_{ccm}^3 / 0.0033) - (\varepsilon_{ccm}^4 / 0.00001936)] / [(\varepsilon_{ccm}^3 / 0.0022) - (\varepsilon_{ccm}^4 / 0.00001452)]\}$$

$$k_{2y} = 1 - \{[(0.00278^3 / 0.0033) - (0.00278^4 / 0.00001936)] /$$

$$[(0.00278^3 / 0.0022) - (0.00278^4 / 0.00001452)]\} \quad k_{2y} = 0.393$$

$$N_{y1} = [ 0.25 K f_{cd} k_{ly} R_h^2 ( \theta_{yc} - \sin\theta_{yc} \cos\theta_{yc} ) + 0.25 k_3 f_{cd} k_l ( R^2 - R_h^2 ) ( \theta_{yc} - \theta_y ) + 2 A_{si} ( \sigma_{sy1} + \sigma_{sy2} + \sigma_{sy3} + \sigma_{sy4} + \sigma_{sy5} ) ]$$

$$N_{y1} = [ 0.25*1.174*13.333*0.731*340^2 ( 1.688 - \sin1.688 \cos1.688 ) + 0.25*0.85*13.333*0.69*( 400^2 - 340^2 ) ( 1.688 - 1.583 ) + 2*201.06 ( 365.217 + 320 - 58.6 - 204 - 365.217 ) ] = 628790.954 \text{ N}$$

$$N_{y2} = \{ 0.25 K f_{cd} k_{ly} R_h^2 ( \theta_{yc} - \sin\theta_{yc} \cos\theta_{yc} ) ( 0.5 ( R_h + z_s ) - k_{2y} c_{yc} ) + 0.25 k_3 f_{cd} k_l ( R^2 - R_h^2 ) ( \theta_{yc} - \theta_y ) ( 0.5 ( R_h + z_s ) - c_{yc} + c_y - k_2 c_y ) + 2 A_{si} [ \sigma_{sy1} z_s + \sigma_{sy2} ( 0.5 z_s + 0.5877852523 r_s ) + \sigma_{sy3} 0.5 z_s + \sigma_{sy4} ( 0.5 z_s - 0.5877852523 r_s ) ] \} / ( e + 0.5 z_s )$$

$$N_{y2} = \{ 0.25*1.174*13.333*0.731*340^2 ( 1.688 - \sin1.688 \cos1.688 ) [ 0.5 ( 340 + 289.121 ) - 0.393*190 ] + 0.25*0.85*13.333*0.69*( 400^2 - 340^2 ) ( 1.688 - 1.583 ) [ 0.5 ( 340 + 289.121 ) - 190 + 161.84 - 0.38*161.84 ] + 2*201.06 [ 365.217*289.121 + 320 ( 0.5*289.121 + 0.5877852523*152 ) - 58.6*0.5*289.121 - 204 ( 0.5*289.121 - 0.5877852523*152 ) ] \} / ( 240 + 0.5*289.121 )$$

$$N_{y2} = 545532.424 \text{ N} \quad N_{y1} \neq N_{y2}$$

$$c_{yc} = 162.28 \text{ mm tahmin edelim.}$$

$$\varepsilon_{cem} = 162.28*0.001826 / [ 0.5 ( 340 + 289.121 ) - 162.28 ] = 0.00195$$

$$c_y = 162.28 / 1.174 = 138.228$$

$$\varepsilon_{cm} = 0.00195*138.228 / 162.28 = 0.00166$$

$$c_{yc} = 162.28 < 0.5 R_h = 170 \quad \theta_{yc} = \text{Arccos} [ ( 0.5 R_h - c_{yc} ) / ( 0.5 R_h ) ]$$

$$\theta_{yc} = \text{Arccos} [ ( 0.5*340 - 162.28 ) / ( 0.5*340 ) ] = 1.525 \text{ rad}$$

$$\theta_y = \text{Arccos} [ ( 0.5*340 - 162.28 + 138.228 ) / ( 0.5*340 ) ] = 0.538 \text{ rad}$$

Birim deformasyonlar,

$$\varepsilon_{sy1} = 162.28 - 0.5 ( 340 - 289.121 ) ] 0.001826 / [ 0.5 ( 340 + 289.121 ) - 162.28 ] = 0.00164$$

$$\varepsilon_{sy2} = (162.28 - 0.5*340 + 0.5877852523*152 ) 0.001826 / [ 0.5 ( 340 + 289.121 ) - 162.28 ]$$

$$\varepsilon_{sy2} = 0.000979$$

$$\varepsilon_{sy3} = (162.28 - 0.5*340 ) 0.001826 / [ 0.5 ( 340 + 289.121 ) - 162.28 ] = - 0.0000926$$

$$\varepsilon_{sy4} = (162.28 - 0.5*340 - 0.5877852523*152 ) 0.001826 / [ 0.5 ( 340 + 289.121 ) - 162.28 ]$$

$$\varepsilon_{sy4} = - 0.00116$$

$$\varepsilon_{sy5} = - 0.001826$$

Birim deformasyonlar,

$$\varepsilon_{sy1} > 0, \quad \varepsilon_{sy1} < \varepsilon_{yd} \quad \sigma_{sy1} = \varepsilon_{sy1} E = 0.00164*2*10^5 = 328.187 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{sy2} > 0, \quad \varepsilon_{yd} < \varepsilon_{sy2} < \varepsilon_{sh} \quad \sigma_{sy2} = \varepsilon_{sy2} E_s = 0.000979*2*10^5 = 195.758 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{sy3} < 0, \quad \varepsilon_{yd} < |\varepsilon_{sy3}| < \varepsilon_{sh} \quad \sigma_{sy3} = \varepsilon_{sy3} E_s = - 0.0000926*2*10^5 = -18.515 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{sy4} < 0, \quad |\varepsilon_{sy4}| < \varepsilon_{yd} \quad \sigma_{sy4} = \varepsilon_{sy4} E_s = - 0.00116*2*10^5 = -232.788 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{sy5} < 0, \quad \varepsilon_{sy5} = - \varepsilon_{yd} \quad \sigma_{sy5} = - 365.217 \text{ N/mm}^2$$

$$k_1 = [ (0.00166 / 0.0022 ) - (0.00166^2 / 0.00001452 ) ] = 0.565$$

$$k_2 = 1 - \{ [0.00166^3 / 0.0033] - ( 0.00166^4 / 0.00001936) \}$$

$$/ [ (0.00166^3 / 0.0022) - ( 0.00166^4 / 0.00001452) ] = 0.361$$

$$k_{1y} = [ (0.00195 / 0.0022 ) - (0.00195^2 / 0.00001452 ) ] = 0.624$$

$$k_{2y} = 1 - \{ [0.00195^3 / 0.0033] - ( 0.00195^4 / 0.00001936) \}$$

$$/ [ (0.00195^3 / 0.0022) - ( 0.00195^4 / 0.00001452) ] = 0.368$$

$$N_{y1} = [0.25*1.174*13.333*0.624*340^2*(1.525 - \sin 1.525 \cos 1.525 ) +$$

$$0.25*0.85*13.333*0.565*(400^2 - 340^2) (1.525 - 0.538)$$

$$+ 2*201.06 ( 328.187 + 195.758 - 18.515 - 232.788 - 365.217) ] = 450385.473 \text{ N}$$

$$N_{y2} = [0.25*1.174*13.333*0.624*340^2 ( 1.525 - \sin 1.525 \cos 1.525 ) [ 0.5 ( 340 + 289.121 ) -$$

$$0.368*208.26 ] + 0.25*0.85*13.333*0.565*(400^2 - 340^2) (1.525 - 0.538) (0.5(340 + 289.121) - 162.28 + 138.228 - 0.361*138.228) + 2*201.06 [ 328.187*289.121 + 195.758 (0.5*289.121 + 0.5877852523*152) - 18.515*0.5*289.121 - 232.788 ( 0.5*289.121 - 0.5877852523*152 )] / ( 240 + 0.5*289.121 ) = 451362.252$$

$$N_{y1} \cong N_{y2}$$

$$M_y = N_y e = 450385.473*240 = 108.1*10^6 \text{ Nmm}$$

$$\phi_y = \epsilon_{ccm} / c_{yc} = 0.00195 / 162.28*10^{-3} = 0.012 \text{ rad/m}$$

$$\delta = \phi_{uc} / \phi_y = 0.0434 / 0.012 = 3.62 \text{ (Kesit eğrilik düktilitesi)}$$

$$\phi_{uc} / \phi_u = 0.0434 / 0.0181 = 2.4$$

Sonuçlar incelendiği zaman, her iki uygulamada da donatılarda oluşan birim deformasyonların pekleşme başlangıç birim deformasyonunu aşmadığı ( $\epsilon_{yd} \leq \epsilon_{si} \leq \epsilon_{sh}$ ) görülmüştür. Bu nedenle hesaplar, donatıların pekleşme evresinde olmadığı kabul edilerek yapılmıştır. Ancak  $\epsilon_{sh} < \epsilon_{si}$  olması durumunda donatı gerilmelerinin  $\sigma_{si}$ , pekleşmeli duruma göre hesaplanması gerektiği unutulmamalıdır.

Uygulama 1'de, halka donatı etkisinin göz önüne alınmadığı kuşatılmamış durum için boyuna donatı alanı  $A_{sv} = 1642 \text{ mm}^2$ , son limit eğriliği  $\phi_u = 0.0181 \text{ rad/m}$  elde edilmiştir. Uygulama 2'de ise aynı veriler dikkate alınarak bu kez halka donatı etkisinin dikkate alındığı kuşatılmış durum için boyuna donatı alanı  $A_{sv} = 1938 \text{ mm}^2$ , son limit eğriliği ise  $\phi_{uc} = 0.0434 \text{ rad/m}$  elde edilmiştir. Sonuçlar karşılaştırılırsa, kuşatma etkisi kesit dayanımını ve son limit eğriliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Kuşatılmış kesite ilişkin son limit eğriliğinin kuşatılmamış kesite ilişkin eğriliğe oranı  $\phi_{uc} / \phi_u = 0.0434 / 0.0181 = 2.4$  katına ulaşmaktadır. Bu da beklenen bir sonuçtur.

Ayrıca Uygulama 2'de akma limitine göre de çözümlene yapılmış, akma yükü  $N_y = 450.385 \text{ kN}$ , akma momenti  $M_y = 108.1 \text{ kNm}$ , akma eğriliği  $\phi_y = 0.012 \text{ rad/m}$ , son limit eğriliğinin akma limit eğriliğine oranını ifade eden eğrilik düktilitesi  $\delta = \phi_{uc} / \phi_y = 0.0434 / 0.012 = 3.62$  elde edilmiştir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada dairesel kesitli betonarme kolonların kuşatma ve pekleşme etkileri göz önüne alınarak son limit duruma göre boyutlandırılması ve akma limit duruma göre çözümlenmesine ilişkin algoritmalar önerilmiştir. Önerilen algoritmalar, ilgili kabullerin, varsayımların, idealleştirmelerin ve değerlendirmelerin gerçekçi ve güvenilir olmasını gerektirir. Bu amaçla çalışmanın ikinci bölümünde daha önce yapılan çalışmalarda önerilen, deneysel bulgularla uyuşan, tasarımda kullanmaya elverişli malzeme davranış modelleri ( $\sigma - \epsilon$  ilişkileri) tanıtılmıştır. Betona ilişkin  $\sigma - \epsilon$  davranış modelleri kuşatılmamış ve kuşatılmış betonlar için ayrı ayrı irdelenmiştir. Bileşik eğilme etkisinde kalan kesitlerin çözümlenmesi ve tasarımı için geliştirilen algoritmalarla yapılan işlemlerde; beton basınç gerilme dağılımını belirleyen parametrelerin ( $k_1, k_2$ ) değerleri, duyarlı yaklaşımla, ilgili limit duruma ve ilgili beton  $\sigma - \epsilon$  davranış modeline göre belirlenmiştir.

Betonarme kesitlerin son limite göre tasarımında donatıdaki pekleşme nedeniyle oluşan mukavemet artışı genellikle göz önüne alınmamaktadır. Bu, mukavemet hesapları bakımından güvenli yönde bir kabuldür. Ancak, limit tasarımda son limit eğriliklerinin pekleşme (oluşuyorsa) göz önüne alınmadan belirlenmesi, ikinci bölümde ayrıntılı belirtildiği gibi, ihtiyatlı bir yaklaşım olmamakta; bu eğriliklerin fonksiyonu olan potansiyel plastik mafsallık dönme kapasitelerinin olduğundan büyük tahmin edilmesine yol açmaktadır. Bu nedenle donatı çeliğinin pekleşmeli  $\sigma - \epsilon$  davranışını betimleyen model dikkate alınmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde ilgili malzeme davranış modelleri esas alınarak dairesel kesitli betonarme kolonların boyutlandırılması ve çözümlenmesine ilişkin algoritmalar geliştirilmiştir. Anılan algoritmalar sık konulan dairesel halka ya da spiral donatıyla kuşatılan betonarme kolonlarda beton mukavemeti ve eğrilik düktilitesindeki artışın, kuşatılmamış kolonlardaki değerlerle karşılaştırılması amacıyla kuşatılmış pekleşmeli ve kuşatılmamış pekleşmeli durumlar için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Kuşatılmış – pekleşmeli durumda halka donatı içinde kalan çekirdek beton kuşatılmış, halka donatı dışında kalan örtü betonu kuşatılmamış kesit olarak tasarlanmıştır. Halka donatı etkisinin dikkate alınmadığı kuşatılmamış – pekleşmeli durumda ise tüm kesit kuşatılmamış olarak tasarlanmıştır. Algoritmaların oluşturulmasında limit tasarım modelleri ve denge denklemleri kullanılarak iterasyonlardan yararlanılmış, donatı sayısı ve düzeni analiz öncesi belirlenmiştir. Analiz sonunda son limit duruma göre yapılan çözümlenmelerde kabul edilen donatı düzeni için gerekli boyuna donatı alanı, son limit eğriliği, akma limit duruma göre yapılan

çözümlemelerde ise, akma yükü, akma momenti ve eğriliği belirlenmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde irdelenen sayısal uygulamalarda, dairesel kesitli betonarme kolon, aynı veriler dikkate alınarak kuşatılmamış – pekleşmeli ve kuşatılmış – pekleşmeli durumlar için boyutlandırılmış, ilgili limit durumlara ilişkin eğrilikler hesaplanmış, sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Hesapların uzun ve zaman alıcı olması nedeniyle çalışmanın ekler bölümünde akış diyagramları ve bir bilgisayar programı verilmiş, bu program yardımıyla sonuçların anında elde edilmesi hedeflenmiştir. Bilgisayar programı donatı sayısı  $n = 6, 8, 10, 12$  ve  $14$  olduğu donatı düzenleri için hazırlanmıştır. Akış diyagramları tüm donatı düzenleri için hazırlanmış, ancak çalışmanın ekler bölümünde sadece  $n = 6$  donatı düzenine ilişkin akış diyagramları verilmiştir.

Bu bağlamda çalışmada önerilen algoritmalarla dairesel kesitli betonarme kolonlar kuşatma ve pekleşme etkileri göz önüne alınarak güvenilir ve duyarlı yaklaşımlarla son limit duruma göre boyutlandırılabilir, akma limit duruma göre çözümlenebilir; kesit eğrilik düktiliteleri belirlenebilir. Dolayısıyla gerçekçi ve güvenilir kabullere dayalı algoritmaların kullanılması limit tasarımın güvenilirliğini artırır. Önerilen algoritmalar kuşatma donatısının spiral ya da halka olması durumlarının her ikisi için de geçerlidir. Ayrıca bu çalışmada dairesel kesitli kolonlarda tarafsız eksen derinliğinin kesit dışında kalması durumu hem çok karmaşık hem de uygulamada nadir rastlanan bir durum olduğundan araştırma kapsamına alınmamıştır.

**KAYNAKLAR**

ACI Committee 318, (1984a), Building Code Requirements for Reinforced Concrete, ACI Publication, Detroit.

Aktan, A.E., Karlsson, B.I. ve Sozen, M.N., (1973), "Stress – Strain Relationship of Reinforced Bars Subjected to Large Strain Reversals", Civil Engineering Studies Structural Research Series, University of Illinois, Urbana, 397.

Baker, A.L.L., ve Amarakone, A.M.N., (1964), "Inelastic Hyperstatic Frames Analysis", Proceedings of the International Symposium on the Flexural Mechanics of Reinforced Concretes ASCE – ACI, ACI SP – 12, November, Miami.

Barnard, P.R., (1964), "Research Into the Complete Stress – Strain Curve for Concrete", Magazine of Concrete Research.

BSI, (1980), Code of Practice for Structural Use of Concrete (CP 110, Part 1: Design, Materials and Workmanship), British Standards Institution, London.

CEB, CEB – FIP, (1978), "Model Code for Concrete Structures", Bulletin d'Information, 124/125.

CEB, (1983a), "Concrete Under Multiaxial State of Stress Constitutive Equations for Practical Design", Bulletin d'Information, 156.

CEB, (1983b), "Response of Reinforced Concrete Critical Regions Under Large Amplitude Reversed Actions", Bulletin d'Information, 161.

CEB, (1991a), "CEB – FIP Model Code 1990 Final Draft Chapter 1-3", Bulletin d'Information, 203.

CEB, (1991d), "Behaviour and analysis of reinforced Concrete Structures Under Alternate Actions Inducing Inelastic Response V.1: General Models", Bulletin d'Information, 210.

Celep ve Kumbasar, (1998), Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.

Darvall, P. Le P. ve Mendis, (1985), "Elastic Plastic Softening Analysis of Plane Frames", Proceedings ASCE, 111 (4).

Darwin, D. ve Pecknold, D.A.W., (1974), Inelastic Model for Cyclic Biaxial Loading of Reinforced Concrete, University of Illinois, Urbana – Champaign.

Ersoy, U., (1985a), "A Study on the Stress – Strain Relationship of Confined Concrete Influence of Strain Gradient and Strain History", Research Report METU, Ankara.

Ersoy, U., (1985b), Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı Cilt 1, Bizim Büro Basımevi, Ankara.

Ersoy, U., Tankut, T. ve Uzumeri, S.M., (1987), "The Influence of Strain History and Strain Gradient of Confined Concrete", Canadian Journal of Civil Engineering, 14 (3).

FIP/CEB, (1990), "High Strength Concrete, State of the Art Report", Bulletin d'Information, 197.

Gündüz, A., (1985), "Kuşatılmamış Betonla ilgili Bir Gerilme – Birim Deformasyon Hesap İlişkisi", Yıldız Üniversitesi Dergisi, Sayı 1.

Gündüz, A., (1986a), “Kuşatılmamış Betonlu Dikdörtgen Kiriş Kesitlerinde Moment – Eğrilik İlişkilerinin Belirlenmesiyle İlgili Bir Tasarım Algoritması”, Yıldız Üniversitesi Dergisi, Sayı 1.

Gündüz, A., (1988a), “Beton Mukavemetinin Betonarme Yapıların Göçme Riski Üzerindeki Etkisi”, Ülkemizin Kalkınmasında Mühendisliğin Rolü Sempozyumu, Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 20-24 Haziran, İstanbul.

Gündüz, A., (1989), “Dikdörtgen Çelik Halkalarla Kuşatılmış Basınç Etkisinde Kalan Betonun Gerilme – Birim Deformasyon Davranışıyla İlgili Geliştirilmiş Bir Tasarım Modeli”, Yıldız Üniversitesi Dergisi, Sayı 1.

Gündüz, A., (1990a), “Kuşatılmış Betonlu Dikdörtgen Kiriş Kesitleriyle İlgili Bir Tasarım Algoritması”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, 1 (3).

Gündüz, A., (1991a), “Yüksek ve Normal Mukavemetli Betonların Davranışının Yanal Donatıyla Yetkinleştirilmesi”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi 2. Ulusal Beton Kongresi, 27-30 Mayıs, İstanbul.

Gündüz, A. ve Noyan, S., “Kuşatılmamış Kesitli Betonarme Kirişlerin Son Limit Eğriliği ve Momenti Üzerinde Çelik Pekleşmesi Etkisi”, Yıldız Üniversitesi Dergisi Sayı 1, İstanbul, 35-42, 1988.

Gündüz, A. ve Noyan, S., “Kuşatılmış Kesitli Betonarme Kirişlerde Akma Limiti ve Son Limit Momentinin ve Düktilite Oranının Belirlenmesi”, Yıldız Üniversitesi Dergisi Sayı 1, İstanbul, 43-52, 1988.

Gündüz, A. ve Noyan, S., “Kuşatılmış Kesitli Betonarme Kirişlerde Son Limit Momentinin ve Eğriliğinin Donatıdaki Pekleşme Göz Önüne Alınarak Belirlenmesi”, Yıldız Üniversitesi Dergisi Sayı 2, İstanbul, 13-20, 1988.

Gündüz, A. ve Noyan, S., “Betonarme Kirişlerde Plastik Mafsal Dönme Kapasitelerinin Belirlenmesiyle İlgili Bir Yaklaşım”, Yıldız Üniversitesi Dergisi Sayı 1-4, 29-36, İstanbul, 1991.

Gündüz, A. ve Noyan, S., “Kuşatılmamış Betonlu Kısa Kolonlar İçin Geliştirilmiş Tasarım Algoritmaları”, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi Sayı 4, İstanbul, 17-26, 1993.

Gündüz, A. ve Noyan, S., “Betonarme Kısa Kolonların Akma Limitine Göre Çözümlemesi”, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi Sayı 2, İstanbul, 37-46, 1994.

Giannini, R. ve Menegotto, M., (1982), “A Reliability Analysis of Slender Columns Design Rules”, Bulletin d'Information, 154.

İlki, A., (2000), “Betonarme Elemanların Yön Değiştiren Tekrarlı Yükler Altında Doğrusal Olmayan Davranışı”, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmamış).

Kachanov, L.M., (1974), Fundamentals of the Theory of Plasticity, Mir Publishers, Moscow.

Kent, D.C. ve Park, R., (1971), “Flexural Members With Confined Concrete”, Proceedings ASCE, 97 (7).

Kurtuluş, T., (1999), “Betonarme Kolonların Kuşatma ve Pekleşme Etkileri Dikkate Alınarak Çözümlemesi ve Boyutlandırılması”, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmamış).

Mac Gregor, J.G., (1997), Reinforced Concrete Mechanics and Design, Prentice – Hall International Inc., New Jersey.

Mattock, A.H., Kriz, L.B. ve Hognestad, E., (1961), “Rectangular Stress Distribution in Ultimate Strength Design”, ACI Journal Proceedings, 57 (2).

Park, R., Kent, D.C. ve Sampson, R.A., (1972), “Reinforced Concrete Members With Cyclic Loading”, Proceedings ASCE, 98.

Park, R. ve Paulay, T., (1975), Reinforced Concrete Structures, Wiley, New York.

Park, R., Priestley, M.J. ve Gill, W.D., (1982), “Ductility of Square – Confined Concrete Columns”, Proceedings ASCE, 108 (4).

Sheikh, S.A., (1982), “A Comparative Study of Confinement Models”, Journal of the American Concrete Institute, 79 (3): 296-305.

Thompson, K.J. ve Park, R., (1980), “Moment – Curvature Behaviour of Cyclically Loaded Structural Concrete Members”, Proc. Instn. Civ. Egrs. Part 2, 69: 317-341.

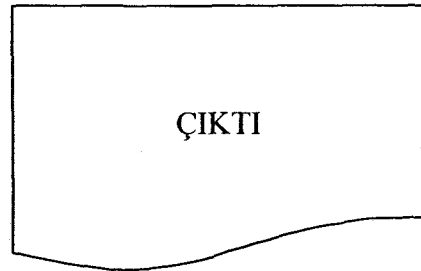
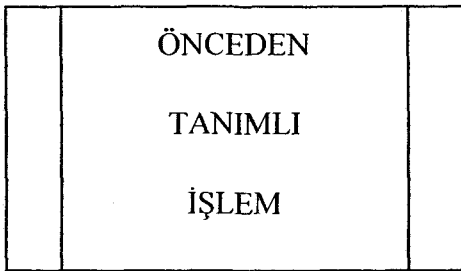
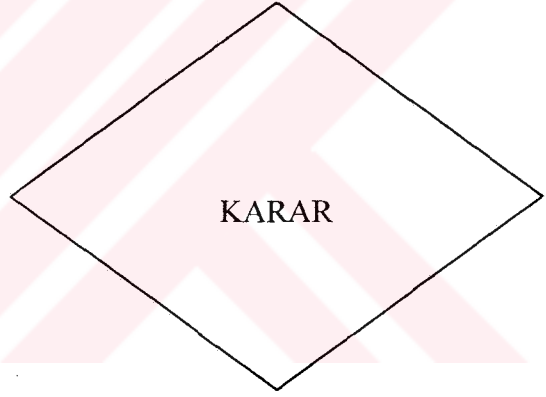
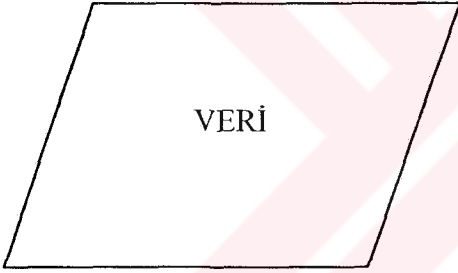
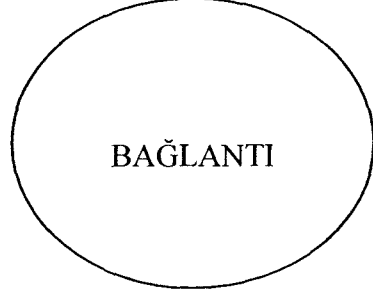
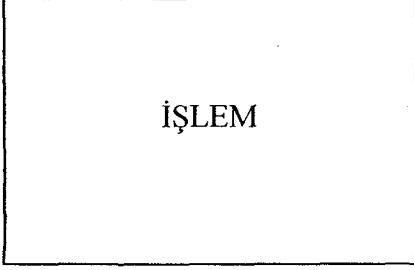
TSE, (2000), Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, İstanbul.

Yamashiro, R. ve Siess, C.P., (1962), “Moment Rotation Characteristics of Reinforced Concrete Members Subjected to Bending, Shear and Axial Load”, Civil Engineering Structural Research Series University of Illinois Urbana, 260.

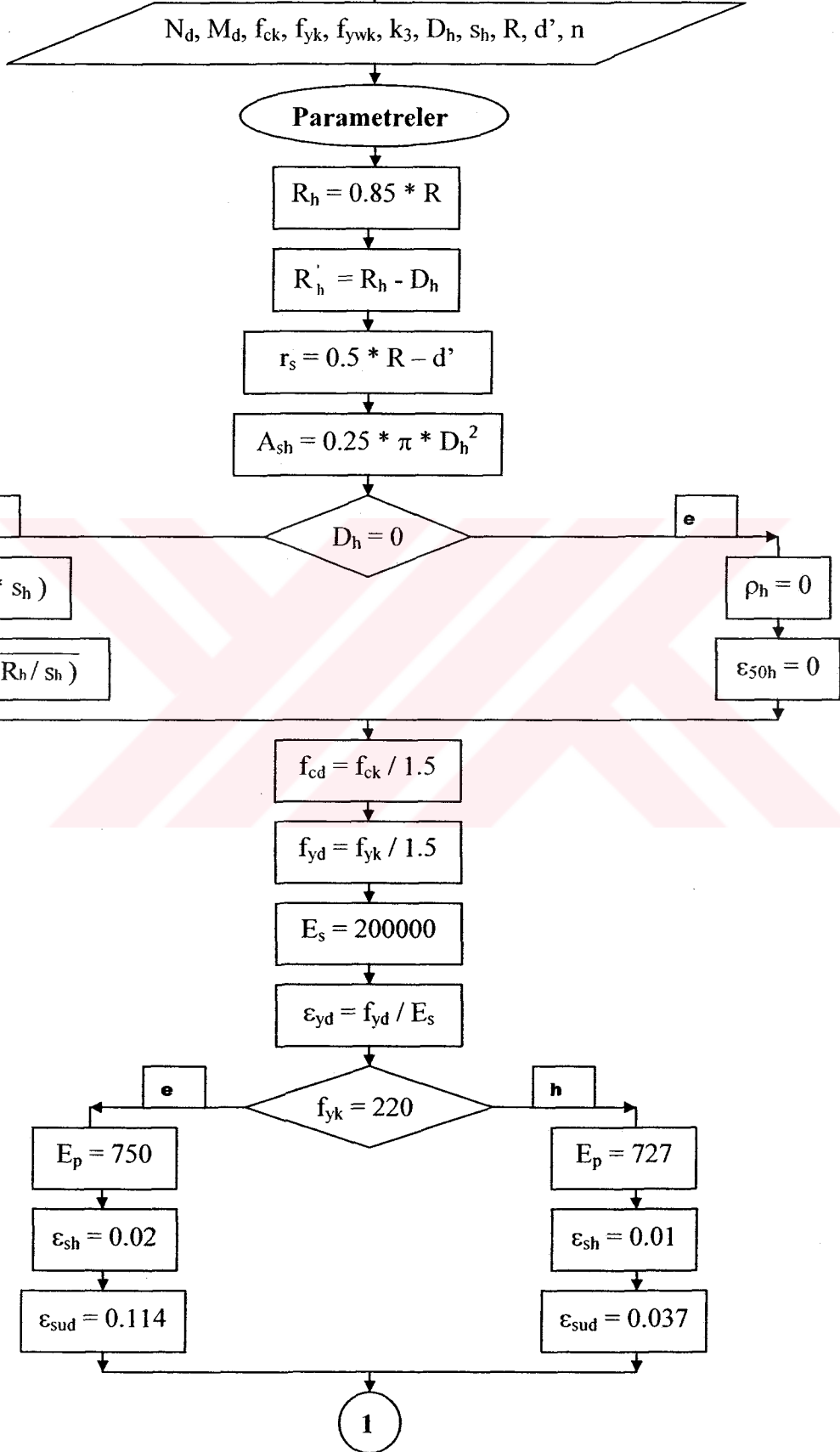
**EKLER**

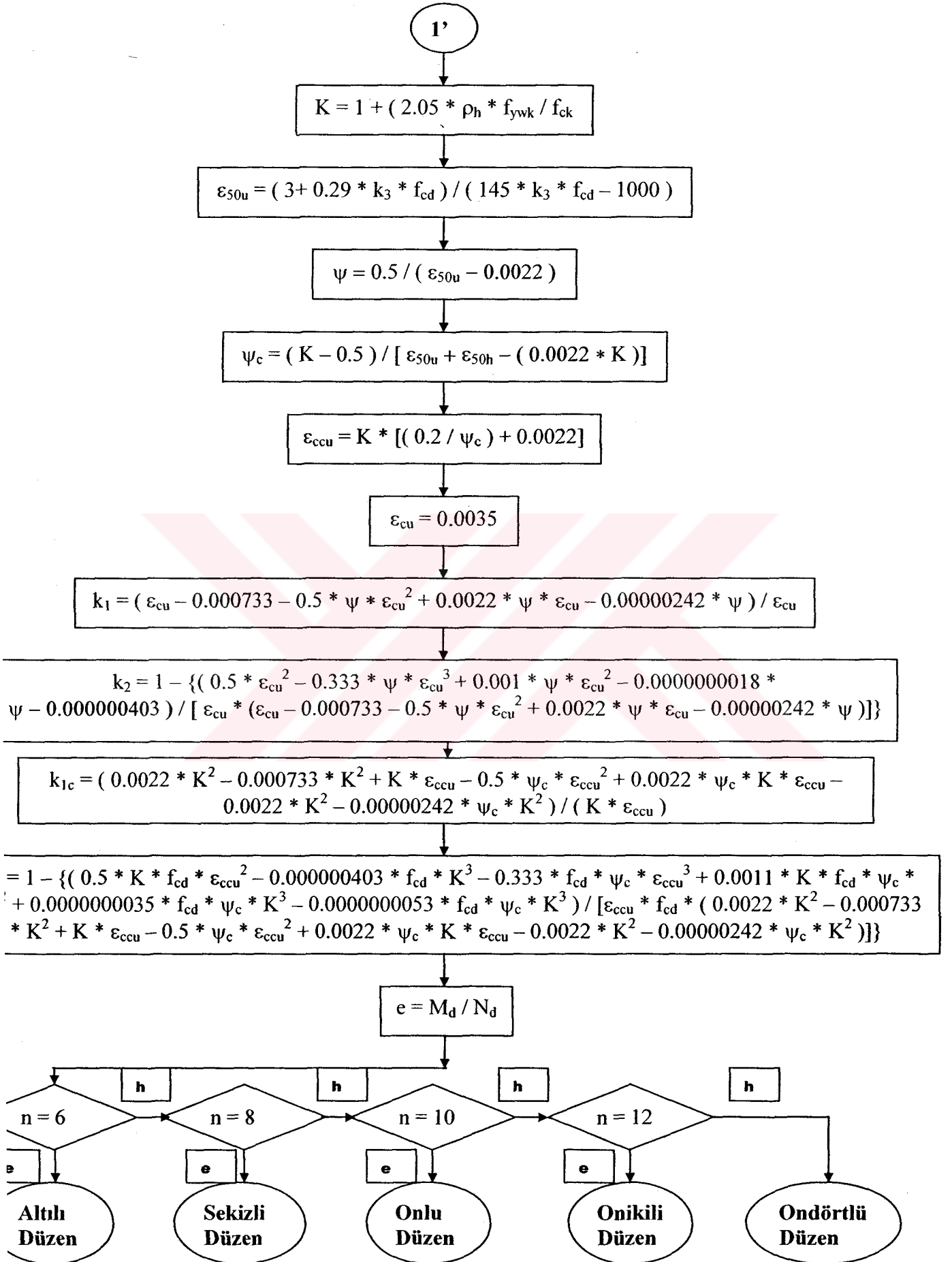
- Ek 1 Akış Diyagramları
- Ek 2 Bilgisayar programı kullanım kılavuzu
- Ek 3 Bilgisayar programı ( metin olarak )
- Ek 4 Bilgisayar programı ( disket olarak )



**Ek 1 Akış Diyagramları****Akış diyagramlarında kullanılan semboller**

**Dairesel Kesitli Kolonların Kuşatma ve Pekleşme Etkileri  
Göz Önüne Alınarak Son Limite Göre Boyutlandırılması  
ve Akma Limit Duruma Göre Çözülmesi**





## Altılı Düzen

$$z_s = 2 * 0.8660254038 * r_s$$

$$c_{uc} = 0$$

3'

$$c_{uc} = c_{uc} + 0.01$$

## Kesit Ortası Hata Denetimi 1

$$c_{uc} = 0.5 * R \text{ Or} \\ c_{uc} = 0.5 * R_h$$

$$c_{uc} = c_{uc} + 0.01$$

$$c_{uc} = c_{uc}$$

$$D_h = 0$$

$$c_u = \varepsilon_{cu} * c_{uc} / \varepsilon_{ccu}$$

$$c_u = c_{uc}$$

$$\theta_c = 0$$

$$\varepsilon_{s1} = [c_{uc} - 0.5 * (R_h - z_s)] * \varepsilon_{ccu} / c_{uc}$$

$$\varepsilon_{s1} = [c_u - 0.5 * (R - z_s)] * \varepsilon_{cu} / c_u$$

$$\varepsilon_{s2} = (c_{uc} - 0.5 * R_h) * \varepsilon_{ccu} / c_{uc}$$

$$\varepsilon_{s2} = (c_u - 0.5 * R) * \varepsilon_{cu} / c_u$$

$$\varepsilon_{s3} = [c_{uc} - 0.5 * (R_h + z_s)] * \varepsilon_{ccu} / c_{uc}$$

$$\varepsilon_{s3} = [c_u - 0.5 * (R + z_s)] * \varepsilon_{cu} / c_u$$

## Açı Hesabı1

## Açı Hesabı2

$$c_{uc} < 0.5 * R_h$$

$$c_u < 0.5 * R$$

$$\theta = \text{Arccos} [(0.5 * R_h - c_{uc} + c_u) / (0.5 * R_h)]$$

$$\theta = \text{Arccos} [(0.5 * R - c_u) / (0.5 * R)]$$

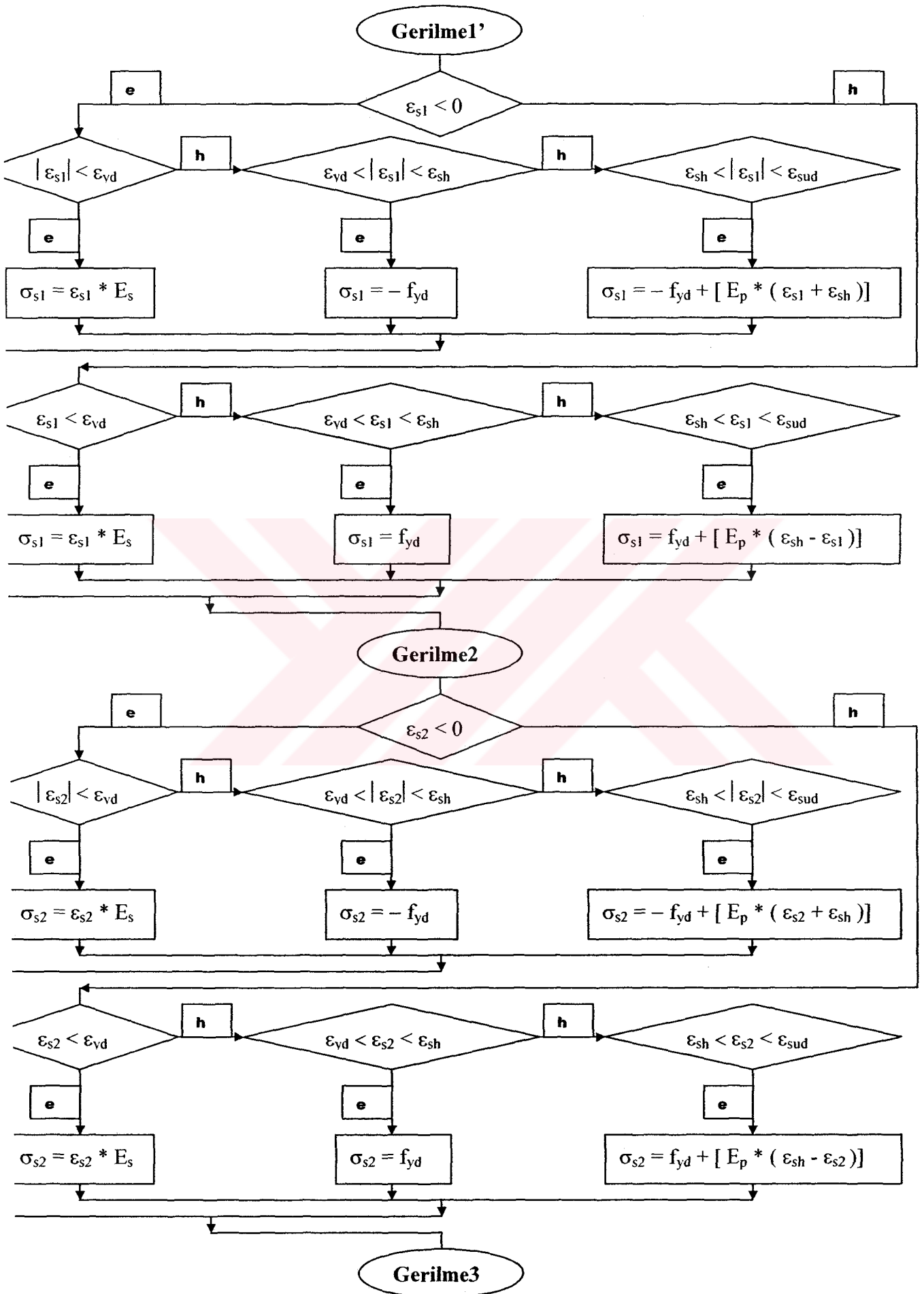
$$\theta = \text{Arccos} [(0.5 * R_h - c_{uc}) / (0.5 * R_h)]$$

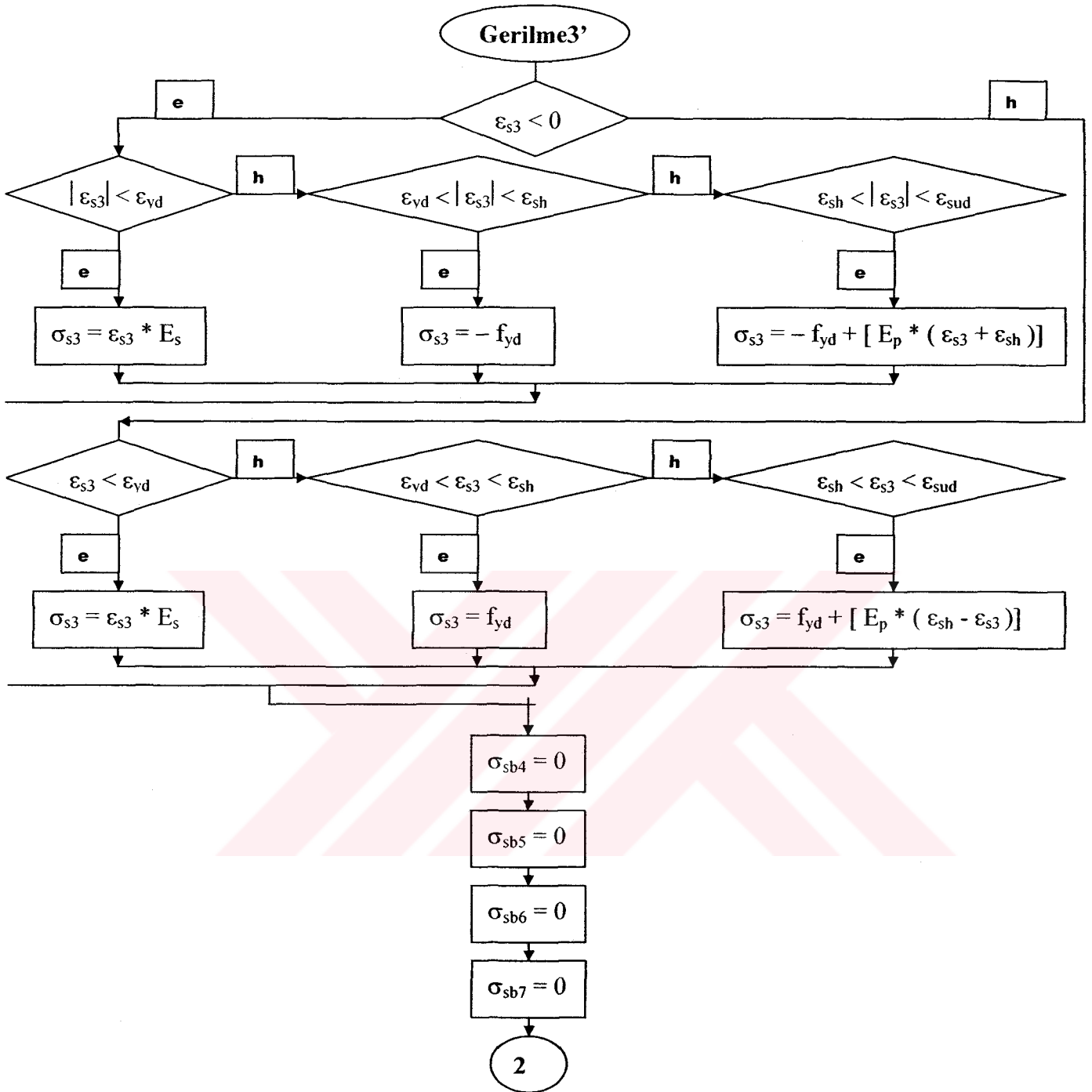
$$\theta = \pi - \text{Arccos} [(c_u - 0.5 * R) / (0.5 * R)]$$

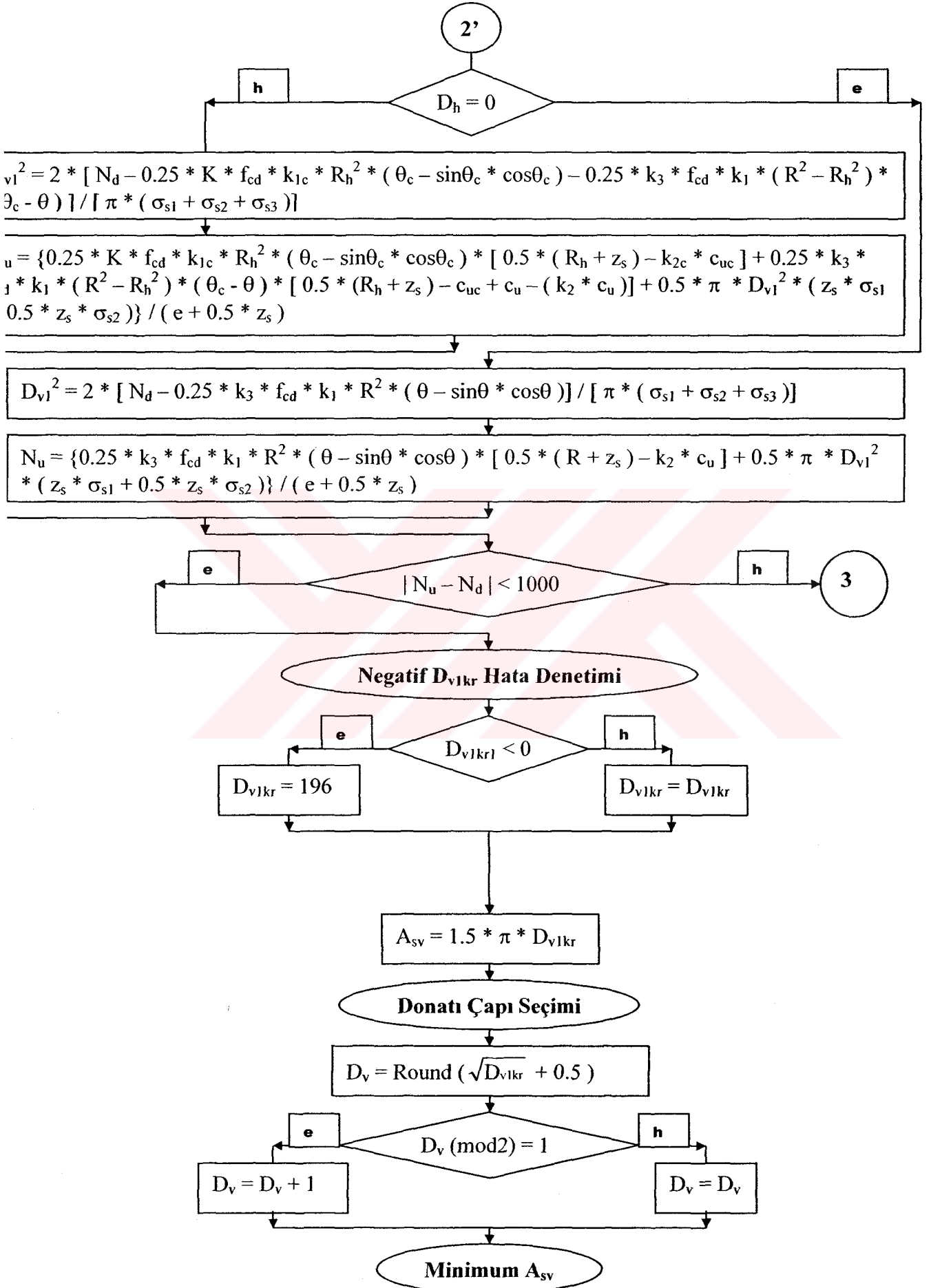
$$\theta = \pi - \text{Arccos} [(c_u - c_{uc} + 0.5 * R_h) / (0.5 * R_h)]$$

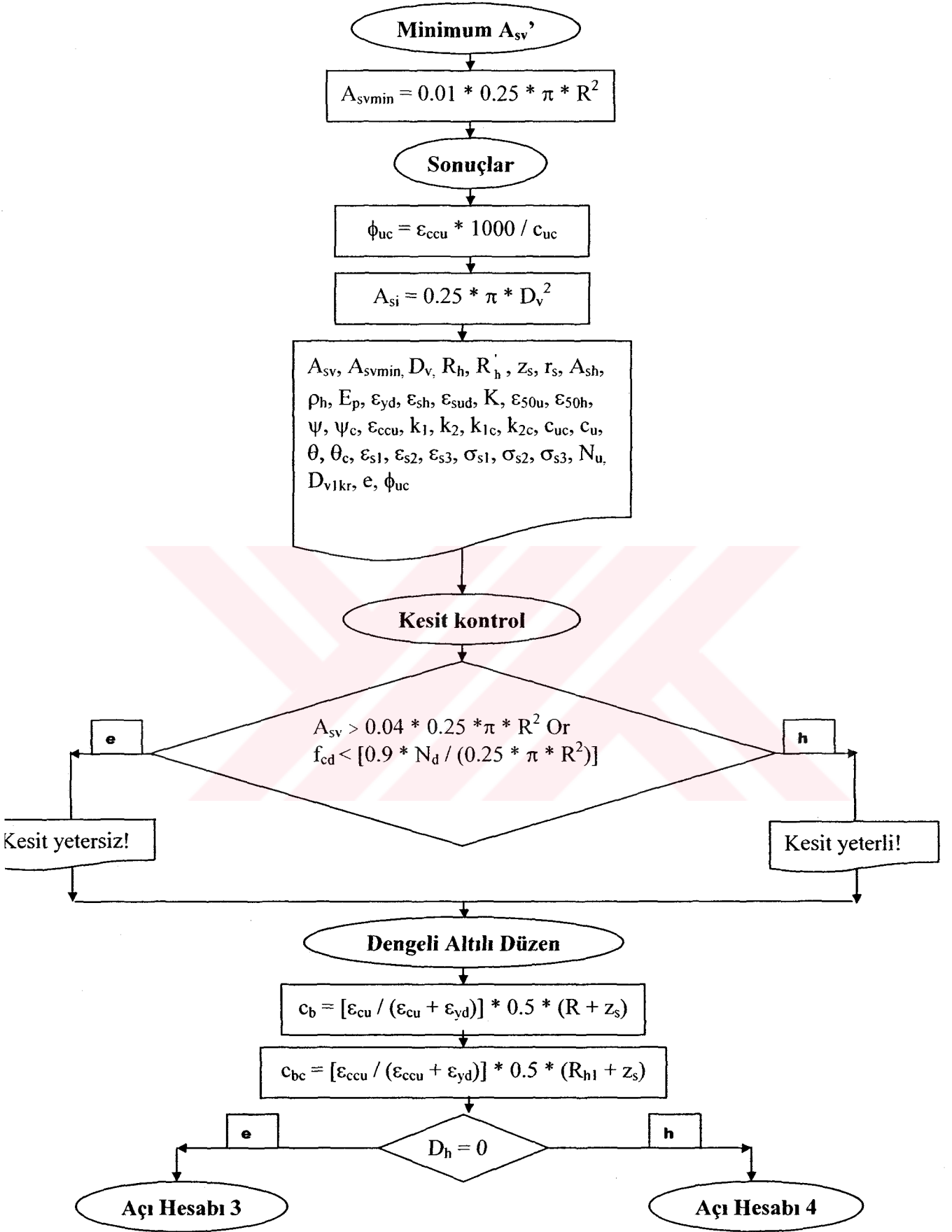
$$\theta_c = \pi - \text{Arccos} [(c_{uc} - 0.5 * R_h) / (0.5 * R_h)]$$

Gerilmel









## Açı Hesabı 3'

$$c_b < 0.5 * R$$

$$= \text{Arccos}[(0.5 * R - c_b) / (0.5 * R)]$$

$$\theta_b = \pi - \text{Arccos}[(c_b - 0.5 * R) / (0.5 * R)]$$

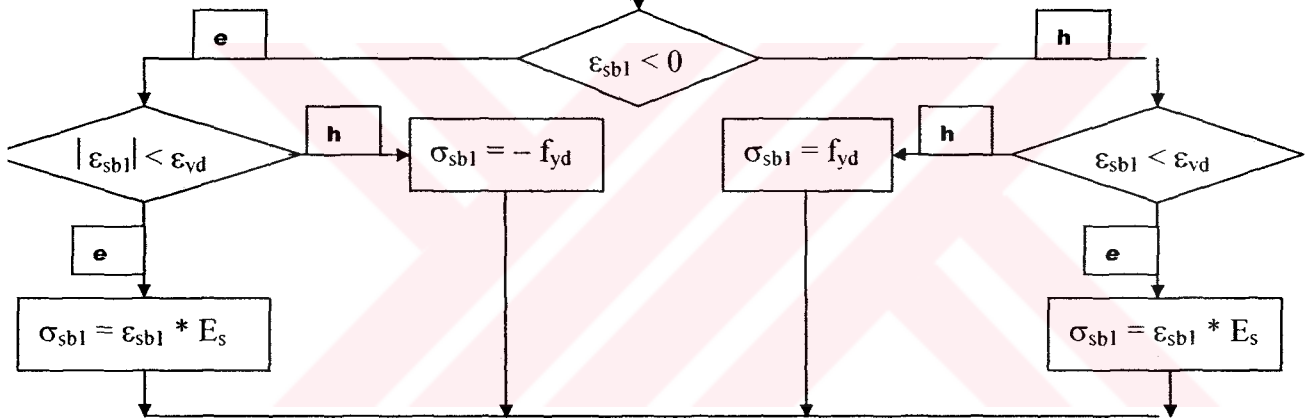
$$\varepsilon_{sb1} = [c_b - 0.5 * (R - z_s)] * \varepsilon_{cu} / c_b$$

$$\varepsilon_{sb2} = (c_b - 0.5 * R) * \varepsilon_{cu} / c_b$$

$$\varepsilon_{sb3} = [c_b - 0.5 * (R + z_s)] * \varepsilon_{cu} / c_b$$

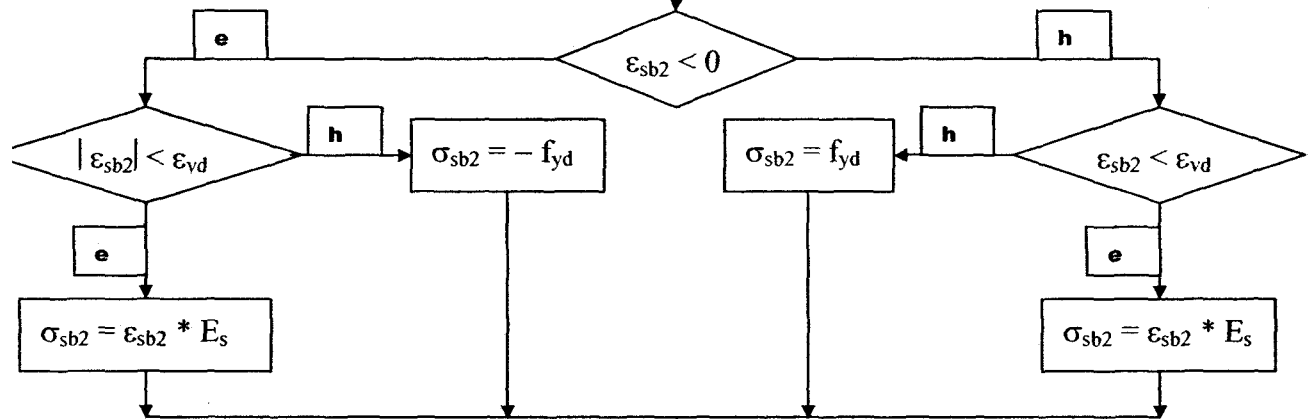
## Dengeli Gerilme1

$$\varepsilon_{sb1} < 0$$

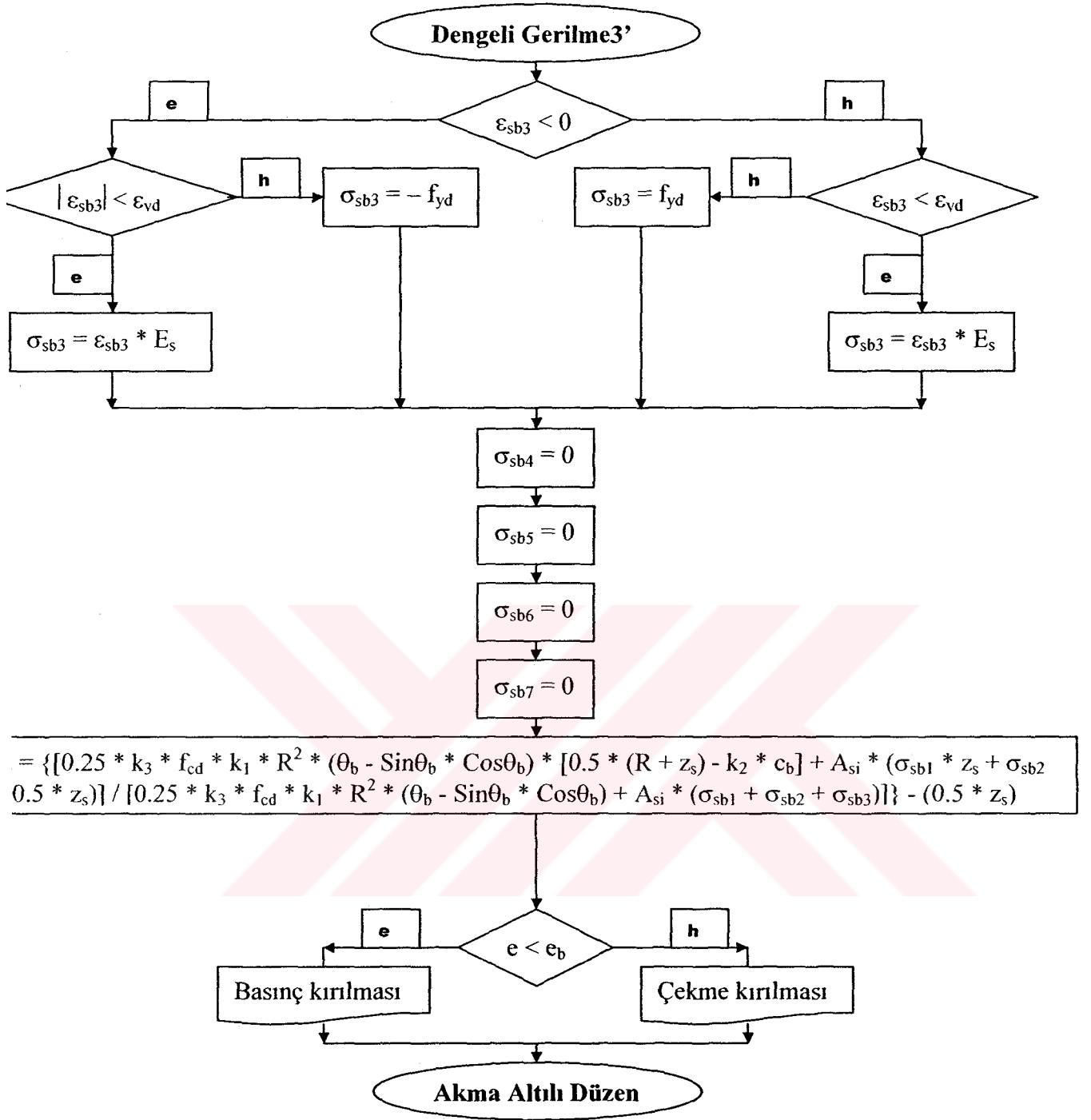


## Dengeli Gerilme2

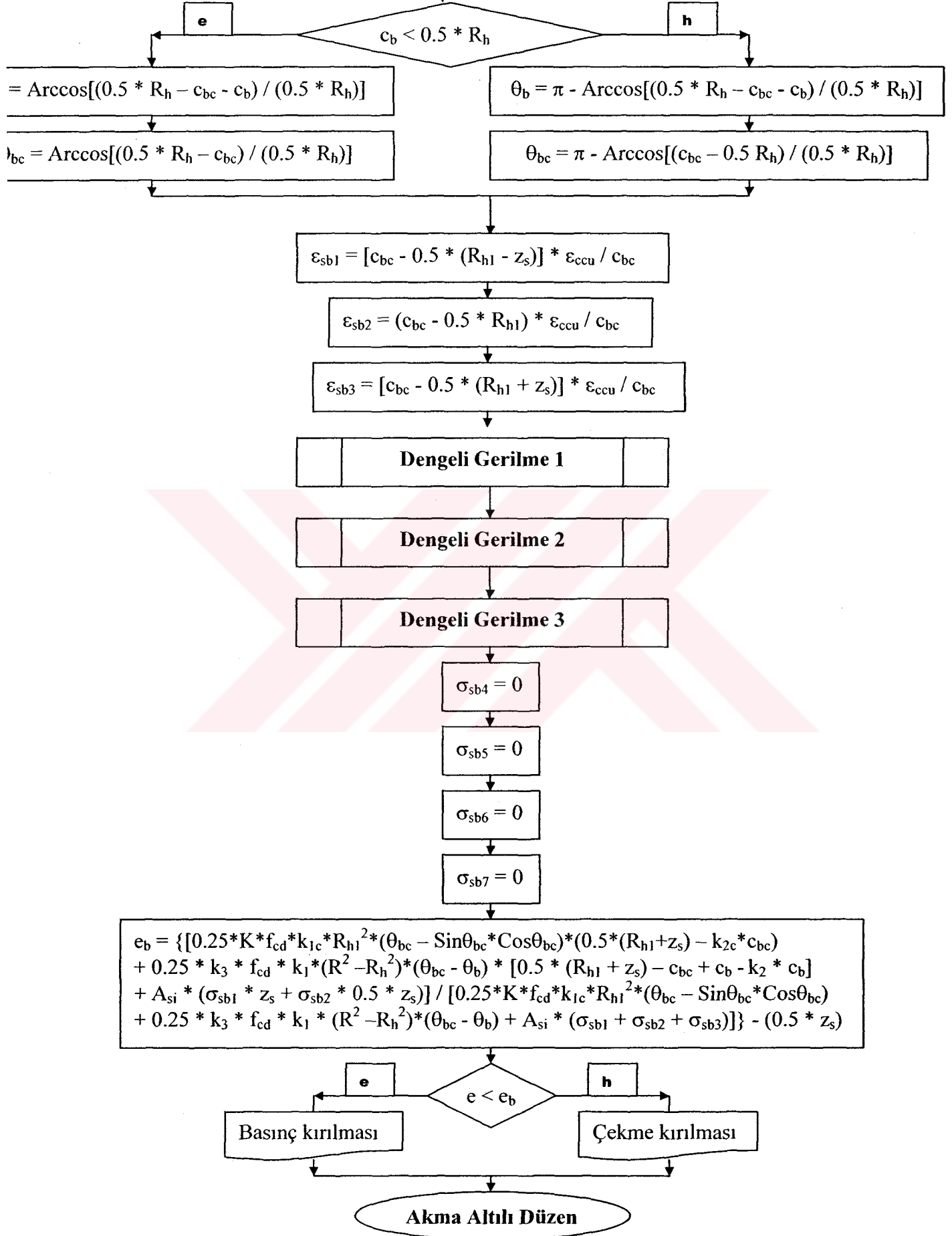
$$\varepsilon_{sb2} < 0$$

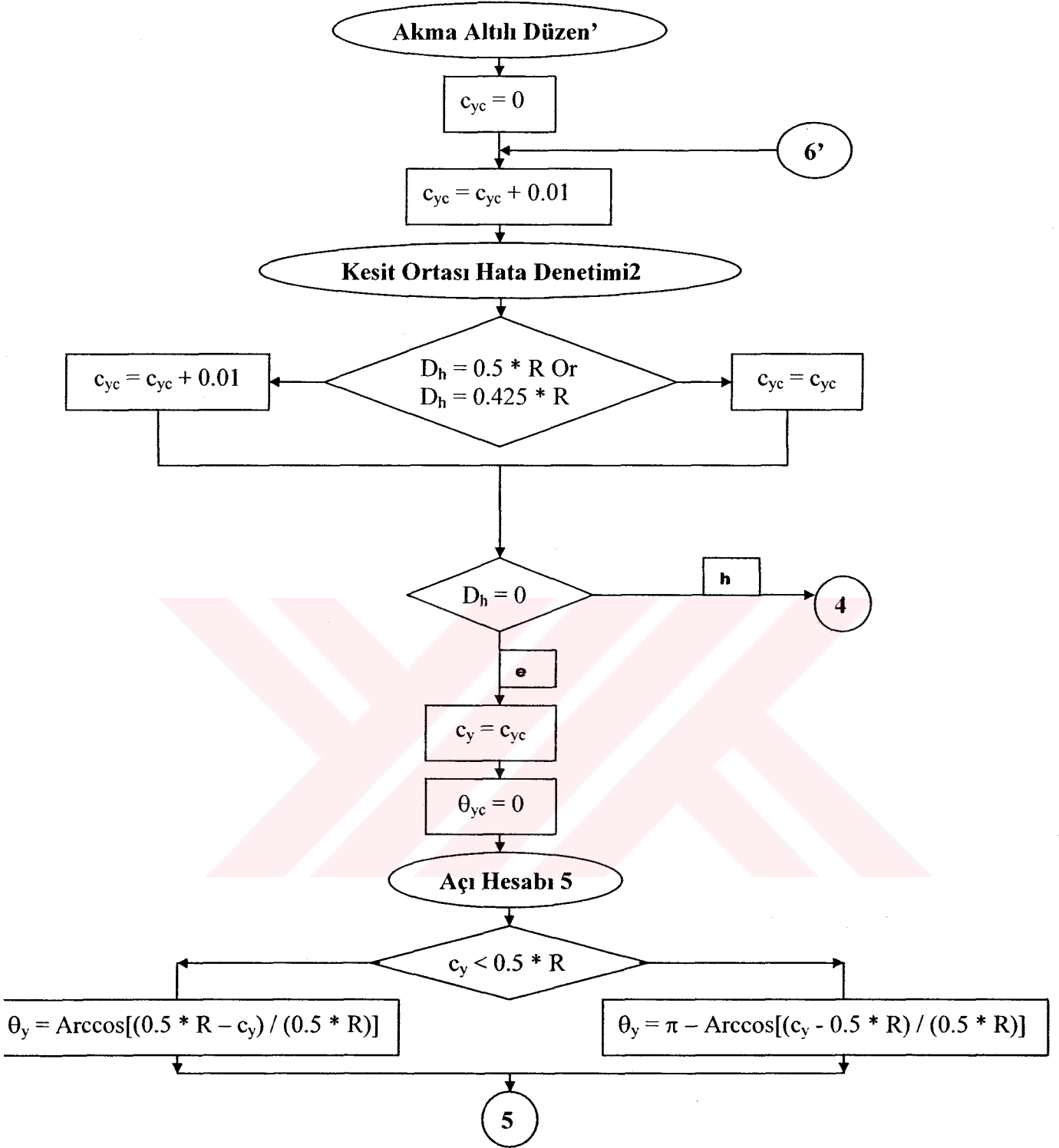


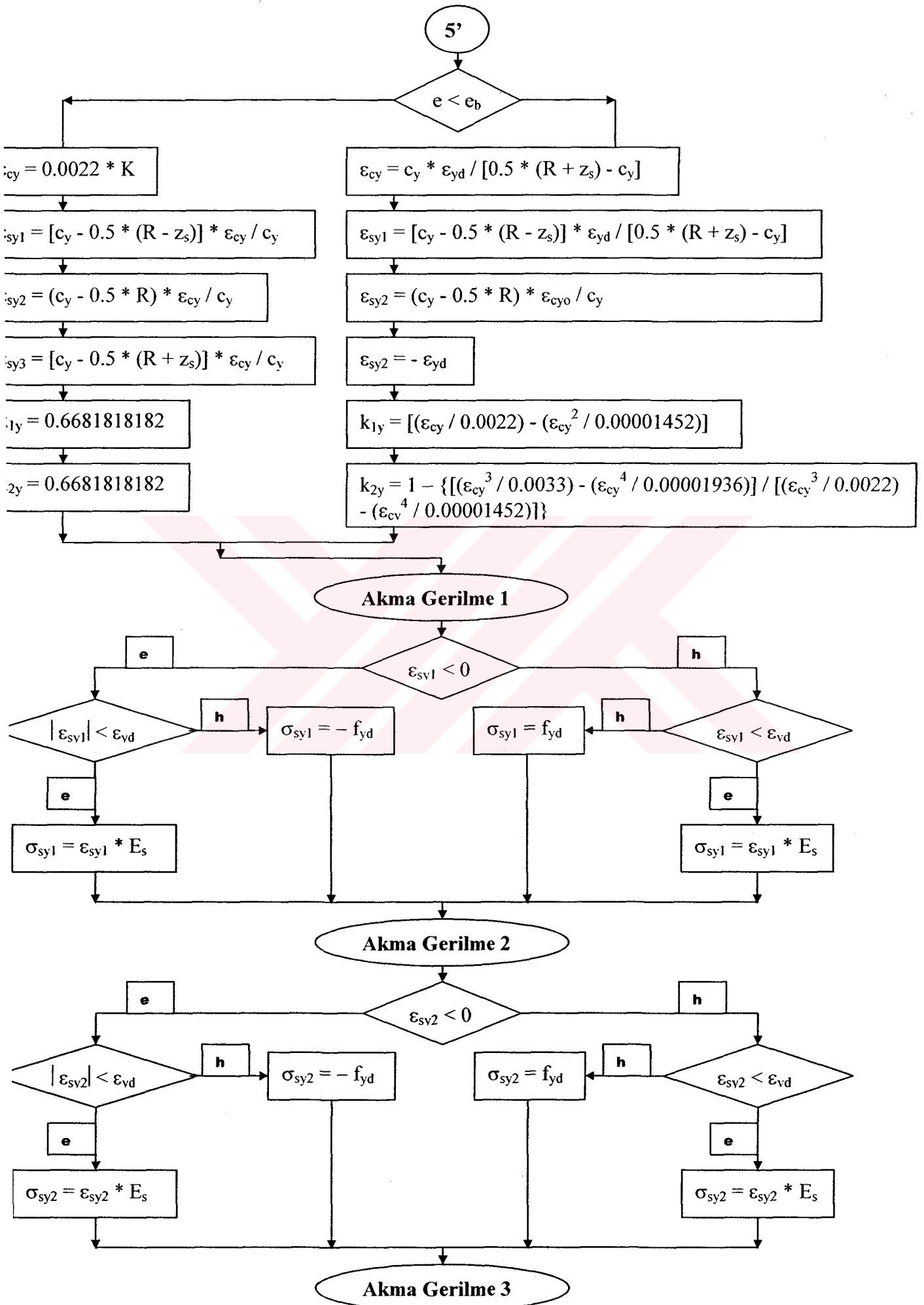
## Dengeli Gerilme3



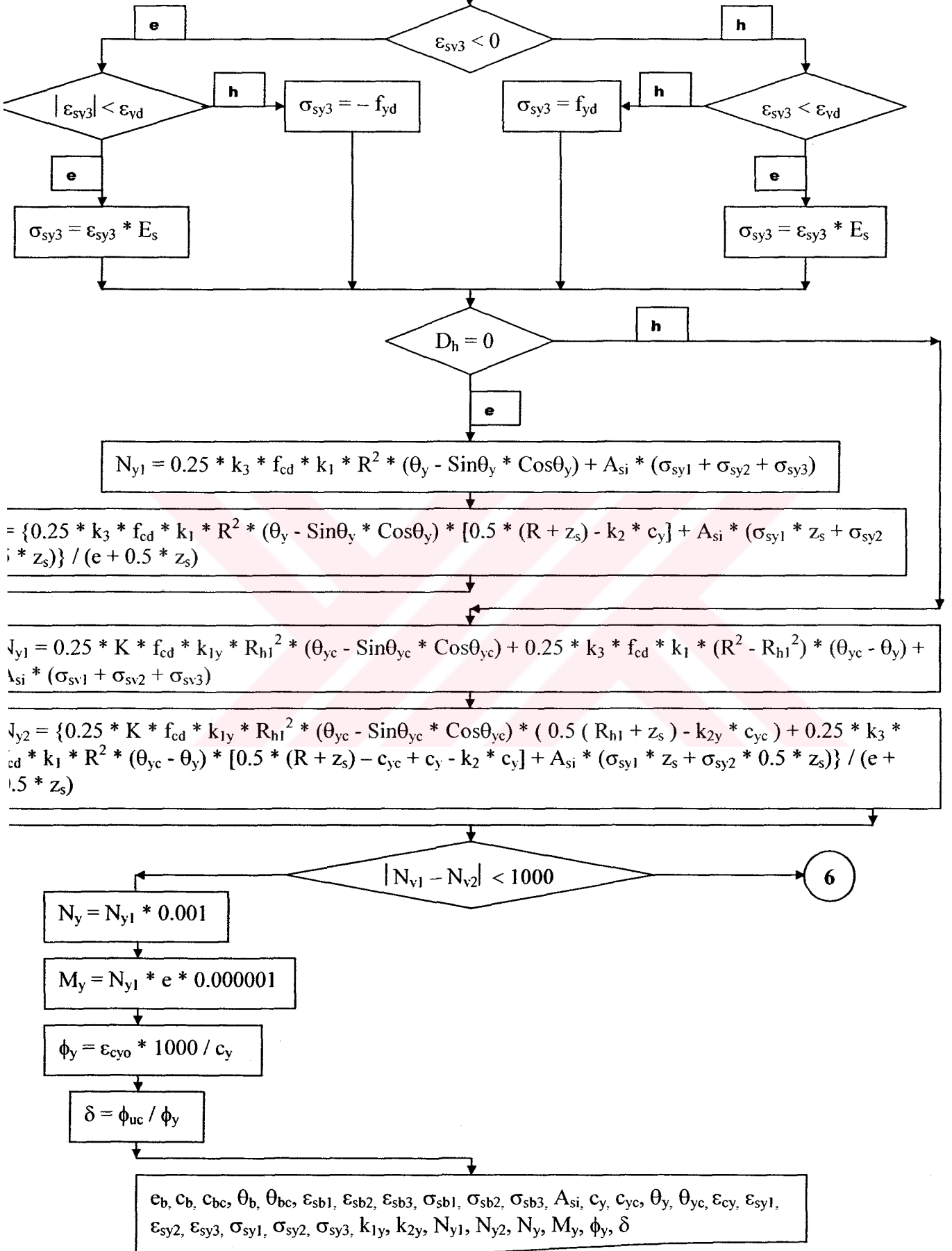
## Açı Hesabı 4'







## Akma Gerilme 3'



Açı Hesabı 5

Açı Hesabı 6

$$c_{yc} < 0.5 * R_h$$

$$\text{Arccos}[(0.5 * R_h - c_{yc} + c_y) / (0.5 * R_h)]$$

$$\text{Arccos}[(0.5 * R_h - c_{yc}) / (0.5 * R_h)]$$

$$\theta_y = \pi - \text{Arccos}[(0.5 * R_h - c_{yc} + c_y) / (0.5 * R_h)]$$

$$\theta_{yc} = \pi - \text{Arccos}[(c_{yc} - 0.5 * R_h) / (0.5 * R_h)]$$

$$e < e_b$$

$$\epsilon_{cy} = 0.0022 * K$$

$$c_y = c_{yc} / K$$

$$s_{y1} = [c_{yc} - 0.5 * (R_{h1} - z_s)] * \epsilon_{cy} / c_{yc}$$

$$s_{y2} = (c_{yc} - 0.5 * R_{h1}) * \epsilon_{cy} / c_{yc}$$

$$s_{y3} = [c_{yc} - 0.5 * (R_{h1} + z_s)] * \epsilon_{cy} / c_{yc}$$

$$k_{1y} = 0.6681818182$$

$$k_{2y} = 0.3764378479$$

$$\epsilon_{ccm} = c_{yc} * \epsilon_{yd} / [0.5 * (R_{h1} + z_s) - c_{yc}]$$

$$c_y = c_{yc} / K$$

$$\epsilon_{cm} = \epsilon_{ccm} * c_y / c_{yc}$$

$$\epsilon_{sy1} = [c_{yc} - 0.5 * (R_h - z_s)] * \epsilon_{yd} / [0.5 * (R_h + z_s) - c_{yc}]$$

$$\epsilon_{sy2} = (c_{yc} - 0.5 * R_h) * \epsilon_{cy} / c_{yc}$$

$$\epsilon_{sy2} = -\epsilon_{yd}$$

$$k_{1y} = [(\epsilon_{cm} / 0.0022) - (\epsilon_{cm}^2 / 0.00001452)]$$

$$k_{2y} = 1 - \{[(\epsilon_{cm}^3 / 0.0033) - (\epsilon_{cm}^4 / 0.00001936)] / [(\epsilon_{cm}^3 / 0.0022) - (\epsilon_{cm}^4 / 0.00001452)]\}$$

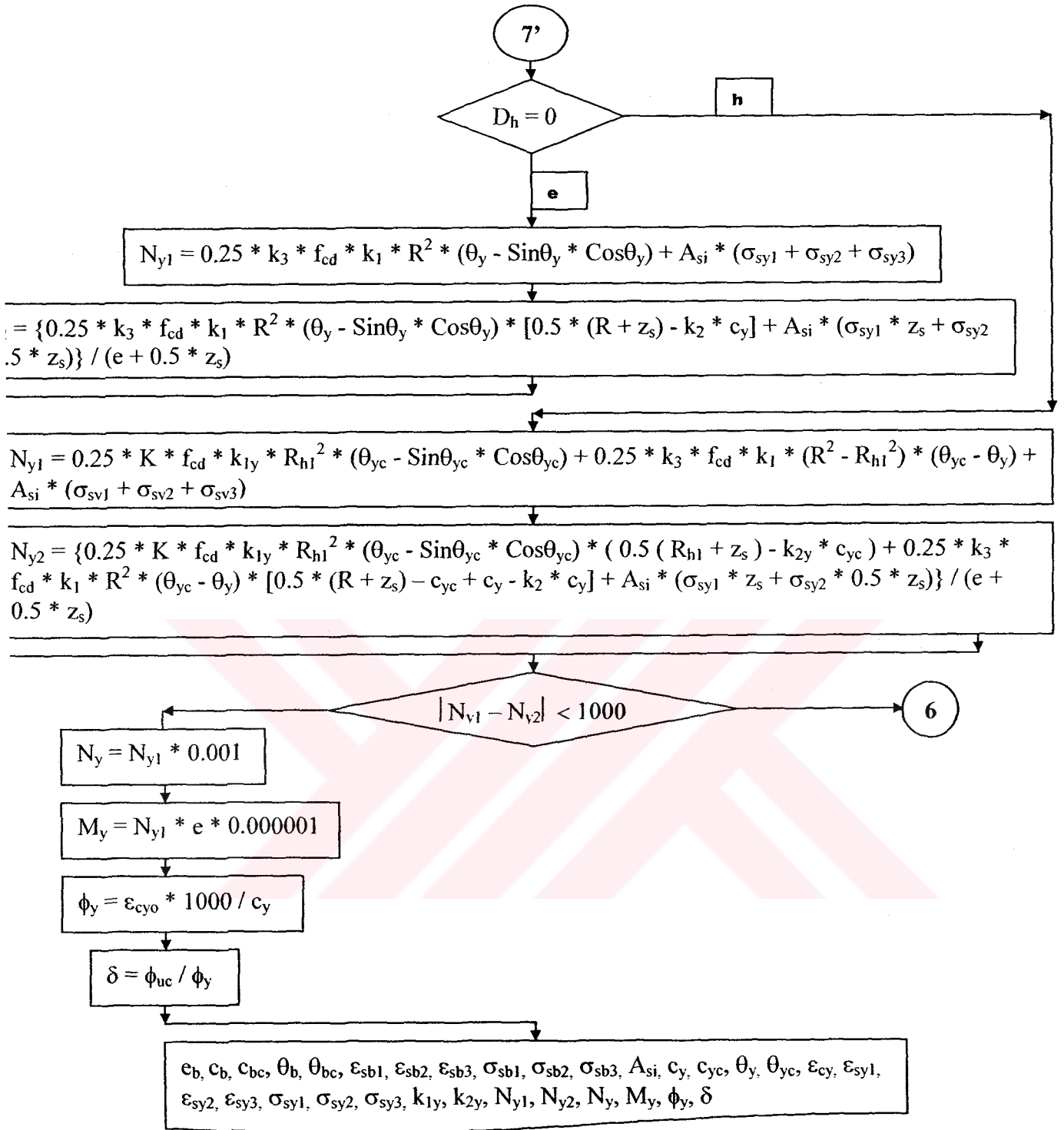
$$k_{1y} = [(\epsilon_{ccm} / 0.0022) - (\epsilon_{ccm}^2 / 0.00001452)]$$

$$k_{2y} = 1 - \{[(\epsilon_{ccm}^3 / 0.0033) - (\epsilon_{ccm}^4 / 0.00001936)] / [(\epsilon_{ccm}^3 / 0.0022) - (\epsilon_{ccm}^4 / 0.00001452)]\}$$

Akma Gerilme 1

Akma Gerilme 2

Akma Gerilme 3



## Ek 2 Bilgisayar programı kullanım kılavuzu

Bu program Microsoft Visual Basic 6.0 ile hazırlanmıştır. Bileşik eğilme etkisindeki dairesel kesitli betonarme kolonların kuşatma ve pekleşme etkilerinin göz önüne alınarak boyutlandırılmasında kullanmak amacıyla geliştirilmiştir. Hesap esasları, tezin önceki bölümlerinde anlatılan algoritmalara dayanır. Boyutlandırma koşulları TS 500 – 2000’e uygun düzenlenmiştir.

DKKDH ikonuna çift tıkladığımız zaman karşımıza program arayüzü gelir. Burada yapmamız gereken hesap için gerekli değerleri ilgili kutulara yazarak “Hesapla” düğmesine basmaktır. Kutular arasında klavyedeki “Tab” tuşuyla geçiş yapılabilir. Bu değerler “Etkiler”, “Malzeme”, “Kuşatma” ve “Kesit” olmak üzere dört bölüme ayrılmıştır.

### Etkiler

Hesap yükü ve momenti değerleri kN ve kNm cinsinden girilir.

### Malzeme

Beton ve çelik malzeme karakteristik dayanımları  $N/mm^2$  (MPa) cinsinden girilir.  $f_{yk}$  boyuna donatı,  $f_{yw}$  ise halka donatı karakteristik dayanımlarıdır.  $k_3$  katsayısı isteğe göre 0.85 ya da 1 alınabilir. Ondalıklı sayılar için virgöl kullanılmalıdır.

### Kuşatma

Bu bölümde kuşatma donatısıyla ilgili parametreler girilir.  $D_h$  kuşatma donatısı çapı ve  $s_h$  kuşatma donatısı aralıkları mm cinsinden girilmelidir. Kuşatma donatısı halka ya da spiral olarak düşünülebilir. Spiral olması durumunda  $s_h$  değeri yerine spiral adımı değeri girilmelidir.

### Kesit

Kolon kesit özelliklerinin girildiği bölümdür. R mm cinsinden kolon kesit çapı ve n boyuna donatı sayısıdır. Hesaplar 6, 8, 10, 12 ve 14 donatılı düzenler için yaptırılabilir. d’ yine mm cinsinden en dış beton lifi ile boyuna donatı ağırlık merkezi arasındaki beton örtüsünü ifade etmektedir.

Bu değerler girildikten sonra “Hesapla” düğmesine basılırsa ( Alt + h ), program hesaba başlayacaktır. Bir süre sonra kolon kesitinin yeterli olup olmadığıyla ilgili bir mesaj kutusu ekrana gelecektir. Bu mesajı “OK” düğmesine basarak geçtikten sonra siz sonuç donatıyı ve

diğer parametreleri incelerken program bu arada akma limiti ve diğer parametreleri hesaplayacaktır ve bir süre sonra bu değerleri de ilgili kutularda gösterecektir. Sonuç değerlerin birimleri yanlarında belirtilenler dışında N, mm ve rad cinsindedir. İptal ( Alt + i ) tuşuna basılarak programdan çıkılabilir.



### Ek 3 Bilgisayar Programı (Metin Olarak)

Option Explicit

Dim Ash, Asi, Asv, Asvmin, cb, cbc, cu, cuc, cy, cyc, d, Delta, Dh, Dv, Dv1kr, e, eb, Ep, Epsccu, Epscu, Epscm, Epsccm, Epscy, Epsyd, Eps50h, Eps50u, Epss1, Epss2, Epss3, Epss4, Epss5, Epss6, Epss7, Epssb1, Epssb2, Epssb3, Epssb4, Epssb5, Epssb6, Epssb7, Epssy1, Epssy2, Epssy3, Epssy4, Epssy5, Epssy6, Epssy7, Epssud, Es, fcd, fck, Fiu, Fiy, fyd, fyk, fywk, K, k1, k1c, k1y, k2, k2c, k2y, k3, Md, My, n, Nd, Nu, Ny, Ny1, Ny2, Pi, Psi, Psic, R, Rh1, Rh2, roh, rs, sh, Sigmas1, Sigmas2, Sigmas3, Sigmas4, Sigmas5, Sigmas6, Sigmas7, Sigmasb1, Sigmasb2, Sigmasb3, sigmasb4, Sigmasb5, Sigmasb6, Sigmasb7, Sigmasy1, Sigmasy2, Sigmasy3, Sigmasy4, Sigmasy5, Sigmasy6, Sigmasy7, Teta, Tetab, Tetac, Tetay, Tetayc, zs As Single

Private Sub Command1\_Click()

Parametreler

End Sub

Private Sub Command2\_Click()

End

End Sub

Sub Parametreler()

Nd = Text1.Text \* 1000 'kN'u N'a çeviriyoruz.

Md = Text2.Text \* 1000000 'kNm'yi Nmm'ye çeviriyoruz.

fck = Text3.Text

fyk = Text4.Text

fywk = Text104.Text

k3 = Text5.Text

Dh = Text6.Text 'Etriye donatı çapı.

sh = Text7.Text 'Etriyeler arası mesafe.

R = Text8.Text 'Kolon kesit çapı.

n = Text9.Text 'Donatı sayısı.

d = Text98.Text 'Kolon dış kenar ve boyuna donatı ağırlık merkezi arasındaki paspayı.

Pi = 4 \* Atn(1) 'VB'te pi fonksiyonu yok. Arctanjant fonksiyonuna bağlı olarak tanımlanıyor.

Rh1 = 0.85 \* R 'Etriyenin dış kenarları arasındaki mesafe.

Rh2 = Rh1 - Dh 'Etriyenin eksenleri arasındaki mesafe.

rs = 0.5 \* R - d 'Boyuna donatıların merkezi ile kesit merkezi arasındaki mesafe.

Ash = 0.25 \* Pi \* Dh ^ 2 'Etriye donatı alanı.

If Dh = 0 Then

roh = 0

Eps50h = 0

Else

roh = 4 \* Ash / (Rh2 \* sh) 'Etriye hacimsel yüzdesi.

Eps50h = 0.75 \* roh \* (Rh1 / sh) ^ 0.5

End If

fcd = fck / 1.5

fyd = fyk / 1.15

Es = 200000

Epsyd = fyd / Es 'Donatı akma bölgesi birim deformasyonu.

If fyk = 220 Then

Ep = 750 'Donatı pekleşme bölgesi elastisite modülü.

Eps50u = 0.02 'Donatı pekleşme bölgesi başlangıç birim deformasyonu.

Epssud = 0.114 'Donatı son limit birim deformasyonu.

Else

Ep = 727

Eps50u = 0.01

Epssud = 0.037

End If

K = 1 + (2.05 \* roh \* fywk / fck) 'Kuşatma katsayısı.

Eps50u = (3 + 0.29 \* k3 \* fcd) / ((145 \* k3 \* fcd) - 1000)

Psi = 0.5 / (Eps50u - 0.0022)

Psic = (K - 0.5) / (Eps50u + Eps50h - (0.0022 \* K))

Epsccu = K \* ((0.2 / Psic) + 0.0022)

Epscu = 0.0035

k1 = (Epscu - 0.000733333333333333 - 0.5 \* Psi \* Epscu ^ 2 + 0.0022 \* Psi \* Epscu - 0.00000242 \* Psi) / Epscu

k2 = 1 - ((0.5 \* Epscu ^ 2 - 0.333333333333333 \* Psi \* Epscu ^ 3 + 0.001 \* Psi \* Epscu ^ 2 - 0.0000000018 \* Psi - 0.000000403) / (Epscu \* (Epscu - 0.000733333333333333 - 0.5 \* Psi \* Epscu ^ 2 + 0.0022 \* Psi \* Epscu - 0.00000242 \* Psi)))

k1c = (0.0022 \* K ^ 2 - 0.000733333333333333 \* K ^ 2 + K \* Epsccu - 0.5 \* Psic \* Epsccu ^ 2 + 0.0022 \* Psic \* K \* Epsccu - 0.0022 \* K ^ 2 - 0.00000242 \* Psic \* K ^ 2) / (K \* Epsccu)

$$k2c = 1 - \frac{(-0.000000403 * fcd * K^3 + 0.5 * K * fcd * Epsccu^2 - 0.3333333333 * fcd * Psic * Epsccu^3 + 0.0011 * K * fcd * Psic * Epsccu^2 + 0.0000000035 * fcd * Psic * K^3 - 0.0000000053 * fcd * Psic * K^3)}{(Epsccu * fcd * (0.0022 * K^2 - 0.0007333333 * K^2 + K * Epsccu - 0.5 * Psic * Epsccu^2 + 0.0022 * Psic * K * Epsccu - 0.0022 * K^2 - 0.00000242 * Psic * K^2))}$$

$$e = Md / Nd$$

*'Donatı sayısına göre iterasyonlara başlanıyor.,*

If n = 6 Then

AltılıDüzen

Elseif n = 8 Then

SekizliDüzen

Elseif n = 10 Then

OnluDüzen

Elseif n = 12 Then

OnikiliDüzen

Elseif n = 14 Then

OndörtlüDüzen

End If

End Sub

Sub AltılıDüzen()

*zs = 2 \* 0.8660254038 \* rs 'Donatı düzenine göre zs'ler değişiyor.*

cuc = 0

*'Normal kuvvetler eşitleninceye kadar bu döngü devam ediyor.*

Do

cuc = cuc + 0.01

*'Bu yama sifıra bölünme hatası vermemesi için eklendi.*

KesitOrtasıHataDenetimi1

*'Kuşatılmamış durum için Dh'ı sıfır almamız yeterli.*

If Dh = 0 Then

cu = cuc

Tetac = 0

AçıHesabı1

Eps1 = (cu - 0.5 \* (R - zs)) \* Epscu / cu

Eps2 = (cu - 0.5 \* R) \* Epscu / cu

Eps3 = (cu - 0.5 \* (R + zs)) \* Epscu / cu

Eps4 = 0

Eps5 = 0

Eps6 = 0

Eps7 = 0

Else

cu = Epscu \* cuc / Epsccu

AçıHesabı2

Eps1 = (cuc - 0.5 \* (Rh1 - zs)) \* Epsccu / cuc

Eps2 = (cuc - 0.425 \* R) \* Epsccu / cuc

Eps3 = (cuc - 0.5 \* (Rh1 + zs)) \* Epsccu / cuc

Eps4 = 0

Eps5 = 0

Eps6 = 0  
Eps7 = 0

End If

*'Tarafsız eksen derinliğine göre bulunan donatı deformasyonları gerilmeye çevriliyor.*

*'Birinci donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.*

Gerilme1

*'İkinci donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.*

Gerilme2

*'Üçüncü donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.*

Gerilme3

Sigmas4 = 0  
Sigmas5 = 0  
Sigmas6 = 0  
Sigmas7 = 0

If Dh = 0 Then

$Dv1kr = 2 * (Nd - 0.25 * k3 * fcd * k1 * R^2 * (Teta - Sin(Teta) * Cos(Teta))) / (Pi * (Sigmas1 + Sigmas2 + Sigmas3))$

$Nu = (0.25 * k3 * fcd * k1 * R^2 * (Teta - Sin(Teta) * Cos(Teta)) * (0.5 * (R + zs) - k2 * cu) + 0.5 * Pi * Dv1kr * (zs * Sigmas1 + 0.5 * zs * Sigmas2)) / (e + 0.5 * zs)$

$Fiu = Epscu * 1000 / cu$

Else

$Dv1kr = 2 * (Nd - 0.25 * K * fcd * k1c * Rh1^2 * (Tetac - Sin(Tetac) * Cos(Tetac)) - 0.25 * k3 * fcd * k1 * (R^2 - Rh1^2) * (Tetac - Teta)) / (Pi * (Sigmas1 + Sigmas2 + Sigmas3))$

$Nu = (0.25 * K * fcd * k1c * Rh1^2 * (Tetac - Sin(Tetac) * Cos(Tetac)) * (0.5 * (Rh1 + zs) - k2c * cuc) + 0.25 * k3 * fcd * k1 * (R^2 - Rh1^2) * (Tetac - Teta) * (0.5 * (Rh1 + zs) - cuc + cu - k2 * cu) + 0.5 * Pi * Dv1kr * (zs * Sigmas1 + 0.5 * zs * Sigmas2)) / (e + 0.5 * zs)$

$Fiu = Epsccu * 1000 / cuc$

End If

*'Normal kuvvetler karşılaştırılıyor.*

Loop Until Abs(Nu - Nd) < 1000 *'Hata payı 1000 N olana kadar döngü devam edecek.*

NegatifDv1krHataDenetimi

$Asv = 1.5 * Pi * Dv1kr$  *'Toplam donatı miktarı hesaplanıyor.*

DonatıÇapıSeçimi

MinimumAsv

Sonuçlar

KesitKontrol

DengeliAltılıDüzen

AkmaAltılıDüzen

AkmaSonuçlar

End Sub

Sub SekizliDüzen()

$zs = 2 * 0.9238795325 * rs$

$cuc = 0$

Do

$cuc = cuc + 0.01$

## KesitOrtasıHataDenetimi1

If Dh = 0 Then

cu = cuc  
Tetac = 0

AçıHesabı1

Epss1 = (cu - 0.5 \* (R - zs)) \* Epscuc / cu  
Epss2 = (cu - 0.5 \* R + 0.3826834324 \* rs) \* Epscuc / cu  
Epss3 = (cu - 0.5 \* R - 0.3826834324 \* rs) \* Epscuc / cu  
Epss4 = (cu - 0.5 \* R - 0.9238795325 \* rs) \* Epscuc / cu  
Epss5 = 0  
Epss6 = 0  
Epss7 = 0

Else

cu = Epscuc \* cuc / Epscuc

AçıHesabı2

Epss1 = (cuc - 0.5 \* (Rh1 - zs)) \* Epscuc / cuc  
Epss2 = (cuc - 0.425 \* R + 0.3826834324 \* rs) \* Epscuc / cuc  
Epss3 = (cuc - 0.425 \* R - 0.3826834324 \* rs) \* Epscuc / cuc  
Epss4 = (cuc - 0.425 \* R - 0.9238795325 \* rs) \* Epscuc / cuc  
Epss5 = 0  
Epss6 = 0  
Epss7 = 0

End If

*'Tarafsız eksen derinliğine göre bulunan donatı deformasyonları gerilmeye çevriliyor.*

*'Birinci donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.*

Gerilme1

*'İkinci donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.*

Gerilme2

*'Üçüncü donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.*

Gerilme3

*'Dördüncü donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.*

Gerilme4

Sigmas5 = 0  
Sigmas6 = 0  
Sigmas7 = 0

If Dh = 0 Then

Dv1kr = 2 \* (Nd - 0.25 \* k3 \* fcd \* k1 \* R ^ 2 \* (Teta - Sin(Teta) \* Cos(Teta))) / (Pi \* (Sigmas1 + Sigmas2 + Sigmas3 + Sigmas4))

Nu = (0.25 \* k3 \* fcd \* k1 \* R ^ 2 \* (Teta - Sin(Teta) \* Cos(Teta)) \* (0.5 \* (R + zs) - k2 \* cu) + 0.5 \* Pi \* Dv1kr \* (zs \* Sigmas1 + (0.5 \* zs + 0.3826834324 \* rs) \* Sigmas2 + (0.5 \* zs - 0.3826834324 \* rs) \* Sigmas3)) / (e + 0.5 \* zs)

Fiu = Epscuc \* 1000 / cu

Else

Dv1kr = 2 \* (Nd - 0.25 \* K \* fcd \* k1c \* Rh1 ^ 2 \* (Tetac - Sin(Tetac) \* Cos(Tetac)) - 0.25 \* k3 \* fcd \* k1 \* (R ^ 2 - Rh1 ^ 2) \* (Tetac - Tetac)) / (Pi \* (Sigmas1 + Sigmas2 + Sigmas3 + Sigmas4))

Nu = (0.25 \* K \* fcd \* k1c \* Rh1 ^ 2 \* (Tetac - Sin(Tetac) \* Cos(Tetac)) \* (0.5 \* (Rh1 + zs) - k2c \* cuc) + 0.25 \* k3 \* fcd \* k1 \* (R ^ 2 - Rh1 ^ 2) \* (Tetac - Tetac) \* (0.5 \* (Rh1 + zs) - cuc + cu - k2 \* cu) + 0.5 \* Pi \* Dv1kr \* (zs \* Sigmas1 + (0.5 \* zs + 0.3826834324 \* rs) \* Sigmas2 + (0.5 \* zs - 0.3826834324 \* rs) \* Sigmas3)) / (e + 0.5 \* zs)

Fiu = Epscuc \* 1000 / cuc

End If

'Normal kuvvetler karşılaştırılıyor.

Loop Until Abs(Nu - Nd) < 1000

NegatifDv1krHataDenetimi

Asv = 2 \* Pi \* Dv1kr

DonatıÇapıSeçimi

MinimumAsv

Sonuçlar

KesitKontrol

DengeliSekizliDüzen

AkmaSekizliDüzen

AkmaSonuçlar

End Sub

Sub OnluDüzen()

zs = 2 \* 0.9510565163 \* rs

cuc = 0

Do

cuc = cuc + 0.01

KesitOrtasıHataDenetimi1

If Dh = 0 Then

cu = cuc

Tetac = 0

AçıHesabı1

Eps1 = (cu - 0.5 \* (R - zs)) \* Epsc / cu

Eps2 = (cu - 0.5 \* R + 0.5877852523 \* rs) \* Epsc / cu

Eps3 = (cu - 0.5 \* R) \* Epsc / cu

Eps4 = (cu - 0.5 \* R - 0.5877852523 \* rs) \* Epsc / cu

Eps5 = (cu - 0.5 \* (R + zs)) \* Epsc / cu

Eps6 = 0

Eps7 = 0

Else

cu = Epsc \* cuc / Epsccu

AçıHesabı2

Eps1 = (cuc - 0.5 \* (Rh1 - zs)) \* Epsccu / cuc

Eps2 = (cuc - 0.5 \* Rh1 + 0.5877852523 \* rs) \* Epsccu / cuc

Eps3 = (cuc - 0.5 \* Rh1) \* Epsccu / cuc

Eps4 = (cuc - 0.5 \* Rh1 - 0.5877852523 \* rs) \* Epsccu / cuc

Eps5 = (cuc - 0.5 \* (Rh1 + zs)) \* Epsccu / cuc

Eps6 = 0

Eps7 = 0

End If

'Taraflı eksen derinliğine göre bulunan donatı deformasyonları gerilmeye çevriliyor.

'Birinci donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.

Gerilme1

'İkinci donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.

Gerilme2

'Üçüncü donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.

Gerilme3

'Dördüncü donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.

Gerilme4

'Beşinci donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.

Gerilme5

Sigmas6 = 0

Sigmas7 = 0

If Dh = 0 Then

$Dv1kr = 2 * (Nd - 0.25 * k3 * fcd * k1 * R^2 * (Teta - Sin(Teta) * Cos(Teta))) / (Pi * (Sigmas1 + Sigmas2 + Sigmas3 + Sigmas4 + Sigmas5))$

$Nu = (0.25 * k3 * fcd * k1 * R^2 * (Teta - Sin(Teta) * Cos(Teta)) * (0.5 * (R + zs) - k2 * cu) + 0.5 * Pi * Dv1kr * (zs * Sigmas1 + (0.5 * zs + 0.5877852523 * rs) * Sigmas2 + 0.5 * zs * Sigmas3 + (0.5 * zs - 0.5877852523 * rs) * Sigmas4)) / (e + 0.5 * zs)$

Fiu = Epsc \* 1000 / cu

Else

$Dv1kr = 2 * (Nd - 0.25 * K * fcd * k1c * Rh1^2 * (Tetac - Sin(Tetac) * Cos(Tetac)) - 0.25 * k3 * fcd * k1 * (R^2 - Rh1^2) * (Tetac - Teta)) / (Pi * (Sigmas1 + Sigmas2 + Sigmas3 + Sigmas4 + Sigmas5))$

$Nu = (0.25 * K * fcd * k1c * Rh1^2 * (Tetac - Sin(Tetac) * Cos(Tetac)) * (0.5 * (Rh1 + zs) - k2c * cuc) + 0.25 * k3 * fcd * k1 * (R^2 - Rh1^2) * (Tetac - Teta) * (0.5 * (Rh1 + zs) - cuc + cu - k2 * cu) + 0.5 * Pi * Dv1kr * (zs * Sigmas1 + (0.5 * zs + 0.5877852523 * rs) * Sigmas2 + 0.5 * zs * Sigmas3 + (0.5 * zs - 0.5877852523 * rs) * Sigmas4)) / (e + 0.5 * zs)$

Fiu = Epsc \* 1000 / cuc

End If

'Normal kuvvetler karşılaştırılıyor.

Loop Until Abs(Nu - Nd) < 1000

NegatifDv1krHataDenetimi

Asv = 2.5 \* Pi \* Dv1kr

DonatıÇapıSeçimi

MinimumAsv

Sonuçlar

KesitKontrol

DengeliOnluDüzen

AkmaOnluDüzen

AkmaSonuçlar

End Sub

Sub OnikiliDüzen()

zs = 2 \* 0.9659258263 \* rs

cuc = 0

Do

cuc = cuc + 0.01

KesitOrtasıHataDenetimi1

If Dh = 0 Then

cu = cuc

Tetac = 0

AçıHesabı1

$E_{pss1} = (cu - 0.5 * (R - zs)) * E_{psc} / cu$   
 $E_{pss2} = (cu - 0.5 * R + 0.7071067812 * rs) * E_{psc} / cu$   
 $E_{pss3} = (cu - 0.5 * R + 0.2588190451 * rs) * E_{psc} / cu$   
 $E_{pss4} = (cu - 0.5 * R - 0.2588190451 * rs) * E_{psc} / cu$   
 $E_{pss5} = (cu - 0.5 * R - 0.7071067812 * rs) * E_{psc} / cu$   
 $E_{pss6} = (cu - 0.5 * (R + zs)) * E_{psc} / cu$   
 $E_{pss7} = 0$

Else

$cu = E_{psc} * cuc / E_{pscc}$

AçıHesabı2

$E_{pss1} = (cuc - 0.5 * (Rh1 - zs)) * E_{pscc} / cuc$   
 $E_{pss2} = (cuc - 0.5 * Rh1 + 0.7071067812 * rs) * E_{pscc} / cuc$   
 $E_{pss3} = (cuc - 0.5 * Rh1 + 0.2588190451 * rs) * E_{pscc} / cuc$   
 $E_{pss4} = (cuc - 0.5 * Rh1 - 0.2588190451 * rs) * E_{pscc} / cuc$   
 $E_{pss5} = (cuc - 0.5 * Rh1 - 0.7071067812 * rs) * E_{pscc} / cuc$   
 $E_{pss6} = (cuc - 0.5 * (Rh1 + zs)) * E_{pscc} / cuc$   
 $E_{pss7} = 0$

End If

*'Taraflı eksen derinliğine göre bulunan donatı deformasyonları gerilmeye çevriliyor.*

*'Birinci donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.*

Gerilme1

*'İkinci donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.*

Gerilme2

*'Üçüncü donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.*

Gerilme3

*'Dördüncü donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.*

Gerilme4

*'Beşinci donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.*

Gerilme5

*'Altıncı donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.*

Gerilme6

$Sigmas7 = 0$

If Dh = 0 Then

$Dv1kr = 2 * (Nd - 0.25 * k3 * fcd * k1 * R^2 * (Teta - Sin(Teta) * Cos(Teta))) / (Pi * (Sigmas1 + Sigmas2 + Sigmas3 + Sigmas4 + Sigmas5 + Sigmas6))$

$Nu = (0.25 * k3 * fcd * k1 * R^2 * (Teta - Sin(Teta) * Cos(Teta)) * (0.5 * (R + zs) - k2 * cu) + 0.5 * Pi * Dv1kr * (zs * Sigmas1 + (0.5 * zs + 0.7071067812 * rs) * Sigmas2 + (0.5 * zs + 0.2588190451 * rs) * Sigmas3 + (0.5 * zs - 0.2588190451 * rs) * Sigmas4 + (0.5 * zs - 0.7071067812 * rs) * Sigmas5)) / (e + 0.5 * zs)$

$Fiu = E_{psc} * 1000 / cu$

Else

$Dv1kr = 2 * (Nd - 0.25 * K * fcd * k1c * Rh1^2 * (Tetac - Sin(Tetac) * Cos(Tetac)) - 0.25 * k3 * fcd * k1 * (R^2 - Rh1^2) * (Tetac - Tetac)) / (Pi * (Sigmas1 + Sigmas2 + Sigmas3 + Sigmas4 + Sigmas5 + Sigmas6))$

$Nu = (0.25 * K * fcd * k1c * Rh1^2 * (Tetac - Sin(Tetac) * Cos(Tetac)) * (0.5 * (Rh1 + zs) - k2c * cuc) + 0.25 * k3 * fcd * k1 * (R^2 - Rh1^2) * (Tetac - Tetac) * (0.5 * (Rh1 + zs) - cuc + cu - k2 * cu) + 0.5 * Pi * Dv1kr * (zs * Sigmas1 + (0.5 * zs + 0.7071067812 * rs) * Sigmas2 + (0.5 * zs + 0.2588190451 * rs) * Sigmas3 + (0.5 * zs - 0.2588190451 * rs) * Sigmas4 + (0.5 * zs - 0.7071067812 * rs) * Sigmas5)) / (e + 0.5 * zs)$

$Fiu = E_{pscc} * 1000 / cuc$

End If

*'Normal kuvvetler karşılaştırılıyor.*

Loop Until Abs(Nu - Nd) < 1000

NegatifDv1krHataDenetimi

Asv = 3 \* Pi \* Dv1kr

DonatıÇapıSeçimi

MinimumAsv

Sonuçlar

KesitKontrol

DengeliOnikiliDüzen

AkmaOnikiliDüzen

AkmaSonuçlar

End Sub

Sub OndörtlüDüzen()

zs = 2 \* 0.9749168146 \* rs

cuc = 0

Do

cuc = cuc + 0.01

KesitOrtasıHataDenetimi1

If Dh = 0 Then

cu = cuc

Tetac = 0

AçıHesabı1

Epss1 = (cu - 0.5 \* (R - zs)) \* Epscuc / cu

Epss2 = (cu - 0.5 \* R + 0.7818470279 \* rs) \* Epscuc / cu

Epss3 = (cu - 0.5 \* R + 0.4338163456 \* rs) \* Epscuc / cu

Epss4 = (cu - 0.5 \* R) \* Epscuc / cu

Epss5 = (cu - 0.5 \* R - 0.4338163456 \* rs) \* Epscuc / cu

Epss6 = (cu - 0.5 \* R - 0.7818470279 \* rs) \* Epscuc / cu

Epss7 = (cu - 0.5 \* (R + zs)) \* Epscuc / cu

Else

cu = Epscuc \* cuc / Epscuc

AçıHesabı2

Epss1 = (cuc - 0.5 \* (Rh1 - zs)) \* Epscuc / cuc

Epss2 = (cuc - 0.5 \* Rh1 + 0.7818470279 \* rs) \* Epscuc / cuc

Epss3 = (cuc - 0.5 \* Rh1 + 0.4338163456 \* rs) \* Epscuc / cuc

Epss4 = (cuc - 0.5 \* Rh1) \* Epscuc / cuc

Epss5 = (cuc - 0.5 \* Rh1 - 0.4338163456 \* rs) \* Epscuc / cuc

Epss6 = (cuc - 0.5 \* Rh1 - 0.7818470279 \* rs) \* Epscuc / cuc

Epss7 = (cuc - 0.5 \* (Rh1 + zs)) \* Epscuc / cuc

End If

*'Taraflı eksen derinliğine göre bulunan donatı deformasyonları gerilmeye çevriliyor.*

*'Birinci donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.*

Gerilme1

*'İkinci donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.*

Gerilme2

'Üçüncü donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.

Gerilme3

'Dördüncü donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.

Gerilme4

'Beşinci donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.

Gerilme5

'Altıncı donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.

Gerilme6

'Yedinci donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.

Gerilme7

If Dh = 0 Then

$Dv1kr = 2 * (Nd - 0.25 * k3 * fcd * k1 * R^2 * (Teta - Sin(Teta) * Cos(Teta))) / (Pi * (Sigmas1 + Sigmas2 + Sigmas3 + Sigmas4 + Sigmas5 + Sigmas6 + Sigmas7))$

$Nu = (0.25 * k3 * fcd * k1 * R^2 * (Teta - Sin(Teta) * Cos(Teta)) * (0.5 * (R + zs) - k2 * cu) + 0.5 * Pi * Dv1kr * (zs * Sigmas1 + (0.5 * zs + 0.7818470279 * rs) * Sigmas2 + (0.5 * zs + 0.4338163456 * rs) * Sigmas3 + 0.5 * zs * Sigmas4 + (0.5 * zs - 0.4338163456 * rs) * Sigmas5 + (0.5 * zs - 0.7818470279 * rs) * Sigmas6)) / (e + 0.5 * zs)$

$Fiu = Epsc * 1000 / cu$

Else

$Dv1kr = 2 * (Nd - 0.25 * K * fcd * k1c * Rh1^2 * (Tetac - Sin(Tetac) * Cos(Tetac)) - 0.25 * k3 * fcd * k1 * (R^2 - Rh1^2) * (Tetac - Teta)) / (Pi * (Sigmas1 + Sigmas2 + Sigmas3 + Sigmas4 + Sigmas5 + Sigmas6 + Sigmas7))$

$Nu = (0.25 * K * fcd * k1c * Rh1^2 * (Tetac - Sin(Tetac) * Cos(Tetac)) * (0.5 * (Rh1 + zs) - k2c * cuc) + 0.25 * k3 * fcd * k1 * (R^2 - Rh1^2) * (Tetac - Teta) * (0.5 * (Rh1 + zs) - cuc + cu - k2 * cu) + 0.5 * Pi * Dv1kr * (zs * Sigmas1 + (0.5 * zs + 0.7818470279 * rs) * Sigmas2 + (0.5 * zs + 0.4338163456 * rs) * Sigmas3 + 0.5 * zs * Sigmas4 + (0.5 * zs - 0.4338163456 * rs) * Sigmas5 + (0.5 * zs - 0.7818470279 * rs) * Sigmas6)) / (e + 0.5 * zs)$

$Fiu = Epsc * 1000 / cuc$

End If

'Normal kuvvetler karşılaştırılıyor.

Loop Until Abs(Nu - Nd) < 1000

NegatifDv1krHataDenetimi

$Asv = 3.5 * Pi * Dv1kr$  'Toplam donatı miktarı hesaplanıyor.

DonatıÇapıSeçimi

MinimumAsv

Sonuçlar

KesitKontrol

DengeliOndörtlüDüzen

AkmaOndörtlüDüzen

AkmaSonuçlar

End Sub

Sub Sonuçlar()

$Asi = 0.25 * Pi * Dv^2$

Text10.Text = Asv

Text97.Text = Asvmin

Text11.Text = Rh1

Text12.Text = Rh2

Text13.Text = zs

Text14.Text = rs

```

Text15.Text = Ash
Text16.Text = roh
Text17.Text = Ep
Text18.Text = Epsyd
Text19.Text = Epssh
Text20.Text = Epssud
Text21.Text = K
Text22.Text = Eps50u
Text23.Text = Eps50h
Text24.Text = Psi
Text25.Text = Psic
Text26.Text = Epsccu
Text27.Text = k1
Text28.Text = k2
Text29.Text = k1c
Text30.Text = k2c
Text31.Text = cuc
Text32.Text = cu
Text33.Text = Tetac
Text34.Text = Teta
Text35.Text = Epss1
Text36.Text = Epss2
Text37.Text = Epss3
Text38.Text = Epss4
Text39.Text = Epss5
Text40.Text = Epss6
Text41.Text = Epss7
Text42.Text = Sigmas1
Text43.Text = Sigmas2
Text44.Text = Sigmas3
Text45.Text = Sigmas4
Text46.Text = Sigmas5
Text47.Text = Sigmas6
Text48.Text = Sigmas7
Text49.Text = Nu
Text50.Text = Dv1kr
Text51.Text = e
Text52.Text = Fiu
Text88.Text = Dv

```

```
End Sub
```

```
Sub KesitKontrol()
```

```
If Asv >= 0.04 * 0.25 * Pi * R ^ 2 Or (0.9 * Nd / (0.25 * Pi * R ^ 2)) > fcd Then
```

```
MsgBox prompt:="Kesit yetersiz!", Buttons:=vbOKOnly + vbExclamation, _
```

```
Title:="Kesit Kontrol"
```

```
Else
```

```
MsgBox prompt:="Kesit yeterli!", Buttons:=vbOKOnly, Title:="Kesit Kontrol"
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Sub DengeliAltılıDüzen()
```

```
cb = (Epscuc / (Epscuc + Epsyd)) * 0.5 * (R + zs)
```

```
cbc = (Epsccu / (Epsccu + Epsyd)) * 0.5 * (Rh1 + zs)
```

```
If Dh = 0 Then
```

```
AçıHesabı3
```

```
Epssb1 = (cb - 0.5 * (R - zs)) * Epscuc / cb
```

```
Epssb2 = (cb - 0.5 * R) * Epscuc / cb
```

```
Epssb3 = (cb - 0.5 * (R + zs)) * Epscuc / cb
```

```
DengeliGerilme1
```

```
DengeliGerilme2
```

```
DengeliGerilme3
```

```
sigmasb4 = 0
```

```
Sigmasb5 = 0
```

```
Sigmasb6 = 0
```

```
Sigmasb7 = 0
```

```
eb = ((0.25 * k3 * fcd * k1 * R ^ 2 * (Tetab - Sin(Tetab) * Cos(Tetab)) * (0.5 * (R + zs) - k2 * cb) + 2 * Asi * (Sigmasb1 * zs + Sigmasb2 * 0.5 * zs)) / (0.25 * k3 * fcd * k1 * R ^ 2 * (Tetab - Sin(Tetab) * Cos(Tetab)) + 2 * Asi * (Sigmasb1 + Sigmasb2 + Sigmasb3))) - (0.5 * zs)
```

```
If e < eb Then
```

```
Text53.Text = "BasınçKırılması"
```

```
Else
Text53.Text = "ÇekmeKırılması"
End If
```

```
Else
```

```
AçıHesabı4
```

```
Epssb1 = (cbc - 0.5 * (Rh1 - zs)) * Epsccu / cbc
Epssb2 = (cbc - 0.5 * Rh1) * Epsccu / cbc
Epssb3 = (cbc - 0.5 * (Rh1 + zs)) * Epsccu / cbc
```

```
DengeliGerilme1
```

```
DengeliGerilme2
```

```
DengeliGerilme3
```

```
sigmasb4 = 0
Sigmasb5 = 0
Sigmasb6 = 0
Sigmasb7 = 0
```

```
eb = ((0.25 * K * fcd * k1c * Rh1 ^ 2 * (Tetabc - Sin(Tetabc) * Cos(Tetabc)) * (0.5 * (Rh1 + zs) - k2c * cbc) + 0.25 * k3 * fcd * k1 * (R ^ 2 - Rh1 ^ 2) * (Tetabc - Tetab) * (0.5 * (Rh1 + zs) - cbc + cb - k2 * cb) + 2 * Asi * (Sigmasb1 * zs + Sigmasb2 * 0.5 * zs)) / (0.25 * K * fcd * k1c * Rh1 ^ 2 * (Tetabc - Sin(Tetabc) * Cos(Tetabc)) + 0.25 * k3 * fcd * k1 * (R ^ 2 - Rh1 ^ 2) * (Tetabc - Tetab) + 2 * Asi * (Sigmasb1 + Sigmasb2 + Sigmasb3))) - (0.5 * zs)
```

```
If e < eb Then
Text53.Text = "BasınçKırılması"
Else
Text53.Text = "ÇekmeKırılması"
End If
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Sub DengeliSekizliDüzen()
```

```
cb = (Epscu / (Epscu + Epsyd)) * 0.5 * (R + zs)
cbc = (Epsccu / (Epsccu + Epsyd)) * 0.5 * (Rh1 + zs)
```

```
If Dh = 0 Then
```

```
AçıHesabı3
```

```
Epssb1 = (cb - 0.5 * (R - zs)) * Epscu / cb
Epssb2 = (cb - 0.5 * R + 0.3826834324 * rs) * Epscu / cb
Epssb3 = (cb - 0.5 * R - 0.3826834324 * rs) * Epscu / cb
Epssb4 = (cb - 0.5 * (R + zs)) * Epscu / cb
```

```
DengeliGerilme1
```

```
DengeliGerilme2
```

```
DengeliGerilme3
```

```
DengeliGerilme4
```

```
Sigmasb5 = 0
Sigmasb6 = 0
Sigmasb7 = 0
```

```
eb = ((0.25 * K * fcd * k1 * R ^ 2 * (Tetab - Sin(Tetab) * Cos(Tetab)) * (0.5 * (R + zs) - k2 * cb) + 2 * Asi * (Sigmasb1 * zs + Sigmasb2 * (0.5 * zs + 0.3826834324 * rs) + Sigmasb3 * (0.5 * zs - 0.3826834324 * rs))) / (0.25 * k3 * fcd * k1 * R ^ 2 * (Tetab - Sin(Tetab) * Cos(Tetab)) + 2 * Asi * (Sigmasb1 + Sigmasb2 + Sigmasb3 + sigmasb4))) - (0.5 * zs)
```

```
If e < eb Then
Text53.Text = "BasınçKırılması"
Else
Text53.Text = "ÇekmeKırılması"
End If
```

```
Else
```

```
AçıHesabı4
```

```

Epsb1 = (cbc - 0.5 * (Rh1 - zs)) * Epsccu / cbc
Epsb2 = (cbc - 0.5 * Rh1 + 0.3826834324 * rs) * Epsccu / cbc
Epsb3 = (cbc - 0.5 * Rh1 - 0.3826834324 * rs) * Epsccu / cbc
Epsb4 = (cbc - 0.5 * (Rh1 + zs)) * Epsccu / cbc

```

```
DengeliGerilme1
```

```
DengeliGerilme2
```

```
DengeliGerilme3
```

```
DengeliGerilme4
```

```

Sigmasb5 = 0
Sigmasb6 = 0
Sigmasb7 = 0

```

```

eb = ((0.25 * K * fcd * k1c * Rh1 ^ 2 * (Tetabc - Sin(Tetabc) * Cos(Tetabc)) * (0.5 * (Rh1 + zs) - k2c * cbc) + 0.25 * k3 * fcd * k1 * (R ^ 2 - Rh1 ^ 2) * (Tetabc - Tetab) * (0.5 * (Rh1 + zs) - cbc + cb - k2 * cb) + 2 * Asi * (Sigmasb1 * zs + Sigmasb2 * (0.5 * zs + 0.3826834324 * rs) + Sigmasb3 * (0.5 * zs - 0.3826834324 * rs))) / (0.25 * K * fcd * k1c * Rh1 ^ 2 * (Tetabc - Sin(Tetabc) * Cos(Tetabc)) + 0.25 * k3 * fcd * k1 * (R ^ 2 - Rh1 ^ 2) * (Tetabc - Tetab) + 2 * Asi * (Sigmasb1 + Sigmasb2 + Sigmasb3 + sigmasb4))) - (0.5 * zs)

```

```

If e < eb Then
Text53.Text = "BasıncKırılması"
Else
Text53.Text = "ÇekmeKırılması"
End If

```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Sub DengeliOnluDuzen()
```

```

cb = (Epscu / (Epscu + Epsyd)) * 0.5 * (R + zs)
cbc = (Epsccu / (Epsccu + Epsyd)) * 0.5 * (Rh1 + zs)

```

```
If Dh = 0 Then
```

```
AçıHesabı3
```

```

Epsb1 = (cb - 0.5 * (R - zs)) * Epscu / cb
Epsb2 = (cb - 0.5 * R + 0.5877852523 * rs) * Epscu / cb
Epsb3 = (cb - 0.5 * R) * Epscu / cb
Epsb4 = (cb - 0.5 * R - 0.5877852523 * rs) * Epscu / cb
Epsb5 = (cb - 0.5 * (R + zs)) * Epscu / cb
Epsb6 = 0
Epsb7 = 0

```

```
DengeliGerilme1
```

```
DengeliGerilme2
```

```
DengeliGerilme3
```

```
DengeliGerilme4
```

```
DengeliGerilme5
```

```

Sigmasb6 = 0
Sigmasb7 = 0

```

```

eb = ((0.25 * k3 * fcd * k1 * R ^ 2 * (Tetab - Sin(Tetab) * Cos(Tetab)) * (0.5 * (R + zs) - k2 * cb) + 2 * Asi * (Sigmasb1 * zs + Sigmasb2 * (0.5 * zs + 0.5877852523 * rs) + Sigmasb3 * 0.5 * zs + sigmasb4 * (0.5 * zs - 0.5877852523 * rs))) / (0.25 * k3 * fcd * k1 * R ^ 2 * (Tetab - Sin(Tetab) * Cos(Tetab)) + 2 * Asi * (Sigmasb1 + Sigmasb2 + Sigmasb3 + sigmasb4 + Sigmasb5))) - (0.5 * zs)

```

```

If e < eb Then
Text53.Text = "BasıncKırılması"
Else
Text53.Text = "ÇekmeKırılması"
End If

```

```
Else
```

```
AçıHesabı4
```

```

Epsb1 = (cbc - 0.5 * (Rh1 - zs)) * Epsccu / cbc
Epsb2 = (cbc - 0.5 * Rh1 + 0.5877852523 * rs) * Epsccu / cbc

```

```

Epsb3 = (cbc - 0.5 * Rh1) * Epsccu / cbc
Epsb4 = (cbc - 0.5 * Rh1 - 0.5877852523 * rs) * Epsccu / cbc
Epsb5 = (cbc - 0.5 * (Rh1 + zs)) * Epsccu / cbc
Epsb6 = 0
Epsb7 = 0

```

```
DengeliGerilme1
```

```
DengeliGerilme2
```

```
DengeliGerilme3
```

```
DengeliGerilme4
```

```
DengeliGerilme5
```

```
Sigmasb6 = 0
```

```
Sigmasb7 = 0
```

```

eb = ((0.25 * K * fcd * k1c * Rh1 ^ 2 * (Tetabc - Sin(Tetabc) * Cos(Tetabc))) * (0.5 * (Rh1 + zs) - k2c * cbc) + 0.25 * k3 * fcd * k1 * (R ^ 2 - Rh1 ^ 2) * (Tetabc - Tetab) * (0.5 * (Rh1 + zs) - cbc + cb - k2 * cb) + 2 * Asi * (Sigmasb1 * zs + Sigmasb2 * (0.5 * zs + 0.5877852523 * rs) + Sigmasb3 * 0.5 * zs + sigmasb4 * (0.5 * zs - 0.5877852523 * rs))) / (0.25 * K * fcd * k1c * Rh1 ^ 2 * (Tetabc - Sin(Tetabc) * Cos(Tetabc)) + 0.25 * k3 * fcd * k1 * (R ^ 2 - Rh1 ^ 2) * (Tetabc - Tetab) + 2 * Asi * (Sigmasb1 + Sigmasb2 + Sigmasb3 + sigmasb4 + Sigmasb5))) - (0.5 * zs)

```

```
If e < eb Then
```

```
Text53.Text = "BasinçKırılması"
```

```
Else
```

```
Text53.Text = "ÇekmeKırılması"
```

```
End If
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Sub DengeliOnikiliDüzen()
```

```
cb = (Epscu / (Epscu + Epsyd)) * 0.5 * (R + zs)
```

```
cb = (Epsccu / (Epsccu + Epsyd)) * 0.5 * (Rh1 + zs)
```

```
If Dh = 0 Then
```

```
AçıHesabı3
```

```
Epsb1 = (cb - 0.5 * (R - zs)) * Epscu / cb
```

```
Epsb2 = (cb - 0.5 * R + 0.7071067812 * rs) * Epscu / cb
```

```
Epsb3 = (cb - 0.5 * R + 0.2588190451 * rs) * Epscu / cb
```

```
Epsb4 = (cb - 0.5 * R - 0.2588190451 * rs) * Epscu / cb
```

```
Epsb5 = (cb - 0.5 * R - 0.7071067812 * rs) * Epscu / cb
```

```
Epsb6 = (cb - 0.5 * (R + zs)) * Epscu / cb
```

```
Epsb7 = 0
```

```
DengeliGerilme1
```

```
DengeliGerilme2
```

```
DengeliGerilme3
```

```
DengeliGerilme4
```

```
DengeliGerilme5
```

```
DengeliGerilme6
```

```
Sigmasb7 = 0
```

```

eb = ((0.25 * k3 * fcd * k1 * R ^ 2 * (Tetab - Sin(Tetab) * Cos(Tetab))) * (0.5 * (R + zs) - k2 * cb) + 2 * Asi * (Sigmasb1 * zs + Sigmasb2 * (0.5 * zs + 0.7071067812 * rs) + Sigmasb3 * (0.5 * zs + 0.2588190451 * rs) + sigmasb4 * (0.5 * zs - 0.2588190451 * rs) + Sigmasb5 * (0.5 * zs - 0.7071067812 * rs))) / (0.25 * k3 * fcd * k1 * R ^ 2 * (Tetab - Sin(Tetab) * Cos(Tetab)) + 2 * Asi * (Sigmasb1 + Sigmasb2 + Sigmasb3 + sigmasb4 + Sigmasb5 + Sigmasb6))) - (0.5 * zs)

```

```
If e < eb Then
```

```
Text53.Text = "BasinçKırılması"
```

```
Else
```

```
Text53.Text = "ÇekmeKırılması"
```

```
End If
```

```
Else
```

## AçıHesabı4

```

Epsb1 = (cbc - 0.5 * (Rh1 - zs)) * Epsccu / cbc
Epsb2 = (cbc - 0.5 * Rh1 + 0.7071067812 * rs) * Epsccu / cbc
Epsb3 = (cbc - 0.5 * Rh1 + 0.2588190451 * rs) * Epsccu / cbc
Epsb4 = (cbc - 0.5 * Rh1 - 0.2588190451 * rs) * Epsccu / cbc
Epsb5 = (cbc - 0.5 * Rh1 - 0.7071067812 * rs) * Epsccu / cbc
Epsb6 = (cbc - 0.5 * (Rh1 + zs)) * Epsccu / cbc
Epsb7 = 0

```

DengeliGerilme1

DengeliGerilme2

DengeliGerilme3

DengeliGerilme4

DengeliGerilme5

DengeliGerilme6

Sigmasb7 = 0

```

eb = ((0.25 * K * fcd * k1c * Rh1 ^ 2 * (Tetabc - Sin(Tetabc) * Cos(Tetabc)) * (0.5 * (Rh1 + zs) - k2c * cbc) + 0.25 * k3 * fcd * k1 * (R ^ 2 - Rh1 ^ 2) - (Tetabc - Tetab) * (0.5 * (Rh1 + zs) - cbc + cb - k2 * cb) + 2 * Asi * (Sigmasb1 * zs + Sigmasb2 * (0.5 * zs + 0.7071067812 * rs) + Sigmasb3 * (0.5 * zs + 0.2588190451 * rs) + sigmasb4 * (0.5 * zs - 0.2588190451 * rs) + Sigmasb5 * (0.5 * zs - 0.7071067812 * rs))) / (0.25 * K * fcd * k1c * Rh1 ^ 2 * (Tetabc - Sin(Tetabc) * Cos(Tetabc)) + 0.25 * k3 * fcd * k1 * (R ^ 2 - Rh1 ^ 2) * (Tetabc - Tetab) + 2 * Asi * (Sigmasb1 + Sigmasb2 + Sigmasb3 + sigmasb4 + Sigmasb5 + Sigmasb6))) - (0.5 * zs)

```

If e &lt; eb Then

Text53.Text = "BasınçKırılması"

Else

Text53.Text = "ÇekmeKırılması"

End If

End If

End Sub

Sub DengeliOndörtlüDüzen()

cb = (Epscu / (Epscu + Epsyd)) \* 0.5 \* (R + zs)

cbc = (Epsccu / (Epsccu + Epsyd)) \* 0.5 \* (Rh1 + zs)

If Dh = 0 Then

## AçıHesabı3

```

Epsb1 = (cb - 0.5 * (R - zs)) * Epscu / cb
Epsb2 = (cb - 0.5 * R + 0.7818470279 * rs) * Epscu / cb
Epsb3 = (cb - 0.5 * R + 0.4338163456 * rs) * Epscu / cb
Epsb4 = (cb - 0.5 * R) * Epscu / cb
Epsb5 = (cb - 0.5 * R - 0.4338163456 * rs) * Epscu / cb
Epsb6 = (cb - 0.5 * R - 0.7818470279 * rs) * Epscu / cb
Epsb7 = (cb - 0.5 * (R + zs)) * Epscu / cb

```

DengeliGerilme1

DengeliGerilme2

DengeliGerilme3

DengeliGerilme4

DengeliGerilme5

DengeliGerilme6

DengeliGerilme7

```

eb = ((0.25 * k3 * fcd * k1 * R ^ 2 * (Tetab - Sin(Tetab) * Cos(Tetab)) * (0.5 * (R + zs) - k2 * cb) + 2 * Asi * (Sigmasb1 * zs + Sigmasb2 * (0.5 * zs + 0.7818470279 * rs) + Sigmasb3 * (0.5 * zs + 0.4338163456 * rs) + sigmasb4 * 0.5 * zs + Sigmasb5 * (0.5 * zs - 0.4338163456 * rs) + Sigmasb6 * (0.5 * zs - 0.7818470279 * rs))) / (0.25 * k3 * fcd * k1 * R ^ 2 * (Tetab - Sin(Tetab) * Cos(Tetab)) + 2 * Asi * (Sigmasb1 + Sigmasb2 + Sigmasb3 + sigmasb4 + Sigmasb5 + Sigmasb6 + Sigmasb7))) - (0.5 * zs)

```

If e &lt; eb Then

Text53.Text = "BasınçKırılması"

```
Else
Text53.Text = "ÇekmeKırılması"
End If
```

```
Else
```

```
AçıHesabı4
```

```
Epssb1 = (cbc - 0.5 * (Rh1 - zs)) * Epsccu / cbc
Epssb2 = (cbc - 0.5 * Rh1 + 0.7818470279 * rs) * Epsccu / cbc
Epssb3 = (cbc - 0.5 * Rh1 + 0.4338163456 * rs) * Epsccu / cbc
Epssb4 = (cbc - 0.5 * Rh1) * Epsccu / cbc
Epssb5 = (cbc - 0.5 * Rh1 - 0.4338163456 * rs) * Epsccu / cbc
Epssb6 = (cbc - 0.5 * Rh1 - 0.7818470279 * rs) * Epsccu / cbc
Epssb7 = (cbc - 0.5 * (Rh1 + zs)) * Epsccu / cbc
```

```
DengeliGerilme1
```

```
DengeliGerilme2
```

```
DengeliGerilme3
```

```
DengeliGerilme4
```

```
DengeliGerilme5
```

```
DengeliGerilme6
```

```
DengeliGerilme7
```

```
eb = ((0.25 * K * fcd * k1c * Rh1 ^ 2 * (Tetabc - Sin(Tetabc) * Cos(Tetabc)) * (0.5 * (Rh1 + zs) - k2c * cbc) + 0.25 * k3 * fcd * k1 * (R ^ 2 - Rh1 ^ 2) * (Tetabc - Tetab) * (0.5 * (Rh1 + zs) - cbc + cb - k2 * cb) + 2 * Asi * (Sigmasb1 * zs + Sigmasb2 * (0.5 * zs + 0.7818470279 * rs) + Sigmasb3 * (0.5 * zs + 0.4338163456 * rs) + sigmasb4 * 0.5 * zs + Sigmasb5 * (0.5 * zs - 0.4338163456 * rs) + Sigmasb6 * (0.5 * zs - 0.7818470279 * rs))) / (0.25 * K * fcd * k1c * Rh1 ^ 2 * (Tetabc - Sin(Tetabc) * Cos(Tetabc)) + 0.25 * k3 * fcd * k1 * (R ^ 2 - Rh1 ^ 2) * (Tetabc - Tetab) + 2 * Asi * (Sigmasb1 + Sigmasb2 + Sigmasb3 + sigmasb4 + Sigmasb5 + Sigmasb6 + Sigmasb7))) - (0.5 * zs)
```

```
If e < eb Then
Text53.Text = "BasınçKırılması"
Else
Text53.Text = "ÇekmeKırılması"
End If
```

```
End If
```

```
End Sub
Sub AkmaAltıHüzen()
```

```
cyc = 0
```

```
Do
```

```
cyc = cyc + 0.01
```

```
KesitOrtasıHataDenetimi2
```

```
If Dh = 0 Then
```

```
cy = cyc
```

```
Tetayc = 0
```

```
AçıHesabı5
```

```
If e < eb Then
```

```
Epscy = 0.0022
```

```
Epssy1 = (cy - 0.5 * (R - zs)) * Epscy / cy
```

```
Epssy2 = (cy - 0.5 * R) * Epscy / cy
```

```
Epssy3 = (cy - 0.5 * (R + zs)) * Epscy / cy
```

```
k1y = 0.6681818182
```

```
k2y = 0.3764378479
```

```
Else
```

```
Epscy = cy * Epsyd / (0.5 * (R + zs) - cy)
```

```
Epssy1 = (cy - 0.5 * (R - zs)) * Epsyd / ((0.5 * (R + zs)) - cy)
```

```
Epssy2 = (cy - 0.5 * R) * Epsyd / ((0.5 * (R + zs)) - cy)
```

Epsy3 = -Epsyd

k1y = ((Epsy / 0.0022) - (Epsy ^ 2 / 0.00001452))

k2y = 1 - (((Epsy ^ 3 / 0.0033) - (Epsy ^ 4 / 0.00001936)) / ((Epsy ^ 3 / 0.0022) - (Epsy ^ 4 / 0.00001452)))

End If

Else

cy = cyc / K

AçıHesabı6

If e < eb Then

Epsy = 0.0022 \* K

Epssy1 = (cyc - 0.5 \* (Rh1 - zs)) \* Epsy / cyc

Epssy2 = (cyc - 0.5 \* Rh1) \* Epsy / cyc

Epssy3 = (cyc - 0.5 \* (Rh1 + zs)) \* Epsy / cyc

k1y = 0.6681818182

k2y = 0.3764378479

Else

Epsscmm = cyc \* Epsyd / (0.5 \* (Rh1 + zs) - cyc)

Epscmm = Epsscmm \* cy / cyc

Epssy1 = (cyc - 0.5 \* (Rh1 - zs)) \* Epsyd / ((0.5 \* (Rh1 + zs)) - cyc)

Epssy2 = (cyc - 0.5 \* Rh1) \* Epsyd / ((0.5 \* (Rh1 + zs)) - cyc)

Epssy3 = -Epsyd

k1 = ((Epscmm / 0.0022) - (Epscmm ^ 2 / 0.00001452))

k2 = 1 - (((Epscmm ^ 3 / 0.0033) - (Epscmm ^ 4 / 0.00001936)) / ((Epscmm ^ 3 / 0.0022) - (Epscmm ^ 4 / 0.00001452)))

k1y = ((Epsscmm / 0.0022) - (Epsscmm ^ 2 / 0.00001452))

k2y = 1 - (((Epsscmm ^ 3 / 0.0033) - (Epsscmm ^ 4 / 0.00001936)) / ((Epsscmm ^ 3 / 0.0022) - (Epsscmm ^ 4 / 0.00001452)))

Epsy = Epsscmm

End If

End If

AkmaGerilme1

AkmaGerilme2

AkmaGerilme3

If Dh = 0 Then

Ny1 = 0.25 \* k3 \* fcd \* k1 \* R ^ 2 \* (Tetay - Sin(Tetay) \* Cos(Tetay)) + 2 \* Asi \* (Sigmasy1 + Sigmasy2 + Sigmasy3)

Ny2 = (0.25 \* k3 \* fcd \* k1 \* R ^ 2 \* (Tetay - Sin(Tetay) \* Cos(Tetay)) \* (0.5 \* (R + zs) - k2 \* cy) + 2 \* Asi \* (Sigmasy1 \* zs + Sigmasy2 \* 0.5 \* zs)) / (e + 0.5 \* zs)

Else

Ny1 = 0.25 \* K \* fcd \* k1y \* Rh1 ^ 2 \* (Tetayc - Sin(Tetayc) \* Cos(Tetayc)) + 0.25 \* k3 \* fcd \* k1 \* (R ^ 2 - Rh1 ^ 2) \* (Tetayc - Tetay) + 2 \* Asi \* (Sigmasy1 + Sigmasy2 + Sigmasy3)

Ny2 = (0.25 \* K \* fcd \* k1y \* Rh1 ^ 2 \* (Tetayc - Sin(Tetayc) \* Cos(Tetayc)) \* (0.5 \* (Rh1 + zs) - k2y \* cyc) + (0.25 \* k3 \* fcd \* k1 \* (R ^ 2 - Rh1 ^ 2) \* (Tetayc - Tetay) \* (0.5 \* (Rh1 + zs) - cyc + cy - k2 \* cy)) + 2 \* Asi \* (Sigmasy1 \* zs + Sigmasy2 \* 0.5 \* zs)) / (e + 0.5 \* zs)

End If

Loop Until Abs(Ny1 - Ny2) < 1000

Ny = Ny1 \* 0.001 'Nu kN'a çeviriyoruz.

My = Ny1 \* e \* 0.000001 'Nmm'yi kNm'ye çeviriyoruz.

Fiy = Epsy \* 1000 / cyc

Delta = Fiu / Fiy

End Sub

Sub AkmaSekizliDüzen()

cyc = 0

Do

cyc = cyc + 0.01

KesitOrtasıHataDenetimi2

If Dh = 0 Then

cy = cyc

Tetayc = 0

AçıHesabı5

If e < eb Then

Epscy = 0.0022

Epssy1 = (cy - 0.5 \* (R - zs)) \* Epscy / cy  
 Epssy2 = (cy - 0.5 \* R + 0.3826834324 \* rs) \* Epscy / cy  
 Epssy3 = (cy - 0.5 \* R - 0.3826834324 \* rs) \* Epscy / cy  
 Epssy4 = (cy - 0.5 \* (R + zs)) \* Epscy / cy

k1y = 0.6681818182  
 k2y = 0.3764378479

Else

Epscy = cy \* Epsyd / (0.5 \* (R + zs) - cy)  
 Epssy1 = (cy - 0.5 \* (R - zs)) \* Epsyd / ((0.5 \* (R + zs)) - cy)  
 Epssy2 = (cy - 0.5 \* R + 0.3826834324 \* rs) \* Epsyd / ((0.5 \* (R + zs)) - cy)  
 Epssy3 = (cy - 0.5 \* R - 0.3826834324 \* rs) \* Epsyd / ((0.5 \* (R + zs)) - cy)  
 Epssy4 = -Epsyd

k1y = ((Epscy / 0.0022) - (Epscy ^ 2 / 0.00001452))  
 k2y = 1 - (((Epscy ^ 3 / 0.0033) - (Epscy ^ 4 / 0.00001936)) / ((Epscy ^ 3 / 0.0022) - (Epscy ^ 4 / 0.00001452)))

End If

Else

cy = cyc / K

AçıHesabı6

If e < eb Then

Epscy = 0.0022 \* K

Epssy1 = (cyc - 0.5 \* (Rh1 - zs)) \* Epscy / cyc  
 Epssy2 = (cyc - 0.5 \* Rh1 + 0.3826834324 \* rs) \* Epscy / cyc  
 Epssy3 = (cyc - 0.5 \* Rh1 - 0.3826834324 \* rs) \* Epscy / cyc  
 Epssy4 = (cyc - 0.5 \* (Rh1 + zs)) \* Epscy / cyc

k1y = 0.6681818182  
 k2y = 0.3764378479

Else

Epscsm = cyc \* Epsyd / (0.5 \* (Rh1 + zs) - cyc)

Epscsm = Epscsm \* cy / cyc

Epssy1 = (cyc - 0.5 \* (Rh1 - zs)) \* Epsyd / ((0.5 \* (Rh1 + zs)) - cyc)  
 Epssy2 = (cyc - 0.5 \* Rh1 + 0.3826834324 \* rs) \* Epsyd / ((0.5 \* (Rh1 + zs)) - cyc)  
 Epssy3 = (cyc - 0.5 \* Rh1 - 0.3826834324 \* rs) \* Epsyd / ((0.5 \* (Rh1 + zs)) - cyc)  
 Epssy4 = -Epsyd

k1 = ((Epscsm / 0.0022) - (Epscsm ^ 2 / 0.00001452))  
 k2 = 1 - (((Epscsm ^ 3 / 0.0033) - (Epscsm ^ 4 / 0.00001936)) / ((Epscsm ^ 3 / 0.0022) - (Epscsm ^ 4 / 0.00001452)))

k1y = ((Epscsm / 0.0022) - (Epscsm ^ 2 / 0.00001452))  
 k2y = 1 - (((Epscsm ^ 3 / 0.0033) - (Epscsm ^ 4 / 0.00001936)) / ((Epscsm ^ 3 / 0.0022) - (Epscsm ^ 4 / 0.00001452)))

Epscy = Epsccm

End If

End If

AkmaGerilme1

AkmaGerilme2

AkmaGerilme3

AkmaGerilme4

If Dh = 0 Then

$Ny1 = 0.25 * k3 * fcd * k1 * R^2 * (Tetay - \sin(Tetay) * \cos(Tetay)) + 2 * Asi * (\text{Sigmasy1} + \text{Sigmasy2} + \text{Sigmasy3} + \text{Sigmasy4})$

$Ny2 = ((0.25 * k3 * fcd * k1 * R^2 * (Tetay - \sin(Tetay) * \cos(Tetay)) * (0.5 * (R + zs) - k2 * cy)) + 2 * Asi * (\text{Sigmasy1} * zs + \text{Sigmasy2} * (0.5 * zs + 0.3826834324 * rs) + \text{Sigmasy3} * (0.5 * zs - 0.3826834324 * rs))) / (e + 0.5 * zs)$

Else

$Ny1 = 0.25 * K * fcd * k1y * Rh1^2 * (Tetayc - \sin(Tetayc) * \cos(Tetayc)) + 0.25 * k3 * fcd * k1 * (R^2 - Rh1^2) * (Tetayc - Tetay) + 2 * Asi * (\text{Sigmasy1} + \text{Sigmasy2} + \text{Sigmasy3} + \text{Sigmasy4})$

$Ny2 = ((0.25 * K * fcd * k1y * Rh1^2 * (Tetayc - \sin(Tetayc) * \cos(Tetayc)) * (0.5 * (Rh1 + zs) - k2y * cyc)) + (0.25 * k3 * fcd * k1 * (R^2 - Rh1^2) * (Tetayc - Tetay) * (0.5 * (Rh1 + zs) - cyc + cy - k2 * cy)) + 2 * Asi * (\text{Sigmasy1} * zs + \text{Sigmasy2} * (0.5 * zs + 0.3826834324 * rs) + \text{Sigmasy3} * (0.5 * zs - 0.3826834324 * rs))) / (e + 0.5 * zs)$

End If

Loop Until Abs(Ny1 - Ny2) < 1000

$Ny = Ny1 * 0.001$  'Nu kN'a çeviriyoruz.

$My = Ny1 * e * 0.000001$  'Nmm'yi kNm'ye çeviriyoruz.

$Fiy = Epscy * 1000 / cyc$

$\Delta = Fiu / Fiy$

End Sub

Sub AkmaOnluDüzen()

cyc = 0

Do

cyc = cyc + 0.01

KesitOrtasıHataDenetimi2

If Dh = 0 Then

cy = cyc

Tetayc = 0

AçıHesabı5

If e < eb Then

Epscy = 0.0022

$\text{Epsy1} = (cy - 0.5 * (R - zs)) * \text{Epscy} / cy$

$\text{Epsy2} = (cy - 0.5 * R + 0.5877852523 * rs) * \text{Epscy} / cy$

$\text{Epsy3} = (cy - 0.5 * R) * \text{Epscy} / cy$

$\text{Epsy4} = (cy - 0.5 * R - 0.5877852523 * rs) * \text{Epscy} / cy$

$\text{Epsy5} = (cy - 0.5 * (R + zs)) * \text{Epscy} / cy$

$k1y = 0.6681818182$

$k2y = 0.3764378479$

Else

$\text{Epscy} = cy * \text{Epsyd} / (0.5 * (R + zs) - cy)$

$\text{Epsy1} = (cy - 0.5 * (R - zs)) * \text{Epsyd} / ((0.5 * (R + zs)) - cy)$

```

Epsy2 = (cy - 0.5 * R + 0.5877852523 * rs) * Epsy / ((0.5 * (R + zs)) - cy)
Epsy3 = (cy - 0.5 * R) * Epsy / ((0.5 * (R + zs)) - cy)
Epsy4 = (cy - 0.5 * R - 0.5877852523 * rs) * Epsy / ((0.5 * (R + zs)) - cy)
Epsy5 = -Epsy

```

```

k1y = ((Epsy / 0.0022) - (Epsy ^ 2 / 0.00001452))
k2y = 1 - (((Epsy ^ 3 / 0.0033) - (Epsy ^ 4 / 0.00001936)) / ((Epsy ^ 3 / 0.0022) - (Epsy ^ 4 / 0.00001452)))

```

```
End If
```

```
Else
```

```
cy = cyc / K
```

```
AçıHesabı6
```

```
If e < eb Then
```

```
Epsy = 0.0022 * K
```

```

Epsy1 = (cyc - 0.5 * (Rh1 - zs)) * Epsy / cyc
Epsy2 = (cyc - 0.5 * Rh1 + 0.5877852523 * rs) * Epsy / cyc
Epsy3 = (cyc - 0.5 * Rh1) * Epsy / cyc
Epsy4 = (cyc - 0.5 * Rh1 - 0.5877852523 * rs) * Epsy / cyc
Epsy5 = (cyc - 0.5 * (Rh1 + zs)) * Epsy / cyc

```

```

k1y = 0.6681818182
k2y = 0.3764378479

```

```
Else
```

```
Epscm = cyc * Epsy / (0.5 * (Rh1 + zs) - cyc)
```

```
Epscm = Epscm * cy / cyc
```

```

Epsy1 = (cyc - 0.5 * (Rh1 - zs)) * Epsy / ((0.5 * (Rh1 + zs)) - cyc)
Epsy2 = (cyc - 0.5 * Rh1 + 0.5877852523 * rs) * Epsy / ((0.5 * (Rh1 + zs)) - cyc)
Epsy3 = (cyc - 0.5 * Rh1) * Epsy / ((0.5 * (Rh1 + zs)) - cyc)
Epsy4 = (cyc - 0.5 * Rh1 - 0.5877852523 * rs) * Epsy / ((0.5 * (Rh1 + zs)) - cyc)
Epsy5 = -Epsy

```

```

k1 = ((Epscm / 0.0022) - (Epscm ^ 2 / 0.00001452))
k2 = 1 - (((Epscm ^ 3 / 0.0033) - (Epscm ^ 4 / 0.00001936)) / ((Epscm ^ 3 / 0.0022) - (Epscm ^ 4 / 0.00001452)))

```

```

k1y = ((Epscm / 0.0022) - (Epscm ^ 2 / 0.00001452))
k2y = 1 - (((Epscm ^ 3 / 0.0033) - (Epscm ^ 4 / 0.00001936)) / ((Epscm ^ 3 / 0.0022) - (Epscm ^ 4 / 0.00001452)))

```

```
Epsy = Epscm
```

```
End If
```

```
End If
```

```
AkmaGerilme1
```

```
AkmaGerilme2
```

```
AkmaGerilme3
```

```
AkmaGerilme4
```

```
AkmaGerilme5
```

```
If Dh = 0 Then
```

```
Ny1 = 0.25 * k3 * fcd * k1 * R ^ 2 * (Tetay - Sin(Tetay) * Cos(Tetay)) + 2 * Asi * (Sigmas1 + Sigmas2 + Sigmas3 + Sigmas4 + Sigmas5)
```

```
Ny2 = ((0.25 * k3 * fcd * k1 * R ^ 2 * (Tetay - Sin(Tetay) * Cos(Tetay)) * (0.5 * (R + zs) - k2 * cy)) + 2 * Asi * (Sigmas1 * zs + Sigmas2 * (0.5 * zs + 0.5877852523 * rs) + Sigmas3 * 0.5 * zs + Sigmas4 * (0.5 * zs - 0.5877852523 * rs))) / (e + 0.5 * zs)
```

```
Else
```

```
Ny1 = 0.25 * K * fcd * k1y * Rh1 ^ 2 * (Tetayc - Sin(Tetayc) * Cos(Tetayc)) + 0.25 * k3 * fcd * k1 * (R ^ 2 - Rh1 ^ 2) * (Tetayc - Tetay) + 2 * Asi * (Sigmas1 + Sigmas2 + Sigmas3 + Sigmas4 + Sigmas5)
```

$$Ny2 = ((0.25 * K * fcd * k1y * Rh1 \wedge 2 * (Tetayc - \sin(Tetayc)) * \cos(Tetayc)) * (0.5 * (Rh1 + zs) - k2y * cyc) + (0.25 * k3 * fcd * k1 * (R \wedge 2 - Rh1 \wedge 2) * (Tetayc - \sin(Tetayc)) * (0.5 * (Rh1 + zs) - cyc + cy - k2 * cy)) + 2 * Asi * (\text{Sigmasy1} * zs + \text{Sigmasy2} * (0.5 * zs + 0.5877852523 * rs) + \text{Sigmasy3} * 0.5 * zs + \text{Sigmasy4} * (0.5 * zs - 0.5877852523 * rs))) / (e + 0.5 * zs)$$

End If

Loop Until Abs(Ny1 - Ny2) < 1000

Ny = Ny1 \* 0.001 'N'u kN'a çeviriyoruz.

My = Ny1 \* e \* 0.000001 'Nmm'yi kNm'ye çeviriyoruz.

Fiy = Epscy \* 1000 / cyc

Delta = Fiu / Fiy

End Sub

Sub AkmaOnikiliDüzen()

cyc = 0

Do

cyc = cyc + 0.01

KesitOrtasıHataDenetimi2

If Dh = 0 Then

cy = cyc

Tetayc = 0

AçıHesabı5

If e < eb Then

Epscy = 0.0022

Epssy1 = (cy - 0.5 \* (R - zs)) \* Epscy / cy

Epssy2 = (cy - 0.5 \* R + 0.7071067812 \* rs) \* Epscy / cy

Epssy3 = (cy - 0.5 \* R + 0.2588190451 \* rs) \* Epscy / cy

Epssy4 = (cy - 0.5 \* R - 0.2588190451 \* rs) \* Epscy / cy

Epssy5 = (cy - 0.5 \* R - 0.7071067812 \* rs) \* Epscy / cy

Epssy6 = (cy - 0.5 \* (R + zs)) \* Epscy / cy

k1y = 0.6681818182

k2y = 0.3764378479

Else

Epscy = cy \* Epsyd / (0.5 \* (R + zs) - cy)

Epssy1 = (cy - 0.5 \* (R - zs)) \* Epsyd / ((0.5 \* (R + zs)) - cy)

Epssy2 = (cy - 0.5 \* R + 0.7071067812 \* rs) \* Epsyd / ((0.5 \* (R + zs)) - cy)

Epssy3 = (cy - 0.5 \* R + 0.2588190451 \* rs) \* Epsyd / ((0.5 \* (R + zs)) - cy)

Epssy4 = (cy - 0.5 \* R - 0.2588190451 \* rs) \* Epsyd / ((0.5 \* (R + zs)) - cy)

Epssy5 = (cy - 0.5 \* R - 0.7071067812 \* rs) \* Epsyd / ((0.5 \* (R + zs)) - cy)

Epssy6 = -Epsyd

k1y = ((Epscy / 0.0022) - (Epscy ^ 2 / 0.00001452))

k2y = 1 - (((Epscy ^ 3 / 0.0033) - (Epscy ^ 4 / 0.00001936)) / ((Epscy ^ 3 / 0.0022) - (Epscy ^ 4 / 0.00001452)))

End If

Else

cy = cyc / K

AçıHesabı6

If e < eb Then

Epscy = 0.0022 \* K

Epssy1 = (cyc - 0.5 \* (Rh1 - zs)) \* Epscy / cyc

Epssy2 = (cyc - 0.5 \* Rh1 + 0.7071067812 \* rs) \* Epscy / cyc

Epssy3 = (cyc - 0.5 \* Rh1 + 0.2588190451 \* rs) \* Epscy / cyc

Epssy4 = (cyc - 0.5 \* Rh1 - 0.2588190451 \* rs) \* Epscy / cyc

Epssy5 = (cyc - 0.5 \* Rh1 - 0.7071067812 \* rs) \* Epscy / cyc

Epssy6 = (cyc - 0.5 \* (Rh1 + zs)) \* Epscy / cyc

k1y = 0.6681818182  
k2y = 0.3764378479

Else

Epscsm = cyc \* Epsyd / (0.5 \* (Rh1 + zs) - cyc)

Epscsm = Epscsm \* cy / cyc

Epssy1 = (cyc - 0.5 \* (Rh1 - zs)) \* Epsyd / ((0.5 \* (Rh1 + zs)) - cyc)  
Epssy2 = (cyc - 0.5 \* Rh1 + 0.7071067812 \* rs) \* Epsyd / ((0.5 \* (Rh1 + zs)) - cyc)  
Epssy3 = (cyc - 0.5 \* Rh1 + 0.2588190451 \* rs) \* Epsyd / ((0.5 \* (Rh1 + zs)) - cyc)  
Epssy4 = (cyc - 0.5 \* Rh1 - 0.2588190451 \* rs) \* Epsyd / ((0.5 \* (Rh1 + zs)) - cyc)  
Epssy5 = (cyc - 0.5 \* Rh1 - 0.7071067812 \* rs) \* Epsyd / ((0.5 \* (Rh1 + zs)) - cyc)  
Epssy6 = -Epsyd

k1 = ((Epscsm / 0.0022) - (Epscsm ^ 2 / 0.00001452))  
k2 = 1 - (((Epscsm ^ 3 / 0.0033) - (Epscsm ^ 4 / 0.00001936)) / ((Epscsm ^ 3 / 0.0022) - (Epscsm ^ 4 / 0.00001452)))

k1y = ((Epscsm / 0.0022) - (Epscsm ^ 2 / 0.00001452))  
k2y = 1 - (((Epscsm ^ 3 / 0.0033) - (Epscsm ^ 4 / 0.00001936)) / ((Epscsm ^ 3 / 0.0022) - (Epscsm ^ 4 / 0.00001452)))

Epscsm = Epscsm

End If

End If

AkmaGerilme1

AkmaGerilme2

AkmaGerilme3

AkmaGerilme4

AkmaGerilme5

AkmaGerilme6

Sigmas7 = 0

If Dh = 0 Then

Ny1 = 0.25 \* k3 \* fcd \* k1 \* R ^ 2 \* (Tetay - Sin(Tetay) \* Cos(Tetay)) + 2 \* Asi \* (Sigmas1 + Sigmas2 + Sigmas3 + Sigmas4 + Sigmas5 + Sigmas6)

Ny2 = (0.25 \* k3 \* fcd \* k1 \* R ^ 2 \* (Tetay - Sin(Tetay) \* Cos(Tetay)) \* (0.5 \* (R + zs) - k2 \* cy) + 2 \* Asi \* (Sigmas1 \* zs + Sigmas2 \* (0.5 \* zs + 0.7071067812 \* rs) + Sigmas3 \* (0.5 \* zs + 0.2588190451 \* rs) + Sigmas4 \* (0.5 \* zs - 0.2588190451 \* rs) + Sigmas5 \* (0.5 \* zs - 0.7071067812 \* rs))) / (e + 0.5 \* zs)

Else

Ny1 = 0.25 \* K \* fcd \* k1y \* Rh1 ^ 2 \* (Tetayc - Sin(Tetayc) \* Cos(Tetayc)) + 0.25 \* k3 \* fcd \* k1 \* (R ^ 2 - Rh1 ^ 2) \* (Tetayc - Tetay) + 2 \* Asi \* (Sigmas1 + Sigmas2 + Sigmas3 + Sigmas4 + Sigmas5 + Sigmas6)

Ny2 = (0.25 \* K \* fcd \* k1y \* Rh1 ^ 2 \* (Tetayc - Sin(Tetayc) \* Cos(Tetayc)) \* (0.5 \* (Rh1 + zs) - k2y \* cyc) + (0.25 \* k3 \* fcd \* k1 \* (R ^ 2 - Rh1 ^ 2) \* (Tetayc - Tetay) \* (0.5 \* (Rh1 + zs) - cyc + cy - k2 \* cy)) + 2 \* Asi \* (Sigmas1 \* zs + Sigmas2 \* (0.5 \* zs + 0.7071067812 \* rs) + Sigmas3 \* (0.5 \* zs + 0.2588190451 \* rs) + Sigmas4 \* (0.5 \* zs - 0.2588190451 \* rs) + Sigmas5 \* (0.5 \* zs - 0.7071067812 \* rs))) / (e + 0.5 \* zs)

End If

Loop Until Abs(Ny1 - Ny2) < 1000

Ny = Ny1 \* 0.001 'Nu kN'a çeviriyoruz.

My = Ny1 \* e \* 0.000001 'Nmm'yi kNm'ye çeviriyoruz.

Fiy = Epscsm \* 1000 / cy

Delta = Fiy / Fiy

End Sub

Sub AkmaOndörtüDüzen()

cyc = 0

Do

cyc = cyc + 0.01

KesitOrtasıHataDenetimi2

If Dh = 0 Then

cy = cyc

Tetayc = 0

AçıHesabı5

If e < eb Then

Epscy = 0.0022

Epssy1 = (cy - 0.5 \* (R - zs)) \* Epscy / cy

Epssy2 = (cy - 0.5 \* R + 0.7818470279 \* rs) \* Epscy / cy

Epssy3 = (cy - 0.5 \* R + 0.4338163456 \* rs) \* Epscy / cy

Epssy4 = (cy - 0.5 \* R) \* Epscy / cy

Epssy5 = (cy - 0.5 \* R - 0.4338163456 \* rs) \* Epscy / cy

Epssy6 = (cy - 0.5 \* R - 0.7818470279 \* rs) \* Epscy / cy

Epssy7 = (cy - 0.5 \* (R + zs)) \* Epscy / cy

k1y = 0.6681818182

k2y = 0.3764378479

Else

Epscy = cy \* Epsyd / (0.5 \* (R + zs) - cy)

Epssy1 = (cy - 0.5 \* (R - zs)) \* Epsyd / ((0.5 \* (R + zs)) - cy)

Epssy2 = (cy - 0.5 \* R + 0.7818470279 \* rs) \* Epsyd / ((0.5 \* (R + zs)) - cy)

Epssy3 = (cy - 0.5 \* R + 0.4338163456 \* rs) \* Epsyd / ((0.5 \* (R + zs)) - cy)

Epssy4 = (cy - 0.5 \* R) \* Epsyd / ((0.5 \* (R + zs)) - cy)

Epssy5 = (cy - 0.5 \* R - 0.4338163456 \* rs) \* Epsyd / ((0.5 \* (R + zs)) - cy)

Epssy6 = (cy - 0.5 \* R - 0.7818470279 \* rs) \* Epsyd / ((0.5 \* (R + zs)) - cy)

Epssy7 = -Epsyd

k1y = ((Epscy / 0.0022) - (Epscy ^ 2 / 0.00001452))

k2y = 1 - (((Epscy ^ 3 / 0.0033) - (Epscy ^ 4 / 0.00001936)) / ((Epscy ^ 3 / 0.0022) - (Epscy ^ 4 / 0.00001452)))

End If

Else

cy = cyc / K

AçıHesabı6

If e < eb Then

Epscy = 0.0022 \* K

Epssy1 = (cyc - 0.5 \* (Rh1 - zs)) \* Epscy / cyc

Epssy2 = (cyc - 0.5 \* Rh1 + 0.7818470279 \* rs) \* Epscy / cyc

Epssy3 = (cyc - 0.5 \* Rh1 + 0.4338163456 \* rs) \* Epscy / cyc

Epssy4 = (cyc - 0.5 \* Rh1) \* Epscy / cyc

Epssy5 = (cyc - 0.5 \* Rh1 - 0.4338163456 \* rs) \* Epscy / cyc

Epssy6 = (cyc - 0.5 \* Rh1 - 0.7818470279 \* rs) \* Epscy / cyc

Epssy7 = (cyc - 0.5 \* (Rh1 + zs)) \* Epscy / cyc

k1y = 0.6681818182

k2y = 0.3764378479

Else

Epscsm = cyc \* Epsyd / (0.5 \* (Rh1 + zs) - cyc)

Epscsm = Epscsm \* cy / cyc

Epssy1 = (cyc - 0.5 \* (Rh1 - zs)) \* Epsyd / ((0.5 \* (Rh1 + zs)) - cyc)

Epssy2 = (cyc - 0.5 \* Rh1 + 0.7818470279 \* rs) \* Epsyd / ((0.5 \* (Rh1 + zs)) - cyc)

Epssy3 = (cyc - 0.5 \* Rh1 + 0.4338163456 \* rs) \* Epsyd / ((0.5 \* (Rh1 + zs)) - cyc)

Epssy4 = (cyc - 0.5 \* Rh1) \* Epsyd / ((0.5 \* (Rh1 + zs)) - cyc)

Epssy5 = (cyc - 0.5 \* Rh1 - 0.4338163456 \* rs) \* Epsyd / ((0.5 \* (Rh1 + zs)) - cyc)

Epssy6 = (cyc - 0.5 \* Rh1 - 0.7818470279 \* rs) \* Epsyd / ((0.5 \* (Rh1 + zs)) - cyc)

Epssy7 = -Epsyd

$k1 = ((Epscmm / 0.0022) - (Epscmm^2 / 0.00001452))$   
 $k2 = 1 - (((Epscmm^3 / 0.0033) - (Epscmm^4 / 0.00001936)) / ((Epscmm^3 / 0.0022) - (Epscmm^4 / 0.00001452)))$

$k1y = ((Epscmm / 0.0022) - (Epscmm^2 / 0.00001452))$   
 $k2y = 1 - (((Epscmm^3 / 0.0033) - (Epscmm^4 / 0.00001936)) / ((Epscmm^3 / 0.0022) - (Epscmm^4 / 0.00001452)))$

Epscy = Epscmm

End If

End If

AkmaGerilme1

AkmaGerilme2

AkmaGerilme3

AkmaGerilme4

AkmaGerilme5

AkmaGerilme6

AkmaGerilme7

If Dh = 0 Then

$Ny1 = 0.25 * k3 * fcd * k1 * R^2 * (Tetay - \sin(Tetay) * \cos(Tetay)) + 2 * Asi * (\text{Sigmasy1} + \text{Sigmasy2} + \text{Sigmasy3} + \text{Sigmasy4} + \text{Sigmasy5} + \text{Sigmasy6} + \text{Sigmasy7})$

$Ny2 = (0.25 * k3 * fcd * k1 * R^2 * (Tetay - \sin(Tetay) * \cos(Tetay)) * (0.5 * (R + zs) - k2 * cy) + 2 * Asi * (\text{Sigmasy1} * zs + \text{Sigmasy2} * (0.5 * zs + 0.7818470279 * rs) + \text{Sigmasy3} * (0.5 * zs + 0.4338163456 * rs) + \text{Sigmasy4} * 0.5 * zs + \text{Sigmasy5} * (0.5 * zs - 0.4338163456 * rs) + \text{Sigmasy6} * (0.5 * zs - 0.7818470279 * rs))) / (e + 0.5 * zs)$

Else

$Ny1 = 0.25 * K * fcd * k1y * Rh1^2 * (Tetayc - \sin(Tetayc) * \cos(Tetayc)) + 0.25 * k3 * fcd * k1 * (R^2 - R^2) * (Tetayc - Tetay) + 2 * Asi * (\text{Sigmasy1} + \text{Sigmasy2} + \text{Sigmasy3} + \text{Sigmasy4} + \text{Sigmasy5} + \text{Sigmasy6} + \text{Sigmasy7})$

$Ny2 = (0.25 * K * fcd * k1y * Rh1^2 * (Tetayc - \sin(Tetayc) * \cos(Tetayc)) * (0.5 * (Rh1 + zs) - k2y * cyc) + 0.25 * k3 * fcd * k1 * (R^2 - R^2) * (Tetayc - Tetay) * (0.5 * (Rh1 + zs) - cyc + cy - k2 * cy) + 2 * Asi * (\text{Sigmasy1} * zs + \text{Sigmasy2} * (0.5 * zs + 0.7818470279 * rs) + \text{Sigmasy3} * (0.5 * zs + 0.4338163456 * rs) + \text{Sigmasy4} * 0.5 * zs + \text{Sigmasy5} * (0.5 * zs - 0.4338163456 * rs) + \text{Sigmasy6} * (0.5 * zs - 0.7818470279 * rs))) / (e + 0.5 * zs)$

End If

Loop Until Abs(Ny1 - Ny2) < 1000

$Ny = Ny1 * 0.001$  'Nu kN'a çeviriyoruz.

$My = Ny1 * e * 0.000001$  'Nmm'yi kNm'ye çeviriyoruz.

$Fiy = Epscy * 1000 / cyc$

$\Delta = Fiu / Fiy$

End Sub

Sub AkmaSonuçlar()

Text54.Text = eb

Text55.Text = cb

Text100.Text = cbc

Text56.Text = Tetab

Text101.Text = Tetabc

Text57.Text = Epssb1

Text58.Text = Epssb2

Text59.Text = Epssb3

Text60.Text = Epssb4

Text61.Text = Epssb5

Text89.Text = Epssb6

Text90.Text = Epssb7

Text62.Text = Sigmasb1

Text63.Text = Sigmasb2

Text64.Text = Sigmasb3

Text65.Text = sigmasb4

Text66.Text = Sigmasb5

Text91.Text = Sigmasb6

Text92.Text = Sigmasb7

```

Text67.Text = Asi
Text68.Text = cy
Text99.Text = cyc
Text69.Text = Epscy
Text70.Text = Epssy1
Text71.Text = Epssy2
Text72.Text = Epssy3
Text73.Text = Epssy4
Text74.Text = Epssy5
Text93.Text = Epssy6
Text94.Text = Epssy7
Text75.Text = Tetay
Text102.Text = Tetayc
Text76.Text = Sigmasy1
Text77.Text = Sigmasy2
Text78.Text = Sigmasy3
Text79.Text = Sigmasy4
Text80.Text = Sigmasy5
Text95.Text = Sigmasy6
Text96.Text = Sigmasy7
Text81.Text = Ny1
Text82.Text = Ny2
Text83.Text = My
Text84.Text = Fiy
Text85.Text = k1y
Text86.Text = k2y
Text87.Text = Ny
Text103.Text = Delta

```

```
End Sub
```

```
Sub Gerilme1()
```

```
'Birinci donatı çiftinin gerilmesi hesaplanıyor.
```

```

If Epss1 < 0 Then 'Donatının çekmede mi basınçta mı olduğu kontrol ediliyor.
If Abs(Epss1) < Epsyd Then 'Donatı elastik bölgede mi?
Sigmas1 = Epss1 * Es 'Birinci donatı çiftinin gerilmesi.
Elseif (Abs(Epss1) > Epsyd And Abs(Epss1) < Epssh) Then 'Donatı akma bölgesinde mi?
Sigmas1 = -fyd
Elseif Abs(Epss1) > Epssh Then 'Donatı pekleşme bölgesinde mi?
Sigmas1 = -fyd + (Ep * (Epss1 + Epssh))
End If
Else
If Epss1 < Epsyd Then
Sigmas1 = Epss1 * Es
Elseif (Epss1 > Epsyd And Epss1 < Epssh) Then
Sigmas1 = fyd
Elseif Epss1 > Epssh Then
Sigmas1 = fyd + (Ep * (Epss1 - Epssh))
End If
End If

```

```
End Sub
```

```
Sub Gerilme2()
```

```

If Epss2 < 0 Then
If Abs(Epss2) < Epsyd Then
Sigmas2 = Epss2 * Es
Elseif (Abs(Epss2) > Epsyd And Abs(Epss2) < Epssh) Then
Sigmas2 = -fyd
Elseif Abs(Epss2) > Epssh Then
Sigmas2 = -fyd + (Ep * (Epss2 + Epssh))
End If
Else
If Epss2 < Epsyd Then
Sigmas2 = Epss2 * Es
Elseif (Epss2 > Epsyd And Epss2 < Epssh) Then
Sigmas2 = fyd
Elseif Epss2 > Epssh Then
Sigmas2 = fyd + (Ep * (Epss2 - Epssh))
End If
End If

```

```
End Sub
```

```
Sub Gerilme3()
```

```

If Epss3 < 0 Then
If Abs(Epss3) < Epsyd Then

```

```

Sigmas3 = Epss3 * Es
Elseif (Abs(Epss3) > Epsyd And Abs(Epss3) < Epssh) Then
Sigmas3 = -fyd
Elseif Abs(Epss3) > Epssh Then
Sigmas3 = -fyd + (Ep * (Epss3 + Epssh))
End If
Else
If Epss3 < Epsyd Then
Sigmas3 = Epss3 * Es
Elseif (Epss3 > Epsyd And Epss3 < Epssh) Then
Sigmas3 = fyd
Elseif Epss3 > Epssh Then
Sigmas3 = fyd + (Ep * (Epss3 - Epssh))
End If
End If

```

```

End Sub
Sub Gerilme4()

```

```

If Epss4 < 0 Then
If Abs(Epss4) < Epsyd Then
Sigmas4 = Epss4 * Es
Elseif (Abs(Epss4) > Epsyd And Abs(Epss4) < Epssh) Then
Sigmas4 = -fyd
Elseif Abs(Epss4) > Epssh Then
Sigmas4 = -fyd + (Ep * (Epss4 + Epssh))
End If
Else
If Epss4 < Epsyd Then
Sigmas4 = Epss4 * Es
Elseif (Epss4 > Epsyd And Epss4 < Epssh) Then
Sigmas4 = fyd
Elseif Epss4 > Epssh Then
Sigmas4 = fyd + (Ep * (Epss4 - Epssh))
End If
End If

```

```

End Sub
Sub Gerilme5()

```

```

If Epss5 < 0 Then
If Abs(Epss5) < Epsyd Then
Sigmas5 = Epss5 * Es
Elseif (Abs(Epss5) > Epsyd And Abs(Epss5) < Epssh) Then
Sigmas5 = -fyd
Elseif Abs(Epss5) > Epssh Then
Sigmas5 = -fyd + (Ep * (Epss5 + Epssh))
End If
Else
If Epss5 < Epsyd Then
Sigmas5 = Epss5 * Es
Elseif Epss5 > Epsyd Then
Sigmas5 = fyd
Elseif Epss5 > Epssh Then
Sigmas5 = fyd + (Ep * (Epss5 - Epssh))
End If
End If

```

```

End Sub
Sub Gerilme6()

```

```

If Epss6 < 0 Then
If Abs(Epss6) < Epsyd Then
Sigmas6 = Epss6 * Es
Elseif (Abs(Epss6) > Epsyd And Abs(Epss6) < Epssh) Then
Sigmas6 = -fyd
Elseif Abs(Epss6) > Epssh Then
Sigmas6 = -fyd + (Ep * (Epss6 + Epssh))
End If
Else
If Epss6 < Epsyd Then
Sigmas6 = Epss6 * Es
Elseif (Epss6 > Epsyd And Epss6 < Epssh) Then
Sigmas6 = fyd
Elseif Epss6 > Epssh Then
Sigmas6 = fyd + (Ep * (Epss6 - Epssh))
End If
End If

```

End Sub  
Sub Gerilme7()

If Epss7 < 0 Then  
If Abs(Epss7) < Epsyd Then  
Sigmas7 = Epss7 \* Es  
Elseif (Abs(Epss7) > Epsyd And Abs(Epss7) < Epssh) Then  
Sigmas7 = -fyd  
Elseif Abs(Epss7) > Epssh Then  
Sigmas7 = -fyd + (Ep \* (Epss7 + Epssh))  
End If  
Else  
If Epss7 < Epsyd Then  
Sigmas7 = Epss7 \* Es  
Elseif (Epss7 > Epsyd And Epss7 < Epssh) Then  
Sigmas7 = fyd  
Elseif Epss7 > Epssh Then  
Sigmas7 = fyd + (Ep \* (Epss7 - Epssh) \* Ep)  
End If  
End If

End Sub

Sub KesitOrtasiHataDenetimi1()

If cuc = 0.425 \* R Or cuc = 0.5 \* R Then  
cuc = cuc + 0.01  
Else  
cuc = cuc  
End If

End Sub  
Sub KesitOrtasiHataDenetimi2()

If cyc = 0.425 \* R Or cyc = 0.5 \* R Then  
cyc = cyc + 0.01  
Else  
cyc = cyc  
End If

End Sub  
Sub Açihesabı1()

*Tarafsız eksen derinliği kesidin yarısını geçince teta formülleri değişiyor.*

If cuc <= 0.5 \* R Then  
Teta = Atn(Sqr(1 - ((0.5 \* R - cuc) / (0.5 \* R)) ^ 2) / ((0.5 \* R - cuc) / (0.5 \* R)))  
Else  
Teta = Pi - (Atn(Sqr(1 - ((cuc - 0.5 \* R) / (0.5 \* R)) ^ 2) / ((cuc - 0.5 \* R) / (0.5 \* R))))  
End If

End Sub  
Sub Açihesabı2()

*Tarafsız eksen derinliği kesidin yarısını geçince teta formülleri değişiyor.*

If cuc <= 0.425 \* R Then  
Teta = Atn(Sqr(1 - ((0.425 \* R - cuc + cu) / (0.425 \* R)) ^ 2) / ((0.425 \* R - cuc + cu) / (0.425 \* R)))  
Tetac = Atn(Sqr(1 - ((0.425 \* R - cuc) / (0.425 \* R)) ^ 2) / ((0.425 \* R - cuc) / (0.425 \* R)))  
Else  
Teta = Pi - (Atn(Sqr(1 - ((0.425 \* R - cuc + cu) / (0.425 \* R)) ^ 2) / ((0.425 \* R - cuc + cu) / (0.425 \* R))))  
Tetac = Pi - (Atn(Sqr(1 - ((cuc - 0.425 \* R) / (0.425 \* R)) ^ 2) / ((cuc - 0.425 \* R) / (0.425 \* R))))  
End If

End Sub

Sub Açihesabı3()

If cb <= 0.5 \* R Then  
Tetab = Atn(Sqr(1 - ((0.5 \* R - cb) / (0.5 \* R)) ^ 2) / ((0.5 \* R - cb) / (0.5 \* R)))  
Else  
Tetab = Pi - (Atn(Sqr(1 - ((cb - 0.5 \* R) / (0.5 \* R)) ^ 2) / ((cb - 0.5 \* R) / (0.5 \* R))))  
End If

End Sub  
Sub Açihesabı4()

*Tarafsız eksen derinliği kesidin yarısını geçince teta formülleri değişiyor.*

```
If cbc <= 0.425 * R Then
Tetab = Atn(Sqr(1 - ((0.425 * R - cbc + cb) / (0.425 * R)) ^ 2) / (((0.425 * R - cbc + cb) / (0.425 * R)))
Tetabc = Atn(Sqr(1 - ((0.425 * R - cbc) / (0.425 * R)) ^ 2) / (((0.425 * R - cbc) / (0.425 * R)))
Else
Tetab = Pi - (Atn(Sqr(1 - ((0.425 * R - cbc + cb) / (0.425 * R)) ^ 2) / (((0.425 * R - cbc + cb) / (0.425 * R))))
Tetabc = Pi - (Atn(Sqr(1 - ((cbc - 0.425 * R) / (0.425 * R)) ^ 2) / (((cbc - 0.425 * R) / (0.425 * R))))
End If
```

```
End Sub
Sub AçılıHesabı5()
```

```
If cy <= 0.5 * R Then
Tetay = Atn(Sqr(1 - ((0.5 * R - cy) / (0.5 * R)) ^ 2) / (((0.5 * R - cy) / (0.5 * R)))
Else
Tetay = Pi - (Atn(Sqr(1 - ((cy - 0.5 * R) / (0.5 * R)) ^ 2) / (((cy - 0.5 * R) / (0.5 * R))))
End If
```

```
End Sub
Sub AçılıHesabı6()
```

*Tarafsız eksen derinliği kesidin yarısını geçince teta formülleri değişiyor.*

```
If cyc <= 0.425 * R Then
Tetay = Atn(Sqr(1 - ((0.425 * R - cyc + cy) / (0.425 * R)) ^ 2) / (((0.425 * R - cyc + cy) / (0.425 * R)))
Tetayc = Atn(Sqr(1 - ((0.425 * R - cyc) / (0.425 * R)) ^ 2) / (((0.425 * R - cyc) / (0.425 * R)))
Else
Tetay = Pi - (Atn(Sqr(1 - ((0.425 * R - cyc + cy) / (0.425 * R)) ^ 2) / (((0.425 * R - cyc + cy) / (0.425 * R))))
Tetayc = Pi - (Atn(Sqr(1 - ((cyc - 0.425 * R) / (0.425 * R)) ^ 2) / (((cyc - 0.425 * R) / (0.425 * R))))
End If
```

```
End Sub
Sub NegatifDv1krHataDenetimi()
```

```
If Dv1kr < 0 Then
Dv1kr = 196
Else
Dv1kr = Dv1kr
End If
```

```
End Sub
Sub MinimumAsv()
```

```
Asvmin = 0.01 * 0.25 * Pi * R ^ 2
```

```
End Sub
Sub DengeliGerilme1()
```

```
If Epssb1 < 0 Then
If Abs(Epssb1) < Epsyd Then
Sigmasb1 = Epssb1 * Es
Else
Sigmasb1 = -fyd
End If
Else
If Epssb1 < Epsyd Then
Sigmasb1 = Epssb1 * Es
Else
Sigmasb1 = fyd
End If
End If
```

```
End Sub
Sub DengeliGerilme2()
```

```
If Epssb2 < 0 Then
If Abs(Epssb2) < Epsyd Then
Sigmasb2 = Epssb2 * Es
Else
Sigmasb2 = -fyd
End If
Else
If Epssb2 < Epsyd Then
Sigmasb2 = Epssb2 * Es
Else
```

```

Sigmasb2 = fyd
End If
End If

```

```

End Sub
Sub DengeliGerilme3()

```

```

If Epssb3 < 0 Then
If Abs(Epssb3) < Epsyd Then
Sigmasb3 = Epssb3 * Es
Else
Sigmasb3 = -fyd
End If
Else
If Epssb3 < Epsyd Then
Sigmasb3 = Epssb3 * Es
Else
Sigmasb3 = fyd
End If
End If

```

```

End Sub
Sub DengeliGerilme4()

```

```

If Epssb4 < 0 Then
If Abs(Epssb4) < Epsyd Then
sigmasb4 = Epssb4 * Es
Else
sigmasb4 = -fyd
End If
Else
If Epssb4 < Epsyd Then
sigmasb4 = Epssb4 * Es
Else
sigmasb4 = fyd
End If
End If

```

```

End Sub
Sub DengeliGerilme5()

```

```

If Epssb5 < 0 Then
If Abs(Epssb5) < Epsyd Then
Sigmasb5 = Epssb5 * Es
Else
Sigmasb5 = -fyd
End If
Else
If Epssb5 < Epsyd Then
Sigmasb5 = Epssb5 * Es
Else
Sigmasb5 = fyd
End If
End If

```

```

End Sub
Sub DengeliGerilme6()

```

```

If Epssb6 < 0 Then
If Abs(Epssb6) < Epsyd Then
Sigmasb6 = Epssb6 * Es
Else
Sigmasb6 = -fyd
End If
Else
If Epssb6 < Epsyd Then
Sigmasb6 = Epssb6 * Es
Else
Sigmasb6 = fyd
End If
End If

```

```

End Sub
Sub DengeliGerilme7()

```

```

If Epssb7 < 0 Then
If Abs(Epssb7) < Epsyd Then
Sigmasb7 = Epssb7 * Es

```

```

Else
Sigmasb7 = -fyd
End If
Else
If Epsb7 < Epsyd Then
Sigmasb7 = Epsb7 * Es
Else
Sigmasb7 = fyd
End If
End If

End Sub
Sub AkmaGerilme1()

If Epssy1 < 0 Then
If Abs(Epssy1) < Epsyd Then
Sigmasy1 = Epssy1 * Es
Else
Sigmasy1 = -fyd
End If
Else
If Epssy1 < Epsyd Then
Sigmasy1 = Epssy1 * Es
Else
Sigmasy1 = fyd
End If
End If

End Sub
Sub AkmaGerilme2()

If Epssy2 < 0 Then
If Abs(Epssy2) < Epsyd Then
Sigmasy2 = Epssy2 * Es
Else
Sigmasy2 = -fyd
End If
Else
If Epssy2 < Epsyd Then
Sigmasy2 = Epssy2 * Es
Else
Sigmasy2 = fyd
End If
End If

End Sub
Sub AkmaGerilme3()

If Epssy3 < 0 Then
If Abs(Epssy3) < Epsyd Then
Sigmasy3 = Epssy3 * Es
Else
Sigmasy3 = -fyd
End If
Else
If Epssy3 < Epsyd Then
Sigmasy3 = Epssy3 * Es
Else
Sigmasy3 = fyd
End If
End If

End Sub
Sub AkmaGerilme4()

If Epssy4 < 0 Then
If Abs(Epssy4) < Epsyd Then
Sigmasy4 = Epssy4 * Es
Else
Sigmasy4 = -fyd
End If
Else
If Epssy4 < Epsyd Then
Sigmasy4 = Epssy4 * Es
Else
Sigmasy4 = fyd
End If
End If

```

```

End Sub
Sub AkmaGerilme5()
If Epssy5 < 0 Then
If Abs(Epssy5) < Epsyd Then
Sigmas5 = Epssy5 * Es
Else
Sigmas5 = -fyd
End If
Else
If Epssy5 < Epsyd Then
Sigmas5 = Epssy5 * Es
Else
Sigmas5 = fyd
End If
End If

```

```

End Sub
Sub AkmaGerilme6()

```

```

If Epssy6 < 0 Then
If Abs(Epssy6) < Epsyd Then
Sigmas6 = Epssy6 * Es
Else
Sigmas6 = -fyd
End If
Else
If Epssy6 < Epsyd Then
Sigmas6 = Epssy6 * Es
Else
Sigmas6 = fyd
End If
End If

```

```

End Sub
Sub AkmaGerilme7()

```

```

If Epssy7 < 0 Then
If Abs(Epssy7) < Epsyd Then
Sigmas7 = Epssy7 * Es
Else
Sigmas7 = -fyd
End If
Else
If Epssy7 < Epsyd Then
Sigmas7 = Epssy7 * Es
Else
Sigmas7 = fyd
End If
End If

```

```

End Sub
Sub DonatıÇapıSeçimi()

```

$Dv = \text{Round}((Dv1kr^{0.5}) + 0.5)$

```

If (Dv Mod 2) = 1 Then
Dv = Dv + 1
Else
Dv = Dv
End If

```

```

End Sub

```

Y.C. YÜREKÖĞÜZLÜ BİLİM VE  
TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ  
MÜHÜRÜ

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	29.11.1975	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1989-1993	Haydarpaşa Anadolu Teknik Lisesi İngilizce Elektrik Bölümü
Lisans	1993-1997	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak. İnş. Müh. Bölümü
Yüksek Lisans	1998-2002	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı

**Çalıştığı Kurumlar**

1997-2000	Esentepe Mimarlık Ltd. Şti.
2000-2001	MTK Mühendislik
2002 – Devam ediyor	Kalyoncu İnşaat Kalıp ve İskele Sistemleri