

YÜKSEK VE NORMAL MUKAVEMETLİ BETONLARIN DAVRANIŞININ YANAL DONATIYLA YETKİNLEŞTİRİLMESİ

Altay Gündüz

Profesör

Yıldız Üniversitesi
İstanbul, Türkiye

ÖZET

Betonarme yapısal sistemlerin limit tasarımında potansiyel plastik mafsallık kesimleri gerekli plastik dönmeyi yapabilecek kapasitede olmalıdır. Basit yada bileşik eğilme etkisindeki kesitlerde en dış beton basınç lifi için kabul edilen "etkili birim kısalma," anılan plastik dönmeyi belirleyen önemli değişkenlerden biridir. Bu bağlamda etkili kısaltmaların, özellikle bunların küçük olduğu yüksek mukavemetli betonlar kullanıldığı zaman, nasıl artırılabilceği sorunuyla karşılaşılır. Sorun, ilgili yapısal eleman bölümlerinin sık konulan yanal donatıyla kuşatılmasıyla çözülebilir.

1. GİRİŞ

Betonarme yapısal sistemlerin limit tasarımında (plastik çözümleme), son limit tasarım yüklerinin etkisinde kalan bir yapısal sistem, bu yüklerle dengede -doğrusal çözümlemeden farklı- bir eğilme momentleri dağılımı kabul edilerek boyutlandırılabilir ve donatılabilir. Anılan moment dağılımının gelişebilmesi için, tasarım momentlerini taşıyan plastik mafsallar gibi çalışması beklenen kritik kesimlerin plastik dönme kapasiteleri, bu gelişimi gerçekleştirebilecek ölçüde olmalıdır. Yapısal sistemlerin sismik etkilere göre tasarımında da potansiyel plastik mafsallık kesimlerinin enerjiyi büyük ölçüde tüketebilecek plastik dönmeyi yapabilmesi istenir.

Basit yada bileşik eğilme etkisinde kalan bir kesitin tasarımında, en dış beton basınç lifi için kabul edilen **etkili maksimum birim kısalma**, kesitin son limit eğriliğini, dolayısıyla anılan plastik dönme kapasitesini

belirleyen önemli bir değişkendir. TS 500-84'te tüm beton sınıfları için götüğü değeri 0.003 kabul edilmiştir [1]. CEB/FIP MC 90'da ise, beton mukavemeti arttıkça değeri azaldığından, beton sınıflarına göre değişken alınmıştır [2]. Etkili kısalmanın değerindeki değişim, kesit moment kapasitesini ihmal edilebilecek ölçüde, eğriliğini ise önemli ölçüde etkiler. Değerindeki artış, plastik mafsallı dönme kapasitesinin artması demektir. Bu bağlamda etkili birim kısaltmaların, özellikle bunların küçük olduğu yüksek mukavemetli betonlar kullanıldığı zaman, nasıl artırılabilir sorunuyla karşılaşılır. Sorun, ilgili yapısal elemanın yada eleman bölümlerinin sık konulan yanall donatıyla kuşatılmasıyla çözülebilir.

Burada yüksek mukavemetli beton terimi konusunda kısa bir açıklama yapılmasının yararlı olacağını sanıyoruz. Konuyla ilgili son yayınlarda, silindirik basınç mukavemeti 40-60 MPa ile 100-130 MPa arasındaki betonlar **yüksek mukavemetli**, bu limitin üstündekiler **ultra yüksek mukavemetli** kabul edilmektedir [3, 4]. CEB/FIP MC 90, C80'ne kadar olan betonları kapsamına almış ve bunlar için geçerli bir gerilme-birim kısalma ilişkisi tanımlamıştır [2]. TS 500-84'te de C30-C50 betonları yüksek mukavemetli kabul edilmiştir [1].

Bu makaledeki irdelemeler ve önerilen davranış modelleri C80'ne kadar olan betonlarla ilgilidir. Makalenin ikinci bölümünde, kuşatılma olgusu genel çizgileriyle açıklanacak; üçüncü bölümde monotonik yüklenen kuşatılmış ve kuşatılmamış betonlar için tasarımda kullanılmaya elverişli gerilme-birim kısalma davranış modelleri geliştirilecek; ve dördüncü bölümde önerilerde bulunulacaktır.

2. KUŞATILMA OLGUSU

Basit yada bileşik eğilme etkisinde kalan ve yanall donatıyla kuşatılan betonarme elemanlarda, betondaki düktilite ve basınç mukavemeti artışını irdelemeden önce, betonun kuşatılmasıyla ilgili bazı kavramların kısaca gözden geçirilmesi yararlı olacaktır.

Aktif kuşatma

Deneysel araştırmalar, üç-eksenli basınç etkisinde kalan betonda mukavemet ve düktilitenin önemli ölçüde arttığını, betonarme elemanlarda bu artı-

şın yanal donatıyla sağlanabileceğini göstermiştir [4-12].

Eksenel basınç etkisinde kalan bir beton silindir deney elemanına yanal hidrolik basınç uygulanması olgusuna **aktif kuşatma** denir. Deneysel araştırma sonuçlarına göre, tek-eksenli basınç mukavemeti f_c olan bir beton silindir, σ_ℓ değerinde bir aktif kuşatma basıncı etkisinde kaldığı zaman ulaşılan **kuşatılmış beton eksenel basınç mukavemeti**, f_{cc} , şu bağıntıyla belirlenebilir.

$$f_{cc} = f_c + k_c \sigma_\ell \quad (1)$$

k_c = aktif kuşatma katsayısı; deneysel araştırma sonuçlarına göre [4, 8],
 $C < C50$ için 4.0, $C \geq C50$ için 3.0 alınması önerilir.

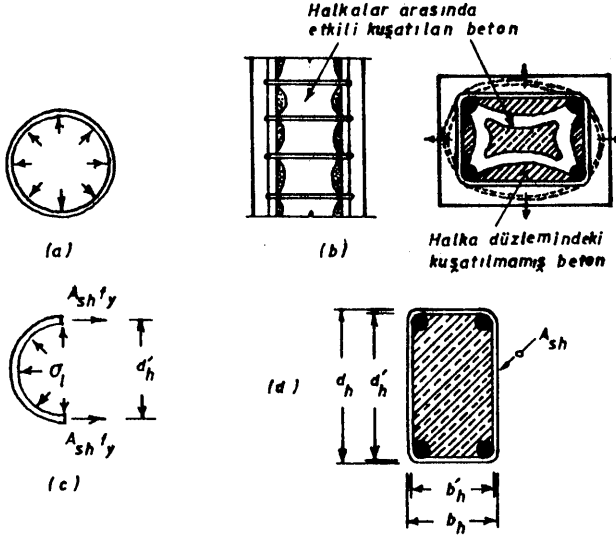
Pasif kuşatma

Betonarme kiriş ve kolonlarda ise durum farklıdır. Kuşattıkları betonun mukavemetini ve düktilitesini artırmak amacıyla bu elemanlara konulan yanal donatı, betondaki basınç gerilmelerinin düşük düzeyde olduğu evrede hemen hemen hiç gerilme almaz; kuşattığı çekirdek betonun davranışını etkilemez. Gerilmelerin betonun tek-eksenli basınç mukavemetine yaklaşmasıyla gelişen içsel çatlaklar betonun hacmini artırır. Büyüyen yanal deformasyonlar nedeniyle beton, yanal donatıya yaslanır, yüklenir. Böyle bir aşamaya ulaşıldığı zaman yanal donatı çekirdek betona, yanal deformasyonları önlemeye yönelik karşı etki yapar. Bu olgu, **pasif kuşatma** terimiyle adlandırılır.

Pasif kuşatmayla betonda sağlanan mukavemet ve düktilite artışı genellikle; kuşatma donatısının biçimine, konumuna, miktarına, akma mukavemetine ve gerilme-birim deformasyon davranışına bağlı değişir. Deneysel araştırmalar, dairesel spirallerle yada halkalarla oluşturulan kuşatmanın, dikdörtgen halkalarla sağlanandan daha etkin olduğunu göstermiştir [8-11]. Nedeni, dairesel yanal donatının, biçimlerinden dolayı yalnızca çekme kuvveti alması ve büyük deformasyonların olduğu evrede, çevreleri boyunca, hidrolik basınçla elde edilene yakın kuşatma basıncı sağlamalarıdır (Şekil 1a).

Dikdörtgen halkalarla oluşturulan kuşatmada ise halka kolları, çekirdek betonun uyguladığı basınç nedeniyle dışa doğru yaylanırlar, hem eksenel çekme hemde eğilme etkisinde kalırlar; "minimum iş ilkesi"ne [13] göre, dairesel biçim almaya çalışırlar. 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 (Şekil 1b). Bu bağlamda

kimi deneysel araştırmalar, boyuna donatının da kuşatılmaya katkıda bulunduğunu göstermektedir [14].



şekil 1 Betonun dairesel spirallerle, dairesel halkalarla ve dikdörtgen halkalarla kuşatılması

Dairesel spirallerle yada halkalarla kuşatılan beton

Beton bir silindir, çekirdek betonda üniform basınç oluşacak şekilde, spiral yada halka donatıyla kuşatıldığını varsayalım. Kuşatma basıncı, σ_l , ve kuşatılmış beton eksenel basınç mukavemeti, f_{cc} , (1) bağıntısı temel alınarak belirlenebilir (şekil 1c):

$2 A_{sh} f_y = \sigma_l d'_h s_h \rightarrow \sigma_l = 2 A_{sh} f_y / d'_h s_h$; s_h = spiral adımı yada halka aralığı, A_{sh} = spiral yada halka çubuğu enkesit alanı. Spiral yada halka donatı hacimsel yüzdesi $\rho_h = A_{sh} (\pi d'_h) / (\pi d_h^2 / 4) s_h = 4 A_{sh} / d_h s_h$ şeklinde tanımlanırsa $A_{sh} = \rho_h d'_h s_h / 4$ ve $\sigma_l = 0.5 \rho_h f_y$ bulunur. řu halde,

$$f_{cc} = f_c + 0.5 k_c \rho_h f_y \quad (2)$$

Özetle, dairesel spiral yada halka donatıyla kuşatılan betondaki mukavemet artışı $0.5 k_c \rho_h f_y$ olur.

Dikdörtgen halkalarla kuşatılan beton

Buraya dek yapılan açıklamalar ve son on yıl içerisindeki deneysel bulgular gözönüne alınarak, dikdörtgen halkalarla kuşatılan betondaki mukavemet artışı, aynı donatı yüzdesine sahip spirallerin sağladığı artışın yaklaşık yarısı ($0.5 k_c \rho_h f_y$) kabul edilebilir [10]. Dolayısıyla, dikdörtgen halkalarla kuşatılmış betonun eksenel basınç mukavemetinin karakteristik değeri, f_{cck} , şöyle belirlenebilir.

$$f_{cck} = f_{ck} + 0.25 k_c \rho_h f_{yk} = f_{ck} (1 + 0.25 k_c \rho_h f_{yk} / f_{ck}) = K f_{ck} \quad (3)$$

$K = f_{cck} / f_{ck} = f_{ccd} / f_{cd}$, dikdörtgen halkalarla kuşatılan betona ilişkin **kuşatma katsayısı**; f_{ccd} = kuşatılmış betonun tasarım mukavemeti. ρ_h = hacimsal donatı yüzdesi; halka donatı hacminin, halka donatı dışından ölçülen beton çekirdek hacmine oranı (Şekil 1d).

$$\rho_h = 2 A_{sh} (b'_h + d'_h) / (b_h d_h) s_h \quad (4)$$

$b'_h \approx b_h$ ve $d'_h \approx d_h$ kabul edilebilir.

Beton sınıflarına ilişkin K değerleri, önerilen k_c değerlerine göre belirlenebilir.

$$K = 1 + \rho_h f_{yk} / f_{ck} \quad (C < C50 \text{ için}) \quad (5a)$$

$$K = 1 + 0.75 \rho_h f_{yk} / f_{ck} \quad (C \geq C50 \text{ için}) \quad (5b)$$

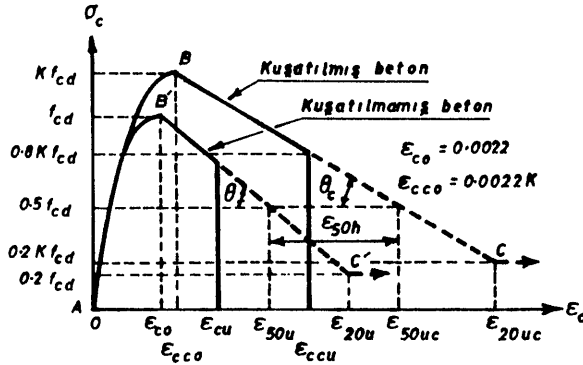
3. TASARIM İÇİN KUŞATILMIŞ VE KUŞATILMAMIŞ BETON DAVRANIŞ MODELLERİ

Bu bölümde dikdörtgen halkalarla kuşatılan ve monotonik yükler altında kalan kuşatılmış betonlar ile kuşatılmamış betonların gerilme-birim kısalma davranışları için geliştirilen modeller sunulacaktır. Modeller daha önce, Kent ve Park modelleri [10, 19] temel alınarak Kay. 15-18'de geliştirilen modellerin, ilgili konudaki son gelişmeler gözönünde bulundurularak üzerinde değişiklik yapılmış biçimleridir (Şekil 2). Önce de belirtildiği gibi modeller $C \leq C80$ için geçerlidir.

Modellerin özellikleri ve oluşturulmalarında yapılan kabuller

Kuşatılmış ve kuşatılmamış betonlar için maksimum gerilmeler sırayla, Kf_{cd} ve f_{cd} kabul edilmiş; deney elemanında ulaşılan maksimum gerilmeyle

betonun silindirik mukavemeti arasındaki oran, k_3 , deneysel bulgulara göre, ihtiyatlı yaklaşımla 1.0'e eşit alınmıştır [19, 20]. Kuşatılmış ve kuşatılmamış betonların maksimum gerilmelere dek davranışları ikinci-derece parabollerle temsil edilmiştir. Kuşatılmış betonun başlangıç teğetinin eğimi, kuşatılmamış betonunkine eşit alınmış; kuşatmanın bu eğimi etkilemediği varsayılmıştır. Başka bir anlatımla, kuşatılmış ve kuşatılmamış beton başlangıç teğetsel elastiklik modüllerinin aynı olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 2 Kuşatılmış ve kuşatılmamış beton davranış modelleri

Tek-eksenli basınç altında kalan betonda, maksimum gerilmedeki birim kısılma, ϵ_{co} ; betonun ortalama basınç mukavemetine, varyasyon katsayısına, yükleme hızına ve birim deformasyon dağılımının eğimine bağlı değişir [16, 21]. Pratik amaçla, tüm beton sınıfları ve kuşatılmamış beton için maksimum gerilmedeki birim kısılma $\epsilon_{co} = 0.0022$ kabul edilebilir [2]. Kuşatılmış betonun maksimum gerilmedeki birim kısılması, anılan teğetsel modüller eşit kabul edildiği için $\epsilon_{cco} = 0.0022 K$ olur [10, 16].

Bu kabullere göre gerilme-birim kısılma eğrileri yükselen bölümlerinin denklemleri tanımlanabilir.

Kuşatılmış beton (AB bölümü; $\epsilon_c \leq 0.0022 K$)

$$\sigma_c = K f_{cd} \left[(2 \epsilon_c / 0.0022 K) - (\epsilon_c / 0.0022 K)^2 \right] \quad (6)$$

Kuşatılmamış beton (AB' bölümü, $\epsilon_c \leq 0.0022$)

$$\sigma_c = f_{cd} \left[(2 \epsilon_c / 0.0022) - (\epsilon_c / 0.0022)^2 \right] \quad (7)$$

Kuşatılmış ve kuşatılmamış betonların maksimum gerilmeden sonraki davranışları alçalan BC ve B'C' doğrularıyla betimlenmiştir. Doğruların eğimleri: kuşatılmamış beton için gerilmenin, maksimum gerilmenin yarısına düştüğü zaman oluşan birim kısalma (ϵ_{50u}); kuşatılmış beton için bu kısalmaya, kuşatmayla sağlanan birim kısalma (ϵ_{50h}) eklenerek bulunan ϵ_{50uc} ($= \epsilon_{50u} + \epsilon_{50h}$) kısalmasıyla belirlenmiştir. Anılan birim kısaltmalar deneysel bulgularla uyuşan aşağıdaki bağıntılarla hesaplanabilir [10, 19].

($f_{cd} \rightarrow \text{MPa}$)

$$\epsilon_{50u} = (3 + 0.29 f_{cd}) / (145 f_{cd} - 1000) \quad (8)$$

$$\epsilon_{50h} = 0.75 \rho_h (b_h / s_h)^{1/2} \quad (9)$$

(8) bağıntısı kısa-süreli yüklemeyle ilintilidir [19]. Uzun-süreli yüklemelerde alçalan doğrunun eğimi küçülür; ϵ_{50u} kısalması büyür [21]. Uygulamada betonun uzun süreli yükleme etkisinde kaldığı gözönüne alınarak ϵ_{50u} kısaltmasının f_{ck} yerine f_{cd} mukavemetine göre belirlenmesi uygun yaklaşım kabul edilmiştir. (9) bağıntısı kuşatma donatısıyla sağlanan düktiliteyi belirtir. Beton mukavemeti büyüdükçe ϵ_{50u} değerleri küçülür. Bu bakımdan aynı bir düktilitenin sağlanması sözkonusu olduğu zaman yüksek mukavemetli betonlar, normal mukavemetlilere kıyasla daha fazla kuşatma donatısı gerektirir. Bu gereksinim, örneğe, dikdörtgen halka aralığı küçültülerek sağlanabilir. Bu belirlemelerden sonra BC ve B'C' doğrularının eğimi, sırayla, boyutsuz ψ_c ve Ψ parametreleriyle belirlenebilir ve bu bölümlere ilişkin davranış denklemleri yazılabilir.

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

$$\psi_c = \tan \theta / f_{cd} = (K - 0.5) / (\epsilon_{50u} + \epsilon_{50h} - 0.0022 K) \quad (10a)$$

$$\sigma_c = f_{cd} [K - \psi_c (\epsilon_c - 0.0022 K)] \quad (10b)$$

Kuşatılmamış beton (B'C' bölümü; $0.0022 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{20u}$)

$$\psi = \tan \theta / f_{cd} = 0.5 / (\epsilon_{50u} - 0.0022) \quad (11a)$$

$$\sigma_c = f_{cd} [1 - \psi (\epsilon_c - 0.0022)] \quad (11b)$$

Kısaltmaların çok büyük olduğu evrede kuşatılmış ve kuşatılmamış betonların, sırayla, $0.2 K f_{cd}$ ve $0.2 f_{cd}$ gerilmesini aldığı kabul edilmiş ve

alçalan doğrular bu gerilmelerin karşılığı ϵ_{20uc} ve ϵ_{20u} kısalmalarıyla sınırlandırılmıştır [10, 19].

Etkili maksimum birim kısalma

Birim deformasyon dağılımı eğimli kuşatılmış kesitlerde örtübetonun parçalanmasından sonra betondaki maksimum birim kısalma, kuşatılmış çekirdeğin yüzeyinde oluşur. Baker ve Amarakone (1964) [19, 22], Corley (1966) [23] ve Mattock (1966) [24] bu kısalmanın tasarım değeri için amprik bağıntılar vermişlerdir. Öte yandan son on yıldaki deneysel bulgular, bu bağıntılarla yapılan tahminlerin çok ihtiyatlı olduğunu göstermektedir [9, 10]. Örneğe, Baker'e göre 0.008 olması gereken kısalma, Park, Priestley ve Gill (1982) tarafından deney sonu yükü için 0.026 bulunmuştur [10]. Sheikh ve Uzumeri (1982) deneylerinde de gerilmenin $0.85 K f_c$ değerine düştüğü zaman oluşan kısalmanın maksimum 0.03'e ulaştığı görülmüştür [9, 25]. Deney sonu yüklerine ilişkin bu kısaltmalar son limit değerler değildir. Yüklemeye devam edildiği zaman bunların üstünde birim kısaltmalar oluşması beklenebilir [10].

Tasarımda ilgilenilen temel sorun yapısal güvenliktir. Dolayısıyla var-sayımların ve kabullerin ihtiyatlı, tek-yanlı duyarlılığı olması zorunludur. Bu nedenle kuşatılmış kesitlerin tasarımında, çekirdek beton yüzeyinde oluşan etkili maksimum birim kısalmanın, ϵ_{ccu} , bu yüzeydeki gerilmenin $0.8 K f_{cd}$ değerine düştüğü zaman oluşan kısaltmaya eşit alınması önerilir.

$$\epsilon_{ccu} = K(0.2/\psi_c + 0.0022) \quad (12)$$

Kuşatılmamış kesitler için de, aynı yaklaşımla, beton yüzeyindeki gerilmenin $0.8 f_{cd}$ değerine düştüğü zaman oluşan birim kısalma, ϵ_{80u} hesaplanabilir.

$$\epsilon_{80u} = 0.2/\psi + 0.0022 \quad (13)$$

(13) bağıntısıyla belirli ϵ_{80u} değerleri, betona ilişkin kısmi güvenlik katsayısı 1.5 alınarak çeşitli beton sınıfları için hesaplanmış ve CEB/FIP MC 90'da [2] önerilen etkili birim kısalma, ϵ_{cu} , değerleriyle birlikte aşağıdaki tabloda verilmiştir. Deneysel bulgular [8, 20 - 22] gözönünde bulundurularak etkili birim kısalma, ϵ_{cu} , üst sınırının 0.004 kabul edilmesi, ve çeşitli beton sınıfları için tablonun üçüncü satırında verilen, pratik amaçla gruplandırılmış, ϵ_{cu} değerlerinin kullanılması önerilir.

$10^3 \epsilon_c$	C20	C30	C40	C50	C60	C70	C80
ϵ_{80u}^a	4.3	3.2	2.8	2.6	2.5	2.5	2.4
ϵ_{cu}^b	4.3	3.6	3.3	3.0	2.8	2.6	2.4
ϵ_{cu}^c	4.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.4

^a (13) bağıntısıyla hesaplanan değerler.

^b CEB/FIP MC 90'da verilen değerler.

^c Önerilen değerler.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Makalede önerilen beton davranış modelleriyle, dikdörtgen halka donatıyla kuşatılmış yada kuşatılmamış betonarme elemanlarda, herhangi bir yük aşaması için beton basınç gerilme dağılımı parametreleri hesaplanabilir; dolaşısıyla bu elemanların sıfır yükten son yüke dek davranışlarını betimleyen moment-eğrilik ilişkileri belirlenebilir. Kuşatılmış ve kuşatılmamış kesitlerin tasarımı için duyarlı algoritmalar geliştirilebilir [18].

Beton mukavemeti büyüdükçe, kuşatılmamış betonun maksimum gerilmeden sonraki davranışını betimleyen doğru yada eğri sarplaşır; ϵ_{50u} (8) kısaltması küçülür. Yanal donatıyla oluşturulan kuşatma, yüksek mukavemetli betonların bu olumsuz özelliğini ortadan kaldırır; tüm betonlarda mukavemet ve düktilite artışı sağlayarak davranışlarını yetkinleştirir.

Belirli bir beton mukavemeti ve b_h/s_h oranı için halka donatı yüzdesi değişken alınarak irdeleme yapılırsa; yüzde büyüdükçe, maksimum gerilmeden sonraki davranışını betimleyen doğrular yelpazesi aralıklarının küçüldüğü görülür. Daha açık anlatımla, anılan yüzde büyüdükçe düktilite artımları, bağıl olarak küçülür; halka donatısının etkinliği azalır. Bu nedenle halka donatı oranının % 3 ile sınırlandırılması önerilir.

Potansiyel plastik mafsalları kesimlerinin yanal donatıyla kuşatılması bu kesimlerin plastik dönme kapasitelerini artırır. Belirtilen nedenlerle, yüksek mukavemetli beton kullanıldığı zaman, belirli bir plastik dönme kapasite-

tesinin sağlanması için gerekli halka donatı yüzdesi, normal mukavemetli betonlara kıyasla fazla olur. Özellikle bu gibi durumlarda, kirişlerde, basıncı donatısı miktarı artırılarak elverişli bir çözüme ulaşılabilir. Kolonlarda ise boyuna donatı kolon çevresine uygun şekilde yerleştirilerek ve gerekiyorsa ekstra boyuna donatı kullanılarak, bunların kuşatmaya katkısından yararlanılabilir.

Önerilen davranış modelleri, betonun tasarım mukavemeti esas alınarak geliştirilmiştir. Betonun tasarım mukavemetini belirleyen kısmi güvenlik katsayısı, karakteristik mukavemetine ilişkin belirli bir risk için, beton mukavemeti varyasyon katsayısının ve tasarımda kabul edilen göçme riskinin fonksiyonudur [26]. Bu bakımdan önemli yapıların tasarımında bu katsayının ve dolayısıyla betonun tasarım mukavemetinin olasılıksal yolla belirlenmesi salık verilir.

SEMBOLLER

A_{sh}	halka donatı enkesit alanı
b_h, b'_h	kuşatılmış beton çekirdeğin, sırayla, halka kolları dışından ve halka kolu eksenlerinden ölçülen genişlikleri
d_h, d'_h	kuşatılmış beton çekirdeğin, sırayla, halka kolları dışından ve halka kolu eksenlerinden ölçülen yükseklikleri
f_c	betonun basınç mukavemeti (genel)
f_{cd}	beton basınç mukavemetinin tasarım değeri
f_{ccd}	kuşatılmış beton basınç mukavemetinin tasarım değeri
f_{ck}	betonun karakteristik basınç mukavemeti
f_{cck}	kuşatılmış betonun karakteristik basınç mukavemeti
f_{yk}	donatı çeliğinin karakteristik akma mukavemeti
k_c	aktif kuşatma katsayısı
K	dikdörtgen halka donatıyla kuşatılan betona ilişkin kuşatma katsayısı
s_h	halka donatı aralığı
ϵ_c	betondaki birim kısalma
ϵ_{cco}	kuşatılmış beton davranış modelinde, maksimum gerilmedeki

	birim kısalma
ϵ_{co}	kuşatılmamış beton davranış modelinde, maksimum gerilmedeki birim kısalma
ϵ_{ccu}	kuşatılmış betondaki etkili maksimum birim kısalma (tasarımda kabul edilen)
ϵ_{cu}	kuşatılmamış betondaki etkili maksimum birim kısalma (tasarımda kabul edilen)
ρ_h	halka donatı hacimsal yüzdesi
σ_c	beton basınç gerilmesi

KAYNAKLAR

1. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), **Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları** (TS 500-84), 11, 30, Ankara, 1985.
2. CEB, "CEB/FIP Model Code 1990," First Draft, **Bulletin d'Information** 195, 2.1 - 2.12, Lausanne, March 1990.
3. CEB, "Design aspects of high strength concrete," **Bulletin d'Information** 193, 9, Lausanne, December 1989.
4. FIP/CEB, "High strength concrete," **Bulletin d'Information** 197, State of the Art Report, 5, 17, 18, 38, Published by FIP, London, August 1990.
5. Pfister, J.F., "Influence of ties on the behaviour of reinforced concrete columns," **ACI Journal**, V.61, No.5, 521-537, May 1964.
6. Base, G.B., and Read, J.B., "Effectiveness of helical binding in compression zone of concrete beams," **ACI Journal**, V.62, No.7, 763-781, July 1965.
7. Nawy, E. G., Danesi, R.F., and Grosko, J. J., "Rectangular spiral binders effect on plastic hinge rotation capacity in reinforced concrete beams," **ACI Journal**, V.65, No.12, 1001-1010, December 1968.
8. Park, R., and Paulay. T., **Reinforced Concrete Structures**, 26-30, 221-224, New York, Wiley, 1975.
9. Sheikh, S. A., and Uzumeri, S. M., "Strength and ductility of tied concrete columns," **Proceedings ASCE**, V.106, ST5, 1079-1102, May 1980.
10. Park, R., Priestley, M.J., and Gill, W.D., "Ductility of square-confined concrete columns," **Proceedings ASCE**, V.108, ST4, 929-950, April 1982.
11. CEB, "Response of R.C. critical regions under large amplitude reversed actions," **Bulletin d'Information** 161, 255-284, Lausanne, August 1983.

12. Ersoy, U., Tankut, T., and Uzumeri, S.M., "The influence of strain history and strain gradient of confined concrete," **Canadian Journal of Civil Engineering**, V.14, No.3, 1987.
13. Kachanov, L. M., **Fundamentals of the Theory of Plasticity**, 330-332, Moscow, Mir Publishers, 1974.
14. Tankut, T., "Yerinde tutuluş boyuna çubukların sargılama etkisi," **Teknik Dergi**, Cilt 1, Sayı 3, 169-175, Ankara, Temmuz 1990.
15. Gündüz, A., "Kuşatılmış betonlu dikdörtgen kiriş kesitlerinin hesaplanmasıyla ilgili bir algoritma," **Yıldız Üniversitesi Dergisi**, 1984/1, 21-30, 1984.
16. Gündüz, A., "Kuşatılmamış betonla ilgili bir gerilme-birim deformasyon hesap ilişkisi," **Yıldız Üniversitesi Dergisi**, 1985/2, 29-36, 1985.
17. Gündüz, A., "Dikdörtgen çelik halkalarla kuşatılmış basınç etkisinde kalan betonun gerilme-birim deformasyon davranışıyla ilgili geliştirilmiş bir tasarım modeli," **Yıldız Üniversitesi Dergisi**, 1989/1, 1-10, 1989.
18. Gündüz, A., "Kuşatılmış betonlu dikdörtgen kiriş kesitleriyle ilgili geliştirilmiş bir tasarım algoritması," **Teknik Dergi**, Cilt 1, Sayı: 3, 133-146, Ankara, Temmuz 1990.
19. Kent, D.C., and Park, R., "Flexural members with confined concrete," **Proceedings ASCE**, V.97, ST7, 1969-1990, July 1971.
20. Hognestad, E., Hanson, N.W., and McHenry, D., "Concrete stress distribution in ultimate strength design," **ACI Journal, Proceedings**, V.52, 455-479, December 1955.
21. Rüsch, H., "Researches toward a general flexural theory for structural concrete," **ACI Journal, Proceedings**, V.57, 1-28, July 1960.
22. Baker, A. L. L., and Amarakone, A. M. N., "Inelastic hyperstatic frames analysis," **Proceedings of the International Symposium on the Flexural Mechanics of Reinforced Concrete**, ASCE-ACI, 85-142, Miami, November 1964.
23. Corley, W. G., "Rotational capacity of reinforced concrete beams," **Proceedings ASCE**, V.92, ST5, 121-146, October 1966.
24. Mattock, A.H., Discussion of "Rotational capacity of reinforced concrete beams," by W. G. Corley, **Proceedings ASCE**, V.93, ST2, 519-522, April 1967.
25. Sheikh, S. A., and Uzumeri, S. M., "Analytical model for concrete confinement in tied colums," **Proceedings ASCE**, V.108, ST12, 2703-2722, December 1982.
26. Gündüz, A., "Structural risk analysis and reliability-based design of reinforced concrete structures," **Bulletin of Technical University of Istanbul**, V.41, No.3, 387-399, 1988.