



**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
İNŞAAT FAKÜLTESİ - İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
YAPI ANABİLİM DALI**

BETONARME BİNALARDA DONATI YERLEŞTİRME İLKELERİ

PROF. DR. ALİ KOÇAK

NİSAN' 2021

1. GİRİŞ

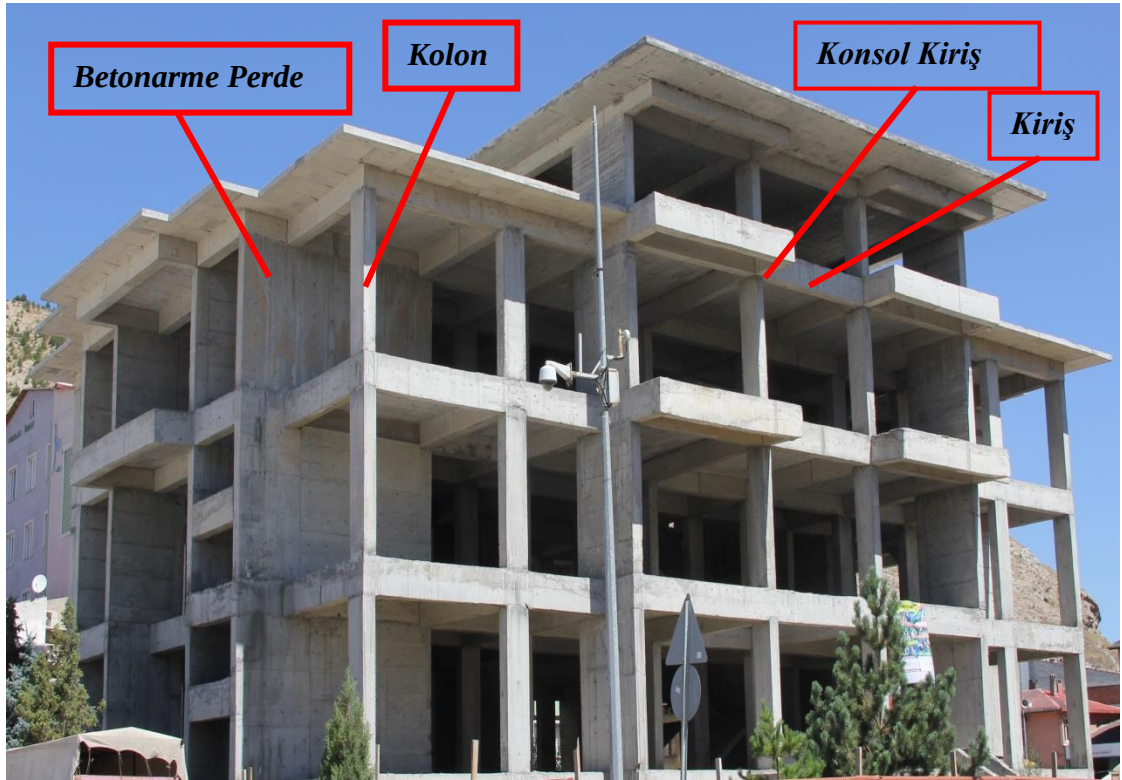
Depremlerde meydana gelen yapısal hasarlara deprem özellikleri, yerel zemin koşulları ve yapı kalitesi olmak üzere üç faktör etki etmektedir. Deprem özelliklerini; bölgenin depremselliği, deprem riski ve oluşabilecek deprem büyüklüğü, yerel zemin koşullarını; zemin büyütme faktörü, zemin sıvılaşma potansiyeli, yapı kalitesini ise depreme dayanıklı mimari ve taşıyıcı sistem tasarımı, zemin-yapı etkileşimi, kaliteli işçilik, kaliteli donatı düzeni ve kaliteli beton ile yapı denetim oluşturmaktadır. Hemen her deprem sonunda hasar gören yapılar üzerinde yapılan incelemelerde tasarımının kötü, işçilik ve beton dayanımlarının yetersiz olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte donatı detaylarında yapılan kusurlarda hasar oranını arttırmıştır. Dolayısıyla bina tasarımından bina üretimine kadar bütün uygulamaların kaliteli ve denetimli olması gerekmektedir. Buradan da anlaşılabacağı gibi “sağlıklı bina” üretimi için tasarım, hesap ve çizimler dâhil imalatın da çok düzgün olması gerekmektedir. Her adımın önemli olduğu bina imalatında gerek betonun dayanımının projede öngörülen değerleri sağlamaması, gerek zemin koşullarının hatalı saptanması ve gerekse donatı düzeni ve sayısının yetersiz oluşu yapının davranışını etkileyecektir.

2. Betonarme Taşıyıcı Elemanlar

Betonarme bir elemanın taşıyıcı sistemini döşemeler, kirişler, kolonlar ve/veya perdeler ve temeller oluşturmaktadır (Şekil 1a, ab). Yakın zamanda bölme duvarı olarak da kullanılan bina taşıyıcı sistemi çerçeveler içinde yer alan dolgu duvarların da bina rijitliğine katkısı olduğu belirlenmiştir. Bu taşıyıcı elemanların yanı sıra binanın çatısı olarak kullanılan ahşap veya çelik çatı sistemi de bina taşıyıcı sisteminin bir üyesi olarak düşünülebilir. Bir binanın taşıyıcı sistemi, öncelikle mimari tasarıma ve yapının kullanım amacına uygun olmalıdır. Taşıyıcı elemanlar ne az kullanılmalı ne de binayı ağırlaştırmalıdır. Sistem makine, elektrik tesisatlarına kolay kullanım imkânı vermelidir. Sistem elemanları, ısı ve ses köprüsü oluşturmamalı, yangına karşı dayanıklı olmalıdır. Gerekiyorsa korunmalıdır. Bununla birlikte, en önemlisi de, olası bir deprem dâhil bütün yüklere karşı bina yeterli dayanımı göstermelidir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) binaların depreme dayanıklılığını, binanın deprem enerjisini tüketmesi ile korunmasını ve bu amaçla binanın yeterince sünek olmasını ister. Yönetmeliğin amacı, çok şiddetli depremlerde dâhi binanın tamamen yıkılmamasıdır. Deprem yönetmelikleri çerçevesinde depreme dayanıklı yapı tasarımı, yukarıda tanımlanan binanın hiçbir şekilde yıkılmaması esas alınarak yapılır. Bu aşama için kullanılan “çok

şiddetli deprem” belirli bir zaman dilimi içinde, ilgili coğrafi bölge için öngörülen belirli büyüklükteki bir depremin belirli bir olasılıkla oluşabileceği esasına göre tanımlanır. Yönetmeliklerde bu şekilde tanımlanan depreme göre yapılan yapı tasarımının ilk iki aşamada öngörülen bina davranışını güvenli bir biçimde sağlayacağı kabul edilir. Yönetmeliklerde tanımlanan çok şiddetli depremin etkisi altında yapının göçmeksizin ayakta kalabilmesi, yapıda belirli bir dayanımın bulunmasıyla birlikte, önemli ölçüde enerji yutabilme kapasitesinin sağlanmış olmasına bağlıdır. Bu durumda öngörülen doğrusal elastik davranış ise tümüyle yapı elemanlarının yeterli dayanımı ile sağlanır. Önemle vurgulanması gereken husus, dayanım ve süneklik özelliklerinin birbirlerinden bağımsız olmadıkları, aksine birbirlerinin tamamlayıcısı oldukları hususudur. Çok şiddetli deprem altında yapının göçmesini önlemek için zorunlu olan süneklik özelliğinin sağlanabilmesi için, büyük ölçülerde enerji yutması beklenen yapı elemanlarının aynı zamanda yeterli bir dayanıma da sahip olmaları gerekir.



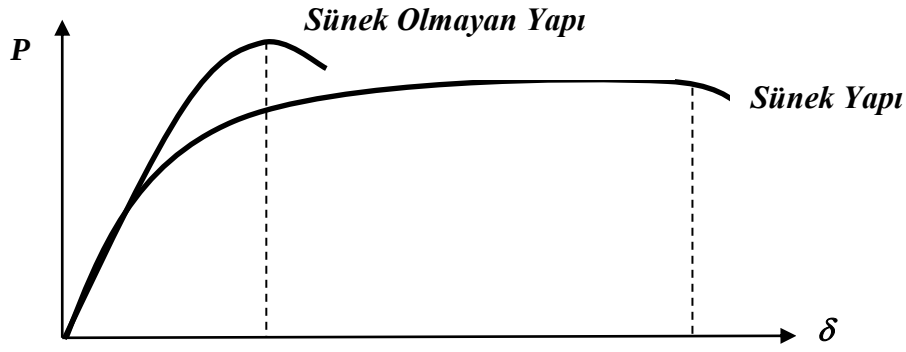
Şekil 1a. Betonarme perdeli çerçevesi bina



Şekil 1a. Betonarme perdeli çerçeveseli bina

2.1.Süneklik

Yapı ve elemanlarının deprem esnasında ortaya çıkan enerjinin büyük bir bölümünü, mukavemetinde önemli kayıplarla, kararsız denge hali olmaksızın büyük şekil değiştirme ve elastik olmayan davranışla yutma yeteneğine süneklik denir. Süneklik sayesinde, yüklemenin aşırı artmasında akmaya ulaşan kesitlerde plastik şekil değiştirmelerle enerji alınırken, iç kuvvetlerin daha az zorlanan kesitlere dağılması sağlanır. Şekil 2’ de görüleceği gibi, dayanımlar hemen hemen sabit olmasına rağmen sünek olmayan bir yapı elastik şekil değiştirmelerle sınırlı kalırken, sünek bir yapıda ise şekil değiştirmeler elastik sınırı geçip elastik olmayan şekil değiştirmeler yapabilmektedir. Bu sayede yapı ve elemanları, oluşan deprem kuvvetlerinin büyük bir kısmını sönmüleyecektir.



Şekil 2. Sünek ve sünek olmayan yük-şekil değiştirme bağıntısı

2.2. Betonarme Yapılarda Sünekliğin Sağlanması

Süneklik, yapının güvenliği ile doğrudan ilgili olduğu için, projelendirilen ve inşa edilen yapıların sünek olması istenir. Hiperstatik bir yapıda süneklik sayesinde, yapının çok zorlanan kısımları yük taşımaya devam ederken meydana gelen şekil değiştirmelerle, daha az zorlanan kısımların yük taşımaya katkıda bulunması sağlanır. Döşeme ve kirişlerde süneklik sayesinde, aşırı yükleme sonucunda çatlamlar ve büyük şekil değiştirmeler meydana gelir. Böylece göçme tehlikesi önceden haber verilmiş ve tedbir alınması sağlanmış olur. Deprem ve patlama gibi yükleme durumlarında enerjinin yutulması gerektiği için süneklik önemli olur. Deprem kuvvetlerinin yapı elemanlarında oluşturduğu kesit tesirlerine karşı yeterli mukavemette kesit tayin etmek şart olmakla birlikte, sünekliliğin ve deplasman sınırlamasının sağlanması da oldukça önemlidir. Betonarme yapılarda yada yapı elemanlarında sünekliğin sağlanması için aşağıdaki temel birtakım noktalara dikkat edilmesi gerekmektedir;

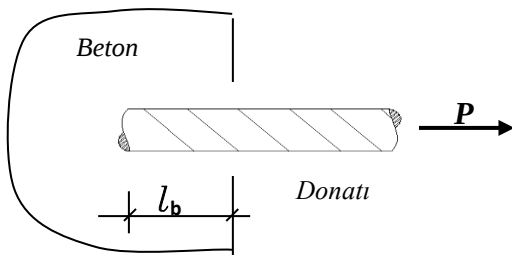
- *Donatı oranının sınırlandırılması* : Betonun basınç altındaki davranışı elastik olmadığı gibi, aşırı yükleme ile kırılğan bir davranış gösterir. Kiriş ve döşemelerde kesite sünek olan donatı koyarak ve donatı miktarını sınırlandırıp betonun basınç altında kırılmasından önce donatının akmaya ulaşmasını sağlayarak süneklik elde edilebilir.
- *Etriye yada enine spiral kullanılması* : Kolonlarda beton genel olarak basınç altında bulunduğu için davranışının sünek olduğu söylenemez. Ancak etriyeler veya daha iyisi enine spiral donatılarla sınırlı bir süneklik elde etmek mümkündür.
- *Kuvvetli kolon-zayıf kiriş teşkili*: Deprem yüklerinin karşılanmasında kiriş ve kolon birleşimlerinin yeterli süneklığe sahip olacak şekilde düzenlenmesi önemlidir. Deprem yönetmeliğinde de belirtildiği gibi kolon-kiriş birleşim noktalarında sünekliğin kuvvetli

kolon-zayıf kirişle sağlanması istenir. Başka bir deyişle kirişlerin daha sünek olması istenir ve hem göçmenin haberli olarak meydana gelmesi hem de kolonların mukavemetini kaybetmesiyle yapının elastik sınırlar içinde göçme durumuna gelmemesi sağlanmış olur.

- *Kolon-kiriş bağlantı noktalarında oldukça sık etriye kullanılması:* Kiriş ve kolonlarda sık etriye düzeni kullanılarak, betonun hem dayanımını ve hem de sünekliği artırılmalıdır. Örneğin, depremde en çok zorlanması beklenen kolon-kiriş birleşim bölgelerine yakın kiriş ve kolon kesitlerinde etriye sıklaştırılmasının yapılması gibi.
- *Yeterli aderans, yeterli kenetlenme yapılması :* Moment etkisinde bulunan kiriş, döşeme, temel gibi yapı elemanlarında sünekliği azaltan faktörlerden biri aderans zayıflaması, diğeri ise kesme kuvveti etkisidir. Yeterli aderans sağlanmaması kesme kuvvetini karşılayan iç kuvvet oluşumlarını azaltmaktadır. Aderansın sağlanması yeterli kenetleme boyu ve kenetleme boyunca sık etriye bulundurmakla temin edilebilir. Kesme kırılmasının önlenmesi, kesmenin maksimum olduğu bölgelerde yeterli etriye bulundurmakla mümkün olabilmektedir.

3. Donatının Kenetlenmesi

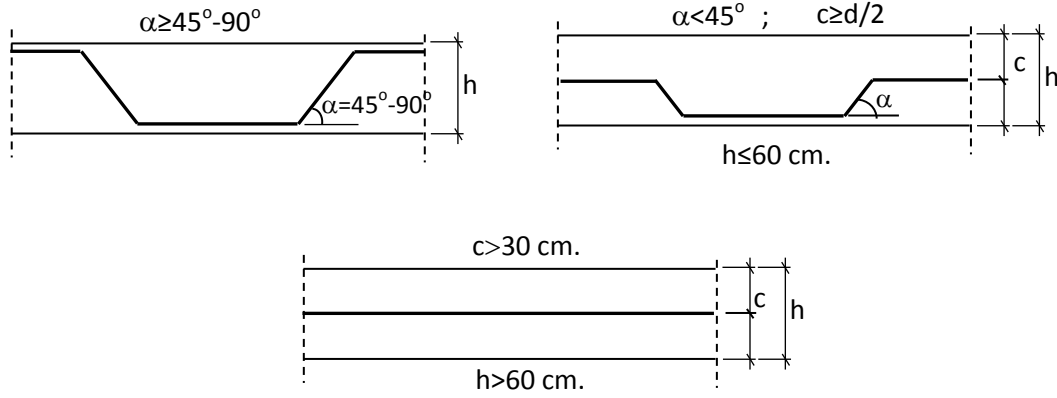
Betonarme taşıyıcı sistem elemanının herhangi bir kesintindeki donatının, işlevini yerine getirebilmesi veya öngörülen çekme veya basınç gerilmesini güvenle taşıyabilmesi için, donatının o kesitteki betona yeterince kenetlenmiş (ankraj) olması gerekmektedir. Kenetlenme kriteri olarak donatının, gerekli olan kesit bölgesinden başlayarak en az ‘kenetlenme boyu’ (aderans boyu) kadar uzunluğu alınır. Başka bir deyişle, donatının betona kuvvet alacak biçimde kenetlenmesi, donatının gereksiz olan bölgede kesilmeden bir miktar yada aderans boyu kadar uzatılması gerekmektedir (Şekil 3).



(l_b) **Kenetlenme Boyu:** Sıyrılma olmaksızın donatının akmasını veya donatının işlevini yerine getirmesini sağlayacak en küçük gömülme boyu.

Şekil 3: Donatı aderans (kenetlenme) boyu

Gerekli kenetlenme boyu, kesitteki donatının betonlama sırasındaki konumuna bağlantısıdır. TS500 donatı çubuklarını Konum I ve Konum II olarak ikiye ayırmakta, Konum II 'yle betonlama sırasındaki eğimi yatayla $45^\circ - 90^\circ$ arasında olanlar ile daha az eğimli veya yatay olup da betonlama sırasında kesitin alt yarısında veya kesitin serbest üst yüzünden 300 mm'den daha uzakta bulunan çubukları tanımlamakta, Konum I 'le ise bunların dışında kalan diğer bütün çubukları dahil etmektedir (Şekil 4).



Şekil 4: Konum II 'de Bulunan Donatı Çubukları

Kenetlenme Türleri

- Düz kenetlenme (nervürlü donatıda)
- Kanca ile kenetlenme (düz veya nervürlü donatıda)
- Fiyong ile kenetlenme (her tip donatıda)
- Kaynaklı enine çubuklarla kenetlenme (hasır çeliklerde)
- Mekanik kenetlenme

3.1 Çekme Donatısının Kenetlenmesi

a) Düz Kenetlenme

Kenetlenme, donatının gereksinme duyulmayan noktadan düz olarak l_b kadar uzatılması ile sağlanabilir. Temel kenetlenme olarak tanımlanan bu boy, Konum II 'de bulunan nervürlü çubuklar için Denklem 1' de verilmiştir.

$$l_b = \left(0.12 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \phi \right) \geq 20\phi \quad (1)$$

f_{yd} : Boyuna donatı tasarım akma dayanımı

f_{ctd} : Beton tasarım eksenel çekme dayanımı

- Düz yüzeyli çubuklarda düz kenetlenmeye TS 500’de izin verilmemektedir.
- Konum I’ e giren donatıların kenetlenme boyları (1) denkleminde elde edilen boyun 1,4 ile çarpılmasıyla bulunur (Denklem 2).

$$\ell_b (\text{Konum I}) = \ell_b (\text{Konum II}) \cdot 1,4 \quad (2)$$

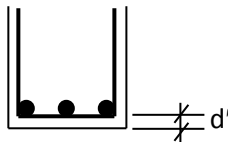
- Donatı çapı, $32 \text{ mm} < \phi \leq 40 \text{ mm}$ ise hesaplanan kenetlenme boyu $\left(\frac{100}{132 - \phi} \right)$ ile çarpılarak artırılır (Denklem 3).

$$32 \text{ mm} < \phi \leq 40 \text{ mm} \quad \Longrightarrow \quad \ell_b' = \left(\frac{100}{132 - \phi} \right) \ell_b \quad (3)$$

- Kesitteki donatı, hesaplanan gerekli donatıdan fazla ise, hesaplanan kenetlenme boyları (Asgerekli/Asmevcut) katsayısı ile çarpılarak azaltılabilir. Ancak bu azaltma ile bulunan kenetlenme boyu (1) denkleminde hesaplanan boyun yarısından ve 20ϕ ’den az olamaz (Denklem 4). TBDY’de tanımlanan süneklik düzeyi yüksek çerçeve elemanlarında ve perdelerin kritik yükseklikleri boyunca bu azaltma yapılamaz.

$$Asgerekli < Asmevcut \Rightarrow \ell_b' = \left(\frac{Asgerekli}{Asmevcut} \right) \ell_b \geq \left(\frac{\ell_b}{2} \right) \geq (20\phi) \quad (4)$$

- Beton örtüsünün donatı çapından az olduğu veya sıradaki donatı çubukları arasındaki net uzaklığın donatı çapının 1,5 katından küçük olduğu durumlarda, (1) formülü ile hesaplanan kenetlenme boyları 1,2 ile çarpılarak artırılır (Denklem 5) .



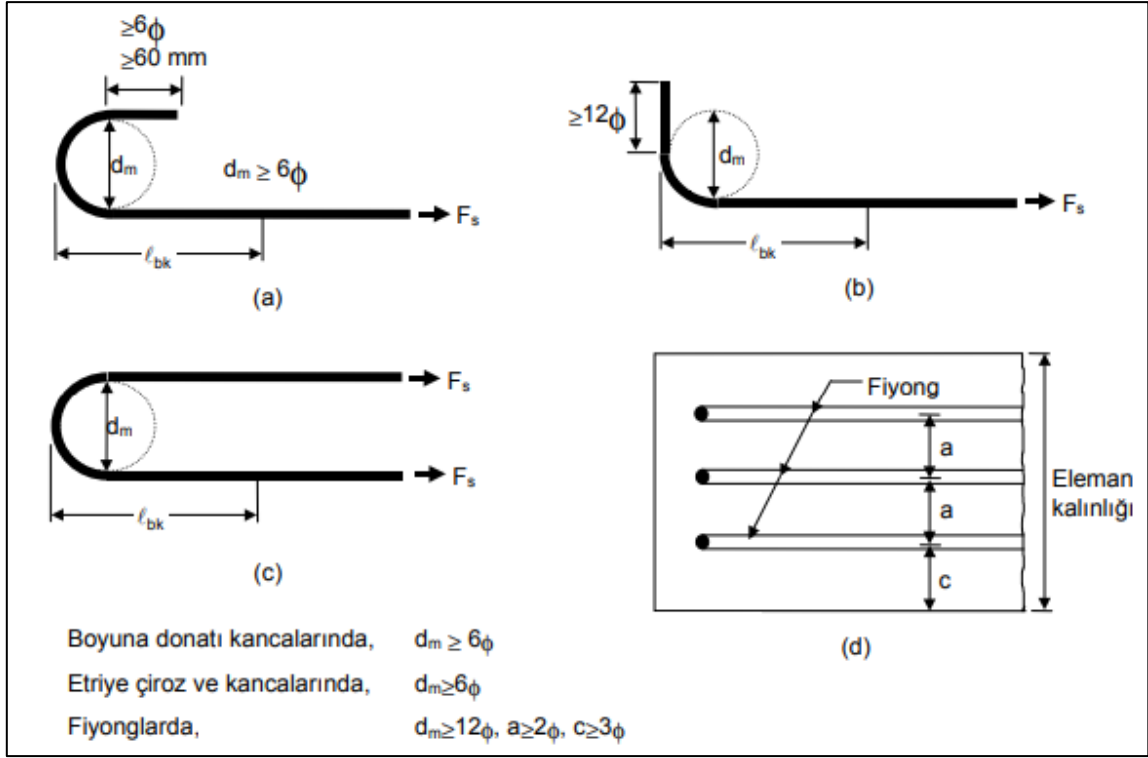
$$d' < \phi \Rightarrow \ell_b' = \ell_b \cdot 1,2 \quad (5)$$

b) Kanca veya Fiyongla Kenetlenme

Kenetlenme, donatının ucu bükülerek kanca veya fiyong kullanılarak yapılıyorsa (1) formülünden hesaplanan kenetlenme boyunun $\frac{3}{4}$ ’ü alınabilir (Denklem 6) (Şekil 3).

$$\ell_{bk} = \frac{3}{4} \ell_b \quad (6)$$

- Ancak 90° kanca yapıldığında, kanca ucundaki düz kısım 12ϕ ’ den az olmayacaktır (Şekil 5).



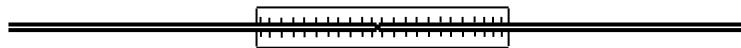
Şekil 5: Standart Kanca ve Fiyonglar

c) Kaynaklı Enine Çubukla Kenetlenme

Gerekli kenetlenme boyu çubuğa kaynaklanmış enine çubuklar ile sağlanabilir (Şekil 6). Nokta kaynaklı hasır çeliklerde bu tür kenetlenme yaygın olarak kullanılır. Nokta kaynaklı hasır donatılardaki kenetlenme için gerekli enine çubuk sayısını ve minimum boyutlar Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1: Kaynaklanmış Enine Çubuklar İçin Aranılan Kenetlenme Koşulları

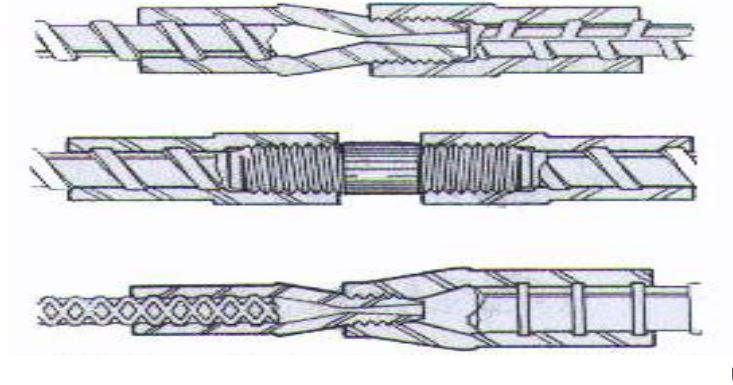
Donatı Yüzeyi	ϕ (mm)	Konum I		Konum II	
		n	ℓ_b (mm)	n	ℓ_b (mm)
Düz	$\phi < 8,5$	3	450	3	350
	$\phi \geq 8,5$	4	500	4	400
Nervürlü	$\phi < 8,5$	3	350	3	300
	$\phi \geq 8,5$	3	450	3	350



Şekil 6: Kaynaklı ek

d) Mekanik Kenetlenme

Özel durumlarda kenetlenme, donatı ucuna kaynaklanan veya vidalanan plakalarla sağlanabilir (Şekil 7). Bu gibi durumlarda, öngörülen düzenleme bir laboratuvarında denenmeli ve projede kullanılacak çubuk hesap kuvveti, kırılma yükünün % 70'ini geçmemelidir.

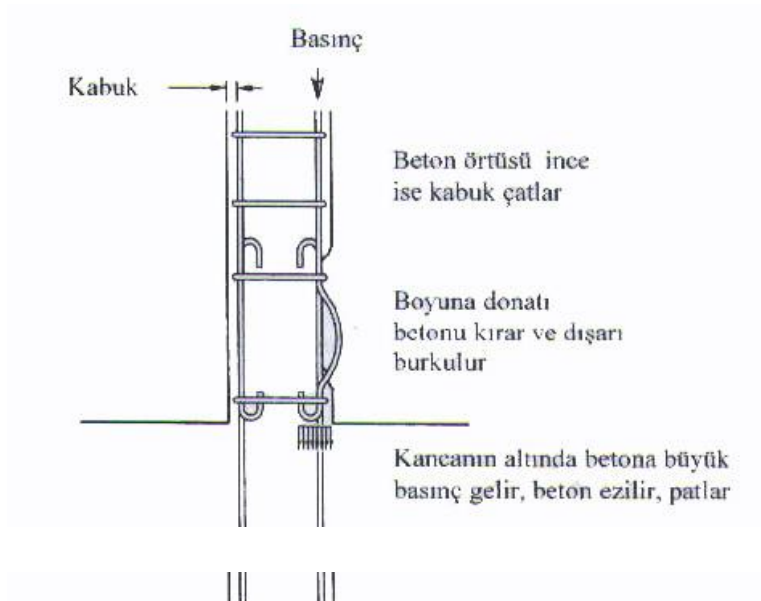


Şekil 7: Mekanik bağlama aparatları

3.2. Basınç Donatısının Kenetlenmesi

Basınç donatısına kanca yapılmaz (Şekil 8). Donatı çubuğu bütün yük düzenlemeleri altında basınca çalışıyorsa, kenetlenme boyu l_b değerinin $3/4$ ' ü kadar alınabilir.

$$l'_b = \frac{3}{4} l_b \quad (7)$$



Şekil 8: Basınç Donatısında Kanca Kullanılması Sonucu Donatıda Meydana Gelen Burkulma

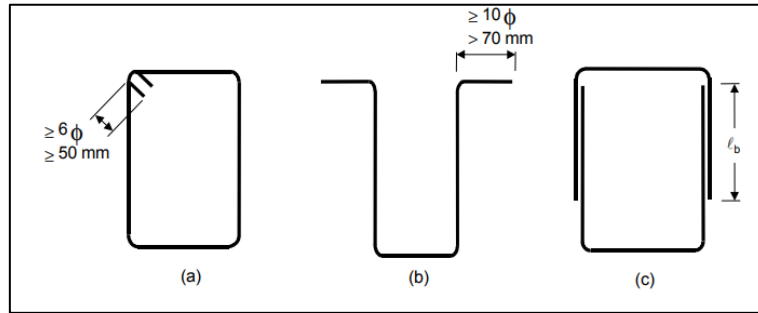
3.3. Etriyelerin Kenetlenmesi

a) Kanca ile Kenetlenme

Bu tür kenetlenme 135° veya 90° 'lik kancalarla sağlanmalıdır (Şekil 9). Şekil 9a'da gösterilen kenetlenmeler, dikdörtgen kesitler, kolonlar ve özellikle burulmaya maruz elemanlar için kullanılmalıdır. Şekil 9b'de gösterilen kenetlenme türü ise, kanca tabla içinde kalmak koşuluyla, ancak dişli döşeme kirişlerinde kullanılabilir.

b) Düz Bindirme İle Kenetlenme

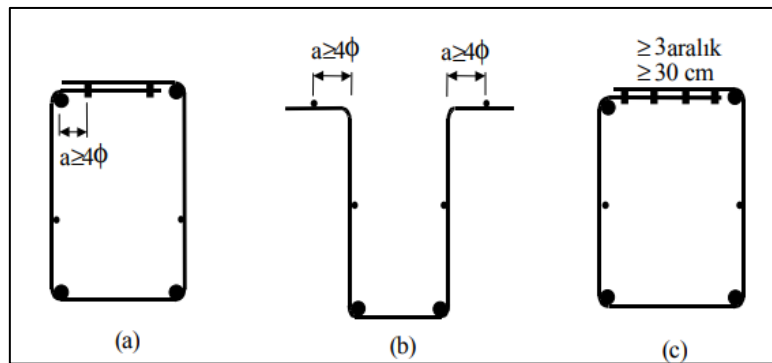
Şekil 9c' de gösterilen düz bindirme, deprem veya burulma etkisi altındaki yapı elemanlarında kullanılamaz.



Şekil 9: Etriyelerde Kancalı Kenetlenme Türleri

c) Kaynaklı Enine Donatı İle Kenetlenme

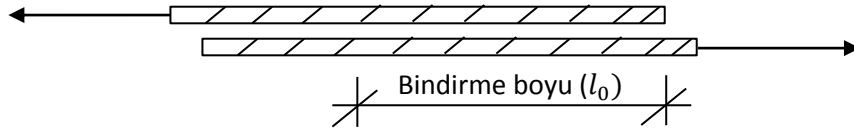
Etriyelerde bu tür kenetlenme ancak hasır donatı ile yapılır. Şekil 10'da bu tür kenetlenme türleri gösterilmiştir.



Şekil 10: Etriyelerde Kaynaklı Kenetlenme Türleri

4) Donatının Eklenmesi

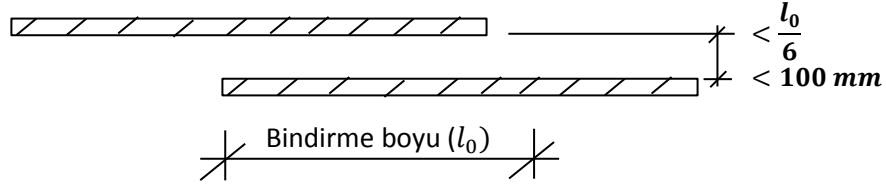
Türkiye’de üretilen donatı çubuklarının boyu genelde 12,00m’dir. Taşıyıcı elemanda kullanılan donatının boyu, bu boyu aşması durumunda eklenmesi gerekmektedir Ek yapılan toplam boya bindirme boyu denir (Şekil 11). Donatıda eklemeler projede gösterildiği yerde ve biçimde yapılmalıdır. Bununla birlikte eklenme eğilme momentlerinin minimum olduğu bölgelerde yapılmalıdır. Donatının eklenmesinde aşağıdaki yöntemlere izin verilir.



Şekil 11: Donatının eklenmesi ve bindirme boyu

a) Bindirmeli Ekler

Bindirmeli eklerde donatı çubukları bitişik olarak yerleştirilir. Eklenen iki çubuk arasında aralık bırakılması gerekiyorsa, bu aralık bindirme boyunun 1/6’sından ve 100 mm’den fazla olmamalıdır (Şekil 12).



Şekil 12. Bindirmeli eklerde iki çubuk arasındaki mesafe

Demet donatıda ek yapıldığında, demetteki tüm çubuklar aynı kesite eklenmemelidir. Demetteki her bir çubuk için gerekli bindirme boyu formülden elde edilen değerin 1,2 katı olmalıdır.

b) Manşonlu Ekler

Manşonlu eklerin, hem çekme hem de basınç altında, manşonla bağlanan donatı çubuğu için standartlarda öngörülen minimum karakteristik akma dayanımının 1,25 katı dayanıma sahip olduğu deneylerle kanıtlanmalıdır.

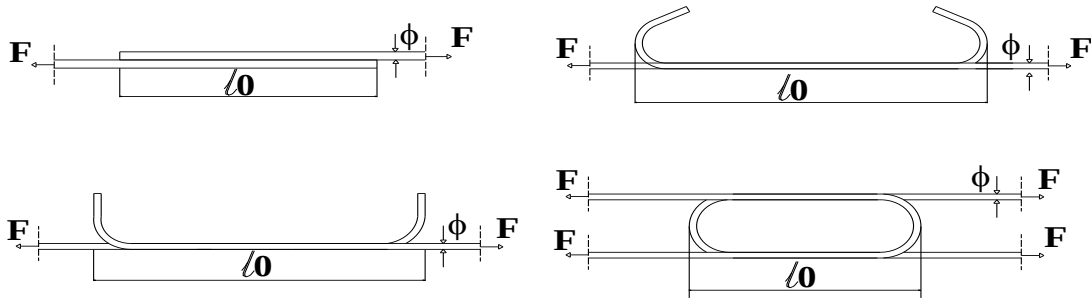
c) Kaynaklı Ekler

Kaynaklı ekler TS 708'e uygun olarak yapılmalıdır. Kaynaklı ek yapılacak çubukların metalurjik analizi yapılmalı ve çeliğin özellikle karbon içeriği açısından kaynaklanmaya uygun olduğu kanıtlanmalıdır. Kaynakla yapılan eklerden her elli taneden birine çekme deneyi uygulanmalı ve bu ekli donatının 1,25 fyk kadar gerilme taşıyabileceği kanıtlanmalıdır.

4.1 Çekme Donatısının Eklenmesi

a) Bindirmeli Ekler

Çekme donatısının bindirme ekleri Şekil 13'de verildiği gibi kancalı veya kancasız yapılabilir.



Şekil 13: Bindirmeli ekler

Kanca yapılmadan teşkil edilen bindirme boyu Denklem 8'den hesaplanır.

$$l_0 = \alpha_1 * l_b \quad ; \quad (\alpha_1 = 1 + 0,5r) \quad (8)$$

(r : aynı kesitte eklenen donatının toplam donatıya oranıdır.)

- Bütün kesiti çekmeye çalışan elemanlarda $\alpha_1 = 1.8$ alınır.

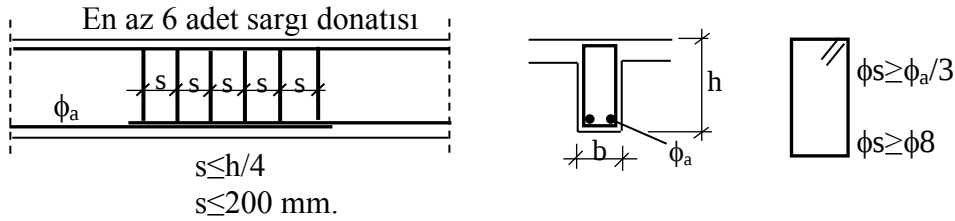
$$l_0 = 1,8 * l_b$$

- Kanun I'e giren donatı çubuklarında l_0 , 1,4 çarpanıyla artırılır.

$$l_0(Konum I) = 1,4 * \alpha_1 * l_b$$

- Kancalı bindirmeli eklerde bindirme boyu, Denklem 7 ile hesaplanan boyun 3/4'ü olarak alınabilir.

- Bindirmeli eklerde, bindirme boyunca sargı donatısı bulundurulmalı ve sargı donatısının çapı, en az eklenen donatı çapının 1/3'ü veya $\phi 8$ olmalıdır. Bindirme boyunca en az 6 sargı donatısı bulundurulmalı ve sargı donatısı aralığı eleman yüksekliğinin 1/4'ünden ($h/4$) ve 200 mm'den fazla olmamalıdır (Şekil 14).

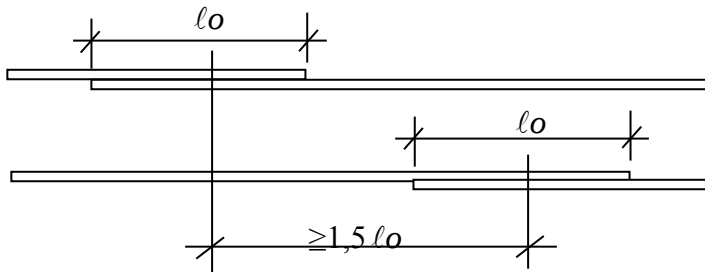


ϕ_a = Eklenen donatı çapı

ϕ_s = Sargı donatısı çapı

Şekil 14: Bindirmeli Eklerde Sargı Donatısı

- Birden fazla çubuğa ek yapılması gereken durumlarda, ek yerleri şaşırtılmalıdır. İki ekin merkezinden merkezine ölçülen uzaklık en az $1,5l_0$ kadarsa, ekler şaşırtılmış sayılır (Şekil 15).



Şekil 15: Bindirme Ekinde Şaşırtma Durumu

- Hasır donatısının eklenmesinde kesitte bulunan donatı gerekli donatıdan en az % 50 fazla ise Çizelge 2'de verilen değerler kullanılır. Kesitteki donatı alanının gerekli donatı alanına oranı 1.5'den küçük ise, Çizelge 2'deki bindirme boyları ve enine çubuk sayıları $[1.5 \cdot (\text{gerekli donatı kesit alanı} / \text{kesitte bulunan donatı kesit alanı})]$ oranında artırılır.

Çizelge 2: Nokta Kaynaklı Hasır Donatı İçin Bindirme Koşulları

Donatı Yüzeyi	ϕ (mm)	Konum I		Konum II	
		n	ℓ_b (mm)	N	ℓ_b (mm)
Düz	$\phi < 8,5$	4	500	4	400
	$\phi \geq 8,5$	5	600	5	500
Nervürlü	$\phi < 8,5$	4	400	4	350
	$\phi \geq 8,5$	4	450	4	400

b) Manşonlu Ekler

- Çekme donatısındaki manşonlu ekler Bölüm 2. b'ye göre yapılmalıdır.

c) Kaynaklı Ekler

- Çekme donatısındaki kaynaklı ekler Bölüm 2.c'ye göre yapılmalıdır.

4.2) Basınç Donatısının Eklenmesi

a) Bindirmeli Ekler

- Bindirmeli eklerde bindirme boyu (1) denklemi ile hesaplanan temel kenetleme boyundan ve 300 mm 'den az olamaz. Basınç donatısındaki bindirmeli eklerde kanca yapılmamalıdır.
- Bindirme boyunca, 4.1 (a)'da tanımlanan sargı donatısının aralığı $d/4$ 'den az olmamalıdır.
- Çapı 30 mm 'den büyük olan donatı çubuklarına bindirmeli ek yapılamaz. Bu çubuklar yeterliliği deneylerle kanıtlanmış özel manşonlarla eklenmelidir.

b) Manşonlu Ekler

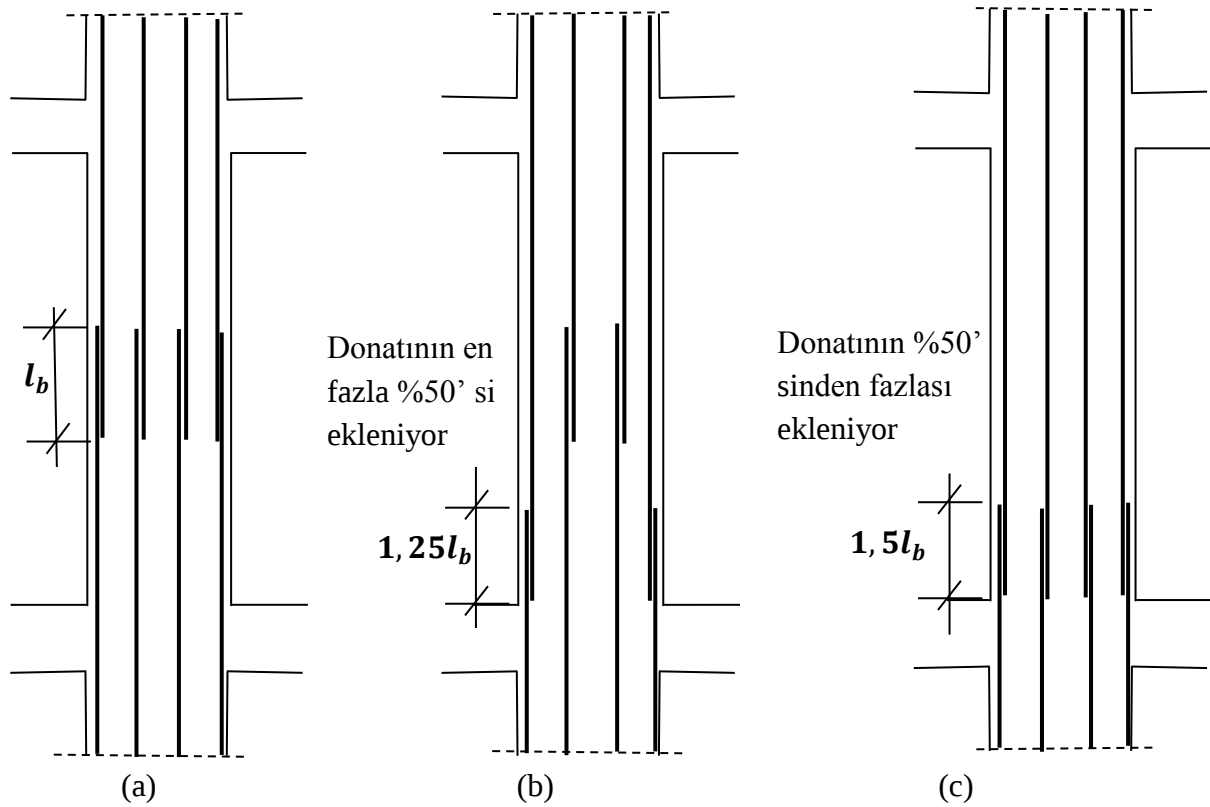
- Basınç donatısındaki manşonlu ekler, Madde 2.b 'ye göre yapılmalıdır.

c) Kaynaklı Ekler

- Basınç donatısındaki kaynaklı ekler, Madde 2.c 'ye göre yapılmalıdır.

4.2.1) Kolon Boyuna Donatısının Bindirmeli Ekleri

Kolonlar, betonarme yapıların esas elemanlarıdır. Bina türü yapılarda katlar halinde inşa edilirler. Genellikle donatıları her katta bir bindirme ekine sahiptir. Ekin, momentin küçük olduğu kolon orta bölgesinde bulunması istenir. Bu durumda düz kenetlenme boyu kadar kenetlenme boyu yeterlidir. TS500' e göre kenetlenme kolon alt bölgesinde yapılmasına rağmen TBDY' ne göre kolonlarda donatı eki, kolon orta bölgesinde yapılacaktır. TS500' e göre ekler için öngörülen şartlar aşağıda ve Şekil 16' da, TBDY' ne göre öngörülen şartlar kolonlar bölümünde anlatılmıştır.



Şekil 16: TS500'e Göre Kolon Boyuna Donatısı Bindirme Eki Şekilleri

- Donatının kolon orta bölgesinde eklenmesi
- Donatının %50' sinin kolon alt ucu bölgesinde eklenmesi
- Donatının %50' sinden fazlasının kolon alt ucu bölgesinde eklenmesi

- Kolon boyuna donatısı kolon orta bölgesinde ekleniyorsa $l_0 \geq l_b$ olmalıdır.
- Hiçbir yük birleşiminde kolon boyuna donatısında çekme oluşmuyorsa, bindirmeli eklerde basınç donatısının eklenmesi için verilen kurallar uygulanır.
- Herhangi bir yük birleşiminde, kolon boyuna donatısında çekme oluşuyorsa, boyuna donatıda kolon alt ucunda yapılacak bindirmeli eklerde aşağıdaki koşullara uyulacaktır;

- a) Aynı kesitte boyuna donatının yarısı veya daha azı ekleniyorsa, $l_0 \geq 1.25l_b$
- b) Aynı kesitte boyuna donatının yarısından fazlası ekleniyorsa, $l_0 \geq 1.5l_b$
- c) Süneklik düzeyi yüksek kolonlarda bu ek boyunca sargı bölgeleri için öngörülen enine donatı kullanılacaktır.

5) DONATININ BÜKÜLMESİ

Fabrikada 12 m uzunluğunda ve düz olarak üretilen donatı çubukları şantiyede projesinde verilen pozlara uygun olarak kesilmekte ve bükülmektedir. Büküm noktasında çelikte iki kolda kuvvetlerin yön değiştirmesinden dolayı beton ile donatı arasında ilave basınç kuvvetleri doğmaktadır. Bu bölgede oluşan basınç gerilmelerinin betonun taşıyabileceği basınç gerilmelerini aşmaması gerekir. Büküm yarıçapı ne kadar fazla olursa ortaya çıkacak basınç gerilmeleri de o kadar azalacak, bükülme sırasında da kılcal çatlaklar oluşmayacaktır. Dolayısıyla büküm yarıçapı belli değerden az olmayacaktır.

- Kullanılan donatı çubuğunun bükülmeye uygun olduğu TS 708'e göre yapılacak bükme deneyleri ile kanıtlanmalıdır.
- Betonarme boyuna donatısı, çapı en az 6ϕ olan bir merdane etrafında, ısıtılmadan bükülmelidir.
- Bükülmüş donatının, beton döküldükten sonra açılarak doğrultulması sakıncalıdır. Bu uygulama, yalnızca zorunlu durumlarda merdane çapı en az 6ϕ olmak koşuluyla ve yetkili mühendisin onayıyla yapılabilir.
- Nervürlü donatı 90° 'den fazla bükülmemelidir.
- Kolon donatısına kanca yapılamaz.

TS 500'e göre minimum büküm çapı d_m aşağıda verildiği gibi ve Şekil 5' deki gibi olacaktır;

- Boyuna donatılı kancalarda, $d_m \geq 6\phi$
- Etriye ve çiroz kancalarında, $d_m \geq 6\phi$
- Fiyonglarda, $d_m \geq 12\phi$, $a \geq 12\phi$, $c \geq 12\phi$

4) STANDART KANCA DETAYLARI

Boyuna donatı kancaları Şekil 5’ de verildiği gibi 180° – 90° açılı veya fiyong şeklinde yapılabilmektedir.

a) Kancanın donatı eksenine ile yaptığı açı 180° ise;

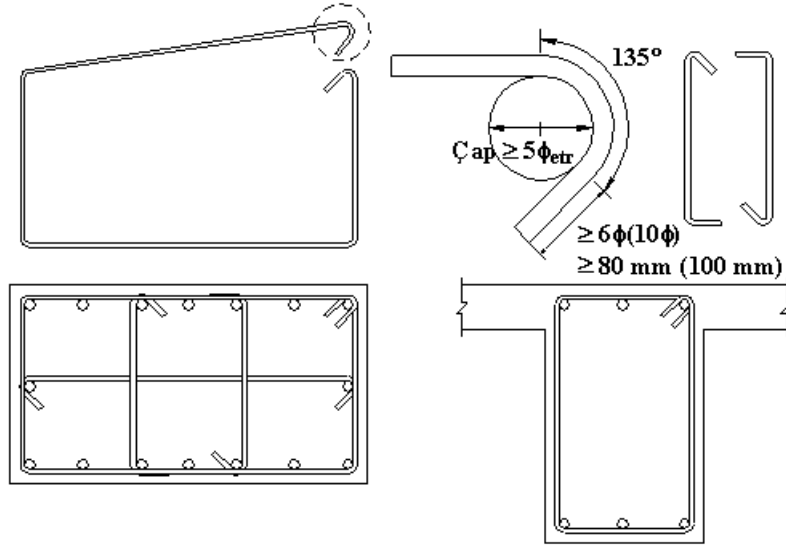
- Kanca serbest ucunda, uzunluğu 4ϕ ve 60 mm’ den az olmayan düz bir bölüm bulunmalıdır.

b) Kancanın donatı eksenine ile yaptığı açı 90° ise;

- Kanca serbest ucunda, uzunluğu 12ϕ ’den az olmayan düz bir bölüm bulunmalıdır.

5) ÖZEL DEPREM ETRİYELERİ VE ÇİROZLARI

TBDY hükümlerine göre, bütün deprem bölgelerinde, süneklik düzeyi normal olan tüm betonarme sistemlerin kolonlarında, kolon – kiriş birleşim bölgelerinde, perde uç bölgelerinde ve kiriş sarılma bölgelerinde kullanılan etriyeler ‘özel deprem etriyesi’, çirozlar ise ‘özel deprem çirozu’ olarak düzenlenecektir (Şekil 17).



Şekil 17: Özel Deprem Etriyesi ve Çirozu

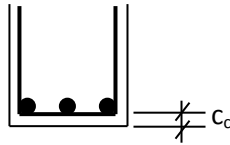
- Özel deprem etriyelerinin her iki ucunda mutlaka 135° kıvrımlı kancalar bulunacaktır. Özel deprem çirozlarında ise bir uçta 90° kıvrımlı kanca yapılabilir. Bu durumda kolonun veya perdenin bir yüzünde, kanca kıvrımları 135° ve 90° olan çirozlar hem yatay hem de düşey doğrultuda birer atlayarak düzenlenecektir.
- 135° kıvrımlı kancalar, ϕ enine donatı çapını göstermek üzere, en az 5ϕ çaplı daire etrafında bükülecektir.

- Kancaların boyu kıvrımdaki en son teğet noktasından itibaren, düz yüzeyli çubuklarda 10ϕ ve 100 mm' den, nervürlü çubuklarda ise 6ϕ ve 80 mm' den az olmayacaktır.
- Özel deprem etriyeleri boyuna donatıyı dıştan kavrayacak ve kancaların aynı boyuna donatı etrafında kapanacaktır.
- Özel deprem çirozlarının çapı ve aralığı, etriyelerin çap ve aralığı ile aynı olacaktır.
- Çirozlar, her iki uçlarında mutlaka boyuna donatıları saracaktır.
- Etriyeler ve çirozlar beton dökülürken oynamayacak biçimde sıkıca bağlanacaktır.

6) DONATI YERLEŞTİRİLMESİ İLE İLGİLİ KURALLAR

6.1) Beton Örtü Tabakası Kalınlığı (Net Beton Örtüsü)

Donatıya gerekli aderansı sağlamak ve donatıyı dış etkilerden korumak için gerekli net beton örtüsü Çizelge 3' de verilmiştir. Net beton örtüsü en dış donatının dış yüzünden ölçülen mesafedir.



Çizelge 3: En Dış Donatının Dış Yüzünden Ölçülen Gerekli Beton Örtüsü

Zeminle doğrudan ilişkide olan elemanlarda (Temeller)	$c_c \geq 50$ mm.
Hava koşullarına açık kolon ve kirişlerde (Cephelerde yer alan kolon ve kirişler)	$c_c \geq 25$ mm.
Yapı içinde, dış etkilere açık olmayan kolon ve kirişlerde (Yapı içinde yer alan kolon ve kirişlerde)	$c_c \geq 20$ mm.
Perde duvar ve döşemelerde	$c_c \geq 15$ mm.
Kabuk ve katlanmış plaklarda	$c_c \geq 15$ mm.

- Yangının, paslanmanın ve diğer zararlı dış etkenlerin söz konusu olduğu durumlarda, beton örtüsü gerekli görüldüğü kadar artırılmalıdır.
- Betonlama sırasında beton örtü tabakası kalınlığının korunabilmesi için kalıpla donatı arasına beton takozlar ve iki sıra donatı arasına çelik çubuk parçaları konulmalı veya bu amaçla hazırlanmış ve Şekil 18'de gösterilen plastik elemanlar kullanılmalıdır.

yalıtım malzemesi serilmelidir. Aşağıda Şekil 19’ da bazı temel, kiriş ve kolon donatılarının yerleşimi verilmiştir.



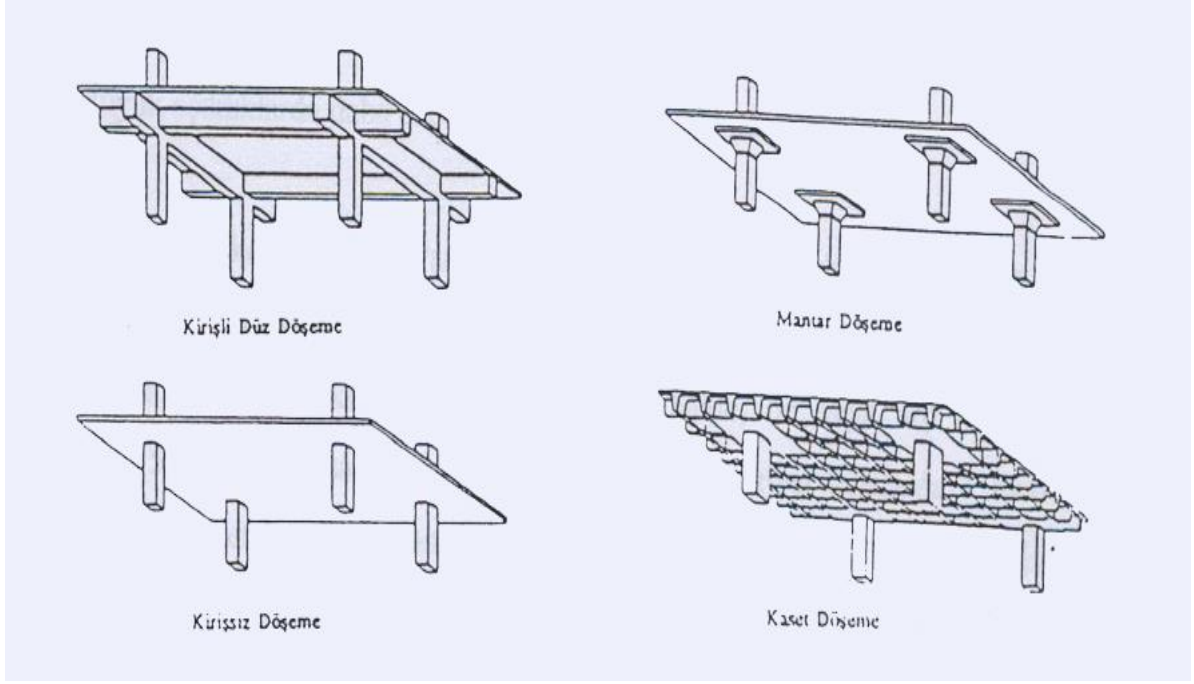
Şekil 19: Temel, kiriş ve kolon donatılarının yerleşimine ait örnekler

7) BETONARME YAPI ELEMANLARI

7.1) Döşemeler

Döşemelerin temel işlevi; yapıdaki düşey yükleri ve kendi ağırlıklarını taşımak ve bunları kolon ve perdelerle iletmektir. Yatay deprem yüklerinin düşey taşıyıcı elemanlara iletilmesi de döşemelerin bir diğer görevidir. Bu durumda döşemeler düzlemeleri içindeki yükler etkisi altında kalırlar. Döşemelerin bu yükleri güvenle aktarmaları ancak döşemelerin düzlemleri içinde rijit olmaları sonucu ortaya çıkacak “diyafram davranışları” sayesinde olacaktır. Ancak kirişli plak döşemelerde büyük boşluklar, kirişsiz döşemelerde kolon ve perde kenarlarına bitişik boşluklar döşemelerin rijit bir diyafram gibi davranmalarına engel olacak ve döşemelerin yatay yükleri güvenle diğer elemanlara aktarması önleneyecektir. Şekil 19’ da bazı döşeme sistemleri verilmiştir. Deprem hareketi esnasında ortaya çıkan yatay kuvvetlerin kolon ve perde elemanlara aktarıldığı bölgelerde ek zorlanmalar meydana gelmektedir. Kirişli döşemelerde, döşemeler kolon ve perdelerle kirişler yardımıyla bağlı olması durumunda bu kuvvetler sorun olmazken, kirişsiz halde kolon ve perdelerle bağlı olan döşemelerde bağlantı bölgelerindeki bu ek zorlanmalar göz önüne alınmalı ve bu bölgelere ek donatılar konulmalıdır. Ayrıca yatay düzlemdeki eğilme momenti için de, döşeme çevresine ek donatı konulmalıdır.

Kirişsiz döşemelerde, döşeme doğrudan kolon ve perdelerle mesnetlenir ve yük aktarımında bulunur. Bu kolon ve perdeleri birleştiren şeritler kiriş gibi davranarak düşey elemanların birlikte çalışmasını sağlamaktadır. Bu durumda kolon ve perde etrafındaki döşeme bölgesinde kesit etkilerinde önemli artışlar meydana gelir. Artan bu kesit etkilerinin güvenli bir şekilde karşılanması gerekmektedir ve bu durum için kirişsiz döşemelerde kenar kirişi düzenlemesi veya deprem yüklerinin önemli bir bölümünün karşılanması için perde kullanılması daha uygundur. Asmolen ve kaset döşemelerde ise kiriş derinliğinin sınırlı oluşu nedeniyle kesme kırılması olasılığı artacağı gibi, yatay ötelenmeler ve ikinci mertebe momentlerde artış olacaktır. Son dönemde sıkça kullanılan prefabrike panellerden oluşan döşemeler rijit bir diyafram gibi davranmamakta ancak panellerin üstleri donatılı bir beton ile kaplanmış ise rijit diyafram gibi davranmaktadırlar.

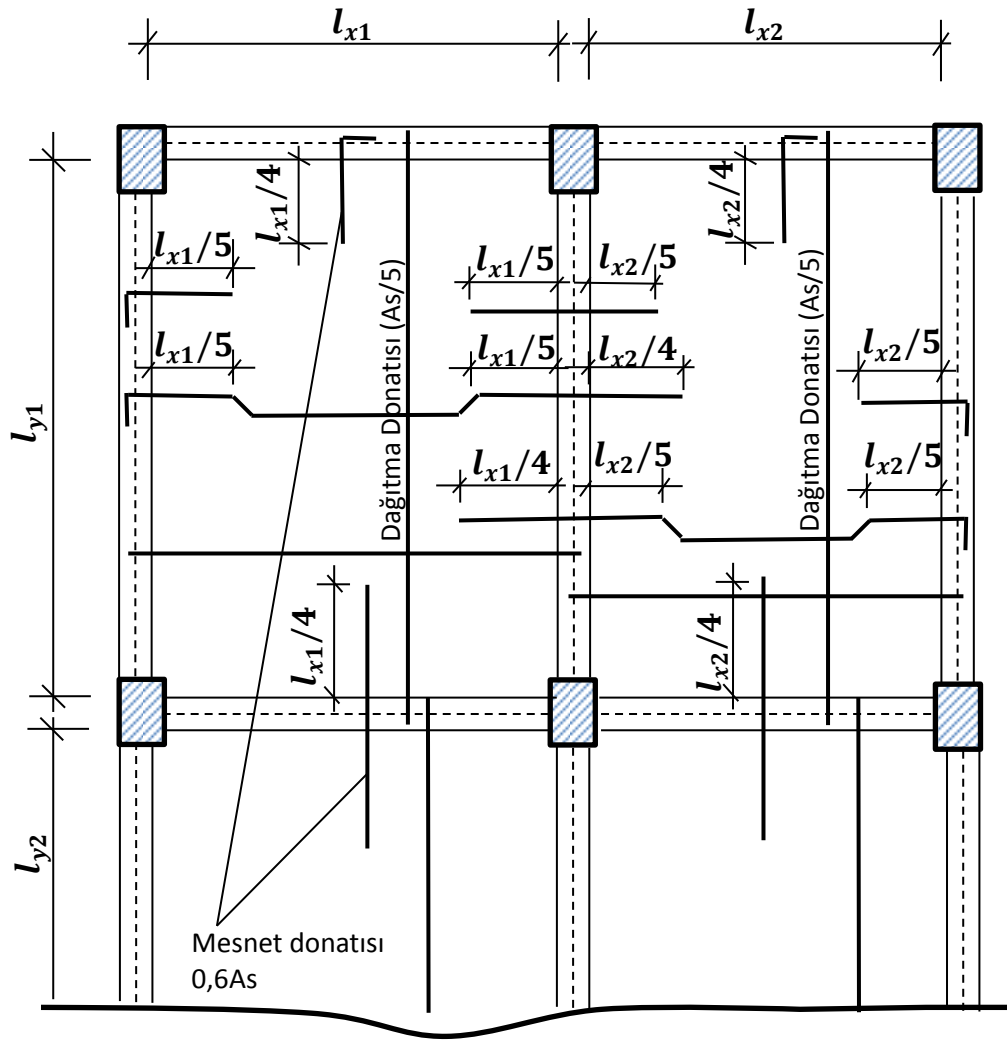


Şekil 19. Çeşitli Döşeme Tipleri

7.1.1 Bir Doğrultuda Çalışan Plak Döşemeler

TBDY (2018), Madde 3.11' e göre Bütün deprem bölgelerinde, dolgulu ya da dolgusuz yerinde dökme veya prefabrike dişli döşemeli sistemlerde plak kalınlığı 50 mm'den az olmayacaktır. Ancak, düşey yüklerden oluşan kesme kuvvetleri ile birlikte plak düzlemindeki deprem kuvvetlerinin güvenle aktarılmasını sağlamak üzere, dişlerle plak arasında kesme kuvveti bağlantılarının yapılması ve bu bağlantıların yeterli olduğunun hesapla gösterilmesi zorunludur. Diğer döşeme plaklarının kalınlıkları için TS-500'de verilen koşullar geçerlidir.

Aşağıda verildiği gibi plak uzun kenarının kısa kenarına oranı 2' den büyük ise bu tür plak sistemlere tek doğrultuda çalışan plak döşemeler denilmektedir. Bu tür plakların donatı yerleşimi Şekil 20' de, konstrüktif kuralları ise Çizelge 4' de verilmiştir.



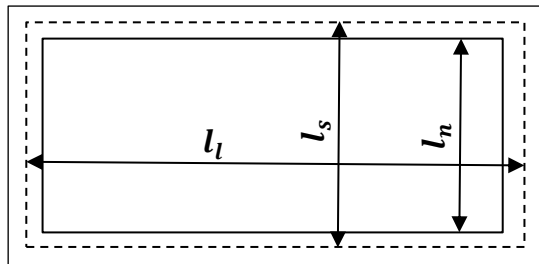
Şekil 20: Tek doğrultuda çalışan döşeme ve donatı düzeni

$$m = \frac{l_l}{l_s} > 2 \text{ (Tek Doğrultuda Çalışan Kirişli Döşeme)}$$

l_s : Kısa doğrultudaki açıklık (Kiriş eksenlerinden)

l_l : Uzun doğrultudaki açıklık (Kiriş eksenlerinden)

l_n : Kısa doğrultudaki plak serbest açıklığı



Çizelge 4. Tek doğrultulu döşemelerde konstrüktif kurallar

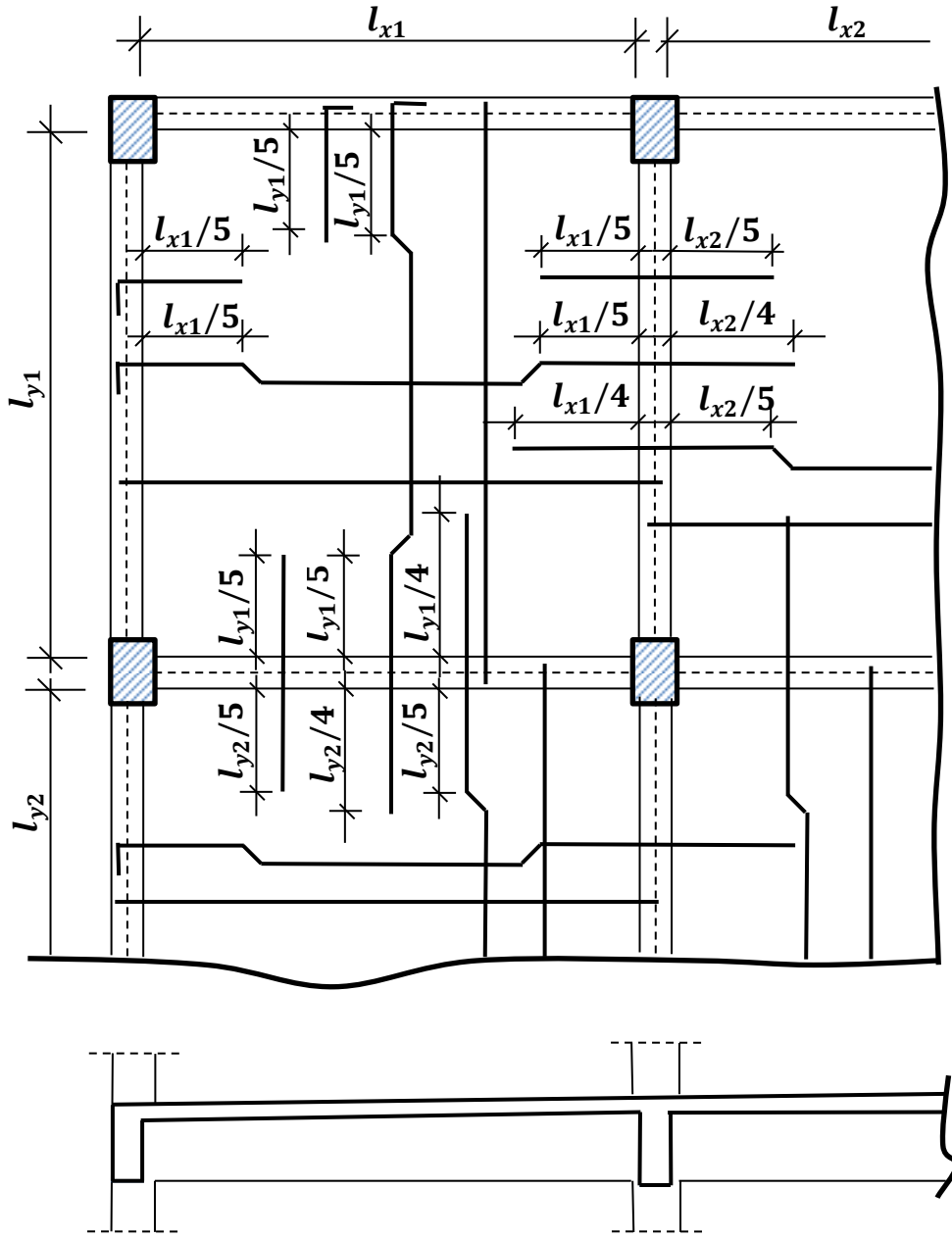
Tanım	TS500
min hf	80 mm 120 mm (üzerinden taşıt geçiyorsa)
min hf (Sehim hesabı gerektirmeyen yükseklik)	Basit mesnetli tek açıklıklı döşemelerde : $\ell_n / 25$ Sürekli döşemelerde : $\ell_n / 30$ Konsol döşemelerde : $\ell_n / 12$
maks s_{kısa} (Kısa doğrultudaki donatının maksimum aralığı)	1.5hf 200 mm
maks s_{uzun} (Uzun doğrultudaki donatının maksimum aralığı)	300 mm
min p_{kısa} (Kısa doğrultudaki donatı yüzdesi)	0.002 (S420)
min p_{dağıtma} (Dağıtma donatısı yüzdesi)	$p_{kısa} / 5$
min kısa mesnet donatısı	0.6As,kısa φ/300 (S420)

7.1.2 İki Doğrultuda Çalışan Plak Döşemeler

Plak uzun kenarının kısa kenarına oranı 2 ve 2' den küçük ise bu tür plak sistemlere iki doğrultuda çalışan plak döşemeler denilmektedir. Bir doğrultuda çalışan plak döşemelere göre yük taşıma kapasiteleri daha yüksektir.

$$m = \frac{l_l}{l_s} \leq 2 \quad (\text{İki Doğrultuda Çalışan Kirişli Döşeme})$$

Bağıntıda verilen uzunluklar tek doğrultuda çalışan döşemeler için verilen uzunluklarla aynı tanımdadır. Bu tür plakların donatı yerleşimi Şekil 21' de, konstrüktif kuralları ise Çizelge 5' de verilmiştir.



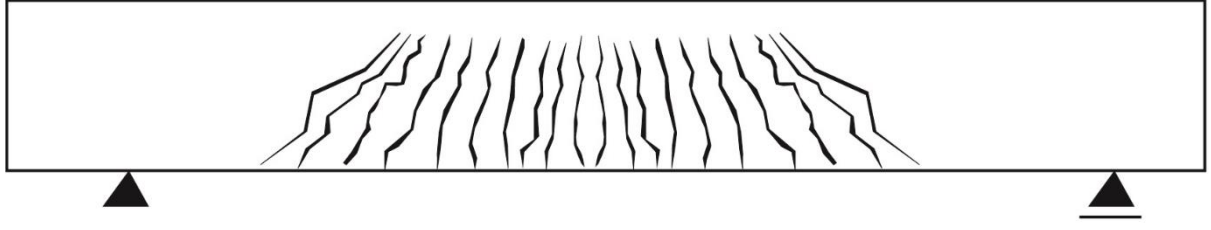
Şekil 21: İki doğrultuda çalışan döşeme ve donatı düzeni

Çizelge 5. İki doğrultulu döşemelerde konstrüktif kurallar

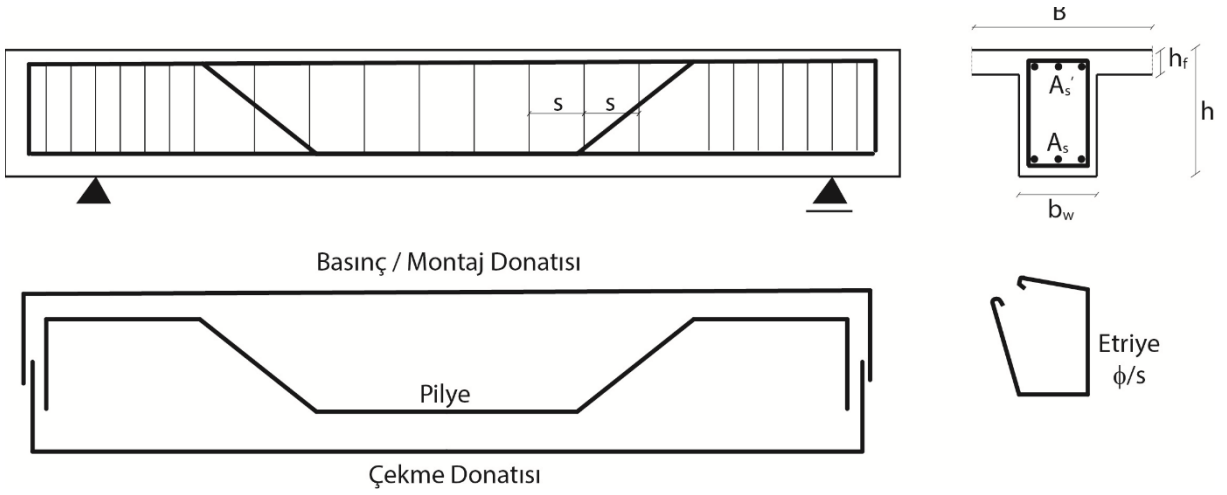
Tanım	TS500
min hf	80 mm $\frac{l_{sn}}{15+\frac{20}{m}} \left(1 - \frac{\alpha_s}{4}\right)$ l_{sn} : kısa doğrultudaki serbet açıklık α_s : $\frac{\sum \text{sürekli kenarlar}}{\sum \text{tüm kenarlar}}$ m : $\frac{l_l}{l_s}$
min hf (Sehim hesabı gerektirmeyen yükseklik)	Basit mesnetli tek açıklıklı döşemelerde : $\frac{\ell}{n} / 25$ Sürekli döşemelerde (Kenar) : $\frac{\ell}{n} / 30$ Sürekli döşemelerde (İç) : $\frac{\ell}{n} / 35$ Konsol döşemelerde : $\frac{\ell}{n} / 12$
maks hf	200 mm
maks s_{kısa} (Kısa doğrultudaki donatının maksimum aralığı)	1.5hf 200 mm
maks s_{uzun} (Uzun doğrultudaki donatının maksimum aralığı)	1.5hf 250 mm
min p_{kısa}+p_{uzun} (Toplam donatı yüzdesi)	0.0035 (S420)
min p_{kısa}; min p_{uzun} (Dağıtma donatısı yüzdesi)	0.0015 (Bu durumda diğer doğrultudaki donatı yüzdesi min 0.002 olmalıdır)

7.2) Süneklik Düzeyi Yüksek Kirişler

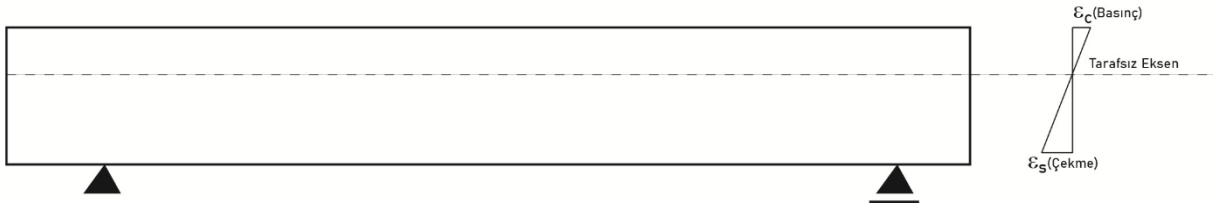
Eğilme, kesme ve eksenel normal kuvvet etkisindeki kirişler, döşemeden gelen yükleri kolonlara aktardığı gibi, kolonları birbirine bağlayarak bir çerçeve oluşumunu sağlarlar. Tek doğrultuda çalışan yapı elemanı olan kirişlerin tasarım eksenel kuvveti $N_d \leq 0,1 A_c f_{ck}$ koşulunu sağlaması gerekmektedir. Ancak bu durumda betonarme kiriş olarak boyutlandırılarak donatı koşullarına uyulabilir. Aksi durumda kiriş, yönetmeliklerde kolonlar için öngörülen boyutlandırma ve donatılandırma ilkelerine uyularak tasarlanmalıdır. Betonarme basit bir kirişte, eğilmeden kaynaklanan hasarları, betonun çekme ve basınç gerilmeleri ile donatılandırma detayları Şekil 22’ de verilmiştir.



(a) Eğilme Çatlakları



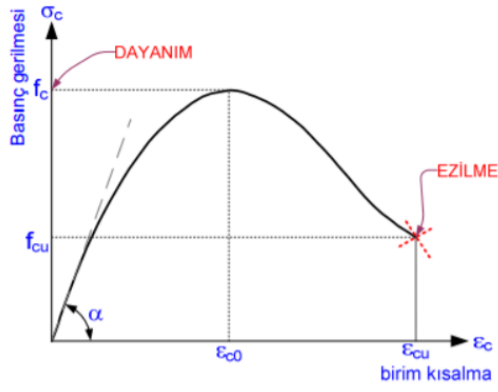
(b) Kiriş Donatı Yerleşimi



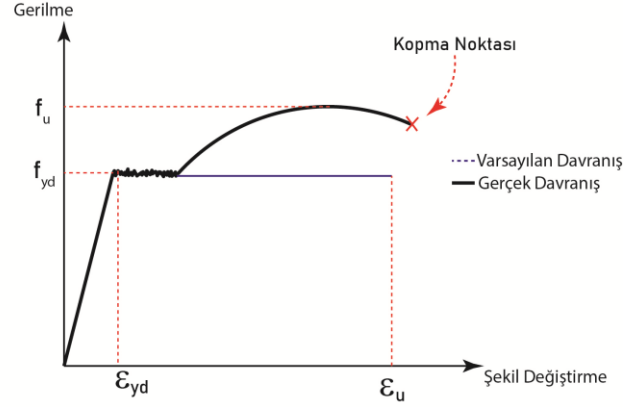
(c) Çekme ve Basınç Gerilmeleri

Şekil 22: Basit kirişte eğilme çatlakları, donatı yerleşimi ve çekme ve basınç gerilmeleri

Betonarmeyi oluşturan malzemelerden beton ve çelik yapısal olarak oldukça farklı davranış sergilemektedir. Şekil 23’de beton ve çeliğin gerilme – şekil değiştirme diyagramları gösterilmiştir.



a. Beton Gerilme – Şekil Değişirme Diyagramı

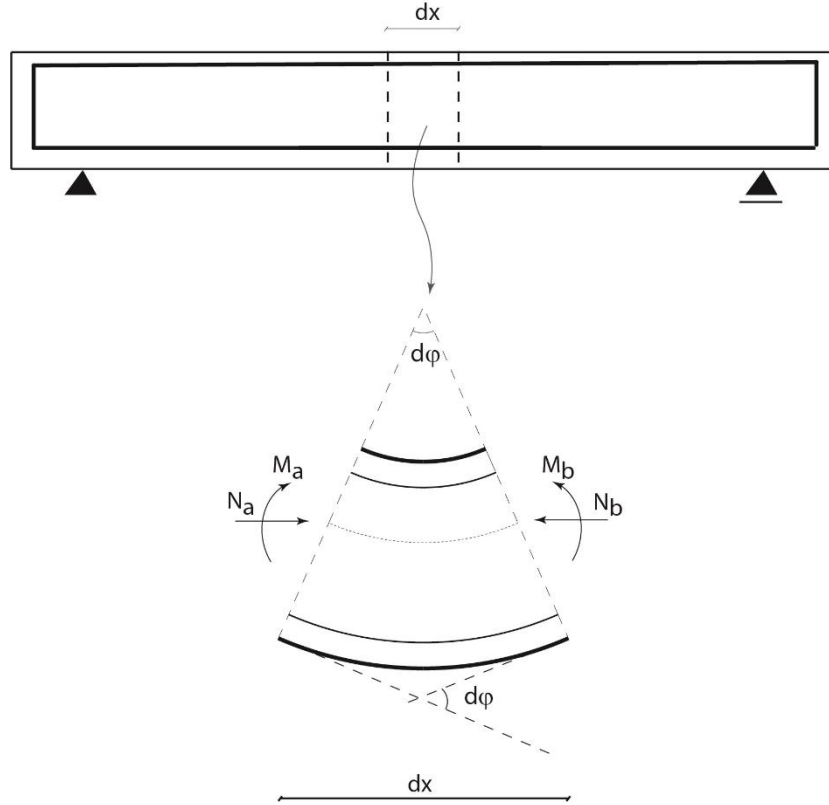


b. Çelik Gerilme – Şekil Değişirme diyagramı

Şekil 23. Betonun ve donatının gerilme-şekil değişirme eğrileri

Betonarme elemanların sünek davranış sergilemesi kesit üzerine gelen normal kuvvetin büyüklüğüne ek olarak beton ve çeliğin doğru bir şekilde kullanılması ile mümkündür.

Eksenel normal kuvvet ve eğilme etkileri altındaki bir elemanın davranışını gerek birim şekil değişirme eğrisinden ve gerekse moment-eğrilik ilişkisinden belirlemek mümkündür. Eğrilik kesitin eğilme momenti karşısında birim dönmesi olarak tanımlanabilir. Üst lifi basınca, alt lifi çekmeye çalışan basit betonarme kırşın birim şekil değişirme ve moment eğrilik ilişkisinin tanımlanmasına ilişkin detay Şekil 24’ de verilmiştir.

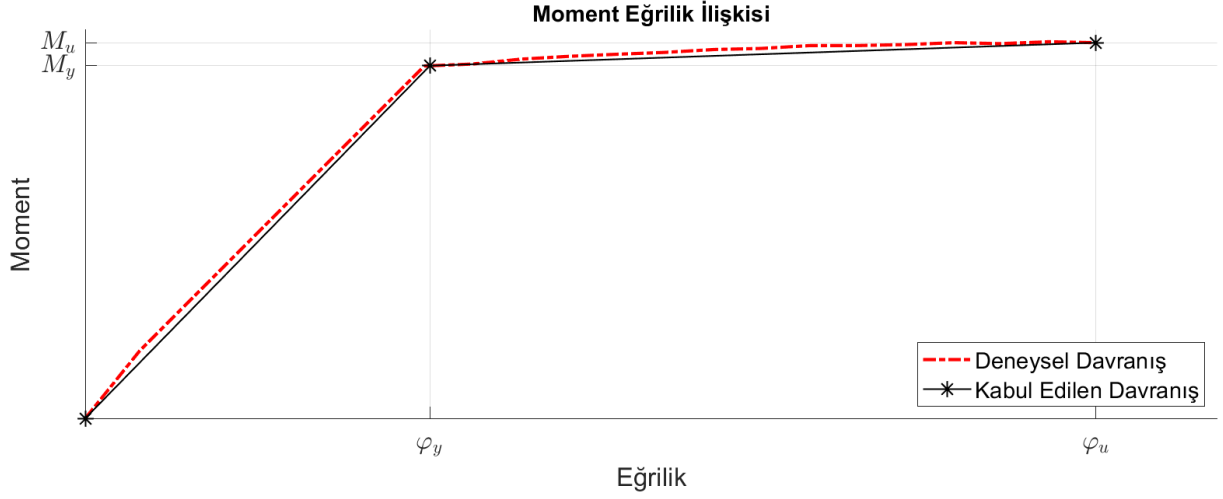


Şekil 24 – Eğilme altındaki kiriş elemanda dönme davranışı

Şekilde de gösterildiği gibi eğrilik birim şekil değiştirme diyagramında ϕ ile gösterilen dönme miktarına bağlı olarak birim mesafenin dönmesi olarak tanımlanır. Betonarme elemanın eğriliği birim uzunlukta dönme olarak hesaplanmakla birlikte basınç gerilmeleri altında liflerde oluşan birim kısaltmalardan aşağıda verilen denklem vasıtası ile de hesaplanır.

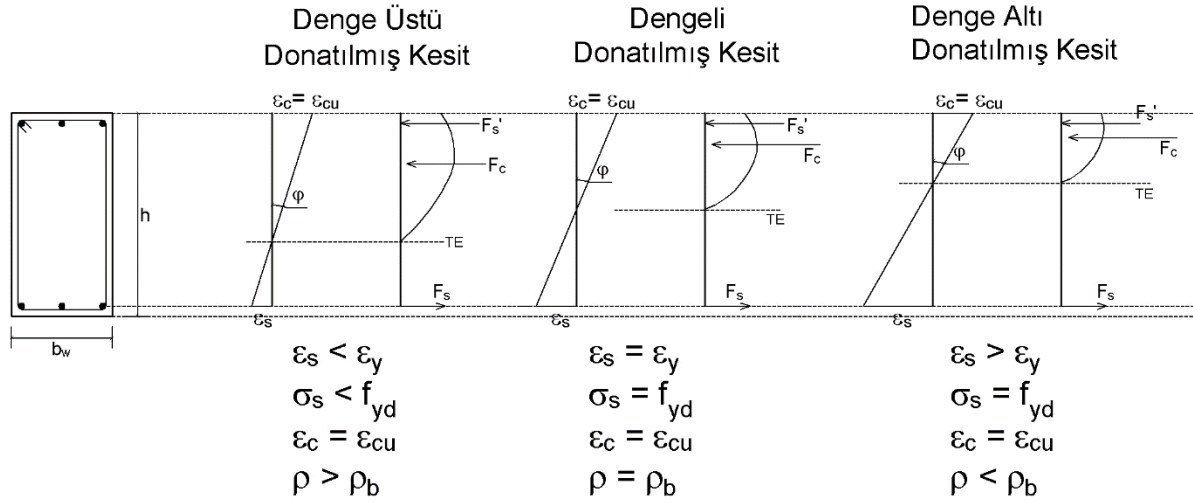
$$K = \frac{1}{\rho} = \frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\epsilon_c}{c}$$

Betonarme kesitlerde basit eğilme altında eleman üzerindeki moment değeri ile elemanın eğriliği arasındaki ilişki Şekil 25’de gösterilmiştir. Şekilde gösterilen moment – eğrilik arası ilişki dikkate alındığında betonarme kesitte, kesit belirli bir dönmeye ulaşana kadar, kesitin üzerinde oluşan moment artmakta, belirli bir dönme sonrası ise kesitte dönme hareketi devam etmesine rağmen moment değeri yaklaşık olarak sabit kalmaktadır. Burada gösterilen ϕ_y değeri akma eğriliği olarak da tanımlanmakta olup kesitte plastik mafsall oluşumuna işaret etmektedir.



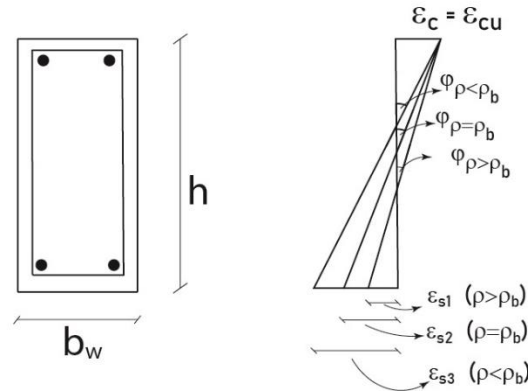
Şekil 25 - Moment – Eğrilik İlişkisi

Kirişler ile ilgili incelemelerde donatının akma ya da kırılma şekli kirişin çalışma biçimini belirleyecektir. Başka bir deyişle kirişteki mevcut donatı oranının (ρ), dengeli donatı oranından (ρ_b) küçük veya büyük olması ya da eşit olması kesitin güç tükenmesini veya kırılma şeklini ortaya koyacaktır. Kirişin en dışındaki çekme donatısı As akma konumuna ulaşmadan kırılmışsa ve betonda maksimum birim şekil değiştirmeye uğramadan kesit güç tükenmesi konumuna gelmişse buna gevrek kırılma denir. Bu durumda donatı dengeli donatının üzerindedir ($\rho > \rho_b$) ve kesit küçük eğrilik değerlerinde güç tükenmesine ulaşır. Bu durumda kiriş donatı oranını dengeli donatı oranından aşağıya çekmek gerekir. Şayet çekme donatısı As akma durumuna gelmiş, beton maksimum birim şekil değiştirmeye uğramasıyla ya da ezilmesiyle çekme donatısının akması aynı anda olmuşsa buna dengeli kırılma denir. Donatı akma sınırını aşmış ve betonda maksimum ezilme noktasına gelmişse donatı miktarı dengeli donatı miktarından azdır ve bu kırılma biçimi sünek kırılmadır. Şekil 26’da donatı oranlarına bağlı olarak betonarme kirişe ait birim şekil değiştirme ve kesit gerilme diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 26. Betonarme Kiriş Gerilme Şekil Değiştirme Diyagramları

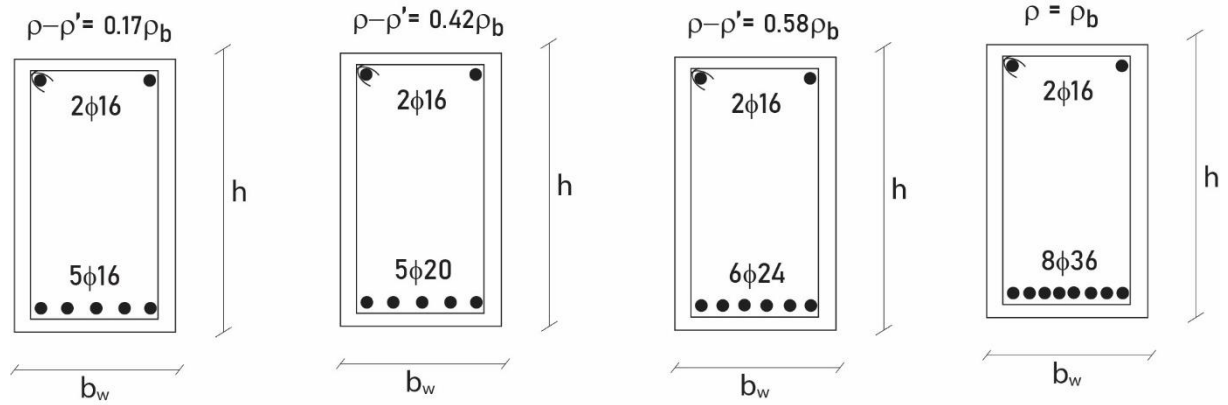
Donatı oranlarının farklı durumlarına göre betonarme kirişe ait birim şekil değiştirme diyagramları Şekil 27’de gösterilmiştir. Betonarme elemanın hasar sınırının betonun ezilme birim kısalması şeklinde olacağı düşünüldüğünde farklı donatı oranlarına sahip olsalar dahi kirişlerde en büyük birim kısalmanın görüldüğü lifte oluşan ϵ değerinin ϵ_{cu} değerine eşit olması gerekmektedir. Donatı oranına bağlı olarak çeliğin şekil değiştirme miktarına değişim ve bu değişime bağlı olarak kırılma anına kirişin eğriliklerinin hesaplandığı açılar gösterilmiştir.



Şekil 26 - Betonarme Kiriş Gerilme Şekil Değiştirme Diyagramları

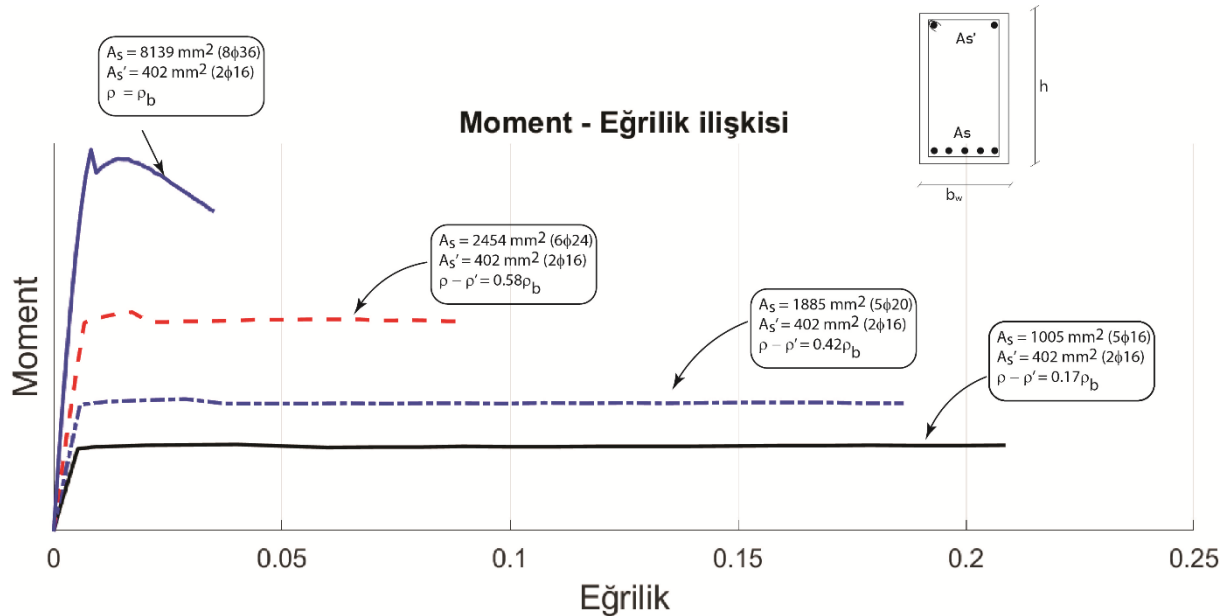
Kirişlerle ilgili yukarıda tanımlanan sünekliği daha iyi anlatmak için aşağıda bir örnek verilmiştir. 30cm x 60cm enkesite sahip kiriş üzerine donatı oranları yerleştirilmiş ve yükleme altında moment-eğrilik değerleri üç farklı donatı yerleşimi için hesaplanmıştır. C25 beton sınıfı ve S420 betonarme çeliği kullanılarak tasarlanan kiriş üzerinde ρ_b değeri 0.0205 olarak

hesaplanmış, kesit $\rho = \rho_b = 0.0205$, $\rho - \rho' = 0.59\rho_b$, $\rho - \rho' = 0.42\rho_b$ ve $\rho - \rho' = 0.17\rho_b$ olacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 28’de farklı donatı oranları uygulanmış kiriş kesitleri gösterilmiştir.



Şekil 28 – Farklı donatı oranlarına sahip kiriş kesitleri

Şekil 29’da dört farklı kesit için hesaplanan moment – eğrilik ilişkisi görünmekte ve donatı oranının yüksek olduğu kirişlerde kesit moment kapasiteleri yüksek olmasına rağmen eğrilik değerleri çok düşük olmakta ve kesit gevrek davranış sergilemektedir. Kesit şekilde görüldüğü üzere daha fazla moment kapasitesine sahip olmasına rağmen gevrek davranmaktadır.

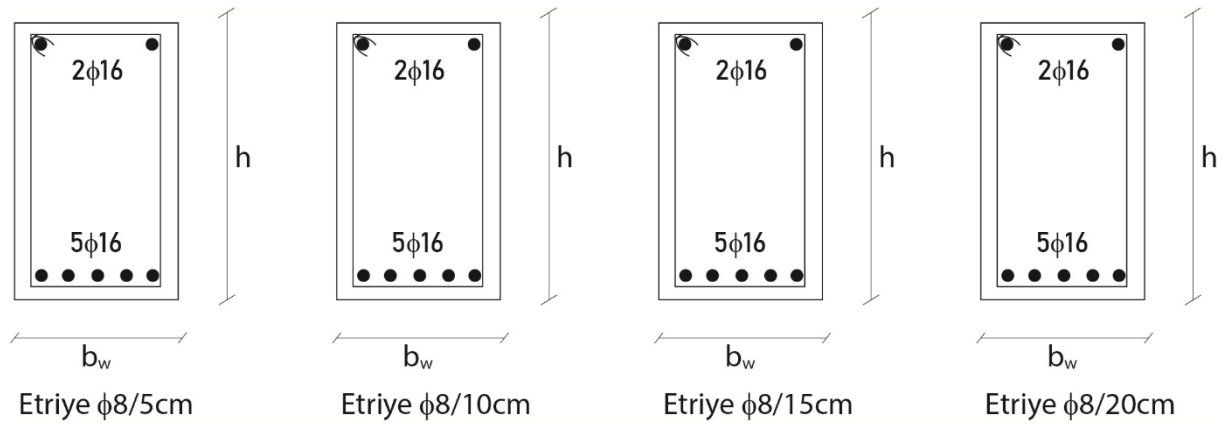


Şekil 29 – Donatı oranı ile moment – eğrilik arası ilişki

Betonarme elemanların sünek davranış göstermesinde betonu etriyelerle sargılamak ve daha önemlisi kesme kuvvetinin maksimum olduğu kolon – kiriş birleşim bölgelerinde gerek kolonlarda gerekse kirişlerde etriyeleri sıklaştırmak sünek davranışı artıracaktır.

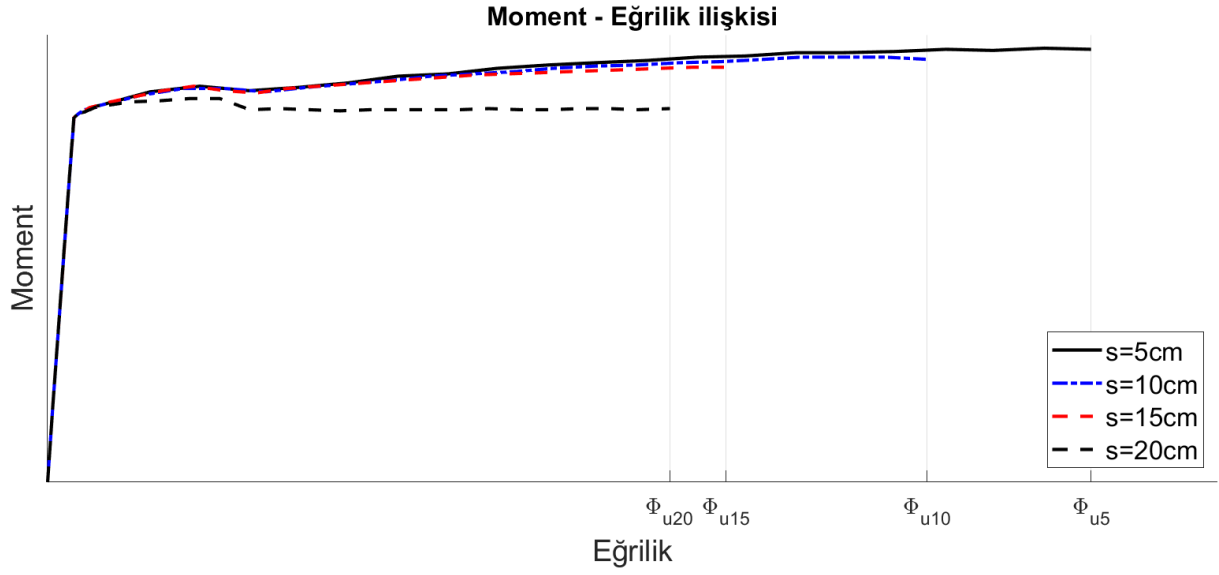
Betonarme elemanların sünek davranışına enine donatı etkisi de bilinmekte olup, birbirleriyle eşdeğer boyuna donatı oranı ile donatılmış kesitler üzerinde enine donatı aralıklarının değişimi ile elemanın eğriliği bir başka değişle eleman sünekliği arasındaki ilişki incelendiğinde enine donatı aralığının önemi dikkat çekmektedir.

30cmx60cm betonarme kiriş üzerinde 2 ϕ 16 basınç ve 5 ϕ 16 çekme donatısı yerleştirilmiş, ϕ 8 donatı ile düzenlenmiş etriyeler sırası ile 20,15,10 ve 5 cm aralıklarla yerleştirilerek incelenmiştir. (Şekil 29)



Şekil 29 – Moment – Eğrilik analizi yapılan kiriş

Analiz sonucu elde edilen Moment – Eğrilik arası ilişki Şekil 30’da gösterilmiştir. Moment eğrilik diyagramlarından da anlaşılacağı üzere enine donatı aralıklarının sıklaştırılması kesit eğriliğini yani kesit sünekliğini artırmakta, enine donatı aralıklarının artması ise sünekliği azaltmaktadır. Kesitin moment kapasitesinde dikkate değer bir değişim olmazken kesit sünekliği etriye sıklaştırması sonrası artmıştır.

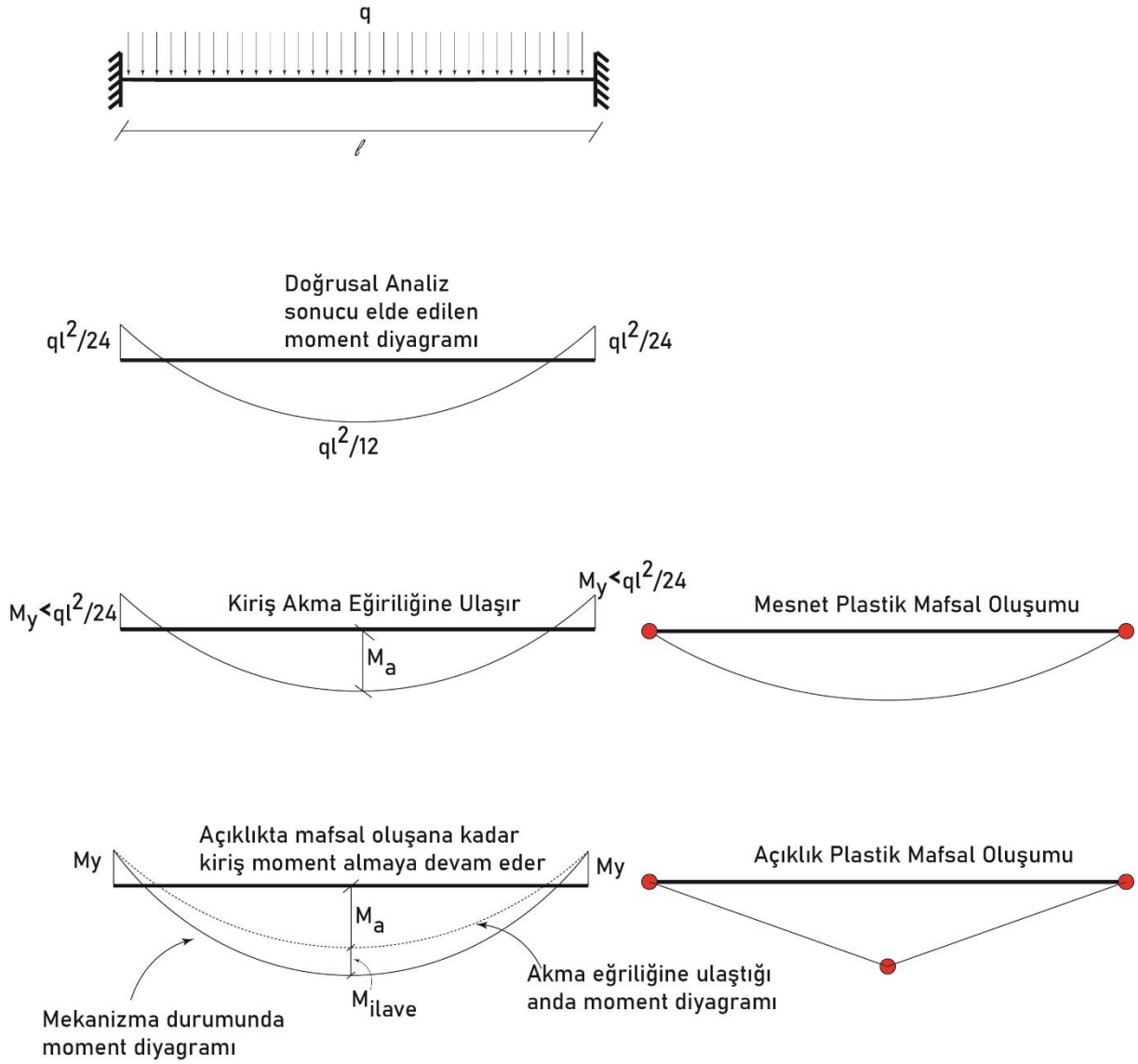


Şekil 30 – Farklı enine donatı aralıklarına göre moment eğrilik ilişkisi

7.2.1 Betonarmede Uyum (Yeniden Dağılım)

Betonarme kesitlerde statik hesapların doğrusal analiz ile yapıldığı bilinmektedir. Ancak, betonarme kesitlerin güç tükenmesi analiz edildiğinde moment eğrilik ilişkisinin dikkatli bir şekilde incelenmesi ve kesitin davranışının doğru bir şekilde anlaşılması gerekmektedir.

Bir betonarme eleman akma eğrilik değerine ulaştığında, kesit moment taşıma kapasitesine çok yaklaşmış olacak, dış yüklerde artış olsa dahi kesit üzerinde oluşacak olan moment değeri dikkate değer bir değişim göstermeyecek bir başka değişle sabit bir moment taşıma kapasitesine sahip mafsala dönüşecektir. Ancak eleman üzerinde sadece tek bir kesitte mafsala oluşumu mekanizma oluşmasına sebep olmayacaktır. Şekilde yayılı yük altında doğrusal çözümleme sonucu oluşan moment diyagramı Şekil 29’da gösterilmektedir.



Şekil 29 – Momentlerin yeniden dağılımı

Kesitte mesnetler taşıma gücüne ulaştığında mesnetlerde mafsal oluşumu gerçekleşir ancak kesit mekanizma durumuna geçmez. Mesnetlerde mafsal oluşumu sonrası, mesnetler akma eğrililiği durumundaki moment taşıma kapasitelerine erişirler ve daha fazla moment taşıyamazlar. Ancak kesitte mekanizma durumun oluşmadığı için kesit tesirleri artmaya devam eder ve Şekil 29’de gösterilen ilave momentler oluşur.

Kesitin güç tükenmesi durumuna ulaşması ise açıklık üzerinde mafsal oluşumu sonrası meydana gelir. Açıklıkta mafsal oluşumuna kadar kesit yük almaya devam eder ve doğrusal hesap sırasında mesnet üzerinde olması beklenen momentlerin bir kısmı mesnetlerde mafsal oluşumu dolayısıyla açıklık tarafından taşınır ve kesitte güç tükenmesi Şekil 29’da gösterilen

momentler altında gerçekleşir. Şekilde de gösterildiği gibi doğrusal analiz sırasında hesaplanan moment yerine mafsallaşma dikkate alınarak hesaplanan moment değerleri kesite etki edecektir.

Doğrusal hesapta dikkate alınmayan ancak betonarme elemanın davranışı ve uyumu olarak tarif edilen bu durum dikkate alınarak TS500 mesnette oluşacak momentlerin belirli şartlar sağlanarak dağıtılmasına izin vermektedir. TS500'e göre

- $\rho - \rho' \leq 0.4\rho_b$ olması durumunda mesnette oluşacak momentlerde en fazla %15
- $0.4\rho_b \leq \rho - \rho' \leq 0.6\rho_b$ olması durumunda ise mesnette oluşacak momentlerde en fazla %10 azaltma yapılabilir.

Yukarıda belirtilen azaltma sonrası açıklım momentleri sistemde denge şartlarını sağlayacak şekilde yeniden düzenlenmeli bir başka deyişle azaltılan momentler yeniden dağıtılmalıdır. Bu dağıtılma dolayısı ile yapılan bu işleme momentlerin yeniden dağılımı ilkesi de denmektedir.

7.2.2 Süneklik Düzeyi Yüksek Kirişlerin Konstrüktif Kuralları

a) Boyuna Donatının Düzenlenmesi

Boyuna donatıların yerleştirilmesi ve kenetlenmesine ilişkin koşullar aşağıda verilmiştir:

(a) Kirişin iki ucundaki mesnet üst donatılarının büyük olanının en az 1/4'ü tüm kiriş boyunca sürekli olarak devam ettirilecektir. Mesnet üst donatısının geri kalan kısmı, TS-500'e göre düzenlenecektir.

(b) Kolona birleşen kirişlerin kolonun öbür yüzünde devam etmediği durumlarda kirişlerdeki alt ve üst donatı, kolonun etriyelerle sarılmış çekirdeğinin karşı taraftaki yüzeyine kadar uzatılıp etriyelerin iç tarafından 90 derece bükülecektir. Bu durumda boyuna donatının kolon içinde kalan yatay kısmı ile 90 derece kıvrılan düşey kısmının toplam uzunluğu, TS-500'de öngörülen düz kenetlenme boyu l_b 'den az olmayacaktır. 90 derecelik kancanın yatay kısmı $0.4 l_b$ 'den, düşey kısmı ise $12\varnothing$ 'den az olmayacaktır.

(c) Her iki taraftan kirişlerin kolonlara birleşmesi durumunda kiriş alt donatıları, kolon yüzünden itibaren komşu açıklığa en az TS-500'de verilen kenetlenme boyu l_b kadar uzatılacaktır. Kirişlerdeki derinlik farkı gibi nedenlerle bu olanağın bulunmadığı durumlarda

kenetlenme, yukarıdaki (b) paragrafına göre kirişin kolonun öbür yüzünde devam etmediği durumlar için tanımlanan biçimde yapılacaktır.

(d) Perdelere kendi düzlemleri içinde bağlanan kirişlerde boyuna donatıların kenetlenmesi, kanca yapılmaksızın düz olarak sağlanabilir. Bu durumda donatının perde içindeki kenetlenme boyu l_b 'den ve 50ϕ 'den az olmayacaktır.

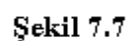
Boyuna donatıların eklenmesine ilişkin koşullar aşağıda verilmiştir:

(a) Kiriş sarılma bölgeleri, kolon-kiriş birleşim bölgeleri ve açıklık ortasında alt donatı bölgeleri gibi, donatının akma durumuna ulaşma olasılığı bulunan kritik bölgelerde bindirmeli ek yapılmayacaktır. Bu bölgeler dışında bindirmeli eklerin yapılabileceği yerlerde, ek boyunca özel deprem etriyeleri kullanılacaktır. Bu etriyelerin aralıkları kiriş derinliğinin $1/4$ 'ünü ve 100 mm 'yi aşmayacaktır.

(b) Manşonlu ekler veya bindirmeli kaynak ekleri, bir kesitte ancak birer donatı atlayarak uygulanacak ve birbirine komşu iki ekin merkezleri arasındaki boyuna uzaklık 600 mm 'den daha az olmayacaktır.

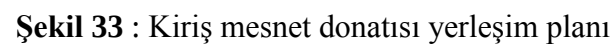
b) Enine Donatı Koşulları

Kiriş mesnetlerinde kolon yüzünden itibaren kiriş derinliğinin iki katı kadar uzunluktaki bölge, Sarılma Bölgesi olarak tanımlanacak ve bu bölge boyunca özel deprem etriyeleri kullanılacaktır. Sarılma bölgesinde, ilk etriyenin kolon yüzüne uzaklığı en çok 50 mm olacaktır. Bu bölge için daha elverişsiz bir değer elde edilmedikçe, etriye aralıkları kiriş yüksekliğinin $1/4$ 'ünü, en küçük boyuna donatı çapının 8 katını ve 150 mm 'yi aşmayacaktır. Sarılma bölgesi dışında, TS-500 'de verilen minimum enine donatı koşullarına uyulacaktır.



Şekil 33 : Kirişlerde Boyuna Donatıların Yerleştirilmesine ve Kenetlenmesine

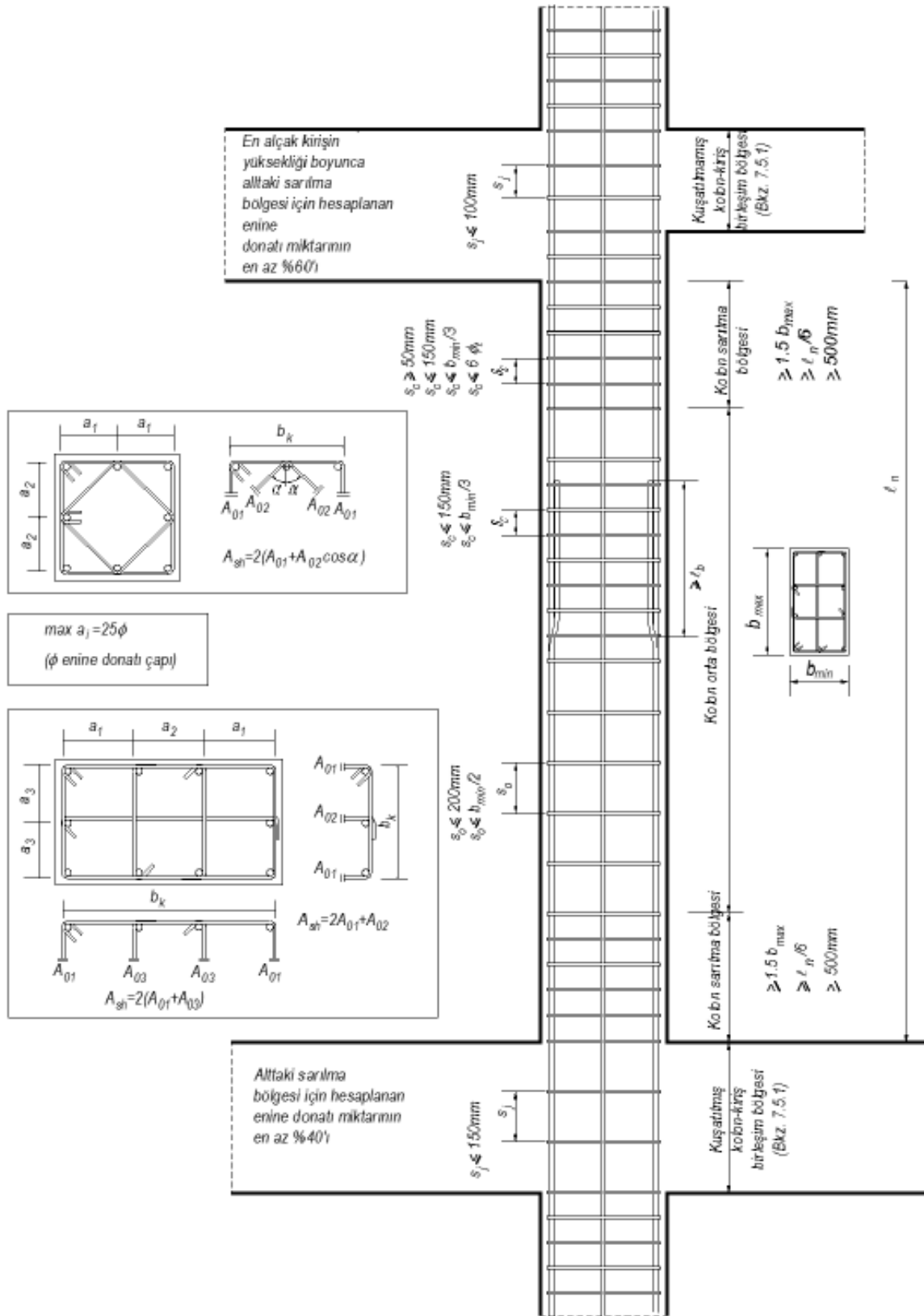
İlişkin Koşullar



7.3 Kolonlar

TBDY 2018 kolonların minimum kesit alanını 900cm^2 ve minimum enkesit boyutunu ise 30 cm olarak belirlemiştir. Dairesel kolonlarda ise enkesit çapı 350mm'den küçük olmamalıdır. Kolonlarda kullanılacak boyuna donatı çapı minimum Q14 ile sınırlandırılmış ve enkesitte en az 6 adet boyuna donatı kullanılmalıdır. Kolonlarda toplam donatı alanı, kolon brüt enkesit alanının %1'inden az %4'ünden fazla olmayacaktır. Bindirme eklerinin olduğu kesitte donatı alanı %6'yı geçmemelidir.

Kolon donatı yerleşimine ilişkin detay Şekil 35'de gösterilmiştir.



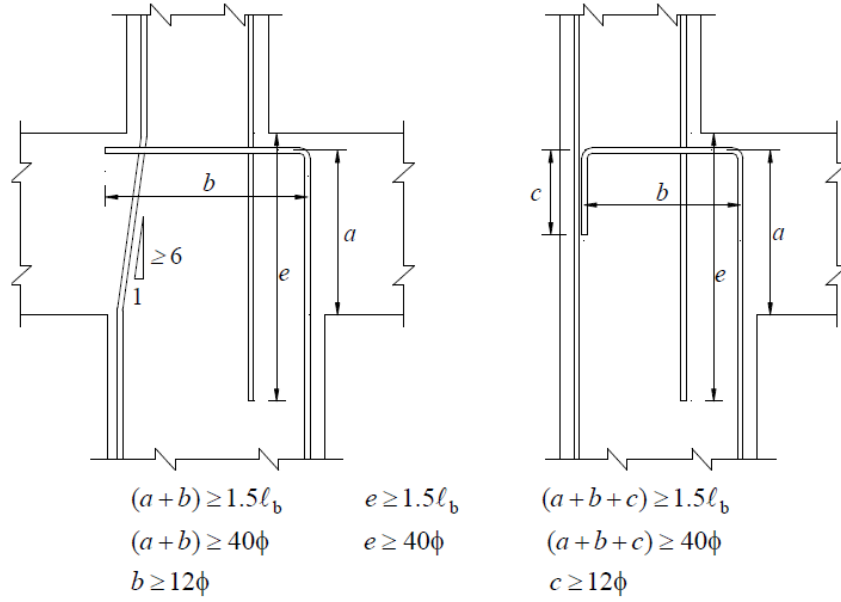
Şekil 35 – Kolon donatı düzeni (TBDY 2018)

Kolonlara ait TS500 ve TBDY2018’de belirtilen konstrüktif kurallar tablo halinde Çizelge 6’da gösterilmiştir.

Çizelge 6. İki doğrultulu döşemelerde konstrüktif kurallar

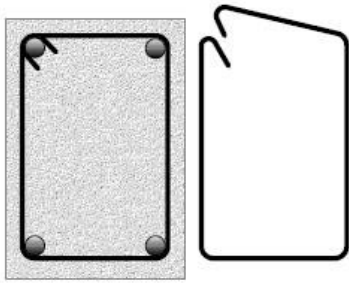
<u>Tanım</u>	<u>TS500</u>	<u>TBDY2018</u>
$Max N_d$ (Tasarım Normal Kuvvet Üst Sınırı)	$0.6 \cdot A_c \cdot f_{ck}$	$0.4 \cdot A_c \cdot f_{ck}$
$min b$	250mm	300mm (350mm Dairesel Kolon için)
$Max b/h$		6
a Boyuna Donatı arası en büyük mesafe	300mm	$25 \phi_h$
s_o Kolon orta bölge etriye aralığı üst üst sınırı	200mm $12 \phi_l$	200mm $b/2$
s_o Donatı bindirme bölgesi etriye aralığı üst sınırı	-	150mm $b/3$
$s_{c,min}$ Sıklaştırma bölgesi etriye aralığı alt sınırı	-	50mm
$s_{c,max}$ Sıklaştırma bölgesi etriye aralığı üst sınırı	-	100mm $b/3$ $6\phi_l$
Kolon – kiriş birleşim bölgesi etriye aralığı üst sınırı	-	150mm (Kuşatılmış) 100mm (Kuşatılmamış)
Kolon sarılma bölgesi boyu		500mm $l_n/6$ $1.5 \cdot h$
Minimum enine donatı çapı	$\phi_l/3$	8mm
ρ_{min} Donatı Oranı alt sınırı	0.01	0.01
ρ_{max} Donatı oranı üst sınırı	0.04	0.04
Minimum donatı koşulu	4 ϕ 14	6 ϕ 14 veya 4 ϕ 16 (Dairesel Kolon için 6 ϕ 14)
Minimum kesit alanı		750 cm ²
Maksimum dışmerkezcilik	0.1h 25mm	

Kolonlarda boyuna donatı yerleşimi, katlar arasında enkesit değişimi olması durumunda ise Şekil 36’da gösterildiği gibi yapılmalıdır.

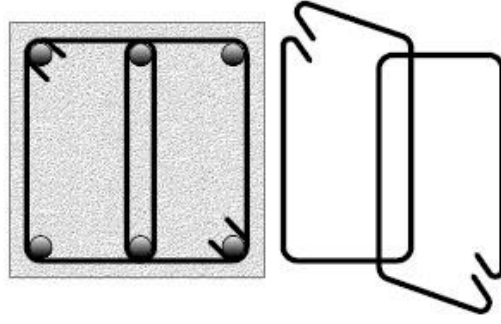


Şekil 36. Enkesit değişimi durumunda donatı yerleşimi ve konstrüktif kurallar

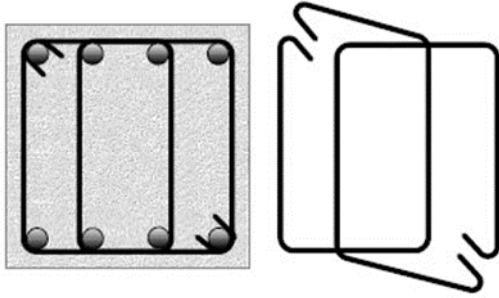
Kirişlere nazaran kolonlarda enine donatı kullanımı ve enine donatı aralığı daha da büyük bir öneme sahiptir. Kolonlar basınç etkisinde elemanlar olduğu için yanal şekil değiştirmenin sınırlandırılması açısından kolonlara etki eden basınç kuvveti TBDY 2018 tarafından sınırlandırılmıştır. Buna ek olarak yanal şekil değiştirmeyi sınırlandırmak adına gerek eleman sünekliği gerekse malzeme dayanımını artırmak açısından enine donatı kullanımı önem arz etmektedir. Enine donatı kullanımına ek olarak sargılama bölgesinin genişlemesini sağlamak adına enine şekil değiştirmeyi önlemek adına beton yerleşimine engel olmayacak şekilde çiroz yerleşimi önemlidir. Kolonlarda kullanılabilecek farklı donatı yerleşimleri farklı şekillerde tek ve çift etriyeli olarak Şekil 37’de gösterilmiştir.



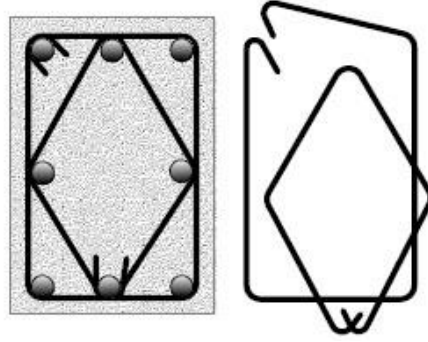
a. Tek Etriye Kullanımı



b. Çift Etriye Kullanımı



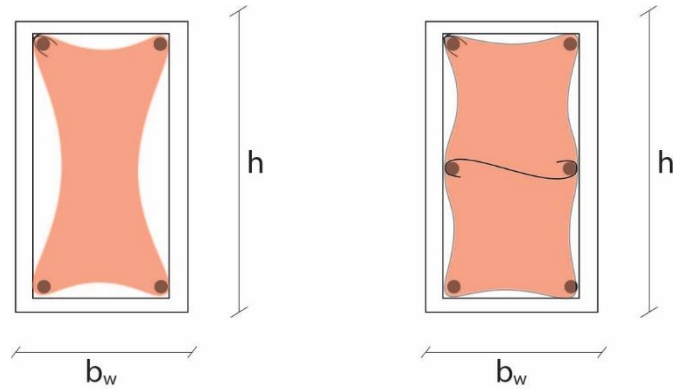
c. Çift Etriye Kullanımı



d. Çift Etriye Kullanımı

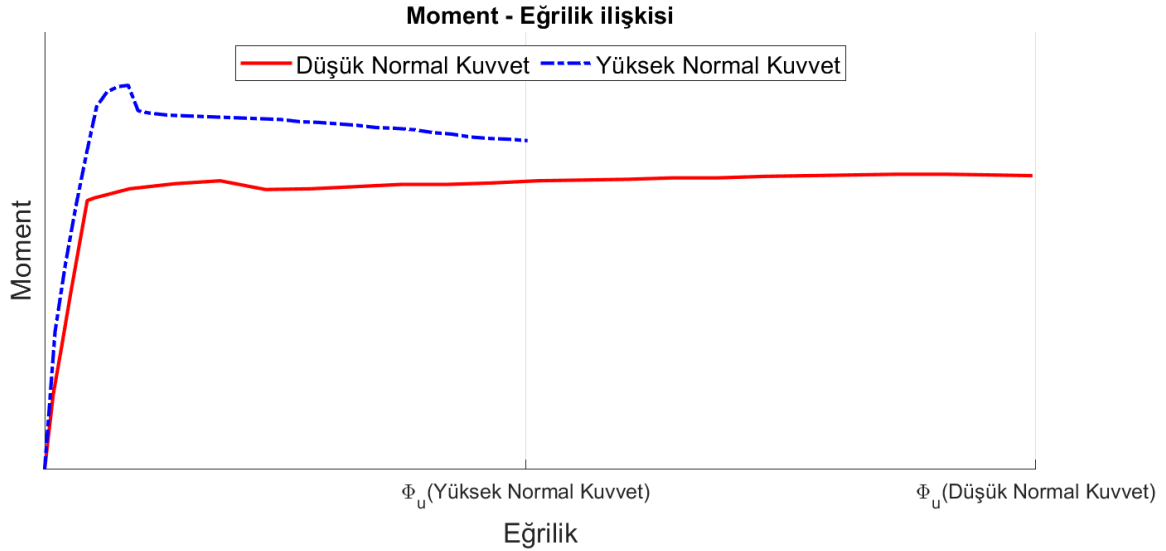
Şekil 37 – Kolonlarda Etriye Yerleşimi

Kolonlarda çirozların kullanımının önemi açısından Şekil 38’de çiroz kullanılmış ve çiroz kullanılmamış iki donatının yanal şekil değiştirmesi önlenmiş yani sünekliği artırılmış bölgeleri gösterilmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi sünekliğin ve dayanımın artmasını sağladığı anlaşılmaktadır.



Şekil 38 – Kolonlar Çiroz Etkisi

Kolonlarda enine donatı koşullarına ilaveten, yapıları gereği sürekli normal kuvvet altında çalışmakta olup eleman sünekliğinin incelenmesi sırasında normal kuvvetin büyüklüğü sünekliği etkileyen bir diğer faktördür. Betonarme eleman üzerine etki eden normal kuvvetin eleman davranışına etkisi incelendiğinde yüksek basınç kuvvetlerinin betonarme elemanın gevrek davranmasına yol açtığı bilinmektedir. Farklı basınç kuvvetleri etkisinde, donatı yerleşimi bakımından birbirleri ile eşdeğer iki betonarme eleman incelendiğinde Moment – Eğrilik ilişkileri Şekil 38’deki gibi hesaplanmıştır.



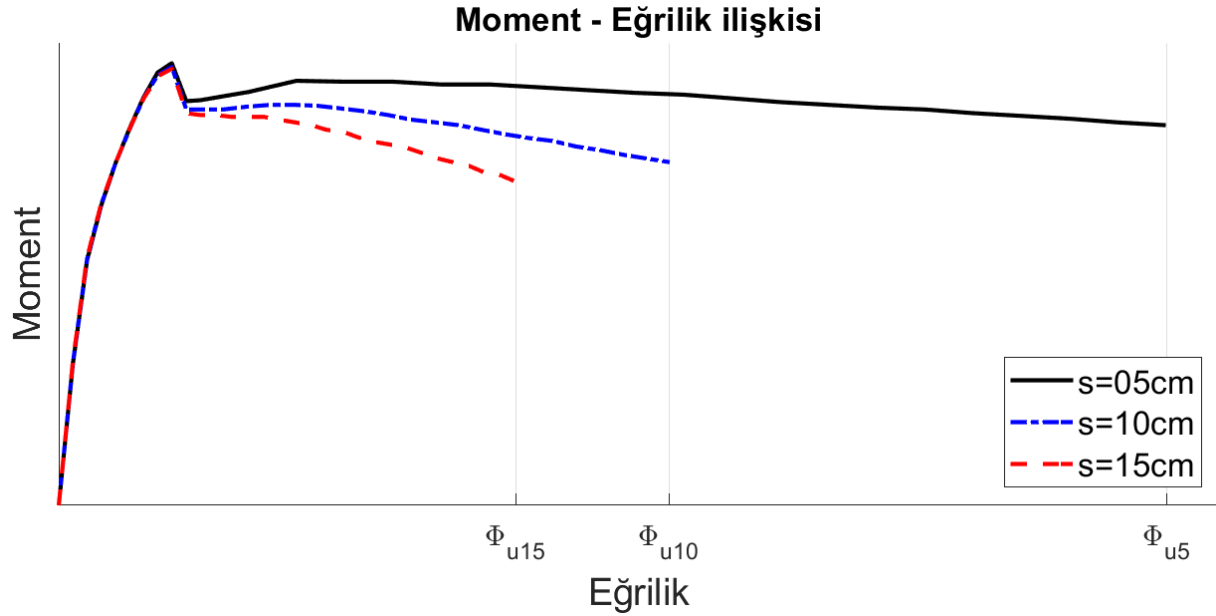
Şekil 38 - Farklı Normal Kuvvetler altında Moment – Eğrilik İlişkisi

Eksenel normal kuvvetin değişmesi durumunda moment-eğrilik diyagramı Şekil 31’de gösterildiği gibi değişkenlik gösterirken şekilde gösterilen moment eğrilik ilişkisinden de anlaşılacağı gibi yüksek normal kuvvet altında kesit gevrek bir davranış sergilerken düşük normal kuvvet altında aynı donatı düzeninin sahip kesit çok daha sünek bir davranış sergileyecektir. Bu sebepten ötürü TBDY 2018 kolon üzerine etki eden basınç kuvvetine üst sınır getirmiştir. Deprem etkilerinin kolon üzerinde etkisi dikkate alındığında yanal kuvvet altında kolon enkesitinin bir tarafı yüksek basınç altında kalırken diğer taraf ise düşük bir basınç gerilmeleri hatta çekme gerilmeleri altında kalabilmektedir. Deprem yükleri altında oluşan bu değişkenlikten dolayı kolonlarda normal kuvvete getirilen sınırlandırmada sadece düşey yükler esas alınmıştır. TBDY 2018 kolonlarda G ve Q yüklemelerinden oluşan gerilmeleri beton karakteristik dayanımının %40’ı ile sınırlamıştır.

$$\frac{N_{dm}}{A_c} \leq 0.40 \cdot f_{ck}$$

Kolonların yapının düşey taşıyıcı elemanları olduğu düşünüldüğünde deprem yükleri altında yüksek moment değerleri oluşmakta ve kolonların yanal yükler altında sünek davranış göstermesi hayati önem taşımaktadır.

Kolonların $N_{dm} = 0.40 \cdot f_{ck} \cdot A_c$ basınç kuvveti altına farklı enine donatı aralıkları ile moment eğrilik diyagramı incelendiğinde ise etriye aralığının benzer bir şekilde eleman sünekliği açısından önemi açıkça görülmektedir. Şekil 39’da Sabit normal kuvvet etkisi altına 5cm, 10cm ve 15cm etriye aralıkları ile donatılmış kolonların moment eğrilik ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 39 - Farklı Etriye oranları altında Moment – Eğrilik İlişkisi

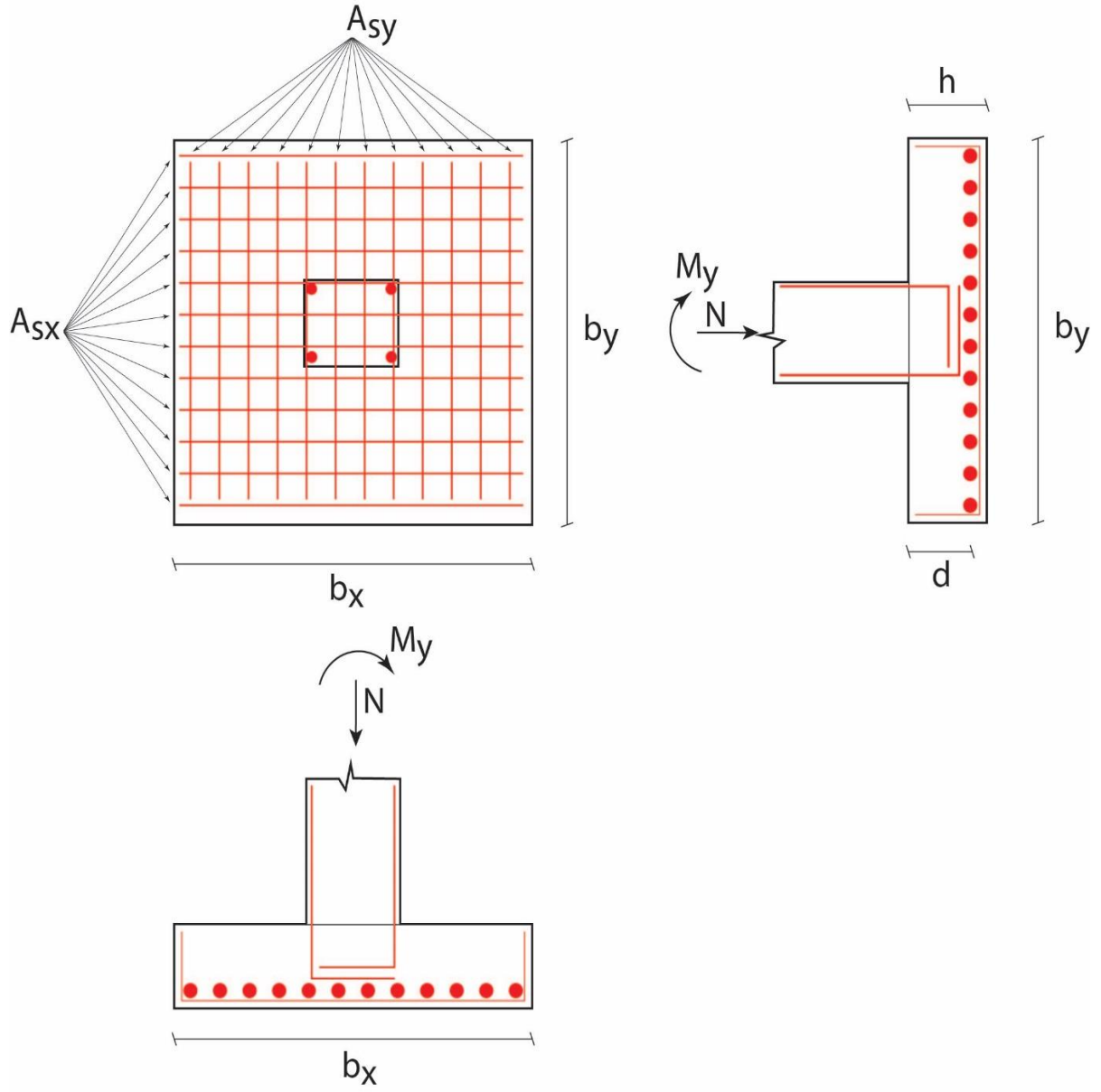
Şekilde görüldüğü üzere 1800kN basınç kuvveti altındaki 30cmx60cm kolon enkesitinde etriye aralıklarının düşürülmesi sonucu süneklik düzeyinin dikkate değer artış gösterdiği anlaşılmıştır.

7.4 TEMELLER

7.4.1 TEKİL TEMEL

Çerçeve tipinde yapılarda kolonlardan gelen yüklerin zemine aktarılması için kullanılan bir temel türüdür. Zemin emniyet gerilmelerinin çok düşük olmadığı, kolonlarda oluşan momentlerin belirli sınırlar altında kaldığı durumlarda kullanılabilirler. Donatılar iki doğrultuda Şekil 40’da gösterildiği gibi yerleştirilir. Zeminden gelen kuvvetlerin alttan etkidiği bir düzlem eleman gibi düşünüldüğünde konsol çalışan bir döşeme olarak düşünülebilir. Kolon normal kuvvetlerinden dolayı oluşan kesme kuvveti tekil temelde

zımbalama sorununu da beraberinde getirmekte olup, zımbalama kuvvetlerini karşılaması açısından temel kalınlığı belirlenmelidir.



Şekil 40 – Tekil temel donatı yerleşimi

TS500'e göre tekil temel kalınlığı alt sınırı olarak 20cm belirlenmiştir. Tekil temelin en ve boyları minimum 100cm olmak zorundadır. Her iki doğrultuda donatı oranı minimum % 0.2 (Binde İki) olarak yerleştirilmelidir.

Çizelge 7 – Tekil Temel Konstrüktif Kurallar

<i>Tanım</i>	<i>TS500</i>
h_{min} <i>Minimum Temel Kalınlığı</i>	20cm
$b_{x,min} - b_{y,min}$	100cm
$\rho_{x,min} = \frac{A_{s,x}}{b_y \cdot d}$, $\rho_{y,min} = \frac{A_{s,y}}{b_x \cdot d}$	0.002