İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEM VE DONATI DÜZENLEME İLKELERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Tuncay YILMAZ
(501041113)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Haziran 2006

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Turgut ÖZTÜRK (İ.T.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Tülay ÖZKUL (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Necdet TORUNBALCI (İ.T.Ü.)

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Betonarmenin ülkemizde yaygın kullanım alanı bulunmaktadır. Dolayısıyla, betonarme yapılarda yapılacak hatalar, çok büyük kayıplara sebep olacaktır. Nitekim son depremlerde büyük kayıplara sebep olan ve en çok hasar alan yapıların betonarme yapılar olduğu görülmüştür.

Deprem sonrası yapılan incelemeler, hasarların genel olarak taşıyıcı sistem ve donatı düzenlemelerindeki yanlışlardan kaynaklandığını ve hasarlara neden olan yanlışların bir an evvel düzeltilmesi gerektiğini göstermektedir. Buradan yola çıkarak, betonarme yapıların taşıyıcı sistem ve donatı düzenlemelerinde gördüğüm hatalar, bu tez çalışmasına yönelmemi sağlamıştır.

Uzun bir literatür araştırması sonucu oluşturduğum yüksek lisans tez çalışmamın, yetişmekte olan genç mühendis adaylarına ve uygulamaya yönelik araştırma yapan meslektaşlarıma faydalı olabileceği inancını taşımaktayım.

Kendisiyle çalıştığım için kendimi şanslı saydığım, yardım ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli tez danışmanım Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK'e, yetişmemde emekleri sonsuz olan ve her zaman her türlü desteğini esirgemeyen değerli aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Haziran 2006 Tuncay YILMAZ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **vii**
TABLO LİSTESİ **viii**
ŞEKİL LİSTESİ **ix**
SEMBOL LİSTESİ **xiv**
ÖZET **xvi**
SUMMARY **xvii**

1. GİRİŞ **1**
1.1. Genel Bilgiler ve Çalışmanın Amacı 1

2. MALZEME BİLGİSİ **3**
2.1. Beton 3
2.1.1. Basınç dayanımı 5
2.1.2. Çekme dayanımı 6
2.1.3. Elastisite modülü 6
2.1.4. Kayma modülü 8
2.1.5. Poisson oranı 8
2.1.6. Isıl genleşme katsayısı 8
2.1.7. Çok eksenli yüklemeler altında beton davranışı 8
2.1.8. Zamana bağlı şekil değiştirme 10
2.1.9. Beton yerleşimi ve bakımı 11
2.2. Çelik 12
2.2.1. Mekanik özellikleri 13
2.2.2. Donatıların yerleştirilmesi ve bakımı 14
2.3. Betonarme 15
2.3.1. Basınç etkisinde davranış 18
2.3.2. Çekme etkisinde davranış 19
2.3.3. Kesme etkisinde davranış 20
2.3.4. Zımbalama etkisinde davranış 21
2.3.5. Eğilme etkisinde davranış 23
2.3.6. Burulma etkisinde davranış 24
2.3.7. Sünek davranış ve uyum özelliği 25

3. ADERANS, KENETLENME VE EKLEMELERE İLİŞKİN BİLGİLER **27**
3.1. Aderans 27
3.1.1. Ankraj aderansı 27

3.1.2. Eğilme aderansı 29
3.1.3. Aderansı oluşturan sebepler 30
3.1.4. Aderansı etkileyen faktörler 31
3.2. Kenetlenme 33
3.2.1. Düz kenetlenme 33
3.2.2. Kanca veya fiyongla kenetlenme 35
3.2.3. Kaynaklı enine çubukla kenetlenme 36
3.2.4. Mekanik kenetlenme 37
3.2.5. Demet donatının kenetlenmesi 37
3.2.6. Etriyelerin kenetlenmesi 37
3.3. Donatının Eklenmesi 38
3.3.1. Bindirmeli ekler 39
3.3.2. Manşonlu ekler 42
3.3.3. Kaynaklı ekler 42

4. DONATI YERLEŞİMLERİNE İLİŞKİN GENEL BİLGİLER 44
4.1. Boyuna Donatılar 44
4.2. Enine Donatılar 45
4.3. Hasır Donatılar 47
4.4. Sehpa Donatıları 48
4.5. Donatı Aralık ve Paspayı Mesafeleri 48

5. BETONARME TAŞIYICI SİSTEMLERİN DÜZENLENMESİ 51
5.1. Taşıyıcı Sistemlerin Sınıflandırılması 51
5.1.1. Çerçeve sistemler 52
5.1.2. Perdeli sistemler 53
5.1.3. Perdeli çerçeve sistemler 54
5.1.4. Tüp sistemler 54
5.2. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı 55
5.2.1. Tasarımdaki genel ilkeler 55
5.2.2. Yapısal düzensizlikler 57
5.2.2.1. Burulma düzensizliği 57
5.2.2.2. Döşeme süreksizliği 58
5.2.2.3. Planda çıkıntıların bulunması 59
5.2.2.4. Taşıyıcı eleman eksenlerinin parelel olmaması 60
5.2.2.5. Komşu katlar arası dayanım düzensizliği 60
5.2.2.6. Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği 61
5.2.2.7. Düşey taşıyıcı elemanların süreksizliği 62
5.3. Taşıyıcı Sistemin Oluşturulmasına İlişkin Genel Bilgiler 63
5.3.1. Düşey taşıyıcılar 63
5.3.2. Kirişler 65
5.3.3. Plaklar 66

5.3.4. Temeller 66
5.3.5. Derzler 67
5.3.5.1. Derzlerin sınıflandırılmaları ve derz mesafeleri 68
5.3.5.2. Derzlerin düzenlenmeleri 71

6. TAŞIYICI ELEMANLARDA DONATI DÜZENLEME İLKELERİ 72
6.1. Kolonlar 72
6.1.1. Enkesit özellikleri ve boyutları 74
6.1.2. Boyuna donatı koşulları 75
6.1.3. Boyuna donatıların düzenlenmesi 76
6.1.4. Enine donatı koşulları 78
6.2. Perdeler 83
6.2.1. Boyut koşulları 84
6.2.2. Perde gövde ve uç bölgelerindeki donatı koşulları 86
6.2.3. Kısa konsol perdeler 89
6.2.4. Bağ kirişli (boşluklu) perdeler 90
6.3. Kirişler 92
6.3.1. Enkesit koşulları 93
6.3.2. Boyuna donatı koşulları 94
6.3.3. Boyuna donatıların düzenlenmesi 95
6.3.4. Boyuna donatıların eklenmelerine ilişkin koşullar 95
6.3.5. Enine donatı koşulları 96
6.3.6. Sürekli kirişler 97
6.3.7. Saplama kirişler 99
6.3.8. Boşluklu kirişler 100
6.3.9. Geniş kirişler 101
6.3.10. Kısa konsollar 102
6.3.11. Yüksek kirişler 105
6.4. Döşemeler 109
6.4.1. Kirişli döşemeler 111
6.4.2. Kirişsiz döşemeler 115
6.4.3. Dişli döşemeler 118
6.4.4. Döşeme donatı düzenlerinde özel durumlar 120
6.5. Temeller 123
6.5.1. Duvar altı temeller 124
6.5.2. Tekil temeller 126
6.5.3. Birleşik temeller 129
6.5.4. Sürekli temeller 129
6.5.5. Radye temeller 131
6.5.6. Kazıklı temeller 133
6.6. Merdivenler 135

6.6.1. Merdivenlere ilişkin genel bilgiler 135
6.6.2. Taşıyıcı basamaklı merdivenler 136
6.6.3. Kıvrımlı sistem merdivenler 138
6.6.4. Helisel merdivenler 139
6.7. Birleşim Bölgeleri 140
6.7.1. Döşeme - kiriş birleşimi 140
6.7.2. Kolon - döşeme birleşimi 141
6.7.3. Kolon - kiriş birleşimi 143
6.7.4. Kolon - temel birleşimi 146

7. BETONARME SİSTEMLERDE DONATI DÜZENLEME İLKELERİ 148
7.1. İstinat duvarları 148
7.1.1. Ağırlık istinat duvarları 149
7.1.2. Prefabrike elemanlı istinat duvarları 149
7.1.3. Donatılı toprak istinat duvarları 149
7.1.4. Konsol istinat duvarları 150
7.1.5. Nervürlü istinat duvarları 151
7.1.6. Konstrüktif Koşullar 153
7.2. Depolar 154
7.2.1. Dikdörtgen kesitli depolar 155
7.2.2. Dairesel kesitli depolar 157
7.2.3. Ayaklı depolar 160
7.2.4. Depolarda farklı uygulamalar 161
7.3. Silolar 162
7.3.1. Silo elemanları 163
7.3.2. Silolara gelen yükler 165
7.3.3. Dikdörtgen silolar 165
7.3.4. Dairesel silolar 167
7.3.5. Silolarda Konstrüktif Koşullar 169

8. DEPREM HASARLARI 170
8.1. Tasarım Aşamasındaki Hatalar 170
8.2. Uygulamalardaki Detay Hataları 173
8.3. Diğer Etkenlerden Kaynaklı Hatalar 177

9. SONUÇLAR 178

KAYNAKLAR 180

EKLER 182

ÖZGEÇMİŞ 207

KISALTMALAR

A.B.Y.Y.H.Y. : Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ACI : American Concrete Institute
TSE : Türk Standartları Enstitüsü

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 2.1.	Beton sınıfları ve dayanımları …….....	5
Tablo 2.2.	Donatı çeliklerinin mekanik özellikleri…….....	13
Tablo 2.3.	Eğilme etkisindeki elemanlarda sehim sınırları……...	17
Tablo 2.4.	Çatlak genişliği sınırları	18
Tablo 3.1.	Kaynaklanmış enine çubuklar için kenetlenme koşulları	36
Tablo 3.2.	Nokta kaynaklı hasır donatının bindirme koşulları .....….....	41
Tablo 4.1.	Betonarme elemanlarda minimum paspayları …….....	49
Tablo 6.1.	Duvar altı temellerine ilişkin koşullar.....	126
Tablo 6.2.	Bağ kirişlerine ilişkin minimum koşullar.....	128
Tablo 6.3.	Yerinde dökme betonarme kazıklarda minimum donatı.....	134

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Kısa yüklemede tipik bir beton gerilme şekil değiştirme eğrisi.... 7
Şekil 2.2 : İki eksenli yükleme altındaki betonun kırılma çizgisi..... 9
Şekil 2.3 : Yanal basınç etkisindeki gerilme şekil değiştirme eğrisi..... 9
Şekil 2.4 : Yapılarda kullanılan çeliklerin sınıflandırılması 12
Şekil 2.5 : Betonarme çeliklerinde gerilme şekil değiştirme eğrisi..... 14
Şekil 2.6 : Basınç etkisindeki elemanın şekil değişimi ve donatı düzeni..... 18
Şekil 2.7 : Enine donatılı elemanda eksenel yük kısalma eğrileri..... 19
Şekil 2.8 : Çekme etkisindeki elemanlarda gerilme dağılım ve donatı düzeni 19
Şekil 2.9 : Kesme kuvveti etkisindeki eleman davranışı ve donatı düzeni..... 20
Şekil 2.10 : Kesme kuvvetini karşılamada etkili donatılar..... 21
Şekil 2.11 : Kirişsiz döşeme ve temellerde zımbalama..... 21
Şekil 2.12 : Literatürde önerilen zımbalama donatılarından bazıları..... 22
Şekil 2.13 : Eğilme momenti etkisindeki eleman davranışı ve donatı düzeni... 23
Şekil 2.14 : Burulma momenti etkisindeki eleman davranışı ve donatı düzeni 25
Şekil 2.15 : Betonarme elemanların tipik gerilme şekil değiştirme diyagramı 25
Şekil 2.16 : Betonarme elemanda sünek davranış..... 26
Şekil 3.1 : Kenetlenme aderans gerilmelerinin değişimi..... 28
Şekil 3.2 : Yetersiz kenetlenmenin etkileri..... 29
Şekil 3.3 : Eğilme aderansının oluşumu..... 29
Şekil 3.4 : Nervürlü donatıdan betona etkiyen kuvvetler..... 31
Şekil 3.5 : TS 500'e göre konum II'ye giren çubuklar..... 33
Şekil 3.6 : Düz kenetlenmiş nervürlü donatının tavsiye edilen uygulaması... 34
Şekil 3.7 : Kancalı donatıdan betona etkiyen kuvvetler..... 35
Şekil 3.8 : Standart kanca ve fiyonglar..... 35
Şekil 3.9 : Basınç donatılarında flambaj ve olası çözümleri 36
Şekil 3.10 : Demet donatı düzenlemesi..... 37
Şekil 3.11 : Etriyelerde kancalı kenetlenme türleri..... 38
Şekil 3.12 : Düz bindirmeli etriye kenetlenmesi..... 38
Şekil 3.13 : Etriyelerde kaynaklı kenetlenme türleri..... 38
Şekil 3.14 : Çekme kuvveti taşıyan donatıların şaşırtmalı bindirme eki..... 40
Şekil 3.15 : Eklerde rijit cisim dönme problemi..... 40
Şekil 3.16 : Bindirmeli eklerde sargı donatılarına ilişkin koşullar..... 41
Şekil 3.17 : Manşonlara örnekler..... 42
Şekil 3.18 : Kaynaklı ek türleri..... 43
Şekil 4.1 : Çekme donatısının yerleşimi..... 44
Şekil 4.2 : Donatı miktarlarının azaltılması..... 45
Şekil 4.3 : Enine donatıların bazı düzenlemeleri..... 46
Şekil 4.4 : Etriye yerleşiminin rolü..... 47
Şekil 4.5 : Hasır donatı tipleri..... 47
Şekil 4.6 : Sehpa donatılarına örnekler..... 48
Şekil 4.7 : Donatı mesafelerinin beton yarılmasında etkisi..... 49

Şekil 4.8 : Paspaylarına örnekler..... 50
Şekil 5.1 : Çubuk ve yüzeysel taşıyıcılara örnekler..... 52
Şekil 5.2 : Çerçeve sistemlere örnekler..... 53
Şekil 5.3 : Perdeli bir yapının plan örneği..... 54
Şekil 5.4 : Perde ve çerçeveli sistemin davranışları..... 54
Şekil 5.5 : Tüp sistemlere örnekler..... 55
Şekil 5.6 : Perdeli yapılarda burulma etkisini azaltan örnekler..... 57
Şekil 5.7 : A2 türü düzensizlik durumları..... 59
Şekil 5.8 : A3 türü düzensizlik durumları..... 59
Şekil 5.9 : Yapının derzlerle ayrılması..... 60
Şekil 5.10 : A4 türü düzensizliği..... 60
Şekil 5.11 : Yumuşak kat deplasmanı..... 61
Şekil 5.12 : B3 türü düzensizlik durumları..... 62
Şekil 5.13 : Düşey taşıyıcıların düzenleri..... 64
Şekil 5.14 : Kısa kolon oluşumu..... 65
Şekil 5.15 : Uygun olmayan kiriş tasarımı..... 65
Şekil 5.16 : Uygun olmayan kiriş yerleşimi..... 66
Şekil 5.17 : Farklı kotlardaki uygun temel yerleşimleri..... 67
Şekil 5.18 : Oturma derzleri..... 68
Şekil 5.19 : Rijit elemanlı sistemlerde derz blok boyu..... 69
Şekil 5.20 : Çekiçleme etkisi..... 70
Şekil 5.21 : Derz düzenleme biçimleri..... 71
Şekil 6.1 : Çeşitli kolon türleri..... 73
Şekil 6.2 : Basit etriyeli kolonlarda enkesit şekilleri..... 73
Şekil 6.3 : Fretli kolonlarda enkesit şekilleri..... 73
Şekil 6.4 : Fretli kolonlarda enine donatı türleri..... 74
Şekil 6.5 : Firkete uygulamaları..... 74
Şekil 6.6 : Kolon ve kirişlerin donatı yerleştirilmesinde karşılıklı durumları 74
Şekil 6.7 : Değişik enkesitli kolonların boyutlarına ilişkin koşullar..... 75
Şekil 6.8 : Kolonlarda çeşitli bindirme detayları..... 78
Şekil 6.9 : Kolonlarda büyük kesit değişiminde boyuna donatı düzenleri..... 78
Şekil 6.10 : Özel deprem etriye ve çirozları..... 79
Şekil 6.11 : Enkesit kenarlarının boyuna donatı burkulmasında etkili yerleri.. 80
Şekil 6.12 : Kolonlar için minimum koşullar..... 81
Şekil 6.13 : B3 türü düzensizlikte uygun enine donatı düzeni..... 82
Şekil 6.14 : Perde kesitlerine örnekler..... 83
Şekil 6.15 : Perdelerde boyut koşulları..... 86
Şekil 6.16 : Perde uç kesitindeki donatı dağılımının davranışa etkisi..... 87
Şekil 6.17 : Perde donatılarına ilişkin koşullar..... 88
Şekil 6.18 : Yatay gövde donatısının yerleşimi..... 89
Şekil 6.19 : Kısa konsol perdelerde çapraz ve düşey donatılar..... 90
Şekil 6.20 : Kısa konsol perdelerde çapraz donatı düzenleri..... 90
Şekil 6.21 : Bağ kirişlerinde donatı düzeni..... 91
Şekil 6.22 : Kiriş kesitleri..... 93
Şekil 6.23 : Kiriş enkesit koşulları..... 94
Şekil 6.24 : Kirişlerde boyuna donatı düzenlemeleri..... 95
Şekil 6.25 : Kirişlerin enine donatı koşulları..... 97
Şekil 6.26 : Sürekli kirişlerde donatının düzenlenmesi..... 97
Şekil 6.27 : Sürekli kirişlerde donatı düzeni..... 98
Şekil 6.28 : Guseli kirişlerde donatı düzenleri..... 99

Şekil 6.29 : Dolaylı mesnetlenmede kemerlenme ve askı donatıları..... 100
Şekil 6.30 : Kiriş gövdesinde uygun boşluk düzenleri..... 100
Şekil 6.31 : Boşluklu kirişlerde donatı düzeni..... 100
Şekil 6.32 : Farklı donatılı dairesel kirişin gerilme-şekil değiştirme eğrileri.... 101
Şekil 6.33 : Boşluklu kirişlerde diyagonal ek donatı..... 101
Şekil 6.34 : Dar kolona mesnetli geniş kirişin plan ve kesiti..... 101
Şekil 6.35 : Geniş kirişlerde etriye kolunun iç gerilmelere etkisi..... 102
Şekil 6.36 : Kısa konsolda oluşan asal gerilmeler..... 102
Şekil 6.37 : Kısa konsollarda genel donatı düzenleri..... 103
Şekil 6.38 : Kısa konsollarda kırılma biçimleri..... 103
Şekil 6.39 : Kısa konsol donatı koşulları..... 105
Şekil 6.40 : Yüksek kirişlerde oluşan asal gerilme yörüngeleri..... 105
Şekil 6.41 : Yüksek kirişte açıklık donatısı..... 106
Şekil 6.42 : Sürekli yüksek kirişlerde mesnet donatısının yerleşimi..... 106
Şekil 6.43 : Yüksek kirişte mesnet gövde donatısı yerleşimi..... 107
Şekil 6.44 : Alttan uygulanan yükün basınç bölgesine aktarılması..... 107
Şekil 6.45 : Dolaylı yükleme durumunda yüksek kiriş donatı düzenleri..... 108
Şekil 6.46 : Perde mesnetli yüksek kirişlerin mesnet donatıları..... 109
Şekil 6.47 : Mesnetteki tekil yük durumunda ek donatı düzeni..... 109
Şekil 6.48 : Döşemelerin sınıflandırılmaları..... 110
Şekil 6.49 : Tek doğrultuda çalışan kirişli döşemelerde donatı düzenleri..... 113
Şekil 6.50 : Tek doğrultuda çalışan kirişli döşemelerde hasır donatı düzeni... 113
Şekil 6.51 : İki doğrultuda çalışan kirişli döşemelerdeki donatı düzenleri..... 114
Şekil 6.52 : İki doğrultuda çalışan kirişli döşemelerdeki hasır donatı düzeni.. 115
Şekil 6.53 : Kirişsiz döşemelerde kolon başlık ve tablaları..... 117
Şekil 6.54 : Kirişsiz döşemelerde şerit genişlikleri..... 118
Şekil 6.55 : Dişli döşemelerin boyut ve donatılarına ilişkin koşullar..... 119
Şekil 6.56 : Boşluklu döşemelerde donatı düzeni..... 120
Şekil 6.57 : Düşük döşemedeki donatı düzeni..... 121
Şekil 6.58 : Bir doğrultuda çalışan döşemenin tekil yük altındaki donatı düzeni..... 121
Şekil 6.59 : Tekil yük etkisinde konsol ve serbest plak kenar donatı düzenleri 122
Şekil 6.60 : Saçak plağında asal moment çizgileri ve bir yöndeki donatı düzeni..... 122
Şekil 6.61 : Sürekli ve süreksiz mesnetli üçgen plaklarda donatı düzeni..... 123
Şekil 6.62 : Dolu dairesel plakta donatı düzeni..... 123
Şekil 6.63 : Temellerin sınıflandırılması..... 124
Şekil 6.64 : Duvar altı temellerin düşey kesitleri..... 125
Şekil 6.65 : Duvar altı temellerde boyut ve donatı düzeni..... 125
Şekil 6.66 : Tekil temelde donatı yerleşimi..... 127
Şekil 6.67 : Sürekli temellerde donatı düzeni..... 130
Şekil 6.68 : Radye temel türleri..... 132
Şekil 6.69 : Ters kirişli radye temelde plak kiriş donatılarının yerleşimi..... 133
Şekil 6.70 : Kazık tipleri..... 133
Şekil 6.71 : Tipik bir merdiven elemanları..... 136
Şekil 6.72 : Taşıyıcı basamak kesitlerine örnekler..... 137
Şekil 6.73 : Sürekli taşıyıcı basamaklı merdivenlerin değişik kesitlerine örnekler..... 137
Şekil 6.74 : Konsol taşıyıcı basamaklı merdivenlerde donatı düzeni..... 138
Şekil 6.75 : Kıvrımlı sistemlerde negatif moment için donatı düzeni..... 138

Şekil 6.76 : Kıvrımlı sistemlerde pozitif moment için donatı düzeni..... 139
Şekil 6.77 : Uzay taşıyıcı sistemli helisel merdivenlerde donatı düzeni..... 140
Şekil 6.78 : Kiriş döşeme birleşiminde döşeme genişliğinin değişimi..... 141
Şekil 6.79 : Tabla genişliğine yayılan mesnet donatısı..... 141
Şekil 6.80 : Kenar kirişlerde yüzey çatlağı ve donatı düzenlemeleri..... 141
Şekil 6.81 : Kolon ve döşeme dış ve iç birleşimlerindeki donatı yerleşim bölgeleri..... 142
Şekil 6.82 : Kolon döşeme birleşim bölgelerinde donatı düzeni..... 143
Şekil 6.83 : Kolon döşeme bütünlük donatısı..... 143
Şekil 6.84 : Kolon kiriş birleşim türleri..... 143
Şekil 6.85 : Kolon kiriş birleşiminde oluşan kuvvetler..... 144
Şekil 6.86 : Kolon kiriş birleşiminde donatı düzenleri..... 144
Şekil 6.87 : Kolon kiriş birleşiminde çeşitli donatı düzenlerine örnekler..... 145
Şekil 6.88 : Seviye farkı olan kolon kiriş birleşimleri..... 145
Şekil 6.89 : Mafsallı ve ankastre kolon temel birleşim detayı..... 146
Şekil 6.90 : Kolon temel birleşimi donatı düzenleri..... 147
Şekil 7.1 : İstinat duvarlarının kullanılma amaçlarına örnekler..... 148
Şekil 7.2 : Konsol istinat duvar çeşitleri..... 150
Şekil 7.3 : İstinat duvarına etkiyen dış yükler..... 150
Şekil 7.4 : Konsol istinat duvarlarında davranış ve ana donatı yerleşimi..... 151
Şekil 7.5 : Nervürlü istinat duvarlarına örnekler..... 152
Şekil 7.6 : Arka yüzü nervürlü istinat duvarlarında nervüre etkiyen yükler... 152
Şekil 7.7 : Nervürlerin donatı şeması..... 153
Şekil 7.8 : Dikdörtgen kesitli depolara örnekler 155
Şekil 7.9 : Depoların dış yükler altındaki deformasyon şekli..... 156
Şekil 7.10 : Dikdörtgen kesitli depoların duvar donatı detayları..... 156
Şekil 7.11 : Depo tabanının duvarla birleşim detayları..... 157
Şekil 7.12 : Dikdörtgen kesitli depoların temellerine ait donatı düzeni..... 157
Şekil 7.13 : Dairesel kesitli depolara örnekler..... 158
Şekil 7.14 : Kabuk tavan ile duvar donatı detayları..... 158
Şekil 7.15 : Dairesel kesitli depolara etkiyen yükler..... 159
Şekil 7.16 : Dairesel depolarda donatı düzeni..... 159
Şekil 7.17 : Dairesel depoların tabanına ait donatı düzenlemeleri..... 160
Şekil 7.18 : Ayaklı depolara örnekler..... 160
Şekil 7.19 : Düşey ve yatay çalışma durumlarında ana donatı düzenleri..... 161
Şekil 7.20 : Su kulelerinde ayakların teşkillerine örnekler..... 161
Şekil 7.21 : Eğimli depolara ait donatı düzeni..... 162
Şekil 7.22 : Yüzme havuzlarında donatı düzenlemeleri..... 162
Şekil 7.23 : Silo kesit tipleri..... 163
Şekil 7.24 : Silonun bölümleri..... 163
Şekil 7.25 : Silo altı çeşitli hacim teşkilleri..... 164
Şekil 7.26 : Köşe donatı türleri..... 166
Şekil 7.27 : Dikdörtgen silo duvarlarında çeşitli donatı düzenleri..... 166
Şekil 7.28 : Hunide halka kiriş donatı düzenlemeleri..... 167
Şekil 7.29 : Silo delik taban plağında donatı düzeni..... 167
Şekil 7.30 : Daire kesitli silolarda donatı düzenleri..... 168
Şekil 7.31 : Dairesel siloların birleşim bölgelerindeki donatı düzenleri..... 168
Şekil 7.32 : Boşluklu dairesel silolarda donatı düzeni..... 169
Şekil 8.1 : Yumuşak kat sorunu..... 170
Şekil 8.2 : Çekiçleme etkisi hasarı..... 171

Şekil 8.3 : Yatay rijitlik dengesizliği..... 171
Şekil 8.4 : Cephe çıkıntıları sebebiyle oluşan hasarlar..... 172
Şekil 8.5 : Zayıf kolon güçlü kiriş durumu..... 172
Şekil 8.6 : Zeminde farklı oturma hasarı..... 173
Şekil 8.7 : Temel sisteminin yanlış seçimi..... 173
Şekil 8.8 : Kolon kiriş birleşim bölgesinde donatı yetersizliği..... 174
Şekil 8.9 : Kolon sarmal bölgesinde etriyelerin uygun düzenlenmeyişi..... 174
Şekil 8.10 : Birleşim bölgesinde etriye bulunmaması..... 174
Şekil 8.11 : Perdelerde donatı düzenleme hataları..... 175
Şekil 8.12 : Perde enine donatı eksikliğinden kaynaklanan mafsallaşma..... 175
Şekil 8.13 : Kolon sarmal bölgesinde yetersiz etriye aralığı..... 176
Şekil 8.14 : Merdiven hasarları..... 176
Şekil 8.15 : Yetersiz filiz boyları..... 176
Şekil 8.16 : Perdenin kaldırılması..... 177
Şekil 8.17 : Bant pencerelerin oluşturduğu kısa kolonlar..... 177

SEMBOL LİSTESİ

a : Çirozlar arası yatay uzaklık
a_f : Fiyonglar arası uzaklık
a_m : Mesnet genişliği
a_b : Basamak genişliği
a_v : Yükleme noktasının mesnet yüzüne olan uzaklığı
A_c : Kolon brüt en kesit alanı
A_b : Gövde kesit beton alanı
A_{ck} : Gövde kesiti beton alanı
A_g : Deprem doğrultusuna parelel yapı elemanlarının en kesit alanı
A_n : Kısa konsolda yatay kuvvet için gereken donatı kesit alanı
A_p : Binanın tüm katlarının plan alanlarının toplamı
$A_{sdağıtma}$: Dağıtma donatısının kesit alanını
A_{sd} : Bağ kirişinde çapraz donatı demetlerinin her birinin toplam donatı oranı
A_{sh} : s etriye aralığı boyunca bulunan enine donatı en kesit alanı değeri
A_{sl} : Kirişte gövde donatısı
A_{st} : Boyuna donatı kesit alanı
A_{sv} : Kısa konsolda kiriş üst yüzünden 2/3 derinliğe kadar yayılan donatı alanı
A_v : Kiriş eksenine dik olarak s aralığı ile yerleştirilen enine kesme donatısı aralığı
A_{vh} : Kiriş eksenine parelel derinlik boyunca Snaralığı ile yerleştirilen boyuna kesme donatısı alanı
A_{wf} : Kesme sürtünme donatısı kesit alanı
b : Kiriş tabla genişliği
b_m : Merdiven kolu genişliği
b_p : Sahanlık genişliği
b_t : Temel genişliği
b_w : Dişli döşeme diş genişliği
C_c : Net beton örtüsü
d : Kiriş faydalı yüksekliği
d_l : Kol plağı kalınlığı
d_p : Sahanlık plağı kalınlığı
e : Komşu iki diş arası net uzaklık
E_c : Betonun elastisite modülü
Ecj : j günlük betonun elastisite modülü
E_s : Donatı çeliğinin elastisite modülü
f_{cd} : Betonun tsarım basınç dayanımı
f_{ck} : Betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı
f_{ctd} : Betonun tasarım eksenel çekme dayanımı
f_{ctk} : Betonun karakteristik eksenel çekme dayanımı
f_{su} : Donatı çeliğinin kopma dayanımı

f_{ckj} : j günlük betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı
f_{yk} : Donatı çeliğinin karakteristik akma dayanımı
f_{yd} : Boyuna donatı tasarım akam dayanımı
f_{ywd} : Enine donatının tasarım akma dayanımı
h : Döşeme kalınlığı
H_w : Temel üstünden ölçülen toplam perde yüksekliği
H_{cr} : Kritik perde yüksekliği
h_c : Kolonun gözönüne alınan deprem doğrultusundakien kesit boyutu
h_k : Kiriş toplam yüksekliği
l_o : Bindirme boyu
l_b : Kenetlenme boyu
l_n : Mesnet yüzünden mesnet yüzüne ölçülen net açıklık
l_{sn} : Döşemenin kısa doğrultudaki serbest açıklığı
l_w : Perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu
m : Döşeme uzun kenarının kısa kenarına oranı
N_{dmax} : Tasarım eksenel kuvvetlerin en büyüğü
n : Demetteki donatı sayısı
n_b : Basamak sayısı
Q : Tek doğrultuda çalışan döşemelerde kullanılan hasır çelik türü
R : Çift doğrultuda çalışan döşemelerde kullanılan hasır çelik türü
r : Aynı kesitte eklenen donatının kesitteki toplam donatıya oranı
s : Etriyeler arası uzaklık
s_b : Basamak yüksekliği
t : Dişli döşeme tabla kalınlığı
V : Kesme kuvveti
V_d : Tasarım kesme kuvveti
V_{pr} : Zımbalama dayanımı
Δ_h : Temeller arası kot farkı
Δ_{lb} : Kenetlenme boyunda azaltma
Δ_M : Moment değişimi
τ_a : Aderans gerilmesi
Φ : Donatı çelik çubuk çapı
Φ_e : Demet donatı eşdeğer çapı
α_t : Isıl genleşme katsayısı
ε : Yer değiştirme
ε_{su} : Donatı çeliği birimm kopma uzaması
ρ : Kirişte çekme donatısı oranı
ρ' : Kirişte basınç donatısı oranı
ρ_b : Dengeli donatı oranı
ρ_t : Kolonlarda toplam boyuna donatı oranı
γ_b : Bağ kirişlerinde kullanılan çapraz donatının yatayla yaptığı açı

BETONARME YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEM VE DONATI DÜZENLEME İLKELERİ

ÖZET

Ülkemizde en son meydana gelen depremler sonucu görülen hasarlar, betonarme yapılardaki yanlışları gözler önüne sermiştir. Hataların daha çok taşıyıcı sistem seçiminde ve donatı yerleşimlerinde yapılması, taşıyıcı sistem ve donatı düzenlemelerinin önemini ortaya koymaktadır.

Bu tez kapsamında yapısal düzensizlikler ele alınmış ve bu tip yapılarda yapılması gerekenlerden yola çıkılarak taşıyıcı sistem, betonarme davranış özellikleri ve deformasyonlardan yola çıkılarak da donatı düzenlemeleri belirtilmiştir. Bu çalışmada ağırlıklı olarak TS 500 ve A.B.Y.Y.H.Y'ye parelel hareket edilmiştir.

Dokuz bölümden oluşan bu tezin ilk bölümünde betonarme yapılar hakkında, ikinci bölümünde betonarme ve betonarmeyi meydana getiren malzemelerin özellikleri hakkında genel bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölüm aderans, kenetlenme ve eklemeleri kapsayan, dördüncü bölüm ise donatıların yerleşimlerini kapsayan genel bilgilerden oluşmaktadır. Beşinci bölümde betonarme taşıyıcı sistemlerin tanıtılması, depreme dayanıklı yapı tasarımı ve taşıyıcı sistem düzenleme ilkeleri ele alınmıştır. Altıncı bölümde kolonlar, perdeler, kirişler, döşemeler, temeller, merdivenler gibi elemanlar bazında, yedinci bölümde ise istinat duvarları, depolar ve silolar gibi sistemler bazında donatı düzenlemeleri incelenmiştir. Sekinci bölümde bu tez kapsamında bahsedilmiş olan taşıyıcı sistem ve donatı düzenlemelerine uyulmadığı takdirde depremlerde karşılaşılabilen hasarlar belirtilmiştir. Son bölüm ise bu tez çalışmasının sonuçlarından oluşmaktadır.

LAYOUT OF STRUCTURAL SYSTEMS AND REINFORCEMENT DETAILING PRINCIPLES OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

SUMMARY

The mistakes that are made in the reinforced concrete structures have been displayed for the last years by earthquake damages. Structural systems and reinforcement detailings have discovered to be important, because there are a lot of mistakes have been made on structural system choice and reinforcement placement.

In this study, layout of structural systems are given using precaution of the structure having irregularities of structural and principles of reinforcement detailing are given using properties of reinforced behavior and deformations. In general the thesis study conforms to TS 500 and the Specification for Structures to be built in Disaster Areas.

The thesis consists totally nine chapters. General informations are given about reinforced concrete structures in the first chapter. In the second chapter, material properties are given about reinforced and all ingredients of it. In the third chapter, bond, splice and binders, in the fourth chapter, reinforcement placements are given. In the fifth chapter, description of reinforced concrete structures and earthquake resistant building design and principles of structural system are given. In the sixth chapter, structure members as columns, shear walls, beams, slabs, foundations, staircases, in the seventh chapter, systems as retaining walls, storages and silos are investigated about reinforcement detailings. In the eighth chapter, damages tips which can be met at earthquake when it is not conformed to layout of structural systems and principles of reinforcement detailing which are mentioned in the thesis are given. In the last chapter, the result of the study are given.

1. GİRİŞ

1.1 Genel Bilgiler ve Çalışmanın Amacı

Betonarme, betonun içine beraber çalışmayı sağlayacak donatıların yerleştirilmesi sonucu elde edilen bir malzemedir. Beton ve çelik çubukların uygun şekilde bir araya gelmesinden oluşan betonarmede, beton ve donatı çubuklarının özellikleri kadar bunların birbirlerinin zayıf taraflarını tamamlayacak şekilde bir araya getirilmeleri de önemlidir.

Betonarmenin davranışı bilinmeden amaca uygun taşıyıcı sistem geliştirmek ve kesit etkilerinin bulunması için buna bir model karşı getirmek mümkün değildir. Betonarme taşıyıcı sistemler genellikle üç boyutlu ve çok yüksek mertebeden statikçe belirsizliğe sahiptir. Hesap açısından önemli etkilerin az önemliler yanında daha belirgin bir şekilde ortaya çıkması için bazı basitleştirmeler yapılır. Bu tür basitleştirmeler yapılabilmesi için betonarme davranışlarının yeterli düzeyde bilinmesi gerekir. Bu sebeplerden dolayı betonarme taşıyıcı sistemlerin düzenlenmesi bir bütün olarak ele alınmalıdır **(Celep ve Kumbasar, 2001).**

Betonarme binalarda deprem sonrası yapılan değerlendirmeler, ortaya çıkan hasarların betonarme ile ilgili yönetmelik ve standart kurallarına uyulmamasından kaynaklandığını ortaya koymuştur.

Hasar gören binalarda betonarme taşıyıcı sistemlerin düzensiz olmaları en başta gelen kusurlardan olmuştur. Betonarme elemanların düzenlenmesinde konstrüktif kurallara uyulmaması, etriyelerin yeterli sıklıkta yapılmaması, donatıların kenetlenme boylarının yeterli olmaması gibi donatı detaylarında eksiklerin ve yanlışların olması ve beton kalitesinin düşük olması gibi sebepler deprem hasarlarında gözlemlenen belli başlı hasar sebepleri olmuştur. **(http://www.itu.edu.tr/deprem/rapor/deprem.html)**

Sonuç olarak, betonarmenin kendinden beklenen davranışı gösterebilmesi için, bu konuda görev alacak proje mühendisi, şantiye şefi ve kontrol mühendisi hatta üretimi

gerçekleştiren işçiler işbirliği içinde olup yapıya gereken önemi göstermelidirler. Aksi halde, betonarme kendinden beklenen davranışı gösteremez dolayısıyla istenmeyen yapı davranış biçimleriyle karşılaşılır. Bunun sonucu olarak da maddi manevi kayıplar söz konusu olacaktır.

Bu tez kapsamında, betonarme yapılarda taşıyıcı sistem ve donatı düzenlemeleri hakkında araştırma yapılmış ve bu düzenlemelerde standart ve yönetmeliklerimiz çerçevesinde hareket edilmiştir.

2. MALZEME BİLGİSİ

Betonarme ve onu meydana getiren beton ve çeliğin davranışlarının iyi bilinmesi, betonarme yapılarda taşıyıcı elemanların davranışlarını anlayabilmek ve taşıyıcı elemanlardaki donatı düzenlemelerine gereken önemin gösterilmesi açısından önemlidir. Bu davranışların bilinmesi ise ancak yeterli malzeme bilgisine sahip olunarak sağlanır.

2.1 Beton

Beton inşaat mühendisliği alanında yüzyılımızın en önemli yapı malzemesidir. Betonu önceden şekil verebildiğimiz bir yapay taş olarak tanımlayabiliriz. Doğal taşlar birbirleriyle birleştirilerek yapı elemanını ve yapıyı meydana getirirken, beton sürekli bir biçimde birleştirilmeye gerek kalmadan üretilir ve yapıyı oluşturur.

Beton, agrega adını verdiğimiz kum, çakıl, mıcır gibi taneli mineral malzemenin onları yapıştıran çimento ve su ile karıştırılması sonucu meydana gelir.

Çimento, agrega ve su ilk karıldığında kolayca şekil verilebilen (plastik) bir malzemedir. Bu durumdaki beton taze beton adını alır. Birkaç saat içinde beton katı hale geçer ve günlerce süren bir süreç sonunda sertliği artar, mukavemet kazanır. Yeterince mukavemet kazanan bu beton, "sertleşmiş beton" adını alır **(Akman, 1987)**.

Celep ve Kumbasar (2001)'a göre sertleşmiş betonda aranan özelliklerin başında dayanımının ve sıkılığının yüksek olması gelir. Bunun için de betondaki boşluğun en düşük düzeyde tutulması yönünde çaba gösterilmelidir. Büyük daneli agregalar arası boşlukların daha küçük daneli agregalar ve çimento hamuru ile dolması gerçekleştirildiği ölçüde dayanımı ve sıkılığı yüksek beton elde edilir. Agreganın karışım oranı, betonun dayanımında ve sıkılığında etkilidir. Bu nedenle beton bileşiminin belirlenmesinde TS 706'da verilen elek karışım oranlarına uyulması gerekmektedir.

Dökülüp sıkıştırılmış bir metreküp betonda bulunan çimento miktarına dozaj denilir. Karışımın ve elde edilecek betonun özelliklerine göre bu değer 240-380 kg/m^3 arasında değişir. Beton dayanımında ve kalitesinde sadece dozaj değil, agrega granülometrisi, su /çimento oranı ve beton yerleştirilmesi de önem teşkil etmektedir.

Mevcut teknolojide beton kalitesi, yoğun emek ve enerji kullanımı mekanik vibrasyon işlemine bağımlıdır. Bu derece yoğun tüketilen bir malzemenin de teknolojiye parelel gelişme göstermesi kaçınılmazdır. Bileşenleri itibariyle önceleri sadece su, çimento ve agregadan oluşan beton bünyesine kimyasal ve mineral katkıların da girmesiyle pek çok olumlu özellik kazandırılmıştır. Kimyasal ve mineral katkıların kullanımı ile birlikte üretim ve uygulama safhasında karşılaşılan pek çok sorun çözülebilmiştir.

Yüksek oranda su kesme yeteneğine sahip bu akışkanlaştırıcılar aynı zamanda taze beton işlenebilirliğini de arttırmaktadır. Yeni nesil akışkanlaştırıcıların sağladığı bu etki, taze betonun yerleştirilmesi sırasında gereken sıkıştırma işlemini ortadan kaldırmak için araştırma yapmaya yöneltmiştir. Böylece kendiliğinden yerleşen beton kavramı ortaya atılmıştır.

KYB, kendi ağırlığı ile sık donatılı dar ve derin kesitlere yerleşebilen, iç veya dış vibrasyon gerektirmeksizin kendiliğinden sıkışabilen, ayrışma ve terleme gibi problemler yaratmayan çok akıcı kıvamlı bir betondur. Bunu dışında kalifiyesiz işçilerle meydana gelebilecek yerleştirme olumsuzlukların da önüne geçilebilir. **(Baradan ve diğ., 2004)**.

Günümüzde beton üretimiyle ilgili istek bu amaçla kurulmuş hazır beton firmaları tarafından karşılanmaktadır. Bu firmaların ürettikleri beton TS 11222 hazır beton standartına uygun olmalıdır. **TS 500 (2000)**'e göre hazır beton kullanıldığı zaman üretilen betonun şantiyede de numunesinin alınması ve gerekli denetiminin yapılması gerekir.

Beton malzemesinin taşıyabildiği en büyük gerilme değeri olan dayanımı, basınç, çekme ve kesme gerilmesi oluşturan tüm dış etkilere karşı betonun dayanımlarını kapsamaktadır. Bu dayanımları büyükten küçüğe doğru sıralarsak basınç, kesme (kayma) ve çekme dayanımı şeklinde sıralanabilir.

Karışım için aynı malzemeler kullanılmış olsa bile bir beton karışımından alınan her numunenin dayanımı eşit çıkmaz. Çünkü karışımdan alınan numunelerin boyut ve

geometrileri ve yükleme hızı gibi parametreler beton dayanımı üzerinde etkili olmaktadır. Deney presinin özelliğine bağlı olarak hızlı yüklenen bir numunenin dayanımı, yavaş yüklenen numunenin dayanımına göre daha büyük olduğu bilinmektedir. Deprem esnasında yapıya etkiyecek yüklerin kısa sürede etkidiği düşünüldüğünde, dayanım açısından olumlu olurken, depremin tekrarlı yük olmasından ötürü de betonda rijitlik azalmasına neden olmaktadır. **(Doğangün, 2002).**

2.1.1 Basınç Dayanımı

Betonların tanımlanması ve sınıflandırılması basınç dayanımlarına göre yapılır. Basınç dayanımı çapı 150 mm ve yüksekliği 300 mm olan standart deney silindirlerinin 28 günün sonunda, TS 3068'e uygun şekilde denenmesiyle elde edilir. Beton karakteristik basınç dayanımı $f_{ck,}$ denenecek silindirlerden elde edilecek basınç dayanımlarının bu değerden düşük olma olasılığı belirli bir oran (genellikle %10) olan değerdir.

Gerektiğinde basınç dayanımı küp deneylerinden de elde edilebilir. Böyle durumlarda karakteristik basınç dayanımı f_{ck}, geçerliliği deneylerle kanıtlanmış katsayılarla dönüştürülür. Bu amaçla boyutları 150 mm olan küp için kullanılacak f_{ck} değerleri Tablo 2.1'de gösterilmektedir. Boyutları 150 mm'den değişik küp numunelerinden elde edilen basınç dayanımları, gereken düzeltme yapılarak dikkate alınmalıdır **(TS 500, 2000).**

Tablo 2.1 Beton Sınıfları ve Dayanımları

Beton Sınıfı	Karakteristik Basınç Dayanımı, MPa	Eşdeğer Küp (150mm) Basınç Dayanımı Mpa	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı, Mpa	28 Günlük Elastisite Modülü E Mpa
C 16	16	20	1,4	27000
C 18	18	22	1,5	27500
C 20	20	25	1,6	28000
C 25	25	30	1,8	30000
C 30	30	37	1,9	32000
C 35	35	45	2,1	33000
C 40	40	50	2,2	34000
C 45	45	55	2,3	36000
C 50	50	60	2,5	37000

Günümüzde betonlar, dayanımları açısından yüksek ve normal dayanımlı olarak ikiye ayrılmıştır. Beton numunelerine uygulanan gerilmelere karşı beton numunelerinin sahip oldukları basınç mukavemetleri, yüksek dayanımlı ile normal

dayanımlı betonlar arasında farkı anlamada etkilidir. Yüksek dayanımlı beton ile normal dayanımlı beton arasında kesin bir ayırım bulunmamakla birlikte ACI, yüksek dayanımlı betonun sınırını 41 Mpa olarak tanımlamaktadır. Buna göre basınç dayanımı 41 Mpa'dan büyük olan betonlar "yüksek dayanımlı beton", bu değerden daha az basınç dayanımına sahip olan betonlar "normal dayanımlı beton" adını alır.

Yüksek dayanımlı betonlar, ağırlığın azaltılmasında etkilidirler. Ayrıca, normal dayanımlı betonlara nazaran yükleri taşımada daha etkili olup yerleştirilen toplam malzeme miktarını dolayısıyla maliyetin azalmasını sağlarlar.

Uzun servis ömrü, düşük bakım ve estetik gibi çeşitli özelliklerin yanında mühendislerin bilimsel ihtiyaçlarına cevap vermesi, bugünün yüksek binaları ve köprü gibi betonarme yapılarında tercih sebebini oluşturmaktadır. **(http://www.cement.org/basics/concreteproducts.asp)**

2.1.2 Çekme Dayanımı

Betonun çekme dayanımı, basınç dayanımına oranla çok düşük olduğundan hesaplarda ihmal edilir. Betonun çekme dayanımı eksenel çekme deneylerinden elde edilen değerdir. Betonun karakteristik çekme dayanımı eksenel çekme elemanı deneylerinden elde edilecek dayanımın, bu değerden az olma olasılığı belirli bir oran (genellikle %10) dayanım değeridir.

Betonun karakteristik eksenel çekme dayanımı, Denk. 2.1 ile verilmiş olan bağıntıdan hesaplanabilir.

$$f_{ctk} = 0{,}35.\sqrt{f_{ck}} \qquad \textbf{(2.1)}$$

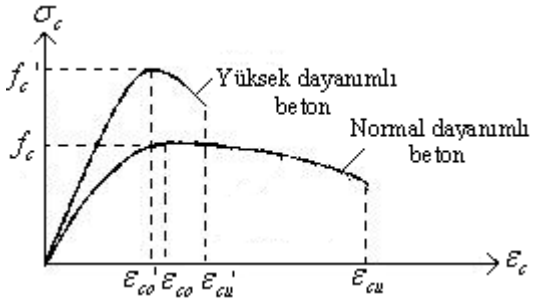
Burada, f_{ctk} betonun karakteristik eksenel çekme dayanımını, f_{ck} betonun karakteristik basınç dayanımını göstermektedir.

Betonun eksenel çekme dayanımı silindir yarma deneyinden elde edilen çekme dayanımı 1,5 ile eğilme deneyinden elde edilen çekme dayanımı da 2 ile bölünerek yaklaşık biçimde de hesaplanabilir **(TS 500, 2000)**.

2.1.3 Elastisite Modülü

Doğrusal davranış göstermeyen betonun kesin elastisite modülünü tanımlamak çok zordur. Elastisite modülü; beton basınç dayanımına, betonun yaşına, yükleme tipine

ve betonun çimento ve agrega oranlarının karakteristiğine bağlı olarak değişir. Kısa yükleme için betonda tipik gerilme-şekil değiştirme eğrisi Şekil 2.1'de verildiği gibi olur.



Şekil 2.1 Kısa Yüklemede Tipik Bir Beton Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi

Literatürde betonun elastite modülü için aşağıdaki şu tanımlar yapılmaktadır:

1. Gerilme-şekil değiştirme diyagramının başlangıç noktasına çizilen teğetin eğimi başlangıç elastite modülü olarak adlandırılır.

2. Gerilme-şekil değiştirme diyagramının herhangi bir noktasına çizilen teğetin eğimi teğet modülü'dür. Bu elastisite modülü için toplam beton dayanımının %50'si alınır.

3- Gerilme-şekil değiştirme diyagramının başlangıç noktası ile herhangi bir gerilmeye karşılık gelen noktaya çizilen doğrunun eğimine de sekant modülü adı verilir.

Dinamik elastisite modülü adı verilen elastisite modülü çok küçük şekil değiştirmelere denk gelmektedir. Genellikle % 20 ile % 40 statik elastisite modülünden daha büyüktür. Yaklaşık olarak başlangıç elastisite modülü dinamik elastisite modülüne eşittir. Yapıların sismik ve darbe yüklemeleri için dinamik modülün kullanılması uygundur **(Mc Cormac ve Nelson, 2005).**

Çoğu ülke yönetmeliklerinde betonun kullanılacak elastisite modülü hesapları için betonun karakteristik basınç dayanımından hareket edilir.

TS 500 (2000)'de de elastisite modülü hesabında basınç dayanımından Denk. 2.2'de verildiği şekilde hareket edilir.

Normal ağırlıktaki betonlar için j günlük betonun elastisite modülü;

$$E_{cj} = 3250\sqrt{f_{ckj}} + 14000 \qquad \textbf{(2.2)}$$

Darbe yüklemeleri için ise Denk. 2.2'den elde edilen değerlerin %10 artırılması öngörülmektedir.

2.1.4 Kayma Modülü

TS 500 (2000)'de j günlük betonun kayma modülü, elastisite modülünün belirli bir oranı olarak Denklem 2.3'te gösterildiği gibi verilmiştir.

$$G_{cj} = 0{,}40 . E_{cj} \qquad \textbf{(2.3)}$$

Buradan anlaşılacağı üzere kayma modülü elastisite modülünün % 40'ı olmakta ve aralarında doğrusal bir orantı bulunmaktadır. Bu sebeple elastisite modülünü etkileyen bütün faktörler kayma modülünü de etkileyeceklerdir.

2.1.5 Poisson Oranı

Boyuna doğrultuda yük etkisinde kalan bir elemanda enine şekil değiştirmenin boyuna şekil değiştirmeye oranına "poisson oranı" adı verilir. TS 500'de beton için bu değer 0,20 olarak verilmiştir.

Poisson oranı beton için tek bir değer olarak verilse de gerçekte gerilme düzeyine bağlı olarak değişmektedir. Betonda dış etkiden dolayı oluşan gerilmenin beton dayanımına oranı arttıkça poisson oranının değeri de artmaktadır. Örneğin; bu oran 0,3 iken poisson oranı 0,15 olurken, bu oranın 0,7'ye çıkmasıyla bu oran 0,25 değerine ulaşmaktadır **(Doğangün, 2002)**.

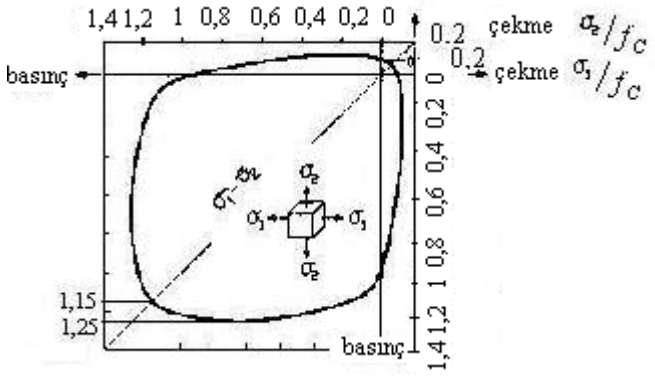
2.1.6 Isıl Genleşme Katsayısı

Beton ısıl genleşme katsayısı çimento dozajına bağlı olarak değişmektedir. Dozaj ne kadar fazla olursa genleşme katsayısı da o kadar büyür. Hesaplarda ısıl genleşme katsayısının değeri $\alpha_t = 10^{-5} \ / \ ^{\circ}C$ olarak kabul edilir **(Doğangün, 2002).**

2.1.7 Çok Eksenli Yüklemeler Altında Beton Davranışı

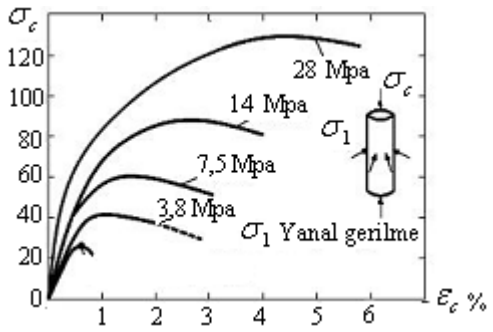
Gerçekte yapı elemanları birçok doğrultuda yüklenirler. Bu tip durumlarda betonun davranışı tek eksenli gerilme altındakinden farklı olmaktadır. Betonun çok eksenli gerilme altında davranışını anlamak, uygun detaylandırılmasını sağlamak açısından olumlu olacaktır.

Çok eksenli yük gerilmeleri altındaki beton davranışları anlayabilmek için **Celep ve Kumbasar (2001)**'de verilen iki ve üç eksenli yükleme altında beton kırılma deneyleri göz önüne alınabilir. Şekil 2.2'de verildiği gibi çok eksenli yüklemeye maruz bırakılan betonun kırılma eğrilerinde, iki doğrultuda basınç bulunduğunda dayanım tek eksenli dayanıma göre % 25'e ulaşan artışlar gösterirken, iki eksende eşit gerilme olması durumunda ise %15 kadar bir artış söz konusu olmuştur. Ancak bir eksende çekme gerilmesinin bulunması diğer eksendeki basınç dayanımını önemli ölçüde azaltmaktadır.



Şekil 2.2 İki Eksenli Yükleme Altındaki Betonun Kırılma Çizgisi

Şekil 2.3'te görüldüğü gibi yanal basınç etkisinde bulunan betonun her bir eğri üzerinde yanal basıncı sabit tutulurken, eksenel basınç gerilmesi ise kırılmaya kadar arttırılmış ve deney sonucunda betonun yanal basıncı artttırıldığı zaman betonun büyük şekil değiştirmeler yapabildiği ve dayanımının arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 2.3 Yanal Basınç Etkisindeki Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi

Sonuçta beton yanlarından desteklendiğinde dayanımı ve plastik şekil değiştirmeler ile yutabileceği enerjisi artmaktadır.

2.1.8 Zamana Bağlı Şekil Değiştirme

Beton zamana bağlı deformasyonlar gösteren bir malzemedir. Betonda zamana bağlı deformasyon sebepleri olarak büzülme ve sünme olayları gösterilmektedir. Sünme ve büzülme çökmeye veya hasara neden olabilecekleri gibi kullanılabilirliği de etkileyebileceğinden hesaplarda mutlaka gözönüne alınmalıdırlar **(Ersoy, 1987).**

Betonun zamana bağlı şekil değiştirme özelliklerinden büzülme, betonun atmosfer koşullarına bırakıldığında içindeki fazla suyun yüzeye giderek buharlaşması sonucu çatlakların meydana gelmesiyle oluşur. Bu çatlaklar donatının atmosferle etkileşimine ve muhtemel korozyona sebep olacaktır. Büzülme birkaç yıl devam eder. Fakat olağan koşullar altında ilk yıl boyunca yaklaşık % 90'ı meydana gelir. Beton kür sırasında çok rüzgarlı koşullara maruz kalırsa, büzülme daha fazla olacaktır.

Büzülmeyi azaltmak için şunlar yapılabilir:

1. Karışım suyu miktarı minimum tutulmalı,

2. Beton kürü iyi yapılmalı,

3. Büzülme donatısı kullanılmalıdır.

Betonun diğer zamana bağlı özelliği olan sünme, sabit basınç yükü altında uzun zaman periyodunda betonun deforme olmaya devam etmesiyle anlaşılmaktadır. Başlangıç deformasyonu meydana geldiği zaman ilave deformasyon sünme adını alır. Eğer basınç kuvveti beton elemana hızlıca uygulanırsa, derhal elastik kısalma olur. Eğer yük çekilirse bir süreliğine yaklaşık birkaç yıllık periyot boyunca bu eleman kısalmaya devam eder.

İlk yıl boyunca toplam sünmenin yaklaşık % 75'i meydana gelmiş olur. Sünme miktarının gerilme miktarı ile ilgili ilişkisi hakkında yapılan araştırmalarda, yükün ilk uygulandığı andaki gerilmenin basınç dayanımına oranı 0,5'ten aşağısındaki gerilme düzeylerinde sünmenin gerilme ile orantılı artığı ve bu yükün kırılmaya neden olmayacağı gözlemlenmiştir. 0,85'i düzeyinde ise beton ezilmekte ve eleman kırılmaktadır.

Sünmeyi etkileyen belli başlı parametreler şöyle verilebilir:

a. Beton kürü sünmede etkilidir. Yükleme öncesi beton kürü daha fazla olursa sünme daha az olur.

b. Beton dayanımı sünmeyi etkiler. Yüksek dayanımlı betonların düşük dayanımlı betonlara nazaran daha az sünmeleri olur.

c. Beton ve çevre ortamının sıcaklıkları sünmede etkilidir. Yüksek sıcaklıklarda sünme artar.

d. Ortamın nem miktarı sünmeyi etkileyen diğer bir parametredir. Nem miktarı arttıkça betondaki su kaçamayacaktır. Bu durum da sünmenin azaltılması açısından olumludur.

e. Su / Çimento oranı arttıkça sünme azalır.

f. İnce elemanlarda hacim/yüzey alanı küçük olduğundan boşluk suyunun buharlaşması daha kolay olacak haliyle de sünmesi, kalın beton elemanlara oranla daha fazla olur **(McCormac ve Nelson, 2005)**.

2.1.9 Beton Yerleşimi ve Bakımı

Hazırlanan beton, yapı elemanlarının şekillerine göre düzenlenmiş ve içinde çelik donatı çubuklarının bulunduğu kalıpların içine dökülür. İyi bir şekilde yerleşimini sağlamak için vibratörle titreştirilir. Betonun hazırlanması, taşınması, yerleştirilmesi ve sertleşinceye kadar bakımının yapılması için ayrıntılı bilgiler TS 1247 ve TS 1248'de verilmiştir.

Taze beton kendini taşıyamayacağı için kalıp ve onu taşıyan iskelenin betonun ağırlığını taşıyabilecek türden olması ve bunların beton sertleşip belirli dayanıma eriştikten sonra sökülmesi gerekir. Genellikle yapılarda beton dökümü kat kat devam ettiğinden, genellikle betonu dökülecek kısmın iskelesinin bir alt kata mesnetlendirilmesi ve bu alt kattaki betonun yeterli dayanıma ulaşamaması, yapı elemanlarında önemli zorlamalara sebep olur. Bu durumlarda kalıp işinin uzatılması mevcut çözümlerden biridir.

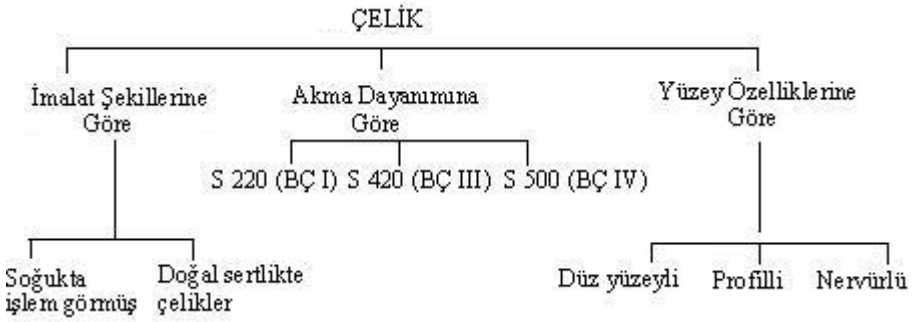
Beton sürekli dökülmediği zamanlarda ara verilmesi sonucu oluşan iş derzleri yapı elemanlarının az zorlanan bölgelerine getirtirilmelidir. Tekrar betonlama başlamadan önce bu derzlerin temizlenmesi ve pürüzlendirilmesi uygun olur. **(Celep ve Kumbasar, 2001)**.

Beton karışım hesapları ve üretimi ne kadar mükemmel olursa olsun, kürü ve bakımı iyi yapılmamış betonun kendinden beklenen davranışı göstermesi imkansızdır. Beton döküldükten sonraki ilk bir hafta çok önemlidir. Çünkü bu süre içindeki ortamın

sıcaklığı ve nemi betonun mekanik özelliklerini büyük oranda değiştirmektedir. Bu nedenle kalıp ile örtülü olanlar dışında tüm yüzeyler şiddetli yağış, rüzgar gibi dış etkilere ve nem kaybının neden olacağı iç etkilere karşı geçerli teknikle korunmalıdır **(Doğangün, 2002).**

2.2 Çelik

Betonarme yapılarda donatı olarak çelik kullanılmasının amacı, betonda oluşan çekme gerilmelerini almaktır. Betonarme yapılarda kullanılan çelikler ϕ anma çapı adı verilen değişik çapta ve boyda üretilmektedirler. Yapı donatısı olarak kullanılan bu çelikler TS 708'de belirtildiği gibi çeşitli özelliklerine göre Şekil 2.4'te gösterildiği şekilde sınıflandırılırlar.



Şekil 2.4 Yapılarda Kullanılan Çeliklerin Sınıflandırılması

İmalat şekillerine göre çelikler sıcak haddeleme işlemi ile üretilenler, sıcak haddeleme esnasında ısıl işlem uygulanarak üretilenler ve soğuk mekanik işlem uygulanarak üretilenler olarak sınıflandırılırlar. Ancak uygulamada bu sınıflandırma yerine donatılar soğukta işlem görmüş ve doğal sertlikteki çelikler olarak iki sınıfa ayrılır.

Soğukta işlem görmüş çelikler rölatif olarak düşük ısıda çekilerek ya da burularak imal edilir. Soğukta işlemlerle çelik dayanımı arttırılır. Bu tür çelikler özel beton çelikleri adını da almaktadır. Bu çelikler ısıtılırlarsa dayanımlarını kaybedip, eski durumlarına geri dönerler. Bu nedenle uygulamada kaynak yapılırken özel önlemler alınmalıdır. Doğal sertlikteki çeliklerin TS 708'de tanımlandığı gibi karbon eşdeğeri 0,4 değerini aşmamalıdır.

Akma dayanımlarına bağlı sınıflandırılmaları ise S 220, S 420 ve S 500 olarak yapılmaktadır. S 220 kullanımı ülkemizde zamanla düşmüş, S 420 çeliği en çok tercih edilen çelik olmuştur.

Yüzey özelliklerine göre sınıflandırma da çeliklerin beton ile oluşturdukları aderans ilişkileri açısından değerlendirilmektedir. Düz yüzeyli donatıda yüzeyinde betonla kenetlenmeyi arttırıcı çıkıntılar bulunmaz. Nervürlü donatıda haddeleme sırasında çubuğun eksenine belli bir açıyla yer alan çıkıntılar bulunur. Profilli donatı da ise betonla aderansı arttırıcı çeşitli girintiler bulunur **(Doğangün, 2002).**

Donatı çeliklerinin dayanımı ile ilgili olarak akma, karakteristik akma ve çekme dayanımı mekanik özellikleri olarak kullanılmaktadır.

2.2.1 Mekanik Özellikleri

TS 500 (2000)'de donatı çeliklerinin mekanik özellikleri aşağıda verildiği gibi belirtilmiştir.

Eksenel çekme altında denenen donatı çeliğinin akma sınırına ulaştığı anda taşıdığı gerilme değerine "akma dayanımı", istatiksel verilere dayanılarak belirlenen ve bu değerden daha düşük dayanım değeri elde etme olasılığı belirli bir oran olan akma dayanım değerine ise "karakteristik akma dayanımı" denir. Bu dayanım donatı sınıfını tanımlamak için kullanılmaktadır.

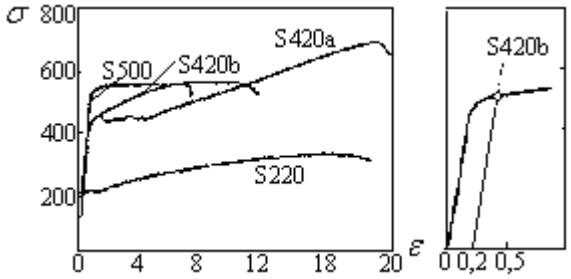
"Donatı çekme dayanımı" ise eksenel çekme altında denenen donatı çeliğinin kopmadan önce taşıyabildiği en büyük gerilme değeridir. Tablo 2.2'de donatı çeliklerinin mekanik özellikleri bir arada gösterilmektedir.

Tablo 2.2 Donatı Çeliklerinin Mekanik Özellikleri

	Donatı Çubukları				Hasır Donatı	
	Doğal Sertlikte			Soğukta İşlem Görmüş		
Mekanik Özellikler	S220a	S420a	S500a	S420b	S500bs	S500bk
Min. akma dayanımı f_{yk} (Mpa)	220	420	500	420	500	500
Min. kopma dayanımı f_{su} (Mpa)	340	500	550	550	550	550
Min. kopma uzaması ε_{su} (%) $\phi \leq 32$	18	12	12	10	8	5
Min. kopma uzaması ε_{su} (%) 32< $\phi \leq$ 50	18	10	10	10	8	5

Donatı olarak kullanılan çeliklerin tipik gerilme-şekil değiştirme eğrileri, Şekil 2.5'te gösterildiği gibi verilebilir. Ülkemizde kullanılan üç tür çeliğin başlangıçta aynı

eğimle doğrusal elastik davranış gösterdiği ve bu bölgenin sonunda gerilmenin az değiştiği bir akma sahanlığı görülür **(Celep ve Kumbasar, 2004)**.



Şekil 2.5 Betonarme Çeliklerinde Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi

Akma gerilmesi, yaklaşık olarak elastik bölgenin sınırı olarak kabul edilebilir ve donatı çubukları daha evvel belirtildiği gibi bu gerilmeye bağlı olarak sınıflandırılırlar. Akma bölgesi olmayan çeliklerde % 0,2'ye karşılık gelen birim uzaması esas alınır. Akma bölgesinden sonra gerilmenin belirgin şekilde arttığı pekleşme bölgesi görülür. Yüklemeye devam edilirse, donatı koparak dayanımını kaybeder.

Çeliğin elastisite modülü 2.10^5 Mpa olarak alınırken, kayma modülü $8{,}1.10^4$ Mpa olarak alınmaktadır. Bunun dışına çeliğin diğer bir mekanik özelliği olan ısıl genleşme katsayısı $1{,}2.10^{-5}/\ ^{\circ}C$ olarak verilmektedir.

Çelik ve beton genleşme katsayılarının birbirine çok yakın olması, betonarmeyi meydana getiren beton ve çelik malzemelerinin birlikte çalışması açısından son derece önemli bir özelliktir **(Doğangün, 2002)**.

2.2.2 Donatıların Yerleştirilmesi ve Bakımı

Donatı çeliği kullanmadan önce kir, yağ ve yüzeyden ayrılabilen pastan arındırılmalıdır. Pas olayını önlemek için donatıların kullanılmadan önce mümkün olduğunca üstü kapalı bir sundurma altında saklanması tercih edilmelidir.

Donatı kullanıldıktan sonra da gerek doğrudan etkisinde kaldığı sıvılara, gerekse betonun emdiği zararlı sıvılara karşı korunmalıdır. Çünkü bu sıvılar donatının korozyona uğramasına sebep olup, donatı kesitini ve dayanımını azaltmaktadır. Donatıyı korozyona karşı korumak, betonun donatı kenetlenmesini sağlamak ve hatta yangına karşı kollamak için çelik çubuklarla donatı arasında beton örtüsü bulunmalıdır **(Doğangün, 2002)**.

Betonarme donatı çelikleri ve yerleştirilmeleri hakkında ilerki bölümlerde daha geniş ayrıntılara yer verilecektir.

2.3 Betonarme

Betonun yüksek basınç dayanımları yanında çok düşük çekme dayanımları bulunması bunları basınç elemanlarında kullanılacak şekilde sınırlandırmış, eğilmeye çalışan elemanlarında ise hava koşullarında bozulan, yangına karşı emniyetsiz olan ahşap ve çelik kullanılmak zorunda kalınılmıştır.

Beton kütle içine çekme kuvvetlerinin bulunduğu yerlere onların doğrultusunda donatı dediğimiz çelik çubukların konulmasıyla beton çekmeye karşı mukavemet kazanmış ve böylece kullanım alanı sınırlanmasından kurtulmuştur.

Beton ve çelikten meydana gelen bu bileşik yapı malzemesine donatılmış beton anlamına gelen "betonarme" denir. İçine çelik konan her betonun betonarme olmadığı unutulmamalıdır. Yükleri taşıyan çelik profilleri yangından korumak veya yüklerin yayılmasını sağlamak amacıyla betonla örtmek, çelik yapı olması niteliğini değiştirmez. Ayrıca rötre, sıcaklık değişimi gibi nedenlerle oluşabilecek çatlakları önlemek amacıyla büyük beton kütleleri yüzeyine yakın bir çelik hasır konulsa bile bunlar yine beton yapılardır.

Betonarme, uzun araştırmalar ve laborutuvar deneyleri sonucunda bütün özellikleri iyice tanındıktan, uygulamalarla yeteri kadar sınandıktan sonra tekniğin her alanındaki ilerlemesine de uyarak hızla gelişmiş, şehirlere biçim verecek kadar çok ve çeşitli yerlerde kullanılan yapı sanatına yeni ufuklar açan bir yapı malzemesi olmuştur **(Aka ve diğ., 2001)**.

Betonarme, hemen hemen küçük büyük bütün yapılarda yaygın bir şekilde kullanılır. Çok katlı yapılar, köprüler, yol ve alan kaplamaları, barajlar, istinat duvarları, tüneller, viyadükler, su getirme ve kullanılmış suların uzaklaştırılması için gerekli olan boru ve tesisler, su hazneleri, silolar betonarmenin uygulama alanlarının en önemlileri sayılabilir.

Betonarmenin diğer yapı malzemelerine göre olumlu özeliklerinin fazla olması, çoğu yapıda tercih edilmesine sebep olmuştur. Betonarmenin tercih edilme sebebini oluşturan bazı avantajları şunlardır:

1. Betonarmenin basınç dayanımı diğer yapı malzemelerine oranla daha büyüktür.

2. Yangın ve suya karşı dayanımı fazla olduğundan, devamlı suyun bulunduğu yapılarda en iyi yapı malzemesidir.

3. Betonarme yapılar çok rijittir.

4. Betonarme yapıların bakım maliyeti diğerlerine nazaran daha azdır.

5. Diğer malzemelerle karşılaştırıldığında daha fazla kullanım ömrü bulunmaktadır. Düzgün koşullar altında betonarme yapılar taşıma kapasiteleri azalmadan sonsuza kadar kullanılabilirler.

6. Temeller, perde gibi büyük hacim kaplayan elemanlarda çoğu durumda ekonomik bir malzemedir.

7. Betonarmede kemer, kabuk, döşeme gibi yerlerde istenen şekli verme kolaylığı vardır.

8. Çelik yapılara nazaran daha az kalifiye işçilere ihtiyaç duyulur.

Betonarmenin diğer yapı malzemelerine karşı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlarından bazıları ise şu şekilde verilebilir:

1. Betonun düşük çekme dayanımı vardır. Bu nedenle, çekme kuvvetini karşılaması gereken donatılara da ihtiyaç duyulur.

2. Betonun sertleşinceye kadar kalıp içinde tutulması ve desteklenmesi için de iskelelere ihtiyaç duyulması söz konusudur.

3. Ağırlığına göre dayanımı düşük olması, gerekli dayanımı sağlamak için yapıda daha fazla ağırlık doğurmaktadır.

4. Betonun özellikleri karışımına, yerleştirilmesine ve kürü ile bağlantılı olarak değişeceğinden, bu sebeple donatının projeye uygun yerleşiminin kontrolü çok önem teşkil etmektedir **(McCormac ve Nelson, 2005)**.

Aka ve diğ. (2001)'de betonarme elemanın elastisite sınırı aşılmadığı sürece herhangi bir noktadaki gerilmesinin aynı noktadaki şekil değiştirmesi ile orantılı olduğunu kabul eden "Hooke kanunu" çelik için akma gerilmesine kadar uygun olduğu halde, beton için uygun olamayacağı belirtilmiştir. Fakat uzun yıllar bu kanunun beton için de kabul edildiği yöntemler kullanılmış ve bunlar "elastik

yöntem" adını almışlardır. Betondaki gerilmelerin kısalmalarla değişmesinin gerçek durumunu esas alan sınır durumların ortaya çıkmasıyla elastik teori terkedilmiştir.

Yönetmelik, sınır durumlar yöntemini "taşıma gücü yöntemi" ve "kullanılabilirlik sınır durumlar" olarak ikiye ayırmıştır. Yapı elemanların taşıyıcı özelliklerini yitirerek göçmeleri durumunda ulaşacakları taşıma kapasitelerinin, yapı güvenliği açısından değerlendirilmesi sınır durumuna "taşıma gücü yöntemi" denirken; yapı elemanlarında aşırı şekil değiştirme, aşırı çatlama, aşırı titreşim gibi kullanımı güçleştiren ve kullanım düzenini bozan sorunların bulunmasını engellemeye yönelik değerlendirmelerin yapıldığı sınır duruma ise "kullanılabilirlik sınır durumu" adı verilmiştir.

Kullanılabilirlik sınır durumunda amaç, öngörülen kullanım yükleri altında elemanları ve yapının tümünü aşırı derecede ötelenme, korozyon, çatlama ve titreşimlerin meydana gelmeyecek diğer bir deyişle bunların yönetmelikte verilen belirli sınırları aşmamasını sağlayacak şekilde projelendirilmesidir.

Mesela, sıvı tutucu yapılarda çatlaklar çok daha önemli olmaktadır. Yönetmelikte verilen çatlak sınır değeri aşıldığında sızdıran bir sıvı deposu oluşacağından, artık yapının dayanım yönünden ayakta kalması pek bir şey ifade etmez **(Doğangün, 2002).**

TS 500 (2000)'de kullanılabilirlik sınır durumuyla ilgili olarak eğilme etkisindeki elemanlarda işlevi güçleştirecek, görünüşü etkileyecek düzeyde olunmaması için Tablo 2.3'te izin verilen en büyük sehim değerleri verilerek, sehim kontrolü koşulu sağlanması istenmektedir.

Tablo 2.3 Eğilme Etkisindeki Elemanlarda Sehim Sınırları

Eğilme elemanı ve yeri	**Sehim nedeni**	**Açıklık/Sehim**
Bölme duvarsız çatı elemanları	Hareketli yüklerden oluşan ani sehim	l_n / 180
Bölme duvarsız normal kat elemanları		l_n / 360
Bölme duvarlı* çatı ve normal kat elemanları (büyük sehimden etkilenebilecek elemanları olan)	Sürekli yüklerden oluşan toplam sehim ile hareketli yüklerin geri kalan bölümünden oluşan ani sehim toplamı	l_n / 480
Bölme duvarlı çatı ve normal kat elemanları		l_n / 240

Bunun dışında donatının korozyonuna sebep olabilecek çatlakları önlemek içinse Tablo 2.4'te verilen çatlak kontrolü koşulunun sağlanması gerekmekte veya nervürlü donatı kullanıldığında betonarme elemanların çekme bölgelerinde minimum donatı

koşulları sağlandığında ve donatı aralıklarının 200 mm'yi aşmadığı ve zararlı çevre koşullarının bulunmadığı durumlarda, tüm bu koşulların sağlanması ile çatlak kontrolü yapılmayabileceği belirtilmektedir.

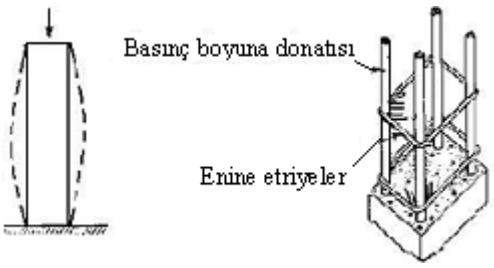
Tablo 2.4 Çatlak Genişliği Sınırları

Ortam	ω_{max}
Yapı içi normal çevre koşulları	0,4 mm
Yapı içi nemli ve yapı dışı normal çevre koşulları	0,3 mm
Yapı dışı nemli çevre koşulları	0,2 mm
Yapı içi ve dışı agresif çevre koşulları	0,1 mm

2.3.1 Basınç Etkisinde Davranış

Eksenel basınca maruz elemanlar doğru eksenli, kesitleri sabit veya değişken çubuklardır. Elemanın en kesitine tesir eden basınç kuvvetleri en kesitin bütün liflerinde (beton ve çelik dahil) eşit kısalmalar meydana getirmektedir. Bunun için, normal kuvvetin beton ve çelikten oluşan kompleks alanın şekil merkezinde tesir edeceği bilinmektedir. En kesit şekil merkezi olarak, çelik yüzdesi çok küçük olduğundan pratikte beton en kesit ağırlık merkezi alınabilir.

İki ucundan mafsallı basınç elemanları yalnızca basınç kuvvetine maruz elemanlara iyi bir örnek olarak verilebilir. Normalde kolonlar da eksenel basınca maruz elemanlara örnektirler. Ancak eksenel normal kuvvet dışında, eğilme momentine de maruzdurlar **(Özden, 1978).**

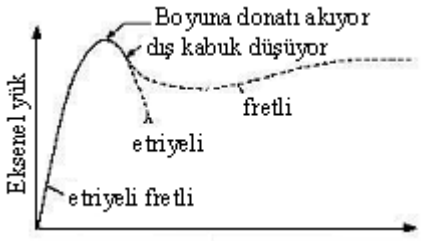


Şekil 2.6 Basınç Etkisindeki Elemanların Şekil Değişimi ve Donatı Düzeni

Aka ve diğ. (2001)'e göre basınç etkisine maruz elemanların eğilme rijitliği de olmalıdır. Eğilme rijitliğinin olması şartı elemanın burkulmaya karşı dirençli olması açısından önemlidir. Burkulmaya karşı basınç elemanlarının göstereceği direnç çok önemlidir. Basınç etkisi altındaki bir kolonun deformasyon hali Şekil 2.6'da gösterilmektedir.

Kolona uygulanan basınç kuvveti sonunda enine genişleme yönünde deformasyon yapacaktır. Bunu engelleyebilmek için yatay etriyelerle düzenlenmesi gerekir. Etriyelerinin sık olmadığı betonarme bir basınç elemanda beton dayanımının kaybedilmesiyle, boyuna donatıların burkulmaları meydana gelir. Bu konuda yapılan deneyler, etriye ve fretli elemanlarda farklı davranışların oluştuğunu göstermiştir.

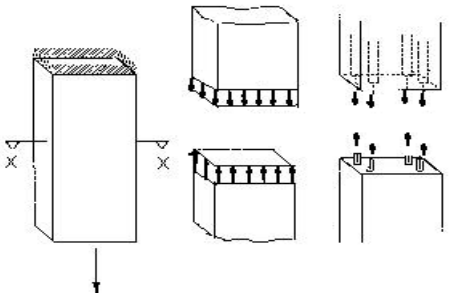
Etriyelerin ve fretin dışında kalan beton kısmının, dayanımını kaybetmesi ve dökülmesiyle kolonun taşıdığı yükte bir azalma oluşmaktadır. Fretli olan elemanda fret sebebiyle boyuna donatıların burkulması önlenmekte ve boyuna kısalmalar ve enine genişlemeler artmaktadır. Bu sebeple Şekil 2.7'de gösterildiği gibi dayanımda ve süneklilikte artış sağlanmaktadır **(Celep ve Kumbasar, 2001).**



Şekil 2.7 Enine Donatılı Elemanda Eksenel Yük-Kısalma Eğrileri

2.3.2 Çekme Etkisinde Davranış

Basit çekme, bir betonarme kesite ekseni üzerinde yalnız bir çekme kuvveti etkimesi durumu olup, bütün kesitte düzgün yayılı çekme gerilmeleri oluşur. Yapılarda basit çekme etkisine genellikle silo ve sıvı depolarında, gergili sistemlerin gergi elemanlarında rastlanır. Basit çekme, bileşik eğilme ve eğik eğilmede momentlerin sıfır olması, normal kuvvetin sıfırdan farklı çekme olması durumudur.



Şekil 2.8 Çekme Etkisindeki Elemanlarda Gerilme Dağılım ve Donatı Düzeni

Şekil 2.8 de betonarme bir elemanın çekme gerilmeleri altındaki gerilme dağılımı verilmiştir.

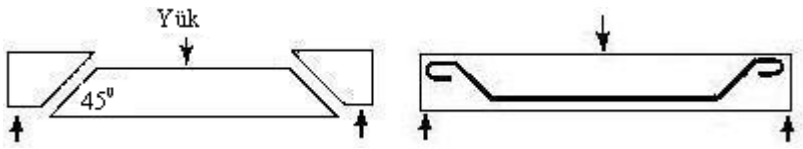
Beton çekme gerilmeleri çekme dayanımını aşamayacak kadar küçük kaldığı ve çatlak olmadığı sürece beton ve çelik, eksen doğrultusunda etkiyen kuvveti birlikte taşırlar. Kuvvet daha büyük değerler alınca çekme gerilmeleri beton çekme dayanımını aşar ve bütün kesite yayılan çatlaklar ortaya çıkar. Bu durumda kesitte hiçbir beton lifi kalmayıp, yükün tümü çelik çubuklar tarafından taşınmaya başlayacağından eksenel çekme altındaki elemanlarda donatı, kesit ağırlık merkezine göre simetrik olarak dağıtılır ve bu tip elemanlarda donatıda mümkün olduğunca ek yapılmaz **(Aka ve diğ., 2001)**.

2.3.3 Kesme Etkisinde Davranış

Kesme kuvvetine maruz betonarme yapı elemanlarının dayanım hesabı kayma gerilmeleri esas alınarak yapılır. Aslında betonarmenin emniyeti açısından önemli olan bu kayma gerilmeleri değil, bunların oluşturduğu asal çekme ve basınç gerilmeleridir.

Betonun kayma ve basınç dayanımı çekme dayanımından yüksek olduğundan, basit kayma durumunda bile kırılma asal çekme gerilmeleri nedeniyle oluşur. Asal çekme gerilmeleri, kayma gerilmelerinin etkidiği yüzeye $45°$ lik açı yapan bir düzlem üzerinde etkiyeceğinden kırılma, asal çekme gerilmelerine dik yönde oluşan eğik bir çatlakla meydana gelir. Bu tür çatlama eğik çatlak olarak adlandırılabilir. Asal çekme gerilmeleri nedeni ile oluşan bu tür çatlaklar son derece tehlikelidir ve ani kırılma dediğimiz gevrek kırılmaya neden olabilirler.

Kayma donatısı bulunmayan elemanların kesme etkisinde kırılmaları bu tür ani ve gevrek olur. Bu tür kesme kırılması oluştuğunda, eleman eğilme kapasitesine ulaşamaz. Bu nedenle, kayma donatısı yerleştirilen betonarme elemanda, sözü edilen eğik çatlaklar kılcal düzeyde kalarak, elemanın eğilme kapasitesine erişmesini sağlayacaktır **(Ersoy, 1987)**.

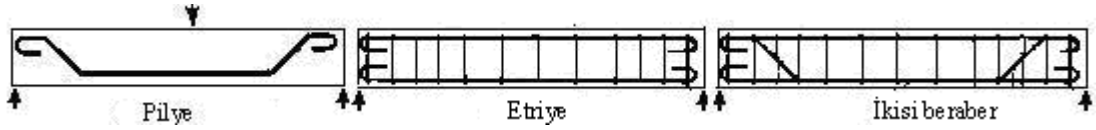


Şekil 2.9 Kesme Kuvveti Etkisindeki Eleman Davranışı ve Donatı Düzeni

Bu tekil yük kirişi aşağıya doğru iterken, mesnetlerdeki tepki kuvveti kirişi yukarıya doğru kaldırmaya çalışacaktır. Bu durumda çatlakların oluşabileceği düzlemlerde kesme kuvveti oluşacaktır.

Mevcut kesme kuvveti sebebiyle meydana gelecek gevrek kırılmayı önlemek için, elemana yerleştirilebilecek donatı düzenleri Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Buradaki donatıların kesmeye karşı etkisi sırasıyla artmaktadır.

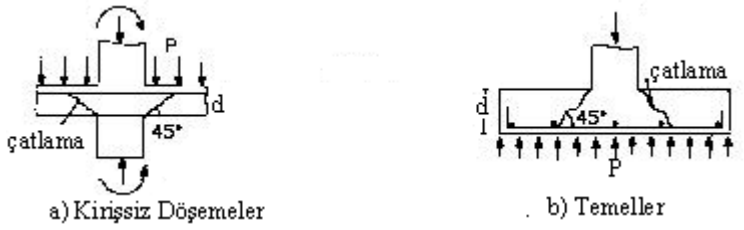
Şekil 2.10'da gösterilen pilye olası çatlak yerleşimine dik doğrultuda yerleştirilmiş donatı düzenidir. Bu donatı tipi çatlak yön değiştirdiği zaman etkisiz olmaktadır. Şekil 2.10'da gösterilen etriyelerde ise donatılan elemanın kesmeye karşı direnci oldukça iyidir. Şekil 2.10'da ikisinin beraber kullanımı kesme kuvvetinin karşılanmasında en etkili donatı düzeni olup, kesme kuvvetinin şiddetli olduğu yerlerde betonarme elemanın iyi davranış sergilemesinde fayda sağlar **(Barker, 1967)**.



Şekil 2.10 Kesme Kuvvetini Karşılamada Etkili Donatılar

2.3.4 Zımbalama Etkisinde Davranış

Betonarme yapılarda plak türünden elemanlar ile kolon türünden elemanlar birbirine yük aktarırken, önemli kayma gerilmeleri ortaya çıkar. Bu tür gerilme durumu karşılanmadığında, söz konusu bölgelerde eğik çekme gerilmesinin etkisiyle "zımbalama" olarak adlandırılan durum ortaya çıkarak, kolon ve plak arasındaki bağın kopmasına sebep olur. Şekil 2.11'de bu tür zımbalama olayının meydana gelebileceği iki yer gösterilmiştir.



Şekil 2.11 Kirişsiz Döşeme ve Temellerde Zımbalama

Döşeme plağının kiriş olmaksızın doğrudan kolona mesnetlenmesi durumunda kolon ile döşeme ortak yüzeyinden döşemeye gelen yüklerin aktarılmalarında döşeme

kalınlığının ve kolon boyutlarının küçüklüğü, bu birleşimi zorlayacak ve bunun sonucunda zımbalama ortaya çıkacaktır. Bunun dışında temellerde de zımbalama olayı döşemedekinin benzeri olarak oluşmaktadır. Yalnız, kirişsiz döşemelerdeki zımbalama bir katın çökmesine veya alt kata ani uygulayacağı yükle taşıyıcı sistemin tamamen çökmesine sebep olabilirken, temellerde ise taşıyıcı sistemde tamiri çok zor hasara, hatta sistemin kullanılmaz durumuna gelmesine sebep olabilir. Her ikisinde de güç tükenmesi ani ve gevrek olduğundan zımbalama kaçınılması gereken bir durumdur **(Celep ve Kumbasar, 2001)**.

(TS 500, 2000)'e göre sınırlı bir alana yayılmış yükler veya kolonlar tarafından yerel olarak yüklenen plakların zımbalama dayanımı hesaplanarak, bunun tasarım zımbalama kuvvetine eşit veya ondan büyük olduğu kanıtlanması gerekmektedir.

Bu denetimin sağlanamaması durumunda uygulanabilecek çözümler şunlardır:

1. Döşeme kalınlığını arttırmak,

2. Kolon boyutlarını arttırmak,

3. Beton kalitesini arttırmak,

4. Zımbalama donatısı kullanmaktır.

(Doğangün, 2002)'e göre en uygun çözüm döşeme kalınlığını arttırmaktır. Sadece zımbalama için kolon boyutlarını arttırmak mimari açıdan istenmeyebilir. Beton kalitesi artırılabilir. Ancak bunun proje üzerinde yazılı olarak kalması ve uygulamaya yansıtılamaması durumunda çok tehlikeli sonuçlar doğurabilir.

Zımbalama dayanımını arttırmak için zımbalama donatısı kullanmak söz konusu olduğunda, uygulamalarda birbirinden farklı zımbalama donatıları kullanımı söz konusu olabilmektedir. Literatürde tavsiye edilen Şekil 2.12'de gösterildiği gibi farklı zımbalama donatıları bulunmaktadır.



Şekil 2.12 Literatürde Önerilen Zımbalama Donatılarından Bazıları

Ancak, bu donatıların etkili olabilmesi için döşeme kalınlığı en az 250 mm olmalı ve artırılmış dayanımın zımbalama dayanım değerinin 1,5 katını aşmaması gerekir.

2.3.5 Eğilme Etkisinde Davranış

Kesitte pozitif eğilme momenti etkisiyle üst bölümünde basınç ve alt bölümünde çekme gerilmeleri meydana gelecektir. Betonun çekme dayanımının çok küçük olması nedeniyle eğilme momentinin küçük değerinde bu dayanıma ulaşılır. Kesitin en alt bölümündeki gerilmeler çatlama sonucu kaybolur. Alt bölümün kesitin tarafsız eksenine yakın kısımlarında çekme dayanımından küçük çekme gerilmeleri bulunabilir. Ancak değerlerinin diğer gerilmelere göre çok düşük olması ve tarafsız eksene yakınlıkları nedeniyle ihmal edilirler. Bu durumda kesitte çekme gerilmeleri sadece altta bulunan donatılarda meydana gelir.

Tarafsız eksenin üst bölümünde ise betonda basınç gerilmeleri oluşur. Çekme gerilmelerinin karşılanması için alt bölümde bulunan donatılar eğilme momentine katkılarının büyük olması için tarafsız eksenden uzakta en alta yerleştirilmelidir **(Celep ve Kumbasar, 2001).**

Eğilme momenti etkisinde bulunan betonarme bir elemanın davranış ve donatı düzeni Şekil 2.13'te gösterilmiştir.



Şekil 2.13 Eğilme Momenti Etkisindeki Eleman Davranışı ve Donatı Düzeni

Elemana yerleştirilecek donatının miktarı, oranı, konumu ve düzeni etkiyen yüke de bağlı olarak betonarme elemanın davranışını değiştirecektir.

Doğangün (2002), eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda donatı oranına bağlı olarak basınç kırılması, çekme kırılması ve dengeli kırılma olmak üzere üç tür kırılma görüldüğünü belirtmektedir.

Betondaki ezilme ile donatıdaki akma olayının aynı anda oluşmasıyla meydana gelen kırılma gevrek kırılma olup, "dengeli kırılma" adını da alır. Buna neden olan donatı oranı ise dengeli donatı oranı olarak adlandırılır. Kesit malzemelerinin tam kapasitelerinin kullanılması ve dolayısıyla optimum kesit olmasına rağmen, bu istenen bir davranış değildir.

Donatı akma sınırına ulaşmadan beton ezilmesinin meydana gelmesi durumuna da "basınç kırılması" adı verilir. Bu davranışta donatıda meydana gelen uzama, akma dayanımına karşı gelen uzamadan az iken beton maksimum birim kısalmasına ulaşmıştır. Ani olarak meydana geldiği için basınç kırılması istenmeyen davranıştır. Donatı oranı olarak bu tür elemanlarda dengeüstü donatı bulunmaktadır.

Beton ezilmeden önce donatı akmasının oluşması, yani beton ezilme birim kısalmasına ulaşmadan önce donatıdaki birim uzama, akma dayanımına karşı gelen birim uzamayı aşması sonucu betonun birim kısalmasının sınır değerine ulaşıncaya kadar donatıdaki birim uzama artmaya devam eder. Bu tür kırılma "çekme kırılması" adını alır ve sünek kırılma davranış biçimidir. Bu tip elemanların donatı oranı ise denge altıdır.

2.3.6 Burulma Etkisinde Davranış

Betonarme yapılarda burulma bu tür sistemlerin monotonik olma karakterinden genelde ortaya çıkmaktadır. Burulma momenti çubukta kayma ve dolayısıyla çekme gerilmeleri meydana getirdiğinden taşıyıcı sistemi düzenlenirken, bu etkiden mümkün olduğunca kaçınılması gerekir.

Burulmalar betonarme sistemlerde iki farklı şekilde oluşmaktadır. Sistemin dengede kalması için gerekli olan burulma momenti, denge burulması'dır. Örnek olarak, konsol merdiven basamaklarını taşıyan kiriş bu görevi yapabilmek için, burulma momentine dayanıklı olmalıdır yani, kirişte meydana gelen burulma momentleri dengeyi sağlamak için gereklidir. Buna karşılık, burulma momentleri karşılanmasa bile sistem dengede kalabiliyorsa, buna da uygunluk burulması adı verilir. Örnek olarak, bir kenar kirişe oturan döşeme plağı veya ikincil bir kirişin, mesnetlendiği kenar kirişte oluşturacağı burulma bu türe girer. Bu durumda burulma karşılanmazsa, kiriş çatlasa da denge bozulmaz **(Aka ve diğ., 2001).**

Celep ve Kumbasar (2001), burulma momentinin arttırılması ile kayma gerilmeleri sebebiyle asal çekme ve basınç gerilmelerinin artacağını ve betonun çekme dayanımı basınç dayanımından küçük olduğu için elemanda helisel çatlaklar oluşacağını belirtmektedir.

Çatlamanın belli bölgede ortaya çıkmasıyla kesitin davranışı tamamen değişecek ve eleman Şekil 2.14'te görüldüğü gibi taralı yüzeyden ayrılacaktır. Burada helisel çekme çatlağı dışında, kesitin diğer tarafında ayrılmayı oluşturan basınç ezilmesi de

bulunmaktadır. Betonun çekme dayanımına ulaşıldığında betonarme elemanın güç tükenmesine gelindiği için oluşacak kırılma, istenmeyen davranış biçimi şeklinde ani ve gevrek oluşacaktır.

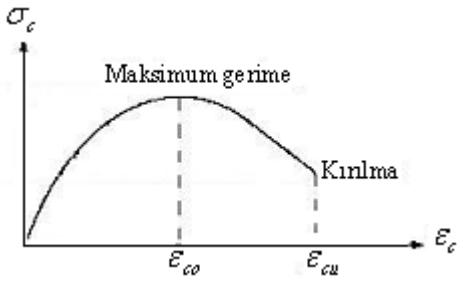


Şekil 2.14 Burulma Momenti Etkisindeki Eleman Davranışı ve Donatı Düzeni

Burulma etkisindeki elemanın davranışının kontrol edilmesi ve dayanımının arttırılması için helisel şeklinde ortaya çıkan asal çekme gerilmeleri doğrultusunda donatı yerleştirilebilir. Ancak burulma momentinin yer değiştirmesiyle çekme gerilmeleri ile basınç gerilmeleri yer değiştireceğinden, bu şekilde yerleştirilen donatının hemen hemen dayanıma hiçbir etkisi olmaz. Bunun yerine asal çekme gerilme yörüngesine yaklaşık 45^0 açı yapan boyuna ve enine donatıların kullanılması burulma altındaki betonarme elemanlarında olumlu davranış olacaktır.

2.3.7 Sünek Davranış ve Uyum Özelliği

Betonarmenin diğer yapı malzemelerinden farkı fazla zorlanan bir lifin, kesitin veya elemanın zorlamaları komşu lifin kesit veya elemanına aktarma (uyum) özelliğidir. Şekil 2.15'te gösterildiği gibi betonun ezilmesi en büyük gerilmeye ulaşıldığında değil, en büyük birim kısalmaya ulaşıldığında oluşmaktadır. Beton birim kısalmasının en büyük gerilmeden kırılma gerilmesine karşı gelen uzamaya kadar artışı sırasında gerilmede azalma oluşur. Gerilmenin azalması sadece ve sadece bu gerilmelerin başka bir life aktarılması ile mümkündür. Dış life göre komşu liflerdeki birim kısalmalar daha küçük olduğundan gerilme aktarılması kolaylıkla sağlanır.

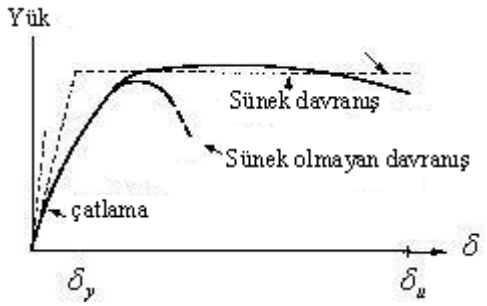


Şekil 2.15 Betonarme Elemanların Tipik Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramı

Gerilme uyumu veya gerilme aktarımı birim deformasyon dağılımının eğimine göre değişir. Eğim azaldıkça komşu lifle olan birim deformasyon farkı azalacağından, gerilme aktarımı olanağı da azalır. Bu nedenle basit eğilme altındaki kirişteki uyum eksenel yük düzeyi yüksek olan kolondan daha fazladır **(Ersoy, 1987).**

Celep ve Kumbasar (2004)'de depremlerden sonra incelenen betonarme yapıların bazı kesitlerinde yeterli eğilme momenti dayanımı bulunmamasının, taşıyıcı sistemin bütünlüğü bozulmamak ve sistemde yeterli süneklilik bulunmak şartı ile her zaman ağır hasara veya göçmeye götürmediği belirtmiştir.

Süneklilik, betonarme bir elemanda Şekil 2.16'da yük-şekil değiştirme eğrisinde görüldüğü gibi yükün yataya yakın olarak devam etmesi durumunda taşıma gücünde önemli bir azalma olmadan yani göçme olmadan yapının yük taşımaya devam etmesi olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2.16 Betonarme Elemanda Sünek davranış

Bu durumda sisteme giren enerjinin bir kısmı doğrusal olmayan davranış sebebiyle söndürülürken, ortaya çıkan büyük şekil değiştirmeler elemanlar arası yardımlaşmaya imkan verecek ve taşıma kapasitesi olan elemanların devreye girmesi sağlanacaktır. Bir malzeme, bir kesit, bir eleman ya da bir yapının deprem gibi tekrarlı yükler altında enerji tüketebilme özelliği kesitte yük artmadığı halde şekil değiştirmelerin devam etmesini sağlayan plastik mafsallarda tüketilecektir. Enerji tüketimi açısından plastik mafsal oluşacak betonarme bir kesitte bu sebeplerle büyük şekil değiştirme kapasitesinin sağlanması gerekmektedir **(Doğangün, 2002).**

3. ADERANS, KENETLENME VE EKLEMELERE İLİŞKİN BİLGİLER

Betonarmenin en önemli özelliklerinden biri, beton ve çeliğin beraber çalışacak yani yük taşıyacak şekilde bir araya gelmesidir. Bu nedenle donatı ile onu saran beton arasında herhangi bir relatif yerdeğiştirmenin kaymanın olmaması gerekir. Donatının betondan sıyrılması veya ayrılması betonarmede çalışmayı önlediği gibi bazı durumlarda elemanın göçmesine sebep olabilir. Bu nedenle donatının tam kapasitesinin kullanılabilmesi için, göz önüne alınan kesite gelinceye kadar donatının betona tam kenetlenmesi gerekir **(Celep ve Kumbasar, 2001).**

Beton ve çelik arasındaki aderans düşünülerek, kenetlenmelerde ve ek yerlerinde donatı yerleşimlerine gereken özen gösterilmelidir.

3.1 Aderans

Betonarmede beraber çalışmayı sağlayan etken relatif kayma olmaması, iki malzeme arasında bir bağ kuvveti bulunması ve bu bağ kuvvetinin daimi olması sonucu oluşur. Bu bağ kuvvetine kısaca "aderans" adı verilmektedir.

Betonarme elemanlarda aderans, aşağıda belirtildiği gibi iki şekilde bulunmaktadır:

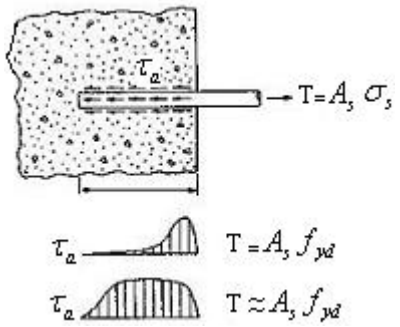
1. Beton bloğa gömülmüş, ankre edilmiş çubukların çekme veya basınç kuvveti ile çıkmasına engel olan kenetlenme (ankraj) aderansı,

2. İki malzemenin beraber çalışmasını sağlayan ve çatlama durumunun şekli üzerinde rol oynayan eğilme aderansıdır **(Arda, 1968)**.

3.1.1 Ankraj Aderansı

Arda (1968)'de beton bloğa bir çelik çubuk yeterli boyda gömüldüğünde, beton sertleştikten sonra betonun içinden çıkmasının mümkün olamayacağı ve bu ankrajı sağlayan aderans gerilmelerinin kenetlenme aderansı olduğu belirtilmektedir.

Çelik çubuğun beton içindeki bir noktasında çelik uzaması, bu noktada çelikle temasta olan beton lifteki uzama ile aynı değerde olması, aderansın deformasyonlar cinsinden ifadesidir. Bu çekme bölgelerinde uzamanın belli değerine kadar doğrudur.



Şekil 3.1 Kenetlenme Aderans Gerilmelerinin Değişimi

Aderans hakkında yapılmış deneylerden biri olan çekip çıkarma deneylerinde, aderans gerilmelerinin ankraj boyunca Şekil 3.1'de gösterildiği gibi düzgün yayılmadığı ve dağılımının da Denklem 3.1, 3.2, 3.3'te gösterildiği gibi birçok parametreye bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir.

$$\Sigma \tau_a = T \tag{3.1}$$

$$\tau_a . \Pi . \phi . l_b = A_s . f_{yd} = \frac{\Pi . \phi^2}{4} . f_{yd} \tag{3.2}$$

$$l_b = \frac{f_{yd}}{4\tau_a} . \phi \tag{3.3}$$

Burada, τ_a aderans gerilmesini, ϕ donatı çapını, A_s donatı kesit alanını, f_{yd} akma donatı gerilmesini, T uygulanan kuvveti, l_b donatının betona gömüldüğü boyu göstermektedir.

Aderans ile yapılan birçok deneylerden elde edilen değişkenlerden en önemlisi betonun çekme dayanımıdır. Buna göre Denklem 3.3'ün düzenlenmesi sonucu betonun çekme dayanımına bağlı Denklem 3.4 elde edilir.

$$l_b = C_0 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} . \phi \tag{3.4}$$

Burada f_{ctd} beton çekme dayanımını, C_0 ise deneysel bir parametreyi göstermektedir.

Kenetlenmenin yeterli olabilmesi için donatı akma gerilmesine eriştiğinde, çubuk betondan sıyrılmamalı veya betonu yarmamalıdır. Donatıların yüzey özelliklerine

bağlı olarak aderansta oluşabilecek kenetlenme yetersizlikleri Şekil 3.2'de görüldüğü gibi farklı şekillerde olur.



Şekil 3.2 Yetersiz Kenetlenmenin Etkileri

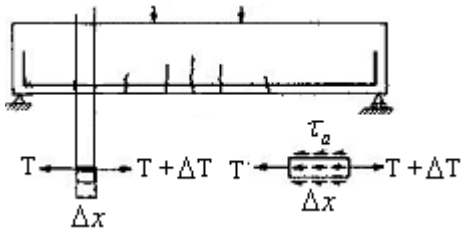
Düz yüzeyli çubuklarda çekip çıkarmaya yakın durumlarda aderans gerilmeleri boyun her noktasında meydana gelmektedir. Aderansın çözülmesi gömülme boyu uzun da olsa çubuğun beton içinden dışarı çıkmasıyla olur.

Nervürlü çubukların ankrajı için bütün gömülme boyu değil, onun ancak bir kısmı çalışmaktadır. Bu anlamda gömülme boyunu belli değerden fazla yapmak bir fayda sağlamaz. Aderansın bozulması ise dişler arasındaki betonun kırılması ile olmaktadır. **(Ersoy, 1987).**

3.1.2 Eğilme Aderansı

Arda (1968)'de beton uzama limitinin çeliğin uzama kapasitesi yanında çok küçük olması sebebiyle çelikteki uzamalar belirli bir değeri geçince beton çatlaması sonucu, malzeme uzamalarının eşitlik geçerliliğini yitireceği ve bu tip elemanlarda çatlak hizasındaki çatlak genişlikleri toplamının çubuk boyuna oranı ile çatlamamış betonun birim uzaması toplamının çeliğin uzamasını vereceği belirtilmiştir.

Bu aderans, eğilme etkisindeki betonarme elemanların çatlak durumlarında etkilidir. Şekil 3.3'te eğilme aderansının kayma gerilmeleriyle oluşumu gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Eğilme Aderansının Oluşumu

Eğilmeye çalışan betonarme bir elemanda, kesitten kesite moment etkilerinin değişebilmesi için donatının gerilmesinin de değişmesi gerekmektedir. Denge şartı gereği Δx uzunluğundaki çubuk çevresinde etkili olan aderans gerilmeleri toplamı

çubuğun iki ucundaki çekme kuvvetlere farkına eşit olmalıdır. Eğilme aderans gerilmeleri Denklem 3.5 ve 3.6'da gösterildiği gibi elde edilebilir.

$$\Delta T = \tau_a.(u).\Delta_x = \frac{\Delta M}{z} \quad \textbf{(3.5)}$$

$$\tau_a = \frac{\Delta T}{(u).\Delta_x} = \frac{V}{u.z} \quad \textbf{(3.6)}$$

Denklemlerden momentin sabit olduğu aralıkta aderans gerilmeleri sıfır hesaplanırken, gerçekte aderans gerilmelerin varlığı deneylerle ispatlanarak bu denklemden bulunan eğilme aderansının güvenilir bir kısıt olmadığı belirtilmektedir **(Ersoy, 1987).**

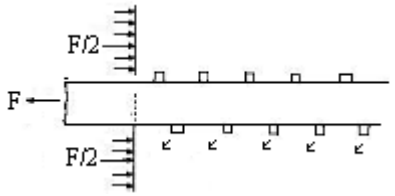
3.1.3 Aderansı Oluşturan Sebepler

Aderans olarak adlandırılan bu bağın oluşmasında aşağıda belirtildiği gibi temel olarak üç neden bulunmaktadır.

1. Çelik ve beton arasında yapışma olarak adlandırılan moleküler ve kapiler bağ kuvvetleri bu bağın oluşmasında etkilidir. Bu kuvvet betonun çimento cinsine bağlıdır. Yapışma kuvveti oldukça küçük olup, çelik ve beton yüzleri arasındaki en ufak bir harekette kaybolduğu için göz önüne alınmaması uygundur.

2. Beton ve çelik çubuk arasında oluşan sürtünme kuvvetleri diğer bir etkendir. Böyle bir kuvvetin meydana gelmesi için ortak yüzeye basınç gelmelidir. Böyle bir basınç dış yüklerle veya rötre gibi etkilerle meydana gelebilirken, çubuğun eğri eksenli olmasıyla da meydana gelebilir. Yalnız çubuğun eğri olması halinde bu kuvvete itimat edilebilir.

3. Donatı ve beton arasındaki mekanik diş kuvvetleri ise aderansın oluşumunda en önemli etkendir. Aderansı geliştirilmiş çubuklarda dişlerin betona kilitlenmesiyle meydana gelir. Nervürlü çubuklarda dişler sebebiyle beton bloğa Şekil 3.4'de görüldüğü gibi helezon veya eğik kuvvetleri etkirken, çelik çubuğa bunların zıt yönleri tesir eder. Bu kuvvetlerin büyük değerler alması halinde eğik basınç gerilmeleri nedeniyle beton ezilir **(Arda, 1968).**



Şekil 3.4 Nervürlü Donatıda Betona Etkiyen Kuvvetler

3.1.4 Aderansı Etkileyen Faktörler

Aderans etkilerinin anlaşılabilmesi bakımından aderans hakkında yapılan deney ve araştırmalar sonucunda aderansın birçok parametreye bağlı olduğu belirlenmiştir. Aderans konusunda yaptığı araştırmada **Arda (1968)** aderansı etkileyen bazı faktörleri şöyle belirtmektedir:

1. Çubuğun yüzey geometrisi yani donatının düz yüzeyli veya nervürlü olup olmaması aderansı etkilemektedir. Çapları aynı olan iki çubuktan nervürlü çubuğun aderans gerilmesi, düz yüzeyli çubuğun aderans gerilmesinin yaklaşık iki-üç katı kadardır.

2. Çelik çubuğun betonlama sırasındaki konumu da diğer önemli etkendir. Aderansın iyi olabilmesi için betonun çubuğu iyice sarması gerekir. Üst kısım betonunun iyice sıkıştırılamaması, üst çubukların altındaki beton oturmasının alt çubuklara nazaran daha fazla olması aderansının daha az olmasına neden olur.

3. Betonun cinsi, özellikle nervürlü çubuklarda daha da önem kazanmaktadır. Dişler arasındaki betonun kırılmasında beton dayanımı çok önemli rol oynamaktadır.

4. Elemana etkiyen yüklerin statik veya dinamik oluşu başka bir etkendir. Dinamik yüklerin hakim olduğu yapılarda aderansın devamlılığı zamanla bozulabilmektedir. Buna meydan vermemek için kabul edilebilir en yüksek aderans gerilmesi statik yüklerin hakim olduğu duruma nazaran daha küçük tespit edilmelidir.

5. Donatının kenar veya iç çubuk oluşu da aderansı etkilemektedir. Bir kenar çubuğunun aderansı, kenardaki beton tabakasının ince olması dolayısıyla enine deformasyon yapması nedeniyle bir iç çubuk kadar olmaz. Paspayı özellikle nervürlü donatılarda donatılmış elemanlar için önemlidir.

6. Enine donatı özellikle nervürlü çubuklar kullanıldığında, çubuklar boyunca meydana gelebilecek çatlakların ilerlemesine ve genişlemesine engel olur. Boyuna bir çatlak meydana geldiğinde enine donatı bulunmadığı zaman aderansın sıfıra

ineceği açıktır. Enine donatı halinde aderans küçülür, fakat ortadan kalkmaz. Bünye aderans gerilmelerinin mesnetler gibi büyük olduğu yerlerde özellikle kullanılması, beton örtü tabakasının yarılmasını önler. Etriyeler betona gelen kuvveti dengeleyerek aderansa olumlu katkı yapmaktadırlar.

7. Çelik çubuğun çapı ne kadar büyürse aderans da o kadar büyür. Düz çubuklar için geçerli olan bu durum, aderansı geliştirilmiş çubuklara uymaz. Nervürlü çubuklarda çap arttıkça, aderans dirençlerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

8. Çubuk yüzeyinin niteliği de aderansı etkilemektedir. Bir çelik çubuk haddeden yeni çıkmış olsa bile yüzeyinde birtakım pürüzler gösterir. Zamanla paslanmanın da işe karışmasıyla yuvarlak düz demirler küçük bir mertebe de olsa aderansı geliştirilmiş çubuk kadar direnç göstermektedir. Pas genellikle kızıl bir görünüm taşıdığı ölçüde yararlı olmaktadır. İlerlemiş ve kabuk görünüşünü almış pas ise betonla demirin bağı yönünden aderansı azaltığı gibi hacmi arttırması dolayısıyla beton içinde çatlaklara yol açabilir. Benzer olarak topraklı, çamurlu, yağlanmış çubukların da aderansı bir hiç mertebesindedir.

9. Çubuğun kesitteki diğer çubuklara konumu ve çubuklar arasındaki mesafesi de aderans açısından önemli olmaktadır. Bitişik çubukların dış ve iç aderans özellikleri, aynı kesitli büyük çaplı ayrık çubukların aderansından daha iyidir.

10. Çubuğu saran betonun çubuk eksenine dik noktadaki gerilme durumu aderansın değişmesinde rol oynamaktadır. Düz yüzeyli çubuklarda sürtünmenin yüzeye dik etkiyen zorlarla artması söz konusudur. Nervürlü çubuklarda ise çıkıntıların betonda oluşturdukları çekme gerilmeleri bir yan basınç sonucunda azalır ve belki basınç gerilmesine dönüşmesi aderans direncinin artmasına sebep olur.

11. Elektro kimyasal etken de aderansın üzerinde etkili bir parametredir. Çelikten başka çinko, aliminyum ve bakır gibi madenlerden yapılma kalıpların kullanılması halinde donatı çelikleriyle farklı madenden yapılma kalıp arasında potansiyel farkından dolayı bir pil oluşmakta ve donatı çevresinde aderansı önemli derecede azaltan gaz kabarcıkları meydana gelmektedir. Bu sebeble betonarmede kullanılan kalıpların ahşap, çelik saç veya plastik olması gerekir.

3.2 Kenetlenme

Betonarme bir elemanda hesap sonucu artık donatının gerekmediği kesitte donatının kendisindeki etkiyi betona aktarabilmesi için gerekli olan minimum boy kenetlenme boyudur. Bu boydan daha küçük bir boy bırakılırsa, donatı betondan sıyrılıp çıkmakta daha büyük bir boy bırakılması halinde gereksiz yere daha fazla donatı kullanılmış olmaktadır. Kenetlenme boyundan daha büyük boyda artan yükler altında donatının koptuğu, dolayısıyla donatının yük taşıyamayacağı kabul edilmektedir **(Doğangün, 2002).**

Gerekli kenetlenme boyu **TS 500 (2000)**'de kesitteki donatı çubuklarının betonlama sırasındaki konumlarına bağlı olarak ikiye ayrılmıştır. Buna göre konum I konum II'de olmayan çubuklardır. Konum II Şekil 3.5'te gösterildiği gibi betonlama sırasında eğimi yatayla $45° - 90°$ arasında olanlar ile, daha az eğimli veya yatay olup da betonlama sırasındaki kesitin alt yarısında veya kesitin serbest üst yüzeyinden 300 mm'den daha uzakta olan çubuklardır.



Şekil 3.5 TS 500'e Göre Konum II'ye Giren Çubuklar

Herhangi bir betonarme kesitteki donatının öngörülen çekme veya basınç gerilmesini güvenle taşıyabilmesi için, her iki yönde yeterli kenetlenme boyuna sahip olması gereklidir. Kenetlenme, düz kenetlenme, manşon ve benzeri mekanik bağlantılarla veya kanca ile sağlanabilir.

3.2.1 Düz Kenetlenme

Düz kenetlenme, donatının gereksinme duyulmayan noktadan düz olarak l_b kadar uzatılması ile sağlanabilir. Kenetlenme boyu olan bu boy nervürlü çubuklar için Denklem 3.7'de verilmiştir.

$$l_b = 0{,}12.\frac{f_{yd}}{f_{ctd}}.\phi \geq 20\phi \qquad \textbf{(3.7)}$$

Düz yüzeyli çubuklarda kenetlenme boyu nervürlülere nazaran daha uzun olduğundan, düz yüzeyli çubukların kenetlenme boyu hesabı için Denklem 3.7'deki

değerin iki katı alınmalıdır. Bunun dışında düz kenetlenmeye düz yüzeyli donatılarda izin verilmez **(TS 500, 2000).**

TS 500 (2000), aderans açısından olumsuz olabilecek aşağıda belirtilen durumlarda Denklem 3.7'den elde edilen değerin ilgili parametre veya katsayılarla değiştirilmesi şartıyla, gerekli kenetlenme boyunun sağlanabileceğini belirtmiştir.

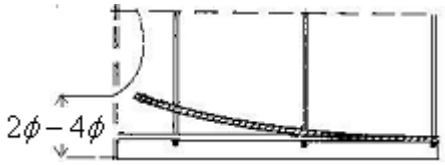
a. Donatı çapının $32\ \text{mm} < \phi \leq 40\,\text{mm}$ olduğu durumlarda kenetlenme boyu $\frac{100}{132-\phi}$ katsayısı ile arttırılır.

b. Konum II'deki çubuklar için denklem geçerli iken konum I'e giren çubuklar için kenetlenme boyu 1,4 ile arttırılmalıdır.

c. Beton örtüsünün donatı çapından az olduğu veya aynı sıradaki donatı çubukları arasındaki net uzaklığın donatı çapının bir buçuk katından küçük olduğu durumlarda ise kenetlenme boyu 1,2 ile arttırılmalıdır.

Bazı durumlarda da kenetlenme boyu azaltılabilmektedir. Mesela, kesitteki donatı hesaplanan donatıdan fazla olduğunda Denklem 3.7'den elde edilen değer, hesaplanan donatı alanının mevcut donatı alanına oranı ile çarpılarak azaltılabilir. Ancak bu azaltma, Denklem 3.7'den hesaplanan boyun yarısından ve 20ϕ'den az olamaz. Azaltma perdelerin kritik yükseklikleri içinde yapılamaz. Basınç donatısının kenetlenmesi ise ankraj önyüzüne yakın beton bölgesinin çekme halinde olduğu gibi kolay deformasyon yapmaması ve çelik çubuğun enine genişlemesi ve çekme donatılarının kenetlenmesinden daha iyi kenetlenme sağlanması sebebiyle, bu donatı çubuklarının bütün yük düzenlemeleri altında basınca çalışmaları hallerinde, kenetlenme boyunun Denklem 3.7'den hesaplananın ¾'üne kadar alınabilmektedir.

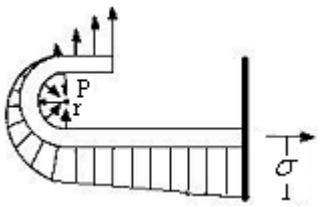
Bunun dışında, nervürlü çubuklarda kanca yapılmamalıdır. Nervürlü çubukların düz kenetlenmesi durumunda boyuna donatıların uçları en yakın olduğu kiriş yüzünden $2\phi - 4\phi$ kadar içeri çekilmelidir. Ayrıca bu bölgelere ilave enine donatı etriyeler konulmalıdır **(Özden, 1978)**.



Şekil 3.6 Düz Kenetlenmiş Nervürlü Donatının Tavsiye Edilen Uygulaması

3.2.2 Kanca veya Fiyongla Kenetlenme

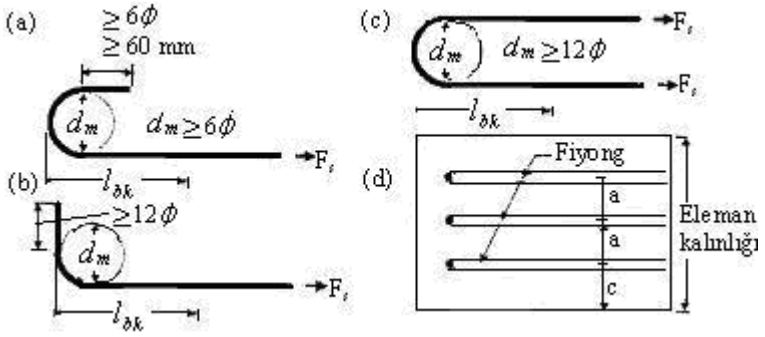
Yeterli kenetlenme boyu bulunmadığında ankraj boyunu kısaltmak için kanca denen çengel kısmın yapılması yoluna gidilebilir.



Şekil 3.7 Kancalı Donatıdan Betona Etkiyen Kuvvetler

Şekil 3.7'de gösterildiği gibi kanca içindeki betonda çubuğun çapı olan ϕ genişliğince tesir eden değeri oldukça yüksek basınç gerilmeleri meydana gelir. Bu gerilmeler ϕ / r ile orantılıdır. Yarıçap küçük olduğunda gerilme büyük değerler alabilir ve betonda ezilme olur. Bu sebeplerle yönetmeliklerde, kancaların belli çapta olmaları istenmektedir **(Özden, 1978)**.

TS 500 (2000)'de Şekil 3.8'de gösterildiği gibi standart kanca ve fiyonglar yapılması halinde, Denklem 3.7'den bulunan kenetlenme boyunun ¾'ü kadarı alınabileceği belirtilmektedir.



Şekil 3.8 Standart Kanca ve Fiyonglar

Şekil 3.8(a)'da gösterildiği gibi bu tür standart kancanın donatı ekseni ile yaptığı açı $180°$ dir. Kanca serbest ucunda uzunluğu 6ϕ ve 60 mm'den az olmayan düz bir bölüm bulunmalıdır. Kanca iç çapı 6ϕ'den az olamaz.

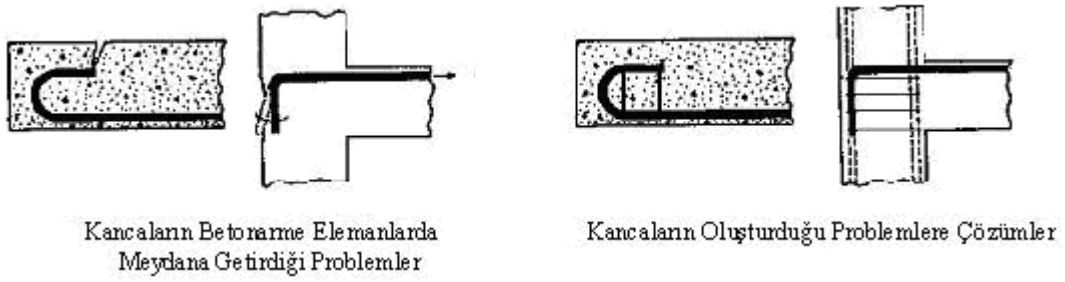
Şekil 3.8(b)'de gösterildiği gibi bu tür standart kancanın donatı ekseni ile yaptığı açı $90°$ dir. Kanca serbest ucunda uzunluğu 12ϕ'den az olmayan düz bir bölüm bulunmalıdır. Kanca iç çapı ise 6ϕ'den az olamaz.

Şekil 3.8(c)'de görüldüğü gibi fiyonglarda bükülme iç çapı 12ϕ'den az olamaz.

Donatının ucu bükülerek kanca veya fiyong yapılıyorsa gerekli kenetlenme boyu $d_m \geq 12\phi$, $a \geq 2\phi$, $c \geq 3\phi$ olmasına dikkat edilerek azaltılabilir.

Çekme donatısında kanca yapılması durumunda yukarıda verilen bu kurallara dikkat edilirken, basınç donatısında kanca yapılmasına müsade edilmez.

Eğer basınç çubuklarında kanca ile ankraj boyu kısalması yapılırsa, düz ankraj boyu çubuk kuvvetinin betona aderans gerilmeleri ile intikal etmesi için gereken boydan küçük tutulduğundan dolayı çubuğun ucunda bir kuvvet meydana gelmesine neden olunacaktır. Bu durumda basınç çubuğu flambaj yaparak, ince örtü tabakası varsa onu patlatır. Basınç çubuklarının eleman kenarlarına yakın olanları flambaja karşı enine donatı ile emniyete alınmalıdır. Bu durumlar ve alınabilecek önlemler Şekil 3.9 da gösterilmiştir **(Özden, 1978)**.



Şekil 3.9 Basınç Donatılarında Flambaj ve Olası Çözümleri

3.2.3 Kaynaklı Enine Çubukla Kenetlenme

Gerekli kenetlenme boyu, çubuğa kaynaklanmış enine çubuklar ile de sağlanabilir. Nokta kaynaklı hasır çeliklerde bu tür kenetlenme yaygın olarak kullanılır.

Kaynaklı enine kenetlenme için gerekli çubuk sayısı ve minimum boyutları, nokta kaynaklı hasır donatılar için geçerli olan Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Kaynaklanmış Enine Çubuklar İçin 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

Dinamik veya çok değişen yüklerin sözkonusu olduğu durumlarda Tablo 3.1'deki değerlere bir çubuk ve 100 mm eklenmelidir **(TS 500, 2000).**

3.2.4 Mekanik Kenetlenme

Özel durumlarda kenetlenme, donatı ucuna kaynaklanan veya vidalanan plakalarla sağlanabilir. Bu gibi durumlarda, öngörülen düzenleme bir laboratuvarda denenmeli ve projede kullanılacak çubuk hesap kuvveti kırılma yükünün %70'ini geçmemelidir **(TS 500, 2000).**

3.2.5 Demet Donatının Kenetlenmesi

TS 500 (2000)'e göre yalnız nervürlü çubuklar Şekil 3.10'da gösterildiği gibi demet olarak kullanılabilir. Demetteki donatı çubuğu sayısı en çok 3 olabilir. Demetteki donatının eşdeğer çapı ϕ_e için, Denklem 3.8'deki bağlantı kullanılmalıdır.

$$\phi_e = 1{,}2.\phi.\sqrt{n} \qquad \textbf{(3.8)}$$

Burada ϕ demet olarak düzenlenecek çubukların çapını, n ise demetteki donatı sayısını göstermektedir.



Şekil 3.10 Demet Donatı Düzenlenmesi

Demet donatı için kenetlenme ve eklemedeki koşullar aynen geçerlidir. Ancak kenetlenme boyu hesabında Denklem 3.8'den bulunan eş değer çap kullanılabilir.

3.2.6 Etriyelerin Kenetlenmesi

Etriyelerin kenetlenmesi, kanca, düz bindirme veya enine çubuk kaynaklanması gibi farklı yöntemlerle sağlanabilir.

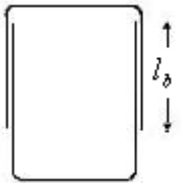
Kanca ile kenetlenme durumunda, Şekilde 3.11'de gösterildiği gibi 135° veya 90°'lik kancalar kullanılır. Özellikle 135°'lik kancaların, dikdörgen kesitli kolonlar ve özellikle burulmaya maruz elmanlar için kullanılması gerekmektedir. 90°' lik kancaların yapılması halinde kanca tabla içinde kalmak koşuluyla, ancak dişli

döşeme kirişlerinde kullanılabilir fakat, deprem ve burulma etkisi altındaki elemanlarda kullanılmamalıdır.



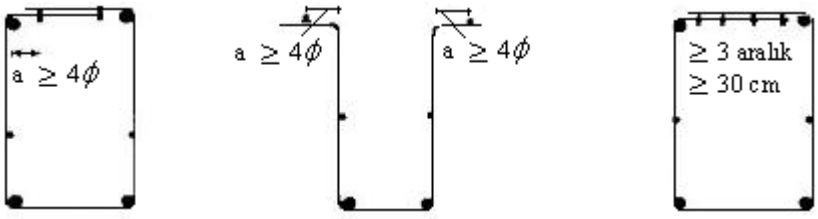
Şekil 3.11 Etriyelerde Kancalı Kenetlenme Türleri

Düz bindirmeli etriye kenetlenmesinin yapılması durumunda, bindirme boyu Denklem 3.7'den elde edilen değer kadar alınır. Şekil 3.12'de gösterilen düz bindirmeli etriye kenetlenmesinin, deprem bölgelerinde veya burulma etkisi altındaki yapı elemanlarında kullanılmaması gerekir.



Şekil 3.12 Düz Bindirmeli Etriye Kenetlenmesi

Kaynaklı enine donatı ile kenetleme yapılması ancak hasır donatı kullanıldığında yapılmaktadır. Uygulamalarda izin verilen kaynaklı kenetlenme türleri Şekil 3.13'te gösterilmiştir **(TS 500, 2000).**



Şekil 3.13 Etriyelerde Kaynaklı Kenetlenme Türleri

3.3 Donatının Eklenmesi

Yapımlarıyla ilgili teknik zorlamalar ve ulaştırmada kolaylık sağlamak amacıyla betonarmede donatı olarak kullanılan çelik çubukların boyları belli sınırları aşmaz. Çoğu zaman düz yüzeyli donatılar 10-12 m boyunda ve firketeler şeklinde bulunurlar. Yüksek dayanımlı aderansı geliştirilmiş çubuklar da en çok 16- 18 m boyuna kadar yapılmaktadır. Uygulamaların daha uzun donatı boyları gerektirmesi

durumunda çubukların eklenmesi yoluna gidilir. Başka pratik sorunlar da çubukların eklenmesini gerektirebilir.

Donatı çubuklarının eklenmesinde betonun aderans özelliğinden faydalanılan bindirmeli ek veya betonun bu etkisi olmadan doğrudan çelik cinsine uygun kaynaklı veya manşonlu ek yöntemlerinden biriyle ek yapılmasına müsade edilmektedir **(Aka ve diğ., 2001)**.

3.3.1 Bindirmeli Ekler

Çekme veya basınca maruz ϕ çaplı iki çubuğun betonun aderans özelliğinden faydalanarak eklenecekse, bu çubuklar ek yerinde birbirlerine ya temas etmeli ya da en fazla 4ϕ'ye kadar aralıklı olacak şekilde yanyana konmalı ve birbiri üzerinde l_0 "bindirme boyu" adı verilen boy kadar eklenmelidir.

Çubukların bindirme kısımlarının başladığı kesitlerde çekme veya basınç gerilmesi bulunması durumunda bu gerilmelerin aynı çubuğun bitim noktasında sıfıra eşit olacağı ve bu boy boyunca donatının etkilerini betona aderans gerilmeleriyle aktaracağı kabul edilir.

Çubukların betona verdikleri aderans gerilmeleri zıt yönlüdür ve çubukları saran beton bu zıt kuvvetlerin altında dengededir. Çubuğu saran beton arasındaki aderans bozulmadıkça iki çubuk birbirine eklenmiş kabul edilir. Bu sebeple elemanın betonu ile yapılan bu ekine kısaca "aderanslı ek" adı da verilebilir **(Özden, 1978)**.

Ersoy (1987), bindirmeli eklerde gerilme aktarımının yukarıda belirtildiği gibi tek noktada sağlanamayacağını ve bu boyun kısa tutulması durumunda aşırı gerilme yığılmaları oluşacağını belirtmektedir. Bu durum sebebiyle yönetmeliklerde minimum bindirme boyu, temel kenetlenme boyu olan l_b'ye göre belirlenir. Ayrıca, aynı kesitte eklenen çubuk sayısı arttıkça gerilme yığılmaları daha kritik olacağından, aynı kesitte eklenen çubuk sayısı da bindirme boyunun belirlenmesi açısından önemlidir.

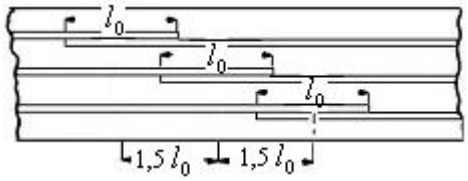
TS 500 (2000)'de bindirme boyu Denklem 3.9'da verildiği gibi belirlenmektedir.

$$l_0 = \alpha_1 . l_b \qquad \textbf{(3.9)}$$

$$\alpha_1 = 1 + 0{,}5.r \qquad \textbf{(3.10)}$$

Burada, r aynı kesitte eklenen donatının toplam donatıya oranıdır. Bütün kesiti çekme taşıyan elemanlarda α_1= 1,8 alınır. Konum I'e giren çubuklarda bu değer 1,4 çarpanıyla arttırılır. Uygulamada çekmeye çalışan çubukların bindirmeli ek uçlarının kanca şeklinde kıvrılması durumunda, Denklem 3.9'dan hesaplanan bindirme boyu değerinin ¾'üne kadar bir değer alınabilir.

Denklem 3.10'daki α_1 sayısını küçük tutabilmek için ekler aynı kesitte yapılmayıp, olabildiğince şaşırtılmalıdır. Şekil 3.14'te gösterildiği gibi eklerin şaşırtılmış olması için iki ekin merkezinden merkezine ölçülen uzaklık, bindirme boyunun en az 1,5 katı olmalıdır.



Şekil 3.14 Çekme Kuvveti Taşıyan Donatıların Şaşırtmalı Bindirme Eki

Ersoy (1987)'de bindirmeli eklerin ucunda yoğunlaşan gerilme yığılmaları sebebiyle özellikle nervürlü donatılar kullanıldığında, beton örtüsünün yarılma olasılığının artacağını belirtmiştir. Bu sebeple ekler arasındaki uzaklık ve paspayı yeterince büyük olmalıdır.

Bindirmeli eklerin bindirme boyunca kapalı etriyelerle sarılması yararlı olacaktır. Bu tür etriyeler, betonu sararak yarılmaya karşı dayanımının arttırılması yanında özellikle büyük çaplı donatılı elemanların rijit cisim dönmesi sonucu betonun yırtılması problemini önler. Şekil 3.15'de rijit cisim dönmesi problemi gösterilmiştir.

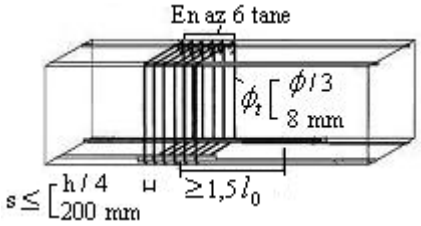


Şekil 3.15 Eklerde Rijit Cisim Dönme Problemi

Bu tip problemleri önlemek için **TS 500 (2000)**'de sargı donatıları için verilen aşağıda koşullar sağlanmalıdır.

1. Bindirme boyunca kullanılacak sargı donatısı çapı, en az eklenen donatı çapının 1/3'ü veya ϕ 8 olarak alınmalı ve bindirme boyu boyunca en az 6 tane sargı donatısı kullanılmalıdır.

2. Sargı donatısı aralığı eleman yüksekliğinin ¼'ünden veya 20 cm'den daha büyük olmamalıdır. Ve ayrıca iki çubuk arasında aralık bırakılması gereken durumunda bu aralık bindirme boyunun 1/6'sından ve 10 cm'den fazla olmamalıdır. Şekil 3.16'da bindirmeli eklerdeki sargı donatısına ilişkin koşullar verilmiştir.



Şekil 3.16 Bindirmeli Eklerde Sargı Donatılarına İlişkin Koşullar

Hasır donatıların bindirmeli ek yapımlarında ise Tablo 3.2'deki koşullara uyulmalıdır. Yalnız, Tablo 3.2 kesitte bulunan donatının gerekli donatıdan en az %50 fazla olduğu durumlar için geçerlidir. Hasır donatılarda kesitteki donatı alanının gerekli donatı alanına oranı 1,5'ten küçük olduğu durumlarda, tablodan alınan bindirme boyları ve enine çubuk sayılarının değerleri, gerekli donatı kesit alanının kesitte bulunan donatının kesit alanına oranı ile 1,5'in çarpılması sonucu elde edilen değerle arttırılıp, kullanılmalıdır.

Tablo 3.2 Nokta Kaynaklı Hasır Donatının 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

TS 500 (2000)'de basınç donatılarının bindirmeli eklerinde dikkat edilmesi gereken bazı hususlar ise şu şekilde belirtilmektedir:

1. Basınç donatılarının bindirme boyu Denklem 3.7'de verilen kenetlenme boyundan ve 30 cm'den az olmamalıdır.

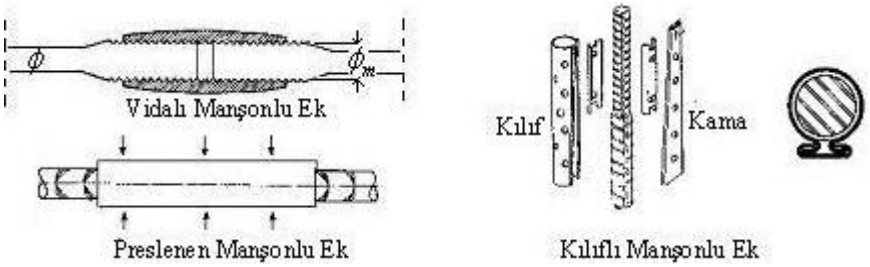
2. Basınç donatısındaki bindirmeli eklerde kanca yapılmamalıdır.

3. Sargı donatısı aralığı d/4'ten az olmamalıdır.

Bunların dışında çapı 30 mm'den büyük olan donatı çubuklarına bindirmeli ek yapılamaz. Bu çubuklar yeterliliği deneylerle kanıtlanmış özel manşonlarla eklenmelidir.

3.3.2 Manşonlu Ekler

Bir kesitte basınca veya çekmeye maruz olan çubukların eki, manşon denilen özel mekanik bağlantıyla yapılabilir. Manşonlu ekler mekanik bağlantılara örnek teşkil ederler. Vidalı manşon, preslenen manşon veya kılıflı manşon gibi bazı manşonlu eklere örnekler Şekil 3.17'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17 Manşonlara Örnekler

Vidalı manşonlu ekte iki çubuğun uçları basınçla şişirilerek, çapından büyük hale getirilir ve bu kısımlara manşon denilen silindir şeklindeki özel mekanik bağlantının dişlerinin tersi yönünde dişler açılarak, bu manşon sayesinde iki çubuk eklenir.

Preslenen manşonda ise nervürlü donatılar manşona sokulup, hidrolik presle sıkıştırılır.

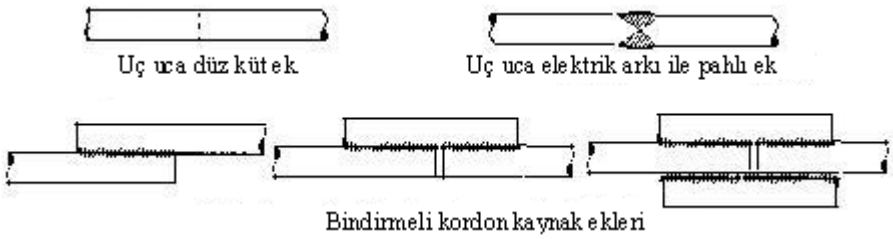
Bunların dışında daha çok küçük eksantirisiteli basınca çalışan boyuna donatı çubuklarında kullanılan kılıflı ekte ise çubuklar eksenine dik kesilip, birbiriyle tam temas ettirilerek etraflarına kaymalarına engel olan kılıf geçirilir. Boşluk thermit ile doldurulur **(Özden, 1978)**.

TS 500 (2000) hem çekme hem de basınç altında manşonla eki sağlanan donatı çubuğu için standartta öngörülen minimum karakteristik akma dayanımının 1,25 katı olduğunun deneylerle kanıtlanmasını istemektedir.

3.3.3 Kaynaklı Ekler

Donatıların kaynaklı ekleri, kesitteki çubukların çekme veya basınç gerilme durumunda da kullanılabilir. Kaynaklı ek, eklenecek çeliğinin türüne bağlı olmak üzere elektrik kıvılcımı ile veya uç uca küt ek ile veya elektrik arkı ile uç uca ek ya da bindirilmiş çubuklar boyunca latalı yada latasız kordon şeklindeki ek biçimlerinde, Şekil 3.18'de gösterildiği gibi olabilir. Soğukta işlenerek dayanımı yükseltilmiş beton çelikleri çok ısıtıldıklarında, yüksek dayanımlarını

kaybettiklerinden bunların kaynakla eklenmelerinde özel önlemlerin alınmalıdır **(Aka ve diğ., 2001)**.



Şekil 3.18 Kaynaklı Ek Türleri

Ersoy (1987)'e göre kaynakla eklemede çekme kuvveti altında, kaynak türlerinden biri olan uç uca küt ek ve elektrik arkı ile pahlı ek zayıf olacağından mümkün olduğunca kullanılmamalıdır. Bindirme kordonlu kaynaklı ekler kullanıldığında, kaynak yapımına büyük özen gösterilmeli ve kullanılan çeliğin özelliklerinin kaynaklanma sırasında değişmediği kanıtlanmalıdır. Kaynağın özenli yapılmadığı veya kaynak nedeni ile bir zayıflama olduğu durumlarda, önemli sorunlar doğabilir.

TS 500 (2000)'de, kaynaklı ek yapılması durumunda genel olarak aşağıda belirtilen şu hususlara dikkat edilmesi gerektiği belirtilmiştir:

1. Kaynaklı ek yapılacak çubukların metalurjik analizi yapılmalı ve çeliğin özellikle karbon çeliği açısından kaynaklanmaya uygun olduğu kanıtlanmalıdır.

2. Kaynakla yapılan eklerden her elli taneden birine (en az beş tanesine) çekme deneyi uygulanmalıdır. Bu deneylerde, ekli donatının 1,25 f_{yk} kadar gerilme taşıyabileceği kanıtlanmalıdır.

4. DONATI YERLEŞİMLERİNE İLİŞKİN GENEL BİLGİLER

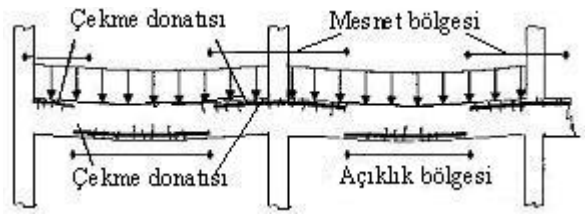
Betonarme yapılarda donatının düzenli yerleştirilmemesi, yapının mukavemetini ve servis ömrünü azaltır ve yapının yıkılmasında rol oynar. Yapının kullanılmaması için ille de yıkılmasına gerek yoktur. Mesela, geçirimlilik istenmeyen bir su deponun donatı yerleşiminin yanlış yapılması sonucu sızma olması kullanımını engeller ve tekrar kullanılması, ancak ek maliyetlerle birlikte söz konusu olacaktır.

Donatı detaylandırılırken, gerilmelerin kesintisiz akışının sağlanmasının önemlidir. Donatı olabildiğince, kesintisiz yerleştirilmeli, donatının kesilmesi zorunlu olan yerlerde, gereken önlemler alınmalıdır. Gerilmeler keskin köşelerden hoşlanmadığı için donatı bükülürken de bu hususa dikkat edilmelidir **(Ersoy, 1987).**

4.1 Boyuna Donatılar

Betonarme bir elemanda elemanın uzunluğu doğrultusunda yerleştirilen donatı boyuna donatı olarak adlandırılmaktadır. Toplam boyuna donatı miktarı, hesap sonucunda belirlenen donatılardan ve hesap sonucu belirlenmeyen ancak yönetmelik gereği yerleştirilmesi zorunlu olan donatılardan oluşmaktadır.

Bu donatılardan çekme bölgesine yerleştirilen boyuna donatılar, çekme donatısı, basınç bölgesine yerleştirilenler ise basınç donatısı olarak adlandırılmaktadır. Çekme donatısı olarak adlandırılan donatının konumu, elemana etkiyen yükün ve açıklığın büyüklüğüne, sürekli kirişlerde de komşu açıklıkların oranlarına bağlıdır.



Şekil 4.1 Çekme Donatısının Yerleşimi

Çekme çatlakları, Şekil 4.1'de gösterildiği gibi mesnetlerde kirişin üst kısmında açıklıkta ise kirişin alt kısmında oluşmaktadır. Bundan dolayı çekme donatıları

çatlakların gelişmesini önlemek amacıyla çatlakların oluşacağı kısımlara yerleştirilmelidir **(Doğangün, 2002).**

Kesitler için gereken boyuna donatı, kesite etkiyen en büyük momente göre hesaplanır. Moment genellikle açıklık boyunca sabit olmadığından, maksimum moment noktasına belirli bir uzaklıktaki donatının bir bölümüne gerek kalmaz. Teorik açıdan bakıldığında, ihtiyaç duyulmayan donatı çubuklarının o noktalarda Şekil 4.2'de görüldüğü gibi, yerleştirilmemesi mantıklıdır.



Şekil 4.2 Donatı Miktarlarının Azaltılması

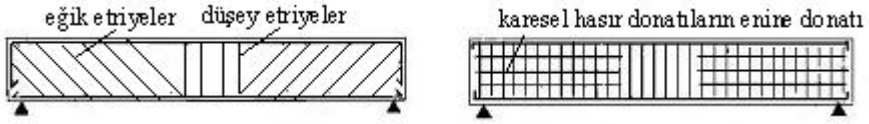
Ancak yapılan deneyler, donatının kesilmesinin sakıncalı olduğunu göstermiştir. Bu yerlerde, büyük gerilme yığılmalarının bulunması nedeniyle, aderans olumsuz etkilenmekte ve eğik çatlaklar oluşmaktadır. Bu nedenle donatı kesilmeyip, basınç bölgesine 45° büküldüğü durumlarda bu sakınca ortadan kalkmaktadır. Pilye adını alan bu boyuna donatı gerilme yığılmalarını alır ve ayrıca kenetlenmenin basınç bölgesinde yapılmasını sağlar. Ekonomik açıdan bakıldığında, gereksinme duyulmayan çekme donatısı mesnedin öbür tarafına bükülerek momentin işaret değiştirmesi ile yeniden çekme donatısı olarak kullanılmaktadır **(Ersoy, 1987).**

Yüksek dayanımlı beton çeliklerinin teknolojilerinin gelişmesiyle gittikçe daha yüksek dayanımlı çelikler yapılabilmektedir. Ancak, özel alaşımlarla işlenebilme özellikleri geliştirilmediği sürece, bu çeliklerin eğilerek işlenmeleri zor olarak kalacaktır. Bu nedenle, işçiliğin pahalı olduğu ileri endüstri ülkelerinin uygulama alanlarında pilyelerden vazgeçme yoluna gidilmiştir **(Aka ve diğ., 2001).**

4.2 Enine Donatılar

Betonarme elemanlarda boyuna donatıya dik doğrultuda yerleştirilen donatı enine donatı adını alır. Kesme kuvveti etkisiyle oluşan çekme kuvveti genellikle enine donatılarla (etriyelerle) karşılanır.

Enine donatıların yerleşimleri, Şekil 4.3'te gösterildiği gibi boyuna donatılara dik doğrultuda olabileceği gibi yatayla 45° ile 60° arasında olup, eğik olarak da düzenlenebilirler. Ancak bu durumda, betonarme elemana gelen yükler yön değiştirmeyecek şekilde olduğu zaman bu eğik etriyeler etkili olabilecektir. Genelde, düşey etriyelerin veya hasır donatıların enine donatı olarak kullanılması önerilir **(Aka ve diğ., 2001)**.



Şekil 4.3 Enine Donatıların Bazı Düzenlemeleri

Etriyelerin kullanılmasının faydaları, **Celep ve Kumbasar (2001)**'de aşağıda belirtildiği gibi verilmektedir.

1. Eğik çekme gerilmelerinin kiriş ekseni boyunca yayılı olması nedeniyle, belirli aralıklarla düzgün yerleştirilen etriyeler etkinin karşılanması bakımından uygundur.

2. Eğik çekme gerilmeleriyle belirli açı yapan etriyeler kesme kuvvetinin işaretinin değiştiği durumlarda da uygundur.

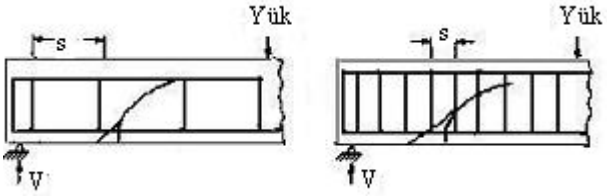
3. Etriyeler kiriş boyuna donatısını betona bağlayarak, bunların kesme kuvvetinin karşılanmasındaki perçin etkisini arttırırlar.

4. Kesme kuvvetinin karşılanmasında ortaya çıkan beton basınç kuvvetleriyle beraber kafes sistem etkisini oluştururlar.

5. Eğik çekme gerilmelerinden dolayı ortaya çıkan çatlakları sınırlayarak, kesme kuvvetinin bir kısmının agrega sürtünmesiyle taşınmasını sağlarlar.

6. Özellikle sık kullanılan etriye durumunda betonun yanal genişlemesini azaltarak, betonun hem dayanımını ve hem de sünekliğini arttırırlar.

Enine donatıların aralıklarının sıkılığı ve yerleştirilme şekilleri, betonarme elemanların davranışlarını değiştirir. Mesela, Şekil 4.4'te verildiği gibi eğik çatlamanın oluşmasıyla çatlakla kesişen etriyelerde aniden büyük gerilmeler oluşurken, yeterli etriye bulunmadığında veya etriyenin çok seyrek yerleştirildiği durumlarda ise eğik çatlak ile etriye kesişmeyecek ve etriye etkisiz kalacağından eleman gevrek kırılacaktır. Bu tür kırılmayı önlemek için, yönetmeliklerdeki minimum etriye ve maksimum aralık koşuluna uyulmalıdır **(Ersoy, 1987).**



Şekil 4.4 Etriye Yerleşiminin Rolü

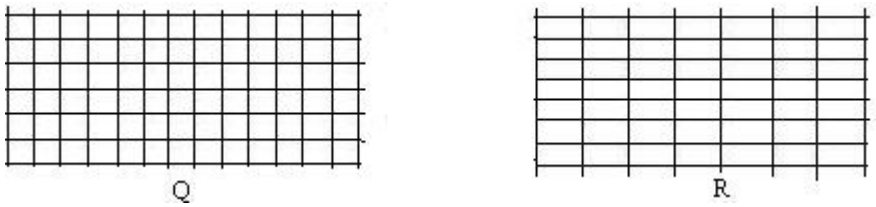
4.3 Hasır Donatılar

Hasır donatılar betonarme yapı elemanlarında plak ve kabuklarda, perdelerde, kiriş ve kolonlarda, sömellerde, asmolen döşemelerde, hatıllarda, beton yollarda, saha betonlarında, istinat duvarlarında ve donatı ihtiyacının olduğu hemen her yerde çekme, basınç ve kayma donatısı veya konstrüktif olarak, normal betonarme demiri yerine büyük bir tasarruf sağlayan yüksek mukavemetli betonarme demiridir.

Özel nervürlerle beton içerisinde yüksek bir aderansa sahip olduğundan, normal bir betonarme demiri gibi uçlarında kanca yapılmasına lüzum yoktur. Çubuklar yüksek mukavemetli punto kaynakla birleştirildiğinden hem bu durum hem de özel nervürleri sayesinde çelik hasır, beton ile birlikte mükemmel bağdaşıp iki malzemenin en iyi bir şekilde müşterek çalışmasını temin eder.

Çelik hasırların şantiyede kolay taşınabilir ağırlıklarda oluşu nedeniyle montajı kolay ve çabuk olmaktadır. Normal demire kıyasla çubukların düzeltilip, kesilerek hazırlanması ve baglanması yerine, muntazam aralıklarla teşkil edilmiş çelik hasırların uygulamadaki montajı kısa zamanda olmakta, dolayısıyla da işçilikten yarı yarıya tasarruf sağlanmaktadır **(http://www.celikhasir.com)**.

Çelik hasırlar kullanım amacına göre, Şekil 4.5'te gösterildiği gibi, Q ve R tipli olmak üzere, iki şekilde imal edilirler.



Şekil 4.5 Hasır Donatı Tipleri

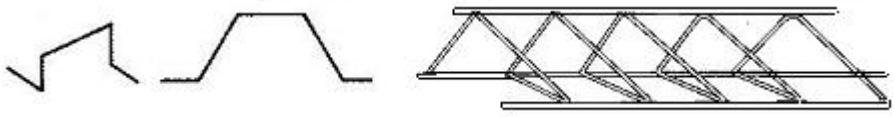
Q tipi hasır donatılar, iki doğrultuda çalışan döşemelerde genellikle alt donatı olarak, R tipi hasırlar ise bir doğrultuda çalışan döşemeler için veya iki doğrultuda çalışan

döşemelerin üst donatısı olarak kullanılmaktadır. R tipi hasırlarda asal donatıların aralıkları 100-150 mm, diğer doğrultudaki donatının aralığı ise 200-250 mm arasındadır. Gösterimi R 150.250.7.0.5.0 şeklindedir. Birinci rakam asal donatı aralığını, ikincisi diğer doğrultudaki donatı aralığını, üçüncü rakam asal donatı çapını, son rakam ise diğer doğrultudaki donatının çapını göstermektedir. Hasır donatıların imalatına ilişkin ayrıntılı bilgiler TS 4559 da verilmektedir **(Doğangün, 2002).**

4.4 Sehpa Donatıları

Sehpa şeklindeki donatılar, diğer boyuna ve enine donatılar gibi betonarme taşıyıcı elemanların iskeletlerini oluşturmazlar. Bunlar üst ve alta konan donatıları projede gösterilen şekilde tutabilmek amacıyla kullanılmaktadırlar.

Üzerine ağır yükler etkiyen ya da ağır yüklerin geldiği zemine oturan radye temellerde veya hasır donatıların döşemenin hem altına hem üstüne doğru şekilde yerleştirilemeleri için, bazen sehpa donatılarına ihtiyaç duyulabilir. Şekil 4.6'da üst donatıları, doğru pozisyonda tutabilmeyi amaçlamayan bazı sehpa donatıları gösterilmiştir **(Barker, 1967).**



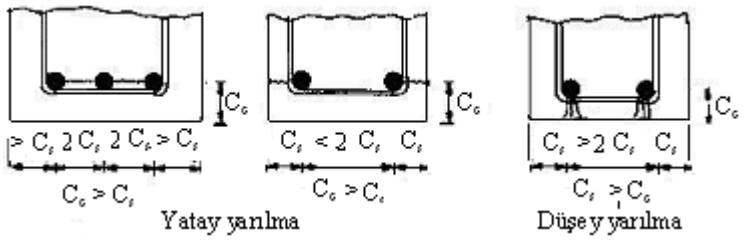
Şekil 4.6 Sehpa Donatılarına Örnekler

4.5 Donatı Aralık ve Paspayı Mesafeleri

Aynı sıradaki donatı çubukları arasındaki net aralık donatı çapından, maksimum agrega çapının 4/3'ünden ve 25 mm'den az olamaz. Bu sınırlar bindirmeli eklerin bulunduğu yerlerde de geçerlidir.

Donatının iki yada daha fazla sıra yerleştirilmesi gereken durumlarda, üst sıradaki çubuklar alt sıradakilerle aynı düşey eksen üzerinde sıralanmalı ve iki sıra arasındaki net açıklık en az 25 mm olmalıdır. Kolonlarda iki boyuna donatı arasındaki net uzaklık çubuk çapının 1,5 katından, en büyük agrega çapının 4/3'ünden ve 40 mm den az olamaz **(TS 500, 2000)**.

Donatı aralıklarına yönelik yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, betonda meydana gelen yarılma tipinin donatılar arası mesafelerin değişimleriyle ilişkili olduğu **Ersoy (1987)**'de belirtilmektedir. Donatıların birbirlerine olan uzaklıklarına ve paspaylarına bağlı olarak, Şekil 4.7'deki gibi yanal ve düşey yarılmalar meydana gelir.



Şekil 4.7 Donatı Mesafelerinin Beton Yarılmasında Etkisi

Donatıyı korozyona karşı korumak ve beton ile donatı kenetlenmesini sağlamak amacıyla donatı ile dış ortam arasında beton örtüsü bulundurulmalıdır. Beton örtüsünün bu görevleri dışında, yangına karşı dayanımı arttırmak ve betonun ufalanmasını engellemek gibi görevleri de bulunmaktadır. Ancak beton örtüsünün küçük olmasın diye çok fazla yapmak da uygun olmaz. Bu durumda kolonun taşıma gücü donatının konumunun uygun olmamasından dolayı zayıflayacaktır.

Boyuna donatı ağırlık merkezi ile en dış beton lifi arasında kalan mesafe beton örtüsü, en dış donatının dış yüzeyinden en dış beton lifine kadar olan mesafe ise net beton örtüsü (paspayı) olarak tanımlanmaktadır **(Doğangün, 2002).**

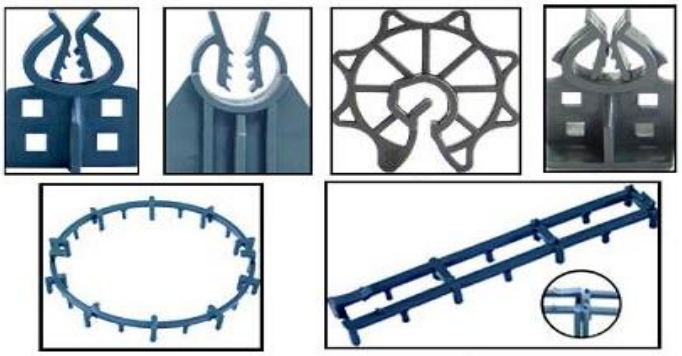
TS 500 (2000)'de donatı yerleşimleriyle ilgili verilen şu genel koşullara dikkat edilmelidir:

Beton dökülürken, donatının yerinin değişmemesi gerekir. Çubukların etrafında gerekli beton tabakasının arasına çelik çubuk parçaları konmalıdır. Beton takoz ve çelik çubuk parçaları yerine bu amaçla hazırlanmış plastik elamanlarda kullanılabilir. Etriyelerin de yan yüzünden betonla sarılmasına dikkat edilmelidir. Döşeme ve kirişlerin üst donatılarının aşağıya basılmaması için önlem alınmalıdır. Paspayları için Tablo 4.1'deki koşulların sağlanması gerekmektedir.

Tablo 4.1 Betonarme Elemanlarda Minimum Paspayları

Yapı Elemanı	Paspayı
Kabuk ve katlanmış plaklar	15
Betonarme duvar ve döşemeler	15
Yapı içinde dış etkilere açık olmayan kolon ve kirişler	20
Hava koşullarına açık olan kolon ve kirişler	25
Zeminle doğrudan temasta olan elemanlar	50

Yapılarda kullanılabilecek çeşitli paspayları mevcuttur. Bunlar işlevlerine göre değişik isim ve şekil almaktadırlar. Rahatça beton geçişini sağlamak için genelde gözenekli olmaktadırlar. Yapılarda kullanılan bazı paspaylarına Şekil 4.8'de örnek verilmiştir **(http://www.paspayi.com).**



Şekil 4.8 Paspaylarına Örnekler

5. BETONARME TAŞIYICI SİSTEMLERİN DÜZENLENMESİ

Bir binanın ana işlevi insanın temel gereksinimi olan çalışma yerini sağlamak, örttüğü hacimlerin üzerindeki yükleri taşımak ve bu yükleri zemine aktarmaktır. Bu açıdan bakıldığında yapıyı, taşıyıcı sistemi oluşturan taşıyıcı elemanlar ve barınma işlevinin tamamlanması için gerekli olan taşınan elemanların bütünleşmesi ile meydana getirmek gerekmektedir.

Taşıyıcı sistemin ana görevi, yapıya etkiyen yükleri kendi ağırlığı ile birlikte taşımak ve bu yükleri güvenlikle en kısa yoldan zemine aktarmak, yapının dengede kalmasını sağlamaktır. Taşıma kavramı, kullanma yükleri altında çatlak vb. arıza meydana gelmeden sınırlı şekil değiştirme yaparak göçmeye karşı yeterli güvenlikte bulunması biçiminde açıklanabilir.

Her türlü tesisat ve mimari çalışmalar ilerledikten sonra taşıyıcı sistemi düzenlemek ya güvenliği az karışık bir yapının meydana gelmesine ya da daha önce tasarlanan tamamlandığı sanılan projede esaslı değişiklikler yapılmasına sebep olur. Bundan dolayı proje ile ilgili olan çalışmalar, mimari tasarlama, tesisat işleri ve taşıyıcı sistemle ilgili çalışmalar birlikte yürütülmelidir. Bir mühendisin, mimarın düşündüklerini, tasarladıklarını, bilime, tekniğe ve yönetmeliklere uygun bir taşıyıcı sistem ile gerçekleştirme görevi vardır **(Aka ve Altan, 1992)**.

5.1 Taşıyıcı Sistemlerin Sınıflandırılması

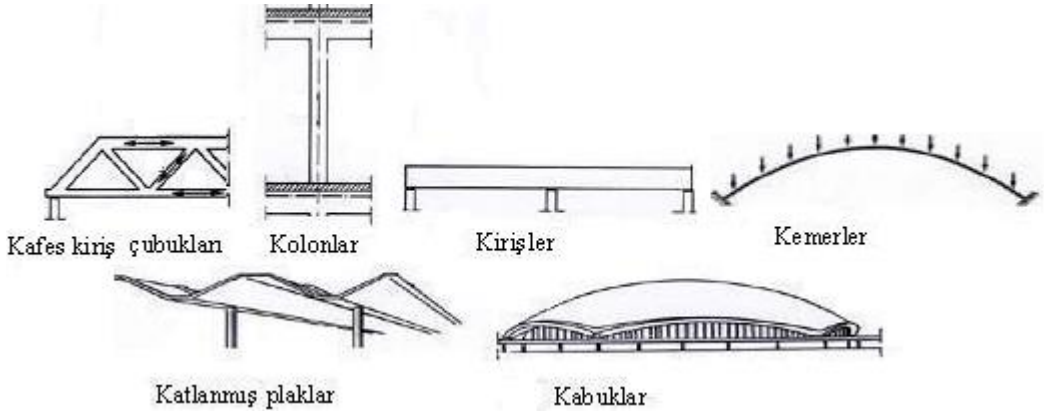
Betonarme taşıyıcı sistemleri meydana getiren elemanlar, düşey yükleri doğrudan taşıyan kat döşemeleri, bunların mesnetlerini oluşturan kirişler, bunların da mesnetlerini oluşturan ve yüklerini alt katlara aktaran düşey taşıyıcılar olan kolon ve perdeler ile yapının zemine mesnetlenmesini sağlayan temellerden oluşur.

Taşıyıcı elemanlar geometrileri ve yükleme durumlarına göre farklılıklar gösterirler. Genel olarak betonarme taşıyıcı elemanlar iki ana gruba ayrılabilir:

1. Çubuklar ve çubuk taşıyıcı elemanlar
2. Yüzeysel taşıyıcılar

Çubuk taşıyıcı elemanların bir boyutu diğer iki boyutundan büyüktür. Bu tip elemanlara kafes kiriş çubukları ve kolonlar gibi normal kuvvetle zorlanan çubuklar örnek verilebileceği gibi eğilme veya eğilme ile birlikte normal kuvvetle zorlanan kiriş veya kemerler de örnek verilebilir.

Yüzeysel taşıyıcılar da iki boyutu diğer boyutu yanında büyük olan, ortalama yüzeyleri düzlem olan levha ve plaklar ile katlanmış plaklar veya eğrisel yüzeyli kabuklarda olabilir. Şekil 5.1'de bazı çubuk ve yüzeysel taşıyıcı sistemlere örnekler verilmektedir **(Altan ve Güler, 2005)**.



Şekil 5.1 Çubuk ve Yüzeysel Taşıyıcılara Örnekler

Betonarme yapıların yüksekliği arttıkça yatay yük etkisinin önemi artar, bunun uygun taşıyıcı sistemle karşılanması sistem tasarımı ve yapısal çözümlemede birinci derecede öncelikli duruma gelir. Belirli bir yükseklikte binanın yatay yerdeğiştirmeleri çok büyük değerlere ulaşır ve taşıyıcı sistem malzemesinin dayanımı yerine taşıyıcı sistemin yatay rijitliği tasarımın ana etkeni olur.

Betonarme sistemler, yatay rijitlik elemanlarına göre çerçevelerle, boşluklu ve / veya boşluksuz perdelerle veya her ikisinden oluşan karma sistemlerle teşkil edilebileceği gibi betonarme yüksek yapılarda uygulanan tüp sistemlerle de teşkil edilebilirler **(Aka ve diğ., 2001)**.

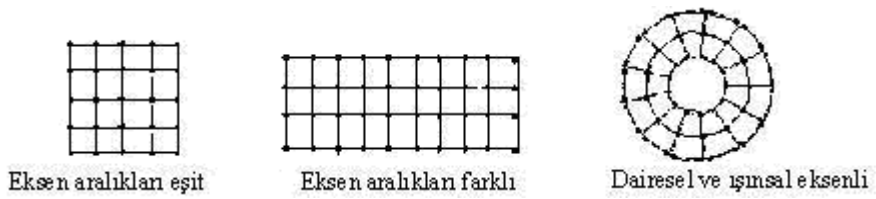
5.1.1 Çerçeve Sistemler

Kolon ve kirişler ve / veya döşemelerin bir döküm olarak inşa edilmesiyle çerçeve adı verilen taşıyıcı sistem ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde en çok uygulanan sistemdir. Ancak bu sisteme sahip betonarme yapılar özellikle ülkemizde meydana

gelen son büyük depremlerde en fazla hasar gören ya da yıkılan sistem şekli olmuştur.

Çerçeve sistemli yapılar deprem etkisinde kaldıkları zaman yatay yükleri düğüm noktalarındaki elemanların rijitlikleri ile karşılamaktadır. Bu sisteme sahip yapıların depremlerde enerji tüketme güçleri diğer sistemlere göre daha azdır. Deprem yönetmeliğinde, bu sistemlerin enerji tüketme güçlerini arttırabilmek için kolon ve kiriş boyutlarına, donatılarına ve etkisinde kaldıkları yük etkilerine birçok sınırlama getirilmiştir **(Doğangün, 2002)**.

Uygulamalarda çerçeve türü betonarme taşıyıcı sistemlerin iki doğrultuda da çerçeve sistem olarak bulunduğu görülür. İki doğrultuda çerçeve sistemler iki doğrultudaki eksen aralıkları birbirine yakın olan bir ızgara sistemi üzerine kurulan sistemlerdir. Şekil 5.2'de çerçeve türü sistemlere bazı örnekler verilmiştir **(Aka ve diğ., 2001)**.



Şekil 5.2 Çerçeve Sistemlere Örnekler

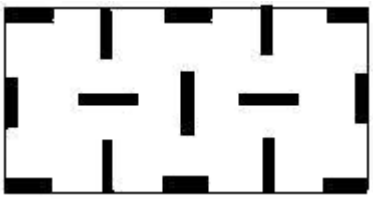
5.1.2 Perdeli Sistemler

Perdeler düşey taşıyıcı elemanlar olup görevleri döşemelerden ve kirişlerden aldıkları yatay ve düşey yükleri zemine aktarmak ve özellikle deprem etkisinde kalan yapıların yatay ötelemelerini sınırlandırmaktır. Bu nedenle perdeli yapıların depremde elastik enerji tüketme güçleri çerçeveli yapılara göre yüksektir. Plastik enerji tüketme güçleri ise yüksek değildir. Yatay yükler etkisiyle perde düşey eksenli bir konsol gibi çalışacağından eğilme etkileri mesnette büyük olur.

Perde duvarlı yapılar, içinde hassas cihazların çalıştığı hastane, değerli eşyaların bulunduğu müze gibi yapılarda ve insanların yoğun olarak bulunduğu okul ve yurt binalarında daha sık tercih edilen sistemlerdir.

Kapı, pencere ve asansör kapısı gibi nedenlerle perde duvarlarda boşluk bırakılması halinde de boşluklu perde sistemler ortaya çıkmaktadır. Bu sistemler çerçeveli sistemlerin davranışı ile perdeli sistemlerin davranışı arasında bir davranış göstermektedir. Boşluklu perde sistemi kolon rijitlikleri kiriş rijitliklerine göre çok büyük olan bir tür çerçeve sistem gibi düşünülebilir

Taşıyıcı sistemi tamamen perdelerden oluşan bir yapının planına örnek Şekil 5.3'te verilmektedir **(Doğangün, 2002)**.

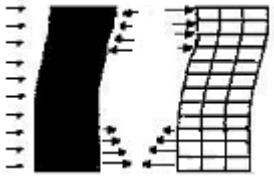


Şekil 5.3 Perdeli Bir Yapının Plan Örneği

5.1.3 Perdeli Çerçeve Sistemler

Çerçevelerle birlikte perdelerin kullanılması ile yatay yük taşınması için uygun bir taşıyıcı sistem elde edilir. Çerçeve ve perdelerle teşkil edilen sistemler karma sistemlerdir. Perdeler yapıya etkiyen yatay tesirlerin büyük kısmını taşırlar. Ayrıca çerçevelerin yer değiştirmesini sınırlayarak, yatay yükler etkisinde yapı elemanlarında oluşacak hasarların sınırlı kalmasını sağlarlar.

Perdelerin şekil değiştirmesinde eğilme momeli etkili olur ve katlar arasındaki en büyük yer değiştirme üst katlarda meydana gelirken, çerçevelerde ise yatay ötelenme kesme kuvvetinin büyük olduğu alt katlarda oluşur. Yer değiştirmelerin bu özelliği nedeniyle üst katlarda perdenin yer değiştirmesi çerçeve tarafından, alt katlarda çerçevenin yer değiştirmesi perde tarafından önlenir. Şekil 5.4'te bu tip sistemlerin davranışları gösterilmiştir **(Altan ve Güler, 2005)**.



Şekil 5.4 Perde ve Çerçeveli Sistemin Davranışları

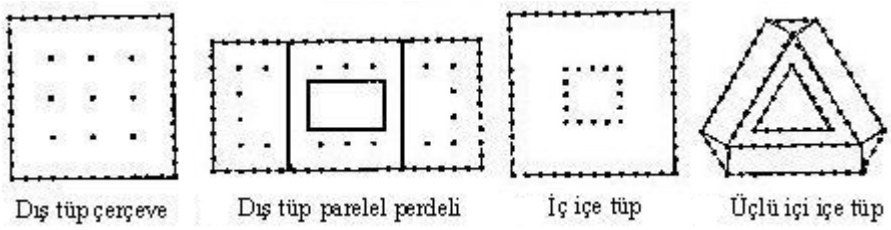
5.1.4 Tüp Sistemler

Yapı yüksekliğinin yaklaşık 30 kattan daha fazla olması durumunda perdeli çerçeve sistemler yeterli yatay rijitliği sağlayamazlar. Bunun sonucu olarak yapı ekonomiklikten uzaklaşır. Bu durumda tüp sistemler seçenek olarak görülmektedir.

Tüp sistemli yapılar yatay yükler altında eğilmeye karşı çok etkilidirler. Yatay yük taşıyıcı elemanları boşluklu dikdörtgen halka tüp olarak düşünülebilen ve yapının dış yüzeyine küçük aralıklarla yerleştirilen kolonlar ve bu kolonları kat seviyelerinde

bağlayan kirişlerden oluşan elemanlardır. Kolon aralıkları 1 ile 3 m arasında olup, bazen 5m'ye kadar arttırılabilir **(Doğangün, 2002).**

Aka ve diğ. (2001)'de tüp sistemlerin tasarımında, yatay yüklere karşı cephe taşıyıcı sisteminin yerden konsol kutu kiriş gibi davrandığı belirtilmektedir. Dış cephe yatay yüklerin karşılanmasında önemli bir katkıda bulunduğundan, sistem daha ekonomik olmaktadır. Cephenin rijitliği, kafes kiriş etkisi yaratan kuşaklamalar konularak arttırılabilir. Tüp sistemlerin planlarına örnekler Şekil 5.5'teki gibi verilebilir.



Şekil 5.5 Tüp Sistemlere Örnekler

5.2 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı

Ülkemizde zaman zaman yıkıcı depremlerle karşılaşılmakta ve bunun bir sonucu olarak da birçok yapı hasar görmekte veya göçmektedir. Geçmişte meydana gelen depremlerden başka gelecekte de benzer büyüklükte depremlerin meydana geleceği kaçınılmaz bir gerçektir. Depremi önleme olanağı bulunmadığından yapıları depreme dayanıklı olarak tasarlamak ve yapmaktan başka çare yoktur.

5.2.1 Tasarımdaki Genel İlkeler

Sabit yükler gibi yapıya daima etki eden yükler ve hareketli yükler, ısı değişimi gibi oldukça sık etki eden yükler yanında deprem etkisi daha seyrek etki eden bir yük olduğu için yapının depremi hiç hasarsız ve elastik sınırlar içinde kalarak karşılaması çok pahalı bir çözüm olup, ancak nükleer santraller gibi önemli yapılarda uygulanabilir.

Birçok ülkenin deprem yönetmeliklerinde olduğu gibi ülkemiz deprem yönetmeliğinde de yapıların taşıyıcı sistemlerinin tasarımında aşağıda belirtilen şu ortak ana ilkelere uyulmaktadır:

1. Sık ve küçük şiddetteki depremleri elastik sınırlar içinde kalacak şekilde,

2. Orta şiddetteki depremleri elastik sınırların ötesinde taşıyıcı sistemde kolayca onarılabilecek hasarlarla,

3. Seyrek ama şiddetli depremleri taşıyıcı sistem göçmeden yani can kaybı olmadan elastik davranışın üzerinde büyük şekil değiştirmeler yaparak, yani büyük hasarlarla karşılayabilmesi istenmektedir.

Elastik sınır aşıldığında kesit zorlarında önemli artışlar olmadan, yapının büyük şekil değiştirmeler yapabilmesi yani sünek davranabilmesi için yapının taşıyıcı sistem elemanlarının ve bu elemanların birleşim bölgelerinin yönetmeliklerin öngördüğü şekilde boyutlandırılıp donatılması gerekir. Taşıyıcı sistemleri bu anlayışla yapılan yapılarda, ivmesi şiddetli bir depremde yapıya etkiyebilecek değerin çok altında bir değer olarak göz önüne alınabilir. Bu amaçla deprem yönetmeliği taşıyıcı sistemin türüne ve süneklilik düzeyine bağlı olarak deprem kuvveti azaltma katsayısı tanımlamıştır **(Altan ve Güler, 2001).**

Yapılar, deprem yönetmeliğimizde süneklik düzeylerine göre sınıflandırılmakta ve buna göre farklı koşullarda bulunmaktadırlar. Süneklik düzeyi yüksek olan sistemlerdeki yüksek süneklilik sebebiyle elastik deprem yüklerinin daha büyük bir katsayı ile azaltılması öngörülmektedir.

Bir taşıyıcı sistemin süneklik düzeyinin yüksek olabilmesi için uyulması gereken başlıca koşullar aşağıda açıklandığı gibi iki ana grupta toplanmaktadır.

a. Kiriş, kolon ve birleşim bölgelerinde sık etriye düzeni kullanılmalı,

b. Taşıyıcı elemanlarda sünek güç tükenmesinin gevrek olandan daha önce ortaya çıkması sağlanmalıdır. Örneğin, kiriş kolon gibi elemanlarda ve birleşim bölgelerinde sünek olmayan güç tükenmesi ortaya çıkaran kesme kuvveti kapasitesinin, sünek güç tükenmesi ortaya çıkaran eğilme momenti kapasitesinden daha yüksek tutulması gerekmektedir **(Celep ve Kumbasar, 2004).**

Deprem yönetmeliğimizin betonarme taşıyıcı sistemleri sünekliklerine göre sınıflandırması Ek A'da verilmektedir.

5.2.2 Yapısal Düzensizlikler

Depreme dayanıklı yapıların taşıyıcı sisteminde ve elemanlarının her birinde, deprem yüklerinin temel zeminine kadar sürekli bir şekilde ve güvenli olarak aktarılmasını sağlayacak yeterlilikte rijitlik, kararlılık ve dayanımda bulunması gerekmektedir.

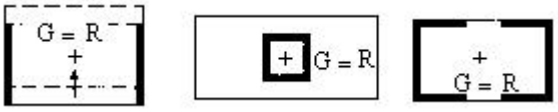
Deprem yönetmeliğinde düzenli yapılar teşvik edilmiştir. Düzensiz olan yapılarda taşıyıcı sistem davranışının belirlenmesi, daha fazla kabuller ve belirsizlikler getirirken, taşıyıcı sistemin de daha fazla zorlanmasına sebep olur. Deprem yönetmeliği, bu tip yapıların davranışlarındaki olumsuzluklardan dolayı deprem kuvvetini arttırarak, ek boyutlama esasları ve konstrüktif kurallar getirerek düzensiz yapıların dayanım düzeyini yükseltmiş ve bunların seçiminden caydırmayı esas almıştır **(Celep ve Kumbasar, 2004)**.

Deprem yönetmeliği, düzensizlik durumlarını planda ve düşeyde düzensizlik durumları olarak ikiye ayırmış ve bunlardan mümkün olduğunca kaçınılmasını öngörmüştür. Bu düzensizlik durumlarını da kapsayacak şekilde depreme dayanıklı taşıyıcı sistem seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıdaki başlıklarda açıklanmaktadır.

5.2.2.1 Burulma Düzensizliği

A1 türü düzensizlik olarak gösterilen burulma düzensizliği, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük göreli kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama göreli kat ötelemesine oranı olan η_{bi}'nin 1,2'den fazla olması durumudur **(A.B.Y.Y.H.Y., 1998).**

Bina planda düzenli değilse, kolonlar ve perdeler planda simetrik düzende bulunmuyorsa rijitlik merkezi rijit elemanlara kayacağı için dış merkezlik durum ortaya çıkar ve kütle merkezinde bulunan kat kesme kuvvetleri rijitlik merkezine ilave burulma momenti ile gelir. Bu da binanın planda rijitlik merkezi etrafında dönmesine ve dolayısıyla kolonlara ilave kesme kuvvetleri gelmesine sebep olur.



Şekil 5.6 Perdeli Yapılarda Burulma Etkisini Azaltan Örnekler

Ek tesirleri ortadan kaldırmak açısından kütle merkezi ile rijitlik merkezini birbirine yaklaştırmak uygun olur. Şekil 5.6'da verildiği gibi perdelerin planda simetrik olarak düzenlenmesiyle rijitlik merkezinin planda simetri merkezine yaklaşmasının sağlanması bir önlem olarak düşünülebilir.

Deprem yönetmeliğimizde, deprem kuvvetinin etkidiği doğrultuya dik bina boyutunun - % 5 ve + % 5 kadar bir dış merkezlikle bulunduğu kabul edilir. Kabul edilen bu dış merkezlikten dolayı bina tamamen simetrik olsa bile daima η_{bi} 1'den fazla olacaktır **(Celep ve Kumbasar, 2004)**.

5.2.2.2 Döşeme Süreksizliği

A2 türü düzensizliğe giren döşeme süreksizliği durumları herhangi bir kattaki döşemede şu şekilde verilmiştir:

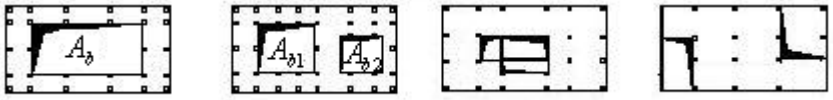
1. Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması,

2. Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması,

3. Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumudur **(A.B.Y.Y.H.Y., 1998)**

Yapılarda depremden dolayı etkiyecek olan yükler ağırlıkla orantı olduğundan ve yapı ağırlığının da büyük bir kısmı kat seviyelerinde toplandığından, döşemeler düzlemleri içinde etkiyen yatay kuvvetlerin etkisinde kalmaktadır. Döşeme rijitse yani rijit diyafram olarak çalışıyorsa yatay yükler altında, kendi içinde deforme olmadan rijit bir kütle gibi öteleme hareketi yapacak ve düşey taşıyıcılara deprem kuvvetini güvenle aktarabilecektir.

Deprem yönetmeliğinde Şekil 5.7'de gösterilen A2 türü düzensizliklerin bulunduğu ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı binalarda birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarabildiğinin hesapla doğrulanması koşulu getirilmektedir **(Doğangün, 2002)**.

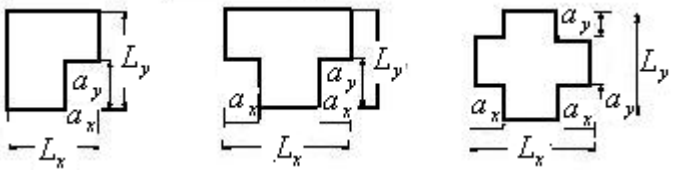


Şekil 5.7 A2 Türü Düzensizlik Durumları

Diyaframlar içindeki boşluk tasarımında, boşlukların diyaframın duvar veya çerçeve bağlantılarıyla çakışmamasına dikkat edilmeli ve çok sayıda olan boşlukların birbirinden yeterince uzağa yerleştirilmesi gerekir. Döşeme boşluğu düzensizliğinin olumsuz etkilerini azaltmak için eleman boyutlarının ve donatılarının arttırılması gerekmektedir. Bu durum ise yapıda yük ve maliyet artışına sebep olur **(Coza, 2003)**.

5.2.2.3 Planda Çıkıntıların Bulunması

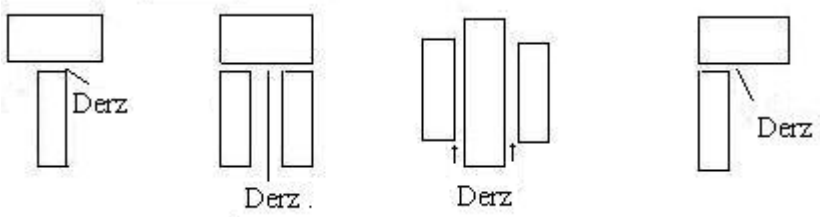
A3 türü düzensizlik olarak belirtilen bu düzensizlikte, bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların biririne dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının % 20'sinden daha büyük olması durumudur (**A.B.Y.Y.H.Y., 1998).** Şekil 5.8'de bu tür düzensizliklere örnekler verilmiştir.



Şekil 5.8 A3 Türü Düzensizlik Durumları

Bu tür düzensizliklere sahip L, T, H ve U şeklindeki döşemelerin deprem kuvvetlerini diğer elemanlara iletirken, rijit diyafram gibi davrandığı kabulü doğru olmayabilir. Bu durumda döşemenin kollarında düzlemleri içinde birbirine göre relatif yer değiştirme ortaya çıkabilir.

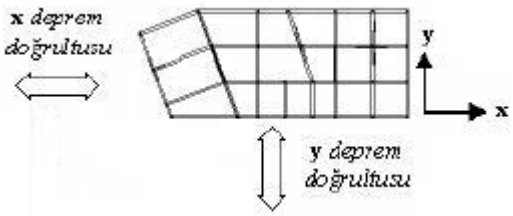
Deprem yönetmeliğinde kat döşemelerinin kendi düzlemleri içerisindeki deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarabildiğinin hesapla doğrulanması koşulu getirildiğinden, yapının arazi durumu gibi nedenlerle kare ve dikdörtgen benzeri geometrilerde yapılamaması durumlarında Şekil 5.9'da gösterildiği gibi yeterli genişliğe sahip derzlerle basit geometrili kısımlara ayırmak daha uygun çözüm olacaktır **(Doğangün, 2002)**.



Şekil 5.9 Yapıların Derzlerle Ayrılması

5.2.2.4 Taşıyıcı Eleman Eksenlerinin Parelel Olmaması

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının plandaki asal eksenlerinin göz önüne alınan birbirine dik yatay deprem doğrultularına parelel olmaması durumu A4 türü düzensizliğini oluşturmaktadır.



Şekil 5.10 A4 Türü Düzensizliği

Şekil 5.10'da gösterilen bu düzensizliğin bulunması halinde elemanlar daha büyük kesit tesirlerine göre tasarlanmalıdır. Bir deprem doğrultusu için hesap yaparken, elemanda bu doğrultuda hesaplanan iç kuvvete diğer doğrultu için hesaplanan iç kuvvetin de %30'u eklenir. Bu şekilde hesap yapılmasındaki amaç deprem doğrultusuna göre asal eksenleri parelel olmayan elemanlarda oluşabilecek iç kuvvet değerlerinin etkileşimlerini hesaba katabilmektir **(A.B.Y.Y.H.Y, 1998)**.

5.2.2.5 Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği

A.B.Y.Y.H.Y (1998)'de bu düzensizlik B1 türü zayıf kat düzensizliği olarak düşey doğrultudaki düzensizlik durumlarının arasına girmektedir. Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde herhangi bir kattaki etkili kesme alanı'nın bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı η_{ci}'nin 0,8'den küçük olması durumudur. Dayanım düzensizliği katsayısı η_{ci} Denklem 5.1'den hesaplanmaktadır.

$$\eta_{ci} = \frac{(\sum A_e)_i}{(\sum A_e)_{i+1}} \qquad \textbf{(5.1)}$$

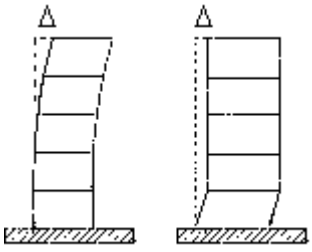
Burada, $\sum A_e$ herhangi bir katta gözönüne alınan deprem doğrultusundaki etkili kesme alanı göstermektedir. $\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0{,}15 \cdot \sum A_k$ şeklinde hesaplanır. Herhangi bir katta, $\sum A_w$ kolon enkesiti etkin alanları toplamını, $\sum A_g$ deprem doğrultusuna parelel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanları toplamını ve $\sum A_k$ göz önüne alınan deprem doğrultusuna parelel kargir dolgu duvar alanlarının (kapı, pencere boşlukları hariç) toplamını göstermektedir.

η_{ci}'nin 0,6 ile 0,8 arasında olduğu binalarda süneklik düzeyi yüksek kolonlara ait sarılma bölgesindeki enine donatı, kolon orta bölgesinde de devam ettirilmelidir.

5.2.2.6 Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği

B2 türü yumuşak kat düzensizliği olarak adlandırılan bu düzensizlik, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için herhangi bir i'inci kattaki ortalama göreli kat ötelemesinin, bir üst kattaki ortalama göreli kat ötelemesine oranı olan rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki}'nin 1,5'den fazla olması durumudur **(A.B.Y.Y.H.Y., 1998)**.

Yumuşak katın en büyük olumsuzluğu kolon mafsallaşması nedeni ile sünekliğin sınırlı kalması ve hasar sonrası onarımın güçlüğü ve tüm enerji tüketiminin tek katta yoğunlaşmasıdır. Yumuşak katın deplasmanı Şekil 5.11'de gösterildiği gibi yaklaşık olarak binanın tüm deplasmanına eşittir. Bir kat üzerinde yoğunlaşan bu aşırı ötelenme nedeniyle yumuşak katın kolonları ağır hasara uğrar ve çoğu zaman binanın tümünün göçmesine neden olur.



Şekil 5.11 Yumuşak Kat Deplasmanı

Yumuşak kat oluşumunu önlemek için aşağıda belirtilenler yapılabilir:

1. Kolonları uygun bir rijitliğe getirecek desteklerin kullanılabilir.

2. İlk katta rijitliği arttıracak kolonların veya perdelerin eklenmesi yapılmalıdır.

3. Rijitliği arttırmak için ilk kattaki kolonların tasarımı değiştirilebilir **(Coza, 2003).**

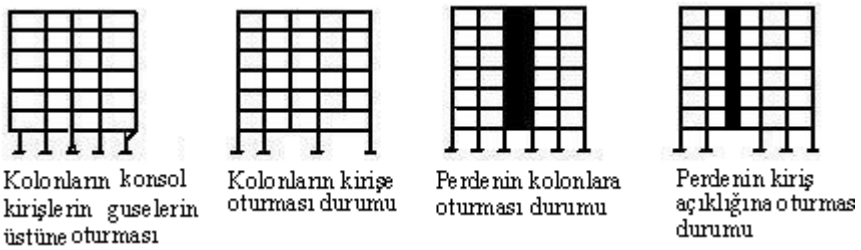
5.2.2.7 Düşey Taşıyıcı Elemanların Süreksizliği

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması ya da üst kattaki perdelerin alt kattaki kolonlara veya kirişlere oturtulması, B3 düşey taşıyıcı eleman süreksizliğini oluşturur. Bu düzensizliğin oluştuğu durumlarda şunlara dikkat edilmelidir:

a. Bütün deprem bölgelerinde, kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmemelidir.

b. Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca gözönüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarında birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan iç kuvvetler % 50 oranında arttırılacaktır.
c. Bir perdenin iki ucundan alt kattaki kolonlara oturması durumunda, bu kolonlarda düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan iç kuvvetler % 50 arttırılacaktır. Perdeye mesnetlik yapan kolonların sarılma bölgesindeki enine donatı, bütün kolon yüksekliğince devam ettirilmelidir.

d. Bir perdenin alt kattaki kirişin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına binanın hiç bir katında izin verilmemelidir. Şekil 5.12'de B3 düzensizliğini meydana getiren durumlar gösterilmiştir **(A.B.Y.Y.H.Y, 1998)**.



Şekil 5.12 B3 Türü Düzensizlik Durumları

Deprem etkilerinin karşılanmasında taşıyıcı sistemde düzgün çerçeve sisteminin sağlanması, kolon ve perdelerden oluşan düşey taşıyıcı elemanların bina yüksekliği boyunca devam etmesi yapının davranışını önemli oranda etkiler. Düşey taşıyıcı

elemanların süreksiz olması, depremin düşey bileşeni nedeniyle bu elemanlarda oluşan normal kuvvetler etkisiyle kirişlerde önemli eğilmeler meydana getirir. Bütün bu olumsuzluklar nedeniyle düşey taşıyıcı eleman süreksizliğinden kaçınmak en uygun yoldur.

Depreme dayanıklı yapıların tasarımı için yapının deprem davranışı bakımından Ek B'de verilen uygun çözümleri tercih edilmelidir **(Celep ve Kumbasar, 2004)**.

5.3 Taşıyıcı Sistemin Oluşturulmasına İlişkin Genel Bilgiler

Taşıyıcı sistemi sorun yaratmayacak biçimde düzenlemeye çalışmak, sonradan çıkacak sorunları çözmeye çalışmaktan daha kolay olduğundan daha sağlıklı taşıyıcı sistem elde etmeyi sağlar.

Taşıyıcı sistemin yükleri taşıyarak zemine aktarması ana görevi dışında, aşağıda belirtilen başka işlevsel koşullara da uyması gereklidir.

a. Taşıyıcı sistem elemanları planlamada serbestlik sağlayacak ölçüde az yer kaplamalıdır.
b. Yapı elemanları ısıtma, havalandırma, aydınlatma gibi her türlü tesisatın uygun yerleştirilmesine, bunların bakım ve onarımının kolay yapılmasına imkan vermelidir.
c. Taşıyıcı sistem bütün elemanlarıyla yangın hasarlarına dayanıklı olmalıdır. Taşıyıcı sistem yangında göçmemeli, yangından sonra da kullanılabilmelidir.

d. Taşıyıcı sistem ses ve titreşimi bir bölümden ötekine geçirmemeli, nem, su ve ısı yalıtımı yapılmasına imkan vermelidir.

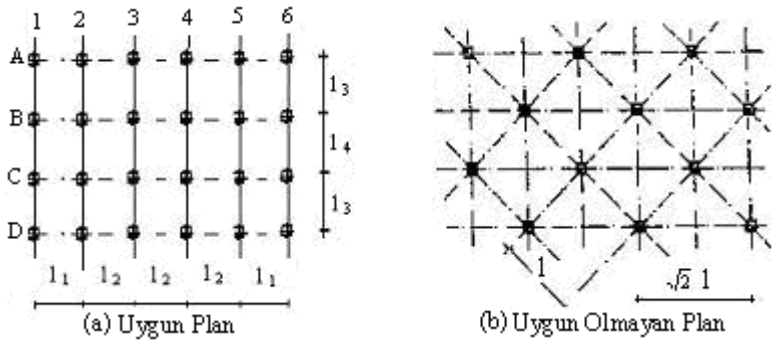
e- Kullanma yükleri altında tek tek elemanlarda ve taşıyıcı sistemin tümünde çatlama, aşırı şekil değiştirme gibi kusurlar görülmemelidir

Bütün taşıyıcı sistem elemanlarının birbirleriyle ilişkileri de gözönüne alınarak, temelden çatıya kadar bir bütün olarak yerleştirilmeleri gerekir **(Aka ve Altan, 1992)**.

5.3.1 Düşey Taşıyıcılar

Taşıyıcı sistem teşkilinde ilk adım düşey taşıyıcıların mimari planlara uygun olarak yerleştirilmesidir. Bu amaçla her binanın bir eksen takımına bağlanması, en az iki doğrultuda teşkil edilerek, bu eksenlerin hem mimari hem de betonarme planlarda tüm yapıda değiştirilmeden kullanılması gerekir.

Eksenlerin birbirine dik ve ızgara olarak şeçilmesi düşey yüklerin taşınmasında olduğu gibi yatay yüklerin taşınmasında da sorunları en aza indirecektir. Şekil 5.13(a)'da düzgün bir eksen ızgarası, Şekil 5.13(b)'de ise birbirini dik açı ile kesmesine karşın bina kenarları doğrultusunda olmayan eksenlerin köşelerinde ve cephelerinde çıkardıkları sorunlar görülmektedir **(Altan ve Güler, 2001)**.



Şekil 5.13 Düşey Taşıyıcıların Düzenleri

Düşey taşıyıcılarda dikkat edilmesi gereken başlıca hususlar, **Aka ve Altan (1992)**'de aşağıda belirtildiği gibi verilmiştir.

1. Bir katta bulunan kolonlar temele kadar devam etmeli, ağır yükler doğrudan doğruya zemine aktarılmalıdır.

2. Her kolon iki doğrultuda kirişlerle bağlanmalıdır. Böylece her iki doğrultuda çerçeve oluşması sağlanır.

3. Birbirini izleyen açıklıklar çok farklı olmamalı, bunların üzerindeki kirişlerin moment diyagramlarının dengeli olması sağlanmalıdır.

4. Kenar açıklığın daha küçük seçilmesiyle (orta açıklığın 0,8'i kadar) daha dengeli momentler olacağı göz önüne alınmalıdır.

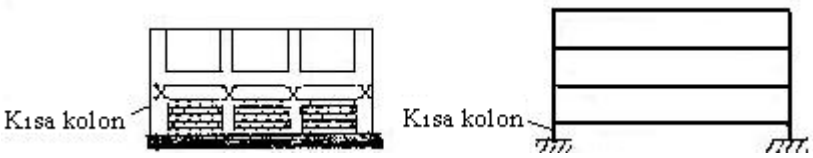
5. Süreklilikten yararlanmak için bir doğrultuda en az 3 açıklık olması iyi bir çözüm olacaktır.

6. Kolon ve özellikle perdeler rijitlik merkezi ağırlık merkezinden çok ayrılmayacak biçimde dengeli olarak yerleştirilmelidir.

7. Eksen aralıklarının seçiminde serbest kalınırsa ekonomik olan araştırılmalıdır. Bu değerin ülkemizde bugünkü şartlarda 6 ile 8 m arasında olduğu söylenebilir.

Bunların dışında, Şekil 5.14'te gösterildiği gibi bant pencere yapılmasıyla, bu pencerelerin iki yanında bulunan kolonlar veya merdiven sahanlıklarındaki

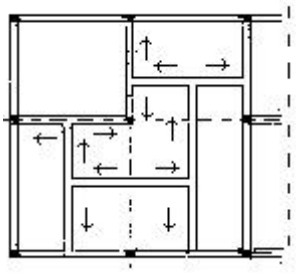
kolonların yatay yükler etkisinde kısa kolon davranışı göstermesi ve deprem hasarlarının bu bölgelerde yoğunlaşması sebebiyle kısa kolon yapılmamasına çalışılmalıdır **(Altan ve Güler, 2001)**.



Şekil 5.14 Kısa Kolon Oluşumu

5.3.2 Kirişler

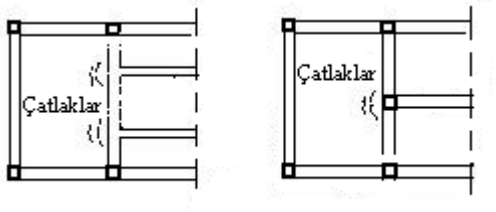
Kirişler kolonlara bağlanmalı, tesisat geçişine uygun olacak biçimde düzenlenmelidir. Yüklerini kısa yoldan kolonlara aktaracak bir kirişleme esas alınmalıdır. Şekil 5.15'de verilen düzenlemede yükün bir çok kirişe aktarılması sebebiyle çeşitli sakıncalar doğurduğu gibi yatay yüklerin aktarılmasında da sakıncalar bulunduğundan, yüklerin en kısa yoldan güvenle zemine aktarılacağı tasarımlar tercih edilip, bu şekildeki kiriş tasarımlarından mümkün olduğunca kaçınılmalıdır.



Şekil 5.15 Uygun Olmayan Kiriş Tasarımı

Kiriş yükseklikleri ile açıklıkları arasında bir bağlantı vardır. Ancak bu oranın sabit bir değer olmadığı yüklere de doğrudan bağlı olduğu gözönüne alınmalıdır. Kiriş yüksekliklerinin açıklığın 1/6'sı ile 1/16'sı arasında değiştiği, bazı özel durumlarda bu sınırların da aşıldığı söylenebilir. Büyük açıklığa tali, küçük açıklığa ana kirişleri koymak boyutların dengeli olması bakımından uygun olur. Ana kirişlerin açıklığı tali kiriş açıklıklarının 2/3'ü kadar olursa yükseklikleri aynı alınıp, düz bir tavan elde edilmesi sağlanabilir.

Düzgün bir sistemden ayrıldığında meydana gelebilecek yan etkiler her zaman düşünülmelidir. İkinci derece olduğu için genellikle ihmal edilebileceği sanılan etkilere sebep olan Şekil 5.16'da gösterilen biçimlerden kaçınılmalıdır.



Şekil 5.16 Uygun Olmayan Kiriş Yerleşimi

Konsollarda yapılacak hata büyük arızalara yol açarak, sehimlerin önemli değerler almasını ve duvarlarda çatlaklara oluşmasını sağlar. Bu bakımdan boyutları küçük tutulmalı, sürekli kirişi boyunca yüksek olmaması için boyları devamı olan açıklıkla orantılı olmalıdır **(Aka ve Altan, 1992)**.

5.3.3 Plaklar

Genellikle plaklar çift doğrultuda çalışan yüzeysel taşıyıcı özelliğinden yararlanma ve donatı yerleştirme açısından uygun olmaktadırlar.

Plak boyutlarının büyük olması kalıp bakımından hız ve ekonomi sağlamaktadır. Ancak açıklıklar fazla büyüyünce artan kalınlık ve dolayısıyla ağırlık olumsuz etkiler yaptığından, sınırlamak zorunlu olmaktadır. Bu bakımdan yaklaşık olarak 50 m^2 bir sınır olarak alınabilir. Büyük plakları tali kirişlerle bölünerek uygun açıklıklar elde edilebilir. Bu durumda ana kirişlere yük aktarma ve tesisat geçişleri gözönünde bulundurulmalıdır.

Plaklarda kalınlıkların sehim bakımından yeterli olduğu kontrol edilerek saptanmalıdır. Özellikle hafif duvar veya asma tavan taşıyan plaklarda dikkatli davranmak gerekir. Ayrıca kirişsiz döşemelerde yatay yüklerin perdelerle taşınması gerektiği için boşlukların başlık şeritleri dışında yapılması gerekir **(Altan ve Güler, 2001)**.

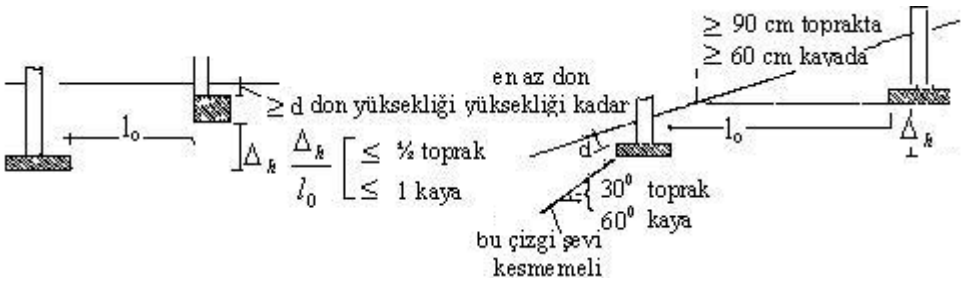
5.3.4 Temeller

Düşey taşıyıcıların kesit tesirleri, plandaki konumları ve yapının inşa edileceği zemin özellikleri ve yapının kullanım amacı gözönünde bulundurularak temeller çeşitli şekillerde teşkil edilebilirler.

Çok katlı yapılarda en az bir bodrum kat ve bodrum kat çevre duvarlarının perde olarak inşa edilmesi deprem yüklerinin bu rijit perdeler tarafından taşınması nedeniyle yapı temellerinin davranışına olumlu etkisi olacaktır.

Yapının belirli bir alanında temeller diğer temellerden farklı kotta ise derz ile hem üst yapı hem temeller ayrılabilir. Üst yapıda derz bulunsa bile zeminde farklı oturmalar yoksa, temelde derz yapılmamalıdır. Temellerde derz ancak yapının çeşitli bölümlerinin farklı oturma yapacağı beklenen durumlarda yapılmalıdır. Bir yapının ayrık temelleri iki doğrultuda, sürekli temelleri ise kolonlar hizasında temele dik doğrultuda bağlantı kirişleriyle bağlanmalıdır.

Yapı temellerinde temel altı kotlarının aynı düzeye getirilmesine çalışılmalıdır. Aynı düzeyde yapılamadığında ise Şekil 5.17'de gösterilen koşullar sağlanmalıdır **(Altan ve Güler, 2001)**.



Şekil 5.17 Farklı Kotlardaki Uygun Temel Yerleşimleri

5.3.5 Derzler

Sınırlı büyüklükteki yapılarda sıcaklık değişmesi, büzülme ve temeldeki farklı oturmaların oluşturduğu etkiler ikinci mertebede kaldıklarından güvenlik katsayıları ile karşılandığı varsayılarak hesaplarda gözönüne alınmaz. Ancak yapının boyutu büyüyüp, temel zeminini zorlayınca bu ikinci derecedeki gerilmeler tehlike yaratacak değerlere çıkabilir. Uygun olanı bu etkileri hesaplayarak karşılamak yerine onların küçük kalmasını sağlayacak önlemler alarak, taşıyıcı sistemleri buna göre düzenlemektir.

Yapıyı derzlerle parçalara ayırmak, uygun yerlerde bağlantıyı, sürekliliği kesmek sözü edilen etkilerin istenen ölçüde küçük kalması için yeterli olur. Yapının çeşitli bölümlerinin birbirinden bağımsız hareket etmesine imkan veren bu kesimlere ayırma derzi yada hareket derzi adı verilir.

Derzler yapısal ve ekonomik sakıncalar doğurduklarından bunların gerektiği kadar çok, fakat elden geldiğince az sayıda düzenlenmesine çalışılmalıdır.

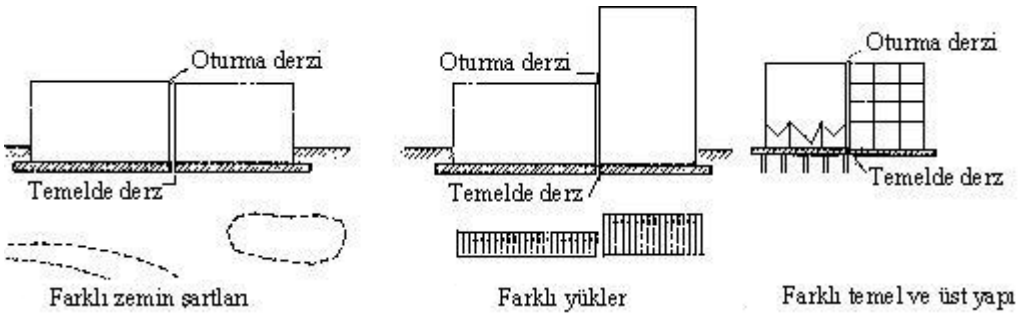
Derzler tek bir parça olarak kullanılan yapıyı bölümlere ayırdıklarından birbirinin zıddı iki görevi; birbirinden bağımsız hareket etmesini sağlamak, yapıda var olan su, nem ve ısı yalıtımının kaybolmaması ana işlevi ile birlikte gerçekleşmeyi sağlamalıdır **(Aka ve Altan, 1992)**.

5.3.5.1 Derz Sınıflandırmaları ve Derz Mesafeleri

Aka ve diğ. (2001)'e göre derzler, dilatasyon derzleri, oturma derzleri, yapımsal derzler ve deprem derzleri olarak 4'e ayrılmaktadır. Bir de bunların dışında kalan iş derzleri vardır. Çeşitli nedenlerle beton sürekli dökülmeyip betonlamaya ara verildiğinde ortaya çıkan bu derzler, geçici olup betonun ek yerlerini meydana getirirler. Ancak diğer derzlerden oldukça farklıdır.

Yapıda rötre, sünme, sıcaklık değişmesi yüzünden meydana gelen boy değişiklikleri etkisini azaltmak için plandaki boyutlarını sınırlı tutmak amacıyla yapının bloklara ayrılmasına "genleşme" ya da "dilatasyon derzleri" adı verilir.

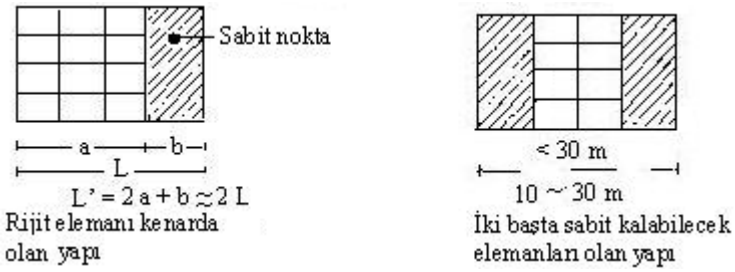
Temel zemini özelliklerinin ya da yapı yüklerinin bütün alanda düzgün olmayışı yüzünden meydana gelecek farklı oturmaların ve dönmelerin yapıya zarar vermesini önlemek için yapılan derzlere de "oturma derzleri" adı verilir. Çeşitli zemin şartları ya da sıkışabilen zemin üzerindeki çok farklı yükler yüzünden farklı oturmalar beklenen yerlerde, yapıyı boyutlarına bakmaksızın derzlerle ayırmak ve bu ayırmayı temelde de devam ettirmek zorunlu olur. Şekil 5.18'de oturma derzlerine örnekler gösterilmiştir.



Şekil 5.18 Oturma Derzleri

Sabit yükler, hareketli yükler ve dinamik etkilerden meydana gelecek şekil değiştirmelerin engellenmesini önlemek, titreşimlerin bölgesel kalmasını sağlamak amacıyla yapılan derzler "yapımsal derzler" adını alır.

Rijitliği simetrik olmayan, rijit elemanı kenarda olan sistemlerde derzler belirlenirken sabit noktaların kenara kayacağı gözönüne alınarak blok boyu küçültülmelidir. Rijitliği simetrik olmasına karşın iki yanında sabit kalabilecek rijitlikte düşey elemanlar bulunan yapılardaki kirişlerde çekme kuvveti çok büyük olabileceğinden blok boylarının küçük yapılmasına özellikle dikkat etmek gerekir. Şekil 5.19'da rijit elemanlı bu sistemlerde blok boyu gösterilmektedir.



Şekil 5.19 Rijit Elemanlı Sistemlerde Derz Blok Boyu

TS 500 (2000) derzler hakkında genel olarak şunları belirtmektedir:

1. Uzunlukları fazla olan hiperstatik yapılarda, üst yapıda genleşme derzleri düzenlenmelidir.

2. Dış etkilere açık yapılarda, derz aralıkları 40 m'yi aşmamalıdır. Sıcaklık değişimlerine karşı korunmuş ve uçlarında rijit perde bulunmayan çerçeve türü yapılarda, derz aralığı 60 m'ye kadar arttırılabilir. Zamana bağlı davranışı göz önüne alan önlemler alınması koşuluyla bu sınırlar aşılabilir.

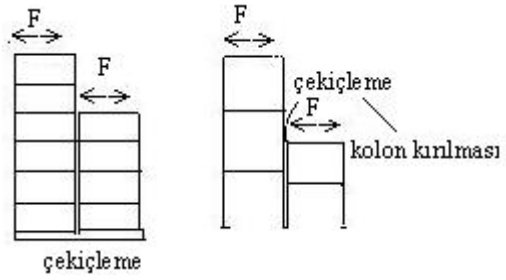
3. Simetrik olmayan sistemlerde ve simetrik olmasına karşılık iki yanında yanal ötelemeleri önleyen rijit düşey elemanlar bulunan sistemlerde derzler arasında kalan blok boyları daha küçük tutulmalıdır.

Yapıyı deprem etkisiyle kendi içinde az zararlı titreşim yapabilecek bölümlere ayıran derzlere "deprem derzleri" denir. Bitişik olarak inşa edilen fakat aralarında yeterli derz boşluğu bulunmayan binalar deprem titreşimleri esnasında birbirlerine çarparak ağır hasarlara neden olabilir. Özellikle farklı fazlarda titreşen komşu binaların yatay deplasmanları belli bir anda birbirinin aksi dogrultuda gerçekleşirse, o iki binanın

çarpışmaması için aralarındaki en ufak boşlugun, her iki binanın maksimum yatay deplasmanının mutlak değerinin toplamından daha büyük olması gerekir.

Deprem derzlerinin çoğu zaman yetersiz kalması sonucu komşu binalar birbirine çarparak agır hasarlara neden olmaktadır. Bu nedenle derz boşluklarını elasto plastik davranışa ve mafsallaşma halindeki maksimum ötelenmelere göre tayin etmek gerekir.

Bitişik binaların kat döşeme kotlarının aynı olmaması "çekiçleme etkisi" olarak adlandırılan kat çarpışması sonucu ağır hasarlara neden olabilir. Binaların döşemelerinin aynı seviyede olması halinde çarpışma, döşemelerin birbirine kafa kafaya tokuşması şeklinde olur. Şekil 5.20'de çekiçleme etkisi gösterilmektedir. Yüksek katlı binaların çarpışma katı üstündeki katları hasar görebileceğinden bitişik binaların yükseklik farklarının da çok olmaması gerekir **(Coza, 2003)**.



Şekil 5.20 Çekiçleme Etkisi

A.B.Y.Y.H.Y (1998), bu tip hasarları önlemek için binalar arası bırakılması gereken minimum deprem derzleri hakkında aşağıda verildiği gibi şunları belirtmiştir:

1. Bırakılacak minimum deprem derzi, 6 m yüksekliğe kadar en az 30 mm ve bundan sonraki yüksekliklerde her 3 m yükseklik için bu değere en az 10 mm eklenmelidir.

2. Yukarıdaki koşula göre daha elverişsiz bir sonuç elde edilmedikçe derz boşlukları her bir kat için komşu blok veya binalarda elde edilen yer değiştirmelerin mutlak değerlerinin toplamı ile, α katsayısının çarpımı sonucunda bulunan değerden az olmayacaktır. Gözönüne alınacak kat yer değiştirmeleri, kolon veya perdelerin bağlandığı düğüm noktalarında hesaplanan yer değiştirmelerin kat içindeki ortalamaları olacaktır. Mevcut eski bina için hesap yapılmasının mümkün olamaması durumunda eski binanın yer değiştirmeleri, yeni bina için aynı katlarda hesaplanan değerden daha küçük alınmamalıdır. Buradaki α taşıyıcı sistem davranış katsayısına

bağlı katsayıdır. α, komşu binaların kat döşemelerinin bütün katlarda aynı olması durumunda R/4, bazı katlarda farklı olsa bile R/2 alınmalıdır.

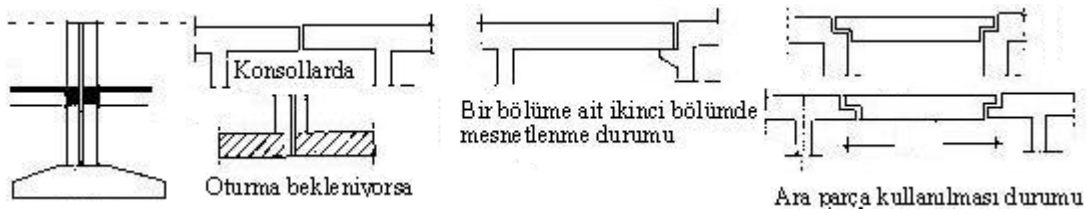
5.3.5.2 Derzlerin Düzenlenmeleri

En çok uygulanan derz düzeni yapı derzde bitiyormuş gibi iki bölümü birbirinden ayırmak, yani bütün elemanları çift yapmaktır. Eğer temel şartları uygunsa derz temelde devam ettirilmez. Elemanları çift yapmak ve derze dik kirişlerinin sürekliliğini bozarak kenar açıklık durumuna sokmak maliyeti arttırır. Ancak böyle bir derz kendisinden beklenen bütün görevleri uygun bir biçimde yerine getirdiğinden çoğu zaman tercih edilmektedir.

Hareketli yüklerin fazla olmadığı yerlerde, her iki bloktan ya da yalnız birinden çıkan konsollarla derz yapmak mümkün olur. Bu biçim genellikle çatılar için uygundur ve taşıyıcı sistemde pahalılık yaratmaz.

Derzde tek kolon yapıp bir blokun kirişini öteki bloka bağlı olan bu kolona oturtma yapılabilir. Ancak bu durumda derzde gerçekleşmesi istenen hareket sınırlanmış olur ve farklı oturmalarda mesnet çökmesi etkisinden kurtulunamaz. Hareketi sağlamak için bazı düzenlemeler yapılabilse de bunlar zamanla bozularak çatlamalara neden olur. Bu bakımdan ancak çok küçük açıklık ve yükleri bulunan basit yapılarda söz konusudur. Kolonda yapılan diş kiriş kolon bağlantısını zayıflatırken, konsolda yapılan diş bu sakıncayı ortadan kaldırır, fakat kalıbı zorlaştırır ve görünüşü bozar.

Başka bir düzenleme de ana parça kolonlara ya da konsollara oturtulabilir. Konsolların açıklığı, bu ara parçanın boyu kolon aralarının 0,6'sı olacak şekilde alınırsa momentler derz yapılmadan sürekli giden bir sistemin momentlerine yakın olacağından maliyet artışı söz konusu olmaz. Bu çözüm derz sayısını iki katına çıkardığından ve bu derzler odaların ortasına geleceğinden uygun olmaz. Bu sebeple bu durum düşünülerek uygun yerlerde yapılmaya çalışılmalıdır. Şekil 5.21'de derz düzenlemelerine çeşitli örnekler gösterilmektedir **(Aka ve diğ., 2001)**.



Şekil 5.21 Derz Düzenleme Biçimleri

6. TAŞIYICI ELEMANLARDA DONATI DÜZENLEME İLKELERİ

Betonarme taşıyıcı sistemlerin göçmeden ayakta kalabilmesi için hesapla bulunan ve konstrüktif olarak gereken donatıların taşıyıcı elemanların her birinde düzgün yerleştirilmelerine dikkat edilmelidir.

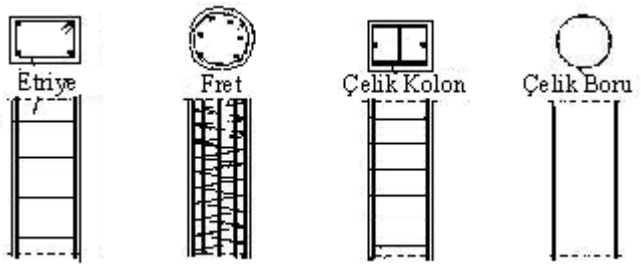
6.1 Kolonlar

Kolonlar eksenel basınca maruz elemanlar olup, eksenleri doğrusal olması gereken ancak kesitleri sabit veya değişken olabilen düşey taşıyıcı yapı elemanlarıdır. Kirişlerle beraber birleşerek çerçeve sistemini oluşturan kolonlar, yapıların ana taşıyıcı elemanlarını oluştururlar.

Çerçeve tipi yapılarda açıklıkların eşit olması, bu açıklıklardaki yüklerin yaklaşık birbirine eşit olması sabit yükün hareketli yüke nazaran daha önemli olduğu durumlarda, orta açıklıktaki kolonlara gelen eğilme momenti çok küçük olmaktadır. Ancak yatay yüklerden dolayı kolonlara gelen eği1me momentinin kolonu zorlayacağı açıktır. Tek çözüm yolu aynı çerçeve düzlemi içine rijitliği fazla olan perde ya da başka bir kolonun yerleştirilmesi olabilmektedir. Böylece ele aldığımız kolona gelen yatay yük dolayısıyla eğilme momenti de azalmaktadır. Ayrıca kolonlarda çok küçük de olsa eğilme momentinin olması kesinlikle donatısız kolon yapılmaması gerektiğinin bir göstergesidir **(Özden, 1978).**

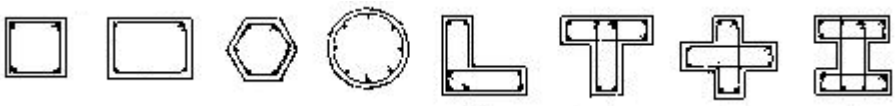
Kolonlar, içlerinde bulunan boyuna çelik donatının niteliğine ve bu boyuna donatıları bir arada tutan enine bağlantıların türlerine göre basit etriyeli kolon, fretli kolon, bileşik kolon ve boru kolon olarak sınıflandırılabilir.

Bileşik kolonlar beton içine gömülü bir çelik kolon ile ayrıca boyuna ve enine donatılardan meydana gelirken, boru kolonlar betonla doldurulmuş çelik borulardan oluşur. Boru yerine çelik profiller de kullanılabilir. Bunlar çelik inşaatı sayıldığından yapımlarında çelik yapılara ait şartnamelere uyulur. Betonarme olarak basit etriyeli ve fretli kolonlar uygulamada en çok karşılaşılanlardır. Şekil 6.1'de çeşitli kolon türleri gösterilmiştir.



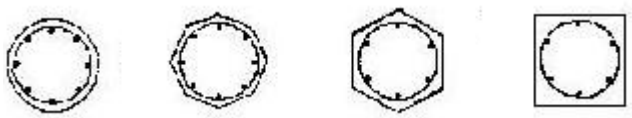
Şekil 6.1 Çeşitli Kolon Türleri

Basit etriyeli kolonlar yapılışlarında basitlik ve çok kalifiye çelik işçiliği istememeleri bakımından tercih edilen betonarme kolonlardır. Boyuna donatı çelik çubuklardan oluşur. Bu çubuklar belirli aralıklarla konulan enine doğrultudaki etriyelerle birbirlerine bağlanırlar. Yararlı hacimleri bozmamaları gibi değişik sorunları çözümlemek amacıyla, Şekil 6.2'de verildiği gibi çeşitli enkesitlerde olabilirler **(Aka ve diğ., 2001)**.



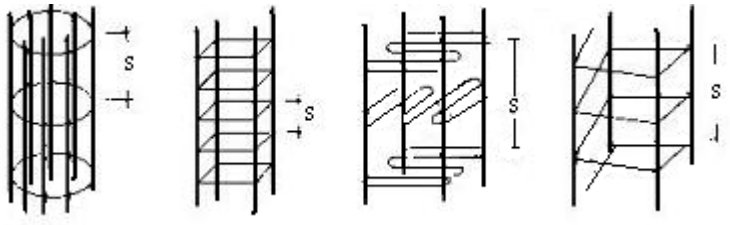
Şekil 6.2 Basit Etriyeli Kolonlarda Enkesit Şekilleri

Fretli kolonlar, enine donatısı ufak adımlı bir spiral veya küçük aralıklarla konmuş uçları kaynaklı çemberlerden oluşur. Bu tip kolonlara fretli kolon adı verilirken, bu şekildeki enine donatıya da fret adı verilir. Deneyler fret donatısının uygun seçilmiş olması halinde basınç elemanlarının taşıma gücünün bir hayli arttığını göstermiştir. Yük arttıkça betonun enine deformasyonu sebebiyle fretler açılmaya zorlanmakta ve onlar da betona yanal bir basınç gerilmesi tatbik etmektedir. Daha evvel çok eksenli gerilme altındaki beton davranışında belirttiğimiz gibi yanal basınç altında betonun kırılma mukavemeti artmaktadır. Fretli kolonların enkesiti Şekil 6.3'te verildiği gibi çeşitli şekillerde olabilmektedir.



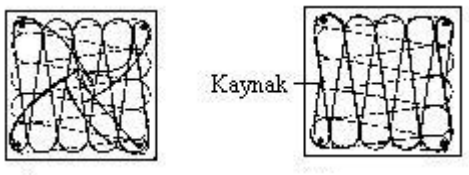
Şekil 6.3 Fretli Kolonlarda Enkesit Şekilleri

Dış enkesiti kare ya da dikdörtgen olan fretli kolonlarda enine donatılar olarak spiral etriye dışında, kaynaklı kare etriyeler ya da her iki doğrultuda konulan firketelerde kullanılabilir. Şekil 6.4'te fretli kolonlarda çeşitli enine donatı türleri gösterilmiştir.



Şekil 6.4 Fretli Kolonlarda Enine Donatı Türleri

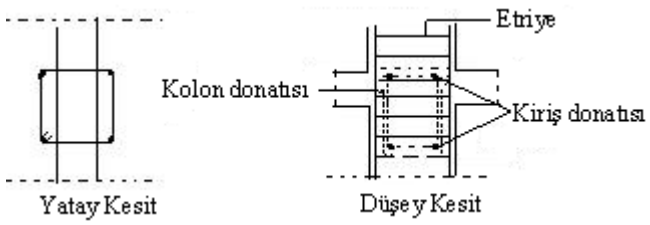
Firkete donatıların bukleleri birbirine dik, üst üste konmuş iki tabakadan meydana gelir. Bunlar beton iç bölgesine iyi ankre edilmeli ve kendi üzerine kaynak yapılmalıdır. Şekil 6.5 'te firkete uygulamaları gösterilmektedir **(Özden, 1978).**



Şekil 6.5 Firkete Uygulamaları

6.1.1 Enkesit Özellikleri ve Boyutları

Betonarme kolon enkesitleri dökülen betonun iyi işlenebilmesini, donatı yerleştirmeyi, kolon ve kiriş bağlantısının uygun yapılabilmesini gerçekleştirecek boyut ve alana sahip olmalıdır. Kolon boyutlarının büyük olması yapı güvenliği açısından da yararlıdır**.** Kolon boyutlarında herhangi bir kısıtlayıcı kural yok ise enkesit açısından kolon genişliğinin kendisine bağlanan kirişin genişliğinden 5 cm kadar daha büyük olması Şekil 6.6'da gösterildiği gibi kalıp kolaylığı ve donatı yerleştirilmesi açısından kolaylık sağlayacağından tavsiye edilmektedir. Böylelikle kiriş donatısı kolon donatısının içinden kolayca geçebilmektedir **(Aka ve diğ., 2001)**.



Şekil 6.6 Kolon ve Kirişlerin Donatı Yerleştirilmesinde Karşılıklı Durumları

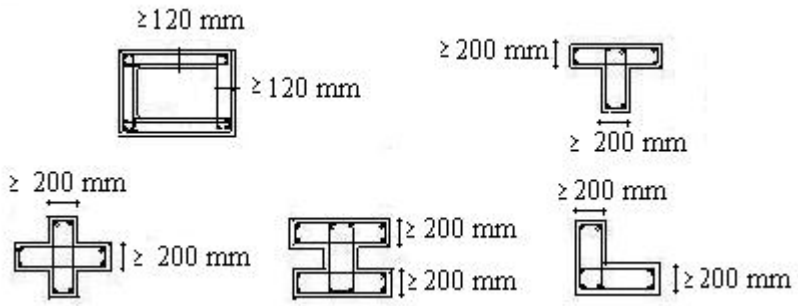
A.B.Y.Y.H.Y. (1998)'de kolonlarda sağlanması gereken enkesit koşulları şu şekilde belirtilmiştir:

1. Yük taşımakta olan tüm dikdörtgen kesitli kolonların enkesitlerinin en küçük boyutu 250 mm'den, ve enkesit alanı 75000 mm^2'den daha az olamaz. Dairesel kesitli kolonlarda kolon enkesit çapı 300 mm'den daha küçük olmamalıdır.

2. Kolonun brüt enkesit alanı Denklem 6. l'de verilen koşulu sağlamalıdır.

$$A_c \geq N_{dmax} / 0{,}5\ f_{ck} \qquad \textbf{(6.1)}$$

TS 500 (2000) ise kutu kesitli kolonlarla karşılaşıldığında, en küçük et kalınlığının 120 mm'den ve kesiti dikdörtgen olmayan I, T, L gibi kesitlere sahip kolonlarda da kesit genişliğinin 200 mm'den az olmamasını belirtmektedir. Şekil 6.7'de değişik enkesitlerdeki boyutlara ilişkin koşullar gösterilmektedir.



Şekil 6.7 Değişik Enkesitli Kolonların Boyutlarına İlişkin Koşullar

Atımtay (2000) süneklilik düzeyi yüksek olan kolonların enkesit alanı için uygulanması gereken bu koşulların kuvvetli kolon zayıf kiriş şartının ve binaya yeterli ötelenme rijitliğinin sağlanmasına yönelik olduğunu belitmiştir. Bunlara ek olarak, küçük kesitli kolonların betonlama işleminin ne kadar zor olduğu da anımsanmalıdır. İyi betonlanamamış bir kolonun depremde ne kadar büyük bir tehlike oluşturacağı açıktır.

6.1.2 Boyuna Donatı Koşulları

Bir kolonda toplam boyuna donatı miktarı hesap sonucunda belirlenen donatılardan ve hesap sonucu belirlenmeyen ancak yönetmelik gereği yerleştirilmesi zorunlu olan donatılardan oluşmaktadır. Toplam boyuna donatısı kesit etkilerine göre çekmeye ve basınca çalışan boyuna donatıların hepsini kapsamaktadır. Toplam boyuna donatı oranı ρ_t Denklem 6.2'de verildiği gibi belirlenmektedir.

$$\rho_t = \frac{A_{st}}{A_c} \qquad \textbf{(6.2)}$$

Burada, A_{st} kolona yerleştirilen toplam boyuna donatıların alanını ve A_c kolon enkesit alanını göstermektedir **(Doğangün, 2002).**

Kolonlarda bindirmeli ek bölgeleri haricinde, boyuna donatı brüt alanı kesitin %1'inden az ve %4'ünden fazla olamaz. Bindirmeli ek yapılan kesitlerde boyuna donatı oranı %6 sınırına kadar getirilebilir. Dikdörtgen kesitli kolonlarda en az $4\phi 16$ veya 6ϕ 14, dairesel kolonlarda ise en az $6\phi 14$ boyuna donatı kullanılmalıdır. **(A.B.Y.Y.H.Y., 1998)**

Boyuna donatıların betonarme kolon elemanlarında en azından minimum oranda kullanılması aşağıda belirtilen bazı avantajları sağlamaya yöneliktir.

Kolon boyuna donatısının kolonun eksenel yük kapasitesine katkısı küçük olup, boyuna donatının en önemli katkısı kolonun moment kapasitesi üzerindedir. Ayrıca kolonun bir minimum donatı alanına sahip olması, kolonun rötre ve sünme etkilerinin azaltılmasına da olumlu katkı yapacaktır.

Kolonun boyuna donatı alanı kolon betonu çatladıktan sonra, kolonun etkili eylemsizlik momenti üzerinde de etkili olur. Boyuna donatı alanının belirli bir düzeyin altına düşmemesi, kolon eylemsizlik momentinin de betonun çatlamasıyla, çok küçük değerlere düşmesini engeller.

Donatı yüzdesinin çok yüksek olması da istenmemektedir. Donatı yüzdesinin fazla olması, kolon kesit alanının çok küçük seçildiğinin bir işaretidir. Donatı yüzdesinin çok yüksek olması, boyuna çubuk sayısının artmasına neden olur. Bu özellikle bindirmeli ek yapılan bölgelerde kendini belli eder ve donatı yüzdesi iki katına çıkar ve çubuk sayısı iki kez çoğalır. Böylece donatı çubuğu sayısı çok yoğun bir bölgede oluşur ve daha evvel de belirtildiği gibi betonlama işlemi burada çok zor olacaktır **(Atımtay, 2000).**

6.1.3 Boyuna Donatıların Düzenlenmesi

Kolon boyuna donatılarının bindirme bölgelerinin doğru düzenlenmesi önem teşkil etmektedir. Bindirmeli ekler kolon uçlarında değil de kolon orta bölgesinde yapılmalıdır. Deprem etkisi altında kolonlar çift eğrilikli şekil değiştirirler ve

maksimum momentler kolon alt uçlarında oluşur. Eğer boyuna donatı eklenmesi kolon alt uçlarında yapılır ve kusurlu beton dökümü bu bölgede oluşursa, dayanımı en yüksek olması gereken kolon alt uç bölgeleri, en zayıf dayanımlı bölgelere dönüşmüş olur **(Atımtay, 2000).**

Eğer bindirmeli ek istenen yer olan kolon orta bölgesinde yapılacaksa bindirme boyu çekme donatısı için verilen l_b kenetlenme boyuna eşit alınmalıdır. Eğer boyuna donatıların bindirmeli ekleri kolon alt uçlarında yapılması gerekiyorsa, aşağıda belirtilen koşullara uyulmalıdır.

1. Boyuna donatıların %50'sinin veya daha azının kolon alt ucunda eklenmesi durumunda bindirmeli ek boyu l_b'nin en az 1.25 katı olmalıdır.

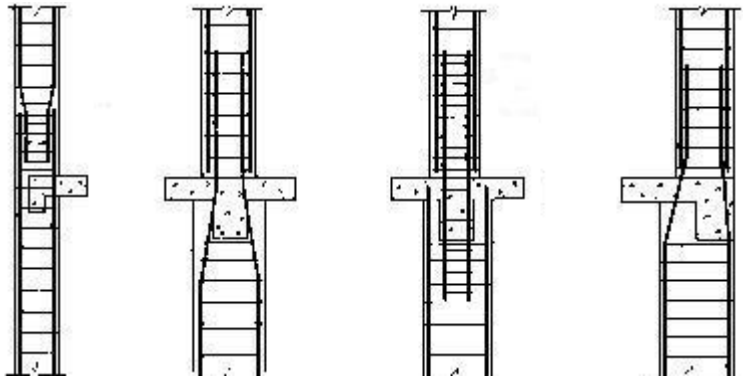
2. Boyuna donatıların %50'den fazlasının kolon alt ucunda eklenmesi durumunda bindirmeli ek boyu l_b'nin en az 1.5 katı olacaktır. Temelden çıkan kolon filizlerinde de bu koşula uyulması gerekmektedir.

3. Yukarıdaki her iki durumda da bindirmeli ek boyunca A.B.Y.Y.H.Y.'ğin 7.3.4.1 numaralı maddesinde tanımlanan ve enine donatı koşulları konusunda bahsedilecek minimum enine donatıları kullanılmalıdır (**A.B.Y.Y.H.Y, 1998).**

Uygulamalarda kattan kata kesit küçülmeleri gibi durumlarla karşılaşıldığı durumlarda, alt kattan gelen boyuna donatıların tamamının düşey konumlarını koruyarak devam ettirilmesi mümkün değildir. Katlar arasındaki kolon kesitinin değişmesi durumunda, boyuna donatının kolon kiriş birleşim bölgesi içinde düşeye göre eğimi 1/6'dan fazla olamaz.

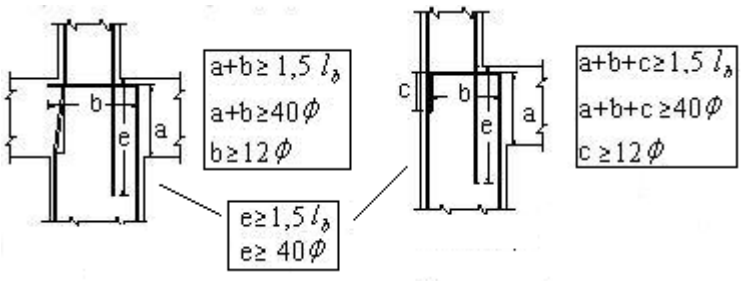
Katlar arasında kesitin değişmediği veya az değiştiği kolonlarda mevcut donatının iç kısma bükülerek, yeni donatıların dışa yerleştirilmesi sebebiyle ek bölgesinde düşey kuvvetler doğrultu değiştirdiğinde yatay kuvvetler oluşacaktır. Bu durumlarda sözü edilen bu etkileri karşılamak için etriyelerin düzenlenmesi uygun olur.

Şekil 6.8'de gösterildiği gibi uygulamalarda çeşitli şekillerde bindirme yapılabilmektedir **(Barker, 1967).**



Şekil 6.8 Kolonlarda Çeşitli Bindirme Detayları

Kesit değişiminin fazla olması durumunda, kolon donatısı birleşim bölgesinde 1/6'dan daha fazla bir eğimle kıvrılarak üst kolonda devam ettirilebiliyorsa bu yola gidilmeyip, donatının bu bölgedeki birleşen kiriş içinde bitirilerek kenetlenmesinin sağlanması gerekir. Alttaki kolonun boyuna donatısının karşı taraftaki kirişin içindeki kenetlenme boyu l_b'nin 1,5 katından ve 40ϕ'den az olmaması gerekir. Karşı tarafta kiriş bulunmadığı durumlarda kenetlenme, gerekirse kolonun karşı yüzünde aşağı doğru kıvrım yapılarak sağlanacaktır. 90° yatay kancanın veya aşağıya kıvrılan düşey kancanın boyu en az 12ϕ olmalıdır. Kesit değişiminin fazla olduğu durumlarda boyuna donatı düzenlemeleri Şekil 6.9'daki gibi yapılmalıdır.



Şekil 6.9 Kolonlarda Büyük Kesit Değişiminde Boyuna Donatı Düzenleri

Kaynaklı ve manşonlu ek durumunda yanyana boyuna donatılarda yapılan bu eklerin arasındaki boyuna uzaklığın 600 mm'den az olmaması gerekir **(A.B.Y.Y.H.Y, 1998)**.

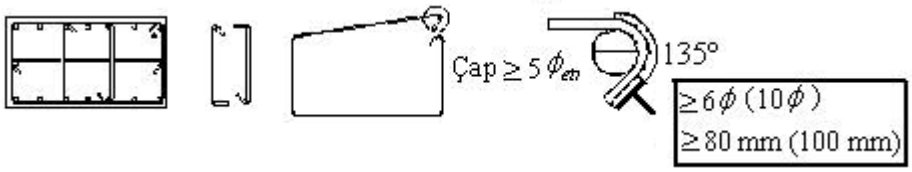
6.1.4 Enine Donatı Koşulları

Enine donatıların boyuna donatıları burkulmaya karşı koruyabilmesi için, bunun etrafında sarılarak bir köşe teşkil edilmesi uygundur. Boyuna donatı etriye köşesinden uzaklaştıkça korunmaları zorlaşır. Bu nedenle boyuna donatıların s_t

köşeden olan uzaklığı 250 mm'den büyükse burada köşe yapacak ek etriye düzeninin kullanılması tavsiye edilir.

Etriyelerin uçlarının $135°$ olarak beton içine kıvrılması ve iç kısma kenetlenmesinin sağlanması çok önemli olup, bunun kolon boyunca şaşırtmalı olarak yapılması tavsiye edilir. Bu suretle etriyeler bir yandan beton sünekliliğini artırırken, diğer yandan betonun dayanımını yükseltir. Eğer etriye ucu kısa tutulursa veya $90°$ ile kıvrılırsa, etriye ucunun beton içine kenetlenmesi sağlanmadığından, kolon boyuna kısalma yaparken ortaya çıkan enine genişleme etriyeleri kolayca açabilir **(Celep ve Kumbasar, 2001)**.

Bu tip sakıncaları ortadan kaldırmak için uygun olan enine donatı düzeni, **A.B.Y.Y.H.Y. (1998)**'de belirtilen Şekil 6.10'da gösterilen özel deprem etriyeleri ve çirozları olmaktadır.



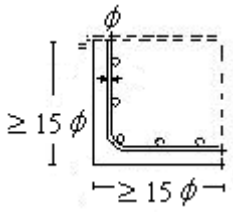
Şekil 6.10 Özel Deprem Etriye ve Çirozları

Özel deprem etriyelerinin her iki ucunda mutlaka $135°$ kıvrımlı kancalar bulunmalıdır. 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 olamaz.

Özel deprem etriyeleri boyuna donatıyı dıştan kavrayacak ve kancaları aynı boyuna donatı etrafında kapanacaktır. Özel deprem çirozlarının çapı ve aralığı etriyelerin çap ve aralığı ile aynı olmalı ve her iki uçlarında mutlaka boyuna donatılar ile sarılmalıdır.

Özden (1978)'de kolon kesitindeki etriyenin köşe bölgesinde bulunan çubuktan Şekil 6.11'de gösterildiği gibi 15ϕ'lik mesafeye kadar beş donatıyı burkulmaya karşı

koruyabildiği için bu donatıların buralarda toplanması yerinde olacağını ve bunların dışındaki yerlerde de çiroz kullanılmasını tavsiye etmektedir.



Şekil 6.11 Enkesit Kenarlarının Boyuna Donatı Burkulmasında Etkili Yerleri

Her bir kolonun alt ve üst uçlarında özel sarılma bölgeleri oluşturulmalıdır. Sarılma bölgelerinin her birinin uzunluğu, döşeme üst kotundan yukarıya doğru veya kolona bağlanan en derin kirişin alt yüzünden başlayarak aşağıya doğru ölçülmek üzere kolon kesitinin büyük boyutundan (dairesel kesitlerde kolon çapından), kolon serbest yüksekliğinin 1/6'sından ve 500 mm'den az olamaz.

Sarılma bölgelerinde kullanılacak enine donatılar aşağıda belirtildiği gibi düzenlenmelidir.

1. Sarılma bölgelerinde ϕ8'den küçük çaplı enine donatı kullanılamaz. Kolon boyunca etriye ve çiroz aralığı en küçük en kesit boyutunun 1/3'ünden ve 100 mm'den daha fazla, 50 mm'den daha az olmaması gerekir. Etriye kollarının ve/veya çirozların arasındaki yatay uzaklık "a" etriye çapının 25 katından fazla olmamalıdır. Sürekli dairesel spirallerin adımı, göbek çapının l/5'inden ve 80 mm'den fazla olmayacaktır.

2. Etriyeli kolonlarda $N_d > 0.20.A_c.f_{ck}$ olması durumunda sarılma bölgelerindeki minimum toplam enine donatı alanı, Denk. 6.3'te verilen koşulların elverişsiz olanını sağlayacak şekilde hesaplanması gerekir. Bu hesapta kolonun çekirdek boyutu b_k her iki doğrultu için ayrı ayrı göz önüne alınmalıdır.

$$A_{sh} \geq 0{,}3.s.\ b_k.[(\frac{A_c}{A_{ck}})\text{-}1].(\frac{f_{ck}}{f_{ywk}}) \qquad \textbf{(6.3a)}$$

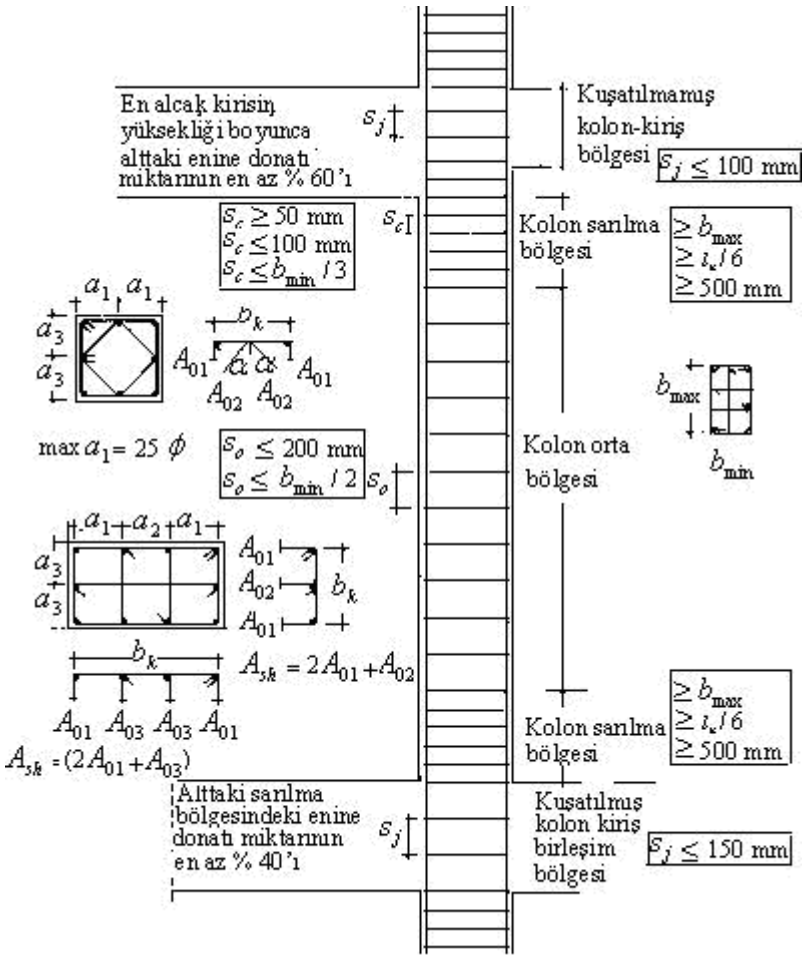
$$A_{sh} \geq 0{,}075.s.\ b_k.(\frac{f_{ck}}{f_{ywk}}) \qquad \textbf{(6.3b)}$$

3. Spiral donatılı kolonlarda N_d > $0.20.A_c.f_{ck}$ olması durumunda sarılma bölgelerindeki enine donatının minimum hacimsel oranı Denk. 6.4'teki koşulların elverişsiz olanını sağlayacak şekilde hesaplanmalıdır.

$$\rho_s \geq 0{,}45[(\frac{A_c}{A_{ck}})\text{-}1].(\frac{f_{ck}}{f_{ywk}}) \qquad \textbf{(6.4a)}$$

$$\rho_s \geq 0{,}12.(\frac{f_{ck}}{f_{ywk}}) \qquad \textbf{(6.4b)}$$

$N_d \leq 0.20.A_c.f_{ck}$ olması durumunda, kolon sarılma bölgelerinde Denk. 6.3 ve Denk. 6.4 ile verilen enine donatıların en az 2/3'ü minimum enine donatı olarak kullanılmalıdır. Şekil 6.12'de kolonlar için sağlanması gereken tüm minimum enine donatı koşulları gösterilmiştir **(A.B.Y.Y.H.Y, 1998)**.



Şekil 6.12 Kolonlar İçin Minimum Koşullar

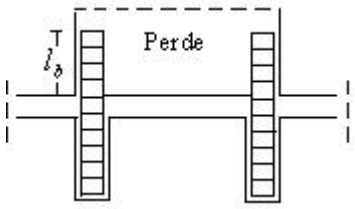
Kolonun sarılma bölgeleri arasında kalan bölgesi, kolon orta bölgesi içinse, ϕ8'den küçük çaplı enine donatı kullanılamayacağını ve kolon boyunca etriye, çiroz veya spiral aralığının en küçük enkesit boyutunun yarısından ve 200 mm'den daha fazla olmayacağı belirtilmektedir. Etriye kollarının ve/veya çirozların arasındaki yatay uzaklık, etriye çapının 25 katından fazla olmamalıdır.

Özel durum olarak verilen aşağıda belirtilen hallerde de sarılma bölgesindeki enine donatı, orta bölgede de uygulanmalıdır.

1. Bl türü düzensizlik durumunda dayanım düzensizliği katsayısının 0.60 ila 0.80 arasında değiştiği katta yer alan bütün kolonlar,

2. B3 türü düzensizlik durumunda üst katlardaki perdelerin altta oturtulduğu kolonlarda enine donatı Şekil 6.13'te görüldüğü gibi enine donatı, perde içine kenetlenme boyu kadar uzatılan kolon donatıları boyunca,

3. Ayrıca kısa kolon oluşumlarının engellenemediği kolonlarda, normal kolonların sarılma bölgeleri için verilen minimum enine donatı ve yerleştirme koşulları tüm kat yüksekliğince devam ettirilmelidir **(Atımtay, 2000)**.



Şekil 6.13 B3 Türü Düzensizlikte Uygun Enine Donatı Düzeni

Enkesit boyutlarına ve boyuna donatıya ilişkin koşullar, süneklilik düzeyi normal olan kolonlar için de geçerlidir. Boyuna donatıların düzenlenmesine ilişkin olarak süneklilik düzeyi yüksek kolonlar için belirtilen koşullar, süneklilik düzeyi normal olanlar içinde geçerlidir. Ancak, boyuna donatıların bindirmeli eklerinin kolon alt ucunda yapılması halinde süneklik düzeyi yüksek kolonlarda sarılma bölgeleri için tanımlanan enine donatının ek boyunca da konulması koşulu aranmaz **(A.B.Y.Y.H.Y, 1998)**.

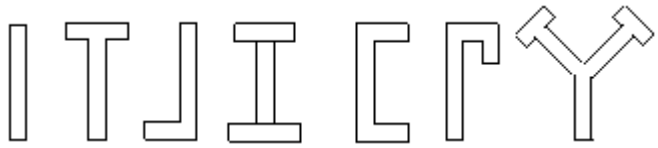
Enine donatılar ile ilgili çeşitli uygulamalara örnekler Ek C'de yer verilmektedir.

6.2 Perdeler

Perdeler planda uzun kenarının l_w, kalınlığına b_w oranı en az 7 olan düşey taşıyıcı betonarme elemanlardır. Bir binanın deprem güvenliğine en büyük katkıyı yapan taşıyıcı elemanlar perde duvarlardır. Bunlar yapıya rijitlik, dayanım ve süneklilik sağlarlar.

Yüksek bir yapıda bulunan perdeler, yatay yükler altında bir konsol kiriş gibi davranırlar. Konsol perdelerde yatay yüklerden oluşan eğilme momenti yanında, düşey yüklerden meydana gelen eksenel normal kuvvetler de bulunmaktadır. Kolonlarla kıyaslandığında rijitlikleri nedeniyle önemli bir eğilme momenti taşıdıkları halde, taşıdıkları normal kuvvet o kadar büyük değildir. Bu nedenle kesitlerinde eğilme momentleri hakimdir. Eksenel kuvvetlerin küçük olması sebebiyle perde temel tabanlarında çekme oluşacaktır. Bu nedenle perde duvarlarda büyük boyutlarda temellere ihtiyaç duyulur.

Perdelerin planda yerleri ve geometrileri genellikle mimari fonksiyonların bir sonucu olarak ortaya çıkar. Buna bağlı olarak perde duvarların kesitleri Şekil 6.14'te görüldüğü gibi çok farklı olabilmektedir.



Şekil 6.14 Perde Kesitlerine Örnekler

Bunların her biri için betonarme davranışları ve çözümleri farklı olduğundan her biri için ayrı ayrı hesap yapılması çok zor olabilir. Bu nedenle uygulamada genelde hesap yapılmadan yönetmeliklerde verilen minimum donatılar perdelere yerleştirilmektedir. Uygulama projelerinde de perdeler için minimum donatılar yeterli olur. Ancak eğilme momentinin aşırı büyük olduğu durumlarda veya çok yüksek yapılarda yönetmeliklerdeki minimum donatılar yetersiz kalabilir **(Doğangün, 2002).**

Yeterli enine ve boyuna donatı kullanıldığında ve özel donatı detaylarına dikkat edildiğinde perde duvarlar orta şiddetteki deprem altında yapıya gerekli direnci sağlar ve taşıyıcı sistemde sakıncalı hasarların oluşmasına izin vermezler. Yüksek şiddetli depremlerde de yapı ve taşıyıcı sistemin ihtiyaç duyduğu rijitlik ve sünekliliği sağlayarak hasar görürler.

Hasarlar momentin ve kesme kuvvetinin maksimum olduğu perde ve temel birleşim düzeyinin hemen üstünde oluşur. Perde duvarlarda eğilme kırılması, eğik asal çekme kırılması, perde ve temel birleşiminde kayma, eğilme ve taban kaymasının bir arada oluşması şeklinde kırılmalar meydana gelebilir. Genellikle, perde ve temel birleşiminde yeterli filiz donatısı bulunmadığı zaman bu birleşimde kayma gözlenir. Bu nedenle filiz donatısı miktarı arttırılmalı ve perde tabanına düzgünce dağıtılmalıdır **(Atımtay, 2000)**.

6.2.1 Boyut Koşulları

Perde kalınlığı, kat yüksekliğinin 1/15'inden ve 200 mm'den az olmamalıdır. Ancak Denk. 6.5'in sağlandığı perdelerde, kritik perde yüksekliği boyunca perde kalınlığı kat yüksekliğinin 1/12'sinden az olamaz.

$$H_w/l_w > 2.0 \qquad \textbf{(6.5)}$$

H_w temel üstünden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği, l_w perdenin veya bağ kirişin perde parçasının plandaki uzunluğudur.

Deprem yüklerinin tümünün bina yüksekliği boyunca sadece perdeler tarafından taşındığı binalarda, Denk. 6.6 ile verilen koşulların her ikisinin de sağlanması durumunda perde duvar kalınlığı, binadaki en yüksek katın yüksekliğinin 1/20'sinden ve 150 mm'den az olmamalıdır.

$$\Sigma A_g / \Sigma A_p \geq 0{,}002 \qquad \textbf{(6.6a)}$$

$$V_t / \Sigma A_g \leq 0{,}5 \cdot f_{ctd} \qquad \textbf{(6.6b)}$$

Burada ΣA_g deprem doğrultusuna parelel yapı elemanlarının enkesit alanları toplamı, ΣA_p binanın tüm katlarının plan alanlarının toplamı, V_t binaya etkiyen toplam deprem yükü, f_{ctd} betonun tasarım çekme dayanımını göstermektedir.

Aksi halde perde kalınlığı kat yüksekliğinin 1/15'inden ve 200 mm'den az olmaması gerekir. Denk. 6.6'nın bodrum katların çevresinde çok rijit betonarme perdelerin bulunduğu binalarda zemin kat düzeyinde, diğer binalarda ise temel üst kotu düzeyinde uygulanması gerekir **(A.B.Y.Y.H.Y, 1998)**.

Atımtay (2000)'de perde duvarların tabanından ölçülen "H_{cr}" denilen kritik yükseklik içinde maksimum moment ve maksimum kesme kuvvetinin beraber

bulunacağı ve bunun sonucunda elastik ötesi hasarların perde duvarın bu yüksekliği içinde meydana geleceği belirtilmektedir. Bu nedenle kritik perde yüksekliği içinde özel donatı detaylandırılması yapılmalıdır. Bu özel donatı detaylandırılması, perdenin tersinir yüklemeler altında hasar gören bölgesinde düşey donatısının burkulmasını önlemek, betonun ezilmeye tekabül eden birim deformasyonunu arttırarak betona olabildiğince süneklilik kazandırmak, ek boyuna donatı kullanarak perde kesitinin moment kapasitesini arttırarak, yoğun çatlamış bölgede betonun parçalanarak dağılmasını engellemeye yöneliktir.

Temel üstünden itibaren kritik perde yüksekliği, $2.l_w$ değerini aşmamak üzere, Denk. 6.7'de verilen her iki değerden elverişsiz olanını sağlayacak biçimde belirlenmesi gerekmektedir.

$$H_{cr} \geq l_w \qquad \textbf{(6.7a)}$$

$$H_{cr} \geq H_w/6 \qquad \textbf{(6.7b)}$$

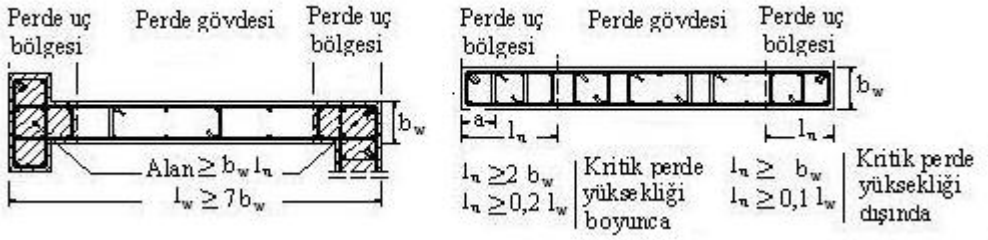
Buradaki H_{cr} kritik perde yüksekliği, l_w perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu, H_w temel üst kotundan itibaren toplam perde yüksekliğidir.

Bodrum katlarında rijitliği üst katlara oranla çok büyük olan betonarme çevre perdelerinin bulunduğu ve bodrum kat döşemelerinin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, H_w ve H_{cr} büyüklükleri zemin kat döşemesinden itibaren yukarıya doğru göz önüne alınması gerekir. Bu tür binalarda kritik perde yüksekliğinin, en az zemin katın altındaki ilk bodrum katın yüksekliği boyunca aşağıya doğru ayrıca uzatılması gerekmektedir.

$H_w / l_w > 2.0$ olan perdelerin planda her iki ucunda perde uç bölgeleri oluşturulması gerekmektedir. Perde uç bölgeleri perdenin kendi kalınlığı içinde oluşturulabileceği gibi perdeye birleşen diğer bir perdenin veya perdenin ucunda genişletilmiş bir kesitin içinde de düzenlenebilmektedir.

Dikdörtgen kesitli perdelerde kritik perde yüksekliği boyunca uç bölgelerinin her birinin plandaki uzunluğu perdenin plandaki toplam uzunluğunun %20'sinden ve perde kalınlığının iki katından daha az olmaması gerekir. Kritik perde yüksekliğinin üstünde kalan perde kesimi boyunca ise, perde uç bölgelerinin her birinin plandaki uzunluğu perdenin plandaki toplam uzunluğunun %10'undan ve perde kalınlığından az olmamalıdır. Perde uç bölgelerinin, perdeye birleşen diğer bir perdenin veya perdenin ucunda genişletilmiş bir kesitin içinde düzenlenmesi durumunda, her bir

perde uç bölgesinin enkesit alanı, en az dikdörtgen kesitli perdeler için yukarıda tanımlanan alana eşit olmalıdır. Perdelerde sağlanması gereken boyut koşulları Şekil 6.15'te gösterilmiştir **(A.B.Y.Y.H.Y, 1998)**.



Şekil 6.15 Perdelerde Boyut Koşulları

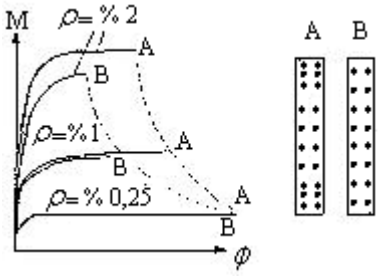
6.2.2 Perde Gövde ve Uç Bölgelerindeki Donatı Koşulları

Orta yükseklikteki perdelerde genellikle çok büyük kesit etkileri meydana gelmez. Bu nedenle donatısı çevreye düzgün bir şekilde dağıtılır. Ancak büyük mesnet momenti durumunda donatı uçlarda toplanarak, güç tükenmesi momenti ve eğriliği arttırabilir. Bu suretle eğilmeden oluşan basınç kuvvetinin önemli bir kısmı da donatı tarafından karşılanır.

Perde eğilme momenti yanında düşey yüklerden oluşan önemli bir normal kuvvet taşıdığında perde kesitinin başlarında sık etriye kullanmak tavsiye edilir. Uç bölgesi kolonlardaki gibi düzenlenir. Düşey donatıların burkulmasını önlemek için kolonlardan daha sık etriye düzeni gerekebilir.

Genellikle düşey yüklerden oluşan normal kuvvet dengeli durumdaki normal kuvvetten daha küçük olduğundan, eğilme momenti nedeniyle perde kesitindeki çekme donatısı akma durumuna erişir ve sünek bir güç tükenmesi olur. Ancak, normal kuvvet büyükse dengeli durumun üzerinde kaldığından çekme tarafındaki donatı akma durumuna erişemez ve sünek güç tükenmesi oluşmaz. Bu durumda basıncın oluştuğu her iki uç bölge sık etriye ile sarılarak süneklilik arttırılabilir.

Şekil 6.16'da gösterildiği gibi uç bölgesi bulunan ve bulunmayan donatı düzenlemelerinde perdelerin davranış değişiklikleri söz konusu olmaktadır **(Celep ve Kumbasar, 2004)**.



Şekil 6.16 Perde Uç Kesitindeki Donatı Dağılımının Davranışa Etkisi

A.B.Y.Y.H.Y. (1998)'de perde uç bölgesi donatıları ile ilgili koşullar şu şekilde verilmektedir:

1. Perde uç bölgelerinin her birinde, düşey donatı toplam alanının perde brüt en kesit alanına oranı 0.001'den az olamaz. Kritik perde yüksekliği boyunca bu oran 0.002'ye çıkarılabilir. Perde uç bölgelerinin her birinde düşey donatı miktarı $4\phi 14$''ten az olmamalıdır.

2. Perde uç bölgesindeki düşey donatılar kolonlarda olduğu gibi etriye veya çirozlardan oluşan enine donatılarla sarılması gerekir.

3. Uç bölgelerinde kullanılacak enine donatının çapı 8 mm'den az olmamalıdır. Etriye kollarının ve/veya çirozların arasındaki yatay uzaklık, etriye ve çiroz çapının 25 katından fazla olamaz.

4. Kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgelerine, kolonların sarılma bölgeleri için belirlenen enine donatıların en az 2/3'ü konulmalıdır. Düşey doğrultuda etriye ve/veya çiroz aralığı perde kalınlığının yarısından ve 100 mm'den daha fazla, 50 mm'den daha az olmaması gerekir. Bu donatılar temelin içinde de en az perde kalınlığının iki katı kadar bir yükseklik boyunca devam ettirilmelidir.

5. Kritik perde yüksekliğinin dışında kalan perde uç bölgelerinde düşey doğrultudaki etriye ve/veya çiroz aralığı, perde duvar kalınlığından ve 200 mm'den daha fazla olmamalıdır. Ancak, perde uç bölgelerindeki enine donatının çapı ve aralığı hiçbir zaman perde gövdesindeki yatay donatıdan daha az olmamalıdır.

A.B.Y.Y.H.Y. (1998) perde gövde donatıları ile ilgili olarak da aşağıda belirtilen koşulları vermektedir.

Perdenin her iki yüzündeki gövde donatılarının toplam enkesit alanı, düşey ve yatay donatıların her biri için perde uç bölgelerinin arasında kalan perde gövdesi brüt en kesit alanının 0.0025'inden az olmamalıdır. $H_w / l_w \leq 2.0$ olması durumunda perde

gövdesi perdenin tüm kesiti olarak göz önüne alınacaktır. Perde gövdesinde boyuna ve enine donatı aralığı 250 mm'den fazla olamaz.

Denk. 6.6 ile verilen koşulların her ikisinin de sağlandığı binalarda, düşey ve yatay toplam gövde donatısı oranlarının her biri 0,0015'e indirilebilir. Ancak bu durumda, donatı aralığı 300 mm'yi geçmemelidir.

Uç bölgeleri dışında perde gövdelerinin her iki yüzündeki donatı ağları, birer metrekare perde yüzünde en az 4 adet özel deprem çiroz ile karşılıklı olarak bağlanması gerekir. Ancak kritik perde yüksekliği boyunca, uç bölgeleri dışındaki birer metrekare perde yüzünde en az 10 adet özel deprem çirozu kullanılacaktır. Çirozların çapı en az yatay donatının çapı kadar olmalıdır. Şekil 6.17'de perdelerdeki tüm donatı koşulları gösterilmektedir.

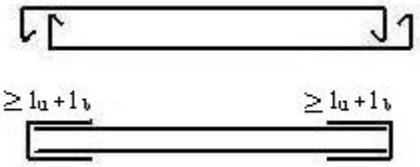


Şekil 6.17 Perde Donatılarına İlişkin Koşullar

Perdelerin yatay gövde donatıları düzenlenmesinde yatay gövde donatıları, kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgelerine konulacak sargı donatısının belirlenmesinde hesaba katılabilir.

Yatay gövde donatılarının etriyelerle sarılı perde uç bölgesinin sonunda 90° kıvrılarak karşı yüzde köşedeki düşey donatıya 135°'lik kanca ile bağlanması gerekir.

Yatay gövde donatılarının perde ucunda 90 derece kıvrım yapılmaksızın bitirilmesi durumunda, perdenin her iki ucuna gövde donatısı ile aynı çapta olan ⊃ biçiminde yatay donatıların yerleştirilmesi gerekir. Bu donatıların perde uç bölgesinin iç sınırından itibaren perde gövdesine doğru Şekil 6.18'de gösterildiği gibi en az kenetlenme boyu kadar uzatılması gerekir.



Şekil 6.18 Yatay Gövde Donatısının Yerleşimi

Süneklik düzeyi yüksek perdelerde tanımlanan kritik perde yüksekliğine ilişkin olarak verilen tanım ve koşullar hariç olmak üzere, süneklik düzeyi yüksek perdeler için verilen diğer tüm kural ve koşullar, süneklilik düzeyi normal olan perdeler için de geçerlidir.

6.2.3 Kısa Konsol Perdeler

Deprem bölgelerinde 3 ile 5 katlı binalarda sıkça görülen bir uygulamadır. Burada kullanılan perde duvarlar, H_w / l_w ≤ 2-3 olduğunda kısa konsol perde duvar tanımlamasının içine girerler.

Perde yüksekliği küçük olduğundan genellikle perde duvarların tasarım momentleri küçük olur ve minimum gövde donatısı yeterli olur. Ancak minimum gövde donatısı kullanılan perde duvarlarda kesme kırılması oluşabilir. Kesme kuvvetinden doğan hasarların oluşmasına izin verilmemelidir. Kesme kuvveti hasarı, kısa konsol perdelerde eğik asal çekme, eğik asal basınç ve yatay düzlemde kayma olarak gerçekleşebilir.

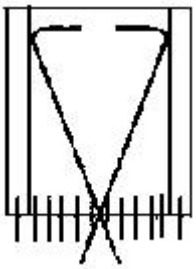
Yatay düzlemde kayma hareketi, kayma düzlemini dik kesen donatı ile engellenebilir. Bu durumda çatlağı dik kesen donatının oluşturduğu kesme kuvveti direnci olan V_{rwf} Denk. 6.8'den hesaplanabilir.

$$V_{rwf} = A_{wf}.f_{yd}.\mu \qquad \textbf{(6.8)}$$

Burada μ kesme sürtünme katsayısı, f_{yd} donatı akma dayanımı, A_{wf} çatlağı dik kesen donatının toplam alanıdır. Sertleşmiş beton ile yeni dökülmüş beton yüzeylerinde μ=1 alınabilir.

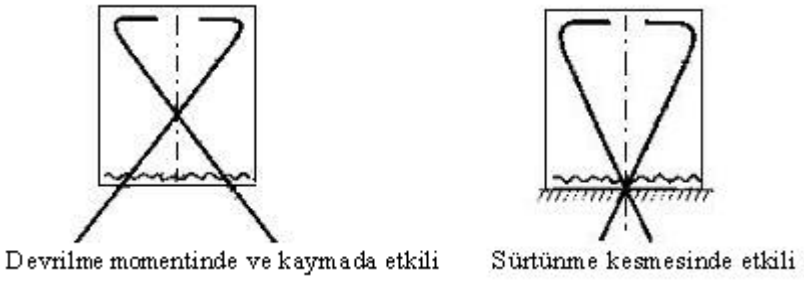
Kayma hareketini engellemek ve enerji tüketimini arttırmak için çapraz donatı da yerleştirilebilir. Tersinir deprem yükü altında çapraz donatılardan biri tersinir olarak hep çekmeye çalışacak ve enerji tüketecektir.

Deprem kuvvetini karşılamakta çapraz donatı ve perde içindeki düşey donatılar beraber çalışırlar. Deprem kuvveti altında önce çapraz donatı akar ve kayma hareketi başlar. Kayma hareketi başlar başlamaz düşey donatılar çalışmaya başlar. Çapraz donatılı perde çapraz donatısı olmayan perdeye göre %70 daha çok enerji tüketebilir. Şekil 6.19'da enerji tüketiminde etkili olan çapraz ve düşey donatılar beraber gösterilmektedir.



Şekil 6.19 Kısa Konsol Perdelerde Çapraz ve Düşey Donatılar

Kısa konsol perdelerin içine yerleştirilen çapraz donatılar iki ayrı geometriye sahip olabilirler. Bu seçimde perde boyutları etkili olacaktır. Kullanış biçimine göre çapraz donatı hem devrilme momentini karşılar, hem de yatay düzlemde kaymayı engellediğinden ek kesme direnci oluşturur. Çapraz donatılar Şekil 6.20'de gösterildiği gibi farklı şekillerde düzenlenebilmektedirler **(Atımtay, 2000).**



Şekil 6.20 Kısa Konsol Perdelerde Çapraz Donatı Düzenleri

6.2.4 Bağ Kirişli (Boşluklu) Perdeler

Yatay yüklerin karşılanmasında etkili olan perdeler çerçeve ile beraber veya iki perdenin bağ kirişleri ile birleşen perde grupları halinde de kullanılabilir. Perdede bırakılan boşluklardan veya iki perdenin bağ kirişleri ile birleşmesinden dolayı beraber çalışan perde duvarları meydana gelir.

Perde ile bağ kiriş rijitliklerinin birbirinden çok farklı olması normal çerçeve düzenlemesinde gözönüne alınmayan etkilerin hesaba katılmasını gerektirir. Bağ

kirişleri ile birleştirilmiş iki perdeli bir sistemde dış kuvvetlerin mesnette oluşturduğu devirme momenti, perdelerden oluşan eğilme momenti ile meydana gelen normal kuvvet çifti tarafından beraber karşılanır. Normal kuvvet bağ kirişlerinin perdeye göre relatif rijitliklerine bağlıdır. Bağ kirişlerinin rijitliğinin arttırılmasıyla bağ kirişlerinde eğilme momentleri büyürken, perdeler arası etkileşim artar ve normal kuvvetle daha büyük moment taşınması mümkün olur. Bağ kirişleri kısa ve yüksekse büyük eğilme momentine karşı koyarlar. Bunun sonucu olarak kesme kuvveti büyük değerler alır **(Celep ve Kumbasar, 2004)**.

Perdeler için daha evvel belirtiğimiz tüm koşullar, bağ kirişli perdeleri oluşturan perde parçalarının her biri için de geçerlidir.

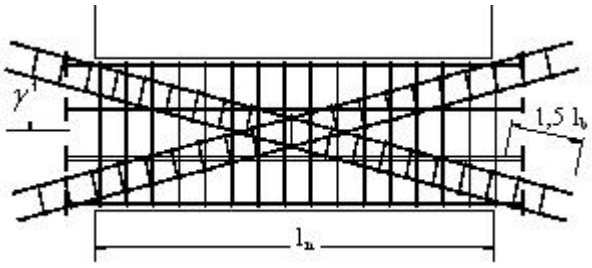
A.B.Y.Y.H.Y. (1998)'de bağ kirişlerinin kesme donatısına ilişkin koşullar aşağıdaki belirtildiği gibi verilmiştir.

$$l_n > 3h_k \qquad \textbf{(6.9a)}$$

$$V_d > 1{,}5\, b_w\, d\, f_{ctd} \qquad \textbf{(6.9b)}$$

Burada, l_n kirişin kolon veya perde yüzleri arasında kalan serbest açıklığını, h_k kiriş yüksekliğini, V_d deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvvetini, b_w perde gövde kalınlığını, d kirişin faydalı yüksekliğini, f_{ctd} betonun tasarım çekme dayanımını göstermektedir.

Denk. 6.9'un sağlanması durumunda bağ kirişlerinin kesme donatısı hesabı süneklik düzeyi yüksek kirişlerin kesme donatısı gibi yapılmalıdır. Denk. 6.9'da verilen koşulların her ikisinin de sağlanamaması durumunda bağ kirişine konulacak özel kesme donatısı geçerliliği deneylerle kanıtlanmış yöntemlerle belirlenmeli veya bağ kirişindeki kesme kuvvetlerinde Şekil 6.21'deki çapraz donatılar kullanılmalıdır.



Şekil 6.21 Bağ Kirişlerinde Donatı Düzeni

Her bir çapraz donatı demetindeki toplam donatı alanı Denk. 6.10 ile belirlenmesi gerekir.

$$A_{sd} = V_d / (2 f_{yd} \sin \gamma) \quad \textbf{(6.10)}$$

Buradaki A_{sd} bağ kirişinde çapraz donatı demetinin her birinin toplam donatı oranı, γ bağ kirişlerinde kullanılan çapraz donatı demetinin yatayla yaptığı açı, f_{yd} boyuna donatının tasarım akma dayanımıdır.

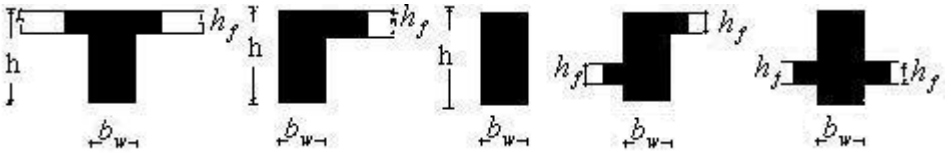
Çapraz donatı demetlerinde en az dört adet donatı bulunmalı ve bu donatılar perde parçalarının içine doğru en az $1.5.l_b$ kadar uzatılmalıdır. Donatı demetleri özel deprem etriyeleri ile sarılmalı ve kullanılacak etriyelerin çapı 8 mm'den, aralığı ise çapraz donatı çapının 6 katından ve 100 mm'den daha fazla olmamalıdır. Çapraz donatılara ek olarak, bağ kirişine TS 500'de öngörülen minimum miktarda konstrüktif olarak etriye ve yatay gövde donatısı konulması gerekmektedir.

6.3 Kirişler

Kirişler betonarme taşıyıcı sistemde düşey yüklerin ayrıca deprem ve rüzgar gibi yatay yüklerin de karşılanmasında döşemelere mesnetlik yaparak, yüklerin kolonlar yoluyla temele aktarılmasını sağlarlar. Bunun yanında kolonları bağlayarak taşıyıcı sistemde çerçeve oluştururlar.

Kirişlerde mesnetlenme ve yükleme biçimine bağlı olarak eğilme momenti, kesme kuvveti, burulma momenti ve normal kuvvet meydana gelebilir. Ancak yapısal elemanın TS 500 gereği kiriş olarak boyutlandırılıp, donatılması için hesap eksenel kuvvetinin $N_d \leq 0{,}1. A_c . f_{ck}$ koşulunu sağlaması gerekir. Eğer bu koşul sağlanamıyorsa, kirişlerin betonarme hesaplarında dikkate alınan basit eğilme etkisi artık geçerli olmaz. Bu durumda söz konusu elemanlar için kolonlarda olduğu gibi normal kuvvet ve eğilme momentinin birlikte dikkate alınması gerekir.

Kirişlerin eksenleri genel olarak yatay olup, özellikle endüstri yapılarında eğimli çatı kirişlerine de rastlanabilir. Genellikle döşeme ile betonlandıklarından beton basınç bölgesi genişletilmiş olan bu kesitlerde, plağa kesitin tablası denir. Tablalı kesit kirişlere yoğun biçimde rastlanılır. Bina türü yapılarda yaygın olarak kullanılan kiriş kesitleri Şekil 6.22'de gösterilmiştir **(Doğangün, 2002)**.



Şekil 6.22 Kiriş Kesitleri

Kirişlerin birbirine göre plandaki durumu açıklık ve atalet momenti döşemeye veya diğer bir kirişe mesnet oluşturulmasında belirleyici olur. Örneğin açıklığı küçük atalet momenti büyük bir kirişin düşey yer değiştirmesi daha küçük olacağı için düşey yer değiştirmesi büyük olana mesnetlik yapar. Ayrıca mesnetlik yapan kirişin yükü büyük olacağı için kesitinin de büyük olması yapılan kabulün kendiliğinden gerçekleşmesini sağlar.

Bazı durumlarda mesnetlik yapan kirişte büyük yükten oluşan eğilme momenti, donatı arttırılarak karşılanır. Donatının artırılması kesit atalet momentini az miktarda değiştirdiğinden mesnetlenmenin oluşması sağlanamaz. Mesnetlenmenin beklendiği yerde mesnet teşkil edilecek kirişin mesnetlenenden önemli ölçüde az yer değiştirme yapması sağlanmalıdır. Bu nedenle diğerine göre kesiti ve donatısı daha büyük olacaktır. Genellikle diğer kirişlere mesnetlik yapan ve kolonları birleştiren kirişler ana kirişler olarak adlandırılır **(Celep ve Kumbasar, 2001)**.

6.3.1 Enkesit Koşulları

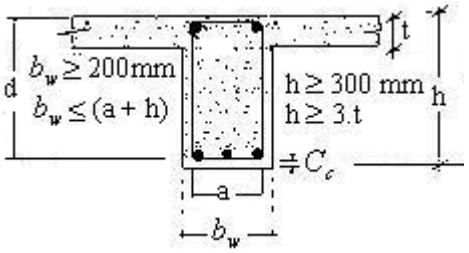
TS 500 ve A.B.Y.Y.H.Y.'de kiriş enkesit durumlarına ilişkin aşağıda verilen koşullar belirtilmektedir.

1. Kiriş yüksekliği döşeme kalınlığının 3 katından ve 300 mm'den daha az, kiriş gövde genişliğinin 3,5 katından daha fazla olamaz.

2. Kiriş yüksekliğinin serbest açıklığın ¼'ünden daha fazla olmaması gerekir. Aksi durumlarda, kiriş gövdesinin her iki yüzüne kiriş yüksekliği boyunca gövde donatısı konulması gerekir. Toplam gövde donatısı alanı sağ veya sol mesnet kesitlerinde üst ve alt boyuna donatı alanları toplamının en büyüğünün %30'undan daha az olamaz. Gövde donatısı çapının minimum değeri 12 mm olup aralığı ise 300 mm'den fazla olmamalıdır **(A.B.Y.Y.H.Y, 1998)**.

3. Kiriş gövde genişliğinin en az 200 mm olması gerekmektedir. Bu değer A.B.Y.Y.H.Y.'e göre 250 mm olmalıdır. Gövde genişliği maksimum kiriş yüksekliği ile kirişin birleştiği kolonun kirişe dik genişliğinin toplamı kadar olabilir. Buradaki a

mesnet genişliğini, h kiriş yüksekliğini, b_w kiriş gövde genişliğini göstermektedir. Şekil 6.23'te kiriş enkesit boyutlarının koşulları gösterilmiştir **(TS 500, 2000)**.



Şekil 6.23 Kiriş EnKesit Koşulları

Kiriş genişliği ve yüksekliği ile ilgili olarak yukarıda belirtilen koşullara, kolonlara mafsallı olarak bağlanan betonarme veya ön gerilmeli prefabrike kirişler, bağ kirişli (boşluklu) perdelerin bağ kirişleri, çerçeve kiriş (ana kiriş) olmayan ikincil kirişler ve dişli döşeme dişlerinde uyulmasına gerek yoktur **(A.B.Y.Y.H.Y, 1998)**.

6.3.2 Boyuna Donatı Koşulları

Kirişlerde yeterli süneklik açısından boyuna donatılarla ilgili sağlanması gereken koşullar aşağıda belirtildiği gibi verilebilir.

1. Kirişlerde boyuna donatıların çapı 12 mm'den daha az olamaz. Kirişin alt ve üstünde en az iki donatı çubuğu kiriş açıklığı boyunca sürekli olarak bulunması gerekir.

2. Kiriş mesnetlerinde üstteki çekme donatısının minimum oranı için Denk.6.11'de verilen koşula uyulmalıdır.

$$\rho_{\min} = f_{ctd} / f_{yd} \qquad \textbf{(6.11)}$$

3. Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerindeki taşıyıcı sistemlerde kiriş mesnedindeki alt donatı aynı mesnetteki üst donatının %50'sinden daha az olmamalıdır. Ancak, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde bu oran %30'a kadar indirilebilmektedir.

4. Açıklık ve mesnetlerdeki çekme donatısı oranı ise %2 değerini geçmemelidir **(A.B.Y.Y.H.Y., 1998)**.

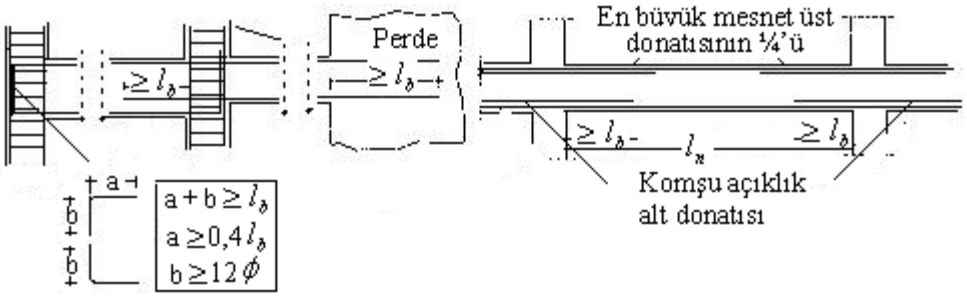
6.3.3 Boyuna Donatıların Düzenlenmesi

Kirişin iki ucundaki mesnet üst donatılarından büyük olanının en az ¼'ü tüm kiriş boyunca sürekli olarak devam ettirilecektir. Mesnet üst donatısının geri kalan kısmı, TS 500'e göre düzenlenmelidir.

Kolona birleşen kirişlerin kolonun öbür yüzünde devam etmediği durumlarda da kirişlerdeki alt ve üst donatı, kolonun etriyelerle sarılmış çekirdeğinin karşı taraftaki yüzeyine kadar uzatılıp etriyelerin iç tarafından 90 derece bükülmesi gerekir. Bu durumda boyuna donatıların kolon içinde kalan yatay kısmı ile 90 derece kıvrılan düşey kısmının toplam uzunluğu, TS 500'de öngörülen düz kenetlenme boyu l_b 'den az olmamalıdır. 90 derecelik kancanın yatay kısmının 0,4 l_b 'den, düşey kısmının ise 12ϕ 'den az olmaması gerekir.

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 uzatılmalıdır. Kirişlerdeki derinlik farkı gibi nedenlerle bu olanağın bulunmadığı durumlarda kenetlenme, yukarıda belirtilen kirişin kolonun öbür yüzünde devam etmediği durumlar için tanımlanan biçimde yapılmalıdır.

Perdelere kendi düzlemleri içinde bağlanan kirişlerde boyuna donatıların kenetlenmesi kanca yapılmaksızın düz olarak sağlanabilmektedir. Bu durumda donatıların perde içindeki kenetlenme boyu l_b 'den ve 50ϕ 'den az olmamalıdır. Kirişlerde boyuna donatıların düzenlenmeleri Şekil 6.24'te gösterilmektedir **(A.B.Y.Y.H.Y., 1998)**.



Şekil 6.24 Kirişlerde Boyuna Donatı Düzenlemeleri

6.3.4 Boyuna Donatıların Eklenmelerine İlişkin Koşullar

Kiriş sarılma bölgeleri kolon-kiriş birleşim bölgeleri ve açıklık ortasında alt donatı bölgeleri gibi donatının akma durumuna ulaşma olasılığı bulunan kritik bölgelerde

bindirmeli ek yapılmamalıdır. Bu bölgeler dışında bindirmeli eklerin yapılabileceği yerlerde ek boyunca özel deprem etriyeleri kullanılacaktır. Bu etriyelerin aralıkları kiriş derinliğinin ¼'ünü ve 100 mm'yi aşmamalıdır.

Daha evvel bahsedildiği gibi manşonlu ekler veya bindirmeli kaynak ekleri, bir kesitte ancak birer donatı atlayarak uygulanmalı ve birbirine komşu iki ekin merkezleri arasındaki boyuna uzaklık 600 mm'den daha az olmamalıdır **(A.B.Y.Y.H.Y, 1998)**.

6.3.5 Enine Donatı Koşulları

Deprem etkisi altındaki taşıyıcı sistemlerde en büyük momentler kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşur. En büyük momentlerin bu bölgede oluşmasının yanı sıra en büyük kesme kuvvetleri de bu bölgede oluşacaktır. Deprem etkisi altında, kiriş kesitinin hem altındaki hem de üstündeki boyuna donatı akacaktır. Tersinir deprem etkisi altında böylece plastik mafsallaşma meydana gelecektir. Bu plastik mafsal içinde büyük dönmeler oluşacağından enerjinin tüketilmesi gerçekleştirilecektir.

Deprem açısından dayanıklı betonarme yapılarda deprem enerjisinin tüketilmesinin kiriş sarılma bölgeleri denilen kiriş uç bölgelerinde oluşması amaçlanmıştır. Öyle ise tersinir deprem etkileri altında kiriş sarılma bölgeleri sünek kalmalı ve moment taşıma yetenekleri kaybolmamalıdır. Bundan dolayı sarılma bölgelerindeki betonun ezilip dağılmaması için bu bölgede özel deprem etriyeleri kullanılıp özenle detaylandırılmalıdır **(Atımtay, 2000)**.

A.B.Y.Y.H.Y. (1998), sarılma bölgesi olarak kiriş mesnetlerinde kolon yüzünden itibaren kiriş derinliğinin iki katı uzunluğundaki bölgeyi tanımlayarak bu bölgede özel deprem etriyelerinin kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Sarılma bölgesinde ilk etriyenin kolon yüzüne olan uzaklığı en çok 50 mm olabilir. Daha elverişsiz durumlar elde edilmedikçe etriye aralıkları **TS 500 (2000)**'de belirtilen aşağıdaki koşulları sağlamalıdır.

Etriye aralığı kiriş faydalı yüksekliğinin yarısından fazla olmamalıdır. Ayrıca, özel olarak V_d tasarım kesme kuvveti ve V_{cr} kesitin kesmede çatlama dayanımı olmak üzere $V_d \geq 3.V_{cr}$ olan durumlarda etriye aralığı yukarıda belirtilen değerin yarısını aşmaması gerekir. Çerçeve kirişlerinin uçlarında kiriş derinliğinin iki katı kadar olan bölgede etriye aralığı Denk. 6.12'yi sağlamalıdır.

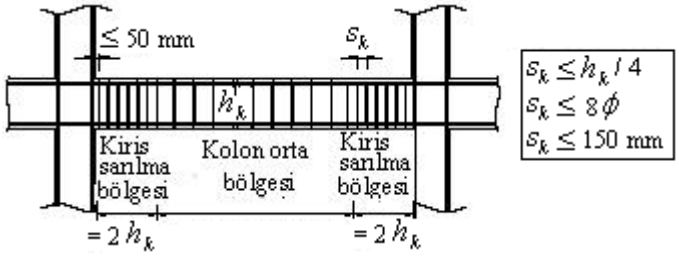
$s \leq d/4$ **(6.12a)**

$s \leq 8\phi$ **(6.12b)**

$s \leq 150$ mm **(6.12c)**

Burada s etriye aralığı, d kiriş faydalı yüksekliği, ϕ kirişin en küçük boyuna donatı çapıdır.

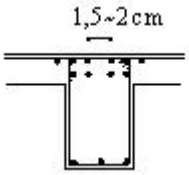
Sarılma bölgesi dışında TS 500'de verilen minimum enine donatı koşullarına uyulması gerekmektedir. Şekil 6.25'te kirişlerin enine donatılarına ilişkin koşullar gösterilmiştir.



Şekil 6.25 Kirişlerin Enine Donatı Koşulları

6.3.6 Sürekli Kirişler

Sürekli kirişlerde mesnetler üzerinde donatı çok fazla olur. Mesnetlerin üst kısmında betonun dökülebilmesi ve vibratör sokularak sıkıştırılabilmesi için vibratör çapından 1,5 veya 2 cm daha büyük bir aralık bırakılmalıdır. Donatının bir kısmı ikinci sıraya alınmasının yanı sıra, döşeme plağı ile birlikte betonlanan kirişlerin mesnetlerinde gerekli ek donatı bu plak içine de Şekil 6.26'daki gibi konulabilir.



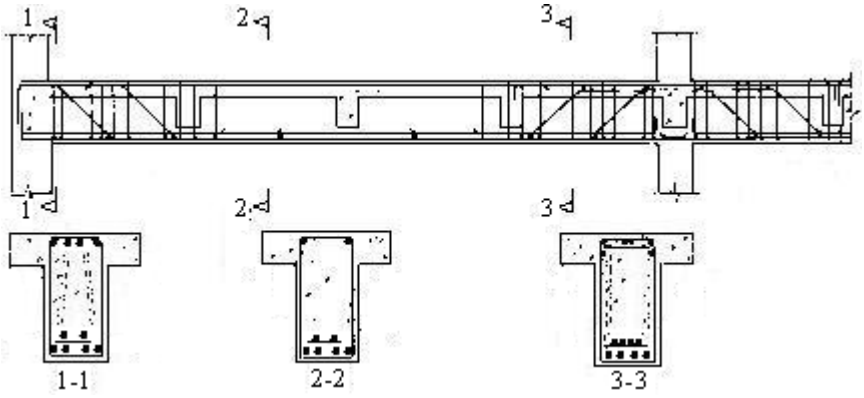
Şekil 6.26 Sürekli Kirişlerde Donatının Düzenlenmesi

Böylece donatının yerleştirileceği genişlik ve aynı zamanda iç kuvvetlerin manivela kolu arttırılmış olmaktadır **(Aka ve diğ, 2001).**

Daha evvel bahsedildiği gibi kirişlerde pilyeler de kullanılabilir. Mesnetlerde ihtiyaç duyulmayan çekme donatısı mesnedin öbür tarafına bükülerek, momentin işaret

değiştirmesi ile yeniden kullanıma girer. Yalnız kullanılan pilyelerin kesme kuvvetine katkısı alınmaz **(Ersoy, 1987).**

Ancak sürekli kirişlerde açıklıkların ve / veya yüklerin birbirinden çok farklı olması durumlarında açıklıkların bir kısmında pozitif moment oluşmayabilir. Pozitif momentin meydana gelmediği bu kiriş için çekme donatısı hesap sonucuna göre hem mesnette hem de açıklıkta kiriş üst kısmına yerleştirilmesi gerekir. Bu sebeple çift donatılı kesite sahip kirişler oluşmaktadır. Çekme bölgelerine konulan donatıların dışında basınç donatısı olarak adlandırılan bu donatılar, kirişin taşıma gücü momentini artttırmasının yanı sıra daha evvelki bölümlerde belirttiğimiz gibi betonun zamana bağlı sehimlerini de azaltmakta, elverişsiz yükleme durumların çekme donatısı olarak kirişin hasar görmesini engellemekte ve sünekliliğin artmasını sağlamaktadır. Bu sebeplerle boyuna donatıda ekonomi sağlanmakta ve donatı işçiliği kolaylaşmaktadır **(Doğangün, 2002).** Sürekli kirişlerde genel donatı düzenine örnek Şekil 6.27'de gösterilmiştir.

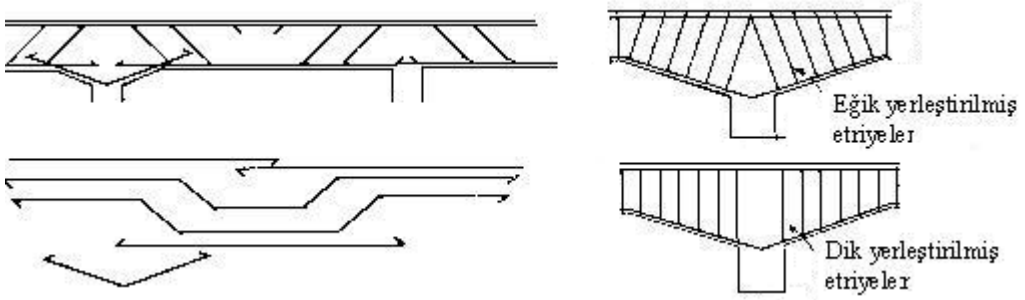


Şekil 6.27 Sürekli Kirişlerde Donatı Düzeni

Kirişlerde guselerin kullanılması mesnet bölgelerinde kritik olan kesme kuvvetlerinin daha güvenli olarak karşılanmasına yöneliktir. Guselerin kullanılması ile mesnet bölgelerinde beton alanı büyür ve bunun bir sonucu olarak ortalama kayma gerilmeleri küçülür. Ancak guselerin kullanılması ile kiriş üzerindeki moment dağılımı da değişir.

Guselerin varlığı ile kiriş eğilme rijitliğinde değişik olur ve açıklığa göre mesnet bölgeleri daha büyük eğilme rijitliği kazanır. Açıklık momenti azalır ve mesnet momenti çoğalır. Ancak proje hesapları açısından kritik mesnet momentindeki artış çok azdır ve pratikte rastlanan olağan durumlarda kesit boyutlarını ve donatı

miktarını etkilemez **(Atımtay, 2001)**. Bu tip kesiti değişken kirişlerde Şekil 6.28'deki gibi doğru detaylandırma yapılması gerekir.



Şekil 6.28 Guseli Kirişlerde Donatı Düzenleri

6.3.7 Saplama Kirişler

Kirişlerin doğrudan kolonlara mesnetlenmesi istenen bir durumdur. Ancak, uygulamada zaman zaman bu mümkün olmaz ve saplama kirişi olarak adlandırılan başka kirişlere mesnetlenen kirişler ortaya çıkar. Yaygın kullanılan saplama kirişlere örnek, balkon ya da çıkmanın ucuna yapılan kirişler ile kolon ve perde yerine başka kirişlere mesnetlenen iç kirişler verilebilir.

Saplama kiriş olarak düzenlenen iç kirişlerde kiriş taşıdığı toplam yükün yarısını bir ucundan mesnetlendiği ana kirişe tekil yük olarak aktarmaktadır. Bu durumda ana kiriş taşıdığı yüklere ilave olarak bir de tekil yük etkisinde kalır. Sadece yayılı yük etkisinde kirişlerin orta bölgelerinde kesme kuvvetinin değeri az iken bu bölgeye tekil yükün etkimesiyle orta bölgedeki kiriş kesitleri de kesme açısından kritik konuma gelebilir **(Doğangün, 2002).**

Bir kiriş eğer kolona değil başka bir kirişe mesnetleniyorsa yük getiren kirişin mesnet kuvveti kafes sistem benzeşiminde meydana gelen basınç çubuğu, diğer kirişe geçer. Bu tür dolaylı mesnetlenmede, birinci kirişin mesnedinde oluşan kuvvetin diğer kirişin gövdesine iletilmesi için askı donatısına ihtiyaç duyulur. Kafes sistem benzeşimi ile mesnette oluşan basınç çubuğunun düşey çekme çubuğu ile dengelenmesi gerekir.

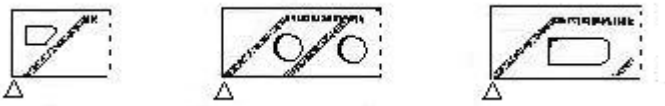
Kolona mesnetlenmeye göre dolaylı mesnetin daha kolay düşey yer değiştirebilir olması nedeniyle, hesaba esas olan kesme kuvvetinin tam mesnet yüzünde kirişe tamamen alt yüzden yapılıyorsa, kayma donatısına ek olarak Şekil 6.29'da verilen askı donatıları yerleştirilmelidir **(Celep ve Kumbasar, 2001).**



Şekil 6.29 Dolaylı Mesnetlenmede Kemerlenme ve Askı Donatıları

6.3.8 Boşluklu Kirişler

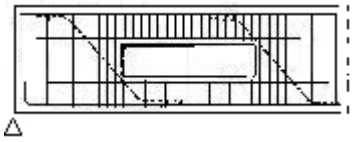
Kiriş gövdesinde boşluk bulunması durumunda kirişin rijitliği azaldığından donatı düzenlenirken özel önlemler alınması gerekir. Tesisat elemanları vb. geçişleri sağlamak amacıyla kirişlerin kesme kuvveti bölgelerinde bırakılacak boşluklar, yeterli beton basınç çubukları ya da kapalı çerçeve oluşturacak şekilde düzenlenmelidir. Şekil 6.30'da uygulamalarda uygun olan boşluk düzenleme tipleri gösterilmiştir.



Şekil 6.30 Kiriş Gövdesinde Uygun Boşluk Düzenleri

Küçük kesme kuvveti bölgesinde oldukça uzun boşluklar düzenlenebilir. Boşluk tiplerinden biri olan dairesel boşluklar köşeli boşluklardan daha uygundur. Boşluk köşeleri elden geldiğince yuvarlatılmalıdır. Kiriş yüksekliğinin %60'ından daha uzun olan boşluklar hesaplarda mutlaka göz önüne alınmalıdır.

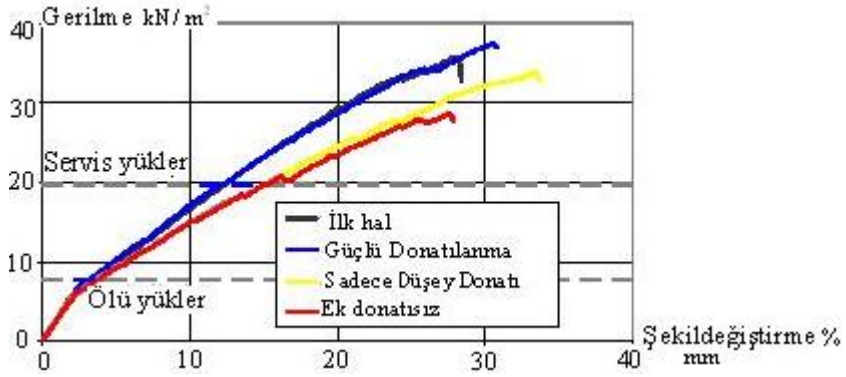
Çekme bölgesi çatlayacağından basınç altındaki üst başlık kesme kuvvetinin büyük bir bölümünü alır. Buna göre kesme kuvvetlerine uygun etriyeler düzenlenmelidir. Ayrıca, boşluk yanında askı donatısı düzenlenmeli ve mesnet tarafına 3 tane etriye konulmalıdır. Büyük kirişlerin boşluk köşelerinde Şekil 6.31'de gösterildiği gibi eğik donatı ek olarak konulmalıdır **(Aka ve diğ., 2001)**.



Şekil 6.31 Boşluklu Kirişlerde Donatı Düzeni

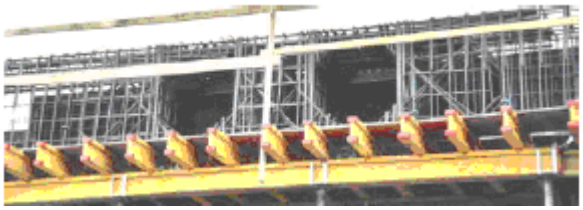
Bu konuda ATENA adlı bilgisayar programı ile Pragda bir alışveriş merkezinin büyük kirişlerinin çeşitli boşluk ve donatı düzenlerinin sonlu elemanlar modellemesi yapılmıştır.

Çeşitli sonlu eleman modellemeleri sonucu servis yükleri altında çatlak genişliklerinin analizleri incelenmiş ve bu çalışma sonucunda Şekil 6.32'de gösterilen gerilme ve şekil değiştirme eğrileri elde edilmiştir.



Şekil 6.32 Farklı Donatılı Dairesel Kirişin Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrileri

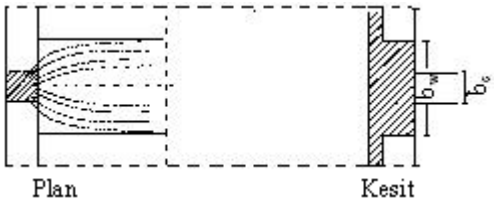
Sonuç olarak, Şekil 6.33'te gösterildiği gibi diyagonal ek donatısının kullanımı ile donatılan dairesel boşluklu kirişlerin boşluksuz kiriş haline yakın direnç gösterebildiği belirlenmiştir **(http://www.cervenka.cz/Web/files).**



Şekil 6.33 Boşluklu Kirişlerde Diyagonal Ek Donatı

6.3.9 Geniş Kirişler

Geniş bir kirişin dar bir kolona mesnetlenmesi durumunda kuvvet çizgileri kolona yaklaştıkça yoğunlaşarak, Şekil 6.34'te gösterildiği gibi çalışan kiriş genişliğinin b_w'den küçük olmasına sebep olur. Bu ise kesit hesaplarında genel olarak gözönüne alınmayan ek etkileri doğurur.



Şekil 6.34 Dar Kolona Mesnetli Geniş Kirişin Plan ve Kesiti

Daha evvel en kesit koşullarında belirtildiği gibi yönetmeliğimiz bu sebeplerle geniş kirişler için kolon genişliği ile kiriş genişliği toplamına kadar olan kiriş genişliğine

müsade etmektedir. Bu tip kirişlerde genişlik büyük olduğundan, iki kollu etriye kullanılması durumunda kafes sistem benzeşimindeki beton basınç kuvvetlerinin etriye çekme kuvveti ile dengelenmesi sırasında oluşacak gerilme yığılmasının kol sayısı arttırılarak önlenmesi tavsiye edilir. Geniş kirişlerde etriye kol sayısının iç gerilmelere etkisi Şekil 6.35'ten görülebilmektedir **(Celep ve Kumbasar, 2001).**

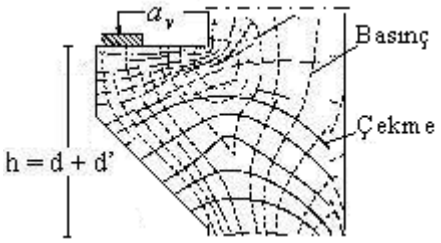


Şekil 6.35 Geniş Kirişlerde Etriye Kolunun İç Gerilmelere Etkisi

6.3.10 Kısa Konsollar

Yükleme noktasından mesnet yüzüne olan uzaklığının kesit faydalı yüksekliğine oranı (a_v / d)$\leq$ 1 olan konsollar "kısa konsol" olarak adlandırılmaktadır. Kısa konsollar genellikle sanayi yapılarında ve köprülerde kullanılmaktadır.

Kısa konsolların taşıma gücü hesapları ve donatı detayları normal konsollardan farklıdır. Kısa konsolun Şekil 6.36'da gösterildiği gibi iki boyutlu eleman alınması ile asal gerilme yörüngelerinden yük taşıma davranışı açık olarak anlaşılabilir **(Celep ve Kumbasar, 2001).**



Şekil 6.36 Kısa Konsoldaki Oluşan Asal Gerilmeler

Kısa konsoldaki asal gerilme yörüngelerinden aşağıda belirtilen sonuçlar ortaya çıkarılabilmektedir:

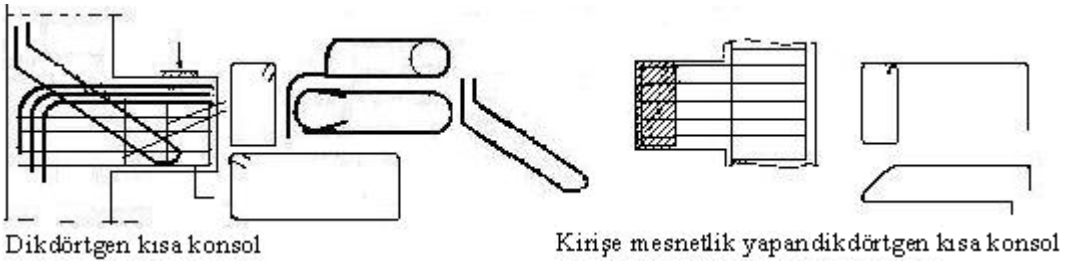
1. Yükleme noktası ile kolonun kenarı arasındaki çekme gerilmesi ve bunların bileşkesi hemen hemen sabit bir değişim göstermektedir.

2. Konsolun alt ucunda eğimli olarak kafes sistemi benzeşimine uygun olarak oluşan basınç kuvveti sabit kabul edilebilir.

3. Basınç kuvvetinin doğrultu değiştirmesinden oluşan çekme gerilmeleri oldukça küçüktür.

4. Kısa konsolun dikdörtgen şeklinde olması halinde de gerilme durumunda hemen hemen hiç değişiklik olmaz. Dikdörtgen kesit durumunda kısa konsolun dış alt kısmında çok küçük gerilmeler meydana gelmektedir. Bu sebeple uygulamalarda daha çok yamuk biçimli konsollar yapılır (**Celep ve Kumbasar, 2001).**

Kısa konsolların davranışı karışık görülmekle beraber çatlama durumundan hareketle basit bir donatı düzeni oluşturulabilir. Buna göre üste bir çekme donatısı yerleştirilerek kafes sistem oluşumu sağlanır. Böylece konsol yükü eğimli beton basınç çubuğu ile çekme kuvveti ise yatay donatı ile karşılanır. Şekil 6.37'de kısa konsolların genel donatı düzenlemelerine örnekler verilmiştir. Düşey etriyelerin bir anlamı bulunmaz ve sadece montaj için kullanılırlar. Çekme başlığının altına konulacak yatay etriyeler faydalıdır **(Özden, 1978)**.



Şekil 6.37 Kısa Konsollarda Genel Donatı Düzenleri

Doğangün (2002)'de kısa konsollarda konsolun geometrik boyut ve donatısına göre Şekil 6.38'de görülebileceği gibi değişik göçme durumlarının ortaya çıkabileceğini belirtilmektedir.



Şekil 6.38 Kısa Konsollarda Kırılma Biçimleri

Kısa konsollarda meydana gelen kırılma biçimlerinin sebepleri, aşağıda açıklanmaktadır.

a. Yatay çekme donatısının akması ve donatıda büyük uzamanın meydana gelmesi kolon yüzünde eğilme türünden çatlağın oluşup açılmasına neden olur. Bu sırada beton basınç çubuğu da ezilerek göçme ortaya çıkartır.

b. Gövdede meydana gelen çekme gerilmeleri eğik çatlakların oluşmasına neden olur. Beton basınç çubuğu ezilerek göçme ortaya çıkar.

c. Kolon yüzündeki kayma gerilmeleri eğik çatlakların oluşmasına neden olur. Bu çatlakların birleşmesiyle kısa konsol kolon yüzünde ayrılarak göçme ortaya çıkar.

d. Dış yükün konsolun dış kenarına yakın uygulanması durumunda, konsolun dış ucunda meydana gelen kopma ile göçme oluşur.

e. Dış yükün altındaki plağın çok küçük olması alt kısımda betonun ezilmesine sebep olur. Yerel göçme ile yük taşıma durumu sona erer.

f. Üst donatı ucunda yeterli kenetlenme boyunun bulunmaması, çekme kuvvetinin oluşmamasına ve konsolun ön kısmının ayrılmasıyla göçmeye neden olur.

İstenmeyen göçme türlerini önleyebilmek için **TS 500 (2000)**'de aşağıda belirtilen koşullar verilmektedir.

Kısa konsollarda sürtünme kesmesi için hesap yapılmalı ve gerekli kesme sürtünme donatısı hesaplanmalıdır. Kesme sürtünmesi için gereken donatı alanı A_{wf} Denk. 6.13'ten hesaplanabilir.

$$A_{wf} = V_d / f_{yd} \,.\, \mu \qquad \textbf{(6.13)}$$

Burada V_d tasanm kesme kuvveti, f_{yd} boyuna donatı tasarım akma dayanımı, μ kesme sürtünme katsayısıdır.

Toplam çekme donatısı A_{st}, eğilme ve eksenel kuvvet için hesaplanan donatıların toplamı olup Denk. 6.14'ten hesaplanabilir.

$$A_{st} = (A_s + A_n) \geq (2 / 3.A_{wf} + A_n) \geq 0{,}05.(f_{cd} / f_{yd}).b_w.d \qquad \textbf{(6.14a)}$$

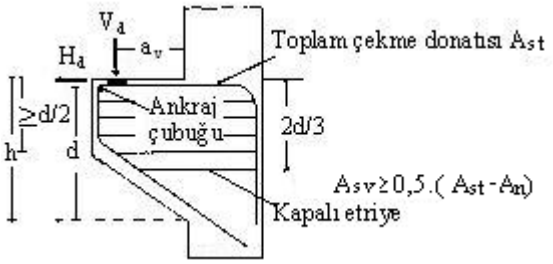
$$A_s = (V_d \,.\, a_v + H_d \,.(h-d))/0{,}8.\, f_{yd} \qquad \textbf{(6.14b)}$$

$$A_n = H_d / f_{yd} \qquad \textbf{(6.14c)}$$

Burada A_{st} kısa konsolda eğilme ve yatay kuvvet için gereken toplam yatay donatı kesit alanını, A_s eğilme donatısı alanını, A_n kısa konsolda yatay kuvvet için gereken donatı kesit alanını gösterir.

Şekil 6.39'da verildiği gibi konsol kirişin üst yüzünden 2/3 derinliğine kadar yayılan kapalı veya açık yatay etriyelerin kesit alanı olan A_{sv} Denk. 6.15'i sağlamalıdır.

$$A_{sv} \geq 0{,}5.(A_{st} - A_n) \qquad \textbf{(6.15)}$$



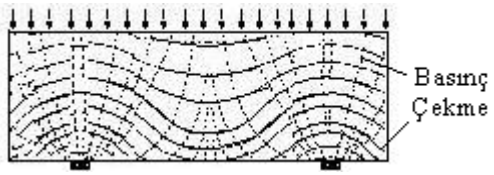
Şekil 6.39 Kısa Konsol Donatı Koşulları

Çekme donatısı akmayı sağlamaya yeterli biçimde kenetlenmelidir. Bu amaçla çekme donatısı, en az çekme donatısının çapına eşit bir ankraj çubuğuna yeterli biçimde kaynaklanmalı veya çekme donatısı U biçimli firketelerden oluşturulmalıdır. Ankraj çubuğu veya firketenin taban bölümünün yük alanının ötesine geçmesi gerekir.

6.3.11 Yüksek Kirişler

Eğer bir betonarme kirişte açıklık ile yükseklik oranı basit kirişlerde 2'den ve sürekli kirişlerde 2,5'ten daha küçük olursa böyle kirişler, yüksek kiriş olarak adlandırılır. Bu tür taşıyıcı elemanlara, planda dikdörtgen şekline sahip silolarda, binaların çevre duvarlarında rastlanılabilir.

Homojen ve doğrusal davranışa sahip malzemeden oluşan ve açıklığının yüksekliğine oranı küçük olan kirişlerin basit eğilmesi durumunda doğrusal gerilme yayılışının kullanılması doğru olmaz. Bu oranın küçülmesiyle gerilme yayılışının doğrusal değişimden ayrılması artmaktadır.



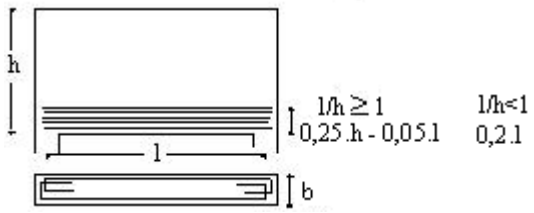
Şekil 6.40 Yüksek Kirişlerde Oluşan Asal Gerilme Yörüngeleri

Şekil 6.40'taki asal gerilmelerden görülebileceği gibi çekme asal gerilmelerinin oldukça yatay bulunması karşı gelen çekme donatılarının da yatay olarak yerleştirilebileceğine işaret eder. Bunun yanında üst yükün büyük bir kısmı, düşeye yakın bulunan basınç gerilmeleri ile doğrudan mesnede iletilir. Kiriş yüksekliği büyüdükçe bu oran artarken, açıklık ortasında ve alt yüze yakın etkiyen yükün

eğilme etkisiyle taşındığı görülür. Bu durum yükün büyük bir kısmının kemerlenme etkisi ile taşındığını işaret etmektedir. Yüksek kirişlerde yüksekliğin büyük olması sebebiyle oluşan kemerlenme etkisi, donatı ihtiyacının düşük kalmasını sağlar. Bu nedenle çok ayrıntılı bir hesap yerine, teorik çalışmalar yanında deney sonuçlarına dayanan yaklaşık çözüm yöntemleri tercih edilir. Asal çekme gerilme yörüngelerinin belirlenmesi çekme donatılarının yer ve miktarının bulunmasında faydalı olmaktadır **(Celep ve Kumbasar)**.

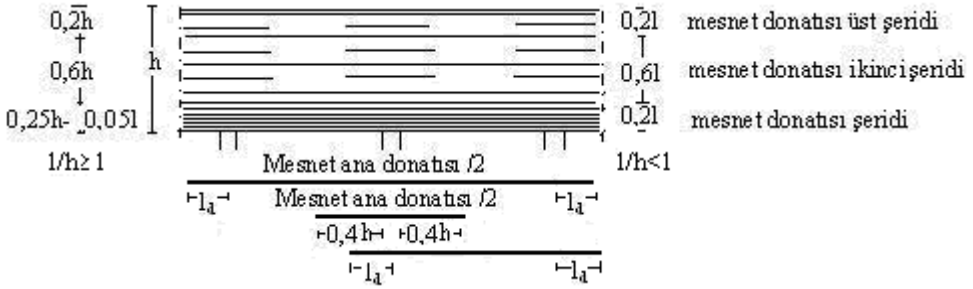
Yüksek kirişlerde genel donatı düzenlemelerinde gereken koşullar aşağıda belirtildiği gibi verilebilir.

Yüksek kirişlerde boyuna ana donatı kiriş alt yüzünden $l/h \geq 1$ ise 0,25.h - 0,05.l, $l/h<1$ ise 0,2.l yüksekliği kadar bir şeride dağıtılmış olmalıdır. Çatlama durumunda ana donatının taşıdığı çekme kuvveti kirişin bir ucundan diğerine sabit kaldığından, ana donatının iyice kenetleneceği mesnetlere kadar azaltılmadan uzatılması zorunludur. Boyuna donatının kenetlenmesinin yarılma olasılığını önlemek için, birden çok açıklık olduğu zaman l_d kenetlenme boyu kadar uzatılmalı veya tek açıklık olduğunda kanca kullanılmadan Şekil 6.41'de görüldüğü gibi yatay firkete yapılması daha uygundur **(Celep ve Kumbasar)**.



Şekil 6.41 Yüksek Kirişte Açıklık Donatısı

Sürekli yüksek kirişlerde hesaplanan mesnet donatısının yarısı komşu mesnetlere kadar ve diğer yarısı mesnedin serbest kenarından başlayarak min.(0,4h, 0,4l)'e kadar komşu açıklığa uzatılmalıdır.



Şekil 6.42 Sürekli Yüksek Kirişlerde Mesnet Donatısının Yerleşimi

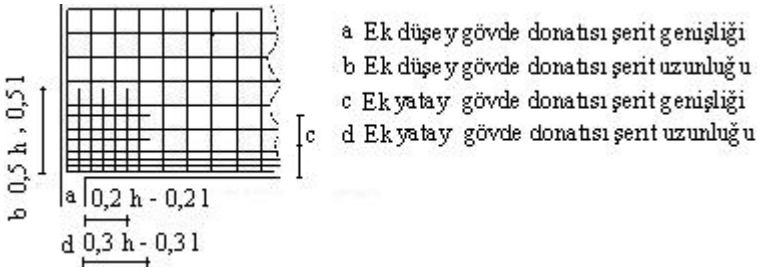
$A_{s\ üst}$ = 0,5. A_s .((l/h)- 1) kadar bir kısmı Şekil 6.42'de gösterildiği gibi üst şerite ve geri kalan kısmı ise orta şerite yerleştirilmelidir. Eğer $l/h \leq 1$ ise tüm mesnet donatısı orta şerite dağıtılmalıdır.

Boyuna donatılara ilave olarak yüksek kirişe düşey ve yatay olarak, Denklem 6.16'dan hesaplanacak ağ donatısı yerleştirilmelidir.

A_s = 0,00125.b.s (S 220) **(6.16a)**

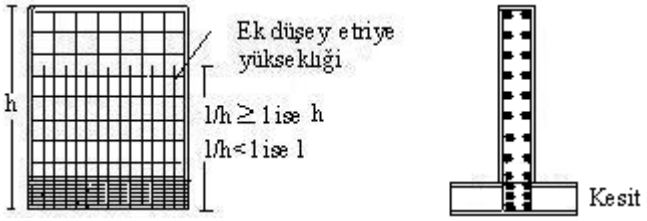
A_s = 0,00100.b.s (S 420, S 500) **(6.16b)**

Burada b kiriş genişliğini, s donatı aralığını göstermektedir. Kuvvet iletiminin yoğun olduğu mesnet bölgelerinde ise bu donatının aralığı yarıya indirilerek, donatı iki katına çıkarılmalıdır. Yatay ek donatı, açıklık donatı şeritinin üzerinde bulunan ve genişliği bu şerit genişliğine eşit olan yatay şeride min.(0,3.h, 0,3.l) boyunda yerleştirilmelidir. Düşey ek donatı ise mesnede yakın olan min. (0,2.h, 0,2.l) genişliğindeki düşey şeride min. (0,5.h, 0,5.l) boyunda konulmalıdır. Şekil 6.43'te bu mesnet donatılarının yerleşimi gösterilmiştir



Şekil 6.43 Yüksek Kirişte Mesnet Gövde Donatısı Yerleşimi

Yükün kirişe alttan uygulanması durumunda mesela yüksek kirişin altına bir döşemenin asılması gibi durumlarla karşılaşılınca, Denk. 6.16'da verilen donatı ağının alttan uygulanan yükün tamamını kirişin üst bölümüne iletilecek ek düşey etriyelerle Şekil 6.44'teki gibi pekiştirilmesi gerekir. Bunların aralıkları 15 cm'yi aşmamalıdır **(Aka ve diğ, 2001)**.



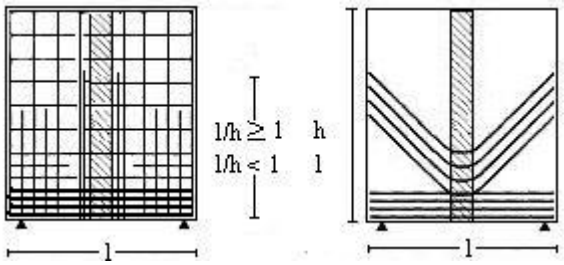
Şekil 6.44 Alttan Uygulanan Yükün Basınç Bölgesine Aktarılması

Yükseklikleri kalınlıklarına göre büyük olduğundan yüksek kirişlerde yanal burkulma önemli bir etken haline gelir. Bu nedenle yanal rijitliklerin sağlanmasına dikkat edilmelidir. Eğer yüksek kirişin genişliği $b \geq l/20$ ise ek tedbir almaya ihtiyaç duyulmaz. Ancak genişlik $b<l/20$ şeklinde küçük ise güvenliğin sağlanması için enine doğrultuda rijitleştirmeye ihtiyaç duyulur.

Yüksek kirişlerde eğer mesnet yüzündeki kesme kuvveti $V_d \leq$ min (0,20 f_{cd} .b.l, 0,20. f_{cd} .b.h) ise bu etki beton ve konstruktif donatıların katkılarıyla taşınabilir. Bu değerin aşılmamasını sağlayacak kiriş genişliği seçimi tavsiye edilmektedir. Yüksek kirişin üst taraftan döşeme ile birleşmesi veya yüksek kirişin üst kenarda genişletilmesi de burkulmayı engelleyici önlemler olarak düşünülebilir.

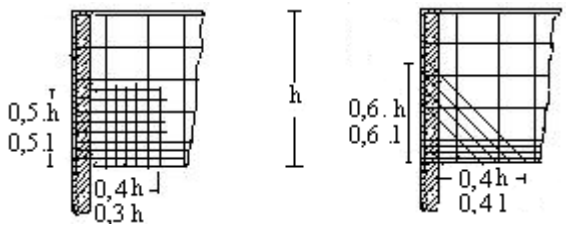
Yüksek kirişler mesnetlerinde ağır yüklere maruz kaldıklarında üst kısma etkiyen yük dağılarak aşağıya iner ve mesnet bölgesinde tekrar toplanır. Bu dağılma ve tekrar toplanma bölgelerinde meydana gelecek yatay çekme gerilmelerinin alınması için her bir bölgede kuvvetin ¼'ünü esas alarak donatı yerleştirilmelidir. Bu bölgede bir mesnet rijitleştirici varsa yük bu elemanla mesnete iletileceğinden dağılma söz konusu olmaz **(Celep ve Kumbasar)**.

Eğer yüksek kiriş, başka bir yüksek kirişten yük alıyorsa bu yükün askı donatısı ile yükü taşıyan yüksek kiriş gövdesine asılması gerekir. Yükün ağır olduğu durumlarda yükün en fazla % 60'ı düşey olmayan Şekil 6.45'teki görüldüğü gibi eğik donatılarla gövdeye asılabilir. Geri kalanı ise düşey donatılarla iletilmelidir.



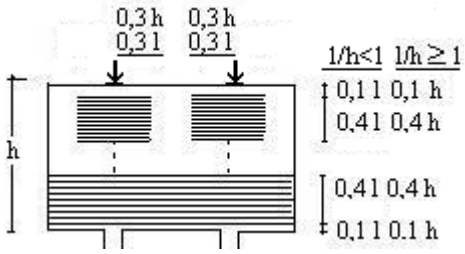
Şekil 6.45 Dolaylı Yükleme Durumunda Yüksek Kiriş Donatı Düzenleri

Mesnedin büyük kesitli kolon olması veya perde olması durumuyla karşılaşıldığında yüklerin mesnede aktarılmasını sağlayacak donatı, yatay ve düşey çubuklardan meydana gelen birleşik ek donatı ağı veya eğik etriyeler olabilir. Bu tip dolaylı mesnetlenme durumlarında kullanılabilecek donatı düzenleri Şekil 6.46'da gösterilmiştir.



Şekil 6.46 Perde Mesnetli Yüksek Kirişlerin Mesnet Donatıları

Yüksek kirişin mesnetleri üzerinde tekil kuvvetler bulunduğunda ve bunlar yeterince boyutlanmış herhangi bir kolon ya da düşey nervür aracılığıyla alttaki mesnetlere aktarılamıyorsa, normal gövde donatısı dışında iki yatay şeride paylaştırılmış ek donatı konulması zorunludur. Mesnetlerde tekil kuvvet etkimesi durumunda yüksek kirişlerdeki ek yatay donatı yerleşimi Şekil 6.47'de gibi olacaktır **(Aka ve diğ, 2001)**.



Şekil 6.47 Mesnette Tekil Yük Durumunda Ek Donatı Düzeni

6.4 Döşemeler

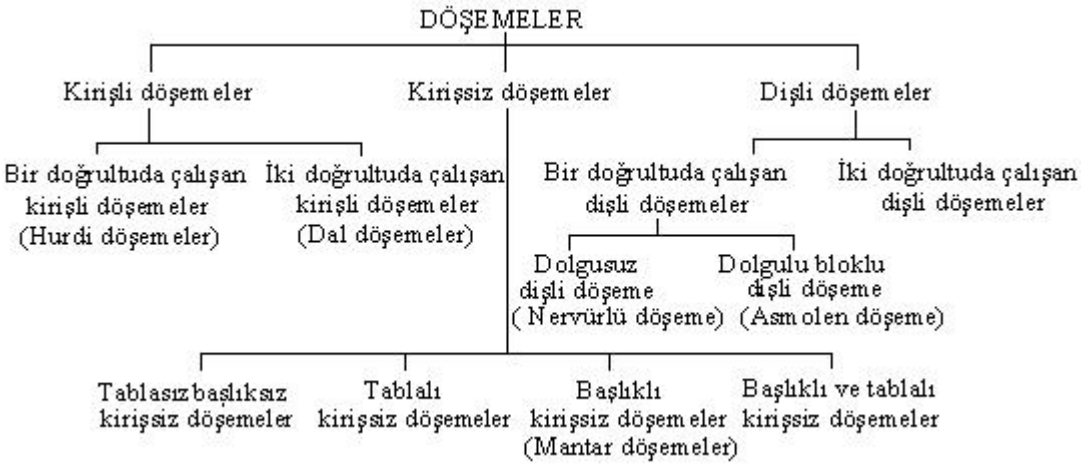
Yapılarda kirişler, duvarlar veya doğrudan kolonlar arasındaki alanı örten iki boyutlu düzlemsel yapı elemanları döşeme olarak adlandırılır. Döşemelerin görevi belirli bir alanı kapatmanın yanısıra döşeme düzlemine uygulanan düşey yükleri kirişlere veya kirişlerin olmadığı durumlarda doğrudan doğruya kolon, perde, duvar gibi düşey taşıyıcı elemanlara aktarmak ve düşey yüklerin yanı sıra yatay yükleri de diyafram görevi yaparak düşey taşıyıcılara aktarmaktır.

Betonarme döşemelerin yangına dayanıklı hatta önleyici olmaları zararlı böcek ve bitkilerin barınmasına olanak vermemeleri ve ekonomik olmaları gibi üstünlükleri vardır. Ancak bu yararları yanında ağır olmaları, sulu inşa edilmeleri, dayanım kazanmaları için kalıp sökme süresi nedeniyle bekleme zorunluluğu, inşaatın mevsim ve hava durumuna bağlı oluşu gibi sakıncalar da taşırlar **(Aka ve diğ, 2001)**.

Aka ve Altan (1992), döşeme maliyetlerinin toplam maliyetler içerisinde önemli bir yer tuttuğunu belirtmektedir. Bu nedenle taşıyıcı sistemde uygulanabilecek çeşitli döşeme biçimleri göz önünde bulundurularak en uygun çözümün elde edilmesine

çalışılmalıdır. Döşeme tipinin seçiminde yapı ve kat yüksekliği, düşey ve yatay yükler, tesisat elemanları, kalıp sistemi, inşaat süresi ve biçimi etkili olur.

Döşemeler mesnet koşullarına ve çalışma biçimlerine Şekil 6.48'de gösterildiği gibi sınıflandırılabilirler **(Doğangün, 2002)**.



Şekil 6.48 Döşemelerin Sınıflandırılmaları

Genelde döşemelerin davranışı daha çok dengealtı donatılı kiriş davranışlarına benzemektedir. Ancak döşemedeki donatı oranı genelde kirişe oranla daha küçük olduğundan ve komşu şeritlere aktarma uyum sebebiyle yapıldığından döşemelerin deformasyon kapasiteleri daha fazladır.

Döşeme ilk çatlaklar oluşuncaya kadar doğrusal elastik bir davranış sergileyecektir. İlk çatlama momentin maksimum olduğu yerde başlayacaktır. Çatlakların oluştuğu bölgede döşemenin eğilme rijitliği azaldığından, moment dağılımı elastisite teorisinden sapmaya başlayacak ve yükün artması ile bu çatlaklar ilerleyecektir.

Yük belirli bir düzeye geldiğinde momentin en büyük olduğu yerde donatı akmaya başlar. Donatı akması çapraz çatlaklar bölgesinde oluşacaktır. Yük arttıkça donatıdaki akma döşeme kenarlarına doğru ilerleyecektir. Akma çizgileri döşeme kenarlarına ulaştığında döşeme artık mekanizmaya dönüştüğünden, daha fazla yük alamayacaktır. Akma çizgilerinin kullanılması ile geometrisi dikdörtgenden değişik ve sınır koşulları karmaşık plakların hesapları için de oldukça kolaylık sağlanır **(Ersoy, 1995)**.

6.4.1 Kirişli Döşemeler

Plaklar yüzeysel taşıyıcı olmalarına karşın, küçük boyutları olan kalınlıklarına etkileyen momentler dolayısıyla büyük açıklıklı yapılamadıklarından kirişlerle bölmek uygun olmaktadır. Böylece elde edilen kirişli döşemelerde dikdörtgen biçimli plaklar kalıp, donatı yerleştirme ve davranış bakımından sorunsuz olduklarından daha çok tercih edilirler.

Kolonlar arasındaki kirişler iyi bir bağlantı sağlarlar ve döşemeden kolona yük aktarmada iyi bir eleman oluştururlar. Kenarlarının oranına göre tek ya da çift doğrultuda çalışan plaklar kareye yakın olunca, yüzeysel taşıyıcılıklarından en çok yararlanılan konumda olmaktadırlar **(Aka ve Altan, 1992).**

Tek doğrultuda çalışan kirişli döşemeler üzerine uygulanan yükün çok büyük bir kısmını kısa doğrultusunda taşıdığından, donatı hesabı sadece kısa doğrultuda yapılmaktadır. Hesaplanan donatının çekme donatısı olarak döşemeye kısa doğrultuda yerleştirilmesi için önce açıklık momentlerinden hareketle bulunan A_s donatı enkesit alanları gözönüne alınarak açıklıklara konulacak donatının ϕ çap ve aralıkları seçilir. Plak yalnız 1m'lik şeritten ibaret olmadığından çelik çubukların sayısı yerine aralıklarının verilmesi çok daha uygun olmaktadır. Böylece uygulama bakımından kolaylık sağlanmış olunur.

Açıklıkların ortasına konulan donatı çubuklarının yarısı mesnede kadar düz olarak giderken, diğer yarısı ise açıklığa bağlı olan belli oranlarda mesnet yakınlarında bükülerek üste çıkarılır ve komşu açıklığa uzatılır. Bu donatılar yalnızca mesnet momentini karşılamada kullanılırlar. Bu sebeple komşu açıklığın negatif momentinin bulunmadığı yere kadar uzatılmalıdırlar. İki komşu açıklıktan bükülerek mesnede gelen çelik çubuklar mesnet momentine göre hesaplanan donatı enkesit alanı için yeterli değilse aradaki fark mesnede konulacak mesnet ek donatısı adını alan donatılarla karşılanır. Ek mesnet donatısının $\phi 8/330$'dan az olmaması tavsiye edilir.

Ana çalışma doğrultusuna konulan ana donatıdan ayrı olarak ana doğrultuya göre daha küçük momentler oluşturan bölgesel yüklemelerden ileri gelen boyuna doğrultu momentleri ve rötre gibi nedenlerle plağın boyuna doğrultuda da donatılanması gerekir. Bu donatıya dağıtma donatısı adı verilir. Dağıtma donatısı bölgesel yüklerin kendi yayıldıklarından daha geniş bir şerit tarafından taşınmasını sağladıklarından adlarını buradan almaktadırlar.

Kısa kenarlarına dik doğrultuda ortaya çıkan momentlerden pozitif olan dağıtma donatısı ile karşılanırken negatif moment ise boyuna mesnet donatısı adı verilen donatılarla karşılanır. Bu donatıların konulmaması, çatlakların oluşmasına sebep olacağından plağın kiriş ile birlikte çalışmasını engeller **(Aka ve diğ, 2001)**.

TS 500 (2000)'de tek doğrultuda çalışan döşemelerle ilgili koşullar şu şekilde belirtilmektedir :

1. Düzgün yayılı yük taşıyan ve uzun kenarının kısa kenara oranı 2'den büyük olan betonarme plakların tek doğrultuda çalıştığı kabul edilir.

2. Eğilme donatısı yalnızca kısa doğrultuda yerleştirilir uzun doğrultuda ise dağıtma donatısı bulundurulmalıdır. Donatı yerleşiminde eğilme donatısı oranı S 220 için 0,003, S 420 ve S 500 için ise 0,002'den az olmamalıdır. Asal donatı aralığı, döşeme kalınlığının 1,5 katını ve 200 mm'yi geçmemelidir.

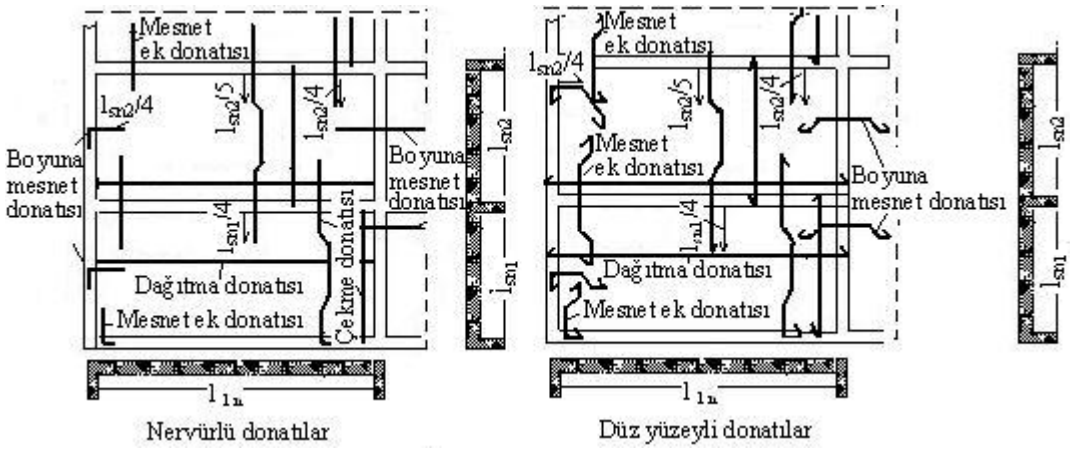
3. Açıklıktaki alt donatının tek açıklıklı plaklarda en az ½'si, sürekli plaklarda ise en az 1/3'ü mesnetten mesnede kesilmeden ve bükülmeden uzatılması gerekir.

4. Tüm kesit esas alınarak hesaplanacak olan dağıtma donatısını oranı asal donatının 1/5'inden az olamaz. Dağıtma donatısı aralığı 300 mm'den fazla olamamalıdır.

5. Kısa kenar doğrultusundaki kirişler üstünde, döşeme asal donatısına dik doğrultuda boyuna mesnet donatısı bulundurulması gerekir. Üste konulacak ve her iki tarafta kısa açıklığın ¼'ü kadar uzatılacak olan boyuna donatı, asal donatının % 60'ından daha az olmamalıdır. Ayrıca, S 220 için en az ϕ8/200 mm, S 420 için en az ϕ8/300 mm, S 500 için en az ϕ5/150 mm donatı kullanılmalıdır.

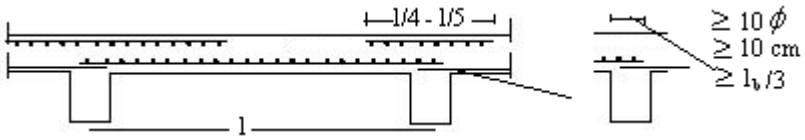
6. Plak döşemelerin kenar mesnetlerindeki açıklık ve mesnet donatıları bu kenarlardaki kiriş, hatıl, kolon veya betonarme duvarlara kurallara uygun şekilde kenetlenmelidir. Düz veya kancalı olarak yapılabilecek olan kenetlenmelerde, kenetlenme boyu mesnet yüzünden başlayarak 150 mm'den daha az olamaz.

Döşemelere yerleştirilecek olan düz donatılarda kanca yapılırken, nervürlü donatılarda kanca yapılmaz. Şekil 6.49'da düz ve nervürlü donatıların kullanıldığı tek doğrultuda çalışan kirişli döşemeler için donatı düzenleri verilmiştir **(Doğangün, 2002)**.



Şekil 6.49 Tek Doğrultuda Çalışan Kirişli Döşemelerde Donatı Düzenleri

Bu donatı çubuklarının yerleşiminin dışında Şekil 6.50'de gösterildiği gibi üst ve alt hasırlarla da döşeme donatılandırılabilir. Hasırlanan kenar kısımlarda donatının üst üste gelerek kenetlenmesinin sağlanması önemlidir. Bu durumda hiç eğik donatı koymadan açıklık ve mesnet için gerekli donatı ayrı ayrı hesaplanarak yerlerine konulmaktadır.



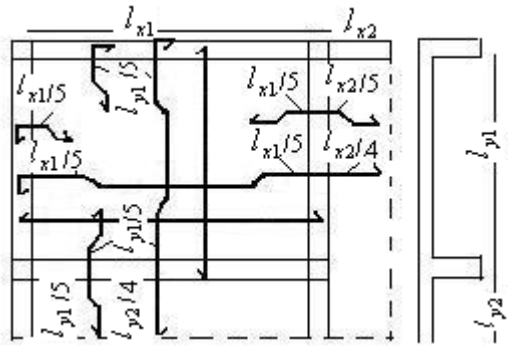
Şekil 6.50 Tek Doğrultuda Çalışan Kirişli Döşemelerde Hasır Donatı Düzeni

Bunlardan üst hasırların boyları negatif moment bölgesine göre saptanır. Eşit açıklıklarda mesnet donatısı komşu açıklıklara l/4 veya l/5 kadar uzatılabilir. Her iki donatı hasırı da kademeli yapılarak çelikten ekonomi sağlanabilir. Mesnette kenetlenme için çelik hasırın ana çubukları kiriş kenarından itibaren en az çapının 10 katı, 10 cm ve beton kalitesine göre verilen kenetlenme boyunun 1/3'ü kadar içeriye girmelidir **(Aka ve diğ, 2001)**.

Doğangün (2002)'de bir doğrultuda çalışan kirişli döşemelerde kesme etkisinin genellikle kritik olmayacağını buna rağmen döşemenin kesme dayanımı için kesme donatısı ihtiyacının kontrol edilmesinin gerekli olduğunu belirtilmektedir. Bunun için tasarım kesme kuvvetinin kesitin kesme çatlama dayanımından küçük olması gerekir. Döşemelerde faydalı yüksekliğin dolayısıyla da döşeme kalınlığının büyük seçilmesi, kesme dayanımının beton tarafından karşılanmasını kolaylaştıracak ve çoğu zaman da kesme donatısına gerek kalmayacak şekilde, tasarımın yapılması imkanını sağlayacaktır.

TS 500 (2000)'e göre tek doğrultuda çalışan plaklar için en küçük kalınlık 80 mm'dir. Tavan döşemelerinde ve bir yerin örtülmesine yarayan veya yalnız onarım, temizlik veya benzeri durumlarda üzerinde yürünen döşemelerde döşeme kalınlığı 60 mm'ye kadar düşürülebilir. Üzerinden taşıt geçen döşemelerde ise kalınlık en az 120 mm olmalıdır. Ayrıca plak kalınlığının serbest açıklığa oranı basit mesnetli tek açıklıklı döşemelerde 1/25, sürekli döşemelerde 1/30, konsol döşemelerde 1/12 değerlerinden az olamaması gerekir.

Yükün iki doğrultuda da iletildiği bilinen çift doğrultuda çalışan döşemelerdeki donatı düzenlemesinin bir doğrultuda çalışan kirişli döşemedekinden farkı her iki doğrultu için de çekme donatısının yerleştirilmesidir. Dolayısıyla her iki doğrultuda hem açıklık hem de mesnet momentine göre çekme donatısı hesaplanmakta dağıtma donatısı ise bulunmamaktadır. Bu durumda iki doğrultuda çalışan bir döşemede iki doğrultu için açıklık donatısı ve dört kenar için mesnet donatısı hesabının yapılması gerekir. Ortak mesnede her iki döşemeden gelen pilyelerin mesnet donatısı açısından yetersiz kalması durumunda ek mesnet donatıları yerleştirilir. Şekil 6.51'de çift doğrultuda çalışan döşemelerde donatı düzeni verilmiştir **(Doğangün, 2002)**.



Şekil 6.51 İki Doğrultuda Çalışan Kirişli Döşemelerdeki Donatı Düzenleri

TS 500 (2000) iki doğrultuda çalışan döşemelerle ilgili aşağıda belirtilen koşullara yer vermektedir:

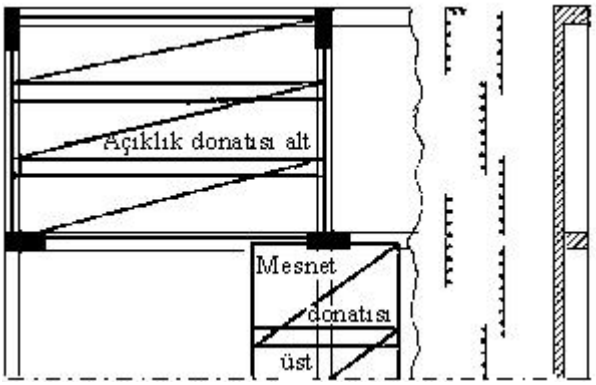
1. Düzgün yayılı yük taşıyan dört kenarı boyunca mesnetlenmiş ve uzun kenarının kısa kenarına oranı 2 veya daha küçük olan betonarme plaklar, iki doğrultuda çalışan plaklar olarak kabul edilirler.

2. İki doğrultuda çalışan kirişli ve kirişsiz döşemelerde her bir doğrultuda 0,0015'ten az olmamak koşuluyla iki doğrultudaki donatı oranlarının toplamı S 220 için 0,004, S 420 ve S 500 için 0,0035'ten az olamaz. Donatı aralıkları ise tablasız

döşeme kalınlığının 1,5 katından ve kısa doğrultuda 200 mm, uzun doğrultuda 250 mm'den fazla olamaz.

İki doğrultuda çalışan döşemelerde hasır donatı kullanımına karar verilirse, **Celep ve Kumbasar (2001)**'de tavsiye edilen uygulamalar aşağıda verilmiştir.

İki doğrultuda çalışan döşemelerin açıklığı için iki doğrultudaki donatısı birbirine yakın olan Q hasırları kullanılmalıdır. Açıklığı büyük olan döşemelerde iki kat hasır da kullanılabilir. Bunun yanında ana doğrultuya dik yerleştirilen iki R hasırı da iki doğrultuda çalışan döşemelere uygun düşer. Döşemelerin mesnet bölgeleri tek doğrultuda donatı gerektiren bölgeler olduğu için R hasırların kullanımı yerinde olur. İkinci doğrultudaki donatı da mesnet dağıtma donatısı olarak iş görür. R hasırlarının ana doğrultusu boyuna olduğu için bunları boyuna doğrultuda mesnet boyunca yerleştirmek yanlış olur. Bu tip hasırların boyuna doğrultusu mesnet kiriş eksenine dik gelecek şekilde konulması gerekir. Şekil 6.52'de iki doğrultuda çalışan döşemelerde hasır donatı düzeni gösterilmiştir. EK D'de kirişli döşemelerin donatı açılımlarına örnek verilmiştir.



Şekil 6.52 İki Doğrultuda Çalışan Kirişli Döşemelerdeki Hasır Donatı Düzeni

6.4.2 Kirişsiz Döşemeler

Kirişsiz döşemeler adından da anlaşılacağı gibi arada kirişler olmadan doğrudan doğruya kolonlara oturan ve bunlarla eğilmeye dayanıklı olarak bağlı bulunan çift doğrultuda çalışan ve çift doğrultuda donatılan betonarme plaklardır.

Kirişsiz döşemeler genellikle yapı yüksekliğinin az tutulması gereken yerlerde ve düz bir tavan istendiğinde uygun olurlar. Tavanda süreklilik gerektiren depolarda, hafif ve değişebilen bölmeli bürolarda benzeri durumlarda kullanılırlar.

Kalıp, donatı yerleştirme ve beton işçiliklerinin daha az olmasına karşılık küçük yüksekliği dolayısıyla donatı miktarları fazladır.

Kirişsiz döşemeler gerek hesap ve gerekse inşaatlarının basit ve kolay olması özel problemlerin çıkmaması için düzgün sıralanmış, birbirine dik eksenler üzerindeki kolonlara oturtulmalıdır. Gelişigüzel yerleştirilmiş kolonların ya da duvarların çözümü güç sorunlar ortaya çıkarmalarından başka, çeşitli sorunlara da neden olabilirler. Bunun yanında her iki doğrultuda en az üç açıklığın bulunması ve kenar açıklıkların iç açıklıklara göre biraz küçük düzenlenmesi uygundur.

Kirişsiz döşemeler yatay yükler altında büyük yanal yerdeğiştirme yaptıklarından ve kolon başlarında momentlere karşı yetersiz kaldıklarından deprem yönetmeliğinde taşıyıcı sistemde yatay yüklerin tamamını karşılayacak perdelerin düzenlenmesi öngörülmektedir **(Aka ve diğ, 2001).**

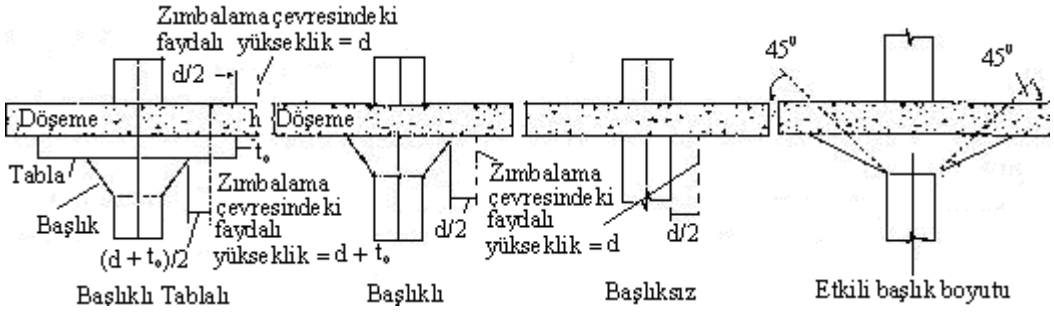
Kirişsiz döşeme dışındaki döşemelerde kayma gerilmeleri genellikle düşük düzeylerde kaldığından kayma güvenliği genelde kritik olmaz. Ancak özellikle başlıksız ve tablasız kirişsiz döşemelerde kolon çevresinde oluşan kayma gerilmeleri, dolayısıyla da asal çekme gerilmeleri betonun çekme dayanımını aştığında, zımbalama durumuyla karşılaşılır.

Kolon başlarında zımbalama ve eğilme etkilerini karşılamada bir başlık yapılması daha uygundur. Kirişsiz döşemeler başlıksız ve tablasız, tablalı ve başlıklı, başlıklı ve tablasız, ve başlıksız tablalı olmak üzere dört farklı türde düzenlenebilirler. Ancak kirişsiz döşemelerde tabla özellikle de başlık kullanılması bu döşemelerin diğer döşemelere göre üstünlüklerinden bir kısmını yok etmektedir **(Doğangün, 2002)**.

TS 500 (2000)'de kirişsiz döşemelerdeki tabla, başlık ve döşeme kalınlığı ile ilgili dikkat edilmesi gereken koşullar aşağıda verildiği gibi belirtilmiştir.

Kolon ile döşeme arasında tabla oluşturulması durumunda tabla kalınlığı t_o, döşeme kalınlığının yarısından az, tablanın kolonun her bir tarafındaki uzunluğu o doğrultudaki döşeme açıklığın 1/6'sından ve tabla kalınlığının 4 katından az olmamalıdır.

Başlık eğimi 45°'den az ise hesapta başlık olarak kolon yüzünden başlayan ve 45° eğimle tanımlanan bölümün dikkate alınması gerekmektedir. Kirişsiz döşemelerde tabla ve başlıklarla ilgili ayrıntılar Şekil 6.53'te gösterilmektedir.



Şekil 6.53 Kirişsiz Döşemelerde Kolon Başlık ve Tablaları

İki doğrultuda çalışan kirişsiz döşemelerin kalınlığı Denk 6.17'de verilen değerlerden az olamaz. Tablasız kirişsiz döşemelerde Denk. 6.17a'ya, tablalı kirişsiz döşemelerde, Denk. 6.17b'ye ve kirişsiz döşeme tasarımı TS 500'de belirtildiği gibi yaklaşık yöntemle yapılıyorsa Denk. 6.17c'ye uyulması gerekir.

$$h \geq l_n/30 \text{ ve } h \geq 180 \text{ mm} \qquad \textbf{(6.17a)}$$

$$h \geq l_n/35 \text{ ve } h \geq 140 \text{ mm} \qquad \textbf{(6.17b)}$$

$$h \geq l_n/30 \text{ ve } h \geq 200 \text{ mm} \qquad \textbf{(6.17c)}$$

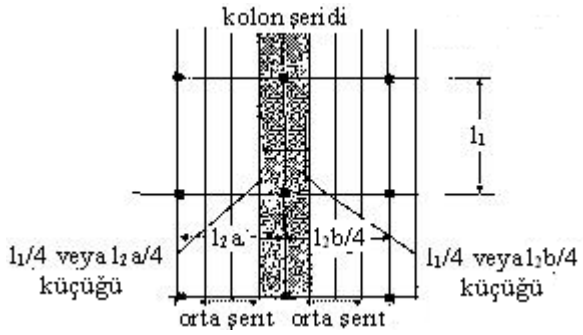
Burada h döşeme kalınlığı, l_n döşemenin incelenen doğrultudaki serbest açıklığıdır.

Zımbalama dayanımının arttırılması için donatı kullanılması durumunda plağın en az 250 mm kalınlıkta olması gerekir. Bu suretle elde edilecek dayanımdaki artış %50'yi aşmamalıdır. Kolonun başlığına yakın plak bölgesinde iki doğrultuda geçen altta ve üstte bulunan döşeme donatıları ve kolon donatıları sebebiyle ilave zımbalama donatısı ile oluşan yoğun donatı bölgesinde beton yerleşimi güç olabilir. Betonun gerektiği şekilde yerleştirilememesi ve aderansın oluşmaması, bu bölgenin zayıflamasına neden olacağından zımbalama dayanımını arttırmak için donatı kullanılmasına gidilmeyip, kolon başlığı yapılması veya döşeme kalınlığının arttırılması daha uygun olacaktır **(Doğangün, 2002)**.

Kirişsiz döşeme donatılarının uygulamalarıyla ilgili **TS 500 (2000)**'de belirtilen koşullar aşağıda verilmektedir:

Kirişsiz döşemeler donatı hesabı ve düzenlenmesi bakımından Şekil 6.54'te gösterildiği gibi kolon şeridi ve orta şerit olarak iki bölgeye ayrılmakta, kolon şeridi kolon veya perde ekseninin her bir yanında ayrı ayrı $l_1/4$ veya $l_2/4$ genişlikleriyle tanımlanan şeritlerden dar olanların birleştirilmesi ile elde edilmektedir. Donatı

aralıkları ve donatı oranları iki doğrultuda çalışan kirişli döşemelerde bahsedilen aynı şartları kapsamaktadır.



Şekil 6.54 Kirişsiz Döşemelerde Şerit Genişlikleri

Kirişsiz döşemelerde boşluklar dikkate alınarak hesaplanan zımbalama dayanımı güvenliği sağlıyorsa, iki dik doğrultudaki orta şeritlerin kesiştiği bölgede, gereken donatının yerleştirilebildiği durumlarda ve iki dik doğrultudaki kolon şeritlerinin kesiştiği bölgede boşluğun en büyük boyutu kolon şerit genişliğinin 1/8'inden fazla olmadığı ve boşluklar nedeniyle yerleştirilemeyen donatının boşluk kenarına yerleştirilebileceği durumlarda, eğilme için ayrıca kontrole gerek kalmaz. EK D'de kirişsiz döşemelerin donatı düzenlemelerine örnek verilmektedir.

6.4.3 Dişli Döşemeler

Kirişli döşemelerde açıklık büyüyünce kalınlaşan plak ağırlığını azaltmak amacıyla, serbest aralıkları 70 cm'yi aşmayan sık kirişler kullanıldığında dişli döşeme elde edilmektedir.

Ülkemizde dişli döşeme nervürlü döşeme olarak da adlandırılır. Döşemedeki dişler üstteki tabla ile birlikte döküldüklerinde bu iki eleman birlikte çalışacağından, kesit hesabı tablalı kirişle özdeş olur. Bu tür döşemelerde çok sayıda diş nedeniyle kalıp maliyeti çok yükselebilir. Bu nedenle bu tür döşemelerin çok sayıda olduğu inşaatlarda çelik kalıp kullanmak ekonomik olabilir.

Düzgün tavan elde etmek amacıyla dişler arasına dolgu malzemesi yerleştirilebilir. Dolgu malzemesi olarak genelde boşluklu beton briket, boşluklu pişmiş toprak veya benzeri hafif malzeme kullanılır. Dolgu malzemesinin döşemenin taşıma gücüne hiçbir katkısı yoktur. Bu tür dolgulu döşemeler ülkemizde kullanılmakta ve asmolen döşeme olarak adlandırılmaktadır.

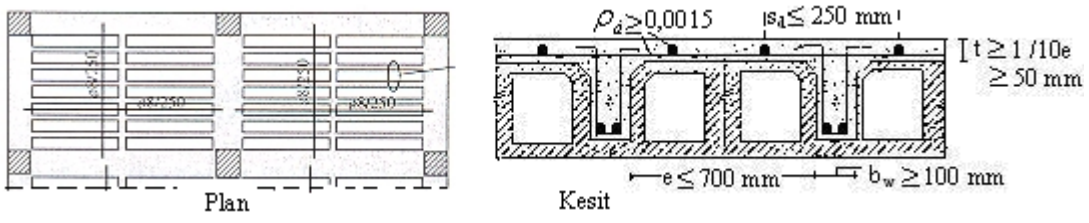
Asmolen döşemenin en büyük avantajı düz bir tavan sağlaması ve kalıp maliyetini azaltmasıdır. Dolgu malzemesinin ağırlığı arttırması ise bir dezavantajdır. Ülkemizde mimari nedenlerle dişleri taşıyan kirişler de asmolen döşeme derinliğinde tutulmaktadır. Mimari açıdan avantajı açık olan bu sistemde özel önlem alınmadığı takdirde, rijitliği az olan bu kirişler nedeniyle depremde katlar arası yanal ötelenme çok büyümekte ve kolonlara çok büyük ikinci mertebe momentleri aktarılmaktadır **(Ersoy, 1995)**.

TS 500 (2000), dişli döşemeler ile ilgili koşulları aşağıdaki gibi belirtmektedir.

Bir doğrultuda çalışan dolgulu ya da dolgusuz dişli döşemelerde dişler arasındaki serbest aralık 700 mm'den fazla olamaz. Tablanın kalınlığı serbest diş aralığının 1/10'undan ve 50 mm'den, diş genişliği ise 100 mm'den az olmamalıdır. Toplam diş yüksekliğinin (plak ile birlikte) serbest açıklığa oranı, basit mesnetli tek açıklıklı döşemelerde 1/20, sürekli döşemelerde 1/25, konsollarda ise 1/10'dan az olmamalıdır.

Bir doğrultuda çalışan dişli döşemelerin açıklığı 4 m'den fazla ise taşıyıcı dişlere dik en az aynı boyutta enine dişler düzenlenmesi gerekmektedir. Açıklığın 4 ile 7 m arasında olduğu durumlarda bir enine diş, açıklığın 7 m'den büyük olduğu durumlarda ise iki enine diş düzenlenmesi gerekmektedir. Enine dişler açıklığı olabildiğince eşit bölmelidir.

Dişlerde eğilme ve kesme donatısı kirişlerdeki gibi hesaplanmaktadır. Ancak, hesap kesme kuvvetinin kesme çatlama dayanımından küçük olduğu durumlarda minimum etriye koşuluna uyulmayabilir ve açık etriye kullanılabilir. Bu durumda, etriye aralığı 250 mm'yi geçmemelidir. Şekil 6.55'te dişli döşemelerin boyut ve donatılarına ilişkin koşullar gösterilmiştir



Şekil 6.55 Dişli Döşemelerin Boyut ve Donatılarına İlişkin Koşullar

Dişlerin üstündeki plakta, her iki doğrultuda dağıtma donatısı bulunmalıdır. Bu donatı her bir doğrultuda plak tüm kesit alanın 0,0015'ten az, donatı aralığı ise 250

mm'den fazla olmamalıdır. Dolgulu ve dolgusuz dişli döşemelerde en fazla donatı oranı kirişler için verilen maksimum değeri aşmamalıdır.

Açıklıkların büyük, yüklerin ağır olduğu ve mimari açıdan hoş bir görünüm istenmesi durumlarında genellikle iki doğrultuda çalışan dişli döşemeler tercih edilmektedir. Bu döşemeler kaset döşeme olarak da adlandırılmaktadırlar. Bu döşemelerin diğer döşemelere göre zayıf tarafı ise hazır kalıp kullanılmaması ya da döşeme sayısının az olması durumlarında kalıp maliyetinin diğer döşemelere göre yüksek olmasıdır.

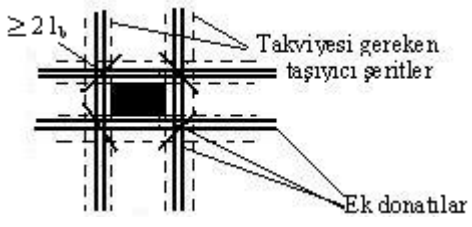
Kaset döşemelerde yük iki doğrultudaki dişlerle paylaşılarak taşınır. Paylaşma oranı döşemenin süreklilik durumuna ve kenarlarının oranına bağlıdır. Bunlar da tek doğrultuda çalışan dişli döşemelerin ilkelerine uygun şekilde düzenlenmektedirler.

Kaset döşemeler kirişli veya kirişsiz olarak da düzenlenebilmektedirler. Kolon başlarında eğilme momenti ve kayma kuvvetlerine karşı koyabilmek için kaset kirişlerinin arası dolu yapılarak bir başlık düzenlemek uygun olur. Bu durumda döşeme tablalı kirişsiz döşeme gibi davranmaktadır. Yatay yüklere karşı, özellikle deprem bölgesinde bulunan ülkemizde bu dolu kısımları kolonlar arasında devam ettirerek kolonları bağlayan kirişler düzenlemek daha iyi çözümdür **(Doğangün, 2002)**.

6.4.4 Döşeme Donatı Düzenlerinde Özel Durumlar

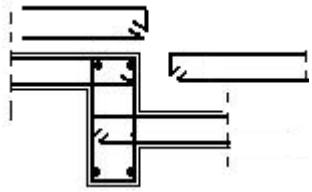
Döşeme donatı yerleşiminde, normal döşeme donatılarından farklı detaylandırılmanın yapılması gereken bazı durumlarda tavisye edilen donatı düzenlemeleri aşağıda verilmektedir.

Yapının kullanım amacına göre çeşitli tesisat elemanlarının yerleştirilmesi baca boşluğu gibi nedenlerle döşeme plaklarında delik açıldığında kesilen donatılar nedeniyle döşemede oluşabilecek hasarları önlemek amacıyla Şekil 6.56'da gösterilen donatı düzenlemesi veya firkete donatısı kullanılabilir **(Doğangün, 2002)**.



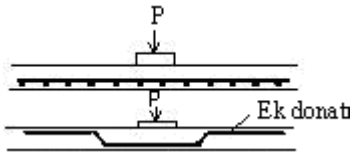
Şekil 6.56 Boşluklu Döşemelerde Donatı Düzeni

Bazen kirişli döşemeler arası mesnet donatısının sürekliliğini sağlamak mümkün olmayabilir. Bu durumlarda donatıların kiriş içinde kenetlenmesi ve mesnet kirişinin dönmesinin iki taraftaki plaklar tarafından engellenmesiyle nedeniyle, davranış sürekli duruma yakın olur. Normal döşeme ile düşük döşemenin birleştiği mesnedin sürekli yerine süreksiz alınması moment diyagramı açısından yeniden uyum ilkesindeki gibi aşağı doğru kaydırılması şeklinde olduğundan yönetmeliğe uymakta ve iki kabul arasında önemli fark bulunmamaktadır. Düşük döşeme kısmındaki donatı düzeni Şekil 6.57'de gösterildiği şekilde yapılmaktadır **(Celep ve Kumbasar, 2001)**.



Şekil 6.57 Düşük Döşemedeki Donatı Düzeni

Döşeme donatılarının düzenlenmesinde döşemenin düzgün yayılı yük taşıdığı kabul edildiğinden, bazı döşemelerin üzerine ağır tekil yük etkimesi durumuyla karşılaşıldığı zaman Şekil 6.58'de gösterildiği gibi bu yük altında meydana gelebilecek moment yoğunlaşmasını karşılamak için donatının burda sıklaştırılması uygun olacaktır. Tekil yükün önemli olduğu durumda da iki doğrultuda kesme kuvvetinin karşılanmasında da faydalı olan ek pilyeler yerleştirilerek alt donatı sıklaştırılabilir.

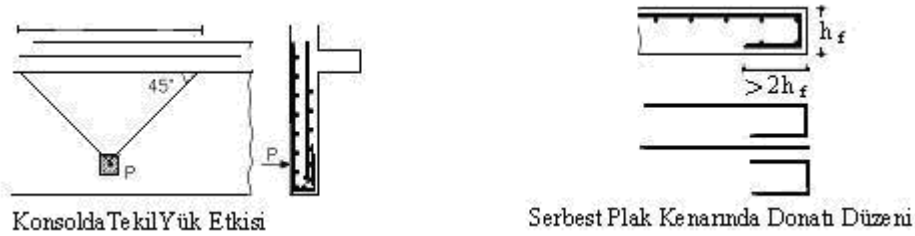


Şekil 6.58 Bir Doğrultuda Çalışan Döşemenin Tekil Yük Altındaki Donatı Düzeni

Bir doğrultuda uzayan konsol ve balkon döşemeleri genellikle bir doğrultuda çalışan döşeme türlerindendir. Bunlar statikçe belirli olduklarından mesnet kesitlerinde yapılacak bir hata, hemen büyük çatlaklara veya göçmeye sebep olacaktır. Bu nedenle faydalı yükleri normal döşemelere göre biraz arttırılarak boyutlandırılmalı ve mesnet donatısının üstte bulunmasına ve öngörülen donatı faydalı yüksekliğinin sağlanmasına çalışılmalıdır.

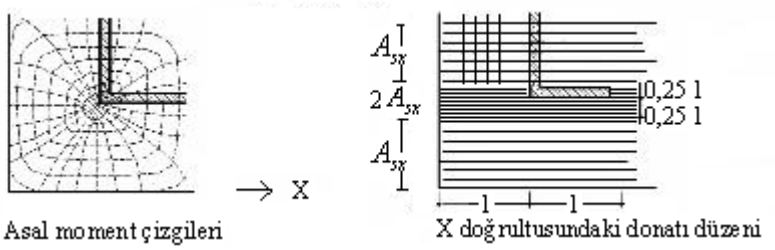
Bu tür plaklarda tekil yük bulunduğu zaman Şekil 6.59'da gösterildiği gibi bu yükten oluşabilecek mesnet donatısının yaklaşık 45^0 yayılışla etkili genişlik bölgesine yerleştirilerek sıklaştırılması uygun olacaktır. Ayrıca üstte konulan dağıtma donatısına ek olarak, bu doğrultuda oluşabilecek pozitif momentlerin karşılanması için ana donatının % 60'ı civarında bir alt donatı tavsiye edilir.

Normal şartlarda da konsol plakların serbest uçlarına sıcaklık ve büzülme etkilerini karşılamak amacıyla Şekil 6.59'da verilen donatı düzeni kullanılmalıdır.



Şekil 6.59 Tekil Yük Etkisinde Konsol ve Serbest Plak Kenar Donatı Düzenleri

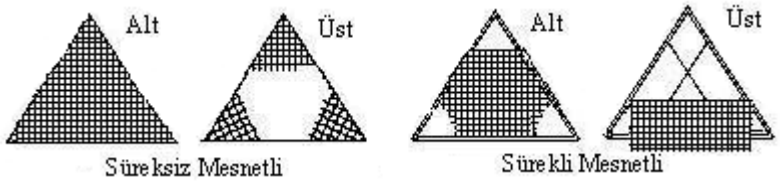
Betonarme kiriş veya perde üzerinde uzanarak bir köşede birleşen plaklarda her iki asal moment negatif olup üst donatıya ihtiyaç duyarlar. Bu tip durumlarda tam köşede dar genişlikte eğilme momenti yerel olarak arttığından, genelde 0,5l genişliğindeki bölgede donatıyı iki katına çıkarmak uygun olur. Bir köşede birleşen plaklarda asal moment doğrultuları ve sadece x doğrultusundaki donatı düzeni Şekil 6.60'da gösterilmektedir **(Aka ve diğ, 2001)**.



Şekil 6.60 Saçak Plağında Asal Moment Çizgileri ve Bir Yöndeki Donatı Düzeni

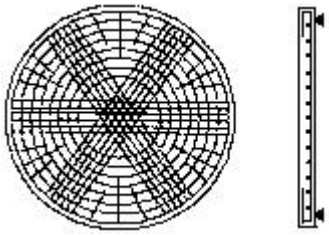
Kare ve dikdörtgenden farklı tip üçgen ve dairesel gibi plaklarla da uygulamalarda karşılaşılabilmektedir. Sürekli ve süreksiz olmalarına göre üçgen plaklarda donatı düzenleri Şekil 6.61'de gösterilmiştir. Kenarların süreksiz olması durumunda altta konulan açıklık donatısı kenarlara parelel olurken üstte konulacak mesnet donatısının köşelerde açıortay doğrultusunda ve ona dik konulması gerekir. Kenarların sürekli olması durumunda da mesnet donatısının kenara dik yerleştirilmesi uygundur. Ancak

bu yapılması durumda donatı boyu değişeceğinden hasır donatı kullanımı tavsiye edilir.



Şekil 6.61 Sürekli ve Süreksiz Mesnetli Üçgen Plaklarda Donatı Düzeni

Dönel simetrik yükleme ve mesnetlenme durumunda asal gerilme yörüngeleri dairesel plaklarda çemberler ve merkezsel doğrular olarak ortaya çıkar. Buna uygun çembersel ve merkezsel donatılar kullanıldığından bu donatılar orta kısımda sıklaşırlar. Şekil 6.62'de gösterildiği gibi merkezsel donatılar üç veya dört parelel ince çubuk ailesi şeklinde yerleştirilir. Dış çevre kısmına ise ek donatı tamamlaması yapılmalıdır **(Celep ve Kumbasar, 2001)**.



Şekil 6.62 Dolu Dairesel Plakta Donatı Düzeni

6.5 Temeller

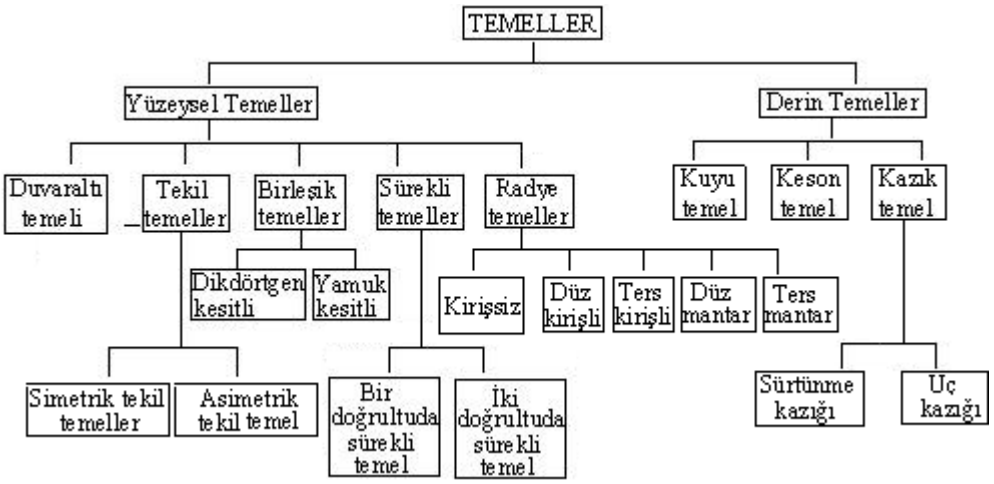
Bir yapının çeşitli bölümlerine etkiyen yükleri zemine aktaran yapı elemanlarına temel adı verilir. Betonarme yapılar betonarme temellere oturtuldukları gibi ahşap ve çelik yapıların temelleri de betonarme olarak yapılır.

Temeller taşıdıkları yükün büyüklüğüne, yükün duvar ya da kolonlar aracılığıyla gelmesine ve zeminin türü ile taşıma gücüne göre çeşitli şekillerde yapılabilirler. Burada sayılan etkenlerden en önemlisi zemin olup, temel adı verilen yapı elemanlarının varlığının nedeni zeminin taşıma gücüdür.

Zemin olağan durumlarda kolon ve duvarın yapı malzemesine oranla daha düşük dayanım gösterir bu nedenle duvar veya kolonlar yüklerini zemine doğrudan doğruya değil, onları daha geniş bir alana yayan temeller aracılığıyla aktarırlar. Bundan dolayı bir temel projesi yapılmadan önce temelin oturacağı zeminin iyice tanınması ve bu

zemine güvenle yüklenebilecek yük değerinin belli olması gerekir **(Aka ve diğ, 2001).**

Temeller çok farklı geometrik biçimlere yapısal davranışa sahip olmalarına rağmen, genellikle yükü yüzeye yakın yerlerde zemine aktaran yüzeysel temeller veya daha derinde bulunan sağlam zemine aktaran derin temeller olarak ikiye ayrılırlar. Temeller, Şekil 6.63'te verildiği gibi sınıflandırılabilirler **(Doğangün, 2002)**.



Şekil 6.63 Temellerin Sınıflandırılması

TS 500 (2000)'de temeller ile ilgili genel olarak şu bilgiler verilmektedir:

1. Temel kotu ve temel tipi genel olarak yerel koşulların değerlendirilmesinden sonra zemin mekaniği ilkelerine göre seçilmesi gerekir.

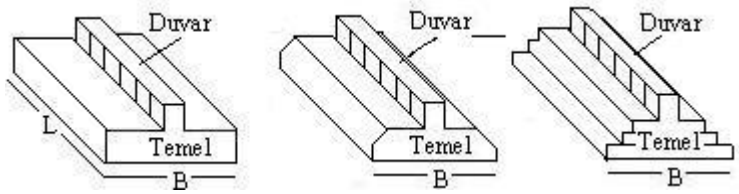
2. Temel elemanlarının kesit boyutlarının kontrolünde ve gerekli donatının belirlenmesinde yük katsayıları ile bulunan tasarım yükleri ve bu yükler etkisiyle temel altında oluşacak taban basınçları esas alınacaktır.

3. Temeller için temel donatısının zemin ve yer altı suyundan etkilenmemesi düşüncesiyle daha evvel belirtildiği gibi beton örtüsü 50 mm'den daha az olamaz.

6.5.1 Duvar Altı Temeller

Taşıyıcı duvar yükünü zemine güvenli biçimde aktarmak üzere oluşturulan betonarme elemanlar duvar altı temelleri olarak adlandırılmaktadır. Yığma kargir yapıların temellerinde ve taşıyıcı duvarların altında betonarme sürekli temel yapımı deprem yönetmeliği gereği zorunludur.

Duvar altı temellerinin düşey kesiti Şekil 6.64'te gösterildiği gibi dikdörtgen, yamuk veya arazinin eğimli olduğu yerlerde basamaklı olabilir.Yapım kolaylığı açısından dikdörtgen kesitli olanlar önerilmektedir.



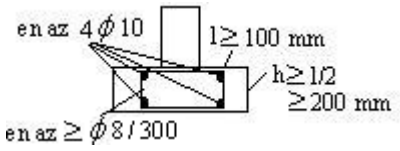
Şekil 6.64 Duvar Altı Temellerin Düşey Kesitleri

Bu temeller taşıyıcı duvar uzunluğunca devam etiğinden ve uygulanan yük genellikle uzunluk boyunca sabit olduğundan hesap ve tasarımda 1m'lik duvar kısmı dikkate alınmaktadır. Dikkate alınan bu kısımda zeminde meydana gelen gerilmenin düzgün yayılı olduğu kabul edilmektedir.

Kesit ve donatı hesabında kesme kuvveti için duvar yüzündeki kesme kuvveti, eğilme momenti için duvar yüzünden duvar kalınlığının ¼'ü kadar içerideki eğilme momenti dikkate alınmaktadır. Hesaplanan kesme kuvvetine göre temel yüksekliğinin kesme donatısı gerektirmeyecek şekilde belirlenmesi gerekir **(Doğangün, 2002).**

Temel kalınlığı seçerken, tasarım momentinin homojen çatlamamış kesit varsayımı ile hesaplanan çatlama momentinden, tasanm kesme kuvvetinin de kesmede çatlama dayanımdan küçük olması sağlanmalıdır.

Duvar altı temeli her bir yanda üzerindeki duvardan en az 100 mm dışarı taşmalıdır. Duvar altı temeli kalınlığı da duvar dışına taşan kolon açıklığının yarısından ve 200 mm'den az olmamalıdır. Duvar altı temelleri genelde donatı gerektirmeyecek şekilde boyutlandırılmalarına rağmen zeminde oluşabilecek farklı çökme ve oturmalar dikkate alınarak, Şekil 6.65'te gösterildiği gibi duvar boyunca her köşede bir tane olmak üzere en az $4\phi 10$ boyuna donatı bulundurulmalı ve aralığı 300 mm'yi geçmeyen en az 8 mm çapındaki etriyelerle sarılmalıdır **(TS 500, 2000).**



Şekil 6.65 Duvar Altı Temellerde Boyut ve Donatı Düzeni

Eğimli arazide basamaklı olarak teşkil edilen duvar altı temeller ve zemin gruplarına göre duvar altı temellerinin boyutlarına ve donatılarına ilişkin sağlanması gereken koşullar Tablo 6.1'de verilmiştir **(A.B.Y.Y.H.Y., 1998)**.

Tablo 6.1 Duvar Altı Temellerine İlişkin Koşullar

KOŞULUN TANIMI	Zemin grubu (A),(B)	Zemin grubu (C)	Zemin grubu (D)
Minimum temel genişliği (cm) Duvar kalınlığına ek pabuç genişliği	50 2 x 15	60 2 x 20	70 2 x 25
Minimum temel yüksekliği (cm)	30	40	40
Altta ve üstte minimum temel boyuna donatısı	$3\phi 12$	$3\phi 14$	$4\phi 14$
Temelde minimum etriye	ϕ 8/30	ϕ 8/30	ϕ 8/30
Minimum basamak yatay aralığı (cm)	100	150	-
Minimum basamak bindirme uzunluğu (cm)	30	40	-
Maksimum basamak yüksekliği (cm)	30	30	-

6.5.2 Tekil Temeller

Her bir kolon yükünü zeminde daha geniş bir alana yaymak düşüncesiyle tasarlanan betonarme elemanlar tekil temeller olarak adlandırılmaktadırlar. Tekil temel tanımı yerine, literatürde ayrık temel, tekli temel, münferit temel ve münferit sömel gibi tanımlar da kullanılmaktadır.

Temel sistemleri içinde uygulanması en kolay olan temel sisteminin tekil temel olduğu söylenebilir. Yapım kolaylığının olması ve genellikle daha az malzeme kullanılması, bu temelleri diğerlerine göre üstün kılan özelliklerdendir. Ancak bu temeller her yapı için uygun olmamaktadır. Çünkü zeminin zayıf olduğu, zeminin sağlam ancak yapı tabanında değişken özelliklere sahip olduğu ve kolonların birbirine yakın olduğu durumlarda bu temeller uygun olmaz.

Tekil temeller planda kare, dikdörtgen ya da dairesel kesitli olabilmektedir. Bu temellerin düşey kesitleri trapez de olabilir. Yapım kolaylığı için daha önceden beri yaygın olarak kullanılan trapez kesitler yerine dikdörtgen kesitler tercih edilmektedir. Trapez kesitli temellerin dikdörtgen kesitli temellere göre üstün tarafı malzemeden tasarruf sağlamasıdır. Bu üstünlüğünden dolayı kesit boyutları büyük olan temellerde malzemeden sağlanan tasarruf nedeniyle trapez kesitli temeller daha ekonomik olabilir.

Tekil temeller geometrisine bağlı olarak da simetrik ve asimetrik olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Simetrik temellerde kolon alanı ile temel taban alanı merkezleri düşey

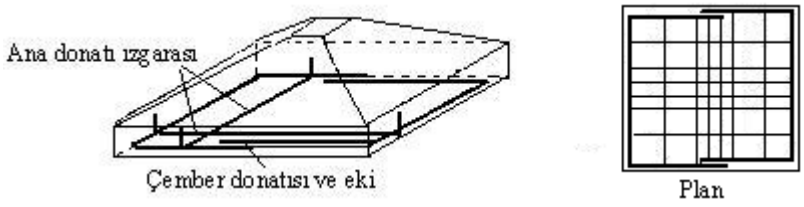
eksen üstüne düşmektedir. Asimetrik tekil temellerde ise kolon alanı ile temel taban alanı merkezleri düşeyde çakışmaz bu nedenle de bir ya da iki doğrultuda dışmerkezlik oluşur **(Doğangün, 2002)**.

Tekil temellerde hesap duvar altı temellerindeki gibi birim boyda değil, her iki doğrultu için de yapılır. Hesapla bulunan boyuna ve enine doğrultulardaki donatılar temel tabanında bir ızgara oluşturacak şekilde yerleştirilirler. Genelde bu tip temellerde bu donatı ızgarasının momentin taban ortasında toplanması gözönüne alınarak orta bölgede sıklaştırılması şart koşulmaktadır.

Günümüzde taşıma gücü yönünden temelin kırılmaya yakın çalışma durumunda, dağılımın ne şekilde olursa olsun donatının eşite yakın yüklendiği bilinmektedir. Bu bakımdan uygulamada büyük kolaylık sağlayan ve öteden beri yapılagelen eşit aralıklı donatı dağılımının büyük sakıncası olmadığı söylenebilir. Tekil temellerde donatı ızgarasının taban ortasında kabaca sıklaştırılması yeterlidir.

Temelin kırılmaya yakın çalışma durumunun her iki doğrultuda gergili kemer şeklinde olduğunu söylenebilir. Bu nedenle tabandaki boyuna ve enine donatıların temelin bir ucundan diğerine kesilmeden ve azaltılmadan uzatılması ve beton basınç bölgesine kenetlenmesinin sağlanması bakımından uçlarının yukarıya kıvrılması gerekir. Ayrıca tüm temel tabanının çevresine kubbelenmeden doğan çekme kuvvetini karşılamak amacıyla boyuna ve enine donatıdan daha büyük çapta yapımsal bir çember donatı konulması çok yararlıdır.

Şekil 6.66'da tekil temelde tavsiye edilen genel donatı yerleşimi gösterilmiştir **(Aka ve diğ, 2001).**



Şekil 6.66 Tekil Temelde Donatı Yerleşimi

Tekil temelin planda en büyük boyutu 0,7 m'den, alanı 1 m^2'den, kalınlığı ise 250 mm'den, konsol açıklığının ¼'ünden az olamaz.

Temeldeki çekme donatısı oranı, her bir doğrultuda, hesapta göz önüne alınan kesite göre 0,002'den az ve donatı aralığı 250 mm'den fazla olmamalıdır. Tekil temeller

her iki yönde bağ kirişleriyle veya plaklar ile birbirine bağlanmalıdır. Yapılacak bu bağ A.B.Y.Y.H.Y kurallarına uygun olmalıdır **(TS 500, 2000).**

Bağ kirişleri betonarme binalarda tekil temelleri her iki doğrultuda, sürekli temelleri ise kolon veya perde hizasında birbirlerine bağlamaktadır. Temel zemini A grubuna giren zeminlerde bağ kirişleri yapılmayabilir.

Bağ kirişleri, temel kazısına uygun olarak, temel altından kolon tabanına kadar olan yükseklikteki herhangi bir seviyede yapılabilmektedir. Binanın bulunduğu deprem bölgesine ve zemin gruplarına bağlı olarak, bağ kirişlerinin sağlaması gereken minimum koşullar Tablo 6.2'de belirtilmektedir.

Kesit hesabında bağ kirişlerinin hem basınç hem de çekme kuvvetlerine çalışacağı göz önünde tutulması gerekmektedir. Zemin ya da taban betonu tarafından sarılan bağ kirişlerinin basınca çalışması durumunda burkulma etkisi göz önüne alınmayabilir. Çekme durumunda ise çekme kuvvetinin sadece donatı tarafından taşındığı varsayılacaktır. Bağ kirişlerinin etriye çapı 8 mm'den az ve etriye aralığı 200 mm'den fazla olamaz.

Bağ kiriş yerine betonarme döşemeler kullanılırsa kalınlığı 150 mm'den az olamaz. Döşemenin ve içine konulan donatıların Tablo 6.2'de bağ kirişleri için verilen yatay yüklere eşit yükleri güvenli biçimde aktarabildiği hesapla gösterilmelidir **(A.B.Y.Y.H.Y, 1998)**. Tekil temellerde donatı şekillerine örnekler EK E'de verilmiştir.

Tablo 6.2 Bağ Kirişlerine İlişkin Minimum Koşullar

KOŞULUN TANIMI	Deprem Bölgesi	Zemin Grubu (A)	Zemin Grubu (B)	Zemin Grubu (C)	Zemin Grubu (D)
Bağ kirişinin minimum eksenel kuvveti (*)	1, 2	% 6	% 8	% 10	% 12
	3, 4	% 4	% 6	% 8	% 10
Minimum enkesit boyutu (cm)	1, 2	25	25	30	30
	3, 4	25	25	25	25
Minimum enkesit alanı (cm)	1, 2	625	750	900	900
	3, 4	625	625	750	750
Minimum boyuna donatı	1, 2	4ϕ14	4ϕ16	4ϕ16	4ϕ18
	3, 4	4ϕ14	4ϕ14	4ϕ16	4ϕ16

(*) Bağ kirişinin bağlandığı kolon veya perdelerdeki en büyük eksenel kuvvetin yüzdesi olarak

6.5.3 Birleşik Temeller

Bazı durumlarda dış kolon arsa sınırına çok yakın olduğunda temeli o yönde çok kısa yapmak dolayısıyla kolona göre simetrik olmayan bir temel oluşturmak gerekebilir. İki kolon birbirine yakın ve yüklerinin büyük olduğu durumlarda bu iki kolonun temelleri de çakışabilir. Bu gibi durumlarda sürekli temel yapılmıyorsa bunun yerine iki kolonu birleştirerek birleşik temel yapılması daha sağlıklı bir çözüm olacaktır.

Bu temeller genellikle dikdörtgen veya yamuk ortak tabanlı birleşik temel olarak ikiye ayrılır. Temeli konum alanı için bir sınırlama yoksa dikdörtgen yapılması tercih edilebilir. Birleşik temel tasarımında boyutlar seçilirken, kolonlardan gelen zorlamaların bileşkesi ile temelin geometrik merkezi çakıştırılmaya çalıştırılırsa düzgün yayılı zemin gerilmesi oluşturulabilir.

Birleşik temellerin yapının güvenliği için yapılması gereken denetimleri tekil temellerdekinin aynı olup, sadece donatının belirlenmesi farklıdır. Tekil temellerde donatının belirlenmesinde konsol kiriş dikkate alınırken, birleşik temellerde boyuna doğrultudaki davranış çıkmalı kirişlerin davranışına benzemektedir.

Enine doğrultuda kolonların altında birer kiriş varmış gibi hesap yapılarak donatı bulunur. Gizli kirişin genişliği kolonun o yönündeki boyutuna her bir yönde temel kalınlığı eklenerek bulunur. Birleşik temeller bağ kirişleri ile de oluşturulabilirler. Temeller genelde geniş olduğundan çok kollu etriye tercih edilmelidir **(Doğangün, 2002).** Yamuk tabanlı birleşik temelde donatı detayına örnek EK E'de gösterilmektedir.

6.5.4 Sürekli Temeller

Kolon yüklerinin fazla zeminin taşıma gücünün düşük olduğu durumlarda tekil temellerin birbirine birleştirilmesi ile sürekli temeller teşkil edilirler. Bunun yanında zeminin homojen olmadığı durumda tekil temellerin farklı oturmalar yaparak, üst yapıda hasara sebep olması sürekli temel teşkili ile önlenmiş olur. Sürekli temellerde zemin gerilmelerinin taban boyunca yayılışını belirlemek oldukça karışık olup, temelin rijitliği kolonlar arası uzaklıklar ve zemin cinsine bağlı olarak değişmektedir **(Mertol, 1984)**.

TS 500 (2000)'de sürekli temellerde zemine ilişkin verilen genel koşullar, aşağıda belirtilmektedir.

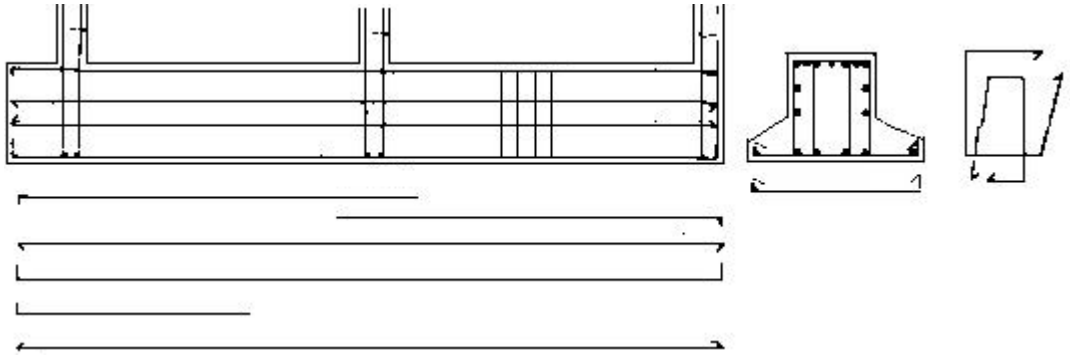
Tasarım yükleri etkisiyle temel altında oluşacak zemin basınçlarının belirlenmesinde üst yapının temelin ve yarı elastik (veya elastik olmayan) ortam durumundaki zeminin karşılıklı etkileşim ilişkileri temel alınmalıdır.

Üst yapıdaki özel rijitlik dağılımları bir yana bırakılarak temel tabanındaki ve zemin yüzündeki yer değiştirmelerin eşitliğinin sağlanması genellikle yeterlidir. Bu amaçla zemin yarı elastik ortam veya daha basit olarak yeterli rijitlikte ve yeterli sayıda birbirinden bağımsız yay gibi düşünülebilir. Temel ve zemin rijitlikleri arasındaki oranın belli sınır değerlerin üzerinde olması durumunda tekil temellerde olduğu gibi zemin basıncı için doğrusal dağılım kabul edilebilir.

Celep ve Kumbasar (2001),'e göre bileşke momentin sıfır olduğu yer bulunup, rijit temel kirişi de bu noktaya göre simetrik düzenlenirse, zemin gerilmelerinin düzgün yayılı ortaya çıkacağı kabul edilebilir ve temel kirişinin kesme kuvveti ve moment diyagramı çizilerek sürekli kirişlerdeki gibi donatı hesabı yapılabilir.

Kesme kuvvetinin karşılanmasında sürekli kirişlerde olduğu gibi etriye yanında pilyenin katkısından da faydalanılabilir. Ancak temel kirişlerinin yükseklikleri nedeniyle 45^0 eğimle pilye kıvrılması durumunda donatı kolona yakın veya açıklık ortasına yakın kıvrılacağı için bu donatının hem kayma hem de eğilme donatısı olarak kullanılması zordur.

Temel kirişinin boyuna doğrultuda hesabı yanında enine iki tarafa çıkan konsolların da eğilmeye karşı donatılanmaları gerekir. Genişliği 0,4 m'den büyük olan sürekli temel kirişlerinde dört kollu etriyenin Şekil 6.67'de gösterildiği gibi kullanılması tavsiye edilir.



Şekil 6.67 Sürekli Temellerde Donatı Düzeni

Bir doğrultuda sıralanmış düşey taşıyıcı elemanlar altında düzenlenen sürekli temeller şerit temel, birden fazla doğrultuda yerleştirilmiş düşey taşıyıcı elemanların

bulunduğu düzene sahip sürekli temeller ise alan temel olarak **TS 500 (2000)**'de sınıflandırılmış ve bu sürekli temellerin kirişli veya kirişsiz plaklar biçiminde düzenlenmelerinde aşağıda belirtilenlerin koşullara uyulması istenmiştir.

Kirişli olan sürekli temellerde kiriş yüksekliği plak da içinde olmak üzere, serbest açıklığın 1/10'undan plak kalınlığı da 200 mm'den daha az olamaz. Bu tür temellerde kiriş kesitinin kesmede çatlama dayanımının kolon yüzünde hesaplanan tasarım kesme kuvvetinden büyük olması olabildiğince sağlanmalıdır. Bu sağlanamıyorsa aradaki fark olabildiğince küçük tutulmalıdır. Kirişli plak düzenlenen sürekli temellerde plak kalınlıkları 300 mm'den küçük tutulmamalıdır. Ayrıca zımbalama kontrolünde de donatı katkısı hesaba katılamaz.

Sürekli temelleri oluşturan bütün elemanlardaki minimum boyuna ve enine donatı oranları TS 500'ün kirişler ve plaklar için öngördüğü oranlarla tanımlanmıştır. Eğilme etkisindeki bütün kesitlerin basınç bölgesinde, çekme donatısının en az 1/3'ü kadar basınç donatısı bulundurulmalıdır.

Kalınlığı nedeniyle farklı zamanlarda beton dökülmesi zorunlu olan yüksek kiriş ve kalın plakların yatay döküm derzlerinde, kullanım sırasında oluşacak tasarım kesme kuvvetlerini karşılayabilecek ve yeterli sürtünme kesmesi dayanımı oluşturabilecek düşey donatı yerleştirilmelidir.

İki doğrultuda sürekli olan ızgara temellerde kolonlar yüklerini paylaşırken bir doğrultudaki eğilme momenti diğer doğrultuya burulma momenti olarak geçer. Ancak çatlamadan sonra betonarme kirişin burulma rijitliği çok azaldığından bu etkileşim ihmal edilir. İki doğrultuda sürekli temellerde kesişmeden dolayı donatı düzeni önem kazanır ve özellikle kesişme bölgesinde boyuna donatıların düzenine ve etriyelerin sürekliliğine özen gösterilmelidir.

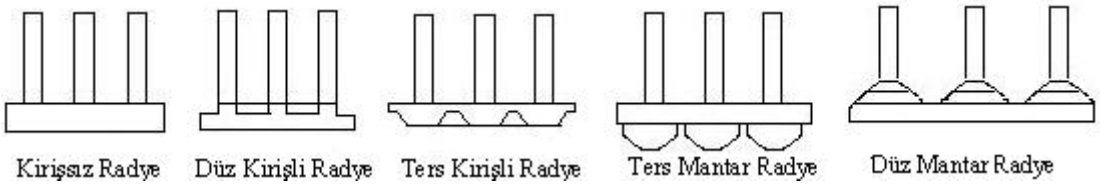
Yapım ve kalıp bakımından çıkan güçlüklerden dolayı bunların kullanım alanı kısıtlıdır. Bunların yerine inşaası kolay olan plak temeller tercih edilmemelidir **(Celep ve Kumbasar, 2001)**.

6.5.5 Radye Temeller

Yağı ağırlığı çok ya da zemin taşıma gücü küçük olduğunda bütün yapının altına bir tek taban yapılarak radye temeller meydana getirilir. Radye temellerde toplam yük büyük bir alana yayılarak zemin gerilme ve oturmalarının mümkün olan ölçüde

küçültülmesi ve yapı bütünlüğünün sağlanması gerçekleşir. Bu özelliklerinin yanında çoğu kere bodrumların yeraltı suyuna karşı tam olarak yalıtılabilmesi amacıyla da yapılabilirler.

Uygulamada kullanılan radye temellere kirişli, kirişsiz ve kolon alt uçları kalın olan radye temeller örnek verilebilir. Şekil 6.68'de radye temel türlerinden bazıları gösterilmiştir **(Aka ve diğ, 2001).**



Şekil 6.68 Radye Temel Türleri

Kolon yüklerinin ve kolon aralıklarının küçük veya eşit olduğu zamanlar kirişsiz radye temeller daha sık tercih edilir. Bodrum katlarda düz bir alan sağladıkları için kirişsiz radye temellerin bulunduğu yapıların kullanımı daha rahat olmaktadır.

Yüklerin kirişsiz radye temel sistemi ile özellikle zımbalama probleminden dolayı karşılanamaması durumunda kolonların alt uçlarına başlık yapılabilir. Bu durumda mantar tipi radyeler teşkil edilmiş olur.

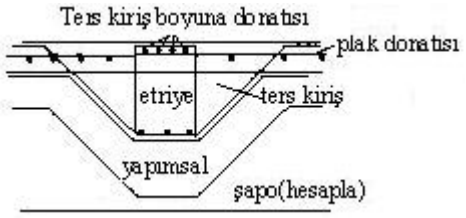
Kirişli radyelerde kirişlerin varlığı sebebiyle plak kalınlığı azaldığından ekonomik olmaktadırlar. Bu sınıf radye temellerin maliyeti hesaplanırken kalıp, dolgu ve tesviye betonu masrafları da dikkate alınmalıdır.

Bunların dışında bazen perde duvarlı ya da diğer ismi ile hücreli radye temellerle de karşılaşılabilir. Bunlar yüksek rijitlikleri nedeniyle özellikle farklı oturma ihtimali yüksek olan yapılarda tercih edilmektedir. Ancak bu durumda perde duvarlar yüksek kiriş olarak hesaplanmalıdır **(Doğangün, 2002).**

Radye temellerin hesabında genellikle yaklaşık yöntemler kullanılır. Yaklaşık hesap için kolon eksenleri arasındaki açıklıkların ortalarından geçirilen düşey düzlemlerle her kolonun etki alanlarına ayrılır. Kolona gelen bu yüklerden ortalama gerilme değerine göre bir döşeme plağı gibi hesaplanır.

Üst yapı döşeme plaklarına göre daha kalın olan bu radye plakların donatıları üst yapı döşemelerindeki donatıların ters dönmüş olmaları dışında bir değişiklik

göstermezler. Ters kirişli radye yapılması durumunda plak donatısı kiriş boyuna donatısının altına Şekil 6.69'da verildiği gibi yerleştirilmelidir **(Aka ve diğ, 2001).**



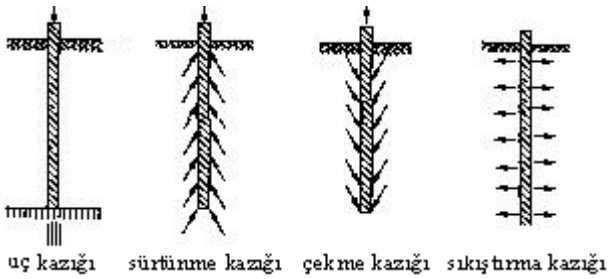
Şekil 6.69 Ters Kirişli Radye Temelde Plak Kiriş DonatılarınınYerleşimi

Radye temellerde donatı düzenlerine örnek EK E'de verilmektedir.

6.5.6 Kazıklı Temeller

Kazık temeller esas olarak yapı yüklerini zeminin derin tabakalarına taşıtmak amacıyla kullanılan bir derin temel çeşitidir. Zemin yüzüne yakın tabakalar, yapı yüklerini göçmeden veya aşırı oturmalar yapmaksızın taşıyabilecek bir yüzeysel temel teşkiline elverişli değilse derin temel tercih edilir.

Kazıkların başka kullanım yerleri de bulunmaktadır. Ankraj kazığı, gemi bağlama veya zemin hareketlerinin önlenmelerinde yanal yüklere karşı kullanılan kazıklar da bulunmaktadır. Kazıkların kullanım amaçlarına göre Şekil 6.70' de gösterildiği gibi uç kazığı, sürtünme kazığı çekme kazığı ve sıkıştırma kazığı gibi çeşitleri bulunmaktadır **(Toğrol ve Tan, 2003).**



Şekil 6.70 Kazık Tipleri

TS 3167 (1978)'de taşıdığı yükün tamamını veya büyük bir kısmını kazık çevre sürtünmesi ile zemine ileten kazıklara yüzen kazık ismi verilerek, kazık temellerin yapımında bu tip kazıkların kullanılmasından olabildiğince kaçınılmasını ve taşıdığı kazık yükünün tamamını veya büyük bir bölümünü uç kısımlarından sağlam zemine aktaran uç kazıkların kullanılmasının uygun olacağı belirtilmektedir.

Betonarme kazıklar, çakma kazıklar ve betonarme yerinde dökme kazıklar olarak ikiye ayrılabilir. Yerinde dökme betonarme kazıkların donatısı önceden hazırlanan donatı kafesinin genellikle önce kazık çukuruna yerleştirilmesi sonra yerinde beton dökümü ile gerçekleştirilir. Betonarme çakma kazıklar ise kazık dökülmesine elverişli bir yerde hazırlanmakta sonra çakılacakları yere nakledilmektedirler.

Betonarme çakma kazıklar oldukça büyük yükleri yumuşak veya gevşek zemin tabakaları altında sağlam tabakaya taşımakta son derece kullanışlıdırlar. Genellikle kare, daire veya sekizgen kesitli olarak imal edilirler. Kazık boyu ve çapı imal ve çakım olanaklarına bağlı olarak seçilmektedir.

Betonarme çakma kazıkların kesitlerinin ve konulacak donatının miktarının hesaplanmasında kazığın istiflenme ve taşınması sırasında maruz kalacağı gerilmeler rol oynar. Kaldırma sırasında hasıl olacak eğilme momentini karşılayabilecek donatı bulunmalıdır **(Toğrol ve Tan, 2003).**

TS 3168 (2001)'de yerinde dökme betonarme kazıklarda donatılarla ilgili koşullar aşağıda belirtildiği gibi verilmiştir.

Boyuna donatı en az 4 adet 12 mm çaplı demir olmalı ve boyuna demir çubuklarının aralığı uygun beton akımına yer vermek için mümkün olduğunca büyük seçilmeli ancak 400 mm'den büyük olmamalıdır. Boyuna çubuk veya çubuk demetleri arasındaki en az uzaklık 100 mm'den küçük olmamalıdır. Boyuna donatı Tablo 6.3'teki koşulları sağlamalıdır.

Tablo 6.3 Yerinde Dökme Betonarme Kazıklarda Minimum Donatı

Kazık kesit alanı A	Boyuna donatı alanı A_s
$A_c \leq 0{,}5\ m^2$	$A_s \geq 0{,}5\%A_c$
$0{,}5\ m^2 < A_c \leq 1\ m^2$	$A_s \geq 0{,}0025 m^2$
$A_c > 1\ m^2$	$A_s \geq 0{,}25\%A_c$

Kazık başlarının rijit kirişler ya da kalın bir betonarme plakla birleştirilerek beraber çalışmaları sağlanmalıdır. Kazık başlık plakları genellikle kalın olarak seçilerek, kolon yükleri ile kazık yüklerinin plağın içinde oluştuğu tasarlanan kafes sistem modeline uygun dengelenmesi sağlanır.

Eğer düşey yük ikiden fazla kazığa dağılıyorsa kazıkları kısa mesafelerde birleştiren çizgilerde çekme çubukları oluşur. Bu durumlarda kazık başlarının donatılarla bağlanması tavsiye edilir **(Celep ve Kumbasar, 2001)**. EK E'de kazık çekme başlıklarındaki donatılara ve kazık temel donatı düzenlerine örnekler verilmiştir.

A.B.Y.Y.H.Y (1998)'de kazıklı temeller için aşağıda verilen koşullar belirtilmiştir.

1. Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, düşeye göre eğimleri 1/6'dan daha fazla olan eğik kazıklar kullanılamaz.

2. Kazıklı temeller, eksenel yüklere ek olarak depremden oluşan yatay yüklere göre de hesaplanacaktır.

3. Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kılıflı ya da kılıfsız yerinde dökme fore kazıklarda 3m'den az olmamak üzere kazık başlığının altındaki kazık boyunun üstten 1/3'ünde boyuna donatı oranı 0,008'den az olamaz. Bu bölgeye konulacak spiral donatı çapı 8 mm'den az ve spiral adımı 200 mm'den fazla olmayacak, ayrıca üstten en az iki kazık çapı kadar yükseklikte spiral donatı adımı 100 mm'ye indirilecektir.

6.6 Merdivenler

Yapılarda katlar arasında iniş-çıkışı sağlayan merdivenler, çoğunlukla betonarme olarak projelendirilmektedir. Merdivenlerin kullanışlılığı ve estetiği mimari bakımından iyi tasarlanmış olmalarına bağlıdır. Bu tasarlanan merdivenler için taşıyıcı sistemin oluşturulması ve bunun boyutlandırılması hem merdivenin hem de tüm taşıyıcı sistemin güvenliği bakımından önemlidir.

Kişilerin inip çıkmasına yarayan merdivenler kişiler tarafından taşınabilen her tür eşya ve malzemenin iletimini de sağlar. Merdivenler normal şartlarda katlar arasında yük taşıdıkları gibi yangın ve deprem felaketleri sırasında alışılmışın üzerinde yük taşımak durumunda da kalırlar **(Celep ve Kumbasar, 2001)**.

6.6.1 Merdivenlere İlişkin Genel Bilgiler

Merdiven yapısı üzerinde basamakların bulunduğu eğimli merdiven kolu, merdiven kolları arasında bulunan yatay merdiven sahanlığı ve merdivende inip-çıkma güvenliğini sağlayan merdiven korkuluğu olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlardan merdiven kolu ve sahanlık merdiveni oluşturan ana bölümlerdir. Merdiven kolu sahanlıklar veya katlar arasında uzanan basamaklar dizisi olarak tanımlanabilir.

Basamaklar, malzeme türüne ve merdiven karakterine bağlı olarak çok değişik şekillerde yapılabilir. Basamaklar, yalnız kendileri taşıyıcı olarak çalışarak veya

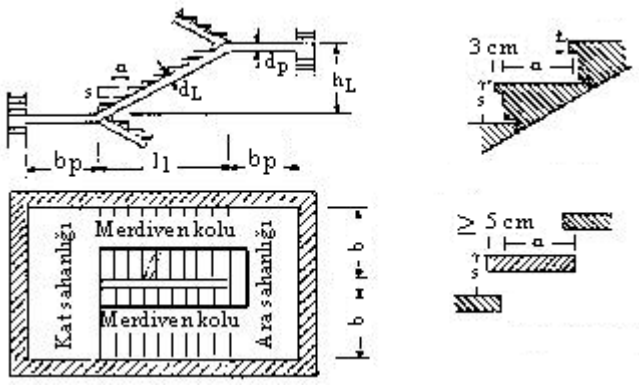
eğimli olarak düzenlenen taşıyıcı plaklarla birlikte merdiven kolunu oluştururlar. Basamaklar kapalı rıht veya açık rıht olarak yapılmaktadırlar.

Merdiven eğimi ise profilde basamak tepe noktalarını birleştiren doğrunun yatayla yaptığı açı olarak tanımlanabilir. Merdiven eğimi çoğunlukla bu açının tanjantı ile gösterilir. Başka bir tanımlama ile merdiven eğim oranı, basamak yüksekliğinin basamak genişliğine oranıdır. Dönel merdivenlerde merdiven eğimi denilince çıkış çizgisi üzerindeki eğim akla gelmelidir.

Merdiven eğim oranları en fazla üç katlı olan küçük yapıların merdivenlerinde $\tan\alpha \leq 4/5$, öteki yapıların tümündeki merdivenlerde $\tan\alpha \leq 2/3$ olmalıdır. Basamak genişliği ile yüksekliği arasındaki uygunluk bağlantısı Denk. 6.18'i sağlamalıdır.

$$2s + a = 63 \text{ cm} \qquad \textbf{(6.18)}$$

Kat yüksekliği belli olduğuna göre basamak sayısı $2.n = 2.h_L/s$ olarak bulunur. Ancak çoğunlukla kat yüksekliği basamak yüksekliğine tam bölünemediğinden bu sayısı en yakın tamsayıya yuvarlatılarak, gerçek basamak yüksekliği hesaplanabilir. Şekil 6.71'de merdiven genel elemanları gösterilmiştir **(Köseoğlu,1992).**

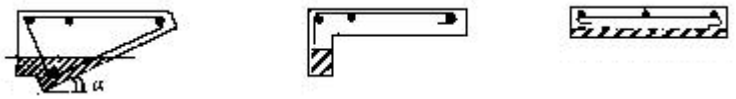


Şekil 6.71 Tipik Bir Merdiven Elemanları

6.6.2 Taşıyıcı Basamaklı Merdivenler

Bu tür merdivenlerde basamak kendisi taşıyıcı olup, plak gibi herhangi bir taşıyıcı sisteme oturmamaktadır. Hesap ve yapım kolaylığı nedeniyle pratikte çok kullanılan merdivenlerdir. Basamaklar duvarlara kirişlere veya merdiven çekirdek kolona mesnetlenmektedir.

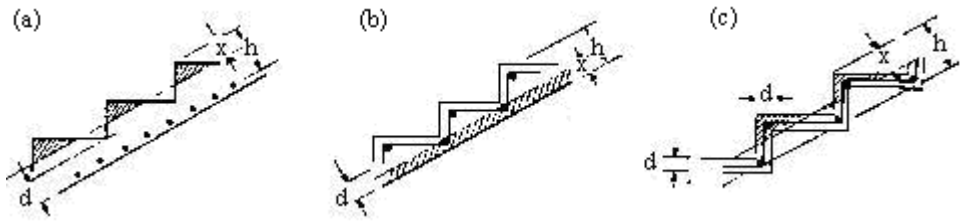
Merdivenlerin mesnetlenme biçimlerine bağlı olarak hesap ve tasarımları da farklı olmaktadır. Taşıyıcı basamaklardan oluşan merdivenlerin hesabında önce basamağın kesiti seçilir, sonra basamak ağırlığının bulunmasıyla basamağa etkiyen yükler bulunur ve mesnetlenme koşullarına bağlı olarak donatısı belirlenir. Şekil 6.72'de uygulamalarda kullanılan taşıyıcı basamak kesitlerine bazı örnekler verilmiştir **(Doğangün, 2002)**.



Şekil 6.72 Taşıyıcı Basamak Kesitlerine Örnekler

Tekil çalışan basamaklı merdivenlerin dışında sürekli çalışan basamaklı merdivenler de teşkil edilebilir. Basamak kesitleri ayrı ayrı basamakların yanyana dizilmesiyle oluşturulan kesitlerin sürekli olarak çalışabilmesi için basamakların harçlı olarak birleştirilmeleri gerekir.

Sürekli çalışan taşıyıcı basamaklı merdivenlerde basamakların mesnetlenme biçimlerine göre değişik tarafsız eksenler oluşacaktır. Şekil 6.73'te taşıyıcı basamaklı merdivenlerin değişik kesitlerine örnekler verilmiştir.

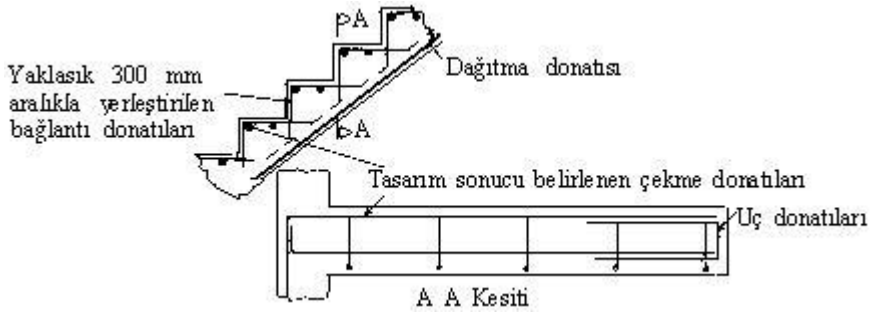


Şekil 6.73 Sürekli Taşıyıcı Basamaklı Merdivenlerin Değişik Kesitlerine Örnekler

Şekil 6.73(a)'da iki ucundan mesnetlenmiş basamaklı merdivenlerin açıklık kesitlerinde tarafsız eksen gösterilirken, Şekil 6.73(b)'de görülen tarafsız eksen ankastre mesnet kesitlerinde ve konsol biçiminde düzenlenmiş taşıyıcı basamaklı merdivenler için geçerli olmaktadır. Şekil 6.73(c)'de ise kıvrımlı kesitte basınç bölgeleri negatif ve pozitif momentte de aynı olmaktadır.

Kıvrımlı plak basamaklı merdivenlerde tarafsız eksen plak kesiti içinde kalıyorsa, hesap aynen üçgen basınç kesitli basamaklılardaki gibi yapılır. Ters durumda kıvrımlı plak sistemlerdeki boyutlandırma esasları geçerli olmaktadır **(Köseoğlu,1992)**.

Konsol durumunda taşıyıcı basamaklı olan merdivenlerde bir basamağa etkiyen yükler hesaplanıp, bu yükler etkisinde konsol moment ve kesme kuvveti basamak için belirlenebilir. Konsol momentleri de hesaplandıktan sonra merdivene yerleştirilecek donatılar belirlenir. Şekil 6.74'te uygulamalarda karşılaşılan konsol taşıyıcı basamaklı merdivenlerdeki donatı düzenine örnek verilmiştir **(Doğangün, 2002).**

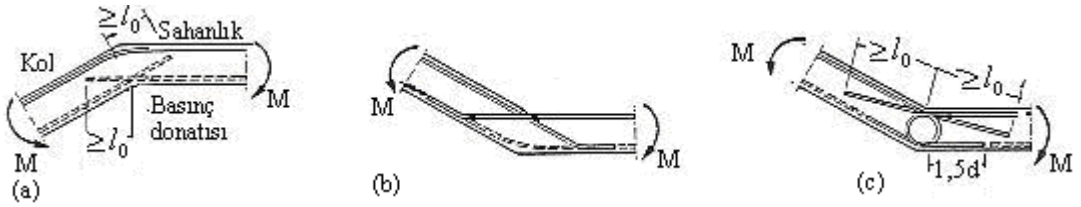


Şekil 6.74 Konsol Taşıyıcı Basamaklı Merdivenlerde Donatı Düzeni

6.6.3 Kıvrımlı Sistem Merdivenler

Kıvrımlı sistem merdivenler genelde eğimli düzenlenen kol plakları ile yatay düzenlenen sahanlık plaklarının biraraya gelmesinden oluşan bir uzay sistemdir. Bu tür merdivenlerde taşıyıcılık görevi sistemin mesnetlenme durumuna göre yalnız plak çalışması veya plak levha ortak çalışması ile yerine getirilir. Kıvrımlı sistem merdivenlerde genellikle eğimli kol plağı üzerinde bulunan basamaklar birlikte çalışmayacak biçimde imal edildiğinden, bunların taşıyıcılık görevi yapmadığı varsayılır. Bu nedenle hesaplarda yalnız kol plağının taşıyıcı etkisi esas alınır.

Bu tip merdivenlerde kıvrımlı sistem etkisinden dolayı kıvrım çizgisinde bir mesnetlenme oluşur. Bu mesnetlenmenin güvenli şekilde sağlanması durumunda kıvrım çizgisinde negatif moment oluşur. Bu yerlerde kullanılabilecek donatı düzenleri Şekil 6.75'te gösterilmiştir.

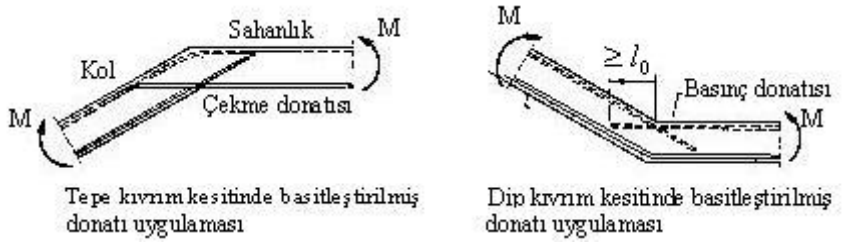


Şekil 6.75 Kıvrımlı Sistemlerde Negatif Moment İçin Donatı Düzeni

Şekil 6.75(a)'da üste negatif momenti almak için eğilme çekme donatısı üst tarafa kesintisiz olarak düzenlenmiştir. Altta basınç donatısı gerektiren kesitlerde de gerekli

kenetlenme sağlanmalıdır. Şekil 6.75(b)'de donatı düzenlenmesi pek fazla zorlanmayan kesitler için, Şekil 6.75(c)'deki donatı düzenlenmesi aşırı zorlanan kesitler için elverişli olmaktadır.

Kıvrımlı sistem etkisinin bulunmadığı veya sistemin gerçek davranışı nedeniyle bu etkinin ihmal edildiği merdivenlerde kıvrım çizgileri boyunca rijit bir mesnetlenme oluşmamaktadır. Böylece kıvrım kesitlerinde, pozitif moment ortaya çıkmaktadır. Pozitif moment için Şekil 6.76'da gösterildiği gibi donatı düzenleme biçimleri tavsiye edilmektedir **(Köseoğlu,1992)**.



Şekil 6.76 Kıvrımlı Sistemlerde Pozitif Moment İçin Donatı Düzeni

6.6.4 Helisel Merdivenler

Bu merdivenler kabuk taşıyıcılar olup, planda daire halkası şeklinde de görülebilir. Bu merdivenlerde yükün büyük bir kısmı mambran kuvvetler tarafından karşılanır. Dış çevreden veya iç çevreden mesnetli helisel merdivenler olduğu gibi yalnız uçlarından mesnetlenmiş uzay taşıyıcı sistemli helisel merdivenler de uygulamalarda yapılmaktadır **(Doğangün, 2002)**.

Köseoğlu (1992)'de uzay taşıyıcı merdiven sisteminin donatı düzenlenmesinde aşağıda belirtilen koşullar önerilmektedir.

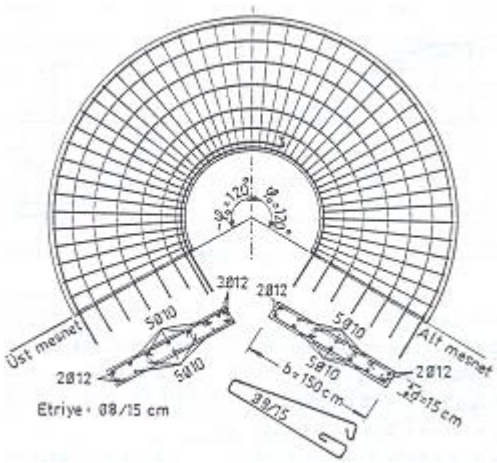
1. Kesit köşelerinde en az birer adet $\phi 12$ çapında boyuna donatı bulundurulmalıdır.

2. Kesit genişliğince üniform yayılı gövde donatısı en az $\phi 10$ olmalı ve bu donatıların aralığı, merdiven kalınlığının 1,5 katı ve 25 cm'den büyük olmamalıdır. Zorlanmanın küçük olduğu kesitlerde bu maksimum aralık 30 cm'ye çıkarılabilir.

3. Merdiven kesitleri kesme kuvvetleri ile birlikte burulma momenti etkisinde bulunduğundan kayma donatısı kapalı etriyeler olarak düzenlenmeli ve gerektiğinde çiroz ile yeterli sayıda kol eklenmelidir.

4. Boyuna burulma donatısının kesit köşelerindeki eğilme donatısına ve genişlik boyunca yayılı gövde donatılarına eşit oranda eklenerek uygulanmalıdır. Uzay

taşıyıcı sistemli merdivenlerin donatı düzenine örnek Şekil 6.77'de verilmiştir. Merdivenlere ilişkin donatı düzenlemelerine örnekler EK F'de verilmiştir.



Şekil 6.77 Uzay Taşıyıcı Sistemli Helisel Merdivenlerde Donatı Düzeni

6.7 Birleşim Bölgeleri

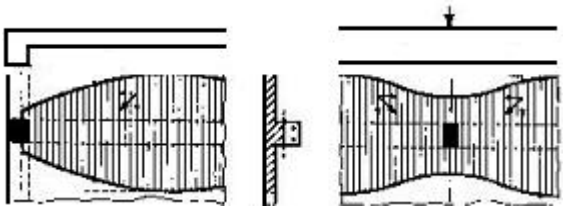
Yapı taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların tek başlarına maruz kaldıkları etkilere karşı koyabilmeleri yapının bütün olarak güvenliğinin sağlandığı anlamına gelmez. Yapının taşıyıcı elemanlarının dışında bunların birleştikleri birleşim bölgelerinin de mutlaka yeterli dayanım ve sünekliliğe sahip olması gerekir.

Depremlerden sonra meydana gelen hasarlar incelendiğinde birleşim bölgelerinde belirgin hasarlar meydana geldiği ve elemanların birbirinden çözüldüğü gözlemlenmiştir. Birleşim bölgelerinde meydana gelen çözülme betonarme yapıların monotonik özelliğini bozarak, elemanların birbirleriyle yardımlaşmasını zayıflatır ve sünekliliğini azaltır.

Bu nedenle birleşim bölgelerinde gösterilecek olan özen taşıyıcı sistemin tümünün güvenliği için gereklidir **(Celep ve Kumbasar, 2004)**.

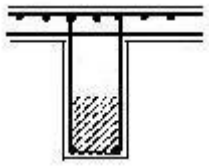
6.7.1 Döşeme Kiriş Birleşimi

Kirişler döşeme ile beraber betonlandıklarından beraber çalışmaya zorlanırlar. Farklı rijitlikte olan bu elemanlar arasında bu zorlama sonucunda karşılıklı etkileşim gerilmeleri ortaya çıkar. Ara kesitin kayma gerilmeleri ile zorlanması söz konusu olur. Şekil 6.78'de gösterildiği gibi özellikle mesnet bölgelerinde ve tekil yük civarında kirişe etkili olduğu kabul edilebilecek döşeme genişliğinde değişim büyük olup, kirişle döşeme arasındaki etkileşim kuvvetleri de büyük değerlere erişir.



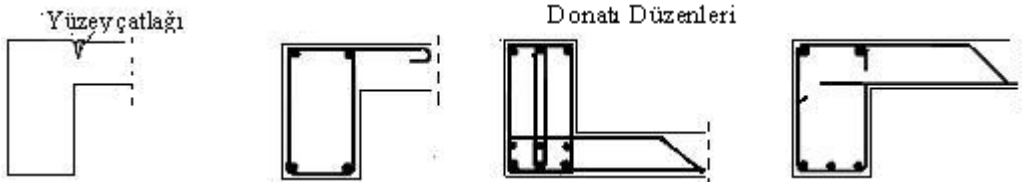
Şekil 6.78 Kiriş Döşeme Birleşiminde Döşeme Genişliğinin Değişimi

Genellikle kirişe dik döşeme donatısının kiriş üzerinden devam ettirilmesi ve bunlara dik dağıtma donatısının bulunması eğik oluşacak basınç kuvvetlerinin karşılanması için yeterli olur. Kiriş çekme bölgesinin üst kısmında bulunduğu mesnet kesitlerinde, mesnet donatısının bir kısmını Şekil 6.79'da gösterildiği gibi kirişin iki tarafındaki döşeme bölümlerine de yerleştirmek uygun olmaktadır **(Celep ve Kumbasar, 2001)**.



Şekil 6.79 Tabla Genişliğine Yayılan Mesnet Donatısı

Döşeme ile kiriş birleşimlerinde ve özellikle kenar kirişlerinin döşeme birleşimlerinde yüzey çatlakları şeklinde çatlaklar oluşacağından, uygun donatı biçimi kullanarak bu tip çatlaklar önlenmelidir. Kiriş etriyesi döşeme içine uzatılabilirken, döşeme içindeki pilyelerle de bu etkinin karşılanması gerçekleştirilebilir. Şekil 6.80'de yüzey çatlak biçimi ve bu çatlak için düşünülebilecek donatı düzenlemeleri gösterilmektedir **(Barker, 1967)**.



Şekil 6.80 Kenar Kirişlerde Yüzey Çatlağı ve Donatı Düzenlemeleri

6.7.2 Kolon Döşeme Birleşimi

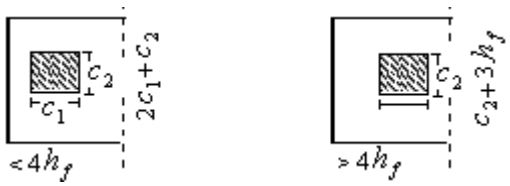
Kirişsiz döşemelerde ortaya çıkan bu tür birleşimde rijitlikleri birbirinden çok farklı iki eleman bulunmaktadır. Hem düşey hem yatay yük durumunda birleşim bölgelerinde büyük gerilme yığılmaları meydana gelir. Buralarda donatının arttırılması ile dayanımın büyütülmesi kalınlığın az olduğu bu bölgede beton dökülmesini zorlaştıracağı için çoğu zaman uygun sonuç vermez.

Kolon veya perdenin iki tarafındaki açıklıkların ve yüklerin birbirinden oldukça farklı olması durumunda birleşim bölgesinde döşeme momentlerinin kolon veya perde momenti ile dengelenen kısmının büyük değerler almasına sebep olur. Deprem etkisi de bir taraftaki zımbalama gerilmelerini arttırarak olayı daha kritik duruma getirebilir **(Celep ve Kumbasar, 2004)**.

Eğer zımbalama kesitinde etkili olan momentin ilgili kesme kuvvetine göre dış merkezliği kolon kesiti dışına çıkıyorsa, moment etkisinin hakim duruma geçeceği göz önüne alınmalı ve zımbalamanın kesme kuvveti yanında eğilme momenti de hesaba katılmalıdır. Birleşim bölgesinin iki tarafındaki kesitlerdeki dengelenmemiş momentin bir kısmı kesme kuvveti ile dengelenirken bir kısmı da eğilme etkisiyle karşılanmaktadır.

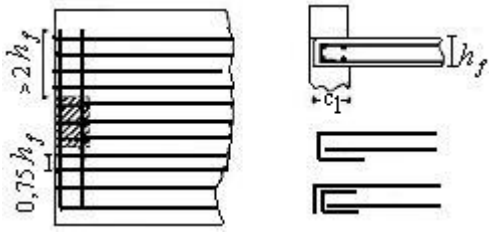
Birleşim bölgesinin serbest döşeme kenarına yakın olması veya birleşim bölgesine yakın döşeme boşluklarının bulunması, artmış olan gerilme yoğunluğunu daha da çoğaltır. Bu tür birleşim bölgeleri dış birleşim ismini alırken, diğer durumlar ise iç birleşim bölgesi ismini alır.

Birleşim bölgesinin iki tarafındaki kesitlerdeki dengelenmemiş momentin eğilme etkisiyle karşılanacak kısmına denk gelen donatının iç birleşim bölgelerinde $c_2+3.h_f$ kolonu da içine alan genişlik kadar, dış birleşim bölgesi durumunda ise $2c_1+c_2$ genişlik kadar konulması uygundur. Şekil 6.81'de bu donatıların yerleştirilecek genişlikleri gösterilmektedir. Burada c_1 ve c_2 kolon boyutlarını, h_f döşeme kalınlığını göstermektedir.



Şekil 6.81 Kolon ve Döşeme Dış ve İç Birleşim Donatı Yerleşim Bölgeleri

Dış kenarda döşeme içinde döşeme kalınlığında bir kiriş oluşturularak kolon kenarında ortaya çıkacak burulma momentlerinin karşılanması tavsiye edilir. Birleşim bölgesindeki kolon kesitinde donatının kenarlara bir kenarda en az dört tane olmak üzere düzgün dağıtılması ve aralığının 200 mm'yi geçmemesi, döşeme ile kolonun bütünleşmesi bakımından uygundur. Kolon ve döşeme birleşim bölgesinde tavsiye edilen donatı düzeni Şekil 6.82'de gösterilmiştir.

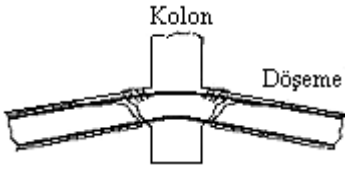


Şekil 6.82 Kolon Döşeme Birleşim Bölgelerinde Donatı Düzeni

Taşıyıcı sistemin bütünlüğünün korunması açısından her iki ana doğrultuda altta Denklem 6.19'da hesaplanacak donatı ile en az iki döşeme donatısının kolon içinden geçmesi tavsiye edilir. Bu donatıların beklenen fonksiyonu yapabilmeleri için kenetlenmelerinin sağlanması önemlidir.

$$A_{sm} = 0{,}5.p.l_1.l_2 / f_{yd} \qquad \textbf{(6.19)}$$

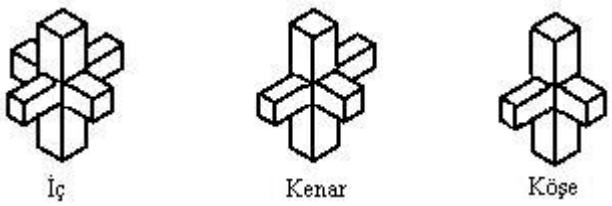
Şekil 6.83'te görüldüğü gibi bu donatının zımbalama sonucu yapının göçmesini önlemede faydası bulunmaktadır. Eğer döşeme, yüksekliği döşeme kalınlığının iki katından küçük kirişlere sahipse bu tür yapısal bütünlük donatısı yerleştirilmesi tavsiye edilir **(Celep ve Kumbasar, 2001)**.



Şekil 6.83 Kolon Döşeme Bütünlük Donatısı

6.7.3 Kolon Kiriş Birleşimi

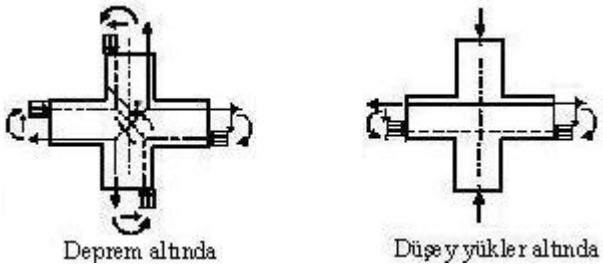
Kolon-kiriş birleşim bölgeleri, betonarme çerçeve sistemlerde kritik bölgelerdir. Deprem hareketi esnasında, büyük kuvvetlere maruz kalırlar ve yapının depreme karşı davranışında önemli rol üstlenirler. Birleşim tipleri yapı içinde aldıkları konuma göre Şekil 6.84'te gösterildiği gibi iç, kenar ve köşe olmak üzere üçe ayrılırlar.



Şekil 6.84 Kolon- Kiriş Birleşim Türleri

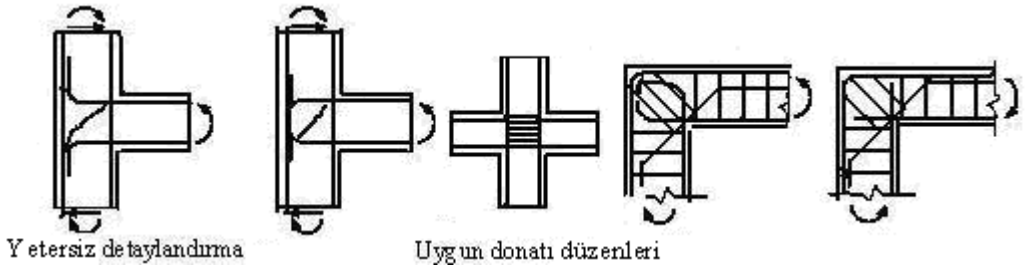
Yeterli rijitlikte olduğu varsayılan birleşim bölgelerinde yüksek kesme kuvvetleri meydana gelir. Kesme kırılması, gevrek kırılmaya ve haliyle sismik koşullar açısından kabul edilmeyen yapı performansına sebep olduğundan, birleşim bölgelerinin imalatı daha çok itina gerektirir.

Kolon-kiriş birleşim bölgesinde düşey yüklerden meydana gelen kuvvetler, kiriş uçlarından gelen çekme ve basınç gerilmeleri ile kolonlardan gelen eksenel yük olarak birleşim bölgesine geçiş yaparken, deprem yüklemesi durumunda diyagonal çekme ve basınç gerilmeleri meydana gelir. Şekil 6.85'de birleşim bölgelerinde meydana gelebilecek kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 6.85 Kolon-Kiriş Birleşiminde Oluşan Kuvvetler

Donatı detaylandırılması için, yatay donatı bulunması ve kolonlardaki etriye sürekliliğinin sağlanması uygun olacaktır. Ayrıca kenar kolonlarda kirişten gelen donatıların eğilme momentinin işaret değiştirebileceği düşünülerek, kiriş alt ve üst donatıları kolon içine kıvrılarak kenetlenmeli ve açılmayı önlemek için etriye içinde bırakılmalıdır. Şekil 6.86'da birleşim bölgelerindeki tavsiye edilen donatı düzenlemeleri gösterilmiştir **(http://www.iitk.ac.in/nicee)**.



Şekil 6.86 Kolon-Kiriş Birleşiminde Donatı Düzenleri

(A.B.Y.Y.H.Y, 1998)'de süneklik düzeyi yüksek kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçeve sistemler kolon-kiriş birleşimleri kuşatılmış veya kuşatılmamış olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Kirişlerin kolona dört taraftan birleşmesi ve her bir kiriş genişliğinin birleştiği kolon genişliğinin ¾'ünden daha az olmaması durumunda

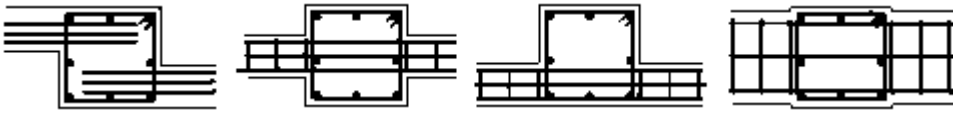
kolon-kiriş birleşimi kuşatılmış birleşim olarak tanımlanırken, bu koşulları sağlamayan tüm birleşimler kuşatılmamış birleşim olarak tanımlanmaktadır.

Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde enine donatı koşulları bakımından aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır.

a) Kuşatılmış birleşimlerde alttaki kolonun sarılma bölgesi için bulunan enine donatı miktarının en az % 40'ı birleşim bölgesi boyunca kullanılması gerekmektedir. Ancak, enine donatının çapı 8 mm'den az olmamalı ve aralığı 150 mm'yi geçmemelidir.

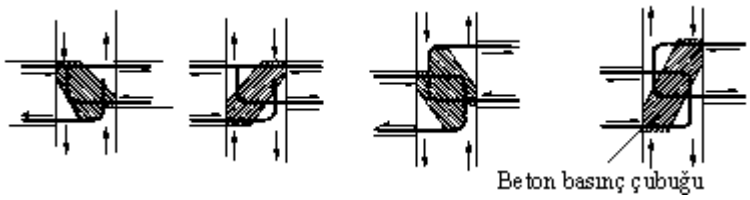
b) Kuşatılmamış birleşimlerde, alttaki kolonun sarılma bölgesi için bulunan enine donatı miktarının en az %60'ı birleşim bölgesi boyunca kullanılması gerekmektedir. Ancak bu durumda enine donatının çapı 8 mm'den az olmamalı ve aralığı 100 mm'yi geçmemelidir.

Bazı durumlarda kirişleri kolonlarla birleştirmek mümkün olmaz. Bu durumda kolonlarda ek burulma momentleri ortaya çıkar ve kirişin sürekli biçimde çerçeve oluşturmasını engeller. Bu tür birleşim bölgelerinde söz konusu olabilecek bazı değişik donatı düzenlemelerine Şekil 6.87'de örnekler verilmiştir.



Şekil 6.87 Kolon-Kiriş Birleşiminde Çeşitli Donatı Düzenlerine Örnekler

Kolon-kiriş birleşim bölgesinde kirişte meydana gelen yükseklik değişimi veya seviye farklılıkları durumunda, geçiş bölgesi gerilme bakımından değişiklik gösterir. Bu bölgede bazı kiriş donatılarının devam ettirilemediği durumlarda bunların kolon içinde kıvrılarak kenetlenmesi gerçekleştirilmelidir. Donatı düzeninin oluşturulmasında her iki kiriş donatısındaki kuvvetlerin birleşim bölgesinde oluşacak beton basınç çubukları ile dengelenmesi gerekir. Şekil 6.88'de bu durumdaki birleşimler gösterilmiştir.



Şekil 6.88 Seviye Farkı Olan Kolon-Kiriş Birleşimleri

Kolon–kiriş birleşim bölgelerinin genel olarak düzenlenmelerinde aşağıdaki genel koşullara uyulması tavsiye edilir.

1. Donatı kolon-kiriş birleşim bölgeleri depremli veya düşey yükler altında oluşan kuvvetlerin farkı kadar bir kuvvet ile aderans etkisinde kaldıklarından aderansın oluşmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yetersiz aderans durumunda donatı betondan kısmen çözülebileceğinden veya tamamen çekilip çıkarılabileceğinden yeterli ankrajı mutlaka sağlanmalıdır.

2. Birleşim bölgelerinin dayanımı birleşen elemanların dayanımından daha zayıf olmamalıdır. Böylece taşıyıcı sistem rijitliğini ve dayanımını önemli şekilde azaltan birleşim bölgesinin güç tükenmesi ile oluşacak mekanizma durumu önlenmiş olur.

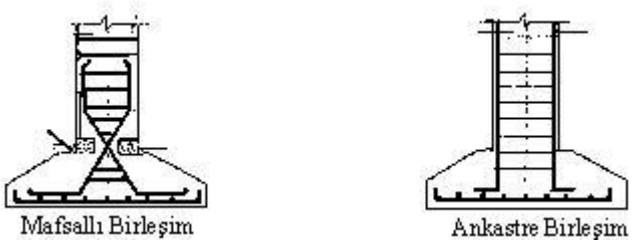
3. Birleşim bölgesinin zayıflaması ile kolonların dayanımının azalmasına izin verilmemelidir. Kiriş-kolon birleşim bölgeleri kolonların devam şeklinde gözönüne alınmalı ve kolon etriyesi bu bölgede de devam ettirilmelidir.

4. Birleşim bölgesinde öngörülen donatı düzeninin beton dökülmesinde güçlük çıkarmayacak şekilde olması gerekir **(Celep ve Kumbasar, 2004).**

6.7.4 Kolon-Temel Birleşimi

Kolon-temel birleşim bölgelerinde genellikle önce temel betonu dökülüp, sonra kolon kalıpları sertleşmiş olan temel betonu üzerine yerleştirilir. Kolon ve temel betonları farklı zamanlarda döküldüğünden kolon boyuna donatılarının temelle birleşimi filiz donatıları ile sağlanmaktadır.

Kolon-temel birleşim bölgelerine yerleştirilmesi gereken boyuna donatılar Şekil 6.89'da verilmiştir. Buradan da görülebileceği üzere mafsallı ve ankastre olarak davrandığı kabul edilen kolon-temel birleşimlerinin donatı detayları birbirinden farklı olmaktadır **(Doğangün, 2002).**

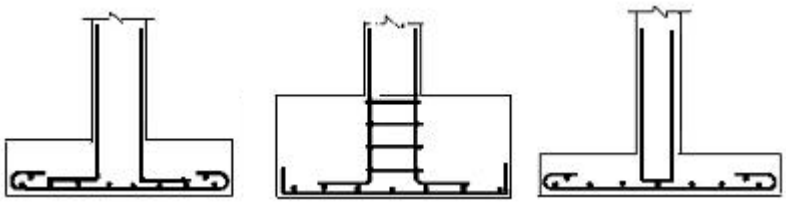


Şekil 6.89 Mafsallı ve Ankastre Kolon-Temel Birleşim Detayı

Temel filizlerinin kancalı yapılması kenarlara düşmesini engeller. Kancalı

yapılmasının dışında U şeklinde donatılarda kullanılmaktadır. Bu küçük kolonlarda zımbalama açısından iyi direnim sağladığından, tercih edilmektedir. Dairesel kolonlarda da tercih edilebilir ama U dairesellik açısından uygun olmadığından kullanılmamaktadır.

Temel derin olduğunda kanca veya etriye kullanılması temelde kullanılacak donatıları uygun pozisyonda tutmayı sağlar. Enine donatılar temel betonu içinde de devam etmesi tavsiye edilmektedir. Şekil 6.90'da çeşitli kolon-temel donatı birleşimleri gösterilmiştir **(Barker, 1967)**.



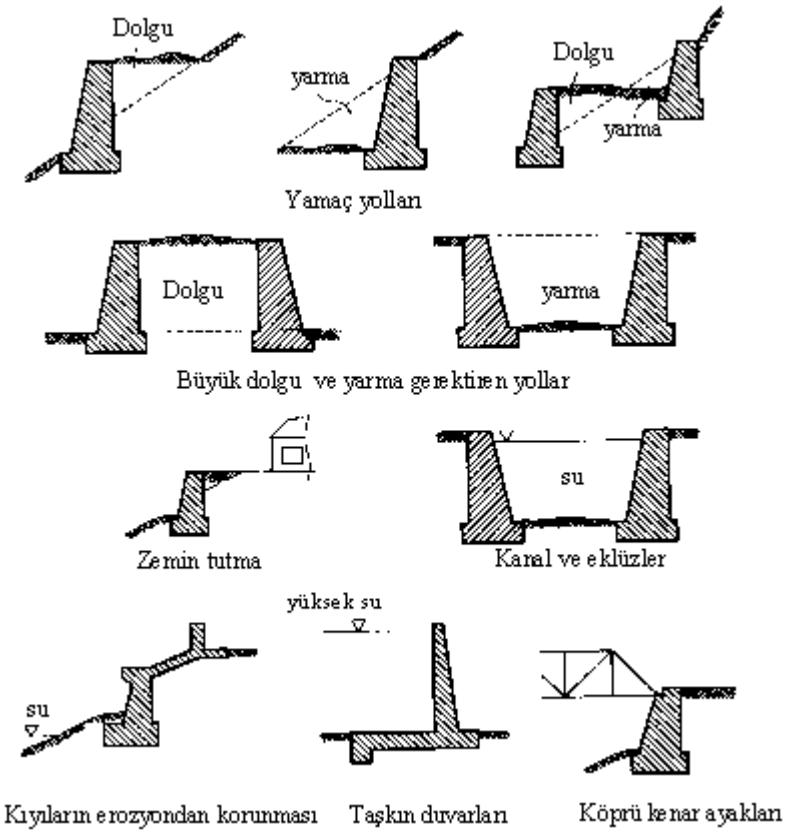
Şekil 6.90 Kolon Temel Birleşimi Donatı Düzenleri

7. BETONARME SİSTEMLERDE DONATI DÜZENLEME İLKELERİ

Günümüzde istinat duvarları, depolar ve silolar gibi farklı amaçla yapılan yapılarda en çok betonarme sistemlerin kullanılması ve bunların donatı düzenlemelerinde yapılan hatalar sonucu bu yapıların işlevlerini yitirmesi ve göçmesi, bu sistemlerin donatı düzenlemelerinin önemini ortaya çıkarmıştır.

7.1 İstinat Duvarları

Farklı kotlar arasında daha dik bir açıyla veya düşey bir geçiş isteniyor ise bu amacı gerçekleştirecek bir yapı gerekir. İki farklı kottaki zemin düzeyi arasında düşey veya düşeye yakın geçişi sağlayan yapılara istinat duvarları adı verilir.



Şekil 7.1 İstinat Duvarlarının Kullanılma Amaçlarına Örnekler

Varoluş amaçlarından ötürü istinat duvarları zemin veya diğer malzemelerin yatay hareketlerini önleyici bir nitelik taşırlar. Dolayısıyla üzerlerine etkiyen başlıca dış

yükler yatay hareketlerini önleyici bir nitelik taşırlar. Dolayısıyla üzerlerine etkiyen başlıca dış yükler yatay olup, bir evin temel duvarı ya da köprü kenar ayakları gibi bazı özel durumlarda da gövdelerinin üstüne etkiyen düşey yükleri de taşımaları istenebilir. İstinat duvarları stabilite için genellikle dış bağlar gerektirmeden ağırlıklarıyla yeterli olurlar. Şekil 7.1'de görüldüğü gibi çeşitli amaçlarla geniş ölçüde kullanılırlar **(Aka ve diğ., 2001)**.

İstinat duvarları tipleri bakımından ağırlık istinat duvarları, prefabrike elemanlı istinat duvarları, donatılı topraktan oluşan istinat duvarları ile konsol istinat duvarları ve nervürlü istinat duvarlarından oluşan betonarme istinat duvarları olarak sınıflandırılabilirler **(Özden ve diğ, 1995)**.

7.1.1 Ağırlık İstinat Duvarları

Ağırlık istinat duvarları taş ya da donatısız betondan yapılırlar. Bu tür istinat duvarlarının stabilitesi yalnız duvarların kendi ağırlığına bağlı olup bu nedenle yükseklikleri belirli sınırları 4 veya 5 m'yi aşmamalıdır. Duvar yüksekliği arttıkça ekonomiden uzaklaşılır. Malzeme çekmeye dayanıksız olduğundan duvarın herhangi bir kesitinde çekme gerilmelerine izin verilemez. Ancak yerel olarak küçük çekme gerilmelerine müsade edilebilir **(Celep ve Kumbasar, 2001)**.

7.1.2 Prefabrike Elemanlı İstinat Duvarları

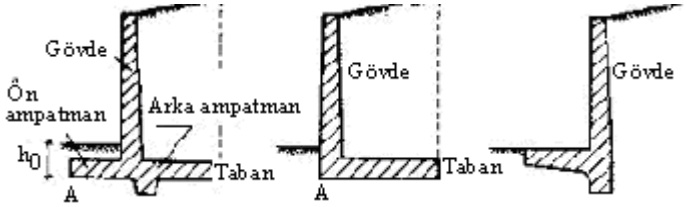
Prefabrike elemanlı istinat duvarlarına **Özden ve diğ. (1995)**'de betonarme enleme ve boylamalarının üst üstte konulması ve elde edilen gözlerin toprakla doldurulması sonucu oluşan istinat duvarları örnek verilmiştir. Bu tip duvarların 4 m ve daha yüksek olması halinde tabanda betondan tabaka oluşturulmalıdır. Bu tip duvarlar yapım hızları sebebiyle büyük avantaja sahiptirler.

7.1.3 Donatılı Toprak İstinat Duvarları

Donatılı istinat duvarları, toprak itkisini alan ve ön cepheyi oluşturan prefabrike betonarme plaklardan oluşan bir perde, bu plakları geriye bağlayan ve her bir plak için 4 adet şeritten oluşan çekme elemanları ve duvara gerekli ağırlık ile şeritlerle arasındaki sürtünme kuvveti sayesinde şeritlerin çekme kuvvetlerini almalarını temin eden dolgudan oluşur. Burada kullanılan plaklar altıgen veya T şeklinde prefabrike panolardır **(Özden ve diğ, 1995).**

7.1.4 Konsol İstinat Duvarları

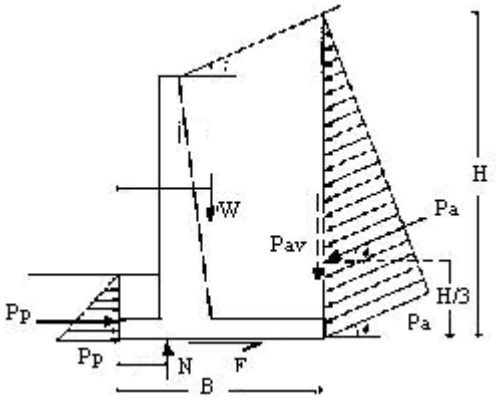
Uygulamada en çok kullanılan betonarme istinat duvar türüdür. Bir konsol istinat duvarı gövde ve taban olmak üzere iki taşıyıcı elemandan oluşur. Tabanı ayrıca ön ve arka ampatman olarak ikiye ayrılabilir. Düz ya da ters L biçimindeki konsol duvar türlerinde Şekil 7.2'de gösterildiği gibi bunlardan yalnız biri mevcuttur. L tipi şeklindeki istinat duvarları arsa sınırı veya nehir kenarı gibi veya başka nedenlerden dolayı ön ampatman yapılamayan hallerde meydana getirilirler. Bu durumda A noktasında zemin gerilmeleri büyümektedir **(Özden ve diğ, 1995)**.



Şekil 7.2 Konsol İstinat Duvar Çeşitleri

İstinat duvarlarının donatı düzenlenmesinin belirlenebilmesi için öncelikle bir istinat duvarına gelebilecek kuvvetler belirlenmelidir. Toprağın mevcut istinat duvarına uyguladığı iki tür basınç bulunmaktadır. Bunlar aktif ve pasif toprak itkisi olarak adlandırılır. Aktif toprak itkisi duvar arkasındaki zemin dolgusunun kayma eğiliminden ötürü duvara uyguladığı basınç kuvvetidir. Pasif toprak itkisi ise tersinir olarak duvarın zemini geri itmek için hareket ettiği zaman zeminin böyle bir harekete pasif olarak karşı koymasından ileri gelen basınç kuvveti olarak adlandırılmaktadır. İstinat duvarlarına etki eden kuvvetler deprem yönetmeliğinden yararlanılarak belirlenebilir **(Aka ve diğ, 2001)**.

Zemin tarafından istinat duvarlarına etkiyecek yükler Şekil 7.3'te gösterilmektedir.

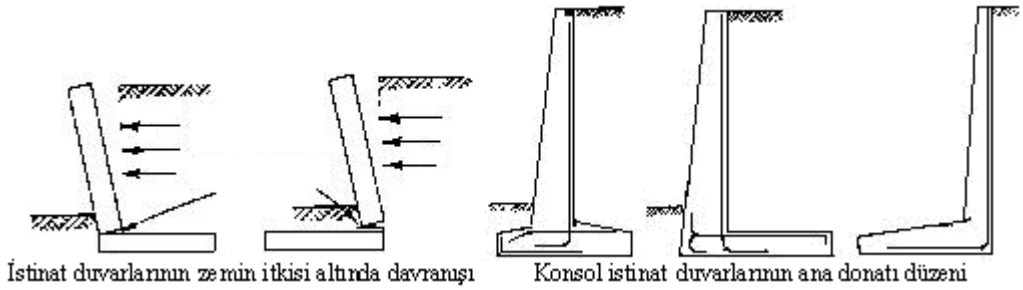


Şekil 7.3 İstinat Duvarına Etkiyen Dış Yükler

İstinat duvarı arkasındaki zemin üzerinden tren ya da araçların geçmesi ya da buraya bir malzeme depolanması bir yapı yapılması gibi etkiler zemin itkisinin dışında duvarca karşılanması gereken yükler olup sürşarj adı verilen ek yükleri oluştururlar. Bu ek yükün oluşturduğu yatay basıncın derinlik ile değişmeyip duvar boyunca düzgün yayıldığı kabul edilir.

İstinat duvarlarının çok yüksek olması durumunda gövdeden yatay çıkmalar şeklinde hafifletme konsolları kullanılarak daha uygun boyutlu ve ekonomik istinat duvarları da yapılabilmektedir. Hafifletme konsollarının faydası zemin itkisini azaltması ve moment diyagramını daha dengeli bir biçime getirmesidir.

Zemin gerilmelerinin yayılışı belirlendikten sonra ön ampatman gövde ön yüzüne ankastre bir konsol plak olarak gözönüne alınır. Ön ampatmanlarda çekme gerilmeleri ve dolayısıyla ana donatı alt yüzde bulunur. Arka ampatman gövde arka yüzüne bir konsol plak olarak gözönüne alınır. Arka ampatmanlarda çekme gerilmeleri dolayısıyla ana donatıları üst yüzde bulunur. Gövde plağı ise taban plağına düşey konsol olarak göz önüne alınır ve yatay varsayılan zemin itkisi etkisindedir. Gövdede çekme gerilmeleri ve ana donatıları arka yüzde bulunur. Ana donatıların bulunmasından sonra ana donatının beşte biri kadar dağıtma donatısı konulmalıdır. Şekil 7.4'te konsol istinat duvarlarının zemin itkisi altındaki davranışları ve donatı düzenleri gösterilmiştir **(Aka ve diğ, 2001),(Barker, 1967)**.

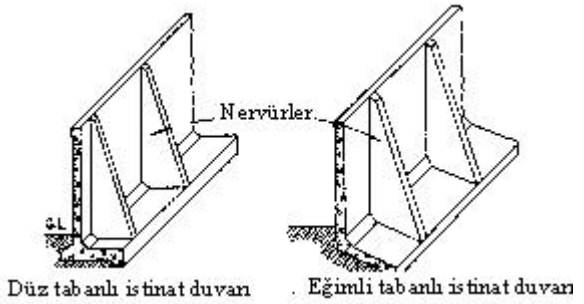


Şekil 7.4 Konsol İstinat Duvarlarında Davranış ve Ana Donatı Yerleşimi

7.1.5 Nervürlü İstinat Duvarları

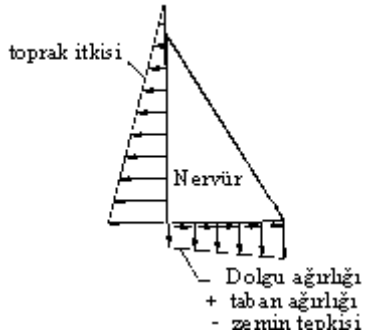
Konsol istinat duvarlarında yüksekliğin 7 ile 8 m'yi aşması durumunda, düşey duvar plağı ile taban plağının birleşim yerindeki momentler büyük değerler almaktadır. Bu durumda nervürlü istinat duvarı yapmak uygun olur. Nervüre etkiyecek eğilme momenti kendi düzlemi içinde karşılandığından oluşan moment değerleri nervürlerle daha kolay karşılanabilecektir. Bu tür duvarlarda düşey gövde plağı ve taban plağı

yer yer nervür plağı ile birbirine bağlanır. Böylece denge iki plak arası birleşim çizgisindeki eğilme momenti yerine, nervür plağında ortaya çıkacak ve karşılanması daha kolay düzlem içi eksenel kuvvetle sağlanmış olur. Böylece nervürlü istinat duvarlarında düşey plaklar konsol gibi çalışmaktan kurtulmaktadır. Nervürlü istinat duvarına Şekil 7.5'te örnek verilmiştir **(Celep ve Kumbasar)**.



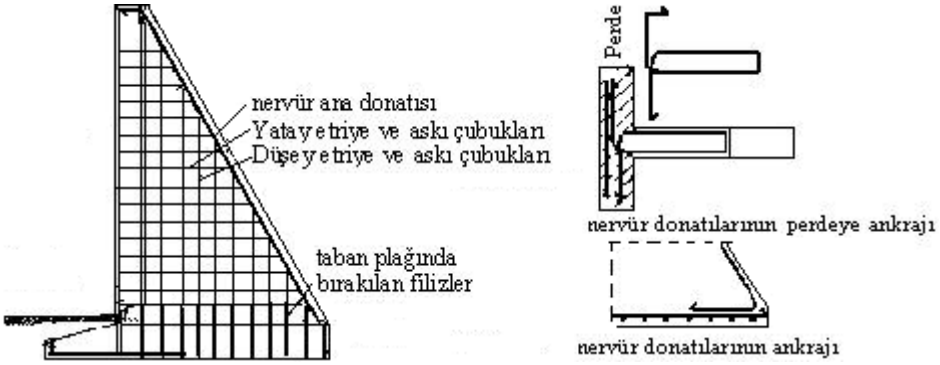
Şekil 7.5 Nervürlü İstinat Duvarlarına Örnekler

Aka ve diğ. (2001)'de nervürlerin, mesnetlerini oluşturdukları gövde plaklarından gelen yatay yükler etkisinde olan yüksekliği değişken tabana ankastre bir kiriş olarak hesaplanabildiği belirtilmektedir. Nervürler gövdenin arka yüzünde olduklarında bir tablalı kiriş, ön yüzünde bulunduklarında dikdörtgen kesitli kiriş gibi çalışırlar. Bir nervür elemanına etkiyen yükler Şekil 7.6'da gösterilmektedir



Şekil 7.6 Arka Yüzü Nervürlü İstinat Duvarlarında Nervüre Etkiyen Yükler

Nervürlü istinat duvarlarında perde plağının ve arka ampatman plağının mesnet reaksiyonları perde plağı için yatay, arka ampatman için düşey askı çubukları ile nervürlerin arka kenarına taşınmalıdır. Bu donatı miktarları yatay ve düşey etriye miktarlarına eklenerek her iki donatı beraberce arttırılmış etriye şeklinde konulur. Şekil 7.7'de nervür donatı tertibi için uygulamalarda kullanılan örneklerden biri verilmiştir **(Özden ve diğ, 1995)**.



Şekil 7.7 Nervürlerin Donatı Şeması

7.1.6 Konstrüktif Koşullar

Betonarme istinat duvarlarının donatı ile ilgili konstrüktif kuralları **TS 500 (2000)** kapsamında aşağıda belirtildiği gibi verilmektedir.

Betonarme duvarların her bir yüzünde yatay ve düşey çubuklardan oluşan donatı ağları düzenlenmelidir. Hesapların daha fazla donatı gerektirmediği durumlarda betonarme duvarlara yerleştirilecek olan düşey ve yatay donatılar aşağıda verilecek değerlerden daha az olmamalıdır.

1. Betonarme duvarların iki yüzündeki düşey donatı alanlarının toplamı duvar tüm kesitinin 0,0015'inden az olmaması gerekir. Ayrıca iki yüzdeki yatay donatı alanlarının toplamı da aynı değerden az olmamalıdır.

2. Düşey ve yatay donatı aralıkları duvar kalınlığının 1.5 katından ve 300 mm'den fazla olmamalıdır.

3. Betonarme duvarın iki yüzündeki donatı ağları 1 m^2 duvar yüzeyinde en az dört tane çiroz ile karşılıklı olarak bağlanmalıdır.

Konsol istinat duvarlarında yerleştirilecek minimum ana donatı oranı ve donatı aralığının bir doğrultuda çalışan döşemelerde olduğu gibi Dek. 7.1'i sağlaması gerekir.

$$\rho \geq \rho_{min} = 0{,}003 \text{ (S 220) ve 0.002 (S 420; S 500)} \quad \textbf{(7.1a)}$$

$$s \leq s_{max} = 1{,}5.h_f \quad \textbf{(7.1b)}$$

$$s \leq s_{max} = 0{,}2 \text{ m} \quad \textbf{(7.1c)}$$

Benzer şekilde ana donatıya dik dağıtma donatısı da yerleştirilmeli ve dağıtma donatıları Denk. 7.2'yi sağlamalıdır.

$A_{sdağıtma} \geq A_s/5$ **(7.2a)**

$s \leq s_{max} = 2.h_f$ **(7.2b)**

$s \leq s_{max}$ = 0,25 m (S 220) ve 0,30 m (S 420; S 500) **(7.2c)**

Bu denklemlerdeki, $A_{sdağıtma}$ dağıtma donatısının kesit alanını, h_f duvar kalınlığını, s etriye aralığını, ρ_{min} minimum donatı oranını göstermektedir.

Düşey perdelere yatay ve düşey doğrultuda beton büzülmesi ve sıcaklık farkı etkisi sebebiyle donatı yerleştirilmeli ve yerleştirilecek bu donatılarda Denk. 7.3'e uyulmalıdır. Yatay doğrultuda 0.0025 oranı ile hesaplanan donatının 2/3'ü ön yüze ve 1/3'ü arka düşey doğrultuda, 0.0015 oranı ile hesaplanan donatının ise tamamen ön yüze konulması gerekir **(Celep ve Kumbasar, 2001).**

A_s = 0,0025.b.h (yatay) Arka yüze 1/3.A_s, Ön yüze 2/3.A_s **(7.3a)**

A_s = 0,0015.b.h (düşey tamamı ön yüze) **(7.3b)**

İstinat duvarlarının konstrüktif donatıları da içeren çeşitli donatı düzenlemelerine EK G'de yer verilmiştir.

7.2 Depolar

İnsanların ihtiyacı olan sıvıları depo etmek ve ihtiyaçlarına göre bu depo yerlerinden ihtiyaç yerlerine ekonomik ve uygun şekilde sevkederek orada kullanmak durumu ile uygulamada çok karşılaşılır. Bu amaçla sıvı depoları inşa ve tesis edilir.

Sıvı depolarında suların depo edilmesinin yanısıra sudan başka sıvıların da depo edilmesi söz konusu olabilir. Su depoları da temiz ve pis su depoları olarak teşkil edilebilirler. Temiz su depoları amaçlarına göre gömme, kısmen gömme, zemin üstü ve ayaklı depolar olarak teşkil edilebilirken, pis su depoları genelde ağzı açık ve havuz şeklinde yapılır. Yüzme havuzları da bu anlamda depolara girmektedir.

Depoların projelendirme ve inşaat safhalarında sızdırmazlık ve dayanıklılık esas alınır. Depoların yapımında betonarme, öngerilmeli beton, prefabrike beton, kargir, çelik ve ahşap malzemeleri tercih edilebilir. Ahşap, daha çok sızdırmazlığın önemli olmadığı geçici depolarda kullanılabilir.

Depo şekillerinin tespitinde bir yandan ihtiyaç bir yandan sızdırmazlık gibi düşünceler etkili olmaktadır. Depo uygulamalarında depo yatay kesiti kare, dikdörtgen, dairesel veya çokgen olabilir.

Depolarda göz önüne alınması gereken kuvvetler genelde şu şekilde gösterilir:

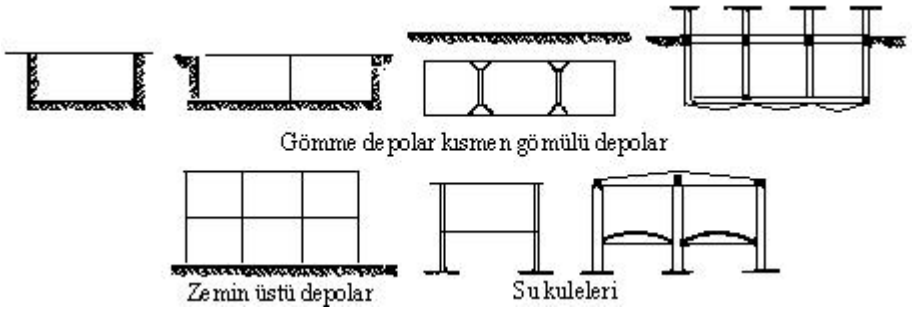
1. Deponun toprağa tamamen veya kısmen gömülü olması halinde depoyu çevreleyen toprak depoya toprak itkisi uygular. Toprak itkisinin sürekli bulunacağından emin olunmadığı takdirde, bu itki olmadan sıvı ile dolu durum hali göz önüne alınmalıdır.

2. Depoların tabanı yeraltı su seviyesinin yukarısında bulunmuyorsa suyun kaldırma kuvveti etkisi de işe karışacaktır.

3. Ayaklı depoların teşkil edileceği durumlarda depoya kendi yükü ve sıvı yükünden ileri gelen düşey yüklerinden başka deprem ve rüzgar etkileri önem kazanacaktır **(Demir ve diğ, 1988)**.

7.2.1 Dikdörtgen Kesitli Depolar

Dikdörtgen kesitli depolar açık, kapalı bir veya birçok bölmeli yapılabilirler. Birden çok gözlü depolar çoğu zaman tek katlıdırlar. Dikdörtgen kesitli depolar, Şekil 7.8'de verildiği gibi çeşitli şekillerde olabilirler.

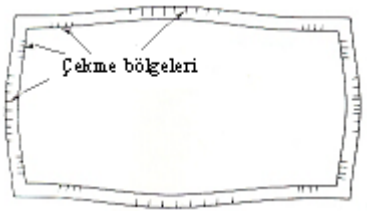


Şekil 7.8 Dikdörtgen Kesitli Depolara Örnekler

Dikdörtgen depoların donatı düzenlerini uygun şekilde oluşturabilmek için öncelikle depoyu oluşturan elemanların çalışma biçimleri anlaşılmalıdır. Aşağıda dikdörtgen depoları meydana getiren elemanların (döşeme tabanı, yan duvarlar, tavan) çalışma biçimleri ve donatı düzenleri belirtilecektir.

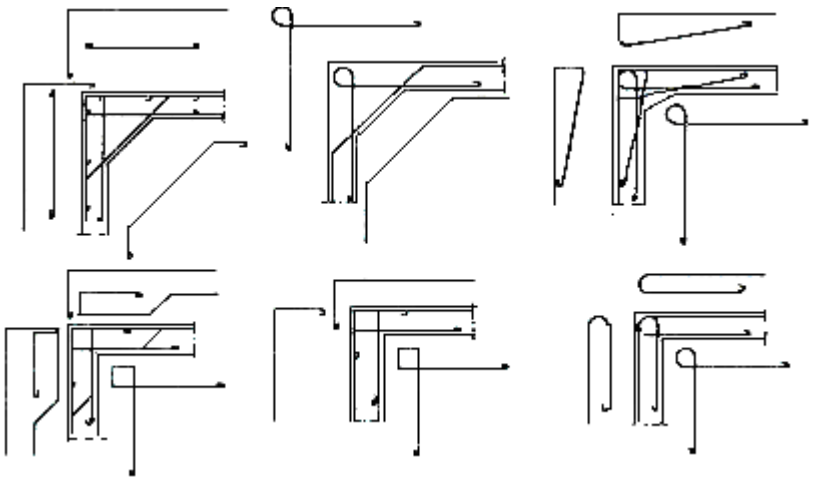
Döşeme tabanı plak döşeme, büyük açıklıklarda ise kirişli döşeme veya kirişsiz mantar döşeme olarak teşkil edilebilir. Bu durumda depo içinde kolonlar düzenlenmelidir. Yan duvarlar da plak, kirişli döşeme, nervürlü döşeme bazen de

silindirik olarak teşkil edilebilirler. Tavan konstrüksiyonu da taban gibi plak, büyük depolarda mantar veya nervürlü döşeme seyrek olarak da silindirik ve konik olarak yapılabilir **(Demir ve diğ, 1988)**.



Şekil 7.9 Depoların Dış Yükler Altındaki Deformasyon Şekli

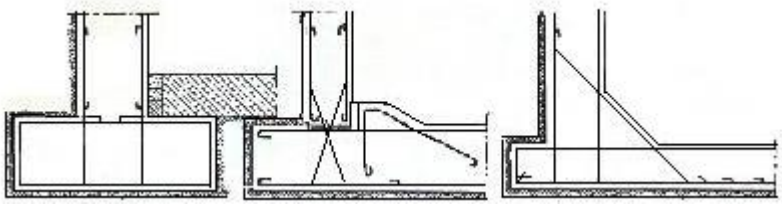
Dikdörtgen kesitli depolar statik olarak plaklardan oluşan yüzeysel taşıyıcılar gibi ele alınabilirler. Sıvı basıncı olan yük yan duvarlara ve tabana dik olarak etkir ve birbirlerine dik iki doğrultuda eğilme momentleri oluşur. Zemin üstünde ve kısmen zemine gömülü açık depolarda depo tabanı ile yan duvarlar derzler ile ayrılırsa yan duvarlar konsol istinat duvarları gibi çalışırlar. Yer üstü depolarda genel deformasyon biçimine örnek Şekil 7.9'da gösterildiği gibi verilebilir **(Barker, 1967)**.



Şekil 7.10 Dikdörgen Kesitli Depoların Duvar Donatı Detayları

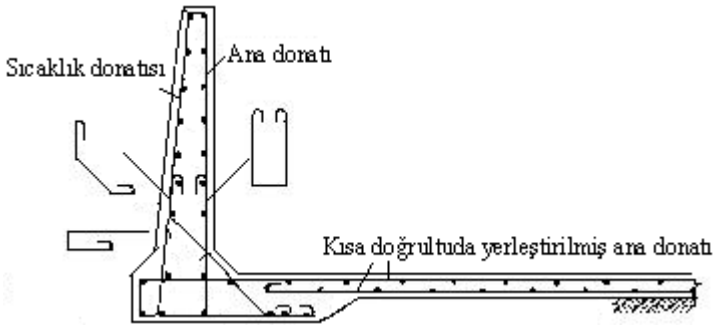
Kesit boyutlarına ve depo yüksekliğine bağlı olarak yan duvarlar konsol plak (büyük boyutlu alçak açık depolar), üç tarafından mesnetli bir tarafı boşta olan plak (üstü açık küçük depolar) ve dört tarafından mesnetli plaklar (kapalı depolar ve üst kenarından bir rijit kirişle donatılmış üstü açık depolar) olarak çalışabilirler. Yan duvarlar düşey ve yatay kirişlerle bir ve iki doğrultuda çalışan sürekli plaklar halinde de teşkil edilebilirler. Plaklar yatay doğrultularında ekzantrik çekme kuvvetine, düşey doğrultuda ekzantrik basınç kuvvetine göre hesaplanıp

donatılmalıdır. Depo duvarlarında uygulanan donatı düzenlemelerine örnekler Şekil 7.10'da gösterildiği gibi verilebilir.



Şekil 7.11 Depo Tabanının Duvarla Birleşim Detayları

Depo ister alttan ankastre ister alttan ve üstten basit mesnetli olsun duvarlara sadece düşey doğrultuda ana donatı yatay doğrultuda ise ısı ve rötre donatısı yerleştirilir. Duvar ile depo tabanı arasındaki birleşim monolitik, mafsallı veya kayıcı mafsallı olabilir. Tam ankastrelik kalın taban plağında veya geniş temelde gözönüne alınır. İnce taban plağı ve dar temel pabucunda ankastrelik elastiktir. Şekil 7.11'de depo tabanının duvar ile birleşimlerinin donatı düzenleri gösterilmektedir **(Demir ve diğ., 1988)**.



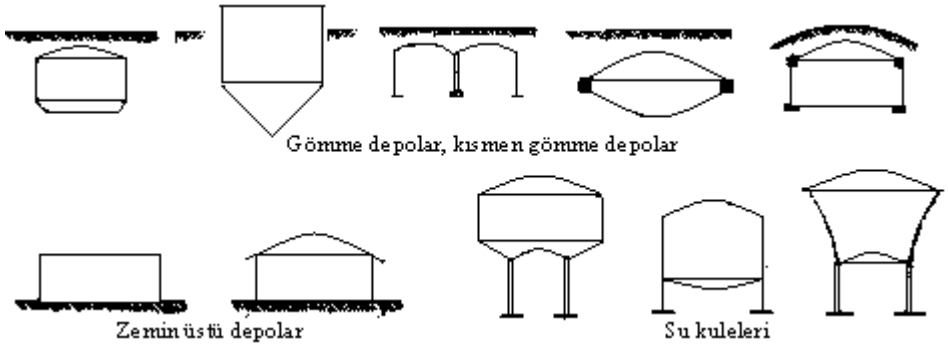
Şekil 7.12 Dikdörtgen Kesitli Depoların Temellerine Ait Donatı Düzeni

Taban plağında donatılar hem alta, hem de üst tarafa yerleştirilmelidir. Bir taraftaki donatılar depolar dolu iken su basıncına karşı, diğer donatılar depo boş iken zemin basıncına karşı mukavemet göstereceklerdir. Asal ve dağıtma donatıları da döşemeler bölümünde belirtilen ilkelere göre düzenlenmelidir. Şekil 7.12'de depo temellerine ait donatı düzeni gösterilmiştir **(Barker, 1967)**.

7.2.2 Dairesel Kesitli Depolar

Bu tip depoların yatay veya düşey dönme eksenine sahip dönel kabuklar olarak iki sınıfa ayrılması söz konusudur. Yatay dönme eksenine sahip depolar genellikle çelikten imal edilirler. Dönel simetrik kabukların yüzeyleri bir doğrunun veya bir eğrinin bir dönme ekseni etrafında dönmesi sonucu elde edilirler. Dönen elemanın

şekline göre küresel kabuk, silindirik veya kabuk ismini alırlar. Dairesel kesitli depolara örnekler Şekil 7.13'te gösterildiği gibi verilebilir **(Demir ve diğ, 1988)**.

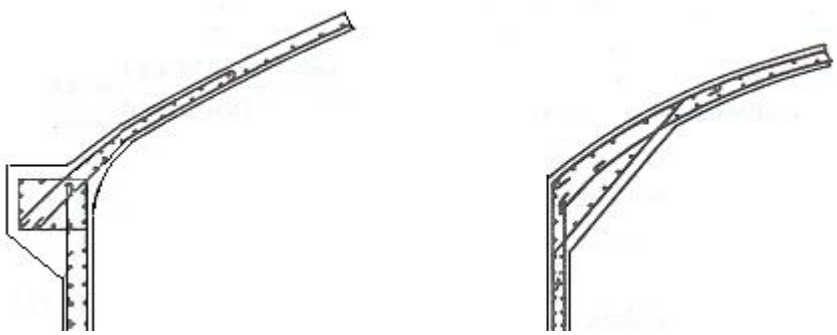


Şekil 7.13 Dairesel Kesitli Depolara Örnekler

Dairesel depolarda uygun donatı düzenini sağlamak için önce dairesel kesitli depoların elemanlarının davranışlarının bilinmesi gerekir. Dairesel depolar da dikdörtgen depolar gibi tavan, depo duvarı ve depo tabanı olmak üzere üç ana elemandan oluşurlar.

Demir ve diğ. (1988)'de dairesel kesitli depo tavanlarının yan duvarlara basit mesnetli olarak mesnetlenmesi durumunda dairesel plak, küresel kabuk, kirişli döşeme veya mantar döşeme sisteminin düşey yüklere göre donatılanması gerektiği belirtilmektedir.

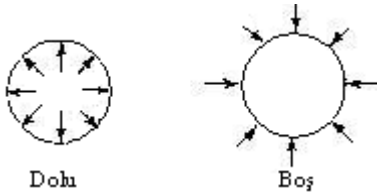
Depo tavanı, depo yan duvarları ile monolitik olarak teşkil edilmişse, birleşim kesitinde ortaya çıkacak kesit zorlarının donatı hesabında dikkate alınması gerekir. Bir tavan döşemesinin silindirik yan duvarlarla birleşiminde 1/1 veya 1/3 eğimli guse teşkil edilebilir veya bir çember kirişi yerleştirilebilir. Küresel kabuk ile yan duvarları ile birleşimi guseli ve çember kirişi ile teşkil edilebileceği gibi gusesiz de teşkil edilebilir. Monolitikten kurtulmak için çember kirişi yan duvarlardan bir derz ile de ayrılabilir.



Şekil 7.14 Kabuk Tavan ile Duvar Donatı Detayları

Monolitik kabuklar meridyen ve parelel daire doğrultusunda donatılırlar. Genellikle bir kat donatı kullanılır. Çember boyunca ortaya çıkan eğilme momentlerini almak üzere Şekil 7.14'te görüldüğü gibi meridyen doğrultusunda üst donatı da yerleştirilir.

Planda dairesel görünümü olan depolara boş ve dolu halde etkiyen yükler farklı olur. Şekil 7.15'te bu durum gösterilmektedir. Depo dolu iken su basıncı, depo duvarlarında sadece çekme etkisini, boş iken zemin itkisi de beton tarafından karşılanabilecek basınç etkisini meydana getirmektedir. Depo duvarları tek taraflı donatılandırılmaktadır **(Barker, 1967).**



Şekil 7.15 Dairesel Kesitli Depolara Etkiyen Yükler

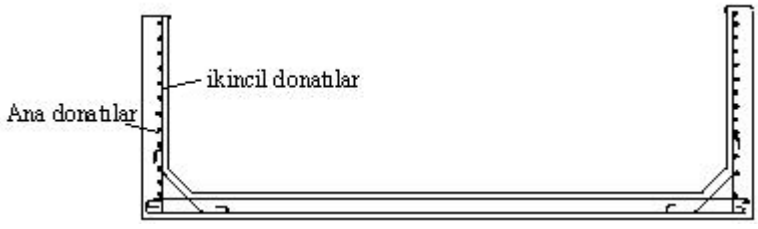
Demir ve diğ. (1988)'de, ince duvarlarda çember ve düşey donatı yerleştirildiği halde 15 cm'den daha kalın duvarlarda iki katlı donatının kullanılmasının daha uygun olacağı belirtilmektedir.

Dairesel depo tabanlarının donatı düzenlerinde aşağıdaki hususlar dikkate alınabilir.

Yükseklik arttıkça ana donatıların çaplarının küçülmektedir. Donatı çaplarının küçülmesinin sebebi, su basıncının yükseklik arttıkça azalmasıdır.

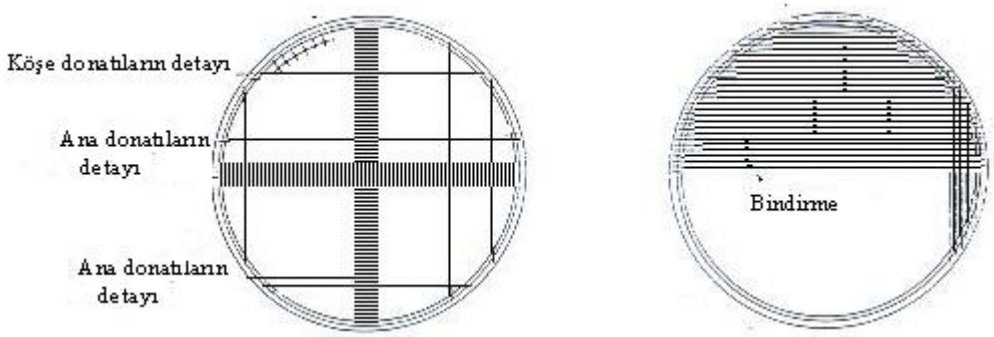
Donatı aralıklarına karar verilir iken, döşemeler konusunda anlatılmış olan donatı düzenleme ilkelerine dikkat edilmesi gerekmektedir. Duvar kalınlıkları ile döşeme kalınlıkları yaklaşık aynı değerlerde olabilir. Donatıların bindirme boylarının donatı çapının 40 katı olması tavsiye edilebilir.

Şekil 7.16'da dikkat çekilmesi gereken önemli bir husus taban plağı ile duvar arasındaki geçiştir. Bu geçiş güvenli olarak Şekil 7.16'da görülen diyagonal çelik çubuğu ile sağlanması tavsiye edilmektedir **(Barker, 1967).**



Şekil 7.16 Dairesel Depolarda Donatı Düzeni

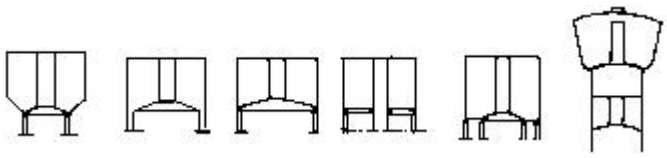
Taban plağına ait donatı düzeni düşey duvarlardan farklılık göstermektedir. Taban plağındaki donatıların çift taraflı olarak yerleştirilmesi gerekir. Depo dolu olduğu zaman alt lifteki donatılar, boş olduğu zaman ise üst lifteki donatılar çekme etkisini almaktadırlar. Depo tabanlarında kullanılması önerilen en uygun donatı düzeni çelik hasırlar ile sağlanabilmektedir. Şekil 7.17'de dairesel depo taban düzenlerine örnek verilmiştir **(Barker, 1967).**



Şekil 7.17 Dairesel Depoların Tabanına Ait Donatı Düzenlemeleri

7.2.3 Ayaklı Depolar

Bazı durumlarda suyun yeterli basınçta olması gerekebilir. Böyle durumlarda deponun zemin içinde veya zemin üstünde olması bu ihtiyacı karşılamaz. Bu amaçla depo kotunun yükseltilmesi için ayaklar üzerine depo oturtulmasıyla su kuleleri teşkil edilmiş olur. Şekil 7.18'de ayaklı depolara örnekler verilmiştir. Deponun içine girebilmek için ortasında bir baca kısmının olması uygun olmaktadır.

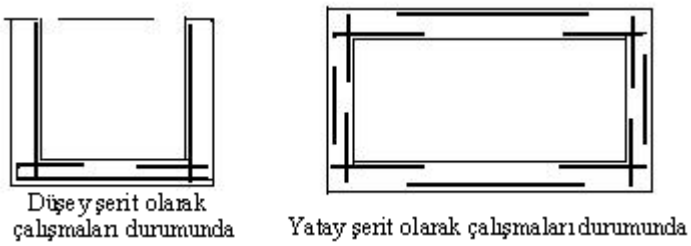


Şekil 7.18 Ayaklı Depolara Örnekler

Esas depo kısmını taşımak üzere silindir veya kesik koni ya da pilon şeklinde ayak kullanılır. Bu ayaklarda da depoya çıkış için merdiven bulunur. Daha evvel belirtildiği gibi ayaklı depolar dikdörtgen veya dairesel şekillerde de olabilirler.

Dikdörtgen ayaklı depolar farklı şekillerde tasarlanabilirler. Yan duvarlarının düşey şerit halde çalışıp, yatay şerit halde çalışmaması için yatay boyutunun büyük, düşey boyutunun küçük olması gerekir. Bunun sağlandığı durumlarda üst uçları kirişsiz ise konsol plak halinde hesaplarda göz önüne alınır. Üst uçta kiriş olması halinde ise tek doğrultuda çalışan döşeme olarak düşünülür. Deponun derinliğinin büyük, yatay

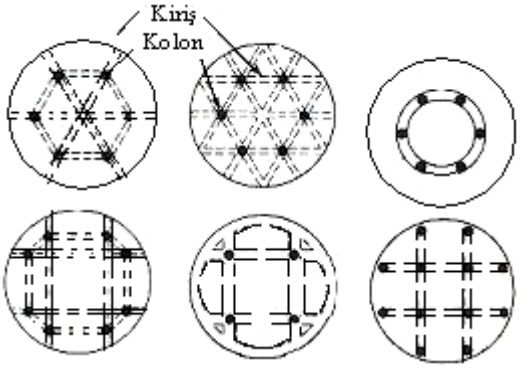
boyutlarının ise küçük olması durumunda yan duvarlarının plak olarak çalışmaları yatay doğrultuda olur. Bu iki duruma göre ana donatı düzenleri Şekil 7.19'da gösterildiği şekilde olacaktır **(Demir ve diğ., 1988)**.



Şekil 7.19 Düşey ve Yatay Çalışma Durumlarında Ana Donatı Düzenleri

Ayaklı depolarda diğer depolardan farkı, ayaklara gelecek ölü yükler, ısı ve rötre tesirleri ile rüzgar ve deprem gibi etkilerin de göz önüne alınmasıdır. Ayakların herhangi bir yatay düzlemle kesilmesi durumunda normal kuvvet kesme kuvveti ve momentlerin bulunacağı aşikardır.

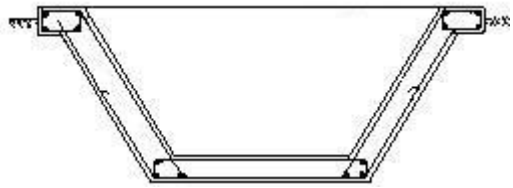
Ayakları teşkil eden kolonların üst uçları depoya, alt uçları temele ankastre sayılabilecek şekilde monolitik olarak bağlıdır. Bunun dışında stabiliteye arttırmak için aralarında çokgen veya daire teşkil eden kirişlerle monolitik olarak bağlanırlar. Ayakların çeşitli şekillerdeki teşkillerine Şekil 7.20'de örnekler verilmiştir **(Barker, 1967)**, **(Demir ve diğ., 1988)**.



Şekil 7.20 Su Kulelerinde Ayakların Teşkillerine Örnekler

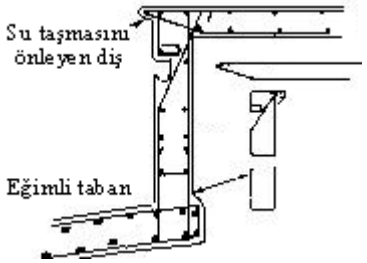
7.2.4 Depolarda Farklı Uygulamalar

Normal depoların zemin şartları zemin hafriyatını düşey yapmaya izin vermez ise veya bu tür bir uygulamanın çok pahalı olduğu durumlarda duvarları eğimli olan depoların yapımı tercih edilebilir. Eğimli duvarları olan depo donatı düzenine Şekil 7.21'de örnek gösterilmiştir.



Şekil 7.21 Eğimli Depolara Ait Donatı Düzeni

Aynı şekilde bu tip depoların dış duvarları iki taraftan da donatılmış olması gerekir. Bundan önce belirtilen depo türlerine ait donatı düzenleme kurallarıyla aynıdır. Yalnız burada paspayının artırılması uygun olacaktır.



Şekil 7.22 Yüzme Havuzlarında Donatı Düzenlemeleri

Yüzme havuzları da eğimli taban plağına sahip depolar olarak düşünülebilir. Yüzme havuz1arında su taşmasını engelleyici Şekil 7.22'deki gibi ve tutunmayı sağlayacak dişler yapılmalıdır **(Barker, 1967)**.

7.3 Silolar

Silolar daneli malzemenin depo edilmesi amacı ile kullanılırlar. Daneli malzeme çeşitli tahıl ürünleri olabildiği gibi değişik endüstri dallarında kullanılan maden cevheri, kömür, kum, çakıl gibi ham maddeler veya çimento, küspe, kül vb. endüstri ürün ve atıkları olabilir.

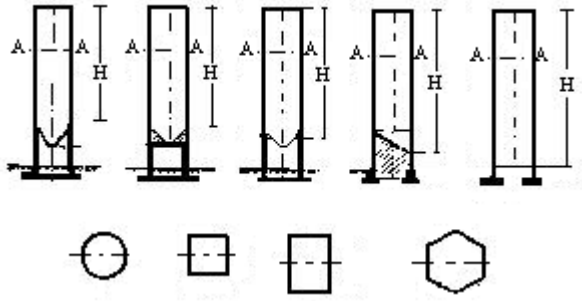
Tahıl ürünleri yılın ancak belirli aylarında toplanabilmekte fakat, bu ürünler bütün yıl boyunca kullanılmakta veya üretim fazlası olan yıllardan üretimin az olabileceği yıllara saklanmaktadır. Bu depolamanın uygun koşullarda yapılmaması ve yeteri kadar sık aralıklarla havalandırılmaması ürünlerin bozulmasına neden olur.

Öte yandan endüstri üretim tesislerin kullandığı ham maddelerin üretiminin sürekli olabilmesi açısından yeteri kadar depolanması ve ürün ya da atıkların gerekli yerlere iletilinceye kadar depolanması gerekir. Bu depolama işleminin yükleme ve boşaltmada kolaylık sağlaması ve bazı daneli maddelerde gerekli havalandırmanın

malzemeyi aktarılarak yapılabilmesi amacıyla inşa edilen özel tipte yapılara silo adı verilir **(Kumbasar ve diğ., 1992)**.

Siloların yapımında kullanılan malzemeler tugla, ahşap, çelik, betonarme veya öngerilmeli beton olabilir. Çok çeşitli teknolojik faktörler degişik biçimlerdeki siloların yatay ve düşey donatısını belirler. Hem bu faktörler hem de yangına karşı arzu edilen dayanıklılık ve işletim sırasındaki bakım masraflarının az olması için betonarme veya öngerilmeli betondan yapılan siloların kullanılması daha uygundur.

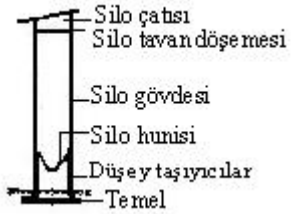
Şekil 7.23'te gösterildiği gibi siloların yatay kesitleri dikdörtgen, çok kenarlı veya dairesel biçimli olarak teşkil edilebilir **(Sayitoğlu, 1987)**



Şekil 7.23 Silo Kesit Tipleri

7.3.1 Silo Elemanları

Bir silo altı ana elemandan oluşmaktadır. Her tip siloda bu altı eleman bir araya getirilerek silo grupları teşkil edilebilir. Şekil 7.24'te siloyu oluşturan bölümler gösterilmiştir.



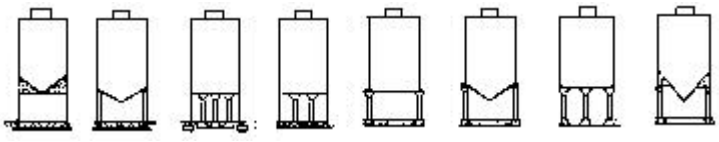
Şekil 7.24 Silonun Bölümleri

Silonun doldurulması genellikle üstten yapılır. Depolanacak malzemenin silolara iletimi sırasında atmosfer şartlarından korunması amacıyla silo tavan döşemesi üzerine bir galeri (silo çatısı) teşkil edilir. Bu galeri monolitik veya prefabrik olabilir. Monolitik olarak teşkil edilirse silo çeperleri ile rijit bağlantılı olduğu için hacimsel rijitlik sağlanmış olunur.

Silo tavan döşemesi olarak 6 m açıklıklara kadar ortasında bir doldurma boşluğu bulunan betonarme plak yeterli görülebilir. Daha büyük açıklıklarda ise nervürlü döşeme veya kaset döşeme yapılması gerekecektir.

Siloların gövdesi silindirik veya prizmatik kabuk şeklinde olabilir. Silo gövdesine uygun olarak teşkil edilmiş malzeme alma deliği veya deliklerini içeren eleman plağı, prizmatik bir huni veya kesik koni şeklinde olan eleman ise silo hunisini (tremi) oluşturmaktadır.

Silo düşey taşıyıcı elemanlarının seçiminde malzeme alınışı rol oynar. En basit bir silo tipi çok rastlanmamakla birlikte temelden itibaren teşkil edilenleridir. Bu durumda malzeme alınışı yan duvarlardaki ağızlardan doğrudan doğruya veya pünomatik şekilde olur. Genellikle silolarda silo hücresinin altında Şekil 7.25'te görüldüğü gibi çeşitli hacimler teşkil edilir. Silo gövdesi ya bu hacmin duvarlarına veya betonarme kolonlar üzerine mesnetlenir.



Şekil 7.25 Silo Altı Çeşitli Hacim Teşkilleri

Silo altındaki bu hacim malzeme alınması için kullanılır. Uzun bir süre dolu olan bir silo boşaltıldığında betonun sünmesi nedeniyle kolonlarda yatay çatlaklar oluşacağından bunları en aza indirmek için yatay yüklerden gelen etkiler önemli değilse boyuna donatı oranı düşük tutulur. Yatay yüklerden doğan etkilerin büyük olması durumunda ise düşük boyuna donatı oranı elde etmek için kolon boyutları büyültülür.

Silo elemanlarından biri olan temellere özellikle dikkat edilmelidir. Küçük temel alanlı yüksek silolarda fazla hareketli yük salınımlara ve doldurmaya bağlı olarak meydana gelen değişik şekilde dağılan zemin basınçları farklı oturmalara sebep olabilir. Silolarda genellikle derin veya yüzeysel temeller tercih edilir. Zemin koşullarının iyi olması durumunda tekil temel teşkili uygun olabilir. **(Kumbasar ve diğ., 1992)**.

7.3.2 Silolara Gelen Yükler

Silolara etkiyen yükler **TS 6989 (1989)**'da aşağı belirtildiği gibi verilmektedir. Öz ağırlık ve siloya monte edilmiş sabit ekipmanın ağırlığı sabit yükleri oluştururken, silo içindeki malzemenin ağırlığı, hareketli donanım, rüzgar, kar ve deprem yükleri hareketli yükleri oluşturmaktadır. Ayrıca silonun bulunduğu yer ve karşılıklı cidarlarından birinin güneş alırken, diğerinin gölgede kalması ile oluşacak sıcaklık farkları gibi etkilerin de dikkate alınması gerekir.

Sabit yükler etkisi altında silolarda düşey doğrultuda eksenel kuvvet söz konusu olur. Çeper sürtünmesinin de düşey doğrultuda benzer etki oluşturacağı gözönüne alınmalıdır.

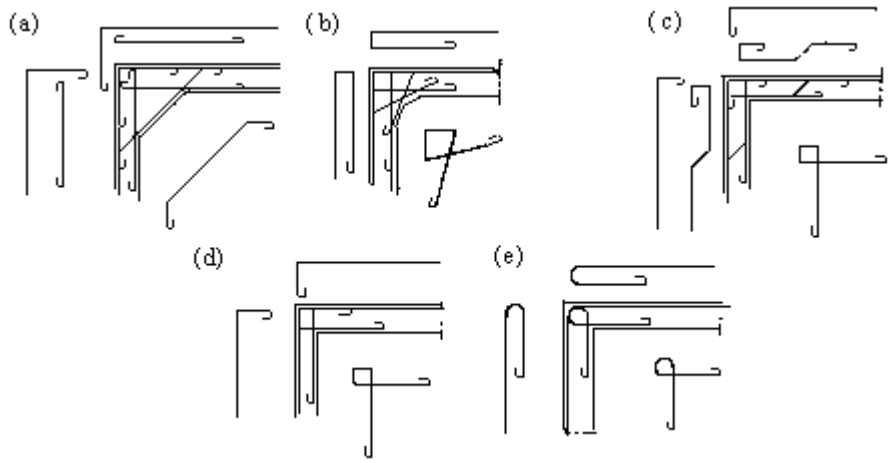
Malzeme yükü silo çeperlerine yatay ve düşey yönde etki eden kuvvetler oluşturur. Bu kuvvetlerin şiddeti içsel sürtünme açısı ile malzeme çeper sürtünmesine bağlıdır. Sürtünme açıları gerçekte basınca bağlı olarak değişmektedir. Ancak bu değişimin göz önüne alınması oldukça zor olduğundan bunun yerine ortalama bir değer kullanılmaktadır **(Kumbasar ve diğ., 1992)**.

7.3.3 Dikdörtgen Silolar

Dikdörtgen kesitli silolarda tek hücreli (özellikle enkesiti kare), çok hücreli tek sıralı veya çok sıralı sistemler kullanılmaktadır. Kare veya dikdörtgen hücrelerin yatay kesitteki boyları genellikle 4-5 m'yi geçmez iken, istisna durumlarda teknolojik sebeplerden hafif malzeme yüklenmesi durumunda yatay düzlemde daha büyük boyutlu 10 m'yi pek geçmemek kaydı ile gözler kullanılır. Genellikle dikdörtgen kesitli silolar daha küçük hacimlerde ve az sayıda gözü olan silolarda tercih edilirler.

Dikdörtgen silo gövdesi diğer komşu siloların etkisi gözönüne alınmadan kapalı çerçeve olarak hesaplanmazlar. Dikdörtgen siloların duvarlarında çekme kuvvetinin dışında egilme momentleri de oluşmaktadır. Çok gözlü silo grubunun hesabında bir hücrenin doldurulmasının eğilme momenti üzerindeki etkisi gözönüne alınmalıdır **(Sayitoğlu, 1987).**

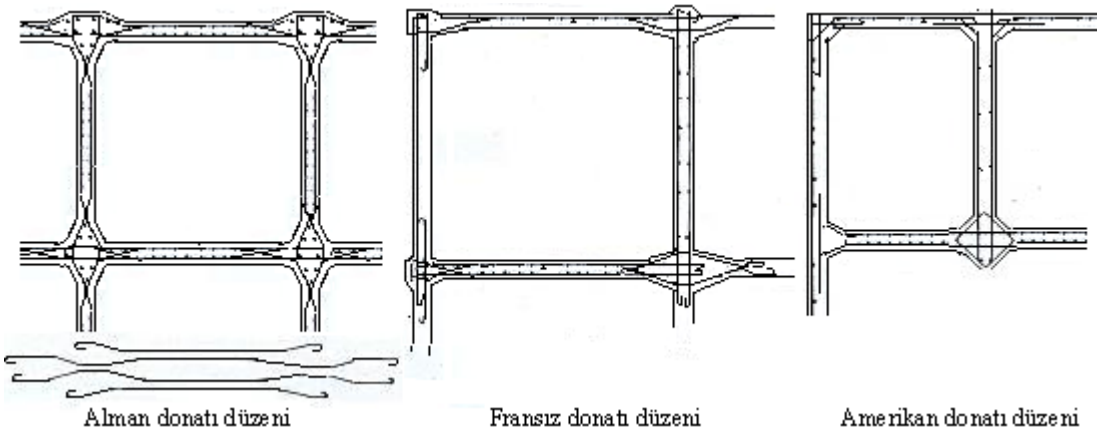
Dikdörtgen kesitli siloların duvarlarındaki mesnet momentleri fazla olduğunda donatıdan tasarruf etmek için kalınlığı arttırmak yerine yatay guse de yapılabilir. Şekil 7.26'da silo duvarlarının guseli ve gusesiz teşkillerindeki köşe donatı düzenleri gösterilmiştir.



Şekil 7.26 Köşe Donatı Türleri

Şekil 7.26(a) ve (b)'de guseli köşe biçimlerinin donatı düzenleri gösterilmiştir. Şekil 7.26(b) alanın kullanımı açısından uygun olduğu halde donatı teşkili zordur. Gusesiz köşelerde Şekil 7.26(c) deki donatı daha ekonomik ise de daha fazla işçilik gerektirmektedir. Şekil 7.26(d) ve (e)'deki çözümde mesnet momentleri ilave donatı ile karşılanmakta olup donatı sarfiyatı fazladır. Bu çözüm farklı çeper kalınlıkları için uygundur **(Kumbasar ve diğ., 1992)**.

Dikdörtgen silo duvarlarındaki donatı düzenleri ise onların konumlarına bağlıdır. Yalnızca tek yönlü yüklü dış duvarlar tek taraflı, buna karşı iç duvarlar daima iki taraflı donatılmalıdır. Dikdörtgen silo duvarlarının donatı teşkil biçimleri çeşitli ülkelerde birbirinden farklı şekillerde yapılmaktadır. Şekil 7.27'de dikdörtgen silo duvarlarının çeşitli donatı düzenlerine örnekler gösterilmiştir.

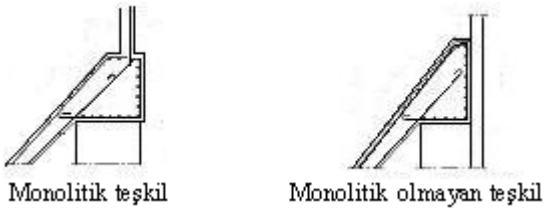


Şekil 7.27 Dikdörtgen Silo Duvarlarında Çeşitli Donatı Düzenleri

Alman donatı düzeni simetrik guseleri ile tanınır. Bükülmüş çubuğun kesim noktası yaklaşık olarak moment diyagramının sıfır noktasına kadar gider. Amerikan donatı

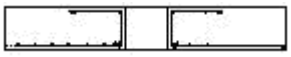
düzeni ise uygulamada çok daha basittir. Duvarlarda özel guseler yoktur. Yalnızca düğüm noktalarında kare duvar kalınlaşması yapılır ve buralar kancalı düşey çubuklarla donatılır. Fransız donatı düzeninde ankaraj boyunu uzatmak için dışarı taşan kolonlar kullanılır. Ayrıca düğüm noktalarını kuvvetlendirmek için ek donatılar kullanılır **(Sayitoğlu, 1987).**

Silo gövdesi ile kesik koni şeklindeki silo hunileri monolitik yapılabildiği gibi gövdeden bağımsız taşıyıcılara veya bir halka kirişi vasıtasıyla düşey taşıyıcılara oturabilir. Monolitik bağlantıda huni ile gövde arasında gövdenin kalıplanabilmesi için bir genişleme yapılarak halka kirişi teşkil edilir. Şekil 7.28 de silo hunilerinin monolitik ve monolitik olmayan teşkillerindeki donatı düzenleri gösterilmiştir.



Şekil 7.28 Hunide Halka Kiriş Donatı Düzenlemeleri

Silo taban plağının ortasında malzeme alınışını sağlamak için delik bulunmaktadır. Taban plağının ortasındaki deliklerde uygulanması gereken donatı düzeni Şekil 7.29'da verildiği gibi olmalıdır.



Şekil 7.29 Silo Delik Taban Plağında Donatı Düzeni

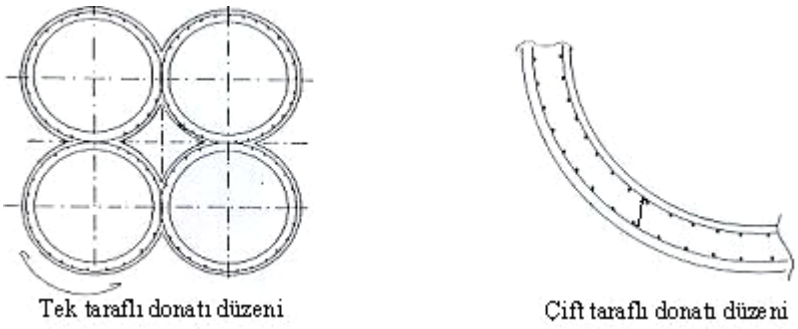
Gövde ve huni dışında kolon temel, döşeme gibi elemanlarının boyutlandırılıp donatılmasında TS 500 ve TS 6989'da öngörülen konstrüktif esaslara uyulmalıdır **(Kumbasar ve diğ., 1992)**.

7.3.4 Dairesel Silolar

Daire biçimli silo hücreleri esas olarak yatay düzlemdeki çekme kuvveti etkisindedir. Bu çekme kuvvetini karşılayan donatılar duvarın esas donatıları olan çembersel donatılardır.

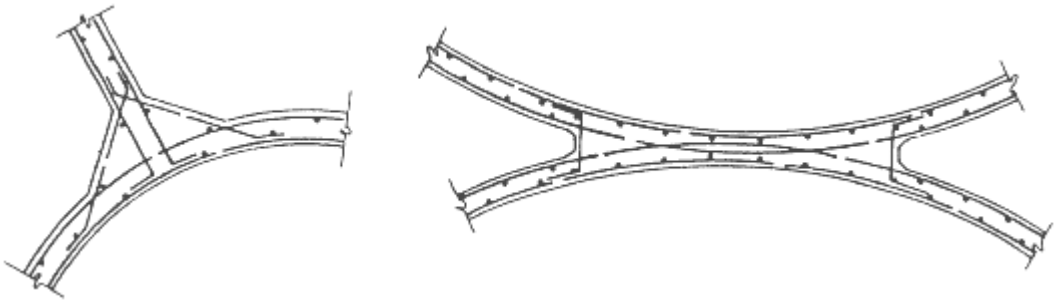
Temel olarak iki çeşit yatay donatı biçimi bulunur. Bunlardan biri duvarın bir tarafına konan donatım biçimi iken, diğeri duvarın iki tarafına konan çift donatı kullanımıdır. Düşey donatılar ise montaj amaçlı ve dağıtma donatısı olarak kullanılır.

Dairesel silolarda kalınlık boyunca çekme gerilmeleri dağılımı üniform olmadığından gövdedeki hesaplarda göz önüne alınmayan eğilme momentleri doğar. Bu sebeple dairesel silolarda iç ve dış yüzde donatı yerleştirilmesi uygun olur. Şekil 7.30'da dairesel siloların tek ve çift donatı düzenlemeleri gösterilmiştir **(Sayitoğlu, 1987).**



Şekil 7.30 Daire Kesitli Silolarda Donatı Düzenleri

Düşey donatıların kullanımı ise yatay donatıların tesbit ve taşınmasını sağlarlar. Bu donatılar komşu silo hücrelerinin farklı doldurulmalarından ortaya çıkan momentleri de karşılarlar. Ayrıca bu donatılar iç ve dış yüz arasındaki farklı sıcaklık değişiminden oluşan gerilmeleri de karşılar.

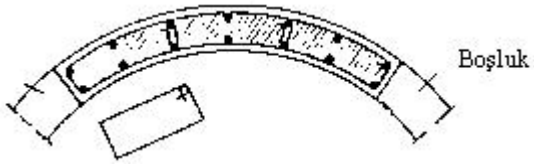


Şekil 7.31 Dairesel Siloların Birleşim Bölgelerindeki Donatı Düzenleri

Tekil silo hücreleri derzlerle birbirinden ayrılmışsa birleşim bölgelerinde çeper kalınlığı artmakta ve ilave donatılar kullanılmaktadır. İlave donatı çapı en az yatay donatı çapı kadar olmalıdır. Birleşim bölgelerindeki Şekil 7.31'de donatı düzenleri gösterilmiştir.

Silo gövdesinde pencere, kapı veya diğer boşluklar bulunabilir. Boşluğun her iki tarafına konan düşey donatılar boşluk nedeniyle kesilen düşey donatıdan az olmamalıdır. İki boşluk arasındaki dolu kısım bir kolon gibi boyutlandırılmalıdır.

Şekil 7.32 ‘de boşluk bulunan dairesel silodaki donatı düzeni gösterilmiştir **(Kumbasar ve diğ., 1992)**.



Şekil 7.32 Boşluklu Dairesel Silolarda Donatı Düzeni

7.3.5 Silolarda Konstrüktif Koşullar

Silolarda sağlanması gereken minimum tedbirler **TS 6989 (1989)**’da aşağıda belirtildiği gibi verilmektedir.

1. Cidar kalınlığı yüksekliği 15 m’den küçük olan silolarda 12 cm, kayar kalıpla inşa edilen silolarda 13 cm’den küçük olamaz.

2. Daire hücre durumunda çember şeklindeki yatay donatı iki yüze dağıtılıyorsa, iç yüzeylerdeki donatı alanı toplam yatay donatı alanının yarısından fazla olmalıdır.

3. Betonun serbest dış ve iç yüzeylerine en yakın donatı yüzeyi ile serbest beton yüzeyi arasındaki mesafe (paspayı) en az 2 cm olmalıdır.

4. Her iki doğrultudaki donatı oranı en az 0,002 olmalıdır. Dağıtma donatı miktarı asal donatının 0,25’inden az olamaz.

5. Yaygın olarak kullanılan tremi kısımında her doğrultudaki donatı oranı 0,02’den fazla olmamalıdır.

6. Cidarda aynı sıradaki yatay veya düşey donatı çubukları arasındaki mesafe 30 cm ve 2h değerlerinin küçüğünden daha fazla olamaz. Kayar kalıplarda inşa edilen silolarda yatay donatı aralıkları 25 cm’den fazla olmamalıdır. Donatının tek ızgara şeklinde konması halinde her iki doğrultudaki donatı çubukları arası mesafe 20 cm’yi geçmemelidir.

7. Aynı kesitte eklenen donatı çubuğu miktarının bu kesitteki donatı çubuğu miktarına oranı, merkezi veya dış merkez çekme etkisindeki kesitlerde 1/3, yalnız eğilme veya dış merkez basınç etkisindeki kesitlerde 1/2 oranını geçemez.

EK H’da siloların donatı düzenlemelerine örnekler verilmiştir.

8. DEPREM HASARLARI

Depremlerde tamamen çöken yapıların hasar mekanizmalarının anlaşılması pek kolay değildir. Bu nedenle deprem sonrası yapılan teknik incelemelerde ve hasar tespitlerinde genellikle orta ve ağır hasarlı yapılar üzerinde yoğunlaşılır. Bu yapılarda yapılan incelemeler sonucunda mühendislik ve uygulama açısından yapılmış olan hatalar tespit edilir. Yapıların tamamen göçmesi veya ağır hasar görmesi genellikle benzer hatalar neticesinde gerçekleşmektedir **(Kubin, 1999)**.

Betonarme yapıların depremlerden hasar görmesine hatta göçmesine neden olan tipik hataları, tasarım aşamasındaki hatalar, uygulama aşamasındaki detay hataları ve diğer etkenlerden kaynaklı hatalar olarak üç ana grupta toplayabiliriz.

8.1 Tasarım Aşamasındaki Hatalar

Depreme dayanıklı yapı tasarımı kuralları, deprem yönetmeliğimizde detaylı olarak içerildiğinden bu kurallara uyularak projelendirilen ve inşa edilen yapılarda deprem kuvvetleri sonucunda önemli bir hasar oluşması veya göçme meydana gelmesi çok uzak bir olasılıktır. Bu düşünceden yoksun taşıyıcı sistem tasarımından dolayı oluşan bazı hatalar aşağıda belirilmiştir.



Şekil 8.1 Yumuşak Kat Sorunu

Şekil 8.1'deki yapının zemin katında hemen hemen hiç duvar bulunmadığı için taşıyıcı sistemin içi rahatlıkla görülebilmektedir. Yüksekliğinin beş metrenin üzerinde olduğu görülen bu kat bir galeri olarak tasarlandığı için dış yüzeyleri geniş

camekanlarla çevrelenmiştir. Bu yapıyı tasarlayanlar mimari kaygılar nedeniyle binanın ön cephesinde hiç deprem perdesi yerleştirmeyerek, hem bir yumuşak kat hem de yüksek oranda burulma düzensizliği oluşturmuşlardır **(Kubin, 1999)**.



Şekil 8.2 Çekiçleme Etkisi Hasarı

Şekil 8.2'de görülen yapı oluşturulurken bina kenarlarındaki perde kolonlar, ortada da aynı yön seçilerek tek yönlü yerleştirilmişlerdir. Bu nedenle diğer yönde oluşan zayıf kesitler ile daha fazla ötelemeye sebep olunmuş ve her iki yanda bulunan komşu yapıların çekiçleme etkisi ile de çökme meydana gelmiştir. Zemin kattaki dükkan katı zayıf kat etkisi ile tamamen çökmüştür.



Şekil 8.3 Yatay Rijitlik Dengesizliği

Şekil 8.3'te de benzer bir hata söz konusudur. Zemin katı işyeri olarak kullanılan yapılarda, bu zayıf kat kolonlarının göçmesi sonucu, yapı takriben 30° lik açı ile kendi istikametinden dönerek yıkılıyor. Bina cephesinde görülen bütün kolonlar aynı yöndedir. Arka kenarda diğer yöndeki kolon düşey aks hizasından 50 cm kadar, ön köşedeki kolonlar ise aks hizasından 3 m kadar savrulmuştur.

Şekil 8.4'te görüldüğü gibi binanın dış cephesine, cephe boyunca çıkıntı teşkil ederek yerleştirilen kolonlar kat kesme kuvvetlerine karşı yeterli dayanımı gösteremeyip burkularak kırılmalar meydana getirmiştir. Burada hatalı statik sistem seçimi söz konusu olmuştur.



Şekil 8.4 Cephe Çıkıntılarının Sebebiyle Oluşan Hasar

Şekil 8.5'te görülen binadaki kolonlar kirişlerden daha zayıf olduğundan, zayıf kolonlar üst katlarda kırılarak göçmüştür. Deprem kuvvetleriyle oluşan enerji kolon kiriş birleşmelerinde yetersiz donatı ve yetersiz kesit nedeniyle tüketilemediğinden, buralarda kırılma ve göçmeler meydana gelmiştir. Zemin katta kısmen daha güçlü kolonlar olduğundan yapı alt katta yıkılmamıştır.



Şekil 8.5 Zayıf Kolon Güçlü Kiriş Durumu

Şekil 8.6'da görüldüğü gibi zemindeki farklı oturmalardan dolayı yapının bir bölümü çökmüştür. Yapılarda zeminin farklı oturmasına izin verilmemelidir. Zemin iyileştirilerek gerekli tedbirler alınmalıdır.



Şekil 8.6 Zeminde Farklı Oturma Hasarı

Temel sisteminin uygun seçilmediği yapılara örnek Şekil 8.7'de verilmiştir. Burada deprem dalgaları sonucu oluşan zayıf mütemadi veya münferid temellerin arasından zemininin kabararak dükkan içerisinde yükselmesi görülmektedir. Zayıf zeminlerde radye temel yapılması daha uygun olacaktır.



Şekil 8.7 Temel Sisteminin Yanlış Seçimi

8.2 Uygulamalardaki Detay Hataları

Deprem bölgelerinde yapılan incelemelerde uygulamada taşıyıcı eleman boyutlarının küçültülmesi, bina boyutlarının büyültülmesi, yeterli paspayı bırakılmaması, kolon kiriş düğüm noktalarında etriyenin kullanılmaması veya çok az kullanılması gibi hatalar uygulama sırasında yapılan belli başlı hataları oluşturmaktadır. Genelde bu tip hataların işçilik, malzeme ve teknik kusurlardan kaynaklandığı görülmektedir.

Deprem yönetmeliğinin öngördüğü konstrüktif kurallara uyulmayarak, taşıyıcı sistem elemanlarında ağır hasarların meydana gelmesine sebep olan donatı yerleştirmelerindeki bazı detay hatalarına aşağıda değinilecektir.



Şekil 8.8 Kolon Kiriş Birleşim Bölgesinde Donatı Yetersizliği

Şekil 8.8'de kolon-kiriş düğüm noktasındaki donatı yetersizliği nedeni ile kiriş koparak ayrılıyor. Kirişteki etriye aralıkları çok fazla olduğundan etriyeler açılarak dağılmış.



Şekil 8.9 Kolon Sarmal Bölgesinde Etriyelerin Uygun Düzenlenmeyişi

Kolonun üst bölgesinde betonun ezilmesiyle oluşan düşey donatı akması ve etriyelerin usulüne uygun olmadığı açıldığı Şekil 8.9'da görülmektedir. Ayrıca beton kalitesinin yetersiz olduğu betonun dağılmasından anlaşılmaktadır. Sarmal bölgede yeterli etriye sıklaştırılması yapılmadığı da açıkça ortadadır.



Şekil 8.10 Birleşim Bölgesinde Etriye Bulunmaması

Şekil 8.10'daki yapıda kolonlardaki donatı çapının yetersiz olması ve kiriş hizasında kolon içerisine tekabül eden bölümde etriye konması gerekirken bu etriyelerin yerleştirilmemesi tamamen yıkılmasında etkili olmuştur.

Şekil 8.11'de görülen perdenin düşey donatılarında meydana gelen akma, etriye aralığının fazlalığı, etriyelerin uçlarının açık olarak dışarıda olması kolon içerisine doğru 135° kıvrılmamış ve perde uç donatılarının usulüne göre yerleştirilmemiş olduğu görülüyor. Ayrıca perde uç donatılarının etriyelerle çevrilerek perde uç bölgesi oluşturulmadığı ve çiroz etriyelerin yerleştirilmediği görülmektedir.



Şekil 8.11 Perdelerde Donatı Düzenleme Hataları

Şekil 8.12'de gösterilen binada da perde kolonlar düğüm noktalarından kırılarak kopmuştur. Perde uç donatıları ve çiroz etriyeler kullanılmaması bu hasarın oluşmasında etkili olmuştur.



Şekil 8.12 Perde Enine Donatı Eksikliğinden Kaynaklanan Mafsallaşma

Şekil 8.13'te betonun ezilmesi sonucu kolonun taşıma gücüne, basınç bölgesinde ulaşan deprem kuvvetleri, tüm basıncı karşılamak zorunda kalan boyuna donatının

burkulmasına sebep olmuştur. Donatının ezilmeden dağıldığı ve bu bölgede etriye aralığının çok fazla olduğu görülmektedir.



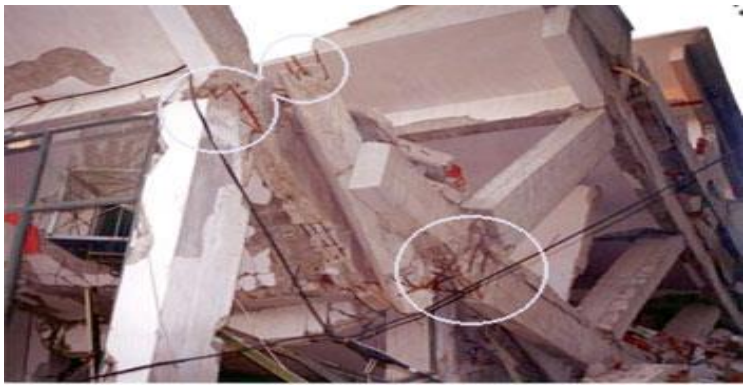
Şekil 8.13 Kolon Sarmal Bölgede Yetersiz Etriye Aralığı

Şekil 8.14'teki binanın döşeme pilye demirlerinin, bitişik döşeme içerisinde, açıklığın 1/4 ü kadar devam etmesi gerekirken daha kısa olduğu görülüyor.



Şekil 8.14 Merdiven Hasarları

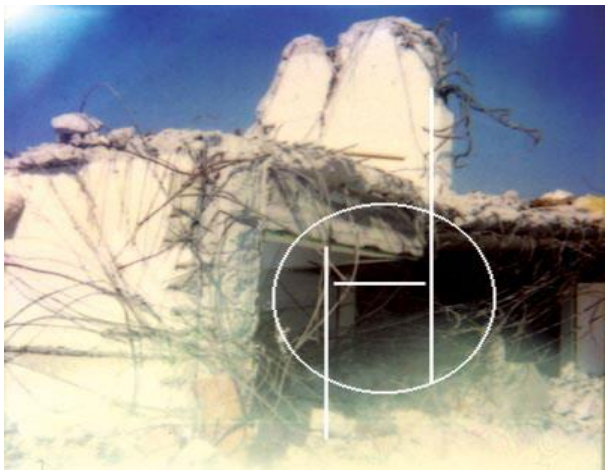
Şekil 8.15'te, kolon ve kirişlerde fark edilen donatı eksikliği yanında filiz boylarının da çok yetersiz olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 8.15 Yetersiz Filiz Boyları

8.3 Diğer Etkenlerden Kaynaklı Hatalar

Bu tip hatalar daha çok yapıyı kullanılanlar tarafından meydana getirilmektedir. Yapıya yığma kat ilavesi veya ticari amaçla kullanılan yapılarda kolon veya perdelerin kaldırılması gibi nedenlerden ötürü tasarımda düşünülemeyen bazı düzensizlik durumları meydana getirilmiş olunur.



Şekil 8.16 Perdenin Kaldırılması

Depremden önce iş merkezi olarak kullanılan yapının depremde yıkılmış olmasının en önemli nedeni zemin katın üzerindeki katta devam eden perde kolonun zemin katta devam etmemesidir. Kesitlerin çok fazla olmasına rağmen düşey taşıyıcıdaki bu düzensizlik sonucu binanın yıkılmasının önüne geçilememiştir **(Şekil 8.16)**.



Şekil 8.17 Bant Pencerelerinin Oluşturduğu Kısa Kolonlar

Şekil 8.17'de tasarımı her iki yanında duvar olmasına göre yapılmış olan düşey taşıyıcı elemanların bant pencere ışıklık kaygıları ile bir yada iki tarafının boşaltılması ile kısa kolon oluşturulmuş ve kısa kolon kısmında kesme kuvvetinin artması istenmeyen gevrek kırılma biçimine neden olmuştur **(Kiptaş, 2001)**.

9. SONUÇLAR

Sunulan bu tez çalışmasında betonarme yapıların taşıyıcı sistemleri ve elemanların donatı düzenlemeleri yönetmelikler çerçevesinde incelenmiş ve depremlerde meydana gelen hasarlardan yola çıkarak, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Yaşadığımız büyük depremlerden alacağımız derslerle yapılarımız daha güvenilir düzeylere ulaştırılmalıdır.

2. Tasarımda yapı elemanlarını daha fazla zorlayacak yapısal düzensizlik durumlarından mümkün olduğunca kaçınılmalıdır.

3. Depreme dayanıklı yapı tasarımı kurallarına uyulmadan projelendirilen ve inşa edilen yapılarda deprem kuvvetleri sonucunda önemli hasarların oluşmasını bekleyebiliriz.

4. Şiddetli depremler açısından yapının yatay ötelemelerinin sınırlandırılmasını sağlayacak deprem perdelerinin kullanılması uygun olacaktır.

5. Kolonların kirişlerden daha güçlü olmaları gerekir.

6. Yapılar tasarlandıkları gibi değil uygulandıkları gibi davranmaktadırlar. Bu nedenle tasarım aşamasındaki özen yapım aşamasında da mutlaka sağlanmalıdır.

7. Yapım aşamasının önemini bilen teknik eğitimi olan bilinçli kişilerin imalatta görev alması faydalı olacaktır.

8. Yapının teşkilindeki her aşama sıkı bir denetimden geçirilmelidir.

9. Donatı detaylandırılması ve uygun donatı düzeni ancak sağlam bir davranış bilgisine sahip olunma ile sağlanabilir.

10. Donatı detaylarında gerilmelerin kesintisiz akışı sağlanmaya çalışılmalıdır.

11. Uygulanabilir proje ve detay yapımı, istenen davranışı gösteren bir yapı oluşturulması açısından gereklidir.

12. Yapının teşkilinde kullanılacak malzemeler ön görülen yeterli kalitede olmalıdır.

13. Beton yerleşimi vibrasyonu mutlaka sağlanmalıdır. Kendiliğinden yerleşen beton yerleşimdeki olumsuzlukları önlemede bir alternatif olabilmektedir.

14. Betonarme elemanların plastik şekil değiştirme yapabilmeleri için enine donatı kullanımı ile yanal basınçları arttırılarak, yeterli dayanım ve sünekliliğe ulaşmaları sağlanmalıdır.

15. Enerji tüketimi açısından plastik mafsal oluşacak kesitte büyük şekil değiştirme kapasitesinin sarılma bölgeleri oluşturularak sağlanması gerekir.

16. Betonarme elemanlarda deprem etkileri düşünülerek, özel deprem etriye ve çirozları kullanılmalıdır.

17. Donatı yerleşiminde hasır donatı gibi uygulaması kolay olan donatı alternatifleri de kullanılabilir.

18. Donatıların kenetlenme ve bindirme boyları yeterli olmalıdır. Bindirme aynı kesitte yapıldığında oluşabilecek gerilme yığılmaları için manşon gibi özel mekanik bağlantılar da alternatif olarak kullanılabilir.

19. Hesaplanmasında güçlük bulunan problemlerde konstrüktif koşullar uygun bir yol gösterici olacaktır.

KAYNAKLAR

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998. Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.

Aka, İ., Keskinel, F., Çılı, F. ve Çelik, O.C., 2001. Betonarme, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Aka, İ. ve Altan, M., 1992. Betonarme Taşıyıcı Sistemler, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Akman, M.S., 1987. Yapı Malzemeleri, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul

Altan, M. ve Güler, K., 2001. Betonarme yapılarda taşıyıcı sistem düzenlenmesi, *T.M.M.O.B. İnşaat Mühendileri Odası İstanbul Şubesi Sonbahar-Kış Dönemi Meslek içi Eğitim Seminerleri,* T.M.M.O.B. İstanbul Şubesi Bakırköy Temsilciliği, 31 Ekim

Altan, M. ve Güler, K., 2005. Betonarme Yapılarda Taşıyıcı Sistem Düzenlenmesi Ders Notları, İstanbul.

Arda, T.S., 1968. Enine donatının aderansa etkisi, *Doktora tezi*, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul.

Atımtay, E., 2000. Açıklamalar ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Basımevi Yayın Dağıtım San. Tic. Ltd. Şti., İstanbul.

Atımtay, E., 2001. Çerçeveli ve Perdeli Betonarme Sistemlerin Tasarımı Temel Kavramlar ve Hesap Yönetemleri, METU Press, Ankara.

Baradan, B., Türkel, S. ve Felekoğlu, B., 2004. Kendiliğinden yerleşen beton, *İMO Haber Bülteni*, **Haziran 2004**, 20-24.

Barker, J., 1967. Reinforced Concrete Detailing, Oxford University Press, New York.

Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2001. Betonarme Yapılar, Rehber Matbaacılık, İstanbul.

Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.

Coza, H., 2003. Betonarme yapılarda gözlenen deprem hasarları ve nedenleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Demir, H., Altan, M. ve Güler, K., 1988. Betonarme Depolar, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul

Doğangün, A., 2002. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi Ltd. Şti., İstanbul.

Ersoy, U., 1987. Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü, Evrim Yayınevi, İstanbul.

Ersoy, U., 1995. Betonarme, Evrim Yayınevi, İstanbul.

Kiptaş, 1999. Fotoğraflarla Deprem Kuvvetleri Altında Yapıların Gösterdikleri Davranışlar, İstanbul

Köseoğlu, S., 1992. Merdivenler Statiği ve Konstrüksiyonu, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul

Kubin, J., 1999. Bir Felaketin Ardından, Sanal Gazete, Eylül 99, İstanbul.

Kumbasar, N., **Aydoğan, M. ve Altan, M.,** 1992. Betonarme Silo ve Bunkerler, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Mertol, A., 1984. Betonarme Temeller Çözümlü Problemler, Gazi Yayınevi, Ankara

Mc Cormac, J.C. and Nelson, J.K., 2005. Design of Reinforced Concrete, 6th Ed., John Wiley, New York.

Özden, K., 1978. Betonarme, İ.T.Ü.İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul

Özden, K., Trupia, A., Eren, İ. ve Öztürk, T., 1995. Betonarme İstinat Duvarları ve Perdeleri, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Sayitoğlu, A., 1987. Siloların genel konstrüktif ve hesap esasları, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Toğrol, E. ve Tan, O., 2002. Kazıklı Temeller, Birsen Yayınevi Ltd. Şti., İstanbul.

TS-500, 2000. Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS-3167, 1978. Kazık Temellerin Hesap ve Düzenlenmesinde Genel Kurallar, *Türk Standartları Enstitüsü*, ANKARA

TS-3168 EN 1536, 2001. Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar, *Türk Standartları Enstitüsü*, ANKARA

TS-6989, 1989. Betonarme Siloların Hesap Yapım ve Kullanım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, ANKARA

EKLER

EK A **:** A.B.Y.Y.H.Y. esaslarına göre betonarme taşıyıcı sistemler
EK B **:** Yapının deprem davranışı bakımından kesitteki durumları
EK C **:** Kolonlarda enine donatı uygulama örnekleri
EK D **:** Döşemelerde donatı düzenlerine örnekler
EK E **:** Temellerde çeşitli donatı düzenleri
EK F **:** Merdivenlerde çeşitli donatı düzenleri
EK G **:** İstinat duvarlarında çeşitli donatı düzenleri
EK H **:** Silolarda donatı düzenleri

EK A

A.B.Y.Y.H.Y. ESASLARINA GÖRE BETONARME TAŞIYICI SİSTEMLER

A.B.Y.Y.H.Y. ESASLARINA GÖRE BETONARME TAŞIYICI SİSTEMLER

SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK TAŞIYICI SİSTEMLER	**SÜNEKLİK DÜZEYİ KARMA TAŞIYICI SİSTEMLER**	**SÜNEKLİK DÜZEYİ NORMAL TAŞIYICI SİSTEMLER**

SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK TAŞIYICI SİSTEMLER

Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçeveli Sistemler	**Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçeve + Perde Sistemler**	**Süneklik Düzeyi Yüksek Perdeli Sistemler**
1. ve 2. Deprem Bölgelerinde 3. ve 4. Deprem Bölgelerinde H > 25 m olan binalar (perdesiz) Kolonları A.B.Y.Y.H.Y. 7.3'e Kirişleri A.B.Y.Y.H.Y. 7.4'e Birleşim bölgeleri A.B.Y.Y.H.Y. 7.5'e göre boyutlandırılıp donatılmalı		Boşluksuz perdeli sistemler R = 6 Boşluklu perdeli sistemler R = 7 A.B.Y.Y.H.Y. 7.6 ya göre boyutlandırılıp donatılmalı

Süneklik Düzeyi Yüksek
Çerçeve + Perde Sistemler

Elemanları A.B.Y.Y.H.Y. 7.3, 7.4, 7.5, 7.6 ya göre boyutlandırılıp donatılmalıdır

Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçeve + Boşluksuz Perde	**Süneklik DüzeyiYüksek Çerçeve + Boşluklu Perde**
$\alpha_M \leq 0{,}75$ ise R = 7 $0{,}75 < \alpha_M \leq 1$ ise $R = 10 - 4\alpha_M$	R = 7

Şekil A.1 A.B.Y.Y.H.Y. Esaslarına Göre Sünekliklerine Göre Betonarme Taşıyıcı Sistemler ve Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler

SÜNEKLİK DÜZEYİ NORMAL TAŞIYICI SİSTEMLER

Süneklik Düzeyi Normal Çerçeveli Sistemler R = 4	**Süneklik Düzeyi Normal Çerçeve + Perdeli Sistemler**	**Süneklik Düzeyi Normal Perdeli Sistemler** R = 4
- 3. ve 4. Deprem Bölgelerinde H < 25 m olan binalar - 3. ve 4. Deprem Bölgelerinde H < 13 m olan kirişsiz döşemeli binalar - 3. ve 4. Deprem Bölgelerinde H < 13 m olan ve elemanları kirişsiz döşemeli binalar A.B.Y.Y.H.Y. 7.3, 7.4, 7.5 den herhangi birini sağlamayan dolgulu veya dolgusuz dişli ve kaset döşemeli sistemler Kolonları A.B.Y.Y.H.Y. 7.7'e Kirişleri A.B.Y.Y.H.Y. 7.8'e Birleşim bölgeleri A.B.Y.Y.H.Y. 7.9'a göre boyutlandırılıp donatılmalı	**Süneklik Düzeyi Normal Çerçeve + Perdeli Sistemler** Elemanları A.B.Y.Y.H.Y. 7.7, 7.8, 7.9, 7.10 a göre boyutlandırılıp donatılmalıdır Bu sistemlerde $\alpha_M \geq 0{,}75$ olmalıdır.	A.B.Y.Y.H.Y. 7.10 a göre boyutlandırılıp, donatılmalıdır

- 3. ve 4. deprem bölgelerinde süneklilik düzeyi normal çerçeveli sistemlerde verilen sınırlar haricindeki yapılar
- 1. ve 2. Deprem bölgelerinde kirişsiz döşemeli sistemler
- 1. ve 2. Deprem bölgelerinde kolon, kiriş ve birleşim bölgeleri A.B.Y.Y.H.Y. 7.3, 7.4, 7.5 şartlarının herhangi birini sağlamayan dolgulu ve dolgusuz dişli veya kaset sistemler

Şekil A.2 A.B.Y.Y.H.Y. Esaslarına Göre Sünekliği Normal Taşıyıcı Sistemler

SÜNEKLİK DÜZEYİ KARMA TAŞIYICI SİSTEMLER

Süneklik Düzeyi Normal Çerçeveler	**Süneklik Düzeyi Yüksek Perdeli Sistemler**

Süneklik düzeyi normal perdeli çerçeveli sistemlerde açıklanan durumlarda süneklilik düzeyi normal perdeler yerine süneklilik düzeyi yüksek perdeler kullanılabilir. Bu durumda;

$\alpha_M \geq 0{,}4$ olmalıdır.

$\alpha_M \geq 2 / 3$ ise R = R_{yp}

$0{,}4 < \alpha_M < 2 / 3$ ise R = $R_{NÇ} + 1{,}5 \, . \, \alpha_M \, . (R_{yp} - R_{NÇ})$

α_M = Perde tabanındaki eğilme momenti / tüm bina taban devrilme momenti

R_{yp} = Süneklilik düzeyi yüksek perde davranış katsayısı

$R_{NÇ}$ = Süneklilik düzeyi normal çerçeve davranış katsayısı

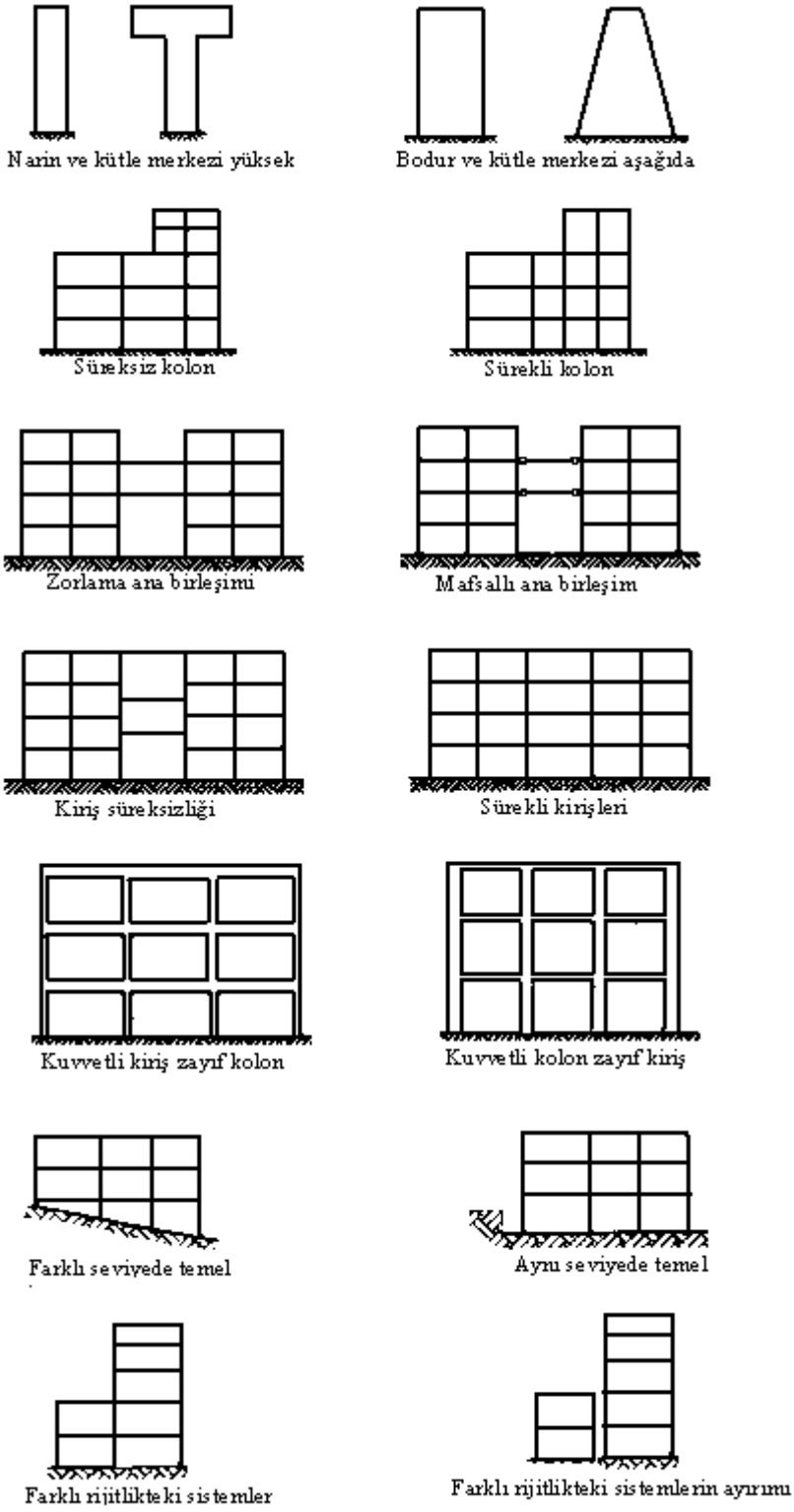
Not = 1. ve 2. Deprem bölgelerinde I = 1,4 den yukarı olan tüm binalarda süneklilik düzeyi yüksek sistemler, süneklilik düzeyi karma sistemler kullanılmalıdır.

Şekil A.3 A.B.Y.Y.H.Y. Esaslarına göre Sünekliği Karma Taşıyıcı Sistemler

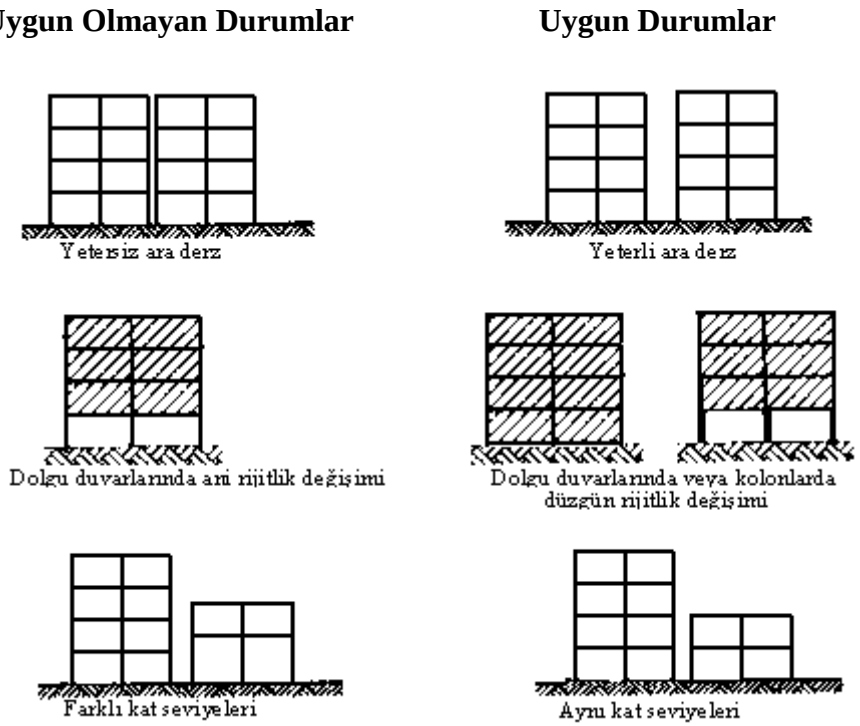
EK B

YAPININ DEPREM DAVRANIŞI BAKIMINDAN KESİTTEKİ DURUMLARI

Uygun Olmayan Durumlar **Uygun Durumlar**



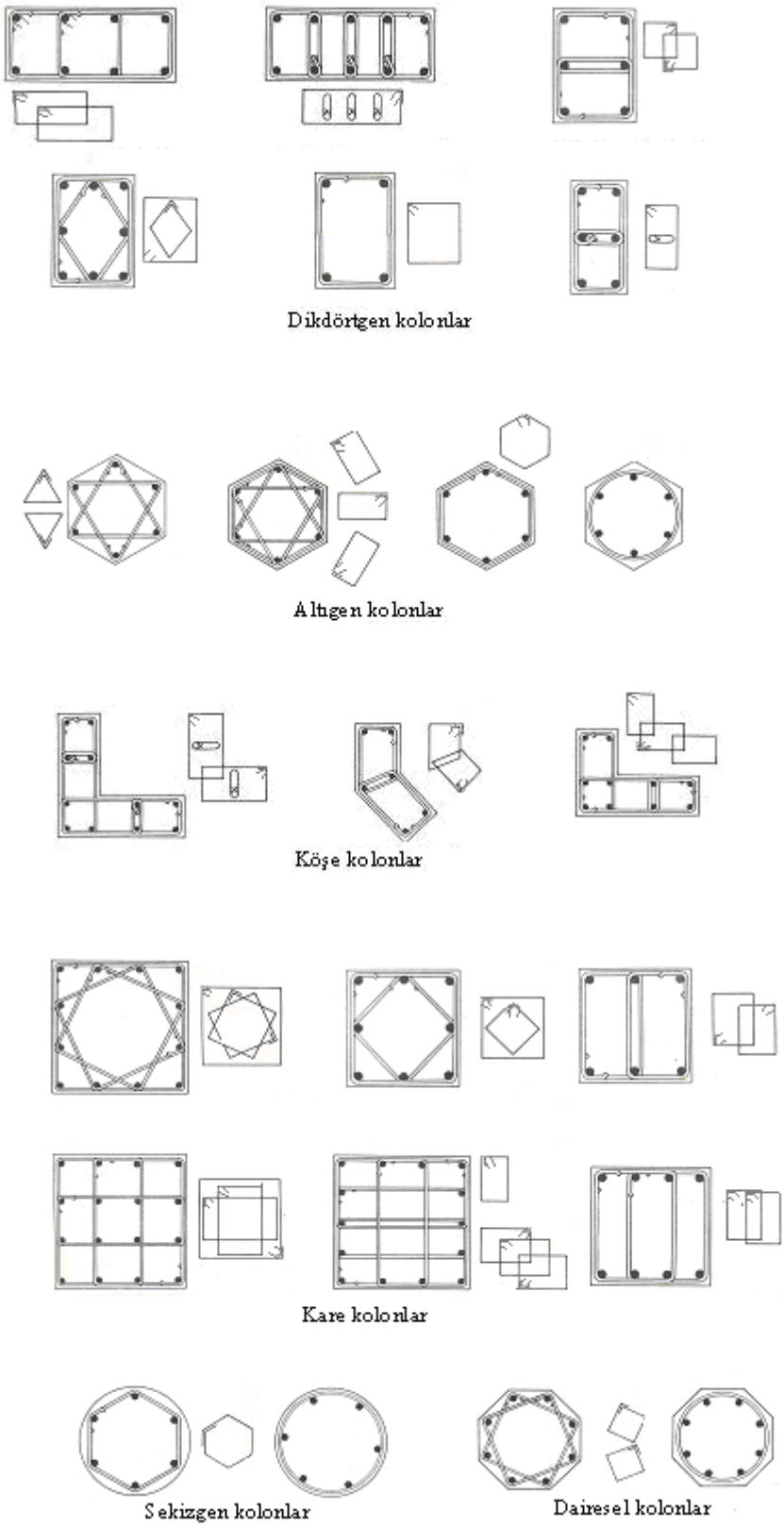
Şekil B.1 Yapının deprem davranışı bakımından kesitteki durumları



Şekil B.2 Yapının deprem davranışı bakımından kesitteki durumları

EK C

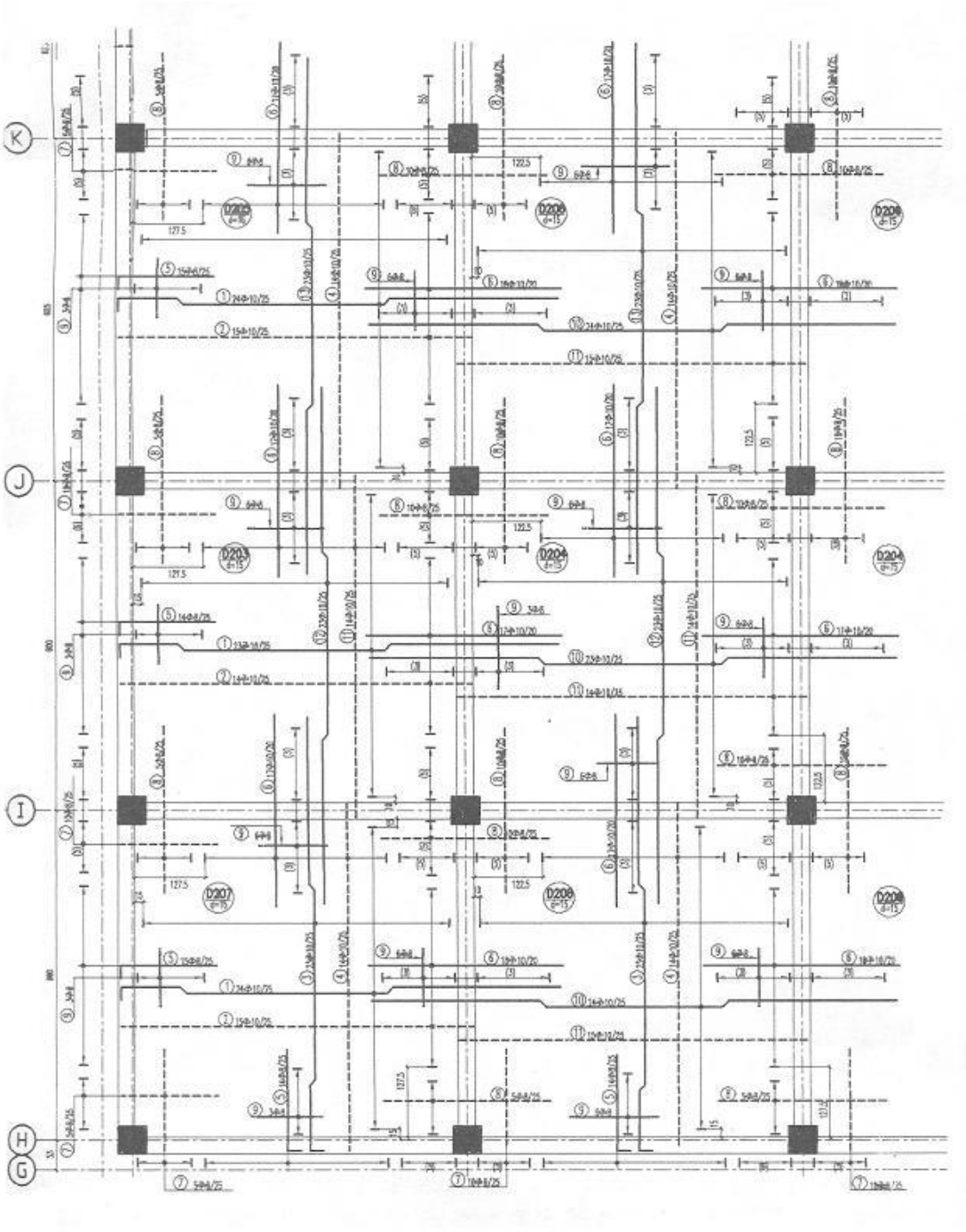
KOLONLARDA ENİNE DONATI UYGULAMA ÖRNEKLERİ



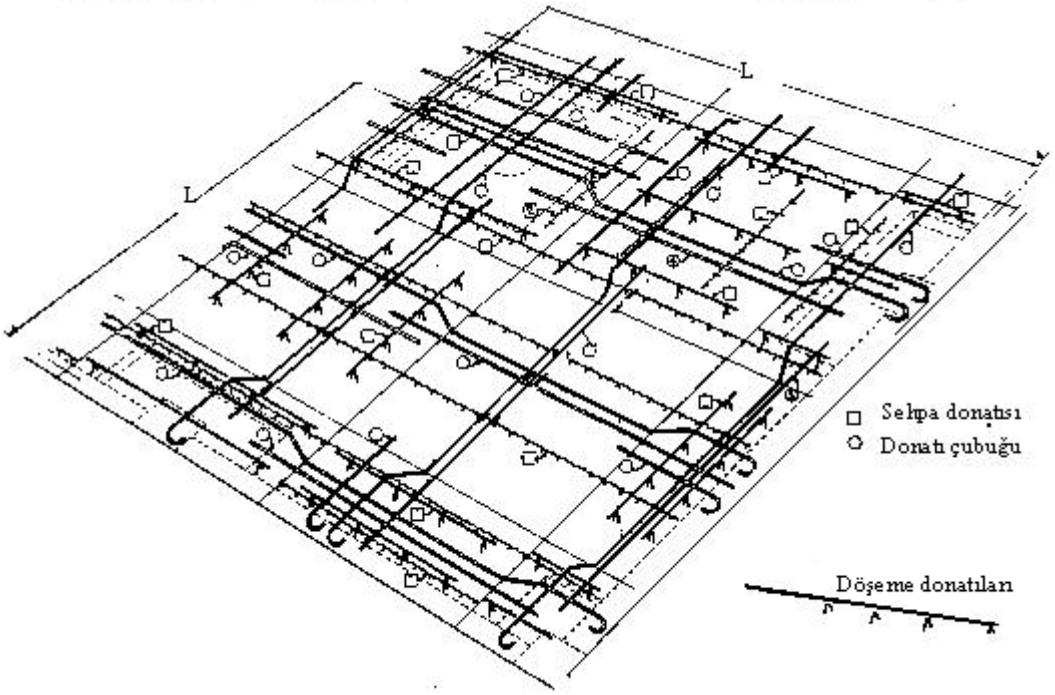
Şekil C.1 Kolonlarda enine donatı uygulama örnekleri

EK D

DÖŞEMELERDE DONATI DÜZENLERİNE ÖRNEKLER



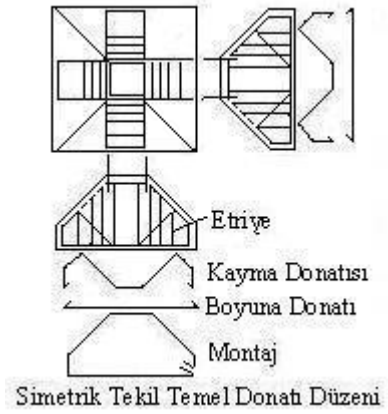
Şekil D.1 Kirişli Döşemelerde Donatı Açılımları



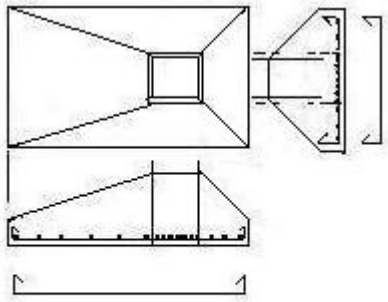
Şekil D.2 Kirişsiz Döşemelerde Donatı Düzenlemeleri

EK E

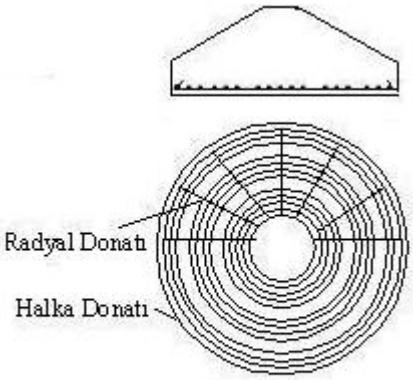
TEMELLERDE ÇEŞİTLİ DONATI DÜZENLERİ



Simetrik Tekil Temel Donatı Düzeni

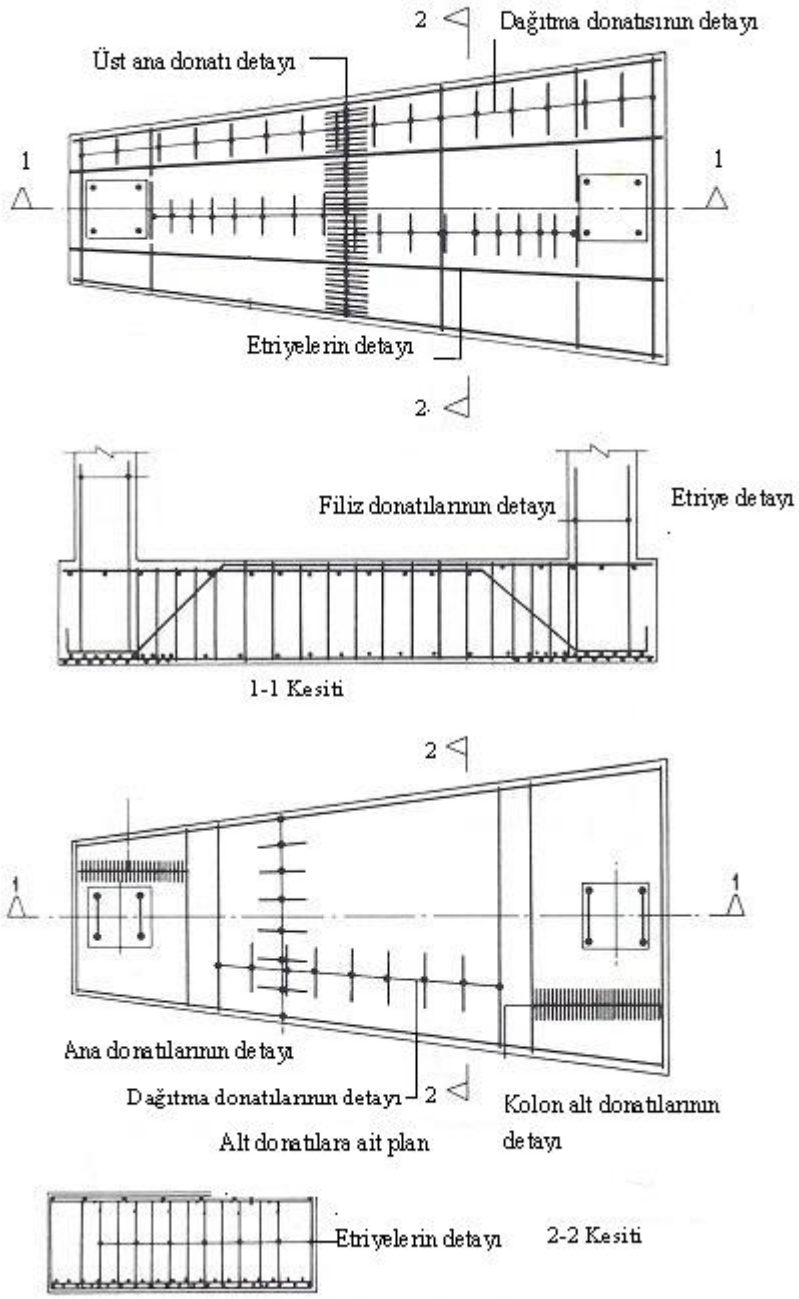


Antimetrik Tekil Temel Donatı Düzeni

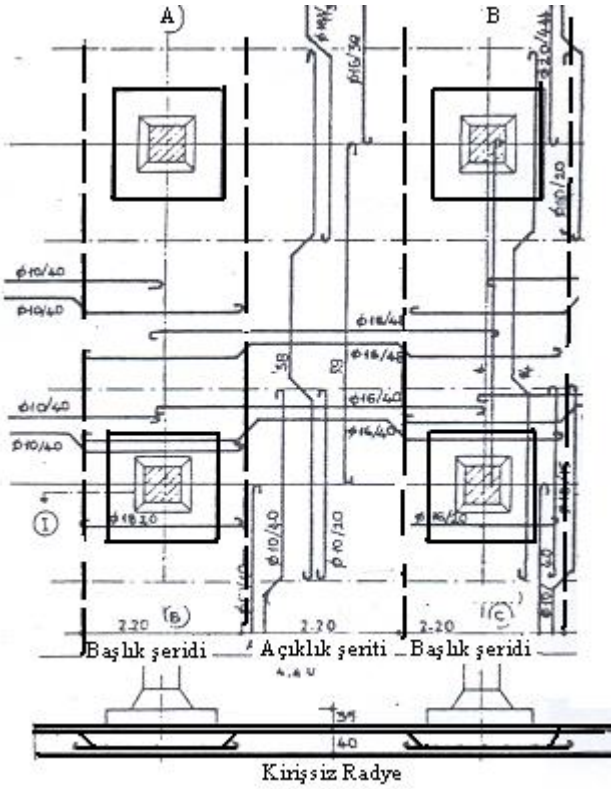


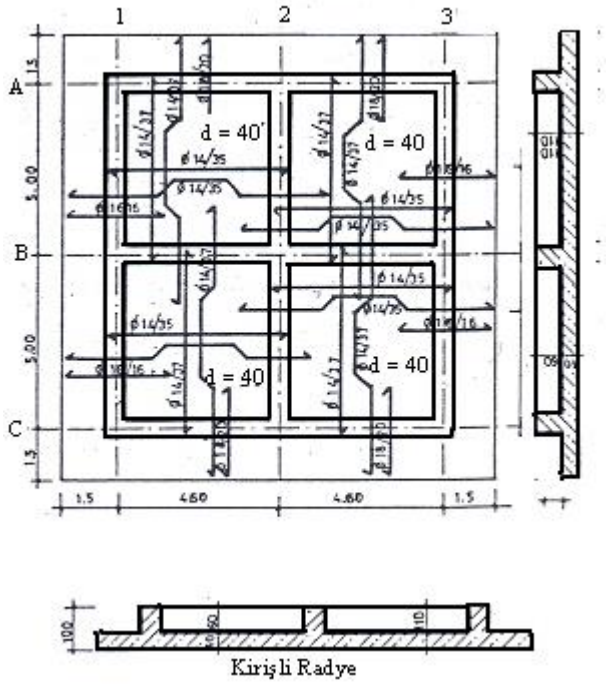
Dairesel Tekil Temel Donatı

Şekil E.1 Tekil Temel Donatılarına Örnekler

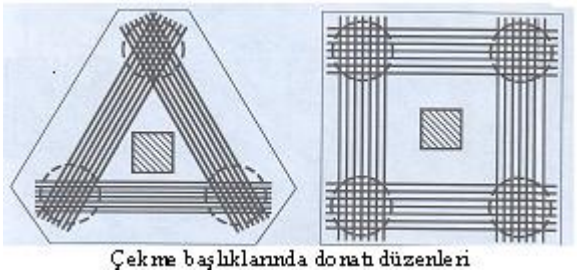


Şekil E.2 Birleşik Temelde Genel Donatı Düzeni

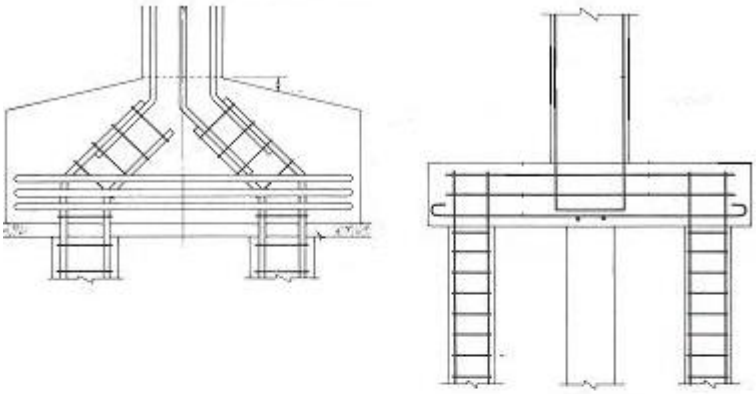


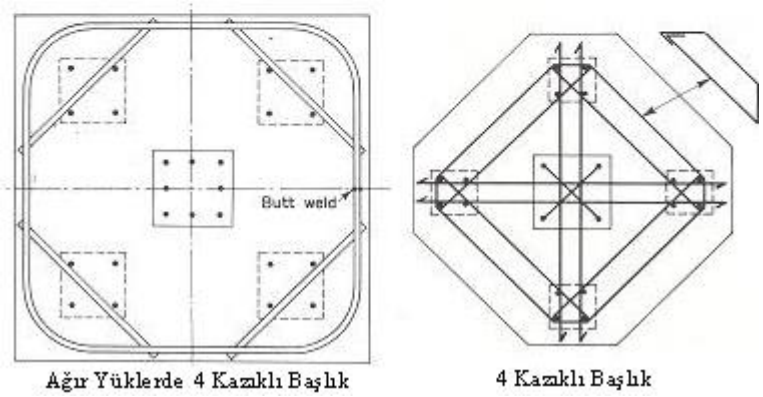


Şekil E.3 Radye Temellere Örnekler



Çekme başlıklarında donatı düzenleri

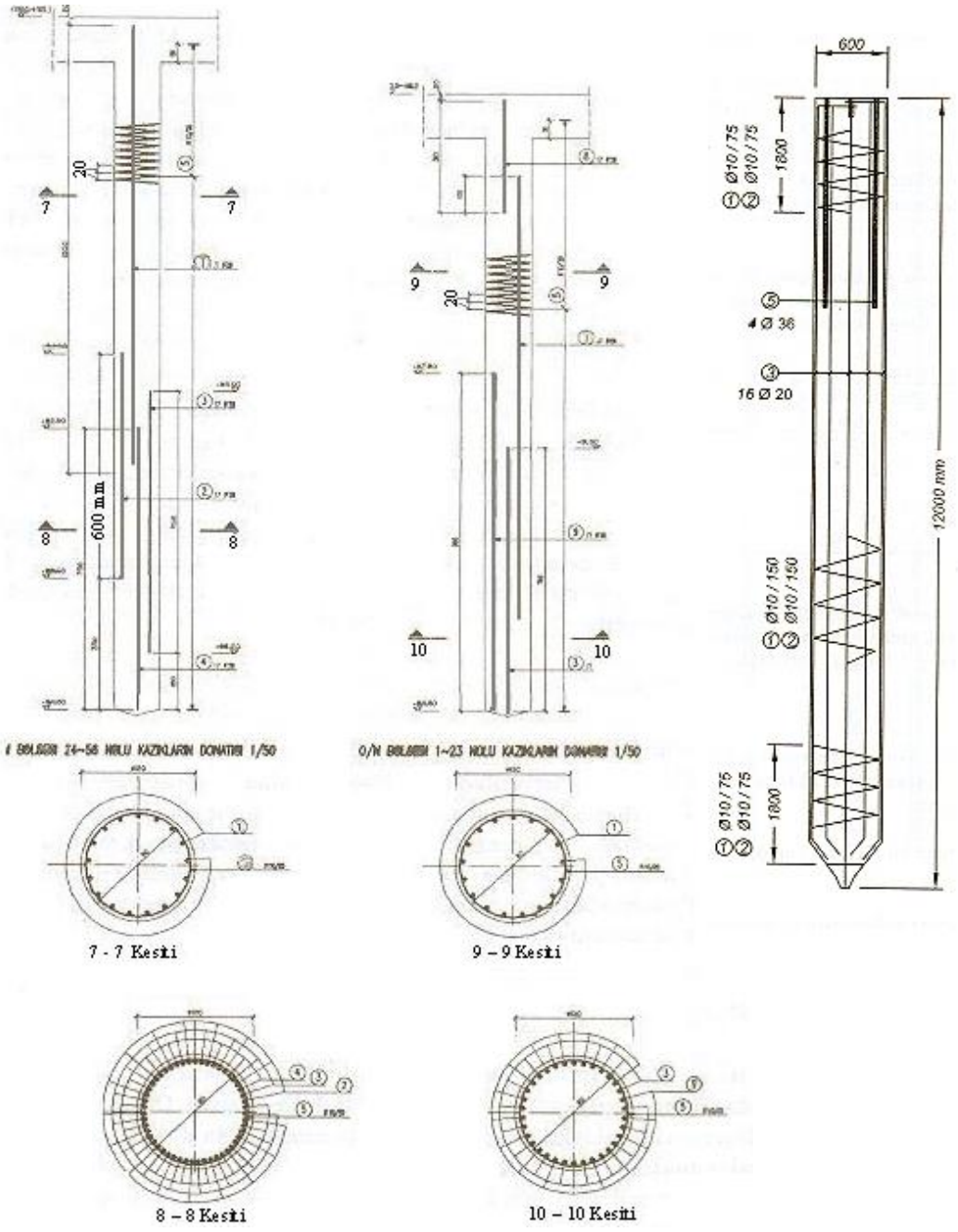




Ağır Yüklerde 4 Kazıklı Başlık

4 Kazıklı Başlık

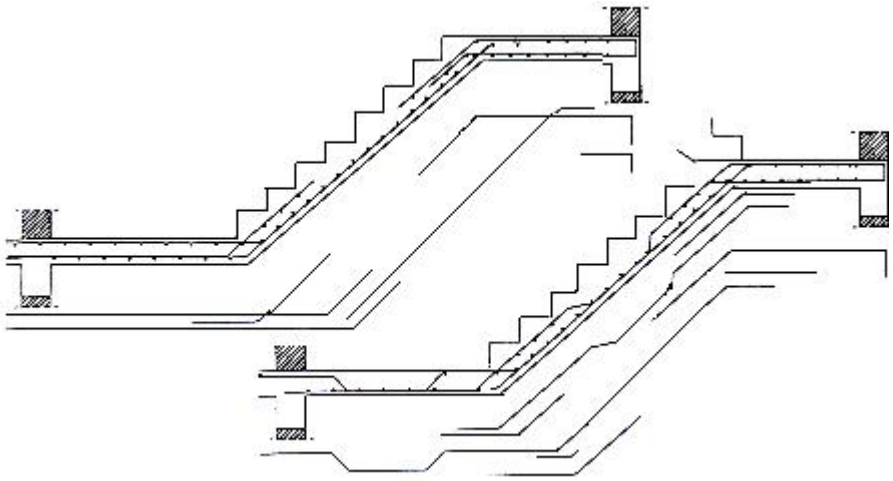
Şekil E.4 Kazık Temellerde Kazık Başlıklarındaki Donatı Düzenlemeleri

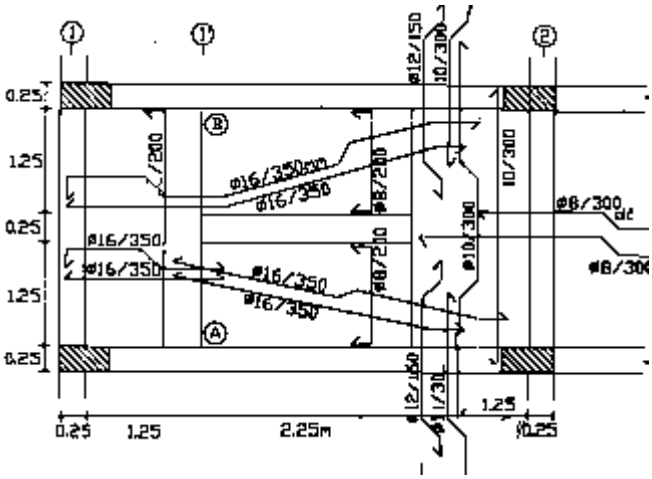


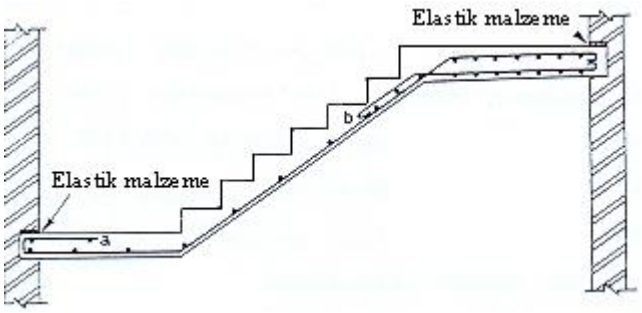
Şekil E.5 Kazıklı Temellerde Kazık Donatı Düzenlemeleri

EK F

MERDİVENLERDE ÇEŞİTLİ DONATI DÜZENLERİ



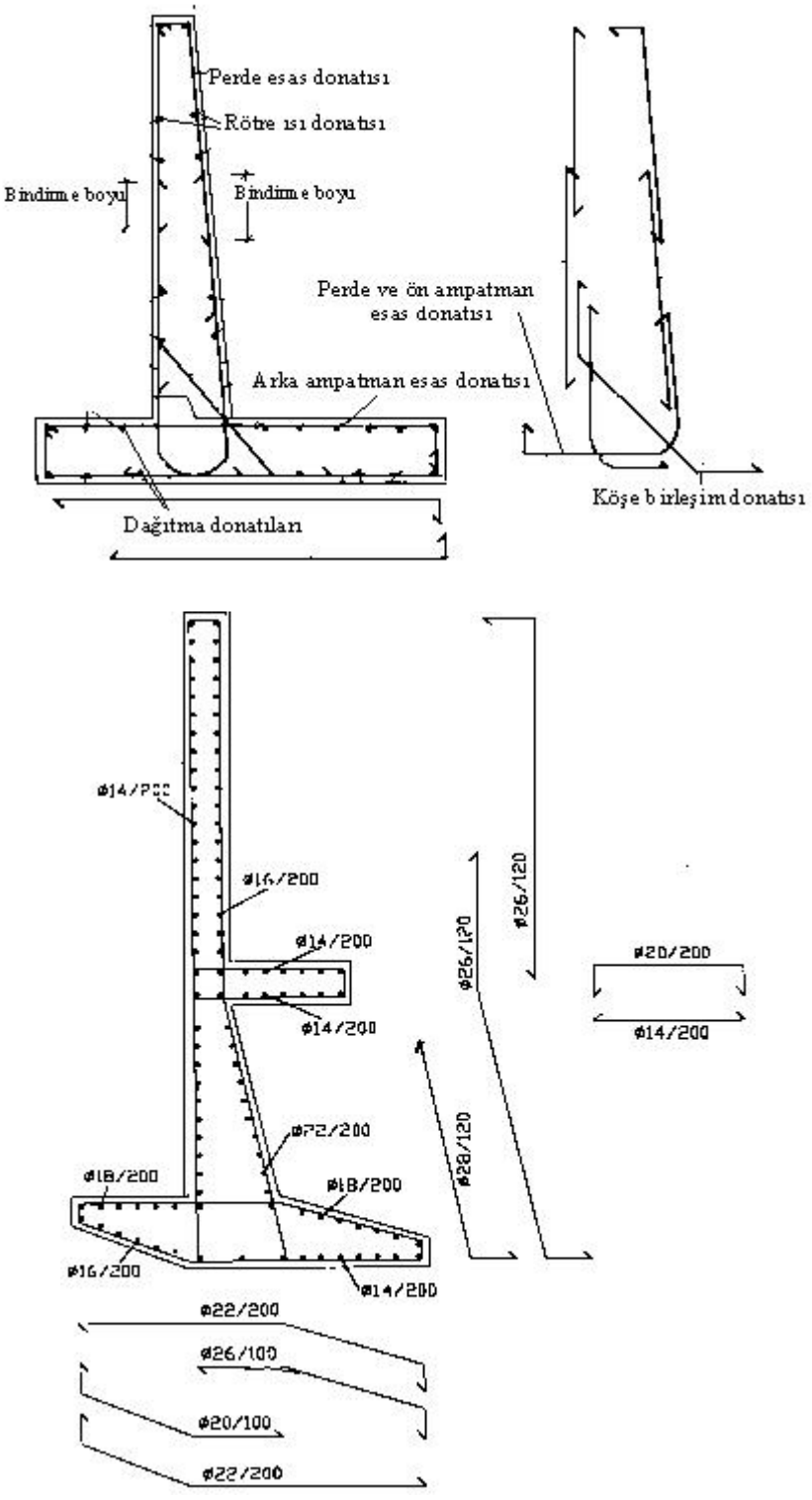




Şekil F.1 Merdivenlerde Donatı Düzenlemeleri

EK G

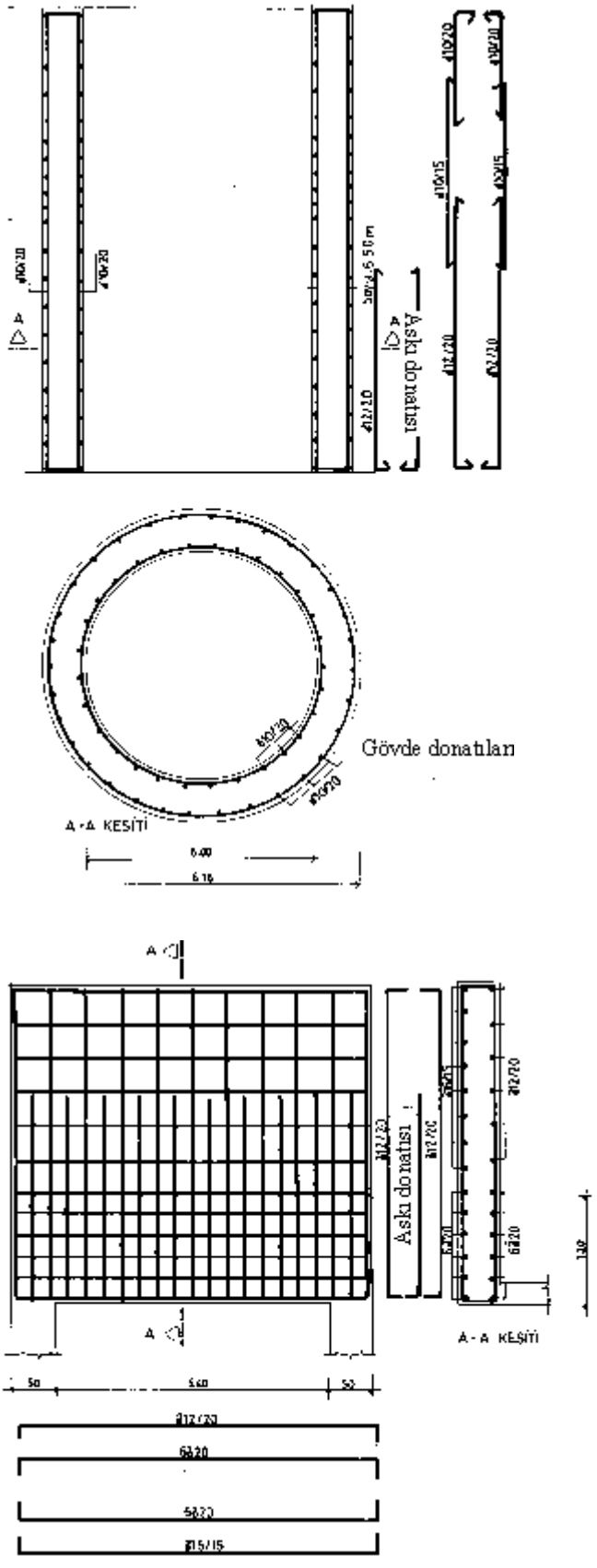
İSTİNAT DUVARLARINDA ÇEŞİTLİ DONATI DÜZENLERİ



Şekil G.1 İstinat Duvarlarında Donatı Düzenleri

EK H

SİLOLARDA DONATI DÜZENLERİNE ÖRNEK



Şekil H 1. Dairesel ve Dikdörtgen Silo Gövde Donatı Düzenleri

ÖZGEÇMİŞ

Tuncay Yılmaz, 1981 İstanbul doğumludur. İlkokulu Osmaniye İbni Sina İlkokulu'nda, Orta Okulu Bakırköy Orta Okulu'nda ve liseyi Çapa Anadolu Öğretmen Lisesi'nde tamamlamıştır.

1999 yılında girdiği Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden, 2002 İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümüne yatay geçiş yapmıştır.

Lisans Programını 2004 yılında tamamlamış, aynı yıl İnşaat Mühendisliği Yapı Ana Bilim Dalı'nın Yapı Analizi ve Boyutlandırma Mühendisliği Programı'na yüksek lisans eğitimi görmek üzere kayıt olmuştur.

Halen İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Mühendisliği bölümünün Yapı Analizi ve Boyutlandırma Programı'nda yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.