

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME TAŞIYICI ELEMANLARIN KONSTRÜKTİF ESASLARI,
YÜKSEK BETONARME YAPILARIN TASARIMI VE ENİNE DONATILARDA
KANCALARIN BİLGİSAYAR PROGRAMINDA MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çağlar TABAK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Haziran 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME TAŞIYICI ELEMANLARIN KONSTRÜKTİF ESASLARI,
YÜKSEK BETONARME YAPILARIN TASARIMI VE ENİNE DONATILARDA
KANCALARIN BİLGİSAYAR PROGRAMINDA MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Çağlar TABAK
(501091101)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Abdullah GEDİKLİ

Haziran 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501091101 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Çağlar TABAK**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**BETONARME TAŞIYICI ELEMANLARIN KONSTRÜKTİF ESASLARI, YÜKSEK BETONARME YAPILARIN TASARIMI VE ENİNE DONATILARDA KANCALARIN BİLGİSAYAR PROGRAMINDA TASARIMI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Abdullah GEDİKLİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Abdullah GEDİKLİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Kadir GÜLER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İrfan COŞKUN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 4 Mayıs 2012
Savunma Tarihi : 5 Haziran 2012

Annem ve Anneanneme,

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı hazırlama sürecinde her türlü problemi çözmeme yardımcı olan değerli hocam, Sayın Doç. Dr. Abdullah Gedikli'ye teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Ayrıca öğrenim hayatım boyunca her türlü desteği gösteren aileme, çalışmamın daha nitelikli olması için katkılarını esirgemeyen, Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Hava Mey. Yap. Dai. Baş. Sayın Leman Keskin'e, Gazi Üniversitesi Arş. Görv. Sayın Rüya Kılıç'a, İnşaat Mühendisi Sayın Burhan Kaplan'a ve değerli iş arkadaşlarıma sonsuz şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2012

Çağlar TABAK
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY.....	xxvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	1
2. PERDE VE PERDE ÇERÇEVELİ SİSTEMLER.....	3
2.1 Perde Elemanı	3
2.2 Perdelerin Şiddetli Depremlerdeki Davranışı	3
2.3 Konsol Perdelerin Davranışı	5
2.4 Konsol Perdelerin Göçme Şekilleri	8
2.5 Perde Kesitlerin Düzenlenme Şekilleri.....	9
2.6 Perdelerin Planda Yerleştirilmesi	10
2.7 Yapı Özellikleri	14
2.7.1 Süneklilik	14
2.7.2 Rijitlik	15
3. BETONARME SİSTMELERDE, KENETLENME VE EKLEMELERE İLİŞKİN BİLGİLER	19
3.1 Aderans	19
3.1.1 Ankraj aderansı	19
3.1.2 Eğilme aderansı	21
3.1.3 Aderans oluşturan sebepler	22
3.1.4 Aderansı etkileyen faktörler.....	23
3.2 Kenetlenme	25
3.2.1 Düz kenetlenme	25
3.2.2 Kanca veya fiyongla kenetlenme.....	27
3.2.3 Kaynaklı enine çubuklarla kenetlenme	28
3.2.4 Mekanik kenetlenme	29
3.2.5 Demet donatısının kenetlenmesi.....	29
3.2.6 Etriyelerin kenetlenmesi	29
3.3 Donatının Eklenmesi	30
3.3.1 Bindirmeli ekler	31
3.3.2 Manşonlu ekler	34
3.3.3 Kaynaklı ekler	34
4. BETONARME YAPILARDA DONATI YERLEŞİMİ.....	37
4.1 Boyuna Donatılar	37
4.2 Enine Donatılar	38
4.3 Enine Donatılar	39

4.4 Donatı Aralıkları ve Paspayı Mesafeleri	40
5. BETONARME SİSTEMLERDE VE PERDELERDE DONATI DÜZENLEME İLKELERİ	43
5.1 İstinat Duvarları	43
5.2 Perdeler.....	46
5.2.1 Boyut koşulları.....	47
5.2.2 Perde gövde ve uç bölgelerindeki donatı koşulları	49
5.2.3 Kısa konsol perdeler.....	52
5.2.4 Bağ kirişli (boşluklu) perdeler	53
6. BETONARME YÜKSEK BİNALAR.....	57
6.1 Çok Katlı Yapıların Gelişme Süreci	57
6.2 Çok Katlı Yapıların Tasarımı	58
6.2.1 Yüksek yapı sorunu.....	58
6.2.2 Bina formlarındaki gelişmeler	58
6.2.3 Post-modernist eğilimler	59
6.2.4 Strüktürel sanat	59
6.2.5 Estetiğin prensipleri	60
6.2.6 Strüktürel form ve estetik	60
6.3 Betonarme Çok Katlı Yapılarda Uygulanan Taşıyıcı Sistemler.....	61
6.3.1 Yatay yük taşıyıcı elemanlar	61
6.3.2 Çerçeveler	62
6.3.3 Perdeler.....	63
6.3.4 Düzlem perdelerin çalışma şekli.....	65
6.3.5 Perde duvarların yapıda düzenlenmesi.....	67
6.3.6 Açık ve kapalı sistemler	67
6.3.6.1 Açık sistemler.....	67
6.3.6.2 Kapalı sistemler.....	68
6.3.7 Plan doğrultularına göre düzenleme.....	68
6.3.7.1 Enine doğrultuda duvarlı sistem.....	68
6.3.7.2 Boyuna doğrultuda duvarlı sistem.....	69
6.3.7.3 İki doğrultuda duvarlı sistem	69
6.3.8 Boşluklu perde sistemlerde yatay yüklere göre hesap yöntemleri.....	70
6.3.8.1 Sürekli ortam yaklaşımı	71
6.3.8.2 Çerçeve yaklaşımı	71
6.3.8.3 Sonlu elemanlar yöntemi	72
6.3.9 Perde duvarlı sistemlerin avantajları.....	72
7. BETONARME YÜKSEK YAPILARIN BOYUTLANDIRILMASI	75
7.1 Taşıma Gücü Sınır Durumu.....	75
7.2 İşletme Sınır Durumu	75
7.3 Betonarme Yapılarda Yatay Ötelemenin Denetimi.....	76
8. BETONARME YÜKSEK YAPILARA GELEN YÜKLER	79
8.1 Düşey Yükler ve Aktarılması	79
8.2 Yatay Yükler.....	80
8.2.1 Rüzgar yükü.....	80
8.2.2 Deprem kuvvetleri.....	91
8.2.3 Yüksek binalarda büzülme, sünme ve sıcaklık etkileri	94
8.2.3.1 Ani kısaltmalar	95
8.2.3.2 Sünme kısaltmaları	95
8.2.3.3 Sıcaklık	95
8.2.3.4 Toplam kısalma	96

9. BETONARME YÜKSEK KATLI YAPILARDA VE BETONARME YAPILARDA İŞ GÜVENLİĞİ, HAVA KOŞULLARI VE BETONUN DÖKÜLMESİ ESNASINDAKİ AKSAKLIKLAR.....	97
9.1 İş Güvenliği.....	97
9.2 Hava Şartları ve Beton Dökümü	99
9.2.1 Betonun dökülmesi.....	100
9.2.1.1 Beton dökülmeden önce	100
9.2.1.2 Betonun dökülme esnası	101
9.2.1.3 Beton döküldükten sonra.....	103
10. BETONARME YÜKSEK KATLI YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEMLERİN TASARIMINDA OLUŞAN AKSAKLIKLAR.....	105
10.1 Betonarme Yüksek Katlı Yapıların Taşıyıcı Sistemlerindeki Donatıların Yoğun Olduğu Bölgeler	105
10.2 Betonarme Yüksek Katlı Yapılarda Yapılan Taşıyıcı Sistemlerde Konstrüktif Esaslardaki Kusurlar	107
10.3 Betonarme Yüksek Katlı Yapılarda Enine Donatıların Kancasız Yapılması.....	113
10.3.1 Örnek modellerin oluşturulması	114
10.3.2 Bilgisayar programında perde ve kiriş modelinin oluşturulması.....	119
10.3.3 Rstab, X-Steel ve Ansys ile betonarme taşıyıcı eleman modeli.....	121
10.3.3.1 Rstab sonuçlarının değerlendirilmesi	151
10.3.3.2 X-Steel programında perde tasarımı	153
10.3.3.3 Ansys programında perde duvar sistemi	158
10.3.3.4 Ansys programında sonuçların değerlendirilmesi	163
11. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	165
KAYNAKLAR.....	173
ÖZGEÇMİŞ	177

KISALTMALAR

ACI	: American Concrete Institute
A	: Betonarme yapı elemanlarında alan
A_o	: Etkin yer ivme katsayısı
A_{ex}	: Referans dış yüzey alanı
A_{fr}	: Referans yan yüzey alanı
A_{in}	: Referans iç yüzey alanı
A_s	: Donatı kesit alanı
A_{sd}	: Bağ kirişte çapraz donatı demetinin herbirinin toplam donatı oranı
A_{wf}	: Çatlağı dik kesen donatı toplamı
a	: İvme
a	: Donatıda kenetlenme boyu
a₁	: 1.8 sabit sayı
∑A_g toplamı	: Deprem doğrultusuna paralel yapı elemanlarının en kesit alanları toplamı
∑A_q	: Binanın tüm katlarının plan alanları toplamı
b_w	: Betonarme perde genişliği
B²	: Korelasyon faktörü
C_o	: Deney parametresi
C_o	: Donatı üzerindeki net beton örtüsü
C_d	: Dinamik rezonans katsayısı
C_{e(z)}	: Yüzey pürüzlülük katsayısı
C_{fr}	: Sürtünme katsayısı
C_s	: Yük korelasyon katsayısı
C_t	: Topografya katsayısı
DIN	: Deutsches Institut für Normung
d	: Faydalı giriş yüksekliği
d_m	: Kenetlenme boyu
E	: Elastisite modülü
F	: Kuvvet, binaya etkiyen toplam rüzgar yükü, asal gerilme fonksiyonu
F_{ex}	: Dış yüzeye etkiyen yükler
F_{fr}	: Yan yüzeye etkiyen sürtünme kuvveti
F_{in}	: İç yüzeye etkiyen kuvvetler
{F}	: Kuvvet vektörü
f_o	: Doğal titreşim frekansı
f_c	: Tek eksenli basınç dayanımı
f_{cb}	: İki eksenli basınç dayanımı
f_{ctd}	: Beton çekme dayanımı
f_{L(z_r, f_o)}	: Normalize edilmiş boyutsuz frekans
f_t	: Tek eksenli çekme dayanımı
f_{yd}	: Donatının akma gerilmesi
f_{yk}	: Donatının karakteristik akma dayanımı
H_{cr}	: Kritik perde yüksekliği
H_w	: Temel üzerinden ölçülen toplam perde yüksekliği

h_f	: Döşeme kalınlığı
h_k	: Kiriş yüksekliği
I	: Atalet momenti
$I_w(z)$: Türbülans şiddeti
$[K]$: Global rijitlik
K_F	: Rijitlik
K_D	: Rijitlik
k	: Rijitlik
LVDT	: Linear Variable Differential Transformer
l	: Uzunluk
l_o	: Bindirme boyu
l_b	: Kenetlenme boyu, donatının betona gömüldüğü boy
l_n	: Kolon, kiriş, perde gibi elemanlarda net açıklık
l_w	: Perdenin plandaki yüksekliği
M	: Moment
M_y	: Akma momenti
$M_ç$: Çatlama momenti
m	: Kütle
N	: Normal kuvvet
n	: Hareketli yük azaltma katsayısı, donatı sayısı
$\rho\Delta$: Yüksek katlı yapıların bir katındaki elemanların toplam momenti
$Q_{(z)}$: Rüzgar yükü
$q_p(z)$: Rüzgar basıncı
$q_p(z_e)$: Dış yükseklik z_e 'deki maksimum basınç
$q_p(z_i)$: Dış yükseklik z_i 'deki maksimum basınç
R^2	: Rezonans faktörü
R_a	: Deprem yükü azaltma katsayısı
$R_b(\eta_b)$: Yatay doğrultudaki aerodinamik kabul fonksiyonu
$R_h(\eta_h)$: Düşey doğrultudaki aerodinamik kabul fonksiyonu
r	: Aynı kesitte eklenen donatının, toplam donatıya oranı, kanca çapı
S	: Betonda kırılma yüzeyi
$S_L(z_r, f_o)$: Türbülans güç spektrumu yoğunluk fonksiyonu
$S(T)$: Spektrum katsayısı
s	: Enine donatı aralığı
T	: Beton bloğa uygulanan kuvvet
U	: Yangın hesabında net beton örtüsü
u	: Donatı çubuğunun çevresi
$\{u\}$: Deplasman vektörü
V	: Çekme kuvvetleri farkı
V_b	: Temel rüzgar hızı
V_d	: Deprem kuvvetlerinin ortak etkisi
V_{rwf}	: Kesme kuvveti direnci
V_t	: Binaya etkiyen toplam deprem yükü
$V_{(z,t)}$: Rüzgar hızı fonksiyonu
$V_m(z)$: Rüzgar hızı
w_{max}	: Maksimum çatlak genişliği
\bar{w}_{max}	: Rüzgar hızı
$w_m(z,t)$: Rüzgar hızındaki değişim
z	: Uzunluk (Δ_{max})
z_o	: Yüzey pürüzlülük uzunluğu

z_{min}	: Yüzey pürüzlülük katsayısı
ρ	: Donatı oranı
ρ_u	: Donatı oranı
ρ_{min}	: Minimum donatı oranı
ρ_b	: Kirişte dengeli donatı oranı
ρ'	: Basınç donatısı oranı
δ	: Logaritmik azalım katsayısı
δ_o	: Sönüm katsayısı
ϵ_{cu}	: Beton ezilme birim kısalması
ϵ_s	: Donatı birim şekil değiştirmesi
Δ	: Öteleme
ΔT	: Çekme kuvveti farkı
Δ_u	: Taşıyıcı sistemde tüm güç tükenmesi anı
Δ_y	: Plastik mafsalın oluşması anı
Δ_{dn}	: Dinamik olarak hesaplanan kat ötelemesi
Δ_{el}	: Elle hesaplanan kat ötelemesi
Δ_{kab}	: Kat ötelemesi
θ	: Yangın hesabında tablodan alınan sıcaklık
Φ	: Donatı çapı
Φ_u	: Basınç altında betonun ezilme değeri
Φ_y	: Çekme donatısının akma değeri
σ_h	: Hidrostatik gerilme durumu
σ_s	: Donatı gerilmesi
σ_w	: Türbülans standart sapması
μ	: Kesme-sürtünme katsayısı
γ	: Bağ kirişlerde çapraz donatıların herbirinin yatayla yaptığı açı
γ_b	: Beton birim hacim ağırlığı
η_{bi}	: Burulma düzensizliği
η_{ki}	: Rijitlik düzensizliği
τ	: Kayma gerilmesi
τ_a	: Aderans gerilmesi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Kaynaklanmış enine çubuklar için kenetlenme koşulları.....	28
Çizelge 3.2 : Nokta kaynaklı hasır donatılarının bindirme koşulları	33
Çizelge 4.1 : Betonarme elemanlarda minimum olması gereken paspayları.....	41
Çizelge 8.1 : Yapılara gelen düşey yükler	80
Çizelge 8.2 : Yüzey pürüzlülük uzunlukları (z_o) ve minimum yükseklikler (z_{min})	83
Çizelge 8.3 : Dikdörtgen şeklindeki binalar için basınç katsayıları.....	87
Çizelge 8.4 : Deprem hesap yönteminin seçimi.....	93
Çizelge 10.1 : Malzeme parametreleri.....	122
Çizelge 10.2 : Betonarme elemanlarda minimum net beton örtüsü	131
Çizelge 10.3 : Agregalı silisli beton için oluşacak sıcaklık değeri	132
Çizelge 10.4 : Çeliğin akma sınırının sıcaklıkla mukavemet kaybı.....	133
Çizelge 10.5 : Silis agregalı betonun sıcaklıkla basınç mukavemet değişimi	133
Çizelge 10.6 : Çatlak genişliği için sınır değerleri	140
Çizelge 10.7 : İki ayrı örneğin analiz sonuçlarının karşılaştırılması	152

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Konsol perde.....	5
Şekil 2.2 : Perde kesitinde eğilme, momen-eğrilik değişimi	6
Şekil 2.3 : Kesit boyutları yükseklikle değişen perdeler	7
Şekil 2.4 : Perdelerin göçme şekilleri.....	8
Şekil 2.5 : Kesme kırılması altında histeritik davranış.....	9
Şekil 2.6 : Perde kesit şekilleri.....	10
Şekil 2.7 : Tünel kalıp.....	11
Şekil 2.8 : Perdelerin planda düzenlenme şekilleri	12
Şekil 2.9 : Uygulanan projenin kalıp planı	13
Şekil 2.10 : N-M- Φ ilişkisi	14
Şekil 2.11 : Elasto plastik davranış	15
Şekil 2.12 : Deprem yükü azaltma katsayısı.....	15
Şekil 2.13 : Konsol perde üzerinde öteleme rijitliğinin tanımlanması	16
Şekil 2.14 : Moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki eğilme rijitliği	16
Şekil 3.1 : Kenetlenme aderasn gerilmelerinin değişimi	20
Şekil 3.2 : Yetersiz kenetlenmenin etkileri	21
Şekil 3.3 : Eğilme aderasının oluşumu	21
Şekil 3.4 : Nervürlü donatıda betona etkiyen kuvvetler	23
Şekil 3.5 : TS 500'e göre Konum II'ye giren çubuklar	25
Şekil 3.6 : Düz kenetlenmiş nervürlü donatının tavsiye edilen uygulaması.....	26
Şekil 3.7 : Kancalı donatıdan betona etkiyen kuvvetler	27
Şekil 3.8 : Standart kanca ve fiyonglar.....	27
Şekil 3.9 : Basınç donatılarının flambaj ve olası çözümleri	28
Şekil 3.10 : Demet donatısı düzenlenmesi.....	29
Şekil 3.11 : Etriyelerde kancalı kenetlenme türleri	30
Şekil 3.12 : Düz bindirmeli etriye kenetlenmesi.....	30
Şekil 3.13 : Etriyelerin kaynaklı kenetlenme türleri.....	30
Şekil 3.14 : Çekme kuvveti taşıyan donatıların şaşırtmalı bindirme eki.....	32
Şekil 3.15 : Eklerde rijit cisimdönme problemi	32
Şekil 3.16 : Bindirmeli eklerde sargı donatılarına ilişkin koşullar.....	33
Şekil 3.17 : Manşonlu örnekler	34
Şekil 3.18 : Kaynaklı ek türleri	35
Şekil 4.1 : Çekme donatısı yerleşimi	38
Şekil 4.2 : Enine donatıların yerleşimi	38
Şekil 4.3 : Hasır donatı tipleri	39
Şekil 4.4 : Donatı mesafelerinin beton yarılmasında etkisi	40
Şekil 4.5 : Paspayı örnekleri	41
Şekil 5.1 : İstinat duvarlarında donatı düzeni	46
Şekil 5.2 : Perdelerin boyut koşulları	49
Şekil 5.3 : Perde uç kesitindeki donatının dağılımının davranışa etkisi.....	50
Şekil 5.4 : Perde donatılarına ilişkin koşullar	51

Şekil 5.5 : Yatay gövde donatısının yerleşimi	52
Şekil 5.6 : Kısa konsol perdelerde çapraz ve düşey donatılar	53
Şekil 5.7 : Kısa konsol perdelerde çapraz donatı düzeni.....	53
Şekil 5.8 : Bağ kirişlerde donatı düzeni	54
Şekil 6.1 : John Hancock Yapısı.....	58
Şekil 6.2 : Sears Tower	58
Şekil 6.3: Perde çerçeve sisteminin etkileşimi	62
Şekil 6.4 : Kolon aksenal kuvvetinin plandaki dağılımı	62
Şekil 6.5 : Monadnock	64
Şekil 6.6 : Perde duvarlı strüktür	65
Şekil 6.7 : a: Yatay yükler altında kagir duvarlı yapı, b: Betonarme yapı	65
Şekil 6.8 : a, b, c: Dolu ve küçük boşluklu perde, d, e, f: Kiriş ve döşemeli perde..	66
Şekil 6.9 : Perde duvar düzenlemeleri.....	67
Şekil 6.10 : Açık perde sistemi	68
Şekil 6.11 : Kapalı perde sistemi	68
Şekil 6.12 : Perde duvarların yapı içerisindeki düzenleri.....	69
Şekil 6.13 : Yaygın olarak kullanılan perde duvar sistemi	70
Şekil 6.14 : Boşluklu perdeler	71
Şekil 6.15 : Perde anolojisi.....	72
Şekil 7.1 : Yatay yük etkisi altında farklı mesnetlenme ve farklı rijitlikler	77
Şekil 8.1 : Düşey ve yatay yüklerin yapıya etki etmesi	81
Şekil 8.2 : Çevredeki yapıların ortalama rüzgar hızı profiline etkisi	84
Şekil 8.3 : $C_q(z)$ 'nin yükseklikle değişimi	86
Şekil 8.4 : Dikdörtgen kesitli binalar için basınç katsayısı bölgeleri.....	87
Şekil 8.5 : Rüzgar yüklerinin düşey doğrultuda değişimin göz önüne alınması	89
Şekil 9.1 : İş güvenlik bandı ve ağı.....	99
Şekil 9.2 : Vinçlerin yapılara sabitlenmesi.....	100
Şekil 9.3 : Yüksek katlı yapıların yapım aşaması.....	102
Şekil 9.4 : Yüksek katlı yapıların yapım aşaması ve betonun prizini alması	102
Şekil 9.5 : Yüksek katlı yapıların yapım aşaması ve betonun dökülmesi	103
Şekil 9.6 : Karot deneyi ve numune örneği.....	104
Şekil 10.1 : Donatı yoğunluğu olan perde sistem	106
Şekil 10.2 : Kalıp dışında, betonun sıkıştırılması için vibratör koyulması	107
Şekil 10.3 : 92 kişini hayatını kaybettiği Konya'daki Zümrüt Apartmanı.....	108
Şekil 10.4 : Etriye açılmasının olumsuz durumu	108
Şekil 10.5 : Etriye sıkılaştırılmasının yetersiz kalması	109
Şekil 10.6 : Etriyelerin kolonlarda yeterince bulunmaması	109
Şekil 10.7 : Kolonun alt ucuna etriye sıkılaştırması yapılmadığı durum	109
Şekil 10.8 : Hasarlı perde	110
Şekil 10.9 : Perde elemanda meydana gelen çatlaklar	110
Şekil 10.10 : Hatalı perde tasarımı.....	111
Şekil 10.11 : Hasarlı perde	111
Şekil 10.12 : Korozyona uğramış perde donatısı	112
Şekil 10.13 : Dizayn edilmiş perde modeli	114
Şekil 10.14 : a: TİP A perde modeli, b: TİP B perde modeli, c: TİP C perde modeli	115
Şekil 10.15 : Yükleme ve kesit tesir diyagramı ve rijit çerçeve görünüşü.....	116
Şekil 10.16 : Yük ölçüm düzeneği ve yükleme sistemi	117
Şekil 10.17 : Yer değiştirme ölçüm cihazı ve data logger sistemi.....	118
Şekil 10.18 : Solid 65 elemanının üç boyutlu görüntüsü	123

Şekil 10.19 : Ansys; kolonun sonlu elemanlar modeli	124
Şekil 10.20 : Kolon donatılarının Solid olarak tasarlanması	124
Şekil 10.21 : Yaygın donatı özelliği ile oluşturulan sonlu eleman modeli	125
Şekil 10.22 : a: Sargılı beton, b: Sargısız beton	125
Şekil 10.23 : Donatı bulunduran Solid 65 modeli	125
Şekil 10.24 : Dlubal programı (Rstab)	126
Şekil 10.25 : Dlubal programına eleman çağırma	126
Şekil 10.26 : Dlubal programında donatı dizaynı	127
Şekil 10.27 : Uygun yönetmeliğin tanımlanması	127
Şekil 10.28 : Linear olmayan parametre analizi	128
Şekil 10.29 : Yangın yüklerinin belirlenmesi	128
Şekil 10.30 : a: Donatıların kancalarının tanımlanması, b: Donatıların tanımı	130
Şekil 10.31 : Kancalı etriye tanımı	130
Şekil 10.32 : Paspaylarının verilmesi	131
Şekil 10.33 : Kiriş Örneği	134
Şekil 10.34 : Paspayı parametrelerinin verilmesi	139
Şekil 10.35 : Çatlak genişliği parametrelerinin verilmesi	140
Şekil 10.36 : Parametre kontrolü	141
Şekil 10.37 : Yangın malzeme sınıfının ve yangına maruz olan bölgenin seçimi ...	142
Şekil 10.38 : Beton cinsinin ve yönetmeliğinin tanımlanması	143
Şekil 10.39 : Kayma eksantresinin tanımlanması	144
Şekil 10.40 : Analiz yapılma anı	144
Şekil 10.41 : Birinci örneğin çatlak aralığı	145
Şekil 10.42 : s-r, max diyagramı	146
Şekil 10.43 : Analiz sonucu birinci örneğin donatıları	147
Şekil 10.44 : Kiriş elemanı donatıları	147
Şekil 10.45 : Enine donatıların tanımlanması	148
Şekil 10.46 : İkinci örneğin analiz sonucu donatıları	148
Şekil 10.47 : İkinci örneğin çatlak aralıkları	149
Şekil 10.48 : s-r, max diyagramı, (ikinci örnek için)	150
Şekil 10.49 : Kiriş elemanının donatıları	150
Şekil 10.50 : İki örneğin yangın dayanımı	151
Şekil 10.51 : X-Steel programı	154
Şekil 10.52 : Beton malzemesinin tanımlanması	154
Şekil 10.53 : Donatı elemanlarının çizimi	155
Şekil 10.54 : Donatı parametrelerinin girilmesi	155
Şekil 10.55 : Perde donatılarının çizimi	156
Şekil 10.56 : Betonarme perde duvar	156
Şekil 10.57 : a: Geometry ortamı, b: Eleman import'u	158
Şekil 10.58 : Solidworks eleman çağırılması	159
Şekil 10.59 : New Simulation yapılması	159
Şekil 10.60 : Elemanların tanımlanması	160
Şekil 10.61 : Elemanların tanımlanması	160
Şekil 10.62 : Elemanların sonlu parçalara bölünmesi	161
Şekil 10.63 : Ansys Workbench'de modellenebilen kanca tipleri	162
Şekil 10.64 : Yatay yükleme yapılması	162
Şekil 10.65 : Analiz sonucu gerilme durumları	163

BETONARME TAŞIYICI ELEMANLARIN KONSTÜKTİF ESASLARI, YÜKSEK BETONARME YAPILARIN TASARIMI VE ENİNE DONATILARDA KANCALARIN BİLGİSAYAR PROGRAMINDA MODELLENMESİ

ÖZET

Günümüzde nüfusun ve kırsal bölgelerden şehirlere göçün hızla artması insanları yüksek katlı, büyük açıklıklı yapılar yapmaya zorlamanın yanı sıra, insanlara, teknolojinin gelişmesiyle de özel yapılar yapma imkanı sunmuştur.

Tezimizde, nüfusun hızla artmasıyla yapılmasına gereksinim duyulan özel yapılarla birlikte bu yapıların yapımı esnasında meydana gelen olumsuz durumlardan bahsedilmektedir. Ayrıca konuyu daha iyi irdelemek için yüksek yapılarda en uygun taşıyıcı sistemin perde duvarlı sistem olduğunu, perde duvarlı sistemlerin dizayn edilirken ne tür esaslara dikkat edilmesi gerektiği üzerinde durulmuştur.

Betonarme perde duvarların deprem kuvvetlerine karşı daha rijit bir davranış sergilediği yapılan deneyler, teorik hesaplar ve deneyimlerle görülmüştür. Bu yüzden tezimizin büyük bir kısmında perdeler üzerinde durulmuştur.

Yüksek katlı yapılar yapılırken eskiden beri büyük problemlerle karşılaşmış ve hala da karşılaşmaktadır. Ülkemizde de giderek yüksek katlı yapılar yapma eğilimi artmakta ve çeşitli problemlerle karşılaşmaktadır. Bununla birlikte yüksek katlı yapıların yapımında göz ardı edilen bir çok detay olduğunu söylemek hiç de yanlış olmaz. Bu sorunları aşağıdaki gibi sıralayacak olursak;

- Yüksek katlı yapılar yapılırken güvenlik önlemleri tam olarak alınmaması ve şantiyelerde iş güvenliği uzmanları çalıştırılmaması.
- İşçilerin iş güvenliği konusunda bilgisiz kalması ve çok durumda iş güvenliğinin göz ardı edilmesi.
- Yüksek katlı yapılarda hava şartlarından dolayı beton dökülmesinin zorlaşması ve betona kimyasallar katılarak yüksek katlara beton pompalanırken akışkanlığın tam olarak sağlanmasının amaçlanması.
- Projelendirme yapılırken, proje mühendisinin şantiye tecrübesi olmamasından dolayı şantiye de çıkan zorluklar.
- Taşıyıcı sistem yerleştirilmesinde rijitlik ve deprem etkilerinin göz ardı edilmesi.
- Yüksek katlardan dolayı gelen düşey yüklerin artması ve bazı birleşim bölgelerinde donatı yoğunluğu artması ve bu durumda betonun yerleştirilmesinin zorlaşması.
- Donatı yoğunluğundan dolayı, donatıda ki bazı konstrüktif esaslara uyulmaması.
- Şantiye mühendislerinin ve işçilerin donatıdaki konstrüktif esasları görmezlikten gelmesi ve beton dökümünden sonra bu kusurun tamamen gözden kaybolması.
- Özellikle enine donatıların uygulanmasında sıkıntılar yaşanması.

- Rüzgar ve yangın hesaplarının yetersiz kalması ve bunun için hala ülkemizde genel bir yönetmeliğin bulunmaması.
- Betonarme perdelerin yanı sıra istinat duvarlarının da donatı düzenlerinde yetersiz kalınması ve bazı istinat duvarlarına su drenlerinin konulmaması.

Tüm yukarıda saydığımız olumsuzluklara değindiğimiz bu tezde ilk olarak perde ve perde çerçevesi sistemlerin davranışlarını inceledik. Daha sonra enine ve boyuna donatıların kancasız yapıldığı bazı durumların ne tür sakıncalarının olduğunu daha iyi anlatabilmek, donatı ve beton arasındaki aderansın, kenetlenmenin önemi, donatıların eklenmesi ve eklenme çeşitlerinin nasıl yapılabileceği hakkında bilgi verip betonarme taşıyıcı elemanlarda donatı yerleştirilmesi üzerinde durduk.

Tezimizin son kısmında ise, yüksek yapıların şantiyelerini dolaşarak buralarda enine donatıların özellikle perde duvalarda tevzi donatıların kancalarının yapılmadığını ve düz olarak bağlandığını gözlemledik. Bu durumun ne kadar sağlıksız bir sonuç doğurabileceğini LVDT hassas ölçerler kullanılarak yapılan deneylerden de yararlanarak teorik olarak bilgisayar programlarında da olumlu sonuç elde edip edemeyeceğimizi araştırdık.

Ayrıca ülkemizde fazla önem verilmeyen ve statik hesaplarda genelde göz ardı edilen yangın hesabı üzerinde durduk. Avrupa ülkeleri, yangın çıkma olasılığının deprem olma olasılığından daha fazla olduğunu ve yangında can ve mal kaybının da çok fazla olacağını öngörmüşler ve Eurocod'da ve her ülke kendi yönetmeliğinde yangın için özel hesap yöntemleri geliştirmişlerdir.

Eğer yangın için yapı içerisinde gerekli önlemler alınmamışsa, yangın çıktığı anda can ve mal kayıpları çok büyük olabilmektedir. Bu yüzden tezimizde statik hesaplarda yangın hesabının da ön planda tutulması gerektiğini ve her bir yapı malzemesinin, evlerde, otellerde, okullarda, hastahanelerde v.s. kullanılan eşyaların yangın sınıfının bilinmesi ve yangına dayanıksız yapı malzemelerinin yapılarda kullanılmaması gerektiği üzerinde durduk. Statik olarak nasıl yangın hesabı yapabileceğimizi ve donatının yangından korunması için ortalama paspaylarının nasıl verilmesi gerektiği ile ilgili bir örnekle açıklamaya çalıştık.

Yüksek katlı betonarme yapılarda, özellikle taşıyıcı elemanların bazı bölgelerde donatı yığılması olabilmekte ve bu durum olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. İşçilerin işi daha kolay yapabilmek adına enine donatılarda kanca yapmaktan kaçındıkları, mütahitlerin ise işi hızlı bitirmek amacıyla bu duruma göz yumabildikleri görünmüştür. Fakat bu durum bazen de tam tersi durum doğurmuş kanca yapmanın imkansız olduğu durumlarda insanlara alternatif seçenekler bulmaya zorlamıştır.

Yukarıda sözünü ettiğimiz durumu teorik olarak inceleyebilmek için iki ayrı programda bu sorunun nasıl modelenebileceğini anlatmaya çalıştık.

Birincisi Alman yazılımı olan Rstab (Dlubal) programı, ikincisi ise Ansys Workbench programıdır.

İlk olarak Rstab programında iki ayrı örnek kullanılmış ve bir basit kiriş modellenmiştir. İki örnek kiriş arasındaki tek fark ise etriyelerin birinci kirişte kancalı, ikinci kirişte ise kancasız yapılmasıdır. Bilgisayar programında yazılımcılar kanca ile donatı arasındaki bağı kendi yazılımında tanımlamış ve donatı ile beton arasında aderansı tam sağlamaya çalışmışlardır.

Bizde programın bu özelliğinden yararlanarak kiriş örneklerimizi modelleyip iki örnek arasındaki farkları karşılaştırdık ve çözüm önerileri getirdik.

İkinci olarak modellemeyi anlattığımız program ise Ansys Workbench programıdır. Bu program X-Steel ve Solidworks programları ile birlikte kullanılmıştır. X-Steel programında modellediğimiz ankastre perdeyi, Solidworks programına oradan da Ansys Workbench programına aktarıp çözümlene yapmaya çalışılmıştır. Buradaki amacımız programda kancaları tanımlayıp kancalı ve kancasız yaptığımız enine donatıların sonuçlarını incelemek olacaktır.

Ansys Workbench programına aktardığımız model perde de tek tek tüm elemanları ve elemanlar arasındaki bağıntıları tanımladık. Örneğin etriye, boyuna donatı, çiroz ve beton arasındaki bağlantı tek tek tanımlanmıştır. Fakat programda çözüm yapılırken sonlu elemanlar yöntemi kullanılmış ve program parçaları sonlu elemanlara bölerken kancaların büküm noktasını eşit parçalara bölememiş ve kancaların ya düz ya da çok keskin şekilde yapılmasını öngörmüştür. Başka bir sıkıntılı durum ise kanca boylarını tanımlamamıza rağmen program kanca boylarını algılamamış, kanca boylarının kısa olması donatı ile beton arasındaki aderansı tam gerçekleştirememiş ve program da sonuçlara bu durumu yansıtmamıştır. Sonuç olarak kancalı ve kancasız model yapılması, Ansys programının gerçekleştirilememiş ve nedenleri üzerinde durulmuş ve öneriler getirilmiştir.

PRINCIPAL DESIGN OF CONCRETE BEARING ELEMENTS, DESIGNING CONSTRUCTION OF HIGH-RISE BUILDING AND HOOKS OF LINKS IN COMPUTER PROGRAMS.

SUMMARY

Nowadays, because of growing population and increasing migration from rural areas to cities, high rise building, large span structures have been built by engineers as well as development of technology has provided to construction of high-rise buildings.

What's more, rapidly increase population, people have needed high-rise buildings, but during the construction of these structures are mistaken by engineers and workers. We try to explain and examine this issue in this thesis. Shear wall system is the best for high rise buildings and during shear wall system should be protected to the principle on what it is being designed.

Experiencing, theoretical calculations and experiments shows that behavior of reinforced concrete shear wall exhibits a more rigid against the forces of an earthquake. Therefore, these issue is examined in a large part of this thesis.

While designing high rise buildings, engineers and workers encountered with major problems and which is still a big problem. High rise buildings are gradually increasing in our country. However, it is not hard to say that many details are ignored during the construction of high rise buildings. These problems can be listed as follows:

- While designing high rise buildings, security measures is not enough or is not taken sufficiently. Moreover, security experts is not worked in construction site.
- Workers have not informed about construction site security and they ignore this condition.
- Due to weather condition, concrete's Design is very hard and chemicals meterial which is added in the concrete so that conctere can be pumped for high rise buildings.
- Having done Project, owing to construction site is gettin hard.
- While designing structural system, stiffness and effect of earthquake are ignored.
- Because of higher story, vertical load increase as well as some of the junction parts of reinforcement increase its thickness and in this case placement of reinforcement is getting diffucult.
- Due to the thickness of reinforcement, the reinforcement of some constructive principles that non-compliance.

- Construction engineers and workers ignore the principles of reinforcement, which is very big problem after designing concrete.
- Especially, during designing link is very hard, and so it is often made mistake.
- Wind and fire accounts are insufficient, and for this case, it is still a general lack of regulation in our country.
- Along with concrete shear wall, construction of retaining wall is known not very well by engineers and workers. Some of the retaining wall has not water drain, which is very big problem for settlements and where it is built.

Firstly, all the above negative mentioned in this thesis, we try to examine behavior of the shear wall and shear-framed wall systems. After that we try to explain whether link and reinforcement is designed without hook or designing with hook. Furthermore explaining of adherence between the reinforcement and concrete and what kind of additional system and these condition is to stay.

In the last part of this thesis, construction of high rise buildings where they were made in construction site were examined. Designed these buildings, especially designing links without hook and it is designed as a simple system. These situation is very big problem and we try to explain by means of using LVDT device which is precision measuring device. Moreover, we investigated whether using computer programs achieve positive results or not.

Also calculation of fire is explained, because it can be ignored our country and it is not involved within static calculations. Calculation fire is very important for European Country and each country has a regulations which has involved calculation of fire. In this case shows that it is very importance for European Countries and our country should calculation about this issue to avoid big losses.

If the necessary measures haven't been taken to fire, the time of occurrence of fire, can be very large of life and property. Therefore, in this thesis, calculation of fire should be done and involved static calculations. Resistance fire of material should be known that using in the buildings such as hotels, schools, hospitals, etc. We try to explain how calculation of fire is designed as static calculation and reinforcement protect for fire, average of concrete cover how it should be designed.

High-rise concrete buildings, particularly some part of these buildings where it has a lot of reinforcement which can be problem for designing in the construction site. As a matter of fact that workers avoid designing links which has hook for finishing easily their job, engineers also ignored this conditions for carrying out fastly their job. However, sometimes this conditions can be positive effect in case people can find what can be done in case of designing without hook links.

Because of fact that all this above explained can be proved in theoretical, we used two computer program and we try to explain without hook links how it can be designed.

First, the German software Rstab (Dlubal) program, and the latter program was used Ansys Workbench.

Example of two different programs were used and a simple beam modeled on the Rstab program. The only difference between the two beams in the sample is stirrups are hooked on the first beam and hookless on the second beam. Bond between the equipment and hook a computer program with its own software-defined, tried to make a complete adherence between reinforcement and concrete. We are also taking advantage of this feature of the program for modeling. We have compared the differences between the two samples and made solutions and recommendations.

Secondly, the modeling is described in the program Ansys Workbench. This program is used together with the X-Steel and Solidworks programs. Load-bearing wall, modelled in X-Steel program, transferred to Solidworks program then transferred to program Ansys Workbench and tried to parse it into programs. The aim is to define the hooks in program and to analyze the results of the transverse reinforcement which are hooked and without designing hook links.

All the elements and the relationships between elements were described one by one on the load-bearing wall which was transferred to Ansys Workbench program. For example, the connection between stirrups, longitudinal reinforcement, cross ties and concrete was identified. However, when the solution of finite element method was used in the program and the program track spot bending finite elements while dividing into equal parts hook and flat or too sharp division to be made as envisaged. Despite the adversity, the hook lengths define another program does not detect the height hook, the hook is shorter in length and have not done a full program adherence between the reinforcement and the concrete did not show the consequences of this situation. In conclusion, Ansys program have not realized the making hooked and without designing hook links model and we focus on the causes, also made recommendations for further study.

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı

Günümüzde nüfusun artması, insanlara yeni yerleşim alanlarına ihtiyaç duymasını gerektirmiş, mevcut yerleşim merkezlerinde ise ihtiyaçlar doğrultusunda yapılar daha modern ve nüfusa hitap edecek şekilde tasarlanmaya çalışılmıştır. Dahası şehir merkezlerinde ki iş merkezleri, plazalar, konutlar yüksek yapı şeklinde yapılmakta bu da teoride uygun ama pratikte güç olan uygulamaları doğurmaktadır. Ayrıca aktif bir deprem kuşağı üzerinde yer alan ülkemizde çok kısa denebilecek zaman aralıkları içerisinde yıkıcı depremler meydana gelmiştir. Bu yıkıcı depremler eski çağlardan beri büyük coğrafi değişikliklere ve zararlara sebep olmuştur. Özellikle son yüz yıl içerisinde oluşan depremler, büyük zararlara yol açmış sonra da mühendisleri yeni teknikler geliştirmeye çalışmış yeni yönetmelikler hazırlamışlardır. Teknoloji geliştikçe ve depremlerden dolayı meydana gelen can ve mal kayıpları arttıkça bu yönetmelikler değiştirilmiş, binaların taşıyıcı sistemleri daha modern ve gelen yüklere daha uygun olarak tasarlanması uygun görülmüştür. Yapıların ömürleri içindeki en büyük etkiler genelde deprem ile oluşmaktadır ve bu da yapıların tasarımının da özellikle ülkemizde gibi deprem kuşağında yer alan ülkelerde ön plana çıkarak gözden kaçırılmaması gereken ve tasarımda ön plan çıkan bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ülkemiz alanının % 92'si, nüfusun % 95'i, büyük sanayi merkezlerinin % 98'i ve barajların %93'ü sismik hareketler açısından oldukça aktif bir bölgede yer almaktadır. Sosyal ve ekonomik sorunlar büyük şehirlere göçü artırmış ve buralarda yüksek yapı yapma zorunluluğunu doğurmuş ve taşıyıcı sistemleri düzenlenirken de perde duvarların ve donatı konstrüktiflerinin uygulanmasına özen gösterilmiştir [3].

Ülkemizde ve dünyada son yıllarda meydana gelen şiddetli depremlerin ardından binalarda yapılan incelemeler doğrultusunda, perdeli binaların depreme karşı olan direncinin çerçevesi sistemlere oranla çok daha iyi olduğu ve daha az hasar gördüğü tespit edilmiştir [3].

Perdeler, yatay kuvvetler doğrultusunda rijitlikleri göz önüne alındığında yatay yer değiştirme sınırlandırmaları açısından en uygun yapı elemanı olarak görülmektedir. Tünel kalıp sistemli binalar ve prefabrike betonarme panolu yapılarda perdeli sistemler tek başına uygulanmaktadır. Perdeler, çerçevelerle birlikte kullanılarak perde-çerçeve karşılıklı etkileşimi ile yapıya özellikle süneklikle birlikte kazandırılan dayanım sebebi ile tercih edilmektedir. Ayrıca perdeler depremden hasar gören yapıların onarımı için en uygun ve ucuz bir yapı elemanıdır[38]. Tüm bunların yanında perdelerin statik hesabı yapılırken, hesaplanan perde donatılarında özellikle etriyelerde yapılan kancalar, yüksek katlı yapıların inşasında uygulama zorlukları getirmiş ve birçok projenin de statik hesaba uygun olmadan dizayn edildiği görülmüştür. Yüksek yapı binaların uygulamada ki eksiklikleri ve zorlukları, kancasız enine donatı yapmanın zararları ile perdelerin önemi üzerinde de duracağımız bu tez de; ilk önce perdeli-çerçeveli sistemlerden dünyada meydana gelen en büyük depremler bunlarda perde duvarların davranışları, diğer konsol perde gibi çalışan istinat duvarlarındaki donatı düzenindeki eksiklikten ve yüksek katlı yapıların tasarım ve modellemesinden bahsedeceğiz.

Ayrıca bilgisayar programlarında kancalı ve kancasız enine donatılar tasarlamaya çalışıp yatay ve düşey yükler altında sonuçlarını karşılaştıracamız ve bunu giriş elemanı ve perde elemanı üzerinde gerçekleştireceğiz.

2. PERDE-ÇERÇEVELİ ve PERDELİ SİSTEMLER

2.1. Perde Elemanı

Perdeler yatay yüklerin taşınmasında etkili olarak kullanılır ve plandaki uzun kenarının kısa kenara oranı en az yedi olan, düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır [38]. Perdeler bir yapı da tek başlarına olabileceği gibi çerçeve sistemiyle birlikte kullanıldığında, rijitlikleri fazla olduğundan, deprem veya rüzgardan oluşan yatay yüklerin tamamına yakınına karşılırlar. Yüksek yapılarda, yatay yükler etkisinde kat yer değiştirmelerinin sınırlandırılması açısından, perdelerin kullanılması gereklidir. Döşemeler düzlemlerinde çok rijit olduklarından perdelerin rölatif hareketlerini engeller [19]. Perdelerin, yapının güvenliğini sağlaması ve kat yer değiştirmeleri sınırlandırarak yapısal hasarları önlemeleri açısından etkili davrandıkları belirlenmiştir.

2.2. Perdelerin Şiddetli Depremlerdeki Davranışları

Perdeli sistemlerin, şiddetli depremlerde gösterdiği davranışları incelenmesiyle şu sonuçlara varmışlardır [38].

- 1960 Yılıının Mayıs Ayında Şile Depreminde; Portland Çimento Birliği'nin Gelişmiş Mühendislik Bülteni'nde; şiddetli depremlerde hasarları kontrol etmek hususunda betonarme perde duvarların uygun olduğu, perde duvarların çatlamasının söz konusu olduğu durumlar oluştuğu, ancak binaların bir bütün olarak performansını etkilemediği, tespit edilen donatı miktarının yönetmeliklerde belirlenenden az olmasına rağmen, donatıların duvarları iki doğrultuda bir arada tuttuğu, hasar oluştuktan sonra da duvarların işlevlerini sürdürdükleri belirtilmiştir.

- 1963 Yılıının Temmuz Ayında Üsküp, Yugoslavya Depreminde; bu depremde, yapı boyunca veya çekirdekte donatısız beton duvarlı bazı binalarda guseli kirişlerin alt kısımlarında oluşan az miktarda ayrılmalar hariç, katlar arası şekil bozukluklarının engellenmesi yüzünden hiçbir hasar meydana gelmemiştir. Çerçeve sistemli bazı binalar çökmüş ve çoğu da hasara uğramıştır.

- 1967 Yılı'nın Temmuz Ayında Karakas, Venezuela Depreminde; perdeli taşıyıcı sisteme sahip 17 katlı Plaza One binası, çevredeki binalardan bazılarının çökmesi, diğerlerinin büyük veya güçlendirilmesi mümkün olmayan hasarlara maruz kalmasına neden olan bu depremi hasarsız atlattır. Bu bölgede, nispeten esnek betonarme çerçeve ve kırılğan kil tuğla bölme duvarlara sahip çok katlı binaların bir bölümü çökmüş ve çoğunda büyük duvar hasarları oluşmuştur.

- 1971 Yılı'nın Şubat Ayında San Fernando, California Depreminde; Perde-çerçeve sistemli, 6 katlı Indian Hill Tıp Merkezi orta derecede onarım gerektirecek şekilde depremde ayakta kalabilmiştir. Komşu 8 katlı Holly Cross Hastanesi büyük ölçüde hasar görmüş ve yıkılmıştır. Birçok bina ve köprüde büyük hasarlar meydana gelmiştir.

- 1972 Yılı Managua, Nikaragua Depreminde; Şiddetli deprem, perdeli ve perdesiz binaların depreme dayanıklılık açısından farklarına ilişkin özellikle öğretici bir örnek olmuştur. Managua Milli Tiyatrosu, salonu çerçeveleyen beton duvar sayesinde hiçbir hasara uğramamıştır. 18 katlı Banco de Amerika ve 16 katlı Banco Central hasara uğramış ve yıkılmak zorunda kalmıştır. Öte yandan, çekirdek duvarlı karşılıklı etkileşim sistemli ve perde duvar iskeletli bir yapı olan Banco de Amerika ise çok az hasara uğramıştır. Birbirine yakın olan binalardan, beş katlı betonarme çerçeveveli Sigorta Binası büyük hasar görürken, çerçeveye ek olarak nispeten büyük bir çekirdek içeren 5 katlı Enaluf Binası depremi hemen hemen hiç hasara uğramadan atlattır [38].

- 1977 Yılı Bükreş, Romanya Depreminde; 35 adet çok katlı binanın çöktüğü depremde, koridorlar veya binalar boyunca beton duvarlar içeren yüzlerce yüksek apartman, hiç bozulmadan ve çoğunlukla da hasarsız olarak kalmıştır.

- 1985 Yılı'nın Ekim Ayı Mexico City Depreminde; Şiddetli deprem, çok katlı binalarda çerçeveleri güçlendirmek için perde ilavesinin ne kadar önemli olduğunu göstermiştir. 6 ile 15 katlı yaklaşık 280 adet bina depremde çökmüştür. Bunlardan hiçbirisinde perde duvar bulunmamaktadır.

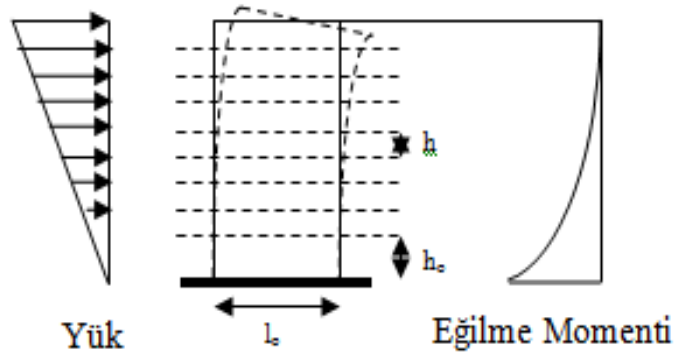
- 1985 Yılı Şili Depreminde; Büyük deprem olmasına rağmen hasarları az olmuştur. Bunun nedeni yaygın olarak kullanılan ve kaymayı kontrol etmek amacı ile binalara perdeler ilave edilmesi esasına dayanan mühendislik uygulamasıdır. Şili'deki perde detayları genel olarak ABD'deki sismik bölgelere ait düktil detay şartlarına

uymamakta, fakat daha önceki ACI konvansiyonel detaylarına uymaktadır. 1960 ve 1985 depremlerinde Şili'deki binaların son derece iyi bir performans göstermeleri, perde duvarların sağladığı kayma kontrolünün, düktil olmayan iskelet elemanlarını koruyabileceğini göstermektedir.

- 1988 Yılı Aralık Ayı Ermenistan Depreminde; Beton duvarları çok katlı yapılara ilave etmenin faydaları veya tam tersine, perde duvarları ihmal etmenin olumsuz sonuçları bu depremde bir kez daha gözlenmiştir. Leninakan, Spitak, Krikovan ve Stepanaman kentlerinde çerçeve sistemli 72 bina çökmüş ve 149 bina da büyük ölçüde hasara uğramıştır. Büyük panolu 21 binanın tamamı depremi hiçbir hasar görmeden atlattır. Tümüyle harap olan Spitak şehrinde, ayakta kalan ve hasara uğramayan tek yapı, her iki doğrultuda büyük panel yapı olarak inşa edilmiş olan 5 katlı bir binadır [38].

2.3. Konsol Perdeler ve Davranışı

Perdeler yatay yüklere maruz kaldığında konsol kiriş gibi davranırlar (Şekil 2.1). Perdeler, kat seviyesinde döşemelerle rijit olarak bağlandığından, ince kesitlerine rağmen yanal burkulma tehlikesi minimum seviyededir. Perdelerde burkulmaya neden olan kritik boy olarak perde yüksekliği yerine, kat yüksekliğinin kabul edilmesi uygundur. Konsol perdeler yatay yüklerden oluşan eğilme momenti yanında, düşey yüklerden gelen aksel normal kuvvetin de etkisi altındadır [38].

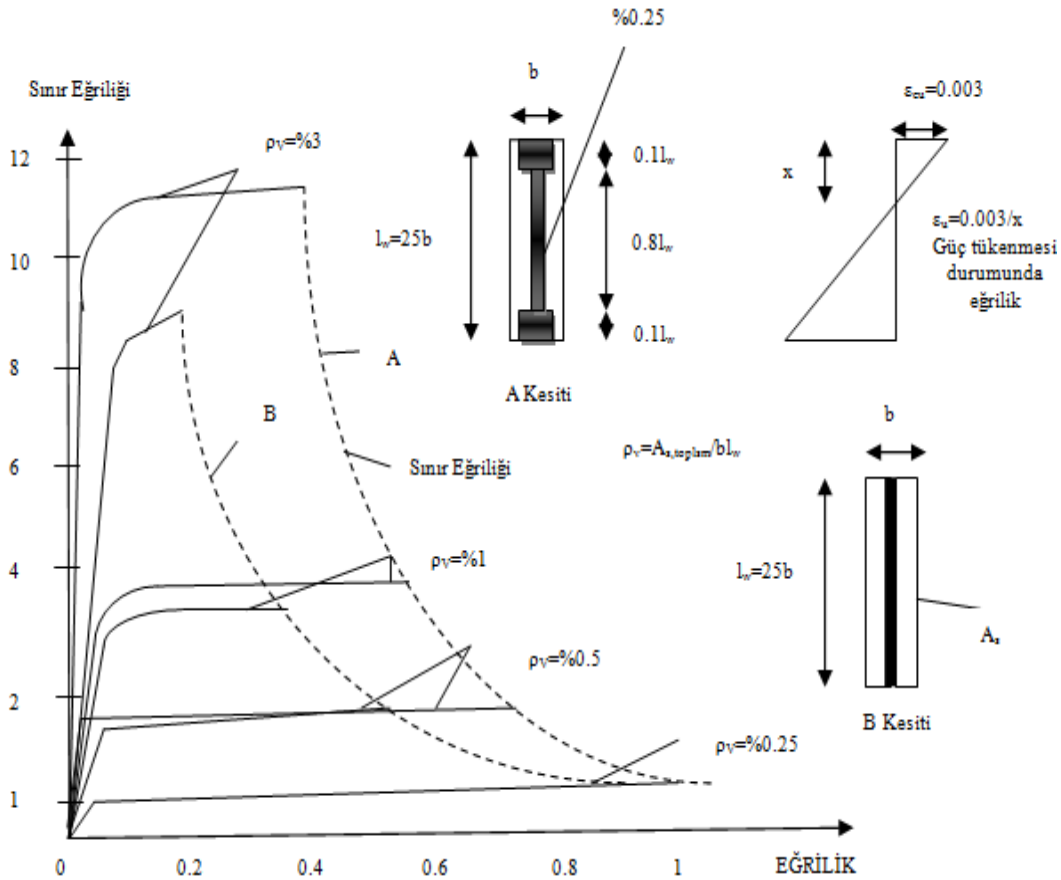


Şekil 2.1 : Konsol Perde [38]

Karşılıklı etki diyagramları ile perdelerin dayanımı bulunabilir. Kesitin taşıma gücü bulunurken gövdedeki düşey donatının da hesaba katılması ile ekonomi sağlanır. Perde-çerçeve sistemlerinde, perdeler rijitlikleri nedeni ile önemli bir eğilme momenti

taşıdıkları halde, normal kuvvetleri o kadar büyük değildir. Eğilme momentinin hakim olması perdenin temellerinde bir problem olarak ortaya çıkar. Normal kuvvet küçük olduğu için, çekme gerilmelerinin olduğu alanı azaltmak amacı ile büyük perde temeli yapılması veya komşu kolonları da içine alan ve bu suretle normal kuvveti arttıran bir temel yapılması gerekli olabilir. Perdelerin temelinde yeterli normal kuvvetin sağlanması ve her kat döşemesinden yatay kuvvetlerin alınabilmesi için döşeme ile perde arasında gerekli bağın oluşturulması önemlidir.

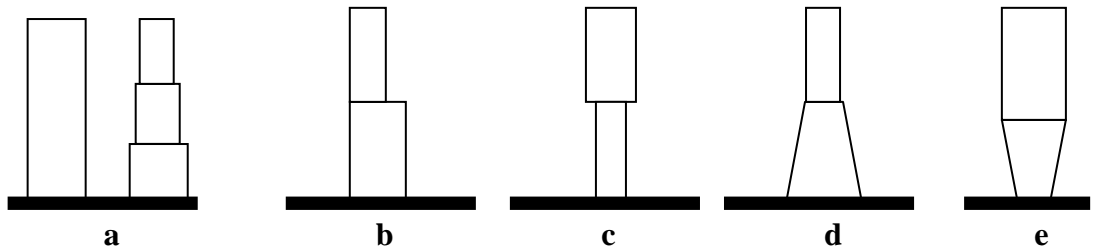
Yüksekliği az olan yapılarda deprem kuvvetleri küçük olduğundan ve mimari plana uygun olarak genelde perdeler gereğinden büyük yerleştirildiğinden aşırı zorlanmazlar. Bu durumda iki doğrultuda %0.25 oranında bir konstrüktif donatı tavsiye edilir. Böylece perdenin moment taşıma özelliği sağlandığı gibi, sünekliği de önemli ölçüde artar. Gövdede bulunan donatının kuvvet kolu küçük olduğundan etkili bir şekilde kullanılamaz. Perdelerde gövde donatısının arttırılması ile taşınacak moment büyütülse de kesitin göçme durumunda ulaşabileceği eğrilik yani kesitin sünekliği azalır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : Perde kesitinde eğilme momenti-eğrilik değişimi

Perdenin en çok zorlandığı mesnet kesitinde betonun en büyük kısılmasını büyütmek ve böylece kesitin sünekliğini artırmak için, kolonlardaki gibi, mesnetten yukarı bölgede perdenin plandaki boyutuna yakın yükseklik boyunca etriyelerin sıklaştırılması uygundur. Bunun yanında perdelerde boyuna donatıların burkulmasını önlemek için bütün yükseklik boyunca yatay donatılara ihtiyaç vardır. Perdelerin eleman olarak burkulmasını önlemek, uç bölgelerinde beton basınç bölgesini büyütmek ve zorlamayı hafifletmek için, özellikle binaların bodrum katlarında ve kritik perde yüksekliği boyunca, perde başlık bölgesi düzenlenmesi uygundur. Bir perdenin, dik doğrultuda başka bir perde ile birleşmesi durumunda başlık bölgesi doğrudan oluşturulmuş olur [43]. Başlık bölgesi, yatay yükün belirli bir yönü için, tamamen basınç etkisi altında olacağından bu bölgenin kolonlardaki konstrüktif kurallara uyularak donatılması yerinde olur. Başlık bölgesinin bulunması perdenin eğilme momenti kapasitesini önemli derecede artırır. Hatta kesme kuvvetini eğilme momentinden daha kritik duruma getirebilir.

Bina yüksekliği boyunca perdelerin en kesit boyutları sabit olduğu gibi, perde boy ve genişliği üst katlara doğru azaltılabilir (Şekil 2.3a). Bu durumdaki rijitlikleri, karşılıklı etkileşimi olan perdelerin bulunması halinde hesaba katmak gerekir. Perde genişliklerinin ani (Şekil 2.3b) veya sürekli (Şekil 2.3d) değiştiği durumlarda, rijitliklerinde daha büyük değişiklikler meydana gelir. Yukarı doğru incelen perdeler yapısal açıdan etkili olmakla birlikte, oluşabilecek plastik mafsalların boylarını ve yerlerini belirlemede dikkatli olunmalıdır. Yükseklik boyunca kalınlaşan perdelerin (Şekil 2.3c,e) yapısal olarak çok etkili olmadığı bilinmektedir. Plastik mafsalın perdenin temelinde oluşması halinde, mafsal boyunu önemli derecede sınırlandırmak gerekecektir [44]. Bu tip perdeler süneklik düzeyi yüksek çerçevelerle kullanılırsa, plastik mafsalı perde tabanında oluşması açısından bir avantaj sağlayacaktır [9].

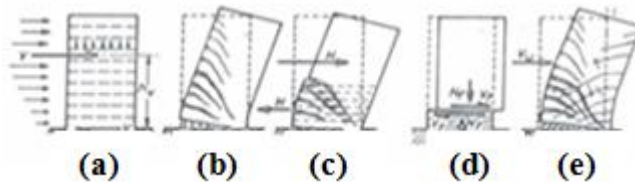


Şekil 2.3: Kesit boyutları yükseklikle değişen perdeler [9]

2.4. Konsol Perdelerin Göçme Şekilleri

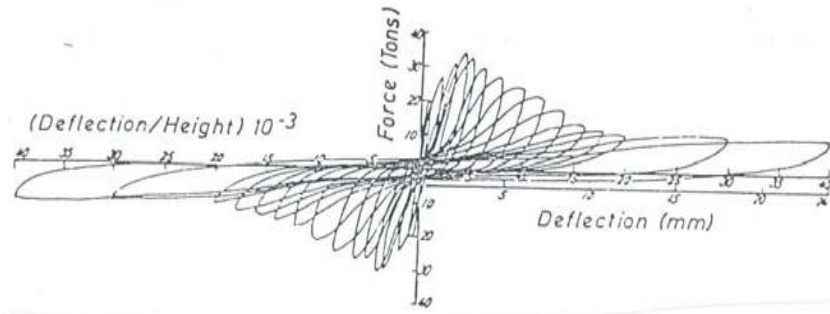
Perdeler, sünek perdeler tasarlandığında, kapasiteyi ve plastik şekil değiştirmelerden kaynaklanan enerji sönümlenmesinin, plastik mafsallarda oluşacak eğilme yer değiştirmesinin kontrol etmesi istenir. Bu tasarım temel olarak göz önüne alındığında, gevrek göçme mekanizmasının veya sınırlı sünekliğin oluşmasına izin vermez. Aslında bu durum, kapasite tasarlama (boyutlandırma) yöntemleri ile birlikte güç tükenmesi için istenen düzeni sağlayarak ve oluşabilecek plastik mafsallarda bölgelemlerin uygun şekilde detaylandırılmasını sağlamakla mümkün olur.

Perdelerin göçme biçimleri birbirinden farklı ve değişik şekillerde olabilir. Eğilme göçmesi göz önüne alındığında, perdenin en büyük moment kısmındaki donatı elastik sınırı geçerek yatay plastik sınır içinde uzar ve akma platosundaki belirli bir uzamadan sonra pekleşme sınırına girilir ve donatıdaki sabit gerilme tekrar yükselmeye başlar. Bu durumun sonucu olarak, donatıdaki çekme kuvveti şiddeti de artar. Kesit içindeki kuvvet çiftlerinin büyümesiyle kesitin taşıyabileceği moment de artar. Oluşan bu pekleşmeli momentin ardından perde kesitindeki deformasyonlara bağlı göçme meydana gelir (Şekil 2.4a). Perdede meydana gelen kesme kırılmasında, betonun kesme dayanımı oldukça yüksek olup, betonda meydana gelen kesme kuvvetlerine bağlı olarak ortaya çıkan eğik asal çekme gerilmelerinden dolayı kesit kesme kapasitesine ulaşarak göçer (Şekil 2.4b). Bunların dışındaki, diğer göçme biçimi perde ve temel birleşiminde kayma ile meydana gelir. Bunlarla birlikte yanal deprem kuvvetinden dolayı oluşan gerilmelere bağlı perde-temel birleşiminde yeterli filiz donatısının olmaması nedeni ile perdenin rijit bir kütle hareketi yaparak yatay düzlem üzerinde kayması sonucu oluşan göçmedir (Şekil 2.4c). Son göçme şekli de eğilme ve taban kaymasının bir arada olması ile meydana gelen göçme şeklidir (Şekil 2.4d).



Şekil 2.4 : Perdelerin göçme şekilleri [38]

Perde, tekrarlı yüklere maruz kaldığında kaymadan dolayı oluşacak istenmeyen bir davranışına örnek verilmiştir. Dikkat edilmesi gereken durum ise enerji sönmeme yeteneği ve dayanım azalma hali oldukça şiddetlidir. Dizaynı oldukça iyi yapılmış, eğilme sünekliği için ve kapasite tasarım ilkeleri ile kayma göçmesine karşı boyutlandırılmış perdeler oldukça iyi davranış sergiler. Perdelerin yer değiştirme sünekliği, yaklaşık olarak 4 olduğunda iyi bir davranış elde edildiği görülür. Örnek perdenin ise %3 yanal değiştirmede yalnızca ikinci tekrardan sonra bu değerin 6 olduğunu gözlemlemekteyiz (Şekil 2.5)[38].



Şekil 2.5 : Kesme kırılması altında histeritik davranış [38]

2.5. Perde Kesitlerini Düzenleme Şekilleri

Mimari durumlar ve deprem doğrultularında etkili çalışmasını sağlamak amacıyla perde kesitleri; I, T, L, H, C, U, Y gibi tasarlanabilir (Şekil 2.6). Beton ve donatı yerleşimini en uygun şekilde sağlamak, yangın esnasında hasarı minimumda tutmak ve yangın riskini azaltmak için perdelerin kalınlığı yönetmelikler tarafından belirlenmiştir. Deprem anında yatay kuvvetler perdeler üzerine etkili olmaya başladığında, kayma dayanımını ve stabiliteyi sağlamak için kalınlığı arttırmak gerekebilir. Ancak perde kesitinin iki ucunda gerilmeler büyük olacağı için, donatı perde uç bölgelerinde yoğunlaşır ve buralarda kalınlığın artmasıyla perde uç elemanları oluşturulur. Perde ucunda diğer doğrultuda başka bir perde teşkil edilmesi durumunda, bu perde içerisinde uç eleman oluşturulabilir. Kirişlerin mesnetlendikleri noktalarda ve eğilme donatılarının yerleştirilmesinde başlıklı kirişler büyük kolaylık sağlar [38]. Dahası uç elemanlar, perdenin yanal burkulma stabilitesini artırır ve potansiyel plastik mafsal bölgelerindeki basınca maruz betonun daha iyi sarılmasını sağlarlar. Bu sayede beton plastik mafsal bölgelerinde sıkıştığında erken dağılması önlenmiş olur. Perdelerin birbirleri ile dik açılarla birleşmesi sonucunda, kanatlı perde şekilleri oluşur. Bu perdeler, binanın iki her iki deprem doğrultusunda da

dayanım sağlar. Bu kanatlar basınç etkisinde oldukça sünek davranırlarken, kesiti T ve L olan perdelerde kanatlar çekmeye zorlandığında oldukça sınırlı süneklığe sahiptirler [9].



Şekil 2.6 : Perde kesit şekilleri [9]

2.6. Perdelerin Planda Yerleştirilmesi

Yatay ve düşey yüklere maruz kaldıklarında perdeler yatay burulma etkisi altındadır. Perdenin kesitine ve plandaki yerine göre eğilme momenti ve burulma dayanımı değişir. Böyle olması durumunda ise perdelerin bazen yerleri taşıyıcı sistem açısından pek uygun olmayabilir. Mimari plan, statik hesaplar sonucu tasarlanması gereken döşemelere uygun perdeler tasarlanmalıdır. Depreme karşı daha sağlam yapı tasarlanması için mimar ve inşaat mühendisi uyum ve koordinasyon içerisinde çalışması gerekmektedir. Tasarlanan perdeler, burkulma stabilitesine sahip, rijitlikleri simetrik ve temelde devrilmeye karşı yeterli güvenlikte olmalıdır. Planda perdeleri tasarlarken ya da plana uygun olarak teşkil ederken, beklenen plastik şekil değiştirmelerin bina planında düzgün bir şekilde dağılmasını sağlamak uygundur. Bu durumun aksi olması durumunda bazı perdeler aşırı zorlanırken, bazıları da kapasitelerinin altında zorlanacaktır. Yüksek yapılarda perde tasarlanırken yeterli rijitlik sağlanabilmesi için sistem çizgileri bir noktadan geçmeyen en az üç perde teşkil edilmelidir. Bazı durumda yapılar, deprem şiddetinin ve yüklerinin fazla olması ve özellikle deplasman koşulunu sağlamak üzere yalnız perdelerden teşkil edilebilir. Binalarda yatay ve düşey yükler, tünel kalıplı sistemlerde, perdeler tarafından taşınır (Şekil 2.7). Ayrıca yapıların deprem etkisinde elastik davranışının sağlanması genellikle yönetmeliklerdeki minimum donatı şartlarına uyulması ile mümkündür [38].



Şekil 2.7 : Tünel kalıp sistemleri [38]

Yapılan yapıların rijitlik merkezini belirlemede etkili olan perdelerin yerleşim düzeni son derece önemlidir. Rijitlik ve kütle merkezlerinin birbirine yakın olması sistemin stabilitesine daha kararlı bir hal almasını sağlamaktadır. Burulma rijitliğinin de gözden kaçırılmaması ve dikkat edilmesi gerekir. Yapılarda oluşan burulma etkisi, düşey elemanların üzerine etkiyen kesme kuvvetinin moment koluyla çarpılması olduğuna göre, moment kolu en büyük olan perde veya çerçevede burulma etkisi daha büyük olacaktır. [9] Perdeler maruz kaldığı, burulma etkilerini azaltmak için sistemin ideal şekilde tasarlanması gerekir. (Şekil 2.8a). Buna göre;

a- Yapıda oluşan en büyük burulma rijitliğinin sağlanması için, perde duvarlar yapının çevresine dağıtılmalıdır. Aynı düzlemdeki perdeler, tek başlarına konsol kiriş gibi çalışabildikleri gibi, birbirlerine bağ kirişleri ile bağlanarak perde çifti olarak düzenlenebilirler.

b- Perde duvarlar kat planı içinde, döşeme yüklerinin olabildiğince büyük kısmını, aksenal kuvvet olarak temele aktaracak şekilde düzenlenmelidir. Bu şekilde perdede eğilme momenti için gereken donatı azalır.

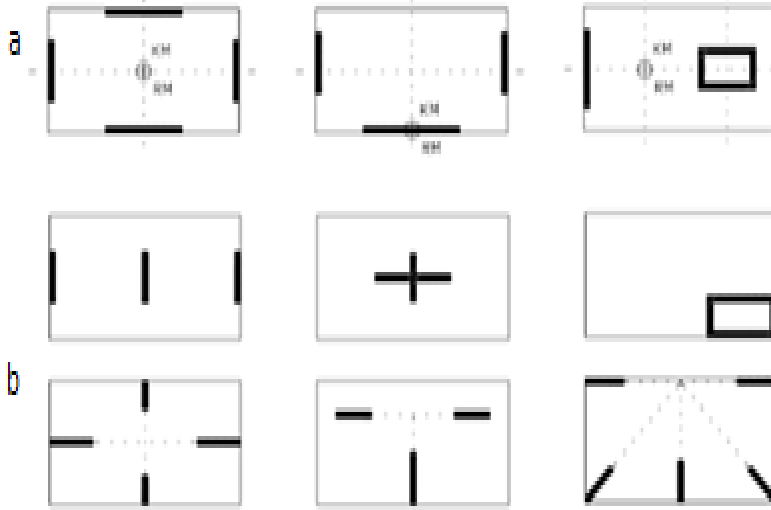
c- Çok katlı yapılarda deprem direncinin bir kaç perdede yoğunlaştırılması, temel sistemini bu noktalarda çok büyük deprem etkisine maruz bırakır. Bu durum, ekonomik olmayan ağır bir temel sistemini gerektirdiğinden kaçınılmalıdır.

d- Perde duvarlar, çok katlı bir yapıda, her iki doğrultuda yerleştirilmelidir. Bu şekilde depremin güçlü yönde etkimesi durumunda bile, rijitlik merkezinin herhangi bir tarafında oluşabilecek olan mafsallaşmadan dolayı, rijitlik merkezinin kütle merkezi ile olan mesafesi artacak ve oluşacak burulmaya yardım edebilecek olan depreme dik yöndeki perdelerin yardımcı olması sağlanamayacaktır (Şekil 2.8b).

e- Perdeler, simetrisi bozuk şekilde ve kat içinde belli bir bölgeye yoğunlaştırılmamalıdır. Perdelerin sistem çizgilerinin bir noktada kesişmeleri önlenmelidir (Şekil 2.8b)

Mimari açıdan uygun bir seçim olan merdiven kovaları ve asansör şaftları betonarme çekirdekleri oluşturur.

Çok katlı binalarda, yatay kuvvetlere karşı dayanımı sağlamak için, çoğu zaman bu çekirdeklerden faydalanılmıştır.

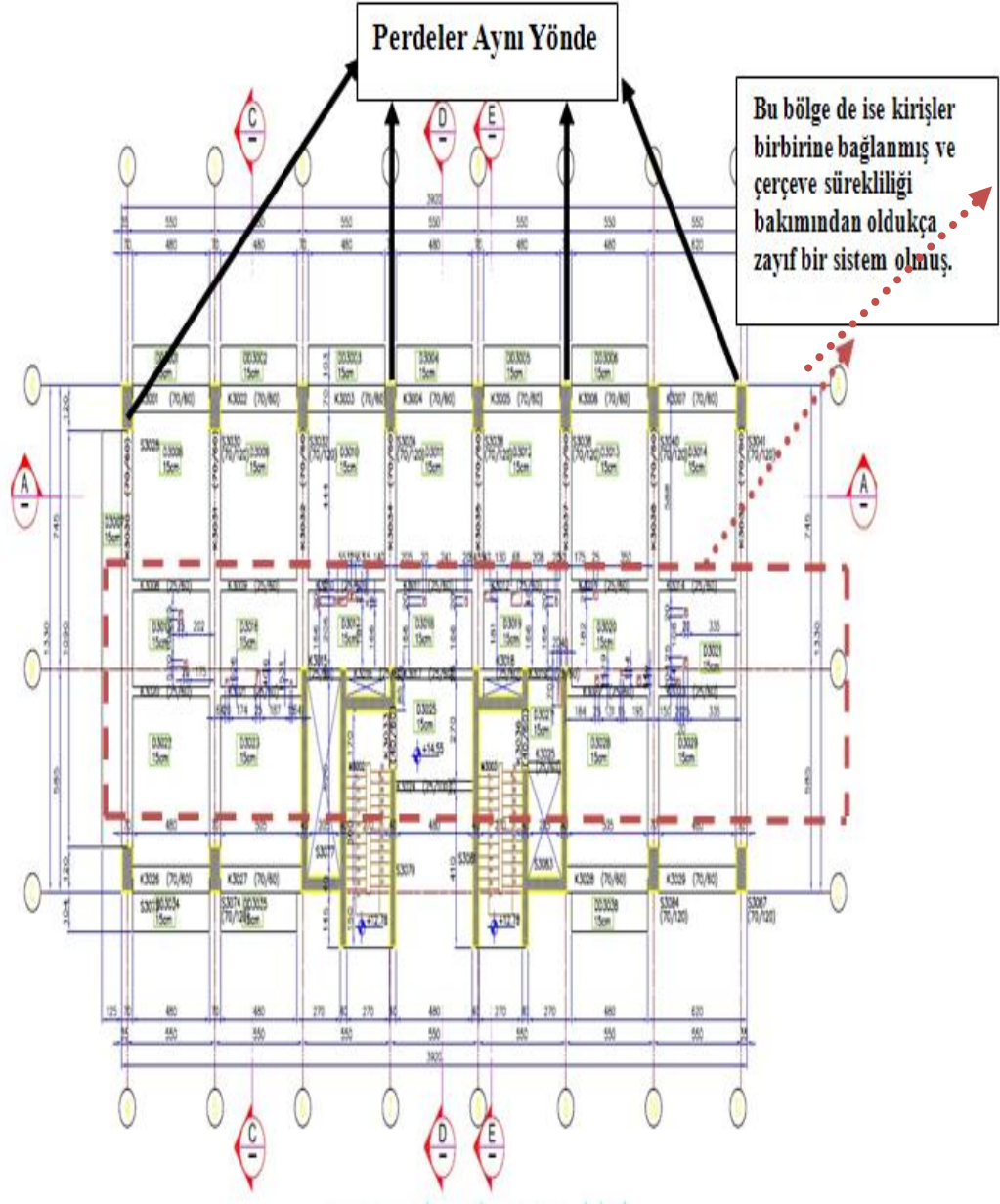


Şekil 2.8 : Perdelerin planda düzenlenme şekiller [38]

Burulma etkisine karşı ilave perdeler veya bina çevresinde çerçevelerin oluşturulması gerekebilir. Perde kesitleri, buldukları yere ve isteğe göre değişik şekillerde düzenlenebilir. Yatay kuvvetlerin profil kesitli perdelerle taşınması halinde, özel yöntemlerle kesit hesabı yapmak gerecektir.

Perdelerin planda yerleşiminde yapılan hatalara örnek verecek olursak İstanbul'daki yüksek katlı yapıların yapısını Şekil 2.9'da inceleyecek olursak, kısa doğrultuda; Çerçeve + Perde, uzun doğrultuda: Sadece çerçeve (Perde çok az), döşemeler bodrum katta asmolen, diğer katlarda kirişli döşeme olarak yapılan yüksek katlı yapının taşıyıcı sistemlerini incelediğimizde büyük hataların yapıldığını görmekteyiz. Günümüzde böyle büyük problemlerin oluşması aşağıdaki uygulamaların aksaklıklarında dolayıda meydana gelebilmektedir.

- 1- Genleşme-rötre derzleri
- 2- Oturma derzleri
- 3- Yapısal (farklı kütle dağılımı, titreşim, geometri farklılıkları gösteren yapı bölümleri) derzler
- 4- Deprem derzleri
- 5- Komşu Yapılar



Şekil 2.9 : Uygulanan Projenin Kalıp Planı [16]

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi sistemde perdeler tek yönde bakmaktadır ve rijitlik y yönünde çok fazlayken x yönünde çok zayıftır burada yapıda rijitlik problemi olduğunu söylemek oldukça doğru olacaktır.

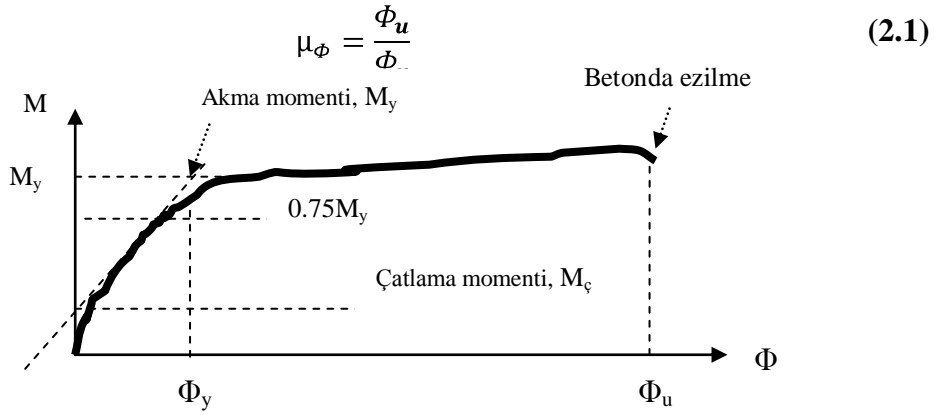
Ayrıca yapıda kesik çizgilerle dikdörtgen içerisine alınan bölge de çerçeve sürekliliği olmadığı kirişlerin birbirlerine saptanarak oldukça sağlıksız bir durum oluşturduğunu söyleme doğru olacaktır. Sonuç olarak dolaylı mesnetlenme, rijitliğin rölatif olarak farklı olması perdelerin tek doğrultuda yoğunludan dolayı, perdelerin dengeli dağılmaması, kiriş derinliklerinin geçilen açıklığa göre yetersiz ve kolon ile kirişlerin eşit yapılmadığı görülüyor [38].

2.7. Yapı Özellikleri

2.7.1 Süneklik

Süneklik perde duvarlarda dayanım kadar önemlidir. Deprem yükleri altında, perdeler sünek olarak eğilme kırılması oluşturmalıdır. Betonarme sistemlerde eğrilik ve öteleme sünekliği oldukça önemlidir. Eğrilik sünekliği, taşıyıcı elemanın kesit özellikleriyle ilgilidir. Ötelenme sünekliği ise yapının eleman kesitleri kadar, plan ve boy kesit özellikleri, açıklıkları, yükseklikleri ve mesnet şartları ile ilgilidir.

Eğrilik sünekliğini N-M- Φ ilişkisi üzerinde tanımlayabiliriz (Şekil 2.9). Tanımlama yapmak içinde, çekme donatısının akmasına karşılık gelen Φ_y ve basınç altında betonun ezilmesine tekabül eden Φ_u değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu değerler çizilen N-M- Φ ilişkisinden aşağıdaki şekilde hesap edilir (Şekil 2.9).



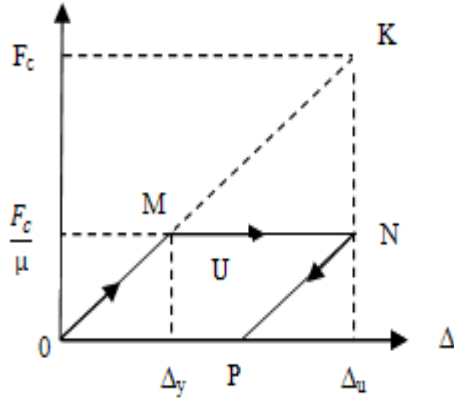
Şekil 2.10 : N-M- Φ İlişkisi [38]

Ötelenme Sünekliği : Plastik mafsalsın olduğu Elasto-plastik sistemde, M noktasına tekabül eden ötelenme Δ_y dir. Δ_y ile Δ_u arasındaki oran, taşıyıcı sistemin ötelenme sünekliği olarak tanımlanır. Deprem hesaplarında ötelenme sünekliği için μ_Δ 'nın yaklaşık 4~5 olması istenir. Başka bir deyişle, plastik mafsalsının oluşması anında Δ_y , taşıyıcı sistemde tüm güç tükenmesinin oluştuğu Δ_u 'ya ulaşmıncaya kadar 4~5 kez büyümelidir (2.2).

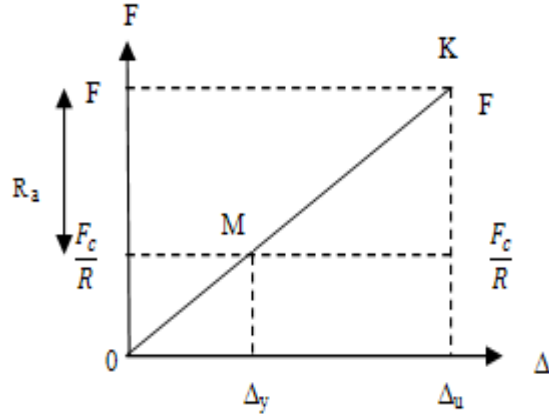
$$\mu_\Delta = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \cong 4 \sim 5 \quad (2.2)$$

Elasto-plastik sistem M noktasında plastik konuma geldiği için kütleye etki eden eylemsizlik kuvveti de M noktasında sınırlı kalır. Bu kuvvet, K noktasındaki F kuvvetinden defalarca küçüktür.

Elasto-plastik sistemde oluşan eylemsizlik kuvveti, elastik sistemdekinden daha küçük olup, bu katsayı deprem yükü azaltma katsayısı R_a olarak tanımlanır (Şekil 2.11-2.12).



Şekil 2.11 : Elasto Plastik Davranış [38]

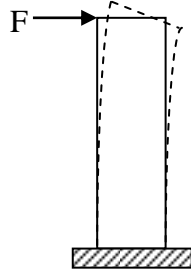


Şekil 2.12 : Deprem Yükü Azaltma Katsayısı [38]

2.7.2 Rijitlik

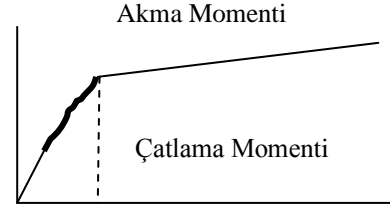
Yatay yüklerin meydana getirdiği deformasyon rijitlik olarak tanımlanır. Benzer ya da aynı yanal yük etkisindeki elemanlardan, az deformasyon yapan bir elemanın diğerine göre daha rijit olduğu belirtilebilir. Ayrıca binanın kullanılabilirlik sınır durumunda oluşacak ötelenmeler rijitlikle belirlenir. Yapıların en önemli olayı olan rijitlik, deprem etkisindeki davranışlarda, hafif ve orta şiddetteki depremlerde yanal ötelenmelerin kalıcı ve büyük olmamasını, şiddetli sismik etkiler altında ise rijitliğin azalabilmesi ve bina doğal periyodunun büyüyen sismik kuvvet oluşumunu azaltmasını amaçlar. Yapılar depreme dayanıklı olabilmesi için yeterince rijit olmalıdır. Bu kavram ötelenme ve eğilme rijitliği olarak düşünülebilir [35].

Ötelenme Rijitliği ise rijitlik yapının tamamıyla ilgilidir, kuvvetin yapıya etkimesi ile yapının bu kuvvet altında ötelenmesi arasında ilişki kurar. Ötelenme rijitliği kolon, kiriş ve perdelerin kesit özelliklerinin yanında elemanların, [açıklık / uzunluk] ve mesnet şartlarına da bağlıdır. K_F olarak tanımlanan rijitlikte, K_Δ rijitlik, F kuvvet, Δ ötelenmedir. $\Delta=1.0$ değerinde K_F olup, bu ötelenme rijitliği tanımıdır (Şekil 2.13, Şekil 2.14).



Şekil 2.13 : Konsol perde üzerinde öteleme rijitliğinin tanımlanması [15]

$$\Delta=1 \rightarrow F=K$$



Şekil 2.14 : Moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki eğilme rijitliği [15]

Eğilme Rijitliği : Betonarme taşıyıcı sistemlerde kesit özellikleriyle ilgili olan eğilme rijitliği, eleman kesiti üzerinde geliştirilen moment–eğrilik ilişkisi olarak ifade edilebilir. Eğilme rijitliğinin formülasyonu ve ölçüsü olan EI değeri, bu eğri üzerinde tanımlanır (Şekil 2.13). Kullanılabilirlik sınır durumu hesabındaki rijitlik, akma dayanımında kesitin taşıyabileceği momentin %75’i oranındaki kuvvetin ölçüsüdür $K=0.75F_y / \Delta_y$.

Rijitliğin binadaki elemanlarda sürekliliğine önemle dikkat edilmelidir. Yapılarda zemin katın rijitliği düşük tutularak (yumuşak zemin kat) yapının kuvvetli yer hareketinden az etkilenmesinin sağlanması düşünülebilir. Böylece yapı, sünger üzerindeki rijit blok gibi, kısa periyotlu zemin hareketinden korumaktır. Ancak bunun gerçekleşmesi için kolon uçlarında ideal plastik mafsallar yanında büyük kat yer değiştirmesine ihtiyaç vardır. İlk koşulun tam gerçekleşmemesi ve ikinci koşulda normal kuvvetten önemli ikinci merteye etkiler ortaya çıktığı için yumuşak zemin kat ilkesinin tam tersine kaçınılması gereken bir durum olduğu belirlenmiştir. Bu duruma maruz kalan binalar depremlerde çok kötü davrandıkları, bazı durumlarda toptan göçmenin meydana geldiği belirlenmiştir. Temellerde yapılan özel düzenlerle binaların yer hareketine karşı yalıtılması da esas olarak yumuşak zemin kat ilkesine dayanmakta ise de, yumuşak katlı binaların aksine bu tür düzenlerin başarı ile uygulandığı bilinmektedir [15].

Yapı elemanlarının rijitliğini uygun seçerek, titreşim periyodunu belirli aralığa getirip deprem etkilerini küçültmek mümkündür. Bunun için ilk yapılacak iş, spektrum eğrisinde bölgenin hakim periyodu ile yapınınkini uzak tutarak rezonans olayını önlemektir. Örneğin uzun zemin periyotlarının hakim olduğu bölgede, kısa periyotlu rijit az katlı yapılar uygundur. Genellikle bu tür bölgelerde derin tabakalar halinde yumuşak zemin bulunur ve yer hareketinin yüksek frekanslı bölümünü filtre

ederek söndürür ve geriye düşük frekanslı uzun periyotlu kısım kalır. Kayalık sert zemin bölgelerinde ise yer hareketinin yüksek frekanslı kısmı hakim olur [38]

3. BETONARME SİSTEMLERDE ADERANS, KENETLENME VE EKLEMELERE İLİŞKİN BİLGİLER

Betonarme taşıyıcı elemanlar, çeşitli yükler altında beton ve çeliğin beraber çalışmasını sağlayan sistemlerdir. Betonarme yapılarda donatı ile onu saran beton arasında herhangi bir relatif yer değiştirmenin 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. Beton ve çelik arasındaki aderans düşünülerek, kenetlenmelerde ve ek yerlerinde donatı yerleşimlerine gereken özen gösterilmelidir [63].

3.1 Aderans

Beton ile donatı olarak kullanılan çeliğin birbirine yapışması, beraber uyum içerisinde bir bağ oluşturmasıdır. Bu bağ kuvvetine kısaca “aderans” adı verilmektedir. Betonarme elemanlarda aderans, aşağıda belirtildiği gibi iki şekilde bulunmaktadır:

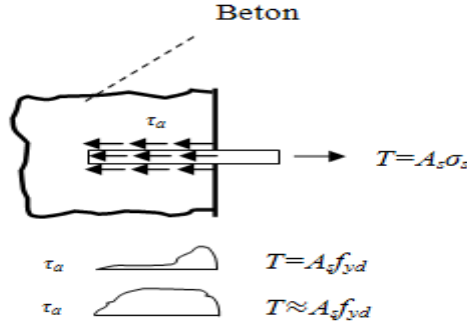
1. Beton bloğa gömülmüş, ankre edilmiş çubukların çekme veya basınç kuvveti ile çıkmasına engel olan kenetlenme (ankraj) aderansı,
2. İki malzemenin beraber çalışmasını sağlayan ve çatlama durumunun şekli üzerinde rol oynayan eğilme aderansıdır [15].

3.1.1 Ankraj aderansı

Bir çubuk beton bloğa yeterli boyda gömüldüğünde, beton prizini aldıktan sonra betonun içinden çıkmasının mümkün olmayacağı ve bu ankrajı sağlayan aderans gerilmelerinin kenetlenme aderansı olduğu belirtilmektedir [63].

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) [63].



Şekil 3.1 : Kenetlenme Aderans Gerilmelerinin Değişimi [63]

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

$$\sum \tau_a = T \quad (3.1)$$

$$\tau_a \cdot \pi \cdot \Phi \cdot l_b = A_s \cdot f_{yd} = \frac{\pi \cdot \Phi^2}{4} \cdot f_{yd} \quad (3.2)$$

$$l_b = \frac{f_{yd}}{4\tau_a} \cdot \Phi \quad (3.3)$$

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 ilgili 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.

$$l_b = C_o \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \cdot \Phi \quad (3.4)$$

Denklemde f_{ctd} beton çekme dayanımını, C_o 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 [63].

Nervürlü olmayan donatılarda ya da çubuklarda çekip çıkarmaya yakın durumlarda aderans gerilmeleri boyun her noktasında meydana gelmektedir.

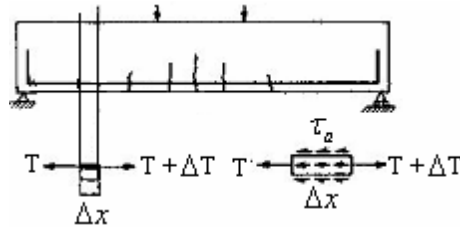


Şekil 3.2 : Yetersiz Kenetlenmenin Etkileri

Aderans olayı çubuğun, sıyırılma deneyinde boyu ne kadar uzun olurda olsun betondan çıktığı anda sonlanır. Nervürlü çubuklarda ise bütün gömülme boyu değil, onun ancak bir kısmı çalışmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında gömülme boyunu belli değerden fazla yapmak bir fayda sağlamaz. Aderansın bozulması ise dişler arasındaki betonun kırılması ile olmaktadır [63].

3.1.2 Eğilme aderansı

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 [9].



Şekil 3.3 : Eğilme Aderansının Oluşumu [63].

Eğilmeye çalışan betonarme bir elemanda, kesitten kesite moment etkilerinin değişebilmesi için donatının gerilmesinin de değişmesi gerekmektedir [32]. Denge

şartı gereği Δx uzunluğundaki çubuk çevresinde etkili olan aderans gerilmeleri toplamı çubuğun iki ucundaki çekme kuvvetleri farkına eşit olmalıdır. Eğilme aderans gerilmeleri 3.5 ve 3.6'da gösterildiği gibi elde edilebilir.

$$\Delta T = \tau_a \cdot (u) \cdot \Delta x = \frac{\Delta M}{\tau} \quad (3.5)$$

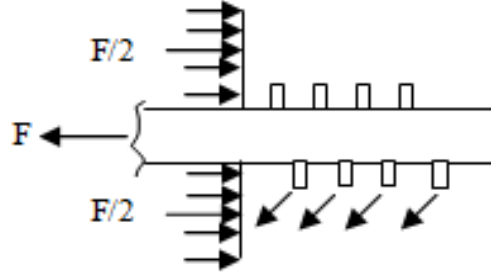
$$\tau_a = \frac{\Delta T}{(u) \cdot \Delta x} = \frac{V}{u \cdot z} \quad (3.6)$$

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 [63].

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 dış 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 etkinken, çelik çubuğa bunların zıt yönleri tesir eder. Bu kuvvetlerin büyük değerler alması halinde eğik basınç gerilmeleri nedeniyle beton ezilir [32].



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 aderansı etkileyen bazı faktörleri şöyle belirtmektedir [63]:

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 etkindir. 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 olusu başka bir etkindir. 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 olusu da aderansı etkilemektedir. Bir kenar çubuğunun aderansı, kenardaki beton tabakasının ince olması dolayısıyla enine deformasyon yapması nedeniyle bir iç çubuk kadar olmaz. Pas payı 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 yarılmamasını önler. Etriyeler betona gelen kuvveti dengeleyerek aderansa olumlu katkı yapmaktadırlar.

7. Çelik çubuğun çapı ne kadar büyük 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 ise 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 azaltıldığı 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 ayrı çubukların aderansından daha iyidir.

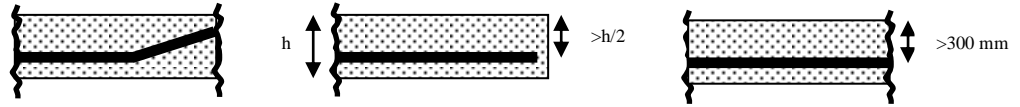
10. Çubuğu saran betonun çubuk eksenine dik noktadaki gerilme durumu aderansın değişmesinde rol oynamaktadır. Düz yüzeyli çubuklarda sürtünmenin yüzeye dik etkiyen zorlarla artması söz konusudur. Nervürlü çubuklarda ise çıkıntıların betonda oluşturdukları çekme gerilmeleri bir yan basınç sonucunda azalır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

11. Elektro kimyasal etken de aderansın üzerinde etkili bir parametredir. Çelikten başka çinko, alüminyum ve bakır gibi madenlerden yapıma kalıpların kullanılması halinde donatı çelikleriyle farklı madenden yapıma kalıp arasında potansiyel farkından dolayı bir pil oluşmakta ve donatı çevresinde aderansı önemli derecede azaltan gaz kabarcıkları meydana gelmektedir. Bu sebeple betonarmede kullanılan kalıpların ahşap, çelik saç veya plastik olması gerekir [36].

3.2 Kenetlenme

Yapılan hesaplar sonucu betonarme bir elemanda 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 [15].

Gerekli kenetlenme boyu TS 500’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 [47]

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 3.7’de verilmiştir.

$$l_b = 0,12 \frac{f_{yd}}{f_{cta}} \phi \geq 20\phi \quad (3.7)$$

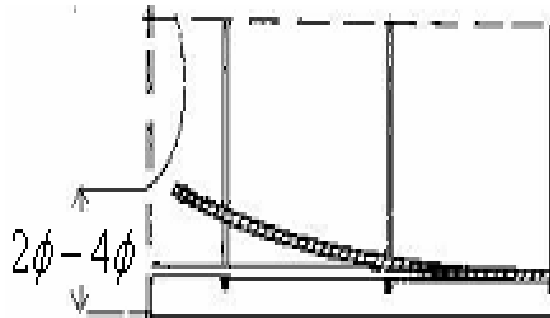
Düz yüzeyli çubuklarda kenetlenme boyu nervürlülere nazaran daha uzun olduğundan, düz yüzeyli çubukların kenetlenme boyu hesabı için Denklem 3.7’deki değerin iki katı alınmalıdır. Bunun dışında düz kenetlenmeye düz yüzeyli donatılarda

izin verilmez [47]. TS 500, aderans açısından olumsuz olabilecek aşağıda belirtilen durumlarda 3.7'den elde edilen değer in 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.

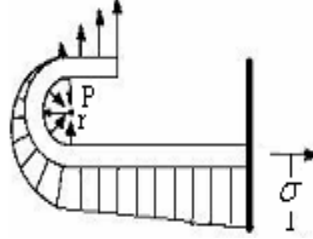
c. Beton örtüsünün donatı çapından az olduğu veya aynı sıradaki donatı çubukları arasındaki net uzaklığın donatı çapının bir buçuk katından küçük olduğu durumlarda ise kenetlenme boyu 1,2 ile arttırılmalıdır. Bazı durumlarda da kenetlenme boyu azaltılabilmektedir. Mesela, kesitteki donatı hesaplanan donatıdan fazla olduğunda 3.7.'den elde edilen değer, hesaplanan donatı alanının mevcut donatı alanına oranı ile çarpılarak azaltılabilir. Ancak bu azaltma, 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 3.7'den hesaplananın $\frac{3}{4}$ '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 (Şekil 3.6) [37].



Şekil 3.6 : Düz Kenetlenmiş Nervürlü Donatı [47]

3.2.2 Kanca veya fiyongla kenetlenme

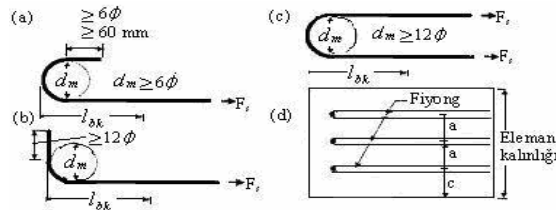
Yeterli kenetlenme boyu bulunmadığında ankraj boyunu kısaltmak için kanca denen çengel kısmın yapılması yoluna gidilebilir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Kançalı Donatıdan Betona Etkiyen Kuvvetler [47]

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 F/r ile orantılıdır. Yarıçap küçük olduğunda gerilme büyük değerler alabilir ve betonda ezilme olur. Bu sebeplerle yönetmeliklerde, kancaların belli çapta olmaları istenmektedir [37].

Şekil 3.8’de gösterildiği gibi standart kanca ve fiyonglar yapılması halinde, 3.7’den bulunan kenetlenme boyunun $3/4$ ’ü kadar alınabileceği belirtilmektedir.

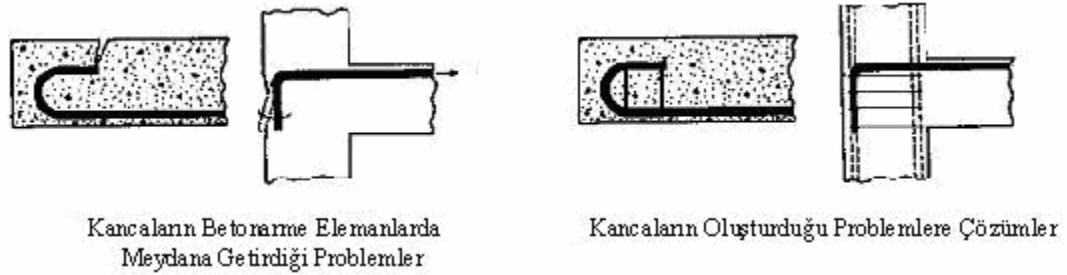


Şekil 3.8 : Standart Kanca ve Fiyonglar [47]

Şekil 3.8(a)’da gösterildiği gibi bu tür standart kancanın donatı eksenini 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 eksenini 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 müsaade 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 olacaktır. 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 [37].



Şekil 3.9 : Basınç Donatılarında Flambaj ve Olası Çözümleri [37]

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 Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Kaynaklanmış Enine Çubuklar İçin Kenetlenme Koşulları [15]

Donatı Yüzeyi	Φ (mm)	Konum I		Konum II	
		n	l_b (mm)	n	l_b (mm)
Düz	$\Phi < 8,5$	3	45	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 söz konusu olduğu durumlarda Tablo 3.1’deki değerlere bir çubuk ve 100 mm eklenmelidir [47].

3.2.4 Mekanik kenetlenme

Özel durumlarda kenetlenme, donatı ucuna kaynaklanan veya vidalanan plakalarla sağlanabilir. Bu gibi durumlarda, öngörülen düzenleme bir laboratuarda denenmeli ve projede kullanılacak çubuk hesap kuvveti kırılma yükünün %70'ini geçmemelidir [47].

3.2.5 Demet donatının kenetlenmesi

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, 3.8'deki bağlantı kullanılmalıdır.

$$\Phi_e = 1,2 \cdot \Phi \cdot \sqrt{n} \quad (3.8)$$

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



Şekil 3.10 : Demet Donatı Düzenlenmesi. [63]

Demet donatı için kenetlenme ve eklemadaki koşullar aynen geçerlidir. Ancak kenetlenme boyu hesabında 3.8'den bulunan es değer çap kullanılabilir.

3.2.6 Etriyelerin kenetlenmesi

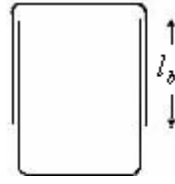
Betonarme taşıyıcı sistemlerde etriyelerin kenetlenmesi oldukça önemlidir ve bu kenetlenme, kanca, düz bindirme veya enine çubuk kaynaklanması gibi farklı yöntemlerle sağlanabilir. Kanca ile kenetlenme durumunda, Şekil 3.11'de gösterildiği gibi 135° veya 90° kancalar kullanılır. Burada özellikle 135° kancaların, dikdörtgen kesitli kolonlar ve özellikle burulmaya maruz elemanlar için kullanılması gerekmektedir. 90° kancaların yapılması halinde kanca tabla içinde kalmak koşuluyla, ancak dişli döşeme kirişlerinde kullanılabilir fakat, deprem ve burulma etkisi altındaki elemanlarda kullanılmamalıdır.

Etriyeler kenetlenirken aderans boyuda dikkate alınmalıdır. Yani etriyelerin kanca boyları donatı gerilmesi, donatı çapı, kayma gerilmesine göre belirlenmelidir.



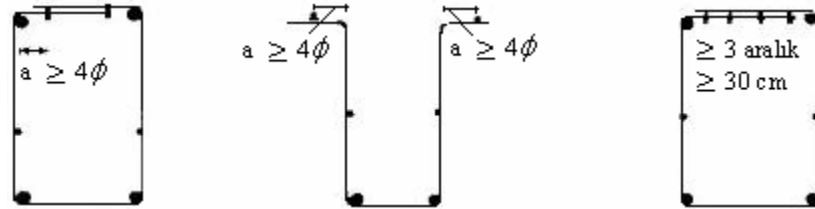
Şekil 3.11 : Etriyelerde Kancalı Kenetlenme Türleri [47]

Betonarme yapılarda düz bindirmeli etriye kenetlenmesinin yapılması durumunda, bindirme boyu $l_b = 0,12 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \phi \geq 20\phi$ denkleminde 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 [47].

Betonarme taşıyıcı sistemlerde kaynaklı enine donatı kullanılması ve kenetleme yapılması durumu ise ancak hasır donatı kullanıldığında yapılmaktadır. Uygulamalarda izin verilen kaynaklı kenetlenme türleri Şekil 3.13’te gösterilmiştir [47].



Şekil 3.13 : Etriyelerde Kaynaklı Kenetlenme Türleri [47]

3.3 Donatının eklenmesi

Betonarme yapılarda, özellikle yerine dökme olarak yapılan yapılarda imalat kolaylığı olması açısından ve taşıma esnasında herhangi bir sıkıntı yaşanmaması için kullanılan donatıların boyu belli sınırları aşamaz. Genellikle düz yüzeyli donatılar 10-12 m boyunda ve firketeler şeklinde bulunurlar. Aderansı gelişmiş dayanımı yüksek olan donatılarda ise en çok 16- 18 m boyuna kadar yapılmaktadır. İnşaat esnasında ya da uygulama esnasında daha uzun donatıların gerektiği durumlarda donatılar birbirlerine eklenebilir. Herhangi bir başka sorunda da donatılar birbirlerine

eklenebilirler. Beton içerisindeki donatılar birbirlerine eklenirken gerekli aderansı sağlanması için bindirme boyunun yanı sıra bu özelliği sağlayacak şekilde bindirmedeki Aderansı sağlamak amacıyla donatı çeliğinin cinsine uygun kaynaklı veya manşonu eklerde yapılmasına izin verilebilir [42].

3.3.1 Bindirmeli ekler

Betonarme yapılarda çekme veya basınca maruz kalan ve çapı belli olan donatıların aderans özelliğinden faydalanarak bindirmeli ek yapılabilir. Bu durumda donatılar bindirme bölgesinde, bu bölgenin momentin sıfır olduğu bölge olmasına özen gösterilir, birbirleri ile temas halinde olması veya çapı ϕ olan donatıların en fazla birbirleri arasında en fazla 4ϕ 'ye kadar aralıklı olacak şekilde yan yana konmalı ve birbiri üzerinde l_o "bindirme boyu" adı verilen boy kadar eklenmelidir. Donatıların birbirine eklendiği bölgelerde herhangi bir çekme veya basınç gerilmesi meydana gelmesi durumunda buradaki çekme veya basınç gerilmesinin bu bölgedeki çubuğun uç noktasında sıfırlandığı kabul edilerek bu bölgede donatı ile beton arasında aderansın sağlandığı kabul edilir.

Donatıların beton ile aderans arasındaki ilişki zıt yönlüdür ve donatıları saran beton bu zıt kuvvetlerin altında dengededir. Donatıyı 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 [42].

1987 yılında yayınladığı Betonarme kitabında Ersoy, 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. Bindirme boyu 3.9'da verildiği gibi belirlenmektedir [17].

$$l_o = \alpha \cdot l_b \quad (3.9)$$

$$\alpha_1 = 1 + 0,5 \cdot r \quad (3.10)$$

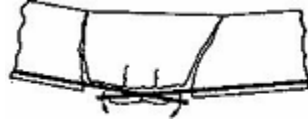
Burada, r aynı kesitte eklenen donatının toplam donatıya oranıdır. Bütün kesiti çekme taşıyan elemanlarda $\alpha_1 = 1,8$ alınır. Konum I' e giren çubuklarda bu değer 1,4

çarpımıyla arttırılır. Uygulamada çekmeye çalışan çubukların bindirmeli ek uçlarının kanca şeklinde kıvrılması durumunda, $3.9'$ dan hesaplanan bindirme boyu değerinin $3/4'$ üne kadar bir değer alınabilir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 : Çekme Kuvveti Taşıyan Donatıların Şaşırtmalı Bindirme Eki [17]

Bindirmeli eklerin ucunda yoğunlaşan gerilme yığılmaları sebebiyle özellikle nervürlü donatılar kullanıldığında, beton örtüsünün yarıma olasığının artacağını belirtmiştir. Bu sebeple ekler arasındaki uzaklık ve pas payı yeterince büyük olmalıdır. Bindirmeli eklerin bindirme boyunca kapalı etriyelerle sarılması yararlı olacaktır [47]. 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.

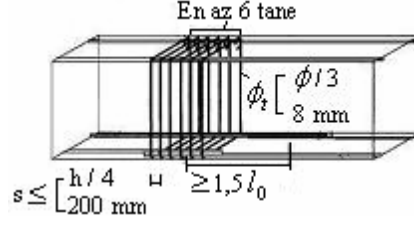


Şekil 3.15 : Eklerde Rijit Cisim Dönme Problemi. [17]

Bu tip problemleri önlemek için sargı donatıları için verilen aşağıda koşullar sağlanmalıdır.

1. Bindirme boyunca kullanılacak sargı donatısı çapı, en az eklenen donatı çapının $1/3'$ ü veya $\Phi 8$ olarak alınmalı ve bindirme boyu boyunca en az 6 tane sargı donatısı kullanılmalıdır.
2. Sargı donatısı aralığı eleman yüksekliğinin $1/4'$ 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.

Tüm bunlara özenle dikkat edilmeli ve şantiye şartlarında bu durum göz ardı edilmemelidir. Bu yüzden şantiye mühendislerine ve işçilere oldukça büyük sorumluluk yüklenmektedir.



Şekil 3.16 : Bindirmeli Eklerde Sargı Donatılarına İlişkin Koşullar. [17]

Hasır donatıların bindirmeli ek yapımlarında ise Çizelge 3.2'deki koşullara uyulmalıdır. Yalnız, Çizelge 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 artırılıp, kullanılmalıdır [17]

Çizelge 3.2 : Nokta Kaynaklı Hasır Donatının Bindirme Koşulları [47]

Donatı Yüzeyi	Φ (mm)	Konum I		Konum II	
		n	l_b (mm)	n	l_b (mm)
Düz	$\Phi < 8,5$	4	500	4	40
	$\Phi > 8,5$	5	60	5	500
Nervürlü	$\Phi < 8,5$	4	40	4	35
	$\Phi \geq 8,5$	4	45	4	40

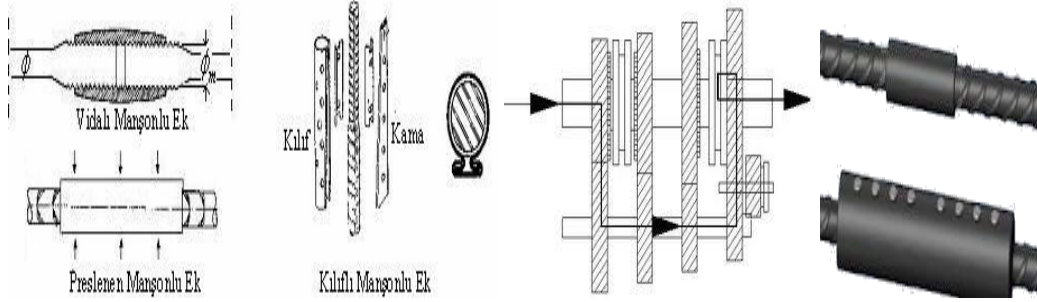
Basınç donatılarının bindirmeli eklerinde dikkat edilmesi gereken bazı hususlar ise şu şekilde belirtilmektedir:

1. Basınç donatılarının bindirme boyu 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 [9].

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 [48]

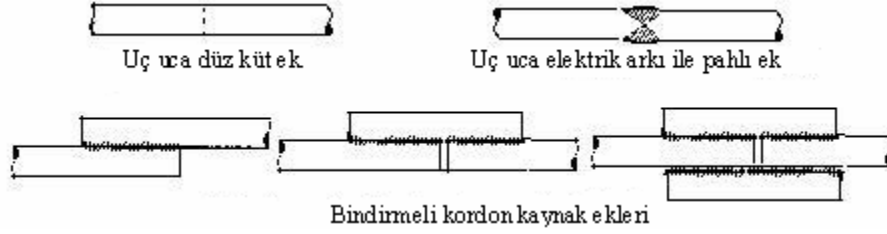
Elemanlar vidalı manşonlu eklerle bağlanacaksa, donatıların veya vidaların uç kısımları basınçla şişirilip normal çapından daha büyük bir hale getirilir ve bu kısım manşon denilen silindirik özel mekanik sistemle dışlara ters yönde çevrilerek bağlanırlar ve böylece iki donatı birbirlerine bağlanmış olur. Manşonlar preslendiğinde ise nervürlü donatılar manşona uygun bir şekilde yerleştirilip, hidrolik presle sıkıştırılır. Başka bir şekilde ise çubuklar küçük kuvvetlere maruz kaldığında kılıflı ekler kullanılır ve çubuklar eksenlerine dik kesilir, böylece birbirleriyle tam temas ettirilerek etraflarına kaymaya engel olan kılıflar geçirilir ve boşluklar termit ile doldurulur.

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 [47].

3.3.3 Kaynaklı ekler

Betonarme yapılarda donatıların kaynaklı ekleri yapılmadan önce çubukların metalürjik analizi yapılmalı ve çeliğin özellikle karbon içeriği açısından kaynaklanmaya uygun olduğu anlaşılmalıdır. Kaynakla yapılan eklerden her elli taneden birine çekme deneyi uygulanmalıdır. Kaynaklı ek, eklenecek çeliğinin türüne bağlı olarak 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 islenerek dayanımı

yükseltilmiş beton çelikleri çok ısıtıldıklarında, yüksek dayanımlarını kaybettiklerinden bunların kaynakla eklenmelerinde özel önlemlerin alınmalıdır [15].



Şekil 3.18 : Kaynaklı Ek Türleri [15].

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 [18]. Kaynağın özenli yapılmadığı veya kaynak nedeni ile bir zayıflama olduğu durumlarda, önemli sorunlar doğabilir. TS 500’de, kaynaklı ek yapılması durumunda genel olarak aşağıda belirtilen su 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 [18].

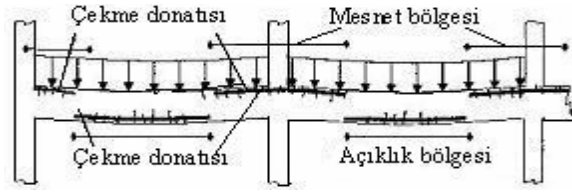
4. BETONARME YAPILARDA DONATI YERLEŞİMİ

Betonarme yapılar da donatı yerleştirilmesinin sağlıklı yapılamaması binanın 3mrünü azalttığı gibi deprem gibi doğa felaketlerinde de hasarı b3y3k sonuçlar ortaya koyabilir t3m bunlarla binaların servis 3m3rlerini de azaltır. Yapılarda kullanılabilirlik sınır durumu aŐıldığında ya da bu duruma yaklaŐıldığında binalar hem psikolojik olarak kullanımdan 3ıkar hem de kullanılmaması i3in binaların yıkılmasını beklemeye gerek kalmaz. 3rneğin, y3ksek katlı bir g3kdelen inşaatında, yerine d3kme betonarme taşıyıcı sistemlerden olan perde duvarlarda enine donatılara yapılması gereken kancalar sağlıklı ve iyi bir Şekilde yapılmaz ya da donatılar statik hesaplara uygun olarak yerleŐtirilmezse sonucu b3y3k maddi ve manevi hasarlara yol a3abilir. Yapılardaki donatılar hesaplanırken, gerilmenin donatılar arasındaki akıŐı 3ok iyi Şekilde kesintisiz olarak sağlanmalıdır. Yapılarda donatılar olabildiğince kesintisiz olarak yerleştirilmeli, olası donatının kesilmesi durumunda ise buralarda gerekli 3nlemler alınmalıdır. Yapılarda oluşan gerilmeler keskin k3Őelerde problem oluşturduğu i3in donatılar olabildiğince keskin bir Şekilde b3k3lmemeli bunun i3inde gerekli hassasiyet 3zenle g3sterilmelidir [8].

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 y3netmeli gereği yerleştirilmesi zorunlu olan donatılardan oluşmaktadır. Bu donatılardan 3ekme b3lgesine yerleştirilen boyuna donatılar, 3ekme donatısı, basın3 b3lgesine yerleŐtirilenler ise basın3 donatısı olarak adlandırılmaktadır. 3ekme donatısı olarak adlandırılan donatının konumu, elemana etkiyen y3k3n ve a3ıklığın b3y3kl3đ3ne, s3rekli kirişlerde de komsu a3ıklıkların oranlarına bağlıdır (Şekil 4.1).

T3m bunların yanı sıra donatılar yerleştirilirken birleşim b3lgelerine 3ok fazla dikkat edilmelidir. Buralar donatı yoğunluğunun olduğu bir b3lge olup yapının inŐaası esnasında herhangi bir olumsuzlukla karŐılaŐılmamasına 3zen g3sterilmelidir.

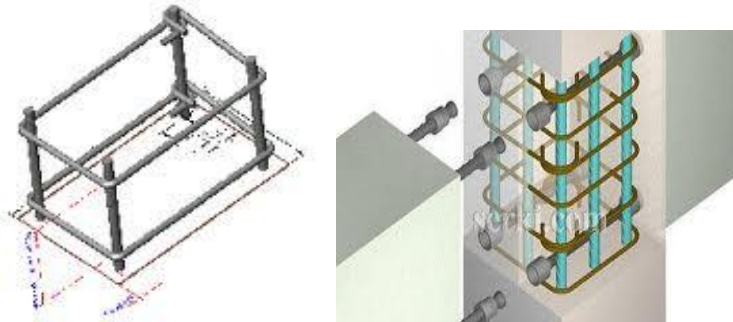


Şekil 4.1 : Çekme Donatısının Yerleşimi [15]

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 [15].

4.2 Enine Donatılar

Betonarme taşıyıcı sistemlerde boyuna donatıları bir arada tutan ve onları gelen aksenal basınca karşı birlikte çalışmasını sağlayan donatılara enine donatı denir. Taşıyıcı sistemlerde oluşan kesme kuvvetleri etriyelerle karşılanır (enine donatılar) (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 : Enine Donatının Yerleşimi [49]

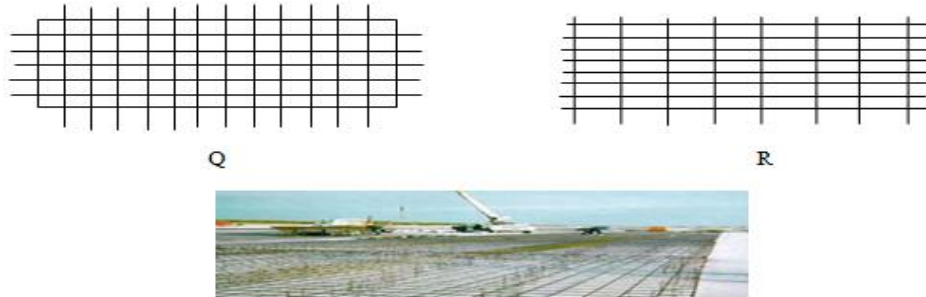
Etriyelerin kullanılmasının faydaları, aşağıda belirtildiği gibi verilmektedir.

1. Eğik çekme gerilmelerinin kiriş eksenini 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 boyunca donatısını betona bağlayarak, bunların kesme kuvvetinin karşılanmasındaki perçin etkisini arttırmırlar.
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 yanıl genişlemesini azaltarak, betonun hem dayanımını ve hem de sünekliğini arttırlar [9].

4.3 Hasır Donatılar

Hasır donatılar betonarme yapı elemanlarında plak ve kabuklarda, perdelerde, kiriş ve kolonlarda, sömellerde, asmolen döşemelerde, hatılarda, 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. Tüm bunlara rağmen kanca yapılmak istenirse kanca türleri TS500'e göre; 135° standart etriye kancası, 90° standart ve bindirmeli şekilde yapılabilir. Çubuklar yüksek mukavemetli punto kaynakla birleştirildiğinden hem bu durum hem de özel nervürleri sayesinde çelik hasır, beton ile birlikte mükemmel bağdaşım iki malzemenin en iyi bir şekilde müşterek çalışmasını temin eder. Çelik hasırların şantiyede kolay taşınabilir ağırlıklarda olması nedeniyle montajı kolay ve çabuk olmaktadır. Normal demire kıyasla çubukların düzeltilip, kesilerek hazırlanması ve bağlanması yerine, muntazam aralıklarla teşkil edilmiş çelik hasırların uygulamadaki montajı kısa zamanda olmakta, dolayısıyla da işçilikten yarı yarıya tasarruf sağlanmaktadır [50]. Çelik hasırlar kullanım amacına göre, Şekil 4.3'te gösterildiği gibi, Q ve R tipli olmak üzere, iki şekilde imal edilirler.



Şekil 4.3 : Hasır Donatı Tipleri [50]

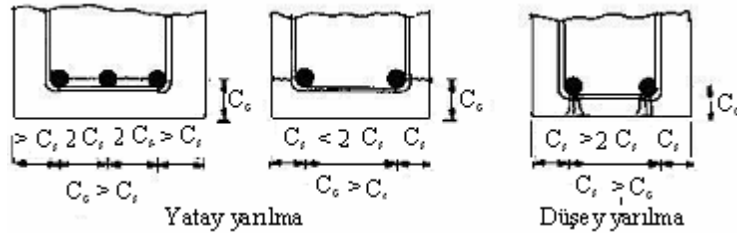
Q tipi hasır donatılar, iki doğrultuda çalışan döşemelerde genellikle alt donatı olarak R tipi hasırlar ise bir doğrultuda çalışan döşemeler için veya iki doğrultuda çalışan

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 donatılarının imalatına ilişkin ayrıntılı bilgiler Doğançün (2008)'de verilmektedir [15].

4.4 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 [47].

Donatı aralıklarına yönelik yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, betonda meydana gelen yarıma tipinin donatılar arası mesafelerin değişimleriyle ilişkili olduğu belirtilmektedir [18]. Donatıların birbirlerine olan uzaklıklarına ve paspaylarına bağlı olarak, Şekil 4.4'deki gibi yatay ve düşey yarımlar meydana gelir.



Şekil 4.4 : Donatı Mesafelerinin Beton Yarımlarında Etkisi [18].

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 olmasının 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 [4].

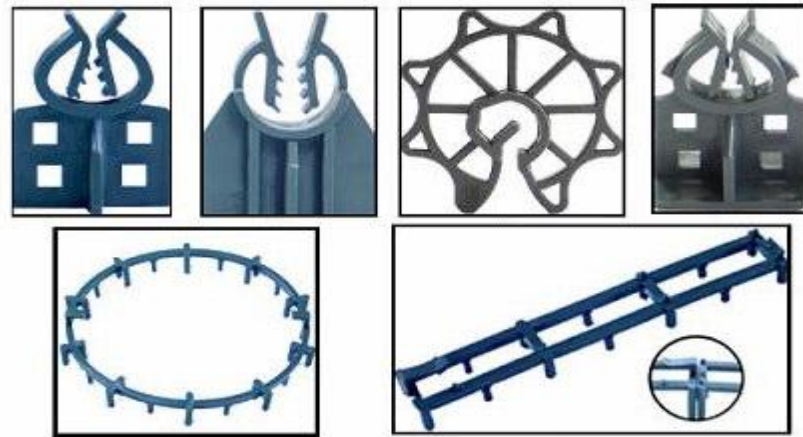
Donatı yerleşimleriyle ilgili verilen su genel koşullara dikkat edilmelidir:

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 Çizelge 4.1'deki koşulların sağlanması gerekmektedir.

Çizelge 4.1 : Betonarme Elemanlarda Minimum Olması Gereken Paspayları [47]

Perde duvar ve döşemelerde	15 mm
Kabuk ve katlanmış plaklarda	15 mm
Yapı içinde, dış etkilere açık olmayan kolon ve kirişlerde	20 mm
Hava koşullarına açık kolon ve kirişlerde	25 mm
Zeminle doğrudan ilişkide olan	50 mm

Yapılarda kullanılacak çeşitli paspayları mevcuttur. Bunlar işlevlerine göre değişik isim ve şekil almaktadırlar. Rahatça beton geçişini sağlamak için genelde gözenekli olmaktadır. Yapılarda kullanılan bazı paspaylarına Şekil 4.5'de örnek verilmiştir [51].



Şekil 4.5 : Paspaylarına Örnekler [51]

5.BETONARME SİSTEMLERDE ve PERDELERDE DONATI DÜZENLEME İLKELERİ

Günümüzde yüksek katlı yapılarda perde duvarlarının yapımının yanı sıra perde duvarlara çalışması benzeyen istinat duvarları ve bunların donatı düzenlemelerinde yapılan hatalar sonucu bu yapıların işlevlerini yitirmesi ve göçmesi, bu sistemlerin donatı düzenlemelerinin önemini ortaya çıkarmıştır ve bu yüzden dolayı da istinat duvarları, donatı düzenlerine de kısaca değinilecektir.

5.1 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. 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. 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.[31]

Bizim için önemli olan istinat duvarlarının yapımı gereken yerlerde donatılı istinat duvarının yapılması ve bu istinat duvarının donatılarındaki dikkat edilmesi gereken birkaç püf noktaya değineceğiz.

İstinat duvarları hesaplanırken birçok parametre göz önüne alınarak yapılır, dolayısıyla donatı hesabı yapılırken de bu etkenlerden yararlanılır ki donatı hesabında en çok dikkat edilmesi gereken nokta:

- Duvar arkasında ki gelen yüklerin doğru hesaplanması.

- Zemin araştırmalarının çok iyi yapılması.
- Stabilitte hesapları dediğimiz, devrilme, kayma, taban basıncı, toptan göçme tahkiklerinin çok sağlam yapılması gereklidir [37].

Tüm bu parametreler belirlendikten sonra donatı hesabı yapılır ve donatı teşkil edilirken donatının istinat duvarındaki yerleşiminde TS 500' de de belirtilen şu unsurlara dikkat edilmelidir.

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 m² duvar yüzeyinde en az dört tane çiroz ile karşılıklı olarak bağlanmalıdır [47].

Konsol istinat duvarlarında yerleştirilecek minimum ana donatı oranı ve donatı aralığının bir doğrultuda çalışan döşemelerde olduğu gibi 5.1'i sağlaması gerekir.

$$\rho \geq \rho_{min} = 0,003 \text{ (S 220) ve } 0.002 \text{ (S 420; S 500)} \quad (5.1a)$$

$$s \leq s_{max} = 1,5.hf \quad (5.1b)$$

$$s \leq s_{max} = 0,2 \text{ m} \quad (5.1c)$$

Benzer şekilde ana donatıya dik dağıtma donatısı da yerleştirilmeli ve dağıtma donatıları Denk. 5.2'yi sağlamalıdır.

$$A_{s(dağıtma)} = A_s/5 \quad (5.2a)$$

$$s \leq s_{max} = 2.hf \quad (5.2b)$$

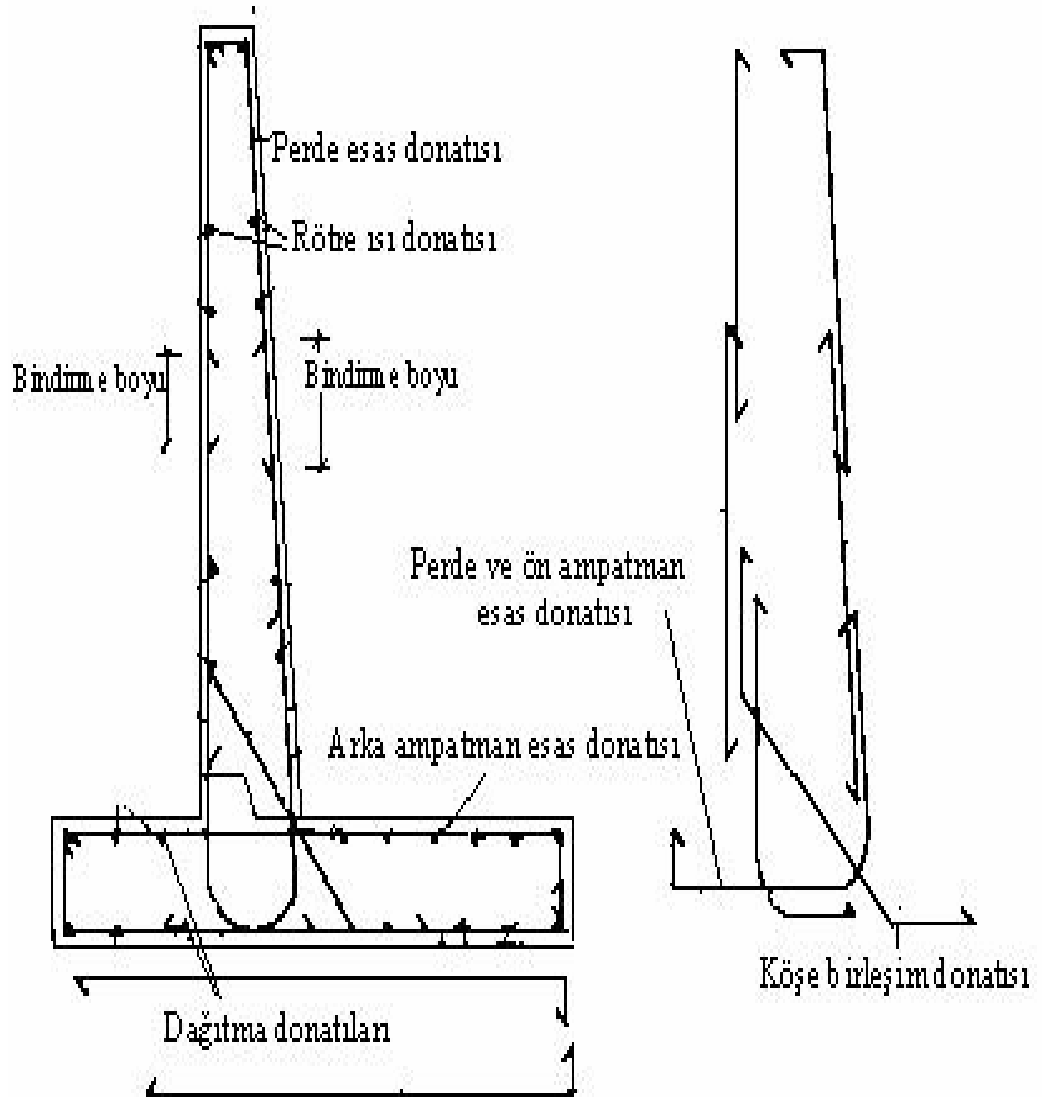
$$s \leq s_{max} = 0,025 \text{ m (S 220) ve } 0.30 \text{ m (S 420; S 500)} \quad (5.2c)$$

Bu denklemlerdeki, $A_{s,dağıtma}$ dağıtma donatısının kesit alanını, hf duvar kalınlığını, s etriye aralığını, ρ_{min} minimum donatı oranını göstermektedir. Düşey perdeler yatay

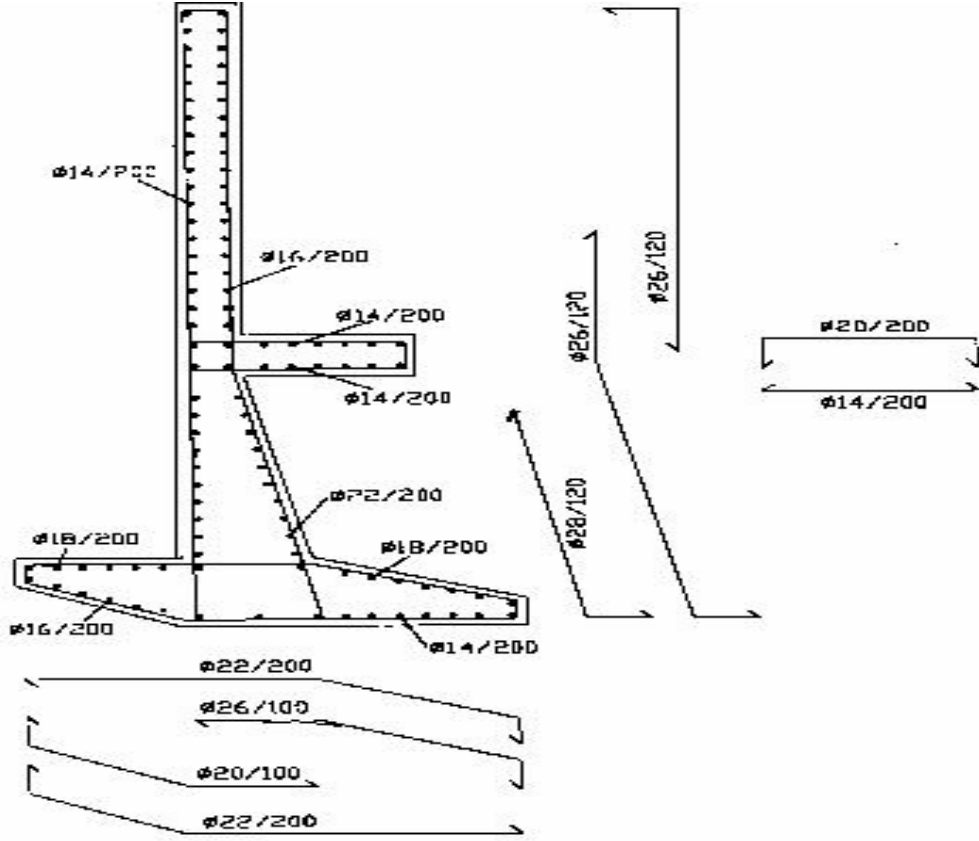
ve düşey doğrultuda beton büzülmesi ve sıcaklık farkı etkisi sebebiyle donatı yerleştirilmeli ve yerleştirilecek bu donatılarda 5.3'e uyulmalıdır. Yatay doğrultuda 0.0025 oranı ile hesaplanan donatının 2/3'ü ön yüze ve 1/3'ü arka düşey doğrultuda, 0.0015 oranı ile hesaplanan donatının ise tamamen ön yüze konulması gerekir. Bu durum Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

$$A_s = 0,0025.b.h \text{ (yatay) Arka yüze } 1/3.A_s, \text{ Ön yüze } 2/3.A_s \quad (5.3a)$$

$$A_s = 0,0015.b.h \text{ (düşey tamamı ön yüze)} \quad (5.3b)$$



Şekil 5.1 : İstinat Duvarlarında Donatı Düzenleri [9]



Şekil 5.1(devam) : İstinat Duvarlarında Donatı Düzenleri [9]

5.2 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 katkısı 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 aksenal 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. Aksenal 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.

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 perdelerle 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 [15].

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 [39].

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 [5].

5.2.1 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 [11].

$$H_w / l_w > 2.0 \quad (5.4)$$

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

Deprem yüklerinin tümünün bina yüksekliği boyunca sadece perdeler tarafından taşındığı binalarda, **5.5a,b** 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.

$$\Sigma A_g / \Sigma A_p \geq 0,002 \quad (5.5a)$$

$$V_t / \Sigma A_g \leq 0,5 \cdot f_{ctd} \quad (5.5b)$$

Burada ΣA_g deprem doğrultusuna paralel yapı elemanlarının en kesit 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. 5.3'ün bodrum katların çevresinde çok rijit betonarme perdelerin bulunduğu binalarda zemin kat düzeyinde, diğer binalarda ise temel üst kotu düzeyinde uygulanması gerekir [11].

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 süneklik kazandırmak, ek boyuna donatı kullanarak perde kesitinin moment kapasitesini arttırarak, yoğun çatlamaş bölgede betonun parçalanarak dağılmasını engellemeye yöneliktir. Temel üstünden itibaren kritik perde yüksekliği, $2l_w$ değerini asmamak üzere, 5.4'de verilen her iki değerden elverişsiz olanını sağlayacak biçimde belirlenmesi gerekmektedir.

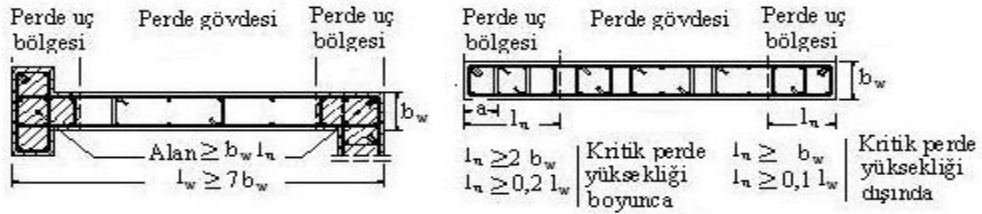
$$H_{cr} \geq l_w \quad (5.6a)$$

$$H_{cr} \geq H_w/6 \quad (5.6b)$$

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 birlesen diğer bir

perdenin veya perdenin ucunda genişletilmiş bir kesitin içinde de düzenlenebilmektedir [5].

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 birlesen diğer bir perdenin veya perdenin ucunda genişletilmiş bir kesitin içinde düzenlenmesi durumunda, her bir perde uç bölgesinin en kesit alanı, en az dikdörtgen kesitli perdeler için yukarıda tanımlanan alana eşit olmalıdır. Perdelerde sağlanması gereken boyut koşulları Şekil 5.2'de gösterilmiştir [11].



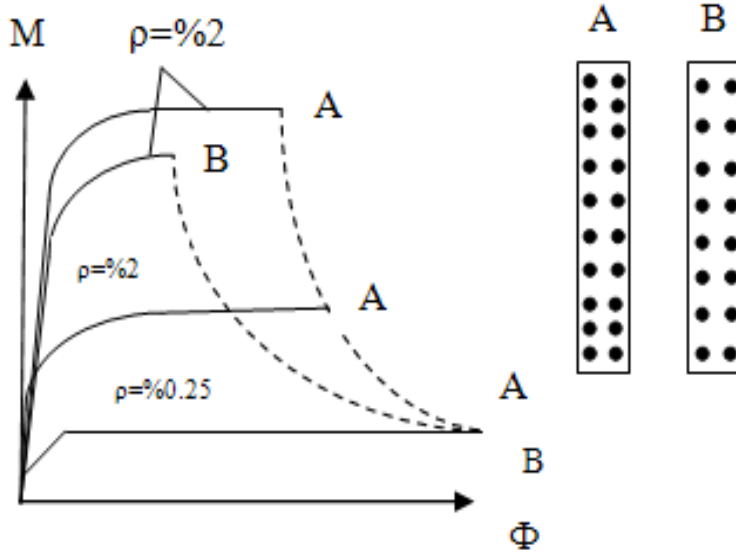
Şekil 5.2 : Perdelerde Boyut Koşulları [11]

5.2.2 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 taşıdığına perde kesitinin baslarında 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 5.3’de gösterildiği gibi uç bölgesi bulunan ve bulunmayan donatı düzenlemelerinde perdelerin davranış değişiklikleri söz konusu olmaktadır [9].



Şekil 5.3 : Perde Uç Kesitindeki Donatı Dağılımının Davranışa Etkisi [9]

Perde uç bölgesi donatıları ile ilgili koşullar şu şekilde verilmektedir:

1. Perde uç bölgelerinin her birinde, düşey donatı toplam alanının perde brüt en kesit 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.

Perde gövde donatıları ile ilgili olarak da aşağıda belirtilen koşulları vermektedir.

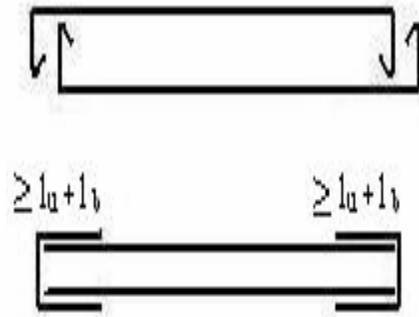
Perdenin her iki yüzündeki gövde donatılarının toplam en kesit alanı, düşey ve yatay donatıların her biri için perde uç bölgelerinin arasında kalan perde gövdesi brüt en kesit alanının 0.0025'inden az olmamalıdır. $H_w / l_w \leq 2.0$ olması durumunda perde gövdesi perdenin tüm kesiti olarak göz önüne alınacaktır. Perde gövdesinde boyuna ve enine donatı aralığı 250 mm' den fazla olamaz. 5.5 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 ağırları, 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 5.4'de perdelerdeki tüm donatı koşulları gösterilmektedir [11].



Şekil 5.4 : Perde Donatılarına İlişkin Koşullar [11]

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 kösedeki 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 \supset biçiminde yatay donatıların yerleştirilmesi gerekir. Bu

donatıların perde uç bölgesinin iç sınırından itibaren perde gövdesine doğru Şekil 5.5’de gösterildiği gibi en az kenetlenme boyu kadar uzatılması gerekir.



Şekil 5.5 : Yatay Gövde Donatısının Yerleşimi [11]

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, süneklik düzeyi normal olan perdeler için de geçerlidir [11].

5.2.3 Kısa konsol perdeler

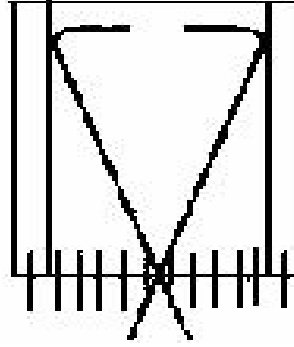
Deprem bölgelerinde 3 ile 5 katlı binalarda sıkça görülen bir uygulamadır. Burada kullanılan perde duvarlar, $H_w / l_w \leq 2-3$ olduğunda kısa konsol perde duvar tanımlamasının içine girerler. Perde yüksekliği küçük olduğundan genellikle perde duvarların tasarım momentleri küçük olur ve minimum gövde 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} 5.7’den hesaplanabilir.

$$V_{rwf} = A_{wf} \cdot f_{yd} \cdot \mu \quad (5.7)$$

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 $\mu=1$ 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

karşılama çapraz donatı ve perde içindeki düşey donatılar beraber çalışırlar. Deprem kuvveti altında önce çapraz donatı akar ve kayma hareketi baslar. Kayma hareketi baslar başlamaz düşey donatılar çalışmaya baslar. Çapraz donatılı perde çapraz donatısı olmayan perdeye göre %70 daha çok enerji tüketebilir. Şekil 5.6'da enerji tüketiminde etkili olan çapraz ve düşey donatılar beraber gösterilmektedir.



Şekil 5.6 : Kısa Konsol Perdelerde Çapraz ve Düşey Donatılar [5].

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 5.7'de gösterildiği gibi farklı şekillerde düzenlenebilmektedirler [5].



Şekil 5.7 : Kısa Konsol Perdelerde Çapraz Donatı Düzenleri [5]

5.2.4 Bağ kirişli (boşluklu) perdeler

Yatay yüklerin karşılanmasında etkili olan perdeler çerçeve ile beraber veya iki perdenin bağ kirişleri ile birlesen 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 göz önüne alınmayan etkilerin hesaba katılmasını gerektirir. Bağ kirişleri ile birleştirilmiş iki perdeli bir sistemde dış kuvvetlerin mesnetten oluşturduğu devirme momenti, perdelerden oluşan

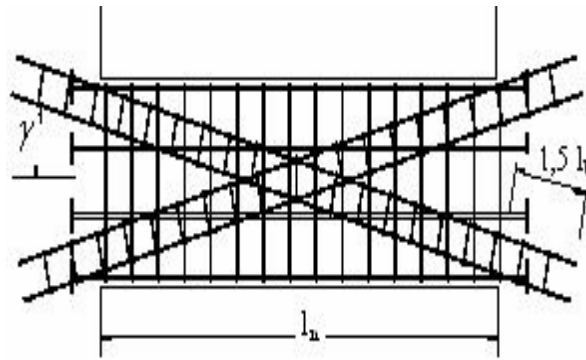
eğilme momenti ile meydana gelen normal kuvvet çifti tarafından beraber karşılanır. Normal kuvvet bağ kirişlerinin perdeye göre rölatif rijitliklerine bağlıdır. Bağ kirişlerinin rijitliğinin arttırılmasıyla bağ kirişlerinde eğilme momentleri büyürken, perdeler arası etkileşim artar ve normal kuvvetle daha büyük moment taşınması mümkün olur. Bağ kirişleri kısa ve yüksekse büyük eğilme momentine karşı koyarlar. Bunun sonucu olarak kesme kuvveti büyük değerler alır [9].

Perdeler için daha evvel belirttiğimiz tüm koşullar, bağ kirişli perdeleri oluşturan perde parçalarının her biri için de geçerlidir. Bağ kirişlerinin kesme donatısına ilişkin koşullar aşağıdaki belirtildiği gibi verilmiştir.

$$l_n > 3h_k \quad (5.8a)$$

$$V_d > 1,5 b_w d f_{ctd} \quad (5.8b)$$

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. **5.a**'nın sağlanması durumunda bağ kirişlerinin kesme donatısı hesabı süneklik düzeyi yüksek kirişlerin kesme donatısı gibi yapılmalıdır. **5.8**'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 5.8'deki çapraz donatılar kullanılmalıdır.



Şekil 5.8: Bağ Kirişlerinde Donatı Düzeni [11].

Her bir çapraz donatı demetindeki toplam donatı alanı **5.9** ile belirlenmesi gerekir [11].

$$A_{sd} = V_d / (2 f_{yd} \sin \gamma) \quad (5.9)$$

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 $1.5l_b$ 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 [47].

6. BETONARME YÜKSEK KATLI YAPILAR

6.1 Çok Katlı Yapıların Gelişme Süreci

İnsanoğlu ihtiyaçları doğrultusunda devamlı arayışlar içerisine girmiş ve barınmak için elindeki imkânları değerlendirerek daha modern dizaynlar elde etmeye çalışmıştır. Çeliğin yüksek fırınlarda üretimine başlanmasıyla endüstri devrimi girmeye başlamış ve bu zamana kadar insanoğlu hep az katlı yapılar inşa etmiştir. 19. Yüzyıldan başlayarak yapılar düşey olarak gelişme göstermiştir. Eskiden 10-15 kata yüksek yapı diye adlandırılırken şimdi ise 100 kattan daha fazla yapılar yapılmaktadır [6].

Yapıların düşey olarak yükselmesine değişik açılardan bakmak mümkündür.

- Ekonomik Olarak; Nüfusun artması yerleşim alanlarının azalması ve arsa fiyatlarındaki artışlar yüksek yapıları çözüm olarak getirmiştir. Bugün şehirlerin ve arsaların ve zeminin özellik ve hareketlerine bağlı olarak bina yüksekliğinin saptanması, ekonomik açıdan optimizasyon problemine dönüşmektedir. Aslında binalar yükseldikçe artan yapım maliyetlerine karşılık, alt yapı hizmetlerinden ve arsa maliyetlerinden kazanılmaktadır.
- Teknolojik Açıdan; İnşaatta gelinen ileri teknolojiler, yapı malzemesindeki ve yapım teknolojisindeki teknik aşamalar, geniş olanaklar yaratmış, bunların sonucu çok katlı yapıların düşey olarak yükselmesine olanak sağlamıştır.
- Kültürel Nedenler Bakımından; Toplumun hızla artan gereksinimleri, giderek yapıların işlevlerinde yansımış ve değişik yapı türleri ortaya çıkarmıştır. Bina tipolojisi açısından, önceleri büro binalarında başlayan dikey gelişme, II. Dünya Savaşı'ndan sonra toplu konut düşüncesini de ortaya çıkarmış ve çok katlı yapıların yapılmasını ön plana getirmiştir. Çağımızda yönetim yapılarının büyük önem kazanması ve şehircilikte önem kazanması çok katlı yapıların gelişmesine zemin hazırlamıştır.
- Sosyal Açıdan; Günümüzde hızlı kentleşme, şehirlerde nüfus yoğunluğunun artmasına yol açmış, bu olgu da kentlerdeki sınırlı yerleşimin yanı sıra, yapılarda

yükselme ile, var olan kent alanlarının daha ekonomik kullanılması zorunluluğunu ön plana çıkarmıştır [6].

6.2 Çok Katlı Yapıların Tasarımı

6.2.1 Yüksek yapı sorunu

Bir strüktürel form, belli kurallara bağlı olmadığı sürece, toplum tarafından kabul edilmesi oldukça zordur. Bir yapının estetik açısından kalitesini belirleyen, toplumun duygusal iletisi doğrultusundaki beklentilerine dayanan çevresel kapasitedir. Yüksek yapıların estetiği ise sadece belirsiz değil aynı zamanda zaman içerisinde çevredeki psikolojiyi nasıl etkilediği taşıyıcı sistemlerindeki problemlerin nasıl giderilmesi gerektiği gibi faktörleri de barındırmaktadır. Estetiği bilimsel kurallarla formüle etmekle estetiği olan bir strüktürel form bulmak oldukça zordur.

Günümüzde estetik kalite, narinlik, ekonomi ve strüktürel elemanlardaki incelikte bağdaştırılmaktadır. Bu durumda strüktürel form ve estetik arasında ortak bir nokta olduğu söylenebilir [6].

6.2.2 Bina formlarındaki gelişmeler

İkinci Chicago Mimarlık Okulu, yüksek yapılara ait strüktürel formlardaki doğal değişimi açıkça göstermiş ve ‘‘dürüst strüktürel ifade’’ nin önemini vurgulamıştır. Fazlur Khan’ın strüktürel tasarımını yaptığı en büyük ve en bilinen yapılardan olan John Hancock Center ve Sears Tower, iki farklı form kavramını gözler önüne sermektedir (Şekil 6.1 ve Şekil 6.2). Her iki yapı da formları ile birleşmiş estetiklerini açıkça ortaya koyan strüktürleri göz önüne koymaktadır [20].



Şekil 6.1 : John Hancock [27]



Şekil 6.2: Sears Tower[52]

6.2.3 Post modernist eğilimler

Metal ızgaralar ile camları vurgulayan modern mimarlığın sıkıcılığı karşısında bazı mimarlar ve mühendisler, 70'li yıllarda post-modernizm hareketlerini başlatmışlardır. Bu akımın mimar ve mühendisleri kendilerine özgün tasarımları ortaya koyma cesaretini göstermişlerdir. Bu dönemde yapılan binalarda karakteristik olarak geri çekmeler, yatay açılar, eğimler, eğrilikler, nişler, çıkmalar ve diğer geometrik şekiller görülmektedir. Bu durum geleneksel olmayan bir takım faktörleri gündeme getirmekte ve bu faktörler belirli hiçbir strüktürel sisteme uyum sağlamamaktadır. Açıkçası bu mimari, kübizmin cam kutu şeklindeki strüktürlerine duygusal bir reaksiyondur.

Yeni post-modernist binalar, geleneksel mimariden farklı formlar canlandırmasıyla, belirli bir şekilde şehir silüetine katkıda bulunan farklı çatı çizgileriyle radikal bir ayrılık göstermektedir. Bu çatı formları genellikle kubbeler, piramitler, asimetric eğilimli yüzeyler ve bunların bir kombinasyonu olarak ele alınmaktadır. Post-Modern mimaride dikkati çeken diğer noktalardan bazıları; geniş giriş mekanları ve lobiler, incelik ve titizlikle işlenmiş fasadlar, nişler, pahlılar, teraslar v.b. şeklinde sıralanabilir [6].

6.2.4 Strüktürel sanat

Bu sanatın temelleri kısmen strüktürel teori ve davranıştan da yola çıkılarak üç temel prensibe dayanmaktadır; etkinlik, ekonomi ve estetik. Sade bir strüktürel bakış açısından yola çıkılarak, optimum düzeydeki bir yapının, strüktürel malzemeyi en iyi şekilde kullanan, yükleri mümkün olduğu ölçüde en ideal şekilde taşıyan bir yapı olduğu söylenebilir. Dörtgen planlı bir yapı için köşelere yerleştirilen dört masif kolon oldukça büyük çapraz elemanlarla birbirlerine bağlanırsa, sonuç olarak strüktürel bir sistem elde edilmiş olur. Alternatif olarak, aynı yapı çekirdeğindeki bir dizi kolon ile bağlanmış daha küçük kesitli ve daha geniş aralıklı cephe kolonları büyük diyagonal makaslar aracılığı ile bağlanırsa, öncekine göre geliştirilmiş bir sistem ortaya çıkar. Diğer potansiyel sistemler ise süper çerçeveler, teleskobik tüpler veya boş megatüpler olarak ele alınabilir [2].

6.2.5 Estetiğin prensipleri

Estetiğin kurallarını formüle etmek mümkün olmasa da bazı ana prensipleri incelemek açısından amaca ulaşmak uygun olacaktır. Temel olarak, yüksek bir yapının plan ve geometrik şeklin, katların ve düşey taşıyıcılar arasındaki açıklıkların ritminin, ana girişin ve lobi katının davetkar konumunun, renk temasının, fasad düzeninin ve çatı tasarımının estetik üzerindeki etkisi göz ardı edilemez. Tasarımcı bunlardan her birinin maliyet üzerindeki etkisini de göz önünde bulundurarak ele almalıdır. Bir yüksek yapının estetiğini karakterize eden bir çok faktör bulunmaktadır. Tasarımcı, yapının güzel olarak değerlendirilmesi için, bu faktörleri bir araya getirirken, oldukça duyarlı olmalıdır. Güzellik faktörünü tanımlayabilecek faktörleri şu şekilde sıralamak mümkün olabilir; armoni, ritm, karakter, oran, düzen, denge, zarafet ve değer, form ve kütledeki kontrast , malzemede renk ve doku, sağlamlık ve stabilitenin algılanabilirliği vb. bunlara ek olarak, narinlik, ölçek, eğrilikler, şekil yumuşaklığı v.b. gibi faktörlerde sayılabilir. Tüm bunlar bir strüktürün estetik kalitesini tanımlayabilecek ve mükemmelliğe ilişkin mesaj veren unsurlardır [2].

6.2.6 Strüktürel form ve estetik

Yüksek yapıların tasarımında, yapının yatay ve sismik yüklere dayanımını sağlamasının temel yolu, etkin bir strüktürel tasarımdan geçmektedir. Yapının formu ve estetiği mimari bakış açısına göre aşağıdaki karakteristikler doğrultusunda ele alınmalıdır.

- Plan,
- Kesit,
- Dış görünüm,
- Denge ve sadelik,
- Oran ve ölçek,
- Mekanların birbiri ile ilişkisi,
- Görsel etki,
- Stil,
- Süsleme ve dekor.

Yüksek bir yapının mimari açıdan ifade edilebilmesi için bunlardan başka bileşenlerinin de olabileceği gibi, bu faktörler bir yapının estetik ve formu hakkında değerlendirme yapabilmek için bir referans spektrumu ortaya koymaktadır.

Yapının formu ve estetiği strüktürel bakış açısına göre aşağıdaki karakteristikler doğrultusunda ele alınmalıdır.

- Şekil ve büyüklük,
- Boyutlar,
- Dayanıklılık ve stabilite,
- Sağlamlık,
- Etkinlik ve ekonomi,
- Sadelik ve açıklık,
- Hafiflik ve incelik [6].

6.3 Betonarme Çok Katlı Yapılarda Uygulanan Taşıyıcı Sistem Esasları

Yapılar tasarlanırken, taşıyıcı sistem seçiminde en çok dikkat edilmesi gereken unsur olarak yapının düşey yükleri taşıyıp taşıyamayacağıdır. Buna ek olarak düşey yüklerin yanında rüzgâr, deprem gibi yatay yük etkisi yükler de göz önüne alınır [22]

6.3.1 Yatay yük taşıyıcı elemanlar.

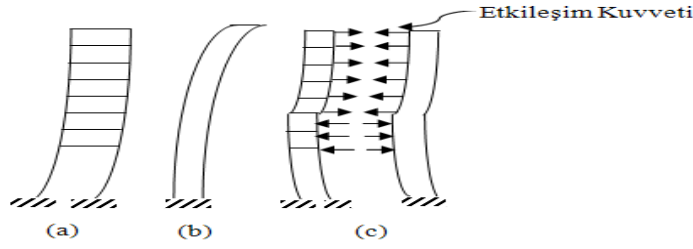
Yatay yükler altında tasarlanan elemanlar üç farklı sınıfa ayrılabilir:

- Çerçeveler
- Perdeler
- Tüpler

Çok katlı yapıların taşıyıcı sistemleri, bu sınıflardan sadece bir tanesine ait elemanlardan oluşabileceği gibi bunların çeşitli bileşimlerinden de oluşabilir.

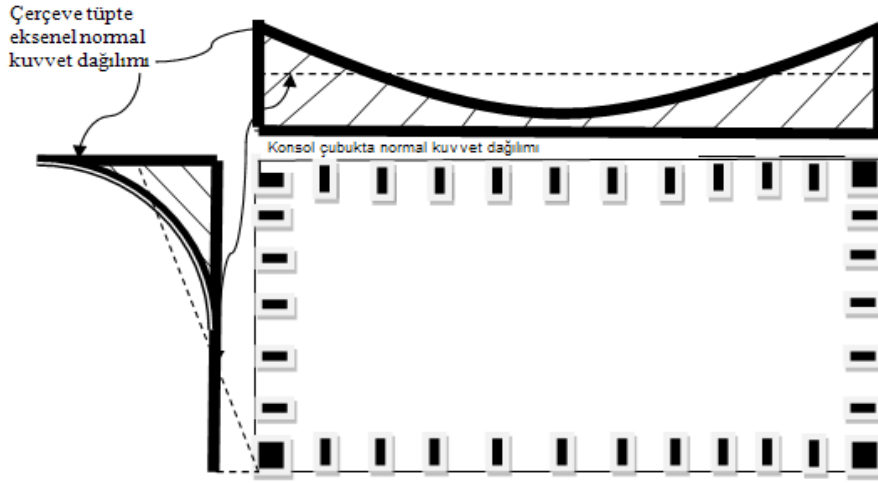
Bu sınıflandırma, söz konusu taşıyıcı sistemlerin yatay yükler altında şekil değiştirme biçimleri göz önünde tutularak yapılmıştır.

Çerçevelerin şekil değiştirmesinde kayma modu etkindir. Burada katlar arasındaki rölatif yer değiştirme sadece o kattaki kat kesme kuvvetine bağlıdır. Şekil 6.3a da bu durum gösterilmiştir. Perdelerin ise eğilme moduna etkin şekil değiştirmesi Şekil 6.3b'de gösterilmiştir. Şekil 6.3c'de ise perde-çerçeve sisteminin etkileşimi gösterilmektedir [21].



Şekil 6.3 : Perde çerçeve sisteminin etkileşimi [21]

Yüksek katlı yapılarda tüpler boşluklu değilseler perdeler gibi davranırlar. Tüple genellikle boşluklu olup çerçeve ile perde tipi davranışların arasında bir şekil değiştirme biçimi ortaya koyarlar. Yatay yükler etkisindeki bir tüpte kolon aksenal kuvvetlerinin plandaki tipik dağılımı Şekil 6.4’de gösterilmiştir.



Şekil 6.4 : Kolon aksenal kuvvetlerinin plandaki dağılımı [21]

Taşıyıcı sistemlerin veya yatay yükler altındaki davranış biçimlerinin sınıflandırılması, hesabı basitleştirmek amacıyla yapılmaktadır. Yoksa bilgisayar destekli boyutlandırmada çok daha fazla bilinmeyenle çalışmak sorun olmadığı sürece taşıyıcı sistemler için yukarıda verilen gibi bir sınıflandırma yapmak gereksizdir [21].

6.3.2 Çerçeveler

Betonarme taşıyıcı sistemlerde çerçeveler, yatay yüklere karşı dayanımı düğüm noktalarındaki elemanların rijitlikleri ile sağlanan taşıyıcı sistemlerdir. Bu tip yapılarda katların yer değiştirmelerini kolon ve kirişlerin eğilmesi ile kolonların aksenal şekil değiştirmeleri oluşturur. Taşıyıcı sistemin yüksekliğin genişliğe oranı arttıkça, kolon aksenal şekil değiştirmelerinin yatay yer değiştirmeleri içerisindeki

payı artar. Burada yapı genişliği yapının plandaki yatay yük doğrultusundaki boyutudur. Kayma şekil değişimlerinin ve kirişlerin eksenel şekil değişimlerinin etkisi yukarıda sözü edilen etkiler yanında ihmal edilebilecek mertebededir.

Ek olarak, çerçeve elemanlarının lineer olmayan şekil değişimleri ve temel yer değiştirmeleri yatay yer değiştirmelerini önemli ölçüde arttırabilir. Ayrıca kolon eksenel kuvvetlerinin ve yatay yer değiştirmelerinin oluşturduğu parazit eğilme momentleri de ($P-\Delta$ etkileri) yatay yer değiştirmeleri arttırıcı yöndedir [45].

İç kuvvetler üzerinde ikinci mertebe veya şekil değişimi sırasındaki geometri değişimi etkileri de önemli olabilir. Bunlar $P-\Delta$ etkileri olarak da bilinir. Çerçeve herhangi bir katta yatay relatif yer değiştirmelerini yaptığından bu kattaki kolonlarda normal kuvvet P ise geometri değişimi nedeniyle bu kolonlarda P şiddetinde ek eğilme momentlerini hesaba katmak gerekebilir. $P-\Delta$ etkileri bir ardışık yaklaşım yöntemi kullanılarak hesaba katılabilir. Bu işlem her adımda her kattaki toplam P_{Δ} momentlerine eşdeğer ve kat seviyelerinde etki eden yatay kuvvetler hesaplanarak yapılabilir [45].

Bir çok çerçeve tipi yapıda, kolon ve kirişler arasında oluşturulan bölme duvarları projelendirme sırasında taşıyıcı elemanlar olarak kullanılmasa da yapının yatay yükler altındaki davranışına önemli bir pay ile katkıda bulunabilir. Özellikle yatay ötelemelerin azaltılması konusunda yararı olması mümkündür. Bu etki çerçevelerde düğüm noktalarını bağlayan diyagonal çubuklarla analitik olarak modellenebilir.

Bölme duvarlarının çerçevelerin deprem altındaki etkisi, sadece çerçevenin rijitlik ve sönümünün arttırılması dolayısıyla titreşim periyotlarının kısaltılması biçimde değil, ek olarak mod biçimlerini de önemli ölçüde değiştirecek biçimde olur. Bu durum ise yatay yüklerin çerçeveler arasındaki dağılımını etkiler.

Çerçevelerin hesabında betonarmenin monolitik bir yapı göstermesi nedeniyle kirişlerle birlikte çalışan döşeme genişliğinin belirlenmesi de gerekli olabilir. Bu genişlik etkili döşeme genişliği olarak bilinir [45].

6.3.3 Perdeler

Betonarme yapılarda yapı yüksekliği belirli bir değeri aştığında ki bu değer genellikle 9-11 kat şeklinde değerlendirilebilir, çerçeve sistemler yatay yüklerin taşınmasında yetersiz kalmaktadır. Bu durumda yapıların içerisinde yapılacak

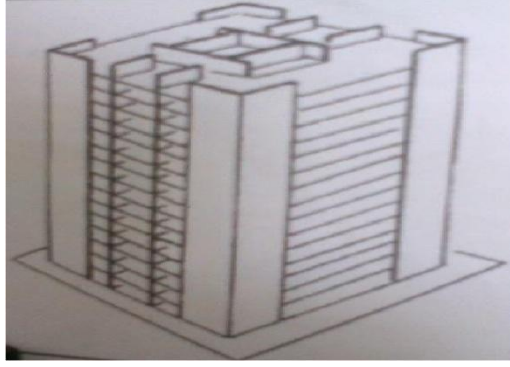
bölmelerden sabit olanlar, hem düşey, hem de yatay yüklere karşı koyacak şekilde düzenlenerek perde duvarlar oluşturulur. Burada kullanılan perde terimi, düzlem duvarların yanı sıra, kafes kiriş şeklinde oluşturulan duvarları, asansör, merdiven ve iç çekirdek çevre duvarlarını da kapsar [20].

Geleneksel taşıyıcı duvarlı yapıların, kullanılan malzeme ve konstrüksiyon metodları açısından, yüksek yapılar arasındaki önemi büyüktür. Bir yapının strüktürel sistemlerinin gerilme analizleri oldukça karmaşık olabilmektedir ancak bunun yapı üzerinde fazla bir önemi yoktur. Çünkü strüktürün geometrisi ve oranları, strüktürel olmayan kabullere göre belirlenmiştir ve sonuçlar oldukça elverişlidir. Chicago'da yapılan 16 katlı Monadnock Binası'nın (Şekil : 6.5) zemin katındaki duvarların 183 cm kalınlığına ulaşması, sistemde kısıtlamalar olduğunu da göstermektedir.



Şekil 6.5 : Monadnock [53]

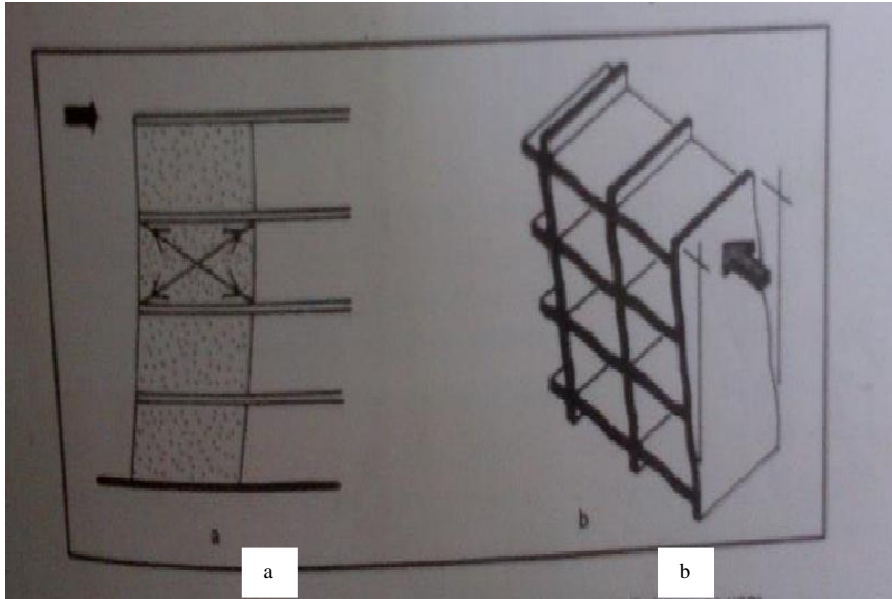
Perde duvarları yapıya, sismik ve rüzgâr kuvvetlerine karşı, çerçeve sistemlere göre daha fazla rijitlik kazandıran, düşey konsollar şeklinde davranan, düşey düzlemsel diyaframlardır. Perde duvarlar genellikle masif olup, kapı, pencere, mekanik tesisat boşlukları vb. için çok sınırlı boyutlarda geçiş sağlar. Kesme duvarları olarak bilinen perde duvarlar, her ne kadar yatay yüklerin neden olduğu çekme gerilmelerinden kaynaklanacak devrilme etkisini en aza indirmek için belli ölçüde yerçekimi etkisi uygulansa da yerçekiminden daha fazla kuvvetteki yükleri taşımayabilir. Perde duvarlı sistemler, rijit çerçevelerin aksine, katı formları ile açık planlamaların, alt katlarda lobilerin, servis mekânları ve tesisat katlarının istendiği yapı türlerinde kısıtlamalar getirir. Bundan dolayı geniş açıklıklar gerektiren ticari ve ofis amaçlı yapılar için tercih edilmezler. Perde duvarlar daha ziyade düşey yükseltisi fazla olan otel, rezidans, iş merkezi gibi yapılarda tercih edilmektedir. Perde duvarlar ayrıca ses, yangın, ısı yalıtımı açısından da oldukça önemlidir (Şekil 6.6) [6].



Şekil 6.6 : Perde Duvarlı Strüktür. [6]

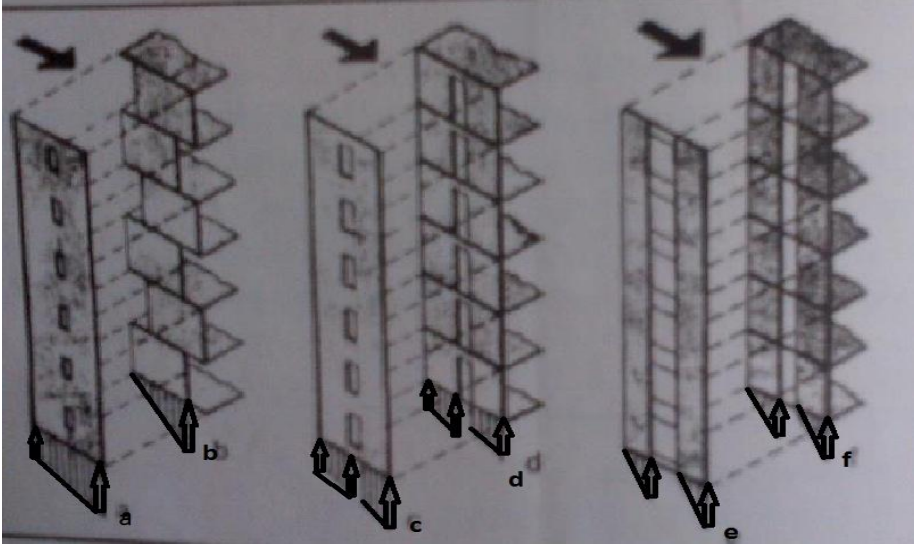
6.3.4 Düzlem perdelerin çalışma şekli

Perde duvarların rijitliği kolonlara göre oldukça fazladır. Bu yüzden yatay yüklerin çoğunu karşılamalarına karşılık, yine de yatay yer değiştirmeler, çerçevelere göre çok küçüktür (Şekil 6.7) perdenin deformasyon hesabında, eğilme momentlerinin yanı sıra, kesme kuvvetlerinin de göz önünde tutulması gerekir [2].



Şekil 6.7 : a : Yatay yükler altında kagir duvarlı yapı, b : Betonarme Yapı [6]

Perdelerin birlikte çalışmasını sağlamak ve yatay ötelemeleri daha da azaltmak için, komşu perdeler arasındaki açıklıkları ve plan elverdiğince geçitleri küçültmek, bu açıdan büyük yarar sağlar. Perdeler arasındaki bağlantıların boyutu ve sayısına olabildiğince dikkat edilmelidir. Bu bağlantıların durumuna ve rijitliğine bağlı olarak, ayrı ayrı çalışan perdelerden, bir bütün olarak çalışan perdeler kadar giden bir sistem söz konusudur (Şekil 6.8).



Şekil 6.8 : Perde Çalışması **a, b, c** : Dolu ve küçük boşluklu perde
d, e, f : Kiriş ve döşeme ile birleşmiş perde [6]

Dolu perdelerde ve küçük boşluklu perdelerde, duvarın kendi ağırlığı ile birlikte taşıdığı yükler büyüktür. Yatay yüklerin taşıdığı eğilme etkisi küçük kalır (Şekil 6.8 a, c). Bu tür perdeler basınç gerilmesi etkisindedir. Kapı boşluklarının katlarda şaşırtıldığı perdeler de bir bütün olarak çalışır (Şekil 6.8 b).

Birleştirilmiş perdelerde açıklıklar ve perde duvarı parçalara ayrılır. Bu durumda her bir duvar parçası, kendilerine düşen yükleri taşıyan ayrı birer eleman olarak çalışır (Şekil 6.8 d, e, f). Burada sisteme gelen etkiler:

- Her perdenin düşey yükü kat planından,
- Yatay yük ise perdelerin rijitlik ve bağlantılarıyla orantılı olarak kat döşemeleri etrafında dağıtılan yükler,

şeklinde belirlenmektedir. Birleştirilmiş perdelerde yatay yüklerden oluşan eğilme momentleri önem kazanır ve çekme gerilme momentleri oluşabilir [10].

Birleştirilmiş perde duvarlarda, perdenin mukavemeti, duvarları birleştiren kirişlerin rijitliğine bağlıdır.

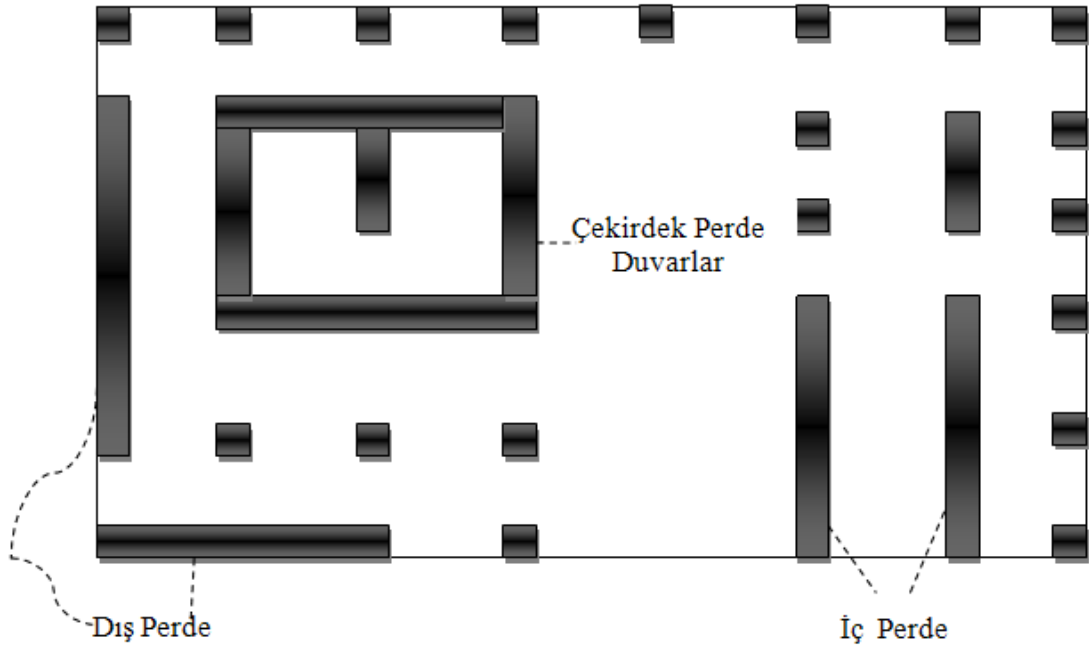
Perde duvarlarda kullanılacak donatının özellikleri aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurularak belirlenmektedir [7].

- Duvar gerilmelerinin düşük olduğu bölgelerde minimum büzülme için sınırlı donatı kullanılmalıdır,

- Rüzgar yüklerinin yerçekiminin doğurduğu gerilmeleri aştığı durumlarda, duvarlarda oluşan çekme gerilmelerinin meydana geldiği yerde çekme donatısı bulundurulmalıdır,
- Yüksek basınç kuvvetlerinin duvarların, kolon gibi tasarlanmasını gerektiren yerlerde basınç donatıları bulunmalıdır. Yapının köşesinde yer alan her bir perde duvar, kesme kuvvetlerine dayanan kolonlar veya kanat duvarlar şeklinde tasarlanmalıdır [7].

6.3.5 Perde duvarların yapıda düzenlenmesi

Perde duvarlar bina içinde ve cephelerde, düzlem elemanlar ve çekirdekler, bina cephelerinde ise binayı saran cephe duvarları şeklinde düzenlenebilir. Geometrik olarak sınırlandırılması durumu göz önünde bulundurulmamaktadır (Şekil 6.9).



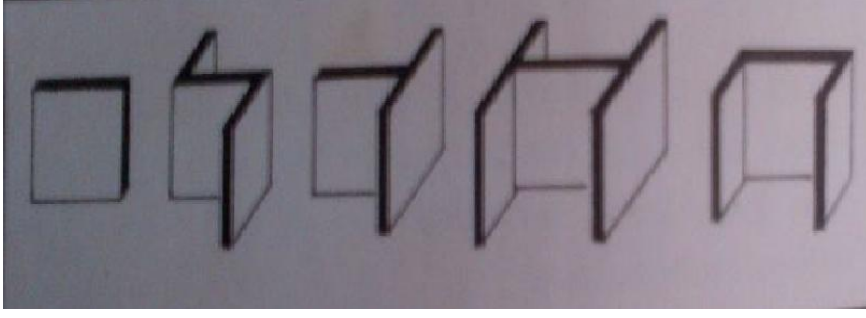
Şekil 6.9 : Perde Duvar Düzenlemeleri [21].

6.3.6 Açık ve kapalı sistemler

Perde duvar sistemleri, planlardaki biçimleri yönünden iki ana gruba ayrılır.

6.3.6.1 Açık sistemler

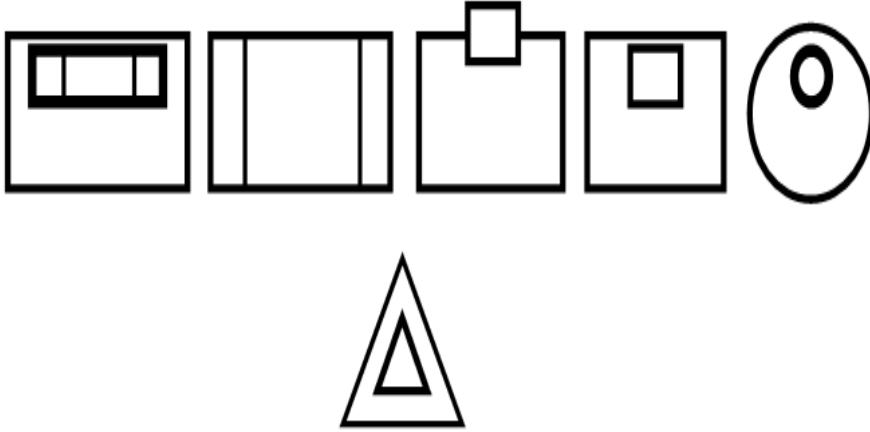
Tekil düzlem elemanlar ya da bunların birleştirilmiş, fakat tam kapatılmamış şekilleriyle oluşturulur. Bunlar, L, I, N, V, T, H gibi şekillerdedir (Şekil 6.10).



Şekil 6.10 : Açık Perde Sistemi [6]

6.3.6.2 Kapalı sistemler

Birden fazla düzlem ya da eğrisel elemanın kapalı şekilde birleştirilmesiyle oluşturulan kare, dikdörtgeni, üçgen, daire gibi düzenlemelerdir. Bunlar çekirdek ismini almaktadır (Şekil 6.11).



Şekil:6.11 : Kapalı Perde Sistemi

Perde duvarlar, plandaki doğrultularına göre de sınıflandırılmaktadır. Bu düzenlemeler, taşıyıcı duvarlı, prefabrike elemanlı ve yerinde dökme betonarme perde sistemleri de içerisine almaktadır [23].

6.3.7 Plan doğrultularına göre düzenleme

6.3.7.1 Enine doğrultuda duvarlı sistem

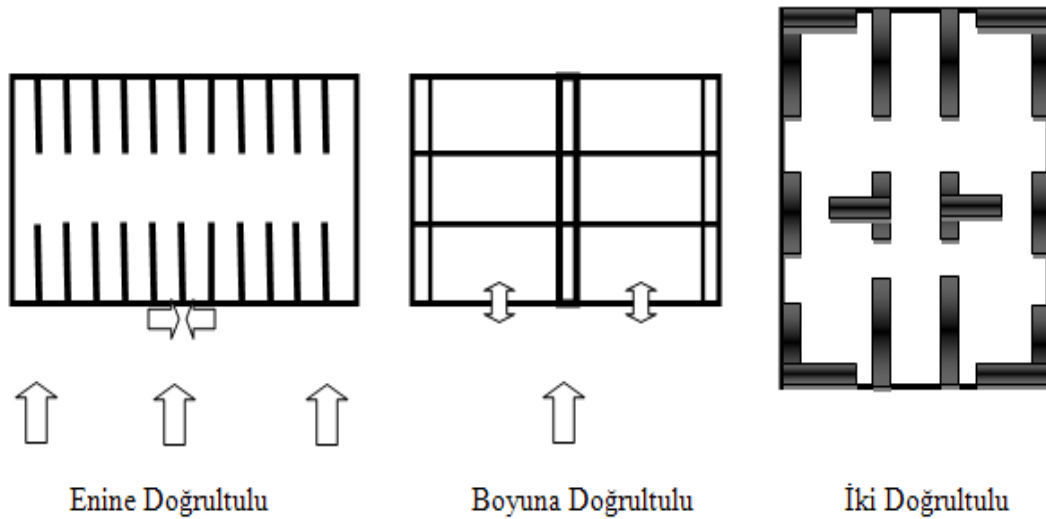
Yapının kısa kenarına paralel doğrultudaki düzlem duvarlardan oluşur. Bu düzenleme, cephe tasarımında esneklik sağlar. Yapının kısa kenarına paralel yatay yükler, bu doğrultuda yerleştirilmiş perde çalışmasıyla karşılanır. Başka bir deyişle bu sistemde duvarlar, yalnızca düşey yüklere göre değil, kesme kuvvetine karşı koyan yatay yüklere de karşı koyar [6].

6.3.7.2 Boyuna doğrultuda duvarlı sistem

Yapının uzun kenarına paralel doğrultudaki duvarlardan oluşur ve bu duvarlar esas cephe duvarı görevini üstlenir. Bu sistemde uzunlamasına duvarlar bir önceki sistemde olduğu gibi duvarların üstlendiği iki görevi ayırır ve bir yandan düşey yükleri taşıırken, diğer yandan yatay yükleri de döşeme diyaframı kanalıyla iç perdelere aktarır [6].

6.3.7.3 İki doğrultuda duvarlı sistem

Bu sistem her iki yönde düzenlenen perde duvarlardan oluşur. Diğer düzenlemelere göre daha rijit olmakla birlikte, planlamada en az esneklik sağlayan sistemdir (Şekil 6.12).

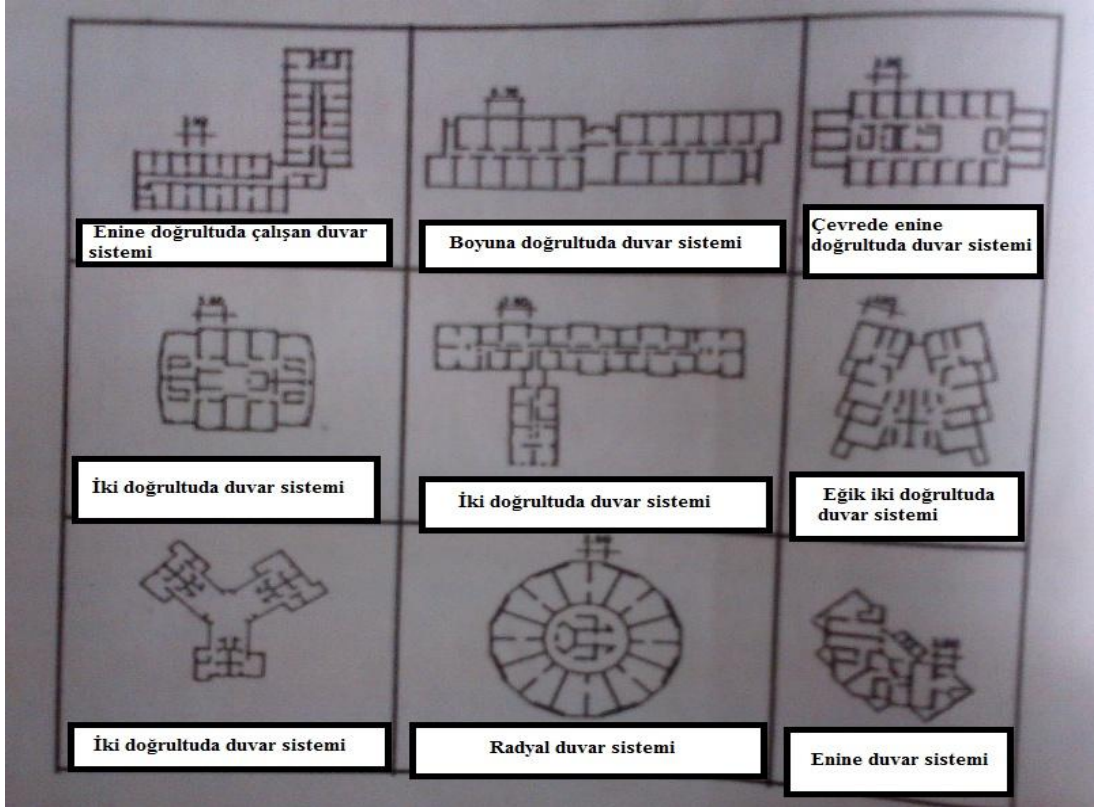


Şekil 6.12 : Perde Duvarların Yapı İçindeki Düzenleri [6]

Betonarme yüksek katlı bir yapı yukarıdaki üç tipi de bünyesinde bulundurabilir. Bu düzenlemeler dikdörtgen planlı yapılarda açık bir şekilde görülür. Ancak karmaşık planlı yapılarda böyle bir sınıflandırma yapmak zordur (Şekil 6.13).

Yukarıdaki perde duvar düzenlemelerinde, düşey perde duvarlar, yalnızca bölmeleri sürekli olan ve ileride değişiklik istemeyen binalarda kullanılabilir. Apartman, otel ve öğrenci yurtları gibi mekanın sık bölünmesini gerektiren duvarlar bu yaklaşıma olanak verir. Duvarlar genellikle 4.5-7.5 m aralıklarla düzenlenir. Döşeme sistemine de bağlı olan bu açıklıklar, önerilmeli betonarme döşemelerde 10m'ye kadar

çıkıştır[1]. Bu sistem iç bölmelerin düzenlenmesinde esnekliğin ve sirkülasyonun önemli olduğu büro binalarında seyrek olarak kullanılır [20].



Şekil 6.13 : Yaygın olarak kullanılan perde duvar sistemleri [6]

6.3.8 Boşluklu perde sistemlerde yatay yüklere göre hesap yöntemleri

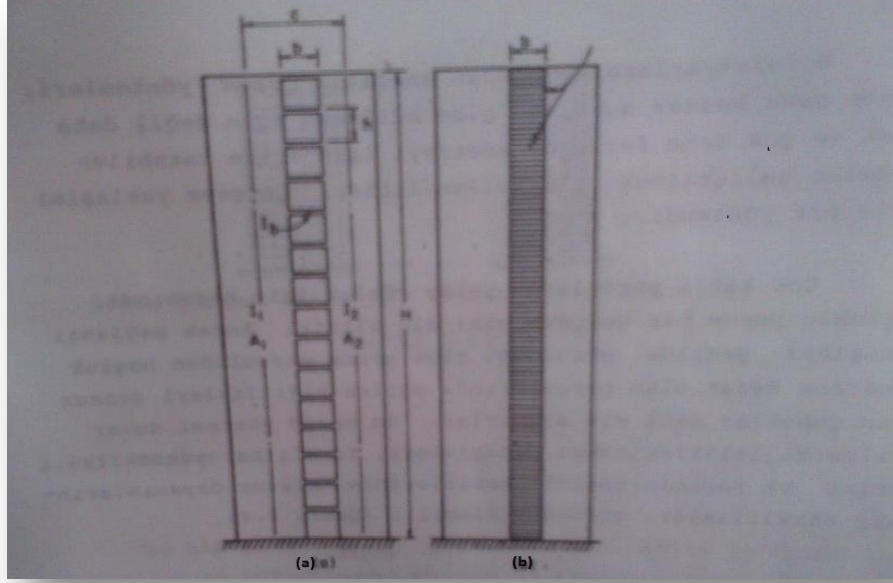
Boşluklu perdelerin hesap tasarımları oldukça karışıktır. Boşluklar genellikle perde yüksekliği boyunca düzgün aralıklarla sıralanırlar. Boşlukların her iki yanındaki perde elemanları ya bağlantı kirişleri ile ya da döşemelerle birbirlerine bağlanırlar.

Boşluklar küçük ise perdenin tüm olarak gerilme durumu üzerindeki etkileri küçük kalır. Büyük boşlukların etkisi daha fazladır. Yeteri kadar büyük boşluklu perdenin, çerçeve etkisi payının büyük olduğu bir davranış göstermesine neden olur [21].

Boşluklu perdelerin gösterimi Şekil 6.14'de olduğu gibidir.

Boşluklu perdelerin yatay yüklere göre hesabı için kullanılan üç analitik yöntem vardır:

- Sürekli Ortam Yaklaşımı,
- Çerçeve Yaklaşımı,
- Sonlu Elemanlar Yöntemi.



Şekil 6.14 : Boşluklu Perdeler [6]

6.3.8.1 Sürekli ortam yaklaşımı

Bir çok sınırlamalar olmasına rağmen, boşluklu perdelerin temel davranışının iyi bir şekilde anlaşılması ve irdelenmesi bakımından uygundur. Bilgisayar programlarında kolaylıkla uygulanabilir. Bağlantı kirişleri eğilme momentleri orta kesitlerinde sıfır olan çubuklar gibi veya sürekli bir ortam gibi idealleştirilebilir. Bu yaklaşım, sistemin beton çatladıktan sonraki davranışını iyi temsil etmez. Ayrıca sistem boyutlarının, boşluklarının ve yapısal özelliklerin düzgün değişimini gerektirir. Bu durumda bile çözüme ulaşmak uzun ve yorucu hesaplamalar gerektirir (Şekil 6.14b) [20].

6.3.8.2 Çerçeve yaklaşımı

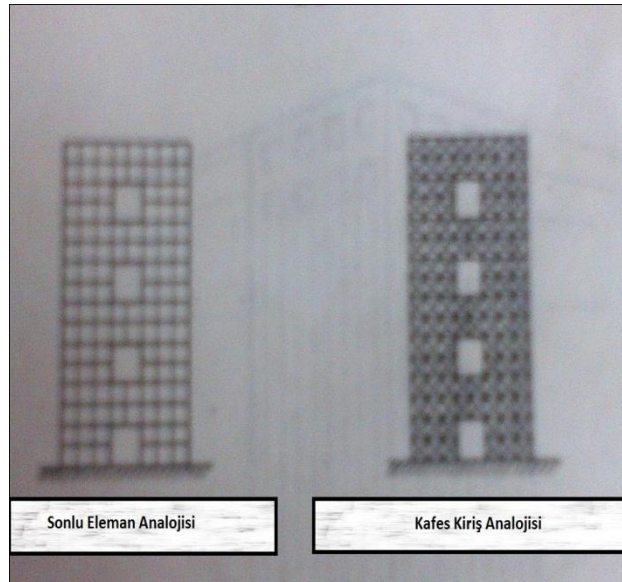
Bilgisayarlara uygulanan analitik çözüm yöntemleri, sadece daha hassas sonuçlar elde edilmesi değil daha esnek ve çok daha fazla parametreyi işin içine katabilen çözümler geliştirmek için kullanılan bir yöntemdir çerçeve yaklaşımı yöntemi.

Çok katlı perdelerin yatay yükler için hesabında, boşluklu perde bir çerçeve gibi ele alınır. Ancak bağlantı kirişleri perde ekseninden boşluk kenarına kadar olan parçalarında eğilme rijitlikleri sonsuz olan çubuklar gibi ele alınırlar. Bu hesap yöntemi duvar eğilme rijitliklerindeki değişimleri, farklı kat yüksekliklerini ve yapıyı çeşitli kesitlerinde malzeme dayanımlarındaki farklılıkları göz önüne alabilir [20].

Boşluklu perdelerin hesaplanmasında mühendisleri en çok düşündüren konulardan bir tanesi de perdeleri bağlayan döşeme plaklarının genişliğinin ne kadarı sistemin yatay yükler altına davranışına katıldığıdır. Bu genişlik etkili döşeme genişliği olarak da adlandırılabilir [20].

6.3.8.3 Sonlu elemanlar yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi, yapı düzlem gerilme durumundaki çok sayıda sonlu eleman ağı ile modellenir. Sınır koşulları belirlenerek bir lineer denklem takımının çözümünü gerektiren bir matris hesap çözüm yöntemi ile çözüm elde edilir. Genel olarak, çözümde kullanılan sonlu eleman ağının inceliğine bağlıdır. Ağ incelidikçe bilgisayarda hesaplamak çok uzun zaman alır (Şekil 6.15) [21].



Şekil 6.15 : Perde Analojisi [6]

6.3.9 Perde duvarlı sistemlerin avantajları

Betonarme perde duvarlı sistemlerin konstrüksiyon açısından avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Merkezi servis çekirdeğindeki perde duvarları kayar-kalıp ya da tırmanır kalıp teknolojileri ile etkin bir şekilde yapılabilir.
- Yüksek dayanımlı beton ile duvar kalınlığının minimuma inmesi sağlanabilmiş, bu da kat alanının verimli kullanılması ile sonuçlanmıştır.
- Günümüzde kullanılan pompalama teknolojisi, yüksek dayanımlı betonun, belli yüksekliklerin pompalanabilmesine imkân sağlamaktadır.

- Yolcu ver servis asansörü şaftlarının yangından korunumu, belli bir kalınlıktaki betonun bu şaftlar etrafında bulunmasıyla mümkündür.
- Çelik konstrüksiyonun çok karmaşık olan kaynaklı ve soğuk birleşimlerinin getirdiği zorluklar söz konusu olamaz.
- Perde gerilmeleri en kritik olduğu zemin kat seviyesinde üst katlara oranla daha fazla geçit gerektirir.
- Yapı yüksekliği boyunca perde duvarlar üzerinde çalışan boşluklar, bu duvarların burulma ve eğilme rijitliğini büyük ölçüde etkilemektedir.
- Perde duvarların düşey doğrultudaki hareketleri yapının ömrü boyunca devam etmektedir. Bu durumun doğuracağı sonuçlar, tasarım aşamasında göz önünde bulundurulmalıdır.
- Yapım süresi çelik konstrüksiyona göre daha uzundur.
- Düşey betonarme yapıların ek ağırlıkları, çelik bir sisteme göre temellerde maliyet açısından artışa neden olacaktır [7].

7. BETONARME YÜKSEK YAPILARIN BOYUTLANDIRILMASI

Yüksek katlı yapılardan beklenen genel olarak, kendi işlevlerini belirlenen bir sürede güvenlikle ve ekonomik olarak yerlerine getirmektir. Güvenlik ve ekonomi bütün mühendislik yapılarında aranan özellik olmakla birlikte, yapının kullanılması sırasında bunu engelleyicim durumlarında olması gerekir.

Betonarme taşıyıcı sistemlerde herhangi bir yapı elemanı sınır durum olarak adlandırılan bir konuma gelip işlevini kaydedebilir. Yapının boyutlandırılması sırasında çeşitli sınır durumlarının tümünde güvenliğin sağlanması amaçlanmaktadır.

Sınır durumlarını iki ana bölümde incelememiz mümkündür. Bunlardan ilki, Taşıma Gücü Sınır Durumu. İkinci ise İşletme Sınır Durumu'dur. [21]

7.1 Taşıma Gücü Sınır Durumu

Betonarme yapılarda taşıma gücü sınır durumu göz önüne alındığında;

- Yapıdaki stabilitenin,
- Göçme mekanizmasının,
- Kritik bölgelerin taşıma güçlerinin aşılp aşılmadığının kontrollerini içerir.

Tüm bunların yansıra yeterli sünekliğin sağlanması güvenlik açısından her zaman önemlidir [21].

7.2 İşletme Sınır Durumları

Yapı ya da yapı elemanlarının işletme yükleri altında kullanımını olumsuz yönde etkileyecek davranışlarının önlenmesi güvenlik içerisinde düşünülmelidir.

Betonarme yüksek yapılarda izin verilecek en büyük sehim veya öteleme oranı, titreşimin genliği, çatlak genişliğinin sınırlanması söz konusu yapının işlevine ve duvar, asma tavan gibi taşıyıcı olamayan elemanların varlığına göre değişir.

Betonarme yüksek katlı yapılarda, taşıyıcı sistemlerin yapım aşamasında kullanılan malzemeler, dikkatle seçilip gerekli malzeme kalitesi gözden geçirilmelidir. Seçilen

malzeme, hem yapıların kullanım esnasında hem de deprem sırasında yeterli esnekliği ve sünekliliği kazandırmada önemli etkindir [40].

7.3 Betonarme Yapılarda Yatay Ötelemenin Denetimi

Betonarme yapılar sadece düşey yüklere göre tasarlamak oldukça riskli olmakta ve yapının kullanılabilir bir yapı olması için yapıların sehimler üzerinde sınırlamalar getirilmesi gerekmektedir. Yatay yükler altında yapı rijitliğinin en önemli ölçüsü bir katın, altındaki kata göre yatay gitme miktarıdır. Yatay gitmeyi sınırlandırma, göreceli yanal değiştirmelerin kat yüksekliğine oranı şeklinde olmaktadır. Çoğunlukla bu oran üst katta en yüksek çıkmakta, ara katlarda ise yüksek katlardan nadiren fazla çıkabilmektedir.

Yapılarda kat öteleme oranının bir sayısal değer olarak belirlenmesinde yapılan hesaplamaların önemi göz önünde bulundurulmalıdır. Kat ötelemeleri statikçe denk kuvvetler altında bulunabileceği gibi özel bir deprem kaydını esas alarak dinamik hesapla da bulunabilir. Deprem yönetmeliğinde, statikçe denk kuvvetler kullanıldığında kabul edilebilir kat ötelemesi Δ_{kab} , [11].

$$\Delta_{kab} \leq \frac{2,5}{1000} h \quad (7.1)$$

yukarıdaki gibi verilmiştir. Kat yüksekliği h ile gösterilmektedir. Avrupa Beton Komitesi Model yönetmeliğinin depremle ilgili ekinde kabul edilebilir kat ötelemesi yapı davranış etkileri, K_k ya bağlı olarak ifade edilmektedir.

$$\Delta_{kab} \leq \frac{10}{1000 K_k} h \quad (7.2)$$

Bu durumda doğrusal elastik kabul ile statikçe denk kuvvetler altında hesaplanan kat ötelemesi Δ_{el} , kabul edilebilir kat ötelemesine eşit ya da ondan küçük olmalıdır. Dinamik hesapla bulunan kat ötelemesi Δ_{dn} davranış katsayısına bölünmek suretiyle;

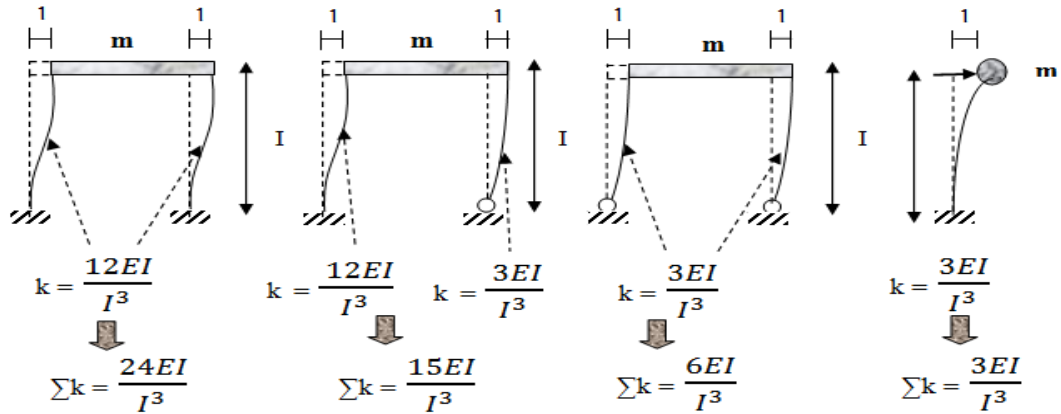
$$\Delta_{el} = \frac{\Delta_{dn}}{K_k} \quad (7.3)$$

yukarıdaki şekliyle hesaplanabilir.

Ayrıca depremin üç doğrultuda bileşeni olduğunu göz önünde bulundurursak, bunlardan etkili olan bileşenin yapıya hangi doğrultuda etkileyeceği önceden kestirilememektedir. Durum böyle olunca da yapının birbirine dik her iki doğrultudaki rijitliğini yaklaşık olarak eşit yapmaya çalışmak en uygun çözüm

olmaktadır. Bu durumda, yapının zayıf doğrultusu ortadan kalkmış olacak, deprem hangi doğrultudan etkili olursa olsun yapı her iki doğrultuda da benzer davranış gösterecektir. Planda kare, gibi simetrik olan bir yapının her iki doğrultusunda da rijitliğinin aynı olacağı dair bir şey yoktur. Rijitlik için yapının geometrisi değil, düşey taşıyıcıların her iki doğrultusundaki boyutları ve diğer özellikleri önemli olmaktadır [15].

Betonarme bir yapıda düşey taşıyıcı elemanlar genellikle kolon ve perdeler olduğundan, rijitlik hesabında, dolgu duvarların etkisi ihmal edilerek, bu elemanların dikkate alınması yeterli görünmektedir. Düşey taşıyıcı elemanların rijitlikleri hesabında elemanlarda kullanılan malzemelerin elastisite modülleri, elemanın en kesit boyutları, eleman uçlarının mesnetlenme biçimleri ve eleman yüksekliği etkili olmaktadır. Şekil 8.1 deki bağlantılardan görülebileceği gibi malzemenin elastisite modülü (E) artarsa, elemanın rijitliği de artmaktadır. En kesit boyutları arttığı zaman, elemanın rijitliği artmaktadır. Atalet momenti yüksekliğin küpü ile doğru orantılı olduğundan, rijitlikte yüksekliğin küpü doğrultusunda artmaktadır. Elemanın uçlarındaki hareket kısıtlandıkça, elemanın rijitliği artmaktadır. Bu da elastisite modülünün önündeki katsayı ile ilişkilidir. Elemanın uzunluğu (I) arttığı zaman rijitlik küpü oranında azalmaktadır (Şekil 7.1) [45].



Şekil 7.1 : Yatay Yük Etkisi Altında Düşey Elemanların Farklı Mesnetlenme Durumlarında, Farklı Rijitlikleri [15].

Bir katta bulunan kolon ve perdeler aynı malzemedan yapılmış, aynı mesnetlenme koşullarına sahip ve boyları da aynı ise o zaman rijitlik dağılımlarının hesabında sadece eylemsizlik momentlerinin dikkate alınması yeterli olmaktadır. Bu tür yapılarda genellikle bu durum söz konusudur ve sadece eylemsizlik momentlerini

dikkate alarak her iki doğrultuda rijitlikleri dağıtmak yeterli olmaktadır. Rijitlik hesabında dikkat edilecek en önemli hususlardan biri eylemsizlik momentini hesaplarken elemanın hesap yapılan doğrultudaki boyutunun küpünün alınmasıdır [15].

8. BETONARME YÜKSEK YAPILARA GELEN YÜKLER

Bir betonarme yapıya gelen yükler iki çeşit olabilir. İlki insanların oluşturduğu yükler, ikincisi ise doğa olaylarından dolayı oluşan yüklerdir. İnsanlardan dolayı oluşan yükler, insanların mevcut ağırlıkları, araçların, mobilyaların, cihazların vb. durumlardan dolayı oluşan ağırlıklar insanların oluşturdukları ağırlıklardır.

Doğal olaylardan dolayı oluşan yükler ise, kar, rüzgâr, yer hareketleri, yerin oturmasından dolayı oluşan ağırlıklardır.

Doğal olaylardan dolayı oluşan yüklerden özellikle deprem yüküne oldukça dikkat edilmelidir. Deprem yükü yapıya yatay kuvvet olarak etki etmekte ve yapının boyutlandırılmasında oldukça önemlidir. Ayrıca yapıların inşasında kullanılan yapı malzemelerinin kalitesi de yapının ömrüne ve yükler altındaki davranışına etki etmektedir.

Bir yüksek katlı yapının kütlesi, kullanımı ve jeofiziksel yüklerle, depreme karşı davranışını etkiler [45].

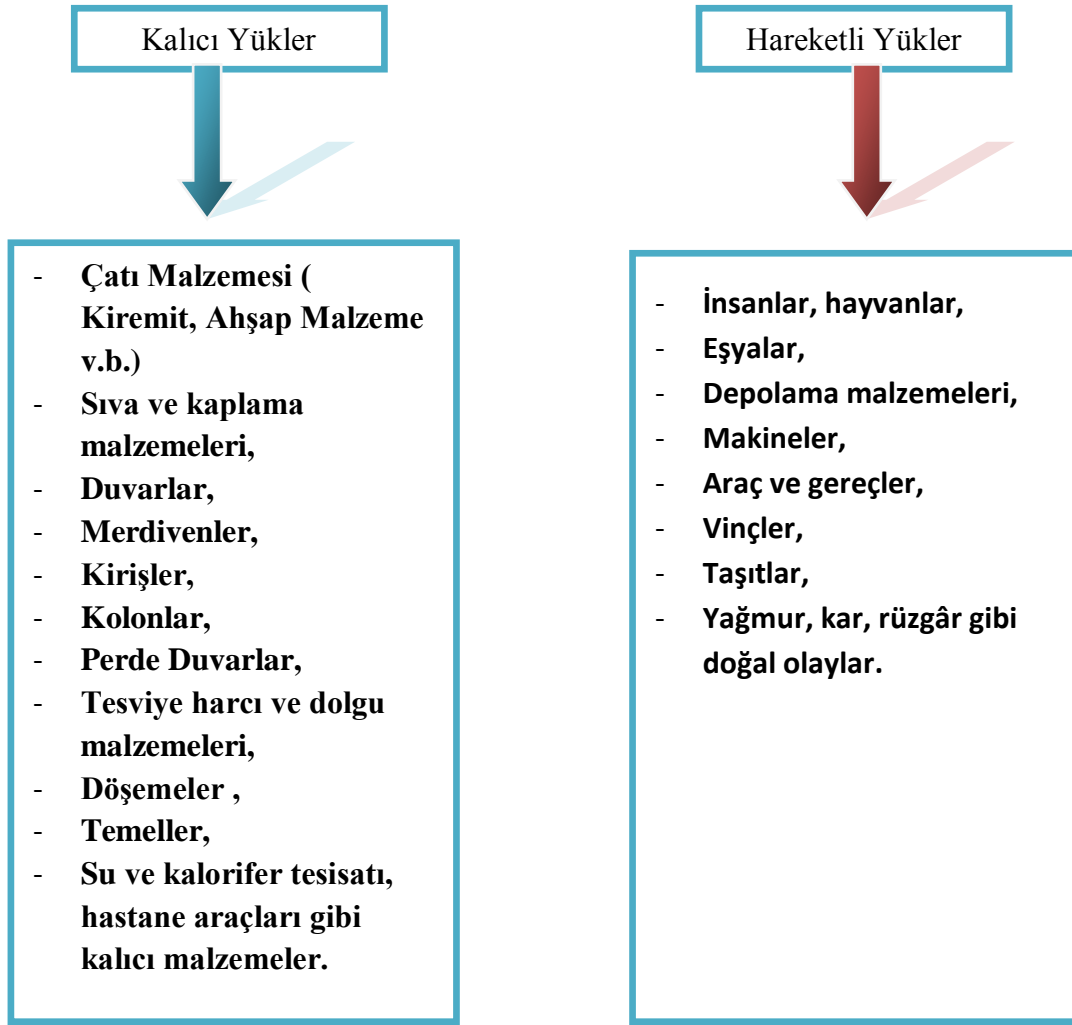
8.1 Düşey Yükler ve Aktarılması

Düşey yükler yapının sabit ağırlığından dolayı oluşan yükler gibi işletim sırasında kısmen geçici olan yükler şeklinde de olabilir.

Yüksek katlı bir yapıya gelen yükler, yapıdaki taşıyıcı elemanlar sayesinde zemine kadar aktarılabilir. Yüklerin düzenli olarak aktarılabilmesi için taşıyıcı elemanların düşey doğrultuda devamının olması ve düzenli olması gerekir. Aynı zamanda düşey yükler hareketli yük ve ölü (kalıcı) yük olmak üzere ikiye ayrılırlar (Çizelge 8.1).

Yapılara etkiyen yükler Şekil 8.1'deki gibi aktarılabilir. Şekil 8.1'de betonarme bir yapının yük aktarımı gösterilmiştir.

Çizelge 8.1 : Yapılara Gelen Düşey Yükler.



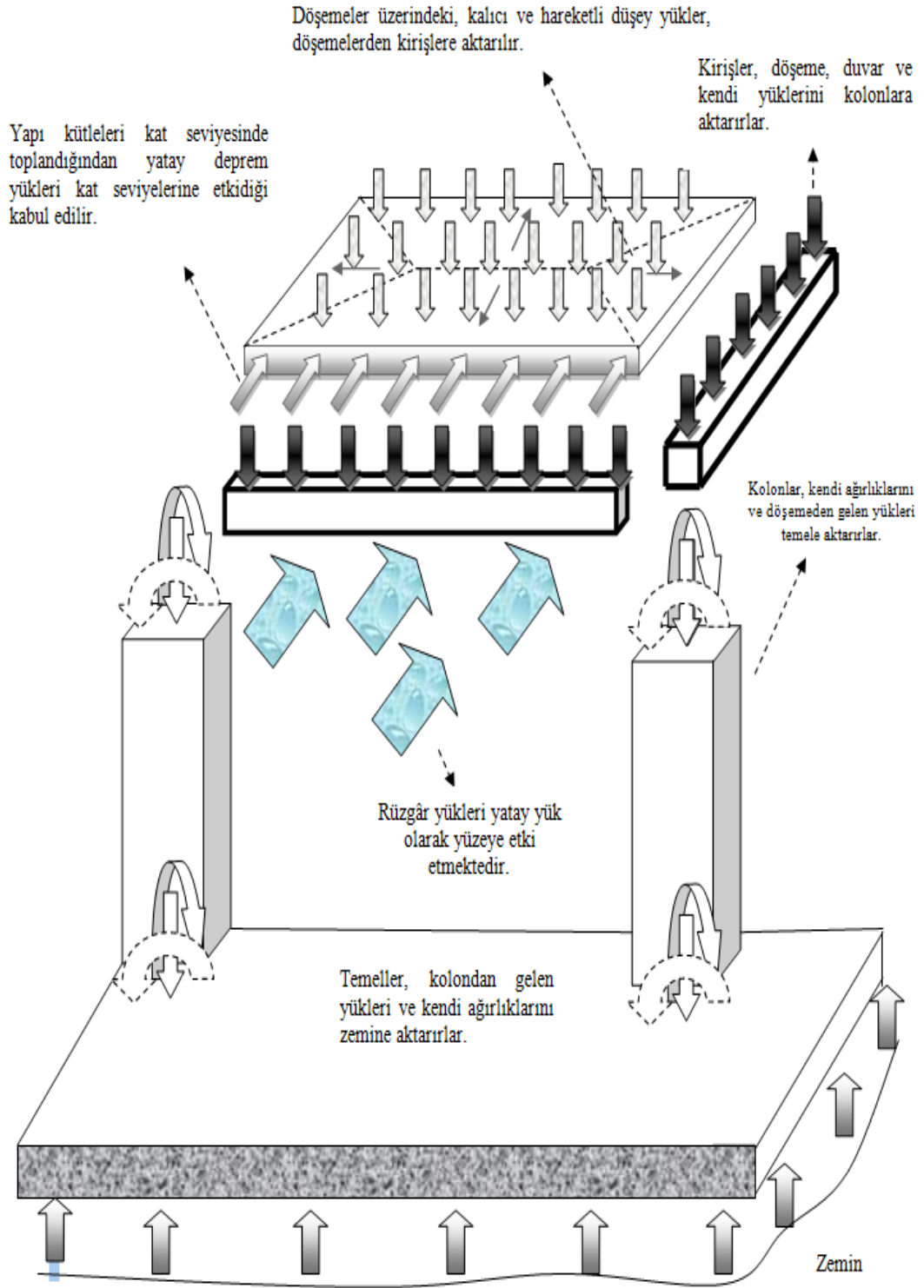
8.2 Yatay Yükler

8.2.1 Rüzgâr yükü

Yüksek katlı yapılara gelen yatay kuvvetlerden ilk olarak rüzgâr kuvveti ele alacak olursak, yüksek katlı yapılara, normal katlı yapılardan daha fazla rüzgâr kuvveti etki etmektedir [26].

Rüzgâr yükleri statik ve dinamik olmak üzere iki kısımdan oluşur. İstanbul Yüksek Binalar Rüzgâr Yönetmeliği'nde verilen rüzgâr yükleri, binanın rüzgâr altında yaptığı statik ve maksimum dinamik yer değiştirmelerin toplamına eşit statik yer değiştirmeye karşı gelen eşdeğer statik yükler olarak ifade edilmiştir.

Şekil 8.1'de yapılara gelen yatay ve düşey yükler gösterilmiş olup yüklerin taşıyıcı elemanlardan aktarımında gösterilmiştir.



Şekil 8.1: Düşey ve yatay yüklerin yapıya etki etmesi. [62]

Binanın ana taşıyıcı sistemine gelen toplam rüzgâr yükü, binanın tüm yüzeylerine gelen rüzgâr yüklerinin vektörel toplamından oluşur. Bina ana taşıyıcı sistemine, dış cephe kaplamalarına ve rüzgâra maruz yapısal ve yapısal olmayan diğer elemanlara gelen rüzgâr yükleri 0.5 KN/m^2 den daha az olamaz [26].

Binaya etkiyen rüzgar hızı genel olarak **(8.1)** ile tanımlanır.

$$V_m(z, t) = V_m(z) + w(z, t) \quad (8.1)$$

Bu bağıntıda $V(z,t)$, hem zemin yüzeyinden ölçülen yükseklik z 'ye, hem de zamana (t) bağlı olarak tanımlanan toplam rüzgar hızını göstermektedir. Ortalama rüzgar hızı $V_m(z)$, rüzgarın statik bileşeni olarak adlandırılır ve binaya etki eden rüzgar hızlarının seçilen bir zaman aralığındaki ortalamasına karşı gelir. $w(z,t)$ ise ortalama değer etrafındaki hız değişimlerini (türbülans) ifade eden dinamik rüzgar hızıdır. Herhangi bir bölge ve yükseklikteki ortalama rüzgar hızı $V_m(z)$ aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$V_m(z) = C(z) C_t V_b \quad (8.2)$$

Bu bağıntıda V_b temel rüzgar hızını, $C_e(z)$ yükseklikle değişen yüzey pürüzlülük katsayısını ve C_t topografya katsayısını göstermektedir. Temel rüzgâr hızı açık bir arazide (örneğin hava alanları gibi), yerden 10m yükseklikte herhangi bir yönde ölçülen 10 dakikalık ortalama rüzgar hızlarından 50 yılda en az bir kere aşılma olasılığına karşı gelen rüzgar hızıdır. İstanbul Atatürk Havaalanı'nda sürekli olarak 1 dakika ara ile yapılan rüzgâr hızı ölçüm verilerinin analizi sonucunda, İstanbul ve civarı için temel rüzgar hızı $V_b = 25 \text{ m/s}$ olarak tanımlanmıştır. Yüzey pürüzlülük katsayısı, rüzgârın geldiği doğrultudaki yüzey pürüzlüğünün ortalama rüzgar hızına ve hızın yükseklikle değişimine yaptığı etkileri tanımlayan bir katsayıdır. Bu katsayı aşağıdaki bağıntılarla tanımlanır:

$$z > z_{min} \text{ için } C_e(z) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_o}\right); k_r=0,23(z_o)^{0,07}; z \leq z_{min} \text{ için } C_e(z) = C_e(z_{min}) \quad (8.3)$$

Yukarıdaki bağıntılarda z_o yüzey pürüzlülük uzunluğunu (m), z_{min} ise yüzey pürüzlülük kat sayısının sabit olduğu minimum yüksekliği (m) göstermektedir.

Beş değişik arazi tipi için z_o ve z_{min} değerleri Çizelge 8.2 de verilmiştir. İstanbul'daki bütün bölgeler için topografya katsayısı aşağıdaki gibi alınacaktır:

$$C_t = 1.0 + 0.001 \Delta \quad (8.4)$$

Bu bağıntıda Δ yapının bulunduğu yerin m cinsinden deniz seviyesinden olan yüksekliğini gösterir. Şehir merkezlerinde (Arazi tipi IV) etrafı daha alçak yapılarla çevrili yüksek bir yapıya gelen rüzgar yüklerinin hesabında, rüzgarın alçak yapılar tarafından bloke edilmesinin etkisi, zemin seviyesini fiktif olarak yükselterek göz önüne alınır.

Çizelge 8.2 : Yüzeş pürüzlülük uzunlukları (z_0) ve minimum yükseklikler (z_{\min}) [26]

Arazi Tip No	Arazi Tip No	Z_0 (m)	Z_{\min} (m)
0	Denize açık kıyı şeritleri	0,003	1
1	Göl çevreleri veya engebesiz düz ve geniş alanlar	0,01	1
II	Seyrek ağaçların ve yapıların olduğu ova çayır alanlar. (Engebe aralıkları ortalama engebe yüksekliğinin 20 katından fazla)	0,05	2
III	Köyler, banliyöler, ormanlık alanlar. (Engebe aralıkları ortalama engebe yüksekliğinin 20 katından az.)	0,3	5
IV	Şehir merkezleri ve benzeri en az %15 oranında ortalama yüksekliği 15m ve üzeri yapılarla kaplı alanlar.	1	10

Yükseltme ile ilgili kurallar aşağıda (8.5) ve Şekil 8.2’de verilmiştir. Yüksek yapının rüzgar hesabı normal koşullarda yapıya etkiyen rüzgar profili ve yüklerini düşey yönde h_y kadar öteleyerek yapılır [26].

$$x \leq 2h_0 \text{ ise } h_y = \min[0,8h_0, 0,6h]$$

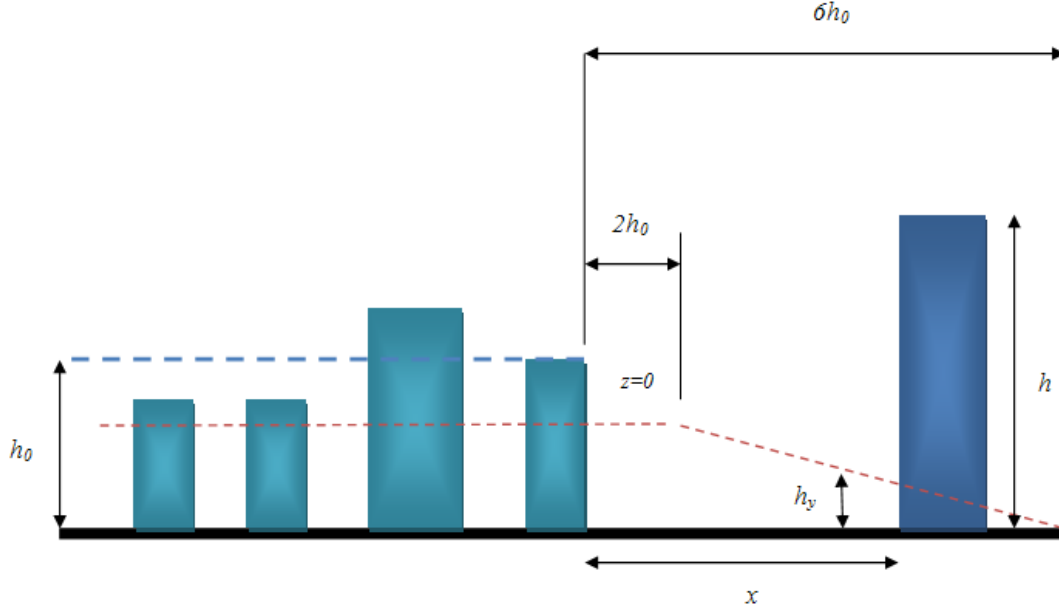
$$2h_0 < x < 6h_0 \text{ ise } h_y = \min[1,2h_0 - 0,2x, 0,6h] \quad (8.5)$$

$$x \geq 6h_0 \text{ ise } h_y = 0$$

Çevre yapıların yüksekliği konusunda detaylı bilginin olmadığı durumlarda $h_0 = 15m$ alınacaktır.

Dinamik rüzgar hızı rüzgar türbülansı olarak adlandırılır. Rüzgâr türbülansı, ortalama değeri sıfır olan normal dağılımlı rastgele (random) süreç olarak modellenir ve türbülansın standart sapması σ_w cinsinden aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\sigma_w = k_r V_b \quad (8.6)$$



Şekil 8.2 : Çevredeki yapıların ortalama rüzgar hızı profiline etkisi. [26]

Binalara etkisi açısından, ortalama maksimum türbülans rüzgar hızı, \bar{w}_{max} , standart sapmanın 3.5 katı olarak alınır:

$$\bar{w}_{max} = 3.5 \sigma_w \quad (8.7)$$

Türbülansın ortalama rüzgâr hızına göre relatif genliği, aşağıda tanımlanan ve yükseklikle

değişen türbülans şiddeti $I_w(z)$ cinsinden belirlenir.

$$z > z_{min} \text{ için } l_{min}(z) = \frac{\sigma_m}{V_m(z)} = \frac{1}{\ln(z/z_0) C_t} \quad (8.8)$$

$$z \leq z_{min} \text{ için } l_w(z) = l_w(z_{min})$$

z_0 ve z_{min} değerleri yukarıda Çizelge 8.2’de verilmiştir.

Maksimum rüzgâr hızının hesaplanmasına göz attığımızda ise;

(8.1) ve (8.7)’den yararlanılarak maksimum rüzgar hızı $|V(z,t)|_{max}$ aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$|V(z,t)|_{max} = V_m(z) + \bar{w}_{max} \quad (8.9)$$

Yüksek katlı yapılarda bir noktaya etkiyen maksimum rüzgâr basıncına da dikkat etmemiz gerekir, yapıların tasarımında bir noktaya etkiyen maksimum rüzgar basıncı dikkate alındığında;

Rüzgâr basıncı havanın kütle yoğunluğu ve rüzgâr hızının karesi ile orantılıdır. Rüzgara dik doğrultudaki düzlemde z yüksekliğindeki bir birim alana gelen maksimum rüzgar basıncı $q_p(z)$ (8.10) ile hesaplanır:

$$q_p(z) = \frac{1}{2} \bar{w} \max |V(z, t)|_{\max}^2 \quad (8.10)$$

Yukarıdaki bağıntıda, $|V(z, t)|_{\max}$ (8.9)'ye göre z yüksekliğinde etki eden maksimum rüzgar hızını, ρ ise havanın yoğunluğunu göstermektedir ($\rho = 1.25 \text{ N/m}^3$). (8.9) (8.10)'de yerine konular ve $\bar{w}_{\max} = V_m(z)$ olduğu göz önüne alınırsa, maximum rüzgar basıncı için aşağıdaki bağıntı yazılabilir:

$$q_p(z) \approx \frac{1}{2} \rho V_m^2(z) + \rho V_m(z) \bar{w}_{\max} \quad (8.11)$$

(8.7) ve (8.8)'den yararlanılarak;

$$q_b = \frac{1}{2} \rho V_b^2(z); \quad C_q(z) = C_e^2(z) C_t^2 [1 + 7I_w(z)] \quad (8.12)$$

Çizelge 8.2'de verilen beş arazi tipi için $C_q(z)$ 'nin yükseklikle değişimi, C_t topografya katsayısı 1.0 kabul edilerek, Şekil 8.3'de verilmiştir.

Yüksek katlı yapılarda bir yüzeye etkiyen maksimum rüzgâr yükünün hesaplanmasına geldiğimizde;

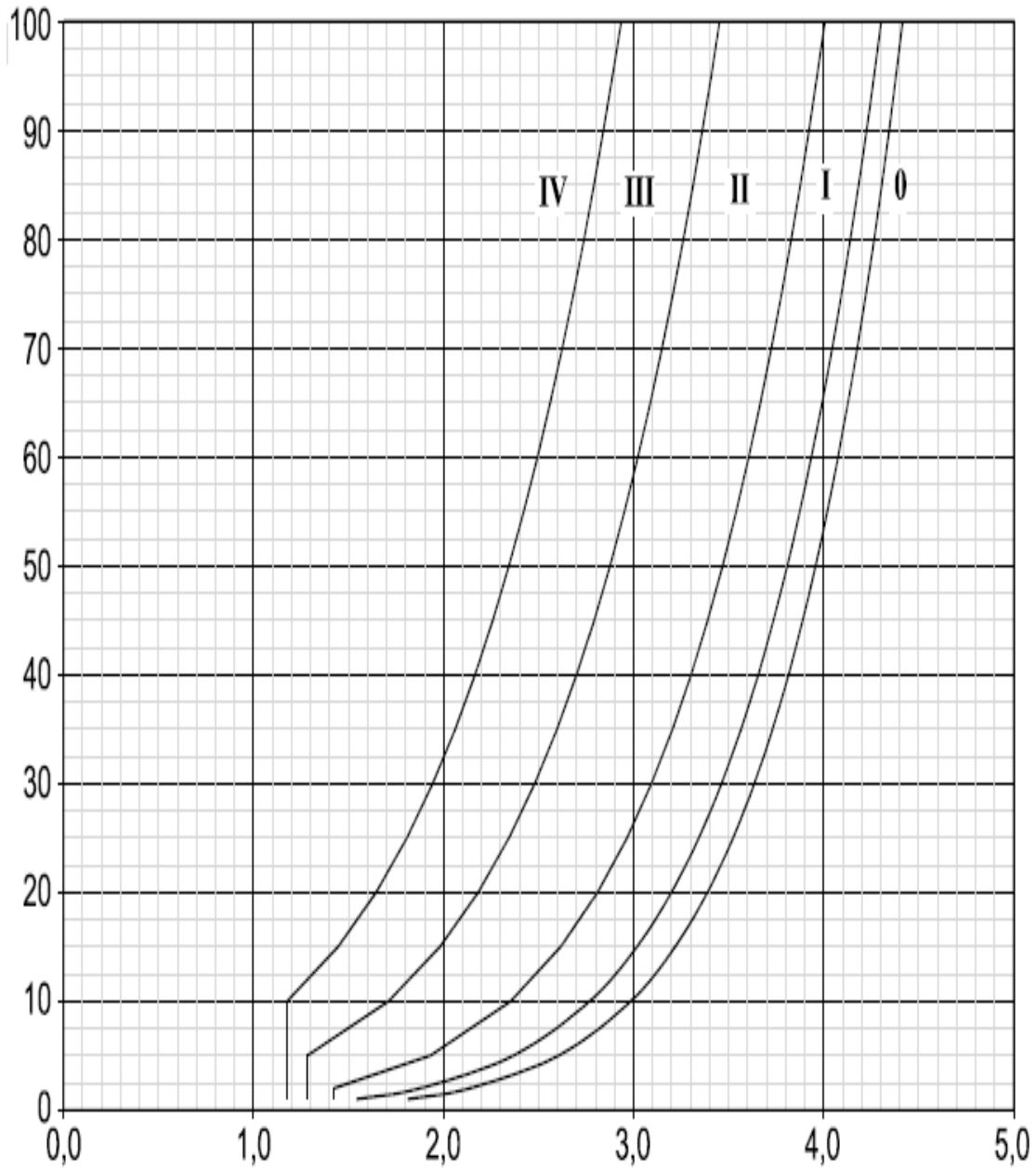
Rüzgâra dik doğrultudaki düzlemde z yüksekliğindeki bir yüzeye etkiyen maksimum rüzgâr yükü $Q(z)$, maksimum rüzgâr basıncı $q_p(z)$ 'nin yüzey alanı A ve yüzey basınç katsayısı C_p ile çarpılmasıyla bulunur:

$$Q_z = q_p(z) \cdot C_p \cdot A \quad (8.13)$$

C_p katsayısının değeri ve işareti yüzeyin binadaki konumuna göre (örneğin, binanın rüzgâra göre ön yüzünde, arka yüzünde, yan yüzünde, çatıda veya yapının içinde olmasına göre) değişir. Artı işaretli katsayılar yüzeye dik doğrultudaki basıncı, eksi işaretli katsayılar ise yüzeye dik doğrultudaki çekmeyi gösterir.

Binaya ve bina elemanlarına gelen rüzgar yüklerinin hesabında kullanılacak C_p katsayısının değeri rüzgara maruz yüzeyin büyüklüğüne göre değişir. 1.0 m^2 veya daha küçük alanlar için $C_{p,1}$ katsayısı, 10.0 m^2 veya daha büyük alanlar için $C_{p,10}$ katsayısı kullanılır. Aradaki alan değerlerine karşı gelen $C_{p,A}$ değerleri logaritmik interpolasyonla aşağıdaki denklemde gösterildiği şekilde bulunur:

$$C_{p,A} = C_{p,1} - (C_{p,1} - C_{p,10}) \log_{10} A \quad (1 \text{ m}^2 \leq A \leq 10 \text{ m}^2) \quad (8.14)$$

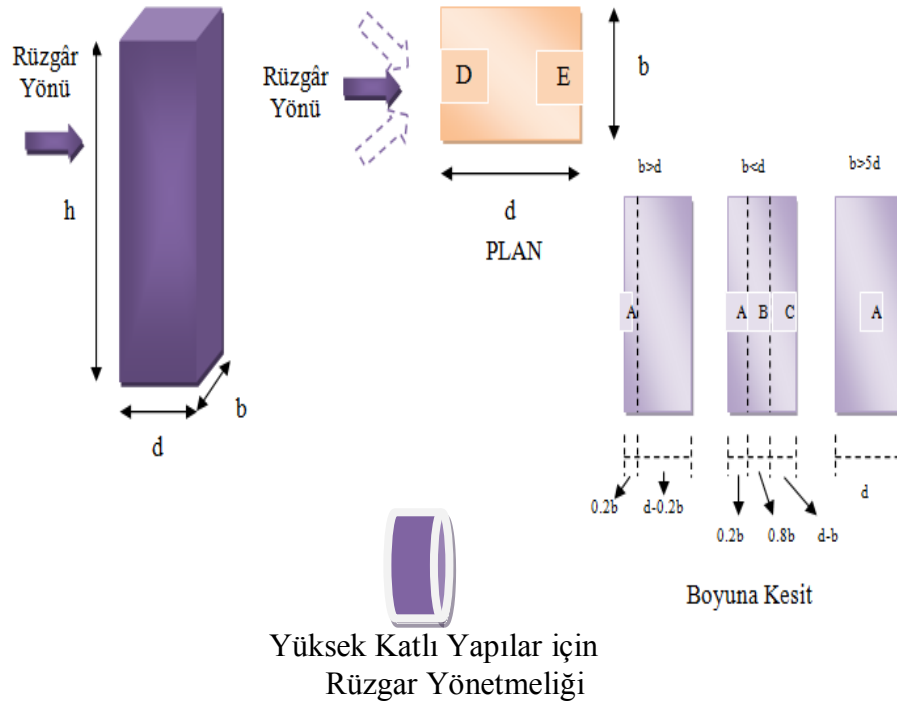


Şekil 8.3 : $C_q(z)$ 'nin yükseklikle değişimi (topografya katsayısı $C_t=1$ alınmıştır) [26]

Genel olarak, $C_{p,1}$ katsayısı yapısal olmayan elemanlara ve bağlantılarına gelen rüzgâr yüklerinin hesabında, $C_{p,10}$ katsayısı ise yapının taşıyıcı sistemine gelen yüklerin hesabında kullanılır.

Dikdörtgen kesitli yapılar için yapının rüzgâr yükleri açısından değişik bölgeleri Şekil 8.4'de, her bölgeye karşı gelen $C_{p,1}$ ve $C_{p,10}$ katsayıları ise Çizelge 8.3'de verilmiştir.

Aşağıdaki şekilde h/d nin ara değerlerine karşı gelen katsayılar interpolasyonla bulunur. $h/d > 5$ için $h/d=5$ değerleri kullanılabilir.



Şekil 8.4 : Dikdörtgen kesitli binalar için basınç katsayısı bölgeleri [26].

Çizelge 8.3 Dikdörtgen kesitli binalar için basınç katsayıları [26].

	A (Yan Yüz)		B (Yan Yüz)		C (Yan Yüz)		D (Ön Yüz)		E (Arka Yüz)	
	$C_{p,10}$	$C_{p,1}$	$C_{p,10}$	$C_{p,1}$	$C_{p,10}$	$C_{p,1}$	$C_{p,10}$	$C_{p,1}$	$C_{p,10}$	$C_{p,1}$
h/d										
5	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5	-	0.8	1.0	-0.7	-
1	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5	-	0.8	1.0	-0.5	-

Yüksek katlı yapılara etkiyen rüzgâr yüklerine geldiğimizde ise, planda dikdörtgen kesitli bir binaya etkiyen toplam rüzgâr yükü F aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$F = F_{ex} + F_{in} + F_{fr}$$

$$F_{ex} = C_s \cdot C_d \cdot \sum_{\text{yüzey alanı}} q_p(z_e) C_{pe} A_{ex}$$

$$F_{in} = \sum_{\text{yüzey alanı}} q_p(z_i) C_{pi} A_{in}$$

$$F_{fr} = \sum_{\text{yüzey alanı}} q_p(z_e) C_{fr} A_{fr}$$

(8.15)

Yukarıdaki denklemlerde;

F_{ex} = Dış yüzeylere etkiyen yükler

F_{in} = İç yüzeylere etkiyen yükler

F_{fr} = Yan yüzlere etkiyen sürtünme yükleri

C_s = Yük korelasyon katsayısı

C_d = Dinamik rezonans katsayısı

$q_p(z_e)$ = Dış yükseklik z_e deki maksimum basınç

$q_p(z_i)$ = İç yükseklik z_i deki maksimum basınç

C_{pe} = Dış basınç katsayısı

C_{pi} = İç basınç katsayısı

C_{fr} = Sürtünme katsayısı

A_{ex} = Referans dış yüzey alanı

A_{in} = Referans iç yüzey alanı

A_{fr} = Referans yan yüzey alanı (referans sürtünme alanı)

İç basınç katsayıları bina yüzündeki açıklıkların boyutu ve sıklığı ile değişir. Bir yüzdeki açıklıklar diğer yüzdeki açıklıkların en az iki katı veya daha fazla ise, o yüz iç basınçlar açısından binanın hakim yüzü olarak adlandırılır. Hesaplarda pencere ve kapı boşluklarının açık olacağı kabul edilir. kapı boşluklarının açık olacağı kabul edilir. İç basınç katsayıları açıklık oranına bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır:

Eğer yüzeydeki açık alanlar diğer yüzeylerdeki açık alanların toplamının en az iki katı ise:

$$C_{pi} = 0.75C_{pe}$$

Eğer yüzeydeki açık alanlar diğer yüzeylerdeki açık alanların toplamının en az üç katı ise:

$$C_{pi} = 0.90C_{pe}$$

Burada C_{pe} hâkim yüzdeki dış basınç katsayısını gösterir. Eğer açık alanlar değişik basınç kat sayısına sahip bölgelerde ise, C_{pe} alan-ağırlıklı ortalama alınarak

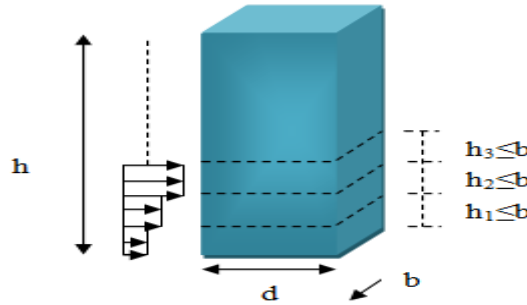
hesaplanır. Duvarlar, parapetler ve çatı yüzeyleri için sürtünme katsayıları aşağıda verildiği gibi hesaplanır:

$C_{fr} = 0.01$ - pürüzsüz yüzeyler için (çelik, düzgün beton gibi)

$C_{fr} = 0.02$ - pürüzlü yüzeyler için (düzgün olmayan beton, asfalt kaplamalı yüzeyler gibi)

$C_{fr} = 0.04$ - Çok pürüzlü yüzeyler için (ondelalı çatı kaplamaları gibi)

Sürtünme yüzeyi rüzgâr yönü doğrultusundaki dış yüzeylerden oluşur. Düşey duvarlar için, sürtünme alanı rüzgâr yönündeki toplam düşey duvar alanıdır. Çatılar için sürtünme alanı rüzgârın geldiği taraftaki çatı kenarından (2 x ön yüz genişliği) veya (4 x çatı yüksekliği) değerlerinden küçük olan kadar uzaklaştıktan sonra geriye kalan çatı alanıdır. Binaya gelen toplam yükleri hesaplarırken bina düşey doğrultuda Şekil 8.5’de gösterildiği gibi dilimlere ayrılır ve her dilime gelen yükler ayrı ayrı hesaplanır. Dilimlerin yüksekliği rüzgâra dik yöndeki bina genişliğinden daha fazla olmamalıdır. Yatay doğrultuda yüklerin düzgün olarak dağıldığı kabul edilecektir.



Şekil 8.5: Rüzgâr yüklerinin düşey doğrultuda değişiminin göz önüne alınması [26].

C_s katsayısı ile maksimum rüzgâr yüklerinin bina yüzeyine her noktada aynı anda (tam korelasyonlu) etki etmediği göz önüne alınır. C_d katsayısı ise, dinamik rüzgâr yükleri altında yapının dinamik davranışı (titreşimi) ve rezonans nedeniyle yer değiştirmelerde meydana gelen artışı göz önüne alır. C_s ve C_d katsayıları aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$C_s = \frac{1+7l_w(Z_r)\sqrt{B^2}}{1+7l_w(Z_r)} \quad ; \quad C_d = \frac{1+7l_w(Z_r)\sqrt{B^2+R^2}}{1+7l_w(Z_r)\sqrt{B^2}}$$

veya (8.16)

$$C_s C_d = \frac{1+7l_w(Z_r)\sqrt{B^2+R^2}}{1+7l_w(Z_r)}$$

Yukarıdaki bağıntılarda z_r referans yüksekliği (m) (toplam yüksekliğin %60'ı olarak alınabilir $z_r = (0.6h)$, $I_w(z_r)$ referans yükseklikteki türbülans şiddetini (8.8), B^2 korelasyon faktörünü ve R^2 ise rezonans faktörünü göstermektedir. Yukarıdaki bağıntılar, rüzgar doğrultusundaki titreşimlere birinci modun hâkim olduğu planda dikdörtgen binalar için geçerlidir. Korelasyon faktörü B^2 aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \left[\frac{b+h}{L(z_r)} \right]^{0,63}} \quad (8.17)$$

Bu bağıntıda, b binanın rüzgara dik doğrultudaki genişliğini (m), h binanın yüksekliğini (m), $L(z_r)$ ise referans yükseklik z_r 'deki ($z_r = 0.6h$) türbülans uzunluğunu (m) göstermektedir. Rezonans faktörü R^2 aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2\delta} S_L(z_r, f_o) R_h(\eta_h) R_b(\eta_b) \quad (8.18)$$

Bu bağıntıda, " binanın birinci moduna karşı gelen logaritmik azalım katsayısını, f_o binanın birinci doğal titreşim frekansını (Hz), $S_L(z_r, f_o)$ türbülans güç spektrumu yoğunluk fonksiyonunun z_r ve f_o 'daki değeri $R_h(\eta_h)$ düşey doğrultudaki aerodinamik kabul fonksiyonunu, $R_b(\eta_b)$ ise yatay doğrultudaki aerodinamik kabul fonksiyonunu göstermektedir. Logaritmik azalım katsayısı δ ", binanın birinci moduna karşı gelen sönüm katsayısı δ_o cinsinden aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\delta_o = \frac{2\pi\varepsilon_o}{\sqrt{1-\varepsilon_o^2}} \approx 2\pi\varepsilon_o \quad (8.19)$$

Birinci modun hakim olduğu bina titreşimleri için $R_h(\eta_h)$ ve $R_b(\eta_b)$ fonksiyonları aşağıdaki bağlantılardan elde edilir.

$$R_h(\eta_h) = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2\eta_h^2} (1 - e^{-2\eta_h}) ; \quad \eta_h = \frac{4.6h}{L(z_r)} f_L(z_r, f_o) \quad [\eta_h = 0 \text{ ise } R_h(\eta_h) = 1] \quad (8.20)$$

$$R_b(\eta_b) = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2\eta_b^2} (1 - e^{-2\eta_b}) ; \quad \eta_b = \frac{4.6h}{L(z_r)} f_L(z_r, f_o) \quad [\eta_b = 0 \text{ ise } R_b(\eta_b) = 1]$$

Yukarıdaki bağıntılarda h binanın yüksekliğini (m), b rüzgâra dik doğrultudaki genişliğini (m), z_r referans yüksekliği ($z_r = 0.6h$), $f_L(z_r, f_o)$ normalize edilmiş boyutsuz frekansı, $L(z_r)$ ise referans yükseklik z_r 'deki ($z_r = 0.6h$) türbülans uzunluğunu (m) göstermektedir [43].

Ayrıca yüksek katlı bir yapının projesinde sayısal olarak hava tüneli çalışmasının yapılma kararını aşağıdaki hususlar rehber olabilmektedir.

- Binanın yükseklik genişlik oranı 5'ten büyük yani yapı narin bir yapıdır.
- Yaklaşık hesaplar girdap kopması olasılığının varlığını göstermektedir.
- Yapı yoğunluk olarak hafiftir. (1,25~1,57 KN/m³)
- Yapının rijitliği binanın ortasında özellikle toplanmış olup, burulma bakımından esnek yapmaktadır.
- Hesaplanan titreşim periyodu 5~10 sn. arasında ve oldukça uzundur.
- Bina hakim rüzgarların estiği yöndeki titreşim oluşturacak şekilde hassas bir yerde bulunmaktadır.
- Binayı kullanmada, kullanıcının konforu, rahatı en önemli rolü oynamaktadır. Konut ve oteller bulunanlar, büro tipi yüksek yapılarda bulunanlara göre bina titreşimlerinden çok daha fazla rahatsız olur [43].

Rüzgâr hesabı karmaşık bir olay olmasına karşılık, onun bazı özelliklerini ayırarak incelemek bazı basit kabullerde getirecektir. Bu kabulleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Rüzgâr hızının yükseklikle değişimi söz konusudur.
- Rüzgâr türbülanslı akım yapabilir.
- Rastgele değişken olarak olasılık kanunlarına bağlanır.
- Girdap kopması olayları oluşabilir.
- Yapı ile dinamik etkisi söz konusudur [26].

8.2.2 Deprem kuvvetleri

Betonarme yüksek katlı yapılara gelen yüklerden en önemli olanlarından biri de deprem yükleridir. Asıl olarak yapılara gelen yüklerin gerçeğe uygun olarak belirlenmesi oldukça zordur. Deprem sırasında temel zemini titreşim hareketi yapmakta, bundan dolayısıyla da yapı temeli ani öteleme ve dönmenin etkisi altında kalmaktadır. Temelin bu tür hareketleri, yapıda harekete zıt yönde atalet kuvvetlerinin meydana gelmesine neden olmaktadır. Yapı çok rijit ve temele de ankastre mesnetlenmişse, yapı zemin hareketini aynen taklit edecektir. Bu durumda etkiyen kuvvet $F=m.a$ olacaktır. Yapı yeterince rijit değilse zeminin hareketlerini taklit edemeyecek ve zeminden farklı bir titreşim hareketi yapacaktır. Bu durumda yapıya etkiyen kuvvet, $F=m.a$ formülünden farklı olacaktır. [14] Deprem nedeniyle

yeni yapılacak yapıların deprem hesabı için 3 farklı yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler [15]:

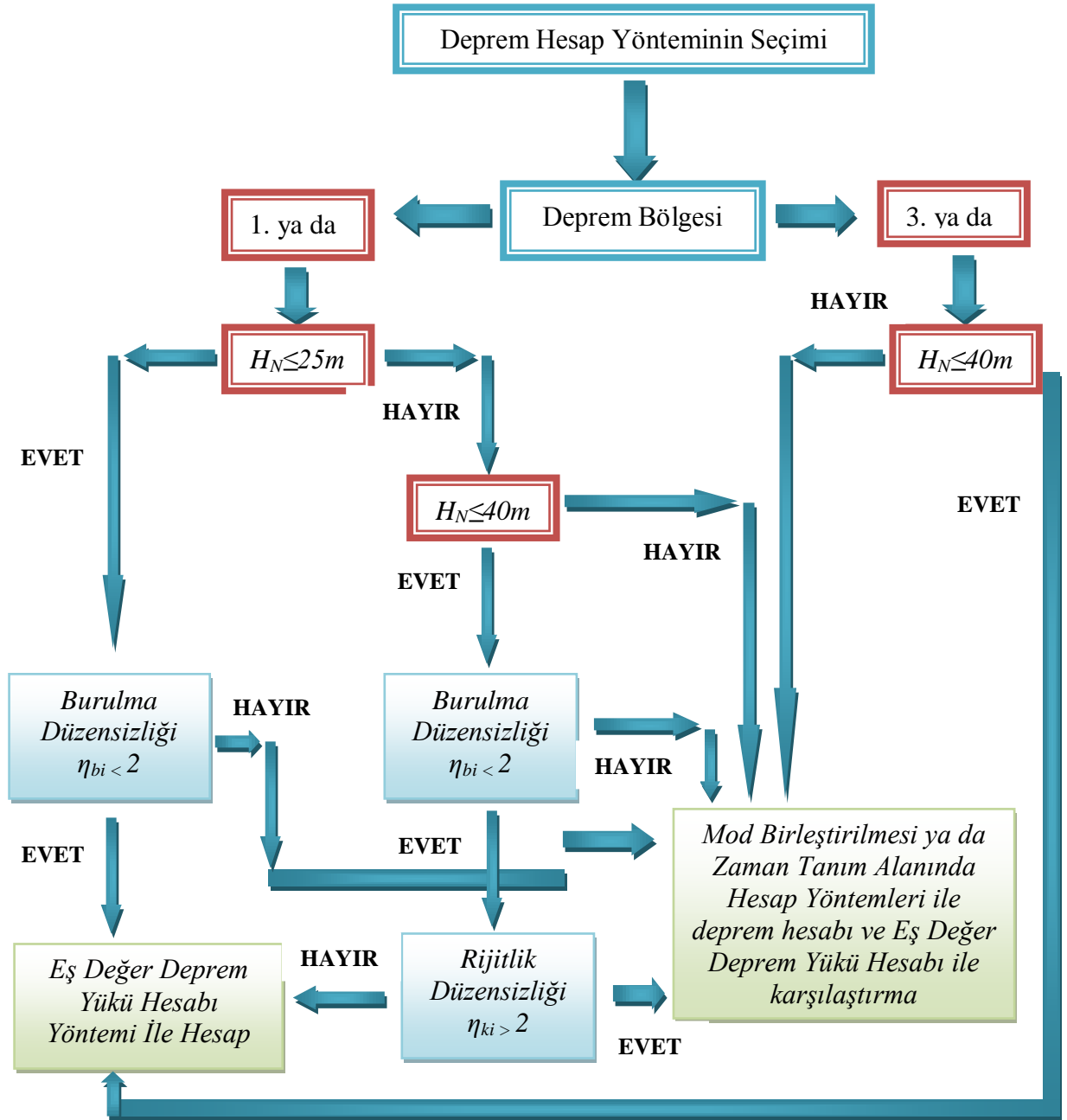
- Eş değer deprem yükü yöntemi,
- Mod birleştirme yöntemi,
- Zaman tanım alanında hesap yöntemi.

Eş değer deprem yükü yöntemi diğer üç yöntem içerisinde en kolay olanıdır. Bu yöntem eş değer statik yöntem olarak da bilinir. Yüklerin hesabında, yapı ve zemine ilişkin periyot değerleri gibi dinamik parametlerin kullanılması nedeniyle eş değer deprem yükü yöntemi sadece birinci modun dikkate alındığı dinamik bir yöntem olarak da kabul edilmektedir [14].

Eş değer deprem yükü yöntemi bazı yapıların deprem hesabı için yeterli olmakta, bazılarının hesabında ise tek başına yeterli olmamaktadır. Bu durumda ilave olarak dinamik hesaplarda kullanılmaktadır. Bu yöntemin yeterli olmadığı durumlarda da karşılaştırma amaçlı hesap yöntemleri kullanılması gerekmektedir. Eş değer deprem yükünü Çizelge 8.4 de değerlendirildiğinde hangi durumlarda uygulanamayacağını göstermektedir.

Tabloda H_N yapı toplam yüksekliğini, η_{bi} ise burulma düzensizlik katsayısını göstermektedir. Aşağıdaki tabloda da görüldüğü gibi bu yöntem, bazı durumlarda deprem hesabı için yeterli olmakta, fakat düzensizliklerin bulunduğu durumlarda dinamik yöntemler olarak da bilinen modların birleştirilme yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemi ile deprem hesabının yapılması önerilmektedir. Bazı durumlarda ise dinamik yöntemlerin %20 lere varan oranlarda küçük değerler verdiği göz önünde bulundurularak, adeta düzensizliklerin bulunduğu yapıları mükâfatlandırmak durumuna düşmemek için modların birleştirilmesi yönteminden elde edilen sonuçların, eşdeğer deprem yükü yönteminin sonuçları ile karşılaştırılması ön görülmektedir. A1, B2 ya da B3 düzensizliklerinden en az birinin binada bulunması halinde, mod birleştirme yöntemine göre bulunan tüm iç kuvvet ve yer değiştirme değerleri en az eş değer deprem yükü yönteminden elde edilen değerler kadar dikkate alınmalıdır. Bu düzensizliklerin hiç biri yoksa deprem yönetmeliğinde, %10 daha küçük olabileceği belirtilmektedir. Ayrıca zaman tanım alanında yapılan hesaplarla eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılan hesaplar da birbiri ile karşılaştırılmalıdır [14].

Çizelge 8.4 : Deprem Hesap Yönteminin Seçimi [15]



Yüksek katlı yapılar, ayrıca uzun dalga üretecek zeminler üzerine oturduklarında büyük hasar geçirme eğilimindedirler. Bu durumda rezonans olma olasılığı oldukça fazladır. Orta sığ derinlikte oluşan depremlerde meydana gelen büyük periyotlu dalgalar 100 ~ 200 km kat ederek genlikleri düşse bile (0,02g), alüviyal depozitlerde yükseltgenmeyle hasar oluşturabilir.

Bükreş- Romanya depreminde yukarıdaki tipte hasarlar görülmüştür.

Yapıların depreme karşı ekonomik olarak tasarımında ve yönetmeliklerin hazırlanışındaki tasarım felsefesi şu şekilde özetlenebilir.

- Yapı ömrü içerisinde sıkça görülen küçük manyitütlü depremlerde hiç hasar görmemelidir.
- Yapı ömrü içerisinde birkaç kez olabilen orta şiddetli depremlerde yapısal olmayan elemanlar hasar görebilir fakat yapısal elemanlar hasar görmemelidir.
- Nadir olarak karşılaşılan şiddetli depremlerde ise yapısal hasar görmesine karşın göçmemeli, can kaybı olmamalı veya insanlar ağır şekilde yaralanmamalıdır.
- Yapı ömrü içerisinde birkaç kez olabilen orta şiddetli depremlerde yapısal olmayan elemanlar hasar görebilir fakat yapısal elemanlar hasar görmemelidir.
- Nadir olarak karşılaşılan şiddetli depremlerde ise yapısal hasar görmesine karşın göçmemeli, can kaybı olmamalı veya insanlar ağır şekilde yaralanmamalıdır.
- Şiddetli depremlerin yapıyı her zaman etkilemeyeceği göz önüne alınmalıdır.

Buna göre deprem kuvvetleri altında tasarımda yapının sünek olarak gerçekleştirilmesi, yapı ömrü içerisinde sıkça görülen küçük manyitütlü depremlerde hiç hasar görmemesi için ve yapı ömrü içerisinde bir kaç kez olabilen orta şiddetli depremlerde yapısal olmayan elemanlar hasar görebilmesi fakat yapısal elemanlar hasar görmemesi için yerine getirilmesi gereklidir. Yeteri kadar deprem kaydının bulunduğu, Japonya ve Amerika gibi ülkelerde tasarım spektrumları, zemin koşullarına bağlı gerçek deprem spektrumlarının idealize edilmiş şekilleri olarak verilmişlerdir. Ülkemizde ise deprem bölgelerine göre etkin yer ivme katsayısı belirlenmiş ve bu katsayıda eş değer deprem yükü hesabında kullanılmaktadır.

Ayrıca bu yöntemde etkin yer ivme kat sayısının yanı sıra (A_0), bina önem katsayısı (I), spektrum katsayısı $S(T)$, deprem yükü azaltma katsayısı (R_a) ve hareketli yük azaltma katsayısı (n) deprem yönetmeliğinde verilen şekliyle belirlenmelidir [14].

8.2.3 Yüksek binalarda büzülme, sünme ve sıcaklık etkileri

Yüksek betonarme yapıların tasarımında, düşey taşıyıcı elemanların zamana bağlı etkilerinde oluşan uzunluk değişiklikleri göz önüne alınmalıdır. Bu amaçla kolonların, perde duvarların ve hatta varsa kesonların uzun süreli şekil değiştirmelerinin olduğu düşünülmelidir. Pek çok durumda bunlar geriye dönmeyen kalıcı şekil değiştirmelerdir.

Sıcaklık değişimleri günlük ve mevsimlik düzeyde olabilir. Bu Şekilde etkilere açık bırakılan yapılarda ortaya çıkan kuvvetler ve Şekil deęiŐtirmelere karşı davranışı, açıkta bırakılan kısmın byklğine yapısal elemanların sınır koşullarına bağlıdır.

Yüksek katlı yapılarda uzamaya örnek verecek olursak, yaklaşık 100 katlı bir yapıda ağırlık ve büzülme etkilerinden dolayı 30 cm civarında kısalma yapabileceği bir gerçektir. Kolonların kısalması, onlara komşu olup kısalmayan elemanların çalışmasında bazı ayrıntılara dikkat edilmesini gerektirir. Bu elemanlar dış ve i bölmeler, asansör rayları ve elik borular gibi elemanlardır. Betonarme yüksek katlı yapılarda kısalma farkları, çok daha alçak yapı ile birlikte yüksek yapının kullanılmasında eğer uygun önlemler alınmamıŐ ve bu kısalma farkları hesaba katılmamıŐsa, sorunlar oluşturabilir [34].

8.2.3.1 Ani kısaltmalar

Betonarme yapılarda ani kısaltmalar, yapının düşey elemanlarına uygulanan ani yükler oluŐtuęunda meydana gelir. Herhangi bir yük aktarımında hesaplanan Şekil değiştirme yk uygulandığındaki betonun yaŐına ve buna uygun elastisite modülüne bağlıdır.

Betonarme yüksek katlı yapılarda alt kattaki kolonlar, döküldükten aylar sonra en büyük yükle karŐılaŐırlar. Yüksek yapının pek çok katı için ani Şekil değiştirmenin büyük kısmı kolonların, perdelerin ve döşemelerin sabit yüklerinden oluşur. Çok azı ise hareketli yüklerden dolayı oluşur [46].

8.2.3.2 Snme kısaltmaları

Snme Şekil değiştirmeleri, eleman boyutlarına, yüklenme yaŐında betonun snme özelliklerine, donatı miktarına bağlıdır [46].

8.2.3.3 Sıcaklık

Sıcaklık yüksek katlı yapılarda özellikle de perde duvarların tasarımında iki türlü problem oluşturur [43]. Bu problemler:

- Taşıyıcı elemanlarda kullanılan malzemede geniŐleme ve daralma,
- Taşıyıcı elemanlar boyunca sıcaklığın kontrol edilmesidir.

Ayrıca güneş iŐınları en önemli diğer sorunlardan birini oluşturur. Güneş iŐınları yüksek katlı yapılarda özellikle kolon, kiriş, perde duvar gibi taşıyıcı elemanların

yanı sıra yüksek katlı yapılarda yapılan giydirmeler için de oldukça sıkıntı verici bir durum oluşturabilir. Güneş ışınların dolay oluşan termal hareket binaların dış cephesindeki alüminyum tarzı giydirmeleri olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Günlük ve mevsimsel sıcaklık dalgalanmaları bu tarz kritik giydirmeleri ve taşıyıcı elemanları etkiler. Alüminyum tarzı dış cephe kaplamalı malzemelerin ısıdan etkilenmesi diğer yapı malzemelerine göre oldukça hassastır.

Tüm bu durumlar göz önüne alındığında betonarme yüksek katlı yapılarda soğuk ve sıcak havalarda ısı yalıtımını sağlayarak sıcaklığı dengeleyebilecek dış cephe kaplamasının çok iyi yapılması gereklidir böylece, taşıyıcı elemanlarında sıcaklıktan etkilenmesini azaltabiliriz. Bu şekilde;

- Her katta dış kolon ile iç kolon arasındaki görece yer değiştirmelerinin farkının dış kolonun serbest düşey yer değiştirmesine daha yakın olması sağlanabilir.
- Her katta, yatay elemanlarda yer değiştirmelerden dolayı sabit uç momentleri daha düşük değerlerde hesaplanabilir.
- Toplam kısalmalar iç ve dış kolonlar için daha az olması sağlanabilir [43].

8.2.3.4 Toplam kısalma

Her elemanda ani kısalma, büzülme ve sünme şekil değiştirmelerini birbirine ekleyerek toplam kısalma hesaplanabilir.

Toplam kısalma 60~70 katlı bir yapıda 20~25cm'yi bulabilir. Bu tek başına problem olmamakla birlikte değişik düşey elemanların bulunduğu bir katta bu elemanların kısalma farkı dikkat çekicidir. Her yeni kat yapıldığında bu farkın bir kısmı oluşuyor demektir. Bu yüzden de farklı kısalmaların kritik duruma geldiği kat seviyelerinin inşası, ilgili kat düzeyi için önemlidir [43].

9. BETONARME YÜKSEK KATLI YAPILARDA ve BETONARME YAPILARDA İŞ GÜVENLİĞİ, HAVA ŞARTLARI ve BETONUN DÖKÜLME ESNASINDAKİ AKSAKLIKLAR

Günümüzde yüksek katlı betonarme yapılar yapılırken iş güvenliği, hava şartları, betonun dökümü esnasındaki zorluklar, alt kat ile üst kat arasındaki hava sıcaklığındaki farklılıktan dolayı, betonun prizini geç alması, şehir merkezlerinde oluşan gürültü kirliliği gibi olumsuz durumlara oluşmaktadır. Tezimizin bu altıncı bölümü olan bu bölümde bu sorunlara değineceğiz.

9.1 İş Güvenliği

Betonarme yapılar yapılırken özellikle yüksek katlı yapılarda, karşılaşılan en büyük problemlerden biri de iş güvenliği konusudur. Gerek çalışan işçilerin bilgisizliği, gerek yapının yüksek olması, gerekse de kontrol mühendislerinin ihmalkârlıkları istenmeyen sonuçlar doğurabilmektedir. Bu konuda Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'nın hazırladığı, yapılarda iş sağlığı güvenliği mevzuatında yapı alanındaki çalışılan yerler için genel asgari koşullar aşağıdaki gibidir [54].

1. Beklenmeyen herhangi bir hareketi nedeniyle işçilerin sağlık ve güvenliğini etkileyebilecek her türlü malzeme, ekipman ile bunların parçaları güvenli ve uygun bir şekilde sabitlenecektir.
2. İşin güvenli bir şekilde yapılmasını sağlayacak uygun ekipman ve çalışma şartları sağlanmadıkça, yeterli dayanıklılıkta olmayan yüzeylerde çalışılmasına ve buralara girilmesine izin verilmeyecektir.
3. Teknik olarak mümkün olduğunda işçiler düşen cisimlere karşı toplu olarak korunacaktır. Malzeme ve ekipman, yıkılma ve devrilmeleri önlenecek şekilde istiflenecek veya depolanacaktır. Gerekli yerlerde tehlikeli bölgelere girişler önlenecek veya kapalı geçitler yapılacaktır.
4. Yüksekte çalışmalar ancak uygun ekipmanlarla veya korkuluklar, platformlar, güvenlik ağları gibi toplu koruma araçları kullanılarak yapılacaktır.

İşin doğası gereği toplu koruma önlemlerinin uygulanmasının mümkün olmadığı hallerde, çalışma yerine ulaşılması için uygun araçlar sağlanacak, çalışılan yerde vücut tipi emniyet kemeri veya benzeri güvenlik yöntemleri kullanılacaktır.

5. Bütün iskeleler kendiliğinden hareket etmeyecek ve çökmeyecek şekilde tasarlanmış, yapılmış olacak ve bakımlı bulundurulacaktır.

6. Çalışma platformları, geçitler ve iskele platformları, kişileri düşmekten ve düşen cisimlerden koruyacak şekilde yapılacak, boyutlandırılacak, kullanılacak ve muhafaza edilecektir.

7. Kullanılmaya başlamadan önce, sonra belirli aralıklarla, üzerinde değişiklik yapıldığında, belli bir süre kullanılmadığında, kötü hava şartları veya sismik sarsıntıya veya sağlamlığını ve dayanıklılığını etkileyebilecek diğer koşullara maruz kaldığında, uzman bir kişi tarafından kontrol edilecektir. Seyyar iskelelerin kendiliğinden hareket etmemesi için gerekli önlem alınacaktır.

8. Bütün kaldırma araçları ile bağlantıları, sabitleme ve destekleme elemanları da dahil bütün yardımcı kısımları;

- Kullanım amacına uygun ve yeterli sağlamlıkta tasarlanmış ve imal edilmiş olacak, ekstradan binaya yük getirecek elemanlardan kaçınılacak,

- Doğru şekilde kurulacak ve kullanılacak,

- Her zaman iyi çalışabilir durumda olacak,

- Yürürlükteki mevzuata göre, periyodik olarak kontrol, test ve deneyleri yapılacak, herhangi bir olumsuzluk tespit edilmesi durumunda gerekli önlemler alınacak.

- Bu konuda eğitim almış ehil kişilerce kullanılacaktır.

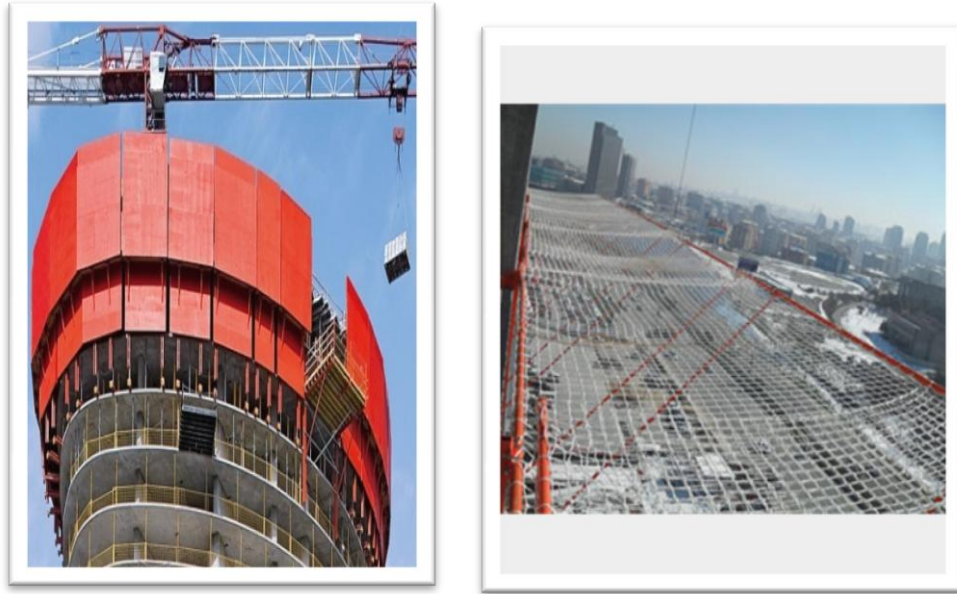
Ayrıca kaldırma araçları ve yardımcı elemanlarının üzerlerine azami yük değerleri açıkça görülecek şekilde yazılacaktır. Kaldırma ekipmanı ve aksesuarları belirlenen amacı dışında kullanılmayacaktır.

9. Yükseklik veya eğimin belirlenen değerleri aşması halinde; işçilerin, aletlerin veya diğer nesne veya malzemelerin düşmesini veya herhangi bir riski önlemek için toplu koruyucu önlemler alınacaktır.

10. İşçilerin çatı üzerinde veya kenarında veya kırılabilir malzemeden yapılmış herhangi bir yüzey üzerinde çalışmak zorunda olduğu hallerde; kırılabilir maddeden

yapılmış yüzeyde dalgınlıkla yürümelerini veya yere düşmelerini önleyecek önlemler alınacaktır [54].

Mevzuatta da yukarıdaki şekilde belirtilmesine rağmen, iş güvenliğinde büyük sıkıntılar çıkabilmekte ve bundan dolayı da can kayıpları ve sakatlıklar çıkmaktadır. Özellikle yüksek katlara gelindiğinde işçiler belden bağlamalı kemerlerini takmamakta veya iş yerinde işçileri koruyacak ağ sistemi bulunmamaktadır. Şekil 9.1 de gösterildiği gibi yüksek katlı yapılarda en önemli güvenlik önlemlerinden olan ağ sistemleri kapalı ve açık şekilde uygulanıp iş güvenliği açısından oldukça önemlidir.



Şekil 9.1 : İş güvenlik bandı ve ağı [55].

9.2 Hava Şartları ve Betonun Dökülmesi

Betonarme yapılarda ve özellikle yüksek katlı yapılarda hava şartlarını inşaatı olumsuz etkilemekte ve beton dökümünü de zorlaştırmaktadır. Yüksek katlı yapılar yapılırken kat yüksekliklerinden dolayı hava şartları zemin ile üst katlarda farklı olabilmektedir. Bu durumda malzemeyi inşaat esnasında taşıyan vinçleri kötü etkilemekte gerekli durumlarda vinçlerin durmasına bile yol açmaktadır. Vinçlerin durması demek ise hem zaman kaybı hem de maliyet olarak geri dönmesi anlamına gelmektedir. Aynı zamanda yapılar yükseldikçe rüzgâr artmakta ve taşınan malzemenin yukarıya çıkarmasını zorlaştırmaktadır. Bu durumlarda vinçlerin durdurulmadan iş yapabilmesi ve malzemenin yukarıya çıkarılması oldukça zorlaşmaktadır. Bu tip sorunlarda neler yapılabilir sorusuna geldiğimizde ise ilk

olarak vinçleri binaya sağlam bir şekilde bağlayabiliriz ve en azından rüzgar esnasında vinçlerin sallanmasını önleyebiliriz. Vinçleri binalara bağlarken de binalar ile vinçler arasındaki yapıları bağlantılara dikkat etmeli çok rüzgarlı durumlarda yeni kalıplara dökülmüş betonlara herhangi bir temas durumu olmaması durumunu göz önünde bulundurmamız gerekmektedir. Şekil 9.2 de bu durum gösterilmiştir.



Şekil 9.2 : Vinçlerin binalara sabitlenmesi.

Şantiyedeki hava şartları ayrıca işçilerin çalışma koşullarını da olumsuz etkilemekte ve beton dökülmesini zorlaştırmaktadır [33].

9.2.1 Betonun dökülmesi

Beton, yapı elemanlarında çimento, agrega ve suyun dengeli bir şekilde karıştırılmasıyla elde edilen yapı malzemesidir bununla birlikte yaklaşık olarak değişik şekillerde ve genel anlamda yaklaşık 5000 yıldır yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Beton güvenilir ve pratik olarak kullanılan yapı malzemesi olmasına rağmen inşaat esnasında herhangi bir olumsuz durumda ve dökülmesi esnasında yapılan herhangi bir yanlışlık esnasında çok tehlikeli sonuçlara da yol açan bir yapı malzemesi olabilmektedir. Beton malzemesinin istenmeyen sonuçlar doğurmaması için üretiminden kalıplara dökülmesine kadar geçen süreyi çok titizlikle değerlendirip dikkat etmeliyiz [29].

9.2.1.1 Beton dökülmeden önce

- Betonun döküleceği tüm سطıhlar daha önce temizlenmeli ve ıslatılmalıdır.
- Paspayı elemanları kontrol edilmelidir.
- Kalıpların takviyeleri kontrol edilmelidir.

9.2.1.2 Beton dökülme esnası

- İlk olarak beton dökülürken özellikle katları çıkarken kolon ve kirişlerden başlanmalıdır.
- Kolonlar aşağıdan kontrol edilerek tokmaklanmalıdır ve betonun boşluksuz şekilde yerleşimi sağlanmalıdır.
- Pilye demirlerinin ezilmemesine dikkat edilmelidir ve yerleşimine özen gösterilmelidir.
- Betonun her tabakası vibratör ile sıkıştırılmalı ve dayanımının da artması sağlanmalıdır.
- Kolondaki inşaat derzi kolon ve döşemenin sınırında olmalıdır.
- Donatının yoğun olduğu bölgelerde betonun dökülmesine ayrı özen gösterilmeli agrega çapının küçük olmasına dikkat edilmeli vibratör ile boşluklar iyici doldurulmalıdır. Olası boşluk kalması durumuna karşın ise enjeksiyon yöntemi kullanılmalı dahası burada betonun kıvamı daha akışkan olmalıdır. Bu bölgelerde betonun daha sağlıklı olabilmesi için karışımın içerisine daha akışkanlaştırıcı kimyasal malzemeler konulabilir.
- Yüksek katlı yapılarda betonun dökümünde ise özel olarak önlemler alınmalıdır. Örneğin, karşılaşılan en büyük sorunlardan biri olarak soğuk havalarda beton dökülmesidir. Yerinde yapılan bir yüksek katlı yapının incelenmesin de zemin katta hava sıcaklığı sıfırın altında 0,2°C iken üst katta sıfırın altında 3,2°C olabilmektedir. Bu durumda betonun üst katlarda prizini daha geç almasına yol açmakta, hem inşaat süresinin uzamasına hem de kalıpların bekleme süresini arttırmaktadır. Üst katlarda betonun prizini alması için çeşitli önlemler alınmaktadır. Betonun prizini daha hızlı alabilmesi için, şantiye şefi ve saha mühendislerinin üst katta dökülen betonun üzerini çadırla kaplayıp prizini almayı hızlandırabildikleri gibi betonun alt kısımlarında ışıklı ve elektrikli ısıtmalarda uygulanmaktadır [36]. Tüm bunlara alternatif olarak betonun içerisine kimyasal maddeler katılıp prizini almasını hızlandırılabilir. Şekil 9.3 yüksek katlı yapıların inşaat esnasını göstermektedir. Böylece çok katlı yapıların inşaat esnasında betonun prizini çabuk alarak inşaat süresinden kazanım olduğu gibi işçilikten de kazanım oldukça fazla olmaktadır.



Şekil 9.3 : Yüksek katlı yapıların yapım aşaması ve betonun prizini alması

- Aynı zamanda beton yüksek katlı yapılara çıkarılıp dökülürken pompanın içerisinde akışkanlığının sağlanması gerekmektedir. Betonun pompayı tıkamadan yukarıya rahat bir şekilde çıkabilmesi için, betonun içersine değişik kimyasal maddeler katılabilir. Yine yerinde yapılan bir inceleme de toplam kat yüksekliği 39 olan ve 36. katta iken gözlem yapılan Ankara'daki Next Level Kule'lerinde betonun kata rahatça çıkması için kimyasal maddeler katılmış ve böylece betonun akışkanlığı sağlanılmıştır [33]. Aynı zamanda betonun sıvılaşması için atılan kimyasal yaklaşık dokuz kat daha fazla dayanım sağlayarak betonun dayanımını da arttırmıştır. Betonun içersine atılan bu kimyasallar optimum oranda olmalı ve betonun dayanıma herhangi bir olumsuz etki yapmamalıdır. Ayrıca betonun akışkanlığını sağlamak için kesinlikle içindeki su oranı arttırılmamalıdır. Şekil 9.4'de betona kimyasal katıldıktan şantiye ortamında bekletilmesine rağmen C35 olan beton sınıfından farklı dayanımlar elde edildiği görülmüştür.

Laboratuvar Kod No	Uzunluk Beton (cm)	Alınma Tarihi	Kuvvet Tarihi	No	Sıvılaşma (MPa)	Dayanım (MPa)
300-17	300	06.02.2012	7 gün	1	2.80	35.43
				2	2.35	40.70
				3	2.80	45.32
			28 gün	4	2.80	40.30
				5	2.35	42.20
				6	2.80	48.20
ORTALAMA					2.80	46.87

Şekil 9.4 : Yüksek katlı yapıların yapım aşaması ve betonun prizini alması [33].

Yüksek katlı yapılarda, Şekil 9.5 olduğu gibi betonun üst katlara pompalanması görülmektedir.



Şekil 9.5 : Yüksek katlı yapıların yapım aşaması ve betonun dökülmesi.

- Şekil 9.5’de görüldüğü gibi 30. kattan sonra atılan betonda yapılan deneyde C35 sınıflı betonun dayanımının 7 ve 28 günlük basınç deneylerinden elde edilen rakamlar görülmektedir. Örneğin, şantiye ortamında bekletilmiş betonun sınıfı C35, yoğunlu ortalama $2,40 \text{ g/cm}^2$, 7 günlük basınç dayanımı $40,20 \text{ N/mm}^2$, 28 günlük basınç dayanımı ise $49,87 \text{ N/mm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu rakamlarda akışkanlığı sağlamak için katılan kimyasalların aynı zamanda ne kadar dayanımı arttırdığı da görülmektedir.
- Şantiye yerine gelen her transmiksedeki betonun irsaliyesi kontrol edilmeli, beton sınıfının doğruluğu ve süresinin geçip geçmediğine bakılmalıdır.
- Son olarak betonu getiren transmikselerin içinden beton alınıp şantiye de slump deney yapılmalı ve betonun çökmesi gözlenmelidir. Böylece betonun içerisinde ki su yoğunluğu da kontrol edilmiş olur. Transmikserdeki betona dışarıdan kesinlikle su katılmamalıdır [33].

9.2.1.3 Beton döküldükten sonra

- Beton, eğer sıcak havada dökülüyorsa en geç bir saat içerisinde sulanmalıdır.
- Betonun su kaybını (kurumasını) önlemek için ıslak çuval-telis ile örterek veya su püskürterek kür uygulamalı ve daima nemli tutulmalı.
- Son olarak dökülen betondan karotlar alınıp beton basınç dayanımları ölçülmelidir [29].

Şekil 9.6’da betonarme yapılardan karot alma işlemi ve numune örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 9.6 : Karot deneyi ve numune örneği

10. BETONARME YÜKSEK KATLI YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEMLERİN TASARIMINDA OLUŞAN AKSAKLIKLAR.

Betonarme yüksek katlı yapılarda en önemli sorunlardan birisi de taşıyıcı elemanların tasarımı esnasında oluşan aksaklıklardır. Yüksek katlı yapılar yapılırken işçilikte çok zor olmakta dolayısıyla da en basit yapılabilecek işler bile çok zahmetli olabilmektedir. Özellikle donatıların teşkili oldukça zorlu olmakta ve birçok hatalar yapılmaktadır. Yüksek katlı betonarme yapıların yatay ve düşey yükler hesaba katılarak yapılan statik hesaplarda bazı birleşim bölgelerinde çok yoğun donatılar çıkabilmekte bu da hem enine donatıların kancaların yapılmasını zorlaştırmakta hem de betonun donatılar arasına girmesini zorlaştırmaktadır. Özellikle yaptığım birkaç inceleme de yüksek katlı yapıların perde teşkilinde statik hesaplardan dolayı donatı yoğunluğunun çok fazla olduğu bölgelerde etriyelere kanca yapılmadığını gördüm. Bu durum aslında daha çok başlıklı perdelerin orta kısmında bulunan tesviye donatılarında daha çok oluştuğunu bunun da nasıl çözümler getirilmesi gerektiğini, bilgisayar programlarında kancalı ve kancasız donatı yapmanın sakıncalarından bahsetmeye çalışacağım [30].

10.1 Betonarme Yüksek Katlı Yapıların Taşıyıcı Sistemlerindeki Donatılarının Yoğun Olduğu Bölgeler

Betonarme yapıların inşaatında özellikle yüksek katlı yapıların inşaatında birleşim bölgelerinde donatıların yoğun olmakta bu yüzden de uygulama esnasında sıkıntılar yaşanmaktadır. Bu sıkıntıların başlıca nedenlerini sıralayacak olursak (Şekil 10.1);

- Statik projede çalışan proje mühendisinin şantiye uygulamasında tecrübe eksikliği,
- Hazır paket programlarına fazla güvenilmesi ve çıkan donatı oranlarının kontrol edilmemesi,
- Yüksek katlı yapılarda yatay ve düşey yüklerin daha fazla gelmesi ve bunun da donatı oranlarını arttırması,



Şekil 10.1 : Donatı Yoğunluğu

- Proje mühendislerinin güvenli tarafta kalmak istemeleri ve bunun sonucunda da donatı yoğunluğunun oldukça fazla hesaplanması.

Yukarıdaki durumlar göz önüne alındığında, donatıda dolaylı birleşim bölgelerinde ortaya çıkan sorunlarla ilgili olarak şantiyelerde yerinde yaptığım incelemelerde ve proje mühendisleriyle yaptığım konuşmalarda, yüksek katlı yapıların inşaatı sırasında aşağıdaki sonuçları elde ettim.

- Perde, döşeme, kiriş birleşim bölgelerinin teşkili esnasında donatının yoğun olduğu durumlarda ilk olarak proje mühendisinden yardım istediklerini,
- Proje mühendisinin de onayını alarak, yoğunluğun fazla olduğu bölgede, örneğin taşıyıcı elemanlardan olan döşemeden, kirişten ve perdeden gelen donatılardan bazılarını tasarımdan çıkararak tasarıma devam ettiklerini,
- Uygulamanın yerinde zor olduğundan dolayı ve proje mühendisinin donatı yoğunluğuna bir çözüm getirmediği durumlarda, donatıyı zeminde bağlayarak üst katlara çıkardıklarını,
- Donatıların arasından betonun geçebilmesi için agrega malzemesinin olabildiğince küçük olması gerektiğini,
- Betonun akışkan olması için özellikle de donatıların arasından rahatça geçebilmesi için kimyasal madde kattıklarını, böylece hem betonun dayanımını arttırdıklarını hem de betonun boşluksuz şekilde doldurulduğunu ve ayrıca ince uçlu vibratörler kullanarak betonun iyice sıkışmasını sağladıklarını,
- Birleşim bölgelerinde vibratör kullanamadıkları durumlarda, kalıpların dış yüzeylerine titreşim aletleri monte ederek kalıplara titreşim uygulayarak betonun iyice yerleşmesini sağladıklarını (Şekil 10.2),

- Kalıpların söküldükten sonra boşluk kaldığı yerlere betonla tekrar yama yaptıklarını ve donatının pas payını sağladıklarını görülmüştür. Yukarıdaki durumdan da anlaşıldığı üzere betonarme yapıların inşaatı oldukça hassas bir durum olmaktadır.



Şekil 10.2 : Kalıp dışında betonun yerleşmesi için vibratörler.

Her ne kadar önlemler alınmaya çalışılsa da aksaklıkların oluştuğunu söylemek mümkündür. Bu yüzden betonarme bir yapıyı tasarlarken her ne kadar güvenli tarafta kalıp sağlıklı bir bina yapmayı amaçlasak da yapım esnasındaki zorluklara ve ekonomikliğe de önemle özen göstermeliyiz [30]

10.2 Betonarme Yüksek Katlı Yapılarda Yapılan Taşıyıcı Sistemlerde Konstrüktif Esaslar

Betonarme yüksek katlı yapılar yapılırken taşıyıcı elemanlarda, özellikle de betonarme perdelerde konstrüktif esaslara uyulmadığı görülmüştür. Bu da gerek deprem esnasında gerekse yapının zamanla yorulmasından dolayı facialara neden olmuştur. Nitekim hem betonun içine koyulan malzeme hem de konstrüktif esaslara uyulmadığından dolayı 2004 yılında Konya'nın Selçuklu ilçesi, Kerkük Caddesinde çöken Zümrüt apartmanında 92 kişi hayatını kaybetmiştir. Bina olduğu yere çökerken büyük depremlerde bile binalar neredeyse bu şekilde yıkılmamıştır. Bina da burulmalar meydana gelmiş, kesitler yetersiz kalmış ve kullanılan beton malzemesinin dayanımı binanın kendi ağırlığını taşıyamayacak kadar kötü olduğu Konya Selçuk Üniversitesi Mimarlık-Mühendislik bölümü tarafından oluşturulan heyetçe söylenmiştir (Şekil 10.3) [56].

Ayrıca son yıllarda yapılan araştırmalarda da ¼lkemizde ve ¼zellikle deprem b¼lgesinde olan İstanbul'da depreme dayanıksız olan binaların yıkımına başlanmış yeni mastır alanları oluşturulmaya ¼alıřılmaktadır.

B¼ylece depremlerin minimum hasarla atlatılması amaçlanmaktadır.



şekil 10.3 : 92 Kişinin Hayatını Kaybettiği Konya Z¼mr¼t Apartmanı [56]

Aynı zamanda aşağıdaki sıraladığımız aksaklıklardan dolayı yapılarda b¼y¼k hasarlar olabilmektedir.

- 90 derece yapılmış ve kanca boyu yetersiz bir etriyenin zorlanma sonucu nasıl a¼ıldıđının g¼r¼ld¼đ¼ bina aşağıdaki şekilde verilmiştir. Etriyeler a¼ılınca d¼řey donatılar burkulmuş ve beton dağılmış (şekil 10.4).



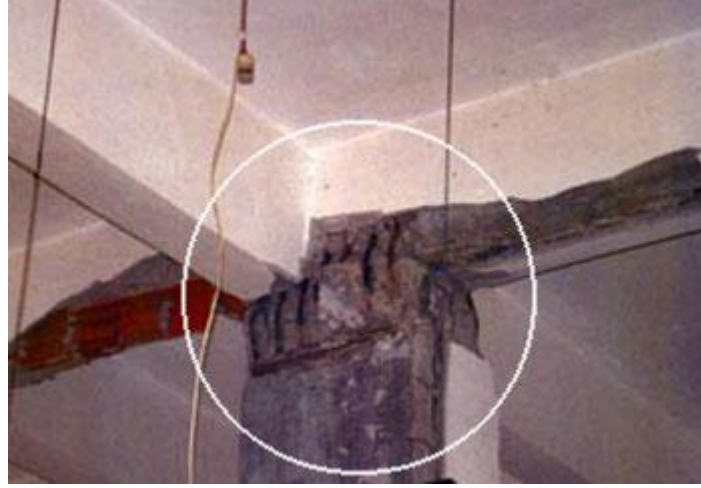
şekil 10.4 : Etriyelerin a¼ılması [57].

- D¼đ¼m noktasında etriye sıklaştırmasının yapılmadığını, zorlanma sonucunda d¼řey donatıların burkularak betonun nasıl dağıldığını g¼r¼l¼yor (şekil 10.5).



Şekil 10.5 : Etriye sıkılaştırılmasının yetersiz kalması [57].

- Etriyelerin boyuna donatılara yeterince sabitlenmediği binada, beton döküm esnasında sıyrılarak bir noktada toplandığını görülüyor. Sonuç olarak etriyesiz kalan kolon üst ucundaki boyuna donatılar burkularak betonun dağılmasına sebep olmuştur (Şekil 10.6).



Şekil 10.6 : Etriyelerin kolonlarda yeterince bulunmaması [57].

- Kolonun alt ucunda etriye sıkılaştırması yapılmadığı binada, kancaların usulüne uygun olmadığı, ayrıca düşey donatıların yetersiz olduğu açıkça görülmektedir. Netice olarak deprem anında etriyeler açılmış, düşey donatılar burkulmuş, beton dağılmıştır (Şekil 10.7).



Şekil 10.7 : Etriye sıkılaştırılmasının yetersiz kalması [57].

- Aşağıdaki yapıda ise betonu oldukça iyi, düşey donatıları yeterli sayılabilecek bir perde kolon görülmektedir. Ancak burada da etriye sıklaştırmasının olmadığı, perde uç donatı dizaynının uygun yapılmadığı, çiroz hiç konmadığı (asgari 4 ad/m²konulması lazım), üst perde boyuna donatılarının tabana kadar inmediği, pas paylarının yetersiz olduğu açıkça görülmektedir. Netice olarak deprem anında var olan etriyelerde gevşemiş boyuna donatılar burkulmuş, beton dağılmıştır (Şekil 10.8).



Şekil 10.8 : Hasarlı perde [57].

- Uygun tasarım yapıldığında, binaların depreme karşı dayanımlarını olağan üstü artıran perde elemanları, binada dengeli perde tasarımı yapılmadığından, mevcut perdelerdeki boyuna ve enine donatıların yetersiz olmasından, donatı yerleştirmelerinin uygun olmamasından, beton kalitesinin ve pas paylarının yetersiz olmasından dolayı, depreme karşı yeterli dayanımı gösterememektedir (Şekil 10.9).



Şekil 10.9 : Perde Çatlağı [57].

- Binaların statik tasarımında perdeler her iki yönde dengeli olarak tasarlanmalıdır. Bu binada ağırlıklı olarak perdeler tek yönde tasarlandığı için, zayıf kalan yönde gelen deprem zorlamalarına karşı perdeler gerekli dayanımı gösterememiş ve düğüm noktalarından kırılarak binanın göçmesine neden olmuştur. Perde uç donatı dizaynı, etriye ve çiroz yerleştirmelerinin de uygun ve yeterli olmaması kırılmaya katkı yapmıştır (Şekil 10.10).



Şekil 10.10 : Hatalı perde tasarımı [53].

Ayrıca betonarme perdelerin Şekil 10.11’de da görüldüğü gibi hasar almasında aşağıdaki durumlar neden olmuştur.



Şekil 10.11 : Hasarlı perde [57].

- Beton çok kalitesiz çakılla (agrega) ile hazırlanmış.
- Beton sıkıştırması (vibrasyonu) uygun yapılmamış.
- Boyuna ve sargı donatıları yetersiz, pas payları çok az.
- En önemli işçilik hatası ise kalıp bittikten sonra, kalıp üstünde kalan artıklar süpürülerek perde kalıbının içerisine dökülmüş, kalıp dibi yıkayıp temizlenmeden, beton dökülmüş.
- Sonuç olarak: Bu perde elemanı depreme karşı hiçbir direnç göstermeden devre dışı kalmış

Şekil 10.12’de korozyona uğramış (Paslanmış) donatılar görülmektedir. Binaların betonarme elemanlarının içerisinde bulunan donatıların maruz kalacağı en önemli tehlikelerden biride korozyondur. Korozyona uğrayan donatılar fotoğrafta görüldüğü gibi zamanla tamamen eriyerek yok olur. Bu durumlarda binaların deprem olmaksızın çökmesi sıkça karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 10.12 : Korozyona uğramış perde donatısı [57].

Korozyonun nedenleri şöyle sıralanabilir:

- Denizlerden elde edilen agrega (Çakıl) ile yıkanmadan beton yapılması. Tuzlu su donatıyı hızlı bir şekilde korozyona uğratar.
- Donatı pas paylarının yetersiz olması.
- Betonarme elemanların korumasız olarak, rutubetli ve sulu ortamlarda kalması.
- Asidik ortam yaratan imalat türlerinin bulunduğu binalardaki korumasız donatılar ortamdaki etkilenecek hızlı bir şekilde korozyona uğrarlar [57].

Yukarıda da görüldüğü gibi betonarme yapıların yapım esnasında bir çok aksaklıklar meydana gelebilmekte bu durumda telafisi güç durumlar oluşturabilmektedir. Yukarıdaki problemlerle karşılaşmamak için ilk önce insan hayatına karşı hassas ve

sorumluluk sahibi olmamız gerekir. Proje ne kadar mükemmel tasarlanırsa tasarlansın saha da uygun olarak dizayn edilmezse yapılan projelendirmenin hiçbir anlamı kalmaz. Bu yüzden proje mühendisinden, şantiye şefine, usta başından, işçilere kadar oldukça büyük sorumluluklar düşmektedir.

Ülkemizin deprem bölgesinde bulunması bize bazı konuların göz ardı edileceği lüksünü vermiyor. O yüzden bilinçli ve dikkatli hareket etmeliyiz. Gerek projeleri çözerken çok fazla bilgisayar programlarına bağlı kalmadan, gerekse de şantiye de projeleri uygularken her bir detaya en ince detayına kadar özen göstermeliyiz. Günümüz şartlarından dolayı ve artan nüfustan dolayı binaların hızla yükselmesi binaların kesinlikle ticari kaygı, işçilikten kaçma vs. durumlar gibi dizayn edilmemesi gerektiğini önemle vurgulamak isterim. Nitekim Dubai’de yapılan Burj Dubai Gökdeleni için mühendisler zamanlarının %70’ni projelendirme ve yapıyı yaparken ne tür zorluklarla karşılaşacakları problemleri üzerinde durmuşlar ve tüm olasılıkları hesaplayıp gökdelenin inşaatına başladıkların çok titizlikle çalışarak zamanların sadece %30’nu harcayarak gökdelenin inşaatını tamamlamışlardır.

10.3 Betonarme Yüksek Katlı Yapılarda Enine Donatıların Kancasız Yapılması

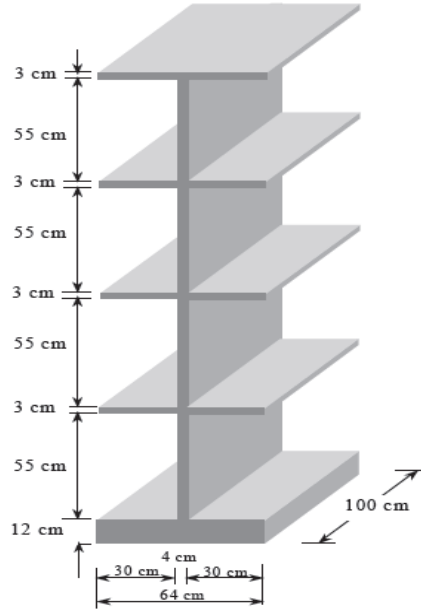
Betonarme yüksek yapılarırken yapılırken, donatıların yerleşiminin oldukça sıkıntılı olduğunu bunun için de donatılar yerleştirilirken, firmaların işçilikten kaçmak adına bazı kolaylıklara kaçtıklarını yaptığımız araştırmalardan sonra gözlemlediğimizi söylemek mümkündür. Bunun için tezimizin bu kısmında enine donatıların perdelerde ve kirişlerde kancasız yapılma durumunu bilgisayar programları yardımıyla tasarlanıp sonuçlarının düzgün bir şekilde elde edilmesini görmeye çalışacağız. Bildiğimiz gibi biz betonarme tasarım yaparken Sap2000, Etabs, Safe ve yerli programlardan olan Sta4cad, ProBina, İdecad gibi programlarda önce belli bir donatı olduğu düşünüp tasarlama yapıldıktan sonra gelen yatay ve düşey yüklere göre çıkan moment sonuçlarına göre donatı ataması yapmaktayız. Bu donatıları atarken de yerli programlarımız otomatik olarak kancalı donatı atmakta ve kancaları konstrüktif esas olarak görmektedir. Yani başka bir deyişle kancaları hesap tasarımına katmamaktadırlar. Biz bu bölümde bu programlara ek olarak Solidworks, X-Steel, Ansys ve Almanların yeni yazdığı yazılım, tasarım ve hesap programı olan Dlubal programını kullanarak kancaların hesaba etkiyip etkimeydiğini görmeye çalışacağız. Sap2000 gibi programlarda donatı ve betonu birlikte tasarlayıp

çözdüremediğimiz için bu kısım da kompozit yapıların tasarlanmasında kullanılan Ansys programını kullanacağız.

10.3.1 Örnek modellerin oluşturulması için referans alınan deneyler ve kullanılan programlar

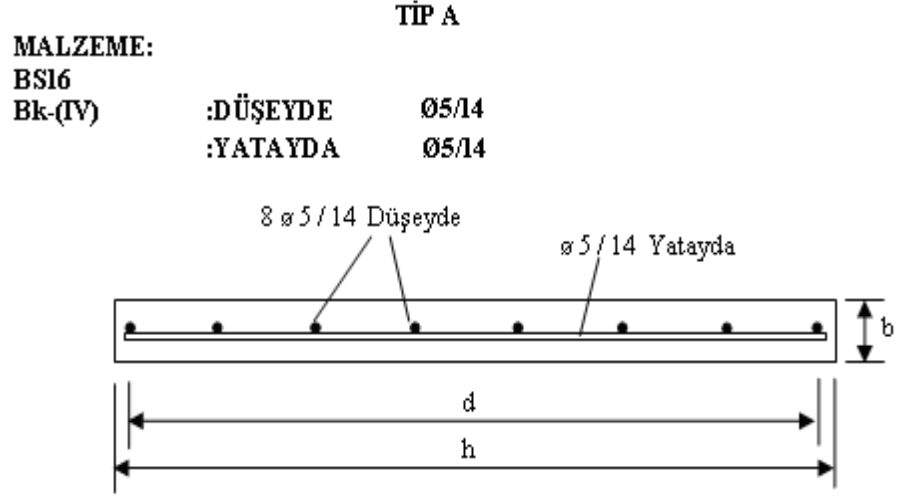
Donatılarla birlikte betonu tasarlayıp çözdürebilmek için Ansys Workbench programını kullanacağız. Modelimizi tasarlarken Ansys Programını kullanabileceğimiz gibi X-Steel programından da yardım aldık. Ansys programında modeli oluşturmak daha zahmetli olduğu için örnek bir model perdemizi, X-Steel programında oluşturduk. Programda model ankastre bir perde duvar kullandık. Bu perde duvarı da kullanmadan, daha önce çok katlı yapılar için perde duvarlar üzerinde yapılmış olan deneysel çalışmaları da referans aldığımızı söylemek gerekirse ve oluşturulan örnek modeli inceleyecek olursak;

Deney perde modelinde ve deneylerin tamamında kullanılan perde model ve boyutları Şekil 10.13’de görüldüğü gibi kat yüksekliği 58 cm, döşeme kalınlığı 3 cm, perde genişliği 4 cm, temel derinliği 12 cm, döşemelerin sağ ve sol kanat uzunlukları 30’ar cm olarak toplam dört katlıdır. Bu denerler pratikte kullanılan ölçülerin yaklaşık olarak 1/5’ini temsil etmektedir.[24]

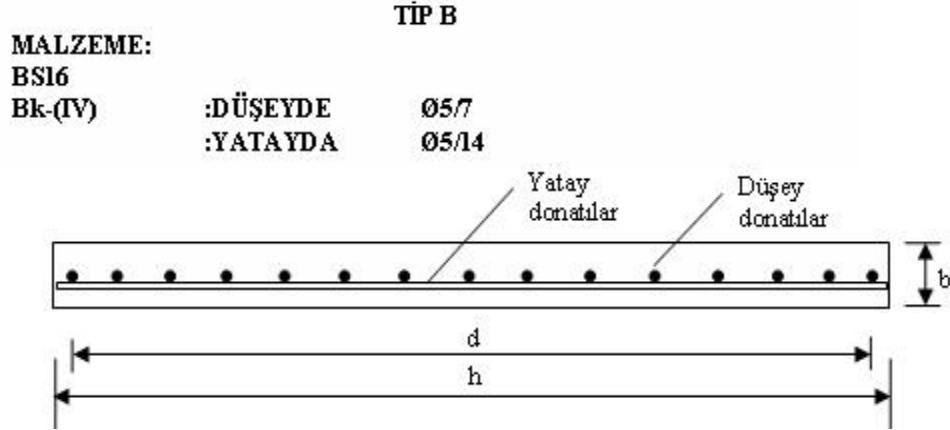


Şekil 10.13 : Dizayn Edilmiş Model Perde [24]

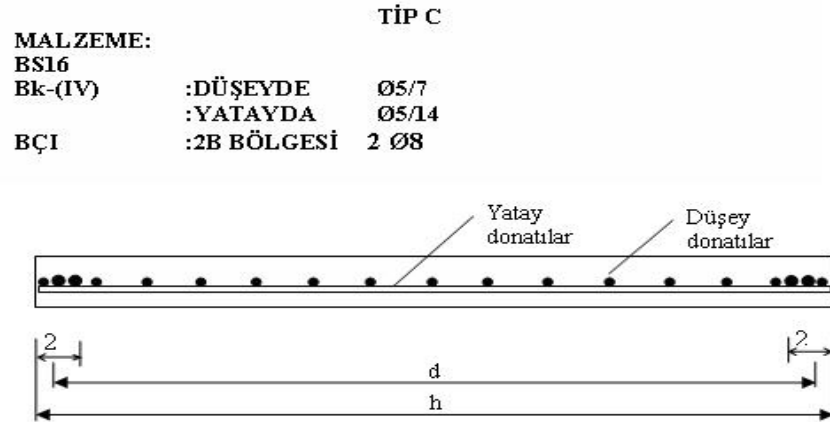
1. 2. ve 3. deneyde kesiti TİP A, 4. 5. ve 6. deneylerde TİP B, 7. ve 8. deneylerde ise TİP C parametrelerine sahip deney numunesi kullanılmıştır (Şekil 10.14) [24].



Şekil 10.14a : TİB A Deney elemanlarına ait donatı düzenekleri [24]



Şekil 10.14b : TİB B Deney elemanlarına ait donatı düzenekleri [24]



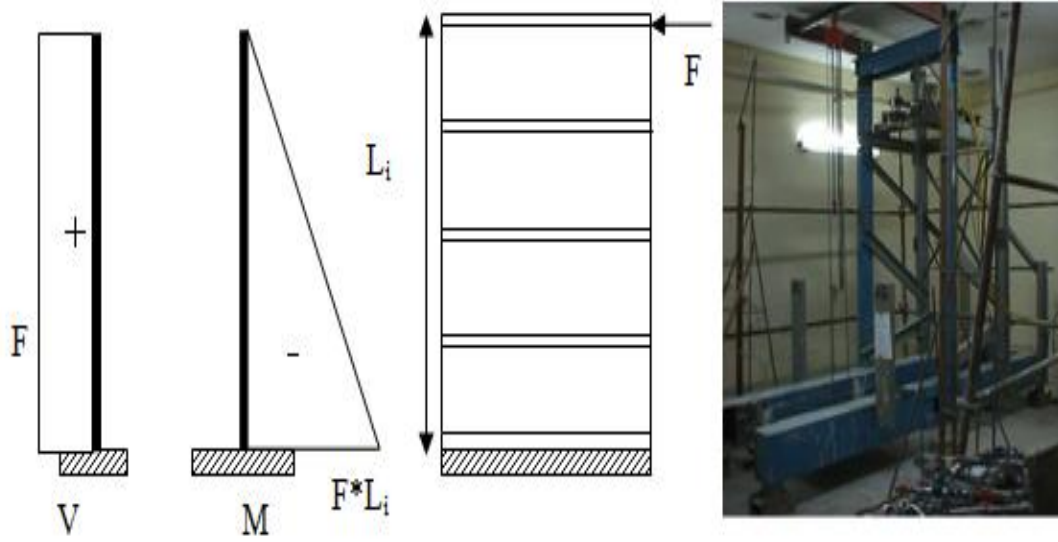
Şekil 10.14c : TİB C Deney elemanlarına ait donatı düzenekleri

Şekil 10.14 : Deneylerde kullanılan deney elemanlarına ait donatı düzenleri [24]

Deney düzeneğinde, deney sırasında hidrolik presle deney elemanına uygulanan F yükü ile yüklenmiştir.

F kuvveti ile yüklenen perdenin 4. 3. ve 2. kat seviyelerinde yerleştirilen, yatayda ve düşeyde mafsallı çelik profiller yardımıyla perdeye aktarılmıştır [24].

Deney Düzeneğinde hazırlanan model perdelerin test edilmesinde, üç boyutlu rijit çelik çerçeve sistemi kullanılmıştır. Yükleme çerçevesi, pompa ve yük hücresinden oluşan yükleme düzeneğinin yatay ve düşey yönde hareketini ve dönmesini sıfıra yakın değerlerde minimize edecek ve deneydeki ölçmelere tesir etmeyecek mertebede olacak şekilde rijit olarak tasarlanmıştır. Deneylerde kullanılan yükleme çerçevesi Şekil 10.15’de görülmektedir.



Şekil 10.15 : Deneylerde uygulanan yükleme ve kesit tesir diyagramı ve deney rijit çerçevesinin görünüşü

Yük ölçme tekniği ise, numunelere hidrolik kriko yardımıyla uygulanan çekme veya basınç kuvveti yük hücresi kullanılmak suretiyle ölçülmüştür. Applied Measurements Limited markalı İngiltere’de imal edilen yük hücresi, tatbik edilen yük durumunda basınca maruz kalmakta ve bu surette çıkış ucundan belirli bir gerilme vermek suretiyle çalışmaktadır. Yük hücresinin çıkış ucu data logger kutusuna bağlı olup, yük hücresinden alınan gerilme data logger kutusuna, oradan da bilgisayara aktarılmaktadır. Bilgisayarda yük hücresinden okunan yük ekrandan da takip edilebilmektedir. Bu deneylerde 100 ve 200 KN kapasitedeki yük hücreleri kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan yük hücreleri ve bağlantı sistemi Şekil 10.16’de görülmektedir [24].



Şekil 10.16 : Deneyde kullanılan yük ölçüm düzeneği ve deneylerde kullanılan yükleme sistemi [24].

Deneyde yer değiştirmeler boy kısalması ve uzamalarının ölçümleri, elektronik LVDT'ler kullanılması suretiyle yapılmıştır. LVDT'ler Japon markası ve merkezinde bulunan millerin ileri geri hareketi sonucu belirli bir gerilim üreten aletlerdir. Bu aletler sayesinde 0.01 mm hassasiyetinde okumaları yapmaya imkân sağlamıştır.

Perdelerin mesnet bölgelerinde, uçların birleşmelerine göre yük/sehimleri hazırlanarak karşılıklı yüklemelerde, yük/sehiminin kontrolü yapılmıştır. Ayrıca deneyde perdelerin ön ve arka yüzeylerinin temel kısımlarında da ölçümler yapılarak, temelin deney esnasında düşey ve yatay yönde de deplasman yapıp yapmadığı kontrol edilmiştir. Yük ve yer değiştirmeler yük hücrelerinin ve LVDT'nin ölçtüğü gerilmeleri ana bağlantı elemanlarıyla data logger'a gelen yükler buradan da 16 adet kanal vasıtasıyla bilgisayara aktarılmıştır. Şekil 10.17' da yer değiştirme ölçüm sistemleri ve yük yer değiştirme okumalarını değerlendiren data logger sistemi görülmektedir.

Deney esnasında LVDT ve yük hücresinden alınan okuma değerleriyle, yapılan her bir deney için yük-deplasman ilişkisi, moment-eğrilik ilişkisi dayanım zarfı, rijitlik azalımı ve tüketilen enerji grafikleri çizilerek deney numunelerinin davranış özellikleri incelenmeye çalışılmıştır. Tüm bunlardan sonra da yük deplasman grafikleri çizilerek net deplasman değerlerini elde etmişlerdir [24].



Şekil 10.17 : Yer değıştirme ölçüm sistemi ve yük ve yedeğiştirme okumalarını değerlendiren data logger sistemi [24].

Sonuç olarak deneyden elde edilen verilere göre tersinir-tekrarlanır yatay yük altındaki betonarme panel çok katlı yapıların salt eğilme etkileri altındaki davranışları incelenmiştir. Deney sonuçları, donatı çeliği ve beton üzerinde geliştirilmiş davranış modellerinin oluşturulduğu kurumsal sonuçlarla da karşılaştırılmıştır.

Çok katlı betonarme yapıların yatay yük altındaki davranışlarının inceledikleri bu deneyde aşağıdaki sonuçları elde etmişlerdir.

- Doğal Periyodu küçük ($T < 0.2$ saniye) yüksek katlı binalarda, beton çatlamasından önce oluşan elastik deprem kuvvetleri, beton çatlamasından sonra büyüme eğilimi göstermektedir. Normal olarak, mühendisçe beklentiler bunun tam tersi yönündedir. Bu davranış, deprem etkisi altında beton çatlamasının oluşmasından sonra, tünel kalıp yapıyı çökme riski ile karşı karşıya bırakmaktadır. Bu riskten ancak büyük süneklik ile kurtulabilinir.
- Deney elemanlarının kesitleri için geliştirilen bilgisayar programı ile elde edilen yük-deplasman, moment-eğrilik ilişkilerinden, yukarıda bahsedilen sünekliğin olmadığı anlaşılmaktadır.
- Yük-deplasman, moment-eğrilik ilişkilerinden çok ilginç bir gözleme ulaşılmaktadır. Momente maruz perde kesitinde beton çatlar çatlamaz, betonun çekme ile taşıdığı iç kuvvetler boşalmakta ve boyuna donatıya aktarılmaktadır. Ancak, boyuna donatı yüzdesi çok küçük olduğundan, betonunun çatlamasına tekabül eden moment değerine ulaşılamamaktadır.
- Değişik parametrelere sahip olarak imal edilen model perdeleri üzerinde Yatay Yük-Moment-Eğrilik çalışmaları yapılmalıdır. Bu çalışmada, ideal boyuna donatı yüzdesi, donatının kesit içerisindeki dağılımı, çelik cinsi, uç bölgelerin oluşturulması ve donatılması, eksenel yük düzeyi, uç bölgelerin sargı donatı, beton kalitesi (çekme dayanımı için) gibi parametrelerin etkinliği iyice açıklığa kavuşturulmalıdır.

- Piyasada mevcut durumları ile hasır donatının dayanım ve süneklik araştırmaları planlanmalıdır. Değişik üretim merkezlerinde üretilen ve değişik kalite de olabilen hasır donatının minimum, maksimum ve ortalama dayanım-süneklik-kopma özellikleri iyice açığa çıkarılmalıdır [28]. Punto kaynağın hasır donatının dayanım ve süneklik özelliklerini ne ölçüde etkilediği araştırılmalıdır.
- Binalardaki perde duvarların donatılarının değişik deprem yükleri altında nasıl davranacakları araştırılmalıdır. Bireysel perdeler gelen deprem etkileri altında perde duvarların çatlayıp çatlamayacağı araştırılmalıdır. Bu çalışmalar, mevcut binaların risk faktörünün ortaya çıkarması açısından oldukça önemli olacaktır.
- Mevcut perde sistemli binalar, eğer çatlama ve çökme riski altında iseler, nasıl güçlendirilebilirler? Bu soruya cevap verebilecek araştırmalar planlanmalıdır.
- Eğilme momentinin ve kesme kuvvetinin maksimum olduğu perde temel bölgesinde donatının, akmadan burkulmasını engellemek için, yatay donatı aralıklarına dikkat edilmelidir.
- Perde bağ bölgelerinde mutlaka sünekliği fazla olan yumuşak donatı kullanılmalıdır.

Deneyden çıkarabileceğimiz sonuç, LVDT'ler kullanılarak bilgisayara bağlantılar sağlanarak, gerekli programların yardımıyla perde duvarda meydana gelen yatay yük altında davranışı belirlenmeye çalışılmıştır. Deney her ne kadar da gerçekçi olsa da beton içerisindeki donatıların davranışları gerçek bir çerçeve sisteme göre nasıl olacağı, perde elemanlarına bireysel olarak gelen yüklerin, perde elemanlarında nasıl çatlamalar oluşturacağına net çözümler ve öneriler getirememiş, tavsiyeler şeklinde sonuçlara ulaşılmıştır [28].

Ayrıca deneyde eğilme momentinin ve kesme kuvvetinin perde temel bölgesinde donatının akmadan burkulmasını engellemek için yatay donatı aralıklarına ve kancalarına da dikkat edilmesi gerektiğinin üzerinde önemle durulmuştur [24].

10.3.2 Bilgisayar programında perde ve kiriş modelinin oluşturulması.

Bu bölümde betonarme elemanlardan olan perde, kiriş ve kolonlarda donatılı eleman modellenmesinin yanı sıra perdelerde kancalı ve kancasız etriye yapılması durumunda nasıl bir sonuç çıkacağını ve nasıl modelleneceğini görmeye çalışacağız. Betonarme elemanların bilgisayar programında modellenmesinde karşımıza çıkan en büyük engellerden biri malzemenin bilgisayar programında oldukça iyi

tanımlanmasının yapılmasıdır. Bunun için de en yaygın olarak kullanılan metot sonlu elemanlar metodudur. Lineer olmayan malzeme, aderans ve değişen yükler altında, malzemenin davranışı, oluşan çatlakların nasıl oluştuğu ve yapı geometrisinde meydana gelen değişikliklerin nasıl modelleneceği açıklanmaya çalışılmıştır. Betonun ile donatı arasındaki davranışı doğru tanımlamak için Dlubal (RSTAB ve RFEM) programlarından da destek alınmıştır.

Yapılan çalışmalara göz attığımızda; Lundgren ve ark.'nın (2002) çalışmasında beton ve donatı arasındaki aderansı modellemek için nonlinear sonlu eleman modeli kullanılarak üç boyutlu bir model oluşturulmuştur. Aderans, sürtünme, kaymaya sebep olabilen normal gerilmeler ve donatılar arasındaki betonun göçmesine göre hesaplanan üst sınır gerilme dikkate alınarak sonlu eleman analizi yapılmıştır. DIANA sonlu eleman bilgisayar programı kullanılmıştır [12]. Bu programda beton ve donatı arasındaki aderansı tanımlayabilecek ara yüz elemanları mevcuttur. Beton ve donatı “solid” elemanlarla modellenmiştir. Yapılan deney ve analizler sonucunda, geliştirilen aderans modelinin boyuna donatı ve etriye demirinin her ikisi içinde kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Ayrıca betonarme perde duvarları tasarlama amacıyla, Beassason ve Sigfusson'nun (2001) yılında yaptığı çalışmada betonarme perde duvarların kapasitesi ve deprem davranışını araştırmak için sonlu eleman modelleri oluşturulmuştur. Sonlu eleman modellerini oluşturmak için deneysel sonuçlar kullanılmış, referans olarak da 2000 yılının Haziran ayında meydana gelen Kuzey İceland deprem verileri kullanılmıştır. Geometrisi aynı olan farklı donatı biçimlerine sahip perde duvarların yük-performans eğrilerini elde etmek için Ansys programını kullanmışlardır. Elemanlar Solid olarak tasarlanmış ve şekil olarak da Solid 65 modelini seçmişlerdir. Deneylerde kullanılan perde duvarların beton ve donatı özelliklerinin sonlu eleman modelinde gerçeğe uygun olarak tanımlanmasından dolayı sonlu eleman analizi sonuçları ve deneylerden elde edilen sonuçların birbiriyle oldukça uyumlu olduğu ifade edilmiştir [12].

İdris Bedirhanoglu'nun 2009 yılında doktora tezinde yapmış olduğu çalışmada kolon-kiriş birleşim bölgelerinde ve kısa kolon olayının meydana geldiği durumlarda dayanımı düşük beton kullanarak, düz yüzeyli donatı kullanılması ve enine donatı kullanılmaması ya da yok denecek kadar az kullanılması durumunda, etriyelerin eksikliğinden dolayı ve beton dayanımının düşük olmasından dolayı taşıyıcı

elemanların tam bir betonarme eleman gibi davranıp davranmadığını Abaqus programında sonlu elemanlar analizi kullanarak görmeye çalışmıştır [13]. Abaqus programında 3 boyutlu solid elemanlar kullanmış ve donatı ile beton arasındaki aderansı en iyi şekilde tanımlamaya çalışmıştır.

10.3.3 Rstab, X-Steel ve Ansys ile betonarme taşıyıcı eleman modeli

İlk önce Ansys Programında beton tasarımına baktığımızda ve bu beton tasarımı için hangi modeli kullandığımızı inceleyecek olursak, Ansys Programı betonda çok eksenli gerilme olması durumunda kırılma modelini kullanmaktadır. Kırılma modeli özetlemesi aşağıdaki **10.1** de gösterilmiştir.

$$\frac{F}{f_c} - S \geq 0 \quad (10.1)$$

F : Asal gerilme fonksiyonunu göstermekte. ($\sigma_{xp}, \sigma_{yp}, \sigma_{zp}$)

S : Beton malzemesindeki 5 parametreyi ve terimlerle ifade edilen kırılma düzeyini göstermektedir ($f_b, f_c, f_{cb}, f_1, f_2$).

f_c : Tek eksenli basınç dayanımı

$\sigma_{xp}, \sigma_{yp}, \sigma_{zp}$: Asal gerilmeler.

Modelde **10.1** sağlanmazsa, ezilme ve çatlama meydana gelmeyecektir. Aksi olması durumunda malzeme ya ezilir ya da çatlar. Meydana gelen tüm gerilmeler basınç gerilmesi ise yine ezilme meydana gelir, fakat asal gerilmelerden herhangi biri çekme ise malzeme çatlayacaktır [58].

Hem kırılma yüzeyini tanımlamak, hem de ortamdaki hidrostatik gerilme durumunu tanımlamak için toplam beş dayanım parametresine (her biri sıcaklığa bağlı olarak tanımlanan.) ihtiyaç duyulur. Bu parametreler malzeme çizelgesinde verilmelidir. Bu çizelge *concrete* menüsü veya TB,CONCR komutu yardımıyla tanımlanabilir (Çizelge 10.1).

Kırılma yüzeyinin en az iki sabit (f_t, f_c) ile de tanımlanması mümkündür. Ansys Programı diğer üç parametre için şu değerleri göz önünde bulundurur.

$$f_{cb}=1.2f_c \quad (10.2)$$

$$f_1=1.45f_c \quad (10.3)$$

$$f_2=1.725f_c \quad (10.4)$$

Çizelge 10.1 : Malzeme Parametreleri [12]

SEMBOL	AÇIKLAMA
f_t	Tek eksenli çekme dayanımı
f_c	Tek eksenli basınç dayanımı
f_{cb}	İki eksenli basınç dayanımı
σ_h^a	Ortamdaki hidrostatik gerilme durumu
f_1	Hidrostatik gerilme durumuna eklenecek olan iki eksenli basınç durumu için basınç dayanımı
f_2	Hidrostatik gerilme durumuna eklenecek olan tek eksenli basınç durumu için basınç dayanımı (σ_h^a)

Yukarıdaki varsayılan değerler, sadece **10.5** şartının sağlandığı gerilme durumları için geçerlidir. Hidrostatik gerilme durumu bu şartı sağlamadığında, kullanıcının bu parametreleri kendisinin tanımlaması gereklidir.

$$\sigma_h \leq \sqrt{3}f_c \quad (10.5)$$

$$[\sigma_h : \text{Hidrostatik gerilme durumu} : \frac{1}{3}(\sigma_{xp} + \sigma_{yp} + \sigma_{zp})] \quad (10.6)$$

$$\sigma_1 : \max(\sigma_{xp} + \sigma_{yp} + \sigma_{zp}) \quad (10.7)$$

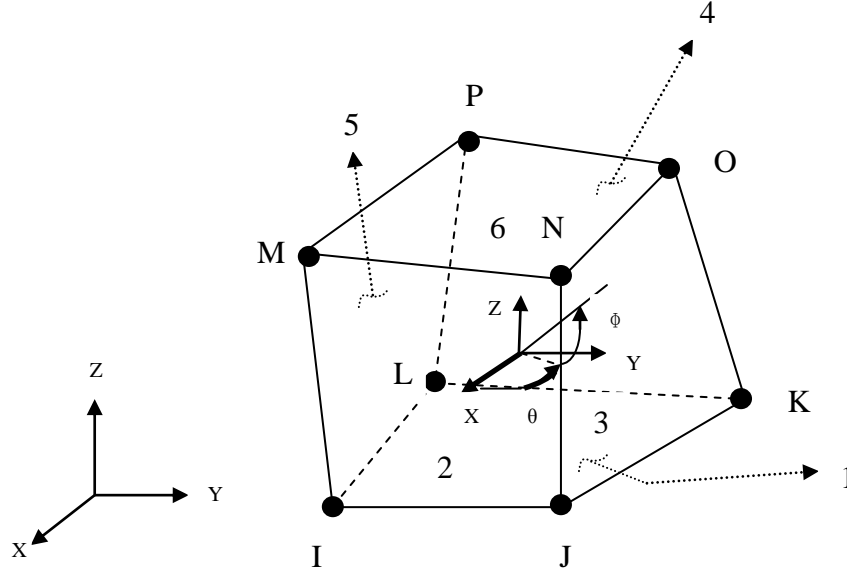
$$\sigma_2 : \min(\sigma_{xp} + \sigma_{yp} + \sigma_{zp}) \quad (10.8)$$

Ayrıca $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ şeklindedir. Betonun kırılma halini 4 grupta toplayabiliriz.

1. $0 \geq \sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ (Basınç, Basınç, Basınç)
2. $\sigma_1 \geq 0 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ (Çekme, Basınç, Basınç)
3. $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq 0 \geq \sigma_3$ (Çekme, Çekme, Basınç)
4. $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3 \geq 0$ (Çekme, Çekme, Çekme) [58]

Ansys programında, ayrıca, beton ve betonarme modellerinin yapılabilmesi için program içerisindeki tanımlı solid elemanlar kullanılır. Ansys programında bu bağlamda betonarme modellerinin yapılabilmesi için program içerisindeki tanımlı solid 65 elemanını geliştirilmiştir. Solid 65 cismi betonarme modellemeye uygun sekiz düğümlü ve hacimsel olarak katı elemandır. Elemanın sahip olduğu (x, y, z) üç

eksen doğrultusunda birer tane olmak üzere ve her bir düğüm noktasında toplam 3 adet serbestlik derecesi bulunmaktadır. Solid 65 elemanı betonarme modele yakın bir davranış sergilemekte ve plastik deformasyon, ezilme, sünme ve birbirine dik üç eksende kırılma özelliğine sahiptir. Solid 65 elemanının geometrisi ve düğüm noktalarının yerleşimini göstermek gerekirse, bunu Şekil 10.18’de görebiliriz. Şekil bize solid 65 elemanının genel görüntüsü (üç boyutlu) hakkında fikir sahibi olmamıza yardımcı olmaktadır. [12]



Şekil 10.18 : Solid 65 elemanının üç boyutlu görüntüsü [12]

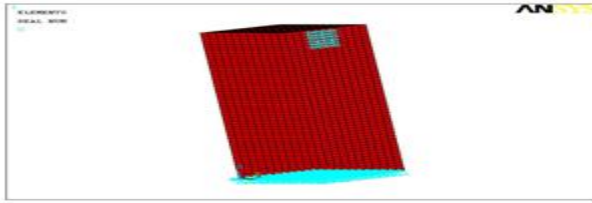
Solid 65 elemanının, her bir entegrasyon noktasında birbirine dik üç eksende çatlama meydana gelmesine izin verilir. Entegrasyon noktalarında çatlama meydana geldiğinde; çatlama olayı malzeme özelliklerinin ayarlanması yoluyla modelleme yapılır. Beton malzemesi başlangıçta izotropik modellendiği varsayılır. Ezilme ve çatlamalara ilave olarak beton; en yaygın olarak kullanılan Drucker Prager kırılma kriteri ile plastisiteye uğrayabilir [58]. Ayrıca beton malzemesi için lineer olmayan inelastik verilerden bahsedecek olduğumuzda, açık ve kapalı çatlaklar için kayma transferi katsayısı, tek eksenli çekme ve basınç dayanımı, iki eksenli basınç dayanımı, hidrostatik gerilme durumu, hidrostatik gerilme durumu altındaki iki ve tek eksenli basınç dayanımıdır [58].

Yukarıda söz edilen bu durumlarla birlikte kapalı ve açık çatlaklar için kayma transferi katsayısı sıfır olması durumunda kesme kuvvetinin transferlerinin olmadığı kabul edilir. Tek eksenli çekme ve basınç dayanımının olması durumunda eleman sırasıyla çatlama ve ezilme yeteneğini kaybeder [29]. Bu durumda kapalı ve açık

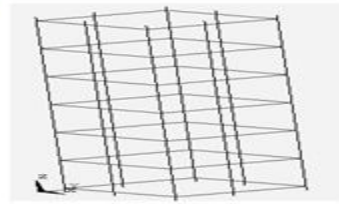
çatlaklar için kayma transferi katsayısı ve tek eksenli çekme ve basınç dayanımı değerleri kullanıcı tarafından verilirse iki eksenli basınç dayanımı, hidrostatik gerilme durumu altında iki ve tek eksenli, basınç dayanımı değerleri için Ansys programı içerisinde bulunan tanımlı değerler kullanılır. Bu değerlerden herhangi birinin girilmesi halinde ya da verilmesi halinde diğer tüm değerlerin kullanıcı tarafından verilmesi gerekmektedir [12].

Ansys programında modellenmiş bir kolon modelini inceleyecek olursak, Saatçioğlu ve Özcebe'den (1989) alınan verilere göre ve yine aynı zamanda Tuba Dede (2006) yüksek lisans tezindeki verilerden yararlanarak 350x350x1000 mm boyutlarında bir kolon elemanın Ansys programında sonlu eleman modeli oluşturularak yapılmıştır. Şekil 10.19' da oluşturulan sonlu eleman modeli görülmektedir. Beton için Solid 65 eleman tipi, donatı çeliği için ise Link 8 eleman tipi kullanılmıştır. Beton malzemesinin davranışı Hognestad malzeme modeli kullanarak Multilinear Isotropic Hardening seçeneği ile tanımlanmıştır [12]. Donatı çeliği için ise referansta etriye elemanları ile boyuna donatı elemanlarının akma dayanımları farklı olarak verildiği için iki ayrı malzeme modeli oluşturulmuştur. Deplasman yüklemesi Şekil 10.18'de elemanın düğüm noktalarına yapılmıştır. Şekil 10.19'da bu modeldeki Link8 eleman tipi kullanılarak oluşturulan donatı elemanı görülmektedir.

Yukarıdaki bölüm kolonunu yeniden oluşturan Dede (2006) donatı da yeni bir eleman tipi tanımlamış ve Şekil 10.20'de görülen sonlu eleman modelinde donatı çeliğinin betonun içinde yayılı olarak bulunduğunu varsaymıştır.

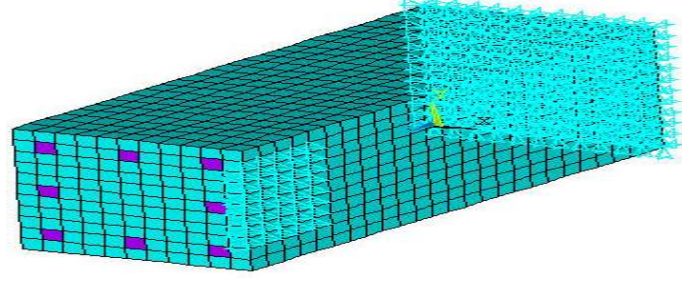


Şekil 10.19 : Ansys Kolunun Sonlu Elemanlar Modeli [12]



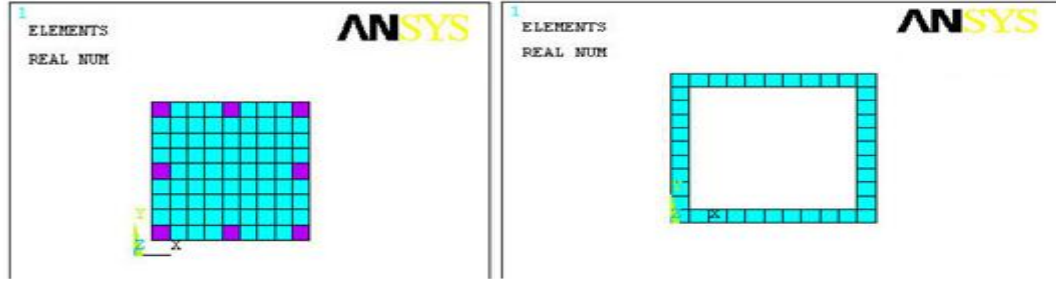
Şekil 10.20 : Ansys Kolunun Solid Donatı Elemanları [12]

Etriye elemanını tanımlamak için ise ayrı bir eleman ya da eleman sabiti tanımlamadan sargılı beton malzeme modeli oluşturmuştur (Şekil 10.21). Burada sargılı beton gerilme-birim deformasyon ilişkisi için Kent Park modeli kullanılmıştır. Ayrıca beton modeli için Hognestad modeli seçilmiştir.



Şekil 10.21 : Yaygın donatı özelliği ile oluşturulan sonlu eleman modeli [12]

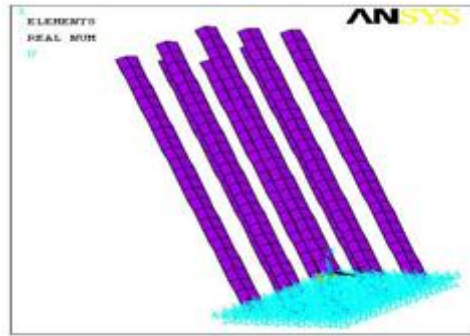
Aşağıdaki Şekil 10.22(a) ve (b)'de bu farklı eleman malzeme modelleri ile kullanılan elemanlar ayrı ayrı gösterilmiştir. Şekil 10.23'de ise donatı bulunduran Solid 65 elemanları görülmektedir.



(a) : Sargılı beton [12]

(b) : Sargısız Beton [12]

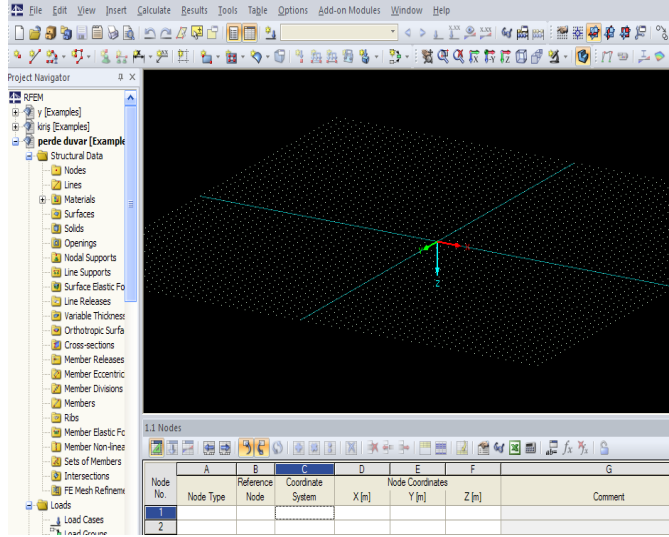
Şekil 10.22 : Betonun farklı malzemelere göre tanımlanması [12]



Şekil 10.23 : Donatı bulunduran Solid 65 elemanı [12].

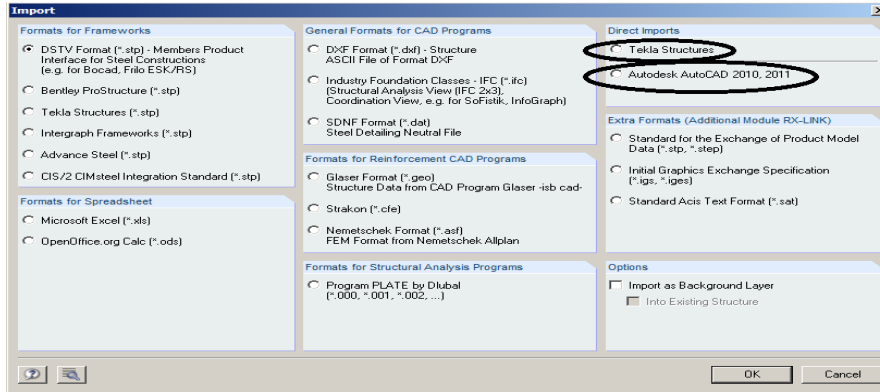
Yukarıda da görüldüğü gibi Ansys programında betonarme modelleme donatı ile betonun arasındaki bağlantı çok iyi tanımlandığı sürece yapılabilmektedir. Fakat betonarme modelleme yapılırken değişik alternatifler de söz konudur. Özellikle betonarme modellemelerde donatı ile beton arasındaki aderansı doğru şekilde tanımlamak en önemlisidir. Biz klasik Ansys programının yanı sıra Ansys Workbench programını kullanıp enine donatıların kancalı ve kancasız olma

durumlarını da incelemeye çalışıp, bunun yanında alternatif program olarak Dlubal (Şekil 10.24) programından da yararlanmaya çalıştık. Fakat programın demo versiyonu ile çalışılmasından dolayı perde duvar gibi eleman sayısı fazla olan taşıyıcı sistem tasarlayamadık ve bunun yerine basit kirişte etkileri görmeye çalıştık.



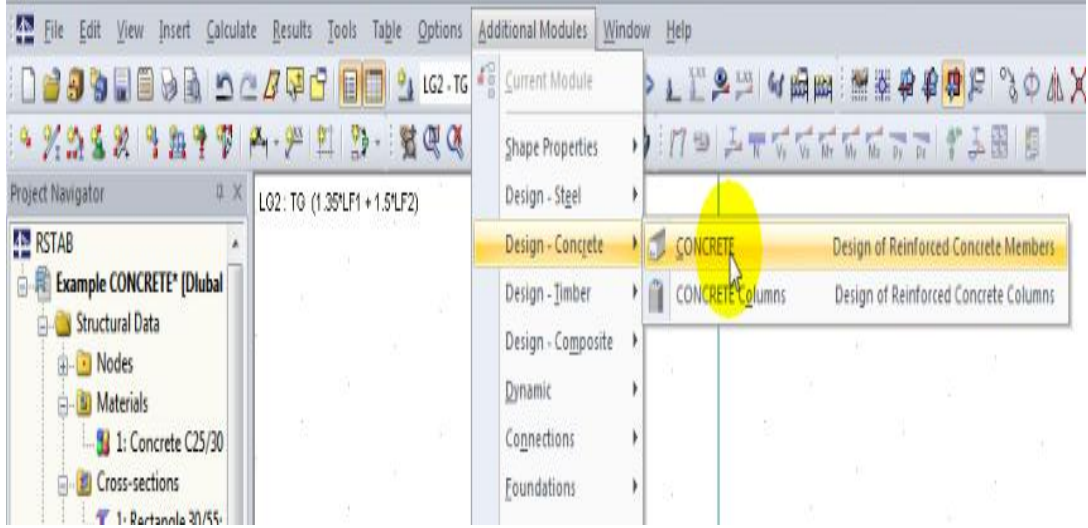
Şekil 10.24 : Dlubal Programı

Dlubal programı yeni yazılım programı olmasının yanı sıra, hem statik hesapta sonlu elemanlar yöntemini kullanabilmekte hem de X-Steel ve Autocad gibi çizim programlarından direk olarak eleman nesnesi çağırabilmektedir (Şekil 10.25) [58].



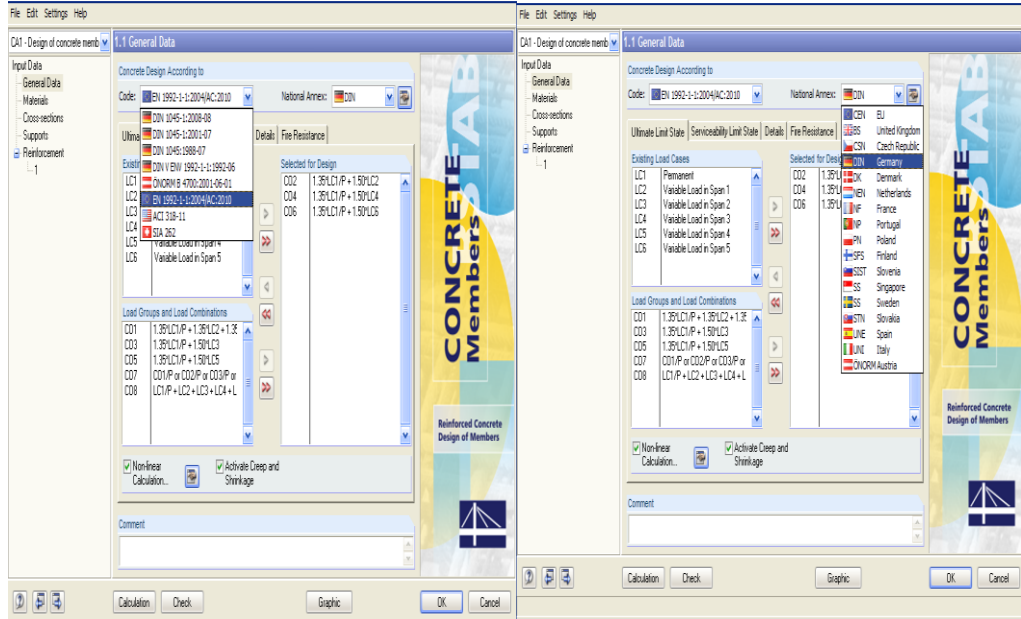
Şekil 10.25 : Dlubal Programında diğer programlardan nesne çağırma.

Programda diğer çizim programlarından yararlanıldığı gibi kendi içerisinde de tanımlama yapıp programın içerisindeki yönetmeliklerden betonarme taşıyıcı elemanlar otomatik olarak çözdürülebilir. Bunun için basit bir kiriş elemanı detaylandırmak istersek. İlk önce program içerisindeki yönetmeliklerden yararlanarak bunu rahat bir şekilde yapabiliriz (Şekil 10.26) [58].



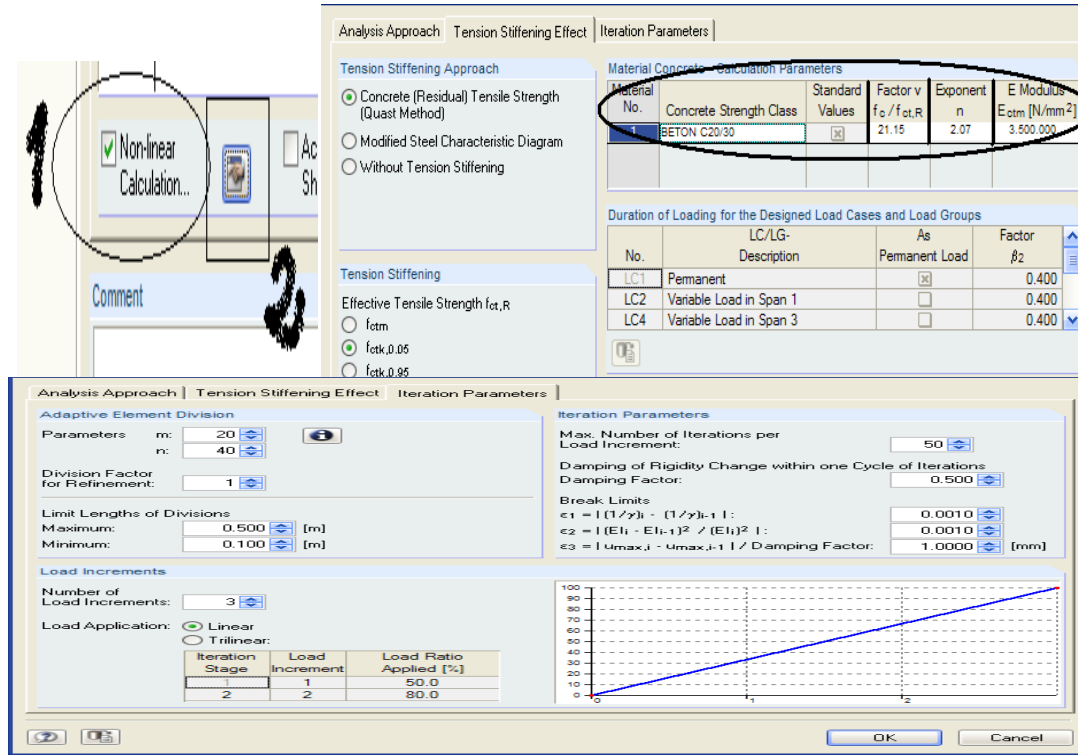
Şekil 10.26 : Dlubal programında donatı dizaynı.

Şekilde de görüldüğü gibi Additional Modules, Design Concrete, Concrete, Design of Reinforced Concrete Members dedikten sonra betonumuzu programın içerisinde seçtiğimiz tanımlı yönetmeliklerden herhangi biri ile rahat bir şekilde tanımlayabiliriz. Uygun yönetmelik ise aşağıdaki şekilde seçilir (Şekil 10.27).



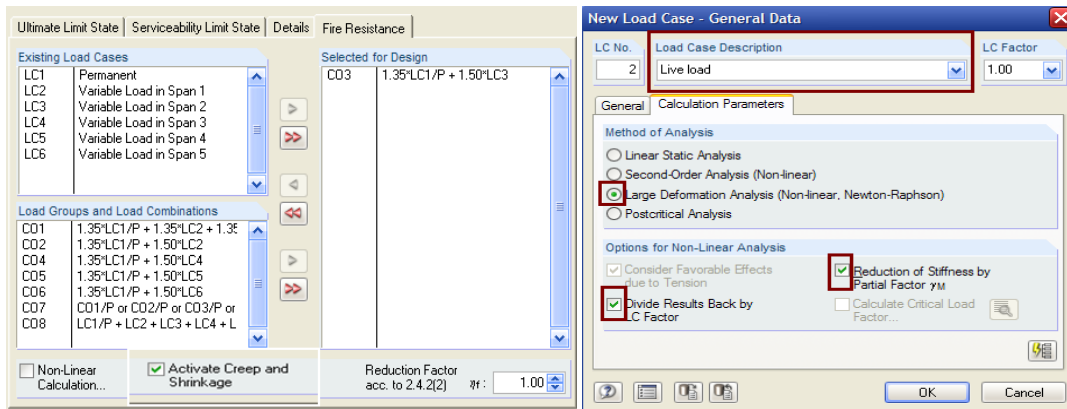
Şekil 10.27 : Uygun Yönetmeliğin tanımlanması

Uygun yönetmelikler seçildikten sonra sistemde lineer olmayan analiz seçilerek, gerekli kontroller buradan yapıldı, mesela sistemdeki rijitlik değerlerin, betonun gerilme değerleri uygun yükleme durumlarına göre belirlendi. Burada sistemdeki taşıyıcı elemana gelen parametrelerde görülebilir (Şekil 10.28).



Şekil 10.28 : Linear olmayan parametre analizleri

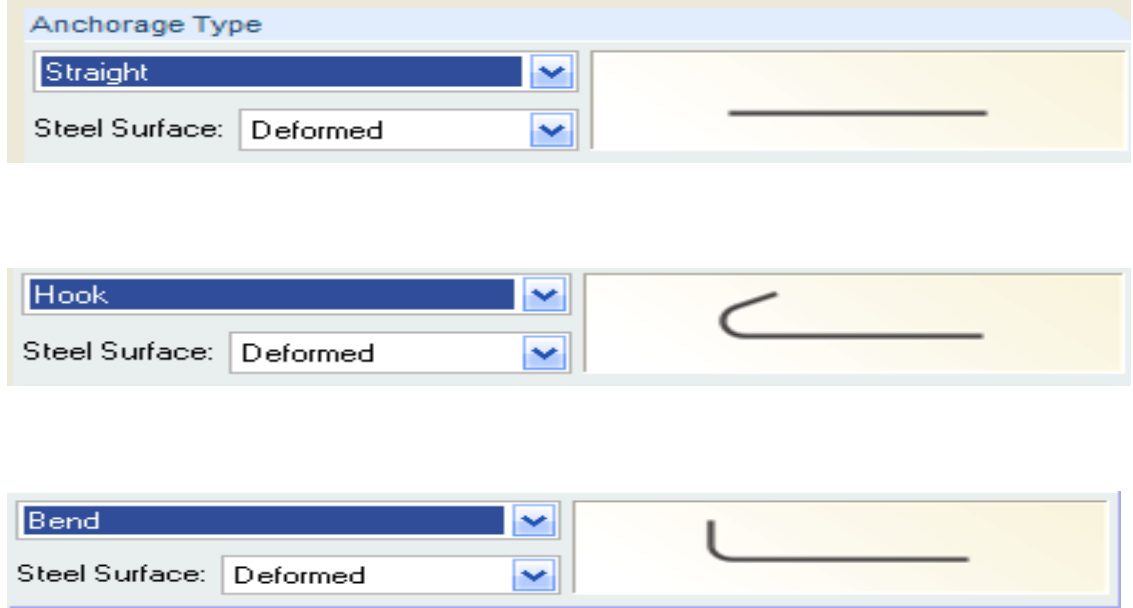
Programda sünme ve büzülme etkilerini de görmek için gerekli parametre değerleri aktif hale getirildi ve buradan yangın yükleri $1.35*LC1/P+1.5LC3$ olarak belirlendi (Şekil 10.29). (Building Fire Performance Analysis). Yüklerimizi tanımlarken non-linear analiz yapacağımızı da belirttik ve tüm yüklerimiz için ayrı ayrı non-linear analiz tanımlaması yapılmıştır (Şekil 10.29). Böylece betonarme elemanımız olan örnek kirişlerin gerçeğe daha yakın davranış sergilemesi izlenmiş olacaktır. Ayrıca sistemde C20 betonu S420 donatı sınıfı ve Boyuna donatıların çapı $\Phi 16$ ve $\Phi 20$, enine donatıların çapı $\Phi 8$ seçilmiştir. Programda enine donatılar kancalı olmakla birlikte 135° program içerisinde otomatik olarak belirlenmiştir.



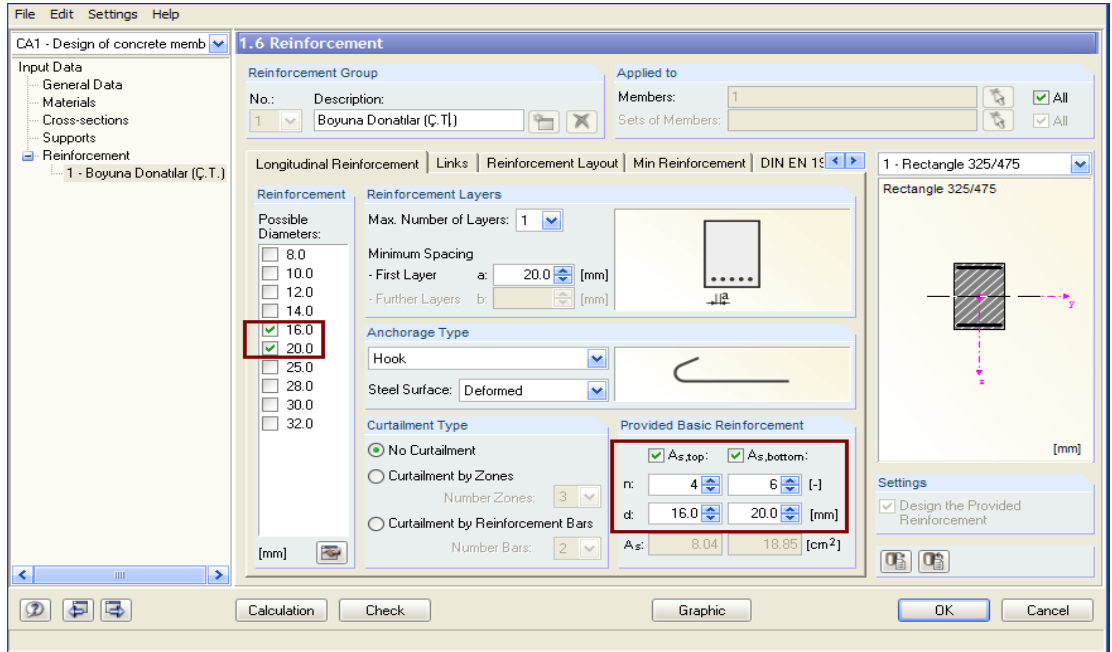
Şekil 10.29: Yangın Yüklerinin Belirlenmesi

Sistemde mesnet genişlikleri belirlenir ve mesnet momentlerinin de sınırlamasını göz önünde bulundurabileceğimiz *consideration of a restricted moment* kutucuğu da aktif hale getirilir.

Tüm işlemlerimiz bittikten sonra taşıyıcı elemanımızda donatı özelliklerini belirleriz (Şekil 10.30 a,b).



a : Donatıların Kancalarının Tanımı

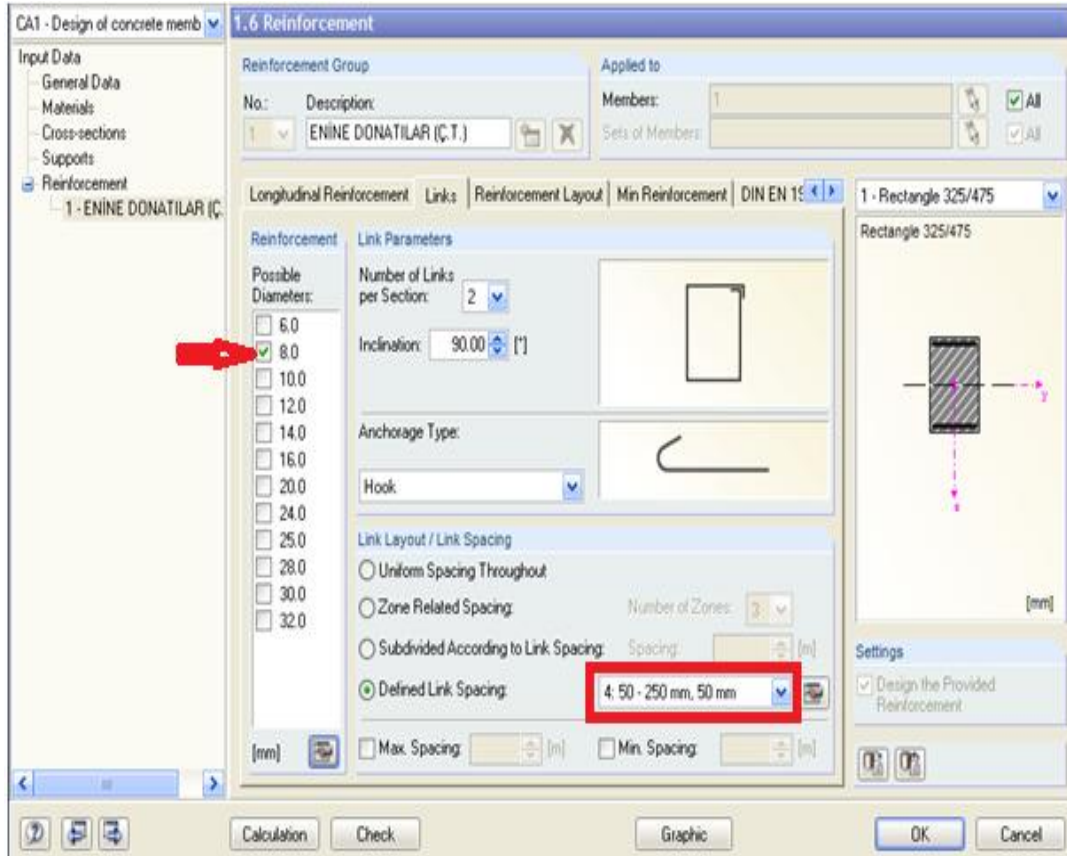


b : Donatıların tanımlanması

Şekil 10.30 : Donatı Özelliklerinin Belirlenmesi.

Şekilde görüldüğü sistemde donatı özellikleri istediğimiz gibi belirlenmekte ve boyuna donatıların kancalı veya düz şekilde bağlanacağı hakkında bizlere bilgi vermektedir. Şekilde görüldüğü gibi kancalar 135°, 90° veya düz şekilde yapılabilmektedir. Ayrıca alt (çekme) ve üst (basınç) donatıların çaplarını, adetlerini verdiğimizde sistem otomatik olarak donatı alanını hesaplamakta ve bize de ayrı ayrı donatı çapı verme şansı sunmaktadır. Böylece betonarme elemanı tanımlarken her şeye daha hakim olabilmekteyiz ve donatılar arasındaki mesafeden paspayına kadar en ince detayına kadar donatıların nervürlü olacak şekilde sistem donatıları istediğimiz gibi kolayla tasarlanabilmektedir.

Betonarme elemandaki etriyeleri tanımladığımızda etriye aralıklarını ve kanca tiplerini istediğimiz şekilde aşağıdaki şekilde tanımlayabiliriz. Etriyelerin çapını $\Phi 8$ olarak seçtik ve kanca tipi yine 135° olarak belirledik (Şekil 10.31).



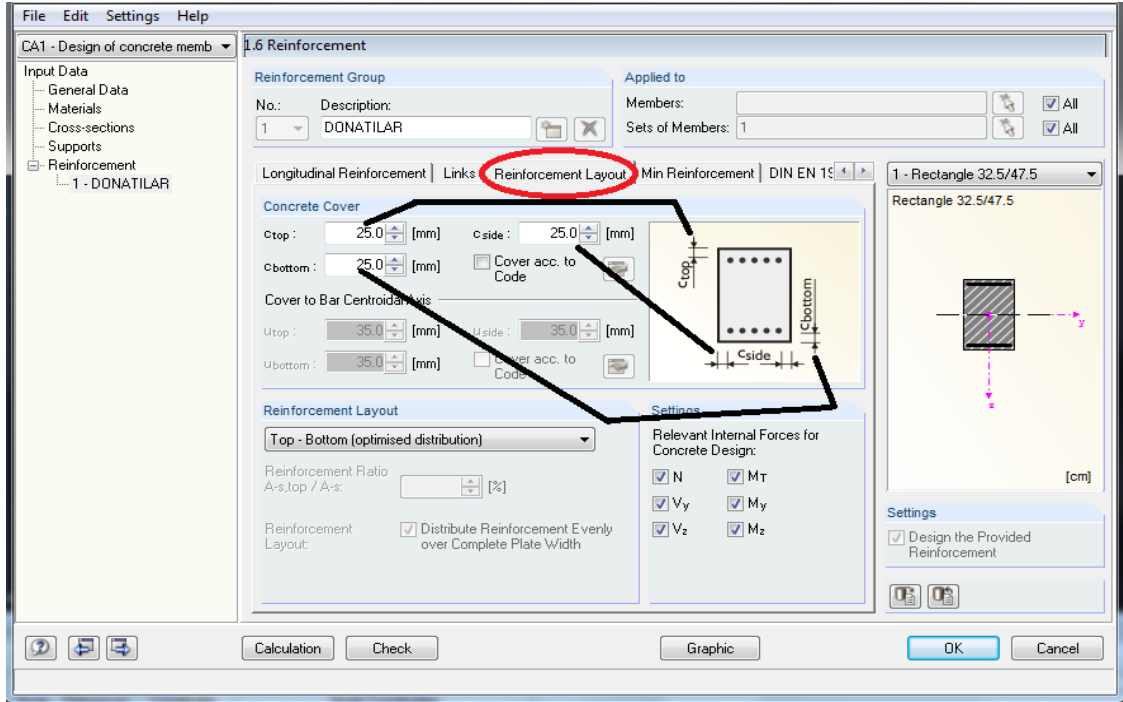
Şekil 10.31 : Kancalı Etriye Tanımı

Donatı özellikleri yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi belirlenir. Daha sonra donatılardaki paspaylarını belirlemek için Reinforcement layout menüsüne girilerek gerekli işlemler buradan yapılır. Betonarme elemanlar için TS500'de verilen minimum net beton örtüsü Çizelge 10.2'de verilmiştir.

Çizelge 10.2 : Betonarme elemanlar için minimum net beton örtüsü.[15]

Yapı elemanı	Net beton örtüsü, C_c (mm)
Kabuk ve katlanmış plaklar	15
Betonarme duvar ve döşemelerde	15
Yapı içerisinde dış etkilere açık olmayan kolon ve kirişler	20
Hava koşullarına açık olan kolon ve kirişler	25
Zeminde doğrudan temasta olan taşıyıcı sistem (yapı) elemanları	50
Not: Yangının, paslanmanın ve diğer dış etkilerin zararlarının fazla olmasından şüphelenildiği durumlarda, beton örtü kalınlığı gerek görüldüğü kadar artırılır.	

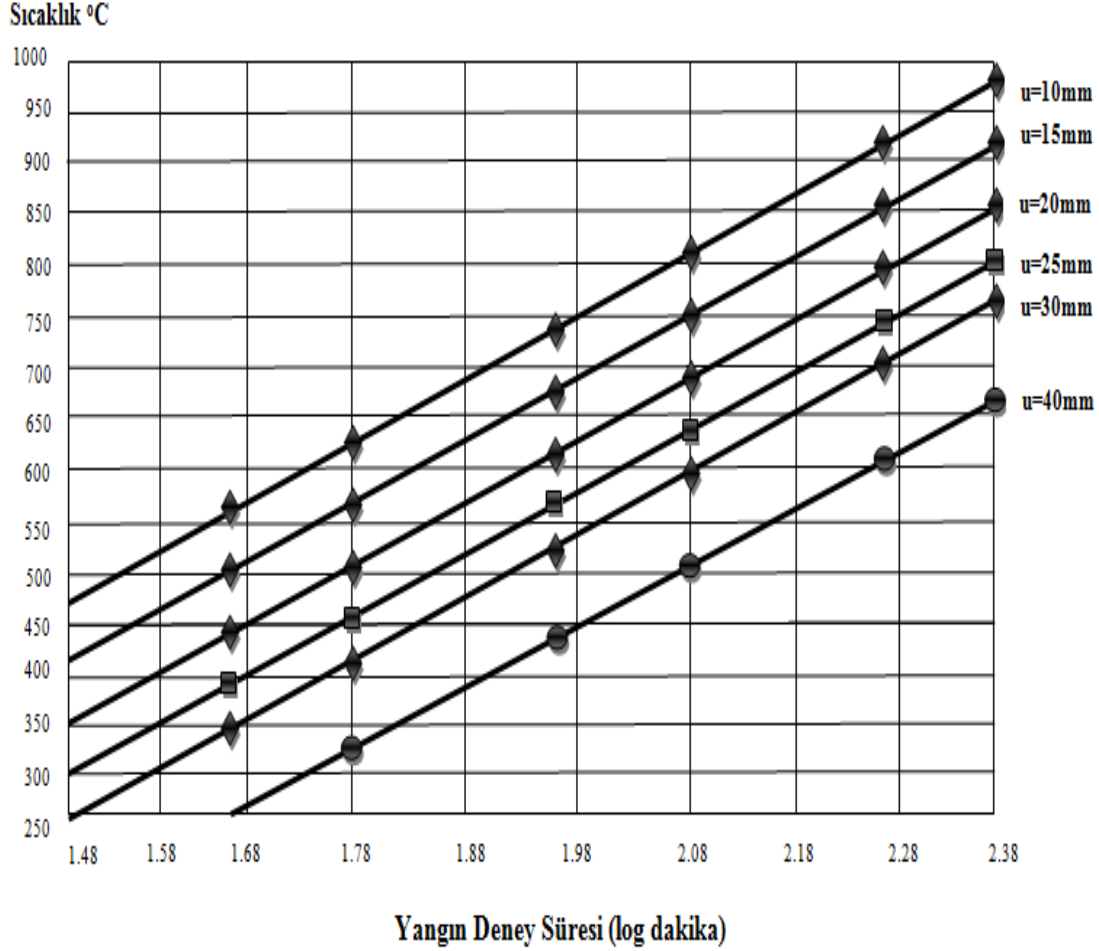
TS500'de yukarıdaki tabloda verilen paspaylarını kullanarak elemanımızın hava koşullarına açık olan taşıyıcı sistem elemanı olarak tasarladığımızı düşünerek ayrıca yangın durumunu da göz önünde bulundurarak paspayını 25 mm olarak belirledik. Böylece net beton örtüsünü de çok rahat belirlemiş oluruz (Şekil 10.32).



Şekil 10.32 : Paspaylarını Verilmesi.

Modellediğimiz kirişte yangın hesabının yapılması ve paspayı tabloları aşağıdaki gibidir (Şekil 10.33), (Çizelge 10.3):

Çizelge 10.3 : Agregalı silisli beton için oluşacak sıcaklık dereceleri [25]



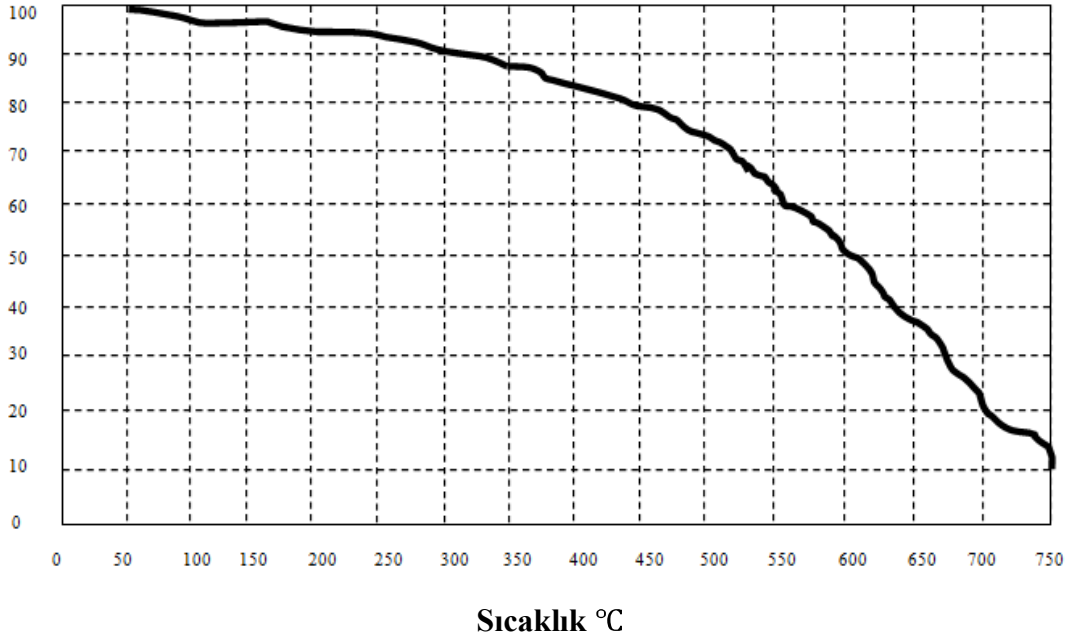
Yukarıdaki tablodan herhangi bir yapı elemanın ortalama yangın süresine göre logaritmik değerinden yaklaşık paspayının bulunması için faydalanılmaktadır. Ayrıca ortalama gelen sıcaklığa göre çeliğin akma sınırındaki mukavemet kaybı ve silis agregalı betonun sıcaklıkla basınç mukavemeti değişimi sırasıyla, Çizelge 10.4 ve Çizelge 10.5’de gösterilmiştir. Yangın hesabı yapmadan önce iki tablodan da faydalanılacaktır [25].

Aşağıdaki tablo bize çeliğin dayanımını verirken aşağıdaki tabloda hesap yaparken bize betonun dayanımı hakkında bilgi verecektir.

Her ikisinde de bulunan sıcaklık değerlerine göre n dayanım kaybı bulunmakta ve bu değerden de kaybedilen dayanım miktarları bulunmaktadır.

Çizelge 10.4 : Çeliğin Akma Sınırının Sıcaklıkla Mukavemet Kaybı [25]

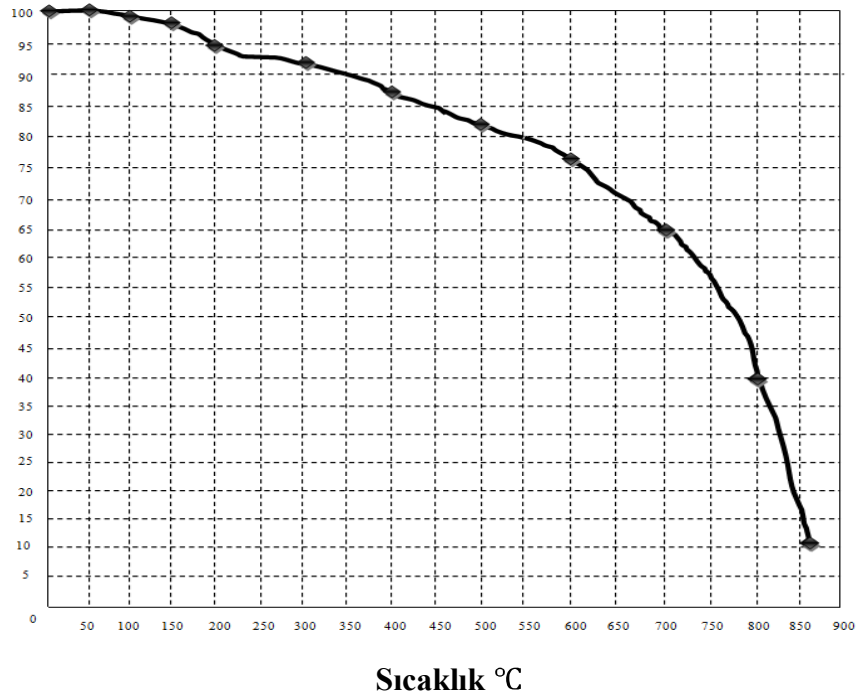
n: Başlangıçtaki mukavemet yüzdesi

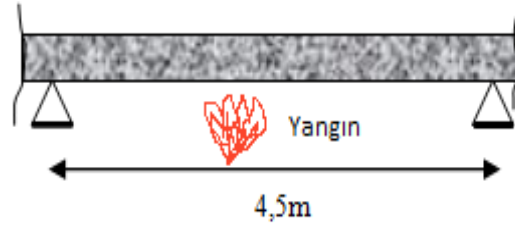


Dlubal programının Rstab yazılımında Alman DIN yönetmeliğini kullandığımız için yangın hesabını kendi yönetmeliğimize uygun olarak elde yaptık (Çizelge 10.5). ayrıca çizim yapılacak kiriş modeli de Şekil 10.33 de verilmiştir.

Çizelge 10.5 : Silis Agregalı Betonun Sıcaklıkla Basınç Mukavemet Değişimi [25]

n: Başlangıçtaki mukavemet yüzdesi





Şekil 10.33 : Kiriş Örneği

Rstab programında modellediğimiz kirişin yangın hesabına bakacak olursak kirişimizin net açıklığı 4,5 m olarak tasarlandı ve diğer özellikleri aşağıdaki gibidir.

C20/S420,
 $\rho_{sıva, kaplama}=1,25 \text{ KN/m}^2$,
 $\rho_{hareketli yük}=2 \text{ KN/m}^2$,
 $\gamma_b=25 \text{ KN/m}^3$,
 $U=25\text{mm}$,
 $t=120\text{dk. (Yangın Süresi)}$,

İlk önce sistemde sistemdeki momentleri yukarıdaki tablolardan yararlanarak hesaplayacağız. $U=25\text{mm}$ ve $t=120\text{dk}$ verilerinden faydalanarak Çizelge 10.3'den sıcaklık değerlerini bulabiliriz.

$$\left. \begin{array}{l} U=25\text{mm}, \\ \log(120)=2.08 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \longrightarrow \\ \text{Çizelge 10.3'den} \end{array} \theta=630^\circ\text{C} \text{ olarak bulunur.} \quad (10.9)$$

$$\theta=630^\circ\text{C} \longrightarrow \begin{array}{l} \text{Çizelge 10.4'den} \\ n=\%44 \text{ bulunur.} \end{array}$$

$$f_{y\theta} = 0.44 * 420 = 184.8 \text{ N/mm}^2$$

$$a_\theta * 0.85 * f_c * b = A_s * f_{y\theta} \quad (10.10)$$

$$b(\text{kirişsiz döşeme mantığı ile yük bölümü}) = \frac{l}{4} + \frac{l}{4} = \frac{l}{2} \rightarrow b = \frac{4500}{2} = 2250\text{mm}$$

$$a_\theta = \frac{1884 * 184.8}{0.85 * 20 * 2250} = 9.10, \quad (10.11)$$

Pozitif Moment;

$$M_{n\theta}^+ = A_s * f_{y\theta} * \left(d - \frac{a_\theta}{2} \right) \rightarrow M_{n\theta}^+ = 1884 * 184.8 * \left(175 - \frac{9.10}{2} \right) \quad (10.12)$$

$$M_{n\theta}^+ = 59.34 * 10^6 \text{ Nmm} = 59.34 \text{ KNm}$$

Negatif Moment Kapasitesi;

$$\left. \begin{array}{l} U=175mm \\ \log(120)=2.08 \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{Çizelge 10.3'den}} u > 130mm \text{ ise } \theta = 90^\circ C \text{ kabul edilir.} \quad (10.13)$$

$$\theta = 90^\circ C \xrightarrow{\text{Çizelge 10.4'den}} n = \%96 \text{ bulunur.} \quad (10.14)$$

$$f_{y\theta} = 0.96 * 420 = 403.2 \text{ Mpa}$$

760° de yapılan deneylerde betonun dayanımının tamamı kaybolduğu tespit edilmiştir.

$$\left. \begin{array}{l} \theta=760^\circ C \\ \log(120)=2.08 \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{Çizelge 10.3'den}} u = 14 \text{ mm}$$

$$d' = 175 - 14 = 161 \text{ mm} \quad (10.15)$$

$$\varepsilon_c = \varepsilon_{cu} \text{ ve } \varepsilon_s = \varepsilon_{su} \text{ alınırsa;}$$

$$a_\theta = 0.196 * d' \text{ olur. Buradan;}$$

$$a_\theta = 0.196 * 161 = 31.56 \text{ mm hesaplanır.}$$

Beton bileşke basınç kuvvetinin etkidiği noktadaki sıcaklık:

$$u = \frac{a_\theta}{2} + d_f(u)$$

$$u = \frac{31.56}{2} + 14 = 29.78 \text{ mm}$$

$$\left. \begin{array}{l} U=29.78mm \\ \log(120)=2.08 \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{Çizelge 10.3'den}} \theta = 580^\circ C \text{ bulunur.} \quad (10.16)$$

$$\theta = 580^\circ C \xrightarrow{\text{Çizelge 10.4'den}} n = \%77 \text{ bulunur.} \quad (10.17)$$

$$f_{c\theta} = 0.77 * f'_c \rightarrow f_{c\theta} = 0.77 * 20 = 15 \text{ N/mm}^2$$

Mesnette Moment Kapasitesi:

$$A_s(4\phi 16) = \frac{4 * \pi * 16^2}{4} = 803,84 \text{ mm}^2 \quad (10.18)$$

$$a_{\theta} = \frac{803,84 * 403,2}{0,85 * 15 * 2250} = 12,2 \text{ mm} \leq 31,56 \text{ mm}$$

$$u = \frac{a_{\theta}}{2} + df \rightarrow u = \frac{12,2}{2} + 14 = 20,10 \text{ mm}$$

$$\left. \begin{array}{l} U=20,10 \text{ mm} \\ \log(120)=2,08 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \longrightarrow \theta = 730^{\circ}\text{C} \text{ bulunur.} \\ \text{Çizelge 10.3'den} \end{array} \quad (10.19)$$

$$\theta = 730^{\circ}\text{C} \longrightarrow n = \%57 \text{ hesaplanır.} \quad (10.20)$$

Çizelge 10.5'den

$$f_{c\theta} = 0,57 * 20 \rightarrow f_{c\theta} = 11,4 \text{ N/mm}^2$$

$$a_{\theta} = \frac{803,84 * 403,2}{0,85 * 11,4 * 2250} = 14,4 \cong 12,2 \text{ mm} \quad (10.21)$$

$$M_{n\theta^-} = A_s * f_{y\theta} * \left(d' - \frac{a_{\theta}}{2} \right)$$

$$M_{n\theta^-} = 803,84 * 403,2 * \left(161 - \frac{14,4}{2} \right) \quad (10.22)$$

$$M_{n\theta^-} = 49,84 * 10^6 \text{ Nmm} \rightarrow M_{n\theta^-} = 49,84 \text{ KNm}$$

$a_{\theta} = 31,56 \text{ mm}$ olarak ilk başta hesaplanmıştı.

$\theta = 580^{\circ}\text{C}$ ve $f_{c\theta} = 15 \text{ N/mm}^2$ idi.

$$a_{\theta} = \frac{803,84 * 403,2}{0,85 * 15 * 2250} = 11,30 \text{ mm} \leq 31,56 \text{ mm} \quad (10.23)$$

$$u = \frac{11,30}{2} + 14 = 19,65 \text{ mm}$$

$$\left. \begin{array}{l} U=19,65 \text{ mm} \\ \log(120)=2,08 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \longrightarrow \theta = 725^{\circ}\text{C} \text{ bulunur.} \\ \text{Çizelge 10.3'den} \end{array} \quad (10.24)$$

$$\theta = 725^{\circ}\text{C} \longrightarrow f_{c\theta} = 0,47 * 20 = 9,4 \text{ N/mm}^2 \quad (10.25)$$

Çizelge 10.5'den

$$a_{\theta} = \frac{84 * 403,2}{0,85 * 9,4 * 2250} = 18,03 \text{ mm}$$

Dış yükten dolayı gelen yükler

$$Plak = 0,25 * 20 = 6,25 \text{ KN/m}^2 \quad (10.26)$$

$$Sıva + Kaplama = 1,25 \text{ KN/m}^2$$

$$g_{toplam} = 6,25 + 1,25 = 7,5 \text{ KN/m}^2$$

$$q = 2 \text{ KN/m}^2$$

$$W_{toplam} = 7.5 + 2 = 9.5 \text{ KN/m}^2 \quad (10.27)$$

4.5m genişliğinde şerit yük olduğu varsayılırsa;

$$W_{şerit} = 4.5 * 9.5 = 42.75 \text{ KN/m}$$

$$M_o = \frac{42.75 * (3.90)^2}{8} = 81.27 \text{ KNm} \quad (10.28)$$

$$\text{Kolon Şeridi Açıklık Momenti} = 0.68 * 81.27 = 55.26 \text{ KNm}$$

olarak bulunur.

Genleşme Etkileri :

10 cm için üniform sıcaklık;

$$A = b * hf \quad (10.29)$$

$$A = 0.1 * 0.5 \rightarrow A = 0.05 \text{ m}^2$$

$$N = \varepsilon * t * E * A$$

$$\varepsilon = 10^{-5}$$

$$t = 90^\circ\text{C}$$

$$E = 3.2 * 10^9$$

$$N = 10^{-5} * 90 * 3.2 * 10^9 * 0.05 \rightarrow N = 144000 \text{ kg} \quad (10.30)$$

$$\sigma = \frac{N}{A}, \quad \sigma = \frac{144000}{50000} \rightarrow \sigma = 2.88 \text{ N/mm}^2 \quad (10.31)$$

$$N = 144000 * \frac{9.81}{1000}, \quad N = 1413 \text{ KN} \quad (10.32)$$

Dış yükten dolayı sehim:

$$\Delta_{max} = \frac{1}{384} * \frac{W * (l_{net})^4}{E * I} \quad (10.33)$$

$$W_g = 7.5 \text{ KN/m}^2 = 0.764 \text{ t/m}^2 = 764 \text{ kg/m}^2$$

$$W = 4.5 * 764 = 3438 \text{ kg/m} \quad (10.34)$$

$$I = \frac{0.10 * 0.5^3}{12} = 104.17 * 10^{-5} \quad (10.35)$$

$$\Delta_{max} = \frac{1}{384} * \frac{3438 * (3.90)^4}{3.2 * 10^9 * 104.17 * 10^{-5}} \rightarrow \Delta_{max} = 6.21 * 10^{-4} m = 0.621 mm$$

$$M_{max} = 1413 * 6.21 * 10^{-4} * (\delta_{max})0.3 \rightarrow M_{max} = 0.263 KNm \quad (10.36)$$

Fark Sıcaklık Değişimi:

$$\Delta t = 630 - 90 = 540^\circ C \quad (10.37)$$

$$x_1 = x_2 = E * \varepsilon * I * \frac{\Delta t}{h}$$

$$x_1 = x_2 = 3.2 * 10^9 * 10^{-5} * 104.17 * 10^{-5} * \frac{540}{0.2}$$

$$x_1 = x_2 = 90003.03 Kgm \quad (10.38)$$

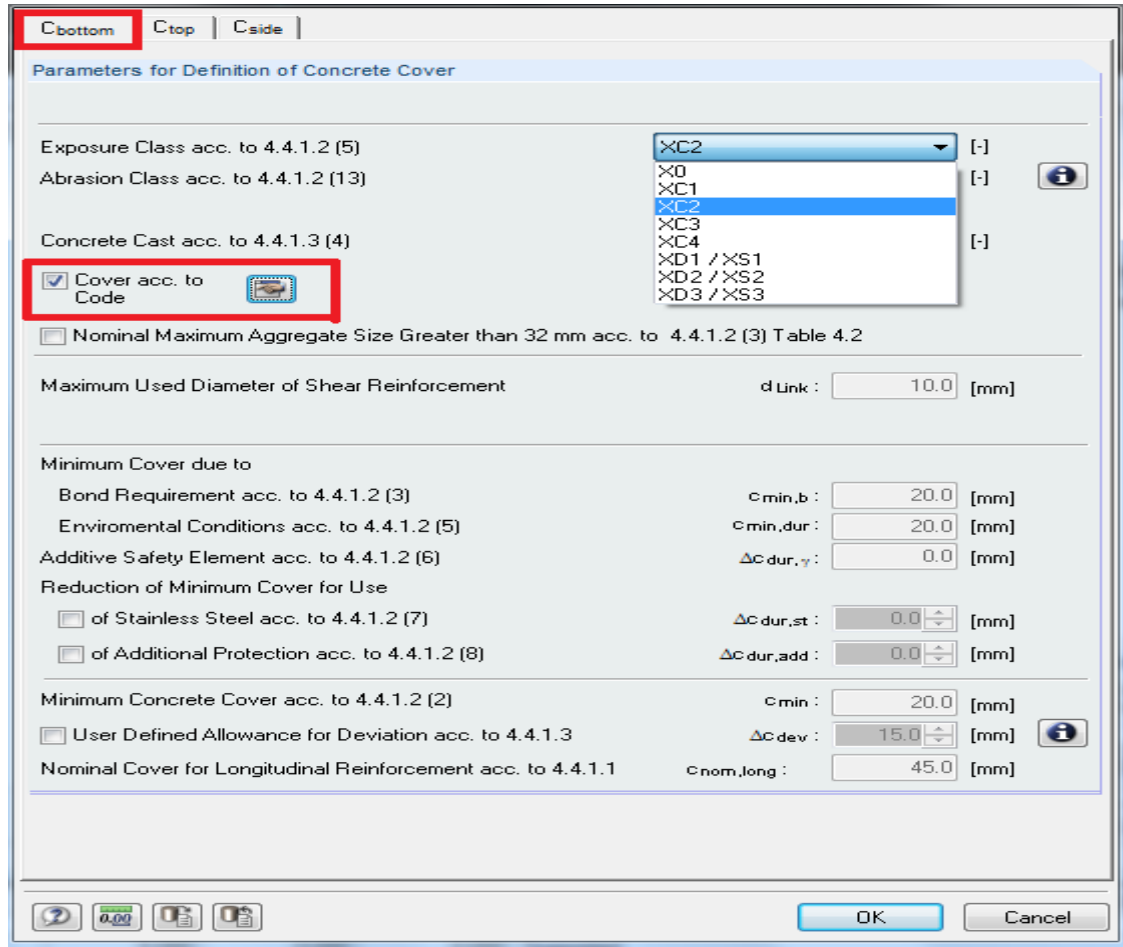
$$x_1 = x_2 = 90003.03 * \frac{9.81}{1000} = 882.92 KNm$$

olarak hesaplanır.

Yukarıdaki hesaplama EREN, KOCATAŞKIN (2008) ders notlarından ve Building Fire Performance Analysis kitabından faydalanılarak yapılmıştır [25],[41]. Hesap yaptığımız kirişteki momentler güvenli tarafta kalmakta ve paspayı olarak belirlediğimiz dış cepheye açık taşıyıcı elemanlar için 25mm paspayının yangın hesabı sonucunda güvenli tarafta kaldığı da görülmektedir. Hesap yaptığımız RFEM (DLUBAL) programı Alman DIN EN 1992-1-1'deki "Yapı Malzemeleri ve Yapı Elemanlarının Yangındaki Davranışları" yönetmeliği kullanılarak yapıldığı için bizde ülkemizde de faydalanılan bu yönetmelikten yararlanarak, paspaylarımızı vermeden önce ve donatı oranlarımızı yeniden gözden geçirmek üzere elde hesap yaptık. Avrupa ülkelerinde yangın hesapları oldukça önemli olup ülkemizde yeni yeni önemi fark edilmeye başlanmıştır. Büyük ve yıkıcı depremlere göre meydana gelme olasılığı oldukça yüksek olan yangınlar büyük can kayıplarına neden olabilmektedir. Bu yüzden deprem hesapları kadar yangın hesaplarına da önem vermeliyiz [41].

Betonarme taşıyıcı elemanımıza yukarıdaki hesaplar doğrultusunda paspaylarımızı da verdikten sonra paspaylarımızın parametrelerini tanımlayabiliriz burada kirişimizin boyutlarına ve donatının kirişin tüm kenarlarına göre parametreleri tanımlayabiliriz. Öncelik olarak ise C_{bottom} olarak isimlendirilen paspayı parametresini tanımlayacağız.

Bunu yaparken DIN yönetmeliğini kullandığımız için ve Rstap programında önerilen XC2 parametresini tanımlayacağız (Şekil 10.34).



Şekil 10.34 : Paspayı Parametresinin verilmesi.

Yukarıdaki gibi donatı paspaylarını da belirledikten sonra çatlak kontrolüde yapmak üzere ve çatlak miktarını belirlemek üzere Şekil 10.35’ deki parametreler girilir. Bilindiği gibi betonarme elemanlarda çatlağı tamamen önlemek mümkün değildir ama az sayıda genişliği büyük çatlakların oluşması yerine çok sayıda ince çatlakların oluşması şeklinde temel prensip kabul edilebilir [29].

TS500’de aşağıdaki durumlar olması durumunda çatlak kontrolü yapılmasa da program bize bu zahmetli durumdan kendi kurtarabilmektedir. Çatlak kontrolünün yapılmadığı durumlar:

- 1- Nervürlü donatı kullanılmış olmalı,
- 2- Betonarme elemanların çekme bölgeleri için verilen minimum donatı koşulları sağlanmış olmalı,
- 3- Zararlı etkili çevre koşulu bulunmamalıdır,

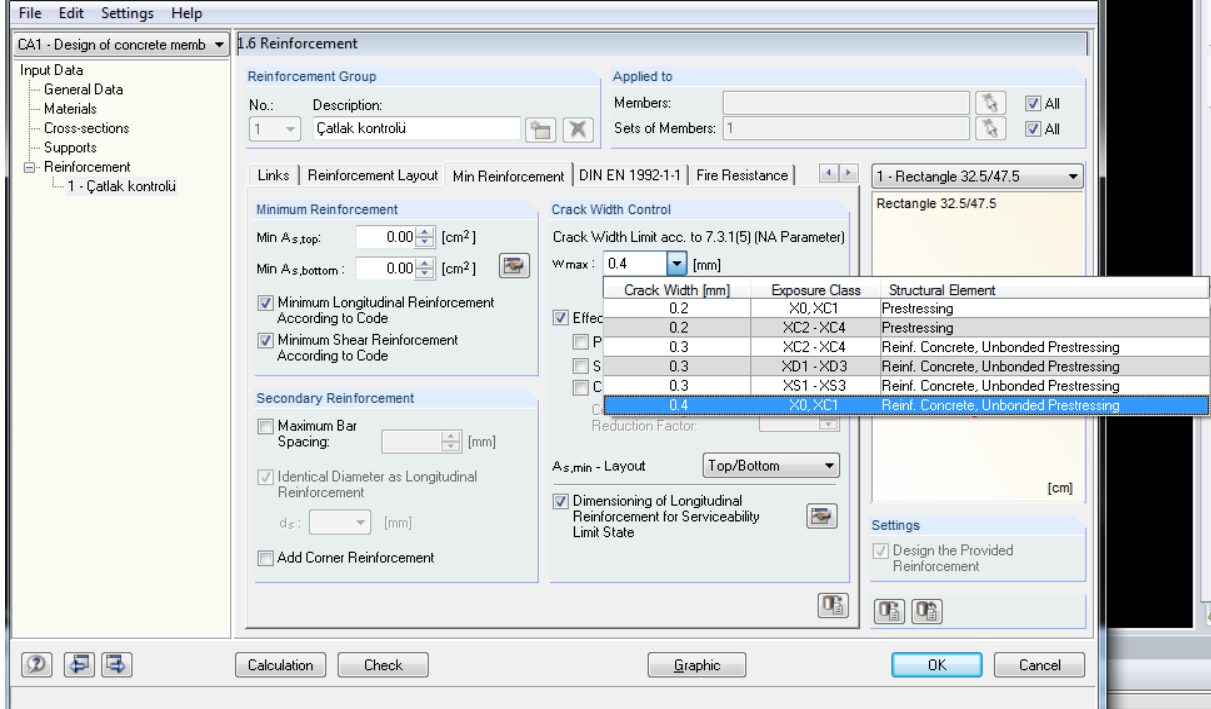
4- Donatı aralıkları 200 mm'yi aşmamalıdır.

Çeşitli etkiler sonucu ortaya çıkan çekme gerilmelerinin belli sınırları aşması ile oluşan çatlak genişliklerinin aşağıdaki çizelgede verilen sınır değerleri geçmemesi istenir (Çizelge 10.6).

Çizelge 10.6 : Çatlak genişliği için sınır değerler [15]

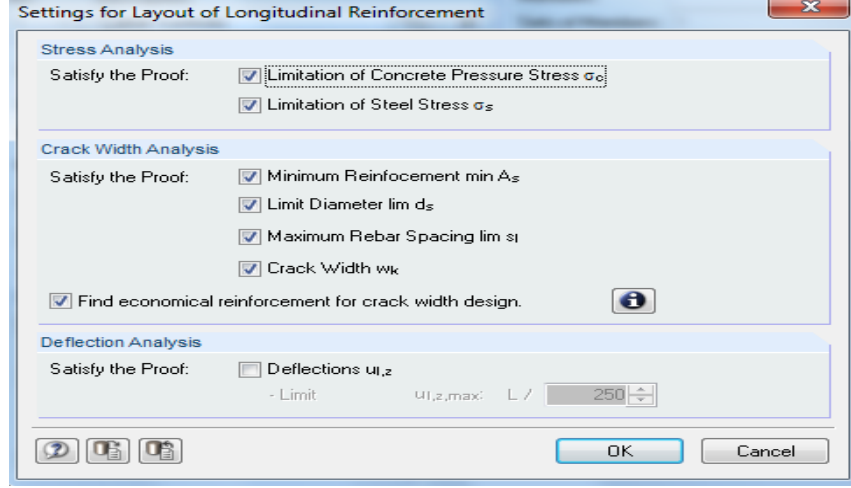
Ortam Koşulları	En Büyük Çatlak Genişliği, w_{max}
Yapı içi normal çevre koşulları	0.4 mm
Yapı içi nemli ve yapı dışı normal çevre koşulları	0.3 mm
Yapı içi nemli çevre koşulları	0.2 mm
Yapı içi ve dışı agresif çevre koşulları	0.1 mm

Bizde kirişimizi tasarlarken yapı içi normal koşullarda kaldığını farz ederek 0.4 mm olarak belirledik.



Şekil 10.35 : Çatlak Genişliği Parametresinin Verilmesi

Buradan gerilme analiz parametrelerini, çatlak analiz parametrelerinin hepsinin işaretli olup olmadığına dikkat ederiz (Şekil 10.36).



Şekil 10.36 : Parametre Kontrolü

Yukarıdaki gibi çatlak ve parametre kontrolü yapıldıktan sonra yangın parametresi olarak malzeme sınıfını seçeriz. Burada Alman DIN yönetmeliğindeki sınıflandırmadan yararlanılmıştır. Malzemeyi sınıflandırırken;

- 5- **A1:** Hiç yanmaz malzeme olarak sınıflandırılmakta ve kum, çakıl, kerpiç, cam, döküm demir gibi malzemeler girmektedir.
- 6- **A2:** Zor yanıcı malzeme olarak sınıflandırılmakta ve bu gruptaki malzeme mutlaka deneylerle saptanmalıdır.
- 7- **B1:** Zor alevlenici malzeme olarak sınıflandırılmakta ve çimento, ahşap talaşı levhaları gibi malzemeler bu gruba girmekte.
- 8- **B2:** Normal alevlenici malzeme sınıfın da olan bu grupta ise kalınlığı 2mm den fazla ahşap gibi malzemeler yer almaktadır.
- 9- **B3:** Kolay alevlenici malzeme grubu olarak sınıflandırılan bu grupta ise kağıt, saman, pamuk gibi kolay alevlenici malzemeler yer almaktadır. Grupları göz önünde bulundururken,

Ayrıca yangın dayanım sürelerine göre de malzemeleri sınıflandırırız.

F30: En az 30 dakika yangın dayanımına sahip malzeme,

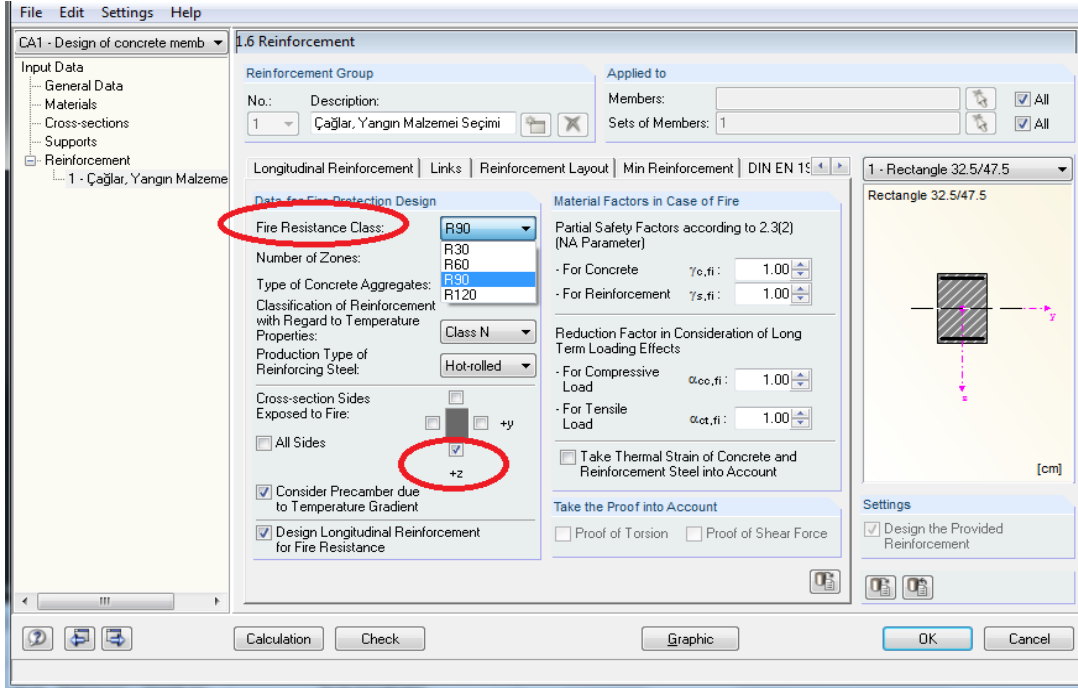
F60: En az 60 dakika yangın dayanımına sahip malzeme,

F90: En az 90 dakika yangın dayanımına sahip malzeme,

F120: En az 120 dakika yangın dayanımına sahip malzeme,

F180: En az 180 dakika yangın dayanımına sahip malzeme olarak sınıflandırılmaktadır [29].

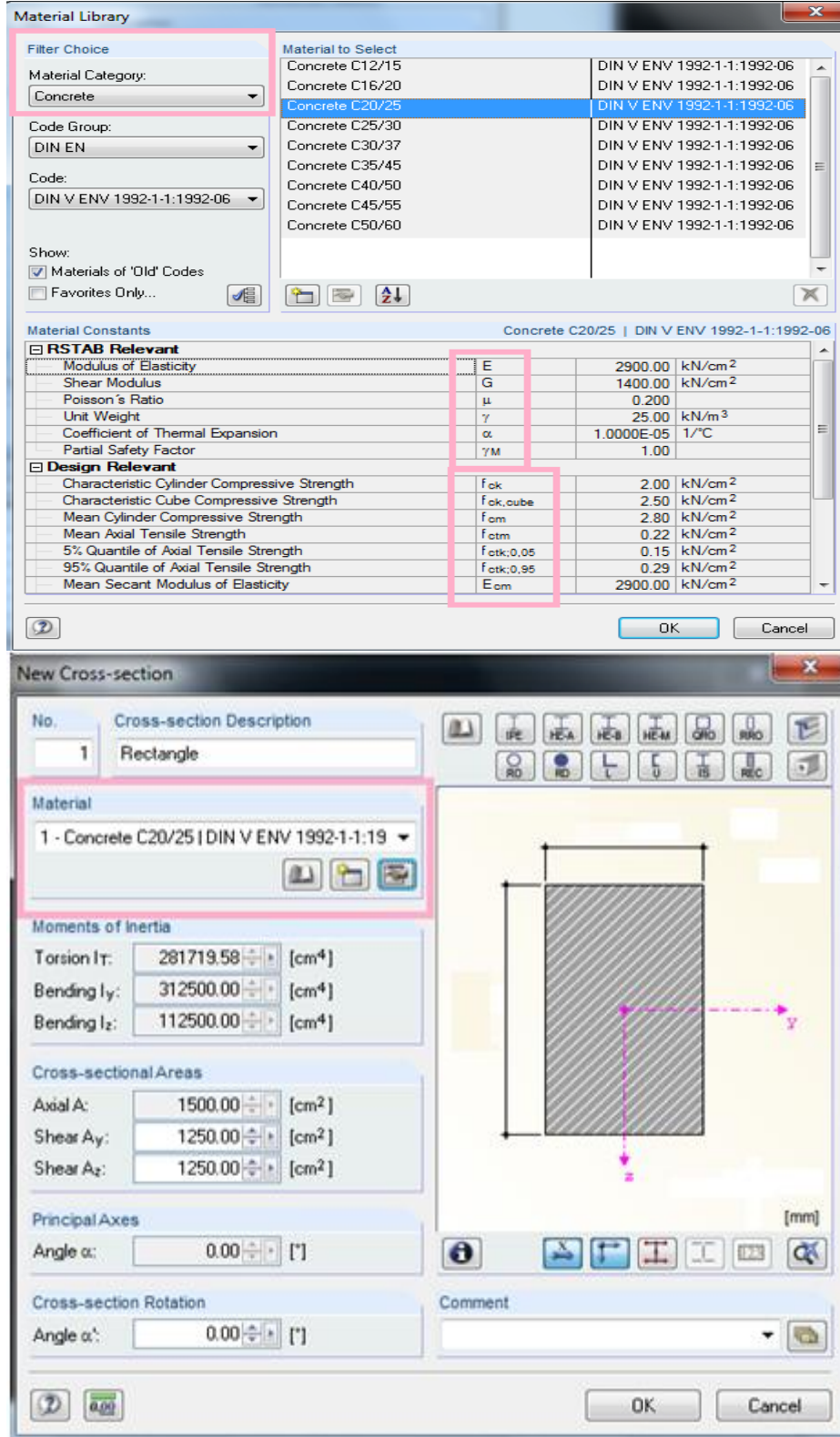
RSTAP programında hesap yaparken bizde yangın sınıfı malzemesi olarak R(F)90 malzeme sınıfını seçtik ve yangının kiriş elemanına hangi ekseninde etkiyeceğine kırmızı halka içerisinde yer verdik. Bununla birlikte donatıların yangın dayanımı kutucuğunu da aktif olmasına dikkat ederek Şekil 10.37'deki gibi gerekli parametreleri verdik.



Şekil 10.37 : Yangın Malzemesi Sınıfının ve Yangına Maruz Olan Bölgenin Seçimi

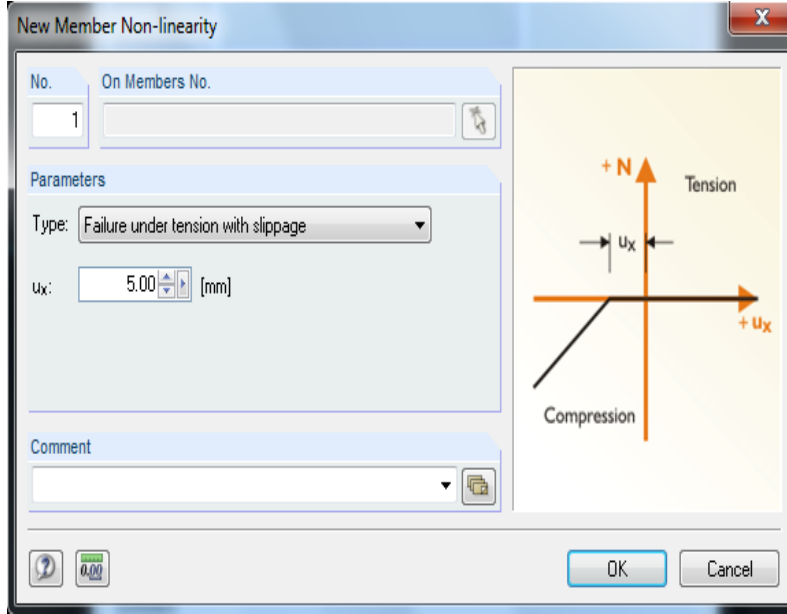
Kirşimizde gerekli yüklemeleri yaptıktan sonra kiriş elemanımızdaki donatılardan enine donatıları kancalı donatı olarak seçtik ve gerekli yangın yükleri, maksimum bırakılacak çatlak mesafesi ve gerekli diğer yüklemeleri de yaptıktan sonra sistemimizi non-linear analiz yapabiliriz. Böylece betonarme taşıyıcı elemanlarda kancalı ve kancasız enine donatıların karşılaştırılması hakkında da fikir sahibi olmuş olacağız.

Programda kiriş modellemesinde kiriş boyutlarını verildikten sonra enine donatıların kancalı ve kancasız yapılan iki model karşılaştırılmış ve kancaların gerilmeleri incelenmiştir. Programda ilk modelimiz enine donatıların kancalı yapılması durumunun sonuçlarını incelemek olacaktır. İki model arasındaki tek fark enine donatıların kanca durumları olacaktır, diğer tüm özellikler aynı dizayn edilecektir (Şekil 10.38).



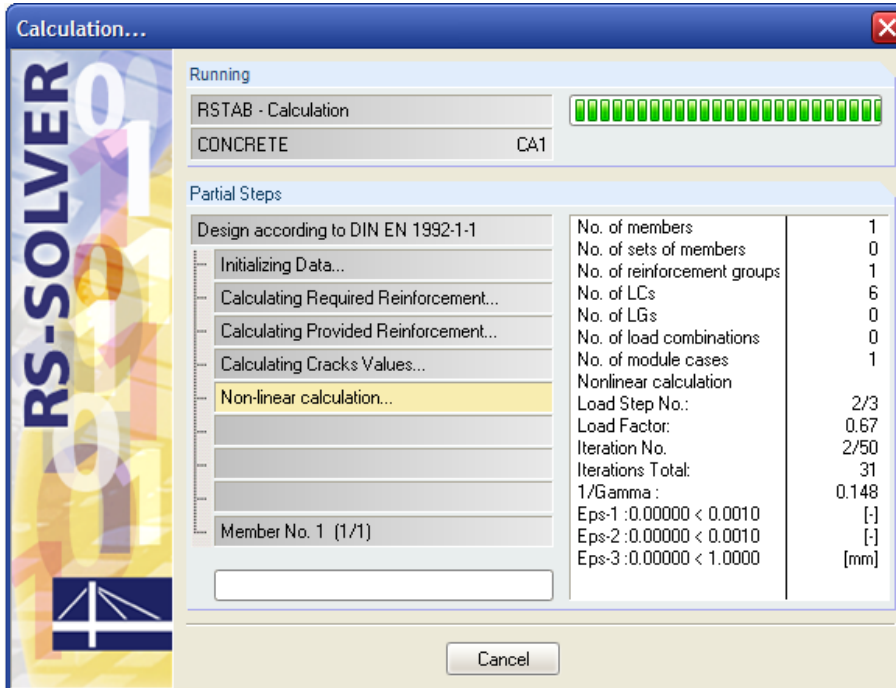
Şekil 10.38 : Beton cinsinin ve yönetmeliğinin tanımlanması

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi beton cinsi C20 olarak Alman DIN yönetmeliğine göre tanımlanmıştır. Ayrıca kayma eksantresi 5mm olarak tanımlanmıştır (Şekil 10.39).



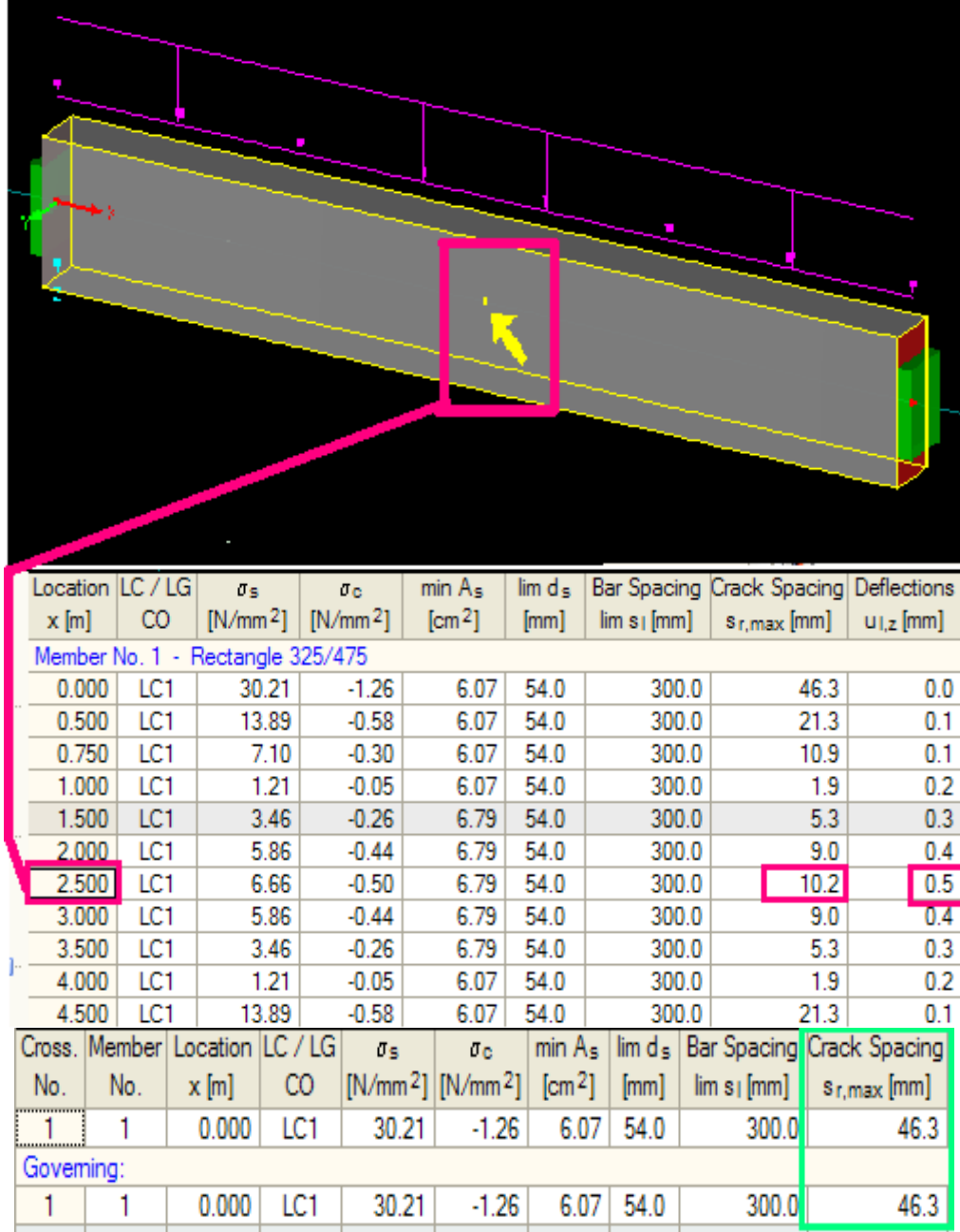
Şekil 10.39 : Kayma Eksantresinin Tanımlanması

Betonarme taşıyıcı elemanda tüm parametreler programa girildikten sonra betonarme taşıyıcı elemanımız olan kirişe yatay ve düşey yük uygulanmış ve bu uygulama sonucunda kirişte meydana gelen çatlamlar ve etriyelerin durumu gözlenmiştir. Programda kullanılan iki örnekten ikinci kirişimizde sadece etriyelerin kanca durumu değiştirilmiş ve düz kanca yapılmıştır. Elemanlarımız ayrı ayrı analiz edilmiştir (Şekil 10.40).



Şekil 10.40 : Analiz Yapılması

İlk örneğimizin analizini yaptıktan sonra, elemanımızın çatlak aralığını elemanın hangi cm üzerinden hangi durumda çatlak aralığı oluştuğunu, aşağıdaki şekildeki gibi gözlemledik (Şekil 10.41).

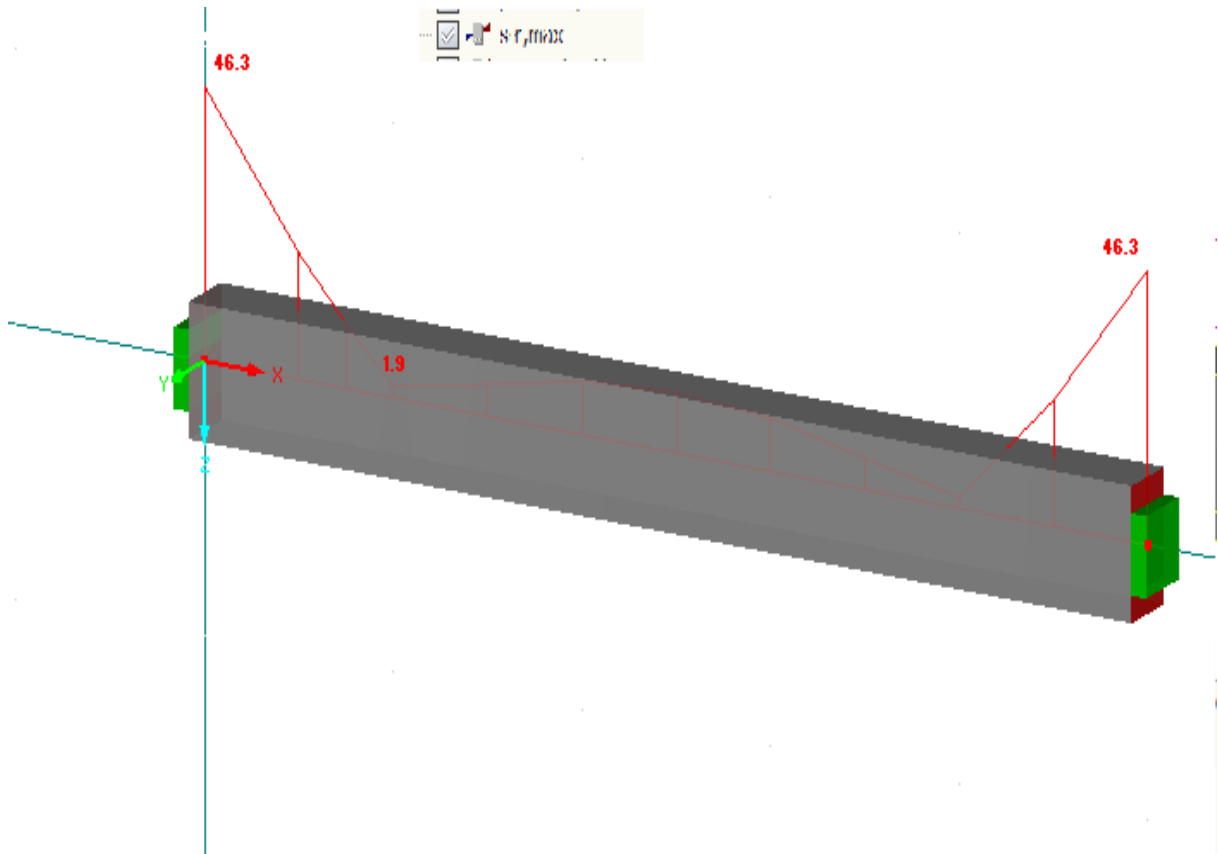


Şekil 10.41 : Birinci Örneğin Çatlak Aralığı

Rstap programında beton ile donatı arasındaki aderansın nasıl tanımlandığı firmanın yazılımını yapan Dlubal Şirketine mail atarak sorduğumda şirketin yetkili müdürü olan, Walter Rustler'in cevabı şu şekildeydi:

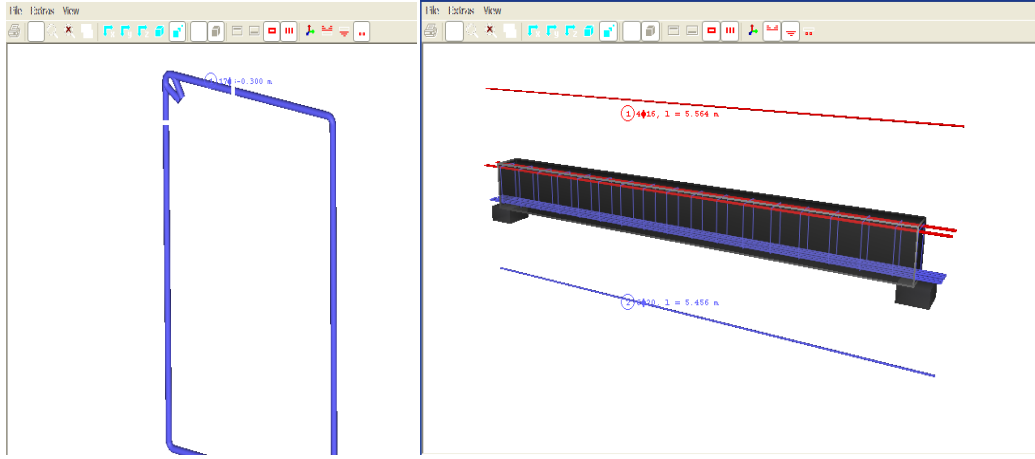
“Bizim programımızda donatılar m^2 başına program tarafından atanmaktadır ve hesaptan önce atanan donatılar gerçek bir donatı elemanı gibi betonla tam bir aderans içinde çalışmaktadır. Programın yazılımı yapılırken donatı ile beton arasındaki ilişki tam anlamıyla tanımlanmış ve ikisinin bir bütün olarak gerçek bir eleman olarak çalışması sağlanmıştır. Aynı zamanda donatıları beton içerisinde solid eleman olarak da tasarlamak mümkündür fakat bu hem zaman alıcı bir uygulamadır ve hiç bir tasarımcı da buna zaman ayırıp tek tek modellemeye uğraşmaz o yüzden biz hem pratik olarak rahat bir şekilde tasarlanacak hem de hızlı ve rahat bir modellemenin yapılabileceği bir program sunuyoruz.” demişlerdir [60].

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi betonarme taşıyıcı eleman olan birinci örneğimizin analiz sonuçlarında çatlak aralığı yatay ve düşey olarak uygulana yükler sonucu 46.3 mm olarak hesaplanmıştır. Bu bize çatlaklar arasındaki en yakın aralık hakkında bilgi vermektedir. Dolayısıyla çatlakların yoğunluğu hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlamaktadır (Şekil 10.42).



Şekil 10.42 : s-r, max diyagramı

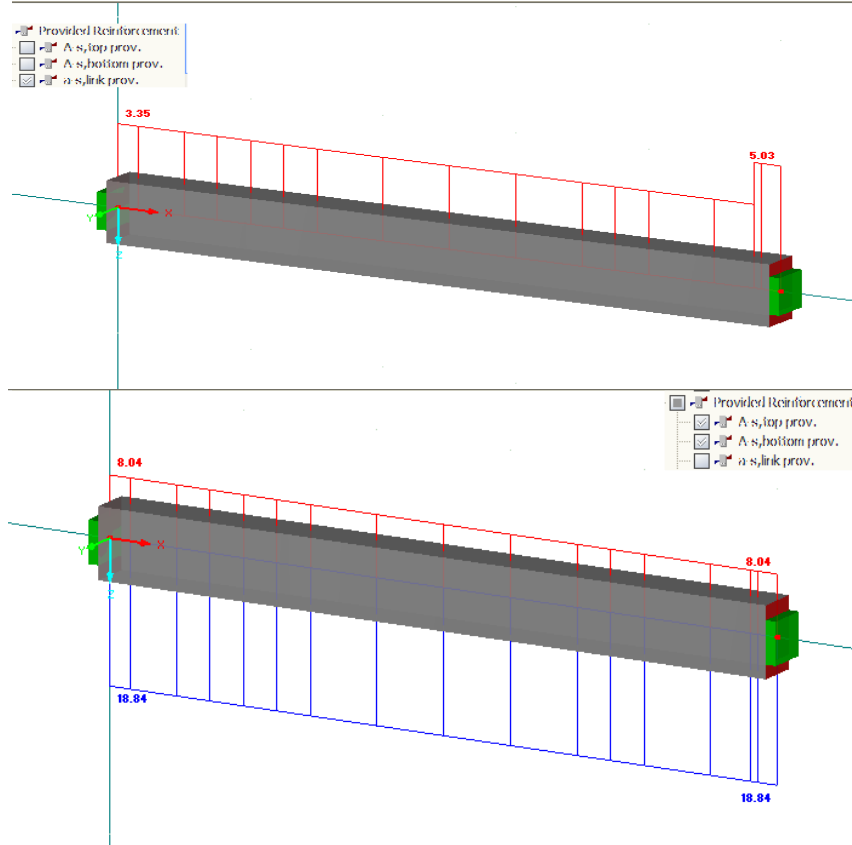
Analizini yaptığımız birinci örneğimizin donatılarına bakacak olursak, hesapta kullanılan donatılarda aşağıdaki gibi verilmiştir (Şekil 10.43).



Şekil 10.43 : Analiz Sonucu Donatılar

Şekilde görüldüğü gibi enine donatılar kancalı yapılmış ve hesap sonucunda donatıların kiriş elemanındaki görüntüsü görülmektedir. Program diğer bildiğimiz hesap programlarına göre, donatıyı önceden atayıp bize tasarım yapma imkanı sunmaktadır.

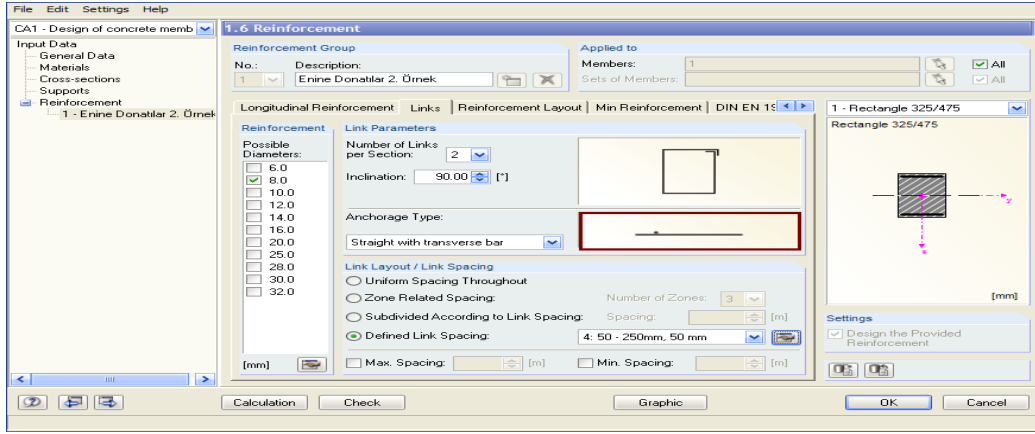
Enine donatıların ve boyuna donatıların koşulları incelendiğinde program bize donatıların davranışları hakkında da bilgi vermektedir (Şekil 10.44).



Şekil 10.44 : Kiriş Elemanının Donatıları

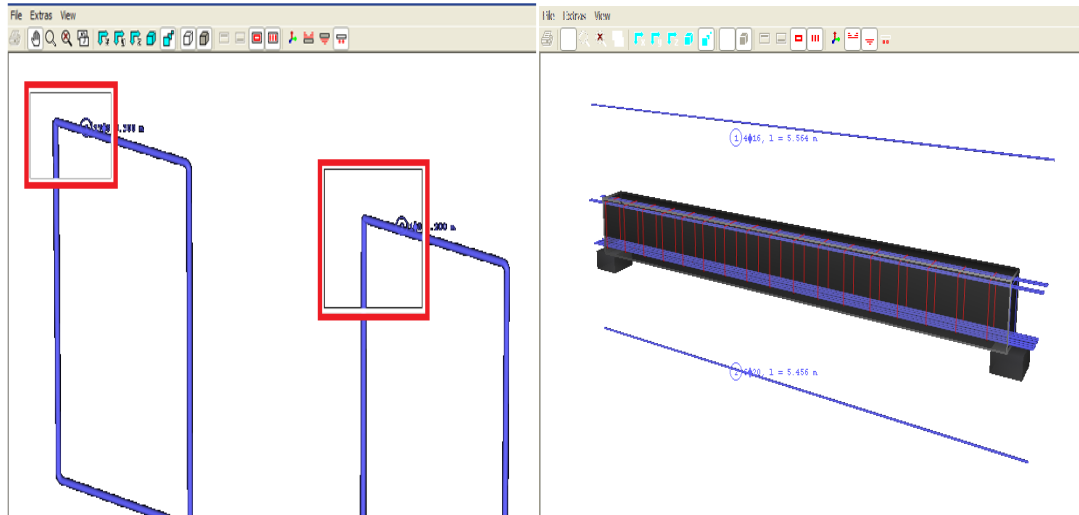
Şekil 10.44 bize donatılar hakkında bilgi vermektedir. İlk kirişte enine donatıların A_s 'si görülmektedir. İkinci kirişte ise boyuna donatılar olan çekme ve basınç donatılarının A_s 'si görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde kancalı ve kancasız donatı yapmanın donatı miktarlarına etki edip etmediği de söz konusu olmaktadır.

İkinci örneğimizde ise sadece etriyelerin kancalarının düz yapıлып diğer analiz kısımlarının hepsi aynıdır. Bu durumda çatlak aralıkları Şekil 10.45'deki gibi gözlemlenmiştir.



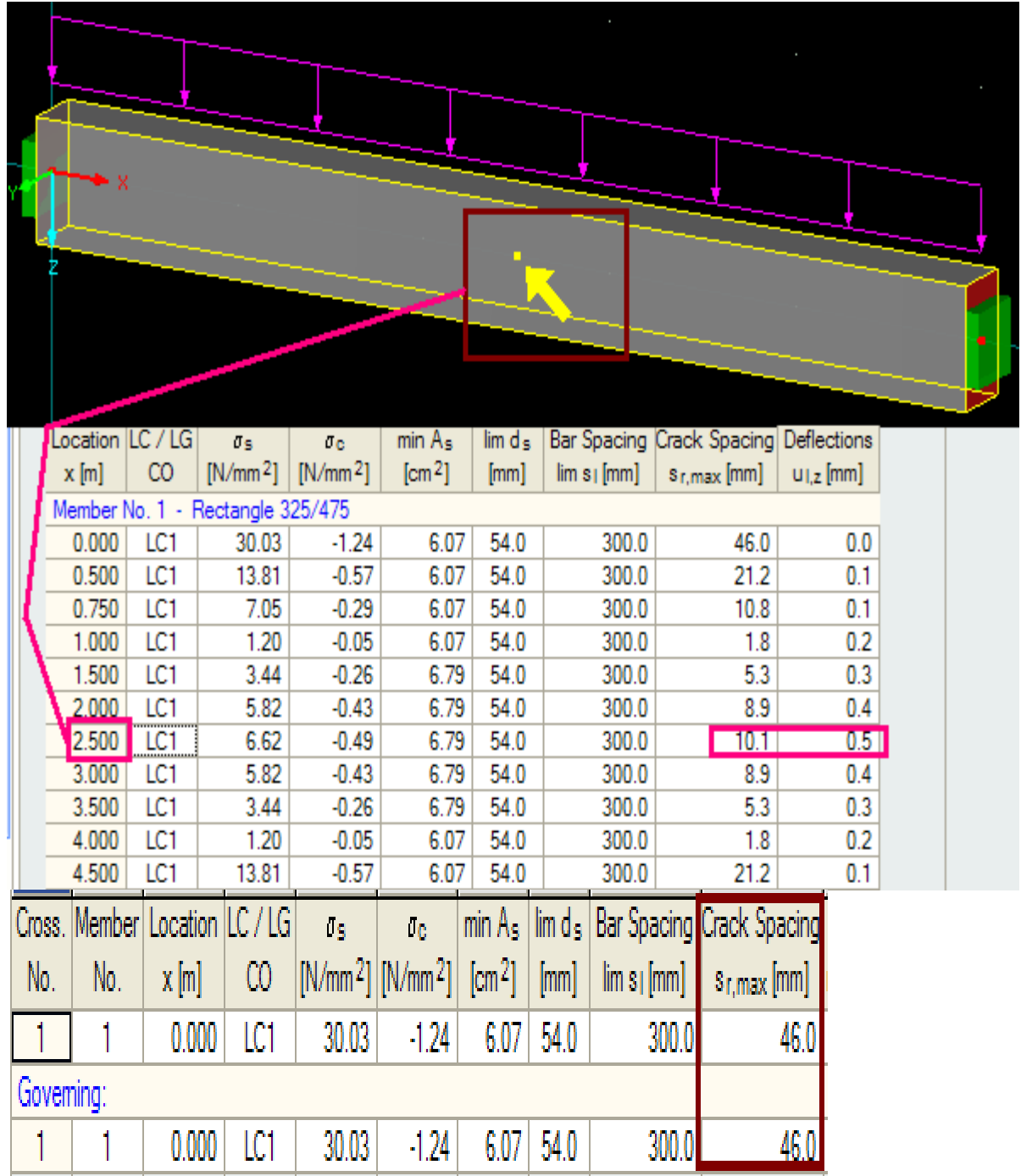
Şekil 10.45 : Enine Donatıların Tanımlanması

Şekilde görüldüğü gibi enine donatılar $\Phi 8$ 'lik olarak tanımlanmış tek fark ise kancalarının yapılmamasıdır. Analiz sonuçlarına göre donatılar aşağıdaki gibidir (Şekil 10.46).



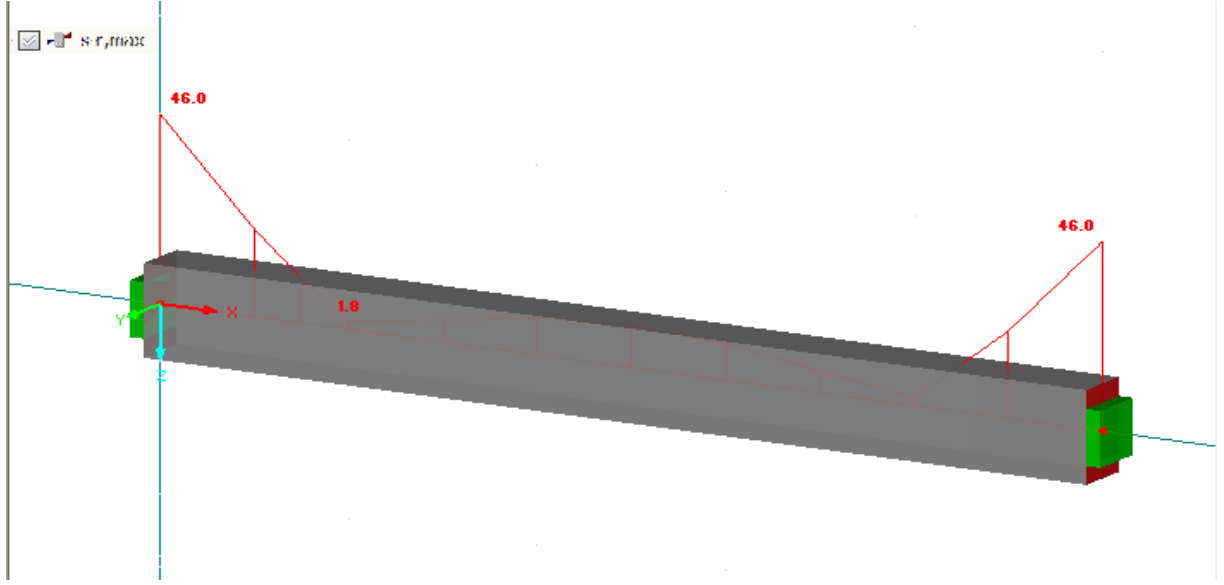
Şekil 10.46 : Analiz Sonucu Donatılar

İkinci kirişimizin çatlak aralıkları ise aşağıdaki gibi analiz sonuçları sonrası gözlenmiştir (Şekil 10.47).



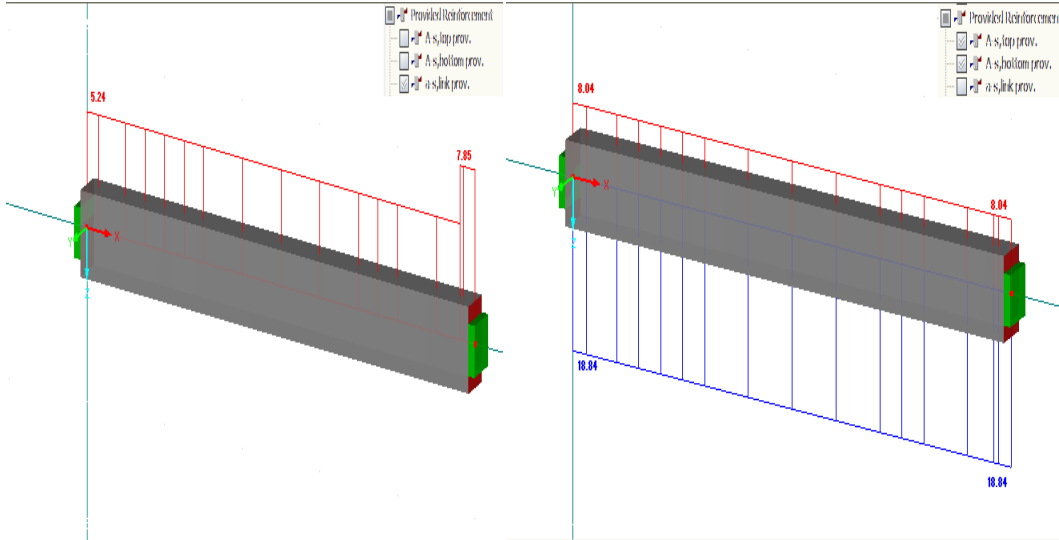
Şekil 10.47 : İkinci Örneğin Çatlak Aralığı

İkinci örneğin analiz sonuçları göre çatlak aralıkları aynı mesafe olan 2.5'cu metre de 10.1 mm olarak ve deformasyonda 0.5 mm olarak gözlenmiştir. Maksimum çatlak aralığı ise 46 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 10.48).



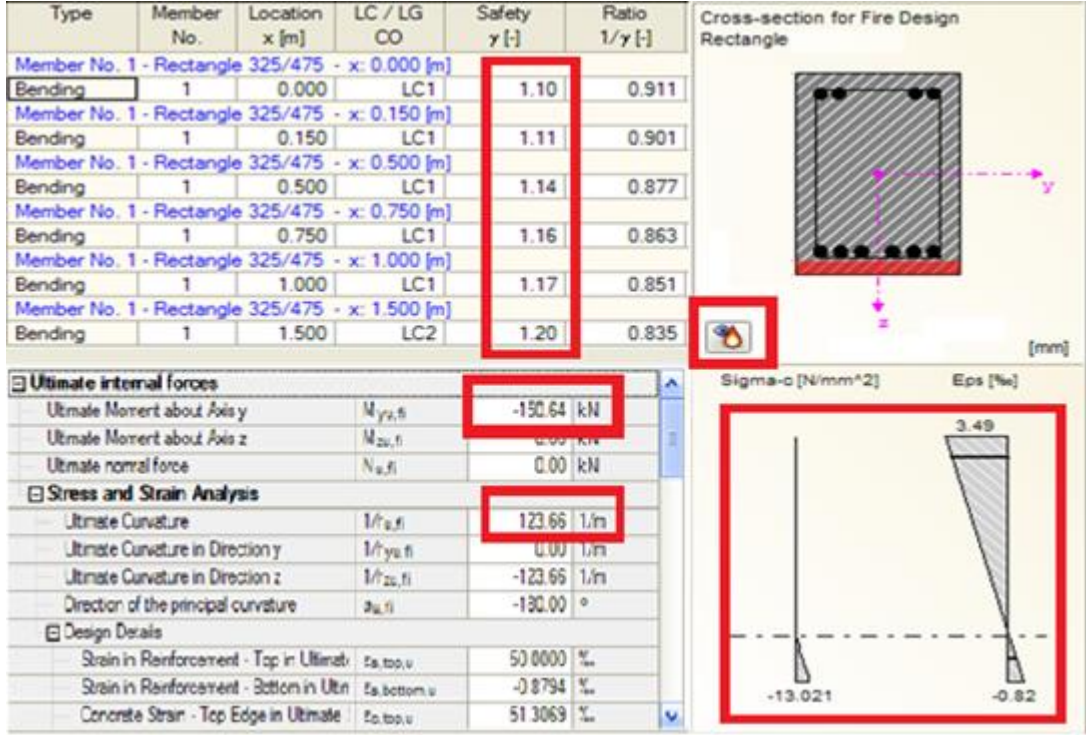
Şekil 10.48 : s-r, max diyagramı

Analiz sonuçlarında ikinci örneğimiz donatı miktarları ise Şekil 10.49’da gösterilmiştir.



Şekil 10.49 : Kiriş Elemanının Donatıları

İki elemanda ayrı ayrı analiz edildiğinde yukarıdaki sonuçlarla karşılaşılmıştır. Kancasız elemanımızda her şey aynı çıkmış sadece etrye yoğunluğu ve çatlak aralıkları farklı çıkmıştır. Yangın dayanımları ve hesap sonucu yangın paspaylarına bakıldığında her ikisinde de aynı sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 10.50).



Şekil 10.50 : İki Örnek İçinde Yangın Dayanımları Aynı Çıkmıştır.

10.3.3.1 Rstab sonuçlarının değerlendirilmesi

Rstab programında tasarlanan iki kirişte amaç betonarme yüksek yapılarda ve ya betonarme yapılarda işçilerin yapmaktan rahatlıkla kaçınabildiği enine donatılarda kancasız durumun ne tür olumsuz durumlara yol açacağını görebilmektir. Program bahsettiğimiz gibi beton ile donatıyı aynı anda tasarlayıp birlikte çalışmasını izleme olanağı sunmaktadır.

İlk kirişte enine donatının çapı $\Phi 8$ 'lik ve kancalı şekilde tasarlanmıştır ve yapılan deplasman düşey kuvvetlere göre bakıldığında kirişin sol mesnetten uzaklığı olan 2.5m'de 0.5mm ölçülürken kancasız yapılan ikinci örnek kirişte de aynı rakam ölçülmüştür. Bu da enine donatuların kesme kuvvetine karşı çalıştığını ve düşey yüklere karşı kirişte kancalı ve kancasız yapılmasının herhangi bir değişikliğe neden olmayacağını program yazılımı üzerinde göstermiştir. Yani program burada kancanın etkisini tam olarak doğru bir şekilde tanımlayamamış olabilir. İkinci bir durumda ise kirişlerde oluşan çatlakların durumudur. Kancalı etriyeler ile yapılan ilk kirişimizde çatlak aralıkları 46.3 mm olarak ölçülmüştür. İkinci kirişimizde ise 46 mm olarak ölçülmüştür. Bu durum bize ilk kirişte yüklerden dolayı oluşan çatlakın daha az olduğunu yani çatlakların ikinci kirişe göre daha az olduğunu göstermektedir. İkinci kirişin çatlaklarının daha fazla daha sık olduğunu göstermektedir (Çizelge 10.7).

Çizelge 10.7 : Analiz Yapılan İki Eleman Arasındaki Farklar.

	2.5 m'de Crack Spacing (mm)	Max. Crack Spacing (mm)	2.5 m'de Deplasman (mm)	Donatı Miktarı (A_s)	
				Mesnet	Açıklık
Birinci Örnek, Etriyeleri Kancalı Kiriş	10.2 mm	46.3 mm	0.5 mm	5.03 cm ²	3.35 cm ²
İkinci Örnek, Etriyeleri Kancasız Kiriş	10.1 mm	46 mm	0.5 mm	7.85 cm ²	5.24 cm ²

Şekil 10.47'ye baktığımızda da çatlakların kirişin orta kısmında başladığını ve bu bölgede daha sık aralıklarda olduğunu mesnetlere doğru gidildikçe çatlakların mesafelerinin arttığını göstermektedir. Kısaca kirişin ortasında çoğalan çatlaklar mesnetlere doğru azalmakta ve kirişdeki çekme bölgesindeki donatı akma dayanımına ulaştığında kirişte göçme meydana gelmektedir. Böylece kancanın etkisi azda olsa görülmektedir kancasız yapılan enine donatılı kirişte çatlaklar daha fazla oluşurken, çekme donatıları daha erken akma dayanımına ulaşmaktadır bu durum ise büyük depremlerde ve yüksek katlı yapılarda telafisi imkansız olan sonuçlar doğurabilir. Çünkü doğal ortamda kirişlere etkiyen çevre koşulları da farklı olacaktır.

Yapılan analizde elde edilen diğer bir sonuç ise kancasız etriyeli yapılan kirişte mesnette donatı oranı daha fazla çıkmaktadır. Bu durumda program gelen yüklere göre burada özellikle de mesnet bölgesindeki donatı oranını arttırmaktadır. Kancaların gelen yüklere göre beton ile donatı arasındaki aderansı sağladığını düşünürsek, program burdaki aderansı sağlamak amacıyla donatı oranını arttırdığını söyleyebiliriz (Şekil 10.48).

Enine donatı oranları iki kirişte farklı olurken boyuna donatı oranlarının iki kirişte de aynı kaldığı değişmediği görülmektedir.

İki kirişte diğer tüm özelliklerin aynı kaldığı gözlenmiştir. Yangın tasarımına göre hesap analizlerine bakıldığında kirişlerde moment değerlerinin ve yangından dolayı

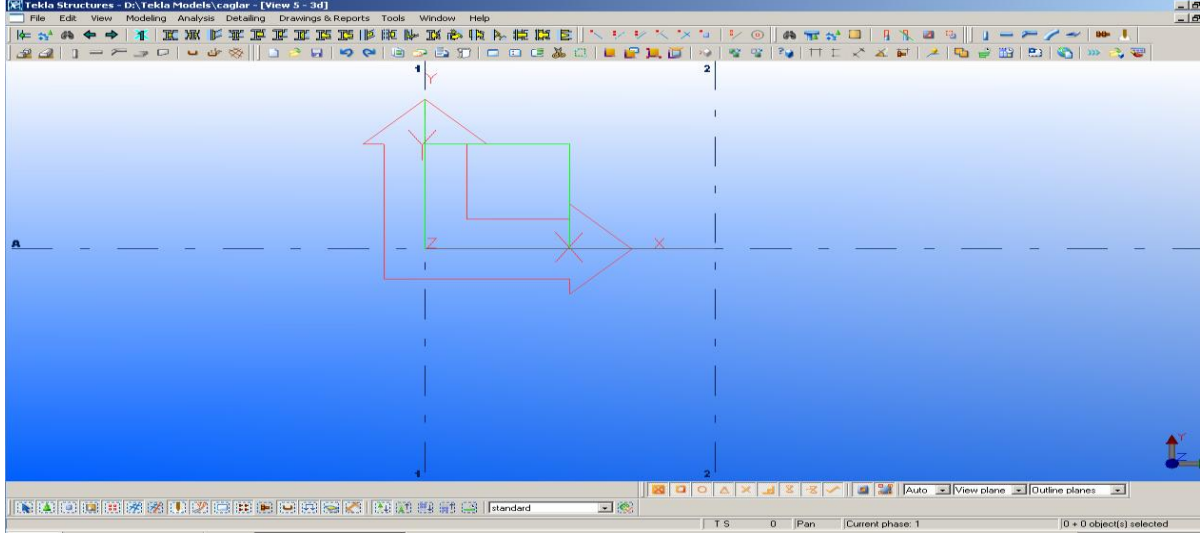
olması gereken paspayı miktarının aynı olduğu gözlenmiştir (Şekil 10.49). Programda hesap bilgilerini girmeden önce yangın hesabı yapılmış ve 25 mm olarak paspayının uygun olacağını görmüştük verilen yükler ve donatılarla Alman DIN 1992 yönetmeliğine göre çözdüğümüz donatı da ise yangın paspayının 32 mm olarak hesaplandığını görmekteyiz.

Programda diğer tüm hesap sonuçlarının aynı sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak enine donatıların kancasız yapılmasının basit bir giriş üzerinde modellenip non-linear ve Newton-Raphson metodu ile çözen ve yüklerin olabildiğince gerçeğe yakın verildiği programda kancaların etkisinin olduğu ve göçmenin, boyuna donatıların akma sınırlarına daha geç ulaştığını göstermiştir. Kancaların konstrüktif esastan çok vazgeçilmez bir unsur olduğu bilinmesi gerekir ve yapı elemanlarında tasarlanırken şantiye mühendisleri ve işçiler bu konuda kesinlikle taviz vermemelidir.

Bir başka durum olarak ise perdelerin enine donatılarının kancasız yapılması durumunun ne tür sıkıntılara yol açacağını başka bir programda tasarlama tasarlanamayacağını görmek olacaktır. Rstap programının demo versiyonu ile çalışıldığından dolayı perde duvar gibi eleman sayısı fazla olan taşıyıcı sistemi tasarlayamadığımızdan söz etmiştik. Bu yüzden enine donatıların etriyeli olarak bilgisayar programına tanımlayabilmek için ve çizimleri daha net şekilde elde edebilmek için çizimleri ilk önce X-Steel programı yardımıyla model bir perde tasarladık. Perde de deprem yönetmeliğindeki esaslara uyarak minimum şartlarda konsol biçimde tasarlanmıştır.

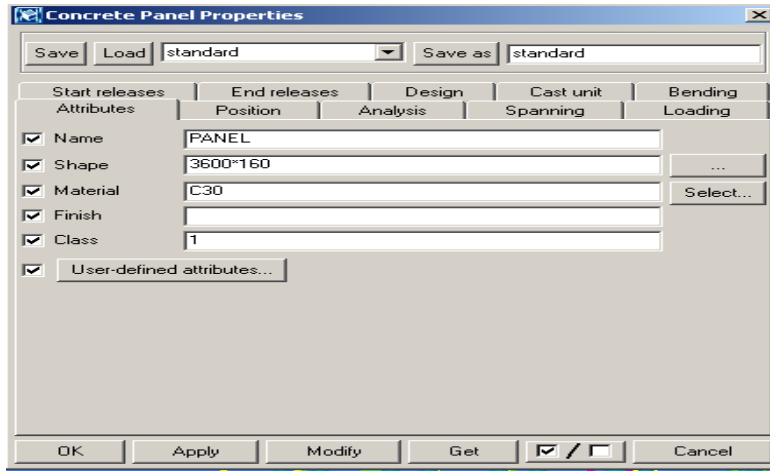
10.3.3.2 X-Steel programında perde tasarımı

Perde elemanının çirozlar ve etriyelerden dolayı tasarımı Ansys Programında oldukça zor olmaktadır bu yüzden çizimler X-Steel programında yapıp Ansys programına aktarılmaya çalışılmıştır böylece hem çizim daha rahat yapılmış hem de elemanlar daha net görülmeye imkanı bulmuştur (Şekil 10.51). X-Steel programında yaşadığımız sıkıntılardan uzantıların Ansys Programında uygun bir şekilde kayıt edilememesiydi. Bu durumdan dolayı DXF formatında kayıt edip Autocad çizim programında açmaya çalışıp oradan da Solid Works ve Ansys Workpench programında açılmaya çalışılmıştır.



Şekil 10.51 : X-Steel (Tekla Structures)

Programı açtıktan sonra ilk olarak malzeme tanımını çizim programı olan X-Steel programında tanımladık, C30 betonu kullanıp, perde duvarda kullanacağımız beton malzemesinin parametrelerinin ve boyutlarını Concrete Panel Properties menüsünden girdik (Şekil 10.52).

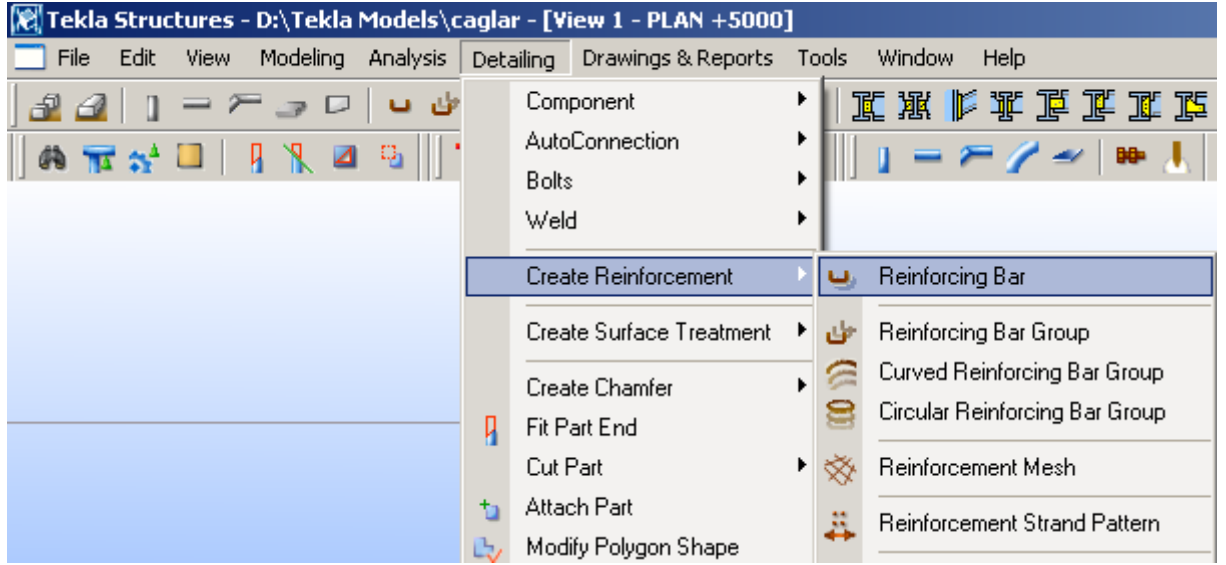


Şekil 10.52 : Beton Malzemesinin Tanımı

Beton malzemesi çizim esnasında burada tanımlandı ve çizimler Ansys Workbench programına aktarıldığında tekrar tanımlama yapılmayacak ve sadece donatı ile beton arasındaki bağlantı tanımlanacak. Donatılar Solid eleman olarak tanımlanıp birlikte çalışması sağlanacak.

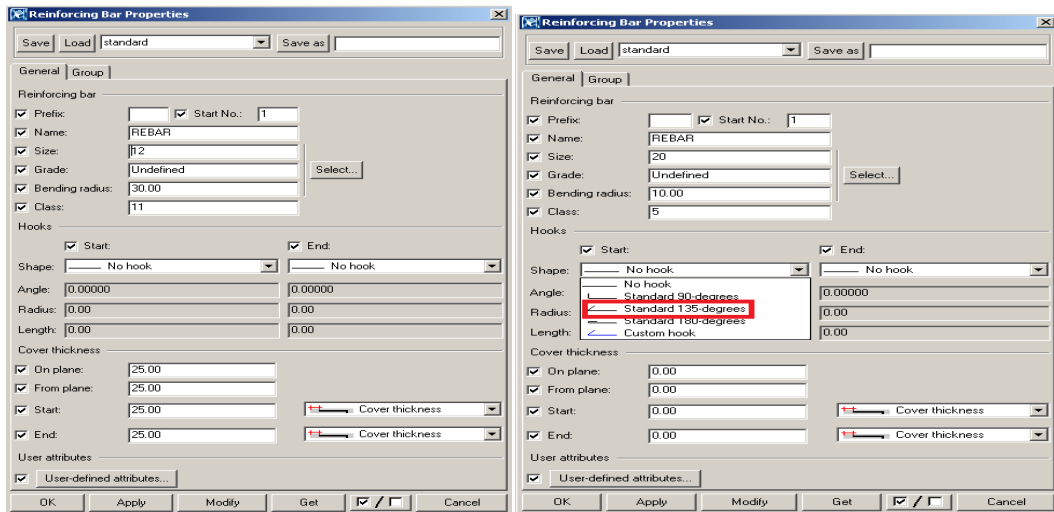
Tekla Structures programı çizdiği her elemanı kendi içerisinde bağlantı kurabileceği gibi her bir elemanında detay çizimlerini yapabilmektedir. Detailing menüsünden perde duvar içerisinde oluşturduğumuz donatı elemanlarının özelliklerini girebiliriz.

Buradan donatı elemanının şeklini ve tek mi bir grup halinde mi çizeceğimizin seçenekleri çıkmaktadır ve biz her bir donatı elemanını tek tek çizdik (Şekil 10.53).



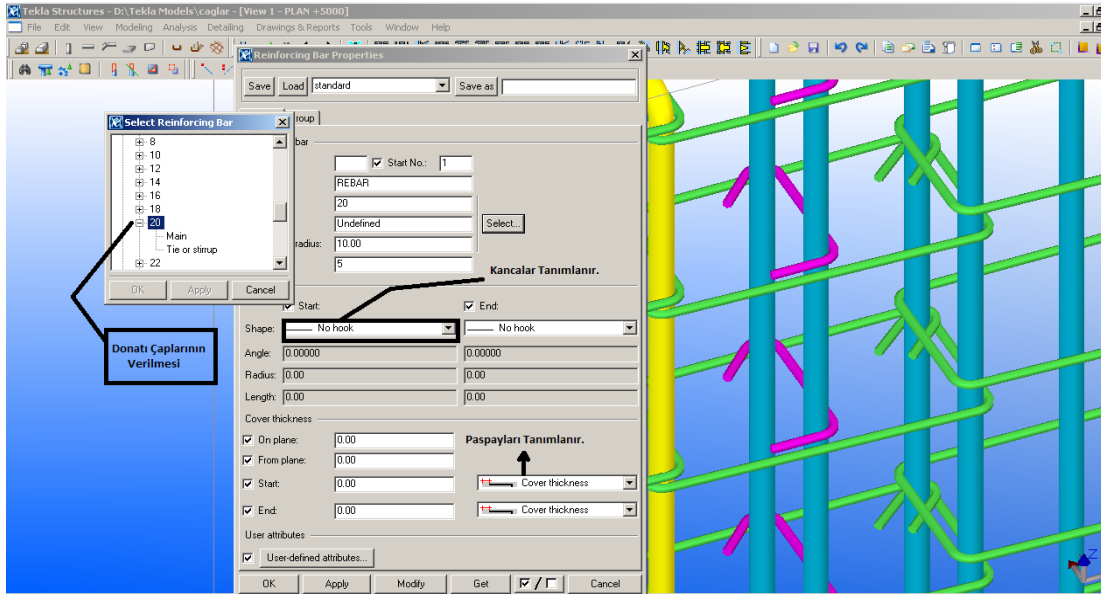
Şekil 10.53 : Donatı Elemanlarının Çizimi

Menüden Reinforcing Bar parametresine girildikten sonra donatı elemanlarının çapları, kancalı ya da kancasız yapılması durumu, elemanın açılı olup olmaması, donatılar üzerindeki paspayları ve bunun gibi özellikler tek tek belirlenir (Şekil 10.54). Tüm bunları boyuna donatılarda yaptığımız gibi enine donatılar ve çirozlar içinde tek tek yaptık ve her bir eleman için parametreleri belirledik. Boyuna donatıların çapını $\Phi 20$, enine donatıların ve çirozların çapını ise $\Phi 8$ olarak seçtik. Programda parametreleri tam ve doğru şekilde verdikten sonra, program otomatik olarak çizimleri yapabilmektedir.



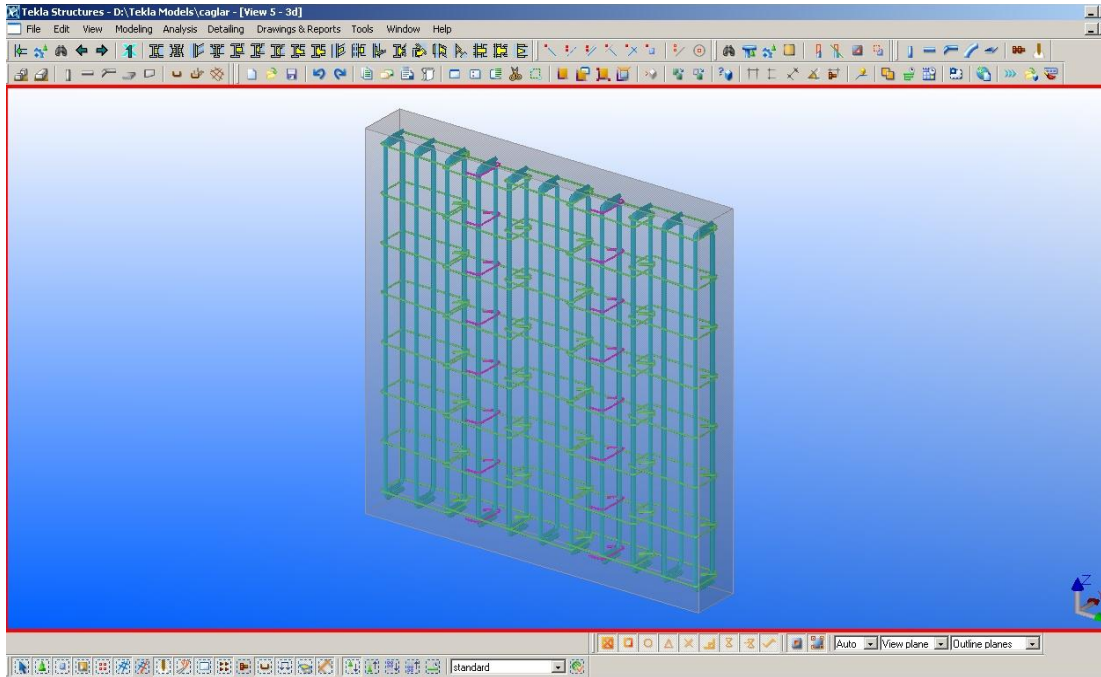
Şekil 10.54 : Donatı Parametrelerinin Girilmesi

Parametreler istenilen şekilde girildikten sonra perde elemanları aşağıdaki şekildeki gibi program tarafından çizildi (Şekil 10.55).



Şekil 10.55 : Perde Donatılarının Çizimi.

Sonuç olarak programda beton, enine donatılar, boyuna donatılar ve çirozlar gerekli açılırları vererek en ayrıntılı bir şekilde çizildi ayrıca beton sınıfı ve donatı çapları da belirlendikten sonra çizim DXF formatında kaydedilip Autocad programına oradan Solid Works ve Ansys Workbench programına aktarıldı (Şekil 10.56).



Şekil 10.56 : Betonarme Perde Duvar.

Betonarme perde duvar Ansys programına aktarıldıktan sonra burada donatı ile beton elemanları tekrar tanımlanıp beton ile donatı arasındaki aderansın gerçekleşmesi amaçlanmıştır. Ansys programında modelimizi tasarlarken sonlu elemanlar metodunu kullanacağız, program modelimizi sonlu eleman parçalarına bölerken üçgen şeklinde ve programın betonarme elemanımızı kendi otomatik olarak sonlu eleman parçalarına bölmesi için tanım yapacağız. Sonlu elemanlar analizi fiziksel bir sistemin matematik olarak ifade edilmesidir. Bu sistem alt parçalara ayrılabilen model olup, malzeme özelliklerine ve uygulanabilir sınır şartlarına sahiptir [61].

Sonlu elemanlar yöntemi değişik ve karmaşık malzeme özellikleri olan sistemlerde uygulanabilir. Bu sistemler heterojen yapıda olan betonarme eleman gibi anizotrop yapıda olan ahşap üzerinde de uygulanabilir. Sonlu elemanlar yönteminde modelleme bir boyutlu çubuk eleman, iki boyutlu dikdörtgen eleman, iki boyutlu üçgen eleman ve dört boyutlu prizma eleman olarak sonlu parçalara ayrılabilir. Sonlu elemanlar yönteminde matris denklemleri kullanılır ve bu denklemler kullanılırken de Gauss Elimination yöntemi kullanılır. Denklem aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

$$[K] * \{u\} = \{F\} \quad (10.39)$$

$[K]$: Global rijitlik matrisi,

$\{u\}$: Deplasman vektörü,

$\{F\}$: Kuvvet vektörü [61].

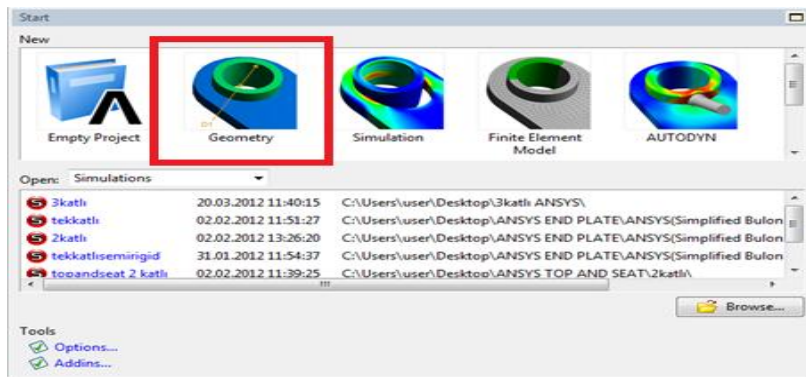
Hesap yapılacak elemanların local deplasmanları, global deplasmanlar vektöründen elde edildikten sonra iç kuvvetlerle hesaplanır.

Elemanlar sonlu elemanlara bölünerek her bir elemanın analizi yapılır, sonlu eleman çözümü yapılacak elemanlar ne kadar küçük parçalara ayrılırsa o kadar gerçeğe yakın sonuçlar elde edilir ve her etki alanı için cebirsel denklemler yapmak zordur. Bu yüzden basit kabuller yapılmakta ve her elemanın düğüm noktaları birbiri ile ilişkisi hesaplanmaktadır. Ansys Workbench programında da her bir eleman tanımlandıktan sonra çözüm için sonlu elemanlara bölünecektir.

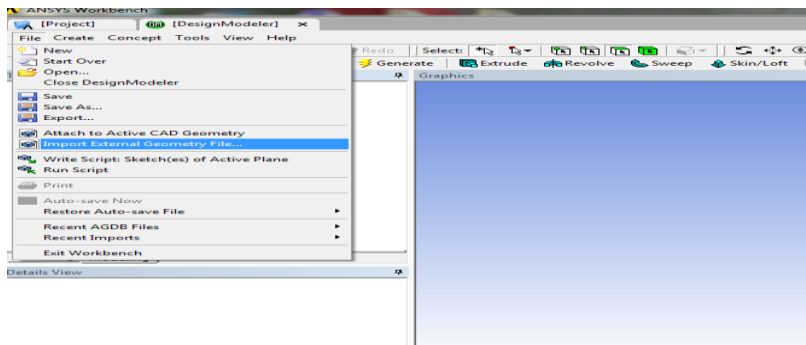
10.3.3.3 Ansys programında perde duvar tasarımı

Betonarme olarak tasarlanan perde duvarı X-Steel programında detaylı olarak tasarlandıktan sonra, formatların uyumu açısından sırasıyla Autocad ve Solid Works programlarına aktarılarak en son Ansys Workbench programına aktarılmıştır. Bu bölümde Ansys Workbench programında tasarımın nasıl yapılacağını ve tasarımı aşamasında karşımıza çıkan zorluklardan bahsedeceğiz. Solid Works programında IGES formatında kayıt edilen modelimiz farklı bir klasöre kayıt edilip Ansys Workbench programında açmaya uygun hale getirildi. Programa aktarılan model Geometry ekranı açılarak buradan tasarlanacaktır. Böylece solid elemanımız 3 boyutlu şekilde geometrik şekilde çözülebilecektir. Ansys Workbench programı Geometry ortamında kolaylıklar sağlamış ve elemanlar üzerinden yapacağımız her şeyi tek sayfa üzerinden rahatça görebileceğimiz gibi istediğimiz işlemi de sürükleyerek yapabilmekteyiz.

Modellendiğimiz elemanın Workbench programında import edilmesi ve açılması (Şekil 10.57).



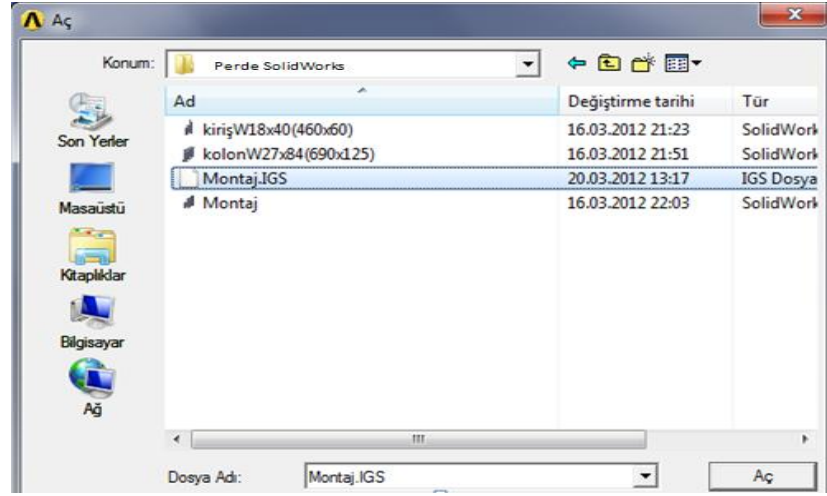
(a) : Geometry Ortamının Seçilmesi



(b) : Elemanın Import Edilmesi

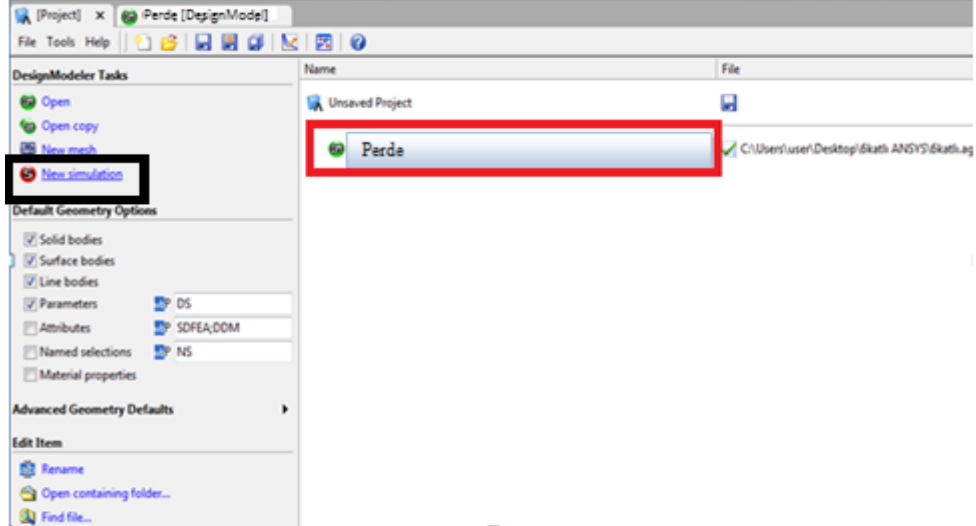
Şekil 10.57 : Ansys Workbench Eleman Aktarımı

Betonarme perde elemanı Ansys'e çağırıldıktan sonra açılır listemizden Solid Works programında bulunan perde elemanı çağırılır (Şekil 10.58).



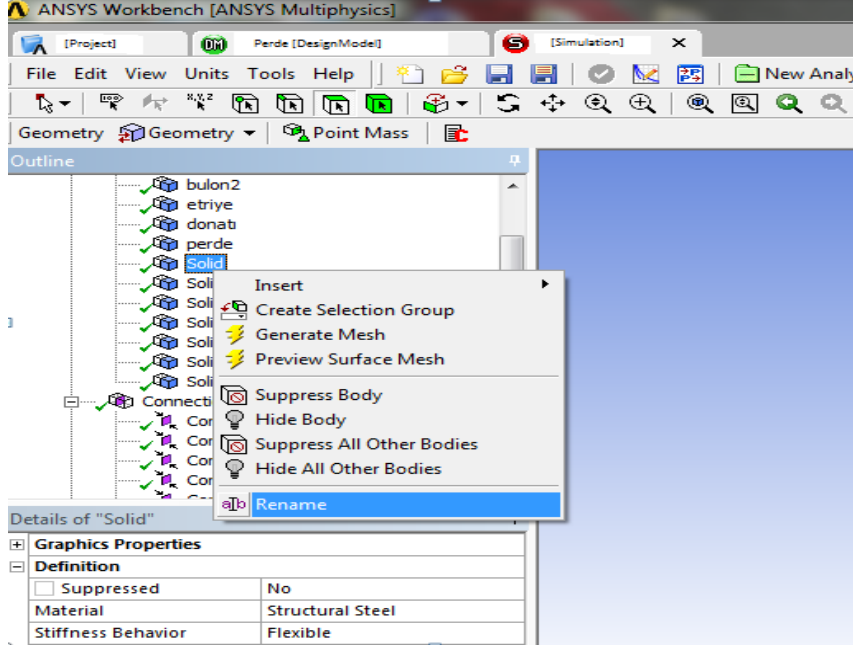
Şekil 10.58 : SolidWorks Elemanın Çağırılması

Programa elemanımız çağırıldıktan sonra perde donatıları ve beton elemanlarını tek tek tanımlamadan önce New Simulation yapıyoruz böylece perde duvarımızın yeniden tanımlanmasını sağlamış olacağız (Şekil 10.59).



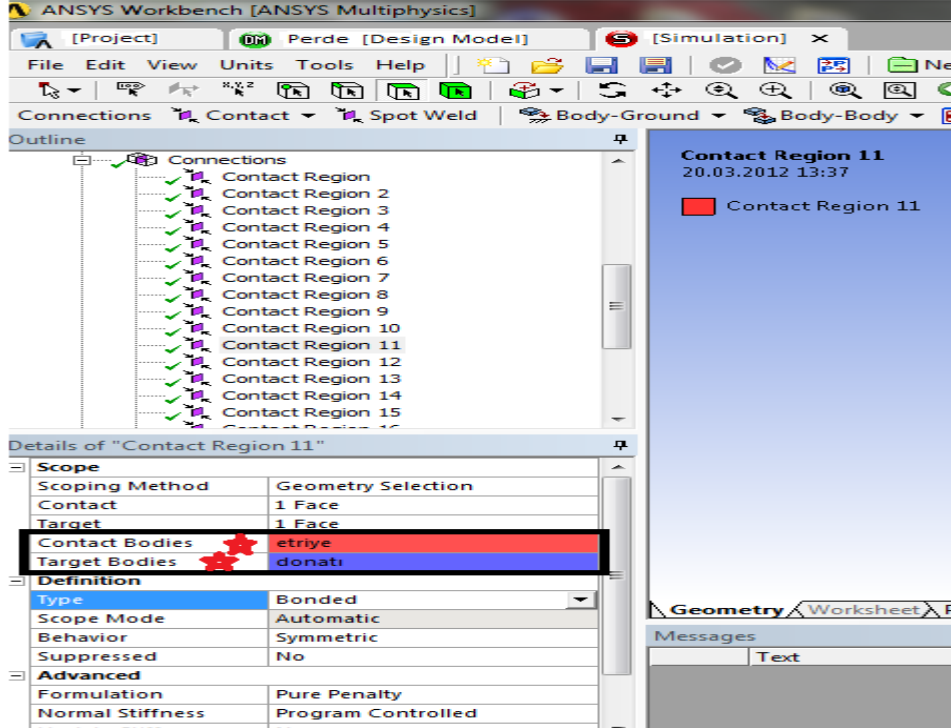
Şekil 10.59 : New Simulation Yapılması

Perde elemanımızı New Simulation yaptıktan sonra her bir elemanın bir bütün içerisinde çalışması için ayrı ayrı her bir elemanımızı etriye, çiroz, beton, boyuna donatı, kanca şeklinde tanımlayacağız. Ayrıca perde duvarında her elemanı tanımladıktan sonra sonlu elemanlara ayırarak her bir elemanın çalışma performansları izlenecek. Şekil 10.60'da her bir eleman tanımlanmıştır.



Şekil 10.60 : Elemanların Tanımlanması

Betonarme perde elemanımızın tüm elemanları solid şekilde isimlendirildikten sonra elemanların ayrı ayrı bağlantı noktaları tanımlanıp her bir elemanın birbiri ile uyum içerisinde çalışması amaçlanmıştır. Böylece her bir eleman bir bütün içerisinde çalışacak ve gelen yanal kuvvete göre gerçeğe yakın bir davranış sergilemesi amaçlanacaktır (Şekil 10.61).

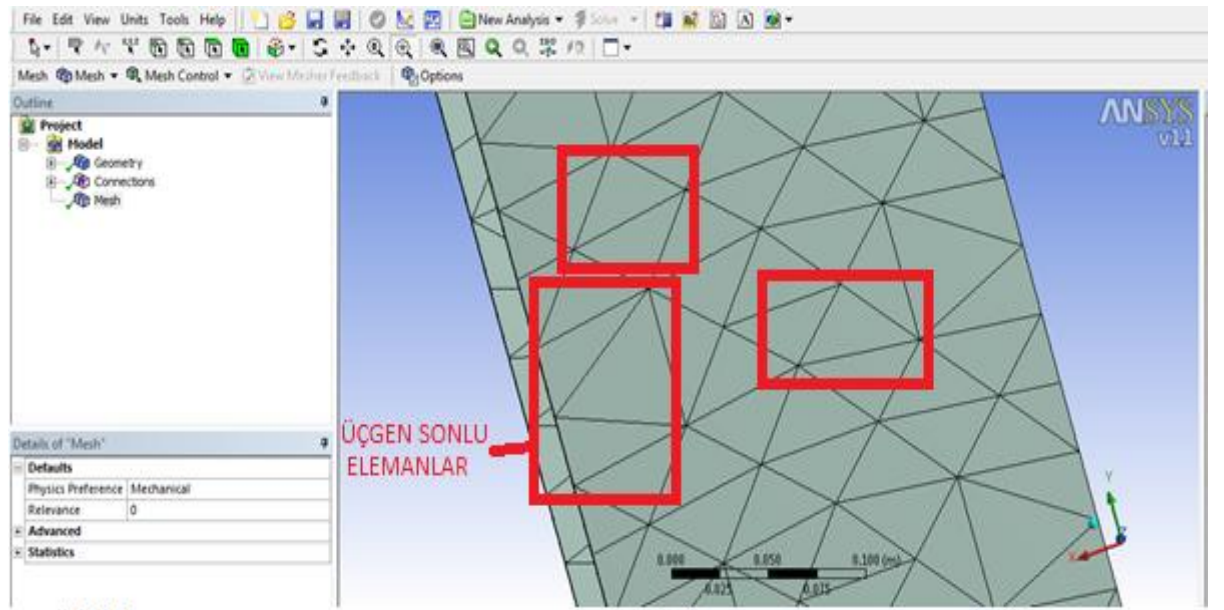


Şekil 10.61 : Elemanların Tanımlanması

Bu bölümdeki amacımız kancalı ve kancasız enine donatıların perde duvarlardaki etkisini gözlemlemek olduğu için bundan sonraki aşamalarda Ansys programında zorluklarla karşılaştık. Kancaları programa doğru bir şekil tanıtabilmek ve işleyişini görebilmek oldukça önemli o yüzden hazır yazıl paket program olan Rstab programında bunu kısmen de olsa başarabildik fakat elemanları solid olarak tek tek Ansys programında nasıl tasarlayabileceğimizi görmek istedik. Sonlu elemanlar yöntemi ile üçgen doğrusal olarak perde elemanımızı sonlu elemanlara böldükten sonra her bir elemanın performansını izlemek bizim için sonuçları görmemize daha çok yardımcı olacaktır.

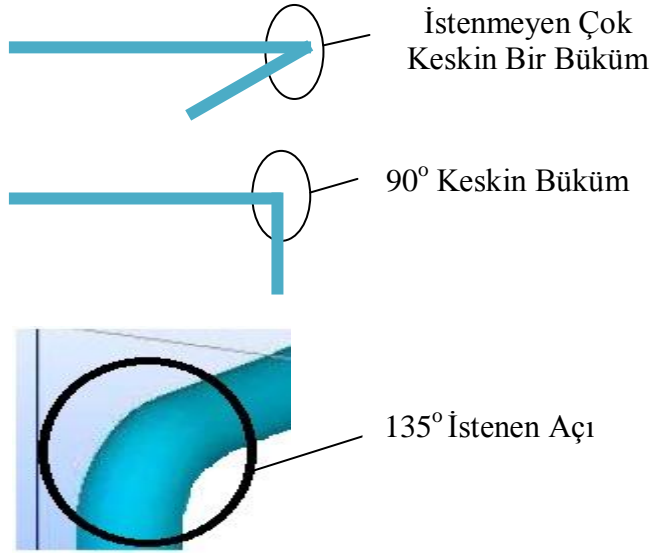
Perde elemanımızı ve donatıları hesap tasarımı için sonlu elemanlara bölerken programın kullandığı otomatik üçgen doğrusal parçalardan yararlandık.

Perde elemanımızın sonlu elemanlara bölünmesi Şekil 10.62’de gösterilmiştir.



Şekil 10.62 : Sonlu Elemanlara Ayrılması

Yukarıdaki gibi sonlu elemanlara bölünen perde modelinde sıkıntı kancaların büküm noktasında meydana geldi, kancaları doğru bir şekilde tanımlayabilmek için sonlu elemanlara bölmemiz gerekmektedir ve 135° olan kancalarımızın büküm noktalarını program otomatik olarak sonlu elemanlara bölemedi ve bu konuda kancalarımızı doğru tanımlayamadık. Kancalarımızı doğru tanımlamamız için aşağıdaki şekildeki gibi tanımlama yapmamız gerekmektedir ki bu da bizim istediğimiz kanca modeli olmamaktadır (Şekil 10.63).



Şekil 10.63 : Ansys Programında Sonlu Elemanlar Bölünen ve Bölünemeyen Kanca Açıları

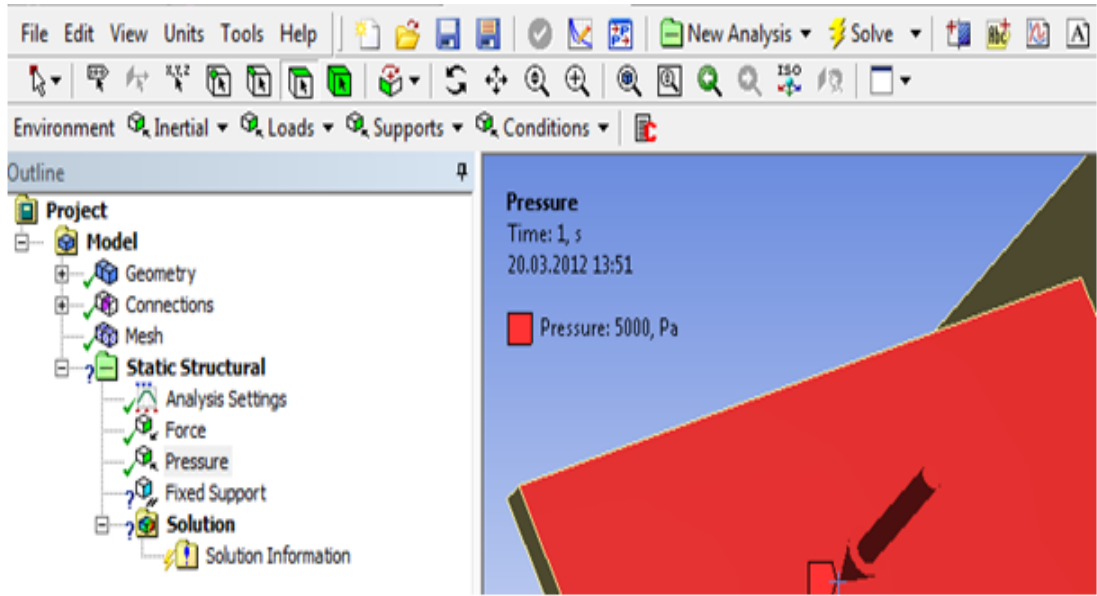
Program sonlu elemanlar modelini kancalarda tam olarak oluşturamadığı, kanca elemanı tam olarak bölemediği için kanca elemanını 90° olan ve kancasız model yapılmıştır. Buradaki amaç kancalı ve kancasız enine donatıların çalışma performanslarını incelemek olacaktır. İlk olarak ankastre olarak tasarlanmış ve Ansys programında Fixed Support dediğimiz mesnetleme biçimi atanıp yatay yükleme yapılmıştır (Şekil 10.64).



Şekil 10.64 : Yatay Yükleme Yapılması

Tüm bunların yanı sıra donatılar nervürsüz yapılmış, çünkü her bir nervür adımı sonlu elemanlara bölmek gerektiğinden ve her bir bağlantı noktasında da düğüm noktası olduğu için bilgisayarın ve programın kapasitesi yetersiz kalmıştır. Ayrıca programda kanca bağlantıları 90° tanımlanmış ve buda sonuçlara etki etmemiştir. Yani sonuçlara kancalı ya da kancasız etkime durumu söz konusu olmamıştır.

Program kanca boyunu sonuçlara yansıtmamış her iki modelde de çıkan gerilme değerleri aynı olmuştur (Şekil 10.65).



Şekil 10.65 : Gerilme durumu

10.3.3.4 Ansys programında sonuçların değerlendirilmesi.

Betonarme yüksek yapılarda ve betonarme yapılarda göz ardı edilebilen konstrüktif esaslara uyulmaması sonucunda nelerin olabileceğini bilgisayar programlarından yararlanarak görmeye çalıştık. Modelleme yaptığımız Rstab programının demo versiyonu olması elemanları belli sayılarda çizebilmemiz ve model örneklerinin gerçek koşullarda olmaması tam ve net sonuçlar veremeyeceği fakat bizi bu konuda fikir sahibi yapacak sonuçların verdiğini söylemek mümkün oldu. Programın kendi yazılımı içinde beton ile donatının çalışması tanımlanarak pratik statik hesabı olarak çözümlene yapılabilmektedir. Programın orijinal versiyonu ile çözüm yapma olanağı bulunamadığı için aynı tür modellemenin, orijinali ile tekrar çözülmesinde ayrıca laboratuvar koşullarında gerçeğe yakın deneyler yapılarak sonuçların karşılaştırılmasında da ayrıca fayda vardır.

Diğer bir modelimiz olan perde eleman ise çizim programlarında tasarlandıktan sonra Ansys programına aktarılmış burada her bir eleman, etriye, boyuna donatı, çiroz, beton ayrı ayrı tanımlanmıştır. Sonuçların gerçeğe daha yakın olması ve çözümlerin daha doğru sonuç vermesi için elemanların her biri sonlu elemanlara bölünmüş, sonlu elemanlara bölmeyi program üçgen doğrusal yaptığı için kancalar 135° bükülememiştir, bu yüzden kancalar 90° olarak tasarlanmıştır. Ayrıca donatılar

nervürsüz yapılmış, nervürlü yapılması durumunda her bir nervür sonlu elemanlara bölünecek ve her adımda düğüm noktası oluşacağı için programın ve bilgisayarın kapasitesi buna yetersiz kalmıştır.

Programda karşılaşılan diğer bir sorun ise asıl amacımız olan enine donatıların kancalı ve kancasız yapılması durumunda sonuçların karşılaştırılması olacaktır ki program kanca boylarını hesap sonuçlarına dahil etmedi. Bu da sonuçların doğru bir şekilde görülememesine sebep olmuştur.

Sonuç olarak Ansys programı küçük elemanları hesaba katmamış dahası beton ile kanca donatısı arasındaki aderans tam olarak sağlanamamıştır. Program kancaları tanımlasa da beton içerisinde tam aderansı sağlayamamış ve kancalar sadece konstrüktif esas olarak kalmış ve sonuçlara etki etmemiştir. Daha doğru sonuçlar elde edebilmek için kancaların etkilerini daha net görebilmek için iki ayrı numune laboratuvar koşullarında deneye tabi tutulması daha sağlıklı sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır. Ayrıca Rstab, Ansys programlarının yanında Abaqus, Diana gibi elemanları solid olarak tasarlayabilen ve tek tek birbirine bağlantıları tanımlanabilen programlarda da modellemeler yapılabilir ve bu programlarda da sonuçlar tekrar karşılaştırılmalıdır.

11. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde nüfusun hızla artması yaşam koşullarını da hızla değiştirmiştir. Özellikle ülkemizde şehirlere olan göçün artması insanları daha yüksek, geniş açıklıklı ve hacmi çok büyük yapılar yapmaya zorlamıştır. Ülkemizin deprem kuşağı üzerinde olması ile birlikte hem artan nüfus tehlikesi hem de deprem tehlikesi yapılan binaları için oldukça büyük tehlikedir. Bununla birlikte binalar yapılırken konstrüktif esaslara uyulmaması, taşıyıcı elemanların düzenli bir biçimde yerleştirilmemesi, yapılan statik hesaplamaların yetersiz kalması, binalarda yangın gerçeğinin göz ardı edilmesi, iş güvenliğinin tam olarak sağlanmaması var olan tehlikenin boyutunu bir kat daha arttırmaktadır.

Bunların yanı sıra yapılar yapılırken ülkemizde bulunan Deprem Yönetmeliği, TS500 gibi yönetmeliklerdeki esaslar tam anlamıyla uygulanmamakta ve uygulanmaktan kaçınılan bu durumlardan da tezmimizde bahsedilmiştir.

İlk olarak yapılan yapılarda taşıyıcı sistem düzenlenirken, yapılan araştırmalarda, gözlemlenen şantiyelerde, daha önce yapılan teorik hesaplarda ve doğal afetlerdeki davranışları gibi konuları incelediğimiz perde duvarların daha avantajlı olduğunu gördük ve perde duvarlı sistemlerin avantajlarını aşağıdaki şekilde sıraladık.

- Kolonlar düşey yükleri çok kolay taşıyabilmekte fakat yatay kuvvetlerde yetersiz kalabilmekte, bu durumda da devreye perde duvarlar girmektedir.
- Yüksek katlı betonarme yapılar yapılırken taşıyıcı sistem boyutlarının yatay kuvvetlere göre artırılması gerekmektedir hatta çok büyük boyutta taşıyıcı elemanlar yapılabilmektedir, böyle durumlarda perde duvarlar yapmak daha elverişlidir.
- Rüzgar, yatay yük olarak yüksek katlı yapılara etki etmekte ve bazı rüzgar bölgelerinde kolon boyutları rüzgar hesabına göre yetersiz kalabilmektedir. Bu durumda perde duvar yapmak kaçınılmazdır.
- Deprem kuşağında olan ülkemizde şiddeti büyük depremlerin olması içten bile değildir ve bu depremler büyük yatay kuvvetler doğurabilmektedir. Perde

duvarlar rijit bir davranış sergileyerek deprem kuvvetlerine karşı daha kararlı bir davranış sergileyebilmektedir.

- Perde duvarlar yapının rijitliğini arttırdığı gibi, öteleme yapmasını da engellemek için taşıyıcı eleman olarak tasarlanmalıdır.
- Konsol perdelerin de davranışı incelendiğinde perdelerin eğilme rijitliği oldukça fazladır.
- Eğilme rijitliği fazla olduğu için yatay yüklerin tamamına yakını perde duvarlar taşımaktadır.
- Perde duvarlar sayesinde daha küçük boyutta kolonlar da tasarlama imkanı bulunmaktadır.

Tüm bunların yanı sıra perde duvarlar inşa edilirken yapının her yönde de rijit olması sağlanmalıdır. Perde duvarların uzun veya kısa kenarlarının tamamı aynı yöne bakmamalıdır (Şekil 2.9).

Bu durum yapıda rijitlik problemine neden olabileceği gibi büyük depremlerde de çok büyük hasarlara ve ölümlere neden olabilir.

Ayrıca ülkemizde rüzgar ve yangın yönetmeliği geliştirilmelidir. Her bölge için rüzgar yönetmeliği çıkartılmalı ve katsayılar bu bölgeler için uygulanmalıdır. Ayrıca ülkemizde henüz tam anlamıyla önemine varılamayan yangın oldukça büyük hasarlara ve can kayıplarına yol açabilmekte bunun için hesaplamalarda yangın hesabına da çok önem verilmelidir. Avrupa ülkelerinin her birinin yangın yönetmeliği vardır ve herbir ülke hesaplarda mutlaka yangının yıkıcı etkilerini göz önünde bulundurmaktadır. Üretilen yapı malzemeleri yangın dayanımları göz önüne alınarak yapılıyor ki ülkemizde de inşaat malzemesi, mobilya, beyaz eşya olarak hatta elektrik tesisatı olarak kullanılan kabloların bile yangın sınıfları üzerlerinde belirtilmeli ve statik hesaplarda mutlaka bu sınıflandırılma göz önünde bulundurulmalıdır.

Bir yapıda taşıyıcı elemanların yangın hesabının yapılabilmesi için aşağıdaki parametreler de bilinmelidir.

- Kritik sıcaklığın belirlenmesi,
- Kritik sıcaklığa karşı gelen ve tablo değerlerinden okunan t_F yangın dayanım süresinin belirlenmesi,

- Belirlenen bu süre ile oluşturulan ve oluşturulacak yönetmeliklerin söz konusu yapı türü için zorunlu kıldıkları zorunlu t_F değerinden büyük olması gereklidir.

Sonuç olarak yangından korunmanın amacı ve yangın hesabının yapılma gerekliliği, yangın meydana gelmemesi için gerekli önlemleri almak, çıkışını engellemek, yangının çıkmasını halinde yavaşlamasını sağlamak, yayılmasının engellenmesi ve en önemlisi yangından canlıların can güvenliğinin sağlanmasıdır.

Rüzgar yüklerine de özenli bir şekilde göstermeliyiz ki 18/04/2012 tarihinde ülkemiz üzerinden geçen sert hava akımı fırtına oluşmasına neden olmuş, bir çok evin, iş yerinin, büyük yapıların çatılarının uçmasına maddi hasar ve can kayıpları yaşanmasına neden olmuştur. Bu tür rüzgarların gökdelenlere etkisi de oldukça fazla olmakta ve gökdelen hesaplarında özellikle yüksek katlı yapılarda önemle üzerinde durulmalı ve gerekirse rüzgar hesapları elde yapılmalı paket programlarına bu konuda çok fazla güvenilmemelidir. Ayrıca 18/04/2012 tarihindeki fırtına boğaz köprüsünü de tehdit etmiş ve daha büyük rüzgarlarda köprünün zor durumda kalacağını göstermiştir. Bu durum yapılacak olan 3. Köprü hesabında da rüzgar yükünün özel olarak hesaplanması gerçeğini gözler önüne sermiştir.

Ayrıca ülkemizde özellikle Karadeniz Bölgesi'nde yapılan istinat duvarlarının statisinde ve donatılarının konstrüktif esaslarında yanlışlıklar yapılmaktadır. Bu yüzden can kayıpları ve maddi hasarların büyük olduğunu söylemek hiç de yanlış olmaz. Bu durumdan dolayı tezimizde istinat duvarlarının konstrüktif esaslarının da nasıl olması gerektiği ve gelen yüklere göre hesaplanan donatıların şemasının nasıl olması gerektiği hakkında bilgi vermiştir.

Diğer karşılaşılan sorunlardan biri ise yüksek katlı yapıların yapımı esnasında karşılaşılan zorluklardır. Karşımıza çıkan en büyük sorunlardan biri işçilerin güvenliğinin tam olarak sağlanamamasıdır. Ülkemizde insan hayatı yeterince önemsenmediğinden ve insanlar kendi hayatlarının değerlerini çok iyi bilmediklerinden dolayı inşaat şantiyelerinde sık sık can kayıpları yaşanmaktadır. İnşaat alanında can kayıplarının yaşanmaması için Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'nın internet sayfasında yer alan şantiyelerde iş güvenliği ile ilgili yönetmelik hakkında şantiye mühendisleri ve işçiler bilgilendirilmelidir. Şantiye mühendisi bu konuda asla taviz vermemeli, yüklenici firma ve işçilere bu konuda yaptırımlar uygulanmalıdır. Ayrıca iş güvenliği uzmanları yapı denetim firmalarında

da çalışmalı görev ve yetkileri genişletilmelidir. Gerekirse devlet tarafından bağımsız komisyonlar kurulup, bu komisyonlarda görev almak üzere iş sağlığı uzmanları yüksek katlı yapıların şantiyelerinde sık sık denetim yapmalıdır.

Ayrıca inşaat alanı belli oranı aşan şantiyelerde kesinlikle eğitimini iyi almış iş sağlığı uzmanı çalıştırması gerekmektedir.

Ülkemizde karşılaştığımız diğer büyük problemlerden biri ise statik olarak yapılan hesaplamada proje mühendislerinin şantiye tecrübesi olmamasıdır. Böyle durumda da şantiyelerde sık sık problemler karşılaşılabilmekte betonun döküm aşamasında donatılar arasından geçişi bazı durumlarda imkansız hale dönüşmektedir. Bu yüzden hazırlanacak yönetmelikle proje mühendislerinde belli süre şantiye tecrübesi ya da şantiye ile koordinasyonlu bir biçimde çalışması amaçlanabilir. Ayrıca soğuk hava koşullarında yüksek katlı yapılarda betonun dökümü esnasında karşılaşılan zorlukları asgariye indirmek için soğuk havalarda beton dökmekten kaçınılmalıdır. Soğuk havada beton dökülmesi gerekiyorsa, işçilerin güvenliği tam olarak sağlanmalı ve betonun yüksek katlara pompalanırken akıcılığının sağlanması için özel kimyasal maddelerle betonun akışkanlığını, dayanımını düşürmeden sağlanmalıdır ve kimyasal katılan betonlar mutlaka şantiye ortamında 7 ve 28 gün bekletilip basınç deneylerine tabi tutulmalıdır.

Yapıların inşaatı esnasında donatıların konstrüktif esaslarına da uyulmalı bu konuda herhangi bir taviz verilmemelidir. Şantiyelerde yerinde yapılan incelemelerde enine donatıların bazı durumlarda kancasız yapıldığını ve işçilerin, işçiliğinin zor olduğu durumlarda kanca yapmaktan kaçındığı gözlemlenmiştir. Konstrüktif esaslara uyulmaması deprem bölgesinde olan ülkemizde büyük tehlike oluşturmakta ve yapıların yıkılıp büyük maddi hasar ve can kayıplarına neden olmaktadır. Beton döküldüğü anda donatıların yerleşim biçimi kapanacağından yapılan hata hiçbir şekilde fark edilememekte, fark edildiğinde ise iş işten geçmiş olmaktadır.

İnşaatın yapımı esnasında herhangi bir şekilde kesinlikle donatıların düzeninden, elemanların boyutundan taviz verilmemelidir. Yıkıcı durumların oluşmaması için özen gösterilmelidir.

Tezimizin son bölümünde özellikle Ankara'da ve İstanbul'da yapımı devam eden yüksek yapıların şantiyeleri de incelendiğinde enine donatıların, özellikle perde başlıkları arasındaki tevzi donatılarının kancalarının yapılmadığı gözlenmiştir ve bu

konuda kancasız durumun sakıncaları üzerine bilgisayar programlarından ve perde duvarlar üzerinde yapılan deneylerden yararlanılarak öneriler getirilmeye çalışılmış, hangi programda modellerin nasıl yapıldığını ya da neden modellenemeyeceği üzerinde durulmuştur.

Bilgisayar programı olarak Dlubal yazılımı, X-Steel çizim programı, Solidworks, Ansys Workbench programları kullanılmıştır.

Dlubal yazılımında kullanılan iki ayrı örneğin tüm özellikleri aynı yapılmış, tek fark olarak enine donatıların kancaları bir örnekte yapılırken diğer örnekte yapılmamıştır. Ayrıca programın demo versiyonu kullanıldığı için eleman sınırlaması olmakta bu yüzden de perde eleman yerine kiriş elemanı tercih edilmiştir.

Programda kullanılan kirişin açıklığı 4.5 m olmakla birlikte aynı boyutlarda iki örnek kullanılmıştır. Örneklerin beton sınıfı C20, çekme donatıları $\Phi 20$, basınç donatıları $\Phi 16$ ve enine donatılar $\Phi 8$ olarak tasarlanmıştır. Örneklerle düşey yayılı yük ve yatay yük verilere çözüm yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir.

Sonuçlarda, enine donatıları kancalı yapılan kiriş örneğinde çatlak aralığı maksimum olarak 46.3 mm olarak ölçülmüş ve enine donatıları kancasız yapılan kiriş örneğinde ise çatlak aralığı 46 mm olarak programda hesaplanmıştır. Fakat ilginç olan, program donatıların gelen yüklere göre yeniden tasarımını da yaptığından dolayı mesnette ve açıklıkta çıkan enine donatıların yoğunlukları farklı olarak ölçülmüştür. İlk kancalı örneğimizde mesnette çıkan enine donatı oranı 5.03 mm^2 olarak ölçülmüş, kancasız yapılan kirişimizde ise 7.85 mm^2 olarak ölçülmüştür. Açıklıkta enine donatı oranı ise kancalı yapılan kirişimizde 3.35 mm^2 , kancasız yapılan kirişimizde ise 5.24 mm^2 olarak hesaplanmıştır. Bu durum bize kancasız yapılan donatılarda gelen yatay yüklerin karşılanabilmesi için enine donatı yoğunluğunu arttırmamız gerektiğini göstermiş olmasına rağmen çatlak aralıklarının daha yakın ve çatlakların daha sık olduğunu göstermiştir. Ayrıca çatlak aralıklarının yakın olması, donatıların akma sınırına daha çabuk ulaşması, kirişin daha erken göçmeye uğraması demektir. Böylece kancasız yapılan enine donatılar bize büyük yatay kuvvetler altın büyük tehlikeler doğurabileceğini göstermektedir. Yatay doğrultuda kirişe gelen yüklerden dolayı kötü performans sergileyen enine donatılar, perde duvarlarda da aynı sorunu oluşturabileceği gibi düşey yükler altında kolonlarda da büyük problemler oluşturabilir. Kancasız donatı yapmak büyük sıkıntılara yol açacağından dolayı

alternatif olarak kanca yapılamadığı durumlara çözüm için aşağıdaki öneriler getirilmiştir.

- Eğer işçilikten dolayı yüksek katlı yapılarda enine donatılara kanca yapmak zorlaşıyorsa, tüm donatılar aşağıda bağlanıp yukarıya vinçler yardımı ile çıkarılabilir.
- Enine donatılarda ve perdelerin tevzi donatılarında kanca yapılamayacak kadar zor bir işçilik varsa ve zamandan kazanılmak isteniyorsa, Konya Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Abdülkerim İLGÜN, Ergin ATIMTAY'ın, 2007 yılında yaptıkları deneyde; perdelerin, yatay yüklerden dolayı oluşan gerilme değerlerini, çatlakları ve performanslarını LVDT cihazları kullanılarak ölçmüşlerdir. Gerçeğe yakın bir sonuç elde etmişler ve perdelerin yatay yükler altında çok katlı yapılarda nasıl performans sergilediklerini gözlemlemişlerdir. LVDT cihazları kullanarak bilgisayara bağlanıp yine deplasman ve gerilmeleri hassas olarak ölçme imkanı da sağlayan programlarla perdelerde ve diğer taşıyıcı elemanlarda kancalı ve kancasız yapılan taşıyıcı elemanlarda nasıl sonuçların çıkacağı gözlemlenmelidir. Ayrıca deneylerin kolon, kiriş ve perdelerde ayrı ayrı yapılması sonuçların daha net görülmesini sağlayacaktır. Bu durumda da kancasız yapılması durumunda deney düzenekleri kurularak işçiliği de kolaylaştırmak adına ne tür alternatif donatı düzenleri getirilebilir daha kapsamlı olarak araştırılmalıdır.
- İşçilikten ve zamandan kazanmak için deneylerle kancalara alternatif olarak nasıl bir konstrüktif esas getirilebileceği teorik olarak da araştırılmalıdır.
- Teorik olarak araştırma yapmak için Abaqus, Diana gibi yazılım programları ile de sonuçların gözlemleneceği gibi FORTRAN, MATLAB tarzı yazılım programlarından da yararlanarak kancaların daha iyi tanımlanabileceği küçük hesap programları yazılabilir.
- Tezimizde Rstab programının demosuyla çalışmış olduğumuzdan dolayı programın orijinali ile değişik örneklerle tekrar çözüm yapılmalı ve daha doğru ve emin sonuçların alınabilmesi için laboratuvar ortamında yapılan deneylerle programdan alınan sonuçlar karşılaştırılmalıdır.

Ayrıca konsol bir perde de enine donatıların kancalı ve kancasız yapılması durumu Ansys programında incelenmeye çalışılmış fakat programın kanca boylarını hesaba

katmaması, donatıları nervürlü olarak çözememesinden dolayı sonuç alınamamış ve tasarımda gerçeğe uygun yapılamamıştır.

Tezimizde betonarme taşıyıcı sistemlerde yapılması gereken konstrüktif esaslardan, perdelerin davranışlarından ve planda nasıl yerleştirilmesi gerektiğinden istinat duvarları donatı şemasından, taşıyıcı elemanlarda yangın ve rüzgar hesabı yapılması gerekliliğinden, betonarme yüksek yapıların mimarisinden ve tasarımından, kancaların öneminden bahsedip sonuç ve önerilerimizi sunduk.

Unutmayalım ki İnşaat Mühendisliği toplumda rolü çok büyük olan bir meslektir ve yanlışla asla müsaade etmez. Doktor hata yaparsa birey ölür ama İnşaat Mühendisi hata yaparsa katliam olur.

KAYNAKLAR

- [1] **ACI**, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary
- [2] **Ali, M.M., Armstrong, P.J.**, (1995). Strategies For Integrated Design Of Sustainable Tall Building. Adres:
http://www.aia.org/aiaucmp/groups/ek_public/documents/pdf/aiap080038.pdf
- [3] **Alyamaç, K. E., Erdoğan, A. S.** (2005) Geçmişten günümüze afet yönetmelikleri ve Uygulamada Karşılaşılan Tasarım Hataları, *Deprem Sempozyumu Kocaeli 2005*. Adres:http://kocaeli2007.kocaeli.edu.tr/kocaeli2005/deprem_sempozyumu_kocaeli_2005/4_yapi_ve_yerlesimler/d_23_tasarim_hatalari/gecmisten_gunumuze_afet_yonetmelikleri_ve_uygulamada.pdf
- [4] **Arthur H. N., Darwin D., Charles, W.** (2010). Design of Concrete Structure.
- [5] **Atımtay E.** (2000). Çerçeveli ve Perdeli Betonarme Sistemlerin Tasarımı; *Temel Kavramlar ve Hesap Yöntemleri*
- [6] **Aydan, Ö., Sev., A.** (2000). Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler
- [7] **Beedle, L. S., Rice, D. B.**, (May 14-19, 1995.). Bethlehem, PA: Council on Tall Buildings and Urban Habitat. *Amsterdam, the Netherlands.*
- [8] **Carpinteri, A.** (1999). Minimum Reinforcement in Concrete.
- [9] **Celep, Z., Kumbasar N.** (2001). Betonarme Yapılar.
- [10] **Çakıroğlu, A.** (1989). Yatay Yükleri Taşıyan Yapı Elemanları, *İtü İnş. Fak. İstanbul.*
- [11] **D.B.Y.B.E.** (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar.
- [12] **Dede, E. T.** (2006). Tersinir-Tekrarlanır Yük Altındaki Betonarme Çerçevelerin Ansys Programı İle Nonlinear Sonlu Eleman Analizi.
- [13] **Demir, C.** (2012). Kişisel Görüşme, İtü Yapı Mühendisliği Bölümü Arş Görv.
- [14] **Dilek, M. K.** (2006). Çok Katlı Betonarme Bir Yapının Eş Değer Deprem Yükü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi ile Tasarımı, *Yük Lis. Tezi İtü 2006.*
- [15] **Doğangün, A.** (2008). Betonarme Yapıların Hesap Ve Tasarımı.
- [16] **Güler, K.** (2010-2011 Güz Dönemi), Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Düzenlenmesi Ders Notları. **Duman, E., Görgülü, O., Cansunar, S. M., Cömert, M., Çorbacioğlu, C.U.** (2010-2011 Güz Dönemi) Taşıyıcı Sistemler Sunusu
- [17] **Ersoy, U.** (1987). Betonarme; Temel İlkeler ve Taşıma Gücü.

- [18] **Ersoy, U.** (2001). Temel İlkeler, TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Hesap.
- [19] **Fanella, D. A.** (2011). Reinforced Concrete Structures: *Analysis and Design*.
- [20] **Frischmann, W. W., Prabhau, S.S.** (1967). “ Planning Concept Using Shear Walls”, Tall Buildings,ed. By A. Coull, B. Smith, Pergamon Press, London.
- [21] **Hasgür, Z., Gündüz, A. N.** (1996). Betonarme Çok Katlı Yapılar.
- [22] **Hill, M. G., Micrays, H.** (1991). Cast in Place Concrete in Tall Building.
- [23] **İlgin, H. E., Günel, M. H.** (2008). Yüksek Binalarda Yanal Kuvvetlere Karşı Strüktürel Yaklaşımlar.
- [24] **İlgün, A., Atımtay, E.** (2007). Çok Katlı Betonarme Yapıların Yatay Yük Altında Davranışı Teorik ve Deneysel Araştırma
- [25] **İren, İ., Kocataşkın F.** (2008). Betonarme Yapılarda Yapısal Yangın Güvenliği
- [26] **İ.Y.B.R.Y.** (2008). İstanbul Yüksek Binalar Rüzgâr Yönetmeliği, *Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Boğaziçi Üniversitesi*
- [27] **John Hancock** (t.y). *Wikipedia*. Alındığı Tarih: 16.02.2012, adres: http://tr.wikipedia.org/wiki/John_Hancock_Merkezi.
- [28] **Kaltakçı, M. Y., Yavuz, G.** (2006). Sismik Detayları Yetersiz Betonarme Çerçevelerin Tersinir Tekrarların Yatay Yük Etkisindeki Davranışının Deneysel ve Teorik İncelenmesi.
- [29] **Kamanlı, M., Balık F. S.** (2003). Beton Teknolojisi
- [30] **Kandemir H.** (2012). Kişisel Görüşme, *Four Wings Şantiye Mühendisi*.
- [31] **Kara, H. B.** (2008). Erciyes Üniversitesi Ders Notları, İnşaat Mühendisliği, 6. Yarıyıl.
- [32] **Köse, M.** (2003). Betonarme Yapı Elemanlarının Çelik Lamalarla Güçlendirilmesi ve Birleştirilmesi; *Deneysel İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, 2003, İTÜ*
- [33] **Level N.** (2012) Kişisel Görüşme, *Next Level Şantiye Mühendisi*
- [34] **Lewis, M. S.** (2004). *Building Construction: Methods and Meterials fort he Fire Service*.
- [35] **Novelli, I. V.** (December, 2008). The Unloading Stiffness Of Reinforced Concrete Members, *Istituto Universitaria Di Studi Superiori Di Pavia Universita Degli Studi Di Pavia*.
- [36] **Newman, J., Choo, S. B.** (2003). Advanced Concrete Technology.
- [37] **Özden, K.** (1995). Betonarme Perde ve İstinat Duvarları
- [38] **Öztürk, T.** (2005). Betonarme Binalarda Deprem Perdelerinin Yerleşimi ve Planı Nisan 2005
- [39] **Palermo D., Vecchio J. F.** (2002). Behavior of Three-Dimensional Reinforced Concrete; *ACI Structural Journal*.

- [40] **Pao, J., Brzev, S. N.** (2002). Concrete Shear Wall Highrise Building, Housing Report, adres: <http://www.world-housing.net/whereport1view.php?id=100010>
- [41] **Purkiss, J. A.** (2007). Fire Safety Engineering, *Design of Structures*.
- [42] **Raton, B.** (2008). Developments in The Formulation and Reinforcement of Concrete. *CRC Press, 2008*.
- [43] **Sie Wan, W.** (2007). Analysis and Design of Curtain Wall Systems For High Rise System.
- [44] **Tabak, Ç.** (2009). Kompozit Bir Yapının Etabs Programında Modellenmesi, *Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi*
- [45] **Taranath, B. S., Raton, B.** (2010). Reinforced Concrete Design of Tall Building.
- [46] **Uğur Y. V.** (2007). Erciyes Üniversitesi Malzeme Bilimi Ders Notları 4. Yarıyıl.
- [47] **TSE,** Türk Standardı, Betonarme Yapıların Tasarım ve Kuralları, *TS500*
- [48] **URL-1** <<http://www.yapikatalogu.com/Urunler/betonarme-donati-mansonu119418.html>>, Alındığı Tarih: 24.01.2012.
- [49] **URL-2** <<http://www.serki.com/index.php?bolumsec=terimler&id=7a6aral>>, Alındığı Tarih: 28.01.2012.
- [50] **URL-3** <<http://www.celikhasir.com/>>, Alındığı Tarih: 01.02.2012.
- [51] **URL-4** <<http://www.paspayi.com>>, Alındığı Tarih: 01.02.2012.
- [52] **URL-5** <<http://www.chicagoarchitecture.info/Building/375/The-Willis-Tower.php>>, Alındığı Tarih: 16.02.2012.
- [53] **URL-6** <<http://www.buildingscience.com/documents/insights/bsi-042-historical-development-building-enclosure>>, Alındığı Tarih: 16.02.2012.
- [54] **URL-7**
<<http://www.csgb.gov.tr/csgbPortal/csgb.portal?page=mevzuat&id=2>>, Alındığı Tarih: 02.03.2012.
- [55] **URL-8** <<http://kayaisguvenligi.com/ycalismadetay.aspx?id=517>>, Alındığı Tarih: 11.03.2012.
- [56] **URL-9** <<http://arsiv.ntvmsnbc.com/news/262027.asp?Om=-16n>>, Alındığı Tarih: 30.03.2012.
- [57] **URL-10** <<http://www.performansmuhendislik.com/fotograflar.html>>, Alındığı Tarih: 30.03.2012.
- [58] **URL-11** <<http://www.ansys.com/>>, Alındığı Tarih: 25.03.2012.
- [59] **URL-12** <<http://www.dlupal.com/>>, Alındığı Tarih: 02.04.2012.
- [60] **Walter, R.** (2012) Kişisel Görüşme.
- [61] **Weck, D. O., Kim, Y.** (2004). Engineering Design and Rapid Prototyping, Finite Element

- [62] **Yılmaz C.** (2008) Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Yüksek Yapılar Ders Notları.
- [63] **Yılmaz, T.** (2006). Betonarme Yapılarda Taşıyıcı Sistem ve Donatı Düzenleme İlkeleri, *Yüksek Lisans Tezi, 2006, İtü.*

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyad: Çağlar TABAK

Doğum Yeri ve Tarihi: 20/03/1985

Adres: Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı

E-Posta: cagtabak@itu.edu.tr

Lisans: Erciyes Üniversitesi

Mesleki Deneyim: Ulaştırma ve Haberleşme Uzman Yardımcısı.

Ödüller: Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölüm dördüncülüğü