

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DONATILI YIĞMA YAPI
TASARIMI**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Deniz BÜYÜKGÖKMEN
(501991190)**

707458

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Haziran 2001

Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Haziran 2001

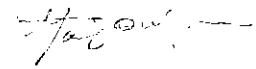
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Melike ALTAN



Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. Kadir GÜLER



Doç. Dr. Mustafa ZORBOZAN (Y.T.Ü.)



HAZİRAN 2001

106118

ÖNSÖZ

Bu tezi hazırlamada her konuda yardım ve desteğini esirgemeyen değerli hocam ve tez danışmanım sayın Prof. Dr. Melike ALTAN'a ve eğitimim boyunca bana her zaman maddi ve manevi destek olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2001

Deniz BÜYÜKGÖKMEN



İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Yiğma Yapıların Sınıflandırılması	1
1.2. Yiğma Yapı Elemanları	4
1.3. Yiğma Yapılarda Hatıllar, Kiriş ve Lentolar, Kolonlar, Destek Duvarları	5
1.4. Hesap Yönteminin Seçilmesi	9
2. TEKRARLI YÜKLER ETKİSİNDE YIĞMA DUVARLARIN SINIFLANDIRILMASI	11
2.1. Konsol Duvarlar	11
2.2. Boşluklu Duvarlar	12
2.2.1. Plastik Mafsalların Düşey Duvar Parçalarında Oluştugu Boşluklu Duvarlar	12
2.2.2. Plastik Mafsalların Duvarları Bağlayan Ara Kirişlerde Oluştugu Boşluklu Duvarlar	14
3. BİRİNCİL VE İKİNCİL DUVAR SİSTEMLERİNİN SEÇİMİ	16
4. DONATILI YIĞMA YAPILARIN HESAP YÖNTEMİ	18
4.1. Kesit Analizinde Yapılan Kabuller	18
4.2. Eğilmeye Göre Tasarım	20
4.2.1. Düzleme Dik Yükleme ve Düzlem Yükleme İle Etkileşimi	20
4.2.2. Düzleme Dik Eğilme İçin Kesit Analizi ve Hesap Esasları	20
4.2.3. Düzleme Dik Eğilme İçin Hesap	22
4.2.4. Düzlemde Eğilme İçin Kesit Analizi ve Hesap Esasları	25
4.2.5. Düzlem Eğilme İçin Hesap	30
4.3. Düktilitenin Göz Önüne Alınması	35
4.3.1. Dikdörtgen Kesitli Duvarlar	35
4.3.2. Dikdörtgen Kesitli Olmayan Duvarlar	36
4.4. Kesme Kuvveti İçin Tasarım	37
4.4.1. Tasarım Kesme Kuvveti	39
4.4.2. Donatılı Duvarların Kesme Dayanımı	40
4.4.2.1. Yiğmanın Kesme Dayanımına Katkısı	40
4.4.2.2. Donatının Kesme Dayanımına Katkısı	41
4.4.2.3. Etkili Kesme Alanı	42
4.5. Aderans ve Ankraj	43

4.6. Duvar Kalınlığının Sınırlandırılması	45
4.7. Donatı İle İlgili Sınırlandırmalar	45
4.7.1. Minimum Donatı Miktarı	45
4.7.2. Maksimum Donatı Miktarı	45
4.7.3. Maksimum Donatı Çapı	46
4.7.4. Donatı Aralığı Sınırlaması	46
4.7.5. Sargı Plakaları	46
4.8. Moment Taşıyan Çerçeve Tarzı Yığma Duvarlar	47
4.8.1. Kapasite Tasarım Yaklaşımı	48
4.8.2. Kirişte Eğilme	49
4.8.3. Kirişte Kesme	50
4.8.4. Düşey Duvar Parçalarının Eğilme ve Kesmesi	50
4.8.5. Düğüm Noktası Tasarımı	50
4.8.5.1. Donatı Çapındaki Sınırlandırmalar	51
4.8.5.2. Düğüm Noktası Kesme Kuvveti	52
4.8.5.3. Maksimum Düğüm Noktası Kesme Gerilmesi	53
4.8.6. Düktilite	53
4.8.7. Boyutsal Kısıtlamalar	54
5. DONATISIZ YIĞMA YAPILARDA YATAY YÜK ETKİDİNDE HESAP ESASLARI VE BİR SAYISAL ÖRNEK	55
5.1. Hesap Yöntemi	55
5.1.1. Yatay Deprem Yükünün Hesabı	55
5.1.2. Duvar Rijitliklerinin Hesabı	56
5.1.3. Burulma Momentlerinin Hesabı	58
5.1.4. Duvar Kesme Kuvvetlerinin Hesabı	59
5.1.5. Devrilme Momentlerinden Doğan Gerilmelerin Hesabı	60
5.1.6. Duvarlarda Kayma ve Bileşik Eğilme Gerilmesi Kontrolü	61
5.1.6.1. Kayma Gerilmesi Kontrolü	62
5.1.6.2. Bileşik Eğilme Gerilmesi Kontrolü	63
5.2. Sayısal Örnek	64
6. İKİ KATLI YIĞMA DUVARIN DONATILI OLARAK HESABI	75
7. DONATILI YIĞMA YAPI TASARIMI İÇİN İNGİLİZ ŞARTNAMESİ (BS-5628) ESASLARI	94
7.1. Yük Kombinasyonları	94
7.1.1. Son limit Durum	94
7.1.2. Kullanılabilirlik Limit Durumu	94
7.2. Malzeme Özellikleri	95
7.3. Malzeme Güvenlik katsayıları	97
7.4. Eğilmeye Maruz Donatılı Yığma İçin Tasarım İlkeleri	98
7.4.1. Etkili Eleman Açıklığı	98
7.4.2. Boyutsal Kısıtlamalar	98
7.4.3. Eleman Eğilme Dayanımının Hesabı	99

7.4.3.1. Kesit Analizinde Yapılan kabuller	99
7.4.3.2. Tek Donatılı Dikdörtgen Kesit İçin Hesap Formülleri	100
7.4.3.3. Donatının Yerel Olarak Yerleştirildiği Duvarlarda Hesap Formülleri	104
7.4.4. Eleman Kesme Dayanımının Hesabı	104
7.5. Eğilme ve Düşey Yüke Maruz Donatılı Yığma İçin Tasarım İlkeleri	105
7.5.1. Duvar ve Kolonlarda Narinlik Oranları	105
7.5.2. Düşey Yük ve Eğilme Etkisindeki Kolonların Tasarımı	107
7.5.3. Düşey Yük ve Eğilme Etkisindeki Duvarların Tasarımı	110
7.6. Düzlemi İçinde Yatay Yüke Maruz Donatılı yığma İçin Tasarım İlkeleri	110
7.7. Donatı İle İlgili Şartlar	111
7.7.1. Maksimum Donatı Çapı	111
7.7.2. Duvar ve Döşeme Dağıtma Donatısı	111
7.7.3. Esas ve Dağıtma Donatısı Aralığı	111
7.7.4. Donatı Bindirme Boyu	111
8. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR	112
KAYNAKLAR	113
ÖZGEÇMİŞ	114

KISALTMALAR

ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü.
BS	: British Standard.
ACI	: American Concrete Institute.



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1 : Dayanım güvenlik katsayıları.....	19
Tablo 5.1 : Toplam yapı duvar ağırlığının hesabı.....	66
Tablo 5.2 : Duvar rijitlikleri tablosu.....	68
Tablo 5.3 : Kat kütle merkezinin hesabı.....	72
Tablo 5.4 : Kat rijitlik merkezinin hesabı.....	72
Tablo 5.5 : Duvarlara gelen toplam kesme kuvvetinin hesabı.....	73
Tablo 5.6 : Duvar kayma gerilmelerinin hesabı.....	73
Tablo 6.1 : Ara duvarlar için rijitlik hesabı parametreleri tablosu.....	79
Tablo 6.2 : Moment katsayıları tablosu.....	84
Tablo 7.1 : Basınç dayanımı güvenlik katsayıları.....	97
Tablo 7.2 : Son sınır durum için güvenlik katsayıları.....	97
Tablo 7.3 : Duvarda mesnet şartına bağlı açıklığın etkili genişliğe oranları....	98
Tablo 7.4 : Kirişte mesnet şartına bağlı açıklığın etkili genişliğe oranları.....	99
Tablo 7.5 : Q değerleri tablosu.....	102
Tablo 7.6 : Duvar etkili yükseklikleri.....	106
Tablo 7.7 : α katsayıları tablosu.....	109

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1	: Donatısız yığma duvar tipleri.....	2
Şekil 1.2	: Duvar tipine bağlı donatı detayları.....	3
Şekil 1.3	: Yığma duvarda yatay ve düşey donatılı kuşaklar.....	3
Şekil 1.4	: Yığma giriş ve lento detayları.....	6
Şekil 1.5	: Yığma yapıda kullanılan giriş detayları.....	7
Şekil 1.6	: Yığma yapıda kolon ve destek elemanları.....	8
Şekil 1.7	: Donatılı yığma kolon detayları.....	8
Şekil 2.1	: Esnek kat döşemeleri ile bağlanmış konsol duvarlar.....	11
Şekil 2.2	: Boşluklu duvar-plastik mafsallar düşey duvar parçalarında.....	13
Şekil 2.3	: Boşluklu duvar-plastik mafsallar ara girişlerde.....	15
Şekil 3.1	: Birincil ve ikincil duvarlar.....	17
Şekil 4.1	: Sargılı ve sargısız duvarlarda gerilme-şekil değiştirme bağıntıları... 19	
Şekil 4.2	: Düzleme dik moment etkisinde kesit kuvvetleri.....	20
Şekil 4.3	: Düzlemi içinde eğilmeye maruz duvarda yapılan kabuller.....	26
Şekil 4.4	: Örnek 4.2 için yığma duvar kesiti.....	28
Şekil 4.5	: Düzlemi içinde eğilmeye maruz duvarda kesit kuvvetleri.....	30
Şekil 4.6	: Flanşlı duvarlarda düktilite hesabı için eşdeğer kesitler.....	36
Şekil 4.7	: Flanşlı duvarda kesme dayanımı tasarım ilkeleri.....	37
Şekil 4.8	: Kesme mukavemeti test metotları.....	38
Şekil 4.9	: Kesme-basınç gerilmeleri etkileşimi.....	38
Şekil 4.10	: Kesme dayanımı için etkili duvar alanları.....	42
Şekil 4.11	: Yatay kesme donatısının ankrajı.....	44
Şekil 4.12	: Plastik mafsallık bölgesinde sargı plağı.....	47
Şekil 4.13	: Düktil çerçeve duvar sistemi.....	47
Şekil 4.14	: Birleşim bölgesi detayları.....	48
Şekil 4.15	: Betonarme ve yığma girişte donatı detayları.....	49
Şekil 4.16	: Kesme kuvvetlerinden elde edilen düğüm noktası kuvvetleri.....	51
Şekil 5.1	: Yığma duvara etkiyen kuvvetler.....	61
Şekil 5.2	: Örnek yığma yapı kat planı.....	65
Şekil 5.3	: Örnek yığma yapının duvar kesitleri.....	67
Şekil 6.1	: Yatay ve düşey yük etkisindeki yığma duvar örneği.....	75
Şekil 6.2	: Ara duvar moment ve kesme kuvveti diyagramı.....	83
Şekil 6.3	: Giriş moment ve kesme kuvveti diyagramı.....	83
Şekil 6.4	: Örnek yığma duvar donatı detayı.....	93
Şekil 7.1	: Gerilme-Şekil değiştirme grafiği.....	100
Şekil 7.2	: Q moment dayanım katsayısı.....	103
Şekil 7.3	: Uç mesnet şartlarına bağlı duvar etkili yükseklikleri.....	106

SEMBOL LİSTESİ

a	: Eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu derinliği
a_v	: Mesnet yüzünden yük tatbik noktasına olan mesafe
A_f	: Duvar ünitesi boşluk alanı
A_g	: Kesit brüt alanı
A_s	: Donatı alanı
A_{sd}	: Duvar gövde bölgesi düşey donatı alanı
A_{sf}	: Flanş bölgesi düşey donatı alanı, tek bir boşluktaki düşey donatı alanı
A_{sh}	: Duvar yatay kesme donatısı alanı
A_{st}	: Toplam boyuna donatı alanı
A_p	: Sargı plağı alanı
A_r	: Duvar boyut oranı
A_v	: Kayma donatısı alanı
b, b_w	: Kesit etkili genişliği
b_c	: Mesnetler arası basınç bölgesi genişliği
c	: Moment kolu faktörü
C_d	: Basınç bölgesi kuvveti
C_s	: Çelik basınç kuvveti
d_c	: Basınç bölgesindeki yığma derinliği
e_x	: Eksantiriste
E_d	: Yığma elastisite modülü
E_n	: Tasarım deprem yükü
f	: Esneklik katsayısı
f_a	: Eksenel yükten oluşan gerilme
f_b	: Eğilme momentinden oluşan gerilme
f_d	: Tuğlanın hesap basınç dayanımı
f_k	: Tuğlanın karakteristik basınç dayanımı
f_y	: Donatı çeliğinin akma dayanımı
f_{yh}	: Yatay donatı çeliğinin akma dayanımı
f_s	: Donatıdaki gerilme
f_{s1}	: En yüksek basınç bölgesindeki donatıdaki gerilme
f_{s2}	: En düşük basınç bölgesindeki donatıdaki gerilme
F_a	: Eksenel yük etkisinde izin verilen maksimum gerilme
F_b	: Eğilme momenti etkisinde izin verilen maksimum gerilme
g_b	: Birim alana gelen tasarım yükü
G_k	: Tasarım ölü yükü
h, h_d	: Yığma duvar yüksekliği
h_b	: Düğüm bölgesi giriş yüksekliği
h_c	: Düğüm bölgesi duvar genişliği
h_{ef}	: Etkili duvar yüksekliği
h_b^1	: Düğüm bölgesi etkili giriş yüksekliği
h_c^1	: Düğüm bölgesi etkili duvar genişliği
h^n	: Duvar sargı bölgesi yatay uzunluğu

H_T	: Düğüm bölgesi duvar üst ucu kesme kuvveti
H_B	: Düğüm bölgesi duvar alt ucu kesme kuvveti
K	: Yığma dayanım artış faktörü
l_b	: Minimum donatı bindirme uzunluğu
l_d	: Yığma duvar uzunluğu
l_n	: Mesnetler arası duvar temiz açıklığı
l_p	: Plastik mafsallık uzunluğu
M_a	: Artırılmış tasarım momenti
M_B	: Düğüm bölgesi duvar alt ucu momenti
M_1, M_d	: Kesitin moment kapasitesi
M_u	: Tasarım momenti
M_p	: Eksenel yük tarafından sağlanan kesit eğilme dayanımı
M_s	: Donatı tarafından sağlanan kesit eğilme dayanımı
M_T	: Düğüm bölgesi duvar üst ucu momenti
M_x	: x eksenine göre tasarım momenti
M_y	: y eksenine göre tasarım momenti
M_x^*	: x eksenine göre etkili tasarım momenti
M_y^*	: y eksenine göre etkili tasarım momenti
N	: Hesap eksenel yükü
N_d	: Hesap eksenel yük dayanımı
n	: Yapının toplam kat sayısı, toplam donatı sayısı
p	: Harç yatağı derinliği, x eksenine dik doğrultudaki toplam kesit boyutu
P_u	: Tasarım eksenel yükü
q	: y eksenine dik doğrultudaki toplam kesit boyutu
Q	: Moment dayanım faktörü
Q_k	: Tasarım hareketli yükü
t, t_d	: Duvar toplam gövde kalınlığı
t_{ef}	: Duvar etkili kalınlığı
t_f	: Duvar flans kalınlığı
T	: Çelik çekme kuvveti
s, s_v	: Düşey donatı aralığı
s_h	: Yatay kesme donatısı aralığı
W_k	: Tasarım rüzgar yükü
V	: Kesme kuvveti
V_d	: Yığma duvarın taşıyabileceği kesme kuvveti
V_{dh}	: Düğüm noktasında duvarın taşıyabileceği yatay kesme kuvveti
V_{dv}	: Düğüm noktasında duvarın taşıyabileceği düşey kesme kuvveti
V_s	: Donatının taşıyabileceği kesme kuvveti
V_u	: Tasarım kesme kuvveti
V_E	: Yatay deprem yükünden bulunan kesme kuvveti
V_{jh}	: Düğüm noktası yatay kesme kuvveti
V_{jv}	: Düğüm noktası düşey kesme kuvveti
v	: Tasarım yükünden oluşan kesme gerilmesi
v_d	: Yığma duvarın kesme dayanımı
v_s	: Donatının kesme dayanımı

v_{jh}	: Dügüm noktası yatay kesme gerilmesi
v_{jv}	: Dügüm noktası düşey kesme gerilmesi
x	: Tarafsız eksen derinliği
z	: Moment kolu
ω_v	: Dinamik kesme kuvveti artış faktörü
ϕ	: Donatı çapı, dayanım güvenlik katsayısı
ϕ_u	: Göçme eğriliği
ϕ_y	: Akma eğriliği
ϕ_{ov}	: Aşırı dayanım faktörü
ρ, ρ_d, ρ_t	: Kesit donatı yüzdesi
ρ_v	: Duvar düşey donatısı kesit oranı
ρ_h	: Duvar yatay donatısı kesit oranı
ε_{cu}	: Maksimum yığıma basınç birim şekil değiştirmesi
ε_y	: Maksimum donatı birim şekil değiştirmesi
α	: Gerilme bloğu parametresi
β	: Gerilme bloğu parametresi
τ	: Kesme gerilmesi
μ	: Sürtünme katsayısı
μ_Δ	: Toplam düktil yer değiştirme kapasitesi
$\mu_{\Delta p}$	: Düşey duvar parçası düktil yer değiştirme kapasitesi
$\mu_{\Delta f}$	: Temel esnekliğini de dikkate alan düktil yer değiştirme kapasitesi
μ_ϕ	: Eğrilik düktilite faktörü
$\mu_{\Delta s}$	: Sistem düktilite kapasitesi
$\mu_{\Delta b}$	: Kiriş düktilite kapasitesi
Δ'_e	: Düşey duvar parçasının elastik yer değiştirmesi
Δ_f	: Temel hareketinden oluşan yer değiştirme
Δ_p	: Plastik yer değiştirme
Δ_s	: Üst yapının elastik yer değiştirmesi
Δ_y	: Yapının toplam elastik yer değiştirmesi
θ_p	: Plastik dönme miktarı

DONATILI YIĞMA YAPI TASARIMI

ÖZET

Yığma bina, özellikle kırsal alanda daha fazla olmak üzere çok sık uygulanan bir yapı türüdür. Bunun en önemli nedenleri ekonomik olmaları, yığma bina inşasının kolaylığı ve yerel malzeme ile inşa edilebilmeleridir.

Bu avantajlarına karşın, kullanılan malzemenin çeşitliği ve bu malzeme özelliklerinin de bölgelere göre çok farklılıklar göstermesi yığma yapıların deprem yükleri altında analizini karmaşık bir hale sokmaktadır.

Ülkemizde çoğunlukla donatısız yığma yapı uygulanmaktadır. Yürürlükte bulunan ABYYHY 1998’de yığma yapıların tasarım ilkeleri anlatılmıştır. Ayrıca bu konuyla ilgili Türk Standartları Enstitüsü’nün çıkarmış olduğu şartnameler de mevcuttur. Ancak donatılı yığma yapıların yapım ve hesabı ile ilgili bir standart şu an için mevcut değildir.

Bu tezde donatılı yığma yapı tasarımı, yabancı kaynaklar ve ilgili yabancı standartlardan faydalanarak,

- Donatılı yığma yapı elemanları ve bunların donatı ile teşkil edilmesi
- Depreme dayanımlı donatılı yığma duvarların sınıflandırılması ve deprem kuvvetlerine karşı davranışları
- Donatılı duvarlarda düşey yük, yatay yük ve eğilme etkisinde gerekli kesit hesaplarının ve kontrollerin yapılması

ilkeleri açıklanmıştır. Genel olarak yığma yapı tasarımı anlatıldıktan sonra ilk önce donatısız tek katlı yığma bir binada yatay deprem kuvveti etkisinde duvarlarda oluşacak toplam kesme kuvvetleri, ABYYHY 1998 baz alınarak hesap edilmiş ve gerekli kontroller yapılmıştır. Daha sonra yine yatay deprem yükü etkisinde 2 katlı yığma bir duvar ele alınmış ve bu duvar donatılı olarak hesap edilmiş ve gerekli kontroller yapılmıştır.

Tezin son bölümün de ise yığma yapı tasarımı en çok kullanılan standartlardan biri olan İngiliz şartnamesi BS-5628’in donatılı yığma tasarımı ile ilgili olan bölümündeki esaslar verilmiştir.

DESIGN OF REINFORCED MASONRY STRUCTURE

SUMMARY

Masonry building, especially used in the rural areas, is a kind of construction method which is applied mostly. The most important reasons for that it is economic, the construction is easier than the reinforced concrete and also the building can be constructed by local material.

Despite of these advantages, the variety of the using material and differences of the properties of these material in each district, make it difficult to analysis the building under seismic forces.

In our country mostly unreinforced masonry buildings are constructed. In Turkish seismic design code, ABYYHY, 1998 the principals of designing unreinforced masonry buildings are explained. Also there are standards published by Institute of Turkish Standards about this topic. But the standard about construction and analysis of the reinforced masonry buildings has not prepared yet.

In this thesis, design of reinforced masonry structures is studied by using foreign sources, standards and these topics are mentioned.

- Parts of reinforced masonry building and construction of them
- Classification of earthquake-resisting masonry walls and explaining of their behaviour against seismic forces
- Doing the analysis and the necessary controls of the wall section under vertical, horizontal and bending forces

After explaining the design of reinforced masonry, two examples were solved. First one-story unreinforced masonry structure was taken. In that structure the shear forces of the walls, because of the horizontal earthquake forces, were found and the necessary controls were made on the base of ABYYHY 1998. After that as a second example, under seismic forces the analysis and necessary controls of reinforced two-story masonry wall were made.

In the last part of this thesis, the principals of the reinforced masonry structure, taken from BS-5628, were given.

1. GİRİŞ

Hem düşey hem de yatay yükler için tüm taşıyıcı sistemi doğal veya yapay malzemeli taşıyıcı duvarlar ile oluşturulan yapılara YIĞMA YAPILAR denir.

Türkiye’de bilhassa kırsal kesimdeki yapıların büyük bir oranı yığma olarak inşa edilmektedir. Yığma yapılar, deprem gibi dinamik etkilere karşı dayanımlarının az olması ve yapı ağırlıklarının da fazla olması nedeni ile deprem bölgelerinde, sınırlı kat sayıları, minimum taşıyıcı duvar kalınlıkları, taşıyıcı duvar minimum toplam uzunlukları, taşıyıcı duvar boşlukları, maksimum mesnetlenmemiş duvar uzunlukları gibi kısıtlayıcı kurallarla inşa edilebilmektedir.

Yığma yapıların taşıyıcı duvarları genellikle tuğla (fabrika tuğlası, harman tuğlası), doğal yapı taşları veya beton briketlerin duvar harçları ile birleştirilmesi ile teşkil edilirler. Yığma duvarlarda kullanılabilecek malzemelerle ilgili Türk Standartları Enstitüsünün hazırlamış olduğu standartlar mevcuttur ve kullanılan malzemelerin bu standartlardaki şartlara uygun olması gerekmektedir.[1,2,3,4,5,6,7]

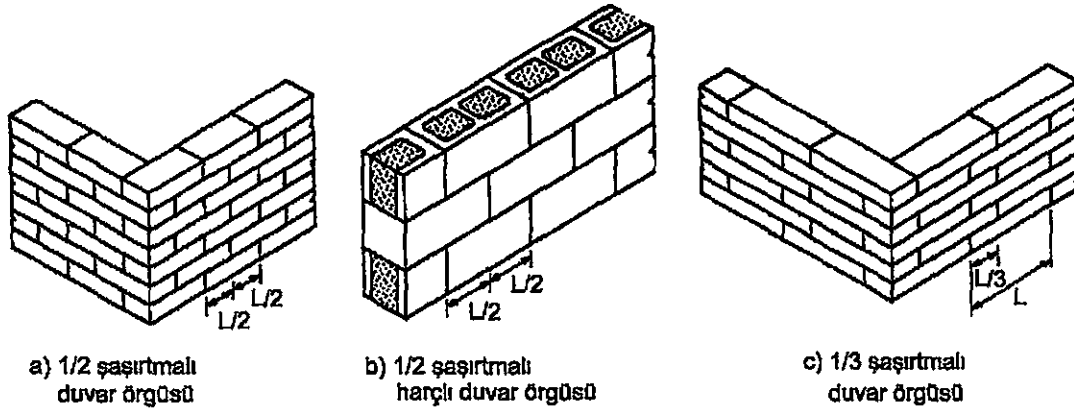
Ayrıca donatısız yığma yapıların depreme karşı dayanım gösterecek şekilde tasarlanmasını esas alan hesap metotları ABYYHY 1998’de belirtilmiştir. Fakat donatılı yığma yapı tasarımı ile ilgili bir şartname mevcut değildir. Donatılı yığma tasarımı anlatan yabancı ülkelerin standartları mevcuttur. Bunlardan en çok kullanılan İngiliz standardı (BS-5628), Avrupa standardı (EUROCODE-8) ve Amerikan standardıdır (ACI 530-92). Bu tezde donatılı yığma yapı tasarımında genel hesap esasları açıklanmış olup ağırlıklı olarak Amerika ve Yeni Zellanda standartları baz alınmıştır.

1.1 Yığma Yapıların Sınıflandırılması

- Donatısız yığma yapılar

Donatısız yığma yapılar, taşıyıcı sistemi olan doğal ve yapay malzemeli duvarların duvar harçları ile birleştirilmesi ile inşa edilirler.

Şekil 1.1’de donatısız bir yığma duvarın genel olarak nasıl inşa edildiğine dair bir örnek görülmektedir. Bundan başka çok farklı biçimlerde duvar tipleri mevcuttur. Fakat esas olan duvarın donatısız olarak tasarlanmasıdır.



Şekil 1.1 Donatısız yığma duvar tipleri

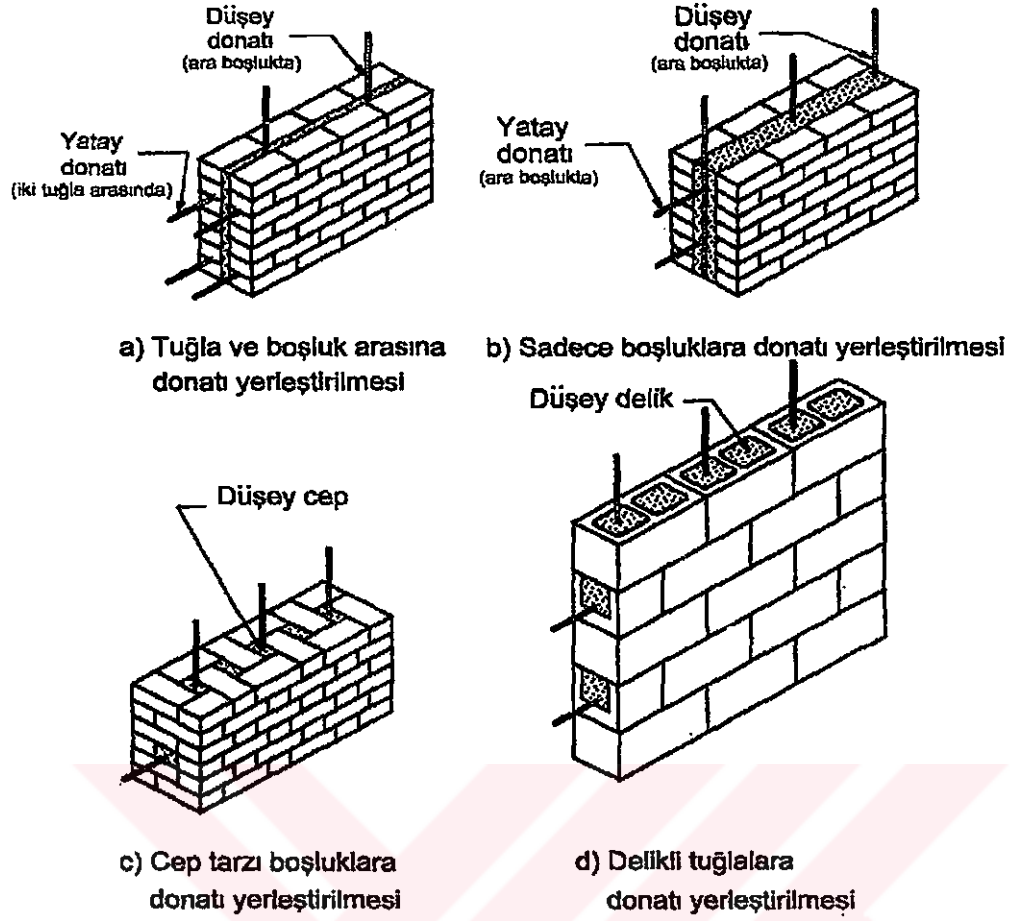
- Donatılı yığma yapılar

Donatılı yığma yapılar yığma yapıdaki taşıyıcı elemanların donatı ile birlikte tasarlanması ile inşa edilirler.

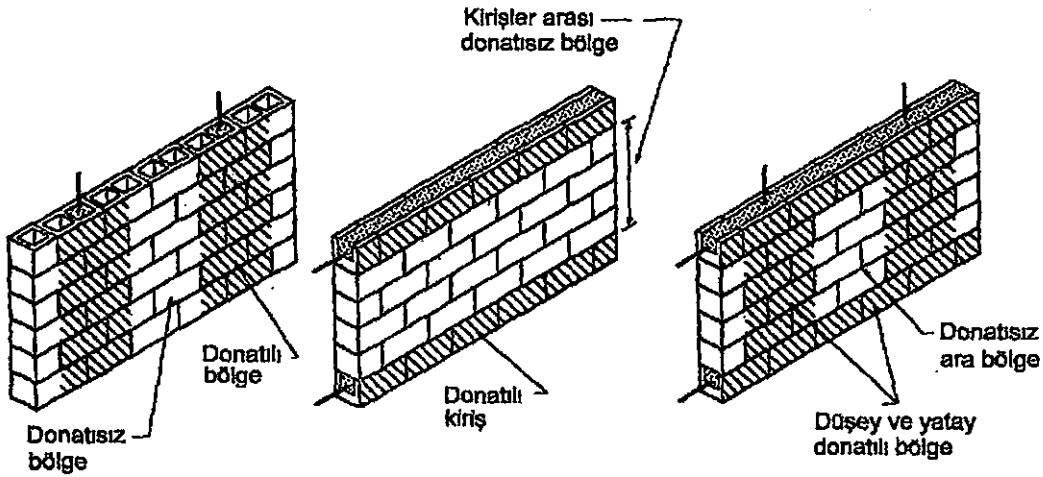
Donatılı yığma yapıda ana taşıyıcı sistemi duvarlar oluşturur. Duvarların çeşitli yapım şekilleri vardır. Donatılı duvarlarda, donatının duvara yerleştiriliş biçimi duvarda kullanılan yapı malzemesinin şekline ve biçimine bağlı olarak değişmektedir. Çeşitli duvar yapım biçimleri Şekil 1.2’de gösterilmiştir.

Şekil 1.2a’da duvar malzemesi olarak dolu tuğla kullanılmış, düşey donatı arada bırakılan boşluğa yerleştirilmiştir. Yatay donatı ise her iki yüzde bulunan tuğlalar arası harç yatağı bölgesine yerleştirilmiştir. Şekil 1.2b’de tuğlalar arası boşluk daha büyük tutulmuş ve bu sayede yatay donatı da düşey donatı ile beraber ara bölgeye yerleştirilmiş ve harçla doldurulmuştur. Şekil 1.2c’de sadece düşey ve yatay donatının geçeceği bölge kadar cep tarzında boşluklar bırakılmış ve donatılar bu boşluklara yerleştirilmiştir. Son olarak Şekil 1.2d’de görüldüğü üzere hem yatay hem de düşey donatının yerleştirilebilmesini sağlayacak şekilde delikli tuğlalar kullanılmıştır.

Şekil 1.3’de yine farklı şekillerde duvara donatı yerleştirilmesi görülmektedir. Donatı sadece belirli bölgelere yerleştirilmiştir. Harçlama işlemi sadece donatının bulunduğu boşlukta yapılmıştır.



Şekil 1.2 Duvar tipine bağlı donatı detayları



Şekil 1.3 Yığma duvarlarda yatay ve düşey donatılı kuşaklar

- Öngerilmeli yığma yapılar

Öngerilmeli yığma yapılar adından da anlaşılacağı üzere öngerilmeli donatı kullanılarak inşa edilen yığma yapılardır. Yabancı standartlarda bununla ilgili yapıım esasları bulunmasına karşın Türkiye’de yine bu konuyla ilgili bir standart mevcut değildir. Bu tezin konusu donatılı yığma yapılar olduğu için öngerilmeli yığma yapılar hakkında bir bilgi verilmeyecektir.

1.2 Yığma Yapı Elemanları

Yapı taşı olarak tuğlalar seramik olarak tanımlanan bir malzeme türüdür. Basınç dayanımı tuğlanın en önemli özelliği olmakla birlikte ülkemizde aynı ocaktan gelen tuğlalarda çok büyük basınç dayanımı farklılıkları olabilmektedir. Bu dayanım farklılıkları harman tuğlalarında daha bariz bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

Türkiye’de yığma yapılarda kullanılan kargir malzemeler, Türk Standartlarına uygun doğal taş, dolu tuğla, TS 705 ve TS 2510’da tanımlanan maksimum boşluk oranlarını sağlayan düşey boşluklu tuğlalar, dolu beton briketler veya benzeri bloklardır.

Boşluklu beton briket, cürufli briket, yatay delikli tuğlalar ve TS 2510 ve TS 705’te tanımlanan maksimum boşluk oranlarını sağlamayan düşey boşluklu tuğlalar, TS 4377’ye göre dolgu duvarlar için imal edilen diğer tuğlalar vb. taşıyıcı duvar malzemesi olarak kullanılamaz.

Tuğlaların kırılma sırasındaki birim uzaması veya ksalması 10^{-3} mertebesinde olup elastisite modülü için $E = 1000 f_d$ (f_d : tuğlada kırılma anında oluşan gerilme) ve poisson oranı için de 0.18 ila 0.25 arası bir değer alınabilir.

TS 500’e göre dolu ve %15’e kadar düşey delik oranlı fabrika tuğlalarında birim hacim ağırlığı $2\sim1.8 \text{ ton/m}^3$, basınç dayanımları $120\sim240 \text{ kg/cm}^2$ veya $100\sim220 \text{ kg/cm}^2$, %20ve %25 düşey delik oranlı “seyrek delikli” tuğlalar da ise, %20 için birim hacim ağırlığı 1.6 ton/m^3 , basınç dayanımları $100\sim150\sim220 \text{ kg/cm}^2$ ve %25 için de birim hacim ağırlığı 1.4 ton/m^3 , basınç dayanımları $80\sim120\sim200 \text{ kg/cm}^2$ olarak alınır.

TS 2510’a göre taşıyıcı duvarlarda kullanılmasına izin verilen düşey delikli tuğlaların delik oranları maksimum %35’dir. Fabrika tuğlalarında basınç dayanımı

için 1.25 gibi bir malzeme katsayısı kullanılır (Deneyi yapılan örnek tuğla partisi içinde rastlanabilecek en küçük değer, o dayanım sınıfı için verilen basınç dayanımından %25 daha küçük olabilir.)

Yığma yapılarda kullanılacak yapı taşları ABYYHY 1998'e göre yapıların sadece bodrum ve zemin katlarında kullanılabilir. Yığma yapılarda bodrum katlarda beton taşıyıcı duvar yapılabilir. ABYYHY 1998'e göre taşıyıcı duvarlarda kullanılacak yığma malzemelerin en düşük basınç dayanımı 50 kg/cm^2 , bodrum katlarda kullanılacak doğal taşların basınç dayanımları ise 100 kg/cm^2 olmalıdır. Bodrum katlarda beton duvar yapılması halinde en düşük beton sınıfının BS16 olması gerekmektedir. Yine ABYYHY 1998'e göre yığma kargir malzemeleri birleştiren harç malzemesinin de çimento takviyeli kireç harç (çimento/kireç/kum hacimsel oranı 1/2/9) veya çimento harcı (çimento/kum hacimsel oranı 1/4) olması gerekir.

1.3 Yığma Yapılarda Hatıllar, Kiriş ve Lentolar, Kolonlar, Destek Duvarları

- **Yığma yapılarda yatay hatıllar**

Yığma yapılarda döşemeler betonarme olarak teşkil edilir (betonarme plak veya dişli döşeme). ABYYHY 1998'e göre merdiven sahanlıkları da dahil olmak üzere her bir döşemenin taşıyıcı duvarlara oturduğu yerlerde betonarme döşeme ile birlikte (monolitik) dökülmek üzere şartnamede verilen koşulları sağlayan yatay hatıllar yapılması zorunludur.

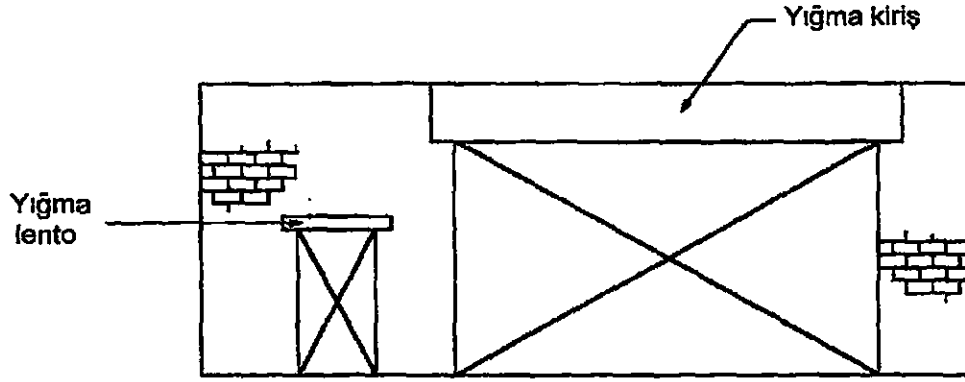
- **Yığma yapılarda düşey hatıllar**

ABYYHY 1998'e göre yığma binalarda depreme dayanıklılığın artırılması amacıyla bina köşelerinde taşıyıcı duvarların ara kesitlerinde, kapı ve pencere boşluklarının her iki yanında kat yüksekliğince betonarme hatıl yapılmasının uygun olduğu belirtilmiş ve bu hatılların teşkili hakkında bilgi verilmiştir.

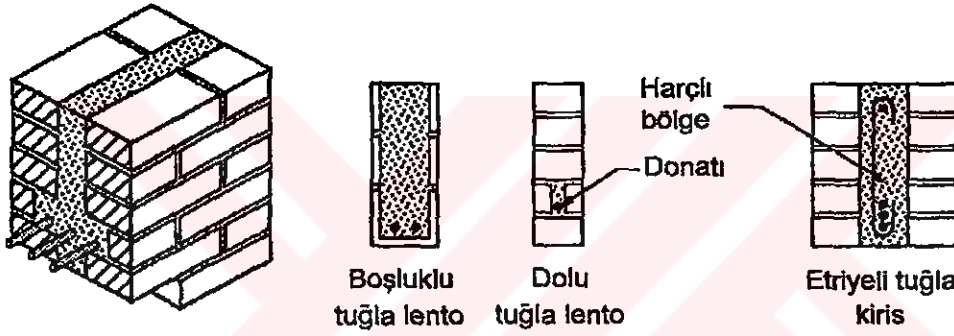
- **Yığma yapılarda giriş ve lentolar**

Pencere ve kapı boşluklarının üzerine, üzerindeki duvar yüklerinin yan duvarlara aktarılmasını sağlamak amacıyla lentolar teşkil edilmelidir. ABYYHY 1998'de

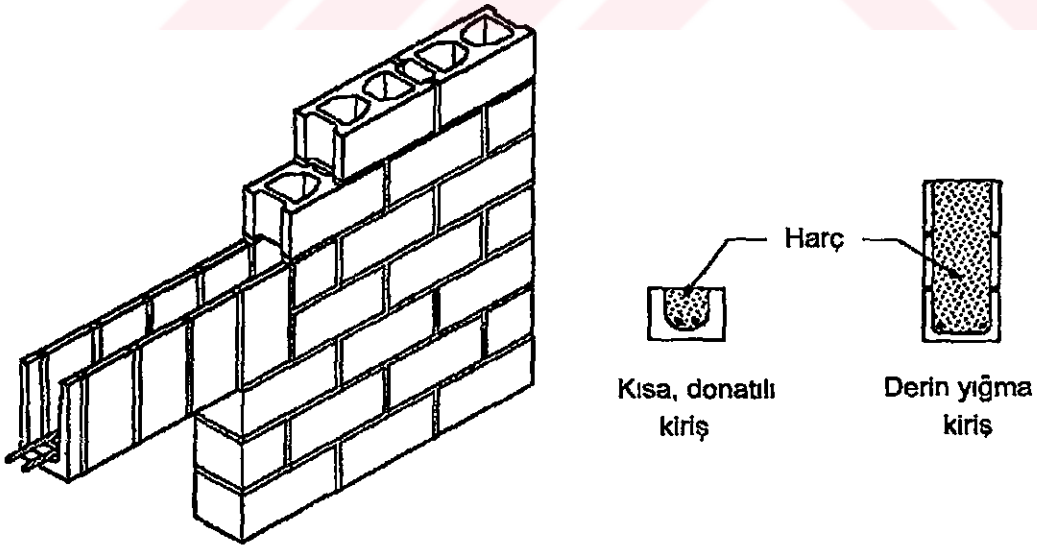
10.4.1.1 ve 10.4.1.2 numaralı bölümlerde lentoların yapımı ile ilgili esaslar verilmiştir.



a) Yığma kiriş ve lento



b) Tuğla yığma kiriş ve lentolar

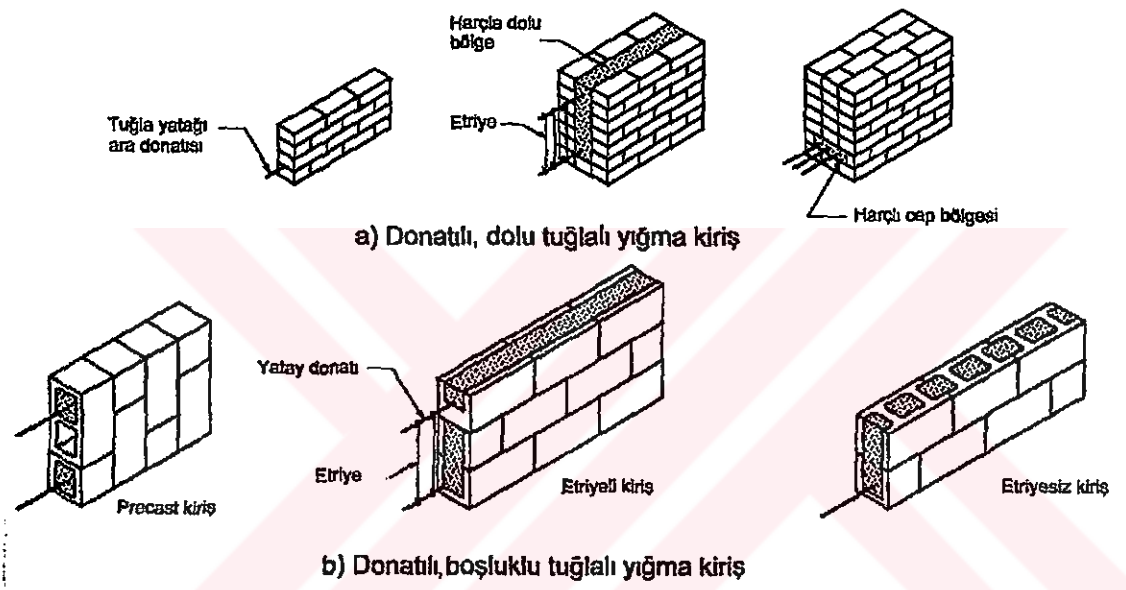


c) Beton yığma kiriş ve lento

Şekil 1.4 Yığma kiriş ve lento detayları

Donatılı yığma yapılar için Amerikan ACI şartnamesi baz alınarak kiriş ve lentolar için bazı detaylar Şekil 1.4 ve 1.5’de verilmiştir.[10]

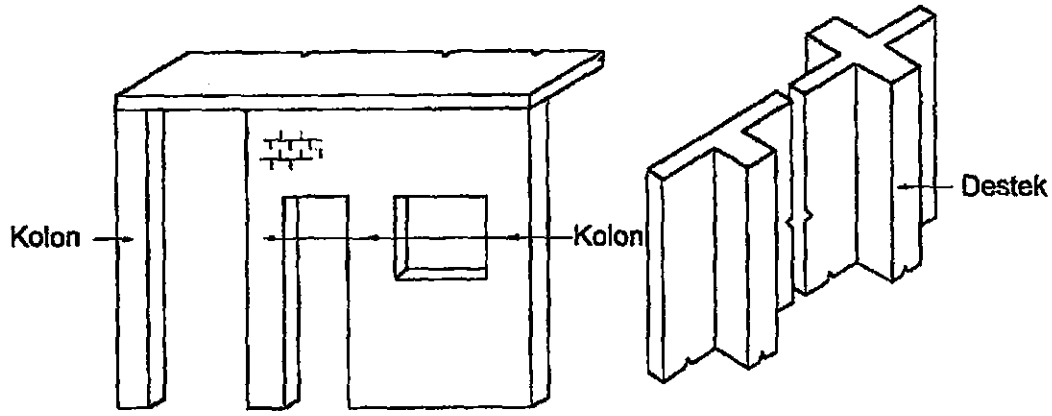
Şekil 1.4’de yığma kiriş ve lentonun yapıdaki yerleri gösterilerek bunların boşluklu veya dolu tuğla kullanılarak nasıl inşa edilebileceklerine dair detaylar verilmiştir. Şekil 1.5’de de görüldüğü üzere özellikle çift sıra dolu tuğla kullanarak arada bırakılan boşlukta yatay donatı ve etriyelerin düzenlenmesi yapım açısından daha kolay bir çözüm oluşturmaktadır. Bu şekilde düşey ve yatay donatı aralığı ve etriye aralıkları daha kolay bir şekilde seçilebilmekte ve uygulanabilmektedir.



Şekil 1.5 Yığma yapıda kullanılan kiriş detayları

- Yığma yapılarda kolonlar

ABYYHY 1998’de yığma yapılar için kolonlar hakkında bir bilgi mevcut değildir. ACI’da yığma yapılarda kolon, yatay uzunluğu kalınlığının 3 katından fazla olmayan ve yüksekliği kalınlığının en az 3 katı olan, izole edilmiş düşey eleman olarak tanımlanmaktadır. Kolonlar çoğu durumda duvarlarla beraber de kullanılmaktadır. Ayrıca duvarlarda yanıl stabiliteyi artırmak için destek elemanları da kullanılmaktadır. Şekil 1.6’da yığma bir binada kolon ve destek elemanları belirtilmiştir.

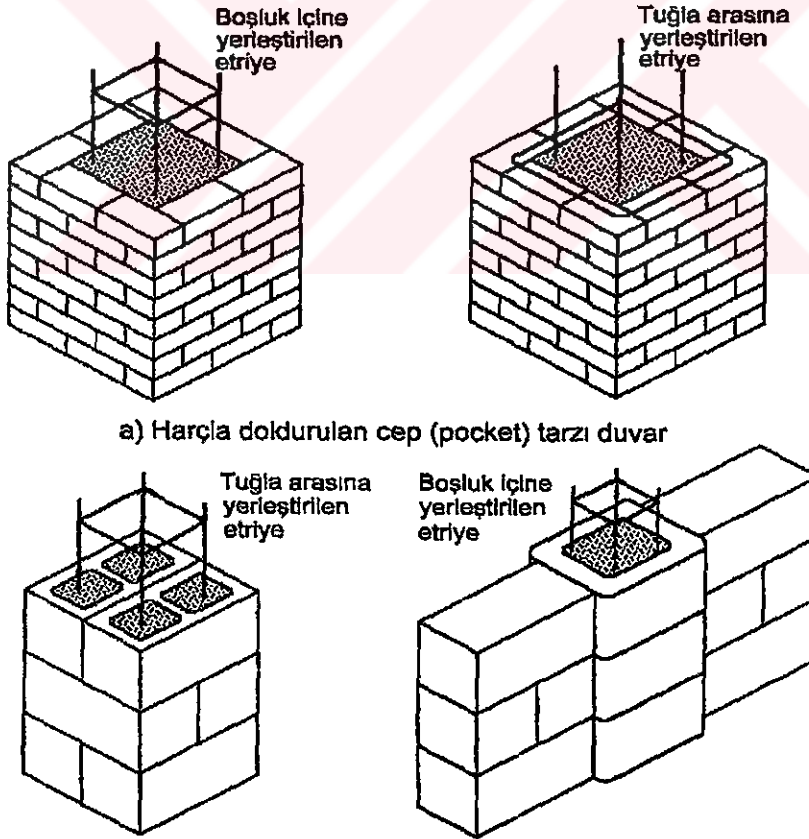


a) Yığma yapıda kolonlar

b) Yığma duvarda destek elemanı

Şekil 1.6 Yığma yapıda kolon ve destek elemanları

Kolonlar yapı ölü ve hareketli yükünün taşınmasında ve bunların temele aktarımında taşıyıcı duvarlara yardımcı olarak çalışırlar. Şekil 1.7’de yığma yapıda kullanılan kolon tipleri ve bunların donatı detayları görülmektedir.



a) Harçla doldurulan cep (pocket) tarzı duvar

b) Donatılı boşluklu birimler

Şekil 1.7 Donatılı, yığma kolon detayları

Kolonlarda da yine duvarlarda olduğu gibi dolu veya delikli tuğla kullanılabilir. Kullanılan tuğla cinsine göre yapım Şekli de Şekil 1.7'deki gibi farklılık göstermektedir.

- Yığma yapılarda destek duvarları

TS 2510'da destek duvarı, yapıda herhangi bir taşıyıcı duvarın karşı karşıya kalacağı düşey ve yatay yükler altında burkulmadan ayakta kalabilmesini sağlamak amacı ile ve taşıyıcı olarak da kullanılan duvar olarak tanımlanmaktadır. Şekil 1.6'da destek duvarına ait bir örnek görülmektedir.

1.4 Hesap Yönteminin Seçilmesi

Yığma yapı hala kullanım yükleri altında oluşan gerilmelere göre geleneksel metotlarla tasarlanmaktadır. Taşıma gücüne göre standartların ynelmemesinin sebebi Őphecisi bir inançla ortaya çıkmakta ve yığma yapının kullanım yükleri altındaki davranışının sınır durumdaki davranışına göre daha kesin bir Şekilde tahmin edilebileceğine inanılmaktadır. Fakat gerçekte bu inancı destekleyen çok az kanıt vardır. Kullanım yükleri altında büzülme, snme ve oturmalar etkisi sonucu oluşan gerçek gerilme seviyeleri elastik teoriye göre kabul edilen değerlerden farklı olacaktır. Bundan başka “düzlem kesitler düzlem kalır” hipotezi de birçok durum için geçersiz kalabilir. Bunun yanında sınır dayanım davranışısı bu yönden daha çok etkilenmeyen bir durum göstermektedir. Böylece sınır Şekil değiştirme durumundaki moment ve kesme kuvvetleri karşılaştırılabilir Şekilde daha kesin tahmin edilebilmektedir. şu an betonarme için geliştirilen taşıma gücü yönteminin tuğla veya blok duvar yığma yapılar için de kullanılabileceğine dair yeterli araştırma mevcuttur.

Elastik teorisinin dezavantajları vardır. Birçok standart elastik teoriyi belirtirken eksenel yük ve eğilme momentinden dolayı oluşan gerilmelerin şu Őartısı sağlaması gerektiğini ısrar etmektedir.

$$f_a / F_a + f_b / F_b \leq 1.0 \quad (1.1)$$

burada f_a ve f_b aksenal yük ve eğilme momenti etkisi altında bağımsız olarak hesaplanan gerilmelerdir. F_a ve F_b ise yalnız aksenal yük ve yalnız eğilme momenti altında izin verilebilen gerilme seviyeleridir. İyi bilindiği üzere bu yaklaşım yani gerilmelerin direk süperpozisyonunun uygulanabilirliği çatlamış kesitin eğilme için analizinde geçersiz kalmaktadır.

Sonuç olarak güvenli bir yığma yapı tasarımı için elastik hesap yerine taşıma gücü yönteminin kullanılması daha uygundur.

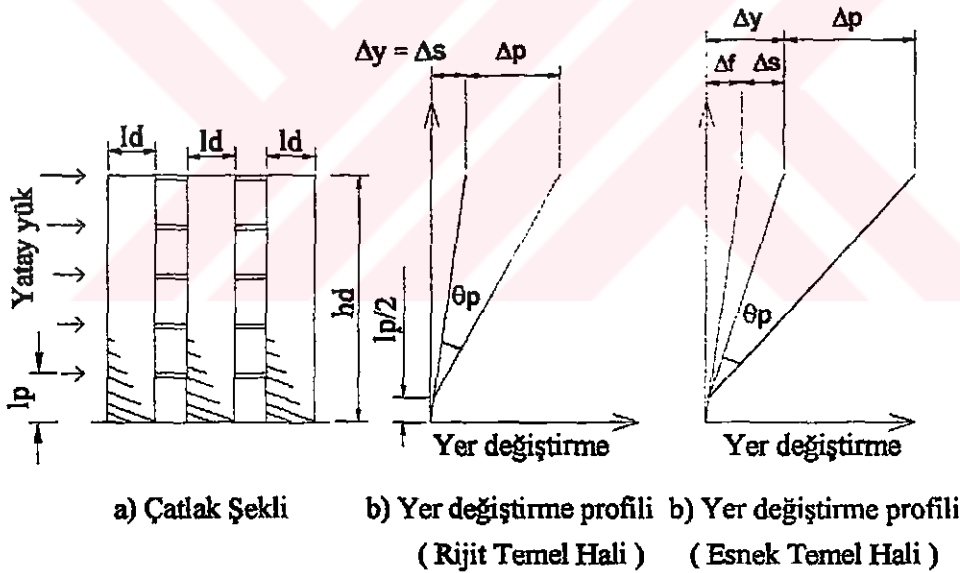


2. TEKRARLI YÜKLER ETKİSİNDE YIĞMA DUVARLARIN SINIFLANDIRILMASI

Yığma duvarlar üzerlerine etki eden yüzeysel yüklere, düzlemi içinde ve düzlemine dik kuvvetlere karşı dayanım göstermelidir. Duvarın düzlemi içinde ve düzlemine dik yöndeki eş zamanlı etkileri beraber göz önüne alınmalıdır.

Tekrarlı yükler etkisinde yığma duvarlar, konsol duvarlar ve boşluklu duvarlar olarak iki gruba ayrılabilir.

2.1 Konsol Duvarlar



Şekil 2.1 Esnek kat döşemeleri ile bağlanmış konsol duvarlar.

Bu tür duvarlar yatay yükler etkisinde bir konsol kiriş gibi davranış gösterirler. Şekil 2.1a düktil sismik davranış için tercih edilen yığma yapı sistemini göstermektedir. Deprem yükleri basit konsol duvarlar ile taşınmaktadır. İki veya daha fazla benzer duvarın aynı düzlemde olması durumunda duvarlar arası bağlantı rijit kiriş çiftleri yerine daha çok esnek kat döşemeleri ile sağlanmaktadır. Böylece duvarlar arası

moment geçişi en aza indirilebilir. Yapının kendi ağırlığını taşımada duvara yardımcı olacak şekilde duvar birleşim bölgelerinde destek olarak çalışan kolonlar kullanılabilir. Duvar yüksekliği boyunca bırakılan açıklıklar basit düşey konsol hareketini sağlayabilecek yeterlikte olmalıdır. Plastik mafsallın konsol gibi çalışan duvar tabanında oluşması sağlanmalıdır.

Duvarın düktil yer değiştirme kapasitesi plastik mafsallın plastik dönme kapasitesine bağlı olarak temelin rijit veya esnek olması durumunda Şekil 2.1b’de gösterildiği üzere şu şekilde ifade edilmektedir.

Plastik deplasman $\Delta_p = \theta_p (h_d - \frac{l_p}{2})$ ve toplam yer değiştirme $\Sigma \Delta = \Delta_y + \Delta_p$ olmak üzere sistemin toplam düktil yer değiştirmesi,

$$\mu_\Delta = \frac{\Sigma \Delta}{\Delta_y} = \frac{\Delta_y + \theta_p (h_d - \frac{l_p}{2})}{\Delta_y} = 1 + \frac{\theta_p}{\Delta_y} (h_d - \frac{l_p}{2}) \quad (2.1)$$

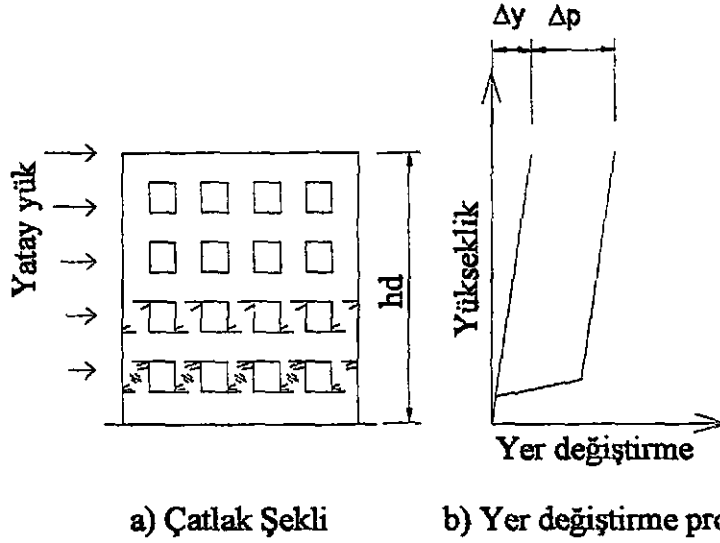
bağıntısı ile bulunur.

2.2 Boşluklu Duvarlar

Geleneksel yığma yapılar çoğunlukla Şekil 2.2a ve Şekil 2.3a’da gösterildiği gibi pencere ve kapı açıklıkları ile bölünmüş çerçevesel yığma duvarlar içermektedir. Yatay yükler altında plastik mafsallar, düşey duvar parçalarında ya da düşey pencere ara bölgelerinde oluşabilmektedir.

2.2.1 Plastik Mafsalların Düşey Duvar Parçalarında Oluştuğu Boşluklu Duvarlar

Öncelikle ve çoğu durumda düşey duvar parçaları tasarım deprem yükü neticesinde oluşan yer değiştirmelere karşı elastik olarak tasarlanmadığı müddetçe, bu parçalar yeterli düktil özellik göstermelidir. Eğilme ve kesme kuvveti neticesinde plastik mafsall kaçınılmaz bir şekilde düşey duvar parçalarında ve genellikle en alt katta oluşacaktır.



Şekil 2.2 Boşluklu duvar-P. mafsalların düşey duvar parçalarında oluşması durumu.

Şekil 2.2b’de ki akma ve sınır durum için oluşan yer değiştirme profillerini göz önüne alınsın. Herhangi bir belirlenmiş çatı seviyesindeki μ_Δ düktilitesi için plastik yer değiştirme ,

$$\Sigma\Delta = \Delta_p + \Delta_y \text{ ve } \mu_\Delta = \frac{\Sigma\Delta}{\Delta_y} = \frac{\Delta_p + \Delta_y}{\Delta_y} \text{ olmak üzere}$$

$$\Delta_p = (\mu_\Delta - 1)\Delta_y \quad (2.2)$$

olarak bulunur.

Duvar, üçgensel yayılı yatay deprem yükü etkisinde göçme yüküne, düşey duvar parçasının alt bölgesi eğilme veya kesme dayanımına ulaştığı anda erişir. Bu aşamada yapının diğer elemanları daha akma durumuna ulaşmamıştır. Akma durumundaki duvar elemanında sabit veya artan yatay yük sonucu şekil değiştirmeler oluşur. Böylece diğer yapısal elemanların elastik olmayan bu hareketten korunmaları sağlanmış olur. Bunun sonucunda plastik şekil değiştirme Δ_p akmaya başlayan düşey duvar parçasında oluşur. Eğer yapı n katlı ve düşey duvar parçasının yüksekliği kat yüksekliğinin yarısı ise 1. kat düşey duvar parçası için elastik yer değiştirme,

$$\Delta'_y = \Delta_y / 2n \quad (2.3)$$

ve toplam yer değiştirme de,

$$\Sigma\Delta = \Delta'_e + \Delta_p \quad (2.4)$$

olur.

Denklem (2.2) ve (2.3)'den faydalanarak 1. kat dūřey duvar parçası için gerekli dūktil yer deęiřtirme faktörü $\mu_{\Delta p}$ řu řekilde ifade edilir.

$$\mu_{\Delta p} = \frac{\Sigma\Delta}{\Delta e'} = 1 + \frac{\Delta_p}{\Delta e'} = 2n(\mu_{\Delta} - 1) + 1 \quad (2.5)$$

Örneęin dūktil yer deęiřtirme faktörü $\mu_{\Delta}=4$ için tasarlanan 4 katlı yıęma bir duvarda 1. kat dūřey duvar parçaları için gerekli dūktilite $\mu_{\Delta p}=25$ olacaktır. Bu nedenle řekil 2.2a'da gösterilen dūktil dūřey duvar parçaları bulunan yapı sistemi sadece dūřük dūktilitenin istendięi durumlarda uygundur.

Bořluklu duvarlar için güvenli yer deęiřtirme dūktilite faktörü μ_{Δ} , 1. kat dūřey duvar parçasının dūktil yer deęiřtirme faktörü cinsinden řu řekilde yazılır.

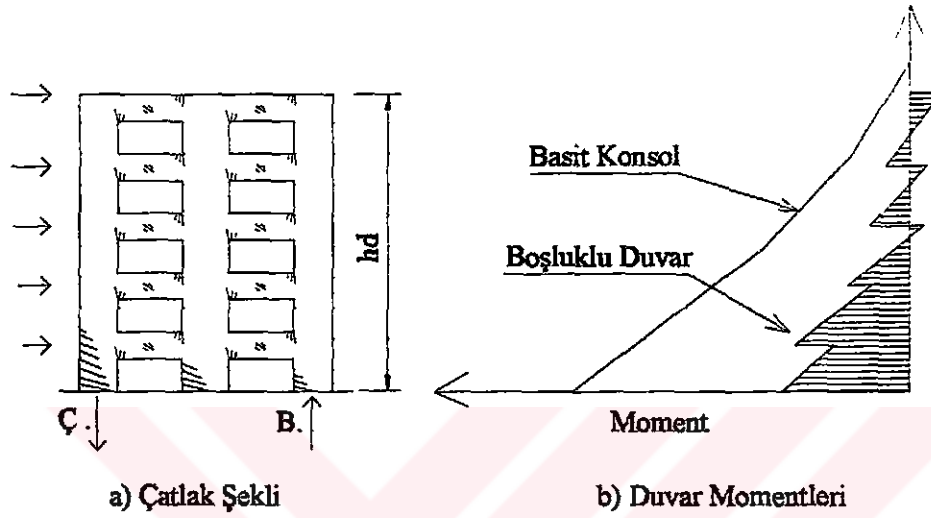
$$\mu_{\Delta} = 1 + 0.5(\mu_{\Delta p} - 1) / n \quad (2.6)$$

Böylece yukarıda örneęi geçen 4 katlı yapıda güvenli dūřey duvar parça dūktilite faktörü $\mu_{\Delta p}=4$ için $\mu_{\Delta}=1.375$ olacaktır. Açıkça görölüyor ki yapı yatay yüklere karřı tamamen elastik olarak tasarlanmalıdır.

2.2.2 Plastik Mafsalların Duvarları Bağlayan Ara Kirişlerde (Hatıl) Oluştuğu Boşluklu Duvarlar

Bazen yığma duvardaki açıklıklar öyle oranlarda olabilir ki dūřey boşluklar arası (kirişler) dūřey duvar parçalarından daha zayıf olabilir ve yapının davranışı şekil 2.3'de gösterilen çatlaklı duvar tipine yaklaşır. Bilindięi üzere iyi tasarlanmış betonarme boşluklu duvarlar deprem yüklerine karşı yeterli bir yapı sistemi oluşturur. Bununla birlikte ara kirişlerde özellikle yapı üst katlarında yüksek dūktilite gereksinimi ortaya çıkar. Fakat, bu dūktilite seviyelerinin betonarme yapılarda uygulanabilmesine karşın, yığma yapının dūřük sınır basınç şekil değiştirme özelliği

bu tür sistemleri yığma yapılar için uygunsuz kılar. Bu tarz yapı tipinde Şekil 2.3b' de gösterildiği üzere duvar momentinde oluşan artıştan dolayı boşluklar arasında hızlı bir dayanım ve rijitlik azalması oluşur. Eğer duvar moment kapasitesi düktil boşluklu duvar hareketine bağlı ise duvar tabanına etkiyen momentte artış mümkün olmayacak ve bu durumda yine duvar tabanındaki plastik mafsallın aşırı düktil olması gerekecektir.



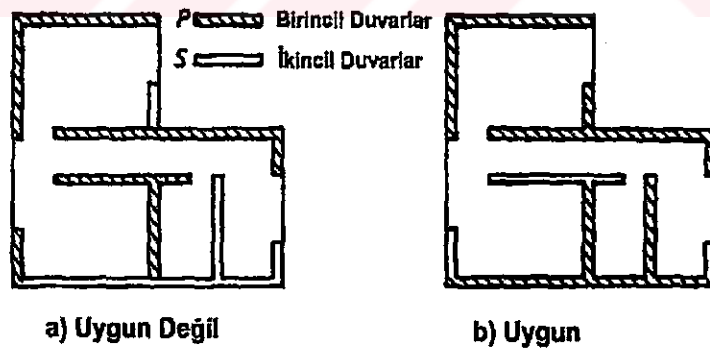
Şekil 2.3 Boşluklu duvar-Plastik mafsalların ara kirişlerde oluşması durumu

Duvarın dönmesi sonucu oluşan hasarları önlemek için kiriş duvardan esnek düğüm noktaları ile ayrılmalı veya tasarım azaltılmış yer değiştirme düktilitesine göre yapılmalıdır. Bu son örnek alternatif olarak Şekil 2.1'de gösterilen basit düşey konsol sistemine denk olsa bile, en iyi çözüm tümüyle ara kiriş kullanımından kaçınmaktır.

3. BİRİNCİL VE İKİNCİL DUVAR SİSTEMLERİNİN SEÇİMİ

Yığma duvarlı bir çok yapı, taşıyıcı duvarların sayılarının çokluğu, yönleri ve şekillerinin çok parçalı olması nedeniyle yatay yükler altında kolay analiz edilemezler. Bu gibi durumlarda duvarları, yapının ağırlığını ve yatay yükleri taşıyan birincil duvarlar ve sadece yapı ağırlığını taşıyan ikincil duvarlar olarak göz önüne almak uygun olur. Bu belirlenen deprem kuvvetini karşılamak için gerekli duvar alanının aşılması durumunda yatay yük analizinde kolaylık sağlar. Bununla birlikte analizde ikincil duvarların yatay yük taşımadığı kabul edilse de açıktır ki bu duvarlar kesin olmamakla birlikte belli bir oranda yatay yük taşırlar. Sonuç olarak bu tür duvarlarda minimum şartlar uygulanmasına karşın maruz kalabilecekleri şekil değiştirmelere karşı yapısal duvarlar için belirtilen standartlara uygun şekilde detaylandırılmaları gerekir.

Davranışın yeterli şekilde tahmin edilebilmesi için yapı doğal periyodu birincil ve ikincil sistemlerin rijitliği beraber düşünülerek bulunmalıdır.



Şekil 3.1 Birincil ve ikincil duvarlar

Hiçbir ikincil duvarın rijitliği en rijit birincil duvarın rijitliğinin dörtte birinden fazla olmamalıdır. Bu, elastik olmayan yer değiştirmelerin ikincil duvarlarda oluşması ihtimalini en aza indirmek ve yapı ağırlığını taşıma rolünde olan ikincil duvarların güvenilirliğinden emin olmak için gereklidir. Uzun rijit duvarlar, daha esnek duvar serilerine bölünmelidir. Birincil ve ikincil duvarların seçiminde dikkat edilecek en

önemli husus rijitlik ve kütle merkezlerinin mümkün olduğunca birbirine yakın olmasını sağlamak ve böylece burulma etkilerini en aza indirmektir. Şekil 3.1’de karma sistemler için birincil ve ikincil sistemlerin kabul edilebilir ve kabul edilemez seçim biçimleri gösterilmiştir.



4. DONATILI YIĞMA YAPILARIN HESAP YÖNTEMİ

Analizde gerekli olan, yapıya etki eden düşey ve yatay yükler, bu yüklerin duvarlara dağılımı, periyot ve yer değiştirmelerin saptanmasıdır. Ülkemizde donatılı yığma yapılarla ilgili bir yönetmelik yoktur. Burada anlatılacak yöntem Amerika ve Yeni Zellanda yönetmelikleri baz alınarak açıklanmıştır. [15]

T kesitli duvarlar yığma yapılarda çok yaygındır ve yüklemenin duvar gövdesine paralel olması durumu göz önüne alınmalıdır. Basınç bölgesinin flanş ya da gövdede olmasına göre farklı rijitlik değerleri uygulanmalıdır. Basınç bölgesi flanşta ise rijitlik yalnızca gövde kesiti düşünülerek bulunabilir. Basınç bölgesinin gövdede olması durumunda yine gövde kesiti rijitlik hesabında dikkate alınabilir. Donatılı yığma yapılarda bu durumda, flanş bölgesindeki donatının akma kapasitesine eşit aksenal yük duvara etki ettirilmelidir. Bu önemli derecede rijitliğin artmasına sebep olacaktır. Hesapta taşıma gücü yöntemi esas alınmıştır.

4.1 Kesit Analizinde Yapılan Kabuller

Elastisite Modülü:

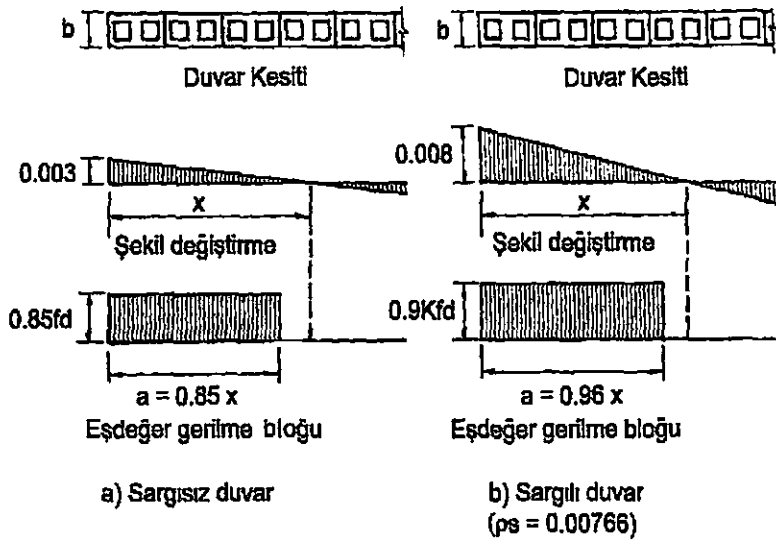
Elastisite modülü için şu değerler kabul edilmektedir.

Beton yığma için $E : 1000 f_d$

Kil tuğla yığma için $E : 750 f_d$

Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi:

Yatay sargı donatısı olmayan duvarlar için ve ayrıca galvanizli çelik plakaların ($f_y = 315 \text{ MPa}$) tuğla ara bölgelerine yerleştirilerek (detay için Şekil 4.12'e bakın) minimum 0.00766 kesit yüzdesi oranında sargı donatısı teşkil edilen yığma duvarlarda, şekil değiştirme ve eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu için kabul edilen değerler Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Sargılı ve sargısız yığma duvarda gerilme ve şekil değiştirme bağıntıları

Şekil 4.1'de gösterilen K ifadesi sargı donatılı yığma yapılarda düktilite sebebiyle ortaya çıkan dayanım artışı katsayısıdır. Bu sayının hesabı düktilite bölümünde açıklanacaktır.

Dayanım Güvenlik Katsayıları:

Duvarların basınç dayanımlarındaki belirsizlikler, boyutlarda yapılacak hatalar v.b. kusurları göz önüne almak üzere yapıya etki eden tesirler belirli bir katsayı ile bölünerek artırılır. Dayanım güvenlik katsayıları olarak isimlendirilen bu katsayılar eğilme, eksenel yük ve kesme yük durumları için Tablo 4.1'de verilmiştir.[9]

Tablo 4.1 Dayanım güvenlik katsayıları

Yük Durumu	Standart Gerekli Dayanımı için	Kapasite dayanımı için
Eğilme Etkisinde	$0.65 \leq \phi \leq 0.85$	1.0
Eksenel yük +Eğilme Etkisinde	$0.65 \leq \phi \leq 0.85$	1.0
Kesme Kuvveti etkisinde	0.8	1.0

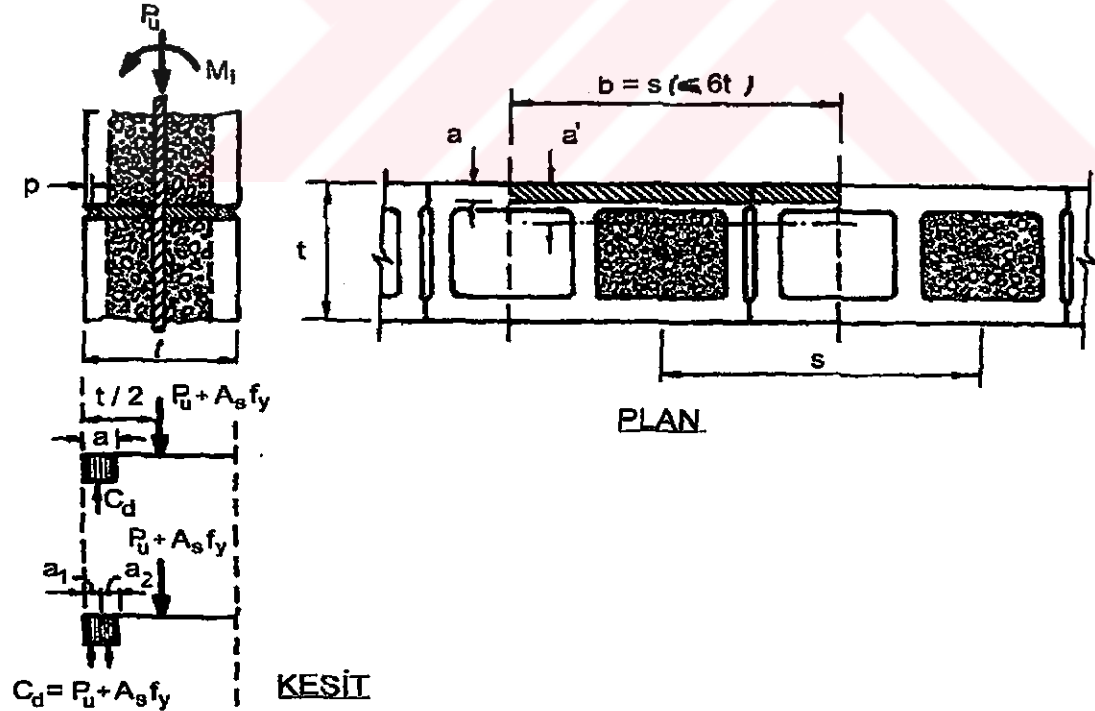
Tablo 4.1’de belirtilen ϕ ifadesi $\phi = 0.85 - 2(P_u / f_d A_g)$ formülü ile hesaplanır.

4.2 Eğilmeye Göre Tasarım

4.2.1 Düzleme Dik Yükleme ve Düzlem Yükleme ile Etkileşimi

Zeminin deprem yükleri altında çok eksenli hareketi nedeniyle duvarlar eş zamanlı olarak düşey, düzlem içinde ve düzlemine dik etkilere maruz kalırlar. Düzlemdeki tepki esas olarak duvarın, yapının diğer kısımlarından gelen atalet kuvvetine karşı direncinin sonucudur (örneğin kat kütleleri). Buna karşın düzleme dik tepki kat seviyesindeki harekete tepki olarak duvarların kendi atalet kütlelerinin sonucudur. Çok katlı duvarların düzleme dik tepkileri çok karmaşıktır. Yüzeysel yüklü duvarın hareketi deprem nedeni ile oluşan zemin hareketinden oldukça farklı olacak ve yapının bütün olarak doğal frekansını temsil eden çok güçlü harmonik bileşenler ihtiva edecektir.

4.2.2 Düzleme Dik Eğilme İçin Kesit Analizi ve Hesap Esasları



Şekil 4.2 Düzleme dik moment etkisinde kesit kuvvetleri

Şekil 4.2 yığma duvarın düzlemine dik moment etkisi altında tasarım ve analiz yöntemini göstermektedir. Her bir donatıdaki çekme kuvvetini dengeleyen, duvarın basınç bölgesindeki etkili genişliği b hesaplanmalıdır. Şekil 4.2’de duvarın etkili genişliği donatı düşey aralığına eşit alınmıştır. t duvar kalınlığı olmak üzere $s > 6t$ olduğu durumda $b=6t$ olarak kabul edilmelidir.

Basınç bölgesinde gerilmelerin o yükseklikte bir alanda uniform olarak dağıldığı kabul edilirse, buna göre;

$$\text{Basınç bloğunun derinliği} \quad : \quad a = \frac{P_u + A_s f_y}{0.85 f_d b} \quad (4.2)$$

$$\text{Kesitin ideal moment kapasitesi} \quad : \quad M_i = (P_u + A_s f_y)(d - a/2) \quad (4.3)$$

$$\text{Faydalı yükseklik} \quad : \quad d = t/2 - p \quad (4.4)$$

olarak alınır.

$p \leq 3\text{mm}$ ise normal olarak denklem (4.4)’de $p=0$ alınır.

Çoğu durumda a derinliği tümüyle yüzey kabuğu kalınlığı içindedir. Kısmen harçlı yüksek donatılı veya yüksek eksenel yüklü duvarlar için a derinliğinin yüzey kabuk kalınlığını geçme ihtimali vardır (Şekil 4.2 $a < a'$) ve bu durumda denklem (4.2) uygulanmaz. Bu durumda a' değerini bulmak için normal T kesitli kiriş eğilme teorisi kullanılmalıdır.

Denklem (4.2) sargı donatısı olmayan yığma duvarlar için geçerlidir. Eğer sargı donatısı kullanılırsa gerilme bloğunu farklı parametreler tanımlar ve hesapta bunlar kullanılmalıdır. Betonarme tasarımda olduğu gibi göçmenin çekme kırılması şeklinde olup olmadığı kontrol edilmelidir.

4.2.3 Düzleme Dik Eğilme İçin Hesap

Tipik tasarım, uygun miktarda donatı ile verilen eksenel yük seviyesi (P_u) ile istenen sınır moment kapasitesini (M_u) temin etmektir. Hesap değerleri sınır değerlerin belli bir güvenlikle büyütülmüş değerleri olarak alınmalıdır. Bundan dolayı gerekli hesap değerleri,

$$M_i \geq M_u / \phi \quad P_i = P_u$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Burada, ϕ = eğilme dayanım azaltma çarpanını ifade eden 1'den küçük bir katsayıdır ($\phi < 1$).

Dikkat edilecek olursa eksenel yük için henüz bir çarpan verilmemiştir. Bunun nedeni tipik deprem tasarım durumu P_u bütünüyle yapının kendi ağırlığından dolayı ve M_u da tamamen veya çoğunlukla deprem kuvvetlerinden dolayıdır. Denge yük durumundan düşük tipik duvar kesiti için P_u değerini ϕ ile bölmek moment kapasitesini artıracaktır.

Kesitin eğilme kapasitesi M_i 'yi iki bileşen olarak düşünmek uygundur. Eksenel yükten elde edilen moment kapasitesi M_p ve donatıdan dolayı elde edilen moment kapasitesi M_s olmak üzere M_i şu şekilde ifade edilebilir.

$$M_i = M_p + M_s \quad (4.5)$$

Bundan dolayı Şekil 4.2'de gösterilen basınç bölgesi derinliği "a", P_u ve A_s den dolayı a_1 ve a_2 olarak iki parçaya bölünür.

Böylece eksenel yük tarafından sağlanan moment birim uzunluk için,

$$a_1 = P_u / 0.85f_d$$

$$M_p = P_u (t/2 - a_1/2) \quad (4.6)$$

olarak bulunur.

Donatı tarafından sağlanan moment ise şuna eşittir.

$$M_s = M_i - M_p$$

a değerinin $t/2$ ye oranla daha küçük olduğu kabul edilerek,

$$a_2 \approx a_1 \frac{M_s}{M_p} \quad (4.7)$$

alınabilir. Bu değerle M_s ,

$$M_s = A_s f_y \left(\frac{t}{2} - a_1 - \frac{a_2}{2} \right)$$

olarak bulunur. Bu durumda gerekli donatı alanı,

$$A_s = \frac{M_s}{f_y \left[\left(\frac{t}{2} \right) - a_1 - \left(\frac{a_2}{2} \right) \right]} \quad (4.8)$$

olarak hesaplanır.

Donatı aralığındaki sınırlamalardan dolayı tasarımda daha büyük kesinlik garanti edilemez. Bununla birlikte denklem (4.8)'e göre uygun donatı çapı ve aralığı seçilerek moment kapasitesi, denklemler (4.2) ve (4.4)'e göre tahkik edilebilir.

Örnek 4.1 :

190 mm kalınlıklı tamamen harçlı beton bloklı duvara 27.7 kN/m değerindeki ölü yükten oluşan eksenel yük etmektedir. Duvarın $M_u = 15$ kNm/m değerindeki momente göre tasarlanması istenmektedir. $\phi = 0.8$ ve $f_d = 12$ MPa olduğuna göre duvarın gerekli eğilme donatısının hesaplanması istensin.

Çözüm :

ACI'a göre $U = 0.9G + E$ yük kombinasyonu kullanılarak tasarıma esas kuvvetler,

$$M_i \geq 15/0.8 = 17.75 \text{ kNm/m}$$

$$P_u = 0.9P_d = 25.0 \text{ Kn/m}$$

olur. Denklem (4.6)'ya göre eksenel yük tarafından sağlanan moment kapasitesi,

$$a_1 = \frac{P_u}{0.85f_d} = \frac{25 \times 10^3}{0.85 \times 12 \times 10^6} = 2.45 \text{ mm}$$

$$M_p = P_u \left(\frac{t}{2} - \frac{a_1}{2} \right) = 25 \times 10^{-3} \left(\frac{190}{2} - \frac{2.45}{2} \right) = 2.35 \text{ kNm/m}$$

olarak bulunur. Buradan da donatı tarafından karşılanması istenen moment kapasitesi,

$$M_s = M_i - M_p = 17.75 - 2.35 = 16.4 \text{ kNm/m}$$

olarak bulunur. Denklem (4.7)'den,

$$a_2 \approx a_1 \frac{M_s}{M_p} = 2.45 \times \frac{16.4}{2.35} = 17.1 \text{ mm}$$

olmak üzere, denklem (4.8)'den

$$A_s f_y \geq \frac{M_s}{\left[\left(\frac{t}{2} \right) - a_1 - \left(\frac{a_2}{2} \right) \right]} = \frac{16.4 \times 10^3}{\left[95 - 2.5 - 0.5 \times 17.1 \right]} = 195 \text{ kN/m}$$

olarak bulunur. Gerekli donatı alanı farklı çelik türleri için aşağıdaki gibi bulunur.

$$f_y = 220 \text{ Mpa için } A_s \geq 886 \text{ mm}^2 / \text{m seçilen donatı} \Rightarrow \phi 22/400 (950 \text{ mm}^2 / \text{m})$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa için } A_s \geq 464 \text{ mm}^2 / \text{m seçilen donatı} \Rightarrow \phi 12/200 (565 \text{ mm}^2 / \text{m})$$

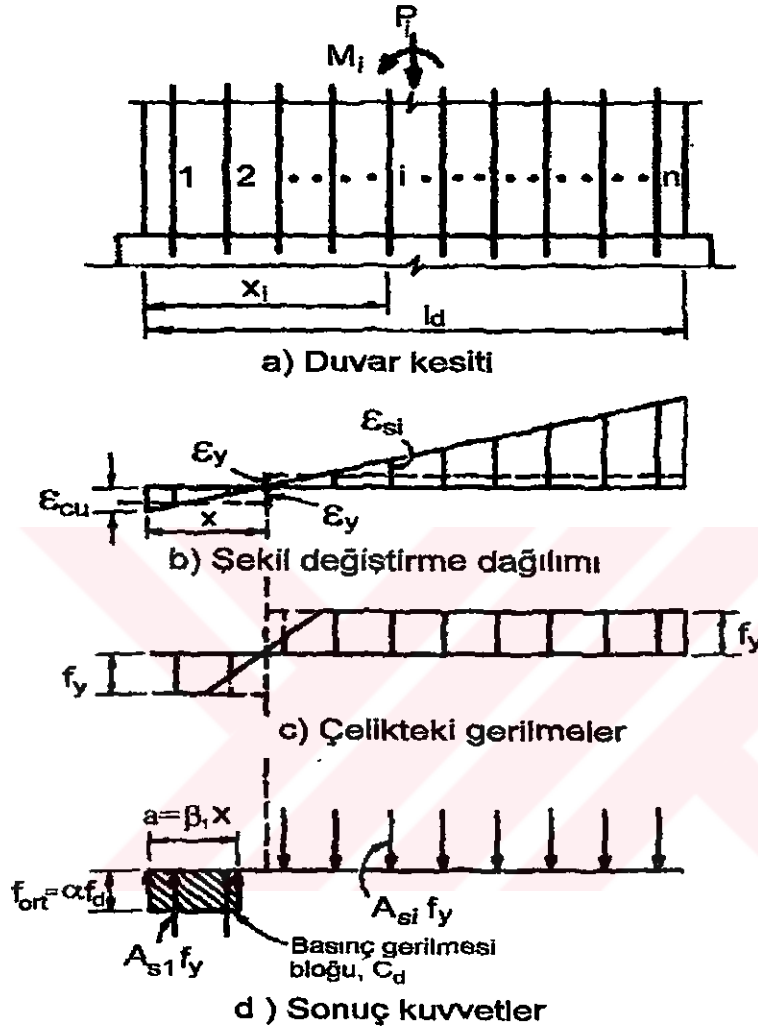
Her iki seçimde de gerekli 17.75 kNm/m'lik eğilme momenti sağlanmaktadır

4.2.4 Düzlemde Eğilme İçin Kesit Analizi ve Hesap Esasları

Duvarın düzlemi içindeki eğilme dayanımı, eğilme donatısının duvarın uç bölgelerinde yoğunlaştırılarak yerleştirilmesi ya da bunların düzenli olarak duvar boyunca yerleştirilmelerinden bağımsızdır. Fakat donatının düzgün olarak dağıtılması bir çok sebepten dolayı tercih edilmelidir. Donatının duvar uç bölgelerine yerleştirilmesi harç döküm bölgesini azaltacağından aderans ve ankraj problemlerine sebep olur. Ayrıca periyodik, elastik olmayan sismik kuvvetler etkisi altında basınç bölgesindeki donatıların burkulması neticesinde bu bölgenin çatlama eğilimini artırır. Eğer bu olursa, dayanım ve rijitlik ani olarak düşer ve eğer eğilme donatısının bindirmeli eki duvar dibinde yapılmış ise toptan çökme olabilir. Düzgün dağıtılmış donatıda bu dezavantajlar yoktur, hatta kesme dayanımını artırma bakımından avantajları bile vardır. Düzgün dağıtılmış donatı, yığmanın eğilme basınç kuvveti büyüklüğünü artırır, böylece basınç kesme kuvveti transferini iyileştirir. Ayrıca duvar tabanında bir kenetlenme kuvveti sağlar ve bu kuvvet duvarın taban seviyesinde kaymasını sınırlar. Düşük eksenel yüklü duvarlarda bu durum söz konusu olabilir. Tüm bu bilgilerin ışığında eğilme donatısının duvar uzunluğu boyunca düzgün dağıtılması tavsiye edilir.

Şekil 4.3 düzgün yayılı donatı için dikdörtgen kesitli duvarda ideal eğilme dayanımının elde edilmesi yöntemini göstermektedir. Duvar $A_{s1}...A_{si}...A_{sn}$ kesit alanlarına sahip n tane çubuk içermektedir. Genel olarak düşük eksenel yük P_i ve donatı yüzdesi $\rho_i = \sum A_{si} / l_d t$ 'den dolayı tarafsız eksen derinliği, duvar uzunluğu l_d ile karşılaştırıldığında küçük olacaktır. Yığma yapının sınır basınç birim şekil değiştirmesi ϵ_{cu} normal olarak sıkılaştırma yapılmamış durumda donatı akma şekil değiştirmesi ϵ_y den büyük olacağından (yüksek dayanımlı donatı kullanılmadığı durumlar için) hemen hemen tüm donatılar Şekil 4.3b'de gösterildiği gibi ister basınç veya isterse çekme bölgesinde olsun akmış olacaktır.

Tarafsız eksenin yerini bulma işlemi iterasyon yöntemi gerektirir. Şekil 4.3'deki notasyonlar ayrıca $f_{ort} = \alpha f_d$ ve $a = \beta x$ ifadelerinden yararlanılarak, eşdeğer gerilme bloğunu tanımlamak için şu yöntem önerilmektedir.



Şekil 4.3 Düzlemi içinde eğilmeye maruz duvarda yapılan kabuller

ADIM 1: İlk önce eşdeğer gerilme bloğu derinliği şu şekilde kabul edilir,

$$a = \frac{P_i + 0.5 \sum_{i=1}^n A_{s_i} f_y}{\alpha f_d t} \quad (4.9)$$

Bu başlangıç yaklaşımı çeliğin %75'inin çekmeye, %25'inin ise basınca çalıştığını kabul etmektedir.

ADIM 2: Tarafsız eksen derinliği $x = a / \beta$ hesaplanır.

ADIM 3: Basınç kuvveti hesaplanır. $C_d = \alpha f_d t a$

ADIM 4: x 'nin geçerli değeri için 1 den i ye kadar olan çubuklar basınçtadır. Bundan dolayı çelik basınç kuvveti şuna eşit olur.

$$C_s = \sum_{j=1}^i A_{s1} f_y$$

ADIM 5: $(i+1)$ den n e kadar olan çubuklar çekmede olduğundan çelik çekme kuvveti şuna eşittir.

$$T = \sum_{j=i+1}^n A_{s1} f_y$$

ADIM 6: Dengenin sağlanıp sağlanmadığını kontrol edilir.

$$C_d + C_s - T > P_i \quad \text{ya da} \quad C_d + C_s - T < P_i \quad (4.10)$$

Eğer $C_d + C_s - T > P_i$ ise a oranı azaltılır.

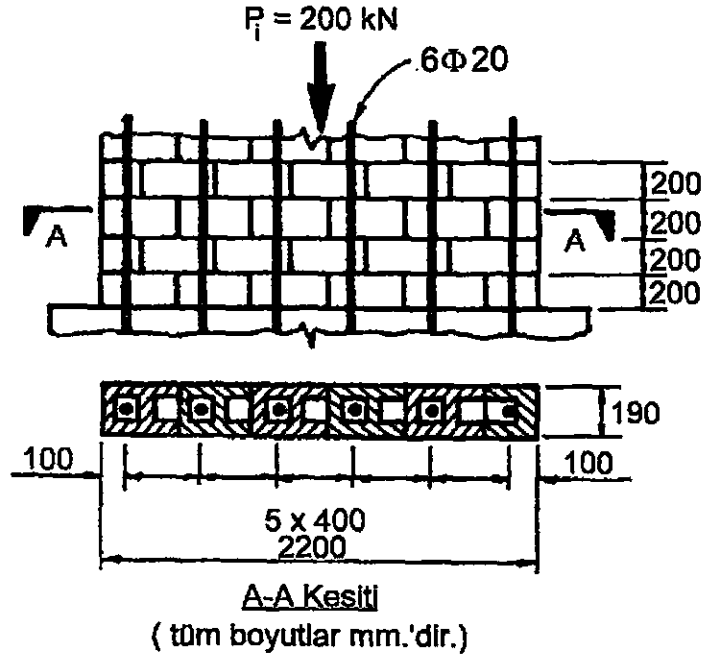
Eğer $C_d + C_s - T < P_i$ ise a oranı artırılır.

ADIM 7: Adımları 2 den 6 ya kadar denklem (4.9) %2'den %5'e kadar yeterli tolerans sağlayacak şekilde tekrarlanır. Bu işlem normal olarak iki ve üç adımda sonuçlanır ve tecrübe ile daha az adımda da sonuca ulaşılabilir.

ADIM 8: Tüm kuvvetlerin herhangi bir uygun noktaya göre momenti alınır. Tarafsız eksen bu işlem için genel olarak en uygundur.

$$M_i = C_d \left(x - \frac{a}{2} \right) + \sum_{j=1}^i \left| f_y A_{s1} (x - x') \right| + P_i \left(\frac{l_d}{2} - x \right) \quad (4.11)$$

Bu toplam ifadesindeki tüm terimler pozitifdir.



Şekil 4.4 Örnek 4.2 için yığma duvar kesiti.

Örnek 4.2 :

Şekil 4.2’de görülen 190 mm kalınlıkta sargı donatısı olmayan beton yığma duvar, düşey $\phi 20$ donatı çubukları ile düzenlenmiştir ($f_y = 420$ MPa) ve duvara 200 kN değerinde aksenal yük etmektedir. $f_d = 8$ Mpa olduğuna göre duvarın düzlem eğilme dayanımı hesabı istensin.

Çözüm :

1. Denklem (4.9)’a göre a hesaplanır. Duvar sargısız olduğundan $\alpha = 0.85$ olur.

$$a = \frac{P_i + 0.5 \sum_{i=1}^n A_{si} f_y}{\alpha f_d t} = \frac{200 \times 10^3 + 0.5 \times 6 \times 314 \times 420}{0.85 \times 8 \times 190} = 461 \text{ mm}$$

2. $\beta = 0.85$ için $x = a / \beta = 461 / 0.85 = 542$ mm.

3. Yığma basınç kuvveti

$$C_d = \alpha f_d t_a = 0.85 \times 8 \times 190 \times 461 \times 10^{-3} = 596 \text{ kN}$$

4. $x = 542$ mm olduğuna göre tarafsız eksen yaklaşık 2. çubuğun üzerindedir. Bu çubukta gerilmenin sıfır olduğunu kabul edelim. Böylece bir çubuk basınca dört çubukta çekmeye çalışmış olur. Basınç çubuğundaki kuvvet,

$$C_s = \sum_{i=1}^j A_{si} f_y = 1 \times 314 \times 420 \times 10^{-3} = 132 \text{ kN}$$

5. $T = \sum_{i=j+1}^n A_{si} f_y = 4 \times 314 \times 420 \times 10^{-3} = 528 \text{ kN}$

6. Denklem (4.10)' a göre denge denklemi kontrol edilir.

$$C_d + C_s - T = 596 + 132 - 528 = 200 \text{ kN} = P_i$$

Bu durumda a için yapılan ilk kabul doğrudur ve başka iterasyona gerek yoktur.

Adım 8'e gidilir.

8. Tarafsız eksene göre moment denklem (4.11) kullanılarak,

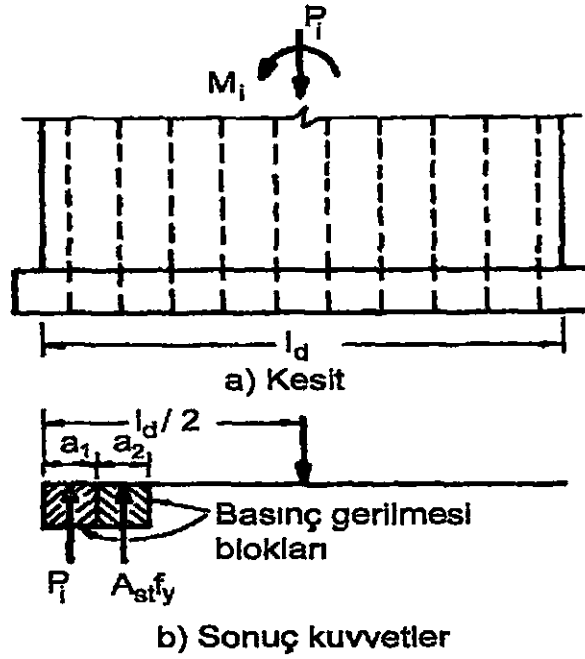
$$M_i = C_d \left(x - \frac{a}{2} \right) + \sum_{i=1}^n |f_y A_{si} (x - x'_i)| + P_i \left(\frac{l_d}{2} - x \right)$$

$$M_i = \left[596 \left(542 - \frac{461}{2} \right) + 132(442 + 1558 + 1158 + 758 + 358) + 200(1100 - 542) \right] 10^{-3}$$

$$= 861 \text{ kNm}$$

olarak bulunur.

4.2.5 Düzlem Eğilme İçin Hesap



Şekil 4.5 Düzlemi içinde eğilmeye maruz duvarda kesit kuvvetleri

Duvarın düzlemde ideal eğilme dayanımı, aynı miktar ve özellikteki donatının duvar içinde düzgün dağıtılması veya donatının duvar uç bölgelerinde yoğunlaştırılması ile çok az değişmektedir. Aynı miktar donatı eğer duvarın merkez bölgesine yerleştirilirse tabi ki çok az bir eğilme dayanımı elde edilir.

Bunun tavsiye edilen pratik bir düzenleme olmamasına karşın, verilen bir duvar için gerekli donatı miktarını hesaplamada kavramsal olarak kullanılabilir.

Yöntem yüzeysel yüklü duvarlar için kullanılan yöntemin benzeridir. Bu yöntem toplam momenti hesaplamada, donatı ve eksenel yük için elde edilen bileşenleri ayrı ayrı göz önüne alır. Bu prosedür Şekil 4.5'de özetlenmektedir. Eşdeğer dikdörtgen basınç gerilme bloğu yine Şekil 4.2'de gösterildiği gibi a_1 ve a_2 olarak ikiye bölünmüştür.

M_u istenen moment kapasitesidir. Böylece $M_i \geq M_u / \phi$ ve eksenel yük P_i tarafından sağlanan moment,

$$a_1 = P_i / \alpha f_c t$$

olmak üzere,

$$M_p = P_i \left(\frac{l_d}{2} - \frac{a_1}{2} \right) \quad (4.12)$$

denklemini ile bulunur.

Donatı tarafından sağlanan moment bundan dolayı $M_s = M_i - M_p$ şeklinde ifade edilir. Denklem (4.7)'den $a_2 \approx a_1 (M_s / M_p)$ olduğu göz önüne alınarak,

$$M_s = A_s f_y \left(\frac{l_d}{2} - a_1 - \frac{a_2}{2} \right)$$

ve

$$A_s \geq \frac{M_s}{f_y \left[\left(\frac{l_d}{2} \right) - a_1 - \left(\frac{a_2}{2} \right) \right]} \quad (4.13)$$

denklemleri elde edilir.

Denklem (4.13)'ü sağlamak için uygun donatı çapı ve aralıkları seçilebilir. Eğer gerek duyulursa (4.9), (4.10), (4.11) denklemleri kullanılarak eğilme dayanımı kontrol edilebilir. Dikkat edilmelidir ki bu durumda a 'nın ilk kabulü için $a = a_1 + a_2$ değeri kullanılmalıdır.

Örnek 4.3

Sargılı Dikdörtgen Yığma Duvar Tasarımı İçin Bir Örnek:

3.2 m uzunluğunda ve 0.19 m genişliğinde dikdörtgen beton yığma duvar 3 mm kalınlığında galvanizli çelik plaklarla ($f_{yh}=315\text{MPa}$) plastik mafsallı bölgesinde sarılmaktadır. Duvar eksenel 520 kN değerinde ölü yük taşımaktadır. $f_d = 10 \text{ Mpa}$ ve olduğuna göre duvarın gerekli eğilme donatısının $M_u = 1200 \text{ kNm}$ değerindeki eğilme momentine göre hesabı istensin.

Çözüm :

Duvara hakim olan gerilme: $P_u = 0.9 \times 520 = 468 \text{ kN}$

$$\text{Eksenel yük oranı} \quad : \frac{P_u}{f_d A_g} = \frac{468 \times 10^3}{10 \times 3200 \times 190} = 0.077$$

olarak bulunur.

Bu orana bağlı olarak dayanım faktörü ϕ 'nin şu aralıkta olması gerektiği belirtilmektedir.

$$0.85 \geq \phi = 0.85 - 2(P_u / f_d A_g) \geq 0.65$$

Böylece $\frac{P_u}{f_d A_g} = 0.077$ değeri için $\phi = 0.696$ olarak bulunur. Bu da yukarıda verilen aralığa uygundur. Böylece,

$$M_i \geq 1200 / 0.696 = 1724 \text{ kNm}$$

olarak bulunur. Duvar sargılı olup, $f_{yh} : 315 \text{ Mpa}$ için $\rho_s : 0.00766$ olur.

Denklem (4.17)'den K dayanım artış faktörü,

$$K = 1 + \rho_s (f_{yh} / f_d) = 1 + 0.00766(315/10) = 1.2$$

olarak bulunur.

$$\alpha = 0.9K = 0.9 \times 1.2 = 1.08 \text{ ve } a_1 = \frac{468 \times 10^3}{1.08 \times 10 \times 190} = 228 \text{ mm olduğuna göre}$$

Denklem (4.12)'den

Eksenel yük tarafından sağlanan moment,

$$M_p = P_i \left(\frac{l_d}{2} - \frac{a_1}{2} \right) = 468 \left(\frac{3200}{2} - \frac{228}{2} \right) 10^{-3} = 695 \text{ kNm}$$

olarak bulunur. Donatı tarafından karşılanması gereken moment de şu şekilde hesap edilir.

$$M_s = M_i - M_p = 1724 - 695 = 1029 \text{ kNm}$$

Denklem (4.7)'den

$$a_2 \approx a_1 \frac{M_s}{M_p} = 228 \times \frac{1029}{695} = 338 \text{ mm}$$

ve Denklem (4.13)'den

$$A_s \geq \frac{M_s}{f_y [(l_d / 2) - a_1 - (a_2 / 2)]} = \frac{1029 \times 10^6}{275 (0.5 \times 3200 - 228 - 0.5 \times 338)} = 3110 \text{ mm}^2$$

olarak bulunur. Bu sonuca göre en iyi çözüm 16φ16 seçilirse,

$$A_s = 16 \times 201 = 3216 \text{ mm}^2$$

Bu değer gerekli olandan %3 daha fazladır. Tüm donatıların duvar merkezinde olacak şekilde idealleştirme yapmak ve bunun yeterli olduğunu görmek için kapasite kontrolü yapmak da aydınlatıcı olacaktır.

Kapasite Kontrolü:

Tarafsız eksenin yeri belirlenir. Sargılı yığma için Şekil 4.1'e göre $\beta = 0.96$ olmaktadır.

Bundan dolayı $a = a_1 + a_2 = 228 + 338 = 566 \text{ mm}$ olduğu göz önüne alınarak,

$$x = a / \beta = 566 / 0.96 = 590 \text{ mm.}$$

Çubuklar 100, 300, 500, 700 mm aralıkla basınç bölgesinden itibaren yerleşmiş olduğundan 3 çubuk basınca 13 çubukta çekmeye çalışır.

$$\text{Basınç kuvveti} \quad : \quad C_d = \alpha f_d t a = 1.08 \times 10 \times 566 \times 190 \times 10^{-3} = 1161 \text{ kN}$$

$$\text{Çelik basınç kuvveti} \quad : \quad C_s = \sum_{i=1}^j A_{si} f_y = 3 \times 201 \times 275 \times 10^{-3} = 166 \text{ kN}$$

$$\text{Çelik çekme kuvveti} \quad : \quad T = \sum_{i=j+1}^n A_{si} f_y = 13 \times 201 \times 275 \times 10^{-3} = 719 \text{ kN}$$

olarak bulunur.

Denklem (4.10)'dan denge denklemi kontrol edilir.

$$C_d + C_s - T = 1161 + 166 - 719 = 608 \text{ kN} > 468 \text{ kN}$$

$C_d + C_s$ çok büyük olduğundan C_d denge sağlayacak şekilde 140 kN azaltılır.

$$C_d = 1161 - 140 = 1021 \text{ kN}$$

Bu durumda x ve a şu değerleri alır.

$$x = 590 \times 1021 / 1161 \approx 520 \text{ mm} \quad \text{ve} \quad a = 520 \times 0.96 = 499 \text{ mm}$$

$x > 500$ olduğundan 3 çubuk hala basınca ve 13 çubukta çekmeye çalışmaktadır. Bu yüzden C_s ve T değişmeden kalır ve kuvvetler dengededir.

Sonuç olarak denklem (4.11) kullanılarak tarafsız eksene göre moment alınırsa,

$$M_i = \{1021(520 - 250) + 201 \times 275[3 \times (520 - 300) + 13(1900 - 520)] + 468(1600 - 520)\} 10^{-3}$$
$$M_i = 1809 \text{ kNm}$$

Bu değer istenen 1724 kNm lik dayanımı %5 aşmaktadır. Dolayısıyla tasarım uygundur.

4.3 Düktilitenin Göz Önüne Alınması

Düktilite, plastik şekil değiştirmenin elastik şekil değiştirmeye olan oranı olarak tanımlanmaktadır. Yığma duvarlarda düktilite dikdörtgen kesitli ve dikdörtgen olmayan kesitler için farklı biçimde ele alınmaktadır.

4.3.1 Dikdörtgen Kesitli Duvarlar

Esnek döşemelerle bağlı dikdörtgen kesitli konsol duvarlarda plastik mafsal uzunluğu duvar uzunluğunun yarısı olacak şekilde bir yaklaşım yapılabilir ve düktil yer değiştirme kapasitesi eğrilik düktilite kapasitesi ve boyut oranı cinsinden şu şekilde ifade edilir. [9]

$$\mu_{\Delta} = 1 + \frac{3}{2A_r} (\mu_{\phi} - 1) \left(1 - \frac{1}{4A_r}\right) \quad (4.14)$$

Verilen l_d duvar uzunluğu ve P_u eksenel yükü için $\mu_{\phi} = \phi_u / \phi_y$ eğrilik düktilite faktörü sabit olacaktır. Denklem (4.14)'den açıkça görülmektedir ki boyut oranı A_r arttıkça geçerli yer değiştirme düktilitesi azalmaktadır.

Konsol duvarlar Şekil 2.1c'de gösterildiği üzere esnek temel üzerine inşa edildiğinde temel dönme miktarına bağlı olarak yer değiştirme artacaktır fakat bunun plastik yer değiştirme üzerinde bir etkisi olmayacaktır.

Temel hareketini de dikkate alacak şekilde denklem (4.14) şu şekilde yazılabilir.

$$\mu_{\Delta f} = 1 + \frac{3}{2fA_r} (\mu_{\phi} - 1) \left(1 - \frac{1}{4A_r}\right) \quad (4.15a)$$

ya da

$$\mu_{\Delta f} = 1 + \frac{\mu_{\Delta} - 1}{f} \quad (4.15b)$$

Burada f temel yer değiştirmesinden kaynaklanan esneklikteki artışı ifade eden sabit bir sayıdır (rijit temel için $f=1$).

Boyut oranı $A_r = 3$ 'den farklı ve esnek temel durumu için gerçek yer değiştirme düktilite değeri μ_A ,

$$\mu_A = 1 + \frac{3.3(\mu_3 - 1)(1 - 0.25/A_r)}{fA_r} \quad (4.16)$$

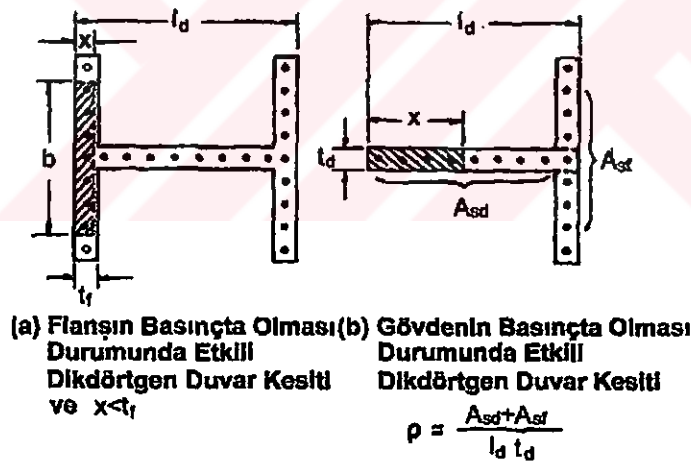
bağıntısı ile hesaplanır. Bu bağıntıda μ_3 değeri $A_r = 3$ için bulunan düktiliteyi ifade etmektedir.

Şekil 4.1'de belirtilen K değeri sarılmadan dolayı oluşan dayanım artış katsayısı olup

$$K = 1 + \rho_s (f_{yh} / f_d) \quad (4.17)$$

bağıntısı ile bulunur.

4.3.2 Dikdörtgen Kesitli Olmayan Duvarlar



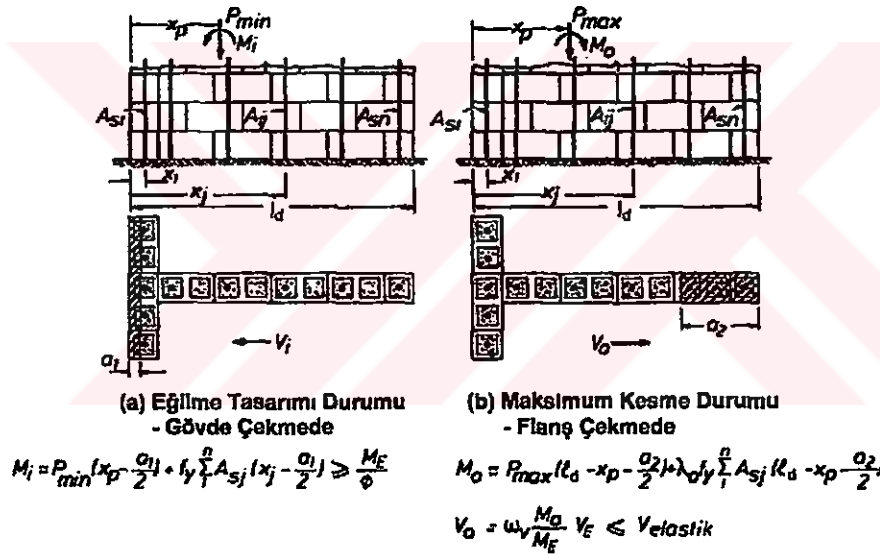
Şekil 4.6 Flanşlı duvarlarda düktilite hesabı için eşdeğer kesitler

T veya I kesitli duvarlar için, gerçek eğrilik düktilite faktörünün (ϕ_n / ϕ_y) hesabı için bir analitik yaklaşım gerekli olabilir. Bununla birlikte duvarın flanş bölgesi basınç çalıştığı durumda, basınç bölgesinin büyük genişliğinden kaynaklanan sınır moment kapasitesindeki küçük basınç derinliği x 'den dolayı sınır eğrilik ϕ_n çok büyük olacaktır. Bu tür duvarlar için düktilite kapasitesini kontrol etmek nadiren gerekli olabilir. Bununla birlikte eğer basınç bölgesi tamamen flanş kalınlığı içinde

ise ($x \leq t_f$), düktilite kapasitesi eşdeğer donatı oranı $\rho = A_s / l_d b$ ve eksenel yük oranı $P_i / f_d l_d b$ kullanılarak bulunabilir. Bu ifadelerde b, Şekil 4.6a'da gösterildiği üzere flanş etkili genişliğini belirtmektedir.

Gövdenin basınçta olduğu T kesitler için, flanş çekme donatısının etkisi nedeni ile Şekil 4.6b ve Şekil 4.7'de gösterildiği üzere basınç bölgesi derinliğindeki artıştan dolayı elde edilebilir düktilite çok düşük olabilir. Denklem (4.16) kullanarak tüm T kesiti, eksenel yük taşıyan ve eşdeğer donatı oranı denklem (4.17) ile ifade edilen, boyutları gövde boyutlarına eşit olan eşdeğer dikdörtgen duvarlar için tutarlı bir düktilite kapasitesi tahmini elde edilebilir.

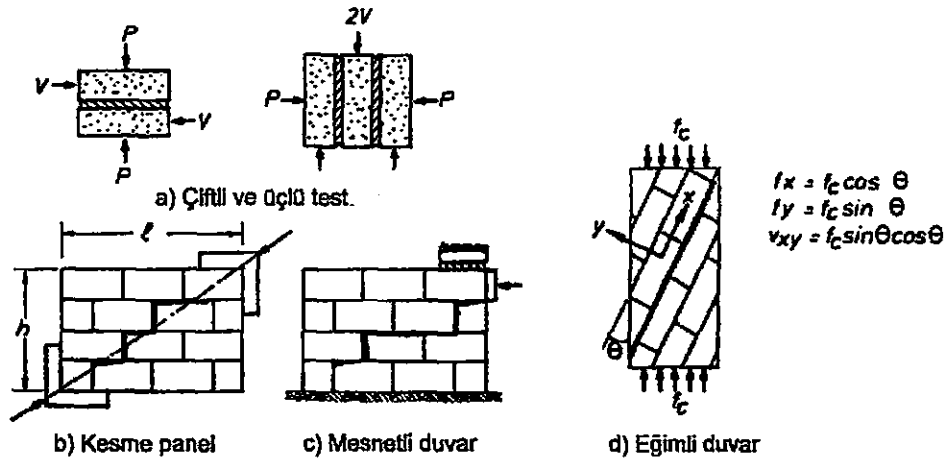
$$\rho_d = \frac{A_{sd} + 2A_{sf}}{l_d t_d} \quad (4.17)$$



Şekil 4.7 Flanşlı duvarda kesme dayanımı tasarım ilkeleri

4.4 Kesme Kuvveti İçin Tasarım

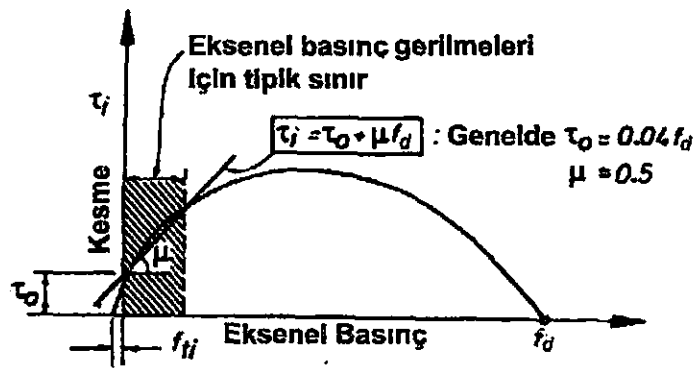
Donatısız yığma duvarın kesme dayanımı için bir çok deneysel çalışmalar mevcuttur. Şekil 4.8 kesme gerilmelerinin belirlenmesi amacı ile yapılan bazı deney yöntemlerini göstermektedir. Fakat bu metotlardan hiç biri gerçek deprem yükleri altındaki davranışı temsil edememektedir.



Şekil 4.8 Kesme dayanımı test metotları

Farklı test metotları farklı kesme dayanımları vermeye eğimli olmalarına karşın tüm çalışmalar kesme gerilmesi τ_i değerinin eğik basınç gerilmesine güçlü bir şekilde bağlı olduğunu göstermektedir. Kesme dayanımı denkleminin genel formu Şekil 4.9'da da gösterildiği üzere şu şekilde verilmektedir.

$$\tau_i = \tau_o + \mu f_d \quad (4.18)$$



Şekil 4.9 Kesme-basınç gerilmeleri etkileşimi

Aslında bu ifade kesme kuvveti ve basınç arasındaki gerçek etkileşimin basitleştirilmiş halidir. Lineer olan (4.18) denklemi belli seviyedeki aksenal basınç altında çatlamamış yığma duvarda kesme dayanımı için yeterli uygunlukta sonuç vermektedir. Bununla birlikte çatlamadan sonra yerel basınç gerilmeleri basınç dayanımına yakın değerlere ulaşırlar. Bu tür durumlarda denklem (4.18) geçersiz kalır. Denklem (4.18)'da ki τ_o ve μ değerleri test türüne ve yığma yapı türüne göre değişmektedir. Bu değerlerin tipik aralığı şu şekildedir.

$$0.5 \leq \tau_o \leq 1.5 \text{Mpa} \text{ ve } 0.3 \leq \mu \leq 1.2$$

4.4.1 Tasarım Kesme Kuvveti

Yığma elamanlarda kesme göçmesinden kapasite tasarım yöntemi ile kaçınmak gereklidir. Bu sebeple tasarım kesme kuvveti V_u şu şekilde ifade edilir.

$$V_u = V_{duvar} = \omega_v \phi_{0,w} V_E \quad (4.19)$$

Bu bağıntıda

V_E : Şartnameler ile belirlenmiş yük kombinasyonları ile bulunan kesme kuvvetini,

ω_v : dinamik kesme kuvveti artış faktörünü,

$\phi_{0,w}$: Aşırı dayanım faktörünü,

göstermektedir.

Duvarlarda gerekli eğilme dayanımı için belirlenen tasarım yük kombinasyonları gerekli kesme dayanımı için uygun kombinasyonlar olmayacaktır. Örneğin Şekil 4.7a'da görülen flanşlı duvarda minimum aksenal yük ve belirli yöndeki yatay yük etkisi ile flanş bölgesindeki donatı basınca ve gövde donatısı da çekmeye çalışacaktır.

Şekil 4.7b'de görüldüğü üzere yatay yükün yönünü değiştirmek ve maksimum aksenal yük etkisi ile beraber flanş bölgesini çekmeye çalıştırmak daha büyük miktarda eğilme dayanımı sağlayacaktır. Bu durum yani donatının daha fazla uygun

dayanım seviyesinde olması, gerekli eleman gövde kesme dayanımının belirlenmesinde kullanılmalıdır. Şekil 4.7’de her iki hal için de moment kapasitesi basınç bloğunun merkezine göre moment alınarak bulunur.

4.4.2 Donatılı Duvarların Kesme Dayanımı

Donatılı yığma duvarda toplam kesme dayanımı şu şekilde ifade edilir.

$$V = V_d + V_s \quad (4.20)$$

bu bağıntıda

$V_d = v_d b_d d$: Yığmanın karşıladığı kesme kuvvetini,

V_s : Kesme donatısının karşıladığı kesme kuvvetini,

göstermektedir.

4.4.2.1 Yığmanın Kesme Dayanımına Katkısı (v_d)

Donatılı yığma yapı standartları v_d için eksenel yük seviyesine göre değişmeyen değerler tanımlarlar. Bazıları da kesme gerilmesi $V_i / b d$ değerinin belirlenmiş değerleri aştı anda $v_d = 0$ kabul ederler. Japonya ve Amerika da yapılan araştırmalar şu denklemleri desteklemektedir. [9]

1. Potansiyel Plastik Mafsal Dışındaki Tüm Bölgelerde,

$$v_d = 0.17\sqrt{f_d} + 0.3(P_u / A_g) \quad (\text{MPa}) \quad (4.21a)$$

formülü ile hesaplanır. Bulunan bu değer

$$v_d \leq 0.75 + 0.3(P_u / A_g) \quad (\text{MPa}) \quad (4.21b)$$

$$v_d \leq 1.3 \text{Mpa}$$

şartlarını sağlamalıdır.

Bu deneysel veriler boyut oranı $h_d / l_d = 1$ değerinden az olan duvarlar için artırılmış kesme dayanımını desteklemektedir. Fakat bu artışı ölçmek için daha fazla deneye ihtiyaç vardır.

2. Potansiyel Plastik Mafsal Bölgesinde,

Plastik mafsal bölgesinde kesme dayanımı mekanizmasına yönelik çok az deneysel kanıt vardır. Bu yüzden birçok standart bu bölgelerde $v_d = 0$ kabul etmektedir. Yeni yapılan bazı deneysel çalışmalar v_d değerinin,

$$v_d = 0.05\sqrt{f_d} + 0.2(P_u / A_g) \quad (4.22a)$$

olarak alınabileceğini ortaya koymuştur. Ancak bulunan bu değer

$$v_d \leq 0.25 + 0.2(P_u / A_g) \quad (4.22b)$$

$$v_d \leq 0.65 \text{ Mpa}$$

şartlarını sağlamalıdır.

4.4.2.2 Donatının Kesme Dayanımına Katkısı

Gerekli yatay kesme donatısı alanı A_{sh} , düşey s_h aralığı için

$$A_{sh} = \frac{(V - V_d)s_h}{f_{yh} d} \quad (4.23)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.

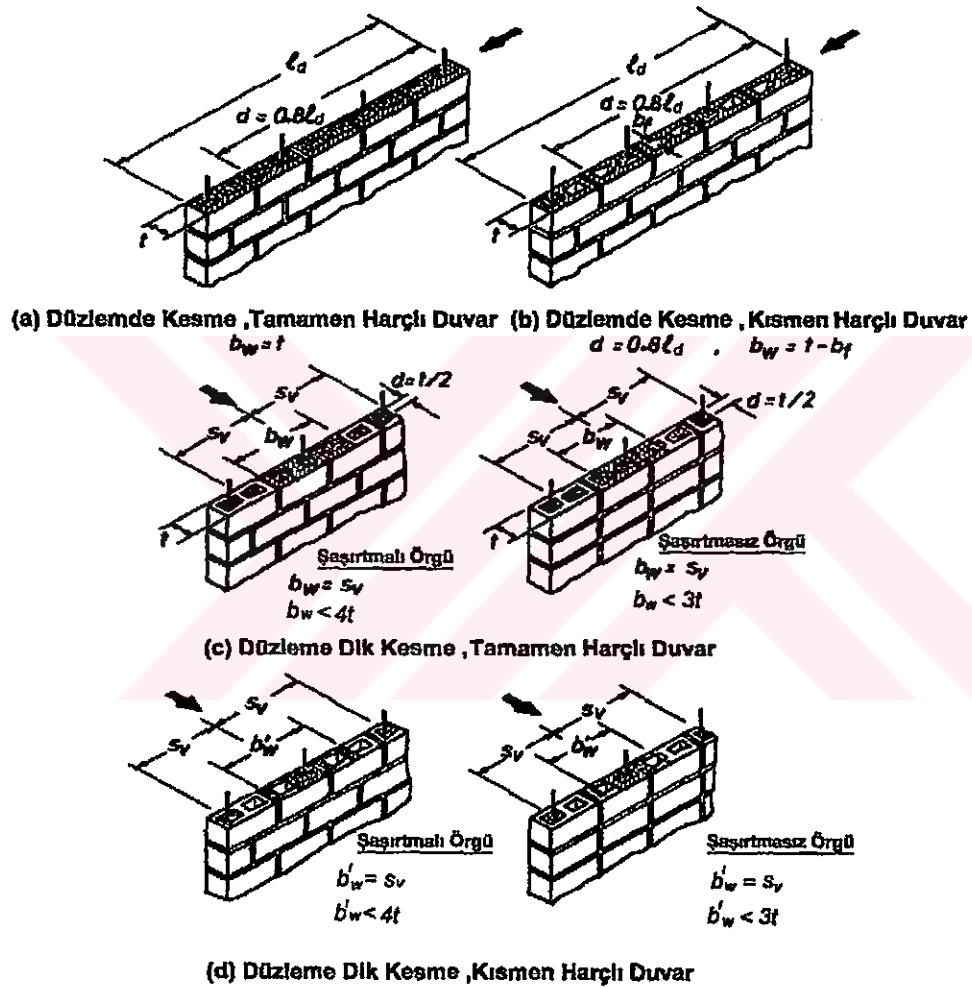
Bu ifade de $d = 0.8l_d$ olup donatısı düzgün dağıtılmış dikdörtgen duvar için etkili derinliği belirtmektedir. Flanşlı duvarlarda flanşın çekmeye çalıştığı durumlarda d 'nin daha büyük değeri uygun olacaktır.

Boyut oranı $h_d / l_d < 1$ için gerekli yatay donatı alanı,

$$A_{sh} = \frac{(V - V_d)s_h}{f_{yh} h_d} \quad (4.24)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.

Görüldüğü üzere iki denklem arasındaki tek fark d yerine denklem (4.24)'de h_d 'nin gelmesidir. Fakat çeşitli nedenlerden dolayı boyut oranına bakılmaksızın denklem (4.23)'ün kullanılması tavsiye edilmektedir.



Şekil 4.10 Kesme dayanımı için etkili duvar alanları

4.4.2.3 Etkili Kesme Alanı

Etkili kesme alanı $b_w d$ olarak verilmektedir. Bu terim betonarme tasarımdaki duruma benzer olmasına karşın, yığma duvarlarda düşey donatı aralıklarının fazla olması, bazı düşey tuğla boşluklarının harçla doldurulmaması gibi nedenlerden dolayı daha

az bir netlikte hesap edilirler. Şekil 4.10 farklı duvar tipleri için b_w ve d nin uygun değerlerini göstermektedir.

Duvar düzlemine paralel kesme kuvveti için :

Kısmen harçla dolu duvarlarda $d = 0.8l_d$ ve $b_w = t$ [Şekil 4.10a]. Kısmi harçlama durumunda $d = 0.8l_d$ ve $b_w = t - b_f$ olup b_f maksimum harçsız boşluk genişliğini ifade etmektedir [Şekil 4.10b]. Bundan dolayı kısmen harçlı duvarlarda kesme için etkili kesit genişliği yüzey kabuğunun net kalınlığı olarak alınacaktır. Bu sınırlama kesme kuvvetinin akışını sağlamak ve düşey devam eden harçsız boşluklarda kesme göçmesi ihtimalinin önüne geçmek için gereklidir.

Duvar düzlemine dik kesme kuvveti için :

Donatısı eksen üzerine yerleştirilmiş tamamen harçla dolu duvarlarda $d = t/2$ ve

$b_w = s_v$ dir. Fakat şaşırtmalı duvar örgüsü için $b_w \leq 4t$ ve şaşırtmasız duvar örgüsü için $b_w \leq 3t$ dir [Şekil 4.10c]. Donatısı eksen üzerine yerleştirilmiş kısmen harçla dolu duvarlar için $d = t/2$ ve $b_w = s_v$ olup s_v düşey donatı aralığıdır ve şaşırtmalı duvar örgüsü için $4t$ 'den, şaşırtmasız duvar örgüsü için $3t$ 'den büyük alınamaz. Her iki yüzden yüklü durum için b_w her düşey çubuk için etkili genişliktir. Toplam etkili genişlik tüm bireysel b_w değerlerinin toplamı ile bulunur.

4.5 Aderans ve Ankraj

Yığma duvarlarda ankraj gereksinimi için güvenilir bilgiler mevcut değildir. Harcın dayanımının belirlenmesinin zorluğu, yığmanın basınç bölgesinde düşey yarıлма eğilimi, yatay veya düşey harç yataklarından dolayı oluşan donatıya paralel zayıf düzlemlerin varlığı ve deprem etkisi altında periyodik oluşan çekme basınç gerilmeleri değişimi davranışı karmaşık hale getirmektedir.

Elastik olmayan eğilme hareketinin gelişmediği bölgelerde daha doğrusu potansiyel plastik mafsallık bölgeleri dışındaki yerlerde donatı bindirme boyu l_b ,

$$l_b \geq 0.12f_y \phi \text{ (MPa)} \quad (4.25)$$

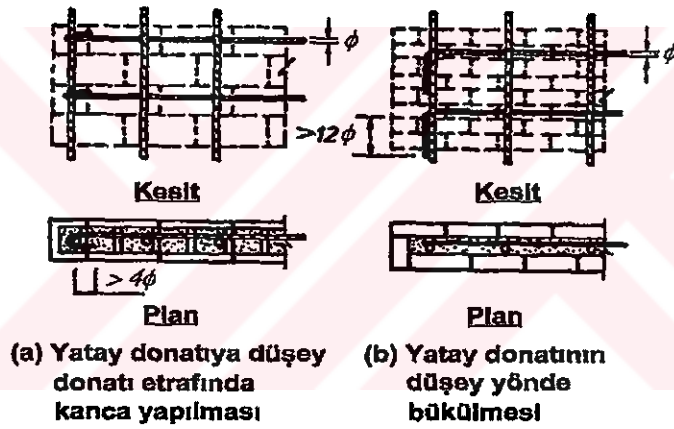
şartını sağlamalıdır.

Donatı plastik mafsallık bölgesinde bindirilmemeli, bundan kaçınılmadığı durumlarda denklem (4.25) ile verilen değer %50 artırılmalıdır. Bu durumda,

$$l_b \geq 0.18f_y\phi \text{ (MPa)} \quad (4.26)$$

şartı sağlanmalıdır.

Düşey donatının potansiyel plastik mafsallık bölgesinde bindirilmesinin, plastikliğin kısa bir mafsallık bölgesinde yoğunlaşması gibi istenmeyen ileri etkileri vardır. Bu durum maksimum basınç şekil değişiminin artmasına ve duvar uçlarında beklenenden daha önce düşey yarılmalar oluşmasına sebep olur. Bu nedenlerden dolayı düşey donatının plastik mafsallık bölgelerinde bindirilmesinden kaçınılmalıdır.



Şekil 4.11 Yatay kesme donatısının ankrajı

Bununla birlikte kesme donatısının da etkili olarak çalışması için duvar uç bölgelerinde yeterli ankrajının sağlanması gereklidir. Bu da Şekil 4.11’de görüldüğü üzere donatı ucuna kanca yapmak sureti ile sağlanır. Donatının düşey donatı çevresinde döndürülerek kanca yapılması ankraj için en iyi çözümdür. Bununla birlikte çoğu zaman bu tür kancalar harçlama sırasında deliğin tıkanmasına ve tamamen dolmasına engel olmaktadır. Bu tür durumlarda yatay donatının duvar uç kısımlarında Şekil 4.11b’de görüldüğü üzere aşağı ya da yukarı doğru bükülmesi düşünülebilir. Bu detay kısa duvarlar için kullanılmamalıdır. Kanca ölçüleri betonarme yapım için tanımlanan donatı ölçülerine benzer olabilir. Yatay kesme donatısına plastik mafsallık bölgesinde bindirmeli ek yapılmamalıdır.

4.6 Duvar Kalınlığının Sınırlandırılması

Bir çok standart, desteklenmemiş duvar yüksekliğinin duvar kalınlığına oranını basınç bölgesinin yatay stabilitesinin kaybolması ihtimalini azaltmak için sınırlamıştır. Duvar yüksekliğinin üç kattan az olduğu durumlarda daha büyük narinlikler kabul edilebilir. Bu tür durumlarda ya da elastik olmayan eğilme şekil değiştirmelerinin oluşmadığı hallerde duvar kalınlığı şu şartı sağlamalıdır.

$$t \leq 0.05l_n \quad (l_n : \text{mesnetler arası duvar temiz açıklığı}) \quad (4.27)$$

4.7 Donatı İle İlgili Sınırlandırmalar

4.7.1 Minimum Donatı Miktarı

Yapısal inceleme sonucu çok az miktarda donatıya gerek duyulması durumunda bile büzülme, şişme ve sıcaklık etkilerini kontrol altında tutmak için minimum miktarda donatı yerleştirilmelidir. Bir çok standart hem yatay hem de düşeyde göz önüne alınan donatıya dik, duvar brüt en kesitinin %0.07'si mertebesinde minimum donatı miktarı belirlemiştir. Ayrıca düşey ve yatay donatı oranlarının toplamı %0.2'den az olmamalıdır.

$$\rho_v \geq 0.0007 \quad ; \quad \rho_h \geq 0.0007 \quad ; \quad \rho_v + \rho_h \geq 0.002 \quad (4.28)$$

4.7.2 Maksimum Donatı Miktarı

Donatının üst miktarının sınırlandırılması, hem yapının kolay, uygulanabilir olması ve vibrasyon ile sıkıştırmanın rahat bir biçimde yapılabilmesi hem de aderans gerilmelerinin sınırlandırılması için gereklidir. $t \leq 190\text{mm}$ olan duvarlar için bindirme bölgeleri dışında her deliğe tek bir donatının yerleştirilmesi tavsiye edilmektedir. Tek bir boşluk ya da delikteki donatı alanı A_{sf} ,

$$A_{sf} \leq (8/f_y)A_f \quad (\text{MPa}) \quad (4.29a)$$

$$A_{sf} \leq (13/f_y)A_f \quad (\text{MPa}) \quad (\text{Bindirmeli bölgelerde}) \quad (4.29b)$$

şartlarını sağlamalıdır. Bu bağıntılarda,

A_f : Boşluk alanını,

göstermektedir.

4.7.3 Maksimum Donatı Çapı

Donatı çapındaki kısıtlama çok büyük çaplarda donatı kullanılmasından kaçınmak için gereklidir. Denklem (4.29) boşluklu yığma birimler için bazı korumalar getirirse de harçlı boşluklu yığma duvarlar için gerekli korumayı sağlayamamaktadır. Her durumda duvarda kullanılan donatı çapı şu değerleri aşmamalıdır.

1. Donatı içeren oluk ya da boşluğun en küçük boyutunun dörtte birini
2. Duvar brüt kalınlığının sekizde birini

Bu sınırlama 140 mm kalınlıktaki duvarda donatı çapını maksimum 16 mm ve 190 mm kalınlıktaki duvarda da donatı çapını maksimum 20 mm olarak sınırlandırmaktadır.

4.7.4 Donatı Aralığı Sınırlaması

Plastik mafsallık bölgesinde özellikle yatay ve düşey donatıların yeteri sıklıkta ve yakınlıkta diyagonal çekme çatlaklarına karşı bir kafes olarak çalışması önemlidir. 400 mm'yi geçmeyen aralıklarla en az 4 adet düşey donatı olmalıdır. Yatay donatılar da düşey yönde duvar uzunluğunun dörtte biri ve 400 mm'yi aşmayan aralıklarla yerleştirilmelidir.

Duvarın deprem yüklerine karşı elastik olarak tepki verecek şekilde tasarlandığı durumlarda ve kesme kuvvetinin denklem (4.21) ile verilen değerin yarısından az olduğu durumlarda kesme donatısına ihtiyaç yoktur. Bununla beraber minimum %0.07'lik yatay donatı bulundurmak gereklidir.

4.7.5 Sargı Plakaları

Yığma duvarların potansiyel plastik mafsallık bölgesinde düktiliteyi artırmak için sargı plakaları kullanıldığında şu şartlar sağlanmalıdır.

1. Plak malzemesi paslanmaz ya da galvanizli çelik olmalıdır.
2. Düşey $s_h h^n$ kesit alanı ile kesilen her yatay doğrultudaki minimum etkili sargı plağı alanı A_p şuna eşit olmalıdır.

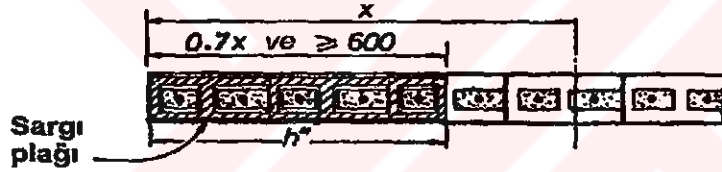
$$A_p = 0.004 s_h h^n \quad (4.30)$$

Bu ifade de Şekil 4.12'de gösterildiği gibi

s_h : sargı plakası düşey aralığını

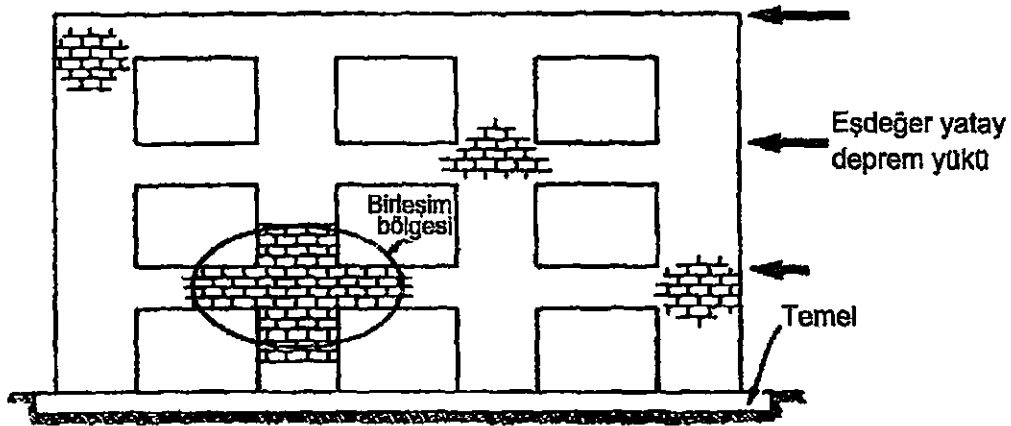
h^n : Sargı bölgesi yatay uzunluğunu göstermektedir.

3. Sargı bölgesi kritik bölgeden yani duvar tabanından başlamalı ve plastik mafsallardan az olmayacak şekilde düşey yönde devam ettirilmeli ve yatay uzunluğu da en uçtaki basınç lifinden itibaren $0.7x$ ve 600 mm değerlerinden az olmamalıdır.



Şekil 4.12 Plastik mafsallardaki sargı plağı

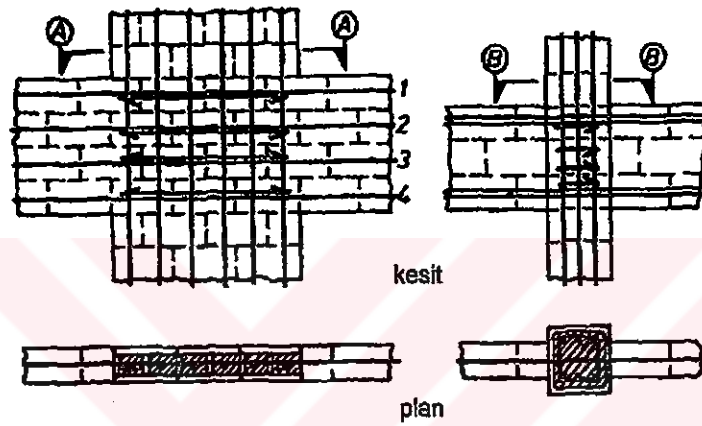
4.8 Moment Taşıyan Çerçeve Tarzı Yığma Duvarlar



Şekil 4.13 Düktil çerçeve duvar sistemi

Binanın sismik tepkisinden oluşan yatay atalet kuvvetlerine karşı, yatay direnci açısından en çok tercih edilen yığma yapı sistemleri basit konsol duvarlardır. Düktil davranış için buna alternatif olan donatılı yığma yapı sistemi moment taşıyan çerçeve tarzı duvar sistemidir. Bu tür örnek bir sistem Şekil 4.13’de gösterilmiştir.

Şekil 4.13’de daire içine alınmış birleşim bölgesi detayları Şekil 4.14’de verilmiştir. Verilen bu detaylardan Şekil 4.14a çerçeve duvar tarzı bir detayı göstermektedir. Şekil 4.14b de ise kolon şeklinde bir uygulama yapılmıştır. Bu tarz yapısal tasarım, ağırlığı hafif olan bir iki katlı yapılar için uygundur.

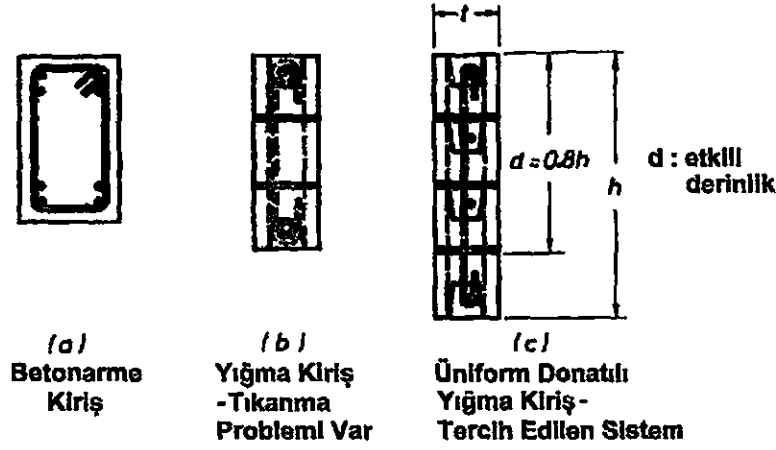


Şekil 4.14 Birleşim bölgesi detayları

4.8.1 Kapasite Tasarım Yaklaşımı

Betonarme çerçeve sistemler için geliştirilen tasarım esasları basit forma indirgenerek yığma duvar çerçeve sistemlerin tasarımında da uygulanabilir. Bundan dolayı plastik mafsalların kiriş uçlarında oluşması sağlanmalı ve böylece betonarmedeki kuvvetli kolon zayıf kiriş prensibi sağlanmalıdır. Bundan başka gevrek, ani ve düktil olmayan kiriş ve duvarlarda kesme göçmesi oluşmasının önlenmesi gereklidir.

Yatay deprem yüklerinden dolayı oluşan eğilme etkilerine karşı güvenilir bir eğilme dayanımı sağlanabilmesi için potansiyel plastik mafsal bölgelerindeki eğilme donatıları uygun şekilde detaylandırılmalıdır. Fakat diğer tüm bölgeler, dayanımları maksimum olası potansiyel plastik mafsal bölgelerinin dayanımlarını aşacak şekilde detaylandırılmalıdır.



Şekil 4.15 Betonarme ve yığma kirişte donatı detayları

4.8.2 Kirişte Eğilme

Genel olarak betonarme kirişlerin deprem yüklerine karşı eğilme tasarımında donatı Şekil 4.15a'da görüldüğü üzere üst ve alt yüzeye yakın bölgelere yerleştirilmektedir. Böylece eğilme dayanımı açısından maksimum değer elde edilebilmektedir. Ölü yükten oluşan moment değerlerinin depremden dolayı oluşan momentlerden küçük olduğu durumlarda iki bölgedeki donatı miktarı genel olarak aynı olmaktadır. Aynı uygulamayı yığma kirişler için kabul etmek bazı zorluklar çıkaracaktır. Şekil 4.15b'de görüldüğü üzere bu tarz bir uygulamada kiriş genişliğinin az olması sebebiyle harçlama esnasında aşırı tıkanıklıktan dolayı problemler olacaktır. Bundan dolayı yığma kirişlerde donatının Şekil 4.15c'de görüldüğü gibi kiriş derinliği boyunca düzgün olarak yerleştirilmesi en uygun çözümdür.

Duvarlarda olduğu gibi donatının düzgün dağıtılması sonucu elde edilen eğilme dayanımı ile donatının iki uca yerleştirilmesi ile elde edilen eğilme dayanımı arasında çok az bir fark vardır. Bundan başka donatının düzgün dağıtılmasının bazı avantajları da vardır. Donatının daha rahat yerleştirilebilmesini ve harçlamanın daha kolay yapılabilmesini sağlamanın yanında, basınç burkulmasına karşı daha iyi bir durum oluşturur. Ayrıca kesme kuvvetine karşı daha iyi direnç sağlanmış olur ve kesme kuvveti aktarımı kolaylaşır.

Kiriş genişliğinin betonarme kirişlere göre az olması ve donatı özelliklerine getirilen sınırlandırmalardan dolayı, betonarme kirişlere oranlara aynı miktar eğilme momenti kapasitesi için kiriş derinliğinin daha fazla olması gerekir.

Donatısı düzgün dağıtılmış kiriş elamanların eğilme dayanımı analizi dikdörtgen kesitli duvarlar için geliştirilen yöntem kullanılarak yapılabilir. Kiriş eğilme dayanımı hesabında dayanım azaltma faktörü $\phi = 0.85$ alınmalıdır.

4.8.3 Kirişte Kesme

Kirişte potansiyel plastik mafsallarda atalet kuvvetleri yön değiştirdikçe kiriş alt ve üst yüzünden itibaren derin eğilme çatlaklarının oluşması beklenir. Bunun sonucunda yığılma kesme dayanım mekanizması büyük oranda zayıflar. Bu yüzden tüm kesme kuvvetinin duvar yüzünden itibaren kiriş yüksekliğince kesme donatısı ile karşılanması gerekmektedir.

Gerekli kesme donatısı alanı A_v denklem (4.20) ve (4.23) kullanılarak bulunur. Bu ifadelerdeki etkili derinlik d , Şekil 4.15c'de gösterildiği gibi $0.8h$ olarak alınabilir. Tasarım kesme kuvveti gerekli eğilme dayanımına göre bulunan kesme kuvvetinin 1.47 ile 1.65 katları arasında olması, kesme güç tükenmesinin önlenmesi için gereklidir.

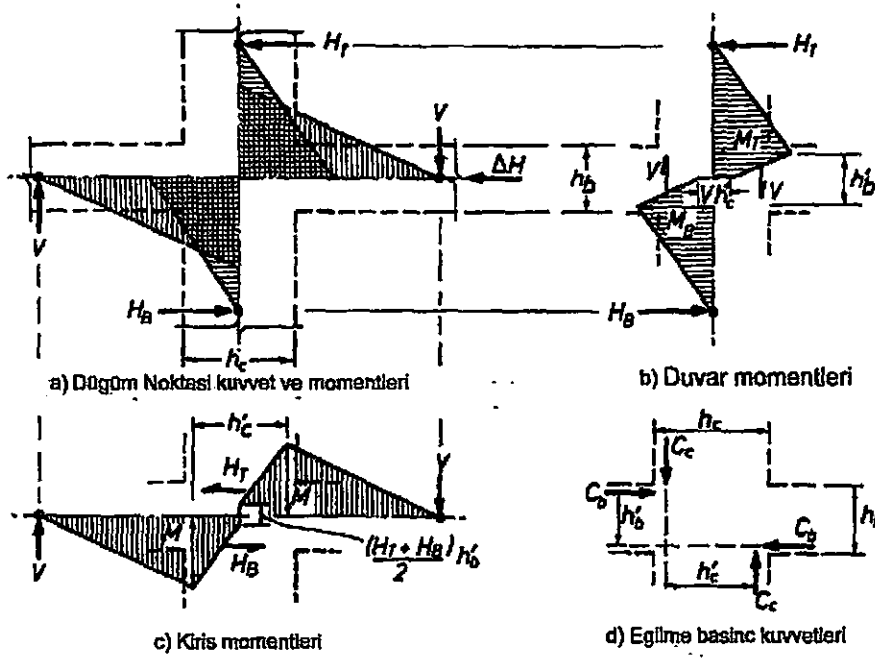
4.8.4 Düşey Duvar Parçalarının Eğilme ve Kesmesi

Düşey duvar parçalarının plastik mafsallarda kesme güç tükenmesi durumunu önlemek için tasarım betonarme kolonlar için anlatılan yöntemle göre yapılmalıdır.

4.8.5 Düğüm Noktası Tasarımı

Kiriş ve düşey duvar birleşim bölgelerinin tasarımı özel dikkat gerektirir. Bu amaçla,

1. Düğüm noktası genişliği kiriş donatısındaki gerekli gerilme değişimlerine izin verebilecek yeterlikte olmalıdır.
2. Düğüm noktası niteliği ve donatısı itibari ile oluşan kesme kuvvetini karşılayabilecek yeterlilikte olmalıdır.



Şekil 4.16 Kesme kuvvetlerinden elde edilen düğüm noktası kuvvetleri

4.8.5.1 Donatı Çapındaki Sınırlandırmalar

Şekil 4.16'da yığma çerçeve sisteminde içteki bir düğüm noktasına etkiyen kuvvetler ve moment diyagramları görülmektedir. Momentin yön değiştirerek etkimesinden dolayı kiriş çekme donatısı bir tarafta akarken diğer tarafta da basınç donatısı akacaktır. Sonuç olarak düşey duvar parçası genişliği h_c 'ye eşit olan düğüm noktası genişliği, en az donatı için göz önüne alınan basınç ve çekme bölgesi uzunluklarının toplamına eşit olmalıdır. Bu sebepten dolayı verilen bir duvar genişliği için kiriş eğilme donatısı çapı ϕ sınırlandırılmalıdır. Duvar kiriş düğüm noktalarında yapılan araştırmalara göre şu sınırlama getirilmiştir.[9]

$$\phi \leq 5.0h_c / f_y \quad (\text{MPa}) \quad (4.31)$$

Benzer sınırlamalar düşey duvar elemanının eğilme donatısı çapı için de getirilmiştir. Bununla birlikte kapasite tasarımında, düşey duvar elemanının donatısındaki gerilme azaltıldığından dolayı sınırlama şu şekildedir.

$$\phi \leq 8.0h_b / f_y \quad (\text{MPa}) \quad (4.32)$$

4.8.5.2 Dügüm Noktası Kesme Kuvveti

Dügüm noktası kesme kuvveti, dügüm noktası boyunca yatay ve düşey moment eğimi göz önüne alınarak hesaplanabilir. Betonarme dügüm noktaları için geliştirilen yöntemden biraz farklı olan bu yaklaşım düzgün donatılmış kirişler için daha uygundur fakat benzer sonuçlar vermektedir. Dügüm noktası yatay kesme kuvveti V_{jh} 'ı hesaplamak için gerekli kuvvetler ve momentler Şekil 4.16b'de gösterilmiştir.

Kiriş kesme kuvvetlerinden dolayı oluşan Vh_c' momenti, Şekil 4.16'da gösterildiği üzere duvar üst M_T momentinin duvar alt M_B momentine değişimine yardım etmektedir. Bundan dolayı yatay dügüm noktası kesme kuvveti,

$$V_{jh} = \frac{M_T + M_B - Vh_c'}{h_b'} \quad (4.33)$$

ve dügüm bölgesi kayma gerilmesi de,

$$v_{jh} = V_{jh} / h_c t \quad (4.34)$$

olur. Bu bağıntıda t dügüm bölgesi kalınlığını göstermektedir.

Benzer şekilde kirişin her iki doğrultudaki yükleme için eşit "M" moment kapasitesine sahip olduğu kabul edilerek dügüm noktası düşey kesme kuvveti,

$$V_{jv} \approx \frac{1}{h_c'} (2M - \frac{H_T + H_B}{2} h_b') \quad (4.35)$$

olur. Denklem (4.33) ve (4.35)'de kullanılan momentler ve kesme kuvvetleri kapasite tasarım prensiplerini sağlayabilmesi için maksimum olası kiriş moment kapasitesine uygun olmalıdır. Denklem (4.33) ve (4.35)'de etkili dügüm noktası boyutları h_b' ve h_c' dış dügüm noktası boyutlarından (h_b, h_c) daha az olacaktır. Şekil 4.16d'de görüldüğü gibi h_b' ve h_c' için en uygun değerler, dügüm noktasının karşıt taraflarında bulunan kiriş ve kolonlardaki eğilme basınç kuvvetlerinin (C_b ve C_c) merkezleri arasındaki mesafe olacaktır.

Geleneksel betonarme dügüm noktası tasarımına göre eksenel yük seviyesi yüksek olmadığı müddetçe tüm kesme kuvveti etriye formunda yatay dügüm noktası donatısı ile karşılanmalıdır. Bununla birlikte eğilme donatısının düzgün olarak dağıtılmış

olması, kirişte maksimum momentin hem yığma basınç dayanımının hem de çekme donatısının katkısı ile sağlanacağı anlamına gelmektedir.

Kesme kuvvetinin belli bir kısmını taşıyan diyagonal kuşak her seferinde oluşmaktadır. Yapılan testlere göre yığma tarafından taşınan kesme kuvveti şu şekilde ifade edilmektedir.[12]

$$V_{dh} = 0.4V_{jh} \quad (4.36)$$

Düğüm noktası düşey kesme kuvveti V_{jv} 'nin belli bir kısmının da diyagonal kuşak tarafından taşınabilmesine izin verilmiştir. Bu da şu şekilde ifade edilmektedir.

$$V_{dv} = 0.6V_{jv} \quad (4.37)$$

Denklemler (4.36) ve (4.37) düşey duvar parçası üzerindeki aksenal yükün fazla olduğu durumlarda başka ilave kesme kuvvetinin taşınabilmesine izin vermemektedir.

4.8.5.3 Maksimum Düğüm Noktası Kesme Gerilmesi

Denklem (4.34)'den elde edilen düğüm noktası toplam kesme kuvveti gerilmesinin sınırlandırılması, periyodik yükleme altında güç tükenmesinin önlenmesi için gereklidir. Gerekli ve yeterli test bilgilerinin az olmasından dolayı bazı makul tavsiyeler yapılmalıdır. Kesme kuvveti gerilmesi için şu sınırlamalar getirilmiştir.

$$v_{jh} = v_i \leq 0.2f_d \quad \text{ve} \quad v_{jh} \leq 2.4 \quad (\text{MPa}) \quad (4.38)$$

4.8.6 Düktilite

Kiriş boyuna donatı oranının aşağıda verilen değerle sınırlandırılması sureti ile yer değiştirme düktilite faktörü $\mu_\Delta = 4$ olarak kabul edilebilir.

$$\rho_t = A_{st} / h_b t \leq 0.15f_d / f_y \quad (4.39)$$

Denklem (4.39)'un sağlanamadığı durumlarda daha detaylı bir düktilite kapasite kontrolü yapılmalıdır. Kapasite tasarım yaklaşımı ile kiriş plastik mafsallık bölgesine

düktilite sağlanmasına karşın, sistemin düktilitesi bundan az olacaktır. Sistem düktilite kapasitesi $\mu_{\Delta s}$ kiriş düktilite kapasitesi $\mu_{\Delta b}$ cinsinden şu şekilde ifade edilir.

$$\mu_{\Delta s} = 1 + \frac{\mu_{\Delta b} - 1}{C} \quad (4.40)$$

Bu denklemde C, düşey duvar ve düğüm noktası esnekliğini içeren akma sonucu oluşan deplasmanın, kirişin yalnızca dönmesi ile oluşan deplasmana oranını ifade etmektedir. C değeri tipik çerçeve yığma duvarlar için 1.5 civarındadır.

4.8.7 Boyutsal Kısıtlamalar

Yığma yapı elemanlarda kiriş ve düşey duvar elemanı boyutları üzerinde yapılan kısıtlamalar, betonarme elemanlarla karşılaştırıldığında daha büyük esnekliği sağlayacak şekilde olmalıdır. Sonuç olarak aşağıda açıklanan boyutsal şartlar sağlanmalıdır.

$$\text{Eleman uzunluğu / kalınlık} \quad \text{oranı} : l_n / b_w \leq 24 \quad (4.41a)$$

$$\text{Kiriş uzunluğu / derinlik} \quad \text{oranı} : l_n / h_b \geq 3 \quad (4.41b)$$

Duvar elemanları denklem (4.41b) ile verilen şartları sağlamalıdır. Buna ek olarak kiriş derinliği dört yığma üniteden az olmamalıdır.

Potansiyel plastik mafsallık bölgesinin uzunluğu mafsallık elemanın yüksekliği olan h değerine eşit alınabilir. Denklem (4.39) kiriş donatısının maksimum değerini vermektedir. Plastikliğin yeterli bir şekilde yayılmasını sağlayabilmek için kirişteki minimum donatı oranı aşağıda verilen şartı sağlamalıdır.

$$\rho_t = A_m / h_b t \geq 0.7 / f_y \quad (\text{MPa}) \quad (4.42)$$

Bu bölümde duvar benzeri kolonlar için verilen donatı ile ilgili ve boyutsal kısıtlamalar aynı zamanda, daha önce yığma duvarlar için verilen şartları da sağlamalıdır.

5. DONATISIZ YIĞMA YAPILARDA YATAY YÜK ETKİSİNDE HESAP ESASLARI VE BİR SAYISAL ÖRNEK

Bu bölümde ilk önce, yığma yapının yatay deprem yükü altında hesap yöntemi anlatılacak ve daha sonra, planı [14] nolu kaynakta verilen yığma yapı açıklanan bu yöntemle yeniden çözülecektir. Örnekte ABYYHY 1998’de verilen katsayılar kullanılacaktır.

5.1 Hesap Yöntemi

Yığma yapının deprem yükü altındaki hesabı sırası ile şu şekilde anlatılacaktır.

- a) Yatay deprem yükünün hesabı
- b) Duvar rijitliklerinin hesabı
- c) Burulma momentlerinin hesabı
- d) Duvar kesme kuvvetlerinin hesabı
- e) Devrilme momentlerinden doğan gerilmelerin hesabı
- f) Duvarlarda kayma ve bileşik eğilme gerilmesi kontrollü

5.1.1 Yatay Deprem Yükünün Hesabı

Binaya etkiyen yatay deprem kuvveti ABYYHY 1998’de belirtildiği gibi $S(T_1)=2.5$ ve $R_a(T_1)=2.5$ alınarak aşağıda belirtilen Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile hesap edilecektir.

$$V_t = \frac{W \times A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.1 \times A_0 \times I \times W \quad (5.1)$$

$$A(T_1) = A_0 \times I \times S(T_1) \quad (5.2)$$

Bu ifadelerde $S(T_1)=2.5$ ve $R_s(T_1)=2.5$ değerleri yerine konulursa, toplam eşdeğer yatay deprem yükü şuna eşit olur,

$$V_t = A_o \times I \times W \quad (5.3)$$

Bu ifadede;

W : Bina toplam ağırlığını

A_o : Etkin yer ivme katsayısını,

I : Bina önem katsayısını,

göstermektedir.

A_o ve I değerleri sırasıyla deprem bölge sınıfına ve bina türüne bağlı olarak ABYYHY 1998’de verilmektedir.

Binaya etkiyen toplam eşdeğer yatay yük bulunduktan sonra bunun katlara göre dağılımı yapılır. Buna göre her kata gelen yatay yükler,

$$Q_i = V_t \frac{W_i H_i}{\sum W_i H_i} \quad (5.4)$$

bağıntısından bulunur. Bu bağıntıda

V_t : Toplam yatay yükü,

Q_i : i’inci kata gelen yatay yükü,

W_i : i’inci katın ağırlığını,

H_i : i’inci katın zeminden yüksekliğini,

göstermektedir.

5.1.2 Duvar Rijitliklerinin Hesabı

Yığma yapıda depremden dolayı oluşan yatay deprem yükü ve bunların katlara dağılımı bulunduktan sonra yapılması geren şey, her kat için bu yatay kuvvetin duvarlara rijitlikleri oranında dağıtılmasıdır. Kısacası x-x doğrultusunda etkiyen yatay kat kesme kuvveti x-x doğrultusundaki duvarlara ve y-y doğrultusunda etkiyen yatay kat kesme kuvveti de y-y doğrultusundaki duvarlara rijitlikleri oranında

dağıtılacaktır. Burada temel olan şey her doğrultu için duvar rijitliklerinin bulunmasıdır.

Duvar rijitliğinin hesabında, iki ucundan ankastre olarak bağlı dikdörtgen kesitli duvarlar için geçerli olan yük-yer değiştirme bağıntısından yararlanılır. Bu bağıntı,

$$\delta = \frac{1.2Vh}{GA} + \frac{Vh^3}{12EI} \quad (5.5)$$

şeklindedir [13]. Bu bağıntıda,

δ : Duvarın üst ucu ile alt ucu arasındaki yer değiştirmeyi,

V : Duvarın üst ucuna etkiyen yatay yükü,

h : Duvarın yüksekliğini,

I : Eğilme yönündeki atalet momentini,

E, G : Duvar malzemesinin elastiklik ve kayma modüllerini, göstermektedir.

$G/E = \alpha$ ve t de duvar kalınlığı olduğuna göre (5.5) bağıntısını,

$$\delta = \frac{V}{Et} \left(\frac{1.2h}{\alpha A/t} + \frac{h^3}{12I/t} \right) \quad (5.6)$$

şeklinde yazılabilir. Buradan k duvar rijitliği,

$$k = \frac{V}{\delta} \quad (5.7)$$

şeklinde bulunabilir. Görüldüğü üzere rijitlik birim deplasman için gerekli kuvveti ifade etmektedir.

Bu ifade dolu duvar parçası için verilmiştir. Eğer duvarda boşluklar varsa duvar ilk önce uygun sayıda parçalara bölünür. Her parça için (5.6) bağıntısı, o parçaya etkiyen kuvvetin fonksiyonu cinsinden yazılır. Daha sonra denge ve uygunluk denklemleri yardımı ile her parçaya gelen kesme kuvveti duvara etkiyen toplam kesme kuvvetinin belirli bir oranı şeklinde ifade edilir. Bu değerler (5.6) da yerine konularak her duvar parçasının iki ucu arasındaki yer değiştirme toplam kesme kuvvetinin fonksiyonu cinsinden bulunur. Duvarın toplam yatay yer değiştirmesi herhangi bir düşey doğrultudaki duvar parçalarının yatay yer değiştirmelerinin

toplamı ile toplam kesme kuvveti cinsinden bulunur. Bu değer toplam kesme kuvvetine bölünürse duvarın rijitliği bulunmuş olur. Duvar rijitliğinin bulunmasına yönelik çözüm şekli bu bölümün sonunda verilen örnekte daha detaylı olarak açıklanmıştır.

5.1.3 Burulma Momentlerinin Hesabı

Yapılarda, kat kütle ve ritlik merkezlerinin çakışmamasından dolayı oluşan burulma momenti etkilerinin de göz önüne alınması ve bundan dolayı oluşabilecek ilave tesirlerin de hesaba katılması gereklidir. Kat burulma momentleri hesaplanmadan önce bir eksen takımı seçilerek kütle ve rijitlik merkezleri şu formüller yardımı ile hesaplanır,

$$x_{im} = \frac{\sum G_{ij} \cdot x_{ij}}{\sum G_{ij}} \quad y_{im} = \frac{\sum G_{ij} \cdot y_{ij}}{\sum G_{ij}} \quad (5.8)$$

$$x_{ik} = \frac{\sum k_{ij} \cdot x_{ij}}{\sum k_{ij}} \quad y_{ik} = \frac{\sum k_{ij} \cdot y_{ij}}{\sum k_{ij}} \quad (5.9)$$

Bu ifadelerde;

x_{im}, y_{im} : i'inci katın kütle merkezi koordinatlarını,

x_{ik}, y_{ik} : i'inci katın rijitlik merkezi koordinatlarını,

G_{ij} : i'inci katta j'inci elemanın (duvar, döşeme vs.) ağırlığını,

k_{ij}, k_{ij} : i'inci katta x ve y eksenlerine paralel j'inci duvarın rijitliklerini,

x_{ij}, y_{ij} : i'inci katta j'inci elemanın (duvarın) ağırlık merkezinin koordinatlarını, göstermektedir.

Her kata gelen burulma momenti yükleri,

$$M_{ix} = Q_{ix} (y_{im} - y_{ik}) \quad (5.10)$$

$$M_{iy} = Q_{iy} (x_{ik} - x_{im}) \quad (5.11)$$

ifadelerinden bulunduktan sonra kat burulma momentleri, yapıyı zemine ankastre bağlı bir konsol kiriş gibi düşünüp burulma momenti diyagramının çizilmesi ile bulunur. Örneğin i'inci katın kat burulma momenti,

$$M_{iTx} = M_{(i+1)Tx} + M_{ix} \quad (5.12)$$

$$M_{iTy} = M_{(i+1)Ty} + M_{iy} \quad (5.13)$$

bağıntılarından bulunur. Burada,

Q_{ix}, Q_{iy} : i'inci kata x ve y eksenleri doğrultusunda etkiyen yatay yükleri,

M_{ix}, M_{iy} : i'inci kata gelen burulma momenti yüklerini,

M_{iTx}, M_{iTy} : i'inci katta x ve y eksenleri doğrultusunda gerilme doğuran kat burulma momentlerini,

$M_{(i+1)Tx}, M_{(i+1)Ty}$: (i+1)'inci katta x ve y eksenleri doğrultusunda gerilme doğuran kat burulma momentlerini, göstermektedir.

5.1.4 Duvar Kesme Kuvvetlerinin Hesabı

Kat kesme kuvvetleri ve burulma momentleri bulunduktan sonra duvar kesme kuvvetleri,

$$V_{ij} = \left(\frac{k_{ij}}{\sum k_{ij}} \right) V_{ix} + \left(\frac{k_{ij} \cdot d_{ij}}{I_{ip}} \right) M_{iTx} \quad (5.14)$$

$$V_{ij} = \left(\frac{k_{ij}}{\sum k_{ij}} \right) V_{iy} + \left(\frac{k_{ij} \cdot d_{ij}}{I_{ip}} \right) M_{iTy} \quad (5.15)$$

bağıntılarından hesaplanır. Burada,

V_{ij} : i'inci katta x eksenine paralel j'inci duvar kesme kuvvetini,

V_{ij} : i'inci katta y eksenine paralel j'inci duvar kesme kuvvetini,

V_{ix}, V_{iy} : i'inci katta x ve y eksenine paralel doğrultularda etkiyen kat kesme kuvvetlerini,

k_{ij}, d_{ij} : i'inci katta x eksenine paralel j'inci duvarın rijitliği ve kat rijitlik merkezine uzaklığı,

k_{iy}, d_{iy} : i'inci katta y eksenine paralel j'inci duvarın rijitliği ve kat rijitlik merkezine uzaklığı,

$I_{ip} = \sum (k_{ij} d_{ij}^2 + k_{iy} d_{iy}^2)$: i'inci katın polar atalet momentini,

göstermektedir.

(5.14) ve (5.15) bağıntılarında ilk terim kat kesme kuvvetinden, ikinci terim ise kat burulma momentinden oluşan duvar kesme kuvvetini göstermektedir. Deprem yükleri iki yönlü olabileceği için, hesaplanan burulma momentlerinin işareti ne olursa olsun bu bağıntılarda artı işaretli olarak kullanılmalıdır.

5.1.5 Devrilme Momentlerinden Doğan Gerilmelerin Hesabı

Binaya etkiyen yatay kat deprem kuvvetleri bulunduktan sonra, kat hizalarına etkiyen bu kuvvetlerin hesap yapılacak kesite göre bileşke momentleri hesaplanarak devrilme momentleri bulunur. Kat devrilme momentlerinden doğan gerilmeler,

$$\sigma_{ij} = \frac{M_{idx}}{I_{ix}} \cdot y_{ij} \quad \sigma_{ij} = \frac{M_{idy}}{I_{iy}} \cdot x_{ij} \quad (5.16)$$

bağıntılarından bulunur. Burada,

σ_{ij} : i'inci katta j'inci noktasındaki gerilmeyi,

M_{idx}, M_{idy} : i'inci katta x ve y eksenlerine göre devrilme momentlerini,

I_{ix}, I_{iy} : i'inci katın kesit ağırlık merkezinden geçen asal eksenlere göre atalet

momentlerini,

x_{ij}, y_{ij} : i'inci katta j'inci noktanın kesit ağırlık merkezinden geçen eksenlere uzaklığını,

göstermektedir. Her katta kesit ağırlık merkezi ve bu noktadan geçen asal eksenlere göre atalet momentlerinin bulunmasında boşluklu duvarların kalınlıkları olarak,

$$t_e = t(1 - A_{od} / A_d) \quad (5.17)$$

bağıntısı ile bulunan değer kullanılabilir. Bu bağıntıda,

t_e : Eşdeğer duvar kalınlığını

t : Dolu duvar kalınlığını

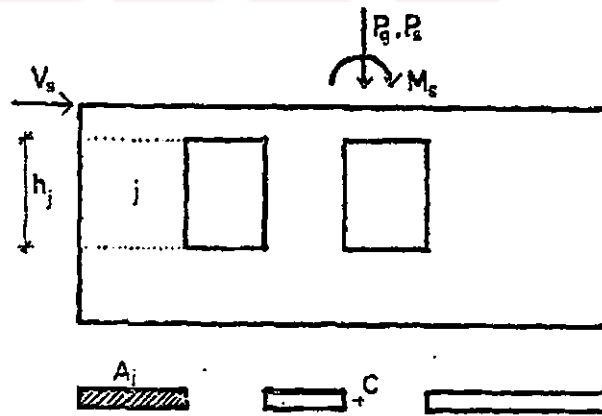
A_{od} : Duvar yüzeyindeki boşluk alanını,

A_d : Duvar yüzey alanını,

göstermektedir.

5.1.6 Duvarlarda Kayma ve Bileşik Eğilme Gerilmesi Kontrollü

Yığma yapının herhangi bir duvarına etkiyen yükler Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Yığma duvara etkiyen kuvvetler

V_s : Duvar kesme kuvvetini,

P_g : Boşluklu duvar kesit ağırlık merkezine etkiyen (C noktası) düşey yükü,

P_s, M_s : Devrilme momentinden doğan gerilmelerin C noktasına indirgenmesi ile elde edilen düşey kuvvet ve momenti,

göstermektedir. Bu yüklerden P_s ve M_s çift yönlüdür.

Duvara etkiyen bu yüklerden dolayı örneğin j nolu parçada gerilme kontrolü yapılacaksa ilk önce duvarın tümüne etki eden bu kuvvetlerden j nolu parçaya gelen kuvvetler bulunmalıdır. Düşey yüklerin dolu parçaların alanları ile orantılı olarak dağıldığı kabul edilebilir. Yatay yük ise her parçaya rijitliği oranında dağıtılır.

5.1.6.1 Kayma Gerilmesi Kontrolü

J nolu parçaya etki eden kayma gerilmesi

$$\tau_i = V_{sj} / A_j \quad (5.18)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Bu değer duvar kayma mukavemeti ile karşılaştırılır.

Duvar kayma mukavemeti

$$\tau_k = r(\tau_0 + \mu\sigma_0) \quad (5.19)$$

bağıntısı ile bulunur. Bu bağıntılarda,

τ_i : j nolu parçadaki kayma gerilmesini,

V_{sj} : j nolu parçaya gelen kesme kuvvetini,

A_j : j nolu parçanın yatay kesit alanını,

τ_k : Kayma mukavemetini,

r : Azaltma katsayısını,

τ_0 : Ortalama kayma mukavemetini,

μ : Sürtünme katsayısını,

σ_0 : Ortalama normal gerilmeyi,

göstermektedir.

(5.19) bağıntısındaki r değeri yapının inşaat sırasında yerinde kontrol edilip edilmediğine, deney sonuçları arasındaki dağılıma, deneylerde kullanılan örneklerin boyutlarına ve yapının daha önce deprem etkisinde kalıp kalmadığına bağlı olarak 1.00'den küçük bir katsayıdır.

5.1.6.2 Bileşik Eğilme Gerilmesi Kontrolü

J nolu parçanın iki ucunda oluşan eğilme momentleri,

$$M_{sj} = V_{sj} \cdot h_i / 2 \quad (5.20)$$

bağıntısından bulunduktan sonra, maksimum ve minimum normal gerilmeler,

$$\sigma_{jmin} = \frac{P_{jmin}}{A_j} - \frac{M_{sj}}{W_j} \quad \sigma_{jmax} = \frac{P_{jmax}}{A_j} + \frac{M_{sj}}{W_j} \quad (5.21)$$

bağıntılarından bulunur ve bu değerler yığma duvar basınç mukavemeti ile karşılaştırılır. Burada,

h_i : J nolu parçanın yüksekliğini,

$\sigma_{jmin}, \sigma_{jmax}$: J nolu parçadaki en küçük ve en büyük gerilmeleri,

P_{jmin}, P_{jmax} : J nolu parçaya gelen en küçük ve en büyük düşey yükleri,

W_j : J nolu parça kesitinin mukavemet momentini,

göstermektedir. $\sigma_{jmin} < 0$ olması durumunda yığma yapının çekme gerilmesi almayacağı göz önüne alınarak j nolu parçanın taşıyabileceği eğilme momenti,

$$M_{sj} = N_j C_j \left(1 - g \cdot \frac{N_j}{a N_{oj}}\right) \quad (5.22)$$

bağıntısından hesaplanıp M_{sj} ile karşılaştırılır. Bu bağıntıda,

M_{sj} : Çatlamış kesitin taşıyabileceği eğilme momentini,

N_j : Kesite gelen normal kuvveti,

C_j : Kesit ağırlık merkezinin en dış life olan uzaklığını,

N_{0j} : Kesitin taşıyabileceği en büyük normal kuvveti,

$g = 2(1 - \frac{I_j}{A_j C_j})$, kesit özelliklerine bağlı bir büyüklüğü,

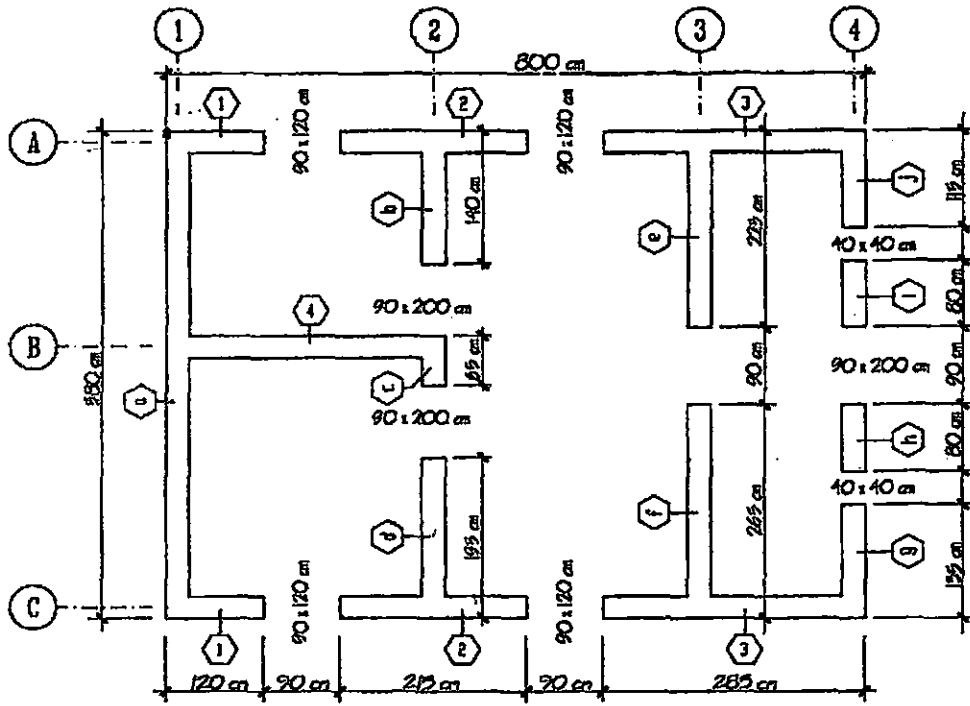
a : Bileşik eğilme altındaki basınç mukavemetinin, normal yük altındaki basınç mukavemetinden büyük olduğunu göz önüne almak için kullanılan ve değeri 1.00'den küçük olan bir katsayıyı, göstermektedir.

5.2 Sayısal Örnek

Yığma bir yapıya ait tek katlı bir binanın kat planı Şekil 5.2'de verilmiştir. Bu yapıya deprem anında gelebilecek toplam yatay deprem kuvvetinin bulunması, bu kuvvetin duvarlara hangi oranlarda dağıldığının belirlenmesi ve duvarlarda gerekli gerilme kontrollerinin yapılması istenmektedir.

Verilenler :

Deprem bölgesi	: 1
Kat adedi	: 1
Döşeme	: 10cm B.A plak
Duvar	: Tüm duvarlar 23 cm. tuğla duvar ($\gamma : 2.0 \text{ t/m}^3$)
Kullanılan duvar harcı	: A sınıfı



Şekil 5.2 Örnek yığma yapı kat planı

Çözüm :

- **Toplam kat ağırlığının hesabı**

$$\text{Plak ağırlığı} = 0.10 \times 2.5 = 0.250 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Çatı kaplaması} = 0.050 \text{ t/m}^2$$

$$g = 0.300 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Kar yükü} \quad q = 0.075 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Hesap yükü} \quad P_d = g + 0.3q = 0.323 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Kat alanı} = 5.8 \times 8 = 46.4 \text{ m}^2$$

$$\text{Kat ağırlığı} = 46.40 \times 0.323 = 14.987 \text{ t}$$

$$\text{Toplam duvar ağırlığı} = 47.33 \text{ t}$$

$$\text{Toplam kat ağırlığı} = 14.987 + 47.33 = \underline{62.317 \text{ t}}$$

Tablo 5.1 Toplam yapı duvar ağırlığının hesabı

DUVAR AĞIRLIĞI HESABI								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Aks Adı	Parça No	b (m)	h (m)	t (m)	Hacim (m ³)	γ (t/m ³)	W (t)	ΣW (t)
A	1	8.00	0.75	0.23	1.38	2.00	2.76	8.94
	2	1.20	1.20	0.23	0.33	2.00	0.66	
	3	2.15	1.20	0.23	0.59	2.00	1.18	
	4	2.85	1.20	0.23	0.79	2.00	1.57	
	5	8.00	0.75	0.23	1.38	2.00	2.76	
B	1	3.29	2.70	0.23	2.04	2.00	4.09	4.09
C	1	8.00	0.75	0.23	1.38	2.00	2.76	8.94
	2	1.20	1.20	0.23	0.33	2.00	0.66	
	3	2.15	1.20	0.23	0.59	2.00	1.18	
	4	2.85	1.20	0.23	0.79	2.00	1.57	
	5	8.00	0.75	0.23	1.38	2.00	2.76	
1	1	5.80	2.70	0.23	3.60	2.00	7.20	7.20
2	1	5.80	0.70	0.23	0.93	2.00	1.87	5.55
	2	1.40	2.00	0.23	0.64	2.00	1.28	
	3	0.65	2.00	0.23	0.30	2.00	0.60	
	4	1.95	2.00	0.23	0.90	2.00	1.79	
3	1	5.80	0.70	0.23	0.93	2.00	1.87	6.38
	2	2.25	2.00	0.23	1.04	2.00	2.07	
	3	2.85	2.00	0.23	1.22	2.00	2.44	
4	1	5.80	0.70	0.23	0.93	2.00	1.87	8.23
	2	1.15	0.40	0.23	0.11	2.00	0.21	
	3	0.80	0.40	0.23	0.07	2.00	0.15	
	4	0.80	0.40	0.23	0.07	2.00	0.15	
	5	1.35	0.40	0.23	0.12	2.00	0.25	
	6	2.35	1.60	0.23	0.86	2.00	1.73	
	7	2.55	1.60	0.23	0.94	2.00	1.88	
Σ Hacim :					23.68	ΣW :	47.33	

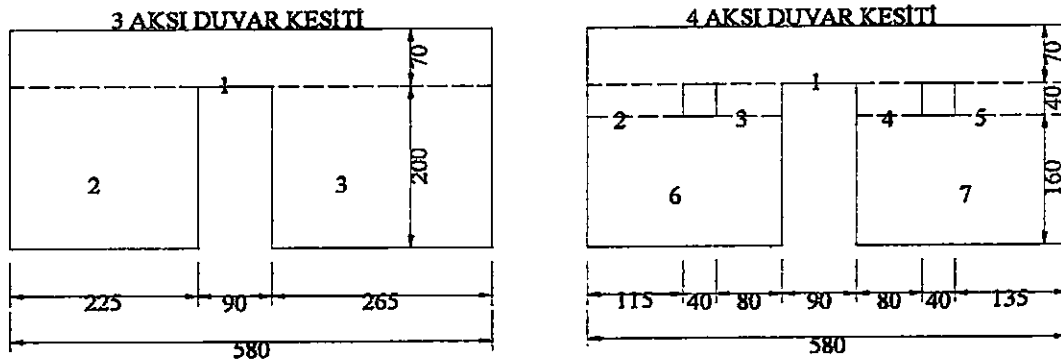
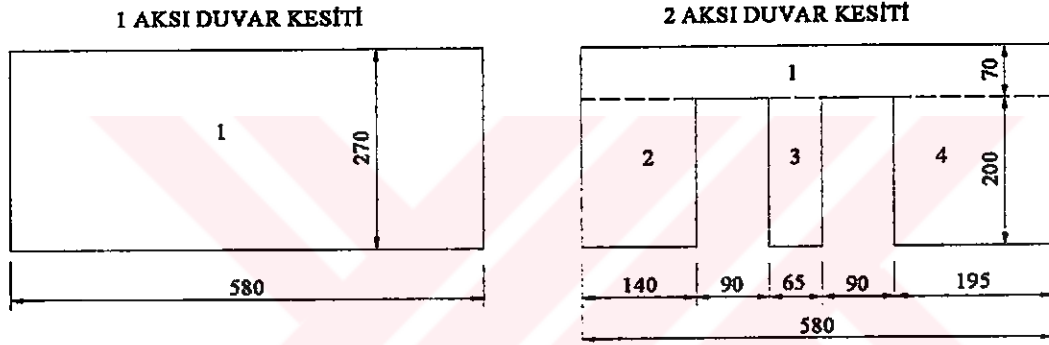
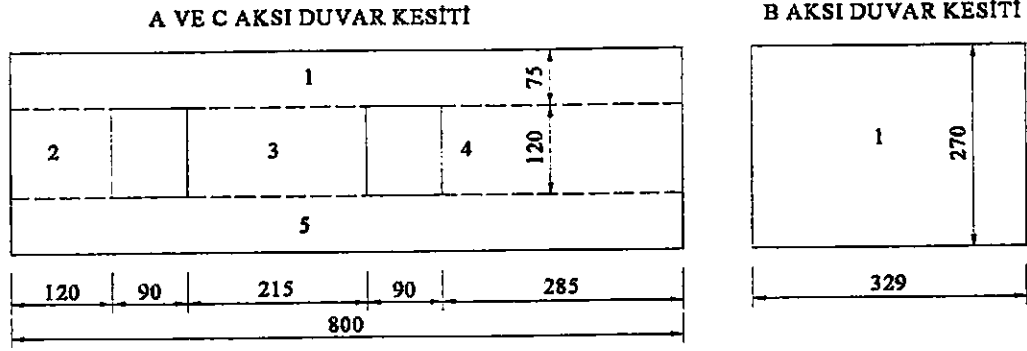
• Yatay deprem yükünün hesabı

Binaya etkiyecek olan deprem yükü (5.3) bağıntısına göre bina önem katsayısı $I=1$ ve zemin ivmesi $A_0 = 0.4$ alınarak,

$$V_t = 1.0 \times 0.4 \times 62.317 = 24.93 \text{ t}$$

olarak bulunur.

Deprem kuvveti bulunduğundan sonra, bu kuvvetin duvarlara hangi oranlarda dağıldığının belirlenmesi gerekir. Bunun için bölüm 5.1.2'de açıklanan duvar rijitliklerinin hesabı için gerekli yol izlenir. Rijitlik hesabı için gerekli olan duvar kesitleri Şekil 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.3 Örnek yığma yapının duvar kesitleri

• Duvar rijitliklerinin hesabı

Tablo 5.2 Duvar rijitlikleri tablosu

DUVAR RİJİTLİKLERİNİN HESABI											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Aks	PAR.	h_i	A/t	I_i/t	$\frac{1.2h_i}{\alpha A_i/t}$	$\frac{h^3}{12I_i/t}$	$\frac{Et\delta_i}{V_i}$	$\frac{V_i}{V}$	$\frac{Et}{V}\delta_i$	$\frac{Et\delta_d}{V}$	$\frac{k}{Et}$
Adı	Adı	(dm)	(dm)	(dm ³)							
A	1	7.5	80	42666.7	0.281	0.001	0.282	1	0.28	1.21	0.83
	5	7.5	80	42666.7	0.281	0.001	0.282	1	0.28		
	2	12	12	144	3.000	1.000	4.000	0.163	0.65		
	3	12	21.5	828.198	1.674	0.174	1.848	0.351	0.65		
	4	12	28.5	1929.09	1.263	0.075	1.338	0.486	0.65		
B	1	27	32.9	2967.61	2.462	0.553	3.015	1	3.01	3.01	0.33
C	1	7.5	80	42666.7	0.281	0.001	0.282	1	0.28	1.21	0.83
	5	7.5	80	42666.7	0.281	0.001	0.282	1	0.28		
	2	12	12	144	3.000	1.000	4.000	0.163	0.65		
	3	12	21.5	828.198	1.674	0.174	1.848	0.351	0.65		
	4	12	28.5	1929.09	1.263	0.075	1.338	0.486	0.65		
1	1	27	58	16259.3	1.397	0.101	1.497	1	1.5	1.5	0.67
2	1	7	58	16259.3	0.362	0.002	0.364	1	0.36	2.82	0.35
	2	20	14	228.667	4.286	2.915	7.201	0.342	2.46		
	3	20	6.5	22.8854	9.231	29.131	38.361	0.064	2.46		
	4	20	19.5	617.906	3.077	1.079	4.156	0.594	2.46		
3	1	7	58	16259.3	0.362	0.002	0.364	1	0.36	1.88	0.54
	2	20	22.5	949.219	2.667	0.702	3.369	0.444	1.5		
	3	20	26.5	1550.8	2.264	0.430	2.694	0.558	1.5		
4	1	7	58	16259.3	0.362	0.002	0.364	1	0.36	1.79	0.56
	2	4	11.5	126.74	1.043	0.042	1.086	0.284	0.31		
	3	4	8	42.6667	1.500	0.125	1.625	0.19	0.31		
	4	4	8	42.6667	1.500	0.125	1.625	0.189	0.31		
	5	4	13.5	205.031	0.889	0.026	0.915	0.337	0.31		
	6	16	23.5	1081.49	2.043	0.316	2.358	0.474	1.12		
	7	16	25.5	1381.78	1.662	0.247	2.129	0.528	1.12		

(5.6) bağıntısına göre duvarın iki ucu arasındaki yer değiştirme,

$$\delta = \frac{V}{Et} \left(\frac{1.2h}{\alpha A/t} + \frac{h^3}{12I/t} \right) \text{ bağıntısı ile bulunur.}$$

Tablo 5.2'de 8 nolu sütunda bu ifadeden yola çıkarak her duvar parçası için o duvara ait δ_i Et / V_i ifadeleri bulunmuştur. δ_i ifadesi o duvar parçasına gelen yatay yükten dolayı o parçanın üst ucunun alt ucuna göre yaptığı yer değiştirmeyi ifade

etmektedir. Bu ifade V_i 'nin fonksiyonu cinsindendir. 9 nolu sütunda, o duvara gelen V kesme kuvvetinin duvar parçalarına hangi oranlarda dağıldığını göstermektedir. Bu oranların hesaplanmasında her duvarda denge ve uygunluk koşulları kullanılır.

A ve C aksı duvarları için denge ve uygunluk şartları

Denge şartları :

$$V_1 = V \quad ; \quad V_5 = V \quad ; \quad V_2 + V_3 + V_4 = V$$

Uygunluk şartları:

$$\delta_2 = \delta_3 \Rightarrow \quad \delta_2 - \delta_3 = 0 \Rightarrow \quad 4V_2 - 1.848V_3 = 0$$

$$\delta_3 = \delta_4 \Rightarrow \quad \delta_3 - \delta_4 = 0 \Rightarrow \quad 1.848V_3 - 1.338V_4 = 0$$

olup, bu denklemler çözülerek her duvar parçasına gelen kesme kuvveti oranı,

$$V_1 = V \quad V_2 = 0.163 V \quad V_3 = 0.351V \quad V_4 = 0.486 V$$

olarak bulunur.

2 aksı duvarı için denge ve uygunluk şartları

Denge şartları :

$$V_1 = V \quad ; \quad V_2 + V_3 + V_4 = V$$

Uygunluk şartları:

$$\delta_2 = \delta_3 \Rightarrow \quad \delta_2 - \delta_3 = 0 \Rightarrow \quad 7.201V_2 - 38.361V_3 = 0$$

$$\delta_2 = \delta_4 \Rightarrow \quad \delta_2 - \delta_4 = 0 \Rightarrow \quad 7.201V_2 - 4.156V_4 = 0$$

olup, bu denklemler çözülerek her duvar parçasına gelen kesme kuvveti oranı,

$$V_1 = V \quad V_2 = 0.342 V \quad V_3 = 0.064V \quad V_4 = 0.594 V$$

olarak bulunur.

3 aksı duvarı için denge ve uygunluk şartları

Denge şartları :

$$V_1 = V \quad ; \quad V_2 + V_3 = V$$

Uygunluk şartları:

$$\delta_2 = \delta_3 \Rightarrow \quad \delta_2 - \delta_3 = 0 \Rightarrow \quad 3.369V_2 - 2.694V_3 = 0$$

olup, bu denklemler çözülerek her duvar parçasına gelen kesme kuvveti oranı,

$$V_1 = V \quad V_2 = 0.444 V \quad V_3 = 0.556V$$

olarak bulunur.

4 aksı duvarı için denge ve uygunluk şartları

Denge şartları :

$$V_1 = V \quad ; \quad V_6 + V_7 = V \quad ; \quad V_2 + V_3 + V_4 + V_5 = V$$

$$V_2 + V_3 = V_6 \quad ; \quad V_4 + V_5 = V_7$$

Uygunluk şartları:

$$\delta_2 = \delta_3 \Rightarrow \quad \delta_2 - \delta_3 = 0 \Rightarrow \quad 1.086V_2 - 1.625V_3 = 0$$

$$\delta_4 = \delta_5 \Rightarrow \quad \delta_4 - \delta_5 = 0 \Rightarrow \quad 1.625V_4 - 0.915V_5 = 0$$

$$\delta_3 + \delta_6 = \delta_4 + \delta_7 \Rightarrow \quad 1.625V_3 + 2.358V_6 - 1.625V_4 - 2.129V_7 = 0$$

$$\delta_2 + \delta_6 = \delta_5 + \delta_7 \Rightarrow \quad 1.086V_2 + 2.358V_6 - 0.915V_5 - 2.129V_7 = 0$$

olup, bu denklemler çözülerek her duvar parçasına gelen kesme kuvveti oranı,

$$V_1 = V \quad V_2 = 0.284 V \quad V_3 = 0.190V \quad V_4 = 0.189V$$

$$V_5 = 0.337V \quad V_6 = 0.474V \quad V_7 = 0.526V$$

olarak bulunur.

Tüm duvar parçalarına gelen kuvvetler V 'nin fonksiyonu cinsinden bulunduğundan sonra bu değerler 8 nolu sütunda yerine konur ve böylece her duvar parçasının yer değiştirmesi o duvarın bütününe etkileyen V cinsinden bulunur (Tablo 5-2, 10 nolu sütun).

Her bir duvarın toplam yer değiştirmesi o duvar üzerinde, herhangi bir düşey kesit üzerinde bulunan parçaların yer değiştirmelerinin toplamına eşittir (Tablo 5.2, 11 nolu sütun). Toplam yer değiştirme duvara gelen kesme kuvvetine bölünerek duvar rijitliği bulunur (Tablo 5.2, 12 nolu sütun). Buna göre,

A ve C aksı duvarı için

Toplam yer değiştirme $\Sigma\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = (0.28 + 0.65 + 0.28)V/Et = 1.21V/Et$

olur ve duvar rijitliği (5.7) bağıntısına göre, $k_A = \frac{V}{\delta} = \frac{V}{1.21Et/V} = 0.83Et$ bulunur.

B aksı duvarı için

Toplam yer değiştirme $\Sigma\delta = \delta_1 = 3.01V/Et = 3.01V/Et$ olur ve duvar rijitliği (5.7)

bağıntısına göre, $k_B = \frac{V}{\delta} = \frac{V}{3.01Et/V} = 0.33Et$ bulunur.

1 aksı duvarı için

Toplam yer değiştirme $\Sigma\delta = \delta_1 = 1.5V/Et = 1.5V/Et$ olur ve duvar rijitliği (5.7)

bağıntısına göre, $k_1 = \frac{V}{\delta} = \frac{V}{1.5Et/V} = 0.67Et$ bulunur.

2 aksı duvarı için

Toplam yer değiştirme $\Sigma\delta = \delta_1 + \delta_2 = (0.36 + 2.46)V/Et = 2.82V/Et$ olur ve duvar

rijitliği (5.7) bağıntısına göre, $k_2 = \frac{V}{\delta} = \frac{V}{2.82Et/V} = 0.35Et$ bulunur.

3 aksı duvarı için

Toplam yer değiştirme $\Sigma\delta = \delta_1 + \delta_2 = (0.36 + 1.5)V/Et = 1.86V/Et$ olur ve duvar

rijitliği (5.7) bağıntısına göre, $k_3 = \frac{V}{\delta} = \frac{V}{1.86Et/V} = 0.54Et$ bulunur.

4 aksı duvarı için

Toplam yer değiştirme $\Sigma\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_6 = (0.36 + 0.31 + 1.12)V/Et = 1.79V/Et$

olur ve duvar rijitliği (5.7) bağıntısına göre, $k_4 = \frac{V}{\delta} = \frac{V}{1.79Et/V} = 0.56Et$ bulunur.

• Kat rijitlik ve kütle merkezinin hesabı

Bina sol üst köşesinden geçen eksen takımına göre (5.8) ve (5.9) bağıntıları kullanılarak kütle ve rijitlik merkezleri hesaplanır. Bunların hesabı Tablo 5.3 ve Tablo 5.4'de verilmiştir.

Tablo 5.3 Kat kütle merkezinin hesabı

KAT KÜTLE MERKEZİNİN HESABI					
Aks Adı	W (t)	x (m)	y (m)	W*x (tm)	W*y (tm)
A	8.94	4.000	0.115	35.78	1.03
B	4.08	1.645	2.340	6.73	9.57
C	8.94	4.000	5.685	35.76	50.82
1	7.20	0.115	2.900	0.83	20.88
2	5.55	3.175	2.900	17.62	16.10
3	6.38	6.250	2.900	39.88	18.50
4	6.23	7.885	2.900	49.12	18.07
	47.33			185.70	134.97

$x_m(m)=$	3.92
$y_m(m)=$	2.85

Tablo 5.4 Kat rijitlik merkezinin hesabı

KAT RİJİTLİK MERKEZİNİN HESABI						
1	2	3	4	5	6	7
Aks Adı	x (m)	y (m)	k_x	k_y	x^2k_y (m)	y^2k_x (m)
A		0.115	0.83			0.095
B		2.340	0.33			0.772
C		5.685	0.83			4.719

1	0.115			0.67	0.077	
2	3.175			0.35	1.111	
3	6.250			0.54	3.375	
4	7.885			0.56	4.418	
			1.89	2.12	8.979	5.588

$x_k(m)=$	4.24
$y_k(m)=$	2.61

• Duvar kesme kuvvetlerinin ve kayma gerilmelerinin hesabı

Kütle ve rijitlik merkezlerinin çakışmamasından kaynaklanan burulma momentleri (5.10) ve (5.11) bağıntıları ile hesaplanır. Buna göre,

$$M_{ix} = 24.93(2.85 - 2.81) = 1\text{tm}$$

$$M_{iy} = 24.93(4.24 - 3.92) = 7.98\text{tm}$$

Burulma momentlerini de dikkate alarak toplam duvar kesme kuvvetlerinin hesabı (5.14) ve (5.15) bağıntılarından yararlanılarak yapılmış ve Tablo 5.5’de verilmiştir.

Tablo 5.5 Duvarlara gelen toplam kesme kuvvetinin hesabı

DUVAR KESME KUVVETLERİNİN HESABI								
Yön	Duvar	k/Et	$k_i / \Sigma k_i$	d	kd^2 / Et	$V.k / \Sigma k$	$M_i.kd / \Sigma kd^2$	V_i
y	1	0.67	0.32	4.125	11.40	7.88	0.049	7.93
y	2	0.35	0.17	1.065	0.40	4.12	0.013	4.13
y	3	0.54	0.25	2.01	2.18	6.35	0.032	6.38
y	4	0.56	0.26	3.645	7.44	6.59	0.034	6.62
		2.12				24.93		
x	A	0.83	0.42	2.695	6.03	10.3979397	0.010	10.41
x	B	0.33	0.17	0.47	0.07	4.134120603	0.002	4.14
x	C	0.83	0.42	2.875	6.86	10.3979397	0.010	10.41
		1.99			34.38	24.93		

Duvarlara gelen kesme kuvvetleri hesaplandıktan sonra her duvar için kayma gerilmeleri hesaplanır. Bu değerler Tablo 5.6’da verilmiştir. Tabloda A_d duvar net kesit alanı göstermektedir.

Tablo 5.6 Duvar kayma gerilmelerinin hesabı

DUVAR KAYMA GERİLMELERİ				
Yön	Duvar Aksı	V (t)	A_d (m ²)	τ (kg/cm ²)
y	1	7.93	1.33	0.596
y	2	4.13	0.92	0.449
y	3	6.38	1.13	0.565
y	4	6.62	0.94	0.704
x	A	10.41	1.43	0.728
x	B	4.14	0.76	0.545
x	C	10.41	1.43	0.728

- **Duvarlarda kayma gerilmesi kontrolü**

Duvar kayma gerilmeleri kayma emniyet gerilmeleri ile karşılaştırılarak kayma kontrolü yapılır. TS 2510'a göre kayma emniyet gerilmesi A grubu harç kullanılarak yapay taşlarla yapılan yığma duvarlar için $\tau_{em} = 0.12\sigma_o$ olarak verilmektedir. Ayrıca bu değer 3 kg/cm^2 'den büyük olmamalıdır. Bu bağlamda σ_o düşey yüklerin oluşturduğu gerçek ortalama basınç gerilmesidir. Buna göre,

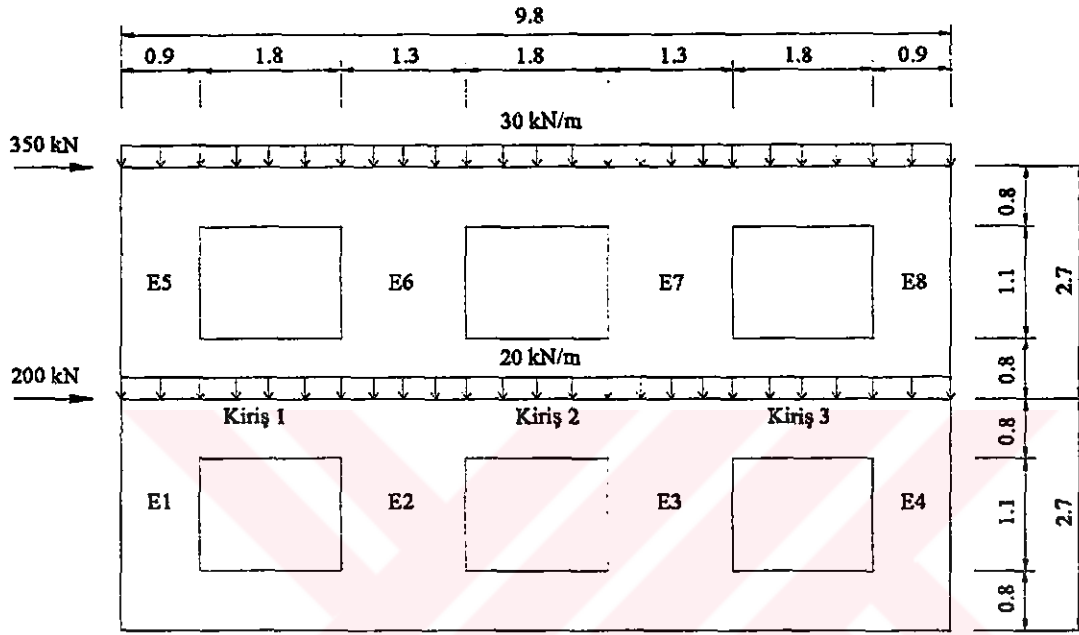
$$\sigma_o = \frac{\Sigma W}{\Sigma A_d} = \frac{62.317}{7.94} = 7.85 \text{ t/m}^2 = 0.785 \text{ kg/cm}^2$$

ve buradan kayma emniyet gerilmesi

$$\tau_{em} = 0.120 \times 0.785 = 0.09 \text{ kg/cm}^2 \text{ olmaktadır.}$$

Görüldüğü gibi tüm duvarlardaki kayma gerilmeleri emniyet gerilmesini aşmaktadır. Sonuç olarak duvar kesit alanı yeterli değildir ve artırılmalıdır. Eğer bu yapı mevcut ise güçlendirmeye gerek vardır.

6. 2 KATLI YIĞMA DUVARIN DONATILI OLARAK HESABI



Şekil 6.1 Yatay ve düşey yük etkisindeki yığma duvar örneği

Şekil 6.1'de bir yapıya ait yığma duvar ve bu duvara etkiyen kuvvetler verilmiştir. Duvarda verilen tüm ölçüler metre cinsindendir. Duvara 1. katta 350 kN, 2. katta 200 kN yatay deprem yükü etkimektedir. 1. katta 30 kN/m ve 2. katta 30 kN/m değerinde duvarın ağırlıkları da dahil olmak üzere düzgün yayılı yük vardır. Duvar düktilite faktörü $\mu=1$ olmak üzere deprem kuvvetlerine karşı elastik davranacak şekilde tasarlanmak istemektedir. Duvar kalınlığı 190 mm, duvar malzemesinin hesap basınç dayanımı $f_d = 12$ MPa ve duvarda kullanılacak donatı çeliğinin akma dayanımı $f_y = 275$ MPa olduğuna göre bu duvar için gerekli donatı alanının bulunması ve gerekli kontrollerin yapılması istenmektedir.

Çözüm :

Verilen kuvvetler etkisinde yığma duvar Amerikan ACI esaslarına göre çözülecektir. Gerekli hesap yöntemi, daha önce anlatılan bağıntılardan da yararlanarak çözüm sırasında açıklanacaktır. Ayrıca bu yığma duvar için gerekli donatı hesabında yığma duvarlar için hazırlanmış, $f_y=275$ Mpa donatı sınıfına ait tablo kullanılacaktır.[9]

Hesap yöntemi

1) İlk önce, duvara etkiyen yatay deprem kuvvetinin düşey duvar parçalarına hangi oranlarda dağıldığını belirleyebilmek için duvar rölatif rijitliklerinin hesaplanması gerekir. Bunun için ara duvarlara düşey yük ve depremden dolayı gelen yaklaşık eksenel yüklerin bulunması gerekir.

- Düşey yükten dolayı ara duvarlarda oluşan eksenel kuvvetlerin hesabı

Toplam düşey yük : $0.9P_D = (30 + 30)9.8 = 588\text{kN}$ olarak bulunur. Her bir ara duvara gelen yük,

$$0.9P_{Di} = \frac{\sum 0.9P_D}{\sum A} \cdot A_i \quad \text{bağıntısı ile bulunur. Buna göre;}$$

$$0.9P_{D1} = (588/0.836) \times 0.171 = 120.27\text{kN} = P_{D4}$$

$$0.9P_{D2} = (588/0.836) \times 0.247 = 173.73\text{kN} = P_{D3}$$

olur

- Deprem yükünden dolayı ara duvarlarda oluşan eksenel kuvvetlerin hesabı

1'inci kat orta yükseklik bölgesinde oluşan toplam devirici moment,

$$M_o = (350 \times 4.05 + 200 \times 1.35) = 1688\text{kNm}$$

Yapı simetri eksenine göre ara duvarların atalet momenti,

$$I = 2(0.19 \times 0.9 \times 4.45^2 + 0.19 \times 1.3 \times 1.55^2) = 7.96\text{m}^4 \text{ olarak bulunur.}$$

Ara duvar eksenel kuvvetleri,

$P_{E1} = (M_o / I) A_1 \cdot y_1$ bağıntısı ile hesaplanır. Buna göre

$$P_{E1} = (M_o / I) A_1 \cdot y_1 = (1688 / 7.96) \times 0.171 \times (-4.45) = -161.37 \text{ kN}$$

$$P_{E2} = (M_o / I) A_2 \cdot y_{21} = (1688 / 7.96) \times 0.247 \times (-1.55) = -81.19 \text{ kN}$$

ve sistem simetrik olduğundan $P_{E3} = +161.37 \text{ kN}$ ve $P_{E4} = +81.19 \text{ kN}$ olarak bulunur.

- Rijitlik hesabı için toplam tasarım eksenel yükünün hesabı

$P_{U1} = 0.9P_{D1} + P_{E1}$ bağıntısı ile

$$P_{U1} = 0.9P_{D1} + P_{E1} = 120.27 + (-161.37) = -41.1 \text{ kN}$$

$$P_{U2} = 0.9P_{D2} + P_{E2} = 173.73 + (-81.19) = 92.54 \text{ kN}$$

$$P_{U3} = 0.9P_{D3} + P_{E3} = 173.34 + (81.19) = 254.92 \text{ kN}$$

$$P_{U4} = 0.9P_{D4} + P_{E4} = 120.27 + (161.37) = 281.64 \text{ kN}$$

bulunur.

- Ara duvar atalet momentlerinin hesabı

$$I_1 = t_1 l_1^3 / 12 = 0.19 \times 0.9^3 / 12 = 0.0115 = I_4$$

$$I_2 = t_2 l_2^3 / 12 = 0.19 \times 1.3^3 / 12 = 0.0348 = I_3$$

- Ara duvar eşdeğer atalet momentleri $I_{ei} = (\frac{100}{f_y} + \frac{P_{ui}}{f_d A_i}) I_i$ bağıntısına göre hesaplanırsa, [9]

$$I_{e1} = (\frac{100}{275} + \frac{-41.1 \times 10^3}{12 \times 0.171 \times 10^6}) \times 0.0115 = (0.3636 - 0.02) \times 0.0115 = 3.951 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_{e2} = (\frac{100}{275} + \frac{92.54 \times 10^3}{12 \times 0.247 \times 10^6}) \times 0.0348 = (0.3636 + 0.0312) \times 0.0348 = 13.7 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

bulunur.

$$I_{e3} = \left(\frac{100}{275} + \frac{254.92 \times 10^3}{12 \times 0.247 \times 10^6} \right) \times 0.0348 = (0.3636 + 0.0860) \times 0.0348 = 15.6 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_{e4} = \left(\frac{100}{275} + \frac{281.64 \times 10^3}{12 \times 0.171 \times 10^6} \right) \times 0.0115 = (0.3636 + 0.1373) \times 0.0115 = 5.76 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

- Ara duvar rijitlik hesabı için gerekli F parametresinin hesabı, [9]

$$F_1 = 3(l_{d1}/h_{d1})^2 = 3(0.9/1.1)^2 = 2.01 = F_4$$

$$F_2 = 3(l_{d2}/h_{d2})^2 = 3(1.3/1.1)^2 = 4.19 = F_3$$

- Ara duvar rijitliklerinin hesabı, [9]

$$k_1 = I_{e1}/(1.2 + F_1) = 3.951 \times 10^{-3} / (1.2 + 2.01) = 1.23 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$k_2 = I_{e2}/(1.2 + F_2) = 13.7 \times 10^{-3} / (1.2 + 4.19) = 2.54 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$k_3 = I_{e3}/(1.2 + F_3) = 15.6 \times 10^{-3} / (1.2 + 4.19) = 2.89 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$k_4 = I_{e4}/(1.2 + F_4) = 5.76 \times 10^{-3} / (1.2 + 2.01) = 1.79 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

- Ara duvar rölatif rijitliklerinin hesabı

$$k_1 / \Sigma k = 1.23 \times 10^{-3} / 8.45 \times 10^{-3} = 0.146$$

$$k_2 / \Sigma k = 2.54 \times 10^{-3} / 8.45 \times 10^{-3} = 0.300$$

$$k_3 / \Sigma k = 2.89 \times 10^{-3} / 8.45 \times 10^{-3} = 0.342$$

$$k_4 / \Sigma k = 1.79 \times 10^{-3} / 8.45 \times 10^{-3} = 0.212$$

olarak bulunur. Hesaplanan tüm değerler Tablo 6.1'de verilmiştir. Ara duvar rölatif rijitliklerinin bulunmasından sonra duvar ve kirişlerde oluşan kesit tesirleri hesaplanabilir.

Tablo 6.1 Ara duvarlar için, rijitlik hesabı parametreleri tablosu

Parametreler	Birim	Duvar 1	Duvar 2	Duvar 3	Duvar 4
$0.9P_{Di}$	kN	120.27	173.73	173.73	120.27
P_{Ei}	kN	-161.37	-81.19	81.19	161.37
P_{ui}	kN	-41.1	92.54	254.92	281.64
A_i	m ²	0.171	0.247	0.247	0.171
I_i	m ⁴	0.0115	0.0348	0.0348	0.0115
I_e	m ⁴ (10 ⁻³)	3.951	13.7	15.6	5.76
F	-	2.01	4.19	4.19	2.01
k_i	m ⁴ (10 ⁻³)	1.23	2.54	2.89	1.79
$k_i/\Sigma k$	-	0.146	0.300	0.342	0.212

2) Ara duvar ve kirişlerin statik hesabı

- 1. kat ara duvar elamanlarının kesme kuvvetlerinin hesabı

$$V_{E1} = V_E \cdot k_1 / \Sigma k = (350 + 200) \times 0.146 = 80.3 \text{ kN}$$

$$V_{E2} = V_E \cdot k_2 / \Sigma k = (350 + 200) \times 0.300 = 165 \text{ kN}$$

$$V_{E3} = V_E \cdot k_3 / \Sigma k = (350 + 200) \times 0.342 = 188.1 \text{ kN}$$

$$V_{E4} = V_E \cdot k_4 / \Sigma k = (350 + 200) \times 0.212 = 116.6 \text{ kN}$$

- 1. kat ara duvar elamanlarının 0.8m ve 1.9m kotlarındaki momentlerinin hesabı

$$M_{E1alt}^1 = M_{E1üst}^1 = V_{E1} \cdot h_{d1} / 2 = 80.3 \times 1.1 / 2 = 44.17 \text{ kNm}$$

$$M_{E2alt}^1 = M_{E2üst}^1 = V_{E2} \cdot h_{d2} / 2 = 165 \times 1.1 / 2 = 90.75 \text{ kNm}$$

$$M_{E3alt}^1 = M_{E3üst}^1 = V_{E3} \cdot h_{d3} / 2 = 188.1 \times 1.1 / 2 = 103.46 \text{ kNm}$$

$$M_{E4alt}^1 = M_{E4üst}^1 = V_{E4} \cdot h_{d4} / 2 = 116.6 \times 1.1 / 2 = 64.13 \text{ kNm}$$

- 1. kat 2.7m kotu ara duvar elemanlarının üst momentlerinin hesabı

$$M_{E1üst} = V_{E1} \cdot (0.55 + 0.8) = 80.3 \times 1.35 = 108.40 \text{ kNm}$$

$$M_{E2üst} = V_{E2} \cdot (0.55 + 0.8) = 165 \times 1.35 = 222.75 \text{ kNm}$$

$$M_{E3üst} = V_{E3} \cdot (0.55 + 0.8) = 188.1 \times 1.35 = 253.94 \text{ kNm}$$

$$M_{E4üst} = V_{E4} \cdot (0.55 + 0.8) = 116.6 \times 1.35 = 157.41 \text{ kNm}$$

- 2. kat ara duvar elemanlarının kesme kuvvetlerinin hesabı

$$V_{E5} = V_E \cdot k_1 / \Sigma k = 350 \times 0.146 = 51.1 \text{ kN}$$

$$V_{E6} = V_E \cdot k_2 / \Sigma k = 350 \times 0.300 = 105 \text{ kN}$$

$$V_{E7} = V_E \cdot k_3 / \Sigma k = 350 \times 0.342 = 119.7 \text{ kN}$$

$$V_{E8} = V_E \cdot k_4 / \Sigma k = 350 \times 0.212 = 74.2 \text{ kN}$$

- 2. kat ara duvarlar elemanlarının 3.5m ve 4.6m kotlarındaki momentlerinin hesabı

$$M'_{E5alt} = M'_{E5üst} = V_{E5} \cdot h_{d5} / 2 = 51.1 \times 1.1 / 2 = 28.10 \text{ kNm}$$

$$M'_{E6alt} = M'_{E6üst} = V_{E6} \cdot h_{d6} / 2 = 105 \times 1.1 / 2 = 57.75 \text{ kNm}$$

$$M'_{E7alt} = M'_{E7üst} = V_{E7} \cdot h_{d7} / 2 = 119.7 \times 1.1 / 2 = 65.84 \text{ kNm}$$

$$M'_{E8alt} = M'_{E8üst} = V_{E8} \cdot h_{d8} / 2 = 74.2 \times 1.1 / 2 = 40.81 \text{ kNm}$$

- 2. kat 2.7m kotu ara duvar elemanlarının alt momentlerinin hesabı

$$M_{E5alt} = V_{E5} \cdot (0.55 + 0.8) = 51.1 \times 1.35 = 68.99 \text{ kNm}$$

$$M_{E6alt} = V_{E6} \cdot (0.55 + 0.8) = 105 \times 1.35 = 141.75 \text{ kNm}$$

$$M_{E7alt} = V_{E7} \cdot (0.55 + 0.8) = 119.7 \times 1.35 = 161.6 \text{ kNm}$$

$$M_{E8alt} = V_{E8} \cdot (0.55 + 0.8) = 74.2 \times 1.35 = 100.17 \text{ kNm}$$

- 2. kat 5m kotu ara duvar elemanlarının üst momentlerinin hesabı

$$M_{E5üst} = V_{E5} \cdot (0.55 + 0.4) = 51.1 \times 0.95 = 48.55 \text{ kNm}$$

$$M_{E6üst} = V_{E6} \cdot (0.55 + 0.4) = 105 \times 0.95 = 99.75 \text{ kNm}$$

$$M_{E7üst} = V_{E7} \cdot (0.55 + 0.4) = 119.7 \times 0.95 = 113.72 \text{ kNm}$$

$$M_{E8üst} = V_{E8} \cdot (0.55 + 0.8) = 74.2 \times 0.95 = 70.49 \text{ kNm}$$

- 1. kat düğüm noktaları giriş momentlerinin hesabı

$$M_{12} = M_{E1üst} + M_{E5alt} = 68.99 + 108.40 = 177.39 \text{ kNm}$$

$$M_{21} = \frac{l_{23}}{l_{23} + l_{21}} (M_{E2üst} + M_{E6alt}) = \frac{3.1}{3.1 + 2.9} (141.75 + 222.75) = 188.33 \text{ kNm}$$

$$M_{23} = \frac{l_{21}}{l_{23} + l_{21}} (M_{E2üst} + M_{E6alt}) = \frac{2.9}{3.1 + 2.9} (141.75 + 222.75) = 176.18 \text{ kNm}$$

$$M_{32} = \frac{l_{34}}{l_{34} + l_{32}} (M_{E3üst} + M_{E7alt}) = \frac{2.9}{3.1 + 2.9} (161.60 + 253.94) = 200.84 \text{ kNm}$$

$$M_{34} = \frac{l_{32}}{l_{34} + l_{32}} (M_{E3üst} + M_{E7alt}) = \frac{3.1}{3.1 + 2.9} (161.60 + 253.94) = 214.70 \text{ kNm}$$

$$M_{43} = (M_{E4üst} + M_{E8alt}) = (100.17 + 157.41) = 257.58 \text{ kNm}$$

- 1. kat giriş kesme kuvvetlerinin hesabı

$$V_{12} = \frac{M_{12} + M_{21}}{l_{12}} = \frac{177.39 + 188.33}{2.9} = 126.11 \text{ kN}$$

$$V_{23} = \frac{M_{23} + M_{32}}{l_{23}} = \frac{176.18 + 200.84}{3.1} = 121.62 \text{ kN}$$

$$V_{34} = \frac{M_{34} + M_{43}}{l_{34}} = \frac{214.70 + 257.58}{2.9} = 162.86 \text{ kN}$$

- 2. kat düğüm noktaları kiriş momentlerinin hesabı

$$M_{56} = M_{E5üst} = 48.55 \text{ kNm}$$

$$M_{65} = \frac{l_{67}}{l_{67} + l_{65}} (M_{E6üst}) = \frac{3.1}{3.1 + 2.9} (99.75) = 51.54 \text{ kNm}$$

$$M_{67} = \frac{l_{65}}{l_{67} + l_{65}} (M_{E6üst}) = \frac{2.9}{3.1 + 2.9} (99.75) = 48.21 \text{ kNm}$$

$$M_{76} = \frac{l_{78}}{l_{78} + l_{76}} (M_{E7üst}) = \frac{2.9}{3.1 + 2.9} (113.72) = 54.96 \text{ kNm}$$

$$M_{78} = \frac{l_{76}}{l_{78} + l_{76}} (M_{E7üst}) = \frac{3.1}{3.1 + 2.9} (113.72) = 58.76 \text{ kNm}$$

$$M_{87} = M_{E8üst} = 70.49 \text{ kNm}$$

- 2. kat kiriş kesme kuvvetlerinin hesabı

$$V_{56} = \frac{M_{56} + M_{65}}{l_{56}} = \frac{48.55 + 51.54}{2.9} = 34.51 \text{ kN}$$

$$V_{67} = \frac{M_{67} + M_{76}}{l_{67}} = \frac{48.21 + 54.96}{3.1} = 33.28 \text{ kN}$$

$$V_{78} = \frac{M_{78} + M_{87}}{l_{78}} = \frac{58.76 + 70.49}{2.9} = 44.57 \text{ kN}$$

Bulunan tüm kesit tesirleri Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'de gösterilmiştir.

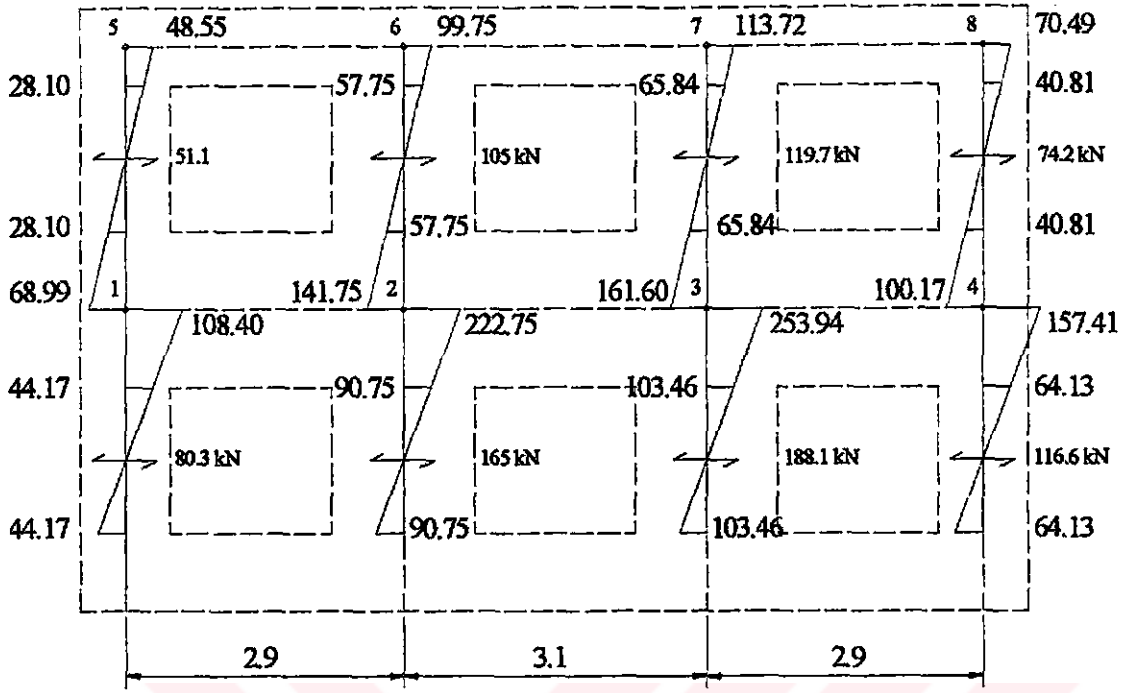
- Deprem kuvvetinden dolayı 1. kat ara duvarlarında oluşan normal kuvvetler

$$P_{eq1} = 34.51 + 126.11 = 160.62 \text{ kN (çekme)}$$

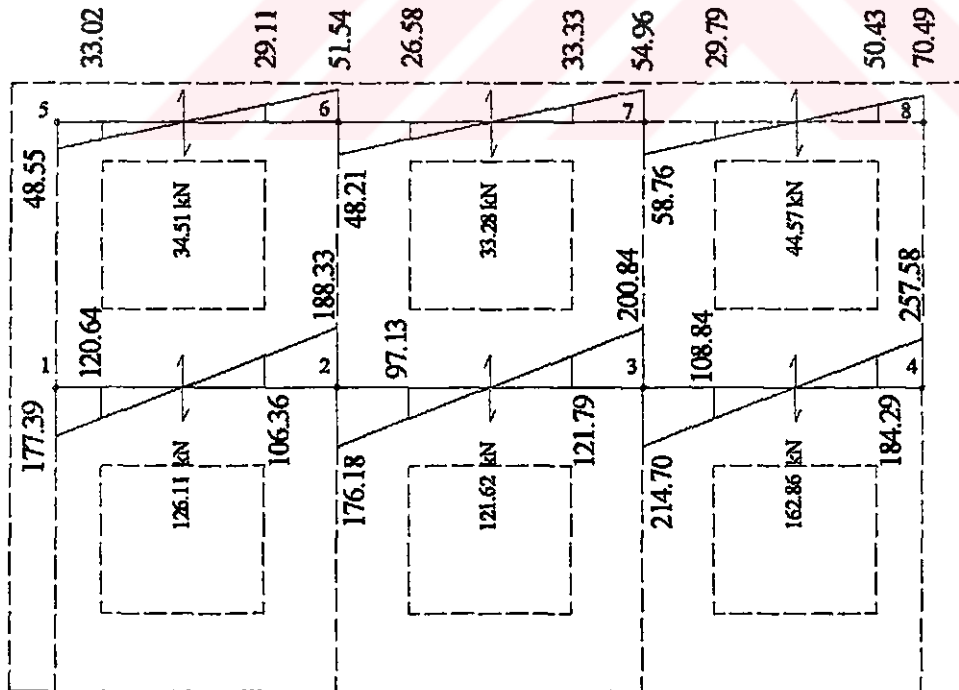
$$P_{eq2} = (33.28 + 121.62) - 160.62 = -5.72 \text{ kN (basınç)}$$

$$P_{eq3} = (44.57 + 162.86) - (33.28 + 121.62) = 52.53 \text{ kN (çekme)}$$

$$P_{eq4} = (44.57 + 162.86) = 207.43 \text{ kN (basınç)}$$



Şekil 6.2 Ara duvar moment ve kesme kuvveti diyagramı



Şekil 6.3 Kiriş moment ve kesme kuvveti diyagramı

- Ara duvar elemanları tasarım normal kuvvetlerinin hesabı

$$P_{u1} = 0.9P_D + P_{eq1} = 120.27 - 160.62 = -40.35 \text{ kN (çekme)}$$

$$P_{u2} = 0.9P_D + P_{eq2} = 173.73 + 160.62 - (121.62 + 33.28) = 179.45 \text{ kN (basınç)}$$

$$P_{u3} = 0.9P_D + P_{eq3} = 173.73 + 154.9 - (44.57 + 162.86) = 121.2 \text{ kN (basınç)}$$

$$P_{u1} = 0.9P_D + P_{eq1} = 120.27 + 207.43 = 327.7 \text{ kN (basınç)}$$

3) Ara duvarların donatı hesabı

Ara duvar donatı hesabında, duvara etkiyen momentler ve eksenel kuvvetler dikkate alınarak hesaplanan boyutsuz $(P_u / f_d l_d A)$ ve $(M_d / f_d l_d^2 t)$ ifadeleri ile gerekli donatı yüzdesi, $(\rho f_y / f_d)$ cinsinden hesaplanır. Bu hesapta kullanılmak üzere $f_y = 275 \text{ Mpa}$ donatı sınıfı için hazırlanmış Tablo 5.2 aşağıda verilmiştir.

Tablo 6.2 Düzgün donatılı dikdörtgen kesitli yığma duvarda moment katsayıları m_i^a : Donatı çeliği f_y :275 MPa için

$\rho \frac{f_y}{f_d}$	Eksenel yük oranı $(P_u / f_d l_d t)$								
	0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
0.0100	0.0052	0.0279	0.0480	0.0652	0.0795	0.0910	0.0995	0.1052	0.1080
0.0200	0.0101	0.0322	0.0519	0.0687	0.0826	0.0938	0.1021	0.1076	0.1102
0.0400	0.0194	0.0406	0.0593	0.0754	0.0887	0.0993	0.1072	0.1123	0.1147
0.0600	0.0284	0.0487	0.0666	0.0819	0.0946	0.1047	0.1122	0.1170	0.1193
0.0800	0.0370	0.0565	0.0737	0.0883	0.1005	0.1101	0.1172	0.1218	0.1238
0.1000	0.0454	0.0641	0.0805	0.0946	0.1062	0.1154	0.1221	0.1265	0.1284
0.1200	0.0535	0.0714	0.0873	0.1007	0.1119	0.1207	0.1271	0.1312	0.1329
0.1400	0.0613	0.0786	0.0938	0.1068	0.1175	0.1259	0.1320	0.1359	0.1375
0.1600	0.0690	0.0856	0.1003	0.1127	0.1230	0.1311	0.1369	0.1406	0.1421
0.1800	0.0764	0.0925	0.1066	0.1186	0.1285	0.1362	0.1418	0.1453	0.1466
0.2000	0.0837	0.0992	0.1128	0.1244	0.1339	0.1413	0.1467	0.1500	0.1512

$$^a M_d = m_i f_d l_d^2 t$$

- Duvar 1 için gerekli donatı hesabı

$$P_{u1} = -40.35 \text{ kN} \quad M_{u1} = 44.17 \text{ kNm}$$

Dayanım güvenlik katsayısı ϕ Tablo 4.1'e göre hesaplanır. Buna göre

$$\phi \leq \phi = 0.85 - 2(P_u / f_d A) \leq 0.65 \text{ olmalıdır.}$$

$$P_{u1} / f_d A_1 = -40.35 \times 10^3 / 12 \times 10^6 \times 0.171 = -0.0197$$

$$0.85 - 2(P_{u1} / f_d A_1) = 0.85 - 2(-0.0197) = 0.89 > 0.85 \text{ olduğundan } \phi = 0.85 \text{ olur.}$$

Buna göre tasarım eğilme momenti şuna eşit olur.

$$M_{d1} = M_{u1} / \phi = 44.17 / 0.85 = 51.96 \text{ kNm}$$

Boyutsuz katsayılar aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\frac{P_{u1}}{f_d l_{d1} t} = \frac{40.35 \times 10^3}{12 \times 10^6 \times 0.9 \times 0.19} = 0.02 \Rightarrow 0$$

$$\frac{M_{d1}}{f_d l_{d1}^2 t} = \frac{51.96 \times 10^3}{12 \times 10^6 \times (0.9)^2 \times 0.19} = 0.0281$$

Bu değerler için Tablo 6.2'den

$$\frac{\rho f_y}{f_d} = 0.0593 \text{ ve gerekli kesit donatı yüzdesi } \rho_1 = 0.0593 \times 12 / 275 = 0.0026 \text{ olur.}$$

- Duvar 4 için gerekli donatı hesabı

$$P_{u4} = 327.7 \text{ kN} \quad M_{u4} = 64.13 \text{ kNm}$$

$$P_{u4} / f_d A_4 = 327.7 \times 10^3 / 12 \times 10^6 \times 0.171 = 0.1597$$

$$0.85 - 2(P_{u4} / f_d A_4) = 0.85 - 2(0.1597) = 0.53 < 0.65 \text{ olduğundan } \phi = 0.65 \text{ olur}$$

Buna göre tasarım eğilme momenti şuna eşit olur.

$$M_{d4} = M_{u4} / \phi = 64.13 / 0.65 = 98.66 \text{ kNm}$$

Boyutsuz katsayıların hesabı

$$\frac{P_{u4}}{f_d l_{d4} t} = \frac{327.7 \times 10^3}{12 \times 10^6 \times 0.9 \times 0.19} = 0.15$$

$$\frac{M_{d4}}{f_d l_{d4}^2 t} = \frac{98.66 \times 10^3}{12 \times 10^6 \times (0.9)^2 \times 0.19} = 0.0534$$

Bu değerler için Tablo 6.2'den

$$\frac{\rho f_y}{f_d} \leq 0.01 \text{ bulunur.}$$

Sonuç olarak her iki duvar için, en olumsuz durum olan duvar 1'e göre donatı hesabı yapılır. Buna göre duvar 1 ve 4 için gerekli toplam düşey donatı alanı,

$$A_{sv} = \rho_1 l_d t = 0.0026 \times 900 \times 190 = 445 \text{ mm}^2$$

olup $4\phi 12 = 452 \text{ mm}^2$ seçilebilir.

• Duvar 2 için gerekli donatı hesabı

$$P_{u2} = 179.45 \text{ kN} \quad M_{u2} = 90.75 \text{ kNm}$$

$$P_{u2} / f_d A_2 = 179.45 \times 10^3 / 12 \times 10^6 \times 0.247 = 0.0605$$

$$0.85 - 2(P_{u2} / f_d A_2) = 0.85 - 2(0.0605) = 0.729 \text{ olduğundan } \phi = 0.729 \text{ olur}$$

$$M_{d2} = M_{u2} / \phi = 90.75 / 0.729 = 124.49 \text{ kNm}$$

Boyutsuz katsayılar aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\frac{P_{u2}}{f_d l_{d2} t} = \frac{179.45 \times 10^3}{12 \times 10^6 \times 1.3 \times 0.19} = 0.06 \Rightarrow 0.05$$

$$\frac{M_{d2}}{f_d l_{d2}^2 t} = \frac{124.49 \times 10^3}{12 \times 10^6 \times (1.3)^2 \times 0.19} = 0.0323$$

Bu değerler için Tablo 6.2'den

$$\frac{\rho f_y}{f_d} = 0.02 \text{ ve gerekli kesit donatı yüzdesi } \rho_2 = 0.02 \times 12 / 275 = 0.00087 \text{ olur.}$$

- Duvar 3 için gerekli donatı hesabı

$$P_{u3} = 121.2 \text{ kN} \quad M_{u3} = 103.46 \text{ kNm}$$

$$P_{u3} / f_d A_3 = 121.2 \times 10^3 / 12 \times 10^6 \times 0.247 = 0.0409$$

$$0.85 - 2(P_{u3} / f_d A_3) = 0.85 - 2(0.0409) = 0.768 \text{ olduğundan } \phi = 0.768 \text{ olur}$$

$$M_{d3} = M_{u3} / \phi = 103.46 / 0.768 = 134.71 \text{ kNm}$$

Boyutsuz katsayılar aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\frac{P_{u3}}{f_d l_{d3} t} = \frac{121.2 \times 10^3}{12 \times 10^6 \times 1.3 \times 0.19} = 0.04 \Rightarrow 0.05$$

$$\frac{M_{d3}}{f_d l_{d3}^2 t} = \frac{134.71 \times 10^3}{12 \times 10^6 \times (1.3)^2 \times 0.19} = 0.0349$$

Bu değerler için Tablo 6.2'den

of

4) Duvarların kesme gerilmesi kontrolü ve gerekli kesme donatısının hesabı

- Duvar 1

Tasarım kesme kuvveti,

$$V_{u1} = V_{E1} / \phi = 80.3 / 0.80 = 100.38 \text{ kN}$$

Duvar kesme gerilmesi,

$$v_1 = V_{u1} / t l_d = 100.38 \times 10^3 / 190 \times 900 = 0.587 \text{ MPa}$$

yığma duvar tarafından sağlanan kesme dayanımı (4.21a) bağıntısı ile bulunur.

$$v_{d1} = 0.17 \sqrt{f_d} + 0.3 \frac{P_{u1}}{A_1} = 0.17 \sqrt{12} + 0.3 \frac{(-40.35) \times 10^3}{0.171 \times 10^6} = 0.518 \text{ Mpa}$$

ayrıca hesaplanan bu değer (4.21b) bağıntısı ile bulunan değerden ve 1.3MPa'dan küçük olmalıdır. Buna göre

$$0.75 + 0.3 P_{u1} / A_1 = 0.75 + 0.3 (-40.35) \times 10^3 / 0.171 \times 10^6 = 0.679$$

$$v_{d1} = 0.518 \text{ MPa} < 0.679 \text{ MPa} \text{ uygun.}$$

donatı tarafından karşılanması gereken kesme dayanımı,

$$v_s = v_1 - v_{d1} = 0.587 - 0.518 \text{ MPa} = 0.069 \text{ MPa olur.}$$

- Duvar 4

Tasarım kesme kuvveti,

$$V_{u4} = V_{E4} / \phi = 116.6 / 0.8 = 145.75 \text{ kN}$$

Duvar kesme gerilmesi,

$$v_4 = V_{u4} / t l_d = 145.75 \times 10^3 / 190 \times 900 = 0.852 \text{ MPa}$$

yığma duvar tarafından sağlanan kesme dayanımı,

$$v_{d4} = 0.17\sqrt{f_d} + 0.3 \frac{P_{u4}}{A_4} = 0.17\sqrt{12} + 0.3 \frac{(327.7) \times 10^3}{0.171 \times 10^6} = 1.164 \text{ MPa}$$

olup, $v_{d1} < v_{d4}$ olduğundan hesap duvar 1'e göre yapılır. Buna göre duvar 1 ve duvar 4 için gerekli yatay kayma donatısı alanı,

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0.069 \times 190 / 275 = 0.0477 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

seçilen yatay donatı min $\phi 8 / 400 = 56.26 / 400 = 0.141 \text{ mm}^2 / \text{mm}$ ($\rho_{min} = 0.0007$) olur.

- Duvar 2

Tasarım kesme kuvveti,

$$V_{u2} = V_{E2} / \phi = 165 / 0.8 = 206.25 \text{ kN}$$

Duvar kesme gerilmesi,

$$v_2 = V_{u2} / t l_d = 206.25 \times 10^3 / 190 \times 900 = 1.206 \text{ MPa}$$

yığma duvar tarafından sağlanan kesme dayanımı,

$$v_{d2} = 0.17\sqrt{f_d} + 0.3 \frac{P_{u2}}{A_2} = 0.17\sqrt{12} + 0.3 \frac{(179.45) \times 10^3}{0.247 \times 10^6} = 0.807 \text{ MPa}$$

- Duvar 3

Tasarım kesme kuvveti,

$$V_{u3} = V_{E3} / \phi = 188.1 / 0.8 = 235.13 \text{ kN}$$

Duvar kesme gerilmesi,

$$v_3 = V_{u3} / t l_d = 235.13 \times 10^3 / 190 \times 900 = 1.375 \text{ MPa}$$

yığma duvar tarafından sağlanan kesme dayanımı,

$$v_{d3} = 0.17\sqrt{f_d} + 0.3 \frac{P_{u3}}{A_3} = 0.17\sqrt{12} + 0.3 \frac{(121.2) \times 10^3}{0.247 \times 10^6} = 0.736 \text{MPa}$$

ayrıca hesaplanan bu değer (4.21b) bağıntısı ile bulunan değerden ve 1.3MPa'dan küçük olmalıdır. Buna göre

$$0.75 + 0.3P_{u3} / A_3 = 0.75 + 0.3(121.2) \times 10^3 / 0.247 \times 10^6 = 0.897$$

$$v_{d3} = 0.736 < 0.897 \text{ uygun.}$$

$v_{d3} < v_{d2}$ olduğundan hesap duvar 3'e göre yapılır.

donatı tarafından karşılanması gereken kesme dayanımı,

$$v_{s3} = v_3 - v_{d3} = 1.375 - 0.736 = 0.639 \text{MPa olur.}$$

Buna göre duvar 2 ve duvar 3 için gerekli yatay kayma donatısı alanı,

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0.639 \times 190 / 275 = 0.4414 \text{mm}^2 / \text{mm}$$

ve seçilen yatay donatı $\phi 12/200 = 113 / 200 = 0.5654 \text{mm}^2 / \text{mm}$ olur.

5) Kirişlerin donatı hesabı

Bu örnekte ölü yükten oluşan kiriş momentleri yatay deprem kuvvetinden dolayı oluşan eğilme momentlerinin %4'ü mertebesinde olduğundan, basitlik sağlamak için ihmal edilecektir.

- 1-2 ve 3-4 düğümleri arası kirişlerin donatı hesabı

1-2 ve 3-4 düğümleri arası kirişleri maksimum momente göre hesap edilirse,

$M_u = 184.29$ olur. $P_u = 0$ olduğundan $\phi = 0.85$ olur. Bu durumda, tasarım momenti,

$$M_d = M_u / \phi = 184.29 / 0.85 = 216.81 \text{kNm olur.}$$

Boyutsuz katsayılar

$$\frac{P_u}{f_d l_d t} = 0$$

$$\frac{M_d}{f_d l_d^2 t} = \frac{216.81 \times 10^3}{12 \times 10^6 \times (1.6)^2 \times 0.19} = 0.0371$$

Bu değerler için Tablo 6.2'den

$$\frac{\rho f_y}{f_d} = 0.08 \text{ ve gerekli kesit donatı yüzdesi } \rho = 0.08 \times 12/275 = 0.00349 \text{ olur.}$$

Sonuç olarak 1-2 ve 3-4 düğümleri arası kirişler için gerekli boyuna donatı alanı,

$$A_s = 0.00349 \times 1600 \times 190 = 1061 \text{ mm}^2$$

ve seçilen donatı $4\phi 20 = 1257 \text{ mm}^2$ olur.

- 2-3 düğümleri arası kirişin donatı hesabı

$M_u = 121.79$ ve $P_u = 0$ olduğundan $\phi = 0.85$ olur. Bu durumda, tasarım momenti,

$$M_d = M_u / \phi = 121.79 / 0.85 = 143.28 \text{ kNm olur.}$$

2-3 düğümleri arası kiriş için gerekli boyuna donatı alanı,

$$A_s = 0.00224 \times 1600 \times 190 = 681 \text{ mm}^2$$

ve seçilen donatı $4\phi 16=804 \text{ mm}^2$ olur.

6) Kirişlerin kesme gerilmesi kontrolü ve gerekli kesme donatısının hesabı

- 1-2 ve 3-4 düğümleri arası kiriş için hesap

1-2 ve 3-4 düğümleri arası kirişleri maksimum kesme kuvvetine göre hesap edilirse,

$V_u = 162.86 \text{ kN}$ ve $\phi = 0.8$ olduğundan tasarım kesme kuvveti,

$$V_d = V_u / \phi = 162.86 / 0.8 = 203.58 \text{ kN}$$

olur ve kirişte kesme gerilmesi,

$$v_{kr} = 203.58 \times 10^3 / 190 \times 1600 = 0.669 \text{ MPa}$$

olur. Yığma duvar tarafından sağlanan kesme dayanımı ($P_u=0$),

$$v_{dkr} = 0.17 \sqrt{f_d} + 0.3 \frac{P_u}{A} = 0.17 \sqrt{12} = 0.59$$

ve donatı tarafından sağlanması gereken dayanım,

$$v_s = v_{kr} - v_{dkr} = 0.669 - 0.59 = 0.079 \text{ MPa}$$

olup. Kiriş için gerekli donatı alanı,

$$\frac{A_{sv}}{s} = 0.079 \times 190 / 275 = 0.055 \text{ mm}^2 / \text{mm} \text{ bulunur.}$$

Seçilen düşey kayma donatısı $\min \phi 8 / 400 = 56.26 / 400 = 0.141 \text{ mm}^2 / \text{mm}$ olur.

- 2-3 düğümleri arası kiriş için hesap

$V_u = 121.62\text{kN}$ ve $\phi = 0.8$ olduğundan tasarım kesme kuvveti,

$$V_d = V_u / \phi = 121.62 / 0.8 = 152.03\text{kN}$$

olur ve kirişte kesme gerilmesi,

$$v_{kr} = 152.03 \times 10^3 / 190 \times 1600 = 0.500\text{MPa}$$

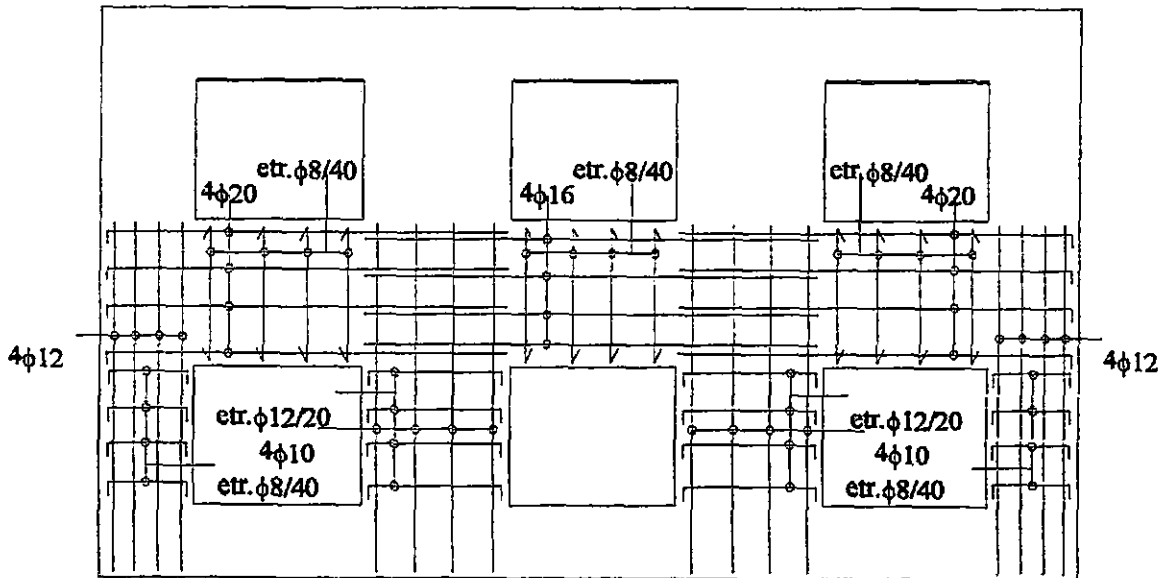
olur. Yığma duvar tarafından sağlanan kesme dayanımı ($P_u=0$),

$$v_{dkr} = 0.17\sqrt{f_d} + 0.3\frac{P_u}{A} = 0.17\sqrt{12} = 0.59$$

olup, $v_{dkr} > v_{kr}$ olduğundan kesme donatısına gerek yoktur. Fakat minimum 0.0007 oranında kesme donatısı konulmalıdır.

seçilen düşey kayma donatısı min $\phi 8/400 = 56.26 / 400 = 0.141 \text{ mm}^2 / \text{mm}$ olur.

1. kat için yapılan hesap 2. kat için de benzer şekilde yapılır. Bulunan donatılar Şekil 6.4’de gösterilmiştir.



Şekil 6.4 Örnek yığma duvar donatı detayı

7 DONATILI YIĞMA YAPI TASARIMI İÇİN İNGİLİZ ŞARTNAMESİ ESASLARI

7.1.Yük Kombinasyonları

Tasarımda en elverişsiz duruma göre hesap yapmak için aşağıda verilen yük durumları için uygun yük kombinasyonları oluşturulmalıdır.

7.1.1 Son Limit Durum

a) Ölü Yük ve Hareketli Yük Durumu

- $0.9G_k$ ya da $1.4G_k$: Tasarım Ölü Yüğü
- $1.6Q_k$: Tasarım Hareketli Yüğü
- $1.4E_n$: Tasarım Deprem ve Su Yüğü

b) Ölü Yük ve Rüzgar Yüğü Durumu

- $0.9G_k$ ya da $1.4G_k$: Tasarım Ölü Yüğü
- $1.4W_k$: Tasarım Rüzgar Yüğü
- $1.4E_n$: Tasarım Deprem ve Su Yüğü

Kaldırılması yapının stabilitesini etkilemeyecek, serbest duran duvarlar ile yatay yüklü panel duvarlarda rüzgar yüğü için 1.2 katsayısı alınabilir.

c) Ölü Yüğü, Hareketli Yüğü ve Rüzgar Yüğü Durumu

- $1.2G_k$: Tasarım Ölü Yüğü
- $1.2Q_k$: Tasarım Hareketli Yüğü
- $1.2W_k$: Tasarım Rüzgar Yüğü
- $1.2E_n$: Tasarım Deprem ve Su Yüğü

7.1.2 Kullanılabilirlik Limit Durumu

a) Ölü Yüğü ve Hareketli Yüğü Durumu

- $1.0G_k$: Tasarım Ölü Yüğü
- $1.0Q_k$: Tasarım Hareketli Yüğü

b) Ölü Yük ve Rüzgar Yükü Durumu

- $1.0G_k$: Tasarım Ölü Yükü
- $1.0W_k$: Tasarım Hareketli Yükü

c) Ölü Yük, Hareketli Yük ve Rüzgar Yükü Durumu

- $1.0G_k$: Tasarım Ölü Yükü
- $0.8Q_k$: Tasarım Hareketli Yükü
- $0.8W_k$: Tasarım Rüzgar Yükü

7.2 Malzeme Özellikleri

Elastisite Modülü ve Malzeme Dayanımları :

Yığma malzemesi olarak kullanılan çeşitli elemanlar için f_k karakteristik basınç dayanımları tablolar halinde verilmiştir. Elastisite modülleri $E_d = 0.9 f_k \text{ N/mm}^2$ olarak tarif edilmiştir (Kil, kalsiyum slika veya beton ile elde edilen yığma malzemede).

Yığma Malzemenin Karakteristik Kesme Dayanımı :

1) Donatının düşey boşluklara yerleştirildiği ve tamamen harçla doldurulduğu durumda karakteristik kesme dayanımı,

$$v_d = 0.35 \text{ N/mm}^2$$

olarak alınabilir.

Kesme açıklığının etkili derinliğe oranının 2'den az olduğu basit kirişlerde veya konsollarda v_d değeri

$$2d / a_v$$

katsayısı ile artırılabilir. Fakat artırılmış bu değer,

$$v_d \leq 0.7 \text{ N/mm}^2$$

şartını sağlamalıdır.

2) Donatının ceplere veya iki tuğla arası boşluklara yerleştirildiği, boşluğun betonla doldurulduğu durumda yığma karakteristik kesme dayanımı,

$$v_d = 0.35 + 17.5\rho$$

bağıntısı ile hesaplanır ve bu değer,

$$v_d \leq 0.7N/mm^2$$

şartını sağlamalıdır. Bu bağıntıda ρ ,

$$\rho = A_s / bd$$

ifadesi ile bulunur.

Kesme açıklığının, a , etkili derinliğe, d , oranının 6 veya daha az olduğu basit kirişlerde veya konsollarda v_d değeri,

$$2.5 - 0.25a/d$$

katsayısı ile artırılabilir. Fakat artırılmış bu değer,

$$v_d \leq 1.75 N/mm^2$$

şartını sağlamalıdır.

3) Yığma perde duvarlar tasarımında yığma karakteristik kesme dayanımı,

$$v_d = 0.35 + 0.6g_B$$

olarak alınabilir ve bu değer

$$v_d \leq 1.75 N/mm^2$$

şartını sağlamalıdır.

7.3 Malzeme Güvenlik Katsayıları

Malzeme hesap dayanımları, malzeme karakteristik dayanımlarının belirli güvenlik katsayılarına bölünmesi ile bulunur. Bu güvenlik katsayıları,

γ_{mm} : Yığma hesap basınç dayanımı için,

γ_{mv} : Yığma hesap kesme dayanımı için,

γ_{mb} : Beton dolgu veya harç ile çelik arasındaki hesap aderans dayanımı için,

γ_{ms} : Çelik hesap dayanımı için,

Tablo 7.1 ve Tablo 7.2’de Son Sınır Durum için verilmiştir.

Tablo 7.1 : Son sınır durum için direk basınç ve eğilme etkisindeki donatılı yığmada basınç dayanımı güvenlik katsayıları, γ_{mm}

Yapının kontrolü	γ_{mm}
Özel	2.0
Normal	2.3

Tablo 7.2: Son sınır durum için güvenlik katsayıları

Güvenlik Katsayısı	Değeri
γ_{mv}	2.0
γ_{mb}	1.5
γ_{ms}	1.15

Kullanılabilirlik sınır durumu için yapı içinde herhangi bir kesitte, çatlak genişliği, gerilme veya sehim hesabında,

$$\gamma_{mm} = 1.5$$

ve

$$\gamma_{ms} = 1.0$$

alınmalıdır.

7.4 Eğilmeye Maruz Donatılı Yiğma İçin Tasarım İlkeleri

7.4.1 Etkili Eleman Açıklığı

Basit veya sürekli mesnetli elemanlarda etkili açıklık için,

- a) Mesnetler merkezleri arası açıklık
- b) Mesnetler arası temiz açıklık artı etkili derinlik

değerlerinden minimum olanı alınmalıdır.

Konsollarda etkili açıklık için,

- a) Konsol uç noktası ile mesnet merkezi arasındaki mesafe
- b) Konsol uç noktası ile mesnet yüzü arasındaki mesafe artı etkili derinliğin yarısı

değerlerinden minimum olanı alınmalıdır.

7.4.2 Boyutsal Kısıtlamalar

Duvarlarda:

Yatay yüke maruz donatılı duvarlarda, açıklığın etkili derinliğe oranı Tablo 7.3’de verilen oranları geçmemelidir. Serbest duran ve sadece rüzgar etkisine maruz duvarlarda bu değerler %30 oranında artırılabilir.

Tablo 7.3 Duvarlarda mesnet şartına bağlı açıklığın etkili genişliğe oranları

Mesnet şekli	Oran
Basit Mesnetli	35
Sürekli	45
Konsol ($p \leq 0.005$)	18

Kirişlerde:

Kirişlerde mesnetlenme şekillerine bağlı olarak açıklığın etkili derinliğe oranları Tablo 7.4’de verilen değerleri geçmemelidir.

Tablo 7.4 Kirişlerde mesnet şartına bağlı açıklığın etkili genişliğe oranları

Mesnet şekli	Oran
Basit Mesnetli	20
Sürekli	26
Konsol	7

Basit veya sürekli mesnetli kirişlerde yatay stabiliteyi temin etmek için mesnetler arası temiz açıklıklar,

$$60b_c \text{ ve } 250b_c^2 / d$$

değerlerinden küçük olmalıdır.

Yatay stabilitenin sadece mesnette sağlandığı konsol kirişlerde, konsol ucu ile mesnet yüzü arasındaki temiz açıklık,

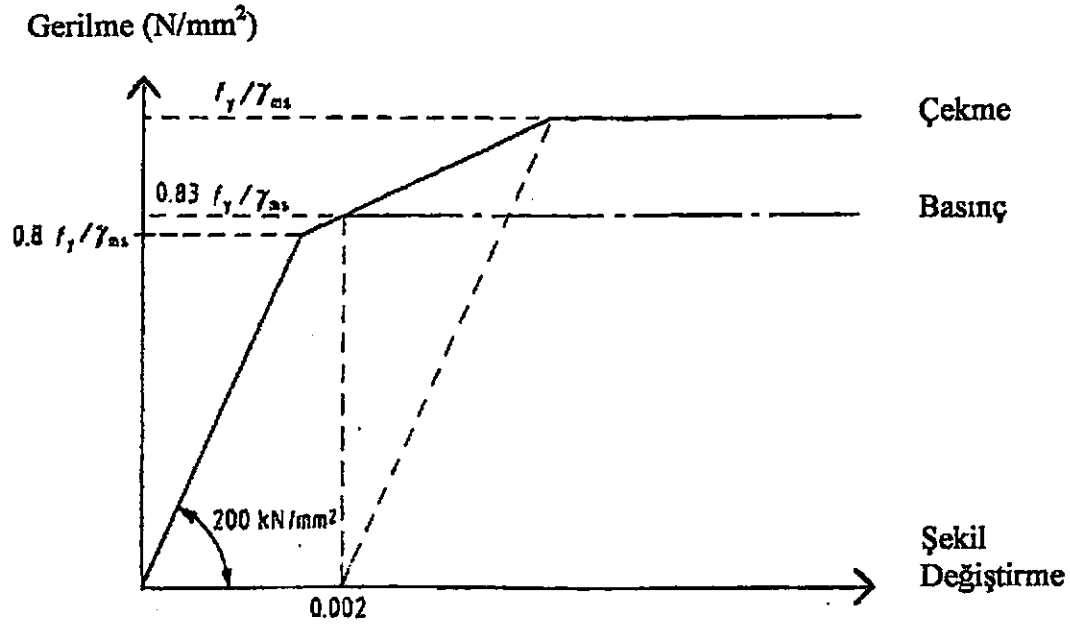
$$25b_c \text{ ve } 100b_c^2 / d$$

değerlerinden küçük olmalıdır.

7.4.3 Eleman Eğilme Dayanımının Hesabı

7.4.3.1 Kesit Analizinde Yapılan Kabuller

- Şekil değiştirme dağılımı göz önüne alınırken çekme veya basınç durumlarında düzlem kesitler düzlem kalır hipotezi geçerlidir.
- Yığılma da basınç bölgesi gerilme dağılımı eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu ile temsil edilir.
- En uç basınç lifindeki maksimum şekil değiştirme 0.0035 olarak kabul edilir.
- Yığılmanın çekme dayanımı ihmal edilir.
- Donatı çeliğindeki şekil değiştirme ilişkisi de Şekil 7.1'den alınır.
- Elemanın açıklığının etkili derinliğe oranı 1.5'dan az olamaz.



Şekil 7.1 : Gerilme-Şekil değiştirme grafiği

7.4.3.2 Tek Donatılı Dikdörtgen Kesit İçin Hesap Formülleri

Dikdörtgen kesit için hesap moment dayanımı,

$$M_d = \frac{A_s f_y z}{\gamma_{ms}} \quad (7.1)$$

bağıntısı ile hesaplanır ve bu dayanım,

bağıntısı ile bulunur ve z değeri,

$$z \geq 0.95d$$

şartını sağlamalıdır.

Donatı alanı A_s 'in hesaplanmasında yukarıda verilen moment kolu z direk olarak kullanılmaz. Hesap moment dayanımı, Q bir katsayı olmak üzere,

$$M_d = Qbd^2 \quad (7.3)$$

Bağıntısı ile ifade edilmesi daha uygundur. Q katsayısı,

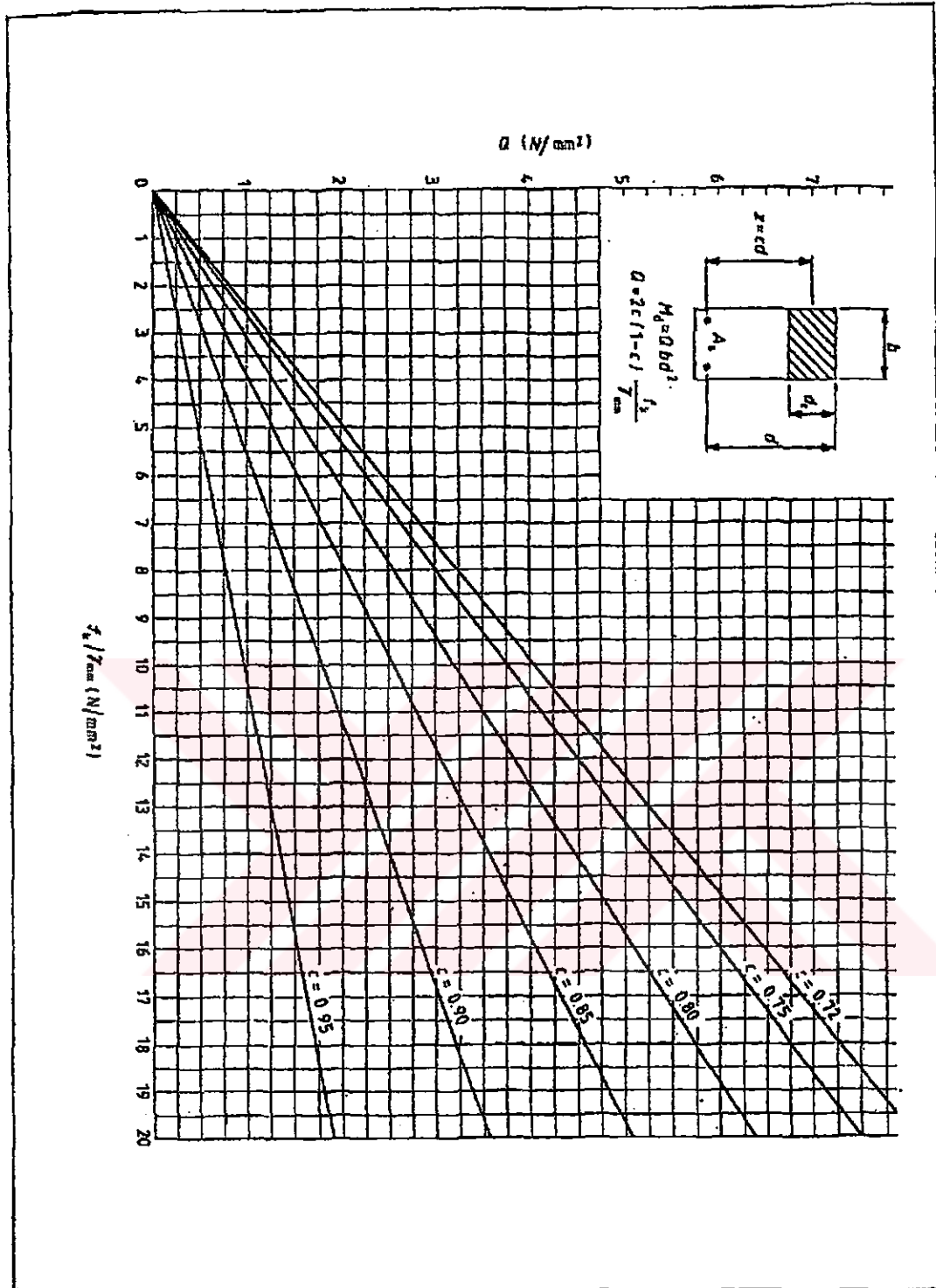
$$Q = 2c(1 - c)f_k / \gamma_{mm} \quad (7.4)$$

bağıntısı ile bulunur.

Q , c ve f_k / γ_{mm} arasındaki ilişki tablo veya grafik olarak verilmiştir.

Tablo 7.5 Q değerleri tablosu

f_k / mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	20
0.95	0.086	0.190	0.285	0.380	0.475	0.570	0.665	0.760	0.855	0.950	1.045	1.140	1.235	1.425	1.800
0.94	0.113	0.226	0.338	0.451	0.564	0.677	0.790	0.902	1.015	1.128	1.241	1.354	1.466	1.692	2.256
0.93	0.130	0.260	0.391	0.521	0.651	0.781	0.911	1.042	1.172	1.302	1.432	1.562	1.693	1.953	2.604
0.92	0.147	0.294	0.442	0.589	0.736	0.883	1.030	1.178	1.325	1.472	1.619	1.766	1.914	2.208	2.944
0.91	0.164	0.328	0.491	0.655	0.819	0.983	1.147	1.310	1.474	1.638	1.802	1.966	2.129	2.457	3.276
0.90	0.180	0.360	0.540	0.720	0.900	1.080	1.260	1.440	1.620	1.800	1.980	2.160	2.340	2.700	3.600
0.89	0.196	0.392	0.587	0.783	0.979	1.175	1.371	1.566	1.762	1.958	2.154	2.350	2.545	2.937	3.916
0.88	0.211	0.422	0.634	0.845	1.056	1.267	1.478	1.690	1.901	2.112	2.323	2.534	2.746	3.168	4.224
0.87	0.226	0.452	0.679	0.905	1.131	1.357	1.583	1.810	2.036	2.262	2.488	2.714	2.941	3.383	4.524
0.86	0.241	0.482	0.722	0.963	1.204	1.445	1.686	1.926	2.167	2.408	2.649	2.890	3.130	3.612	4.816
0.85	0.255	0.510	0.765	1.020	1.275	1.530	1.785	2.040	2.295	2.550	2.805	3.060	3.315	3.825	5.100
0.84	0.269	0.538	0.806	1.075	1.344	1.613	1.882	2.150	2.419	2.688	2.957	3.226	3.494	4.032	5.376
0.83	0.282	0.564	0.847	1.129	1.411	1.693	1.975	2.258	2.540	2.822	3.104	3.386	3.669	4.233	5.644
0.82	0.295	0.590	0.886	1.181	1.476	1.771	2.066	2.362	2.657	2.952	3.247	3.542	3.838	4.428	5.904
0.81	0.308	0.616	0.923	1.231	1.539	1.847	2.155	2.462	2.770	3.078	3.386	3.694	4.001	4.617	6.156
0.80	0.320	0.640	0.960	1.280	1.600	1.920	2.240	2.560	2.880	3.200	3.520	3.840	4.160	4.800	6.400
0.79	0.332	0.664	0.995	1.327	1.659	1.991	2.323	2.654	2.986	3.318	3.650	3.982	4.313	4.977	6.636
0.78	0.343	0.686	1.030	1.373	1.716	2.059	2.402	2.746	3.089	3.432	3.775	4.118	4.462	5.148	6.884
0.77	0.354	0.708	1.063	1.417	1.771	2.125	2.479	2.834	3.188	3.542	3.896	4.250	4.605	5.313	7.084
0.76	0.365	0.730	1.094	1.459	1.824	2.189	2.554	2.918	3.283	3.648	4.013	4.378	4.742	5.472	7.296
0.75	0.375	0.750	1.125	1.500	1.875	2.250	2.625	3.000	3.375	3.750	4.125	4.500	4.875	5.625	7.500
0.74	0.385	0.770	1.154	1.539	1.924	2.309	2.694	3.078	3.463	3.848	4.233	4.618	5.002	5.772	7.696
0.73	0.394	0.786	1.183	1.577	1.971	2.365	2.759	3.154	3.548	3.942	4.336	4.730	5.125	5.913	7.884
0.72	0.403	0.806	1.210	1.613	2.016	2.419	2.822	3.226	3.629	4.032	4.435	4.838	5.242	6.048	8.064



Şekil 7.2 Q moment dayanım katsayısı

7.4.3.3 Donatının Yerel Olarak Yerleştirildiği Duvarlarda Hesap Formülleri

Flanşlı Elemanlar:

Donatının kesit içersinde yerel olarak belli bir bölgeye yerleştirildiği, böylece kesitin tablalı kiriş gibi çalıştığı durumlarda, tabla kalınlığı t_f , yığma kalınlığı olarak alınmalıdır. Bu değer ayrıca $0.5d$ 'yi geçmemelidir (d : etkili derinlik).

Flanş genişliği aşağıda belirtilen değerlerin en küçüğünü geçmemelidir.

- a) Cep tipindeki duvarlarda, cep genişliği artı flanş kalınlığının 12 katını,
- b) Cep aralığını,
- c) Duvar yüksekliğinin üç de birini,

Kesit hesap dayanımı M_d , (7.1) ile verilen bağıntı ile bulunabilir. Fakat bulunan bu değer,

$$M_d \leq \frac{f_k}{\gamma_{mm}} b t_f (d - 0.5 t_f)$$

şartını sağlamalıdır.

Yerel Donatılı Boşluklu Bloklar :

Donatının kesit içine yerel olarak yerleştirildiği ve kesitin tablalı kesit olarak çalışmadığı durumlarda donatılı kesitin blok kalınlığının 3 katı genişliğe sahip olduğu düşünülmelidir.

7.4.4 Eleman Kesme Dayanımının Hesabı

Eğilme etkisindeki herhangi bir kesitte tasarım yükü neticesinde oluşan kesme gerilmesi v ,

$$v = \frac{V}{bd} \quad (7.5)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

$v < \frac{v_d}{\gamma_{ms}}$ olması durumunda kesme donatısına ihtiyaç yoktur.

$v > \frac{v_d}{\gamma_{ms}}$ olması durumunda ise kesme donatısı yerleştirilmelidir.

Gerekli kesme donatısı,

$$\frac{A_{sv}}{s_v} \geq \frac{b(v - v_d / \gamma_{ms}) \gamma_{ms}}{f_y} \quad (7.6)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

7.5 Eğilme ve Düşey Yüke Maruz Donatılı Yığma İçin Tasarım İlkeleri

Bu kısımda düşey yük ve yatay yük etkisindeki elemanda ya da minimum 0.05'lik düşey yük eksantirisitesi için tasarım ilkeleri belirtilecektir.

7.5.1 Duvar ve Kolonlarda Narinlik Oranları

Duvar ve kolonlarda narinlik oranı 27'yi geçmemelidir. Burada narinlik oranı olarak etkili yüksekliğin etkili kalınlığa oranı belirtilmektedir.

Etkili Yükseklik:

Duvar, panel veya kolon etkili yüksekliği yapısal analizle bulunmalıdır. Fakat hesaplarda Tablo 7.6'da verilen değerler kullanılabilir.

Etkili Kalınlık :

- Tek sıra örgülü tuğla duvar için,

$$t_{ef} = t$$

- Boşluklu duvar ve kolonlar için sadece tek sıranın donatılı olması durumunda,

$$t_{ef} = \max [2/3(t_1+t_2) ; t_1 ; t_2]$$

- Boşlukları harçla dolu duvarlarda,

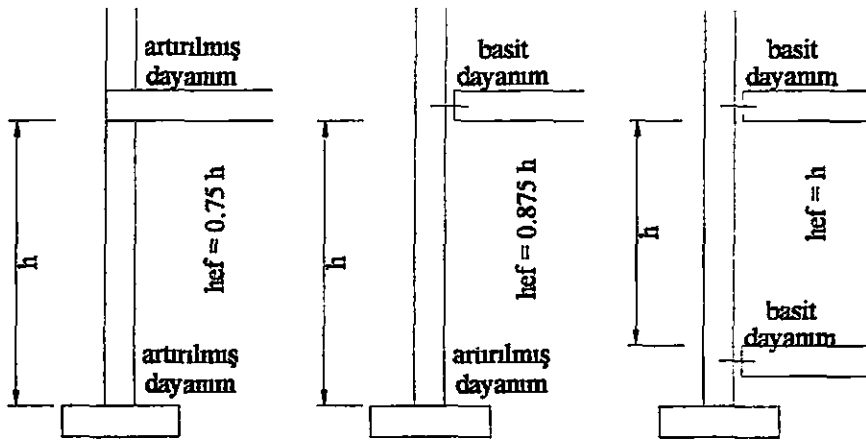
t_{ef} : Tüm duvar kalınlığı

olarak alınmalıdır.

Tablo 7.6 Duvar etkili yükseklikleri

Sınır Şartları	Etkili Yükseklik (h_{ef})
Duvar üst ve alt ucunda artırılmış yatay Destek sağlanması durumu	$0.75h$
Duvar üst ve alt ucunda basit yatay Destek sağlanması durumu	h
Kolon alt ve üst ucunda iki doğrultuda Yatay hareketin engellenmesi durumu	h (Her iki doğrultuda)
Kolon alt ve üst ucunda bir doğrultuda Yatay hareketin engellenmesi durumu	$2h$ (Tutulu doğrultuda)

Duvar etkili yüksekliğinin bulunmasında tanımlanan, yatay yüklere karşı basit dayanım ve artırılmış dayanım örnekleri Şekil 7.3’de görülmektedir.[11]



DUVAR KESİTLERİ

7.5.2 Düşey Yük Ve Eğilme Etkisindeki Kolonların Tasarımı

Kısa Kolonlar:

Narinlik oranının, $h_{ef} / t_{ef} < 12$ olduğu durumlarda en kritik eksendeki maksimum momente göre hesap yapmak yeterlidir.

Hesap Yöntemi

a) Hesap aksenal yükü N , hesap aksenal yük dayanımı N_d 'den küçük olduğu durumda minimum donatı kullanılmalıdır. N_d değeri,

$$N_d = \frac{f_k}{\gamma_{mm}} b(t - 2e_x) \quad (7.7)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

(7.7) bağıntısı, $e_x = \frac{M}{N}$ olmak üzere, $e_x \geq 0.5t$ için geçerli değildir.

b) Hesap aksenal yükünün yukarıda verilen hesap aksenal yük dayanımından büyük olması durumunda kesit hesap dayanımı,

$$N_d = \frac{f_k}{\gamma_{mm}} b d_o + \frac{f_{s1} + A_{s1}}{\gamma_{ms}} - \frac{f_{s2} A_{s2}}{\gamma_{ms}} \quad (7.8)$$

$$M_d = \frac{0.5f_k}{\gamma_{mm}} b d_o (t - d_o) + \frac{0.83f_y}{\gamma_{ms}} A_{s1} (0.5t - d_1) + \frac{f_{s2}}{\gamma_{ms}} A_{s2} (0.5t - d_2) \quad (7.9)$$

bağıntıları ile bulunur.

Bu hesap yönteminde d_c , $N_d > N$ ve $M_d > M$ olacak şekilde seçilmelidir. d_c 'nin seçiminde şu yol izlenebilir.

- 1) $d_c = t$ olarak seçilirse, bu durumda f_{s2} değeri 0 ve $-0.83f_y$ arasında lineer olarak değişir.
- 2) d_c , $(t-d_2)$ ile t arasında seçilirse, bu durumda $f_{s2} = 0$ olur
- 3) d_c , $(t-d_2)$ ile $t/2$ arasında seçilirse, bu durumda f_{s2} değeri 0 ve $+f_y$ arasında lineer olarak değişir.
- 4) d_c , $t/2$ ile $2d_1$ arasında seçilirse, bu durumda $f_{s2} = +f_y$ alınabilir.
- 5) d_c , $2d_1$ değerinden daha az olacak şekilde seçilemez.

c) Yukarıda (b)'de anlatılan hesaba alternatif olarak, sonuç eksantirisitenin $(t/2-d_1)$ değerinden büyük olduğu durumda, eksenel yük ihmal edilebilir ve kesit artırılmış M_a momentine göre hesap edilebilir. Burada M_a ,

$$M_a = M + N(t/2 - d_1) \quad (7.10)$$

bağıntısı ile bulunur. Bu durumda çekme donatısı alanı,

$$N\gamma_{ms} / f_y$$

değeri ile azaltılabilir.

Bileşik Eğilme Etkisindeki Kısa Kolonlar

Kısa kolonda bileşik eğilme durumunun incelenmesi gerektiğinde kesit, aşağıda belirtilen bir eksene göre olan artırılmış momentlere karşı dayanım gösterebilmelidir.

$$M'_x = M_x + \alpha\left(\frac{p}{q}\right)M_y \quad ; \quad \frac{M_x}{p} \geq \frac{M_y}{q} \text{ için} \quad (7.11)$$

$$M_y' = M_y + \alpha \left(\frac{p}{q} \right) M_x \quad ; \quad \frac{M_x}{p} < \frac{M_y}{q} \text{ için} \quad (7.12)$$

α değerleri Tablo 7.7'de verilmiştir.

Tablo 7.7: α katsayıları tablosu

N/N_{dz} değeri	α değeri
N	
<0.2	0.90
0.3	0.65
0.4	0.53
0.5	0.40
0.6	0.28
>0.7	0.15

Tablodaki N_{dz} değeri,

$$N_{dz} = \frac{f_k A_m}{\gamma_{ms}} + 0.83 \frac{f_y A_s}{\gamma_{ms}} \quad (7.13)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

7.5.3 Düşey Yük Ve Eğilme Etkisindeki Duvarların Tasarımı

Kısa Duvarlar

Duvar narinlik oranının 12'yi geçmediği durumda duvar bölüm 5.4.3.1'de verilen kabullere göre tasarlanabilir. Eğer sonuç eksantiriste e_x , 0.5t değerinden büyükse eleman bölüm 7.4'de belirtilen, eğilme etkisindeki elemanlar için anlatılan yöntemle göre eksenel yük ihmal edilerek hesap edilebilir.

Narin Duvarlar

Duvar narinlik oranının 12'yi geçtiği durumda duvar yine kısa duvarlar için verilen yöntemle göre ve buna narin kolonların hesabında anlatılan ilave momentin etkisi de katılarak hesap edilmelidir.

7.6 Düzlemi İçinde Yatay Yüke Maruz Donatılı Yığma İçin Tasarım İlkeleri

Kesme Güvenliği

Düşey donatılı duvarın yatay yüklere karşı yeterli dayanım gösterebilmesi için,

$$v \leq \frac{v_d}{\gamma_{mm}} \quad (7.15)$$

bağıntısının sağlanması gerekir. v değeri,

$$v = \frac{V}{tL} \quad (7.16)$$

bağıntısı ile bulunur.

(7.15) bağıntısı ile verilen şartın sağlanamaması durumunda, yatay kesme donatısı kullanılmalıdır. Fakat hiçbir şekilde v değeri $2.0/\gamma_{mv}$ N/mm² değerini geçmemelidir.

Gerekli yatay kesme donatısı,

$$\frac{A_{sv}}{s_v} \geq \frac{t(v - v_d / \gamma_{mv})}{f_y / \gamma_{ms}} \quad (7.17)$$

bağıntısı ile bulunur.

7.7 Donatı İle İlgili Şartlar

7.7.1 Maksimum Donatı Çapı

Tuğlalar arası harç yatağına yerleştirilen donatının çapı 6mm'yi, diğer bölgeler de ise 25mm'yi geçmemelidir. Fakat cep tipindeki duvarlarda 32mm'ye kadar çaptaki donatı kullanılabilir.

7.7.2 Duvar ve Döşeme Dağıtma Donatısı

Duvar ve döşemede dağıtma donatısı b.d değerinin (b: etkili genişlik, d:etkili derinlik) %0.05'inden az olmamalıdır.

7.7.3 Esas ve Dağıtma Donatısı Aralığı

Minimum yatay ve düşey donatı temiz aralığı,

(En büyük agrega çapı) + (5mm veya donatı çapı)

değerlerinden büyük olanı olarak alınmalı, ayrıca bu değer hiçbir şekilde 10mm'den az olmamalıdır.

Esas ve dağıtma donatısının maksimum aralığı çekmeye çalışan donatılarda 500mm'yi geçmemelidir.

7.7.4 Donatı Bindirme Boyu

Donatı bindirme boyu çekme donatısında, $25\phi + 150\text{mm}$ ve basınç donatısında, $20\phi + 150\text{mm}$ değerlerinden az olmamalıdır.

8. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada donatılı yığma yapı tasarımı, ülkemizde bununla ilgili bir standart mevcut olmadığı için yabancı standartlar ve kaynaklar baz alınarak incelenmiş ve genel hesap esasları açıklanmıştır. Açıklanan esaslara göre iki katlı bir yığma duvarın deprem kuvvetleri etkisinde donatılı olarak hesabı yapılmıştır. Ayrıca ABYYHY 1998 baz alınarak donatısız yığma bir binada deprem etkisi altında duvarlarda oluşacak toplam kesme kuvvetlerinin ve kesme gerilmelerinin hesabı yapılmıştır.

Bu iki örnekte yatay deprem kuvvetlerinin duvarlara hangi oranlarda dağıldığının belirlenebilmesi amacıyla duvar rölatif rijitliklerinin hesabı farklı yöntemler kullanılarak belirlenmiştir.

Ülkemizin büyük bir bölümünün deprem kuşağında olduğu ve kırsal kesimlerde depreme dayanıklı yapı tasarımına önem verilmesi gerektiği göz önüne alınarak, ekonomik çözümler için yığma yapıların donatılı olarak inşasının teşvik edilmesi gerekmekte olup, donatılı yığma yapılarla ilgili standartların ülke koşullarına uygun olarak ivedilikle çıkarılmasında yarar vardır.

KAYNAKLAR

- [1] TS-406, 1988. Duvarlar İçin Beton Blok - Briketler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [2] TS-704, 1979. Duvarlar İçin Harman Tuğlaları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [3] TS-705, 1985. Duvarlar İçin Dolu ve Delikli Fabrika Tuğlaları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [4] TS-2510, 1977. Kargir Duvarlar Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [5] TS-2513, 1977. Doğal Yapı Taşları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [6] TS-2848, 1977. Kargir Duvar Harçları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [7] TS-4377, 1989. Duvarlar İçin Düşey Delikli Hafif Fabrika Tuğlaları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [8] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY), 1998. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [9] Paulay T. And Priestley M.J.N., 1992. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings.
- [10] Robert G. Drysdale, Ahmad A. Hamid, Lawrie R. Baker, 1994. Masonry Structures.
- [11] Orton Andrew, 1992. Structural Design of Masonry.
- [12] Priestley M.J.N., 1990. Masonry Wall Frame Joint Test, Report no. 90-5, Seqad Consulting Engineers, Solana Beach, Calif.
- [13] Çılı, F., 1978. Yığma Yapıların Yatay Yüklere Göre Hesabı, *Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni* 22, 7-25.
- [14] Bayülke, N., 1999. Depremde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi.
- [15] ACI 530-92, Building Code Requirements For Masonry Structures.
- [16] BS-5628, 1985 British Standart Code of Practice For Use of Masonry

ÖZGEÇMİŞ

16.04.1977’de Kastamonu’da doğan Deniz BÜYÜKGÖKMEN, sırası ile Kastamonu İsfendiyar Bey İlkokulu, Trabzon 100. Yıl Ortaokulu ve İstanbul Kenan Evren Lisesini bitirmiş daha sonra 1994 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazanmıştır. 1 yıl İngilizce hazırlık sınıfı da okuyarak, 1999 yılında Yıldız Teknik Üniversitesinden bölüm 17.’si olarak mezun olmuştur. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesinde Yapı Mühendisliği bölümünde yüksek lisans yapmaya hak kazanmıştır.

