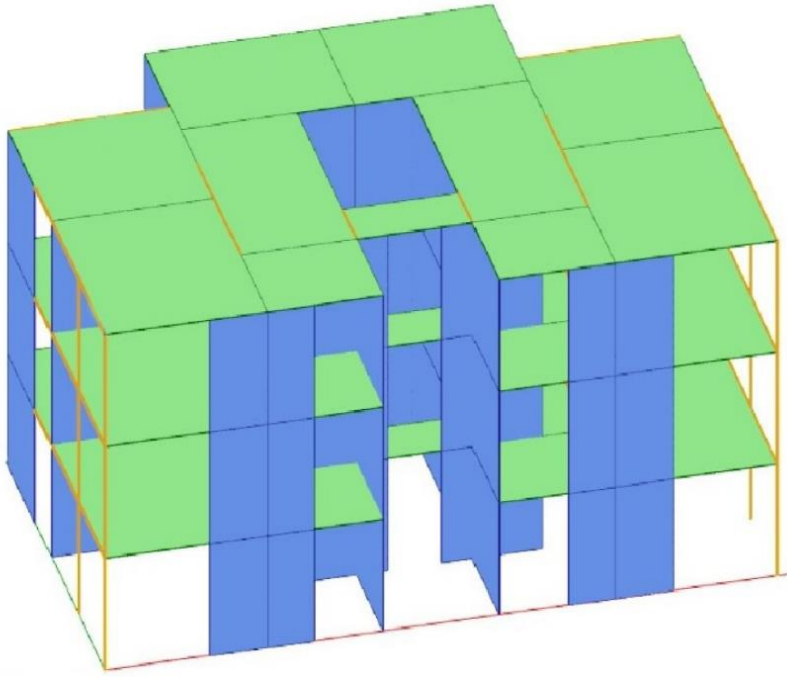




ÜÇ KATLI HAFİF ÇERÇEVE BİNA TASARIMI ve HESAP ÖRNEĞİ

Mehmet Selim ÖKTEN
Doç. Dr. MSGSÜ

Erdem Kazım DEMİRKIRAN
Yük. İnş. Müh.

Ali Yasin ALAYBEYOĞLU
İnş. Müh.

1.	SİSTEM GENEL BİLGİLERİ	4
1.1	Yapısal Ahşap Elemanların Malzeme Özellikleri	7
1.2	Bağlantı Elemanlarına Ait Özellikler	8
1.3	Çekme Ankrajına Ait Özellikler	9
1.4	Kesme Ankrajına Ait Özellikler	9
2.	DUVAR GEOMETRİSİ VE YATAY RİJİTLİĞİ	11
2.1	Duvarın Geometrik Özellikleri	11
2.2	Duvar Rijitliğinin Hesabı.....	12
3.	SİSTEME ETKİYEN YÜKLER	15
3.1	Düşey Yükler	15
3.2	Hareketli Yük	15
3.3	Kar Yükü	15
3.4	Rüzgâr Yükü.....	15
3.5	Deprem Yükü	18
3.5.1	Bina Önem Katsayıları	22
3.5.2	Deprem Tasarım Sınıfları (DTS)	23
3.5.3	Bina Yükseklik Sınıfları	23
3.5.4	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı	24
3.5.5	Modal Analiz Sonuçları.....	25
3.5.6	Ampirik Doğal Titreşim Periyodu	26
3.5.7	Taban Kesme Kuvvetinin Hesabı	27
4.	TBDY-2018 BÖLÜM 12'YE GÖRE KONTROLLER	29
5.	HESAP KABULLERİ	30
6.	AHŞAP YAPILAR İÇİN HESAP ESASLARI	31
6.1	Yönetmelik ve Şartnameler	31
6.2	Ahşap Yapı Tasarımı Yükleme Kombinasyonları.....	31
6.3	Ahşap Yapılarda Yük Etki Sınıfları.....	32
6.4	Ortam Bağlı Nem Oranına Bağlı Kullanım Sınıfları	32
6.5	Malzeme Tasarım Değeri	33
6.6	CN, CY ve kdef Düzeltme Katsayıları	34
6.7	Boyut Faktörü (C _B).....	37
6.7.1	Masif Ahşap Boyut Faktörü (C _B)	37
6.7.2	Tutkalı Lamine Ahşap Boyut Faktörü (C _B).....	37
7.	YAPISAL ELEMANLARIN TASARIMI	38
7.1	Döşeme Kirişlerinin Boyutlandırılması	38
7.1.1	Eğilme Etkisinde Kontrol	40
7.1.2	Kesme Kuvveti Etkisinde Kontrol.....	40
7.1.3	Döşeme Sehim Kontrolü	42
7.1.4	Döşeme Titreşim Hesapları	43
8.	KİRİŞLERİN BOYUTLANDIRILMASI	46
9.	KOLONLARIN BOYUTLANDIRILMASI	47

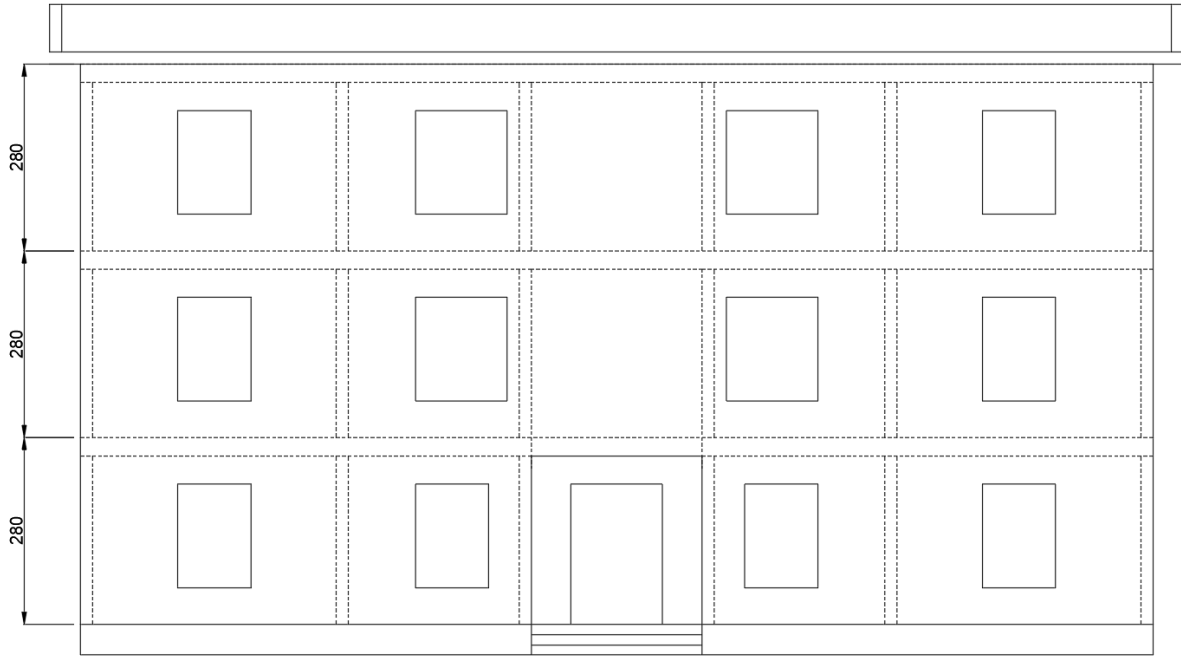
10.	PERDE DUVAR HESAPLARI	49
	10.1 Duvar Dikmelerinin Stabilitesi	49
10.2	Liflere Dik Basınç Gerilmesinin Kontrolü	51
10.3	Perde Duvar Kesme Kontrolü.....	52
10.4	Kaplama Paneli Kesme Ve Burkulma Kontrolü.....	56
10.5	Çekme Ankraжі Hesabı.....	57
10.5.1	Bağılantı Vidalarının Dayanımı	57
10.5.2	Çekme Ankraжі Çelik Elemanı Dayanımı	57
10.5.3	Betonarme Ankraјların Çekme Dayanımı	57
10.6	Kesme Ankraжі Hesabı.....	58
10.6.1	Kesme Ankraжі Yük Taşıma Kapasitesi.....	58
10.6.2	Beton Ankraјların Kesme Dayanımı	58
11.	YANGINA KARŞI TASARIM.....	60

1. SİSTEM GENEL BİLGİLERİ

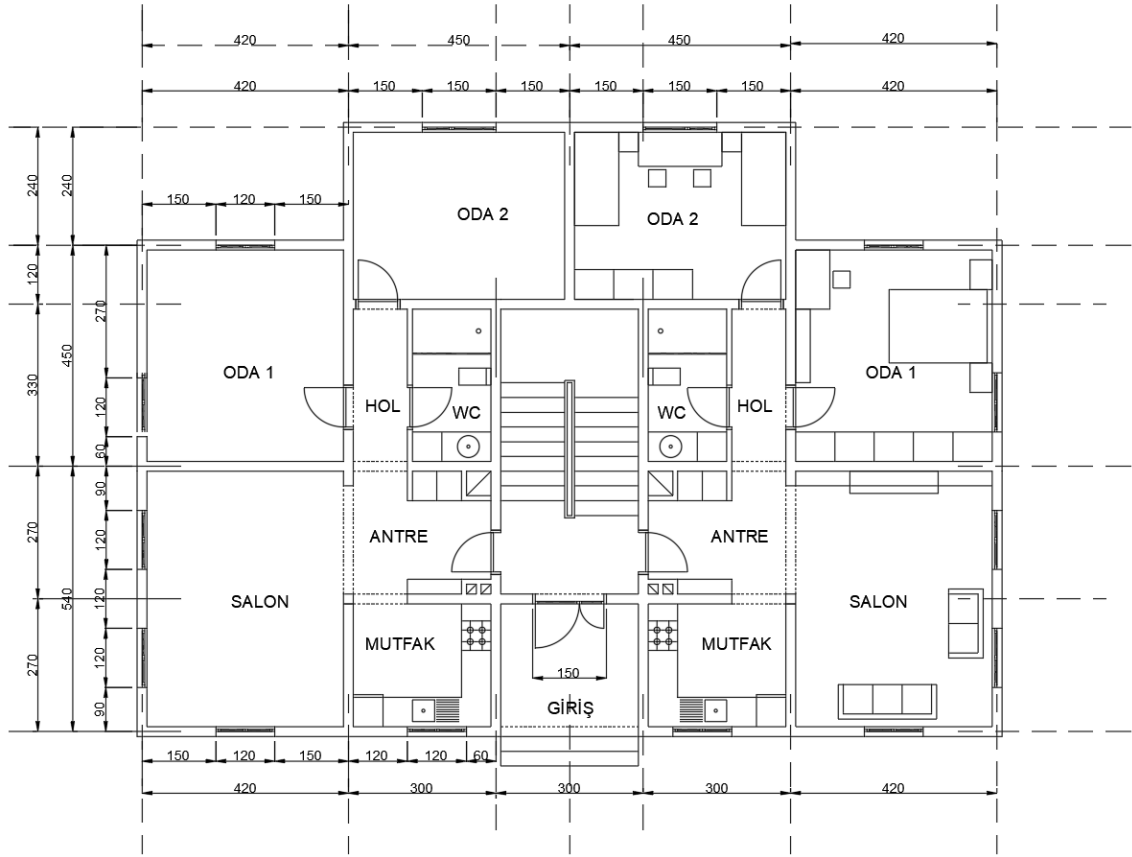
Yapısal hesaplamaları verilen hafif çerçeve bina örneği, 03/2024 tarihinde yayımlanan ve 01/2025 tarihinde resmen yürürlüğe girecek olan Ahşap Binaların Tasarım, Hesap Ve Yapım Esasları'na (ABTHYE) dair yönetmelik kapsamında hazırlanmıştır.

Yapı konum itibari ile İstanbul ili, Ataşehir ilçesinde bulunmaktadır. Kat yükseklikleri 2.80 m. olup zemin kat + iki normal kattan oluşmaktadır. Yapı, ZC yerel sınıfı zemine oturmaktadır.

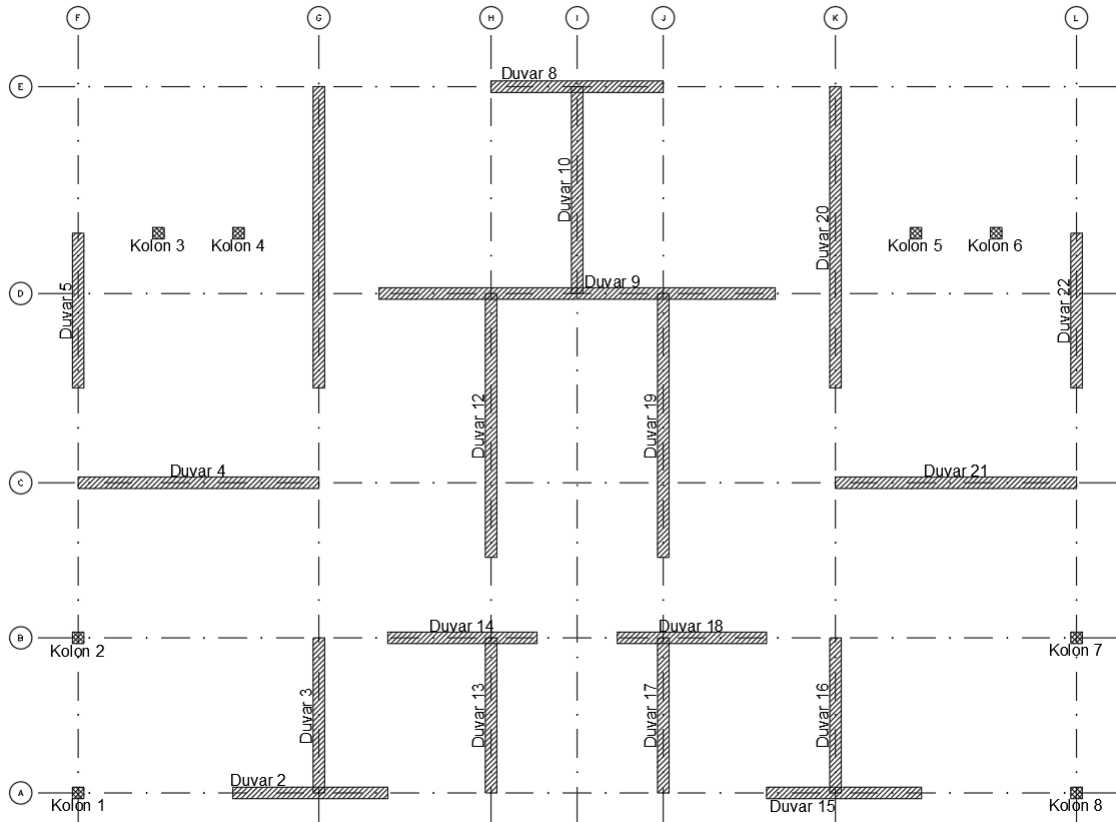
Ahşap binanın taşıyıcı perde duvarları, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) Madde 12.2.1.4 uyarınca planda olabildiğince düzenli ve ana eksenlere göre simetrik veya simetriğe yakın biçimde yerleştirilmiştir ve tüm katlarda taşıyıcı duvarlar üst üste gelecek şekilde düzenlenmiştir.



Şekil 1. Yapının mimari görünüşü



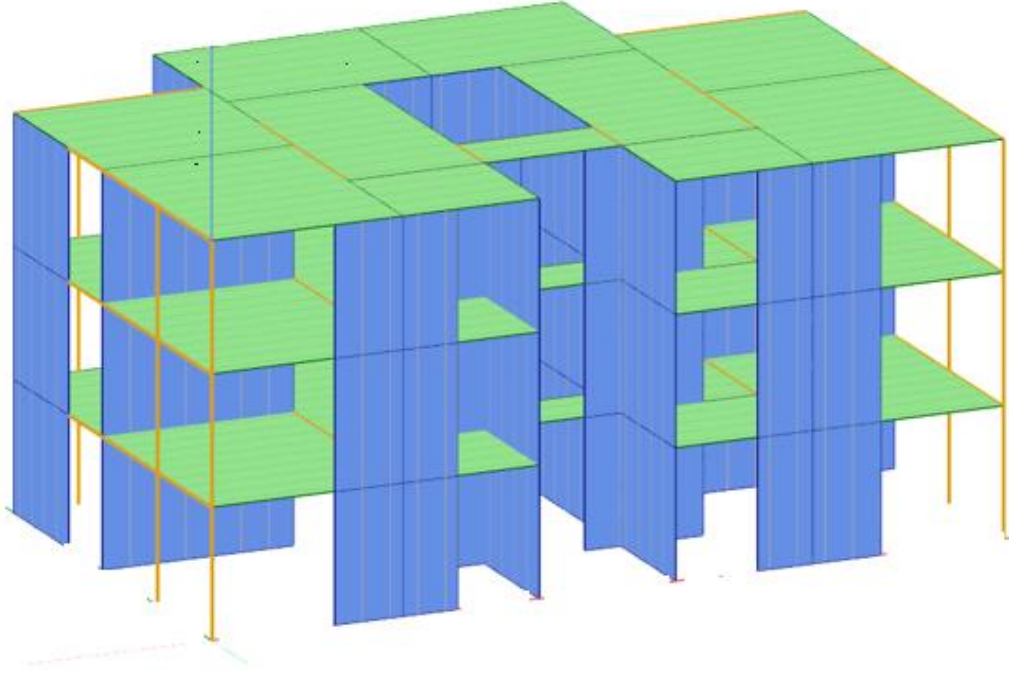
Şekil 2. Tipik kat planı



Şekil 3. Hafif çerçeve perde duvar ve kolon yerleşim planı

Genel Yapı Bilgileri

Yapı Koordinatları:	Enlem = 40.99399; Boylam=29.07952
Yapı Eni:	17.40 m.
Yapı Boyu:	12.30 m
Yapı Kat Yüksekliği:	2.80 m
Yerel Zemin Sınıfı:	ZC
Tasarım Spektral İvme Katsayısı S _{ds} :	1.103
Kısa Periyot Spektral İvme Katsayısı S _s :	0.919
1.0 Saniye Spektral İvme Katsayısı S ₁ :	0.253
En Büyük Yer İvmesi PGA:	0.379
Bina Kullanım Sınıfı BKS (TBDY 2018 Tablo 3.1):	3
Bina Önem Katsayısı I (TBDY 2018 Tablo 3.1):	1
Deprem Tasarım Sınıfı DTS (TBDY 2018 Tablo 3.2):	1
Bina Yükseklik Sınıfı BYS:	7
Esas rüzgâr hızının temel değeri :	28 m/s
Arazi kategorisi :	III



Şekil 4. Yapının 3d matematik modeli

1.1 Yapısal Ahşap Elemanların Malzeme Özellikleri

Projede kullanılacak yapısal elemanların malzeme özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

$f_{m,g,k}$	Karakteristik eğilme dayanımı
$f_{t,0,g,k}$	Liflere paralel doğrultudaki karakteristik çekme dayanımı
$f_{t,90,g,k}$	Liflere dik doğrultudaki karakteristik çekme dayanımı
$f_{c,0,g,k}$	Liflere paralel doğrultudaki karakteristik basınç dayanımı
$f_{c,90,g,k}$	Liflere dik doğrultudaki karakteristik basınç dayanımı
$f_{v,g,k}$	Karakteristik kayma dayanımı
$E_{0,g,ort}$	Liflere paralel doğrultudaki ortalama elastisite modülü
$E_{0,g,05}$	Liflere paralel doğrultudaki % 5'lik karakteristik elastisite modülü
$E_{90,g,ort}$	Liflere dik doğrultudaki ortalama elastisite modülü
$G_{g,ort}$	Ortalama kayma modülü
$\rho_{g,k}$	Karakteristik yoğunluk

Homojen tutkallı lamine ahşap

Tablo 1. Ahşap özellikleri

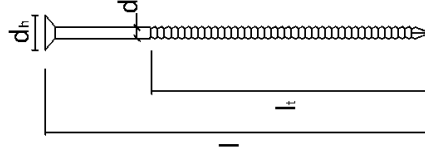
Malzeme	$f_{m,g,k}$ [MPa]	$f_{t,0,g,k}$ [MPa]	$f_{t,90,g,k}$ [MPa]	$f_{c,0,g,k}$ [MPa]	$f_{c,90,g,k}$ [MPa]	$f_{v,g,k}$ [MPa]	$E_{0,g,ort}$ [MPa]	$E_{0,g,05}$ [MPa]	$E_{90,g,ort}$ [MPa]	$G_{g,ort}$ [MPa]	$\rho_{g,k}$ [kg/m ³]
GL24-h	24	19.2	0.5	24	2.5	3.5	11500	9600	300	650	385

OSB

Tablo 2. OSB/3 özellikleri

Malzeme	Standart	Kullanım	$f_{v,k}$ [MPa]	G_{ort} [MPa]	ρ_k [kg/m ³]
OSB/3	EN 300 Tip OSB/3	Nemli Koşullar	6.8	1080	550

1.2 Bağlantı Elemanlarına Ait Özellikler



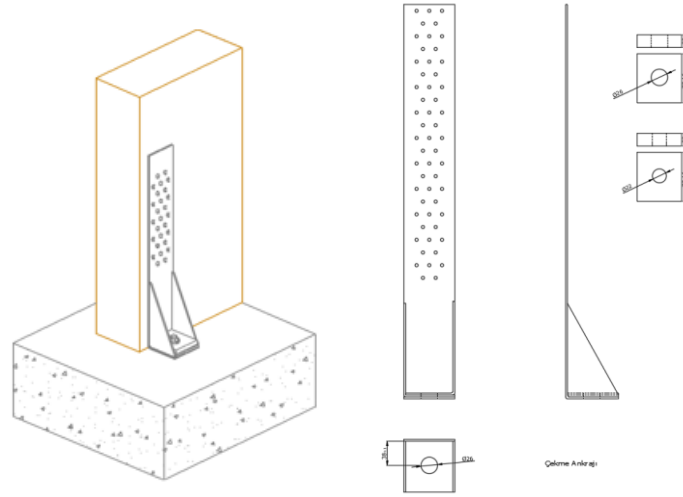
Şekil 5. Vida boyutu

Tablo 3. Vida özellikleri

Tanım	l [mm]	l_t [mm]	d [mm]	d_h [mm]	f_{uk} [MPa]	Rijitlik [N/mm]
Halka başlı çivi 3,1/3,4 x 80	80	60	3.1	4.6	600	1059

$f_{u,k}$ Bağlantı elemanı minimum çekme dayanımı

1.3 Çekme Ankrajına Ait Özellikler



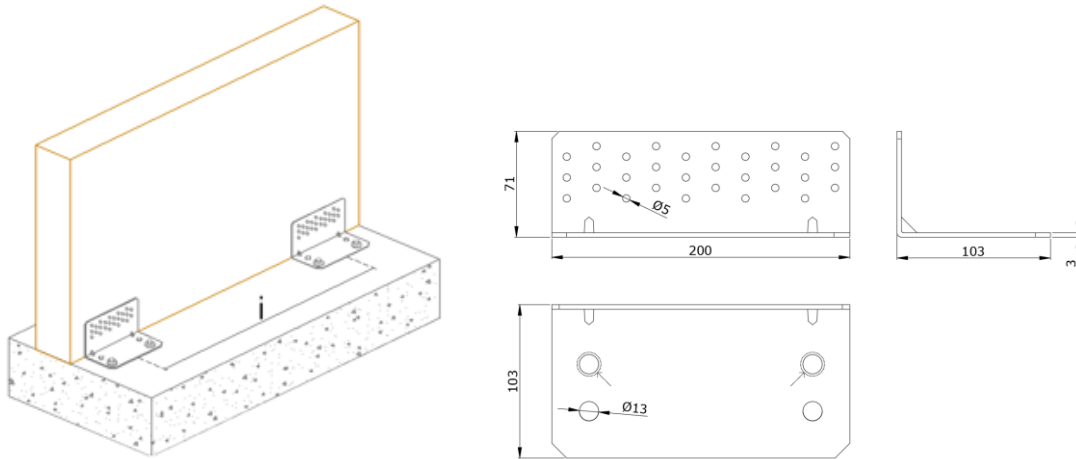
Şekil 6. Çekme ankrajının gösterimi.

Tablo 4. Çekme ankrajı özellikleri

Bağlantı ismi	Bağlantı yeri	Bağlantı elemanı adedi	Bağlantı elemanı tipolojisi	Ankraj	Kimyasal Ankraj	Duvar ucundaki çekme ankrajı sayısı	Çelik eleman dayanımı $R_{s,k}$	Bağlantı rijitliği	Bağlantı vidaları dayanımı $F_{v,ef,Rk}$	Ankrajların karakteristik dayanım değeri $R_{p,k}$
Çekme bağlantısı	Temel seviyesi	45 adet vida 5.0 x 40	Ahşaptan metale bağlantı vidası	5.8 - M27 x 400	ETA-20/0182 onaylı kimyasal ankraj	1	158.60 kN	69793 N/mm	70.70 kN	151.35 kN

Yukarıdaki tabloda verilen değerler üretici firmadan alınmış olup, hesap neticesinde seçilecek olan bağlantı elemanına göre değerlerin değişeceği unutulmamalıdır.

1.4 Kesme Ankrajına Ait Özellikler



Şekil 7. Köşebent tipi kesme bağlantısının gösterimi

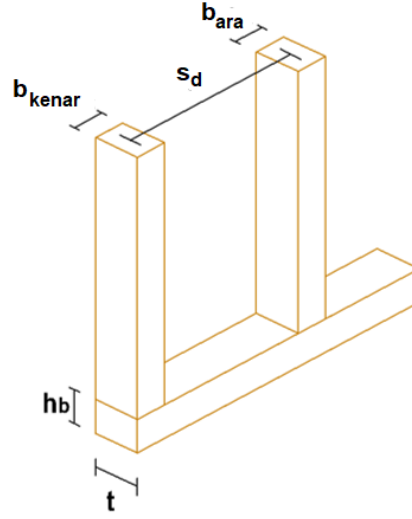
Tablo 5.Kesme ankrajı özellikleri

Bağlantı ismi	Bağlantı yeri	Bağlantı elemanı adedi	Bağlantı elemanı tipolojisi	Ankraj	Kimyasal Ankraj	Bağlantı elemanındaki ankrajı sayısı	Kesme bağlantılarının aralığı	Bağlantı rijitliği	Bağlantı vidaları dayanımı $F_{y,ef,Rk}$	Ankrajların karakteristik kesme dayanımı $R_{p,k}$
Kesme bağlantısı	Temel seviyesi	30	Ahşaptan metale bağlantı vidası	5.8 – M12 x 160	ETA-17/0481 onaylı kimyasal ankraj	4	500 mm	17395 N/mm	17.20 kN	44.30 kN

Yukarıdaki tabloda verilen değerler üretici firmadan alınmış olup, hesap neticesinde seçilecek olan bağlantı elemanına göre değerlerin değişeceği unutulmamalıdır.

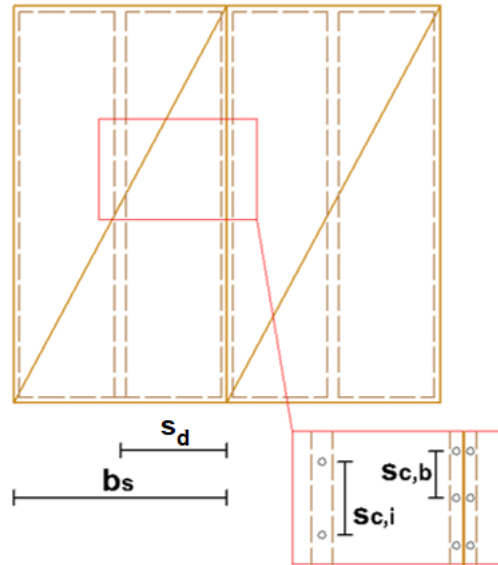
2. DUVAR GEOMETRİSİ VE YATAY RİJİTLİĞİ

2.1 Duvarın Geometrik Özellikleri



Şekil 8. Çerçeve elemanlarının boyutları

t	: Çerçeve kalınlığı
h_b	: Üst ve alt başlık kalınlığı
b_{kenar}	: Kenar dikme genişliği
b_{ara}	: Ara dikme genişliği
s_d	: Ortalama dikme aralığı



Şekil 9. Panel boyutları ve bağlantı çivilerinin aralıkları

b_s

:Panel genişliği

 $S_{c,b}$

: Her panelin çevresi boyunca bağlantı elemanı aralığı

 $S_{c,I}$

:Ara bağlantı elemanlarının aralığı

Tablo 6. Seçilen duvar özellikleri

Duvar ismi	Panel kaplı yüzey sayısı	Malzeme	Çerçeve kalınlığı t [mm]	Alt ve üst başlık kalınlığı h_b [mm]	Ara dikme kalınlığı b_{ara} [mm]	Kenar dikme kalınlığı b_{kenar} [mm]	Ortalama dikme aralığı s_d [mm]
Zemin Kat Duvar 20	2	GL24-h	200	100	100	200	610

Tablo 7. Seçilen duvar özellikleri

Duvar ismi	Yüzey	Malzeme	Panel kalınlığı t_s [mm]	Panel genişliği b_s [mm]	Bağlantı elemanı	Panel çevresi boyunca bağlantı elemanı aralığı $S_{c,b}$ [mm]	Ara bağlantı elemanlarının aralığı $S_{c,i}$ [mm]
Zemin Kat Duvar 20	2	OSB/3	20	1220	Halka başlı çivi 3,1/3,4 x 80	100	200

2.2 Duvar Rijitliğinin Hesabı

Hafif çerçeveli duvarların genel rijitliği aşağıdaki bileşenlerin katkısı dikkate alınarak hesaplanabilir.

- Paneller (k_s)
- Panel bağlantı elemanları (k_c)
- Kesme bağlantıları (k_a)
- Çekme bağlantıları (k_h)

$$K_s = \frac{G_p \times n_{bs} \times t_p \times l}{h}$$

$$K_c = \frac{k_c \times l \times n_{bs}}{\lambda(\alpha) \times s_c}$$

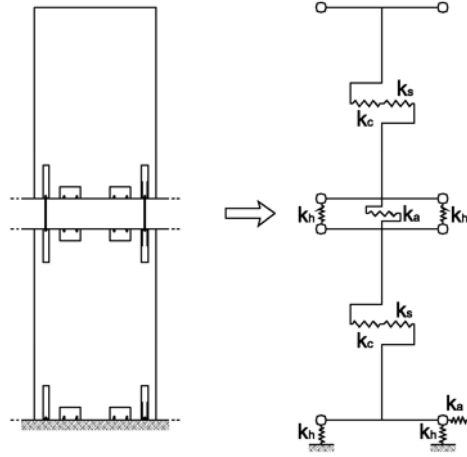
$$\lambda(\alpha) = 0.81 + 1.855 \times \alpha$$

$$\alpha = \frac{h}{b}$$

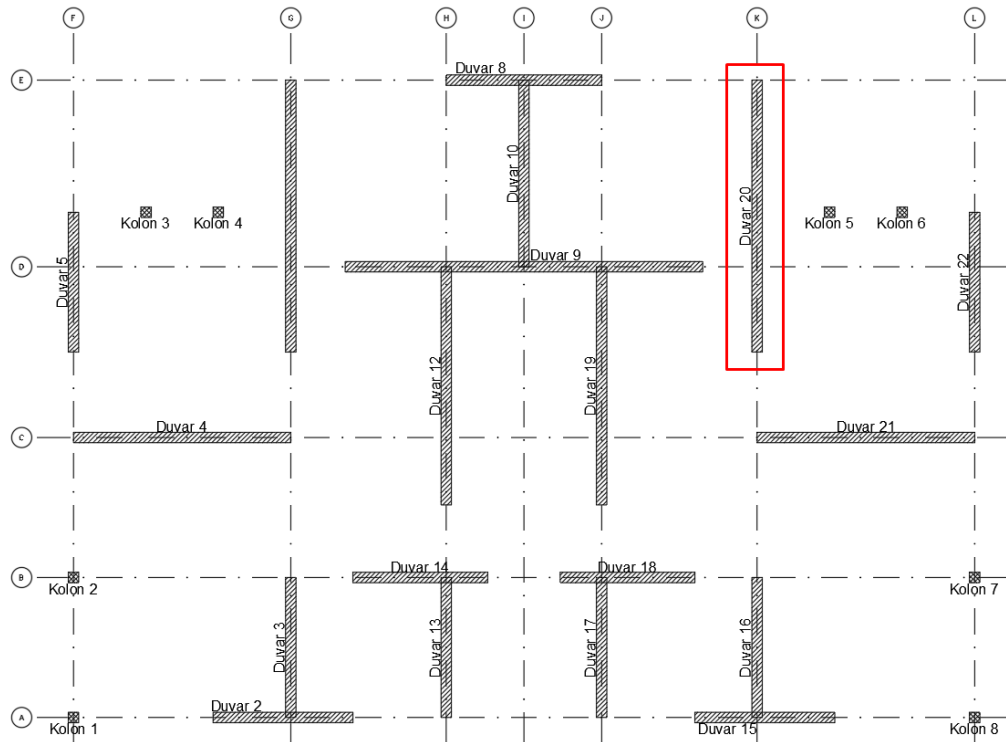
$$K_a = \frac{k_a \times l}{i_a}$$

$$K_h = \frac{k_h \times l^2}{h^2}$$

$$K_T = \frac{1}{\frac{1}{K_s} + \frac{1}{K_c} + \frac{1}{K_a} + \frac{1}{K_h}}$$



Şekil 10. Hafif çerçevesel duvarlar için genel rijitlik gösterimi



Şekil 11. Rijitlik hesabı verilen hafif çerçeve perde duvarın plandaki konumu

Duvar uzunluğu (L)	: 5250 mm
Panel genişliği (b)	: 1220 mm
Duvar yüksekliği (h)	: 2800 mm
Hesaba katılan yüzey sayısı (n_{bs})	: 2

- Duvarın her iki yüzü de panel kaplı ise 2, tek bir yüzü kaplı ise 1 alınır.

Panel kayma modülü (G_p)	: 1080 MPa
Panel kalınlığı (t_p)	: 20 mm
Bağlantı elemanının rijitliği (k_c)	: 1059 N/mm
Bağlantı elemanı aralığı (s_c)	: 100 mm
Çekme ankrajının rijitliği (k_h)	: 69793 N/mm
Kesme ankrajının rijitliği (k_a)	: 17395 N/mm
Duvardaki kesme ankrajı sayısı	: 10
Kesme ankrajı aralığı (i_a)	: $5250/10=525$ mm
K_s	: 81000.00 N/mm
K_c	: 21943.30 N/mm
K_a	: 173950.00 N/mm
K_h	: 245366.02 N/mm
K_{toplam}	: 14761.89 N/mm

Yapısal hesaplamalar için kullanılan analiz programı, verilen parametrelere göre hafif çerçeve duvar rijitliğini otomatik olarak hesaplamaktadır. Yukarıdaki rijitlik hesabı, içeriğinde ahşap hesap modülü bulunmayan hesap programlarında duvar rijitliklerinin kullanıcı tarafından tanımlanabilmesi için verilmiştir. Hafif çerçeve duvar rijitliği yukarıdaki hesaplamalardan da görüleceği üzere birçok değişkene bağlıdır. Çivi aralığının, perde boyunun, perde yüksekliğinin, kullanılan çekme ve kesme ankrajlarının farklılaştığı vb. durumlarda perde rijitliğinin değişeceği unutulmamalıdır. Bu gibi durumlarda farklılık gösteren her bir perdenin rijitliği hesaplanarak matematik modele en uygun şekilde etkitilmelidir.

3. SİSTEME ETKİYEN YÜKLER

Taşıyıcı sistem profillerinin zati ağırlıkları program tarafından otomatik olarak hesaba katılmış, geri kalan yükler ise giriş bilgisi olarak ilgili düğüm noktalarına, çubuk elemanlara ya da kabuk elemanlara etkilmiştir.

3.1 Düşey Yükler

- Döşeme zati ağırlığı :0.20 kN/m²
- Perde duvar zati ağırlığı :0.60 kN/m²
- Döşeme kaplaması + bölme duvar + tesisat :1.00 kN/m²
- Perde duvar kaplaması + sıva : 0.60 kN/m²

3.2 Hareketli Yük

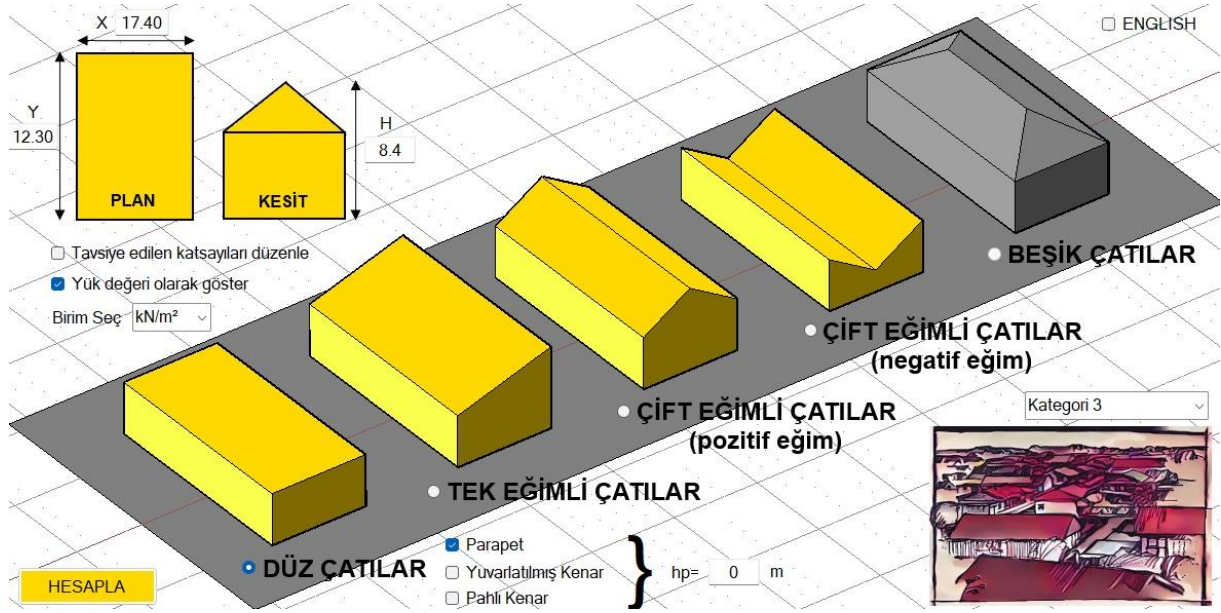
- Kullanım amacı : Konut
- Hareketli yük :2.00 kN/m²

3.3 Kar Yüğü

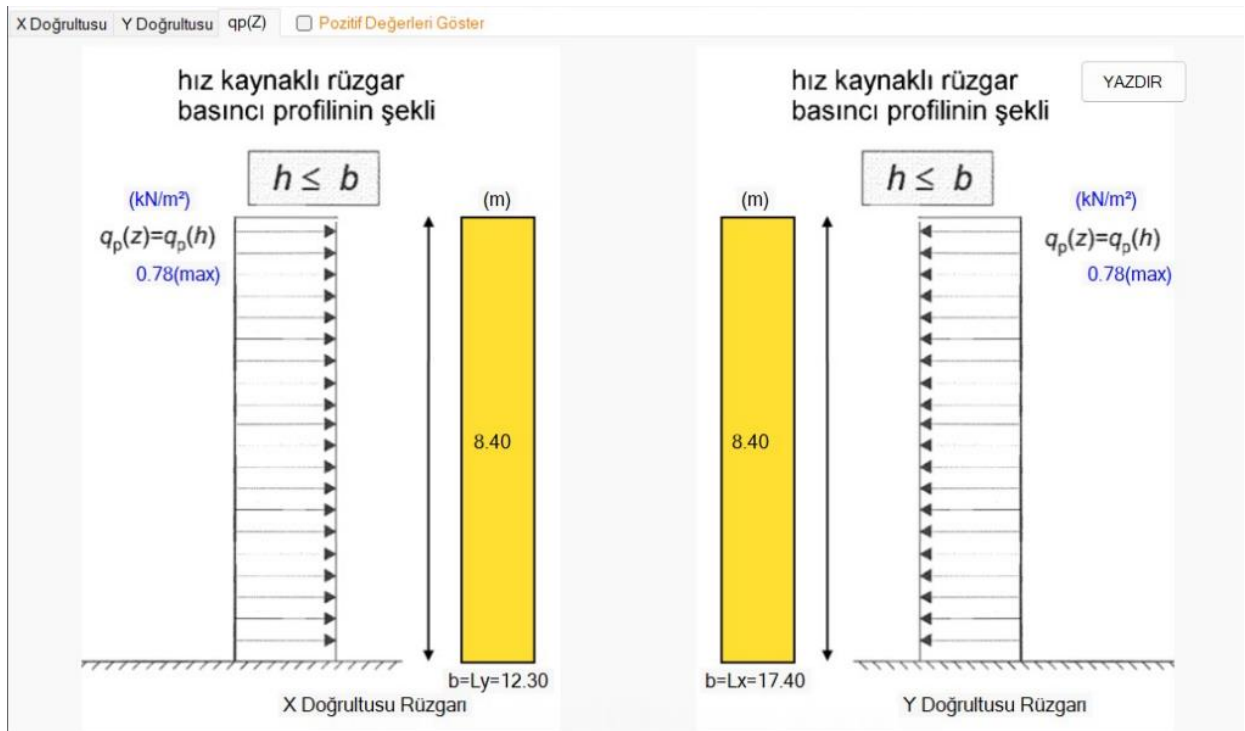
- Binanın bulunduğu il/ ilçe :İstanbul / Ataşehir
- Zati kar yükü bölgesi : 1
- Yapı yerinin denizden yüksekliği :<50 m
- Kar yükü değeri :0.75 kN/m²

3.4 Rüzgâr Yüğü

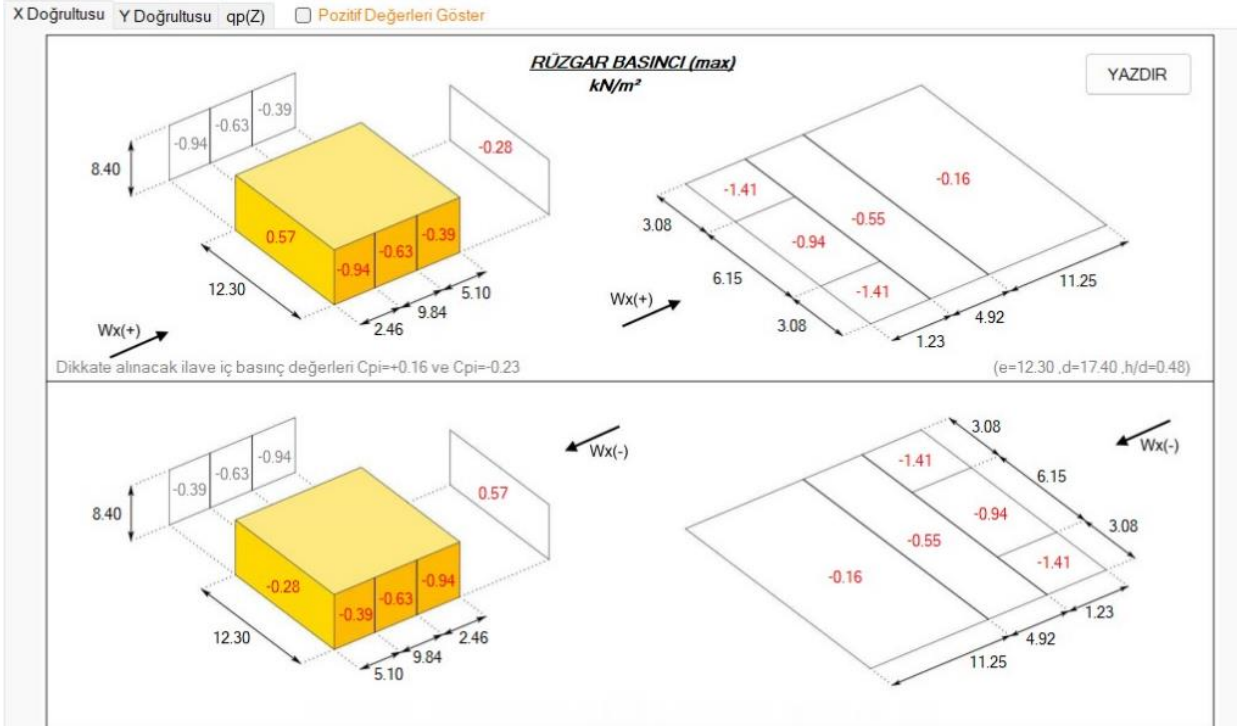
- Esas rüzgâr hızının temel değeri $v_{b,0}$: 28 m/s
- Doğrultu katsayısı c_{dir} : 1
- Mevsim katsayısı c_{season} : 1
- Arazi kategorisi : III
- Yapı yüksekliği : 8.40 m
- Rüzgâr basıncı :0.490 kN/m²



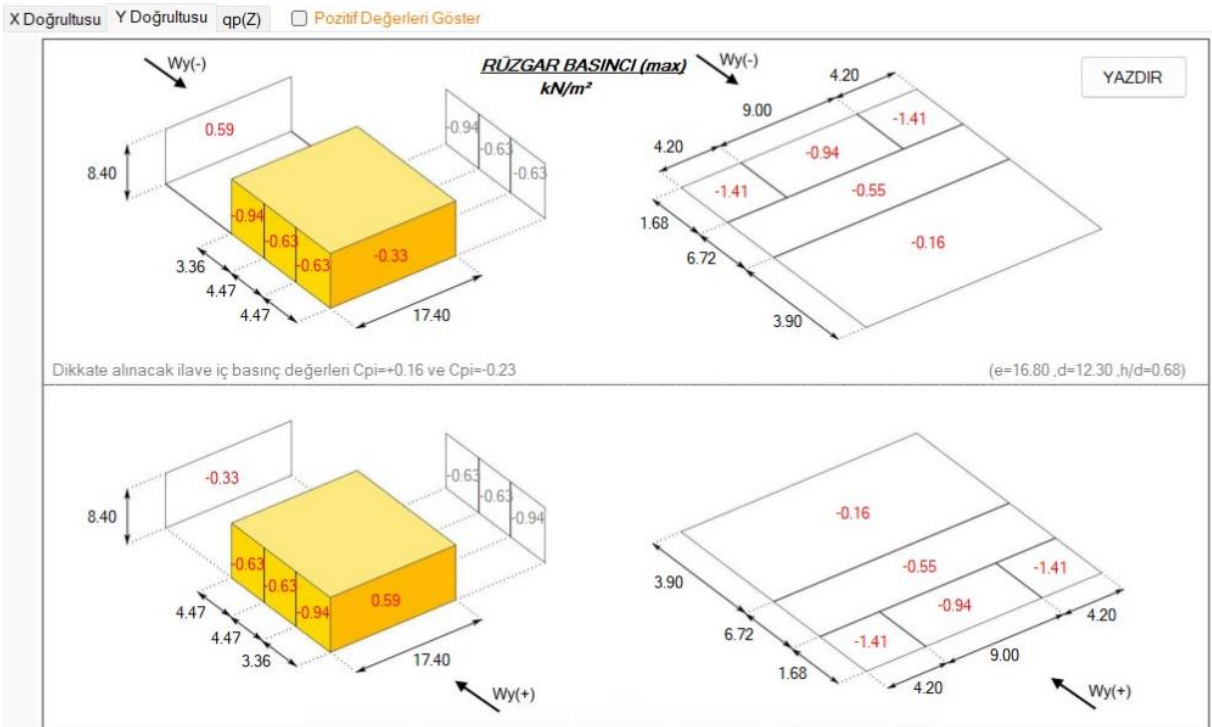
Şekil 12. Rüzgâr yükleri tanımı



Şekil 13. Rüzgâr Hızı



Şekil 14. X yönü rüzgâr basıncı (kN/m²)



Şekil 15. Y yönü rüzgâr basıncı (kN/m²)

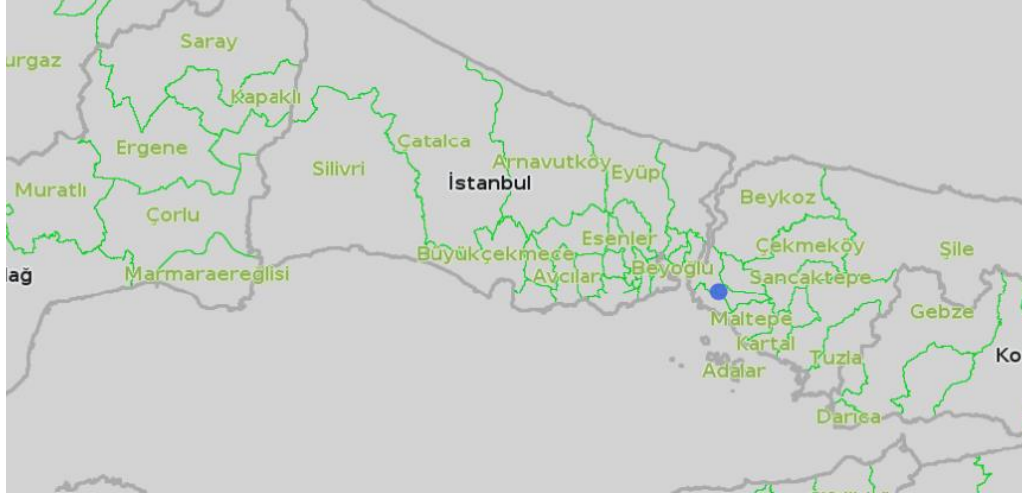
3.5 Deprem Yüğü

Yapıya etkiyen deprem yüklerinin hesabı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğı 2018 (TBDY-2018)'e göre yapılmıştır.

- En büyük yer ivmesi (PGA): 0.378g/475 Yıl
- En büyük yer hızı (PGV): 23.342 cm/s
- Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz] S_s : 0.919
- 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz] S_1 : 0.253
- Zemin sınıfı: ZC
- ZC: Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakası
- Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı F_s : 1.200
- 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı F_1 : 1.500
- $S_{DS} = F_s \times S_s$: 1.103
- $S_{D1} = F_1 \times S_1$: 0.379
- Deprem yer düzeyi hareketi: DD2

DD2: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi

- Bina Kullanım Sınıfı BKS: 3
- Bina Yükseklik Sınıfı BYS: 7
- Deprem Tasarım Sınıfı DTS: 1
- Bina Önem Katsayısı: 1



Şekil 16. Yapının konumu



Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	Tasarım Örneği	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar
Enlem:	40.99399°	
Boylam	29.07952°	

Çıktılar

$S_8 = 0.919$	$S_1 = 0.253$	$PGA = 0.378$	$PGV = 23.342$
---------------	---------------	---------------	----------------

S_8 : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Yerel Zemin Sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe/30 cm]	$(C_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	-	-
ZB	Az ayrışmış, orta sağlam kayalar	760 - 1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 - 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 - 360	15 - 50	70 - 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak - katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($C_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler : 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer , 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

Yerel Zemin Sınıfı ZC ve $S_1 = 0.253$ için $F_1 = 1.500$

Tasarım Spektral İvme Katsayıları

$$S_{DS} = S_S F_S = 0.919 \times 1.200 = 1.103$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 = 0.253 \times 1.500 = 0.379$$

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

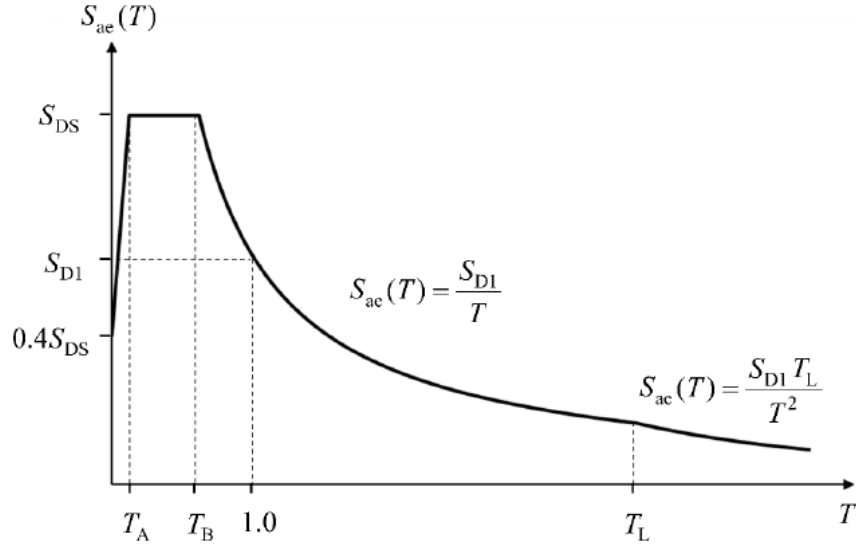
S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Yerel Zemin Sınıfı ZC ve $S_S = 0.919$ için $F_S = 1.200$

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					



Şekil 17. TBKY-2018 yatay elastik tasarım spektrumu

3.5.1 Bina Önem Katsayıları

Bina Kullanım Sınıfları'na bağlı olarak Bina Önem Katsayıları Tablo 8'de tanımlanmıştır.

Tablo 8. Bina önem sınıfları ve bina önem katsayıları

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

3.5.2 Deprem Tasarım Sınıfları (DTS)

Bina Tiplerine ve DD-2 deprem yer hareketi seviyesine göre tanımlanan Kısa Periyotlu Tasarım Spektral İvme Katsayısına bağlı olarak, TBDY-2018’de yer alan deprem etkisi altındaki tasarımda esas alınacak Deprem Tasarım Sınıfları (DTS), Tablo 8'e göre belirlenecektir.

Tablo 9. Deprem tasarım sınıfları

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

DTS=1

3.5.3 Bina Yükseklik Sınıfları

Deprem yükleri altındaki tasarımda binalar yükseklikleri açısından sekiz Bina Yükseklik Sınıfına (BYS) ayrılır. Bu sınıflara giren binalar için tanımlanan yükseklik aralıkları Tablo 8'deki Deprem Tasarım Sınıflarına bağlı olarak Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 10. Bina yükseklik sınıfları

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

H_N :8.40 m

BYS= 7

3.5.4 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı

X doğrultusu için

- Tip: Süneklik düzeyi yüksek sistem
- Rx (Taşıyıcı sistem davranış katsayısı) : 4
- Dx (Dayanım fazlalığı katsayısı): 2
- Seçilen taşıyıcı sistem F1: Deprem etkilerinin tamamının çivili veya vidalı OSB veya kontrplak (plywood) duvar panelleri ile karşılandığı süneklik düzeyi yüksek ahşap binalar.

Y doğrultusu için

- Tip: Süneklik düzeyi yüksek sistem
- Ry (Taşıyıcı sistem davranış katsayısı) : 4
- Dy (Dayanım fazlalığı katsayısı): 2
- Seçilen taşıyıcı sistem F1: Deprem etkilerinin tamamının çivili veya vidalı OSB veya kontrplak (plywood) duvar panelleri ile karşılandığı süneklik düzeyi yüksek ahşap binalar.

Tablo 11. Bina Taşıyıcı Sistemleri için Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, Dayanım Fazlalığı Katsayısı ve İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları

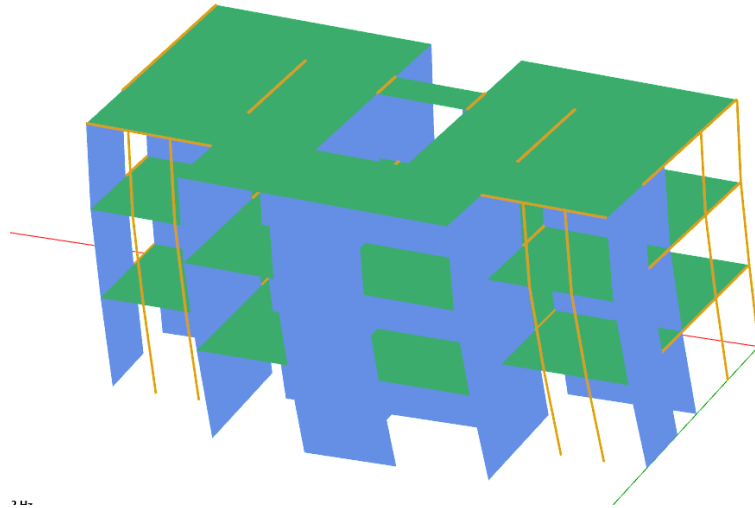
Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
D. HAFİF ÇELİK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
D1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
Deprem etkilerinin tamamının vidalı, bulonlu sac, OSB veya kontrplak (plywood) duvar panelleri ile karşılandığı süneklik düzeyi yüksek hafif çelik binalar	4	2	BYS = 8
D2. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz.4.3.4.1)			
Deprem etkilerinin tamamının alçı levhalar içeren kaplamalı veya çaprazlı panellerle karşılandığı süneklik düzeyi sınırlı hafif çelik binalar	3	2	BYS = 8
E. YIĞMA BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
E1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
E11. Donatılı yığma binalar	4	2	BYS ≥ 7
E12. Donatılı gazbeton panel binalar	4	2	BYS ≥ 7
E2. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz.4.3.4.1)			
E21. Kuşatılmış yığma binalar	3	2	BYS = 8
E22. Donatısız yığma binalar	2.5	1.5	BYS = 8
F. AHŞAP BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
F1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
Deprem etkilerinin tamamının çivili veya vidalı OSB veya kontrplak (plywood) duvar panelleri ile karşılandığı süneklik düzeyi yüksek ahşap binalar	4	2	BYS ≥ 7
F2. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz.4.3.4.1)			
Deprem etkilerinin tamamının çivi, vida ve bulon ile birleştirilen tutkalı duvar panelleri ile veya ahşap çaprazlarla karşılandığı süneklik düzeyi sınırlı ahşap binalar	3	2	BYS = 8

3.5.5 Modal Analiz Sonuçları

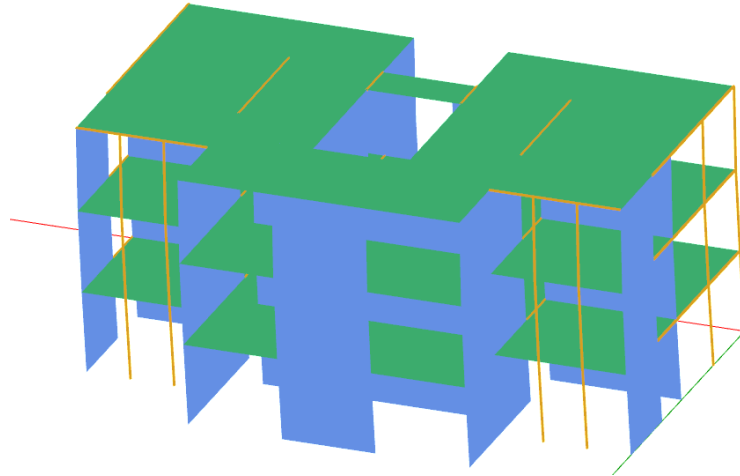
- Toplam yapı ağırlığı: 1400 kN
- Hareketli yük katılım katsayısı η (konut / kar): 0.30

Tablo 12. Yapıya ait periyotlar ve kütle katılım oranları

Mode	Period [s]	M_x [%]	Sum M_x [%]	M_y [%]	Sum M_y [%]	M_z [%]	Sum M_z [%]
Mode 1	0.32	75.99	75.99	0.00	0.00	15.18	15.18
Mode 2	0.29	15.06	91.05	0.03	0.03	75.71	90.90
Mode 3	0.27	0.00	91.06	91.33	91.36	0.03	90.93
Mode 4	0.12	6.58	97.64	0.00	91.36	1.19	92.11
Mode 5	0.11	1.29	98.92	0.00	91.36	6.76	98.88
Mode 6	0.10	0.00	98.92	7.64	99.00	0.00	98.88
Mode 7	0.09	0.90	99.83	0.00	99.00	0.15	99.03
Mode 8	0.08	0.17	100.00	0.00	99.00	0.97	100.00
Mode 9	0.07	0.00	100.00	1.00	100.00	0.00	100.00



Şekil 18. Yapının X yönlü 1. Mod şekli



Şekil 19. Yapının Y yönlü 3. Mod şekli

3.5.6 Ampirik Doğal Titreşim Periyodu

Ampirik doğal titreşim periyodu (T_{pA}), aşağıda tanımlandığı şekilde hesaplanacaktır.

4.7.3.2 – Binanın Denk.(4.26) ile hesaplanan hakim doğal titreşim periyodu $T_p^{(X)}$ ’in deprem hesabında gözönüne alınacak en büyük değeri, 4.7.3.4’te verilen T_{pA} periyodunun 1.4 katından daha fazla olmayacaktır.

4.7.3.3 – DTS = 1, 1a, 2, 2a ve $BYS \geq 6$ olan binalarda ve DTS = 3, 3a, 4, 4a olan tüm binalarda hakim doğal titreşim periyodu, 4.7.3.1’den hesaplanmaksızın, doğrudan 4.7.3.4’te verilen ampirik T_{pA} periyodu olarak alınabilir ($T_p^{(X)} \cong T_{pA}$).

4.7.3.4 – Ampirik hakim doğal titreşim periyodu Denk.(4.27) ile hesaplanacaktır:

$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4} \quad (4.27)$$

(a) Taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden oluşan binalarda $C_t = 0.1$, çelik çerçevelerden veya çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan binalarda $C_t = 0.08$, diğer tüm binalarda $C_t = 0.07$ alınacaktır.

$$T_{pA} = C_t \times H_N^{3/4}$$

Deprem hesabında dikkate alınacak en büyük değer, T_{pA} periyodunun 1,4 katından fazla olamaz.

$$C_t=0.07$$

$$T_{pA} = 0.345$$

Hesaplamalarda aşağıdaki periyotlara karşılık gelen ivme değerleri kullanılmıştır.

$$T_{pA} \times 1,4$$

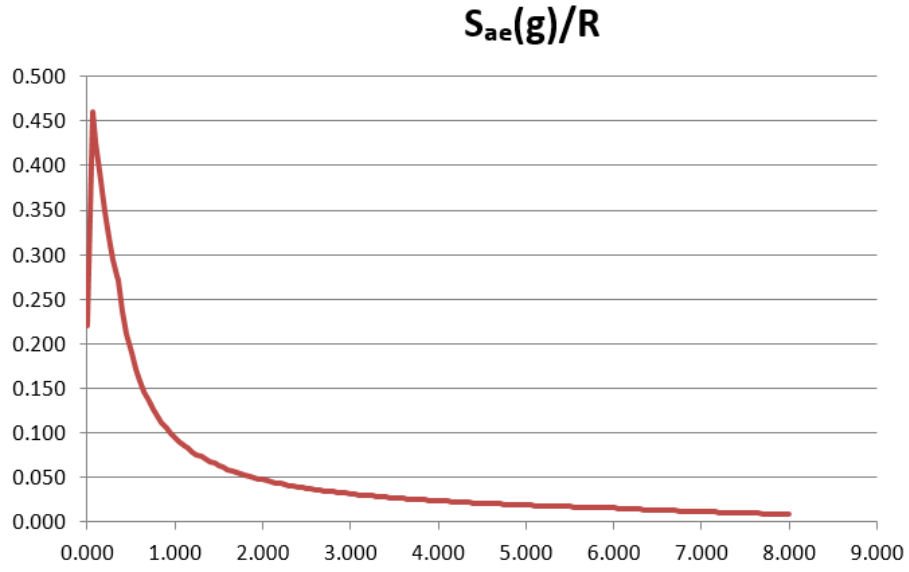
$$T_{pAx}: 0.484 \text{ s} > T_x = 0.320$$

Uygun

$$T_{pAy}: 0.484 \text{ s} > T_y = 0.270$$

Uygun

3.5.7 Taban Kesme Kuvvetinin Hesabı



Şekil 20. Yatay deprem etkisi altında azaltılmış tasarım ivme spektrumu

Her iki deprem yönü dikkate alındığında, binanın tamamına etki eden toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti), V_{tE} ;

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g$$

Tablo 13. Deprem hesapları özet tablosu

Deprem Hesapları Özet Tablosu	
S_s	0.919
S_1	0.253
S_{DS}	1.103
S_{D1}	0.379
P_{GA}	0.378
P_{GV}	23.342
T_A	0.06872
T_B	0.34361
I	1
R_x	4
D_x	2
R_y	4
D_y	2
T_x	0.320
T_y	0.270

Deprem Hesapları Özet Tablosu	
m_t	1400 kN
$S_{aR}(T_p^{(X)})$ <i>X yönünde azaltılmış tasarım spektral ivmesi [g]</i>	0.287
$S_{aR}(T_p^{(Y)})$ <i>Y yönünde azaltılmış tasarım spektral ivmesi [g]</i>	0.307
γ_E (TBDY-2018/4.8.4.1)	0.9
$V_{tE}^{(X)}$	361.62 kN
$V_{tE}^{(Y)}$	386.82 kN

4. TBDY-2018 BÖLÜM 12'YE GÖRE KONTROLLER

TBDY-2018'e göre ahşap binalarda yatay yük taşıyıcı sistemler depreme karşı davranışları bakımından iki sınıfa ayrılmıştır. Örnek bina, taşıyıcı sistemi itibari ile madde 12.2.1.1'de tanımlanan *Kaplamalı Panel Sistemler* sınıfına girmektedir. Kaplamalı Panel Sistemler, şartnamenin ilgili bölümlerinde belirtilen şartların sağlanıp sağlanamamasına göre, süneklik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi normal olarak ikiye ayrılmışlardır. Hesaplamaları yüksek sünek olarak yapılan binanın, TBDY-2018 bölüm 12.2.2.4 ve 12.2.3.3'te belirtilen şartları sağladığı aşağıda gösterilmiştir.

- Birleşim elemanı çapı $d: 3.10 \text{ mm} \leq 12 \text{ mm}$ ✓
- Çelik pim, bulon ve çivili birleşimli, ahşap-ahşap ve ahşap-çelik birleşimlerde birleşen ahşap elemanların kalınlığı en az $10d$ olmalı ✓
- Ahşap dikme kalınlığı: $100 \text{ mm} \geq 10 \times 3.10 = 31 \text{ mm}$ ✓
- Panel kalınlığı: $20 \text{ mm} \geq 4 \times d = 12.40 \text{ mm}$ ✓
- OSB panel kalınlığı: $20 \text{ mm} \geq 9 \text{ mm}$ ✓
- h panel yüksekliği, b panel genişliği olmak üzere $h/b_i = 2800/1220 = 2.29 \leq 4$ ✓
- Dikme aralığı $s_d = 610 \text{ mm} \leq 625 \text{ mm}$ ✓

Tüm bu kurallara ek olarak çevrimsel özellikleri tanımlanmış elemanların süneklik düzeyi, bu elemanların yerdeğiştirme sünekliğine bağlı olarak belirlenmelidir. Yerdeğiştirme sünekliği 6'dan büyük veya eşit olan elemanlar süneklik düzeyi yüksek kabul edilecektir.

TBDY-2018 Madde 12.3.2'ye göre; Madde 12.2.2.4 ile tanımlanan bağlantı elemanları ile Madde 12.2.3.3 ile tanımlanan kaplama elemanlarının kontrolü, R taşıyıcı sistem davranış katsayısı ile azaltılmış deprem yüklerinden elde edilen iç kuvvetlere göre yapılmıştır.

TBDY-2018 Madde 12.3.3'e göre duvar kenar dikmeleri, duvar uçlarındaki çekme ankrajları ve kesme ankrajlarının tasarımı R taşıyıcı sistem davranış katsayısı ile azaltılmış deprem yüklerinden elde edilen iç kuvvetlerin D dayanım fazlalığı katsayısı ile büyültülmüş değerlerine göre yapılmıştır.

5. HESAP KABULLERİ

1. Hesaplamalar iki farklı yapısal analiz programı kullanılarak üç boyutlu olarak yapılmıştır.
2. Yapısal analizlerde döşemeler rijit olarak kabul edilmiş ve modelleme rijit diyafram olarak yapılmıştır.
3. Diyafram kabulü yatay yük taşıyıcı sistemlere gelen kuvvetleri doğrudan etkilediğinden önemli bir konudur. Güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla; döşeme hem esnek diyafram hem de rijit diyafram olarak varsayılp iki farklı hesap yapılarak, her bir perdeye etkileyen yatay kuvvetler, eleman bazında iki ayrı hesabın neticesinde elde edilen kuvvetlerin ilgili eleman için en büyüğü olarak alınabilir.
4. Bu örnek kapsamında sadece hafif çerçeve sisteme ait taşıyıcı elemanların (döşeme kirişi, kiriş, kolon, perde) boyutlandırılmaları yapılmıştır. Yapının temel hesaplarına değinilmemiştir.
5. Gerçek uygulamalarda, TBDY-2018’de tanımlanan tüm düzensizlik tahkikleri ile görelî kat ötelemesi kontrollerinin yapılması gerekliliğı unutulmamalıdır.
6. Yangına karşı tasarım sadece kiriş örneğı ile verilmiş olup, diğer yapısal elemanların da yangın esnasında yeterli dayanıma sahip oldukları hesaplar ile gösterilmelidir.
7. Örnek çözümlerde sadece hafif çerçeve perde duvarın zemine mesnetlenmesine ait bağlantı hesapları verilmiş olup diğer bağlantılar kapsam dışı bırakılmıştır.

6. AHŞAP YAPILAR İÇİN HESAP ESASLARI

6.1 Yönetmelik ve Şartnameler

- Ahşap Binaların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları
- TS 498: Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
- EN 1995-1-1: Eurocode 5: Design of Timber Structures
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018
- TS EN 1991-1-3 Yapılar Üzerindeki Etkiler - Bölüm 1-3: Genel Etkiler - Kar Yükleri
- TS EN 1991-1-4 Yapılar Üzerindeki Etkiler - Bölüm 1-4: Genel Etkiler - Rüzgâr Etkileri

6.2 Ahşap Yapı Tasarımı Yükleme Kombinasyonları

$$1.35 G_k + 1.5 Q_k$$

$$1.35 G_k + 1.5 S_k$$

$$1.35 G_k + 1.5 W_k$$

$$0.9 G_k + 1.5 W_k$$

$$1.35 G_k + 1.5 Q_k + 1.05 S_k$$

$$1.35 G_k + 1.05 Q_k + 1.5 S_k$$

$$1.35 G_k + 1.5 Q_k + 1.05 S_k + 1.05 W_k$$

$$1.35 G_k + 1.05 Q_k + 1.5 S_k + 1.05 W_k$$

$$1.35 G_k + 1.05 Q_k + 1.05 S_k + 1.5 W_k$$

$$1.0 G_k + 1.0 Q_k + 0.4 S_k + 1.0 E_{deprem}$$

$$0.9 G_k + 1.0 E_{deprem}$$

G_k : Kalıcı/zati yükün karakteristik değeri

Q_k : Hareketli/değişken yükün karakteristik değeri

S_k : Kar yükünün karakteristik değeri

W_k : Rüzgâr yükünün karakteristik değeri

E_{deprem} : Deprem yükünün karakteristik değeri

Kullanılabilirlik sınır durumları için temel kombinasyonlar:

$$1.0 G_k + 1.0 Q_k$$

$$1.0 G_k + 1.0 S_k$$

$$1.0 G_k + 1.0 W_k$$

$$1.0 G_k + 1.0 Q_k + 0.7 S_k + 0.7 W_k$$

$$1.0 G_k + 0.7 Q_k + 1.0 S_k + 0.7 W_k$$

$$1.0 G_k + 0.7 Q_k + 0.7 S_k + 1.0 W_k$$

6.3 Ahşap Yapılarda Yük Etki Sınıfları

Ahşap ve ahşap esaslı yapı elemanlarına etkiyen yüklerin uygulama ve etki süresi arttıkça dayanımları azalmaktadır, dolayısıyla bu durum tasarıma dâhil edilmelidir. Bu amaçla yük etki sınıfları, Tablo 17’de verilen yük etki sürelerine göre belirlenecektir.

Tablo 14. Yük etki süresi sınıflandırma tablosu

Yük Etki Sınıfı	Açıklama
Kalıcı Etki	Yük 6 aydan uzun süre etki etmektedir (zati ve hareketli yük vb.)
Orta Süreli Etki	Yük 1 haftadan 6 aya kadar etki etmektedir (kar yükü vb.)
Anlık Etki	Yük anlık durumdan 1 haftaya kadar etki etmektedir (rüzgâr ve deprem yükleri vb.)

6.4 Ortam Bağlı Nem Oranına Bağlı Kullanım Sınıfları

Ahşap binalardaki taşıyıcı ahşap elemanların nem içeriği, ortam nem oranına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu yönetmelikte ortam nem oranına bağlı olarak ahşap taşıyıcı elemanlar, 3 sınıfa ayrılmaktadır.

- Kullanım sınıfı 1 (KS1): Sadece yılda birkaç hafta içinde % 65’i aşan çevredeki havanın bağıl nem oranına (20 °C sıcaklık için) karşılık gelen malzeme nem içeriği ile karakterize edilir. Bu sınıfta ortalama nem içeriği çoğu yumuşak ağaç türünde %12’yi aşmayacaktır.
- Kullanım sınıfı 2 (KS2): Sadece yılda birkaç hafta içinde %85’i aşan çevredeki havanın bağıl nem oranına (20 °C sıcaklık için) karşılık gelen malzeme nem içeriği ile karakterize edilir. Bu sınıfta ortalama nem içeriği çoğu yumuşak ağaç türünde %20’yi aşmayacaktır.
- Kullanım sınıfı 3 (KS3): Kullanım sınıfı 2’den daha fazla nem içeriğine neden olan iklim koşulları ile karakterize edilir. Özetle kullanım sınıfı 1 ve 2 dışındaki durumları kapsamaktadır.

Tablo 15. Ortam nem oranına göre kullanım sınıfları

Kullanım sınıfı	Ortalama Nem İçeriği	İklim Koşulları
KS1 (Nem durumu az)	≤ 12	20 °C ve %65 bağıl ortam nemi
KS2 (Nem durumu orta)	≤ 20	20 °C ve %85 bağıl ortam nemi
KS3 (Nem durumu çok)	> 20	Kullanım sınıfı 1 ve 2 dışında

6.5 Malzeme Tasarım Değeri

Malzeme tasarım dayanımları (X_d), aşağıdaki denklem yardımıyla bulunacaktır.

$$X_d = \frac{C_N C_Y}{\Omega} X_K$$

X_K : Dayanım özelliği karakteristik değeri

Ω : Malzeme özelliği kısmi faktörü (Tablo 15)

C_N : Kullanım sınıfına bağlı nem durumu düzeltme katsayısı

C_Y : Yük etki sınıfına bağlı yük etki süresi düzeltme katsayısı

Tasarım eleman rijitlik parametreleri aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmalıdır:

$$E_d = \frac{E_{ort}}{\Omega} , \quad G_d = \frac{G_{ort}}{\Omega}$$

E_{ort} : Elastisite modülü ortalama değeri

G_{ort} : Kayma modülü ortalama değeri

Tablo 16. Sertifikalı malzeme özelliği kısmi faktörü ($\square$)

Temel Kombinasyon	
Masif Ahşap	1.30
Tutkallı Lamine Ahşap	1.25
Lamine Levha Ahşap LVL, kontrplak, OSB	1.20
Yonga Levhalar	1.30
Lif Levhalar, sert	1.30
Lif Levhalar, orta	1.30
Lif Levhalar, MDF	1.30
Lif Levhalar, yumuşak	1.30
Çapraz Lamine Ahşap, CLT	1.30
Birleşimler	1.30
Çivili metal plaka bağlantı elemanları	1.25
Kazara Oluşan Tasarım Durumu Kombinasyonu	1.00

6.6 CN, CY ve kdef Düzeltme Katsayıları

C_N ve C_Y katsayıları kullanım sınıfı ve yük etkisi süresini dikkate alan tasarım dayanımı düzeltme katsayılarıdır ve Tablo 16, Tablo 17 ve Tablo 18 yardımıyla bulunacaktır.

Tablo 17. Nem Durumu Düzeltme Katsayısı (C_N)

Nem Durumu	Nem Durumu Düzeltme Katsayısı, C_N	Açıklama
Az	1.00	Ahşabın nem içeriği %12'den az
Orta	0.95	Ahşabın nem içeriği %12'den fazla %20'den az
Çok	0.85	Ahşabın nem içeriği %20'den fazla

Tablo 18. Yük Etki Süresi Tanımları

Yük Etki Süresi	Yük Etki Süresi Düzeltme Katsayısı, C_Y	Açıklama
Kalıcı Etki	Malzeme cinsine ve nem durumuna göre değişmektedir	Yük 6 aydan fazla etki etmektedir (zati, hareketli yük vs.)
Orta Süreli Etki		Yük 1 hafta- 6 ay arası etki etmektedir (kar yükü vs.)
Anlık Etki		Yük anlık durumdan 1 haftaya kadar etki etmektedir (rüzgâr ve deprem yükleri vs.)

Bir bağlantıda iki farklı zamana bağımlı özellikte ahşap malzemenin kullanılması durumunda C_N ve C_Y değerleri aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$C_N = \sqrt{C_{N,1} C_{N,2}} \quad (6.1)$$

$$C_Y = \sqrt{C_{Y,1} C_{Y,2}} \quad (6.2)$$

Tablo 19. Yük Etki Süresi Düzeltme Katsayısı (C_Y)

Masif Ahşap Elemanlar					
Malzeme	Nem Durumu Katsayıları		Yük Etki Süresi Katsayıları, C _Y		
	Nem Durumu	C _N	Kalıcı Etki	Orta Süreli Etki	Anlık Etki
Masif Ahşap	Az	1.00	0.6	0.8	1.10
	Orta	0.95			
	Çok	0.85			

Tabakalı Ahşap Elemanlar					
Malzeme	Nem Durumu Katsayıları		Yük Etki Süresi Katsayıları, C _Y		
	Nem Durumu	C _N	Kalıcı Etki	Orta Süreli Etki	Anlık Etki
Tutkallı Lamine Ahşap	Az	1.00	0.6	0.8	1.10
	Orta	0.95			
	Çok	0.85			
Çapraz Lamine Ahşap (CLT)	Az	1.00	0.6	0.8	1.10
	Orta	0.95			
Lamine Levha Ahşap (LVL)	Az	1.00	0.6	0.8	1.10
	Orta	0.95			
	Çok	0.85			
Kontreplak	Az	1.00	0.6	0.8	1.10
	Orta	0.95			
	Çok	0.85			
OSB	Az (OSB/2)	1.00	0.30	0.60	1.10
	Az (OSB/3 ve 4)	1.00	0.40	0.70	1.10
	Orta (OSB/3 ve 4)	0.95	0.30	0.60	0.95

Tabakalı Ahşap Elemanlar					
Malzeme	Nem Durumu Katsayıları		Yük Etki Süresi Katsayıları, C _Y		
	Nem Durumu	C _N	Kalıcı Etki	Orta Süreli Etki	Anlık Etki
Yonga levha	Az	1.00	0.30	0.65	1.10
	Orta	0.95	0.20	0.45	0.85
Lif levha, sert	Az	1.00	0.30	0.65	1.10
	Orta	0.95	0.20	0.45	0.85
Lif levha, orta sert ve MDF	Az	1.00	0.20	0.60	1.10
	Orta	0.95	0.00	0.00	0.85

k_{def} kullanılabilirlik durumu hesaplarında kullanılan zamana bağlı deformasyonların etkili olduğu düzeltme katsayısıdır ve aşağıdaki denklem yardımıyla veya Tablo 19 kullanılarak bulunacaktır.

$$k_{def} = \frac{w_{sünme}}{w_{ani}} \quad (6.3)$$

Tablo 20. k_{def} değerleri tablosu

Malzeme	Standart	Kullanım Sınıfı		
		1	2	3
Masif Ahşap	TS EN 14081-1+A1	0.60	0.80	2.00
Tutkalı Lamine Ahşap	TS EN 14080	0.60	0.80	2.00
Lamine Levha Ahşap (LVL)	TS EN 14374, TS EN 14279+A1	0.60	0.80	2.00
Kontrplak	TS EN 636:2012+A1			
	Bölüm 1	0.80	-	-
	Bölüm 2	0.80	1.00	-
	Bölüm 3	0.80	1.00	2.50
OSB	TS EN 300			
	OSB/2	2.25	-	-
	OSB/3, OSB/4	1.50	2.25	-
Yonga Levhalar	EN 312			
	Bölüm 4	2.25 2.25	- 3.00	- -

Malzeme	Standart	Kullanım Sınıfı		
		1	2	3
	Bölüm 5 Bölüm 6 Bölüm 7	1.50 1.50	- 2.25	- -
Lif Levhalar, Sert	TS EN 622-2 HB.LA, HB.HLA 1 HB.HLA 2	2.25 2.25	- 3.00	- -
Lif Levhalar, Orta	TS EN 622-3 MBH.LA1, HB.HLA 2 MBH.HLS1, MBH.HLS2	3.00 3.00	- 4.00	- -
Lif Levhalar, MDF	TS EN 622-5 MDF.LA MDF.HLS	0.20 2.25	- 3.00	- -

6.7 Boyut Faktörü (C_B)

6.7.1 Masif Ahşap Boyut Faktörü (C_B)

Masif ahşap, ağaçtan doğrudan kesilen ahşap parçasıdır. Doğal yapısı gereği, işlenmiş ahşap türlerine göre, budaklar ve diğer kusurlar içermektedir. Dolayısıyla işlenmiş ahşap türlerine göre daha düşük dayanıma sahiptir. Eleman boyut etkisi dayanımı büyüttüğü için güvenli tarafta kalarak $C_B=1.00$ olarak alınabilir.

$$C_B = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0.2} \right. \\ \left. 1.3 \right.$$

h: Eğilme elemanı için derinlik veya çekme elemanı için genişlik (mm)

6.7.2 Tutkallı Lamine Ahşap Boyut Faktörü (C_B)

Dikdörtgen tutkallı lamine ahşaplar için, eğilme referans derinliği veya çekme referans genişliği 600 mm'dir. Güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla eleman boyut etkisi $C_B=1.00$ olarak alınabilir.

$$C_B = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \right. \\ \left. 1.1 \right.$$

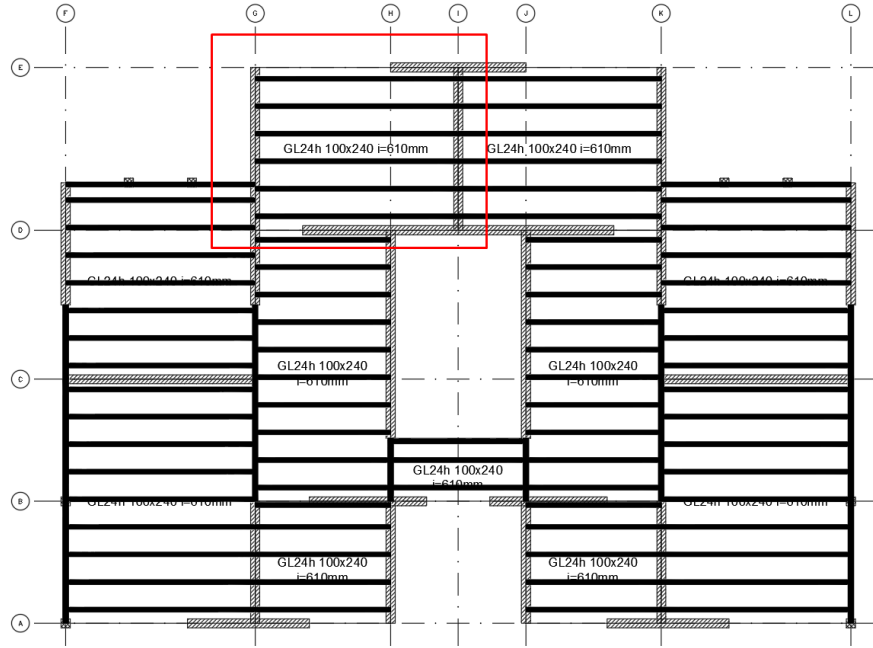
h: Eğilme elemanı için derinlik veya çekme elemanı için genişlik (mm)

Liflere dik çekme dayanımı üzerine eleman boyut etkisi dikkate alınacaktır.

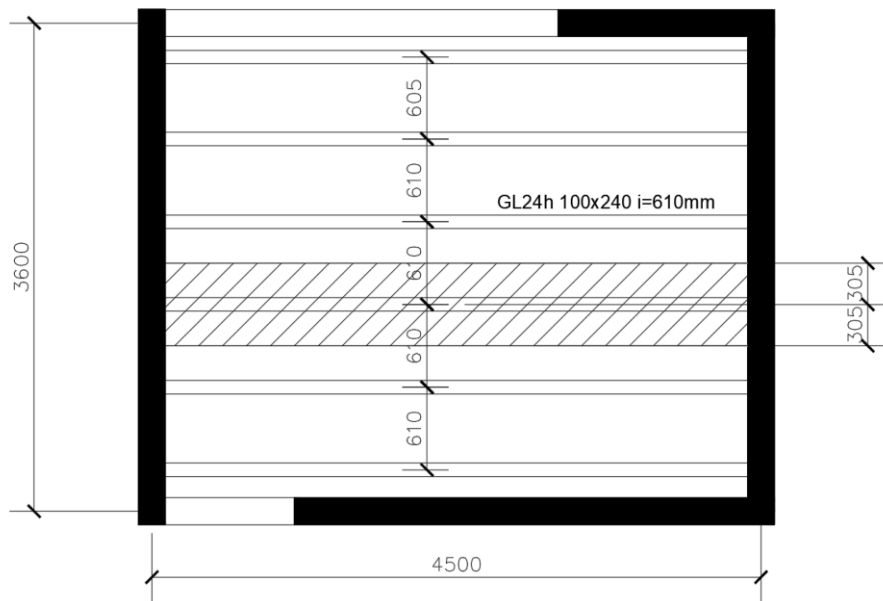
7. YAPISAL ELEMANLARIN TASARIMI

7.1 Döşeme Kirişlerinin Boyutlandırılması

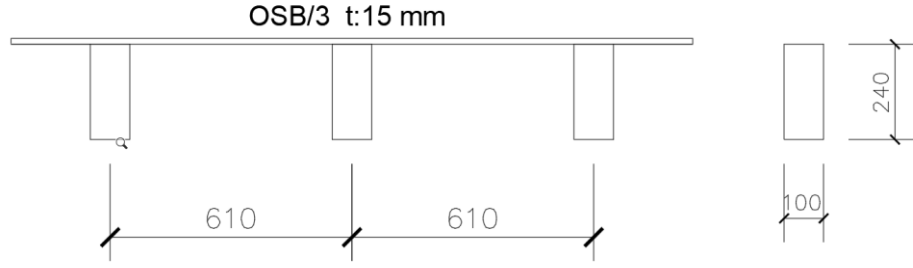
Döşeme kirişleri, kaplama malzemesinin boyutlarına uygun olacak şekilde 610 mm ara ile basit mesnetli olarak teşkil edilmişlerdir. Örnek hesaplama en büyük açıklığa sahip döşeme için düşey yükler altında yapılacaktır. Döşeme kirişleri 100x240 mm boyutlarındadır.



Şekil 21. Hesabı verilen döşemenin plandaki yeri

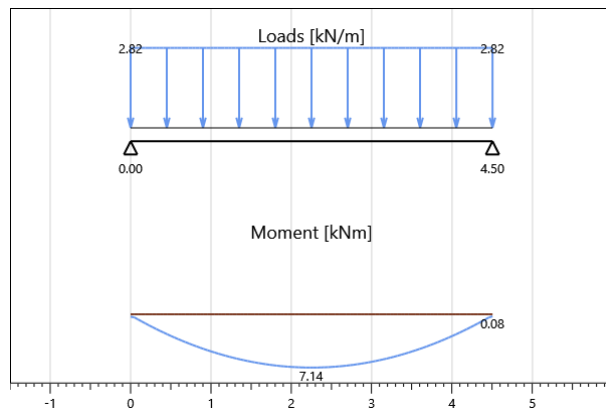


Şekil 22. Tipik döşeme kirişi yerleşimi ve yük aralığı

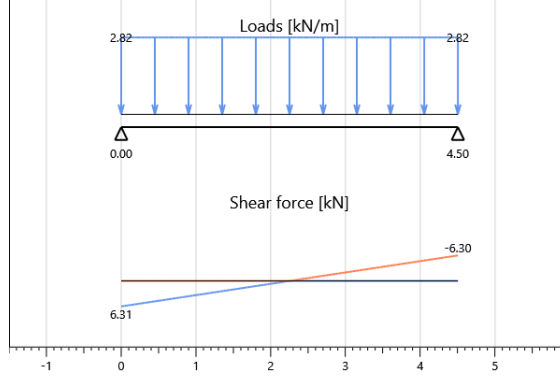


Şekil 23. Tipik döşeme kesiti

b:	100 mm
h:	240 mm
Döşeme sabit yükü g:	1 kN/m ²
Döşeme hareketli yükü q:	2 kN/m ²
Döşeme kirişi + kaplama ağırlığı:	0.17 kN/m
Döşeme kirişi açıklığı L:	4.50 m
Döşeme kirişi aralığı s:	0.61 m
Yük kombinasyonu:	1.35 G _k + 1.50 Q _k
Döşeme kirişine etkiyen düzgün yayılı yük:	$1.35 \times 1 \times 0.61 + 1.50 \times 2 \times 0.61 + 0.17 = 2.82 \text{ kN/m}$
Döşeme kirişine etkiyen maks. moment $ql^2/8$:	$2.82 \times 4.5^2/8 = 7.14 \text{ kNm}$
Döşeme kirişine etkiyen maks. kesme kuvveti $ql/2$:	$2.82 \times 4.5/2 = 6.34 \text{ kN}$



Şekil 24. Döşeme kirişine etkiyen maks. moment diyagramı



Şekil 25. Döşeme kirişine etkiyen maks. kesme kuvveti diyagramı

7.1.1 Eğilme Etkisinde Kontrol

Kesitin mukavemet momenti, W_x

$$W_x = \frac{100 * 240^2}{6} = 960.000 \text{ mm}^3$$

Liflere paralel tasarım eğilme dayanımı (Bölüm 4.2.1)

$C_N:1, C_Y:0.80, C_B:1, \Omega=1.25$

$$f_{m,x,d} = \frac{f_{m,g,k} C_N C_Y C_B}{\Omega} = \frac{24 * 1.0 * 0.8 * 1.0}{1.25} = 15.36 \text{ MPa}$$

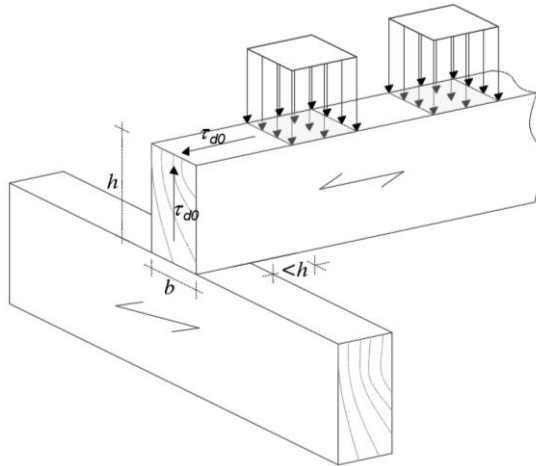
Elemanda verilen yük altında oluşan gerilme,

$$\sigma_{m,x,d} = \frac{7.14 * 10^6}{960000} = 7.44 \text{ MPa}$$

$f_{m,x,d} = 15.36 \text{ MPa} > \sigma_{m,x,d} = 7.44 \text{ MPa}$ olduğundan kesit güvenlidir. ✓

7.1.2 Kesme Kuvveti Etkisinde Kontrol

Liflere paralel doğrultuda meydana gelen kayma gerilmesi elemanın kesme kuvveti dayanımını aşmamalıdır.



Şekil 26. Liflere paralel doğrultuda kayma gerilmesi

$$f_{v,0,d} \geq \tau_{d,0} = \frac{V_{d0}Q}{Ib_{ef}} \quad (7.1)$$

$f_{v,0,d}$ Ahşabın liflerine paralel doğrultudaki kayma dayanımı, (MPa)

$\tau_{d,0}$ Ahşabın liflerine paralel doğrultuda hesaplanan kayma gerilmesi, (MPa)

V_{d0} Tasarım kesme kuvveti, (N). Bir yüzünden mesnete oturan ve bu yüze zıt olan yüzünden düzgün yayılı olarak yüklenen kirişlerde, mesnet yüzünden giriş yüksekliği kadar bir mesafede bulunan yükler ihmal edilebilir

Q Statik alan momenti, (mm³)

I Atalet momenti, (mm⁴)

b_{ef} $C_{\phi}b$, (mm)

C_{ϕ} Enkesitte çatlak veya budak olması durumunda masif ahşap ve tutkallı lamine ahşaplarda 0.67, diğer kesitlerde 1.00 alınacaktır.

$$f_{v,0,d} = \frac{f_{v,g,k}C_N C_Y C_B}{\Omega} = \frac{3.5 * 1.0 * 0.8 * 1.0}{1.25} = 2.24 \text{ MPa}$$

V_{d0} 6310 N

Q 960.000 mm³

I 115.200.000 mm⁴

C_{ϕ} 0.67

b_{ef} 0.67*100= 67 mm

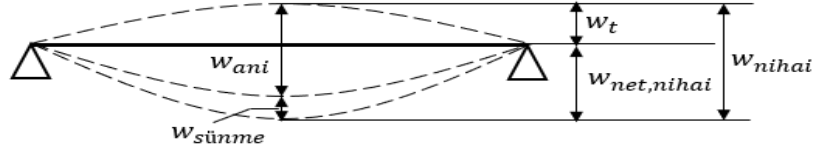
$$\tau_{d,0} = \frac{6310*960.000}{115.200.000*67} = 0.78 \text{ MPa}$$

$f_{v,0,d} = 2.24 \text{ MPa} > \tau_{d,0} = 0.78 \text{ MPa}$ olduğundan kesit güvenlidir.

✓

7.1.3 Döşeme Sehim Kontrolü

Kullanılabilirlik sınır durumlarında, elemanların normal kullanımdayken kullanım konforunu bozmayacak titreşim seviyeleri ve kullanım ömrü boyunca sünme vb. nedenlerle şekildeğişimlerin sınırlar içinde kalacak şekilde davrandıkları gösterilmelidir. l açıklıklı ve basit mesnetli bir elemanın yük birleşiminden kaynaklanan sehim bileşenleri Şekil 18’de gösterilmektedir;



Şekil 27. Sünmenin bileşenleri

w_t yüklenmemiş durumdaki ters sehim (uygulanması durumunda),

w_{ani} ilgili yük birleşiminin kalıcı yükleri altındaki ani sehim

$w_{sünme}$ uzun süreli kalıcı yükler (sünme) altında sehim

w_{nihai} nihai sehim

$w_{net,nihai}$ net nihai sehim

$$w_{net,nihai} = w_{ani} + w_{sünme} - w_t = w_{nihai} - w_t$$

Yük kombinasyonu:

$$1.00 G_k + 1.00 Q_k$$

Döşeme kirişine etkiyen düzgün yayılı sabit yük G_k :

$$1 \times 0.61 + 0.17 = 0.78 \text{ kN/m}$$

Döşeme kirişine etkiyen düzgün yayılı hareketli yük Q_k :

$$2 \times 0.61 = 1.22 \text{ kN/m}$$

Döşeme kirişine etkiyen düzgün yayılı yük $G_k + Q_k$:

$$2.00 \text{ kN/m}$$

k_{def} :

$$0.60 \text{ (Tablo 1.7)}$$

$\psi_{2,1}$:

$$0.30 \text{ (Tablo Ek-1A.3)}$$

$$w_{ani} = \frac{5 * w * L^4}{384 * E * I} = \frac{5 * 2 * 4500^4}{384 * 11500 * 115.200.000} = 8.06 \text{ mm}$$

$$w_{limit} = L/400 \text{ (Tablo 5.1)} = 4500/400 = 11.25 \text{ mm}$$

$$w_{ani} = 8.06 \text{ mm} < w_{limit} = 11.25 \text{ mm}$$

✓

Aynı sünme özelliklerine sahip eleman, bileşen ve bağlantılarından oluşan yapılar için yük ile şekildeğiştirme arasında doğrusal bir ilişki olduğu varsayılarak, nihai şekildeğiştirme w_{nihai} aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$w_{nihai} = w_{nihai,G} + w_{nihai,Q1} + \sum w_{nihai,Qi}$$

$$w_{nihai,G} = w_{ani,G} + w_{sünme,G} = w_{ani,G}(1 + k_{def})$$

$$w_{nihai,Q1} = w_{ani,Q,1} + w_{sünme,Q,1} = w_{ani,Q,1}(1 + \psi_{2,1}k_{def})$$

$$w_{ani,G} = \frac{5 * w_g * L^4}{384 * E * I} = \frac{5 * 0.78 * 4500^4}{384 * 11500 * 115.200.000} = 3.14 \text{ mm}$$

$$w_{ani,Q} = \frac{5 * w_q * L^4}{384 * E * I} = \frac{5 * 1.22 * 4500^4}{384 * 11500 * 115.200.000} = 4.92 \text{ mm}$$

$$w_{nihai,G} = 3.14 * (1 + 0.60) = 5.02 \text{ mm}$$

$$w_{nihai,Q1} = 4.92 * (1 + 0.3 * 0.6) = 5.80 \text{ mm}$$

$$w_{nihai} = 5.02 \text{ mm} + 5.80 \text{ mm} = 10.82 \text{ mm}$$

$$w_{limit} = L/300 \text{ (Tablo 5.1)} = 4500/200 = 22.50 \text{ mm}$$

$$w_{nihai} = 10.82 \text{ mm} < w_{limit} = 22.50$$

✓

7.1.4 Döşeme Titreşim Hesapları

Döşeme titreşim hesapları ABTHYE Bölüm 4.8.4.7.1'e göre yapılmıştır. Daha detaylı hesaplama için Bölüm 5.4.2'deki hesap adımları izlenebilir.

a) Doğal hâkim titreşim frekansının hesaplanması, f_1

Boyutları L x B olan, dörtkenarı boyunca basit mesnetli ve L açıklığında ahşap kirişlere sahip dikdörtgen bir döşeme için hâkim frekans f_1 değeri (Hz) yaklaşık olarak aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir:

$$f_1 = \frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{(EI)_L}{m}}$$

m birim alan başına gelen ortalama kütle değeri, (kg/m²)

L döşeme açıklığı (döşeme kirişlerine paralel yön), (m)

B döşeme genişliği (döşeme kirişlerine dik yön), (m)

$(EI)_L$, kiriş doğrultusuna dik olan eksen etrafında (döşemenin kuvvetli doğrultusunda) döşemenin birim genişlik için eğilme rijitliği (Nm^2/m)

Güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla OSB – kiriş etkileşimi bu örnek için ihmal edilmiş olup döşeme rijitliği, döşeme kirişi üzerinden hesaplanacaktır.

$E_{0,g,ort}$: 115000 MPa

b_s (iki kiriş arasındaki mesafe): 610 mm

L : 4.50 m

B : 3.60 m

$I_L = b x h^3 / 12 = 100 x 240^3 / 12$ 115.200.000 mm^4

$$(EI)_l = \frac{11500^6 x 0.0001152}{0.61} = 2171803.279 \text{ Nm}^2/\text{m}$$

$m = g_{\text{döşeme}} + g_{\text{kaplama}} = 0.20 \text{ kN/m}^2 + 1.00 \text{ kN/m}^2 = 1.20 \text{ kN/m}^2 \approx 120 \text{ kg/m}^2$

$$f_1 = \frac{\pi}{2x(4.50)^2} \sqrt{\frac{2171803.279}{120}} = 10.43 \text{ Hz} > 8 \text{ Hz} \quad \checkmark$$

b) 1 kN'lık F tekil yükü altında sehimini (w) hesaplayarak rijitlik kontrol edilir ve aşağıdaki denklemle karşılaştırılır:

Bu rijitlik kontrolü, statik tekil bir kuvvet altında maksimum anlık sehimin değerlendirilmesiyle gerçekleştirilir.

$$w_{1kN} < w_{1kN,lim}$$

$$a = \frac{w}{F} = \frac{l^3}{48EI} = \frac{4500^3}{48 * 1324800 * 10^3} = 1.433 \frac{\text{mm}}{\text{kN}}$$

$$1 < 1.433 \leq 2 \quad \checkmark$$

Ahşap yapılar yönetmeliği Bölüm 5.4.2' ye göre $a \leq 1$ çok iyi, $1 < a \leq 2$ iyi, $2 < a \leq 3$ az sorunlu, $3 < a \leq 4$ sorunlu olabilir dikkat ve $a > 4$ kabul edilemez olarak tanımlanmıştır.

c) Aşağıdaki denklem kullanılarak darbe hızı tepkisi (v) seçilen döşemeye göre kontrol edilir:

$$v \leq 100(f_1 \xi - 1)$$

v dikdörtgen bir döşemenin darbe hızı tepkisi olarak tanımlanır. Bu tepki, en büyük etkiye sahip olduğu yerde uygulanan 1 Ns'lik ideal darbe nedeniyle m/s cinsinden maksimum düşey başlangıç hızıdır. 40 Hz üzerindeki titreşim bileşenleri göz ardı edilebilir, (m/Ns^2)

ζ bağıl sönümleme, bkz. Tablo 4.15

f_1 döşemenin en büyük düşey kütle katılım oranına sahip doğal salınım frekansı (hâkim frekans), (Hz)

$$v \leq 100^{(10.43 \times 0.01 - 1)} = 0.01616$$

d) Darbe hızı tepkisinin hesaplanması

Dört kenarı boyunca basit mesnetli $B \times L$ boyutlarındaki dikdörtgen bir döşeme için v , aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir:

- Ahşap şartnamesi bölüm 5.4.2 madde 1: v hesaplanır.

$$v = \frac{4 (0.4 + 0.6 n_{40})}{mBL + 200}$$

$$n_{40} = \left\{ \left(\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right) \left(\frac{B}{L} \right)^4 \frac{(EI)_L}{(EI)_B} \right\}^{0.25}$$

v m/(Ns²) birim darbe sebebiyle oluşan döşemenin hız yanıtıdır

n_{40} 40 Hz'e kadar olan doğal salınım modlarının sayısı

$(EI)_B$ kirişlere paralel bir eksen etrafında döşemenin (zayıf doğrultuda) Nm²/m cinsinden eşdeğer eğilme rijitliğidir ve $(EI)_B < (EI)_L$ koşulunu sağlamalıdır. Döşemenin diğer yönüne ait rijitlik hesabında, döşeme kaplaması olan OSB'nin katkısı göz önüne alınmıştır.

$$I_B = b x h^3 / 12 = 1000 \times 15^3 / 12: \quad 281250 \text{ mm}^4$$

$$E_{osb,0,ort,c}: \quad 3800 \text{ MPa}$$

$$(EI)_L: \quad 2171803.279 \text{ Nm}^2/\text{m}$$

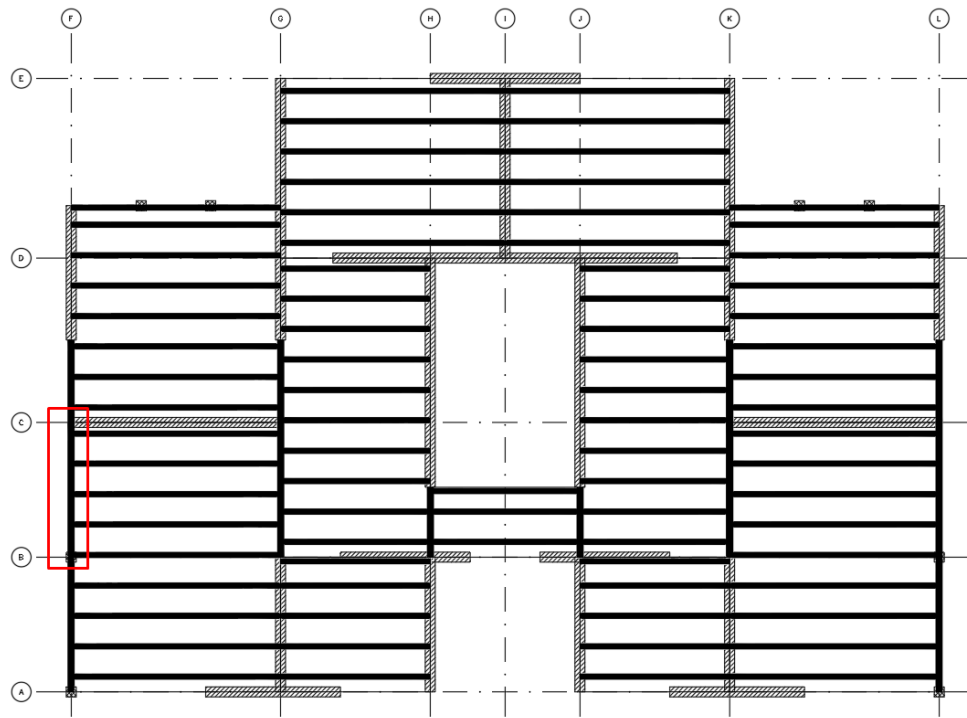
$$(EI)_B: \quad 1068.750 \text{ Nm}^2/\text{m}$$

$$\text{Bağıl sönümlleme } \zeta: \quad 0.01(\%1)$$

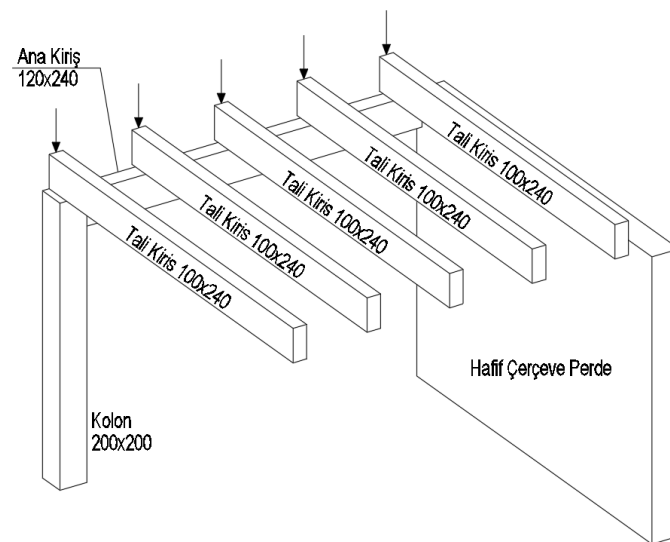
$$n_{40} = \left\{ \left(\left(\frac{40}{10.43} \right)^2 - 1 \right) \left(\frac{3.6}{4.5} \right)^4 \frac{2171803.279}{1068.750} \right\}^{0.25} = 10.33$$

$$v = \frac{4 (0.4 + 0.6 \times 10.33)}{120 \times 3.6 \times 4.5 + 200} = 0.0123 < v = 0.01616 \quad \checkmark$$

8. KİRİŞLERİN BOYUTLANDIRILMASI



Şekil 28. Döşeme anahtar planı

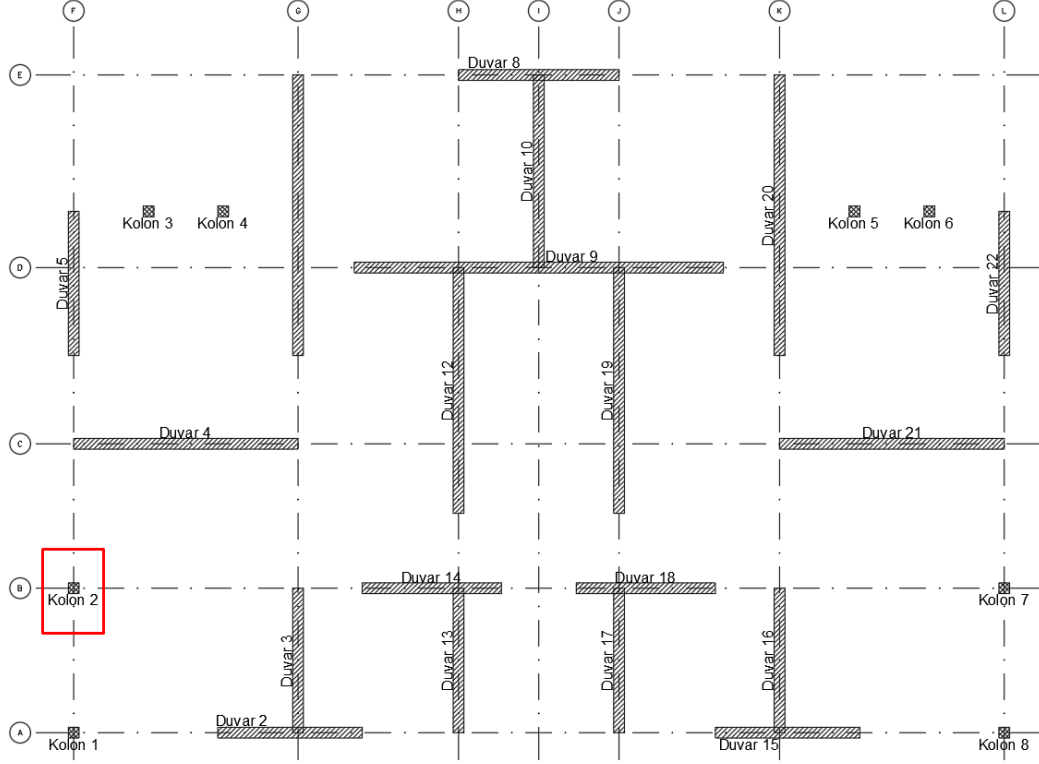


Şekil 29. Döşeme perspektif görünüşü

Ana kirişler, mesnetlendikleri kolon ve perdeler arasında basit mesnetli bir eleman kabulü ile boyutlandırılabilir. Şekil 29’da gösterildiği gibi döşeme kirişlerinin mesnet yükleri, tekil yük olarak ana kirişe etkililerek maksimum iç kuvvetler bulunur. Boyutlandırmaya yönelik kontroller tıpkı 7. bölümdeki gibi yapılarak ana kirişlerin yeterlilikleri kontrol edilir.

9. KOLONLARIN BOYUTLANDIRILMASI

Yapıya etkiyen tüm yatay yükler perdeler tarafından karşılandığı için kolonlar sadece eksenel yük etkisinde boyutlandırılacaktır. Kolonlar GL24-h 200x200 olarak seçilmiştir.



Şekil 30. Hesabı verilen kolonun plandaki konumu

$$N=65.240 \text{ kN}$$

$$C_P f_{c,0,d} = C_P \frac{f_{c,0,k} C_N C_Y C_B}{\Omega} \geq \sigma_{c,0,d} = \frac{P_{d0}}{A_g}$$

$$C_P = \frac{1 + \left(\frac{f_E}{f_{c,0,k}} \right)}{2c} - \sqrt{\left[\frac{1 + \left(\frac{f_E}{f_{c,0,k}} \right)}{2c} \right]^2 - \frac{\left(\frac{f_E}{f_{c,0,k}} \right)}{c}}$$

$f_{c,0,k}$ Ahşabın liflerine paralel doğrultuda hesaplanan karakteristik basınç dayanımı, (MPa)

C_P Burkulma katsayısı.

$\sigma_{c,0,d}$ Yük katsayıları kullanılarak liflere paralel doğrultuda hesaplanan maksimum basınç gerilmesi, (MPa)

f_E Elastik burkulma gerilmesi, (MPa) ($f_E = \frac{\pi^2 E_{0,g,05}}{\lambda^2}$)

$E_{0,g,05}$	Elastisite modülü, (MPa)
L_e	Elemanın etkin boyu, (mm)
i	Atalet yarıçapı, (mm)
λ	Narinlik oranı ($\lambda = \frac{L_e}{i}$)
c	Masif ahşap elemanlarda 0.8, tutkallı ahşap elemanlarda 0.9
C_B	Boyut etkisi
A_g	Dikme kayıpsız kesit alanı
I_{dkm}	Dikme atalet momenti
C_Y	Yük etki süresi düzeltme katsayısı (Kalıcı etki)
Ω	Malzeme özelliği kısmi faktörü

Tablo 21. Kolon hesap değerleri

A_g [mm ²]	I_{dkm} [mm ⁴]	h_{dkm} [m]	i [mm]	λ	C_N	C_Y	Ω	P_{d0} [kN]	C_B
40000	1.33E8	2.80	57.73	70.67	1	0.8	1.25	20.74	1

$$\lambda = \frac{2800}{57.73} = 48.50$$

$$f_E = \pi^2 \times 9600 / 48.50^2 = 40.28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} C_N C_Y C_B}{\Omega} = \frac{24 \times 1 \times 0.8 \times 1}{1.25} = 15.36 \text{ MPa}$$

$$C_P = \frac{1 + (40.28/24)}{2 \times 0.9} - \sqrt{\left[\frac{1 + (40.28/24)}{2 \times 0.9} \right]^2 - \frac{(40.28/24)}{0.9}} = 0.897$$

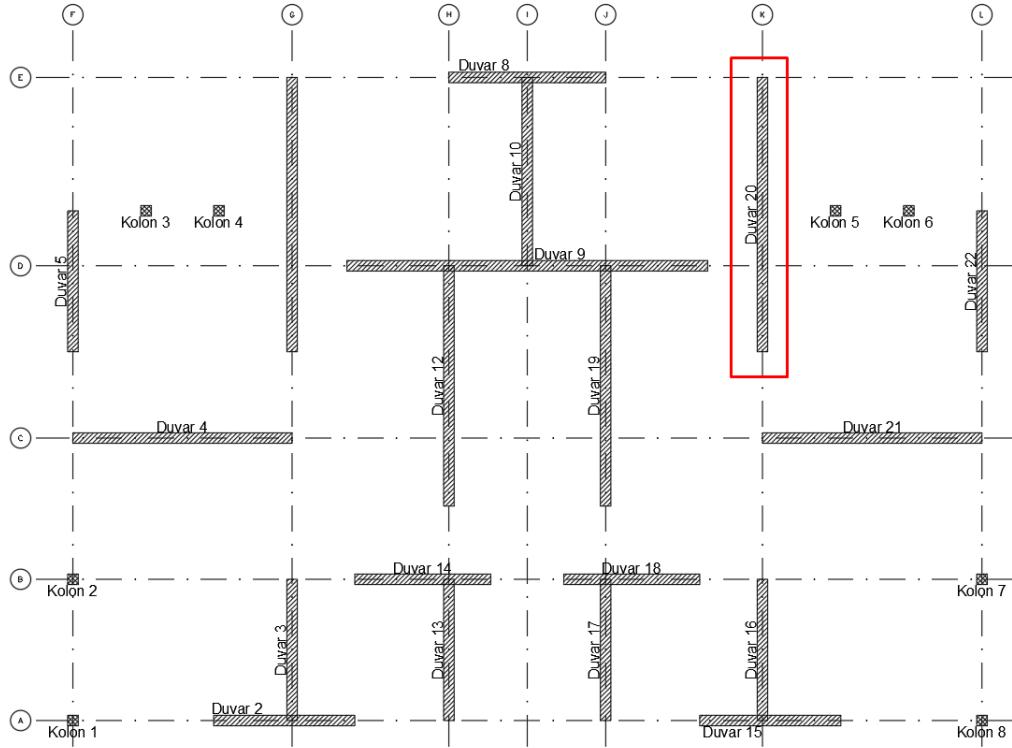
$$C_P f_{c,0,d} = 0.897 \times 15.36 = 13.77 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = P_{d0} / A_g = 65240 / 40000 = 1.631 \text{ Mpa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{C_P f_{c,0,d}} = \frac{1.631}{13.770} = 0.118 \leq 1$$

✓

10. PERDE DUVAR HESAPLARI



Şekil 31. Hesapları verilen 20 numaralı duvarın plandaki konumu

10.1 Duvar Dikmelerinin Stabilitesi

Basınca maruz kalan dikmelerin liflere paralel basınç gerilmesinin kontrolü Madde 4.3.1'e göre yapılacaktır. Duvar dikmelerine etkiyen maksimum eksenel yükün bulunmasında; TBDY-2018 Madde 12.3.3'e göre R taşıyıcı sistem davranış katsayısı ile azaltılmış deprem yüklerinden elde edilen iç kuvvetlerin D dayanım fazlalığı katsayısı ile büyütülmüş değerleri de dikkate alınmalıdır.

Bu örnekteki perde duvar stabilite hesapları, depremlili durum (anlık etki) altında sadece perde kenar dikmelerinde yapılmıştır. Kenar dikmelerinin düşey yükler altında da yeterli dayanıma sahip olduğu hesaplarla gösterilmelidir. Ayrıca benzer kontrollerin ara dikmelerde de yapılması gerekmektedir. Kenar dikme kesiti GL24-h 200x200 olarak seçilmiştir.

N=181.58 kN (Depremlili durum, anlık etki)

$$C_P f_{c,0,d} = C_P \frac{f_{c,0,k} C_N C_Y C_B}{\Omega} \geq \sigma_{c,0,d} = \frac{P_{d0}}{A_g}$$

$$C_P = \frac{1 + \left(\frac{f_E}{f_{c,0,k}}\right)}{2c} - \sqrt{\left[\frac{1 + \left(\frac{f_E}{f_{c,0,k}}\right)}{2c}\right]^2 - \frac{\left(\frac{f_E}{f_{c,0,k}}\right)}{c}}$$

$f_{c,0,k}$ Ahşabın liflerine paralel doğrultuda hesaplanan karakteristik basınç dayanımı, (MPa)

C_P Burkulma katsayısı.

$\sigma_{c,0,d}$ Yük katsayıları kullanılarak liflere paralel doğrultuda hesaplanan maksimum basınç gerilmesi, (MPa)

f_E Elastik burkulma gerilmesi, (MPa) ($f_E = \frac{\pi^2 E_{0,g,05}}{\lambda^2}$)

$E_{0,g,05}$ Elastisite modülü, (MPa)

L_e Elemanın etkin boyu, (mm)

i Atalet yarıçapı, (mm)

λ Narinlik oranı ($\lambda = \frac{L_e}{i}$)

c Masif ahşap elemanlarda 0.8, tutkallı ahşap elemanlarda 0.9

C_B Boyut etkisi

A_g Dikme kayıpsız kesit alanı

I_{dkm} Dikme atalet momenti

C_Y Yük etki süresi düzeltme katsayısı (Kalıcı etki)

Ω Malzeme özelliği kısmi faktörü

Tablo 22. Duvar kenar dikmeleri hesap değerleri

A_g [mm ²]	I_{dkm} [mm ⁴]	h_{dkm} [m]	i [mm]	λ	C_N	C_Y	Ω	P_{d0} [kN]	C_B
40000	1.33E8	2.80	57.73	70.67	1	1.1	1.25	20.74	1

$$\lambda = \frac{2800}{57.73} = 48.50$$

$$f_E = \pi^2 \times 9600 / 48.50^2 = 40.28 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} C_N C_Y C_B}{\Omega} = \frac{24 \times 1 \times 1.1 \times 1}{1.25} = 21.12 \text{ MPa}$$

$$C_P = \frac{1+(40.28/24)}{2 \times 0.9} - \sqrt{\left[\frac{1+(40.28/24)}{2 \times 0.9} \right]^2 - \frac{(40.28/24)}{0.9}} = 0.897$$

$$C_P f_{c,0,d} = 0.897 \times 21.12 = 18.94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = P_{d0} / A_g = 181580 / 40000 = 4.540 \text{ Mpa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{C_P f_{c,0,d}} = \frac{4.540}{18.94} = 0.240 \leq 1$$

✓

10.2 Liflere Dik Basınç Gerilmesinin Kontrolü

Duvar dikmeleri, liflere dik basınç kuvvetine maruz kalan alt başlık tarafından desteklenmektedir. Liflere dik basınç kuvvetleri altında sağlanması gereken koşul aşağıda verilmiştir.

$$C_{P90} f_{c,90,d} = C_{P90} \frac{f_{c,90,k} C_N C_Y C_B}{\Omega} \geq \sigma_{c,90,d} = \frac{P_{d90}}{A_e} \quad (10.1)$$

$f_{c,90,k}$ Ahşabın liflerine dik doğrultuda hesaplanan karakteristik basınç dayanımı, (MPa)

$\sigma_{c,90,d}$ Yük katsayıları kullanılarak liflere dik doğrultuda hesaplanan maksimum basınç gerilmesi, (MPa)

A_e Etkili enkesit alanı, mm². Liflere dik doğrultuda etkiyen yükün etkili enkesit alanı, yükün etki uzunluğunun (l) her iki yönde $l'=30$ mm artırılması ile bulunacaktır. l' değeri a , l ve $l/2$ 'den büyük olmayacaktır.

C_{P90} Liflere dik doğrultuda etkiyen yükün etki katsayısı. Aşağıda verilen kuralların uygulanmaması durumunda bu değer 1.0 olarak alınabilir.

- Sürekli mesnetler üzerinde olup $l_1/h \geq 2.0$ koşulunu sağlayan masif ahşap elemanlarda $C_{P90}=1.25$, tutkallı lamine ahşap elemanlarda ise $C_{P90}=1.5$ alınmalıdır.
- Ayırık mesnetlere oturan ve $l_1/h=2.0$ koşulunu sağlayan masif ahşap elemanlarda $C_{P90}=1.5$ tutkallı lamine ahşap elemanlarda ise $l \leq 400$ mm olması durumunda $C_{P90}=1.75$ alınmalıdır (Bkz. Bölüm 4.3.2).

Hesabı yapılan dikme, ara dikme olduğu için etkili temas alanı her iki yönde 30 mm arttırılarak hesaplanmıştır. Ara dikme kesiti GL24-h 100x200 olarak seçilmiştir.

$$A_e = 200 \times (100 + 2 \times 30) = 32000 \text{ mm}^2$$

$l_1 = 510 - 30 = 480$ mm. 510mm ara dikmeler arası temiz mesafeyi, 30 mm ise tek yöndeki arttırımı temsil etmektedir.

$l_1/h = 480 / 100 = 4.80 \geq 2.00$ olduğu için $C_{P90}=1.50$ olarak alınacaktır.

$$C_B = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \right. = \min \left\{ \left(\frac{600}{200} \right)^{0.1} = 1.116 \right.$$

Dikme enkesitinin en büyük boyutu 200 mm olduğu için güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla C_B değeri 1.00 olarak alınmıştır.

Tablo 23. Liflere dik basınç gerilmesinin kontrolü

Duvar ismi	Dikme	A_e [mm ²]	C_{P90}	C_N	C_Y	Ω	$f_{c,90,k}$ [MPa]	$P_{d,90}$ [kN]	$\sigma_{c,90,d}$ [MPa]	Kontrol
Duvar 28	Ara	32000.00	1.50	1	0.8	1.25	2.50	50.28	1.571	65.4 %

$N=50.28$ kN (Düşey yükler altında kontrol, orta süreli etki)

$$f_{c,90,d} = C_{P90} \frac{f_{c,90,k} C_N C_Y C_B}{\Omega} = 1.50 \times \frac{2.50 \times 1 \times 0.8 \times 1}{1.25} = 2.400 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,90,d} = P_{d,90} / A_e = 50280 / 32000 = 1.571 \text{ Mpa}$$

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{f_{c,90,d}} = \frac{1.571}{2.400} = 0.654 \leq 1$$

10.3 Perde Duvar Kesme Kontrolü

Duvar kesme kontrolü Yöntem I ile hesaplanacaktır. N adet kaplama panelinden oluşan bir perde duvarın tasarım yatay yük taşıma kapasitesi ($F_{v,Rd}$) aşağıdaki formülden hesaplanmalıdır:

$$F_{v,Rd} = \sum_i F_{i,v,Rd}$$

$F_{i,v,Rd}$ = Her bir kaplama panelinin tasarım yatay yük taşıma kapasitesidir.

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} \cdot b_i \cdot c_i}{s}$$

$$c_i = 1, \quad b_i \geq b_0$$

$$c_i = \frac{b_i}{b_0}, \quad b_i \leq b_0$$

$$b_0 = \frac{h}{2}$$

$F_{i,v,Rd}$ Her bir kaplama panelinin tasarım yatay yük taşıma kapasitesi, (kN)

$F_{f,Rd}$ Tek bir bağlantı elemanının yatay yük taşıma kapasitesi, (kN)

b_i Perde duvar paneli genişliği, (m)

s Bağlantı elemanı aralığı, (m)

h Perde duvar yüksekliği, (m)

Her bir bağlantı elemanının dayanımı, panel-ağşap bağlantıları (Tek etkili) için Johansen teorisine göre hesaplanacaktır.

Çiviler, zimbalar, cıvatalar, dübeller ve vidalar için bağlantı elemanı başına kesme düzlemi başına karakteristik yük taşıma kapasitesi, tablodan elde edilen değerlerin en küçüğü olarak alınmalıdır.

Bağlantı elemanı çapı d : 3.10 mm

Çivi başı çapı d_h : 4.60 mm

Panel kalınlığı t_p : 20 mm

Karakteristik ağşap yoğunluğu ρ_{ka} :380 kg/m³

Karakteristik kaplama paneli yoğunluğu ρ_{kp} :550 kg/m³

Bağlantı elemanı min. çekme dayanımı f_u :600 MPa

β elemanların karakteristik gömme dayanımı arasındaki oran

Penetrasyon uzunluğu t_{pen} : 60mm $\geq 8 \times d = 24.8\text{mm}$ ✓

Koşul sağlandığı için penetrasyon faktörü 1 olarak alınacak, herhangi bir azaltma yapılmayacaktır.

Bağlantı elemanlarının karakteristik gömme dayanımı Tablo 4.18'e göre yapılmıştır.

Panel için $f_{h,1,k} = 65 \times d^{-0.7} \times t^{0.1}$:39.72 MPa

Ağşap için $f_{h,2,k} = 0.082 \times \rho_{ka} \times d^{-0.3}$:22.19 MPa

β : 22.19/ 39.72=0.559

Panel için karakteristik geri çekme dayanımı $20 \times (\rho_{kp})^2 \times 10^{-6}$:6.05 MPa

Ağşap için karakteristik geri çekme dayanımı $1 \times 20 \times (\rho_{ka})^2 \times 10^{-6}$:2.88 MPa

Panel için karakteristik içinden çıkma dayanımı $70 \times (\rho_{kp})^2 \times 10^{-6}$:21.18 MPa

Karakteristik geri çekme kapasitesi $F_{ax,Rx} \min(2.88 \times 3.1 \times 60; 21.18 \times 4.6^2)$: 448.17 N

Karakteristik çivi akma momenti $M_{y,Rk} = 0.3 \times f_u \times d^{2.6}$:3410.46 Nmm

$$F_{v,Rk,a} = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d$$

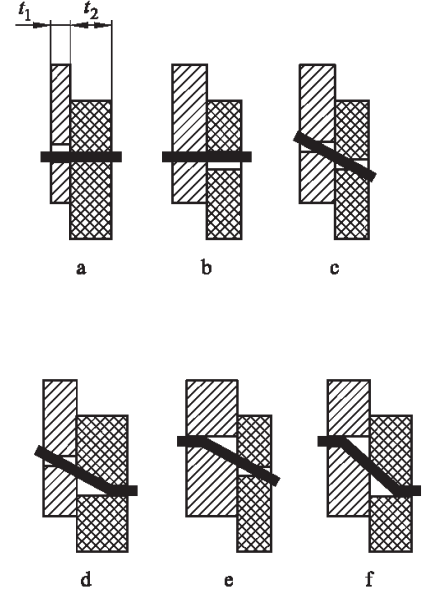
$$F_{v,Rk,b} = f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d$$

$$F_{v,Rk,c} = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \cdot \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right]} + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$F_{v,Rk,d} = 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$F_{v,Rk,e} = 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2\beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$F_{v,Rk,f} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$



Şekil 32. Göçme mekanizmaları

Karakteristik çivi kesme dayanımı $F_{v,Rk}$ (Göçme modu f)

:1.005 N

$$F_{v,Rk} = 1.005 \text{ kN}$$

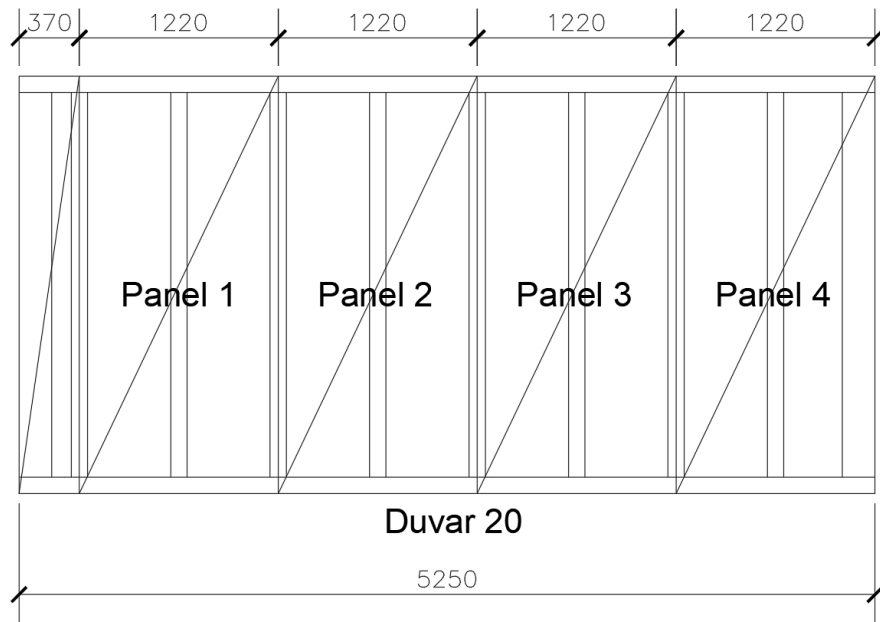
$$b_i = 1220 \text{ mm}$$

TABY Madde 4.9.4 v. uyarınca ahşap esaslı bir panelin genişliği minimum $h/4$ olmalıdır.

$$b_i = 1220 \text{ mm} \geq 2800 / 4 = 700.00 \text{ mm}$$

✓

$$s = 100 \text{ mm}$$



Şekil 33. 20 numaralı duvar kesiti

$$b_0 = 2800/2 = 1400 \text{ mm} \geq b_i$$

$$c_i = b_i / b_0 = 1220 / 1400 = 0.871$$

$$F_{i,v,Rd} = \frac{0.871 \times 1220 \times 1.00}{100} = 10.63 \text{ kN}$$

Tek bir panelin kenarları boyunca bağlantı elemanlarının tasarım yatay yük taşıma kapasitesi, hesaplanan değerler üzerinden 1.20 kat arttırılabilir. Hesabı yapılan 20 numaralı duvarda 4 adet tam (1220 mm) ve 1 adet yarım (370 mm) panel bulunmaktadır (bkz. Şekil 21). Perde duvarın her iki tarafı da OSB kaplıdır. Bu durumda duvarın toplam yatay yük taşıma kapasitesi $1.2 \times 10.63 \times 4 \times 2 = 102.04 \text{ kN}$ olacaktır (370 mm'lik panelin yatay yük taşıma kapasitesi ihmal edilmiştir).

Bir bağlantıda iki farklı zamana bağımlı özellikte ahşap malzemenin kullanılması durumunda C_N ve C_Y değerleri aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$C_N = \sqrt{C_{N,1} C_{N,2}}$$

Yapısal analiz sonucu depremlili durumu içeren kombinasyonlardan ($1.0 G_k + 1.0 Q_k + 0.4 S_k + 1.0 E_y + 0.3 E_x$) okunan en büyük kesme değeri 62.19 kN'dur.

Anlık etki altında C_Y katsayısı 1.1 olarak alınmıştır.

Bu durumda duvar tarafından güvenle karşılanabilecek kesme kuvveti değeri;

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{i,v,Rd} \times C_N \times C_Y}{\Omega} = 102.04 \times 1.1 \times 1.0 / 1.3 = 86.34 \text{ kN} \geq 62.19 \text{ kN}$$

✓

10.4 Kaplama Paneli Kesme Ve Burkulma Kontrolü

Kaplama paneli yatay yük taşıma kapasitesi aşağıdaki formül ile hesaplanacaktır.

$$F_{i,j,v,Rd} = f_{j,v,d} \cdot b_i \cdot t_{i,j}$$

$F_{i,j,v,Rd}$ Tek bir panelin toplam kesme dayanımı. Burada birinci alt simge aidiyet ikinci alt simge dış veya iç tarafı göstermektedir.

$f_{j,v,d}$ Tek bir panelin kesme dayanımı

b_i Panel genişliği

$t_{i,j}$ Panel kalınlığı

$$F_{i,j,v,Rd} = 6.8 \times 1220 \times 20 / 1000 = 165.92 \text{ kN}$$

Hesabı yapılan 20 numaralı duvarda 4 adet panel hesaba katıldığı (bkz. Şekil 21) ve duvarın çift yüzünde de panel bulunduğu için toplam kaplama paneli yatay yük taşıma kapasitesi $2 \times 4 \times 165.92 \text{ kN} = 1327.36 \text{ kN}$ olarak bulunur.

Anlık etki altında C_Y katsayısı 1.1 olarak alınmıştır. OSB için $\Omega=1.2$

Arttırılmış deprem etkileri göz önüne alınarak yapılan hesaplamalar sonucu duvarda oluşan maksimum kesme kuvveti;

$$V_{maks} = 62.19 \text{ kN}$$

Bu durumda tüm duvar panelleri tarafından güvenle karşılanabilecek kesme kuvveti değeri;

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{i,j,v,Rd} \times C_N \times C_Y}{\Omega} = 1327.36 \times 1.1 \times 1.0 / 1.2 = 1216.74 \text{ kN} \geq 62.19 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Kaplama panelinin burkulma kontrolü

Bölüm 4.9.2'ye göre aşağıda verilen koşulun sağlanması durumunda panellerin kayma burkulması ihmal edilebilir.

$$\frac{b_{net}}{t} \leq 100$$

b_{net} dikmeler arası net mesafe

t_p kaplama paneli kalınlığı

$$b_{net} = 610 - 100 = 510 \text{ mm}$$

$$t_p = 20 \text{ mm}$$

$$\frac{b_{net}}{t} = 25.50 \leq 100 \quad \checkmark$$

10.5 Çekme Ankrajı Hesabı

Çekme ankrajlarının tasarım dayanımı R_d , aşağıdaki göçme modlarına ilişkin değerler arasından minimumu olarak belirlenir:

- Bağlantı çivisinin göçme modu,
- Çekme ankrajı çelik eleman göçme modu,
- Betonarme ankrajların göçme modu.

Arttırılmış deprem etkileri göz önüne alınarak yapılan hesaplamalar sonucu duvarda oluşan maksimum çekme kuvveti;

$$T_{maks} = 42.86 \text{ kN}$$

10.5.1 Bağlantı Vidalarının Dayanımı

Vidaların yük taşıma kapasitesinin tasarım değeri aşağıdaki denklem ile hesaplanacaktır.

$$F_{v,Rd} = \frac{C_N C_Y}{\Omega} F_{v,ef,Rk}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{1 \times 1.1 \times 70.70}{1.3} = 59.82 \text{ kN} \geq T_{maks} = 42.86 \text{ kN}$$

10.5.2 Çekme Ankrajı Çelik Elemanı Dayanımı

Ankrajın çelik elemanına ait çekme tasarım dayanımı aşağıdaki denklem ile hesaplanacaktır.

$R_{s,k}$ değeri Tablo 4'den alınacaktır.

$$R_{s,d} = \frac{R_{s,k}}{\Omega_{M2}}$$

$R_{s,k}$ Çelik elemanın karakteristik dayanım değeri

Ω_{M2} Kesitlerin çekme kırılmasına karşı direnci için kısmi faktör

$$R_{s,d} = \frac{158.6}{1.1} = 144.18 \text{ kN} \geq T_{maks} = 42.86 \text{ kN}$$

10.5.3 Betonarme Ankrajların Çekme Dayanımı

Ankrajının çelik elemanına ait çekme tasarım dayanımı aşağıdaki denklem ile hesaplanacaktır.

$R_{p,k}$ değeri Tablo 4'den alınacaktır.

$$R_{p,d} = \frac{R_{p,k}}{\gamma}$$

$R_{p,k}$ Beton ankrajlarının karakteristik dayanım değeri

γ Güvenlik faktörü

$$R_{p,d} = \frac{151.35}{1.5} = 100 \text{ kN} \geq T_{maks} = 42.86 \text{ kN}$$

10.6 Kesme Ankraжі Hesabı

Kesme ankrajlarının tasarım dayanımı R_d , aşağıdaki göçme modlarına ilişkin değerler arasından minimumu olarak belirlenir:

- Kesme ankrajının ya da bağlantı elemanları grubunun kesme göçmesi,
- Kesme ankrajını betona bağlayan ankrajların kesme göçmesi.

Tek bir kesme ankraжі üzerine etki eden kesme kuvveti, toplam kesme kuvveti V_{maks} 'ın duvarda bulunan bağlantı elemanı sayısına bölünmesiyle hesaplanır (Duvarın her iki yanında bağlantı elemanının olması durumu dikkate alınmalıdır). Bu örnekte ankrajlar duvarın tek tarafına yerleştirilmiştir.

Arttırılmış deprem etkileri göz önüne alınarak yapılan hesaplamalar sonucu duvarda oluşan maksimum kesme kuvveti;

$$V_{maks} = 124.38 \text{ kN}$$

$$V_a = \frac{V_{maks}}{n_{anc}}$$

V_{maks} . Duvara etkiyen kesme kuvveti.

n_{anc} Kesme ankraжі sayısı.

$$V_a = \frac{124.38}{10} = 12.44 \text{ kN}$$

10.6.1 Kesme Ankraжі Yük Taşıma Kapasitesi

Kesme ankrajının yük taşıma kapasitesinin tasarım değeri aşağıdaki denklem ile hesaplanacaktır.

$$F_{v,Rd} = \frac{C_N C_Y}{\Omega} F_{v,ef,Rk}$$

$F_{v,ef,Rk}$ değeri Tablo 5'den alınacaktır.

$$F_{v,Rd} = \frac{1 \times 1.1 \times 17.20}{1.3} = 14.55 \text{ kN} \geq V_a = 12.44 \text{ kN}$$

10.6.2 Beton Ankrajların Kesme Dayanımı

Beton ankrajların kesme tasarım dayanımı aşağıdaki denklem ile hesaplanacaktır. $R_{p,k}$ değeri Tablo 5'den alınacaktır.

$$R_{p,d} = \frac{R_{p,k}}{\gamma}$$

$R_{p,k}$ Beton ankrajlarının karakteristik kesme dayanımı

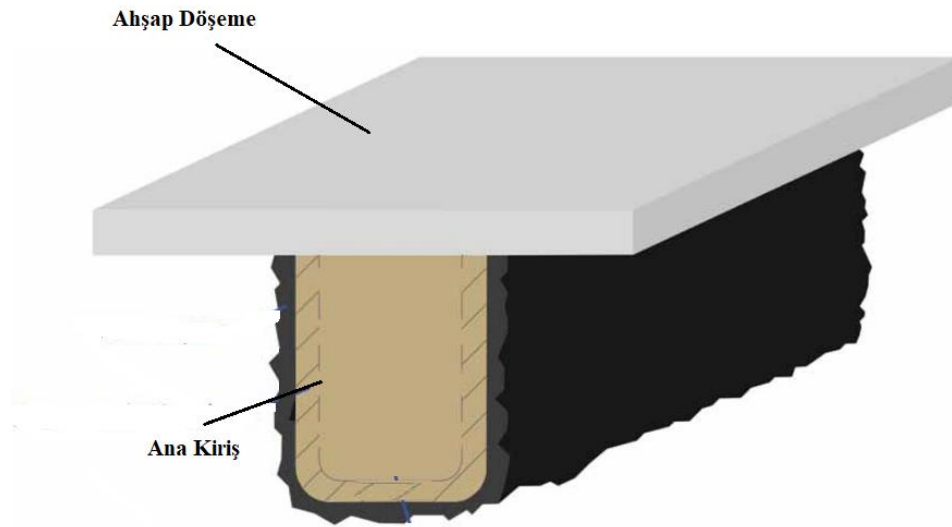
γ Güvenlik faktörü

$$R_{p,d} = \frac{44.3}{1.5} = 29.53 \text{ kN} \geq V_a = 12.44 \text{ kN}$$

11. YANGINA KARŞI TASARIM

Örnek hesap tek bir kiriş için verilmiş olup, tüm elemanların yangın esnasında yeterli dayanımda oldukları hesaplarla gösterilmelidir. Kirişin 30 dk'lık yangına maruz kaldığı durumdaki güvenliği irdelenmiştir. Yangın korumasının olmadığı ve kirişin üç kenarından yangına maruz kaldığı kabul edilmiştir. $C_N=1.0$ ve $C_Y=1.0$ alınmıştır.

Kiriş kesiti 120x240 GL24-h olup kirişe etkiyen en büyük moment değeri 9.26 kNm'dir.



Şekil 34. Üç kenarından yangına maruz kalmış kiriş kesiti

Tablo 24. Yangına karşı tasarım sonuç tablosu

Yangına maruz kalma süresi	$t = 30 \text{ dk}$
Kavramsal kömürleşme hızı (Tablo 6.3)	$n=0.7 \text{ mm/dk}$
k_0 (Tablo 6.5)	$k_0 = 1.0$
Kavramsal kömürleşme derinliği (Denklemler 6.7)	$d_{k,n} = \beta_n t = 0.7 * 30 = 21 \text{ mm}$
Etkili kömürleşme derinliği	$d_{ef} = d_{k,n} + k_0 d_0 = 21 + 1.0 * 7 = 28 \text{ mm}$
Yangına maruz kalan artık kesitin çevresi (Şekil 6.3 (Kirişin 3 kenarı yangına maruz kalmaktadır))	$p = b + 2h = (0.12 - 0.021) + 2 * (0.24 - 0.021) = 0.537 \text{ m}$
Yangına maruz kalan artık kesitin alanı (Şekil 6.3)	$A_T = (0.12 - 0.021) * (0.24 - 0.021) = 0.02168 \text{ m}^2$

Yangın için düzeltme katsayısı (t=30 dk olduğu için)	$C_{YN} = 1 - \frac{1}{200} \frac{p}{A_T} = 1 - \frac{1}{200} \frac{0.537}{0.02168} = 0.876$
Tablo 6.2'den (lamine ahşap için)	$C_{Y20} = 1.15$
Etkili kesit genişliği (Şekil 6.3)	$b_{ef} = 120 - 2 * 28 = 64 \text{ mm}$
Etkili kesit yüksekliği (Şekil 6.3)	$h_{ef} = 240 - 28 = 212 \text{ mm}$
Kesitin mukavemet momenti, W_x	$W_x = \frac{64 * 212^2}{6} = 479402.67 \text{ mm}^3$
Liflere paralel tasarım eğilme dayanımı (Denklem 6.1)	$f_{m,x,d} = \frac{f_{m,k} C_{YN} C_{Y20}}{\gamma_{M,fi}} = \frac{24 * 0.876 * 1.15}{1.0} = 24.18 \text{ MPa}$
Elemanda verilen yük altında oluşan gerilme	$\sigma_{m,x,d} = \frac{9.26 * 10^6}{479402.64} = 19.32 \text{ MPa}$
KONTROL (Denklem 4.2)	$f_{m,x,d} = 24.18 \text{ MPa} > \sigma_{m,x,d} = 19.32 \text{ MPa}$ <i>olduğundan kesit güvenlidir</i>