

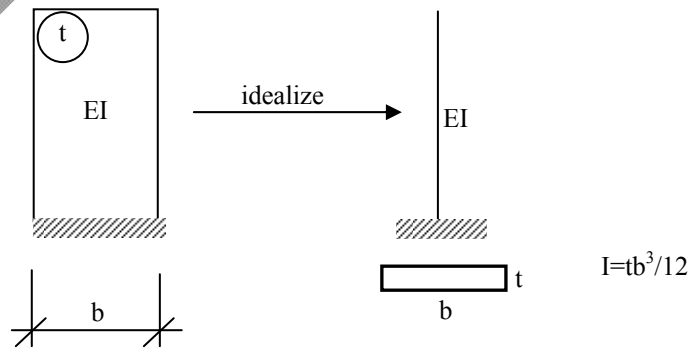
1. Perdeli Sistemler: Statik ve Betonarme Kesit Hesapları

Kat sayısı arttıkça yatay yer değiştirmelerin de buna bağlı olarak artması, yüksek yapılarda gerekli yatay rijitliği sağlayacak eleman kullanımını gerektirir. Bu bağlamda perdeler, çerçeve sistemlerin yatay yüklere karşı rijitliklerini gerekli değerlere çekebilmek açısından, yapı tasarımında oldukça sık kullanılan eleman olma özelliğini taşımaktadırlar.

Çok katlı yapı tasarımının temel elemanlarından olan perdeler, gerek mimari gerekse statik açıdan tercih edilmektedir. Bilindiği gibi depreme dayanıklı yapı tasarımında taşıyıcı sistemin göçmeyecek şekilde ayakta kalması temel koşuldur. Bu da, sistemde önemli ölçüde enerji yutulması gerekliliğini beraber getirir. Betonarme perde ve çelik çerçevelerden oluşan sistemler, uygun biçimde tasarlandıklarında, diğer sistemlere oranla çok daha fazla enerji yutabilirler; bir başka deyimle yeterince sünek davranabilirler. Son zamanlarda yapılan teorik ve deneysel çalışmalar, bunun için **kuvvetli kolon-zayıf kiriş** prensibinin sağlanmasının çoğunlukla yeterli olduğunu göstermektedir.

1.1 Konsol Perdeler

Yüksek bir yapıda bulunan bir perde eğer düşeyde herhangi bir boşluk içermiyorsa (boşluk oranı: $\sqrt{\frac{F_{\text{boş}}}{F}} \leq 0.40$) konsol kiriş davranışı gösterdiği kabul edilebilir. Konsol perdeler katlar hizasında döşemelere bağlandıkları için yanıl burkulma problemine maruz kalmayacaklardır. Bu durumda elemanların sadece eğilme ve kesme güvenliği sağlanacak şekilde boyutlandırılmaları yeterli olacaktır. Boyutlandırmada esas alınacak kuvvetlerin hesabında, sistemin eksenlerden idealize edilerek bir konsol kiriş gibi gözönüne alınması yeterlidir (Şekil 1.1).



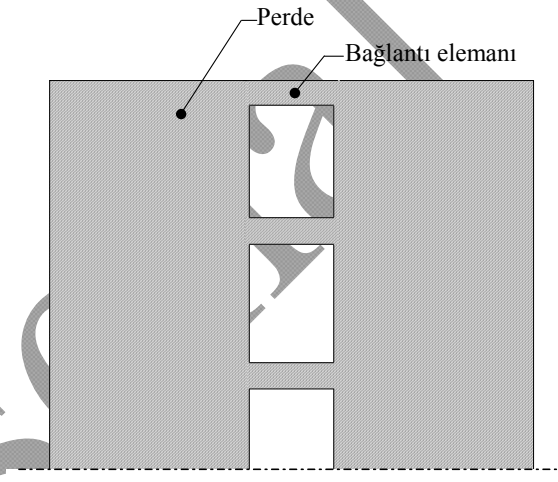
Şekil 1.1 Konsol Perdeler

1.2 Boşluklu Perdeler

Perdeli sistemlerde, kapı, pencere boşlukları bırakılması nedeniyle perde elemanlarda düşeyde bir süreksizlik meydana gelecektir. Perdeli sistemlerin özel bir hali olarak düşünülebilecek bu tür sistemlere boşluklu perdeler denilmektedir.

Bu durumda boşluklu perdeleri; iki perde duvarın, bağ elemanı diye adlandırılabilen kısa kirişlerle birbirlerine bağlandığı perde sistemler olarak tanımlamak mümkündür (Şekil 1.2). Bu bağ elemanları; kimi kez döşeme plağının bu kısmı, kimi kez çubuk davranışında kirişler, kimi kez de çubuk davranışına uymayan perde parçalarıdır (levha).

Genelde söz konusu bağ elemanlarının boyutları, gerek mimari zorunluluklar gerekse çözüm kolaylığı açısından tüm katlarda sabit olacak şekilde düzenlenir. Ancak bu durumda boşluklu perdelerin bağ elemanları bazı bölgelerde (perdeye saptığı kesimler) yetersiz kalabilir. Yeterli olup olmayacağına karar vermek bakımından, bağ elemanlarının plastik davranışlarının da bilinmesi gerekir.

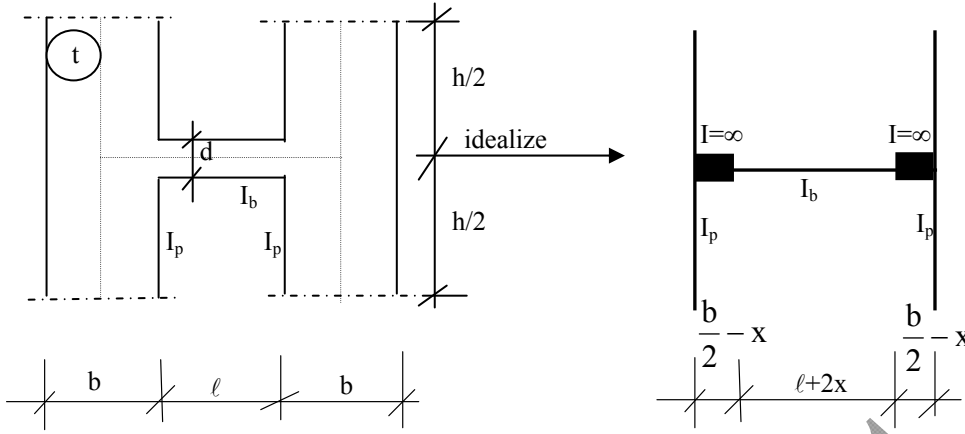


Şekil 1.2 Boşluklu Perde

Statik hesaplarda kolaylık olması açısından eşdeğer çerçeve yöntemi önerilmektedir. Boşluklu perdelerin eşdeğer çerçeve olarak hesabı için ise literatürde kabul görmüş iki yaklaşım önerilebilir:

I.Yaklaşım (S.Pala ve G.Özmen,1995)

Yaklaşımında, perde içerisinde kalan bağ elemanlarının belirli bir kısmı sonsuz rijit alınması ile elde edilen bir statik sistem önerilmiştir (Şekil 1.3).

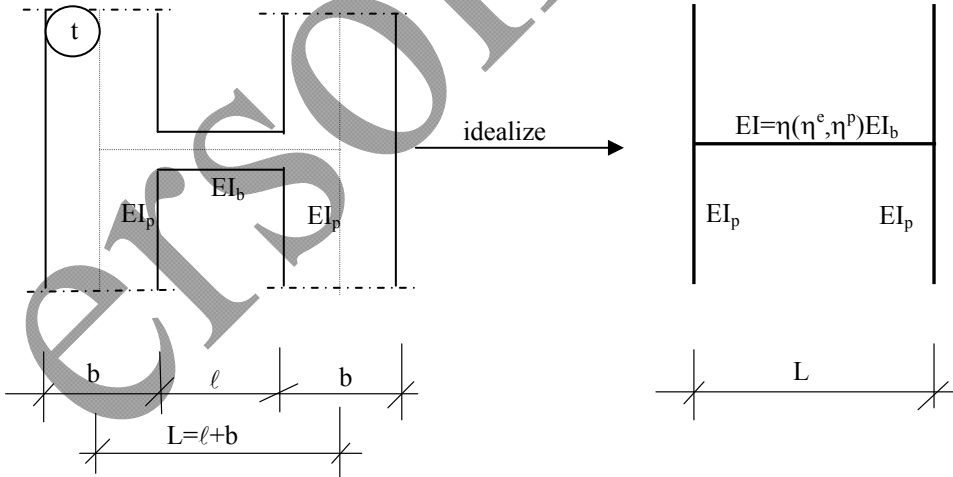


Şekil 1.3 Eşdeğer çerçeve (I.yaklaşım)

$$\frac{x}{d} = (2.3 - 0.22\gamma)e^{-0.78\alpha}; \quad \alpha = \frac{b}{h}, \quad \gamma = \frac{h}{d} \quad (1.1)$$

II.Yaklaşım (Z.Polat ve B.Doran, 1996)

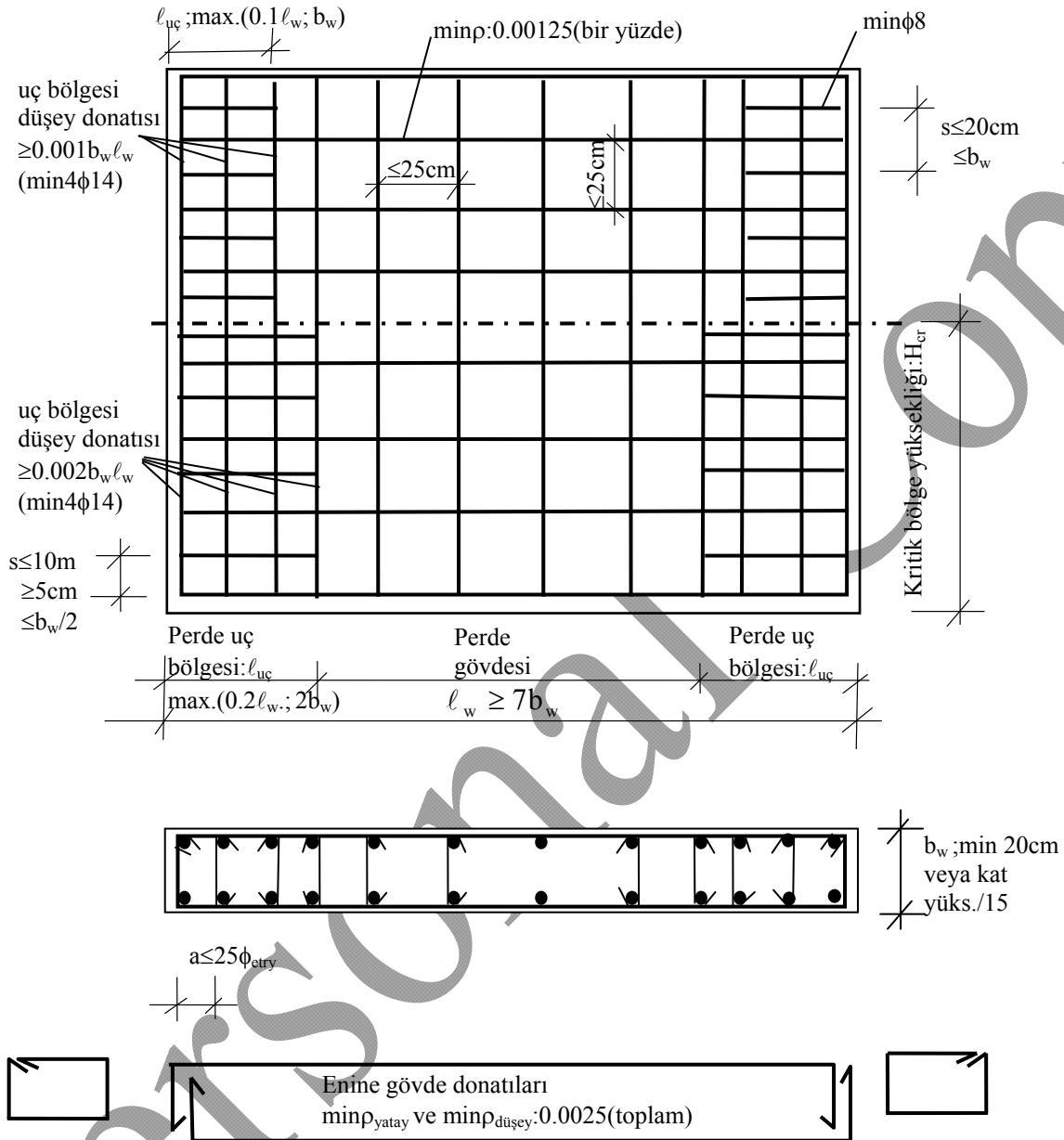
Yaklaşımında, bağ elemanının **eşdeğer rijitliği** tüm geometrik ve mekanik parametrelerin bir fonksiyonu olarak, elastik çözümler için $\eta^e = \eta^e(d, b, h, \ell, L, t, E, G, \mu)$, elastik ötesi çözümler için ise $\eta^p = \eta^p(d, b, h, \ell, L, t, E, G, \mu, \sigma_c, f_c)$ şeklinde istatistik yaklaşımla tesbit edilecek çarpan olmak üzere, L açıklıklı, sabit kesitli fiktif çubuğun rijitliğinin (η) katı olarak tanımlanmıştır (Şekil 1.4):



Şekil 1.4 Eşdeğer çerçeve (II.yaklaşım)

$$\eta^e = 1.9 \left(\frac{h}{\ell}\right)^{0.03} \left(\frac{b}{\ell}\right)^{1.70} \left(\frac{d}{\ell}\right)^{-0.60}; \quad \eta^p = 1.5 \left(\frac{h}{\ell}\right)^{0.03} \left(\frac{b}{\ell}\right)^{1.70} \left(\frac{d}{\ell}\right)^{-0.51} \left(\frac{\sigma_c}{f_c}\right)^{-0.35} \quad (1.2)$$

1.3 Betonarme Kesit Hesapları



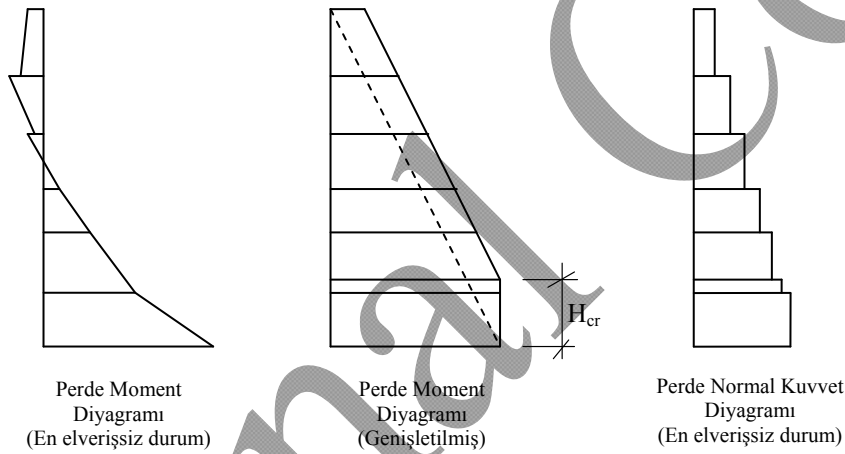
Şekil 1.5 Donatı Düzeni

Betonarme perdeler uzun kenarın kalınlığa oranı en az 7 olan düşey taşıyıcı elemanlardır. Bu tür elemanlarda eğilme etkisinde uç bölgelerde meydana gelecek zorlanmaları dikkate alabilmek için uç bölgeleri oluşturulur ve bu bölgeler kolon kesitine benzer şekilde boyutlandırılır. Perdenin geriye kalan kısmı ise gövde bölgesidir ve bu kesimde de minimum koşullara bağlı kalınarak yatay ve düşey donatı ağı öngörülür (Şekil 1.5). Konsol perdelerin en zorlanan kesimi temele

mesnetlendiği kesim olacağından temel üst kotundan itibaren toplam perde yüksekliğinin belirli bölgesi, perde kritik bölgesi ($2\ell_w \geq H_{cr} \geq \max\{\ell_w; H_w/6\}$) olarak belirlenir ve bu bölgede donatı koşulları ağırlaştırılır. Eğer $H_w/\ell_w > 2$ ise kritik perde yüksekliğince perde kalınlığı kat yüksekliğinin 1/12 sinden az olmamalıdır. Eğer perde alanı büyükse; V_t : taban kesme kuvveti, $\sum A_g$: deprem kuvveti doğrultusundaki toplam perde alanı, $\sum A_p$: binanın tüm katlarının plan alanlarının toplamı olmak üzere,

$$V_t / \sum A_g \leq 0.5f_{ctd} \quad \sum A_g / \sum A_p \geq 0.002 \quad (1.3)$$

koşullarının beraberce sağlanması durumunda boyuna ve enine toplam gövde donatısı oranı 0.0015 değerine indirilebilir. Ancak enine donatı aralığı 30cm yi geçmemelidir.



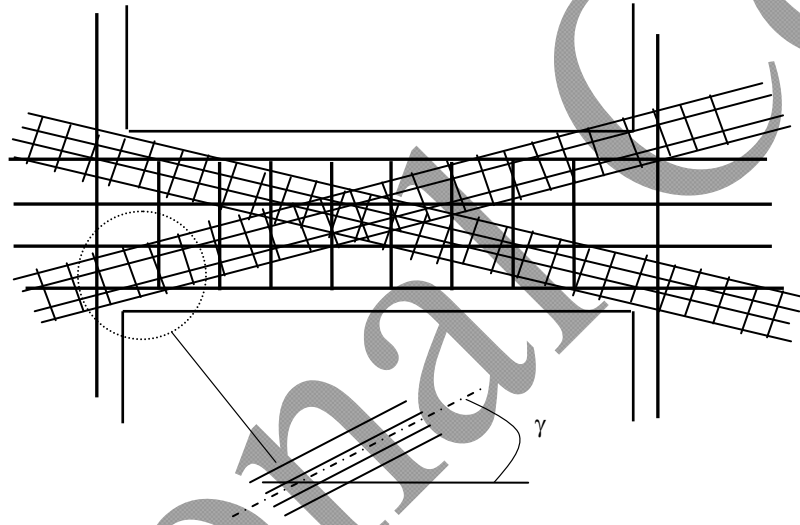
Şekil 1.6 Perde kesit tesirleri

Betonarme kesit hesabında, en elverişsiz duruma ait perde eğilme momenti diyagramı genişletilecektir; kritik perde yüksekliği boyunca eğilme donatısı sabit olarak devam ettirilecek, kritik perde yüksekliğinin sona erdiği kesitin üstünde ise perde tabanında ve tepesinde hesaplanan momentleri birleştiren doğruya paralel olan moment diyagramı perde kesit hesaplarında esas alınacaktır (Şekil 1.6). Perdelerin uç bölgelerde meydana gelecek zorlanmaları dikkate alabilmek amacıyla oluşturulan uç bölgeler kolon gibi donatılacaktır. Gövde kesitinde ise uç bölgesinde bulunan donatının 1/6 sının düşey doğrultuda (her iki yüzde) bulundurulabilir. Taban kesiti ve kritik bölge üst ucunda $n=N/bhf_{cd}$ (boyutsuz normal kuvvet) ve $m=M/bh^2f_{cd}$ (boyutsuz moment) değerleri yardımıyla mekanik donatı yüzdesi uygun tablolar yardımıyla belirlenir ve en büyük değer esas alınarak ilgili kat için her iki yüzde (toplam) donatı miktarı bulunur. Bulunan uç donatısının 1/6 sı gövde de düşey doğrultuda düzenlenecektir. Ayrıca gerekli sünekliği sağlamak amacıyla yeterli miktarda enine donatı bulundurulacaktır (min $\rho = 0.00125$ -bir yüzde). Diğer kat seviyelerinde de

benzer hesap tarzı izlenecektir. Ayrıca kesme kuvveti kapasitesi nedeniyle tasarım kesme kuvveti için bir üst sınır konulmuştur:

$$V_d \leq 0.65f_{ctd}A_g + f_{yd}A_{sh} \text{ ve } V_d \leq 0.22f_{cd}A_g \quad (1.4)$$

Boşluklu perdelerde, dayanımı doğrudan etkileyen bağ elemanları ile perde elemanların beraber çalışmaları amaçlanır. Bağ elemanları için, ℓ (serbest açıklık) $\geq 3d$ ve $V_d \leq 1.5f_{ctd}b_w d$ koşulları sağlanıyorsa bu elemanlar kiriş gibi donatılabileceklerdir. Aksi halde kesme ve eğilme etkilerini karşılayabilmek için $A_{sd} = V_d / (2f_{yd} \sin \gamma)$ kesit alanına sahip en az dört çapraz donatı yerleştirilmelidir. Ayrıca bu donatılar, aralığı 10cm den az olmayan etriyelerle sarılacaktır. Bu donatı demetlerine ilave yatay ve düşey donatılar kullanılmalıdır (Şekil 1.7).



Şekil 1.7 Bağ Elemanı Donatı Düzeni

2. Radye Temeller

Kirişli ve kirişsiz tipte inşa edilebilen radye temeller, genellikle yapı ağırlığının büyük ya da zeminin taşıma gücünün düşük olduğu durumlarda tercih edilir. Aşağıda verilen kriterin sağlanması durumunda bu tip temel sisteminin seçilmesi önerilir:

$$A_T = \frac{\sum N}{\sigma_{net}}; \sigma_{net} = \sigma_{z,em} - \sigma_g; \sigma_g = \frac{\sum N_T}{A_T} \xrightarrow{\text{Kriter}} A_T > 0.70 \times \text{Yapı alanı} \quad (2.1)$$

Temel boyutları belirlenirken yapılması önerilen gerilme kontrolleri (G+Q±E durumu) ise,

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sum N_{G+Q\pm E_X}}{A_T} \pm \frac{\sum M_{o,X}}{W_X}; \sigma_1 < 1.5\sigma_{net}, \sigma_2 > 0 \quad (2.2)$$

$$\sigma_{3,4} = \frac{\sum N_{G+Q\pm E_Y}}{A_T} \pm \frac{\sum M_{o,Y}}{W_Y}; \sigma_3 < 1.5\sigma_{net}, \sigma_4 > 0 \quad (2.3)$$

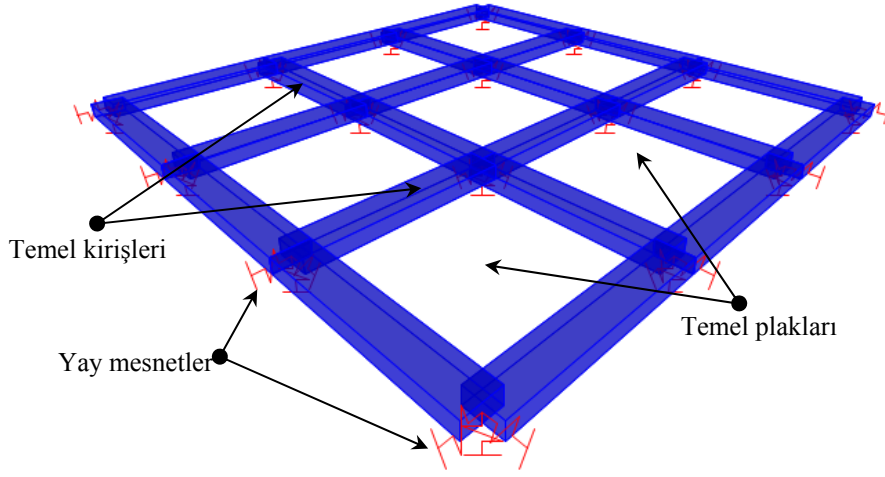
şeklinde dir. Burada $M_{o,X}$, $M_{o,Y}$, X ve Y doğrultularında kolon ve perde düşey yüklerinin temel ağırlık merkezine göre momentlerini, W_X , W_Y ise bu doğrultulardaki mukavemet momentlerini, N_T ise temel ağırlığını ($h_T \times A_T \times 25$) [kN] göstermektedir.

2.1 Kirişli Radye Temel

Bu tip temellerde, kolon ve perdeler kirişlerin üzerine oturtulur ve kirişler arasında teşkil edilen döşeme elemanlarla birbirine bağlanır (Şekil 2.1). Sistemin statik açıdan, elastik zemine oturan sürekli kiriş şeklinde çözümü önerilmektedir. Zeminin elastik özelliği birbirine sonsuz yakın yay mesnetlerle ifade edilir. Kesit tesirlerinin hesabından sonra elde edilen momentlere göre, kiriş ve döşeme elemanları için betonarme kesit hesabı bilinen herhangi bir yöntemle yapılabilir. Ancak kirişlere mesnetlenen döşemelerin aşağıdan yukarıya doğru yüklenmiş ters plak gibi çalışacağı unutulmamalıdır.

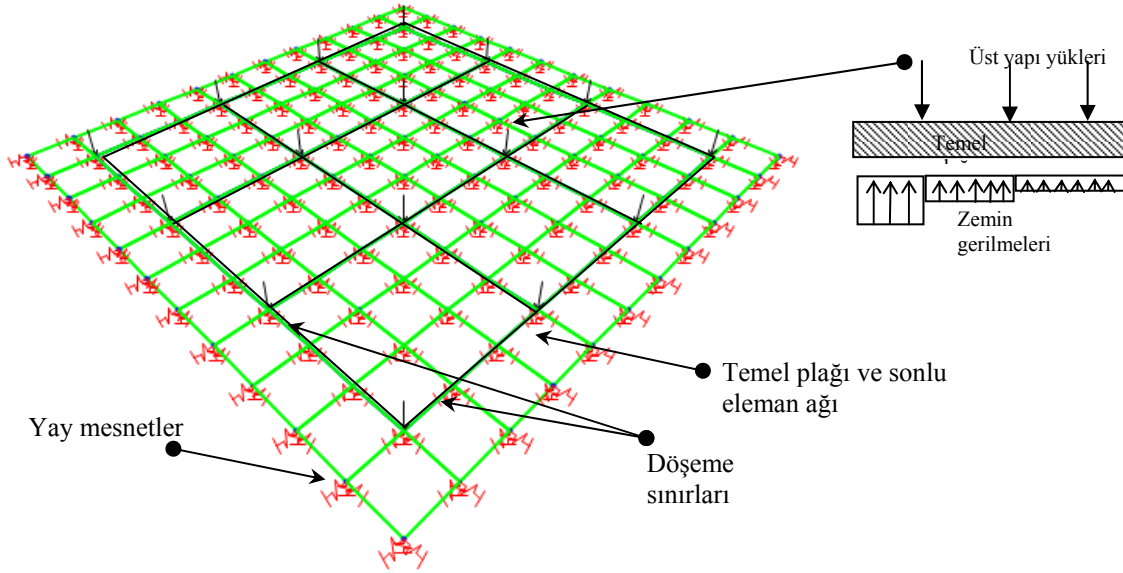
2.2 Kirişsiz Radye Temel

Yapı ağırlığı büyük ya da zeminin taşıma gücü düşükse bütün yapının altına tek bir plak temel yapılması uygun olur; imalat sırasında kolon ve perdeler doğrudan kirişler olmaksızın plağa oturtulur (Şekil 2.2). Genelde temel altındaki zemin gerilmelerini küçültebilmek için temel, planda yapı oturma alanının bir miktar dışına taşırılır (konsol boyu: minimum 50 cm). Temel yüksekliği



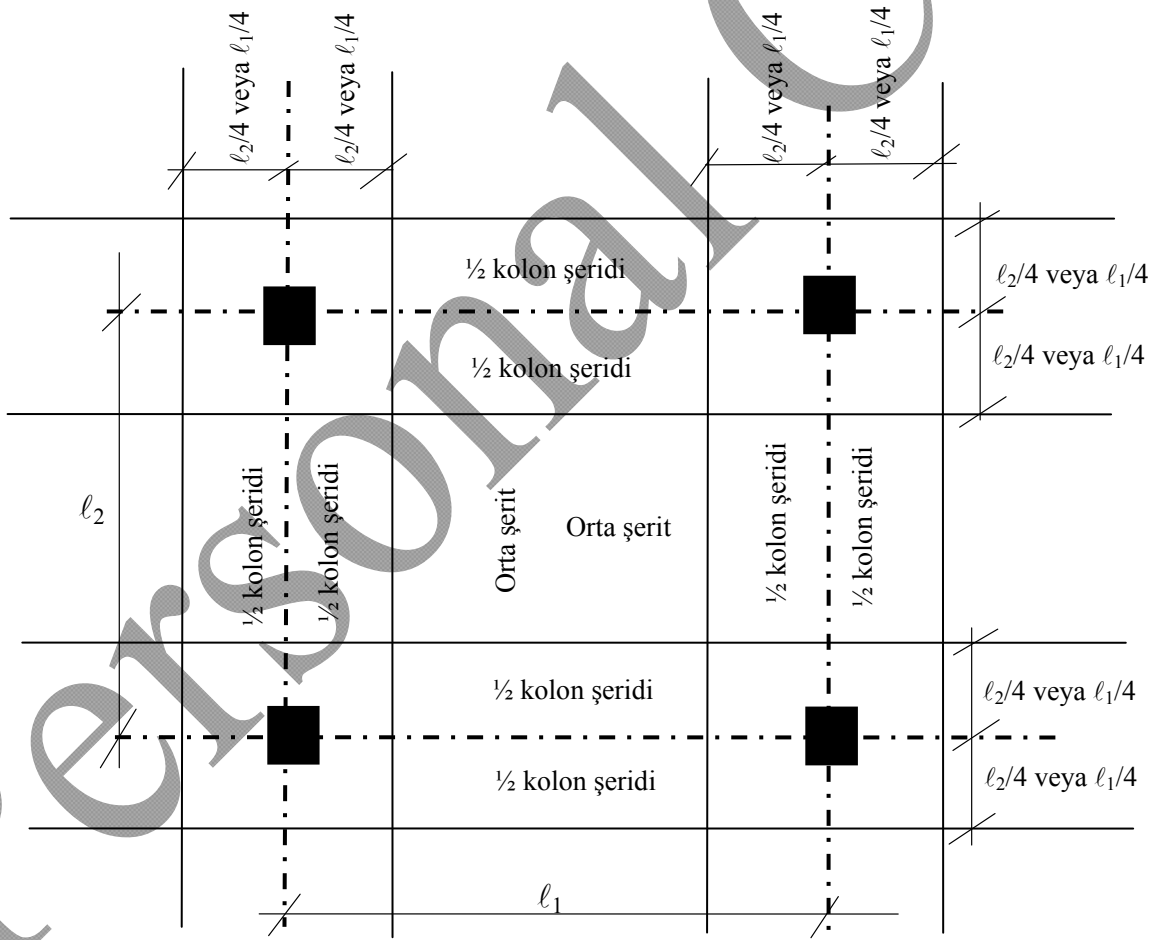
Şekil 2.1 Kirişli Radye Temel

$V_{pd} = N_d - \sigma_z A_p$; $\sigma_z = \frac{\sum N}{A}$; $V_{pr} = \mathcal{F}ctd u_p d$ olmak üzere $V_{pd} \leq V_{pr}$ şeklinde zımbalama güvenliği sağlanacak şekilde belirlenir. Burada u_p ve A_p , sırasıyla, zımbalama çevresi ve alanı, A , konsol boyları da dikkate alınarak belirlenecek temel alanı, N_d , kolon aksenal kuvveti, $\sum N$ ise üst yapıdan temele iletilen aksenal yüklerin toplamını ifade etmektedir. Sistemin statik açıdan hesabı için, zeminin elastikliği dikkate alınarak birbirine sonsuz yakın yaylara mesnetlenmiş plak çözümü önerilebilir.



Şekil 2.2 Kirişsiz Radye Temel

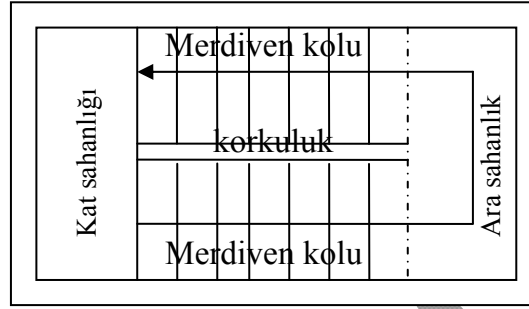
Betonarme kesit hesabı için temel plağı öncelikle her iki doğrultuda kolon ve orta şeritlere ayrılır. En elverişsiz durum için yatay ve düşey yükler altında gerçekleştirilen çözüm sonrası genişlikleri bilinen bu şeritlere gelen eğilme momentleri belirlenir (Şekil 2.3). Bu kuvvetler altında sistemin betonarme kesit hesabı yapılırken, temel sistemi, plağa etkimesi muhtemel yükler dikkate alındığında (zemin gerilmeleri, ağırlık yükleri, kolon ve perde yükleri gibi) ters dönmüş kirişsiz döşeme olarak düşünülebilir ve hesaplar bu düşünce tarzına göre yapılabilir. Ancak mesnet kesiti olan kolonların civarında zımbalama etkisi için ilave tedbirler alınmalıdır. Plak çözümü yapılacağından hesaplanan eğilme momentleri 1 m genişliğe gelen momentlerdir, mesnet ve açıklık kesitlerindeki bu momentler dikkate alınarak 1 m genişliğinde, temel plağı yüksekliğinde bir dikdörtgen kesitin betonarme kesit hesabı yapılır.



Şekil 2.3 Açıklık ve kolon şeritleri

3. Betonarme Merdivenler: Statik-Betonarme Hesap Yöntemi ve Konstrüktif Esaslar

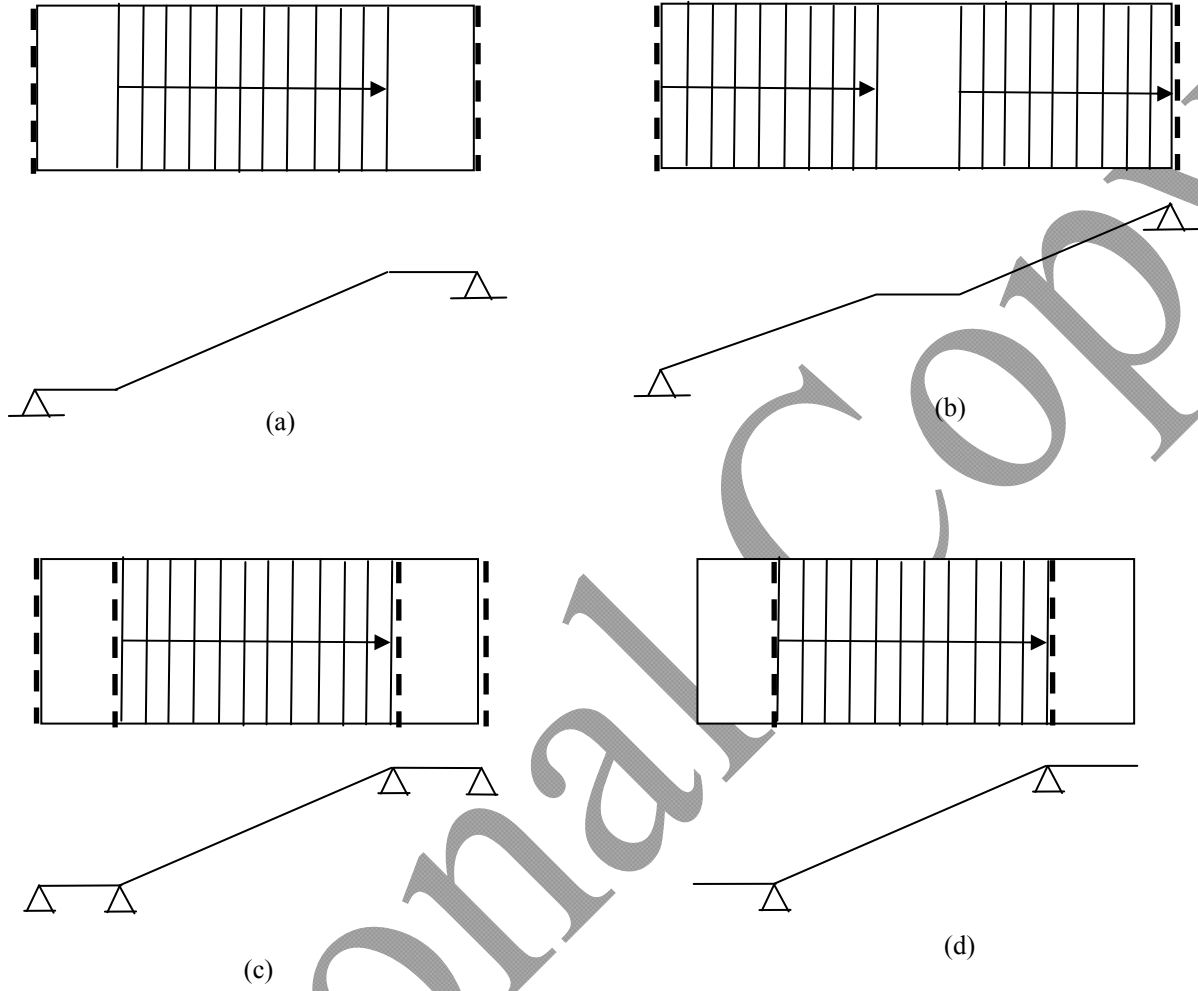
Merdivenler, katlar arası bağlantıları sağlayan ve özellikle hareketli yük iletimini gerçekleştiren yapı elemanlarıdır. Üç ana bölümden oluşmaktadır; basamakların bulunduğu eğimli merdiven kolu, yatay merdiven sahanlığı ve merdiven korkuluğu (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Sahanlıklı, düz kolu kıvrımlı merdiven sistemi

Merdivenler genellikle kullanım yerlerine, kullanılan malzeme türlerine, geometrilerine ve taşıyıcı sistemlerine göre sınıflandırılırlar; iç merdivenler-dış merdivenler, taş merdivenler-betonarme merdivenler, sahanlıklı-sahanlıksız-düz kolu-dönel kolu merdivenler, taşıyıcı basamaklı-kıvrımlı sistem-çevresel mesnetli helisel merdivenler gibi. Burada sadece sahanlıklı, düz kolu kıvrımlı betonarme merdivenlerden bahsedilecektir.

Yönetmelikler, merdivenin kullanılabilirlik koşulu olarak bir koldaki basamak sayısını sınırlı tutmaktadır. Bu yüzden yüksekliği belirli bir değeri aşan merdivenlerde merdiven kolları sahanlık adı verilen plak taşıyıcılara mesnetlendirilir. Merdiven kol veya kollarının eğimli sahanlık plaklarının ise yatay olduğu dikkate alınırsa birleşim yerinde bir kıvrım olacağı aşıkardır. Akla ilk gelen çözüm kıvrım kenarı boyunca bir sahanlık kirişi düzenlemektir. Bu durumda statik sistem basitleştirilerek sürekli plak şeklinde ele alınabilir. Ancak sahanlık kirişi, merdiven plağı altında sarkarak görünümü bozduğu için istenmez. Plakların mesnetlenme şekli bu tip merdivenlerin taşıyıcı sistemlerinin belirlenebilmesi açısından oldukça önemlidir. Şekil 3.2(a) ve (b)' de merdivenler, iki ucundan duvar veya taşıyıcı bir elemana mesnetlendirilmiştir. Merdiven kolu ve sahanlık yan yüzleri tamamen boşta. Hali ile bu elemanlar tümüyle boyuna doğrultuda çalışırlar. Şekil 3.2 (c) ve (d)'de ise merdivenler, iki ucundan duvara veya taşıyıcı elemanlara, kıvrım bölgelerinde ise bir sahanlık kirişine mesnetlidirler. Bu durumda yine merdiven kolları ve sahanlık plakları sadece düşey doğrultuda çalışan bir sürekli kiriş şeklinde ele alınabilir.



Şekil 3.2 Kıvrımlı plak merdiven taşıyıcı sistemleri

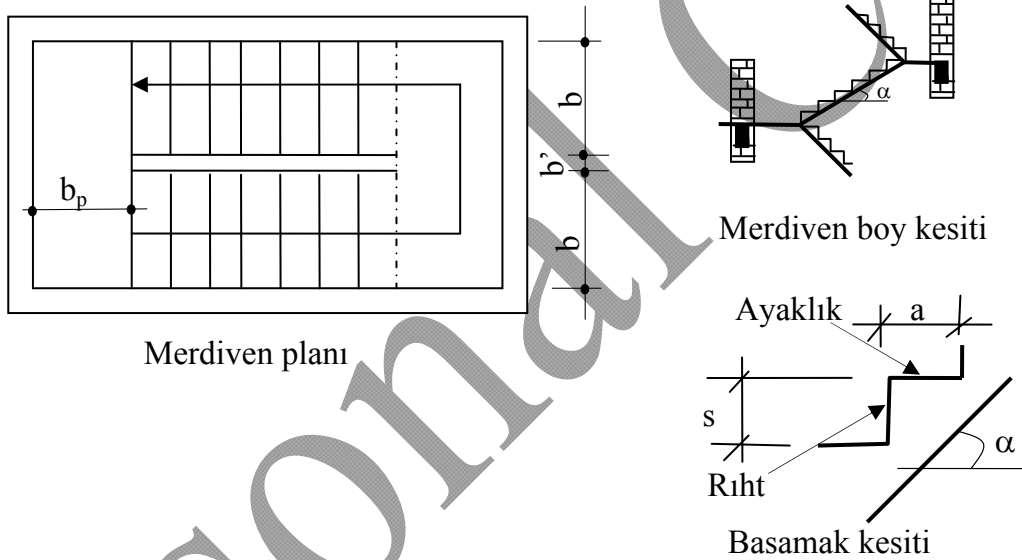
3.1 Geometrik Esaslar

Daha önce de belirtildiği üzere merdivenlerin taşıyıcı sistemleri mesnetlenme durumuna göre belirlenir. Taşıyıcı sistem, konsol davranışı gösteren taşıyıcı basamaklı veya eğimli bir plak şeklinde oluşturulabilir. Uygulamada, merdiven kolu sadece bir kenardan kat sahanlık plağına ve diğer kenardan da ara sahanlık plağına mesnetlenen plak taşıyıcı sisteme sahip merdivenlere sık rastlanır. Ayrıca kat sahanlığı yerine bu kenarda bulunan bir kenar kirişe mesnetli şekilde düzenlenen taşıyıcı sistemler de mevcuttur. Her farklı taşıyıcı sistem için yük düzenlemelerinin de farklı olması gerektiği unutulmamalıdır. Mimari açıdan merdiven taşıyıcı sistem elemanlarının boyutları ile ilgili bazı sınırlamalar bulunmaktadır. Merdiven boyutlarının (Şekil 3.3); merdiven

genişliği (b), basamak genişliği (a), basamak yüksekliği (s), sahanlık genişliği (b_p), merdiven kovası genişliği (b') ve merdiven eğimi, mimari fonksiyonları yerine getirebilmesi için belirli sınırlar içerisinde seçilmesi gerekir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1: Mimari boyutlar için sınırlamalar

Yapı türü	b (m)	s (mm)	a (mm)
Konut	1.2	180	270
Kamu binası	1.5	170	290
Hastane	2	160	300

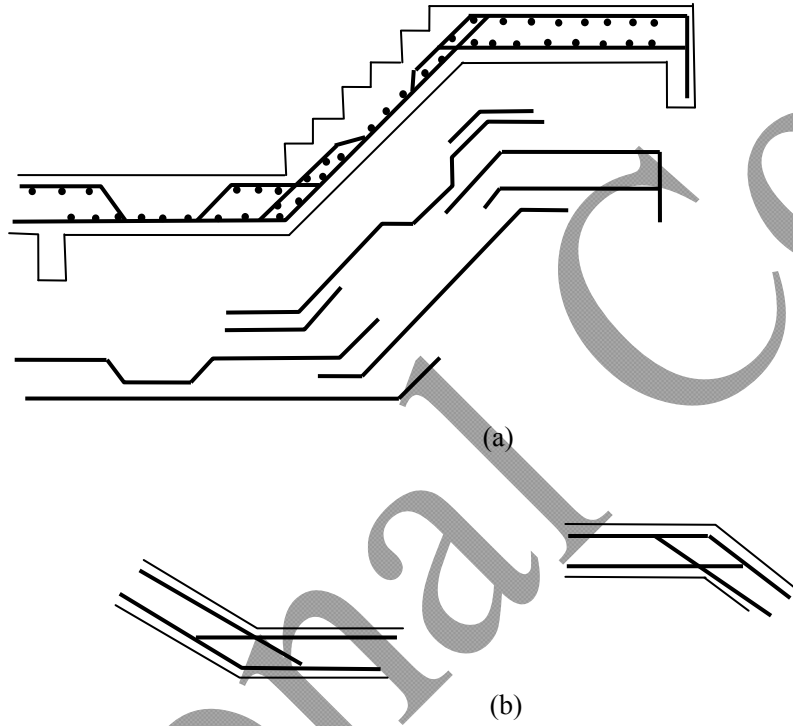


Şekil 3.3 Geometrik büyüklükler

Ayrıca eğim ve basamak boyutlarının, $\tan \alpha = s/a < 2/3$ ve $2s+a=620$ mm-650 mm şartlarını sağlaması gerekir. Merdiven sahanlık genişliğinin merdiven genişliği kadar olması yeterli sayılır. İki merdiven kolu arasındaki boşluğun (merdiven kovası) yaklaşık olarak 200-250 mm olması önerilir. Çıkış sırasında merdiven kolunda ve kolun sahanlığa birleştiği yerde 2-2.2 m arasında bir baş yüksekliğinin sağlanması istenir.

İki düz kollu bir merdiven sistemi için donatı detayı Şekil 3.4a'da gösterilmiştir. Kat sahanlığında ve merdiven kolunda çalışma doğrultusundaki bazı donatılar pliye ve bazıları düz donatı olarak düzenlenmiştir. Ara sahanlık plağında merdiven kolundan da yük gelebileceği düşünülerek alt ve üstte iki doğrultuda donatı yerleştirilmiştir. Şekil 3.4b' de ise kiriş olmaması

durumu için donatı düzeni verilmiştir. Özellikle iç taraftaki donatı plak kalınlığı içinde devam ettikten sonra karşı yüzde kıvrılmıştır. Bunun nedeni, iç yüzde çekme kuvveti alan donatının beton örtüsünü delerek çatlama yolu açabilecek olmasıdır. Merdiven sisteminde donatı yerleşiminde, sistem elemanlarının yük aktarma durumu dikkate alınarak, tek veya çift doğrultuda çalışan döşemeler için verilen kurallara uyulması önerilir.



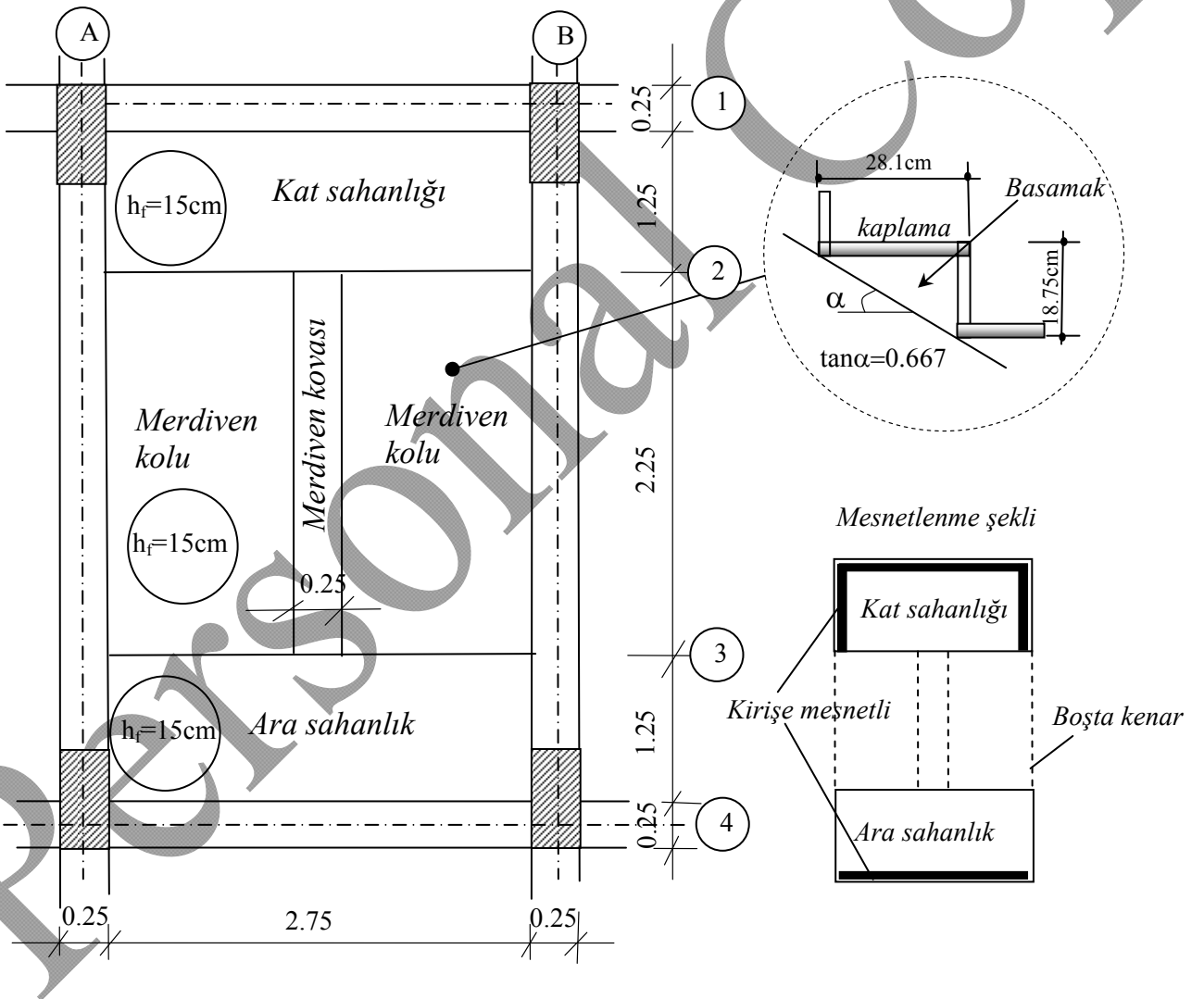
Şekil 3.4 Donatı düzenleri

3.3 Yük Analizi

Merdiven taşıyıcı sistemlerinin, çeşitli dış yükleri güvenle karşılayacak şekilde boyutlandırılması en önemli koşuldur. Bu bağlamda, boyutlandırılmada dikkate alınması gerekli olan yükler sabit ve hareketli yükler olarak sınıflandırılabilir. Deprem, sıcaklık, rötre gibi diğer dış etkilerin neden olacağı kesit zorları daha düşük olduğundan genelde hesaplarda dikkate alınmaz. Sabit yükler olarak, basamak ağırlığı, taşıyıcı plağın kendi ağırlığı, kaplama ve sıva ağırlığı sayılabilir. Hareketli yükler ise TS 498 den alınabilir. Tüm yükler yatay düzlemin birim alanına gelen yükler olarak düşünülmelidir.

Örnek 1

Şekil 3.5'de görülen iki düz kollu merdivende, kat sahanlığı üç kenarı sürekli, ara sahanlık ise bir kenarından basitçe (burulma rijitliği kuvvetli olmayan bir kirişe oturmaktadır) mesnetlendirilmiştir. Bu durumda kat sahanlığı çift doğrultuda, ara sahanlık ve kol plakları ise bir doğrultuda yük aktaracaktır. Hesaplarda kat sahanlığının, kendi ağırlığı dışında merdiven kollarından aktarılan çizgisel yük ile yüklü olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca kat sahanlığı ile merdiven kolu arasındaki kesitin sadece normal kuvvet ve kesme kuvveti ilettiği, eğilme momenti taşımadığı kabul edilmiştir. Ancak donatı yerleşimi sırasında bu kesitte oluşması muhtemel eğilme momenti etkisi dikkate alınmalıdır.



Şekil 3.5 İki kollu kıvrımlı merdiven örneği

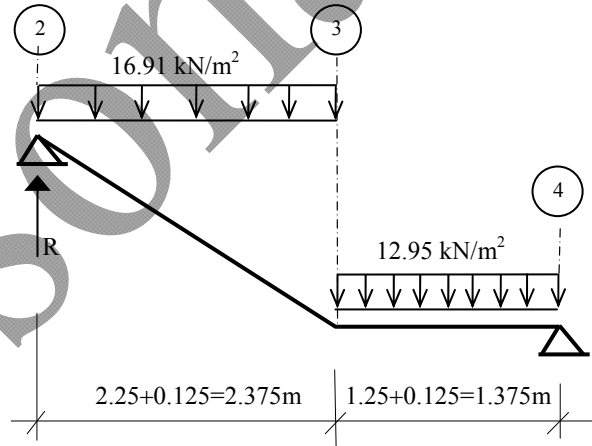
Yük analizi

Sahanlık plağı:

Kendi ağırlığı	0.15×25	$= 3.75$	kN/m^2
Kaplama	0.05×22	$= 1.1$	kN/m^2
Sıva		$= 0.40$	kN/m^2
Sabit yük	Σg	$= 5.25$	kN/m^2
Hareketli yük	q	$= 3.5$	kN/m^2

Merdiven plağı:

Kendi ağırlığı	$0.15 \times 25 / 0.83$	$= 4.52$	kN/m^2
Basamak ağırlığı	$0.1875 \times 22 / 2$	$= 2.06$	kN/m^2
Sıva-kaplama		$= 1.50$	kN/m^2
Sabit yük	Σg	$= 8.08$	kN/m^2
Hareketli yük	q	$= 3.5$	kN/m^2



Merdiven Plağı Statik ve Betonarme Hesapları

$$P_{d,kol} = 1.4 \times 8.08 + 1.6 \times 3.5 = 16.91 \text{ kN/m}^2$$

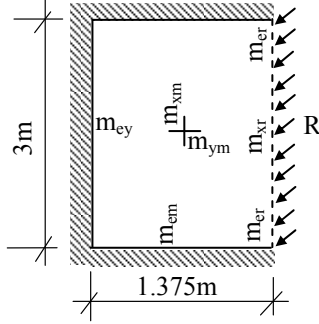
$$P_{d,sah.} = 1.4 \times 5.25 + 1.6 \times 3.5 = 12.95 \text{ kN/m}^2$$

$$R_g = 14.44 \text{ kN/m} ; R_q = 3.75 \times 3.5 / 2 = 6.6 \text{ kN/m} ; R = 1.4R_g + 1.6R_q = 30.78 \text{ kN/m}$$

$$M_{açıklık} = 30.78^2 / (2 \times 16.91) = 28 \text{ kNm/m} ; A_s \cong 1180 \text{ mm}^2/\text{m} ; \phi 16 / 175 (1150 \text{ mm}^2/\text{m})$$

Dağıtma donatısı: $1180/5=236\text{mm}^2/\text{m}$; $\phi 8/200$ ($335\text{mm}^2/\text{m}$)

Sahanlık Plağı Statik ve Betonarme Hesapları



$$\ell_y / \ell_x = 1.375 / 3 = 0.458$$

Düzensün yayılı yük etkisi: $P_{d,sah.} = 12.95\text{ kN/m}^2$

$$K = p \ell_x \ell_y = 12.95 \times 3 \times 1.375 = 53.4\text{ kN}$$

Çizgisel yük etkisi: $R = 30.78\text{ kN/m}$

$K = R \ell_x = 30.78 \times 2.5 = 77\text{ kN}$ (hesapta gerçek merdiven kolları genişliği olarak 2.5m alınmıştır)

Uygun tablolar kullanılarak, gerekli kesitlerdeki eğilme momentleri her iki yük durumu için bulunabilir.

Moment	m_{xr}	m_{xm}	m_{ym}	m_{er}	m_{em}	m_{ey}
Düzensün yayılı yük etkisi	22.3	45.4	-	-6.6	-15.79	-9.26
Çizgisel yük etkisi	7.4	-	-	3.6	-	-

$$M_i = K / m_i$$

$$M_{xr} = 53.4 / 22.3 + 77 / 7.4 = 12.8\text{ kNm/m}$$

$$M_{xm} = 53.4 / 45.4 = 1.18\text{ kNm/m}$$

$$M_{er} = -53.4 / 6.6 - 77 / 3.6 = -29.48\text{ kNm/m}$$

$$M_{em} = -53.4 / 15.79 = -3.38\text{ kNm/m}$$

$$M_{ey} = -53.4 / 9.26\text{ kNm/m}$$

M_{xr} ve M_{er} uzun kenar doğrultusunda donatı hesabına esas olacak eğilme momentlerini, M_{ey} ise kısa kenar doğrultusunda esas alınacak eğilme momentidir. Hesaplarda pas payı 1.5 cm alınmıştır.

$$M_{xr} = 12.8\text{ kNm/m} \rightarrow A_s = 519\text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow \phi 10/150\text{ (524 mm}^2/\text{m)}$$

$$M_{er} = -29.48 \text{ kNm/m} \rightarrow A_{s,ger} = 1245 \text{ mm}^2/\text{m}$$

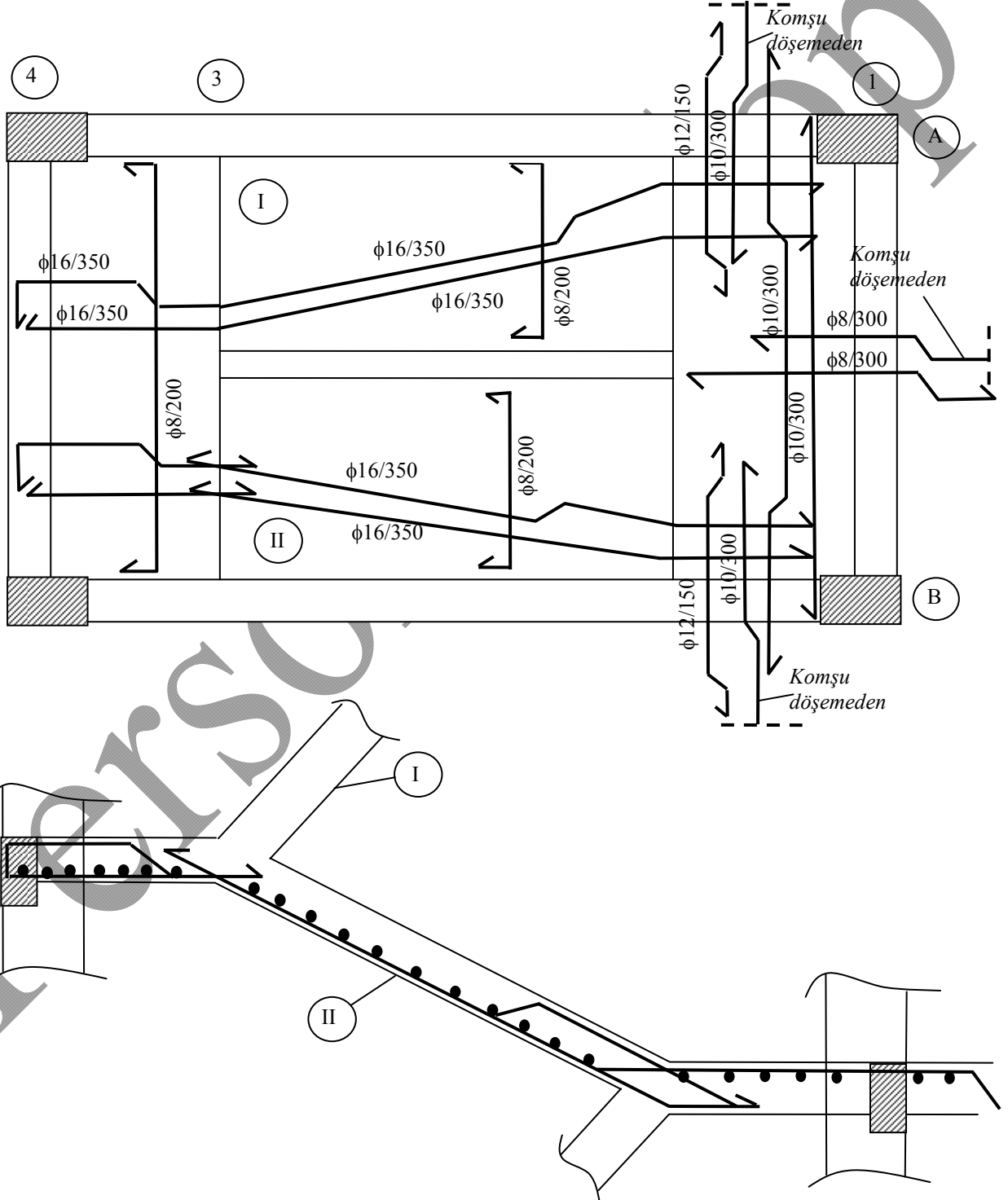
$$A_{s,mev} = \phi 10/300 (\text{açıklıktan}) + \phi 10/300 (\text{komşu döşemeden}) = 524 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_{s,ek} = 721 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow \phi 12/150 (754 \text{ mm}^2/\text{m})$$

$$M_{ey} = -5.77 \text{ kNm/m} \rightarrow A_{s,ger} = 230 \text{ mm}^2/\text{m}$$

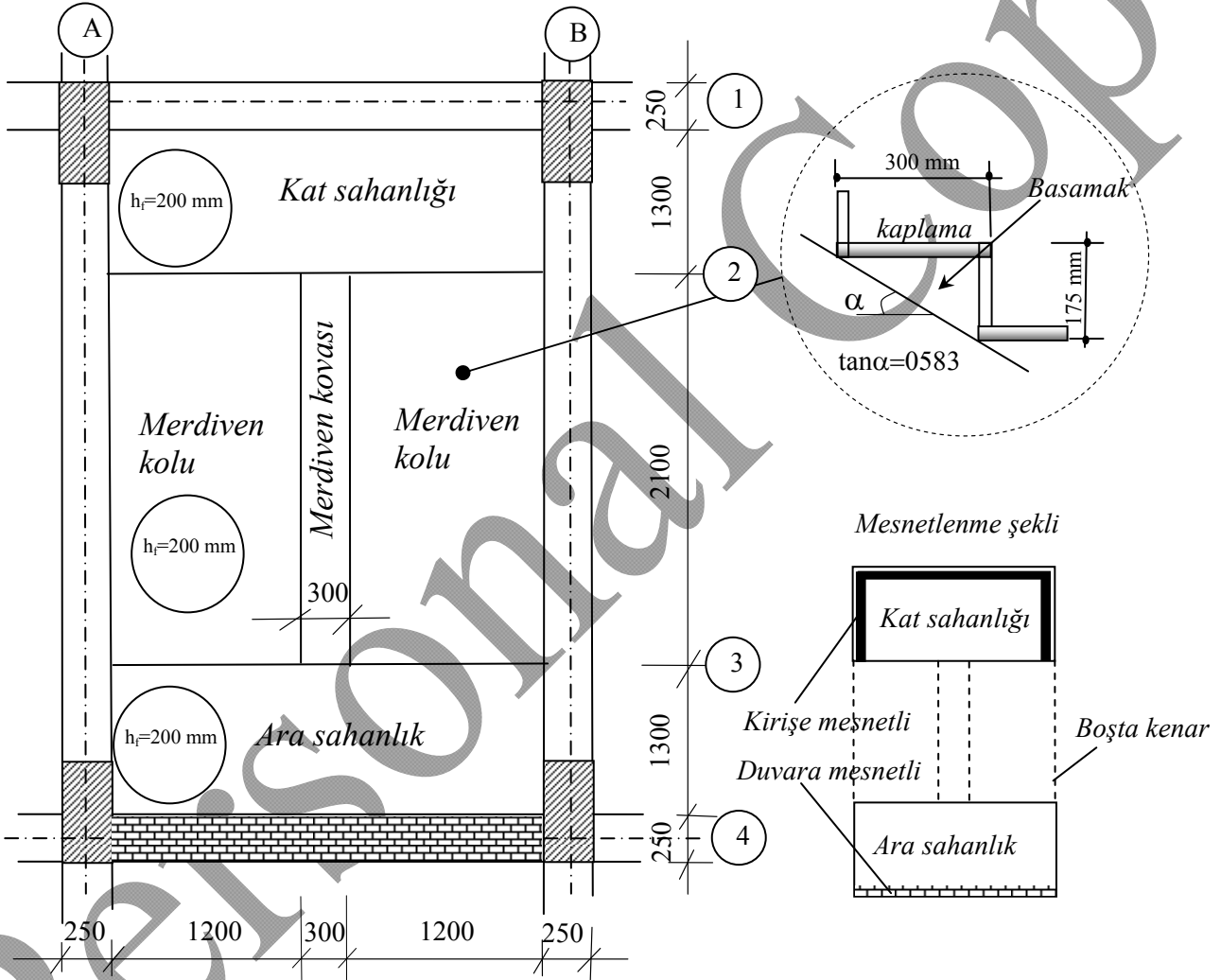
$$A_{s,mev} = \phi 8/300 (\text{komşu döşemeden}) = 168 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_{s,ek} = \phi 8/300$$



Örnek 2

Şekil 3.6'da görülen iki düz kollu merdivende, kol plağı bir ucundan kat kirişine diğer ucundan duvara oturmaktadır. Kenarlar ise merdiven kol plağı boyunca boştaadır; merdiven plağı sahanlık kirişleri tarafından taşınmaktadır, basamaklar taşıyıcı değildir. Kol plağı ile sahanlık kalınlığı 200 mm dir. Statik çözümlemede basit kiriş yaklaşımı kullanılacaktır; merdiven kol plağı ve sahanlıklar basit kiriş gibi boyutlandırılacaktır.



Yük analizi

Hesaplarda, tuğla, sıva, beton ve betonarme birim hacim ağırlıkları sırası ile 18 kN/m^3 , 19 kN/m^3 , 23 kN/m^3 ve 25 kN/m^3 alınacaktır. Kaplama malzemesi olarak 30 mm kalınlığında karo mozaik ve 20 mm kalınlığında sıva ile beraber kullanılacaktır. Karo mozaik'in birim hacim ağırlığı 22 kN/m^3 olarak verilmiştir. Hareketli yük 3.5 kN/m^2 dir. Statik çözümleme basit kiriş yaklaşımı ile

yapılacağından tasarım yüklerinin ya yatay düzleme ya da merdiven kol plağı düzlemine dik olarak belirlenmesi gereklidir. Burada yükler yatay düzleme dik olarak alınmıştır.

Sahanlık plağı:

Kendi ağırlığı	25×0.20	$= 5$	kN/m^2
Kaplama	22×0.03	$= 0.66$	kN/m^2
Siva	19×0.02	$= 0.38$	kN/m^2
Sabit yük	Σg	$= 6.04$	kN/m^2
Hareketli yük	q	$= 3.5$	kN/m^2

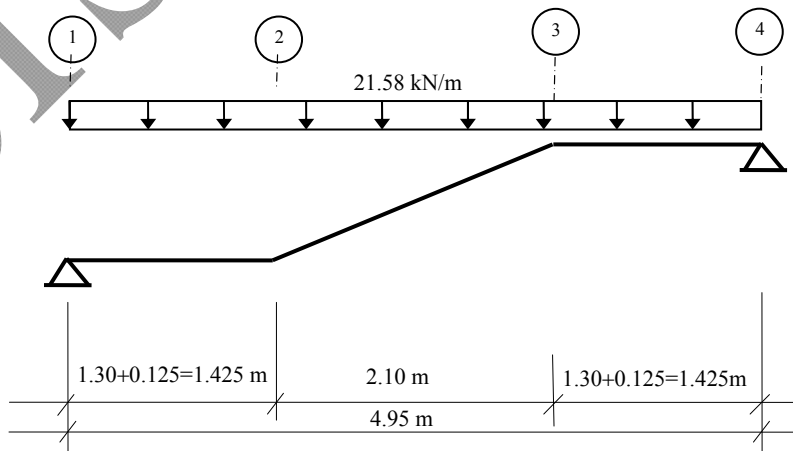
$$P_{d,sah.} = 1.4 \times 6.04 + 1.6 \times 3.5 = 14.06 \text{ kN/m}^2$$

Merdiven kol plağı:

Kendi ağırlığı	$0.20 \times 25 / 0.864$	$= 5.79$	kN/m^2
Basamak ağırlığı	$0.175 \times 23 / 2$	$= 2.01$	kN/m^2
Siva	19×0.02	$= 0.38$	kN/m^2
Kaplama	22×0.03	$= 0.66$	kN/m^2
Sabit yük	Σg	$= 8.84$	kN/m^2
Hareketli yük	q	$= 3.5$	kN/m^2

$$P_{d,kol} = 1.4 \times 8.84 + 1.6 \times 3.5 = 17.98 \text{ kN/m}^2$$

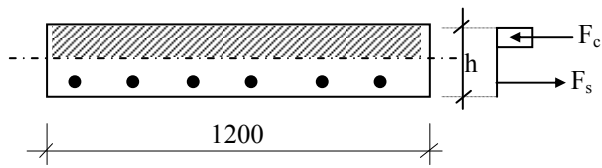
Basit kiriş çözümü ile yetinileceğinden tasarım yükü olarak merdiven kol plağı ile sahanlık plağı için yukarıda hesaplanmış yüklerden en büyüğü seçilmelidir. Hesaplanan tasarım yükü m^2 ye gelen yüküdür, bu yük merdiven genişliği ile çarpılarak, $P_d = 1.2 \times 17.98 = 21.58 \text{ kN/m}$ şeklinde hesaplarda dikkate alınacaktır.



Tasarıma esas kesit tesirleri

$$\text{Tasarım açıklık momenti: } M_d = \frac{21.58 \times 4.95^2}{8} = 66.10 \text{ kNm}$$

$$\text{Tasarım kesme kuvveti: } V_d = \frac{21.58 \times (4.95 - 0.125 \times 2)}{2} = 50.71 \text{ kN}$$

Sahanlık Plağı – Merdiven Kol Plağı Statik ve Betonarme Hesapları**Çekme donatısı hesabı**

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$d = 200 - 15 - 7 = 178 \text{ mm}$$

Not: Kullanılacak ana donatı çapı 14 mm, örtü betonu kalınlığı 15 mm varsayılmıştır.

$$\sum M = 0 \rightarrow M_r = M_d = 0.85 \times 13 \times 1200 \times a \times (178 - a/2) = 66.10 \times 10^6 \text{ kNm}$$

$$a^2 - 356a + 9969.83 = 0 \rightarrow a = 30.65 \text{ mm}$$

$$\sum F = 0 \rightarrow F_c = F_s \rightarrow 0.85 \times 13 \times 1200 \times 30.65 = A_s \times 365 \rightarrow A_s = 1113.48 \text{ mm}^2$$

$$\text{Donatı adedi } n = \frac{1113.48}{153.94} = 7.23 \rightarrow 8 \text{ adet,}$$

$$\text{Donatı aralığı } s = \frac{1200}{8-1} = 171.43 \text{ mm} \rightarrow 170 \text{ mm. Bu donatı 1200 mm genişliğindeki merdiven kol}$$

plağına 1/2 düz + 1/2 pliye şeklinde yerleştirilecektir; $\phi 14/340$ düz + $\phi 14/340$ pliye. Kat sahanlık plağında, komşu döşemeden gelen donatılar yok kabul edilecek ve aplikasyonda komşu döşemeden gelen donatılara ilave olarak bu donatının tamamı plağın alt ve üst tarafına aynen konulacaktır.

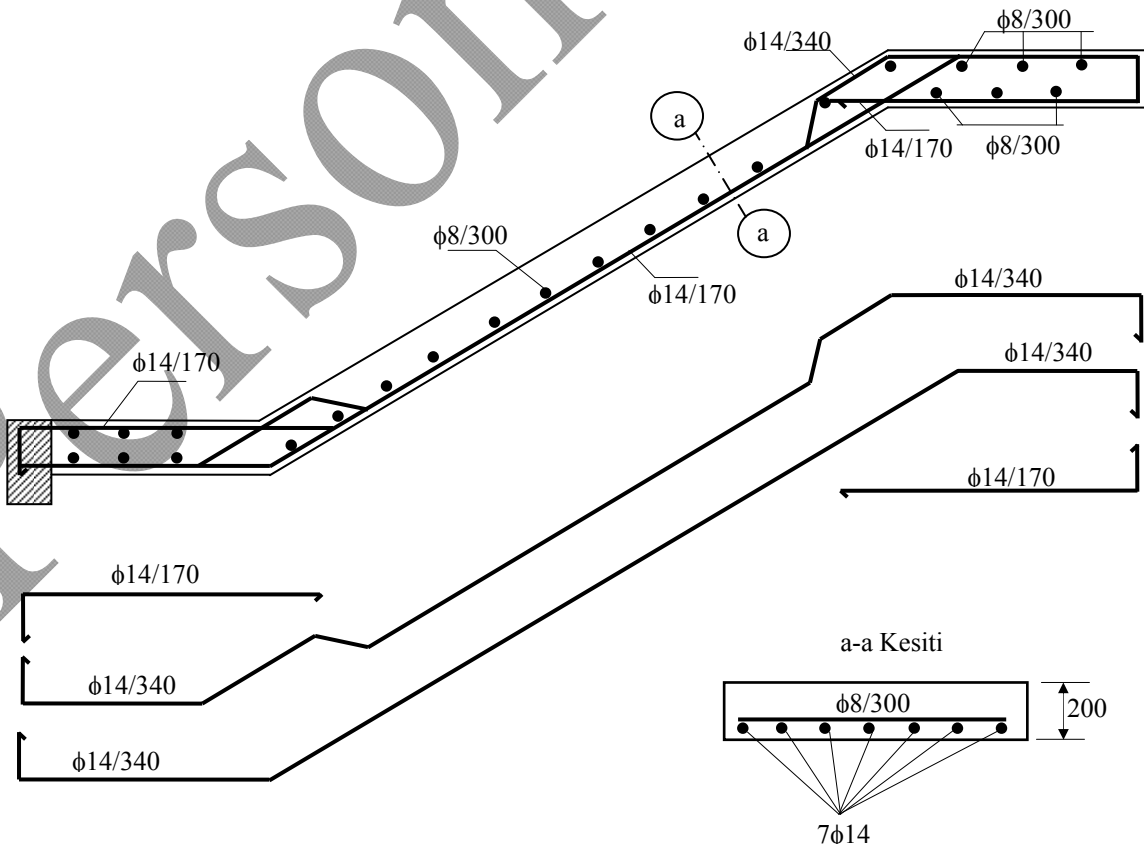
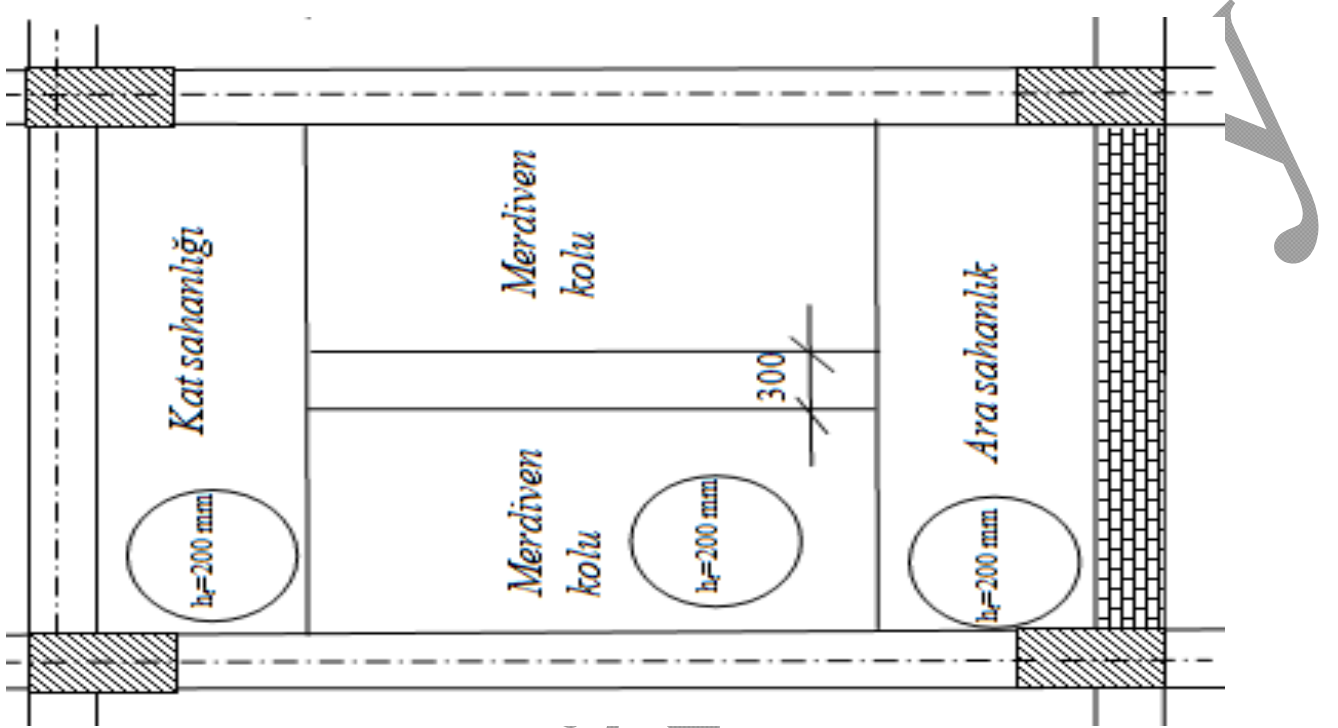
Ayrıca ana donatıya dik doğrultuda, çekme donatısı üzerine $\phi 8/300$ montaj donatısı kullanılacaktır.

Kayma donatısı hesabı

$V_d \leq V_r = 0.22 \times f_{cd} \times b_w \times d$ olmalıdır. Aksi halde kesit asal basınç gerilmeleri ezilmeye neden olur; kesit boyutları büyütülmelidir. $V_d = 50.71 \text{ kN} < 0.22 \times 1200 \times 178 \times 13 = 610896 \text{ N} = 610.90 \text{ kN}$ olduğundan bu koşul sağlanmıştır. Ayrıca,

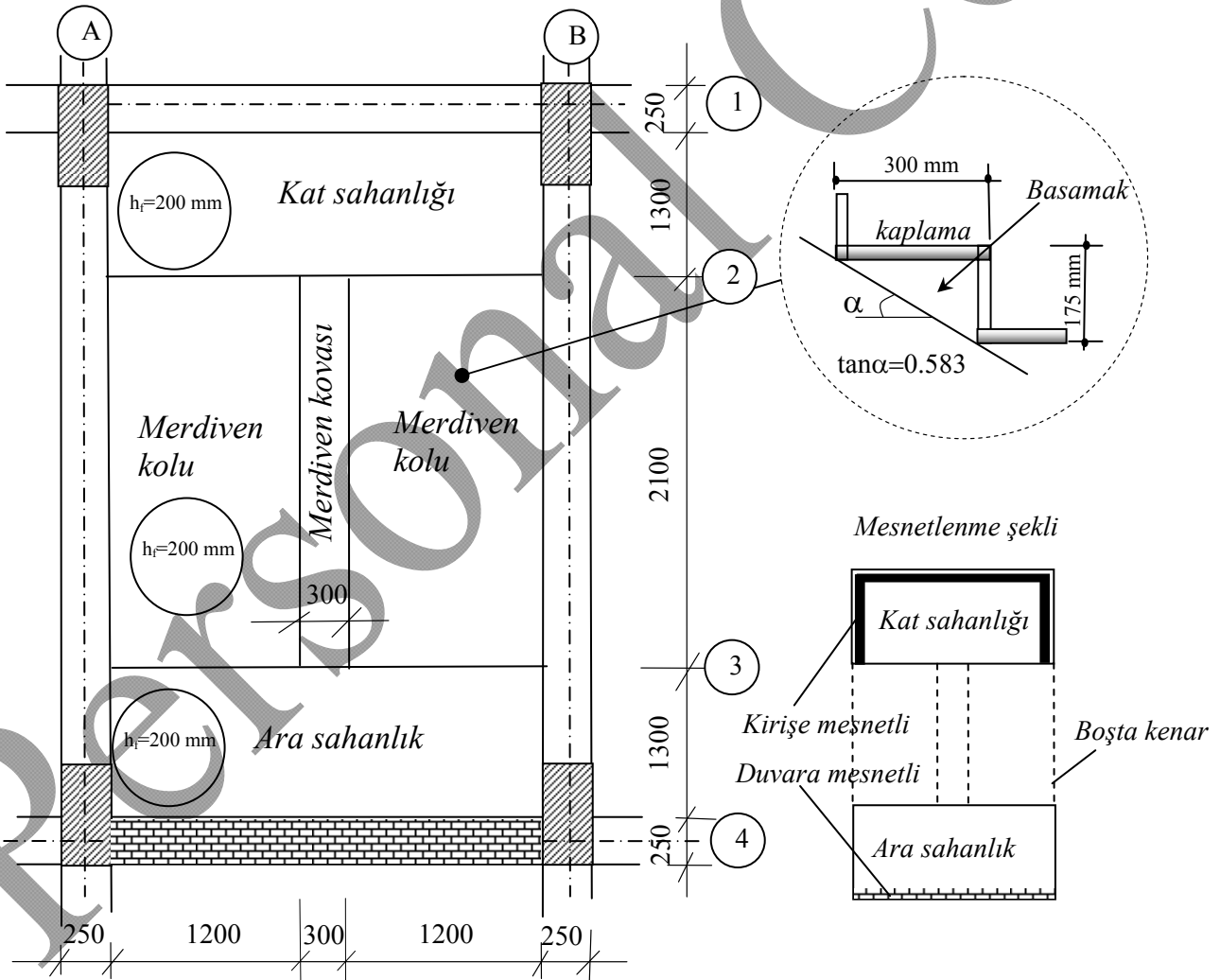
$$V_d < V_{cr} = 0.65 \times f_{cd} \times b_w \times d \times \left(1 + \gamma \frac{N_d}{A_c}\right) = 0.65 \times 1.1 \times 1200 \times 178 = 152724 \text{ N} = 152.72 \text{ kN}$$

olduğundan beton hesap kesme kuvvetini tek başına karşılamaktadır; kayma donatısı hesabına gerek yoktur.



Örnek 3

Şekil 3.7’de görülen iki düz kollu merdivende, kol plağı bir ucundan kat kirişine diğer ucundan duvara oturmaktadır. Kenarlar ise merdiven kol plağı boyunca boştaadır; merdiven plağı sahanlık kirişleri tarafından taşınmaktadır, basamak taşıyıcı değildir. Kol plağı ile sahanlık kalınlığı 200 mm dir. Statik çözümleme için kat sahanlığı kirişe ankastre, ara sahanlık ise duvara basitçe mesnetlenmiş olarak dikkate alınacaktır. Bu durumda problem bir nevi, bir ucu ankastre diğer ucu basit mesnetli eğik kirişte ankastrelik uç momentinin hesabına dönüşecektir. Hesaplanan kesit tesirleri için merdiven kol plağı ve sahanlıklar kiriş gibi boyutlandırılacaktır. Malzeme C20/S420’dir.



Şekil 3.7 İki düz kollu merdiven örneği

Yük analizi

Hesaplarda, tuğla, sıva, beton ve betonarme birim hacim ağırlıkları sırası ile 18 kN/m^3 , 19 kN/m^3 , 23 kN/m^3 ve 25 kN/m^3 alınacaktır. Kaplama malzemesi olarak 30 mm kalınlığında karo mozaik ve 20 mm kalınlığında sıva ile beraber kullanılacaktır. Karo mozaik'in birim hacim ağırlığı 22 kN/m^3 olarak verilmiştir. Hareketli yük 3.5 kN/m^2 dir. Statik çözümleme basit giriş yaklaşımı ile yapılacağından tasarım yüklerinin ya yatay düzleme ya da merdiven kol plağı düzlemine dik olarak belirlenmesi gereklidir. Burada yükler yatay düzleme dik olarak alınmıştır.

Sahanlık plağı:

Kendi ağırlığı	25×0.20	$= 5$	kN/m^2
Kaplama	22×0.03	$= 0.66$	kN/m^2
Sıva	19×0.02	$= 0.38$	kN/m^2
Sabit yük	Σg	$= 6.04$	kN/m^2
Hareketli yük	q	$= 3.5$	kN/m^2

$$P_{d,sah.} = 1.4 \times 6.04 + 1.6 \times 3.5 = 14.06 \text{ kN/m}^2$$

Merdiven kol plağı:

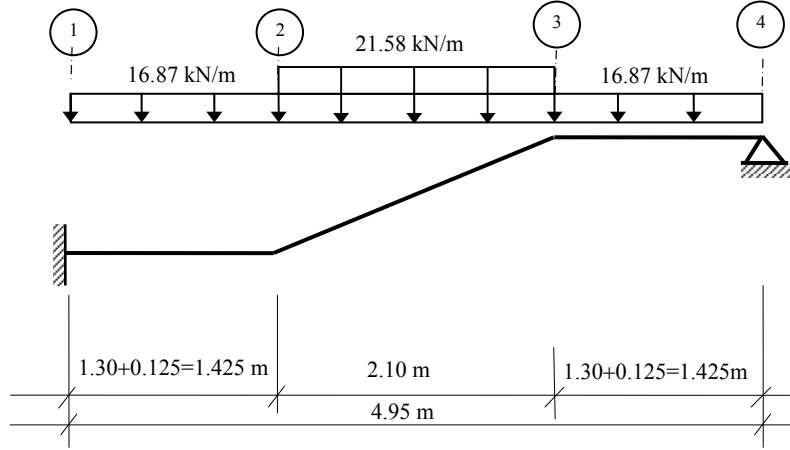
Kendi ağırlığı	$0.20 \times 25 / 0.864$	$= 5.79$	kN/m^2
Basamak ağırlığı	$0.175 \times 23 / 2$	$= 2.01$	kN/m^2
Sıva	19×0.02	$= 0.38$	kN/m^2
Kaplama	22×0.03	$= 0.66$	kN/m^2
Sabit yük	Σg	$= 8.84$	kN/m^2
Hareketli yük	q	$= 3.5$	kN/m^2

$$P_{d,kol} = 1.4 \times 8.84 + 1.6 \times 3.5 = 17.98 \text{ kN/m}^2$$

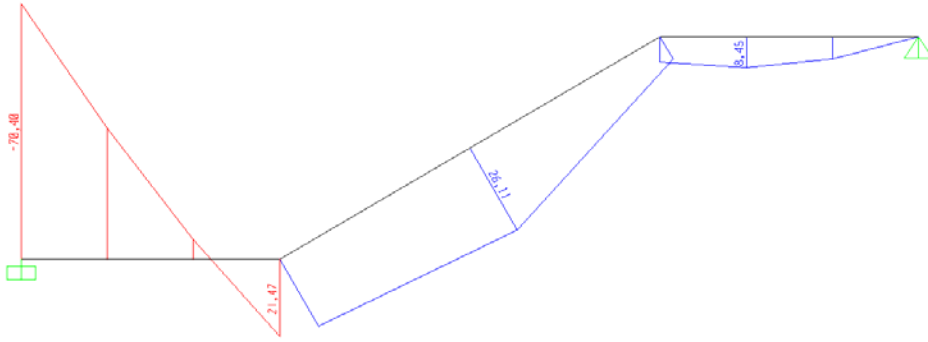
Hesaplanan tasarım yükleri yatay düzlemin birim alanına gelen yüklerdir, merdiven genişliği ile çarpılarak m'ye gelen yükler şeklinde hesaplarda dikkate alınacaktır;

$$P_{d,sah.} = 1.2 \times 14.06 = 16.87 \text{ kN / m}$$

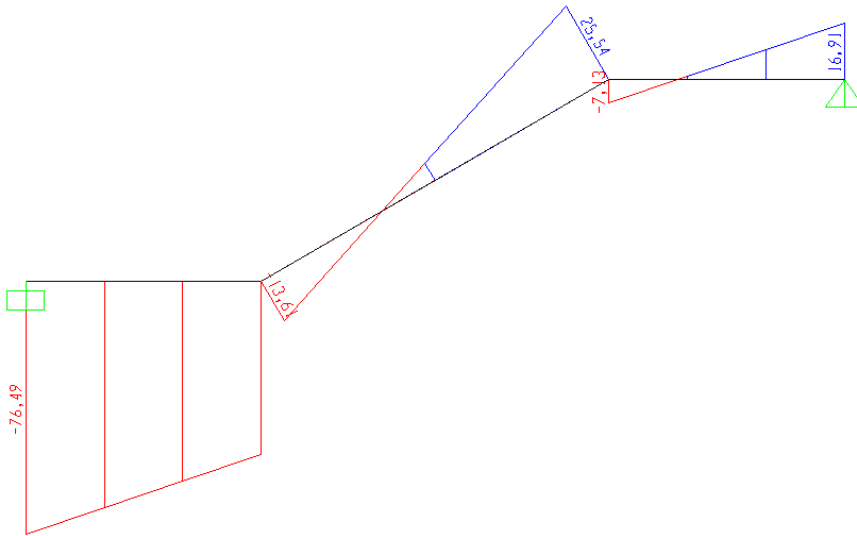
$$P_{d,kol} = 1.2 \times 17.98 = 21.58 \text{ kN / m}$$



Şekil 3.7’de verilen Merdiven planından anlaşılacağı üzere, ara sahanlık plağının duvara oturduğu düşünülmüştür. Dolayısıyla taşıyıcı sistemde bu kesim aksenal kuvvetin etkisini de dikkate almak üzere basit mesnet şeklinde alınmış. Bu durumda sistem 2^o den hiperstatik bir sistemdir ve kesit atalet momenti tüm çubuklarda sabit kabul edilip herhangi bir yöntemle (Kuvvet yöntemi kullanılacaktır) çözümlenerek iç kuvvet dağılımı belirlenebilir:



(M) Diyagramı [kNm]



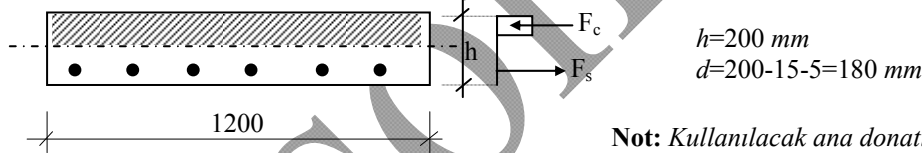
(V) Diyagramı [kN]

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri

Ara sahanlık plağı ile merdiven kol plağı için tasarıma esas eğilme momenti (hesap momenti), en büyük değer olan $M_d=26.11$ kNm olarak dikkate alınmıştır. Ancak kat sahanlık plağı için hesaplanan $M_d=-70.40$ kNm değeri merdiven genişliğine bölünerek 1m genişliğe gelen eğilme momenti değeri olan $M_d=-70.40/1.2=-58.67$ kNm/m, plak çözümünden gelen (moment katsayıları yöntemi ile hesaplanan) değer ile karşılaştırılarak tasarıma esas değer belirlenmelidir; iki farklı çözümden elde edilen mesnet momentlerinden küçük olanının büyüğe oranı 0.8 den büyükse en büyük olan değer alınacak, aksi halde iki moment arasındaki farkın 2/3'ü rijitlikleri oranında dağıtılarak hesap momenti belirlenecektir. Bulunan değer yine merdiven genişliği ile çarpılmalıdır (bu örnek için). Burada $M_d=-70.40$ kNm alınacaktır. Tasarıma esas kesme kuvveti ise en büyük değer olan mesnet kesimindeki değer, $V_d=76.49$ kN şeklinde değerlendirilecektir.

Ara Sahanlık Plağı – Merdiven Kol Plağı Betonarme Hesapları

Sahanlık ve kol plakları (eğik plak) merdiven genişliğinde, merdiven plağı kalınlığında dikdörtgen kesitli bir kiriş gibi ele alınarak betonarme kesit hesapları yapılacaktır.

Eğilme donatısı hesabı

Not: Kullanılacak ana donatı çapı 10 mm, örtü betonu kalınlığı 15 mm varsayılmıştır.

$$\sum M = 0 \rightarrow M_r = M_d = 0.85 \times 13 \times 1200 \times a \times (180 - a/2) = 26.11 \times 10^6 \text{ kNm}$$

$$a^2 - 360a + 3938.16 = 0 \rightarrow a \cong 11.29 \text{ mm}$$

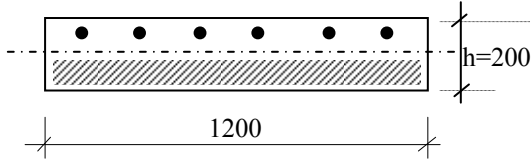
$$\sum F = 0 \rightarrow F_c = F_s \rightarrow 0.85 \times 13 \times 1200 \times 11.29 = A_s \times 365 \rightarrow A_s = 410.15 \text{ mm}^2$$

$$\text{Donatı adedi } n = \frac{410.15}{78.54} \cong 6 \text{ adet,}$$

$$\text{Donatı aralığı } s = \frac{1200}{6-1} = 240 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \rightarrow s = 200 \text{ mm}$$

Bu donatı 1200 mm genişliğindeki merdiven kol plağına 1/2 düz + 1/2 pliye şeklinde yerleştirilecektir; $\phi 10/400$ düz + $\phi 10/400$ pliye .

Kat Sahanlık Plağı Betonarme Hesabı



$$\sum M = 0 \rightarrow M_r = M_d = 0.85 \times 13 \times 1200 \times a \times (180 - a/2) = 70.40 \times 10^6 \text{ kNm}$$

$$a^2 - 360a + 10618.40 = 0 \rightarrow a \cong 32.41 \text{ mm}$$

$$\sum F = 0 \rightarrow F_c = F_s \rightarrow 0.85 \times 13 \times 1200 \times 32.41 = A_s \times 365 \rightarrow A_{s, \text{gerekli}} \cong 1178 \text{ mm}^2$$

Komşu döşemeden gelen donatı plağın mesnet kesiminde mevcut donatı olarak alınmalıdır. Kat sahanlık plağına komşu döşemeden sadece pliye donatı kesintisiz olarak uzatılacaktır. Bu örnekte komşu döşemeden $\phi 10/300$ pliye donatı mevcut donatı olarak kabul edilmiştir. Bu kabule göre,

$$A_{s, \text{mev}} = \phi 10/300 \text{ (komşu döşemeden)} = 262 \text{ mm}^2/\text{m} \rightarrow 315 \text{ mm}^2$$

$$A_{s, \text{ek}} = 1178 \text{ mm}^2 - 315 \text{ mm}^2 = 863 \text{ mm}^2$$

$$\text{Donatı adedi } n = \frac{863}{78.54} \cong 11 \text{ adet,}$$

Donatı aralığı $s = \frac{1200}{11-1} = 120 \text{ mm}$. Bu donatı $\phi 10/120$ şeklinde kesitin üst tarafına yerleştirilecektir. Ayrıca ana donatıya dik doğrultuda, çekme donatısı üzerine $\phi 8/300$ montaj donatısı kullanılacaktır.

Kayma donatısı hesabı

$V_d \leq V_r = 0.22 \times f_{cd} \times b_w \times d$ olmalıdır. Aksi halde kesit asal basınç gerilmeleri ezilmeye neden olur; kesit boyutları büyütülmelidir. Hesap kesme kuvveti sistem üzerinde en büyük değerini kat sahanlığında mesnet kesiminde aldığı için,

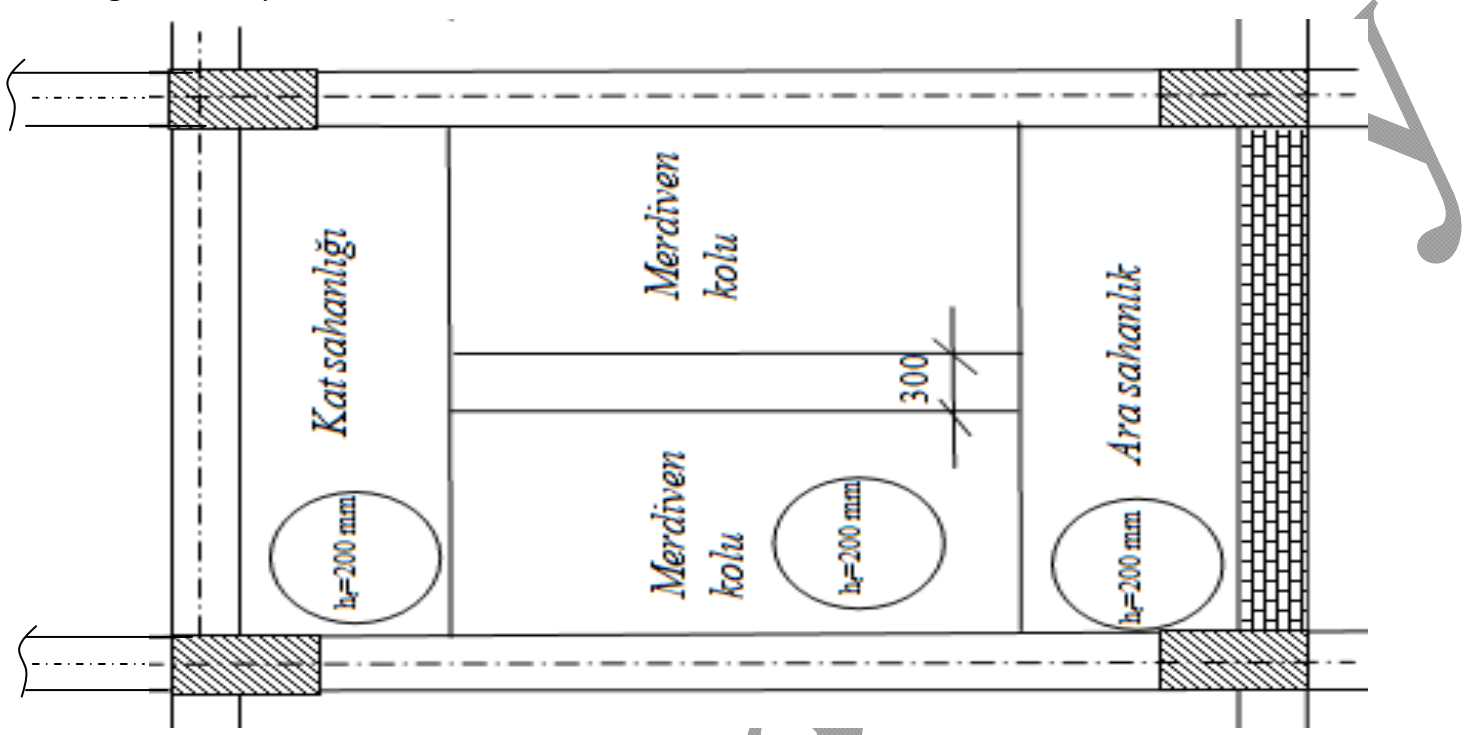
$$V_d = 76.49 \text{ kN} < 0.22 \times 1200 \times 180 \times 13 = 617760 \text{ N} \cong 618 \text{ kN}$$

olduğundan bu koşul sağlanmıştır.

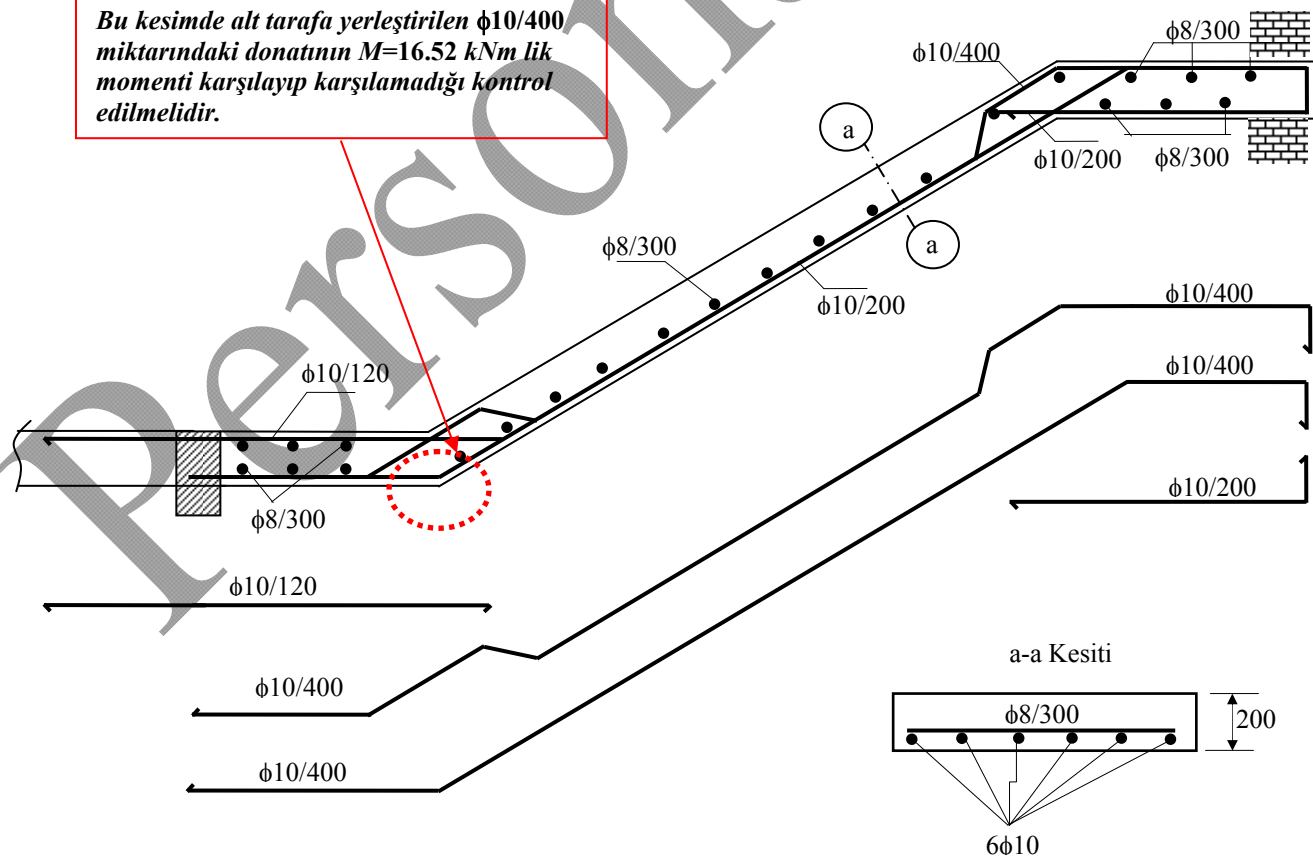
Ayrıca, hesap kesme kuvveti, eğik çatlama neden olacak kesme kuvveti değeri ile karşılaştırıldığında,

$$V_d < V_{cr} = 0.65 \times f_{ctd} \times b_w \times d \times \left(1 + \gamma \frac{N_d}{A_c}\right) = 0.65 \times 1.1 \times 1200 \times 180 = 154440 \text{ N} = 154.44 \text{ kN}$$

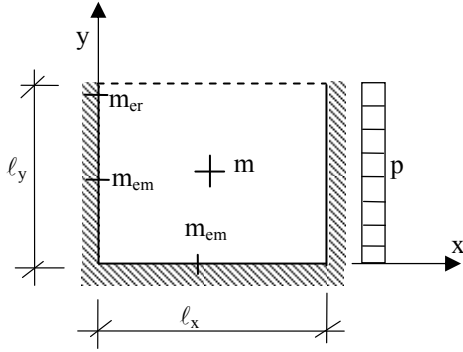
olduğundan beton hesap kesme kuvvetini tek başına karşılamaktadır; kayma donatısı hesabına gerek kalmayacaktır.



Bu kesimde alt tarafa yerleştirilen $\phi 10/400$ miktarındaki donatının $M=16.52 \text{ kNm}$ lik momenti karşılayıp karşılamadığı kontrol edilmelidir.

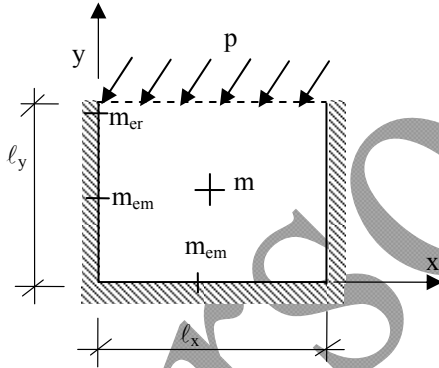


Tablolar



$$\text{Momentler: } M_i = K / m_i; \quad K = p l_x l_y$$

l_y / l_x	0.25	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
m_{xr}	77.8	46.4	26.7	21.3	19.8	19.7	20.9	22.4	24.3	26.4	28.5	31	33.4	35.8
m_{xm}	225	126	63.6	45.6	38.6	35.6	34.2	34	34.3	34.9	35.8	37	38.2	39.8
m_{ymax}	415	205	108	83.4	80	83.5	90.9	99.5	109	119	130	140	150	160
$-m_{xer}$	8.6	7.57	6.77	6.86	7.42	8.24	9.27	10.4	11.6	12.8	14.1	15.3	16.6	17.8
$-m_{xem}$	27.2	23	18.1	15.8	14.6	14.3	14.3	14.5	15	15.6	16.2	17	17.9	18.8
$-m_{vem}$	9.64	9.03	9.02	9.86	11.1	12.6	14.2	15.9	17.6	19.3	21.1	22.9	24.5	26.3



$$\text{Momentler: } M_i = K / m_i; \quad K = p l_x$$

l_y / l_x	0.25	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
m_{xr}	31.2	18.8	10.8	8.45	7.62	7.35	7.21	7.19	7.18	7.19	7.20	7.21	7.23	7.25
m_{xm}	93.6	53.2	28.5	22.4	21.4	22.5	26.1	31.2	38.6	48.3	63	83.4	111	150
$-m_{ym}$	21.8	12.2	14.3	16.7	19	21	23.6	26.8	30.7	36	42.6	51	62.1	76.5
$-m_{xer}$	3.96	3.17	2.47	2.22	2.14	2.12	2.14	2.16	2.19	2.21	2.24	2.27	2.31	2.34
$-m_{xem}$	13	13	11.6	11.8	13	15.3	19.2	25	33.5	46.3	66.3	98	155	250
$-m_{vem}$	5.03	4.95	5.72	7.76	11.2	18.7	32.9	64.1	130	270	-	-	-	-

Kaynaklar

1. Celep Z., Kumbasar, N., “Betonarme Yapılar”, Beta Dağıtım, İstanbul, 1998.
2. Köseoğlu, S., “Merdivenler”, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1992.
3. Çetmeli, E., “Çubuk Sistemler Plaklar ve Kabukların hesabı için Tablolar”, Pimaş
4. Ayvaz, Y., “Betonarme”, Ders notları (Basılmamış)

PERSONAL COPY