

T.C.
TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI
Personel Genel M¼d¼rl¼ė¼

Unvan Değişikliği Sınavı
Ders Notu



M¼hendis
(İnşaat)

Uyarı: Bu dok¼man çeşitli kaynaklardan faydalanılarak oluşturulmuş bir derlemedir. Hiçbir suretle ¼zg¼n bir kitap ¼zelliėi taşımamaktadır. Sadece ilgili konularda bilgi edinme amaçlı olarak kullanılması için bu dok¼man oluşturulmuştur. Kesinlikle başka çalışmalarda dipnot olarak g¼sterilemez.



GÖREV ALANLARI VE ATAMA YAPILACAK GÖREVİN NİTELİĞİNE İLİŞKİN KONULAR

- BETONARME
- DÖŞEMELER
- TEMELLER
- AĞIRLIK MERKEZİ
- RİJİD CİSİMLERİN DENGESİ
- ÇUBUKLARDAKİ İÇ KUVVETLER
- KAFES SİSTEMLER

BETONARME

Yapıların sınıflandırılması

Kullanım amacına göre:

- Konutlar
- İş merkezleri
- Sanayi yapıları
- Köprüler
- Barajlar

Üretim şekline göre:

- Bırdöküm yapılar
- Öndöküm (prefabrik) yapılar
- Öngerilmeli (prefabrik) yapılar
- Ardgermeli (prefabrik) yapılar

Taşıyıcı sisteminin malzemesine göre:

- Yığılma yapılar (dolu tuğla, düşey delikli tuğla, gazbeton, doğal taş, beton briket)
- Ahşap yapılar
- Çelik yapılar
- Betonarme yapılar

Görsel:

- Normal yapılar
- Yüksek yapılar
- Gökdenler

Yerine göre:

- Üst yapı (Apartman, kule, baca...)
- Alt yapı (Yol, tünel, kanalizasyon, köprü,...)

Sahibine göre:

- Özel kişilere ait yapılar
- Kamu yapıları

Taşıyıcı sistemler

- Salt çerçevesel sistemler
- Salt perdeli sistemler
- Perde-çerçevesel sistemler (karma sistemler)
- Kabuklar
- Kablolu sistemler

Betonarme taşıyıcı elemanlar

- Döşemeler
 - Kirişli döşeme
 - Kirişsiz döşeme
 - Dişli(nervürlü) döşeme
 - Asmolen döşeme
 - Kaset(izgara)-kiriş döşeme
- Kirişler
 - Dikdörtgen, tablalı, I, kutu kesitli kirişler
- Kolonlar/perdeler
 - Dikdörtgen, daire, sekizgen, halka, kutu, L, I, T, C kesitli kolonlar/perdeler
- Temeller
 - Duvaraltı temeli
 - Tekil temel
 - Sürekli Temeller
 - Radye temeller

Koyu yazılanlar Betonarme II nin konusu olarak bu yarıyl içinde ele alınacaktır.



Radye temel

Bir yapının statik-betonarme projeleri aşağıdaki aşamaları içerir:

1.Ön hazırlık:

Miman proje incelenir, yapı kavranır. Miman ölçüler, kolon ölçek dikkate alınarak, kontrol edilir. İnşaatın yapılacağı arsa incelenir. Taşıyıcı zemin, deprem bölgesi ve kar bölgesi hakkında bilgiler toplanır. Yapının taşıyıcı sistemine (salt çerçevesel sistem, salt perdeli sistem, Perde-çerçevesel sistem gibi) karar verilir. Malzeme seçilir. (Beton ve çelik sınıfı) Statik ve betonarme hesaplar için hangi araçların kullanılacağına (ilgili yönetmelikler, kaynaklar, el hesapları, tablolar, bilgisayar yazılımları) karar verilir. Projenin küçük yada büyüklüğüne bağlı olarak uygun ekip oluşturulur. Projenin zamanında tamamlanıp teslim edilmesi çok önemlidir. Gecikmeler büyük maliyetlere neden olabilir. Bu nedenle iş programı yapılır ve uyulur.

2.Kat kalıp planları:

Kat kalıp planı, kalıp söküldükten sonra, kata alttan bakıldığında görülmeye istenen brüt betonun sanal fotoğrafıdır. Kolon/perde, giriş ve döşeme gibi taşıyıcı elemanların yerleşimi, adlarına ve boyutlarına ait bilgileri içerir. Duvar, kapı, pencere, kaplama gibi mimari bilgileri içermez. Mimarisini farklı olan her kat için, 1/50 ölçekli, ayrı bir kat kalıp planı çizilir. Her kat planında, anlaşılmasını kolaylaştırmak için, en az iki kesit verilir. Kat kalıp planının tamamlanması ile yapının taşıyıcı sistemi seçilmiş olur. Bu nedenle projenin ön önemli aşamasıdır. İyi yada kötü seçim yapının geleceğini iyi yada kötü olarak belirler. Kötü bir seçim sonrası ince hesapların hiçbir anlamı yoktur. **Kötü bir taşıyıcı sistemi olan yapıyı hiçbir inceleme hesapla kurtaramaz.**

3.Döşeme hesapları:

Normal yapılarda döşeme yükünün düzgün yayıldığı ve depremin etkilediği varsayılır. Yük analizi yapılarak döşeme karakteristik yükleri (q sabit ve q hareketli) belirlenir. Çatı döşemelerinde kar yükü, duvar taşıyan döşemelerde duvar yükü dikkate alınır. Merdiven yükü sahanlık plaklarına, veya varsa sahanlık kırımlarına aktarılır. $P_d = 1.4q + 1.6q$ tasarım yükünden her döşemede oluşan iç kuvvetler (momentler) belirlenir. Döşeme betonarme hesapları yapılarak belirlenen donatılar ilgili kat kalıp planı üzerine çizilir.

4.Kiriş yükleri:

Kirişin kendi ağırlığı, varsa üzerindeki duvarın ağırlığı, döşemelerden kirişe gelen yük ve varsa kirişe sapan başka kirişten gelen tekil yük kiriş yükü olarak alınır. Sabit ve hareketli yükler ayrı ayrı belirlenir, toplanmazlar (düşey, deprem ve diğer yük etkilerinin birleşimlerinin yapılabilmesi için).

5.Kiriş ve kolonların düşey yükler altında statik hesapları:

Taşıyıcı sistem uzay veya düzlem çerçeve olarak modellenir. Günümüzde bu amaçla kullanılan yazılımlar üç boyutlu modelleme yapmaktadır. Kiriş, kolon ve perdelerin karakteristik iç kuvvetleri (moment, kesme, normal kuvvet, ...) hesaplanır. Hesaplar karakteristik sabit yükler ve hareketli yükler için ayrı ayrı yapılır.

6.Kiriş ve kolonların yatay yükler altında statik hesapları:

Deprem ve rüzgardan, hangisi etkin ise (Türkiye'de genelde deprem) bu etki altında kiriş, kolon ve perdelerde oluşan karakteristik iç kuvvetler belirlenir.

7.Kirişlerin betonarme hesapları ve çizimleri:

Yük katsayıları dikkate alınarak, tasarım kuvvetleri (moment, kesme) için, her kirişin boyuna ve enine (etriye) donatıları belirlenir. Her kirişin 1/20 ölçekli detay çizimi yapılır. Kiriş boyuna ve enine kesitinde boyuna donatılarının ve etriyelerinin açılımları, çap, adet, aralık, boy ve sarılma bölgesi uzunlukları gösterilir.

8.Kolon/perde betonarme hesapları ve çizimleri:

Yük katsayıları dikkate alınarak, tasarım kuvvetleri (moment, kesme, eksenel kuvvet, burulma) için, her kolon ve perdenin boyuna ve enine (etriye, fret, çiroz) donatıları belirlenir. Kolon yerleşim (aplikasyon) planları değişiklik arz eden her kat için çizilir. Aplikasyon planında akslar 1/50, kolonlar/perdeler 1/20 ölçekli çizilir. Her kolon ve perdenin adı, boyutları, akslardan kaçıklıkları, boyuna donatıları, etriye ve çirozların açılımları kolon yerleşim planı üzerinde gösterilir. Büyük boyutlu kolon ve perdeler çizildiklerinde bazen kesilir, çizim detayları üst üste düşerler. Bu durumlarda, bu kolon ve perdeler sembolik olarak dış çizgileri ile ölçeksiz olarak gösterilir, poz numarası verilir ve detayı 1/20 ölçeğinde paftanın aynı bir yenne çizilir. Ayrıca, farklı kesit ve donatılı her kolon ve perdenin düşey kesiti çizilerek boyuna donatı, enine donatı, ek bölgeleri, bindirme boyları ve sarılma bölgeleri gösterilir.

9.Temel kalıp planı, statik-betonarme hesapları ve çizimleri:

Temel tipi seçilir, 1/50 ölçekli kalıp planı çizilir, statik ve betonarme hesapları yapılır, 1/20 ölçekli gerekli detay çizimleri yapılır.

10.Merdiven hesapları ve çizimleri:

Merdiven kalıp planı, statik-betonarme hesapları ve detay çizimleri hazırlanır.

11.Betonarme uygulama projesi çizimlerine ilişkin kurallar (Deprem Yönetmeliği 2007, madde 3.13):

- Beton ve çelik sınıfı her paftada gösterilir
- Etkin yer ivmesi katsayısı (A_0), Bina önem katsayısı (I), Yerel zemin sınıfı (Z_1-Z_4) ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) tüm kalıp planlarında gösterilir
- Her kiriş için boyuna ve enine kesitler çizilerek donatı açılım ve detayları gösterilir.
- Her kolon ve perdenin enkesit detayı (boyutlar, eksenlerden kaçıklıklar, boyuna ve enine donatılar) kolon yerleşim planında gösterilir. Her farklı kolon ve perde için boyuna kesit detayları çizilir, sarılma bölgeleri gösterilir.

12.Yapı ile ilgili belgeler için bakınız: TS500-2000, Sayfa 9

13. Kontrol:

Tamamlanan proje 2. adıma dönülerek sırayla kontrol edilir, gerekirse düzeltmeler yapılır.

Taşıyıcı sistem seçimi = **Yapının Kaderi !**

İnşaat Mühendisinin görevi, kendisine verilen mimar projeye göre taşıyıcı sistemli oluşturmaktır. Bu nedenle, iyi bir taşıyıcı sistemin ilk şartı iyi bir mimardır. Kötü mimarisi olan bir yapıyı Mühendisin "ince hesaplarla" ayakta tutması mümkün değildir. Mimar ve Mühendis, mimari projenin hazırlama aşamasından başlayarak, taşıyıcı sistem kararlaştırılincaya kadar beraber çalışmalıdır. Ülkemizde bunun yapıldığını söylemek mümkün değildir.

Mimarın hedefi: Estetik, Fonksiyonellik → Eser
Mühendisin hedefi: Güvenlik → Kutu

Uygulamada mimar mühendis, mühendis de mimar hemen hiç görmez. Nadiren bir araya gelirler de birbirinin derdini pek anlamazlar. Mimar için estetik, mühendis için güvenlik ön plandadır. Mimar "eserinden" taviz vermek istemez, mühendis de "kutu" gibi bina ister.

Taşıyıcı sistem seçimi her projenin en önemli aşamasıdır ve deneyim gerektirir. Deneyim öğretilmez, görecük yaşanarak zamanla kazanılır. Taze Mühendis hemen büyük işlere soyunmamalı, önce deneyim kazanmalıdır. Bir kez görmek, uygulamak bin kez okumak ve dinlemekten daha öğreticidir. İlk büyük deneyim ilk proje ile kazanılır.

Mühendis, taşıyıcı sistem seçiminde kazanılmış deneyimlerden yararlanmalı, meslektaşları ile sistemi tartışmalı, gerekli özeni göstermeli ve yeterli zaman ayırmalıdır.

Mühendis taşıyıcı sistem kararlaştırdıktan sonra çizim ve hesapları bilgisayarda yazılım ile gerçekleştirir. Yönetmeliklerin ağır koşulları ve zaman darlığı nedeniyle klasik el hesapları artık yetersiz ve gereksiz kalmaktadır. Bu nedenle, iyi mimarî, mimar-mühendis işbirliği, yönetmelik koşullarını yerine getirebilen iyi bir yazılım, yazılımı tanıma, yeterli zaman, iyi davranış bilgisi ve deneyim sahibi mühendis, hesap-çizim sonrası özenli kontrol ve düzeltme iyi bir taşıyıcı sistem için ön koşul olarak karşımıza çıkmaktadır.

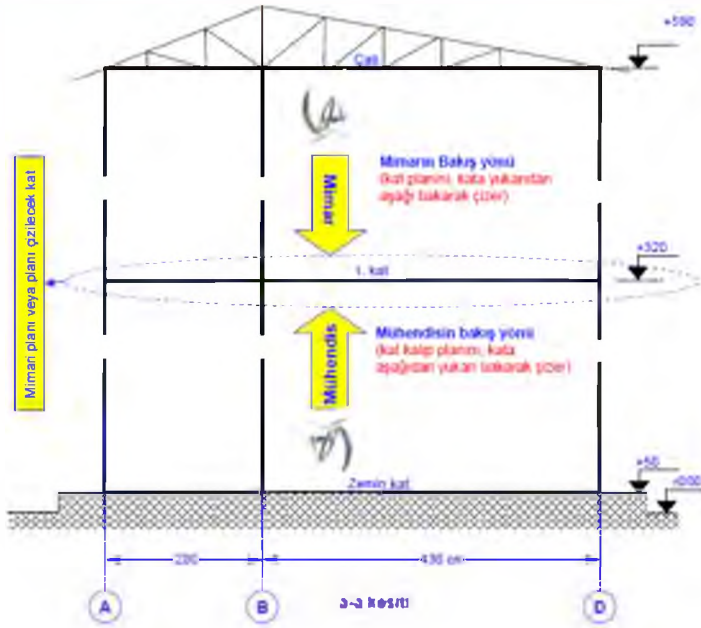
Taşıyıcı sistem seçiminde temel kural :

Düşey olsun yatay olsun, yükler en kısa yoldan temele ulaşmalı, yapı içinde dolanmamalıdır!

Bunun anlamı:

- Doşemeler kirişlere oturmalı
- Kirişler sürekli olmalı
- Kirişlerin her iki ucu kolona oturmalı
- Kolon kolona oturmalı
- Kiriş kolon aksları çakişmalı
- Bir yöndeki kirişler birbirine paralel olmalı
- Bir yöndeki kolonlar birbirine paralel olmalı
- Deprem için yeterli perde bulunmalı

Kat kalıp planı



•Mühendis, mimari projedeki kat planlarını, kesit ve görünüşleri inceleyerek mimarın tasarladığı yapıyı anlamaya çalışır, hayalinde canlandırır.

•Mimar projede kolonlar, kirişler, doşemeler, bunların yerleri ve boyutları (yani yapının taşıyıcı sistemi) yoktur. Bazı mimar projelerde kolon yerleri gösterilmiş olabilir. Mühendis mimarın önerilen yerde ve boyutta kolon koymak zorunda değildir.

•Mühendis önce kat kalıp planlarını çizer. Yapı kat seviyesinin altından kesilerek yukarı bakılır, görülmesi istenen kirişler, kolonlar/perdeler ve doşemeler çizilir.

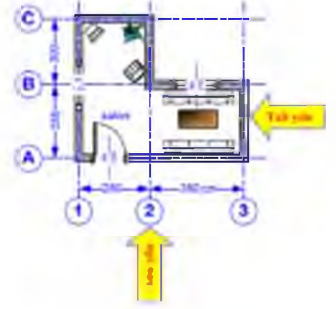
•Kat kalıp planında sadece akslar, ölçüler, betonarme taşıyıcı elemanlar (doşeme, kolon/perde, kiriş), bunların yerleri, adları ve boyutları gösterilir. Duvar, kapı, pencere, kaplama, v.s. gösterilmez. Diğer bir anlatımla, kat kalıp planı kalıp alındıktan sonra kata alttan bakıldığında görülecek olan brüt betonun sanal fotoğrafıdır.

Kat Planı: Katın üstten çekilmiş sanal fotoğrafı

Kat Kalıp Planı: Katın kalıp alındıktan sonra alttan çekilmiş sanal fotoğrafı

Projeye (paftalara) nasıl bakılır?

Projeye iki farklı yönden bakılır: Ana ve tali bakış yönü. Ana bakış yönü, mimarın plana hacimlerin adlarını soldan sağa okunacak şekilde yazmak için baktığı yöndür. Örnekte "salon" yazısı plana sadece ana yönden bakıldığında soldan sağa okunabilmektedir. Tali bakış yönü de ana bakış yönüne dik ve ölçü yazıları soldan sağa okunacak şekilde bakılan yöndür. Mimarı bakış yönüne mühendis tüm proje boyunca, kendi çizimlen de dahil, sadık kalmak zorundadır. Aksi halde proje ve uygulama aşamasında önlenemez hatalar olur. Uygulamada yapıyı arsaya ters yerleştirenler ile bile karşılaşılmaktadır.



Nerelere kiriş konur?

Kirişlerin ana görevi duvarları ve döşemeleri taşıdır. Duvarlar da genellikle hacimleri (döşemeleri) sınırlar. Buna göre kirişler 3 aşamada yerleştirilebilir. 1) Başkaca hiçbir şey düşünmeksizin, her duvarın altına bir kiriş konur. 2) Çok büyük döşemeleri küçültmek için ek kiriş konur. 3) Oluşan kiriş ağına bakılır, gerekli görülürse, bazı kirişler kaldırılır.

1. Aşama: Dolgu duvarlar tam ve yarım duvar olarak anılır. Genelde yapının dış cephelerinde olan tam duvarlar kalın (200-300 mm), yarım duvarlar (genelde iç duvarlar) ince (100-150 mm) dir. Her tam ve yarım duvarın altına, başkaca hiçbir şey düşünmeksizin, kiriş konur. Kiriş duvarın altına denk gelmelidir, ancak duvarın kirişi tam ortalamasına gerek yoktur. Kiriş duvardan daha geniş ise kirişin bir yüzü duvarın bir yüzü ile çakıştırılarak bir tarafa kaçık kiriş yerleştirilebilir. Kaçık kiriş hacimde dış oluşmasına neden olur, sadece estetik yönden hoş değildir. Gerekli görülürse, kaçıklık önemsiz hacim tarafına doğru yapılır.

2. Aşama: 1. aşama sonucunda oluşan kiriş ağına bakılır. Kirişler arası genelde döşeme olacaktır. Çok büyük döşemeler (küçük kenar yaklaşık 5 m den büyük döşeme) varsa ek kirişler konularak döşeme küçültülür.

3. Aşama: 1. ve 2 aşama sonucunda oluşan kiriş ağına bakılır. Bazı kirişler birbirine çok yakın olabilir. Örneğin, ıslak hacimlerde, birden çok tuvalet olan bölgelerde 80-90 cm aralıklarla ince duvarlar (yarım duvar) olabilir. Bu gibi durumlarda, 1. aşamada her duvarın altına bir kiriş konulduğundan, kirişler çok sık olur. Yarım duvarların altına, zorunlu hallerde, kiriş konulamaz. Gerekli görülürse, bazı kirişler kaldırılır. Ancak bu durumda duvar döşemeye olacaktır. Duvar yükü hesaplanarak döşemeye yayılı hareketli yük olarak venilir. Bu yük en az 1.5 kN/m² alınır.

•Kirişlerin kolonu-kolona bağlaması temel ilkedir. Kolona oturmayan saplama veya kolon yüzüne yapışık kirişler sakıncalıdır, mümkün olduğunca kaçınılmalıdır.

•Normal olarak döşemeler kirişlere üstten bağlıdır, kiriş döşeme altına doğru sarkar. Nadiren kiriş döşemenin üstünde de olabilir (Ters kiriş). Ancak, süreksizlik yaratacağından, kaçınılmalıdır.



Nerelere kolon/Perde konur?

Kolon veya perdelerin asli görevlerinden biri kirişlerin yükünü alarak kolondan-kolona ve sonuçta temele aktarmak. Diğer de deprem/rüzgâr gibi yatay yükleri kiriş ve döşemeler yardımıyla kolondan-kolona aktarmaktır. Yapının her iki yönünde uzanan kirişler birbirini ile kesişir. Buna göre kolon ve perdeler aşama aşama yerleştirilebilir.

1.Aşama: Kirişlerin keşiştiği her noktaya bir kolon konur. Konulan kolonun mimarı bozmasına, kapı-pencere gibi yerleri kapamamasına dikkat edilir. Kolonun alt ve üst katlarda nereye denk geldiği kontrol edilir. Kiriş-kolon akslarının çakıştırılmasına özen gösterilir.

2.Aşama: Betonarme kiriş açıklığının üst sınırı yaklaşık 6-7 m dir. 1. aşamada yerleştirilen kolon ağına bakılır, açıklığın bu sınıra zorlaması halinde kolon konularak kiriş açıklığı azaltılır.

3. Aşama: Kolon ağına çok sık olduğu bölgelerdeki kolonlardan uygun görülenleri kaldırılır. Birbirine çok yakın iseler birleştirilerek tek kolona dönüştürülmesi de düşünülebilir. Kaldırılması durumunda saplama kiriş oluşacaktır. Bu da istenmeyen bir durumdur, ancak birini benimsenmek gerekir. Saplama kiriş olan bir kirişin başka bir kırışe saptırılması çok daha kötü bir çözümdür, önlenmelidir.

4.Aşama: Kolonların yapının geometrik merkezinden geçen tahmini eksenlere göre simetrik konumlanmasına özen gösterilir.

5.Aşama: Kolonların her iki deprem yönünde yaklaşık aynı rijitliği göstermesi için, gerekirse bazılarının yönleri, boyutları değiştirilir.

6.Aşama: Kütle merkezi ile rijitlik merkezi yaklaşık tahmin edilir. Kütle merkezi yaklaşık olarak yapının geometrik merkezidir. Rijitlik merkezi ise kolon ve perde kesme kuvvetlerinin bileşkesinin geçtiği noktadır. Deprem kuvveti kütle merkezinden geçer. Kütle ve rijitlik merkezi çakışmadığı takdirde yapıda burulma momentleri oluşur, yapı rijitlik merkezi etrafında döner ve bu istenmez. Bu nedenle kolon yön ve boyutlarında gerekirse değişiklik yapılır, rijitlik merkezi kütle merkezine yaklaştırılmaya çalışılır. İki merkez arasındaki mesafe = Dışmerkezlik (kaçıklık) yapının kaçıklığa paralel kenarının %10 nu aşmamalıdır. İdeal durum, dışmerkezliğin sıfır olmasıdır. Bu da sadece tam simetrik yapılarda mümkündür.

7.Aşama: kolonların alt/üst katlarda mimarı fonksiyonları bozup bozmadığına bakılır, gerekirse düzeltmeler yapılır.

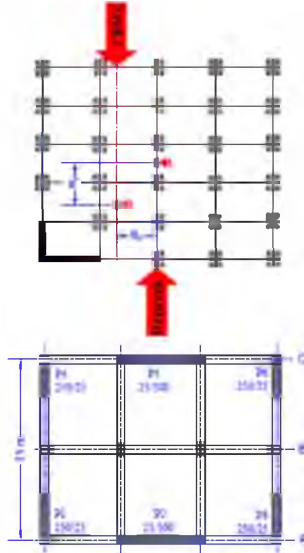
8.Aşama: Kat sayısı ikiden fazla olan yapılarda, deprem kuvvetlerini karşılamak için, perde gerekir. Kolonlardan uygun görülen perdeye dönüştürülür. Perdeler eklenince bina cephelerine ve simetrik yerleştirilmeye çalışılır.

Dikdörtgen ve dairesel kesitli perde/kolon öncelikle tercih edilir. L, T, Z, v.b. kesitli kolondan elden geldiğince kaçınılır. Kolon yerine perde daima tercih edilmelidir. Yapının her iki deprem yönünde de $A_{perde} \geq 0.0015nA_{yapı}$ ve $A_{perde}/A_{yapı} \geq 0.008$ koşulları yaklaşık sağlanacak kadar perde bulunmalıdır. Burada A_{perde} bir yöndeki perdelerin toplam kesit alanı, $A_{yapı}$ yapının izdüşüm alanı ve n kat sayısıdır. Perde mutlaka yapı yükseklüğince (temelden çatıya), kesiti değişmeden devam etmelidir. Üst katlarda veya alt katlarda devamı olmayan kolondan şiddetle kaçınılır.

Kat kalıp planı verimisi bir yapının perde boyutlarının yukarıda verilen koşulları sağlayıp sağlamadığının kontrolü sağda verilmiştir. X yönündeki depreme P2 ve P5 perdeleri direnir, diğer perdeler direnemezler. Y yönündeki depreme ise P1, P3, P4 ve P6 perdeleri direnir P2 ve P5 perdeleri direnemezler.

Nerelere döşeme konur?

Kirişlere karar verildikten sonra nerelere döşeme konulacağı genelde kendiliğinden ortaya çıkar. Kirişlerle çevrili alanlar genellikle döşeme olmak zorundadır. Ancak mimarı gösterilen aydınlık boşluğu, merdiven boşluğu ve diğer amaçlı boşluklar döşeme ile kapatılmamalıdır. Büyük boşluklar diyagonal bir çizgi üzerine adı yazılarak belirtilir. Yapı dışına çıkan balkonlar üç tarafı kirişsiz veya dört tarafı kirişli döşeme olarak yapılabilir.



$$n=10, A_{yapı} = 11 \cdot 15 = 165 \text{ m}^2$$

X yönündeki direnen perdeler(P2, P5):

$$A_{perde} = 2 \cdot 0.25 \cdot 5.0 = 2.5 \text{ m}^2$$

$$A_{perde} = 2.5 > 0.0015 \cdot 10 \cdot 165 = 2.48 \text{ m}^2$$

$$A_{perde} / A_{yapı} = 2.5 / 165 = 0.015 > 0.008$$

Y yönündeki direnen perdeler(P1, P3, P4, P6):

$$A_{perde} = 4 \cdot 0.25 \cdot 2.5 = 2.5 \text{ m}^2$$

$$A_{perde} = 2.5 > 0.0015 \cdot 10 \cdot 165 = 2.48 \text{ m}^2$$

$$A_{perde} / A_{yapı} = 2.5 / 165 = 0.015 > 0.008$$

Kiriş ve kolon/perde boyutu nasıl seçilir?

Kiriş ve kolon/perde boyutlarını belirlemek için onu zorlayan iç kuvvetlerin (moment, kesme, normal kuvvet, ...) bilinmesine, bu kuvvetlerin hesabı için de söz konusu elemanların boyutlarını bilinmesine gerek vardır. Bu nedenle, kalıp planları hazırlanırken basit bir ön tasarımla **boyutlar tahmin edilir, seçilir**. Deneyimli mühendisler genelde ön tasarım yapmadan boyutları seçebilirler. Seçilen boyutlar çoğunlukla yeterli olur. Kesin tasarım sonucu yetersiz kaldığı anlaşılan kesitler büyütülür, statik hesaplar genelde yenilenmez. **Kiriş ve kolon/perde boyutlarının yönetmeliklerde belirtilen minimum koşulları sağlanması gerekir.** Yönetmeliklere göre kiriş ve kolon en küçük kesiti 250x300 mm, perde en küçük kesiti 250x1750 mm dir. Ancak, mühendis özellikle kolon ve perde boyutlarında çok daha cömert davranmalıdır, Çünkü deprem kuvvetini öncelikle kolon ve perdeler karşılar.

Kirişler: Kiriş minimum kesitini 250x500 mm olarak benimsemek iyi bir yaklaşımdır. Kiriş genişliği, dış oluşmaması için, genelde duvar kalınlığında veya en küçük boyut olan 250 mm seçilir. **Kiriş yüksekliği = net açıklık/12** iyi bir tahmindir. Normal konut yapılarında 3-5 m açıklığa kadar 250x500 mmxmm, 4-7 m açıklığa kadar 250x600 veya 250x700 mmxmm boyutlu kiriş çoğunlukla yeterli olur. Ağır yüklenen veya konsolları olan kirişler doğrudan 250x700 veya 30x600 mmxmm seçilebilir, Önemli yapılarda (bina önem katsayısı >1 olan okul, hastane gibi yapılar) en küçük kiriş boyutunu 300x600 mmxmm almak uygun olur. Bir aks boyunca devam eden kirişlerin yüksekliklerinin ve genişliklerinin aynı olmasına özen gösterilir. Tersisi durumda boyuna donatıların komşu açıklara uzatılması mümkün olmaz, bağlantı ve kenelleme sorunları çıkar. Kat yüksekliğinin (döşeme üstünden-döşeme üstüne mesafe) yetersiz olduğu durumlarda, kirişin kapı-pencere ve merdivenleri engellemesi için geniş fakat yüksekliği az kiriş yapılabilir, örneğin, 500x400 mm , 600x300 mm gibi. Bu tür kirişlere **yastık kiriş** de denir.

Kolonlar: Kolon minimum kesitini 250x500 mm olarak benimsemek iyi bir yaklaşımdır. Yapının en üst kat kolonları 250x500 mmxmm boyutunda seçilebilir. Kolon ve perdelerin yük etkileri alt katlara doğru giderek artar, temel üstü kolonları en çok zorlananlardır. Her iki-üç katta bir, kenarlardan biri veya her ikisi, örneğin 100 mm, artırılır. Önemli yapılarda minimum kolon kesitini 400x400 veya 300x500 mm almak uygun olur. Diğer taraftan **Kolonun küçük kenarı > Kolon yüksekliği/20 de kesit tahmininde yardımcı olur.** Kolon boyutunun kattan kata değişmesi delay/uygulama/donatı yığılması sorunları yaratır. Bu da kolon yerine perdenin tercih edilmesinin bir diğer nedenidir.

Perdeler: Perdeler temelden başlayarak tüm bina yüksekliğince (temelden çatıya), kesit değiştirilmeden, devam eder TS500-2000 e göre, en küçük perde kesiti 250x1750 mmxmm dir. Önemli yapılarda minimum perde kesiti 300x2500 mm uygun olur. Ancak, bu boyutlar 3-4 katlı yapılarda yeterlidir. 5-10 katlı yapılarda çok daha büyük perde kesitlerine, örneğin, 250x3000, 250x5000, hatta 300x6000 mmxmm gereksinim vardır.

Kesit tahmini; deneyimi olmayanlarda rahatsızlık yaratır. **"Ya tutmazsa"** kaygusu yaşarlar. Kaygularını gidermek için şunlar söylenebilir: Betonarme, bildiği gibi, beton ve çeliğin oluşturduğu kompozit bir malzemedir. Seçilen kesit küçük (beton az) olursa donatı çoğalır, kesit büyük (beton çok) olursa donatı azalır. Yani, iki malzeme birbirinin eksikliğini dengeler. Bu güzel özellik nedeniyle seçilen kesitin tutmaması olasılığı çok zayıftır. Ayrıca, uygulamada tüm hesap ve çizimler bilgisayarda yapıldığından, kesitin tutmaması durumunda değiştirilmesi ve hesapların tümünün yenilenmesi bir-iki dakikada tamamlanır.

Döşeme kalınlığı nasıl seçilir?

Döşeme kalınlığına karar vermeden önce tipini seçmek gerekir. Kirişli döşeme, kirişsiz döşeme, dışı döşeme ve asmolen döşeme gibi. Bu ders çerçevesinde döşemelerin özellikleri, davranışları ve bunlara ait minimum koşullar öğrenildikten sonra konu açıklık kazanabilecektir. Ancak şimdilik, çok yaygın olarak kullanılan kirişli döşemelerin kalınlığı için aşağıdakiler önerilecektir:

Kalınlık en az >100 mm, büyük döşemelerde kalınlık >120-150 mm, kirişsiz balkon döşemelerinde kalınlık >150mm, üzerinden hafif araç geçen döşemelerde kalınlık >150 mm, büyük boşlukları olan döşemelerde ve merdiven sahanlıklarında kalınlık >150-200 mm.

Akslar nasıl adlandırılır?

Akslar kiriş, kolon gibi elemanlarının inşaat alanında yerleşimlerinde kullanılır. Her kiriş ve kolonun akslara göre yeni eksiksiz tanımlı olmak zorundadır. Aks adı için standart bir kural yoktur. Mimari planlardaki aksların adı ve sırası aynen korunur, kesinlikle değiştirilmez. Mimari planda olmayan bir aks eklemek gerekebilir. Bu durumda yeni aks önceki aksın adına a veya 1 indisi eklenerek adlandırılır. Örnek1: 2-3 aksları arasına iki yeni aks eklenecekse adları 2a ve 2b olarak seçilir. Örnek2: B-C aksları arasına iki yeni aks eklenecekse, adları B1 ve B2 olarak seçilir.

Kolon/perdeler nasıl adlandırılır?

Standart bir kural yoktur. Uygulamada Kolonlar **Sknn b/h** şeklinde adlandırılır. S harfi Kolon (Almanca **Saule**) anlamındadır. k kolonun bulunduğu kat numarası, **nn** de o kattaki kolon numarasıdır ve 01.....99 arasında bir sayıdır. **b/h** kolonun boyutudur. Örnek: **S109 300/700**, 1 katta 09 nolu kolon, boyutları 300x700 mmxmm anlamındadır. Kalıp planına **ana bakış yönünde** bakılarak bu ad kolonun yanına yazılır. Perdelerin adları genelde P ile başlar. Örnek **P105 250/2000**

Kolon ve perdelerin bir diğer isimlendirme şekli de üzerinden bulunduğu akslardan yararlanmaktır. Örnek: **B82**, B ve 8 akslarının kesiştiği noktada ve 2. Katta bulunan kolon veya perde anlamındadır. Bu numaralandırma şekli, kolonun yeminin kolay bulunması açısından daha kullanışlı olmakla birlikte, maalesef uygulamada yaygın olarak kullanılmamaktadır.

Ana bakış yönünden bakılarak ilk yatay aks üzerindeki kolonlara, soldan sağa doğru isim verilir. Diğer yatay akslar üzerindeki kolonlara da aynı yöntem uygulanır.

Bir kolonun/perdenin sonradan kalıp planına eklenmesi veya çıkartılması durumunda kolonlar/perdeler yeniden adlandırılmaz. Kalıp planına eklenen kolon/perdeye, aynı aks üzerinde ve ona en yakın kolonun/perdenin adına indis eklenerek ad verilir. Çıkarılan kolon adı kalıp planında görülmez.

Kirişler nasıl adlandırılır?

Standart bir kural yoktur. Uygulamada kirişler **Kknn b/h** şeklinde adlandırılır. K harfi Kiriş anlamındadır. k kirişin bulunduğu kat numarası, **nn** de o kattaki kiriş numarasıdır ve 01.....99 arasında bir sayıdır. **b/h** kirişin genişliği ve yüksekliğidir. Örnek: **K109 250/500**, 1. Katta, 09 nolu kiriş, genişliği 250 mm yüksekliği 500 mm anlamındadır.

Kalıp planına **ana veya tali bakış yönünde** bakılarak bu ad kiriş üzerine, genelde sol ucuna, yazılır. Önce ana bakış yönünden bakılarak ilk yatay aks üzerindeki kirişlere, soldan sağa doğru isim verilir. Diğer yatay akslar üzerindeki kirişlere de sırasıyla aynı yöntem uygulanır. Sonra tali bakış yönünde bakılır, gene ilk akstan başlanarak soldan sağa doğru kirişlere adları verilir.

Bir kirişin sonradan kalıp planına eklenmesi veya çıkartılması durumunda kirişler yeniden adlandırılmaz. Kalıp planına eklenen kirişe, aynı aks üzerinde ve ona en yakın kirişin adına indis eklenerek ad verilir. Çıkarılan kirişin adı kalıp planında görülmez.

Döşemeler nasıl adlandırılır?

Standart bir kural yoktur. Uygulamada döşemeler **Dknn/h=xx** şeklinde adlandırılır. D harfi döşeme anlamındadır. k döşemenin bulunduğu kat numarası, **nn** de o kattaki döşeme numarasıdır ve 01.....99 arasında bir sayıdır. **h=xx** döşemenin beton kalınlığıdır. Örnek: **D109h=120**, 1. Katta, 09 nolu döşeme, kalınlığı 120 mm anlamındadır. Kalıp planına **ana bakış yönünde** bakılarak bu ad döşemenin sol üst köşesine yazılır.

Ana bakış yönünden bakılarak ilk iki yatay aks arasındaki döşemelere, soldan sağa doğru isim verilir. Diğer yatay akslar arasındaki döşemeler ile benzer şekilde devam edilir. Bir döşemenin sonradan kalıp planına eklenmesi veya çıkartılması durumunda döşemeler yeniden adlandırılmaz. Kalıp planına eklenen döşemeye, aynı akslar arasındaki ve ona en yakın döşemenin adına indis eklenerek ad verilir. Çıkarılan döşemenin adı kalıp planında görülmez.

OZET: Ne yapılmalı, ne yapılmamalı?

KIRIŞLER

- Kiriş mümkün olduğunca aks boyunca sürekli devam etmeli.
- Kiriş kesiti açıklıktan açıklığa, değişmemeli.
- Ters kirişten kaçınılmalı.
- Konsol kirişlerin yapı içinde devamı olmalı, **sadece kolona bağlı konsollardan şiddetle kaçınılmalı.**
- Saplama kirişten elden geldiğince kaçınılmalı.
- Saplama olan kiriş başka bir kirişe asla saplanmamalı.**
- Kiriş-kolon aksı elden geldiğince çakıştırılmalı.
- Zorunlu olmadıkça, yastık kirişten kaçınılmalı.

KOLONLAR

- Dikdörtgen ve dairesel kesitli kolon öncelikle tercih edilmeli. L, T, Z, v. b. Kesitlerden kaçınılmalı.
- Güsedan kaçınılmalı.
- Kolon yerine perde daima tercih edilmeli.
- Alttan veya üstten kesik kolon/perde asla kullanılmamalı.**
- Kirişlere, konsollara kolon/perde asla oturtulmamalı.**
- Perde kesiti temelden çatıya sabit kalmalı.**
- Üst kolon-alt kolon aksları elden geldiğince çakıştırılmalı.
- Kolon kesiti anı değişmemeli.
- Kolon kesit tipi yapı yüksekliğince aynı kalmalı.
- Kısa kolon oluşumu önlenmeğe çalışılmalı.**

DÖŞEMELER

- Çok ince olmamalı.
- Döşemeye yarım duvar oturtulması halinde ağırlığı döşeme hareketli yüküne eklenmeli (en az 1.5 kN/m²).
- Merdiven yükü sahanlık döşemesi kenarına çizgisel yük olarak aktarılmalı.
- Büyük açıklıklı balkon döşemeleri kirişli düzenlenmeli.
- Büyük boşlukları olan döşemeler kalın yapılmalı.
- Kirişsiz, dişli, asmolen ve düşük döşemeden kaçınılmalı.**

İstenmeyen düzensizlikler

Düzensiz taşıyıcı sistem nedir? Kuvvetlerin yapı içinde dolanmasına ve zayıf noktalarda hasara neden olan taşıyıcı sistem türüdür.

- Burulma düzensizliği
- Döşeme süreksizliği
- Planda gırtlı-çıkıntılı düzensizliği
- Taşıyıcı eleman eksenlerinin birbirine paralel olmaması
- Komşu katlar arası dayanım farklılığı (Zayıf kat)
- Komşu katlar arası rijitlik farklılığı (Yumuşak kat)
- Kiriş ve kolonların süreksizliği
- Diğerleri...

Düzensizlik nedeni nedir?

- Yapı sahibinin istekleri
- Arşanın düzensizliği
- Mimarın deneyimsizliği, sadece fonksiyonelliği ve estetik görünüşü önemsemesi, eser hayali
- Mimar ve mühendis işbirliğinin yoksunluğu.
- Mühendisin deneyimsizliği, taşıyıcı sistem seçimine yeterli zaman ayırmaması, mimari nedenlerle çaresiz kalması
- Mühendisin yazılıma aşırı güveni: **Mühendisin yazılımı değil, yazılımın mühendisi yönetmesi.**
- Yapımcının projeye uymaması
- Kalfa ve ustaların "Ben bu işi yıllardır yapıyorum, daha iyi bilirim" savı.
- Denetim yetersizliği
- Yapı sıçorta sisteminin bulunmaması
- Yasaların yetersiz kalması veya uygulanmaması
- Kişisel çıkar kaygusu.

Derz: İki yapı bloğu arasındaki boşluk

Sıcaklık, deprem, farklı oturma gibi nedenlerle oluşabilecek etkilere önlemek amacıyla yapının, aralarında boşluk (derz) bulunan, bloklar halinde inşa edilmesi gerekebilir. Farklı amaçlı derzler olmakla birlikte bir diğeri için de fayda sağlar.

Genleşme derzi: Sıcaklık etkilerini azaltmak,

Farklı oturma derzi: Temelin farklı oturmasından oluşacak etkileri azaltmak,

Deprem derzi: Düzensiz yapıların depremde hasar görmesini önlemek

amacıyla kullanılır

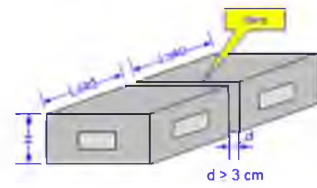
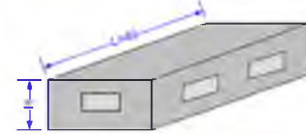
Genleşme derzi (TS500-2000, Madde 6.3.4, Sayfa 18):

Yüksekliği fazla olmayan fakat uzun, hangar tipi yapılara uygundur. Sıcaklık ve büzülme nedeniyle yapı boyu değişir, ek etkiler doğar. Yapının plandaki boyu 40 metreyi aşmamalıdır. L>40 m durumunda yapı blokları ayrılarak aralarında boşluk=derz bırakılır. Blok boyu L en fazla 40 m, derz aralığı d en az 3 cm olmalıdır. Sıcaklık farkı 20° C dan fazla olan bölgelerde L < 30 m yapılması önerilir. Temel kısmında sıcaklık farkı çok düşük olduğundan bu kısımda genleşme derzi yapılmasına gerek yoktur.

Yapı yüksekliği H>6 m durumunda genleşme derzi yerine deprem derzi yapılmalıdır.

Derzler ezilebilir malzeme ile kapatılarak görünümün güzelliği sağlanmalıdır. Bu amaçla köpük, bitüm, derz contaları kullanılabilir. Beton, tuğla ahşap gibi katı ve zor ezilen malzeme ile doldurulmamalı ve sıvanmamalıdır. Aksi halde derz görevini yapamayacak ve çatlaklar oluşacaktır.

Derz aralığı metal veya plastik levhalar ile de kapatılabilir. Bu durumda levha sadece bir kenarı boyunca yapı bloklarından birine bağlanmalıdır. Her iki bloğu sabitleyen levha yapı hareketleri ile parçalanır.



Deprem derzi (Deprem Yönetmeliği-2007, Madde 2.10.3)

Bir çok imar yönetmeliği yapıların bitişik yapılmasına izin verirler (bitişik nizam). Birbirine bitişik yapılar deprem açısından sakıncalıdır. Deprem kuvvetini birbirine aktarmakta, farklı salınım sonucunda çarpışmaktadırlar. Köşe başı denilen son yapı genelde en büyük hasara uğramaktadır.

Eski bir yapının yanına inşa edilecek olan yeni yapı derz ile ayrılır. Her iki yapının depremde farklı salınımlar sonucu çarpışması ve birbirine zarar vermesi (çekmeleme etkisi) önlenmeye çalışılır. Yeni yapının planda ve/veya düşeyde, çıkıntılı veya büyük boşlukları olması durumunda da yapı eiden geldiğinde simetrik ve dikdörtgen bloklara ayrılır. Bloklar, aralarında derz bırakılarak inşa edilirler. Bu basit tedbir ile çarpışma ve burulma etkileri önlenmeye çalışılır. Dep. Yön. 2007'ye göre en az

$$d > 3 * \text{katsayısı} - 2 \text{ (cm olarak)}$$

Olmalıdır. 5 katlı, yaklaşık 5x3=15 m yüksekliğindeki bir bina komşu binadan en az d=3+5-2=6 cm uzak inşa edilmelidir.

Teorik olarak, bloklar arasındaki derz genişliği, her iki yapının en büyük yatay yer değiştirmelerinin toplamından büyük olmalıdır:

$$d \geq \Delta_a + \Delta_b$$

Yapılardan biri eski ise, genelde yer değiştirmesi bilinmez. Bu durumda derz genişliğinin en az

$$d > 0.02 \frac{H(\text{cm})}{3}$$

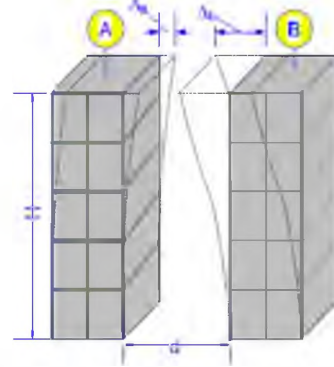
alınması önerilir. Örneğin 5 katlı bir yapıda yaklaşık olarak H=5x3=15 m dir, derz genişliği en az

$$d = 0.02 \frac{1500}{3} = 10 \text{ cm}$$

alınabilir.

Deprem derzi ile ayrılmış blokların temelleri de ayrı yapılmalıdır.

Diğer kurallar için bakınız: Deprem Yönetmeliği-2007, Madde 2.10.3



İstenmeyen düzensizlik: Kolon ve perdelerin tümü aynı yönde = **TEHLİKE!**

Tüm kolon ve perdeleri, uzun kenarları yapının sadece bir yönünde olacak şekilde yerleştirmek çok sık karşılaşılan bir düzensizliktir. Bu durumda yapı, yatay kuvvetlere karşı, bir yönde güçlü diğer yönde ise zayıf olmaktadır. Genelde iki farklı düşünce bu düzensizliğe neden olur:

1) Tüm kolon ve perdelerin yapının giriş cephesine dik doğrultuda yerleştirilmesi:

Yapı sahibi ve/veya mimar, zemin kattaki iş yerlerinde geniş olduğu cepheye paralel geniş yüzeyli kolon ve perde olmasını istemez

2) Uzun yapılarda tüm kolon ve perdelerin kısa doğrultuda yerleştirilmesi:

Yapının uzun kenarlı cephe alanı diğer cephe alanından büyüktür. Rüzgâr yükü cephe alanı ile orantılı olduğundan, uzun kenarlı cepheye etkiyen rüzgâr kuvveti kısa kenarlı cepheye göre büyük olacaktır. Bu nedenle mühendis, rüzgâr kuvvetinin büyük olduğu yönde yapının daha güçlü olmasını istemektedir.

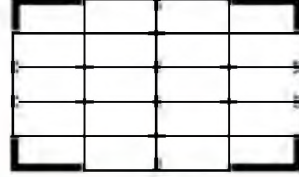
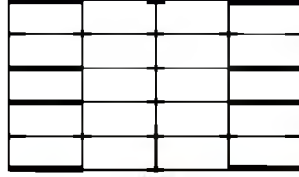
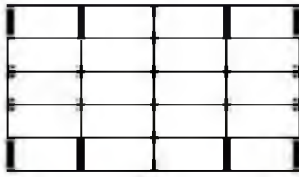
Her iki düşünce de hatalıdır. Birinci durumda estetik ön plana çıkmakta, ancak güvenlik önemsenmemektedir. İkinci durumda rüzgâr açısından güvenlik sağlanmaya çalışılmakta, ancak deprem önemsenmemektedir. Türkiye'de, genelde rüzgâr değil deprem hakimdir. Deprem kuvveti yapı cephe alanı ile değil, yapının kütlesi ile orantılıdır. Deprem kuvveti de her iki yönde genelde aynı olur. Dolayısıyla yapının her iki deprem yönünde de yaklaşık aynı rijitliğe sahip olması gerekir.

Ne yapılmalı ?

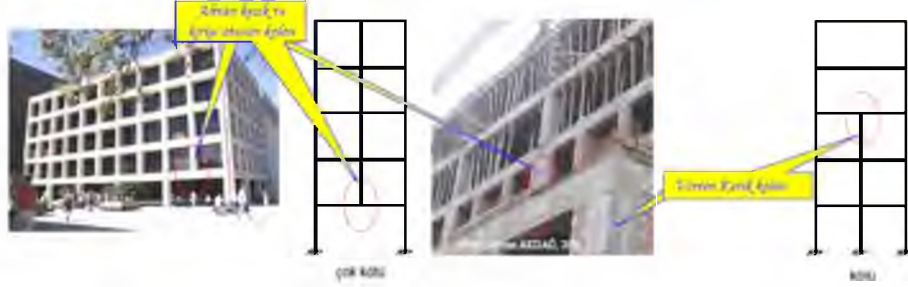
Kolon ve perdelerin bir yöndeki toplam rijitlikleri, diğer yönüne eşit (veya yakın) olmalıdır.

Kolon ve perdeler, eiden geldiğinde, kütle merkezine göre simetrik olmalıdır.

Perdeler, eiden geldiğinde, yapı cephelerine yakın yerleştirilmelidir (bunulma rijitliğini artırmak için).

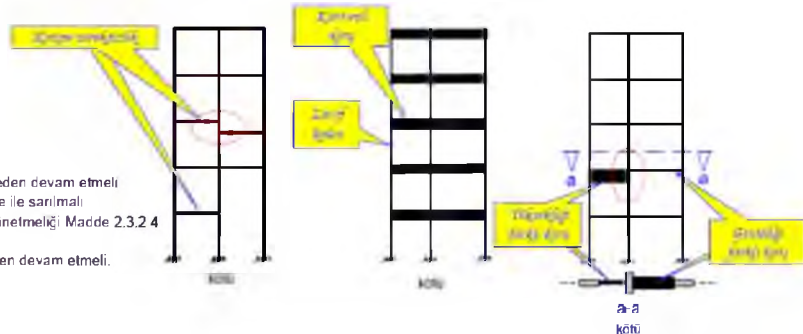


İstenmeyen düzensizlik: Çerçevelerde süreksizlikler



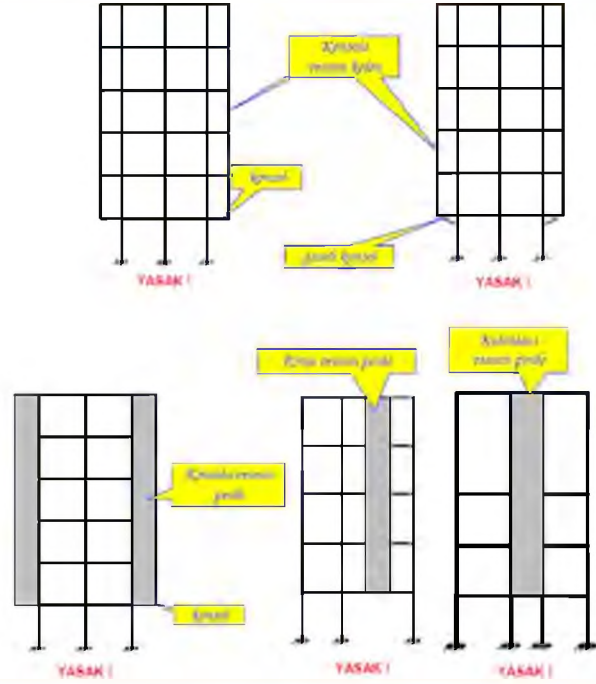
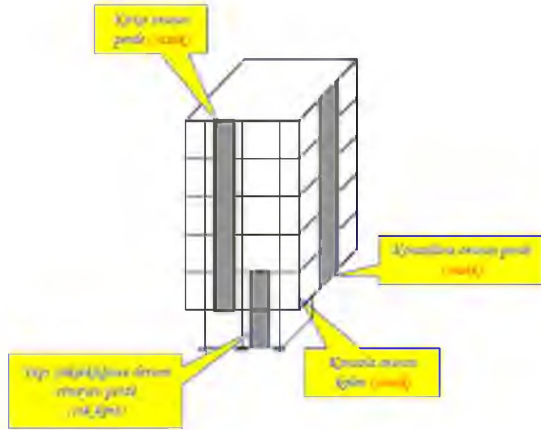
Ne yapılabilir ?

- Rijitliklerde ani değişiklik önlenmeli
- Kolonlar kirişlerden daha kuvvetli olmalı
- Kolonlar temelden çatıya kesilmeden devam etmeli.
- Perdeler temelden çatıya kesilmeden ve kesit değişmeden devam etmeli
- Kesik kolonlar varsa, bunlar kat yüksekliğince sık etriye ile sarımalı
- Kirişe kolon oturtulmamalı. Önlenemiyorsa Deprem Yönetmeliği Madde 2.3.2.4 b maddesi titizlikle uygulanmalı
- Kirişler, eiden geldiğinde, aks boyunca kesit değişmeden devam etmeli.



(Deprem Yönetmeliği-2007, Madde 2.3.2.4)

- Kolonların ucuna, gane olma dafe, kolonlerde oturulmaz;
- iki kolonli taşıyıcı arazeta perde oturulmaz;
- Köşelere perde oturulmaz;
- Kolonlara perde oturulmaz.



İstenmeyen düzensizlik: YUMUŞAK KAT = **TEHLİKE!**

Yapıların genellikle zemin katı, bazen de üst kattanlardan bazıları, otopark veya ticari amaçla cam vitrin yapılmakta, diğer katlar ise dolgu duvar ile örülmektedir. Ülkemizde çok sık görülen bir uygulamadır. Dolgu duvarlı katlar duvarsız veya vitrinli katlara göre çok daha rijit olmakta, duvarsız veya vitrinli katlar zayıf kalmaktadır. Sadece yeni inşaatlarda değil, eski konuların iş yenne dönüştürülmesi sonucunda da bu durum ortaya çıkmaktadır.

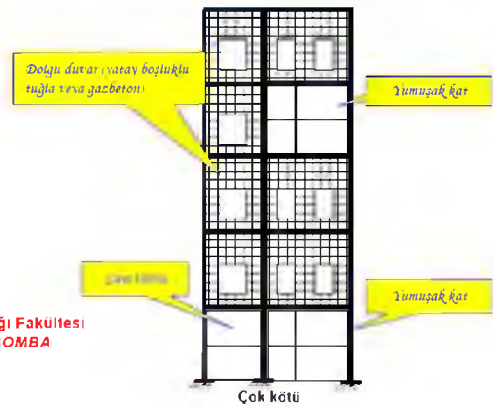
Bu tür zayıf katlara "yumuşak kat" denilmektedir. Bir katın yüksekliğinin diğer kattanlardan fazla olması da yumuşak kat düzensizliğine neden olur.

Sakıncası:

Yumuşak kat düzensizliği, çok katlı yapıların depremde yıkılmasının ana nedenidir. Deprem kuvvetinden oluşan yatay yer değiştirmenin %70-80'i yumuşak katta oluşur. Yumuşak kat kolonları aşırı yatay yer değiştirerek kırılırlar ve yapı aniden yıkılır.

Ne yapılabilir ?

- Yumuşak kat oluşum nedeni ortadan kaldırılabilir, vitrin yerine duvar yapılabilir (Mimarlı).
- Taşıyıcı sistem sadece kolonlardan oluşmamalı, perde taşıyıcıya ağırlık verilmeli, deprem kuvvetli mülaka perdeler ile karşılanmalıdır.
- Yumuşak kattaki tüm kolonlar kat yüksekliği boyunca sık etnye ile sarılmalıdır.
- R katsayısı düşük alınabilir (örneğin: R=4) veya yumuşak kat kolonları tasarım kuvvetleri 2.5 kat artırılarak betonarme hesap yapılabilir.



GİRİŞ KATLARI BOMBA KAT.....

Türkiye Deprem Vakfı Başkan Yardımcısı ve Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Fakültesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Semih TEZCAN uyardı: "Ara duvarları olmayan giriş katları BOMBA KAT"tır" 21 Eylül 1999.

İstenmeyen düzensizlik: ASMA KAT = TEHLİKE !

Yapıların genellikle iş yeri olarak kullanılan zemin katı ile 1. katı arasında bulunur. Plandaki alanı zemin kat alanından küçüktür.

Asma kat yapıda döşeme süreksizliğine, kısa kolon oluşumuna, bölgesel yumuşaklığa, deprem kuvvetinin kolondan kolona aktarılmasının zorlaşmasına ve yapının burulmasına neden olur. Yumuşak kat düzensizliğine benzer bir davranış sergiler.

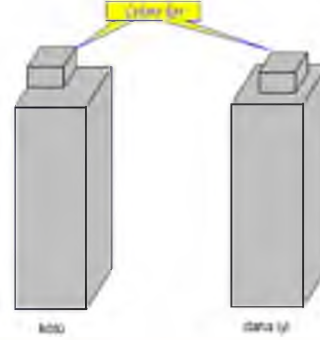
Ne yapılabilir ? Bakınız: Yumuşak kat



İstenmeyen düzensizlik: ÇEKME KAT

Yapının son katı cepheden geri çekilerek yapılmış, plandaki alanı normal kat alanından küçük olan kat.

Çekme katların hacimlen alt kat hacimlen ile genelde uyumsuz. Özel kiriş ve kolonlar gerektirir ve bu nedenle taşıyıcı sistemde düzensizliğe neden olur. Çekme kat binanın rijitlik ve ağırlık merkezinin de kaymasına, burulma etkisi oluşmasına da neden olabilir.



İstenmeyen düzensizlik: KISA KOLON = TEHLİKE !

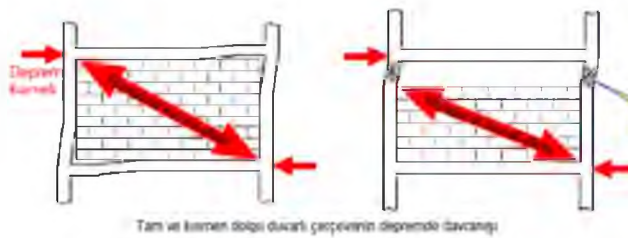
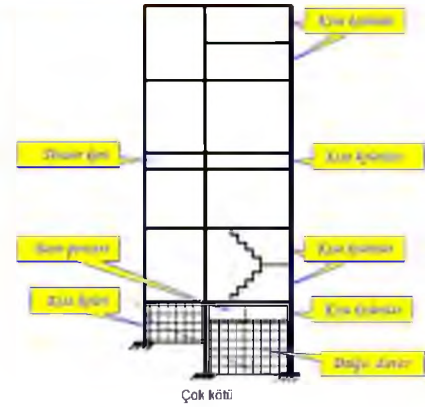
Yapıdaki kolonlardan bininin veya bir kaçının diğerlerinden kısa olması bu düzensizliği oluşturur. Bodrum katının aydınlatılması için konulan bant pencereler, kat ara kırışları, tesisat katı, asma kat, merdiven ara sahanlıkları, guseli kırış veya guseli kolonlar, kademeli temeller kısa kolonların oluşmasına neden olur.

Sakıncası:

Kısa kolonlar diğer normal boyu kolonlara göre çok rijit davranarak çok büyük kesme kuvvetinin etkisinde kalırlar. Gevrek olan kesme kırılması sonucu kolon taşıma gücünü yitirir, yapı ağır hasar alır veya yıkılır.

Ne yapılabilir ?

- Kısa kolon oluşum nedeni ortadan kaldırılabilir.
- Pencere küçültülerek, kolon etrafına da dolgu duvar önülebilir.
- Kısa kolonlar **Deprem Yönetmeliği 2007, Madde 3.3.8 e** göre boyutlandırılmalıdır.
- Kısa kolonların tümü kat yüksekliği boyunca sık etriye ile sanılmalıdır.
- Kolon ile dolgu duvar arasında 3-5 cm derz bırakarak ezilebilir bir madde ile (köpük, bitüm gibi) doldurulmalı, duvarın yanal devrilme tehlikesine karşı tedbir alınmalıdır.
- Perçeye ağırlık verilebilir.
- R katsayısı düşük alınabilir (örneğin R=4)



İstenmeyen düzensizlik: ÇIKMALI YAPI = TEHLİKE!

Roğum ve zemin katiirini iŇa alanının ũst katların alanından kũçũk olduğu yapılarıdır. Deprem açısından kŕti fakat sık uygulanan bir mimardır.

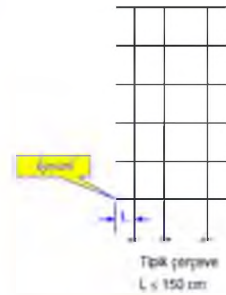
Ūst katlarda daha çok dolgu duvar olduğundan bu katlar zemin kata kıyasla daha ağır ve daha rijittir. Altı kat yumuŇak kat gibi davranır. Yapı kũtle merkezi çıkmalı yapı cephesine doğru kayar.

Ūst katların cephe duvarları konsol kiriŇler tarafından taŇınır. Bu kiriŇler sadece dũŇey yũkler altında dahi çok zorlanırlar. Mevcut yapılar gŕzendiđinde, hemen tũmũnũn konsollarındaki sarkma ve ataklar kolayca gŕrũlũr.

Bu tũr yapılarda genelde kısa kolon dũzensizliđi ve bir sonraki sayfada açıklanan kŕŇe kolon dũzensizliđi de olur.

Ne yapılabilir ?

- Bu tũr yapıların kaçınılması gerekir (Mimarlı).
- TaŇıyıcı sistem sadece kolonlardan oluŇmamalı, perde taŇıyıcıya ağırık verilmesi.
- Kolon ve perdeler temelden çatıya sũrekli olmalı.
- Konsollara kolon veya perde oturtulmamalı.
- Konsol boyu en fazla 150 cm olmalı (Mimarlı).
- Konsollu kiriŇ kesitinde cŕmert davranılmı (30x70 cmxcm), gerekirse, guse yapılmalı (dikkat: kısa kolon oluŇur).
- Konsol kiriŇ sadece kolona bağlanmamalı, konsol kiriŇin yapı içinde devamı olmalı.
- Konsollara dũŇey deprem yũkũ yũklenmeli (Deprem Yŕnetmeliđi-2007, Madde 2.11), ozenli boyutlandırılıp detaylandırılmalı/iŇŇa edilmeli.
- Konsolun bağlandığı kolon, konsol ve konsolun devamındaki kiriŇ sık etnye ile sarılmalı.



İstenmeyen düzensizlik: ÇIKMALI YAPIDA KŒŖE KOLON = TEHLİKE!

Çıkmalı yapıların kŕŇelerinde genellikle salonlar vardır. Yapı sahibi veya mimar salonda sarkan kiriŇ istemez. Salt estetik nedenle, salon kŕŇe kolonu kare veya daire kesitli yapılmakta, ancak bu kolonu komŇu kolonlara bağlayan kiriŇler yapılmamaktadır. KiriŇ yerine, dŕŇeme Ňendinde donatı zenginleŇtirilerek "gizli kiriŇ" yapıldığı iddia edilmektedir. KŕŇe kolon sadece ince bir dŕŇeme ile yapıya bağlıdır. Gizli kiriŇin bir yararı yoktur.

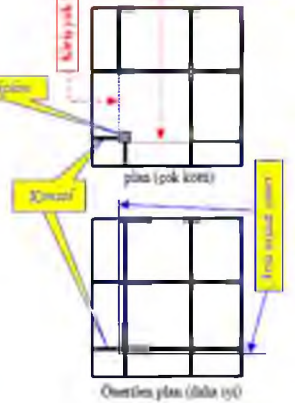
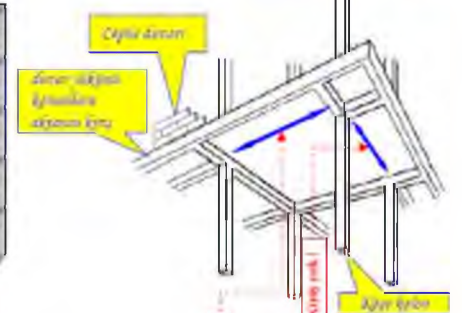
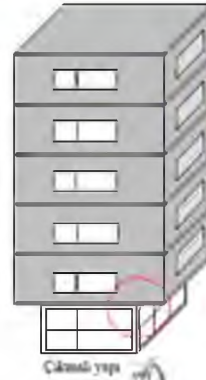
Sakıncaları:

- Ağır duvar yũklen konsollara, konsollardan da kŕŇe kolona aktarılmaktadır.
- KŕŇe kolon bũyũk momentler taŇımak zorundadır.
- KŕŇe kolona bağlı dŕŇeme zımbalama etkisindedir.
- Yapı sadece dũŇey yũkler altında dahi tehlikededir.
- Yapının bu kŕŇesi daha esnek davranır. Deprem kuvveti kŕŇe kolondan diğer kolonlara yeterince aktarılamaz. Gizli kiriŇin bu konuda yeterli bir yararı yoktur.
- Yatay yũkler altında dŕŇeme buruŇur, kŕŇe kolon uçları mafsallaŇır, yapı yıkılır.

Ne yapılabilir ?

- ıkma yapılmayabilir (Mimarlı).
- Kolon yenne perdeye ağırık verilmelidir.
- Önerilen plan çok daha iyidir. Konsollar mutlaka devam eden kiriŇler ile komŇu kolonlara bağlanmalı, perdeye oturmali, perde kiriŇ yŕnũnde yerleŇtirilmelidir.
- KŕŇe kolon, konsol ve devamındaki kiriŇ sık etnye ile sarılmalıdır.
- R katsayısı dũŇũk alınabilir (ŕrneđin: R=4).

Altın bakıldığında perspektif gŕrũnũŇ



İstenmeyen düzensizlik: Kolon civarında saplama kiriş

Sakıncaları:

Kirişin kolon civarında başka bir kirişe sapsılması çok daha kötü bir durumdur. Kesme ve burlma etkileri çok daha aşırı düzeye varır.

Ne yapılabilir?

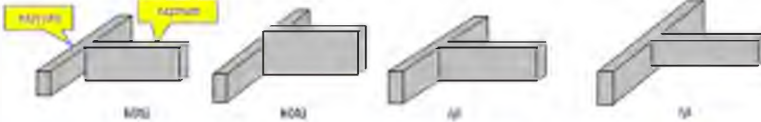
- Kolonun yönü değiştirilerek,
- Kolon yerine perde kullanılarak,
- Geniş(yastık) kiriş kullanılarak
- Saplama kiriş kaldırılarak (sadece yarım duvar taşıması durumunda mümkün!)

daha az sakıncalı bir sistem oluşturulmaya çalışılır. Dikkat: Geniş kiriş kuvvetli kiriş-zayıf kolon düzensizliğine neden olmamalı.

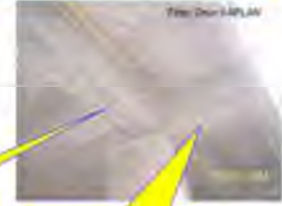
Saplama orlenemezse sapsılması olan kiriş sık etriye ile sarılmalıdır.



Taşıyan kirişin yüksekliği taşıyan kirişin yüksekliğinden daha fazla olmamalıdır, aksi halde sapsılardan büyük donatılar taşıyan kirişe taşınamaz ve etli çubukları etriyeye yerleştirilmez. Netice olarak çubuk zayıf bir bağlantı noktası oluşturur. Aslu çubuklara hesaba girmez. Emsoy/Üçüncü, Madde/7.6.1, Sayfa 501, Cebep, S. 357, TS 500-2000, S. 29



Prof. Dr. Arslan TOPÇU, Betonarme II, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 2011. <http://m20.ggu.edu.tr/arslan>



Kolon etriyede sapsılama

Kirişin sadece kolona bağlı, sürekli olması!



Kirişin sadece kolona bağlı, sürekli olması!

Kolon etriyede sapsılama



İstenmeyen düzensizlik: Çarpık arsa → Çarpık mimari → Çarpık taşıyıcı sistem

Şehir merkezlerindeki değerli arsalar genelde düzensizdir. Mimar planlar arsaya, taşıyıcı sistem mimariye uydurulur.

Sakıncaları:

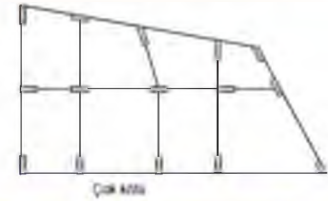
- Sistem aksları birbirine paralel olmaz, kırık akslı kirişler oluşur
- Kolonlar/perdeler planda düzensiz yerleşir
- Kolon/perde kesitleri çokgen olur
- Düzensiz çerçeveler oluşamaz
- Yalay yükler kolondan kolona düzenli aktarılamaz, kuvvet yapı içinde yön değiştirir
- Yapının burlma tehlikesi yüksektir.

Ne yapılabilir ?

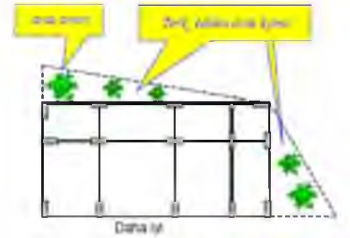
- Arsa çıkıntıları boş bırakılarak düzensiz bir taşıyıcı sistem oluşturulabilir (Mimarî).
- Arsa çıkıntılarını balkon olarak kullanarak daha düzensiz bir taşıyıcı sistem oluşturulabilir (Mimarî).
- Arsa çıkıntıları kısa konsollu çıkıntı olarak kullanılabilir (Mimarî).

- Kolon yerine perdelerle ağırlık verilmelidir.
- Kolon ve perdelerde sık etriye kullanılmalıdır.
- Kolon ve perdeler burlmayı önleyecek şekilde özenle yerleştirilmelidir.
- R katsayısı düşük alınabilir (örneğin R=4)

Deprem yönetmeliği 2007 ilgili maddesi: 2.7.5



Çarpık Arsa



Çarpık Arsa



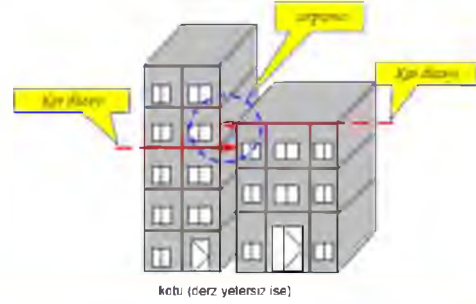
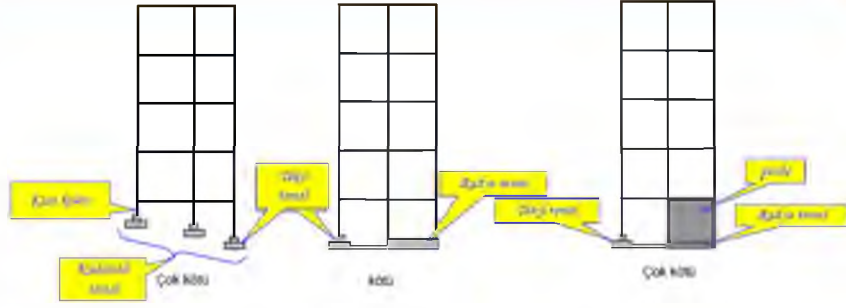
Çarpık Arsa

İstenmeyen düzensizlik: Kademeli Temel, Karma Temel, Farklı Kat Seviyesi

•Eğimi fazla olan arsalarda inşa edilen yapılarda kademeli temel yapılmamalı, temel elemanları aynı kotta olmalıdır. Temeller birbirine düzenli olarak bağlanamaz. Depremde bir bütün davranamaz. Ayrıca kısa kolon oluşumu önlenemez. Eğimli arazide inşa edilen uzun yapılar derzler ile bloklara ayrılarak her bloğun temeli aynı kotta yapılabilir.

•Temel tipi tüm yapı bloğu altında aynı olmalıdır, karma temel yapılmamalıdır. Aksi durumda, farklı rijitlik ve farklı zemin genimelenen nedeniyle, farklı oturmalar ve uyumsuz deprem davranışı oluşacaktır. Nasıl davranacağı belirlenemeyen karmaşık bir tekil veya sürekli temel yerine, zemin sağlam olsa dahi, radye temel yapmak daha uygun olur.

•Yan yana inşa edilen iki bloğun kat seviyeleri aynı olmalıdır. Uygulamada bu genelde sağlanamaz. Yeterli derz yoksa, bloklar çarpışır, kat duvarı yıkılır, kolon kırılır ve yapı geçer.



İstenmeyen düzensizlik: Aydınlık boşluğu

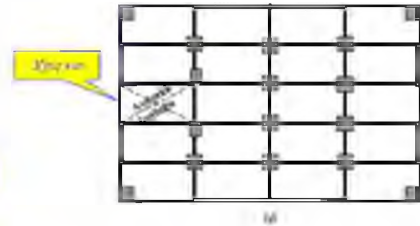
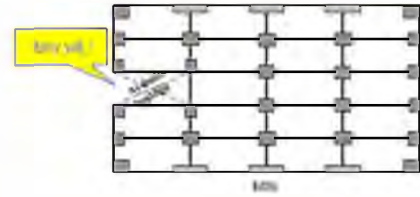
Yapının komşu yapı tarafında veya çok katlı yapının ortasında, bazı hacimlerin ışık alabilmesi için, aydınlık boşluğu bırakılır. Aydınlık bölgesindeki kırışlar bazen yapılmamaktadır. Doğeme de olmadığı için yapıda bir düzensizlik oluşur, yapının bu bölgesi daha esnek davranır.

Sakıncaları:

- Yapının bu bölgesi yumuşak davranır
- Yatay kuvvetlerin kolondan-kolona aktarımı zorlaşır
- Boşluk civarındaki kolonlar aşırı yatay yer değiştirmeler
- Yapı burulma etkisinde kalır

Ne yapılabilir ?

- Aydınlık bölgesindeki kırışlar kesilmeden mutlaka sürekli olarak yapılmalıdır.
- Komşu binadaki aydınlık aynı bölgede değilse aydınlık kırış üzerine duvar örülmelidir.



İstenmeyen düzensizlik: Uzun, ince ve kirişsiz koridor döşemesi

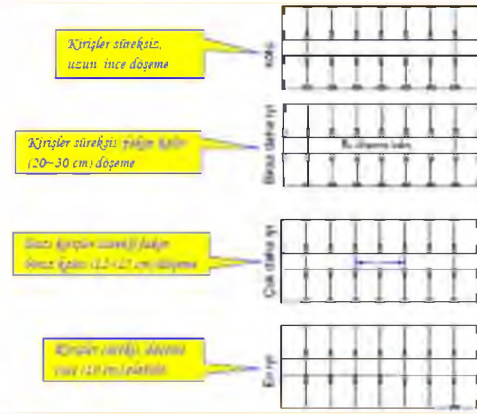
Çoğunlukla yapı koridorlarında sarkan kiriş istenmez. Bu durumda bir doğrultuda çalışan uzun bir döşeme olur. Döşeme açıklığı küçük olduğundan, döşemenin düşey yük momentlen de küçük olur. Döşeme statik betonarme hesaplarında yatay yük etkilen dikkate alınmadığından, ince bir döşeme ile yetnilir. Halbuki döşemenin yatay yükleri kirişler ile beraber kolondan-kolona aktarmak gibi çok önemli bir işlevi vardır.

Sakıncaları:

- Yatay kuvvet(çeprem/ rüzgâr) aktarımı zorlaşır.
- Döşeme yelence rijit davranamaz, yatay kuvvetin kolon ve perdelerle dağılımı düzensiz olur
- Yatay kuvvet etkisi altında döşeme burkulabilir.
- Büzülme etkilen belirginleşir.

Ne yapılabilir ?

- Kirişler koridorlarda da kullanılmalı
- Kirişler sürekli yapılmıyorsa, döşeme kalınlığı artırılmalı (20-30 cm)



İstenmeyen düzensizlik: Düşük döşeme

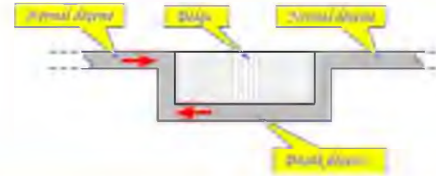
Banyo, tuvalet gibi ıslak hacimlerde, atık su tesisatını gizlemek amacıyla, mimarlar projelerinde düşük döşeme tasarlamaktadırlar. Deprem sorunu olmayan Avrupa ülkelerinden kopyalanmış bir çözümdür. Deprem nski çok yüksek olan Türkiye'ye uygun değildir. Döşemenin yatay yükleri kirişler ile beraber kolondan kolona aktarmak gibi çok önemli işlevi düşük döşemeli sistemlerde gereği gibi gerçekleştirilememektedir.

Sakıncaları:

- Yatay kuvvet aktarımı zorlaşır.
- Döşeme yelence rijit davranamaz, yatay kuvvetin kolon ve perdelerle dağılımı düzensiz olur
- Yatay kuvvet etkisi altında rijitliğin ani değiştiği noktalarda döşeme kırılabilir

Ne yapılabilir ?

- Düşük döşeme yapılmamalıdır (mimar)
- Düşük döşeme yene izolasyonlu asma tavan yapılabilir



İstenmeyen düzensizlik: Alt-üst kolon düşey aksı çakışmazlığı

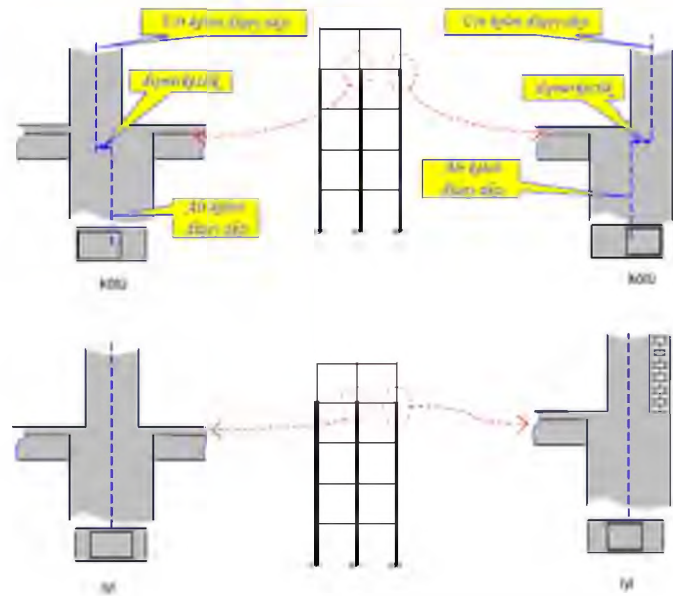
Yapı yüksekliğince kolon kesiti küçültüldüğünde üst kat ve alt kat kolonu aksları uygulamada hemen çakıştırılmamakta ve dış merkezliğe neden olmaktadır.

Sakıncası:

Dışmerkezlik nedeniyle, hesaplarda dikkate alınmayan, ek moment oluşur.

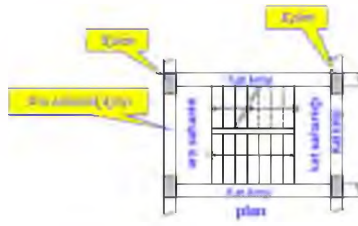
Ne yapılabilir?

•Kolonlar düşey aksları çakışacak şekilde düzenlenmelidir. İçteki kolonlarda bunu gerçekleştirmek kolay olmakla birlikte cephe kolonlarında dişler oluşur. Dolgu duvar ile bu sorun giderilebilir. Ancak bu, cephe duvarların çerçeve dışına çıkmasına neden olabilir. Duvarın devrilmemesi için özel tedbir gerekir.



İstenmeyen düzensizlik: Rijit merdivenler

Mimari farklı birçok merdiven tipi olmasına karşın, en çok karşılaşılan planda dikdörtgen çözümlü olanlardır. Basamakları taşıyan eğik merdiven plağı, kat sahanlıklarını veya kat sahanlığını ara sahanlığa bağlar. Bu bağlantı uygulamada genellikle rijit (ankastre) yapılmaktadır.



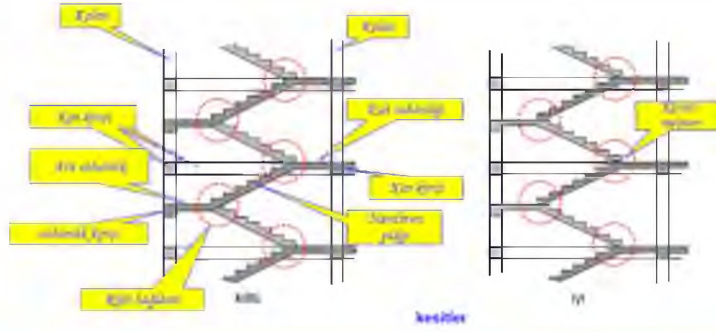
Sakıncaları:

- Merdiven plağı çerçevenin diyagonal elemanı gibi davranır (kafes kiriş davranışı).
- Merdiven evi çok rijit davranır
- Ara sahanlık kısa kolon oluşumuna neden olur
- Ara sahanlık mesneferdiği kolonların ortasına yatay tekil kuvvet aktarır
- Yapı rijitlik merdiven evine doğru kayar, burulma etkisi artar

Ne yapılabilir?

- Merdiven plağının bir ucu sahanlığa serbestçe kayacak şekilde oturulmalıdır.
- Sahanlığın bağlandığı kolonlar sık etriye ile donatılmalıdır.

-Zorunlu hallerde, merdiven evi yapıdan deprem derzi ile ayrılabilir. Ancak bu, planda alanı küçük olan merdivenin yapı içinde ayrı bir kule gibi yükselmesini, stabilite ve çarpışma riskini beraberinde getirir



Depreme karşı güvenlik: Nereye, ne kadar perde ?

Yapının deprem ve rüzgâr gibi yatay kuvvetlere karşı dayanımını artırmak için her iki yönde yeterli perdeler düzenlemek gerekir. Perdelerin üç önemli görevi vardır. 1. Yapının çok fazla yatay yer değiştirmesini önlemek 2. yatay kuvvetten oluşan kesme kuvvetlerini almak, kolon ve kirişlerin rahallanmasını sağlamak 3. Yapının burulmasını önlemek. Her deprem yönünde en az 2 adet olmak üzere toplam en az 4 perde bulunmalıdır. Her deprem yönünde 2 yerine en az 4 perde çok daha iyidir. Bu perdeler eksen geldiğinde, burulma rijitliğini artırmak amacıyla, yapının dış cephe köşelerine ve dikeyden simetrik yerleştirilir.Yapının bir deprem yönündeki gerekli perde kesit alanı aşağıdaki bağıntıdan tahmin edilir^{1,2,3}:

$$\frac{A_{perde}}{A_{yapı}} = 0.0015 n A_{yapı}$$

$$\frac{A_{perde}}{A_{yapı}} > 0.008$$

n :Yapının kat sayısı
 $A_{yapı}$:Yapının bir katının plandaki alanı. Farklı kat alanlarının olması halinde en büyüğü alınır.
 A_{perde} :Bir yöndeki yatay kuvvete direnen (uzun kenarı yatay kuvvet yönünde olan) perdelerin toplam alanı

TS500-2000 de perde elemanları $b/t \geq 7$ olarak tanımlanmaktadır. Yapı 2 katlı da olsa 20 katlı da olsa bu şartı sağlayan her düşey taşıyıcı eleman perde adını almaktadır. Ancak, araştırmalar bu tanımın yeterli olmadığı yönündedir. Bir deprem yönünde sadece bir perde olduğu varsayılarak perde boyutları b ve t seçilirken

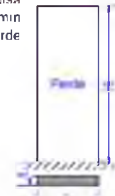
$$\frac{H}{b} \leq 2 - 4$$

$$\frac{b}{t} > 10 - 20$$

$$t \geq 250 \text{ mm}$$

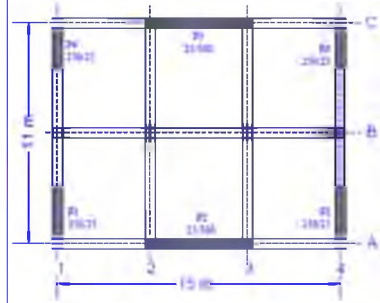
H : yapı yüksekliği
 b : perde uzun kenarı
 t : perde et kalınlığı

bağıntılarını sağlama çabası içinde olunmalıdır³ b ve t belirlendikten sonra bir yönde kullanılacak perde sayısına karar verilir. b değeri perdenin b kenarı bulunur. Örnek olarak sağdaki yapıda; $H=10 \times 3=30 \text{ m}$, $t=250 \text{ mm}$, $H/b=4=30/7.5=4$ seçilirse, x yönündeki bir perdenin uzun kenarı en az $7.5/2=4 \text{ m}$, Y yönündeki bir perdenin uzun kenarı en az $7.5/4=2 \text{ m}$ olmalıdır. Sağdaki yapıda kullanılan perdeler bu değerler karşılamaaktadır.



Örnek:

Aşağıda kat kalıp planı verilen yapı 10 katlıdır. Yapının perdeler ön tasarımı için yeterli midir?



$$n=10, H=10.3=30 \text{ m}, A_{yapı}=11.15=165 \text{ m}^2$$

X yönünde direnen perdeler (P2, P5):

$$A_{perde} = 2 \cdot 0.25 \cdot 5.0 = 2.5 \text{ m}^2$$

$$A_{perde} = 2.5 > 0.0015 \cdot 10 \cdot 165 = 2.48 \text{ m}^2$$

$$A_{perde} / A_{yapı} = 2.5/165 = 0.015 > 0.008$$

Y yönünde direnen perdeler (P1, P3, P4, P6):

$$A_{perde} = 4 \cdot 0.25 \cdot 2.5 = 2.5 \text{ m}^2$$

$$A_{perde} = 2.5 > 0.0015 \cdot 10 \cdot 165 = 2.48 \text{ m}^2$$

$$A_{perde} / A_{yapı} = 2.5/165 = 0.015 > 0.008$$

Bakınız

1. ERSOY, Uğur, "13 Mart 1992 Erzincan Depremi Mühendislik Raporu", İMO, Ankara 1992

2. ATIMTAY, Ergin, "Açıklamalar ve Örneklerle Ateş Bölgenince Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", Ankara, 2000

3. GÜLKAN, Pınar, DENİZ, Ulusuğ, "Okul Binalarının güvenliği için Minimum deprem kriterleri", Türkiye Mühendislik Haberleri, 425, s.13-22, Ankara, 2003

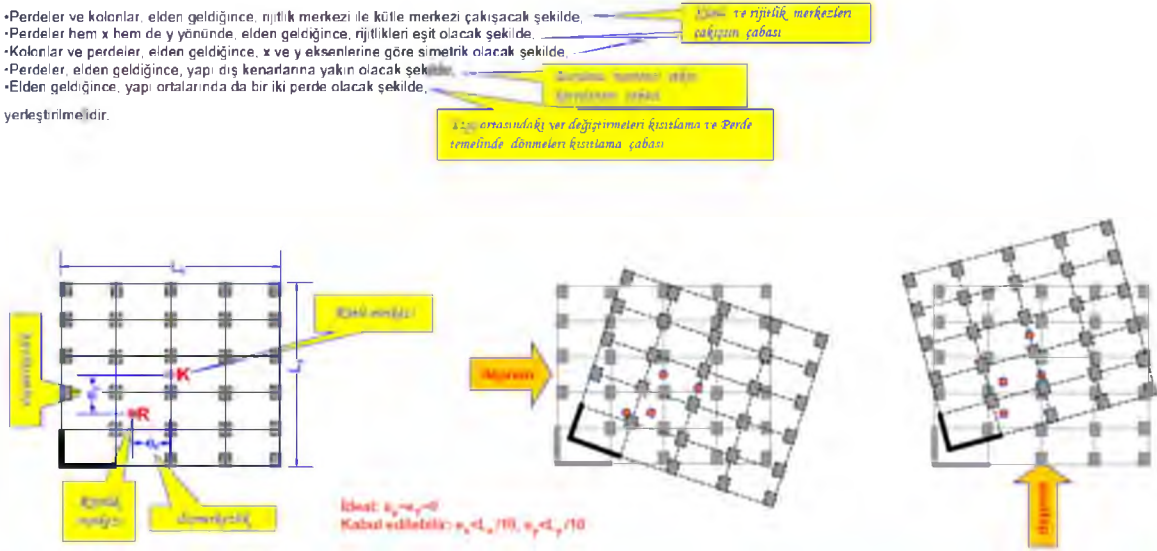
Depreme karşı güvenlik: Nereye, perde, niçin ?

Perdeler yatay kuvvetlere karşı en büyük direnci gösteren, yapının göçmesini zorlaştıran elemanlardır. Kolonlara nazaran çok büyük olan rijitlikleri nedeniyle deprem kuvvetinin çok büyük bir kısmını taşırlar, yatay yer değiştirmelerin küçük kalmasını sağlarlar, doğru yerleştirildiği takdirde yapının bulunmasını önlerler.

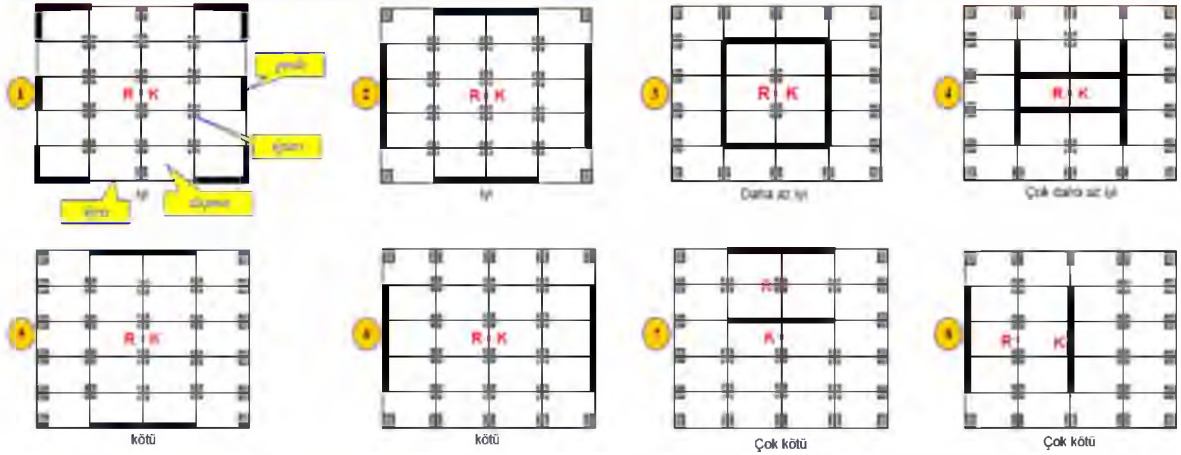
Perdelerin yukarıda belirtilen işlevleri sağlayabilmesi için bilinçli yerleştirilmesi gerekir. **Aksi halde, yarar yerine zarar verirler.** Perde ve kolonlar kat kütle merkezinden (yaklaşık olarak kat alanının geometrik merkezi) geçen x ve y eksenlerine göre simetrik yerleştirilmelerse kat rijitlik merkezi kütle merkezi ile çakışmaz, e_x ve e_y dışmerkezlilik oluşur. Deprem kuvveti daima kütle merkezinden geçer. Deprem x yönünden geldiğinde, yapı x yönünde ötelenir ve e_x dışmerkezliliğinin oluşturduğu burulma momenti yapıyı rijitlik merkezi etrafında döndürür. Deprem y yönünden geldiğinde, yapı y yönünde ötelenir ve e_y dışmerkezliliğinin oluşturduğu burulma momenti yapıyı rijitlik merkezi etrafında döndürür. O halde:

- Perdeler ve kolonlar, elden geldiğince, rijitlik merkezi ile kütle merkezi çakışacak şekilde,
- Perdeler hem x hem de y yönünde, elden geldiğince, rijitlikleri eşit olacak şekilde,
- Kolonlar ve perdeler, elden geldiğince, x ve y eksenlerine göre simetrik olacak şekilde,
- Perdeler, elden geldiğince, yapı dış kenarlarına yakın olacak şekilde,
- Elden geldiğince, yapı ortalarında da bir iki perde olacak şekilde,

yerleştirilmelidir.



Depreme karşı güvenlik: Nereye, ne kadar perde, nasıl ?



•İlk 4 örnekte perde miktarı aynıdır, aynı deprem kuvvetini alırlar ve yatay yer değiştirmeyi aynı miktarda sınırlarlar. Rijitlik ve kütle merkezleri çakışmaktadır. Ancak 3. ve 4. örneklerde perdeler yapı içine kaydırıldığından bulunmaya karşı 1. ve 2. örnekteki kadar direnemezler.

•5 ve 6. örneklerde rijitlik ve kütle merkezleri çakışmaktadır, fakat yapının kaden depreminin geliş yönüne bağlıdır. Deprem X yönünden gelirse 5 nolu yapıdaki perdeler direnir, 6 nolu yapı muhtemelen yıkılır. Deprem Y yönünden gelirse 6 nolu yapıdaki perdeler direnir, 5 nolu yapı muhtemelen yıkılır.

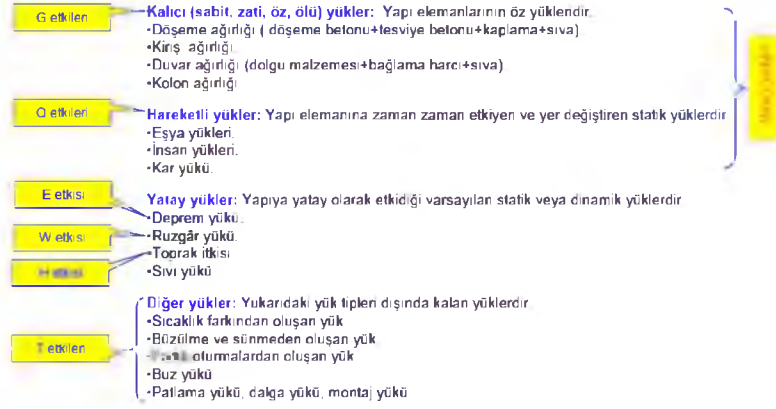
•7 ve 8 örneklerde perdeler yapıya zarar verir. Çünkü yapının bir tarafına yerleştirilmişlerdir, rijitlik ve kütle merkezleri arasındaki kaçıklık çok büyüktür, bu yapılar bulunur.

•2., 3 ve 4. örnekte her deprem yönünde 2 perde vardır. Bunlardan bin hasar alırsa rijitlik merkezi hasar görmeyen perdeye doğru kayar. Bu nedenle bir yönde ne kadar çok perde konursa risk o denli azalır.

•Uzun binaların kısa doğrultuda gelen depremde içe göçme riski vardır. Kısa doğrultuda binanın orta bölgelerine de perde düzenlenmelidir.

Yapılara etkiyen karakteristik yükler ve yük analizi

Yapıyı oluşturan duvar, döşeme, kiriş, kolon gibi elemanların kendi ağırlıkları, insan, eşya, kar, makine ağırlıkları, deprem, rüzgâr kuvvetleri gibi yapıyı zorlayan yüklerdir. Yükler yapı elemanlarında yer değiştirmelere ve iç kuvvetlerin oluşmasına neden olur. Yüklerden oluşan iç kuvvetlere (moment, kesme...) ve yer değiştirmelere (yatay/düşey, dönme) yük etkileri denir. Yapının güvenli olması için yük etkilerine dayanması gerekir. O halde yüklerin doğru belirlenmesi çok önemlidir. Ancak, yüklerin kesin değerlerini bilmek mümkün değildir. Tartıldığı anda 75 kg olan bir insan her zaman 75 kg mıdır? Muhtemelen hayır. Daha hafif yada daha ağır da olabilir. Üretilecek 1 m² betonarme betonunun kütlesi agrega cinsine, donatının az-çok almasına, sıkıştırılma kalitesine bağlı olarak az yada çok değişir, kesin bir değer vermek mümkün değildir. Deprem, rüzgâr, kar gibi doğa olaylarından kaynaklanan yükler de önceden tam doğru olarak bilinemez. Geçmişte olmuş deprem bilgileri, kar ve rüzgâr meteorolojik ölçümleri istatistiksel olarak değerlendirilir doğrudan doğruya en yakın ve olası yükler belirlenir. Bu yolla belirlenmiş yükler yönetmeliklerde verilir. Yönetmeliklerde verilmiş, doğrudan doğruya en yakın fakat olası yükleri **karakteristik yükler** denir. Farklı tipteki her yükün G, Q, E, W, H ve T ile gösterilen simgesi vardır. Karakteristik yük tipleri ve simgeleri aşağıda verilmiştir:



Karakteristik yüklerin değerleri yönetmeliklerde verilmiştir:

TS 498 1997 , TS ISO 9194-1997 : Kalıcı yükler, hareketli yükler, kar, buz ve rüzgâr yükleri, toprak itkisi.

Deprem Yönetmeliği:2007: Deprem yükleri

TS 500-2000: Büzülme, sünme, sıcaklık farkı etkileri

Yük katsayıları ve yük birleşimleri (TS 500-2000)

Yönetmeliklerde verilmiş yükler karakteristik yüklerdir. Bu yüklerden oluşan **yük etkileri** (iç kuvvetler, yer değiştirmeler) de karakteristik olur. Yük etkilerinin karakteristik değerleri yenne; hesaplarda **Tasarım etkileri ve birleşimleri** kullanılır. Tasarım etkileri, karakteristik etkilerin yük katsayıları ile çarpılması ve birleştilmesi ile belirlenirler. Birden çok tasarım etkisi vardır. Çünkü yüklerin tümü yapıya aynı anda etmez, farklı zamanlarda farklı yükler etki. Bu yolla çok sayıda yük senaryosu oluşturulur, ne zaman hangi yük etkirse etkisinin yapının **güvenliği** sağlanmaya çalışılır. TS 500-2000 de tanımlı yük katsayıları ve birleşimleri (yük senaryoları) aşağıda verilmiştir.

Yalnız düşey yükler için
(deprem ve rüzgârın etkin olmadığı durumlarda):

$$F_d = 1.4G + 1.6Q$$

$$F_d = 1.0G + 1.2Q + 1.2T$$

Deprem etkin ise:

$$F_d = 1.4G + 1.6Q$$

$$F_d = 1.0G + 1.2Q + 1.2T$$

$$F_d = 1.0G + 1.0Q + 1.0E$$

$$F_d = 1.0G + 1.0Q - 1.0E$$

$$F_d = 0.9G + 1.0E$$

$$F_d = 0.9G - 1.0E$$

Rüzgâr etkin ise:

$$F_d = 1.4G + 1.6Q$$

$$F_d = 1.0G + 1.2Q + 1.2T$$

$$F_d = 1.0G + 1.3Q + 1.3W$$

$$F_d = 1.0G + 1.3Q - 1.3W$$

$$F_d = 0.9G + 1.3W$$

$$F_d = 0.9G - 1.3W$$

NOT: Sıvı basıncı etkisinin bulunması durumunda, bu etki 1.4 ile çarpılır ve içinde G etkisi gözetilen tüm birleşimlere eklenir.

Deprem anında kuvvetli bir rüzgârın da esmesi çok düşük bir olasılıktır. Ekonomik nedenle; bir yapıya aynı anda hem depremin hem de rüzgârın etkimeyeceği varsayılır (Deprem Yönetmeliği 2007, Madde 2.2.2.4). Deprem ve rüzgâr yüklerinden hangisi daha elverişsiz ise o dikkate alınır. Türkiye'de normal yapılarda genelde deprem etkin olur. Gökdelen türü yapılarda ve hafif çatılı çelik yapılarda rüzgâr etkileri de önemlidir.

G, Q, E, W, H, T harfleri yük tiplerinin simgesidir, yükün değeri değildir. Büyük harf yerine küçük harfler de kullanılabilir. F_d ye tasarım etkisi denir, karakteristik yük etkilerinin yük katsayıları ile çarpılıp birleştirilmesi ile hesaplanır

Örnek: Deprem ve rüzgâr etkisinde olmayan bir yapının bir kolonunun bir kesitinde karakteristik sabit yükten 700 kN eksenel, 170 kNm moment, 60 kN kesme kuvveti oluştuğunu; karakteristik hareketli yükten de 300 kN eksenel, 80 kNm moment ve 25 kN kesme kuvveti oluştuğunu varsayalım. Bu durumda,

$$N_g = 700 \text{ kN}, M_g = 170 \text{ kNm}, V_g = 60 \text{ kN} \quad (\text{karakteristik sabit yük etkileri})$$

$$N_q = 300 \text{ kN}, M_q = 80 \text{ kNm}, V_q = 25 \text{ kN} \quad (\text{karakteristik hareketli yük etkileri})$$

ile gösterilir. Kolonun bu kesitinde tasarım etkileri $F_d = 1.4G + 1.6Q$ birleşiminden hesaplanmalıdır. Çünkü, sadece sabit(G) ve hareketli(Q) yük etkisi vardır, deprem(E), rüzgâr (W) veya diğer yükler(T) etkisi yoktur. Bu nedenle kolonun aynı kesitindeki tasarım etkileri

$$N_d = 1.4 \cdot 700 + 1.6 \cdot 300 = 1460 \text{ kN}$$

$$M_d = 1.4 \cdot 170 + 1.6 \cdot 80 = 366 \text{ kNm}$$

$$V_d = 1.4 \cdot 60 + 1.6 \cdot 25 = 124 \text{ kN}$$

olarak hesaplanır. Kolonun boyutlandırılmasında bu tasarım değerleri kullanılır, karakteristik yük etkileri kullanılmaz.

Sabit yükler

TS ISO 9194-1997 Ek A ve Ek B tablolarında inşaatlarda kullanılan malzemelerin *kararistik* yoğunlukları (kütleleri) verilmiştir. Bu tablolar yardımıyla döşeme, kiriş, duvar gibi elemanların *kararistik* sabit yükü belirlenir. Sabit yük G veya g ile gösterilir.

TS ISO 9194-1997 Ek A dan bazı yoğunluklar:

	yoğunluk (kg/m ³)	tasarım yükü (kN/m ³)
Betonarme betonu	2500	25.0
Tesviye betonu	2200	22.0
Sıva (kireçli çimento harcı)	2000	20.0
Mermer	2700	27.0
Meşe ağacı	690	6.9
Kayın ağacı	680	6.8
Isı yalıtımlı gazbeton	600	6.0
Dolu tuğla duvar ¹	1900	19.0
Boşluklu tuğla duvar ¹	1450	14.5
Gazbeton dolgu duvar ¹	700	7.0
Gazbeton taşıyıcı duvar ¹	1300	13.0
Granit taş duvar ¹	2800	28.0

¹ Harç dahil, sıva ve kaplama hariç

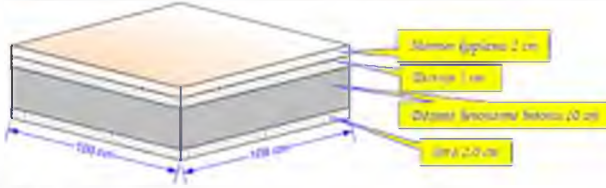
Yönetmelikte verilen $g_{k1} = 1.2 \cdot g$

Projede alınacak g_{k1} değerlerdir.

Bir malzemenin yoğunluğu yönetmelikte bulunmazsa aşağıdakilerden biri yapılır.
a) Malzemeyi oluşturan ve yönetmelikte mevcut olan malzeme yoğunlukları ile analiz yapılır.
b) Malzemeyi üreten firmanın internet sayfasından gerekli bilgiler alınır.
c) Malzeme tartılır, yoğunluğu belirlenir.

Örnek: Döşeme yükü analizi

Bir konutun salon döşemesinin katmanları verilmiştir. Döşemenin kararistik sabit ve hareketli yüklerini belirleyiniz.



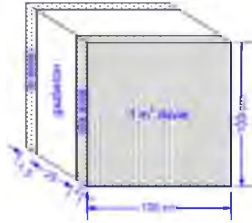
ÇÖZÜM:

Döşeme	0.10	25	= 2.50 kN/m ²
Tesviye	0.02	22	= 0.44 "
Kaplama	0.02	27	= 0.54 "
Sıva	0.02	20	= 0.40 "

sabit yük $g = 4.54$ "

hareketli yük $q = 2.00$ "

Örnek: Duvar yükü analizi



Betonarme bir yapının dış dolgu duvarları 25 cm gazbeton ile örülecektir. Dış sıva 2 cm, iç sıva 1.5 cm olacaktır. Sıva olarak kireçli çimento harcı kullanılacaktır. Duvarın 1 m² lik alanının ağırlığını bulunuz.

ÇÖZÜM:

Gaz beton duvar	0.25	7	= 1.75 kN/m ²
Dış sıva	0.02	20	= 0.40 "
İç sıva	0.015	20	= 0.30 "

1 m² duvar için $g = 2.45$ kN/m²

*Duvarda hareketli yük olmaz

*Duvarlar oluştukları kiriş (nadiren döşemeye) çizgisel yük olarak etkiler. Yapıdaki duvar yükseklikleri farklı olabilir. Bu nedenle, önce 1 m² lik duvarın ağırlığı belirlenir. Duvar yüksekliği ile çarpılır, kiriş çizgisel yükü kN/m cinsinden bulunur.

Örnek: Kiriş yükü analizi

Kesit 25/50 cmxcm olan ve yukarıda analizi yapılan 2.6 m yüksekliğindeki duvar taşıyan kirişin yükünü bulunuz.

ÇÖZÜM:

Kiriş bir çubuk (çizgisel) elemandır. Kendi ağırlığının ve üzerindeki duvarın oluşturacağı yük de çizgiseldir, birimi kN/m dir. Kirişin kendi sıvası dikkate alınmaz:

Kiriş öz yükü	0.25	0.50	25	= 3.10 kN/m
Duvar	2.45	2.6		= 6.37 kN/m
				$g = 9.47$ kN/m

Döşemeler genellikle kirişlere oturur. Döşemeden kiriş sabit ve hareketli yük de gelir. Döşemeler henüz işlenmediğinden, bu örnekte döşeme yükü dikkate alınmamıştır. Sonraki konularda bu durum da örneklenecektir.

Hareketli yükler

İnsan yükü, eşya ağırlıkları, kar yükü, depolanmış malzeme gibi yüklerdir. TS 498-1997 Çizelge 7 de konut odaları, balkon, merdiven, kütüphane ve birçok farklı amaçla kullanılan döşemelerde alınması gereken *kararistik* hareketli yükler tanımlanmıştır. Döşeme *kararistik* hareketli yükü bu çizelgeden alınır. Hareketli yük Q veya q ile gösterilir.

TS 498 1997 den bazı hareketli yükler:

	kN/m ²
Çatı döşemesinde	1.5
Konut odalarında	2.0
Konut kordoflarında	2.0
Konut merdivenlerinde	3.5
Sınıflar, anfiler, poliklinik odalarında	3.5
Konut merdivenleri sahanlıklarında	3.5
Konut balkonlarında	5.0
Tiyatro ve sinemalarda	5.0
Kütüphane, arşiv döşemelerinde	5.0
Hastane, okul, büro merdivenlerinde	5.0
Büro, hastane, okul, sinema kordoflarında	5.0
Garajlarda (en fazla 2.5 t olan araçlar için)	5.0
Tribünlerde (ayakta)	7.5

Yönetmelikte verilen ve Projede alınacak değer

Yük kararistik değildir. Öngörülenin çok üstünde olma riski vardır!



Kar yükü

Orduya! Bilgi için bakınız

Kar yoğunluğu çok değişkendir, tek değer vermek mümkün değildir. Normal kar yoğunluğu 100-300 kg/m³ arasıdır. Sulu yağan kar 400-500 kg/m³ yoğunluğa varabilir. Buz 900-970 kg/m³ yoğunluğu ile sudan daha hafif ve suda yüzer. Enyemek su halini aldığı anda 1000 kg/m³ olduğu düşünülürse iyi bir karşılaştıma yapılabilir.



Yeni yağmış, sulu olmayan yumuşak kar. 100 kg/m³



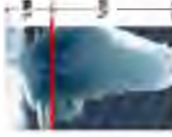
Yeni yağmış sulu yumuşak kar. 400-500 kg/m³



Buzlanmış teli kar. 300 kg/m³



Buz: 900-970 kg/m³
Biz sudan hafif/buz nedenle Eisberg suda yüzer, ancak en çok %10 u su üstünde görünür. En az %90 u su altındadır.



Büyük alanları katkılan pazaryeri, hangar, spor sahası, kongre salonu, supermarket gibi yapıların çatılan kar yüküne karşı duyarlıdır. Kar kalınlığının 15-20 cm yi aşması durumunda mutlaka temizlenmelidir. Bu tür yapıların proje aşamasında kar temizleme planları da hazırlanmalıdır.



Çok yüksek olmayan normal yapılar için sabit bir değeri kabul edilen ve yapıya yelley etkiden dolayı TS 498-1997 maddede 11.2.3 ve 11.3 e göre hesaplanır. Rüzgârın ebes yönünde çarpılı yeri yüzeyinde basınç, (tek ebi) arka yüzeyinde ve yalayıp geçiş) yüzeyinde emme kuvveti oluşur. w ile gösterilen rüzgâr kuvvetinin birimi kN/m² dir. Basınç veya emme kuvveti rüzgârın hızına ve yapının geometrisine bağlıdır. Rüzgâr hızı belli bir yüksekliğe kadar artar sonra sabit kalır. Bu nedenle cepheye etkileyen basınç veya emme kuvveti de yapı yüksekliğince artar.

TS 498-1997 ye göre yapı cephesine etkileyen rüzgâr yükünün hesabı:

$$q = \frac{w \cdot V^2}{1000}$$

$w = c_p \cdot q$
 $V =$ rüzgâr hızı (m/s)
 w esdeğeri sabit basınç veya emme (kN/m²)

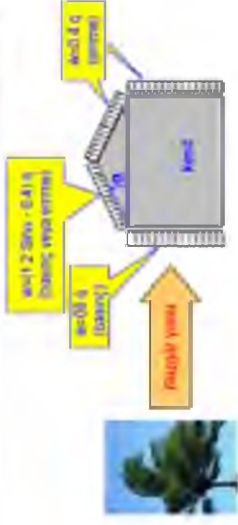
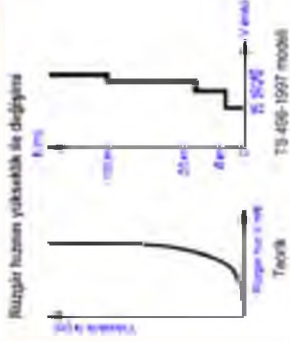
c_p katsayısı TS 498-1997, Çizelge 6 dan alınır. c_{pe} için çoğu yapıda aşağıdaki değerler geçerlidir:

Normal yapılarda:

- $c_p = 0.8$: Eski yapıların dış duvar ve rüzgârın çarpıldığı yüzeylerde (basınç)
- $c_p = 0.4$: Rüzgârın ark etki) veya yalayıp geçiş) yüzeylerinde (emme)
- $c_{pe} = 1.25$ sına-0.4 : Rüzgâr yönü ile a açılı yapıdan ve rüzgârın çarpıldığı dış duvarlarda (basınç veya emme)

Kısa tipli yapılarda (yüksekliği birimdeki eninin 5 katı veya daha fazla olan yapıları):

- $c_p = 1.2$: Eski yapıların dış duvar ve rüzgârın çarpıldığı yüzeylerde (basınç)
- $c_p = 0.4$: Rüzgârın ark etki) veya yalayıp geçiş) yüzeylerinde (emme)
- $c_{pe} = 1.65$ sına-0.4 : Rüzgâr yönü ile a açılı yapıdan ve rüzgârın çarpıldığı dış duvarlarda (basınç veya emme)

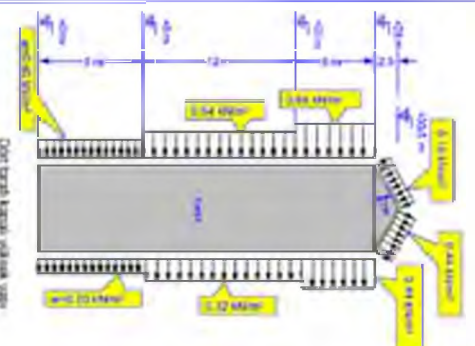
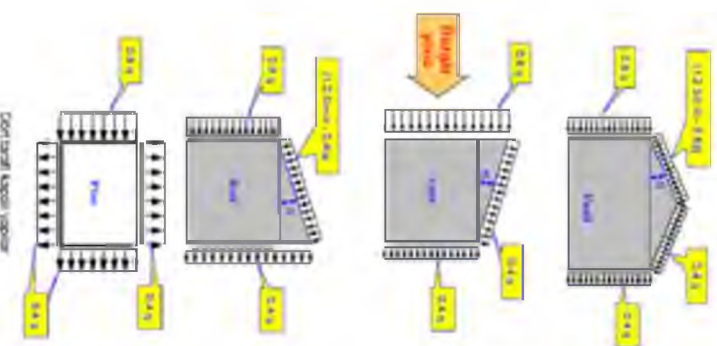


TS 498-1997, Çizelge 5 (Tüm Türkiye için)

Yapı yüksekliğince belirlenen sabit emme/yükseklik bölgesi m	V rüzgâr hızı m/s (km/saat)	q (Basınç-emme) kN/m ²
0-4	20 (100)	0.5
4-20	36 (130)	0.8
20-100	42 (150)	1.1
100 ve yukarıda	46 (165)	1.3

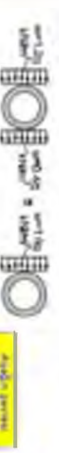
q değeri TS 498-1997, Çizelge 5 den alınır. Çizelge 5 tüm Türkiye için geçerlidir. Yonemlere göre bir rüzgâr haritası yoktur. Rüzgâr kuvvetinin yönsel olduğu bölgelerde, yüksek yapılarda rüzgâr hızının Meteoroloji Bölge Nüfusluktan önce belirlenerek q değerinin belirlenmesi daha geçerli olur.

Çizimler: eğilme yükleri bina için



Çabukla verilen reklam panosu aralığına yerleştirilmiştir. 23 m dir. Aralığı etkileyen eğilme kuvvetlerini hesaplayınız.

Çözümü: Aralık her koruma bing için çabuklaştırılır. Aralığı eğilme momenti ve kesme kuvveti dağılımını hesaplayın. Çabuk yükleri bina için çabuklaştırılır. Yükler her iki bölgeden gelen panoların aralığına 1.2 kN/m² veya 0.4 kN/m² olarak çabuklaştırılır. Aralığı etkileyen eğilme momenti hesaplayın. Bu değer aralık çabuklaştırılır. Aralığı etkileyen panoların aralığına etkileyen çabuklaştırılır. Çabuklaştırılır.

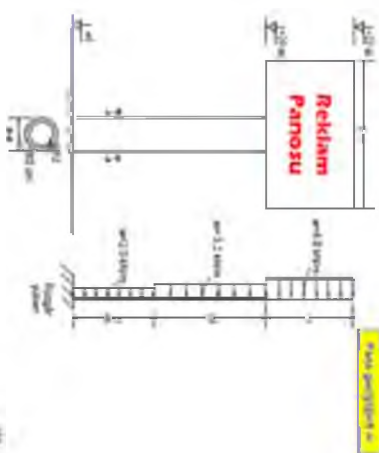


0.2x0.8 m aralıklı aralık çabuklaştırılır. Aralığı etkileyen eğilme momenti $M = 1.6 \cdot 0.8 \cdot 2.51 = 3.2 \text{ kNm}$

0.2x0.20 m aralıklı aralık çabuklaştırılır. Aralığı etkileyen eğilme momenti $M = 1.6 \cdot 0.2 \cdot 1.1 \cdot 1.1 = 0.39 \text{ kNm}$

0.2x0.23 m aralıklı aralık çabuklaştırılır. Aralığı etkileyen eğilme momenti $M = 1.6 \cdot 0.23 \cdot 1.1 \cdot 1.1 = 0.48 \text{ kNm}$

0.2x0.23 m aralıklı aralık çabuklaştırılır. Aralığı etkileyen eğilme momenti $M = 1.6 \cdot 0.23 \cdot 1.1 \cdot 1.1 = 0.48 \text{ kNm}$



100 m den daha yüksek olan bir yapının cephesini/yatırım amacıyla kaplanacak, kaplama malzemesi/dübelenecektir. Kaplama malzemesi çok hafif olacak, plastik dübel kullanılacaktır. Bina yüksekliğince 1 m²'ye kaç dübel çakılmalıdır ?

Tanımlar:

Kaplama malzemesi çok hafif olduğundan dübelde kesme ve eğilme momenti oluşmayacaktır. Rüzgâr emme kuvveti dübelin çökmesine, sıyrılmaya sebep olacaktır. Bu nedenle dübelde sadece çekme kuvveti oluşacaktır.

Buna cephede TS 498-1997'ye göre oluşacak rüzgâr emme kuvvetinin (Güçlük) değişimi şekilde verilmiştir.



N_1 Dübelin çekilme dayanımı, dübel koparacağı veya sıyrılan karakteristik kuvveti (kN).
 N_2 Dübel tasarım çekilme kuvveti, dübelin çökme yükü, köpürmeye çıkan rüzgâr tasarım kuvveti (kN)

N_3 Dübelin güvenli taşıyabileceği çekilme kuvveti (kN)

$T_{g,alt}$ Dübelin güvenli taşıyacağı rüzgâr kuvveti (kN/m²)

w Rüzgâr emme kuvveti (kN/m²)

n bir metrekareye çakılması gereken dübel sayısı.

Buna göre $N_2 = \frac{w \cdot 1.0}{n} \leq N_1 = \frac{N_3}{T_{g,alt}}$ sağlanmalıdır.

Sayısal örnek:

$N_1 = 0.1$ kN olan dübel kullanılır ve $T_{g,alt} = 2$ alınır. Bir dübelin güvenli taşıyacağı çekme kuvveti $N_2 = \frac{0.1}{2} = 0.05$ kN olur. Bu durumda

Kodu 0 ile 20 m arasında olan cephe alanlarında $w = 0.2$ kN/m², $N_2 = \frac{0.2 \cdot 1.0}{n} \leq N_1 = 0.05$ - $n = 4$ dübel

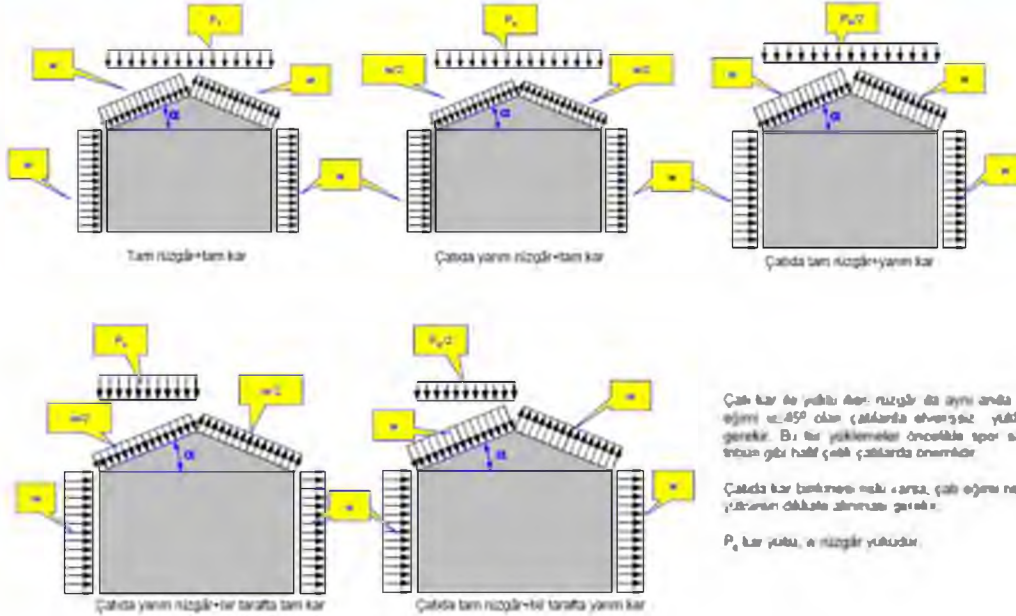
Kodu 20 ile 20 m arasında olan cephe alanlarında $w = 0.32$ kN/m², $N_2 = \frac{0.32 \cdot 1.0}{n} \leq N_1 = 0.05$ - $n = 6$ dübel

Kodu 20 ile 100 m arasında olan cephe alanlarında $w = 0.44$ kN/m², $N_2 = \frac{0.44 \cdot 1.0}{n} \leq N_1 = 0.05$ - $n = 8.8$ - $n = 10$ dübel

Kodu 100 m den yüksek cephe alanlarında $w = 0.52$ kN/m², $N_2 = \frac{0.52 \cdot 1.0}{n} \leq N_1 = 0.05$ - $n = 10.4$ - $n = 10$ dübel

Yukarı; Kodu 0 ile 20 m arasında olan cephe bölgelerinde en az 6 dübel/m², 20 m den yüksek bölgelerde 10 dübel/m² çakılması ve ayrıca bina köşelerinde dübel sayısının her m²'de en az 2 adet artırılması önerilir. Gözlenen tüm binalarda binanın bulunduğu bölgedeki rüzgâr hızının Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden öğrenilmesi ve cephede oluşacak emme kuvvetinin daha gerçekçi hesaplanması uygun olur.

Kar yükü ve rüzgâr yükünün aynı anda etkimesi



Çatı kar ile yükü olan rüzgâr da aynı anda etkili olabilir. Çatı eğimi $\alpha < 45^\circ$ olan çatılarda önerilmez. Yüklenebilir yapılmaması gerekir. Bu tür yüklemeler öncelikle spor salonu, pazar yeri, tribün gibi hafif çelik çatılarda önerilmelidir.

Çatıda kar birikmesi değil, çatı eğimi ne olursa olsun, kar yükünün etkisine alınması gerekir.

P_k kar yükü, w rüzgâr yüküdür.

DÖŞEMELER (Plaklar)

Üzerindeki yükleri kiriş veya kolonlara aktaran genelde yatay betonarme elemanlardır. Salon tavanı, tabanı, köprü döşemesi (tabliye) örnek olarak verilebilir.

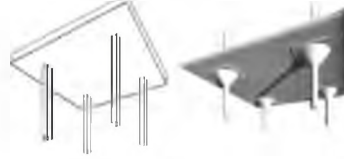
Döşeme tipleri:

- Kirişli döşeme
- Kirişsiz (mantar) döşeme
- Dişli (nervürlü) döşeme
- Asmolen döşeme
- Kaset (ızgara)-kiriş döşeme

Kirişli döşeme: en az bir kenarı kiriş oturan 8-20 cm kalınlığında bir plaktır. Yükleri ve kenarları çok büyük olmayan hacimlerde (odalarda) genelde tercih edilir. Kısa kenarı 6-7 m olabilir. İnşası kolay ve ekonomiktir. Konul tipi yapılarda en çok kullanılan döşeme tipidir.



Kirişsiz döşeme: Kirişlen olmayan, doğrudan kolonlara oturan 30-40 cm kalınlığında bir plaktır. Mantar döşeme de denir. Yükleri ve kenarları çok büyük olmayan hacimlerde (odalarda) kullanılabilir. Açıklık 9-10 m olabilir. Kalıp işçiliği ve maliyeti azdır. Sarkan kiriş olmadığından alttan bakıldığında düz bir tavan görünür. İyi bir çerçeve davranışı sergileyemez. Kolonların plağı delip geçmesi (zımbalama) riski vardır. Ağır yükleri alan döşemelerde (sanayi yapıları, köprü, otopark) zımbalamayı önlemek amacıyla kolona başlık yapılır. Depremde davranışı kötüdür, Türkiye için uygun bir plak tipi değildir. Mutlaka deprem perdeleri düzenlenmelidir.



Dişli (nervürlü) döşeme : 40-70 cm aralıklarla birbirine paralel kirişçiklerin (dişlerin) ana kirişlere oturtulması ve üzerine çok ince bir plak yapılması ile oluşturulan bir döşemedir. Dişlerin genişliği 10-15 cm, yüksekliği 25-35 cm civarındadır. Plak 5-7 cm dir. Yükleri ve kenarları büyük hacimlerde kullanılabilir. Hacim dikdörtgen ise bir yönde dişli, kare veya kareye yakın ise iki yönde dişli tercih edilir. Bir yönde dişli döşemenin diş açıklığı 10-12 m, iki yönde dişli döşemenin diş açıklığı 14-15 m olabilir. Dişli döşemelerin depremde davranışı iyi değildir. Mutlaka deprem perdeleri düzenlenmelidir.



Asmolen döşeme: Dişler arası asmolen olarak adlandırılan hafif bir malzeme ile doldurulmuş bir veya iki yönde dişli döşemedir. Tavan düz görünür. Asmolen döşemelerin depremde davranışı iyi değildir. Mutlaka deprem perdeleri düzenlenmelidir.

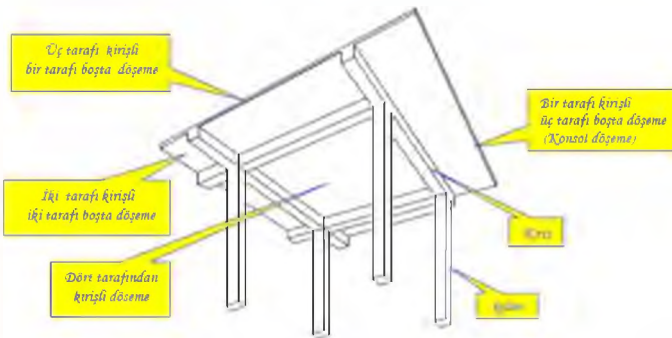


Kaset (ızgara) kiriş döşeme: Hacim ortasında kolon istenmeyen çok büyük (sinema salonu, otopark gibi) hacimlerin kapatılmasında kullanılır. Açıklık 15-25 m olabilir. Dişli döşemeler gibi inşa edilir. Dişler yenne normal boyutlu kirişler (tali kirişler) kullanılır. Çevre kirişlere ana kirişler denir, tali kirişler ana kirişlere oturur. Ana kirişlerde büyük burulma momenti oluşur, bu nedenle tali kirişlere nazaran daha geniş (80-100 cm) yapılırlar. Tali kirişler arası 50-150 cm civarındadır. Sistem ağırdır, kolonlara değil, her iki yönde yerleştirilmiş rijit perdelerle oturtulmalıdır.



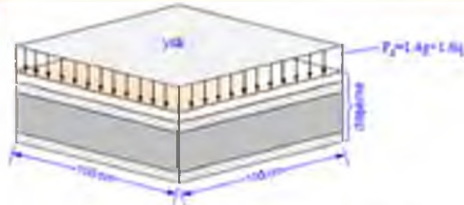
Kirişli döşemeler (plaklar)

- Dört tarafından kirişlere oturan döşemeler
- Kenarlarının bazıları boşta olan döşemeler
- Boşluklu döşemeler
- Düzensiz geometri döşemeler



Döşemenin döşeyi yük altında davranış

Döşeme tasarım yükü



Döşemenin depremde davranışı: Döşemeye etkiyen sabit ve hareketli düşey yükler genelde düzgün yayılır. Yüklün birim kN/m²'dir. Deprem kuvveti ve döşeme yayılı olduğu için depremde döşemenin eğilmediği, rijit bir diyaliz levhası gibi davrandığı, deprem kuvvetinin burda ile birlikte kolondan-kolona aktarıldığı varsayılır. Bu nedenle döşemenin moment hesabında deprem yükü dikkate alınmaz.

Döşemenin katmanları: Kaplama, tesviye betonu, betonarme betonu sıvadan oluşur. Kaplama: ahşap parke, mermer, seramik veya mozaik kare benzeri malzemeler ile yapılır. Kalıp düzgün yapılmadığından betonarme betonun üst yüzü aynı kaba olmaz. Tesviye betonu ile her nokta aynı kaba gelmez. Tesviye kalınlığı kalibrin ne denli düzgün yapıldığına, betonun ne denli düzgün döküldüğüne bağlıdır, önceden tam olarak bilinemez. Küçük döşemelerde az, büyük döşemelerde çok, 3-10 cm gelebilir. Yaklaşık 3-5 cm normal kabul edilir. Sıva kalınlığı da önceden tam bilinemez, 2-3 cm civarında olur.

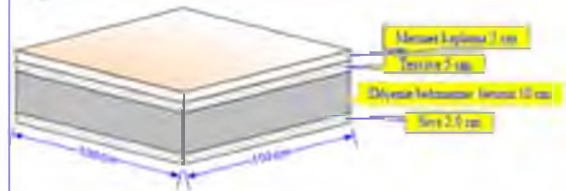
Sabit yük: Döşeme betonarme betonu, tesviye betonu, kaplama ve sıva ağırlıklarının toplamından oluşur. Varsa asma tavan ağırlığı ve benzer ağırlıklar da hesaba kalır. TS 150 1994 1997 Ek A ve Ek B tablolarında inşaatlarda malzemenin karakteristik yoğunlukları listelenmiştir. Bu tablolar yardımıyla döşeme karakteristik sabit yükü belirler. Sabit yük g ile gösterilir.

Hareketli yük: İnsan yükü, eşya ağırlıkları, kar yükü, depolama malzeme gibi zamanla yen ve değişen değişebilen yüklerdir. TS 498-11997 Çizelge 7 de konut, ofisler, balkon, merdiven, kütüphane ve birçok farklı amaçla kullanılan döşemelerde alınması gereken karakteristik hareketli yükler belirtilmiştir. Döşeme karakteristik hareketli yükü bu çizelgeden alınır. Yanm duvar taşıyan döşemenin hareketli yükü 1.5 - 2.0 kN/m² olabilir. Hareketli yük q ile gösterilir.

Tasarım yükü: Sabit yükün 1.4 ve hareketli yükün 1.6 katının toplamıdır (TS 500 2000), P_d ile gösterilir. $P_d = 1.4g + 1.6q$

Döşemenin statik ve betonarme hesapları P_d tasarım yükü ile yapılır (deprem dikkate alınmadığından).

Örnek: Bir katlı beton salın döşeme için katmanları verilen bir Döşemenin karakteristik sabit, karakteristik hareketli ve tasarım yükünü belirleyiniz



ÇÖZÜM:

Döşeme	0.10	25	= 2.50 kN/m ²
Tesviye	0.05	22	= 1.10 "
Kaplama	0.02	27	= 0.54 "
Sıva	0.02	20	= 0.40 "

$$\text{sabit yük } g = 4.54 \text{ "}$$

$$\text{hareketli yük } q = 2.00 \text{ "}$$

$$\text{Tasarım yükü } P_d = 1.4 \cdot 4.54 + 1.6 \cdot 2.00 = 9.56 \text{ kN/m}^2$$

Dört tarafından kirişli döşemeler (Plaklar)

Yapılarda karşılaşılan döşemelerin çoğunluğu dört tarafından kirişe oturür, dikdörtgen geometridir ve yükü düzgün yayılır. Bu tür döşemeler yapının en güvenli elemanlarıdır, hemen hiç göçmezler. Ancak; çok ince yapıldıklarında; deprem kuvvetini kolondan kolona aktaramaz, fazla sarkma olur, sallanırlar ve konfor rahatsızlığı yaratırlar. Döşeme iç kuvvetlerinin (moment, kesme) analitik hesabı çok karmaşık ve kısıtlıdır. El hesapları, yeter doğrulukta, tablolar yardımıyla yapılır. En iyi hesap yöntemi Sonlu Elemanlar Metodudur, yazılım gerektirir. İlerdeki konularda açıklanacak olan el hesabının anlaşılabilmesi için aşağıdaki tanımlar verilecektir.

Tanım 1:
 l_1 : uzun kenar (akıtan- akıta)
 l_2 : kısa kenar (akıtan- akıta)

$\frac{l_1}{l_2} > 2$ ise, iki doğrultuda çalışan döşeme adı verilir, her iki doğrultuda eğilir, bu tekmeler formasyon alır.

$\frac{l_1}{l_2} > 2$ ise, bir doğrultuda (kısa doğrultuda) çalışan döşeme adı verilir, kısa doğrultuda eğilir, uzun doğrultuda kesme yük eğilmez, bu tekmeler formasyon alır.

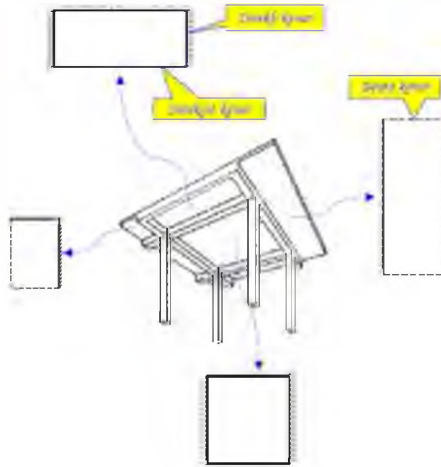
Döşemenin çalıştığı doğrultuda büyük momentler oluşur.

- İki doğrultuda çalışan döşemeye uygulamada Dali döşeme de denir.
- Bir doğrultuda çalışan döşemeye uygulamada Hırdi döşeme de denir.

Tanım 2:
Döşemenin bir kenar oturur bir kenar komşu bir döşemenin de bir kenarı ise, döşeme bu kenar boyunca sürekli (süreklî) dir. Komşu döşemesi olmayan kenara sürekli kenar denir. Süreklî kenar boyunca mesnet momenti oluşur. Komşu döşeme olmamasına rağmen, plajın kenarı bir perdeye veya çok niç bir kırıya oturuyorsa bu kenar, sürekli kabul etilmek uygundur.

Tanım 3:
 $l_{kiriş}$ döşemenin kısa doğrultuda, kiriş yüzünden-kiriş yüzüne ölçülen net açıklığıdır. Çok geniş olmayan katlarda (250-300 mm) $l_{kiriş} = l_2$ alınabilir, hesaplarda sonuçlar çok değişir.

Döşeme kenar koşullarının hesaplarda gösterilişi



Döşeme kenarlarının sürekli, süreksiz veya boşta olması durumunu vurgulamak için taralı çizgi, kesiksiz çizgi ve kesik çizgi kullanılır.

Taralı kesiksiz çizgi = Süreklî kenar:
Taralı çizgi kenarın sürekli olduğu, döşemenin kenar boyunca çökmediği ve dönmediği (ankastre olduğu) anlamındadır.

- Bir kenar kiriş veya perdeye oturuyor ve komşu döşemenin de ortak kenarı ise,
- Bir kenar niç bir perde veya çok niç bir kirişe bağlı ise

süreklî varsayılır. Süreklî kenar boyunca mesnet momenti oluşacak anlamındadır.

Kesiksiz çizgi = Süreksiz kenar:
Kesiksiz çizgi kenarın süreksiz olduğu, yani döşemenin kenar boyunca serbestçe dönebildiği (mafsallı olduğu) anlamındadır.

- Bir kenar kiriş veya duvara serbestçe oturuyorsa,
- Bir kenar kirişe bağlı fakat kirişi dondurebiliyorsa,

süreksiz varsayılır. Süreksiz kenar boyunca mesnet momenti oluşmayacak anlamındadır.

Kesik çizgi = Boşta kenar:
Kesik çizgi kenarın boşta olduğu, yani döşemenin kenar boyunca çökebildiği ve serbestçe dönebildiği anlamındadır.

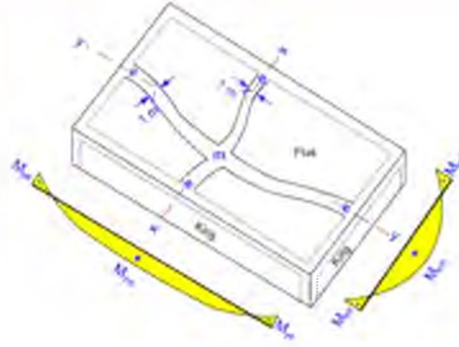
- Bir kenar hiçbir yere (kiriş, duvar, perde) oturmuyorsa

Boşta kenar varsayılır. Boşta kenar boyunca kenara dik yönde moment oluşmaz. Ancak boşta kenar boyunca sarkma fazla olur, bu kenar boyunca çok büyük moment oluşur.

Düzgün yayılı yük altında döşemenin davranışı ve moment dağılımı

Dört tarafından kirişlere oturan, tüm kenarları sürekli ve düzgün yayılı yüklü döşemenin 1 m genişliğindeki sanal şeritleri boyunca oluşan momentlerin dağılımı şekilde verilmiştir. Şeklin incelenmesinden aşağıdaki yorumlar yapılabilir.

- Açıklıkta, her iki yönde, moment pozitifdir.
- Açıklıkta en büyük moment açıklık ortasındadır.
- Mesnelerde momenti negatifdir.
- En büyük mesnel momenti mesnel ortasındadır.
- Kısa doğrultudaki momentler uzun doğrultudaki momentlerden çok daha büyüktür.
- Bir yönde çalışan döşemelerin uzun doğrultusunda oluşan moment çok küçük olur, ihmal edilebilir.
- Açıklıklarda çekme alttadır. Her iki yönde de altta çatlaklar oluşacaktır. Dolayısıyla döşemenin altına her iki yönde donatı konulması gerekir.
- Mesnelerde çekme üsttedir. Döşemenin mesnel üstlerinde çatlaklar oluşacaktır. Bu çatlakları sınırlamak için mesnel üstlerine donatı gerekir.
- Açıklıkların üstünde basınç oluşur. Özel durumlar hariç, üstte donatı gerekmez.

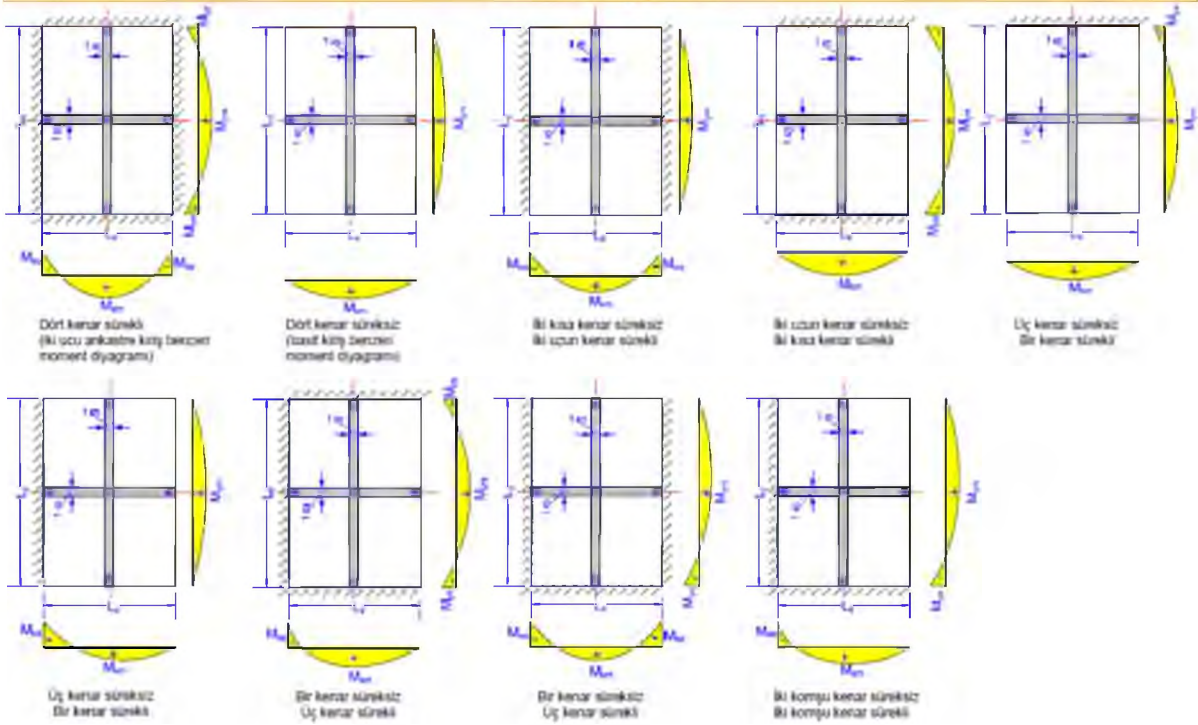


Düzgün yayılı yük altında şekil değiştirmiş plak ve moment dağılımı

Momentler, her iki doğrultuda, plağın ortasından geçen 1 metrelik sanal şeritleri m ve e noktalarında hesaplanır. Momentin birimi kN/m'dir.

- M_{xm} : x yönündeki şeridin m noktasındaki açıklık momenti (altta çekme)
- M_{ym} : y yönündeki şeridin m noktasındaki açıklık momenti (altta çekme)
- M_{xe} : x yönündeki şeridin e noktasındaki mesnel momenti (mesnel üstünde çekme)
- M_{ye} : y yönündeki şeridin e noktasındaki mesnel momenti (mesnel üstünde çekme)

Plak moment diyagramları



Uygulamada karşılaşılan döşemelerin çözümü

1. Dikdörtgen geometriktir
2. Düzgün yükü yüklenmiştir
3. Dört taraftan kirişlere oturur.

Bu üç koşula uygun döşemelerin momentleri TS 500-2000 Çizelge 11.1, sayfa 56 da verilen tablo yardımıyla çok basit bir yolla hesaplanır. Bu tablonun benzeri aşağıda verilmiştir. Tabloda kenarların sürekli veya sürekli olmayan (açık) olarak 7 farklı döşeme tipi vardır. Döşemenin ortasından geçen her iki doğrultudaki M_{xm} , M_{xe} , M_{ym} ve M_{ye} tasarım momentleri

$$M_x = \frac{1}{1000} \alpha P_d L_x^2$$

(α) katsayıları hesaplanabilir. Momentler birimi kN m/m dir.

Dört kenarından kirişlere oturan döşemelerde α sayıları

	Kısa açıklık doğrultusunda α								Uzun açıklık doğrultusunda α
	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.75	2.0	
1	-33 +25	-40 +30	-45 +34	-50 +38	-54 +41	-59 +45	-70 +53	-83 +62	-33 +25
2	-42 +31	-47 +35	-53 +40	-57 +43	-61 +46	-65 +49	-75 +56	-85 +64	-41 +31
3	-49 +37	-56 +42	-62 +47	-66 +50	-70 +53	-73 +55	-82 +62	-90 +68	-49 +37
4	-56 +44	-61 +46	-65 +49	-69 +51	-71 +53	-73 +55	-77 +58	-80 +60	000 +44
5	000 +44	000 +53	000 +60	000 +65	000 +68	000 +71	000 +77	000 +80	-56 +44
6	-58 +44	-65 +49	-71 +54	-77 +58	-81 +61	-85 +64	-92 +69	-98 +74	-58 +44
7	000 +50	000 +57	000 +62	000 +67	000 +71	000 +75	000 +81	000 +83	000 +50

Ardı değerler açıklık momentlerine, eksi değerler mesnet momentlerine ait α değeridir. Buradaki α sayıları TS 500-2000 değerlerinin 1000 katıdır.

M_d : Döşemenin açıklık veya sürekli kenarındaki M_{xm} , M_{xe} , M_{ym} veya M_{ye} tasarım momentlerinden herhangi biri

P_d : Döşeme üstünde yayılı olan tasarım yükü

L_{knet} : kısa doğrultudaki net açıklık (çok geniş olmayan kirişlerde $L_{knet}=L_k$ alınabilir)

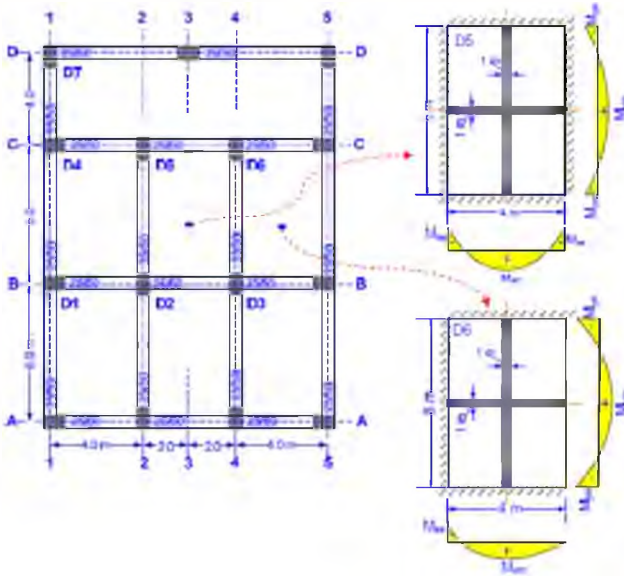
α : Tablodan alınacak katsayı. Kısa doğrultuda $m=L_x/L_k$ oranına bağlı olarak değişir, uzun doğrultuda m den bağımsızdır.

L_u : Uzun kenar, L_x ve L_y den büyük olanı.

L_k : Kısa kenar, L_x ve L_y den küçük olanı.

Örnek: Döşeme momentlerinin TS 500-2000 ile hesabı

Aşağıdaki tüm döşemelerin tümünde tasarım yükü $P_d=9.56 \text{ kN/m}^2$ dir. D5, D6 ve D7 döşemesinin tasarım momentlerini belirleyiniz.



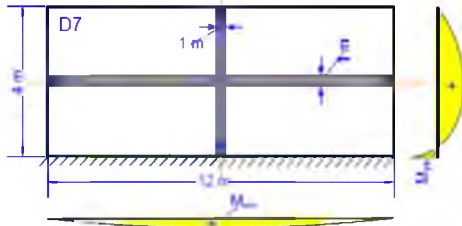
D5 döşemesinde:

Döşeme tipi:1 (dört kenar sürekli)
 $m=6/4=1.5 < 2$ (iki doğrultuda çalışan döşeme)
 $M_{xm} = (45/1000) \cdot 9.56 \cdot 4^2 = 6.88 \text{ kN m/m}$
 $M_{xe} = (-59/1000) \cdot 9.56 \cdot 4^2 = -9.02 \text{ "}$
 $M_{ym} = (25/1000) \cdot 9.56 \cdot 4^2 = 3.82 \text{ "}$
 $M_{ye} = (-33/1000) \cdot 9.56 \cdot 4^2 = -5.05 \text{ "}$

D6 döşemesinde:

Döşeme tipi:2 (bir kenar sürekli)
 $m=6/4=1.5 < 2$ (iki doğrultuda çalışan döşeme)
 $M_{xm} = (49/1000) \cdot 9.56 \cdot 4^2 = 7.50 \text{ kN m/m}$
 $M_{xe} = (-65/1000) \cdot 9.56 \cdot 4^2 = -9.94 \text{ "}$
 $M_{ym} = (31/1000) \cdot 9.56 \cdot 4^2 = 4.74 \text{ "}$
 $M_{ye} = (-41/1000) \cdot 9.56 \cdot 4^2 = -6.27 \text{ "}$

Kısa doğrultudaki momentlerin uzun doğrultu momentlerinden büyük olduğuna dikkat ediniz



D7 döşemesinde:

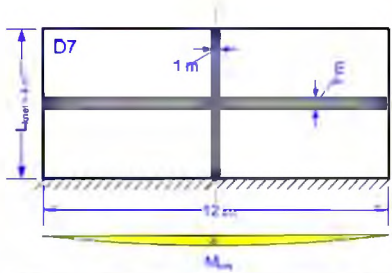
Döşeme tipi 5 (bir beton sınıfı)
 $m = 12/4 = 3 > 2$ (bir doğrultuda çalışan döşeme) $m = 1$ değeri tabanda yoktur, α değeri $m = 2$ için alınır: 0.8. Tablodaki α değerlerinin değeri m incelenmelidir. Her çuk döşeme için α büyük olacağı anlaşıyor.

$$M_{top} = (44/1000) \cdot 9.56 \cdot 4^2 = 6.73 \text{ kNm}$$

$$M_{bot} = (74/1000) \cdot 9.56 \cdot 4^2 = 11.32 \text{ kNm}$$

$$M_{top} = (-98/1000) \cdot 9.56 \cdot 4^2 = -14.99 \text{ kNm}$$

Öneri: Uygulamada bir doğrultuda çalışan döşemeler çoğu kez iki doğrultuda çalışan döşemeye veya dört döşemeye katılmış olur. Bu durumda bir doğrultuda çalışan döşemelerin momentleri TS 500-2000 tablosundan $m=2$ alınarak hesaplanır. Ancak bu şekilde hesaplanan kısa doğrultu momentleri güvenli olmayacaktır. Bu nedenle aşağıdaki önlemin alınması önerilecektir:
-Bir doğrultuda çalışan döşemenin kısa doğrultusunun (kısık) momentleri için esasen pahalıca ve ağır ve aynı şekilde yükleri taşıyan diğer döşemelerin birliğe olmamalıdır.



$$M_{top(kısık)} = \frac{9}{128} P_d L_{kısık}^2$$

$$M_{bot(kısık)} = -\frac{1}{8} P_d L_{kısık}^2$$

Uzun doğrultuda çalışan döşemelerin momentleri için $m=2$ alınmalıdır.

$$M_{top} \geq 2M_{top(kısık)}$$

$$M_{bot} \geq 2M_{bot(kısık)}$$

Ölçülük!

$$M_{top(kısık)} = (9/128) \cdot 9.56 \cdot 4^2 = 10.75 \text{ kNm}$$

$$M_{bot(kısık)} = (-1/8) \cdot 9.56 \cdot 4^2 = -19.12 \text{ kNm}$$

Yukarıdaki örnekte TS 500-2000 ile hesaplanan D7 döşemesinin açılış momenti bu çuk döşemelerin esasen moment taşıyacaklarıdır. Esasen moment $M_{top} = -14.99 \text{ kNm}$ mıdır? $M_{top(kısık)} = -19.12 \text{ kNm}$ mi olur?

Burada verilen bir momentten bu plâta alır. Plâta esasen çukları doğrultusunda moment taşıyacak değildir. (Kısık kısık $M_{top(kısık)} = 1/8 P_d L_{kısık}^2$, $M_{bot(kısık)} = 0$. Bu ucu andıkça kısık $M_{top(kısık)} = 1/24 P_d L_{kısık}^2$, $M_{bot(kısık)} = 1/12 P_d L_{kısık}^2$ dir.

İki doğrultuda çalışan kısık döşemelerde sınır değerler (TS 500-2000)

Kesit oranı m :

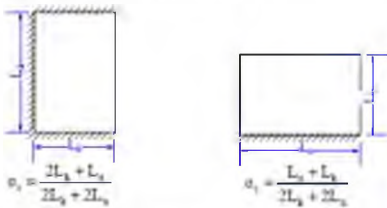
$$m = \frac{L_{kısık}}{L_{uzun}} = \frac{L_1}{L_2} \leq 2$$

Döşeme kalınlığı h :

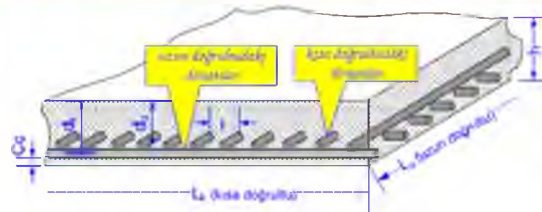
$$h \geq \frac{L_{kısık}}{15 + \frac{20}{m}} \left(1 - \frac{d_s}{4}\right)$$

$h \geq 80 \text{ mm}$

- α_1 : 100 mm (örnek)
- α_2 : 150 mm (konatı üzerinden başlı geçen döşemelerde, örnek)
- α_3 : 150 mm (merdiven şahinlerinde, büyük boyutlu döşemelerde, örnek)
- α_4 : Sırtaklı beton uçurukların toplamının bölüne (e-ve-ne oranında) Örneği.



- Döşeme çok ince olmamalı: Deprem kuvvetleri etkileriz, sarkar, sallanır, barlar çabuklukla kırılır.
- Döşeme çok kalın olmamalı: Yapı ağırlaşır, depreme karşı gelmez, yapı malzeme azdır.



- Donatı aralığı s :
 $s \leq 1.5 h$ (her iki doğrultuda)
 $s \leq 200 \text{ mm}$ (her iki doğrultuda)
 $s \leq 250 \text{ mm}$ (uzun doğrultuda)
 $s \leq 60 \text{ mm}$ (örnek)

Donatı çapı ϕ :
 $\phi \geq 8 \text{ mm}$ (çukuk)
 $\phi \geq 5 \text{ mm}$ (plâta)

Donatı oranları ρ_x, ρ_y, ρ :
 $\rho_x \geq 0.0015$
 $\rho_y \geq 0.0015$

$\rho \geq 0.004$ (5220 kg/m³)
 $\rho \geq 0.0036$ (3420 kg/m³ veya 3500 kg/m³)

Net beton oranı C_c :
 $C_c \geq 15 \text{ mm}$ (her iki doğrultuda)

Faydalı yükseklikler d_x, d_y :
 $d_x = h - (C_c + 5) \text{ mm}$ (2-30 mm)
 $d_y = h - (C_c + 15) \text{ mm}$ (1-30 mm)

Beton sınıfı: C16-C50 (C30/25 ve üstü önerilir)
 Çelik sınıfı: Her tür çelik (S420a veya B 420C önerilir)

Donatı oranları tablosu:

$$\rho_x = \frac{A_{sx}}{1000 d_x} \quad \left(A_{sx}, A_{sy} \text{ mm}^2, d_x \text{ ve } d_y \text{ mm oranında} \right)$$

$$\rho_y = \frac{A_{sy}}{1000 d_y}$$

$$\rho = \rho_x + \rho_y \quad \left(\text{Toplam donatı oranı} \right)$$

- A_{sx} : 1000 mm² (örnek) deprem alanı (uzun doğrultuda)
- A_{sy} : 1000 mm² (örnek) deprem alanı (kısa doğrultuda)
- d_x : faydalı yükseklik (uzun doğrultuda)
- d_y : faydalı yükseklik (kısa doğrultuda)
- ρ_x : donatı oranı (uzun doğrultuda) 1 m² plâta oranında
- ρ_y : donatı oranı (kısa doğrultuda) 1 m² plâta oranında

Kenarların oranı m:

$$m = \frac{L_{\text{uzun}}}{L_{\text{kısa}}} = \frac{L_2}{L_1} > 2$$

Döşeme beton kalınlığı h:

- $h > L_{\text{mesnet}}/25$ (basit mesneli, tek açıklıklı döşemelerde)
- $h > L_{\text{mesnet}}/30$ (sürekli döşemelerde)
- $h > L_{\text{mesnet}}/12$ (konsol döşemelerde)
- $h > 80$ mm
- $h > 120$ mm (üzerinden taşıt geçen döşemelerde)

- $h > 100$ mm (önerilen)
- $h > 150$ mm (konsol ve üzerinden taşıt geçen döşemelerde, önerilen)
- $h > 150$ mm (merdiven sahanlıklarında ve büyük boşluklu döşemelerde, önerilen)

-Döşeme çok ince olmamalı: Deprem kuvvetini iletmez, sarkar, sallanır, korfor rahatsızlığı verir.

-Döşeme çok kalın olmamalı: Yapı ağırdır, deprem kuvveti büyür, yapı maliyeti artar.

Donatı aralığı t:

- $t \leq 1.5$ h (kısa doğrultuda)
- $t < 200$ mm (kısa doğrultuda)
- $t < 300$ mm (uzun doğrultuda)
- $t < 250$ mm (uzun doğrultuda öneren)

Donatı çapı ϕ :

- $\phi > 8$ mm (çubuk)
- $\phi > 5$ mm (hasır)

Donatı oranı ρ_k :
 $\rho_k > 0.003$ (S220 için)
 $\rho_k > 0.002$ (S420 ve S500 için)

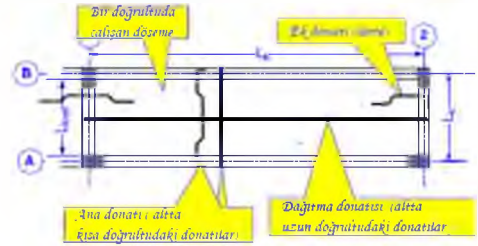
Net beton örtüsü Cc :
 $Cc > 15$ mm (kısa doğrultuda)

Faydalı yükseklikler d_u, d_v :
 $d_u = h - (Cc+5)$ mm = h-20 mm
 $d_v = h - (Cc+15)$ mm = h-30 mm

Dağıtma donatısı A_{su} :
 $A_{su} > A_{sk}/5$ (dağıtma donatısı)

Ek donatı A_{sek} :
 $A_{sek} > 0.60 A_{sk}$ (ek donatı)
 $A_{sek} > 250$ mm² (S220 için)
 $A_{sek} > 170$ mm² (S420 ve S500 için)

Beton sınıfı: C16-C50 (C20/25 ve üstü önerilir)
 Çelik sınıfı: Her tür çelik (S420a ve B 420C önerilir)



Donatı oranının tanımı:

$$\rho_k = \frac{A_{sk}}{1000d_u} \quad (A_{sk} \text{ mm}^2, d_u \text{ mm cinsinden})$$

- A_{sk} : 1000 mm lik şeritteki donatı alanı (kısa doğrultuda)
- A_{su} : 1000 mm lik şeritteki donatı alanı (uzun doğrultuda)
- A_{sek} : 1000 mm lik şeritteki ek donatı alanı (kısa kenar mesnetlerinde)
- d_u : faydalı yükseklik (kısa doğrultuda)
- ρ_k : donatı oranı (kısa doğrultuda, 1m lik plak şeklinde)

Betonarme hesap-donatı hesabı

Döşemenin açıklık ve mesnetlerindeki M_d tasarım momentleri 1 m lik döşeme şeridi için hesaplandığından ve döşeme kalınlığı h sabit olduğundan, kesit 1000xh boyutlu dikdörtgen olur. Bu nedenle donatı hesabı, hem mesnet hem de açıklık momenti için, tek donatılı dikdörtgen kiriş gibi yapılır. Döşemelere basınç donatısı ve etriye konmaz. Denge alt donatı koşulu hemen hep sağlanır, kontrol genelde yapılmaz. Tüm döşemelerin önce açıklık sonra mesnet donatıları hesaplanır. **Donatı hesabında ve yerleştirilmesinde TS 500-2000 sınır değerlerini mutlaka uyulur.**

Açıklıkta donatı hesabı:

Kısa doğrultuda:

Net beton örtüsü 15 mm (genelde hep 15 mm).
 faydalı yükseklik $d = h - \text{net beton örtüsü} - 5 \text{ mm} = h - 20$ mm alınır.
 Hesaplanan donatı kısa doğrultuda ve alta konur

Uzun doğrultuda:

Faydalı yükseklik $d = h - \text{net beton örtüsü} - 15 \text{ mm} = h - 30$ mm alınır.
 Hesaplanan donatı uzun doğrultuda alta, kısa doğrultudaki donatının üstüne konur.

Bilinenler: Malzeme (beton ve çelik sınıfları), kesit boyutları, faydalı yükseklik ve tasarım momenti

İstenen: Döşemenin her 1 m genişliğindeki şeridine konacak A_{sk} donatı alanı

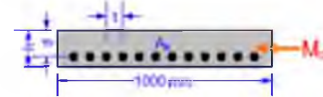
Çözüm: M. R. AYDIN, U. ERSOY tabloları veya benzer bir tablo kullanılarak A_{sk} belirlenir.

M. R. AYDIN tablolarına göre k_f hesaplanır, beton sınıfına ait sütunda k_f değeri bulunur (gerekirse interpolasyon!), buna karşılık gelen k_f değeri okunur, A_{sk} hesaplanır. Bir sonraki sayfada verilen tablo yardımıyla A_{sk} alanı uygun donatı çapı ve adedine dönüştürülerek döşeme üzerine 1 piye 1 düz olarak çizilir. Çap, adım ve çubuk boyu donatı üzerine yazılır. Örneğin: $\phi 8/360$ L=6400

U. ERSOY tablolarına göre K hesaplanır, beton sınıfına ait sütunda K değeri bulunur (gerekirse interpolasyon!), buna karşılık gelen j değeri okunur, A_s hesaplanır. Bir sonraki sayfada verilen tablo yardımıyla A_s alanı uygun donatı çapı ve adedine dönüştürülerek döşeme üzerine 1 piye 1 düz olarak çizilir. Çap, adım ve çubuk boyu donatı üzerine yazılır. Örneğin: $\phi 8/360$ L=6400

-Döşemelerde $\phi 8$ ve $\phi 10$ çaplı çubuklar tercih edilir.

-Bir doğrultuda çalışan döşemelerde uzun doğrultuda sadece düz donatı (dağıtma donatısı) konur, piye konmaz! Bu tür döşemelerin kısa kenarlarına mutlaka, yöneliminin öngördüğü kadar, ek donatı konur.



Mesnetle donatı hesabı:

Bu konuyu ilköğrenim ortası mesnetinde farklı momentler oluyor. Kesme donatısı kalınlığın da farklı olabilir. Hangi moment ve hangi kalınlık betonarme hesaba esas alınacak sonucu ortaya çıkar. Bu konuda farklı yaklaşımlar vardır. El hesapları için en basit yolu izlemek yeterlidir. Büyük olan moment M_d olarak ve bu momente karşılığı plağın kalınlığı da h olarak alınır.

Faali payı en az 15 mm (genelde hep 15 mm).

Faydalı yükseklik $d = h - \text{net beton örtüsü} - 5 \text{ mm} - h - 20 \text{ mm}$ alınır.

Gerekli donatı alanı A_s hesaplanır.

Aynı mesnetle komşu deşeme açıklıklarından gelen payeler (genelde) vardır. Komşu deşemelerin payelerinin toplam alanı $A_{s, \text{komşu}}$ belirlenir.
 $A_{s, \text{net}} = A_s - A_{s, \text{komşu}}$ konularında gereken ek donatı alanı olur.

Yandaki tablo yardımıyla $A_{s, \text{net}}$ donatı alanı uygun donatı çapı ve adının doruklarına göre mesnetin üstüne çözümlenir. Çap, adım ve çubuk boyu donatı üzerine yazılır. Örneğin: $\phi 10/200$ L=2200.

Ek donatının aralığı en fazla 330 mm dir. Mesnet donatılarında için başkası bu kuralama yoktur.

Konstrüktif donatılar:

Yerleşimlikten öngörülen veya mühendisün deneyim ve tecrübesine bağlı, hesap dışı konulan donatılardır. Montaj donatısı, dağıtma donatısı, sehpa, donma çözüme donatılan örnek olarak verilebilir.

Hesaplarda kullanılacak birimler:

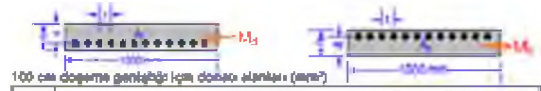
Aşağıda verilen birimler kullanılmıyorsa genelde uygundur.

Materyal dayanımı: N/mm²

Moment: kN.m/m

Faydalı yükseklik ve kesit genişliği: mm

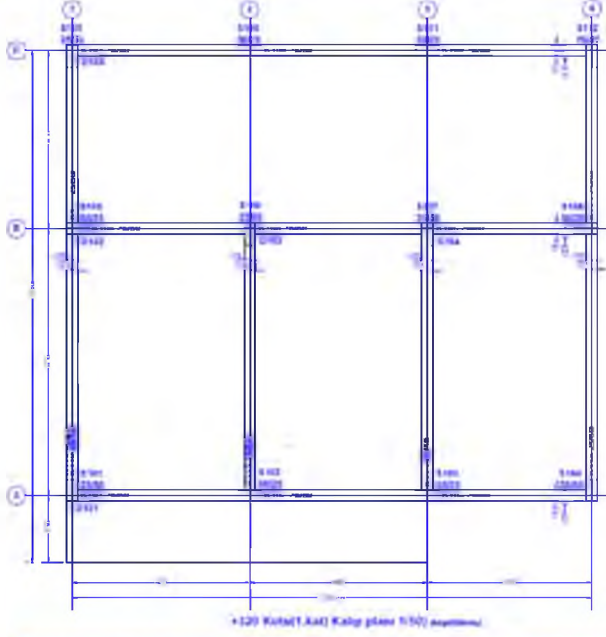
Donatı alanı: mm²



100 cm deşeme genişliği için donatı alanları (mm²)

t (cm)	s (mm)									
	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24
5.0	365	400	435	470	505	540	575	610	645	680
5.5	372	408	443	478	513	548	583	618	653	688
6.0	379	415	450	485	520	555	590	625	660	695
6.5	386	422	457	492	527	562	597	632	667	702
7.0	393	429	464	499	534	569	604	639	674	709
7.5	400	436	471	506	541	576	611	646	681	716
8.0	407	443	478	513	548	583	618	653	688	723
8.5	414	450	485	520	555	590	625	660	695	730
9.0	421	457	492	527	562	597	632	667	702	737
9.5	428	464	499	534	569	604	639	674	709	744
10.0	435	471	506	541	576	611	646	681	716	751
10.5	442	478	513	548	583	618	653	688	723	758
11.0	449	485	520	555	590	625	660	695	730	765
11.5	456	492	527	562	597	632	667	702	737	772
12.0	463	499	534	569	604	639	674	709	744	779
12.5	470	506	541	576	611	646	681	716	751	786
13.0	477	513	548	583	618	653	688	723	758	793
13.5	484	520	555	590	625	660	695	730	765	800
14.0	491	527	562	597	632	667	702	737	772	807
14.5	498	534	569	604	639	674	709	744	779	814
15.0	505	541	576	611	646	681	716	751	786	821
15.5	512	548	583	618	653	688	723	758	793	828
16.0	519	555	590	625	660	695	730	765	800	835
16.5	526	562	597	632	667	702	737	772	807	842
17.0	533	569	604	639	674	709	744	779	814	849
17.5	540	576	611	646	681	716	751	786	821	856
18.0	547	583	618	653	688	723	758	793	828	863
18.5	554	590	625	660	695	730	765	800	835	870
19.0	561	597	632	667	702	737	772	807	842	877
19.5	568	604	639	674	709	744	779	814	849	884
20.0	575	611	646	681	716	751	786	821	856	891
20.5	582	618	653	688	723	758	793	828	863	898
21.0	589	625	659	694	729	764	799	834	869	904
21.5	596	632	666	701	736	771	806	841	876	911
22.0	603	639	673	708	743	778	813	848	883	918
22.5	610	646	680	715	750	785	820	855	890	925
23.0	617	653	687	722	757	792	827	862	897	932
23.5	624	660	694	729	764	799	834	869	904	939
24.0	631	667	701	736	771	806	841	876	911	946
24.5	638	674	708	743	778	813	848	883	918	953
25.0	645	681	715	750	785	820	855	890	925	960
25.5	652	688	722	757	792	827	862	897	932	967
26.0	659	695	729	764	799	834	869	904	939	974
26.5	666	702	736	771	806	841	876	911	946	981
27.0	673	709	743	778	813	848	883	918	953	988
27.5	680	716	750	785	820	855	890	925	960	995
28.0	687	723	757	792	827	862	897	932	967	1002
28.5	694	730	764	799	834	869	904	939	974	1009
29.0	701	737	771	806	841	876	911	946	981	1016
29.5	708	744	778	813	848	883	918	953	988	1023
30.0	715	751	785	820	855	890	925	960	995	1030
30.5	722	758	792	827	862	897	932	967	1002	1037
31.0	729	765	799	834	869	904	939	974	1009	1044
31.5	736	772	806	841	876	911	946	981	1016	1051
32.0	743	779	813	848	883	918	953	988	1023	1058
32.5	750	786	820	855	890	925	960	995	1030	1065
33.0	757	793	827	862	897	932	967	1002	1037	1072
33.5	764	800	834	869	904	939	974	1009	1044	1079
34.0	771	807	841	876	911	946	981	1016	1051	1086
34.5	778	814	848	883	918	953	988	1023	1058	1093
35.0	785	821	855	890	925	960	995	1030	1065	1100
35.5	792	828	862	897	932	967	1002	1037	1072	1107
36.0	799	835	869	904	939	974	1009	1044	1079	1114
36.5	806	842	876	911	946	981	1016	1051	1086	1121
37.0	813	849	883	918	953	988	1023	1058	1093	1128
37.5	820	856	890	925	960	995	1030	1065	1100	1135
38.0	827	863	897	932	967	1002	1037	1072	1107	1142
38.5	834	870	904	939	974	1009	1044	1079	1114	1149
39.0	841	877	911	946	981	1016	1051	1086	1121	1156
39.5	848	884	918	953	988	1023	1058	1093	1128	1163
40.0	855	891	925	960	995	1030	1065	1100	1135	1170
40.5	862	898	929	967	1002	1037	1072	1107	1142	1177
41.0	869	905	936	974	1009	1044	1079	1114	1149	1184
41.5	876	912	943	981	1016	1051	1086	1121	1156	1191
42.0	883	919	950	988	1023	1058	1093	1128	1163	1198
42.5	890	926	957	995	1030	1065	1100	1135	1170	1205
43.0	897	933	964	1002	1037	1072	1107	1142	1177	1212
43.5	904	940	971	1009	1044	1079	1114	1149	1184	1219
44.0	911	947	978	1016	1051	1086	1121	1156	1191	1226
44.5	918	954	985	1023	1058	1093	1128	1163	1198	1233
45.0	925	961	992	1030	1065	1100	1135	1170	1205	1240
45.5	932	968	999	1037	1072	1107	1142	1177	1212	1247
46.0	939	975	1006	1044	1079	1114	1149	1184	1219	1254
46.5	946	982	1013	1051	1086	1121	1156	1191	1226	1261
47.0	953	989	1020	1058	1093	1128	1163	1198	1233	1268
47.5	960	996	1027	1065	1100	1135	1170	1205	1240	1275
48.0	967	1003	1034	1072	1107	1142	1177	1212	1247	1282
48.5	974	1010	1041	1079	1114	1149	1184	1219	1254	1289
49.0	981	1017	1048	1086	1121	1156	1191	1226	1261	1296
49.5	988	1024	1055	1093	1128	1163	1198	1233	1268	1303
50.0	995	1031	1062	1100	1135	1170	1205	1240	1275	1310
50.5	1002	1038	1069	1107	1142	1177	1212	1247	1282	1317
51.0	1009	1045	1076	1114	1149	1184	1219	1254	1289	1324
51.5	1016	1052	1083	1121	1156	1191	1226	1261	1296	1331
52.0	1023	1059	1090	1128	1163	1198	1233	1268	1303	1338
52.5	1030	1066	1097	1135	1170	1205	1240	1275	1310	1345
53.0	1037	1073	1104	1142	1177	1212	1247	1282	1317	1352
53.5	1044	1080	1111	1149	1184	1219	1254	1289	1324	1359
54.0	1051	1087	1118	1156	1191	1226	1261	1296	1331	1366
54.5	1058	1094	1125	1163	1198	1233	1268	1303	1338	1373
55.0	1065	1101	1132	1170	1205	1240	1275	1310	1345	1380
55.5	1072	1108	1139	1177	1212	1247	1282	1317	1352	1387
56.0	1079	1115	1146	1184	1219	1254	1289	1324	1359	1394
56.5	1086	1122	1153	1191	1226	1261	1296	1329	1364	1401
57.0	1093	1129	1160	1198	1233	1268	1303	1334	1369	1408
57.5	1100	1136	1167	1205	1240	1275	1310	1339	1374	1415
58.0	1107	1143	1174	1212	1247	1282	1317	1346	1381	1422
58.5	1114	1150	1181	1219	1254	1289	1324	1353	1388	1429
59.0	1121	1157	1188	1226	1261	1296	1331	1360	1395	1436
59.5	1128	1164	1195	1233	1268	1303	1338	1367	1402	1443
60.0	1135	1171	1202	1240	1275	1310	1345	1382	1409	1450
60.5	1142	1178	1209	1247	1282	1317	1352	1389	1416	1457

Örnek: Bir katın döşemelerinin statik-betonarme hesap ve çizimi



Bir konutun +320 kotu kat kalıp planı verilmiştir. D101 balkon, D102, D103, D104 oda, D105 koridorur. Odalar meşe parke, diğer hacimler mermer kaplıdır. Kiriş ve kolon boyutları 25/50 cm'xm'dir. Döşeme hesapları yapılacak ve gerekli çizimler hazırlanacaktır. Malzeme C20/25-B 420C, şantiye denetimi iyi.

ÇÖZÜM

Döşeme minimum kalınlıkları:

$$D101: h > 1500/12 = 125 \text{ mm}$$

$$D102: m = 6/4 = 1.5 < 2 \text{ (iki doğrultuda çalışıyor)}$$

$$h \geq \frac{4000}{15 + \frac{20}{1.5}} \left(1 - \frac{14/20}{4}\right) = 116 \text{ mm}$$

$$D103: m = 6/4 = 1.5 < 2 \text{ (iki doğrultuda çalışıyor)}$$

$$h \geq \frac{4000}{15 + \frac{20}{1.5}} \left(1 - \frac{20/20}{4}\right) = 106 \text{ mm}$$

$$D104: m = 6/3.7 = 1.62 < 2 \text{ (iki doğrultuda çalışıyor)}$$

$$h \geq \frac{3700}{15 + \frac{20}{1.62}} \left(1 - \frac{9.7/19.4}{4}\right) = 119 \text{ mm}$$

$$D105: m = 11.7/4 = 2.93 > 2 \text{ (bir doğrultuda çalışıyor)}$$

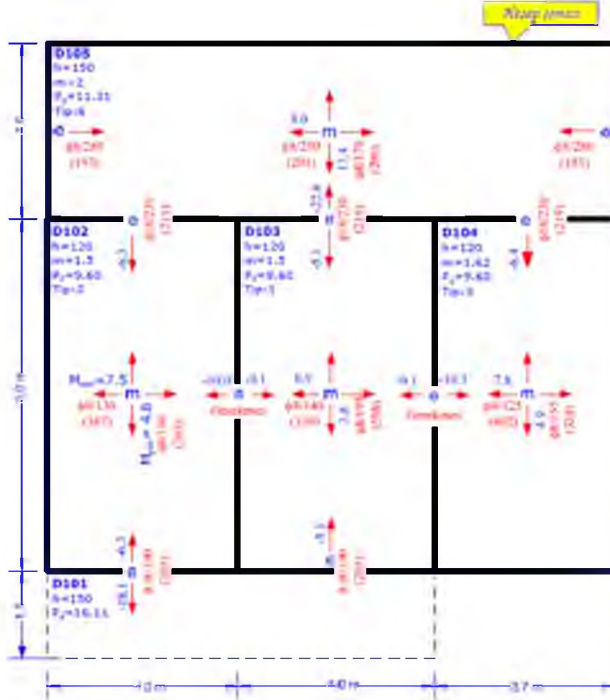
$$h > 4000/30 = 133 \text{ mm}$$

Seçilen:

D101 için $h = 150 \text{ mm}$
 D102, D103, D104 için $h = 120 \text{ mm}$
 D105 için $h = 150 \text{ mm}$

Seçilen kalınlık minimuma yakın fakat altında olmamalıdır. Döşemenin gereksiz yere çok kalın seçilmesi de iyi değildir, yapıyı ağırlaştırır ve maliyeti çok artırır. Minimum kalınlıkları birbirine yakın olan döşemeler için ortak tek bir kalınlığa karar verilir. D101 döşemesi konsol olduğu için risklidir, bu nedenle biraz daha kalın, $h = 150 \text{ mm}$ seçildi. D102, D103 ve D104 döşemeleri için kalınlık aynı, $h = 120 \text{ mm}$ uygundur. D105 döşemesi için $h = 140 \text{ mm}$ seçilebilirdi, ancak Y yönünde 2 ve 3 aksı kirişin süreksiz olduğundan deprem kuvvetini iletemezler, D105'in deprem kuvvetini Y yönünde daha iyi iletebilmesi için $h = 150 \text{ mm}$ alındı.

Sadere hesaplarla kullanılmak üzere, kat kalıp planının basit bir şeması hazırlanacak ve hesap bilgileri bu şema üzerine yazılacaktır. Belirlenen her yeni bilginin bu şemaya taşınması hem hesap hızını artırır hem de hata olasılığını azaltır. Hesap başlangıcında boş olan aşağıdaki şema son durumu göstermektedir. Şema yenne uygun bir tablo da hazırlanabilir. Şemadaki yatay oklar () x yönü, düşey oklar () da y yönü bilgilerini içermektedir.



Döşeme yük analizi:

D101:			
Döşeme	0.15	25	= 3.75 kN/m ²
Tesviye	0.05	22	= 1.10
Kaplamaya	0.02	27	= 0.54
Sera	0.02	20	= 0.40
			$g = 5.79$
			$q = 5.00$
			$p_d = 1.4 \cdot 5.79 + 1.6 \cdot 5.00 = 9.61 \text{ kN/m}^2$

D102, D103, D104:			
Döşeme	0.12	25	= 3.00 kN/m ²
Tesviye	0.05	22	= 1.10
Kaplamaya	0.01	6.9	= 0.07
Sera	0.02	20	= 0.40
			$g = 4.57$
			$q = 2.00$
			$p_d = 1.4 \cdot 4.57 + 1.6 \cdot 2.00 = 9.60 \text{ kN/m}^2$

D105:			
Döşeme	0.15	25	= 3.75 kN/m ²
Tesviye	0.05	22	= 1.10
Kaplamaya	0.02	27	= 0.54
Sera	0.02	20	= 0.40
			$g = 5.79$
			$q = 2.00$
			$p_d = 1.4 \cdot 5.79 + 1.6 \cdot 2.00 = 11.31 \text{ kN/m}^2$

Döşeme yük analizi için kullanılan yükler (kN/m²)

Değerli momentleri (TS 500-2000):

D101: $M_{pm} = -16,114 \cdot 5^2 / 2 = -10,1 \text{ kNm}$
D102: $M_{pm} = 0,049 \cdot 9,60 \cdot 4^2 = 7,5 \text{ kNm}$ $M_{ps} = -0,065 \cdot 9,60 \cdot 4^2 = -10,0$ $M_{pm} = 0,071 \cdot 9,60 \cdot 4^2 = 4,8$ $M_{ps} = -0,041 \cdot 9,60 \cdot 4^2 = -6,3$
D103: $M_{pm} = 0,045 \cdot 9,60 \cdot 4^2 = 6,9 \text{ kNm}$ $M_{ps} = -0,009 \cdot 9,60 \cdot 4^2 = -1,1$ $M_{pm} = 0,025 \cdot 9,60 \cdot 4^2 = 3,8$ $M_{ps} = -0,003 \cdot 9,60 \cdot 4^2 = -0,5$
D104: $M_{pm} = 0,059 \cdot 9,60 \cdot 3,7^2 = 7,8 \text{ kNm}$ $M_{ps} = -0,078 \cdot 9,60 \cdot 3,7^2 = -10,3$ $M_{pm} = 0,037 \cdot 9,60 \cdot 3,7^2 = 4,9$ $M_{ps} = -0,049 \cdot 9,60 \cdot 3,7^2 = -6,4$
D105: $M_{pm} = 0,044 \cdot 10,96 \cdot 4^2 = 8,0 \text{ kNm}$ $M_{ps} = 0,074 \cdot 10,96 \cdot 4^2 = 13,4$ $M_{ps} = -0,058 \cdot 10,96 \cdot 4^2 = -17,7$ Kontrol: $M_{ps} = 17,7 / 2 = 8,85$ $M_{ps} = 11,31 \cdot 4^2 = 12,7 \text{ kNm}$ $M_{ps} = -1,8 \cdot 11,31 \cdot 4^2 = -22,6$ $M_{ps} = 12,4 \text{ kNm}$ alınacak $M_{ps} = -22,6 \text{ kNm}$ alınacak!

Betonarme hesap:

Donatı hesapları:
1. Her döşemede \rightarrow yükü iki yöne açık donatılar
2. \rightarrow yükü mesnetlere donatılar
3. \rightarrow yükü mesnetlere donatılar
4. \rightarrow konstrüktif donatılar

$f_{yk} = 20, f_{yk} = 13,3 \text{ kN/m}^2$
 $f_{yk} = 470, f_{yk} = 365,23 \text{ N/m}^2$
 $d_s = h/20, d_s = h/30 \text{ mm (24 dikkatli)}$
 $d = h/20$ (mesnetlerde)
Hesaplarda AYDIN tabloları kullanılır. Aynı anca yönlük başka bir tablo da kullanılabilir.

Açıklık donatıları:

D101: Açıklık momentli yük, hesaplı birleştirilmiş donatı da yük.
D102-D103-D104:
 $M_{pm} = 7,5 \text{ kNm}$ / m, $d_s = 100 \text{ mm}$
 $k_1 = \frac{100}{100} \sqrt{\frac{1000}{7,5}} = 11,55 \rightarrow k_1 = 0,287$
 $A_{s,req} = 10^4 \cdot 0,287 \cdot 5 / 100 = 215 \text{ mm}^2/\text{m}$
Seç: o8/100 (279 mm²/m)
 $M_{ps} = 4,8 \text{ kNm}$ / m, $d_s = 50 \text{ mm}$
 $k_1 = \frac{50}{100} \sqrt{\frac{1000}{4,8}} = 12,99 \rightarrow k_1 = 0,285$
 $A_{s,req} = 10^4 \cdot 0,285 \cdot 4 / 90 = 152 \text{ mm}^2/\text{m}$
Seç: o8/100 (279 mm²/m)
 $\rho_s = 279 / (1000 \cdot 100) = 0,0028 > 0,0015$
 $\rho_s = 279 / (1000 \cdot 50) = 0,0056 > 0,0015$
 $\rho_s = 0,0028 > 0,0031 > 0,0059 > 0,0035$
 \rightarrow X yönü, \rightarrow Y yönü

D101, D102 ve D103 hesaplarını kontrol ettim. Aynı şekilde mesnetlere de döşemelerin açıklık momentlerini kontrol etmiştim. Aynı yüklerin altında aynı betonun aynı çap donatılarını kullanmak doğru olmaz. Aynı yük altında aynı betonun aynı çap donatılarını kullanmak doğru olmaz. Aynı yük altında aynı betonun aynı çap donatılarını kullanmak doğru olmaz.

13,4 kNm için donatı olarak 215 mm² gerekir. Aynı yük için aynı çap donatılarını kullanmak doğru olmaz. Aynı yük için aynı çap donatılarını kullanmak doğru olmaz. Aynı yük için aynı çap donatılarını kullanmak doğru olmaz.

D105:
 $M_{pm} = 8,0 \text{ kNm}$ / m, $d_s = 120 \text{ mm}$
 $k_1 = \frac{120}{100} \sqrt{\frac{1000}{8,0}} = 13,42 \rightarrow k_1 = 0,285$
 $A_{s,req} = 10^4 \cdot 0,285 \cdot 8,0 / 120 = 190 \text{ mm}^2/\text{m}$
Seç: o8/250 (201 mm²/m)
 $M_{ps} = 13,4 \text{ kNm}$ / m, $d_s = 130 \text{ mm}$
 $k_1 = \frac{130}{100} \sqrt{\frac{1000}{13,4}} = 11,23 \rightarrow k_1 = 0,287$
 $A_{s,req} = 10^4 \cdot 0,287 \cdot 13,4 / 130 = 296 \text{ mm}^2/\text{m}$
Seç: o8/170 (296 mm²/m)
 $\rho_s = 296 / (1000 \cdot 130) = 0,0023 > 0,002$
 $A_{s,req} = 0,60 \cdot 296 = 178 \text{ mm}^2/\text{m} > 170$
Seç: o8/280 (193 mm²/m)
Kontrol:
 $A_{s,req} = 201 \text{ mm}^2/\text{m} > A_{s,req} / 5 = 296 / 5 = 59$

Mesnet Donatıları:

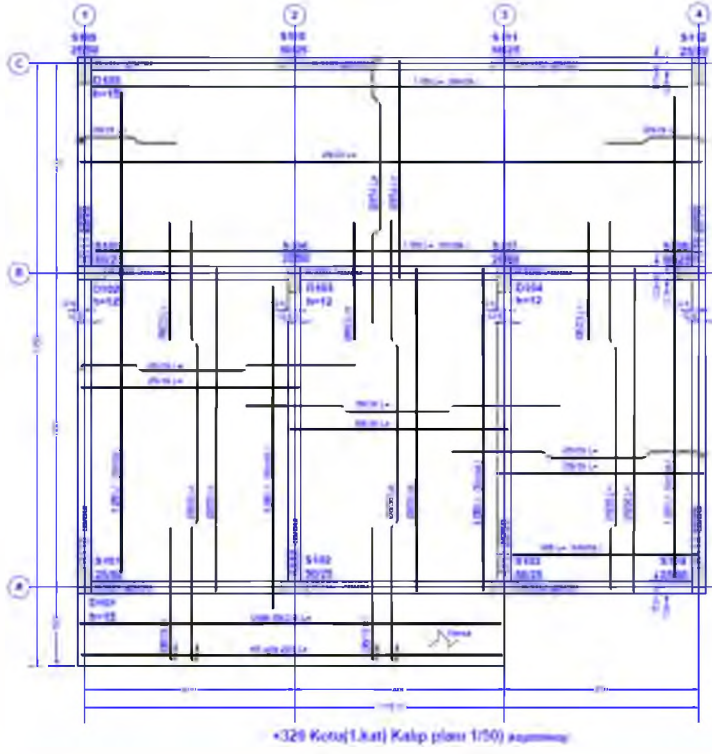
D102-D103-D103-D104:
 $M_{ps} = 10,0 \text{ kNm}$ / m, $d_s = 100 \text{ mm}$
 $k_1 = \frac{100}{100} \sqrt{\frac{1000}{10,0}} = 10,00 \rightarrow k_1 = 0,289$
 $A_{s,req} = 10^4 \cdot 0,289 \cdot 10,0 / 100 = 289 \text{ mm}^2/\text{m}$
 $A_{s,req} = (279 + 279) / 2 = 279 \text{ mm}^2/\text{m}$
 $A_{s,req} = 289 - 279 = 10 = 0 \text{ mm}^2/\text{m}$
Ek donatı gerekmez!

D101-D102-D101-D103:
 $M_{ps} = 18,1 \text{ kNm}$ / m, $d_s = 130 \text{ mm}$
 $k_1 = \frac{130}{100} \sqrt{\frac{1000}{18,1}} = 9,46 \rightarrow k_1 = 0,289$
 $A_{s,req} = 10^4 \cdot 0,289 \cdot 18,1 / 130 = 402 \text{ mm}^2/\text{m}$
 $A_{s,req} = 279 / 2 = 140 \text{ mm}^2/\text{m}$
 $A_{s,req} = 402 - 140 = 262 \text{ mm}^2/\text{m}$
Seç: o8/190 (265 mm²/m)

D102-D105-D103-D105-D104-D105:
 $M_{ps} = 22,6 \text{ kNm}$ / m, $d_s = 130 \text{ mm}$
 $k_1 = \frac{130}{100} \sqrt{\frac{1000}{22,6}} = 8,65 \rightarrow k_1 = 0,292$
 $A_{s,req} = 10^4 \cdot 0,292 \cdot 22,6 / 130 = 508 \text{ mm}^2/\text{m}$
 $A_{s,req} = (296 + 279) / 2 = 288 \text{ mm}^2/\text{m}$
 $A_{s,req} = 508 - 288 = 220 \text{ mm}^2/\text{m}$
Seç: o8/230 (219 mm²/m)

Konstrüktif donatılar:

D101:
-X yönü üstte o8/250 dağılıma donatısı konacak
-X yönü altta o8/206 konacak
-Sehpa konacak
-Pilye ve ek donatıları bağlamak için montaj donatısı konacak



C20/25-B 420C
 CEM I 32.5R, TS EN 197-1
 $D_{min\ çok} = 26\text{ mm}$
 S3
 $A_0 = 0.20$
 $I = 1.0$
 Z2
 R=8
 XC1

NOT
 -Mesnet donatılar ve piyeler, revimiyecek ve yer değiştirmeyecek şekilde, montaj donatıları ile sıkıca bağlanacaktır.
 -D101 döşemesi donatılarını yerinde tutmak için her bir metrede bir sehpa konulacaktır.

a) Basit formüller ile çözüm (TS 500-2000, Madde 11.2.2-sayfa 50)

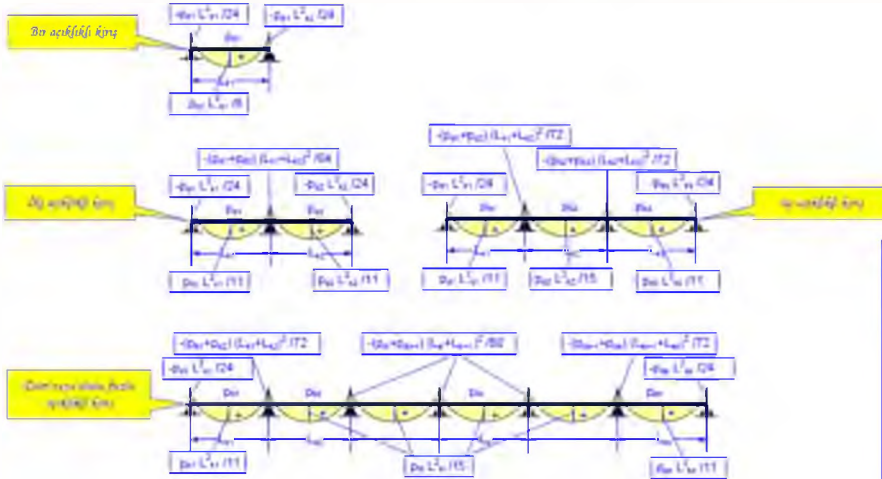
Uygulamada genelde $L_{y1}, L_{y2}, \dots, L_{yn}$ açıklıkları birbirine eşit veya birbirine yakındır. TS 500-2000'e göre, aşağıdaki koşulların sağlanması halinde, basit formüller kullanılarak döşeme tasarım momentleri belirlenebilir.

Koşul 1: Döşeme yükleri düzgün yayılı olmalı.

Koşul 2: Herhangi iki komşu döşemenin açıklıkları oranı 0.8 den büyük olmalı: $L_{max} / L_{min} \geq 0.8$

Koşul 3: Döşemelerin her birinin karakteristik hareketli yükünün karakteristik sabit yüke oranı 2 den az olmalı: $q_l/g_s < 2$

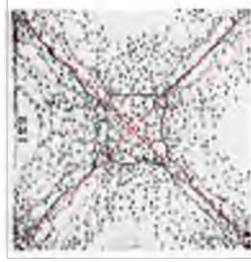
Açıklık ve mesnet tasarım momentleri için TS 500-2000, sayfa 50 de verilen basit formüller aşağıda özetlenmiştir.



Formüller kısaca yorumlanırsa: Orta açıklıklarda aynı formül kullanılmaktadır. Orta mesnetlerde aynı formül kullanılmaktadır. İlk ve son mesnette moment teknik olarak sıfırdır. Fakat plak rijit kırıncı olduğundan bir miktar moment oluşacaktır. Yönelmiş bu mesnetten yarı ankastr kabul etmektedir.



İki doğrultuda çalışan plak (dikdörtgen)



İki doğrultuda çalışan plak (kare)



Bir doğrultuda çalışan plak

Plakların taşıma gücüne eriştiğinde kırılma şekilleri
(a)lttan görünüşler)

Dört tarafından kirişli plaklar aşırı yüklendiklerinde şekilde görülen kesik çizgiler boyunca kırılırlar. Yeter bir yaklaşıklıkla, plak parçalarının (üçgen, trapez) oturdukları kiriş tarafından taşındığı varsayılabilir.

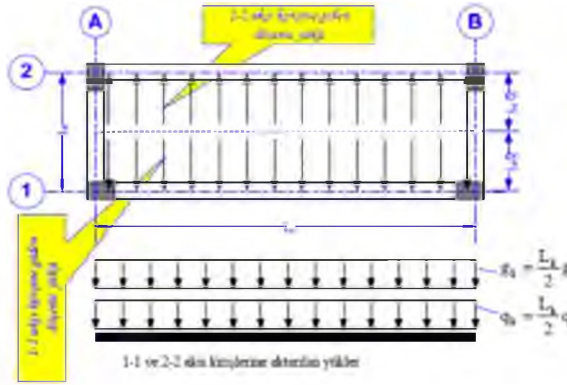
Uygulamada temel kural şudur: Plak köşelenenden çizilen aç ortayların sınırıldığı plak alanının yükü kirişe aktarılacak yükü düşündür.

İki doğrultuda çalışan plaklarda kısa kirişlere üçgen, uzun kirişlere trapez yük aktarılır. Kare plaklarda ise tüm kirişlere üçgen yük aktarılır.

Bir doğrultuda çalışan plaklarda kısa kirişlere aktarılan üçgen yük küçüktür. Bu nedenle tüm yükün uzun doğrultudaki kirişler tarafından taşındığı varsayılır. Bu durumda uzun kirişlerin yükü düzgün yayılı olur.

Dişli döşemelerde yük aktarımı, kendi konusu içerisinde ele alınacaktır.

Bir doğrultuda çalışan kirişli döşemeden kirişlere aktarılan yükler:



$m=L_1/L_2 > 2$ olan döşemenin yükü uzun doğrultudaki kirişlere eşit olarak aktarılır. Kısa doğrultudaki kirişlere yük aktarılmadığı varsayılır.

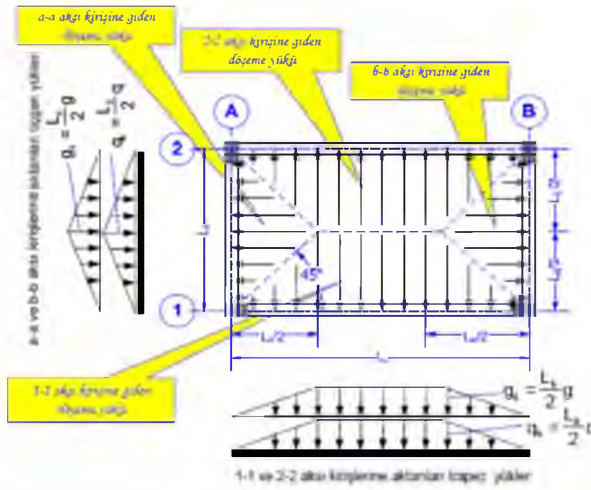
g (kN/m^2): döşemedeki karakteristik sabit yük

q (kN/m^2): döşemedeki karakteristik hareketli yük

q_1 (kN/m): g yükünden kirişe aktarılan karakteristik düzgün yayılı çizgisel yük

q_2 (kN/m): q yükünden kirişe aktarılan karakteristik düzgün yayılı çizgisel yük

İki doğrultuda çalışan kirişli döşemeden kirişlere aktarılan yükler:

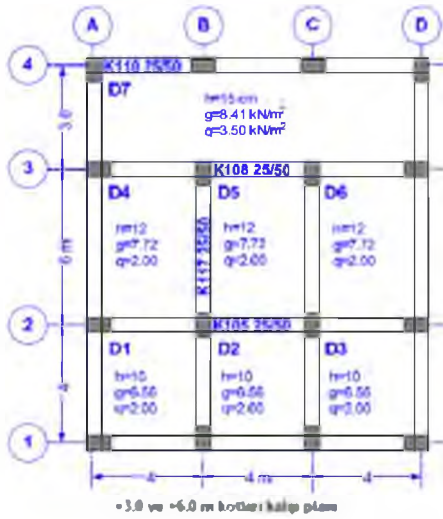


$m = L_1/L_2 < 2$ olan döşemenin yükü kenar kirişlere şekilde görüldüğü gibi dağılır. Döşemenin mesnet durumu (sürekli veya sürekli) dikkate alınmaz. Köşe açılarının açı ortaylarının kesiştiği noktalar birleşir. Böylece kirişlere aktarılan döşeme yükü bölgeyi üçgen ve trapez olarak belirlenmiş olur.

Uzun doğrultudaki kirişlere trapez, kısa doğrultudaki kirişlere üçgen yük aktarılmaktadır. Kare döşemelerde tüm kiriş yükleri üçgen olur.

- g (kN/m^2) döşemedeki karakteristik sabit yük
- q (kN/m^2) döşemedeki karakteristik hareketli yük
- q_k (kN/m) g yükünden kirişe aktarılan karakteristik yük
- q_k (kN/m) q yükünden kirişe aktarılan karakteristik yük

ÖRNEK: Kiriş yüklerinin belirlenmesi



Bir yapının +3.0 ve +6.0 m kollarına ait kalıp planında döşeme yükleri gösterilmiştir. Tüm kirişlerin üzerinde duvar vardır. İç duvar ağırlığı 2.40 kN/m^2 , dış duvar 4.20 kN/m^2 dir.

K105, K108, K110 ve K117 kirişlerinin yükleri hesaplanacaktır.

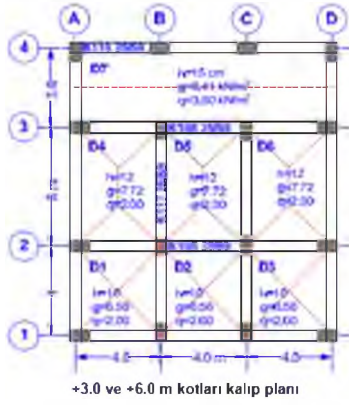
ÇÖZÜM:

Bir kirişin üzerinde olabilecek karakteristik yükler:

- Kirişin kendi düzgün yayılı yükü (kN/m)
- Döşemelerden kirişe aktarılan üçgen, trapez, düzgün yayılı yükler (kN/m)
- Duvar düzgün yayılı yükü (kN/m)
- Saplama kirişlerden aktarılan tekil yükler (kN)

Kirişin sabit ve hareketli yükleri ayrı ayrı hesaplanır, toplanmazlar.

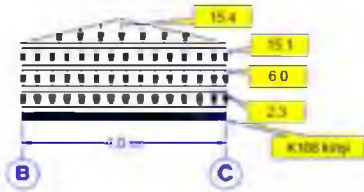
Doğeme yüklerinin kirişlere aktarıma şeması:



K105 kirişine: D2 ve D5 den üçgen yükler,
K108 kirişine: D5 den üçgen, D7 den düzgün yayılı yük,
K110 kirişine: D7 den düzgün yayılı yük,
K117 kirişine: D4 ve D5 den trapez yükler
aktarılmaktadır.

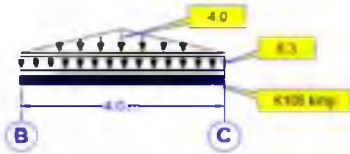
K108 kiriş yükleri:

a) Karakteristik sabit yükler:
Kiriş $0.25 \cdot (0.50 - 0.135) \cdot 25 = 2.3 \text{ kN/m}$
Duvar $(3.0 - 0.50) \cdot 2.40 = 6.0 \text{ }^*$
D5 den $(4/2) \cdot 7.72 = 15.4 \text{ }^*$
D7 den $(3.6/2) \cdot 8.41 = 15.1 \text{ }^*$



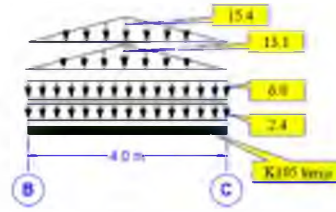
b) Karakteristik hareketli yükler:

D5 den $(4/2) \cdot 2.00 = 4.0 \text{ kN/m}$
D7 den $(3.6/2) \cdot 3.50 = 6.3 \text{ }^*$



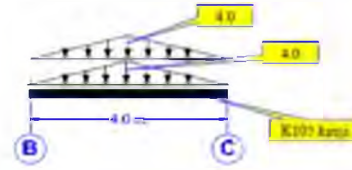
K105 kiriş yükleri:

a) Karakteristik sabit yükler:
Kiriş $0.25 \cdot (0.50 - 0.11) \cdot 25 = 2.4 \text{ kN/m}$
Duvar $(3.0 - 0.50) \cdot 2.40 = 6.0 \text{ }^*$
D2 den $(4/2) \cdot 6.56 = 13.1 \text{ }^*$
D5 den $(4/2) \cdot 7.72 = 15.4 \text{ }^*$



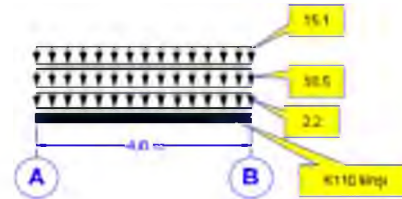
b) Karakteristik hareketli yükler:

D2 den $(4/2) \cdot 2.00 = 4.0 \text{ kN/m}$
D5 den $(4/2) \cdot 2.00 = 4.0 \text{ }^*$



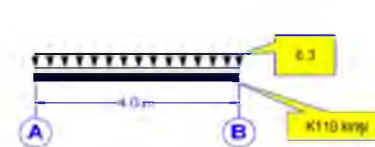
K110 kiriş yükleri:

a) Karakteristik sabit yükler:
Kiriş $0.25 \cdot (0.50 - 0.15) \cdot 25 = 2.2 \text{ kN/m}$
Duvar $(3.0 - 0.50) \cdot 4.20 = 10.5 \text{ }^*$
D7 den $(3.6/2) \cdot 8.41 = 15.1 \text{ }^*$



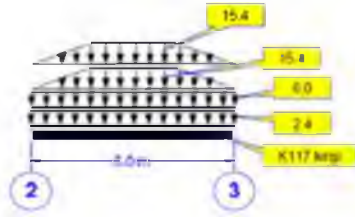
b) Karakteristik hareketli yükler:

D7 den $(3.6/2) \cdot 3.50 = 6.3 \text{ kN/m}$



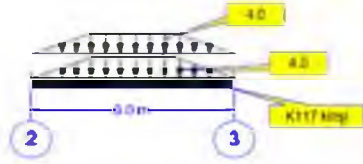
K117 kirişi yükleri:

- a) Karakteristik sabit yükler:
- Kiriş $0.25 \cdot (0.50 \cdot 0.12) \cdot 25 = 2.4 \text{ kN/m}$
 - Duvar $(3.0 - 0.50) \cdot 2.40 = 6.0 \text{ '}$
 - D4 den $(4/2) \cdot 7.72 = 15.4 \text{ '}$
 - D5 den $(4/2) \cdot 7.72 = 15.4 \text{ '}$



b) Karakteristik hareketli yükler:

- D4 den $(4/2) \cdot 2.00 = 4.0 \text{ kN/m}$
- D5 den $(4/2) \cdot 2.00 = 4.0 \text{ '}$



Hesaplanan yükler bir sonraki sayfada tablo halinde gösterilmiştir.

Kiriş yükleri tablosu (q sabit yüklerinden)

+3.0, +6.0 Kotu					Açıklama
K101 25/50	-	-	-	-	-
K105 25/50	2.4 6.0	13.1 15.4	-	-	Kiriş Duvar D2 den D5 den
K108 25/50	2.3 6.0 15.1	15.4	-	-	Kiriş Duvar D7 den D5 den
K110 25/50	2.2 10.5 15.1	-	4.0	-	Kiriş Duvar D7 den
K117 25/50	2.4 6.0	-	2. 15.4 2. 15.4	-	Kiriş Duvar D4 den D5 den

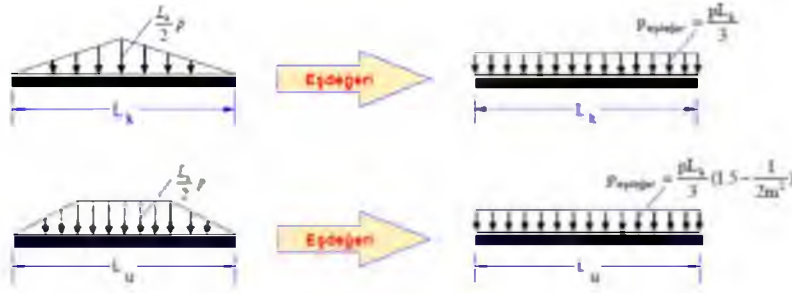
Kiriş yükleri tablosu (q hareketli yüklerinden)

+3.0, +6.0 Kotu					Açıklama
K101 25/50	-	-	-	-	-
K105 25/50	-	4.0 4.0	-	-	D2 den D5 den
K108 25/50	6.3	4.0	-	-	D5 den D7 den
K110 25/50	6.3	-	4.0	-	D7 den
K117 25/50	-	-	2. 4.0 2. 4.0	-	D4 den D5 den

P : kN, a : metre cinsinden

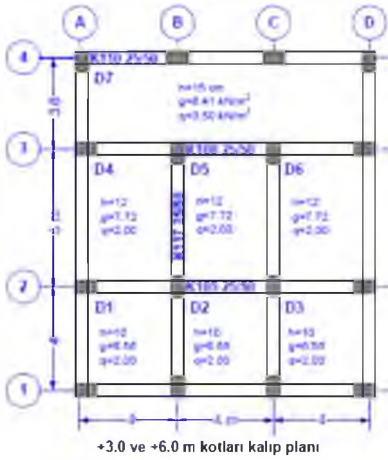
Üçgen ve trapez yüklerin düzgün yayılı eşdeğer yüke dönüştürülmesi

Üçgen ve trapez yükler bilgisayar ile yapılan hesaplarda kullanılır. El hesaplarında üçgen ve trapez kiş yükleri ile çalışmak, yorucu ve zaman alıcıdır. El hesaplarında üçgen ve trapez yükler yerine bunların aşağıda verilen eşdeğer düzgün yayılı karşılıkları kullanılabilir. Üçgen ve trapez yüklerin ankastrelik momentleri eşdeğer yüklerin ankastrelik momentleri ile aynıdır. Ancak, açıklık momentleri ve kesme kuvvetleri farklıdır. Bu nedenle, bilgisayar ile yapılan hesaplarda mutlaka üçgen ve trapez yükleri kullanılmalı, eşdeğerleri kullanılmamalıdır.



L_k : döşemenin kısa kenarı (=kısa kenardaki kiş açıklığı)
 L_u : döşemenin uzun kenarı (=uzun kenardaki kiş açıklığı)
 $m = L_u/L_k$
 p : döşemenin yükü (q veya q)
 $P_{esdeger}$: üçgen veya trapez yük yerine kullanılacak düzgün yayılı eşdeğer yük

ÖRNEK: Kiş yüklerinin eşdeğer düzgün yayılı yük olarak belirlenmesi



Bir yapının +3.0 ve +6.0 m kotlarına ait kalıp planında döşeme yükleri gösterilmiştir. Tüm kişlerin üzerinde duvar vardır. İç duvar ağırlığı 2.40 kN/m², dış duvar 4.20 kN/m² dir.

K105, K108, K110 ve K117 kişlerinin yüklerini düzgün yayılı eşdeğer yük olarak belirleyiniz.

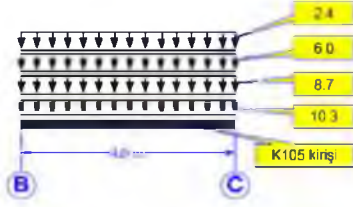
ÇÖZÜM:

K105 kişine: D2 ve D5 den üçgen yükler.
 K108 kişine: D5 den üçgen, D7 den düzgün yayılı yük.
 K110 kişine: D7 den düzgün yayılı yük.
 K117 kişine: D4 ve D5 den trapez yükler

aktarılmaktadır. Hesaplarda üçgen ve trapez yükleri yerine düzgün yayılı eşdeğer karşılıkları kullanılacaktır.

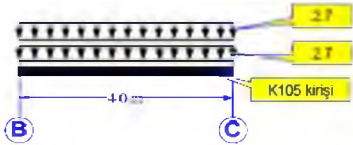
K105 kirişi yükleri:

a) Karakteristik sabit yükler:
 Kiriş $0.25 \cdot (0.50 - 0.11) \cdot 25 = 2.4 \text{ kN/m}$
 Duvar $(3.0 - 0.50) \cdot 2.40 = 6.0 \text{ "}$
 D2 den $(4/3) \cdot 6.56 = 8.7 \text{ "}$
 D5 den $(4/3) \cdot 7.72 = 10.3 \text{ "}$



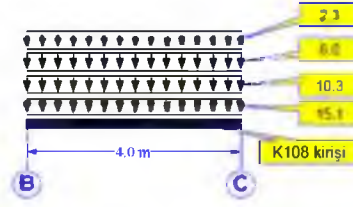
b) Karakteristik hareketli yükler:

D2 den $(4/3) \cdot 2.00 = 2.7 \text{ kN/m}$
 D5 den $(4/3) \cdot 2.00 = 2.7 \text{ "}$



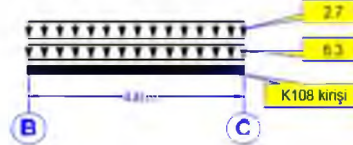
K108 kirişi yükleri:

a) Karakteristik sabit yükler:
 Kiriş $0.25 \cdot (0.50 - 0.135) \cdot 25 = 2.3 \text{ kN/m}$
 Duvar $(3.0 - 0.50) \cdot 2.40 = 6.0 \text{ "}$
 D5 den $(4/3) \cdot 7.72 = 10.3 \text{ "}$
 D7 den $(3.6/2) \cdot 8.41 = 15.1 \text{ "}$



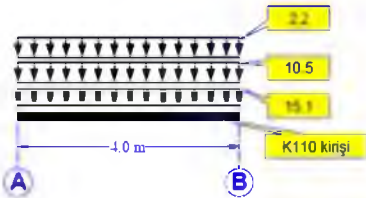
b) Karakteristik hareketli yükler:

D5 den $(4/3) \cdot 2.00 = 2.7 \text{ kN/m}$
 D7 den $(3.6/2) \cdot 3.50 = 6.3 \text{ "}$



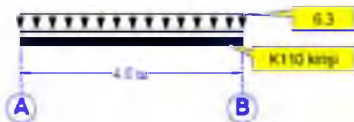
K110 kirişi yükleri:

a) Karakteristik sabit yükler:
 Kiriş $0.25 \cdot (0.50 - 0.15) \cdot 25 = 2.2 \text{ kN/m}$
 Duvar $(3.0 - 0.50) \cdot 4.20 = 10.5 \text{ "}$
 D7 den $(3.6/2) \cdot 8.41 = 15.1 \text{ "}$



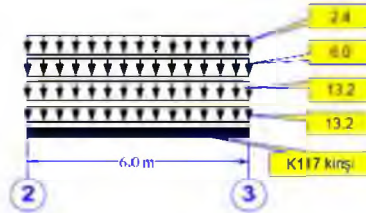
b) Karakteristik hareketli yükler:

D7 den $(3.6/2) \cdot 3.50 = 6.3 \text{ kN/m}$



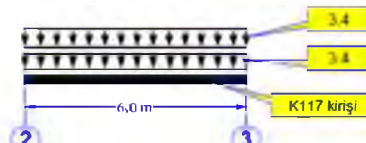
K117 kirişi yükleri:

a) Karakteristik sabit yükler:
 $m=6/4=1.5$
 Kiriş $0.25 \cdot (0.50 - 0.12) \cdot 25 = 2.4 \text{ kN/m}$
 Duvar $(3.0 - 0.50) \cdot 2.40 = 6.0 \text{ "}$
 D4 den $7.72 \cdot 4/3 \cdot (1.5 - 1/ (2 \cdot 1.5^2)) = 13.2 \text{ "}$
 D5 den $7.72 \cdot 4/3 \cdot (1.5 - 1/ (2 \cdot 1.5^2)) = 13.2 \text{ "}$



b) Karakteristik hareketli yükler:

D4 den $2.00 \cdot 4/3 \cdot (1.5 - 1/ (2 \cdot 1.5^2)) = 3.4 \text{ kN/m}$
 D5 den $2.00 \cdot 4/3 \cdot (1.5 - 1/ (2 \cdot 1.5^2)) = 3.4 \text{ kN/m}$



Kiriş yükleri tablosu (q sabit yüklenenden)

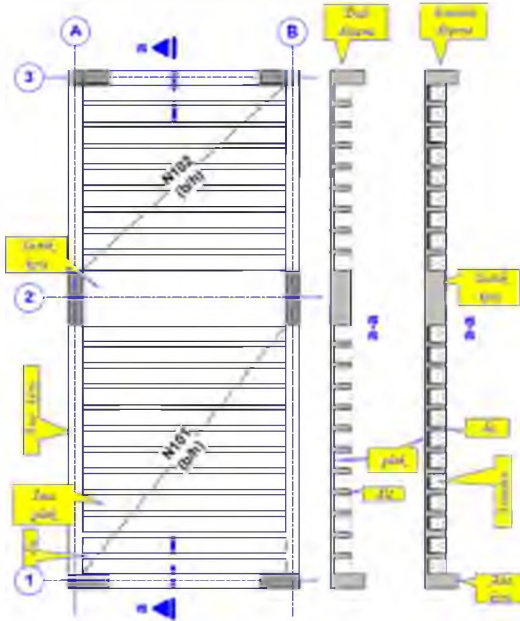
Kiriş No	2.4	6.0	8.7	10.3	Açıklama
K101 25/50					
K105 25/50	2.4	6.0	8.7	10.3	Kiriş Duvar D2 den D5 den
K108 25/50	2.3	6.0	10.3	15.1	Kiriş Duvar D5 den D7 den
K110 25/50	2.2	10.5	15.1		Kiriş Duvar D7 den
K117 25/50	2.4	6.0	13.2	13.2	Kiriş Duvar D4 den D5 den

P : kN a : metre cinsinden

Kiriş yükleri tablosu (q hareketli yüklenenden)

Kiriş No	2.7	2.7	2.7	6.3	6.3	3.4	3.4	Açıklama
K101 25/50								
K105 25/50	2.7	2.7						D2 den D5 den
K108 25/50	2.7	6.3						D5 den D7 den
K110 25/50	6.3							D7 den
K117 25/50	3.4	3.4						D4 den D5 den

Dişli ve asmolen döşemeler: Tanımlar



Birbirine paralel, aynı boyutlu, aynı donatılı, kesiti (genişliği ve yüksekliği) normal kirişlere nazaran daha küçük olan kirişçikler (diş) oldukça sık (40-70 cm) yerleştirilir ve üzerine **ince bir plak** beraber dökülerek **dişli döşeme** oluşturulur. Bir diğer adı **Nervürlü döşemelerdir**. Dişler kolonlara değil, kolonları birbirine bağlayan ana kirişlere oturur.

Kalınlığı genelde 7 cm olan ince plağın görevi yükü dişlere aktarmaktır. Plak üzerindeki yükler dişlere, dişlerden de dişlerin oturduğu ana kirişlere aktarılmıştır. Plak üzerindeki yükün yarısı bir ana kirişe diğer yarısı diğer ana kirişe aktarılır. Bu nedenle yükü plak değil, dişler taşır. Diş genişliği genellikle 10-15 cm, yüksekliği 32 veya 37 cm civarındadır.

Plağın alt kısmındaki dişler arası boş bırakılır veya **asmolen** denilen hafif bir dolgu malzemesi ile dolunur. Bu tür dolgu döşemeye **asmolen döşeme** denir. Dolgu malzemesi olarak boşluklu beton briket, boşluklu pişmiş kil, gaz beton, köpük veya benzeri, bu amaç için özel olarak üretilmiş, standart boyutlu hafif bloklar kullanılır. Asmolenin taşıyıcı özelliği yoktur. Sadece yük olarak dikkate alınır, statik ve betonarme hesaplarında yok varsayılır.

Uygulamada dişli döşemeye nazaran asmolen döşeme daha çok yapılmaktadır. Asmolen döşeme alttan bakıldığında düzgün bir tavan görünümü verir, ses ve ısı yalıtımı özelliği vardır.

Dişli döşeme genellikle N harfi ile isimlendirilir. N101 (bh) gibi b diş genişliği, h diş yüksekliği yazılır.

Dişler hangi yönde konulmalı? Kısa doğrultuda mı yoksa uzun doğrultuda mı?

Dişler **kısa doğrultuda** konursa: Diş açıklığı küçük olur, diş fazla zorlanmaz (küçük moment ve kesme kuvveti). Fakat döşeme yükünün tamamı dişlerin oturduğu büyük açıklıklı ana kirişlere gider, ana kirişler çok zorlanırlar (büyük moment ve kesme kuvveti).

Dişler **uzun doğrultuda** konursa: Diş açıklığı büyük olur, diş çok zorlanır. Döşeme yükünün tamamı dişlerin oturduğu küçük açıklıklı ana kirişlere gider, ana kirişler çok zorlanmazlar.

Mühendis bu ikilemden birini seçmek zorundadır. Uygulamada dişler genellikle uzun doğrultuda konulur, ana kirişlerin çok zorlanması istenmez.

Dolgu yapılmaması durumunda kalıp masrafı, sıva ve işçilik yüksek olur. Altan bakıldığında dişler gözükür. Dolgu yapıldığında dişleri oluşturmak için özel kalıba gerek kalmaz. Asmolenler (dolgu blokları) düz kalıp platformu üzerine dişlerin yerleri boş kalacak şekilde dizilir. Dişlerin donatıları bu boşluklara yerleştirilir. İnce plak için gerekli donatılar da yerleştirildikten sonra beton dökülür. Kalıp platformu söküldüğünde, dişler ve asmolenler düz bir tavan görünümü oluşturur.

Dişler genellikle **bir doğrultuda** düzenlenir. Döşeme açıklığının çok büyük olması ve/veya yüklerin çok ağır olduğu (kütüphane gibi) **yerlerde iki doğrultuda** düzenlenebilir.

Altında duvar olmayan ana kirişlerin yüksekliği, sarkmaması için, diş yüksekliğinde yapılır. Bu durumda yüksekliği az ve alışılmışın dışında geniş **ana kirişler** oluşur. Bu kirişlere **yastık kiriş** de denilmektedir. Yastık kirişler, normal kirişler kadar rijit olmadıklarından depremde sakıncalıdır.

Altında duvar olan ana kirişler normal boyutlarda yapılmalıdır, gereksiz yere yastık kiriş yapılmamalıdır.

Basit formüller ile çözüm (TS 500-2000, Madde 11.2.2-sayfa 50)

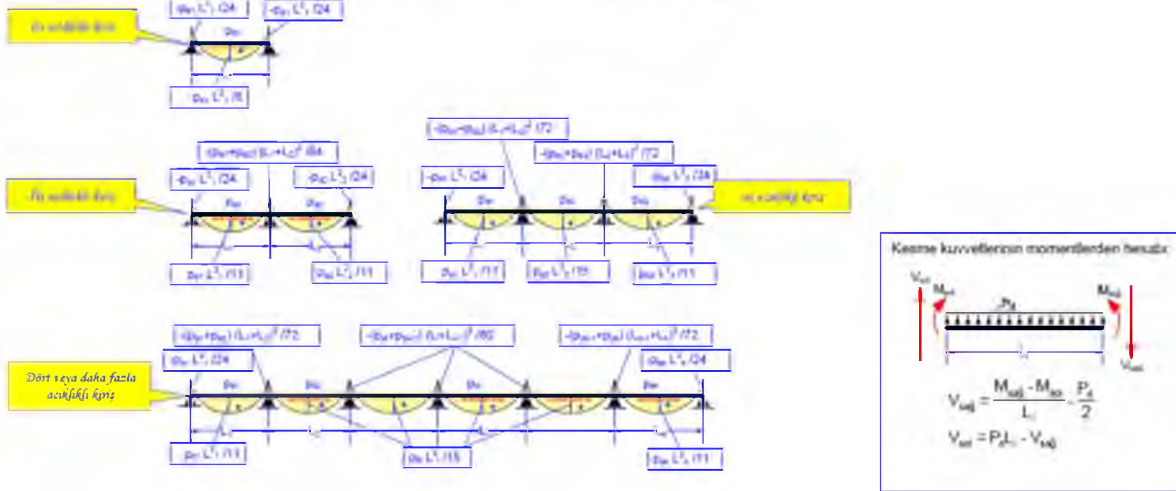
Uygulamada genelde L_1, L_2, \dots, L_n açıklıkları birbirine eşit veya birbirine yakındır. TS 500-2000'e göre, aşağıdaki koşulların sağlanması halinde, basit formüller kullanılarak döşeme tasarım momentleri belirlenebilir.

Koşul 1: Döşeme yükleri düzgün yayılı olmalı

Koşul 2: Herhangi iki komşu döşemenin açıklıkları oranı 0.8 den büyük olmalı. $L_{\text{büyük açıklık}}/L_{\text{küçük açıklık}} \geq 0.8$

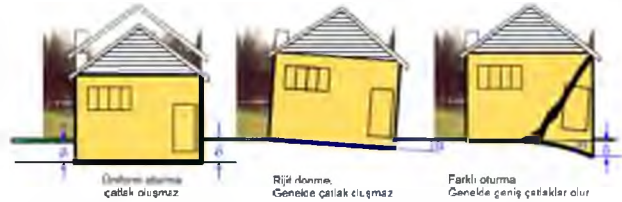
Koşul 3: Döşemelerin her birinin karakteristik hareketli yükünün karakteristik sabit yüke oranı 2'den az olmalı: $q/g < 2$

Açıklık ve mesnet tasarımı sorularında TS 500-2000, sayfa 50 de verilen basit formüller aşağıda gösterilmiştir.



Momen formülleri kısaca yorumlanırsa: Orta açıklıklarda aynı formül kullanılmaktadır. Orta mesnetlerde aynı formül kullanılmaktadır. İlk ve son mesnetle moment teorik olarak sıfırdır. Fakat plak rijit kışkırlara oturduğundan bir miktar moment oluşacaktır. Yönelimlik bu mesnetleri yan ankastre kabul etmektedir.

TEMELLER



Temeller yapının en alt katındaki kolon veya perdelerin yükünü (normal kuvvet, moment, v.s.) yer yüzeyine (zemine) aktarırlar. Diğer bir deyişle, temeller yapının ayaklarıdır.

Kolon veya perdeler zemine doğrudan oturulamazlar. Betonarme kolonun dayanımı zeminin dayanımına göre çok daha yüksektir (100-200 kat). Kolon kesitleri kendi yüklerini güvenle taşıyacak şekilde seçilir. Ancak, bu kesitler dayanımı çok küçük olan zemine doğrudan oturuldukları takdirde zeminde, zemin dayanımının çok üstünde olan gerilmeler oluşur ve kolon zemini zımbalayarak saplanır. Zemindeki gerilmeyi düşürülebilmek için, kolonların alt ucu ile zemin arasında kesit alanı kolonun kesitinden çok daha büyük olan plak, kiriş gibi betonarme elemanlar (temel) yapılır.

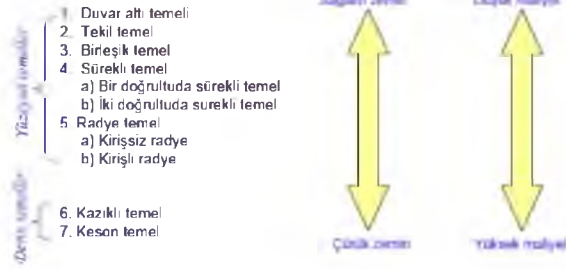
Temelin tek amacı zeminde oluşan gerilmeyi zeminin taşıyabileceği düzeye düşürmek değildir. Diğer önemli bir amaç da kolon veya perdenin altındaki zeminde oluşacak çökmeyi (oturma) sınırlı bir düzeyde tutmak ve üst yapının farklı oturmalardan zarar görmesini de önlemektir. Tüm kolonların aynı miktarda oturması üst yapıya zarar vermezken, farklı oturmalar çok tehlikeli olabilirler.

Üst yapı tipi ne olursa olsun (betonarme, yığma, çelik, ahşap), temel daima betonarme yapılır. Çünkü diğer tüm malzemeler (çelik, ahşap gibi) dayanım ve zemin şartlarına dayanıklılık açısından uygun değildir.



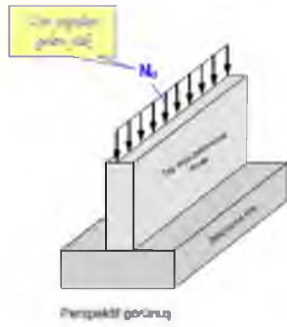
Farklı oturma sonucu hasarı ve yarı yatan yapılar

Temel Bırları



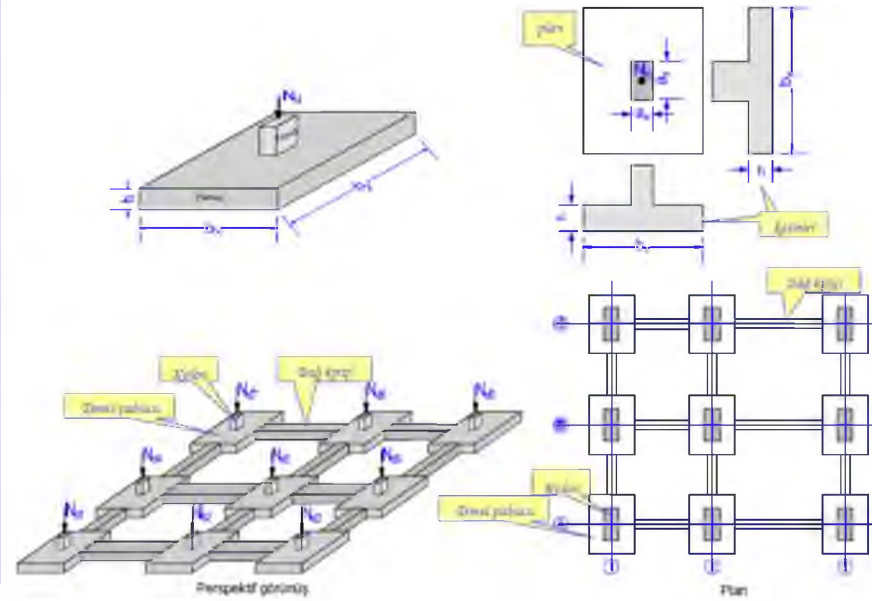
Duvar altı temeli

Bir-iki katlı basit yığıma yapıların temel duvarlarının altına geniş betonarme temel yapılarak oluşturulur. Geniştirli 50-70 cm, yüksekliği 30-40 cm civarındadır.

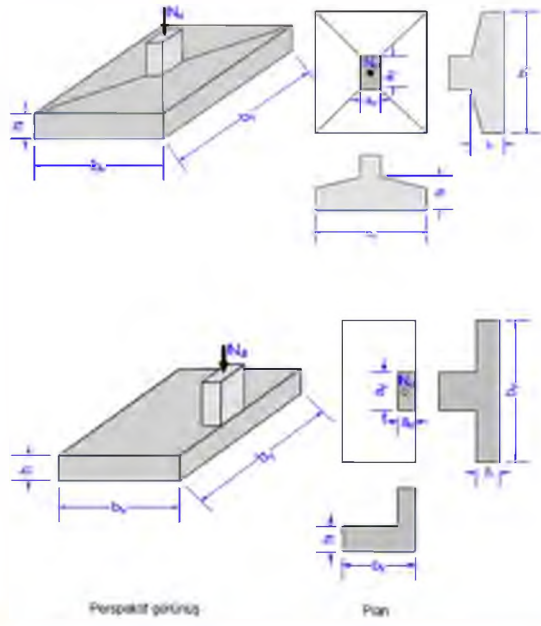


Tekil temel

Kolonlarının altına kolon kesitinden çok daha büyük bir betonarme pabuç yapılarak oluşturulur. Deprem kuvvetini aktarması için pabuçlar bağ kirişli veya kalınlığı en az 15 cm olan döşeme ile birbirine bağlanır. Pabuç genişliği, kolon kuvvetinden zeminde oluşan gerilme zeminin emniyetle taşıyabileceği genimeden küçük kalacak şekilde seçilir. Pabuç boyutları en az 100x100 cmxcm, kalınlığı en az 25 cm dir, uygulamada 30-40 cm civarında olur. Tekil temel, yüksekliği az fakat uzun hangar tipi yapılarda ve çok sağlam (kaya) zemin üzerindeki normal yapılarda kullanılır. Apartman tipi yüksek yapılar için uygun bir temel değildir. Farklı oturma nskisi çok yüksektir.

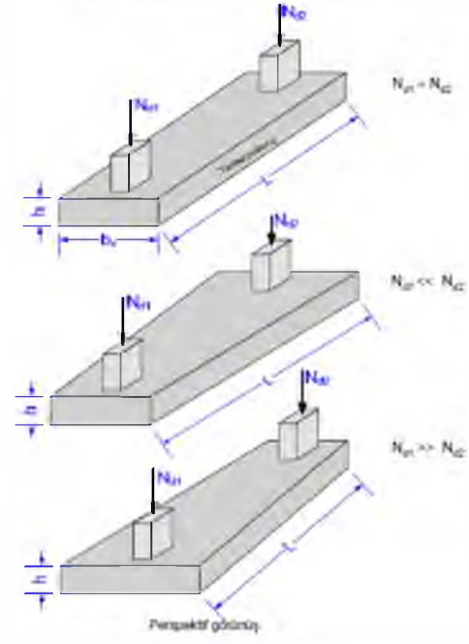


Tekil temel



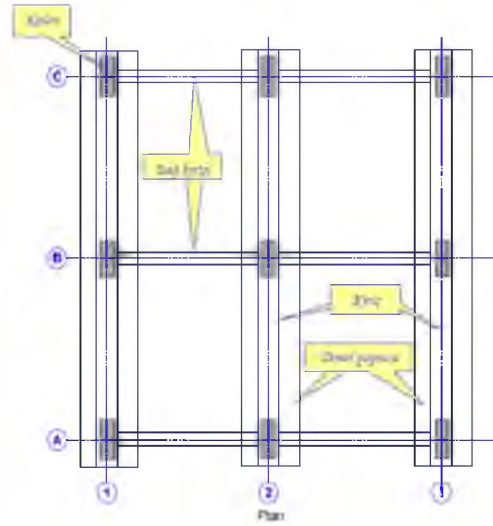
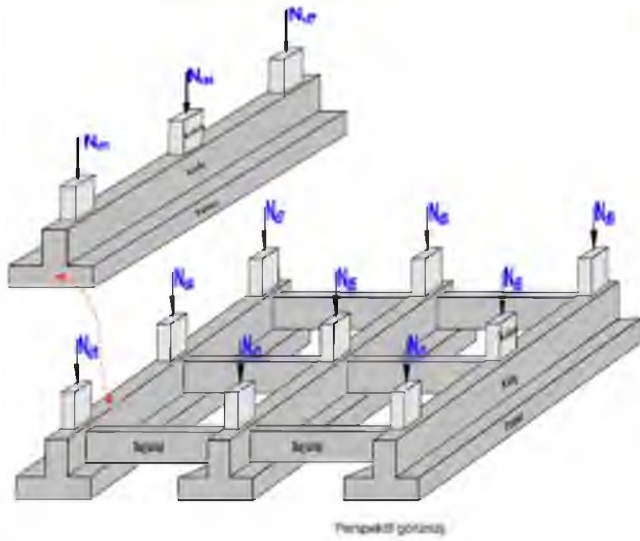
Birleşik temel

Bir kolonun birleşme çok yakın olması durumunda tek pabuç yapılarak oluşturulur. Eksene kıvrılmalı yüksek olan kolon tarafında pabuç daha geniş yapılarak zemine oturma; genleşme dışlarının pabuç altında her yerde eşit olması sağlanır.



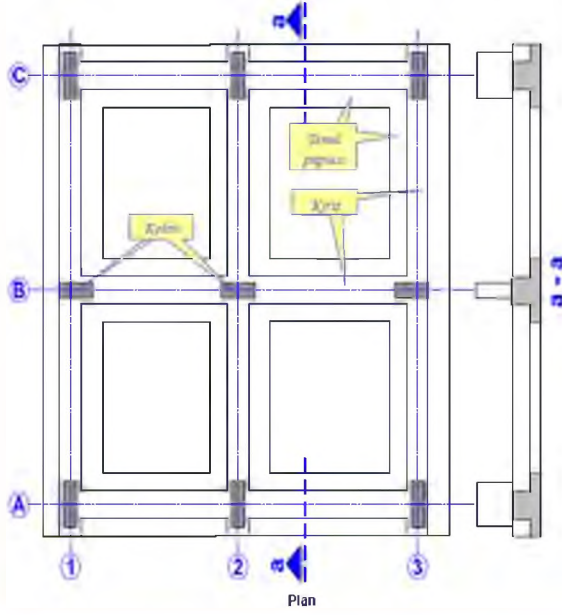
Bir doğrultuda sürekli temel

Yapının bir doğrultudaki her aksı boyunca dizili kolonlarının altına ters tabanlı betonarme bir kiriş yapılır. Kolon yükleri bir bütün olarak kiriş, kirişten tablaya (pabuca), tabladan zemine aktarılır. Deprem kuvvetini aktarması için kirişler bağ kirişi veya kalınlığı en az 15 cm olan döşeme ile birbirine bağlanır. Kolon tümüyle kiriş oturmalı bir kısmı kirişin dışına taşmamalıdır. Pabuç kalınlığı en az 20 cm dir, uygulamada genelde 25-30 cm civarında olur. Pabuç genişliği en az 100 cm dir ve kolon kuvvetinden zemine oluşan gerilme zeminin emniyetle taşıyabileceği gerilmeden küçük kalacak şekilde seçilir. Bir doğrultuda sürekli temel, kolonları bir doğrultuda düzenli dizili hangar tipi yapılarda kullanılır. Apartman tipi yüksek yapılar için genellikle uygun değildir. Farklı oturma nskı yüksektir.



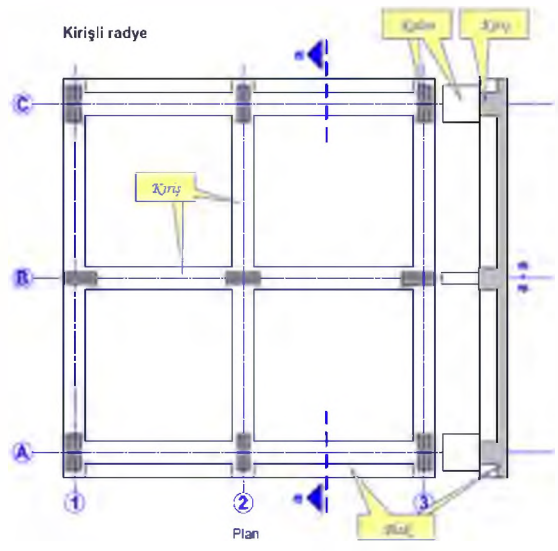
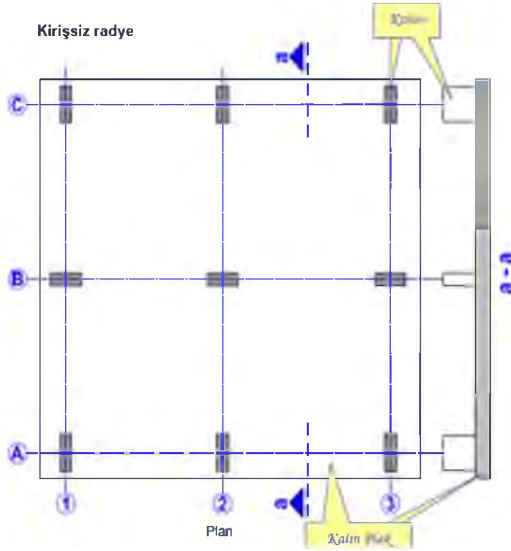
İki doğrultuda sürekli temel

Yapının her iki doğrultudaki her aksı boyunca dizili kolonlarının altına ters tabanlı betonarme bir kiriş yapılır. Kolon yükleri bir bütün olarak kirişe, kirişten tablaya (pabuca), tabladan zemine aktarılır. Kolon tümüyle kirişe olmalı bir kısmı kirişin dışına taşmamalıdır. Pabuç kalınlığı en az 20 cm dir, uygulamada genelde 25-30 cm civarında olur. Pabuç genişliği en az 100 cm dir ve kolon kuvvetlerinden zeminde oluşan gerilme zeminin emniyetle taşıyabileceği genlmeden küçük kalacak şekilde seçilir. İki doğrultuda sürekli temel apartman tipi yüksek yapılar için genelde uygundur. Farklı oturma nskli, bir doğrultuda sürekli temele nazaran, çok daha düşüktür.



Radye Temel

Yapının tüm kolonları altına, inşaat alanının tümünü örten kalın bir plak yapılarak ve kolonlar doğrudan plaka oturtularak **kirişsiz radye temel** oluşturulur. Yapının tüm kolonları altına, inşaat alanının tümünü örten kalın bir plak, plakin üstüne de kirişler yapılarak ve kolonlar kirişlere oturtularak **kirişli radye temel** oluşturulur. Plak kalınlığı en az 20 cm dir. Kirişsiz radye plak 40-60 cm, kirişli radye plak 25-30 cm civarında olur. Kolon kuvvetlerinden zeminde oluşan gerilme zemin emniyet genlmesini aşarsa plak ve kiriş konsol yapılarak gerilme düşürülür. Ancak, konsol yapılabilmesi için arsa durumunun müsait olması gerekir (arsa başkasına ait olmamalı). Radye temel, zayıf zeminlerde, apartman tipi yüksek yapılar için en uygun temel tipidir. Kirişli radye kirişsiz radyeye nazaran davranış ve güvenlik açısından daha iyidir, ancak kalıp işçiliği daha fazladır. Kirişsiz radyede zımbalama nskli vardır. Radye temelerde farklı oturma nskli çok düşüktür.



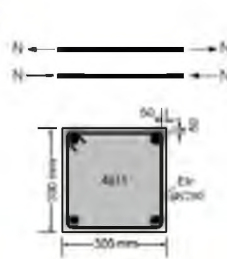
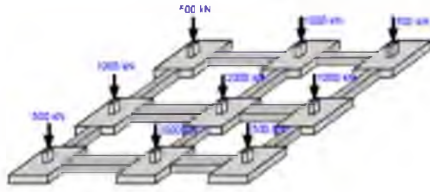
Koşulun tanımı	Deprem bölgesi	Zemin grubu			
		A	B	C	D
Bağ kirişinin min eksenel kuvveti*	1, 2 3, 4	%6 %4	%8 %6	%10 %8	%12 %10
Minimum enkesit boyutu(cm)**	1, 2 3, 4	25 25	25 25	30 25	30 25
Minimum enkesit alanı(cm ²)	1, 2 3, 4	625 625	750 625	900 750	900 750
Minimum boyuna donatı	1, 2 3, 4	4φ14 4φ14	4φ16 4φ14	4φ16 4φ16	4φ18 4φ16
Minimum etriye[çap(mm)/adım(cm)]		φ8/20	φ8/20	φ8/20	φ8/20

* Bağ kirişinin bağlandıği kolon veya perde üzerindeki en büyük eksenel kuvvetin yüzdesi olarak
** Minimum enkesit boyutu, bağ kirişinin serbest açıklığı'nın 1/30'undan az olamaz.

Tekil temelleri veya bir doğrultuda sürekli temelleri birbirine bağlayan bağ kirişinin görevi:

- Deprem kuvvetini pabuçtan-pabuca aktararak tüm sistemin bir bütün olarak depreme direnmesini sağlamak
- Yatay yönde temellerin farklı yer değiştirmelerini önlemek

ÖRNEK: Aşağıdaki temel Eskişehir'de D zemin grubunda inşa edilecektir. Malzeme C20/25-B 420C. Bağ kirişini boyutlandırınız, kesitini çiziniz.



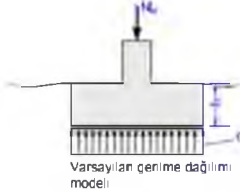
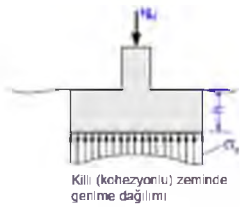
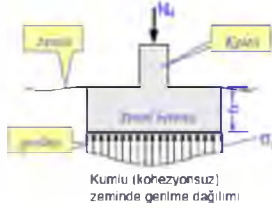
ÇÖZÜM:

Tüm bağ kirişler aynı kesitli yapılacaktır. En çok zorlanan orta aks zemindeki'dir. Bağ kirişinde N eksenel kuvveti çekme ve basınç olur. $N=0.12 \cdot 2000=240 \text{ kN}$

Kesit en az 300mmx300 mm olmalı, en az 4φ18 donatı kullanılmalıdır. Çekme durumunda beton katkıda bulunamayacak N kuvvetini sadece çelik çubuklar taşıyacaktır. Bu kuvveti taşıyacak donatı alanı $N < f_{yk} \cdot A_s$ bağıntısından $A_s > 240000/365.22 = 657 \text{ mm}^2$ dir. 4φ18 in alanı=1018 mm² olduğundan ayrıca donatı koymaya gerek yoktur. N kuvvetinin basınç durumunu kontrol etmek gerekmez, çünkü bu durumda beton da basınç alacağından daha az donatı gerekir.

Zemin gerilmesi modeli-tanımlar

Zemin karmaşık bir ortamdır, bilinmeyi çoktur. Bir temelin zemini ne kadar araştırılırsa araştırılın beklenmedik duruma her zaman karşılaşılabılır. Gözden kaçan bir yende kaya bir yende dolgu veya kapalı kuyu olabilir, kolon temeli bu noktaya rastlayabilir. Temel hesabı teorisinde çok net değildir. Bu nedenle temel hesaplarında basitleştirici modeller yapılır, boyutlarda ömert davranılır.



N_d : G ve Q etkilerinden oluşan kolon tasarım yükü, (temele üst yapıdan gelen tasarım yükü).

h : Temel derinliği

σ_z : Kolon kuvvetlerinden temel altında oluşan gerilme

σ_{zem} : Zemin emniyet gerilmesi

f_{zm} : Zemin net dayanımı

γ_z : Zeminin birim hacim ağırlığı,

γ_b : Betonarme betonu birim hacim ağırlığı.

Zeminde oluşan gerilme = kolon kuvvetlerinden oluşan gerilme + temel betonundan oluşan gerilme - hoşaltılan topraktan oluşan gerilme.

$$n_s + 1.5\gamma_b h - 1.5\gamma_z h < 1.5\sigma_{zem}$$

olmalı. Burada σ_z gerilmesi tasarım, $\gamma_b h$ ve σ_{zem} gerilmeleri ise karakteristik'tir. Karakteristik değerler 1.5 ile çarpılarak tasarım değerlerine dönüştürülmüştür. γ_b ve γ_z değerleri sabittir, $\gamma_z=8-22 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_b=24-25 \text{ kN/m}^3$ civarındadır.

$$\sigma_z + 1.5(\gamma_b - \gamma_z) h \leq 1.5\sigma_{zem}$$

$$\sigma_z \leq 1.5\sigma_{zem} - \gamma h$$

γ değeri yaklaşık 18-20 kN/m³ arasında, genelde $\gamma=18$ alınır.

$$f_{zm} = 1.5\sigma_{zem} - \gamma h$$

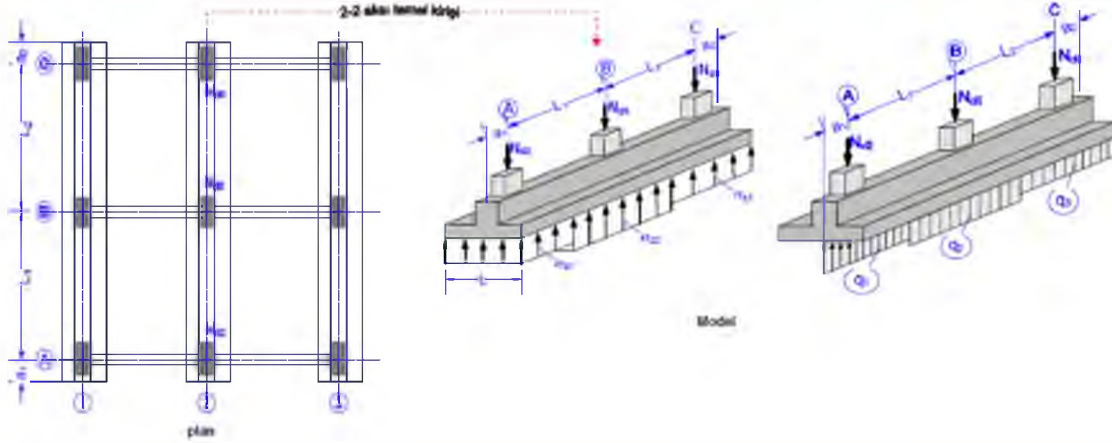
gerilmesine zeminin net dayanımı denir. Mühendis h temel derinliğine karar vererek f_{zm} değeri belirler ve

$$\sigma_z \leq f_{zm}$$

sağlanacak şekilde temel taban boyutunu (pabuçu) belirler.

Hesap modeli: Bir doğrultuda sürekli temeller

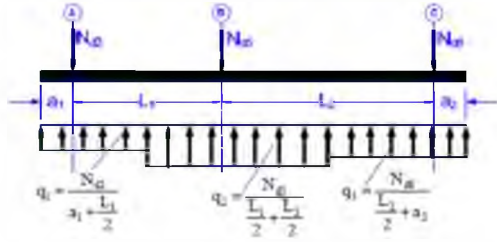
Bir doğrultuda sürekli her temel değerinden bağımsız davranır. Bağ kirişinin görevi depremde sadece yatay yönde bir bütün davranışı sağlamaktır.



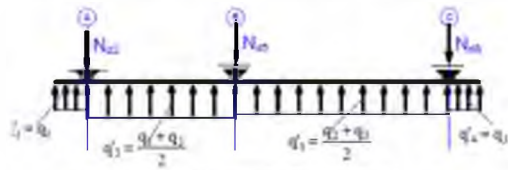
N_{c1}, N_{c2} ve N_{c3} : Kolon tasarım kuvvetleri (kN)
 $\sigma_{z1}, \sigma_{z2}, \sigma_{z3}$: Kolon kuvvetlerinden zeminde oluşan genilmeler (kN/m²)
 $q_1 = \sigma_{z1} \cdot b, q_2 = \sigma_{z2} \cdot b, q_3 = \sigma_{z3} \cdot b$: Genilmelerin eşdeğer çizgisel yükü=kolon kuvvetleri ile dengede olan zemin tepki kuvvetleri (kN/m)

Kiriş üzerindeki kolon kuvvetlerinden pabuç altında düzgün yayılı varsaydığımız genilme oluşur: $\sigma_{z1}, \sigma_{z2}, \sigma_{z3}$. Her kolonun aksenal kuvveti farklı olduğundan kiriş boyunca farklı genilme oluşur. Arsa müsait ise ve gerekirse, ilk ve son kolonun altındaki genilmeyi düşürmek için, a_1 ve a_2 konsolları yapılır. Genilmeler pabuç genişliği b ile çarpılarak düzgün yayılı q_1, q_2 ve q_3 eşdeğer çizgisel yüklerine dönüştürülür. Çizgisel yükler kolon kuvvetleri ile dengededir.

Kolon kuvvetleri (set yapının analizinden bilinmektedir). q_1, q_2 ve q_3 çizgisel yüklerinin sayısal değerleri bulunur.

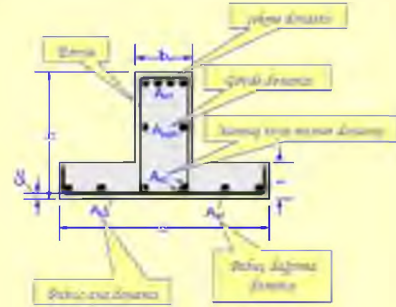


Temel kiriş ters dönmüş bir sürekli kiriş dönmüşüdür. Kolonların bulunduğu noktalar mesnetlerdir. q_1, q_2 ve q_3 yükleri aşağıda farklıdır. El hesaplarında zorluk yaratır. Yüklerin ortalaması alınarak aşağıda yükler düzgün yayılı olan daha basit bir sistem oluşturulur.



Statik ve betonarme hesaba esas olarak sürekli kiriş modelidir.

Sınırlar değerler:



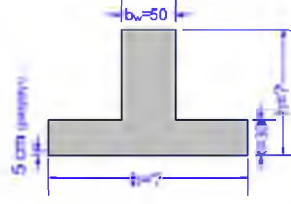
$b \geq L_{kolon} / 10$
 $b \geq 100$ cm
 $C_c \geq 50$ mm
 $h \geq 200$ mm
 $A_{s1} \geq A_{s2} / 3$ (ağırlıkta montaj donatısı)

Donatı oranı:
 A_{s1}, A_{s2}, A_{s3} : a_c altı, mesnet ve gövdede kirişlerdeki gibi
 A_{s1} : Plus ana donatısı (bir doğrultuda çalışan döşemelerdeki gibi)
 $A_{s2} \geq A_{s3} / 5$: Plus da) ana donatısı (bir doğrultuda çalışan döşemelerdeki gibi)

$f_{cm} = 16.67$, $f_{ctm} = 1.2$, $f_{ctd} = f_{ctm} / \gamma_{mat} = 365.22 \text{ N/mm}^2$
 $\rho_b = 0.0205$
 $\text{Min } \rho = 0.8 \cdot 1.2 / 365.22 = 0.0026$
 $\text{Max } \rho = \min(0.85 \rho_b = 0.0174, 0.02) = 0.0174$

Kiriş kesitinin belirlenmesi:

Kiriş genişliği $b_w = 50 \text{ cm}$ seçildi.
Pabuç plağı kalınlığı $t = 30 \text{ cm}$ seçildi.
Beton örtüsü (pas payı) = 5 cm seçildi.



Kiriş yüksekliği h nin tahmini:

Kesmenin tamamını beton almalı, ancak bu durumda kiriş yüksekliği çok fazla olur. Tamamı yerine %80-%90 nını betonun alması yoluna gidilebilir

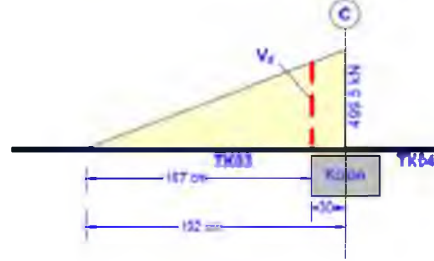
$$\frac{V_d}{499.5} = \frac{162}{192}$$

$V_d = 421.5 \text{ kN}$
 $V_{cr} = V_d$ sağlanmalı:
 $V_{cr} = 0.65 \cdot 1.2 \cdot 500 \cdot d = 421500$
 $d = 1081 \text{ mm}$

$$V_{cr} = 0.65 \cdot f_{ctm} \cdot b_w \cdot d = V_d$$

Kesmenin yaklaşık %90 nını beton alsın istiyoruz
 $d = 0.90 \cdot 1081 = 973 \text{ mm}$
 $d = 95 \text{ cm}$, $h = 95 + 5 = 100 \text{ cm}$ seçildi.

Kontrol: $h = 100 \text{ cm} > L_{net} / 10 = (380 - 50) / 10 = 33 \text{ cm}$



Pabuç genişliği h nin belirlenmesi:

$$\frac{\text{Max } q}{b} \leq f_{zm}$$

Olmalı:

$f_{zm} = 1.5 \sigma_{zem} \cdot \gamma_h = 1.5 \cdot 150 \cdot 0.18 = 207.0 \text{ kN/m}^2$
 $\text{Max } q_1 = 267.6 \text{ kN/m}$

$267.6 / b < 207.0 \rightarrow b > 1.29 \text{ m}$

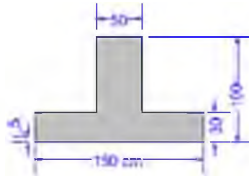
Zemin sürprizlerle dolu olduğundan %10-%20 gibi daha büyük seçerek güvenli tarafa kalmak uygun olur. Bu nedenle

$b = 150 \text{ cm}$ seçildi.

Zemindeki gerilme:

$\text{Max } \sigma_z = 267.6 / 1.50 = 178.4 \text{ kN/m}^2 < f_{zm} = 207.0 \text{ kN/m}^2$

Kesit boyutları:



Kiriş etriye hesabı:

En büyük kesme kuvvetine göre tek hesap yapılacaktır.

$V_d = 421.5 \text{ kN}$
 $\text{Max } V_d = 0.22 \cdot 16.67 \cdot 500 \cdot 950 = 1742.0 \text{ kN}$
 $V_d < \text{Max } V_d$
 $V_{cr} = 0.65 \cdot 1.2 \cdot 500 \cdot 950 = 370.5 \text{ kN}$
 $V_{cr} < V_d$ dir, kesmenin $370.5 / 421.5 = 0.88$ (%88) i beton tarafından karşılanıyor.

$$\text{Max } V_d < 0.22 \cdot f_{ctm} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{cr} < 0.65 \cdot f_{ctm} \cdot b_w \cdot d$$

$V_{cr} < V_d$ olduğundan min etriye yetmez, etriye hesabı yapılacak:
4 kollu $\phi 10$ etriye kullanılırsa $A_{sv} = 4 \cdot 79 = 316 \text{ mm}^2$

$316 / s = 421500 / (365.22 \cdot 950) \Rightarrow s = 260 \text{ mm}$ olur.

Seçilen etriye: $2\phi 10 / 200$ açıklıklarda

$2\phi 10 / 100$ sarılma bölgelerinde

Kontrol:

$316 / (200 - 50) \geq 0.3 \cdot 1.2 / 365.22$ olmalı
 $0.0032 > 0.0010$

$$\frac{A_{sv}}{s} \geq 0.3 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}$$

Kiriş boyuna donatı hesabı (M. R. AYDIN tabloları):

Önce en büyük açıklık momentine göre hesap yapılacaktır. Minimum donatı çıkması kuvvetle muhtemeldir. Eğer en büyük moment için minimum donatı çıkarsa diğer açıklıklar için hesap yapmaya gerek kalmaz, onlar da minimum donatı gerektirecektir

B-C açıklığında (tablolu):

$$M_d = 178.1 \text{ kNm}, d = 95 \text{ cm}, h/d = 30/95 = 0.3, b/b_0 = 150/50 = 3$$

$$m = 178.1 \cdot 10^9 / (1500 \cdot 950^2 \cdot 16.67) = 0.0079 \rightarrow \omega = 0.011$$

$$A_s = 0.011 \cdot (16.67/365.22) \cdot 1500 \cdot 950 = 715 \text{ mm}^2$$

$$\text{Min } A_s = 0.0026 \cdot 500 \cdot 950 = 1235 \text{ mm}^2 > A_s$$

$A_s = 1235 \text{ mm}^2$ alınacak

Üstte seç: $3\phi 16 + 3\phi 16$ ($603 + 603 = 1206 \text{ mm}^2$)

Mont: $1206/3 = 402 \text{ mm}^2$

Altta seç: $4\phi 12$ (452 mm^2) montaj

Montaj ve düz donatılar kesilmeden kiriş boyunca uzatılacak ($L < 12 \text{ m}$)

A-B açıklığında (tablolu):

$M_d = 99.8 \text{ kNm} < \text{B-C açıklığındaki moment}$. B-C açıklığında Min donatı kullanıldığından, bu açıklıkta da minimum donatı gerekecektir.

Üstte seç: $3\phi 16 + 4\phi 16$ ($603 + 603 = 1206 \text{ mm}^2$)

Altta: $4\phi 12$ (452 mm^2)



C Mesnedinde (dikdörtgen):

Önce en büyük mesnet momentine göre hesap yapılacaktır. Minimum donatı çıkması kuvvetle muhtemeldir. Eğer en büyük moment için minimum donatı çıkarsa diğer mesnetler için hesap yapmaya gerek kalmaz, onlar da minimum donatı gerektirecektir

$$M_d = 301.1 - (401.4 - 0.60) / 3 = 220.8 \text{ kNm}$$

$$d = 95 \text{ cm}$$

$$k_n = \frac{950}{100} \sqrt{\frac{220.8}{30}} = 14.30 \rightarrow k_s = 0.283$$

$$A_s = 10^4 \cdot 0.283 \cdot 220.8 / 950 = 658 \text{ mm}^2$$

Min $A_s = 1235 \text{ mm}^2 > A_s$

$A_s = 1235 \text{ mm}^2$ alınacak

$$A_{s, \text{mesnet}} = 603 + 452 = 1055 \text{ mm}^2$$

$$A_{s, \text{alt}} = 1235 - 1055 = 180 \text{ mm}^2$$

Altta ek seç: $1\phi 16$ (201 mm^2)

B Mesnedinde (dikdörtgen):

Min donatı gerekli

$$A_s = 1235 \text{ mm}^2$$

$$A_{s, \text{mesnet}} = 2 \cdot 603 + 452 = 1658 \text{ mm}^2 > A_s, \text{ ek gerekmez}$$

A Mesnedinde (dikdörtgen):

Min donatı gerekli, C mesnedi ile aynı.

Altta ek: $1\phi 16$ (201 mm^2)

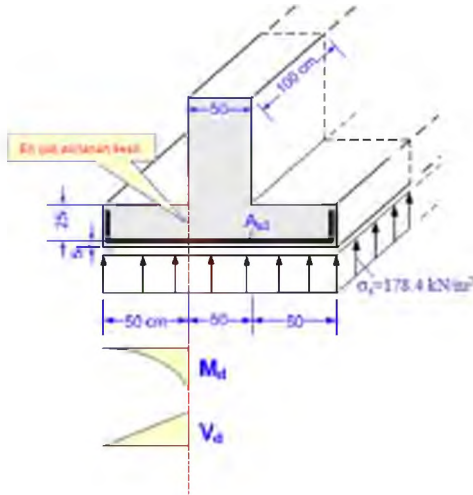
Gövde donatısı:

$$A_{s, \text{gövde}} = 0.001 \cdot 500 \cdot 950 = 475 \text{ mm}^2$$

Seç: $4\phi 12$ (452 mm^2)



Pabuç statik-betonarme hesabı: Pabuç plağının 1m lik şerhindeki iç kuvvetler hesaplanır.



Pabuç konsol kuvvetleri:

$$M_d = 178.4 \cdot 0.50^2 / 2 = 22.3 \text{ kNm/m}$$

Konsol momenti, pabuç altında çekme

$$V_d = 178.4 \cdot 0.50 = 89.2 \text{ kN/m}$$

Konsol kesme kuvveti

Pabuç kesme hesabı:

$$\text{Max } V_d = 0.22 f_{td} b_w d$$

$$\text{Max } V_d = 0.22 \cdot 16.67 \cdot 1000 \cdot 250 = 916.9 \text{ kN/m} > V_d$$

Pabuca etnye konulamadığından kesmenin tamamını beton karşılamalıdır:

$V_{cr} > V_d$ olmalı (mutlaka!)

$$V_{cr} = 0.65 \cdot 1.2 \cdot 1000 \cdot 250 = 195.0 \text{ kN/m} > V_d$$

$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} b_w d > V_d$

Seçilen pabuç kalınlığı $t = 30 \text{ cm}$ yeterlidir

Pabuç enine donatısının hesabı:

$$M_d = 22.3 \text{ kNm/m}, d = 25 \text{ cm}$$

$$k_n = \frac{250}{100} \sqrt{\frac{1000}{22.3}} = 1674 \rightarrow k_s = 0.281$$

$$A_s = 10^4 \cdot 0.281 \cdot 22.3 / 250 = 251 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Min } A_s = 0.002 \cdot 1000 \cdot 250 = 500 \text{ mm}^2/\text{m} > A_s$$

$A_s = 500 \text{ mm}^2/\text{m}$ alınacak

Seç: $\phi 10/155$ (507 mm^2)

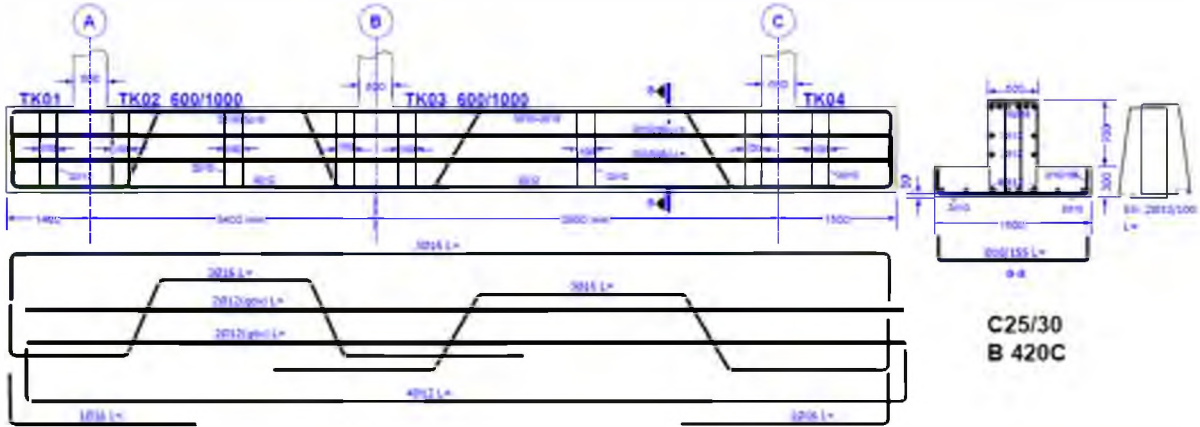
Pabuç boyuna (dağıtma) donatısının hesabı:

$$\text{Dağıtma donatısı } A_{s, \text{dağıtma}} = A_s b / 5$$

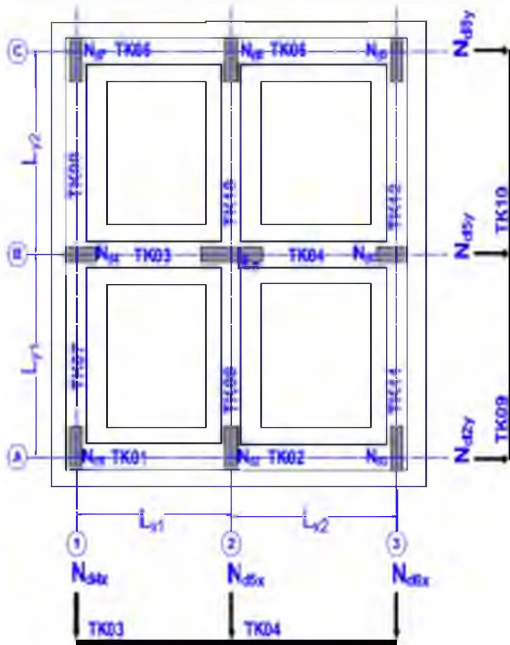
$$A_{s, \text{dağıtma}} = 507 \cdot 1.5 / 5 = 152 \text{ mm}^2$$

Seç: $2\phi 10$ (157 mm^2)

Çizim:



Hesap modeli: İki yönde sürekli temeller



Farklı hesap modelleri vardır. Burada en basit bir model açıklanacaktır.

Her kolon yükü, o noktaya bitişen kirişlerin kesme açılarını ile oranlı olarak, kirişlere dağılır. Her kiriş, bağımsız olarak, bir yönde sürekli kiriş gibi hesaplanır. Örnek olarak B ve 2 aksları için mesnet yükleri aşağıda verilmiştir.

$$N_{0x1} = \frac{L_{y1}}{L_{x1} + L_{y1} + L_{x2}} N_{0x}$$

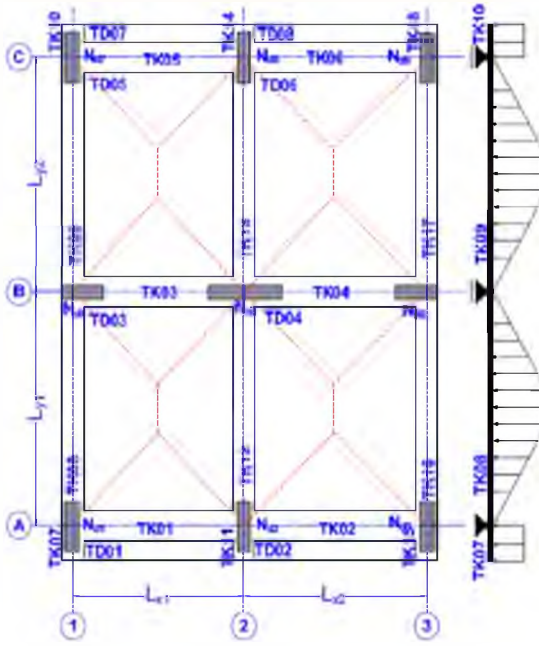
$$N_{0x2} = \frac{L_{y2}}{L_{x1} + L_{x2} + L_{y1} + L_{y2}} N_{0x}$$

$$N_{0y1} = \frac{L_{x1}}{L_{y1} + L_{x1} + L_{x2}} N_{0y}$$

$$N_{0y2} = \frac{L_{x2}}{L_{y1} + L_{y2} + L_{x1} + L_{x2}} N_{0y}$$

$$N_{0y1} = \frac{L_{x1}}{L_{y1} + L_{y2} + L_{x1} + L_{x2}} N_{0y}$$

$$N_{0y2} = \frac{L_{x2}}{L_{y2} + L_{x1} + L_{x2}} N_{0y}$$



Kolon kuvvetlerinin bileşkesi yaklaşık olarak plak ağırlık merkezinden geçmelidir. Gerekirse plak konsolan yapılarak bu sağlanmaya çalışılır. Bu durumda zemin genilmesi düzgün yayılı olur

Zemin genilmesi $\sigma_z = \Sigma N_c / A < f_{zn}$ dir. A plak alanıdır

Plaklar σ_z düzgün yayılı yükü ile çözümlenir. Plak zati yükü alınmaz.

Kirişlere plaklardan üçgen, trapez ve varsa (konsol döşemelerden) düzgün yayılı yükler etkir. Kiriş zati yükü alınmaz. Kirişler sürekli kiriş gibi çözümlenir.

Döşeme ve kiriş zati yükleri, kendi paylarına düşen zemin genilmesi ile dengelendiğinden, plak ve kiriş statüğünde yük olarak alınmazlar

Plak ve kirişlerin açıklıklarında üstte, mesnetlerinde altta çekme oluşur.

Plak ve kiriş minimum koşullarına ve temeller için verilen minimum koşullara uyulur.

1 aksı kirişinin yükleri örnek olarak gösterilmiştir.

4.AĞIRLIK MERKEZİ

4.1 Tanım

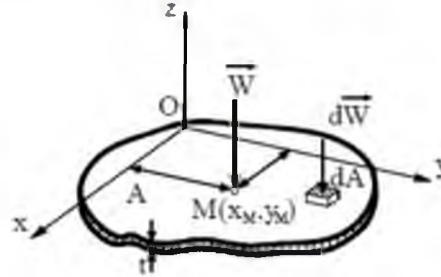
Gerçekte yükler yayılı olup, tekil yük problemlerin çözümünü kolaylaştıran bir idealleştirmedir. Şöyle ki, statikte çok küçük bir alana etki eden birbirlerine paralel yayılı kuvvetlerin toplamı, o alanın merkezinde tek bir tekil kuvvet olarak göz önüne alınabilmektedir. Buna örnek olarak bir cismin ağırlığı verilebilir. Cismin her bir küçük parçasının ağırlığı dünya merkezine doğru yönelmiş olup, bunlar paralel kuvvetler oluştururlar. Bu yayılı kuvvetlerin toplamı cismin ağırlığıdır. Bu noktada akla gelen ilk soru "Bu ağırlık kuvveti cismin hangi noktasında etkir?" olmaktadır. Bu bölümde bu soruya yanıt aranacaktır, fakat önce iki önemli tanım verilerek işe başlanacaktır.

- **Cismin ağırlığı:** Dünyanın bir cisme uyguladığı yerçekimi kuvvetine o cismin ağırlığı denmektedir. Bu kuvvet, cismin üzerine yayılmış çok sayıda kuvvet ile gösterilir ve bunların bileşkesi de \vec{W} olarak alınır.
- **Bir cismin ağırlık merkezi:** Cismin ağırlığı \vec{W} nun, cismin her konumunda geçtiği $C(x_c, y_c)$ noktasına verilen addır.

4.2 Düzlem Alan ve Eğrilerin Ağırlık Merkezi

Şimdi bir düzlemde bulunan alanların ve eğrilerin $C(x_c, y_c)$ koordinatlarının bulunması görülecektir.

- Plaklar:** Sabit t kalınlıklı, ρ özgül ağırlıklı Şekil 4.1 deki homojen plak üzerinde olan bir B noktasındaki $d\vec{W} = -dW\vec{k}$ ağırlıklı diferansiyel eleman incelenir. Bu durumda cismin ağırlığı $\vec{W} = -W\vec{k}$ nun şiddeti.



Şekil 4.1

$$\vec{W} = \int_V dW(-\vec{k}) \quad (4.1)$$

olur. Paralel kuvvetler bir tek bileşke kuvvete indirgenebileceğinden, yani $\vec{M}_O^{\vec{F}} = \vec{0}$ durumu elde edilecek bir konumda bileşke kuvvet etki ettirilebileceğinden, M ağırlık merkezinin koordinatları.

$$x_c = \frac{\int_V x dW}{\int_V dW} \text{ ve } y_c = \frac{\int_V y dW}{\int_V dW} \quad (4.2)$$

ifadelerinden bulunur. Şekil 4.1 deki levhanın alanı,

$$A = \int_A dA \quad (4.3)$$

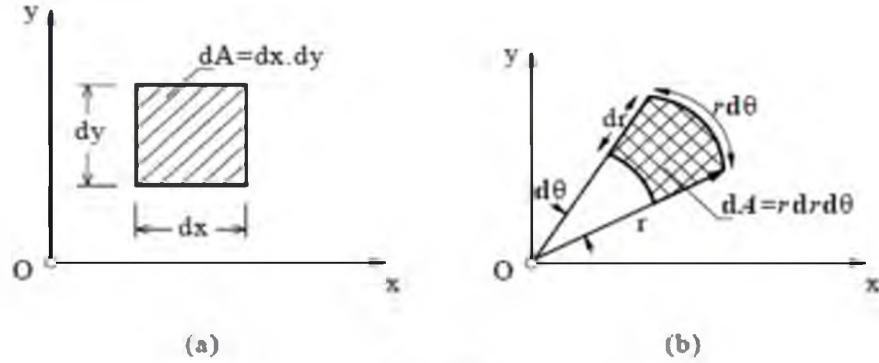
diferansiyel elemanın ağırlığının hesaplanmasında kullanılırsa,

$$dW = \rho t dA \rightarrow W = \rho t A \quad (4.4)$$

bulunur. (4.4). (4.2) de yerleştirilip, pay ve paydadaki ρt ler sadeleştirilirse,

$$x_c = \frac{\int_A x dA}{\int_A dA} \text{ ve } y_c = \frac{\int_A y dA}{\int_A dA} \quad (4.5)$$

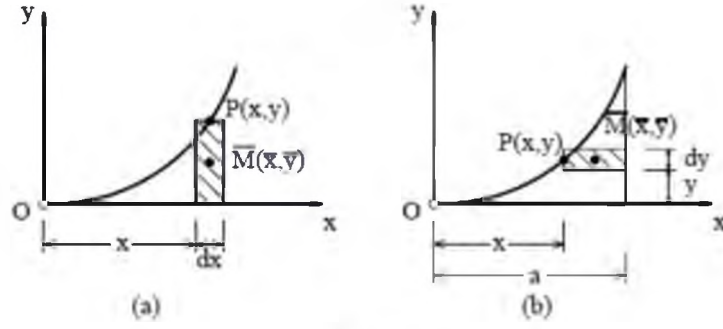
olur. (4.5) deki $S_x = \int_A y dA$ ve $S_y = \int_A x dA$ ifadelerine sırası ile x ve y eksenlerine göre *alanın statik momenti* denir. Kartezyen koordinatlarda $dA = dx dy$ olurken, Şekil 4.2a, polar koordinatlarda $dA = r dr d\theta$ çift katlı integrali olur, Şekil 4.2b. Sıkça karşılaşılan bazı alanlar ve ağırlık merkezleri Tablo 4.1 de verilmiştir. İşlemlerin basitleştirilmesi için, çoğu durumda dA elemanı ince bir şerit şeklinde alarak, çift katlı integral tek katlı integrale dönüştürülebilir.



Şekil 4.2

- i) **Kartezyen koordinat takımı kullanılması:** Şekil 4.3a da görüldüğü üzere diferansiyel elemanın ağırlık merkezinin koordinatları ve alanı için,

$$\bar{x} = x, \quad \bar{y} = \frac{1}{2}y, \quad dA = y dx \quad (4.6)$$



Şekil 4.3

ifadeleri kullanılabileceği gibi. Şekil 4.3b de görüldüğü üzere

$$\bar{x} = \frac{1}{2}(a+x), \quad \bar{y} = y, \quad dA = (a-x)dy \quad (4.7)$$

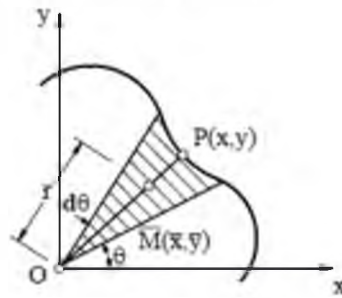
ifadeleri de yazılabilir.

- ii) **Polar koordinat takımı kullanılması:** Daire diliminin ağırlık merkezi $\frac{2r \sin \theta}{3\theta}$ (Tablo 4.1) ifadesi Şekil 4.4 deki alan elemanına $\Delta\theta \ll$ koşulu altında uygulanabilir ve ağırlık merkezi \bar{C} nin O başlangıcına olan radyal uzaklığı ise.

$$\bar{r} = \lim_{\Delta\theta \rightarrow 0} \frac{2r}{3\left(\frac{1}{2}\Delta\theta\right)} \sin\left(\frac{1}{2}\Delta\theta\right) \approx \frac{2}{3}r.$$

dir. Bu noktanın x-y koordinatları ve diferansiyel elemanın alanı.






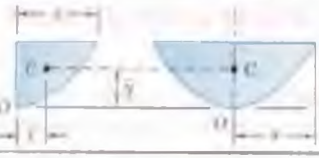
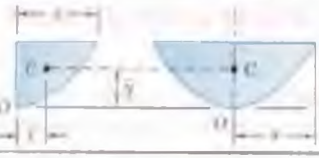
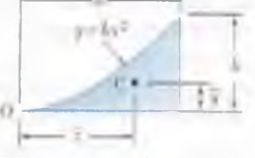
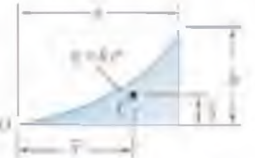

$$\left. \begin{aligned} \bar{x} &= \frac{2}{3}r \cos \theta \\ \bar{y} &= \frac{2}{3}r \sin \theta \\ dA &= \frac{1}{2}r^2 d\theta \end{aligned} \right\} \quad (4.8)$$



Şekil 4.4

olur. Verilen eğrinin biçimine en uygun olan (4.6-8) bağıntılarından biri (4.5) de yerleştirilirse, tek katlı integral hesabı ile de ağırlık merkezi hesaplanabilir.

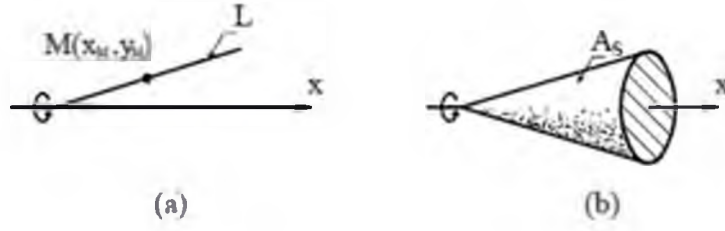
Tablo 4.1 Bazı alanların ağırlık merkezleri

Şekil		\bar{x}	\bar{y}	Alan
Üçgen			$\frac{h}{3}$	$\frac{bh}{2}$
Çeyrek daire		$\frac{4r}{3\pi}$	$\frac{4r}{3\pi}$	$\frac{\pi r^2}{4}$
Yarı daire		0	$\frac{4r}{3\pi}$	$\frac{\pi r^2}{2}$
Çeyrek elips		$\frac{4a}{3\pi}$	$\frac{4b}{3\pi}$	$\frac{\pi ab}{4}$
Yarı elips		0	$\frac{4b}{3\pi}$	$\frac{\pi ab}{2}$
Yarı parabol		$\frac{3a}{5}$	$\frac{3h}{5}$	$\frac{2ah}{3}$
Parabol		0	$\frac{3h}{5}$	$\frac{4ah}{3}$
Parabol parçası		$\frac{3a}{8}$	$\frac{3h}{10}$	$\frac{ah}{2}$
Parabol parçası (genel)		$\frac{3(a+1)}{5}$	$\frac{3h}{5(a+2)}$	$\frac{ah}{a+1}$
Daire dilimi		$\frac{4r \sin \theta}{3\theta}$	0	πr^2

4.4 Pappus-Guldinus Teoremleri

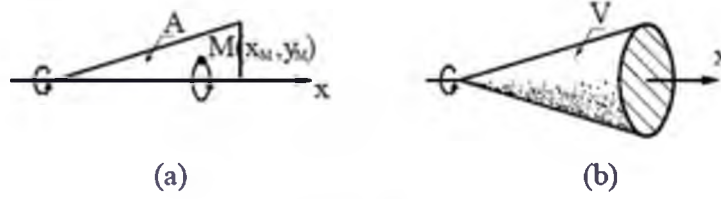
Pappus-Guldinus teoremi bazı üç boyutlu cisimlerin yüzey alanları ve hacimlerinin hesaplanmasında büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu aşamada iki adet tanıma ihtiyaç vardır.

- a) **Dönel Yüzey:** Düzlemsel bir doğrunun ya da eğrinin, Şekil 4.9a, sabit bir eksen etrafında döndürülmesi ile meydana getirilen yüzeylerdir. Şekil 4.9b.



Şekil 4.9

b) **Dönel Cisim:** Düzlemsel bir alanın, Şekil 4.10a. sabit bir eksen etrafında döndürülmesi ile meydana getirilen hacimlerdir. Şekil 4.10b.



Şekil 4.10

Teorem I: Bir dönel yüzeyin alanı, bu yüzeyi meydana getirecek eğrinin L boyu ile bu yüzeyin oluşumu sırasında eğrinin ağırlık merkezinin (x_c ya da y_c) kat ettiği uzaklığın çarpımıdır.

Örneğin boyu L olan bu eğri x eksenini etrafında θ radyan kadar dönecek olursa, Şekil 4.5. bu yüzeyin alanı.

$$A_s = \theta y_c L \quad (4.17)$$

olur. Bir tam devir durumunda $A_s = 2\pi y_c L$ dir.

Teorem II: Bir dönel cismin hacmi, kendisini oluşturan A alanı ile bu alanın ağırlık merkezinin (x_c ya da y_c) bu hacmi oluşturmak için kat ettiği uzaklığın çarpımıdır.

Örneğin bu alan x eksenini etrafında θ radyan kadar dönecek olursa, Şekil 4.10. bu cismin hacmi.

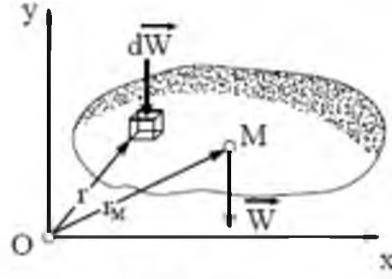
$$V = \theta y_c A \quad (4.18)$$

olur. Bir tam devir durumunda $V = 2\pi y_c A$ dır.

4.5 Üç Boyutlu Cisimlerin Ağırlık Merkezi

Üç boyutlu bir cismin küçük hacim elemanlarının dW ağırlıklarının toplamının eşdeğeri olan W nun etkideği kabul edilen noktaya M ağırlık merkezi denecektir. O noktasına göre momentlerin eşit olması gerektiğinden.

$$\vec{r}_c \times \vec{W} = \int_V \vec{r} \times d\vec{W} \quad (4.19)$$



Şekil 4.11

elde edilir. Bu vektörel ifade üç skaler bileşen cinsinden.

$$x_c = \frac{\int_V x dW}{\int_V dW}, \quad y_c = \frac{\int_V y dW}{\int_V dW}, \quad z_c = \frac{\int_V z dW}{\int_V dW} \quad (4.20)$$

biçiminde yazılabilir. Bileşik cisimlerde integral işaretleri toplam işaretine döner ve $W = \sum_{i=1}^n W_i$ olarak ifade edilirse

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n x_{c_i} W_i}{W}, \quad y_c = \frac{\sum_{i=1}^n y_{c_i} W_i}{W}, \quad z_c = \frac{\sum_{i=1}^n z_{c_i} W_i}{W} \quad (4.21)$$

olur. Eğer üç boyutlu cisim homojen bir malzemeden yapılmışsa, $dW = \rho dV$ nin integrali $W = \rho V$ dir ve bu iki sonuç (4.20) de yerine konursa

$$x_c = \frac{\int_V x dV}{\int_V dV}, \quad y_c = \frac{\int_V y dV}{\int_V dV}, \quad z_c = \frac{\int_V z dV}{\int_V dV} \quad (4.22)$$

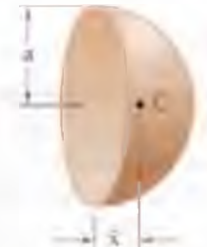




elde edilir. Homojen bileşik cisimler için hacim integralleri toplama dönüşür ve (4.22) ifadelerinden

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n x_{c_i} V_i}{V}, \quad y_c = \frac{\sum_{i=1}^n y_{c_i} V_i}{V}, \quad z_c = \frac{\sum_{i=1}^n z_{c_i} V_i}{V} \quad (4.23)$$

sonucuna ulaşılır.

Bazı sık karşılaşılan hacimlere ait ağırlık merkezleri Tablo 4.3 de verilmiştir.

Tablo 4.3 Bazı hacimleri ve ağırlık merkezleri

Şekil		\bar{x}	Hacim
Yarı Küre		$\frac{3}{8}a$	$\frac{2}{3}\pi a^3$
Dönel yarı elipsoid		$\frac{3b}{8a}$	$\frac{3}{8}\pi a^2 b$
Dönel paraboloid		$\frac{3}{10}b$	$\frac{2}{15}\pi a^2 b$
Koni		$\frac{3}{4}a$	$\frac{1}{3}\pi a^2 b$
Piramit		$\frac{3}{4}a$	$\frac{1}{3}ab^2$

5. RİJİT CİSİMLERİN DENGESİ

5.1 Dengede Olan Rijit Cisim

Bir rijit cisme etkiyen dış kuvvetler sıfıra eşdeğer bir kuvvet sistemi oluşturuyorsa, yani dış kuvvetler, sıfır kuvvet ve sıfır kuvvet çiftine indirgenebiliyorsa, o cisme dengededir denir. (3.37) bağıntılarında \bar{R} ve \bar{M}_O^R yi sıfıra eşitleyerek, ilk çizgisel hız \bar{V} ve ilk açısal hız $\bar{\omega}$ olmak üzere, bir rijit cismin dengesi için gerek ve yeter olan aşağıdaki şartlar elde edilir:

$$\bar{R} = \sum \bar{F} = 0 \quad \bar{M}_O^R = \sum (\bar{r} \times \bar{F}) = 0 \quad \bar{V} = 0 \quad \bar{\omega} = 0 \quad (5.1)$$

Kuvvetler ve momentler dik bileşenlere ayrılarak rijit cismin dengesi için gerek ve yeter şartlar, ilk çizgisel ve açısal hızlar sıfır alınmak şartıyla, altı skaler denklemle de ifade edilebilir :

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0 \quad \sum F_z = 0 \quad (5.2a)$$

$$\sum M_x = 0 \quad \sum M_y = 0 \quad \sum M_z = 0 \quad (5.2b)$$

(5.2) şartlarının sağlanması durumunda dış kuvvetler sistemi, göz önüne alınan cisme ne bir ötelenme, ne de bir dönme yaptırabilir. Bundan sonraki çalışmalarda, çizgisel ve açısal hızların sıfır olarak alındığı, bu duruma değinme ihtiyacı duyulmadan, baştan kabul edilmektedir.

5.2 Uzayda Bir Maddesel Noktanın Dengesi

Rijit cismin özel durumu olan bir A maddesel noktasına etkiyen bütün kuvvetlerin bileşkesi sıfırsa, A noktası ya dengededir, ya da eğer başlangıçta bir hızı varsa sabit hızlı bir ötelenme hareketi yapar. Bu halde denge durumu üç boyutta iki vektörel denklemle $\bar{R} = \bar{0}$, $\bar{V} = \bar{0}$ şeklinde ifade edilebilir. Burada \bar{V} maddesel noktanın ilk hızıdır. İlk hız sıfır olduğunda, bir noktada kesişen kuvvetlerde $\bar{R} = \bar{0}$ ise, bu kuvvetler sisteminin herhangi bir noktaya göre momentleri de sıfır olacağından, denge şartları sadece (5.2a) denklemi ile ifade edilir.

(5.2a) denklemleri, uzayda bir maddesel noktanın dengesi için gerek ve yeter şartları gösterir. Gerçek yapılarla ilgili problemlerin bir çoğu bir maddesel noktanın dengesini ilgilendiren problemlere indirgenebilir. Bu, elverişli bir maddesel nokta seçip, bu maddesel noktayı gösteren ayrı bir diyagram çizmek ve noktaya etkiyen bütün kuvvetleri göstermek suretiyle yapılır. Böyle bir diyagrama daha önce de sözü edildiği gibi *serbest cisim diyagramı* denir.

Üç boyutta denge problemlerini çözmek için, önce dengede olan maddesel noktayı ve bu noktaya etkiyen kuvvetlerin tümünü gösteren bir serbest cisim diyagramı çizilmelidir. Daha sonra (5.2a) eşitlikleri kullanılarak üç bilinmeyen çözülebilir. Rastlanan problemlerin bir çoğunda bu bilinmeyenler

- 1) bir tek kuvvetin üç bileşenini veya
- 2) doğrultuları bilinen üç kuvvetin şiddetlerini gösterir.

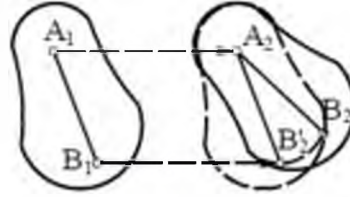
İki boyutlu problemlerde maddesel noktaya etkiyen tüm kuvvetler aynı düzlem içindedir. Böylesi durum üç boyutlu problemin özel bir hali olup, üç boyutlu problemlere göre daha basit olduğundan ayrı bir kısımda incelenmeyecektir.

5.3 Serbestlik Derecesi

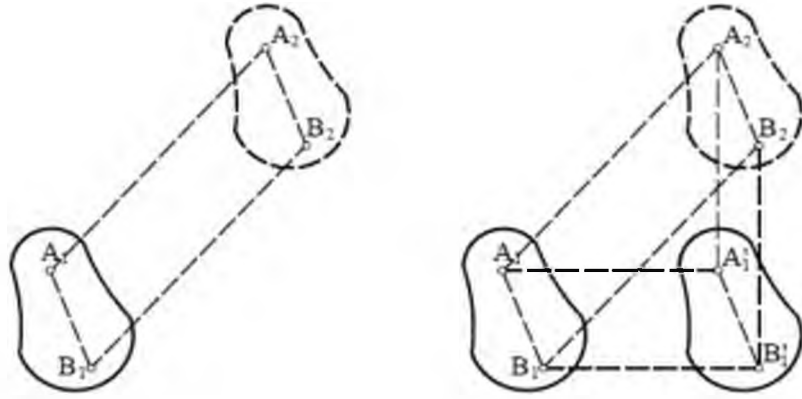
Üçüncü bölümdaki (3.37) ve (3.41) bağıntılarındaki \vec{R} ve \vec{M}_O^R büyüklüklerinin her biri sıfır değilse, göz önüne alınan cisim kuvvetler ve momentlerle orantılı olarak, \vec{R} den dolayı bir ötelenme ve \vec{M}_O^R den dolayı bir dönme yapacaktır. Üç boyutlu durumda, \vec{R} nin x, y, z doğrultularındaki bileşenleriyle orantılı çizgisel ivmeli ötelemeler sözü geçen eksenler doğrultusunda, \vec{M}_O^R nin de x, y, z eksenleri doğrultularındaki bileşenleriyle orantılı, bu eksenler etrafında açısal ivmeli hareketler ortaya çıkar. Aşağıda konuya ilişkin bazı tanımlar verilecektir:

- **Serbestlik derecesi:** Üç boyutlu durumda, \vec{R} ve \vec{M}_O^R etkisindeki bir cisimde *birbirinden bağımsız altı hareket* oluşur. Ortaya çıkabilecek bu hareketlerin tümüne birden o cismin *serbestlik derecesi* denir.
- **Tam bağlı sistem:** Eğer uygun bir düzenekle bir doğrultudaki hareket engellenirse serbestlik derecesi bir azalır. Örneğin x doğrultusundaki ötelenme engellenirse serbestlik derecesi 5 e düşer. Eğer tüm doğrultulardaki ötelenme ve tüm eksenler etrafındaki dönmeler gerekli minimum sayıdaki düzeneklerle önlenirse, bu durumda sistem *tam bağlı* adını alır.
- **Mesnet:** Ötelemeleri ve dönmeleri önleyen, yukarıda sözü geçen düzeneklere *mesnet* adı verilir. Mesnetler önlediği hareketin tip ve sayısına göre çeşitli adlar alırlar. Bu mesnetlerin çeşitleri ve bu mesnetlerde oluşabilecek tepkiler sırasıyla iki ve üç boyutlu durumlar için gelecek kısımda verilecektir.

Düzlemde serbestlik derecesi: Üç boyutlu sistemlerde serbestlik derecesi 6 olmasına karşın (x, y, z doğrultularında ötelenme ve bu eksenler etrafında dönmeler), xy düzleminde bulunan ve xy düzlemindeki kuvvetler etkisindeki bir cisimde bu sayı 3 e düşer (x, y doğrultularında ötelenme ve z eksen etrafında dönme). Düzlem durumundaki genel bir hareket Şekil 5.1 de görülmektedir. Böylesi bir hareket bir ötelenme ve bir dönmenin toplamıdır. Şekil 5.2 de görüldüğü üzere ötelenme x, y eksenleri doğrultularında *iki ötelenmeye* ayrılabilir. Bu durumda cisim x, y eksenleri etrafında iki ötelenme ve z eksen etrafında bir dönme olmak üzere *birbirinden bağımsız üç hareket* yapar. Ötelemelerde cisim üzerindeki bir doğru hareket esnasında kendine paralel kalır. Dönmede ise cisim sabit bir nokta etrafında döner.



Şekil 5.1



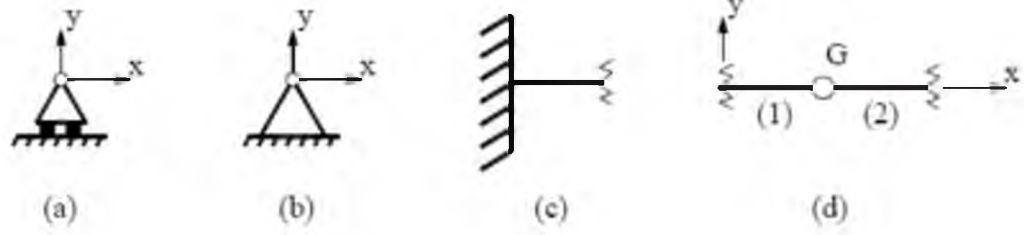
Şekil 5.2

5.4 Bağ Çeşitleri

Uzayda çeşitli kuvvetler altında dengede duran bir cismin bazı noktalarından çevresine bağlanması söz konusudur. Bir mühendislik problemi, üstünde hesap yürütülebilmesi için kağıt üzerine aktarılmak istendiğinde cismin bağları çeşitli *sembollerle* çizilir. Böylelikle benzer özelliklere sahip fakat farklı görüntüdeki *fiziki(gerçek)* mesnetlemeler bir bakışta ayırt edilir hale gelmekte ve algılama kolaylığı sağlanmaktadır. Şimdi sembolik bağ gösterimleri aşağıda tanımlanacaktır:

- **Mafsal:** Dönme serbestliği olan bütün bağlara *mafsallı* denir. Mafsal, ilişkilendirdiği sistemlerin x - y doğrultusunda ötelenmelerini birbirine bağlayan (eşit kılan) ama birinden ötekine moment aktarmayan yani dönmeye açık bir bağ elemanıdır. Mafsal noktası G harfi ile gösterilir. Şekil 5.3a.
- **Kayıcı mafsal:** Şekil 5.3b da belirtildiği gibi serbestlik tanınan doğrultuda iki paralel çizginin üzerine oturtulmuş bir üçgen biçimindeki mesnet ile tanımlanır. Bu mesnet sembolündeki *küçük daire*, bağ koşulunun moment taşımadığını, taralı bölge de sabit duran yüzeyi tanımlar. Şekil 5.3b daki kayıcı mafsal sadece y eksenini doğrultusunda yaptırılmak istenen hareketlere karşı bir engel oluşturur.
- **Sabit mafsal:** İki doğrultuda (Şekil 5.3c de x - y eksenleri) ötelenmeye engel olacağından, üçgen biçimli mesnet sembolü tabanından sabit yüzeye(taralı bölgeye) temas ettirerek belirtilir. Eğer bir bağın ötelenme serbestliği yoksa *sabit* mesnet adını alır.
- **Ankastre mesnet:** İki doğrultuda ötelenmeye ve bağlantı noktasında dönmeye kapalı olan *ankastre mesnet* Şekil 5.3d de çizildiği gibi tanımlanabilir.

Tablo 5.1 de uygulamada karşılaşılan yaygın bağ tipleri, SCD leri ve tutulu oldukları serbestlik dereceleriyle birlikte verilmiştir.



Şekil 5.3

Tablo 5.1 Çeşitli Taşıyıcı Sistemler

İsmi	Taşıyıcı Sistem	SCD	
Basit kiriş			Statikçe belirli
Çıkmalı kiriş			Statikçe belirli
Konsol kiriş			Statikçe belirli
GERBER kirişli			Statikçe belirli
GERBER kirişi			Statikçe belirli
Sürekli kiriş			Statikçe belirsiz
Bir ucu ankastre, bir ucu kayıcı mafsal			Statikçe belirsiz
İki ucu ankastre			Statikçe belirsiz

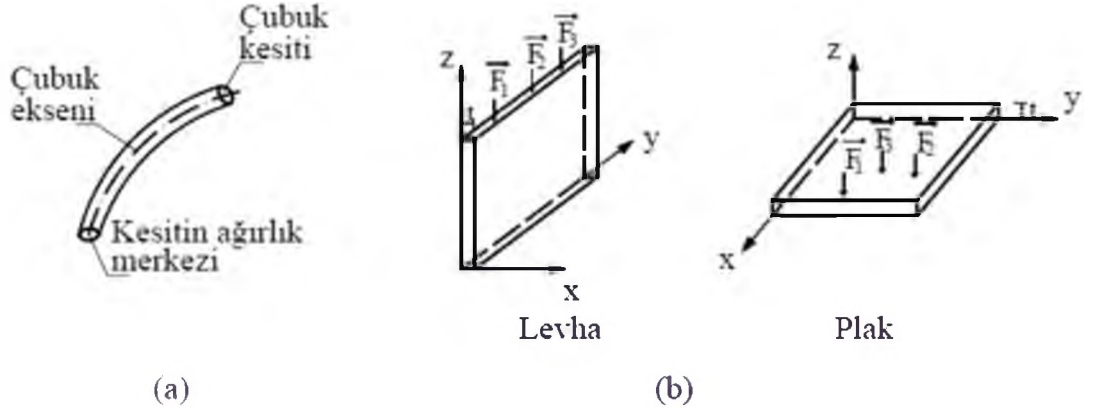
5.5 Düzlem Taşıyıcı Sistemler

Taşıyıcı Sistemler: Verilen yüklemeleri Güvenlik sınırları içerisinde taşıyan rijit ya da şekil değiştirebilen cisim veya cisimlerdir. Statik kapsamı içerisinde incelenecek taşıyıcı sistemler hep rijit cisimler olacaktır.

Taşıyıcı sistemler geometrileriyle yükleme durumlarına göre farklılıklar gösterir. Kaba bir gruplama, taşıyıcı sistemin bir, iki ya da üç boyutlu olmasına göre yapılabilir, fakat sağlıklı olan bir sistemin kaç adet hakim boyutunun olduğuna karar verilerek yapılandır. Bu durumda sınıflamayı aşağıda sunulduğu gibi vermek mümkündür:

1. Çubuklar

Bir boyutu (çubuk eksen), diğer iki boyutu yanında büyük olan sistemlerdir. Büyük olan boyut çubuğun L boyunu tanımlar, Şekil 5.4a. Çubuk eksen, çubuğun kesitlerinin ağırlık merkezlerinden geçen bir eğridir (ağırlık merkezlerinin geometrik yeri). Ayrıca çubuklar kendi aralarında *doğru* ve *eğri* eksenli diye iki alt gruba ayrılabilirler. İncelenilen uzaym iki boyutlu (düzlemde doğrusal ve eğrisel çubuklar) ya da üç boyutlu (çok parçalı uzay çubuk sistemler ile helisel çubuklar v.s.) olabileceği de hatırlatılmalıdır.



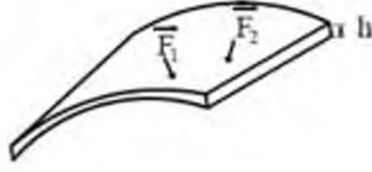
Şekil 5.4

2. Levha ve Plaklar

İki boyutu, diğer bir boyutu yanında büyük olan düzlemsel sistemlerdir. Küçük olan boyut h kalınlığıdır. İkisi arasındaki ayırıcı yüklemeye durumunda ortaya çıkar. Levhaya uygulanan Şekil 5.4b deki $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ yükleri levha düzlemi $y-z$ içinde kalırken, plaka etkileyen \vec{F}_1 kuvveti, Şekil 5.4c, plak düzlemi $x-y$ ye dik doğrultuda (z yönünde) olmaktadır.

3. Kabuklar

Kabuklar, iki boyutu, diğer boyutu yanında büyük olan eğrisel yüzeyli taşıyıcı sistemlerdir. Küçük olan boyut h kalınlığıdır. Geometrilerine bağlı olarak, silindirik kabuk (örneğin Şekil 5.5 de görülen silolar, tonozlar), küresel kabuk (örneğin Cami kubbeleri), hiperbolik paraboloid kabuk gibi çeşitli isimler altında toplanırlar.

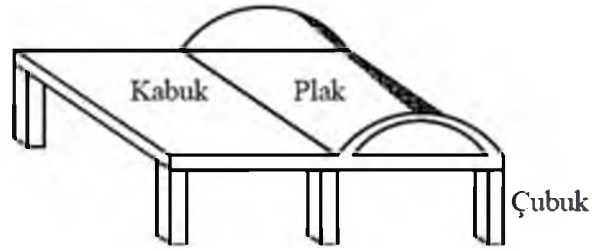


Şekil 5.5

Yukarıda açıklanan taşıyıcı sistemler tek tek kullanılabilceği gibi, birkaçının da bir arada kullanılması pratikte çok yaygın olarak karşılaşılan bir durumdur.

5.6 Çeşitli Yapı Elemanlarından Oluşmuş Taşıyıcı Sistemler

Aynı veya farklı türden bir çok taşıyıcı elemanın belli bir şekilde birbirine bağlanması sonucu elde edilen taşıyıcı sistemlerdir, Şekil 5.6. Taşıyıcı sistemler arasındaki bağlantılar da çeşitli biçimlerde idealize edilir (örneğin mafsallı, pandül ayak, v.s. gibi).



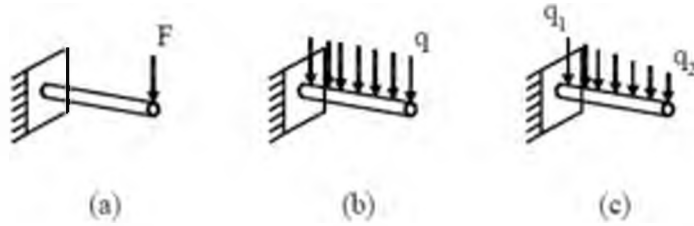
Şekil 5.6

5.7 Düzlem Taşıyıcı Sistemlerde Yükleme Durumları

Bu aşamada taşıyıcı sisteme etkiyen yükler incelenecektir. Bu kuvvetler üç gruba ayrılabilir:

1) Tekil Kuvvetler

Gerçekte böylesi kuvvetler ortaya çıkmamasına karşın, çok küçük bir alana etkiyen yoğun bir yükleme, hesaplarda sadelik sağlamak amacıyla idealleştirmeye gidilerek, tek bir noktaya etkiyor olarak kabul edilir, Şekil 5.7a.



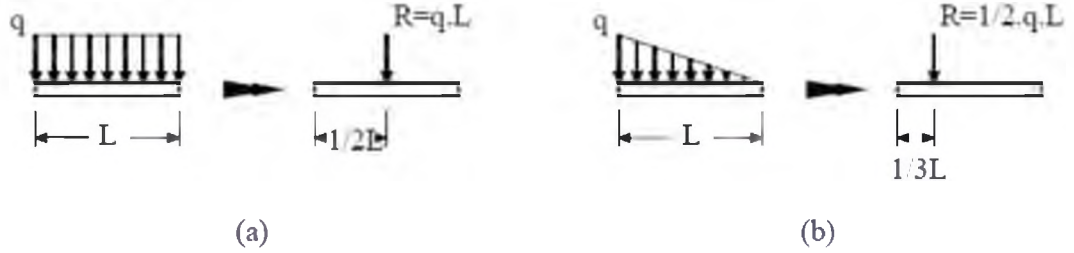
Şekil 5.7

2) Yayılı Kuvvetler

Bunlar Şekil 5.7b deki gibi doğrusal yayılı olabileceği gibi, Şekil 5.8c de gösterildiği gibi değişken yayılı da olabilirler. Böylesi yükler mühendislik uygulamaları bakımından en sık karşılaşılan yük tipleridir.

Yürütülecek hesaplarda basitlik ve sadelik sağlamak için, taşıyıcı sisteme uygulanmış olan yayılı yükler, sistemin bağ kuvvetlerini değiştirmeyecek biçimde bir takım eşdeğer tekil kuvvetler ile temsil edilebilirler. *Unutulmaması gereken çok önemli nokta, bu uygulamanın sadece bağ kuvvetlerinin hesaplanması esnasında kullanılabileceğidir.* Eşdeğer tekil kuvvet hesabı iki aşamada tamamlanır:

- Bir eşdeğer kuvvetin şiddeti, verilen yayılı yük diyagramının altındaki alana eşittir.
- Eşdeğer kuvvetin uygulama noktası ise bu yayılı yük diyagramının ağırlık merkezi olur. Doğrusal ve üçgen yüklemelere ait eşdeğer tekil kuvvetler Şekil 5.8 de gösterilmiştir.



Şekil 5.8

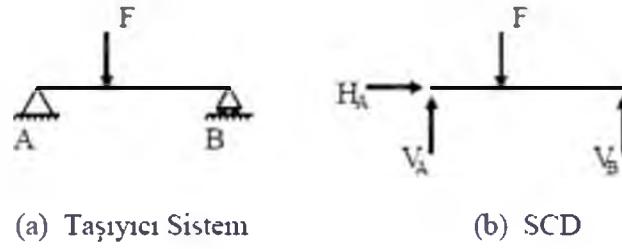
3) Bağ Kuvvetleri

Serbest cismin yapacağı hareketlere karşı koyan ve onu belli bir konumda sabit tutan zemin ve diğer cisimlerin tepkilerine verilen toplu bir isimdir.

Üç tip bağ kuvveti vardır. İlk ikisi, sadece ötelenme türü serbestlik derecesi ile ilintili olup ya birini ya da ikisini birden engeller, dönmeyi de serbest bırakır. Bu tip mesnetler moment türü tepki almazlar. Üçüncüsü hem birbirine dik doğrultulardaki ötelenmeleri, hem de dönmeyi engelleyecek kuvvet ve moment büyüklüklerine sahiptir. Kısaca mesnet tipleri sınıflandırılırsa aşağıdaki guruplama verilebilir:

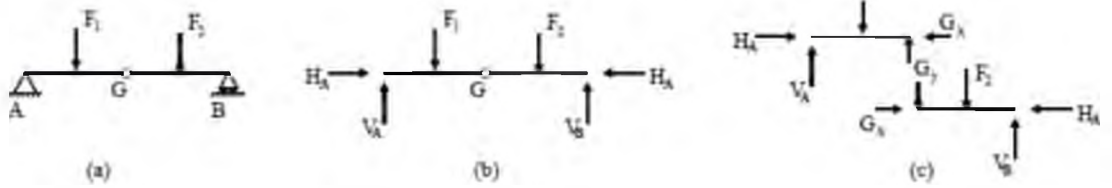
- Tesir çizgisi bilinen bir kuvvete eşdeğer tepkiler: Örneğin: kayıcı mafsal, cilalı yüzeyler, pandül ayak, kablolar, cilalı yarıktaki pimler, Tablo 5.1.
- Doğrultusu bilinmeyen bir kuvvete eşdeğer tepkiler: Örneğin: sabit mafsal, sürtünmeli yüzeyler, sürtünmeli yarıktaki pimler, Tablo 5.1.
- Bir kuvvet-kuvvet çiftine eşdeğer tepkiler: Örneğin: ankastre mesnet, Tablo 5.1.

Bağ kuvvetlerine örnek teşkil etmek üzere Şekil 5.9a da görülen tekil F kuvvetiyle yüklü kirişe ait serbest cisim diyagramı (S.C.D.) Şekil 5.9b de sunulmuştur. Burada mesnet tepkileri: A mafsalı düşey ve yatay ötelenme hareketlerine kapalı olurken, B mafsalı sadece düşey doğrultuda ötelenme hareketlerine kapalıdır. O nedenle mesnet tepkileri A_x , A_y , B_y olarak görülmektedir.



Şekil 5.9

Bazı taşıyıcı sistemler de, örneğin Şekil 5.10a da görüldüğü gibi iki (ya da daha fazla olabilir) parçanın birleşiminden üretilebilir. Bu durumda parçaları birbirine mafsal ile bağlamak mümkündür. Şekil 5.11a da A ve B mesnetleri sabit mafsallı olarak verildiğinden Şekil 5.10b deki S.C.D. ında ortaya çıkan bağ kuvvetleri A_x , A_y , B_x ve B_y olmaktadır. Öte yandan G deki mafsal koşulu, birbirine dik iki doğrultuda ötelemeye engel oluştururken, dönmeye karşı serbestlik tanır ve bunu sağlayan bağlantı noktasındaki *etki-tepki kuvvetlerini*, bütün taşıyıcı sistemde klasik dış kuvvetlerden ayrı düşünmek gerekir. İşte Şekil 5.10c de belirtilmiş G noktasındaki mafsal kuvvetleri bu tip kuvvetler için tipik bir örnektir. Şöyle ki: bütün sistem için mafsaldaki G_x ve G_y iç kuvvet olurken, Şekil 5.10c de S.C.D. ı çizilen her bir parça için G_x ve G_y dış kuvvet olmaktadır.



Şekil 5.9

5.8 Düzlem Taşıyıcı Sistemlerin Mesnetlenmesi

Düzlem halinde taşıyıcı sisteme üç adet denge denkleminin uygulanabileceği daha önce belirtilmişti. O halde bu denklemlerle üç adet bilinmeyen mesnet (bağ) tepkisi çözülebilir.

Bir sistemin denge denklemleriyle çözümlenip çözülemeyeceğini ve serbestliklerinin tam tutulu olup olmadığını gösteren, hiperstatiklik derecesi adıyla anılan n gibi bir büyüklük tanımlanır. Bu büyüklük

$$n = r - d \quad (5.3)$$

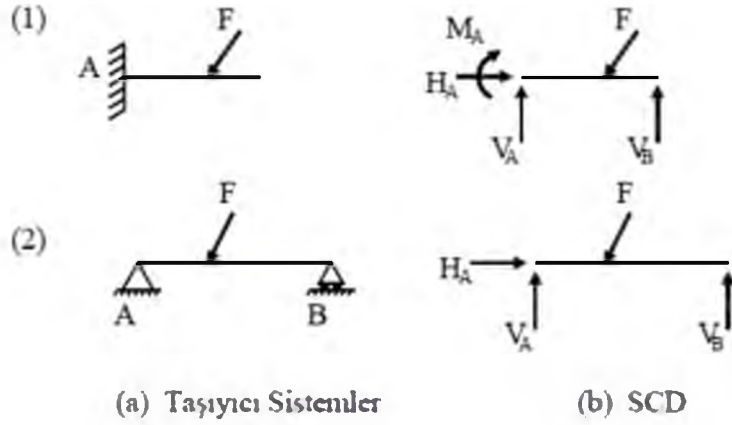
şeklinde ifade edilir. Burada r bilinmeyen reaksiyon sayısı, d ise kurulabilecek denge denklemleri sayısıdır. n nin aldığı değerlere göre sistem, bağ durumları açısından,

- $n = 0$ ise statikçe belirli (izostatik-tam bağlı) sistem,
- $n > 0$ ise statikçe belirsiz (hiperstatik-fazla bağlı) sistem,
- $n < 0$ ise oynak (labil-eksek bağlı) sistem

olarak adlandırılır. Şimdi bunlar tek tek incelenecektir.

1) Tam bağı (statikçe belirli) sistem

Düzlemdeki iki öteleme bir dönme türündeki üç serbestlik derecesi uygun şekilde düzenlenmiş minimum sayıda mesnet ile engelleniyorsa böylesi sistemlere *tam bağı (izostatik)* denir. Bu durumda denge denklemleri kullanılarak bağ kuvvetleri tek tek elde edilebilir. Örneğin Şekil 5.12'deki düzlemde tam bağı iki çubuktan birincisindeki mesnet

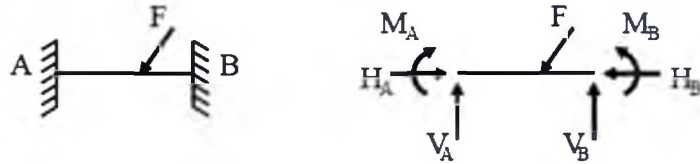


Şekil 5.12

tepkileri A_x , A_y , M_A ikincisindeki mesnet tepkileri de A_x , A_y , B_y dir. Her iki taşıyıcı sistemde de düzlem halde kullanılan üç denge denklemi yardımı ile bağ kuvvetleri bulunabilir.

2) Fazla bağı (statikçe belirsiz) sistemler

Düzlemde tüm serbestlikleri bir taşıyıcı sistemde, eğer *bağ kuvvetleri sayısı kullanılabilen denge denklemlerinin sayısından fazla ise böyle sistemlere fazla bağı (hiperstatik)* denir.



Şekil 5.13

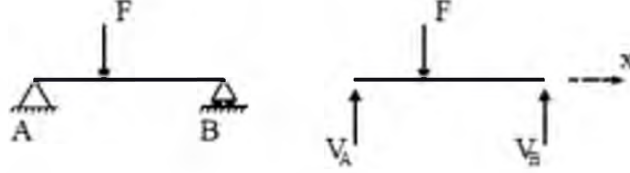
Örneğin, Şekil 5.13'deki iki ucu ankastre mesnetli çubuktaki toplam altı adet bilinmeyen bağ kuvvetini (A_x , A_y , M_A , B_x , B_y , M_B) bulmaya, mevcut üç denge denklemi yetmez.

3) Eksik bağı (oynak sistemler) sistemler

Bağ kuvvetleri sayısı, denge denklemleri sayısından az olan ve *bazı özel yükleme durumları için dengede kalırken, bazı yüklemeler altında hareketli olan* sistemlere denir. Bu sistemlerde tüm serbestlikler önlenmemiştir.

Bu duruma bir örnek olması için Şekil 5.14a'daki düzlem sistem incelenecektir. A ve B mesnetleri kayıcı olduğundan iki adet bilinmeyen bağ kuvveti (A_y , B_y) için üç denge denklemi yazılmak istendiğinde: $\sum M_A = 0$ (ya da $\sum M_B = 0$), $\sum F_y = 0$ ve $\sum F_x = 0$ dan

mesnet tepkileri hesaplanabilir. Halbuki Şekil 5.14b deki sistemde daha baştan $\sum F_x \neq 0$ olmakta, yani sistem P kuvvetinin x eksenine doğrultusundaki bileşeni nedeniyle x eksenine yönde hareket etmektedir. Sonuç olarak bu örnek sadece düşey etkiyen dış kuvvetler için dengede olan bir taşıyıcı sistem özelliği göstermektedir.

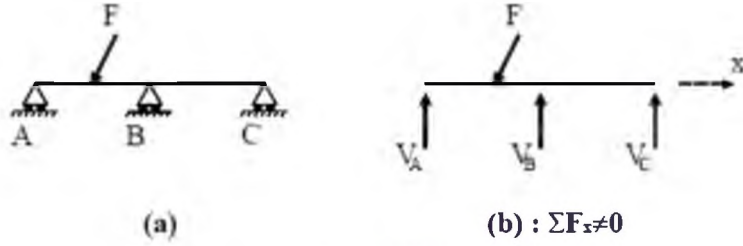


(a) : $\sum F_x=0$

Şekil 5.14

4) Yetersiz (Uyumsuz) bağlı sistemler

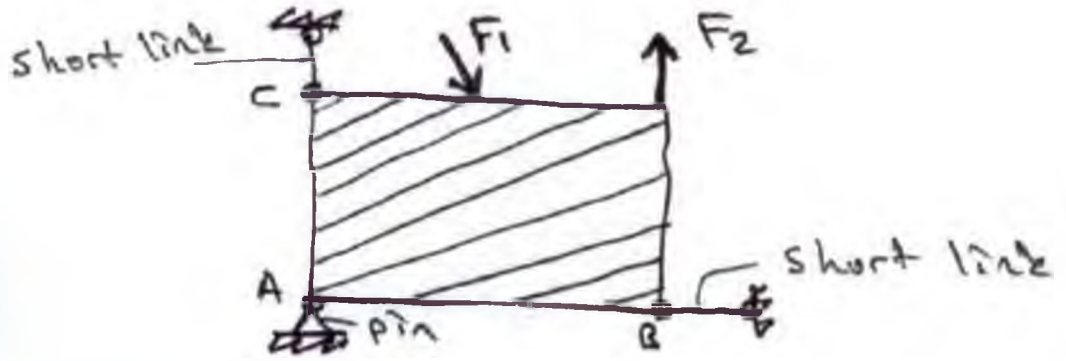
Bilinmeyen bağ kuvvetleri ile denge denklemlerinin sayısı eşit olmasına ve hatta bazen bağ kuvvetleri denge denklemlerinden daha fazla olmasına rağmen *uygun mesnetlenmeyen* taşıyıcı sistemler olabilir.



(a)

(b) : $\sum F_x \neq 0$

Şekil 5.15



Şekil 5.15

Örneğin Şekil 4.17 deki sistemde üç adet bilinmeyen bağ kuvveti (A_y , B_y , C_y) olmasına rağmen $\sum F_x \neq 0$ olmakta ve sistemde x eksenine yönde denge sağlanamamaktadır.

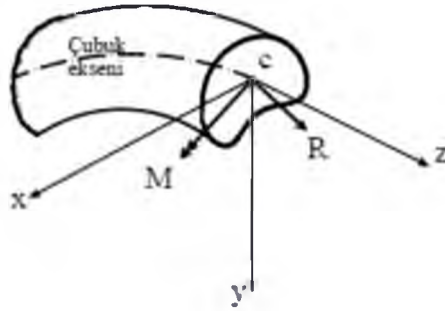
Tablo 5.2 de çeşitli biçimlerde mesnetlenmiş taşıyıcı sistemler toplu olarak verilmiştir.

6.ÇUBUKLARDAKİ İÇ KUVVETLER-KESİT TESİRLERİ

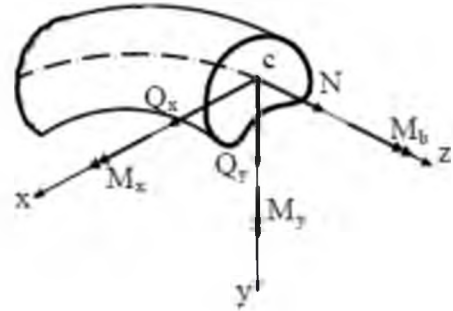
6.1 İç kuvvetler ve Kesit Tesirleri

Taşıyıcı sistemlerin boyutlandırılabilmesi için dış kuvvetler etkisindeki cisimlerde *iç kuvvet dağılımının* incelenmesi çok önemli, hatta kaçınılmaz bir durumdur. Bilindiği gibi *dış kuvvetler* ağırlık kuvvetleri, rüzgar ve deprem kuvvetleri, bağ kuvvetleri v.s. gibi cisme dıştan etkiyen kuvvetlerdir. *İç kuvvetler* ise, cismin parçaları ve cisimi oluşturan maddesel noktalar arasındaki etki ve tepkilerdir.

Kesit tesirleri: Dış kuvvetlerin tesiri altında dengede bulunan bir çubuk hayalen ikiye ayrılacak olursa, parçaların da dengede bulunması için, ayırma yüzeylerine birtakım iç tesirlerin konulması gerekir. Kesit üzerinde yayılı olan bu iç kuvvetler, kesitin C ağırlık merkezine indirgenecek olursa, bir \bar{R} kuvvetiyle bir \bar{M} momenti elde edilir. Şekil 6.1. Bu değerlere *kesit tesirleri* adı verilir.



Şekil 6.1



Şekil 6.2

\bar{R} ve \bar{M} vektörlerinin koordinat eksenleri doğrultularındaki bileşenleri şunlardır. Şekil 6.2:

\bar{R} nin bileşenleri:

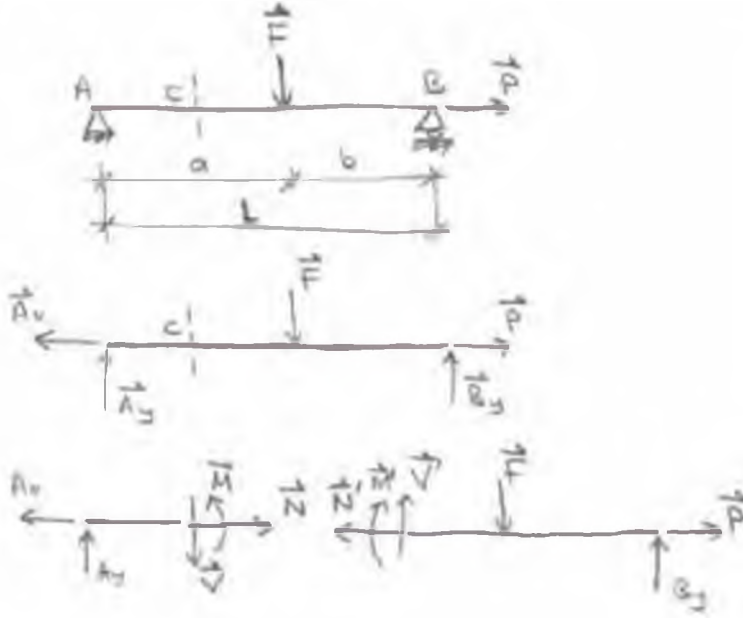
- Kesit düzlemine dik bileşen: Normal kuvvet N ,
- Kesit düzlemi içindeki bileşenler: Kesme kuvvetleri Q_x ve Q_y .

\bar{M} nin bileşenleri:

- Kesit düzlemine dik bileşen: Burulma momenti M_b .
- Kesit düzlemi içindeki bileşenler: Eğilme momentleri M_x ve M_y .

Burada düzlemsel yükleme altındaki düzlemde bulunan çubuk elemanlar incelenecektir. Şekil 6.3 de görülen kiriş C noktasından kesilip buradaki denge şartlarını sağlayan iç tesirler bulunmak istensin. AC parçasında C noktasındaki iç tesirler \bar{V} , \bar{M} , \bar{N} olsun. CB parçasında ise denge ve etki tepki gereği \bar{V} , \bar{M} , \bar{N}

ye eşit şiddetli ve fakat ters yönlü \vec{V} , \vec{M} , \vec{N} iç vektörel büyüklükleri ortaya çıkar. Eğer AC parçası üzerinde işlem yapıp tüm kiriş üzerindeki iç tesir vektörleri elde edilirse ve bunlar bir diyagram üzerinde gösterilirse bu durumda söz konusu diyagram üzerinde bunların gösterilmesi için hangi parçanın göz önüne alındığı belirtilmelidir. Çünkü CB parçası üzerinde işlem yapıldığından şiddeti AC parçasındaki iç vektörel tesirlere göre negatif olan iç vektörel tesirler ve bu tesirlerin diyagram haline getirilmesi sonucu işaretleri AC parçası göz önüne alınarak elde edilen diyagramın tersi olan bir diyagram elde edilir. Bu nedenle, eğer daha uygun bir yol bulunamazsa iç büyüklüklerin elde edilmesinde hangi parçanın incelendiğinin göz önüne alınması gerekli olur. \vec{V} ve \vec{V}' vektörlerinin ortak şiddetine V , \vec{M} ve \vec{M}' vektörlerinin ortak şiddetine M , \vec{N} ve \vec{N}' vektörlerinin ortak şiddetine N denir ve kesme kuvveti, eğilme momenti, normal kuvvet için bunlara özgü işaret kabulleri yapılırsa tüm kiriş üzerindeki iç

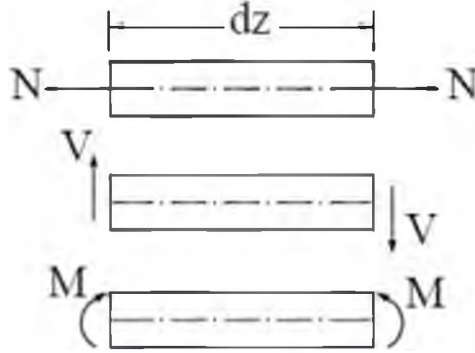


Şekil 6.3

büyüklükler, hesapların hangi parça üzerinde yapıldığını belirtmeye genel kalmaksızın, diyagramlar üzerinde gösterilebilir. Kesme kuvveti, eğilme momenti ve normal kuvvete ilişkin işaret kabulü aşağıda verilmiştir:

1. Göz önüne alınan kiriş parçasını saat ibreleri yönünde çeviren kesme kuvvetleri artı kesme kuvvetleri olarak alınır. Ters kesme kuvvetleri eksidir.

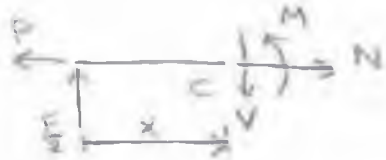
2. Göz önüne alınan parçanın bir tarafı kesikli çizgi ile işaretlenirse, şekilde verilen eğilme durumları artı, tersi ise eksi eğilme momentlerini tarifler.
3. Göz önüne alınan parçaya etkiyen normal kuvvetler parçayı uzatıyorsa artı normal kuvvetler, kısaltıyorsa eksi normal kuvvetlerdir



Şekil 6.4 Kesme kuvvet, eğilme momenti ve normal kuvvet için artı işaret kabulleri

Şimdi göz önüne alınan kiriş için hangi parça alınır alınsın aynı diyagramlar elde edilir. Bu aşamada kirişin kesit tesiri diyagramları, kiriş bazı noktalardan kesilerek elde edilsin. İk önce tüm kirişin serbest cisim diyagramı çizilerek mesnet tepkileri elde edilir. Kiriş mesnetlenme durumu ve yüklemesi çok basit olduğu için burada mesnet reaksiyonları yeniden hesaplanmayacaktır.

AC parçasının dengesinden;



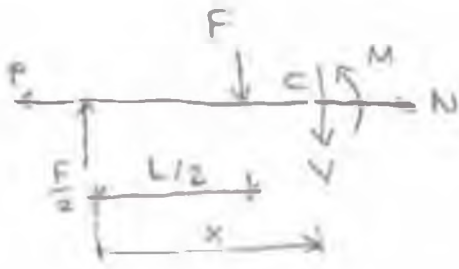
Şekil 6.5 AC Parçası

$$+\uparrow \sum F_y = 0 = \frac{F}{2} - V = 0 \rightarrow V = \frac{F}{2}$$

$$\sum M_c = 0 = \frac{F}{2} \times x - M = 0 \rightarrow M = \frac{F x}{2}$$

$$\sum \vec{F}_x = 0 = -P + N = 0 \rightarrow N = P$$

CB parçasının dengesinden;

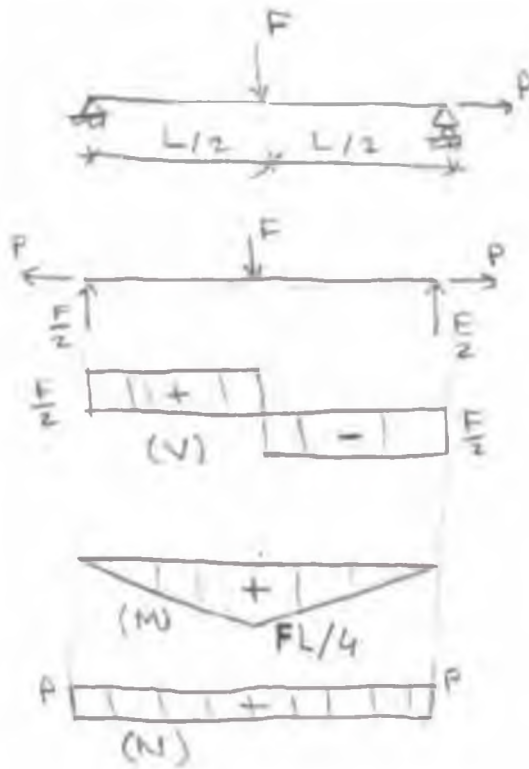


Şekil 6.6 CB Parçası

$$+\uparrow \sum F_y = 0 = \frac{F}{2} - F - V = 0 \rightarrow V = -F/2$$

$$\sum M_c = 0 = \frac{F}{2} \times x - F \times \frac{L}{2} - M = 0 \rightarrow M = \frac{Fx}{2} - \frac{FL}{2}$$

$$\sum \vec{F}_x = 0 = -P + N = 0 \rightarrow N = P$$



Şekil 6.7 Kesit tesirleri

6.2 Yayılı Yük, Kesme Kuvveti ve Eğilme Momenti Arasındaki Bağlıntılar

Şekil 6.8 de görülen yayılı yük ile yüklü kirişten dz uzunluklu bir eleman çıkarılıp bu eleman üzerinde denge denklemleri yazılsın.

$$V - (V + \Delta V) - q \Delta x = 0$$

Denklemin her iki tarafı Δx e bölünüp Δx sıfıra götürülürse

$$\frac{dV}{dx} = -q \quad (6.1)$$

Elde edilir. (7.1) bağıntısı C ve D noktaları arasında integre edilirse

$$V_D - V_C = -\int_C^D q dx \quad (6.2)$$

$V_D - V_C = -(C$ ve D arasında yük eğrisi altındaki alan). dz uzunluklu eleman için moment dengesi yazılırsa

$$(M + \Delta M) - M - V \Delta x + q \Delta x \frac{\Delta x}{2} = 0$$

$$\Delta M = V \Delta x - \frac{1}{2} q (\Delta x)^2$$

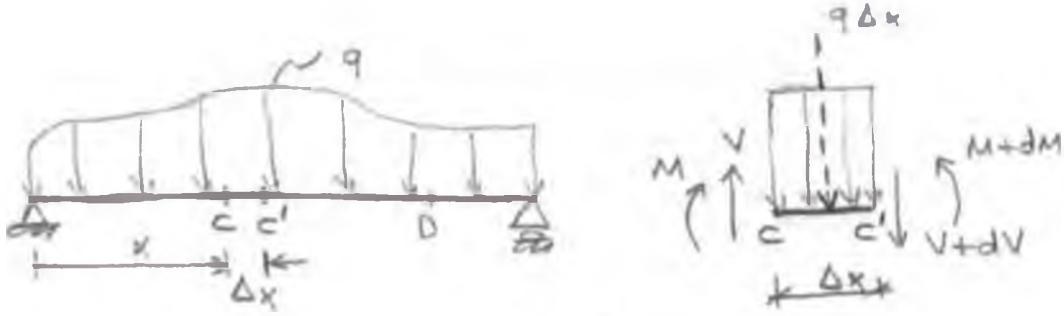
elde edilir. Denklemin tüm elemanları Δx ile bölünüp Δx sıfıra götürülürse

$$\frac{dM}{dx} = V \quad (6.3)$$

elde edilir. (7.3) bağıntısının C ve D noktaları arasında integre edilmesiyle

$$M_D - M_C = \int_C^D V dx \quad (6.4)$$

$M_D - M_C = -(C$ ve D arasında kesme kuvveti eğrisi altındaki alan).



Şekil 6.8

Çubuğa tekil yükler veya tekil momentler etkimesi halinde bu yük veya momentlerin etkime noktalarından hemen önce ve hemen sonra olan kesitlerdeki kesit tesirlerinin bazıları arasındaki farklar artık sonsuz küçük olmaz ve böylece bu noktadaki bazı kesit tesirlerinde süreksizlik meydana gelir. Şekil 6.9a da bir tekil yükün etkidiği sonsuz küçük boyda bir doğru eksenli çubuk parçası göz önüne alınmıştır. Bu parça için yazılabilecek denge denklemleri

$$\left. \begin{aligned} N_2 - N_1 + F_z &= 0 \\ Q_2 - Q_1 + F_y &= 0 \\ M_{x2} - M_{x1} + F_y \cdot dz &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (6.5)$$

şeklinde dir. Sonuncu denklemlerdeki sonsuz küçük üçüncü terim diğer sonlu terimlerin yanında ihmal edilirse

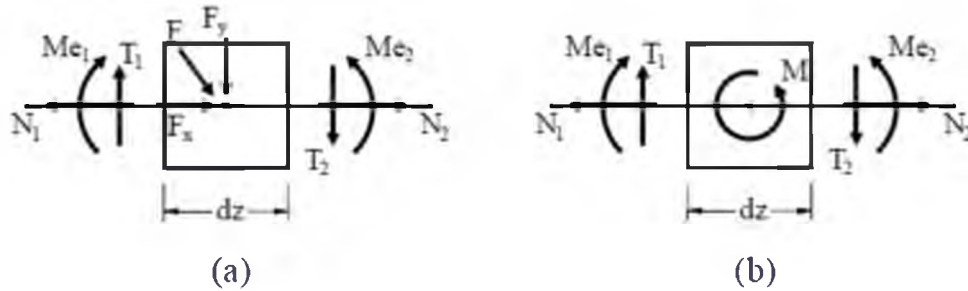
$$\left. \begin{aligned} N_2 &= N_1 - F_z \\ Q_2 &= Q_1 - F_y \\ M_{x2} &= M_{x1} \end{aligned} \right\} \quad (6.6)$$

bağıntıları elde edilir.

Sonsuz küçük boyda bir doğru eksenli çubuk parçasına etkiyen μ tekil momentli halinde. Şekil 6.9b. yukarıdakine benzer şekilde yazılacak denge denklemlerinden

$$\left. \begin{aligned} N_2 &= N_1 \\ Q_2 &= Q_1 \\ M_{x2} &= M_{x1} - \mu \end{aligned} \right\} \quad (6.7)$$

bağıntıları bulunur.

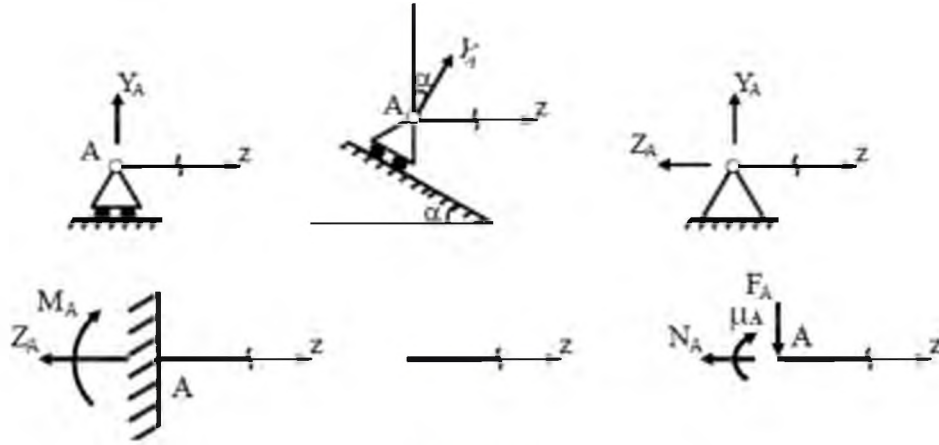


Şekil 6.9

6.1 Kesit Tesirlerinin Hesaplanması ve Diyagramların Çizimi

a) **İntegrasyon metodu:** yz düzleminde bulunan ve bu düzlemdeki yayılı yüklerle yüklü ve tam bağlı olan doğru eksenli çubuklarda *kesit tesiri ifadeleri* (6.1) ve (6.3) *denklemlerinin integrasyonu* ile elde edilebilir. Bu denklemlerin integrasyonunda ortaya çıkacak *integrasyon sabitleri* de tam bağlı çubuğun *uç ve bağ şartlarından* hesaplanabilirler. Metodun örneklerle açıklanmasından önce karşılaşılabilecek uç şartlarını belirlemek yerinde olacaktır. Yük taşıyan sistemlerde çubuğun en solunda en sağında dış yüklemeler veya oluşması olası bağ kuvvetlerinin bileşenleri (reaksiyonlar) ve bu bileşenlerle kesit tesirleri arasındaki bağıntılar (yani uç şartları).

en genel haliyle Şekil 6.10 da gösterilmiştir. Bunlardan bazıları bağın türüne göre sıfır oluyorsa, karşı gelen uç şartıyla ilgili işlemlerde sıfır alınmalıdır.



Şekil 6.10

Bu ön bilgilerden sonra integrasyon metodu ve diyagramların çizimi örneklerle gösterilecektir.

Örnek 6.1: Şekil 6.7 de gösterilen düzgün yayılı yükü taşıyan kirişin kesit tesirlerinin bulunması ve kesit tesiri diyagramlarının çizilmesi isteniyor.

Çözüm:

- **Birinci işlem:** statığın denge denklemlerinin kullanılması ile bağ kuvvetlerinin hesaplanması işlemidir. Bu çok basit örnekte bağ kuvvetleri Şekil 6.7a daki kiriş uçlarında gösterilmiştir.
- **İkinci işlem:** Kesit tesiri diferansiyel denklemlerinin yazılarak integre edilmesidir:

$$\frac{dN}{dz} = 0 \rightarrow N = C_1$$

$$\frac{d^2 M_x}{dz^2} = -q_y = -q = \text{sabit} \rightarrow \frac{dM_x}{dz} = Q = -qz + C_2 \rightarrow M_x = -q \frac{z^2}{2} + C_2 z + C_3$$

- **Üçüncü işlem:** Uç şartlarının kullanılması ile C_1, C_2, C_3 integrasyon sabitlerinin hesaplanmasıdır :

$$z = 0 \rightarrow (N)_{z=0} = N_A = 0 \rightarrow C_1 = 0$$

$$(Q)_{z=0} = Q_A = Y_A = ql/2 \rightarrow C_2 = ql/2$$

$$(M_x)_{z=0} = M_{sa} = 0 \rightarrow C_3 = 0$$

Bu değerler yerlerine konursa kesit tesirlerinin ifadeleri

$$N = 0$$

$$Q = \frac{ql}{2} - qz$$

$$M_x = q\frac{l}{2}z - q\frac{z^2}{2}$$

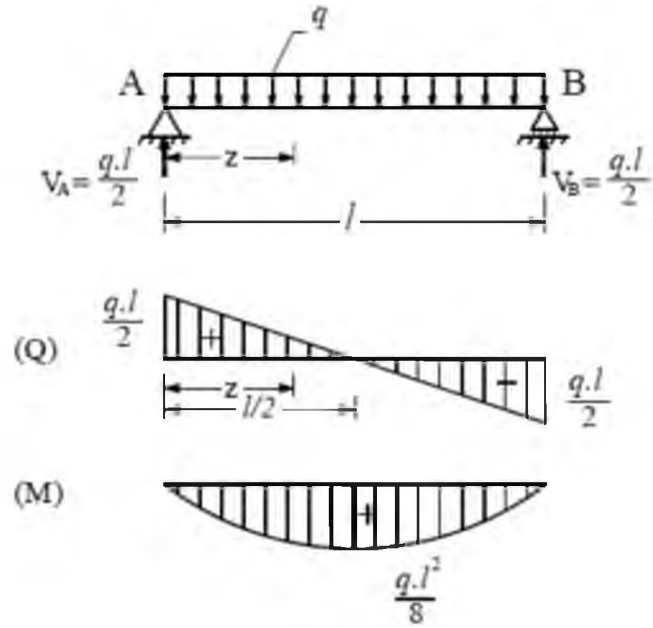
olarak bulunur. Kesit tesiri diyagramı çizilirken pozitif normal ve kesme kuvvetlerinin referans doğrusunun üzerinde, pozitif eğilme momentlerinin ise referans doğrusunun altında alınmaları adet olmuştur. Bununla birlikte pozitif ve negatif tarafların diyagram üzerinde işaret edilmesi şartı ile farklı yön seçmenin bir sakıncası yoktur.

Ele alınan örnekte kesit tesiri ifadelerinden kesme kuvveti diyagramının bir doğru, eğilme momenti diyagramının ise bir parabol olacağı görülmüştür. Alınan örnekte normal kuvvet bütün kiriş boyunca sıfır olduğu için bunun diyagramı çizilmemiştir.

- Diyagram çiziminde yük ve kesit tesirleri arasındaki diferansiyel bağıntıların geometrik yorumlarının göz önünde tutulması büyük kolaylıklar sağlar: (6.7) denklemlerine göre kesme kuvveti diyagramının eğiminin eksi işaretli yayılı yükün şiddetine eşit olduğu görülür. Buna göre, örneğin, düzgün yayılı yük halinde kesme kuvveti diyagramının sabit eğimli bir doğru olacağı hesap yapmadan da görülmüştür.
- Yine (6.7) denklemlerine göre eğilme momentinin türevinin kesme kuvvetine eşit olması, eğilme momenti diyagramının herhangi bir noktadaki eğiminin o noktadaki kesme kuvvetine eşit olması sonucunu verir. Buadaki örnekte kesme kuvvetinin $z=0$ başlangıcından itibaren sürekli olarak azalması sonucu eğilme momenti diyagramının içbükey bir parabol olduğu görülmüştür. Yine kesme kuvveti kiriş ortasında sıfır olduğuna göre moment diyagramının kirişin ortasındaki eğimi sıfır olur ki böylece eğilme momentinin bu noktada bir *ekstrem değerden (burada maksimumdan)* geçtiği anlaşılır. ve böylece eğilme momentinin en büyük değeri

$$M_{x\max} = (M_x)_{z=l/2} = \left(q\frac{l}{2}z - q\frac{z^2}{2} \right)_{z=l/2} = \frac{ql^2}{8}$$

olarak hesaplanır.



Şekil 6.7

Örnek 6.2: Şekil 6.8 de gösterilen iki tekil yükle yüklü basit kirişin kesit tesirlerinin hesabı ve diyagramların çizilmesi.

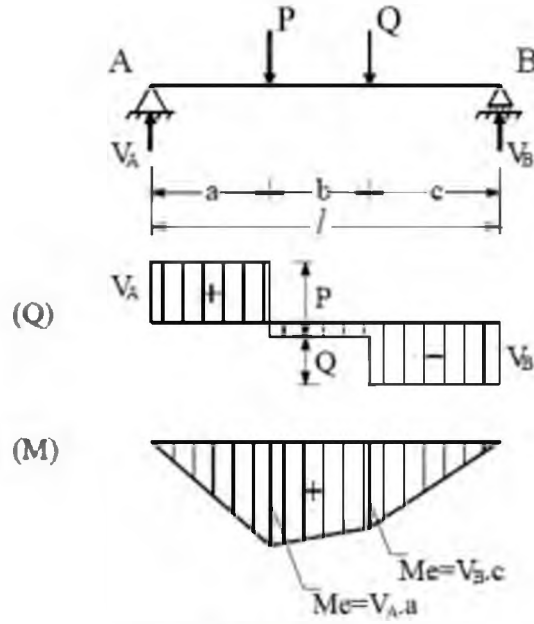
Çözüm: Mesnet reaksiyonları aşağıdaki gibi bulunur:

$$\sum F_y = 0 \quad A_y + B_y - P - Q = 0$$

$$\sum M_{x,A} = 0 \quad P \cdot a + Q(a+b) - l B_y \rightarrow B_y = \frac{P \cdot a + Q(a+b)}{l}$$

$$A_y = P + Q - B_y = P + Q - \frac{P \cdot a + Q(a+b)}{l} \rightarrow A_y = \frac{P(b+c) + Q \cdot c}{l}$$

Kesit tesirleri : Kiriş üzerinde sadece tekil yükler mevcuttur. Bu çeşit yükler, daha önce (6.10. 11) denklemlerinde görüldüğü gibi kesit tesirlerinde *süreksizlikler* doğurur. Bu nedenle kiriş üzerindeki *üç farklı bölgede kesit zorları ayrı ayrı hesaplanacaktır.*



Şekil 6.8

Birinci bölge: $0 < z < a$ bölgesi: $\frac{d^2 M_{x1}}{dz^2} = 0 \rightarrow \frac{d M_{x1}}{dz} = Q_1 = C_1 \rightarrow M_{x1} = C_1 z + C_2$

- uç şartlarından (A ucu)

$$z = 0 \rightarrow M_{x1} = 0 \rightarrow C_2 = 0$$

$$z = 0 \rightarrow Q_1 = V_A \rightarrow C_1 = V_A$$

- Kesit tesirleri :

$$Q_1 = V_A$$

$$M_{x1} = V_A z$$

İkinci bölge: $a < z < a + b$ bölgesi: $\frac{d^2 M_{x2}}{dz^2} = 0 \rightarrow \frac{d M_{x2}}{dz} = Q_2 = C_3 \rightarrow M_{x2} = C_3 z + C_4$

- $z = a$ noktasındaki süreksizlik şartları (6.10) yardımıyla

$$z = a \rightarrow Q_2 = Q_1 - P \rightarrow C_3 = V_A - P$$

$$z = a \rightarrow M_{x2} = M_{x1} \rightarrow (V_A - P)a + C_4 = V_A \cdot a \rightarrow C_4 = P \cdot a$$

şeklinde bulunur.

- Kesit tesirleri :

$$Q_2 = V_A - P$$

$$M_{x2} = (V_A - P)z + P \cdot a$$

Üçüncü bölge:

$$a+b < z < l \text{ bölgesi: } \frac{d^2 M_{x3}}{dz^2} = 0 \rightarrow \frac{dM_{x3}}{dz} = Q_3 = C_5 \rightarrow M_{x3} = C_5 z + C_6$$

- Uç şartlarından (B ucu)

$$z=l \quad Q_3 = -V_B \quad C_5 = -V_B$$

$$z=l \quad M_{x3} = 0 \quad 0 = -V_B \cdot l + C_6 \quad C_6 = V_B \cdot l$$

- Kesit tesirleri :

$$Q_3 = -V_B$$

$$M_{x3} = -V_B z + V_B l$$

Bu son bölgedeki integrasyon sabitleri $z=a+b$ noktasındaki süreksizlik şartlarından yararlanılarak da hesaplanabilirler.

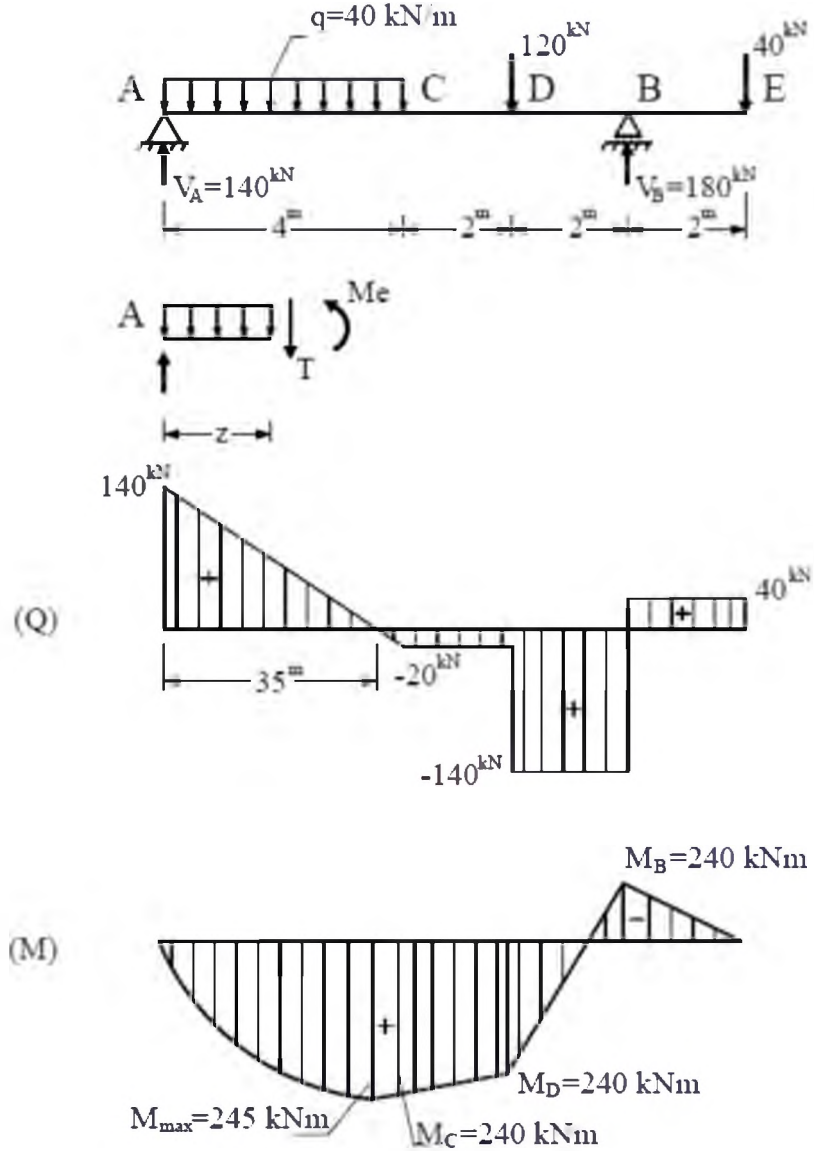
Kirişte en büyük moment, kesme kuvvetinin sıfır olduğu (veya sıfırdan geçtiği) noktada meydana geleceği için diyagram çiziminde ilk olarak kesme diyagramının çizilmesi yararlı olur. Bu örneğe ait diyagramların çiziminde kesme kuvvetinin P yükünün tatbik noktasında sıfırdan geçtiği varsayılmıştır.

b) Kesim metodu : İkinci örnekten görüldüğü gibi kirişin üzerinde *yük süreksizlikleri* bulunması halinde integrasyon bölgeleri artmakta ve bunun sonucu olarak hesaplanması gerekli integrasyon sabitlerinin sayısı da çoğalmaktadır. Bu yüzden kesit tesirlerinin diyagramlarının çiziminde İntegrasyon metodu etkinliğini yitirmektedir.

Uç şartları ile süreksizlik şartlarının, yukarıdaki örneklerde de değinilen, mekanik anlamları ile kesit tesiri diferansiyel denklemlerinin, yine yukarıda değinilen, geometrik yorumlanmaları göz önünde tutulursa kesit tesiri diyagramlarının *kesim metodu* adı verilen bir yöntemle çok daha *kolay* olarak elde edilmesi mümkün olur. Bu metodun esası, reaksiyon kuvvetleri hesaplandıktan sonra kirişi, kesit tesirleri hesaplanmak istenilen kesitten *zihnen keserek ikiye ayırmak* ve parçalardan birinin dengesini, kesilen kesite etkilediği düşünülen ve hesaplanması istenilen kesit tesirlerini de hesaba katarak yazmak şeklinde özetlenebilir. Yazılacak bu denge denklemleri ile bilinmeyen kesit tesirleri kolaylıkla hesaplanırlar. Yukarıda değinildiği gibi reaksiyonlarla süreksizliklerin mekanik anlamları ve kesit tesiri diferansiyel denklemlerinin geometrik yorumları göz önünde tutulursa kirişi sadece *önemli birkaç noktadan kesip* buralardaki kesit tesirlerinin hesaplanmasıyla diyagramların kolayca çizilmesi mümkün olur. Mühendislikte kesit tesiri diyagramlarının çizimini gerektiren hallerin büyük bir çoğunluğunda yükler ve boyutlar sayısal olarak verilir. Buna karşılık kesit tesirlerini hesaplamaya yarayan denklemler yerine diyagramların genel biçimini ve birtakım *önemli noktalardaki* kesit tesirlerinin nümerik değerleri aramılır. Böyle durumlarda kesim metodu özellikle yararlı olur ve sadece gerekli noktalarda kesim yapılarak diyagramları çizmek mümkün olur. Kesim metodu, sağladığı bu kolaylığın yanında, sözkonusu kesidin başlangıca uzaklığı değişken alınmak şartıyla, kesit tesiri denklemlerinin de yazılışını mümkün kılar.

Bu metoda ilişkin bir örnek aşağıda verilmiştir :

Örnek 6.3: Yükleme durumu ve boyutları Şekil 6.9 da gösterilen kirişin kesit tesiri diyagramlarının çizilmesi.



Şekil 6.9

Çözüm: Tüm kiriş için denge denklemlerinin kullanılması ile Şekil 6.9a da gösterilen reaksiyon kuvvetleri hesaplandıktan sonra kirişin z uzunluklu parçası izole edilip bu parça üzerine etkiyen iç ve dış kuvvetlerle beraber göz önüne alınırsa Şekil 6.9b de gösterilen serbest cisim diyagramı elde edilir. Sözü edilen parça için denge denklemleri yazılarak aranan kesit tesirleri

$$\sum F_y = 0 \rightarrow 140 - 40z - T = 0 \rightarrow T = 140 - 40z$$

$$\sum M_x = 0 \rightarrow 140z - 40 \frac{z^2}{2} - M_x = 0 \rightarrow M_x = 140z - 20z^2$$

şeklinde bulunur. Bu ifadelerin $0 < z < 4m$ arasında (AC bölgesi) geçerli olduğuna dikkat etmek gerekir. CD , DB , BE bölgeleri için de benzer işlemler yapılarak bu bölgelere ait kesit tesiri ifadeleri bulunabilir. Ancak diyagramların çizilebilmesi için uzun uzadıya bu ifadelerin

yazılmasına gerek yoktur. Bunun için kesme kuvveti diyagramının çizimi ile işe başlanır : A ucundaki kesme kuvveti 140 kN luk reaksiyon kuvvetine eşit olacaktır. $A-C$ arasındaki kesme kuvveti diyagramı bir eğik doğru olacaktır: çünkü kesme kuvveti diyagramının eğimi yayılı yükün şiddetine eşittir. Bu şiddet ise sabit olduğundan kesme kuvveti diyagramı, teğeti sabit eğimli bir eğri, yani bir doğru olmalıdır. C noktasındaki kesme kuvveti, AC parçasının izole edilip denge izdüşüm denkleminin yazılması ile hemen bulunur. Basit hallerde denge denklemini yazmadan şekil üzerinden gözle dahi bu değer hesaplanabilir ($Q_c = 140 - 40 \cdot 4 = -20 \text{ kN}$). $C-D$ arasında yayılı yük mevcut olmadığı (veya sıfır olduğu) için kesme kuvveti diyagramı sıfır eğimli (yani yatay referans doğrusuna paralel) bir doğru olacaktır. D noktasında 120 kN luk tekil yük sebebiyle (6.10) denklemine göre kesme kuvvetinde 120 kN luk azalma şeklinde bir süreksizlik olacak ve D nin hemen sağındaki kesme kuvveti

$$Q_{D.sag} = -20 - 120 = -140 \text{ kN}$$

olacaktır. $D-B$ ve $B-E$ aralarında da yayılı yük sıfır olduğu için kesme kuvveti diyagramları bu bölgelerde de yatay doğrular şeklinde olacak. yalnız B mesnedinin *hemen solu* ile *hemen sağ* arasında 18 kN lik reaksiyon kuvveti kadar bir süreksizlik bulunacak ve böylece

$$Q_{B-E} = -140 + 180 = 40 \text{ kN}$$

olacaktır. Kesme kuvveti diyagramının çizimine *sol uç* yerine *sağ uçtan* da başlanabilirdi. Eğer böyle yapılırdı $Q_c = 40 \text{ kN}$ olacağı görülmüştü. Bu hususu sol baştan hareketle bulunan değerlerin doğruluğunun tahkikinde kullanmak yararlıdır. Yukarıdaki düşünme biçimine göre çizilen diyagram şekilde görülmektedir.

Kesme kuvveti diyagramının çiziminden sonra eğilme momenti diyagramı da bu diyagramdan yararlanılarak kolayca çizilir: $A-C$ bölgesinde kesme kuvveti lineer değiştiği için moment diyagramı, teğetinin eğimi lineer olarak değişen bir eğri, yani bir parabol olacaktır. Kesme kuvveti diyagramına göre teğetin eğimi, z arttıkça azalacak yani parabol dış bükey olacaktır. Moment diyagramının teğeti kesme kuvvetinin sıfır olduğu $z_m = 3.5 \text{ m}$ noktasında yatay olacak yani moment bir maksimumundan geçecektir. $C-D$ arasında kesme kuvveti sabit olduğu için moment diyagramı eğimli bir doğrudur. Bu doğru parabola teğet olacaktır (çünkü C noktasında kesme kuvveti diyagramında bir süreksizlik yoktur). $C-B$ ve $B-E$ aralıklarında da moment diyagramı doğrusal olacaktır. Yalnız D ve B noktalarında kesme kuvvetlerinde mevcut olan süreksizlikler nedeniyle $C-E$ arasında moment diyagramı kırık doğrulardan oluşacaktır. Bu diyagramı çizebilmek için sadece $z_m = 3.5 \text{ m}$. C, D, E noktalarındaki momentlerin kesim metodu ile hesabı yeterlidir. Bu değerler sol parçaların gözönüne alınması ile aşağıda hesaplanmıştır :

$$(M_x)_{z=3.5} = M_{max} = 140 \times 3.5 - 40 \times \frac{3 \times 5^2}{2} = 24.5 \text{ kNm}$$

$$(M_x)_C = 140 \times 4 - 40 \times \frac{4^2}{2} = 240 \text{ kNm}$$

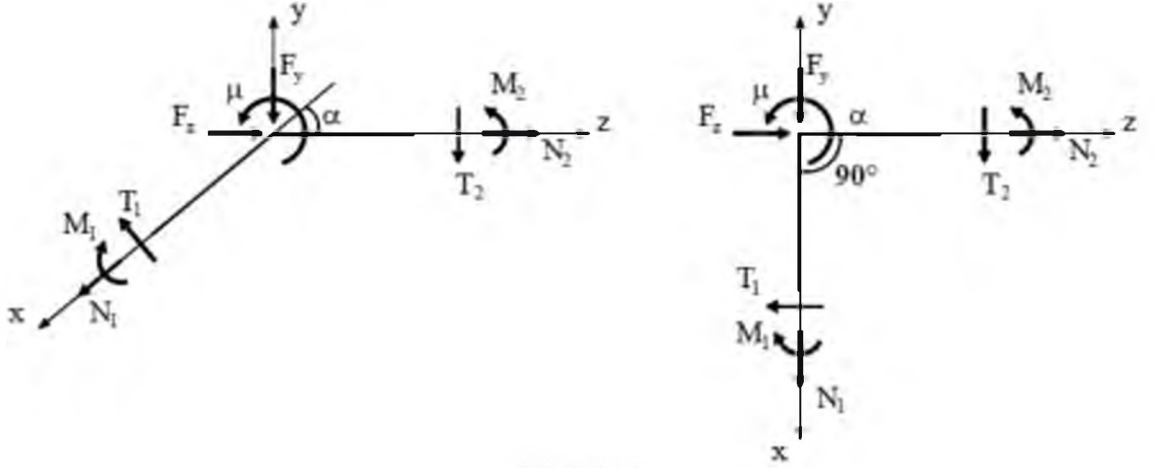
$$(M_x)_D = 14 \cdot 6 - 4 \cdot 4 \left(\frac{4}{2} + 2 \right) = 20 \text{ kNm}$$

$$(M_x)_B = 14 \cdot 8 - 4 \cdot 4 \left(\frac{4}{2} + 4 \right) = -8 \text{ kNm}$$

Bu değerler sol parçalar yerine sağ parçalar da alınarak hesaplanabilirdi. Uygulamada sol ve sağ parçalardan *hesabı en kısa olanını* seçmek gerekir.

6.2 Kırık Doğru Parçalarından Oluşan Kiriş ve Çerçevelerin Kesit Tesiri Diyagramları

Bu tür sistemlerin kesit tesiri diyagramlarının çizilmesinde yukarıda düz çubuklar için söylenen kurallar aynen geçerlidir. Bunlara ilâveten bir *köşe noktasından hemen önce ve hemen sonraki kesitlerdeki* kesit tesirleri arasındaki bağıntıları bilmek yararlı olur. Böyle bir köşe parçası Şekil 6.10a da gösterilmiştir. Köşe noktası F_x, F_y tekil yükleri ve μ tekil moment ile yüklüyse, parçanın denge şartlarından



Şekil 6.10

$$\left. \begin{aligned} N_2 &= N_1 \cos \alpha + Q_1 \sin \alpha - F_x \\ Q_2 &= Q_1 \cos \alpha - N_1 \sin \alpha - F_y \\ M_2 &= M_1 - \mu \end{aligned} \right\} \quad (6.12)$$

bağıntıları elde edilir. Köşede tekil yükler ve tekil moment mevcut değilse bu bağıntılar

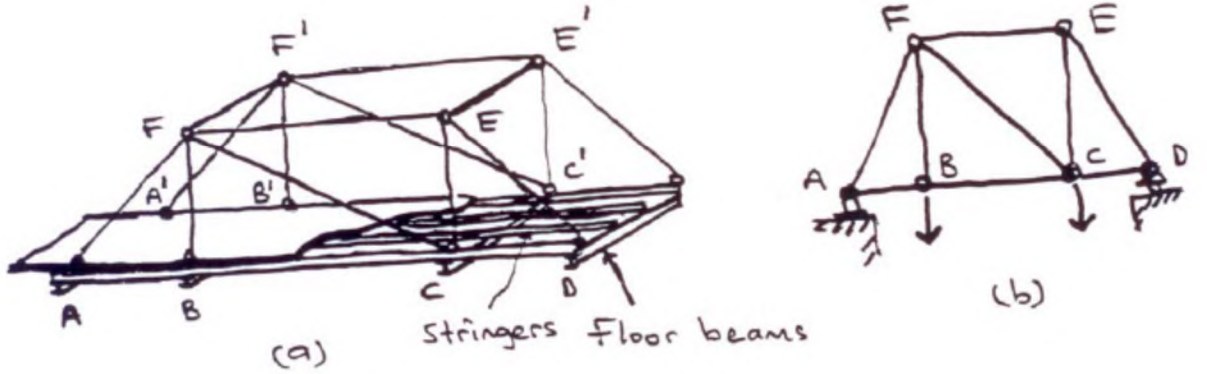
$$\left. \begin{aligned} N_2 &= N_1 \cos \alpha + Q_1 \sin \alpha \\ Q_2 &= Q_1 \cos \alpha - N_1 \sin \alpha \\ M_2 &= M_1 \end{aligned} \right\} \quad (6.13)$$

şeklini alır. Köşe dik köşe ise, Şekil 6.10b, bu bağıntılar, yüklü halde

$$\left. \begin{aligned} N_2 &= Q_1 - F_x \\ Q_2 &= -N_1 - F_y \\ M_2 &= M_1 - \mu \end{aligned} \right\} \quad (6.14)$$

olur. Yüksüz halde (6.14) bağıntıları

KAFES SİSTEMLER



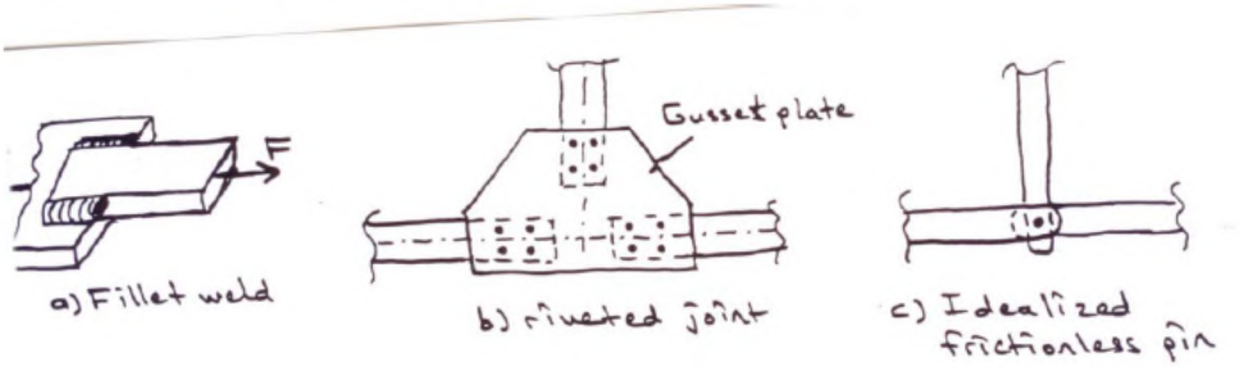
Şekil 1

1. Düzlem Kafes Sistemler

- Basit kafes sistemler
- Bileşik kafes sistemler
- Karmaşık kafes sistemler

2. Uzay kafes sistemler

Çelik kafes sistem elemanları olan çubuklar birbirleri ile düğüm noktalarında *kaynaklı* veya *perçinli* olarak bağlanabilirler, Şekil 2.



Şekil 2

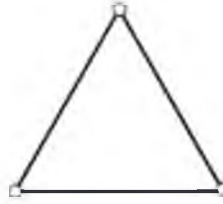
Kafes Sistemlere Ait Bazı Özellikler:

- Kafes sistemler düğüm noktası denilen noktalarda birleşen doğru eksenli çubuklardan oluşmuş çok parçalı sistemlerdir.

- Çubuklar uç noktalarında mafsal adı verilen düğüm noktalarıyla birbirlerine bağlanmıştır. Çubukların birleşim noktaları çözüm esnasında her ne kadar mafsal olarak alınsa da gerçekte çubuklar bu noktalarda kaynaklı veya perçinlidir, Şekil 2.
- Gerçek taşıyıcı sistemler birçok kafes kirişin bir uzaysal sistem oluşturacak şekilde birleştirilmesinden meydana gelir.
- Her bir kafes kiriş kendi düzleminde etkiyen yükleri taşıyıcı şekilde projelendirildiğinden iki boyutlu bir sistem gibi ele alınabilir.
- Etkiyen yükler köprülerde enleme ve boylama kirişleriyle, Şekil 1, çatılarda aşıklar vasıtasıyla düğüm noktalarına iletilir.
- Kafes kirişin çubukları sadece normal kuvvet etkisindeki elemanlar olarak göz önüne alınabilir.

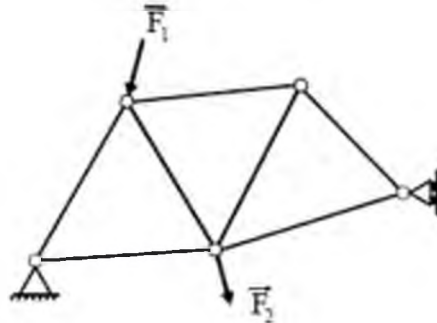
Basit Kafes Sistemler

Rijit çerçeve (Baz eleman) : En az sayıda çubuk ve düğüm noktası ile elde edilen ve düğüm noktalarının birbirlerine göre yer değiştirmeleri sıfır olan kafes sisteme *baz eleman* denir, Şekil 3.



Şekil 3

Rijit çerçeveye her bir adımda iki çubuk ve bir düğüm noktası ilave edilerek elde edilen kafes sistemlere *basit kafes sistemler* denir, Şekil 4.

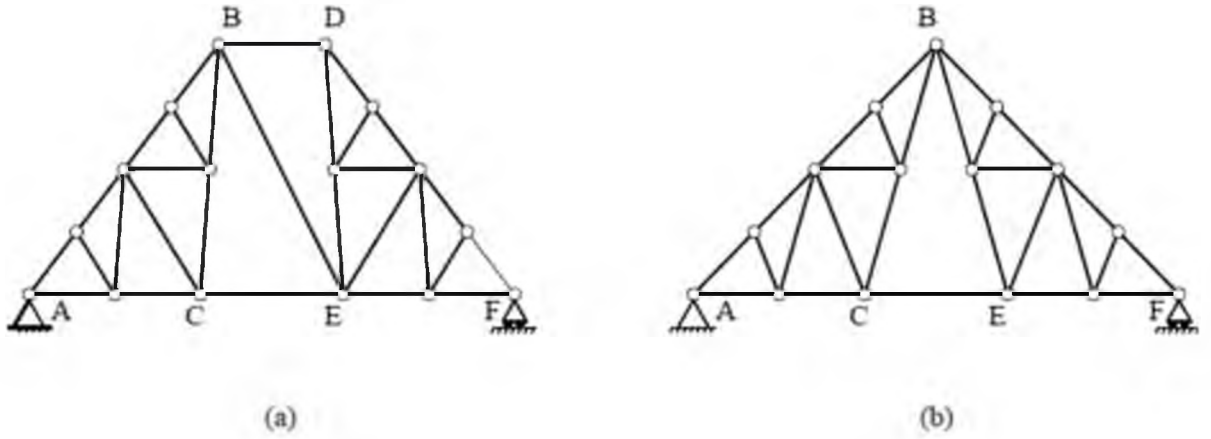


Şekil 4

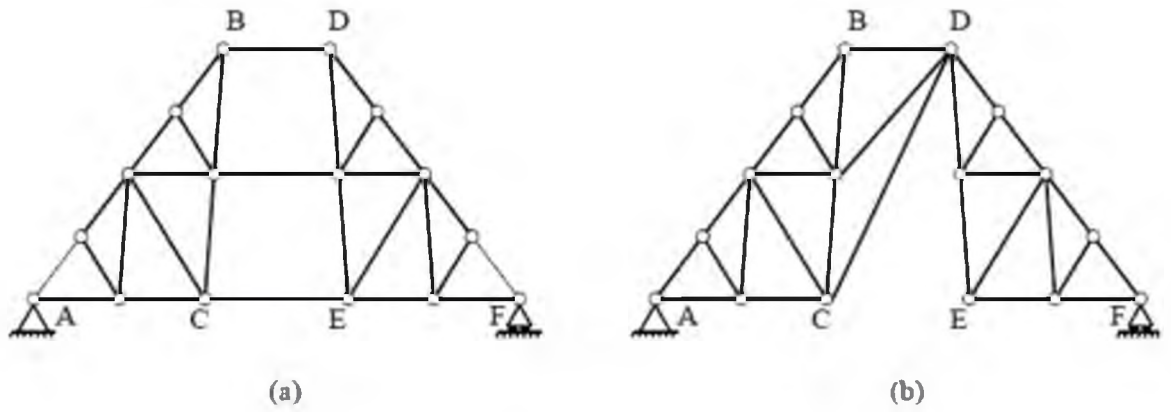
Bileşik Kafes Sistemler

Birden fazla basit kafes kirişin üç çubuk, Şekil 5a, veya bir çubuk ve bir mafsal ile birleştirilmesinden, Şekil 5b, elde edilen kafes sistemlere *bileşik kafes*

sistemler denir. Üç çubuk ile oluşturulan bileşik kafeslerde bu üç çubuk birbirlerine paralel ya da bir noktada kesişecek şekilde olursa **uyumsuz** bağlı kafes sistem meydana gelir, Şekil 6.



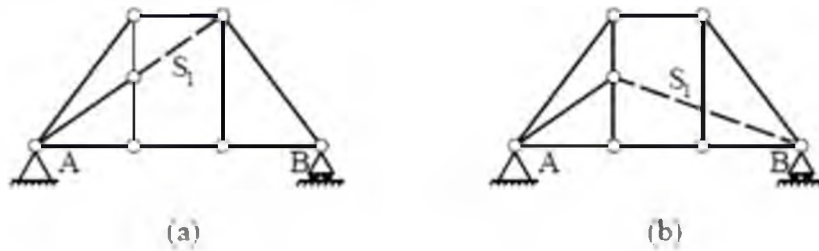
Şekil 5



Şekil 6

Karmaşık Kafes Sistemler

Belli bir kurala göre çubuk bağlantısı yapılmayan kafes sistemlere verilen addır. Karmaşık sisteme geçmek için genel bir yol basit ya da bileşik esasla bir sistem kurulduktan sonra bir veya birkaç çubuğun yerinin karmaşık kafes sistem elde edilecek şekilde değiştirilmesidir, Şekil 7.



Düzlem kafes sistemlerde hiperstatiklik derecesi

$$h = m + r - 2n$$

olarak hesap edilir. Burada m çubuk sayısı, r mesnet reaksiyonları sayısı, n düğüm noktası sayısıdır.

Kafes sistemlerde Çubuk Kuvvetleri İçin İşaretlendirme:

Çubuk kesitinin dış normal yönündeki kuvvet çekme kuvveti, aksi basınç kuvveti olarak isimlendirilir.



Şekil 8

Kafes Sistemlerin Çözüm Yöntemleri: Kafes sistemlerde analitik ve grafik olmak üzere iki çözüm yöntemi vardır. Bilgisayarların yaygınlaşmasıyla birlikte grafik yöntemlerin kullanımı giderek azaldığından burada bu çözüm yöntemi anlatılmayacaktır.

Analitik Çözüm Yöntemleri:

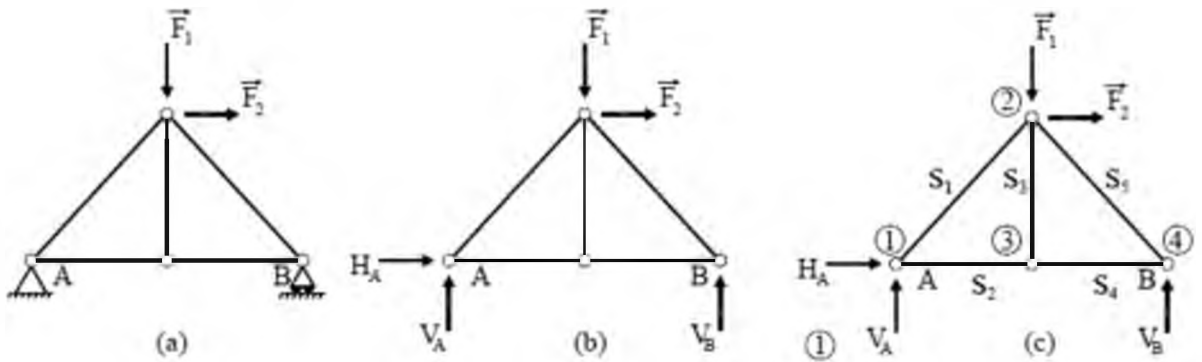
1. Düğüm noktası yöntemi
2. Ritter (Kesim) Yöntemi
3. Çubuk değiştirme (Henneberg) Yöntemi

1. Düğüm Noktası Yöntemi:

Söz konusu yöntemde her bir düğüm noktası mafsal olarak alındığından ve çubuklara düğüm noktaları dışında kuvvet uygulanmadığından düzlemde kesişen kuvvetlere ait iki denge denklemi her bir düğüm noktası için yazılarak tüm çubuk kuvvetleri bulunur.

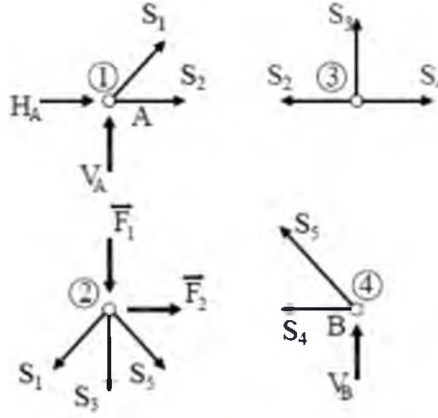
Çözümde İşlem Sırası:

- Tüm sistemin serbest cisim diyagramı çizilerek mesnet reaksiyonları bulunur



Şekil 9

- İki çubuğun kesiştiği bir düğüm noktasından başlanılarak bu noktanın serbest cisim diyagramı çizilir ve bilinen denge denklemleri kullanılarak çubuk kuvvetleri bulunur.

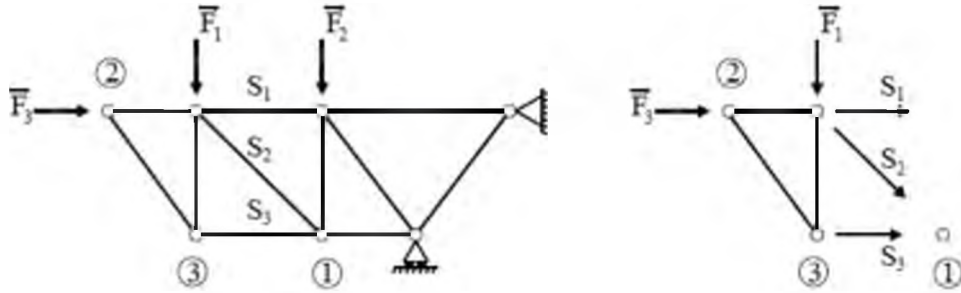


Şekil 10

- İlk seçilen düğüm noktasından sonra seçilecek düğüm noktasında da yine bilinmeyen çubuk sayısı en fazla iki olacak şekilde seçilir.
- Her düğüm noktasında bilinmeyen çubuk kuvvetleri çekme olarak alınır. Yani bu kuvvetler düğüm noktasından dışarıya doğru olmalıdır. Bu durumda bulunan çubuk kuvvetlerinin işareti ise (+) ise çekme, (-) ise basınç demektir. Bir düğüm noktasındaki çubuk kuvvetleri bulunduktan sonra bunların işaretleri de dikkate alınarak çubuk kuvvetleri bulunması istenen düğüm noktasına bilinen kuvvet olarak etki ettirilirlir.

2. Kesim Yöntemi

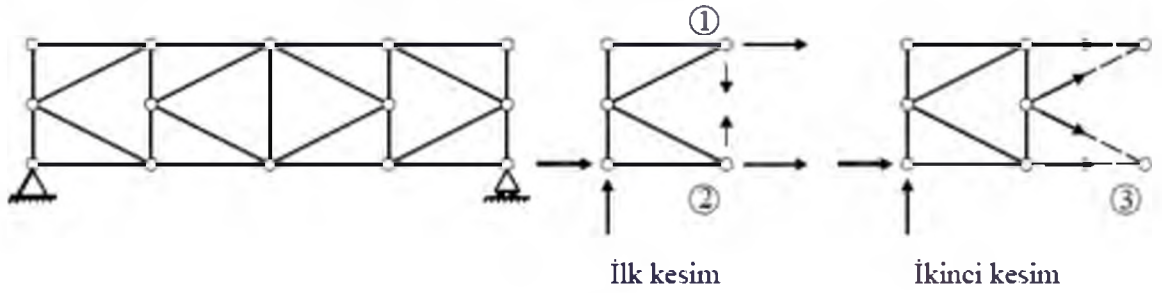
Kafes sistemin bazı çubuk kuvvetlerinin bulunması istendiğinde tercih edilmesi gereken bir yoldur.



Şekil 11

Çözümde İşlem Sırası:

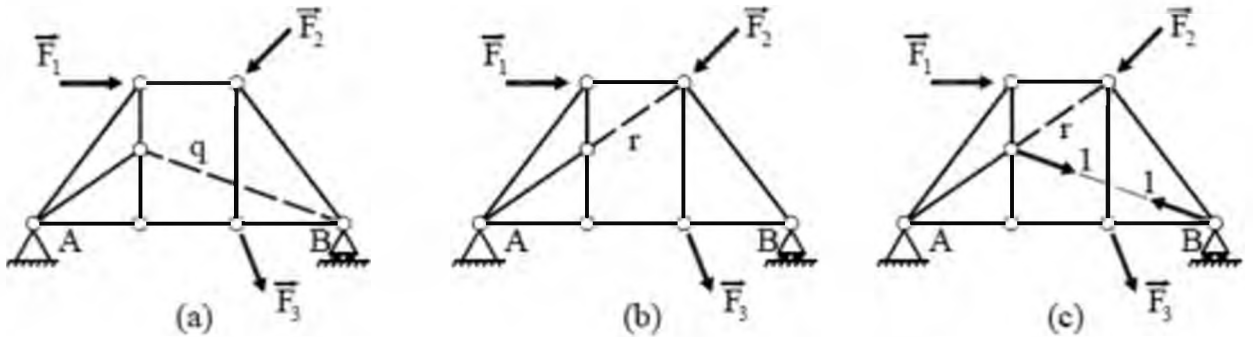
- Genellikle önce mesnet reaksiyonları bulunur. Bazı durumlarda mesnet reaksiyonlarının bulunmasına gerek kalmaz.
- Hangi çubuk kuvvetinin bulunması isteniyorsa bu çubuğu da kesecek şekilde sistem bir a-a kesimiyle en fazla üç çubuk kesilecek şekilde ikiye ayrılır.
- Ortaya çıkan kesilmiş iki parçadan en az işlem gerektiren ve üzerinde denge denklemleri en kolay uygulanabilen bir tanesi alınır ve bu parçaya üç adet denge denklemi uygulanır.
- Kesim yapıldığında çubuklarla ilgili oldukları düğüm noktalarına çekme kuvvetleri olarak etki ettirilirlir. Hesap sonucunda bazı çubuk kuvvetlerinin işaretleri negatif çıkarsa bu çubukların basınç çubukları oldukları anlaşılır.
- Eğer bir kafes sistem ikiye ayrılırken üçten fazla kesim yapılması zorunlu ise bu durumda üç adet denge denklemi bilinmeyenleri bulmak için yeterli olmayıp üçten fazla kesilmiş her çubuk sayısı kadar ilave denkleme ihtiyacı vardır.



Şekil 12

3. Çubuk Değiştirme Yöntemi:

Karmaşık olan bir sistem bir çubuğun yeri değiştirilerek basit sisteme dönüştürülür. Daha sonra da yeni sistem bilinen yöntemlerden biriyle çözülür. Çözülen yeni sistem ilk sistemden farklı olduğundan gerçek çubuk kuvvetlerinin tayini için sonuçlarda bir düzeltmeye gitmek gereklidir. Metot karışık sistemlere uygulandığı gibi bileşik hatta basit sistemlere de rahatlıkla tatbik edilebilir. Bileşik ve basit sistemlere uygulamada amaç çözümü daha sade hale getirmektir.



Şekil 13

Çözümde İşlem Sırası:

- Şekildeki q çubuğu r ile değiştirilirse bir basit kafes sistem elde edilir. Bu sistemin çubuk kuvvetleri düğüm noktaları yöntemiyle çözülmüş olsun. Burada S_r değiştirilen çubuğun üzerine gelen kuvvettir ve gerçekte böyle bir kuvvet yoktur. Bu yeni sistemin çubuk kuvvetleri şu ana kadar anlatılan iki yöntemden biriyle çözülmüş olsun; söz konusu çubuk kuvvetleri

$$S_1, S_2, \dots, S_{10}, S_r$$

olur.

- Bu aşamada bir düzeltmeye gidilir. Bunun için c şeklinde görüldüğü gibi değiştirilmiş sistemde kaldırılan q çubuğunun doğrultusunda, bu çubuğun bağlı olduğu düğüm noktalarına birim şiddette çekme kuvvetleri uygulanır. Tüm dış kuvvetler sıfır alınarak sadece bu birim kuvvetler altında sistem çözülmüş çubuk kuvvetleri

$$S'_1, S'_2, \dots, S'_{10}, S'_r$$

olarak elde edilir. Birim yükleme yerine bunun p katı kadar bir kuvvet uygulanmış olsaydı çubuk kuvvetleri

$$pS'_1, pS'_2, \dots, pS'_{10}, pS'_r$$

olurdu.

- Bu aşamada dış kuvvetlerle birlikte (p, p) kuvvetlerinin birlikte etkimesi sonucunda çubuk kuvvetleri olan

$$\bar{S}_1, \bar{S}_2, \dots, \bar{S}_{10}, \bar{S}_r$$

büyükliklerinin her biri

$$(S_1 + pS'_1), (S_2 + pS'_2), \dots, (S_{10} + pS'_{10}), (S_r + pS'_r)$$

olur.

- Son olarak gerçek kafes sistemde r çubuğu bulunmadığına göre, bu kuvvetin sıfır olması için p kuvvetinin ne olması gerektiği bulunmalıdır. Yani

$$(S_r + pS'_r) = 0 \rightarrow p = \frac{-S_r}{S'_r}$$

olmalıdır. Bu sonuçde yerine konursa gerçek sistemin çubuk kuvvetleri $(S_1 - \frac{S_r}{S'_r} \cdot S_1), (S_2 - \frac{S_r}{S'_r} \cdot S_2), \dots, (S_{10} - \frac{S_r}{S'_r} \cdot S_{10})$

Burada kaldırılmış olan çubuğun üzerindeki kuvvet $S_q = p$ olup,

$$\frac{-S_r}{S'_r} \cdot S_i$$

terimleri de düzeltme katsayılarıdır.