



balkar

PATLAMAYA DAYANIKLI BİNA TASARIMI (BLAST RESISTANT BUILDING DESIGN)

İnş. Yük. Müh. Mustafa MUNZUROĞLU

HSBC Genel Müdürlük Binası

Levent-İstanbul Terör Saldırısı

20 Kasım 2003

Nitrik Asit, Hidrojen Peroksit, Aseton,

Suni Gübre Karışımı

2350kg

Yapısal Analiz ve Tasarım:

Balkar Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti.



İÇERİK

- Patlamaya Dayanıklı Bina Tasarımının (PDBT) Sebepleri
- Patlama Çeşitleri ve Patlama Tanımları
- PDBT Adımları
- PDBT' ında Kullanılan Metodlar
- Patlama Yükünün Tanımlanması
- Taşıyıcı Sistem Seçimi
- Malzeme Tanımlamaları ve Performans Limitleri
- Dinamik Analiz Metodları
- Örnek Yapı Çözümü

PATLAMAYA DAYANIKLI BİNA TASARIMININ (PDBT) SEBEPLERİ

- Can Kaybını Önlemek
- Ekonomik Etkenler
- Çevresel Etkenler
- Kontrollü Durdurabilme



PATLAMA ÇEŞİTLERİ VE PATLAMA TANIMLARI

- Buhar Bulutu Patlamaları
- Basınçlı Kap Patlamaları
- Yoğun Faz Patlamaları
- Yanıcı Atık Patlamaları



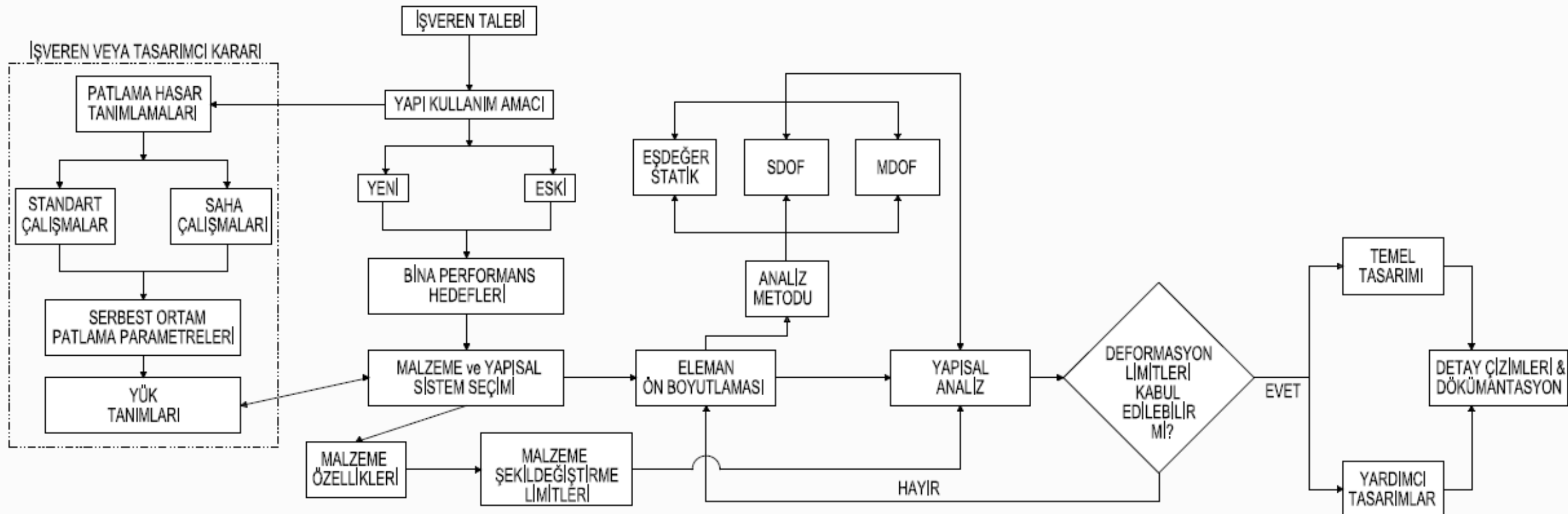
PATLAMA ÇEŞİTLERİ VE PATLAMA TANIMLARI

- Buhar Bulutu Patlamaları
- Basınçlı Kap Patlamaları
- Yoğun Faz Patlamaları
- Yanıcı Atık Patlamaları



PDBT ADIMLARI

- Tasarım Hedefi Belirlemek
- Tasarıma Esas Patlama Türünü Belirlemek
- Performans Limitlerini Belirlemek
- Patlama Yükünü Belirlemek
- Yapısal Sistem Seçimi
- Malzeme Seçimi
- Yapısal Analiz ve Eleman Tasarımı
- Tasarımın Sonlandırılması ve Detay Çizimleri



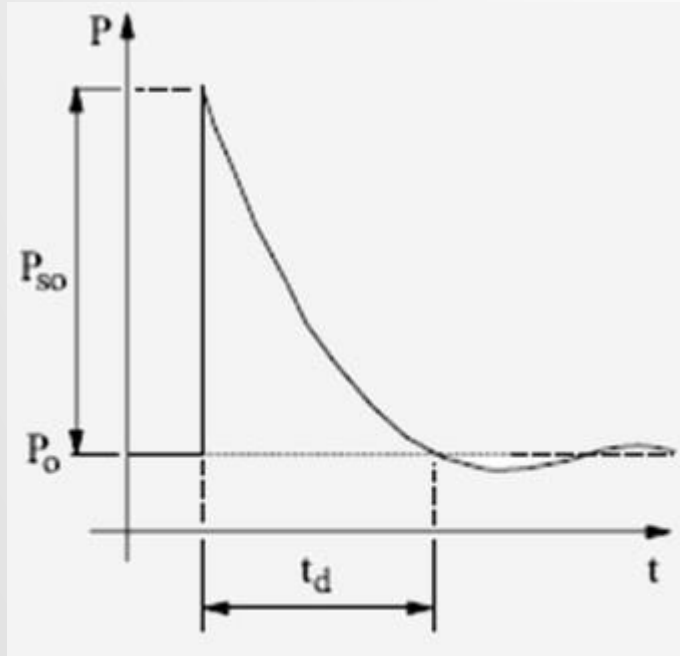
PDBT' INDA KULLANILAN METODLAR

- Eşdeğer Statik Yükleme
- Konvansiyonel Statik Tasarım Metodları (Bradford&Culbertson)
- Basitleştirilmiş Dinamik Tasarım Metodları (Forbes 1982)
- Doğrusal Olmayan Çok Serbestlik Dereceli Dinamik Analiz

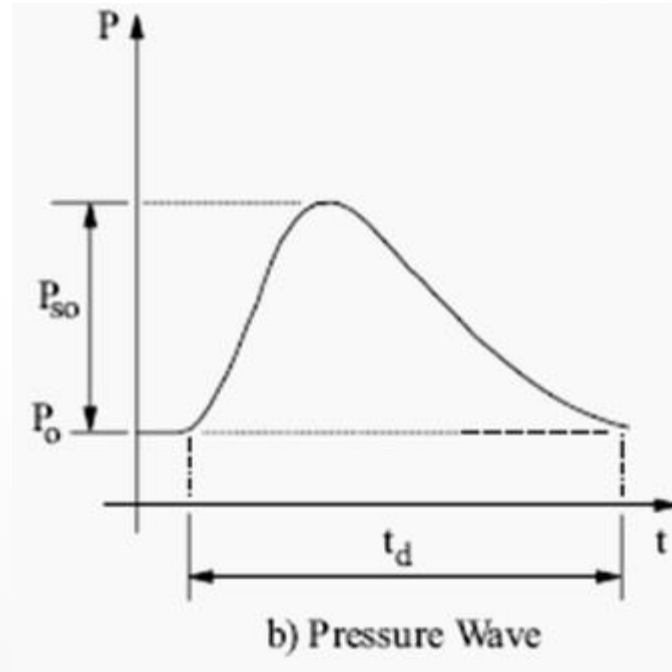
PATLAMA YÜKÜNÜN TANIMLANMASI

- Patlama Dalgası Türü

- Şok Dalgası



- Basınç Dalgası



- Patlama Dalgası Parametreleri

I_0 : Pozitif Faz İtkisi

Üçgen Dalga için **$0.50P_{s0} t_d$**

Yarım Sinüs Dalgası için **$0.64P_{s0} t_d$**

Exponansiyel Geciken Şok Dalgası için **$cP_{s0}t_d$**

P_{s0} : En şiddetli Yön Pozitif Aşırı Basınç/Emme

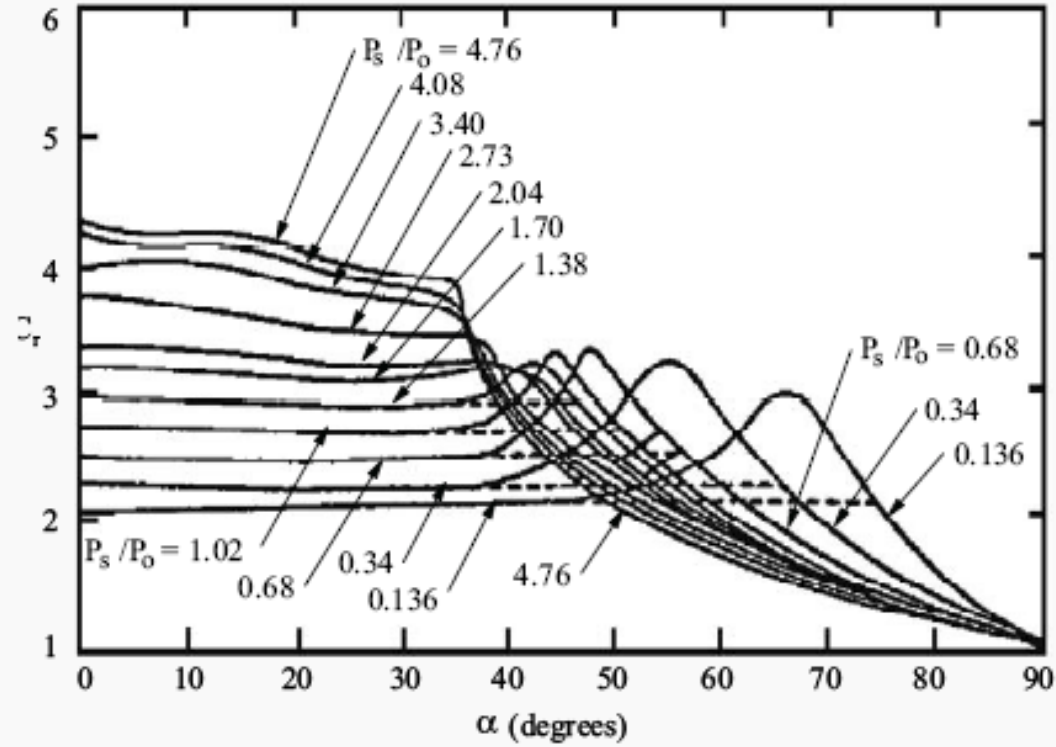
t_d : Pozitif Faz Süresi

c : P_{s0} 'a bağlı olarak 0.20 – 0.50 arasında değişen katsayı

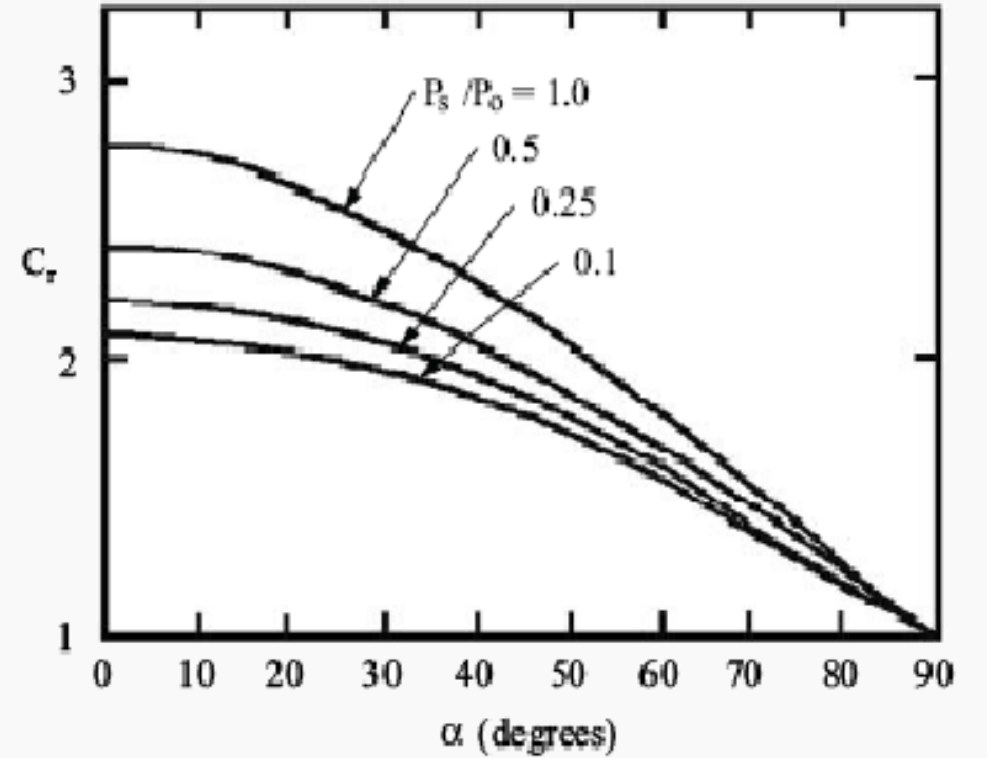
P_r : Maksimum Yansıyan Basınç

$$P_r = C_r P_{s0}$$

C_r : Yansımaya Katsayısı



ŞOK DALGASI



BASINÇ DALGASI

q_0 : Maksimum Dinamik Basınç

$$q_0 = 0.0032 P_{s0}^2 \quad [\text{Kpa}]$$

U : Şok Öncü Hızı

$$U = 345(1 + 0.0083 P_{s0})^{0.5}$$

L_w : Patlama Dalgası Uzunluğu

$$L_w = U t_d$$

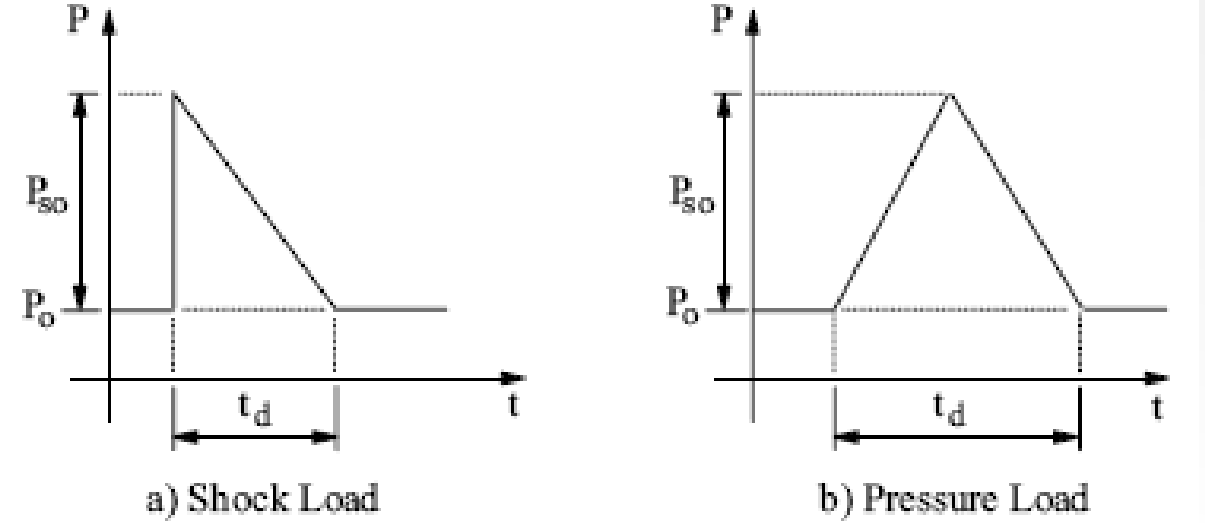
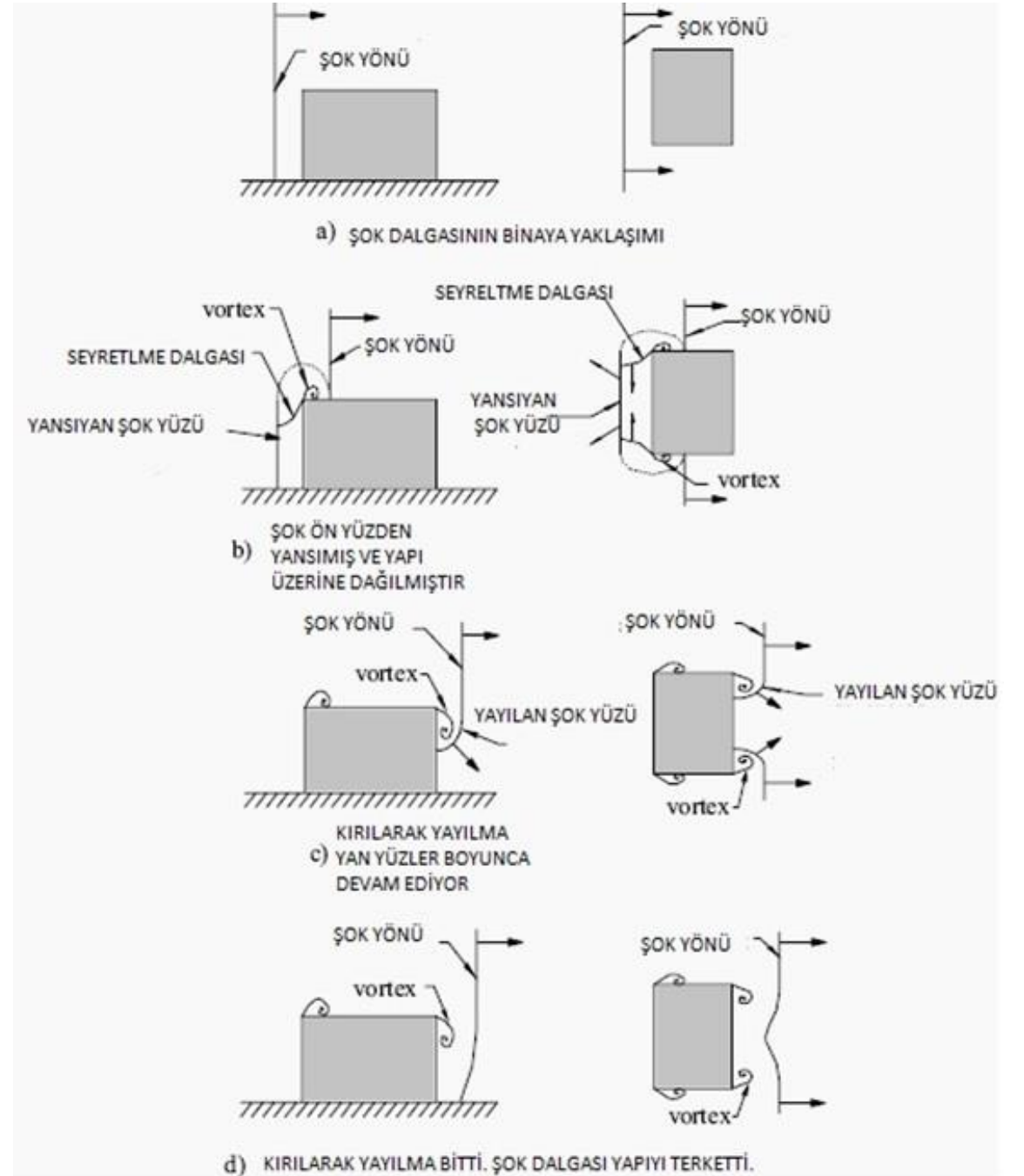
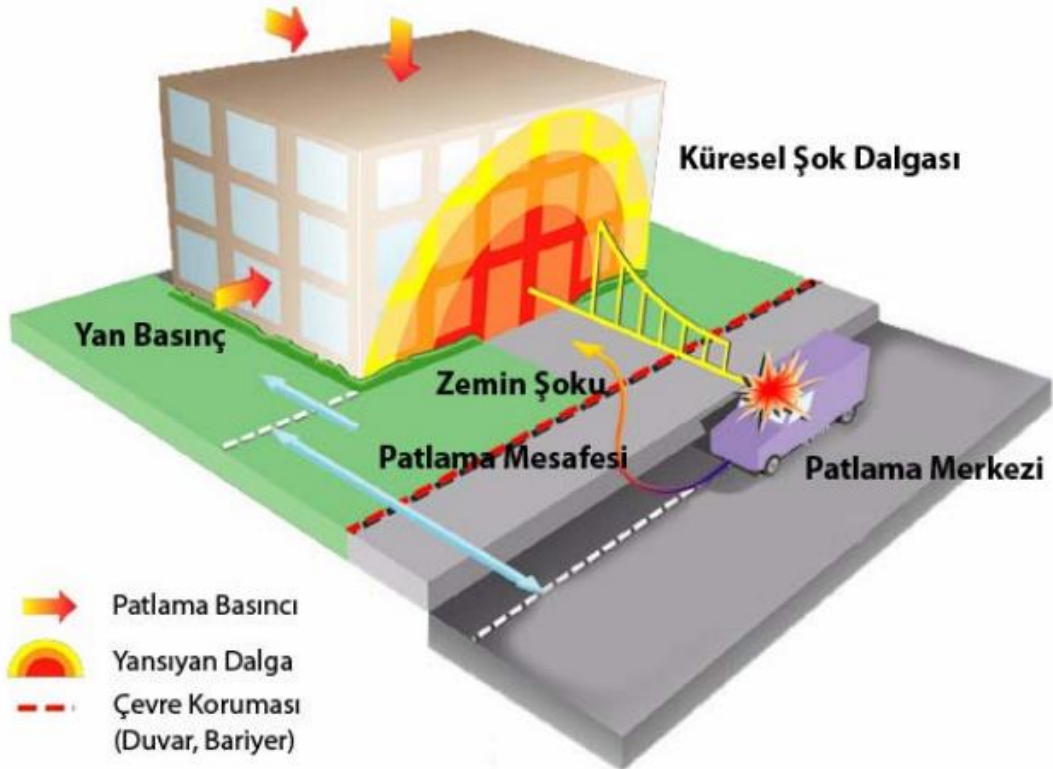


FIGURE 3.3: Idealized Shock and Pressure Loads

- Dikdörtgen Bir Yapıda Patlama Dalgalarının Yayılışı



TAŞIYICI SİSTEM SEÇİMİ

ÖN-ÜRETİMLİ ÇELİK YAPILAR

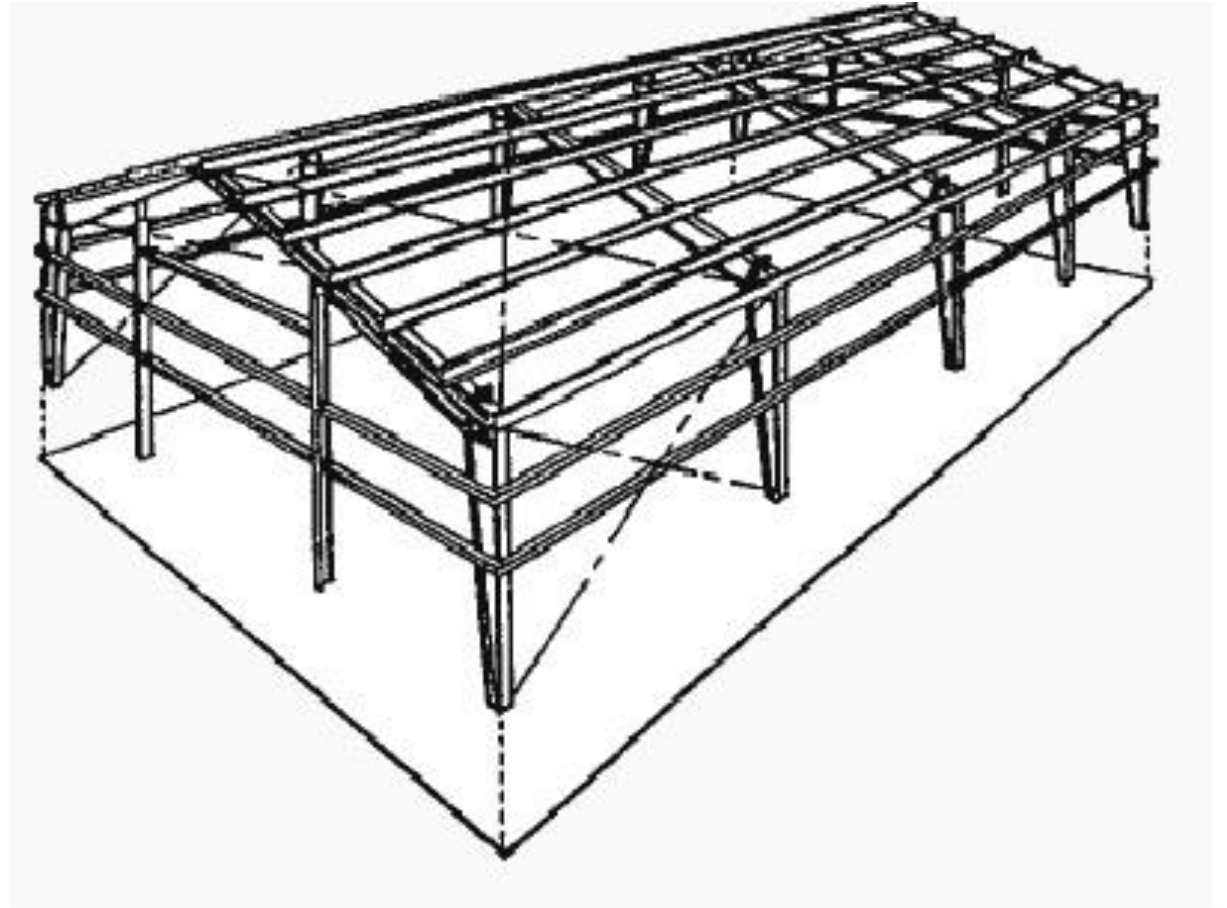
- Elemanlar sık aralıklar ile yerleştirilmeli
- Kesitler simetrik seçilmeli
- Temel ve çatıda ankraj çubukları ve panel perde bağlantıları güçlendirilmeli
- Kaplamalar gibi yapısal olmayan elemanlar için önlem alınmalı
- Kolonların bağlantıları rijit çözülmeli
- Bu tür çelik yapılar 2.1 t/m^2 patlama basıncı altındaki yüklerde ekonomiktir.

YIĞMA DUVARLI YAPILAR

- Düşey yükler çelik veya betonarme kolonlar tarafından karşılanır
- Yığma perdeler yatay yüklerin büyük bölümünü taşır
- Yığma perdeler çerçeveler ile özel bağlantı elemanları ile bağlanır
- Bu tür yığma yapılar 2.1t/m^2 patlama basıncı altındaki yüklerde ekonomiktir.

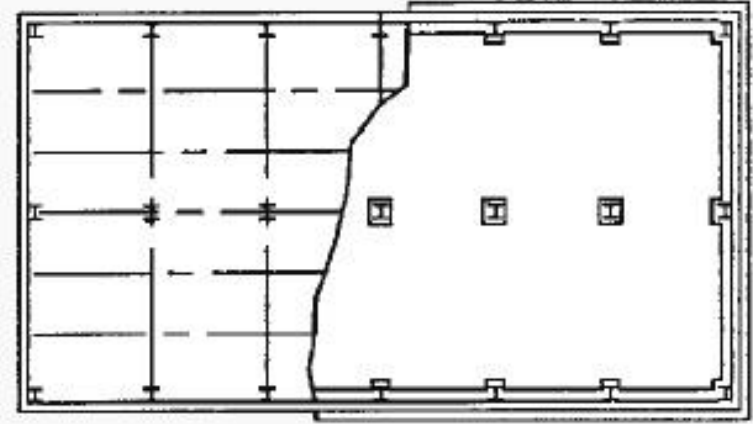
METAL PANELLİ ÇELİK YAPILAR

- Ana taşıyıcı ısı işlem görmüş çelik profillerden oluşturulmuştur
- Cephe duvarları kalın metal plakalardan veya kalın sandwich panellerden teşkil edilmiştir
- Yatay ve düşey yüklerin tamamı çelik çerçeveler tarafından karşılanır
- Düğüm noktaları plastik deformasyon limitlerine ulaşabilecek şekilde tasarlanmıştır
- Bu tür çelik yapılar 2.1 t/m^2 patlama basıncı altındaki yüklerde ekonomiktir.

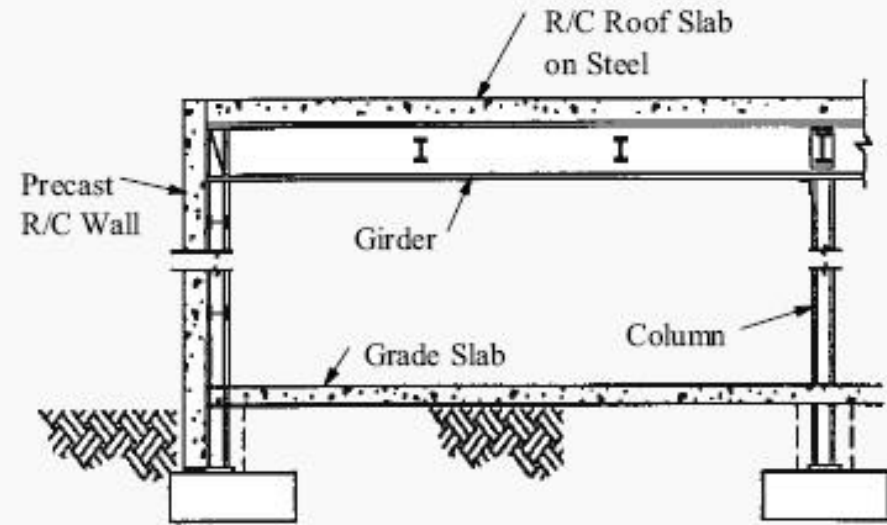


PRECAST BETONARME PERDELI YAPILAR

- Ana taşıyıcı precast betonarme duvarlar ve çelik ve/veya betonarme çerçeve elemanlardır
- Çerçeve elemanlar tüm düşey yükleri karşılayacak şekilde tasarlanır
- Precast perdeler yatay yükleri karşılayacak şekilde tasarlanır
- Precast paneller arasında sünek bağlantılar yapılması esastır
- Çatı genelde kompozit döşeme olarak tasarlanır
- Bu tür yapılar 4.8-6.9 t/m² patlama basıncı aralığındaki yüklerde ekonomiktir.



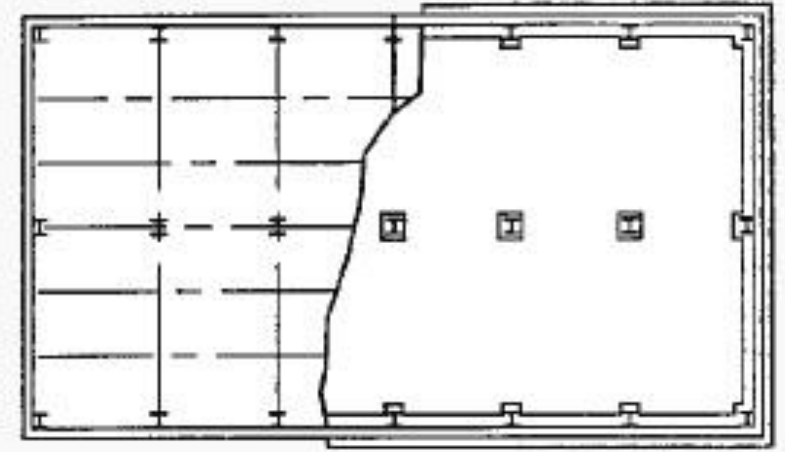
PLAN



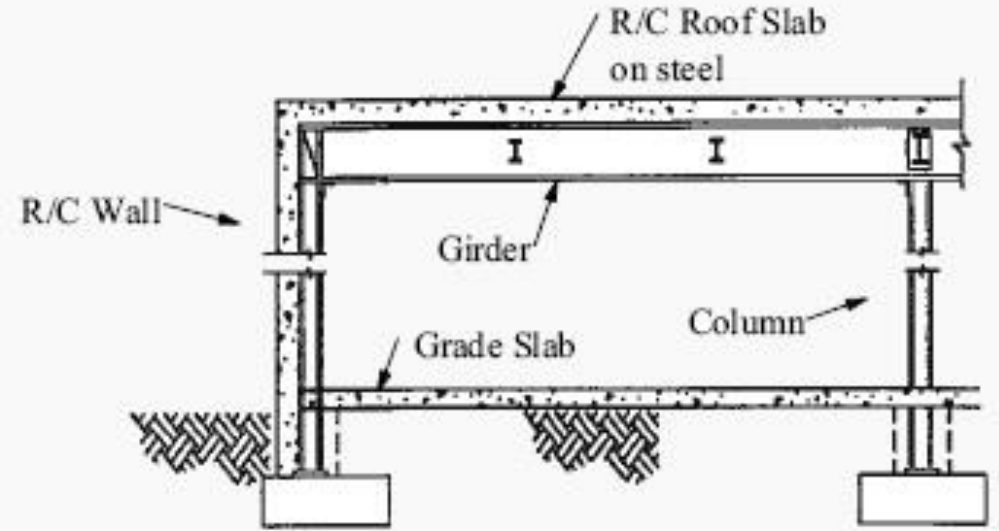
KESİT

YERİNDE DÖKME BETONARME PERDELİ YAPILAR

- Precast betonun ekonomik veya pratik olmadığı durumlarda kullanılırlar
- Yatay yükler perdeler tarafından karşılanır
- Düşey yükler betonarme ve/veya çelik çerçeveler tarafından karşılanırlar
- Perde elemanlarının kalınlıkları patlama yüküne bağlı olarak belirlenir
- Bu tür yapılar 4.8 t/m^2 patlama basıncından daha büyük yüklerde kullanılırlar



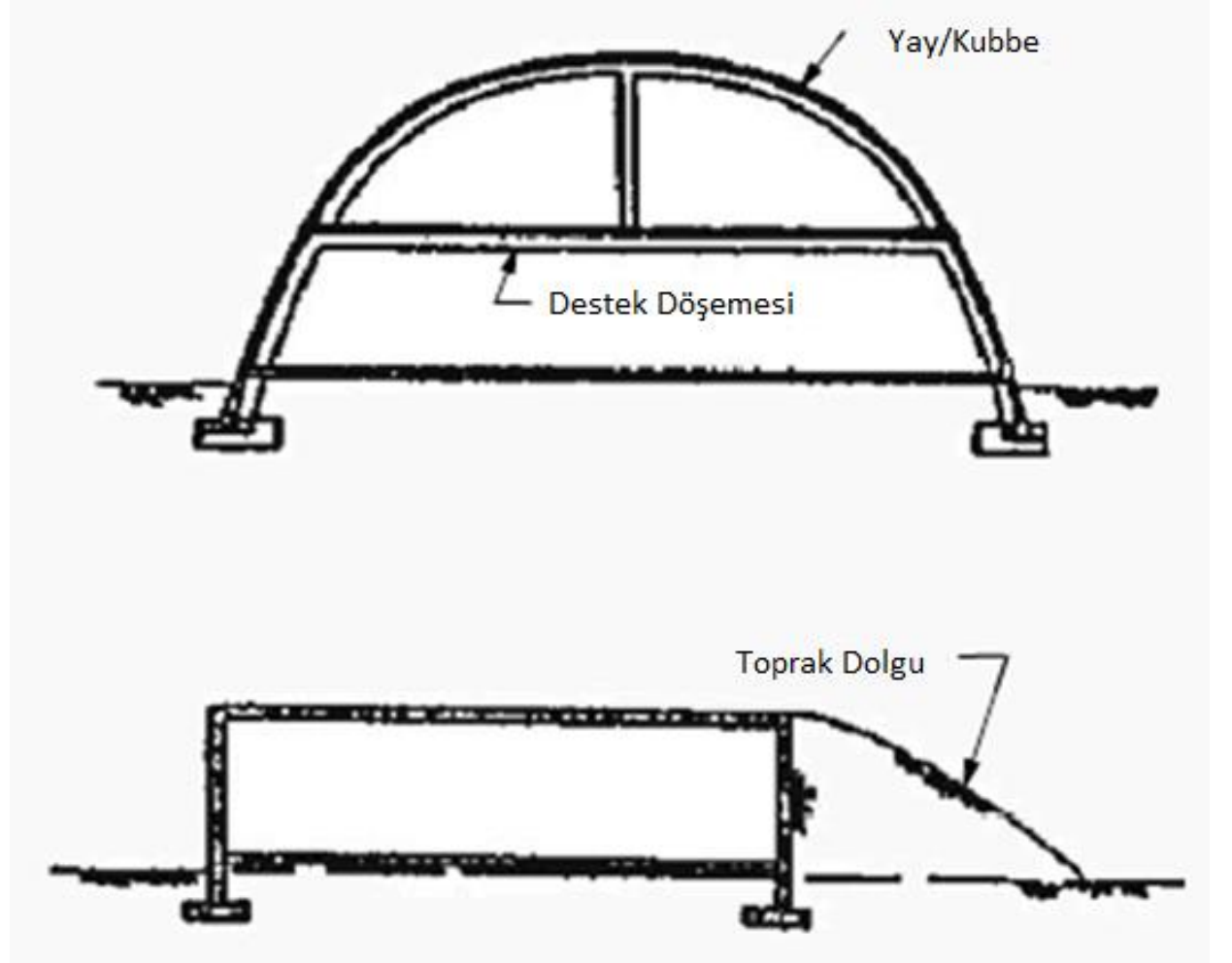
PLAN



KESİT

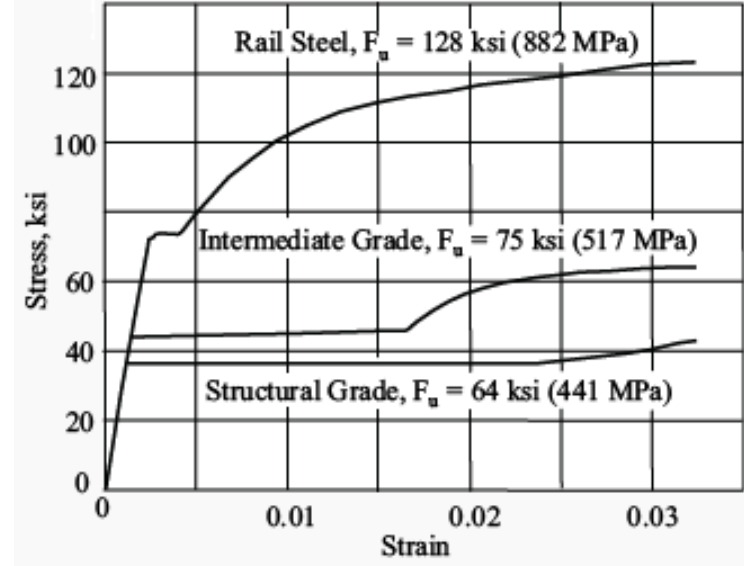
DİĞER SİSTEMLER

- Ön-Üretimli Betonarme Kutular
- Yay ve Kubbe Türü Yapılar
- Toprağa Gömülü Yapılar
- Portatif Yapılar

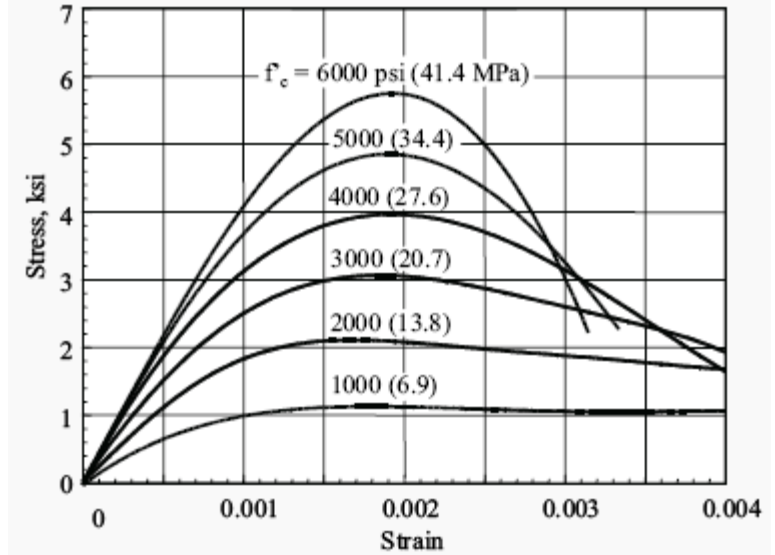


MALZEME TANIMLARI

- Beton ve Donatı Malzeme Gerilme-Şekildeğiştirme Diyagramları



Çelik Gerilme-Şekildeğiştirme Diyagramı



Beton Gerilme-Şekildeğiştirme Diyagramı

MALZEME TANIMLARI

- Dayanım Artırma Katsayıları

| Material | SIF |
|---|------|
| Structural Steel ($F_y \leq 345$ MPa) | 1.10 |
| Reinforcing Steel ($F_y \leq 345$ MPa) | 1.10 |
| Cold-Formed Steel | 1.21 |
| Concrete | 1.00 |

MALZEME TANIMLARI

- Dinamik Artırma Katsayıları

| Gerilme Türü | DIF | | | |
|----------------|--------------------|--------------|----------------|----------------|
| | Betonarme Donatısı | | Beton | Yığma |
| | F_{dy}/F_y | F_{du}/F_u | f'_{dc}/f'_y | f'_{dm}/f'_m |
| Eğilme | 1.17 | 1.05 | 1.19 | 1.19 |
| Basınç | 1.10 | 1.00 | 1.12 | 1.12 |
| Diagonal Çekme | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Direkt Kesme | 1.10 | 1.00 | 1.10 | 1.00 |
| Sıyırılma | 1.17 | 1.05 | 1.00 | 1.00 |

| Malzeme | DIF | | |
|----------------------------------|--------------|--------------|-------------------|
| | Yield Stress | | En yüksek Gerilme |
| | Eğilme/Kesme | Çekme/Basınç | |
| | F_{dy}/F_y | F_{dy}/F_y | F_{du}/F_u |
| ASTM A36 | 1.29 | 1.19 | 1.10 |
| ASTM A588 | 1.19 | 1.12 | 1.05 |
| ASTM A514 | 1.09 | 1.05 | 1.00 |
| ASTM A653 | 1.10 | 1.10 | 1.00 |
| SAE AMS5501 (Stainless Steel) | 1.18 | 1.15 | 1.00 |
| SAE AMS4113 (Aluminum) | 1.02 | 1.00 | 1.00 |

PERFORMANS LİMİTLERİ

- Yapı Hasar Sınırları

| Hasar Sınırı | Tanım |
|--------------|--|
| Düşük | Lokal eleman hasarları mevcut. Yapı kullanılabilir ancak güçlendirme gerekli. Güçlendirme bütçesi orta seviyelerde. |
| Orta | Yaygın eleman hasarı. Yapı onarım yapılmadan kullanılamaz. Onarım bütçesi ciddi seviyede. |
| Yüksek | Kritik elemanlarda ciddi hasarlar var ve yapı çevresel koşullardan dolayı yıkılabilir durumda (Kar, rüzgar, yağmur) Yapı kullanılamaz durumda. Onarım bütçesi yenileme ile aynı seviyede. |

PERFORMANS LİMİTLERİ

- Eleman Hasar Sınırları

| | |
|--------|---|
| Düşük | Elemanda gözle görülür bir hasar yok |
| Orta | Elemanda bazı kalıcı şekildeğişiklikler mevcut. Bunlar onarılabilir. Gerekli durumlarda yenileme ekonomi ve estetik açısından tercih eilebilir. |
| Yüksek | Eleman göçme öncesi sınırdadır. Onarılamaz durumda. |

PERFORMANS LİMİTLERİ

- Çelik Elemanlar

| Component | Low Response | | Medium Response | | High Response | |
|--|--------------|------------|-----------------|------------|---------------|------------|
| | μ_a | θ_a | μ_a | θ_a | μ_a | θ_a |
| Hot Rolled Steel Compact Secondary Members (Beams, Girts, Purlins) ² | 3 | 2 | 10 | 6 | 20 | 12 |
| Steel Primary Frame Members (with significant compression) ^{2,3,4} | 1.5 | 1 | 2 | 1.5 | 3 | 2 |
| Steel Primary Frame Members (without significant compression) ^{2,3,4} | 1.5 | 1 | 3 | 2 | 6 | 4 |
| Steel Plates ⁷ | 5 | 3 | 10 | 6 | 20 | 12 |
| Open-Web Steel Joists | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 |
| Cold-Formed Light Gage Steel Panels (with secured ends) ^{5,8} | 1.75 | 1.25 | 3 | 2 | 6 | 4 |
| Cold-Formed Light Gage Steel Panels (with unsecured ends) ^{6,8} | 1.0 | - | 1.8 | 1.3 | 3 | 2 |
| Cold-Formed Light Gage Steel Beams, Girts, Purlins and Non-Compact Secondary Hot Rolled Members ⁸ | 2 | 1.5 | 3 | 3 | 12 | 10 |

PERFORMANS LİMİTLERİ

- Betonarme ve Yiğma Elemanlar

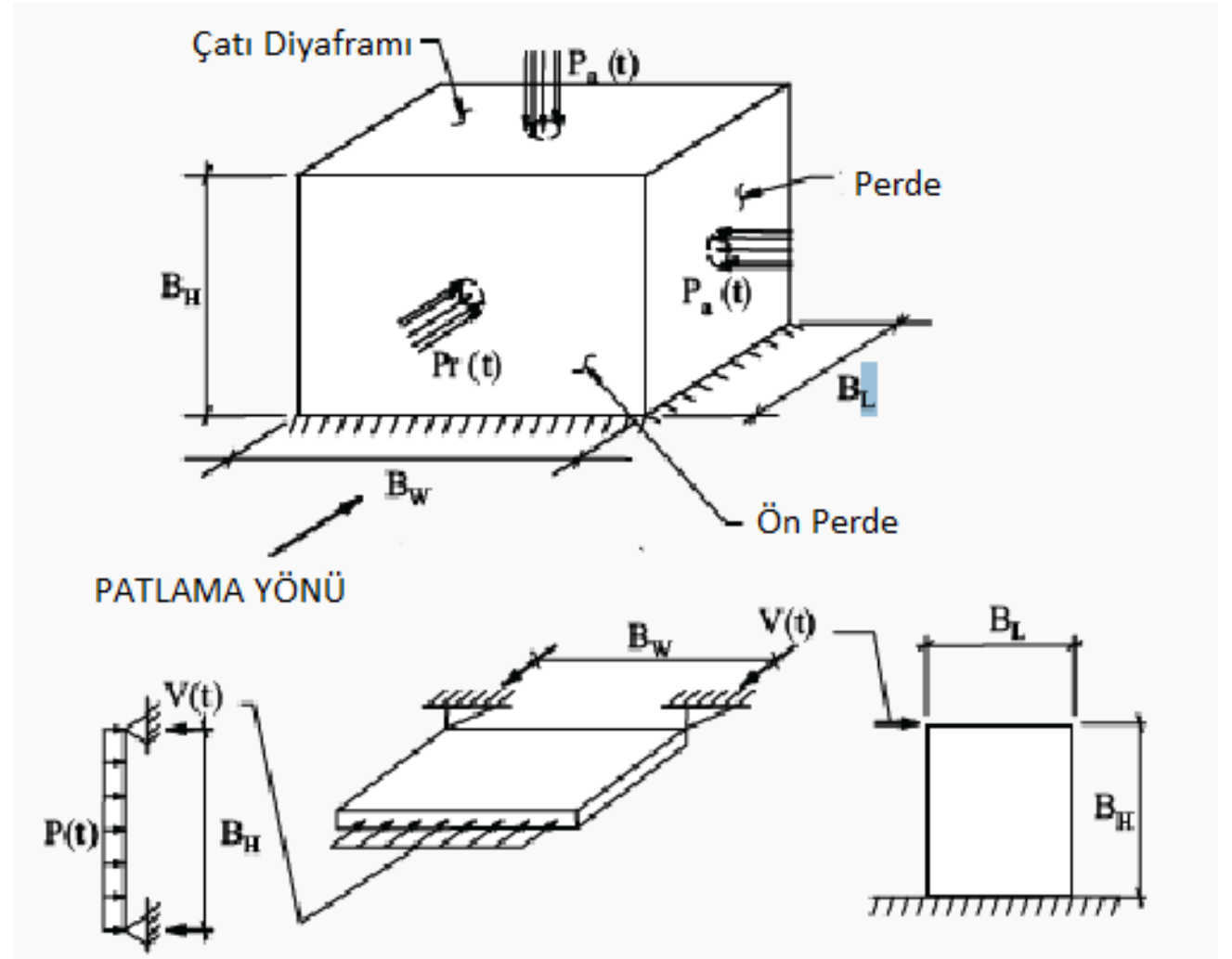
| Component | Low Response | | Medium Response | | High Response | |
|---|--------------|------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| | μ_a | θ_a | μ_a | θ_a | μ_a | θ_a |
| R/C Beams, Slabs, & Wall Panels (no shear reinforcement) | | 1 | | 2 | | 5 |
| R/C Beams, Slabs, & Wall Panels (compression face steel reinforcement and shear reinforcement in maximum moment areas) | | 2 | | 4 | | 6 |
| Reinforced Masonry | | 1 | | 2 | | 5 |
| R/C Walls, Slabs, and Columns (in flexure & axial compression load) ² | | 1 | | 2 ⁴ | | 2 ⁴ |
| R/C and R/M Shear Walls & Diaphragms | 3 | | 3 | | 3 | |
| R/C and R/M Components (shear control, without shear) | 1.3 | | 1.3 | | 1.3 | |
| R/C and R/M Components (shear control, with shear) | 1.6 | | 1.6 | | 1.6 | |
| Prestressed Concrete ($w_p \leq 0.15$) ³ | 1 | | | 1 | | 2 |
| Prestressed Concrete ($0.15 < w_p < 0.3$) ³ | 1 | | 0.25/ w_p | 1 | 0.29/ w_p | 1.5 |

DİNAMİK ANALİZ METODLARI

- Anahtar Hedefler
- Her elemanın maksimum rölatif şekildeğiştirmesi
- Plastik mafsal noktalarındaki rölatif dönme açıları
- Mesnet elemanlarına aktarılan dinamik reaksiyonlar
- Tepki (geri gelme)' den kaynaklanan şekildeğiştirme ve reaksiyonlar

DİNAMİK ANALİZ METODLARI

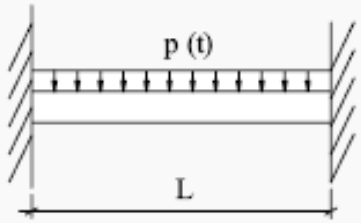
- Yük Akış Şeması



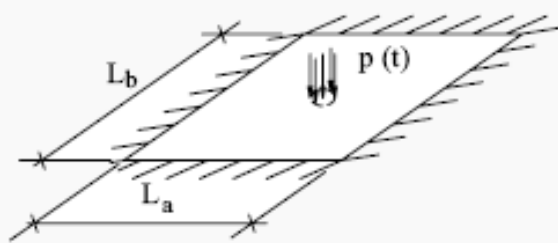
DİNAMİK ANALİZ METODLARI

- Eşdeğer Statik Yöntem
- Tek Serbestlik Dereceli Sistem
- Çok Serbestlik Dereceli Sistem

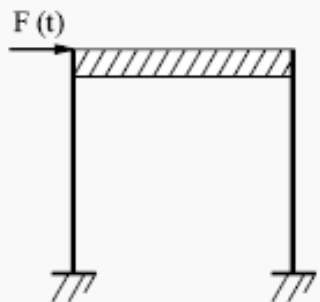
- Tek Serbestlik Dereceli Sistem



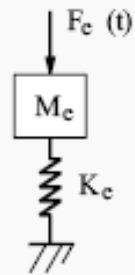
a) Kiriş



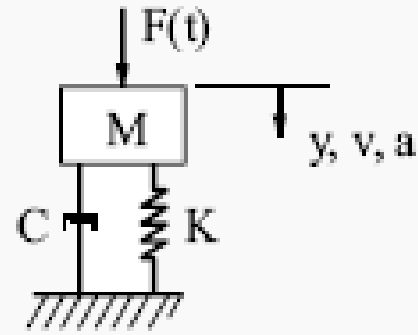
b) Döşeme



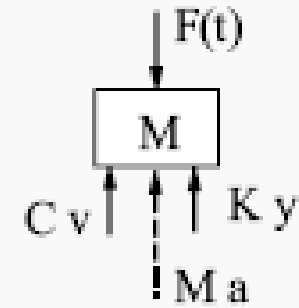
c) Tek Katlı Çerçeve



d) Equivalent SDOF System



a) Sönümlü SDOF System



b) Serbest Cizim Diyagramı

- Tek Serbestlik Dereceli Sistem

$$M a + C v + K y = F (t)$$

M : Kütle

a : İvme

c : Viskoz Sönüm Katsayısı

v : Hız

K : Rijitlik

y : Deplasman

F : Patlama Kuvveti

t : Zaman

Not: PDBT'ında sönüm güvenli tarafta kalınarak genellikle ihmal edilir.

• Tek Serbestlik Dereceli Sistem

$$M \ddot{a} + K y = F(t)$$

$$M \ddot{a} + R = F(t) \quad R = \min [K y ; R_u]$$

Transformasyon Katsayıları:

$$\text{Eşdeğer Rijitlik, } K_e = K_L K$$

$$\text{Eşdeğer Kütle, } M_e = K_M M$$

$$\text{Eşdeğer Kuvvet, } F_e = K_L F$$

$$\text{Eşdeğer Direnç, } R_e = K_L R$$

Burada;

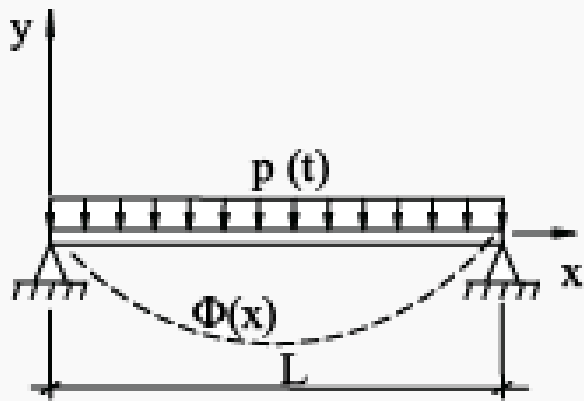
K_L : Yük veya rijitlik transformasyon katsayısı

K_M : Kütle transformasyon katsayısı

$$M_e \ddot{a} + R_e = F_e$$

- Tek Serbestlik Dereceli Sistem

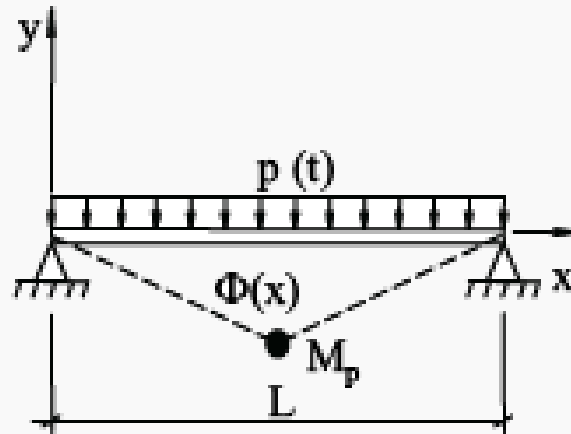
- Tek Serbestlik Dereceli sistem için Şekil Fonksiyonları ve Dönüşüm Katsayıları



$$\Phi(x) = \frac{16}{5 L^4} (L^3 x - 2 L x^3 + x^4)$$

$$K_L = 0.64, K_M = 0.50, K_{LM} = 0.78$$

a) Elastik



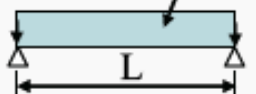
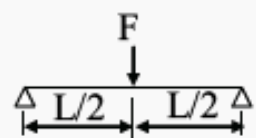
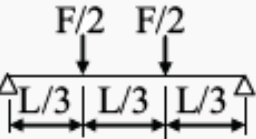
$$\Phi(x) = \frac{2x}{L}, \quad x \leq L/2$$

$$K_L = 0.50, K_M = 0.33, K_{LM} = 0.66$$

b) Plastik

• Tek Serbestlik Dereceli Sistem

- Tek Serbestlik Dereceli Basit Kiriş için Dönüşüm Katsayıları

| Loading Diagram | Strain Range | Load Factor K_L | Lumped Mass Factor, K_M^1 | Uniform Mass Factor, K_M | Bending Resistance, R_b | Spring Constant, K | Dynamic Reaction, V |
|--|--------------|-------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|
| $F = P * L$  | Elastic | 0.64 | --- | 0.50 | $8M_{pc}/L$ | $384 EI/5L^3$ | $0.39R + 0.11F$ |
| | Plastic | 0.50 | --- | 0.33 | $8M_{pc}/L$ | 0 | $0.38R_u + 0.12F$ |
|  | Elastic | 1.00 | 1.00 | 0.49 | $4M_{pc}/L$ | $48 EI/L^3$ | $0.78R - 0.28F$ |
| | Plastic | 1.00 | 1.00 | 0.33 | $4M_{pc}/L$ | 0 | $0.75R_u - 0.25F$ |
|  | Elastic | 0.87 | 0.76 | 0.52 | $6M_{pc}/L$ | $56.4 EI/L^3$ | $0.525R - 0.025F$ |
| | Plastic | 1.00 | 1.00 | 0.56 | $6M_{pc}/L$ | 0 | $0.52R_u - 0.02F$ |

GENEL TASARIM KABULLERİ

- Yük Kombinasyonları ve
Normal Tasarım Kabulleri

Çelik için;

- AISC 360

Betonarme için;

- ACI 318
(Not: $\Phi = 0$)

Yığma Yapılar için;

- ACI 530

1.0 (DL) + 1.0 (LL) + 1.0 (BL)

DL : Zati Yükler

LL : Hareketli Yükler

BL : Patlama Yükleri

BETONARME TASARIM

- Yardımcı Tasarım Parametreleri
- Minimum donatı ACI318' e göre belirlenecektir
- Maximum donatı ACI 318' e göre belirlenecektir
- Yüksek dayanımlı donatının kullanılmasına izin verilmemiştir
- Donatı Fazlalığı durumunda bindirme ve ankraj boylarında kısaltma yapılamaz
- Patlama yükü olan kombinasyona göre **Servis Durumu** limit kontrolü yapılamaz. Bunun için yukarıda verilen dönme ve süneklik limitleri kullanılmalıdır.