152239

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PATLAMA YÜKLERİNE DAYANIKLI YAPI TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mimar Zeynep KOÇÇAZ
(502011143)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Nisan 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 18 Mayıs 2004

Tez Danışmanı :	**Doç. Dr. Necdet TORUNBALCI**
Diğer Jüri Üyeleri:	**Prof. Dr. Özkan İŞLER (İ.T.Ü.)**
	Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK (İ.T.Ü.)

152239

MAYIS 2004

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez danışmanlığımı kabul ederek tezimin oluşum sürecinde değerli fikirleri ve mesleki tecrübeleri ile tezime ışık tutan, her aşamada beni yönlendiren ve şevkle çalışmama vesile olan danışmanım Doç. Dr. Necdet Torunbalcı'ya, yoğun iş temposu içinde bana vakit ayırarak HSBC Bankası ile ilgili vermiş olduğu bilgilerden ötürü Y. İnş. Müh. İrfan Balioğlu'na, literatür araştırmalarımda bana büyük yardımları dokunan İnş. Müh. Samir Pozder'e, üretkenliği ve mimari bakış açısıyla kişisel ve mesleki gelişimime katkıda bulunan Y. Mimar Tuncer Çakmaklı'ya, her zaman yanımda olarak çalışmalarıma sonuna kadar inanan, maddi ve manevi açıdan bana güç veren aileme, çalışmam boyunca benden destek ve yardımlarını esirgemeyen Soner Yaşar'a ve bana inanan tüm dostlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2004 Zeynep KOÇÇAZ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR vi
TABLO LİSTESİ vii
ŞEKİL LİSTESİ viii
SEMBOL LİSTESİ xi
ÖZET xiv
SUMMARY xv

1. GİRİŞ 1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Yöntemi 1
1.2. Çalışmanın Kapsamı 2

2. PATLAYICILAR VE PATLAMA YÜKÜ 4
2.1. Patlayıcı Maddelerin Gelişim Süreci 4
2.2. Patlamanın Genel Karakteri 5
2.3. Patlama Türleri 6
2.3.1. Mekanik Patlamalar 6
2.3.2. Kimyasal Patlamalar 6
2.3.2.1. Şok Önü Parametreleri 10
2.3.2.2. Patlama Dalgası Etkileşimleri 11
2.3.2.3. Düzgün Yansıma ve Mach Stem Yansıması 12
2.3.3. Nükleer Patlamalar 14
2.4. Parlama ve Patlama 15

3. PATLAMAYA DAYANIKLI YAPI TASARIMINA MİMARİ YAKLAŞIM16
3.1. Giriş 16
3.2. Dayanıklı Yapı 16
3.2.1. Tasarım Etmenleri 16
3.2.2. Yükün Dinamik Karakteri 20
3.2.3. Yapının Formu 20
3.2.4. Yangın Tehlikesi 21
3.2.5. Radyasyon 21
3.3. Tasarım Öncesi Genel Kararlar 21
3.3.1. Arazi Seçimi ve Dış Alan Düzenlemesi 21
3.3.2. Koruma Seviyesi 24
3.3.3. Toprak üstü Yapılarda Taşıyıcı Sistem Seçimi 25

3.3.4. Yer altı Yapım Sistemi Seçimi 26
3.3.5. Duvar ve Cephe Kaplaması Seçimi 27
3.4. Patlama Yüklerine Dayanıklı Yapı Tasarım İlkeleri 27
3.4.1. Bina Programı Kriterleri 27
3.4.2. Konstrüksiyon Şekli 27
3.4.2.1. Gömülü veya Yarı Gömülü Yapı 28
3.4.2.2. Perde Duvarlı Yapı 28
3.4.2.3. Kemerli ve Kubbeli Yapı 28
3.4.2.4. Rijit Çerçeve Yapı 29
3.4.2.5. Tek Katlı-Çok Katlı Yapı 29
3.4.2.6. Dış Duvarlar ve Cephe Kaplamaları 29
3.4.2.7. Pencereli-Penceresiz Yapı 30
3.4.2.8. Form 33
3.4.2.9. Kapı, Tesisat Boşluğu vb. Açıklıklar 33
3.4.2.10. Temeller 33
3.5. İşlevsel Etmenler 36
3.5.1. Mekan Düzenlemesi 36
3.5.2. Sığınaklar 37
3.5.3. Tesisat ve Altyapı 38

4. PATLAMALARA DAYANIKLI YAPI TAŞIYICI SİSTEM TASARIMI 39
4.1. Yapısal Mukavemet 39
4.2. Yapı Üzerindeki Yük Hareketleri 42
4.2.1. Kapalı Dikdörtgen Form Yapılar Üzerindeki Yük Hareketleri 45
4.2.2. Silindirik-Kemerli Yüzeyler ve Kubbeler Üzerindeki Yük Hareketleri 47
4.3. Yapıların Dış Yüzeylerinde Patlama Yükü ve Analizi 48
4.4. Yapıların İç Yüzeylerinde Patlama Yükü ve Analizi 51
4.5. Yapı Taşıyıcı Sisteminin Tepkisi 53
4.5.1. Yükleme ve Tepki Türleri 53
4.5.2. Analiz Yöntemleri 55
4.5.2.1. Tek Serbestlik Dereceli Analiz Yöntemi 55
4.5.2.2. Çok Serbestlik Dereceli Analiz Yöntemi 58
4.5.2.3. Tahmini Yöntemler 59
4.5.3. Tekil Yapı Elemanlarının Tasarım ve Analizi 60
4.5.3.1. Elastik Analiz 62
4.5.3.2. Plastik Analiz 63
4.6. Betonarme ve Çelik Taşıyıcı Sistem Tasarımı 63
4.6.1. Yük Kabulü ve Proje Mukavemeti 64
4.6.2. Deformasyon Sınırları 67

4.6.3. Betonarme Yapıların Dinamik Yüklere Tepkisi 68
4.6.4. Çelik Yapıların Dinamik Yüklere Tepkisi 71
4.6.5. Patlama Yüklerine Dayanıklı Betonarme Elemanların Tasarım ve Analizi 72
4.6.5.1. Betonarme Eleman için Uygulama Örneği 78
4.6.6. Patlama Yüklerine Dayanıklı Çelik Elemanların Tasarım ve Analizi 80
4.6.6.1. Çelik Eleman için Uygulama Örneği 82
4.7. Betonarme ve Çelik Elemanlar için Takviye Sistemler 84
4.7.1. Kolon Koruma Yöntemleri 84
4.7.2. Side-plate Bağlantısı 86

5. DURUM ÖRNEKLERİ 88
5.1. Dünya Ticaret Merkezi Kuleleri, New York 88
5.1.1. Giriş 88
5.1.2. Yapısal Özellikleri 89
5.1.3. Kulelerin Patlama Yüklerine Tepkisi 93
5.1.4. Yapılan İncelemeler ve Sonuçlar 95
5.2. Alfred P. Murrah Federal Binası, Oklahoma City 96
5.2.1. Giriş 96
5.2.2. Yapısal Özellikleri 97
5.2.3. Murrah Federal Binasının Patlama Yüklerine Tepkisi 98
5.2.4. Yapılan İncelemeler ve Sonuçlar 103
5.3. HSBC Bankası Genel Müdürlük Binası, İstanbul 104
5.3.1. Giriş 104
5.3.2. Yapılan İncelemeler ve Sonuçlar 104

6. SONUÇLAR 107

KAYNAKLAR 110

EK A 114

EK B 121

EK C 127

ÖZGEÇMİŞ 130

KISALTMALAR

TNT	: Trinitrotoluene
PETN	: Pentaerythritoltetranitrate
DDNP	: Diazodinitrophenel
HND	: Heksit
EDNA	: Haleit
DBX	: Deep Bomb Explosive
PLX	: Pikatini Liquid Explosive
TTG	: Toughened Tempered Glass
ESP	: Engineered Stress Profile
PVB	: Polyvinyl Butyral
SDOF	: Single Degree of Freedom
WD	: Work Done
KE	: Kinetic Energy
BS	: British Standards
ANFO	: Ammonium Nitrate - Fuel Oil

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 2.1.	Bazı patlayıcıların karakteristik özellikleri.....	7
Tablo 3.1.	Yaygın saldırı şekilleri ve saldırı araçları.....	17
Tablo 3.2.	Yeni veya mevcut binalar için gerekli minimum uzak durma mesafeleri.....	22
Tablo 3.3.	Mevcut yapılar ve yeni yapılar için koruma seviyeleri.....	25
Tablo 4.1.	Tek serbestlik dereceli analizlere uygun sistemler.....	57
Tablo 4.2.	Tek doğrultulu yapı elemanları için düktillik ve sehim oranları.....	61
Tablo 4.3.	Patlamalara dayanıklı taşıyıcı sistem tasarım sürecini gösteren proje akış diyagramı.....	65
Tablo 4.4.	Betonarme ve çelik elemanların projelendirilmesinde kullanılacak dinamik artış faktörleri.....	66
Tablo 4.5.	Deformasyon sınırları.....	68
Tablo 4.6.	Betonarme elemanlar için dinamik proje gerilmeleri.....	72
Tablo 4.7.	Çelik elemanlar için dinamik proje gerilmeleri.....	80
Tablo 4.8.	Eğilme etkisindeki çelik yapı elemanlarının avan projesinde kullanılacak eşdeğer statik kopma dayanım değerleri.....	81
Tablo 5.1.	Ana kirişi taşıyan bazı kolonların patlama yüküne tepkileri.....	100
Tablo A.1.	Tek doğrultulu elemanlar için değişim faktörleri.....	114
Tablo A.2.	Tek doğrultulu elemanlar için elastik ve elasto-plastik mukavemet değerleri.....	115
Tablo A.3.	Tek doğrultulu elemanlar için birim kopma dayanım değerleri.....	116
Tablo A.4.	Tek doğrultulu elemanlar için elastik, elasto-plastik ve eşdeğer elastik rijitlik değerleri.....	117
Tablo A.5.	Tek doğrultulu elemanlar için mesnet yüzeyinden d_c mesafede kopma gerilmesi değerleri.....	118
Tablo A.6.	Tek doğrultulu elemanlar için mesnet kopma sınır değerleri.....	119
Tablo A.7.	Tek doğrultulu elemanlar için dinamik tepkiler.....	120

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Mekanik patlamalarda basınç-zaman değişimi..... 6
Şekil 2.2 : Kimyasal patlamalarda basınç-zaman değişimi..... 6
Şekil 2.3 : Şok önü oluşum aşamalarında aşırı basınç dağılımı..... 9
Şekil 2.4 : Belirli zaman dilimlerinde patlama merkezinden uzaklığa göre aşırı basıncın değişimi..... 10
Şekil 2.5 : Serbest ortamda basınç-zaman değişimi..... 10
Şekil 2.6 : Yansıtılan basınç-zaman değişimi..... 12
Şekil 2.7 : (a) Şok önünün yarıçapı patlama yüksekliğinden az olduğunda dalga önü (b) ß açısı 45° den az olduğunda şok yansıması..... 13
Şekil 2.8 : ß açısının ±45° den büyük olduğu bölgede şok yansıması olayı.. 14
Şekil 2.9 : Düzgün yansıma ve Mach yansıması 14
Şekil 3.1 : Dayanıklı yapı için planlama akış diyagramı..... 19
Şekil 3.2 : Saldırıya karşı arazinin düzenlenmesi-şematik gösterim..... 23
Şekil 3.3 : Denetim altındaki alan için gerekli uzak durma mesafeleri..... 24
Şekil 3.4 : Denetim altında olmayan alan için gerekli uzak durma mesafeleri..... 24
Şekil 3.5 : Hasar gören cephe kaplamaları, Boucher Street, Belfast..... 30
Şekil 3.6 : Patlama sonrası sağlam kalan lamine camlar, Europa Hotel, Belfast..... 31
Şekil 3.7 : Patlama sonrası yapı içinde oluşan hasarlar, London Docklands 32
Şekil 3.8 : μW<Ön sömel arkasındaki potansiyel pasif basınç olduğunda radye temellerde yanal kuvvetlere dayanım..... 35
Şekil 3.9 : Sömel arkasındaki pasif basınç<μW olduğunda radye temellerde yanal kuvvetlere dayanım..... 36
Şekil 3.10 : Patlamalara karşı korunması gereken bir binada iç mekan düzenlemesi..... 37
Şekil 4.1 : Genel olarak yapı üzerinde patlama basıncı etkileri..... 41
Şekil 4.2 : Serbest ortamda patlamalar (a) Havada serbest patlama (b) Zemin patlaması (c) Hava patlaması..... 43
Şekil 4.3 : Patlama dalgasının (a) Düzgün yansıma bölgesindeki (b) Mach stem yansıma bölgesindeki yapılar üzerine gelişi..... 44
Şekil 4.4 : Kapalı dikdörtgen form yapı..... 45
Şekil 4.5 : Kapalı dikdörtgen form yapılarda düşey kesit boyunca patlama dalgasının davranışı..... 46
Şekil 4.6 : Kapalı dikdörtgen form yapılarda yatay kesit boyunca patlama dalgasının davranışı..... 47
Şekil 4.7 : Silindirik-kemerli strüktür örnekleri..... 47
Şekil 4.8 : Kemer ve kubbeler için basınç ve eğilme bileşenleri..... 48
Şekil 4.9 : Yapıların dış yüzeyindeki patlama yükleri..... 49

Şekil 4.10 : Bina dış duvarına etkiyen öteleyici kuvvetin zamana bağlı değişim grafiği..... 50
Şekil 4.11 : İki taraftan açık, kısmen boşluklu ve tamamen kapalı mekanlarda patlama dalgalarının yayılımı..... 51
Şekil 4.12 : Basitleştirilmiş iç patlama dalgası yansımaları grafiği..... 52
Şekil 4.13 : Statik benzeri yükleme ve itkisel yükleme grafikleri..... 54
Şekil 4.14 : Analiz yöntemleri..... 55
Şekil 4.15 : Patlama yükü altında tek serbestlik dereceli taşıyıcı sistem..... 56
Şekil 4.16 : Gerçek ve eşdeğer taşıyıcı sistemler..... 58
Şekil 4.17 : Statik benzeri (I), itkisel (II) ve dinamik (III) tepkilerin grafiksel gösterimi..... 60
Şekil 4.18 : Tek serbestlik dereceli elastik sistemler için boyutlandırılmamış basınç-itki grafiği..... 60
Şekil 4.19 : Betonarme iskelet sistemde hatalı kiriş-kolon birleşim detayları..... 62
Şekil 4.20 : Bağlantı noktaları iyi detaylandırılmamış betonarme çerçeve sistem örnekleri..... 64
Şekil 4.21 : Mesnet dönüşleri..... 67
Şekil 4.22 : Kirişler ve çerçeveler için eleman uç noktalarındaki dönüşler..... 68
Şekil 4.23 : Betonarme elemanların eğilmeye tepkisini gösteren tipik mukavemet-deformasyon eğrisi..... 69
Şekil 4.24 : Tipik betonarme enine kesitleri..... 70
Şekil 4.25 : Düktil özellikte bir betonarme duvarın kabarması ve dökülmesi 70
Şekil 4.26 : Yapı çeliğinin tipik gerilme-uzama eğrileri..... 71
Şekil 4.27 : Kabul edilen mukavemet-deformasyon eğrisi..... 72
Şekil 4.28 : Kabul edilen patlama yükü..... 73
Şekil 4.29 : Her iki yüzünde eşit donatısı olan çatlak kesitler için atalet momenti katsayısı..... 74
Şekil 4.30 : Sadece çekme donatısı olan çatlak kesitler için atalet momenti katsayısı..... 76
Şekil 4.31 : Üçgensel yük altında tek serbestlik dereceli elasto-plastik sistem için maksimum deformasyon süresi..... 77
Şekil 4.32 : Üçgensel yük altında tek serbestlik dereceli elasto-plastik sistem için maksimum tepki süresi..... 78
Şekil 4.33 : Çember sarma ve boyuna kompozit şeritler ile sarma..... 85
Şekil 4.34 : Statik yüklenmiş betonarme kolonun tepkisi..... 85
Şekil 4.35 : Tipik Side-plate bağlantı detayı..... 86
Şekil 4.36 : Side-plate bağlantıları ile aşamalı yıkılmayı önleme..... 86
Şekil 4.37 : Side-plate bağlantı örnekleri..... 87
Şekil 5.1 : Normal kat planı (Kule1-94. ve 95. katlar)..... 88
Şekil 5.2 : Normal kat taşıyıcı çerçeve planı..... 89
Şekil 5.3 : Taşıyıcı dış çerçeve kısmi görünüşü..... 90
Şekil 5.4 : Dış cephe modül detayı..... 90
Şekil 5.5 : Ana kafes kiriş enine kesiti..... 91
Şekil 5.6 : Cephe modüllerinin montajı..... 92
Şekil 5.7 : Yapım aşamasında Dünya Ticaret Merkezi kulesi..... 92
Şekil 5.8 : Kafes kiriş-kolon bağlantı detayları..... 93
Şekil 5.9 : Çarpma öncesinde ve sonrasında Kule 1'de yük dağılımı..... 94
Şekil 5.10 : Kulelerin yıkılması..... 95

Şekil 5.11 : Murrah Federal Binası vaziyet planı ve saldırı sonrası çevre yapılardaki hasar durumu..... 96
Şekil 5.12 : Murrah Federal Binası 2. kat planı..... 97
Şekil 5.13 : Murrah Federal Binası doğu görünüşü ve batı cephesinden fotoğrafı..... 98
Şekil 5.14 : Murrah Federal Binasının kuzey cephesi önünde oluşan krater... 99
Şekil 5.15 : Kolon G24 üzerindeki patlama yükü grafiği..... 100
Şekil 5.16 : 5. kat döşeme plağına etkiyen patlama yükü grafiği..... 101
Şekil 5.17 : Murrah Federal Binası'nın çöken döşeme ve kolonları..... 102
Şekil 5.18 : Patlama yükü karşısında bina döşeme ve kolonlarının davranışı-şematik gösterim..... 102
Şekil 5.19 : Bombalı saldırı sonrası Murrah Federal Binası..... 103
Şekil 5.20 : Bombalı saldırıdan önce ve sonra HSBC Bankası Genel Müdürlük Binası..... 104
Şekil 5.21 : HSBC Banka Binası giriş holünün tavanında kırılan döşeme..... 105
Şekil 5.22 : F'6 - G6 kolonları arasındaki dış duvarın kolonlara bağlandığı noktalarda oluşan çatlaklar ve açığa çıkan donatılar..... 106
Şekil 5.23 : Bina içinde oluşan ikincil hasarlar..... 106
Şekil B.1 : HSBC Banka Binası -15.50 kotu kalıp planı..... 122
Şekil B.2 : HSBC Banka Binası +4.40 kotu kalıp planı..... 123
Şekil B.3 : HSBC Banka Binası +8.50 kotu kalıp planı..... 124
Şekil B.4 : HSBC Banka Binası +25.39, +33.39, +41.39 kotları kalıp planı.. 125
Şekil B.5 : HSBC Banka Binası A-A kesiti..... 126

SEMBOL LİSTESİ

p_s	: Maksimum statik aşırı basınç
i_s	: İtki, impuls
t_a	: Şok önü geliş zamanı
t_s	: Basıncın pozitif safhanın süresi
t_s'	: Basıncın negatif safhanın süresi
U_s	: Şok önü hızı
q_s	: Maksimum dinamik basınç
p_0	: Ortam basıncı
a_0	: Ortam basıncında havadaki ses hızı
Z	: Uzaklık parametresi
R	: Patlayıcı madde ile hedef arasındaki mesafe
W	: TNT eşdeğer ağırlığı cinsinden patlayıcı yük miktarı
α	: Boyutsuz dalga formu parametresi
e	: Doğal logaritma fonksiyonunda taban = 2.7182
W_1, W_2	: Patlayıcı yük miktarları
d_1, d_2	: Patlama yükünün yayılma çapı
p_r	: Yansıyan aşırı basınç
γ	: Spesifik ısı oranı
C_r	: Yansıma katsayısı
U_r	: Yansıyan dalganın hızı
U_M	: Mach stem dalgasının hızı
P_c	: Basınç bileşeni
P_f	: Eğilme bileşeni
C_D	: Sürükleme katsayısı
P_{stag}	: Durgun basınç
t'	: Basıncın azaldığı zaman
S	: Hedef yapının boyutu
F_d	: Sürükleme kuvveti
A	: Basınç yükünün etkili olduğu alan
T_r	: Yansıyan dalganın eşdeğer pozitif safhasının süresi
i_r	: Yansıyan dalganın itkisi
t_r	: Gecikme süresi, reverberasyon süresi
p_{QS}	: Statik benzeri basınç
α_e	: Boşluk alanının duvar alanına oranı
A_s	: Yapının toplam iç yüzey alanı
V	: Yapının hacmi
i_g	: Gazın itki değeri
t_d	: Varsayılan üçgensel patlama yükünün pozitif safhasının süresi
T	: Strüktürün doğal titreşim süresi
$F(t)$	: Varsayılan üçgensel vuruş etkisiyle gelen patlama yükü
F	: Varsayılan üçgensel vuruş etkisiyle gelen patlama yükünün maksimum değeri

t_m : Strüktürün maksimum deplasman yapması için geçen zaman
R : Yapısal mukavemet
M,m : Kütle
ÿ : İvme
ý : Hız
y : Deplasman
c : Titreşimin zayıflama katsayısı
k : Yay rijitliği
WD : Yükün yaptığı iş
U : İç gerilme enerjisi
KE : Kinetik enerji
K_M : Kütle çarpanı
K_L : Yük çarpanı
K_{LM} : Yük-kütle çarpanı
ω : Doğal dairesel frekans
k : Yay rijitliği
K_E : Eşdeğer rijitlik
M_E : Eşdeğer kütle
P_E : Eşdeğer basınç
x_{max} : Maksimum dinamik deplasman
K : Strüktürün rijitliği
x_{st} : Statik deplasman
I : Atalet momenti
μ : Düktillik oranı
D : Sehim oranı
W_0 : Strüktürün maksimum deplasmanı
L : Uzunluk
C_1,C_2 : Deformasyon katsayısı
E : Young modülü
ρ : Yoğunluk
σ_y : Malzemenin akma dayanımı
f_y : Yapı çeliğinin veya beton çeliğinin akma gerilmesi
f_{dy} : Yapı çeliğinin veya beton çeliğinin dinamik akma gerilmesi
f_u : Yapı çeliğinin veya beton çeliğinin kopma dayanımı
f_{du} : Yapı çeliğinin veya beton çeliğinin dinamik kopma dayanımı
f_{cu} : Betonun basınç dayanımı
f_{dcu} : Betonun dinamik basınç dayanımı
θ : Mesnet dönüş açısı
X_m : Toplam deformasyon
X_E : Elastisite sınırında deformasyon, eşdeğer elastik deformasyon
δ : Maksimum yatay hareket
M_p : Kopma momenti, plastik mukavemet momenti
f_{dc} : Betonun dinamik proje gerilmesi
f_{ds} : Beton çeliğinin dinamik proje gerilmesi
A_s : Kesitteki çekme donatıları alanı
b : Kesit genişliği
A_s' : Kesitteki basınç donatıları alanı
d_c : Çekme donatıları ile basınç donatıları arasındaki mesafe
d′ : Betonun basınç elyafı ile basınç donatıları arasındaki mesafe
d : Betonun basınç elyafı ile çekme donatıları arasındaki mesafe

T_c : Betonarme kesitin kalınlığı
E_s : Donatının veya çelik profilin elastisite modülü
ε : Uzama
Z : Elastik kesit modülü
S : Plastik kesit modülü
r_u : Birim kopma dayanımı
ρ_s : Çelik oranı, çekme donatısı oranı
υ_u : Kopma gerilmesi
V_s : Birim genişlikte mesnetteki kesme, mesnet kopma sınırı
υ_c : Betonarme kesitte kesme kapasitesi
A_v : Çekme bölgesinde etriyeler için gerekli alan
s : Boyuna donatıya paralel yönde etriye açıklığı
V_d : Betonarme kesitte dolaysız kesme kapasitesi
A_d : Bir betonarme kesit için mesnete gereken çapraz çubuk alanı
V : Mesnet tepkisi
ρ_s' : Basınç donatısı oranı
E_c : Betonun elastisite modülü
n : Modüler oran
f_{dv} : Çelik profil için dinamik proje kesme gerilmesi
V_p : Çelik profil için kopma kapasitesi
A_w : Çelik profil gövdesinin alanı

PATLAMA YÜKLERİNE DAYANIKLI YAPI TASARIMI

ÖZET

Tüm dünyada özellikle son yıllarda artan terörist saldırılar, patlama yüklerinin yapı üzerindeki etkilerinin tasarımda göz önüne alınması gereken önemli bir konu olduğunu göstermiştir. Her ne kadar bombalı terörist saldırı olağanüstü bir durum, insan kaynaklı bir afet olarak kabul edilse de; patlama yükleri de deprem ve rüzgar yükleri gibi tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken bir tür dinamik yüklemedir. Bu çalışmada, mimari ve strüktürel açıdan patlama yüklerine dayanıklı yapı tasarımı ele alınmış ve saldırıların hedefi olmuş önemli binaların patlama sonrasında mevcut durumları irdelenmiştir.

Yapı endüstrisi gelişmiş ülkelerde bile binaların büyük hasar görerek yıkılmasına, yüzlerce kişinin yaralanmasına ve ölümüne sebep olan ve en son ülkemizde de vuku bulan terörist saldırıların bu tür yıkıcı ve ölümcül sonuçları göz önünde bulundurularak yapılan çalışmanın amacı, patlama yüklerine dayanıklı yapı tasarımı kuramının açıklanması, mimari ve strüktürel tasarım aşamasında patlayıcı maddelerin etkilerine karşı yapıların güvenliğinin arttırılması ve uygulanması gereken tasarım tekniklerinin belirtilmesidir.

Yapılar üzerinde patlayıcı madde etkilerinin net bir şekilde açıklanabilmesi amacıyla öncelikle patlayıcıların gelişim süreci ve özellikleri konu olarak ele alınmış; genel anlamda patlama ve patlama türleri incelenmiştir. Patlayıcı maddelerin ve patlama olayının özelliklerini bilmek, patlamalara dayanıklı yapı tasarımının çok daha doğru şekilde yapılmasına imkan sağlayacaktır.

Tasarım aşamasında potansiyel tehlikeyi ve tehlikenin boyutlarını belirlemek çok önemlidir. Her şeyden önce can güvenliğini sağlamak gerekir. Bunun yanı sıra patlama sonrası işlevsel sürekliliğin sağlanması amacıyla da yapı tasarımında mimari ve strüktürel etkenler göz önüne alınmalı, uygun yapı planlamasına gidilmelidir. Çevresel, mimari ve yapısal koruma yöntemleri neticesinde yapı daha tasarım aşamasında patlama ve benzeri terörist saldırılara karşı güçlendirilebilir. Terörist saldırı kaynakları ve saldırıların ne şekilde gerçekleşeceği tam olarak belirlenemese de, tahmin yöntemiyle potansiyel tehlikenin büyüklüğünü ve oluşturacağı hasarı azaltacak şekilde bir planlama yapılabilir.

Yapılan literatür araştırması ve incelenen örnekler sonucunda, yapı yönetmeliklerinde terörist saldırılara ve patlamalara dayanıklı yapı tasarımına ilişkin hususlara yer verilmediği görülmüştür. Bu saldırılar etkilediği kamusal alanlarda ve yapılarda işlevleri tamamen veya uzun süre durdurabilen, yüzlerce insanın hayatına mal olan, aynı zamanda ekonomik açıdan da zarara neden olan olaylardır. Patlamaların da deprem, rüzgar, sel gibi yapıları ve barınanları tehdit eden bir tür afet olduğu kabul edilmeli, bu konuda sistem, planlama, hazırlık ve standartlar gibi öncelikler belirlenmelidir.

BLAST RESISTANT BUILDING DESIGN

SUMMARY

The increase in the number of worldwide terrorist attacks especially in the last few years has shown that the effect of blast loads on buildings is a serious matter that should be taken into consideration in the design process. Although these kinds of attacks are exceptional cases, man-made disasters; blast loads are in fact dynamic loads that need to be carefully calculated just like earthquake and wind loads. In this study, blast resistant building design has been examined both as an architectural and a structural issue, and the present condition of some of the important buildings that have been subjected to terrorist attacks has been exemplified.

Bearing in mind the destructive and fatal effects of terrorist attacks that have lead to hundreds of injuries and deaths (particularly after the recent events in Turkey), to the demolition of buildings even in countries having highly developed building industries, the objective of this study is to shed light on blast resistant building design theories, the enhancement of building security against the effects of explosives in both architectural and structural design processes and the design techniques that should be carried out.

Firstly, the general aspects of explosives and their development sequence have been presented to clarify the effects of explosives on buildings. In addition, explosives and explosion types have been explained briefly. To have a better understanding of explosives and the characteristics of explosions will enable us to make blast resistant building design much more efficiently.

In the design process it is vital to determine the potential danger and the extent of this danger. Most importantly human safety should be provided. Moreover, to achieve functional continuity after an explosion, architectural and structural factors should be taken into account in the design process, and an optimum building planning should be put together. Through peripheral, architectural and structural safety methods, a building can be strengthened against explosions or terrorist attacks even at the design stage. Even though one cannot exactly conjecture how or where terrorist attacks shall occur, with foresight a planning that aims to minimize the magnitude and possible damage of the hazard can be executed.

After a comprehensive bibliographical research and the study of examples, it has been seen that there were no clauses in building regulations regarding terrorist attacks and explosions. These attacks are events that cost hundreds of lives, that ruin -either partially or completely- the functions of public spaces and buildings, and at the same time cause great damage economically. Explosions, just like earthquakes, winds and floods, should be considered as disasters that threaten buildings and their inhabitants. Priorities, such as systems, planning, preparation and standards, should be determined.

1. GİRİŞ

2001'de Manhattan-New York'ta son yüzyılın en büyük terör saldırılarından biri gerçekleşti. 110 katlı Dünya Ticaret Merkezi kulelerine düzenlenen saldırıda 5000'e yakın insan yaşamını yitirdi, ikiz kuleler yıkıldı, Amerika'da yaşam bir anda durdu.

Yine Amerika'da 1995'de bir federal bina bombalı saldırı sonucu büyük hasar gördü, yüzlerce kişi öldü. Benzer terörist saldırılar tüm dünyada gerçekleşirken her gün yüzlerce kişinin girip çıktığı, çalıştığı yüksek yapıların böylesi saldırılara ne kadar hazır olduğu tartışılır bir konu olmuştur. Deprem ve rüzgar gibi doğal afetlere karşı yapılar planlama aşamasında güçlendirilirken, patlama gibi olağanüstü sayılan durumlar göz ardı edilmektedir. Can ve mal güvenliğini sağlamak için terörist saldırı olasılığı yüksek kamu yapılarının tasarımıyla ilgili hususlar dikkate alınmalı, çeşitli koruma ve güvenlik yöntemleri uygulanmalıdır.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Yöntemi

Terörist saldırılar Türkiye dahil çoğu ülkede toplu ölümlere ve yaralanmalara neden olan, ülke ekonomisini etkileyebilen, insan psikolojisinde kalıcı hasarlar bırakabilen afet nitelikli olaylardır. Bu çalışma ile tüm olumsuzluklar değerlendirilmiş, bombalı saldırılara hedef olabilecek yapıların belirlenmesine ve gerekli korumanın sağlanmasına yönelik araştırmalar yapılmış, patlama yükleri ve etkileri altında yapıların tepkileri tek tek incelenerek dayanıklı yapı olgusu açıklanmıştır. Böylelikle mevcut yapıların ve yeni yapılaşmaların çok daha sağlam, herhangi bir saldırıya istenen düzeyde tepki verebilen, işlevselliğini sürdürebilen yapılar olması hedeflenmiştir.

90'lı yıllar itibariyle Türkiye'de yüksek yapı yoğunluğu büyük bir artış göstermiştir. Hem bu durum, hem de mevcut kamu yapılarının saldırı potansiyeli yüksek, korunması gereken binalar olduğu göz önünde bulundurularak ele alınan çalışmanın amacı; yapılmış ve yapılmakta olan binaların bombalı saldırılara karşı daha dayanıklı olmasını sağlamak, yönetmeliklere patlama ve benzeri insan kaynaklı afet

durumlarına dair maddelerin eklenmesine ön ayak olabilmek, patlamaların gerçekleşmesi muhtemel tehditler olduğu gerçeğinin benimsenmesini sağlamaktır.

Tez hazırlık aşamasında uygulanan çalışma yöntemi, kapsamlı bir araştırmayı içermektedir. İlk olarak sorun ve araştırmanın amacı belirlenmiştir. Araştırılması gerekenler ve araştırma soruları tespit edilmiştir. Ardından literatür taraması ve kişisel görüşme yapılmış, konu ile ilgili veriler toplanmıştır. Elde edilen araştırma bulguları değerlendirilerek, çalışma sonuca bağlanmıştır.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Literatür araştırması kapsamında yapılar üzerinde patlayıcı madde etkilerinin ve patlama dalgası etkileşimlerinin doğru bir şekilde açıklanabilmesi ve uygun planlamanın yapılabilmesi amacıyla öncelikle patlayıcıların gelişim süreci ve özellikleri konu olarak ele alınmış; genel anlamda patlamanın karakteristik özellikleri anlatılmış ve patlama türleri mekanik, kimyasal ve nükleer patlamalar olarak üç sınıfta incelenmiştir.

Dayanıklı yapı tasarımı mimari açıdan ele alınırken yükün dinamik özellikleri, yapının formu, yangın ve radyasyon gibi faktörlere, tasarım öncesinde arazide ve yapıda alınması gerekli mimari kararlara, tasarım ilkelerine ve işlevsel etmenlere değinilmiştir. Yapıda taşıyıcı sistem seçimi, duvar ve cephe kaplamalarının seçimi, cam yüzeylerin korunması gibi tasarım faktörleri anlatılmış, iç mekanların doğru şekilde düzenlenmesi, sığınakların ve acil çıkışların yapılması, tesisat ve altyapıda alınacak bir takım önlemler neticesinde öntasar aşamasında bile patlama ve benzeri terörist saldırılara karşı yapıların güçlendirilebileceği belirtilmiştir.

Yapılan çalışmada yapı taşıyıcı sisteminin patlama yükleri altındaki davranışı da irdelenmiştir. Yapısal mukavemet ve yapı üzerindeki yük hareketleri ele alınmış, patlama yüklerinin yapı iç ve dış yüzeylerine olan etkileri analiz edilmiştir. Yapının patlama yüklerine tepkisi anlatılırken kullanılan analiz yöntemleri açıklanmış, tekil elemanların tasarımlarının nasıl olması gerektiği belirtilmiştir. Betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler ele alınmış, dinamik yükler altındaki davranışları incelenmiş, her iki sistem için de bir uygulama örneği verilmiştir. Ayrıca betonarme ve çelik yapı elemanlarının patlama yükleri karşısında daha dayanıklı olabilmeleri amacıyla uygulanabilecek takviye sistemlere de değinilmiştir.

Bütün bu konular incelendikten sonra son olarak Türkiye'den ve dünyadan terörist saldırılara uğramış yüksek yapı örneklerine yer verilmiştir. Bu yapıların taşıyıcı sistemleri değerlendirilmiş, yapılan incelemeler neticesinde yapıların neden ve ne şekilde hasar gördüklerine ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır.

2. PATLAYICILAR VE PATLAMA YÜKÜ

2.1. Patlayıcı Maddelerin Gelişim Süreci

Yakıldığında hızla genleşen gazlar oluşturarak çevreye ani yüksek basınç uygulayan maddelere patlayıcı denir. Patlayıcı maddeler, yanarken çıkardıkları gazın oluşturduğu basınçla çevrelerindeki her şeyi büyük bir gürültü ve şiddetle parçalar ve bu olaya patlama denir.

Başlıca kimyasal patlayıcılar kara barut, nitrogliserin, dinamit ve TNT'dir. Kimyasal patlayıcılar gaz, sıvı ve katı halde bulunabilir.

Başlıca iki tür patlayıcı vardır. Bunlar, yüksek patlayıcılar ve düşük patlayıcılardır. Yüksek patlayıcı maddeler hızla ayrışarak çevrelerinde yüksek basınç oluşturur, düşük patlayıcı maddeler ise hızla yanarak çevrelerinde düşük basınç oluştururlar. Yüksek patlayıcılar kendi içinde, birincil ve ikincil patlayıcılar olarak ikiye ayrılır. Birincil patlayıcılar alev ya da ısı oluşturan bir çarpma etkisiyle tutuşturulur; ikincil patlayıcıların ise ayrı bir ateşleme kapsülüne ihtiyacı vardır.

Kara barut, 13. yüzyılda Çinliler tarafından geliştirilen ilk kimyasal patlayıcıdır. Potasyum nitrat, kükürt ve odun kömürü karışımından oluşan kara barut önceleri yalnızca ateşli silahlarda kullanılırken, 17. yüzyılın ikinci yarısında madencilik gibi alanlarda da kullanılmaya başlandı.

Alman kimyacı Christian Schönbein 1846 yılında ilk dumansız barut türü olan pamuk barutunu keşfetti. Pamuk barutu, pamuk liflerinin derişik nitrik asit ve sülfürik asitle işlenmesiyle oluşan güçlü bir patlayıcıdır. Bu tip patlayıcılar günümüzde pamuk yerine kağıt ve odun talaşı asitle işlenerek nitroselüloz adını alır. İtalyan kimyacı Ascanio Sobrero 1847 yılında gliserini derişik nitrik asit ve sülfürik asidin içine damlatarak nitrogliserini buldu. Patladığında kendi hacminin 12000 katı gaz çıkaran nitrogliserin son derece güçlü bir patlayıcıdır, ama taşınırken küçük bir sarsıntıda kolayca patladığı için kullanımı son derece tehlikelidir. İsveçli kimyacı

Alfred Nobel 1867 yılında nitrogliserinin diyatomit adı verilen kumlu bir toprakla karışımının hem güçlü bir patlayıcı olduğunu hem de kolaylıkla taşınabildiğini keşfetti ve bu karışıma dinamit adını verdi. 1876 yılında nitroselüloz ile nitrogliserin karışımı olan daha güçlü ve güvenli jelatinimsi dinamiti geliştirdi. Jelatinimsi dinamit daha çok taş ocaklarında ve kaya patlatmalarında kullanılır.

Patlayıcıların tarihinde önemli olan iki gelişme, güvenlik tapasının ve ateşleme kapsülünün bulunmasıdır. İngiliz William Bickford'un geliştirdiği güvenlik tapası sayesinde güvenli ve doğru zamanlanmış patlamalar elde edilebilirken 1865 yılında Alfred Nobel'in geliştirdiği ateşleme kapsülüyle nitrogliserinin güvenli biçimde ateşlenmesi sağlanmıştır.

Askeri alanda ise 20. yüzyılda sık kullanılan güçlü patlayıcılar TNT, siklonit ve PETN'dir. Patlayıcılar ayrıca kömür, taş ve cevher çıkarmak için madenlerde ve taş ocaklarında, tünel ve geçit açmak için karayolu ve demiryolu yapımında, liman ve kanal yapımında kullanılır.[1]

2.2. Patlamanın Genel Karakteri

Fiziksel literatürde patlayıcı, ısının serbest kalmasıyla ve ısı etkisiyle ortaya çıkmış gazların yüksek basınç oluşturmasıyla hızlı bir şekilde ayrışmaya uğrayan bir maddedir. Patlama, bir patlayıcı maddenin çok hızlı bir şekilde kendiliğinden transformasyona uğrayarak çok daha stabil maddelere dönüşmesi olayıdır.

Patlama, yüksek basınç etkisiyle çok şiddetli bir genleşme ve ileri doğru fırlama oluşturur. Patlayıcı madde nitrogliserin gibi kimyasal bir bileşik olabilir veya TNT ile amonyum nitrattan oluşan amatol gibi bileşiklerin karışımı olabilir.

Patlayıcıların tipik etkisi genellikle bir sıvının veya katının aniden çok yüksek hacimli bir gaza dönüşmesi sonucu oluşan yüksek basınçla ortaya çıkar ve bu gazın gerçek hacmi, serbest kalan ısının etkisiyle daha da artar.

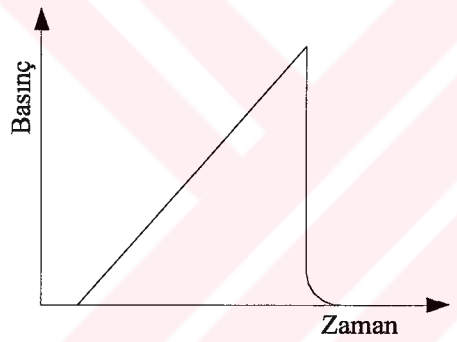
Basıncı sürekli kontrol altında tutabilmek için düşük patlayıcılar kullanılır. Düşük patlayıcılar yüksek hacimli bir gaz tabakası ve yüksek bir ısı oluşturarak birden alev alır ve hızlı bir şekilde yanar. Patlama basınçları moleküler yapılarına dayanır. Çoğu durumda bu malzemeler tam olarak patlamaz, toplam kütlenin bir kısmı bu işleme girer. Kalan kütle ise ateş alır ve malzemenin enerjisinin çoğu termal enerji olarak açığa çıkar. Bu sebeple yangınlar çıkabilir. Patlamanın sıcaklık derecesi ve çıkan

gazlı ürünler hemen ortama yayılır. Düşük patlayıcıların itme ve fırlatma etkisi vardır. Yüksek patlayıcılar, maddede şiddetli kimyasal parçalanmaya sebep olan hızlı kimyasal tepkimeler olarak tanımlanabilir. Tahrip edici bir kuvvet oluşturarak dışarıya doğru ilerleyen yüksek hızlı basınç dalgası oluştururlar. Katı patlayıcılar, patlama etkileri en iyi bilinen yüksek patlayıcılardır. Bilinen bazı patlayıcıların karakteristik özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

2.3. Patlama Türleri

2.3.1. Mekanik Patlamalar

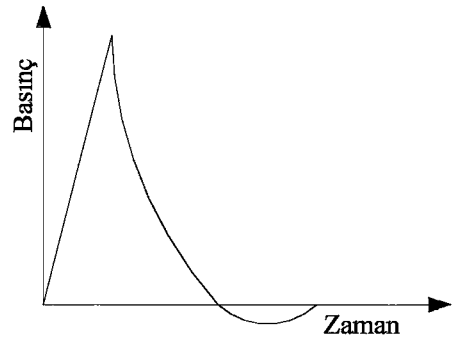
Aniden basıncın açığa çıkmasıdır. Silindir bir tüp içinde sıkıştırılmış halde bulunan gazın patlaması, bir yanardağın patlaması veya farklı sıcaklıklarda iki sıvının karıştırılması gibi durumlarda dayanma gücü aşılana kadar basınç yükselir, yüksek basınç bir anda patlamayla açığa çıkar ve hızla ortam basıncına geri döner.



Şekil 2.1. Mekanik patlamalarda basınç-zaman değişimi[2]

2.3.2. Kimyasal Patlamalar

Kimyasal reaksiyonlar sonucu hızla açığa çıkan büyük miktarda enerjidir. Bu reaksiyonlar kimyasal patlayıcı maddede bulunan hidrojen, karbon, oksijen ve nitrojen gibi atomların yeniden düzenlenmesini içerir.[2]



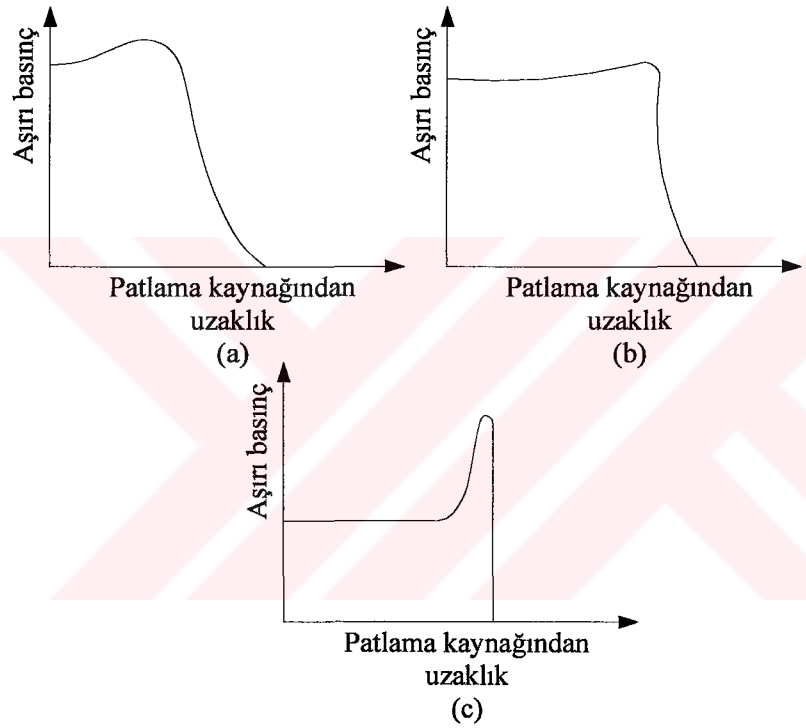
Şekil 2.2. Kimyasal patlamalarda basınç-zaman değişimi[2]

Tablo 2.1. Bazı patlayıcıların karakteristik özellikleri[2]

PATLAYICI CİNSİ	PATLAMA SICAKLIĞI (°C)	PATLAMA HIZI (m/sn)
DÜŞÜK PATLAYICILAR		
Kara barut	457	400
Dumansız barut	300	N/A
Kompozit propellantlar	N/A	N/A
Fişek bileşikleri	N/A	N/A
BİRİNCİL YÜKSEK PATLAYICILAR		
Civa fulminat	210	5029
Kurşun asiti	383	4300-5000
Kurşun stipnat	282	5181
Diyazodinitropenol (DDNP)	155-180	6900
İKİNCİL YÜKSEK PATLAYICILAR		
Amonyum nitrat	N/A	2700
Tetrasen	154	N/A
Nitrogliserin	222	7700
Nitroselüloz	230	7300
Tetril	164	7300-7850
TNT	475	6900
Siklotrimetilentrinitramin (RDX-Siklonit)	260	8350
Siklotetrametilentetranitramin (HMX-Homosiklonit)	306	9124
Pentaeritrit Tetranitrat (PETN)	215	8300
Pikrik asit	322	7350
Heksit (HND)	245	6919
Amonyum pikrat (Patlayıcı D)	318	7150
Nitroguanit	275	7650
Haleit (EDNA)	190	7750
Nitrostarç	217	4500
KARIŞIM HALİNDE PATLAYICILAR		
Amatol	265	6435
Amonal	265	6400
Minol	254	6000

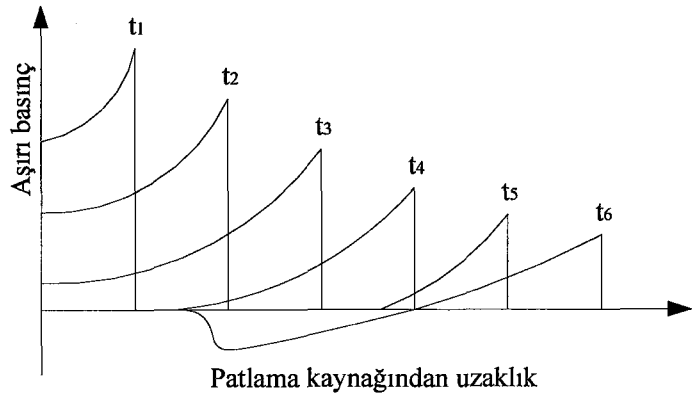
PATLAYICI CİNSİ	PATLAMA SICAKLIĞI (°C)	PATLAMA HIZI (m/sn)
Tritonal	470	6700
Pentolit	220	7450
Tetritol	320	7300
Pikratol	285	6940
Ednatol	190	7340
Bileşim A	250	8100
Bileşim B	278	7800
Siklotoller (Bileşim B-2, Siklotol 70/30, Oktol 75/25)	278	7900
Torpeks	260	7600
Derin bomba (DBX)	254	6800
HBX	185	7400
PTX-1	N/A	7376
PTX-2	N/A	8065
ÖZEL PATLAYICILAR		
Bileşim C-3	280	7625
Bileşim C-4	290	8400
PEP-3	215	7780
Pikatini Sıvı Patlayıcı (PLX)	430	6165
Aereks (Katı)	N/A	3170
Aereks (Sıvı)	N/A	6187
Düz dinamit	N/A	2000-5000
Amonyum dinamiti	N/A	2700-4600
Amonyak jelatin	N/A	4400-5700
Jelatin dinamiti	N/A	4000-7000
Çukurlaştırıcı patlayıcı	N/A	4426

Şok dalgası, patlayıcı kaynağından ortaya çıkan sıcak gazların patlayıcıyı çevreleyen atmosferi geri itmesiyle oluşan bir tür basınç dalgasıdır. Şok dalgası bir anda çok yüksek bir basınç oluşturur. Patlamadan sonra saniyeden çok daha az bir zaman dilimi içinde merkezden dışarıya doğru hareket eder. Patlama kaynağı küresel bir formda ise yayılan şok dalgaları da küresel olacaktır. Yüzeyi arttıkça, birim alandaki enerji miktarı sürekli azalacaktır. Neticede şok dalgası kaynaktan çıktıktan sonra dalganın ön yüzündeki basınç durmadan azalacaktır. Kaynaktan belli bir uzaklıkta en yüksek seviyedeki basınç çok düşük hale gelecektir ve şok dalgası, ses dalgasına dönüşecektir.

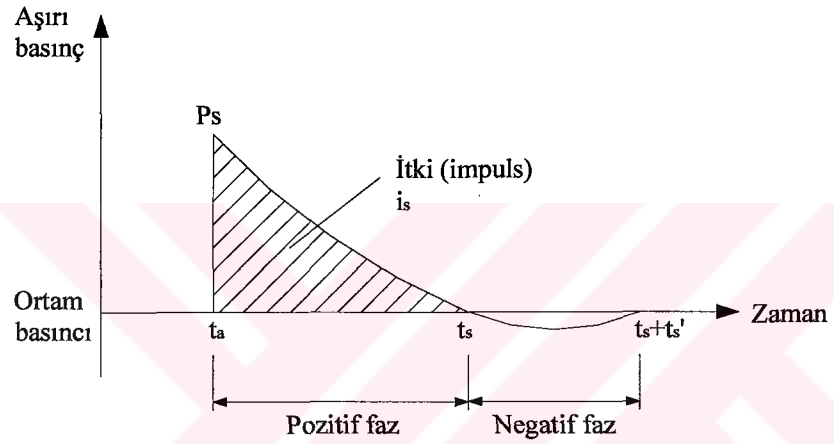


Şekil 2.3. Şok önü oluşum aşamalarında aşırı basınç dağılımı[3]

Şok dalgasının ön yüzü, sıkıştırılmış hava duvarı gibidir ve arka bölgesinden çok daha yüksek bir basınca sahiptir. Bu yüksek şok basıncı, yayılma hızıyla orantılı şekilde azalır. Kısa bir süre sonra şok dalgasının arka bölgesindeki basınç atmosfer basıncının altına düşer ve bu negatif devrede kısmi vakum oluşur, hava içeri doğru emilir.[3]



Şekil 2.4. Belirli zaman dilimlerinde patlama merkezinden uzaklığa göre aşırı basıncın değişimi[3]



Şekil 2.5. Serbest ortamda basınç-zaman değişimi[4]

2.3.2.1. Şok Önü Parametreleri

İdeal gazlardaki normal şokları tanımlamak için ilk analitik çözümler 1870 yılında Rankine ve Hugoniot tarafından yapılmıştır. Şok önü hızı U_s ve maksimum dinamik basınç q_s hesabı için denklemler,

$$U_s = [(6p_s + 7p_0) / 7p_0]^{1/2} . a_0 \quad (2.1)$$

$$q_s = 5p_s^2 / 2(p_s + 7p_0) \quad (2.2)$$

dir. p_s maksimum statik aşırı basıncı, p_0 ortam basıncı ve a_0 ortam basıncında havadaki ses hızı değeridir.

Yakın mesafede ($p_s > 10x10^5$ N/m^2) ve orta mesafede ($0.1x10^5 < p_s < 10x10^5$ N/m^2) maksimum statik aşırı basınç değerleri,

$$p_s = [(6.7/Z^3) + 1] \times 10^5 \text{ N/m}^2 \quad (2.3a)$$

$(p_s > 10x10^5 \text{ N/m}^2)$

$$p_s = [(0.975/Z) + (1.455/Z^2) + (5.85/Z^3) - 0.019] \times 10^5 \text{ N/m}^2 \quad (2.3b)$$

$(0.1x10^5 < p_s < 10x10^5 \text{ N/m}^2)$

denklemleri ile hesaplanır. Z uzaklık parametresi,

$$Z = (R / W)^{1/3} \quad (2.4)$$

ile hesaplanır. R, metre cinsinden patlayıcı madde ile hedef arasındaki mesafe ve W, TNT eşdeğer ağırlığı cinsinden patlayıcı yük miktarıdır.[5]

Aşağıdaki denklem pozitif safhayı tanımlamakta kullanılır. Boyutsuz dalga formu parametresi α ve şok önü ulaştığı an ölçülen zaman t olmak üzere,

$$p_s(t) = p_s(1 - t_a / t_s) .e^{-\alpha.ta / ts} \quad (2.5)$$

olur. Patlama dalgası için birim alana gelen itki ise yukarıdaki bağıntının entegrasyonu ile elde edilir.[4]

$$i_s = {}_0\int^{ts} p_s(t).dt \quad (2.6)$$

$$i_s = p_s. t_s [1/\alpha - 1/\alpha^2 (1-e^{-\alpha})] \quad (2.7)$$

2.3.2.2. Patlama Dalgası Etkileşimleri

Patlama dalgası ile ilgili formüle edilen ve en yaygın kullanılan orantı Hopkinson ve Cranz'a aittir. Hopkinson-Cranz orantısı küp kök orantısı olarak da bilinir. Yükü W_1 olan bir bombanın patlamasıyla kaynaktan d_1 mesafede ölçülen maksimum aşırı basınç ile yükü W_2 olan bir bombanın patlamasıyla kaynaktan d_2 mesafede ölçülen maksimum aşırı basınç arasında bir orantı kurulur.

$$d_1 / d_2 = (W_1/ W_2)^{1/3} \quad (2.8)$$

Aynı orantı pozitif safhanın süresi için de geçerli olur.

$$ts_1 / ts_2 = (W_1/ W_2)^{1/3} \quad (2.9)$$

Yukarıda yansıma yapan bir yüzey olmaksızın serbest ortamda havada gerçekleşen patlamalar ele alınmıştır ve genelde bu patlamalar küresel hava patlamaları olarak adlandırılır. Patlama dalgası katı bir cisimle veya havadan daha yoğun bir objeyle karşılaştığında yansır veya cismin şekline ve ebadına göre kırılır. Buna en basit örnek, geniş rijit duvar yüzeyine 0° geliş açışıyla çarpan patlama dalgasıdır. Bu durumda U_s hızıyla gelen dalga önü yansır. Patlama dalgasındaki hareketli hava molekülleri çarpma etkisiyle aniden durur ve gelen dalga önünün şiddetinden çok daha büyük bir şiddetle sıkışarak geri yansır.

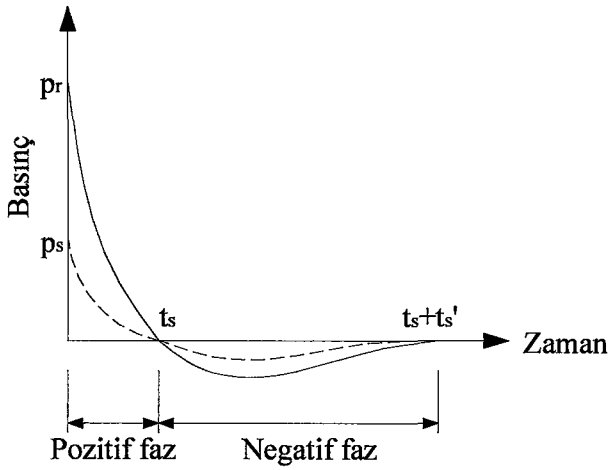
Rankine ve Hugoniot yansıyan aşırı basınç değerini elde etmek için gelen maksimum aşırı basınç ve dinamik basınç değerleriyle,

$$p_r = 2p_s + (\gamma + 1)q_s \tag{2.10}$$

denklemini türetmişlerdir. Hava, spesifik ısı oranı C_p / C_v = γ olan asal gaz gibi davranır. Denklemde q_s değeri yerine konulursa,

$$p_r = 2p_s[(7p_0 + 4p_s) / (7p_0 + p_s)] \tag{2.11}$$

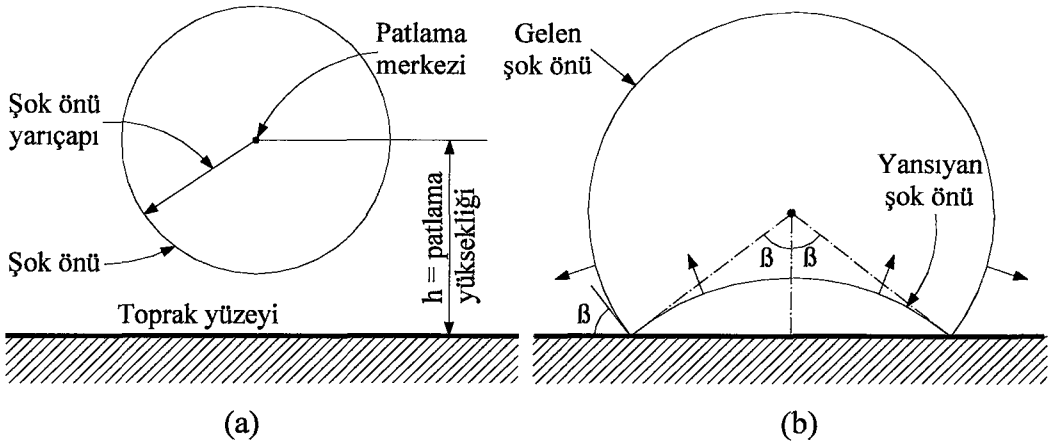
denklemi elde edilir. Hava için γ değeri 1.4 alınır. Yansıma katsayısı C_r, p_r / p_s olarak tanımlanırsa, bu denklem C_r için bir alt sınır ve üst sınır belirtir. Gelen aşırı basınç p_s, ortam basıncından düşük olduğunda, C_r için alt sınır 2 olur. p_s ortam basıncından büyük olduğunda, C_r için üst sınır 8 olur. Bununla birlikte kısa mesafelerde gaz ayrışması etkileri sonucu C_r değerinin 20'ye çıktığı görülür.[5]



Şekil 2.6. Yansıtılan basınç-zaman değişimi[4]

2.3.2.3. Düzgün Yansıma ve Mach Stem Yansıması

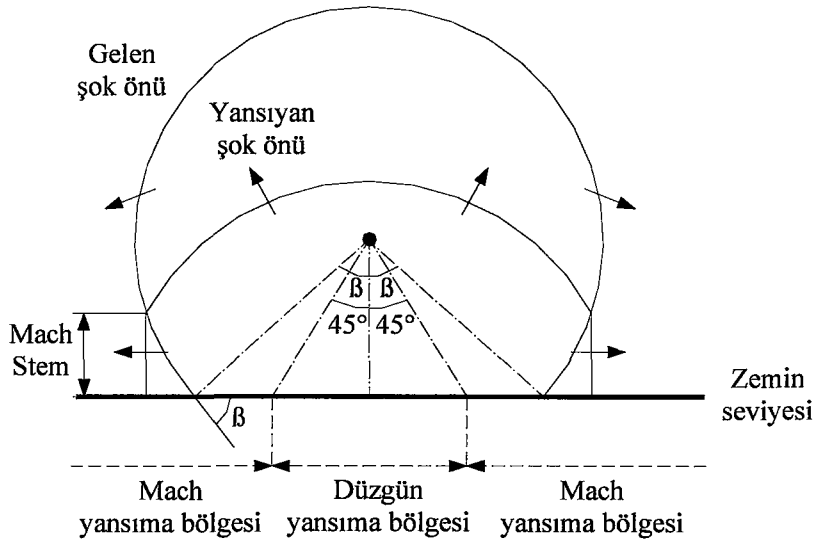
Bomba toprak yüzeyinden h kadar yüksekte patladığında, şok dalgası Şekil 2.7(a)'daki gibi bir yol izler. Şok dalgası aşağıda düz bir yüzey olduğundan habersiz sonsuz ortamda yayılıyormuş gibi davranır.



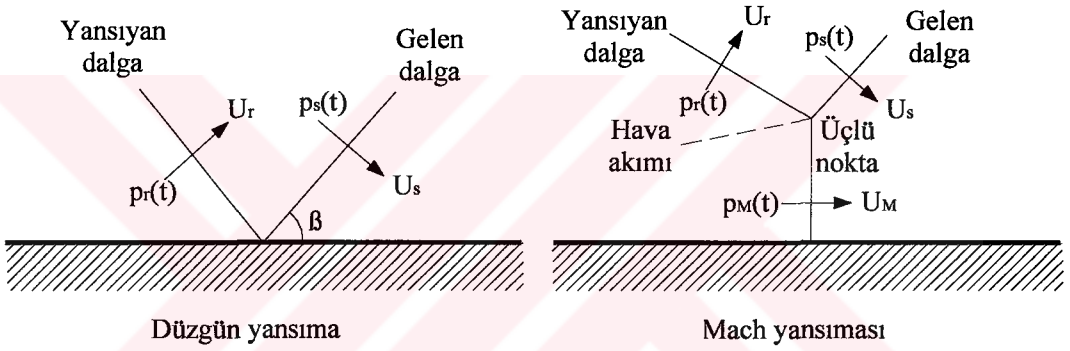
Şekil 2.7. (a)Şok önünün yarıçapı patlama yüksekliğinden az olduğunda dalga önü (b)ß açısı 45°den az olduğunda şok yansıması[3]

Şekil 2.7(b)'de gösterilen yansıyan şok önü dalgası ortamda gelen şok dalgasından daha hızlı hareket eder, onu yakalar ve içine alarak Mach Stem olarak tanımlanan tek bir şok önü dalgası oluşturur. Birleşmiş şok önü dalgası toprak yüzeyine paralel hareket eder. Şok dalgasının ß geliş açısı 45° den büyük olduğu zaman Mach Stem dalgası oluşur. Şok dalgasının yarıçapı arttıkça, Mach Stem dalgasının yüksekliği artar. Toprak yüzeyinde ß açısının 45° den az olduğu ve Mach Stem oluşmayan bölgeye 'düzgün yansıma bölgesi', ß açısının 45° den fazla olduğu ve Mach Stem oluşan bölgeye 'Mach yansıma bölgesi' denir. İki şok dalgasının, yüksek aşırı basınçlı ve yüksek tahrip gücüne sahip tek bir şok dalgası oluşturacak şekilde birleşimi Mach Stem dalgasını oluşturur.[3]

Mach yansıması karmaşık bir süreçtir ve geliş açısının küçük olduğu durumlarda görülen çarpıp sıçrama etkisinden ziyade gelen dalganın yansıdığı yüzeyi yalayıp geçmesidir. Yansıyan dalga, gelen dalga ve Mach Stem dalgasının birleşim noktası üçlü nokta olarak adlandırılır. Mach Stem'in ve yansıyan dalgaların arkasındaki bölgede basıncın aynı, yoğunlukların ve tanecik hızlarının farklı olduğu hava akımı bölgesi vardır.[5]



Şekil 2.8. ß açısının ±45° den büyük olduğu bölgede şok yansıması olayı[3]



Şekil 2.9. Düzgün yansıma ve Mach yansıması[5]

2.3.3. Nükleer Patlamalar

Nükleer patlama enerjisi, atomik çekirdekteki proton ve nötronları düzenleyen enerjinin açığa çıkmasıdır. Atomik çekirdekteki proton ve nötronlar arasındaki kuvvetler atomlar arasındaki çekim kuvvetlerinden çok daha büyüktür. Oluşan ön şok kimyasal reaksiyonda ortaya çıkan ön şokla aynıdır, fakat sürekliliği daha uzundur.

Nükleer patlama söz konusu olduğunda erişilen sıcaklık çok yüksektir. Termal radyasyon tüm açık yüzeylerde şiddetli sıcaklık etkisi oluşturur. Termal enerji miktarını patlama noktasından olan uzaklığı, yayılma kapasitesi ve atmosferde dağılma ve emilme kapasitesi belirler. Şiddetli sıcaklık etkisi canlılarda ciddi yanıklar oluşturur, yanabilir maddeleri tutuşturur ve yangın çıkmasına sebep olur. Önlem olarak bir yapıya tamamen veya kısmen koruyucu mambran yapmak gerekir.

Termal radyasyon etkisinde kalan bir yüzey bu radyasyonun bir kısmını emer, bir kısmını da yansıtır. Bazı durumlarda ise, radyasyonun bir kısmı malzemeden geçer. Emme miktarı malzemeye, özellikle de malzemenin rengine bağlıdır. Koyu renkli malzemeler açık renkli malzemelerden çok daha fazla oranda radyasyon emerler. Emme olayı sıcaklığın artmasına sebep olur.

Nükleer radyasyonun yangına neden olan bir etkisi yoktur, fakat canlılar üzerinde hemen gözlemlenemeyen zararlı etkileri vardır. Fazla oranda radyasyona maruz kalındığında sonuçları ciddi, hatta ölümcül olabilir. Nükleer radyasyonun bir bölümü hemen etkir, bir bölümü ise fizyon reaksiyonu sonucunda uzun zaman diliminde beta ve gamma parçacıkları şeklinde yayılır.[3]

2.4. Parlama ve Patlama

Parlama, yanan gazların taşınım ve ışınım yollarıyla tepkimede olmayan maddelere yayılmasıyla oluşan bir ekzotermik reaksiyondur. Sıcaklığı aniden artan patlayıcı madde ayrışır ve bu reaksiyonda açığa çıkan ısı, tepkimenin hızını arttırır. Bu süreçte yanma bölgesi tutuşabilir özellikteki maddeye kolayca ilerler. Parlama, madde yüzeyinde oluşur.

Bunun aksine patlama, maddede şok dalgasıyla oluşan bir ekzotermik reaksiyondur. Enerjinin, tepkimedeki maddeden tepkime dışındaki maddeye şok dalgasıyla yayıldığı kimyasal bir reaksiyondur. Tepkime çok çabuk gerçekleşir. Patlama hızı patlama bölgesindeki ilerlemenin hızıdır. Yüklemenin yoğunluğuna ve sıkıştırma derecesine göre belirlenir. Her patlayıcının belli yoğunlukta maksimum patlama hızı vardır. Genel olarak, patlama hızları kırılganlık değerleriyle ifade edilir. Patlama hızı yüksek ise, kırılganlık büyüktür ve diğer patlayıcı maddeleri aktif hale getirmek için daha etkili olur.

Havada asılı kalan yanıcı gazlar, duman ve tozlar veya diğer okside olabilen maddeler tutuşarak yanabilirler. Bu durum patlamaya neden olan parlamaları oluşturur. Doğru oranlarda hava ile karışmış yakıt, oksijen ile diğer okside olabilen maddelerin varlığı, herhangi bir tutuşma kaynağının varlığı ve bir gazın yanması patlamaya neden olacak parlama koşullarıdır.[2]

3. PATLAMAYA DAYANIKLI YAPI TASARIMINA MİMARİ YAKLAŞIM

3.1. Giriş

Patlamalara dayanıklı yapı tasarımının esas amacı yapıda oluşabilecek hasarları, yaralı-ölü sayısını en aza indirmek ve can güvenliğini sağlamaktır. Saldırıya maruz kalmış yapılarda işlevsel sürekliliği sağlamak da çok önemlidir. Örneğin hastaneler, itfaiyeler ve karakollar saldırıya uğrasalar dahi fonksiyonlarına devam edebilmelidirler. Patlamalara dayanıklı yapı tasarımı genelde estetik kaygılarla, ulaşılabilirlik sorunuyla, yangın yönetmeliği hükümleriyle ve bütçenin gerektirdiği kısıtlamalarla çelişir.

Patlamalara dayanıklı yapı fonksiyonuna, konumuna ve önemine bağlı olarak çeşitli formlarda tasarlanabilir.

3.2. Dayanıklı Yapı

3.2.1. Tasarım Etmenleri

Dayanıklı yapı tasarımında ilk adım, potansiyel tehlikeyi ve tehlikenin boyutlarını belirlemektir. Hasar gören bir yapının aşamalı yıkımla ona bitişik konumlanmış diğer yapıları da beraberinde yıkabileceğini göz ardı etmemek gerekir. Dış çevreden gelebilecek en yaygın tehlikeler bomba yüklü araba, kamyonet ve kamyonlardır. Yapı içindeki potansiyel tehlikeler ise düşük şiddette patlayıcı taşıyan çantalar, zarflar veya yapı yer altı otoparkında park halinde bulunan bomba yüklü araçlardır.[6]

Tablo 3.1. Yaygın saldırı şekilleri ve saldırı araçları[7]

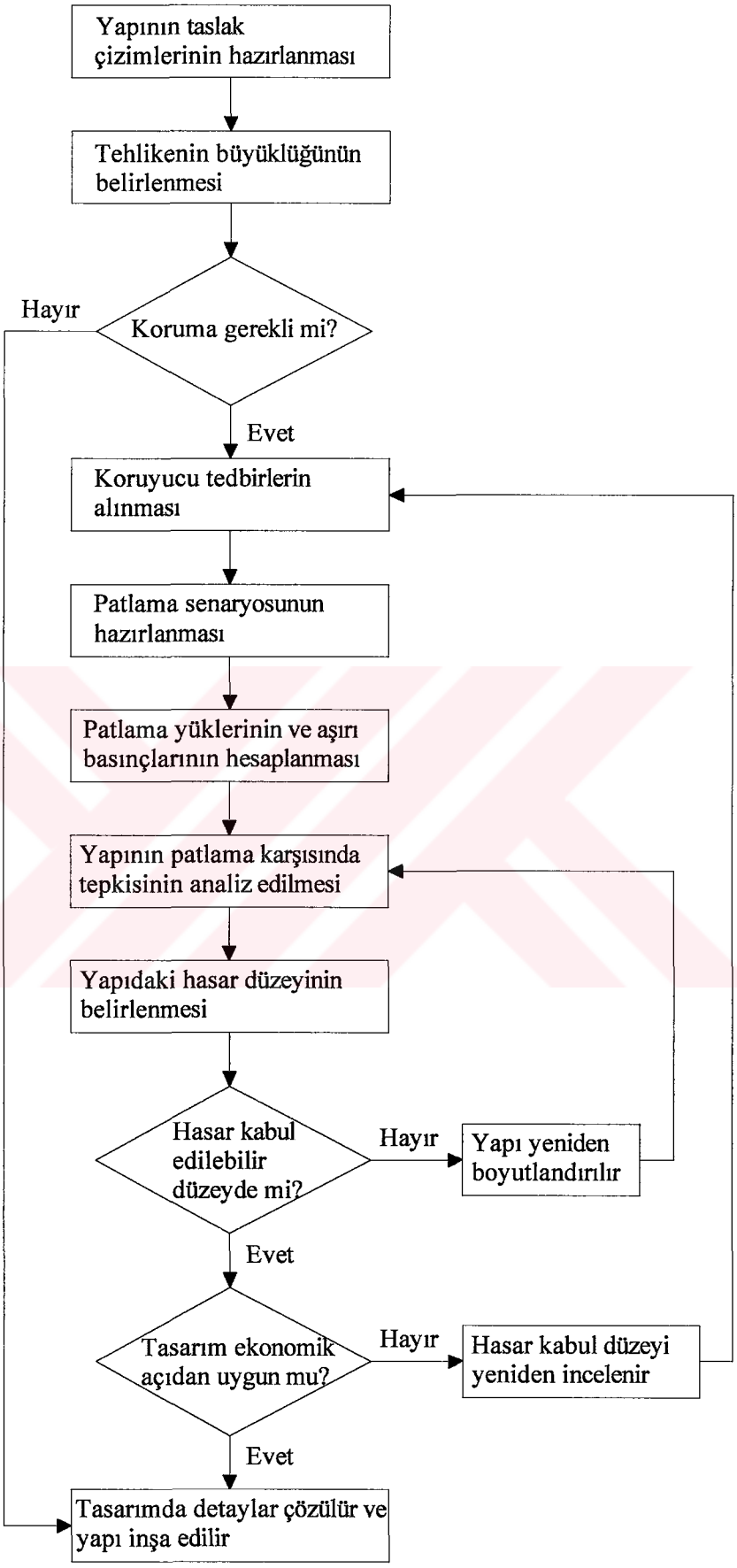
Saldırı şekilleri	Saldırı araçları
Hareket halindeki araçla saldırı	İntihar saldırısı. Araba, kamyon vb. araçların patlayıcı maddelerle yüklenerek yüksek hızla binaya çarptırılması.
Park halindeki araçla saldırı	Bina dışında veya otoparkında park halindeki araçla yapılan saldırı. Uzaktan kontrol ederek veya zaman ayarlı patlatma.
Dıştan gelen saldırı	El bombası, elle yerleştirilen bomba, el yapımı bomba.
Belli bir mesafeden saldırı	Roket, havan.
Silahlı saldırı	Küçük tip silahlar.
Binaya gizlice silah sokulması	Sahte kimlik kullanarak binaya silah veya bomba sokulması.
Yangın çıkarma, kundakçılık	Binaya yanıcı madde sokarak ve tutuşturarak yangın çıkarma.
Bombalı zarf ile saldırı	Zarf, mektup ve küçük boyutlu paketlerle binaya bomba sokulması.
Havadan yapılan saldırı	Kimyasal ve biyolojik etmenlerle.
Su kaynaklarıyla yapılan saldırı	Kimyasal, biyolojik ve radyolojik etmenlerle.

Dayanıklı yapı tasarımında bazı etmenler dikkate alınmalıdır. Saldırı sonrası bir binaya etkiyen kuvvetlerin büyüklüğü, standart tasarlanmış bir binanın taşıyabileceği kuvvetlerin büyüklüğünden çok daha fazla olacaktır. İlk birkaç saniyede binaya etkiyen kuvvetler dinamik karakterde olacaktır. Binanın formu, binadaki açıklıkların oranı ve düzeni ile kullanılan cephe kaplaması binaya etkiyen patlama kuvvetlerinin büyüklüğünü değiştirecektir. Patlama sonrası elektrik devrelerinin kontak yapması, ısıtma ünitelerinin kopması gibi ikincil etkiler sonucu oluşabilecek yangın tehlikesi, hasarın çok daha büyümesine sebep olacaktır. Nükleer bir saldırı söz konusu olduğunda insanlara zarar veren termal ve nükleer radyasyon etkileri kaçınılmaz olacaktır. Patlama basıncı etkisiyle cam yüzeyler kırılarak yüksek hızla çevreye dağılacak ve yapı kullanıcılarının yaralanmasına sebep olacaktır.

Kapılar ve tesisat boşlukları da tıpkı pencereler gibi patlama basınçlarını bina içine sokan zayıf noktalardır. Çerçeve yapılar her ne kadar panolu konstrüksiyon veya taşıyıcı konstrüksiyon yapılardan daha dayanıklı ise de, döşemeler içeri giren patlama basınçları etkisiyle bir anda yukarı itilecektir. Patlama basınçları hava kanallarından ilerleyerek bina tesisat sistemini de etkileyecektir; tasarım aşamasında alınacak önlemler ile bu etkiler en aza indirilebilir.[3]

Yapının patlamalara dayanıklı olması için ilk olarak tasarım aşamasında tehlike olasılığını ve tehlikenin büyüklüğünü azaltacak şekilde planlamaya gidilmelidir. Lokal yıkılmalar söz konusu olabilir, fakat bu durum yapının tümden yıkılmasına sebep olmamalıdır. Yangına karşı koruma önlemleri alınmalıdır, olası yangın durumunda yayılmasını önleyecek tedbirler alınmalıdır. İnsanları ve yapı içindeki değerli malları patlama dalgaları etkilerinden koruyacak şekilde planlama yapılmalıdır. Bina içinde insanların toplanacakları güvenli noktalar ve sığınaklar oluşturulmalıdır. Güvenli çıkış yolları planlanmalıdır. Saldırı sonrası yapıdaki hasarların onarımını mümkün kılacak şekilde planlama yapılmalıdır.

Yabancı ülkelerde yapı tasarımında alınması gereken korunma önlemleri için faydalanılan yönetmelikler, The Management of Health and Safety at Work Regulations(1992), The Construction Products Directive of the European Communities-Annex 1 ve The Construction (Design and Management) Regulations (1994)'dır.[8]



Şekil 3.1. Dayanıklı yapı için planlama akış diyagramı[8]

3.2.2. Yükün Dinamik Karakteri

Patlama kuvvetlerinin büyüklüğü ve dinamik karakterde olması, dayanıklı yapı tasarımı için yeni yöntemler ve çözümler gerektirir. Yapı elemanlarının plastik deformasyonu ve düktil davranışıyla, binayı fonksiyonu elverdiği sürece şiddetli patlama yüklerine dayanım sağlayacak şekilde tasarlamak gerekir. Bu yapılmazsa ve binanın tüm yapı elemanları elastisite sınırları altında kalan gerilmelerle patlama kuvvetlerine dayanıklı tasarlanırsa maliyet çok daha yüksek olur.

Binanın yıkılmasına karşı emniyet payı oluşturmak, bina tesisatında oluşabilecek hasarları sınırlamak ve bina fonksiyonunu bozmamak için tasarım aşamasında plastik distorsiyon (biçim bozulması) miktarını minimum değerde tutacak önlemler almak gerekir.

Yükün dinamik karakteri, tasarım yönteminin dinamik analizlere bağlı olmasını gerektirir. Bazı özel durumlarda dinamik patlama yüklerinin yerine eşdeğer statik yükler kullanılabilir; analiz ve tasarım için geleneksel statik yöntemler kullanılabilir. Yine de gelişigüzel analizler ve uygulamalar hatalı sonuçlara ve dolayısıyla hatalı tasarımlara sebep olur.

3.2.3. Yapının Formu

Binanın formu, binaya etkiyen patlama kuvvetlerinin büyüklüğünü ve dağılımını önemli ölçüde belirler. Örneğin kemer veya kubbeli yapılar, kutu tipi binalarla kıyaslandıklarında patlama yüklerinin büyüklüğünü azaltıcı bir eğilim gösterirler. Kutu tipi binalar için öteleyici patlama kuvveti büyüklüğü, patlama dalgalarının yayıldığı yöndeki bina uzunluğuna bağlıdır. Bina uzunsa, daha fazla yük alır. Bu, öteleyici yükün, yani binanın ön ve arka duvarları arasındaki basınç farkının sonucudur.

Binada kapı ve pencere gibi açıklıkların olması dayanım açısından olumsuz bir durumdur. Bina cephesindeki açıklıklar, patlama yüklerinin bina içine girerek iç bölmelere ve çalışanlara zarar vermesine sebep olur. İç bölmeler güvenlik açısından binada ciddi tehlikeler oluşturabilir. Bunlar genelde hafif elemanlardır ve en düşük patlama yüklerinde bile zarar görüp yıkılır, parçaları bina içinde ikincil hasarlara neden olur. İç bölme elemanlarının tamamen kaldırılması veya daha dayanıklı hale getirilmesi ikincil hasar oluşumunu engelleyebilir. Boşluklu yapılarda biçim bozulmasına neden olan kuvvetlerin büyüklüğü azaltılamaz. Patlama sonrası

boşluklu bina üzerinde yanal kuvvetlerin etkisini belirlemek, penceresiz bir bina üzerinde yanal yüklerin etkisini belirlemekten daha zor olur.

3.2.4. Yangın Tehlikesi

Patlamalara dayanıklı yapı tasarımında geleneksel yapım metotlarındakinden çok daha kontrollü yangın güvenlik standartları uygulanmalıdır. Özellikle yapı içinde patlama sonrası yangın çıkması hasarın çok daha büyümesine neden olur. Yapı iç elemanları ve taşıyıcı sistemi öncelikli olarak patlamanın etkilerine, ikincil olarak ise yangına dayanım gösterecek şekilde tasarlanmalıdır. Kullanılan malzemeler kolay tutuşabilir özellikte olmayan, yangına karşı korunmalı malzemeler olmalıdır.

3.2.5. Radyasyon

Nükleer saldırı sonucu oluşan termal ve nükleer radyasyonlar insanlara büyük oranda zarar verir. Bir patlama sonucunda patlayıcının özelliğine bağlı olarak radyoaktif parçacıkların atmosferde aşağıya doğru inmesi (radioactive fallout) geniş alanda yüksek radyasyon tehlikesi doğurur. Nükleer ve termal radyasyona karşı koruma beton, çelik, kurşun veya başka malzemelerden yeterli kalınlıkta yapılmış duvarlarla sağlanır. Amaç, radyasyon yoğunluğunu orta seviyelere indirebilmektir.

3.3. Tasarım Öncesi Genel Kararlar

3.3.1. Arazi Seçimi ve Dış Alan Düzenlemesi

Genelde patlama etkilerine karşı korunmada en maliyetsiz yöntem, geniş alana yayılmaktır. Daha fazla güvenlik, riski yüksek olmayan alanlara yerleşimle sağlanır.

Eğer arazi içine dağılım mümkün değilse ve yerleşik alanda veya riskli bölgelerde yapılaşma zorunluysa başka etmenler değerlendirilmelidir. Örneğin, yoğun yerleşik arazilerde ve muhtemel yangın bölgelerinde yapılaşmadan kaçınılmalıdır. Başka çare yoksa, bu alanlar yangına karşı izole edilmeli ve sığınaklar için yeterli temiz hava imkanı sağlanmalıdır.[3]

Uzak durma mesafesi, zemin seviyesinde patlama kaynağı ile hedef yapı arasındaki yatay mesafedir. Uzak durma mesafesini arttırmak ve binayı arazi içinde sınırlardan maksimum uzaklıkta konumlandırmak, saldırılara karşı koruma sağlayan önemli tedbirlerden biridir. Tercihen yol, demiryolu, kanal, bisiklet yolu gibi ulaşım

yollarını taşıyan yükseltilmiş viyadüklerle arazi bitişik olmamalı veya arazi içinden bu yollar geçmemelidir.[8]

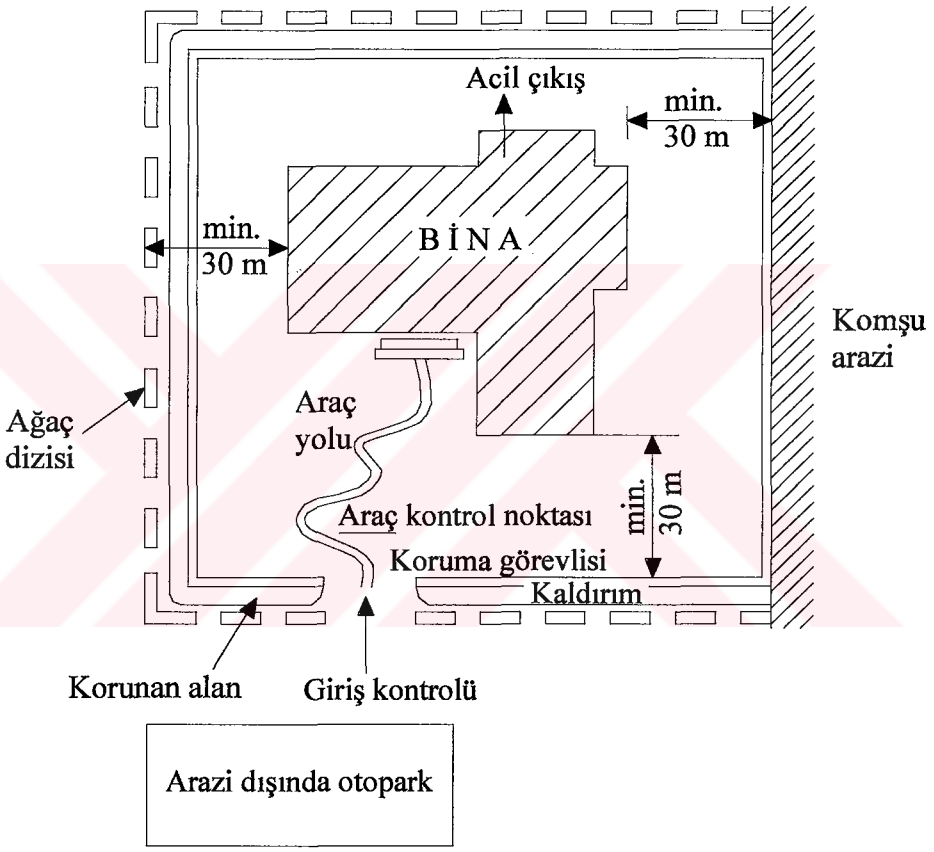
Tablo 3.2.Yeni veya mevcut binalar için gerekli minimum uzak durma mesafeleri[9]

Konum	Bina türü	Gerekli uzak durma mesafesi		
		Uygun koruma seviyesi	Klasik yapım tarzı için uzak durma mesafesi (m)	Etkili uzak durma mesafesi (m)
Denetim altındaki alanlar veya denetim altında olmayan park alanları ve yollar	Kışla türü büyük yapılar	Düşük	45	25
	Toplantı yapıları	Düşük	45	25
	İçinde oturulan yapılar	Çok düşük	25	10
Denetim altındaki park alanları ve yollar	Kışla türü büyük yapılar	Düşük	25	10
	Toplantı yapıları	Düşük	25	10
	İçinde oturulan yapılar	Çok düşük	10	10
Çöp kutuları	Kışla türü büyük yapılar	Düşük	25	10
	Toplantı yapıları	Düşük	25	10
	İçinde oturulan yapılar	Çok düşük	10	10
Bitişik nizam yeni yapılar	Kışla türü büyük yapılar	Düşük	10	—
	Toplantı yapıları	Düşük	10	—
	İçinde oturulan yapılar	Çok düşük	—	—

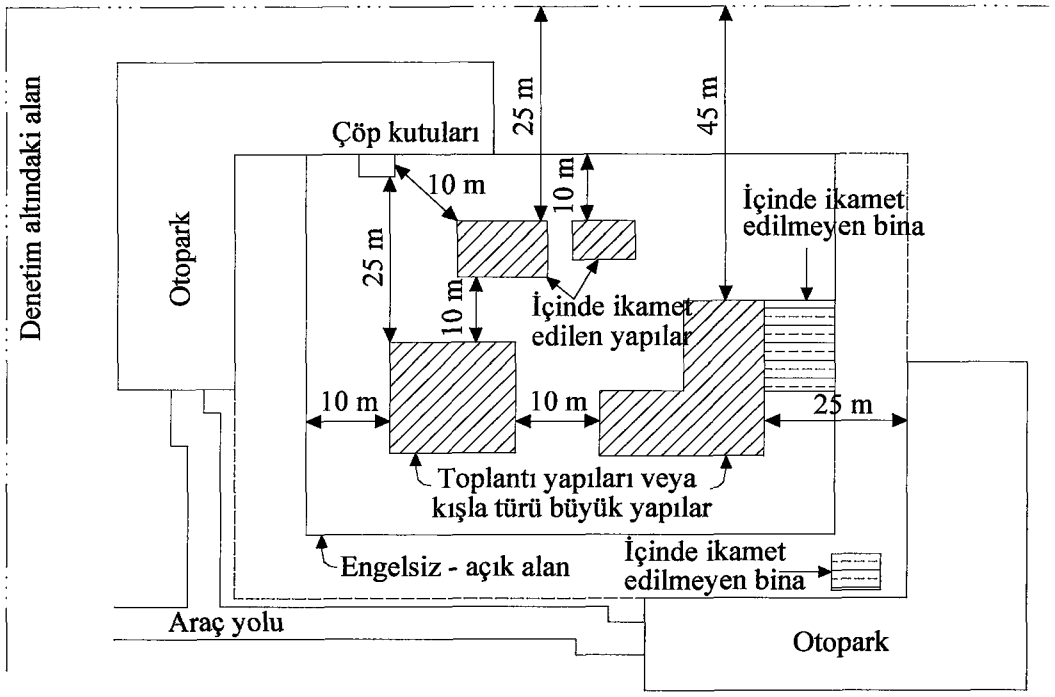
Dayanıklı yapı tasarımı için arazi içinde aktif ve pasif koruma yöntemleri uygulanır. Pasif güvenlik önlemleri güvenlik duvarları, basamaklar ve setler, çitler, direkler, arazi içinde ve sınırlarında ağaçlandırma yapma, caddeye babalar ve sokak mobilyaları yerleştirme gibi çevresel koruma yöntemleridir. Çevresel koruma yöntemlerinin yeterli olmadığı durumlarda binayı kısmen veya tamamen

sağlamlaştırmak gerekebilir. Aktif güvenlik önlemleri ise istihbarat, gözetim ve denetimi içeren faaliyetlerdir.[6]

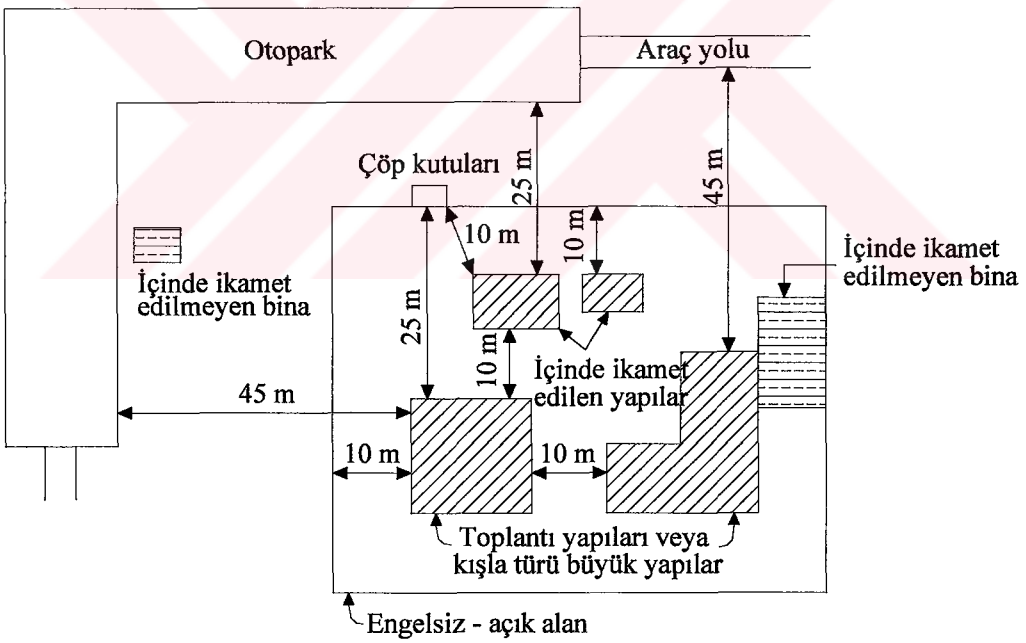
Bina giriş ve çıkışlarında araç trafik kontrol noktaları olması, güvenlik noktaları oluşturulması, metal detektörlerinden geçilmesi, bagaj ve çantaların X-ray cihazlarından geçirilmesi, güvenlik kameraları yerleştirilmesi, çevre aydınlatmaları yapılması ve çalışanlar için ayrı giriş-çıkış noktalarının yapılması aktif güvenlik yöntemlerinin bir kısmıdır.[7]



Şekil 3.2. Saldırıya karşı arazinin düzenlenmesi – şematik gösterim[10]



Şekil 3.3. Denetim altındaki alan için gerekli uzak durma mesafeleri[9]



Şekil 3.4. Denetim altında olmayan alan için gerekli uzak durma mesafeleri[9]

3.3.2. Koruma Seviyesi

Mevcut yapıda veya yeni yapı tasarımında koruyucu konstrüksiyon olsa da olmasa da istenen koruma seviyesini sağlamak ve bazı kararlar almak gereklidir.

Bu kararların oluşmasında etkili faktörler patlama olasılığının, patlama kaynağının boyutlarının, patlayıcı yük miktarının ve binanın kaynaktan uzaklığının belirlenmesi,

saldırıya karşı donanımın zayıflığı ve çeşitli koruyucu konstrüksiyonların maliyeti ve uygulanabilirliğidir.[3]

Tablo 3.3. Mevcut yapılar ve yeni yapılar için koruma seviyeleri[9]

Koruma seviyesi	Taşıyıcı sistemde potansiyel hasarlar	Kapılarda ve cam kaplamalarda potansiyel hasarlar	İnsanlarda potansiyel hasarlar ve yaralanmalar
Anti terörizm standartları altında	Ciddi hasar oluşur. Taşıyıcı çerçeve yıkılır, yapı tümden yıkılabilir. Çok küçük bir bölümü ayakta kalabilir.	Kapılar ve camlar kırılır, ölüme sebebiyet veren hasarlar oluşturur.	Bina kullanıcılarının büyük bölümü ölür.
Çok düşük	Ağır hasar oluşur. Yapısal yıkımın başlangıcıdır. Birincil ve ikincil yapı elemanlarında geniş çaplı deformasyon meydana gelir, fakat aşamalı yıkılma gerçekleşmez. Taşıyıcı olmayan bazı elemanlar çöker.	Cam kaplamalar kırılır, bina içine saçılır, cam kırıkları yaralanmalara yol açar. Kapılar yerinden çıkar, parçalanır.	Bina kullanıcılarının büyük bölümü ciddi oranda yaralanır. Ölüm oranı %10 - %25 arasında olur.
Düşük	Onarımı mümkün olmayan hasarlar meydana gelir. Taşıyıcı olmayan elemanlar ve ikincil yapı elemanları deforme olur, birincil yapı elemanlarında küçük çaplı deformasyon olur. Aşamalı yıkılma gerçekleşmez.	Cam kaplamalar kırılır, fakat en fazla duvardan 1 mt mesafede dağılır. Bazen kırılmaz. Kapılar kasalarından çıkabilir veya dönme hareketi yapabilir, ciddi hasara neden olmazlar.	Bina kullanıcılarının büyük bölümü önemli ölçüde yaralanır. Ölüm oranı %10 'dan az olur.
Orta	Meydana gelen hasarlar onarılabilir niteliktedir. Taşıyıcı olmayan elemanlarda ve ikincil yapı elemanlarında kısmen deformasyon olabilir. Birincil yapı elemanlarında kalıcı deformasyon görülmez.	Cam yüzeyler kırılır fakat taşıyıcı çerçeveleri kalır. Kapılar kasalarından çıkmaz fakat tekrar kullanımları mümkün olmaz.	Hafif yaralanmalar olur, ölümle sonuçlanan ciddi yaralanmalar gerçekleşmez.
Yüksek	Yüzeysel hasar görülür. Birincil ve ikincil yapı elemanlarında ve taşıyıcı olmayan elemanlarda kalıcı deformasyon olmaz.	Cam yüzeyler kırılmaz. Kapılar yeniden kullanılabilir.	Yüzeysel yaralanmalar olur.

3.3.3. Toprak üstü Yapılarda Taşıyıcı Sistem Seçimi

Çeşitli faktörler taşıyıcı sistem seçimini etkiler. Yapı malzemeleri, yapı formu ve taşıyıcı sistem bağlantıları binanın patlama yükleri karşısında ayakta kalmasını sağlayan etkenlerdir. Fakat, normal inşa edilmiş binalarda kullanılan konstrüksiyon

türleri patlama yüklerine karşı güçlendirilmiş binalar için genelde uygun olmaz. Patlama yüklerine karşı korunan binalar genelde kontrollü deformasyon yoluyla patlamanın enerjisini soğuracak şekilde tasarlanır ve detaylandırılır.[8]

Tasarım aşamasında, yapının işlevine göre uygun alan seçilir ve bu alanda yapılacak düzenlemeler belirlenir. İşlev, çerçeve sistemin seçimini de etkileyen cephe kaplamasının belirlenmesinde de önemlidir. Örneğin cephe kaplaması olarak kırılgan bir kaplama malzemesi seçilebilir. Bu seçim, patlama yüküne maruz kaldığında yapının büyük çapta hasar görmesine neden olacaktır. Bu yüzden, daha sağlam ve ağır duvar panellerinin kullanımına yönelmek gerekebilir. Sonuçta, duvar panellerinin kullanımı, yapının taşıyıcı sistem seçimini de değiştirecektir.

Taşıyıcı sistem belirlenirken etkili diğer bir faktör de yapının formudur. Dikdörtgen formlu yapılar, patlama yüklerinin dağılımı açısından, kemer ve kubbe formlu yapılara göre daha avantajlıdır. Geometrik formların bina üzerindeki patlama yükü etkilerini azaltıcı özelliği vardır. Bu etmen göz önüne alınarak, seçilen yapı formuna uygun taşıyıcı sistem düşünülmelidir.[3]

Yapı çerçevesi ele alınırken, bina dışında açıkta kalan kolonlar gibi korunmasız tekil yapı elemanlarından kaçınılmalı, taşıyıcı sistem ciddi dinamik yükleri taşıyabilecek ve aşamalı yıkılma olasılığını azaltacak kapasitede sağlam olmalı, alternatif yük taşıma yolları sağlanmalı, zarar görmüş döşeme plaklarını ve kolonları taşıyacak sabit destek sistemler oluşturulmalı, beton döşeme plağının çökmesi durumunda yük yakındaki yatay desteklere aktarılabilmeli, alttan ve üstten etkiyen patlama yüklerine karşı kiriş-kolon bağlantı detayları doğru çözülmeli, çerçeve sistemlerde bağlantı noktalarında patlama enerjisini soğuracak düktil detaylar çözülmeli, yapıyı bağlayacak çerçeve kirişleri oluşturulmalı, çevre kolon başlıklarında asma panolarla üstteki döşeme plağı açıklığı düşürülmeli, riskli bölgelere ilave yatay ve düşey destek sağlamak için ek kirişler yerleştirilmeli, bu duruma aykırı çalışan transfer kirişlerinin kullanımı sınırlandırılmalı ve ilave yapısal takviyeler -kompozit lifli sargılar, polimer iç kaplamalar, çelik levhalar, jeotekstil dokular- uygulanmalıdır.[7]

3.3.4. Yer altı Yapım Sistemi Seçimi

Patlamalara dayanıklı yapıya etkiyen patlama kuvveti büyüklüğü yer altı yapım sistemiyle azaltılabilir. Ayrıca, nükleer radyasyona karşı yapılması gerekli koruyucu kabuk sorunu ortadan kalkar; toprak radyasyon etkisini azaltmakta etkilidir. Bu iki

olumlu etmen, yer altında yapılanmayla patlamalara dayanıklı yapı tasarımına ekonomik bir çözüm getirir.

3.3.5. Duvar ve Cephe Kaplaması Seçimi

Belirli yapı türleri özellikle endüstri yapıları, kırılgan duvar tipi yapıma uygun olabilir. Kırılgan duvarlar yüzeylerine etkiyen düşük basınç kuvvetleri altında çatlar. Bu tip yapılar -patlama basıncına maruz kalan yüzeyleri azaltılarak- içinde bina kullanıcılarının olmadığı durumlarda ve iç yapı malzemelerinin yıkılan duvarların oluşturacağı hasarlara dayanım gösterebileceği durumlarda kullanılır. Diğer çoğu yapı türünün patlamalara dayanıklı, penceresiz duvarlara gereksinimi vardır.[3]

3.4. Patlama Yüklerine Dayanıklı Yapı Tasarım İlkeleri

3.4.1. Bina Programı Kriterleri

Patlama yüklerine dayanıklı yeni bir bina planlarken bazı soruların cevaplarına göre ana tasarım kriterleri belirlenir. İnşaat için uygun alanların nereleri olduğu, bu alanların saldırı olasılığı yüksek diğer alanlardan ne kadar uzaklıkta olduğu, yapının tamamen -hem iç hem dış yapı elemanlarının- korunmasının gerekip gerekmediği, bina çalışanları için saldırı durumlarında toplanılacak bir merkezi alanın gerekli olup olmadığı, arazi özelliklerinin, tüneller ve terkedilmiş maden ocaklarının saldırı durumunda avantaj oluşturup oluşturmayacağı, yer altı inşasının uygun olup olmadığı ve uzun süreli barınma gerekliliği karşısında çalışanlar için acil durum sığınaklarının gerekli olup olmadığı gibi sorulara yanıtlar aranır. Yeni bir bina tasarlanırken, potansiyel tehlikeyi ve yaralanma, hasar gibi riskleri azaltmak için planlama aşamasında birçok önlem alınabilir.

3.4.2. Konstrüksiyon Şekli

İşlevsel gereksinimler projenin konstrüksiyon seçiminde büyük önem taşır. Patlama dalgasının ve radyasyon yüklerinin yapı çerçevesi, duvarlar, çatı ve giriş elemanları üzerindeki etkisi, yapılacak planlamayı tasarım problemine dönüştürür. Patlamalara dayanıklı bina için çeşitli konstrüksiyon türleri kullanılır. En iyi koruma, gömülü veya yarı gömülü yapılarda sağlanır.

3.4.2.1. Gömülü veya Yarı Gömülü Yapı

Bu tip yapı formu şiddetli patlamalara son derece dayanıklıdır. Üstü toprakla kaplanmış yer altı veya yer üstündeki yapıların patlama durumunda avantajlarını kullanmak gerekir. Bu tip yapılarda,

- Yapı üzerindeki patlama yükünün azalması, toprak örtüsünün soğurucu özelliğine bağlıdır.

- Yapı toprak altındaysa, hem yansıyan basıncın etkisini kaybetmesinden hem de topraktaki basıncın azalmasından dolayı daha az patlama yükü etkili olur.

- Toprağın kütlesi, yapının ataletini arttırır ve bu yüzden yapı üzerindeki net yükü azaltır, dolayısıyla yapı üzerindeki gerilim ve deformasyon da azalır.

- Toprak, yapı üzerinde kemer gibi davranır ve patlama yükünün büyük bölümünü taşıyarak yapısal gerilimi azaltır.

Toprak örtüsü nükleer radyasyona karşı insanların da korunmasını sağlar. Bu katman yapının tamamını koruduğu için yer üstü yapılarında olduğu gibi nükleer radyasyona karşı ayrı ya da özel koruma alanları oluşturmak gerekmez.

Yapının işlevi veya zemin durumu, gömülü veya yarı gömülü yapı inşaatına engel olabilir. Bu gibi durumlarda yer üstü strüktür çözümlerinden birini uygulamak gerekir.

3.4.2.2. Perde Duvarlı Yapı

Yer üstü yapılarında perde duvar sistemi uygun olduğu müddetçe kullanılmalıdır, çünkü bu sistem geleneksel rijit çerçeve sisteme oranla dayanım ve maliyet olarak çok daha avantajlıdır. Perde duvarların, döşemelerin ve çatının betonarme olması tercih edilir. Gene de donatılı tuğla kagir perde duvarların da belli bölgelerde kullanımı vardır. Döşeme ve çatı çelik konstrüksiyon olarak yatay patlama kuvvetlerini dış duvarlardan perde duvarlara aktaracak şekilde de detaylandırılabilir.

3.4.2.3. Kemerli ve Kubbeli Yapı

Bu tip yapıların şiddetli patlamalar karşısında iki avantajı vardır. İlki, gelen patlama dalgasının eğri bir yüzeye çarpması sonucu etkiyen yükte azalma olmasıdır. İkinci avantajı ise, bu yapıların yüksek mukavemetli olmasıdır. Bu yapıların dezavantajları

ise sınırlı alan düzenlemesi gerektirmesi ve eğri yüzey oluşturmanın yüksek maliyetidir.

3.4.2.4. Rijit Çerçeve Yapı

Perde duvar, kemer veya kubbe form konstrüksiyon kullanılamadığında rijit çerçeve sistem kullanılmalıdır. Mekan gereksinimlerinden ötürü de bu sistem kullanılabilir. Rijit çerçeve sistemle beraber yapının belli bölümlerinde perde duvar kullanmak da ekonomik açıdan uygunluk sağlar.

3.4.2.5. Tek katlı – Çok katlı Yapı

Maliyetlerine göre bazı durumlarda öncelikleri değişse bile çoğu zaman tek katlı yapı çok katlı yapıya göre daha fazla tercih edilir. Düşeydeki açık yüzeylere çok büyük yanal kuvvetler etkidiğinden, çok katlı yapıların alt katlarında yanal kuvvetlere dayanıklı konstrüksiyon yapmak gereklidir. Dolayısıyla maliyet çok daha yüksek olur.

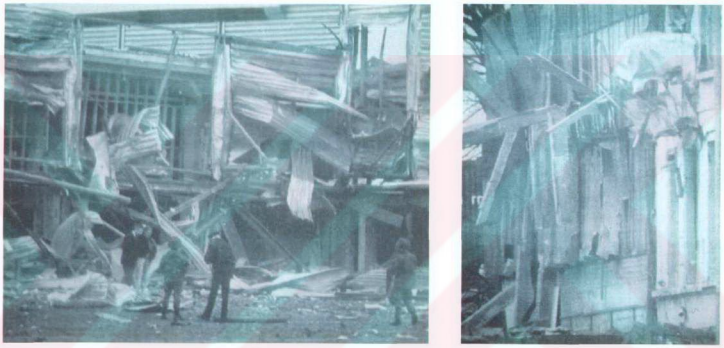
3.4.2.6. Dış Duvarlar ve Cephe Kaplamaları

Patlamalara dayanıklı bir bina tasarlanırken, duvar tipine göre planlama yapılmalıdır. Dış duvarlar ya patlamaya karşı istenen dayanımı sağlayacak ve patlama kuvvetlerini dışarıda tutabilecek şekilde kuvvetli olmalı, ya da patlama esnasında etrafa fazla zarar vermeden küçük parçalara ayrılarak kolayca yıkılabilecek yapıda olmalıdır. Duvarların kırılgan yapıda olması isteniyorsa oluklu asbestli çimento duvar tercih edilebilir.[3] Kırılgan malzemeli konstrüksiyon hem patlama yükleri altında ani çökmelere karşı zayıftır, hem de patlama rüzgarı ile fırlatılan ve hasara sebep olan büyük moloz yığıntısı oluşturur. Donatısız beton, tuğla, ahşap, kagir ve ondüle plastik kırılgan yapılı malzemelerdir. Bu malzemeler patlama yüklerine karşı korunan boşluklu yapıların dış kabuğunda kullanılabilir.[8]

Duvarların patlamalara dayanıklı olması isteniyorsa mümkün olduğunca penceresiz yapılmalıdır. Donatısız tuğla, beton briket tuğla, asbestli çimento kaplama, zayıf çelik kaplama vb. yapısal anlamda zayıf malzemeler kullanılmamalıdır. Elçilik binaları gibi geniş çaplı güvenlik gerektiren yapılarda tüm cephenin maksimum %15'i cam kaplama yapılabilir.

Betonarme, patlamalara karşı dayanımı en iyi olan malzemelerdendir. Donatılı kagir duvar ise daha düşük basınçlı patlamalara karşı kullanılabilir. Kirişlere bağlı yakın aralıklarla dizilmiş belli tür metal yalı baskısı da kullanılabilir.[3]

Cephe kaplamaları da dış duvarlar kadar tasarımda dikkate alınması gereken elemanlardır. Çatı ve cephelerdeki levha paneller hasara uğrarsa bükülür, biçimleri bozulur ve tespit noktalarında mutlaka sorunlar çıkar. Hasar görürlerse bu elemanları değiştirmek gerekir. Gelen patlama basınçlarına karşı, patlama kaynağına yakın ve hasarın fazla olmasının beklendiği kısımlarda, elemanların birleşim yerlerindeki sızdırmazlık macunu yetersiz kalabilir, bu bölgelerin hava koşullarından etkilenmemesi için yeniden macunlanması gerekir.



Şekil 3.5. Hasar gören cephe kaplamaları, Boucher Street, Belfast[5]

Hafif giydirme cephe sistemleri patlamalara karşı dayanıklı değildir. Prekast beton panolar koruma sağlayan cephe kaplamalarıdır ve elastik kuvvetlere dayanım gösterebilen sağlam bağlantı detayları vardır. Pano tespit elemanları sağlam olmalı ve pano montajları doğru yapılmalıdır. Esnek bağlantı levhaları ve delikli pullar tercih edilebilir. Yapıştırıcı ile tespit edilen seramik ve mozaik gibi daha hafif cephe kaplamaları yapıştıkları yüzeyden daha zor ayrılırlar. Gene de patlama sonrası mutlaka hasar oluşacaktır.[11]

3.4.2.7. Pencereli - Penceresiz Yapı

Patlamalar sonucu kırılan pencereler ve camlar yapı kullanıcılarının yaralanmasına sebep olabilir. Standart pencere camı 14 kN/m^2, TTG temperli cam 207-276 kN/m^2, ESP cam 104 kN/m^2 basınç kuvvetine dayanıklıdır.[7] Temperlenmiş düz cam düşük

patlama yüklerinde bile kırılabilir ve patlayabilir, yapı dışında ve strüktüründe bir hasar oluşmamasına rağmen yapı içinde geniş çaplı hasar oluşturabilir. Bu sebeple bina tasarımında pencere açıklıklarının ve cam yüzeylerin patlama yükleri karşısında dayanımlarını arttırmaya dikkat etmek gerekir.

Uygun cam malzemenin seçimi önemlidir ve lamine cam bu anlamda en uygun malzemedir. Lamine cam, aynı kalınlıktaki düz pencere camına gelen yükten daha az bir statik veya dinamik yükle çatlar, fakat dağılmaz. Bu özellik, lamine camın polivinil butiral (pvb) tabakasında mambran etkisinin oluşumuna bağlıdır. Tamamen dağılma, camın büyük deformasyonlar sonucu pencere çerçevesinden çıkmasıyla olur. Sağlam lambalı pencere çerçeveleri camın hemen kırılmasına ve dağılmasına karşı koruyucudur.



Şekil 3.6. Patlama sonrası sağlam kalan lamine camlar, Europa Hotel, Belfast[5]

Patlamalara dayanım sağlayabilen lamine camın minimum kalınlığı 7.5 mm'dir. Bu kalınlık, 3 mm'lik iki cam tabaka arasına sıkıştırılmış 1.5 mm kalınlığında pvb tabakasıyla sağlanır. Daha az kalınlıkta pvb tabakasıyla sıkıştırılmış lamine cam kullanımından kaçınılmalıdır çünkü kompozit pencere camlarına patlamaya karşı dayanıklılık özelliği katan tabaka pvb tabakasıdır. Eğer çift cam kullanılacaksa, yapı içine bakan tarafında lamine cam kullanılmalıdır. Dışa bakan tarafta flot cam kullanılabilir, ama gene de sekurit cam kullanılması daha fazla güvenlik sağlamak için tercih edilir.

Güvenliği arttırılmış çerçevelerde lamba derinliği 30 mm olmalıdır ve cam çıtaları camın içe ve dışa doğru oynamasını engellemelidir. Kapalı durumdayken yerlerinde sağlam kalmaları için vasistasların sağlam menteşeleri ve çok dilli kilitleri olmalıdır. Çerçevelerin tespit elemanları ve tespit edildikleri yüzeyler patlama yüklerine dayanım gösterecek şekilde sağlam olmalıdır.

Özel çerçevelerde lamine cam kullanımına alternatif olacak başka bir yöntem, düz camın iç yüzeyine dağılmaz film tabakası yapıştırmak ve pencerelerin iç kısmını tül perdeler ile örtmektir. Yine de bu yöntemin daha az emniyetli olması, perdelerin çirkin görüntü oluşturması, film tabakasının kolaylıkla hasar görebilmesi ve ortalama ömrünün az olması gibi bazı dezavantajları vardır.[11]

Basınç düzeyi 69 kN/m^2 'den yüksek patlamalara karşı tüm yapıların penceresiz olması istenir. İç mekanları patlamalara dayanıklı tasarlanmış belli tür yapılarda kırılgan dış duvarlar veya pencereler kullanmak avantajlı olabilir.

Penceresiz bir yapının avantajları;

- Patlamalara dayanıklı konstrüksiyona sahip penceresiz yapı tüm binada dayanıklı iç mekanlar oluşturur.

- Pencerelerin kaldırılması daha kullanışlı duvar yüzeyleri anlamına gelir.

- Kışın daha az ısı kaybı, yazın daha az ısı kazancı olur.

- Aydınlatma daha düzenli yapılır.

- Pencereler, sağır duvara göre çok daha yüksek maliyetlidir.

- Patlama esnasında pencerelerin kırılmasından doğacak büyük hasarlardan kaçınılır. Bir patlama sonucu camların kırılması, yapısal hasara oranla ve hem termal hem de nükleer radyasyon etkilerine oranla çok daha tehlikeli olabilir.

Penceresiz bir yapının dezavantajları ise;

- Mekanik havalandırma ve klimatizasyon gerektirir.

- Çoğu zaman gün ışığını alamamak olumsuz ve istenmeyen bir durumdur.

Endüstri yapıları benzeri belli tür yapılarda, güçlendirilmiş çerçeve sistemle beraber kırılgan duvar kullanımı maliyet açısından çok daha ekonomik olur.



Şekil 3.7. Patlama sonrası yapı içinde oluşan hasarlar, London Docklands[12]

3.4.2.8. Form

Tüm koruyucu konstrüksiyonlarda duvar yükseklikleri minimumda tutulmalıdır. Bu durum, yanal yükler etkisinde kalacak alanları ve aynı zamanda etkiyen toplam yanal yük miktarını azaltır. Duvar yüksekliklerinin azaltılması, kolonlarda ve perde duvarlardaki eğilme momentini de azaltır.

Patlamaya dayanım gerektiğinde geniş açıklıklı yapılar yüksek maliyetlidir. Bu nedenle hangarlar, oditoryumlar, silah depoları gibi yapıların inşaatları çok zor ve maliyetlidir. Kemer veya kubbe formları hangarlar için daha ekonomik olabilir.

Üç kattan daha yüksek yapılar sorunsuz inşa edilebilir fakat maliyetleri az katlı yapılara göre daha fazla olur. Bununla birlikte maliyet binanın oranlarıyla da ilgilidir, ince uzun binalar geniş ve yayvan binalara göre daha maliyetli olur.

3.4.2.9. Kapı, Tesisat Boşluğu vb. Açıklıklar

Bir dayanıklı yapı tasarımında tüm giriş-çıkışlar patlamalara dayanıklı kapı veya kaplamalarla korunmalıdır. Çeşitli elemanlar gelen basınç dalgalarına hem olumlu hem olumsuz tepki gösterirler. Menteşe ve kilit detayları özenle tasarlanmalıdır, böylece kalıcı deformasyon ve sıkışma olasılığı önlenir. Radyoaktif madde yayılımından ve etkilerinden korunmak için kapıları mühürlemek gerekebilir.

Havalandırma kapakları otomatik kapanabilir olmalı, patlama olduğunda basınçtan veya ateşten kendiliğinden harekete geçmelidir.

3.4.2.10. Temeller

Temeller düşey kuvvetlere normalden daha fazla dayanım göstermelidir. Toprak statik yüklere oranla dinamik yüklere çok daha fazla dayanım gösterir. Temellerde kısa süreli düşey yüklere ek olarak kısa süreli yatay yükler ve devrilme etkisi yaratan yükler de vardır. Yapının, kısa süreli ağır yükler altında devrilmeye ve kaymaya karşı eğilimi incelenmeli, planlama aşamasında gerekli düzenlemeler yapılmalıdır.

Binaların kayması hem temellerin arka düşey yüzeylerindeki pasif basınçla, hem de toprak ile temel arasındaki sürtünme kuvvetiyle engellenir. Kazık temelleri olan binalarda temellerin yanal hareketi, kazıklardaki yanal kesme kuvveti ve eğilme kuvvetiyle engellenir. Bazı durumlarda eğik kazıklar kullanılabilir.

Temellerin kaymasını engelleyebilmek için tüm dayanım kuvvetlerini kullanmak gerekir. Bu durum, dayanım göstermesi gereken noktalara yatay kuvvetleri yayan temel destekleri veya yüksek kiriş özelliği gösteren döşeme plağı kullanmayı gerektirir. Tüm bina tiplerinde yatay gelen patlama yükleri, binanın arka tarafında yüksek basınç kuvvetleri oluşturarak binayı devirme eğilimi gösterir, temel basıncının düzensiz dağılımına sebep olur. Sömellerin alt yüzeyindeki sürtünme kuvveti düşeydeki temel basıncıyla orantılı olduğundan, bina ön yüzeyinde sürtünmeye dayanım çok az olur. Binaların ön yüzeylerine yakın duvar ve kolonlarda sömellerin alt yüzeylerinde oluşan sürtünme dayanımının yetersizliği, bu sömellerin arkasındaki pasif basıncın etkisiyle oluşacak yanal dayanımdan faydalanmayı, sömel destekleri kullanmayı veya zemin basıncının yüksek, sürtünme kuvvetinin fazla olduğu arka sömellere bağlı döşeme plakları kullanmayı gerektirir. Binanın arka tarafında patlama basıncının zemin yüzeyindeki etkisi nedeniyle arka duvar sömellerinin arka düşey yüzeylerinde pasif basınca karşı dayanım, ön duvar sömellerinde olduğundan çok daha yüksektir.

İç kolonların düşey yükler taşıdığı fakat yanal kuvvetlerin etkisinde olmadığı perde duvarlı yapılarda kolon yükleri, perde duvarlara etkiyen yanal kuvvetlere dayanım amacıyla sürtünme kuvvetleri oluşturur. Bu durumda kolon sömelleri döşeme plağı yüksek kirişlerle perde duvarlara bağlanabilir veya radye temel kullanılır.

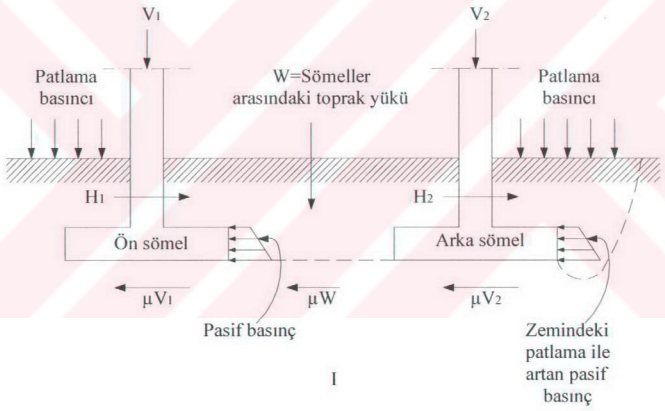
Rijit çerçeve hareketiyle yatay patlama yüklerine dayanım gösteren yapılarda çerçeve kolonlarının altında dönmeye karşı maksimum dayanımı sağlamak gerekir. Bu kolonların münferit sömelleri standart ölçülerden daha büyük olmalıdır. Bu durum kimi zaman sürekli temel veya radye temel kullanımını gerektirir.

Sömel toprakta yatayda hareket ederse toprak sömelin arka yüzeyinde pasif basınç oluşturur. İç duvar veya dış duvar sömellerinde pasif basınca bağlı dayanım, zemin yüzeyinden olan derinliğine ve sömellerin arasındaki toprak yüküne bağlıdır. Sömeller arasındaki toprağın sağladığı maksimum dayanım, toprağın pasif basıncına bağlı dayanımdan veya sürtünme katsayısı ile sömeller arasındaki toprak yükünün çarpımından elde edilen sürtünme dayanımından daha azdır. Sömel yapılırken dolgu malzemesi olarak arka tarafında sıkıştırılmış kum ve çakıl kullanılmalıdır, böylece sürtünme dayanımı maksimum olur. Maksimum sürtünme dayanımı için başka bir çözüm de katışıksız toprağa temel dökmektir. Temelin arka yüzeyinde pasif basınca karşı dayanım, bina arkasında zemin yüzeyinde gerçekleşen patlama basıncıyla artar.

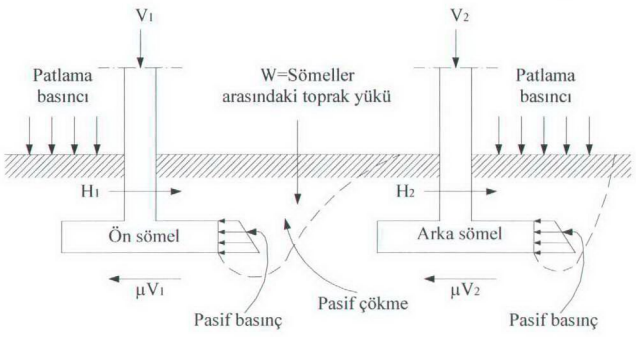
Zemindeki patlama basıncı ayrıca ön sömellerin ön yüzeyinde ve üst yüzeyinde toprak basıncının oluşmasına sebep olur. Bina ön tarafında sömellerin üstünde oluşan basınç, devrilmeye karşı dayanımı sağlayan en etkili basınçtır. Belli durumlarda sömellerin öne çıkma mesafesini arttırmak gerekli olabilir, böylece ön duvar veya kolon sömellerinde büyük miktarda düşey yük oluşur. Eğer bir bina her yönden patlama etkisinde kalırsa sömel genişliğini arttırma detayı binanın her cephesinin sömeline uygulanmalıdır.

Sömellerde net yanal kuvvete eşit veya daha büyük sürtünme oluşursa, temelin yanal hareketi ihmal edilebilir fakat pasif kuvvetle beraber net yanal kuvvete eşit veya daha büyük sürtünme oluşursa, sömel hareketi en fazla sömel derinliğinin %4'ü olmalıdır.

Çoğu temel tasarımında sürtünme ve pasif basınçla binanın yanal hareketini sınırlamak ekonomik olmaz. Bu gibi durumlarda dinamik analiz yapmak gerekir.



Şekil 3.8. μW<Ön sömel arkasındaki potansiyel pasif basınç olduğunda radye temellerde yanal kuvvetlere dayanım[3]



II

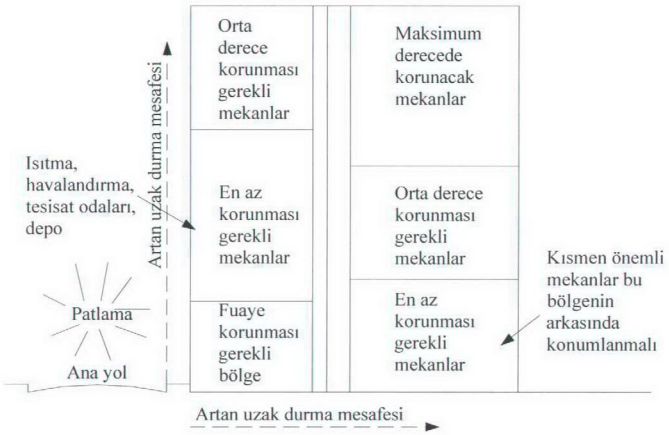
Şekil 3.9. Sömel arkasındaki pasif basınç<μW olduğunda radye temellerde yanal kuvvetlere dayanım[3]

3.5. İşlevsel Etmenler

3.5.1. Mekan düzenlemesi

Mekan düzenlemesi patlamalara dayanıklı yapı tasarımında önemlidir. Yapının belli bölümlerinde korunma amaçlı yapılması gereken sığınaklar normal yerleşim düzeninin değiştirilmesine neden olur. Kubbeli veya özel şekil verilmiş yüzeylere sahip yapılarda tavan yüksekliklerine bazı sınırlamalar getirilir. Yanal yüklere karşı yapının çerçeve sisteminin güçlendirilmesi gereksinimi de mekan düzenlemesinde değişikliklere neden olur.[3]

Bu zorunluluklar ötesinde yatay ve düşey yakınlıklar analiz edilmeli, yoğun güvenlik gerektiren mekanlar diğer mekanlardan ayrı tutulmalı, önemli bölümler yapıda mümkün olduğunca içe yerleştirilmeli, fuaye alanları betonarme duvarlarla korunmalı, patlama basıncının içeri girmesini engellemek için çift kapı yapılmalı ve mümkünse koridorlarda kapılar şaşırtılarak -kanatları karşı karşıya gelmeyecek şekilde düzenlenerek- patlama etkilerinin bina içlerine girmesi engellenmelidir.[7]



Şekil 3.10. Patlamalara karşı korunması gereken bir binada iç mekan düzenlemesi[8]

3.5.2. Sığınaklar

Sığınaklar tamamen ana yapıdan ayrı veya yapı içinde kısmen güçlendirilmiş daha dayanıklı alanlardır. Sığınaklar pencerelerden, dış kapı ve dış duvarlardan uzakta olmalı, tam kat yüksekliğinde kagir veya betonarme duvarlı mekanlarla -iç koridorlar, tuvaletler ve toplantı odaları- çevrilmelidir. Özellikle çatı sistemi zayıf ise en üst kata yakın katlarda yapılmamalı, yer altı otoparkı ve depolardan uzakta konumlandırılmalıdır. Zemin seviyesinde caddeye açılan merdiven kuyuları ve asansör şaftına girişin olduğu bölgelere de sığınaklar yapılmamalıdır.[5] Ana binadan ayrı sığınaklar için tüm girişlere patlamalara dayanıklı özel kapılar monte edilmelidir.

Tüm sığınaklar için bazı kriterler dikkate alınmalıdır. Yayılan gamma radyasyonu oranını 25-100 r arası bir değere indirmek için koruyucu bir tabaka yapmak gerekir. Patlama dalgası, ısı ve radyoaktif tanecikler sığınaktan uzakta tutulmalıdır. Sığınak konstrüksiyonu patlama yüklerine karşı yalnız elastik davranış göstermelidir.[3]

Sığınaklar, tüm bina kullanıcılarının barınma ihtiyacını giderebilecek büyüklükte yapılmalıdır. Kişi başına düşen alan minimum 0.6 m^2 olmalıdır. Çok katlı yapılarda her katta en az bir adet güvenli bölge olmalıdır. Sığınakta uzun süre kalma ihtimali göz önünde bulundurulmalı, buna göre havalandırma veya havayı filtre eden sistemler kurulmalıdır. İnsanları tehlikeli bir durum karşısında uyarabilmek için

sığınaklarda gerekli iletişim araçları bulunmalıdır. Bina içinde diğer mekanlardan sığınaklara ulaşım mesafesi mümkün olduğunca kısa olmalıdır. İçeriye girebilecek patlama basıncı en fazla 30 kN/m^2 olabilir. Daha üst değerler, insanlarda kulak zarının patlamasına sebep olacaktır.[8]

3.5.3. Tesisat ve Altyapı

Gaz, su, buhar tesisatı, elektrik bağlantıları, asansörler, yedek su depoları gibi bina tesisatları patlamalara karşı dikkatle projelendirilmelidir. Tesisat bağlantı yerleri kritik noktalardır. Deplasman olabilecek bölgelerde bağlantı yapmaktan kaçınılmalıdır.

Yangına karşı yedek su depolarının hazırlanması ve sprinkler sistemde basınç sağlanması ikincil hasarlar sonucu ortaya çıkabilecek yangın tehlikesine karşı alınması gereken tedbirlerdir. Sığınaklar için genelde altyapı düzenlemesi yoktur. Yüksek basınçlı buhar, gaz ve su potansiyel tehlikelerdir.[3]

Mekanik ve elektrik sistemleri düzenlenirken esas amaç patlama sonrası ana güvenliği sağlayan sistemlerin çalışır kalabilmesidir. Saldırı sonrası hayatta kalabilmek için yedek altyapı sistemleri hazır bulunmalıdır. Tesisat sisteminin hasar görmesini engellemek için tesisatın bulunduğu bölgeye dışardan koruma seviyesi yüksek panjurlar monte edilmelidir. Dış duvarlar, tavan ve çatı döşemesi içi gibi hasar görebilecek bölgelerden elektrik vb. tesisat hatları çekilmemelidir. Otopark, yükleme platformu, lobi gibi saldırı potansiyeli yüksek bölgelerin yakınından tesisat çekilmemeli, ana kontrol üniteleri ve tesisat besleme noktaları direkt saldırıya karşı kuvvetlendirilmelidir. Ana elektrik hattı ile yedek elektrik hattı birbirinden mümkün olduğunca ayrı konumlandırılmalı, bilgisayar servis üniteleri kuvvetlendirilmelidir. Manuel çalıştırılan veya sürekli aktif haldeki hava filtre sistemi ile hava yoluyla gelen zehirli madde riski azaltılmalı, acil durum aydınlatmaları kontrol edilmeli, gözetimi kolaylaştırmak için bina giriş-çıkış noktaları aydınlatılmalıdır.[7]

4. PATLAMALARA DAYANIKLI YAPI TAŞIYICI SİSTEM TASARIMI

4.1. Yapısal Mukavemet

Bir şok dalgası yapı veya yapı elemanı üzerine etkidiğinde basınç, elemanın bozulmasına veya bağlantılarının yetersiz kalmasından dolayı yerinden çıkmasına neden olur. Yapı elemanının hareketi elemanın kütlesine, yapıdaki rijitliğine, yapının diğer bölümlerinden gelen basınç ve yüklere karşı tepkisine, basıncın etkili olduğu süreye ve azalma hızına, elemanın çökmeye karşı dayanımına ve etkiyen basınca karşı tepki vermeyi sürdürmesine bağlı olarak değişir.

Bazı malzemeler elastik ve plastik deformasyona uğrayarak tepki verir. Böylece çelik ve betonarme gibi malzemeler belirli bir değere kadar basınç etkilerine karşı dayanım gösterir. Alçı sıva ve kagir duvar gibi gevrek yapı malzemeleri veya ince tuğla, kayrak taşı ve hafif asma tavanlar gibi sıkı sabitlenmeyen malzemeler yeterli elastik ve plastik deformasyon gösteremezler. Ahşap elemanlar yarılır. Ağır elemanlar ve uzun süre titreşebilen yapı elemanları patlama yüklerinden daha az etkilenir.

Taşıyıcı sistemin daha büyük ve daha kompleks bölümlerinin patlama karşısında tepkileri incelenirse, patlama yükü etkisindeki bölümlerin doğal titreşim süresinin arttığı ve yapının tümü üzerinde patlama basıncı etkisinin azaldığı görülebilir. Patlama dalgası, yansıyan dalgalar ve kırılan dalgalar nihai hızla hareket eder ve yapının tüm bölümleri aynı anda patlama yükü etkisi altında kalmaz.

Belirli bir elemanın taşıyıcı strüktürü taşıma özelliğini yitirmeden yük altında hafifçe çökerse, patlama dalgasından bir miktar enerjiyi soğurmuş olur. Bu nedenle, contalarla monte edilen camlar veya rijit olmayan bir taşıyıcı sistem patlama dalgasından daha az etkilenir. Yük taşıyan kagir yapı, betonarme veya çelik iskelet yapılardan çok daha geniş bir yüzey alanıyla patlama dalgasından etkilenir. Lokal çökmeler olabilir, fakat yapısal formunun farklı olması kagir yapıyı kısmen ayakta tutar.[11]

Eğer bağlantıları süreklilik gösteriyorsa, çelik çerçeve veya betonarme iskelet yapılar genelde patlamaya dayanıklı taşıyıcı sistemlerdir. Düktillik, yapısal esneklik ve geçirimlilik, çerçeve konstrüksiyonlarda bulunması istenilen koruyucu özelliklerdir.

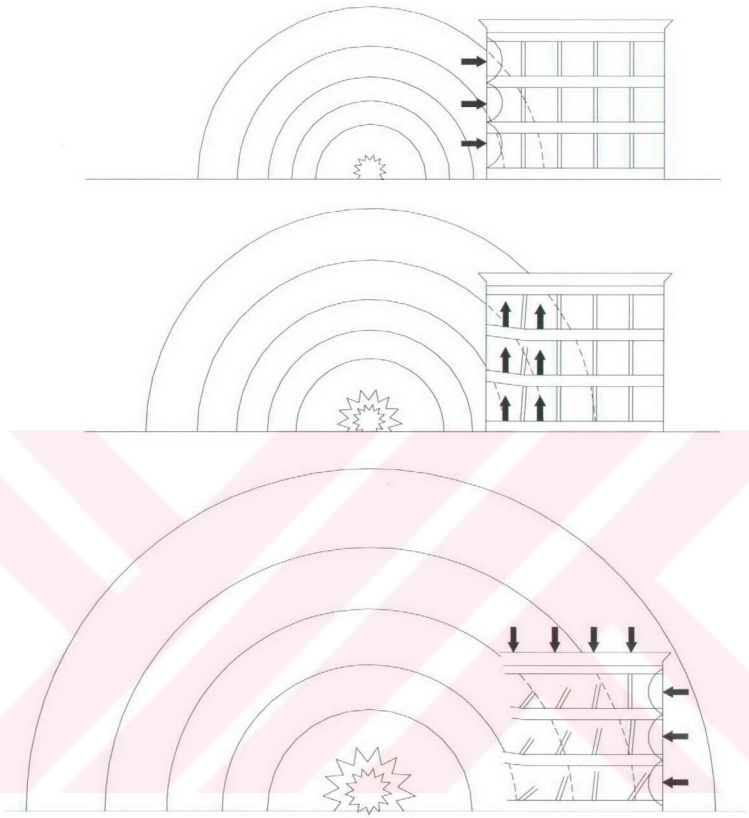
Taşıyıcı sistemin tekil elemanları veya profilleri yük taşıma özelliklerini yitirmeden önce biçim bozulmasına uğrarlar. Elemanın çökmeye sebep olmadan gelen yükün enerjisini soğurması, düktil yapıda olması çok önemlidir.

Sınırlı sayıda yapı elemanı yük taşıyamaz olduğunda bile taşıyıcı sistem bir bütün olarak diğer yapı elemanları üzerine yükü dağıtabilir ve böylece aşamalı yıkılma önlenmiş olur. Çoğu yapı çerçevesi esnek özellikler gösterir ve bağlantı noktalarında bazı değişiklikler yapılarak daha da esnek olmaları sağlanır. Taşıyıcı sistem mutlaka esnek davranacak şekilde tasarlanmalıdır.

Geçirimlilik özelliği ise patlama yükünü azaltıcı bir etki yapar. Patlama yükü yapı elemanları arasındaki boşluklardan serbestçe geçebilir. Bu şekilde çerçeve üzerindeki yük etkisi azalır.

Çelik çerçeve binalarda kiriş ve kolonlar arasında basit kesme bağlantıları veya sürekli bağlantılar yapılır. Basit kesme bağlantıları patlama kuvvetlerine karşı yeterli dayanımı gösterir; bağlantı noktaları yükler altında deforme olmasına rağmen taşıyıcı özelliğini kaybetmez. Sürekli bağlantılar ise enerjiyi soğuracak plastik mafsal noktalarıdır ve farklı yük aktarım yolları oluşturur. Patlama yükünün etkisiyle bir yapı elemanı taşıyıcı özelliğini kaybederse, elemanlardaki ve bağlantı noktalarındaki kuvvetler alternatif yük aktarım yolları sayesinde -Virendel kirişinde olduğu gibi- dağılır. Bağlantı noktalarının doğru detaylandırılması önemlidir.

Patlama sırasında yapılar, büyüklüğü ve yönü normalden farklı yüklerin etkisine girer. Örneğin, yapılar normalde düşey yüklerin etkisi altındadır fakat yukarıya doğru itici etkisi olan yüklere ve yatay yüklere karşı zayıftır. Yapılarda potansiyel zayıf bölgeler, dış kolonların iç döşeme plaklarına bağlandıkları noktalardır. Yüksek iç basınç bir çekme kuvveti oluşturur ve bu bölgelerin dayanım gösterememesi, dış kolonların döşeme plağından ayrılmasına sebep olur.



Şekil 4.1. Genel olarak yapı üzerinde patlama basıncı etkileri[13]

Enine diyafram duvarlar saldırılara karşı binanın daha dayanıklı olmasını sağlar. Aynı zamanda silahlı saldırıya karşı koruma sağlar ve patlamanın birincil hasarlarını azaltır. Diyafram duvarlar çerçeve sistem içinde istenildiği şekilde yerleştirilebilir.

Farklı yükleme durumları göz önüne alındığında patlamaya dayanım için uygulanması gereken ilkeler birbiriyle çelişebilir. Yüklerin geliş yönüne bağlı olarak taşıyıcı sistemde değişik sorunlar doğar. Örneğin boşluklar, bina içinde gerçekleşen patlamalarda yükleri azaltıcı bir eğilim gösterirken, bina dışında gerçekleşen patlamalarda yüklerin yapı içine girmesine ve bina kullanıcılarının yaralanmasına

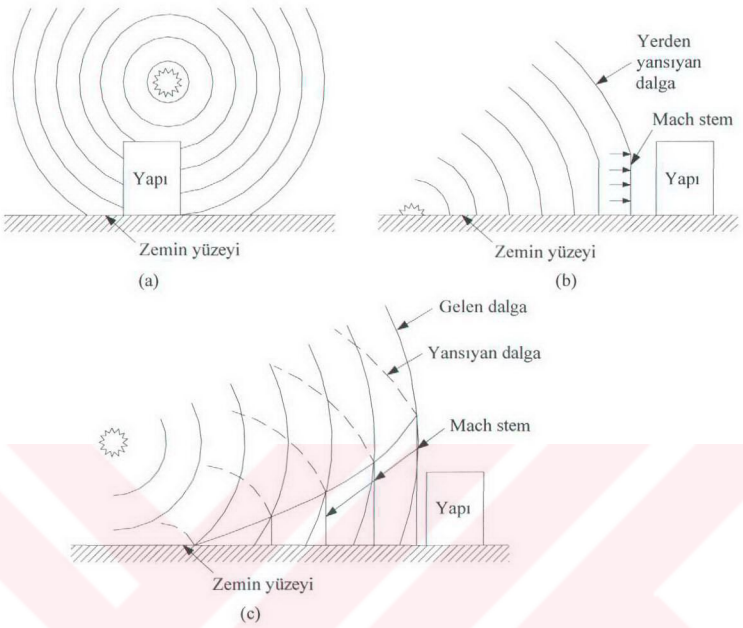
sebep olur. Cephede boşluklar yaparak dış patlamalara karşı binayı korumanın bir yöntemi, patlama yükünü hafifletici panolar kullanmaktır.

Çelik çerçeve bir yapının doğru planlama ve detay çözümleri ile düktil olmasını sağlamak, betonarme iskelet yapıya göre çok daha kolaydır. Her iki tip çerçeve sistem de plastik deformasyon ile büyük miktar enerjiyi soğurabilirken, düktillik sadece doğru detay çözümleri ile sağlanır. Çelik çerçeveler için bağlantı noktaları yüksek mukavemet göstermeli ve profiller doğru boyutlandırılmalıdır. Çelik yapı elemanında plastik mafsal noktalarında dönmeler olmamalı ve dengesizlik durumu oluşmamalıdır. Betonarme iskelet sistemlerde ise sadece ilave donatı yapılarak düktil davranış sağlanabilir. İlave donatı, yüzeydeki betonun parçalanmasına engel olur ve içteki betonun dağılmasını önler. Taşıyıcı sistem olarak çelik çerçeve sistemi seçmenin bir avantajı, çeliğe daha kolay takviye yapılabilmesi ve mevcut çelik elemanların onarımının kolay yapılabilmesidir. Betonarme iskelet yapılarda daha köklü değişikliklerin yapılması gerekir. Onarım ve yenileme daha zor ve daha maliyetli olur.[8]

4.2. Yapı Üzerindeki Yük Hareketleri

Bir yapıya etkiyen patlama yükü yapının zemin seviyesinden yüksekliğine, patlama yüksekliğine, uzak durma mesafesine ve kullanılan patlayıcı yük miktarına bağlıdır. Patlama yüksekliği, havadan yapılan saldırılarla ilgili bir ifadedir. Havada patlayan madde ile hedef yapı arasındaki direkt mesafedir.[6]

Serbest ortamda gerçekleşen üç tür patlama vardır. Bunlar havada serbest patlama, hava patlaması ve zemin patlamasıdır. Havada serbest patlamada, patlama dalgası patlama kaynağının merkezinden uzaklaşarak yayılır ve başka bir engelle karşılaşmadan şok dalgası olarak yapıya çarpar. Hava patlamasında patlama yapıdan belli açıda ve belli mesafe uzaklıkta havada gerçekleşir. İlk şok dalgası, yapıya ulaşmadan önce zemine çarpar, yansıyan dalgalar oluşur. Zemin patlamasında ise, patlama kaynağı zeminde veya zemine çok yakındır. Patlama dalgasının şiddeti, ilk şok dalgasının zemine çarpıp yansıması sonucu artar. Yapı üzerine etkiyecek yük daha fazla olacaktır.[14]



Şekil 4.2. Serbest ortamda patlamalar (a)Havada serbest patlama (b)Zemin patlaması (c)Hava patlaması[8]

Binadaki yüklemenin ne şekilde gerçekleştiği de çok önemlidir. Deprem yüklerine karşı yapının tepkisi ile patlama yüklerine karşı yapının tepkisi birbirinden farklıdır. Deprem olduğunda bina sismik yer hareketlerine maruz kalır ve temelinden sarsılmaya başlar. Yer yüzeyinde veya havada gerçekleşen patlamada ise, bina şok dalgaları etkisine girer. Patlama enerjisinin bir kısmı toprakta da yayıldığı için, bina tıpkı depremde olduğu gibi sismik yer hareketlerinden de etkilenecektir.

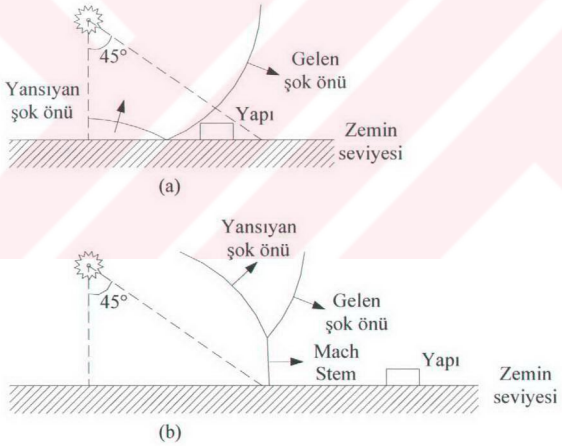
Yüklemenin sürekliliği de bir başka farklılıktır. Depremlerde sarsıntılar saniyelerle veya dakikalarla sınırlıdır. Artçı depremlerle binaya ana depremde etkiyen yüklerden daha az şiddette ilave yükler etkir. Patlamalarda ise basınç dalgası milisaniyelerle ölçülen zaman diliminde açığa çıkar ve çok daha büyük bir şiddetle yapıya etkir.

Depremler tüm binayı sarsar ve döşeme seviyelerinde genellikle yatay yükler oluşturur. Patlama genellikle tüm binaya etkimez fakat yatayda ve düşeyde taşıyıcı sistem elemanlarında ağır hasarlara sebep olur. Döşemelerde oluşan ve kaldırma etkisi yapan basınç yükleri de patlamanın önemli sonuçlarından biridir.[6]

Üç tür patlama dalgası-strüktür etkileşiminden söz edilebilir. Bunlardan ilki, yüksek hızlı patlama dalgalarının etkileridir. Bu türde bina, patlama dalgası tarafından yutulur ve sıkıştırılarak ezilir. Bu durumda binanın yanal hareketine sebep olan bir de öteleyici kuvvet vardır. Fakat binanın boyutu ve yapısı gereği bu kuvvet çok etkili olmaz, bina yatayda hareket etmeye karşı bir kuvvet oluşturur ve bu kırılma yüküdür.

İkinci etkileşim yüksek hızlı patlama dalgasının daha küçük boyutlu bir cisme yaptığı etkidir. Bu durumda da hedef cisim dalgalar tarafından yutulacak ve ezilecektir. Cisim üzerinde daha fazla ezilme olacaktır ve sonuçta oluşan öteleyici kuvvet daha kısa sürelidir. Dinamik yük veya sürükleme yüküne bağlı öteleyici kuvvet cismi hareket ettirmek için kısa süre içinde etkili olur ve oluşacak hasarın büyük kısmı bu hareketin neticesidir.

Üçüncüsü ise şiddeti düşük patlama dalgalarının daha dayanıklı ve sağlam hedef binalar üzerindeki etkileridir. Ardışık yükleme söz konusu olduğundan binanın tekil yapı elemanlarının tepkileri tek tek analiz edilmelidir.[5]



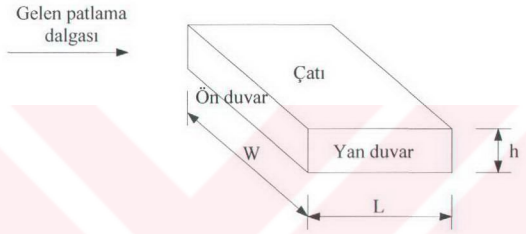
Şekil 4.3. Patlama dalgasının (a)Düzgün yansıma bölgesindeki (b)Mach Stem yansıma bölgesindeki yapılar üzerine gelişi[3]

Tasarım aşamasında sorun, yer yüzeyine paralel ilerleyen şok dalgasının yapı üzerinde oluşturduğu yükü hesaplayabilmektir. Patlamalara dayanıklı yapı tasarımında öncelikle dikkate alınacak kriterler, uzak durma mesafesi ve patlayıcı yük miktarıdır. Patlama etkileri üzerine elde edilen verilerin çoğu TNT

patlayıcılarının küresel basınçlarına ilişkindir. Diğer patlayıcı maddeler için de veriler TNT'ye bağlı olarak ifade edilebilir. Patlamanın etkisi de denklem (2.4)'den elde edilen Z değişkenine bağlı olarak belirlenir.[15]

Yapı, şok dalgası tek yüzeyine dik gelecek şekilde konumlandırılır. Bu şekilde konumlandırılmış yapının tasarımı için, şok önü dalgası ön duvara çarptıktan sonra t gibi bir zaman diliminde yapının çeşitli bölümlerinde oluşacak aşırı basıncı belirleyebilmek gerekir.

4.2.1. Kapalı Dikdörtgen Form Yapılar Üzerindeki Yük Hareketleri



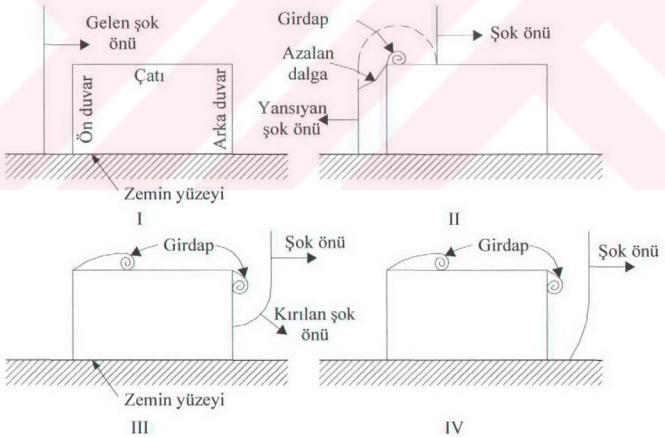
Şekil 4.4. Kapalı dikdörtgen form yapı[3]

Şok önü binanın ön duvarına çarptığında, yansıyan şok dalgası oluşur ve bu yüzeydeki aşırı basınç gelen şok dalgasının maksimum basıncından daha üst bir değere çıkar. Bu basınç, yansıyan aşırı basınç olarak tanımlanır ve değeri, gelen şok önünün maksimum aşırı basıncı ile ön duvar yüzeyine geliş açısına bağlıdır. Geliş açısı bu durumda 0° dir. O anda yansıyan şok önü oluşur, gelen patlama dalgasındaki ve ön duvarın üst kenarındaki düşük aşırı basınç, etkisi azalan bir dalga ya da yansıyan şok dalgasındakinden ayrı bir düşük aşırı basınç dalgası başlatır. Etkisi azalan dalga yansıyan şok dalgasının içinde ses hızıyla ön duvarı yalayarak aşağıya doğru hareket eder. Etkisi azalan dalga kısa bir süre içinde yansıyan şok dalgasının dağılmasına neden olur ve ön duvardaki aşırı basıncı, gelen şok dalgasının oluşturduğu yüksek hızlı hava akımıyla dengede bir değere düşürür. Bu denge oluştuğunda ön duvardaki aşırı basınç, ön duvarın alt kısmındaki sabit aşırı basınca ve ön duvarın üst kenarındaki düşük aşırı basınca eşittir. Sabit aşırı basınç, hareket eden havanın tamamen durduğu bölgede oluşan aşırı basınçtır.

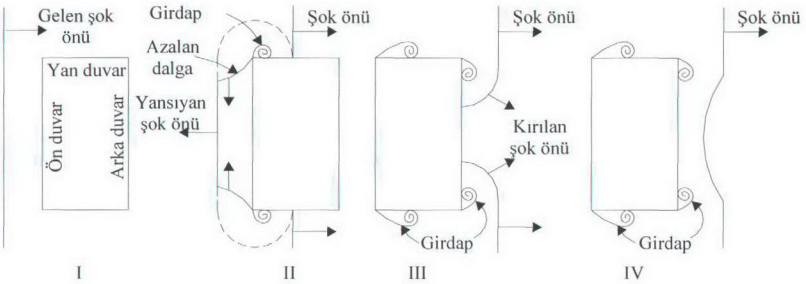
Şok dalgası yapının ön duvarına çarptıktan kısa bir süre sonra, şok önü binanın arka duvar yüzeyine ulaşır ve arka duvarın alt kısmından aşağıya doğru kırılır. Şok önü

arka duvarı geçtikten sonra bu duvar yüzeyi yüksek basınç etkisinde kalır. İlk etkiler arka duvarın üst kısımlarında gözlenir ve aşağıya doğru ilerler. Merkezinde Venturi etkisi sonucu düşük aşırı basınç olan ve bir eksen etrafında hızla dönen hava bölgesi olan bir girdap arka duvar yüzeyinde oluşur. Bu girdap, üst kenardan aşağıya doğru hareket ederek ve duvardan uzaklaşarak büyür. Arka duvardaki maksimum aşırı basınç, girdap ve arka duvarın patlama dalgası tarafından tamamen sarılması için gerekli süre sonucu yavaşça artar.

Şok önü ön duvarı geçerken bina çatısına etkiyen aşırı basınç, gelen şok dalgasındaki aşırı basınçla neredeyse aynı değere yükselir. Bununla birlikte ön duvardaki yansıyan aşırı basınç ile çatı üzerindeki patlama dalgası aşırı basıncı arasındaki fark, ön duvarın üst kenarı boyunca bir girdabın oluşmasına sebep olur. Bu girdap, binanın çatısı üzerinde ilerledikçe etkisini yavaşça kaybeder ve gelen şok dalgasının oluşturduğu aşırı basıncın azalmasına sebep olur. Bu girdap geçtikten sonra şok dalgasındaki yüksek aşırı basınç tekrar etkili olur ve çatı üzerinde ikinci bir aşırı basınç oluşturur.



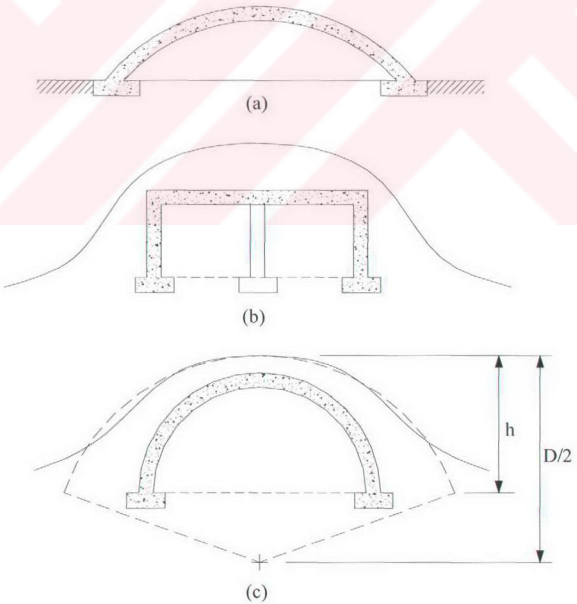
Şekil 4.5. Kapalı dikdörtgen form yapılarda düşey kesit boyunca patlama dalgasının davranışı[3]



Şekil 4.6. Kapalı dikdörtgen form yapılarda yatay kesit boyunca patlama dalgasının davranışı[3]

4.2.2. Silindirik-kemerli Yüzeyler ve Kubbeler Üzerindeki Yük Hareketleri

Bu tür yapılar, yerüstündeki kemerli yapılar veya üzeri toprakla kaplı yer altındaki kemerli yapılardır. Kemerli yüzeyler veya üzeri toprakla kaplı yüzeyler tamamen dairesel kesitte değilse, bir dairede belli açıdaki yay açıklığına göre yaklaşık hesap yapılır. Yükler, eşdeğer dairesel yüzey için hesaplanır.

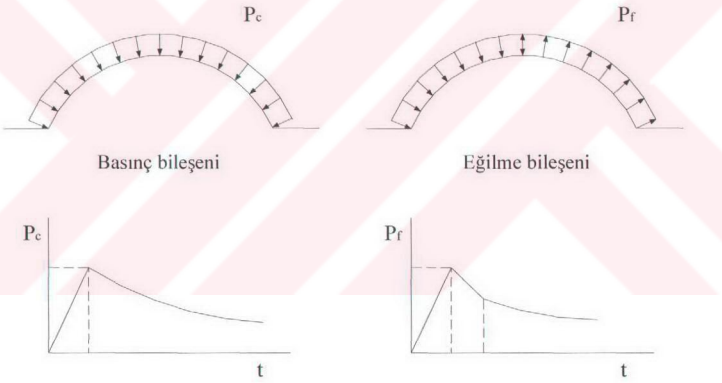


Şekil 4.7. Silindirik-kemerli strüktür örnekleri[3]

Kemerli ve kubbeli yapıların patlama yüklerine gösterdiği tepki komplekstir. Yük alan yüzeylerin eğriliğinden dolayı, üç boyutlu dağılıma ve zaman değişimine göre yükü belirlemek zordur. Kiriş veya çerçeve gibi diğer elemanlara göre gerilme hali daha karmaşıktır.

Yüklemenin üç aşamalı olduğu varsayılır. İlk aşama, kemerde veya kubbede düzgün basınç oluşturan aşırı basınç yüklemesi, ikincisi yapı üzerinde patlama rüzgarının estiği yönde, yüzeyin neredeyse düşey olduğu yerde maksimum olan yansıyan basınç yüklemesi ve üçüncüsü patlama rüzgarının estiği tarafta genellikle pozitif değerde olan ve aksi yönde negatif değerde olan sürükleme basınçlarının yarattığı yüklemedir. Sonuncu iki yük bileşeni simetrik değildir ve kemerde eğilmeye, kubbede düzgün olmayan mambran gerilmesine neden olur.

Toplam yük düzgün bir radyal basınçtan oluşan basınç bileşeni ve simetrik olmayan, düzgün yayılı basınçtan oluşan eğilme bileşeni ile gösterilebilir.[16]



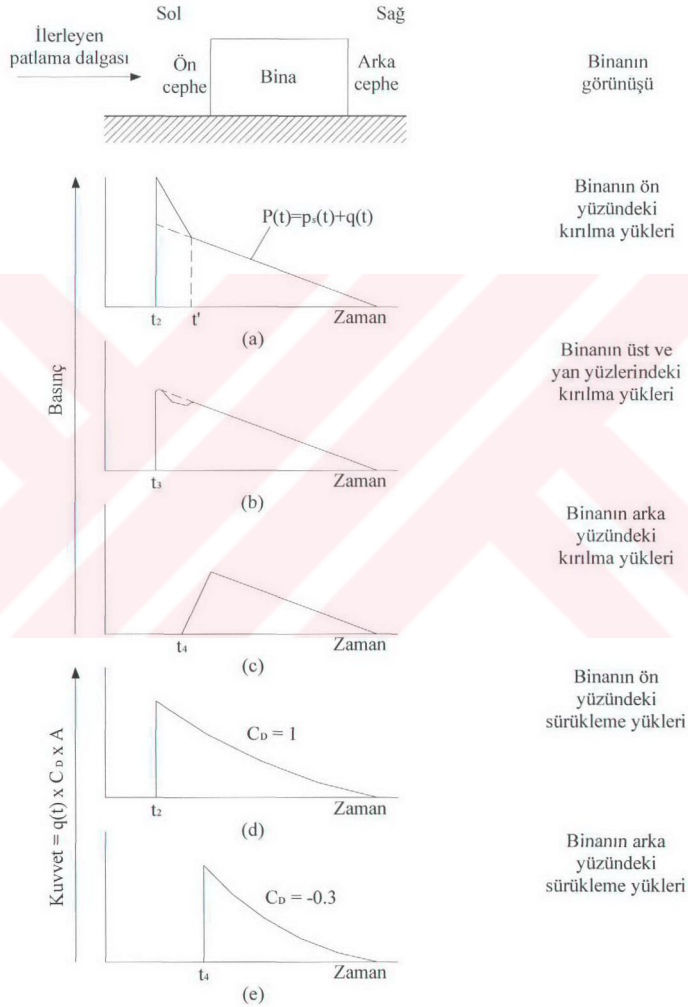
Şekil 4.8. Kemer ve kubbeler için basınç ve eğilme bileşenleri[16]

4.3. Yapıların Dış Yüzeylerinde Patlama Yükü ve Analizi

Kafes kiriş köprüler, çelik kafes kiriş veya çelik endüstri yapıları üzerindeki patlama dalgası yükleri, şok önünü izleyen yüksek hızlı patlama rüzgarının etkisi olan sürükleme kuvvetleri sonucu oluşur. Sürükleme yükü, bir yapı üzerinde yüksek hızlı rüzgar gibi hareket eden hava patlamasındaki hava taneciklerinin oluşturduğu kuvvettir. Şok önünün yansıması ve kırılması neticesinde dengelenmemiş basınca

bağlı yük ihmal edilebilir, çünkü bu etkiler çok kısa sürelidir. Bu tip yapılar, küçük boyutlu yapı elemanlarından oluşur.[3]

Bina üzerindeki toplam yük, tekil yapı elemanları -ön duvar, arka duvar ve ara çerçeve elemanları- üzerindeki yüklerin hesaplanarak toplanmasıyla belirlenir.



Şekil 4.9. Yapıların dış yüzeyindeki patlama yükleri[10]

Şekil 4.9(a)'daki grafiğe bakılırsa t_2 zamanında bina ön yüzündeki maksimum basınç, maksimum yansıyan aşırı basınç olan p_r 'dir. ($t' - t_2$) zaman aralığında, binanın üst yüzeyinden ve yan yüzeylerinden geçen dalga basıncı p_r'den az olacağı için, bu basınç azalacaktır. Bina üst yüzeyinde ve yan yüzeyindeki maksimum aşırı basınç p_s olacaktır. Ön yüzdeki basınç, durgun basınca eşit olana kadar azalır. Durgun basınç, $p_{stag}(t)$, zamana göre değişen statik ve dinamik basınçların toplamıdır. t' zamanı, basıncın azaldığı zamandır.

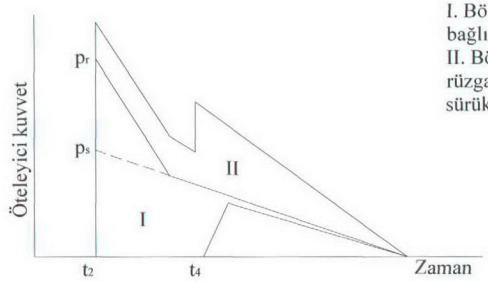
$$t' = 3 \times S/U_s \tag{4.1}$$

denklemi ile bulunur. S, B/2 veya H değerlerinden küçük olanıdır. Burada B binanın genişliği, H binanın yüksekliği ve U_s şok önü hızıdır.

Şekil 4.9(b)'de t_3 zamanından sonra üst ve yan yüzeylerdeki doğrusal basınç azalmasındaki sapma, üst ve yan yüzeylerin ön yüz ile birleşim noktalarında oluşan girdap etkileri sonucudur. Şekil 4.9(c)'de kırılma sürecini tamamlamak amacıyla dalganın binanın arka tarafına hareket etmesi için gereken zamandan dolayı arka yüzde yük grafiği kısa süreli bir artış gösterir. Şekil 4.9(d) ve (e), bina ön ve arka yüzünde patlama rüzgarının etkileriyle oluşan kuvvetleri gösterir. Oluşan sürükleme kuvveti,

$$F_D = C_D \times q_s(t) \times A \tag{4.2}$$

denklemi ile hesaplanır. A basınç yükünün etkili olduğu alan, C_D ise sürükleme katsayısıdır. Kırılma ve sürükleme yüklerinin birleşimi toplam öteleyici kuvvet-zaman grafiğini verir.



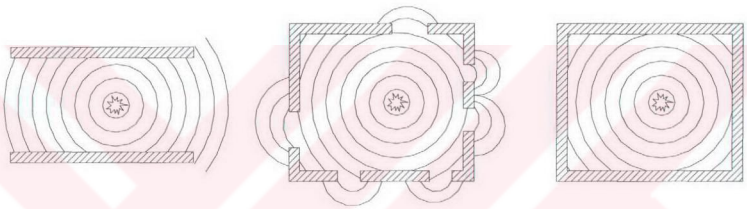
I. Bölge: Aşırı basınca bağlı kırılma yükü
II. Bölge: Patlama rüzgarına bağlı sürükleme yükü

Şekil 4.10. Bina dış duvarına etkiyen öteleyici kuvvetin zamana bağlı değişim grafiği[10]

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi patlama yükünün etkilediği bina dar ve küçük boyutta ise, (t_4 - t_2) zaman aralığı az ve I. Bölge alanı küçük, II. Bölge ise nispeten daha büyük olacaktır.[5]

4.4. Yapıların İç Yüzeylerinde Patlama Yükü ve Analizi

Patlama yapının içinde meydana gelirse, yapının boşluklu olup olmadığı önem kazanır. Patlamalara karşı boşluksuz bir yapı, boşluklu bir yapıdan daha dayanıklı olmalıdır. Çünkü boşluklu bir yapı içinde patlama olduğunda, basınç dalgalarının bir kısmı boşluklardan dışarıya çıkabilecek, taşıyıcı yapı elemanları daha az yüklenecektir.



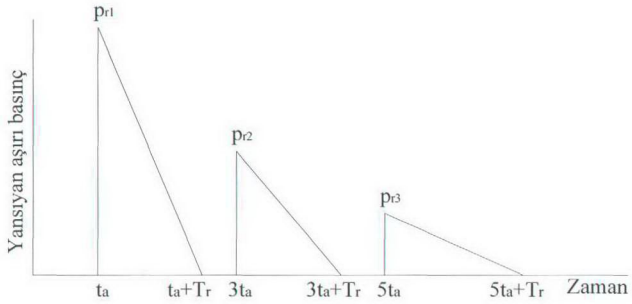
İki taraftan açık mekanda patlama | Kısmen boşluklu mekanda patlama | Tamamen kapalı mekanda patlama

Şekil 4.11. İki taraftan açık, kısmen boşluklu ve tamamen kapalı mekanlarda patlama dalgalarının yayılımı[8]

Bir yüksek patlayıcının yapı içinde patlaması yapıda iki yük safhası oluşturur. Önce yansıyan aşırı basınç oluşur ve yapının hapsedici özelliğinden dolayı yeniden yansıma olur. Bu durum, azalan şiddette arka arkaya patlama dalgaları oluşturur. Bu aşamada patlama ürünü gazlar yeni bir basınç dalgası geliştirir ve ikinci yük safhası ortaya çıkar. Bu durum, gaz basıncı yükü olarak tanımlanır.

Binalarda boşluklar yapılması zararlı gaz basınçları oluşumuna karşı korunma sağlanması açısından yararlı olabilir. Gene de boşluklu yapı bile çok avantajlı sayılmaz çünkü ilk patlama dalgası zaten büyük hasarlara neden olur.

Yeniden yansıyan dalgaların büyüklüklerini ölçmek, Mach Stem dalgalarının oluştuğu durumlarda çok zordur. Gene de basit tahminler yürüterek iç basınç-zaman grafiğinin yaklaşık analizini yapmak mümkündür.



Şekil 4.12. Basitleştirilmiş iç patlama dalgası yansımaları grafiği[17]

$$p_r(t) = p_r\,(1 - t / T_r) \tag{4.3}$$

denklemiyle t zamanında yansıyan aşırı basınç değeri hesaplanabilir. Denklemde T_r yansıyan dalganın eşdeğer pozitif safhasının süresidir. Basınç-zaman grafiğinde eğrinin altında kalan alan, özgül itki i_r dir.

$$i_r = ½\ T_r p_r \tag{4.4}$$

Baker'ın yaklaşımına göre; birbirini izleyen yansımaların hesabını yaparken maksimum basıncın her bir yansımada yarı değere indiğini varsaymak gerekir.[17] Bu nedenle, her vuruşun süresinin aynı olduğu kabul edilirse itki değeri de yarıya iner. Üç yansımadan sonra yansıyan herhangi bir dalganın basıncı sıfır kabul edilir. Şekil 4.12'ye dayanarak pozitif safhanın süresi her yansımada eşit kabul edilmek üzere,

$$p_{r2} = ½\ p_{r1}\ ,\quad p_{r3} = ½\ p_{r2} = ¼\ p_{r1}\ ,\quad p_{r4} = 0 \tag{4.5}$$

$$i_{r2} = ½\ i_{r1}\ ,\quad i_{r3} = ½\ i_{r2} = ¼\ i_{r1}\ ,\quad i_{r4} = 0 \tag{4.6}$$

eşitlikleri oluşturulabilir. Şekil 4.12'de yapının iç yüzeyine gelen her bir patlama dalgası arasındaki gecikme süresi (reverberasyon süresi) t_r sabit kabul edilir. Bu süre $2t_a$'ya eşittir. t_a, ilk patlama dalgasının yansıma yüzeyine geliş zamanıdır. Bu varsayımlar her zaman ve her koşulda tamamen doğru kabul edilemez, çünkü birbiri ardına gelen şoklar zayıflayacaktır ve hızları ilk dalgadan daha düşük olacaktır.

Eğer yapının tepki verme süresi yüklenme süresinden uzun ise, Şekil 4.12'de görüldüğü gibi bir basitleştirme yapılabilir. Üç vuruş değeri tek bir maksimum basınç

değeri oluşturacak şekilde toplanabilir. Aynı durum itki değerleri için de sözkonusudur.

$$p_{rT} = p_{r1} + p_{r2} + p_{r3} = 1.75\ p_{r1} \tag{4.7}$$

$$i_{rT} = i_{r1} + i_{r2} + i_{r3} = 1.75\ i_{r1} \tag{4.8}$$

Yansıyan patlama dalgaları zayıfladıkça, gaz basıncı yükü artar. t zamanında gaz basıncının değeri yapının hacmine, yapıdaki boşluk alanına ve patlayıcı maddenin özelliklerine bağlıdır. Gaz basıncının zamana bağlı azalması,

$$p(t) = (p_{QS} + p_0)\ e^{(-2.13\tau)} \tag{4.9}$$

denklemi ile hesaplanır. p_{QS} statik benzeri basınç, p_0 ortamdaki hava basıncı değeridir.

$$\tau = (\alpha_e\ A_s\ ta_0) / V \tag{4.10}$$

τ değişkeninin hesabında α_e boşluk alanının duvar alanına oranı, A_s yapının toplam iç yüzey alanı, V yapının hacmi ve a_0 ortam koşullarındaki ses hızı değeridir.

Gaz basıncı artışının doğrusal olduğu kabul edilir ve reverberasyon safhasının son aşamasında $(5t_a + T_r)$ basınç maksimum değere ulaşır. $p_1 = p_{QS} + p_0$ olduğu kabul edilirse gazın itki değeri,

$$i_g = {}_0\int^{tmax} (p(t) - p_0)\ dt = p_1/C\ (1 - e^{-Ctmax}) - p_0 t_{max} \tag{4.11}$$

denklemi ile hesaplanır. Burada C değeri,

$$C = 2.13\ (\alpha_e\ A_s\ ta_0) / V \tag{4.12}$$

denkleminden elde edilir.[5]

4.5. Yapı Taşıyıcı Sisteminin Tepkisi

4.5.1. Yükleme ve Tepki Türleri

Bir yapıya etkiyen patlama yükü taşıyıcı sisteme enerji aktarır ve dinamik davranış göstermesine sebep olur. Taşıyıcı sistemin veya bir yapı elemanının patlama yüküne ne şekilde tepki vereceği, patlama yükünün sürekliliği ile yapının doğal titreşim

süresi arasındaki ilişkiye bağlıdır. Üç tür yükleme ve tepkiden söz edilebilir. Bunlar itkisel, statik benzeri ve dinamik yüklemelerdir.

Patlama yükünün pozitif safhası taşıyıcı sistemin doğal titreşim süresinden kısa olduğunda, yapı tepki vermeden önce patlama yükü etkisini kaybeder. Maksimum deformasyon pozitif safhadan sonra, yani yük etkisini kaybettikten sonra oluşur. Deplasman itkinin, rijitliğin ve kütlenin bir fonksiyonudur. Deplasman olmadan önce patlama yükünün vuruş değeri sıfıra düşer. Sınır durumda, yapı hareket etmeden patlama yükü sonlanacaktır. Bu tip yüklemeler, itkisel (impulsive) olarak tanımlanır.

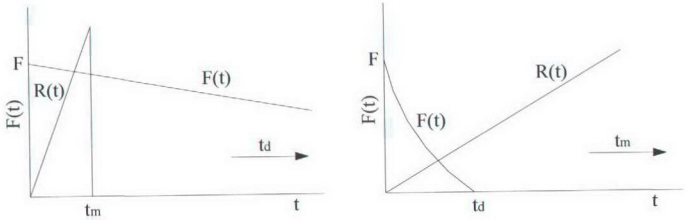
Patlama yükünün pozitif safhası taşıyıcı sistemin doğal titreşim süresinden uzun olduğunda ve yapı maksimum sehime ulaştığında, yükün sabit kaldığı düşünülebilir. Bir yapı içinde yüklemenin olduğunu varsayarsak, maksimum deplasman x_{max}, maksimum patlama yükü F ile rijitlik K'nın bir fonksiyonu olacaktır. Patlama basıncı tamamen etkisini kaybetmeden, yapı strüktürü maksimum deplasman yapacaktır. Bu tip yüklemeler, statik benzeri olarak tanımlanır.

Patlama yükünün pozitif safhası taşıyıcı sistemin doğal titreşim süresine benzer olduğunda, yapının davranışı çok daha karmaşık olur. Yapı, dinamik yüklenmiş olur. Bu üç yükleme durumu patlama yükünün sürekliliğinin taşıyıcı sistemin doğal titreşim süresine oranına göre aşağıdaki gibi tanımlanabilir.[8]

$t_d / T < 0.4$ İtkisel (4.13a)

$0.4 < t_d / T < 2$ Dinamik (4.13b)

$t_d / T > 2$ Statik benzeri (4.13c)

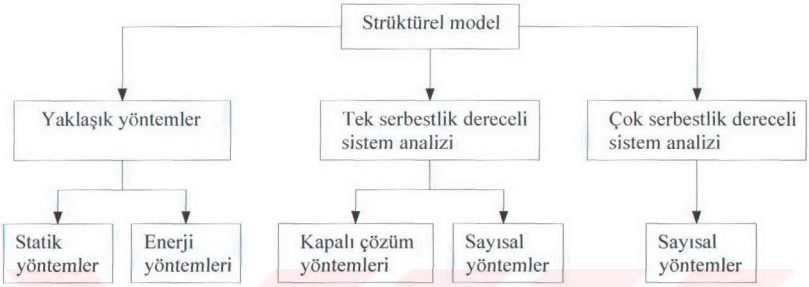


Statik benzeri yükleme İtkisel yükleme

Şekil 4.13. Statik benzeri yükleme ve itkisel yükleme grafikleri[10]

4.5.2. Analiz Yöntemleri

Kısa süreli yükler etkisindeki bir taşıyıcı sistemin tepkisini hesaplamak için üç tür analiz yöntemi kullanılabilir. Bunlar tek serbestlik dereceli sistem analizi, çok serbestlik dereceli sistem analizi ve yaklaşık yöntemlerdir.



Şekil 4.14. Analiz yöntemleri[8]

4.5.2.1. Tek Serbestlik Dereceli (SDOF) Analiz Yöntemi

Bir yapının veya yapı elemanının dinamik tepkisi, yapının tek serbestlik dereceli bir modele eşdeğer tutulmasıyla hesaplanabilir. Tek serbestlik dereceli sistemler ucundan bir yaya bağlı tek bir kütle olarak tanımlanabilir. Kütlenin hareketi sadece yayın uzama yönünde olur. Bu kütlenin maksimum F kuvvetinde üçgensel vuruş etkisiyle gelen patlama yükü altında olduğunu varsayarsak yükün vuruş değeri,

$$F(t) = F(1 - t / t_d) \tag{4.14}$$

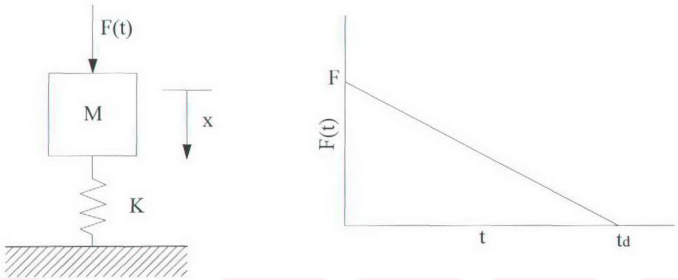
denklemiyle hesaplanabilir. F(t) varsayılan üçgensel vuruş etkisiyle gelen patlama yükü, F varsayılan üçgensel vuruş etkisiyle gelen patlama yükünün maksimum değeri ve t_d varsayılan üçgensel patlama yükünün pozitif safhasının süresidir.

Yapının veya yapı elemanının tepkisini simgeleyen bu yay sistemi için hareket denklemi,

$$M\ddot{y} + c\dot{y} + ky = F(t) = F(1 - t / t_d) \tag{4.15}$$

olur. Bu denklemde ÿ, ẏ ve y sırasıyla ivme, hız ve deplasman, M kütle, c titreşimin zayıflama katsayısı, k yay rijitliğidir.

Bir sistemin patlamaya karşı tepkisi analiz edilirken titreşimin zayıflama katsayısı ihmal edilir, çünkü sistemdeki etkisi çok küçüktür. Plastik davranış gösterdiği varsayıldığında plastik deformasyonla dağılan enerji miktarı yapısal titreşimle azalacak enerji miktarından çok daha fazla olacaktır.[8]



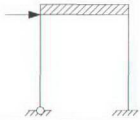
Şekil 4.15. Patlama yükü altında tek serbestlik dereceli taşıyıcı sistem[10]

Daha kompleks yapı ve yapı elemanlarının tasarımı için sözde eşdeğer sistemlerden - tek serbestlik dereceli toplam kütle sistemlerden- yararlanmak gerekir. Eşdeğer tek serbestlik dereceli taşıyıcı sistem oluştururken, gerçek taşıyıcı sistemlerin aslında her bir parçacığı kendi hareket denklemine sahip çok serbestlik dereceli sistemler olduğunu göz önünde bulundurmak gerekir. Taşıyıcı sistem, tek serbestlik dereceli toplam kütle sisteme eşdeğer kabul edilir. Bu metot, gerçek sistemin ve eşdeğer sistemin enerjilerini hesaba katıp aralarında eşitlik kurmaya dayanır. Her iki sistemde de eşit hız ve deplasman sağlanırsa kinematik benzerlik elde edilir. Toplam enerji ilişkisi,

$$WD = U + KE \tag{4.16}$$

olacaktır. Tablo 4.1'de yay sistemi ile ifade edilebilecek sistem ve yükleme örnekleri gösterilmiş ve tek serbestlik dereceli yöntem ile analiz edilmiştir.[5]

Tablo 4.1. Tek serbestlik dereceli analizlere uygun sistemler[8]

Sistem türü	Tespit türü	Yükler
	Mafsallı Ankastre Destekli konsol Konsol	Noktasal Yayılı
	Mafsallı Ankastre	Basınç
	Mafsallı Ankastre	Noktasal Yatay

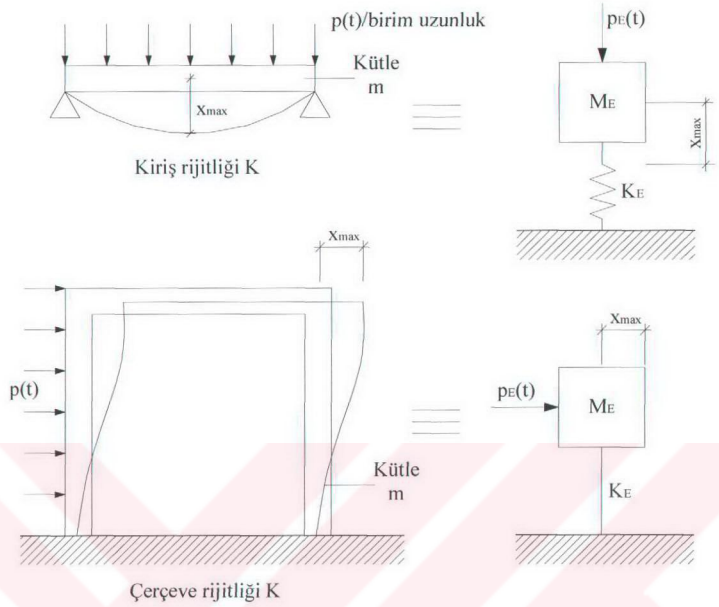
Gerçek taşıyıcı sistemler, taşıyıcı sistemin dinamik parametrelerine -kütle, yük, gerçek sistemin rijitliği- değişim faktörlerinin uygulanması ile varsayılan veya eşdeğer kabul edilen dinamik sistemlere dönüştürülürler. Bu şekilde tek serbestlik dereceli modelin deplasmanı gerçek taşıyıcı sistemin deplasmanına eşdeğer olur.

Taşıyıcı sistemin eşdeğer tek serbestlik dereceli modelinin tanımında kullanılan değişim faktörleri kütle çarpanı K_M, yük çarpanı K_L, yük-kütle çarpanı K_{LM} dir.

Taşıyıcı sistemin maksimum tepkisinin belirlenmesi için etkin doğal titreşim süresi T'nin hesaplanması gereklidir.

$$T = 2\pi / \omega = 2\pi \sqrt{(M_E / K_E)} = 2\pi\sqrt{K_{LM} m / K_E} \qquad (4.17)$$

Bu denklemde ω doğal dairesel frekans, m taşıyıcı sistemin gerçek kütlesi ve K_E eşdeğer rijitliktir.[8]



Şekil 4.16. Gerçek ve eşdeğer taşıyıcı sistemler[10]

4.5.2.2. Çok Serbestlik Dereceli Analiz Yöntemi

Çok serbestlik dereceli sistemler tek katlı ve çok katlı çerçeveler gibi toplam kütle sistemlere benzer. Serbestlik derecesi sayısı, sistem içindeki hareket çeşidi sayısına eşittir. Her serbestlik derecesine karşılık gelen bir hareket denklemi vardır. Bu hareket denklemleri yapının doğal titreşim süresinin ve buna bağlı olarak değişen formunun belirlenmesinde kullanılır. Birçok analiz yöntemi olmasına rağmen taşıyıcı sistemin dinamik tepkisi için en doğru sonucu, sonlu elemanlar analiz tekniği belirler.

Zamana göre değişen yüklerin hareketi altındaki bir taşıyıcı sistemin dinamik tepkisi, sonlu elemanlar analiz tekniği ile belirlenir. Bu analiz yöntemi, taşıyıcı sistemde zamana göre değişen deplasman, gerilme ve kuvvetlerin belirlenmesinde kullanılabilir. Bu yöntemin avantajı esnekliğidir. Tek serbestlik dereceli analiz yönteminden farklı olarak bu yöntemde deforme olmuş bir şekil varsaymak veya mesnet koşullarını düşünmek gerekmez.

4.5.2.3. Tahmini Yöntemler

Tahmini yöntemlerden en çok kullanılanı enerji yöntemleridir. Kirişler gibi ayrık basit yapı elemanlarının patlama yüküne karşı tepkilerinin analiz edilmesinde kullanılırlar. Analiz, itkisel veya dinamik/statik benzeri yükler altında elastik ve elasto-plastik sistemleri içerir. Bu yöntem ile deplasman, gerilme gibi tepkilerin maksimum değerleri belirlenebilir.[8]

Analiz yapılırken taşıyıcı sistem üzerinde yükün yaptığı iş ile yapı deforme olurken oluşan iç gerilme enerjisi eşitlenmelidir. Maksimum deplasmana neden olan yükün yaptığı iş,

$$WD = Fx_{max} \tag{4.18}$$

denklemi ile bulunur. x_{max} maksimum dinamik deplasmandır. Yapıda oluşan iç gerilme enerjisi,

$$U = \frac{1}{2} Kx_{max}^2 \tag{4.19}$$

dir. WD ve U eşitlenirse,

$$x_{max} / (F / K) = x_{max} / x_{st} = 2 \tag{4.20}$$

elde edilir. x_{st}, statik deplasmandır. Bu denklem tepki üst sınırını veren sözde dinamik yük faktörünü gösterir ve statik benzeri asimptot olarak tanımlanır.

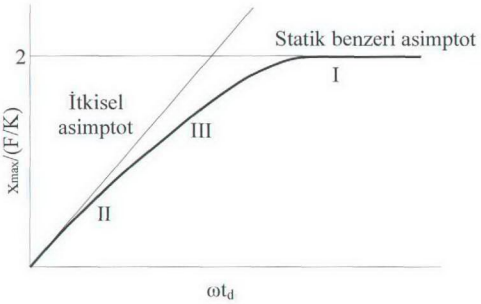
Bir taşıyıcı sistem üzerine itki etkidiğinde ani bir hız değişimi olur, durağan haldeki sistem hız kazanır ($x_0 = I / M$) ve iç gerilme enerjisine dönüşen kinetik enerji oluşur. Kazanılan kinetik enerji,

$$KE = \frac{1}{2} Mx_0^2 = I^2 / 2M \tag{4.21}$$

denklemi ile hesaplanabilir. Yapı deplasman yaptığı için önceki iç gerilme enerjisiyle aynı iç gerilme enerjisine sahip olacaktır. KE ve U eşitlenirse,

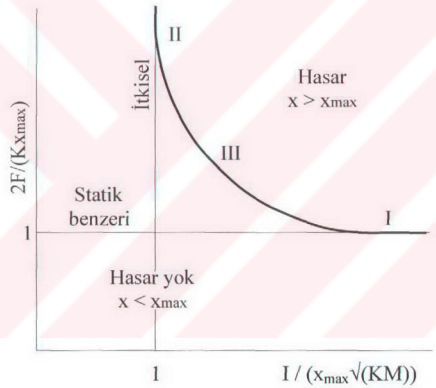
$$x_{max} / (F / K) = x_{max} / x_{st} = \frac{1}{2} \omega t_d \tag{4.22}$$

denklemi elde edilir. Bu denklem itkisel asimptotun denklemidir.



Şekil 4.17. Statik benzeri(I), itkisel(II) ve dinamik(III) tepkilerin grafiksel gösterimi[10]

Şekil 4.17'deki tepkilerin basınç- itki cinsinden grafiksel ifadesi aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.18. Tek serbestlik dereceli elastik sistemler için boyutlandırılmamış basınç-itki grafiği[17]

Eğrinin sol alt kısmındaki basınç ve itki birleşim değerleri hasara neden olmaz, sağ üst kısmındakiler ise sınır seviyenin üstüne çıkarak büyük hasar oluşturur.

4.5.3. Tekil Yapı Elemanlarının Tasarımı ve Analizi

Statik yüklere karşı tasarlanmış bir binada olduğu gibi patlamalara dayanıklı dinamik tasarımda da sınır durumlu tasarım teknikleri kullanılır. Bunlar yıkılma sınır durumu ve işlevsellik sınır durumudur.

Yıkılma sınırı durumunda, çökmeye neden olmadan patlama enerjisinin bina üzerinde dağılması için yeterli düktilliğin sağlanması gerekir. Kesme sonucu kırılmayı önlemek ve dayanım sağlamak için kirişlere çift taraflı donatı yerleştirilmeli ve etriyelerle bağlantıları sağlam bir şekilde yapılmalıdır. Elastisite sınırı belirli bir oranda aşılabilir, bu düktillik oranı olarak tanımlanır ve sonucu deformasyondur.

Yıkılma sınır durumunda birleşim noktalarının davranışı çok önemlidir. Çelik çerçeve konstrüksiyonda birleşim noktaları, çerçeve çevresindeki momentleri taşıyacak şekilde detaylandırılmalı ve gerilme yüklerine dayanım gösterebilmelidir. Statik tasarımda her iki kiriş ucunda moment değeri eşitlendiği için bir kiriş-kolon birleşim noktası momenti kolona aktaramayabilir. Yine de binada yanal harekete ve ciddi moment kuvvetleri oluşumuna neden olan patlama durumunda moment kirişlerden kolonlara aktarılmalıdır.[5]

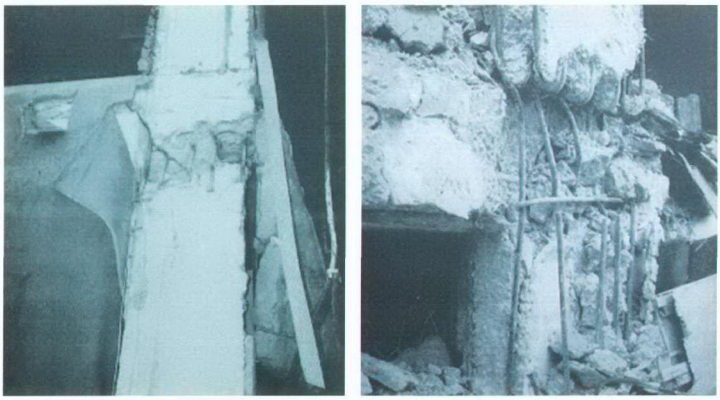
Tablo 4.2. Tek doğrultulu yapı elemanları için düktillik ve sehim oranları[15]

Koruma Düzeyi	Hasar Tanımı	Düktillik Oranı μ_{max}				Sehim Oranı* D_{min}			
		B.A.	Takviyeli Kagir	Yapısal Çelik	Soğuk Hadde Profil	B.A.	Takviyeli Kagir	Yapısal Çelik	Soğuk Hadde Profil
Yüksek	Yüzeysel	1	1	1	1	240	450	120	120
Orta**	Onarılabilir	3	3	3	2	120	240	60	90
Düşük	Kısmen onarılabilir	6	6	10	3	60	150	20	60
Çok Düşük	Onarılamaz	10	10	20	6	30	120	10	30

* Konsol elemanlar için minimum sehim oranı 0,5 ile çarpılmalıdır.

** Eksenel basınç altında minimum koruma seviyesidir.

Yıkılma sınır durumunda çerçeve sistem yıkımı gerektirecek oranda deforme olabilir ama ayakta kalır. Bu nedenle patlama sonrası işlevselliği devam ettirmek için gerekli sınır değerler, malzeme gerilmelerinin ve deformasyonlarının büyüklüğüne göre belirlenir.



Şekil 4.19. Betonarme iskelet sistemde hatalı kiriş-kolon birleşim detayları[5]

İşlevsellik sınır durumu ise pencerelerin, kaplamaların ve iç tespit elemanlarının korunmasını ve bakımını gerektiren bir durumdur. Bu elemanların patlama yüklerine karşı esnek davranması ve düktil bölme elemanların yapı çerçevesine doğru ve sağlam bir şekilde bağlantılarının yapılması gereklidir. Pencerelerde lamine temperli cam, lamine sekürit cam veya çift cam birimlerinde sekürit cam ile lamine cam birleşimleri kullanılmalı, mevcut camların iç yüzeylerine kırılmayı önleyen saydam polyester film tabakası uygulanmalıdır.

İşlevsellik amaçlı tasarımda hasarlı cam yüzeylerin onarımını mümkün kılacak detayların çözülmesi gerekir. Kaplamalar da deforme olabilir ama tespit elemanları mümkün olduğunca taşıyıcılık özelliğini kaybetmemelidir.

4.5.3.1. Elastik Analiz

Burada benimsenen yaklaşım Rayleigh-Ritz[18] analiz yöntemidir. Bu yöntem, belirli yapı elemanların tekil analizleri için uygundur. Yapı elemanlarının patlama yüklerine karşı tepkisi birbirlerinden ayrı olarak incelenir. Mesnet noktaları rijit kabul edilir.

İlk olarak deforme olmuş şeklin matematiksel ifadesi seçilir. Deforme olmuş şeklin üzerinde çalışılarak deformasyondaki eğrilik derecesi ve iç gerilme hesaplanır.

Yapı üzerinde etkin olan patlama yükü önemlidir. Yükleme itkisel ise, yapıya aktarılan toplam kinetik enerjinin hesabı yapılır. Yükleme statik benzeri ise patlama

yükünün yaptığı iş, önce bir yapı elemanı üzerinde yükün yaptığı işin hesaplanması sonra da bunun tüm yüklü alana tamamlanmasıyla hesaplanır. İtkisel bölgedeki tepki, kazanılan kinetik enerjinin yapıda oluşan iç gerilme enerjisine eşitlenmesiyle hesaplanır. Statik benzeri bölgedeki tepki ise yükün yaptığı işin iç gerilmelere eşitlenmesiyle hesaplanır.

Örneğin, d derinliğinde bir konsolun itkisel yükleme karşısındaki tepkisini hesaplamak için,

$$W_0 / L = C_1 [L / d] [i_r / d\sqrt{(E\rho)}] \quad (4.23)$$

denkleminden yararlanılır. Burada W_0 maksimum deplasman, L uzunluk, C_1 yaklaşık değeri 2 kabul edilen deformasyon katsayısı, E Young modülü, ρ yoğunluk ve i_r yansıyan itki değeridir.

d derinliğinde bir konsolun -yapı deformasyona uğrarken patlama basıncının sabit kaldığı kabul edilirse- statik benzeri yükleme karşısındaki tepkisini hesaplamak için ise,

$$W_0 / L = C_2 [L / d]^3 [p_r / E] \quad (4.24)$$

denkleminden yararlanılır. Burada C_2 yaklaşık değeri 3 kabul edilen deformasyon katsayısı ve p_r maksimum yansıyan aşırı basınçtır.

4.5.3.2. Plastik analiz

Elastik limitleri ötesinde deforme olan yapı elemanlarının analizi benzer şekilde yapılır. Örneğin, rijit-plastik özelliklere sahip bir malzemeden yapılmış bir kirişin itkisel yükleme altında yapacağı maksimum deplasman,

$$W_0 / L = i_r^2 L / 4\sigma_y \rho d^3 \quad (4.25)$$

denklemi ile hesaplanır. σ_y malzemenin akma dayanımıdır.

4.6. Betonarme ve Çelik Taşıyıcı Sistem Tasarımı

Patlama yüküne dayanıklı taşıyıcı sistem tasarımında esas amaç, yapı elemanlarının kabul edilebilir oranda deforme olabilmesi için yeterli düktilliğin sağlanabilmesidir. Bu nedenle tasarım ilkin plastik deformasyona göre yapılmalıdır. Deformasyon

sırasında yapı elemanı, kesme kuvveti veya lokal dengesizlik gibi diğer yük etkileri altında çökmemelidir.

Taşıyıcı sistem elemanları sürekli yinelenen patlama yükleri etkisinde kalmadıkça tasarım yıkılma sınır durumuna göre yapılmalıdır. Mümkün olduğunca basit mesnetlerden kaçınılmalı ve bağlantı noktaları yük aktarımını kolaylaştıracak şekilde iyi detaylandırılmalıdır.



Şekil 4.20. Bağlantı noktaları iyi detaylandırılmamış betonarme çerçeve sistem örnekleri[5]

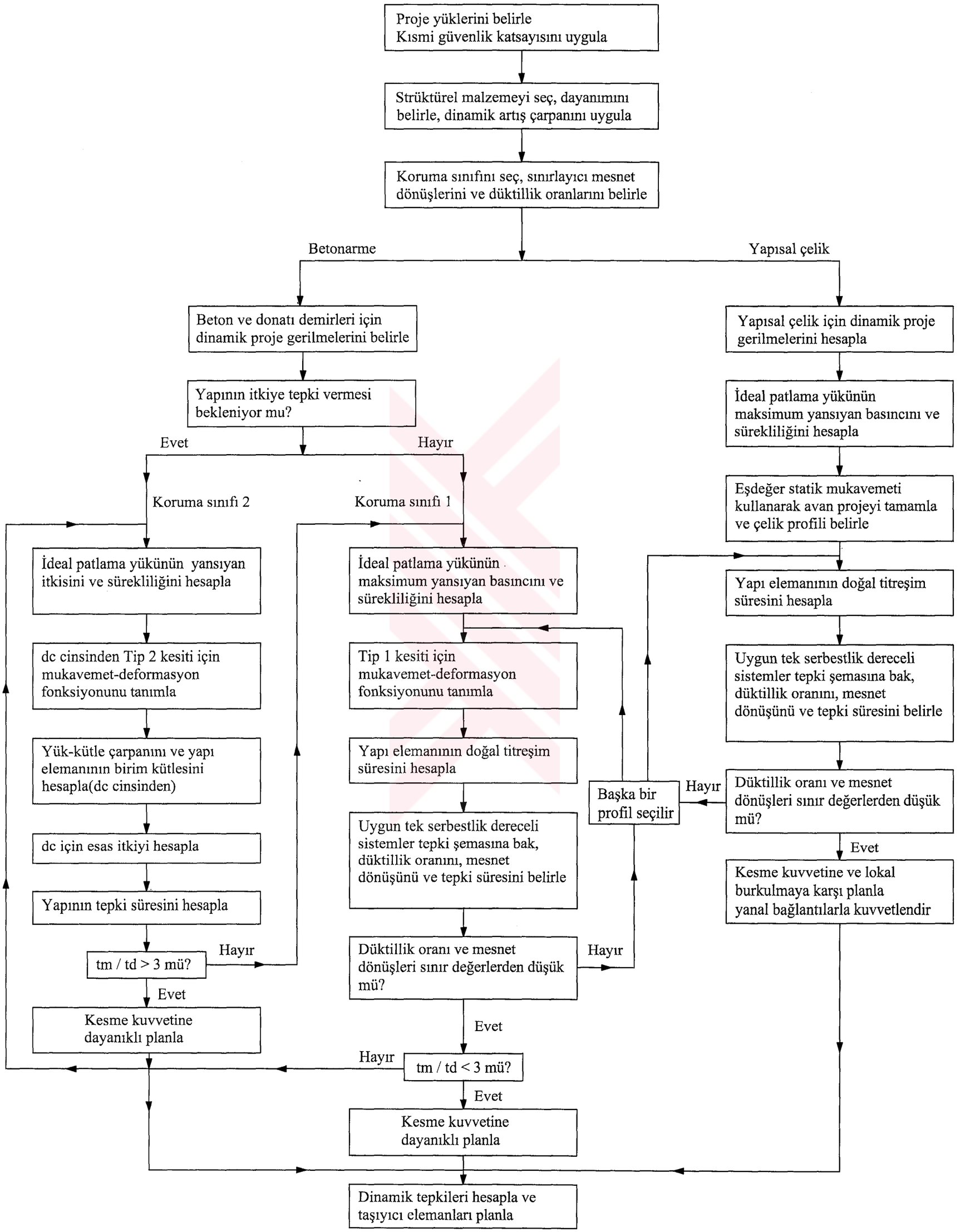
Proje akış diyagramı, patlamalara dayanıklı bir taşıyıcı sistem tasarımının tüm aşamalarını ve izlenmesi gereken süreci gösterir. (Tablo 4.3)

4.6.1. Yük Kabulü ve Proje Mukavemeti

Patlama yüklemesi olağanüstü bir olay olarak kabul edilir ve normalde gerçekleşme olasılığı oldukça düşüktür. Gene de tasarım aşamasında patlama yüküne karşı kısmi emniyet katsayısını belirlemek gerekir. Hareketsiz yükler ve diğer sabit yükler de kısmi emniyet katsayıları belirlenirken hesaba katılmalıdır.

Yapıda patlama yükleriyle birlikte hareket eden etkin yükler ve rüzgar yükleri, proje kabul değerlerinin sadece küçük bir kısmını oluşturur. Farklı etkin yüklerin ve rüzgar yüklerinin proje değerlerine patlama yüküyle birlikte hareket ederken 0.33 çarpanı uygulanabilir.

Tablo 4.3. Patlamalara dayanıklı taşıyıcı sistem tasarım sürecini gösteren proje akış diyagramı [5]



Patlama esnasında yapı üzerinde başka yükler de etkin ise bunların da patlama yükü ile birlikte sürekli hareket ettikleri varsayılır. Bu yükler genelde yapı elemanının mukavemetini azaltıcı niteliktedir.

Proje, yapı malzemelerinin mukavemet özelliklerine göre hazırlanmalıdır. Belirli bir yapı elemanının ortalama mukavemet değeri belirtilen minimum değerden fazla olmadığı müddetçe, bütünlüğün sağlanması için kısmi emniyet katsayısı ile birlikte planlama yapılmalıdır.

Hızla etkiyen yüklerin hareketi altında malzemelerin deformasyon hızı artar ve mekanik özellikleri değişir. Malzemelerin statik yük altındaki mekanik özellikleri dinamik yükleme durumunda değişir. Yapı çeliğinin veya beton çeliğinin akma gerilmesi(f_y), dinamik akma gerilmesine(f_{dy}) kadar artar. Yapı çeliğinin veya beton çeliğinin kopma dayanımı(f_u), uzamayı güçleştiren etkiler neticesinde dinamik kopma dayanımına(f_{du}) kadar artar. Betonun basınç dayanımı(f_{cu}), dinamik basınç dayanımına(f_{dcu}) kadar artar. Çelik ve betonun elastisite modülü ve yapı çeliğinin kopma öncesinde uzama miktarı, yüklemenin hızına bağlı değildir.

Dinamik gerilmeyi hesaplamak için statik gerilmenin çarpıldığı değer, dinamik artış faktörü olarak tanımlanır. Betonarme ve çelik elemanların projesinde kullanılacak dinamik gerilmeler, deformasyona ve öngörülen hasar oranına göre değişir.

Tablo 4.4. Betonarme ve çelik elemanların projelendirilmesinde kullanılacak dinamik artış faktörleri[5]

Gerilme türü	Beton	Betonarme demiri		Yapı çeliği	
	f_{dcu} / f_{cu}	f_{dy} / f_y	f_{du} / f_u	f_{dy} / f_y*	f_{du} / f_u
Eğilme	1.25	1.20	1.05	1.20	1.05
Kesme	1.00	1.10	1.00	1.20	1.05
Basınç	1.15	1.10	_	1.10	_

* Kalite sınıfı 50 veya daha düşük olan yapı çeliği için belirlenen minimum f_y değeri, ortalama mukavemet artış faktörü 1.10 ile arttırılabilir.

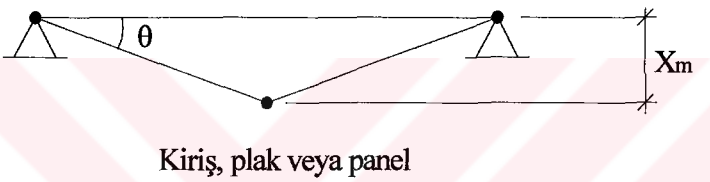
4.6.2. Deformasyon Sınırları

Bir tekil elemanın patlamaya dayanıklı tasarımında esas kriter, elemanın belirli oranda deforme olabilmesi ya da sehim yapabilmesidir. Bu şekilde yapı elemanında oluşacak hasar kontrol altına alınabilir. Oluşacak hasar yapının kendisi, yapı içinde barınanlar veya yapı içindeki eşyalar gibi korunması gerekenlere göre belirlenir.

Elemanlar için öngörülen deformasyon, mesnet dönüş açısı θ ve düktillik oranı μ'ye bağlıdır.

$$\mu = \text{toplam deformasyon / elastisite sınırında deformasyon} = X_m / X_E \qquad (4.26)$$

Betonarme elemanlardaki deformasyonlar genelde mesnet dönüşleriyle, çelik elemanlardaki deformasyonlar ise düktillik oranlarıyla ifade edilir.



Şekil 4.21. Mesnet dönüşleri[19]

Patlama etkisiyle kırılan ve düşen yapı parçalarından çalışanların ve bina içindeki eşyaların korunması için gerekli deformasyon sınırları koruma sınıfı 1 tanımıyla; patlama yükü altında yapı elemanlarının korunması ve elemanların yıkılmaya karşı dayanım gösterebilmesi için gerekli deformasyon sınırları da koruma sınıfı 2 tanımıyla Tablo 4.5'de gösterilmiştir.

Bu sınır değerler, yapı elemanlarının maksimum plastik deformasyonunu tanımlar. Bu elemanlar yeniden kullanılmadan önce duruma göre onarım görmeli veya değiştirilmelidir. Malzemenin onarımı yapılmadan yeniden kullanımının gerektiği durumlarda ise mevcut deformasyon değerleri elastik sınırlar içinde olmalıdır.[5]

Tablo 4.5. Deformasyon sınırları[5]

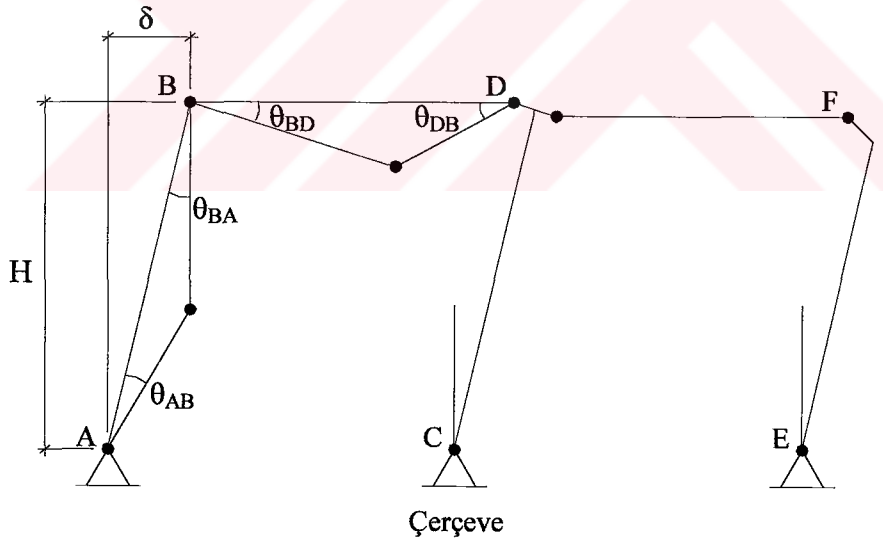
	Koruma sınıfı			
	1		2	
	θ	μ	θ	μ
Betonarme kirişler ve döşemeler	2°*	Uygulanamaz	4°**	Uygulanamaz
Çelik kirişler ve levhalar***	2°	10	12°	20

* θ > 1° için döşemelere açık veya kapalı patlama etriyesi şeklinde kesme donatıları mutlaka yapılmalıdır. Tüm kirişlerde kapalı etriyeler bulunmalıdır. [20]

** 8°'ye kadar mesnet dönüşleri yeterli yanal dayanıma sahip yapı elemanları için kabul edilebilir.

***İstenilen düktil davranış için sağlam bağlantılar yapılmalıdır.

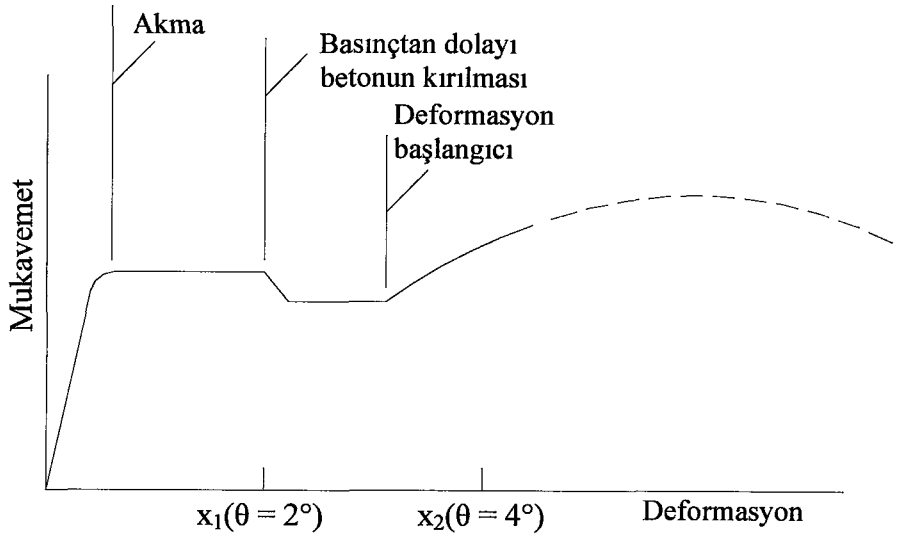
Şekil 4.22'de gösterildiği gibi çelik çerçeve yapılarda, elemanın uç noktalarında dönme açısı θ maksimum 2° olmalı ve maksimum yatay hareket δ, kat yüksekliğinin 1/25'i ile sınırlı olmalıdır.[19]



Şekil 4.22. Kirişler ve çerçeveler için eleman uç noktalarındaki dönüşler[19]

4.6.3. Betonarme Yapıların Dinamik Yüklere Tepkisi

Bir betonarme yapı elemanı dinamik yüklendiğinde, elemanın iç gerilme enerjisi patlama yükünün aktardığı enerjiyi dengeleyene kadar eleman deforme olur. Bu süreç sonunda ya eleman deforme olur ve o şekilde kalır ya da kırılma olur, beton parçalanır.



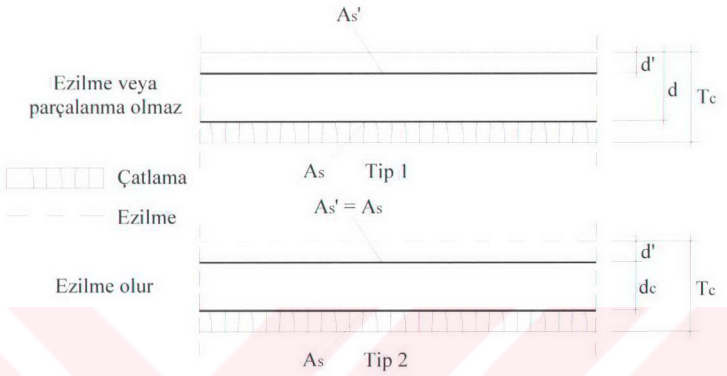
Şekil 4.23. Betonarme elemanların eğilmeye tepkisini gösteren tipik mukavemet-deformasyon eğrisi[19]

Yapı elemanı yüklendiğinde donatının akması gerçekleşene kadar mukavemet deformasyonla birlikte doğrusal artış gösterir. Sonrasında deformasyon devam ederken, mukavemet sabit kalır. Bu durum mesnet dönüş açısı θ'nın 2° olduğu x_1 deformasyonuna kadar devam eder ve eşitlik sağlanınca beton basınç etkisiyle kırılır. $0° < \theta < 2°$ durumunda betonun moment dayanımı yüksektir ve yapı elemanının her iki yüzeyindeki beton sağlam kalır. Şekil 4.24'teki Tip 1 kesitinde durum gösterilmiştir. Tip 1 kesitli elemanlara tekli veya çiftli donatı yapılabilir, esneme etkilerinden dolayı basınç donatıları da kullanılabilir. Tip 1 kesitleri için kopma momenti M_p, betonun ve beton çeliğinin dinamik proje gerilmelerine(f_{dc} ve f_{ds}) göre belirlenir.

$\theta > 2°$ durumunda basınç kuvvetleri betondan basınç donatısına aktarılır. Bu durum, betonun kapasitesini düşürür. Basınç donatısının olmadığı durumlarda betonun kırılması yapı elemanına tümden hasar verir. Öngerilme çeliğini oluşturabilecek yeterlikte basınç donatısı olmalıdır ve mutlaka simetrik donatı yapılmalıdır. 1°'den fazla mesnet dönüşleri için patlama etriyelerinin gerekliliği eğilme donatısını düzgün bir şekilde bağlamak içindir. Çekmenin olduğu yüzeyde betonu kırılan ama yan yüzeylerinde herhangi bir hasarın oluşmadığı elemanlar Tip 2 kesitleridir ve bu kesitlerde mesnet dönüş açısı θ, 2°-5°'dir. Tip 2 kesitlerinde kopma momenti,

$$M_p = A_s (f_{ds} / b)\, d_c \qquad (4.27)$$

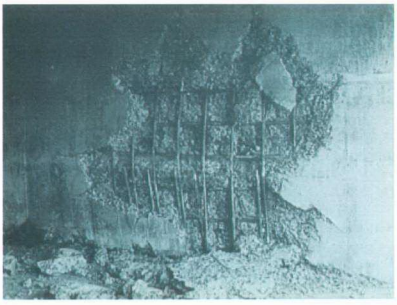
denklemiyle hesaplanır. Bu denklemde A_s beton yüzeylerdeki donatı alanı, f_{ds} donatı veya çelik kesiti için dinamik proje gerilmesi, b kesit genişliği ve d_c çekme donatıları ile basınç donatıları arasındaki mesafedir.



Şekil 4.24. Tipik betonarme enine kesitleri[19]

Yapı elemanı daha da fazla deforme olursa donatı uzaması yavaşlar ve artan deformasyonla birlikte mukavemet de artar. Çekme hareketi olmazsa, patlama etriyeleri basınç donatılarının kısa süreli burkulmasını engeller. Mesnet dönüş açısı θ'nın 4° olduğu x_2 deformasyonunda eleman yapısal bütünlüğünü kaybeder ve çöker.

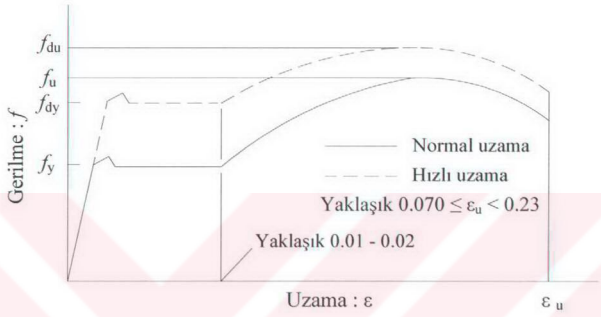
Betonarme elemanın eğilme kapasitesini arttırmak için patlama yükleri altında kesme kuvvetinin oluşturacağı hasarlardan ve zamansız yıkımlardan kaçınılmalıdır. Yalnız betonun kesme dayanımını arttırmak için ilave kesme donatıları kullanılabilir.



Şekil 4.25. Düktil özellikte bir betonarme duvarın kabarması ve dökülmesi[5]

4.6.4. Çelik Yapıların Dinamik Yüklere Tepkisi

Yapısal çeliğin akma sınırına kadar doğrusal bir gerilme-uzama ilişkisi gösterdiği düşünülür. Bu akma süreci, düktillik oranı μ değeri 10-15 oluncaya kadar devam eder. Düktillik oranı bu değerleri aşınca uzama artar. Çekme mukavemeti de denilen maksimum değere ulaşınca uzama ile beraber gerilme azalır ve gerilme yaklaşık %20 - %30 iken kopma gerçekleşir.



Şekil 4.26. Yapı çeliğinin tipik gerilme-uzama eğrileri[19]

Mukavemet sınıfı 50'den yüksek olan çelik elemanlar kopma esnasında genellikle çok az uzarlar.

Düktillik oranı $\mu \leq 3$ olan çelik elemanlar için proje plastik momenti,

$$M_p = f_{ds} (Z + S) / 2 \qquad (4.28)$$

denklemiyle hesaplanır. Z elastik kesit modülü, S plastik kesit modülüdür.

Düktillik oranı $\mu > 3$ olan çelik elemanlar için proje plastik momenti,

$$M_p = f_{ds} S \qquad (4.29)$$

denklemiyle hesaplanır. Betonarme kesitlerinde olduğu gibi çelik kesitlerinde de yeterli kesme kapasitesi mutlaka sağlanmalıdır. Çelik yapı elemanının eğilme kapasitesini arttırmak için lokal burkulmalara karşı önlem alınmalıdır.

Betonarme oldukça ağırdır ve patlama kuvvetlerine karşı çelikten daha iyi dayanım gösterir. Çelik elemanlar daha çok statik benzeri türü düşük basınç kuvvetlerine iyi dayanım gösterir. Ağır yapılı olması nedeniyle projelerde sınır dayanımı bilinen kalın

kesitli betonarme elemanlar kullanmak gerekir. Çelik profillerin narin yapısı ise lokal dengesizlik oluşturabilir ve sınır dayanımlarını tahmin etmek güçtür.

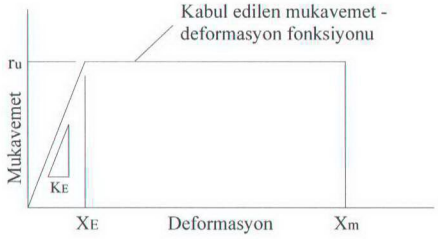
Betonarme taşıyıcı sistemde esneme az olur çünkü çatlama iç zayıflığa neden olur. Çelik ise kısa süreli yükler karşısında rahatça esneme yapabilir. Bu nedenle çelik strüktürler yüklerin ters yönde hareketine karşı koyacak şekilde tasarlanmalıdır. Betonarmenin eğilmeye dayanım gösterebilmesi için iki ayrı beton çeliği -kesme donatısı ve burulma donatısı- kullanmak gerekir. Çelikte ise tehlike yaratan karmaşık gerilmeler oluşur. Kaynak noktalarındaki ve kertiklerdeki gerilmeler proje ve analiz aşamalarında dikkate alınmalıdır.

4.6.5. Patlama Yüklerine Dayanıklı Betonarme Elemanların Tasarım ve Analizi

Tablo 4.6. Betonarme elemanlar için dinamik proje gerilmeleri[5]

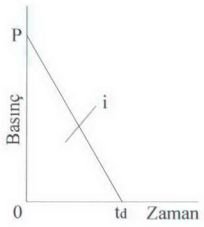
Gerilme türü	Koruma sınıfı	Dinamik proje gerilmesi	
		Beton f_{dc}	Donatı demiri f_{ds}
Eğilme	1	f_{dcu}	f_{dy}
	2	f_{dcu}	$f_{dy} + (f_{du} - f_{dy}) / 4$
Kesme	1	f_{dcu}	f_{dy}
	2	f_{dcu}	f_{dy}
Basınç	1 ve 2	f_{dcu}	f_{dy}

Eğilme etkisindeki betonarme elemanın davranışı Şekil 4.27'de kabul edilen mukavemet-deformasyon eğrisi olarak gösterilmiştir. Bu grafikte r_u birim kopma dayanımı, X_E eşdeğer elastik deformasyon değeri, K_E elastik rijitlik değeri ve X_m kısa süreli toplam deformasyondur.



Şekil 4.27. Kabul edilen mukavemet-deformasyon eğrisi[19]

İtkisel yüklemeye karşı betonarme bir elemanın tepkisi analiz edilirken, patlama yükü sıfır artış zamanıyla üçgensel bir basınç-zaman grafiği olarak kabul edilir. Bu sistemde, etkiyen yükün süresi t_d, elemanın tepki verme süresi t_m'ye göre kısadır. $t_m / t_d \geq 3$ olur. Yükün, düzgün yayılı yük olduğu kabul edilir ve özgül itki değeri i ile ifade edilir.



Şekil 4.28. Kabul edilen patlama yükü[19]

Betonarme bir elemanı itkisel yük altında eğilmeye karşı tasarlarken esas amaç dayanım ve düktillik sağlayabilmektir. Böylece elemandaki iç gerilme enerjisi, itkisel yükün aktardığı kinetik enerjiye dayanım gösterebilir. Mesnet dönüş açısı $\theta < 5°$ olduğunda, ideal mukavemet-deformasyon fonksiyonunun elastik kısmı,

$$i^2 / 2K_{LM}m = (r_u X_E) / 2 + r_u (X_m - X_E) \qquad (4.30)$$

denkleminden hesaplanabilir. Bu denklemde K_{LM} yük-kütle çarpanı, m ise birim kütledir. Mesnet durumu ve etkiyen yüke bağlı olarak yük-kütle çarpanı değeri Ek A Tablo A.1'den bulunur.

Bir yapı elemanı projelendirilirken ilk önce mukavemet-deformasyon fonksiyonu, birim kopma dayanımı cinsinden tanımlanır. (Ek A, Tablo A.3)

(i) $r_u = f(M_p, L)$

Tip 2 kesiti için $M_p = A_s (f_{ds} / b)\, d_c$

$\rho_s = A_s / bd_c$

ρ_s çelik oranı olmak üzere $M_p = \rho_s f_{ds} d_c^2$ denklemi elde edilir.

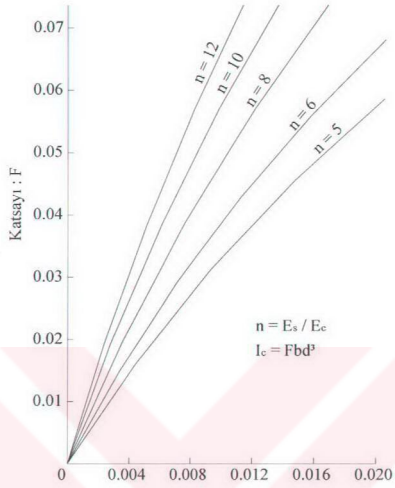
(ii) $X_m = f(\theta)$

(iii) $K_E = f(E, I, L)$ (Ek A, Tablo A.4)

$I = Fbd_c^3$ (Şekil 4.29)

I atalet momenti ve E betonun elastisite modülüdür.

(iv) $X_E = r_u / K_E$



Şekil 4.29. Her iki yüzünde eşit donatısı olan çatlak kesitler için atalet momenti katsayısı[19]

Ardından K_{LM} (Ek A, Tablo A.1) ve $m = \rho d_c$ hesaplanır. ρ, betonun yoğunluğudur. Kabul edilen ρ_s değerine göre d_c bulunur. Önce $t_m = i / r_u$ değeri, ardından t_m / t_d değeri hesaplanır ve etkiyen yüke uygun -statik benzeri, dinamik veya itkisel- tasarım yönteminin uygulanıp uygulanmadığı kontrol edilir.

Eleman itkisel yük altında eğilmeye karşı tasarlandıktan sonra gerekli kesme donatısı miktarı belirlenmelidir. Kesme donatısı etkiyen yükten bağımsız olarak sadece eleman mukavemetinin bir fonksiyonu olduğundan, mukavemet sınır değere ulaşınca, kesme sınır değeri oluşur.

Betonarme elemanların tasarımında kesme kuvvetinin dikkate alınması gereken iki durum vardır. Çapraz çekme gerilmesini kontrol altına almak ve etriyeler halinde kesme donatısına yer açmak için kopma gerilmesi υ_u mesnetlerden d_c uzaklıkta hesaplanır. Dolaysız kesme kuvveti veya mesnet kopma sınırı V_s, gerekli çapraz çubuk miktarını belirlemek için mesnet yüzeyinde hesaplanır.

Mesnet yüzeyinden d_c mesafede kopma gerilmesi değerleri Ek A, Tablo A.5'de verilmiştir. Betonun kesme kapasitesi υ_c değeri BS 8110 : Part 1 Tablo 3.9'dan[21]

bulunabilir. Kopma gerilmesi υ_u, betonarme kesitte kesme kapasitesi υ_c'den fazla olduğunda, fazlalığı taşıması için kesme donatıları yapılmalıdır. Çekme bölgesinde etriyeler için gerekli alan, $A_v = (\upsilon_u - \upsilon_c)bs / f_{ds}$ denkleminden hesaplanabilir. s, boyuna donatıya paralel yönde etriye açıklığıdır. Tip 2 kesiti için, kesme donatısı hesabında kullanılacak minimum proje gerilmesi $(\upsilon_u - \upsilon_c)$ değeri $0.85\upsilon_c$'dir.

Mesnet kopma sınır değerleri Ek A, Tablo A.6'da verilmiştir. Tip 2 kesitleri için mesnet dönüşü $\theta > 2°$ olduğunda, betonun dayanım gösterebileceği sınır değerdeki dolaysız kesme kapasitesi V_d sıfır olur ve kesme kuvvetinin tamamını alması için çapraz çubuklar yerleştirilmelidir.

45°lik çapraz çubuklar için gerekli alan $A_d = V_s b / f_{ds}$ ile hesaplanır.

Statik benzeri/dinamik yüklemeye karşı betonarme bir elemanın tepkisi analiz edilirken, patlama yükü itkisel yüklemede olduğu gibi üçgensel basınç-zaman grafiğidir. Bu sistemde, etkiyen yükün süresi t_d, elemanın tepki verme süresi t_m'ye göre uzundur. $t_m / t_d < 3$ olur. Yükün, düzgün yayılı yük olduğu kabul edilir ve t zamanda değişen p basıncıyla ifade edilir.

Betonarme bir elemanı statik benzeri/dinamik yük altında eğilmeye karşı tasarlarken de esas amaç dayanım ve düktilliğin sağlanmasıdır. Böylece elemandaki iç gerilme enerjisi, etkiyen patlama yükünün yaptığı işe dayanım gösterebilir.

Yapı elemanı projelendirilirken ilk önce mukavemet – deformasyon fonksiyonu, birim kopma dayanımı cinsinden tanımlanır. (Ek A, Tablo A.3)

(i) $r_u = f(M_p, L)$

Tip 1 kesiti için $M_p = (A_s f_{ds}) / b.(d - 0.45x)$

$x = A_s f_{ds} / 0.6 b f_{dc}$ basınç bölgesinden tarafsız eksene olan mesafedir.

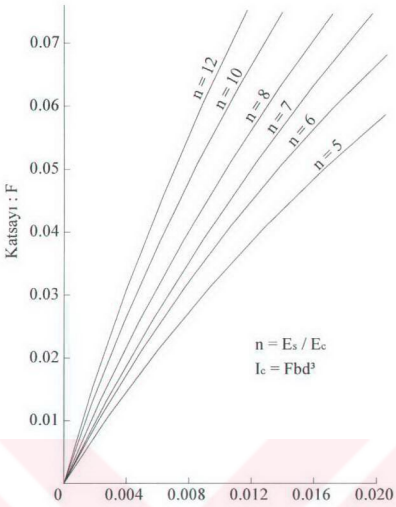
d çekme donatısının etkili yüksekliği olmak üzere $\rho_s = (A_s / bd)$ olur.

(ii) $X_m = f(\theta)$

(iii) $K_E = f(E, I, L)$ (Ek A, Tablo A.4)

$I = Fbd_c^3$ (Şekil 4.30)

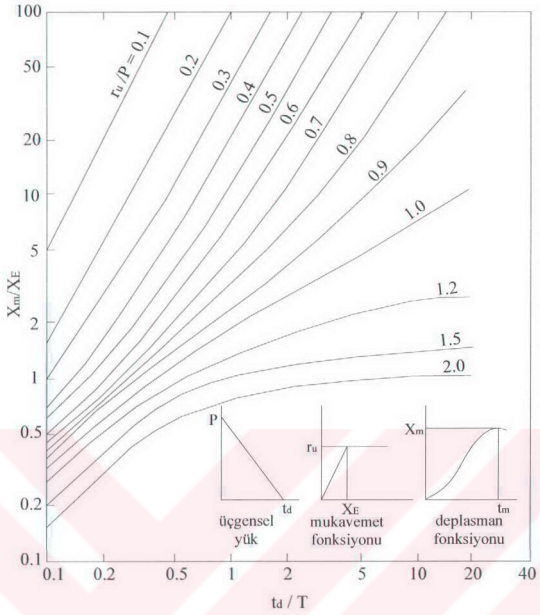
(iv) $X_E = r_u / K_E$



Şekil 4.30. Sadece çekme donatısı olan çatlak kesitler için atalet momenti katsayısı[19]

Ardından elemanın doğal titreşim süresi $T = 2\pi\sqrt{K_{LM}m / K_E}$ hesaplanır. Mesnet durumu ve etkiyen yüke göre K_{LM} yük-kütle çarpanı değeri Ek A, Tablo A.1'den bulunur.

$\mu = X_m / X_E$ ve t_m / t_d değerlerini elde etmek için kabul edilen yük altında elasto-plastik sistem için uygun tek serbestlik dereceli tepki grafiğine bakılır. (Şekil 4.31 ve Şekil 4.32) Etkiyen yüke uygun -statik benzeri, dinamik veya itkisel- tasarım yönteminin uygulanıp uygulanmadığı kontrol edilir.

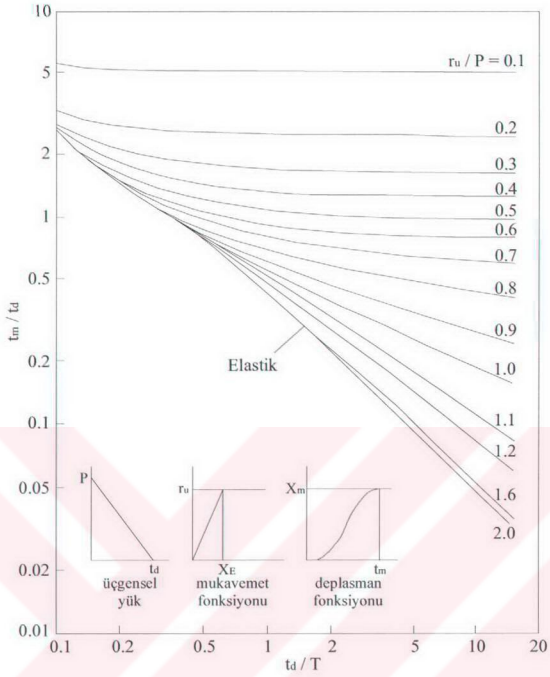


Şekil 4.31. Üçgensel yük altında tek serbestlik dereceli elasto-plastik sistem için maksimum deformasyon süresi[19]

Kopma gerilmesi durumu ve mesnet kopma sınırı gibi istisna durumlar haricinde, basınç-zaman ilişkisiyle tepki veren Tip 1 betonarme elemanların kesme kuvvetine dayanıklı projelendirilmesi, itkisel yüklemeye tepki veren Tip 2 elemanlarıyla benzerdir.

Mesnet dönüşü $\theta \leq 1°$ için, kesme donatısı olarak gerekli olmadığı müddetçe döşemelerde etriye kullanılmaz. Kopma gerilmesi değerleri mesnetlerden d kadar mesafede hesaplanmalıdır.

Mesnet dönüşü $\theta \leq 2°$ olan Tip 1 kesitleri için betonun dayanım gösterebileceği sınır değerdeki dolaysız kesme kuvveti $V_d = 0.15 f_{dc} bd$ ile hesaplanır. 45°lik çapraz çubuklar için gerekli alan ise $A_d = (V_s b - V_d) / f_{ds}$ ile hesaplanır.



Şekil 4.32. Üçgensel yük altında tek serbestlik dereceli elasto-plastik sistem için maksimum tepki süresi[19]

Betonarme bir yapı elemanı dinamik yüklendiğinde mesnetlere aktarılan yükler dinamik tepkilerdir. Taşıyıcı elemanların tasarımında esas alınan bu tepkilerin büyüklüğü, zamana bağlı değişkenlik gösteren toplam mukavemet R ve toplam yük P'nin bir fonksiyonudur. Mesnet tepkisi $V = \alpha R + \beta P$ ile ifade edilebilir. α, mesnet tepkisini elde etmek için kullanılan ve toplam iç mukavemete uygulanan katsayı ve β, mesnet tepkisini elde etmek için kullanılan ve toplam yük değerine uygulanan katsayıdır. (Ek A, Tablo A.7)

4.6.5.1. Betonarme Eleman için Uygulama Örneği

Belirli bir patlama yükü tehlikesine karşı 600 mm kalınlığında ve 7 m temiz yükseklikte bir ankastre betonarme perde duvarın eğilme kapasitesi koruma sınıfı 1

düzeyinde incelenecektir. Perde duvar kalite sınıfı 460 olan çubuklarla simetrik donatılıdır. Donatı özellikleri şöyledir.

$\rho_s = \rho_s' = 0.35\%$ (çekme donatısı oranı ρ_s = basınç donatısı oranı $\rho_s' = 0.35\%$)

d = 550 mm (üstteki basınç elyafı ile çekme donatısı merkezi arasındaki mesafe)

d′ = 50 mm (üstteki basınç elyafı ile basınç donatısı merkezi arasındaki mesafe)

Beton sınıfı 40'tır. Söz konusu patlama yükü $p_r = 220$ kN/m^2 ve patlamanın pozitif safhasının süresi $t_d = 60$ ms olarak kabul edilmiştir.

Betonarme duvarın eğilmeye karşı tasarımı analiz edilecektir. Birim genişlikte duvarın etkili yüksekliği H, etkili genişliği d 'dir ve duvar Tip 1 kesitlidir.

(i) Ankastre mesnetli betonarme perde duvar için birim kopma dayanımı,

$r_u = 8(M_n + M_p) / H^2$ (Ek A, Tablo A.3'den)

Basınç donatısının etkisi ihmal edildiğinde simetrik donatılı Tip 1 kesiti için,

$M_n = M_p = A_s f_{ds} / b(d - 0.45x)$ ve $x = A_s f_{ds} / 0.6 b f_{dc}$ olur.

$f_{ds} = f_{dy} = 1.2 \times 460 = 552$ N/mm^2 (Tablo 4.4 ve Tablo 4.6)

$f_{dc} = f_{dcu} = 1.25 \times 40 = 50$ N/mm^2 (Tablo 4.4 ve Tablo 4.6)

$A_s = A_s' = \rho_s bd = 0.35 \times 1000 \times 550/100 = 1925$ mm^2/m

$x = 1925 \times 552/(0.6 \times 1000 \times 50) = 35.5$ mm

$M_n = M_p = 1925 \times 552 \ (550 - 0.45 \times 35.5) \times 10^{-3}$ Nm/m

$= 566000$ Nm/m

$r_u = 8 \times 2 \times 566000 / 7^2 = 184800$ N/m^2

(ii) Koruma sınıfı 1 için mesnet dönüşü θ maksimum 2° olabilir. (Tablo 4.5)

Etriyeler olmadığında θ değeri en fazla 1° olabilir.

$X_m = 3.5 \tan 1° = 0.0611$ m = 61.1 mm

(iii) Ek A, Tablo A.4'den ankastre mesnetler için eşdeğer elastik rijitlik değeri

$K_E = 307EI / H^4$ bulunur.

Donatının elastisite modülü $E_s = 200$ kN/mm^2 ve betonun elastisite modülü

$E_c = 28$ kN/mm^2 olarak alınırsa, modüler oran $n = E_s / E_c = 200/28 = 7.14$ bulunur. Çekme donatısı oranı $\rho_s = 0.0035$'dir. Şekil 4.30'dan $I = 0.018bd^3$ elde edilir.

$K_E = (307 \times 28 \times 10^9 \times 0.018 \times 1 \times 0.55^3)/ 7^4$

$= 10.72 \times 10^6$ N/m^2/m

(iv) $X_E = r_u / K_E$

$= 184800/10.72 \times 10^6 = 0.0172$ m $= 17.2$ mm

Elemanın doğal titreşim süresi $T = 2\pi\sqrt{K_{LM}m / K_E}$ hesaplanır. Ankastre mesnet için K_{LM} yük-kütle çarpanı değeri Ek A, Tablo A.1'den bulunur.

$K_{LM} = (0.77 + 0.66) / 2 \approx 0.72$

$m = 2400 \times 0.6 = 1440$ kg/m^2

$T = 2\pi [(0.72 \times 1440)/(10.72 \times 10^6)]^{1/2} = 0.0618$ s $= 61.8$ ms

Şekil 4.31'den yararlanarak $r_u / P = 184800/220000 = 0.84$ ve $t_d / T = 60/61.8 = 0.97$ değerlerine karşılık gelen $X_m / X_E = \mu = 2.7$ değeri bulunur.

$X_m = \mu X_E = \mu(r_u / K_E)$ olduğuna göre $X_m = 2.7 \times 17.2 = 46.4$ mm < 61.1 mm ve bu deformasyon değeri proje için uygundur.

Şekil 4.32'den yararlanarak, $t_m / t_d = 0.67 < 3$ bulunur. Bu değerlere göre statik benzeri/dinamik yüklemeye göre planlama uygundur ve eğilme kapasitesi proje için yeterlidir.

4.6.6. Patlama Yüklerine Dayanıklı Çelik Elemanların Tasarım ve Analizi

Tablo 4.7. Çelik elemanlar için dinamik proje gerilmeleri[5]

Gerilme türü	Koruma sınıfı	Dinamik proje gerilmesi
Eğilme	1	$f_{ds} = f_{dy}$
	2	$f_{ds} = f_{dy} + (f_{du} - f_{dy}) / 4$
Kesme	1 ve 2	$f_{dv} = 0.55 f_{ds}$

Eğilme etkisindeki bir çelik elemanın davranışı, betonarme elemanın davranışı ile benzerdir. Kabul edilen mukavemet-deformasyon eğrisi Şekil 4.27'de gösterilmiştir.

Statik benzeri/dinamik yüklemeye karşı çelik bir elemanın tepkisi analiz edilirken, patlama basıncının zamana karşı değişimi Şekil 4.28'deki grafik gibidir.

Çelik bir elemanı statik benzeri/dinamik yük altında eğilmeye karşı tasarlarken ilkin Tablo 4.8'de gösterilen eşdeğer statik kopma dayanım değerleri dikkate alınarak avan proje hazırlanır.

Tablo 4.8. Eğilme etkisindeki çelik yapı elemanlarının avan projesinde kullanılacak eşdeğer statik kopma dayanım değerleri[5]

Koruma sınıfı	Eşdeğer statik kopma dayanımı
1	$r_u = 1.0p_{max}$
2	$r_u = 0.5p_{max}$

(i) Gerekli dayanım değeri (r_u) belirlenir.

(ii) Gerekli plastik mukavemet momenti ($M_p = f(r_u, L)$) hesaplanır. (Ek A, Tablo A.3)

(iii) Elde edilen M_p, f_{ds}, S ve Z değerlerine göre uygun çelik eleman seçilir.

Ardından elemanın doğal titreşim süresi $T = 2\pi\sqrt{K_{LM}m / K_E}$ hesaplanır. Mesnet durumu ve etkiyen yüke göre K_{LM} yük-kütle çarpanı değeri Ek A, Tablo A.1'den bulunur.

$\mu = X_m / X_E$ ve t_m / t_d değerlerini elde etmek için kabul edilen yük altında elasto-plastik sistem için uygun tek serbestlik dereceli tepki grafiğine bakılır. (Şekil 4.31 ve Şekil 4.32) Etkiyen yüke uygun -statik benzeri, dinamik- tasarım yönteminin uygulanıp uygulanmadığı kontrol edilir.

Çelik elemanı kesme kuvvetine dayanıklı tasarlayabilmek için mesnet kopma sınırı ve kopma gerilmesi hesaplanır. Mesnet durumu ve etkiyen yüke göre mesnet kopma sınırı için uygun formül Ek A, Tablo A.6'dan bulunur. Kopma kapasitesi $V_p = f_{dv}A_w$ denklemi ile hesaplanır. A_w, profil gövdesinin alanıdır.

Bir çelik kirişin plastik mafsal noktalarında istenen düktil davranışı gösterebilmesi ve bunun sonucunda tümüyle plastik davranış gösterebilmesi için çelik profilin lokal burkulmaya dayanım gösterebilecek kadar kalın olması gerekir. Noktasal yükün ve tepkilerin olduğu yerlerde gövde rijitleştirici elemanlar kullanılmalı ve kiriş gövdesinden kuvvetler aktarılmalıdır. Dayanıklı oldukları eksen yönünde eğilme

etkisinde kalan elemanlar, basınç başlıklarına yatayda çapraz bağlantılar yapılmazsa, zayıf oldukları eksen yönünde yanal burulma ve burkulma gösterebilirler.

Plastik tasarımı yapılmış bir elemanın yıkılmaya karşı daha dayanıklı olması için plastik mafsal noktalarına yanal destekler de yapılmalıdır.

4.6.6.1. Çelik Eleman için Uygulama Örneği

Basit mesnetli bir çelik döşeme kirişi koruma sınıfı 1 düzeyinde belirli bir patlama yükü tehlikesine karşı tasarlanacaktır. Döşeme kirişi, 4 mm kalınlığında bir çelik levhayı destekleyen 1.4 m aralıklı kirişlerden biridir ve 5.2 m açıklık geçmektedir.

Çeliğin statik akma gerilmesi f_y = 275 N/mm^2, çelik profilin elastisite modülü E_s = 210 kN/mm^2 ve yoğunluğu ρ = 7850 kg/m^3'dir.

Söz konusu patlama yükü p_r = 50 kN/m^2 ve patlamanın pozitif safhasının süresi t_d = 40 ms olarak kabul edilmiştir.

Çelik kiriş ilkin eğilmeye karşı tasarlanacaktır. Koruma sınıfı 1 için $\theta \leq 2°$ ve $\mu \leq 10$ olmalıdır. (Tablo 4.5)

(i) Tablo 4.8'den avan projede kullanılacak eşdeğer statik kopma dayanımı $r_u = 1.0p_r$ bulunur.

Birim uzunluk için gerekli mukavemet r_u = 1.0 x 50 x 1.4 = 70 kN/m olur.

(ii) Basit mesnetli çelik döşeme kirişi için kopma dayanımı Ek A, Tablo A.3'den $r_u = 8M_p / L^2$ olarak bulunur. Buna göre gerekli plastik mukavemet momenti, $M_p = r_uL^2 / 8$ = 70 x (5.2)^2/8 = 236.6 kNm olur.

(iii) $M_p = f_{ds}S$ alınır.

$f_{ds} = f_{dy}$ = 1.1 x 1.20 x 275 = 363 N/mm^2 ve

S $\geq$ 236.6 x 10^6/363 = 0.652 x 10^6 mm^3 olmalıdır. Buna göre 356 x 127 x 39 kg/m lik bir putrel seçilir. Seçilen putrel için S = 0.654 x 10^6 mm^3 ve M_p = 0.654 x 10^6 x 363 = 237 x 10^6 Nmm = 237 kNm'dir.

Elemanın doğal titreşim süresini hesaplamak için Ek A, Tablo A.1'den yük-kütle çarpanı K_{LM} değeri bulunur.

K_{LM} = (0.78 + 0.66) / 2 = 0.72

Birim uzunluk için kütle m = 39 + (7850 x 1.4 x 0.004) = 83 kg/m'dir.

Ek A, Tablo A.4'den eşdeğer elastik rijitlik $K_E = 384EI / 5L^4$ bulunur.

$I = 100.87 \times 10^6$ mm^4 olmak üzere,

$K_E = (384 \times 210 \times 10^3 \times 100.87 \times 10^6) / 5 \times (5.2 \times 10^3)^4 = 2.225 \times 10^6$ N/m/m'dir.

$T = 2\pi\sqrt{K_{LM}m / K_E}$ denkleminde değerler yerine konulursa,

$T = 2\pi [(0.72 \times 83)/(2.225 \times 10^6)]^{1/2} = 0.0326$ sn = 32.6 msn bulunur.

$r_u = 8M_p / L^2 = 8 \times 237 \times 10^3 / (5.2)^2 = 70.1 \times 10^3$ N/m ve

$P = 50 \times 10^3 \times 1.4 = 70 \times 10^3$ N/m'dir.

Şekil 4.31'den yararlanarak $r_u / P = 1.00$ ve $t_d / T = 40/32.6 = 1.23$ değerlerine karşılık gelen $X_m / X_E = \mu = 2.1$ değeri bulunur. $\mu = 2.1 \leq 10$'dur ve bu deformasyon değeri proje için uygundur.

$X_m = \mu X_E = \mu(r_u / K_E) = 2.1 \times 70.1 \times 10^3 / 2.225 \times 10^6 = 0.0662$ m = 66.2 mm'dir.

Şekil 4.21'den $\tan\theta = X_m / (L/2) = 66.2 \times 2/(5.2 \times 10^3) = 1.46° \leq 2°$ elde edilir.

Şekil 4.32'den yararlanarak $t_m / t_d = 0.51 < 3$ bulunur ve bu değerlere göre statik benzeri/dinamik yüklemeye göre çelik kiriş planlaması uygundur ve eğilme kapasitesi proje için yeterlidir.

Çelik kirişin kesme kuvvetine ve ikincil etkilere karşı dayanıklı tasarlanabilmesi için mesnet kopma sınırı ve kopma gerilmesi hesaplanacaktır.

Mesnet kopma sınırı Ek A, Tablo A.6'dan,

$V_s = r_u L / 2 = (70.1 \times 10^3 \times 5.2) / 2 = 182.3 \times 10^3$ N bulunur.

Kopma kapasitesi değeri ise Tablo 4.7'den,

$f_{dv} = 0.55 f_{ds} = 0.55 \times 363 = 200$ N/mm^2 ve

$V_p = f_{dv} A_w = 200 \times 352.8 \times 6.5 = 458.6 \times 10^3$ N olarak hesaplanır. $V_p > V_s$'dir ve bu proje için uygun bir değerdir. Ayrıca, lokal burkulmaya karşı önlem alınmalı ve mesnet noktalarına gövde rijitleştirici elemanlar yerleştirilmelidir. Kiriş üst başlığı düşey yük altında yanal gerilme yapacaktır. Bunu önlemek için ters yönde yük hareketine karşı alt başlığa yatayda çapraz bağlantılar yapılmalıdır.[5]

4.7. Betonarme ve Çelik Elemanlar için Takviye Sistemler

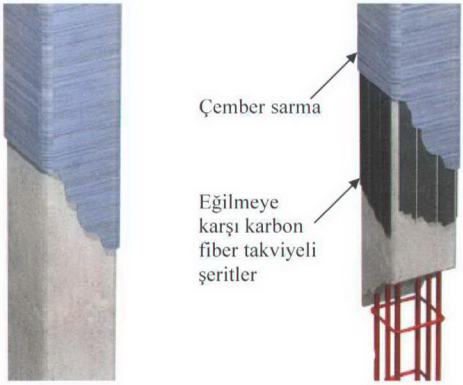
4.7.1. Kolon Koruma Yöntemleri

Patlama etkisinde kalacak bir betonarme taşıyıcı sistemde korunması gereken en önemli yapı elemanları kolonlardır. Kolonların yük etkilerine karşı dayanıklı olabilmesi için çeşitli koruma yöntemleri önerilebilir. Önerilen koruma yöntemleri kolonların olay sonrası taşıyıcı özelliğini yitirmeden ayakta kalmasını sağlayacak ve onarımı mümkün kılacak yöntemler olmalıdır. Kolon koruması ekonomik olmalı ve kısa zamanda yapılabilmelidir.

Uygulanan en yaygın yöntemlerden biri kolonun sarılmasıdır. İki tür sarma yöntemi vardır. Bunlar çember sarma ve boyuna kompozit şeritler ile sarmadır. Kolonun çevresine yerleştirilen çelik gömlek ve etriye sistemi kafes kiriş gibi çalışarak patlama etkilerini azaltır, betonarme elemanda daha az hasar oluşur.

Çember sarma yönteminde kolonlar sık aralıklarla yerleştirilen etriyelerle enine sarılır. Bu sarma yöntemi ile betonun tek eksenli mukavemeti ve düktilliği artar. Böylece kolon, gelen enerjiyi daha rahat soğurur ve daha az hasar görür. Karbon fiber takviyeli polimer sarma betonun yük altında gösterdiği tepkiye karşı etkilidir. Bu malzeme rijit olduğu için betonun genişlemesini engeller ve malzeme üzerinde çekme gerilmesi oluşur. Betonarme eleman daha dayanıklı ve daha düktil hale gelir.

Çember sarma yöntemi tek yönlüdür, betonarme kolonu enine sarar, bu nedenle sadece çember şeklinde sarılı etriyelerin yönünde rijitlik sağlanır. Kolonun eğilme mukavemetinin sağlanması için boyuna şeritlerle de kolonun sarılması gerekir. Boyuna şeritler çember sarmanın altına uygulanır, kolonu boylamasına her yönden sarar. Çelik şeritler, karbon fiber takviyeli polimere oranla kolonun daha düktil olmasını sağlar ve daha faydalıdır.[22]



Çember sarma

Çember sarma ve boyuna kompozit şeritler ile sarma

Şekil 4.33. Çember sarma ve boyuna kompozit şeritler ile sarma[22]



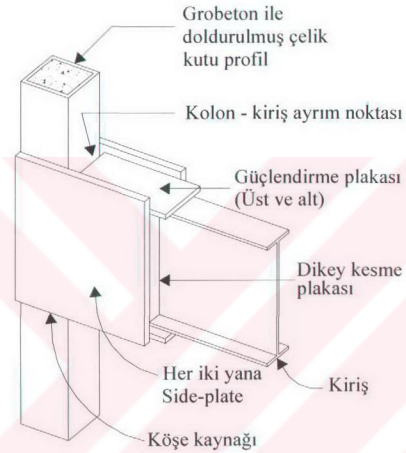
Takviyesiz betonarme kolon

Karbon fiber takviyeli polimer ile sarılmış betonarme kolon

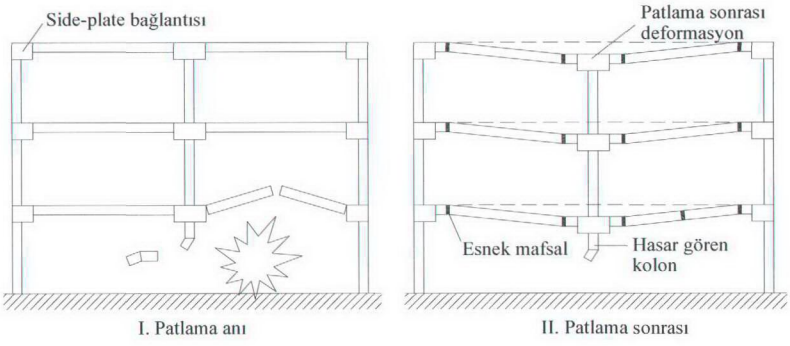
Şekil 4.34. Statik yüklenmiş betonarme kolonun tepkisi[22]

4.7.2. Side-plate Bağlantısı

Çelik taşıyıcı sistemde moment çerçeveleri iki amaca hizmet eder. Hem yanal yüklere karşı sistemin sağlam ve dayanıklı olmasını sağlar, hem de taşıyıcı kolon kaybı karşısında katların aşamalı yıkımını önler. Ani bir patlama durumunda moment çerçevelerinin düzgün çalışabilmesi için aşırı yük altında kiriş-kolon moment bağlantılarının inelastik deformasyon yapabilmesi gerekir. Şekil 4.35'de bu gereksinimi karşılayan Side-plate bağlantı detayı gösterilmiştir.



Şekil 4.35. Tipik Side-plate bağlantı detayı[23]



Şekil 4.36. Side-plate bağlantıları ile aşamalı yıkılmayı önleme[23]

Kolonlara yan kaynakla bağlanmış iki yan levha moment aktarımını başarıyla sağlar. Kaynak yerleri uzun eksene paralel yönde kesme kuvvetini alır. Bu tip kaynaklı birleşimler çok esnektir ve plastik deformasyona uğrarlar. Kiriş kolona direkt olarak bağlanmadığı için yan levhalı birleşimlerde iç diyafram levhaları gereksinimi de ortadan kalkar. Bir ana kolonun zarar görmesi durumunda yan levhalı birleşimler yük aktarımında sürekliliği sağlayan elemanlardır. Bu sayede zarar gören kolonun her iki tarafındaki açıklıkta sehim görülür fakat yıkım önlenmiş olur.[23]



Şekil 4.37. Side-plate bağlantı örnekleri[24]

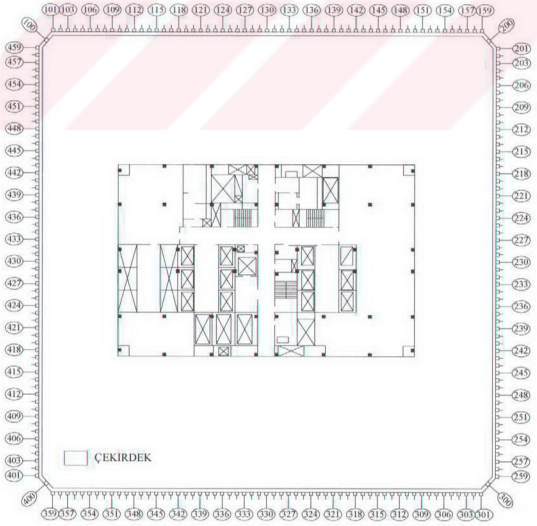
5. DURUM ÖRNEKLERİ

5.1. Dünya Ticaret Merkezi Kuleleri, New York

5.1.1. Giriş

11 Eylül 2001'de New York'ta bulunan Dünya Ticaret Merkezi kuleleri 5000'den fazla kişinin ölümüyle sonuçlanan terörist saldırılara uğradı. Uçak çarpması sonucu her iki yapı da büyük hasar gördü ve belli bir süre sonra yıkıldı.

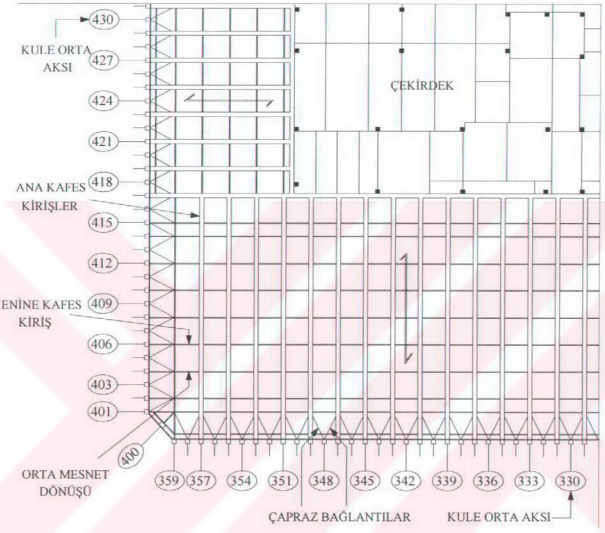
Dünya Ticaret Merkezi toplam 7 binadan oluşmuş bir kompleksti. Plaza kotu üzerinde 110 kat ve altında 7 kat bulunuyordu. Kuzey kulesi olarak bilinen Kule 1, 417 m; güney kulesi olarak bilinen Kule 2, 415 m yükseklikteydi. Her iki kule de köşelerden 2.11 m pah yapan, kenar uzunluğu 63.15 m olan kare şeklinde döşemelere sahipti. Kulelerin merkezinde 3 adet çıkış merdiveni, 99 adet asansör ve 16 adet yürüyen merdivenin de bulunduğu yaklaşık 26.5 x 41.75 m lik servis çekirdeği vardı.



Şekil 5.1. Normal kat planı (Kule 1-94. ve 95. katlar)[25]

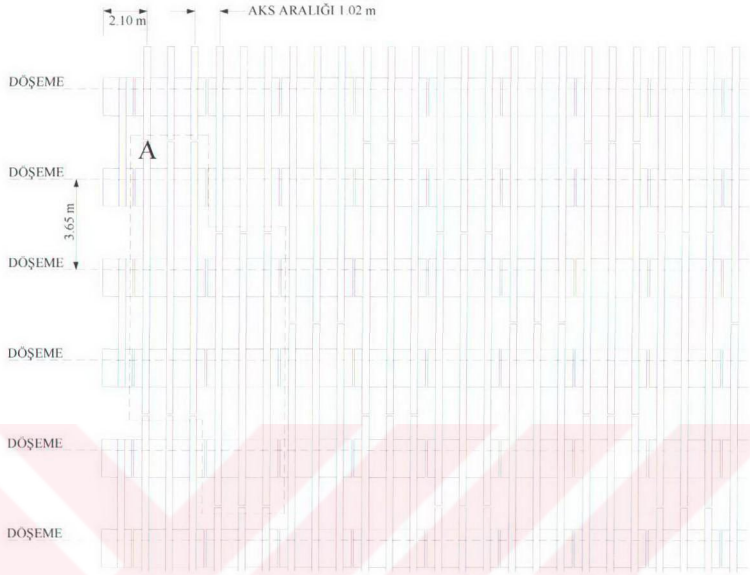
5.1.2. Yapısal Özellikleri

Kule 1 ve Kule 2 benzer gibi görünse bile farklı özelliklere sahipti. Kule 1'in servis çekirdeği doğu-batı aksında, Kule 2'nin servis çekirdeği kuzey-güney aksında konumlanmıştı. Her bir kulenin konumu diğerine gelen rüzgar yüklerini de etkilediğinden yanal yüke dayanım sistemleri birbirinden farklıydı.

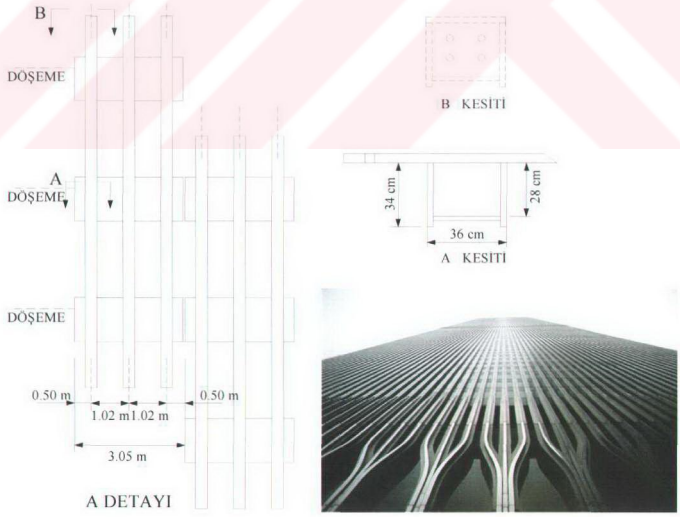


Şekil 5.2. Normal kat taşıyıcı çerçeve planı[25]

Cephe, 1.02 m aks aralığıyla yerleştirilmiş kutu kolonlar dizisiydi. Normal katlarda kulelerin her cephesinde 59 adet kutu kolon bulunmaktaydı. Bitişik dış kolonlar her kat seviyesinde 1.30 m yüksekliğinde derin levhalarla bağlanmıştı. Değişimli katlarda pah yapan köşelerde ilave bir kolon bulunuyordu. Bu şekilde sık aralıklarla yerleştirilmiş kutu kolonlar ve derin çerçeve levhaları, düzenli boşlukları olan çelik taşıyıcı çerçeve sistem oluşturmuştu. Her bir dış modül 3 kat yüksekliğinde 3 kolondan oluşuyordu ve derin çerçeve levhalarının kaynaklanmasıyla kolonlar birbirine bağlanıyordu. Her kolonun altında ve üstündeki başlık levhaları modüllerin alttan ve üstten vidalı bağlantısına imkan sağlıyordu. Kolonların bina içine bakan yüzeylerinde yüksek dayanım sağlayan vidalı bağlantıları yapabilmek için kapaklı boşluklar bırakılmıştı.



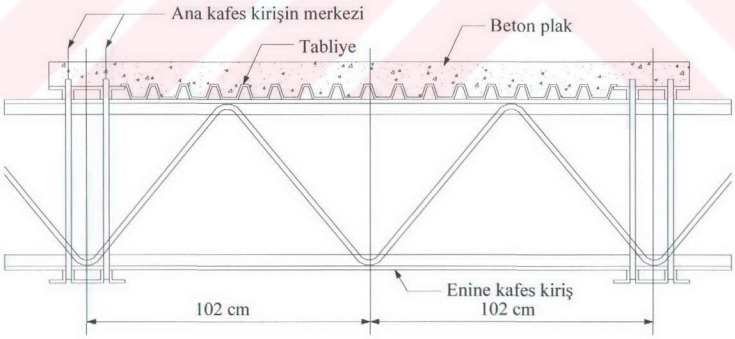
Şekil 5.3. Taşıyıcı dış çerçeve kısmi görünüşü[25]



Şekil 5.4. Dış cephe modül detayı[25,26]

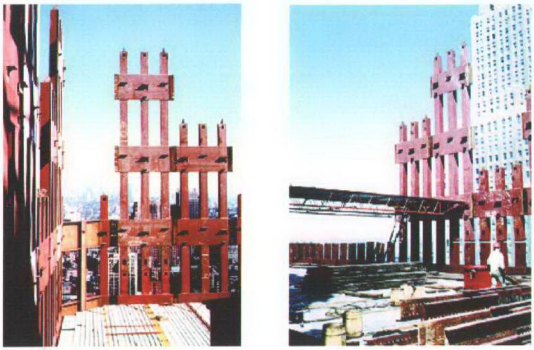
Çerçeve levhaları hem yatayda hem düşeyde rijit bir taşıyıcı sistem oluşturmuştu. Kuleler yatay rüzgar yükü altında boşluklu duvarları olan içi boş konsol tüpler gibi davranmaktaydı. Her iki kulede rüzgar alan yöndeki cephe duvarları çekme başlığı ve rüzgar almayan yöndeki cephe duvarları basınç başlığı gibi davranıyordu. Yan duvarlar tüpün perdesi gibiydi ve Virendel davranışı vasıtasıyla rüzgar alan yöndeki cephe duvarları ile rüzgar almayan yöndeki cephe duvarları arasında kesme kuvvetlerinin aktarımını sağlıyordu.

Tipik döşeme, kompozit olmayan çelik tabliye üzerinde 10 cm hafif betondan oluşmuştu ve 18.5 m^2 alana düzgün yayılan 5 kN/m^2 hareketli yükü taşıyacak şekilde projelendirilmişti. Çekirdekte döşeme kalınlığı 12.5 cm'di. Geniş başlıklı profil kolonlar ve kutu profil kolonlar ile taşınıyordu. Çekirdeğin dışında döşeme tabliyesi, çekirdek ile dış cephe duvarı arasında 2 m aralıklarla ikişerli yerleştirilen kompozit kafes kirişlerle taşınmaktaydı. Kafes çaprazlarının üst başlık üzerinden gerilmesiyle döşeme plağı ile kafes kirişlerin kompozit davranış göstermeleri sağlanıyor, kafes çaprazları da kesme kuvvetini alan dikmeler gibi davranıyordu. Metal tabliye, ana kafes kirişlere paralel yerleştirilmişti. Ana kafes kirişler, enine kafes kirişler ve tabliye mesnetinin kombinasyonu ile döşeme sistemi bir taşıyıcı ızgara gibi davranarak yükleri kolonlara aktarıyordu.



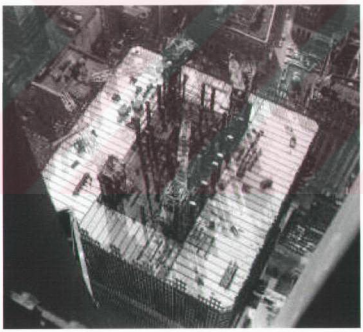
Şekil 5.5. Ana kafes kiriş enine kesiti[25]

Dış cephe duvarında kafes kiriş üst başlıkları, değişimli kolonlardaki çerçeve levhalarından uzayan oturma yüzeylerine bağlanıyordu. Çekirdekteki kafes kirişler, çekirdek çevresi boyunca giden bir ana kirişin oturma yüzeyi ve çekirdek kolonları ile desteklenmekteydi.



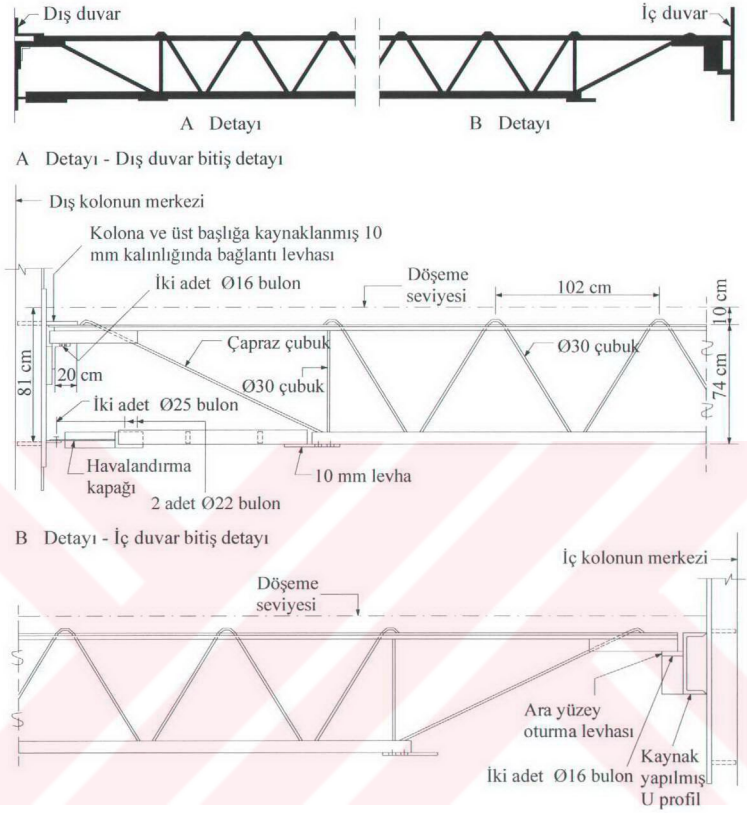
Şekil 5.6. Cephe modüllerinin montajı[25]

İkişerli lamalar dış cephe duvarlarından bitişik kafes kirişlerin üst başlıklarına çapraz bağlantı yapıyordu. Kesme kuvvetini alan dikmeler ile birlikte yapılan bu çapraz lamalar hem döşeme plağı ile dış cephe duvarı arasında yatay kesme kuvveti aktarımını sağlıyordu, hem de döşeme kafes kirişlerini dolaylı olarak taşıyan dış cephe kolonları için destek oluşturuyordu.



Şekil 5.7. Yapım aşamasında Dünya Ticaret Merkezi kulesi[26]

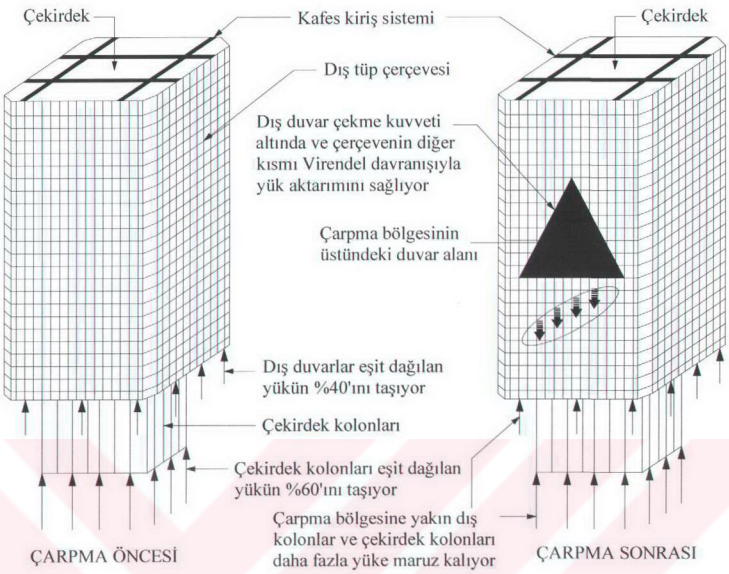
106.-110. katlar arasında bina çerçevesine bir dizi çapraz bağlantılar yerleştirilmişti. Bu çaprazlar bina kolonları ve döşeme çerçevesiyle beraber dış cephe duvarları ile bina çekirdeğinin çerçevesi arasında uzanan bir derin kafes kiriş sistemi oluşturmuştu. Bu sistem rüzgar yüküne karşı çerçeveye rijitlik sağlıyordu.



Şekil 5.8. Kafes kiriş-kolon bağlantı detayları[25]

5.1.3. Kulelerin Patlama Yüklerine Tepkisi

Kule 1'in kuzey cephesine 94.-98. katlar arasına ve Kule 2'nin güney cephesine 78.-84. katlar arasına yolcu uçaklarının çarpmasıyla, dış cephe duvarını oluşturan o bölgedeki üçlü kolon modülleri strüktürden kopmuş, döşemeler kısmen çökmüş ve çekirdeğin çerçevesinde büyük hasar oluşmuştur. Çarpma sonrası basınç altında hasar gören dış kolonların taşıdığı yüklerin çoğu dış duvar çerçevesinin Virendel davranışı göstermesiyle bitişik dış kolonlara aktarılmıştır.



Şekil 5.9. Çarpma öncesinde ve sonrasında Kule 1'de yük dağılımı[25]

Kolon kayıpları neticesinde Kule 1 çarpmanın olduğu bölgeye doğru eğilmiştir. Bu durum, diğer kolonların ve taşıyıcı elemanların aşırı gerilmesine neden olmuştur. Ayrıca çarpmanın olduğu bölgenin üstünde kalan dış kolonlar basınç elemanları iken askı tipi çekme elemanlarına dönüşmüştür. Böylelikle döşemelerin ağırlığının bir bölümü kafes kirişlerde asılı kalarak tekrar iç çekirdek kolonlarına aktarılmıştır.

Kule 1, bitişiğindeki Kule 2'nin yıkılmasıyla daha fazla yüke maruz kalmıştır; ancak binanın çökmesindeki esas neden uçak çarpması sonrası çıkan yangınlardır. Patlama sonrası oluşan enkaz yığını ve ateş topu, çarpmanın olduğu bölgedeki bazı çelik elemanların sprey uygulamalı yangın korunumunu olumsuz yönde etkilemiştir. Yangın yayıldıkça ve yapı elemanları üzerindeki sıcaklık arttıkça, taşıyıcı elemanların direnci kırılmış ve çarpmanın olduğu bölgede çöken katlar, alt katları da etkileyerek döşemelerin aşamalı yıkılmasına neden olmuştur. Döşemelerin bu şekilde yıkılması sonucu dış cephe duvarları ve tahminen çekirdek kolonları çıplak bir şekilde ortada kalmıştır. Çıplak ve desteksiz, serbestçe duran dış duvar yüzeyleri arttıkça, kolonlar vidalı bağlantıları noktalarından burkularak yıkılmaya başlamıştır.

Çekirdek kolonları rüzgar yüklerine karşı projelendirilmemiştir. Kolonların ve çekirdek kolonlarının bir kısmı çarpmanın etkisiyle hasar görünce binaların üst kısmındaki kafes kirişler ilave yükleri hasar görmeyen çekirdek kolonlarına aktarmışlardır. Çarpmanın etkisiyle gerilmenin artması, kolonların taşıma kapasitesini azaltmış ve yangının çıkması da yıkılmayı tetiklemiştir. Yıkılma başladığında, çarpmanın olduğu bölgenin üstünde kalan kısımlar bir bütün olarak çökmüş ve altında kalan havayı sıkıştırmıştır. Bu sıkışan hava çarpma bölgesindeki yangınları oksijenle besleyerek ikincil bir patlama etkisi yaratmıştır.

Kule 2'ye yapılan saldırı, Kule 1'e yapılan saldırıdan bazı yönlerden oldukça farklıdır. Kule 2'de çarpmanın şiddeti daha yüksek olmuştur ve Kule 2'deki çarpma, Kule 1'deki çarpmadan yaklaşık 20 kat aşağıda gerçekleşmiştir, dolayısıyla bu bölgedeki kolonlar daha fazla yük taşımak zorunda kalmıştır. Kule 2'de oluşan yapısal hasarın Kule 1'e oranla daha fazla olduğu kesindir.



Şekil 5.10. Kulelerin yıkılması[25,26]

5.1.4. Yapılan İncelemeler ve Sonuçlar

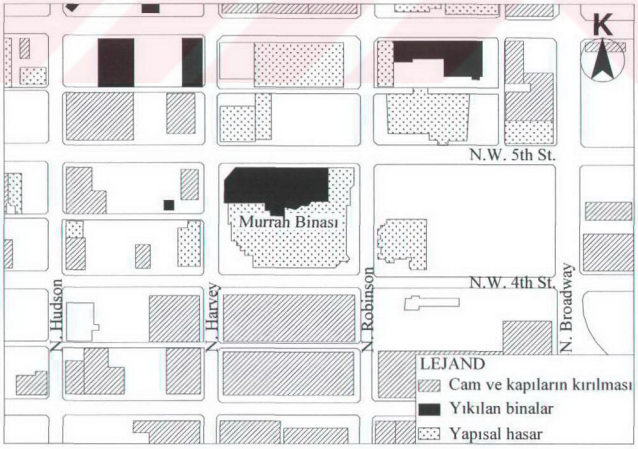
Binalara ilişkin incelemeler sonrasında deprem ve rüzgar yükü gibi ilave yükler dışında ciddi bir yük altında kalmadıkça kulelerin uzun süre dayanım göstereceği sonucuna varılmıştır. Yangın çıkmadan, sadece çarpma ve darbe sonucu kulelerin çökmeyeceği görüşü kabul edilmektedir. Çarpma olmadan, kulelerde sadece yangınların çıkması da yıkılmaya sebep olacak hasarı oluşturmayacaktır. Saldırıda çarpma etkisiyle sprinkler sistemler, manuel çalışan yangın sistemleri ve yangına karşı korumalı taşıyıcı sistem elemanları etkisiz kalmış, taşıyıcı sistem üzerinde ciddi bir gerilme ve yük durumu oluşmuş ve kuleler yıkılmıştır.[25]

5.2. Alfred P. Murrah Federal Binası, Oklahoma City

5.2.1. Giriş

19 Nisan 1995'de Oklahoma kentinde Alfred P. Murrah Federal Binası, kamyonet ile yapılan bombalı saldırı sonucu büyük hasar görmüş ve kısmen yıkılmıştır. Amerika'da büyük yankı uyandıran olayda 168 kişi hayatını kaybetmiştir. Kullanılan bombanın amonyum nitrat ile akaryakıt karışımı (ANFO) olduğu tespit edilmiştir. Yapılan incelemeler neticesinde terörist saldırıda sadece bomba yüklü bir araç kullanılmadığı, aynı zamanda hasarın daha etkili ve yıkıcı olması için binanın 4 kolonunun tabanına da ilave patlayıcılar yerleştirildiği anlaşılmıştır.[27]

Murrah Federal Binası Oklahoma'da 9 katlı betonarme bir ofis binasıydı. Binanın doğu ve batı cephelerine bitişik tek katlı iki adet ek binası ve güney cephesine bitişik bir kısmı yeraltında olan çok katlı bir otoparkı mevcuttu. Binanın ana kapısı güney cephesindeydi ve direkt ikinci kata giriş veriyordu. Arka kapısı ise kuzey cephesinden birinci kata girişi sağlıyordu. Birinci katın batı tarafı zeminden yarım kat yukarıda, doğu tarafı ise yarım kat aşağıdaydı. Binanın güney cephesine bitişik dört katlı yer altı otoparkının üst katı, ana giriş kotuyla hemzemindi. Yarım daire şeklindeki düşey sirkülasyon çekirdeği güney duvarına bitişikti. Çekirdekte binaya ve otoparka hizmet eden asansör ve merdivenler yer alıyordu.[28]

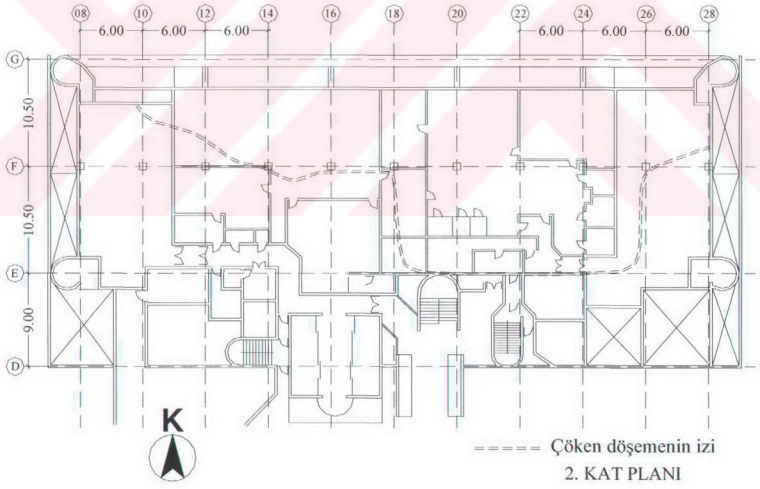


Şekil 5.11. Murrah Federal Binası vaziyet planı ve saldırı sonrası çevre yapılardaki hasar durumu[28]

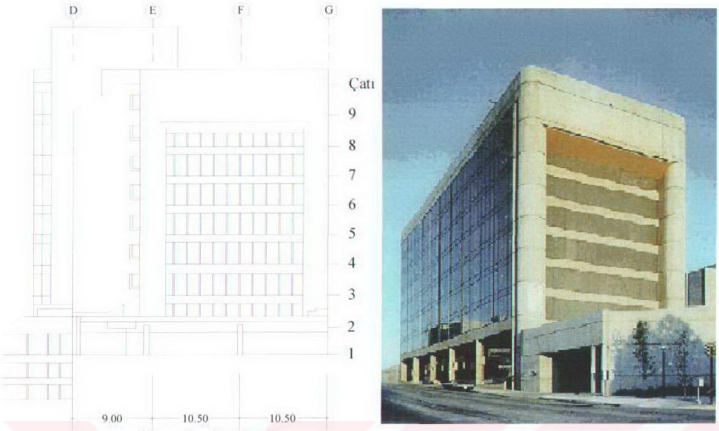
5.2.2. Yapısal Özellikleri

Murrah Federal Binası kolon, kiriş, ana çerçeve kirişi ve tek doğrultulu döşeme plakları dizisinden oluşan yerinde dökme betonarme iskelet yapıydı. Kolonlar normal moment çerçeveleriyle birbirine bağlanıyordu. Bina doğu-batı yönünde 11 aksta 67 m , kuzey-güney yönünde 3 aksta 30 m idi.

Yapının doğu-batı yönünde kolon aks aralıkları 6 m ve kuzey-güney yönünde kolon aks aralıkları 10.5 m ve 9 m idi. Ayrıca güneye bakan dış duvar yüzeyinin ortalarında perde duvarlar ve kolonlardan oluşan bir çekirdeği vardı. Perde duvarlar rüzgar yükleri karşısında binanın dayanıklı olmasını sağlıyordu. Yapı dış duvarlarının büyük bölümü pişmiş tuğladan oluşuyordu. Cephede çıplak betonarme duvar yüzeyleri düşey kaplamalarla giydirilmişti. Kuzeye bakan cephede birinci ve ikinci katlar içeri çekilmişti. 3. kat ile 9. kat arası cam yüzeylerle kaplıydı. 4 adet geniş, göze çarpan dairesel tüp şeklinde kolon bina yüksekliğince köşelere yerleştirilmişti. Bu kolonlar havalandırma sistemi için hava giriş-çıkışını sağlayan şaft görevi görüyordu.[29]



Şekil 5.12. Murrah Federal Binası 2. kat planı[30]

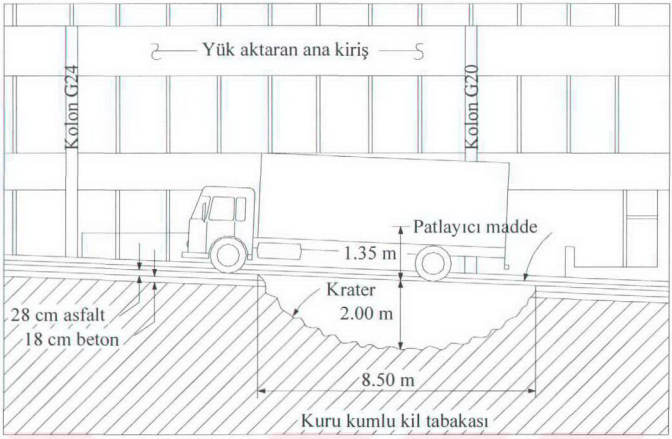


Şekil 5.13. Murrah Federal Binası doğu görünüşü ve batı cephesinden fotoğrafı[31]

5.2.3. Murrah Federal Binasının Patlama Yüklerine Tepkisi

Kamyonet ile yapılan bombalı saldırıda patlayıcı olarak 1800 kg TNT kullanıldığı anlaşılmıştır. Patlamanın etkisiyle 3. kattaki yük aktaran ana kirişi taşıyan dış kolonlardan biri yıkılmış, iki kolon da önemli ölçüde hasar görmüştür. Moment çerçevesinin yük aktarımını başarıyla gerçekleştirememesi sonucu döşeme plaklarının bir bölümü çökmüştür. Camlar ve floresan lambalar patlamış, tavan levhaları düşmüş ve bölücü duvarlar yapı içine doğru itilmiştir.

Patlamanın binada oluşturduğu yük durumu kullanılan patlayıcı miktarının ve patlama kuvvetinin belirlenmesiyle hesaplanmıştır. Zemin yüzeyinde gerçekleşen patlamada, oluşan kraterin boyutları incelenerek çeşitli bulgular elde edilmiştir. Şekil 5.14'de şematik olarak kesiti gösterilen krater yaklaşık 8.5 m çapında ve 2 m derinliğindedir. Proje çizimlerine ve arazide yapılan tetkiklere göre yol kaplaması 46 cm kalınlığındadır ve kaplamanın altındaki toprak, kuru kumlu kil tabakasıdır. Patlayıcı maddenin bir kamyonetin içinde zeminden 1.35 m yüksekte patladığı düşünülmektedir.

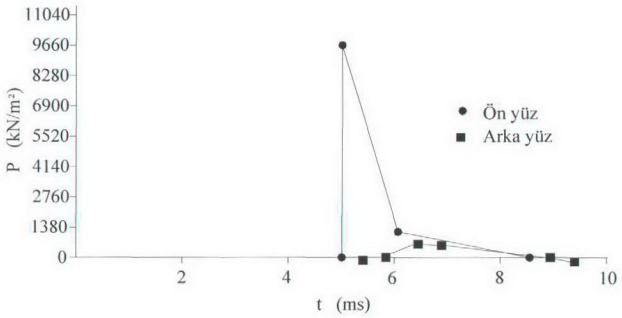


Şekil 5.14. Murrah Federal Binasının kuzey cephesi önünde oluşan krater[32]

Saldırı kuzey cephesi önünde, binadan 5 m uzaklıkta gerçekleşmiştir. Bina üzerinde patlama yükünün etkisi kısa süreli olmuştur ve yükün üçgensel vuruş değeri 5 ms'dir.

Kolon G20 patlamaya en yakın noktadaki yük aktaran ana kirişi destekleyen dış kolonlardan biriydi. Kolonun içinde enine donatı az, boyuna donatı daha fazlaydı ve kırılgan yapılıydı. Patlama dalgası tarafından sıkıştırılmadan önce bu kolonda kesme çatlakları oluşmuş ve patlamanın şiddetiyle parçalanan kolonun enkaz içinde dahi parçaları bulunamamıştır. Kolon G24 ise patlama merkezinden daha uzakta konumlanmış olmasına rağmen aşırı yük altına girerek birinci ve üçüncü katlar arasında tek serbestlik dereceli basit mesnetli kiriş özelliği göstermiştir. 50x90 cm boyutlarındaki kolon zayıf eksen doğrultusunda yük almıştır. Kolonun mukavemeti açıklığın iki ucunda elemanın gösterdiği kesme dayanımına bağlı kalmıştır. Malzeme özelliklerine ve hareketli ve hareketsiz yükler için belirlenmiş olan eksenel öngermesine dayanarak bu sınırlayıcı statik kapasite 90 cm'lik yüzeyde düzgün yayılı 360 kN/m^2 basınca eşdeğerdir. Şekil 5.15 kolon G24 üzerindeki patlama yükünü göstermektedir. Kolonun ön yüzeyinde aşırı basınç bir anda 9660 kN/m^2 değerine yükselir. Patlama dalgası bu yüzeyi yalayıp geçince bu aşırı basınç değeri gelen basınç ile dinamik basıncın toplam değerine düşer. Kolunun arka yüzeyindeki aşırı basınç ise gelen basınç ile dinamik basıncın toplam değerine çıkar. Kolon üzerinde patlama dalgasının sürekliliği 1.3 ms'dir. Yapılan incelemeler neticesinde

betonarme kolonların kesme gerilmeleri karşısında zayıf kaldıkları, kapasitelerinin üzerinde yük alarak yıkıldıkları anlaşılmıştır.



Şekil 5.15. Kolon G24 üzerindeki patlama yükü grafiği[32]

Kolon G24'ün tepkisi üzerindeki yük değeri sıfıra düştükten sonra gerçekleşmiştir, dolayısıyla kolon üzerinde itkisel yükleme söz konusudur. Birinci katta eksenel öngerme ve kesme kapasitesi, üçüncü kata göre çok daha fazla olduğundan elemanın üst kısımdan kırılması beklenir. Patlama sonrasında kolonun birinci katın üstünden kırıldığı görülmüş ve bu durum doğrulanmıştır. Tablo 5.1'de kuzey cephesinde yük aktaran ana kirişi taşıyan bazı kolonların patlama yükü karşısındaki tepkileri gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Ana kirişi taşıyan bazı kolonların patlama yüküne tepkileri[32]

Kolon	R (m)	P_0 (kN/m^2)	t_d (ms)
G24	11.50	9660	1.3
G16	15.50	4420	1.7
G12	27.00	795	1.4

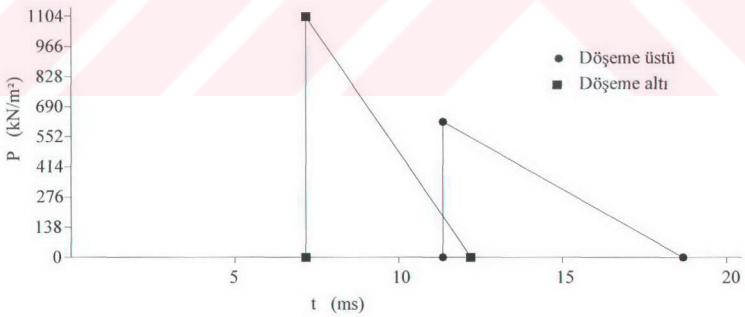
R değeri, kolonların eğilmenin görüldüğü yüksekliktir. Tabloya göre kolon G16'nın eğilme yüksekliği, kolon G24'ün eğilme yüksekliğinden daha fazladır. 15.50 m'de aşırı basınç değeri 4420 kN/m^2'dir. Kolon G24'e yapılan analize benzer bir şekilde kolonun tepkisi kesme kapasitesine yaklaşır. Bu durum başlamakta olan kırılma olayının işaretidir.

Kolon G12 patlama yüküne uzun süre dayanım göstermiştir. Eğilme yüksekliği 27 m ve o andaki aşırı basınç değeri 795 kN/m^2'dir.

Bombaya yakın mesafedeki döşeme plakları patlamadan direkt etkilenmiştir. Kuzey cephesinin büyük bölümü 1.5x3.0 m ebatlarında alüminyum profiller ile taşınan cam panellerden oluştuğundan, patlama kuvvetleri kolayca bina içine etkimiştir. Döşemelerin altına etkiyen basınç, üzerine etkiyen basınçtan daha büyüktür ve bu durum, her döşemenin etkili bir kuvvet ile yukarıya itilmesine sebep olmuştur.

Bu itici kuvvet, üç boyutlu düzgün basınç olarak düşünülebilir. 15 cm kalınlığındaki döşemeler tek serbestlik dereceli, basit mesnetle taşınan kirişler arasında doğu-batı açıklığını geçen elemanlar olarak planlanmıştır. Bu elemanlar düşeyde hareketli ve hareketsiz yükler için, altında donatısı olan plaklar olarak detaylandırılmıştır. Gene de bu düzenleme, patlama yüklerinin itici etkisine karşı sadece 1.27 kN/m^2 basınç dayanımı sağlamıştır.

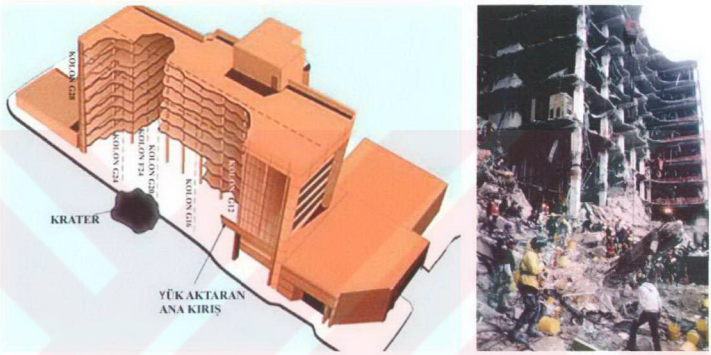
Şekil 5.16, kolon G20-G22 arasında 5. kat döşeme plağına etkiyen patlama yükünü göstermektedir. Yüklerin döşemenin orta kısmının altına ve üstüne geldiği varsayılır. Bu yükler, üçgensel vuruşlar olarak değerlendirilir. Döşeme altında maksimum aşırı basınç değeri 1060 kN/m^2 iken döşeme üstünde bu değer 600 kN/m^2'dir. Yüklemenin sürekliliği kısadır.



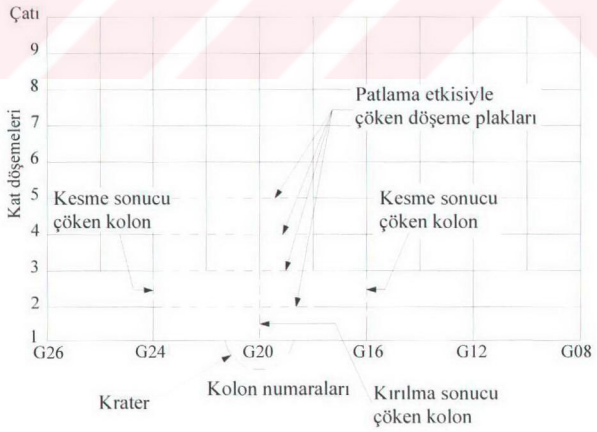
Şekil 5.16. 5. kat döşeme plağına etkiyen patlama yükü grafiği[32]

Döşemenin dinamik tepkisi uzun sürelidir ve patlama döşeme üzerinde itkisel yük durumu oluşturmuştur. Bu durumda, yukarıya doğru itici etkisi olan kuvvet döşemenin esneme kapasitesinin üzerine çıkmıştır ve döşeme plağı kırılarak çökmüştür.

Patlama dalgalarının şiddetiyle 5. kat seviyesinde ve altında G18-G24 aksları arası kolon kayıpları söz konusu olmuştur. Patlama dalgaları 2. kat seviyesinde binanın 12 m içine girerek döşemenin çökmesine sebep olmuştur. 2. kat - 6. kat arasındaki döşeme plakları patlama dalgalarından hasar görmüş ve kısmen yıkılmıştır. 6. kat ve üzerindeki döşemeler patlama karşısında elastik davranış göstermişler, düşey statik yüklerin altında bir değerde yüklenmişlerdir. Şekil 5.18'de binanın döşemelerinin ve ön cephe kolonlarının patlama yükü karşısındaki tepkileri şematik olarak gösterilmiştir.[32]



Şekil 5.17. Murrah Federal Binasının çöken döşeme ve kolonları[33]



Şekil 5.18. Patlama yükü karşısında bina döşeme ve kolonlarının davranışı-şematik gösterim[32]

5.2.4. Yapılan İncelemeler ve Sonuçlar

Elde edilen veriler doğrultusunda Murrah Federal Binasının iyi detaylandırılmış betonarme iskelet sistem bir bina olduğu söylenebilir. Bina, dönemin yönetmeliklerine uygun bir şekilde sadece rüzgar yüklerine ve düşeyde yapı yüklerine dayanım gösterecek şekilde tasarlanmıştır ve inşa edilmiştir. Deprem, patlama ve benzeri aşırı yüklenme durumları hesaba katılmamıştır.

Patlama kuvvetinin etkisiyle kolon G20 parçalanmıştır. Üçüncü kat çerçevesini oluşturan kolon G16 ile G24 arasında yük aktaran ana kiriş desteklerinden birini kaybetmiştir. Dolayısıyla moment çerçevesi üçüncü kat üzerindeki yapı yüklerini taşıyamaz duruma gelmiştir. Yük aktaran çerçeve kirişlerinde sürekli donatı yapılması kolon kaybı karşısında yıkılmayı engelleyecektir.

Kamyonet ile yapılan bombalı saldırı neticesinde ve binanın 4 ayrı kolon tabanına yerleştirilen patlayıcı maddelerin aktif hale gelmesiyle moment çerçevesini bağlayan kuzey cephesindeki 3 kolon büyük hasar görmüş ve bazı katlar çökmüştür. Bu durum, binanın aşamalı yıkılmasını tetikleyen olay olmuştur.

Patlamadan belli bir süre sonra taşıyıcı sistemi büyük hasar gören ve kısmen yıkılan dokuz katlı bina ve yan cephelerine bitişik ek binalar kontrollü patlamalarla yıkılmıştır. Güney cephesine bitişik olan otopark az hasarlı olarak değerlendirilmiş, takviyesi yapılmış ve kullanımına devam edilmiştir.[29]



Şekil 5.19. Bombalı saldırı sonrası Murrah Federal Binası[34,35]

5.3. HSBC Bankası Genel Müdürlük Binası, İstanbul

5.3.1. Giriş

20 Kasım 2003'te İstanbul'da HSBC Bankası Genel Müdürlük Binası önünde toplam 26 kişinin ölümüyle ve 450 kişinin yaralanmasıyla sonuçlanan bir patlama gerçekleşti. HSBC banka binasının 5 m önünde bomba yüklü bir kamyonet infilak etti.

HSBC Binası betonarme kolonlar ve perde duvarlardan oluşan bir çerçeve yapıdır. Ek B'de bodrum, giriş, asma kat ve normal ofis katına ait kat kalıp planları ve bina kesiti verilmiştir. Toplam inşaat alanı 17500 m^2 dir. Yol seviyesi altında 8, yol seviyesi üstünde 15 olmak üzere toplam 23 katlı bir yapıdır.[36] Patlamadan önce HSBC bankası akıllı bina sayılmakta; aydınlatma, yangın söndürme, havalandırma, asansörler gibi işlevler elektronik kontrol edilmekteydi. Binanın dış cephe kaplaması mekanik montaj yapılmış Neoparies marka cam taşıydı ve pencere camları kamilen lamine camdı.[37]



Şekil 5.20. Bombalı saldırıdan önce ve sonra HSBC Bankası Genel Müdürlük Binası[36, 37]

5.3.2. Yapılan İncelemeler ve Sonuçlar

HSBC Bankası önünde gerçekleşen patlamada binanın özellikle dış cephesinde önemli ölçüde hasar olduğu görülür, fakat yapısal hasar ihmal edilebilecek derecede azdır. Yapısal hasar olmadığı için olası büyük bir depremde bina etkilenmeyecektir.

Dış kolonlar patlama sonrasında sağlam kalmıştır. Sadece 2 kat yüksekliğindeki giriş holünün tavanında geniş açıklık geçen kirişlerin arasındaki 10 cm'lik döşemede kırılmalar vardır (Şekil 5.21) ve F'6 ile G6 kolonları arasındaki dış duvarın kolonlara bağlandığı noktalarda çatlaklar oluşmuş, beton dökülmüştür. (Şekil 5.22) Giriş katı ve üstündeki 4-5 katta ve bodrum katların ilk üçünde asma tavanlar düşmüş, iç duvar kaplamaları ve armatürler kırılmıştır. En fazla hasar dış cephe kaplamasına gelmiştir. Kaplamalar dökülmüş, camlar kırılmış ve içteki asansörler çökmüştür.[38] Bu gözleme dayanarak saldırının yaklaşık 200 kg TNT içeren bomba ile binadan 5 m uzaklıkta, yol kotundan 1.10 m yukarıda gerçekleştiği bulgusuna varılmıştır. Beton zeminde 1.5-2 m derinliğinde bir krater oluşmuştur.



Şekil 5.21. HSBC Banka Binası giriş holünün tavanında kırılan döşeme

Cephe rijit kabul edilerek HSBC Banka binası ile patlama dalgası etkileşiminin 3 boyutlu analizi yapılmıştır. Ek C'de şematik olarak gösterilen bu analiz sonuçları sayesinde bina çevresinde aşamalı şekilde ortaya çıkan yük seviyeleri ve binanın tepkisi belirlenmiştir.[39]



Şekil 5.22. F'6 - G6 kolonları arasındaki dış duvarın kolonlara bağlandığı noktalarda oluşan çatlaklar ve açığa çıkan donatılar



Şekil 5.23. Bina içinde oluşan ikincil hasarlar

6. SONUÇLAR

Patlama yüklerine dayanıklı yapı tasarımı anlayışında hedef, yapının tamamen yıkılmaması ve ölümcül hasarlara neden olmamasıdır. Her ne kadar patlamanın şiddeti ve etkiyecek kuvvetlerin büyüklüğü tam olarak bilinemese de, muhtemel değerlerin tahmin edilmesi sonucunda her türlü mühendislik hesabının yapılması mümkündür. Kullanılabilecek patlayıcı miktarı, patlama kaynağı ile hedef yapı arasındaki minimum mesafe ve benzeri parametreler bilinirse, etkiyecek yük ve karşı koyabilecek kesitler hesaplanabilir. Dolayısıyla bir yapı nasıl 8 şiddetinde depreme dayanabilecek şekilde tasarlanabiliyorsa, belirli büyüklükteki patlamaya karşı da tasarlanabilir.

Bu çalışma, yapılmış ve yapılmakta olan binaların bombalı saldırılara karşı daha dayanıklı olmasını sağlamak, patlamalara ve benzeri insan kaynaklı afet durumlarına dair maddelerin yönetmeliklere eklenmesine ön ayak olabilmek ve patlamaların gerçekleşmesi muhtemel tehditler olduğu gerçeğinin benimsenmesini sağlamak için yapılmıştır. Bu bağlamda, patlamalara karşı güvenliğin arttırılmasında öncelikli olarak mimari ve strüktürel gerekliliklere uygun, doğru planlamaya gidilmesi gerekir.

Mimari tasarım aşamasında yapı formunun, taşıyıcı sistemi oluşturan duvar, döşeme gibi yapı elemanlarının ve camlar, cephe kaplamaları, iç duvar kaplamaları gibi ikincil yapı elemanlarında kullanılan malzemelerin aşırı basınç altındaki davranışları dikkate alınmalıdır. Geleneksel yapım sistemiyle inşa edilmiş bir yapıda tüm elemanlar üstten gelen yapısal yüklere göre boyutlandırılmıştır. Fakat patlama yüklerinin ne taraftan etkiyeceği belli olmayan ani, aşırı yük durumları olduğu unutulmamalıdır. Dolayısıyla yapılan hesaplar ve elde edilen verilere uygun yapılmış bir bina bile beklenmeyen bir bombalı saldırı karşısında istenen dayanımı gösteremeyebilir. Gene de belli bir koruma seviyesi tespit edilerek güvenliğin arttırıldığı bu yapıların geleneksel yöntemle inşa edilmiş yapılardan çok daha az hasara uğrayacağı kesindir ve dolayısıyla, bu yapıların terörist saldırıların hedefi olması ihtimali de düşük olacaktır.

Strüktürel tasarım da, belli düzeyde çevresel ve mimari açıdan koruması yapılmış binaların aşamalı yıkılmasını önleme amacıyla dikkatle üzerinde çalışılması gereken bir aşamadır. Yapılanılacak araziye uygun seçilmiş bir taşıyıcı sistem, doğru yapılmış kiriş-kolon bağlantıları, iyi detaylandırılmış taşıyıcı elemanlar, yük aktarımını sağlayacak moment çerçeveleri ve kaliteli malzeme kullanımı ile patlama yüklerine dayanıklı bir yapı inşa etmek mümkündür. Her bir taşıyıcı eleman doğru boyutlandırılmalı, üzerine etkiyecek patlama yüklerine karşı koyabilecek nitelikte olmalıdır. Bunun sağlanması için mevcut yapılara da ayrıca çeşitli takviye sistemler uygulanması da söz konusudur. Çelik yapı sistemleri için, bir taşıyıcı eleman kaybı olduğunda moment aktarımını başarıyla devam ettiren Side-plate bağlantıları uygulanabilirken, betonarme sistemler için de özellikle kolonlarda enine ve boyuna şeritler sarılarak güçlendirme yapılabilir. Bütün bu önlemler ve takviyeler yapı maliyetini arttırsa bile, saldırı olasılığı yüksek büyükelçilik ve başkonsolosluk binaları, federal binalar, yönetim ve ticaret yapıları için mutlaka daha dayanıklı bir yapı projesi hazırlanmalıdır.

Terörist saldırıların hedefi olmuş Dünya Ticaret Merkezi, Murrah Federal Binası ve HSBC Banka Binası gibi yapı örneklerinden ve yapılan incelemelerden, saldırıların farklı şekillerde gerçekleşebileceği ve her yapıda değişik hasarlara neden olabileceği sonucu ortaya çıkmıştır. Dünya Ticaret Merkezi, yolcu uçaklarının kulelere çarparak içlerine girmesi nedeniyle patlama kaynağı ile birebir temas ederken, Murrah Federal Binası ve HSBC Banka Binası ile patlama kaynakları arasında belirli bir mesafe vardır. Murrah Federal Binası'na yapılan bombalı saldırının şiddeti, HSBC Banka Binası'na yapılan bombalı saldırının şiddetinin neredeyse 9 katıdır. Dünya Ticaret Merkezi kuleleri patlama sonrası çıkan yangınların da etkisiyle çökerken, Murrah Federal Binası kısmen çökmüş; HSBC Banka Binası'nda ise yok denilecek kadar az hasar oluşmuştur. Saldırı sonrası oluşan bütün bu hasarlar, patlama kaynağı ile yapı arasındaki mesafeye, patlamanın şiddetine, yapıda çıkması muhtemel yangınların etkisine ve benzeri ölçütlere bağlıdır.

Sonuç olarak, yapılan tüm araştırmalar neticesinde ortaya çıkan çalışma, patlamaların insan yaşamını tehdit eden, yüzlerce kişinin yaralanmasına neden olan, insan psikolojisini etkileyen, yerel imkanlar ile baş edilemeyen, ülke ekonomisinde ve yaşamında olumsuzluklara yol açan insan kaynaklı afetler olduğunu göstermiştir. Bu konuda önceliklerin belirlenmediği, patlamaların deprem, rüzgar, sel gibi doğal

afetlerden farklı görüldüğü, gerçekleşmesi muhtemel olaylar gözüyle bakılmadığı ve bu nedenle özellikle ülkemizde afet ve yapı yönetmeliklerinde bu konuya ilişkin maddelerin yer almadığı görülmektedir. Türkiye'de de son aylarda gerçekleşen dört terör eylemi bombalı saldırı gerçeğini gözler önüne sermektedir. Daha dayanıklı yapılar için gereken önlemler alınmalı, doğru planlama teknikleri uygulanmalı, tasarım aşamasında mimarlık ve mühendislik çalışmalarında afet yönetimi uzmanlarıyla ortak çalışmalar yapılmalıdır. Bu sayede daha iyi ve sağlam yapılaşma söz konusu olduğu gibi, saldırı hedefleri azaltılabilir; olası saldırılarda hayati tehlike en aza indirilebilir. Unutmamak gerekir ki, binalar insanların barınmasına ve korunmasına hizmet etmek amacıyla yapılmaktadır. Tasarım ve yapım aşamasında biz mimar ve mühendislere düşen görev, binaların insan yaşamı için tehlike arz etmemesini sağlamaktır.

KAYNAKLAR

[1] **AnaBritannica Genel Kültür Ansiklopedisi,** 1989. Patlayıcılar, Cilt 17, s. 458-459, Ana Yayıncılık, İstanbul.

[2] **Cook, J.R.,** 2001. The Chemistry and Characteristics of Explosive Materials. Vantage Pres, New York.

[3] **Norris, C.H. and Biggs, J.M.,** 1959. Structural Design for Dynamic Loads. Mc-Graw Hill Book Company, New York.

[4] **Soysal, Ö.,** 1998. Betonarme Binaların Patlamalarla Planlı Yıkımı, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[5] **Mays, G.C. and Smith, P.D.,** 1995. Blast Effects on Buildings. Thomas Telford Publications, Heron Quay, London.

[6] **Longinow, A. and Alfawakhiri, F.,** 2003. Blast Resistant Design with Structural Steel, *Modern Steel Construction,* October, www.aisc.org/blast/

[7] **Wong, H.,** 2002. Blast-Resistant Building Design Technology, Analysis of its Application to Modern Hotel Design. Wong Gregersen Architects Inc, www.wgaarchitects.com/Project_Files/Forum/Conference_Papers/Blast_Resistant_Building_Design.pdf

[8] **Yandzio, E. and Gough, M.,** 1999. Protection of Buildings Against Explosions. SCI Publication, Berkshire, U.K.

[9] **UFC 4-010-01,** 2002. DoD Minimum Antiterrorism Standards for Buildings, *U.S. Department of Defense,* www.tisp.org/files/pdf/dodstandards.pdf

[10] **Smith, P.D. and Hetherington, J.G.,** 1994. Blast and Ballistic Loading of Structures, Butterworth Heinemann, Oxford.

[11] **Hill, J.A. and Courtney, M.A.,** 1995. The Structural Engineer's Response to Explosion Damage, *The Institution of Structural Engineers' Report,* SETO Ltd, London.

[12] **Loyd, S. and Bunn, R.,** 2002. Designing Against Terrorism, BSRIA Technical Note 8/2002, Berkshire, U.K.

[13] **1998.** Naval Facilities Engineering Service Center, *User's Guide on Protection Against Terrorist Vehicle Bombs,* www.fema.gov/pdf/fima/426/fema426_ch4.pdf

[14] **Barbagelata, A. and Primavori, M.,** 1994. Blast on Surface Structures, in *Shock and Impact on Structures*, pp. 27-51, Eds. Brebbia, C.A. and Sànchez-Gàlvez, V., Computational Mechanics Publications, Southampton, U.K. and Boston, U.S.

[15] **Schmidt, J.A.,** 2003. Structural Design for External Terrorist Bomb Attacks, *Structure Magazine,* March, www.structuremag.org/archives/2003/march/Blast.pdf

[16] **Biggs, J.M.,** 1964. Introduction to Structural Dynamics, Mc-Graw Hill Book Company, New York.

[17] **Baker, W.E. and Cox, P.A.,** 1983. Explosion Hazards and Evaluation, Elsevier Science Publications, Amsterdam.

[18] **Todd, J.D.,** 1974. Structural Theory and Analysis. Mac Millan, England.

[19] **TM5-1300,** 1990. Design of Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions, *US Department of the Army Technical Manual,* U.S.

[20] **BS 4466,** 1981. Bending Dimensions and Scheduling of Reinforcement or Concrete, *British Standards Institution,* London.

[21] **BS 8110,** 1985. Structural Use of Concrete. Code of Practice for Design and Construction, *British Standards Institution,* London.

[22] **Crawford, J.E. and Malvar, L.J.,** 2002. Reinforced Concrete Column Retrofit Methods for Seismic and Blast Protection, *Structures Congress and Exposition,* Denver, Colorado, U.S.A., April 4-6.

[23] **Punch, S.,** 1999. Blast Design of Steel Structures to Prevent Progressive Collapse, *Structural Enigneers Association Convention,* Santa Barbara, California, U.S.A., September 30-October 3, www.seaint.org/seaocconvention/convention1999/Proceedings/Blast%20Design.pdf

[24] **Baldridge, S.M.,** 2003. Steel Protection, *Modern Steel Construction,* January. www.aisc.org/Template.cfm?Section=Technical_Answers&template=/ContentManagement/ContentDisplay.cfm&ContentID=21434

[25] **Corley, G., and Baker, W. and Barnett, J.,** 2002. World Trade Center Building Performance Study, *Federal Emergency Management Agency Report,* FEMA 403, New York, U.S.A.

[26] **İnternet,** Dünya Ticaret Merkezi, www.arkitera.com/gundem/wtc/

[27] **Jasper, W.F.,** 1997. Multiple Blasts: More Evidence, *The New American,* Vol:13, Iss:07, March.

[28] **The City of Oklahoma City Document Management Team,** 1996. Alfred P. Murrah Federal Building Bombing April 19, 1995-Final Report, Oklahoma, U.S.A.

[29] **Mlakar, P.F. and Corley, W.G.,** 1997. Using Forensic Engineering Techniques to Obtain Data from the Oklahoma City Bombing, *Forensic Engineering: Proceedings of the First Congress,* Minneapolis, Minnesota, October 5-8, www.mipt.org/Building-Security.asp

[30] **İnternet,** www.odcem.state.ok.us/archives/fema/1048/aar-table.htm

[31] **Martz Solis, G.J.,** Evaluating Structural Damage Caused by the Oklahoma City Bombing, www.orbita.starmedia.com/~martzsolis/THE%20OKLAHOMA%20CITY%20BOMBING.htm

[32] **Mlakar, P.F. and Corley, W.G.,** 1997. Blast Loading and Response of Murrah Building Bombing, *Forensic Engineering: Proceedings of the First Congress,* Minneapolis, Minnesota, October 5-8, www.mipt.org/Building-Security.asp

[33] **Building Performance Assessment Team,** Building Performance: Oklahoma City bombing, www.166.112.200.141/mit/bpat/bpat009.htm

[34] **Hamburger, R. and Whittaker, A.,** 2004. Design of Steel Structures for Blast-Related Progressive Collapse Resistance, www.aisc.org/Content/ContentGroups/Documents/ePubs_Conference_Proceedings/ CollapseResistance.pdf

[35] **Partin, B.K.,** 1995. Oklahoma City Bomb Report, www.whatreallyhappened.com/RANCHO/POLITICS/OK/PARTIN/okm.htm

[36] **Koray Holding,** HSBC Headquarters, www.koray.com/demirbank.html

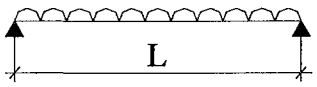
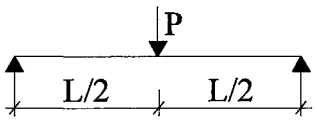
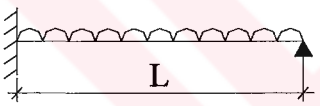
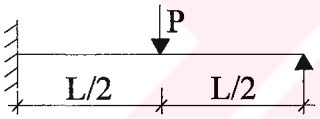
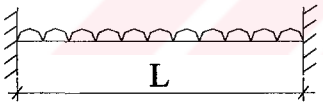
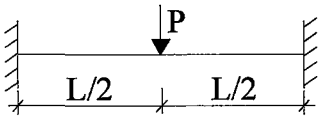
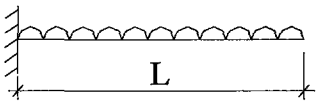
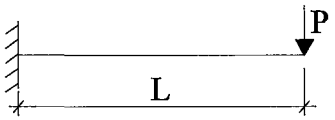
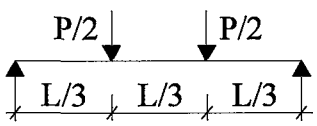
[37] **Ahmet Turhan Altıner,** 2004. Binalar Bombalı Saldırılara Ne Kadar Hazır? HSBC Olayı, *Mimarlık,* 315, 11-13.

[38] **Balioğlu, İ.,** 2004. Kişisel görüşme.

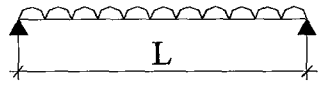
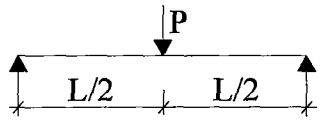
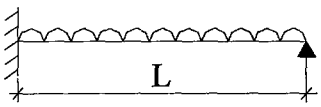
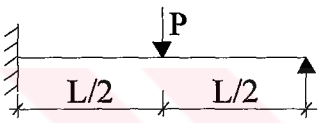
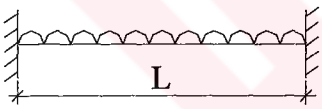
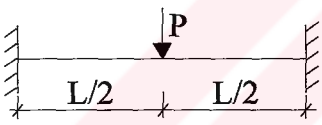
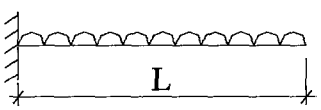
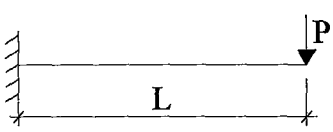
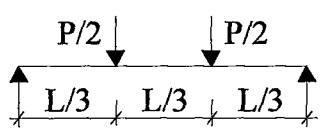
[39] **Remennikov, A.,** 2003. Essay 1: The HSBC Bank Building Bombing: Analysis of Blast Loading, Wollongong, Australia, www.safeguardingaustralia.org.au/Essays/Essay3.html

EK A. Tek Doğrultulu Plaklar ve Kirişler için Değişim Faktörleri

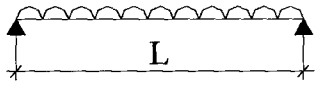
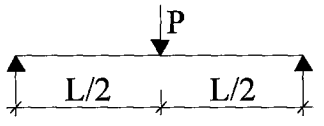
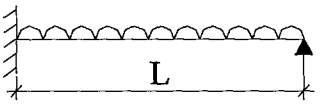
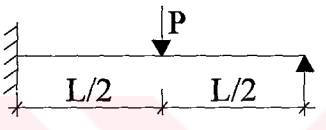
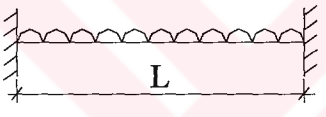
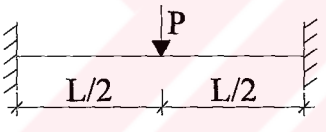
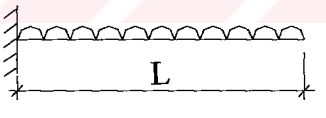
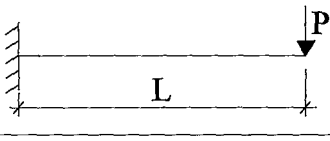
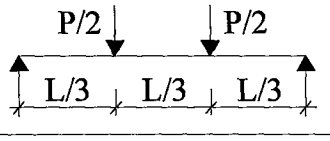
Tablo A.1. Tek doğrultulu elemanlar için değişim faktörleri[19]

Mesnet durumu ve yük diyagramları	Davranış şekli	Yük faktörü K_L	Kütle faktörü K_M	Yük-kütle faktörü K_{LM}
	Elastik	0.64	0.50	0.78
	Plastik	0.50	0.33	0.66
	Elastik	1.0	0.49	0.49
	Plastik	1.0	0.33	0.33
	Elastik	0.58	0.45	0.78
	Elasto-plastik	0.64	0.50	0.78
	Plastik	0.50	0.33	0.66
	Elastik	1.0	0.43	0.43
	Elasto-plastik	1.0	0.49	0.49
	Plastik	1.0	0.33	0.33
	Elastik	0.53	0.41	0.77
	Elasto-plastik	0.64	0.50	0.78
	Plastik	0.50	0.33	0.66
	Elastik	1.0	0.37	0.37
	Plastik	1.0	0.33	0.33
	Elastik	0.40	0.26	0.65
	Plastik	0.50	0.33	0.66
	Elastik	1.0	0.24	0.24
	Plastik	1.0	0.33	0.33
	Elastik	0.87	0.52	0.60
	Plastik	1.0	0.56	0.56

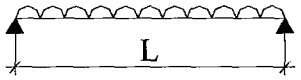
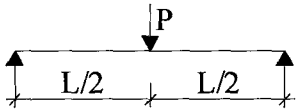
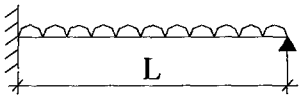
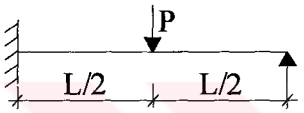
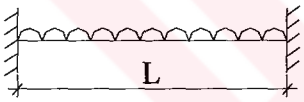
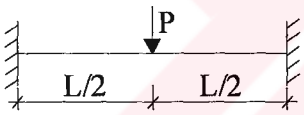
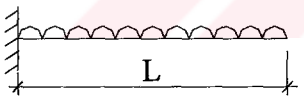
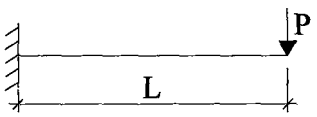
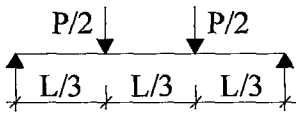
Tablo A.2. Tek doğrultulu elemanlar için elastik ve elasto-plastik mukavemet değerleri[19]

Mesnet durumu ve yük diyagramları	Elastik mukavemet r_e	Elasto-plastik mukavemet r_{ep}
	r_u	——
	R_u	——
	$8M_N / L^2$	r_u
	$16M_N / 3L$	R_u
	$12M_N / L^2$	r_u
	$8M_N / L$	R_u
	r_u	——
	R_u	——
	R_u	——

Tablo A.3. Tek doğrultulu elemanlar için birim kopma dayanım değerleri[19]

Mesnet durumu ve yük diyagramları	Birim kopma dayanımı
	$r_u = 8M_P / L^2$
	$R_u = 4M_P / L$
	$r_u = 4 (M_N + 2M_P) / L^2$
	$R_u = 2 (M_N + 2M_P) / L$
	$r_u = 8 (M_N + M_P) / L^2$
	$R_u = 4 (M_N + M_P) / L$
	$r_u = 2 M_N / L^2$
	$R_u = M_N / L$
	$R_u = 6 M_P / L$

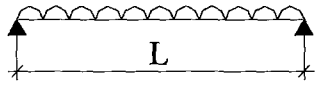
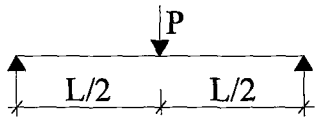
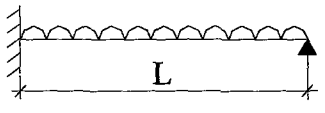
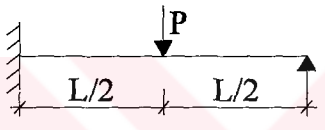
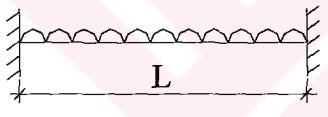
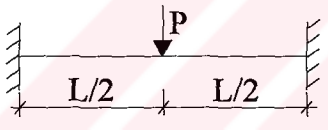
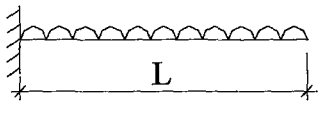
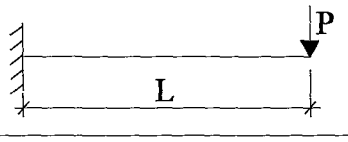
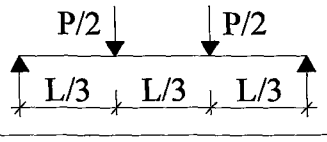
Tablo A.4. Tek doğrultulu elemanlar için elastik, elasto-plastik ve eşdeğer elastik rijitlik değerleri[19]

Mesnet durumu ve yük diyagramları	Elastik rijitlik, K_e	Elasto-plastik rijitlik, K_{ep}	Eşdeğer elastik rijitlik, K_E
	$384EI / 5L^4$	___	$384EI / 5L^4$
	$48EI / L^3$	___	$48EI / L^3$
	$185EI / L^4$	$384EI / 5L^4$	* $160EI / L^4$
	$107EI / L^3$	$48EI / L^3$	* $106EI / L^3$
	$384EI / L^4$	$384EI / 5L^4$	* $307EI / L^4$
	$192EI / L^3$	** $48EI / L^3$	$192EI / L^3$
	$8EI / L^4$	___	$8EI / L^4$
	$3EI / L^3$	___	$3EI / L^3$
	$56.4EI / L^3$	___	$56.4EI / L^3$

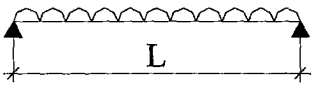
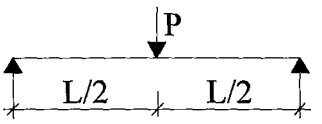
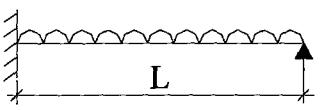
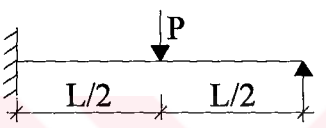
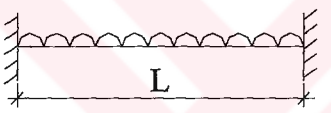
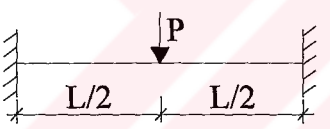
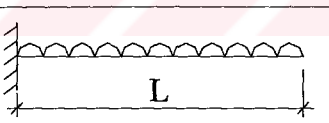
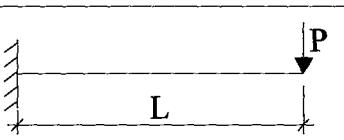
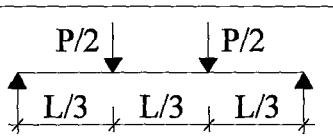
* $M_N = M_P$ durumu için geçerlidir.

** $M_N < M_P$ durumu için geçerlidir.

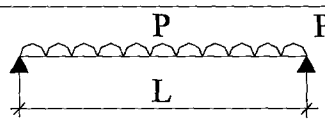
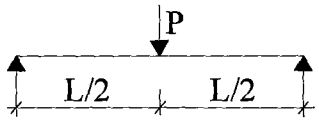
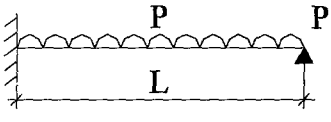
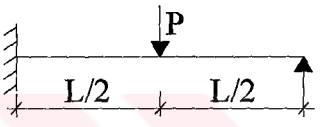
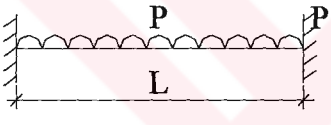
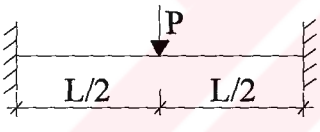
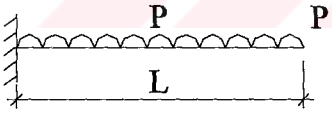
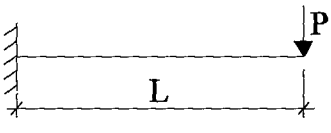
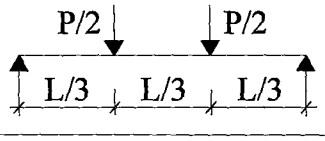
Tablo A.5. Tek doğrultulu elemanlar için mesnet yüzeyinden d_c mesafede kopma gerilmesi değerleri[19]

Mesnet durumu ve yük diyagramları	Kopma gerilmesi, v_u
	$r_u\,(1/2L - d_c)\,/d_c$
	$R_u\,/\,2d_c$
	sol mesnet $r_u\,(5/8L - d_c)\,/d_c$ sağ mesnet $r_u\,(3/8L - d_c)\,/d_c$
	sol mesnet $11R_u\,/\,16d_c$ sağ mesnet $5R_u\,/\,16d_c$
	$r_u\,(1/2L - d_c)\,/d_c$
	$R_u\,/\,2d_c$
	$r_u\,(L - d_c)\,/d_c$
	$R_u\,/\,d_c$
	$R_u\,/\,2d_c$

Tablo A.6. Tek doğrultulu elemanlar için mesnet kopma sınır değerleri[19]

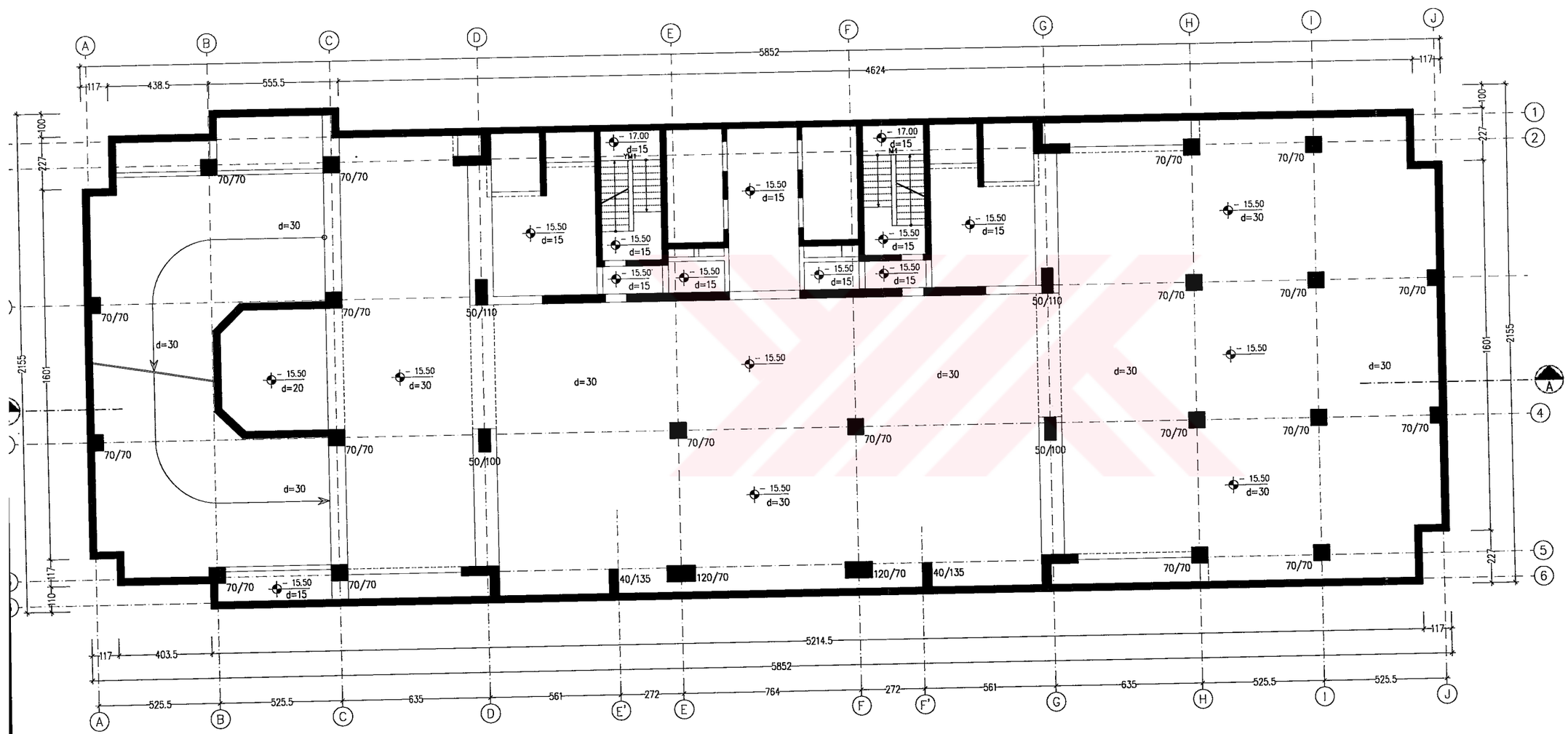
Mesnet durumu ve yük diyagramları	Mesnet kopma sınırı, V_s
	$r_uL / 2$
	$R_u / 2$
	sol mesnet $5r_uL / 8$ sağ mesnet $3r_uL / 8$
	sol mesnet $11R_u / 16$ sağ mesnet $5R_u / 16$
	$r_uL / 2$
	$R_u / 2$
	r_uL
	R_u
	$R_u / 2$

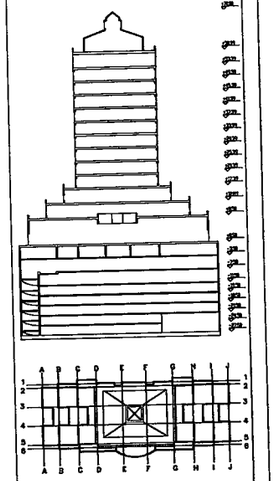
Tablo A.7. Tek doğrultulu elemanlar için dinamik tepkiler[16]

Mesnet durumu ve yük diyagramları	Dinamik tepkiler V		
	Elastik	Elasto-plastik	Plastik
	0.39R + 0.11P	—	0.38R + 0.12P
	0.78R - 0.28P	—	0.75R - 0.25P
	Sol mesnet 0.43R + 0.19P Sağ mesnet 0.26R + 0.12P	0.39R + 0.11P ±MN / L	0.38R + 0.12P ±MN / L
	Sol mesnet 0.54R + 0.14P Sağ mesnet 0.25R + 0.07P	0.78R - 0.28P ±MN / L	0.75R - 0.25P ±MN / L
	0.36R + 0.14P	0.39R + 0.11P	0.38R + 0.12P
	0.71R - 0.21P	—	0.75R - 0.25P
			
			
	0.53R - 0.03P	—	0.52R - 0.02P

EK B. HSBC Banka Binası Örnek Kat Kalıp Planları ve Kesiti

HSBC BANKASI
GENEL MÜDÜRLÜK BİNASI
LEVENT-İSTANBUL



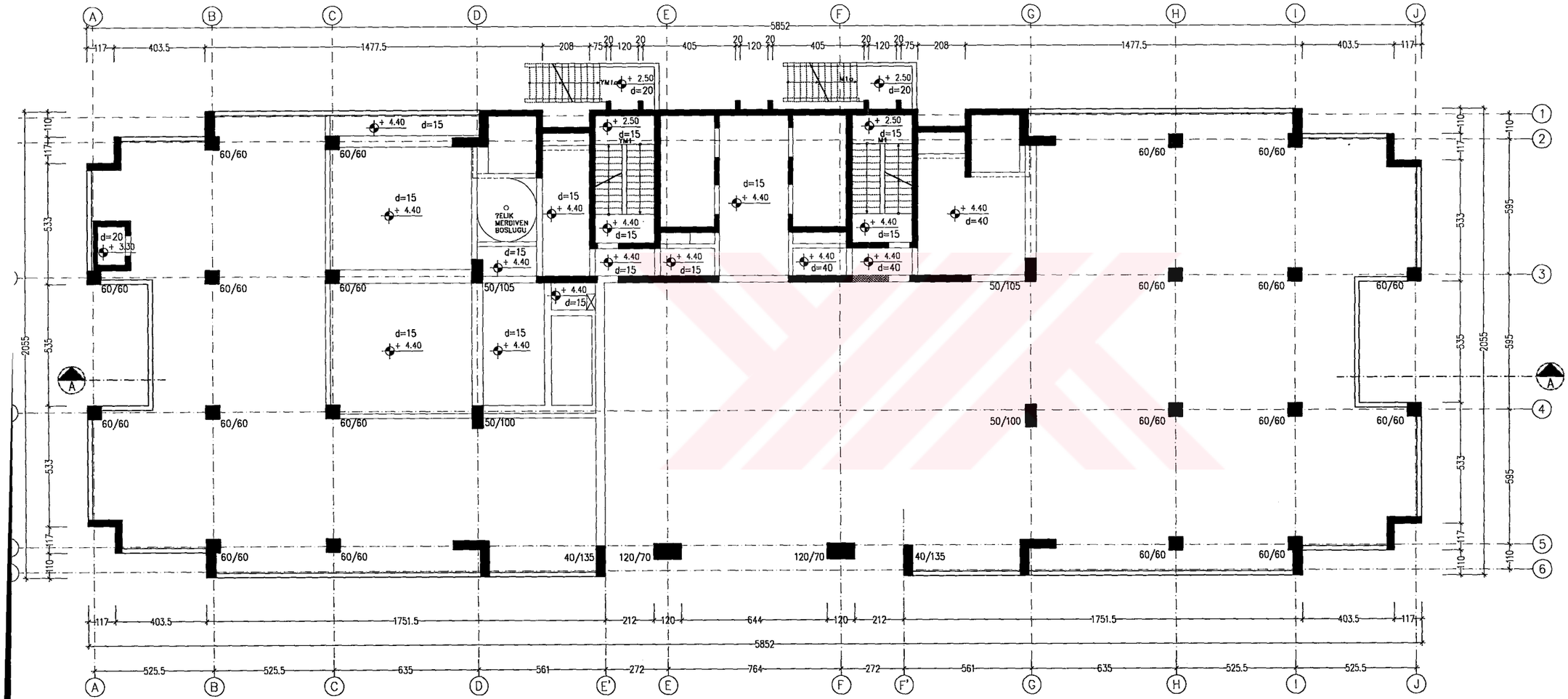


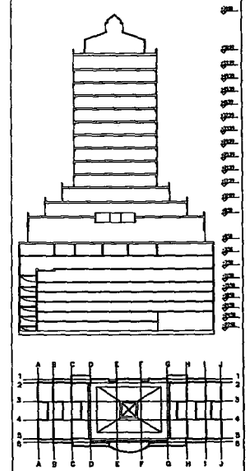
PROJE SAFHASI: STATİK UYGULAMA PROJESİ

ZEMİN Em.	: 3.5 Kg/cm2
BETON	: BS 35
DEMİR	: BÇ I-III
ÖLÇEK	:
PAFTA ADI	: 5. BODRUM KAT TAVANI -15.50 KOTU KALIP PLANI

Şekil B.1. HSBC Banka Binası -15.50 kotu kalıp planı

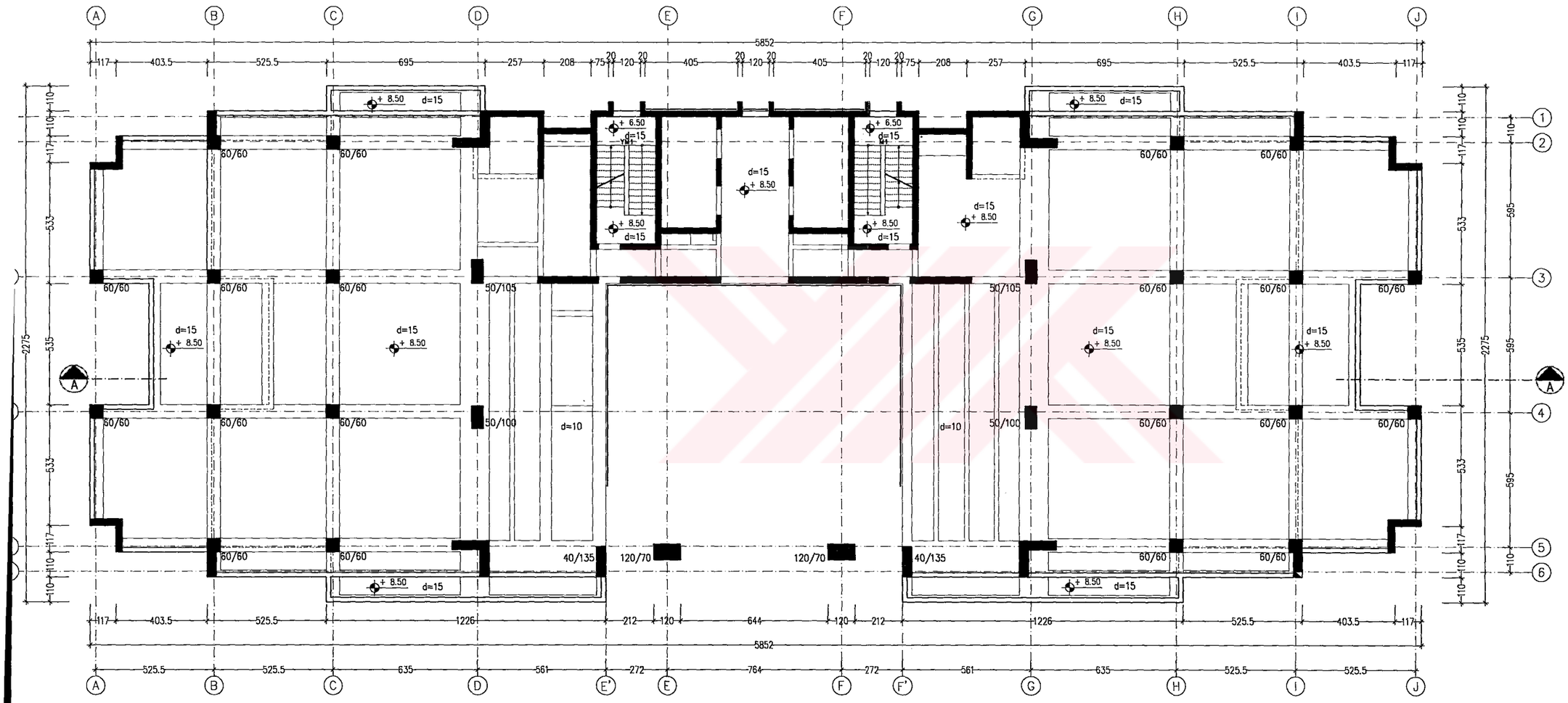
HSBC BANKASI
GENEL MÜDÜRLÜK BİNASI
LEVENT-İSTANBUL



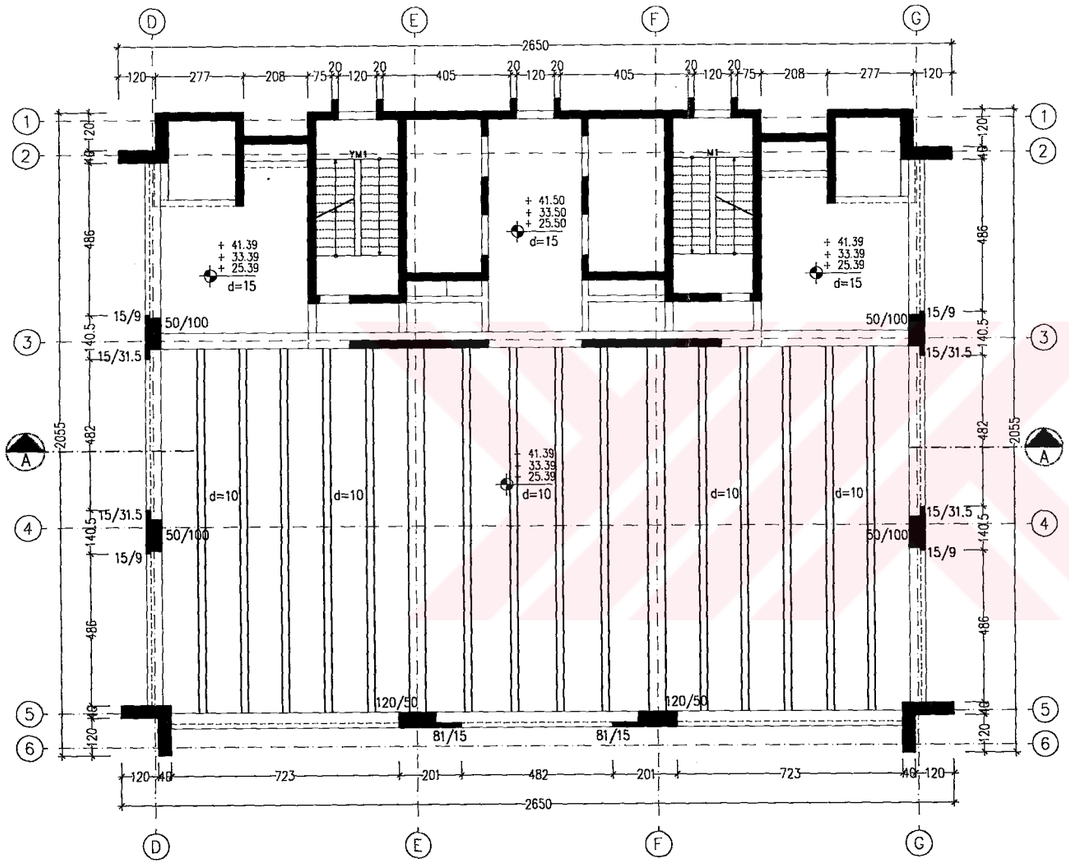


PROJE SAFHASI: STATİK UYGULAMA PROJESİ
ZEMİN Em.: 3.5 Kg/cm2
BETON : BS 35
DEMİR : BÇ I-III
ÖLÇEK :
PAFTA ADI : GİRİŞ KATI TAVANI
+ 4.40 KOTU
KALIP PLANI

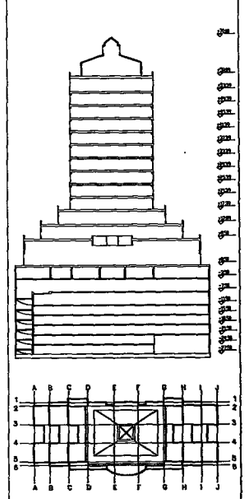
Şekil B.2. HSBC Banka Binası +4.40 kotu kalıp planı



Şekil B.3. HSBC Banka Binası +8.50 kotu kalıp planı



HSBC BANKASI
GENEL MÜDÜRLÜK BİNASI
LEVENT-İSTANBUL



PROJE SAFHASI:	STATİK UYGULAMA PROJESİ
ZEMİN Em. :	3.5 Kg/cm2
BETON :	BS 35
DEMİR :	BÇ I-III
ÖLÇEK :	
PAFTA ADI :	4., 6., 8. KAT TAVANI +25.39, +33.39, +41.39 KOTLARI KALIP PLANI

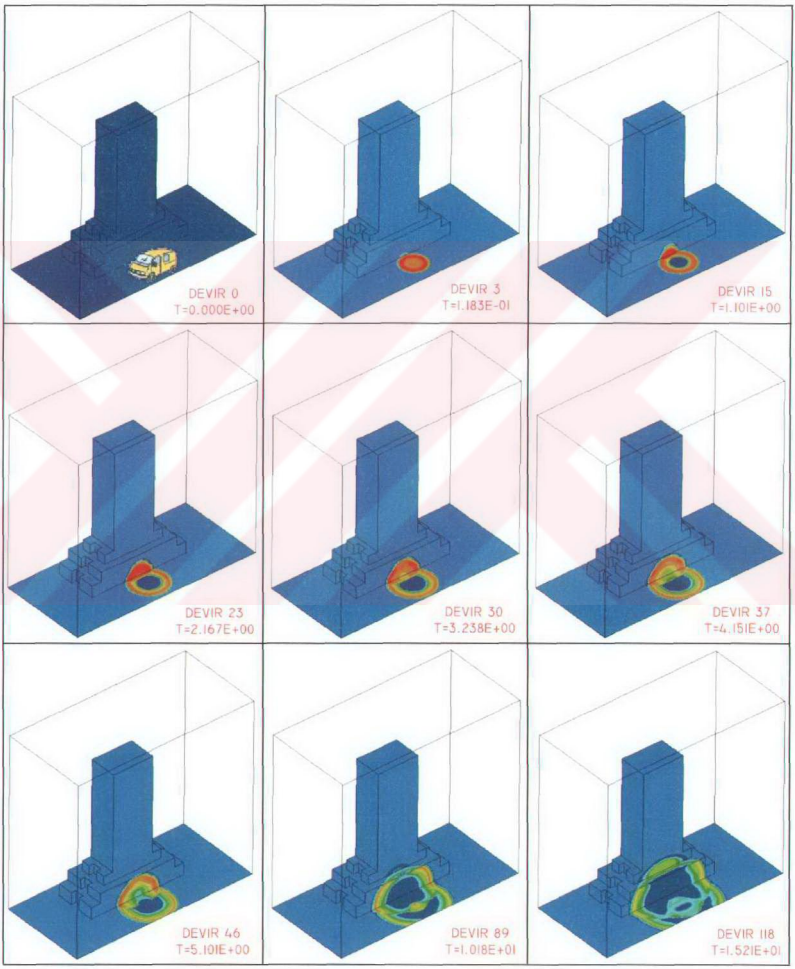
Şekil B.4. HSBC Banka Binası +25.39, +33.39, +41.39 kotları kalıp planı

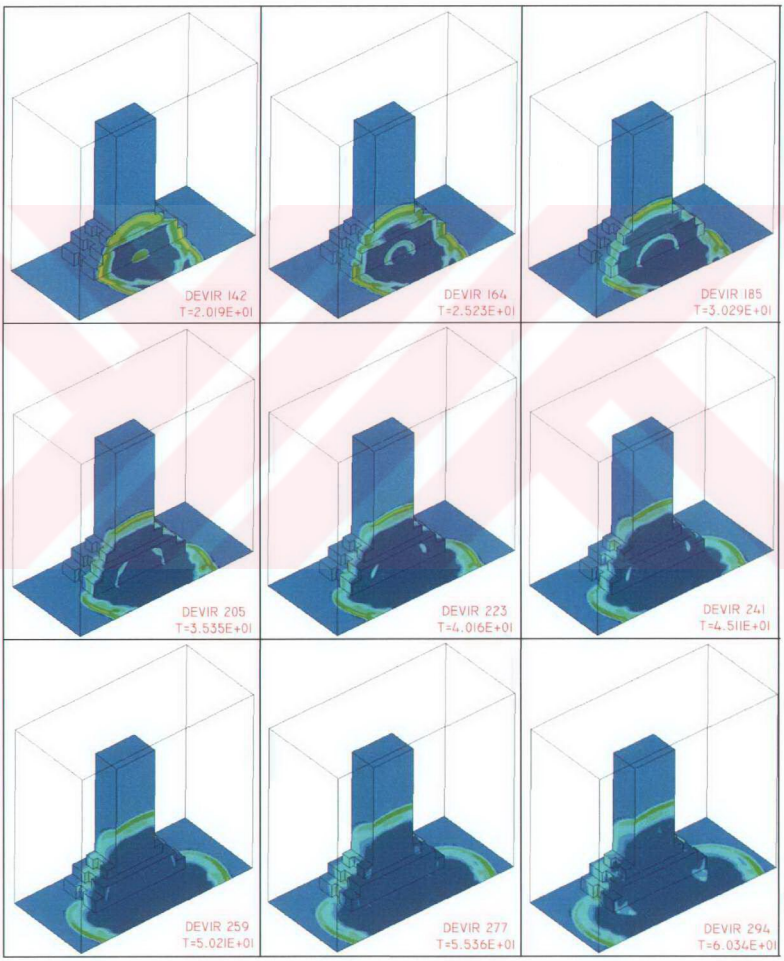
HSBC BANKASI
GENEL MÜDÜRLÜK BİNASI
LEVENT-İSTANBUL

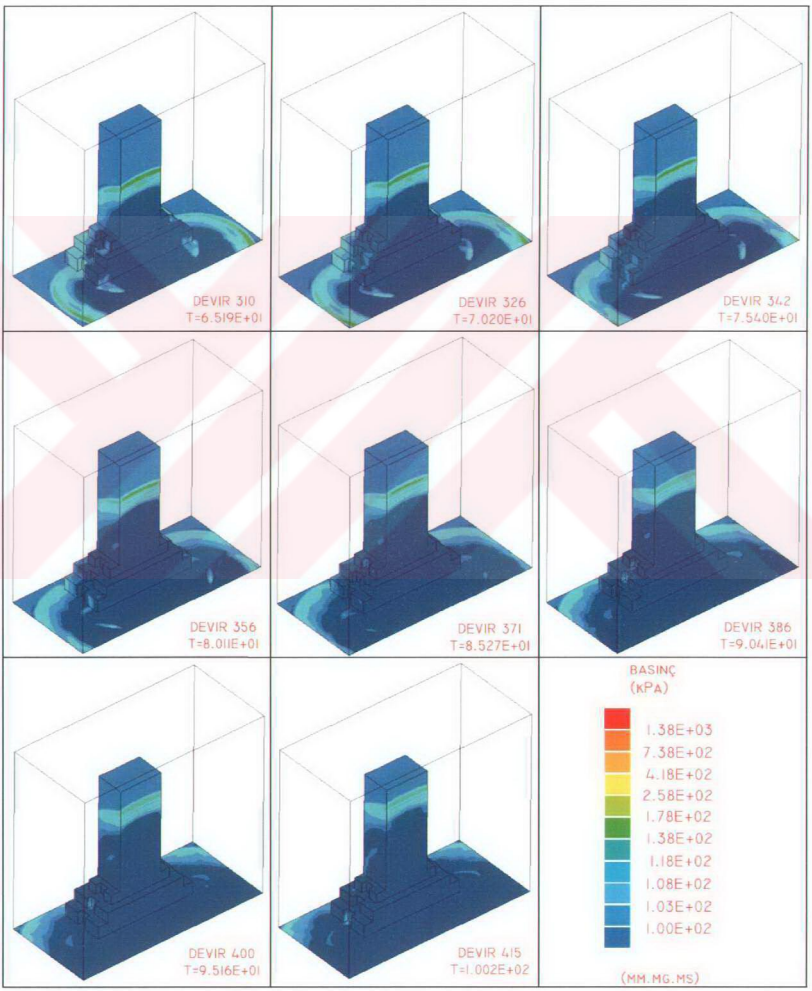
PROJE SAFHASI: STATİK UYGULAMA PROJESİ
ZEMİN Em. : 3.5 Kg/cm2
BETON : BS 35
DEMİR : BÇ I-III
ÖLÇEK :
PAFTA ADI : A - A KESİTİ

Şekil B.5. HSBC Banka Binası A-A kesiti

Ek C. Patlama Dalgalarının HSBC Binası Üzerindeki Etkileri[39]




DEVIR 142
T=2.019E+01
DEVIR 164
T=2.523E+01
DEVIR 185
T=3.029E+01
DEVIR 205
T=3.535E+01
DEVIR 223
T=4.016E+01
DEVIR 241
T=4.511E+01
DEVIR 259
T=5.021E+01
DEVIR 277
T=5.536E+01
DEVIR 294
T=6.034E+01


DEVIR 310
T=6.519E+01
DEVIR 326
T=7.020E+01
DEVIR 342
T=7.540E+01
DEVIR 356
T=8.011E+01
DEVIR 371
T=8.527E+01
DEVIR 386
T=9.041E+01
DEVIR 400
T=9.516E+01
DEVIR 415
T=1.002E+02
BASINÇ
(KPA)
1.38E+03
7.38E+02
4.18E+02
2.58E+02
1.78E+02
1.38E+02
1.18E+02
1.08E+02
1.03E+02
1.00E+02
(MM.MG.MS)

ÖZGEÇMİŞ

Zeynep Koççaz, 1978 İstanbul doğumludur. 1989 yılında girdiği Adnan Menderes Anadolu Lisesi'nden 1996 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde yüksek öğrenimine başlamıştır. 2000 yılında mezun olarak Y.Mimar Tuncer Çakmaklı'nın yanında iş hayatına atılmış, 3 sene boyunca ekiple beraber mimari yarışmalarda ve çeşitli projelerde görev almıştır. 2001 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Teknolojisi programında yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.