

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOMPOZİT TAŞIYICI SİSTEME SAHİP BİNALARIN
PATLAMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

İbrahim SENCAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Barış SEVİM

Temmuz, 2024

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOMPOZİT TAŞIYICI SİSTEME SAHİP BİNALARIN PATLAMA
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

İbrahim SENCAR tarafından hazırlanan tez çalışması 19.07.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Barış SEVİM
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Barış SEVİM, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bilge DORAN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Şevket ÖZDEN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Barış SEVİM sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Kompozit Taşıyıcı Sisteme Sahip Binaların Patlama Davranışının İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

İbrahim SENCAR

İmza



TÜBİTAK'a yüksek lisans eğitim boyunca 2210-A Genel Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı ile maddi olarak burs imkânı sağladığı ve eğitimimi desteklediği için teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	16
1 GİRİŞ	18
1.1 Literatür Özeti	20
1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı.....	25
1.3 Orijinal Katkı.....	28
2 KOMPOZİT TAŞIYICI SİSTEMLER	29
2.1 Kompozit Taşıyıcı Sistem Elemanları.....	30
2.1.1 Beton Dolgulu Kompozit Kolonlar	31
2.1.2 Çelik Gömme Kompozit Kolon.....	32
2.1.3 Diğer Kompozit Kolon Elemanları.....	32
2.2 Kompozit Taşıyıcı Sistem Kolon Elamanlarının Boyutlandırılması	32
2.2.1 Çelik Gömme Kompozit Kolonun Boyutlandırılması	32
2.2.2 Beton Dolgulu Kompozit Kolonun Boyutlandırılması	35
3 PATLAMA TEORİSİ VE PATLAMA ANALİZİ	38
3.1 Patlama Teorisi	38
3.2 Patlama Analizi	45
3.2.1 Sayısal Modelleme	45
3.2.2 Mesh (Ağ) Çalışması.....	46
3.2.3 Malzeme Modelleri	46
3.2.4 Lagrange ve Euler Yöntemleri.....	47
4 SAYISAL UYGULAMALAR	48
4.1 Analiz Süresinin Tespiti.....	55
4.2 AUTODYN ile UFC-3-340-02 Verilerinin Kıyaslanması.....	57
4.3 Dış Patlama Analizleri	58
4.3.1 100 kg Dış Patlama Analizi	58
4.3.2 200 kg Dış Patlama Analizi	65
4.3.3 300 kg Dış Patlama Analizi	72

4.4 İç Patlama Analizi.....	79
4.4.1 25 Kg İç Patlama.....	80
4.4.2 50 Kg İç Patlama.....	86
4.4.3 100 Kg İç Patlama	93
4.5 100 kg İç Patlama ve Dış Patlama Analizlerinin Karşılaştırılması	100
4.5.1 Betonarme Taşıyıcı Sistemin İç Patlama ve Dış Patlama Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	100
4.5.2 Betonarme Çelik Gömme Kompozit Sistemin İç Patlama ve Dış Patlama Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	102
4.5.3 Beton Dolgulu Çelik Tüp Kompozit Sistemin İç Patlama ve Dış Patlama Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	103
5 PATLAMA SONRASI YAPI DEĞERLENDİRMESİ	105
6 SONUÇ VE ÖNERİLER	113
KAYNAKÇA	117
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	121

SİMGE LİSTESİ

A_c	Beton enkesit alanı
A_g	Kompozit kesitin toplam enkesit alanı
A_s	Yapısal çelik enkesit alanı
A_{sr}	Boyuna donatı alanı
b	Kutu enkesitin genişliği
D	Boru enkesitin dış çapı
E_c	Beton elastisite modülü
E_s	Yapısal çelik elastisite modülü
E_{sr}	Donatı elastisite modülü
$(EI)_e$	Betona gömülü kompozit enkesitin etkin eğilme rijitliği
F_{cr}	Kritik burkulma gerilmesi
F_y	Yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi
F_{ysr}	Donatı karakteristik akma gerilmesi
E_d	Deprem etkisi
G	Sabit yük
I_c	Kompozit enkesitin elastik tarafsız eksenine göre betonun atalet momenti
I_s	Yapısal çelik enkesit atalet momenti
I_{sr}	Kompozit enkesitin elastik tarafsız eksenine göre donatıların atalet momenti
L_c	Elaman burkulma boyu
S	Kar yükü
Q	Hareketli yük
N_{dm} kuvveti	Düşey yükler ve depremin ortak etkisi altında hesaplanan kolon eksenel kuvveti
P_e	Elastik kritik burkulma yükü
P_n	Karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı.
P_{no}	Eksenel yük etkisindeki çift simetri eksenli kompozit eleman enkesitinin basınç kuvveti dayanımı
t	Et kalınlığı
w_c	Beton birim hacim ağırlığı
f_{ck}	Betonun karakteristik basınç dayanımı
ρ_{sr}	Boyuna donatı oranı
Φ_c	Eksenel yük etkisindeki kompozit kolonlar için dayanım katsayısı.
Φ_t	Çekme kuvveti etkisi için dayanım katsayısı.

Ω_c	Eksenel yük etkisinde kompozit kolonlar için güvenlik katsayısı.
Ω_t	Çekme kuvveti etkisi için güvenlik katsayısı.
λ	Kutu veya boru enkesitin genişlik/kalınlık oranı
λ_p	Kompakt eleman için narinlik sınır değeri
λ_r	Kompakt olmayan eleman için narinlik sınır değeri
λ_{hd}	Süneklik düzeyi yüksek elemanlar için enkesit koşulu sınır değeri
λ_{md}	Süneklik düzeyi sınırlı elemanlar için enkesit koşulu sınır değeri



KISALTMA LİSTESİ

AISC	American Institute of Steel Construction
ALE	Arbitrary Lagrange Euler
CES	Concrete Encased Steel
CFST	Concrete Filled Steel Tubular
ÇYTHYE	Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları
GKT	Güvenlik Katsayıları ile Tasarım
IPN	I-Profil Normal
JWL	Jones-Wilkins-Lee
RHT	Riedel–Hiermaier–Thoma
SPH	Smoothed-particle hydrodynamics
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TNT	Three Nitro Toluene
UFC	Unified Facilities Criteria
YDKT	Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Donetsk/ Ukrayna Akademik Drama Tiyatrosu a) bombalamadan önce, b) bombalamadan sonra[1].....	19
Şekil 1.2 Filistin Al-Ahli Arab hastanesinin bombalanması sonucu oluşan krater [2] ..	19
Şekil 1.3 Paris American Academy binasının patlama öncesi ve sonrası a) Patlamadan önce, b) Patlamadan sonra [23], [24].....	26
Şekil 2.1 Kompozit taşıyıcı sistem elemanları	29
Şekil 2.2 Literatürde geçen kompozit kolon türleri	30
Şekil 2.3 Çelik ankrajlı kompozit kiriş ve döşeme bağlantı detayı [25].....	31
Şekil 3.1 Sınırlandırılmamış patlama türleri a) serbest hava patlaması b) hava patlaması c) yüzey patlaması [43].....	40
Şekil 3.2 Sınırlandırılmış patlama durumu a)tamamen havalandırılmış patlama b)kısmen havalandırılmış patlama c)tamamen sınırlandırılmış patlama [43]	41
Şekil 3.3 Serbest hava patlaması, ölçeklendiril mesafe ile patlama parametreleri arasındaki ilişki [42]	43
Şekil 3.4 Mesafe etki diyagramı [45]	44
Şekil 3.5 Patlama analizlerinin yapıldığı ANSYS AUTODYN programı	45
Şekil 3.6 a) $t=0$ anında mesh yapısı, b) $t=t_1$ anında deforme olmuş mesh yapısı c) yeniden bölgeleştirilmiş mesh yapısı	46
Şekil 3.7 Lagrange-Euler mesh yapısı a) $t=0$ ms anı, b) $t=t$ ms anı	47
Şekil 4.1 Taşıyıcı sistem – patlama yer değiştirme ilişkisi a) betonarme b) kompozit ..	48
Şekil 4. 2 a) R_c kolon, b) C_{fst} kolon, c) C_{es} kolon	49
Şekil 4. 3 R_c sayısal model ve kolon detayı	49
Şekil 4. 4 C_{es} sayısal model ve kolon detayı	49
Şekil 4. 5 C_{fst} sayısal model ve kolon detayı.....	50
Şekil 4. 6 Kiriş donatı detayı	50
Şekil 4. 7 Katı model için Lagrange meshin gösterilmesi.....	51
Şekil 4. 8 Kullanılan malzeme ve patlayıcı konumunun yandan görünüşü.....	52
Şekil 4. 9 Beton dolgulu çelik gömme kompozit taşıyıcı sistemin malzeme konumunu üç boyutlu görüntüsü	53
Şekil 4. 10 Kolon, kiriş ve döşemelere tanımlanan gözlem noktaları	54
Şekil 4. 11 5 ms – 50 ms arası basınç değerleri değişimi a) $R_c300ext$ b) $C_{es}300ext$	56
Şekil 4. 12 Patlama basıncının yapının tamamına etkimesi	56
Şekil 4. 13 Kolon, kiriş ve döşeme isimlerinin basitleştirilmiş gösterimi.....	58
Şekil 4. 14 $R_c100ext$ yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı.....	59
Şekil 4. 15 $C_{es}100ext$ yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı	60

Şekil 4. 16 Ces100ext yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı	60
Şekil 4. 17 5 ms sonucu basınç kontür diyagramı a) Rc100ext, b) Ces100ext, c) Cfst100ext.....	61
Şekil 4. 18 5 ms sonucu oluşan malzeme durumu kontür diyagramı a) Rc100ext, b) Ces100ext, c) Cfst100ext, d) Cfst100ext'	62
Şekil 4. 19 5 ms sonucu hasar kontür diyagramı a) Rc100ext, b) Ces100ext, c) Cfst100ext, d) Cfst100ext'	63
Şekil 4. 20 Toplam enerji değişimi-zaman grafiği a) Rc100ext, b) Ces100ext, c) Cfst100ext.....	64
Şekil 4. 21 Taşıyıcı sistem elemanları basınç-zaman ilişkisi a) Rc100ext, b) Ces100ext, c) Cfst100ext.....	65
Şekil 4. 22 Rc200ext yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı.....	66
Şekil 4. 23 Ces200ext yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı	67
Şekil 4. 24 Cfst200ext yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı	67
Şekil 4. 25 5 ms sonucu basınç kontür diyagramı a) Rc100ext, b) Ces100ext, c) Cfst100ext.....	68
Şekil 4. 26 5 ms sonucu oluşan malzeme durumu kontür diyagramı a) Rc200ext, b) Ces200ext, c) Cfst200ext, d) Cfst200ext'	69
Şekil 4. 27 5 ms sonucu oluşan hasar durumu kontür diyagramı a) Rc200ext, b) Ces200ext, c) Cfst200ext, d) Cfst200ext'	70
Şekil 4. 28 Toplam enerji değişimi-zaman grafiği a) Rc200ext, b) Ces200ext, c) Cfst200ext.....	71
Şekil 4. 29 Taşıyıcı sistem elemanları basınç-zaman ilişkisi a) Rc200ext, b) Ces200ext, c) Cfst200ext.....	72
Şekil 4. 30 Rc300ext yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı.....	73
Şekil 4. 31 Ces300ext yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı	74
Şekil 4. 32 Cfst300ext yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı	74
Şekil 4. 33 5 ms sonucu basınç kontür diyagramı a) Rc100ext, b) Ces100ext, c) Cfst100ext.....	75
Şekil 4.34 5 ms sonucu oluşan malzeme durumu kontür diyagramı a) Rc300ext, b) Ces300ext, c) Cfst300ext, d) Cfst300ext'	76
Şekil 4.35 5 ms sonucu oluşan hasar durumu kontür diyagramı a) Rc300ext, b) Ces300ext, c) Cfst300ext, d) Cfst300ext'	77
Şekil 4. 36 Toplam enerji değişimi-zaman grafiği a) Rc300ext, b) Ces300ext, c) Cfst300ext.....	78
Şekil 4.37 Taşıyıcı sistem elemanları basınç-zaman ilişkisi a) Rc300ext, b) Ces300ext, c) Cfst300ext.....	79
Şekil 4. 38 Patlayıcı konumu a) Yandan görünüş b) Üç boyutlu görünüş	80
Şekil 4. 39 Rc25int yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı	80
Şekil 4. 40 Ces25int yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı.....	81

Şekil 4. 41 Cfst25int yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı	81
Şekil 4. 42 5 ms sonucu Rc25int basınç kontür diyagramı	82
Şekil 4.43 5 ms sonucu oluşan ön cephe malzeme durumu kontür diyagramı a) Rc25int, b) Ces25int, c) Cfst25int, d) Cfst25int'	83
Şekil 4. 44 Malzeme durumu arka cephe hasar dağılımı a) Rc25int, b) Ces25int, c) Cfst25int, d) Cfst25int'	84
Şekil 4. 45 Hasar dağılımı kontür diyagramı a) Rc25int, b) Ces25int, c) Cfst25int, d) Cfst25int'	84
Şekil 4. 46 Taşıyıcı sistem elemanları basınç-zaman ilişkisi a) Rc25int, b) Ces25int, c) Cfst25int	85
Şekil 4. 47 Toplam enerji değişimi-zaman grafiği a) Rc25int, b) Ces25int, c) Cfst25int	86
Şekil 4. 48 Rc50int yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı	87
Şekil 4. 49 Ces50int yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı	87
Şekil 4. 50 Cfst50int yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı	88
Şekil 4. 51 5 ms sonucu basınç kontür diyagramı a) Rc50int, b) Ces50int, c) Cfst50int	89
Şekil 4. 52 Malzeme durumu ön cephe iç hasar dağılımı a) Rc50int, b) Ces50int, c) Cfst50int	89
Şekil 4.53 Malzeme durumu arka cephe hasar dağılımı a) Rc50int, b) Ces50int, c) Cfst50int	90
Şekil 4. 54 Hasar dağılımı kontür diyagramı a) Rc50int, b) Ces50int, c) Cfst50int, d) Cfst50int'	91
Şekil 4. 55 Toplam enerji değişimi-zaman grafiği a) Rc50int, b) Ces50int, c) Cfst50int	92
Şekil 4. 56 Taşıyıcı sistem elemanları basınç-zaman ilişkisi a) Rc50int, b) Ces50int, c) Cfst50int	92
Şekil 4. 57 Rc100int yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı	93
Şekil 4. 58 Ces100int yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı	94
Şekil 4. 59 Cfst100int yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı	94
Şekil 4. 60 5 ms sonucu basınç kontür diyagramı a) Rc100int, b) Ces100int, c) Cfst100int	95
Şekil 4. 61 Malzeme durumu ön cephe hasar dağılımı a) Rc100int, b) Ces100int, c) Cfst100int, d) Cfst100int'	96
Şekil 4. 62 Malzeme durumu arka cephe hasar dağılımı a) Rc100int, b) Ces100int, c) Cfst100int, d) Cfst100int'	97
Şekil 4. 63 Hasar dağılımı kontür diyagramı a) Rc100int, b) Ces100int, c) Cfst100int, d) Cfst100int'	98
Şekil 4. 64 Toplam enerji değişimi-zaman grafiği a) Rc100int, b) Ces100int, c) Cfst100int	99

Şekil 4. 65 Taşıyıcı sistem elemanları basınç-zaman ilişkisi a) Rc100int, b) Ces100int, c) Cfst100int.....	99
Şekil 4. 66 Betonarme sistem dış patlama ve iç patlama yer değiştirme grafiği a) Rc100ext, b) Rc100int.....	100
Şekil 4. 67 Malzeme durumu hasar dağılımı a) Rc100ext, b) Rc100int	101
Şekil 4. 68 Hasar dağılımı kontür diyagramı.....	101
Şekil 4. 69 Betonarme çelik gömme kompozit sistem dış patlama ve iç patlama yer değiştirme grafiği a) Rc100ext, b) Rc100int	102
Şekil 4. 70 Malzeme durumu hasar dağılımı a) Ces100ext, b) Ces100int	103
Şekil 4. 71 Hasar dağılımı kontür diyagramı.....	103
Şekil 4. 72 Betonarme çelik gömme kompozit sistem dış patlama ve iç patlama yer değiştirme grafiği a) Rc100ext, b) Rc100int	104
Şekil 4. 73 Malzeme durumu hasar dağılımı a) Ces100ext, b) Ces100int	104
Şekil 4. 74 Hasar dağılımı kontür diyagramı.....	104
Şekil 5.1 Betonarme taşıyıcı sistemin patlama sonrası oluşan yeni elastisite modülleri	105
Şekil 5.2 Betonarme taşıyıcı sistemin patlama sonrası servis yükü altında donatıdaki gerilme dağılımı.....	106
Şekil 5. 3 Betonarme taşıyıcı sistemin patlama sonrası servis yükü altında betondaki gerilme dağılımı.....	107
Şekil 5.4 Betonarme taşıyıcı sistemin patlama sonrası servis yükü altında yer değiştirme kontür diyagramı.....	107
Şekil 5.5 Betonarme çelik gömme kompozit taşıyıcı sistemin patlama sonrası oluşan yeni elastisite modülleri.....	108
Şekil 5.6 Betonarme çelik gömme kompozit taşıyıcı sistemin patlama sonrası servis yükü altında donatı ve çelik elemanlardaki gerilme dağılımı.....	108
Şekil 5. 7 Betonarme çelik gömme kompozit taşıyıcı sistemin patlama sonrası servis yükü altında betondaki gerilme dağılımı	109
Şekil 5.8 Betonarme çelik gömme kompozit taşıyıcı sistemin patlama sonrası servis yükü altında yer değiştirme dağılımı	109
Şekil 5.9 Beton dolgulu çelik tüp kompozit taşıyıcı sistemin patlama sonrası oluşan yeni elastisite modülleri.....	110
Şekil 5.10 Beton dolgulu çelik tüp kompozit taşıyıcı sistemin patlama sonrası servis yükü altında donatı ve çelik elemanlarda oluşan gerilme dağılımı	111
Şekil 5. 11 Beton dolgulu çelik tüp kompozit taşıyıcı sistemin patlama sonrası servis yükü altında betondaki gerilme dağılımı	111
Şekil 5.12 Beton dolgulu çelik tüp kompozit taşıyıcı sistemin patlama sonrası servis yükü altında yer değiştirme dağılımı	112

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Kompozit kolon en kesit koşulları [29].....	35
Tablo 2.2 Eksenel basınç altında beton dolgulu kompozit elemanların narinlik oranlarının sınır değerleri[25].	36
Tablo 3.1 Patlama türlerinin sınıflandırılması	39
Tablo 3.2 Patlayıcıların açığa çıkardığı enerji ve TNT eşdeğerleri [44].....	42
Tablo 3.3 İnsanlarda kısa süreli (3-5 ms) patlama dalgasının etki eşiği [42]	44
Tablo 4.1 Malzemelerin mekanik özellikleri	51
Tablo 4.2 Model isimleri ve açıklamaları	54
Tablo 4.2 Model isimleri ve açıklamaları (devamı).....	55
Tablo 4.3 Analiz süresi – meydana gelen pik basınç ilişkisi.....	56
Tablo 4.4 UFC-3- 340-02 ile Autodyn pik basınç değerlerinin karşılaştırılması.....	57

Kompozit Taşıyıcı Sisteme Sahip Binaların Patlama Davranışının İncelenmesi

İbrahim SENCAR

Yapı Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Barış SEVİM

Bu çalışmada betonarme taşıyıcı sisteme sahip yapı ve bu yapının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018 ve Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik (ÇYTHYE) 2018'e göre farklı kompozit kolon tipleriyle değiştirilip elde edilen yeni kompozit yapıların aynı patlayıcı miktarı karşısında patlamaya karşı direnci kıyaslanmıştır. Sonlu Elemanlar Metoduna dayanan ANSYS WORKBENCH programı aracılığı ile katı model ve ağ yapısı oluşturulup ANSYS AUTODYN programı aracılığıyla patlama analizleri yapılmıştır. Patlama analizinde katı cisim ve hava akışı arasında Lagrange-Euler etkileşimi tercih edilmiş olup açık analiz yönteminden faydalanılmıştır. Malzeme özellikleri daha önce yapılmış çalışmalardan alınmış olup patlayıcı türü olarak TNT kullanılmıştır. Bu kapsamda oluşturulan farklı taşıyıcı sistemlere sahip 3 model için 100 kg, 200 kg ve 300 kg dış patlama analizleri, 25 kg, 50 kg ve 100 kg iç patlama analizleri yapılmıştır. 100 kg iç patlama ve 100 kg dış patlama sonuçları 3 model için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Analizler sonrasında yapıların en çok hasar aldığı patlama durumu olan 300 kg dış patlama analizi sonucu hasar durumuna göre elemanların kapasiteleri düşürülerek patlama sonrası düşey yükler dikkate alınarak statik analiz yapıp modellerin patlama sonrası performansı karşılaştırılmıştır. Sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur. Yapılan analizler sonucunda benzer kesit boyutları olan

kompozit taşıyıcı sisteme sahip yapıların betonarme taşıyıcı sistemi olan yapıya kıyasla patlamaya karşı daha dayanıklı olduğu tespit edilmiş olup stratejik ve ekonomik öneme sahip yapıların tasarımına dair tavsiyelerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: patlama yükü, autodyn, beton dolgulu çelik tüp kompozit sistem, betonarme çelik gömme kompozit sistem, betonarme sistem, sonlu elemanlar metodu



Investigation on Blast Performance of Buildings Having Composite Structural Systems

İbrahim SENCAR

Department of Civil Engineering
Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Barış SEVİM

In this study, the blast resistance of the structure consisting of reinforced concrete structural system and composite structures obtained by replacing this structure with different types of composite columns designed according to Turkish Building Earthquake Code (TBEC) 2018 and Specification for Design, Calculation and Construction of Steel Structures (SDCCSS) 2018 against the same amount of explosive is compared. Based on the Finite Element Method, solid model and mesh structure were created using ANSYS WORKBENCH program and blast analysis was performed using ANSYS AUTODYN program. In the blast analysis, Lagrange-Euler interaction between the solid body and the air flow was preferred and the open analysis method was used. Material properties were taken from previous studies and TNT was used as explosive type. In this context, 100 kg, 200 kg and 300 kg external explosion analyses, 25 kg, 50 kg and 100 kg internal explosion analyses were performed for 3 models with different structural systems. 100 kg internal explosion and 100 kg external explosion results were compared individually for 3 models. After the analyses, as a result of the 300 kg external explosion analysis, which is the explosion condition in which the structures are most damaged, the capacities of the elements were reduced according to the post-explosion damage status and static analysis was performed considering the vertical loads after the explosion and the post-explosion performance of the models was compared. The results are presented in graphics. As a result of the analyses, it was determined that the structures with composite structural system with similar cross-sectional dimensions are more resistant to explosion compared

to the structure with reinforced concrete structural system and recommendations were presented for the design of structures of strategic and economic importance.

Keywords: blast load, autodyn, concrete encased steel composite system, concrete filled steel tube composite system, reinforced concrete system, finite element method



Kullanım amacı, sahip olması gereken gereksinimler, performans beklentisi gibi farklılıklar farklı türlerden yapıların ortaya çıkmasına sebep olmuştur. İlk başlarda tek katlı, iklim koşullarından, dışarıdan gelen tehditlerden korunmak yeterliyken, daha sonraları birim alana düşen nüfusun artması, nüfusun belirli bölgelerde toplanması gibi sebeplerden ötürü birden fazla katlı yapı yapılma ihtiyacı; deprem, yangın, sel gibi durumların yapılar üzerinde felaketle sonuçlanmaması için daha dayanıklı yapı inşa etme ihtiyacı doğmuştur.

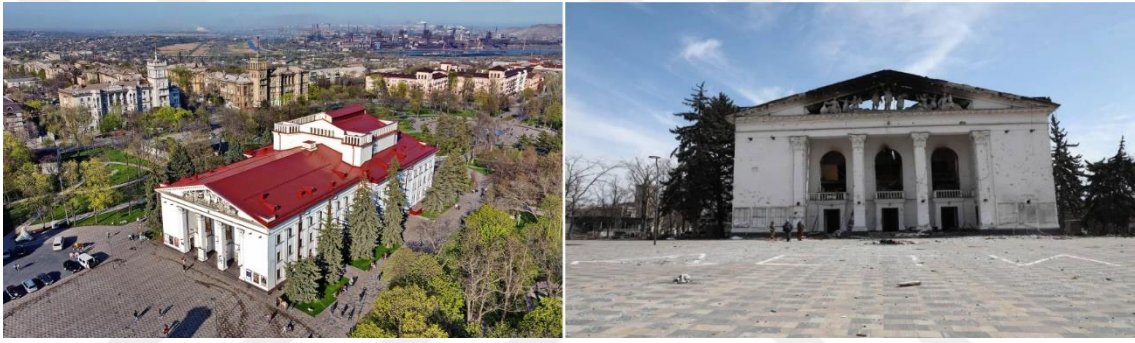
Yapıdaki artan kat sayısının kullanışlı olması ancak gelişen malzeme teknolojisi, elektrik ve asansörün icadıyla mümkün hale gelmiştir. Yüksek yapılara geçiş farklı taşıyıcı sistem elemanları, farklı taşıyıcı sistemlerle mümkün olsa da taşıyıcı sistem elemanlarının kesitlerinin büyüklüğü mimari kaygıları ortaya çıkarmıştır. Benzer taşıma kapasitesini daha küçük kesitlerle karşılamak ancak taşıyıcı sistemlerin birbirinden farklı özelliklerini bir araya getirilip üstünlüklerinden faydalandığı kompozit taşıyıcı sistemlerle mümkün olmuştur.

Kompozit taşıyıcı sistemler benzer kesitlere sahip betonarme ve çelik taşıyıcı sisteme kıyasla hem daha iyi deprem performansı gösterdiği hem de daha yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olduğu için son zamanlarda bu taşıyıcı sistemlerin kullanımında artış gözlemlenmektedir. Ülkemizde de kullanımına başlanan bu sistemler özellikle her türlü olumsuz durumda bile uzun ömürlü olması beklenen, ekonomik ve stratejik olarak önemli yapılarda kullanılmaktadır.

Geçmişten günümüze savaş durumunda veya terör saldırılarında bakanlık, büyükelçilik, konsolosluk, askeri yapılar gibi stratejik öneme sahip yapılar ve alışveriş merkezleri, gökdelen gibi ekonomik öneme sahip yapılar öncelikli hedef haline gelmektedir.

Konutlar, hastaneler, köprüler, barajlar vb. yapılar tasarlanmadan önce deprem, rüzgar, kar yükü gibi yüklere maruz bırakılıp belirli standartlara uygun şekilde tasarlanıp olası bir durumda öngörülen performans sınırları içerisinde kalması beklenir fakat yangın ve patlama gibi özel durumlara karşı tasarım yapmak ekonomik olarak sınırları zorlamakla kalmayıp analiz sürelerinin uzunluğu açısından da ciddi zaman kayıplarına sebep

olacaktır. 2022'den beri devam eden Rusya-Ukrayna savaşı yapıları bombalama eyleminin devam eden büyük bir tehdit olduğunu, insanların toplu halde sığınmak için bulunduğu Şekil 1.1'deki tiyatro binasının bile bombalanabileceğini göstermiştir. İsrail'in Filistin'e yönelik saldırılarında hastane binalarına dahi bombalı saldırı yaptığı sık sık görsel ve yazılı medyada yer almış Al-Ahli Arab hastanesine yapılan bombalı saldırı sonucu oluşan hasar Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Yakın tarihte yaşanan acı verici olaylarla birlikte patlamaya karşı dayanıklı yapı yapma tekrardan gündeme gelmiştir. Ekonomik, stratejik, siyasi öneme sahip özel yapıların terör saldırıları, kazara meydana gelecek gaz sızıntısı, su ısıtıcısı patlaması, trafik kazasından sonra meydana gelecek patlamalar gibi senaryolarda yapıların daha az hasar alması için taşıyıcı sistem tavsiyelerinde bulunulmuştur.



Şekil 1.1 Donetsk/ Ukrayna Akademik Drama Tiyatrosu a) bombalamadan önce, b) bombalamadan sonra[1]



Şekil 1.2 Filistin Al-Ahli Arab hastanesinin bombalanması sonucu oluşan krater [2]

1.1 Literatür Özeti

Wu vd. [3] çalışmasında betonarme kolonun donatı oranını, etriye miktarını, sıklaştırma bölgesindeki etriye miktarını, kesit boyutlarını değiştirerek benzer patlama senaryoları üzerine incelemelerde bulunmuştur. Daha önce yapılmış betonarme kolon modelinin deneysel çalışmanın sonuçlarıyla LS-DYNA programında modellenmiş benzer modelin sonuçlarının tutarlığı gösterilmiştir. Yapılan nümerik çalışmalarda benzer donatı orana sahip kolonların yüksekliğinin değişmesi patlama sonucunu etkilemediği, etriye oranı arttıkça kesitin daha az hasar aldığı ve patlamadan sonra ayakta kalabilme ihtimalinin daha fazla olduğu, donatı miktarının artması patlama sonrası ayakta kalabilmeye çok az katkı sağladığı, artan kesit boyutunun patlama sonrasında daha dayanıklı kalabildiği gözlemlenmiştir.

Wu vd. [4] yaptığı çalışmada, Singapur'da bir yapıya ait H kesit çelik gömme betonarme donatılı kompozit bir kolonu iki bölü üç oranında tasarlayıp yakın mesafe patlama deneysel analizi yaptıktan sonra sonucu LS-DYNA programında benzer modeli analiz edip karşılaştırmış. Bilgisayar programının deneysel analizle büyük ölçüde aynı sonuçları verdiği, benzer deformasyonların olduğu gözlemlendiği, analiz sonuçlarına güvenebileceği sonucuna varıldıktan sonra hangi parametreleri, malzeme tanımlarını kullandığını açıklamış. Kolon yüksekliği, kesiti, çelik profil boyutu ve betonarme kesite oranını değiştirerek bu parametrelerin benzer patlayıcı miktarı, uzaklığı ve konumuna sahip patlama senaryoları karşısında tepkilerinin nasıl değiştiğini açıklayıp kompozit çelik gömme betonarme kolon elemanları için patlamanın kesitin tabanına yakın olması ve kolonun yüksekliğinin yarısında olmasına göre formülasyon geliştirmiştir. Betonarme kesite oranla benzer çelik profil oranına sahip iki kolunun, kolon kesiti arttıkça patlamaya karşı direncinin arttığı gözlemlenmiştir. Değişen kolon yüksekliğinin benzer sonuç verdiği, etkisiz olduğu gözlemlenmiştir. Patlayıcının konumunun kolon yüzeyinin tabanına yakın oluşu ve yüksekliğin ortasında olma durumunun sadece deformasyonun yoğunlaşacağı bölgeyi etkilediği gözlemlenmiştir. Patlamanın H kesitin güçlü eksenine gelmesi zayıf eksene göre daha az hasar almasına sebep olmuştur. Çelik profil alanının betonarme kesite oranı azaldıkça daha fazla hasar gördüğü, çelik oranının korunup kesit boyutlarının değişmesinin hasar seviyesine etki etmediği gözlemlenmiştir.

Codina vd. [5] yaptığı çalışmada betonarme kolon, çelikle giydirilmiş betonarme kolon ve poliüretan ile sarılmış üç adet deney numunesini yakın mesafeden aynı patlama senaryosuna maruz bırakmıştır. Çantanın ve arabanın patlayıcıyla doldurulup patlaması senaryosunun yerden yüksekliğini göz önüne alarak patlayıcı konumunun kolonun tabanında otuz iki cm yukarıda olması gerektiğini düşünmüş. Çelikle giydirmeye en az hasarı görürken sade betonarme en fazla hasarı görmüştür. Çelikle giydirmeye göre %60 daha az yer değiştirme yapmıştır.

Sevim ve Altunışık [6] çalışmasında sekiz farklı beton dolgulu çelik tüp kompozit kolon elamanın modal performansını incelemiştir. Modal analizi ANSYS yazılımı üzerinden yapmış olup kullanılan malzeme tanımlamalarını vermiştir. Beton için Solid, donatı için Link, çelik tüpler için Shell eleman seçip modal analiz yapmıştır. Mesh boyutunu belirlerken seçilen bir kompozit kolonun farklı mesh boyutları için modal analiz yapmış olup değişimin azaldığı noktadaki mesh boyutunun yeterli olduğunu önermiştir. Kompozit kolonların geleneksel betonarme kolonlara göre daha rijit davranış gösterdiği tespit edilmiştir. İçi boş kompozit kesitlerin içi dolulara göre %10 daha esnek olduğu, donatısız ve donatılı kompozitler arasında çok az modal davranış farkı olduğu belirlenmiştir. Dikdörtgen kesitli kolonların dairesel kesitli kolonlara göre eğilme modunun yaklaşık %10 daha fazla olduğu bu da dikdörtgen kesitlerin daha rijit olduğunu gösterdiği tespit edilmiştir.

Uslu vd. [7] çalışmasında 9 katlı bir çelik yapının 3. katındaki çelik kolonun taşıdığı normal kuvvet ve eğilme momentini SAP2000 programıyla analiz sonucunda elde ettikten sonra benzer normal kuvvet ve eğilme momentine sahip çelik gömme betonarme kompozit kolonu ÇYTHYE-2016 yönetmeliğine göre tasarlayıp ANSYS sonlu elemanlar programında kritik gerilme ve yer değiştirme değerleri hesaplanmıştır. Analiz sonucu kompozit yapıdaki yapısal çelik elemanın çelik kolonun ulaştığı gerilme değerinin %30 daha azına, yer değiştirmelerin de benzer şekilde kompozit kolonun çelik kolonun yer değiştirme değerinin %37 daha azına ulaştığı gözlemlenmiştir.

Wang vd. [8] yapmış olduğu çalışma sonucunda beton dolgulu kompozit kesitlerin yakın mesafede gerçekleşen patlamadan sonra bile geçmediği, eksenel yük taşıma kapasitesini büyük ölçüde koruduğu tespit edilmiştir.

Sevim [9] çalışmasında ortası boşluk beton dolgulu çelik, beton dolgulu çelik ve betonarme kolonların düşey ve yatay yükler altında ANSYS programıyla doğrusal ve

doğrusal olmayan davranışı incelemiştir. Doğrusal olmayan analizden elde edilen maksimum yer değiştirmelerin doğrusal analizden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Kompozit kolonları betonarme kolona göre daha sünek davrandığı, daha güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır. Ortasında boşluk olan kompozit kesitin boşluksuzla göre çok az miktarda daha fazla sünek olduğu gözlemlenmiştir.

Li vd. [10] yapmış olduğu deneysel ve nümerik çalışmada silindir içi boş beton dolgululu çelik kompozit kolonların farklı patlayıcı, konumları karşısında patlama performansını incelemiştir. Silindir kompozit kolonun dikdörtgene göre enerji sönümleme miktarının daha fazla olduğunu düşündüğü için bu çalışmayı yapmıştır. Çelik tüpün betonun dağılmasını engelleyip hasarı emdiği gözlemlenmiştir.

Hussein vd. [11] çalışmasında ahşap çerçeve ve içi kumdan oluşan bir kolon modelinin patlamayı ne kadar sönümleyebileceğini incelemiştir. Terör saldırısı riski olan halka açık alanlarda veya saldırı riski olan yapılarda kullanılabileceği önerisinde bulunulmuştur. Deneysel çalışma ABAQUS isimli bilgisayar yazılımıyla nümerik olarak desteklenmiştir. Duvarın yakın mesafe arkasında basınç azalması etkili fakat kısa olduğu gözlemlenmiştir. Duvarın 60 cm uzağında basınç azalması %95 iken 1 metre arkasındaki basınç azalması %10'lara kadar düşmüştür.

Do vd. [12] yaptığı çalışmada öngermeli kolon ile çelik tüp kompozit ön germeli kolonun benzer senaryo karşısında patlama performansını incelemiştir. Daha önce yapılmış üç adet deneysel çalışmayı LS-DYNA programında modelleyerek benzer sonuçları aldıktan sonra farklı patlama durumları üzerinde çalışmıştır. Çelik tüplü kompozit öngermeli kolonun öngermeli kolona göre patlama sonrasında hasar görmüş halinin hâlâ daha fazla aksel yük taşıyabileceği sonucuna varılmıştır.

Wu vd. [13] çalışmasında döşemelerin patlama performansı ile ilgilenmiştir. Yaptığı nümerik çalışmaları daha önce başkaları tarafından yapılmış deneysel çalışmalarla ve ampirik formülasyonlarla pik basıncı karşılaştırıp benzer sonuçlar elde etmiştir. Benzer senaryoda döşeme kalınlığı arttıkça döşemenin daha az hasar gördüğüne değinilmiştir.

Taha vd. [14] yapmış olduğu çalışmada duvar kalınlığının ve duvar katmanları arasına yerleştirilecek bir maddenin patlama performansını incelemiştir. İki deneysel çalışmayı AUTODYN programında modelleyerek benzer sonuçlar elde ettikten sonra nümerik analizler yapmıştır. Beton/betonarme duvar, duvar kalınlığı arttıkça deformasyonların kabul edilir ölçüde azaldığı, duvarları çift katmanlı yapıp arasına hava koymanın

davranışı negatif etkilediği, çift katmanlı duvarların arasına alüminyum köpük eklenmesi davranışı pozitif etkilediği gözlemlenmiştir. Çift katmanlı duvar arasındaki hava hasarı artıcı etki gösterdiği, alüminyum köpük ise hasarı emdiği için azalttığı sonucuna varılmıştır.

Temsah vd. [15] çalışmasında Ağustos 2020'de Beyrut Limanı'nda meydana gelen patlama ile ilgili araştırmalarda bulunmuştur. ABAQUS sonlu elemanlar yazılımını kullanarak limandaki tahıl silolarını modelleyip benzer hasarı oluşturacak patlayıcı miktarının TNT karşılığını elde etmeye çalışmıştır. Patlamanın yakınında, limanda bulunan tahıl silolarının patlamada ortaya çıkan enerjinin sadece %0,11'ini emdiği gözlemlenmiş, bu da tahıl silolarının şehirdeki yıkımı büyük ölçüde azalttığı fikrini çürütmüştür. Bu tarz yapıların olası bir patlamada daha az hasar alması için çevresine perde duvarlar ya da dış cephenin alüminyum köpükle kaplanması gibi enerji emici önlemler alınması gerektiğini belirtmiştir.

Sun vd. [16] çalışmasında geleneksel betonarme kolon ile kompozit kolonun patlama performansını karşılaştırmış. Daha önce yapılmış deneysel çalışmaları LS-DYNA programında modelleyerek benzer sonuçlar elde ettikten sonra kompozit kolonun kritik parametrelerini belirleyebilmek için pek çok paramedik çalışma yapmıştır. Güçlendirilmiş kompozit kolonun geleneksel betonarme kolona göre %60-95 daha az deformasyon göstermiştir. Kompozit kolonun eğilme ve kesme rijitlikleri geleneksel kolona göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Altunışık vd. [17] dolgu duvarların farklı TNT miktarları karşısındaki davranışı incelemiştir. Çalışmalarında deneysel saha analizlerinden elde ettikleri gözlemleri, ANSYS Workbench ve AUTODYN sonlu elemanlar programında benzer modeli modelleyerek nümerik sonuçları literatürdeki ampirik formüllerle karşılaştırmıştır. Dolgu duvar malzemelerinin enerjii emme kapasitesi ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu ve ölçeklenmiş mesafe düştükçe nümerik sonuçlar ve ampirik formülasyonların gittikçe daha yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Altunışık vd. [18] dolgu duvar oranının patlama performansına etkisini incelemiştir. Saha çalışmalarından elde ettikleri dolgu duvar parametrelerini de kullanarak ANSYS Workbench ve AUTODYN programlarında nümerik modeller oluşturmuştur. İki farklı dolgu duvar oranı için tek katlı tek açıklıklı, TBDY 2018'e uygun olarak tasarlanmış betonarme yapının farklı beton sınıfları için oluşan yer değiştirmeler ve pik basınç

değerlerini karşılaştırmışlardır. UFC 3-340-02 ve Brode'un önerdiği formülasyonlara göre oluşabilecek pik basıncı hesaplayıp sonuçları karşılaştırmıştır. Beton sınıfı arttıkça oluşan pik basıncın ve yer değiştirmenin azaldığı, dolgu duvar oranı arttıkça pik basınçtaki bu azalışın daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Dolgu duvar oranı arttıkça yer değiştirmenin azaldığı, değişen beton sınıfının dolgu duvarlarda oluşacak basınç üzerinde etkisi olmadığı, Brode ve UFC 3-340-02 formülasyonları karşılaştırıldığında UFC 3-340-02 pik basıncı tahmin etme konusunda dolgu duvarlı yapılarda daha doğru sonuç verdiği görülmüştür.

Reifarth vd. [19] betonarme döşemenin karbon lifli polimer ve cam lifli polimer ile güçlendirilmesinin patlama performansını deneysel olarak incelemiştir. Daha sonra LS-DYNA programı ile nümerik olarak incelemelerde bulunup tavsiyelerde bulunmuştur. Karbon takviyeli polimerin bütün hasar bölgelerinde hasarı azalttığı, cam takviyeli polimerin ise benzer seviyede etkili olmadığı deneysel çalışmadan elde edilen bulgular sonucu tespit edilmiştir. Deneysel çalışma ve nümerik çalışma benzer sonuçlar verse de malzeme modellerinin hangi aralıklarda gerçeğe yakın ve gerçekten saptığı konusunda bulgular elde etmiştir.

Ullah vd. [20] betonarme kolon ve kirişin sıklaştırma bölgesindeki etriyelerin ve betonarme çerçevenin birleşim noktalarındaki bindirme donatılarının konumlarının yığma duvarın patlama davranışını nasıl değiştirdiği deneysel çalışmalarla incelemiştir. Sıklaştırma bölgesinde sık etriye atılan çerçevedeki dolgu duvar sık etriye atılmayan çerçevedeki dolgu duvara göre daha az hasar aldığı, birleşim bölgesindeki boyuna donatıların 90° kıvrılması dolgu duvardaki hasarı azalttığı, birleşim bölgelerinde 135° çapraz atılan ekstra donatıların dolgu duvarlarda hasarı daha da azalttığı gözlemlenmiştir.

Toy ve Sevim [21] 5 katlı betonarme çerçeve taşıyıcı sisteme sahip yapının patlama durumunda performansını incelemiştir. ANSYS Workbench ve AUTODYN ile gerçekleştirdikleri statik ve patlama analizi sonucunda yer değiştirme ve gerilmeleri karşılaştırmışlardır. 390 kg TNT patlayıcının 8 farklı kolona eşit miktarda yerleştirilmesiyle patlama analizi gerçekleştirilmiş, oluşan gerilme ve yer değiştirmelerin kritik seviyelerde olduğu görülmüştür. Dolgu duvarlar ve pencerelerin tamamen hasar gördüğü, dışarıdaki kolonların daha fazla hasar aldığı gözlemlenmiştir.

Altunışık vd. [22] yaptıkları parametrik çalışmada birden fazla parametreyi değiştirerek betonarme yapının patlama performansını incelemiştir. ANSYS Workbench programında tasarlanıp AUTODYN programında simüle edilen 72 farklı patlama durumu için incelemelerde bulunulmuştur. Yapıdaki dolgu duvardaki boşluk oranı, beton sınıfı ve patlayıcı miktarı değişken olup bu parametrelerin etkileri incelenmiştir. TNT miktarının artması yapısal ve yapısal olmayan elemanlar üzerinde oluşacak pik basıncı arttırdığı, beton dayanım sınıfının artması ise yapısal elemanlar üzerinde oluşacak pik basıncı azaltma konusunda en önemli parametre olduğu tespit edilmiştir. Beton dayanım sınıfının değişmesi dolgu duvarlarda oluşacak pik basıncı etkilemediği fakat dolgu duvarlardaki artan kapı, pencere vb. boşluk oranının taşıyıcı elemanlar üzerinde basıncı %70 civarında azaltabildiği görülmüştür. Yapıdaki yer değiştirmeler benzer parametreler için pik basınca benzer davranış göstermiştir.

1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı

Betonarme ve diğer taşıyıcı sistemlere kıyasla aynı kesit boyutlarına sahip kompozit taşıyıcı sistemin taşıma kapasitesi, depreme dayanıklılığı, mimari istekleri karşılayabilmesi gibi avantajları son zamanlarda kompozit taşıyıcı sistemin kullanımını arttırmıştır.

Terör olayları, son zamanlarda baş gösteren savaşlar ve kazara meydana gelen gaz sıkışmasından dolayı meydana gelen patlamalar, yüksek basınçla çalışan sanayi makinelerinin patlaması, doğal afetlerden sonra meydana gelen patlamalar stratejik ve ekonomik öneme sahip yapıların statik ve dinamik analizlerinin dışında ek olarak patlamaya, patlayıcıya karşı direncinin de incelenmesi gerektiğini göstermektedir.

2010 Mısır, Beni Suef kentinde gaz tesisinde meydana gelen patlama, 2011 Japonya, Fukushima kentindeki nükleer santralde meydana gelen patlama, 2013 Çek Cumhuriyeti, Prag'da otelde gaz sıkışmasından dolayı meydana gelen patlama, 2015 Çin, Tianjin'de kimyasal depoda meydana gelen patlama, 2017 İstanbul Atatürk Havalimanı'nda bir çok vatandaşımızın hayatını kaybettiği bombalı terörist saldırı, 2019 Paris, Fransa'da bir binada gaz patlaması sonucu tamamen yıkılan ve çevredeki binalara ağır hasar veren patlama, 2020 Lübnan, Beyrut limanda meydana gelen bir çok binanın hasar almasına sebep olan patlama, 2021 İstanbul Fatih'teki binanın kısmen çökmesine sebep olan binanın içinde gerçekleşen patlama ve son 20 yılda ülkemizde kimyasal tesislerde meydana gelen onlarca patlama bu riski taşıyan yapıların tasarımında patlama

performansının incelenmesinde yarar sağlayacağını göstermektedir. Rusya-Ukrayna savaşında Rusya'nın Ukrayna'da tiyatro binasını bombalaması, İsrail-Filistin arasındaki gerginlik esnasında İsrail'in Filistin'de başta hastane olmak üzere bir çok kamu binasını bombalaması özellikle resmi yapıların savaş durumunda öncelikli hedef haline geldiğini açıkça göstermektedir. 2023, Paris Fransa'da gaz sıkışması sebebiyle meydana gelen patlamada aralarında ağır yaralıların da bulunduğu birçok insan yaralanmış, Paris American Acemy binasının patlamadan önceki ve sonraki hali Şekil 1.2'de [23], [24] gösterilmiştir.



Şekil 1.3 Paris American Academy binasının patlama öncesi ve sonrası a) Patlamadan önce, b) Patlamadan sonra [23], [24]

Bakanlık yapıları, askeri yapılar, savunma yapıları gibi stratejik öneme sahip yapıların yanı sıra alışveriş merkezi, gökdelen gibi ekonomik öneme sahip yapıların uzun ömürlü ve kesintisiz kullanım beklentisinden dolayı patlamaya karşı da dayanıklı olması hem maddi hem de manevi açıdan önemlidir. Bu kapsamda ülkemizde çok sık kullanılan betonarme taşıyıcı sisteme sahip bina modeli ile yük taşıma kapasitesi ve deprem performansı ile ön plana çıkan, yüksek yapılarda son zamanlarda ülkemizde de tercih edilmeye başlanan kompozit taşıyıcı sisteme sahip bina modelinin sayısal analiz modeli ve bilgisayar programı yardımıyla yüksek ve eşit miktarda ve eşit mesafede patlamaya karşı direnci incelenmiştir. Aynı zamanda bu yapıların patlama sonrası performansları kıyaslanmıştır. Bahsi geçen taşıyıcı sistemler hakkında önerilerde bulunulmuştur.

Literatürde görüldüğü üzere, patlama etkisiyle yapılar üzerinde ortaya çıkan hasarı azaltmak için kolonda donatı miktarı değiştirilmiş [3], kompozit kolonun patlama performansı incelenmiş [4], [25], [10], bölme duvarların patlama etkisini azaltıcı etkiye sahip olup olmadığı, bölme duvarlardaki boşluk oranları gibi parametrelerin ne derece etkili olduğu [18] üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Bu tez kapsamında iki katlı betonarme bir yapı ile bu yapının kolonları kompozit kolonlarla değiştirilmiş iki farklı

kompozit taşıyıcı sisteme sahip yapı modellenip bu üç modelin farklı patlama senaryoları üzerinde davranışı nümerik olarak incelenmiştir.

Bu tez çalışması beş ana bölümden oluşmaktadır. Organizasyon şeması:

1. Bölüm: Konuyla ilgili genel bilgiler verilip daha önceki çalışmalardan bahsedilmiştir. Bu çalışmanın yapılmasındaki amaç ve sunmaya çalıştığı katkıdan bahsedilmiştir.

2. Bölüm: Kompozit taşıyıcı sistem elemanlarından bahsedilip kompozit kolonlar üzerinde durulmuştur. Ülkemizde kompozit taşıyıcı sistem tasarlanmak istendiğinde başvurulması gereken yönetmelikler olan TBDY 2018 ve ÇYTHYE 2016'deki tasarım koşulları ifade edilmiştir.

3. Bölüm: Patlama türünü ve patlamayla ilgili genel terimlerin anlatıldığı patlama teorisi kısmı ve nümerik analizlerin yapıldığı programın temel prensiplerini anlatan patlama analizi kısımlarından oluşmaktadır.

4. Bölüm: Oluşturulan modellerin geometrik özellikleri, malzemelerin mekanik özellikleri ifade edilmiştir. Analiz süresi tespitinde yapılan kabuller gösterilmiştir. Yapılan 18 farklı nümerik analizin sonuçları ifade edilmiştir. 100 kg için iç patlama ve dış patlama sonuçları karşılaştırılmıştır.

5. Bölüm: En elverişsiz patlama durumu olan 300 kg TNT patlaması sonucu hasar gören elemanların taşıma kapasitesi düşürülerek patlama sonrası performansları kıyaslanmıştır.

Tez kapsamında farklı senaryolar üzerinde durularak gerçekleştirilen sayısal analizler sonucu kompozit taşıyıcı sistem ve betonarme taşıyıcı sistemin patlama ve patlama sonrası performansları kıyaslanmıştır.

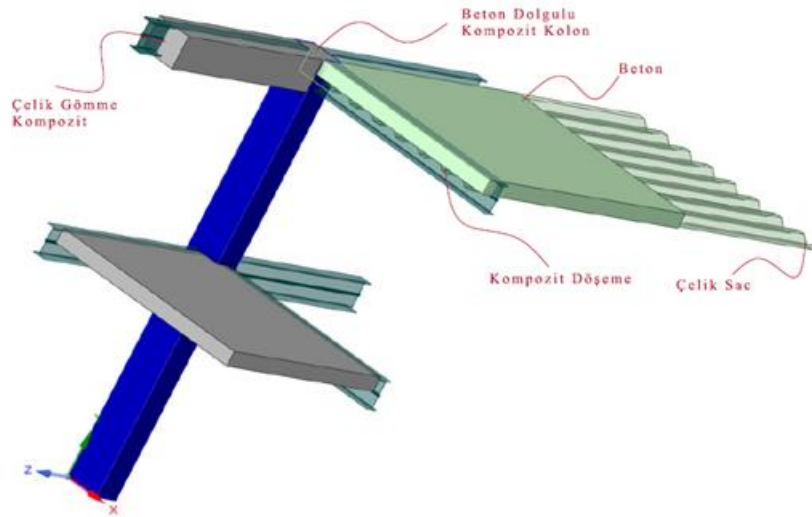
1.3 Orijinal Katkı

Tümevarım yöntemiyle taşıyıcı sistem elemanlarının kesit bazında davranışı, sistem bazında davranışı hakkında fikir verebilir. Literatür taramasında da görüldüğü gibi patlama analizi üzerine yapılan çalışmaların, daha büyük daha dirençli taşıyıcı sistem elemanları tercih etmek yerine enerjiyi emebilecek, eğilme dayanımı, kesme dayanımı daha yüksek, geleneksel betonarme taşıyıcı sistem elemanları dışında taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan farklı malzemelerden yapılmış çalışmalar da bulunmaktadır. Yapılan çalışmaların büyük bir kısmı eleman bazında olduğu görüldüğü üzere, betonarme çerçeve taşıyıcı sistem elemanları içerisinde en fazla gerilmelere maruz kalan taşıyıcı sistem elemanı kolon olduğu için, kolon kesitlerinin daha fazla yük taşıyabilecek, daha fazla gerilmelere maruz kalabilecek alternatifleri üzerine çalışılarak bu alternatiflerin davranışı hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Bu çalışmada da TBDY 2018 ve ÇYTHYE 2018'e uygun olarak tasarlanan yapıların, literatür taramasından edindiğimiz eleman bazında beklenen davranışın sistem bazında modelleyerek sonuçları incelenmiştir.

Patlama sonrası yapıdaki siyasi, manevi veya maddi öneme sahip belge, değerli eşyaları tahliye edebilmek için binaya girmek gerekebilir. Binanın kendi ağırlığı altında ayakta kalıp kalmayacağı da endişe konusudur. Bu çalışmada son olarak patlama performansı incelenen yapıların en elverişsiz durum baz alınarak patlama sonrası performansları da kıyaslanmıştır.

KOMPOZİT TAŞIYICI SİSTEMLER

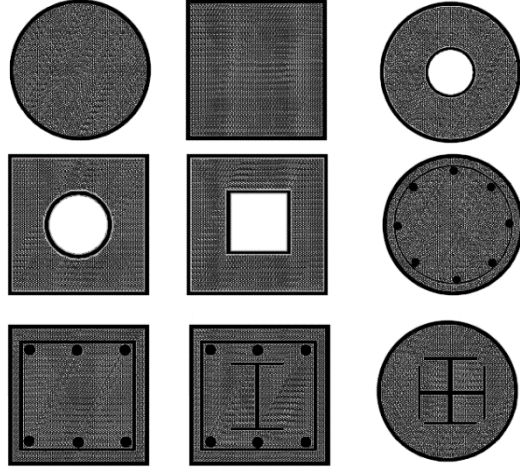
Kompozit birden fazla bileşenin bir araya gelmesi anlamına gelmektedir. Yapı malzemesi olarak sıklıkla kullanılan beton ve çelik tek başına kullanıldığında zayıf yönleri olduğu için bir araya gelerek betonarme olarak adlandırılan kompozit olarak kullanımı eksikliklerini gidermektedir. Taşıyıcı sistem türünün yapının bazı bölümlerinde değişip farklı bir taşıyıcı sistemle devam etmesi kompozit yapı anlamına gelmektedir. Betonarme bir yapının çelik konstrüksiyon çatıya sahip olması gibi. Kompozit taşıyıcı sistem ise birden fazla farklı taşıyıcı sistem elemanının bir araya getirilerek oluşturulan taşıyıcı sisteme denir. Sistemin sadece kolon gibi belirli elemanlarının kompozit olabileceği gibi kolon, kiriş ve döşemelerin tamamının da kompozit olarak yapılması mümkündür. Benzer boyuta sahip betonarme ile kıyaslandığında daha büyük yük taşıma kapasitesine sahip olması ve sismik davranışının daha iyi olması, çelikte kıyaslandığında betona gömülü olan çelik elemanlarının daha iyi yangın performansı gösterecek olması, çeliğin ve betonun ülkemizde hem üretiminin hem kullanımının çok sık oluşundan dolayı malzemelerin kolayca tedarik edilebilecek olması bu taşıyıcı sistemleri pek çok açıdan cazip yapan özelliklerdendir. Şekil 2.1’de kompozit taşıyıcı sistemlerin bazı elemanları gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Kompozit taşıyıcı sistem elemanları

2.1 Kompozit Taşıyıcı Sistem Elemanları

Başlıca kompozit taşıyıcı sistem elemanları kolonlar, kirişler ve döşemelerdir. Sonlu elemanlar programlarıyla yapılan analizlerde aynı boyutlardaki kompozit kolonların betonarme veya çelik kolona göre daha az yer değiştirme yapıp daha düşük gerilmelere maruz kaldığı görülmüştür. Bu durum kompozit kesitlerin sismik analizlerde aktif deprem kuşağında yer alan bizim ülkemiz gibi ülkelerde daha iyi deprem performansı gösterebileceğini ispatlamaktadır [7], [9]. Şekil 2.2’de literatürde geçen kompozit kolon türleri gösterilmektedir. Geometrik şekil olarak genellikle daire ve dikdörtgen olarak simetrik kullanımı kullanılmaktadır. ÇYTHYE [25] yönetmeliğinde beton dolgulu kompozit elemanlar ve çelik gömme kompozit elemanlar olarak geçseler de literatürde bunların farklı kombinasyonları ve ortası boşluklu olarak da karşılaşılmaktadır.



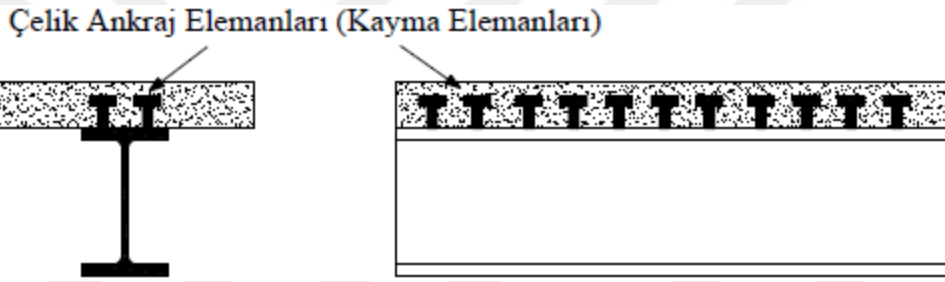
Şekil 2.2 Literatürde geçen kompozit kolon türleri

Kompozit kirişlerin yüksek moment taşıma kapasitesi ve rijitliğinden dolayı büyük açıklıkları geçmek için sıklıkla tercih edilir. Köprü döşemelerini taşıyabilmesi için, konutlarda yüksek açıklıkları betonarme kıyasla daha küçük boyutlarla aşabilmek için beton dolgulu ve çelik gömme kompozit kirişlerin kullanımı yaygındır. Kompozit kiriş kullanımının en büyük zorluğu kiriş ve döşeme arasında yükü ve kesme kuvvetini aktaracak kaymayan, rijit elemanların doğru hesap ve uygulamasıdır. Çelik ankrajlar kullanılarak kiriş ve döşeme arasında yük aktarımı yapılmaktadır.

Kompozit döşeme kullanımının getirdiği birçok avantaj vardır. Bunlardan en önemlileri:

- Sac levhanın hem kalıp hem döşeme donatısı işveli görüp kalıp maliyetlerini azaltması
- Sac levhanın kalıp işlevi görmesinden dolayı uygulamanın kolay olması
- Betonarmeye kıyasla yük taşıma kapasitesini daha küçük döşeme kalınlığıyla sağlanarak kat serbest açıklığını arttırması
- Döşeme kalınlığının düşük olmasından dolayı bina ağırlığını azaltıp sismik performansa katkı sağlaması
- Isı izolasyonu sağlaması

kompozit döşemenin sağladığı avantajlardandır [26]. Şekil 2.3'te çelik ankrajlı kompozit kiriş ve döşeme bağlantı detayı gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Çelik ankrajlı kompozit kiriş ve döşeme bağlantı detayı [25]

2.1.1 Beton Dolgulu Kompozit Kolonlar

Beton dolgulu kompozit kolon, merkezde beton çekirdeğinin olduğu, dışarıda kendisini saran çelik tüp olduğu, beton ve çeliğin bir araya gelerek büyük avantajlar sağladığı kolon çeşitlerinden biridir. Çelik tüp, beton çekirdeği sargılayarak basınç dayanımını ve sünekliğini artırır, yanal genişlemesini kısıtlar; beton çekirdek, çeliğin stabilitesini iyileştirir, içe doğru deformasyonunu kısıtlayarak yerel burkulma direncini artırır. Mekanik özellikleri bakımında birçok avantaj barındırmaktadır. Dünyanın pek çok farklı noktasında bu taşıyıcı sisteme sahip farklı türde yapılar bulunmaktadır. Köprü inşasındaki avantajlarından biri de çelik tüpün beton kalıp malzemesi gerektirmeden beton dökülmesini imkan sağlamasıdır, bu da yapım maliyetini azaltmaktadır. Kompozit kolonlar yangında dışarıdan müdahale gerektirmeden iki saate kadar dayanım kaybı olmadan direnebilmektedirler. Betonun ısı emici özelliği sayesinde çıplak çeliğe göre yangın performansı daha iyidir [8], [27].

2.1.2 Çelik Gömme Kompozit Kolon

Çelik gömme kompozit kolonlar yüksek rijitlik ve yük taşıma kapasiteleri nedeniyle yüksek katlı yapılarda, yeraltı yapılarında, büyük açıklık gerektiren otopark gibi yerlerde, köprü ayaklarında vb. yerlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Eksenel basınç kuvvetine maruz kalmış kesitin narinliği süneklik açısından sorun yaratabilir [28]. Çelik gömme kompozit kolonda çelik sünekliği sağlarken yerel burkulma sorunu da beton sayesinde engellenmiş oluyor. Çeliğin beton içerisine gömülü olması eksenel yük taşıma kapasitesini, eğilme dayanımı arttırdığı gibi yangın durumunda da çelik kolona göre çok daha fazla direnç göstermektedir.

2.1.3 Diğer Kompozit Kolon Elemanları

Kullanım amacına göre farklı geometrik şekillere sahip betonun, donatının ve çeliğin farklı kombinasyonlarından, içerisinde boşluk olup olmamasına bağlı, çeliğin kısmi veya tam gömülü olmasına bağlı, içerisindeki boşluğun geometrisine bağlı olarak oldukça farklı kompozit kolon elemanları taşıyıcı sistemlerde kullanılabilir. Daha önce Şekil 2.2’de gösterildiği literatürde sıklıkla rastlanan kompozit kolon elemanları gösterilmiştir.

2.2 Kompozit Taşıyıcı Sistem Kolon Elamanlarının

Boyutlandırılması

Kompozit taşıyıcı sistem elemanlarının tasarımı, boyutlandırılması ile ilgili farklı yönetmelikler bulunmaktadır. AISC, Eurocode 4 gibi yabancı yönetmelikler; TBDY 2018, ÇYTHYE 2016 gibi yerli yönetmeliklerimiz bulunmakta, kompozit taşıyıcı sistem elemanları boyutlandırılması ve hesapları hakkında bölümler bulunmaktadır. Bu bölümde çalışmalarımızda kullandığımız kompozit kolonların TBDY 2018 bölüm 9.11 ve ÇYTHYE 2016 bölüm 12’deki tasarım esasları açıklanmıştır.

2.2.1 Çelik Gömme Kompozit Kolonun Boyutlandırılması

TBDY 2018 [29] bölüm 9.11.3’teki süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çelik gömme kompozit kolon şartları aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

Düşey yük ve depremin ortak etkisi denklem (2.1) bağıntısından elde edilen en büyük değer aksel basınç kuvveti N_{dm} denklem (2.2) bağıntısındaki

$$1.2G+Q+0.2S \pm E_d \quad (2.1)$$

$$N_{dm} \leq 0.40P_{no} \quad (2.2)$$

şartı sağlamak zorundadır. Kompozit kolon kesitinin aksel basınç kuvveti dayanımı P_{no} denklem (2.3) ile elde edilecektir.

$$P_{no} = 0.85A_c f_{ck} + A_s F_y + A_{sr} F_{ysr} \quad (2.3)$$

Boyuna donatı enkesit alanı toplamı A_{sr} denklem (2.4)'teli koşulu sağlamak zorundadır.

$$0.01A_g < A_{sr} < 0.04A_g \quad (2.4)$$

Kolon sıklaştırma bölgelerinde etriyelerin çapı 10mm'den küçük olmamalıdır.

ÇYTHYE 2016 [25] bölüm 12'ye göre tasarım hesapları aşağıdaki gibi ifade edilmiştir. Betonun elastisite modülü E_c denklem (2.5)'e göre hesaplanacaktır.

$$E_c = 0.043w_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}} \quad (2.5)$$

Kompozit elemanı oluşturan malzemelerle ilgili 3 adet sınırlandırma aşağıdaki gibidir.

- 1) Betonun karakteristik basınç dayanımı f_{ck} , 20-70 MPa arasında olmalı
- 2) Donatı çeliğin akma sınırı F_{ysr} , 500 MPa'dan büyük olmamalıdır
- 3) Yapı çeliğinin akma sınırı F_y , 460 MPa'dan büyük olmamalıdır.

Eksenel kuvvet etkisinin sınır değerleri aşağıdaki gibidir

- a) Kompozit enkesitin alanının en az %1'i kadar yapısal çelik enkesit alanı olmalı
- b) Boyuna ve enine donatı kullanılmalıdır, etriye çapı minimum 10mm olmalıdır
- c) En kesitteki boyuna donatı alanı, A_{sr} en kesit alanı, A_g 'ye oranı denklem (2.6)'da ifade edildiği en az 0,004 oranında olmalıdır

$$\rho_{sr} = \frac{A_{sr}}{A_g} \geq 0,004 \quad (2.6)$$

- d) Boyuna donatı ile çelik arasındaki en yakın mesafe 40mm ve donatı çapının 1,5 katından büyük olmalıdır.

ÇYTHYE 2016 [25] bölüm 12.3.1.2 çerçevesinde basınç dayanımı, yük ve dayanım katsayıları ile tasarım basınç dayanımı, $\phi_c P_n$ ve güvenlik katsayıları ile tasarım güvenli basınç dayanımı, P_n / Ω_c

$$\phi_c = 0,75(YDKT) \text{ veya } \Omega_c = 2,00(GKT)$$

alınarak denklem (2.7) veya denklem (2.8)'e göre hesaplanması gerekmektedir.

$$a) \frac{P_{no}}{P_e} \leq 2.25 \quad \text{için} \quad P_n = P_{no} \left[0.0658 \frac{P_{no}}{P_e} \right] \quad (2.7)$$

$$b) \frac{P_{no}}{P_e} > 2.25 \quad \text{için} \quad P_n = 0.877 P_e \quad (2.8)$$

P_{no} denklem (2.9)'a göre hesaplanıp, elastik burkulma yükü, P_e denklem (2.10)'daki gibi hesaplanacak elastik burkulma yüküdür.

$$P_{no} = F_y A_s + F_{ysr} A_{sr} + 0.85 f_{ck} A_c \quad (2.9)$$

$$P_e = \pi^2 \frac{(EI)_e}{L_c^2} \quad (2.10)$$

Eleman burkulma boyu, L_c mesnetlenme koşuluna göre değişmektedir. Etkin rijitlik $(EI)_e$ denklem (2.11)'e göre hesaplanacak olup C_3 katsayısı denklem (2.12)'deki gibi elde edilecektir.

$$(EI)_c = E_s I_s + E_{sr} I_{sr} + C_1 E_c I_c \quad (2.11)$$

$$C_1 = 0.25 + 3 \left(\frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) \leq 0.7 \quad (2.12)$$

Karakteristik çekme kuvveti dayanımı ÇYTHYE 2016 [25] bölüm 12.3.1.3'e göre, P_n yük ve dayanım katsayıları ile tasarım çekme kuvveti dayanımı, $\phi_t P_n$ ve güvenlik katsayıları ile tasarım güvenli çekme kuvveti dayanımı, P_n / Ω_t

$$\phi_t = 0,90(YDKT) \text{ veya } \Omega_t = 1,67(GKT)$$

alınarak akma durumundaki değeri kabul edilerek denklem (2.13)'ye göre elde edilecektir.


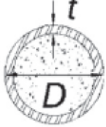
$$P_n = F_y A_s + F_{ysr} A_{sr} \quad (2.13)$$

2.2.2 Beton Dolgulu Kompozit Kolonun Boyutlandırılması

TBDY 2018 [29] bölüm 9.11.4'teki süneklik düzeyi yüksek moment aktaran beton dolgulu kompozit kolon şartları aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

Beton dolgulu kompozit kolonun narinlik oranı sınır değerleri Tablo 2.1'deki gibidir.

Tablo 2.1 Kompozit kolon en kesit koşulları [29].

	Eleman Tanımı	Narinlik Oranı	Sınır Değerler		Açıklama
			Süneklik Düzeyi Yüksek Elemanlar, λ_{hd}	Süneklik Düzeyi Sınırlı Elemanlar, λ_{md}	
Kompozit Elemanlar	Kutu enkesitli kompozit elemanların cidarları	b/t	$1.4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$2.26 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	Boru enkesitli kompozit elemanların cidarı	D/t	$0.076 \frac{E}{F_y}$	$0.15 \frac{E}{F_y}$	

Düşey yük ve depremin ortak etkisi denklem (2.14) bağıntısından elde edilen en büyük değer eksenel basınç kuvveti N_{dm} denklem (2.15) bağıntısındaki

$$1.2G+Q+0.2S \pm E_d \quad (2.14)$$

$$N_{dm} \leq 0.40P_{no} \quad (2.15)$$

şartı sağlamak zorundadır. Kompozit kolon kesitinin eksenel basınç kuvveti dayanımı P_{no} denklem (2.16) ile elde edilecektir.

$$P_{no} = 0.95A_c f_{ck} + A_s F_y + A_{sr} F_{ysr} \quad (2.16)$$

Boyuna donatı enkesit alanı toplamı A_{sr} denklem (2.17)'deki koşulu sağlamak zorundadır.

$$0.01A_g < A_{sr} < 0.04A_g \quad (2.17)$$

- Kolon sıklaştırma bölgelerinde etriyelerin çapı 10mm'den küçük olmamalıdır.
- Kompozit enkesitte en az kesitin %1'i kadar yapısal çelik olmalıdır

- c) Enkesitlerin genişlik/kalınlık bakımından sınır değerleri, λ_p Tablo 2.2'ye göre belirlenecektir.
- d) Kompozit olarak modellenen kesitlerde boyuna donatı kullanılması gerekli değil, kullanılması halinde enine donatıya dayanım hesabında ihtiyaç duyulmamaktadır.

Tablo 2.2 Eksenel basınç altında beton dolgulu kompozit elemanların narinlik oranlarının sınır değerleri[25].

Eleman	Genişlik/ Kalınlık Oranı	λ_p (Kompakt/ Kompakt Olmaya)	λ_r (Kompakt Olmayan / Narin)	Maksimum Sınır Değer
Üniform kalınlıklı kutu enkesitlerin cidarları	b/t	$2.26 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Boru enkesitli elemanlar	D/t	$0.15 \frac{E}{F_y}$	$0.19 \frac{E}{F_y}$	$0.31 \frac{E}{F_y}$

Basınç dayanımı için kompakt, kompakt olmayan ve narin enkesitlerin her biri için ayrı ayrı ÇYTHYE 2016 [25] 12.3.2.2'ye göre aşağıdaki formülasyonlarla elde edilmektedir.

- 1) Kompakt enkesitlerde basınç dayanımı denklem (2.19)'a göre elde edilmektedir.

$$P_{no} = P_p \quad (2.18)$$

$$P_p = F_y A_s + C_2 f_{ck} \left(A_c + A_{sr} \frac{E_{sr}}{E_c} \right) \quad (2.19)$$

Kutu ve boru enkesit için sırasıyla C_2 değerleri 0.85 ve 0.95 alınmalıdır.

- 2) Kompakt olmayan enkesitler için denklem (2.21)'e göre elde edilecektir.

$$P_{no} = P_p - \frac{(\lambda - \lambda_p)^2}{(\lambda_r - \lambda_p)^2} (P_p - P_y) \quad (2.21)$$

$$P_y = F_y A_s + 0.7 f_{ck} (A_c + A_{sr} \frac{E_{sr}}{E_c}) \quad (2.22)$$

3) Narin enkesitler için denklem (2.23)'e göre elde edilecektir.

$$P_{no} = F_{cr} A_s + 0.7 f_{ck} (A_c + A_{sr} \frac{E_{sr}}{E_c}) \quad (2.23)$$

Kutu ve boru enkesitler için kritik burkulma gerilmesi F_{cr} sırasıyla denklem (2.24) ve denklem (2.25)'e göre elde edilecektir.

$$F_{cr} = \frac{9E_s}{\left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad (2.24)$$

$$F_{cr} = \frac{0.72F_y}{\left[\left(\frac{D}{t}\right) \frac{F_y}{E_s}\right]^{0.2}} \quad (2.25)$$

Beton dolgulu kompozit elemanların etkin eğilme rijitliği denklem (2.26) ile, C_3 katsayısı denklem (2.27) ile elde edilecektir.

$$(EI)_e = E_s I_s + E_{sr} I_{sr} + C_3 E_c I_c \quad (2.26)$$

$$C_3 = 0.45 + 3 \left(\frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) \leq 0.9 \quad (2.27)$$

Karakteristik çekme kuvveti dayanımı, P_n yük ve dayanım katsayıları ile tasarım çekme kuvveti dayanımı, $\phi_t P_n$ ve güvenlik katsayıları ile tasarım güvenli çekme kuvveti dayanımı, P_n / Ω_t

$$\phi_t = 0,90(YDKT) \text{ veya } \Omega_t = 1,67(GKT)$$

alınarak akma durumundaki değeri kabul edilerek denklem (2.28)'e göre elde edilecektir.

$$P_n = F_y A_s + F_{ysr} A_{sr} \quad (2.28)$$

PATLAMA TEORİSİ VE PATLAMA ANALİZİ

Bu bölüm iki kısımdan oluşmaktadır. İlk bölümde patlama teorisinden, patlama ile ilgili parametreler, patlamayı nasıl tanımlayabileceğimizden alt başlıklar halinde ayrı ayrı bahsedilirken ikinci bölümde patlama analizi yapan programın çalışma prensibinden bahsedilmiştir.

Patlama sonucunda ortaya çıkan basınçları ifade edebilmek için son 70 yılda birçok ampirik formülasyon önerilmiştir. Brode [30] 1955'te, Newmark ve Hansen [31] 1961'de, Biggs [32] 1964'te, Henrych [33] 1979'da, Kingery ve Bulmash [34] 1984'te, Kinney ve Graham [35] 1985'te, Mills [36] 1987'de, Sadovski [37] 2004'te ortaya çıkan pik basınç ve patlama parametreleri ile ilgili ampirik formülasyonlar geliştirmiştir. Birçok araştırmacı tezlerinde ve yapmış oldukları çalışmalarda ampirik formülasyonlardan elde edilen sonuçları kendi arasında, ampirik formülasyonları bilgisayar programlarının sonuçlarıyla karşılaştırıp benzerlik ve farklılıkları ortaya koymuştur [38], [39].

Birden fazla noktada oluşan patlama basıncını öğrenebilme ihtiyacı ampirik formülasyonlarla hesap yapmayı zahmetli hale getirmiştir. Sonlu elemanlar yöntemine dayanarak patlama analizi yapabilmek için geliştirilen başlıca programlardan olan Autodyn [40] programı bu tez kapsamında analizlerde kullanılacaktır. Katı model ANSYS Workbench [41] programında oluşturulduktan sonra Autodyn programına aktarılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

3.1 Patlama Teorisi

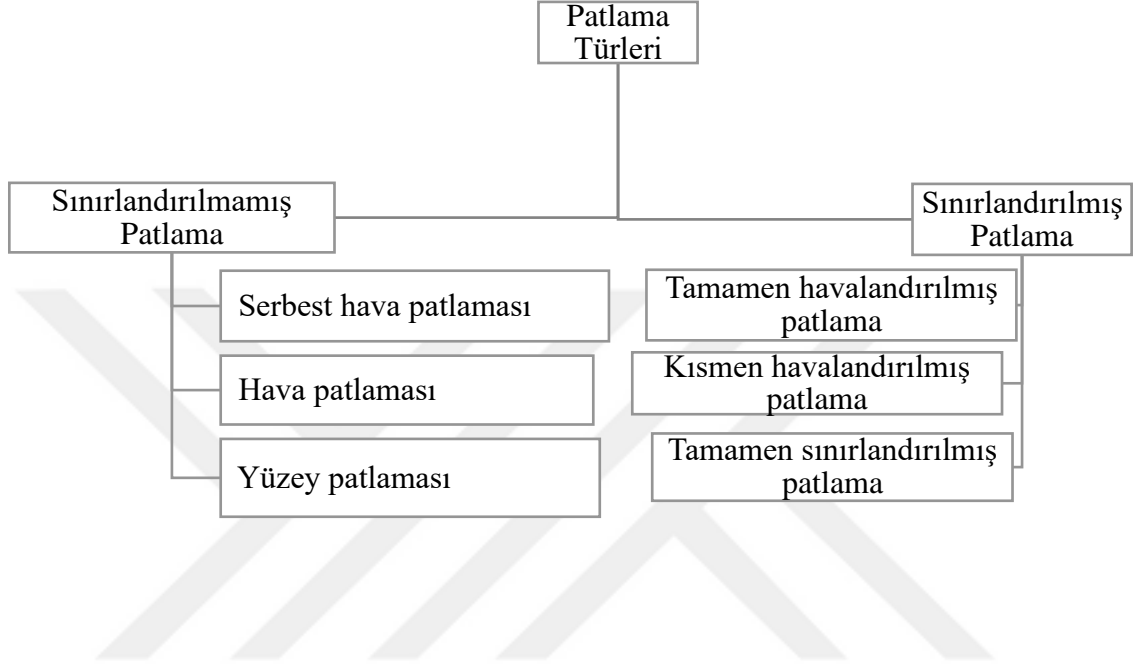
Patlama çok kısa süre içerisinde gerçekleşen ortaya yüksek miktarda ısı ve enerji çıkartan kimyasal bir reaksiyondur. Patlama sonucunda canlılarda ve yapılarda hasarın oluşup oluşmaması, hasarın büyüklüğü gibi patlamanın büyüklüğünü ifade eden parametreler patlayıcının cinsine, miktarına ve patlama ile nesne arasındaki mesafeye bağlıdır.

Patlama sonucu ortaya çıkan enerji havada küresel olarak gaz halinde yayılır ve büyüyerek her yöne dağılır. Küresel dalga büyüdükçe hızı ve etkisi azalır. Bu dalga yapıya ulaştığında şok etkisi yaratarak yapıya hasar verip göçmeye kadar götürebilir.

3.1.1 Patlama Türleri

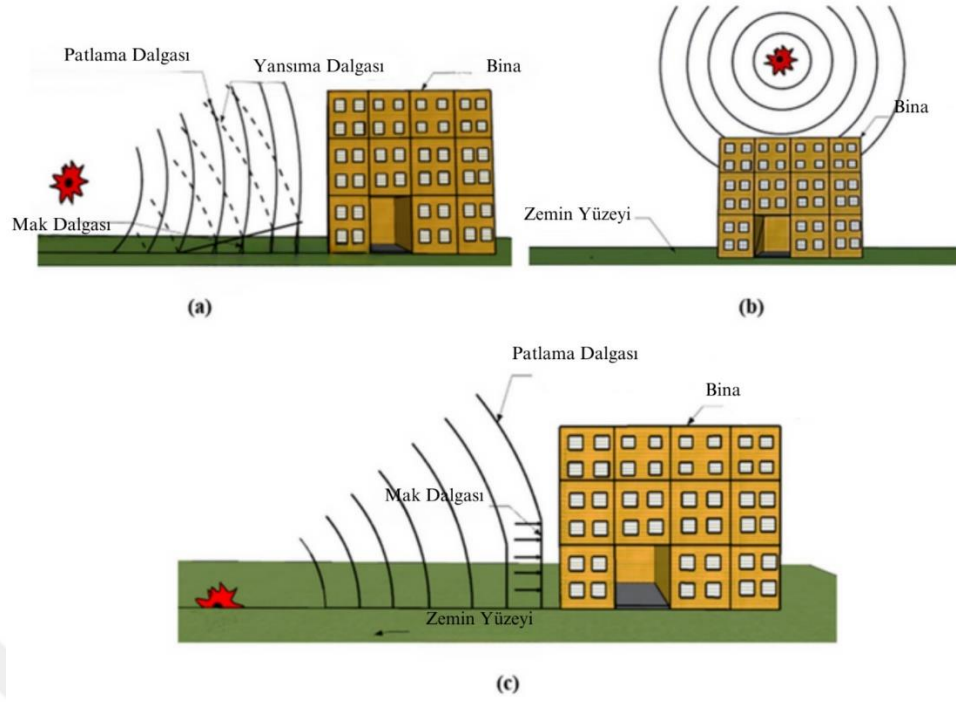
Patlama türleri Amerika Birleşik Devletleri Savunma Sanayisi tarafından geliştirilen UFC-340-02 [42] yönetmeliğine göre patlamalar Tablo 3.1'deki gibi gruplara ayrılmıştır.

Tablo 3.1 Patlama türlerinin sınıflandırılması



Sınırlanmamış patlama durumu patlayıcının şok dalgasının küresel dağılımını kısıtlayacak bir cismin içinde bulunmama, patlama anından sonra dalganın kısıtlanmadan küresel olarak dağılabileceği durumdur. Kendi içerisinde üç alt gruba ayrılır:

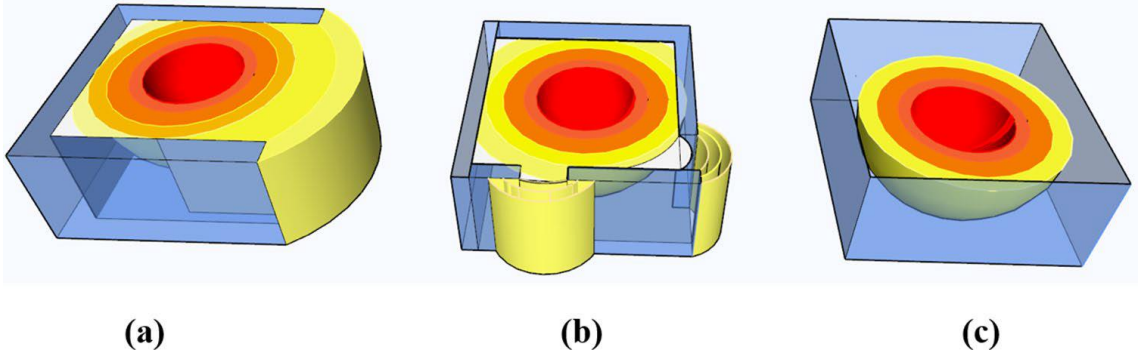
- 1) Serbest hava patlaması: Serbest ortamda gerçekleşen patlamada oluşan şok dalgalarının bir kısmının yer yüzeyinden sekerek (Şekil 3.1-a) devam ettiği patlama durumlarıdır.
- 2) Hava patlaması: Patlamanın yapının yukarısında gerçekleştiği durumdur. Şok dalgaları hiçbir yüzeyden yansımada (Şekil 3.1-b) direkt yapıya etki eder.
- 3) Yüzey patlaması: Patlamanın yapının dışında yüzey (Şekil 3.1-c) mesafesinde gerçekleştiği durumdur.



Şekil 3.1 Sınırlanmamış patlama türleri a) serbest hava patlaması b) hava patlaması c) yüzey patlaması [43]

Sınırlanmış patlamada ise patlayıcı madde, oluşacak şok dalgalarının tam küresel bir şekilde oluşunu kısıtlayacak durumu ifade eder. Kendi içerisinde üç gruba ayrılır.

- 1) Tamamen havalandırılmış patlama: Patlayıcının oluşturduğu şok dalgasının hareketinin kısıtlanmış olduğu, en az bir yüzeyinin (Şekil 3.2-a) atmosfere açık olduğu durumdur. Bu durum patlayıcının bir yüzeyi açık rijit bir cisim içerisinde olacağı gibi istinat duvarı, beton bariyer gibi yapılardan dolayı hareketin kısmen sınırlandırıldığı durumdur.
- 2) Kısmen havalandırılmış patlama: Oluşacak şok dalgasının çok küçük bir kısmının (Şekil 3.2-b) atmosfere ulaşabileceği patlama durumudur. Bodrum katta gerçekleşen patlamanın sadece pencerelerden dışarı çıkabileceği durum örnek verilebilir.
- 3) Tamamen sınırlandırılmış patlama: Şok dalgalarının bariyerlerle sınırlandırıldığı (Şekil 3.2-c) durumdur. Silo içerisinde veya nükleer tesislerde meydana gelen patlamalar örnek verilebilir. Sadece yakınındaki yapılarda şok dalgası hissedilir.



Şekil 3.2 Sınırlandırılmış patlama durumu a)tamamen havalandırılmış patlama b)kısmen havalandırılmış patlama c)tamamen sınırlandırılmış patlama [43]

Bu altı patlama senaryosu içerisinde en sık gerçekleşen ilk durumdur. İkinci patlama senaryosu yapının yukarısında patlayıcı madde olması durumu savunma sanayilerinde, askeri tesislerde gerçekleşebilir. Üçüncü durumdaki senaryo yine savunma sanayi veya askeri tesislerde kazara meydana gelecek patlama durumudur. Son üç durum ise patlayıcı madde üreten tesislerde veya patlayıcı madde taşınırken meydana gelebilecek durumlardır [42].

3.1.2 TNT Eş Değeri

Patlayıcı miktarının anlaşılır olabilmesi, formüle dayalı hesaplamalarda kıyaslanabilir sonuç verebilmesi için TNT eşdeğeri tanımı literatürde kabul görmektedir. Deneysel çalışmalardan elde edilerek geliştirilmiş abaklarda, bir sonraki bölümde anlatılacak olan ölçeklendirilmiş mesafe ve TNT eş değerinden yararlanarak gerçekleşen patlama durumuyla ilgili birçok parametre elde edilebiliyor. Patlama analizlerinde en sık kullanılan patlayıcı türü TNT olmasıyla birlikte gündelik hayatta en sık bilinen patlayıcı olan C-4 %91'i RDX olan bir kompozit patlayıcıdır. W_E etkili patlayıcı kütlesi olmak üzere, H_{EXP}^d kullanılan patlayıcının birim kütledeki ısı enerjisinin, H_{TNT}^d TNT'nin birim kütledeki ısı enerjisine oranının, W_{EXP} patlayıcı kütlesine çarpımıyla denklem 3.1'deki gibi elde edilir.

$$W_E = \frac{H_{EXP}^d}{H_{TNT}^d} W_{EXP} \quad (3.1)$$

Literatürde yaygın olarak kullanılan patlayıcıların genel bilgileri Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Patlayıcıların açığa çıkardığı enerji ve TNT eşdeğerleri [44]

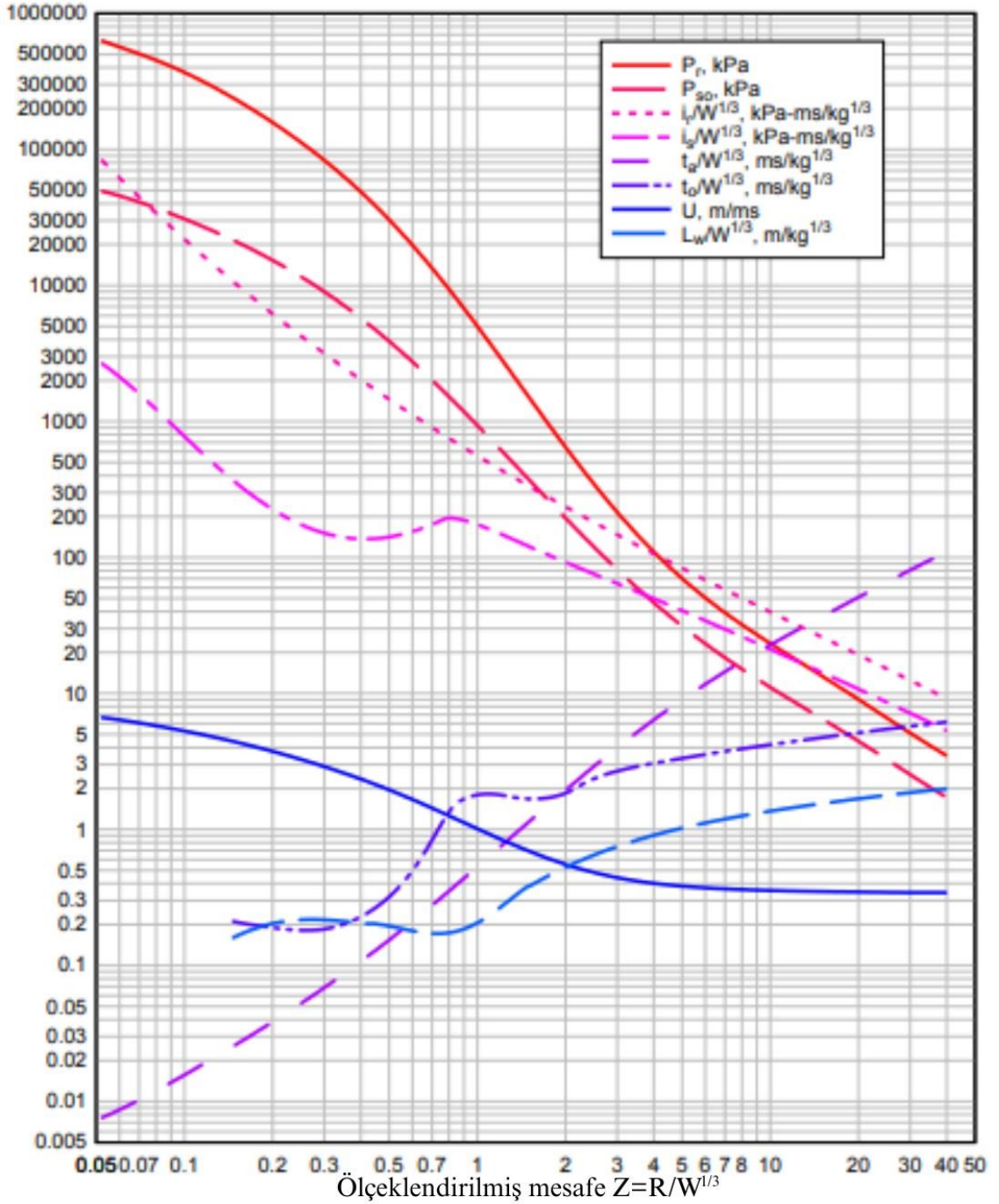
Kısaltması	Patlayıcı	Açığa Çıkan Enerji Q_x (kJ/kg)	TNT Eşdeğeri (Q_x/Q_{TNT})
TNT	Trinitrotoluen	4520	1
RDX	Cyclonit	5360	1,19
TNP	Pikrik asit	4180	0,92
PETN	Pentaeritritol tetranitrat	5800	1,28
HMX	Siklotetrametilen tetranitramin	5680	1,26
C-4	91% RDX 9% plastikleştirici	4870	1,08
Tetrit		4520	1
NG	Nitrogliserin (sıvı)	6700	1,48

3.1.3 Ölçeklendirilmiş Mesafe

Patlamada en önemli parametreler patlayıcı miktarı (W) ve patlayıcı ile yapı arasındaki mesafe (R) olduğu için patlamada ortaya çıkacak enerji, saldırı senaryosundaki patlayıcı miktarı ve aradaki mesafeye bağlıdır. Bu iki parametre arasındaki bağıntıdan geliştirilmiş ölçeklendirilmiş mesafe (Z) denklem 3.2'deki bağıntı ile ifade edilmektedir.

$$Z = \frac{R}{W^{1/3}} \quad (3.2)$$

Patlama senaryosunda meydana gelebilecek durumlardaki patlayıcı miktarı sırt çantası, sedan araba, kamyon vb. olmak üzere taşınabilecek patlayıcı miktarı aşağı yukarı belli olduğu için ve yapı ve patlayıcı arasındaki mesafe tespit edilebildiği için ölçeklendirilmiş mesafe ile geliştirilen abaklar, grafikler ortaya çıkan basınçlar ve ampirik formülasyonlarda kullanılacak parametreleri hızlı bir şekilde tespit etmeyi sağlar. Şekil 3.3'te UFC 3-340 [42] tarafından geliştirilen ölçeklendirilmiş mesafe ile ampirik formülasyonlarda kullanılan parametreler arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Serbest hava patlaması, ölçeklendiril mesafe ile patlama parametreleri arasındaki ilişki [42]

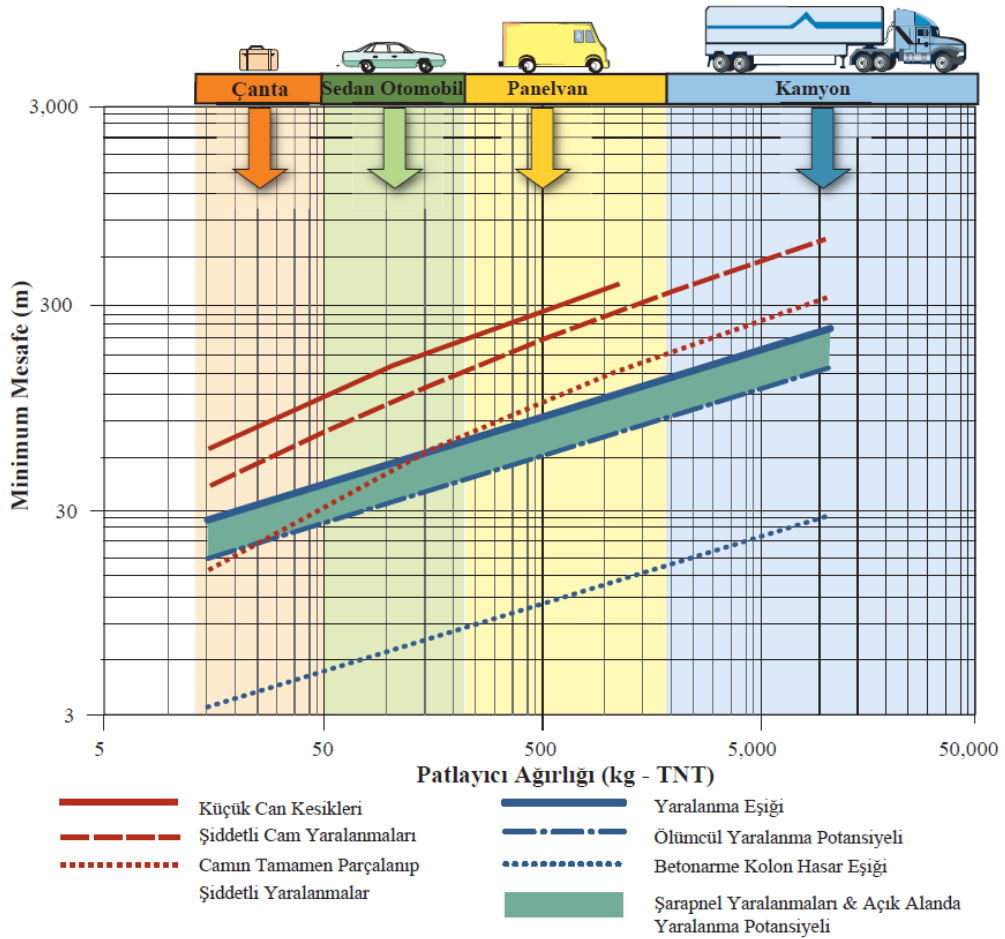
3.1.4 Patlama Basıncının İnsan Üzerindeki Etkisi

Patlamadan dolayı ortaya çıkan basınç insan üzerinde kalıcı daha da ilerisi ölümcül hasarlara sebep olabilir. Patlama basıncının insanın vücuduna etki süresi ve basınç miktarı gibi patlayıcı parametrelerine bağlı olduğu gibi patlamaya maruz kalan bireyin yaşı, kilosu, cinsiyeti, patlama anındaki vücudunun pozisyonu da hasar seviyesini belirlemede önemli parametrelerdendir.

Tablo 3.3 İnsanlarda kısa süreli (3-5 ms) patlama dalgasının etki eşiği [42]

Kritik Organ veya Olay	Maksimum Etkili Basıncı (Mpa)
Kulak Zarı Yırtılması	
Eşik Değeri	0,035
%50 olasılığı	0,1
Akciğer Hasarı	
Eşik Değeri	2 - 2,7
%50 olasılığı	5,4 ve üzeri
Öldürücülük	
Eşik Değeri	6,8 - 8,2
%50 olasılığı	8,8 - 12,2
%100 olasılığı	13,6 - 17

Patlayıcı miktarı ve patlama mesafesi arasındaki ilişkinin canlılar ve nesnelere üzerindeki etkisini tahmin edebilmek için tavsiye niteliğinde çalışmalar bulunmaktadır. Şekil 3.4'te FEMA tarafından geliştirilen grafik ile Mesafe Etki Diyagramı gösterilmiştir.



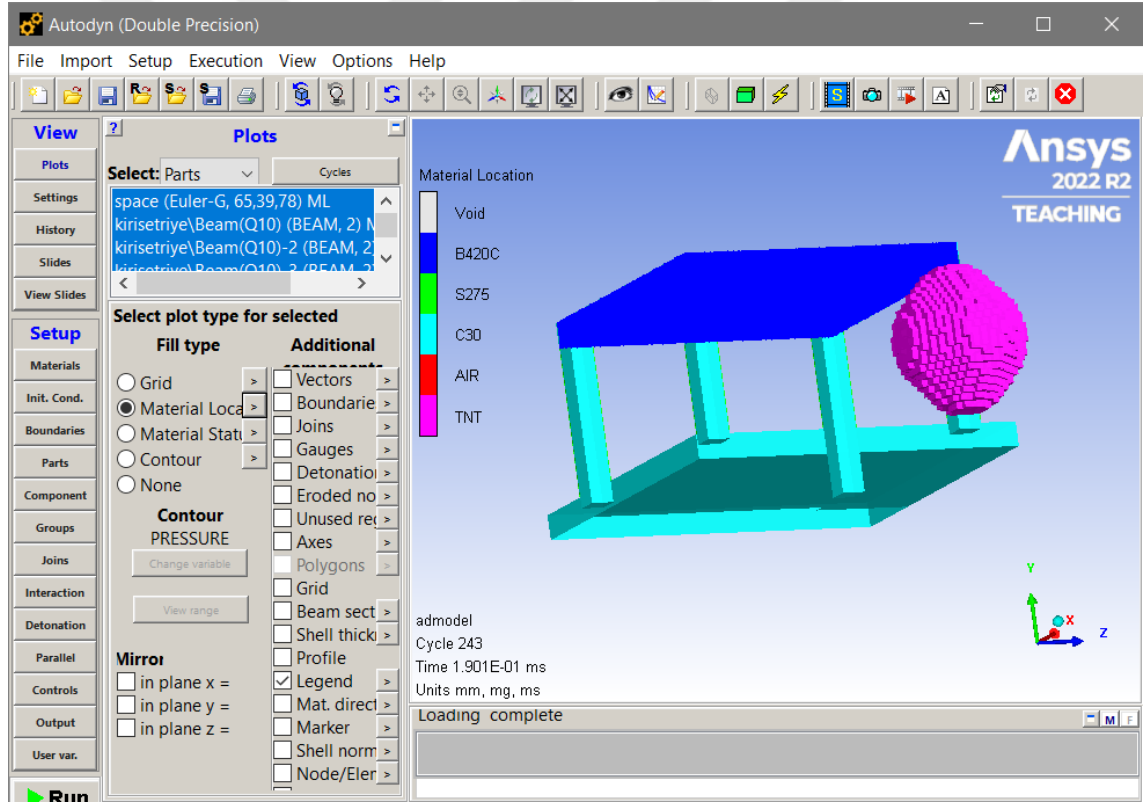
Şekil 3.4 Mesafe etki diyagramı [45]

3.2 Patlama Analizi

3.2.1 Sayısal Modelleme

AUTODYN programı katıların, akışkanların ve gazların doğrusal olmayan denklemlerini çözebilmek için geliştirilmiş sonlu elemanlar, sonlu farklar ve sonlu hacimler teorilerine dayanan bir yazılımdır. Hidrokod olarak adlandırılan bu tarz programlar problemi zamana bağlı olarak hem malzemenin doğrusal olmayışını hem de geometrinin doğrusal olmayışını dikkate alarak analizi gerçekleştirir. AUTODYN birçok metodolojiyi bir arada kullanarak farklı fiziksel durumdaki modellerin bir arada çalışıp etkileşime geçmesini sağlar [40].

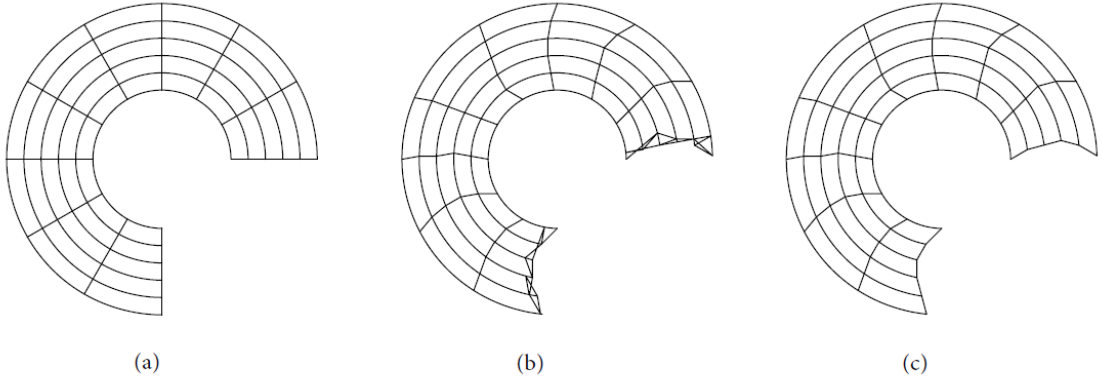
Bu tez çalışmasında patlama analizlerinin gerçekleştirildiği AUTODYN programı versiyon 2022 R2 Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Patlama analizlerinin yapıldığı ANSYS AUTODYN programı

3.2.2 Mesh (Ağ) Çalışması

Sonlu elemanlarda modelinin küçük parçalara ayrılmasına mesh işlemi adı verilir. Geometrik model büyük mesh boyutları ile sonlu elemanlara ayrılırsa analiz süresi kısılacığı gibi gerçek sonuçtan da uzaklaşacaktır, aynı şekilde mesh boyutu küçüldükçe oluşturulan sonlu eleman parçası sayısı artacağı için daha doğru sonuca yaklaşmakla birlikte analiz süresi de artacaktır. Analiz esnasında mesh yapılmış bölgelerde bölgesel mesh deformasyonu ilerler ise analiz durdurulabilir. ANSYS bu sorunu aşarak yapılan mesh zaman adımları içerisinde deforme olursa ve bu deformasyon kabul edilebilir sınırlar içerisinde ise başka bir deyişle deformasyon limit değeri aşmamışsa program otomatik olarak yeniden bölgelendirme (rezoning) yaparak analizin doğru bir şekilde devam etmesini sağlar. Şekil 3.6-a) analizden önceki mesh yapısı, Şekil 3.6-b) analizin $t=t_1$ anındaki deforme olmuş mesh yapısı, Şekil 3.6-c) yeniden bölgelendirme yapılmış mesh yapısı gösterilmektedir. Mesh yapısı içerisindeki bu bozulma limit değerinin üzerinde ise erozyon olarak adlandırılan meshin silinmesi durumuna maruz kalır [40].



Şekil 3.6 a) $t=0$ anında mesh yapısı, b) $t=t_1$ anında deforme olmuş mesh yapısı c) yeniden bölgelendir yapılmış mesh yapısı

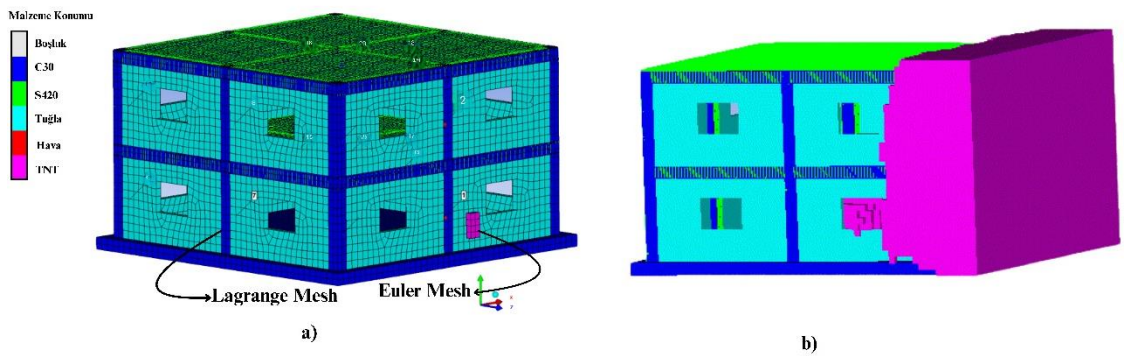
3.2.3 Malzeme Modelleri

Analiz sonuçlarının gerçeği yansıtabilmesi için malzeme modellerinin gerçeğe yakınlığı büyük öneme sahiptir. Autodyn'da betonu modellerken çarpma ve patlama analizlerinde gevrek malzemedeki çatlakları gerçekçi bir şekilde yansıtan Riedel-Hiermaier-Thoma (RHT) beton modeli, kırılma kriteri RHT Concrete, çekme kırılması olarakta Principle Stress; yapısal çelik ve donatı çeliği için Johnson-Cook malzeme modeli, kırılma kriteri olarak Plastic Strain; Trinitrotoluen (TNT) patlayıcı için Jones-Wilkens-Lee (JWL) denklemi tercih edildi [18], [21], [22], [46].

3.2.4 Lagrange ve Euler Yöntemleri

ANSYS yazılımı problem türüne göre farklı problem çözme yöntemlerine sahiptir. Lagrange yöntemi, Euler yöntemi, ALE yöntemi, SPH yöntemi başlıca başvurulan yöntemlerdendir. Problem çözümünde beton, donatı, çelik gibi katı modeller için Lagrange yönteminden yararlanır. Kütle, enerji ve momentumun korunumu prensibine dayanır, Lagrange mesh yapısından faydalanır. Lagrange mesh yapısı içerisinde geometri şekil değiştirebilir ama hücrenin dışına çıkamaz. Bölüm 3.2.2’de bahsedildiği gibi mesh geometrisi çok büyük yer değiştirmeler yaparsa yeniden bölgeleme ile işlem hatalarının önüne geçilmiş olur.

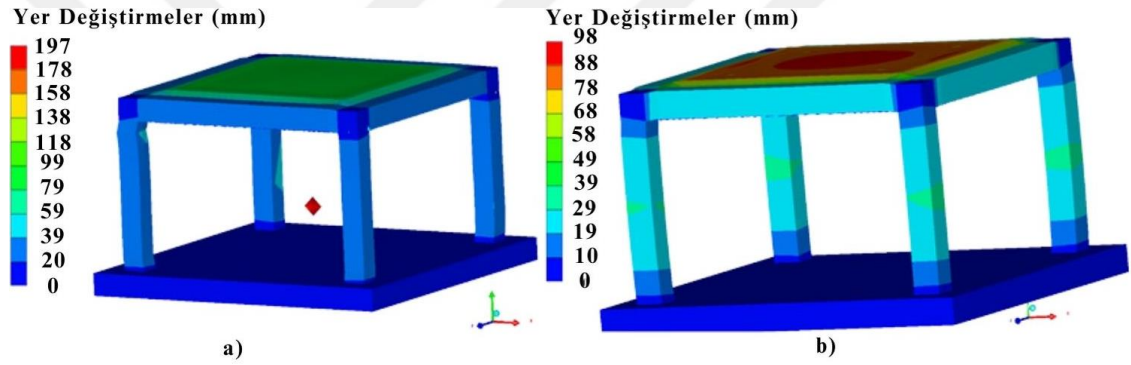
Patlayıcı, sıvı, hava gibi akışkan problemler için Euler yönteminden, Euler mesh yapısından faydalanılır. Euler mesh geometrisinde parçacık mesh yapıları içerisinde hareket edebilir fakat mesh geometrisi yerinde sabit kalır. Patlayıcının ve hava akımının hareket edip sonlu elemanlara etkimesi buna örnek verilebilir. Bu tez çalışmasında Lagrange ve Euler teorilerinin bir arada kullanıp havanın ve patlayıcının katı modele etkimesi için Autodyn programı içerisinde birleşik (Coupled) Lagrange-Euler etkileşiminden faydalanıldı. Şekil 3.7’de Lagran-Euler etkileşimi gösterilmektedir. Şekil 3.7-a t=0 sn konumundaki Lagrange ve Euler mesh yapıları gösterilmektedir. t=t sn anındaki konumu Şekil 3.7-b’de gösterilen katı elemanların (beton, donatı, tuğla) kendi Lagrange mesh yapısı içerisinde şekil değiştirdiği, akışkanların (TNT ve hava) ise kendi Euler mesh yapısı içerisinde hücreden hücreye hareket ettiği görülmektedir.



Şekil 3.7 Lagrange-Euler mesh yapısı a) t=0 ms anı, b) t=t ms anı

SAYISAL UYGULAMALAR

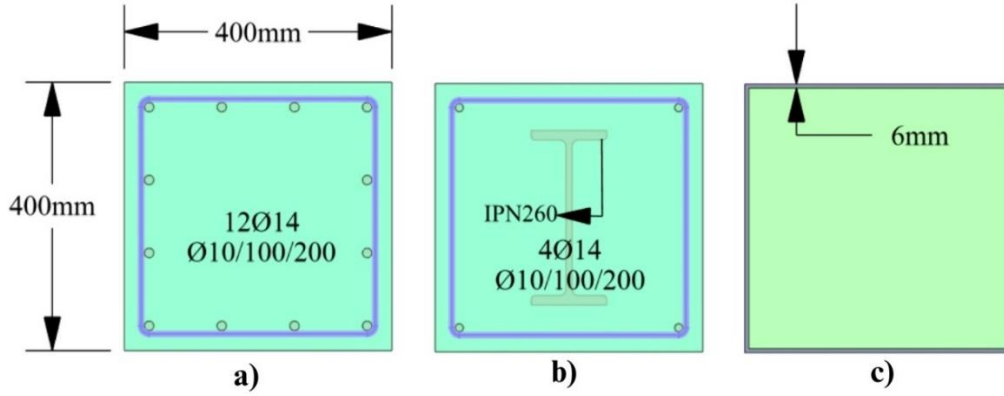
Tez kapsamında taşıyıcı sistemin patlama performansına etkisinin olup olmadığını anlayabilmek için basitleştirilmiş bir ön çalışma gerçekleştirilmiştir. Tek katlı tek açıklıklı betonarme taşıyıcı sistem (Şekil 4.1-a) ve kolonları ilgili yönetmeliklerin minimum koşullarına göre değiştirilmiş beton dolgulu çelik tüp kompozit taşıyıcı sistem (Şekil 4.1-b) tasarlanmıştır. Eşit patlayıcı miktarı ve eşit mesafeden patlamaya maruz kaldığında Şekil 4.1'deki gibi iki taşıyıcı sistemde yer değiştirmeler arasındaki farklılık olduğu gözlemlenmiştir. Bu ön çalışmada gözlemlenen farklılığın sebeplerinin detaylı incelenmesi için ilerleyen bölümlerde iki katlı iki açıklıklı gerçek bina modelleri üzerinden analizler yapılmıştır.



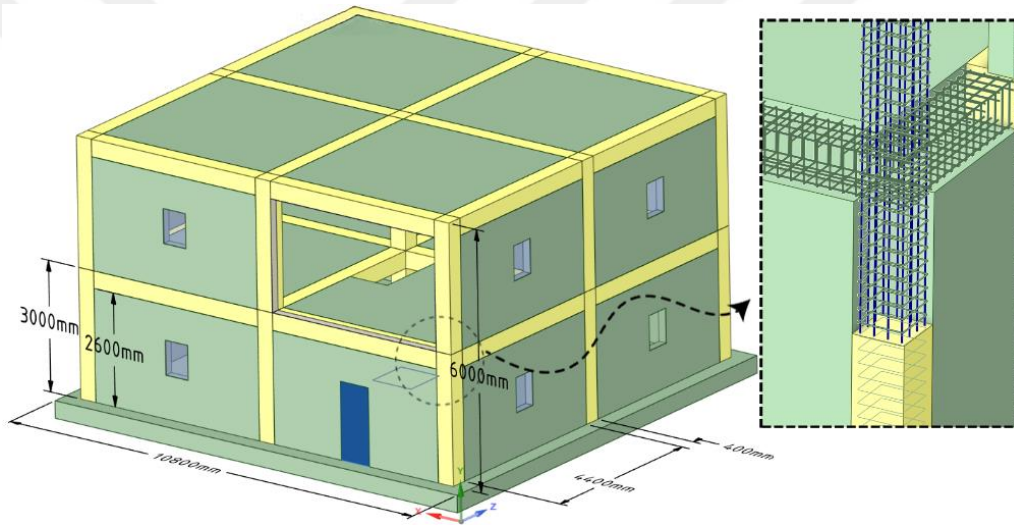
Şekil 4.1 Taşıyıcı sistem – patlama yer değiştirme ilişkisi a) betonarme b) kompozit

Betonarme çerçeve taşıyıcı sistem (Rc), kolonları betonarme ve çelik gömme kompozit olan kompozit taşıyıcı sistem (Ces) ve kolonları beton dolgulu çelik tüplü kompozit taşıyıcı sistem (Cfst) olmak üzere 3 farklı taşıyıcı sistemin patlama performansları incelenmiştir. Bina modelleri tanımlanırken betonarme taşıyıcı sistem için Rc (reinforced concrete structural system), betonarme çelik gömme kompozit için Ces (concrete encased steel column system), beton dolgulu çelik tüp için Cfst (concrete filled steel tube column system) kısaltmaları literatürde olduğu gibi bu tez kapsamında da bu şekilde kullanılacaktır. Tipik bir betonarme bina modeli (Rc) olan iki katlı, iki açıklıklı yapı TBDY 2018'e göre tasarlanıp boyutları Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Kolon elemanları TBDY 2018 bölüm 9.11 ve ÇYTHYE 2016 bölüm 12'ye göre değiştirilip betonarme çelik gömme kompozit taşıyıcı sisteme sahip yapı (Ces) ve kolon detayı şekil 4.4'te, kolonların beton dolgulu çelik tüp kompozit taşıyıcı sisteme sahip yapı (Cfst) ve kolon detayı şekil 4.5'te

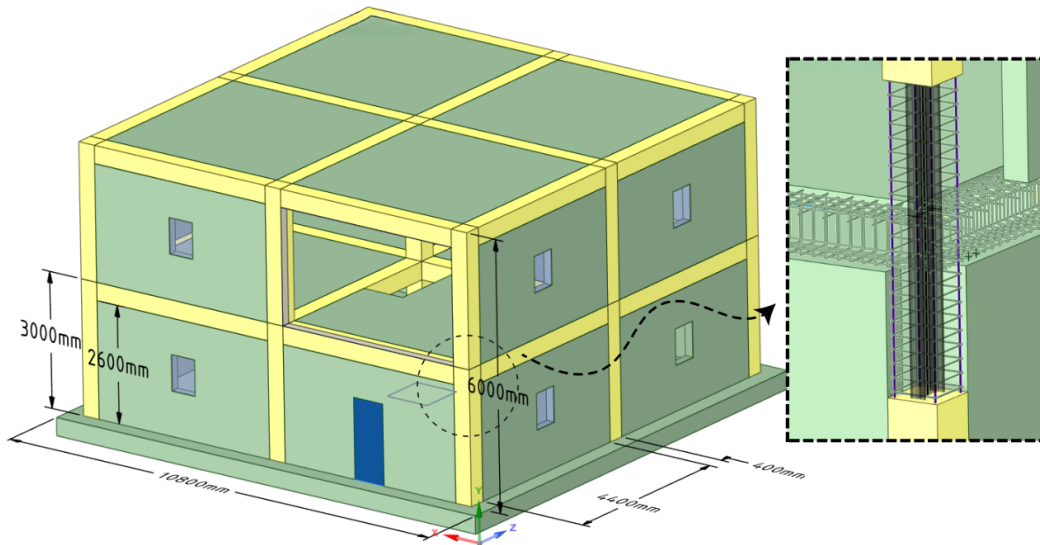
gösterilmiştir. Şekil 4.2’de Rc, Ces ve Cfst taşıyıcı sistemin kolon donatı detayı gösterilmiştir. Kiriş donatıları ortak olup şekil 4.6’daki gibidir.



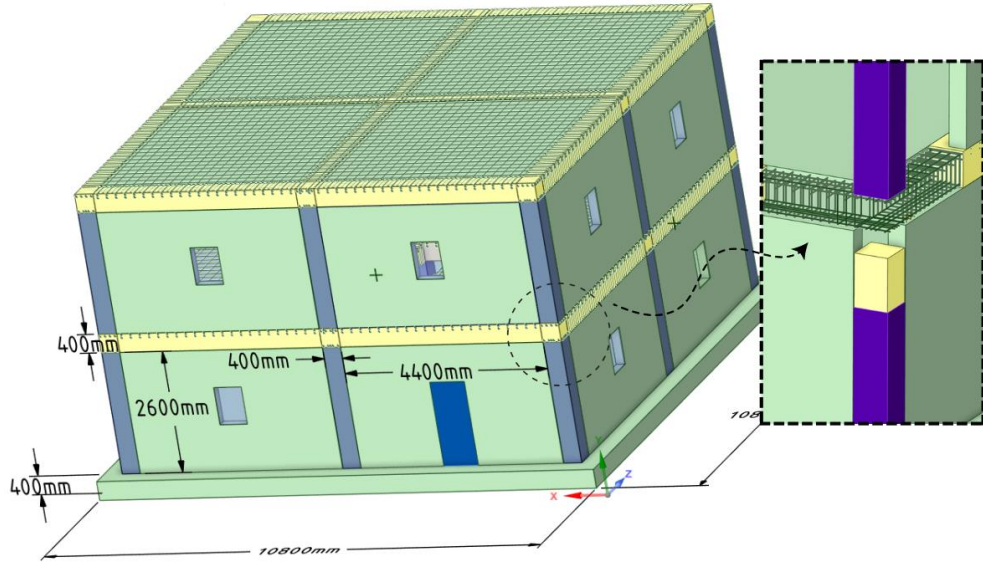
Şekil 4. 2 a) Rc kolon, b) Ces kolon, c) Cfst kolon



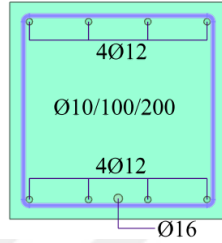
Şekil 4. 3 Rc sayısal model ve kolon detayı



Şekil 4. 4 Ces sayısal model ve kolon detayı



Şekil 4. 5 Cfst sayısal model ve kolon detayı



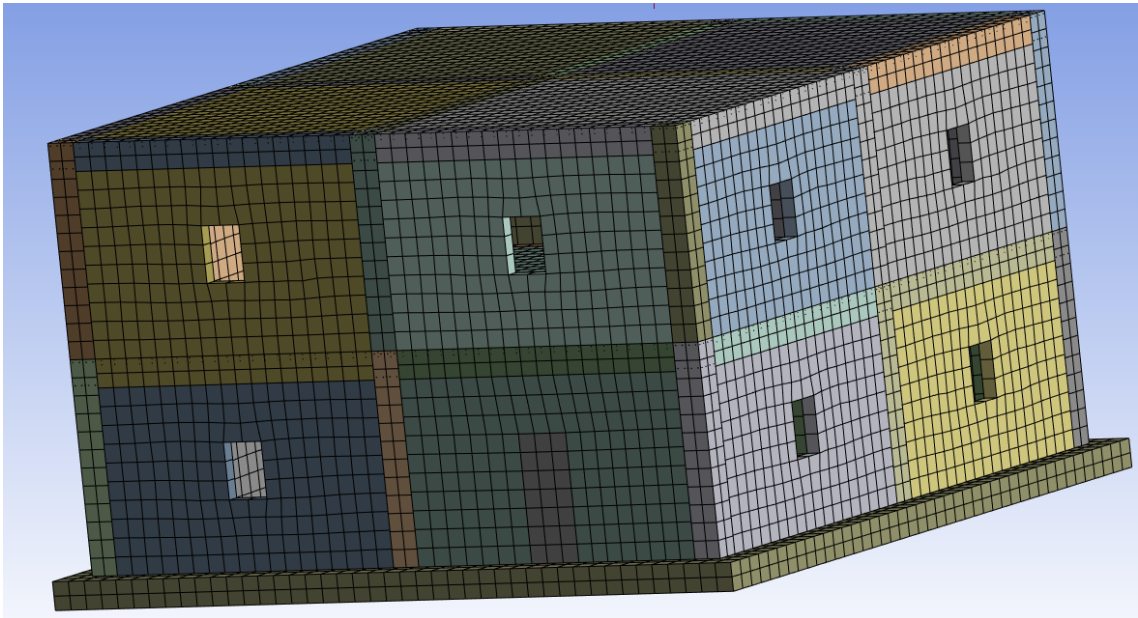
Şekil 4. 6 Kiriş donatı detayı

Modeller ANSYS Workbench'te modellenirken donatılar ve çelik gömme kompozitteki IPN260 yapı çeliği çubuk eleman olarak, beton dolgulu çelik gömme kolonun yapısal 6 mm et kalınlığındaki dikdörtgen kutu kesiti kabuk eleman olarak, beton modellerin tamamı katı eleman olarak modellendi. Malzemeler tanımlanırken ANSYS'in malzeme kütüphanesinden explicit malzeme bölümünden beton, çelik, yapı çeliği seçilip modifiye edildi. Beton modeli için literatürde patlama analizlerinde sıklıkla tercih edilen RHT beton modeli, kırılma kriteri RHT Concrete, çekme kırılması olarakta Principle Stress; yapısal çelik ve donatı çeliği için Johnson-Cook malzeme modeli, kırılma kriteri olarak Plastic strain tercih edildi [18], [21], [22], [46]. Kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 4.1'deki gibidir.

Tablo 4.1 Malzemelerin mekanik özellikleri

Malzeme	Malzeme Türü	Özgül Ağırlık (kN/m ³)	Elastisite Modülü (MPa)	Karakteristik Basınç Dayanımı (kN/m ²)	Karakteristik Çekme Dayanımı (kN/m ²)
Beton	C30	23,54	3,2x10 ³	3,0x10 ⁴	1,9 x10 ³
Donatı	S420	76,81	2,0x10 ⁵	4,2x10 ⁵	4,20x10 ⁵
Yapısal Çelik	S355	76,81	2,0x10 ⁵	3,6x10 ⁵	3,55x10 ⁵
Duvar	Tuğla	6,87	2,8x10 ³	5x10 ³	3,0x10 ²
Hava	Hava	0,01	-	-	-
Patlayıcı	TNT	15,99	-	-	-

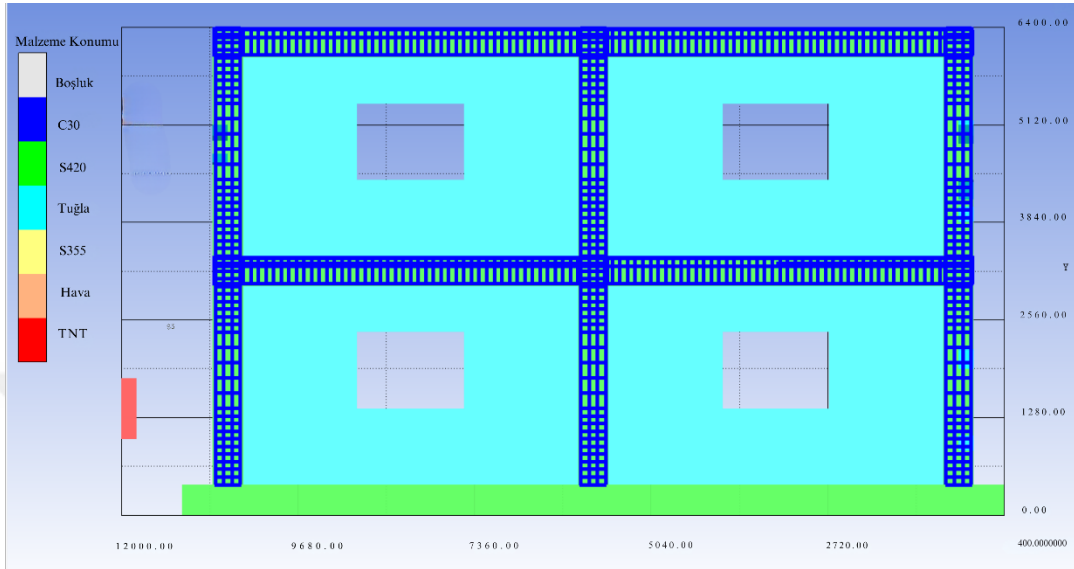
Beton sınıfı olarak C30, donatılar için S420 donatı sınıfı, yapısal çelik için S355 yapı tercih edildi. Kolon ve kiriş boyutları 40 cm x 40 cm olup döşeme kalınlığı 12 cm'dir. Temel kalınlığı 40 cm olup yapının zemine sabit mesnet temsili için konulmuştur. Katı modele uygulanan Lagrange mesh uzunluğu mesh yakınsama çalışması sonucunda 25 cm olmasına karar verilmiştir. Daha düşük mesh uzunlukları daha doğru sonuçlar verebileceği gibi analiz süresini çok fazla uzatacağından ideal mesh boyutunu belirlemek için literatürde olduğu gibi yapının frekans değişiminin kabul edilebilir değerler içerisinde değişimin stabile yakın olduğu mesh uzunluk değeri kabul edildi. Katı modelin 25 cm Lagrange mesh uzunluğu Şekil 4.7'deki gibi gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Katı model için Lagrange meshin gösterilmesi

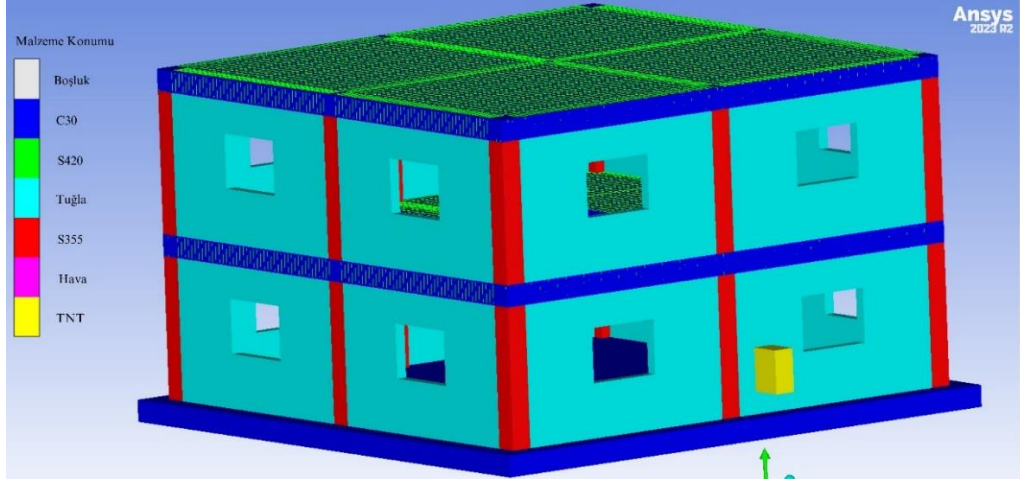
Patlama türleri bölüm 3.1.1.'de bahsedildiği gibi sınırlandırılmamış hava patlaması ve sınırlandırılmış kısmen havalandırılmış patlama olmak üzere iki farklı türde patlama gerçekleştirilmiştir. Sınırlandırılmamış hava patlamasında TNT yerden 120 cm

yükseklikte ve kolonun 100 cm uzağında konumlandırılmıştır. Günümüzdeki yapıların büyük çoğunluğunun yola uzaklığı bu mesafenin üzerinde olsa da en istenmeyen durumun etkisini anlayabilmek için bu mesafe seçilmiştir. Kullanılan malzemeler ve patlayıcı konumunun yandan görünüşü Şekil 4.8'deki gibidir.



Şekil 4. 8 Kullanılan malzeme ve patlayıcı konumunun yandan görünüşü

Meydana gelen patlamalardan görüldüğü üzere patlama yapının dışında gerçekleşebildiği gibi kazara veya terör saldırısı sonucu yapının içerisinde de gerçekleşebiliyor. Bu taşıyıcı sistemlerin hem dış patlama hem de iç patlama davranışını, dayanım farkını gözlemleyebilmek için her üç taşıyıcı sistem için üç farklı patlayıcı miktarıyla toplamda dokuz farklı patlama analizi gerçekleştirildi. Sınırlanmamış hava patlamasında patlayıcı miktarı seçilirken Şekil 3.4 dikkate alınmış olup sedan tipi arabayla taşınabilecek patlayıcı miktarı olan 100 kg, 200 kg ve 300 kg patlayıcı seçildi. Sınırlanmış kısmen havalandırılmış patlama senaryosu için valizle, el çantasıyla taşınabilecek miktar olan 100 kg, 50 kg ve 25 kg patlayıcı miktarı tercih edildi. Sınırlanmamış hava patlamasında patlayıcı, ortadaki kolon aksı hizasında yerleştirilmiş olup beton dolgulu çelik gömme kompozit taşıyıcı sistemin üç boyutlu görünümü Şekil 4.9'daki gibidir.



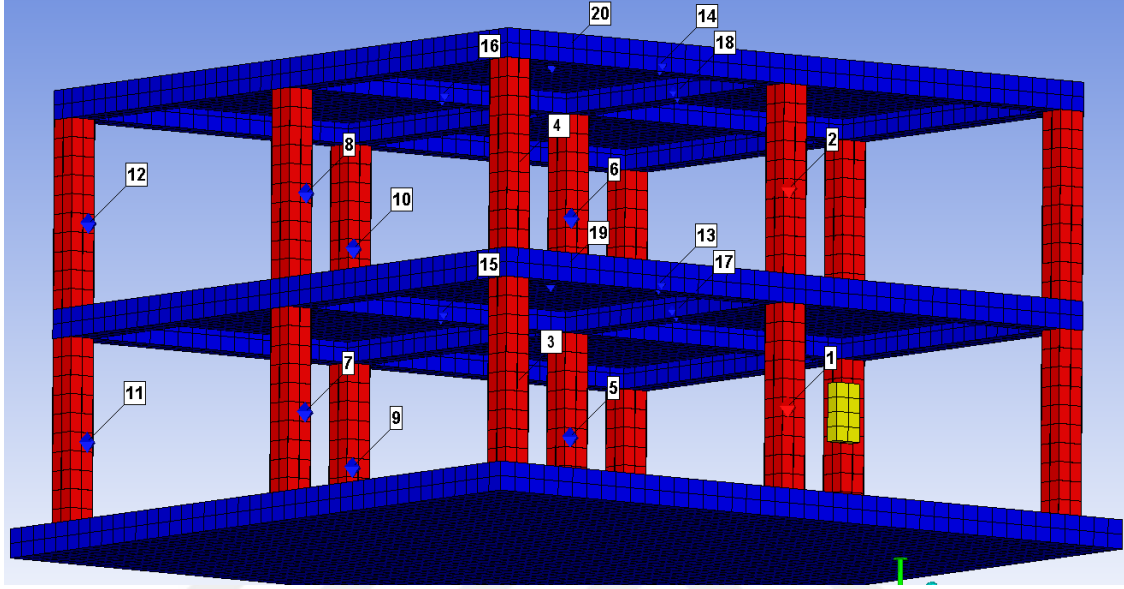
Şekil 4. 9 Beton dolgulu çelik gömme kompozit taşıyıcı sistemin malzeme konumunu üç boyutlu görüntüsü

Her üç taşıyıcı sistem için 25 kg, 50 kg, 100 kg olmak üzere 3 adet iç patlama, 100 kg, 200 kg, 300 kg olmak üzere 3 adette dış patlama olmak üzere toplam 18 farklı patlama analizi yapılmıştır. Analiz süresi 5 ms seçilmiştir. Pik basınçların 3 ms civarında oluştuğu düşünülürse yeterli bir süredir. Analiz süresi daha uzun seçilip hasar dağılımı gözlemlenebileceği gibi analiz süresini de uzatacağından 5 ms uzunluğun yeterli olacağı düşünülmüştür. İlerleyen bölümlerde patlama süresi seçimindeki kabullerden bahsedilmiştir.

Akışkanlar (hava ve TNT) için Autodyn programında Euler mesh uzunluğu 20 cm olacak şekilde ayarlandı. Analizlerin doğruluğu açısından Euler mesh uzunluğunun Lagrange mesh uzunluğundan küçük olması tavsiye edilir. Oluşturulan içerisine atmosfer basıncı tanımlanan hava akımı x, y, z doğrultularında 11600 mm x 6800 mm x 12400 mm uzunluğunda olup 122 264 birim hücreden oluşmakta. TNT'nin özgül ağırlığı $1,63 \text{ gr/cm}^3$ olduğundan 20 cm x 20 cm x 20 cm'lik her bir hücre yaklaşık 13 kg TNT'ye denk gelmektedir. İç patlamalarda 100 kg TNT için 8, 50 kg TNT için 4, 25 kg TNT için 2 hücre patlayıcı olarak tanımlandı. Benzer şekilde dış patlamalar için de 100 kg TNT tanımı için 8, 200 kg TNT tanımı için 16, 300 kg TNT tanımı için 24 hücre patlayıcı olarak tanımlandı. Patlayıcıların tutuşma noktası patlayıcıların ağırlık merkezindeki koordinat olarak tanımlanmıştır.

Kolon, kiriş ve döşemede oluşan deformasyon ve gerilmelerin zaman içerisindeki değişimi gözlemleyebilmek için tüm modellerde aynı koordinata denk gelecek şekilde 20 farklı gözlem noktası tanımlandı. Patlama etkisini alt veya üst kata etkisini anlayabilmek için aynı noktalara gelecek şekilde 10 tane birinci kata 10 tane ikinci kata gözlem noktası

Şekil 4.10'daki şekilde tanımlanmıştır. Betonarme taşıyıcı sistem ve betonarme çelik gömme kompozit taşıyıcı sistemde gözlem noktaları betonun üzerine gelecek şekilde, beton dolgulu çelik tüp kompozit taşıyıcı sistemde kolondaki gözlem noktaları dıştaki çelik tüpün üzerine tanımlanmıştır. Hazırlanan 18 model isminin ifade etmiş olduğu patlayıcı miktarı ve patlayıcı türü Tablo 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 10 Kolon, kiriş ve döşemelere tanımlanan gözlem noktaları

Analiz isimleri baştaki harfler taşıyıcı sistem türünün literatürdeki karşılığı olan; betonarme taşıyıcı sistem için Rc, betonarme çelik gömme kompozit için Ces, beton dolgulu çelik tüp kompozit taşıyıcı sistem için Cfst olacak şekilde hazırlanmıştır. Ortadaki rakamlar patlayıcı miktarını kilogram olarak temsil etmekte, sondaki harfler ise iç patlamayı temsil etmek için int, dış patlamayı temsil etmek için ext şeklinde kısaltarak oluşturulmuştur. Örnek olarak Ces50int isimli analiz, betonarme çelik gömme kompozit taşıyıcı sistemin 50 kilogram iç patlama analizini temsil etmektedir.

Tablo 4.2 Model isimleri ve açıklamaları

Analiz İsmi	Kolon Tipi	Patlayıcı Miktarı (kg)	Patlam Tipi
Rc100ext	Betonarme	100	Dış
Cfst100ext	Beton Dolgulu	100	Dış
Ces100ext	Çelik Gömme	100	Dış
Rc200ext	Betonarme	200	Dış

Tablo 4.3 Model isimleri ve açıklamaları (devamı)

Cfst200ext	Beton Dolgulu	200	Dış
Ces200ext	Çelik Gömme	200	Dış
Rc300ext	Betonarme	300	Dış
Cfst300ext	Beton Dolgulu	300	Dış
Ces300ext	Çelik Gömme	300	Dış
Rc100int	Betonarme	100	İç
Cfst100int	Beton Dolgulu	100	İç
Ces100int	Çelik Gömme	100	İç
Rc50int	Betonarme	50	İç
Cfst50int	Beton Dolgulu	50	İç
Ces50int	Çelik Gömme	50	İç
Rc25int	Betonarme	25	İç
Cfst25int	Beton Dolgulu	25	İç
Ces25int	Çelik Gömme	25	İç

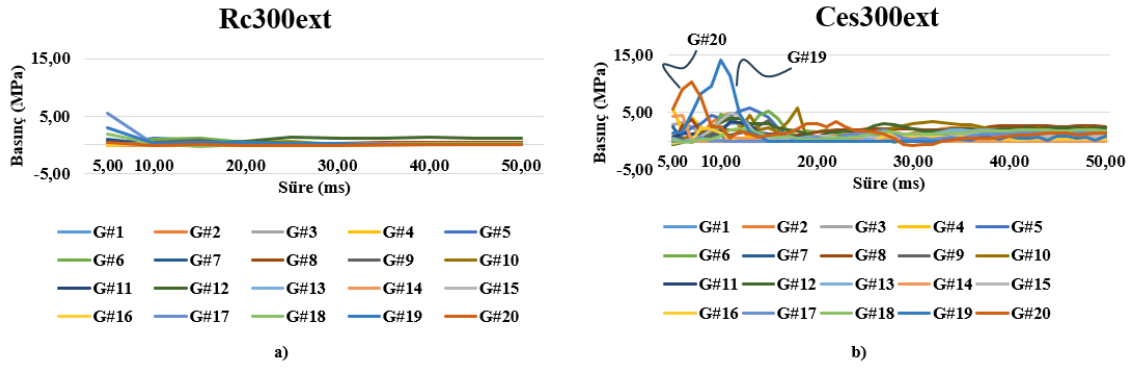
4.1 Analiz Süresinin Tespiti

Patlama analizleri uzun süren, diskte fazla yer kaplayan analizler olduğundan dolayı gerçeklikten fazla uzaklaşmadan analiz süresini idealize etmek önemlidir. Literatürdeki çalışmalar analiz süresi için pik basıncın ortaya çıktığı süre zarfının yeterli olduğunu söylemektedir. Bu süre zarfı genellikle 3 – 5 ms aralığındadır. Pik basınçlar bu zaman aralığında meydana geleceği için patlayıcıdan çıkan enerjinin tamamının yayılıp emilmesini beklemek analiz süresini 5 ms tutmak büyük kolaylık sağlamaktadır. Örnek binanın (Şekil 4.3) 1 metre uzağında meydana gelen patlamadaki enerjinin tüm yapıyı çevrelemesi 50 ms sürmektedir (Şekil 4.12). Analiz süresini 5 ms kabul etmenin 50 ms süren gerçek sonuçtan ne kadar uzaklaştığını tespit edebilmek için Şekil 4.10'daki 20 farklı gözlem noktasında meydana gelen pik basınçlar ile 5 ms analiz süresi kıyaslandığında pik basınç değerleri arasındaki fark ortalaması %16'dır. Patlayıcıya en yakın kolon kiriş ve döşemelerin patlama süresi idealleştirilerek 5 ms kabul edilmesiyle gerçek sonuçtan ne kadar uzaklaştığını gösteren Tablo 4.3'teki gibidir. Analiz süresini 5 ms almanın kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir.

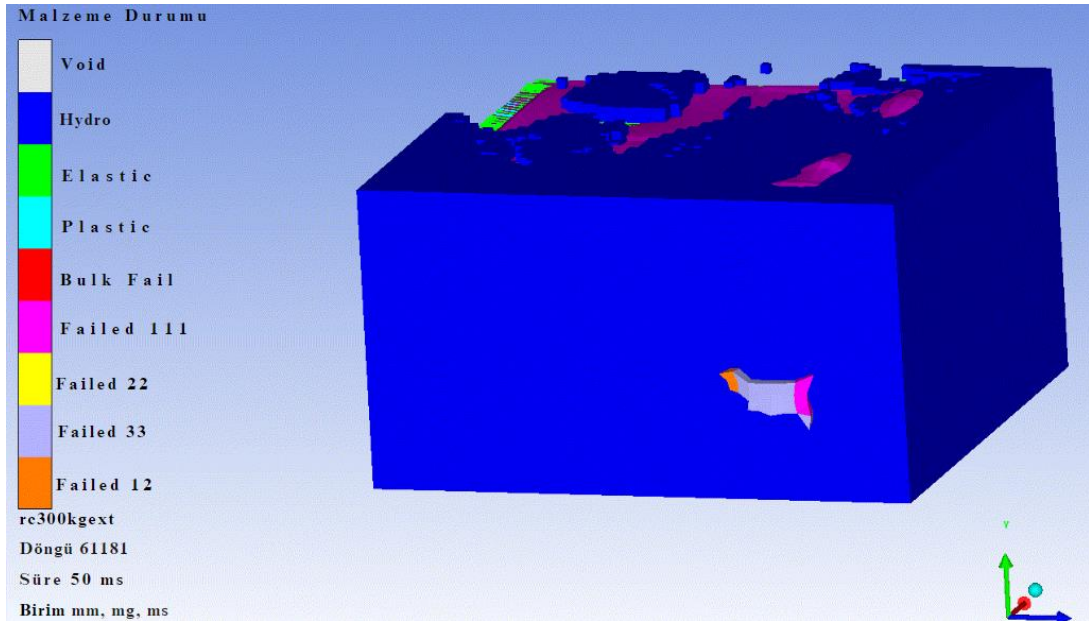
Tablo 4.4 Analiz süresi – meydana gelen pik basınç ilişkisi

	#G1 (MPa)	#G2 (MPa)	#G13 (MPa)	#G14 (MPa)	#G19 (MPa)	#G20 (MPa)
5 ms	16,8	3,6	5,2	4,2	9,9	5,6
50 ms	16,8	4,8	5,2	5,9	14,0	10,0

Gözlem noktaları incelendiğinde Ces300ext analizinde döşemelerdeki pik basınçların 5 ms – 50 ms arasındaki süreçte büyük bir artış göstererek 14,1 MPa pik değerine ulaştığı diğer taşıyıcı elemanların basınç değerlerinin zamanla azaldığı görülmektedir (Şekil 4.11). Yapının geneline bakıldığında 5 ms analiz süresi içerisindeki sonuçların daha uzun analiz süresindeki sonuçlara paralel olacağı görülmektedir. Süreyi kısaltmakla birlikte analiz süresi 45 saatten 10 saate düşmüştür. Dosyaların bilgisayarda kapladığı alan 50 gigabayttan 7 gigabayta düşmüştür. Hem depolama hem de zaman açısından analiz süresini kısaltmak büyük kolaylık sağlamıştır.



Şekil 4.11 5 ms – 50 ms arası basınç değerleri değişimi a) Rc300ext b) Ces300ext



Şekil 4.12 Patlama basıncının yapının tamamına etkimesi

4.2 AUTODYN ile UFC-3-340-02 Verilerinin Kıyaslanması

Amerika Birleşik Devletleri Savunma Sanayisi tarafından geliştirilen UFC-340-02 patlama türüne göre çeşitli formülasyonlar ve olay basıncının ortaya çıkardığı pik basıncı hesaplayan abaklar geliştirmiştir. Bölüm 3.13'te bahsedildiği üzere ölçeklendirilmiş mesafe yardımıyla Şekil 3.3'teki abaktan pik basınç değerleri verilmektedir. Tez kapsamında betonarme model için yapılan analizlerden elde edilen pik basınç değerleri ile UFC-3-340-02 tasarım kitabının pik basınç değerleri karşılaştırılmıştır. Autodyn programının hesaplaması için Şekil 4.10'daki gibi 20 farklı gözlem noktası eklenmiştir. Taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların enerjisi sönümleme etkisinden dolayı pik basınç değerleri kıyaslamasında sadece dış yüzeydeki, sönümlemeden en az onanda etkilenecek gözlem noktalarındaki pik basınç değerleri ile UFC-3-340-02 değerleri Tablo 4.4'te kıyaslanmıştır. Rc model için 100 kg, 200 kg ve 300 kg dış patlama analizi için patlamaya en yakın konumdaki 1. kat ve 2. kattaki kolonların değerleri (sırasıyla G#1, G#2), en yakın kirişin değeri (G#13) ve en yakın döşemenin değeri (G#19) kıyaslanmıştır.

Tablo 4. 5 UFC-3- 340-02 ile Autodyn pik basınç değerlerinin karşılaştırılması

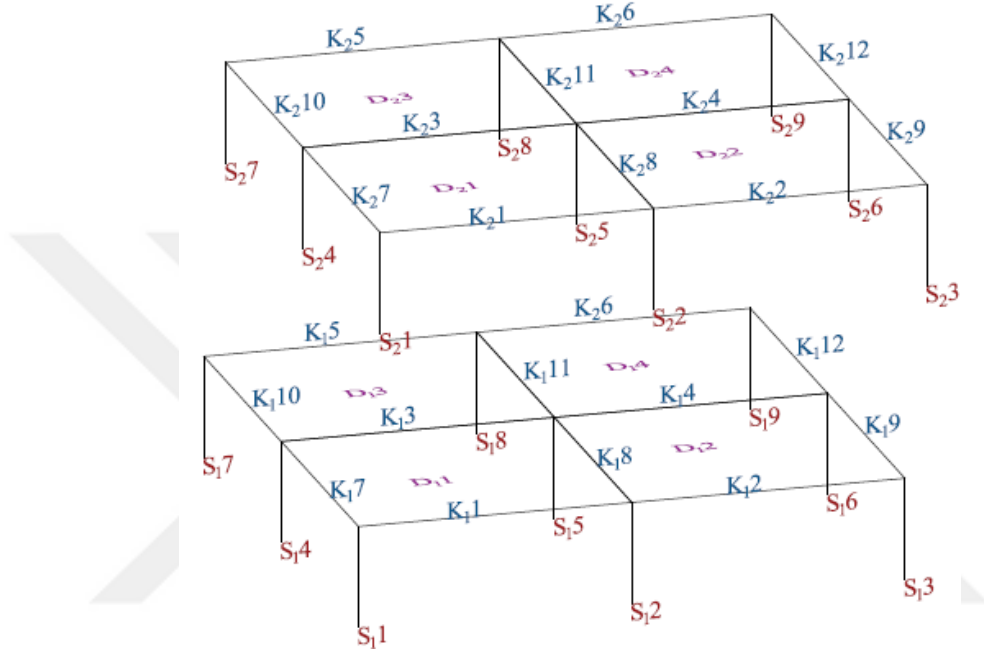
Basınç	Rc100ext		Rc200ext		Rc300ext		Rc100ext	
	G#1	#G#2	G#1	G#2	G#1	G#2	G#13	G#19
UFC-3- 340-02 (MPa)	7,5	1,2	7,5	2,7	14,1	3,5	3,4	1,3
Autodyn (MPa)	4,4	1,1	8,37	2,1	12,8	3,8	3,4	3,1

100 kg dış patlama analizi için patlayıcıya en yakın konumda olan, 140 cm uzaktaki G#1'deki pik basınç değerinde UFC ile Autodyn farklılık göstermektedir. Geliştirilen ampirik formülasyonlar, patlayıcı miktarı ve mesafede göre zaman zaman farklı basınç değerleri gösterebilmektedir. Kolondaki okuma noktaları olan G#1 ve G#2 için patlayıcı miktarı arttıkça programdan ve abaktan okunan değerlerin birbirine yaklaştığı görülmektedir. Kirişteki gözlem noktası G#13'ün de değer verdiği, döşemedeki gözlem noktası G#19'da ise farklılık gözlemlenmiştir. Bu farklılığın sebebi döşeme yapısını içinde olduğu için; Autodyn, patlayıcı etkisi döşemeye ulaşana kadar geçen mesafede elemanların sönümleme etkisi, kapalı alandaki patlama basınç davranışının etkisi gibi etkileri dikkate aldığı, abaktan okunan değerlerin ise doğrudan ölçeklendirilmiş mesafe ile hesaplandığından dolayı ihmal ettiği etkilerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 4.4'ten görüldüğü üzere nümerik modellerdeki basınç değerleri ile ampirik formülasyonlardaki pik basınç değerleri benzerlik göstermektedir.

4.3 Dış Patlama Analizleri

Yapılan dokuz adet dış patlama analizinde patlayıcıların merkez akstaki kolona uzaklığı 1 m'dir. Bu analizlerde sadece taşıyıcı sistem ve patlayıcı miktarı değişmiş olup diğer tüm değişkenler sabit tutulmuştur. Her üç taşıyıcı sistem türü için üçer farklı TNT miktarı karşısında analiz yapıp sonuçlar aşağıdaki başlıklarda sıralanmıştır. Taşıyıcı elemanlarının basitleştirilmiş şekilde adlandırılması Şekil 4.13'te gösterilmiştir.

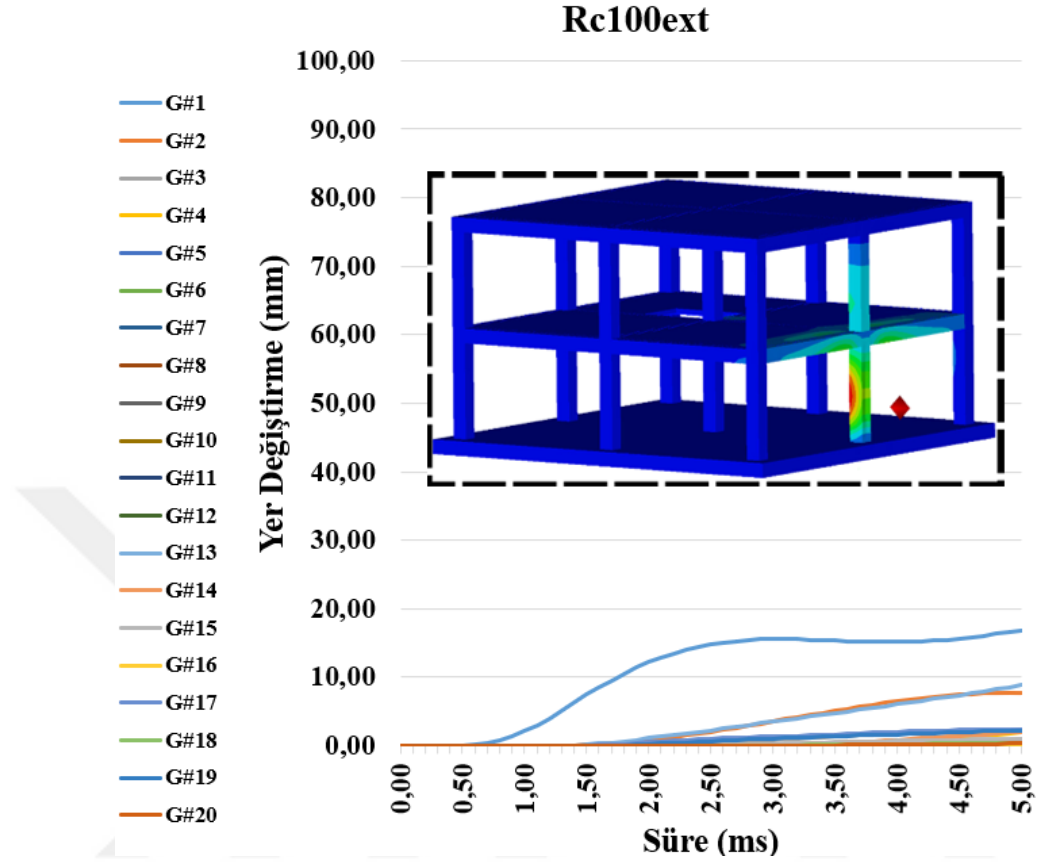


Şekil 4. 13 Kolon, kiriş ve döşeme isimlerinin basitleştirilmiş gösterimi

4.3.1 100 kg Dış Patlama Analizi

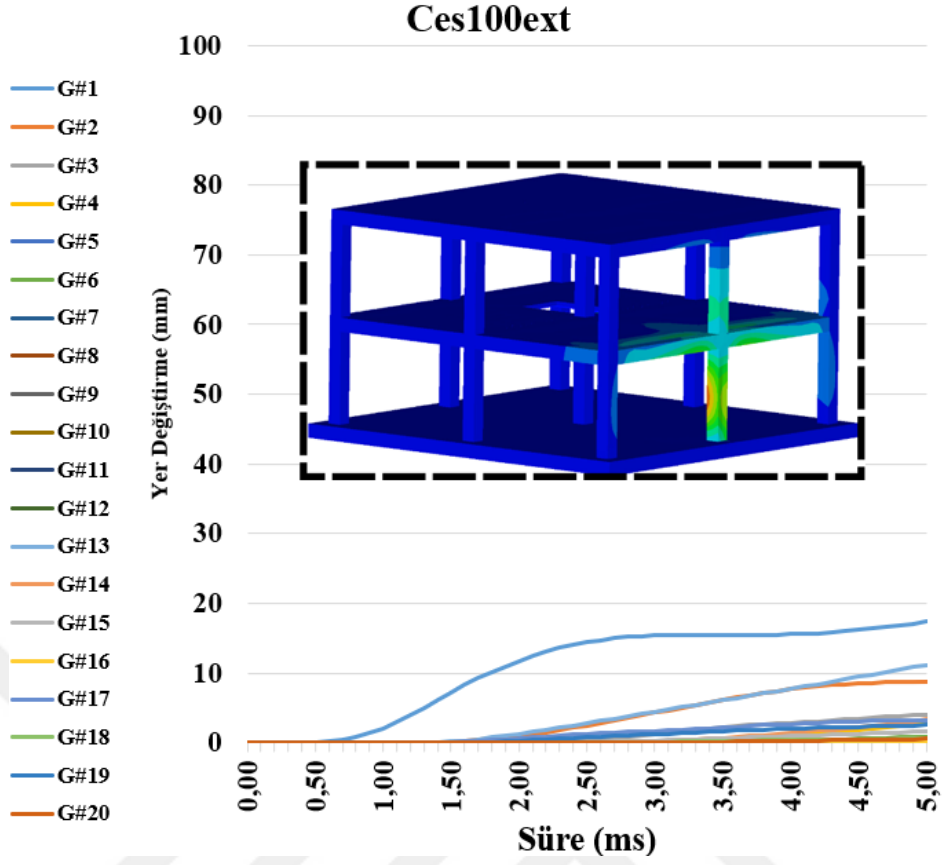
100 kg patlayıcı kullanılan dış analizi sonuçlarında patlayıcının etkisiyle yapıda taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda kalıcı hasarlar ve şekil değiştirmeler gözlemlenmiştir. Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da görüldüğü üzere her üç analizde de yapılardaki en büyük yer değiştirmeler patlayıcıya en yakın konumdaki kolon S₁₂'de betonarme için 28 mm, çelik gömme kompozit kolonlu sistem için 30.3 mm, beton dolgulu çelik tüp kolonlu kompozit sistem için 100.1 mm büyüklüğünde olduğu gözlemlenmiştir. Patlayıcı yapını simetri merkezinde olduğu için kirişlerdeki en büyük yer değiştirmenin K₁₁ ve K₁₂'de eşit miktarda olduğu gözlemlenmiştir. Döşemelerde meydana gelen yer değiştirmeler her üç taşıyıcı sistem için 10 mm civarındadır. S₁₂ kolonunda meydana gelen yer değiştirme döşemenin y yönünde hareketine sebep olduğu düşünülmektedir. Betonarme ve betonarme çelik gömmede yer değiştirmeler 30 mm civarıken beton dolguluda 100 mm olması basınç etkisiyle çelik tüpün yerel burkulmaya

uğramasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer gözlem noktalarındaki yer değiştirmelerin her üç taşıyıcı sistem için benzer seviyede olduğu gözlemlenmektedir.

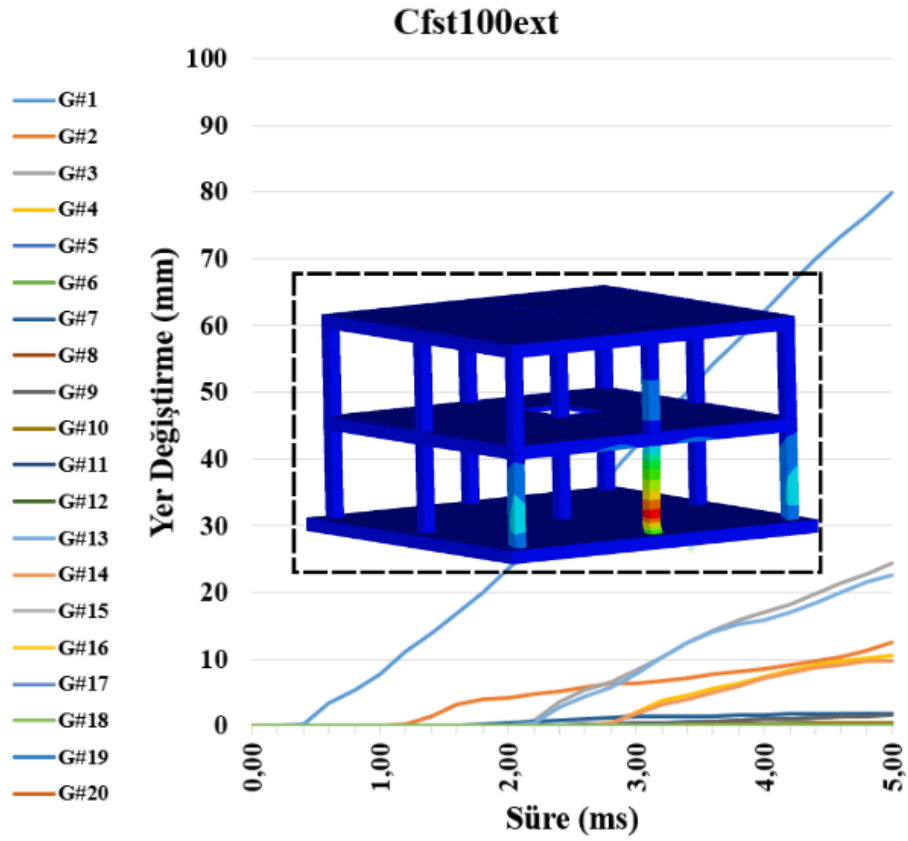


Şekil 4. 14 Rc100ext yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı

Rc100ext, Ces100ext ve Cfst100ext sistemlerinde en büyük yer değiştirmeler sırasıyla 16,87 mm, 17,39 mm ve 79,86 mm'dir. Cfst100ext sistemde G#1 gözlem noktasının diğer sistemlere göre oldukça büyük yer değiştirme yapıp diğer noktalardaki yer değiştirmelerin benzer seviyede olması beton dolgulu çelik tüpün yerel burkulma etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

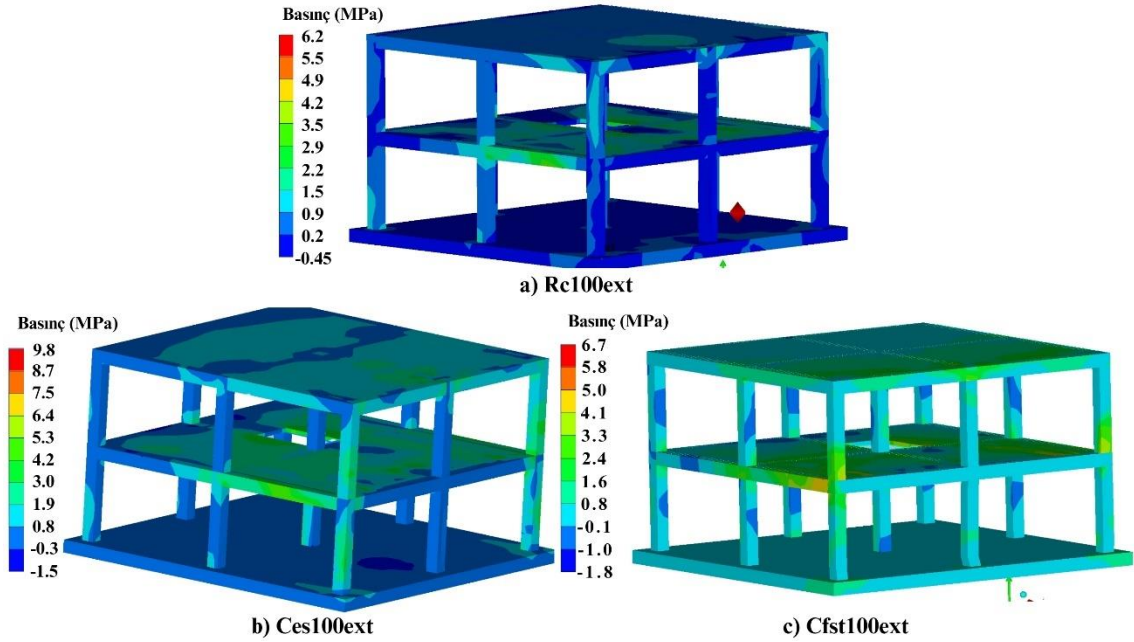


Şekil 4. 15 Ces100ext yer değişirme grafiği ve yer değişirme kontür diyagramı



Şekil 4. 16 Ces100ext yer değişirme grafiği ve yer değişirme kontür diyagramı

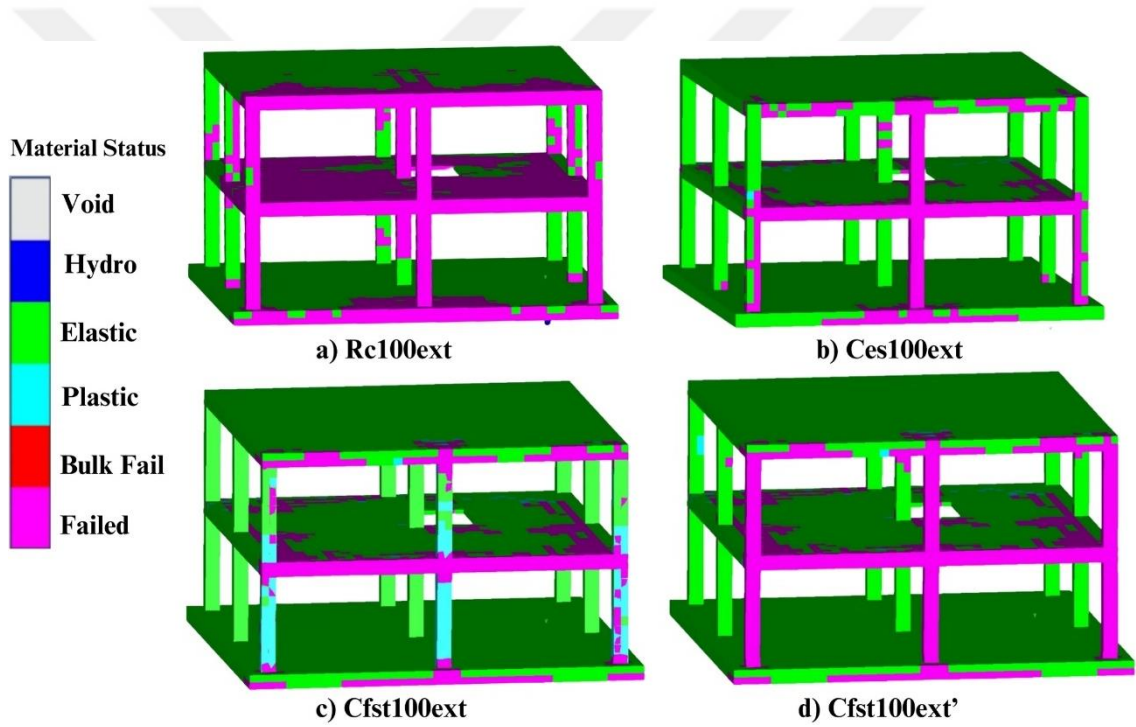
Her üç taşıyıcı sistem için 5 ms sonucu oluşan basınçların kontür diyagramı Şekil 4.17'deki gibidir. Analizlerde ortaya çıkan pik basınç değeri 1,5 ms civarında ortaya çıkıp sonradan zamanla azaldığı için patlayıcıya en yakın kolonlarda 5 ms sonucunda kontür diyagramındaki pik basınç değeri görülmemesi normal bir durumdur. Basıncın zamana bağlı değişim grafikleri Şekil 4.21'de gösterilmiştir. Kullanılan yazılım kabuk elemanlar (beton dolgulu çelik tüp) üzerindeki gözlem noktalarındaki (G#1, G#2 ... G#12) basınçları ölçemediği için Rc ve Ces sisteminde kolonlardaki bu gözlem noktaları kesikli çizgilerle, kiriş ve döşemelerdeki değerler ise düz çizgilerle basınç – zaman grafiğinde Şekil 4.21'de gösterilmiştir. Patlayıcıya en yakın konumdaki kolon S₁₂'de Rc100ext modelinde 4,43 MPa basınç, Ces100ext modelinde 6,75 MPa pik basınçlar meydana gelmiştir.



Şekil 4. 17 5 ms sonucu basınç kontür diyagramı a) Rc100ext, b) Ces100ext, c) Cfst100ext

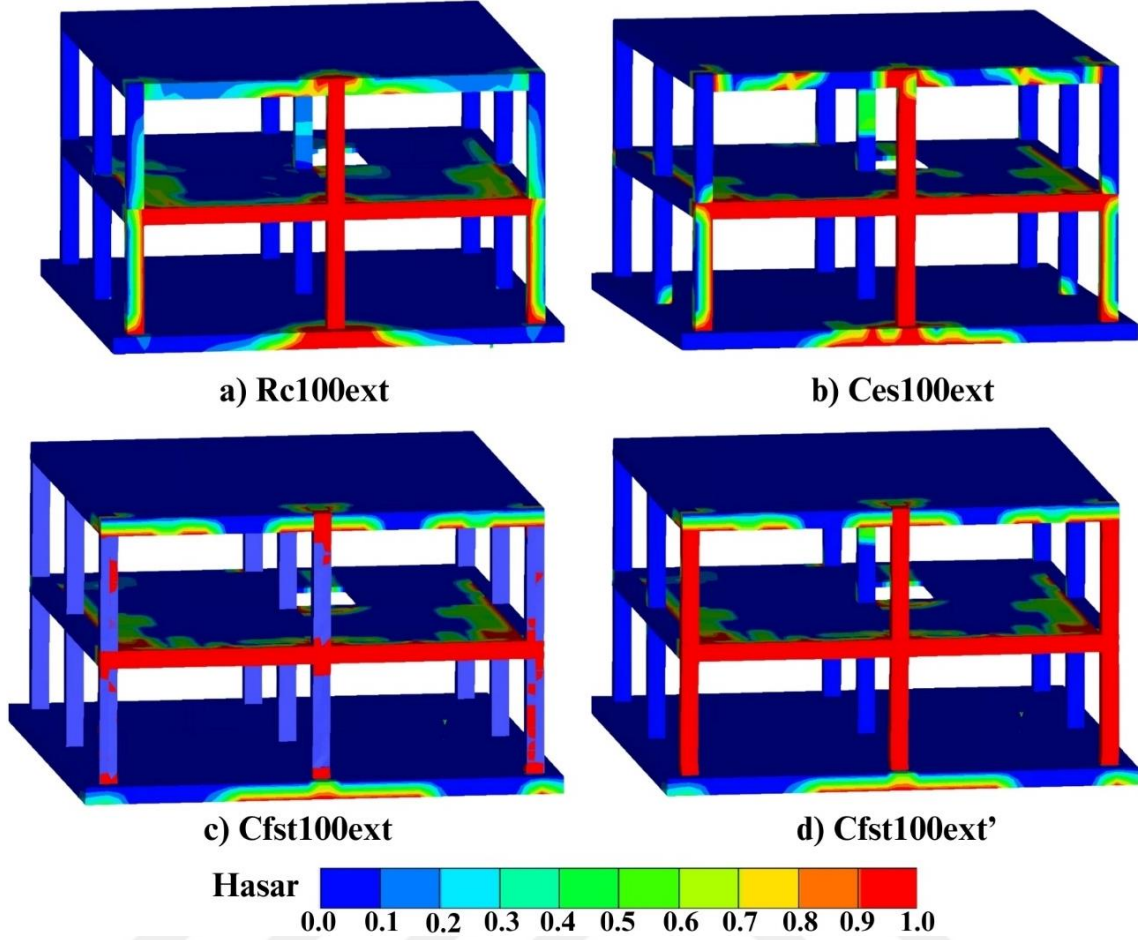
Malzeme durumu kontür diyagramı incelendiğinde 100 kg patlayıcıyla gerçekleşen patlama sonucu her üç taşıyıcı sistemin de kalıcı hasarlar aldığı gözlenmektedir. Şekil 4.18–a, Şekil 4.18–b ve Şekil 4.18–c her üç taşıyıcı sistemin malzeme durumu, Şekil 4.18–d'de beton dolgulu çelik tüpe sahip kompozitin, çelik tüpün altındaki betonun kontür diyagramı ek olarak gösterilmiştir. Kontür diyagramındaki 'Material Status' malzeme durumunu, 'Void' boşluğu, 'Hydro' hava, su gibi akışkanları, 'Elastic' elastik hasarı, 'Bulk Fail' ve 'Failed' kalıcı hasarı temsil etmektedir. Her üç modelde de kalıcı hasarlar patlamaya yakın ön cephede yoğunlaştığı, kompozit sistemlerin daha az hasar aldığı gözlemlenmektedir. Kompozit sistemler kendi arasında kıyaslanacak olursa Şekil 4.18- b

ve Şekil 4.18-d’de betonarme elemanlardaki kalıcı hasarlar bakımından her iki kompozit sistemin benzer hasar aldığı gözlenmektedir. Rc100ext sisteminde S₁₁, S₁₂, S₁₃, S₂₁, S₂₂, S₂₃, kolonlarının; K₁₁, K₁₂, K₂₁, K₂₂, K₁₇, K₁₉ kirişlerinde kırılmalar olduğu, K₁₁₀, K₁₁₂ de ise her ne kadar elastik sınırlar içerisinde kalsa da kırılmalar olduğu gözlemlenmektedir. Ces100ext sisteminde S₁₂, S₂₂ kolonlarının tamamen kırıldığı, S₁₁, S₁₃, S₂₁, S₂₃ kolonlarının çok küçük bir kısmının plastik hasar aldığı; K₁₁, K₁₂ kirişlerinin tamamen kırıldığı gözlemlenmektedir. Cfst100ext incelendiğinde S₁₁, S₁₂, S₁₃, S₂₁, S₂₂, S₂₃ kolonlarındaki çelik tüplerde hasarların elastik-plastik sınırlar içerisinde kaldığı fakat tüpün içerisindeki beton elemanlar incelendiğinde (Şekil 4.20-d) S₁₁, S₁₂, S₁₃, S₂₁, S₂₂, S₂₃ kolon elemanlarının kırıldığı; K₁₁, K₁₂ kirişlerinin kırıldığı, K₂₁, K₂₂’de hasar başlangıcı gözlemlenmiştir.



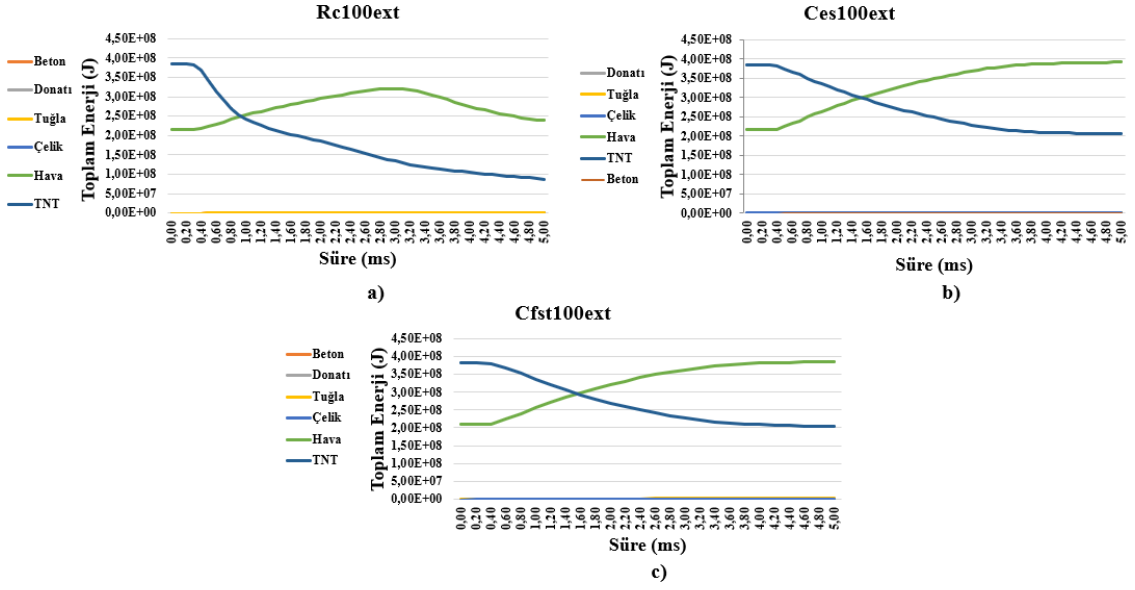
Şekil 4. 18 5 ms sonucu oluşan malzeme durumu kontür diyagramı a) Rc100ext, b) Ces100ext, c) Cfst100ext, d) Cfst100ext'

Meydana gelen hasarların her üç taşıyıcı sistemde de patlayıcıya en yakın elemanlarda meydana geldiği görülmektedir (Şekil 4.19). Rc100ext sisteminde (Şekil 4.19-a) döşemedeki hasarın diğer sistemlere göre daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.19-c ve Şekil 4.19-d’deki Cfst100ext sistemine bakıldığında çelik tüplerin çok az hasar aldığı (Şekil 4.19-c) fakat çelik tüpün içindeki betonun (Şekil 4.19-d) oldukça fazla hasar aldığı görülmektedir.



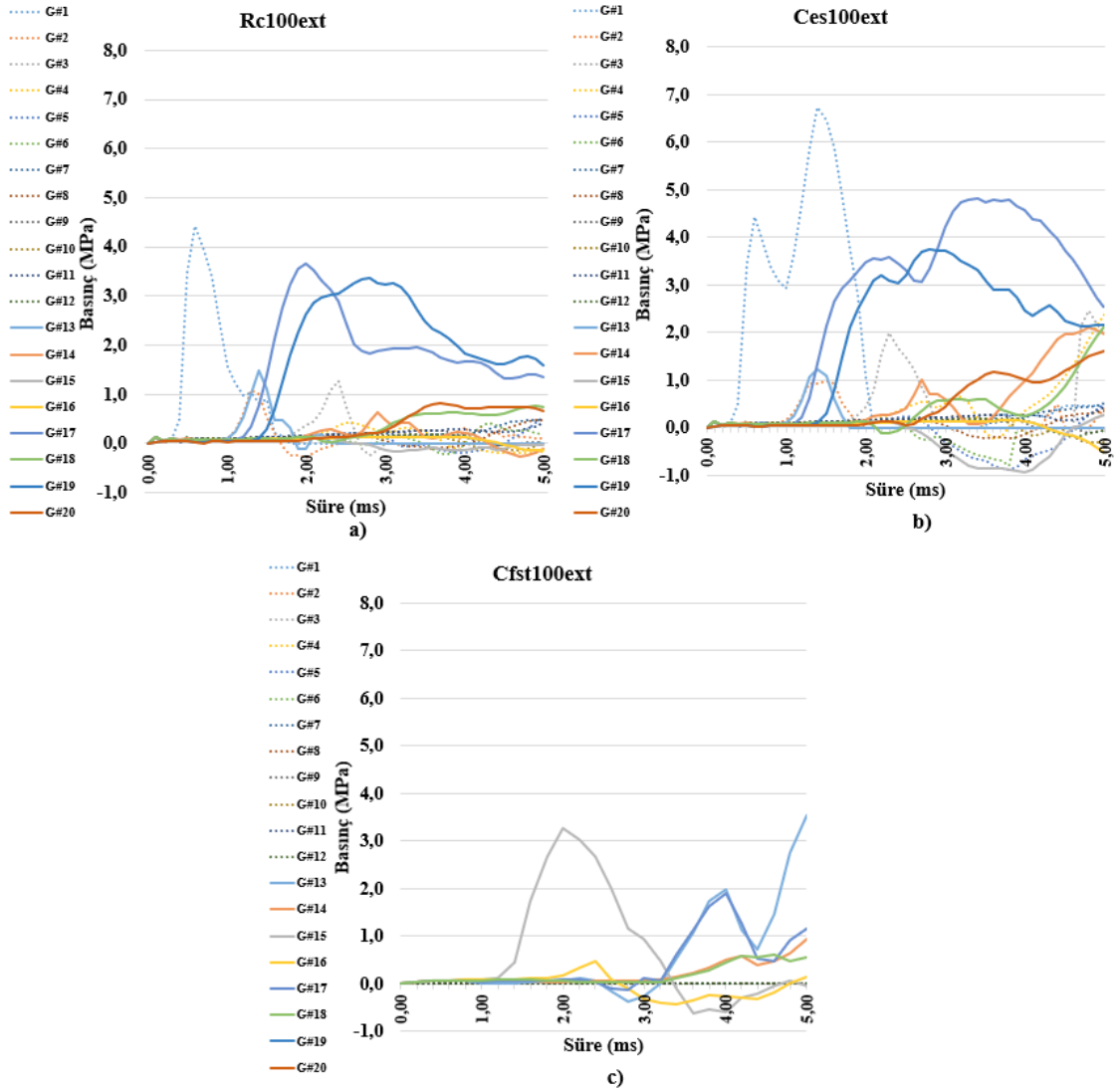
Şekil 4. 19 5 ms sonucu hasar kontür diyagramı a) Rc100ext, b) Ces100ext, c) Cfst100ext, d) Cfst100ext'

Toplam enerjinin zaman bağılı değişim grafiği Şekil 4.20'de gösterilmiştir. Patlayıcı miktarı aynı olduğu için her üç sistemde de 100 kg TNT infilak etmesi sonucu ortaya $3,84 \times 10^8$ J enerji çıkmıştır. Bu enerji hava ve yapı tarafından absorbe edilmiştir. Rc100ext sistemde 5 ms sonucu hava $2,38 \times 10^8$ J, beton $1,69 \times 10^5$ J, donatı $3,74 \times 10^2$ J, tuğla $9,76 \times 10^5$ J; Ces100ext sistemde hava $3,92 \times 10^8$ J, beton $2,31 \times 10^5$ J, donatı $3,98 \times 10^2$ J, çelik $8,71 \times 10$ J, tuğla $1,60 \times 10^6$ J; Cfst100ext sistemde hava $3,86 \times 10^8$ J, beton $4,99 \times 10^5$ J, donatı $4,94 \times 10^2$ J, çelik $1,66 \times 10^5$ J, tuğla $1,60 \times 10^6$ J enerji absorbe etmiştir. Cfst100ext sistemin Ces100ext sistemine göre yapısal elemanların açığa çıkan enerjiyi sönüm miktarı çok daha fazladır. Her üç sistemde de en çok enerji hava tarafından emilmiştir.



Şekil 4. 20 Toplam enerji değişimi-zaman grafiği a) Rc100ext, b) Ces100ext, c) Cfst100ext

Kiriş ve döşemelerde meydana gelen basıncın zamanla ilişkisini gösteren grafik Şekil 4.21’de kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Ces100ext sisteminde pik basınç 6,75 MPa iken Rc100ext sisteminde 4,43 MPa büyüklüğünde patlayıcıya en yakın taşıyıcı eleman olan S₁₂ kolonunda meydana gelmiştir. Kirişlerdeki en büyük basınç her üç taşıyıcı sistemde de patlayıcıya en yakın konumdaki K₁₁ ve K₁₂’de değil patlayıcı ile aynı hizada bulunan K₁₈ kirişinde meydana gelmiş olup Rc100ext’te 3,66 MPa, Ces100ext’te 4,80 MPa, Cfst100ext’te 3,26 MPa büyüklüğündedir. Patlayıcı miktarının etkisiyle K₁₃ kirişinde 1 MPa büyüklüğüne varan negatif basınçlar olduğu gözlemlenmiştir.

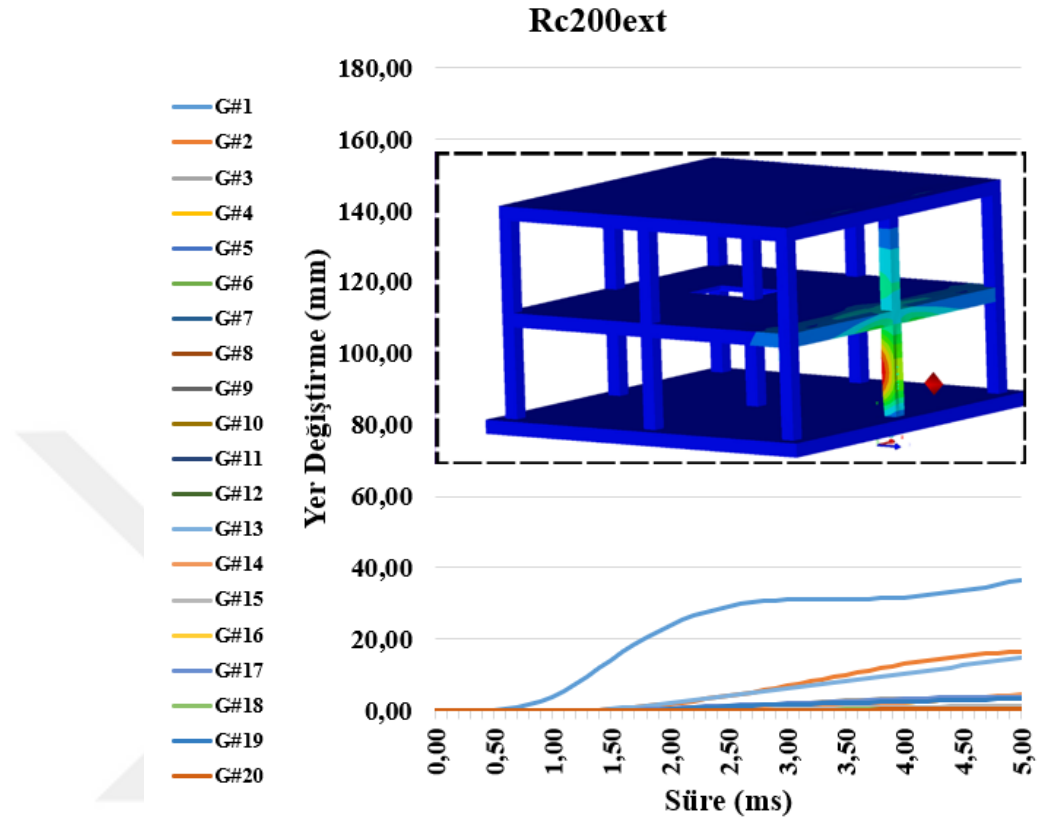


Şekil 4. 21 Taşıyıcı sistem elemanları basınç-zaman ilişkisi a) Rc100ext, b) Ces100ext, c) Cfst100ext

4.3.2 200 kg Dış Patlama Analizi

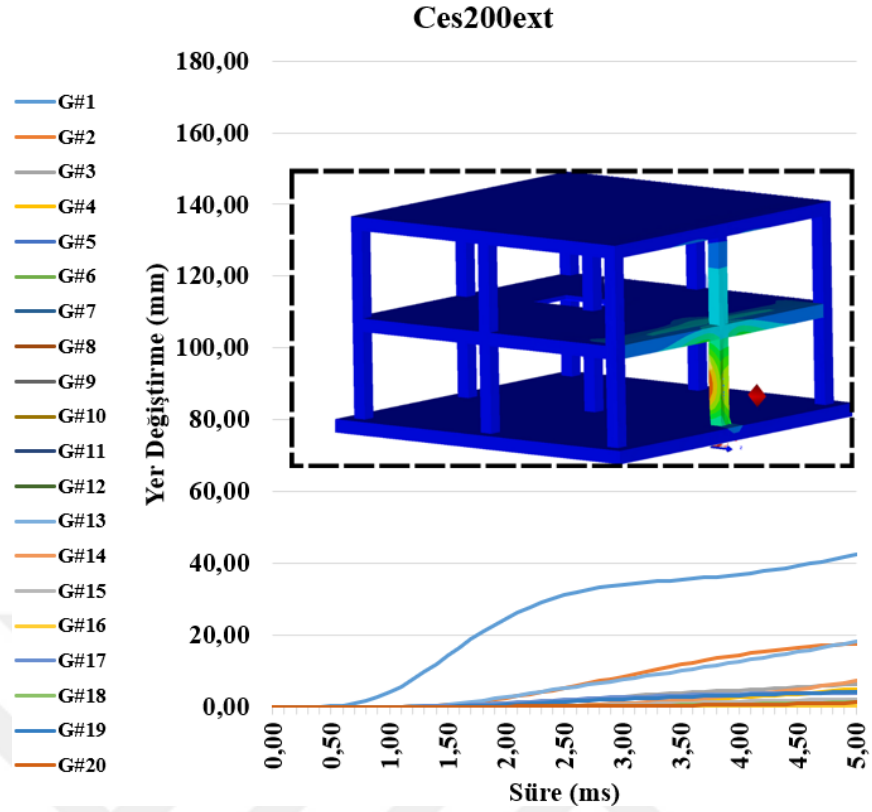
200 kg patlayıcı kullanılan dış patlama analizi sonuçlarında patlayıcının etkisiyle yapıda taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda kalıcı hasarlar ve şekil değiştirmeler gözlemlenmiştir. Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te görüldüğü üzere her üç analizde de yapılardaki en büyük yer değiştirmeler patlayıcıya en yakın konumdaki kolon S₁₂'de betonarme için 58,6 mm, çelik gömme kompozit kolonlu sistem için 70,0 mm, beton dolgulu çelik tüp kolonlu kompozit sistem için 225,3 mm büyüklüğünde olduğu gözlemlenmiştir. Patlayıcı yapımı simetri merkezinde olduğu için kirişlerdeki en büyük yer değiştirmenin K₁₁ ve K₁₂'de eşit miktarda olduğu gözlemlenmiştir. Döşemelerde meydana gelen en büyük yer değiştirmeler her üç taşıyıcı sistem için 20 mm civarındadır. S₁₂ kolonunda meydana gelen yer değiştirme döşemenin y yönünde hareketine sebep

olduğu düşünülmektedir. Betonarme ve betonarme çelik gömmede yer değiştirmeler 60-70 mm civarırken beton dolguluda 225,3 mm olması basınç etkisiyle çelik tüpün yerel burkulmaya uğramasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

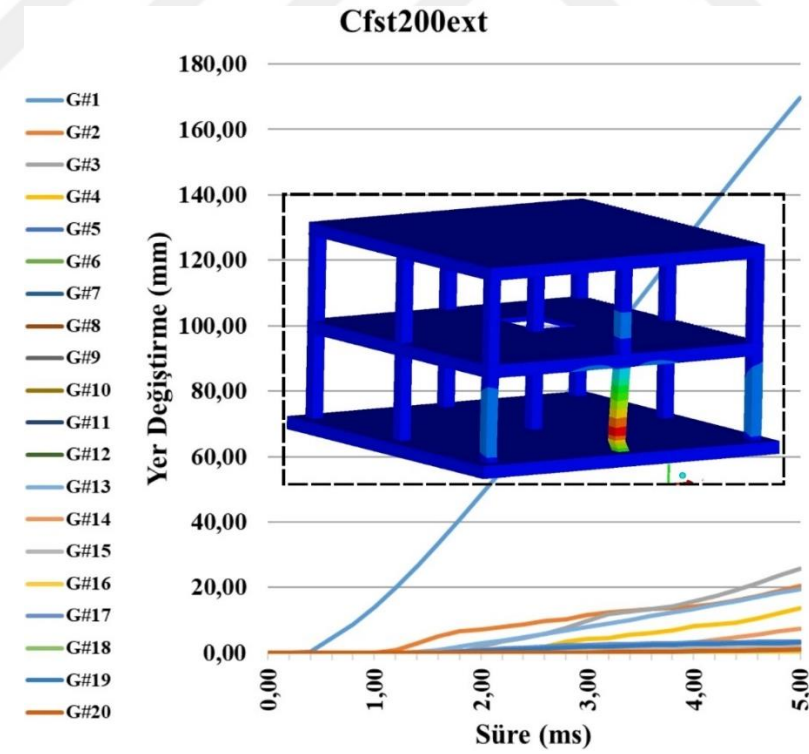


Şekil 4. 22 Rc200ext yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı

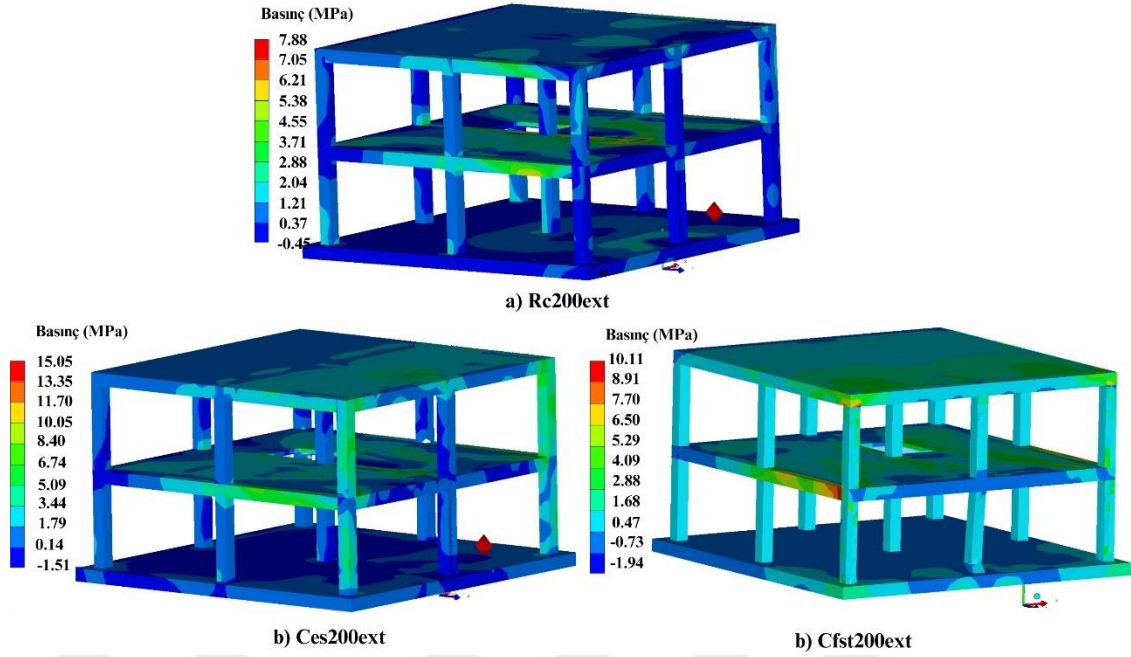
Rc200ext, Ces200ext ve Cfst200ext sistemlerinde en büyük yer değiştirmeler sırasıyla 36,62 mm, 42,27 mm ve 169,54 mm'dir. Cfst200ext sistemde G#1 gözlem noktasının diğer sistemlere göre oldukça büyük yer değiştirme yapıp diğer noktalardaki yer değiştirmelerin benzer seviyede olması beton dolgulu çelik tüpün yerel burkulma etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4. 23 Ces200ext yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı



Şekil 4. 24 Cfst200ext yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı

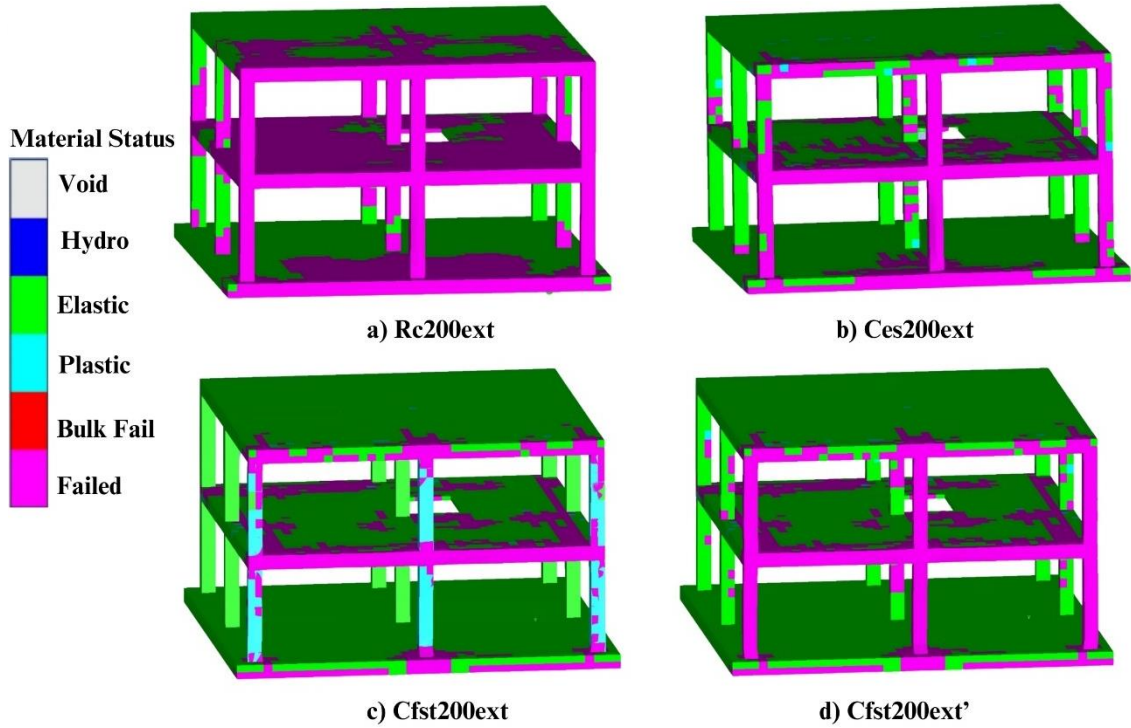


Şekil 4. 25 5 ms sonucu basınç kontür diyagramı a) Rc100ext, b) Ces100ext, c) Cfst100ext

Her üç taşıyıcı sistem için 5 ms sonucu oluşan basınçların kontür diyagramı Şekil 4.25'teki gibidir. Analizlerde ortaya çıkan pik basınç değeri kolonlarda 0,5 ms civarında ortaya çıkıp sonradan zamanla azaldığı için patlayıcıya en yakın kolonlarda 5 ms sonucunda kontür diyagramındaki pik basınç değeri görülmemesi normal bir durumdur. Basıncın zamana bağlı değişim grafikleri Şekil 4.29'da gösterilmiştir. Kullanılan yazılım kabuk elemanlar (beton dolgulu çelik tüp) üzerindeki gözlem noktalarındaki (G#1, G#2 ... G#12) basınçları ölçemediği için Rc ve Ces sisteminde kolonlardaki bu gözlem noktaları kesikli çizgilerle, kiriş ve döşemelerdeki değerler ise düz çizgilerle basınç – zaman ilişkisi Şekil 4.29'da gösterilmiştir. Patlayıcıya en yakın konumdaki kolon S12'de Rc200ext modelinde 8,37 MPa basınç, Ces200ext modelinde 8,51 MPa pik basınçlar meydana gelmiştir.

Malzeme durumu kontür diyagramı incelendiğinde 200 kg patlayıcıyla gerçekleşen patlama sonucu her üç taşıyıcı sistemin de kalıcı hasarlar aldığı gözlenmektedir. Şekil 4.26–a, Şekil 4.26–b ve Şekil 4.26–c her üç taşıyıcı sistemin malzeme durumu, Şekil 4.26–d'de beton dolgulu çelik tüpe sahip kompozitin, çelik tüpün altındaki betonun kontür diyagramı ek olarak gösterilmiştir. Her üç modelde de kalıcı hasarlar patlamaya yakın ön cephede yoğunlaştığı, kompozit sistemlerin daha az hasar aldığı gözlemlenmektedir. Kompozit sistemler kendi arasında kıyaslanacak olursa Şekil 4.26- b ve Şekil 4.26–d'de betonarme elemanlardaki kalıcı hasarlar bakımından Cfst200ext sistemin en az hasar

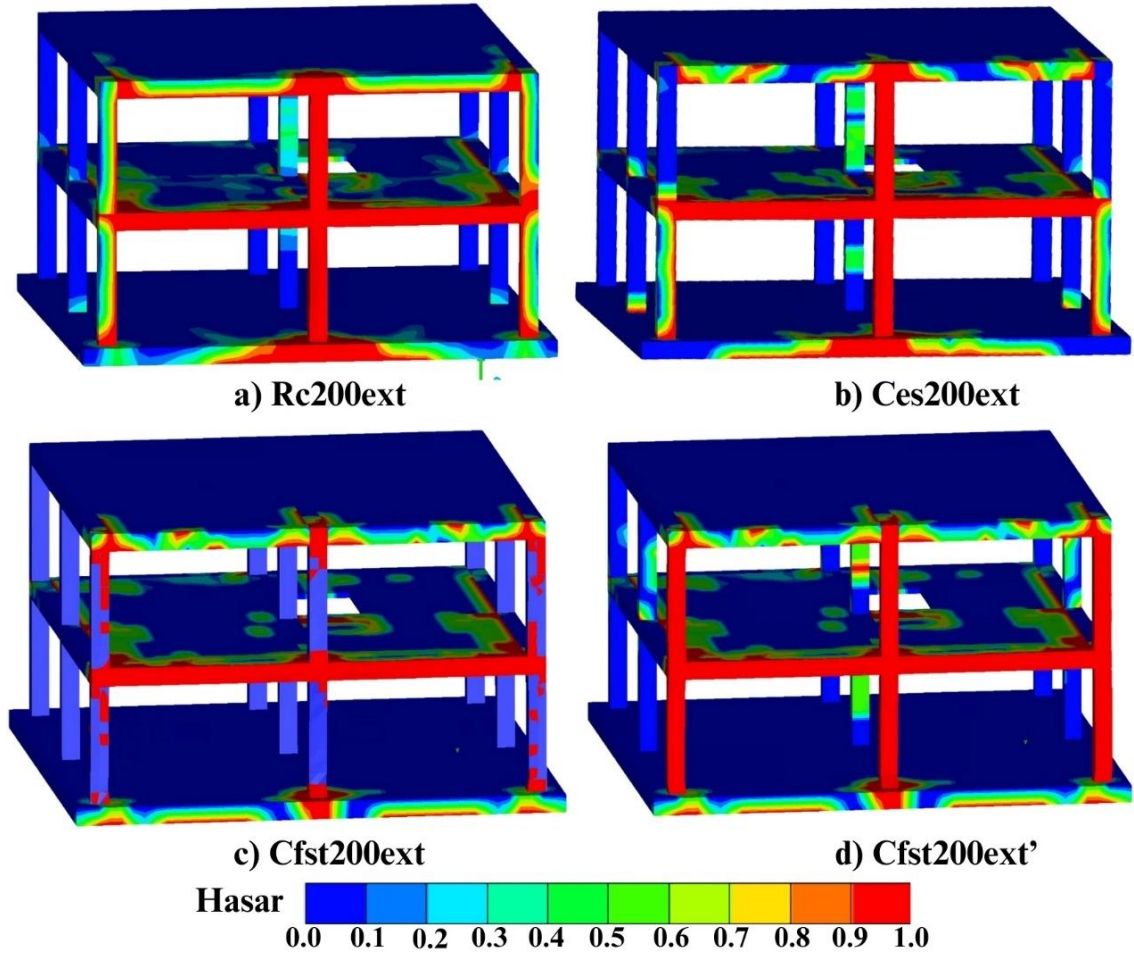
aldığı gözlenmektedir. Rc200ext sisteminde (Şekil 4.26-a) S₁₁, S₁₂, S₁₃, S₂₁, S₂₂, S₂₃, kolonlarının; K₁₁, K₁₂, K₂₁, K₂₂, K₁₇, K₁₉ kirişlerinde kırılmalar olduğu, K₁₁₀, K₁₁₂ de ise her ne kadar elastik sınırlar içerisinde kalsa da kırılmalar olduğu gözlemlenmektedir. Ces200ext sisteminde (Şekil 4.26-b) S₁₁, S₁₂, S₁₃, S₂₂ kolonlarının tamamen kırıldığı, S₂₁, S₂₃ kolonlarında kırılmaların başladığı; K₁₁, K₁₂ kirişlerinin tamamen kırıldığı, K₂₁, K₂₂ kirişlerinde kırılmaların ilerlediği gözlemlenmektedir. Cfst200ext incelendiğinde S₁₁, S₁₂, S₁₃, S₂₁, S₂₂, S₂₃ kolonlarındaki çelik tüplerde hasarların genel olarak elastik-plastik sınırlar içerisinde kaldığı çok az kırılmalar olduğu fakat tüpün içerisindeki beton elemanlar incelendiğinde (Şekil 4.26-d) S₁₁, S₁₂, S₁₃, S₂₁, S₂₂, S₂₃ kolon elemanlarının kırıldığı; K₁₁, K₁₂ kirişlerinin kırıldığı, K₂₁, K₂₂'de hasarların ilerlediği gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 26 5 ms sonucu oluşan malzeme durumu kontür diyagramı a) Rc200ext, b) Ces200ext, c) Cfst200ext, d) Cfst200ext'

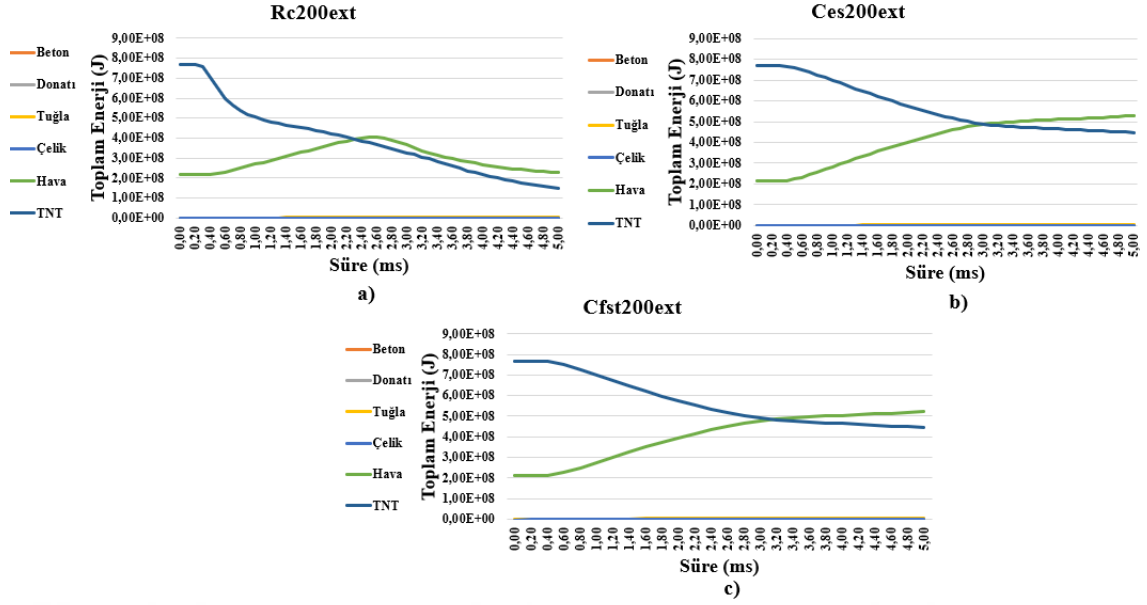
Meydana gelen hasarların her üç taşıyıcı sistemde de patlayıcıya ek yakın elemanlarda meydana geldiği görülmektedir (Şekil 4.27). Rc200ext sisteminde (Şekil 4.27-a) S₁₁, S₁₂, S₁₃, S₂₁, S₂₂, S₂₃ kolonları ve K₂₁, K₂₂ kirişlerindeki hasarın diğer sistemlere göre daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.27-c ve Şekil 4.27-d'deki Cfst200ext sistemine bakıldığında çelik tüplerin çok az hasar aldığı (Şekil 4.27-c) fakat çelik tüpün içindeki betonun (Şekil 4.27-d) oldukça fazla hasar aldığı görülmektedir. Rc200ext sistemin

Ces200ext ve Cfst200ext sistemlere göre patlamaya yakın olan ön cephede başka bir deyişle yapının genelinde daha fazla hasar olduğu açıkça görülmektedir.



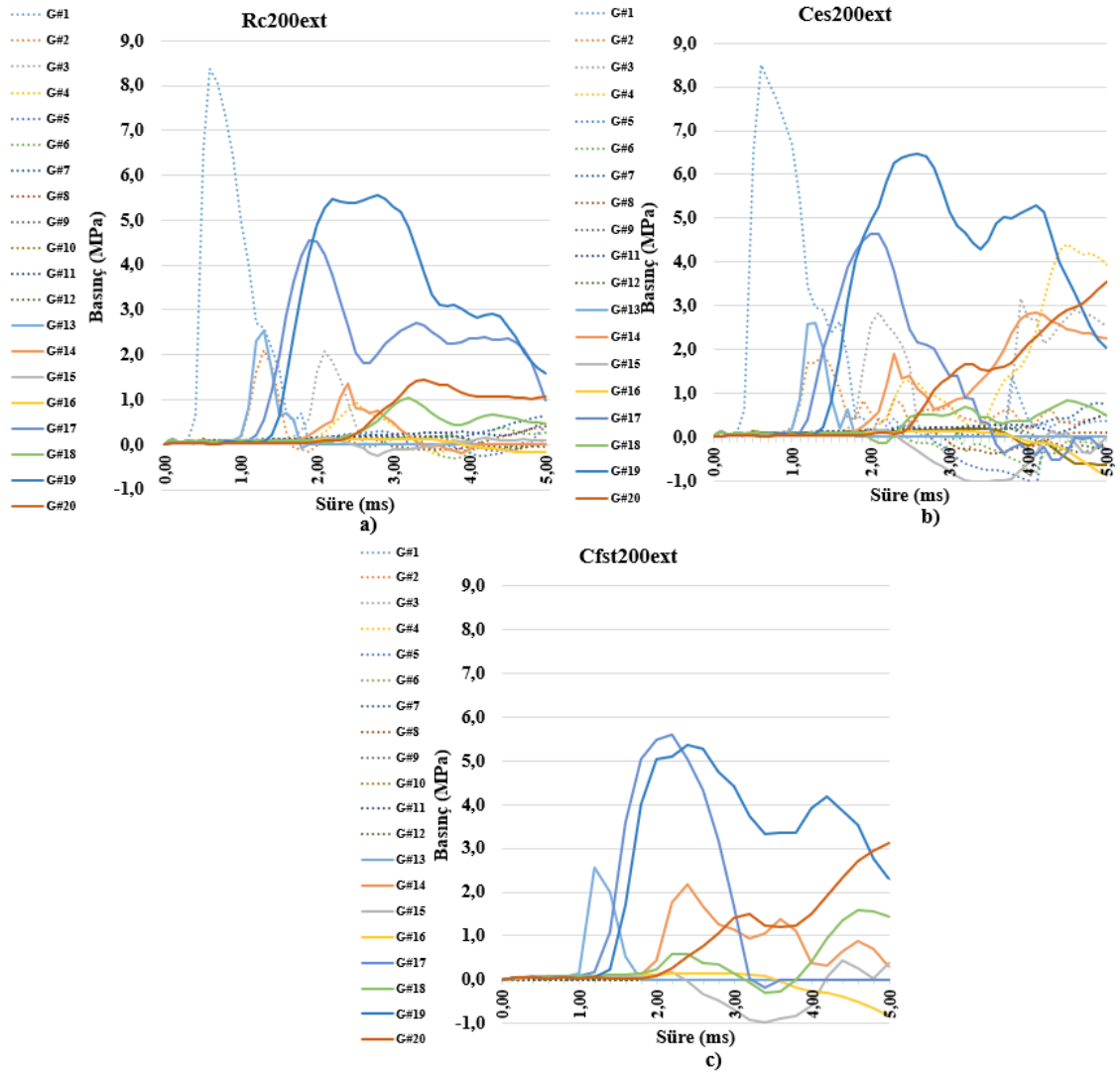
Şekil 4. 27 5 ms sonucu oluşan hasar durumu kontür diyagramı a) Rc200ext, b) Ces200ext, c) Cfst200ext, d) Cfst200ext'

Toplam enerjinin zaman bağılı değişim grafiği Şekil 4.28'de gösterilmiştir. Patlayıcı miktarı aynı olduğu için her üç sistemde de 200 kg TNT infilak etmesi sonucu ortaya $7,68 \times 10^8$ J enerji çıkmıştır. Bu enerji hava ve yapı tarafından absorbe edilmiştir. Rc200ext sistemde 5 ms sonucu hava $2,29 \times 10^8$ J, beton $5,80 \times 10^5$ J, donatı $1,10 \times 10^3$ J, tuğla $4,01 \times 10^6$ J; Ces200ext sistemde hava $5,28 \times 10^8$ J, beton $8,14 \times 10^5$ J, donatı $1,30 \times 10^3$ J, çelik $1,28 \times 10^2$ J, tuğla $6,24 \times 10^6$ J; Cfst200ext sistemde hava $5,22 \times 10^8$ J, beton $1,70 \times 10^6$ J, donatı $1,57 \times 10^3$ J, çelik $8,56 \times 10^5$ J, tuğla $6,03 \times 10^6$ J enerji absorbe etmiştir. Cfst200ext sistemin Ces200ext sistemine göre yapısal elemanların açığa çıkan enerjiyi sönüm miktarı çok daha fazladır. Her üç sistemde de en çok enerji hava tarafından emilmiştir.



Şekil 4. 28 Toplam enerji değişimi-zaman grafiği a) Rc200ext, b) Ces200ext, c) Cfst200ext

Kiriş ve döşemelerde meydana gelen basıncın zamanla ilişkisini gösteren grafik Şekil 4.29’da kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Ces200ext sisteminde pik basınç 8,51 MPa iken Rc200ext sisteminde 8,37 MPa büyüklüğünde patlayıcıya en yakın taşıyıcı eleman olan S₁2 kolonunda meydana gelmiştir. Kirişlerdeki en büyük basınç her üç taşıyıcı sistemde de patlayıcıya en yakın konumdaki K₁1 ve K₁2’de değil patlayıcı ile aynı hizada bulunan K₁8 kirişinde meydana gelmiş olup Rc200ext’te 4,54 MPa, Ces200ext’te 4,65 MPa, Cfst200ext’te 5,59 MPa büyüklüğündedir. Patlayıcı miktarının etkisiyle K₁3 kirişinde 1 MPa büyüklüğüne varan negatif basınçlar olduğu gözlemlenmiştir.

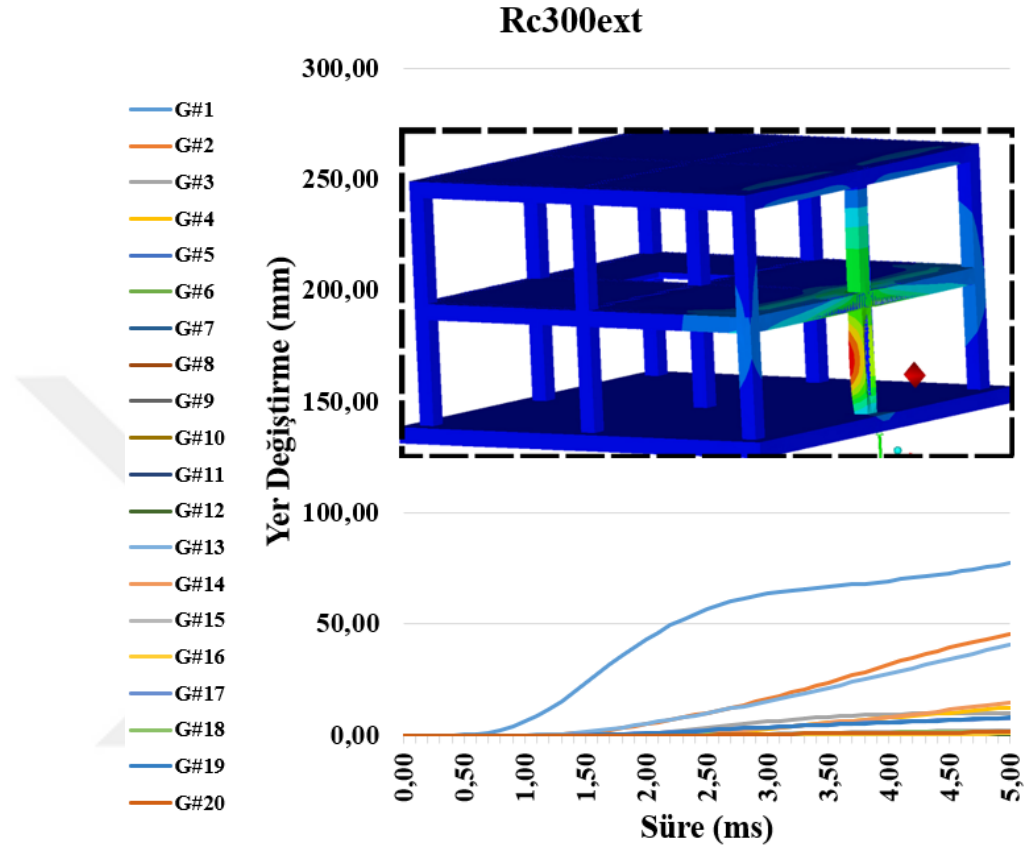


Şekil 4. 29 Taşıyıcı sistem elemanları basınç-zaman ilişkisi a) Rc200ext, b) Ces200ext, c) Cfst200ext

4.3.3 300 kg Dış Patlama Analizi

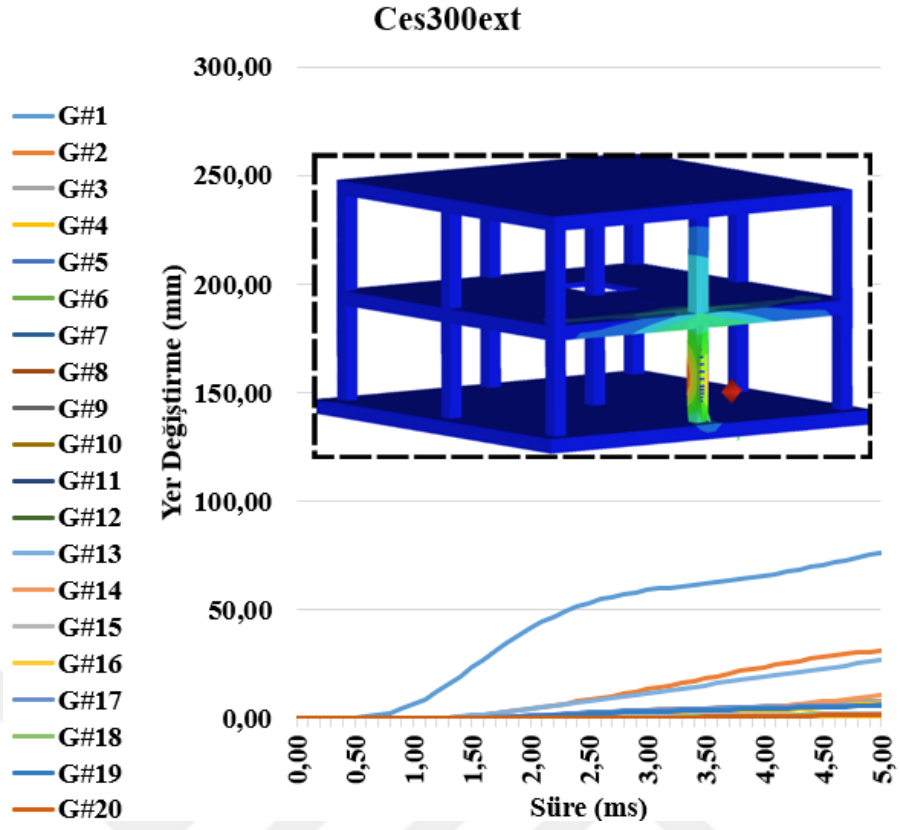
300 kg patlayıcı kullanılan dış patlama analizi sonuçlarında patlayıcının etkisiyle yapıda taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda kalıcı hasarlar ve şekil değiştirmeler gözlemlenmiştir. Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de görüldüğü üzere her üç analizde de yapılardaki en büyük yer değiştirmeler patlayıcıya en yakın konumdaki kolon S_{12} ’de betonarme için 115,5 mm, çelik gömme kompozit kolonlu sistem için 125,0 mm, beton dolgululu çelik tüp kolonlu kompozit sistem için 352,8 mm büyüklüğünde olduğu gözlemlenmiştir. Patlayıcı yapını simetri merkezinde olduğu için kirişlerdeki en büyük yer değiştirmenin K_{11} ve K_{12} ’de eşit miktarda olduğu gözlemlenmiştir. Döşemelerde meydana gelen en büyük yer değiştirmeler her üç taşıyıcı sistem için 35 mm civarındadır. S_{12} kolonunda meydana gelen yer değiştirme döşemenin y yönünde hareketine sebep

olduğu düşünülmektedir. Betonarme ve betonarme çelik gömmede yer değiştirmeler 115-125 mm civarıken beton dolguluda 358,8 mm olması basınç etkisiyle çelik tüpün yerel burkulmaya uğramasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer gözlem noktalarındaki yer değiştirmelerin her üç taşıyıcı sistem için benzer seviyede olduğu gözlemlenmektedir.

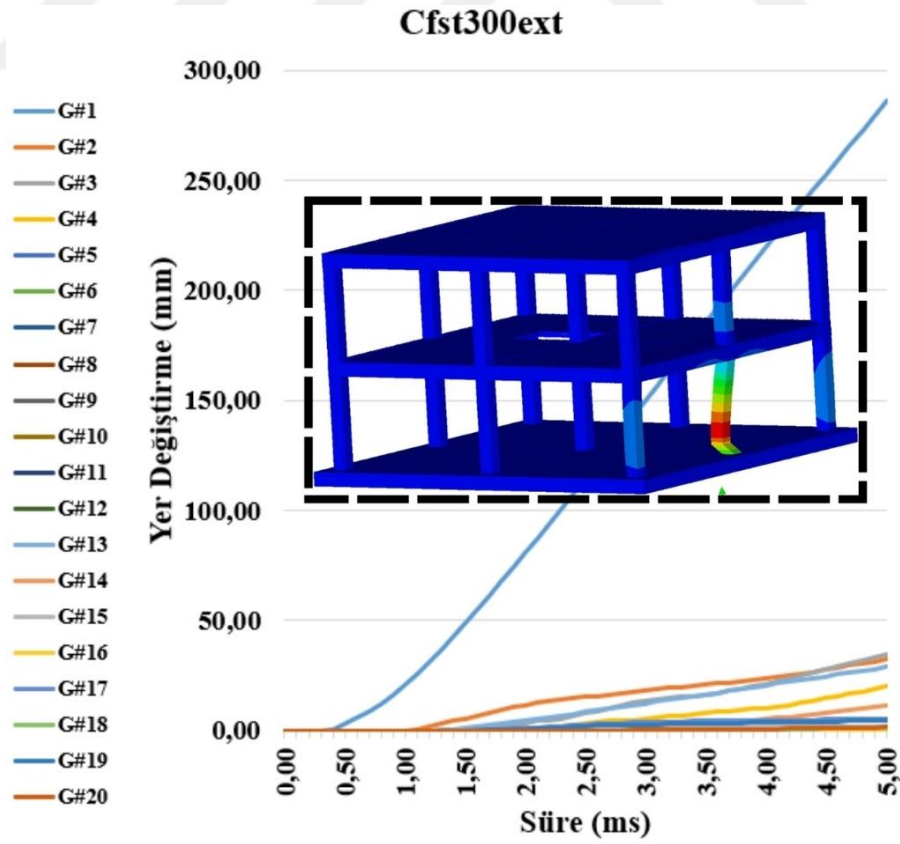


Şekil 4. 30 Rc300ext yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı

Rc300ext, Ces300ext ve Cfst300ext sistemlerinde en büyük yer değiştirmeler sırasıyla 77,17 mm, 85,12 mm ve 286,14 mm'dir. Cfst300ext sistemde G#1 gözlem noktasının diğer sistemlere göre oldukça büyük yer değiştirme yapıp diğer noktalardaki yer değiştirmelerin benzer seviyede olması beton dolgulu çelik tüpün yerel burkulma etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

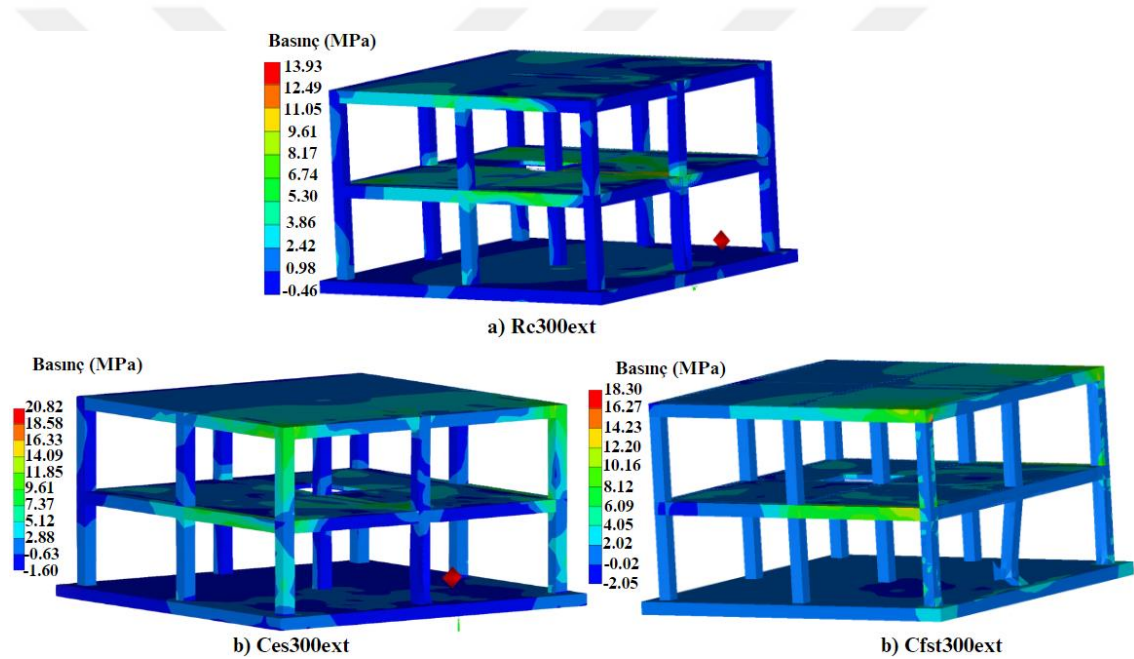


Şekil 4. 31 Ces300ext yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı



Şekil 4. 32 Cfst300ext yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı

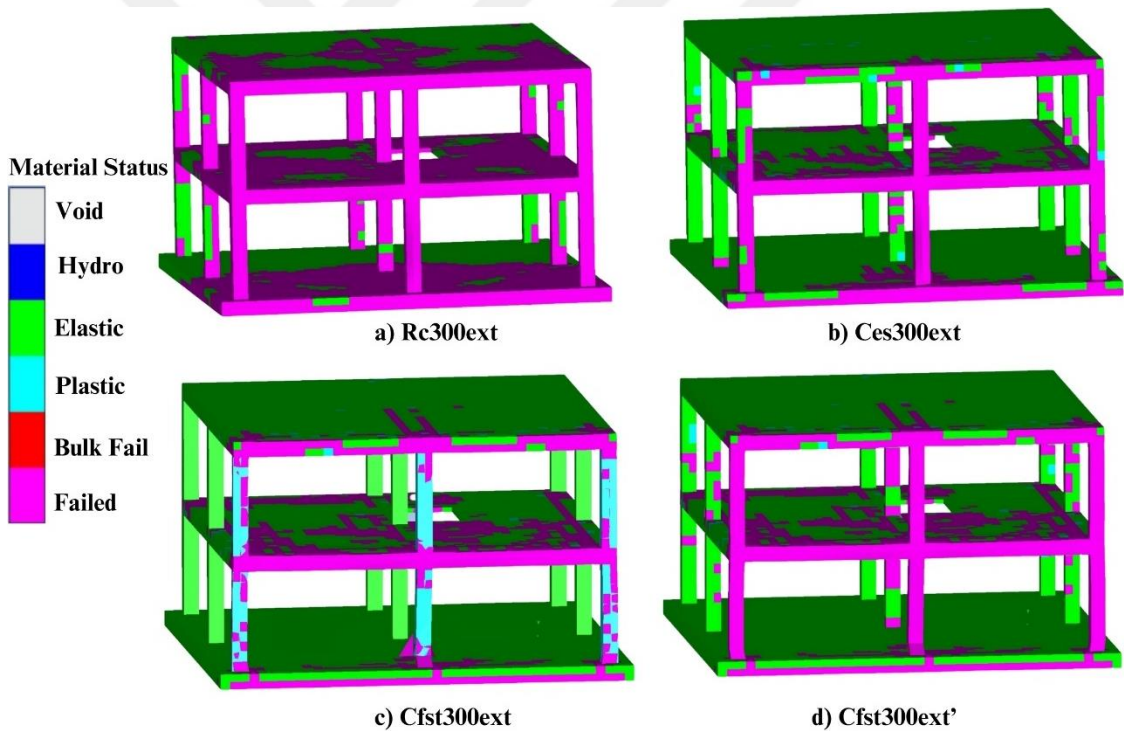
Her üç taşıyıcı sistem için 5 ms sonucu oluşan basınçların kontür diyagramı Şekil 4.33'teki gibidir. Analizlerde ortaya çıkan pik basınç değeri kolonlarda 2-2,5 ms civarında ortaya çıkıp sonradan zamanla azaldığı için patlayıcıya en yakın kolonlarda 5 ms sonucunda kontür diyagramındaki pik basınç değeri görülmemesi normal bir durumdur. Basıncın zamana bağlı değişim grafikleri Şekil 4.37'de gösterilmiştir. Kullanılan yazılım kabuk elemanlar (beton dolgulu çelik tüp) üzerindeki gözlem noktalarındaki (G#1, G#2 ... G#12) basınçları ölçemediği için Rc ve Ces sisteminde kolonlardaki bu gözlem noktaları kesikli çizgilerle, kiriş ve döşemelerdeki değerler ise düz çizgilerle basınç – zaman grafiğinde Şekil 4.37'de gösterilmiştir. Patlayıcıya en yakın konumdaki kolon S₁₂'de Rc300ext modelinde 12,83 MPa basınç, Ces300ext modelinde 12,84 MPa pik basınçlar meydana gelmiştir.



Şekil 4. 33 5 ms sonucu basınç kontür diyagramı a) Rc100ext, b) Ces100ext, c) Cfst100ext

Malzeme durumu kontür diyagramı incelendiğinde 300 kg patlayıcıyla gerçekleşen patlama sonucu her üç taşıyıcı sistemin de kalıcı hasarlar aldığı, hasarın sadece ön cephe ile kalmayıp taşıyıcı sistem elemanlarına dağıldığı gözlenmektedir. Şekil 4.34–a, Şekil 4.34–b ve Şekil 4.34–c her üç taşıyıcı sistemin malzeme durumu, Şekil 4.34–d’de beton dolgulu çelik tüpe sahip kompozitin, çelik tüpün altındaki betonun kontür diyagramı ek olarak gösterilmiştir. Her üç modelde de kalıcı hasarlar patlamaya yakın ön cephede yoğunlaştığı, arka akslardaki taşıyıcı sistem elemanlarında da kırılmalar olduğu, kompozit sistemlerin daha az hasar aldığı gözlemlenmektedir. Kompozit sistemler kendi

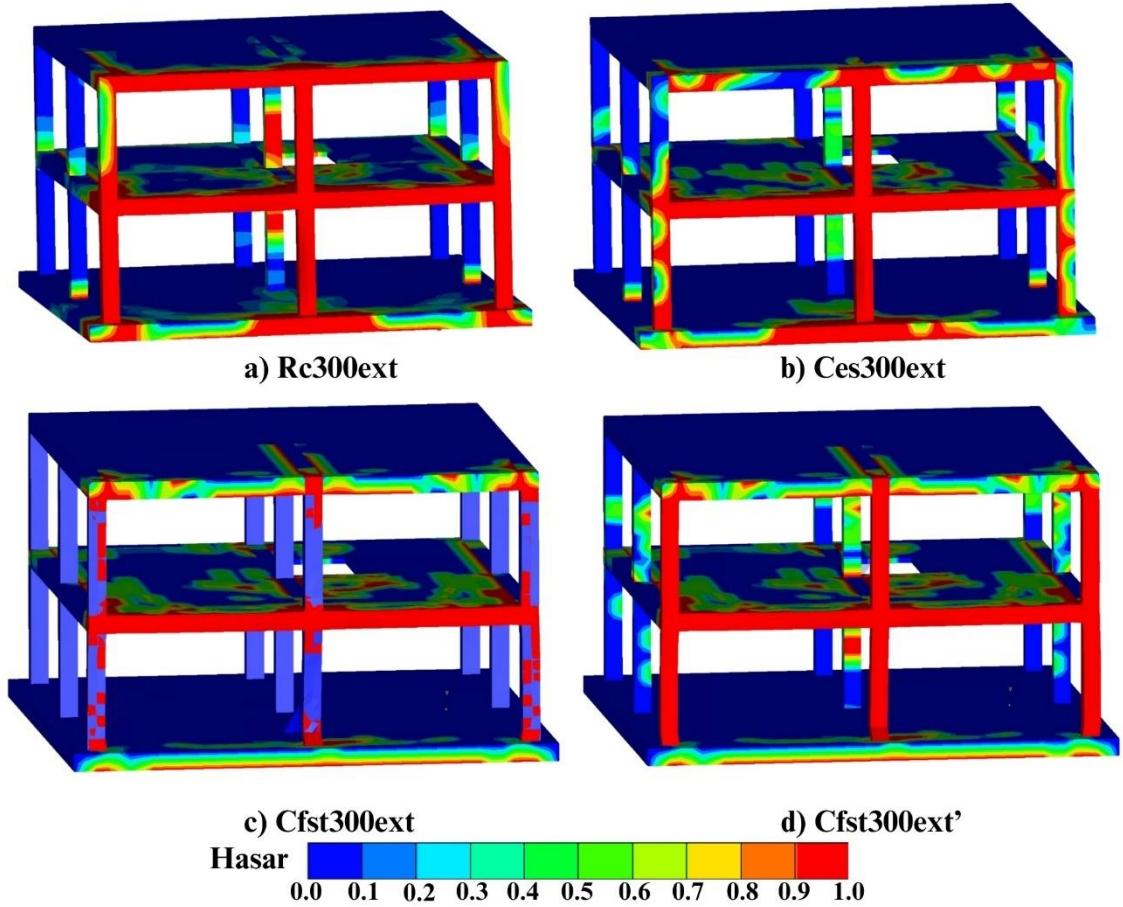
arasında kıyaslanacak olursa Şekil 4.34-b ve Şekil 4.34-d’de betonarme elemanlardaki kalıcı hasarlar bakımından Cfst300ext sistemin en az hasar aldığı gözlenmektedir. Rc300ext sisteminde (Şekil 4.34-a) S₁₁, S₁₂, S₁₃, S₂₁, S₂₂, S₂₃, S₂₄, S₂₆ kolonlarının; K₁₁, K₁₂, K₂₁, K₂₂, K₁₇, K₁₉, K₂₇, K₂₉ kirişlerinde kırılmalar olduğu, K₁₁₀, K₁₁₂ de ise yer yer kırılmalar olduğu gözlemlenmektedir. Ces300ext sisteminde (Şekil 4.34-b) S₁₁, S₁₂, S₁₃, S₂₂ kolonlarının tamamen kırıldığı, S₂₁, S₂₃ kolonlarında kırılmaların olduğu; K₁₁, K₁₂ kirişlerinin tamamen kırıldığı, K₂₁, K₂₂ kirişlerinde kırılmaların ilerlediği gözlemlenmektedir. Cfst300ext incelendiğinde (Şekil 4.34-c) S₁₁, S₁₂, S₁₃, S₂₁, S₂₂, S₂₃ kolonlarındaki çelik tüplerde hasarların genel olarak elastik-plastik sınırlar içerisinde kaldığı çok az kırılmalar olduğu fakat tüpün içerisindeki beton elemanlar incelendiğinde (Şekil 4.34-d) S₁₁, S₁₂, S₁₃, S₂₁, S₂₂, S₂₃ kolon elemanlarının kırıldığı; K₁₁, K₁₂ kirişlerinin kırıldığı, K₂₁, K₂₂’de hasarların ilerlediği, özellikle köşe noktalarındaki düğüm noktalarında kırılmalar gözlemlenmiştir.



Şekil 4.34 5 ms sonucu oluşan malzeme durumu kontür diyagramı a) Rc300ext, b) Ces300ext, c) Cfst300ext, d) Cfst300ext'

Meydana gelen hasarların her üç taşıyıcı sistemde de patlayıcıya ek yakın elemanlarda meydana geldiği görülmektedir (Şekil 4.35). Rc300ext sisteminde (Şekil 4.35-a) S₁₁, S₁₂, S₁₃, S₂₁, S₂₂, S₂₃ kolonları ve K₁₇, K₁₉, K₂₁, K₂₂, K₂₇, K₂₉ kirişlerindeki hasarın diğer sistemlere göre daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.35-c ve Şekil 4.35-d’deki Cfst300ext sistemine bakıldığında çelik tüplerin az hasar aldığı (Şekil 4.35-c) fakat çelik

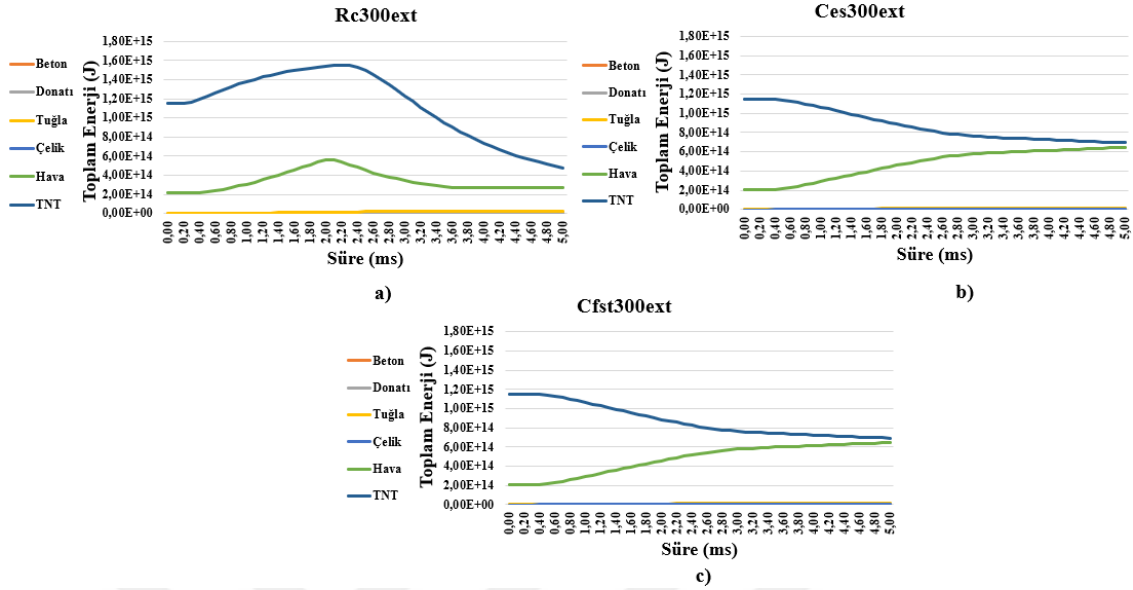
tüpün içindeki betonun (Şekil 4.35-d) oldukça fazla hasar aldığı görülmektedir. Rc300ext sistemin (Şekil 4.35-a) Ces300ext (Şekil 4.35-b) ve Cfst300ext (Şekil 4.35-c) sistemlere göre patlamaya yakın olan ön cephede başka bir deyişle yapının genelinde daha fazla hasar olduğu açıkça görülmektedir. Hasar dağılımı incelendiğinde Ces300ext sistemin aldığı hasarın yapının ilk patlayıcıya yakın olan katı ilk katı ile sınırlı olduğu, üst kattaki hasarın diğer sistemlerden daha az olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 4.35 5 ms sonucu oluşan hasar durumu kontür diyagramı a) Rc300ext, b) Ces300ext, c) Cfst300ext, d) Cfst300ext'

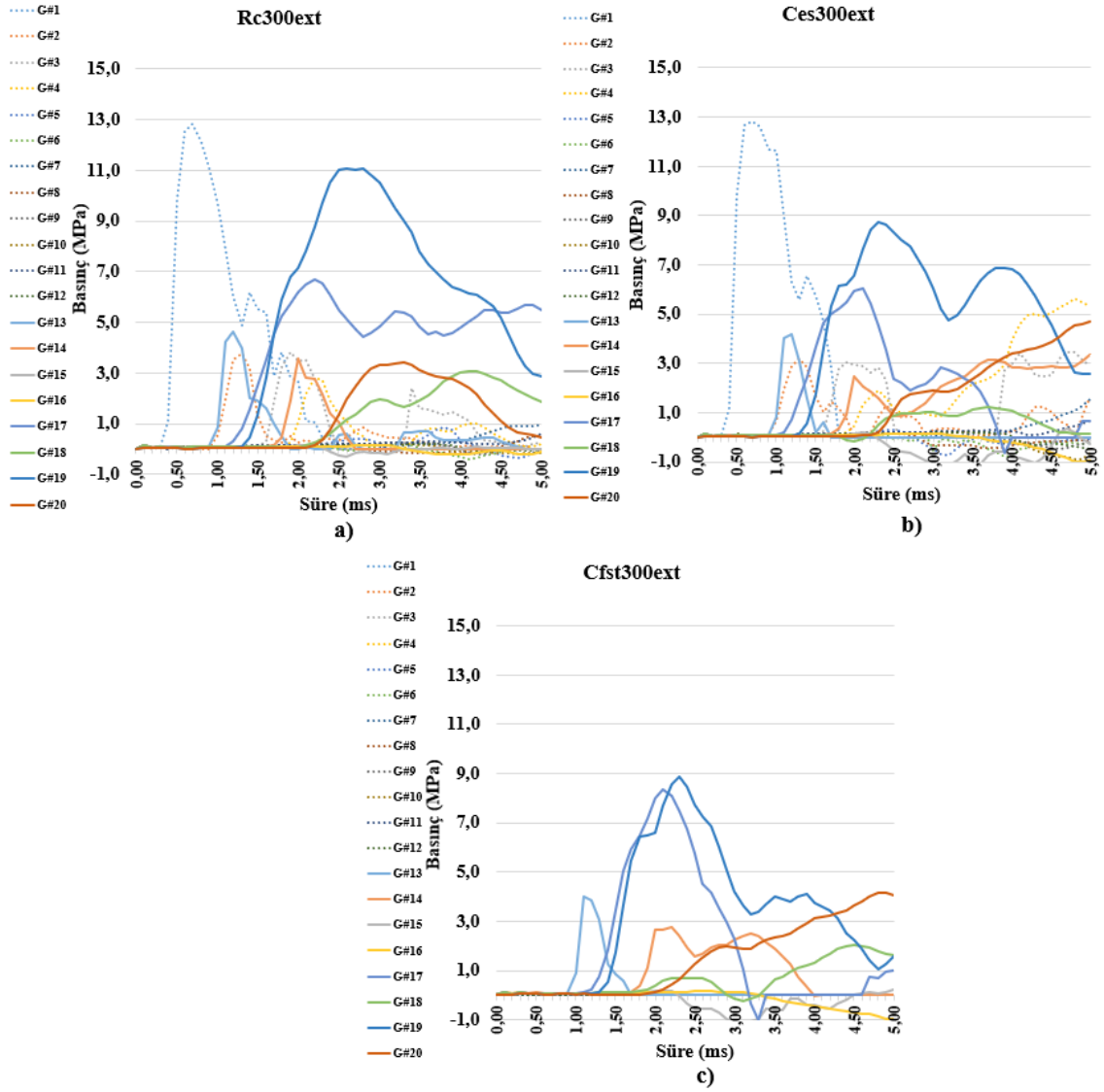
Toplam enerjinin zaman bağlı değişim grafiği Şekil 4.36'da gösterilmiştir. Patlayıcı miktarı aynı olduğu için her üç sistemde de 300 kg TNT infilak etmesi sonucu ortaya $1,15 \times 10^9$ J enerji çıkmıştır. Bu enerji hava ve yapı tarafından absorbe edilmiştir. Rc300ext sistemde 5 ms sonucu hava $2,72 \times 10^8$ J, beton $2,97 \times 10^6$ J, donatı $5,23 \times 10^3$ J, tuğla $2,34 \times 10^7$ J; Ces300ext sistemde hava $6,98 \times 10^8$ J, beton $2,71 \times 10^6$ J, donatı $3,22 \times 10^3$ J, çelik $2,60 \times 10^2$ J, tuğla $1,86 \times 10^6$ J; Cfst300ext sistemde hava $6,46 \times 10^8$ J, beton $3,89 \times 10^6$ J, donatı $2,73 \times 10^3$ J, çelik $2,12 \times 10^6$ J, tuğla $1,37 \times 10^7$ J enerji absorbe etmiştir. Ces300ext sistemi en çok enerji absorbe eden sistem olduğu görülmektedir. Her üç

sistemde de en çok enerji hava tarafından emilmiş, havanın absorbe ettiği enerji diğer tüm elemanların absorbe ettiği enerjinin yaklaşık 10 katıdır.



Şekil 4. 36 Toplam enerji değişimi-zaman grafiği a) Rc300ext, b) Ces300ext, c) Cfst300ext

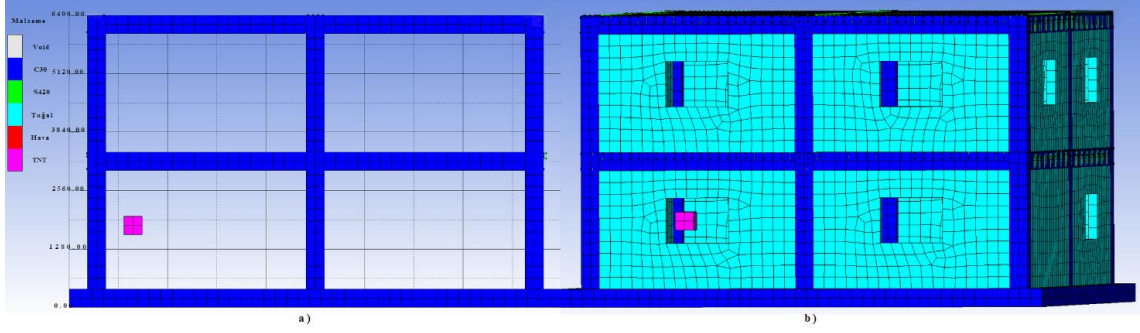
Kiriş ve döşemelerde meydana gelen basıncın zamanla ilişkisini gösteren grafik Şekil 4.37’de kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Ces300ext sisteminde pik basınç 12,83 MPa iken Rc300ext sisteminde 12,87 MPa büyüklüğünde patlayıcıya en yakın taşıyıcı eleman olan S_{12} kolonunda meydana gelmiştir. Kirişlerdeki en büyük basınç her üç taşıyıcı sistemde de patlayıcıya en yakın konumdaki K_{11} ve K_{12} ’de değil patlayıcı ile aynı hizada bulunan K_{18} kirişinde meydana gelmiş olup Rc300ext’te 6,69 MPa, Ces300ext’te 6,32 MPa, Cfst300ext’te 8,37 MPa büyüklüğündedir. Patlayıcı miktarının etkisiyle K_{13} kirişinde 1,3 MPa büyüklüğüne varan negatif basınçlar olduğu gözlemlenmiştir. Döşemelerdeki negatif basınçlar kompozit taşıyıcı sistemlerde meydana geldiği, betonarme taşıyıcı sistemin döşemelerindeki negatif basınç çok küçük düzeyde olduğu Şekil 4.30’da da görülmektedir.



Şekil 4.37 Taşıyıcı sistem elemanları basınç-zaman ilişkisi a) Rc300ext, b) Ces300ext, c) Cfst300ext

4.4 İç Patlama Analizi

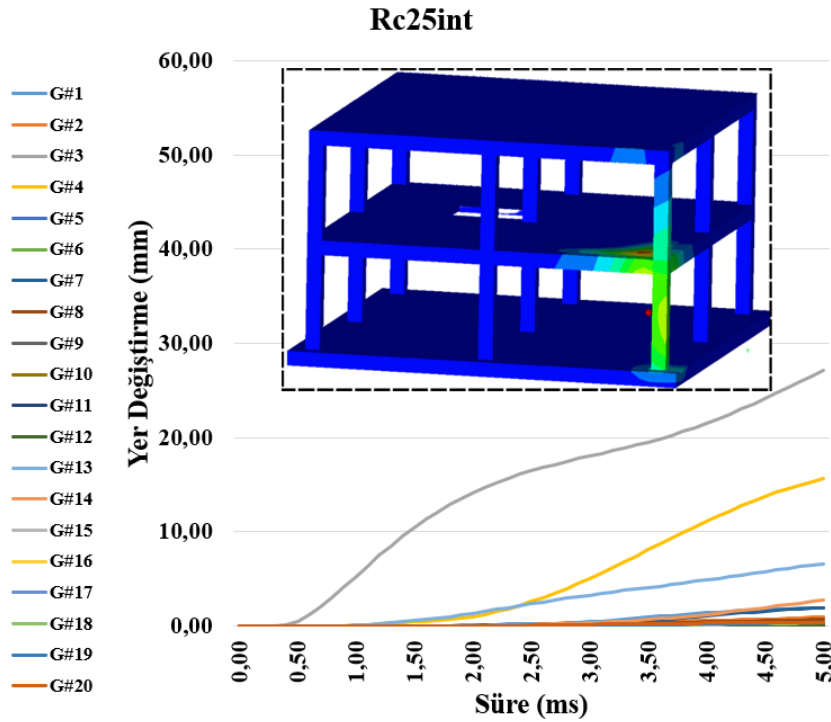
Kapalı alanda gerçekleşen patlamalarda taşıyıcı sistem elemanlarının alacağı hasar seviyesi ve taşıyıcı sistem türü arasında bağlantı olup olmadığını anlamak için 25 kg, 50 kg ve 100 kg olmak üzere üç farklı patlayıcı miktarı için her üç taşıyıcı sistemde toplam dokuz analiz gerçekleştirilmiştir. Bölüm 3.1.1’de bahsedildiği üzere kısmen havalandırılmış patla durumları gerçekleştirilmiştir. Dış patlama analizlerinde görüldüğü üzere havanın patlayıcıdan çıkan enerjiyi soğurmada dolayısıyla hasarı azaltmada büyük rol oynadığı gözlemlenmiştir. İç patlamalarda kapalı alan büyütme etkisi yaparak büyük hasarlar vereceği beklenmektedir. Patlayıcı konumu Şekil 4.38’deki gibidir.



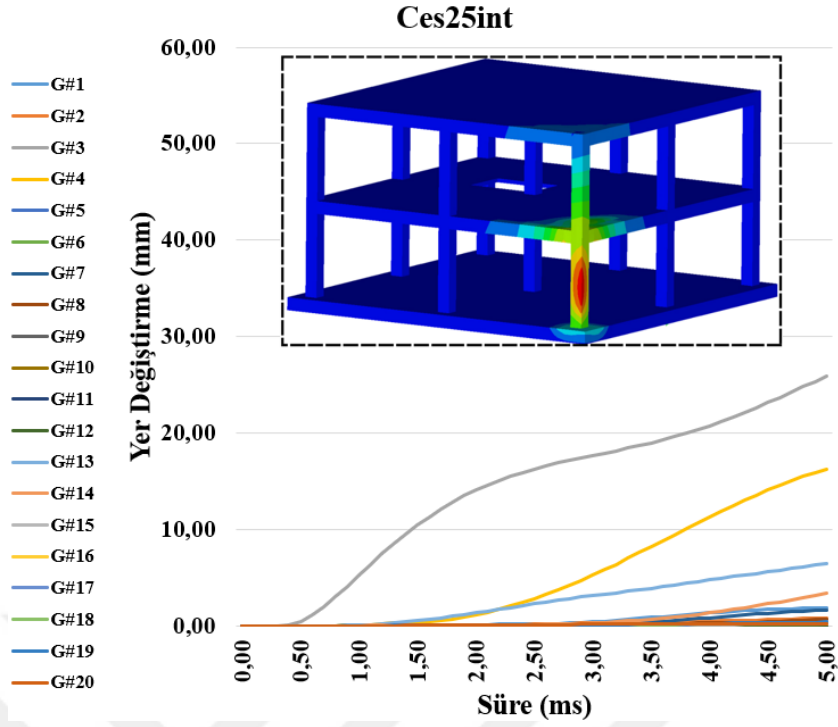
Şekil 4. 38 Patlayıcı konumu a) Yandan görünüş b) Üç boyutlu görünüş

4.4.1 25 Kg İç Patlama

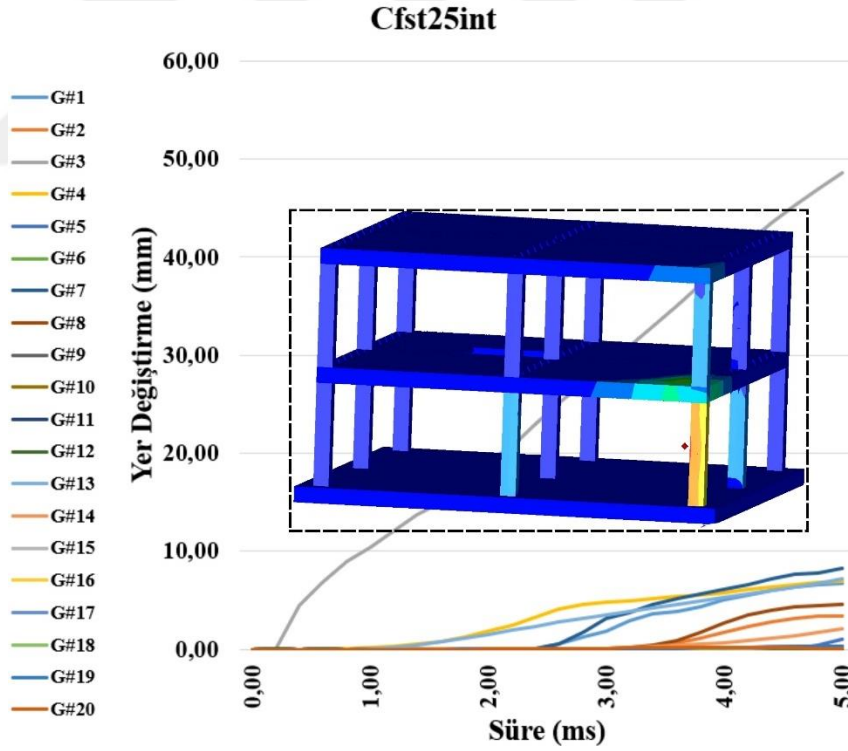
25 kg TNT patlayıcı kullanılarak gerçekleştirilen patlama analizinde taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda bölgesel kalıcı hasarlar gözlemlenmiştir. En büyük yer değiştirme patlayıcıya en yakın konumdaki S₁₁ kolonunda ve 2. kat döşemesi D₁₁'de meydana gelmiştir. S₁₁ kolonunda meydana gelen yer değiştirmeler Rc25int sistemi için 44,3 mm (Şekil 4.39), Ces25int sistemi için 35,7 mm (Şekil 4.40), Cfst25int sistemi için 48,9 mm (Şekil 4.41) büyüklüğündedir. D₁₁ döşemesindeki yer değiştirme Rc25int sisteminde 55,4 mm, Ces25int sisteminde 21,4mm, Cfst25int sisteminde 33,3 mm'dir. Döşemelerdeki en büyük yer değiştirme Rc25int sisteminde meydana gelmiştir. Cfst25int sistemde G#3 gözlem noktasının diğer sistemlere göre oldukça büyük yer değiştirme yapması yerel burkulma etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4. 39 Rc25int yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı



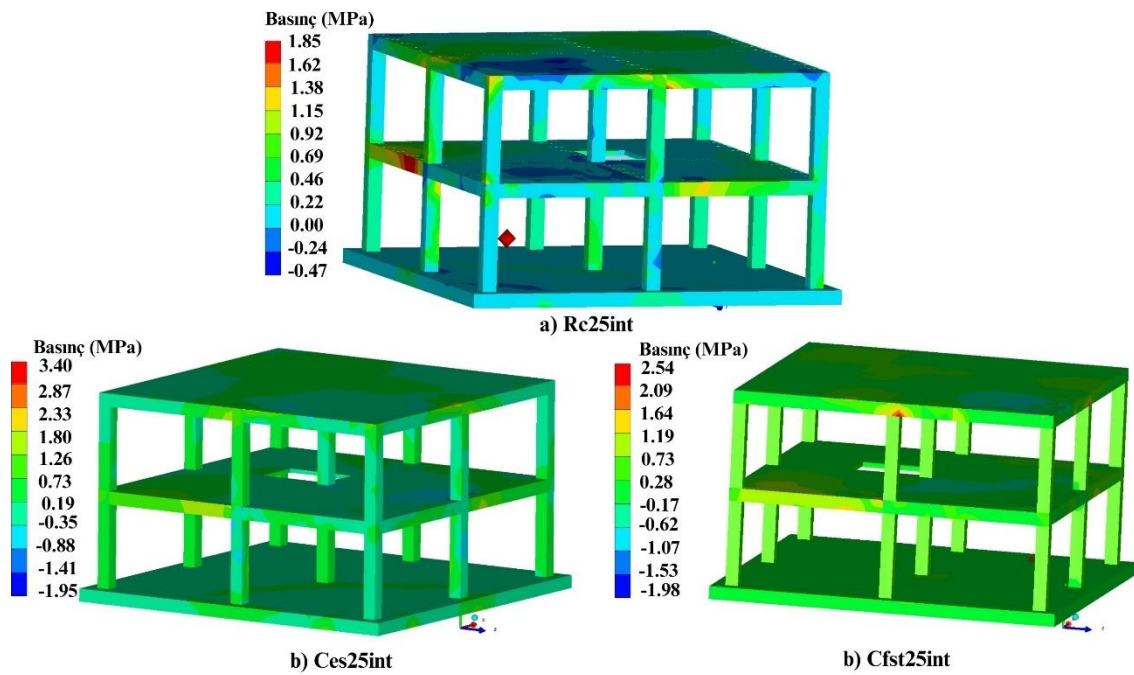
Şekil 4. 40 Ces25int yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı



Şekil 4. 41 Cfst25int yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı

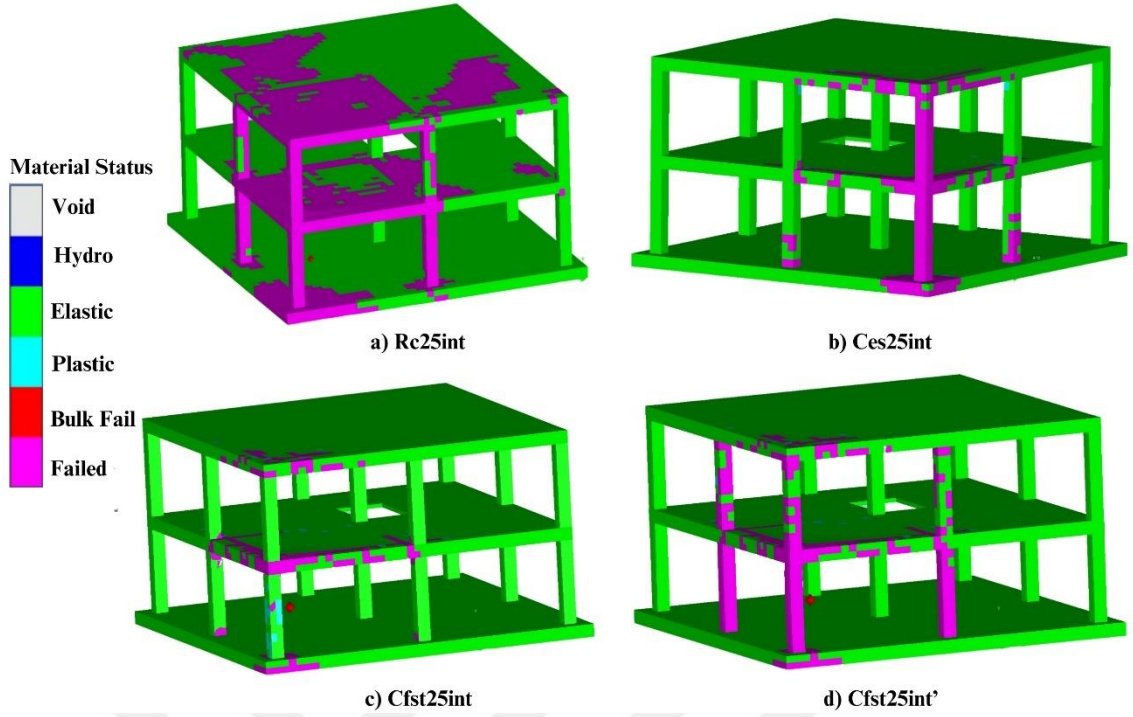
Her üç taşıyıcı sistem için 5 ms sonucu oluşan basınçların kontür diyagramı Şekil 4.42'deki gibidir. Analizlerde ortaya çıkan pik basınç değeri kolonlarda 0,5 ms civarında ortaya çıkıp sonradan zamanla azaldığı için patlayıcıya en yakın kolonlarda 5 ms

sonucunda kontür diyagramındaki pik basınç değeri görülmemesi normal bir durumdur. Basıncın zamana bağlı değişim grafikleri Şekil 47’de gösterilmiştir. Kullanılan yazılım kabuk elemanlar (beton dolgulu çelik tüp) üzerindeki gözlem noktalarındaki (G#1, G#2 ... G#12) basınçları ölçemediği için Rc ve Ces sisteminde kolonlardaki bu gözlem noktaları kesikli çizgilerle, kiriş ve döşemelerdeki değerler ise düz çizgilerle basınç – zaman ilişkisi Şekil 4.47’de gösterilmiştir. Patlayıcıya en yakın konumdaki kolon S₁₁’de Rc25int modelinde 9,67 MPa basınç, Ces25int modelinde 9,60 MPa pik basınçlar meydana gelmiştir.



Şekil 4. 42 5 ms sonucu Rc25int basınç kontür diyagramı

Döşemelerin aldığı hasar incelendiğinde Rec25int sisteminde (Şekil 4.43-a) D₁₁, D₁₂, D₁₃, D₂₁, D₂₂, D₂₃ döşemelerinde büyük miktarda kırılmalar olduğu; S₁₁, S₁₂, S₁₄, S₂₁ kolonlarının kırıldığı, S₂₂, S₂₄ kolonlarında kırılmaların başladığı; K₁₁, K₁₃, K₁₇, K₁₈, K₂₁, K₂₃, K₂₇ kirişlerindeki betonun kırıldığı görülmektedir. Ces25int sisteminde (Şekil 4.43-b) S₁₁ ve S₂₁ kolonlarının kırıldığı, S₁₂ ve S₁₃ kolonlarında kırılmanın başladığı; K₁₁, K₁₇, K₂₁, K₂₇ kirişlerinde betonda kırılmaların başladığı, döşemelerde kalıcı hasarın çok küçük olduğu Şekil 4.36’da da görülmektedir. Cfst25int sisteminde (Şekil 4.43-c) K₁₁, K₁₇, K₂₁, K₂₇ kirişlerinde betonun kırılmaya başladığı; D₁₁ ve D₂₁ döşemelerinde çok az hasarlar olduğu; S₁₁ kolondaki çelik tüpün plastik sınırlar içerisinde kaldığı, S₁₂ ve S₁₄ kolonlarındaki çelik tüpün hasar almadığı fakat çelik tüpün içerisindeki betonun (Şekil 4.43-d) S₁₁, S₁₂, S₁₄ kolonlarında kırıldığı, S₂₁, S₂₂, S₂₄ kolonlarındaki betonda kırılmanın başladığı görülmektedir.

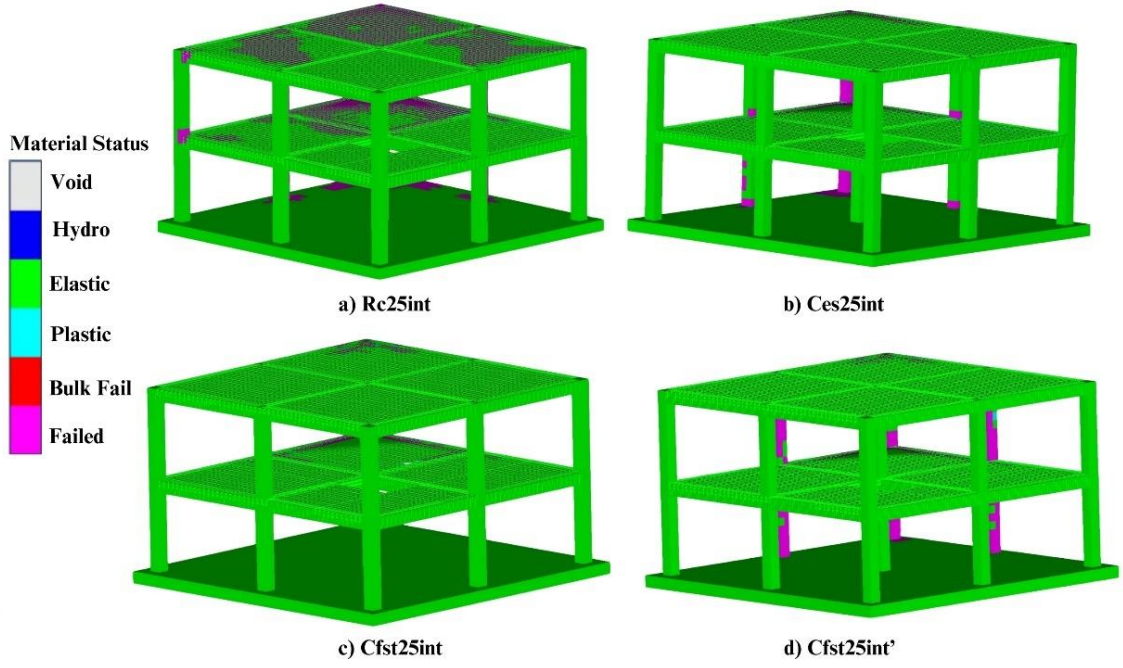


Şekil 4.43 5 ms sonucu oluşan ön cephe malzeme durumu kontür diyagramı
a) Rc25int, b) Ces25int, c) Cfst25int, d) Cfst25int'

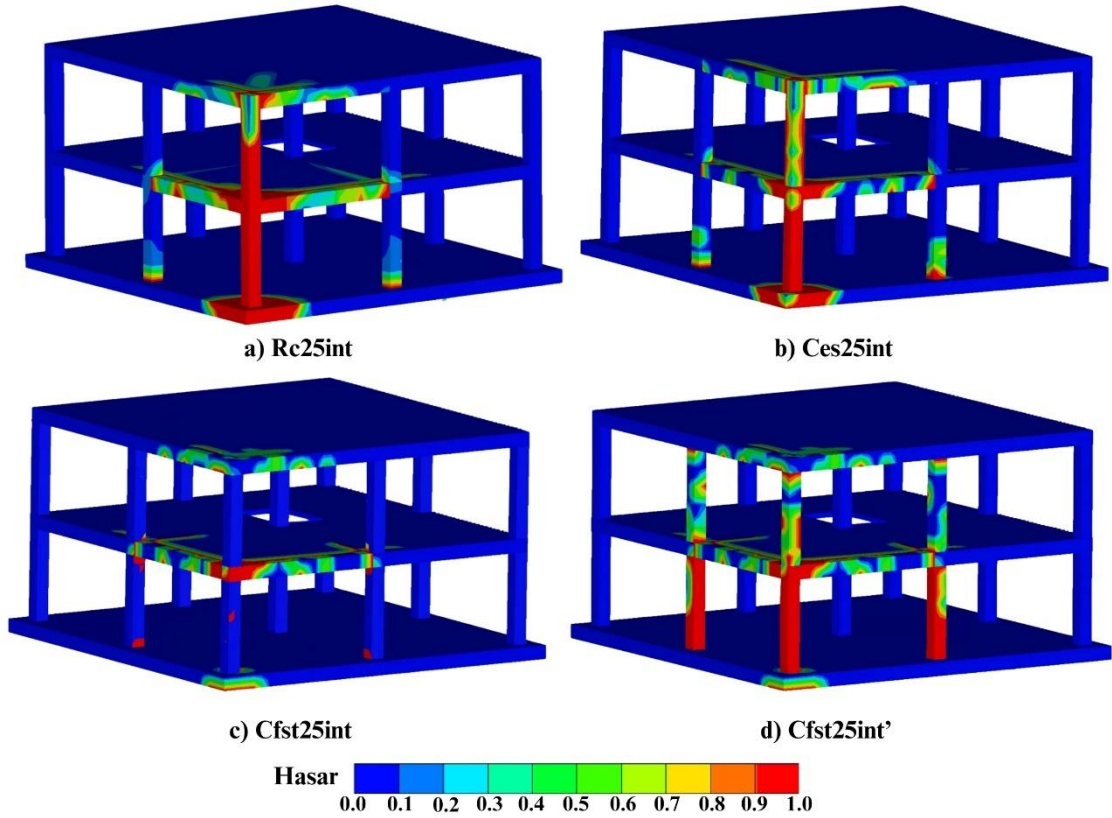
Patlamanın gerçekleştiği cephenin malzeme hasar durumunda betonarme sistemin en fazla hasarı aldığı, betonarme çelik gömme kompozit sistemin en az hasarı aldığı görülmektedir. Taşıyıcı olmayan bölme duvarların aldığı hasarların benzer seviyede olduğu görülmektedir.

Rc25int sisteminde (Şekil 4.43-a) hasarın üst katta da devam ettiği, Ces25int ve Cfst25int sisteminde (Şekil 4.43-b, Şekil 4.43-c) hasarın patlamanın olduğu katta olduğu, üst kata kısmen hasar aldığı görülmektedir.

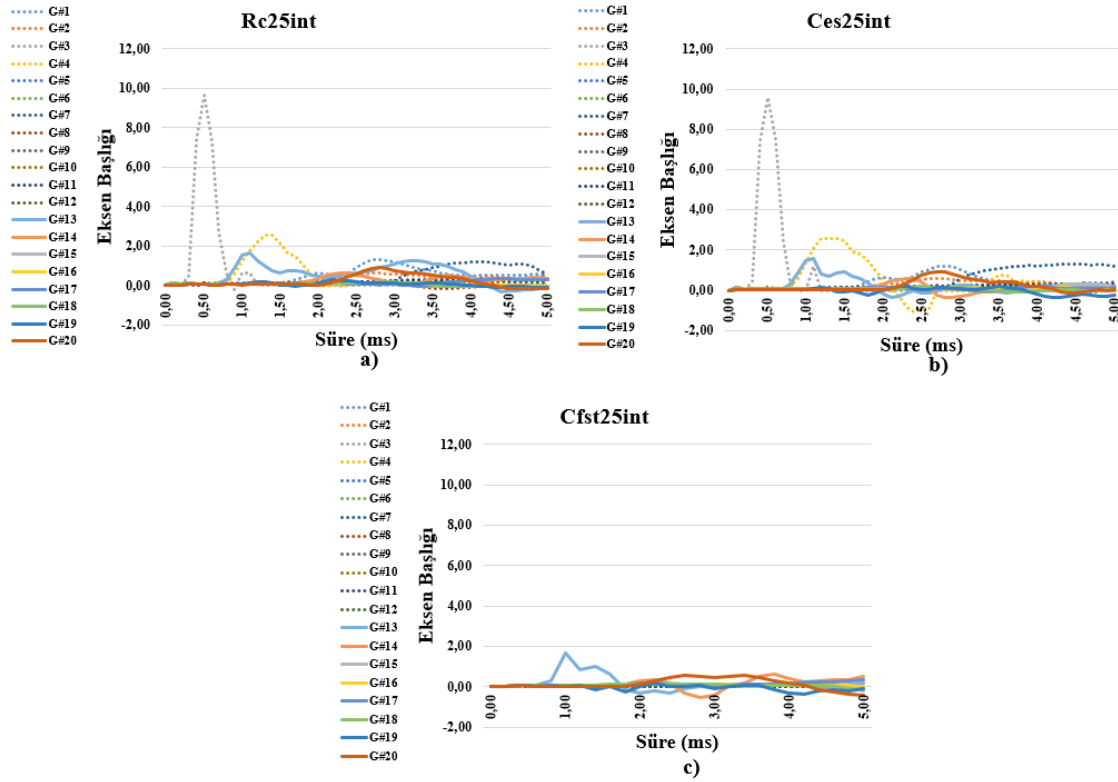
Malzeme durumu arka cephe hasar dağılımı incelendiğinde (Şekil 4.44) kolon kiriş birleşim bölgelerinde hasarın Rec25int sistemde daha fazla olduğu, S₁₉ kolonun birleşim bölgesinde betonda kırılmalar olduğu; Ces25int ve Cfst25int sistemlerinde henüz S₁₉ kolonun uç bölgesinde kırılmaların başlamadığı görülmektedir.



Şekil 4. 44 Malzeme durumu arka cephe hasar dağılımı a) Rc25int, b) Ces25int, c) Cfst25int, d) Cfst25int'



Şekil 4. 45 Hasar dağılımı kontür diyagramı a) Rc25int, b) Ces25int, c) Cfst25int, d) Cfst25int'

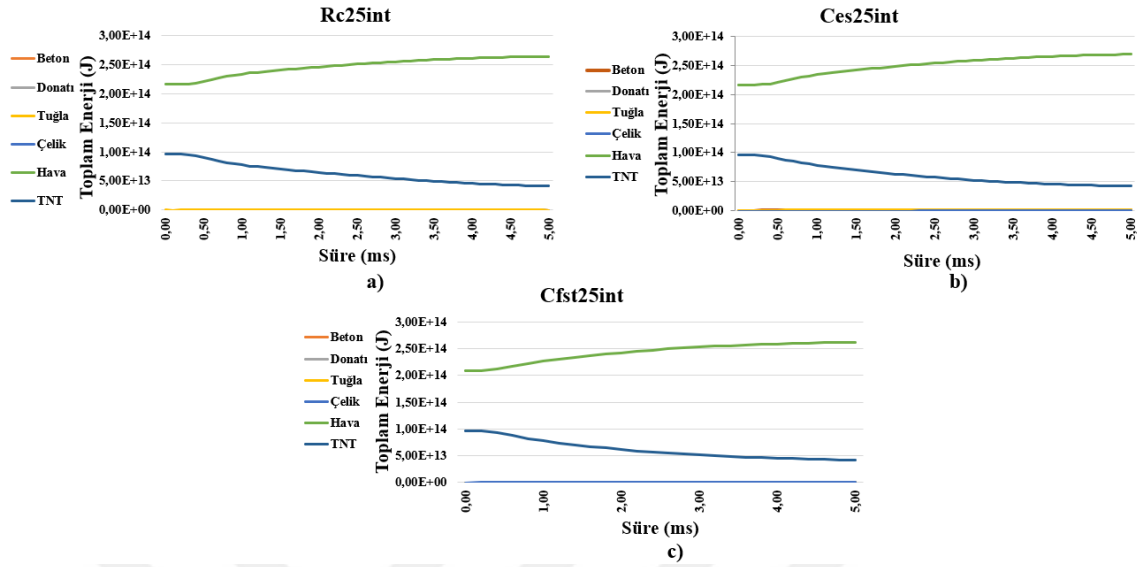


Şekil 4. 46 Taşıyıcı sistem elemanları basınç-zaman ilişkisi a) Rc25int, b) Ces25int, c) Cfst25int

Kolon, kiriş ve döşemelerde meydana gelen basıncın zamanla ilişkisini gösteren grafik Şekil 4.46'da gösterilmiştir. G#1-G#12 arasındaki değerler kolonları, G#13-G#20 arasındaki değerler kiriş ve döşemeleri temsil etmektedir. Ces25int sisteminde pik basınç 9,61 MPa iken Rc25int sisteminde 9,67 MPa büyüklüğünde patlayıcıya en yakın taşıyıcı eleman olan S₁₁ kolonunda meydana gelmiştir. Kirişlerdeki en büyük basınç her üç taşıyıcı sistemde de patlayıcıya en yakın konumdaki K₁₁ ve K₁₇ kirişinde meydana gelmiş olup Rc25int'te 1,62 MPa, Ces25int'te 1,58 MPa, Cfst25int'te 1,65 MPa büyüklüğündedir. Meydana gelen negatif basınçların oldukça küçük olduğu gözlemlenmiştir.

Toplam enerjinin zaman bağlı değişim grafiği Şekil 4.47'de gösterilmiştir. Patlayıcı miktarı aynı olduğu için her üç sistemde de 25 kg TNT infilak etmesi sonucu ortaya 9,60 x 10⁷ J enerji çıkmıştır. Bu enerji hava ve yapı tarafından absorbe edilmiştir. Rc25int sistemde 5 ms sonucu hava 2,64 x 10⁸ J, beton 1,64 x 10⁵ J, donatı 9,95 x 10³ J, tuğla 6,29 x 10⁵ J; Ces25int sistemde hava 2,70 x 10⁸ J, beton 1,24 x 10⁵ J, donatı 7,88 x 10³ J, çelik 1,28 x 10² J, tuğla 5,75 x 10⁵ J; Cfst25int sistemde hava 2,63 x 10⁸ J, beton 1,57 x 10⁵ J, donatı 3,02 x 10³ J, çelik 5,43 x 10⁴ J, tuğla 5,61 x 10⁵ J enerji absorbe etmiştir. Her üç

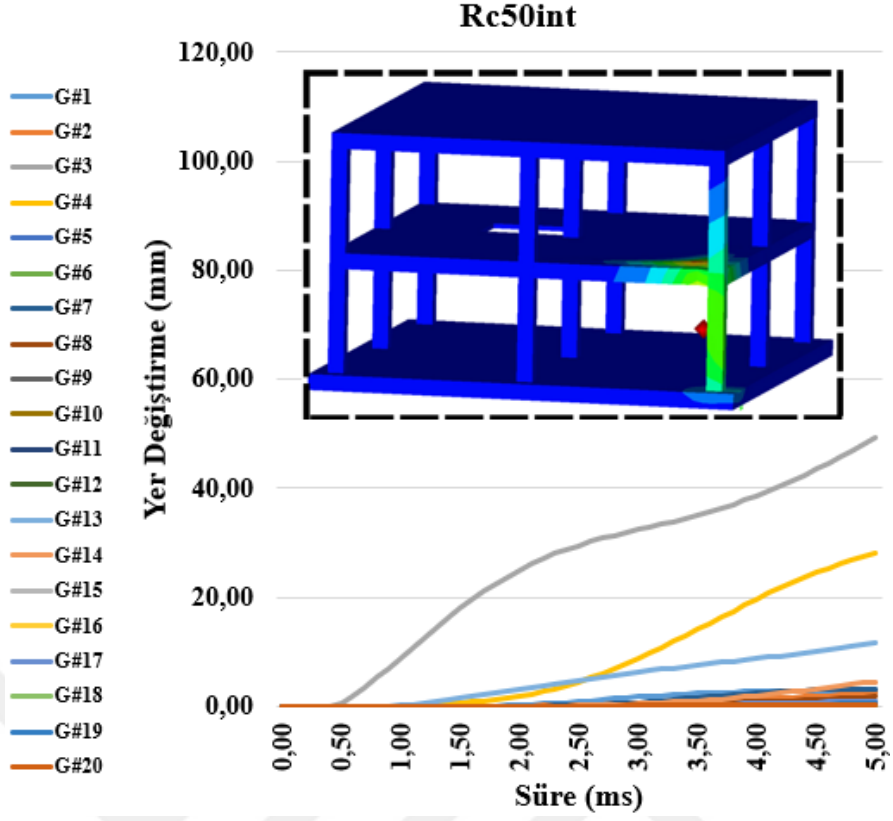
sistem benzer miktarda enerji emmiş olup en çok enerji hava tarafından emilmiş, havanın absorbe ettiği enerji diğer tüm elemanların absorbe ettiği enerjinin yaklaşık 1000 katıdır.



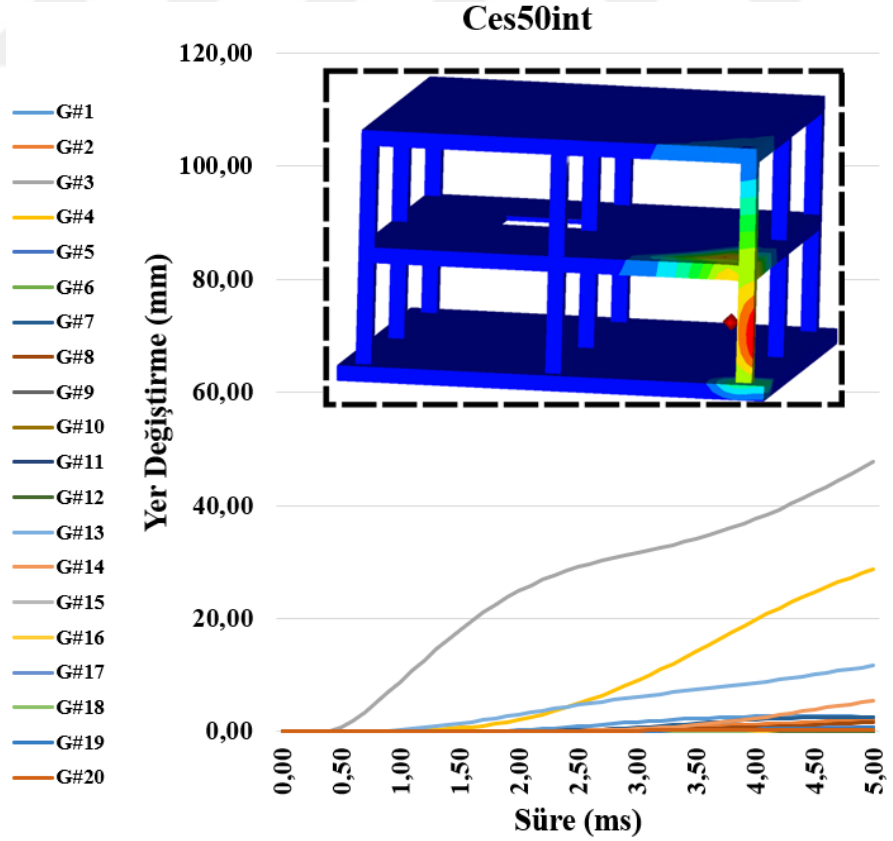
Şekil 4. 47 Toplam enerji değişimi-zaman grafiği a) Rc25int, b) Ces25int, c) Cfst25int

4.4.2 50 Kg İç Patlama

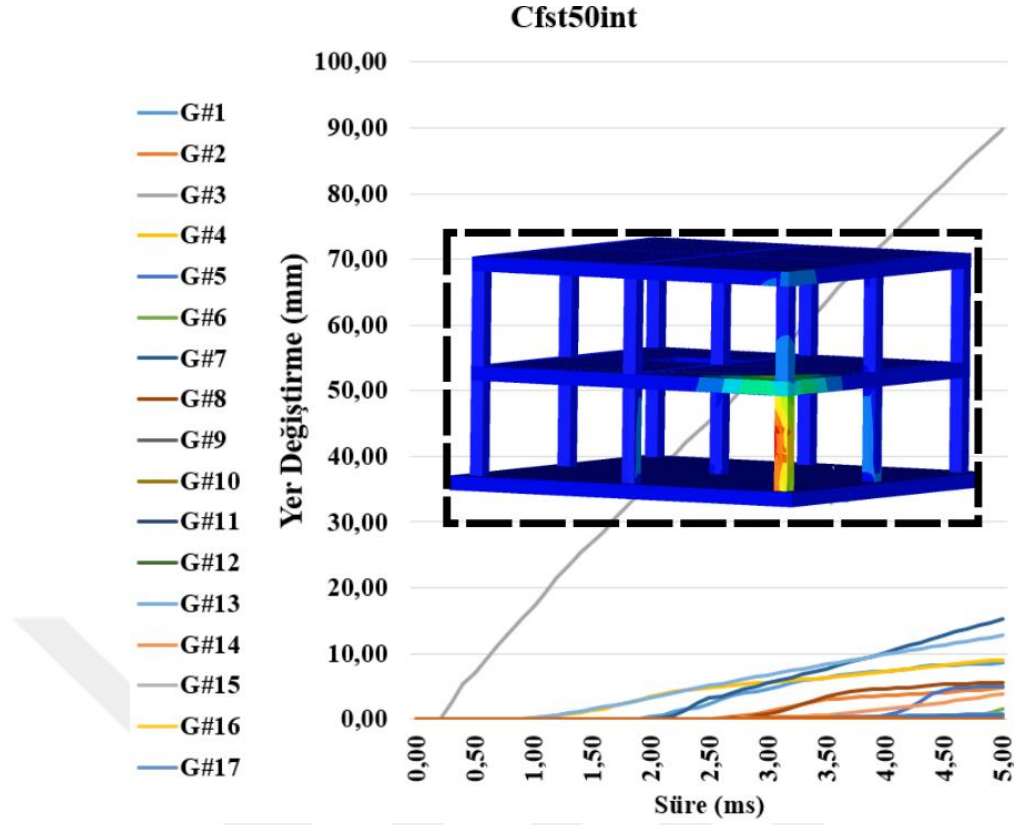
50 kg TNT patlayıcı kullanılarak gerçekleşen patlama analizinde taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda bölgesel kalıcı hasarlar gözlemlenmiştir. En büyük yer değiştirme patlayıcıya en yakın konumdaki S₁₁ kolonunda ve 2. kat döşemesi D₁₁'de meydana gelmiştir. S₁₁ kolonunda meydana gelen yer değiştirmeler Rc50int sistemi için 67,5 mm (Şekil 4.48), Ces50int sistemi için 63,2 mm (Şekil 4.49), Cfst50int sistemi için 99,4 mm (Şekil 4.50) büyüklüğündedir. D₁₁ döşemesindeki yer değiştirme Rc50int sisteminde 112,4 mm, Ces50int sisteminde 63,2 mm, Cfst50int sisteminde 50,6 mm'dir. Döşemelerdeki en büyük yer değiştirme Rc50int sisteminde meydana gelmiştir. Cfst50int sistemde G#3 gözlem noktasının diğer sistemlere göre oldukça büyük yer değiştirme yapıp diğer noktadaki yer değiştirmelerin benzer seviyede olması beton dolgulu çelik tüpün yerel burkulma etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4. 48 Rc50int yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı

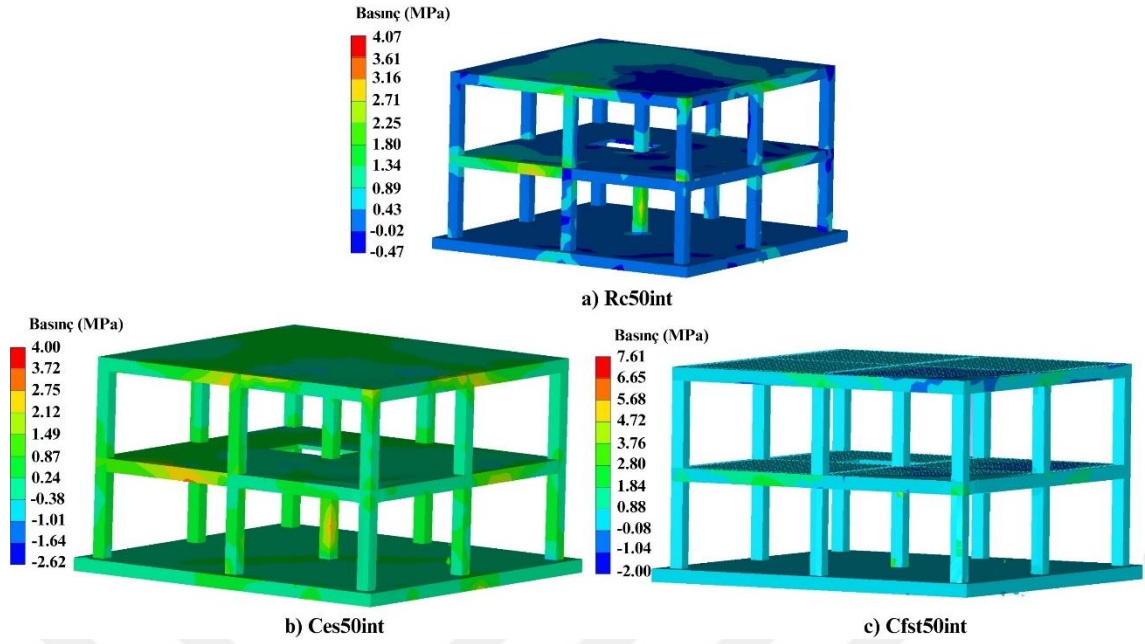


Şekil 4. 49 Ces50int yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı

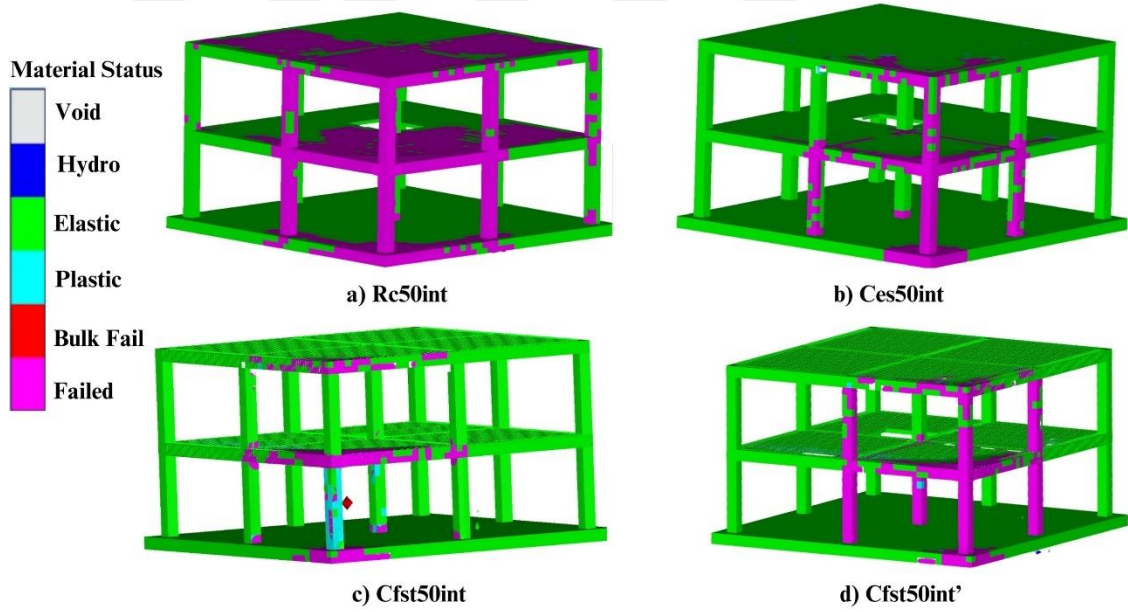


Şekil 4. 50 Cfst50int yer değişirme grafiği ve yer değişirme kontür diyagramı

Her üç taşıyıcı sistem için 5 ms sonucu oluşan basınçların kontür diyagramı Şekil 4.51'deki gibidir. Analizlerde ortaya çıkan pik basınç değeri kolonlarda 0,5 ms civarında ortaya çıkıp sonradan zamanla azaldığı için patlayıcıya en yakın kolonlarda 5 ms sonucunda kontür diyagramındaki pik basınç değeri görülmemesi normal bir durumdur. Basıncın zamana bağlı değişim grafikleri Şekil 4.56 gösterilmiştir. Kullanılan yazılım kabuk elemanlar (beton dolgulu çelik tüp) üzerindeki gözlem noktalarındaki (G#1, G#2 ... G#12) basınçları ölçemediği için Rc ve Ces sisteminde kolonlardaki bu gözlem noktaları kesikli çizgilerle, kiriş ve döşemelerdeki değerler ise düz çizgilerle basınç – zaman ilişkisi Şekil 4.51'de gösterilmiştir. Patlayıcıya en yakın konumdaki kolon S₁₁'de Rc50int modelinde 19,18 MPa basınç, Ces50int modelinde 19,26 MPa pik basınçlar meydana gelmiştir.



Şekil 4. 51 5 ms sonucu basınç kontür diyagramı a) Rc50int, b) Ces50int, c) Cfst50int



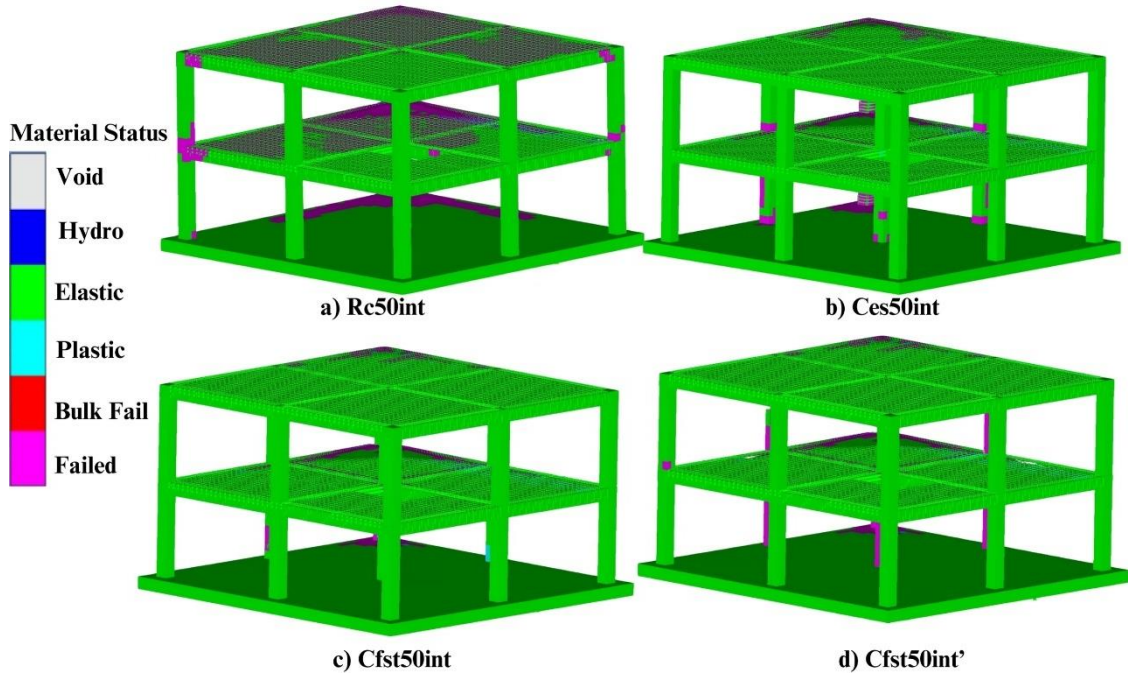
Şekil 4. 52 Malzeme durumu ön cephe iç hasar dağılımı a) Rc50int, b) Ces50int, c) Cfst50int

Döşemelerin aldığı hasar incelendiğinde Rec50int sisteminde (Şekil 4.52-a) D₁₁, D₁₂, D₁₃, D₂₁, D₂₂, D₂₃ döşemelerinde büyük miktarda kırılmalar olduğu; S₁₁, S₁₂, S₁₄, S₂₁, S₂₂, S₂₄ kolonlarının kırıldığı, S₁₃, S₂₃ kolonlarında kırılmaların başladığı; K₁₁, K₁₃, K₁₇, K₁₈, K₂₁, K₂₃, K₂₇, K₂₈ kirişlerindeki betonun kırıldığı görülmektedir. Ces50int sisteminde (Şekil 4.52-b) S₁₁, S₁₂, S₁₄, S₂₁ kolonlarının kırıldığı, S₁₅ kolonunun birleşim bölgesinde kırılmanın başladığı; K₁₁, K₁₃, K₁₇, K₁₈, K₂₁, K₂₇ kirişlerinde betonda kırılmaların başladığı, döşemelerde kalıcı hasarın çok küçük olduğu Şekil 4.45'te de

görülmektedir. Cfst50int sisteminde (Şekil 4.52-c) K₁₁, K₁₃, K₁₇, K₁₈ kirişlerinde betonun kırıldığı, K₂₁ ve K₂₇ kirişlerinde kırılmaların ilerlediği; D₁₁ ve D₂₁ döşemelerinde az miktarda kırılmaların oluştuğu; S₁₁ ve S₁₅ kolondaki çelik tüpün büyük ölçüde elastik-plastik sınırlar içerisinde kaldığı, S₁₂ ve S₁₄ kolonlarındaki çelik tüpün sadece birleşim bölgelerinde kırılmalar oluştuğu fakat çelik tüpün içerisindeki betonun (Şekil 4.52-d) S₁₁, S₁₂, S₁₄, S₁₅, S₂₁, S₂₂, S₂₄, S₂₅ kolonlarında kırıldığı görülmektedir.

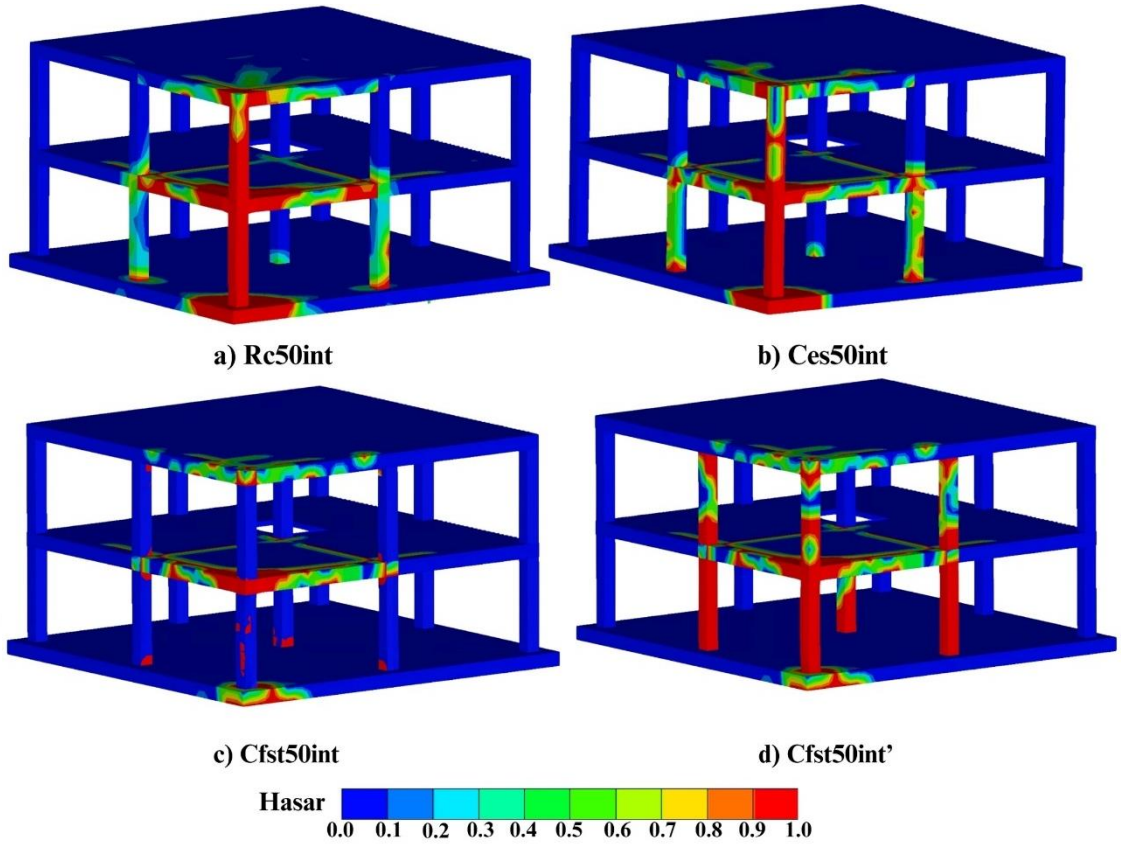
Rc50int sisteminde (Şekil 4.52-a) hasarın üst katta da devam ettiği, Ces50int ve Cfst50int sisteminde (Şekil 4.52-b, Şekil 4.52-c) hasarın patlamanın oluştuğu katta oluştuğu, üst kata kısmen hasar aldığı görülmektedir.

Malzeme durumu arka cephe hasar dağılımı incelendiğinde (Şekil 4.53) kolon kiriş birleşim bölgelerinde hasarın Rc50int sistemde daha fazla olduğu, S₁₉ kolonun birleşim bölgesinde betonda kırılmalar olduğu; Ces50int ve Cfst50int sistemlerinde henüz S₁₉ kolonun uç bölgesinde kırılmaların başlamadığı, Rc50int sistemin birleşim bölgelerinde daha fazla hasar oluştuğu görülmektedir.



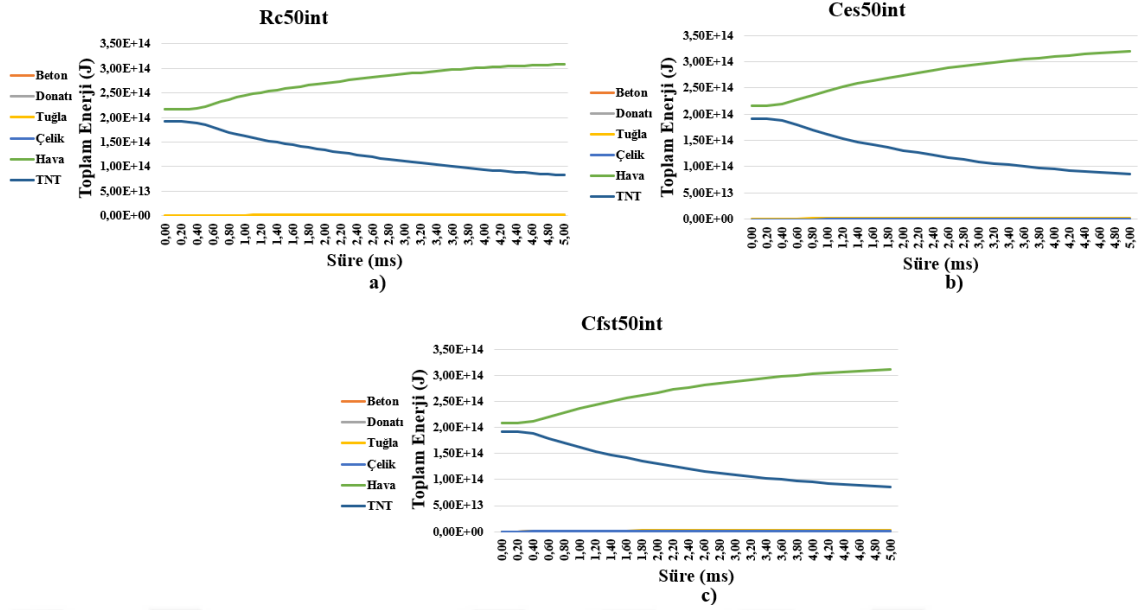
Şekil 4.53 Malzeme durumu arka cephe hasar dağılımı a) Rc50int, b) Ces50int, c) Cfst50int

Hasar durumu kontür diyagramı incelendiğinde Rc50int sisteminde (Şekil 4.54-a) hasarın üst katta da devam ettiği, üst kattaki hasarın Ces50int ve Cfst50int sistemlerinden (Şekil 4.54-b, Şekil 4.54-c) daha fazla olduğu görülmektedir.

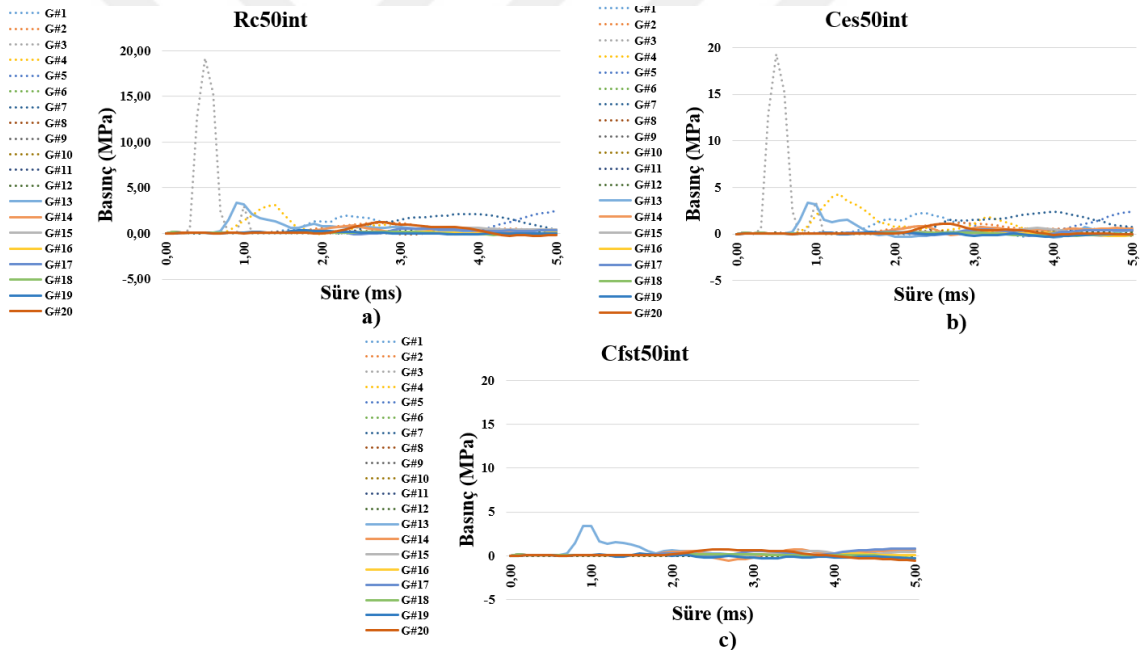


Şekil 4. 54 Hasar dağılımı kontür diyagramı a) Rc50int, b) Ces50int, c) Cfst50int, d) Cfst50int'

Toplam enerjinin zaman bağılı değişim grafiği Şekil 4.55'te gösterilmiştir. Patlayıcı miktarı aynı olduğu için her üç sistemde de 50 kg TNT infilak etmesi sonucu ortaya $1,92 \times 10^8$ J enerji çıkmıştır. Bu enerji hava ve yapı tarafından absorbe edilmiştir. Rc50int sistemde 5 ms sonucu hava $3,08 \times 10^8$ J, beton $5,44 \times 10^5$ J, donatı $3,26 \times 10^4$ J, tuğla $2,16 \times 10^6$ J; Ces50int sistemde hava $3,20 \times 10^8$ J, beton $4,19 \times 10^5$ J, donatı $2,57 \times 10^4$ J, çelik $2,38 \times 10^2$ J, tuğla $1,98 \times 10^6$ J; Cfst50int sistemde hava $3,13 \times 10^8$ J, beton $4,95 \times 10^5$ J, donatı $1,21 \times 10^4$ J, çelik $1,63 \times 10^5$ J, tuğla $1,97 \times 10^6$ J enerji absorbe etmiştir. Her üç sistem benzer miktarda enerji emmiş olup en çok enerji hava tarafından emilmiş, havanın absorbe ettiği enerji diğer tüm elemanların absorbe ettiği enerjinin yaklaşık 100 katından fazladır.



Şekil 4. 55 Toplam enerji değişimi-zaman grafiği a) Rc50int, b) Ces50int, c) Cfst50int



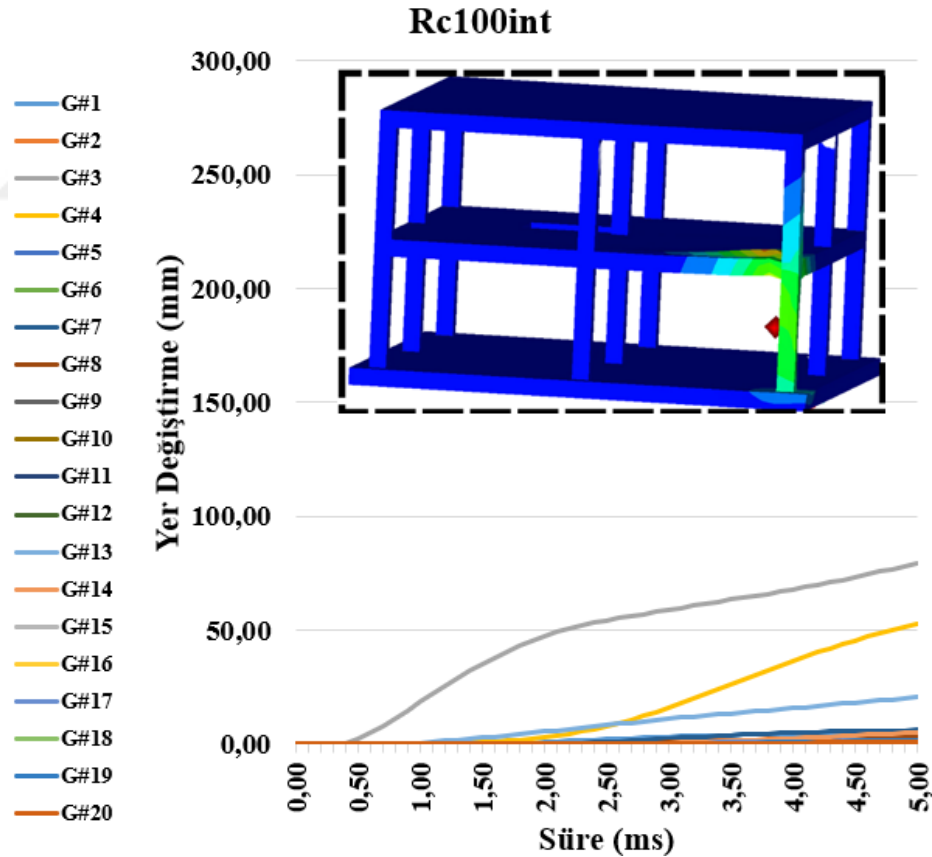
Şekil 4. 56 Taşıyıcı sistem elemanları basınç-zaman ilişkisi a) Rc50int, b) Ces50int, c) Cfst50int

Kolon, kiriş ve döşemelerde meydana gelen basıncın zamanla ilişkisini gösteren grafik Şekil 4.56'da gösterilmiştir. G#1-G#12 arasındaki değerler kolonları, G#13-G#20 arasındaki değerler kiriş ve döşemeleri temsil etmektedir. Ces50int sisteminde pik basınç 19,26 MPa iken Rc50int sisteminde 19,18 MPa büyüklüğünde patlayıcıya en yakın taşıyıcı eleman olan S₁₁ kolonunda meydana gelmiştir. Kirişlerdeki en büyük basınç her üç taşıyıcı sistemde de patlayıcıya en yakın konumdaki K₁₁ ve K₁₇ kirişinde meydana gelmiş olup Rc50int'te 3,38 MPa, Ces50int'te 3,39 MPa, Cfst50int'te 3,44 MPa

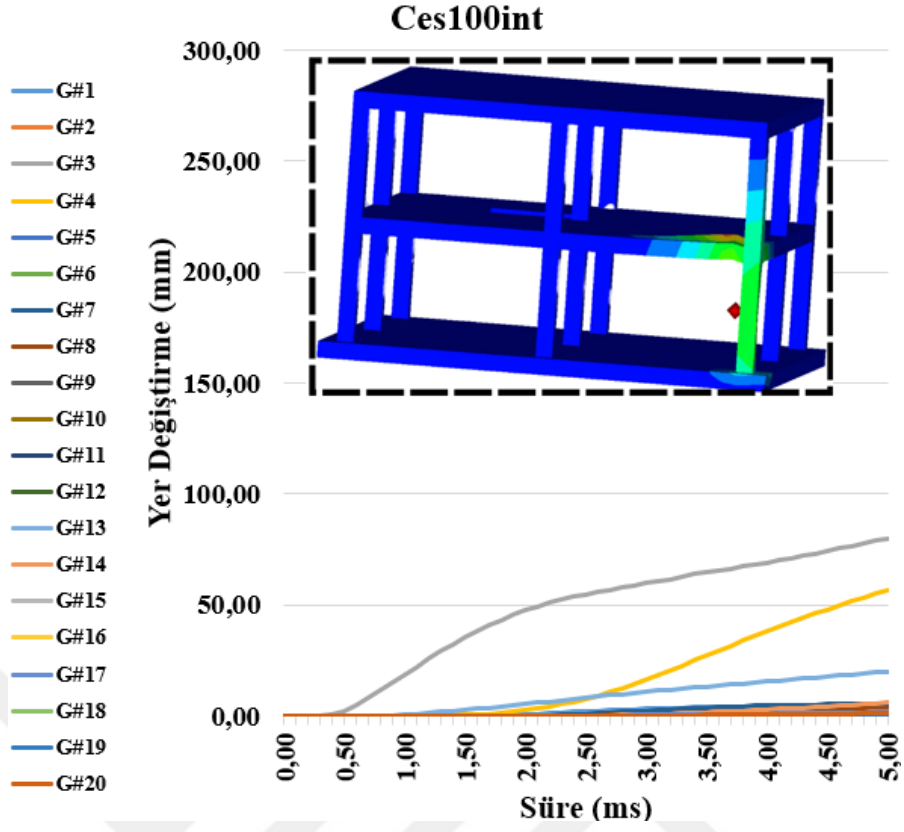
büyükliğindedir. Meydana gelen negatif basınçların oldukça küçük olduğu gözlemlenmiştir.

4.4.3 100 Kg İç Patlama

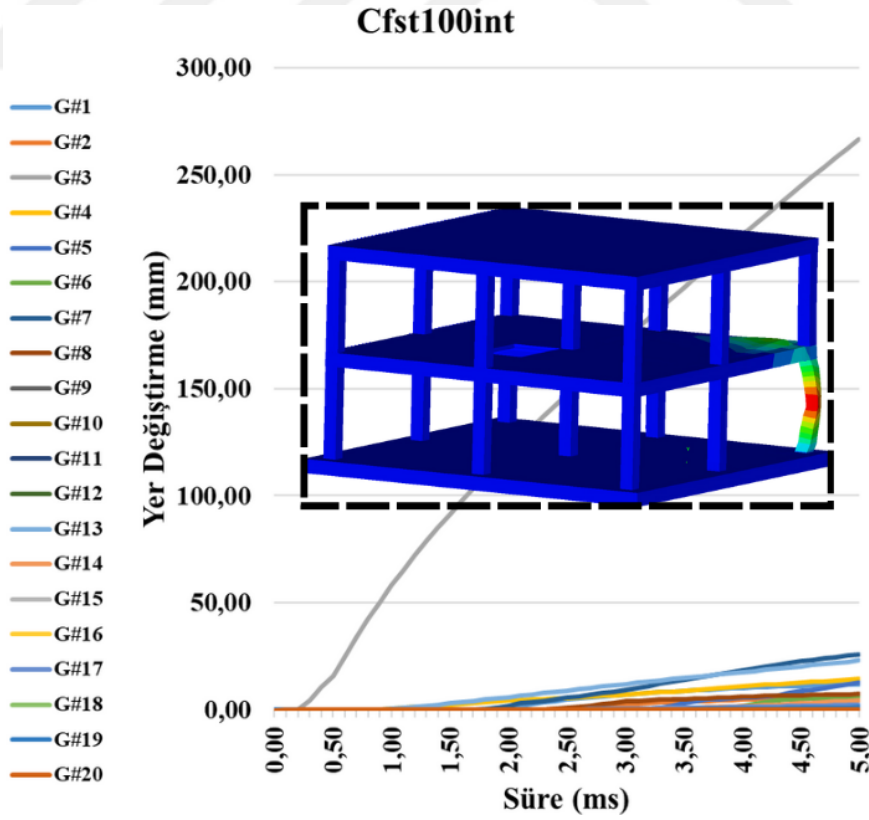
100 kg TNT patlayıcı kullanılarak gerçekleşen patlama analizinde taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda bölgesel kalıcı hasarlar gözlemlenmiştir. En büyük yer değiştirme patlayıcıya en yakın konumdaki S₁₁ kolonunda ve 2. kat döşemesi D₁₁'de meydana gelmiştir. S₁₁ kolonunda meydana gelen yer değiştirmeler Rc100int sistemi için 134,0 mm (Şekil 4.57), Ces100int sistemi için 133,5 mm (Şekil 4.58), Cfst100int sistemi için 283,8 mm (Şekil 4.59) büyüklüğündedir. D₁₁ döşemesindeki yer değiştirme Rc100int sisteminde 223,3 mm, Ces100int sisteminde 222,4 mm, Cfst100int sisteminde 170,3 mm'dir. Döşemelerdeki en büyük yer değiştirme Rc100int sisteminde meydana gelmiştir. G#3 gözlem noktasındaki en büyük yerdeğişirmeler Rc100int, Ces100int ve Cfst100int sistemleri için sırasıyla 79,34 mm, 80,08 mm ve 166,80 mm'dir.



Şekil 4. 57 Rc100int yer değiştirme grafiği ve yer değiştirme kontür diyagramı

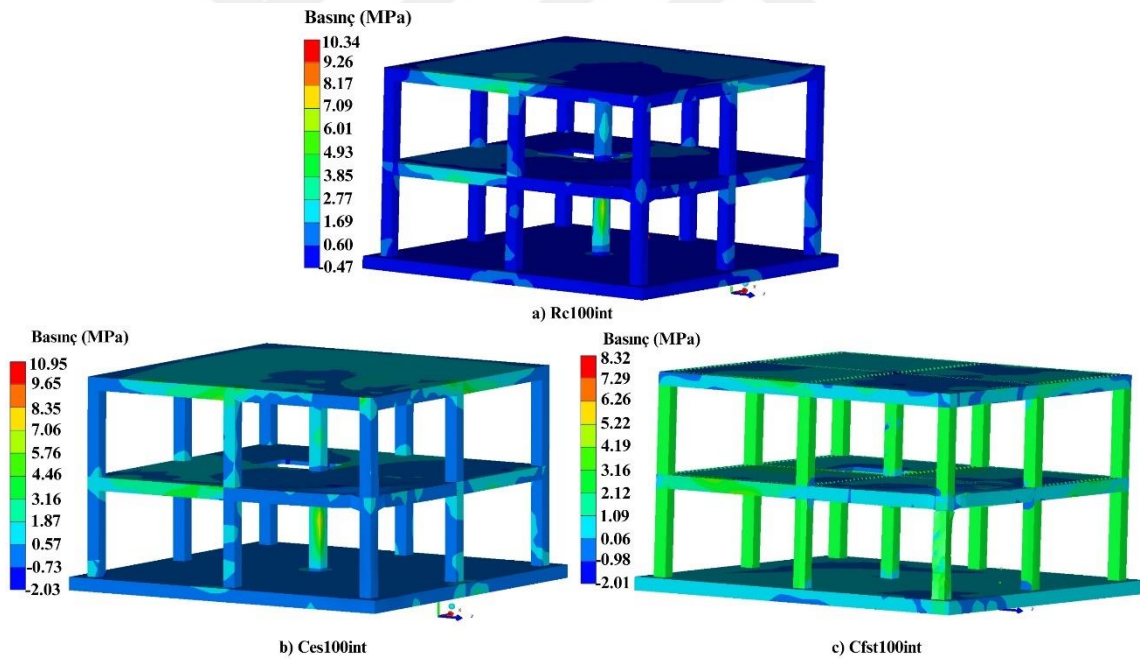


Şekil 4. 58 Ces100int yer değişirme grafiği ve yer değişirme kontür diyagramı

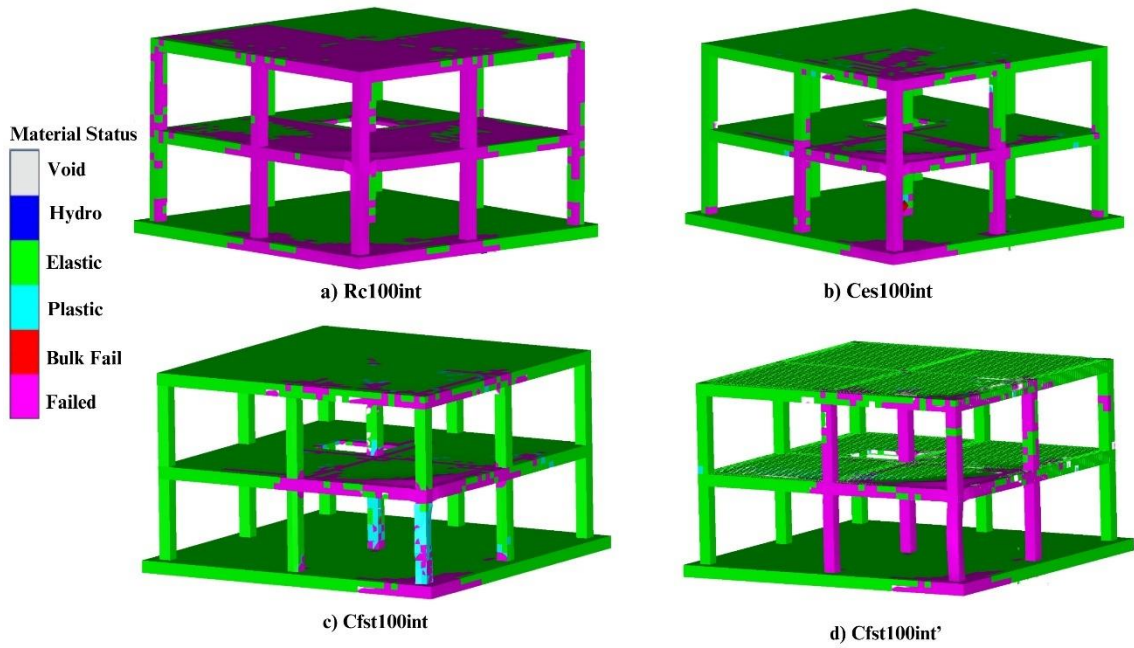


Şekil 4. 59 Cfst100int yer değişirme grafiği ve yer değişirme kontür diyagramı

Her üç taşıyıcı sistem için 5 ms sonucu oluşan basınçların kontür diyagramı Şekil 4.60'taki gibidir. Analizlerde ortaya çıkan pik basınç değeri kolonlarda 0,5 ms civarında ortaya çıkıp sonradan zamanla azaldığı için patlayıcıya en yakın kolonlarda 5 ms sonucunda kontür diyagramındaki pik basınç değeri görülmemesi normal bir durumdur. Basıncın zamana bağlı değişim grafikleri Şekil 4.65'te gösterilmiştir. Kullanılan yazılım kabuk elemanlar (beton dolgulu çelik tüp) üzerindeki gözlem noktalarındaki (G#1, G#2 ... G#12) basınçları ölçemediği için Rc ve Ces sisteminde kolonlardaki bu gözlem noktaları kesikli çizgilerle, kiriş ve döşemelerdeki değerler ise düz çizgilerle basınç – zaman ilişkisi Şekil 4.65'te gösterilmiştir. Patlayıcıya en yakın konumdaki kolon S₁₁'de Rc100int modelinde 54,53 MPa basınç, Ces100int modelinde 54,19 MPa pik basınçlar meydana gelmiştir. Kullanılan betonun basınç dayanımı 30 MPa olduğu düşünülürse pik basınç değerlerinin bu değeri aştığı görülmektedir. Yapının geçici olarak bile hizmet verebilmesi için yapının dinamik ve statik direncinin baştan değerlendirilmesi, basınç dayanımını aşan elemanlar silinerek aşamalı göçme analizi yapılması gerekmektedir.



Şekil 4. 60 5 ms sonucu basınç kontür diyagramı a) Rc100int, b) Ces100int, c) Cfst100int

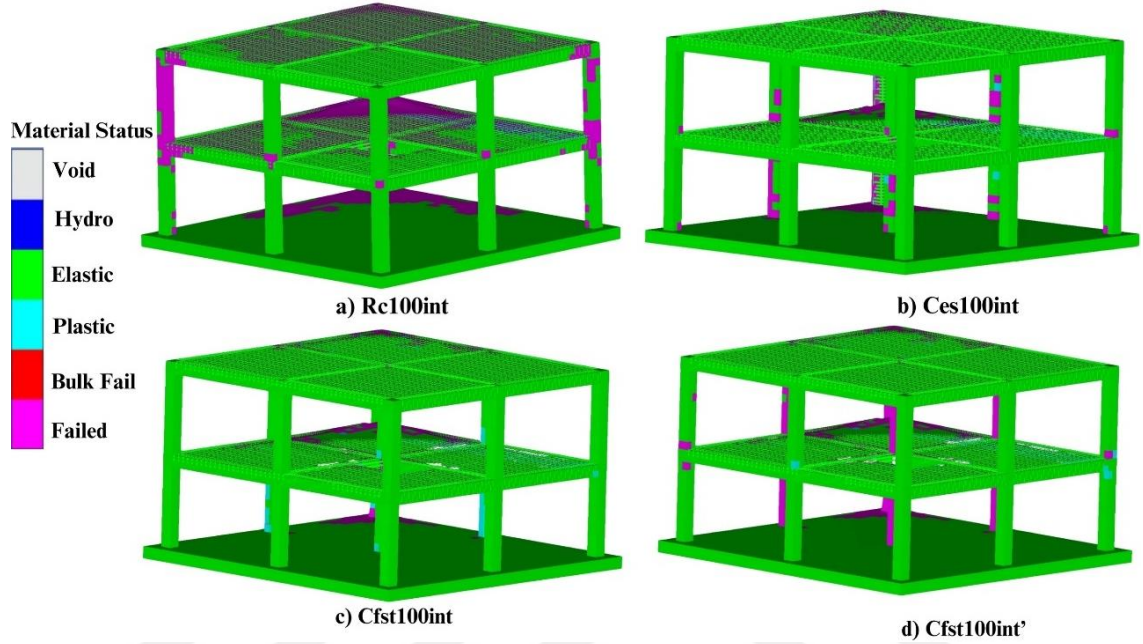


Şekil 4. 61 Malzeme durumu ön cephe hasar dağılımı a) Rc100int, b) Ces100int, c) Cfst100int, d) Cfst100int'

Döşemelerin aldığı hasar incelendiğinde Rec100int sisteminde (Şekil 4.61-a) D₁₁, D₁₂, D₁₃, D₂₁, D₂₂, D₂₃ döşemelerinde büyük miktarda kırılmalar olduğu, D₁₄ döşemesindeki merdiven boşluğu etrafında kırılmaların başladığı; S₁₁, S₁₂, S₁₄, S₂₁, S₂₂, S₂₃, S₂₄ kolonlarının kırıldığı, S₁₃, S₁₅, S₁₇, S₂₅ kolonlarında kırılmaların başladığı; K₁₁, K₁₃, K₁₇, K₁₈, K₂₁, K₂₃, K₂₇, K₂₈ kirişlerindeki betonun tamamen, K₁₂, K₁₀, K₂₂, K₂₁₀ kirişlerinde kırılmanın başladığı görülmektedir. Ces100int sisteminde (Şekil 4.61-b) S₁₁, S₁₂, S₁₄, S₂₁ kolonlarının kırıldığı, S₁₅, S₂₂, S₂₄ kolunun birleşim bölgesinde kırılmanın başladığı; K₁₁, K₁₃, K₁₇, K₁₈, K₂₁, K₂₇ kirişlerinde betonda kırılmalar olduğu; D₁₁ ve D₂₁'de kırılmalar olduğu, D₁₂ ve D₁₃'te kırılmaların başladığı Şekil 4.53'te de görülmektedir. Cfst100int sisteminde (Şekil 4.61-c) K₁₁, K₁₃, K₁₇, K₁₈ kirişlerinde betonun kırıldığı, K₂₁ ve K₂₇ kirişlerinde kırılmaların ilerlediği; D₁₁, D₁₃, D₂₁, D₂₃ döşemelerinde birleşim bölgelerinde kırılmaların yoğunlaştığı; S₁₁ ve S₁₅ kolondaki çelik tüpün büyük ölçüde elastik-plastik sınırlar içerisinde kaldığı, S₁₂, S₁₄, S₂₄ kolonlarındaki çelik tüpün sadece birleşim bölgelerinde kırılmalar oluştuğu fakat çelik tüpün içerisindeki betonun (Şekil 4.61-d) S₁₁, S₁₂, S₁₄, S₁₅, S₂₁, S₂₂, S₂₄, S₂₅ kolonlarında kırıldığı görülmektedir.

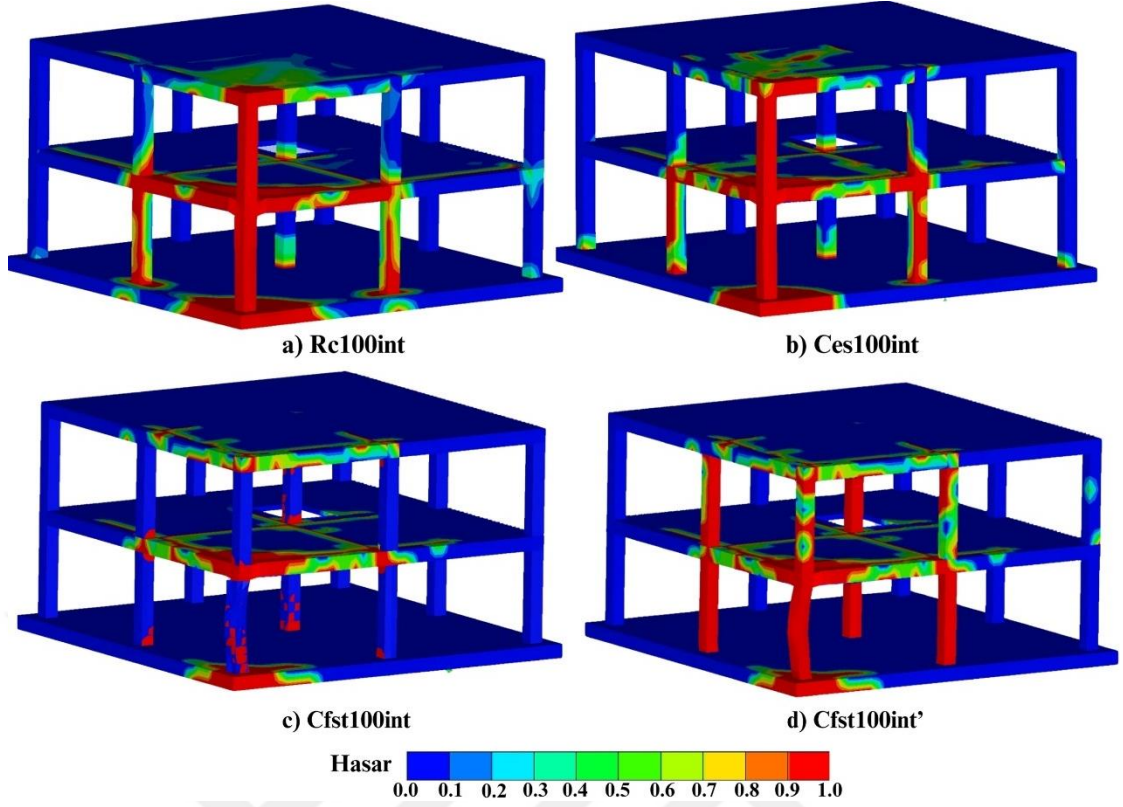
Rc50int sisteminde (Şekil 4.61-a) hasarın üst katta da devam ettiği, Ces50int ve Cfst50int sisteminde (Şekil 4.61-b, Şekil 4.61-c) hasarın patlamanın oluştuğu katta oluştuğu, üst kata kısmen hasar aldığı görülmektedir.

Malzeme durumu arka cephe hasar dağılımı incelendiğinde (Şekil 4.62) kolon kiriş birleşim bölgelerinde hasarın Rc100int sistemde daha fazla olduğu, S₁₉ kolonun birleşim bölgesinde betonda kırılmalar olduğu; Ces10int ve Cfst10int sistemlerinde henüz S₁₉ kolonun uç bölgesinde kırılmaların başlamadığı, Rc10int sistemin birleşim bölgelerinde daha fazla hasar olduğu görülmektedir.



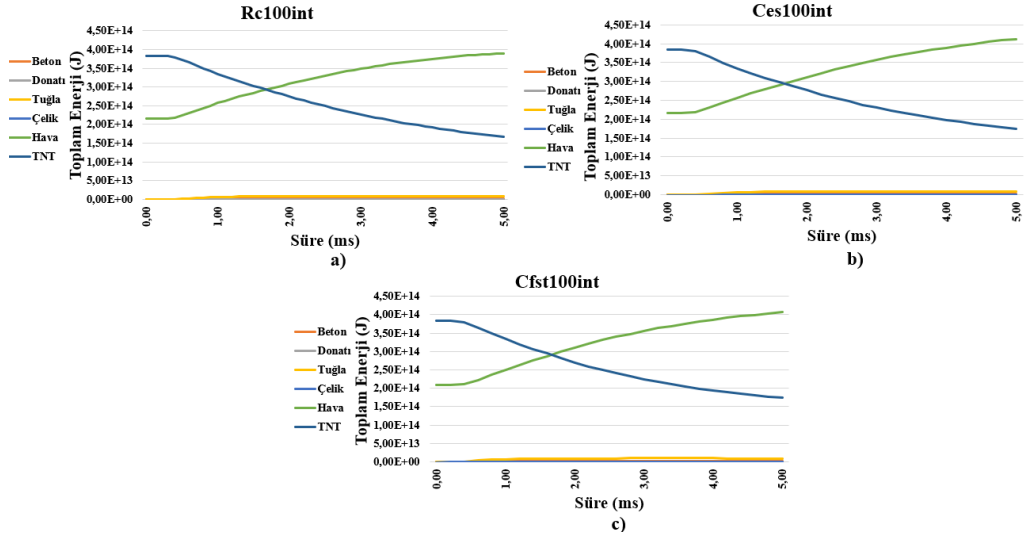
Şekil 4. 62 Malzeme durumu arka cephe hasar dağılımı a) Rc100int, b) Ces100int, c) Cfst100int, d) Cfst100int'

Hasar durumu kontür diyagramı incelendiğinde Rc1000int sisteminde (Şekil 4.63-a) hasarın üst katta da devam ettiği, üst kattaki hasarın Ces100int ve Cfst100int sistemlerinden (Şekil 4.63-b, Şekil 4.63-c) daha fazla olduğu görülmektedir. Cfst100int sistemde çelik tüpteki hasarın oldukça küçük olduğu (Şekil 4.63-c), tüpün içindeki betondaki hasarın diğer sistemlerden daha fazla hasar aldığı görülmektedir (Şekil 4.63-d).

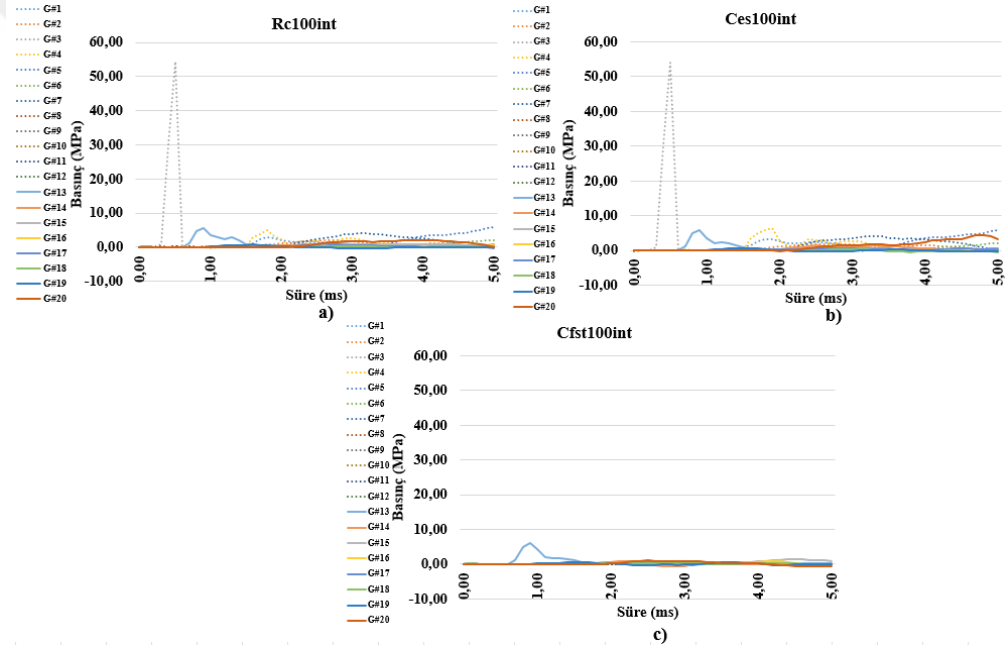


Şekil 4. 63 Hasar dağılımı kontür diyagramı a) Rc100int, b) Ces100int, c) Cfst100int, d) Cfst100int'

Toplam enerjinin zaman bağılı değişim grafiği Şekil 4.64'te gösterilmiştir. Patlayıcı miktarı aynı olduğu için her üç sistemde de 100 kg TNT infilak etmesi sonucu ortaya $3,84 \times 10^8$ J enerji çıkmıştır. Bu enerji hava ve yapı tarafından absorbe edilmiştir. Rc100int sistemde 5 ms sonucu hava $3,90 \times 10^8$ J, beton $2,14 \times 10^6$ J, donatı $9,22 \times 10^4$ J, tuğla $8,95 \times 10^6$ J; Ces100int sistemde hava $4,13 \times 10^8$ J, beton $2,09 \times 10^6$ J, donatı $8,37 \times 10^4$ J, çelik $4,73 \times 10^2$ J, tuğla $8,67 \times 10^6$ J; Cfst100int sistemde hava $4,06 \times 10^8$ J, beton $2,45 \times 10^6$ J, donatı $3,28 \times 10^4$ J, çelik $9,34 \times 10^5$ J, tuğla $9,75 \times 10^6$ J enerji absorbe etmiştir. Her üç sistem benzer miktarda enerji emmiş olup en çok enerji hava tarafından emilmiş, havanın absorbe ettiği enerji diğer tüm elemanların absorbe ettiği enerjinin yaklaşık 100 katından fazladır.



Şekil 4.64 Toplam enerji değişimi-zaman grafiği a) Rc100int, b) Ces100int, c) Cfst100int



Şekil 4.65 Taşıyıcı sistem elemanları basınç-zaman ilişkisi a) Rc100int, b) Ces100int, c) Cfst100int

Kolon, kiriş ve döşemelerde meydana gelen basıncın zamanla ilişkisini gösteren grafik Şekil 4.65'te gösterilmiştir. G#1-G#12 arasındaki değerler kolonları, G#13-G#20 arasındaki değerler kiriş ve döşemeleri temsil etmektedir. Ces100int sisteminde pik basınç 54,19 MPa iken Rc100int sisteminde 54,43 MPa büyüklüğünde patlayıcıya en yakın taşıyıcı eleman olan S₁1 kolonunda meydana gelmiştir. Kirişlerdeki en büyük basınç her üç taşıyıcı sistemde de patlayıcıya en yakın konumdaki K₁1 ve K₁7 kirişinde meydana gelmiş olup Rc100int'te 5,70 MPa, Ces50int'te 5,72 MPa, Cfst100int'te 6,02

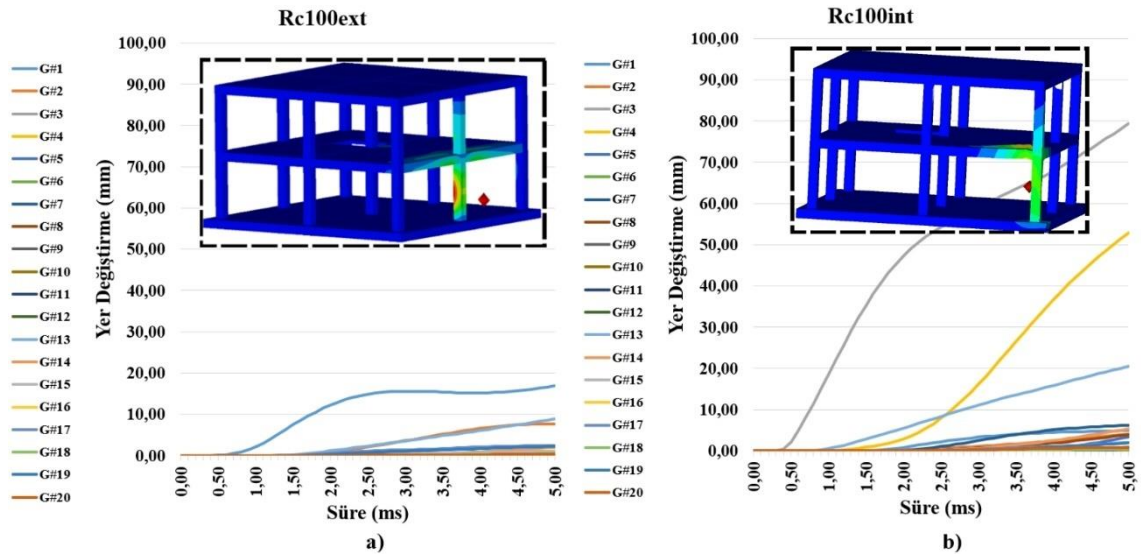
MPa büyüklüğündedir. Meydana gelen negatif basınçların oldukça küçük olduğu gözlemlenmiştir.

4.5 100 kg İç Patlama ve Dış Patlama Analizlerinin Karşılaştırılması

Patlama sonrası meydana gelen basınç dalgalarının yayılım şekli sınırlandırılmış ve sınırlandırılmamış olma durumuna göre farklılık gösterdiği, sınırlandırılmış patlamanın kapalı alanda basınç dalgasının yayılması sebebiyle büyütme yaparak daha fazla zarar verdiği bilinmektedir. Bu bölümde benzer patlayıcı miktarına sahip iç patlama analizi ile dış patlama analizlerinin yapıdaki etkisini kıyaslamak amacıyla 100 kg patlayıcı kullanılan Rc100int, Rc100ext, Ces100int, Ces100ext, Cfst100int ve Cfst100ext analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Taşıyıcı sistemlerin birbirine üstünlük ve eksikleri ifade edilmiştir.

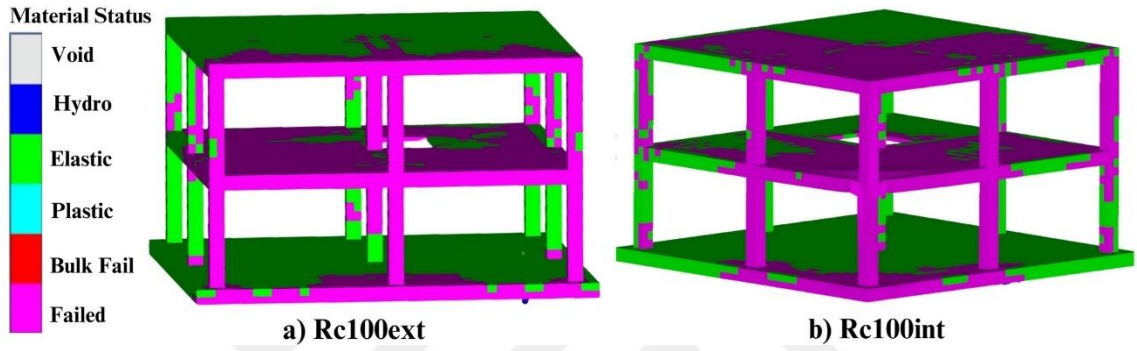
4.5.1 Betonarme Taşıyıcı Sistemin İç Patlama ve Dış Patlama Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Dış patlama analizinde en büyük yer değiştirme patlayıcıya en yakın kolonda gerçekleşirken iç patlama analizinde en büyük yer değiştirmeler patlamanın bulunduğu odadaki döşemede gerçekleşmiştir. İç patlama analizindeki S₁1 kolonundaki yer değiştirme 134 mm büyüklüğündeyken dış patlama analizindeki S₁2 kolonundaki yer değiştirmenin 28 mm büyüklüğünde olduğu görülmektedir (Şekil 4.66). D₁1 döşemesinin 222 mm yer değiştirme yaptığı gözlemlenmiştir.

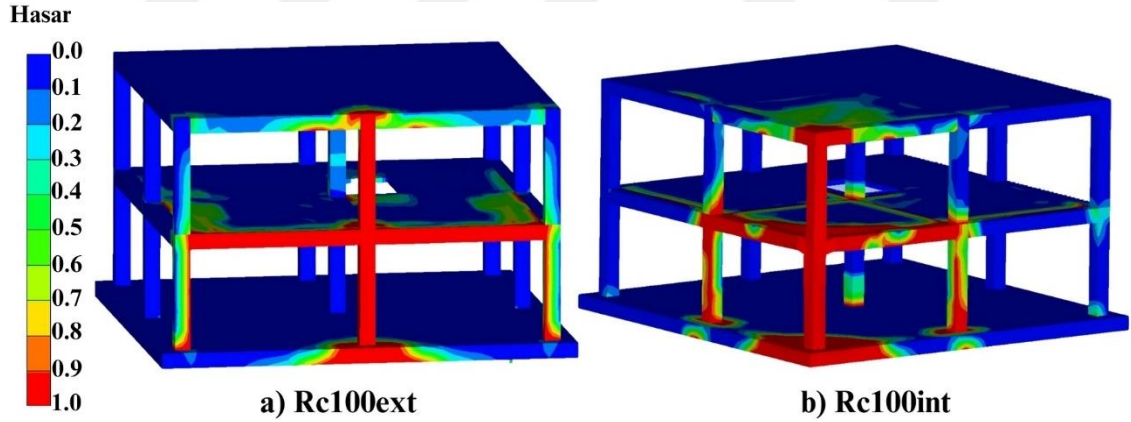


Şekil 4. 66 Betonarme sistem dış patlama ve iç patlama yer değiştirme grafiği
a) Rc100ext, b) Rc100int

Dış patlama ve iç patlama analizinde kolon hasarlarının benzer seviyede olduğu görülmektedir. Döşemedeki hasar dış patlamada patlayıcıya yakın kat seviyesinde yoğunlaşırken (Şekil 4.67-a) iç patlamada diğer katları da etkilediği gözlemlenmiştir (Şekil 4.67-b). Şekil 4.68’de hasar dağılımının patlamaya yakın bölgede yoğunlaştığı, dış patlamada üst kat döşemelerini de etkilediği Şekil 4.67’yi destekleyen bir davranış gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4. 67 Malzeme durumu hasar dağılımı a) Rc100ext, b) Rc100int

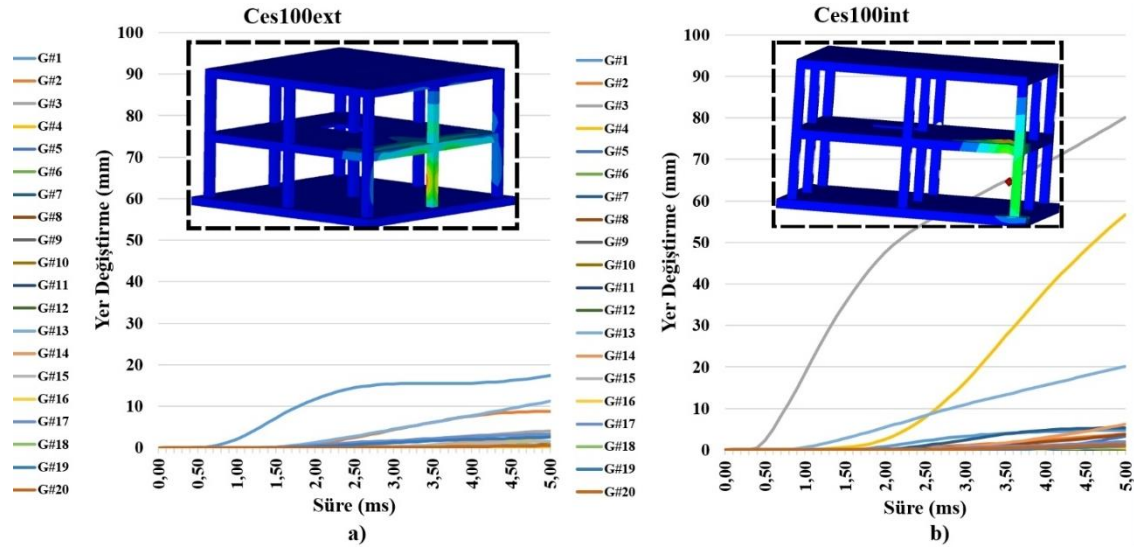


Şekil 4. 68 Hasar dağılımı kontür diyagramı

İç patlama analizinde patlayıcıya en yakın gözlem noktasında pik basınç 54,4 MPa ölçülürken dış patlama analizinde ölçülen en büyük basınç 4,4 MPa olarak ölçülmüştür. Patlayıcı miktarı aynı olmasına rağmen bu farkın hem iç patlamanın büyütme etkisi hem de ölçeklendirilmiş mesafede bahsedildiği gibi patlayıcı ile elaman arasındaki mesafenin önemli bir faktör olmasından kaynaklanmaktadır.

4.5.2 Betonarme Çelik Gömme Kompozit Sistemin İç Patlama ve Dış Patlama Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

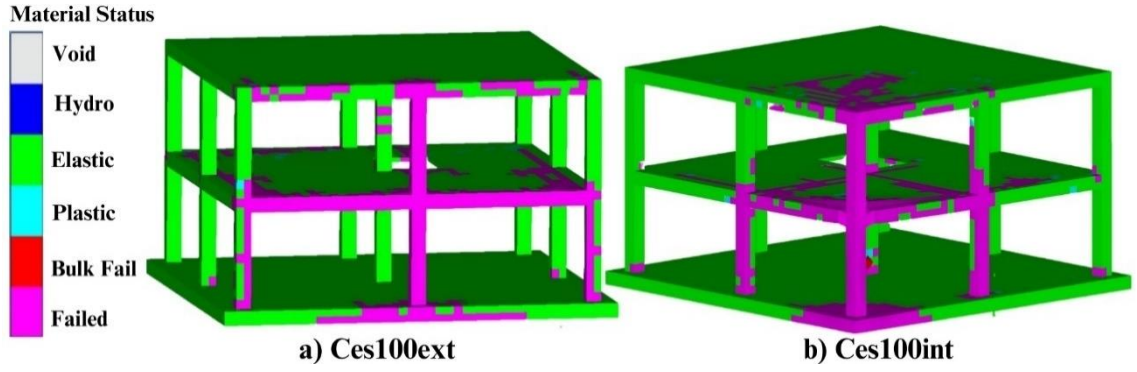
Dış patlama analizinde en büyük yer değiştirme patlayıcıya en yakın kolonda gerçekleşirken iç patlama analizinde en büyük yer değiştirmeler patlamanın bulunduğu odadaki döşemede gerçekleşmiştir. İç patlama analizindeki S₁₁ kolonundaki yer değiştirme 133 mm büyüklüğündeyken dış patlama analizindeki S₁₂ kolonundaki yer değiştirmenin 30 mm büyüklüğünde olduğu görülmektedir (Şekil 4.69). D₁₁ döşemesinin 222 mm yer değiştirme yaptığı gözlemlenmiştir.



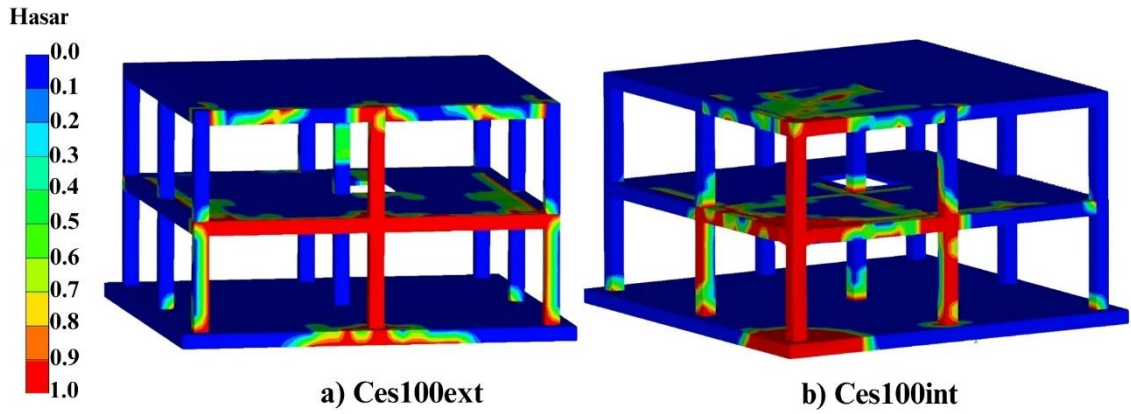
Şekil 4. 69 Betonarme çelik gömme kompozit sistem dış patlama ve iç patlama yer değiştirme grafiği a) Rc100ext, b) Rc100int

Dış patlama ve iç patlama analizinde kolon hasarlarının benzer seviyede olduğu görülmektedir. Döşemedeki hasar dış patlamada patlayıcıya yakın kat seviyesinde yoğunlaşırken (Şekil 4.70-a) iç patlamada diğer katları da etkilediği gözlemlenmiştir (Şekil 4.70-b). Şekil 4.71'de hasar dağılımının patlamaya yakın bölgede yoğunlaştığı, dış patlamada üst kat döşemelerini de etkilediği Şekil 4.70'i destekleyen bir davranış gösterdiği görülmektedir.

İç patlama analizinde patlayıcıya en yakın gözlem noktasında pik basınç 54,2 MPa ölçülürken dış patlama analizinde ölçülen en büyük basınç 4,4 MPa olarak ölçülmüştür. Patlayıcı miktarı aynı olmasına rağmen bu farkın hem iç patlamanın büyütme etkisi hem de ölçeklendirilmiş mesafede bahsedildiği gibi patlayıcı ile elaman arasındaki mesafenin önemli bir faktör olmasından kaynaklanmaktadır.



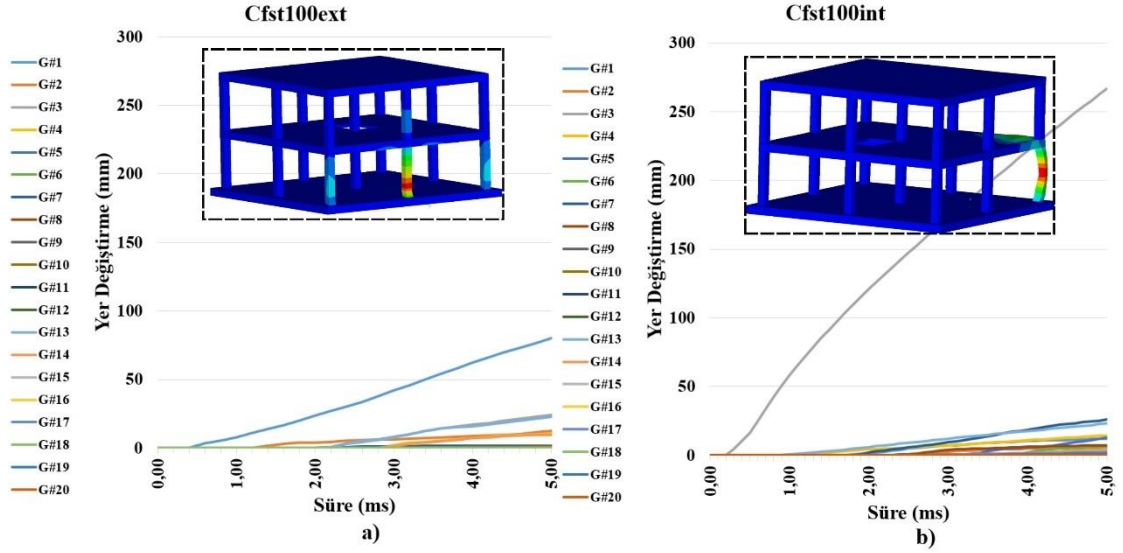
Şekil 4. 70 Malzeme durumu hasar dağılımı a) Ces100ext, b) Ces100int



Şekil 4. 71 Hasar dağılımı kontür diyagramı

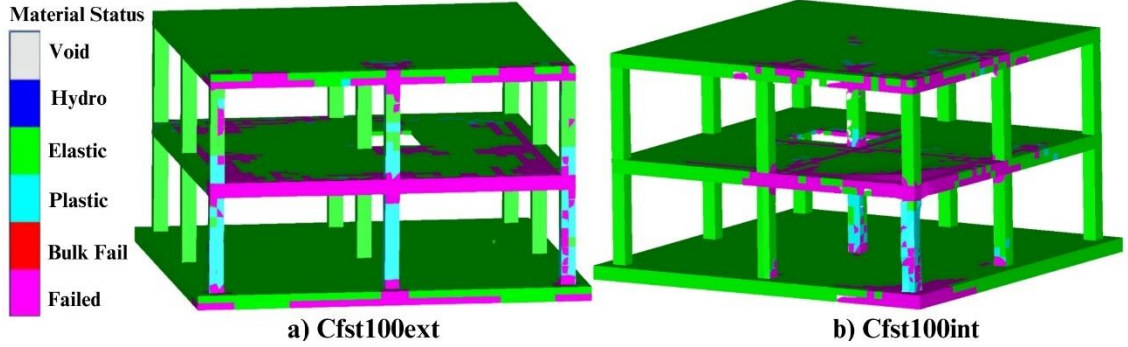
4.5.3 Beton Dolgulu Çelik Tüp Kompozit Sistemin İç Patlama ve Dış Patlama Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

Dış patlama analizinde en büyük yer değiştirme patlayıcıya en yakın kolonda gerçekleşirken iç patlama analizinde en büyük yer değiştirmeler patlamanın bulunduğu odadaki döşemede gerçekleşmiştir. İç patlama analizindeki S₁₁ kolonundaki yer değiştirme 283 mm büyüklüğündeyken dış patlama analizindeki S₁₂ kolonundaki yer değiştirmenin 100 mm büyüklüğünde olduğu, D₁₁ döşemesinin 173 mm yer değiştirme yaptığı gözlemlenmiştir. Cfst sistemdeki patlayıcıya en yakın konumdaki kolonlardaki yer değiştirmeler diğer sistemlerden oldukça fazla olmasının sebebi çelik tüpün yerel burkulmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. İç patlamada döşemede yer değiştirme diğer sistemlere göre oldukça düşük olduğu gözlemlenmiştir. Tanımlanan 20 gözlem noktası için yer değiştirme grafiği Şekil 4.72'deki gibidir.

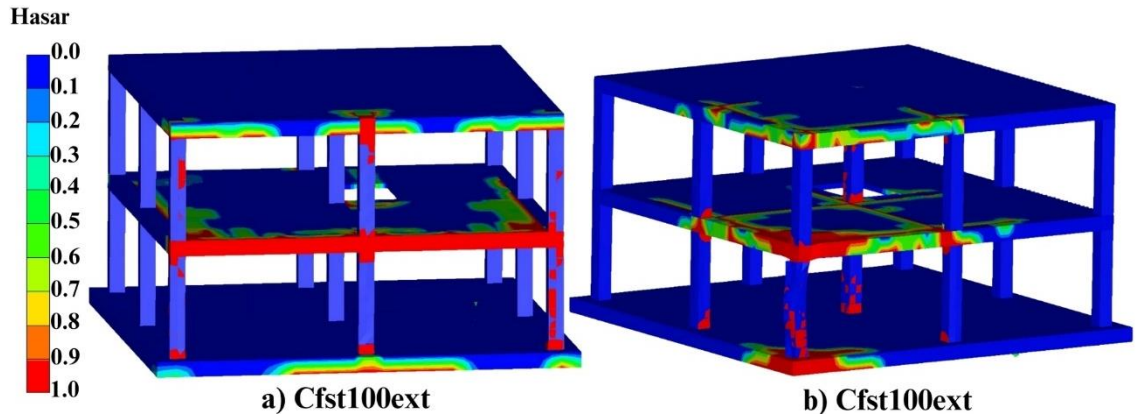


Şekil 4. 72 Betonarme çelik gömme kompozit sistem dış patlama ve iç patlama yer değiştirme grafiği a) Rc100ext, b) Rc100int

İç patlama analizinde kolonların diğer sistemlere göre daha az hasar aldığı gözlenmektedir. Döşemedeki hasar hem iç hem dış patlamada patlayıcıya yakın kat seviyesinde yoğunlaşmıştır. Şekil 4.74'te hasar dağılımının patlamaya yakın bölgede yoğunlaştığı Şekil 4.73'i destekleyen bir davranış gösterdiği görülmektedir. Cfst sistemde iç ve dış patlama hasarın patlayıcıya yakın bölgeyle sınırlı kaldığı görülmektedir.



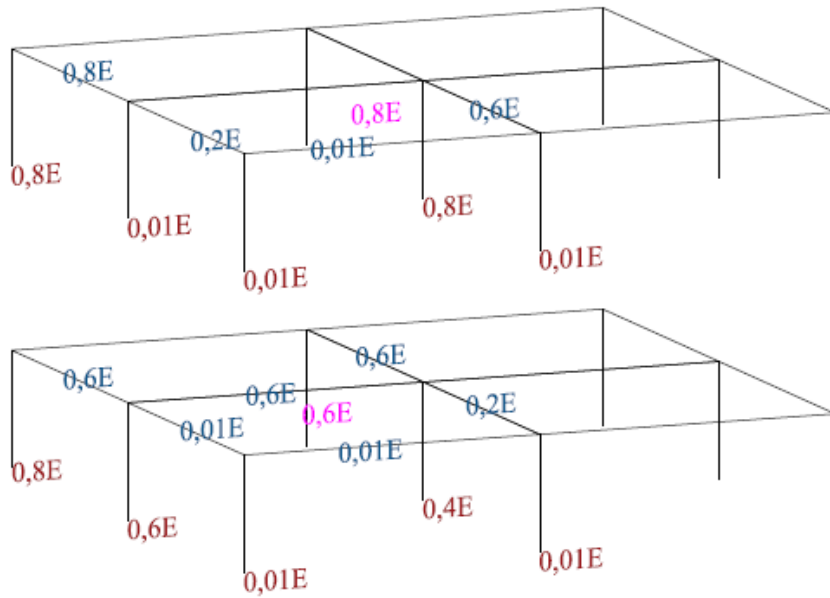
Şekil 4. 73 Malzeme durumu hasar dağılımı a) Ces100ext, b) Ces100int



Şekil 4. 74 Hasar dağılımı kontür diyagramı

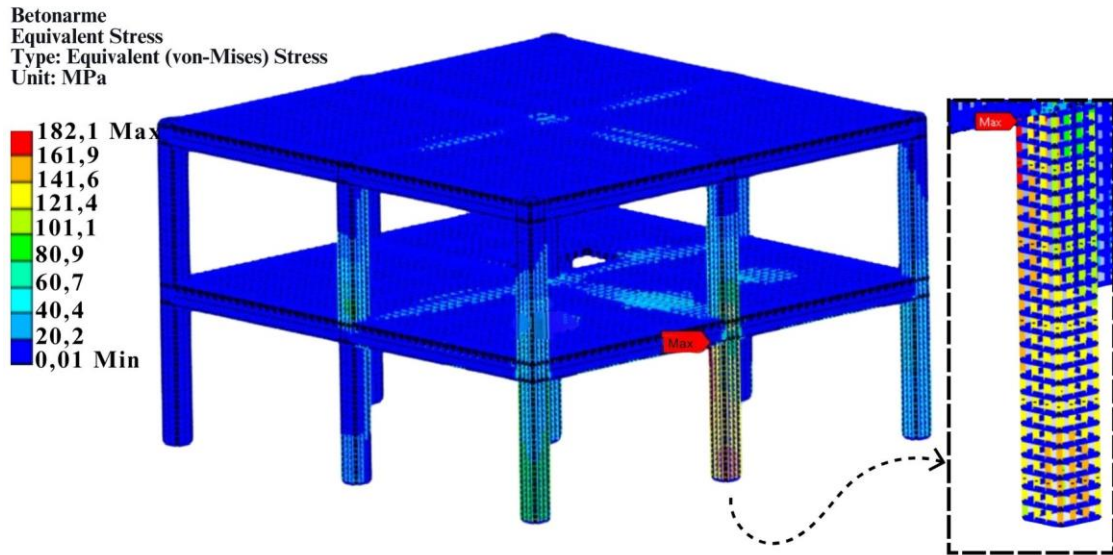
PATLAMA SONRASI YAPI DEĞERLENDİRMESİ

Yapılar içerisinde dijital veya basılı önemli dosyalar; altın, mücevherat gibi değerli eşyalar veya manevi değere sahip eşyalar bulunabilmektedir. Olası bir patlama durumu sonrasında hasar almış, kısmen göçmüş yapının içine girip eşyaları tahliye etme isteği olduğundan dolayı yapıların patlama sonrası kendi ağırlığı altında ayakta kalıp kalmayacağı da şüphe konusudur. Bu bölümde patlama sonrası taşıyıcı sistemlerin performanslarını kıyaslayabilmek için bölüm 4'te incelenmiş olan dış patlama analizlerinden en elverişsiz durum olan 300 kg patlayıcının patlatılması sonucu taşıyıcı sistemlerin hasar gören elemanlarının elastisite modülü değeri hasar miktarına bağlı olarak düşürülerek patlama sonrası G + Q yük kombinasyonuna maruz bırakılarak beton ve donatıdaki gerilme dağılımı gösterilmiştir. Beton için 0,01 – 1,00 arası 0,2 artımlı 6 farklı elastisite modülü, tuğla malzemesi için 0,01 – 1 arası 0,5 artımla 3 farklı elastisite modülü, çelik tüp ve I profil için 0,01 – 1 arası 0,5 artımla 3 farklı elastisite modülü Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'e göre hasar gören elemanlar hasar seviyesine göre tanımlanmıştır. Donatılarda değişiklik yapılmamıştır. Çelik I profil, çelik tüp ve bölme duvarlar için plastik şekil değiştirme duruma geçilmişse 0,01E, elastik sınırlar içerisinde ise 0,5E hiç hasar almamışsa E olmak üzere üç farklı elastisite modülü tanımlanmıştır.

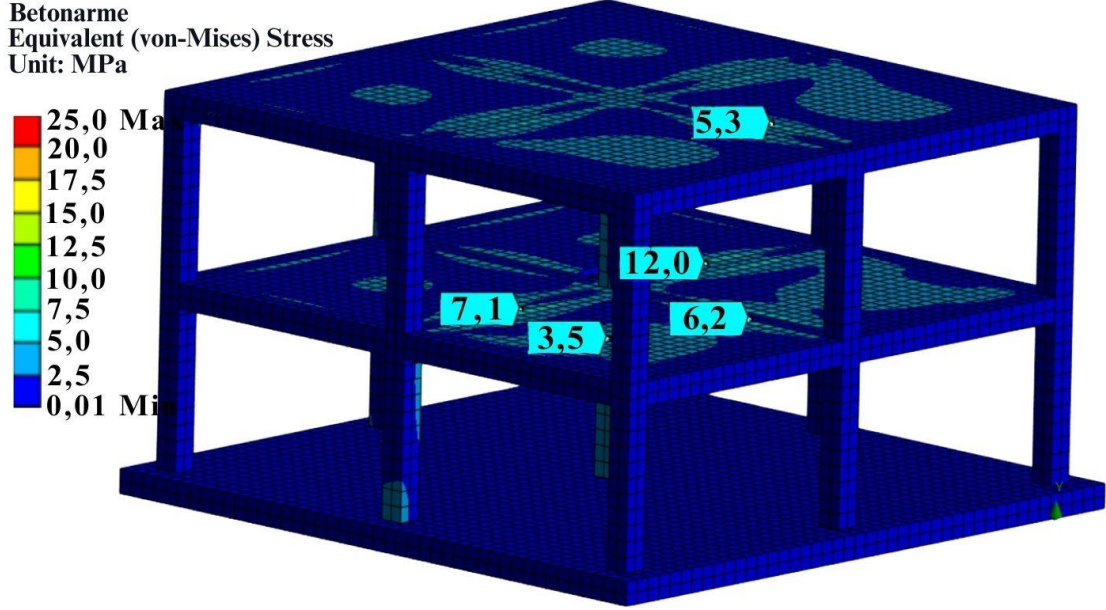


Şekil 5.1 Betonarme taşıyıcı sistemin patlama sonrası oluşan yeni elastisite modülleri

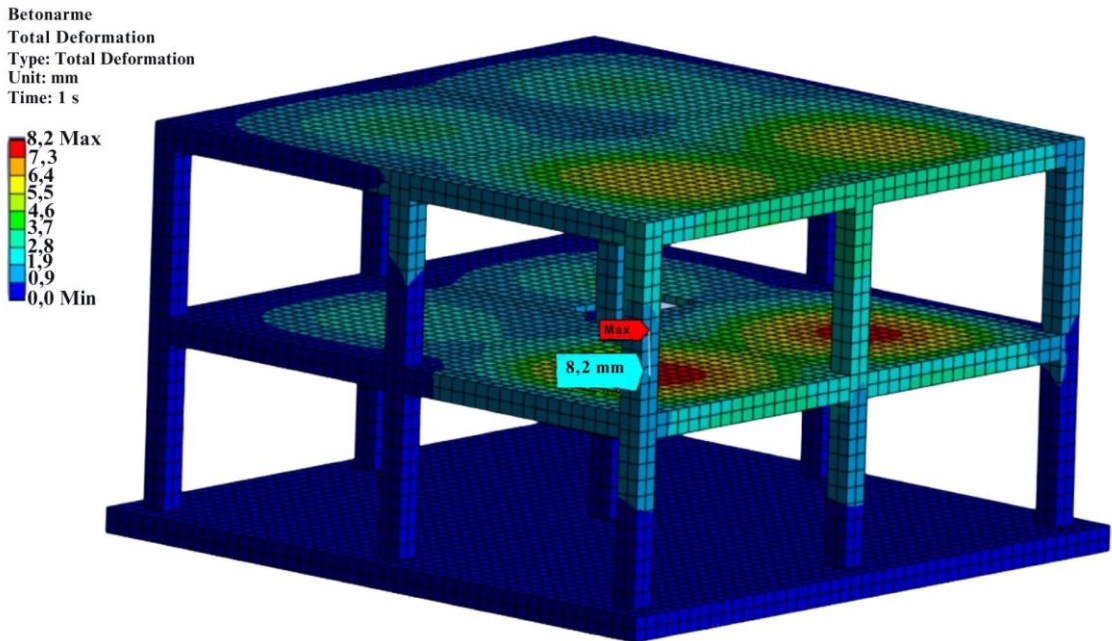
Şekil 5.1’de betonarme taşıyıcı sistemde kolon, kiriş ve döşeme betonlarına tanımlanan yeni elastisite modülü katsayıları gösterilmektedir. Patlama durumu yapının simetri merkezinde gerçekleştiği için elastisite modülü verilmeyen elemanlar, yapının simetri eksenine göre diğer tarafındaki elemanla benzer elastisite modülüne sahiptir. İlgili elemanların malzemeleri yeni elastisite modülü ile değiştirildikten sonra G + Q yük kombinasyonu altında doğrusal olmayan statik analize maruz bırakılmıştır. Betonarme taşıyıcı sistemde donatıdaki gerilme dağılımı Şekil 5.2’de, beton elemanlardaki gerilme dağılımı Şekil 5.3’te verilmiştir. Donatıdaki en büyük gerilme S12 kolonunda 182 Mpa büyüklüğünde, betondaki en büyük gerilme ise 12 MPa büyüklüğünde döşemede meydana gelmiştir. Sistemdeki en büyük yer değiştirme D₁₁ döşemesinde 8,2 mm büyüklüğündedir (Şekil 5.4). Beklenildiği üzere gerilmelerin ve yer değiştirmelerin patlamaya yakın bölgede yoğunlaştığı görülmektedir.



Şekil 5.2 Betonarme taşıyıcı sistemin patlama sonrası servis yükü altında donatıdaki gerilme dağılımı



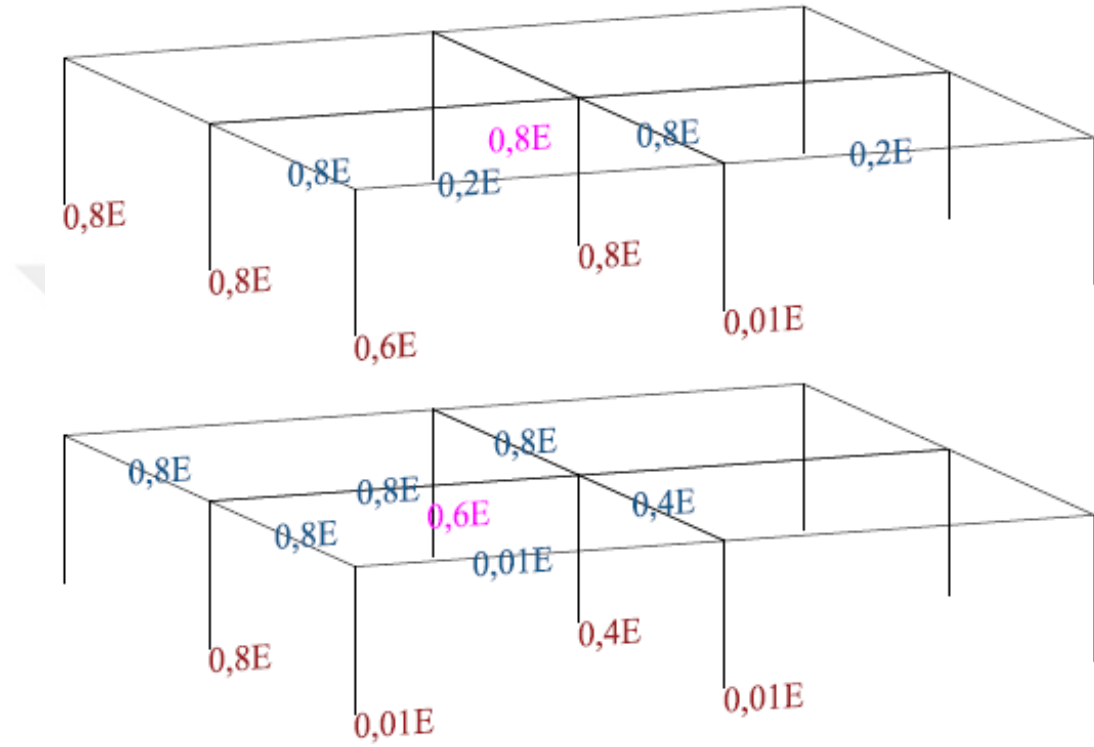
Şekil 5.3 Betonarme taşıyıcı sistemin patlama sonrası servis yükü altında betondaki gerilme dağılımı



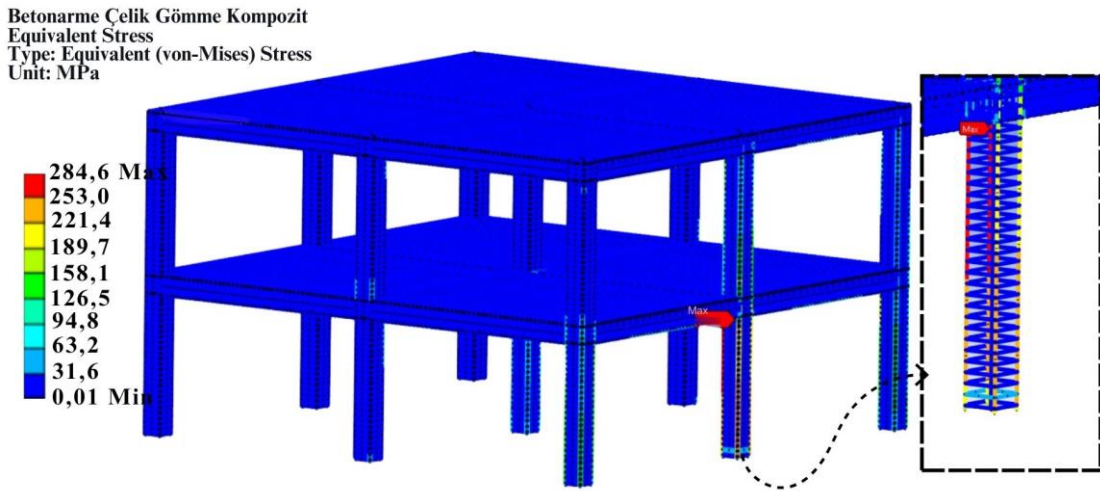
Şekil 5.4 Betonarme taşıyıcı sistemin patlama sonrası servis yükü altında yer değiştirme kontür diyagramı

Şekil 5.5'te betonarme çelik gömme kompozit taşıyıcı sistemde kolon, kiriş ve döşeme betonlarına tanımlanan yeni elastisite modülü katsayıları verilmiştir. Patlama durumu yapının simetri merkezinde gerçekleştiği için elastisite modülü verilmeyen elemanlar, yapının simetri eksenine göre diğer tarafındaki elemanla benzer elastisite modülüne sahiptir. İlgili elemanların malzemeleri yeni elastisite modülü ile değiştirildikten sonra G + Q yük kombinasyonu altında doğrusal olmayan statik analize maruz bırakılmıştır.

Donatı ve yapısal çelik elemanlardaki gerilme dağılımı Şekil 5.6'da, betondaki gerilme dağılımı ise Şekil 5.7'de, yapıdaki yer değiştirmeler Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Patlamaya en yakın konumdaki kolon S₁2'deki donatılarda 284 MPa'ya varan gerilme, temel betonunda 8,4 MPa gerilme, servis yükü altındaki en büyük yer değiştirme D11 ve D12 döşemelerinde 7,7 mm büyüklüğünde olduğu gözlemlenmiştir. Beklenildiği üzere gerilmelerin ve yer değiştirmelerin patlamaya yakın bölgede yoğunlaştığı görülmektedir.

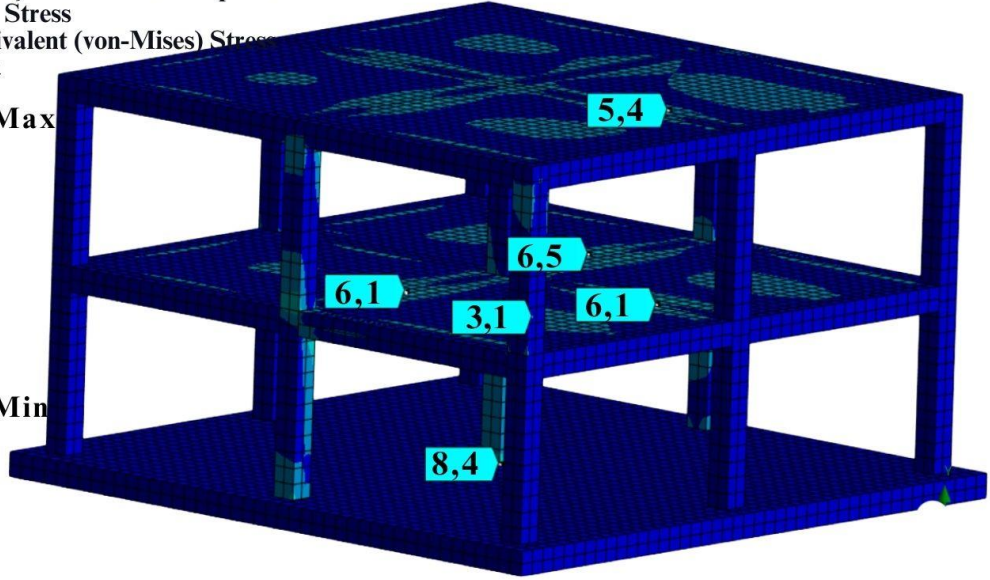
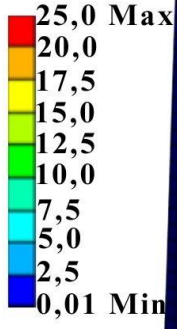


Şekil 5.5 Betonarme çelik gömme kompozit taşıyıcı sistemin patlama sonrası oluşan yeni elastisite modülleri



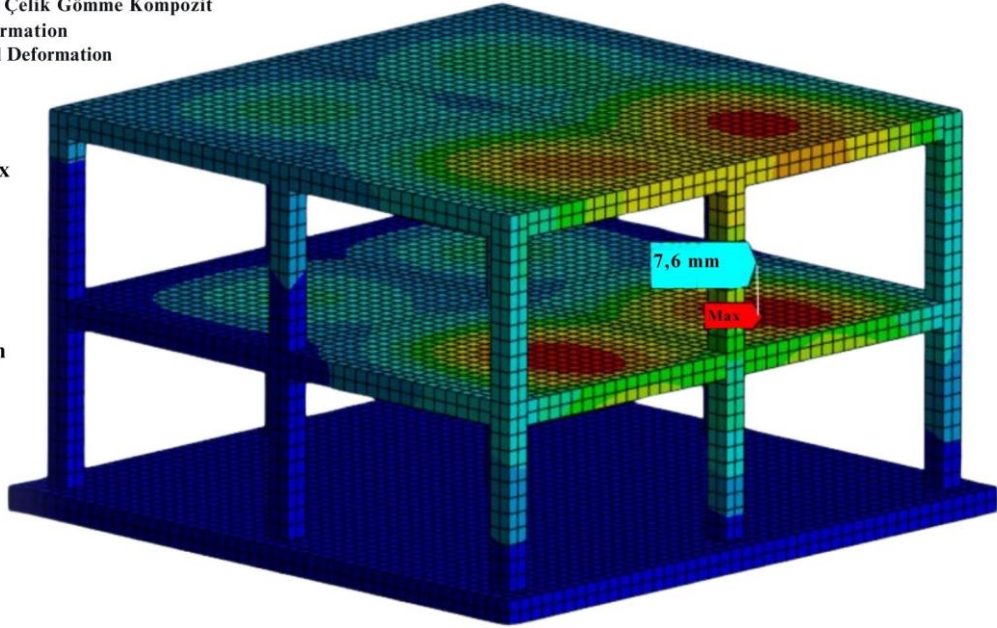
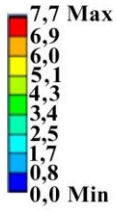
Şekil 5.6 Betonarme çelik gömme kompozit taşıyıcı sistemin patlama sonrası servis yükü altında donatı ve çelik elemanlardaki gerilme dağılımı

Betonarme Çelik Gömme Kompozit
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa



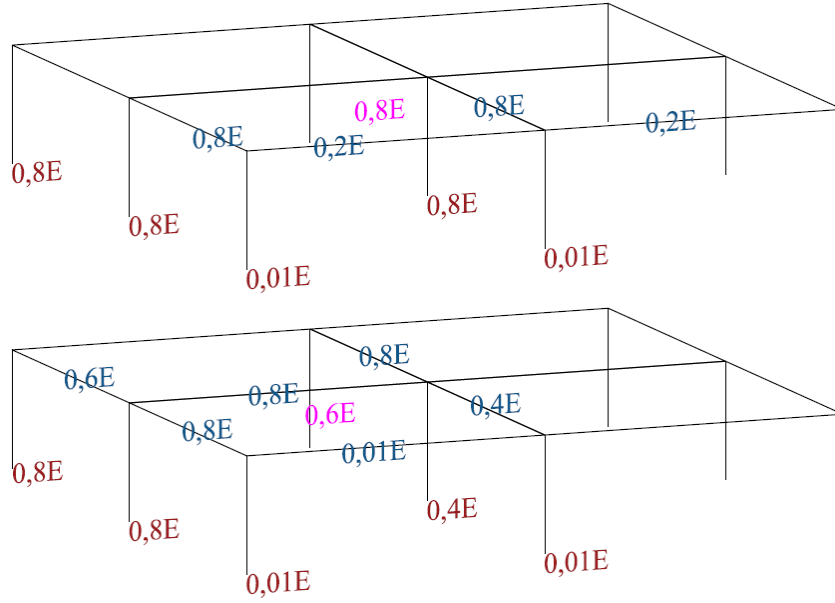
Şekil 5.7 Betonarme çelik gömme kompozit taşıyıcı sistemin patlama sonrası servis yükü altında betondaki gerilme dağılımı

Betonarme Çelik Gömme Kompozit
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s



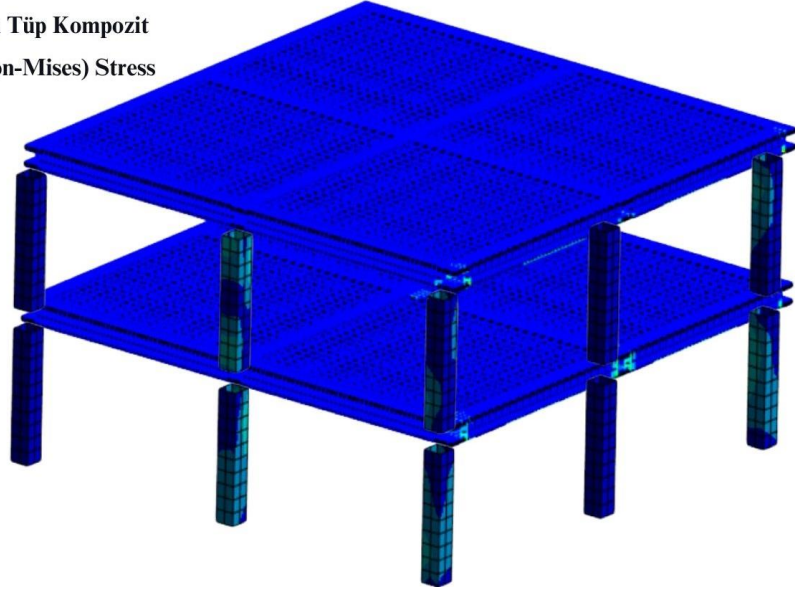
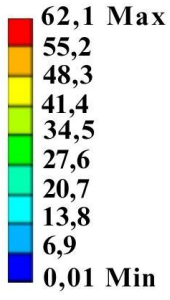
Şekil 5.8 Betonarme çelik gömme kompozit taşıyıcı sistemin patlama sonrası servis yükü altında yer değiştirme dağılımı

Şekil 5.9’da beton dolgulu çelik tüp kompozit taşıyıcı sistemde kolon, kiriş ve döşeme betonlarına tanımlanan yeni elastisite modülü katsayıları gösterilmektedir. Patlama durumu yapının simetri merkezinde gerçekleştiği için elastisite modülü verilmeyen elemanlar, yapının simetri eksenine göre diğer tarafındaki elemanla benzer elastisite modülüne sahiptir. İlgili elemanların malzemeleri yeni elastisite modülü ile değiştirildikten sonra G + Q yük kombinasyonu altında doğrusal olmayan statik analize maruz bırakılmıştır. Donatı ve yapısal çelik elemanlardaki gerilme dağılımı Şekil 5.10’da, betondaki gerilmeler Şekil 5.11’de, yapıdaki yer değiştirmeler Şekil 5.12’de verilmiştir. Donatı ve yapısal çelik elemanlardaki en büyük gerilme 62,1 MPa büyüklüğünde, betondaki en büyük gerilme 6,6 MPa büyüklüğünde, en büyük yer değiştirme ise 10,5 mm olarak ölçülmüştür. Beklenildiği üzere gerilmelerin ve yer değiştirmelerin patlamaya yakın bölgede yoğunlaştığı görülmektedir.



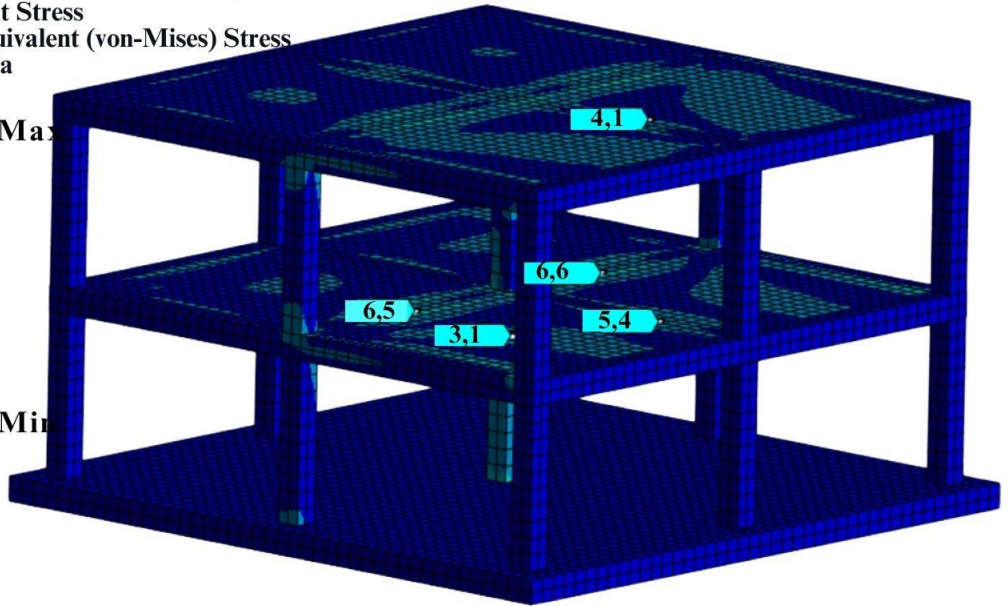
Şekil 5.9 Beton dolgulu çelik tüp kompozit taşıyıcı sistemin patlama sonrası oluşan yeni elastisite modülleri

Beton Dolgulu Çelik Tüp Kompozit
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa

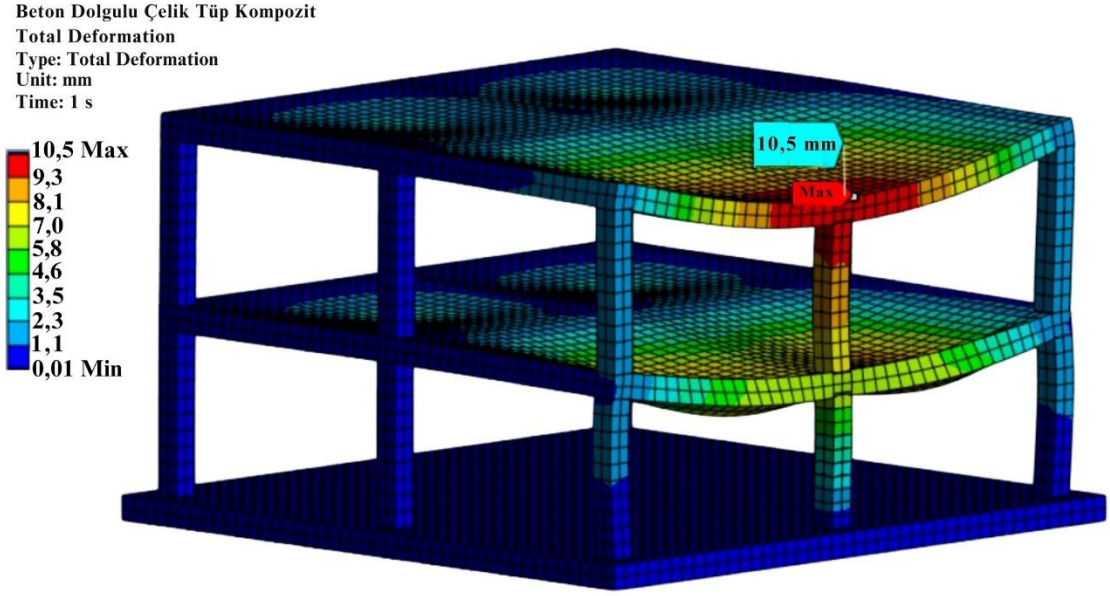


Şekil 5.10 Beton dolgulu çelik tüp kompozit taşıyıcı sistemin patlama sonrası servis yükü altında donatı ve çelik elemanlarda oluşan gerilme dağılımı

Beton Dolgulu Çelik Tüp Kompozit
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa



Şekil 5. 11 Beton dolgulu çelik tüp kompozit taşıyıcı sistemin patlama sonrası servis yükü altında betondaki gerilme dağılımı



Şekil 5.12 Beton dolgulu çelik tüp kompozit taşıyıcı sistemin patlama sonrası servis yükü altında yer değiştirme dağılımı

Bölümün başında da bahsedildiği gibi patlama sonrası yapıya girip eşya tahliye etmek gerekebilmektedir. Hasar görmüş yapının servis yükü altında ayakta kalıp kalmayacağı konusundaki şüpheyi gidermek için çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bu bölümde yapılan çalışmanın temel amacı hasar gören elemanların kapasiteleri düşürülerek kendi aralarında bir sıralama yapmaktır. Taşıyıcı sistem elemanlarının patlama sonrası azalan kesme kuvveti ve moment kapasite kaybını temsil etmesi açısından hasar gören elemanlara hasar seviyesine göre yeni elastisite modülleri tanımlanmıştır. Bu tanımlamalardan sonra yapılarda meydana gelen yer değiştirmeler oldukça benzer, 8 mm – 10 mm arasındadır. Donatı, kutu kesit ve I profildeki gerilmeler incelendiğinde en büyük gerilmeler betonarme taşıyıcı sistemde, en düşük gerilmeler beton dolgulu çelik tüp kompozit taşıyıcı sistemde meydana gelmiştir. Betondaki gerilmelerin betonarme taşıyıcı sistemde diğer sistemlerden oldukça fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Patlama, yangın gibi analizlerde fiziksel analizin ekonomik açıdan zor oluşu, deney düzeneğinin kurulmasında ve analizlerin can güvenliği bakımından riskli oluşu, ölçüm aletlerinin yüksek basınçta ve sıcaklıkta zarar görmesi gibi sebeplerden dolayı araştırmacılar yüksek doğruluklu bilgisayar programlarına yönelmektedir. Daha önce yapılmış sayısal ve fiziksel analiz değerlerinin yüksek benzerliğe sahip olan ANSYS Autodyn programı patlama analizlerinde sıkça tercih edilen programlardandır. Bu tez kapsamında da bu programdan faydalanılmıştır. Üç boyutlu modellerin oluşturulmasında ANSYS Workbench'in Spaceclaim modülünden faydalanıldı. Katı modeller Workbench'te hazırlanıp patlama analizleri Autodyn'da yapıldı. Üç farklı taşıyıcı sistem modeli için üç adet dış, üç adet iç patlama olmak üzere on sekiz farklı patlama analizi gerçekleştirildi. Tanımlanan kırılma kriterlerine göre yapılarda hasarlar oluştu, hasar durumları karşılaştırıldı. Dış patlama analizlerinde 5 ms sonucu:

- 100 kg dış patlama analizi için taşıyıcı sistemde en fazla hasar betonarme taşıyıcı sistemde meydana gelmiştir (Şekil 4.18-a). Kompozit taşıyıcı sistemlerde hasar ön cephe ile sınırlı iken (Şekil 4.18-b, Şekil 4.18-c) betonarme taşıyıcı sistemde birleşim bölgelerinde ve arka akslardaki kirişlerde kalıcı hasarlar oluşmuştur.
- En fazla döşeme hasarı betonarme taşıyıcı sistemde meydana gelmiş, kompozit taşıyıcı sistemlerde döşemelerdeki hasar çok daha küçük düzeyde kalmıştır. Kirişler ve döşemelerin üç taşıyıcı sistemde de ortak olup en fazla kiriş ve döşeme hasarının betonarme taşıyıcı sistemde olma sebebi betonarme taşıyıcı sistemin kompozit taşıyıcı sistemlere göre daha sünek olup birleşim bölgelerinde daha fazla dönme yapabilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Cfst ve Ces sistemleri Rc sistemine göre daha fazla enerji sönümlemiştir. Cfst sistemindeki çelik tüp betonun dışında olduğu için Ces sistemine göre çelik elemanları sönümlendiği enerji oldukça fazladır.
- 200 kg dış patlama analizi için taşıyıcı sistemde en fazla hasar betonarme taşıyıcı sistemde meydana gelmiştir (Şekil 4.60-a). Kompozit taşıyıcı sistemlerde hasar ön cephe ile sınırlı iken (Şekil 4.26-b, Şekil 4.26-c) betonarme taşıyıcı sistemde birleşim bölgelerinde ve arka akslardaki kirişlerde kalıcı hasarlar oluşmuştur. Cfst

sistemindeki çelik tüpler plastik hasar görmesine rağmen içerisindeki beton kırılıp taşıma gücünü kaybetmiştir.

- En fazla döşeme hasarı betonarme taşıyıcı sistemde meydana gelmiş, kompozit taşıyıcı sistemlerde döşemelerdeki hasar çok daha küçük düzeyde kalmıştır.
- Cfst ve Ces sistemleri Rc sistemine göre daha fazla enerji sönümlenmiştir. Cfst sistemindeki çelik tüp betonun dışında olduğu için Ces sistemine göre çelik elemanları sönümlendiği enerji oldukça fazladır.
- 300 kg dış patlama analizi için taşıyıcı sistemde en fazla hasar betonarme taşıyıcı sistemde meydana gelmiştir (Şekil 4.34-a). Kompozit taşıyıcı sistemlerde hasar ön cephe ile sınırlı iken (Şekil 4.34-b, Şekil 4.34-c) betonarme taşıyıcı sistemde birleşim bölgelerinde ve arka akslardaki kirişlerde kalıcı hasarlar oluşmuştur. Cfst sistemindeki çelik tüplerin de taşıma gücünü kaybettiği görülmektedir.
- Döşeme hasarı betonarme taşıyıcı sistemde gittikçe yayılırken, kompozit taşıyıcı sistemlerde döşemelerdeki hasar çok daha küçük düzeyde ve patlayıcıya yakın bölgeyle sınırlı kalmıştır. Kirişler ve döşemelerin üç taşıyıcı sistemde de ortak olup en fazla kiriş ve döşeme hasarının betonarme taşıyıcı sistemde olma sebebi betonarme taşıyıcı sistemin kompozit taşıyıcı sistemlere göre daha sünek olup birleşim bölgelerinde daha fazla dönme yapabilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Cfst ve Ces sistemleri Rc sistemine göre daha fazla enerji sönümlenmiştir. Cfst sistemindeki çelik tüp betonun dışında olduğu için Ces sistemine göre çelik elemanları sönümlendiği enerji oldukça fazladır.
- Patlayıcı miktarı arttıkça taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasar miktarı da artmıştır.

Taşıyıcı sistem türü ile iç patlama performansı arasındaki ilişkiyi anlayabilmek için gerçekleştirilen analizlerde 5 ms sonucu:

- 25 kg iç patlama analizi için en fazla hasar betonarme sistemde gözlemlenmiştir. Kompozit sistemlerde hasar belirli bölgede sınırlıyken betonarme sistemde hasarın yayıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.43).
- Cfst ve Ces sistemleri Rc sistemine göre daha fazla enerji sönümlenmiştir. Cfst sistemindeki çelik tüp betonun dışında olduğu için Ces sistemine göre çelik elemanları sönümlendiği enerji oldukça fazladır.

- 50 kg iç patlama analizi için en fazla hasar betonarme sistemde gözlemlenmiştir. Kompozit sistemlerde hasar belirli bölgede sınırlıyken betonarme sistemde hasarın yayıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.52).
- Cfst ve Ces sistemleri Rc sistemine göre daha fazla enerji sönümlenmiştir. Cfst sistemindeki çelik tüp betonun dışında olduğu için Ces sistemine göre çelik elemanları sönümlendiği enerji oldukça fazladır.
- 100 kg iç patlama analizi için en fazla hasar betonarme sistemde gözlemlenmiştir. Kompozit sistemlerde hasar belirli bölgede sınırlıyken betonarme sistemde hasarın yayıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.61).
- Cfst ve Ces sistemleri Rc sistemine göre daha fazla enerji sönümlenmiştir. Cfst sistemindeki çelik tüp betonun dışında olduğu için Ces sistemine göre çelik elemanları sönümlendiği enerji oldukça fazladır.

Dış patlama analizlerinde birleşim bölgeleri etkilenirken iç patlama analizlerinde döşemelerde büyük hasarlar gözlemlenmiştir. Patlayıcı miktarı arttıkça hasar seviyesi de artmıştır.

100 kg patlayıcı karşısında taşıyıcı sistemlerin iç patlama ve dış patlama performansları kıyaslandığında:

- Cfst sistemde hem iç patlamada hem dış patlamada hasarın patlayıcıya yakın bölgeyle sınırlı kaldığı, diğer sistemlerde hasarın bölgesel kalmayıp yaygın bir davranış gösterdiği gözlemlenmiştir.
- Kompozit sistemlerin hem iç hem de dış patlama performansı betonarmeye göre daha iyi olduğu görülmüştür.

Bölüm 6'da patlama sonrası performansları kıyaslamak için en elverişsiz durum olan 300 kg dış patlama durumu incelenmiştir. Tanımlanan yeni elastisite modülleri ile sabit ve hareketli yükler altında doğrusal olmayan statik analiz sonucunda aşağıdaki durumlar gözlemlenmiştir:

- Betonarme elemanlardaki maksimum yer değiştirmeler birbirine oldukça benzer ve yaklaşık 10 mm'dir.
- Gerilme dağılımı incelendiğinde kolon ve kirişler en fazla Rc sistemde, en az Cfst sisteminde gerilmelere maruz kalmıştır.

Hem patlama analiz sonucunda hem de patlamadan sonra elemanların kapasitesini düşürerek yapılan inceleme sonucunda kompozit taşıyıcı sistemlerin betonarmeden daha az hasar aldığı gözlemlenmektedir.

Patlama sonrasında içeriden eşya tahliye etmek için yapıya girilip girilmeyeceğine karar verebilmek için yapının statik projesinin dijital ortamda hazır bulunmasında fayda vardır.

Bütün yapıları patlamaya karşı dayanıklı yapmak veya kompozit yapmak hem ekonomik açıdan hem de mühendislik açısından mümkün olmadığı açıkça görülmekte fakat patlama durumuyla karşı karşıya olan yapıları kompozit taşıyıcı sistemle tasarlamak can kaybını azaltabilecektir.

Yakın tarihte meydana gelen Rus-Ukrayna savaşı sırasında Rusya'nın Ukrayna'da vurduğu tiyatro binası, Filistin-İsrail arasındaki gerilimde İsrail'in Filistin'de vurduğu başta hastaneler olmak üzere pek çok kamu binası göstermiştir ki olası bir savaş durumunda pek çok kamu binası öncelikli hedef haline gelmektedir. Genellikle yüksek katlı olmayan bu kamu yapıları patlamaya karşı dayanıklı yapılması maliyet açısından büyük farklılık olmamakla beraber oldukça faydalı olacaktır.

Kompozit taşıyıcı sistem gökdelen gibi yüksek yapılar dışında pek alışılmış bir taşıyıcı sistem türü olmasa da ülkemizde de son yıllarda uygulanmaktadır. Patlamaya karşı dayanıklı yapılmak istenen yapıların kompozit taşıyıcı sistemle yapılması ülkemizde de uygulanabilecek bir yöntemdir.

Bu tez çalışmasında farklı patlama senaryoları üzerinde durulup oluşan hasarı azaltmak için önerilerde bulunulmuştur.

-
- [1] Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Donetsk_Academic_Regional_Drama_Theater, 04.01.2024.
- [2] Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Al-Ahli_Arab_Hospital_explosion, 10.01.2024.
- [3] K. C. Wu, B. Li ve K. C. Tsai, “Residual axial compression capacity of localized blast-damaged RC columns”, *International Journal of Impact Engineering*, c. 38, sy. 1, ss. 29–40, 2011.
- [4] K. C. Wu, B. Li ve K. C. Tsai, “The effects of explosive mass ratio on residual compressive capacity of contact blast damaged composite columns”, *Journal of Constructional Steel Research*, c. 67, sy. 4, ss. 602–612, 2011.
- [5] R. Codina, D. Ambrosini, ve F. de Borbón, “Alternatives to prevent the failure of RC members under close-in blast loadings”, *Engineering Failure Analysis*, c. 60, ss. 96–106, 2016.
- [6] B. Sevim ve A. C. Altunışık, “Kompozit kolon elemanların modal davranışlarının belirlenmesi”, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, c. 8, sy. 1, ss 13-24, 2017.
- [7] F. Uslu, K. Taşkın ve M. H. Saraçoğlu, “Eksenel yük ve moment etkisi altındaki çelik gömme kompozit kolonların dayanımları ve süneklikleri”, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 11, sy. 1, ss. 333–344, 2021.
- [8] H. Wang, C. Wu, F. Zhang, Q. Fang, H. Xiang, P. Li, Z. Li, Y. Zhou, Y. Zhang ve J. Li, “Experimental study of large-sized concrete filled steel tube columns under blast load,” *Construction and Building Materials*, c. 134, ss. 131–141, 2017.
- [9] B. Sevim, “Structural response of rectangular composite columns under vertical and lateral loads”, *Steel and Composite Structures*, c. 25, sy. 3, ss. 287–298, 2017.
- [10] M. Li, Z. Zong, H. Hao, X. Zhang, J. Lin ve G. Xie, “Experimental and numerical study on the behaviour of CFDST columns subjected to close-in blast loading”, *Engineering Structures*, c. 185, ss. 203–220, 2019.

- [11] A. Hussein, P. Heyliger ve H. Mahmoud, “Structural performance of a wood-sand-wood wall for blast protection”, *Engineering Structures* c. 219, 2020.
- [12] T. V. Do, T. M. Pham ve H. Hao, “Stress wave propagation and structural response of precast concrete segmental columns under simulated blast loads” *International Journal of Impact Engineering*, c. 143, 2020.
- [13] J. Wu, Y. Zhou, R. Zhang, C. Liu, ve Z. Zhang, “Numerical simulation of reinforced concrete slab subjected to blast loading and the structural damage assessment”, *Engineering Failure Analysis*, c. 118, 2020.
- [14] A. K. Taha, M. S. Zahran ve Z. Gao, “Mitigation of the blast load effects on a building structure using newly composite structural configurations”, *Defence Technology*, c. 17, sy. 1, ss. 75–84, 2021.
- [15] Y. Temsah, A. Jahami ve C. Aouad, “Silos structural response to blast loading”, *Engineering Structures*, c. 243, 2021.
- [16] P. Sun, X. Hou, W. Zheng ve S. Cao, “Strengthening of conventional columns through RPC sandwich tube against blast loading”, *Structures*, c. 45, sy. 1850–1863, 2022.
- [17] A. C. Altunışık, F. Önalın, F. Sunca, ve A. C. Altunışık, “Experimental, numerical and analytical investigation on blast response of brick walls subjected to TNT explosive”, c. 4, sy. 1, ss. 28-45, 2021.
- [18] A. C. Altunışık, F. Önalın, ve F. Sunca, “Effects of concrete strength and openings in infill walls on blasting responses of rc buildings subjected to TNT explosive”, *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, c. 45, sy. 4, ss. 2525–2554, 2021.
- [19] C. Reifarth, R. Castedo, A. P. Santos, M. Chiquito, L. M. Lopez, A. Perez-Caldentey, S. Martinez-Almajano ve A. Alanon, “Numerical and experimental study of externally reinforced RC slabs using FRPs subjected to close-in blast loads”, *International Journal of Impact Engineering*, c. 156, 2021.
- [20] A. Ullah, K. Shahzada, S. Ali, S. Mohammad Ali ve A. Gul, “Performance evaluation of confined dry-stacked block masonry against blast loading”, *Structures*, c. 45, ss. 58–71, 2022.

- [21] A. T. Toy ve B. Sevim, “Structural response of multi-story building subjected to blast load”, *Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics*, c. 5, sy. 1, ss. 13–21, 2022.
- [22] A. C. Altunişik, F. Önalın ve F. Sunca, “A parametric study on damage assessment of RC buildings subjected to blast loading”, *Arabian Journal for Science and Engineering*, sy. 48, ss. 5115-5137, 2022.
- [23] APNews, <https://apnews.com/article/paris-building-explosion-body-found-0d792d06b8926febc8b805e8b3095bc1>, 12.07.2023.
- [24] APNews, <https://apnews.com/article/paris-building-explosion-body-found-0d792d06b8926febc8b805e8b3095bc1>, 12.07.2023.
- [25] Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları 2018, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2018.
- [26] G. İnce, H. H. İnce ve F. Kaya, “Kompozit yapı sistemlerinin incelenmesi”, c. 6, sy. 1, ss. 43-45, 2015.
- [27] M. L. Romero, A. Espinós, A. Lapuebla-Ferri, V. Albero, ve A. Hospitaler, “Recent developments and fire design provisions for CFST columns and slim-floor beams”, *Journal of Constructional Steel Research*, c. 172, 2020.
- [28] A. Doğangün, *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı*, 16. Baskı, Birsın Yayınevi, 2019.
- [29] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, Afet ve Acil Durum Başkanlığı, Ankara, 2018.
- [30] H. L. Brode, “Numerical solutions of spherical blast waves”, *Journal of Applied Physics*, c. 26, sy. 6, ss. 766–775, 1955.
- [31] N. Newmark ve R. Hansen “Design of blast resistant structures. in: shock and vibration handbook”, c. 3, 1961.
- [32] J. M. Biggs, “Introduction to structural dynamics”, 1964.
- [33] J. Henrych, “The dynamics of explosion and its use”, Elsevier Scientific Publishing Company, 1979.

- [34] C. N. Kingery, “Air blast parameters from tnt spherical air burst and hemispherical surface burst”, ABD Ordusu Savaş Yeteneklerini Geliştirme Komutanlığı Silahlanma Merkezi, Balistik Araştırma Laboratuvarı, 1984.
- [35] G. F. Kinney ve K. J. Graham, “Explosive shocks in air”, Springer, 1985.
- [36] C. Mills, “The design of concrete structure to resist explosions and weapon effects”, in Proceedings of the 1st International Conference on Concrete for Hazard Protections, Edinburgh, 1987.
- [37] M. A. Sadovskiy, “Mechanical effects of air shockwaves from explosions according to Experiments”, Nauka Press, Moskova, 2004.
- [38] F. Önalın, “Patlama yüküne maruz betonarme binaların dinamik davranışlarının sayısal yöntemlerle incelenmesi”, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 2019.
- [39] A. T. Toy “Patlamaların mühendislik yapılarının davranışlarına etkisi”, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 2022.
- [40] “AUTODYN ® Explicit Software for Nonlinear Dynamics”, www.ansys.com, 2005.
- [41] “ANSYS Workbench User’s Guide 2023R”, <http://www.ansys.com>, 2023.
- [42] UFC 3-340-02, “Unified facilities criteria: structures to resist the effects of accidental explosions”, Department of Defense, ABD, 2008.
- [43] P. A. Shirbhate ve M. D. Goel, “A critical review of blast wave parameters and approaches for blast load mitigation”, Archives of Computational Methods in Engineering, c. 28, sy. 3, ss. 1713–1730, 2021.
- [44] W.E. Baker, P.A. Cox, J.J. Kulesz, R.A. Strehlow ve P.S. Westine, “Explosion hazards and evaluation”, Elsevier, 1983.
- [45] FEMA 426, “To migrate potential terrorist attacks against buildings” www.fema.gov, 2003.
- [46] A. S. Najah, “Experimental and analytical investigation on impact behavior of conventional and steel fiber reinforced concrete beams”, Atılım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 2018.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. İ. Sencar ve B. Sevim “Blast Performance Comparisons of Reinforcement Structure System and Composite Structural Systems”, Proceedings of 3rd International Civil Engineering and Architecture Congress (ICEARC’23), Trabzon, Türkiye, s 1586-1592, DOI 10.31462/icearc.2023.sme628, 2023.

