

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**SİSMİK YALITIMLI YAPILARDA PATLAMA ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif TOPLU

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Osman KIRTEL

Temmuz 2020

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SİSMİK YALITIMLI YAPILARDA PATLAMA ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif TOPLU

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 22/07/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Prof. Dr. Erkan Çelebi	Başarılı
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Osman KIRTEL	Başarılı
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Elif BORU	Başarılı

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Elif Toplu

22/07/2020

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Osman KIRTEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca Performansa Dayalı Tasarım ve Yapıların Doğrusal Olmayan Davranışı konularında anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Naci ÇAĞLAR'a, Sismik yalıtım konusunda desteğini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÖZTÜRK'e bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım üzerimde emeği geçen derdini dinleyen tüm hocalarıma, bana desteğini hiçbir zaman esirgemeyen canım aileme ve dostlarıma teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
KISALTMALAR.....	iv
SİMGELER.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Patlama ile İlgili Literatürde Yapılmış Çalışmalar.....	11
1.2. Sismik Yalıtımla İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	16
1.3. Amaç ve Kapsam.....	18
BÖLÜM 2.	
PATLAMA.....	20
2.1. Patlayıcı Türü ve Etkisi	20
2.2. Patlama Türleri.....	21
2.3. Eş Değer Patlayıcı Ağırlığı	23
2.4. Ölçeklendirme Yasaları ve Mesafe Etkisi	24
2.5. İdeal Patlama Dalgası Özellikleri.....	25
BÖLÜM 3.	
PATLAMA ETKİLERİ ALTINDA DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞ VE	
PERFORMANS KAVRAMI.....	29
3.1. Performans Kavramı.....	30
3.1.1. Mevcut binalarda sınırlı hasar performans düzeyi	31
3.1.2. Mevcut binalarda kontrollü hasar performans düzeyi	31
3.1.3. Mevcut binalarda göçmenin önlenmesi performans düzeyi	32
BÖLÜM 4.	
SİSMİK YALITIM.....	33
4.1. Elastomer Mesnetler	34
4.2. Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetler	35
4.3. Öteleme Mesnetleri	36
4.4. Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetli Taban Yalıtımı Tasarımı	36

BÖLÜM 5.

SAYISAL ÇALIŞMA	41
5.1. Yapı Tanımı	41
5.2. Yapının Modellenmesi.....	43
5.3. Mevcut Bina için Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör Tasarımı	50
5.3.1. Yalıtım birimi yer değiştirme hesabı.....	51
5.3.2. Elastomer yalıtım birimlerinin birim şekildeğiştirme sınırlarına göre tasarımı	54
5.3.3. Elastomer yalıtım birimlerinin düşey kararlılığı	63
5.3.4. Öngörülen kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimlerinin kontrol hesapları	65
5.4. Patlama Yükünün Tasarımı ve Maksimum Patlama Basınçlarının Elde Edilmesi.....	70
5.4.1. Patlama yükünün yapı modeline etki ettirilmesi	75
5.4.2. Etki/kapasite hesabı	77
5.5. Patlamada Mesafe Etkisi.....	84
5.6. Mevcut Yapının Patlama Yükleri Etkileri Altında Performansının Değerlendirilmesi.....	106
5.6.1. Performans analizi 1 ($W_E = 227$ kg $R_G = 10$ metre).....	106
5.6.2. Performans analizi 2 ($W_E = 227$ kg $R_G = 15$ metre).....	113
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	119
6.1. Öneriler	121
KAYNAKLAR.....	123
ÖZGEÇMİŞ	128

KISALTMALAR

BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi
KH	: Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
KK	: Kesintisiz Kullanım Performans Düzeyi
SH	: Sınırlı Hasar Performans Düzeyi
TNT	: Trinitrotoluen
NH₄NO₃	: Amonyum Nitrat
LRBr	: Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör
HDRBr	: Yüksek Sönümlü Kauçuk İzolatörler
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
DIM	:Direct Integration Method
FNA	:Fast Nonlinear Analysis

SİMGELER

P_o	: Ortam basıncı
P_{so}	: Patlama kaynaklı en yüksek basınç
t_A	: İlk dalganın hedefe ulaştığı zaman
t_o	: Normal toplam basınç dalgası süresi
b	: Bozunma katsayısı
t	: Zaman
Z	: Ölçeklendirilmiş mesafe
W	: Ton cinsinden patlayıcı yükü kütlesi
R	: Küresel bir patlamanın merkezinden yüzeye olan mesafe
U	: Hız
i_s	: Pozitif patlama dalgası darbe yükü
I	: Bina önem katsayısı
T	: Doğal titreşim periyodu
T_M	: DD-1'e göre hesaplanan yapı periyodu
T_D	: DD-2'ye göre hesaplanan yapı periyodu
ξ	: Yalıtım birimi yer değiştirmelerinde hesaplanan etkin sönüm yüzdesi
η	: Sönüm ölçeklendirme katsayısı
β_e	: Etkin sönüm oranı
DD-1	: 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-3	: 50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-4	: 50 yılda aşılma olasılığı %68 (tekrarlanma periyodu 43 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
f_{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı [MPa]
f_e	: Taşıyıcı sistem için hesaplanan doğrusal (elastik) dayanım talebi

f_{ye}	: Taşıyıcı sistemin akma dayanımı
f_y	: Çeliğin ortalama (beklenen) akma dayanımı [MPa]
f_{yk}	: Çeliğin karakteristik akma dayanımı [MPa]
f_{ywe}	: Enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımı [MPa]
ϕ_y	: Akma eğriliği
ϕ_u	: Göçme öncesi eğrilik
$\theta_{p(KH)}$	: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]
$\theta_{p(GÖ)}$	: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
$\theta_{p(SH)}$	: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
F	: D yer değiştirmesine karşılık gelen yatay kuvvet
A	: Elastomer yalıtım birimin brüt kesit alanı
A_L	: Elastomer katmanı kenar yüzeyi alanı
A_P	: Kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimlerinde kurşun çekirdeğin alanı
A_r	: Tek bir elastomer katmanının çelik plaka ile yapışmış, yüke maruz yüzey alanı
B	: Çelik plaka ile yapışmış elastomerin çapı
B_L	: Kurşun çekirdek çapı
D	: Yalıtım birimi için yer değiştirme değeri
D_M	: En büyük deprem yer hareketi seviyesinde, göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak yer değiştirme
D_y	: Yalıtım biriminin etkin akma yer değiştirmesi
E_c	: Elastomer yalıtım biriminin basınç modülü
E_o	: Esneklik modülü
E_v	: Düşey rijitlik modülü
F	: Yalıtım biriminde D yer değiştirmesine karşı gelen dayanım
F_s	: Üst yapıya etki eden deprem kuvveti
F_y	: Etkin akma dayanımı
F_Q	: Yalıtım biriminin karakteristik dayanımı (kuvvet-yer değiştirme çevriminde sıfır yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet)
g	: Yer çekimi ivmesi
G_v	: Elastomer malzemenin kayma modülü

K	: Kauçuk malzemenin hacim modülü
K_D	: Tasarım deprem yer hareketi yer değiştirmesi seviyesinde yalıtım sisteminin nominal etkin rijitliği
K_M	: En büyük deprem yer hareketi yer değiştirmesi seviyesinde yalıtım sisteminin nominal etkin rijitliği
k₁	: Elastomer yalıtım biriminin başlangıç rijitliği (elastik rijitlik)
k₂	: Elastomer yalıtım biriminin ikincil (elastik ötesi) rijitliği
k_e	: D yer değiştirmesine karşılık gelen etkin rijitlik
k_v	: Elastomer yalıtım biriminin düşey rijitliği
S	: Şekil katsayısı
T_D	: Deprem yalıtımlı binanın tasarım yer değiştirmesi seviyesinde etkin titreşim periyodu
T_M	: En büyük yer değiştirme altında deprem yalıtımlı binanın etkin titreşim periyodu
T_r	: Toplam elastomer kalınlığı
T_v	: Elastomer yalıtım birimleri ile yalıtılmış yapının düşey doğrultudaki titreşim periyodu
V_D	: Tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD–2 için hesaplanan üst yapıya etkileyen kuvvet
V_M	: En büyük deprem yer hareketi düzeyi DD–1 için hesaplanan üst yapıya etkileyen kuvvet
W_d	: Tüketilen enerji (Kuvvet-yer değiştirme eğrisinin içinde kalan alan)
β_e	: Etkin sönüm oranı
τ_{yp}	: Kurşun malzemenin kayma akma gerilmesi

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1: Zorunlu tahliye mesafeleri (Emergency Response Guidebook, 2016)	2
Tablo 1.2: Patlayıcı ve mesafelere göre tahribat ve yaralanma (FEMA, 2007)	3
Tablo 1.3: Patlama basıncının binalarda oluşturacağı tahmini hasarlar (FEMA, 2003)..	3
Tablo 2.1: Yaygın patlayıcıların patlama ısısı değerleri (Karlos ve Solomos, 2013).....	24
Tablo 3.1: Beton ve çeliğin farklı etkiler altında dinamik artış kat sayıları.....	29
Tablo 5.1: Kolonlara gelen P_{k1} basınç kuvveti değerleri	56
Tablo 5.2: Kolonlara gelen P_{k2} ve P_{k3} kuvveti değerleri.....	62
Tablo 5.3: Elastomer yalıtım birimi özellikleri	64
Tablo 5.4: Elastomer yalıtım birimleri dayanım ve rijitlik parametreleri alt ve üst sınır öneri değerleri	65
Tablo 5.5: Elastomer yalıtım birimi alt sınır tasarım özellikleri	67
Tablo 5.6: Patlayıcı ağırlığı ve mesafelere bağlı maksimum patlama basıncı (kPa) değerleri	71
Tablo 5.7: Zorunlu tahliye mesafelerinin hesaplanan değerlerle karşılaştırılması	75
Tablo 5.8: Maksimum yer değiştirmeler.....	105
Tablo 5.9: Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıda göreceli kat ötelemelerinin kontrolü ...	106

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Yapılarda mesafelere göre patlama hasarı.....	4
Şekil 1.2: İdlib'de art arda iki bombalı saldırı	5
Şekil 1.3: İdlib'de bombalı saldırı sonucu döşemelerin tahribine örnek	5
Şekil 1.4: Cizre-Şırnak polis kontrol noktasına yapılan saldırı.....	6
Şekil 1.5: Mardin Midyat İlçe Emniyet Müdürlüğü'ne saldırı.....	6
Şekil 1.6: Patlama olayı	7
Şekil 1.7: Patlamaya karşı yapı tasarımında performans hedef şeması	10
Şekil 1.8: Betonarme giriş patlama deneyleri	13
Şekil 1.9: Pangoda örneği	16
Şekil 1.10: Jules Touaillon yalıtım sistemi	17
Şekil 1.11: Patlama ve deprem etkisi.....	19
Şekil 2.1: Serbest hava patlamaları.....	22
Şekil 2.2: Hava patlamaları	22
Şekil 2.3: Yüzey patlamaları	23
Şekil 2.4: Pozitif fazda patlama basıncına mesafenin etkisi	24
Şekil 2.5: İdeal patlama dalgası profili	28
Şekil 4.1: Bir köprü ayağında kullanılan elastomer mesnet örneği.....	34
Şekil 4.2: Kurşun çekirdekli kauçuk sönümleyici	35
Şekil 4.3: Sürtünmeli sarkaç tipi izolatör örneği.....	36
Şekil 4.4: Elastomer yalıtım biriminde şekil değiştirme sonucu oluşan açı hesabı....	40
Şekil 5.1: Patlama etkisi altında sismik yalıtımsız-yalıtımlı yapı	42
Şekil 5.2: Sadeleştirilmiş tipik bina planı	42
Şekil 5.3: Bina B-B aks kesiti.....	43
Şekil 5.4: Yapının beton ve çelik malzeme özelliklerinin tanımlanması.....	43
Şekil 5.5: Yapının beton ve çelik malzeme modelleri	44
Şekil 5.6: Kuşatılmış kolon kesitleri.....	45
Şekil 5.7: Kuşatılmış kiriş kesitleri.....	45
Şekil 5.8: Kütle özelliklerinin tanımlanması.....	46
Şekil 5.9: Kolonlarda moment eğrilik değerlerinin elde edilmesi	46
Şekil 5.10: Kirişlerin moment eğrilik değerlerinin elde edilmesi	47
Şekil 5.11: 300x600 kirişi plastik mafsallı tanımlamalarının yapılması.....	48
Şekil 5.12: Kolonlarda plastik mafsallı tanımlamalarının yapılması.....	48
Şekil 5.13: Sismik yalıtımsız yapının mod şekilleri	49
Şekil 5.14: İzolatör tasarım şeması	50
Şekil 5.15: DD-1 için yatay ivme spektrum eğrisi.....	51
Şekil 5.16: DD-2 için yatay ivme spektrum eğrisi	51
Şekil 5.17: İzolatör kuvvet yer değiştirme eğrisi.....	59
Şekil 5.18: Yükleme döngüsü altındaki alan hesabı	60

Şekil 5.19: Yalıtım birimi kuvvet-şekil değiştirme eğrisi.....	61
Şekil 5.20: Kurşun çekirdekli kauçuk izolator elemanları.....	64
Şekil 5.21. Yalıtım birimi özelliklerinin SAP2000 yazılımında tanımlanması.....	67
Şekil 5.22: Sismik yalıtımlı yapı mod şekilleri	69
Şekil 5.23: Patlama yükü fonksiyonunun belirlenmesi.....	70
Şekil 5.24: 100 Kg TNT' ye karşı gelen eş değer patlayıcı ağırlıkları	72
Şekil 5.25: Patlayıcı ağırlığı ve patlama mesafelerine göre en yüksek patlama basınçları.....	72
Şekil 5.26: 23 kg TNT' nin mesafelere göre yapıya etkisi	72
Şekil 5.27: 227 kg TNT' nin mesafelere göre yapıya etkisi.....	73
Şekil 5.28: 454 kg TNT' nin mesafelere göre yapıya etkisi.....	73
Şekil 5.29: 1814 kg TNT' nin mesafelere göre etkisi.....	73
Şekil 5.30: 4536 kg TNT' nin mesafelere göre etkisi.....	74
Şekil 5.31: 27216 kg TNT' nin mesafelere göre etkisi	74
Şekil 5.32: 10 metre mesafede 1. kat için patlama yükü fonksiyonunun tanımlanması	76
Şekil 5.33: Patlayıcıya en yakın konumda bulunan SZ25 kolonu	77
Şekil 5.34: 23 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri.....	78
Şekil 5.35: 227 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri.....	78
Şekil 5.36: 454 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri.....	79
Şekil 5.37: 1814 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri.....	79
Şekil 5.38: 4536 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri.....	80
Şekil 5.39: 27216 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri.....	80
Şekil 5.40: Sismik yalıtımsız yapıda patlayıcı ağırlıklarına göre SZ25 kolonunun kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması	81
Şekil 5.41: Sismik yalıtımlı yapıda patlayıcı ağırlıklarına göre SZ25 kolonunun kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması	81
Şekil 5.42: 23 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu Etki/Kapasite oranları	82
Şekil 5.43: 227 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu Etki/Kapasite oranları	82
Şekil 5.44: 484 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu Etki/Kapasite oranları	82
Şekil 5.45: 1814 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu Etki/Kapasite oranları	83
Şekil 5.46: 4536 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu Etki/Kapasite oranları	83
Şekil 5.47: 27216 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu Etki/Kapasite oranları	83
Şekil 5.48: Farklı mesafelerde patlama etkileri.....	84
Şekil 5.49: Yapıya 5 m mesafeden etkiyen patlama yükü fonksiyonu grafiği.....	84
Şekil 5.50: Yapıya 10 metre mesafeden etkiyen patlama yükü fonksiyonu grafiği ...	85
Şekil 5.51: Yapıya 15 metre mesafeden etkiyen patlama yükü fonksiyonu grafiği ...	85
Şekil 5.52: Yapıya 20 metre mesafeden etkiyen patlama yükü fonksiyonu grafiği ...	85
Şekil 5.53: Sismik yalıtımsız yapıda meydana gelen şekil değiştirmeler ($t = 0.05$ s) ..	86
Şekil 5.54: 5 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri	87
Şekil 5.55: 5 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda katların zamana bağlı doğrusal hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri	87

Şekil 5.56: 10 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri	88
Şekil 5.57: 10 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda katların zamana bağlı doğrusal hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri	88
Şekil 5.58: 15 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri	89
Şekil 5.59: 15 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda katların zamana bağlı doğrusal hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri	89
Şekil 5.60: 20 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri	90
Şekil 5.61: 20 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda katların zamana bağlı doğrusal hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri	90
Şekil 5.62: 5 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda taban kesme kuvvetlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlere göre karşılaştırılması	91
Şekil 5.63: 10 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda taban kesme kuvvetlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlere göre karşılaştırılması	91
Şekil 5.64: 15 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda taban kesme kuvvetlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlere göre karşılaştırılması	92
Şekil 5.65: 20 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda taban kesme kuvvetlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlere göre karşılaştırılması	92
Şekil 5.66: Farklı mesafelerde patlama yüklemeleri etkileri altında sismik yalıtımsız yapıda meydana gelen taban kesme kuvvetlerinin doğrusal olmayan hesap yöntemlerine göre karşılaştırılması	93
Şekil 5.67: Farklı mesafelerde patlama yüklemeleri etkileri altında sismik yalıtımsız yapıda meydana gelen taban kesme kuvvetlerinin doğrusal hesap yöntemlerine göre karşılaştırılması	93
Şekil 5.68: Sismik yalıtımlı yapıda meydana gelen şekil değiştirmeler ($t=0.05$ s) ...	94
Şekil 5.69: 5 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri	95
Şekil 5.70: 5 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan modal analiz (FNA (Fast Nonlinear Analysis)) hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri	95
Şekil 5.71: 5 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan (Direct Integration Method) hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri	95
Şekil 5.72: 10 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri	96
Şekil 5.73: 10 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan modal analiz (FNA (Fast Nonlinear Analysis)) hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri	96
Şekil 5.74: 10 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan (Direct Integration Method) hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri	96

Şekil 5.75: 15 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri	97
Şekil 5.76: 15 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan modal analiz (FNA (Fast Nonlinear Analysis)) hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri	97
Şekil 5.77: 15 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan (Direct Integration Method) hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri	97
Şekil 5.78: 20 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri	98
Şekil 5.79: 20 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan modal analiz (FNA (Fast Nonlinear Analysis)) hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri	98
Şekil 5.80: 20 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan (Direct Integration Method) hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri	98
Şekil 5.81: 5 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda taban kesme kuvvetlerinin doğrusal olmayan (Direct Integration Method) doğrusal olmayan modal (FNA (Fast Nonlinear Analysis)) ve doğrusal hesap yöntemlerine göre karşılaştırılması	99
Şekil 5.82: 10 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda taban kesme kuvvetlerinin doğrusal olmayan (Direct Integration Method) doğrusal olmayan modal (FNA (Fast Nonlinear Analysis)) ve doğrusal hesap yöntemlerine göre karşılaştırılması	99
Şekil 5.83: 15 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda taban kesme kuvvetlerinin doğrusal olmayan (Direct Integration Method) doğrusal olmayan modal (FNA (Fast Nonlinear Analysis)) ve doğrusal hesap yöntemlerine göre karşılaştırılması	100
Şekil 5.84: 20 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda taban kesme kuvvetlerinin doğrusal olmayan (Direct Integration Method) doğrusal olmayan modal (FNA (Fast Nonlinear Analysis)) ve doğrusal hesap yöntemlerine göre karşılaştırılması	100
Şekil 5.85: Farklı mesafelerde patlama yüklemeleri etkileri altında sismik yalıtımlı yapının taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması	101
Şekil 5.86: Sismik yalıtımlı yapıda farklı mesafelerde taban kesme kuvvetlerinin doğrusal olmayan (Direct Integration Method) hesap yöntemlerine göre karşılaştırılması	101
Şekil 5.87: Sismik yalıtımlı yapıda farklı mesafelerde taban kesme kuvvetlerinin doğrusal olmayan modal (FNA (Fast Nonlinear Analysis)) hesap yöntemlerine göre karşılaştırılması	101
Şekil 5.88: 5 m mesafede yalıtım biriminde meydana gelen yatay kuvvet- yer değiştirme eğrisi (Direct Integration Method)	102
Şekil 5.89: 10 m mesafede yalıtım biriminde meydana gelen yatay kuvvet- yer değiştirme eğrisi (Direct Integration Method)	102

Şekil 5.90: 15 m mesafede yalıtım biriminde meydana gelen yatay kuvvet- yer değiştirme eğrisi (Direct Integration Method)	103
Şekil 5.91: 20 m mesafede yalıtım biriminde meydana gelen yatay kuvvet- yer değiştirme eğrisi (Direct Integration Method)	103
Şekil 5.92: 5 m mesafe için enerji sönümlenmesi	104
Şekil 5.93: 10 m mesafe için enerji sönümlenmesi	104
Şekil 5.94: 15 m mesafe için enerji sönümlenmesi	104
Şekil 5.95: 20 m mesafe için enerji sönümlenmesi	105
Şekil 5.96: Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıda 1. Kat kirişlerinde plastik mafsallık dönme oranlarının sınır değerler ile karşılaştırılması	107
Şekil 5.97: Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıda 2. Kat kirişlerinde plastik mafsallık dönme oranlarının sınır değerler ile karşılaştırılması	108
Şekil 5.98: Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıda 3. Kat kirişlerinde plastik mafsallık dönme oranlarının sınır değerler ile karşılaştırılması	108
Şekil 5.99: Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıda 1. Kat kolonlarında plastik mafsallık dönme oranlarının sınır değerler ile karşılaştırılması	108
Şekil 5.100: Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıda 2. Kat kolonlarında plastik mafsallık dönme oranlarının sınır değerler ile karşılaştırılması	109
Şekil 5.101: Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıda 3. Kat kolonlarında plastik mafsallık dönme oranlarının sınır değerler ile karşılaştırılması	109
Şekil 5.102: Sınırlı hasar bölgesindeki kesitlerin sismik yalıtımlı-yalıtımsız durumlarına göre karşılaştırılması	110
Şekil 5.103: Belirgin hasar bölgesindeki kesitlerin sismik yalıtımlı-yalıtımsız durumlarına göre karşılaştırılması	110
Şekil 5.104: İleri hasar bölgesindeki kesitlerin sismik yalıtımlı-yalıtımsız durumlarına göre karşılaştırılması	111
Şekil 5.105: Göçme bölgesindeki kesitlerin sismik yalıtımlı-yalıtımsız durumlarına göre karşılaştırılması	111
Şekil 5.106: Sismik yalıtımsız yapıda kolon ve kirişlerin hasar sınırlarına göre değerlendirilmesi	112
Şekil 5.107: Sismik yalıtımlı yapıda kolon ve kirişlerin hasar sınırlarına göre değerlendirilmesi	112
Şekil 5.108: Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıda 1. Kat kirişlerinde plastik mafsallık dönme oranlarının sınır değerler ile karşılaştırılması	113
Şekil 5.109: Sismik yalıtımlı yapıda 2. Kat kirişlerinde plastik mafsallık dönme oranlarının sınır değerler ile karşılaştırılması	113
Şekil 5.110: Sismik yalıtımlı yapıda 3. Kat kirişlerinde plastik mafsallık dönme oranlarının sınır değerler ile karşılaştırılması	114
Şekil 5.111: Sismik yalıtımlı yapıda 1 Kat kolonlarında plastik mafsallık dönme oranlarının sınır değerler ile karşılaştırılması	114
Şekil 5.112: Sismik yalıtımlı yapıda 2. Kat kolonlarında plastik mafsallık dönme oranlarının sınır değerler ile karşılaştırılması	115
Şekil 5.113: Sismik yalıtımlı yapıda 3. Kat kolonlarında plastik mafsallık dönme oranlarının sınır değerler ile karşılaştırılması	115

Şekil 5.114: Sismik yalıtımsız ve yalıtımlı yapıda plastik mafsall oluşumlarının karşılaştırılması	116
Şekil 5.115: Sınırlı hasar bölgesindeki kesit yüzdesi	116
Şekil 5.116: Belirgin hasar bölgesindeki kesit yüzdesi	117
Şekil 5.117: Göçme bölgesindeki kesit yüzdelерinin karşılaştırılması	117
Şekil 5.118: Sismik yalıtımsız yapıda kolon ve kirişlerin hasar sınırlarına göre değerlendirilmesi	117
Şekil 5.119: Sismik yalıtımlı yapıda kolon ve kirişlerin hasar sınırlarına göre değerlendirilmesi	118



SİSMİK YALITIMLI YAPILARDA PATLAMA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Ülkemizde ve dünyada yapılar terör faaliyetleri sonucunda patlama etkilerine maruz kalabilmektedir. Bu tür faaliyetlerin yapının içerisinde ya da yapıya yakın mesafelerde gerçekleştirilmesi mümkündür.

Ülkemizde, sismik yalıtım araçlarının kullanımı 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde "Deprem Etkileri Altında Yalıtımlı Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı için Özel Kurallar" başlığı altında yerini almıştır. Taban yalıtımında kullanılan yalıtım birimleri, yapı periyodunu artırarak göreceli kat ötelemelerinin azaltılmasını ve yapıya etki eden deprem kuvvetlerinin azaltılmasını sağlamaktadır.

Patlama yükleri deprem yüklerinden farklı olarak ani bir darbe yükü şeklinde olduğundan sismik yalıtım araçlarının patlama yüklerine karşı etkili olup olmayacağı bilinmemektedir. Bu tez kapsamında sismik yalıtımlı yapılarda patlama etkileri incelenmiş ve sismik yalıtımsız yapı ile karşılaştırılmıştır. Betonarme bir bina modeli oluşturulmuş ve sismik yalıtım aracı olarak kurşun çekirdekli kauçuk sönümleyiciler kullanılmıştır. Patlayıcı tipine ve ağırlığına göre ölçeklenmiş patlama mesafeleri belirlenerek hedef binanın her bir katına gelen patlama yükleri zamana bağlı olarak elde edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemine dayalı analiz yapan SAP 2000 yazılımı kullanılarak Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan analiz yöntemi ile patlama yükü analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapının farklı mesafelerde ve farklı ağırlıklardaki patlayıcılar etkisinde etki/kapasite oranları elde edilmiştir. Kanada'da tehlikeli madde taşımacılığında kullanılan patlayıcı ağırlıkları ve patlama mesafeleri bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Bu verilere dayanarak, bir patlama senaryosu kurulmuş, bomba yüklü bir aracın hedef yapıya çeşitli mesafelerde patlatılması sonucunda patlama etkileri dikkate alınmıştır. Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız binaların patlama yükleri etkisi altındaki dinamik davranışı karşılaştırılmıştır. Patlama yükleri etkisi altında yalıtımlı ve yalıtımsız binaların performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda, taban yalıtımında kullanılan kurşun çekirdekli kauçuk sönümleyicilerin patlama etkilerini sönümlemede etkili olduğu, katlar arası yer değiştirme oranlarını azaltarak yapıya etki eden darbe yüklerinin sönümlenmesini sağladığı ve yapıya gelen taban kesme kuvvetlerini azalttığı görülmüştür. Doğrusal olmayan yöntemlere göre değerlendirme yapıldığında taban yalıtımının yapının patlama etkilerine karşı vereceği tepkiyi azalttığı yapının mod şeklini değiştirdiği, yapıda plastik dönme oranlarını etkilediği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Patlama etkisi, sismik yalıtım, performans analizi, doğrusal olmayan analiz.

INVESTIGATION OF BLAST EFFECTS IN SEISMIC ISOLATED BUILDINGS

SUMMARY

Structures in our country and the world can be exposed to explosive effects as a result of terrorist activities. It is possible to carry out such activities within the building or at close distances to the building.

In our country, the use of seismic isolators the Turkish Seismic Code 2018 "Special Rules for Design of Earthquake Impacts Under Isolated Building Structural Systems" took place under the title. The isolation units used in base isolation increase the period of the building and decrease the relative floor displacement and decrease the earthquake forces affecting the structure.

It is not known whether seismic isolation devices will be effective against blast loads since the blast loads are formed as a sudden impact load different from earthquake loads. In the scope of this thesis, blast effects in seismic-isolated structures were investigated and compared with non-isolated structure. A reinforced concrete building model was created and lead core rubber bearings were used as seismic isolation tools. The explosion distances scaled according to the type of explosive and the weight of the explosive was obtained and the blast loads on each floor of the target building were obtained depending on the time. Using SAP 2000 software, which makes analysis based on the finite element method, blast load analysis was performed in the time history by nonlinear analysis method. Effect/capacity ratios were obtained under the effect of explosives at different distances and different weights of the building. Explosive weights and explosion distances used in dangerous goods transportation in Canada form the basis of this study. These distances are taken into account when estimating the blast loads. Based on this data, there is an explosion scenario, the bomb is for a loaded, it must be detonated at various distances to the target structure. The dynamic behavior of seismically isolated and non-isolated buildings under the effects of blast loads is compared. Performance evaluations of isolated and non-isolated buildings were conducted under the effects of blast loads. As a result of the study, it has been observed that the rubber core rubber bearings used in the base isolation are effective in absorbing the explosion effects, reducing the displacement rates between the floors, reducing the damping of impact loads affecting the structure and the floor shear forces coming to the structure. When evaluated according to non-linear methods, it was observed that the floor isolation reduces the reaction of the building against the blast effects, changes the mode of the building, and affects the plastic rotation rates in the building.

Keywords: Blast effect, seismic isolation, performance analysis, nonlinear analysis

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Patlama olayları çeşitli formlarda gerçekleşebilmektedir. Kimi zaman terör faaliyetleri sonucunda kimi zaman patlayıcı maddelerin özensiz kullanımı sonucu kazara patlamalar meydana gelebilmektedir. Kasıtlı veya kasıtsız bir patlama olayının meydana gelmesi sonucunda yapılar hasar almaktadır (Verma ve diğ., 2016). Yapıların alacağı hasar patlayıcının büyüklüğüne ve patlama mesafelerine, yapının özelliklerine ve birçok parametreye göre değişim göstermektedir.

Patlama basıncı, kaynaktan uzaklaştıkça hızla azalmaktadır. Bu nedenle, binanın patlamaya bakan tarafındaki hasarlar diğer taraftan önemli ölçüde daha ağır olabilmektedir. Sonuç olarak, doğrudan hava patlaması zararları daha fazla bölgesel hasara neden olma eğilimindedir. Bununla birlikte, kentsel bir ortamda, çevredeki binalara yansımalar, verilen zararları arttırabilmektedir. Patlama olayları çok kısa sürede gerçekleştiğinden bir darbe etkisi meydana getirmektedir. Bu nedenle, yapının kütlesi patlama etkilerine karşı güçlü bir hafifletici etkiye sahip olmaktadır. Bu durum, deprem etkilerinin tam tersine kuvvet etkisi altındaki bina kütlesinin tepkisi ile aynı zaman diliminde olduğundan binada hasarı kötüleştirebilecek bir rezonans etkisine neden olabilmektedir. Bu nedenle bir patlama olayında hasar ve yaralanmaların kapsamı ve ciddiyeti, kesin olarak tahmin edilememektedir. Patlama olayında beklenebilecek genel hasar ve yaralanma seviyeleri için patlamanın büyüklüğüne, mesafeye ve binanın yapımına ilişkin varsayımlara dayanarak önlemler alınabilmektedir (FEMA, 2003).

Bomba yüklü araçların hedef yapıya ulaşımının kolay olması ve aracın büyüklüğüne oranla taşıyabilen patlayıcı miktarının artması tehlikeyi arttırmaktadır. Bu duruma ilişkin Kanada Ulaştırma Bakanlığı'nın yayınladığı Acil Durum Müdahale Rehberi'nde zorunlu tahliye mesafelerine yer verilmiştir. Taşıtların taşıyabileceği maksimum miktarda patlayıcı madde ağırlığına göre güvenli patlama mesafeleri elde edilmiştir (Tablo 1.1):

Tablo 1.1: Zorunlu tahliye mesafeleri (Emergency Response Guidebook, 2016)

Tehdit	Patlayıcı kapasitesi	Zorunlu tahliye mesafeleri	Patlama noktasına emniyetli mesafe
	Çanta (23 kg)	46 m	47–563 m
	Hatch-back (227 kg)	98 m	99–579 m
	Sedan (454 kg)	122 m	123–731 m
	Minibüs (Yük/Yolcu) (1814 kg)	195 m	196–1158 m
	Kamyonet/Yakıt Tankeri (4536 kg)	263 m	264–1554 m
	Kamyon (27273 kg)	475 m	476–2834 m

Zorunlu tahliye mesafeleri, betonarme olmayan bir binanın ciddi hasara veya çökmeye dayanımı gözetilerek verilmiştir. Patlama noktalarına emniyetli mesafeler, patlama sonucu etrafa saçılan cam vb. parçacıkların mesafesini ifade etmektedir. Bu mesafelerin güvenlik ekiplerinin özel korumalı kıyafet giymesi durumunda azaltılabileceği kılavuzda belirtilmektedir (Emergency Response Guidebook, 2016).

FEMA istiap haddi aşılmadan bir aracın taşıyabileceği maksimum patlayıcı miktarlarına göre yaralanma tahribat grafikleri ve tabloları düzenlenmiştir. Tablo 1.2’ de bir hatchback arabanın bagajında bulunan 226 kg TNT’nin patlatılması sonucu oluşan patlama basıncı, 9 metre mesafedeki bir beton kolonda çökmeye neden olurken, 2260 kg TNT taşıyan bir kamyonetin patlaması ya da patlatılması durumunda 18 metrede çökmeye neden olmaktadır (Öğünç, 2019).

Tablo 1.2: Patlayıcı ve mesafelere göre tahribat ve yaralanma (FEMA, 2007)

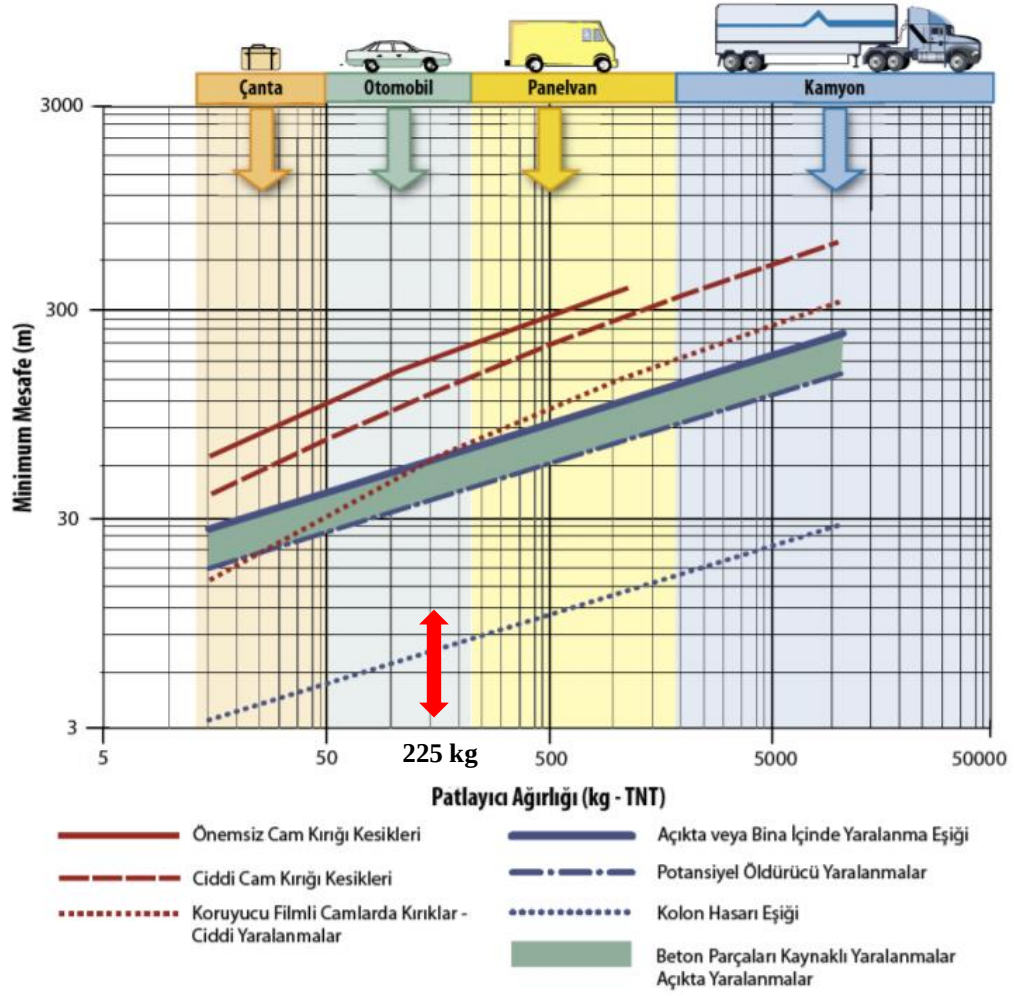
Tahribat ve yaralanma	Minimum etki mesafesi (m)	
	226 kg TNT (500 lb)	2260 kg TNT (5000 lb)
Beton kolonların çökmesi	9	18
Muhtemel ölümcül yaralanma	45	105
Duvar parçalarından kaynaklı yaralanmalar	45–75	105–150
Patlamaya dayanıklı camların kırılması sonucu gerçekleşen yaralanmalar	75	200
Normal camların kırılması sonucu gerçekleşen yaralanmalar	150	300+
Küçük kesikler	240	300+

Tablo 1.3’ te patlama basıncının binalarda oluşturacağı tahmini hasarlar ifade edilmiştir:

Tablo 1.3: Patlama basıncının binalarda oluşturacağı tahmini hasarlar (FEMA, 2003)

Basınç Değeri (kPa)	Binada Meydana Gelen Hasar
1.03 – 1.52	Camların kırılması
3.45 – 7.58	Bina dış yüzeylerinde ufak hasarlar
7.58 – 12.41	Metal panel ve kaplamalarda bükülmeler
12.41 – 20	Beton bloklarda ve duvarlarda yıkılmalar
34.48 +	Ahşap çerçeveli binalar çökmesi
27.58 – 48.26	Çelik çerçeveli binalarda ciddi hasar
41.37 – 62.06	Güçlendirilmiş beton yapılarda ciddi hasar
68.95 – 82.74	Yapıların tamamen yıkılması

Şekil 1.1’ de yaklaşık 225 kg taşıma kapasitesine sahip TNT bomba yüklü bir otomobilin patlatılması durumunda; patlama merkezine 3–15 metre mesafede kolonların hasar eşiğine yakın konumda olduğu görülmektedir.



Şekil 1.1: Yapılarda mesafelere göre patlama hasarı (FEMA, 2005; Saatçi, 2010)

Terör faaliyetleri, savaş ve benzeri birtakım olaylar sonucu meydana gelen patlama olayları incelendiğinde, patlama olaylarının genellikle kalabalık ortamlara, emniyet binalarına, çeşitli kamu binalarına düzenlendiği görülmüştür. Şekil 1.2’ de Suriye’nin İdlib şehrinde, yakın zamanda gerçekleşmiş bir bomba yüklü araç saldırısı örneği verilmiştir (Url-1).



Şekil 1.2: İdlib'de art arda iki bombalı saldırı (Url-1) (AA, 2019)

Şekil 1.3 'te 2016 yılında Suriye'nin İdlib şehrinde msket bombasıyla yapılan bir saldırıdan örnek verilmiştir (Url-1).



Şekil 1.3: İdlib'de bombalı saldırı sonucu döşemelerin tahribine örnek (Url-1) (AA, 2016)

Şekil 1.4' te Cizre'de bir polis kontrol noktasına gerçekleştirilen bomba yüklü araçla saldırıdan Şekil 1.5' te Mardin İlçe Emniyet Müdürlüğü'ne yapılan bir saldırıdan örnekler verilmiştir (Url-5).



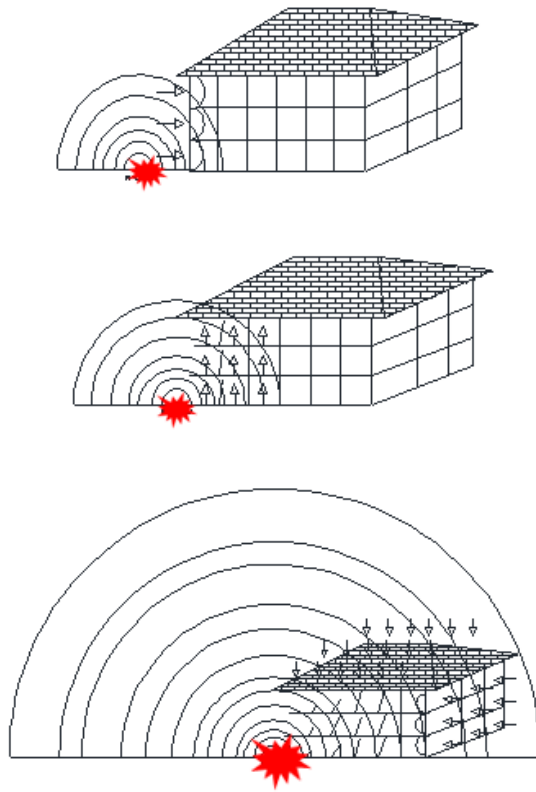
Şekil 1.4: Cizre-Şırnak polis kontrol noktasına yapılan saldırı (Url-5) (AA, Yeni Şafak, 2016)



Şekil 1.5: Mardin Midyat İlçe Emniyet Müdürlüğü'ne saldırı (Url-2) (Habertürk, 2016)

Patlama etkileri, şiddeti yüksek basınç dalgalarının neden olduğu hasarlardır ve dış duvarların, pencerelerin, döşeme sistemlerinin, kolonların ve kirişlerin hasar görmelerine neden olabilmektedir. Tepki sırasına göre, hava patlaması ilk önce patlamaya en yakın olan yerin çevresindeki en zayıf noktaya, tipik olarak binanın dış örtüsüne çarpmaktadır. Patlama basınç yükü öncelikle, cam kırılmasına ve duvarlarda yıkılmaya neden olabilmektedir. Şok dalgaları genişlemeye devam ettikçe, yapının iç yüzeylerine temas

ederek zeminde hem yukarı hem aşağı doğru itme hareketi oluşturmaktadır. Son olarak, binanın etrafı şok dalgaları tarafından sarılarak yapının göçmesine neden olmaktadır. Binayı saran şok dalgaları milisaniyeler içerisinde yapıyı hasara uğratmaktadır. Geçmişte karşılaşılan olaylar, cam kırıklarının büyük patlamalarda uzun mesafelere taşınabileceğini göstermiştir. Cam, genellikle binanın en zayıf elemanlarından biri olduğundan zemin, duvar veya kolon gibi diğer bileşenlere kıyasla düşük basınçta kırılmaktadır. Yüksek hızlı cam parçaları çevresindekilere zarar vermektedir (FEMA, 2003) (Şekil 1.6).



Şekil 1.6: Patlama olayı (FEMA, 2003)

Patlama ve sismik yükleme, temelde iki farklı yükleme olmasına rağmen, enerjiyi güvenle dağıtan sismik kontrol yöntemleri, patlama yüklemesi için bir miktar değer taşımaktadır. En sağlam ve popüler pasif kontrol teknolojilerinden biri olan taban yalıtımı, patlama gibi ani darbe yüklerinin sönümlenmesinde bir paya sahiptir. Hasarın türünü ve derecesini düzenleyen iki ana parametre, patlayıcı miktarı ve hedefe olan uzaklıktır. Bu parametreler ayrıca, hasarı ve can kaybını azaltmak için patlamaya dayanıklı özelliklerin sağlanması için gerekli koşulları da belirlemektedir. Örneğin, yakın

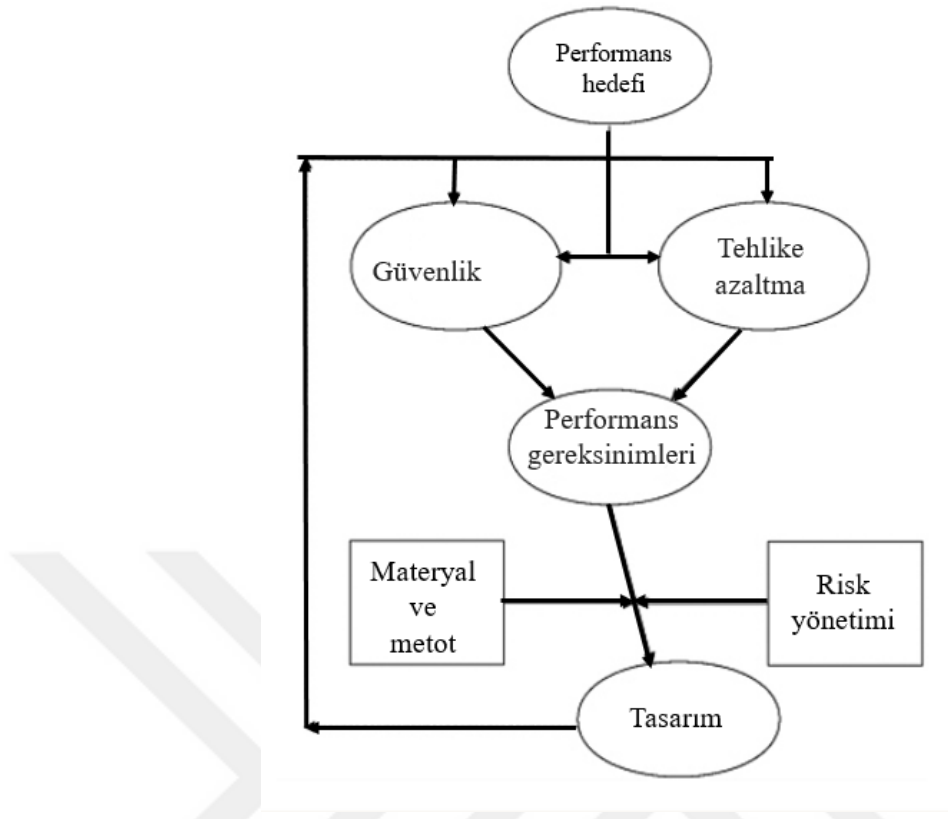
mesafede veya yapı içerisinde gerçekleşebilen küçük çaptaki patlamalar güvenlik önlemlerinin ihlali nedeniyle, taşıyıcı elemanların tahrip edilmesine yol açarak, ilerleyen çökmelere sebep olabilir. Uzak mesafelerde gerçekleşebilen daha büyük patlamalar, örneğin, yapının dışındaki bomba yüklü araçlarla gerçekleştirilen terör faaliyetleri, binanın yüzeyinde daha düzenli yükleme yaparak hem lokal hem de global tepkiye neden olacaktır. Patlama yükleri döşemelere veya yapısal çerçeveye eşit bir şekilde dağıtılamaz. Bu nedenle birçok araştırmacı, patlama yüküne karşı hem enkaz hem de ağır yapısal eleman hasarını sınırlandırabilecek kaplamalar, köpükler vb. yerel koruma stratejileri önermiştir. Taban yalıtımında kullanılan sismik sönümleyicilerin, deprem yükleri etkisi altında katlar arası yer değiştirmeleri sınırlandırarak taban kesme kuvvetlerini azalttığı bilinmektedir. Bu nedenle sismik yalıtım uygulamaları, yapıların hakim mod şeklini değiştirerek patlama etkileri sonucu yüklerin döşemelere ve yapısal çerçeveye dağıtılması sağlamakta ve lokal hasarın azaltılmasında rol oynamaktadır (Zhang ve Phillips, 2015).

Bombalı araç saldırıları, hedef bölgeye bırakılan araçlar veya yol kenarlarına park edilmiş bomba yüklü araçların patlatılması ile gerçekleştirilen saldırı türüdür. Bu tür saldırıların yoğun trafikte tespit edilmesi oldukça güç olduğundan terör örgütlerinin kullandığı en yaygın saldırı türü olmaktadır. Bombalı saldırı düzenleyen teröristler sınırlı miktarda bulunan patlayıcıyı en verimli şekilde kullanmayı hedeflemektedirler. Bu nedenle bir binaya karşı gerçekleştirilecek saldırının etkisini hesaplarken patlayıcı maddenin kütlesi, patlamanın gerçekleştirileceği yer ile hedef arasındaki mesafenin en yakın düzeyde tutulmasını hedeflerler. Saldırıya karşı güvenlik tedbirleri de bu alanda karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle patlayıcı maddelerin depolandığı, saklandığı, imal edildiği veya taşındığı güzergâhlar muhtemel patlama noktaları olarak düşünülmeli ve bunlar için birtakım tedbirler almak gerekmektedir. Bombalı araç saldırılarında hedef genellikle emniyet binaları, askeri yapılar ve her çeşit kamu yapıları olmaktadır. Bombalı araç saldırılarının hedef, zaman, mekân, saldırı yöntemine bağlı detaylı analizler gerçekleştirilmeli bu saldırı türüne karşı risk değerlendirmeleri yapılarak saldırıya uğrama potansiyeline sahip sistemlerin tasarımları gerçekleştirilmelidir. Saldırıya uğrama potansiyeline sahip tesisler ile patlayıcı taşıyan araç türleri için mesafeler ayrı ayrı değerlendirilmelidir (Özçelik, 2016).

Güvenli bir bina tasarımı bir dizi işlem gerektirmektedir. Güvenlik parametrelerinin erişilebilirlik, başlangıç ve yaşam döngüsü maliyetleri, doğal tehlike azaltma, yangından

korunma, enerji verimliliği ve estetik gibi diğer birçok tasarım kısıtlarıyla dengelenmesi gerekmektedir (Krauthammer, 1999).

Bir yapıya bombalı saldırı düzenlenme ihtimali az olduğundan alınacak tedbirlerin binanın günlük işlemlerine müdahale etmemesi gerekmektedir. Öte yandan, olası bir saldırının etkileri felakete neden olabileceğinden, olası bir saldırı olayında hayat kurtaracak ve çalışma düzenine en az zarar verecek şekilde düzenleme yapılmalıdır. Alınan önlemler için etkili bir ortam sağlamak ve potansiyel saldırganların gereksiz dikkatini çekmemek için mümkün olduğunca göze çarpmayacak şekilde olmalıdır. Güvenlik tasarımı, patlama etkileri için olan çözümün binanın diğer tehlikelere karşı davranışını kötüleştirmemesini sağlamak için tasarıma yönelik genel bir tehlike yaklaşımının bir parçasını oluşturmaktadır. Buna karşılık, patlama için bina performansını ve sürdürülebilirlik gibi diğer hususları iyileştiren alternatif çözümler geliştirilmelidir. Patlama güvenliğinin sağlanmasında, birincil tasarım amacı, patlama olayının gerçekleşmesi ihtimaline karşı binada bulunan insanların hayatlarını kurtarmaktır. Tarihsel olarak binaları hedef alan terör olaylarında bina tasarımı açısından birincil hedef, çökmenin önlenmesidir. İkincil hedefler ise olay sırasında uçuşan moloz parçalarının ve patlamanın etkisiyle bina içindekilerin yaralanmasını sınırlayacak tasarım çözümleri sağlamak ve bina çevresine yakın olan canlılara verilen zararı sınırlandırmak ve binaya erişimi engelleyen enkazları ve kurtarma ekiplerine zarar verebilecek olası enkaz tehlikelerinin sınırlandırılarak arama-kurtarma çalışmalarını kolaylaştırmaktır (Şekil 1.7).



Şekil 1.7: Patlamaya karşı yapı tasarımında performans hedef şeması (National Research Council, 2002; FEMA, 2007)

Bazı durumlarda, kritik işlevleri sürdürmek ve iş kesintilerini minimum seviyeye indirmek gibi ikincil hedeflerin dikkate alınması gerekebilmektedir. Patlama güvenliğinde bina yerleşim yeri, yapının mimari ve yapısal tasarımı, bina cephesinin tasarlanması, mekanik ve elektrik tesisatlarının tasarımı önem arz etmektedir. Bomba yüklü bir aracın patlayıcı ile doldurularak patlatılması sonucu gerçekleştirilen olayların yapılara vereceği zararın önlenmesi bakımından çeşitli önlemlerin alınması gereklidir. Bina altında araç girebilen depolar, park alanları, araç ulaşımına açık bina etrafındaki her bir nokta tehdit oluşturmaktadır. Patlama güvenliği bulunan bir bina etrafında kesintisiz kontrollü duvar bariyer vb. bir hat düzeninin oluşturulması gerekir. Araç giriş çıkışlarının yapıdan uzak bir bölgede kontrolünün gerçekleştirilmesi, bina yakınına araç girişlerinin sınırlandırılması gerekir. Bina yakınında çevresel düzenlemeler yapılarak dikkat çekici olmayacak şekilde engellerin oluşturulması, bina etrafının ağaçlarla donatılması süs havuzu, heykel vb. öğelerle bina etrafının donatılması alınabilecek önlemlerden bazılarıdır. Bina etrafının düzenlenmesinin yanında yapının mimari düzeni de patlama yüklerinin yansıtılarak uzaklaştırılmasında önemi bir paya sahiptir. İçeride keskin

köşeleri olmayan düzenli simetrik binaların tercih edilmesi gerekmektedir. Yapı cephesinde patlama sonucu uçuşabilecek yapısal eleman parçalarının vereceği zararın önlenmesi bakımından yapının dış bölge kaplamalarının hafif türde kaplamaların tercih edilmesi gerekir. Binada yapısal eleman olmayan asma tavan, panjur vb. tarzda öğelerin sınırlandırılması gerekir. Patlamaya dayanıklı yapı tasarımında sistem simetrik ve düzenli olmalıdır. Yığma türü yapılarda duvar aralıkları sınırlandırılmalıdır. Tasarımda kütle birincil faktör olup, yüklerin sönmelenmesinde önemli bir paya sahiptir. Doğrudan bir patlama etkisine maruz dış çerçeve sistemi etkili bir dayanıma sahip olmalı ve çökme durumunda hasarın binaya yayılması önlenmelidir. Patlama olaylarının doğal afetlerin önlenmesi, sürdürülebilirlik, inşaat ve yaşam döngüsü maliyetleri, inşa edilebilirlik, mimari ifade gibi diğer birçok tasarım kısıtlaması ile bütünleştirilerek verebileceği zararın en aza indirilmesi ve ortak çözümlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Mümkün olan en erken planlama ve tasarım aşamalarında terörle mücadele hususlarının dikkate alınması, diğer tasarım hususlarıyla bütünleşirken korumanın en üst düzeye çıkarılmasını sağlamaktadır (Hinman, 2017).

1.1. Patlama ile İlgili Literatürde Yapılmış Çalışmalar

Patlamanın yapı üzerindeki etkilerine yönelik çalışmalar statik veya dinamik yöntemler kullanılarak geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda bazı araştırmacılar eleman bazında çalışırken bazı araştırmacılar yapının genel durumu üzerinde yoğunlaşmıştır. Bazı araştırmacılar patlama etkileri üzerine patlama yükü fonksiyonunun elde edilerek yapıya etki ettirilmesi şeklinde çalışmalar yaparken bazıları, patlama etkileri altında yapının eleman bazında hasar alacağı ve bu sebeple yapıda çeşitli elemanların göçtüğü kabulü yapılarak göçme analizleri yapmıştır. Tüm bu çalışma alanlarına yönelik korunma yöntemleri olarak güvenli mesafelerin elde edilmesi, eleman boyutlarının artırılması, patlamaya dayanıklı ürünlerin kullanımı vb. yöntemlere başvurulmaktadır.

Newmark (1953), yaptığı çalışmada, nümerik olarak patlama yüklerinin fonksiyonlarını tanımlamıştır.

Brode (1955), Henrych (1979), Kingery (1984), Smith (1994); maksimum patlama basıncı, patlama mesafesi ve eş değer patlayıcı ağırlığının kullanıldığı nesneler ve yapılar üzerindeki patlama basıncının modellenmesi üzerine formülasyonlar geliştirmiştir.

Smith, (1994) patlama dalgasının bir yüzeyle etkileşimi sonucu yansıyan basıncı nümerik olarak ifade etmiştir.

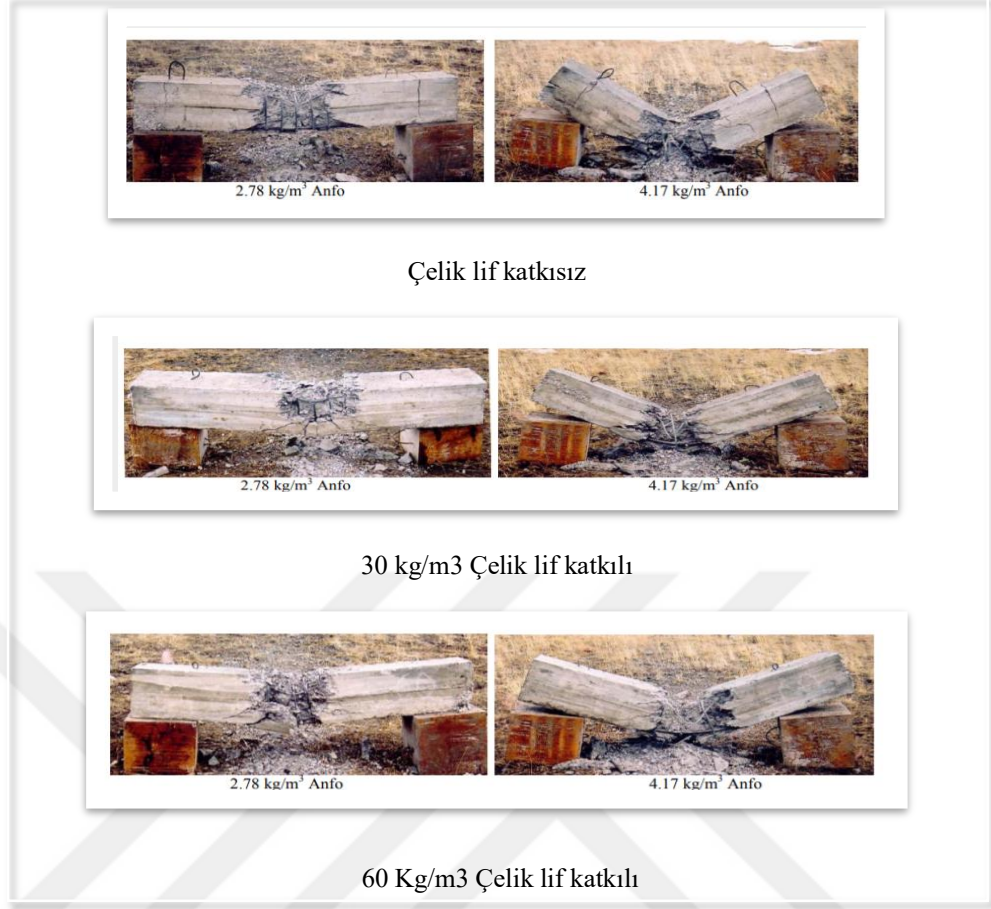
Patlama parametrelerinin belirlenmesi çoğunlukla çeşitli deneysel verilerin analizine dayanan birtakım denklem ve çizelgelerden oluşmaktadır. Mevcut denklemlerin çoğu, patlamanın havada gerçekleştiği ve oluşturulan patlama dalgasının küresel olarak dışarıya yayıldığı göz önünde bulundurularak küresel patlamalar için üretilmiştir. Olay dalgası parametrelerini hesaplamak için bu tür formülasyonlar Brode (1955, 1956), Henrych (1979), Kinney ve Graham (1985), Mills (1987), ve diğerleri tarafından geliştirilmiştir. Karlos ve Solomos (2013) patlama yükü hesaplamalarını içeren bir rapor yazmıştır.

Patlamaların yapılar üzerindeki etkisini deneysel olarak incelerken (veya başka amaçlar için), tam ölçekli bir takım deneylerin yapılması istenir. Bununla birlikte, bu tür tam ölçekli deneyler maliyetli olmaktadır. Hopkinson (1915) ve Cranz (1926), Farklı ölçeklerde yapılan deneylerin uygulanabilirliğini genişletmek amacıyla Hopkinson - Cranz ölçeklendirme yasası (Küp Kök Ölçeklendirme Yasası)' nı geliştirmiştir (Baker, 1973 ; Mays ve diğ., 1995).

Rankine Hugoniot (1870), ideal gazlarda şok dalga cephesinde kütle, enerji ve momentumun korunmasına dayanan ve kendi adıyla bilinen Rankine Hugoniot yasasını geliştirmiştir. Rankine yasası ile şok dalgalarının hızı, yoğunluğu ve tepe basıncı belirlenebilmektedir (Fujikura, 2006; Dewey, 2018).

Lam ve diğ. (2004), patlama yükleri ile ilgili yaptığı bir çalışmada patlama dalgasının bir yapı üzerindeki etkisinin sadece tepe patlama basıncına değil, aynı zamanda basıncın hedef yapı üzerine varış süresine de bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Basit konsol duvar modellerinin zaman tanım alanında analizlerini içeren parametrik çalışmalar yapmıştır.

Altun ve diğ. (2006), lifli beton malzemeye sahip kirişlerin patlama yüklemeleri altında davranışlarını incelemiştir. Çalışma sonucunda; farklı özelliklerdeki betonarme kirişlerin mekanik özellikleri genel olarak belirlenmiştir (Şekil 1.8):



Şekil 1.8: Betonarme kiriş patlama deneyleri (Altun ve diğ., 2006)

Topçu (2006), yaptığı bir çalışmada meydana gelen patlama olaylarını incelemiş ve patlamaya karşı alınması gereken önlemleri çalışmasında ifade etmiştir. Çalışmasında patlama olayları, göçme senaryoları, patlayıcıların özellikleri ve patlama ve deprem etkilerinin karşılaştırılmasına yer vermiştir. Patlama ve deprem etkilerinin birbirinden farklı olduğunu, depreme dayanıklı bir yapının patlamaya dayanıklı olmadığını ifade etmiştir.

Fujikura ve diğ. (2008), sismik yüklere karşı dayanıklı beton dolgulu çelik boru (CFST) köprü iskelelerinin patlama performansına yönelik deneysel bir çalışma yapmıştır. CFST kolonlarında betonun kırılması ve parçalanması önlenmiş ve bu kolonların patlama yükleri için etkili olduğu ortaya çıkmıştır.

Cömert ve İlki (2009, 2010), bir yapının patlama performansını belirlemiştir. Çalışmada farklı patlama senaryolarını karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda patlayıcı konumunun yapı performansında etkili olduğunu ifade etmiştir.

Draganić ve Sigmund (2012), SAP 2000 gibi bir yazılımla da patlama yükünün tanımlanabileceğini çalışmada ifade etmiştir. Patlama yüküne maruz kalan yapısal elemanların talep edilen sünekliklerini kontrol ederek ve mevcut olanlarla karşılaştırarak yapının doğrusal olmayan analizini gerçekleştirmiştir.

Goel ve Matsagar (2014), patlamanın azaltılmasına yönelik çeşitli stratejiler önermiş ve özellikle yüksek basınç etkileri altındaki yapının davranışına malzeme özelliklerinin, mimari özelliklerinin, patlatma tepkisini azaltma teknolojilerinin kapsamlı bir değerlendirmesini yapmıştır. Patlama yükleri etkisi altında yapı performansının değerlendirilmesi, patlama seviyelerine göre deneysel ve nümerik analiz sonuçlarının tasarım kararlarının desteklenmesi ve aynı zamanda tehdit altındaki yapıların güvenliğinin sağlanması bakımından gerekli olduğunu belirtmiştir.

Zhang ve Philips (2015), sismik taban yalıtımının patlama etkilerine karşı etkili olduğuna yönelik nümerik bir çalışma yapmışlardır. Zhang ve Philips, çalışmada doğrusal olmayan davranış sergileyen sönümleyiciler kullanmış ve yapıyı 2 boyutta doğrusal olarak incelemiştir.

Chiranjeevi ve Simon (2016), patlamanın bir fonksiyonunu elde ederek bir yapı modeli üzerine etkittirmiş, patlama etkileri altında çökme analizleri yaparak statik ve dinamik analiz yöntemlerini bir arada kullanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda patlama gibi ağır yüklere maruz kalabilecek yapıların sönümleyicilerle desteklenmesi gerektiğini belirtmiştir.

Özçelik (2016), terör amaçlı düzenlenen bombalı araç saldırılarını taktik ihtiyaç, hedef analizi, kullanılan patlayıcı cinsi ve başvuru saldırı yöntemi boyutlarında incelemiştir.

Karlos ve diğ. (2016), Patlama dalgası bozulma katsayısının Kingery-Bulmash verilerini kullanarak patlama analizini gerçekleştirmiştir. Patlama parametrelerinde yaygın olarak kullanılan kaynaklardan biri, diyagramlar ve polinom formunda birçok patlama parametresi için değerler sağlayan Kingery-Bulmash'ın teknik raporudur. Ancak Kingery-Bulmash'ın teknik raporu, belirli bir noktada bir patlamanın basınç-zaman geçmişini oluşturmak için gerekli olan patlama dalgası bozulma katsayısının hesabına ilişkin bir denklem içermemektedir. Karlos ve diğ. (2016), yaptıkları çalışmada, patlama basıncı bozulma katsayısı için ifadelerin karşılaştırmalarını yapmış ve Friedlander

denkleminin bozulma katsayısını ve serbest hava ve yüzey patlamalarına yansıyan basınçları açıklayan yeni denklemler geliştirmiştir.

Bhosale ve diğ. (2016), patlama yüklerinin etkilerini araştırmak için beş katlı çerçeveli betonarme bir yapısı üzerinde çalışma yapmıştır. Patlama yüklerini dalga ölçeklendirme yasaları dikkate alınarak dizayn etmiş ve yapının dinamik davranışını incelemiştir. Çalışma sonucunda patlama mesafesi arttıkça, yer değiştirme ve hızın azaldığını gözlemlemiştir.

Kazi ve Muley (2017), patlama yüklemesinin altı katlı bir betonarme binaya etkisini 2 boyutta incelemiştir. Belirli mesafede değişken patlayıcı ağırlıklarını hesaplamış ve basınç- zaman geçmişini ve yapının iki boyutlu sayısal modelini SAP 2000’de oluşturmuştur. Kazi ve Muley (2017), yaptığı çalışmada değişen yük ağırlıkları için herhangi bir yapıdaki patlama için kritik mesafenin bulunabileceğini, patlamaya etki eden basıncın hedefe varış süresi, patlama sürelerinin yapı davranışında etkili olduğunu açıklamışlardır. Patlama yüklemesinin etkilerinin, mevcut literatür kullanılarak yapısal tasarım için dikkate alınabileceğini göstermiştir.

Syed ve diğ. (2017), patlama yükleri altında betonarme bir binanın performansını incelemiş ve yapıya güvenli patlama mesafelerini hesap etmiştir.

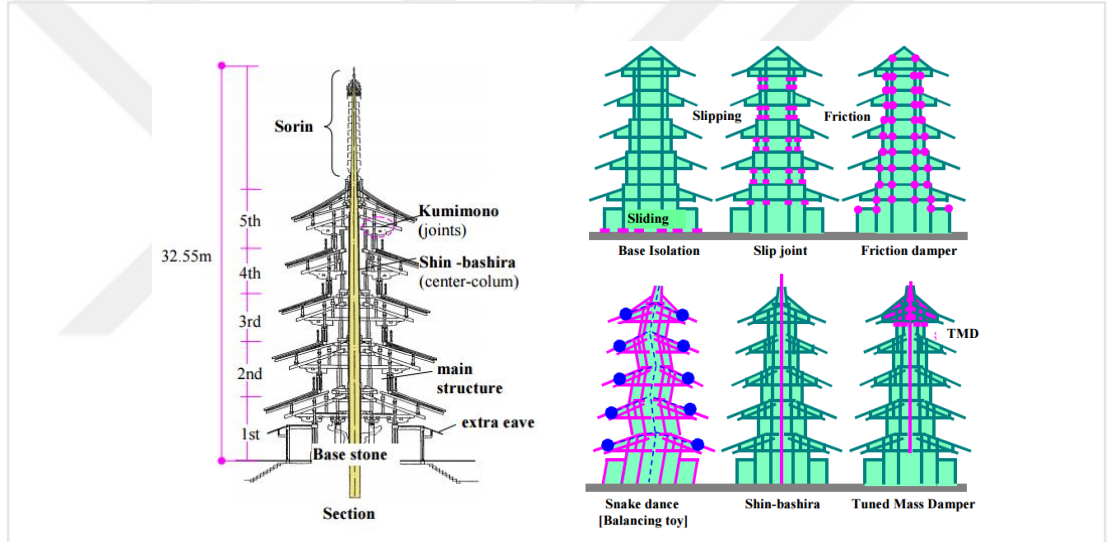
Ülkemizde terör faaliyetleri sonucu meydana gelen patlamalarda yapıların patlama yüklerine karşı korunmasına yönelik bir yönetmelik bulunmamaktadır. Ülkemizde genellikle doğal gaz patlamaları kazara yapı içerisinde patlama tehdidi bulunduran cihazlardan korunmaya yönelik bir takım önlemlerin bulunmasına karşın bunlar sadece yapı içerisinde meydana gelebilecek patlamalar içindir. Amerika Birleşik Devletleri’nde patlama etkilerine karşı geliştirilmiş birtakım yayın ve raporlar mevcuttur bunlardan bazıları şunlardır:

- Kingery and Bulmash (1984) tarafından hazırlanan teknik rapor.
- Nükleer Silah Etkilerine Dayanıklı Yapı Tasarımı (ASCE Manual 42 1985)
- Kazara Meydana Gelen Patlamaların Etkilerine Dayanıklı Yapı Tasarımı (USDA 1990)
- Ordu Teknik El Kitabı (Ordu Dairesi, 1990)
- Petrokimya Tesislerinde Patlamaya Dayanıklı Yapı Tasarımı (ASCE 1997)
- Birleşik Tesisler Kriterleri (UFC, 2008)

1.2. Sismik Yalıtımla İlgili Yapılmış Çalışmalar

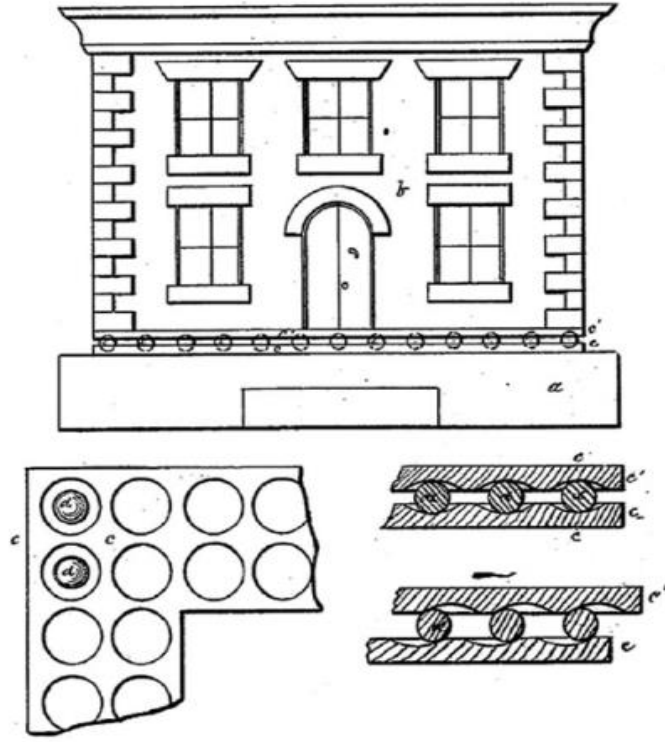
Geçmişte kullanılan birçok yapı binlerce yıl ayakta kalarak deprem etkilerinden korunabilmiştir. Günümüzde kullanılan yalıtım araçları ile benzer işlevi gören tasarımlara geçmiş örneklerde rastlanılmaktadır.

Pagodalar piramit şeklinde uzak doğu ülkelerinde inşa edilen kutsal tapınaklardır. Yaklaşık 1400 yıl öncesinde inşa edildiği bilinmektedir. Binanın temelinde silindirik ağaç gövdesi parçalarının birbirine kenetlenmesi ile yapılan pasif koruyucu deprem yalıtım sistemi yüksek sürtünme kuvvetleri sonucu enerjinin dağıtılmasını sağlamaktadır (Reitherman, 2017).



Şekil 1.9: Pangoda örneği (Url-4)

1870 yılında Jules Touaillon, depreme karşı içbükey küresel yüzeyden oluşan bir yalıtım sistemi önermiştir (Şekil 1.10).



Şekil 1.10: Jules Touaillon yalıtım sistemi (Makris,2019)

Fransız Mühendis Eugene Freyssinet (1879-1962) kauçuğun mekanik özelliklerini keşfetmiştir.

Tarihi bir binayı güçlendirmek için sismik izolasyonun ilk uygulaması, Salt Lake City ve İlçe Binasının sismik güçlendirmesidir. İzolasyon yataklarının üzerine inşa edilmiş yeni bir beton yapı sistemi ile binanın orijinal şerit tabanlarının üzerine toplam 447 kurşun kauçuk izolatör yerleştirilmiştir (Naeim ve Kelly, 1999).

2018 yılında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde yerini alan taban izolasyon sistemlerinin günümüzde kullanımı artarak devam etmektedir. Bu tez kapsamında da sismik yalıtımlı betonarme bir yapının patlama etkileri altında dinamik davranışı doğrusal olmayan analiz yöntemlerine göre değerlendirilmiştir.

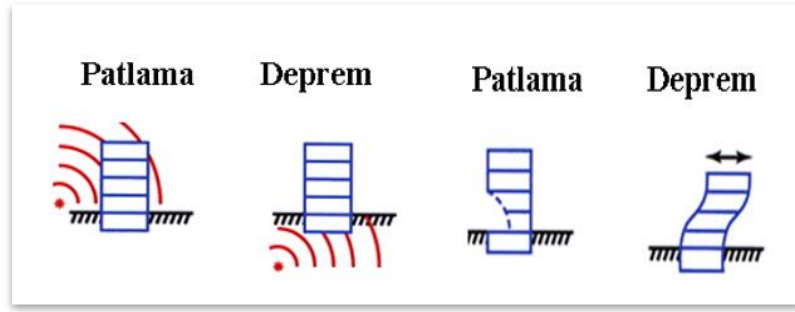
1.3. Amaç ve Kapsam

Depreme dayanıklı betonarme yapıların kolonları yüksek kesme dayanımına sahip ve enine donatı miktarı bakımından sık sargılı olduğundan sünek elemanlardır ve patlama yüklerine karşı da dayanıklıdır. Deprem yükleri yapının kütlesi ve yapıya etki eden yer ivmesi ile doğru orantılıdır. Patlama yükleri ise yapının sadece bir bölümüne etki eder. Deprem etkilerine yapının tüm elemanları direnç gösterirken, patlama etkileri sonucu yapılar eleman bazında direnç gösterir. Bu durum yapısal elemanlarda kayıplara ve göçmelere sebep olabilir. Bu nedenle yapının kütlesini artırmak patlama yüklerine karşı dayanımı artırırken yapıya gelecek deprem yüklerinin artmasına neden olabilmektedir.

Orta ve uzun mesafeli hava patlamaları sonucu yükleme, sismik yüklemeye benzer zamana bağlı bir davranış göstermektedir. Ancak sismik tasarım patlama riski bulunan binalarda yeterli olmamaktadır. Patlama yükleri döşemelere veya yapısal çerçeveye eşit bir şekilde dağıtılamamaktadır. Plastik mafsallı oluşum bölgeleri de dâhil olmak üzere sismik yükleme için detaylandırma tasarımı, bu yüksek oranda öngörülemeyen yükleme altında etkili olmayabilir. Bununla birlikte, sismik yükleme için tasarlanmış taban izolasyonu, patlama yüklemesi için yüklerin yapısal çerçeve daha düzenli bir şekilde dağıtılmasına olanak tanımaktadır. Taban izolasyonu, yapının baskın mod şeklini değiştirdiğinden tek tip olmayan yükleme altında bile, üst yapının daha düzgün davranışını sağlayabilmektedir. Yapının global dinamik davranışındaki bu değişiklik, binaların patlama yükü altında genel olarak korunmasında etkili olacaktır. Bu sistemler için, şiddetli depremler veya patlamalar altında yaşanan büyük taban yer değiştirmelerinin sönümleyicilere zarar vermesi yapısal sistemin bozulmasına neden olabilmektedir (Zhang ve Phillips, 2015).

Patlama ve deprem yapılar üzerinde farklı etkiler meydana getirmektedir (Topçu, 2006). Depremi ikincil etkileri olarak meydana gelen patlama olayları yapılar için bir tehdit oluşturmaktadır (Toplu ve Kırtel, 2019).

Patlama etkileri deprem etkileri kadar uzun süreli etkili olmadığından yapı harekete geçmeden yükleme tamamlanmaktadır. Bu durumda patlama ve deprem etkileri verdikleri hasarlar bakımından da farklılık göstermektedir (Şekil 1.11) (Hinman, 2017).



Şekil 1.11: Patlama ve deprem etkisi (Hinman, 2017)

Yapılara gelen deprem yüklerinin sönümlenmesinde başvurulan yöntemlerden biri taban yalıtımıdır. Günümüzde taban yalıtımı ülkemizde hastanelerde kullanımı zorunlu olmakla birlikte güçlendirme amacıyla da kullanılabilmektedir. Taban yalıtımında kullanılan sismik sönümleyiciler yapının periyodunu uzatarak görelî kat ötelemelerin sınırlandırılmasını sağlamakta ve yapı elemanlarının zorlanmasını önlemektedirler. (Chopra, 2015).

Sonuç olarak, belirtildiği üzere ülkemizde yapılar genel itibarıyla deprem etkilerine karşı korunmaktadır ve ülkemizde birçok kamu binası terör faaliyetleriyle karşı karşıya kalabilmektedir. Literatürde belirtildiği üzere patlama etkilerine birçok yönetmelik ve rapor ve kılavuzda yer verilmiş ancak ülkemizde patlama etkilerine karşı yapıların korunmasına yönelik yayınlanmış bir yönetmelik bulunmamaktadır. Bu tez kapsamında, hem patlama hem de deprem güvenliğinin sağlanması bakımından taban yalıtımı uygulamalarının patlama etkilerine karşı etkilerinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

Tezin sayısal çalışma kapsamında,

- Patlama yükünün tasarımı,
- Güvenli patlama mesafelerinin hesap edilmesi,
- Sismik yalıtım tasarımı,
- Doğrusal olmayan davranışın belirlenmesi,
- Yalıtımlı yapı modelinin oluşturulması,
- Yalıtımlı ve yalıtımsız yapıların patlama yükleri etkileri altında dinamik davranışlarının incelenmesi,
- Yapı performanslarının karşılaştırılması planlanmaktadır.

BÖLÜM 2. PATLAMA

Patlama türleri patlamanın gerçekleştiği ortama ve patlayıcı türlerine bağlı olarak değişmektedir. Patlama etkileri ise mesafe ve patlayıcı ağırlıklarına göre değerlendirilmektedir. İdeal bir patlama ise patlama türlerine ve patlayıcı türlerine dayanan zamana bağlı bir fonksiyondur.

2.1. Patlayıcı Türü ve Etkisi

Patlama, sıcak gazların ve enerjinin ani bir şekilde salındığı katı, toz veya gaz içeren çok hızlı bir kimyasal reaksiyondur. Patlama sırasında boşlukta küresel olarak dalgalar halinde yayılan sıcak gazlar üretilir. Üretilen gazlar ile birlikte, patlamanın etrafında genişleyen hava şok dalgalarını oluşturur.

Bir patlama olayında patlayıcı kaynaklı birincil etkiler ve patlama kaynaklı ikincil etkiler meydana gelmektedir. Birincil etkiler, patlama yüklerinin oluşturduğu yüksek yoğunluklu patlama dalgasının etkileridir. İkincil etkiler patlama sonucunda meydana gelen parçacıkların etkileri, deprem hareketini tetikleyecek sarsıntılar ve yangın gibi etkilerdir. Patlamanın birincil etkileri ikincil etkilere göre yapılar üzerinde daha büyük etki oluşturmaktadır. Bu nedenle yapıların birincil etkilere karşı öncelikli korunması önem arz etmektedir (Cömert, 2010).

Patlamalar doğası gereği fiziksel, nükleer ve kimyasal olay olarak sınıflandırılmıştır. Fiziksel patlamalar, enerji, sıkıştırılmış bir gazın yakılarak ani bir şekilde enerji çıkışı sonucu, volkanik püskürmeler sonucu veya belli sıvıların farklı sıcaklıklarda karıştırılması sonucu meydana gelebilmektedir.

Nükleer patlamalar, protonların ve nötronların çekirdekler içindeki tepkimeleri sonucu yeniden dağıtılmasıyla farklı atom çekirdeği oluşumundan enerji salınımı sonucunda oluşmaktadır.

Kimyasal patlamalar, karbon ve hidrojen atomlarını içeren yakıt elementlerinin hızlı oksidasyonu sonucu meydana gelebilmektedir.

Bir patlamaya neden olan ana mekanizmalar, kaynağa bağlı veya kaynaktan bağımsız olarak değişiklik göstermektedir. Patlayıcılar yüksek ve düşük yanma oranlarına göre birincil ve ikincil tutuşma hassasiyetlerine sahip olmaktadır. Doğal gaz ve benzin gibi sıvı yakıtlar genellikle hızlı bir şekilde parçalanarak yanıcı maddelerin ve oksidanların karışımı olarak meydana gelen düşük patlayıcılardır. Madencilik ve askeri savaş alanlarında patlayıcı olarak kullanılan toluen, fenol, pentaeritrol, aminler ve gliserin gibi nitrat ürünleri yüksek patlayıcılardır. Kurşun ve kurşun azitler cıva gibi malzemeler, birincil patlayıcılara örnek verilebilmektedir. TNT, NH_4NO_3 , C3-C4 tipi patlayıcılar ikincil patlayıcılara örnek verilebilmektedir ve bu patlayıcılar şok dalgalarını oluşturarak çevreye yüksek oranda zarar vermektedir.

TNT sarımsı renkte katı bir kimyasal bileşiktir. Tutuşma hassasiyeti yüksek etkili bir patlayıcı olarak bilinmektedir. TNT, patlayıcı ağırlıklarının hesabında referans olarak kullanılmaktadır (Karlos ve Solomos, 2013).

Amonyum Nitrat (NH_4NO_3)'ın saf hali patlayıcı madde özelliği taşımamaktadır ancak bazı maddelerle karıştırıldığında patlayıcı etki oluşturmaktadır. Amonyum Nitratın düşük patlama hızına, düşük duyarlılığa sahip olması bu maddenin bombalı araçlarda kullanılmasında etken olmuştur.

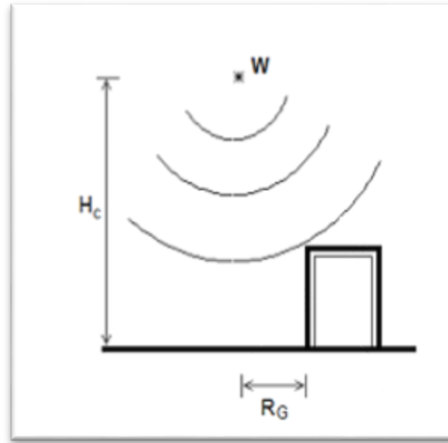
C3/C4, plastik karışımlardan meydana gelen ve yüksek patlama hızının yarattığı etkiyle kırma/kesme özelliğine sahip TNT' den daha büyük etkinliğe sahip yüksek tahrip malzemesidir (Özçelik, 2016).

2.2. Patlama Türleri

Patlamalar gerçekleştiği ortam bakımından serbest hava koşullarında veya kapalı ortamlarda farklı etkilere neden olmaktadır. Kapalı bir ortamda gerçekleşen patlama sonucu oluşan şok dalgaları yüzeylere çarparak yansıyan dalgaları oluşturmaktadır ve bu durumda oluşacak etki artmaktadır. Serbest ortamda meydana gelen patlamalarda ise açık ortamda şok dalgaları dengeye ulaşarak etki sona ermektedir. Bu nedenle dış ortamda meydana gelen patlama olaylarında mesafe ve patlayıcı miktarı önemli bir yere sahiptir. (Cömert, 2010)

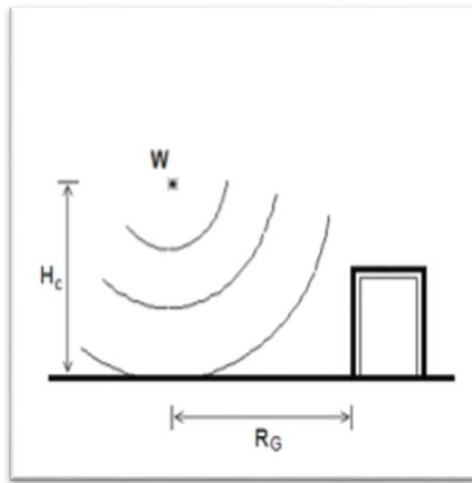
Patlama türleri patlayıcı kaynağın ve korunacak yapının göreceli konumuna bağlı olan serbest hava patlamaları, hava patlamaları ve yüzey patlamaları olmak üzere üç temel tipte sınıflandırılmaktadır. (Karlos ve Solomos, 2013)

Serbest hava patlamalarında patlayıcı yükü havada patlatılır, patlama dalgaları küresel olarak dışarı doğru yayılır ve diğer engeller veya zemin ile önceden etkileşime girmeden doğrudan yapıya çarparak etrafa yansımaları şeklinde oluşmaktadır (Şekil 2.1).



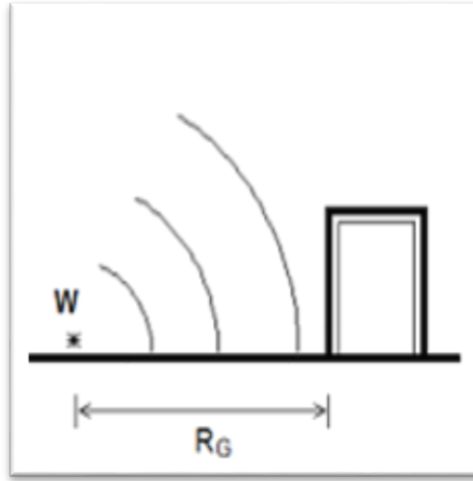
Şekil 2.1: Serbest hava patlamaları (Karlos ve Solomos, 2013).

Hava patlamalarında, patlayıcının havada patlaması sonucu, patlama dalgaları, küresel olarak dışarı doğru yayılır ve ilk önce zemin ile etkileşime girdikten sonra yapıya çarparak; Mach dalgası olarak adlandırılan yansıyan dalgaları oluşturmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Hava patlamaları (Karlos ve Solomos, 2013)

Patlayıcı yükü neredeyse yer yüzeyinde patlatılır ve patlama dalgaları hemen yer ile yerel olarak etkileşmekte ve daha sonra yarım küre olarak dışarı doğru yayılıp yapıya çarpmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Yüzey patlamaları (Karlos ve Solomos, 2013).

2.3. Eş Değer Patlayıcı Ağırlığı

Patlayıcıların çeşitliliği hesaplamalarda gerekli patlayıcı parametreleri için evrensel bir kabule yol açmıştır. TNT' nin patlatma özellikleri, birçok patlayıcıya benzediği için seçilmiştir. Patlayıcının ağırlığını TNT' nin eş değer ağırlığına bağlayan eş değer TNT ağırlığı, patlatma sırasında üretilen ısıнын oranını kullanarak denklem (2.1) 'e göre hesaplanır (Mays ve Smith,2001):

$$W_e = W_{exp} \frac{H_{exp}^d}{H_{TNT}^d} \quad (2.1)$$

Burada W_e , TNT eş değer ağırlığını [kg], W_{exp} gerçek patlayıcı ağırlığını [kg], H_{exp}^d , gerçek patlayıcının patlama ısısını [MJ / kg] ve H_{TNT}^d TNT' nin patlama ısısını [MJ / kg] ifade etmektedir.

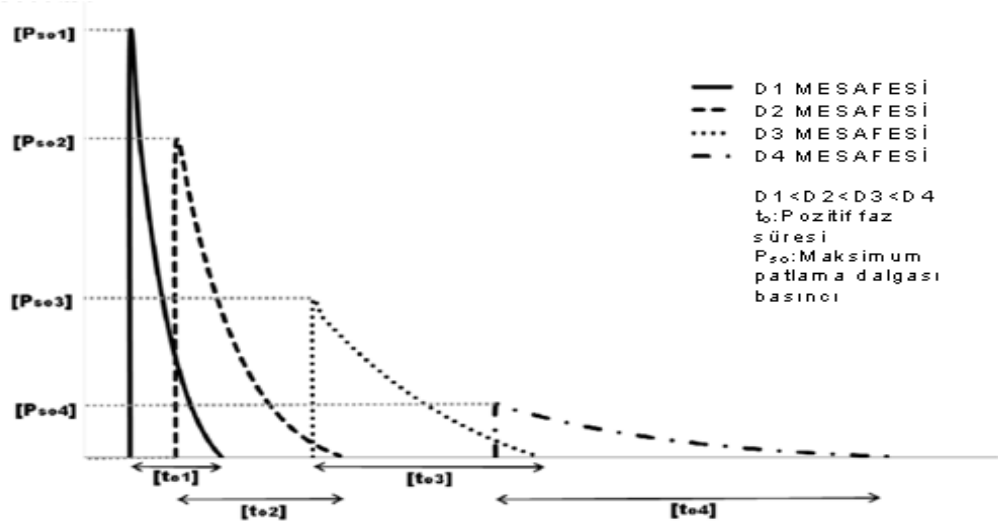
Patlayıcının toplam kimyasal enerjisinin bir kısmı patlatma ile etrafa salınmaktadır. Kalan ısı ise daha yavaş bir hızda patlayıcı ürünlerin yanmasıyla etraftaki hava ile karışmaktadır. Tablo 2.1' de bazı patlayıcıların ürettiği ısı miktarlarının tahmini değerleri verilmiştir. Bu değerler denklem (2.1) kullanılarak eş değer TNT ağırlığının hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Tablo 2.1: Yaygın patlayıcıların patlama ısıları değerleri (Karlos ve Solomos, 2013)

Patlayıcı Adı	Patlama Isısı [Mj/Kg]
TNT	4,10–4,55
C4	5,86
RDX	5,13–6,19
PETN	6,69
PENTOLİT 50/50	5,86
NİTROGLİSERİN	6,30
NİTROSELÜLOZ	10,60
AMONYUM NİTRAT	1,59

2.4. Ölçeklendirme Yasaları ve Mesafe Etkisi

Ölçeklendirme yasaları, mesafenin patlama karakteristikleri üzerindeki etkisinin ifade edilmesinde gerekli olmaktadır. Patlama yükü hesaplamaları için en kritik parametrelerden biri, ilgili yapıya ait olan patlama noktası uzaklığıdır. Patlama dalgasının en yüksek basınç değeri ve hızı, patlama kaynağı ile hedef yüzeyi arasında mesafe arttıkça hızla azalmaktadır. Şekil 2.4’ te D_1 , D_2 , D_3 , D_4 mesafeleri patlayıcının patlama noktasına yatay mesafelerini ifade etmektedir. Patlama noktasından uzaklık arttıkça maksimum patlama basıncı azalmaktadır.



Şekil 2.4: Pozitif fazda patlama basıncına mesafenin etkisi (Karlos ve Solomos, 2013)

Patlama etkilerinin sayısal verilerle desteklenebilmesi bakımından deneysel verilere ihtiyaç duyulmuş ancak patlayıcıların vereceği zarar gözönünde bulundurulduğunda birtakım modellemelere ve ölçeklendirme kanunlarına ihtiyaç duyulmuştur. .

Hopkinson-Cranz yasasına göre, W_1 ağırlığındaki bir patlayıcının R_1 mesafesinde oluşturduğu basınç, W_2 ağırlığındaki bir patlayıcının R_2 mesafesinde oluşturacaktır. Dolayısıyla W_n ağırlığındaki bir patlayıcının oluşturacağı basınç R_n mesafesinde oluşturacaktır. Bu durumda ölçeklendirme katsayısı olan λ denklem 2.2' de ifade edilmiştir (Baker 1973):

$$R_n/R_{(n-1)}=(W_n/W_{n-1})^{1/3}=\lambda \quad (2.2)$$

Denklem 2.3' te ölçeklendirilmiş mesafenin “Z” genelleştirilmiş bir ifadesi sunulmuştur (Baker 1973):

$$Z=\frac{R}{\sqrt[3]{W}} \quad (2.3)$$

Burada R, patlama kaynağından [m] patlama noktasına olan mesafe W, patlayıcının [kg] ağırlığıdır. W, eş değer ağırlık olarak da alınabilmektedir (Karlos ve diğ., 2013).

2.5. İdeal Patlama Dalgası Özellikleri

Patlama esnasında oluşan şok dalgaları, patlama kaynağının merkezinden mesafe ve zamana bağlı olarak küresel bir şekilde yayılmaktadır ve ideal bir dalga profili zamana bağlı bir fonksiyon olarak ifade edilmektedir (Dündar H, 2009).

Patlama yükü üzerinde yapılmış birçok araştırma bulunmaktadır. İçerdiği parametreler bakımından ve çözümünün diğerlerine oranla daha sade olması sebebiyle Friedlander denklemi hesaplamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Denklem 2.4) (Baker, 1973):

$$P_s(t)=P_o+P_{so}(1-\frac{t}{t_o})\exp(-b\frac{t}{t_o}) \quad (2.4)$$

Burada, P_o Ortam basıncını, P_{so} Patlama kaynaklı en yüksek basıncı, t_o toplam basınç dalgası süresini ve b bozunma katsayısını ifade etmektedir.

Toplam basınç süresi mesafe ve patlayıcı ağırlığı ile ilişkilendirilen bir formülasyon ile denklem (2.5)'te ifade edilmiştir (Chandler ve diğ.) (Nelson ve diğ., 2004):

$$t_0 = W^{1/3} 10^{[-2,75+0,27\log(Zh)]} \quad (2.5)$$

b dalga genliği bozunma oranının kontrol edilmesinde kullanılan bir parametre olmak üzere denklem (2.6) ile hesaplanmaktadır (Henrych, 1979) (Nelson ve diğ., 2004):

$$b = Z^2 - 3,7 Z + 4,2 \quad (2.6)$$

Belirli bir mesafede patlama kaynaklı en yüksek basıncı belirlemek için çeşitli ilişkiler ve yaklaşımlar vardır. Önerilen tüm ilişkiler, patlayıcı kütleye ve küresel patlamanın merkezindeki gerçek mesafeye bağlı olarak ölçeklendirilmiş mesafenin hesaplanmasını gerektirir.

Kinney, kimyasal türde patlamaları ifade eden bir formülasyon geliştirmiştir (Denklem 2.7). (Kinney, 1985).

$$P_{so} = P_o \frac{808[1 + (\frac{Z}{4,5})^2]}{\{[1 + (\frac{Z}{0,048})^2][1 + (\frac{Z}{0,32})^2][1 + (\frac{Z}{1,35})^2]\}^{0,5}} \quad (2.7)$$

P_o ortam basıncı, Z (m / kg^{1/3}) ölçeklendirilmiş mesafedir.

Küresel patlamanın en yüksek basıncı için diğer ilişkilerden biri de denklem 2.8 ve 2.9' da gösterilen Brode (1955)'un yaklaşımıdır. Bu yaklaşıma göre patlama basıncı patlamanın büyüklüğüne bağlıdır. Denklem (2.8)' de maksimum basıncın 10 bar (= 1 MPa)'ın üzerinde olduğu yakın alan patlamaları, denklem (2.9)'da maksimum basıncın 0,1 bar ve 10 bar (0,01 MPa–1MPa) arasında olduğu orta ve uzak alan patlamaları için basınç değerleri ifade edilmiştir (Brode,1955).

$$P_{so} > 1 [\text{Mpa}] \text{ bar ise } P_{so} = \frac{6,7}{Z^3} + 1 \quad (2.8)$$

$$0,01 [\text{Mpa}] > P_{so} > 1 [\text{Mpa}] \text{ bar ise } P_{so} = \frac{0,975}{Z} + \frac{1,455}{Z^2} + \frac{5,85}{Z^3} - 0,019 \quad (2.9)$$

Yüzey patlamalarına dayanan bir formülasyon Newmark tarafından geliştirilmiştir (Denklem 2.10) (Newmark, 1961).

$$P_{so}=6784 \frac{W}{R^3} + 93 \sqrt{\frac{W}{R^3}} \quad (2.10)$$

Burada, W ton cinsinden patlayıcı yükü kütlesidir ve R, metre cinsinden küresel bir patlamanın merkezinden yüzey mesafedir.

Mills, tepe basıncının kPa cinsinden bir ifadesini ortaya koymuştur:

$$P_{so}=\frac{1772}{Z^3} - \frac{114}{Z^2} + \frac{108}{Z^3} \quad (2.11)$$

Patlama süresi ve patlama özellikleri, ani enerji salınımına dayanmaktadır. Bir patlama olayı nükleer patlama, patlayıcı madde, gaz veya tozdan kaynaklanabilmektedir. Bir patlamanın göreceli değerlerdeki büyüklüğü, patlayıcı verimi olarak bilinir. Patlayıcı veriminin belirlenmesinde genel kabul görmüş standartlardan biri, TNT patlamasında salınan enerjidir. Bir şok dalgasında basınç anlık olarak değerlendirilebilmektedir. Patlama yükünün net etkisi, patlama dalgasının yapısı ve yapının geometrisine bağlıdır. Bir patlama dalgası için kütle, enerji ve momentum korunumuna dayanan temel hız ilişkisi Rankine-Hugonist tarafından geliştirilmiştir (Denklem 2.12) (Mays ve diğ., 2001); (Smith 1994):

$$U=a_0 \cdot \sqrt{\frac{6P_{so}+7P_o}{7P_o}} \quad (2.12)$$

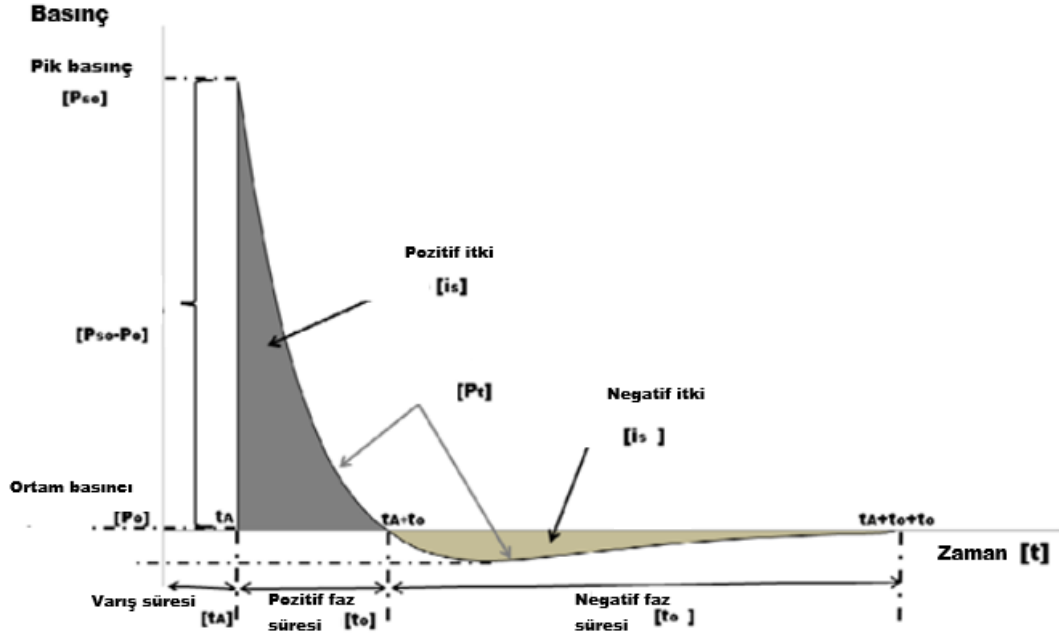
Bu durumda ilk dalganın ulaştığı zaman denklem (2.13) ile ifade edilmektedir:

$$t_A=R/U \quad (2.13)$$

Burada R patlayıcıya olan gerçek mesafeyi ifade etmektedir.

Patlama sonucu belirli bir mesafeden bir noktaya ulaşan bir serbest patlama dalgasının basıncının zamana bağlı grafiği Şekil 2.5' te gösterilmiştir. Elemanı çevreleyen basınç başlangıçta ortam basıncı P_o 'a eşittir ve t_A 'da patlama kaynaklı maksimum pozitif basınca (P_{so}) ulaşır. Basıncın zirve değerine ulaşması için gereken süre çok küçük olduğundan tasarım için sıfıra eşit olduğu varsayılabilir. Basınç t_A+t_0 'da P_o ortam basıncına ulaşana kadar üstel bir oranla azalmaktadır (pozitif faz süresi). Basınç-zaman

diyagramının pozitif fazından sonra, basınç ortam değerinden daha küçük (negatif olarak adlandırılır) olur ve minimum basınç değeri P_{so}^- olarak ifade edilmektedir.



Şekil 2.5: İdeal patlama dalgası profili (Karlos ve Solomos, 2013)

Patlama dalgasının negatif fazı genellikle tasarımda dikkate alınmamaktadır. Ana yapısal hasar çoğunlukla pozitif fazla ilişkilidir. Ayrıca, patlama dalgasının negatif fazından üretilen basınçlar, pozitif fazınkilere oranla küçüktür ve bunlar ters yönde olduğundan çevre basıncı değerinin altında ise patlama yükleri altındaki binalar üzerinde etkisi çok az olmaktadır. Patlama yükü tasarımında, patlama dalgası darbe yükü önemli bir parametredir, çünkü patlama dalgası darbe yükü; patlama nedeniyle bir yapıya uygulanan toplam kuvvete (birim alan başına) eşittir. Patlama dalgası darbe yükü Şekil 2.5' teki Basınç-Zaman eğrisinin altındaki alan olarak tanımlanmaktadır.

Patlama dalgası darbe yükü, patlamanın zamana bağlı pozitif ya da negatif fazına göre ayırt edilmektedir. Bina çökmesinin önlenmesi bakımından önemli olan pozitif patlama dalgası darbe yükü eşitliği denklem 2.14' te verilmiştir:

$$i_s = \int_{t_A}^{t_A+t_o} P_s(t) dt \quad (2.14)$$

BÖLÜM 3. PATLAMA ETKİLERİ ALTINDA DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞ VE PERFORMANS KAVRAMI

Yüksek yükleme hızında betonda şekil değiştirmelere izin verilmeden yükleme sonlanmaktadır. Yavaş yüklemeler sonucunda ise betonda sünmeye bağlı olarak betonda zamana bağlı şekil değişimleri meydana gelmektedir. Yükleme hızının artması sonucunda zamana bağlı şekil değişimi azalmakta ve çatlak oluşumu azalmaktadır. Bu nedenle hızlı yük etkilerinde dayanımda artış gözlenmektedir.

Beton ve çelik malzemelerde şekil değiştirme hızının kapasiteye etkisinin arttırıcı olduğu bilinmektedir. Hız artışının eleman dayanımında artış sağlandığına dair bilgilere literatürdeki deneysel ve teorik çalışmalarda rastlanmaktadır. Bu bağlamda dayanım büyütme katsayılarına çeşitli çalışmalarda yer verilmiştir (Tablo 3.1) (Cömert, 2010):

Tablo 3.1: Beton ve çeliğin farklı etkiler altında dinamik artış kat sayıları (Cömert, 2010)

	Uzak mesafede			Yakın mesafede		
	Çelik donatı		Beton	Çelik donatı		Beton
	Akma	Kopma		Akma	Kopma	
Eğilme etkisi	1,17	1,05	1,19	1,23	1,05	1,25
Diagonal çekme etkisi	1	-	1,19	1,10	1	1
Kesme etkisi	1,10	1	1,10	1,10	1	1
Yapışma etkisi	1,17	1,05	1	1,23	1,05	1
Basınç etkisi	1,10	-	1,12	1,13	-	1,16

Mindess ve Yan (1993), betonun darbe dayanımını etkileyen yükleme hızı konusunda çalışmalar yapmıştır. Beton sınıfının ve yükleme hızının dayanımda farklı etkiler oluşturduğu sonucuna varmıştır.

Banthia vd. (1998) makro lifli ve mikro lifli betonların darbe dayanımlarını karşılaştırmıştır. Lif takviyeli kompozitlerin, daha yüksek bir çekiç hızında darbelere karşı daha dayanıklı olduğunu, ancak normal olmayan bir sıcaklıkta bile darbe yüklerinden oluşan enerjiyi absorbe edebildiğini ifade etmiştir (Oltulu, 2017).

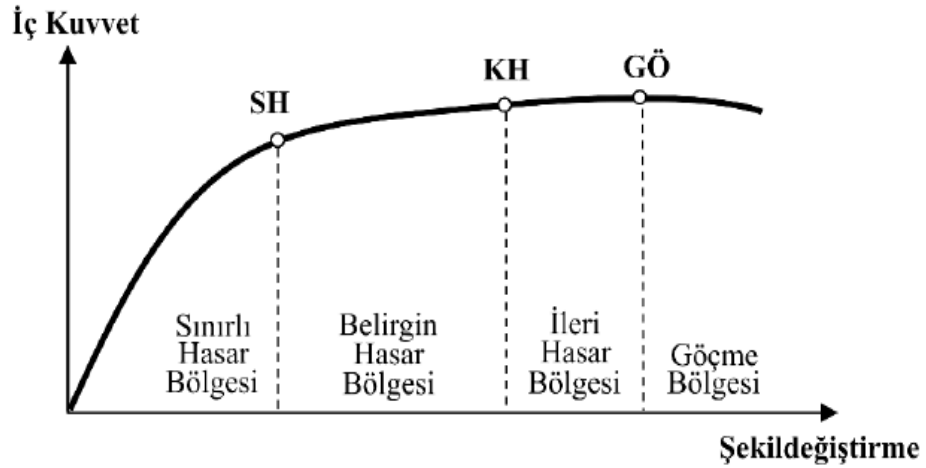
Büyük bir patlama etkisine maruz kalmış bir yapının doğrusal bir davranış sergilemesi neredeyse mümkün değildir. Bu nedenle yapıların dayanımını kaybetmeden, enerjiyi absorbe edilmesi sağlanmalıdır. Bir kesitin süneklik düzeyi moment eğrilik ilişkilerinin belirlenmesi yoluyla belirlenebilmektedir.

Patlama yükleri oldukça yüksek enerjiye sahiptir. Patlama yüklerinin oluşturdukları etkiler etki ettiği süre ve hız bakımından farklı olduğundan deprem gibi geleneksel yüklere maruz kalan yapılardan farklı davranış göstereceği beklenmektedir. (Cömert, 2010).

3.1. Performans Kavramı

Sünek yapı elemanları için kesit düzeyinde Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) sınırları tanımlanmıştır ve hasar durumlarına göre yapıların deprem performansı belirlenebilmektedir. Sınırlı hasar durumu yapı eleman kesitinde sınırlı miktardaki elastik ötesi davranışı, kontrollü hasar durumu kesit dayanımının güvenli bölgede kaldığı elastik ötesi davranışı, göçme öncesi hasar durumu ise kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışın gözlemlendiği güvenli olmayan durumu ifade etmektedir. Sünek davranış göstermeyen elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir.

Şekil 3.3' te belirtildiği üzere sınırlı hasara ulaşmayan kesitler sınırlı hasar bölgesinde, sınırlı hasar ve kontrollü hasar sınırları arasında bulunan kesitler belirgin hasar bölgesinde, kontrollü hasar ve göçme öncesi hasar sınırı arasında bulunan kesitler ileri hasar bölgesinde ve göçme öncesi hasar sınırını aşan kesitler göçme bölgesindedir (TBDY, 2018).



Şekil 3.3: Hasar bölgeleri ve hasar sınırları

3.1.1. Mevcut binalarda sınırlı hasar performans düzeyi

Mevcut Binalarda Sınırlı Hasar Performans Düzeyinde Betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan deprem hesap sonucunda kirişlerin %20'sinden fazlası Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçmemelidir ve diğer taşıyıcı elemanlarının tümü Sınırlı Hasar Bölgesinde olmalıdır (TBDY; 2018).

3.1.2. Mevcut binalarda kontrollü hasar performans düzeyi

Kontrollü Hasar Performans Düzeyinde betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin %35'inden fazlası ileri hasar bölgesine geçmemelidir. Ayrıca İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların, her bir katta düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'den az olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm düşey elemanların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı %40 'ı aşmamalıdır. Ayrıca diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'nde olmalıdır. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmamalıdır (TBDY, 2018).

3.1.3. Mevcut binalarda göçmenin önlenmesi performans düzeyi

Mevcut Binalarda Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyinde mevcut yapı can güvenliği bakımından güvenli değildir. Betonarme bir yapının Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyinde kabul edilebilmesi için betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'nde olmalıdır. Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'nde olmalıdır. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (TBDY, 2018).

BÖLÜM 4. SİSMİK YALITIM

Serbest titreşim genliğinin sürekli biçimde azalmasını sağlayan olguya sönüm denir. Sönümde, titreşen sistemin enerjisi çeşitli mekanizmalarca tüketilir ve çoğu kez birden fazla mekanizma aynı anda bulunur. Yapılarda birçok mekanizma enerji tüketimine katkıda bulunur. Titreşen bir binada bu mekanizmalardan bazıları, çelik yapıların birleşim noktalarındaki sürtünme, betondaki şekil değişimleri ve taşıyıcı sistem ile taşıyıcı olmayan elemanlar arasındaki sürtünme kuvvetleridir. Deprem bölgelerinde yapı mühendislerini ilgilendiren başlıca yapı dinamiği problemi, deprem nedeniyle tabanlarından harekete zorlanan yapıların davranışdır (Chopra, 2015).

Binalarda kullanılan depreme karşı koruyucu sistemlerden biri de taban yalıtımıdır. Taban yalıtımı ile ilgili ilk çalışmaların 1800'lü yıllarda yapıldığı bilinmektedir. 1970'lerin başında sismik taban yalıtımı, ilk olarak köprülerde ve 1970'lerin sonlarına doğru da binalarda kullanılmaya başlamıştır (Celep, 2017).

Günümüzde ülkemizde deprem bölgelerinde hastane yapılarında uygulamaları mevcuttur. Taban yalıtımı kavramı herhangi dinamik bir dış yük etkisi altında binanın temelden sarsılması sonucunda yalıtım araçlarının bina ve taşıyıcı sistemi birbirinden ayırarak titreşimin yapıya erişmesi engellenmesi olarak açıklanabilir. Yalıtımlı sistemlerde yapının birinci serbest titreşim modunda üst yapıda rijit bir davranış meydana gelmektedir. Böylece şekil değiştirmelerin büyük bir bölümü yalıtım elemanlarında meydana gelerek yapı taşıyıcı sisteminin korunması sağlanmaktadır (Celep, 2017).

Taban yalıtımı binalarda iç kuvvetleri azaltmasında periyodun uzatılması en önemli etkidir. Periyodun uzatılması sonucu yapıdaki iç kuvvetlerin azalıp azalmayacağı yalıtımsız bina periyodu ve deprem tasarım spektrumunun şekli gibi etkenlere bağlı olmaktadır (Chopra, 2015).

Taban yalıtım sistemlerinde yapının yere göre en az 0,1 m bazı durumlarda 1 m yatay hareket imkânına sahip olması beklenmektedir. Bu yer değiştirmeyi sağlamak için yapı

ile zemin arasında bir ayrılma düzlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu düzlem yalıtım elemanları üzerinde oluşturulmaktadır. Böylece yapıya gelen deprem yükleri yatay rijitlik ile orantılı olarak dağıtılmaktadır (Celep, 2017).

Ülkemizde kullanılan taban yalıtımı malzemeleri kauçuktan imal edilen elastomer mesnetler ve sürtünmeli küresel bir yapıya sahip öteleme tipi mesnetlerdir. Elastomer mesnetlerin sönüm özelliği yüksek malzemelerle donatılması sonucunda yüksek sönümlü kauçuk izolator olarak karşımıza çıkmaktadır. Orta bölgesinde kurşun malzeme ile donatılmış olan mesnetlere ise kurşun çekirdekli kauçuk izolator adı verilmiştir.

4.1. Elastomer Mesnetler

En yaygın kullanılan yalıtım sistemidir. Bu mesnetler 8 mm–20 mm arası kalınlıkta doğal ve yapay kauçuk levhalar ve 2 mm–3 mm arası kalınlıktaki ince çelik levhaların bir araya getirilmesiyle oluşturulmaktadır. Çelik levhalar mesnedin yatay yük kapasitesi ve rijitliğini artırmaktadırlar. Kauçuk lastiğin kayma rijitliği düşük olduğundan %100–250 oranında kayma şekil değiştirmesi davranışı gözlenebilmektedir. (Celep, 2017).

Elastomer mesnetler %2–3 oranında sönüm sağlayabilmektedir. Viskoz sönümde tüketilen enerji hızla orantılıdır. Bu nedenle küçük titreşimlerde ve büyük depremlerde enerji tüketimi gerçekleştirilir. Elastomer mesnetler düşey doğrultuda rijittir (Gökhan, 2009).



Şekil 4.1: Bir köprü ayağında kullanılan elastomer mesnet örneği

Elastomer mesnetler, yapıyı ve temeli izole ederek yapının sismik yüklere karşı korunmasını sağlamaktadır (Şekil 4.1). Düşük sönümleme sağlayan elastomerler, üst üste yerleştirilmiş ve çelik levhalarla bağlanmış özel elastomer katmanlardan oluşmaktadır. Elastomerlerin yükseklik ve kayma modülü özellikleri elastomerin yatay ve dikey rijitliğini etkilemektedir. Tasarım gerekliliklerine göre kayma modülü 0,6–1,2 Mpa arasında ayarlanabilmektedir (Url–3).

Yüksek sönümlü elastomer mesnetlerde sönüm %8-%15 arasındadır. Bu tür mesnetlerin diğerlerinden farkı kauçuk malzemenin yüksek sönümlü olmasıdır. Kauçuk malzemenin karbon ve reçine gibi sönüm özelliği yüksek olan malzemelerle doldurulması sonucu oluşmaktadır. Kauçuk mesnedin kayma modülü 0,3 MPa–1,5 MPa arasındadır. (Celep 2017).

4.2. Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetler

Elastomer mesnedin ortasına silindirik şekildedir kurşun çekirdek yerleştirilerek oluşturulan mesnet çeşididir (Şekil 4.2). Düşük kayma rijitliğine sahip kauçuk lastik büyük yer değiştirmelerde bile doğrusal davranış gösterme kapasitesine sahipken içerisindeki kurşun çekirdek yaklaşık 11 MPa değerinde akma durumuna erişerek plastik şekil değiştirme yapar (Hoşbaş, 2006). Kurşun, plastik davranış gösterdiğinden çevrimsel davranış sonucu sönüm oluşur. Bu durumda sönüm % 15-%35 oranında gerçekleşebilmektedir (Gökhan, 2009; Celep, 2017).



Şekil 4.2: Kurşun çekirdekli kauçuk sönümleyici (Url–3)

Elastomerik mesnetler esas olarak yatay titreşimleri devrilme etkilerinden izole ederek yeniden merkezlenmeyi sağlarken, kurşun çekirdek yatay yüklerin sönümlenmesi sağlamaktadır. Bu nedenle kurşun çekirdekli sönümleyiciler elastomerik mesnetlere oranla yatay tepki kuvvetini daha fazla sönümleyebilme özelliğine sahip olabilmektedir.

4.3. Öteleme Mesnetleri

Öteleme mesnetleri, kesme dayanımını sürtünme kuvveti etkisiyle sağlayarak mesnetlerde öteleme hareketi oluştururlar. Öteleme mesnetlerinde yatay öteleme yüzeyi paslanmaz çelik ya da teflon olmaktadır. Teflon malzeme kauçuğa göre daha çok normal gerilme taşımaktadır (Gökhan, 2009).



Şekil 4.3: Sürtünmeli sarkaç tipi izolator örneği (Url-3)

Sürtünmeli sarkaç tipi izolatörler (Şekil 4.3), sürtünme kat sayılarını, sarkaç yarıçapını ve mesnet hareketini değiştirerek, tasarım gerekliliklerine göre düşey ve yatay yükleri sönümleyebilme özelliğine sahip olabilmektedir.

4.4. Kurşun Çekirdekli Kauçuk Mesnetli Taban Yalıtımı Tasarımı

Taban yalıtım sisteminin hesabı bir yapı sistemini yalıtım sisteminin tasarımının ve üst yapı sisteminin tasarımının ayrı ayrı değerlendirilerek yapılması şeklindedir. TBDY 2018' e göre üst yapı sistemi DD-2'de üst sınır değerlerine göre hesap yapılmalıdır ve dayanıma göre hesap yöntemlerine sınırlı hasar performans düzeyini karşılamalıdır. Alt

yapı sistemi ise DD-1'de alt sınır değerlerine göre hesap yapılmalıdır ve şekil değiştirmeye göre hesap yöntemlerine göre kesintisiz kullanım performans seviyesini karşılamalıdır.

Tek serbestlik dereceli bir sisteme taban yalıtımı yapılması durumunda sistemin serbestlik derecesi 2 ye çıkmaktadır. Bu durumda taban yalıtımlı sistemin temel döşemesi zemin kat gibi düşünülerek temel yüksekliği dâhilinde bir alt yapı sistemi oluşur. Alt yapının sönümü rijitliği ve kütlesi belirlenebilmektedir. Farklı periyod ve farklı sönüm oranlarına göre çözümlemeler yapıldığında taban yalıtım rijitliğinin üst yapı rijitliği oranlarına göre sistemin mod şekilleri elde edilerek taban yalıtım sistemi tasarlanabilmektedir.

Çok serbestlik dereceli sistemlerde ise rijitlik, kütle ve sönüm matrislerinin oluşturulmasının ardından hedef periyod seçimi, yer değiştirme sınırı ve taban kesme kuvveti sınırlandırılması seçim yöntemlerine göre hedef değer seçilerek sönümleyici özellikleri belirlenebilmektedir. Bu tez kapsamında hedef periyod ve sönüm oranı belirlenerek sönüm ölçeklendirme katsayısı elde edilmiştir. DD-1'de yalıtım biriminin yapacağı maksimum yer değiştirme değerleri hesaplanmıştır. Hedef periyod değerlerine göre yalıtım sisteminin etkin rijitliği hesap edilmiştir. Taban yalıtımında kurşun çekirdekli kauçuk elastomerler kullanılmıştır. Sistemde kullanılacak izolatörün kurşun çekirdek çapı ve elastomerin çapı kolon boyutlarına uygun olacak şekilde bir boyut seçilmiştir. Kurşun malzemenin kayma akma gerilmesi 11 MPa olarak varsayılmış (Hoşbaş, 2006) ve yalıtım birimin karakteristik dayanımı elde edilmiştir. TBDY 2018'de yalıtım birimin etkin akma dayanımı karakteristik dayanımına yaklaşık eşit olarak kabul edilmektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda kurşun çekirdekli kauçuk elastomerin nominal çevrimsel davranışı elde edilebilmektedir. Yalıtım biriminin yükleme eğrisi altındaki alan tüketilen enerjiyi vermektedir. Etkin sönüm oranına esas gerekli tüm verilerin elde edilmesi sonucunda başlangıçta seçilen sönüm oranı değeri ile etkin sönüm oranı değerlerinin yaklaşık eşit olması beklenmektedir. Eşit olmaması durumunda yapılacak işlemlerin tekrarlanması gerekmektedir.

Bir diğer tasarım yöntemi ise deprem yönetmeliği sınır koşulları altında çözüme başlanılarak hesap yapılması ve hedef periyodun elde edilmesi şeklinde yapılabilmektedir. Elastomer yalıtım birimlerinin birim şekildeğiştirme sınırları düşey yüklemeler sonucu basınçtan meydana gelen açisal şekil değiştirmeler ($\gamma_{c,st}$), deprem dışındaki yatay etkiler sonucunda oluşacak açisal şekil değiştirmeler ($\gamma_{s,st}$), yalıtım birimleri alt ve üst tabakaları

arasında dönmeden meydana gelen birim şekildeğiştirmeler ($\gamma_{r,st}$), deprem etkileri altında oluşan basınçtan meydana gelen birim şekildeğiştirmeler ($\gamma_{c,E}$) TBDY 2018' de ifade edilmiştir (TBDY, 2018).

Depremsiz durumda basınçtan meydana gelen birim şekildeğiştirme denklem (4.3) te verilmiştir ve TBDY 2018' de denklem (4.4) ile sınırlandırılmıştır:

$$\gamma_{c,st} = \frac{6SP_{K1}}{A_r E_c} \quad (4.3)$$

Burada S, şekil katsayısı; P_{K1} , 1,4G+1,6Q yük kombinasyonu sonucunda elde edilen düşey kuvveti; A_r , tek bir elastomer katmanının çelik plaka ile yapışmış ve yüke maruz kalan yüzey alanını; E_c , elastomer yalıtım biriminin basınç modülünü ifade etmektedir.

$$\gamma_{c,st} = \frac{6SP_{K1}}{A_r E_c} < 3,5 \quad (4.4)$$

Yalıtım birimlerinin üst ve alt plakaları arasındaki görelî dönmeden kaynaklanan birim şekildeğiştirme denklem (4.5) ile hesap edilmektedir.

$$\gamma_{r,st} = \frac{B^2 \theta_s}{2tT_r} \quad (4.5)$$

Burada B, yalıtım biriminin çapını; θ_s , tasarım dönme açısını; t, elastomer kalınlığını ve T_r , toplam elastomer kalınlığını ifade etmektedir. Tasarım dönme açısı (θ_s), TBDY 2018' de minimum 0,005 radyan olarak kabul edilmektedir.

Deprem dışındaki etkiler sonucu oluşan yatay yer değiştirmeler denklem (4.6) ile hesap edilmektedir:

$$\gamma_{s,st} = \frac{\Delta_s}{T_r} \quad (4.6)$$

Burada Δ_s , yatay yüklemenden meydana gelen yer değiştirmeyi ifade etmektedir.

Elastomer malzemede deprem yükü dışındaki yüklerden kaynaklanan birim şekildeğiştirmelerin toplamı 5 ten küçük olmalıdır (Denklem 4.7).

$$\gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st} \leq 5 \quad (4.7)$$

DD-1 ve DD-2'de deprem etkileri altında yapıda meydana gelecek yatay yer değiştirmelerden kaynaklanan basınçtan meydana gelen birim şekildeğiştirmeler denklem (4.8) ile hesap edilmektedir:

$$\gamma_{c,E} = \frac{6SP_{K2}}{A_r E_c} \quad (4.8)$$

Burada S, şekil katsayısını; P_{K2} , 1,2G+Q+E_d yük birleşimi sonucunda elde edilen düşey kuvveti; A_r , tek bir elastomer katmanının çelik plaka ile yapışmış ve yüke maruz kalan yüzey alanını; E_c , elastomer yalıtım biriminin basınç modülünü ifade etmektedir.

DD-1 ve DD-2' de deprem etkileri altında yapıda meydana gelecek yatay yer değişimlerinden meydana gelen birim şekildeğişiklikler, denklem (4.9) ile hesap edilmektedir:

$$\gamma_{s,E} = \frac{D}{T_r} \quad (4.9)$$

Burada D, ilgili deprem yer hareketi düzeyinde meydana gelen yer değiştirme; T_r , toplam elastomer kalınlığıdır.

Deprem etkileri ve birim dönmeden oluşan birim şekildeğişikliklerin yarısının toplamı 6'dan küçük olmalıdır (Denklem 4.10):

$$\gamma_{c,E} + \gamma_{s,E} + 0,5 \cdot \gamma_{r,st} < 6 \quad (4.10)$$

Elastomer yalıtım birimlerinin düşey kararlılığı düşey ve yatay yüklerden meydana gelen burkulma yükleri ve eksenel yük kapasitelerinin hesap edilerek denklem (4.14) ve denklem (4.15)'teki sınır şartlarının sağlanması gerekmektedir.

Kurşun çekirdekli yalıtım birimlerinin depremsiz burkulma yükü (P_{cr}) hesabı denklem (4.11) ile hesap edilmektedir:

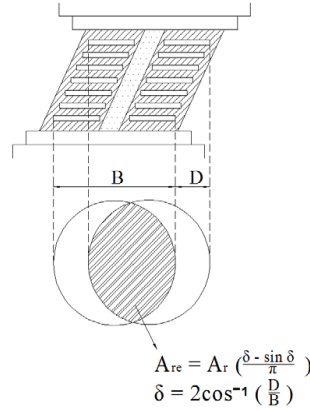
$$P_{cr} = 0,218 \cdot \frac{G_v B^4 (1 - \frac{B_L}{B}) (1 - B_L^2 / B^2)}{t T_r (1 + \frac{B_L^2}{B^2})} \quad (4.11)$$

Burada G_v , elastomer kayma modülünü; B_L , kurşun çekirdek çapını; B, elastomer çapını ifade etmektedir.

Deprem etkileri altında elastomerlerde oluşan burkulma yükü (P_{cr}') denklem (4.12) ile hesap edilmektedir:

$$P_{cr}' = P_{cr} (A_{re} / A) \quad (4.12)$$

Burada A_{re} , Şekil 4.4' teki kesişim bölgesini; A , elastomer yalıtım biriminin brüt kesit alanını ifade etmektedir:



Şekil 4.4: Elastomer yalıtım biriminde şekil değiştirme sonucu oluşan açı hesabı (TBDY, 2018)

Elastomer yalıtım birimlerinin birim şekildeğiştirmeye bağlı eksenel yük kapasitesi (P_{str}) denklem (4.13) ile hesaplanmaktadır.

$$P_{str} = \frac{3,5 A_{re} E_c}{6S} \quad (4.13)$$

Burada S , şekil kat

sayısını; E_c , elastomer yalıtım biriminin basınç modülünü ifade etmektedir.

Elastomer yalıtım birimlerinin yatay yer değiştirme olmadığı durumlarda burkulma yükü sınırı denklem (4.14) ile hesap edilmekte yatay yer değiştirme olduğu durumlarda ise denklem (4.15) ile hesap edilmektedir:

$$\frac{\min(P_{str}, P_{cr})}{P_{K1}} \geq 2 \quad (4.14)$$

$$\frac{\min(P_{str}, P_{cr})}{P_{K2}} \geq 1,1 \quad (4.15)$$

Elastomer yalıtım birimlerinin alt ve üst yapı bağlantılarının çekme alabilen düzende olmadığı durumlarda elastomer yalıtım birimlerinde yuvarlanma kararlılığının sağlanması gerekmektedir. Yuvarlanma kararlılığının kontrolü denklem (4.16) ile hesap edilmektedir:

$$D_M \leq \left(\frac{(2/3) P_{K3}}{k_e H + P_{K3}} \right) B \quad (4.16)$$

BÖLÜM 5. SAYISAL ÇALIŞMA

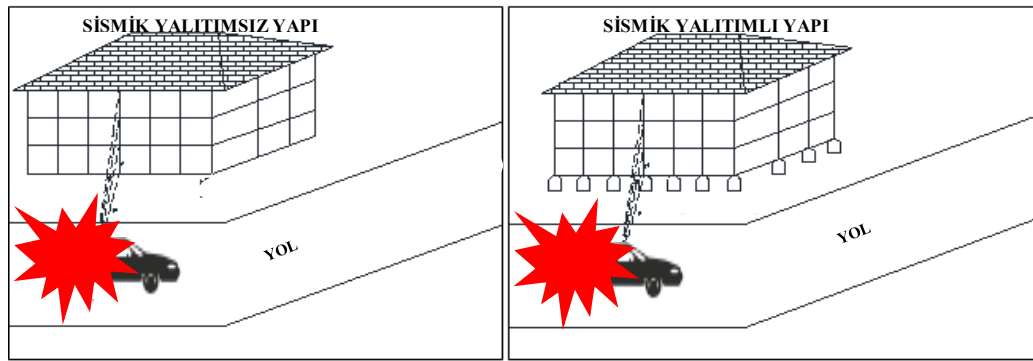
Sayısal çalışmanın içeriği patlama yükünün sayısal tahmini, patlayıcı ve hedef bina arasında güvenli mesafelerin elde edilmesi ve sonuç olarak patlama etkileri altındaki yapıların performansının değerlendirilmesi şeklindedir.

Bir diğer aşama ise 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde de yerini alan sismik taban yalıtımlı binaların patlama etkilerine karşı göstereceği tepkidir.

Yapılan çalışmalar sismik taban yalıtımlı ve sismik taban yalıtımı bulunmayan iki yapı modeli üzerinde gerçekleştirilmiş ve performans değerlendirmeleri yapılmıştır.

5.1. Yapı Tanımı

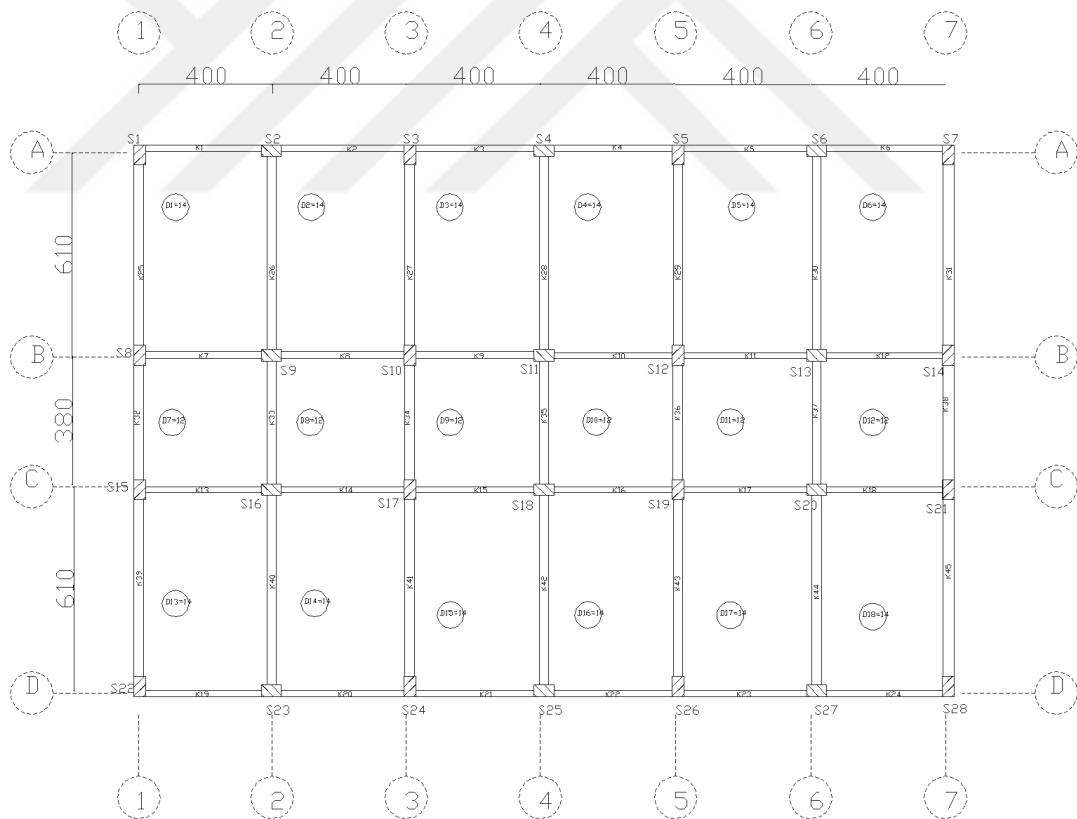
Bu çalışmada Sakarya ili merkezinde bulunan birtakım kamu binalarının projeleri incelenmiş merkezde bulunan bir okul binası planı referans alınarak taşıyıcı sistem şeması oluşturulmuştur. Planda bulunan düzensizlikler ihmal edilmiş simetrik bir kat planı oluşturulmuştur. Yapılan araştırmalar sonucu patlayıcı yüklü taşıtlarla yapılan terör saldırıları merkezde bulunan kamu binalarına, otel binalarına, bankalara vb. yönelik yapılmaktadır. Seçilen okul binasının uydu görüntüleri incelerek patlama riski olan bölgeler tespit edilerek uygun ölçeklenmiş patlama mesafeleri oluşturulacaktır. Çalışmada hedeflenen, yapıların patlama etkileri altında davranışını incelemek ve patlamanın yapı üzerindeki etkilerinin azaltılmasıdır. Patlama etkilerinin azaltılmasına yönelik patlamaya dayanıklı malzeme kullanımı, yapının şeklinin darbe yüklerine karşı dirençli tasarlanması, bina etrafının korunaklı duvarlarla çevrelenmesi gibi çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu çalışmada patlama etkileri altında yapıların dinamik davranışına sismik yalıtım araçlarının etkisi incelenmiştir(Şekil 5.1). Bu nedenle taban yalıtımı için referans sistemle uyumlu TBDY 2018' e göre kurşun çekirdekli kauçuk sönümleyiciler tasarlanmış ve SAP 2000 programında link eleman olarak modellenmiştir.



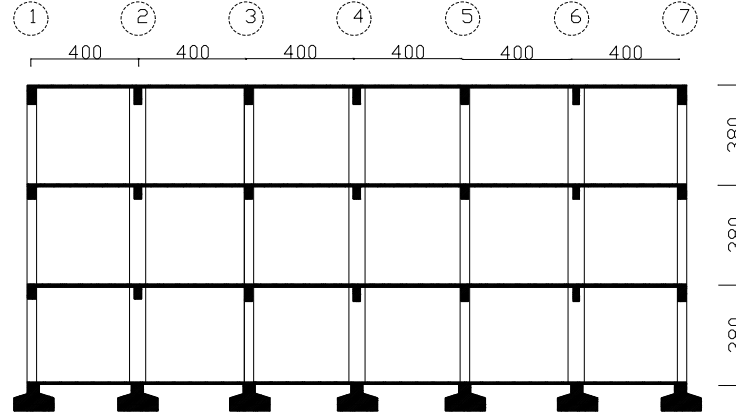
Şekil 5.1: Patlama etkisi altında sismik yalıtımsız-yalıtımlı yapı

Modellemede referans alınan yapı, 3 katlı x yönünde 5, y yönünde 3 açıklıklı bir okul binasıdır.

Yapının taşıyıcı sistemi simetrik düzenli betonarme çerçeve sistemidir. Yapıya ait kalıp planı Şekil 5.2’ de yapının B-B aks kesiti Şekil 5.3 ’te verilmiştir.



Şekil 5.2: Sadeleştirilmiş tipik bina planı



Şekil 5.3: Bina B-B aks kesiti

Yalıtımsız yapının taban yalıtımlı yapılması durumunda gerekli hesaplamalara Bölüm 5.3’ te ayrıntılı olarak yer verilmiştir. Tüm kirişler üzerinde ağırlığı 3 kN/m ağırlığında duvar olduğu varsayılmış ve kirişler üzerine sabit yük olarak etki ettirilmiştir. Yapı bir okul binası olduğundan hareketli yükler 3,5 kN/m² olarak kabul edilmiştir.

5.2. Yapının Modellenmesi

Mevcut yapının beton sınıfı C25 olup sargılı beton modeli kullanılmıştır. Boyuna donatılar S420, enine donatılar S220 çelik sınıfıdır (Şekil 5.4). Doğrusal olmayan analizlerde kullanılmak üzere malzeme modelleri tanımlanmıştır (Şekil 5.5).

Material Property Data (Concrete)

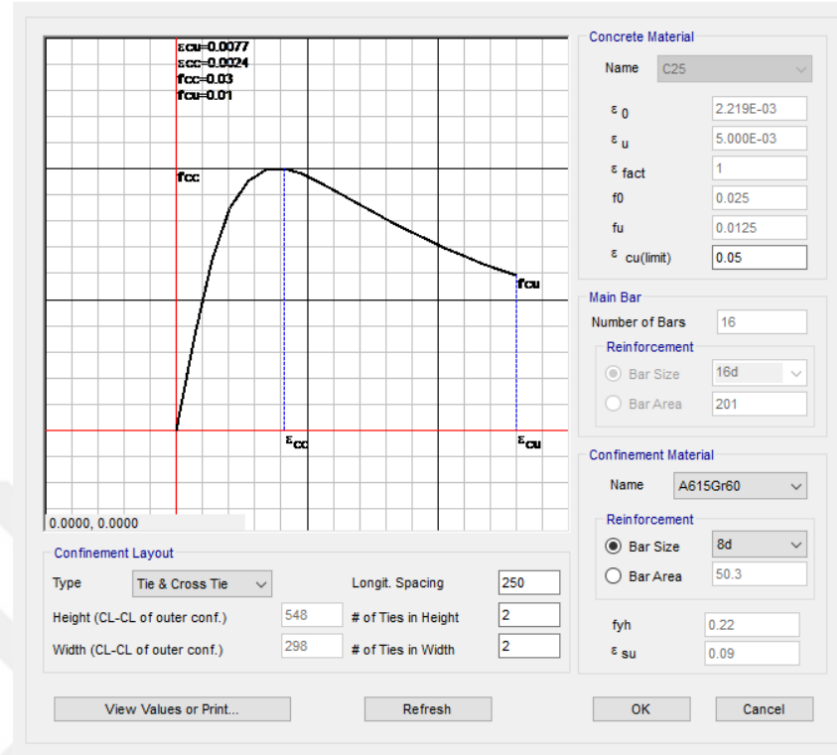
- General Data: Material Name and Display Color: C25, Material Type: Concrete, Material Notes: Modify/Show Notes...
- Weight and Mass: Weight per Unit Volume: 25, Mass per Unit Volume: 2,5493, Units: KN, m, C
- Isotropic Property Data: Modulus of Elasticity, E: 30000000, Poisson's Ratio, U: 0,2, Coefficient of Thermal Expansion, A: 0, Shear Modulus, G: 12500000
- Other Properties for Concrete Materials: Specified Concrete Compressive Strength, f_c: 25000, ☐ Lightweight Concrete, Shear Strength Reduction Factor:
- Switch To Advanced Property Display: ☐

Material Property Data (Rebar)

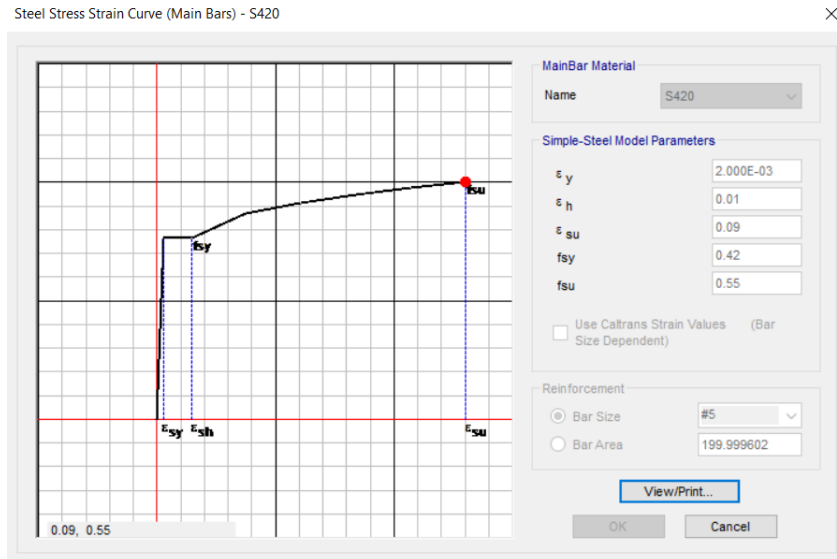
- General Data: Material Name and Display Color: Rebar, Material Type: Rebar, Material Grade: , Material Notes: Modify/Show Notes...
- Weight and Mass: Weight per Unit Volume: 78,5, Mass per Unit Volume: 8,0048, Units: KN, m, C
- Uniaxial Property Data: Modulus Of Elasticity, E: 2,000E+08, Poisson, U: 0, Coefficient Of Thermal Expansion, A: 0, Shear Modulus, G:
- Other Properties For Rebar Materials: Minimum Yield Stress, F_y: 420000, Minimum Tensile Stress, F_u: 550000, Expected Yield Stress, F_{ye}: 420000, Expected Tensile Stress, F_{ue}: 550000
- Switch To Advanced Property Display: ☐

Şekil 5.4: Yapının beton ve çelik malzeme özelliklerinin tanımlanması

Concrete Model - Mander-Confined(R)



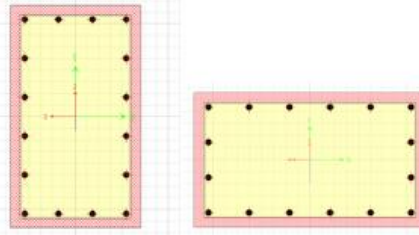
a) Sargılı Beton Modeli



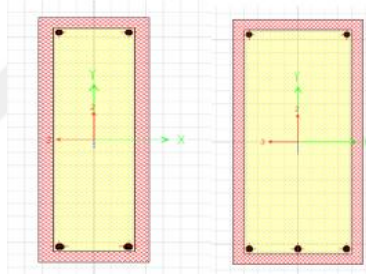
b) Donatı Çeliği Modeli

Şekil 5.5: Yapının beton ve çelik malzeme modelleri

Yapı 3 katlı bir okul binası olup kat yükseklikleri sabit olmak üzere 3,80 m'dir. Döşeme sistemi plak döşeme olup, döşeme kalınlığı B-B ve C-C aksları arasında 12 cm kalan bölgelerde 14 cm dir. Kiriş Kesitleri B-B ve C-C aksları yönünde 200x600 mm² diğer tüm akslarda 300x600 mm² dir. Kolon Kesitleri: 350x600 mm² ve 600x350 mm² dir. Kolonlarda 16 ϕ 16'lık boyuna ve ϕ 8'lik enine donatılar kullanılmıştır (Şekil 5.6). 200x600'lük kirişlerde 2 ϕ 14+2 ϕ 12, 300/600'lük kirişlerde 3 ϕ 14+2 ϕ 12'lik boyuna donatılar kullanılmıştır (Şekil 5.7). 200x600'lük kirişler TS 500 ve TBDY 2018 minimum boyutlarını sağlamadığı için 300x600 olarak yeniden modellenmiştir.

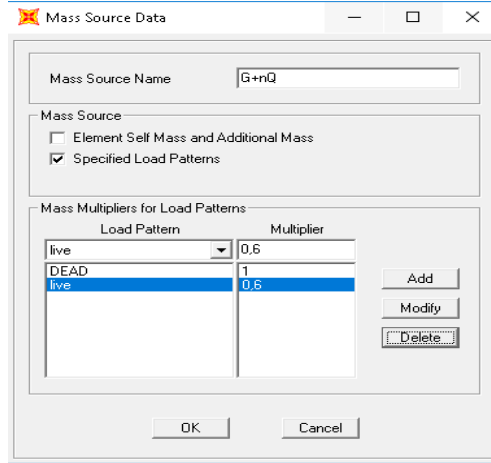


Şekil 5.6: Kuşatılmış kolon kesitleri



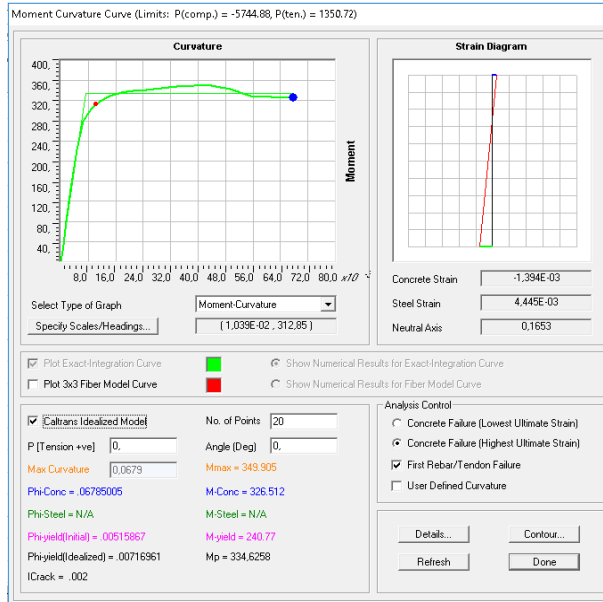
Şekil 5.7: Kuşatılmış kiriş kesitleri

Taşıyıcı sistem elemanlarının çubuk olarak modellenmeleri durumunda TBDY 2018' de kütlelerin modellenmesine yönelik bir hareketli yük katılım kat sayıları etkili olmaktadır. Kat kütleleri, bağlı sonlu elemanların kapsama alanlarındaki yayılı kütlelerin bir bileşkesi şeklinde atanmaktadır. Yapı bir okul binası olduğunda hareketli yük katılım katsayısı 0,6 olarak hesaplarda kullanılmıştır (Şekil 5.8).

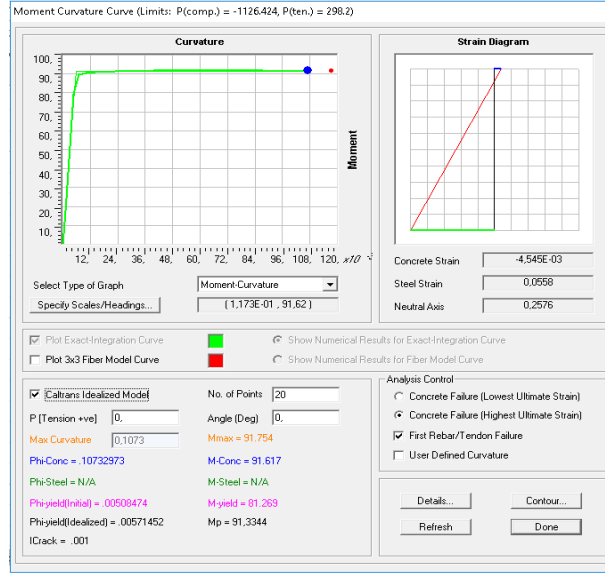


Şekil 5.8: Kütle özelliklerinin tanımlanması

Doğrusal olmayan hesap yöntemlerinde moment eğrilik diyagramlarının elde edilmesi yapılan analizler sonucunda eğrilik taleplerinin belirlenmesi bakımından gerekli olmaktadır. Kesit kapasitelerinin elde edilerek akma ve uzama eğrilikleri kesitlerin dönme açılarından yararlanılarak performans değerlendirmelerinin aşamalarını oluşturmaktadır. Kolonlarda eksenel yükler etkili olduğundan her bir katta bulunan farklı N tepki kuvvetine sahip her bir kolonun eğrilik değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir (Şekil 5.9; Şekil 5.10).



Şekil 5.9: Kolonlarda moment eğrilik değerlerinin elde edilmesi



Şekil 5.10: Kirişlerin moment eğrilik değerlerinin elde edilmesi

Doğrusal olmayan hesap yöntemlerinde yapı modellemeleri yapılırken kolon ve kiriş uçlarındaki dönme oranlarının belirlenmesi amacıyla kolon ve kiriş uçlarına plastik mafsalları tanımlamaları yapılması gerekmektedir. Plastik mafsalları tanımlamaları yapılırken de moment ve eğrilik diyagramlarından yararlanılmaktadır. Moment eğrilik diyagramlarından elde edilen akma moment değerleri Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’ de verildiği gibi tanımlama yapılabilir. Örneklerde moment ve dönme değerleri birim değer olarak girilmektedir. Dönme değerleri kesitin akabildiği yere kadar akması için büyük bir değer olarak girilmiştir (Şekil 5.11). Kolon mafsallarının tanımlanmasında her bir kata ait N tepki kuvveti değerleri girilerek her bir kolon için plastik mafsalları tanımlanmıştır (Şekil 5.12).

Frame Hinge Property Data for k(30/60) - Moment M3

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E	-1	-100
D	-1	-100
C	-1	-100
B	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1	100
D	1	100
E	1	100

☒ Symmetric

Type

☒ Moment - Rotation

☐ Moment - Curvature

Hinge Length

☐ Relative Length

Hysteresis Type And Parameters

Hysteresis Type

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero

☐ Is Extrapolated

Scaling for Moment and Rotation

☐ Use Yield Moment

Moment SF

☐ Use Yield Rotation (Steel Objects Only)

Rotation SF

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

	Positive	Negative
Immediate Occupancy	3,000E-03	
Life Safety	0,012	
Collapse Prevention	0,015	

☐ Show Acceptance Criteria on Plot

OK Cancel

Şekil 5.11: 300x600 kirişi plastik mafsals tanımlamalarının yapılması

Moment Rotation Data for FH1 - Interacting P-M2-M3

Edit

Select Curve

Axial Force Angle Curve #1

Units

Moment Rotation Data for Selected Curve

Point	Moment/Yield Mom	Rotation/SF
A	0	0
B	1	0
C	1	100
D	1	100
E	1	100

Note: Yield moment is defined by interaction surface

Copy Curve Data Paste Curve Data

Acceptance Criteria (Plastic Deformation / SF)

	Positive	Negative
Immediate Occupancy	3,000E-03	
Life Safety	0,012	
Collapse Prevention	0,015	

☐ Show Acceptance Points on Current Curve

Current Curve - Curve #1

Force #1: Angle #1

3D Surface

Axial Force = 170,29

3D View

Plan Axial Force

Elevation

Aperture

☐ Hide Backbone Lines

☐ Show Acceptance Criteria

☐ Show Thickened Lines

☒ Highlight Current Curve

Moment Rotation Information

Symmetry Condition

Number of Axial Force Values

Number of Angles

Total Number of Curves

Angle Is Moment About

0 degrees = About Positive M2 Axis

90 degrees = About Positive M3 Axis

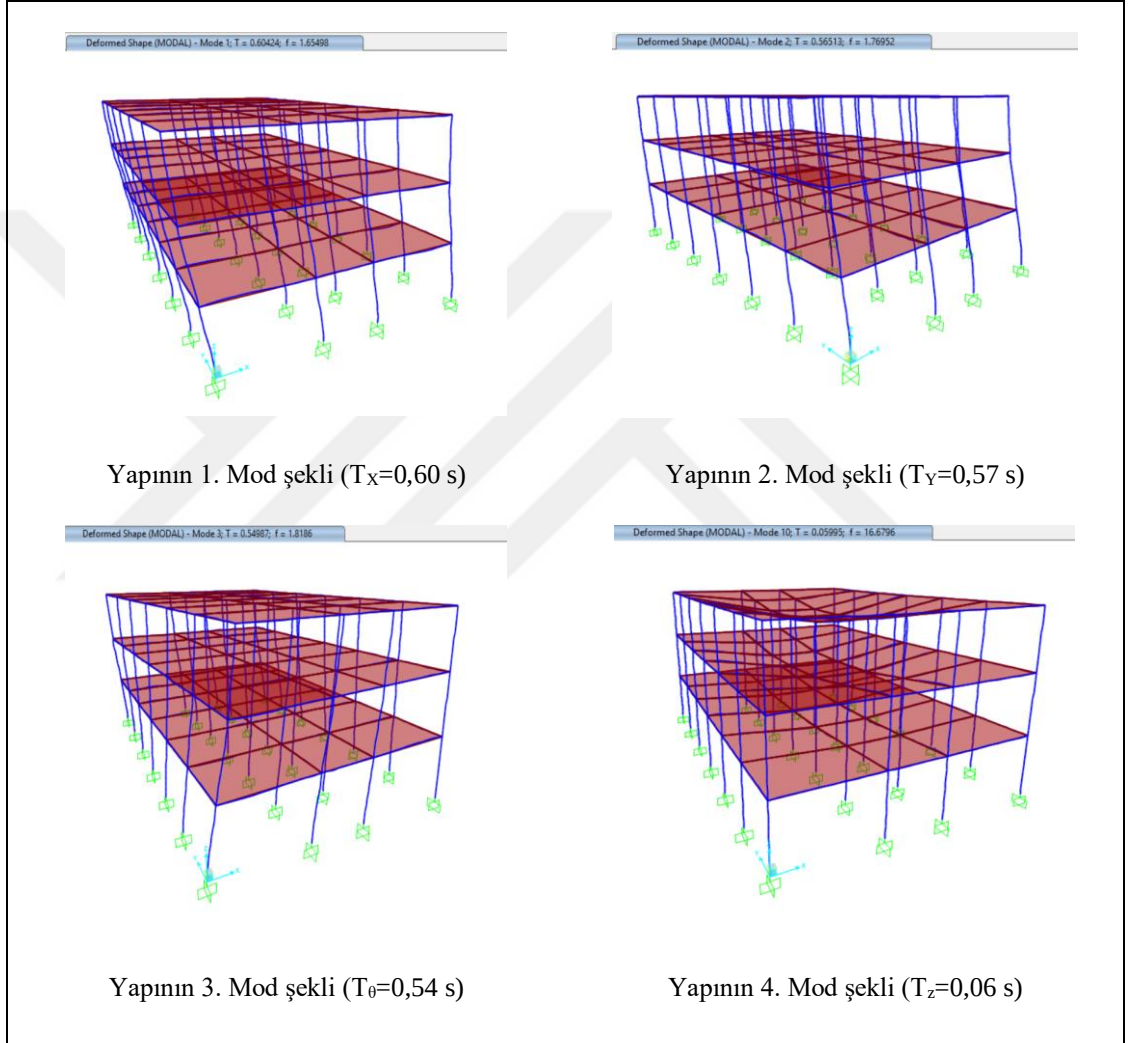
180 degrees = About Negative M2 Axis

270 degrees = About Negative M3 Axis

OK Cancel

Şekil 5.12: Kolonlarda plastik mafsals tanımlamalarının yapılması

Bina modelinin tamamlanması sonucunda mevcut yapının modal analizi gerçekleştirilmiştir. Sistemin mod şekilleri Şekil 5.13’ te verilmiştir. Sistemin hâkim moduna ait periyod değeri 0,60 s’dir. Yalıtımlı yapı tasarımında yapının düşey doğrultudaki serbest titreşimine ait periyod değerinin 0,1 s’den düşük olması gerekmektedir. Şekil 5.13’ te sistemin düşey doğrultudaki serbest titreşimine ait periyod değerinin 0,06 s olduğu görülmektedir:

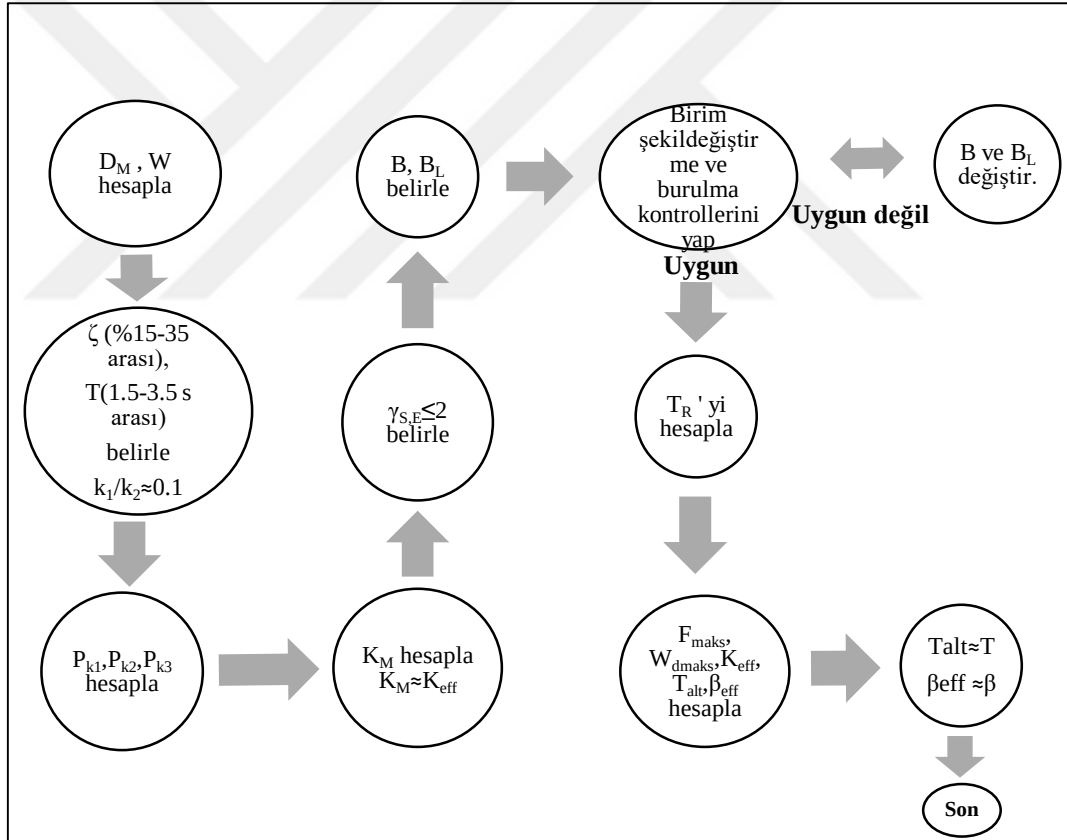


Şekil 5.13: Sismik yalıtımsız yapının mod şekilleri

5.3. Mevcut Bina için Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör Tasarımı

Sismik yalıtım tasarımı için düşey yük analizi ve yatay yük analizleri gerçekleştirilecektir. Düşey yük analizi sonucu kolonların aldığı normal kuvvet kapasitelerine göre izolatörün düşey yük kapasitesi belirlenecektir. Yapılarda kullanılan sönümleyici sistemler deprem yüklerine karşı koyacak şekilde tasarlandığından tasarım deprem yükleri AFAD’ dan alınan verilerden yararlanılarak binanın bulunduğu konuma özel spektrum eğrileri elde edilerek tasarım deprem yükleri elde edilip izolatörlerin yatay yük taşıma kapasiteleri belirlenecektir.

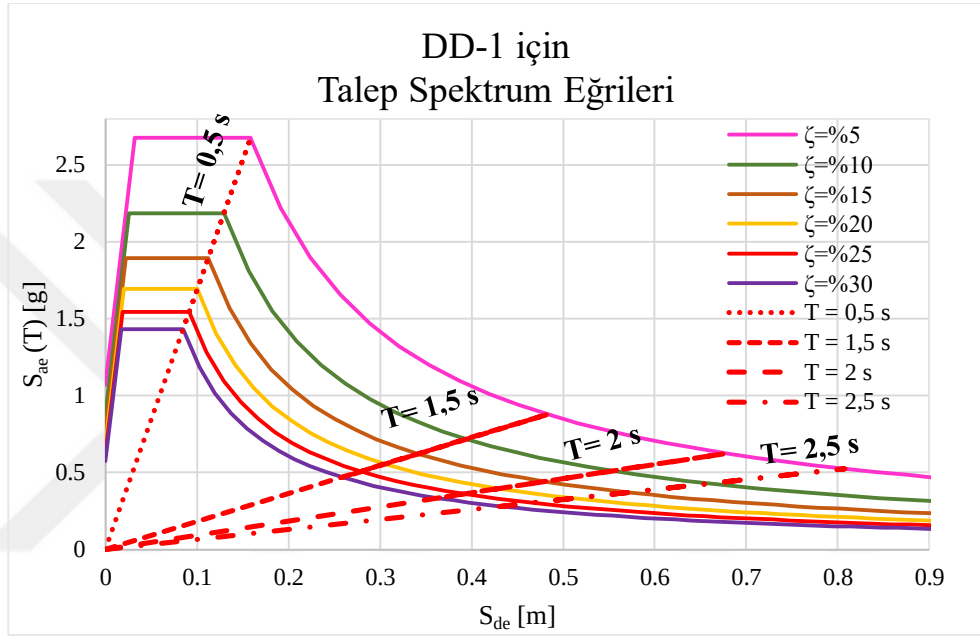
Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin TBDY 2018 sınır şartlarına göre bu tez kapsamında kullanılan tasarım şeması Şekil 5.14’ te verilmiştir:



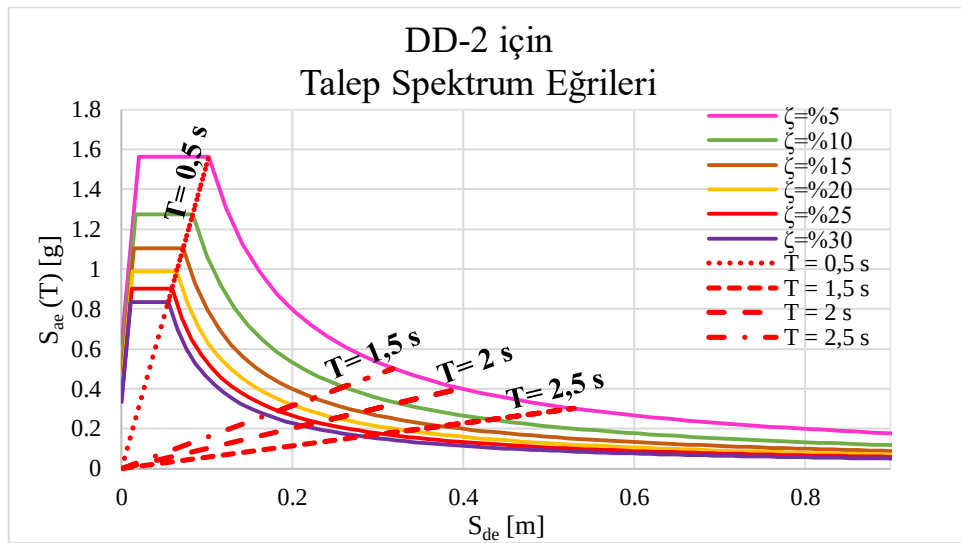
Şekil 5.14: İzolatör tasarım şeması

5.3.1. Yalıtım birimi yer değıştirme hesabı

Sismik taban yalıtımı uygulanan sistemlerde, Bina önem katsayısı $I=1$ olarak kabul edilmektedir. Yalıtımlı bina tasarımında Tasarım Deprem Yer Hareketi (DD-2) ve En büyük Deprem Yer Hareketi (DD-1) göz önüne alınmaktadır. Yalıtımlı yapı tasarımında alt yapı tasarımı için DD-1 üst yapı tasarımı için ise DD-2 göz önüne alınmaktadır (Şekil 5.15–5.16).



Şekil 5.15: DD-1 için talep spektrum eğrileri (AFAD, 2018)



Şekil 5.16: DD-2 için talep spektrum eğrileri (AFAD, 2018)

ξ , yalıtım birimi yer değiştirmelerinde hesaplanan etkin sönüm yüzdesini ifade etmektedir. Kurşun çekirdekli kauçuk sönümleyicilerin yer değiştirmeye bağlı eş değer sönümü TBDY 2018 Bölüm 4.2’ de ifade edildiği üzere %15–35 arasında değişebilmektedir ve TBDY 2018 Bölüm 4.3’ te kurşun çekirdekli kauçuk sönümleyicilerin taban yalıtımı tasarıma ait kurallar belirtilmiştir. Bir yapıya yalıtım birimi tasarımı yapılırken yapı ağırlığı binanın etkin periyodunu değiştirmekte ve buna bağlı olarak yalıtım sisteminin nominal etkin rijitliği de değişmektedir. Yalıtım birimi deneyleri yapılmadığından tasarıma esas yaklaşık kabullerin yapılması gerekmektedir. Bu nedenle yalıtım birimine ait nominal rijitlik değerleri tasarımda kullanılacak yalıtım biriminin eş değer rijitliğine eşit kabul edilerek ve TBDY 2018 yalıtım birimi birim şekildeğiştirme sınırları dikkate alınarak yalıtım biriminin etkin sönüm oranı hesap edilmiş ve buna bağlı olarak tasarlanan yalıtım biriminde etkin sönüm yüzdesi %21,7 olarak kabul edilmiştir. Yalıtımlı yapı alt yapı sisteminin periyodu 3 s kabul edildiğinde yapılan iterasyonlar sonucu 3,02 s’de en yakın sonuca ulaşılmıştır. Aynı işlemler DD–2 için de tekrarlanmıştır. Yalıtım biriminde etkin sönüm yüzdesi % 25 hesap edilmiş ve Yalıtımlı yapı üst yapı sisteminin periyodu 0.62 s kabul edildiğinde ve yapılan iterasyonlar sonucu 0.65 s’de en yakın sonuca ulaşılmıştır.

Denklem 5.1’ de η Sönüm ölçeklendirme katsayısını ifade etmektedir ve DD–1 için sönüm ölçeklendirme katsayısı hesap edilmiştir (TBDY, 2018).

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} \quad (5.1)$$

$$\eta_D = \sqrt{\frac{10}{5+25}} = 0,61$$

$$\eta_M = \sqrt{\frac{10}{5+21.7}} = 0,62$$

Yalıtım sisteminin en büyük yer değiştirmesi (Denklem 5.3) DD–1’de yalıtım birimlerine ait parametrelerin alt sınır değerleri kullanılarak, yalıtım sisteminin tasarım yer değiştirmesi (Denklem 5.2) DD–2’de yalıtım birimlerine ait parametrelerin üst sınır değerleri kullanılarak hesap edilmektedir.

$$D_D=1,3\left(\frac{g}{4\pi^2}\right)T_D^2\eta_D S_{ae}^{(DD-2)}(T_D)=1,3\left(\frac{9,81}{4\pi^2}\right)0,62^2.0,61.1,31=0,093 \quad (5.2)$$

$$D_M=1,3\left(\frac{g}{4\pi^2}\right)T_M^2\eta_M S_{ae}^{(DD-1)}(T_M)=1,3\left(\frac{9,81}{4\pi^2}\right)3^2.0,62.0,437=0,778 \text{ m} \quad (5.3)$$

DD–2 için yalıtımlı binanın etkin periyodu T_D denklem (5.4)’te, DD–1 için yalıtımlı binanın etkin periyodu T_M denklem (5.5)’te ifade edilmiştir.

$$T_D=2\pi\sqrt{\frac{m}{K_D}} \quad (5.4)$$

$$T_M=2\pi\sqrt{\frac{m}{K_M}} \quad (5.5)$$

Yalıtım biriminin tasarım deprem yer hareketi yer değiştirme seviyesinde yalıtım sisteminin nominal etkin rijitliği denklem (5.6), en büyük deprem yer hareketi seviyesinde yalıtım sisteminin nominal etkin rijitliği denklem (5.7) ile hesap edilmiştir (TBDY, 2018):

$$K_D=\frac{W}{g}\left(\frac{2\pi}{T_d}\right)^2 \quad (5.6)$$

$$K_M=\frac{W}{g}\left(\frac{2\pi}{T_M}\right)^2 \quad (5.7)$$

W bina ağırlığı olmak üzere,

$$K_D=\frac{25746.05}{9,81}\left(\frac{2\pi}{0,62}\right)^2=269263,51 \text{ kN/m}$$

DD–2 için izolatör başına düşen rijitlik:

$$269263.51 / 28=9616,55 \text{ kN/m}$$

$$K_M=\frac{25746.05}{9,81}\left(\frac{2\pi}{3}\right)^2=11500,54 \text{ kN/m}$$

DD–1 için İzolatör başına düşen rijitlik:

$$11500.54/28=410,73 \text{ kN/m}$$

Yalıtım sisteminin en büyük yer değiştirmesi ve tasarım yer değiştirmesi sırasıyla denklem (5.2) ve denklem (5.3)’te hesap edilmiştir (TBDY, 2018). DD–2 için hesaplanan

üst yapıya etkiyen kuvvet V_D , DD–1 için hesaplanan üst yapıya etkiyen kuvvet V_M olmak üzere denklem (5.8) ve denklem (5.9)’da verilen formülasyonlar ile hesap edilmektedir (TBDY, 2018):

$$V_D = \frac{S_{ae}^{DD-2}(T_D)W\eta_D}{R} = \frac{1,31.25746,05.0,61}{1,2} = 17144,69 \text{ kN} \quad (5.8)$$

Üst yapıya etki eden kuvvet DD–2 göz önünde bulundurularak kesintisiz hasar durumuna göre $R = 1,2$ alınarak hesap edilmiştir (TBDY, 2018):

$$V_M = \frac{S_{ae}^{DD-1}(T_M)W\eta_M}{R} = \frac{0,437.25746,05.0,62}{1,5} = 4650,41 \text{ kN} \quad (5.9)$$

Alt yapıya etki eden kuvvet DD–1 göz önünde bulundurularak sınırlı hasar durumuna göre $R = 1,5$ alınarak hesap edilmiştir (TBDY, 2018).

5.3.2. Elastomer yalıtım birimlerinin birim şekildeğiştirme sınırlarına göre tasarımı

Taban yalıtımlı yapı tasarımında alt yapı tasarımı hesabı, DD–1 etkileri altında yapılmaktadır:

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerde yer değiştirmeye bağlı etkin sönüm oranı % 15- %35 arasında olabilmektedir. β_e kritik sönümün % ifadesi olmak üzere etkin sönüm oranını, W_d bir yükleme döngüsündeki kuvvet yer değiştirme eğrisinin altındaki alana karşılık gelen tüketilen enerji miktarını ifade etmektedir. Etkin sönüm oranı yapılan iterasyonlar sonucunda 0,15 olarak hesaba katılmıştır. Etkin sönüm oranı denklem (5.10) ile hesap edilmektedir (TBDY, 2018):

$$\beta_e = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{W_d}{FD} \right] \quad (5.10)$$

B_L kurşun çekirdeğin çapını etmekte ve 150 mm kabul edilmiştir. B çelik plaka ile yapışmış elastomer çapını ifade etmekte ve 615 mm kabul edilmiştir. A_p ise kurşun çekirdeğin kesit alanını ifade etmekte ve denklem (5.11) ile hesap edilmektedir (TBDY, 2018):

$$A_p = \frac{\pi B_L^2}{4} = \frac{\pi 150^2}{4} = 17662,5 \text{ mm}^2 \quad (5.11)$$

A_r tek bir elastomer katmanının çelik plaka ile yapışmış, yüke maruz yüzey alanını ifade etmektedir ve denklem (5.12) ile hesap edilmiştir (TBDY, 2018):

$$A_r = \frac{\pi(B^2 - B_L^2)}{4} = \frac{\pi(615^2 - 150^2)}{4} = 279385,76 \text{ mm}^2 \quad (5.12)$$

Bir yükleme döngüsünde yalıtım biriminin elastik rijitliği (k_1) elastik ötesi rijitliğinin (k_2) yaklaşık 10 katına denk gelmektedir (Celep 2018). k_1 ve k_2 rijitlik değerlerinin hesabı kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kuvvet-yer değiştirme grafiğinden yararlanılarak hesap edilmiştir.

DD-1’de meydana gelen en büyük yer değişimi 0,776 m hesaplanmış olup, bu mesafede yatayda birim şekildeğiştirme sınırının sağlanması gerekmektedir (Denklem 5.13) :

$$\gamma_{s,E} = \frac{D}{T_R} \quad \gamma_{s,E} \leq 2 \quad (5.13)$$

$$T_R = 389,2 \text{ mm}$$

Depremlili durumda yatayda birim şekildeğiştirme sınırı $\gamma_{s,E}=2$ kabul edilerek hedef elastomer kalınlığı elde edilmiştir. Deprem yönetmeliğinde çeşitli yükleme durumlarına göre depremlili ve depremsiz durumlar için birim şekildeğiştirme sınırları bulunmakta ve bu sınırların karşılanması gerekmektedir.

Depremsiz durumda basınçtan meydana gelen birim şekildeğiştirme ($\gamma_{c,st}$) denklem (5.14) ile hesap edilmektedir ve 3,5’ ten küçük olmalıdır.

$$\gamma_{c,st} = \frac{6SP_{K1}}{A_r E_c} \quad \gamma_{c,st} \leq 3,5 \quad (5.14)$$

Yapılan kontroller neticesinde $B=600$ mm için yalıtım birimlerinin birim şekildeğiştirme sınırlarını karşıladığı görülmüştür ancak yalıtım birimlerinin düşey kararlılığı sağlanamamıştır. Bu nedenle hesaplara $B= 615$ mm kabul edilerek devam edilmiştir. $B= 615$ mm için yalıtım birimlerinin düşey kararlılığı sağlanmış ve Bölüm 5.3.3’ te açık hesap olarak verilmiştir.

S şekil katsayısı, P_{K1} , 1,4G+1,6Q yük birleşimi sonucunda elde edilen düşey kuvveti ifade etmektedir.

$$S = (B^2 - B_L^2)/(4Bt) \quad (5.15)$$

$$S = (615^2 - 150^2)/(4 \cdot 615 \cdot 5) = 28,92$$

1,4 G + 1,6 Q yük bileşeni duvar ağırlıkları 3 kN/m ve beton malzeme birim ağırlığı 25 kN/m³ olarak hesaplara katılmış hareketli yükler bina kullanım amacı okul olduğundan 3,5 kN/m² olarak hesaplara dâhil edilmiş ve yaklaşık olarak yük hesabı yapılmıştır. Bu durumda 1,4 G + 1,6 Q yükleme durumunda oluşan basınç kuvveti değerleri Tablo 5.1’ de verilmiş olup hesaplamalarda bir kolona gelen maksimum yük (Denklem 5.16) hesaba katılmıştır.

Tablo 5.1: Kolonlara gelen P_{k1} basınç kuvveti değerleri

1,4 G + 1,6 Q (P _{k1})			
kN			
S1	1036.248	S21	1473.341
S8	1473.341	S28	1036.248
S15	1473.341	S2	1734.648
S22	1036.248	S9	2446.468
S3	1763.079	S16	2446.468
S10	2490.048	S23	1734.648
S17	2490.048	S4	1760.839
S24	1763.079	S11	2478.439
S5	1763.079	S18	2478.439
S12	2490.048	S25	1760.839
S19	2490.048	S6	1734.648
S26	1763.079	S13	2446.468
S7	1036.248	S20	2446.468
S14	1473.341	S27	1734.648
Maksimum		2490.048	

$$P_{K1} = \frac{1,4G + 1,6Q}{N} = 2490.048 \text{ kN} \quad (5.16)$$

$$\gamma_{c,st} = \frac{6SP_{K1}}{A_r E_c} \leq 3,5 \quad (5.17)$$

Denklem 5.7' de yer alan E_c ise elastomer yalıtım biriminin basınç modülüdür ve denklem (5.18) ile hesap edilmektedir.

$$E_c = E_0(1+2kS^2) \quad (5.18)$$

$$E_c = 4G_v(1+2kS^2) = 4.0,5(1+2.0,60.28,92^2) = 1138,09 \text{ MPa}$$

Bu denklemde E_0 kauçuk malzemenin esneklik modülü olup, $E_0=4G_v$ bağıntısı ile hesaplanmıştır (TBDY, 2018):

Kauçuk mesneden kayma modülü olan G_v değeri 0,3–1,5 MPa arasında olduğundan G_v 0,5 kabul edilmiştir (TBDY, 2018).

İzolatör çapı artırılarak yapılan çeşitli iterasyonlar sonucu izolatör çapı 650 mm ve depremli durumda yatay yer değiştirmeden meydana gelen birim şekildeğiştirme $\gamma_{s,E} = 2$ kabul edilerek hesap yapılmıştır. Bu durumda denklem (5.19)'da belirtilen kauçuğun yüzey alanı hesap edilmiştir.

$$A_r = \frac{\pi(B^2 - B_L^2)}{4} = \frac{\pi(600^2 - 150^2)}{4} = 264937,5 \text{ mm}^2 \quad (5.19)$$

Bu durumda, depremsiz durumda basınçtan meydana gelen birim şekildeğiştirme, deprem yönetmeliğinde belirtilen birim şekildeğiştirme sınırını sağlamıştır (Denklem 5.20) .

$$\gamma_{c,st} = \frac{6SP_{K1}}{A_r E_c} = \frac{6.28,92.2299680}{141371,67.1005,69} = 1,54 < 3,5 \quad (5.20)$$

Yalıtım birimlerinin üst ve alt plakaları arasındaki görelî dönmeden kaynaklanan birim şekildeğiştirme denklem (5.21) ile hesap edilmektedir. Burada B yalıtım biriminin çapını, θ_s tasarım dönme açısını ifade etmektedir. Tasarım dönme açısı deprem yönetmeliğindeki minimum şartlar göz önünde bulundurularak 0,005 radyan kabul edilmiştir.

$$\gamma_{r,st} = \frac{B^2 \theta_s}{2tT_r} \quad (5.21)$$

$$\gamma_{r,st} = \frac{615^2 0,005}{2.5.389,2} = 0,486$$

Deprem dışındaki etkiler sonucu oluşan yatay yer değiştirmeler(genleşme, rüzgâr vb.) sonucu oluşan birim şekildeğiştirmeler ($\gamma_{s,st}$) bu çalışmada ihmal edilmiştir ve $\gamma_{c,st} + \gamma_{s,st} + \gamma_{r,st} \leq 5$ olmalıdır.

Bu durumda elastomer malzemede deprem yükü dışındaki yüklerden kaynaklanan birim şekildeğiştirmeler deprem yönetmeliği koşullarını sağlamıştır.

1,2 G + Q + E yüklemeinden meydana gelen düşey basınç kuvvetleri Tablo 5.2’ de verilmiştir. Deprem etkileri altında yapıda basınçtan meydana gelecek birim şekildeğiştirmeler denklem (5.22) ile hesap edilmiştir:

$$\gamma_{c,E} = \frac{6SP_{K2}}{A_r E_c} = \frac{6.28,92.3843,158}{279385,76.1005,69} = 2,37 \quad (5.22)$$

Kurşun çekirdekli yalıtım biriminin karakteristik dayanımı, F_Q denklem (5.23) ile hesap edilmektedir:

$$F_Q = A_p \cdot C_{yp} = 17662,5.11 = 194,39 \text{ kN} \quad (5.23)$$

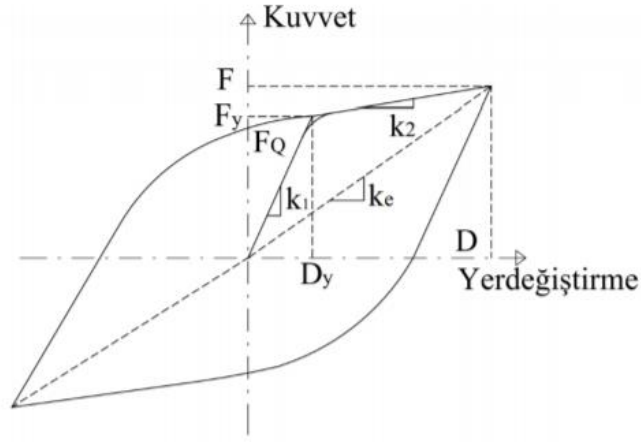
Kurşun çekirdekli yalıtım biriminin birincil (elastik) rijitliği kullanılarak etkin akma rijitliği şekil 5.16’ da görüldüğü gibi eğimden hesaplanabilmektedir. Ön tasarımda birincil (elastik) rijitliğin ikincil (elastik ötesi) rijitlin 10 katı olduğu kabulü (Denklem 5.24) ile hesap yapılabilmektedir. Bu durumda denklem (5.25)’te elastik ötesi rijitlik (k_2) belirlenmiş ve ön tasarımda kullanılacak elastik rijitlik (k_1) hesap edilmiştir. Denklem 5.25’ te G_v elastomer kayma modülünü ifade etmekte ve 0,3–1,5 MPa arasında değişmektedir (Celep, 2017).

$$k_1 = 10 k_2 \quad (5.24)$$

$$k_2 = G_v (A_r / T_r) = 0,5 (279385.76 / 389,17) = 358,95 \text{ kN/m} \quad (5.25)$$

$$k_1 = 3589,5 \text{ kN/m}$$

Kurşun çekirdekli yalıtım birimin birincil (elastik) rijitliği kullanılarak etkin akma rijitliği Şekil 5.17’ de görüldüğü gibi eğimden hesaplanabilmektedir:



Şekil 5.17: İzolatör kuvvet yer değiştirme eğrisi (TBDY, 2018).

Bu durumda sistemin etkin akma yer değiştirmesi denklem (5.26) ile hesap edilmiştir:

$$D_y = \frac{F_y}{k_1} = 0,054 \text{ m} \quad (5.26)$$

Elastomer yalıtım birimlerinin düşey rijitliği denklem (5.27) ile hesap edilmektedir (TBDY, 2018):

$$k_v = \frac{E_v A_r}{T_r} \quad (5.27)$$

Denklemden yer alan düşey rijitlik modülü denklem (5.28) ile hesap edilmektedir (TBDY, 2018):

$$E_v = \frac{1}{\frac{1}{E_c} + \frac{1}{K}} \quad (5.28)$$

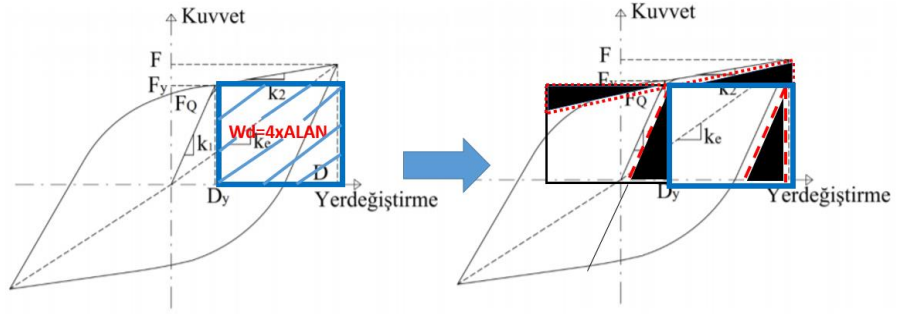
Burada K kauçuk malzemenin hacim modülü olup, 2000 MPa olarak hesaba katılacaktır.

Orta sertlikte tasarlanan yalıtım biriminin basınç modülü 1005,69 MPa hesap edilmiştir.

$$E_v = \frac{1}{\frac{1}{1005,69} + \frac{1}{2000}} = 669,19 \text{ MPa}$$

$$k_v = \frac{E_v A_r}{T_r} = \frac{669,19 \cdot 279385,76}{389,17} = 480411,94 \text{ kN/m}$$

Yükleme döngüsünde tüketilen enerji miktarı denklem (5.29) ile ya da kuvvet yer değiştirme eğrisinin altında kalan alandan hesap edilebilmektedir (Şekil 5.18) :



Şekil 5.18: Yükleme döngüsü altındaki alan hesabı

$$W_D = 4 \cdot F_Q (D_{\max} - D_y) \quad (5.29)$$

Bu durumda DD-1’de yükleme döngüsünde tüketilecek enerji $W_D=562,82$ kNm olarak hesap edilmiştir. Yükleme döngüsünde eğimden yararlanılarak maksimum kuvvet ve eş değer rijitlik hesabı yapılmıştır (Denklem 5.30–5.31):

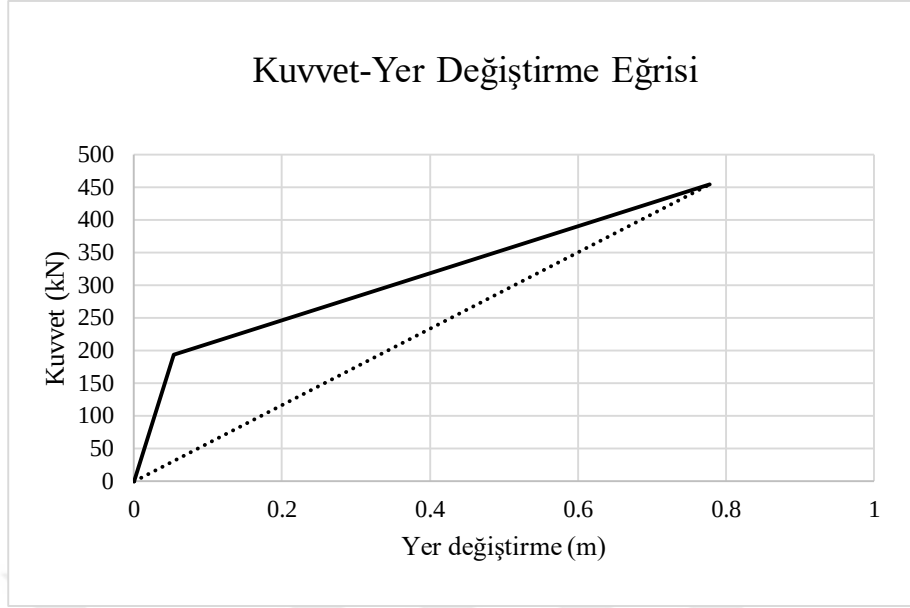
$$F_{\max} = F_y + k_2 \cdot (D_{\max} - D_y) \quad (5.30)$$

$$F_{\max} = 454,24 \text{ kN}$$

$$k_e = f_{\max} / d_{\max} \quad (5.31)$$

$$k_e = 583,61 \text{ kN/m}$$

Hesaplamalar sonucunda kuvvet- yer değiştirme eğrisi Şekil 5.19’da verilmiştir:



Şekil 5.19: Yalıtım birimi kuvvet-şekil değiştirme eğrisi

Ön tasarımda elde edilen değerlere göre efektif periyod değeri hesabı yapılmıştır. Efektif periyod değeri deprem yönetmeliğinde belirtilen $T_L \leq 6$ s şartını sağlamış ve yalıtımsız yapının periyodunun ($T_1=0,60$ s) 3 katından fazla olduğu görülmüştür (Denklem 5.32):

$$T_{\text{eff}} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_{\text{eff}}}} = 2,52 \text{ s} \quad (5.32)$$

Yükleme döngüsünün altında kalan alan yardımıyla başlangıçta hedeflenen sönüm oranının sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiştir. (Denklem 5.33):

$$W_d = 2 \pi \beta_e k_e D^2 \quad (5.33)$$

$$W_d = 2 \pi \beta_e \cdot 583,61 \cdot 0,779^2 = 562,82 \text{ kNm}$$

$$\beta_e = 0,25 < 0,3 \text{ uygun}$$

Tablo 5.2: Kolonlara gelen P_{k2} ve P_{k3} kuvveti değerleri

	1,2 G + Q $\pm$ E _x (P_{k2})	1,2 G + Q $\pm$ E _y (P_{k2})	0,9 G $\pm$ E _x (P_{k3})	0,9 G $\pm$ E _y (P_{k3})
	kN	kN	kN	kN
S1	2195,341	3843,158	1719,933	3367,75
	-705,318	-2353,13	-1180,726	-2828,543
S8	1830,8	3748,058	1137,777	3055,035
	268,408	-1648,85	-424,615	-2341,874
S15	1830,799	3748,058	1137,776	3055,035
	268,408	-1648,85	-424,615	-2341,874
S22	2195,341	3843,158	1719,933	3367,75
	-705,317	-2353,13	-1180,726	-2828,543
S3	2835,098	1269,679	1989,329	423,911
	-341,682	1223,737	-1187,45	377,968
S10	2528,279	1761,249	1301,951	534,921
	957,27	1724,3	-269,058	497,972
S17	2528,279	1761,248	1301,951	534,92
	957,27	1724,301	-269,058	497,973
S24	2835,098	1269,679	1989,329	423,911
	-341,682	1223,736	-1187,451	377,968
S5	2835,098	1269,679	1989,329	423,911
	-341,682	1223,737	-1187,451	377,968
S12	2528,279	1761,249	1301,951	534,921
	957,27	1724,3	-269,058	497,972
S19	2528,279	1761,249	1301,951	534,921
	957,27	1724,3	-269,058	497,972
S26	2835,098	1269,679	1989,329	423,911
	-341,682	1223,737	-1187,451	377,968
S7	2195,341	3843,158	1719,933	3367,75
	-705,317	-2353,13	-1180,726	-2828,543
S14	1830,799	3748,058	1137,777	3055,035
	268,408	-1648,85	-424,615	-2341,874
S21	1830,799	3748,058	1137,777	3055,035
	268,408	-1648,85	-424,615	-2341,874
S28	2195,341	3843,158	1719,933	3367,75
	-705,317	-2353,13	-1180,726	-2828,542
S2	3430,475	1649,726	2600,638	819,889
	-974,676	806,073	-1804,513	-23,764
S9	3505,163	2024,951	2301,998	821,786
	-78,695	1401,518	-1281,859	198,353
S16	3505,163	2024,951	2301,998	821,786
	-78,695	1401,517	-1281,859	198,353
S23	3430,475	1649,726	2600,638	819,889
	-974,676	806,073	-1804,513	-23,764
S4	3440,393	1245,445	2596,265	401,316
	-949,505	1245,443	-1793,633	401,315
S11	3519,891	1734,654	2299,287	514,051
	-50,584	1734,653	-1271,187	514,049
S18	3519,89	1734,654	2299,287	514,05
	-50,584	1734,653	-1271,187	514,049
S25	3440,393	1245,445	2596,265	401,317
	-949,505	1245,443	-1793,633	401,314
S6	3430,475	1649,726	2600,638	819,889
	-974,676	806,073	-1804,513	-23,764
S13	3505,163	2024,951	2301,998	821,787
	-78,695	1401,517	-1281,859	198,353
S20	3505,163	2024,951	2301,998	821,786
	-78,695	1401,517	-1281,859	198,353
S27	3430,475	1649,726	2600,638	819,889
	-974,676	806,073	-1804,513	-23,764
Maksimum	3519,891	3843,158	2600,638	3367,75
Minimum	-974,676	-2353,13	-1804,513	-2828,543

5.3.3. Elastomer yalıtım birimlerinin düşey kararlılığı

Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler için yatay yer değiştirmenin olduğu durumlarda burkulma yükü denklem (5.34) ve yatay yer değiştirmenin olmadığı durumlarda denklem (5.35) ile hesap edilmektedir. Tasarımı yapılan izolatör 5 mm kalınlığındaki kauçuk ve 3 mm kalınlığındaki çelik plakalardan oluşmaktadır.

$$P_{cr}=0,218 \cdot \frac{G_V B^4 (1-\frac{B_L}{B})(1-B_L^2/B^2)}{t T_r (1+\frac{B_L^2}{B^2})} \quad (5.34)$$

$$P_{cr}=0,218 \cdot \frac{0,5 \cdot 615^4 (1-\frac{150}{615})(1-150^2/615^2)}{5,289,2 (1+\frac{150^2}{615^2})} = 5378,51 \text{ kN}$$

$$P_{cr}' = P_{cr}(A_{re}/A) \quad (5.35)$$

$$P_{cr}' = 5083,64 \text{ k}$$

Elastomer yalıtım birimlerinin birim şekildeğiştirmeye bağlı aksenal yük kapasitesi denklem (5.36) ile hesap edilmektedir ve denklem (5.37) ve (5.38) 'deki sınır şartlarının sağlanması gerekmektedir.

$$P_{str} = \frac{3,5 A_{re} E_c}{6S} \quad (5.36)$$

$$P_{str} = 5692,516 \text{ kN}$$

$$\frac{\min(P_{str}, P_{cr}')}{P_{K1}} > 2 \quad (5.37)$$

$$2,16 > 2$$

$$\frac{\min(P_{str}, P_{cr}')}{P_{K2}} > 1,1 \quad (5.38)$$

$$1,32 > 1,1$$

Gerekli tüm sınır şartları sağlanmıştır. Sonuç olarak, H toplam izolatör yüksekliği olmak üzere, toplam elastomer kalınlığı 389,2 mm hesap edilmiştir. 5 mm kalınlığındaki kauçuk ve 2 mm kalınlığındaki çelik plakalardan oluşan izolatörün toplam yüksekliği H= 543 mm hesap edilmiştir.

Yalıtım birimlerinin çekme alabilen düzende olmadığı durumlarda yatay yükler kayma kaması ile karşılanmaktadır. Yatay yüklerin kayma kaması ile karşılandığı durumlarda yuvarlanma kararlılığının sağlanması gerekmektedir (Denklemler 5.39).

$$P_{k3}=3367,75 \text{ kN}$$

$$DM < \left(\frac{(2/3)P_{K3}}{k_e H + P_{K3}} \right) B \quad (5.39)$$

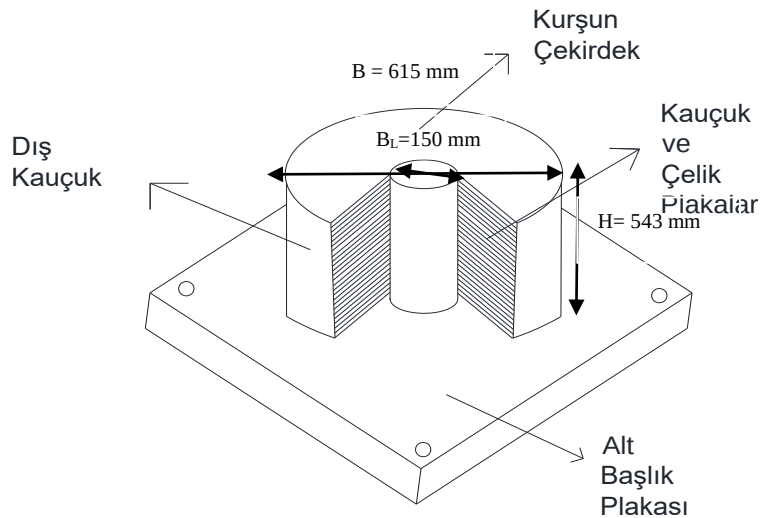
$$0,779 > 0,391$$

Yuvarlanma kararlılığı sağlanamamıştır. Uygulamada standart bulonlu bağlantı kullanılması zorunludur.

Ön tasarım sonucu elde edilen elastomer yalıtım birimi özellikleri Şekil 5.20’ de ifade edilmiş ve sayısal değerler Tablo 5.3’ te ifade edilmiştir:

Tablo 5.3: Elastomer yalıtım birimi özellikleri

Kurşun çekirdekli kauçuk sönümleyici özellikleri	
Düşey yönünde lineer rijitlik: k_v	480411,90
Yatay yönünde nonlinear rijitlik (kN/m) : k_e	583,60
Yatay yönünde akma dayanımı (kN) : $F_y=F_Q$	194,29
Yatay yönünde akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı: k_2/k_1	0,1



Şekil 5.20: Kurşun çekirdekli kauçuk izolator elemanları

5.3.4. Öngörülen kurşun çekirdekli kauçuk yalıtım birimlerinin kontrol hesapları

Tablo 5.4’ te kurşun çekirdekli elastomer Yalıtım birimi dayanım ve rijitlik parametreleri alt ve üst sınır öneri değerleri verilmiştir (TBDY, 2018):

Tablo 5.4: Elastomer yalıtım birimleri dayanım ve rijitlik parametreleri alt ve üst sınır öneri değerleri

	F_Q		k_2	
	Alt	Üst	Alt	Üst
λ_{ae}	1	1,1	1	1,30
λ_{deney}	0,70	1,30	1	1,40
λ_{spek}	0,85	1,15	0,85	1,15

Tablo 5.4’ te F_Q kurşun çekirdekli kauçuk tipi yalıtım birimi karakteristik dayanımını, k_2 kurşun çekirdekli kauçuk tipi yalıtım birimi ikincil (elastik ötesi) rijitliğini ifade etmektedir. λ_{ae} , yaşlanma ve çevresel etkiyi; λ_{deney} , yükleme hızı ve ısınma gibi etkileri; λ_{spek} , üretimdeki değişkenlikler sebebi ile kullanılması gereken çarpanları ifade etmektedir (TBDY, 2018):

$$\lambda_{üst} = [1 + 0,75(\lambda_{ae, üst} - 1)] \lambda_{deney, üst} \lambda_{spek, üst} \quad (5.40)$$

$$\lambda_{alt} = [1 - 0,75(1 - \lambda_{ae, alt})] \lambda_{deney, alt} \lambda_{spek, alt} \quad (5.41)$$

Bu durumda elde edilen F_Q kuvvetinin alt ve üst sınır değerleri denklem (5.42) ve denklem (5.43)’te k_2 ikincil rijitliğin alt ve üst sınır değerleri denklem (5.44) ve denklem (5.45)’te verilen alt ve üst sınırlarla çarpılarak hesap edilmiştir (TBDY, 2018):

$$F_Q \lambda_{üst} = [1 + 0,75(\lambda_{ae, üst} - 1)] \lambda_{deney, üst} \lambda_{spek, üst} = 194,39.1,61 = 312,97 \text{ kN} \quad (5.42)$$

$$F_Q \lambda_{alt} = [1 - 0,75(1 - \lambda_{ae, alt})] \lambda_{deney, alt} \lambda_{spek, alt} = 194,39.0,595 = 115,66 \text{ kN} \quad (5.43)$$

$$k_2 \lambda_{üst} = [1 + 0,75(\lambda_{ae, üst} - 1)] \lambda_{deney, üst} \lambda_{spek, üst} = 984.42.1,94 = 5426,07 \text{ kN/m} \quad (5.44)$$

$$k_2 \lambda_{alt} = [1 - 0,75(1 - \lambda_{ae, alt})] \lambda_{deney, alt} \lambda_{spek, alt} = 984.42.0,77 = 276,39 \text{ kN/m} \quad (5.45)$$

DD–1 yer hareketi seviyesinde yer değiştirmenin maksimum olduğu kabul edilirse maksimum kuvvet ve eş değer rijitlik denklem (5.46) ve (5.47) ile hesap edilmiştir:

$$F_{\max} = F_y + k_2 \cdot \lambda_{\text{alt}} (D_{\max} - D_y) \quad (5.46)$$

$$F_{\max} = 315,77 \text{ kN}$$

$$k_e = f_{\max} / d_{\max} \quad (5.47)$$

$$k_e = 405,69 \text{ kN/m}$$

Alt sınır değerlere göre hesap edilen efektif periyod değeri 3,02 s hesap edilmiş (Denklem 5.48) ve başlangıçta kabul edilen periyod değerine ulaşılmıştır.

$$T_{\text{eff}} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_{\text{eff}}}} = 3,02 \text{ s} \quad (5.48)$$

Alt sınır değerlere göre hesap edilen enerji miktarı denklem (5.49) ve (5.50) ile hesap edilmiş ve efektif sönüm parametresi belirlenmiştir:

$$W_D = 4 \cdot F_Q (D_{\max} - D_y) = 334,88 \text{ kNm} \quad (5.49)$$

$$W_d = 2 \pi \beta_e k_e D^2 \quad (5.50)$$

$$W_d = 2 \pi \beta_e \cdot 405,69 \cdot 0,779^2 = 334,88 \text{ kNm}$$

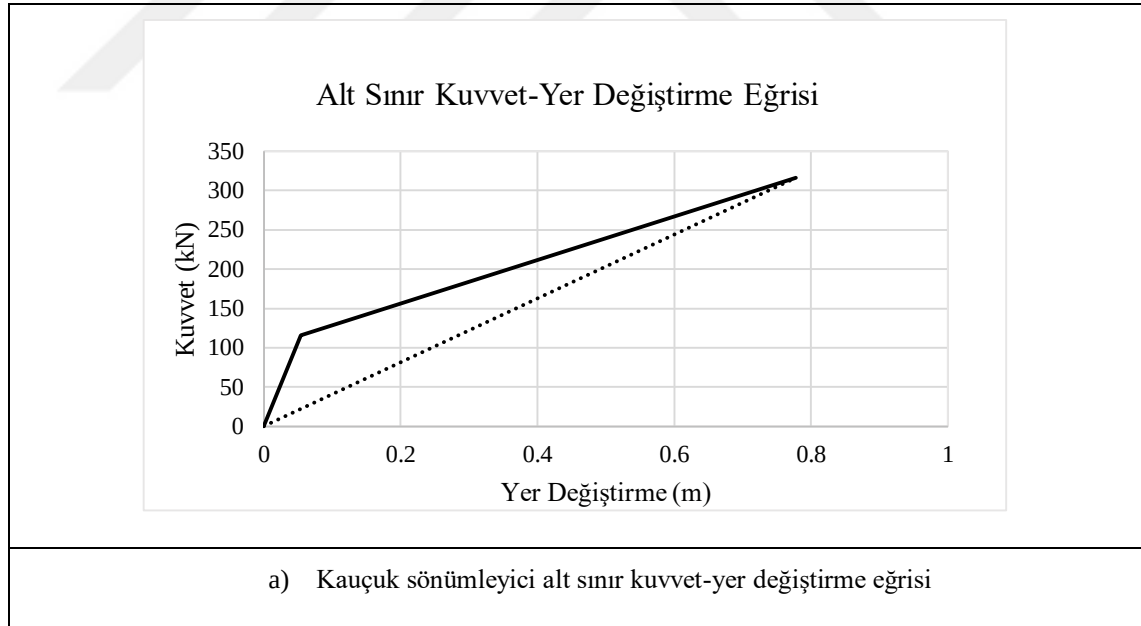
$$\beta_e = 0,217$$

Bölüm 5.5' teki hesaplamalar tekrar edilmiş ve yalıtım biriminin alt sınır değerlere göre kuvvet-yer değiştirme eğrileri Şekil 5.21' de verilmiş olup sayısal veriler Tablo 5.5' te ifade edilmiştir:

Tablo 5.5: Elastomer yalıtım birimi alt sınır tasarım özellikleri

Kurşun çekirdekli kauçuk sönümleyici özellikleri	
Düşey yönünde lineer rijitlik (kN/m) : k_v	480411,90
Yatay yönünde nonlinear rijitlik (kN/m) : k_e	405,69
Yatay yönünde akma dayanımı (kN) : $F_y=F_Q$	115,60
Yatay yönünde akma sonrası rijitliğin akma öncesi rijitliğe oranı: k_2/k_1	0,077

Yapılan hesaplamalar sonucunda SAP2000 programında, kauçuk sönümleyici özelliklerinin tanımlanması gerekmektedir. Yalıtım birimleri Sap2000 programında link eleman olarak modellenmiştir. Kauçuk sönümleyiciler düşeyde rijitlik yatayda esneklik ve enerji tüketimini sağladığından yatayda doğrusal olmayan özellikler dikkate alınmıştır (Şekil 5.21):



Şekil 5.21. Yalıtım birimi özelliklerinin SAP2000 yazılımında tanımlanması

Link/Support Property Data

Link/Support Type: Rubber Isolator

Property Name: LN1

Property Notes:

P-Delta Parameters

☒ Shear Couple

☐ Equal End Moments

☐ Advanced

Modify/Show...

Total Mass and Weight

Mass: 0.0

Weight: 0.0

Rotational Inertia 1: 0.0

Rotational Inertia 2: 0.0

Rotational Inertia 3: 0.0

Factors For Line, Area and Solid Springs

Property is Defined for This Length In a Line Spring

Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
☒ U1	☐	☐	Modify/Show for U1...
☒ U2	☐	☒	Modify/Show for U2...
☒ U3	☐	☒	Modify/Show for U3...

Fix All

Clear All

Stiffness Options

Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases: Effective Stiffness from Zero, Else Nonlinear

Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping: Initial Stiffness (K0)

Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor: $\eta = 0.61$

OK

Cancel

b) Kauçuk sönümleyici özelliklerinin tanımlanması

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: LN1

Direction: U1

Type: Rubber Isolator

NonLinear: No

Properties Used For All Analysis Cases

Effective Stiffness: $k_e = 480411.9$

Effective Damping: $\beta_e = 0.217$

OK

Cancel

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: LN1

Direction: U2

Type: Rubber Isolator

NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: 405.693

Effective Damping: 0.217

Shear Deformation Location

Distance from End-J: $d_y = 0.034$

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases

Stiffness: $k_2 = 276.3914$

Yield Strength: $F_y = 115.6$

Post Yield Stiffness Ratio: $k_2/k_1 = 0.08$

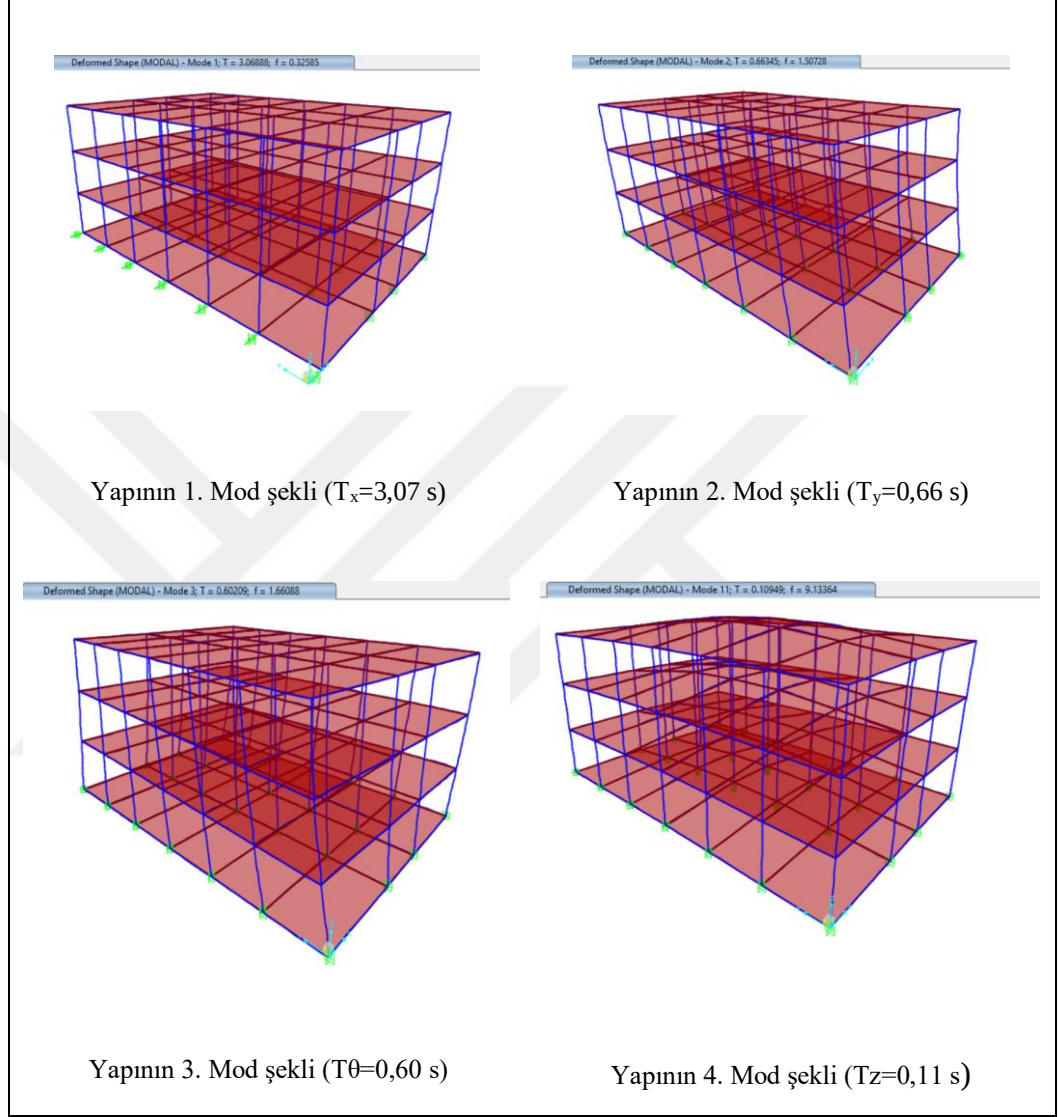
OK

Cancel

c) Düşey ve yatay rijitlik parametrelerinin tanımlanması

Şekil 5.21 (devam): Yalıtım birimi özelliklerinin SAP2000 yazılımında tanımlanması

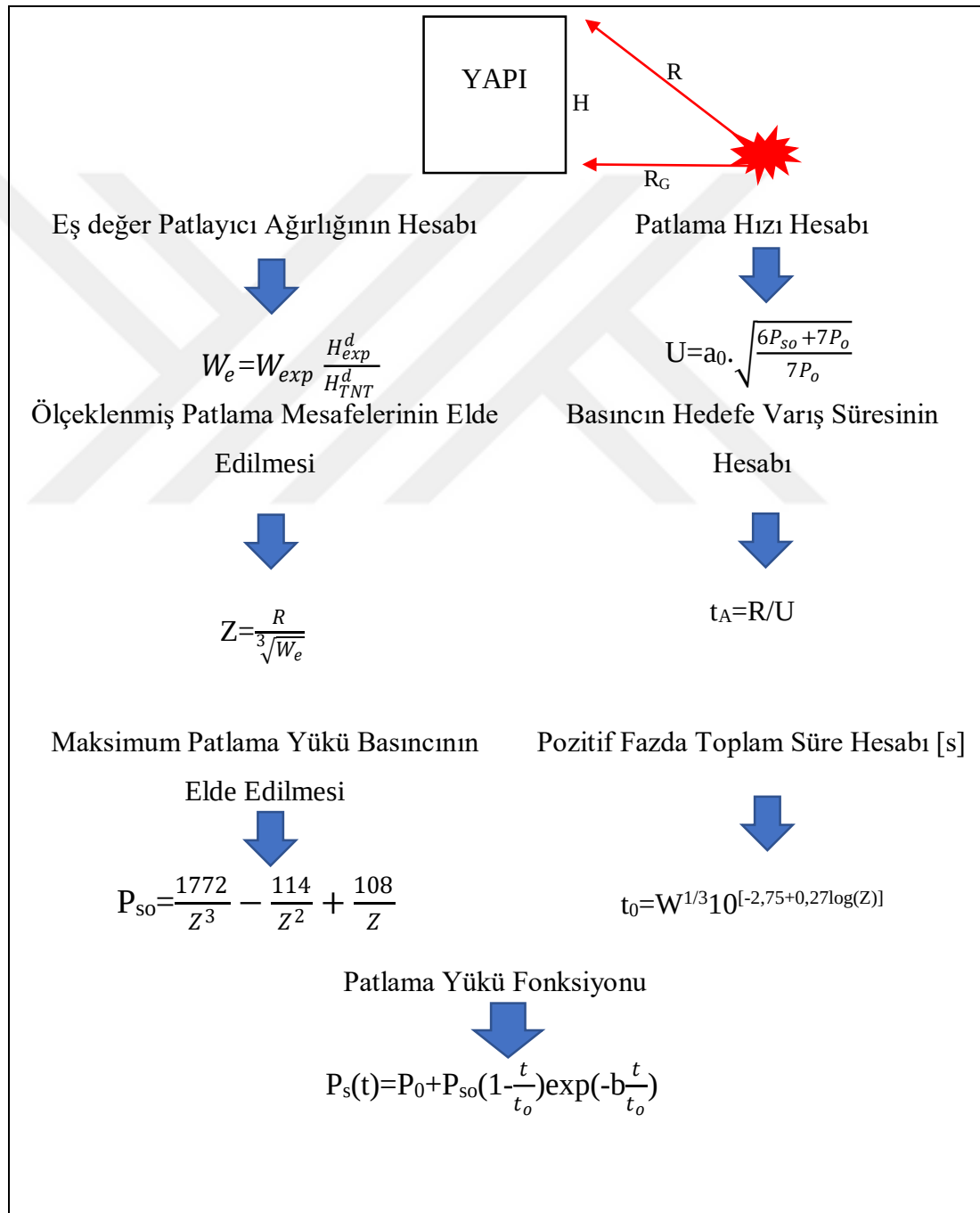
Yalıtım birimi parametrelerinin tanımlanmasının sonucunda yapıda bir modal analiz gerçekleştirilmiş ve bina periyodu kontrol edilmiştir. Sismik yalıtımsız yapı periyodu 0,62 s iken sismik yalıtımlı yapı periyodu 3.06 s'ye çıkartılmıştır (Şekil 5.22):



Şekil 5.22: Sismik yalıtımlı yapı mod şekilleri

5.4. Patlama Yükünün Tasarımı ve Maksimum Patlama Basınçlarının Elde Edilmesi

Yapı modelinin tamamlanmasının ardından yapıya etki ettirilecek yüklerin modellenmesi ve etki ettirilmesi gerekmektedir. Patlama yükü profilinin zamana bağlı profilinin elde dilmesinde Friedlander denkleminin yararlanılmıştır. Friedlander denkleminin parametrelerinin belirmesi de bir dizi aşamadan oluşmaktadır (Şekil 5.23).

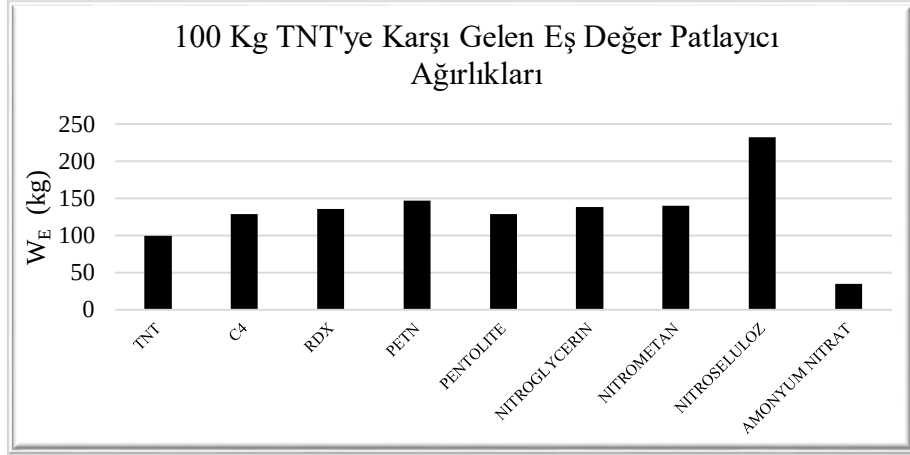


Şekil 5.23: Patlama yükü fonksiyonunun belirlenmesi

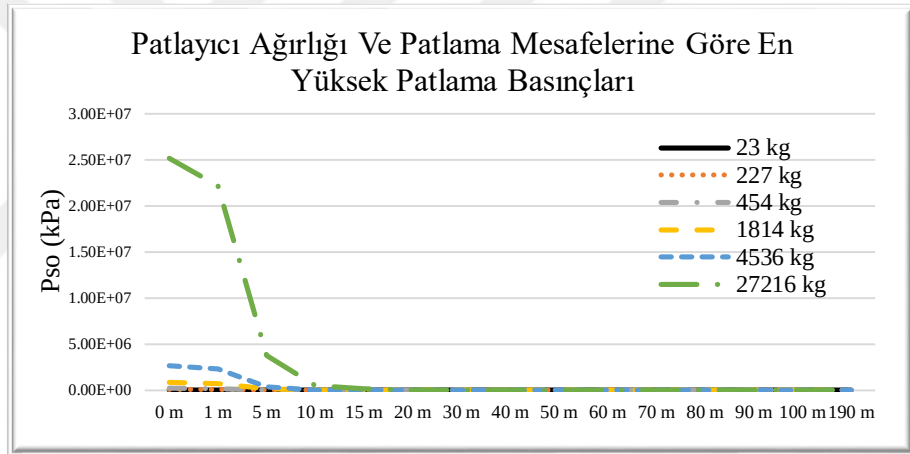
Friedlander denklemi ile elde edilen patlama yükü modelinden yararlanılarak patlayıcı ağırlığı ve patlama mesafelerine göre elde edilen maksimum patlama basıncı değerleri Tablo 5.6’ da verilmiştir. Aynı zamanda birim patlayıcı olarak ifade edilmek üzere çeşitli patlayıcıların 100 kg TNT’ ye eş değeri hesap edilmiştir (Şekil 5.24). Tablo 5.6’ da verilen değerler Şekil 5.25’ te tüm patlayıcılar grafik olarak gösterilmiş, ayrıca her bir patlayıcının mesafeye göre etkileri Şekil 5.26–5.31’ de verilmiştir:

Tablo 5.6: Patlayıcı ağırlığı ve mesafelere bağlı maksimum patlama basıncı (kPa) değerleri

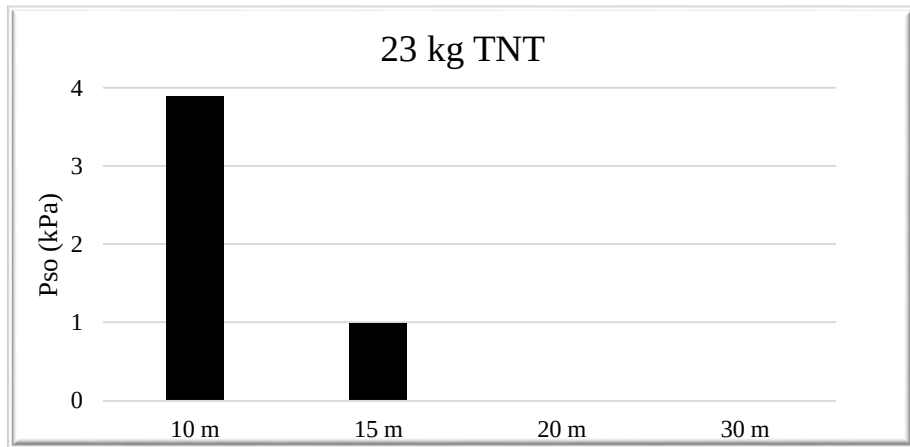
	23 kg	227 kg	454 kg	1814 kg	4536 kg	27216 kg
0 m	3188,48	82615,09	199484,30	836024,98	2653736,45	25187352
1 m	2802,66	52631,47	127312,30	736450,07	2338603,20	22206358
5 m	415,34	8691,83	21129,24	123872,24	396264,18	3796096
10 m	3,89	1105,89	2724,43	16089,28	51978,12	506400,70
15 m	0,99	203,18	626,85	3891,58	12598,08	124343,80
20 m	0	20,58	156,33	1344,64	4387,58	43546,72
30 m	0	0,99	2,08	231,17	938,51	9523,78
40 m	0	0	0,99	23,97	259,56	3192,39
50 m	0	0	0	1,34	56,75	1351,64
60 m	0	0	0	0,99	6,56	646,66
70 m	0	0	0	0	1,14	320,23
80 m	0	0	0	0	1	151,22
90 m	0	0	0	0	0,99	62,82
100 m	0	0	0	0	0	21,36
190 m	0	0	0	0	0	0



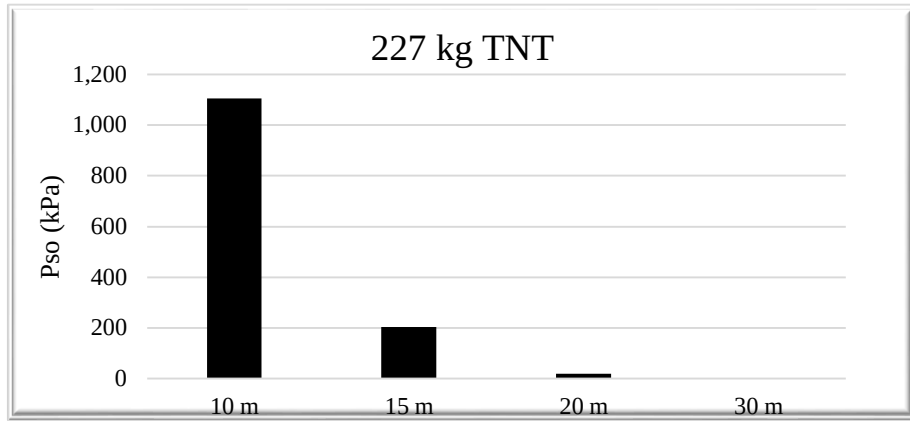
Şekil 5.24: 100 Kg TNT' ye karşı gelen eş değer patlayıcı ağırlıkları



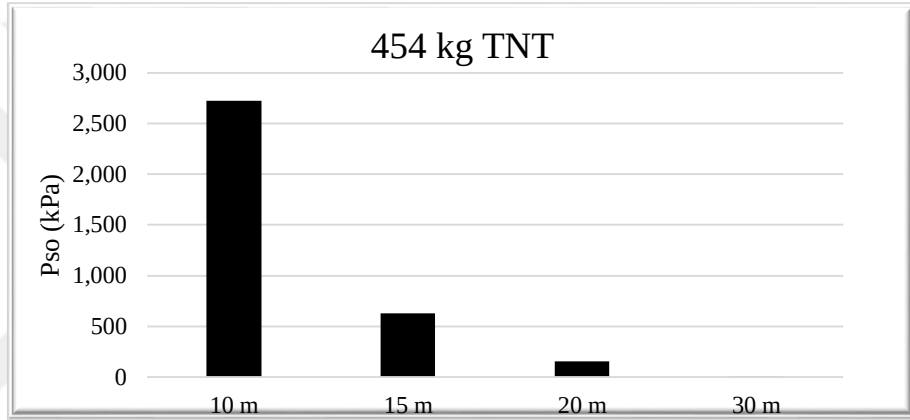
Şekil 5.25: Patlayıcı ağırlığı ve patlama mesafelerine göre en yüksek patlama basınçları



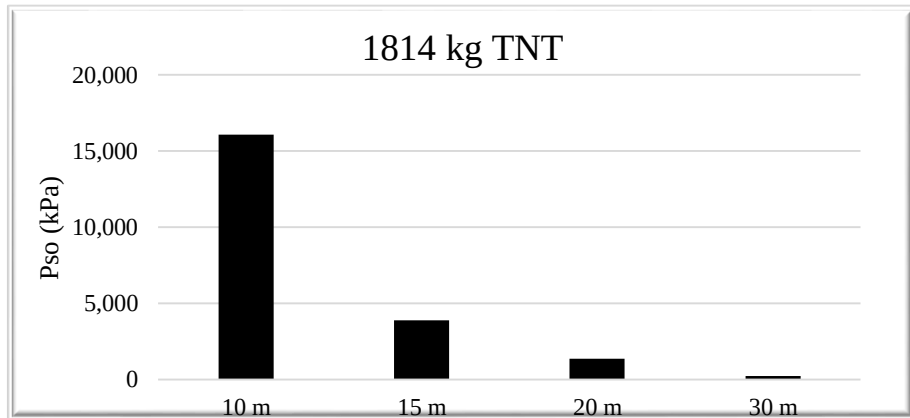
Şekil 5.26: 23 kg TNT' nin mesafelere göre yapıya etkisi



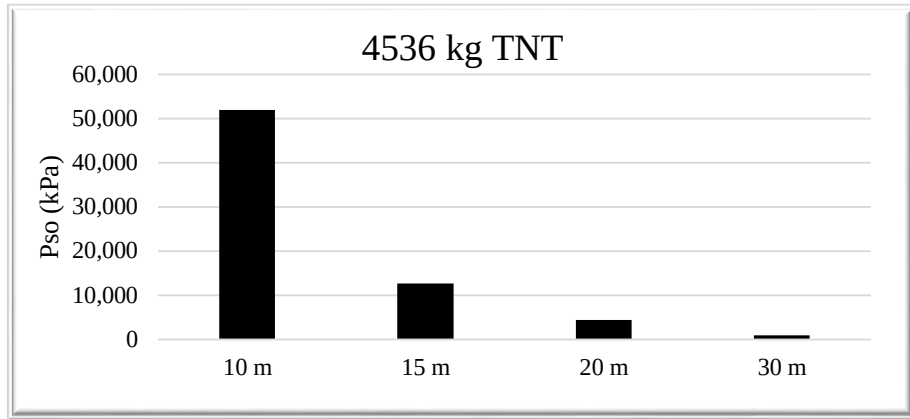
Şekil 5.27: 227 kg TNT' nin mesafelere göre yapıya etkisi



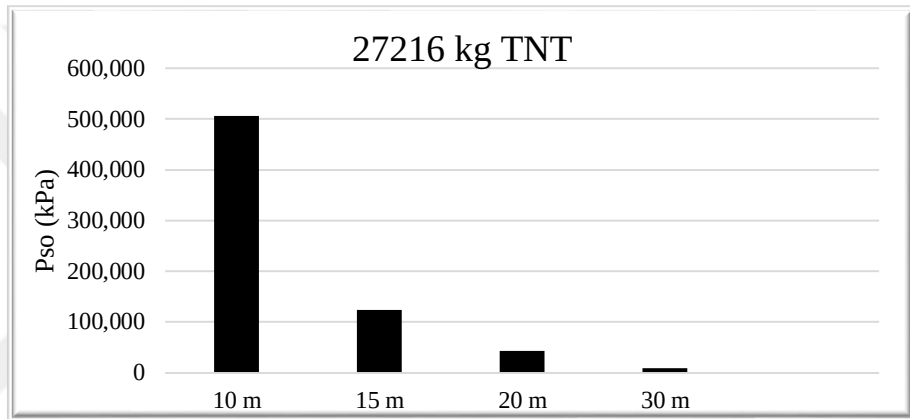
Şekil 5.28: 454 kg TNT' nin mesafelere göre yapıya etkisi



Şekil 5.29: 1814 kg TNT' nin mesafelere göre etkisi



Şekil 5.30: 4536 kg TNT' nin mesafelere göre etkisi



Şekil 5.31: 27216 kg TNT' nin mesafelere göre etkisi

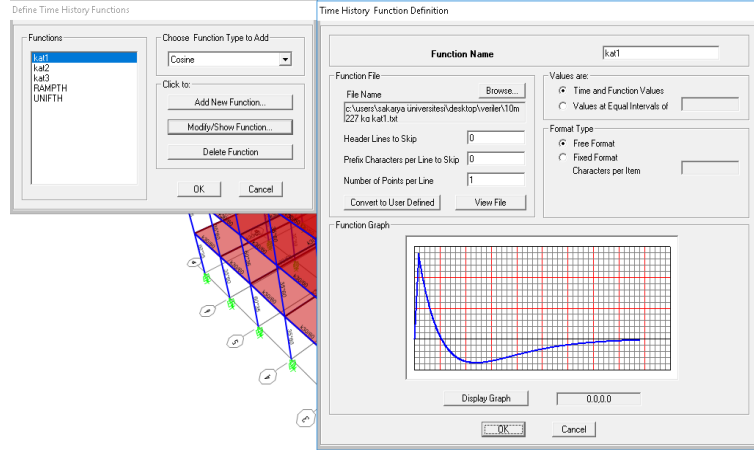
Tablo 5.7' de patlayıcı kapasitesi, bir araca makul bir şekilde sığabilecek maksimum malzeme miktarına dayanarak verilmiş olan ortalama TNT eş değer ağırlığını ifade etmektedir. Zorunlu tahliye mesafeleri betonarme olmayan bir binanın ağır hasar görmesine veya çökmesine karşı koyabilecek mesafeleri ifade etmektedir. Hesaplanan mesafeler, Kanada Ulaştırma Bakanlığının Acil Müdahale Kılavuzundan alınan değerlere oranla düşük çıkmıştır. Patlama noktasına emniyetli mesafeler, parçaların fırlayarak etrafa saçıldığı, etrafında canlıların bulunmaması gereken tehlikeli bölgeyi ifade etmektedir (Emergency Response Guidebook, 2016).

Tablo 5.7: Zorunlu tahliye mesafelerinin hesaplanan değerlerle karşılaştırılması

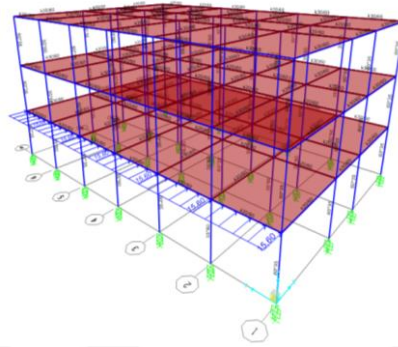
Patlayıcı kapasitesi	Zorunlu tahliye mesafeleri	Patlama noktasına emniyetli mesafe	Hesaplanan mesafeler
Çanta (23 kg)	46 m	47–563 m	20 m
Hatch-back (227 kg)	98 m	99–579 m	30 m
Sedan (454 kg)	122 m	123–731 m	50 m
Minibüs (1814 kg)	195 m	196–1158 m	80 m
Kamyonet/Yakıt Tankeri (4536 kg)	263 m	264–1554 m	100 m
Kamyon (27273 kg)	475 m	476–2834 m	190 m

5.4.1. Patlama yükünün yapı modeline etki ettirilmesi

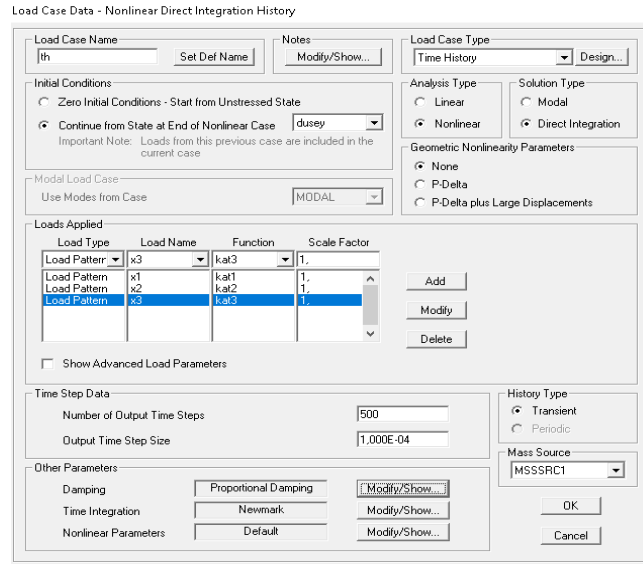
Yapıya zaman tanım alanında, kat seviyelerinde patlama yükleri etki ettirilmiştir (Şekil 5.32.a). Birim alana düşen kuvvetlerin etki ettirilmesi amacıyla katlara alan bazında giriş bölgelerinde toplanmış bir statik yükleme yapılmıştır (Şekil 5.32.b). Yük tanımlamaları SAP 2000 yazılımında Load Case Data bölümünde tanımlanmıştır (Şekil 5.32.c):



a) 10 metre mesafede 1. kat için patlama yükü fonksiyonunun tanımlanması



b) Dinamik yüklemelere esas 1. kata ait birim yükleme

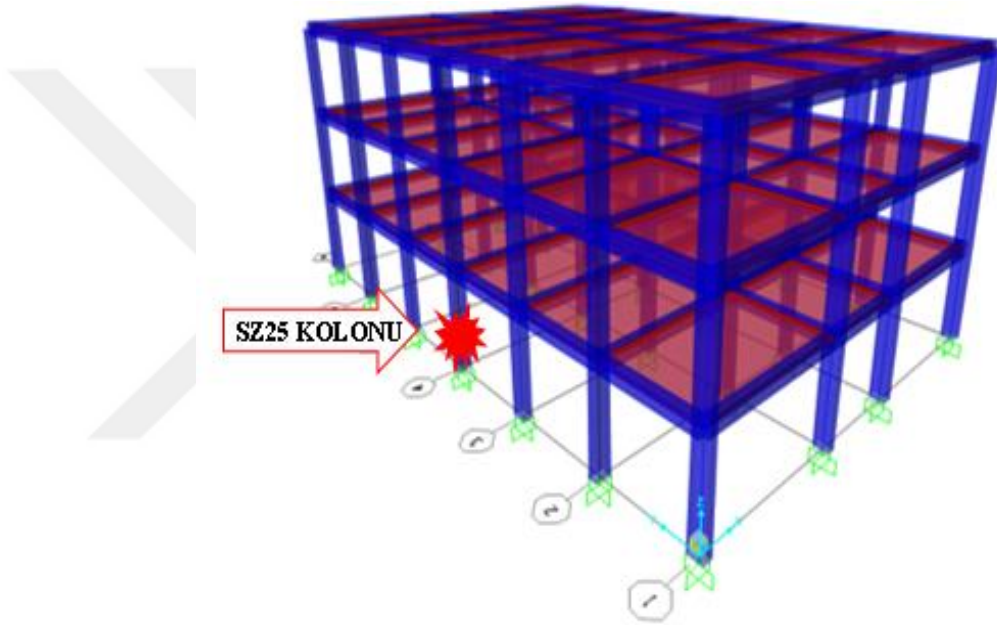


c) Patlama yük durumunun tanımlanması

Şekil 5.32: 10 metre mesafede 1. kat için patlama yükü fonksiyonunun tanımlanması

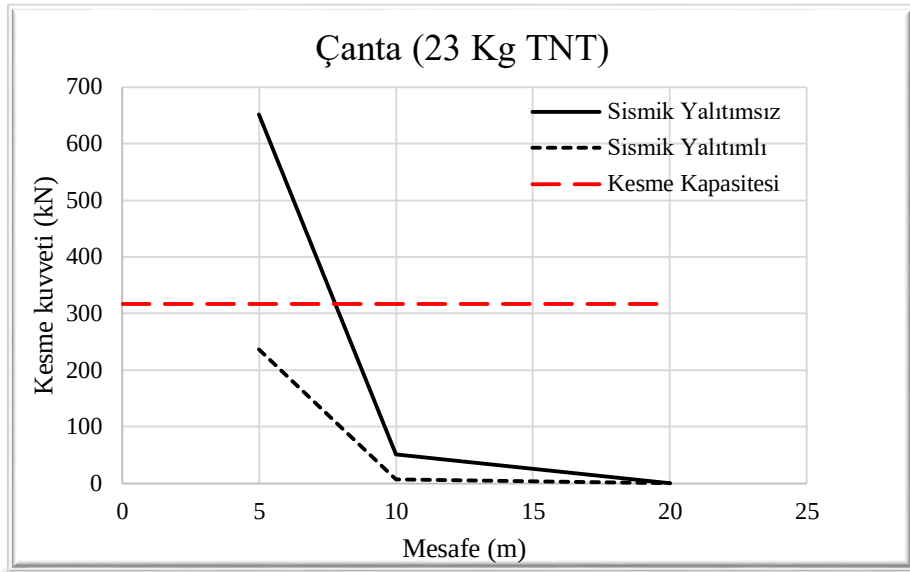
5.4.2. Etki/kapasite hesabı

Patlama etkileri mesafe ile ters orantılıdır. Patlama noktasına en yakın konumda bulunan elemanlar maksimum patlama yükü basıncına maruz kalmaktadır. Bu çalışmada yapı sisteminde patlayıcıya en yakın kolon patlama yüzeyindeki orta bölgede bulunan SZ25 kolonudur (Şekil 5.33). Patlama kaynağı yüzeyden etki ettiğinden zemin kat patlama basıncına daha önce maruz kalacaktır. SZ25 Kritik kolonunun kesme kapasitesi $V_r=316.42$ kN olarak hesap edilmiştir.

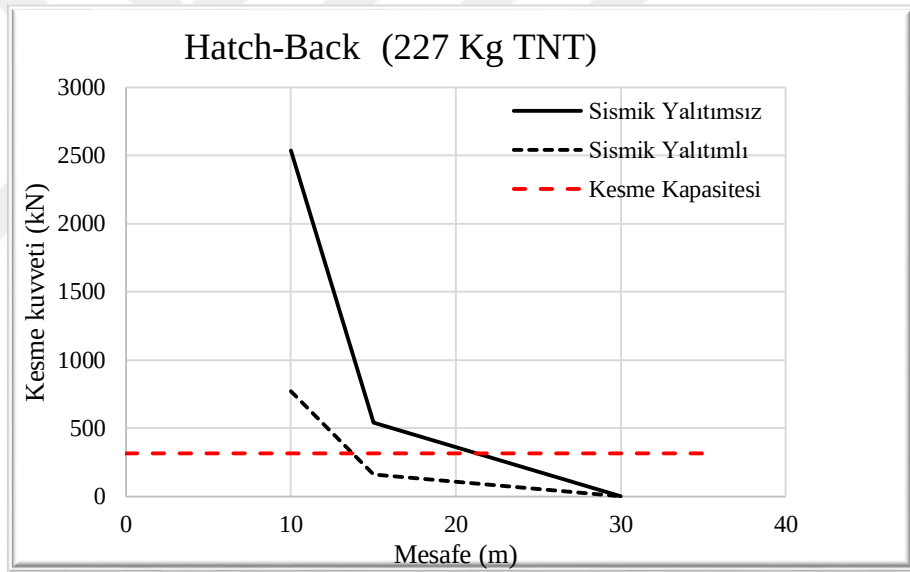


Şekil 5.33: Patlayıcıya en yakın konumda bulunan SZ25 kolonu

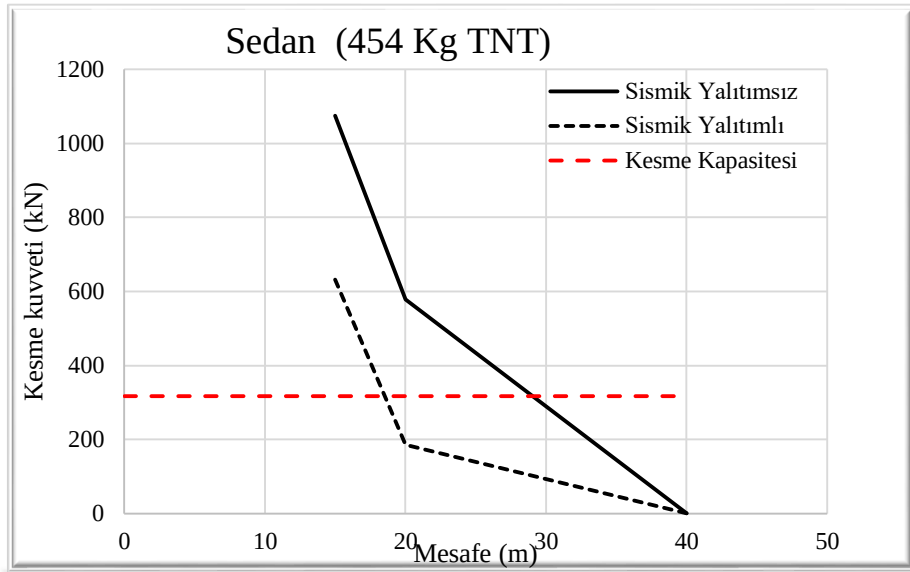
Kolon kesme kapasitesinin elde edilmesinden sonra yapıya farklı patlayıcı ağırlıklarda patlama etkileri uygulanmıştır. Patlayıcı ağırlıkları Kanada ulaştırma bakanlığının sınıflandırdığı şekilde seçilmiştir. Ayrıca Kanada Ulaştırma Bakanlığı'nın tanımladığı patlayıcı türleri ve ağırlıklarına göre tahliye mesafelerinden yararlanılmıştır. Burada ifade edilen mesafeler patlama etkileri altında insanların tahliye edilmesi gereken güvenli mesafelerdir ancak bu çalışmada binanın yapısal güvenliğine dikkat çekilmiştir. Hedef, binanın çökmeden ayakta tutulmasıdır. Patlama etkileri 2 farklı mesafede uygulanmıştır ve patlayıcının etkisini yitirdiği mesafeler belirtilmiştir. Hesap edilen değerler Şekil (5.34–5.39) arasında verilmiş olup sismik yalıtımlı ve sismik yalıtımsız yapılara ait grafikler bir arada Şekil 40 ve Şekil 41' de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur:



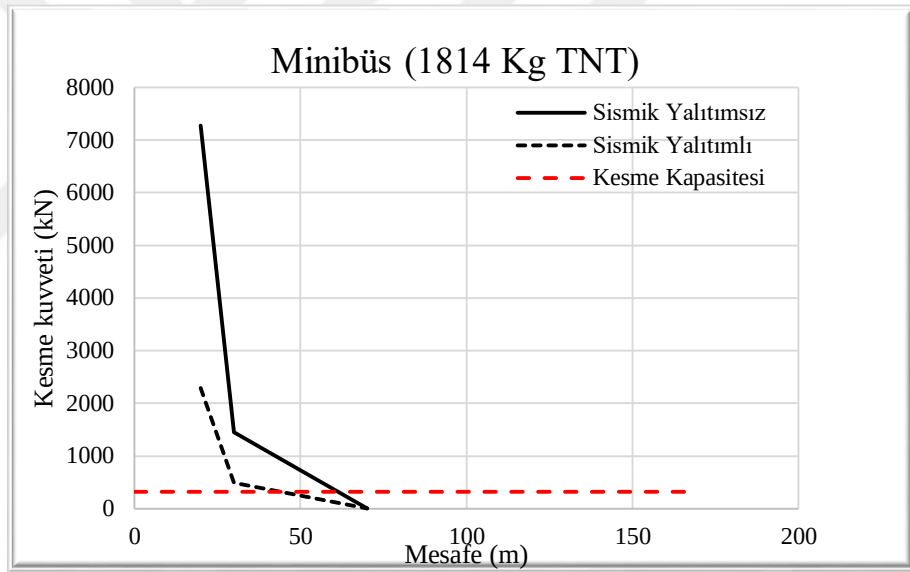
Şekil 5.34: 23 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri



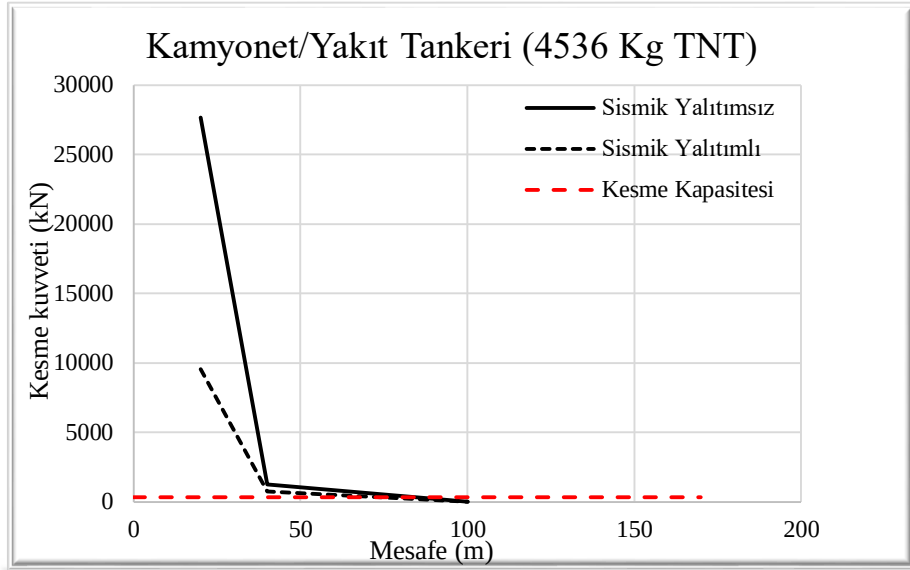
Şekil 5.35: 227 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri



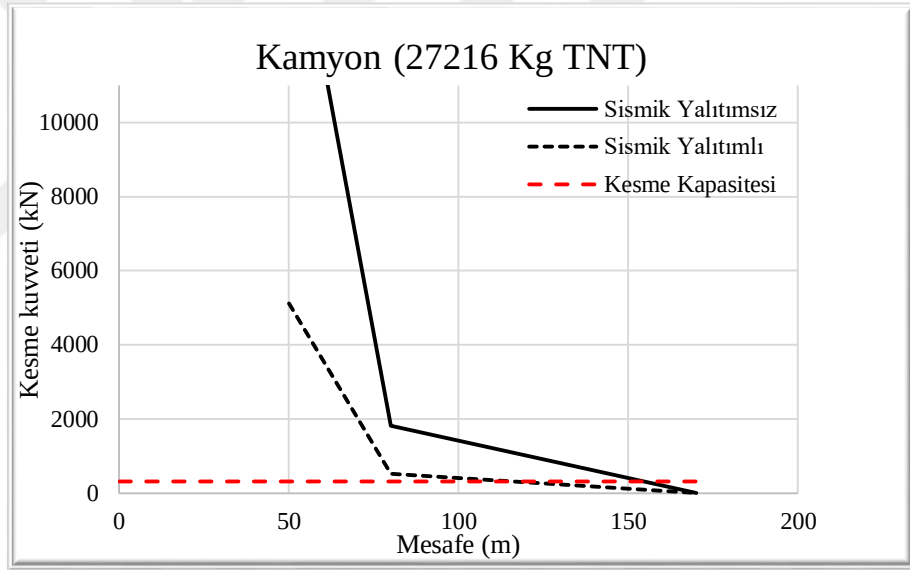
Şekil 5.36: 454 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri



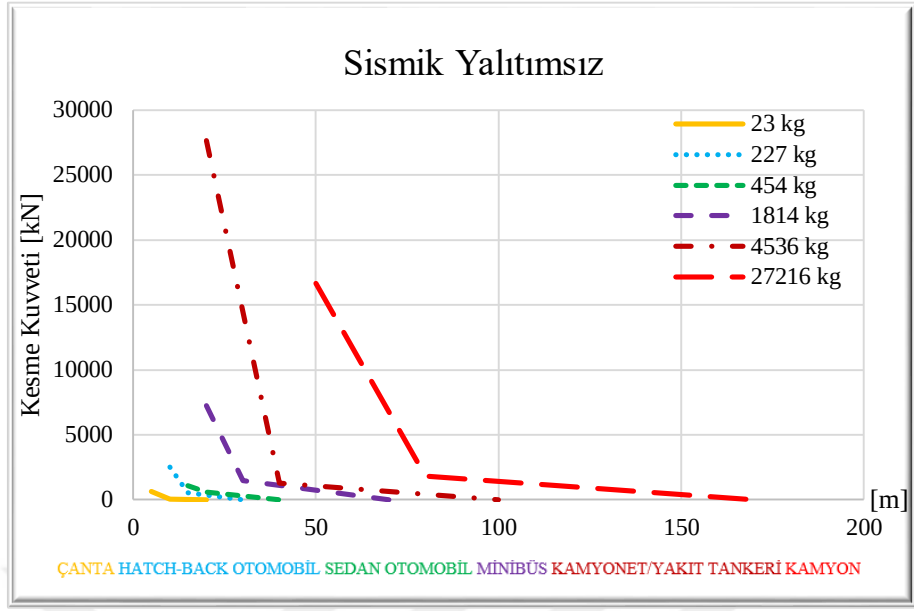
Şekil 5.37: 1814 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri



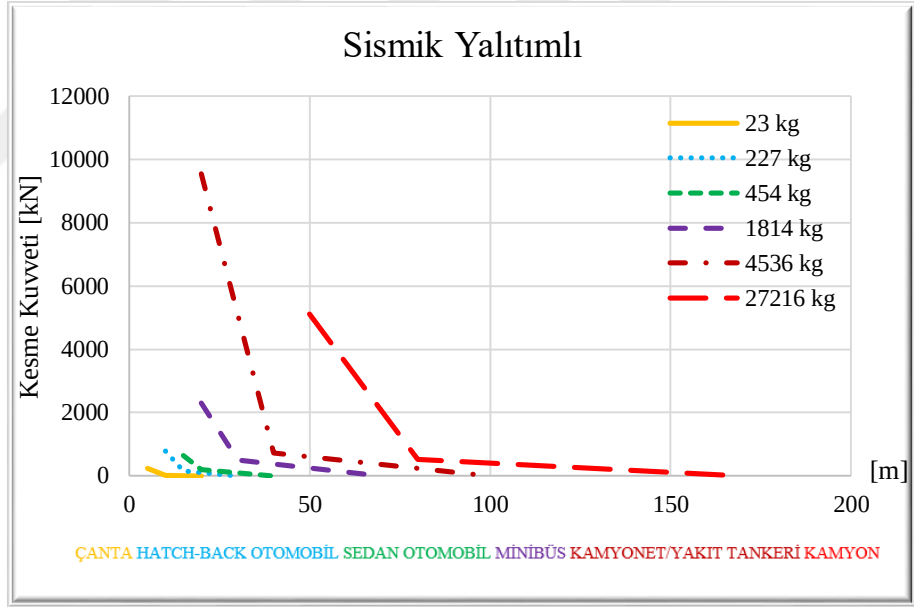
Şekil 5.38: 4536 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri



Şekil 5.39: 27216 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri

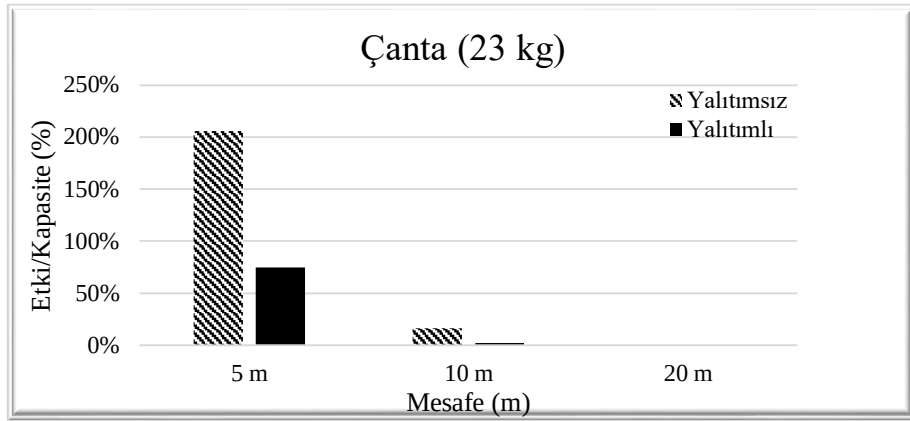


Şekil 5.40: Sismik yalıtımsız yapıda patlayıcı ağırlıklarına göre SZ25 kolonunun kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

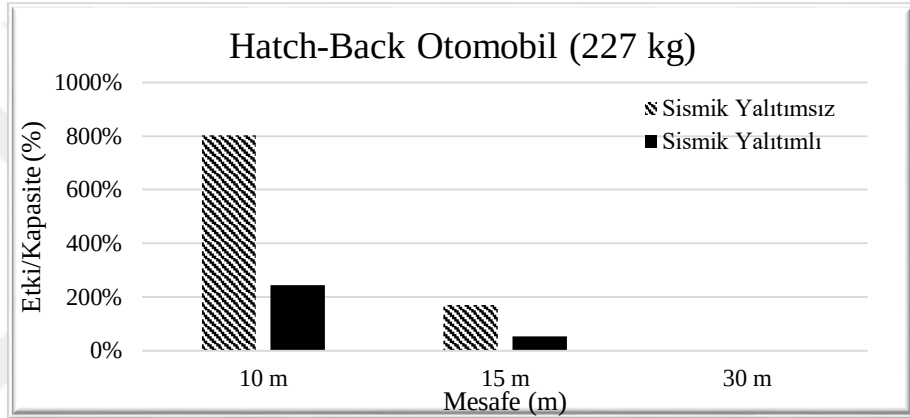


Şekil 5.41: Sismik yalıtımlı yapıda patlayıcı ağırlıklarına göre SZ25 kolonunun kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

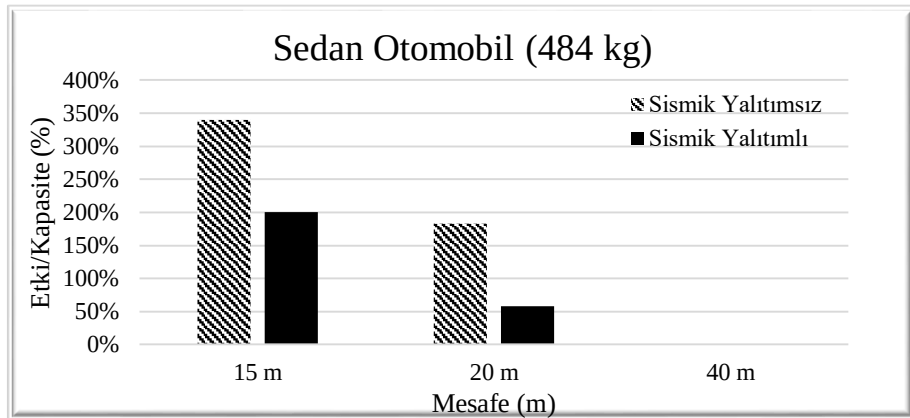
3 farklı mesafe için, SZ25 kolonuna ait etki/kapasite oranları Şekil 5.42–5.47’ de verilmiştir:



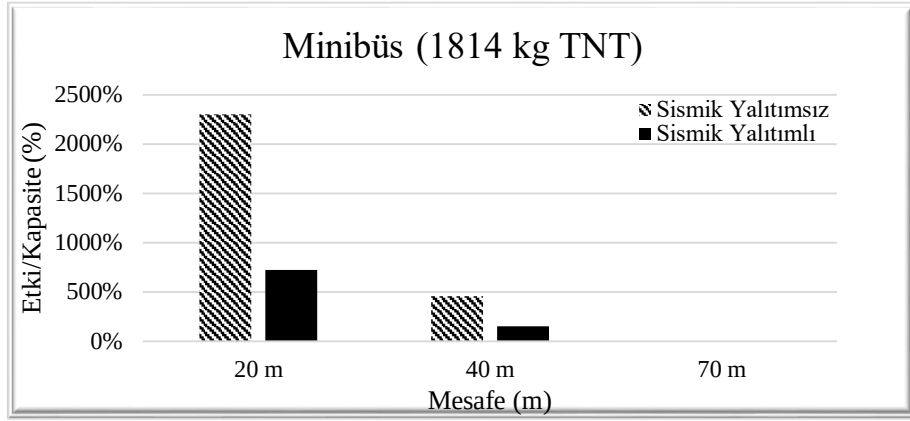
Şekil 5.42: 23 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu Etki/Kapasite oranları



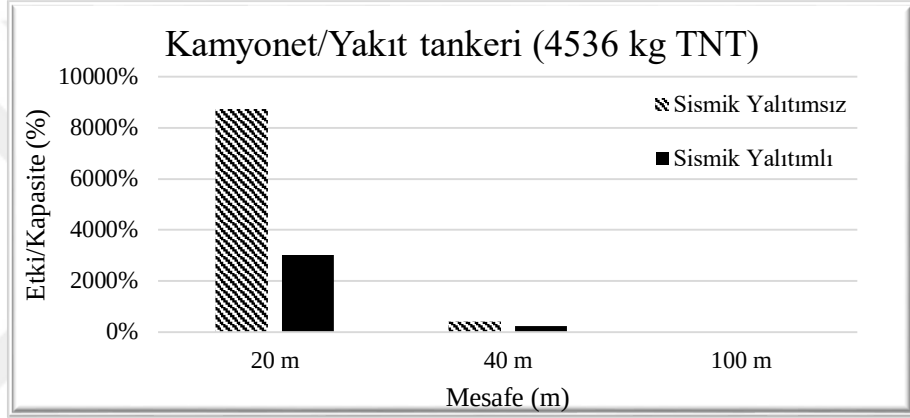
Şekil 5.43: 227 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu Etki/Kapasite oranları



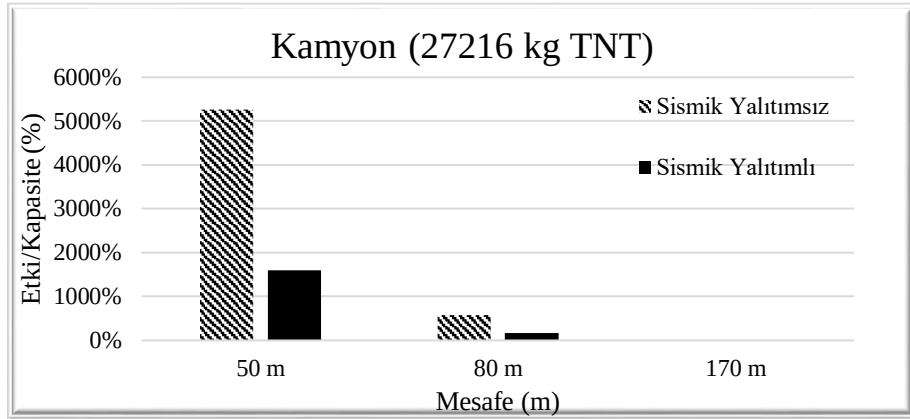
Şekil 5.44: 484 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu Etki/Kapasite oranları



Şekil 5.45: 1814 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu Etki/Kapasite oranları



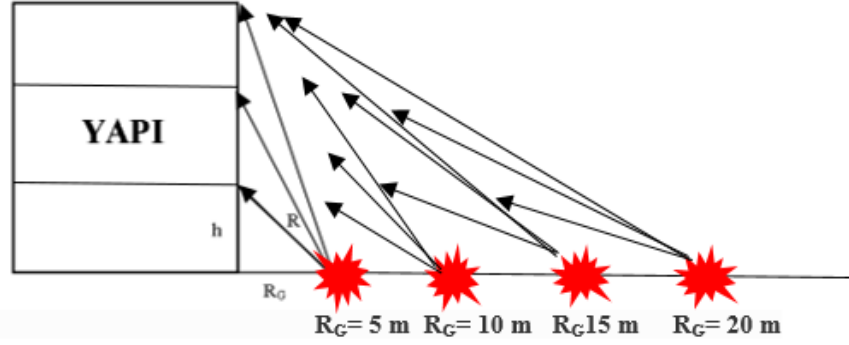
Şekil 5.46: 4536 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu Etki/Kapasite oranları



Şekil 5.47: 27216 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu Etki/Kapasite oranları

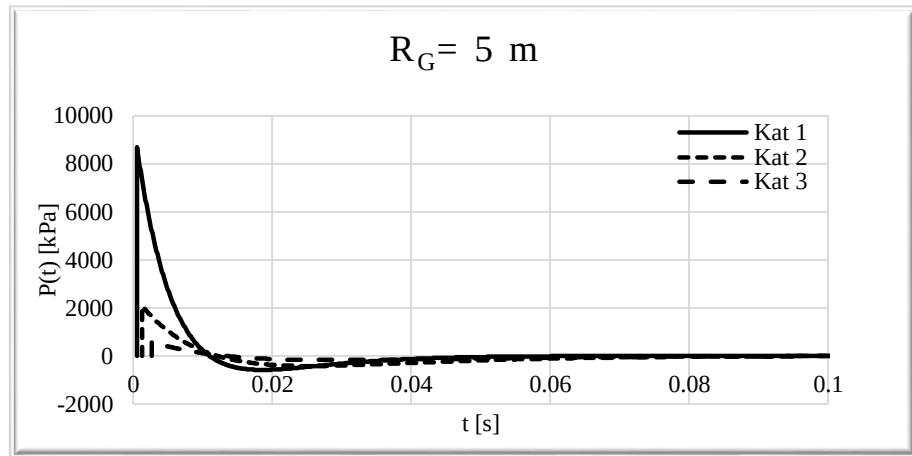
5.5. Patlamada Mesafe Etkisi

Bu çalışmada, Şekil 5.3’ te örneği verilen çerçeveli simetrik taşıyıcı sisteme sahip kat yüksekliği 3,80 metre olan 3 katlı betonarme bir yapı farklı mesafelerde 227 kg ağırlığa sahip bir TNT tipi patlayıcı ile patlama etkisine maruz bırakılmıştır (Şekil 5.48).

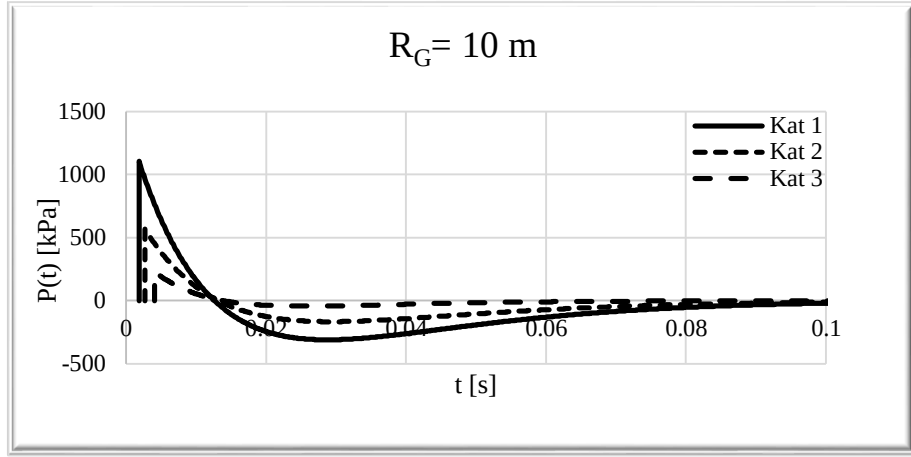


Şekil 5.48: Farklı mesafelerde patlama etkileri

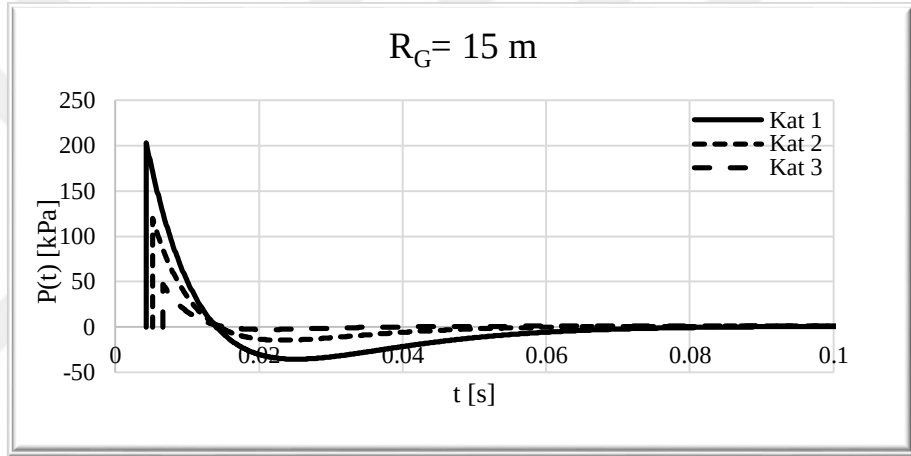
Hopkinson-Cranz yasasına göre, W_1 ağırlığındaki bir patlayıcının R_1 mesafesinde oluşturduğu basınç, W_2 ağırlığındaki bir patlayıcının R_2 mesafesinde olacaktır. Hopkinson-Cranz yasasına göre 5 metre 10 metre 15 metre ve 20 metre için hesap edilen ölçeklenmiş mesafeler ve 227 kg TNT ağırlığı için patlama yükü fonksiyonları Şekil 5.49–5.52’ de verilmiştir:



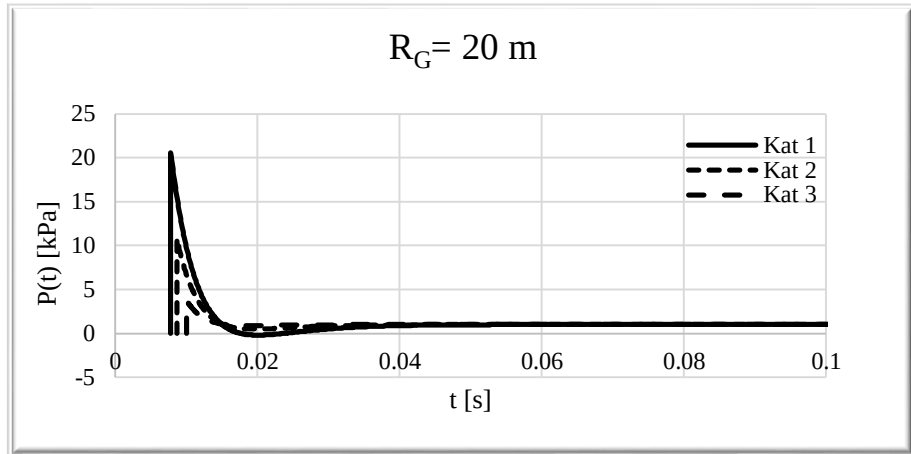
Şekil 5.49: Yapıya 5 m mesafeden etkileyen patlama yükü fonksiyonu grafiği



Şekil 5.50: Yapıya 10 metre mesafeden etkiyen patlama yükü fonksiyonu grafiği



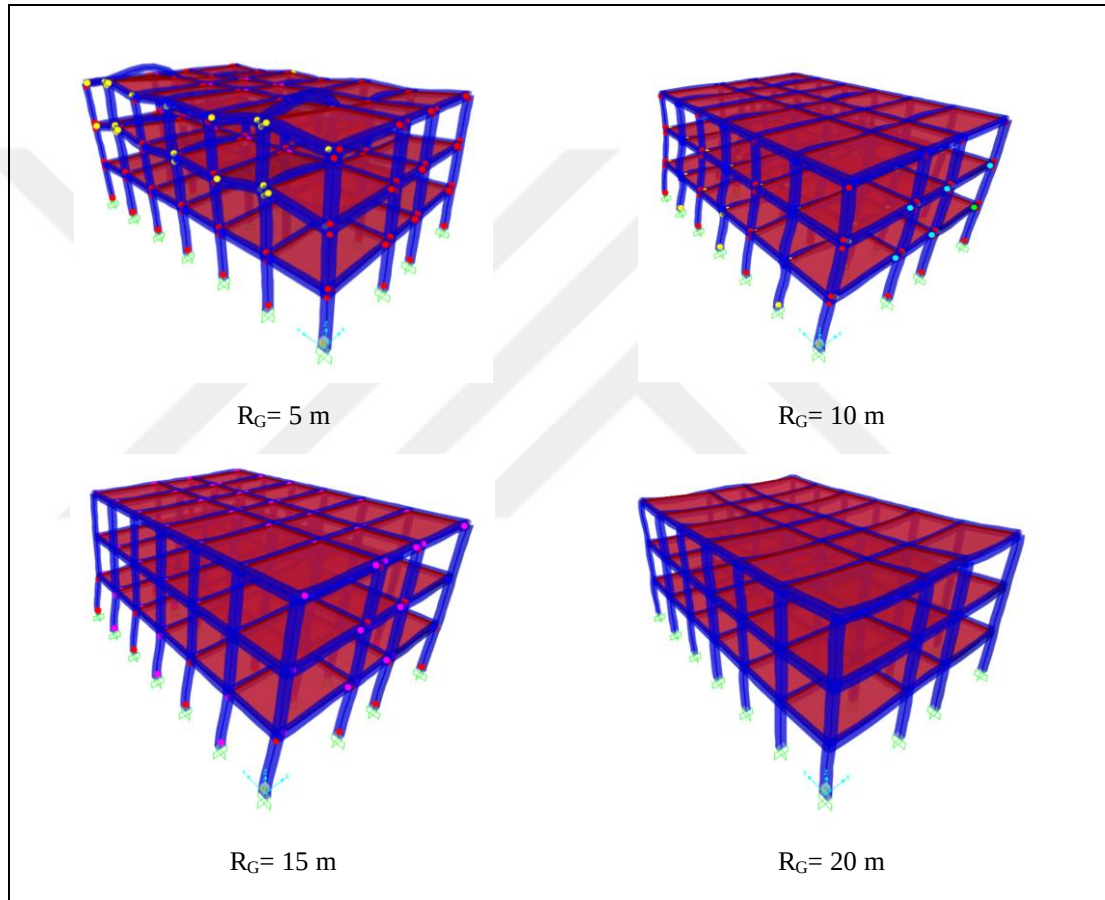
Şekil 5.51: Yapıya 15 metre mesafeden etkiyen patlama yükü fonksiyonu grafiği



Şekil 5.52: Yapıya 20 metre mesafeden etkiyen patlama yükü fonksiyonu grafiği

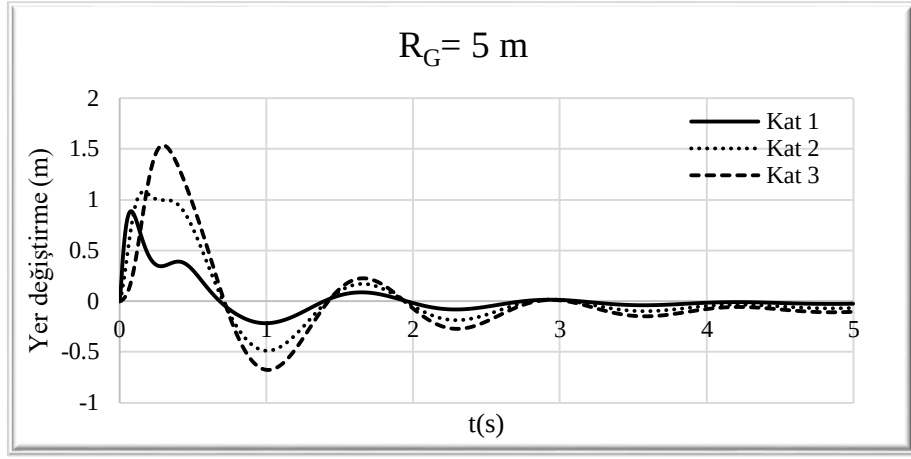
Patlama etkileri altında yapılar eleman bazında hasar almakta ve herhangi bir taşıyıcı elemanın yenilmesi ile göçme durumuna gelebilmektedir. Yapıların patlama etkileri altında davranışına yönelik göçme senaryoları oluşturularak patlamaya dayanıklı yapı tasarımına veya patlama sonucu yapının dayanımına yönelik yaklaşımlarda bulunmaktadır.

Şekil 5.53’ te 5 metre 10 metre 15 metre ve 20 metre mesafeden patlama yükü etki ettiğinde sismik yalıtımsız yapının davranışı $t = 0.05$ s için verilmiştir.

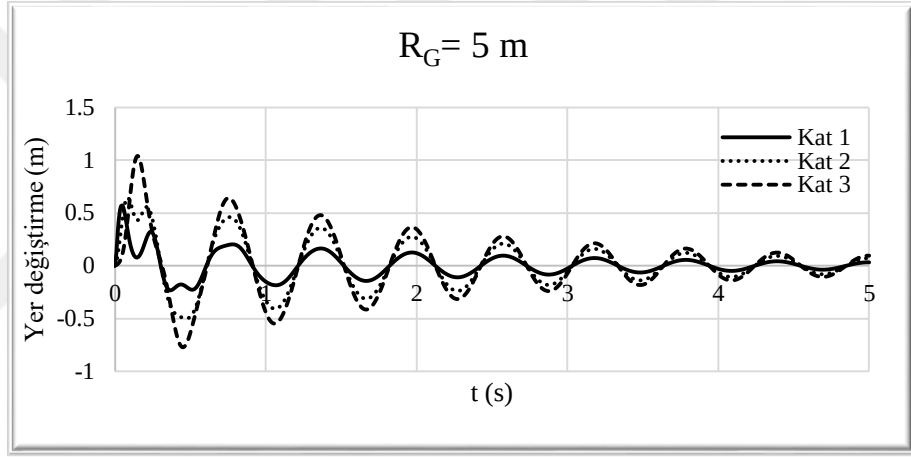


Şekil 5.53: Sismik yalıtımsız yapıda meydana gelen şekil değiştirmeler ($t = 0.05$ s)

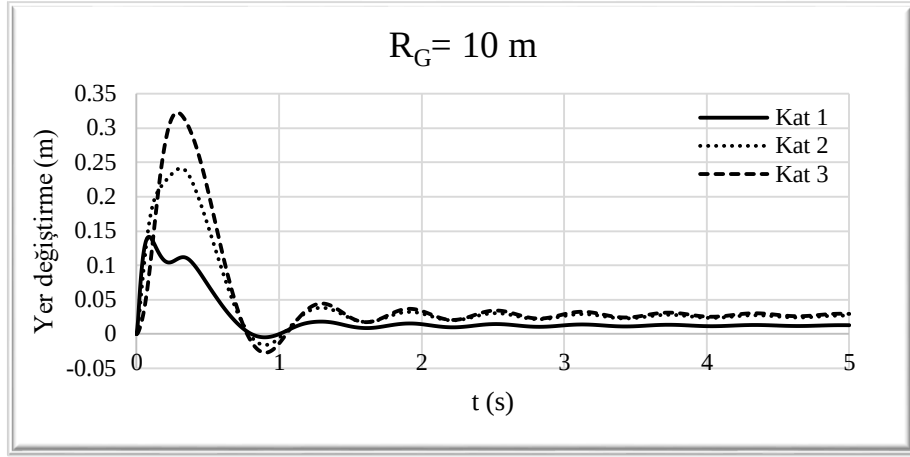
Şekil (5.54–5.61)’ de ise sismik yalıtımsız yapıda katların zamana bağlı yer değiştirmeleri doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlere göre elde edilen sonuçları verilmiştir. Şekil (5.62–5.67)’ de sismik yalıtımsız yapıda oluşan taban kesme kuvvetleri karşılaştırmalı olarak elde edilmiştir:



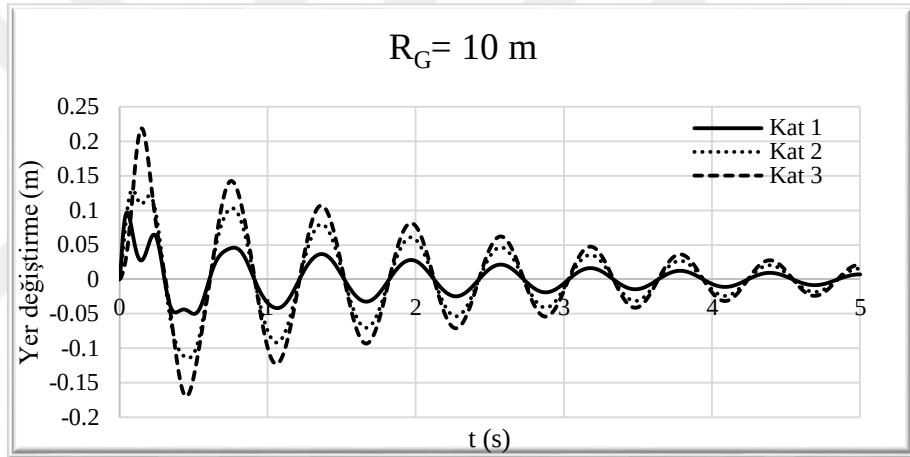
şekil 5.54: 5 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri



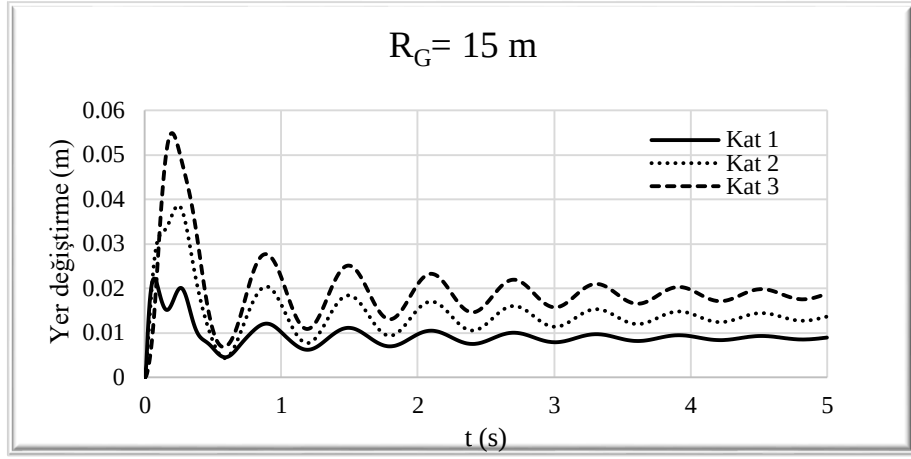
şekil 5.55: 5 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda katların zamana bağlı doğrusal hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri



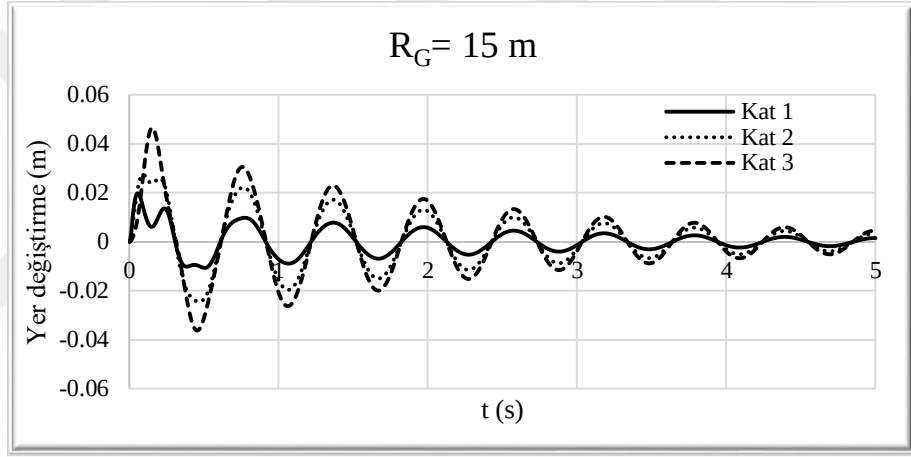
şekil 5.56: 10 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan hesap yöntemlerine göre yer değişirme değerleri



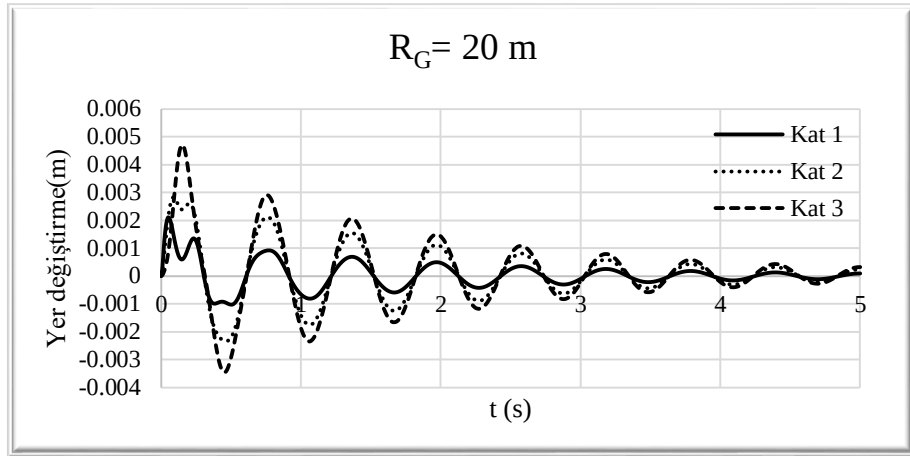
şekil 5.57: 10 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda katların zamana bağlı doğrusal hesap yöntemlerine göre yer değişirme değerleri



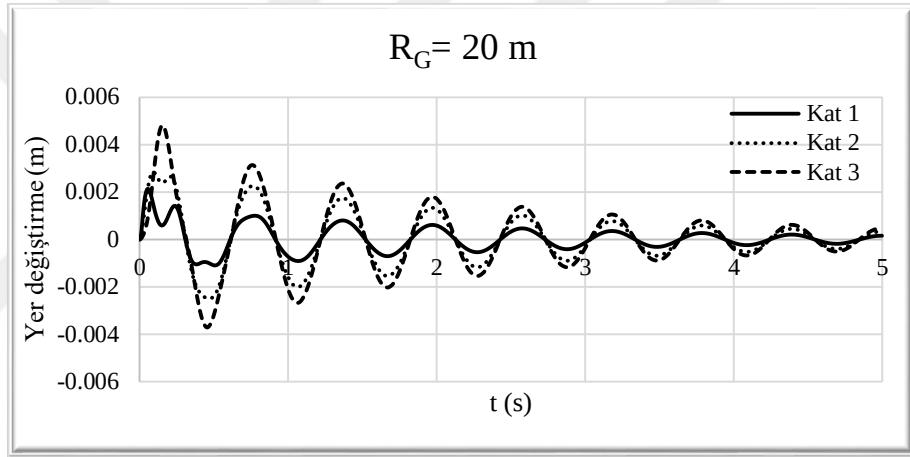
şekil 5.58: 15 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri



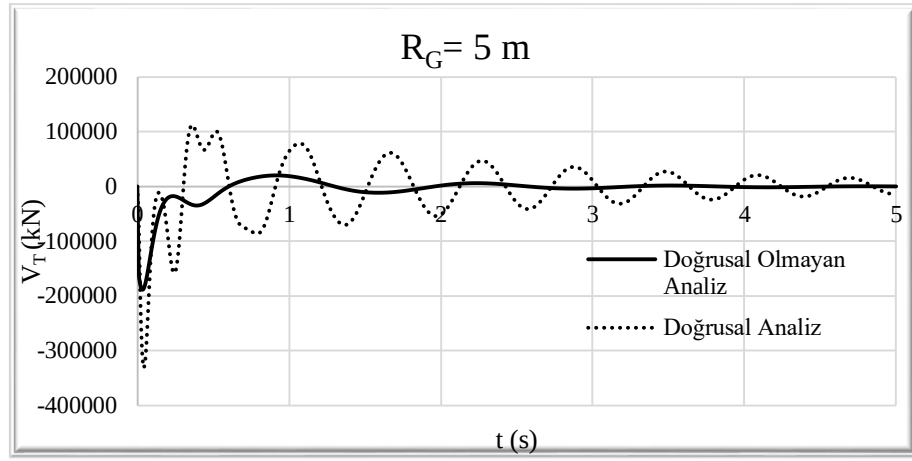
şekil 5.59: 15 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda katların zamana bağlı doğrusal hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri



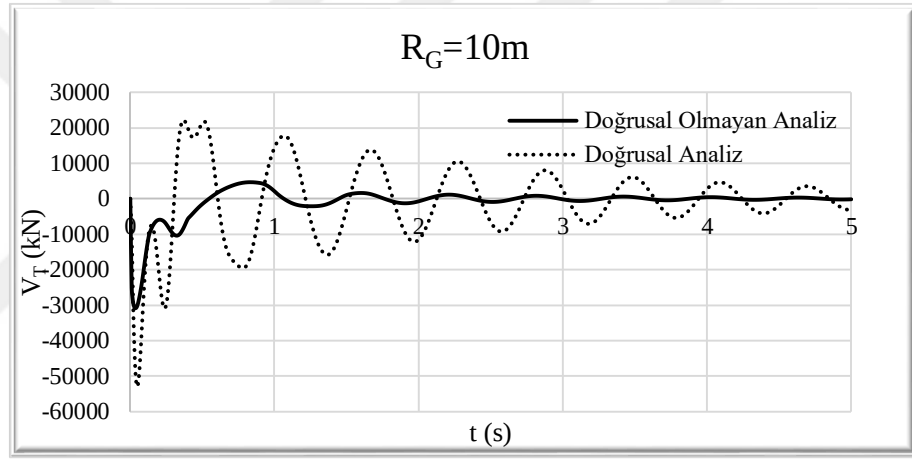
şekil 5.60: 20 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan hesap yöntemlerine göre yer değişirme değerleri



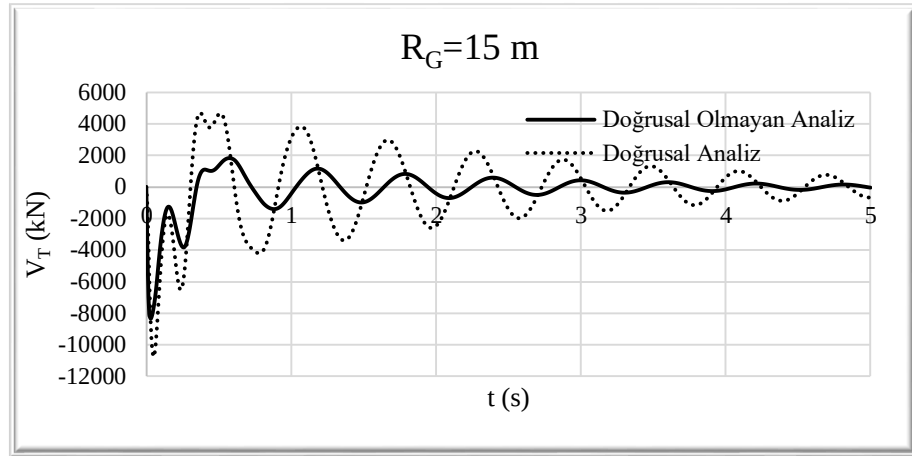
şekil 5.61: 20 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda katların zamana bağlı doğrusal hesap yöntemlerine göre yer değişirme değerleri



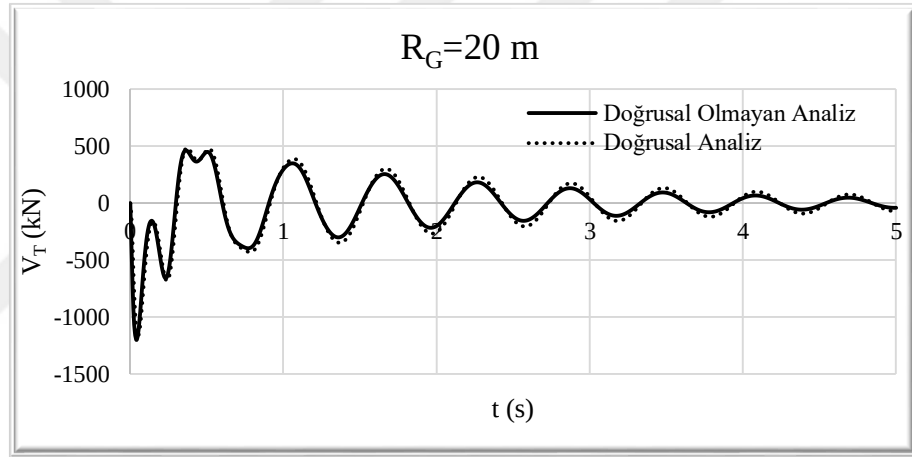
Şekil 5.62: 5 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda taban kesme kuvvetlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlere göre karşılaştırılması



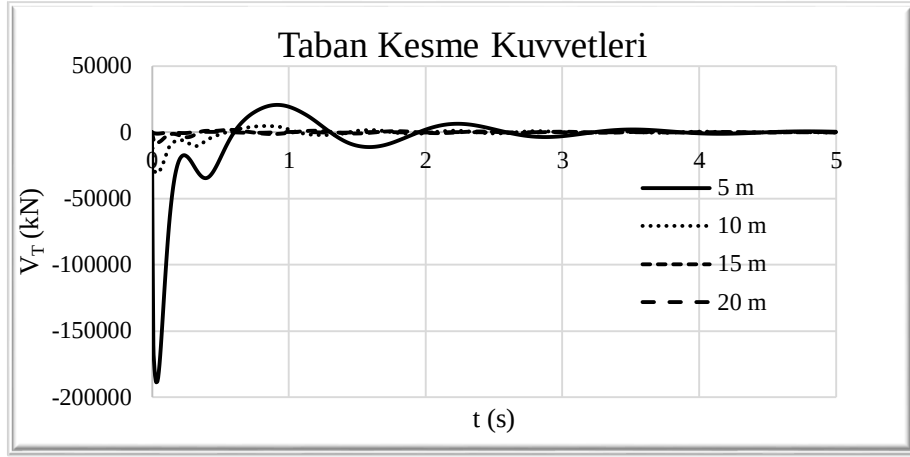
Şekil 5.63: 10 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda taban kesme kuvvetlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlere göre karşılaştırılması



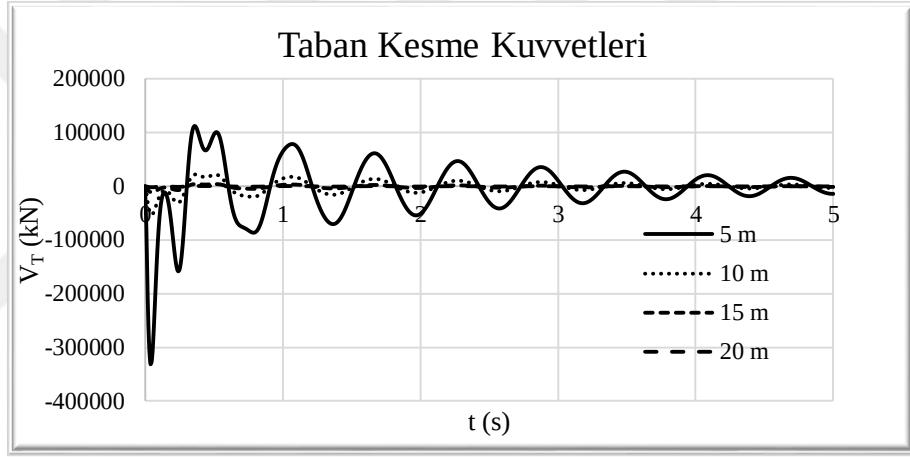
Şekil 5.64: 15 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda taban kesme kuvvetlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlere göre karşılaştırılması



Şekil 5.65: 20 m mesafede sismik yalıtımsız yapıda taban kesme kuvvetlerinin doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlere göre karşılaştırılması



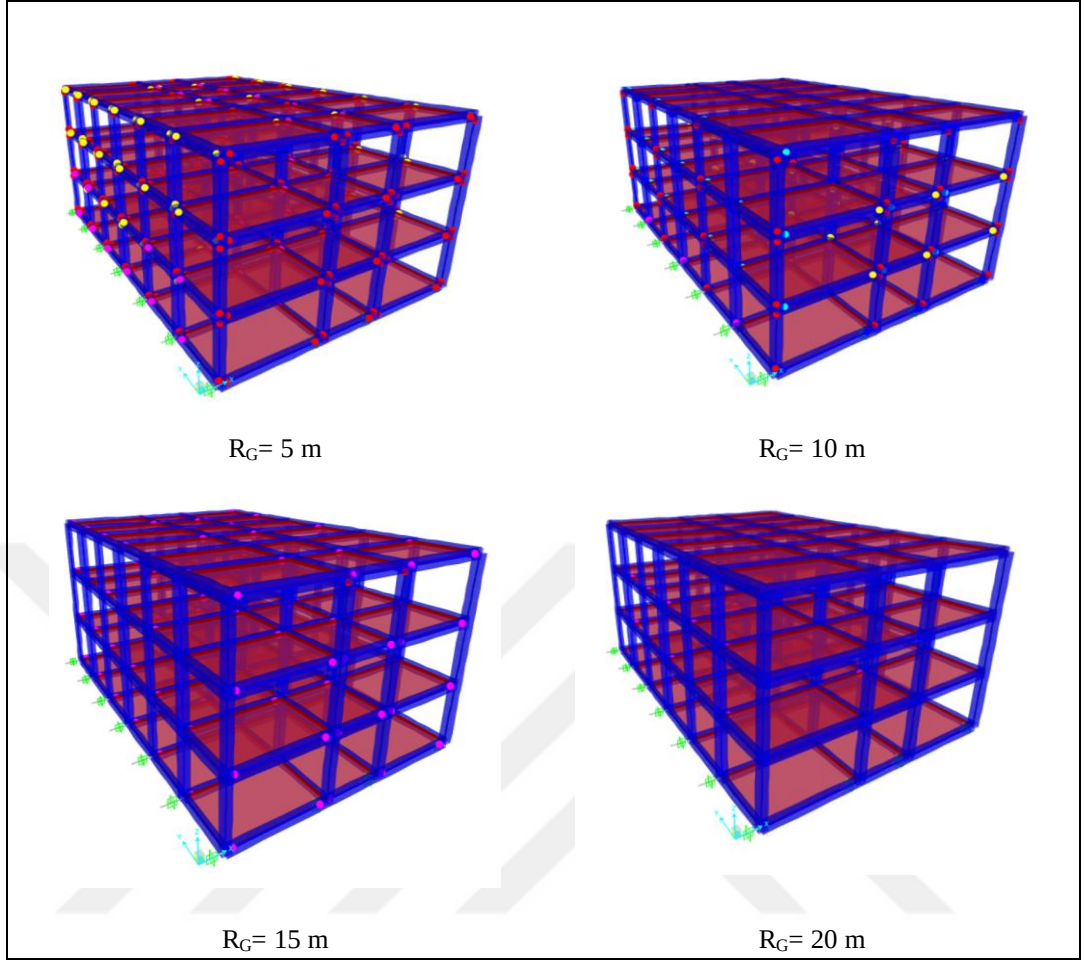
Şekil 5.66: Farklı mesafelerde patlama yüklemeleri etkileri altında sismik yalıtımsız yapıda meydana gelen taban kesme kuvvetlerinin doğrusal olmayan hesap yöntemlerine göre karşılaştırılması



Şekil 5.67: Farklı mesafelerde patlama yüklemeleri etkileri altında sismik yalıtımsız yapıda meydana gelen taban kesme kuvvetlerinin doğrusal hesap yöntemlerine göre karşılaştırılması

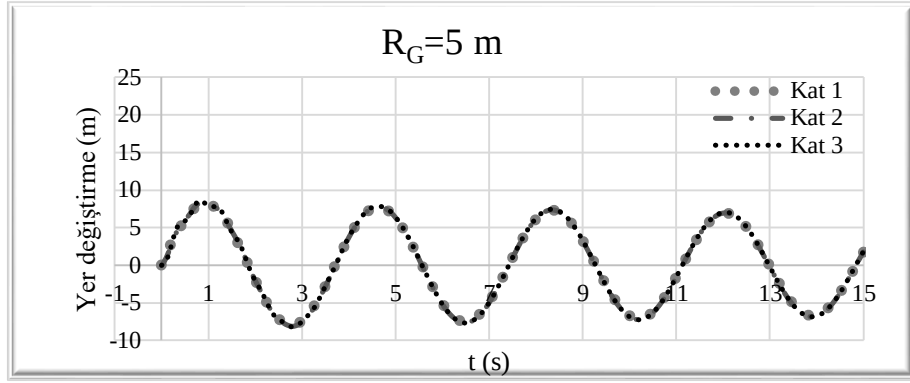
Sismik taban yalıtımında amaç yapıya gelen taban kesme kuvvetlerinin azaltılması ve görelî kat ötelemesi oranlarının azaltılarak yapının daha güvenli olmasını sağlamaktır.

Şekil 5.68' de 5 metre 10 metre 15 metre ve 20 metre mesafeden patlama yükü etki ettiğinde sismik yalıtımlı yapının davranışı $t = 0.05$ s için verilmiştir.

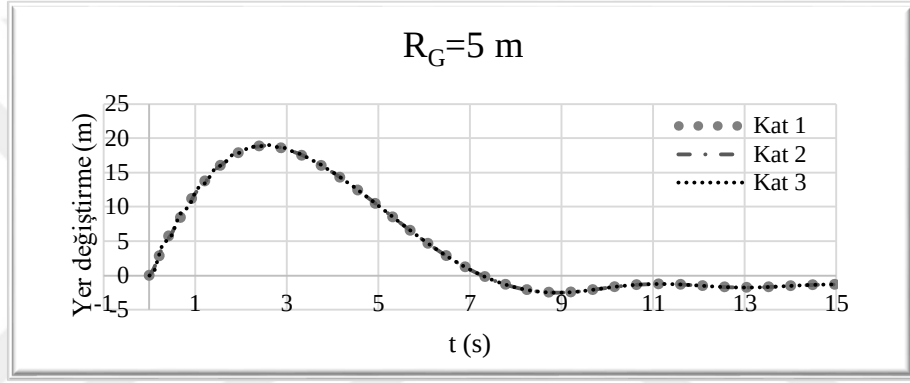


Şekil 5.68: Sismik yalıtımlı yapıda meydana gelen şekil değıştirmeler ($t = 0.05 \text{ s}$)

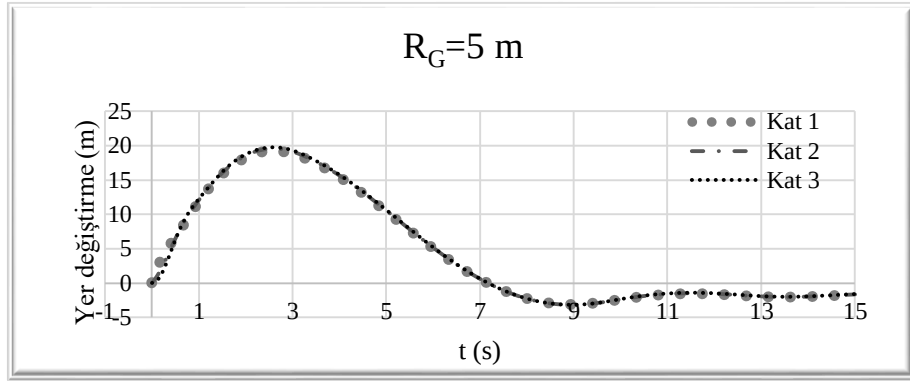
Şekil 5.69–5.80’ de ise sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağılı yer değıştirmeleri doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlere göre elde edilen sonuçları verilmiştir. Şekil (5.81–5.84)’ de sismik yalıtımlı yapıda oluşan taban kesme kuvvetleri karşılaştırılmış olup Şekil (5.85–5.86–5.87)’ de ise sismik yalıtımlı yapıda oluşan taban kesme kuvvetleri karşılaştırmalı olarak elde edilmiştir:



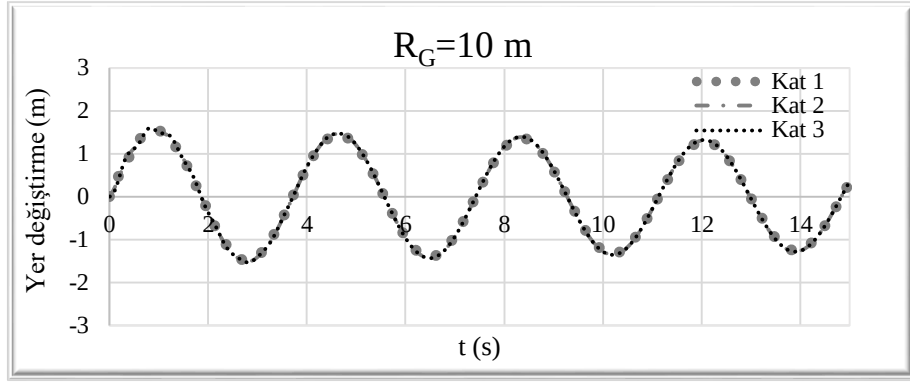
şekil 5.69: 5 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri



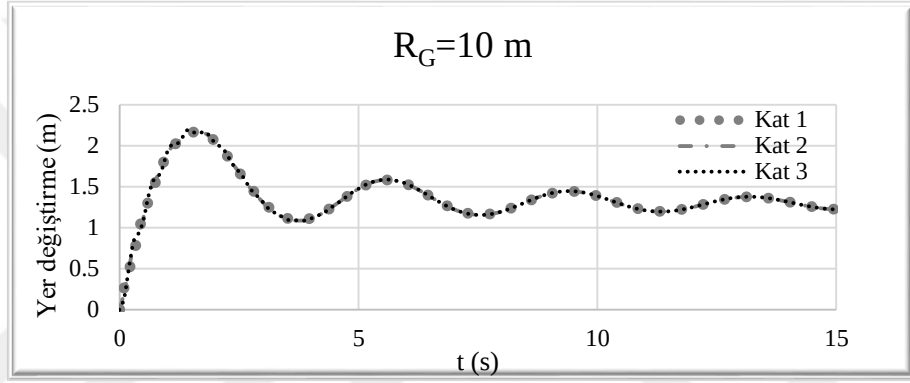
şekil 5.70: 5 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan modal analiz (FNA (Fast Nonlinear Analysis)) hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri



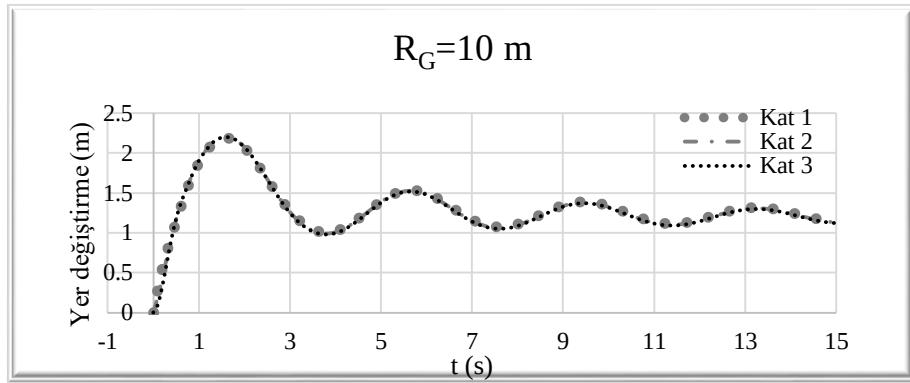
şekil 5.71: 5 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan (Direct Integration Method) hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri



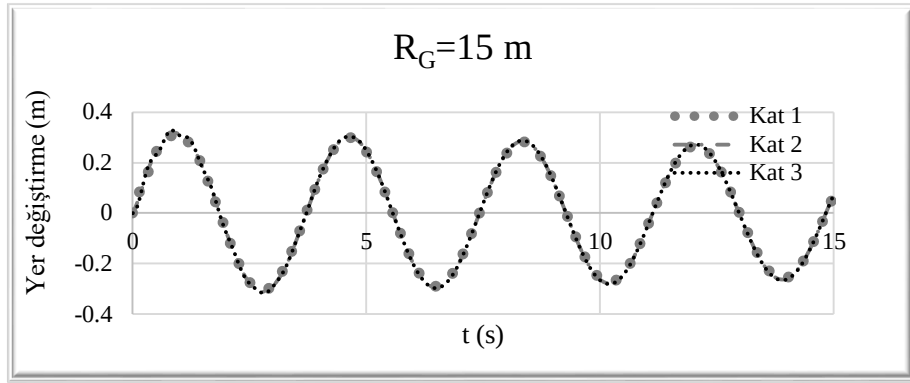
şekil 5.72: 10 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri



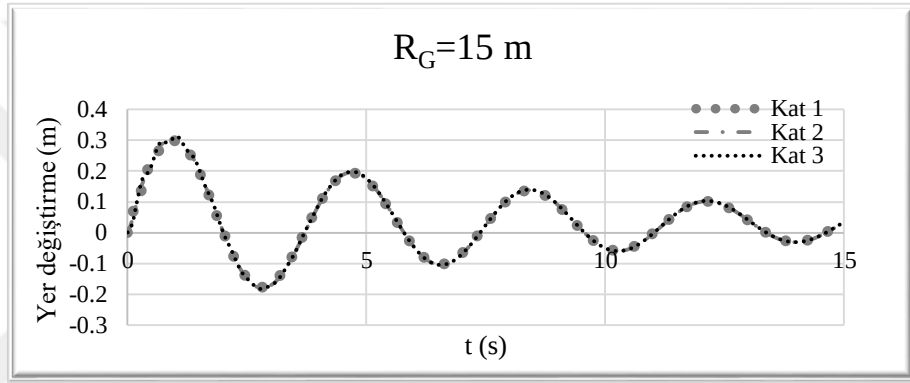
şekil 5.73: 10 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan modal analiz (FNA (Fast Nonlinear Analysis)) hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri



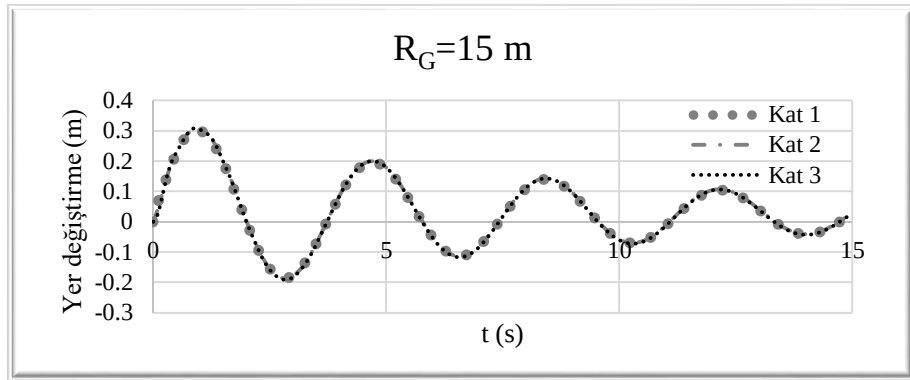
şekil 5.74: 10 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan (Direct Integration Method) hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri



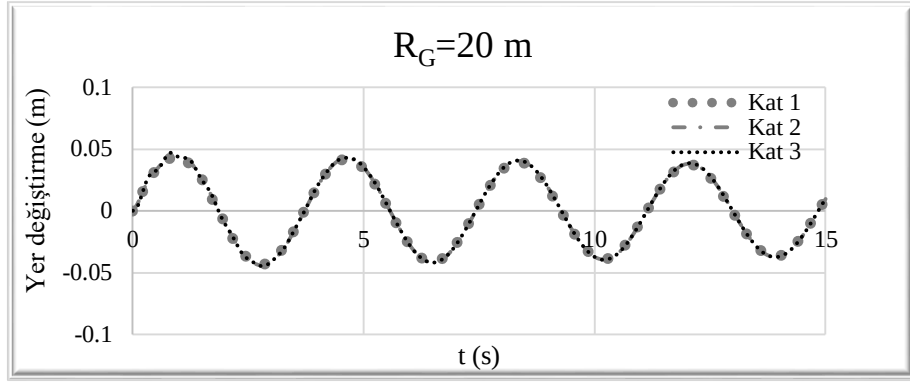
şekil 5.75: 15 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri



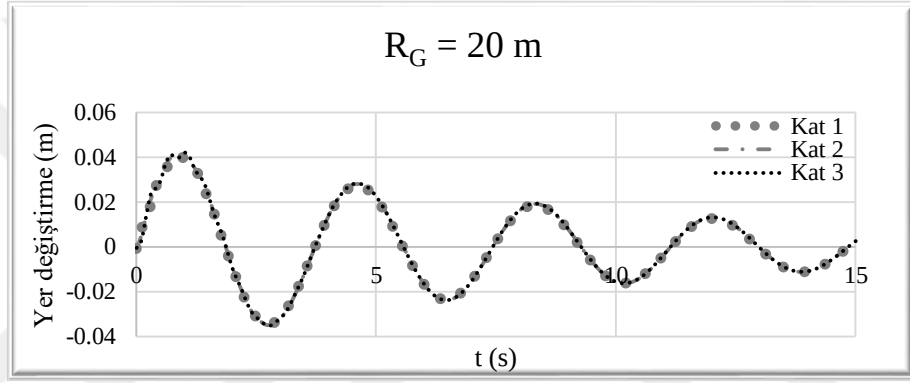
şekil 5.76: 15 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan modal analiz (FNA (Fast Nonlinear Analysis)) hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri



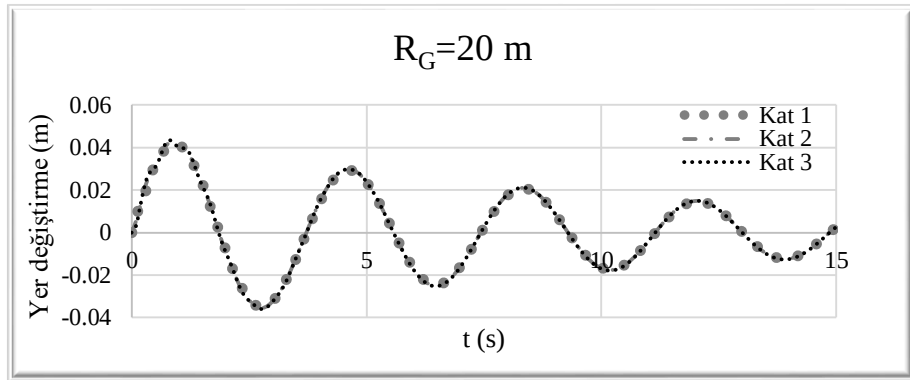
şekil 5.77: 15 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan (Direct Integration Method) hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri



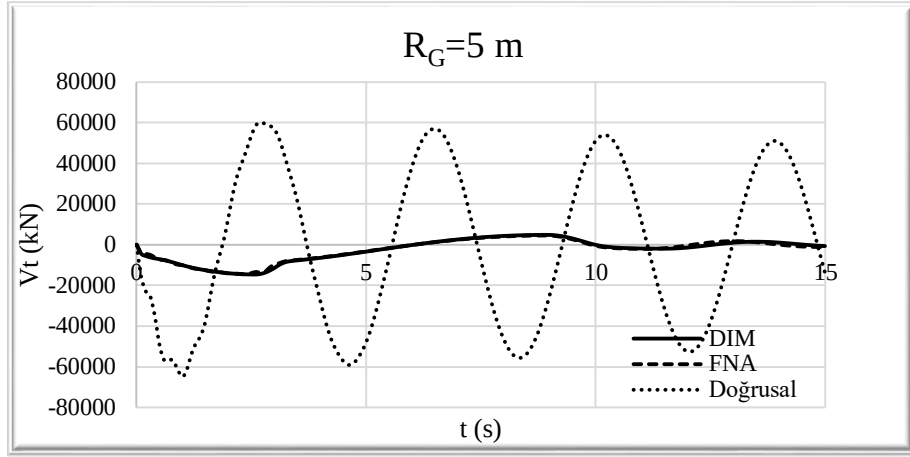
şekil 5.78: 20 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri



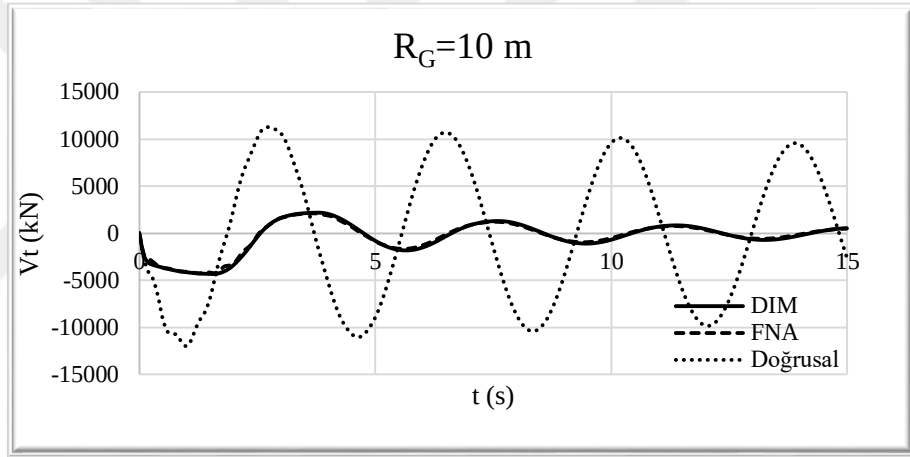
şekil 5.79: 20 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan modal analiz (FNA (Fast Nonlinear Analysis)) hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri



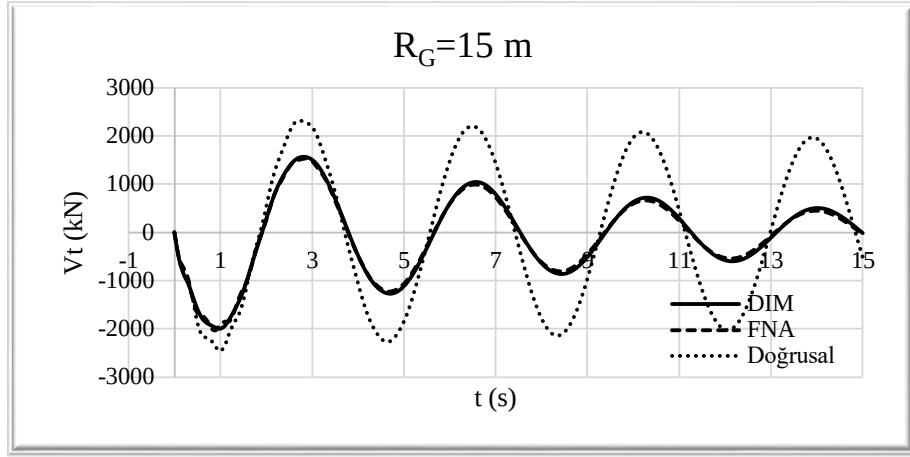
şekil 5.80: 20 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda katların zamana bağlı doğrusal olmayan (Direct Integration Method) hesap yöntemlerine göre yer değiştirme değerleri



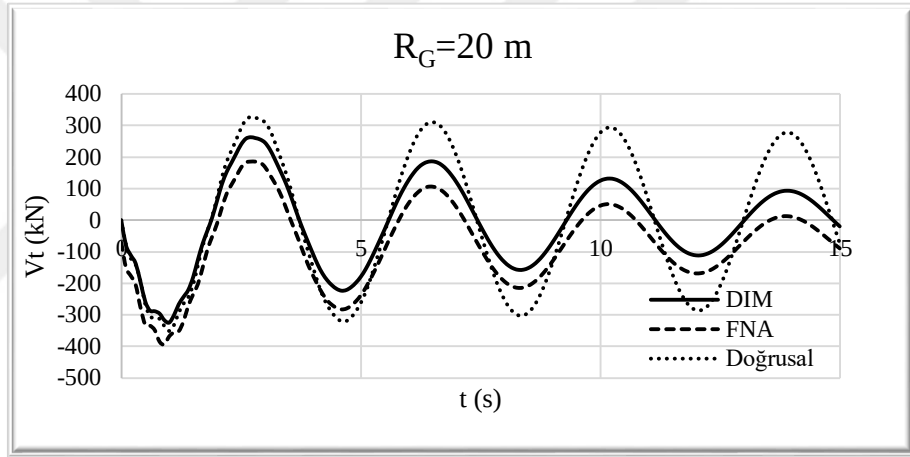
Şekil 5.81: 5 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda taban kesme kuvvetlerinin doğrusal olmayan (Direct Integration Method) doğrusal olmayan modal (FNA (Fast Nonlinear Analysis)) ve doğrusal hesap yöntemlerine göre karşılaştırılması



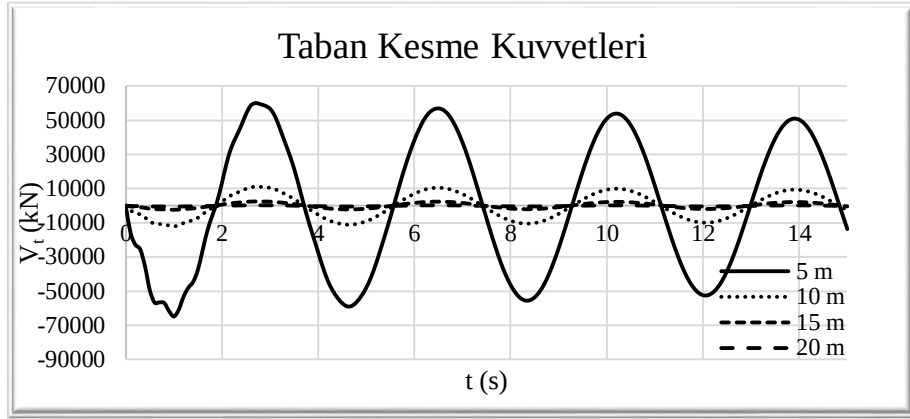
Şekil 5.82: 10 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda taban kesme kuvvetlerinin doğrusal olmayan (Direct Integration Method) doğrusal olmayan modal (FNA (Fast Nonlinear Analysis)) ve doğrusal hesap yöntemlerine göre karşılaştırılması



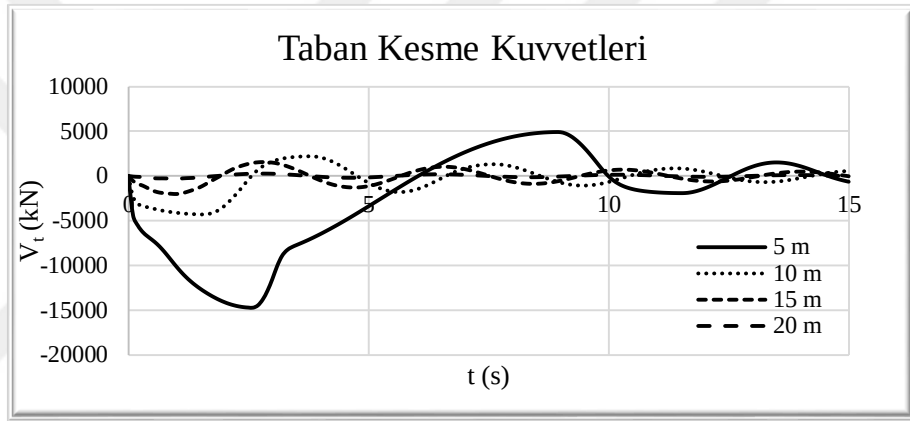
Şekil 5.83: 15 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda taban kesme kuvvetlerinin doğrusal olmayan (Direct Integration Method) doğrusal olmayan modal (FNA (Fast Nonlinear Analysis)) ve doğrusal hesap yöntemlerine göre karşılaştırılması



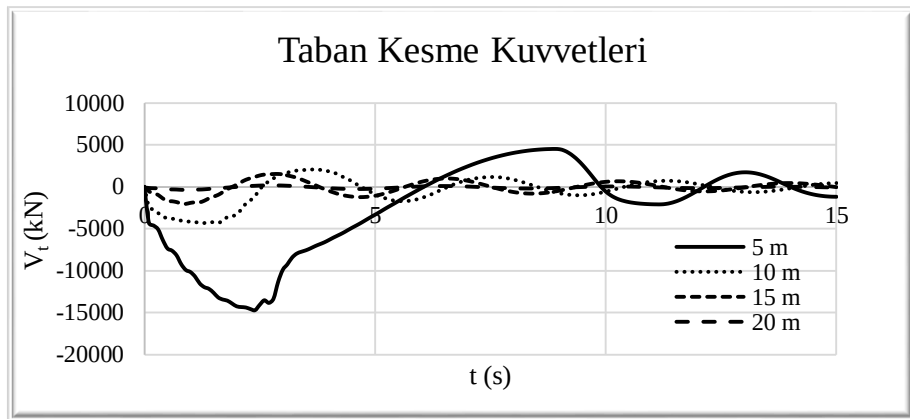
Şekil 5.84: 20 m mesafede sismik yalıtımlı yapıda taban kesme kuvvetlerinin doğrusal olmayan (Direct Integration Method) doğrusal olmayan modal (FNA (Fast Nonlinear Analysis)) ve doğrusal hesap yöntemlerine göre karşılaştırılması



Şekil 5.85: Farklı mesafelerde patlama yüklemeleri etkileri altında sismik yalıtımlı yapının taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması



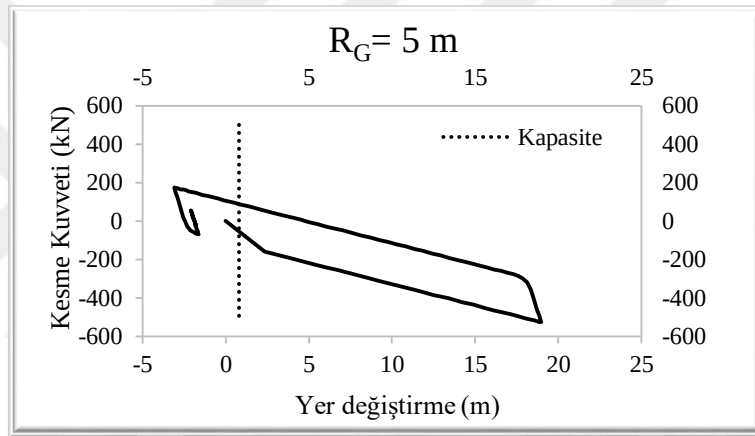
Şekil 5.86: Sismik yalıtımlı yapıda farklı mesafelerde taban kesme kuvvetlerinin doğrusal olmayan (Direct Integration Method) hesap yöntemlerine göre karşılaştırılması



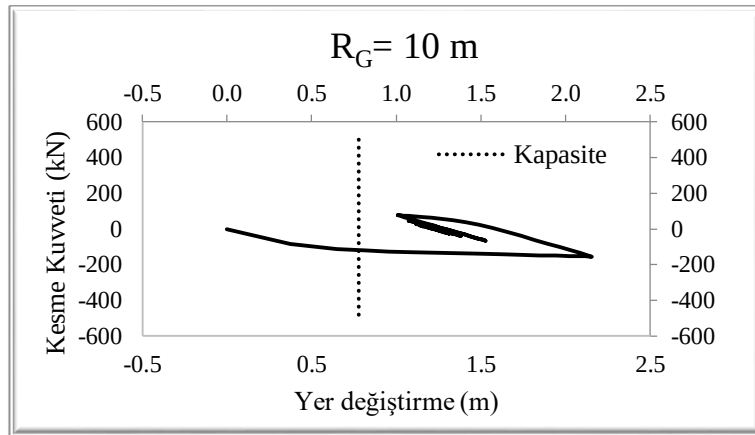
Şekil 5.87: Sismik yalıtımlı yapıda farklı mesafelerde taban kesme kuvvetlerinin doğrusal olmayan modal (FNA (Fast Nonlinear Analysis)) hesap yöntemlerine göre karşılaştırılması

Sismik yalıtımsız yapıda doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlere göre 5 metre mesafede maksimum taban kesme kuvveti %35 10 metre mesafede %43,24 15 metre mesafede %17,75 20 metre mesafede %5,39 fark oluşmuştur. Sismik yalıtımlı yapıda doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlere göre 5 metre mesafede maksimum taban kesme kuvveti %76 10 metre mesafede %57,27 15 metre mesafede %10,98 ve 20 metre mesafede %5,31 fark oluşmuştur

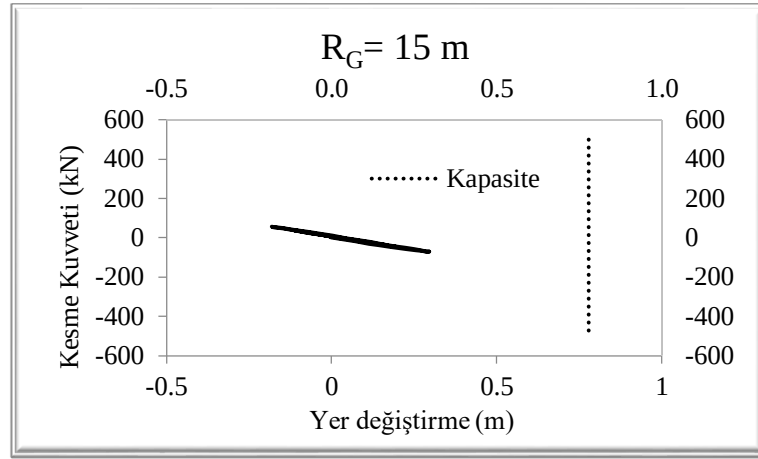
Patlama analizleri sonucunda yalıtım birimlerinin davranışları incelenmiştir. 227 kg TNT etkisi altında 5 metre ve 10 metre mesafede TBDY 2018' e göre hedeflenen yalıtım birimi kapasiteleri aşılmıştır. 15 metre ve 20 metre mesafede yalıtım birimi güvenli bölgededir (Şekil 5.88–5.91)



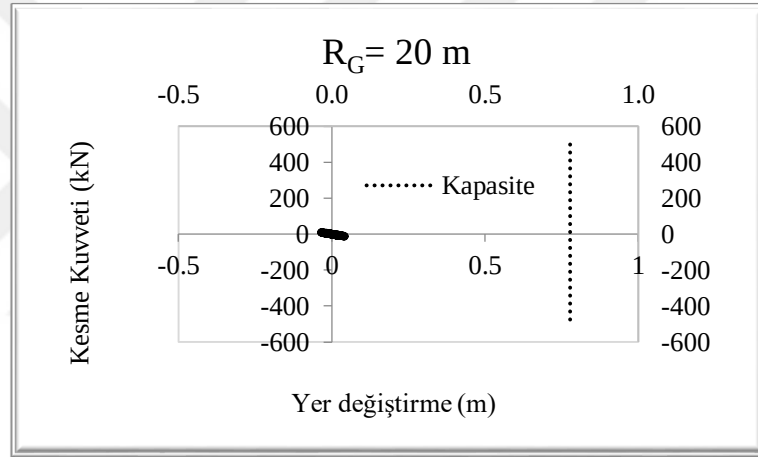
Şekil 5.88: 5 m mesafede yalıtım biriminde meydana gelen yatay kuvvet- yer değiştirme eğrisi (Direct Integration Method)



Şekil 5.89: 10 m mesafede yalıtım biriminde meydana gelen yatay kuvvet- yer değiştirme eğrisi (Direct Integration Method)

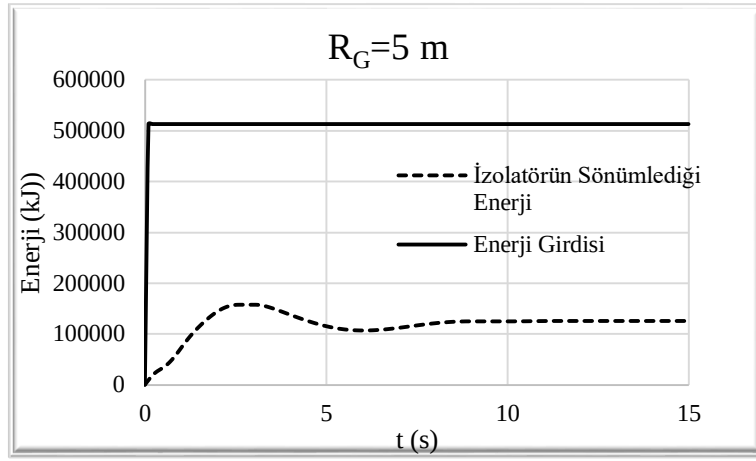


şekil 5.90: 15 m mesafede yalıtım biriminde meydana gelen yatay kuvvet- yer değiştirme eğrisi (Direct Integration Method)

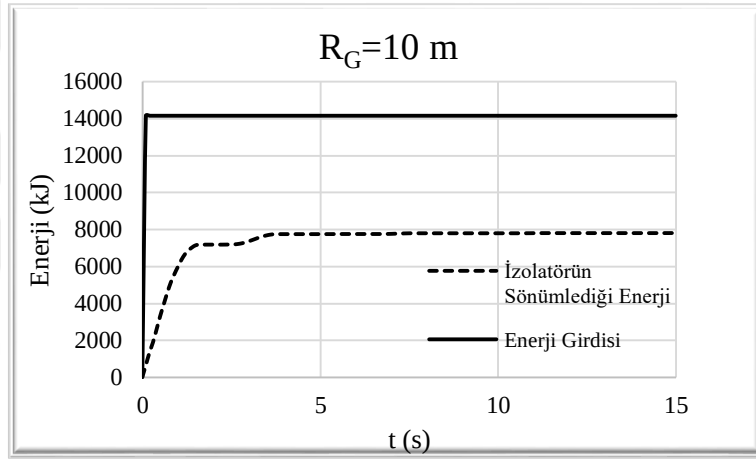


şekil 5.91: 20 m mesafede yalıtım biriminde meydana gelen yatay kuvvet- yer değiştirme eğrisi (Direct Integration Method)

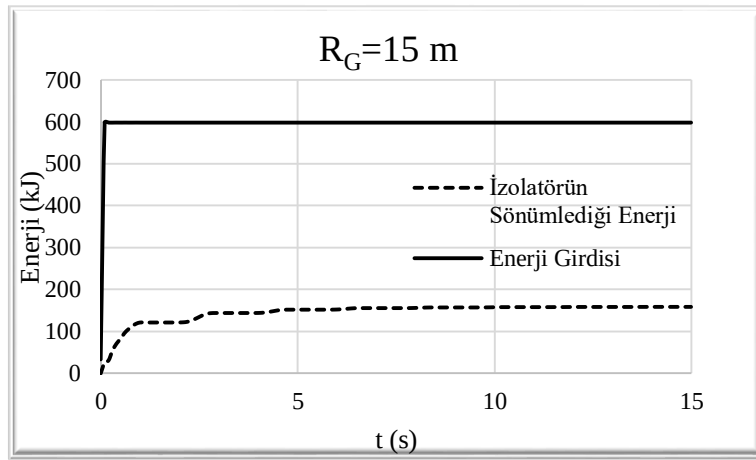
Sayısal çözümlmeler sonucunda yalıtım biriminde hesap edilen tüketilecek toplam enerji miktarı 9376,64 kJ hesap edilmiştir. Enerji girdileri ve sönümlenen enerjiler karşılaştırıldığında deprem etkisi altında sönüm %66,02 enerji sönümlenmiş izolatör kapasiteye ulaşmamıştır. 5 metre mesafede patlama etkisinde %23,30 enerji sönümlenmiş ancak izolatör kapasitesi aşılmıştır. 10 metre mesafede %52,25 enerji sönümlenmiş izolatör kapasiteye ulaşmıştır. 15 metre mesafede % 24,45 ve 20 metre mesafede %0,8 enerji sönümlenmiştir (şekil 5.92–5.95).



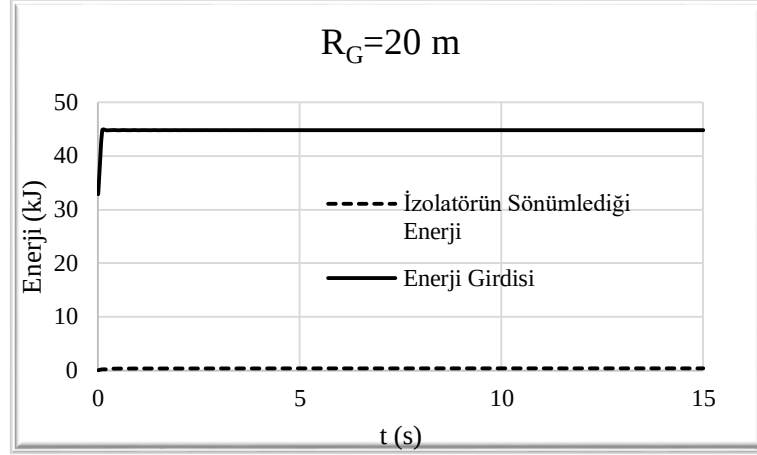
Şekil 5.92: 5 m mesafe için enerji sönümlenmesi



Şekil 5.93: 10 m mesafe için enerji sönümlenmesi



Şekil 5.94: 15 m mesafe için enerji sönümlenmesi



Şekil 5.95: 20 m mesafe için enerji sönümlenmesi

Sismik yalıtımlı yapılarda görel kat ötelemelerinin değerlendirilmesi normal yapılardan farklı olmaktadır. TBDY 2018’ de görel kat ötelemelerinin değerlendirilmesine yönelik kavramlar kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Taban yalıtımı bulunmayan binada 5, 10, 15 m mesafede görel kat ötelemesi oranları şartı sağlanamazken 20 m mesafede sağlanmıştır. Taban yalıtımlı yapıda 5 m mesafede görel kat ötelemesi şartı sağlanamazken 10, 15, 20 metre mesafede sağlanmıştır (Tablo 5.8–5.9).

Tablo 5.8: Maksimum yer değiştirmeler

Sismik Yalıtımsız Bina	D ₁ =5 m	D ₂ =10 m	D ₃ =15 m	D ₄ =20 m
h ₁ =0 m	0	0	0	0
h ₂ =3,80 m	0,89	0,14	0,022	0,0021
h ₃ =7,60 m	1,07	0,24	0,04	0,0028
h ₄ =11,40 m	1,54	0,32	0,055	0,0047
Sismik Yalıtımlı Bina	D ₁ =5 m	D ₂ =10 m	D ₃ =15 m	D ₄ =20 m
h ₁ =0 m	18,96	2,16	0,30	0,042
h ₂ =3,80 m	19,24	2,19	0,30	0,042
h ₃ =7,60 m	19,56	2,20	0,31	0,042
h ₄ =11,40 m	19,74	2,20	0,31	0,044

Tablo 5.9: Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıda görel kat ötelemelerinin kontrolü

Sismik	$\Delta_{i \max}$	R	I	λ	h_i	$\delta_{i \max} = (R/I)\Delta_{i \max}$	$\lambda(\delta_{i \max}/h_i) \leq 0,008\kappa$	
Yalıtımsız								
Bina								
D ₁ =5 m	0,89	8	1,5	0,44	3,80	4,75	0,55	Sağlamadı
D ₂ =10 m	0,14	8	1,5	0,44	3,80	0,75	0,087	Sağlamadı
D ₃ =15 m	0,022	8	1,5	0,44	3,80	0,12	0,014	Sağlamadı
D ₄ =20 m	0,0021	8	1,5	0,44	3,80	0,01	0,0012	Sağladı
Sismik	$\Delta_{i \max}$	R	I	λ		$\delta_{i \max} = (R/I)\Delta_{i \max}$	$\lambda(\delta_{i \max}/h_i) \leq 0,01h_i$	
Yalıtımlı								
Bina								
D ₁ =5 m	0,32	1,5	1,5	0,43	7,60	0,32	0,018	Sağladı
D ₂ =10 m	0,03	1,5	1,5	0,43	3,80	0,03	0,0034	Sağladı
D ₃ =15 m	0,01	1,5	1,5	0,43	7,60	0,01	0,00057	Sağladı
D ₄ =20 m	0,02	1,5	1,5	0,43	7,60	0,02	0,00113	Sağladı

5.6. Mevcut Yapının Patlama Yükleri Etkileri Altında Performansının Değerlendirilmesi

Farklı mesafelerde patlama performanslarının değerlendirilmesi amacıyla 2 farklı performans analizi yapılmıştır:

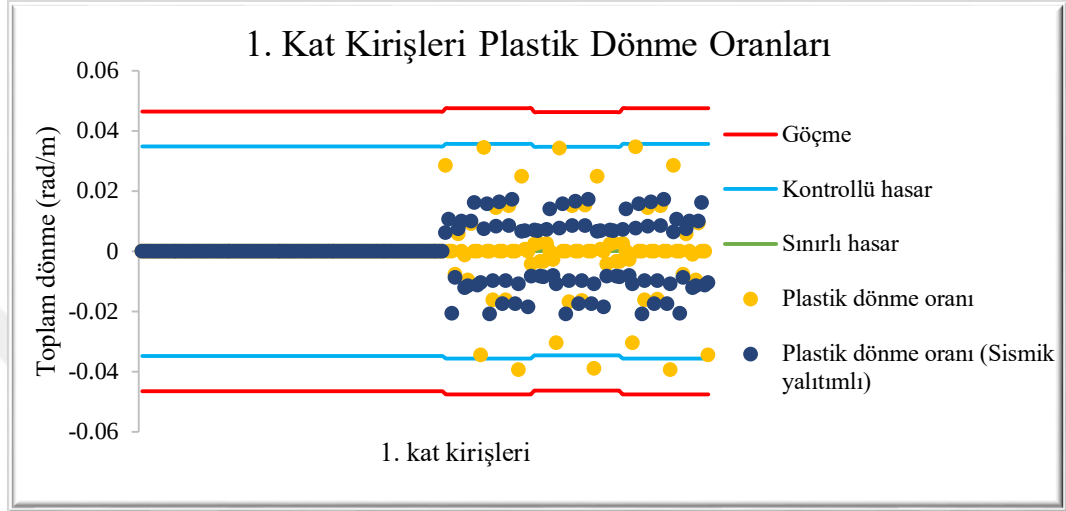
5.6.1. Performans analizi 1 ($W_E = 227 \text{ kg}$ $R_G = 10 \text{ metre}$)

10 metre mesafeden 227 kg ağırlığındaki TNT' nin patlatılması sonucunda yalıtımlı ve yalıtımsız yapının doğrusal olmayan performans analizi gerçekleştirilmiştir. Kat kirişlerindeki plastik dönme oranları Şekil 5.96–5.98' de, kolonlardaki dönme oranları Şekil 5.99–5.101' de karşılaştırılmıştır.

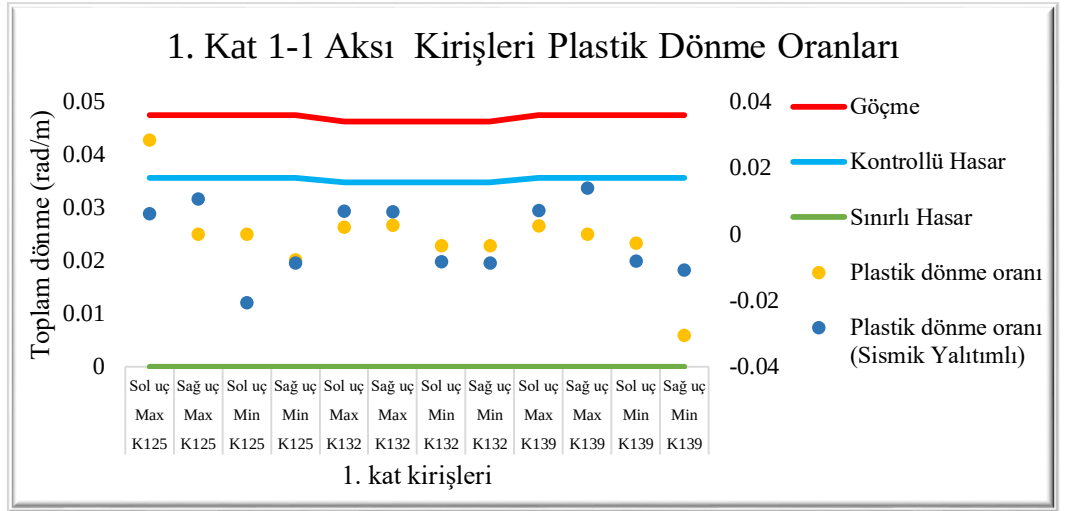
Doğrusal olmayan analiz sonucunda sismik yalıtımsız yapıda plastik mafsallar 1. kat ve 2. kat kolon ve kirişlerinde yoğunlaşmıştır (Şekil 96). Sismik yalıtımlı yapıda ise tabanda bulunan yalıtım sistemi zemin katın performansını iyileştirmiş ve 1. Kattaki kolonlarda dönme oranlarını azaltmıştır (Şekil 5.99). Bu nedenle patlama etkileri sonucunda sismik yalıtımlı yapıda plastik mafsallar 2. ve 3. kat düzeyine kaymıştır.

Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıların patlama etkileri altında doğrusal olmayan davranışının incelenmesi ve yapı elemanlarının davranışlarını elde etmek amacıyla performans analizleri yapılmıştır. Performans analizleri sonucunda 227 kg TNT etkisi

altında 10 metre mesafede sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıda dönme oranlarında katlar arasında değişiklik gözlenmiştir. Sismik yalıtımsız yapı zemin katta zorlanırken sismik yalıtımlı yapı 1. Katta daha çok zorlanmıştır. Ancak dönme oranlarına bakıldığında yalıtımsız yapıda dönme oranlarının daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

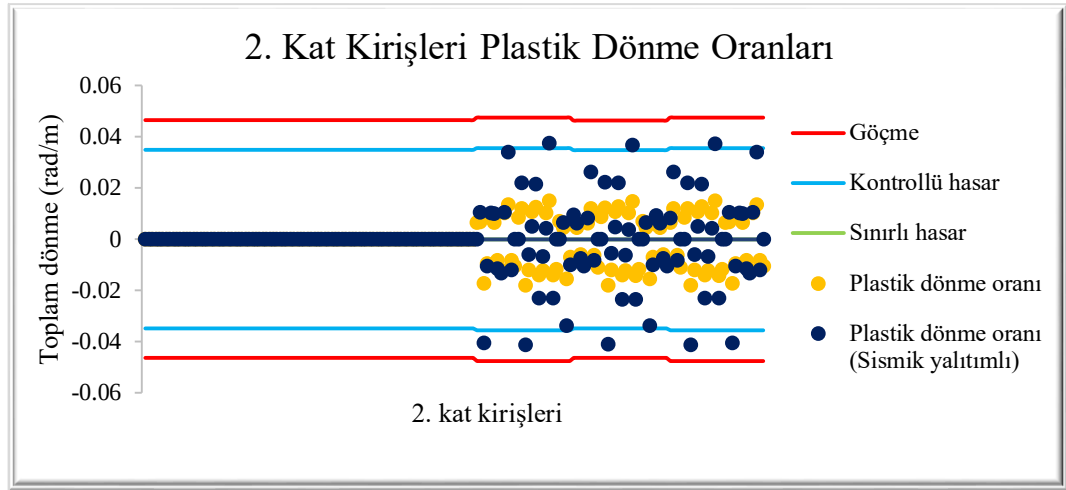


a) Sırasıyla kat kirişlerindeki toplam dönme oranları

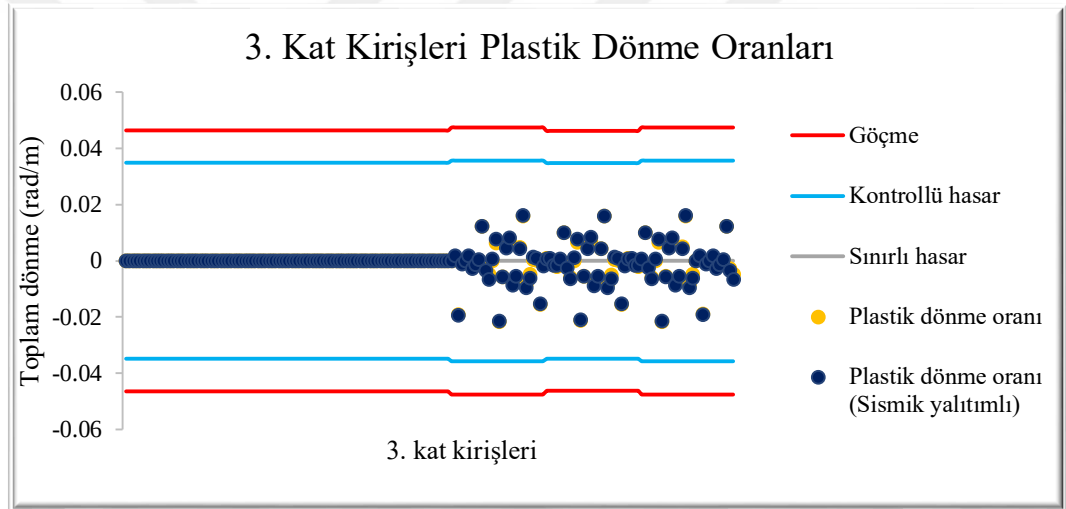


b) 1-1 Aksı kirişleri plastik dönme oranları

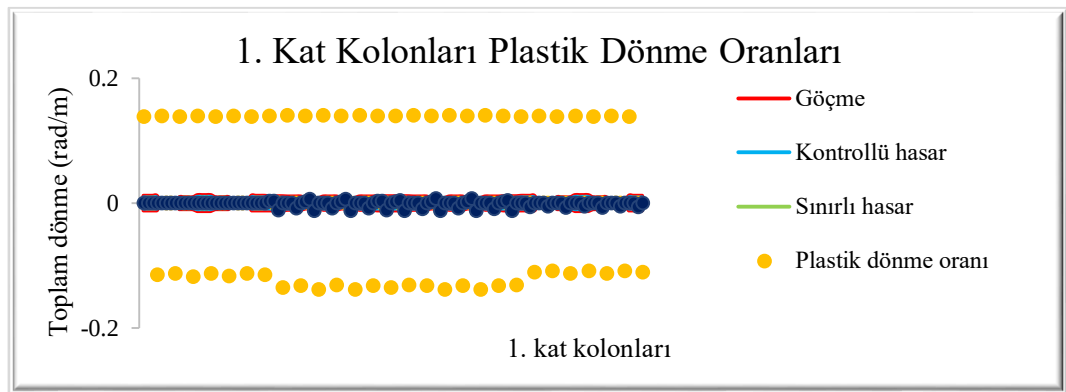
Şekil 5.96: Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıda 1. Kat kirişlerinde plastik mafsallı dönme oranlarının sınır değerler ile karşılaştırılması



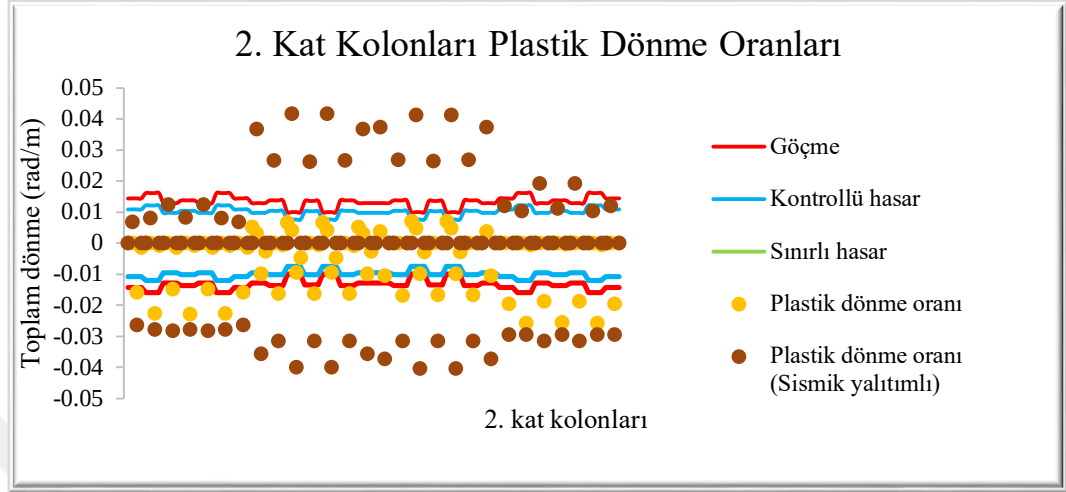
Şekil 5.97: Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıda 2. Kat kirişlerinde plastik mafsallı dönme oranlarının sınır değerleri ile karşılaştırılması



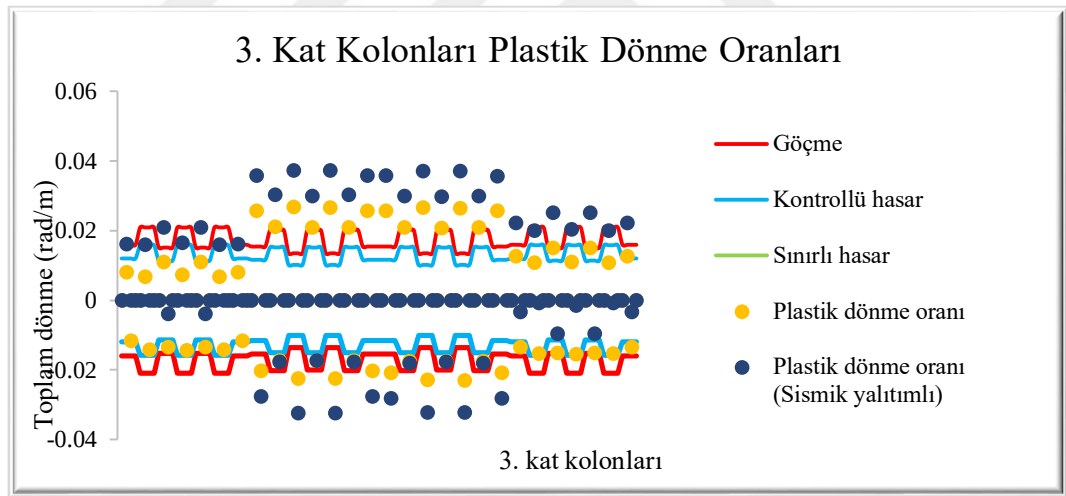
Şekil 5.98: Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıda 3. Kat kirişlerinde plastik mafsallı dönme oranlarının sınır değerleri ile karşılaştırılması



Şekil 5.99: Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıda 1. Kat kolonlarında plastik mafsallı dönme oranlarının sınır değerleri ile karşılaştırılması

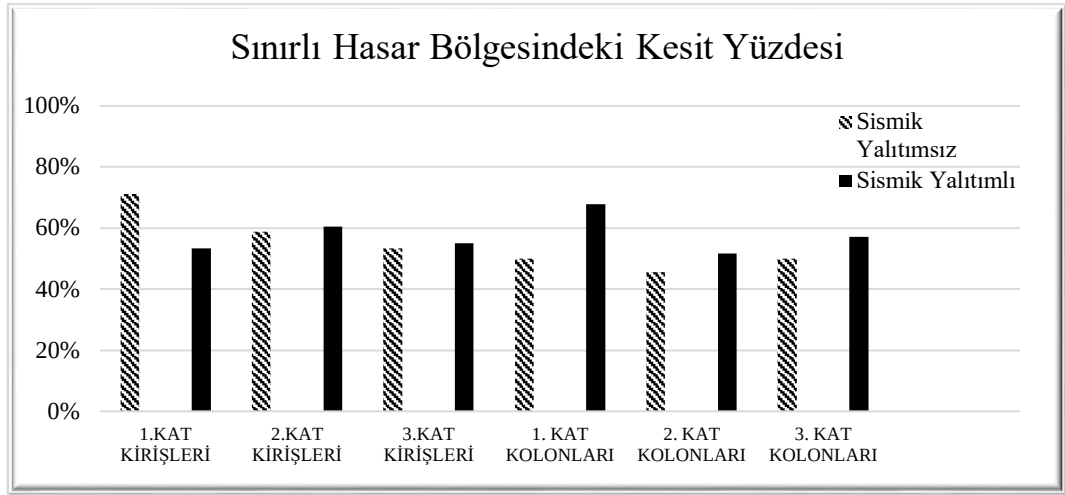


Şekil 5.100: Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıda 2. Kat kolonlarında plastik mafsallı dönme oranlarının sınır değerler ile karşılaştırılması

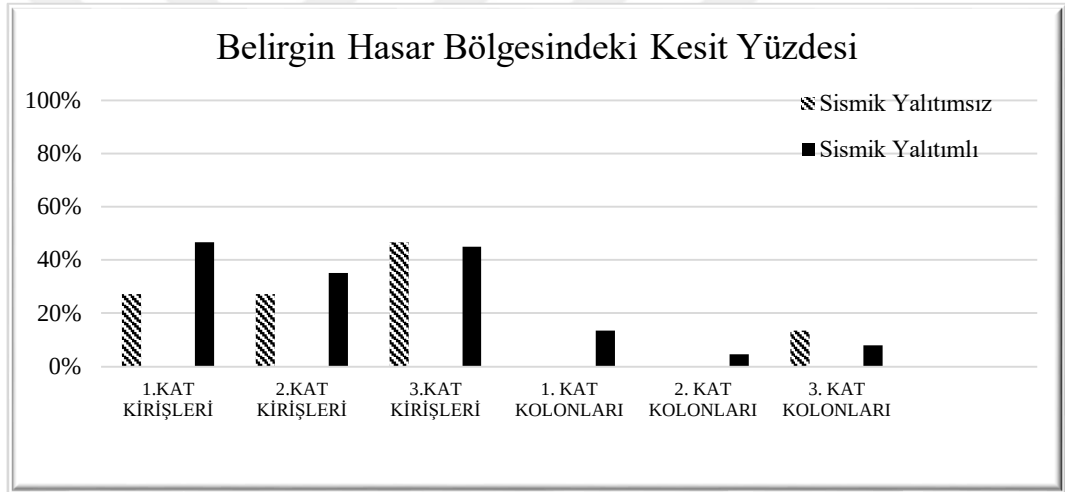


Şekil 5.101: Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıda 3. Kat kolonlarında plastik mafsallı dönme oranlarının sınır değerler ile karşılaştırılması

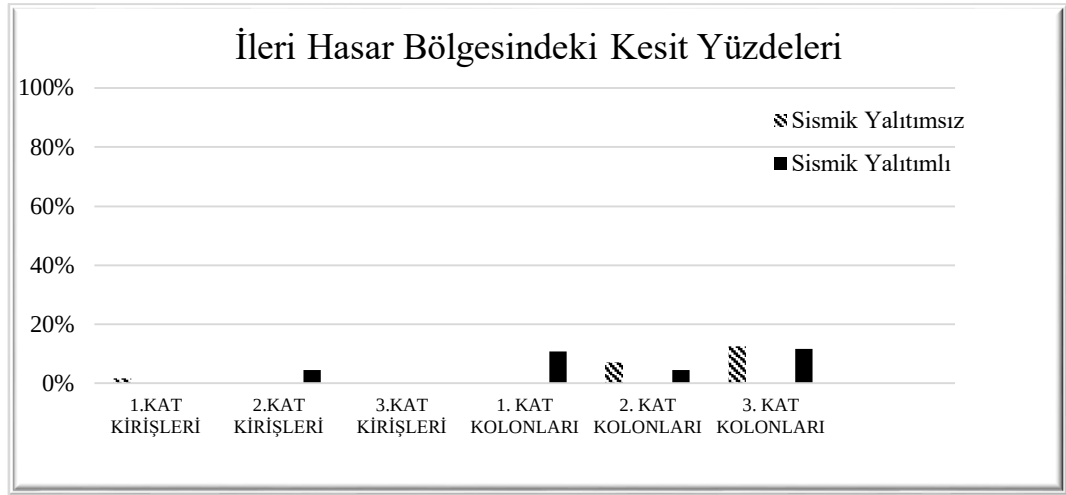
10 metre mesafede patlama etkilerine maruz bırakılan sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıların elemanlarındaki hasar seviyeleri dağılımı Şekil 5.102–5.107’ de verilmiştir:



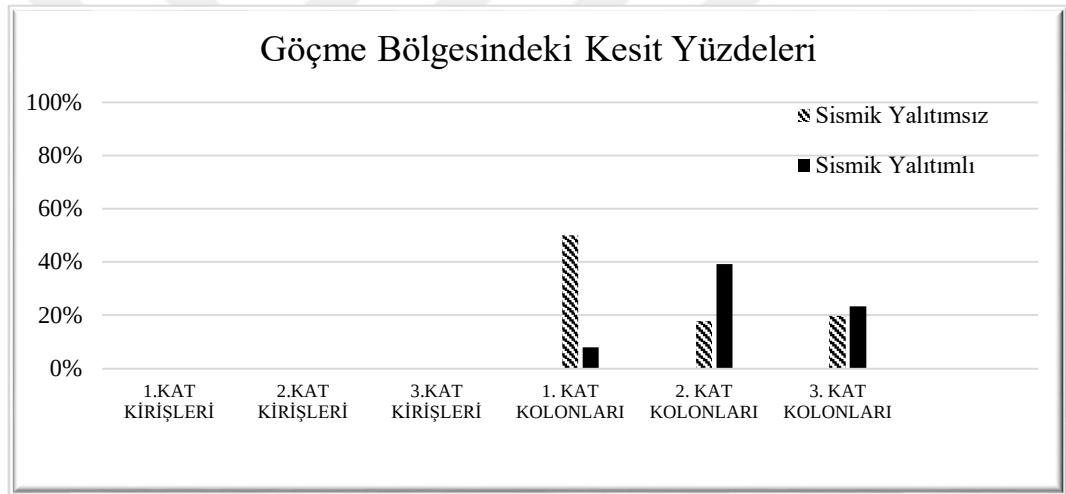
Şekil 5.102: Sınırlı hasar bölgesindeki kesitlerin sismik yalıtımlı-yalıtımsız durumlarına göre karşılaştırılması



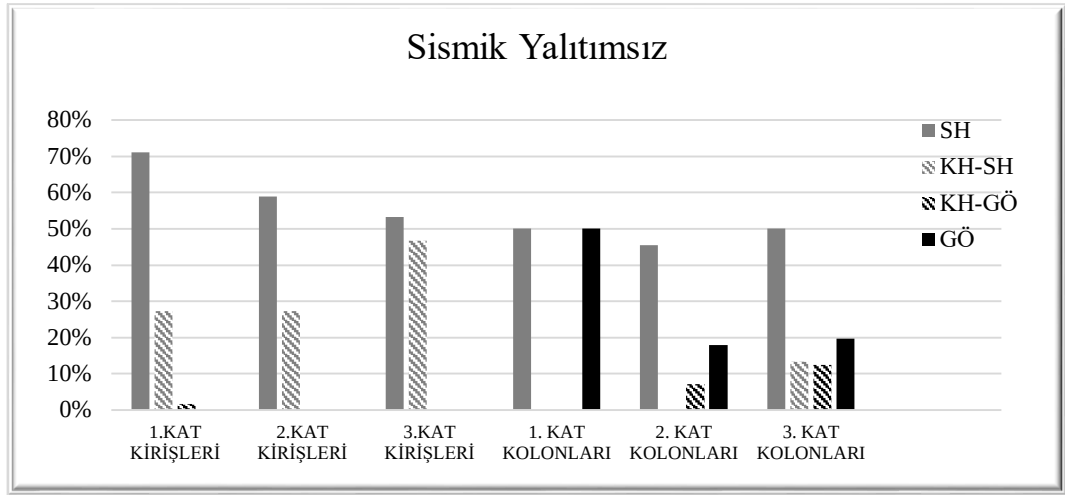
Şekil 5.103: Belirgin hasar bölgesindeki kesitlerin sismik yalıtımlı-yalıtımsız durumlarına göre karşılaştırılması



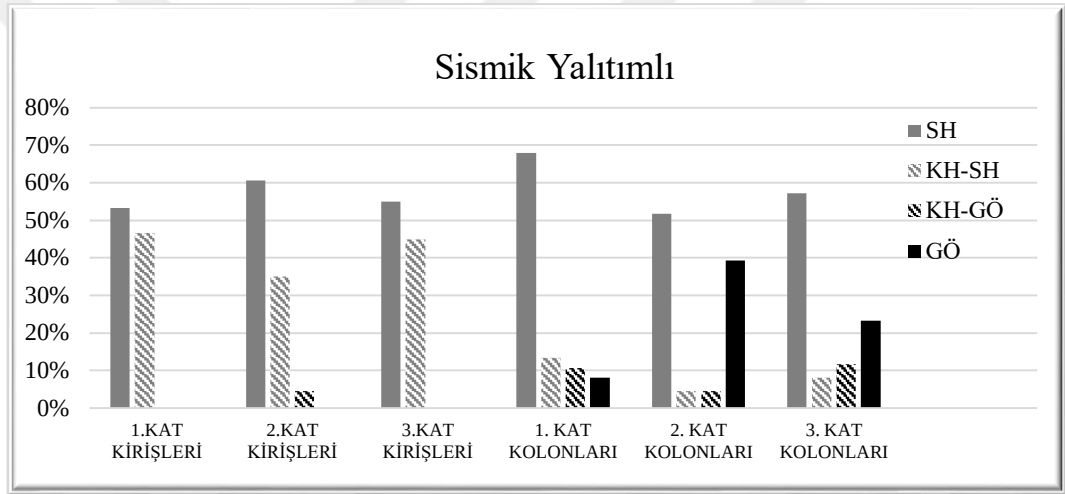
Şekil 5.104: İleri hasar bölgesindeki kesitlerin sismik yalıtımlı-yalıtımsız durumlarına göre karşılaştırılması



Şekil 5.105: Göçme bölgesindeki kesitlerin sismik yalıtımlı-yalıtımsız durumlarına göre karşılaştırılması



Şekil 5.106: Sismik yalıtımsız yapıda kolon ve kirişlerin hasar sınırlarına göre değerlendirilmesi



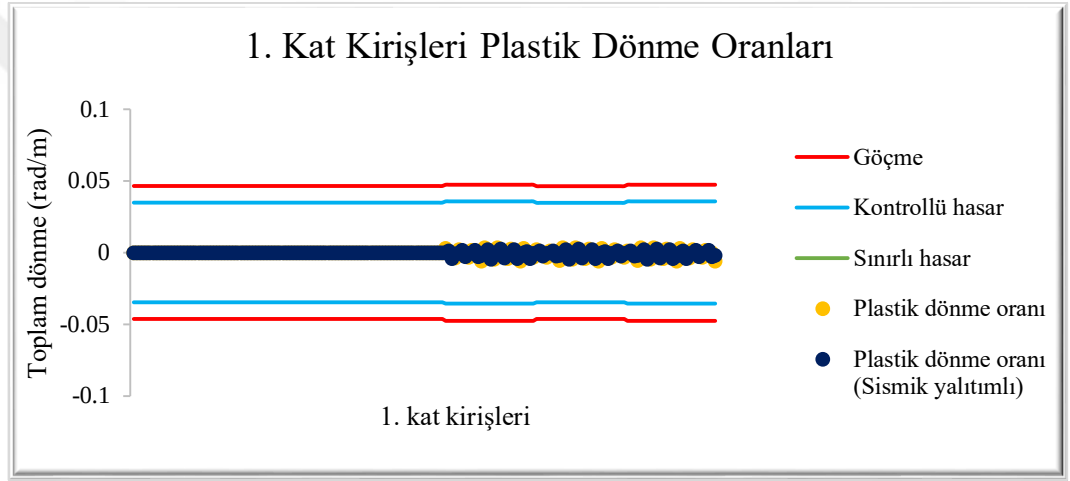
Şekil 5.107: Sismik yalıtımlı yapıda kolon ve kirişlerin hasar sınırlarına göre değerlendirilmesi

227 kg TNT patlayıcı etkisi altında 10 metre mesafede patlama analizleri sonucunda sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıda göçme bölgesi sınırlarını aşan kesitler %20' nin üzerindedir. Sonuç olarak iki yapı da göçme durumunda kabul edilmektedir. Ancak patlama etkileri altında yapı elemanlarını gevrek hasar görmesi durumu söz konusu olabilmektedir. Bu durumda yapının performansı hakkında kesin bir sonuç elde edilememektedir.

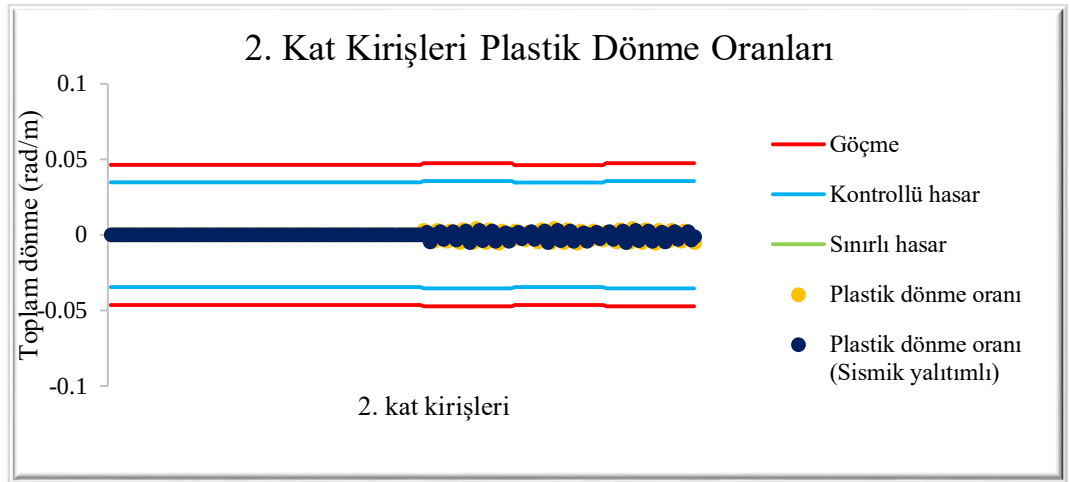
5.6.2. Performans analizi 2 ($W_E = 227 \text{ kg}$ $R_G = 15 \text{ metre}$)

15 metre mesafeden 227 kg ağırlığındaki TNT' nin patlatılması sonucunda sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapılarda kirişlerde meydana gelen plastik dönme oranları Şekil (5.108–5.110)' da, kolonlarda meydana gelen plastik dönme oranları Şekil (5.111–113)' te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

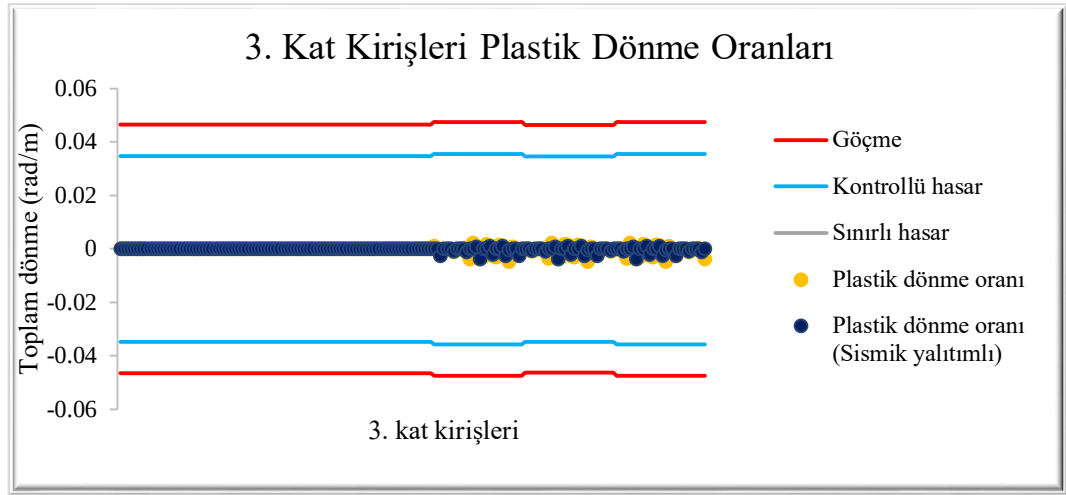
227 kg TNT etkisi altında 15 metre mesafede sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapılarda kirişlerde büyük bir fark gözlenmezken zemin kat kolonlarında sismik yalıtımlı yapıda kesitlerin büyük bir kısmı sınırlı hasar ve belirgin hasar bölgesinde bulunurken sismik yalıtımsız yapıda kesitlerin bir kısmı göçme bölgesine geçmiştir.



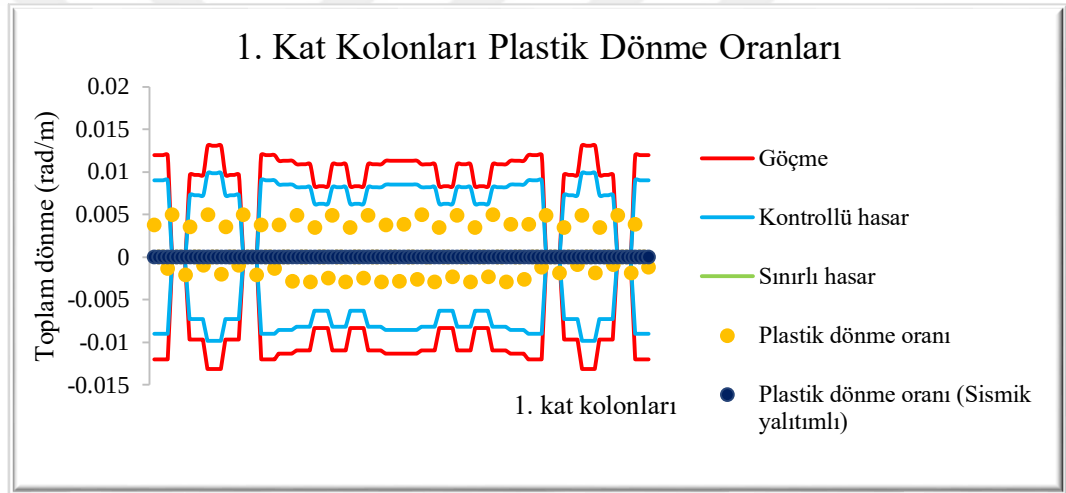
Şekil 5.108: Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıda 1. Kat kirişlerinde plastik mafsallı dönme oranlarının sınır değerler ile karşılaştırılması



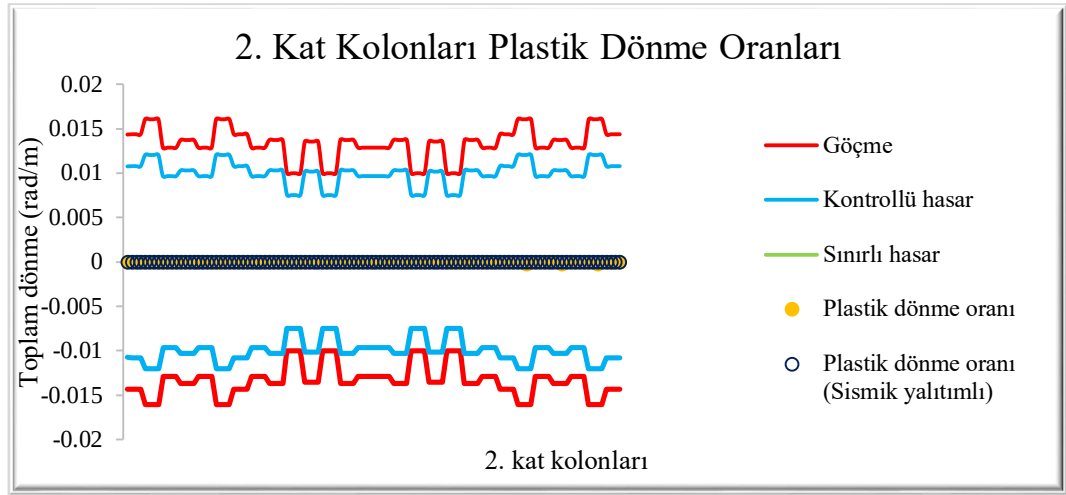
Şekil 5.109: Sismik yalıtımlı yapıda 2. Kat kirişlerinde plastik mafsallı dönme oranlarının sınır değerler ile karşılaştırılması



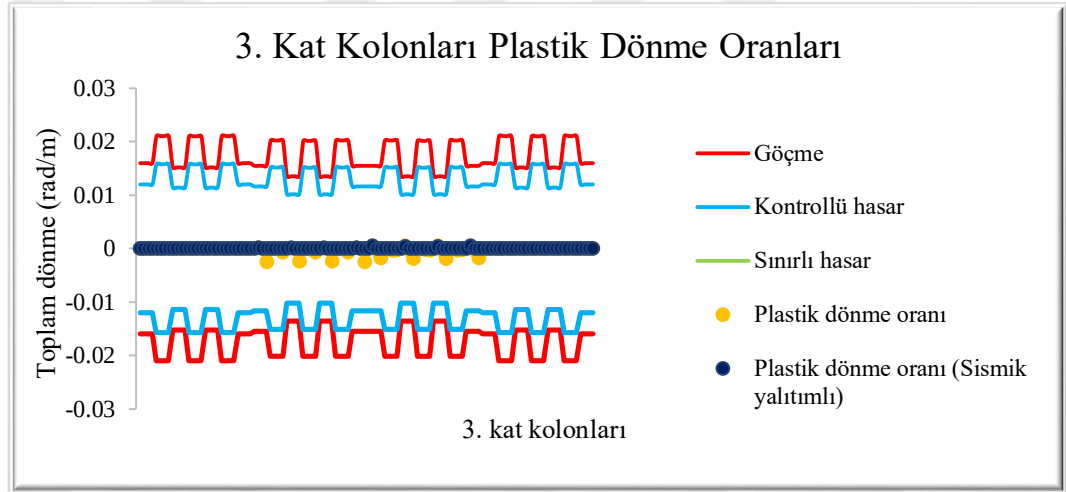
Şekil 5.110: Sismik yalıtımlı yapıda 3. Kat kirişlerinde plastik mafsallı dönme oranlarının sınır değerler ile karşılaştırılması



Şekil 5.111: Sismik yalıtımlı yapıda 1 Kat kolonlarında plastik mafsallı dönme oranlarının sınır değerler ile karşılaştırılması

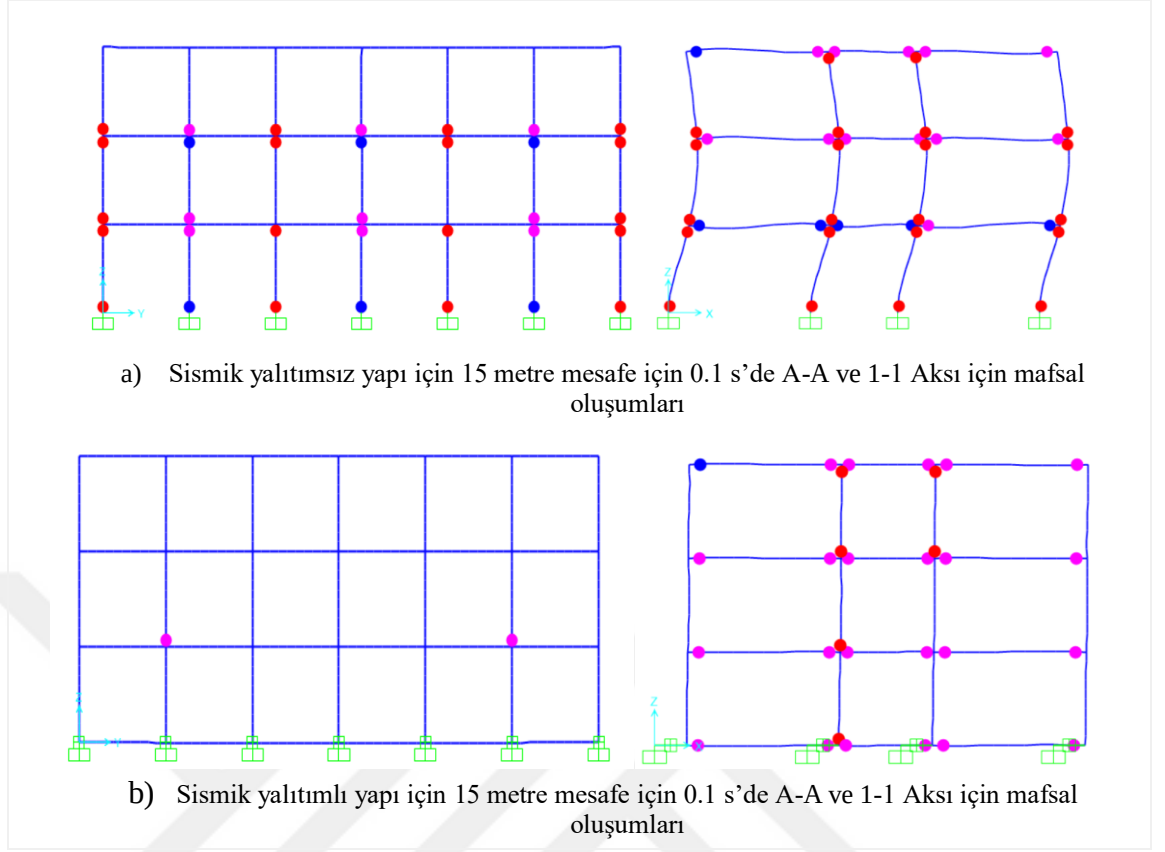


Şekil 5.112: Sismik yalıtımlı yapıda 2. Kat kolonlarında plastik mafsallı dönme oranlarının sınır değerler ile karşılaştırılması



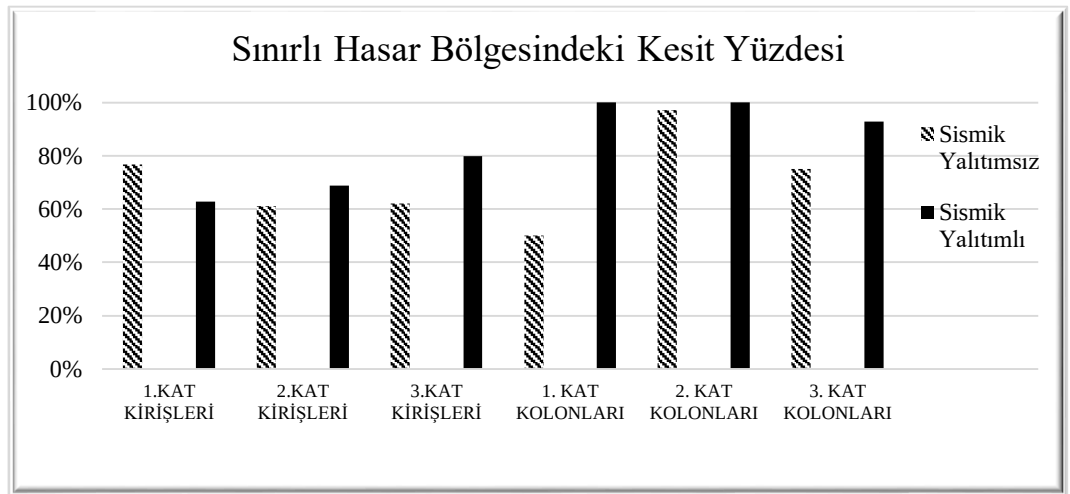
Şekil 5.113: Sismik yalıtımlı yapıda 3. Kat kolonlarında plastik mafsallı dönme oranlarının sınır değerler ile karşılaştırılması

10 metre mesafede patlayıcı etki ettiğinde iki yapıda da göçme gözlenmesine karşın 15 metre mesafede yapı performansının iyileştiği gözlemlenmiştir. Yapı performansındaki değişiklik Şekil 5.114'te de görsel olarak ifade edilmiştir:

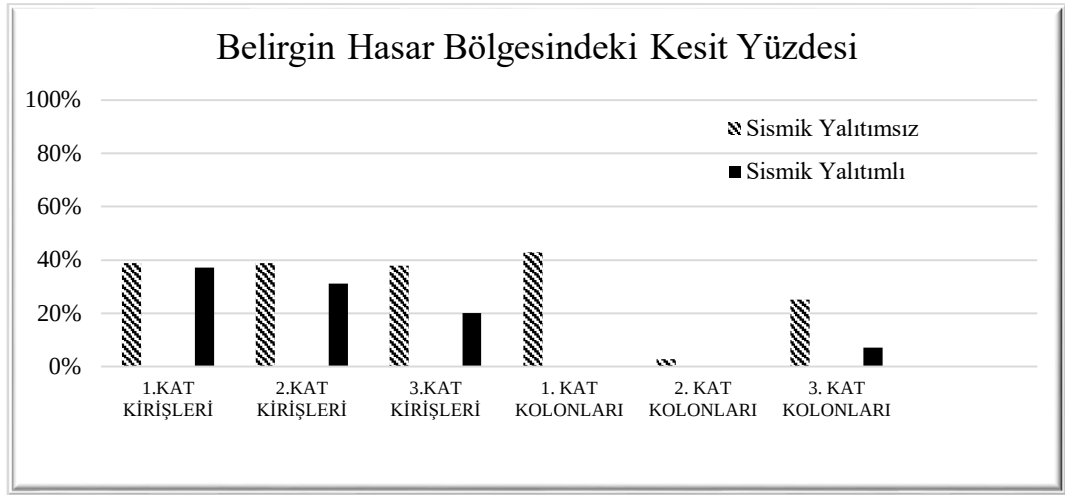


Şekil 5.114: Sismik yalıtımsız ve yalıtımlı yapıda plastik mafsal oluşumlarının karşılaştırılması

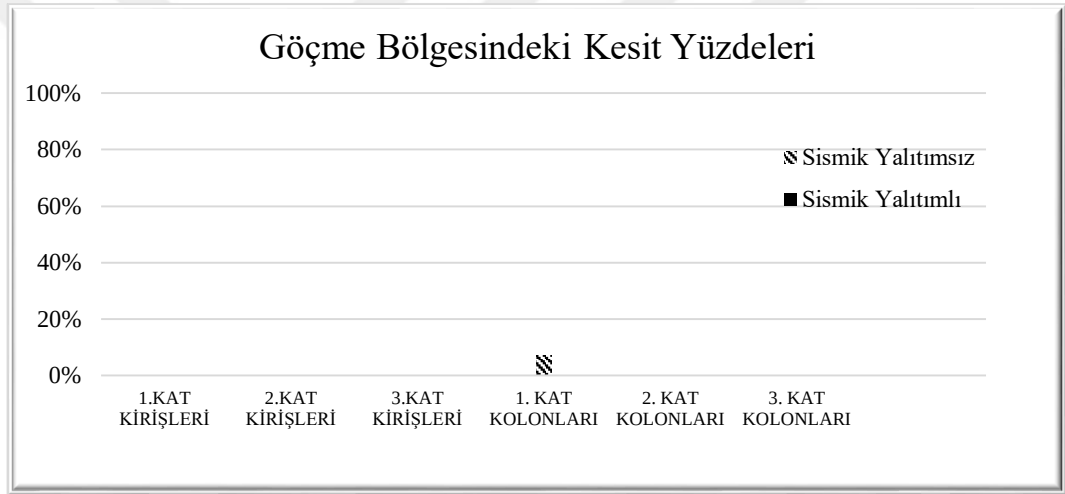
15 metre mesafede patlama etkilerine maruz bırakılan sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıların elemanlarındaki hasar seviyeleri dağılımı Şekil (5.115–5.119)' de verilmiştir.



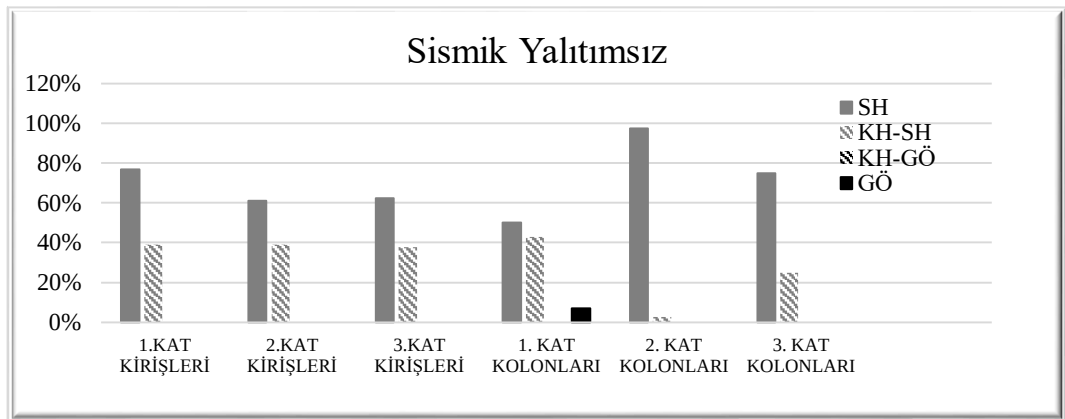
Şekil 5.115: Sınırlı hasar bölgesindeki kesit yüzdesi



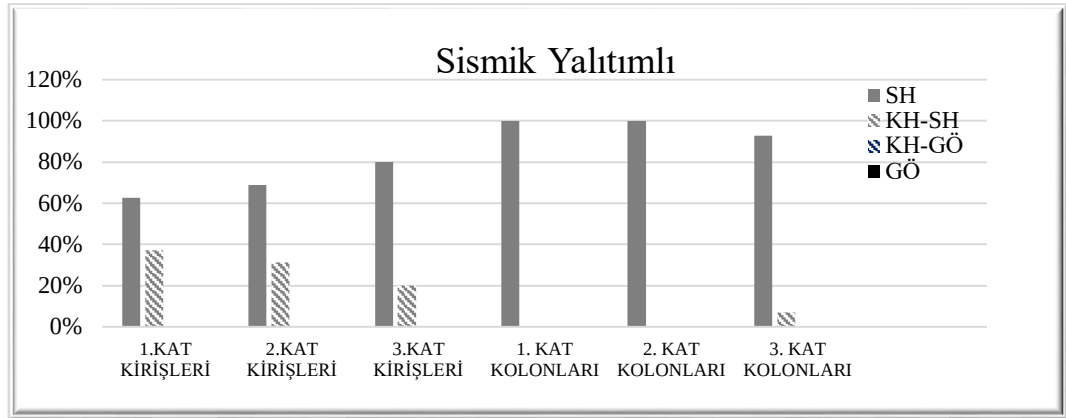
Şekil 5.116: Belirgin hasar bölgesindeki kesit yüzdesi



Şekil 5.117: Göçme bölgesindeki kesit yüzdelерinin karşılaştırılması



Şekil 5.118: Sismik yalıtımsız yapıda kolon ve kirişlerin hasar sınırlarına göre değerlendirilmesi



Şekil 5.119: Sismik yalıtımlı yapıda kolon ve kirişlerin hasar sınırlarına göre değerlendirilmesi

Sismik yalıtımsız yapıda 1. kat kolon kesitlerinde % 7.14 göçme gözlenirken sismik yalıtımlı yapıda herhangi bir kolon kesitinde göçme gözlenmemiştir. Sismik yalıtımsız yapı göçmenin önlenmesi performans düzeyini sağlamamıştır.

Sınırlı hasar performans düzeyinde, betonarme binaların herhangi bir katında, kalan taşıyıcı elemanların tümünün sınırlı hasar bölgesinde kalması koşuluyla kirişlerin en fazla %20' si Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilmektedir. İki durumda da sınırlı hasar performans düzeyi sağlanamamıştır. Sismik yalıtımlı yapıda belirgin hasar bölgesindeki hasar oranı %20' yi aşmış ve % 35 in üzerinde olduğundan yapı kontrollü hasar performans düzeyini karşılamaktadır. Sismik yalıtımlı yapıda göçme durumunda eleman bulunmadığından yapı TBDY 2018 koşullarına göre ileri hasar seviyesinde bulunmaktadır. Ancak patlama etkileri sonucunda yapı elemanlarının sünek davranış gösterememesi durumunda gevrek kırılmalar meydana gelebileceğinden hasar seviyeleri hakkında net bir sonuca varılamamaktadır.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında patlama yükleri etkileri altında sismik yalıtımlı yapıların dinamik davranışı incelenmiştir.

Bu amaçla 3 katlı betonarme bir yapı modeli SAP 2000 yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Mevcut yapı TB DY 2018’ de ifade edilen malzeme modellerine göre doğrusal olmayan elemanlar ile modellenmiştir. Yapı elemanlarının alt ve üst uçlarına yığılı plastik davranışını tanımlamak üzere plastik mafsalları tanımlamaları yapılmıştır. Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıların davranışlarının karşılaştırılmasında farklılık olmaması için eğilme rijitliği parametrelerinde değişiklik yapılmamıştır. Mevcut binanın TB DY 2018’ in ön gördüğü koşullara uygun olarak sismik yalıtımlı olarak tasarımı yapılmıştır. TB DY 2018’ in ön gördüğü birim şekil değiştirme sınırlarına göre eş değer deprem yükü yöntemine göre yalıtım birimi tasarımı yapılmıştır. Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıların patlama etkileri altında davranışları karşılaştırılmıştır. Doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlere göre analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapıların göreceli kat ötelemeleri, taban kesme kuvvetleri ve kat yer değiştirmeleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca tasarlanan yalıtım birimlerinin davranışları incelenmiş ve sönümlendiği enerji miktarları hesap edilmiştir. Sonrasında iki yapının farklı mesafelerde patlama yükleri etkileri altında performans analizleri gerçekleştirilerek yapı performansında gelişme olup olmadığı incelenmiştir.

Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıların patlama yükü analizlerinde kullanılmak üzere patlama yükü modeli tasarımı yapılmıştır. Çeşitli patlama mesafeleri ve farklı patlayıcı ağırlıklarına göre patlama yükü profilleri elde edilmiştir. Farklı patlayıcı ağırlığı ve patlama mesafelerine göre maksimum patlama yükü basıncı değerleri elde edilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda ve elde edilen veriler doğrultusunda,

- Çeşitli patlayıcı maddelerin patlama hesaplamalarında referans patlayıcı olarak kullanılan TNT' ye eş değer ağırlıkları belirlenmiştir. 100 kg TNT' ye karşılık gelen patlayıcı ağırlıkları hesaplanmıştır.
- Çeşitli ağırlıktaki patlayıcıların güvenli patlama mesafeleri sayısal olarak hesap edilmiştir. Kanada Ulaştırma Bakanlığının tehlikeli madde taşımacılığında kullanılan güvenli mesafelerle karşılaştırılmıştır. Bu mesafeler betonarme yapılara göre değerlendirilmediğinden mesafelerde farklılıklar görülmüştür.
- 227 kg TNT patlayıcının 5 metre, 10 metre 15 metre ve 20 metre mesafelerde yapı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çeşitli mesafelerde patlayıcıların sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapı üzerinde patlayıcıya en yakın konumda bulunan kritik kolonun patlama etkileri sonucunda etki/kapasite oranları karşılaştırılmıştır. Çeşitli patlayıcı ağırlıklarına göre kolon kapasitesinin aşıldığı mesafeler doğrusal yöntemlere göre belirlenmiştir. Analizler sonucunda yalıtımlı yapıda aynı mesafede patlama etkilerinin azaltıldığı görülmüştür.
- FEMA 452' de Binalara Karşı Muhtemel Terörist Saldırıların Azaltılması İçin Gerekenleri bir kılavuzda yayınlamış ve patlama etkileri altında yapıların alacağı hasarlar hakkında giriş bölümünde patlayıcı ağırlıkları ve patlama mesafeleri hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmada kullanılan mesafeler ve patlayıcı ağırlıkları göz önünde bulundurulduğunda kılavuzda belirtilen verilerle analiz sonuçlarının örtüştüğü gözlenmiştir.
- Farklı mesafelerde sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapılarda doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlere göre katların yer değiştirme değerleri elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. SAP 2000 yazılımında FNA (Fast Nonlinear Analysis) metod olarak da bilinen yonteme göre yapılan çözümlemelerde Doğrusal integrasyon hesaplamalarında elde edilen sonuçlara yakın sonuçlar elde edilmiştir.
- Farklı mesafelerdeki patlama etkilerine karşılık gelen taban kesme kuvveti değerleri sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapılarda doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlere göre hesap edilmiş ve karşılaştırılmıştır. FNA (Fast Nonlinear Analysis) metoduna göre yapılan çözümlemelerde ve Doğrusal İntegrasyon (DIM) hesaplamalarında elde edilen sonuçlarda büyük bir farklılık oluşmamıştır.

- Patlama analizleri sonucunda yalıtım birimlerinin davranışları incelenmiştir. Yalıtım birimlerinin güvenli patlama mesafeleri elde edilmiştir.
- Sayısal çözümler sonucunda enerji girdileri ve tüketilen enerji miktarları hesap edilmiştir.
- Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapıların patlama etkileri altında doğrusal olmayan davranışının incelenmesi ve yapı elemanlarının davranışlarını incelemek amacıyla sismik yalıtımlı ve sismik yalıtımsız yapıların performans analizleri yapılmıştır. Performans analizleri sonucunda 227 kg TNT etkisi altında 10 metre mesafede Performans analizi 1 'de iki yapı da göçme durumunda iken performans analizi 2' de sismik yalıtımlı yapı ileri hasar seviyesinde sismik yalıtımsız yapı ise göçme durumundadır. Sismik yalıtımlı yapı göçmenin önlenmesi performans düzeyini sağlarken, sismik yalıtımsız yapı sağlamamaktadır. Ayrıca plastik mafsal yoğunlukları göz önünde bulundurulduğunda, sismik yalıtımlı durumda plastik mafsal yoğunluğunun 1. kattan üst kata kaydığı görülmüştür.

6.1. Öneriler

Geleceğe yönelik çalışmalarda çalışmanın geliştirilmesine yönelik öneriler şunlardır:

- Bu tez çalışmasında yalıtım birimi olarak Kurşun çekirdekli kauçuk sönümleyiciler kullanılmıştır. Geleceğe yönelik çalışmalarda farklı sönümleyicilerin etkileri araştırılabilir.
- Patlama etkileri altında yapılar eleman bazında bölgesel hasar aldığından yapıda düzensizliğe neden olabilmektedir. Taban yalıtımı yapının patlama etkileri altında yüklerin belirli oranlarda dağılmasını sağlayarak bir miktar genel yapısal bir hasara neden olmaktadır. Bu durumda elemanların alacağı hasar tahmini konusunda sismik yalıtım bulunmayan yapılara oranla geleneksel yöntemlerden yararlanılarak daha gerçekçi yaklaşımlarda bulunulabilir.
- Mesafenin değişmesi patlama etkilerini önemli ölçüde değiştirmektedir. Sismik taban yalıtımı uygulanan binada taban kesme kuvvetleri önemli ölçüde azalmıştır. Yapı doğrusal olmayan yöntemlere göre değerlendirildiğinde de iki yapıda da can güvenliğinin sağlanamadığı sonucuna varılmıştır. Patlama yükü etkileri tam olarak belirlenemediğinden çalışmanın deneysel yöntemlerle desteklenmesi

parametrelerin çoğaltılması farklı malzeme modellerinin kullanılması çalışma verimliliğini artırabilir.

- Patlama etkileri altında yapılarda performansın değerlendirilmesine yönelik çalışmalar geliştirilebilir. Patlama etkileri deprem yüklerinden farklı etkilere neden olduğundan yapı elemanlarındaki davranışı da etkilemektedir. Patlama etkilerini deprem yönetmeliğine göre değerlendirmek elemanların sünek davrandığı hesaba katılarak yapılabilir. Ancak patlama etkileri altında yapı elemanlarının gevrek olarak hasar alması söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle patlama etkileri altında yapı davranışı yapı malzemelerinin değiştirilerek değerlendirilmesi, patlama etkileri altında yapı elemanlarını davranışlarına yönelik malzeme modellerinin oluşturulması çalışmanın gerçekçiliğini artırabilir.
- Dışarda gerçekleşen yüzey patlamaları terör faaliyetleri sonucu gerçekleşmesinin yanı sıra depremin ikincil etkileri sonucunda, yanıcı-yakıcı madde bulunan her yerde karşımıza çıkabilir. Sismik taban yalıtımının günümüz binalarında yeni yeni kullanılmaya başlanmış olması patlama etkileri altında yapı davranışının bilinmezliğini ortaya koymaktadır. Taban yalıtımının patlama etkilerine karşı sönümleyici etki yapacağı teorik olarak kabul edilse de deneysel verilerle desteklemesi gerekmektedir. Patlamanın yanı sıra patlamanın ikincil etkileri olarak meydana gelen yangınlar da yapıların tahribine ve can kaybına neden olmaktadır. Patlamanın yanında yangına karşı önlemlerin de alınması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- AFAD (2018), Türkiye Deprem Tehlike Haritaları Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, <http://tdth.afad.gov.tr/TDTH>
- Altun, F., Yılmaz, C., Durmuş, A., & Kamuran, A. (2006). Çelik Lif Katkılı Ve Katkısız Betonarme Kirişlerin Basit Eğilme Ve Patlama Yükleme İle Davranışlarının İncelenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 22(1), 112-120.
- Army, U. S. (1990). Structures to resist the effects of accidental explosions, TM 5-1300. *US Department of the Army Technical Manual*, Washington, DC.
- ASCE. (1985). Design of structures to resist nuclear weapons effects. *ASCE manual 42*.
- ASCE. (1997). Design of blast resistant buildings in petrochemical facilities. Reston, Va.: *US ASCE*.
- Baker W.E., (1973) “Explosions in Air”, Univ. of Texas Press, Austin TX USA.
- Banthia, N., Yan, C., & Sakai, K. (1998). Impact resistance of fiber reinforced concrete at subnormal temperatures. *Cement and Concrete Composites*, 20(5), 393-404.
- Bhosale, S. D., Suryawanshi, Y. R., & Bendale, K. V. (2016). Dynamic Behaviour of Frame Structure Subjected To Blast Loadings. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology ISO*, 3297. <https://doi.org/10.17148/IARJSET.2016.3846>
- Brode, H. L. (1955). Numerical solutions of spherical blast waves. *Journal of Applied physics*, 26(6), 766-775.
- Brode, H. L. (1956). *Point source explosion in air* (No. AECU-3517; RM-1824-AEC; AD-133). RAND Corp., Santa Monica, Calif.
- Celep Z., (2017). Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, 5. baskı, Beta, İstanbul.
- Chandler AM, Lam NTK, Wilson JL and Hutchinson GL. Review of Modern Concepts in the Engineering Interpretation of Earthquake Response Spectra, ICE Proceedings : Structures and Buildings. 146(10),75-84.

- Chiranjeevi, M. D., & Simon, J. (2016). Analysis of reinforced concrete 3d frame under blast loading and check for progressive collapse. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(30). <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i30/99232>
- Chopra, A. K. (2015). Yapı dinamiği: teori ve deprem mühendisliği uygulamaları, çev Luş, Palme.
- Comert, M., & Ilki, A. (2009, October). Blast Resistance Assessment of a Typical Public Building in Turkey. In *International Conference UACEG2009: Science & Practice* (Vol. 29, No. 31, p. 31).
- Comert, M., & Ilki, A. (2010). Explosion Performance of a Ball Powder Production Facility. *Journal of performance of constructed facilities*, 24(4), 326-336.
- Cömert, M . (2010). *Betonarme Yapıların Patlamalar Karşısındaki Performanslarının Değerlendirilmesi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Dewey, J. M. (2018). The Rankine–Hugoniot Equations: Their Extensions and Inversions Related to Blast Waves. In *Blast Effects* (pp. 17-35). Springer, Cham.
- Draganić, H., & Sigmund, V. (2012). Blast loading on structures. *Technical Gazette*, 19(3), 643-652.
- Dündar, H. Y. (2009). *Hava Araçlarında Kullanılan Cam Panellerin Dinamik Analizi* (Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi ,Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Emergency Response Guidebook (2016), Kanada Ulaştırma Bakanlığı,
- Eugene, F. (1954). *U.S. Patent No. 2,686,963*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- FEMA. (2003). Primer for Design of Commercial Buildings to Mitigate Terrorist Attacks. *FEMA 427*.
- FEMA. (2005). *Risk Assessment A How-To Guide to Mitigate Potential Terrorist Attacks Against Buildings FEMA-452*. Washington DC: Department of Homeland Security.
- FEMA (2007). Risk Management Series, *Site and Urban Design for Security Guidance Against Potential Terrorist Attacks, FEMA 430*
- Friedlander, F. G. (1946). The diffraction of sound pulses I. Diffraction by a semi-infinite plane. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 186(1006), 322-344.
- Fujikura, S., Bruneau, M., & Lopez-Garcia, D. (2008). Experimental investigation of multihazard resistant bridge piers having concrete-filled steel tube under blast loading. *Journal of Bridge Engineering*, 13(6), 586-594.

- Goel, M. D., & Matsagar, V. A. (2014). Blast-resistant design of structures. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 19(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SC.1943-5576.0000188](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000188)
- Gökhan, E. (2009). *Betonarme Yapılarda İzolatör Kullanımının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkileri* (Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Guidebook, E. R. (2016). US Department of Transportation Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration.
- Henrych, J., & Major, R. (1979). *The dynamics of explosion and its use* (Vol. 569). Amsterdam: Elsevier.
- Hinman E, Engineers PHC (2017) Blast safety of the building envelope. Whole Building Design Guide 2017. Erişim adresi: <https://www.wbdg.org/resources/blast-safety-building-envelope>
- Hoşbaş, A. B. (2006). *Çok Katlı Betonarme Yapının Sismik İzolatörlerle Modellenmesi Ve Yapının Perdelerle Güçlendirilmiş Durumu İle Karşılaştırılması* (Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Karlos, V., & Solomos, G. (2013). Calculation of blast loads for application to structural components. *Report EUR*, 26456.
- Karlos, V., Solomos, G., & Larcher, M. (2016). Analysis of the blast wave decay coefficient using the Kingery–Bulmash data. *International Journal of Protective Structures*, 7(3), 409–429. <https://doi.org/10.1177/2041419616659572>
- Kazi, S. N., & Muley, P. V. (2017). Analysis of blast resistant RCC structure. *International Research Journal of Engineering and Technology*. www.irjet.net
- Kingery, C. N., & Bulmash, G. (1984). Technical report ARBRL-TR-02555: Air blast parameters from TNT spherical air burst and hemispherical burst. *AD-B082*, 713.
- Kingery, C. N., & Bulmash, G. (1984). *Airblast parameters from TNT spherical air burst and hemispherical surface burst*. US Army Armament and Development Center, Ballistic Research Laboratory.
- Kinney, G. F., & Graham, K. I. (1985). *Explosive Shocks in air*, Poringe–Verlag Berlin Heidelberg. New York Tokyo.
- Krauthammer, T. (1999). Blast effects and related threats. *Penn State University*.
- Lam, N., Mendis, P., & Ngo, T. (2004). Response Spectrum Solutions for Blast Loading. *İçinde Electronic Journal of Structural Engineering* (C. 4).
- Makris, N. (2019). Seismic isolation: Early history. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 48(2), 269-283.

- Mays, G., Smith, P. D., & Smith, P. D. (Eds.). (1995). *Blast effects on buildings: Design of buildings to optimize resistance to blast loading*. Thomas Telford.
- Mills C. A. (1987) “The design of concrete structures to resist explosions and weapon effects”. Proceedings of the 1st Int. Conference on concrete for hazard protections, Edinburgh, UK.
- Mindess, S., & Yan, C. (1993). Perforation of plain and fibre reinforced concretes subjected to low-velocity impact loading. *Cement and Concrete Research*, 23(1), 83-92.
- National Research Council. (2002). *Protecting People and Buildings from Terrorism: Technology Transfer for Blast-effects Mitigation*. National Academies Press.
- Nelson Lam, John Wilson. (2004) Displacement Modelling of Intraplate Earthquakes, International Seismology and Earthquake Technology Journal (special issue on Performance Based Seismic Design), Indian Institute of Technology. Accepted for publication and inpress.
- Newmark, N. M. (1953). *An engineering approach to blast resistant design*. AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS NEWYORK.
- Newmark, N. M., & Hansen, R. J. (1961). Design of blast resistant structures. *Shock and vibration handbook*, 3.
- Oltulu, M., & Altun, M. G. (2017). Betonun Darbe Dayanımının Tespitinde Ağırlık Düşürme Deney Yöntemi ve Yapılan Çalışmalar. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 155-163.
- Öğünç, G. İ. *Kent Güvenliğinde Araç Bomba Saldırısı Tehdidi*. ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi, 401-416.
- Özçelik N., 2016. *Pkk Ve Bombalı Araç Saldırıları*. SETA dergisi, 170,7-23.
- Reitherman, R. (2017). Book Review: Seismic Architecture: The Architecture of Earthquake Resistant Structures.
- Saatçi, S. (2010). Darbe ve Patlama Yüklerine Karşı Yapı Tasarımı.
- Sadovsky, M. A., & Adushkin, V. V. (2004). Selected works: Geophysics and physics of explosion. *M.: Nauka*.
- SAP2000, C. S. I. (2019). V21. Integrated Software for Structural Analysis and Design. *Computer & Structures Inc. Berkeley, California, USA*.
- Smith, P. D., & Hetherington, J. G. (1994). Blast and ballistic loading of structures. Laxtons.

- Syed, Z. I., Mohamed, O. A., Murad, K., & Kewalramani, M. (2017). Performance of Earthquake-resistant RCC Frame Structures under Blast Explosions. *Procedia Engineering*, 180, 82–90. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.167>
- TBDY (2018), Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, <https://www.afad.gov.tr/tr/24210/Turkiye-Bina-Deprem-Yonetmeligi>
- Topçu, A., & Osmangazi Üniversitesi, E. (2006). *Yapılarda patlama hasarlarını azaltıcı önlemler*. <http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/1>
- Toplu, E. , Kırtel, O.2019. Patlama Yükleri Etkisi Altında Sismik Yalıtımlı Betonarme Yapıların Performansının İncelenmesi. *Academic Perspective Procedia*, 2 (2), 110-119. DOI: 10.33793/acperpro.02.02.15
- Unified Facilities Criteria (UFC). (2008). Structures to resist the effects of accidental explosions. *UHPFRC 3–*, 340-02.
- Verma, S., Choudhury, M. & Saha P. (2016). BLAST RESISTANT DESIGN OF STRUCTURE. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 04(25), 64–69. <https://doi.org/10.15623/ijret.2015.0425010>
- Zhang, R., & Phillips, B. M. (2015). Numerical study on the benefits of base isolation for blast loading. *In 6th international conference on advances in experimental structural engineering, 11th international on advance smart materials and smart structures technology work shop*.
- url-1< <https://www.aa.com.tr>>, erişim tarihi 20.12.2019
- url-2< <https://www.haberturk.com>>, erişim tarihi 20.12.2019
- url-3< <https://www.maurer.eu/tr>>, erişim tarihi 27.12.2019
- url-4< <https://medium.com>>, erişim tarihi 28.04.2020
- url-5< <https://www.yenisafak.com>>, erişim tarihi 20.12.2019

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Elif Toplu
Doğum Tarihi ve Yeri : 17.10.1995 Sakarya
E-posta : eliftoplu@subu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM

- 2017 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı.
- 2018 yılında Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'ne yatay geçiş yaptı. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı.
- 2019 yılında Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı.

YAYINLAR

- Toplu, E. , Kırtel, O.2019. Patlama Yükleri Etkisi Altında Sismik Yalıtımlı Betonarme Yapıların Performansının İncelenmesi. Academic Perspective Procedia, 2 (2), 110-119. DOI: 10.33793/acperpro.02.02.15
- Toplu, E. , Kırtel, O.2019. Investigation of Dynamic Behavior of Structures Under Explosion Loads. Patlama Yükleri Etkisi Altındaki Yapıların Dinamik Davranışının İncelenmesi. Bildiriler Kitabı-IESKO 2019,10246.