

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KAT SEVİYELERİ FARKLI BİTİŞİK BETONARME
BİNALAR ARASINDAKİ GEREKLİ DERZ MESAFELERİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EŞREF DENİZ

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2024

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**KAT SEVİYELERİ FARKLI BİTİŞİK BETONARME
BİNALAR ARASINDAKİ GEREKLİ DERZ MESAFELERİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EŞREF DENİZ

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2024

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

EŞREF DENİZ

ÖZET

KAT SEVİYELERİ FARKLI BİTİŞİK BETONARME BİNALAR ARASINDAKİ GEREKLİ DERZ MESAFELERİNİN BELİRLENMESİ YÜKSEK LİSANS TEZİ

EŞREF DENİZ

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. MEHMET İNEL)

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2024

Çalışmanın amacı, kattan kolona çarpma potansiyeli olan betonarme (RC) binalar için kesme hasarını önlemeye dayalı olarak gerekli minimum sismik boşluk mesafesini araştırmaktır. Düşük ve orta katlı binaları yansıtan 20 farklı bitişik bina modeli oluşturulmuştur. Dinamik analizler, Türk Bina Deprem Yönetmeliği-2018 (TBDY-2018) ile uyumlu 11 deprem kayıt çifti seçilerek gerçekleştirilmiştir. Gerekli minimum sismik boşluk mesafesini belirlemek için iki farklı durum dikkate alınmıştır. İlk durumda (Durum-1 olarak adlandırılmıştır), komşu binalar arasındaki boşluk mesafeleri her ivme kaydı sırasında çarpışmaları önlemek için belirlenmiştir. Analizlerden hesaplanan gerekli mesafeler, TBDY-2018'in minimum sismik boşluk gereksinimleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, TBDY-2018'de döşemeden kolona çarpma potansiyeli olan bitişik binalar için önerilen α katsayısının, periyot oranı 1 ila 1,5 olan bitişik binalar için yeterli olduğunu göstermektedir. Daha sonra ilk durumdaki boşluk mesafeleri, kesme talebinin kesme dayanımına eşit olduğu mesafeyi belirlemek için iteratif bir süreçle azaltılmıştır (Durum-2 olarak adlandırılmıştır). Kesme hasarını önlemek için hesaplanan boşluk mesafeleri (Durum-2), çarpmayı önlemek için belirlenen mesafelerden (Durum-1) yaklaşık %6 ila %19 daha düşüktür.

ANAHTAR KELİMELER: Betonarme Binalar, Bitişik Binalar, Çekiçleme, Döşemeden Kolona Çarpışma, Sismik Derz Mesafesi, Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

ABSTRACT

DETERMINATION OF REQUIRED SEPARATION DISTANCES BETWEEN ADJACENT REINFORCED CONCRETE BUILDINGS WITH DIFFERENT FLOOR LEVELS

**MSC THESIS
EŞREF DENİZ**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
CIVIL ENGINEERING
(SUPERVISOR: PROF. DR. MEHMET İNEL)**

DENİZLİ, AUGUST 2024

This study aims to investigate the minimum required seismic gap distance based on the avoidance of shear failure for reinforced concrete (RC) buildings with potential floor-to-column pounding. 20 different adjacent building models reflecting low and mid-rise buildings were created. Dynamic analyses were performed selecting 11 earthquake record pairs compatible with the 2018 Turkish Building Earthquake Code (TBEC-2018). Two different cases were taken into account to determine the minimum required seismic gap distance. In the first case (named as Case-1), the gap distances between neighboring buildings were determined to avoid collisions during each acceleration record. The required distances calculated from the analyses were compared with the minimum seismic gap requirements of the TBEC-2018. The outcomes indicate that the α coefficient recommended in TBEC-2018 for adjacent buildings with a potential floor-to-column pounding is sufficient for adjacent buildings with a period ratio of 1 to 1.5. Then the gap distances in the first case were reduced by an iterative process to determine the distance at which the shear demand equals to the shear strength (named as Case-2). The calculated gap distances to prevent shear failure (Case-2) are approximately 6% to 19% lower than the distances determined for avoidance of pounding (Case-1).

KEYWORDS: Reinforced Concrete, Adjacent Buildings, Seismic Pounding, Floor-to-Column-Seismic Gap Distance, Nonlinear Time History Analysis

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ.....	vi
SEMBOL LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı	5
1.2 Literatür Özeti	6
1.2.1 Çekiçleme Üzerine Yapılan Çalışmalar	6
1.2.2 Derz Mesafesi Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	12
1.3 Tezin Organizasyonu	17
2. YAPI ÖZELLİKLERİ VE MODELLEME	18
2.1 Genel	18
2.2 Bina Modelleri.....	19
2.3 Doğrusal Elastik Olmayan Yapı Davranışı	24
2.3.1 Davranış Biçimleri	24
2.3.2 Plastik Mafsallık Hipotezi	26
2.3.3 Moment Eğrilik İlişkisi.....	27
2.4 Bitişik Binaların Analitik Modelleri.....	30
2.5 Link Eleman Özellikleri ve Bitişik Bina Modelleri.....	30
3. DEPREM İVME KAYITLARININ SEÇİMİ	38
3.1 İvme Kaydının Seçiminde Kullanılan Kriterler	39
3.2 Tasarım İvme Spektrumu.....	39
3.3 Optimizasyon Problemi.....	41
3.4 Seçilen İvme Kayıtları ve Ölçek Katsayıları.....	43
4. ANALİZ SONUÇLARI.....	45
4.1 Giriş ve Organizasyon.....	45
4.2 Minimum Derz Mesafesinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler.....	46
4.2.1 Mutlak Toplam (ABS) Yöntemi	46
4.2.2 Karelerin Toplamının Karekökü (SRSS) Yöntemi	47
4.2.3 DDC Yöntemi	47
4.2.4 Kamal ve İnel (2022 ^a) Tarafından Önerilen Yöntem	48
4.3 Çarpışmasız Durumdaki Derz mesafesi (Durum-1)	50
4.4 Kritik Kolonun Kesme Talebi ve Kesme Dayanımı.....	54
4.5 Kesme Dayanımı İçin Boşluk Mesafesi (Durum-2)	61
5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	68
6. KAYNAKLAR	71
7. ÖZGEÇMİŞ.....	77

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Çekişleme Etkisi	1
Şekil 1.2. Çarpışma Türleri	3
Şekil 1.3. 6 Şubat 2023 Depremi, Kahramanmaraş (Toprak ve diğ. 2023)	4
Şekil 2.1. 3 boyutlu 10 katlı bina modeli	18
Şekil 2.2. Bina modelinin y-z doğrultusu kiriş kolon dağılımı	20
Şekil 2.3. İncelenen binaların tipik kat planı görünümü ve kolon donatı bilgileri a) 6-,7-,8-,9-,10 katlı binalar için alt kat planı b) 3,4,5 katlı binalarda alt kat planı, 6,7,8,9 ve 10 katlı binalarda üst kat planı	22
Şekil 2.4. Tüm bina modellerinin kapasite eğrileri.....	23
Şekil 2.5. Rijit davranış.....	24
Şekil 2.6. Elastik davranış.....	25
Şekil 2.7. Plastik davranış	25
Şekil 2.8. Plastik mafsal hipotezi.....	26
Şekil 2.9. Betonarme elemanın moment eğrilik diyagramı.....	27
Şekil 2.10. a) Plastik mafsal tipik kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi b) göçmenin olmadığı durum	28
Şekil 2.11. a) Kelvin Modeli b) Kuvvet-şekil değiştirme grafiği (DesRoches ve Muthukumar 2004, Muthukumar ve DesRoches 2006)	31
Şekil 2.12. Temas elemanının farklı rijitlik değerleri için 10 katlı binanın tüm katlarındaki kesme talebi/kesme kapasitesi oranları a)5619-H1 kaydı b)5829-H1 kaydı.....	32
Şekil 2.13. Temas elemanının farklı sönüm değerleri için 10 katlı binanın tüm katlarındaki kesme talebi/kesme kapasitesi oranları a) 5619-H1 kaydı b) 5829-H1 kaydı.....	33
Şekil 2.14. a) 8 ve 5 katlı bitişik binaların 3B görünümü b) cephe görünümü c) plan görünümü.....	35
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan bina modelleri için yatay tasarım ivme spektrumu grafiği (TBDY-2018).....	41
Şekil 3.2. Ölçeklendirilmiş kayıtların SRSS ivme spektrumları	44
Şekil 3.3. Ölçeklendirilmiş kayıtların ivme spektrumları ve ivme spektrumlarının ortalaması, E(T).....	44
Şekil 4.1. Tezin organizasyon şeması	45
Şekil 4.2. Analiz sonuçlarının TBDY-2018 ve Kamal ve Inel (Kamal ve Inel 2022 ^a) tarafından önerilen α katsayısı ile karşılaştırılması	52
Şekil 4.3. Farklı kat seviyelerine sahip komşu binalar arasında gözlenen kesme göçmesi (Kahramanmaraş Depremleri, 2023).....	55
Şekil 4.4. 10 ve 3 katlı binadan oluşan ikili modelin 3B görünümü	56
Şekil 4.5. a) 10 katlı bina b) 3 katlı binaların plan görünümleri	56
Şekil 4.6. Farklı bitişik bina modelleri için kesme talebi ve kritik kolonun kesme dayanımı oranı ($d=0$ m).....	58
Şekil 4.7. Kesme talebi ve kesme dayanımı açısından değerlendirilen modelin 3B görünümü, a) 10b-3b ikili modeli, b) 3b-10b ikili modeli	62

Şekil 4.8. 4889-h1 kaydı için farklı ayırma mesafeleri için 10b-3b ve 3b-10b bitişik bina modelinde 10 katlı binanın 4. kat seviyesindeki kritik kolonun kesme dayanımı ve kesme talebi	
a) 10b-3b bitişik bina için $d=40$ mm, b) 3b-10b bitişik bina için $d=40$ mm, c) 10b-3b bitişik bina için $d=60$ mm, d) 10b-3b bitişik bina için $d=63$ mm, e) 10b-3b bitişik bina için $d=64$ mm	63
Şekil 4.9. a) Durum-2'deki her bir ivme kaydı için elde edilen sismik boşluk mesafelerinin Durum-1 ile oranları b) bu oranların yüzde değerleri	65
Şekil 4.10. Durum-2 için elde edilen boşluk mesafelerinin Durum-1'e göre ortalama oranı	65
Şekil 4.11. Analiz sonuçlarının Kamal ve Inel (Kamal ve Inel 2022 ^a) tarafından önerilen m katsayısı ile karşılaştırılması	67

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Bina genel özellikleri	20
Tablo 2.2. Bina modellerinin kolon ve kiriş boyutları.....	21
Tablo 2.3. Bina modellerinin dinamik karakteristik özellikleri	23
Tablo 2.4. İzin verilen şekil değiştirme hasar sınırları.....	28
Tablo 2.5. Hasar sınırlarına göre plastik dönme sınırları.....	29
Tablo 2.6. Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları	29
Tablo 2.7. Durum-1 için oluşturulan 10 farklı ikili bina modeli	36
Tablo 2.8. Durum-2 için oluşturulan 20 farklı ikili bina modeli	37
Tablo 3.1. Zemin sınıflarına ait değişen V_{s30} değerleri.....	40
Tablo 3.2. Spektrum şeklini kontrol eden parametreler	41
Tablo 3.3. Seçilen kayıtların özellikleri	44
Tablo 4.1. Durum-1 için hesaplanan gerekli minimum ayırma mesafeleri (mm).....	53
Tablo 4.2. TBDY-2018 ve Kamal ve Inel (Kamal ve Inel 2022a) tarafından önerilen basitleştirilmiş yöntem ile dinamik analizlerden elde edilen α katsayılarının karşılaştırılması	54
Tablo 4.3. Belirli ivme kayıtları için 10 ve 3 katlı binaların tüm katlarındaki kesme talebi/kesme kapasitesi oranları.....	57
Tablo 4.4. Farklı bitişik bina modelleri için kesme talebi ve kritik kolonun kesme dayanımı oranları ($d=0$ m).....	59
Tablo 4.5. Bitişik bina modellerinin farklı bina konfigürasyonları için kesme talebi ve kritik kolonun kesme dayanımı oranları ($d=0$ m).....	60
Tablo 4.6. Durum-2'de her bitişik bina için gerekli minimum ayırma mesafesi (mm)	64
Tablo 4.7. Her bir ivme kaydı için elde edilen Durum-2/Durum-1 oranlarının ortalama, maksimum ve minimum değerleri.....	65
Tablo 4.8. Kamal ve Inel (Kamal ve Inel 2022a) tarafından önerilen basitleştirilmiş yöntem ile Durum-1 ve Durum-2 için dinamik analizlerden elde edilen m katsayılarının karşılaştırılması	67

SEMBOL LİSTESİ

b_w	: Kirişin gövde genişliği
c_k	: Link elemanın viskoz sönüm katsayısı
E	: Elastisite modülü
$E(T)$: İki asal yön için seçilen ivme kayıtları kullanılarak elde edilen bileşke spektrum (g)
e	: Link eleman enerji verimlilik katsayısı
f	: Zemin frekansı (Hz)
F	: Ölçekleme katsayısı
f_{ctm}	: Mevcut betonun çekme dayanımı
f_{ce}	: Betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı (MPa)
f_{ywe}	: Enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımı (MPa)
G_{duvar}	: Duvar yükü
d	: İkili bina modelleri arasındaki derz mesafesi
K_k	: Link eleman yay rijitliği
L_p	: Plastik mafsal boyu (m)
m_1	: İkili bina modellerindeki sol binanın kütlesi
m_2	: İkili bina modellerindeki sağ binanın kütlesi
M_w	: Deprem büyüklüğü
n	: Hareketli yük azaltma katsayısı
Q	: Hareketli yük
$S_{ae}(T)$: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi (g)
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
S_{D1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
S_s	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
S_1	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
T_{1x}	: Bina hakim titreşim periyodu (s)
T_A	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (s)
T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (s)
T_d	: Yer hareketinin süresi
T_L	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu (s)
u_1	: İkili bina modellerindeki sol binanın ilgili kat seviyesindeki deplasman değeri
u_2	: İkili bina modellerindeki sağ binanın ilgili kat seviyesindeki deplasman değeri
V_{s30}	: Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı (m/s)
V_y/W	: Sismik dayanım oranı
W	: Bina ağırlığı (kN)
ω_{we}	: Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı
α_{se}	: Sargı donatısı etkinlik katsayısı
ϵ_s	: Donatı çeliği birim şekil değiştirmesi
$\epsilon_c^{(KH)}$: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_c^{(SH)}$: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı

$\epsilon_c^{(GÖ)}$: Göçmenin Önlenmesi Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_s^{(KH)}$: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirmesi sınırı
$\epsilon_s^{(SH)}$: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği şekil değiştirmesi sınırı
$\epsilon_s^{(GÖ)}$: Göçmenin Önlenmesi Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirmesi sınırı
ϵ_{su}	: Maksimum dayanıma karşı gelen donatı birim uzaması
$\rho_{sh,min}$: İki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanı
ϕ_u	: Göçme öncesi eğrilik (m^{-1})
ϕ_y	: Akma eğriliği (m^{-1})
$\theta_p^{(KH)}$: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı (rad)
$\theta_p^{(GÖ)}$: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı (rad)
$\theta_p^{(SH)}$: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı (rad)
\dot{u}_1	: İkili bina modellerindeki sol binanın hız değeri
\dot{u}_2	: İkili bina modellerindeki sağ binanın hız değeri
ξ	: Link eleman sönüm oranı
d_{ABS}	: ABS yönteminde önerilen derz mesafesi
d_{TBDY}	: TBDY-2018 tarafından önerilen derz mesafesi
d_{SRSS}	: SRSS yönteminde önerilen derz mesafesi
δ_{Mi}	: Bitişik binaların elastik olmayan yer değiştirmesi
δ_{max}	: Maksimum elastik olmayan yer değiştirme
I	: Önem faktörü
C_d	: Yer değiştirme amplifikasyon faktörü
δ_{el}	: Elastik deplasman
δ_{ed}	: Elastik olmayan spektral deplasman
ξ_1	: Bina çiftlerinden ilk binanın sönüm oranı
ξ_2	: Bina çiftlerinden ikinci binanın sönüm oranı
ξ_{eff}	: Efektif sönüm oranı
T_{eff}	: Efektif periyot
μ	: Düktilite oranı
T_0	: Başlangıç periyodu
ξ_0	: Başlangıç sönüm oranı
ρ	: DDC yönteminde korelasyon katsayısı
H	: Bina yüksekliği

KISALTMA LİSTESİ

2B	: İki boyutlu
3B	: Üç boyutlu
ABS	: Absolute Sums
ASCE-10	: American Society of Civil Engineers (2010)
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
CQC	: Complete Quadratic Combination
ÇSD	: Çok Serbestlik Dereceli Sistem
DBYBHY-2007	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Olan Binalar Hakkında Yönetmelik
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DDC	: Double Difference Combination method
DGA	: Diferansiyel Gelişim Algoritması
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
EC-8	: Eurocode (2004)
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi
IBC-2009	: International Building Code 2009
KH	: Kontrollü Hasar
PEER	: Pacifik Earthquake Engineering Research Center
PGA	: Peak Ground Acceleration
PGD	: Peak Ground Displacement
PGV	: Peak Ground Velocity
RC	: Betonarme Bina
SAP2000	: Structural Analysis Program
SEMap	: Sargı Etkisi Modelleme Analiz Programı
SH	: Sınırlı Hasar
SPD	: Spectral Difference Method
SRSS	: Square Roots of The Sum of The Squares
SSSI	: Structure-Soil-Structure Interaction
TBDY-2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)
TSD	: Tek Serbestlik Dereceli Sistem
TS498, TS500	: Türk Standartları
UBC-88	: Uniform Building Code-1988
UBC-97	: Uniform Building Code-1997
YZYE	: Yapı-Zemin-Yapı Etkileşimi

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde destek ve katkılarını esirgemeyen, lisans ve yüksek lisans öğrenimimde engin bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım danışmanım, değerli hocam Prof. Dr. Mehmet İNEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez sürecimde yardımını hiçbir zaman esirgemeyen ve bu çalışmaya en az benim kadar emek vermiş olan, tez çalışmasını birlikte yürüttüğümüz, bir abi gibi yakın hissettiğim, kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Muhammet KAMAL'a ve bana ayırmış olduğu zamandan dolayı anlayış gösteren değerli ailesine teşekkür ederim.

Lisansüstü dönemimde her zaman yanımda hissettiğim, pozitif yönde vermiş olduğu öneri ve destekleriyle yol gösteren, emeklerini, bilgi ve tecrübesini esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Bayram Tanık ÇAYCI'ya, neşesiyle ve enerjisiyle bana iyi gelen, bir hocadan çok bir abi gibi yakın hissettiğim değerli hocam Arş. Gör. Dr. Hüseyin GÜVEN'e, gerek samimi tavsiyeleri ve önerileriyle gerek tez sürecimdeki yardımlarıyla yeri bende ayrı olan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Ersin BAHAR'a ve üzerimde emeği olan tüm hocalarıma teşekkür ederim.

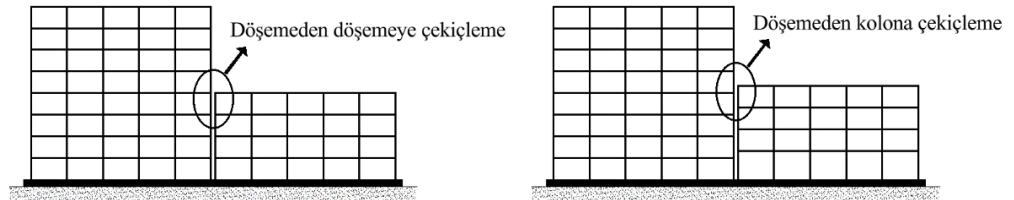
Birlikte çalıştığımız, birlikte güldüğümüz, bu süreçte çok güzel anılar biriktirdiğimiz, çok güzel duygular paylaştığımız, her biri için ayrı ayrı iyi ki tanışmışız diye düşündüğüm yüksek lisans çalışma arkadaşlarıma varlıklarından ve vermiş oldukları desteklerden dolayı çok teşekkür ederim. Gece veya gündüz fark etmeksizin sorularımı geri çevirmeyen, kıymetli zamanından fedakarlık ederek yanımda olduğunu her zaman hissettiren gönlü güzel arkadaşım Güler GÜVENSOY'a ayrıca teşekkür ederim.

Desteklerini her zaman yanımda hissettiğim, bana olan güvenlerini hiçbir zaman yitirmeyen, her kararında yanımda olan, haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim başta canım annem Zeliha DENİZ'e, varlığından güç aldığım kıymetli babam Mehmet DENİZ'e ve başarılarımın görünmeyen kahramanı, maddi ve manevi her zaman elini omzumda hissettiğim canım abim Hakkı DENİZ'e çok teşekkür ederim.

Hayatımın her anında yanımda olan, her kararında beni destekleyen, varlığından ve sevgisinden güç aldığım, anlayışıyla, fedakarlıklarıyla bu çalışmaya en az benim kadar emek verdiğine inandığım Rumeysa ULUŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Yoğun kent nüfusunun olduğu metropol şehirlerde yüksek arsa maliyetleri, küçük parsel büyüklükleri ve arazi kullanımlarının kısıtlı olması sebebiyle yapılar bitişik nizam olarak ya da yetersiz derz mesafesi ile inşa edilmektedir. Tüm dünyada geçmiş yıllarda meydana gelen depremler incelendiğinde, kat yükseklikleri, bina ağırlıkları, yapısal rijitlikleri ve bina yükseklikleri gibi farklı yapısal özelliklere sahip bitişik nizam inşa edilmiş komşu yapılar arasında güçlü sismik yer hareketleri sonucunda çarpışmalar gözlenmektedir. Komşu yapıların çarpışmaları sonucu performans düzeyleri ciddi şekilde etkilenebilmektedir. Çekiçleme etkisi olarak adlandırılan bu yapısal düzensizliğin, geçmişte güçlü depremler karşısında ciddi yapısal hasarlara veya toptan göçmelere neden olduğu görülmüştür (Benuska 1990, Youd ve diğ. 2000). Ülkemizde 2011 yılında meydana gelen Simav depremi sonrasında İnel ve diğerleri tarafından yapılan incelemelerde sıralı komşu yapıların çarpışması sonucu kalıcı hasarların olduğu gözlemlenmiştir (Inel ve diğ. 2014, Inel ve diğ. 2013). Döşmeden döşemeye ve döşmeden kolona çekiçleme Şekil 1.1’de gösterilmiştir.

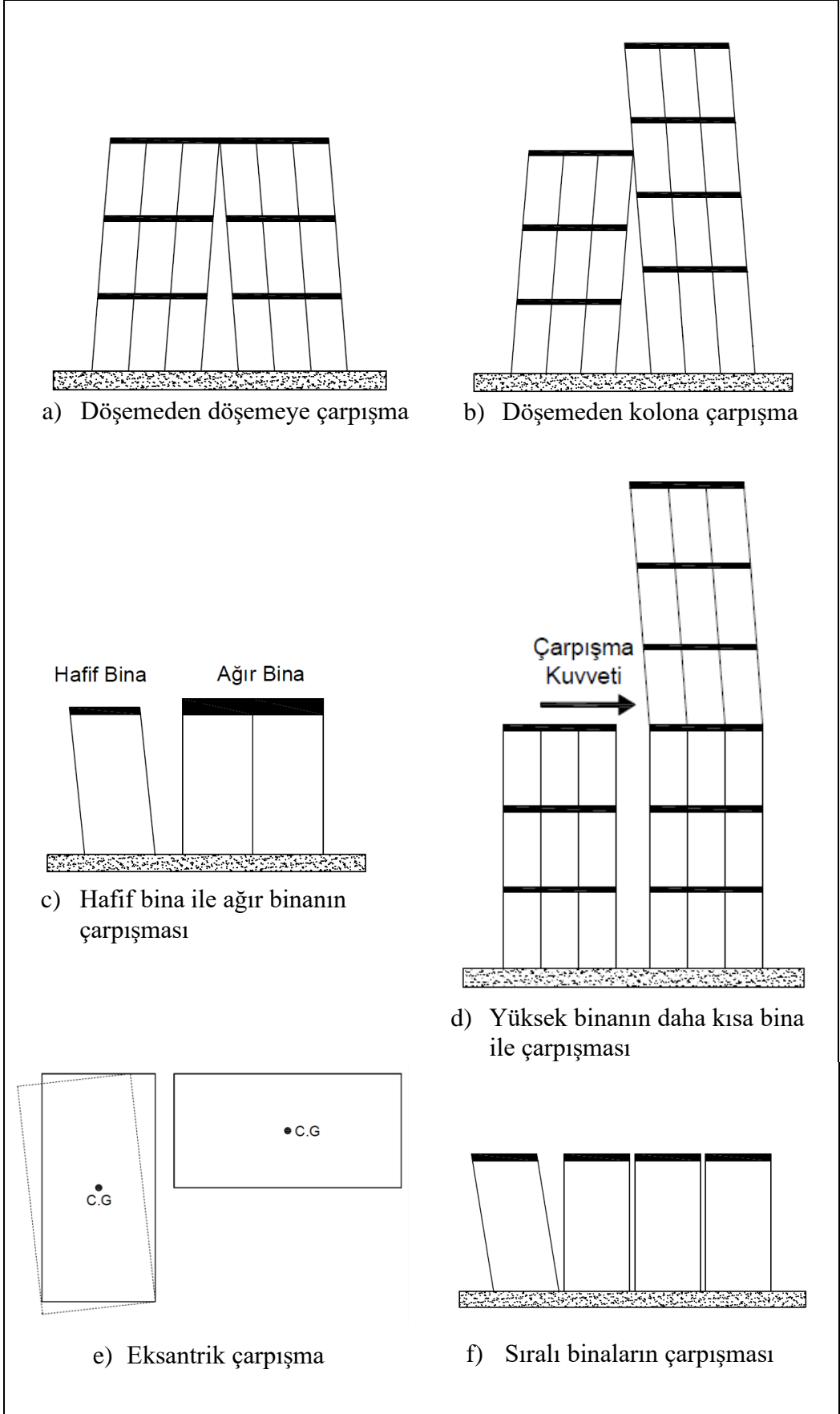


Şekil 1.1. Çekiçleme Etkisi

Ülkemizdeki yapı stoğunu değerlendirdiğimizde nüfus yoğunluğunun ve yüksek arsa maliyetlerinin etkisiyle orta katlı binalar, bitişik nizam ve yetersiz derz mesafesi ile inşa edilmektedir. Eskişehir ilinin önemli caddelerinde yapılan gözlemlere göre 500 binanın %64’ünde yeterli derz mesafesinin bulunmadığı rapor edilmiştir (Doğan ve diğ. 2009). Bu nedenle, yapı stoğumuzun büyük bir kısmı kuvvetli yer hareketleri sonucu çarpışma riski altındadır. Geçmişte yaşanan birçok depremde “çekiçleme” olarak adlandırılan bu çarpışmalar binalarda orta veya ağır hasarlara neden olmuştur. Mexico City depreminde ciddi şekilde hasar gören veya

Çöken 330 yapının %40'ından fazlası çekiçleme etkisiyle meydana gelmiştir (Meli ve Rosenblueth 1986). Benzer şekilde, Loma Prieta depremi için incelenen 500'den fazla binanın 200'den fazlasında ekilemenin etkileri rapor edilmiştir (Kasai ve Maison 1997). Bu durum, araştırmacılar tarafından bitişik binaların dinamik özelliklerindeki farklılıklara bağlanmıştır (Anagnostopoulos ve Spiliopoulos 1992, Maison ve Kasai 1990). Bundan dolayı, bitişik komşu binalarda yetersiz derz mesafelerinin neden olduğu sismik tehlikeleri ve ekilemenin bina davranışı üzerindeki etkilerini gerçekçi bir yaklaşım ile belirlemek büyük önem taşımaktadır.

Bitişik binalar arasındaki yapısal çarpışmaların etkileri üzerine birçok araştırma yrtlmştir ve çarpışma durumları genel olarak 6 kategoride sınıflandırılmıştır (Jeng ve Tzeng 2000). Bunlar döşemeden döşemeye çarpışma durumu (Efraimiadou ve diğ. 2013, Hosseini ve diğ. 2022, Inel ve diğ. 2014, Miari ve Jankowski 2022^{a-b}, Raheem 2006), döşemeden kolona çarpışma durumu (Favvata ve diğ. 2009, Karayannis ve Favvata 2005, Miari ve Jankowski 2022^c), ağır binaların bitişik daha hafif bina ile çarpışma durumu (Maniatakis ve diğ. 2018, Naserkhaki ve diğ. 2013), yüksek binaların bitişik daha kısa binalar ile çarpışması durumu (Jameel ve diğ. 2013, Miari ve Jankowski 2022^b), eksantrik çarpışma durumu (Karayannis ve Naoum 2018), sıralı binaların çarpışma durumu (Abdel Raheem ve diğ. 2019, Miari ve diğ. 2019, Raheem ve diğ. 2018) olarak sıralanabilir. Çarpışma durumlarının tümü şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. Çarpışma Türleri

Yapılan araştırmaların çoğunluğında döşemeden döşemeye gerçekleşen çarpışma durumuna odaklanılmıştır; ancak Jeng ve Tzeng'in Taipei'deki araştırmasının sonuçları (Jeng ve Tzeng 2000), sismik çarpışma sebebiyle çöken binaların %85'inin döşemeden kolona çarpma durumundan kaynaklandığını ortaya koymuştur. Kısa ve uzun bina arasındaki bu tür çarpışmalarda, yüksek binanın alt katlarındaki talepler, daha kısa binanın varlığıyla sınırlanırken, yüksek binanın geri kalanında "kamçı etkisi" meydana gelir (Anagnostopoulos ve Spiliopoulos 1992). Bu kamçı etkisi, uzun binaların kesme ve süneklik taleplerini önemli ölçüde artırır (Karayannis ve Favvata 2005). Özellikle kritik kolonların kesme taleplerinin artması nedeniyle kesme dayanımı aşılarak kesme kırılmaları gözlenmektedir. Bu nedenle, yapısal stabilite için döşemeden kolona çarpışma durumundan kaçınılmalı veya etkilerinin azaltılması için gerekli çalışmalar yapılmalıdır. 6 Şubat Kahramanmaraş depremlerinden sonra binalarda gözlenen hasarlarda bu duruma örnek olacak nitelikte bir görsel Şekil 1.3'te verilmiştir.



Şekil 1.3. 6 Şubat 2023 Depremi, Kahramanmaraş (Toprak ve diğ. 2023)

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Kalabalık şehirlerde yüksek arsa maliyetleri ve arazi kullanımlarının kısıtlı olması sebebiyle komşu yapılar arasında çarpışmayı önlemek için gerekli derz mesafeleri bulunmamaktadır. Farklı kat yüksekliklerine, bina ağırlıklarına, rijitliklerine, bina yüksekliklerine sahip bu yapıların deprem anında çarpışmaları muhtemeldir. Doğal titreşim periyotlarındaki farklılıklarından kaynaklanan olası bir yapısal çarpışmada, binalar arasında aktarılan darbe kuvvetleri, beklenmedik hasarlara neden olabilir. Çarpışma etkilerini ortadan kaldırmanın en etkin yolu, yapılar arasında gerekli derz mesafesinin belirlenmesidir.

Derz mesafelerinin belirlenmesi üzerine literatürde farklı yaklaşımlar önerilmiştir. Bu yaklaşımlarda sismik çarpışmaların önlenmesi için komşu binaların yatay deplasman talepleri dikkate alınmaktadır. Fakat deplasman taleplerine dayanan bu yaklaşımlar tutucu derz mesafeleri sunabilmektedir. Bu çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak sismik çarpışmaların gerçekleştiği ama yapısal hasarın görülmediği andaki derz mesafeleri belirlenerek yeni bir yaklaşım geliştirilecektir. Bu yeni yaklaşım ile elde edilen derz mesafeleri, deplasman taleplerine dayanan yaklaşımlarda önerilen derz mesafeleri ile kıyaslanacaktır.

Yetersiz derz mesafesi ile inşa edilen farklı kat seviyelerine sahip betonarme komşu binalarda olası bir sismik etki sonucunda bir binanın döşemesi ile diğer binanın kolon elemanlarının çarpışması muhtemeldir. Bu çarpışma sonucu, darbeye maruz kalan kritik kolonlarda kesme kırılması (gevrek) gerçekleşebilir. Yapıda ağır hasar veya toptan göçmelere neden olabilecek bu problemin ele alınması büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, farklı kat seviyelerine sahip betonarme komşu binalar arasındaki gerekli minimum derz mesafesinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Minimum derz mesafesinin belirlenebilmesi için iki farklı durum göz önüne alınacaktır. İlk durumda, düşük ve orta katlı yapıların sismik çarpışmalarının tamamen önlenmesi için gerekli olan minimum derz mesafeleri belirlenecektir. İkinci durumda ise yapıların sismik etki ile çarpışmaları sonucu, kısa olan binanın döşemesinden gelen darbe ile diğer binanın kritik kolonlarında kesmeden kaynaklı bir hasarın oluşmadığı (kesme dayanımının, kesme kuvveti talebinden büyük olduğu)

andaki gerekli olan minimum derz mesafeleri belirlenecektir. Her iki durum için elde edilen derz mesafeleri kıyaslanacaktır.

Bu çalışma kapsamında, düşük ve orta katlı yapıları temsil eden 3B (3 boyutlu) ve elastik olmayan özelliğe sahip 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 katlı olmak üzere 8 farklı betonarme (RC) bina modeli oluşturulmuştur. ZD zemin sınıfı üzerinde yer alan ve kullanım amacı konut olan bu binaların DD2 deprem yer hareketi düzeyi için TBDY-2018'e göre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu binalar kullanılarak farklı periyot oranlarına sahip toplam 10 adet ikili model türetilmiştir. Bitişik betonarme binaların dizilimi değiştirilerek 20 farklı ikili bina modelleri oluşturulmuştur. Bu bitişik betonarme bina modellerinde az katlı bina 1 m yukarı taşınarak oluşturulan 1 m kot farkı ile kat seviyeleri farklı ikili modeller elde edilmiştir. Bu farklı kat seviyelerine sahip ikili modellerde binalar kat seviyelerinden birbirlerine bağlanmıştır. Tasarımı yapılan modeller için TBDY-2018 ile uyumlu 11 ivme kaydı takımından oluşan 22 farklı deprem seti seçilerek toplamda 2154 doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, düşük ve orta katlı yapıların sismik çarpışmalarının tamamen önlenmesi durumu için gerekli derz mesafeleri ile iterasyon yöntemi kullanılarak elde edilen sismik çarpışmalarının gerçekleştiği ama yüksek katlı binanın kritik kolonlarında kesmeden kaynaklı hasarın oluşmadığı andaki derz mesafeleri kıyaslanmıştır.

1.2 Literatür Özeti

Tez çalışması ile ilgili literatürde yer alan önemli çalışmalar, genel çekiçleme üzerine yapılan çalışmalar ve derz mesafesi üzerine yapılan çalışmalar olarak iki grupta incelenerek verilmiştir.

1.2.1 Çekiçleme Üzerine Yapılan Çalışmalar

Anagnostopoulos S.A. ve Spiliopoulos K V. (1992), çok serbestlik dereceli (ÇSD) sistemler olarak tasarlanmış bitişik binaların beş gerçek deprem kaydı kullanılarak yetersiz veya mevcut olmayan derz mesafelerinden kaynaklanan karşılıklı çarpışmaları incelenmiştir. Bitişik binalar arasındaki çarpışmalar

viskoelastik darbe elemanları vasıtasıyla temsil edilmiştir. Bu binalarda bina tipi ve boyutunun, derz mesafesinin, viskoelastik darbe elemanı özelliklerinin etkileri araştırılmıştır. Bitişik binaların kütlelerinde büyük farklar varsa, çarpışma daha küçük kütleyle sahip binada yüksek gerilimlere neden olduğu vurgulanmıştır. Eşit yükseklikte olmayan bitişik binalarda iki yapının toplam kütle ve periyotlarındaki potansiyel farklılıklar az katlı binayı büyük ölçüde cezalandırabildiği ifade edilmiştir. Az katlı binanın kütlesi daha büyük ve rijitliği daha fazla ise çok katlı binanın yukarıda kalan kısmı aşırı yer değiştirmelere ve süneklik taleplerine yol açarak az katlı binaya karşı "kamçı tipi (whiplash)" davranış sergilediğini göstermiştir. Çarpmaya bağlı oluşan yüksek gerilim artışlarının ancak çarpışan binaların yükseklik, periyot veya kütle bakımından önemli ölçüde farklı olması durumunda ortaya çıktığı sonucuna varılmıştır.

Abdel Raheem SE (2006), çok katlı bitişik binaların arasında sönümleyici eleman olması durumunda çarpışmaları sonucu binaların dinamik davranışını ve çarpışmanın etkilerini incelemek için 2 boyutlu 13 katlı ve 8 katlı bina modelleri oluşturulmuştur. Düşük, orta ve yüksek yer ivmesine göre üç sınıfa ayrılan 9 deprem kaydı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemiyle analizler yapılmıştır. Yapı elemanları arasında çarpışma durumunda ani bir etkileşim olduğu ve darbe kuvvetlerinin olduğu belirtilmiştir. Bu durumda sönümleme etkisi devreye girerek bu darbe kuvvetlerini absorbe ettiği ve yayılmasını önlediği görülmüştür. Ayrıca çarpışma durumunda yapı elemanlarının ani bir ivme kazandığı ve sönümleme etkisinin bu ani ivme değişimini azaltarak yapı elemanlarının daha kontrollü bir şekilde hareket etmesini sağladığı belirtilmiştir. Sönümleyici elemanların çarpışma durumunda yapıların yatay ötelenmelerini minimize ettiği ve böylece yapısal bütünlüğün korunmasına, yapısal hasarın önlenmesine katkıda bulunduğu vurgulanmıştır.

Abdel ve diğ. (2019), binalar arasındaki sismik çarpışmayı ele alan araştırmaları sunmuştur. Bu araştırmalar saha gözlem çalışmalarını, deneysel çalışmaları ve sayısal çalışmaları içermektedir. Sismik çarpışmalar komşu yapıların dinamik tepkisini değiştirdiği belirtilmiş ve bu tepkileri hafifletici önlemlerin kullanılması tavsiye edilmiştir. Darbe elemanının sayısal modellenmesi için, doğrusal olmayan modelin gerçek davranışı modelleme açısından daha doğru olmasına rağmen, doğrusal viskoz modelin performansa dayalı çalışmalar gibi yüksek

hesaplama yoğunluğu olan uygulamalar için daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Tam olarak raporlanmış deneysel sonuçların azlığı göz önüne alındığında, ek testler yapılmasının gerekliliği vurgulanmıştır. Sunulan çalışmaların çoğunun hizalanmış döşemelere sahip binalar için yapıldığını ortaya koyulmuştur. Bu nedenle kattan kolona hizalamalar, önemli kütle veya yükseklik farklarına sahip bitişik binalar, bir bina sırasının sonundaki binalar ve eksantrik darbeye maruz kalması muhtemel binalar gibi diğer yapıları dikkate almak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğu belirtilmiştir.

Favvata ve diğ. (2009), bu çalışmada eşit olmayan kat yüksekliklerine sahip 8 katlı bir ereve yapı ile bitişik olan 3 katlı daha kısa ve rijit bir yapı iki farklı sismik uyarım ile incelenmiştir. Az katlı yapının döşemesinden darbe alan çok katlı yapının kritik dış kolonunun yapısal davranışına ve çok katlı yapının dış kiriş-kolon birleşimlerinin yapısal davranışına bakılmıştır. Çarpışma olayına birleşim bölgelerinin yerel elastik olmayan davranışının etkisinin yanında dolgu duvarların çarpma olayı üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Çarpma etkisine maruz kalan kolonun, kesme etkisi ve yüksek süneklik talepleri nedeniyle kritik bir durumda olduğu vurgulanmıştır. Çalışmada çok katlı yapının analiz modelinde dış kiriş-kolon birleşimlerinin olası elastik olmayan davranışı dikkate alındığında, darbeye maruz kalan kritik kolonun kesme gereksinimlerinin azaldığı görölmüştür. Perde duvarların darbeye maruz kalan kritik kolonun kesme ve süneklik taleplerinde bir artışa yol atığı belirtilmiştir.

Dogan M ve Gunaydın A (2009), bu çalışmada 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 ve 20 katlı bina modelleri üzerinde kritik durumların oluşturulması için yapısal düzensizlikler oluşturulmuştur. Modellerde standart bir taşıyıcı sistem formu kullanılmıştır. Modellerin kolon, kiriş ve döşeme kesitleri ile donatı detaylandırmaları yapısal şartlara bağlı olarak değiştirilmiştir. Hesaplamalarda, binalar arasındaki mesafelerin modellenmesi için özel derzler tanımlanmıştır. Modelleme için daha rijit bir binaya çarpan binaların en kritik durum olduğu varsayılmıştır. Bina modellerinin yanal deplasmanlarını ve yanal sismik yüklerini belirlemek için DBYBHY 2007 kullanılmıştır. Binalar arasındaki farklı derz mesafeleri için ortalama çarpma kuvvetleri belirlenmiştir. Yapılan analizler, uygun derz boşluklarının çarpışmanın etkilerini azaltmada kritik bir rol oynadığını

göstermiştir. Elastik malzemelerin ve yerinde döküm betonarme perdelerin kullanımının, çarpışma kuvvetlerini azaltmada etkili olduğu belirlenmiştir. Çarpışma riskini azaltmak için yapısal önlemlerin alınmasının önemini vurgulanmıştır. Yapı elemanlarının davranışı ve çarpışma durumları incelendiğinde darbe kuvvetlerinin yüksek olduğu ancak uygun yapısal önlemlerin alınmasının ve yapılar arasındaki uygun mesafenin sağlanmasının, çarpışma riskini azaltmak için önemli adımlar olduğu belirtilmiştir.

Efraimiadou ve diğ. (2013), bu çalışmada 5 katlı ve 8 katlı bina modelleri ile 9 farklı düzlemsel çerçeveli bina çifti kullanılmıştır. EC-8 ile uyumlu 6 deprem kaydı ile doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Analizlerde çarpışma durumunda oluşan maksimum tepe deplasmanları ve ivmeler, eleman süneklikleri, katlar arası ötelenmeler ve oluşan yapısal hasarlar gibi parametreler incelenmiştir. Çarpışma sonucunda binaların daha fazla deformasyona maruz kaldığı ve bu durumun kalıcı hasarlara sebep olarak yapısal bütünlüğü etkilediği gözlemlenmiştir. Daha yüksek süneklik kapasitesine sahip elemanların yapısal dayanıklılığı arttırdığı belirtilmiştir. Çarpışma durumunda katlar arası ötelenme oranlarında artışlar olduğu tespit edilmiştir. Çarpışma sonucu yapı elemanlarının üzerine ek yüklerin gelmesi eğilme momentleri, kesme kuvvetleri veya basınç gerilmeleri gibi iç kuvvetlerde artışa neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu iç kuvvetlerdeki artış, yapı elemanlarının taşıma kapasitelerini aşabilecek seviyelere ulaştığında yapısal hasarın oluşma riskinin arttığı vurgulanmıştır.

Jameel ve diğ. (2013), tarafından yapılan çalışmada farklı yükseklikteki bitişik binaların deprem etkisiyle oluşan çekiçleme davranışları incelenmiştir. Bu sebeple binalar arasındaki boşluk mesafelerinin etkilerini incelemek için modellenmiş 4 ve 7 katlı binalar ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler yapılmıştır. Bu analizlerde 1940 yılında meydana gelen 7.1 büyüklüğündeki El Centro depreminin yer hareketi verileri kullanılmıştır. Enerji kayıplarının dikkate alındığı sönümlü birleşim elemanı ile 4 ve 7 katlı modeller birbirlerine bağlanarak çarpışmalı ve çarpışmasız modeller oluşturulmuştur. Geleneksel kolon-kiriş çubuk elemanlarla yapılan model ile kolon-kiriş ve döşemenin olduğu modeller arasında deplasman taleplerinin değişim gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca çarpışma katının

üzerindeki kat ötelenmelerinin arttığı, altındaki katlarda ise ötelenmenin sınırlandırıldığı vurgulanmıştır.

Inel ve diğ. (2014), bitişik nizamlı orta katlı konut tipi yapılar arası yetersiz mesafe bulunan betonarme binalarda olası sismik hareketler sonucunda meydana gelebilecek çarpışmaları araştırmıştır. Ülkemizde bulunan mevcut yapı stoğunu temsil eden 4 katlı ve 7 katlı yapılar oluşturularak 1975 Deprem Yönetmeliği ve 1998 Deprem Yönetmeliği ile uyumlu modeller kullanılmıştır. Oluşturdukları modeller arasında 2 cm boşluk bırakmış ve 4 adet ivme kaydı kullanarak doğrusal ve elastik olmayan zaman tanım alanında dinamik analiz yapmışlardır. Analiz sonuçlarını çarpışmanın meydana gelmediğini varsaydıkları modellerle karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda 1975 Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarlanan yapılarda rijitlik daha az olduğundan çarpışmalardan daha çok etkilendiğini vurgulamışlardır.

Maison ve Kasai 1990, tarafından yapılan araştırmada, çekiçleme etkisinin bina davranışı üzerindeki etkilerinin anlaşılabilmesi için çok serbestlik dereceli sistemde hareket denkleminin formülasyonuna ve çözümüne odaklanılmıştır. Bu kapsamda tek bir kat seviyesinden çarpışan 15 katlı çelik bina ile rijit bina doğrusal yay modeli ile bağlanarak ikili çarpışma modeli oluşturulmuştur. Dinamik analizlerin yapıldığı esnek çelik bina çerçeve sistem ile modellenirken, rijit bodur bina ise betonarme perde duvar olarak modele yansıtılmıştır. Çarpışmalı ve çarpışmasız modeller arasında çatı deplasmanındaki sınırlandırılmaya, kat ötelenmelerine, kat kesme ve devirme momentindeki artışlara vurgu yapılmıştır. Rijitlikleri farklı olan yay modelleri için yapılan analizlerde, daha rijit olan yayın 2 kattan daha fazla çarpışma kuvveti ürettiği belirtilmiştir.

Karayannis ve Favvata (2005), bu çalışmada çok katlı yapıları temsil eden 6, 8 ve 12 katlı betonarme çerçeve taşıyıcı sistem ile 3 katlı betonarme perdeli çerçeve sistem olan modeller kullanılmıştır. Çok katlı yapıların kat yükseklikleri ile daha rijit olan 3 katlı yapının kat yüksekliği farklı alınarak ikili modeller oluşturulmuştur. Yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler ile 52 çarpışma durumu incelenmiştir. Bitişik binalar arasındaki boşluk mesafesinin çarpışma durumuna etkileri araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kat yüksekliklerindeki farklılıklardan dolayı daha kısa ve rijit olan 3 katlı yapının üst kat döşemesinin

çarptığı çok katlı yapıların dış kolonlarında çarpma etkisiyle kesme talebinin kesme kapasitesini aştığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda darbeye maruz kalan bu kolonların yüksek süneklik talepleri sebebiyle daha kritik oldukları vurgulanmıştır. Bitişik yapılarda çarpışma durumunda bu kolonların hasar almalarının daha muhtemel olduğu ve bu durumun yapıların çökmesinde birincil sebep olabileceği belirtilmiştir. Tüm çarpışma durumları incelendiğinde yüksek binanın kat sayısındaki artışın (6 ila 12 kat), darbeye maruz kalan kolonların süneklik ve kesme mukavemeti taleplerini önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir.

Kabir Shakya ve Anil C. Wijeyewickrema (2009), iki farklı çok katlı bina konfigürasyonu üzerinde yakın alan ve uzak alan depremlerine göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapmıştır. İlk konfigürasyonda 9 ve 10 katlı iki bina, ikinci konfigürasyonda 5 katlı iki bina kullanılmıştır. Doğrusal elastik olmayan özelliğe sahip çok serbestlik dereceli (ÇSD), farklı kat seviyesine sahip betonarme binalar ile oluşturulan ikili modeller üzerinde yapılan analizlerde yapı-zemin etkileşimi dikkate alınarak yapı zemin etkileşiminin yapıların çarpışma durumları üzerindeki etkileri ve önemi üzerinde durulmuştur. Ayrıca yakın alan ve uzak alan depremlerinin yapılar arasındaki çarpışmalara farklı etkileri incelenmiştir. Derz mesafesinin çarpışma olasılığına etkisinin yanında sönümleme ve yay rijitliği gibi yapısal parametrelerin çarpışma davranışı üzerindeki etkileri detaylı olarak incelenmiştir.

Kamal (2016), Doğrusal olmayan 4 ve 7 katlı modeller, doğrusal yaylar ile aynı kat seviyelerinden bağlanması sonucunda 4 farklı ikili bina oluşturulmuştur. Binalar arasında 3 farklı derz mesafesi kullanılarak deplasman talepleri, görelî kat ötelenme oranları ve hasar dağılımlarını araştırmıştır. Çekiçlemenin plastik mafsallardaki hasar dağılımında oluşturduğu farkları dikkate almıştır. Çalışma yönünde deplasman taleplerinin sınırlandırıldığı ve serbest yönde arttığı gözlemlenmiştir. Mevcut binalar dikkate alınarak orta katlı binalarda çekiçlemenin yapı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

1.2.2 Derz Mesafesi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Anagnostopoulos (1988), ikili binaların maksimum deplasmanlarının mutlak toplamları (ABS, absolute sum) ile hesaplanan yöntemin aşırı tutucu sonuçlar vermesi üzerine (bu yöntem UBC88' de yer almıştır), binaların maksimum deplasmanlarının karelerinin toplamının karekökleri (SRSS, square root of sum of the squares) ile hesaplanan bir yöntem önermiştir. Farklı periyot oranlarına sahip ve seri halinde bulunan tek serbestlik dereceli sistemler (TSD) arasında 5 farklı derz mesafesi kullanarak, yeterli derz mesafesini belirlemiştir. Artan derz mesafesi ile çarpışma sayılarının azaldığını ve yapı tepkilerindeki büyümelerin azaldığını vurgulamıştır.

Jeng ve diğ. (1992), SPD (spectral difference method) or DDC (double difference combination) or CQC (complete quadratic combination) diye bilinen daha rasyonel bir yaklaşım geliştirerek, çok serbestlik dereceli (ÇSD) elastik yapılar arasındaki minimum boşluğu hesaplayan yeni bir metot önermiştir. Dinamik analize ihtiyaç duyulmayan Tepki Spektrumu tabanlı bu metot, ABS ve SRSS metotlarından daha doğru sonuçlar vermiştir. Bu yöntem, Tek Serbestlik Dereceli (TSD) sistemler için uygulanabilse de ilk moddaki tepkinin, tüm modların toplam tepkisinin büyük bir kısmını oluşturan ÇSD sistemlerde de uygulanabileceği vurgulanmıştır.

Filiatrault ve Cervantes (1995), Kanada'nın 3 farklı deprem bölgesi için modellenen 5 farklı binaları kullanarak 10 farklı bina çifti oluşturmuşlardır. Bu bina çiftlerinin gerekli derz mesafelerini belirlemek üzerine analitik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kanada Ulusal Bina Yönetmeliği'ndeki gerekli derz mesafelerinin dinamik analizler sonucu elde edilen derz mesafelerinden oldukça yüksek olduğu vurgulanmıştır. DDC metodunun ise bu yönetmelikten daha iyi sonuçlar vermesi üzerine, ikili binaların statik analizlerinden elde edilen 1.moda ait spektral deplasmanlarının DDC metodunda kullanıldığı basit bir yaklaşım önermişlerdir.

Kasai ve diğ. (1996), yapıların periyot ve sönüm oranlarına bağlı bir korelasyon katsayısına ihtiyaç duyulan DDC metodunu doğrusal olmayan yapılarda da kullanmıştır. Doğrusal yapılarda elde edilen doğruluk derecesi, doğrusal olmayan yapılara göre daha yüksek çıkmıştır. Bu nedenle; elastik yapılar için kullanılan

korelasyon katsayısı modifiye edilerek, elastik olmayan yapıların efektif periyot ve sönüm oranları önerilmiştir.

Lopez-Garcia ve Soong (2009^a), farklı periyot ve taşıyıcı sistem davranış katsayısına sahip doğrusal elastik olmayan TSD yapılarda çekiçleme etkilerini önlemek için gerekli derz mesafeleri incelenmiştir. Bu amaçla Filiatrault, Kasai, Penzien ve Valles tarafından DDC kuralı üzerine yapılan çalışmaların sonuçlarını irdelenmiştir. Dinamik analiz sonuçlarından elde edilen derz mesafeler ile bu dört çalışmadan elde edilen sonuçlar birbirine oranlanmıştır. Bu oranlar için 5 farklı tanım kullanarak sınıflandırılmıştır. Dört çalışmanın da kesin veya biraz tutucu sonuçlar veremediği vurgulanmıştır. Ayrıca, doğrusal elastik sistemler için bu dört çalışmada DDC kuralının her zaman SRSS kuralından daha iyi sonuç verdiği, doğrusal elastik olmayan sistemlerde ise DDC kuralının tutarlı olarak SRSS kuralından daha iyi sonuç veremediği ifade edilmiştir. Doğrusal elastik olmayan sistemlerin yer değiştirme tepkileri arasındaki korelasyonun hala yeterince karakterize edilemediği sonucuna varılmıştır.

Lopez-Garcia ve Soong (2009^b), doğrusal elastik özelliğe sahip bitişik binalar (TSD) arasındaki gerekli derz mesafesinin belirlenebilmesinde kullanılan DDC kuralının doğruluğunu incelemişlerdir. DDC kuralının sadece bitişik binaların periyot oranlarına bağlı olmadığını, aynı zamanda sismik uygulamanın ana frekansı ile ilişkilendirilen periyoda da bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bitişik binaların periyotlarının toplamı (T_1+T_2); sismik uygulamanın periyodundan (T_m) küçük veya eşit olduğu durumlarda DDC kuralının her zaman tutucu sonuçlar verdiğini belirtmiştir. $T_1+T_2 > T_m$ olduğu durumda ise binaların periyot oranına bağlı olarak her zaman aşırı tutucu veya yetersiz sonuçlar elde edilebileceği ifade edilmiştir.

Hong ve diğ. (2003), yapısal özelliklerdeki olası belirsizlikleri göz önünde bulundurarak veya bulundurmuyarak gerekli derz mesafesinin değerlendirilmesi için güvenilirlik yöntemleri ve rastgele titreşim teorisine dayanan bir yöntem sunmuşlardır. Parametrik analizlerin gerçekleştirildiği bu yöntemde, bitişik binaların periyot oranlarına ve sönüm oranlarına bağlı olarak CQC (complete quadratic combination) kuralının daha düşük veya yüksek tahminlerde bulunabileceği gösterilmiştir. Eğer bitişik binaların baskın periyot oranları 0.75-1.25 arasında ise, CQC kuralından elde edilen derz mesafeleri 0.9 katsayısı ile azaltılması gerektiğini,

diğer periyot oranları için ise CQC kuralının hesapladığı derz mesafesinin doğrudan kullanılabilceği vurgulanmıştır.

Mehdi Ghandill ve Hesham Aldaikh (2016), tarafından yapılan bu çalışmada dört farklı üç boyutlu betonarme bina modeli ele alınmıştır. İki 5 ve 10 katlı diğer ikisi 15 ve 20 katlı olan binaların çok yüksek deprem riski olan bölgelerde olduğu varsayılarak tek eksenli sismik yüklemeler ile yapılan analizlerde binaların minimum ayrılma mesafeleri incelenmiş ve yan yana olan simetrik binaların yükseklik boyunca hasar dağılımına olan deprem etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmada iki simetrik binanın SSSI (Structure–soil–structure interaction) dahilinde deprem etkileri altında nasıl davrandığı incelenmiştir. Yapılan analizlerde elastik olmayan zemin profili ve doğrusal olmayan çarpışma elemanları gibi faktörler dikkate alınmıştır. Analizler sonucunda IBC-2009 (International Building Code 2009) tarafından önerilen minimum derz mesafesinde yan yana olan binaların ciddi sismik çarpışma yaşadığı, dolayısıyla kat kesme kuvvetlerinde ve hasar endekslerinde önemli varyasyonların olduğu belirtilmiştir. Bitişik binalarda çarpışma olmaması için önerilen en az üç katı derz mesafesi bırakılması gerektiği vurgulanmıştır.

Favvata (2017), döşemeden kolona çarpışma olasılığı bulunan 8 ve 3 katlı 2 boyutlu (2B) çerçeve olarak modellenen bitişik binaların 9 farklı sismik talep seviyelerine karşılık gelen çarpışma mesafelerini belirlemiştir. Çarpışma mesafelerini belirlerken, bina modellerinin çatı katlarındaki deplasman taleplerine bağlı olarak minimum boşluk mesafeleri hesaplanmıştır. Ayrıca çarpışmanın görüldüğü dış kolonda, kesme kırılmasının önlenmesi (elastik sınırın aşılmadığı) durumu dikkate alınarak yeni bir çarpışma mesafesi belirlenmiştir. Her iki durum için hesaplanan derz mesafelerinin Eurocode-8 (EC8) koşullarının altında kaldığı vurgulanmıştır.

Naderpour ve diğ. (2017), iki farklı periyoda ve bina yüksekliğine sahip bitişik binalar üzerinde 3 farklı deprem kaydı için yapay sinir ağlarını kullanarak bitişik binalar arasındaki derz mesafelerini belirlemiştir. DDC kuralı temel alınarak yeni bir denklem geliştirilmiştir. Bu denklemde DDC kuralındaki korelasyon katsayısının yerine binaların periyot oranlarına bağlı bir ölçek katsayısı verilmiştir.

Kamal ve diğ. (2020), Bu çalışmada, düşük ve orta katlı yapıların deprem derzlerinin zaman tanım alanında dinamik analizlerle belirlenmesi amaçlanmıştır.

Düşük ve orta yükseklikteki binaları temsil eden 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre 16 adet betonarme bina tasarlanmıştır. Bu binalar arasında bırakılması gereken minimum boşluk mesafesinin belirlenebilmesi için TBDY-2018 deprem yönetmeliği ile uyumlu bir deprem seti seçilmiştir. Yapılan dinamik analizler sonucu elde edilen çarpışma mesafeleri, TBDY-2018 ve ASCE7-10 deprem yönetmeliklerinde yer alan derz mesafeleri ile kıyaslanmıştır. TBDY-2018, komşu binaların periyotlarının birbirinden uzaklaşması durumunda oldukça yetersiz derz tahmini verirken, ASCE7-10 daha makul sonuçlar sunduğu sonucuna ulaşmıştır. Binaların periyot değerlerinin birbirine yaklaşması durumunda TBDY-2018 yeterli derz mesafesi önerirken bunun karşısında ASCE7-10 aşırı büyük derz mesafesi önermekte olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda, mevcut yönetmeliklerde verilen gerekli boşluk mesafelerinin doğru bir tahmin vermediği açıkça görülmüştür. Sismik yükler altındaki derz mesafelerinin tahmininde kullanılan SRSS metodu geliştirilerek, komşu binaların periyot oranlarına bağlı olan basitleştirilmiş yeni bir denklem önerilmiştir.

Kamal ve Inel (2021), Bu çalışmada, düşük ve orta katlı betonarme yapıların deprem derzlerinin zaman tanım alanında dinamik analizlerle belirlenmesi amaçlanmıştır. Düşük ve orta yükseklikteki binaları temsil eden betonarme bina modelleri 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY-2018) göre tasarlanmıştır. Bu bina modelleri üzerinde yapılan dinamik analizler sonucu ile elde edilen çarpışma mesafeleri, TBDY-2018'de yer alan derz mesafeleri ile kıyaslanmıştır. Çalışma sonucunda, mevcut yönetmelikte verilen gerekli boşluk mesafelerinin çarpışmayı önlemek için yeterli olmadığı görülmüştür. Sismik yükler altındaki derz mesafelerinin tahmininde kullanılan α katsayısı için komşu binaların periyot oranlarına bağlı olarak basitleştirilmiş yeni bir denklem önerilmiştir.

Kamal ve Inel (2022^a), bu çalışmada yapısal düzensizliği olmayan düşük ve orta katlı bitişik betonarme yapıların deprem derzlerinin belirlenmesi için 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarlanan bina modelleri kullanılmıştır. Yapılan doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki dinamik analizler ile elde edilen çarpışmayı önlemek için gerekli mesafeler, mevcut deprem yönetmeliklerinin (ASCE7-16 2016, EC-8 2004, TBDY-2018 2018) ve önerilen ABS, SRSS, DDC yöntemlerinin gerekli minimum sismik boşluk mesafeleri ile kıyaslanmıştır.

Sonuçlar, ASCE 7-16 ve EC-8'in benzer dinamik özelliklere sahip binalar için gerekli sismik boşluk mesafelerini önemli ölçüde abarttığını göstermiştir. Önemli ölçüde farklı dinamik özelliklere sahip binalar için makul tahminler sağlarken ancak TBDY-2018 gereklilikleri, 1,25'ten büyük komşu bina periyodu oranları için yetersiz olduğu görülmüştür. Hem ASCE 7-16 hem de EC-8 gereklilikleri, yeni binaların tasarımı için güvenli olduğu için kabul edilebilir olsa da mevcut binaların değerlendirilmesi için kullanışlı olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Komşu binalar arasındaki gerekli sismik boşluk mesafelerini tahmin etmek için iki farklı basit yaklaşım önerilmiştir. Birinci yaklaşım, azaltılmış sismik tasarım kuvvetlerine maruz kalan binaların doğrusal statik analizini gerektirirken, ikinci basitleştirilmiş yaklaşım herhangi bir analize ihtiyaç duymaz. Bu çalışmada önerilmiş denklemlerin, yapısal düzensizliği olmayan mevcut alçak ve orta katlı betonarme binalarının değerlendirilmesi için basit ve kullanışlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kamal ve Inel (2022^b), bu çalışmada, zemin türünün düşük ve orta katlı betonarme (RC) binalar için minimum ayırma mesafesi üzerindeki etkisini araştırılmıştır. 3 farklı zemin türü üzerinde yer alan 56 farklı bina çifti ve 66 farklı deprem kaydı kullanılarak 3696 doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen minimum gerekli sismik boşluk mesafeleri, literatürdeki DDC ve basitleştirilmiş yöntemin minimum sismik boşluk tahminleri ile karşılaştırılmıştır. Farklı zemin türleri için elde edilen gerekli boşluk mesafeleri incelenmiş ve basitleştirilmiş yöntemi iyileştirmek için m katsayısı ile yeni bir denklem önerilmiştir. Önerilen yeni denklemin tüm zemin türleri için gerekli sismik boşluk mesafesi değerlerini DDC yöntemi tahminlerinden daha iyi sağladığı belirtilmiştir.

1.3 Tezin Organizasyonu

Bu çalışmanın;

1. bölümünde tez çalışmasının içeriği ile ilgili genel bilgiler, tezin amacı ve kapsamı açıklanarak literatürde yer alan önemli çalışmaların özeti verilmiştir.

2. bölümünde tez çalışması için tasarımı yapılmış bina modelleri hakkında genel bilgiler ile oluşturulan bitişik nizam ikili modellerin yapısal özellikleri verilmiştir.

3. bölümünde TBDY-2018'e uygun olarak seçilmiş 11 çift deprem kaydının özellikleri verilmiştir.

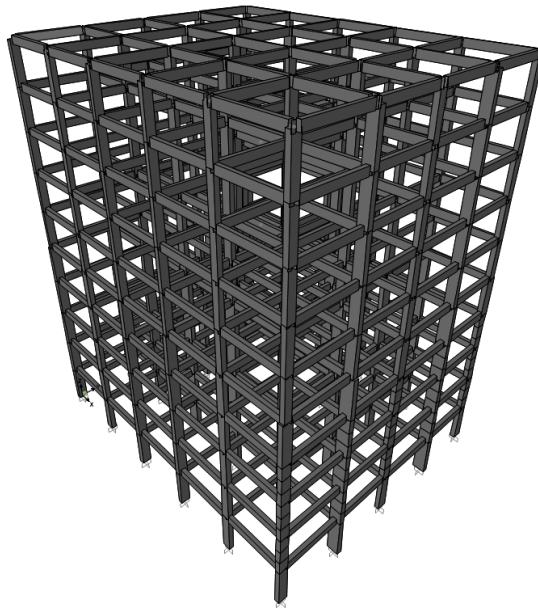
4. bölümünde tez kapsamında kullanılan analiz yönteminde dikkate alınan parametreler ve gerçek ivme kayıtları ile yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçlarına yer verilmiştir. Çarpışma durumunun gerçekleştiği modeller ile çarpışma durumunun gerçekleşmediği modellerden elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır.

5. bölümünde elde edilen tüm sonuçların genel değerlendirilmesi yapılmış ve gelecek çalışmalara önerilerde bulunulmuştur.

2. YAPI ÖZELLİKLERİ VE MODELLEME

2.1 Genel

Kalabalık şehirlerdeki yapılar incelendiğinde döşmeden döşemeye çarpışmanın gerçekleşebileceği bitişik nizam komşu yapılar olduğu gibi farklı kat seviyesinde olan ve döşmeden kolona çarpışmanın muhtemel olduğu yapıların da olduğu gözlenmektedir. Bu çarpışmaların sebepleri incelendiğinde farklı kat yükseklikleri, bina ağırlıkları, rijitlikleri ve farklı bina yükseklikleri gibi parametreler karşımıza çıkmaktadır. Bu durumların tümü dikkate alındığında yapısal çarpışmanın genellikle komşu binalar arasındaki doğal titreşim periyotlarındaki farklılıklardan kaynaklandığı vurgulanmaktadır (Anagnostopoulos ve Spiliopoulos 1992, Maison ve Kasai 1990). Bu kapsamda farklı periyot değerlerine sahip ve çarpışma olasılığı olan düşük ve orta katlı binaların yansıtıldığı 3 ila 10 kat arasında değişen binalardan oluşan modeller kullanılmıştır. Doğrusal elastik olmayan özelliğe sahip olan bu modeller, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) dikkate alınarak 3B kolon-kiriş çerçeve sistemler olarak modellenmiştir. Örnek olarak 10 katlı bina modeline ait 3 boyutlu görünüm Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. 3 boyutlu 10 katlı bina modeli

2.2 Bina Modelleri

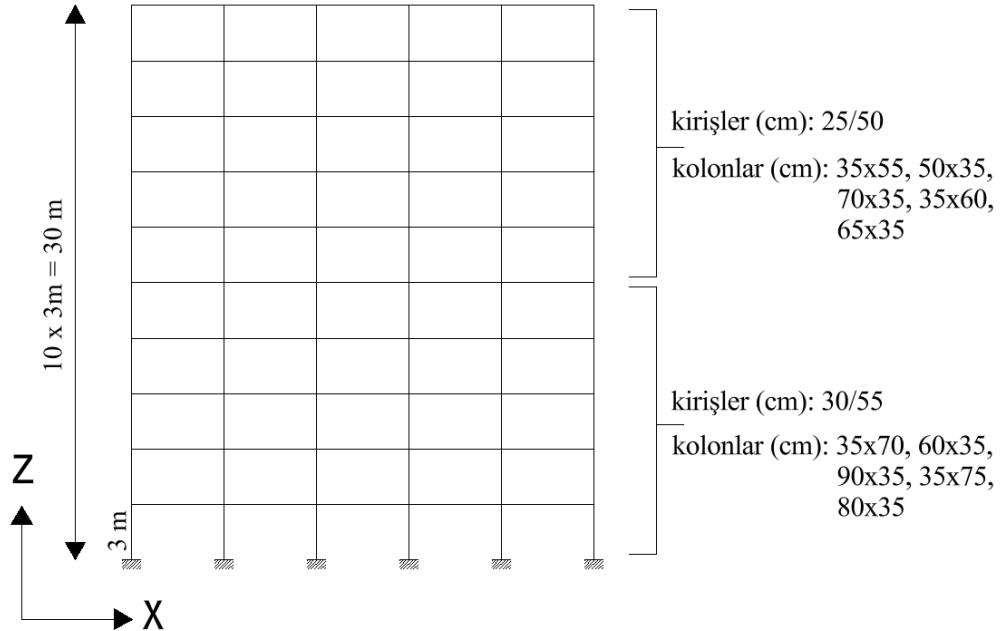
Tez kapsamında ülkemizde yer alan mevcut yapı stoğu dikkate alınarak oluşturulan, düşük ve orta katlı yapıları temsil eden 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 katlı kullanım amacı konut olarak düşünülen 3 boyutlu (3B) betonarme çerçeveli binalar (RC) kullanılmıştır. Tüm bina modellerinin x ve y yönündeki boyutları sırasıyla 25 ve 20 m olarak seçilmiştir. X yönünde 5x5 m açıklık bulunurken, Y yönünde 4x5 m açıklık bulunmaktadır. Bina modellerinin kat yükseklikleri 3 m alınmıştır. Denizli ilinde inşa edilmesi muhtemel olan bu betonarme binaların, bu ilde yaygın olarak görülen ZD zemin sınıfı üzerinde yer aldığı düşünülmüştür. Bu zemin tipi FEMA-356 (FEMA-356 2000) ve ASCE 7-16 (ASCE7-16 2016)'daki D zemin tipine karşılık gelmektedir. Tüm bina modellerinin TBDY-2018'de yer alan 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem yer hareketi düzeyine (DD-2) göre tasarımı yapılmıştır.

Konut binalarını temsil eden bu modellerde hareketli yük değeri $Q=2 \text{ kN/m}^2$ olarak dikkate alınmıştır (TS498 1997). TBDY-2018 dikkate alınarak yüksek süneklik düzeyine göre tasarlanan bina modellerinde perde elemanlar bulunmadığı için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, $R=8$ alınmıştır. Bina kullanım sınıfı $BKS=3$ ve bina önem katsayısı, $I=1$ olarak seçilmiştir. Sismik ağırlığın hesabında dikkate alınan hareketli yük azaltma katsayısı (n) ise 0.3 alınmıştır. Beton basınç dayanımı 35 MPa ve çelik akma dayanımı 420 MPa olarak alınmıştır.

Modellerde döşeme ve duvar elemanlar kirişler üzerine yük olarak etkilmiştir. Dolgu duvarların taşıyıcı sisteme olan yanal katkıları ihmal edilmiştir. Döşeme kalınlığı 15 cm kabul edilmiş olup döşemenin kaplama ağırlığı 1.48 kN/m^2 alınmıştır. Kirişlere gelen duvar yükleri ise 3.25 kN/m^2 olarak belirlenmiştir. Bina modellerine ait genel özellikler toplu halde Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Bina genel özellikleri

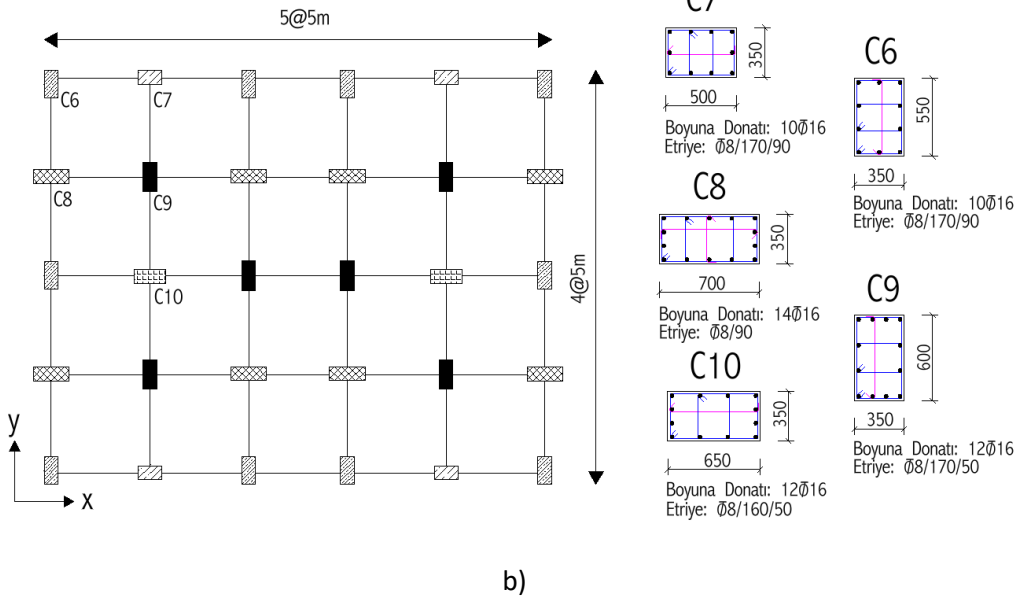
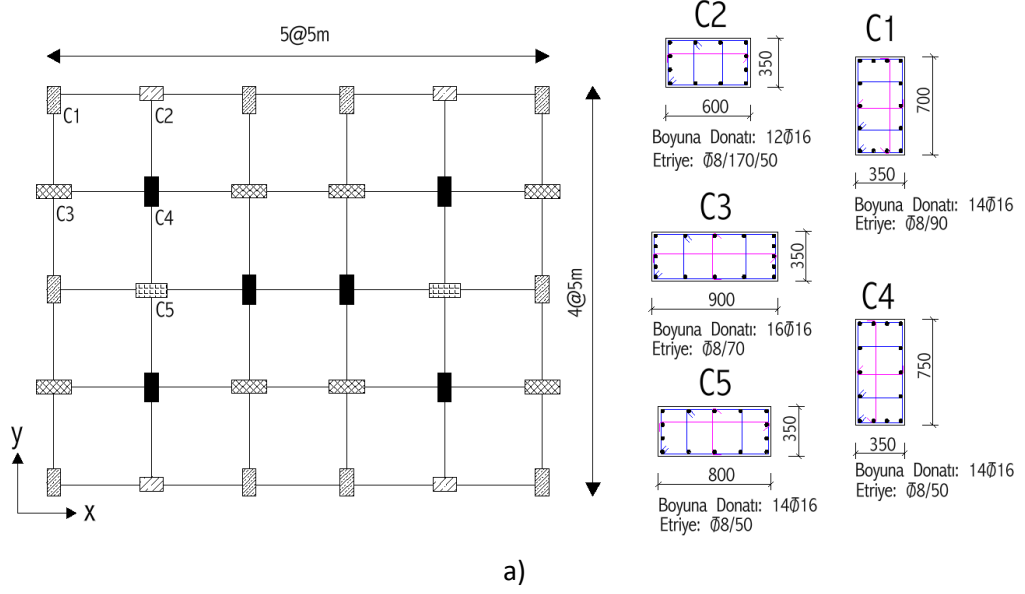
Özellik Türü	Özellik	Değerler							
		3	4	5	6	7	8	9	10
Kat Sayısı		3b	4b	5b	6b	7b	8b	9b	10b
Yapısal Geometrik Özellikler	X-Boyutu	25 m	25 m	25 m	25 m	25 m	25 m	25 m	25 m
	Y- Boyutu	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m	20 m
	Kat Yüksekliği	3 m	3 m	3 m	3 m	3 m	3 m	3 m	3 m
Malzeme Sınıfı (Mpa)	Beton Sınıfı	C35							
	Donatı Sınıfı	S420 (BÇIII)							
Zemin Özellikleri	Zemin Sınıfı	ZD							
Bina Kullanım Sınıfı	BKS	3							
Deprem Tasarım Sınıfı	DTS	1							
Spektral İvme Katsayısı	SDS	1.15 g							
	SD1	0.521 g							
Bina Yükseklik Sınıfı	BYS	7	6	6	5	5	5	5	4
Hareketli Yük Azaltma Katsayısı	n	0.3							
Duvar yükü (kN/m)	G _{duvar}	3.25							
Hareketli yük (kN/m ²)	Q	2							

**Şekil 2.2.** Bina modelinin y-z doğrultusu kiriş kolon dağılımı

Tez kapsamında oluşturulmuş modellerde 3, 4, 5 katlı binalar için 5 farklı kolon kesiti seçilirken, 6, 7, 8, 9 ve 10 katlı binalar için 10 farklı kolon kesiti kullanılmıştır. Şekil 2.3'teki tipik kat planı için seçilen kolon kesitleri iki ana yönde simetrik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Kolon çeşitliliğine göre yapılan isimlendirmeler ile kolon donatı açılımları verilmiştir. 10 katlı bina modeli üzerinde kolon ve kiriş boyutlarının katlara göre değişimi Şekil 2.2'de verilirken Tablo 2.2'de ise tez kapsamında kullanılan her bina modeli için kolon ve kiriş boyutları belirtilmiştir. Değerlendirilen her bir binanın yüksekliklerine ve kat seviyelerine bağlı olarak 300x550 mm ve 250x500.mm olmak üzere iki tipik kiriş boyutu seçilmiştir. Tablo 2.2'de verilen bina modelleri kat sayısına göre etiketlenmiştir. Örneğin “5b” etiketi 5 katlı bina modelini temsil etmektedir.

Tablo 2.2. Bina modellerinin kolon ve kiriş boyutları

Etiket	Kolon Boyut (mm)	Kiriş Boyut (mm)	Model							
			10b	9b	8b	7b	6b	5b	4b	3b
			Kat Seviyesi							
C1	350/700									
C2	600/350									
C3	900/350	300/550	1-5. katlar	1-4. katlar	1-3. katlar	1-2. katlar	1. kat	-	-	
C4	350/750									
C5	800/350									
C6	350/550									
C7	500/350									
C8	700/350	250/500	6-10. katlar	5-9. katlar	4-8. katlar	3-7. katlar	2-6. katlar	1-5. katlar	1-4. katlar	1-3. katlar
C9	350/600									
C10	600/350									

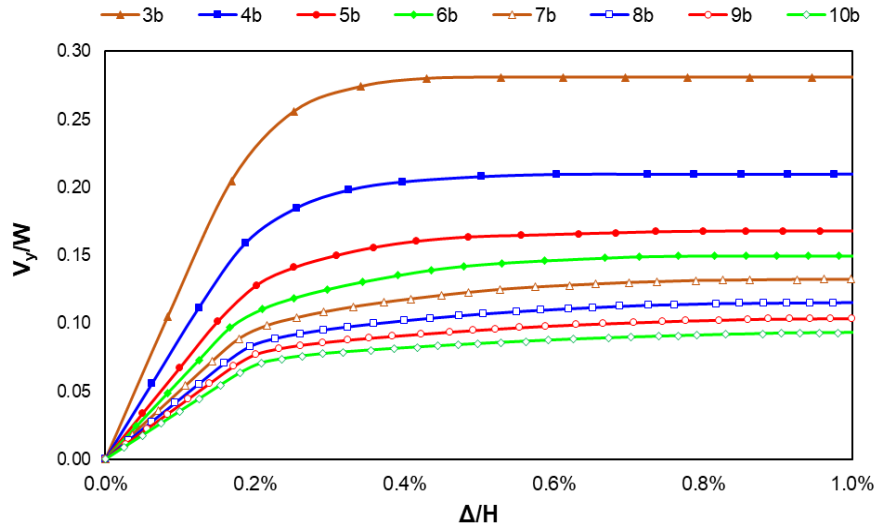


Şekil 2.3. İncelenen binaların tipik kat planı görünümü ve kolon donatı bilgileri a) 6-,7-,8-,9-,10 katlı binalar için alt kat planı b) 3,4,5 katlı binalarda alt kat planı, 6,7,8,9 ve 10 katlı binalarda üst kat planı

Bina modellerinde kullanılan malzeme özellikleri, beton basınç dayanımı ve hem boyuna hem de enine donatıların akma dayanımı sırasıyla 35 MPa ve 420 MPa'dır. Kolon kesitleri ve donatı düzeni Şekil 2.3'te sunulmuştur. Tablo 2.3'te farklı dinamik özelliklere sahip bina modellerinin baskın titreşim periyotları (T_p), sismik ağırlıkları (W) ve sismik ağırlığa göre normalize edilmiş sismik taban kesme dayanımlarının (V_y/W) bir listesi verilmiştir. Tüm bina modellerinin kapasite eğrileri Şekil 2.4'te verilmiştir. Δ ve H sırasıyla çatı deplasmanını ve bina yüksekliği değerlerini temsil etmektedir.

Tablo 2.3. Bina modellerinin dinamik karakteristik özellikleri

Model	Kat Sayısı	Periyot T_p (s)	Sismik Ağırlık W (kN)	Dayanım Oranı (Taban Kesme Dayanımı / Sismik Ağırlık) (V_y/W)
3b	3	0.49	12997	0.24
4b	4	0.66	17521	0.18
5b	5	0.83	22045	0.14
6b	6	0.94	26798	0.13
7b	7	1.07	31633	0.12
8b	8	1.19	36467	0.10
9b	9	1.32	41302	0.09
10b	10	1.45	46136	0.08



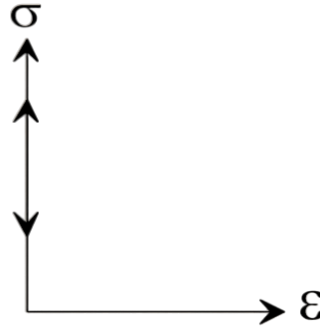
Şekil 2.4. Tüm bina modellerinin kapasite eğrileri

2.3 Doğrusal Elastik Olmayan Yapı Davranışı

Betonarme elemanların artan sismik yüklemeler altında plastik şekil değiştirmesi ile doğrusal elastik olmayan yapı davranışı meydana gelmektedir. Bu plastik deformasyonlar, yanal kuvvetlerin oluşturduğu eğilme etkileri ile zorlanan kolon ve kiriş elemanların uçlarında görülmektedir. Deformasyonların belirli bir kesitte toplandığı ile ilgili varsayım plastik mafsalları kavramını ortaya koymaktadır.

2.3.1 Davranış Biçimleri

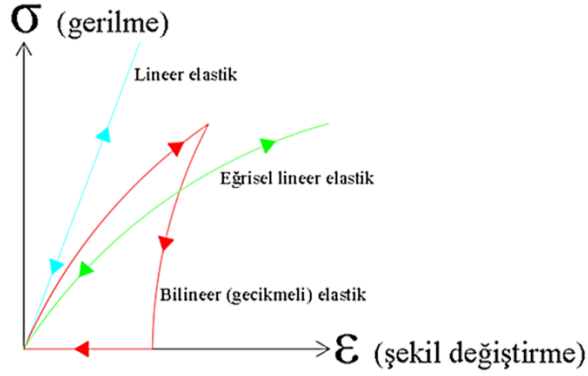
Rijit davranış, bir yapının uygulanan yüklere karşı şekil değiştirmeksizin stabil kalması durumudur. Bu, yapıların yanal yer değiştirmeler ve deformasyonlar göstermeden yükleri doğrudan aktarabilmesi anlamına gelir. Rijit yapılar, genellikle yüksek dayanım ve düşük deformasyon kapasitesine sahip olup, bu özellikleri nedeniyle özellikle deprem gibi dinamik yükler altında ideal bir performans sergileyemezler. Çünkü, depremler sırasında yapılar enerjiyi absorbe etmeli ve dağıtmalıdır. Bu nedenle, yapısal tasarımda tamamen rijitlik istenmeyen bir özelliktir. Yeterli rijitlik, yapının stabilitesini sağlamak için önemlidir ancak sünek davranış göstermesi daha kritiktir. Çelik veya betonarme çerçeve sistemleri, belirli bir miktarda rijitlik sağlarken aynı zamanda belirli bir seviyede esneklik de gösterebilirler. Rijit davranış grafiği Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5. Rijit davranış

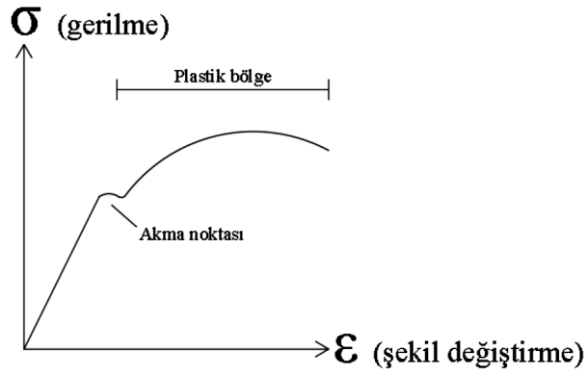
Elastik davranış, bir yapının sismik yükleme altında şekil değiştirebilme yeteneğini ifade eder. Bu davranış biçiminde, yapıya uygulanan yükler kaldırıldığında yapı orijinal formuna geri döner ve herhangi bir kalıcı deformasyon veya dayanım kaybı yaşamaz. Elastik davranış, yapıların belirli bir esneklik ve enerji

emme kapasitesiyle birlikte yük taşıma kapasitesini korumasını sağlar. Elastik davranış sergileyen malzemeler arasında çelik, belirli elastik sınırlar içerisinde yükler kaldırıldığında orijinal şekline geri döner. Bu, yapıların deprem gibi sismik olaylarda kısa süreli deformasyonları tolere edebilmesi anlamına gelir. Elastik davranış grafiği Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Elastik davranış

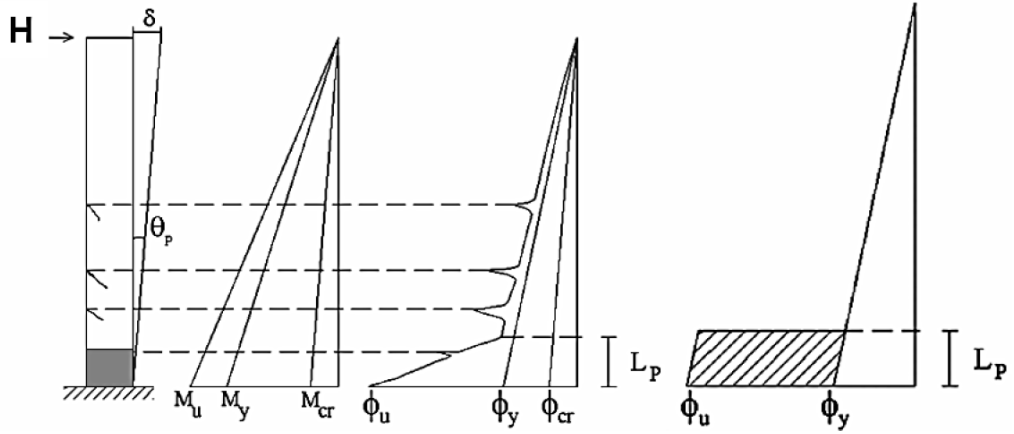
Plastik davranış, yapıların sismik yükleme altında kalıcı şekil değişikliklerine uğraması durumunu ifade eder. Bu durumda, yükler kaldırıldıktan sonra yapı eski haline dönemez ve kalıcı deformasyonlar meydana gelir. Plastik davranış, yapısal bileşenlerin belirli bir noktadan sonra enerji absorbe ederek şekil değiştirmeye devam etmesi anlamına gelir. Bu, sünek davranışın temel bir bileşenidir. Yapıların plastik deformasyon kapasiteleri, ciddi sismik yüklemeler altında yıkılmadan enerjiyi absorbe ederek hasar görebilmesini sağlar. Betonarme yapı elemanları, belirli bir yükleme seviyesinin ötesinde plastik davranış gösterir ve kalıcı deformasyonlar meydana gelir. Plastik davranış grafiği Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Plastik davranış

2.3.2 Plastik Mafsalsal Hipotezi

Betonarme elemanlar deprem kuvvetlerinin oluşturduğu sismik etkiyle belirli bir kapasiteye kadar eğilme momenti taşırlar. Artan yük ile doğrusal elastik sınırı aşılınca kesitin çekme bölgesi akma noktasını geçer ve plastik şekil değiştirme gözlenir. Bu şekil değiştirmeler kolon ve kiriş elemanlarının uç bölgelerinde gerçekleşir (Şekil 2.8). Plastik mafsalsal hipotezinde her bir betonarme elemanın kritik kesitlerindeki eğilme davranışı, moment-eğrilik diyagramlarıyla temsil edilir.



Şekil 2.8. Plastik mafsalsal hipotezi

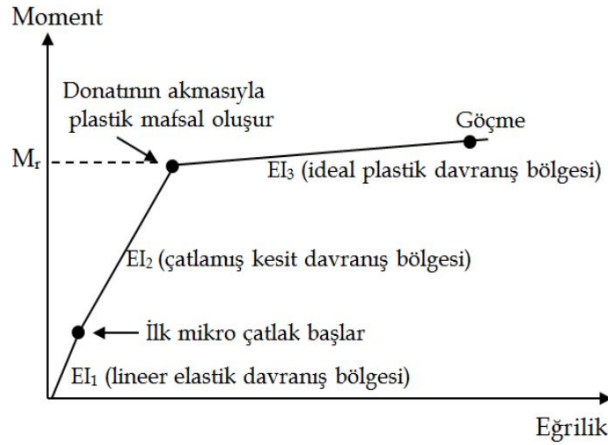
Elemanların kritik kesitlerinde taşıma kapasitelerine ulaşmasıyla birlikte plastik mafsallar oluşur. Şekil 2.8'de, H yüküne maruz kalan bir konsol kolonda moment ve eğrilik değişimleri gösterilmektedir. H yükü arttıkça, kolonun alt bölgesinde, yani momentin maksimum olduğu bölgede çatlaklar yoğunlaşır ve moment akma momentine ulaşıncaya kadar artmaya devam eder. Bu noktadan sonra, moment değerindeki artışlar minimal seviyede kalır ve bu durum, elemanın taşıma kapasitesine ulaştığını gösterir. Taşıma kapasitesi stabil kalırken, eğrilik ve plastik şekil değiştirme büyük ölçüde artar.

Doğrusal elastik olmayan davranış, plastik şekil değiştirmelerin görüldüğü kolon ve kiriş uçlarında tanımlanan plastik mafsallar ile SAP2000'de modellenen binalara yansıtılmıştır. Plastik mafsalların tanımlanabilmesi için her bir elemanın kritik kesitlerinde moment-eğrilik diyagramları elde edilmiştir.

2.3.3 Moment Eğrilik İlişkisi

Moment-eğrilik diyagramları plastik mafsalların belirlenmesinde kullanılmaktadır. Eksenel yük ve eğilme etkisi altında kesitlerde meydana gelen davranışlar moment-eğrilik diyagramı sayesinde tanımlanabilir. Moment eğrilik diyagramının betonarme elemanların dönme kapasitesi ve dayanımlarının belirlenmesinde katkısı büyüktür.

Eğilme etkisi altında bulunan betonarme kesitin idealize edilmiş moment eğrilik grafiği Şekil 2.9’da verilmiştir. Grafikte verilen M_y moment taşıma kapasitesini, ϕ_y akma eğriliğini, ϕ_u ise maksimum eğriliği temsil etmektedir. Grafik incelendiğinde akma eğriliğinden önceki alana elastik, ϕ_y ve ϕ_u arasında yer alan alana da plastik bölge denilmektedir. Grafikte belirtilen EI ise elastik bölgenin eğimini yani kesitin eğilme rijitliğini ifade etmektedir. Bu grafikte de görüldüğü gibi kesitte eğilme çatlaklarının oluşması sonucu eğilme rijitliği azalmaktadır. ($EI_1 > EI_2$)

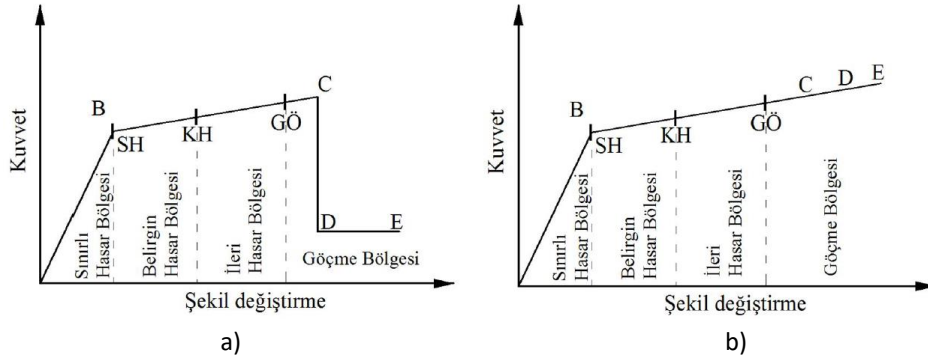


Şekil 2.9. Betonarme elemanın moment eğrilik diyagramı

Tez kapsamında kolon ve kirişlerde meydana gelen plastik şekil değiştirmelerin görülmesi için eleman uçlarına plastik mafsall olarak tanımlanarak SAP2000’de modelleme yapılmış olup doğrusal elastik olmayan davranış incelenmiştir. Betonarme elemanların moment-eğrilik analizleri SEMAp (SEMAp 2008) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Şekil 2.10’da eğilme mafsalı hasar sınırları için B, C, D, E noktaları tanımlanmıştır. Performans kriterleri olan SH (Sınırlı Hasar), KH (Kontrollü Hasar), GÖ (Göçmenin Önlenmesi) noktaları verilmiştir. B noktası kesitin akma sınırına

ulaştığı anı temsil etmektedir. Kesitin akma noktasına ulaştıktan sonra doğrusal ötesi davranış gösterdiği bilinmektedir. B-C noktaları arasında kesit kapasitesi korunurken C noktasından sonra dayanım değeri FEMA-356 ve ATC-40'ta belirtildiği gibi %20 değerine düştüğü varsayılmaktadır (FEMA-356 2000, ATC-40 1996,) C-D noktaları arasında %20 değerine düşen kapasite bir süre korunarak E noktasında kesit kapasitesini tamamen kaybeder.



Şekil 2.10. a) Plastik mafsallık tipik kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi b) göçmenin olmadığı durum

Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi (GÖ) hasar sınırları TBDY-2018'e uygun şekilde birim şekil değiştirmelere bağlı olarak kullanılmıştır. TBDY-2018'e göre betonarme elemanlarda izin verilen hasar sınırları Tablo 2.4'te verilmiştir. TBDY-2018'de Mander tarafından önerilen sargılı beton modeli kullanılmaktadır.

Tablo 2.4. İzin verilen şekil değiştirme hasar sınırları

Nokta	Beton Birim Deformasyonu (ϵ_c)	Çelik Birim Deformasyonu (ϵ_s)
SH	$\epsilon_c^{(SH)} = 0.0025$	$\epsilon_s^{(SH)} = 0.0075$
KH	$\epsilon_c^{(KH)} = 0.75\epsilon_c^{(GÖ)}$	$\epsilon_s^{(KH)} = 0.75\epsilon_s^{(GÖ)}$
GÖ	$\epsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018$	$\epsilon_s^{(GÖ)} = 0.4\epsilon_{su}$

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1'de verilen ω_{we} etkin sargı donatısının mekanik donatı oranını, α_{se} sargı donatısı etkinlik katsayısını, $\rho_{sh,min}$ dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanını, f_{ywe} enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımını göstermektedir. Donatı çeliği birim şekil

değiştirmesi ise $s_s = 0.4s_{su}$ olarak hesaplanmaktadır. Burada $s_{su} = 0.08$, çekme dayanımına karşılık gelen birim uzamayı göstermektedir.

Mevcut binalarda Şekil değiştirme hesabı yapılan betonarme kesitin kesme kuvveti oranı $V_e/(b_w d f_{ctm}) < 0.65$ iken yeni binalarda bu oran Şekil değiştirme üst sınırları alınarak belirlenir. Yeni binalarda kesme kuvveti oranı 1.30'dan büyük olduğu durumlarda hesaplanan Şekil değiştirme sınırları 0.50 ile çarpılarak azaltılmaktadır.

SAP2000 (SAP2000) programında plastik mafsal tanımlanabilmesi için moment-eğrilik değerlerinden moment-dönme değerleri elde edilmelidir. Bunun için hasar sınırlarına göre plastik dönme sınır değerleri Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.5. Hasar sınırlarına göre plastik dönme sınırları

Hasar Sınırları	Plastik Dönme Sınırları
Sınırlı Hasar (SH)	$\theta_p^{(SH)} = 0$
Kontrollü Hasar (KH)	$\theta_p^{(KH)} = 0.75\theta_p^{(GÖ)}$
Göçmenin Önlenmesi (GÖ)	$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - \frac{0.5L_p}{L_s} \right) + 4.5\phi_u d_b \right]$

Mevcut binaların değerlendirilmesinde eğilme etkisindeki betonarme kolon ve kiriş elemanlardaki çatlamiş kesite ait etkin kesit rijitlikler Tablo 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.6. Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları

Çubuk eleman	Eğilme	Kesme
Çerçeve kirişi	0.35	1.00
Çerçeve kolonu	0.70	1.00

2.4 Bitişik Binaların Analitik Modelleri

Titreşimli bina modellerinin dinamik denge denklemi Denklem 2.2’de verilmiştir.

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + K_L u(t) + r_N(t) = -M\ddot{u}_g(t) \quad (2.2)$$

Burada M ve C sırasıyla kütle ve viskoz sönüm matrisidir. $\ddot{u}_g(t)$, yer hareketi ivmesinin vektörüdür. $\ddot{u}(t)$, $\dot{u}(t)$ ve $u(t)$ sırasıyla yer değiştirmelerin, hızların ve ivmelerin vektörleridir. K_L , doğrusal elastik elemanlar için rijitlik matrisidir (bağlantı elemanları hariç tüm elemanlar) ve $r_N(t)$ doğrusal olmayan bağlantı elemanlarından gelen kuvvetlerin vektörüdür (Miari ve Jankowski 2022^a).

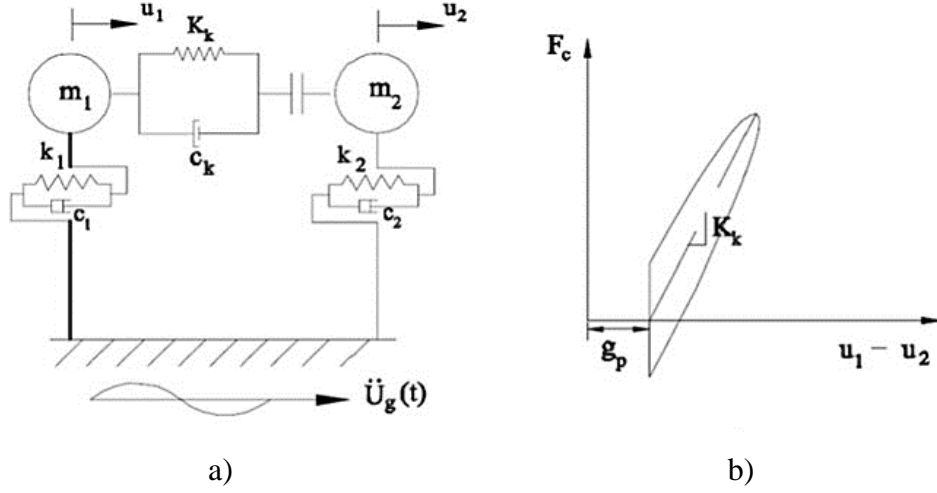
Yapılacak dinamik analizler için Newmark-Beta yöntemi (Newmark 1959) dikkate alınmıştır. Gama (γ) ve Beta (β) katsayıları sırasıyla 0,5 ve 0,25 olarak seçilmiştir. Sönümleme formülasyonu Rayleigh sönümlemesi kullanılarak oluşturulmuştur. Sönüm oranı %5 olarak alınmıştır. Viskoz oransal sönüm için farklı periyot değerlerine göre belirlenen kütle ve rijitlik oransal katsayıları esas alınmıştır. Birinci ve dördüncü modlar dikkate alınmıştır.

2.5 Link Eleman Özellikleri ve Bitişik Bina Modelleri

Çalışma kapsamında 3B doğrusal elastik olmayan 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 katlı betonarme binalar kat seviyelerinden birbirlerine bağlanmıştır. Kat seviyeleri farkı olan ikili binalarda döşemeden kolona çarpışma durumunun etkilerini incelemek adına, binalar arasında 1 m kot farkı oluşturulmuştur. 10 farklı ikili modellere ilaveten bina dizilimleri değiştirilerek 20 farklı ikili ankastre model elde edilmiştir. Örneğin 10b-3b ikili bina modeli, 10 ve 3 katlı binadan oluşan ikili modeli temsil etmektedir.

Tez kapsamında kullanılan binalar SAP2000 analiz programı ile modellenmiştir. İkili modeller doğrusal viskoelastik (Kelvin) birleşim modeli kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 2.11). Oluşturulan ikili modeller doğrusal yay,

viskoz sönümleyici ve binalar arasında boşluk mesafesinin tanımlanabildiği gap elemanlarını içermektedir.



Şekil 2.11. a) Kelvin Modeli b) Kuvvet-şekil değiştirme grafiği (DesRoches ve Muthukumar 2004, Muthukumar ve DesRoches 2006)

Kelvin modeli, viskoelastik malzemelerin davranışını modellemek için kullanılan bir matematiksel modeldir. Bu model, bir yay ve bir sönümleyici elemanın seri bağlanmasıyla oluşur. Yay elemanı, malzemenin elastik davranışını temsil ederken, sönümleyici eleman ise malzemenin viskoz davranışını temsil eder. Bu elemanlar, birlikte malzemenin zamanla değişen davranışını modellemek için kullanılır. Bu yay modeli literatürde yapılan çalışmalarda çarpışma sırasında enerji kayıplarını dikkate alması nedeniyle sıkça kullanılmaktadır. Viskoz sönümleyici ve yay, çarpışma sırasında yalnızca basınç kuvvetleri altında etki ederek oluşan kuvvet aktarımını sağlamaktadır. Komşu binalar arasındaki yatay yer değiştirme farkı ($u_1 - u_2$), sismik boşluk mesafesinden (d) küçükse yay ve viskoz sönümleyici kuvvet aktarmaz. Denklem 2.3'te F , yayda oluşan çarpışma kuvvetini; d , sismik boşluk mesafesini; K_k ise yay rijitliğini temsil etmektedir.

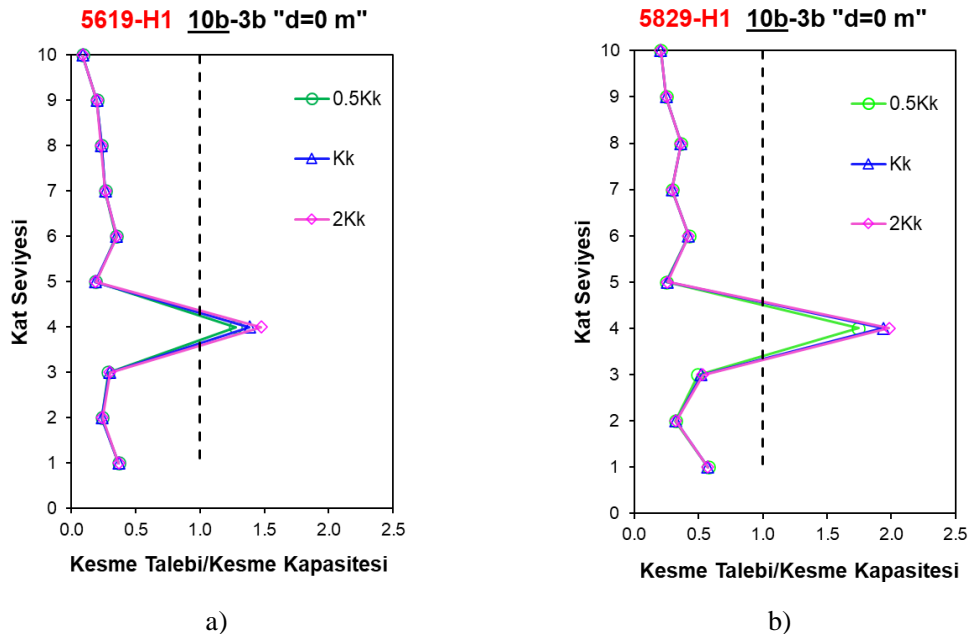
$$F = \begin{cases} K_k(u_1 - u_2 - d) + c_k(\dot{u}_1 - \dot{u}_2) & \text{eğer } (u_1 - u_2) \geq d \\ 0 & \text{eğer } (u_1 - u_2) < d \end{cases} \quad (2.3)$$

$$c_k = 2\xi \sqrt{K_k \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}} \quad (2.4)$$

$$\xi = -\frac{\ln(e)}{\sqrt{\pi^2 + (\ln(e))^2}} \quad (2.5)$$

Viskoz sönüm katsayısı (c_k) (Denklem 2.3 ve 2.4), komşu binaların kütleleri (m_1 ve m_2), enerji verimlilik katsayısı olan e değerine ve rijitliğe bağlı olarak hesaplanmıştır. Literatürde bulunan çalışmalarda e katsayısı (enerji verimlilik katsayısı) 0.65 olarak alınmıştır (Anagnostopoulos 1988, Azevedo ve Bento 1996, Jankowski 2006, Mouzakis ve Papadrakakis 2004).

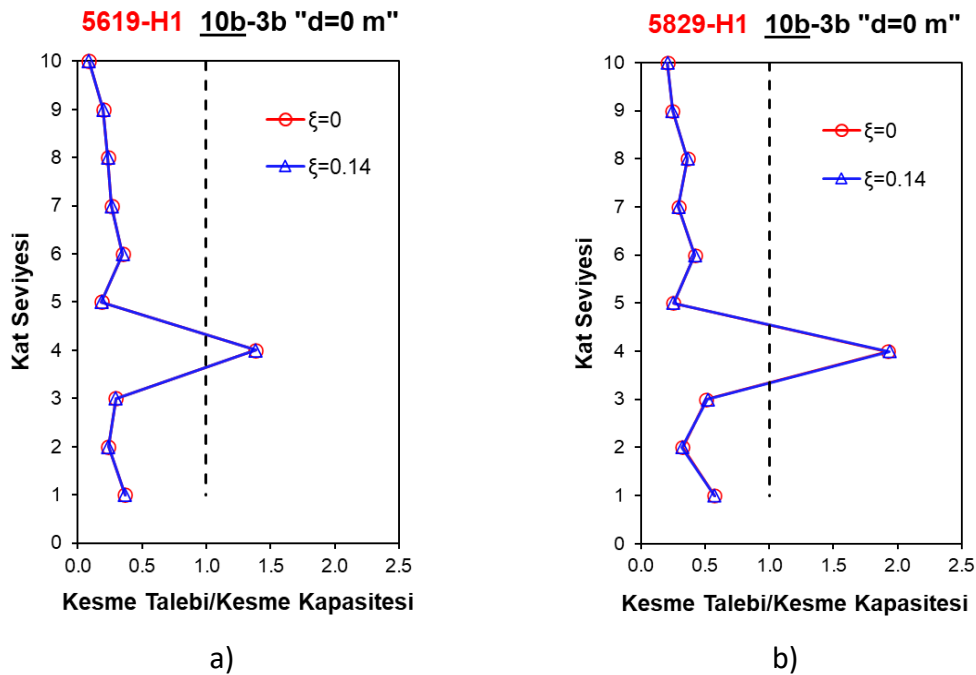
Malzeme özelliklerinin belirsizliği, darbe yüzeylerinin bilinmeyen geometrisi ve değişken darbe hızları nedeniyle darbe yüklemesi altında yay rijitliğinin oldukça yüksek ve belirsiz olduğu belirtilmektedir (Kim ve diğ. 2001). Literatürdeki çalışmalara göre yapı tepkisinin yay rijitliğindeki değişimlere duyarlı olmadığı varsayılabilir. (Anagnostopoulos ve Spiliopoulos 1992, Karayannis ve Naoum 2018, Kim ve diğ. 2001, Maison ve Kasai 1992). Bu çalışmada, çarpışan binaların temas noktalarında üst üste binmeyi önlemek için yay rijitliği (K_k) değeri $1e10$ N/m olarak seçilmiştir (Karayannis ve Favvata 2005^a, Ghandil ve diğ. 2016, Miari ve Jankowski 2022^a). Ayrıca farklı yay rijitliği değerleri için 10 katlı bir binanın tüm katlarındaki kesme talebi/kesme kapasitesi oranları iki deprem kaydı için Şekil 2.12'de sunulmuştur. İncelenen kayıtlar için farklı rijitlik değerlerinin ($0.5K_k$, K_k , $2K_k$) kullanılmasının sonuçları etkilemediği gözlemlenmiştir.



Şekil 2.12. Temas elemanının farklı rijitlik değerleri için 10 katlı binanın tüm katlarındaki kesme talebi/kesme kapasitesi oranları a)5619-H1 kaydı b)5829-H1 kaydı

(Karayannis ve Naoum 2018) göre, döşemeden kolona çarpma tiplerinde hasar, daha kısa olan yapının en üst döşemesinin seviyesindeki çok katlı binanın dış

kolonlarında yoğunlaşmaktadır. Çarpışan yapıların katlarında oluşan bölgesel hasarın önemsiz olduğu ve temas elamanında oluşan sönüm değerinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışmada temas elamanın sönüm oranı “ $\xi=0.14$ ” olarak seçilmiştir (Anagnostopoulos 1988). Ayrıca, sönüm oranı “ $\xi=0$ ” olarak seçilmiş ve 2 farklı deprem kaydı için dinamik analiz sonuçları Şekil 2.13’te 10 katlı bir binanın tüm katlarındaki kesme talebi/kesme kapasitesi oranları incelendiğinde sönüm oranının ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir. Bu sonuç, döşemeden-kolona çarpışma durumlarında temas elemanının elastik bir rijitlikle tanımlanmasının yeterli olduğunu göstermektedir.



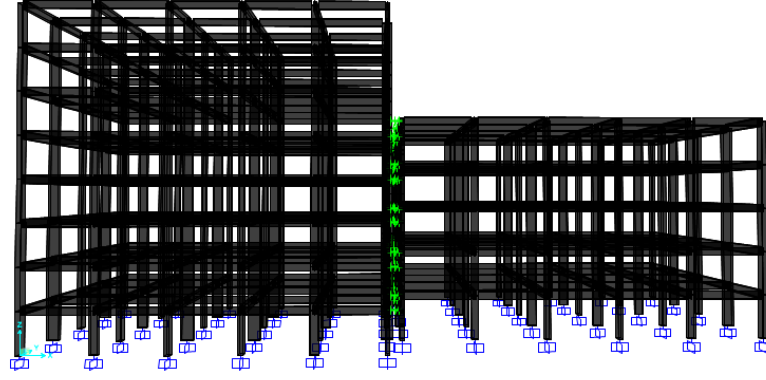
Şekil 2.13. Temas elemanının farklı sönüm değerleri için 10 katlı binanın tüm katlarındaki kesme talebi/kesme kapasitesi oranları a) 5619-H1 kaydı b) 5829-H1 kaydı

TBDY-2018’e göre, kolonun alt ve üst sargı bölgesinin uzunluğu, kolonun net yüksekliğinin 1/6’sından az olmamalıdır. Ayrıca, bu uzunluk 500 mm’den ve kolon kesit boyutlarından büyük olanının 1,5 katı olmalıdır. Çalışmada ele alınan tüm bina modellerinin net kolon yükseklikleri 2,5-2,55 m arasında değişmektedir. Kritik dış kolonların kesit boyutları iki bitişik bina modeli hariç tüm modellerde 350x550, 700x350 mm’dir. Bu boyutlar göz önünde bulundurularak sargı bölgesi uzunluğu $700 \cdot 1.5 = 1050$ mm olarak hesaplanmıştır. Bu uzunluk, kat yüksekliği 3 metre (h) olan bir kolonun yaklaşık 1/3’üne karşılık gelmektedir.

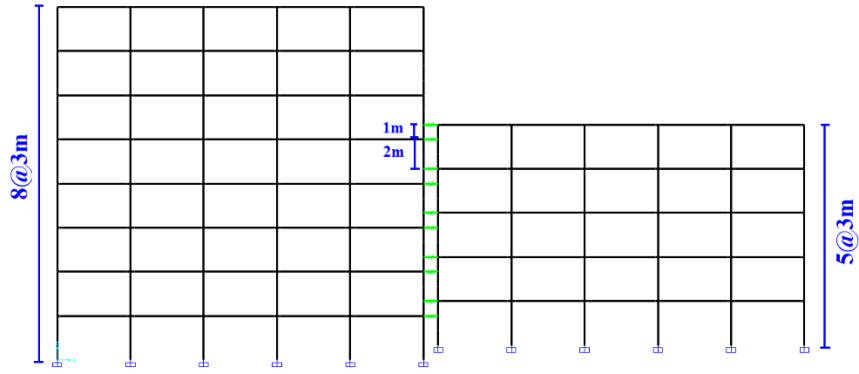
Bu çalışmada bitişik binaların kat seviyeleri arasındaki yükseklik farkı, kolondaki sargı bölgesinin sona erdiği mesafe olarak seçilmiştir. Bu bölgedeki $(1/3h)$ kolon kesme dayanımı uç bölgelere göre daha düşük olduğundan, darbe etkileri altında daha kritik bir bölge olduğu düşünülmektedir. Eğer temas noktası kolonun orta yüksekliğinde olsaydı, darbe kuvveti kolonun alt ve üst uçlarına eşit olarak paylaştırılacaktır ve aynı kesme kuvvetleri gözlemlenecektir (Favvata 2017). Bu nedenle temas noktasının kolonun orta yüksekliği yerine başka bir bölge olarak belirlenmesi daha kritik olacaktır. Favvata ve Karayannis'in çalışmalarında (Favvata 2017, Karayannis ve Favvata 2005^{a-b}), bitişik binaların kat seviyeleri arasındaki yükseklik farkı $h/3$ olarak dikkate alınmıştır.

Bitişik binaların kat yükseklikleri eşit olsa da bu çalışmada döşmeden kolona çarpışmanın etkilerini incelemek için kat seviyeleri arasında "1 m" yükseklik farkı olduğu kabul edilmiştir (Şekil 2.14 b). Böylece, bağlantı elemanları kolondan kat döşemesine bağlanmıştır (Şekil 2.14 c).

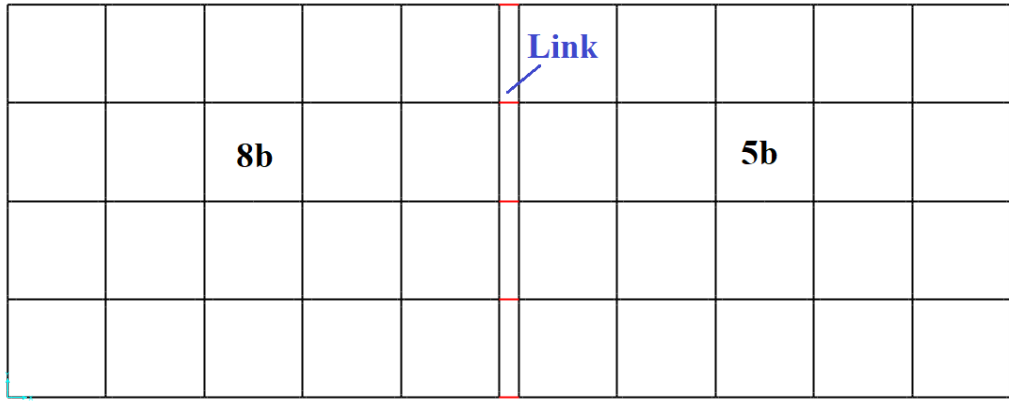
Binalar arasında "1 m" boşluk mesafesi bırakılarak çarpışma etkilerinin ihmal edildiği 10 farklı bitişik bina modeli oluşturulmuştur. Aralarında "1 m" boşluk mesafesi bulunan bu binalar Tablo 2.7'de Durum-1 olarak listelenmiştir. Durum-1, komşu binalar arasındaki çarpışmaları önlemek için gerekli minimum ayırma mesafelerini belirlemek için oluşturulmuştur. Daha sonra, Durum-1'den hesaplanan boşluk mesafeleri azaltılarak çarpışmanın gözlemlendiği modeller oluşturulmuş ve Durum-2 olarak adlandırılmıştır. Döşmeden kolona çarpışmanın gözlemlendiğini temsil eden Durum-2 için, Durum-1'deki komşu bina modellerinin bina konfigürasyonları, toplam 20 bitişik bina modeli üretecek şekilde değiştirilmiştir ve Tablo 2.8'de verilmiştir.



a)



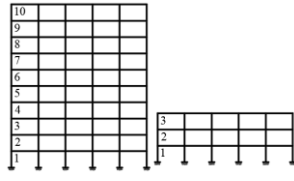
b)



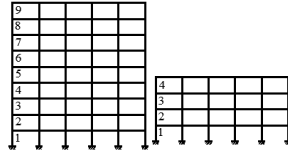
c)

Şekil 2.14. a) 8 ve 5 katlı bitişik binaların 3B görünümü b) cephe görünümü c) plan görünümü

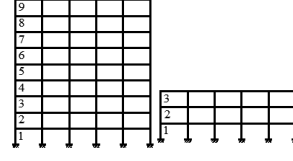
Tablo 2.7. Durum-1 için oluşturulan 10 farklı ikili bina modeli



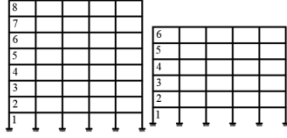
10b-3b



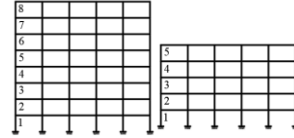
9b-4b



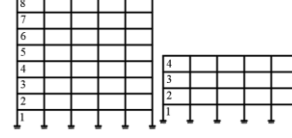
9b-3b



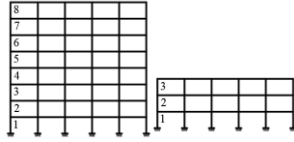
8b-6b



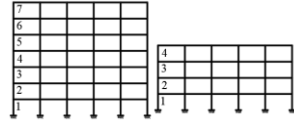
8b-5b



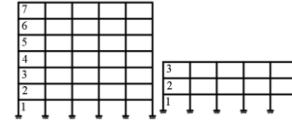
8b-4b



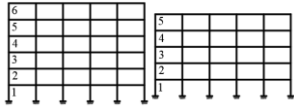
8b-3b



7b-4b

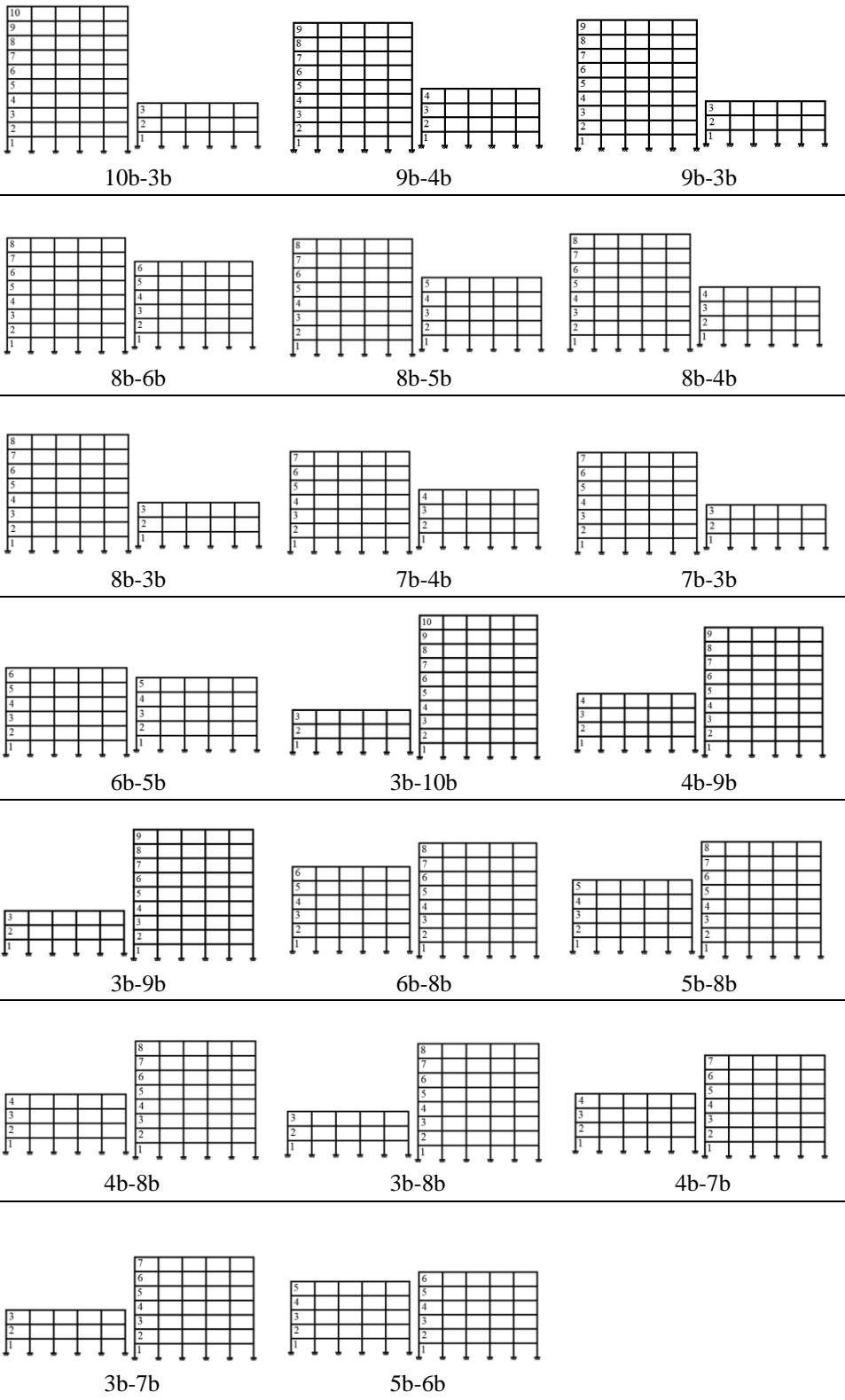


7b-3b



6b-5b

Tablo 2.8. Durum-2 için oluşturulan 20 farklı ikili bina modeli



3. DEPREM İVME KAYITLARININ SEÇİMİ

Deprem etkisi altında binaların sismik performanslarının belirlenmesi amacıyla kullanılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde ivme kayıtlarının seçimi analiz sonuçlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, uygun ivme kaydını elde edebilmek için 3 farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler tasarım spektrumları ile uyumlu yapay ivme kaydı üretimi, benzetim yolu ile ivme kaydı üretimi ve gerçek depremlerin kullanımı şeklinde sıralanabilir (Abrahamson 1992, Bommer ve Acevedo 2004, Boore 2003).

Yapay ivme kaydı, birçok deprem kaydının ortalaması alınarak tek bir kayıt elde edilmesidir. Gerçek deprem kayıtlarına göre çevrim sayısının fazla olması ile enerji içeriği gerçeklikten uzaklaşmaktadır (Bommer ve Acevedo 2004). Diğer bir yöntem olan benzetim yolunda, sismolojik modeller kullanılarak ivme kayıtları türetilmektedir. Bu yöntem kaynak, yayılım ortamı ve zemin özelliklerine bağlıdır. Tasarım yönetmeliklerinin dikkate alındığı durumlarda bu bilgiler mevcut değildir. Gerçek deprem kayıtlarının kullanılması ile yer hareketinin genlik, süre, faz ve frekans içeriği ile ilgili daha sağlıklı bilgiler elde edilmektedir. Bu nedenle gerçek deprem kayıtlarının kullanımı önerilmektedir (Fahjan 2008).

Günümüzde, deprem veri tabanlarının erişilebilirliği sayesinde dinamik analizlerde gerçek deprem kayıtlarının kullanılması tercih edilmektedir. Deprem kayıtlarının elde edildiği istasyonların zemin özellikleri ve faya olan uzaklıkları değişiklik gösterebilmektedir. Bu nedenle, belirli bir bölgedeki deprem tehlikesini yansıtabilecek uygun ivme kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Modern yönetmeliklerde ivme kayıt seçimleri için bazı parametreler belirtilmektedir (EC-8, ASCE7-10 2010, TBDY-2018 2018) .

Yönetmeliklere uygun deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi için optimizasyon teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Fahjan 2008, Kayhan ve diğ. 2011). Deprem tasarım yönetmeliklerinde yer alan tepki spektrumlarını hedef alarak bu işlem kısıtlı bir optimizasyon problemi olarak ele alınabilir. Bu çalışmada, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) tasarım ivme spektrumunu

sağlayan 11 adet ivme kaydı takımı seçilmiş ve ölçeklendirilmiştir. Problemin çözümü için sezgisel optimizasyon tekniklerinden biri olan Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) tercih edilmiştir(Storn ve Price 1997) .

3.1 İvme Kaydının Seçiminde Kullanılan Kriterler

İvme kayıtları seçilirken, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY-2018) belirtilen kriterler dikkate alınmıştır. 3 boyutlu bina modelleri için göz önüne alınan kriterler şunlardır:

- 1) Deprem kaydı takımlarının sayısı en az 11 olmalıdır.
- 2) Aynı depremden seçilen kayıt ve kayıt takımı sayısı 3'ü aşmamalıdır.
- 3) Her bir deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum oluşturulmalıdır.
- 4) Seçilen tüm kayıtların bileşke spektrumlarının ortalamasının, $0.2T_p$ ile $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin, belirlenen tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranının 1.3'ten küçük olmaması gerekmektedir. Bu kurala göre deprem yer hareketi bileşenlerinin genlikleri ölçeklendirilmelidir.
- 5) Her iki yatay bileşenin ölçeklendirilmesi, aynı ölçek katsayıları kullanılarak yapılmalıdır.

3.2 Tasarım İvme Spektrumu

Türkiye'de 2018 yılında Bakanlar Kurulu kararı ile Türkiye Deprem Tehlike Haritası tanımlanmıştır. Bu haritalar dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için belirlenmiştir (DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4) ve bu haritalardan Denklem 3.1'de yer alan harita spektral ivme katsayıları (S_S, S_1) elde edilmektedir. Elde edilen harita spektral ivme katsayıları ile yerel zemin etki katsayıları (F_S, F_1) kullanılarak tasarım spektral ivme katsayılarına (S_{DS}, S_{D1}) ulaşılmaktadır.

$$S_{DS} = S_S F_S \quad (3.1)$$

$$S_{D1} = S_1 F_1$$

Elde edilen tasarım spektral ivme katsayıları kullanılarak, yatay tasarım spektrumu dört farklı periyot aralığı için belirlenmektedir. Denklem 3.2’de gösterildiği gibi, yapı sisteminin titreşim periyoduna karşılık gelen ivme değerleri; T_A ve T_B , sabit ivme bölgesinin alt ve üst limit periyot değerlerine, T_L ise sabit deplasman bölgesinin başlangıcını tanımlayan periyot değerine bağlı olarak tanımlanmaktadır.

$$0 \leq T \leq T_A : \quad S_{ae}(T) = \left[0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} \right] S_{DS}$$

$$T_A \leq T \leq T_B : \quad S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (3.2)$$

$$T_B \leq T \leq T_L : \quad S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T}$$

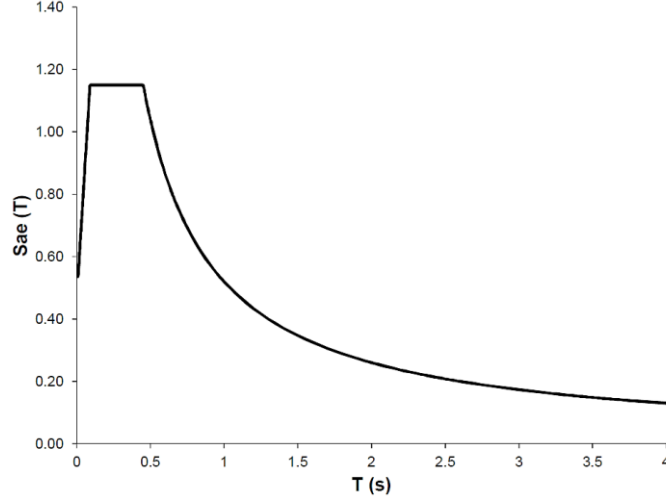
$$T_L \leq T : \quad S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2}$$

Elastik tasarım spektrumunun şekli ve ordinat değerleri, zemin tiplerine göre farklılık göstermektedir. TBDY 2018’e göre zeminler; ZA, ZB, ZC, ZD, ZE ve ZF olarak sınıflandırılmış olup, bu sınıflara ait zemin profilleri ve kayma dalgası hızları Tablo 3.1’de sunulmuştur. Tablo 3.1’e göre verilen hız değerleri (V_{s30}), zeminin 30 metre derinliğindeki ortalama hız değerlerini temsil etmektedir.

Tablo 3.1. Zemin sınıflarına ait değişen V_{s30} değerleri

Zemin Sınıfı	Tanımlama	V_{s30} (m/s)
ZA	Sağlam, sert kayalar	>1500
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760–1500
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360-760
ZD	Orta sıkı–sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180-360
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	<180
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler	

Çalışmada kullanılan binalara ait yatay spektrum grafiklerini çizebilmek için, tasarım spektrumunun şeklini belirleyen parametreler Tablo 3.2’de belirtilmiştir. Bu değerler kullanılarak elde edilen yatay spektrum grafiği, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan ve geri dönüş periyodu 475 yıl olarak tanımlanan deprem yer hareketi düzeyi (DD-2) referans alınarak Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan bina modelleri için yatay tasarım ivme spektrumu grafiği (TBDY-2018)

Tablo 3.2. Spektrum şeklini kontrol eden parametreler

Zemin Sınıfı	S_{DS}	S_{D1}	T_A (s)	T_B (s)
ZD	1.15	0.521	0.09	0.45

3.3 Optimizasyon Problemi

Deprem yönetmeliğine uygun yer hareketi kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesinde optimizasyon teknikleri sıklıkla kullanılmaktadır (Fahjan 2008, Kayhan ve diğ. 2011). Kısıtlı optimizasyon problemi gibi bir çözüm, deprem tasarım yönetmeliğindeki tepki spektrumları hedeflenerek uygulanabilir. Bu çalışmada TBDY-2018'in tasarım ivme spektrum koşullarını sağlayan ivme kayıtları seçilmiş ve ölçeklendirilmiştir. TBDY-2018 ile uyumlu seçim ve ölçeklendirme işlemleri için Diferansiyel Evrim (DE) algoritması (Storn ve Price 1997) kullanılmıştır.

Tasarım spektrumu ile uyumlu yer hareketi kaydı seçimi ve ölçeklendirme işlemi Denklem 3.3'te verilen amaç fonksiyonunun minimize edilmesi ile

gerçekleştirilmiştir. Karar değişkenlerini içeren x vektörü, bir yer hareketi setinden seçilen kayıt sayısını ve ölçekleme faktörünü içermektedir. Örneğin 11 kayıt içeren bir yer hareketi seti seçilecekse x vektörü 22 değişkenden (11 yer hareketi kaydı ve 11 ölçekleme faktörü) oluşmaktadır.

$$\min F(x) = f(x) + h_1(x) + h_2(x) \quad (3.3)$$

Çalışmada hedeflenen tasarım spektrumu $S_{ae}(T)$ ile seçilen kayıtlardan elde edilen bileşke spektrumların ortalaması $E(T)$ arasındaki farkların karelerinin toplamı, $f(x)$ fonksiyonu ile ifade edilmiştir. Hataların karelerinin minimize edildiği bu $f(x)$ fonksiyonu için, periyot aralığı 0.04 ile 4.00 saniye ($0.2T_{1x}-1.5T_{1x}$) arasında seçilmiştir (Denklem 3.4). Bu periyot aralığı, çalışmada kullanılacak olan kat sayısı 3 ile 10 arasında değişen bina modelleri için uygundur. Burada k , dikkate alınan periyot sayısını belirtmektedir. Örneğin, PEER (Pacific Earthquake Engineering Research) veri tabanından (PEER-Database 2011) elde edilen her bir deprem kaydında, 111 farklı periyot değerine karşılık gelen ivme değerleri bulunmaktadır. Tüm bu periyot değerleri dikkate alınmak istendiğinde k değeri 111 olacaktır.

$$f(x) = \sum_{i=1}^k (SRSS_m(T_i) - S_{ae}(T_i))^2, \quad i = 1,2,3, \dots, k, \quad 0.04s \leq T_i \leq 4.00s \quad (3.4)$$

Minimizasyon probleminde, $h_1(x)$ ve $h_2(x)$ fonksiyonları kısıtlar olarak ele alınmaktadır. $h_1(x)$ fonksiyonu, seçilen spektrumun ortalama değeri ile hedef spektrum değeri arasındaki oranı ifade eder (Denklem 3.5). Denklem 3.5'teki koşul sağlandığında, fonksiyon sıfır değerini alır; aksi takdirde, ceza katsayısı (PK_1) uygulanır. Bu ceza katsayısı, kısıtların sağlanması için etkin bir şekilde kullanılarak, amaç fonksiyonunun minimize edilmesine yardımcı olur. Kısıtların gerekli koşulları sağladığı durumlarda ceza katsayısı sıfır olurken, koşulların sağlanmaması halinde ceza katsayısı devreye girer.

$$h_1(x) = \begin{cases} 0 & \text{eğer } \max(SRSS_m(T_i)/S_{ae}(T_i)) < 1.3 \\ PK_1 & \text{değilse} \end{cases} \quad (3.5)$$

Ayrıca, veri tabanından seçilen ivme kayıtlarının sadece bir kez kullanılması için $h_2(x)$ fonksiyonu dikkate alınmıştır (Denklem 3.6). Benzer şekilde, $h_2(x)$ fonksiyonu için de PK_2 ceza katsayısı kullanılmıştır.

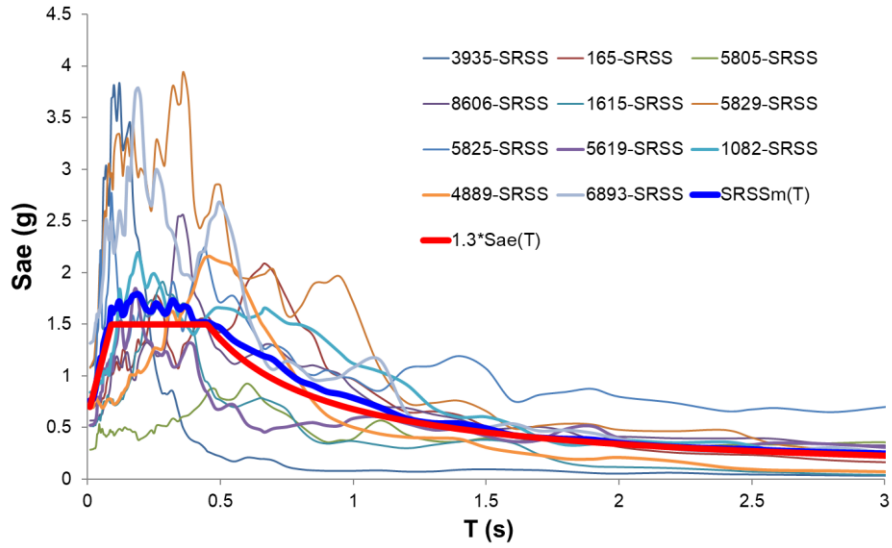
$$h_2(x) = \begin{cases} PK_2 & \text{eğer aynı ivme kaydı birden fazla kez seçilirse} \\ 0 & \text{eğer aynı ivme kaydı hiç seçilmemişse} \end{cases} \quad (3.6)$$

3.4 Seçilen İvme Kayıtları ve Ölçek Katsayıları

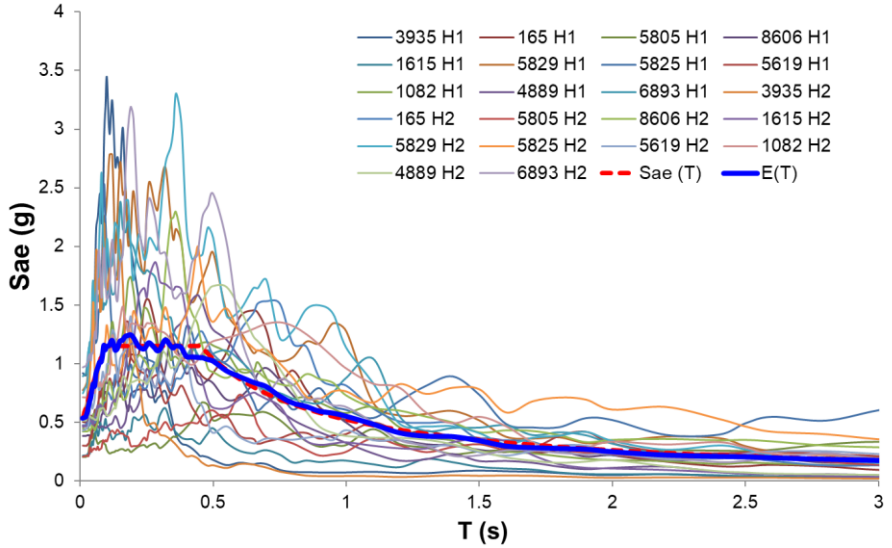
Çalışma kapsamında, TBDY-2018'e göre ZD zemin sınıfı üzerinde inşa edildiği varsayılan 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 katlı betonarme binalarda kat seviyeleri farklı olması durumunda sismik yükleme altındaki çarpışma durumları incelenmek istenmiştir. Bu amaçla, yönetmelik ile uyumlu 11 deprem kaydı takımından (11x2=22) oluşan bir deprem seti, Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) kullanılarak elde edilmiştir.

Şekil 3.2'de 11 ivme kayıt çiftine ait SRSS spektrumları ve SRSS spektrumlarının ortalaması, $SRSS_m(T)$, verilmiştir. Ayrıca, 1.3 katsayısı ile büyütülmüş hedef spektrum $S_{ae}(T)$ eğrileri de aynı grafikte verilmiştir. Seçilen 11 kayıt çiftinin (11x2=22 ivme kaydı) iki yatay ivme spektrumu (H_1 ve H_2 olarak etiketlenmiştir) ve ortalama ivme spektrumları $E(T)$ Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Tablo 3.3'te seçilen deprem kayıtlarının detayları listelenmiştir.

Literatürdeki birçok önemli çalışma, depremlerin yönlerinin yapılar üzerindeki etkisini incelemiştir (Kostinakis ve diğ. 2018, Kostinakis ve Athanatopoulou 2015, Pinzon ve diğ. 2021). Yapıların maksimum tepkisini belirlemek için çok sayıda analiz yapılmıştır. Bununla birlikte, çeşitli açı değerlerinin analiz edilmesi önemli hesaplama masraflarına neden olmaktadır. Hesaplama maliyetlerini azaltmak için, bu çalışmada seçilen ivme kayıtları x yönü boyunca komşu binalara uygulanmıştır. Şekil 3.3, seçilen 22 ivme kaydının x yönü boyunca ortalama spektrumunun hedef spektrumla yakından eşleştiğini göstermektedir.



Şekil 3.2. Ölçeklendirilmiş kayıtların SRSS ivme spektrumları



Şekil 3.3. Ölçeklendirilmiş kayıtların ivme spektrumları ve ivme spektrumlarının ortalaması, E(T)

Tablo 3.3. Seçilen kayıtların özellikleri

PEER No.	Deprem	İstasyon	V_{s30} (m/s)	Ölçek Faktörü
3935	Tottori, Japan	SMN003	344	1.779
165	Imperial Valley-06	Chihuahua	242	1.854
5805	Iwate, Japan	Yokote City - Nobita	253	1.860
8606	El Mayor-Cucapah, Mexico	Westside Elementary School	242	1.482
1615	Duzce, Turkey	Lamont 1062	338	1.788
5829	El Mayor-Cucapah, Mexico	RIITO	242	1.950
5825	El Mayor-Cucapah, Mexico	Cerro Prieto Geothermal	242.	1.893
5619	Iwate, Japan	IWT011	279	1.923
1082	Northridge-01	Sun Valley - Roscoe Blvd	321	1.585
4889	Chuetsu-oki, Japan	Joetsu Otemachi	315	1.849
6893	Darfield, New Zealand	DFHS	344	1.891

4. ANALİZ SONUÇLARI

4.1 Giriş ve Organizasyon

Bu bölümde, ilk olarak, minimum derz mesafesinin belirlenmesi için literatürde yer alan yöntemler araştırılmıştır. Daha sonra tez kapsamında kullanılan kat sayısı 3 ila 10 kat arasında değişen binalar ile oluşturulmuş ikili bina modellerimiz kullanılarak yapılan doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizler ile döşemeden kolona çarpma potansiyeli olan binalar arasında gerekli minimum derz mesafesi belirlenmiştir. Bu çalışmada Durum-1 olarak adlandırılmış olan ilk durum, komşu binalar arasında yeterli boşluk mesafesi ($d=1$ m) olduğunu ve binalar arasında etkileşimin olmadığını temsil etmektedir. Daha sonra, Durum-1’de komşu binalar arasında yetersiz boşluk mesafesi ($d=0$ m) seçilerek sismik çarpışmanın kesme talepleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kritik kolonlardaki kesme talepleri ve kesme dayanımları karşılaştırılarak kesme hasarlarının oluşup oluşmadığı araştırılmıştır. Son olarak, kesme göçmelerinin önlendiği derz mesafeleri incelenmiştir. Kesme göçmelerinin önlendiği derz mesafelerinin belirlenmesi amacıyla Durum-1’deki boşluk mesafeleri iteratif bir süreçle azaltılmış ve kesme talebinin kesme dayanımına eşit olduğu andaki boşluk mesafeleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu boşluk mesafeleri Durum-2 olarak adlandırılmıştır. Tezin içeriğinde yapılmış olan çalışmalar, özet olarak Şekil 4.1’deki şemada verilmiştir.



Şekil 4.1. Tezin organizasyon şeması

4.2 Minimum Derz Mesafesinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler

Bitişik betonarme binaların deprem etkilerine karşı dayanıklılığını artırmak, minimum derz mesafelerinin doğru bir şekilde belirlenmesine bağlıdır. Bu mesafelerin hesaplanması, yapıların dinamik özellikleri, deprem kayıtlarının karakteristikleri ve yapısal düzenlemeler gibi çeşitli faktörlere dayanmaktadır. Literatürde, bu amaçla farklı yöntemler önerilmiştir. Bunlar arasında TBDY-2018, ABS (Mutlak Toplam), SRSS (Karelerin Toplamının Karekökü) ve DDC (Double Difference Combination) yöntemleri bulunmaktadır. Bu bölümde, minimum derz mesafelerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler ayrıntılı bir şekilde incelenecektir.

4.2.1 Mutlak Toplam (ABS) Yöntemi

Mutlak Toplam yöntemi olarak adlandırılan ABS yöntemi, bitişik binaların deprem anında birbirleriyle çarpışmalarını önlemek amacıyla kullanılan bir hesaplama metodudur. Bu yöntem, her iki binanın tepe noktalarındaki maksimum yer değiştirmelerin mutlak değerlerinin toplamını alarak gerekli minimum boşluk mesafesini belirler. Bu hesaplama, özellikle yüksek sismik aktivitelerin olduğu bölgelerde binaların güvenliğini sağlamak için kritik öneme sahiptir.

ABS yöntemi, Uniform Building Code (UBC88 1988) tarafından önerilmiş ve yaygın olarak benimsenmiştir. ABS yöntemi, uygulaması kolay ve anlaşılır bir yöntem olması nedeniyle mühendisler tarafından sıkça tercih edilir. Ancak, bu yöntem bazen gereksiz derecede büyük boşluk mesafelerine yol açabilir. Bunun nedeni, tepe yer değiştirmelerinin aynı anda gerçekleşme olasılığının düşük olmasıdır. Bu durumda, binalar arasında daha büyük boşluklar bırakmak gerekebilir, bu da özellikle yoğun şehir bölgelerinde yer kaybına ve maliyet artışına neden olabilir. ABS yöntemine ait ifade Denklem 4.1'de verilmiştir.

$$d_{ABS} = |u_1| + |u_2| \quad (4.1)$$

4.2.2 Karelerin Toplamının Karekökü (SRSS) Yöntemi

Karelerin Toplamının Karekökü (SRSS) yöntemi, bitişik binaların güçlü sismik yüklemeler altında tepe noktalarındaki yer değiştirmeleri hesaplamak için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, komşu binaların maksimum yer değiştirmelerinin karelerinin toplamının karekökü alınarak gerekli minimum boşluk mesafesinin hesaplanmasını sağlar. Anagnostopoulos (Anagnostopoulos 1988) tarafından önerilen SRSS yöntemi, binaların dinamik hareketlerinin bağımsız olduğu varsayımına dayanır ve bu nedenle daha az muhafazakar sonuçlar sunar. Denklem 4.2 ile ifade edilen bu yöntem, bitişik binaların tepe yer değiştirmelerinin aynı anda maksimum olma olasılığının düşük olduğu durumlarda daha optimize bir boşluk mesafesi belirlemesine olanak tanır. SRSS yöntemi, özellikle deprem sırasında binaların bağımsız hareket etmeleri durumunda, daha ekonomik ve kısıtlı yer problemleri açısından verimli çözümler sunar ve şu denklemlerle gösterilir:

$$d_{SRSS} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \quad (4.2)$$

Denklem 4.1 ve Denklem 4.2’de belirtilen u_1 ve u_2 , bitişik binaların maksimum yer değiştirmelerini temsil etmektedir.

4.2.3 DDC Yöntemi

DDC (Double Difference Combination) yöntemi, binaların deprem esnasında çarpışmasını önlemek için gerekli olan boşluk mesafesini belirlemek amacıyla kullanılan bir sismik analiz tekniğidir. Bu yöntem, bitişik binaların benzer doğal periyotlara sahip olduğu durumlarda özellikle önemlidir.

DDC yöntemi, binaların dinamik etkileşimini ve farklı hareketlerini dikkate alarak boşluk mesafesini hesaplar. ABS (Mutlak Toplam) ve SRSS (Karelerin Toplamının Karekökü) gibi daha basit yöntemlerin aksine, DDC yöntemi, sismik kuvvetlere maruz kalan bitişik binaların birbirini etkileyen davranışlarını (dinamik etkileşim, eşzamanlı yer değiştirme) göz önünde bulundurarak daha doğru boşluk tahminleri sağlar.

Jeng ve diğerleri (Jeng ve diğ. 1992) tarafından önerilen DDC yöntemi, elastik yapılar üzerinde etkili bir şekilde kullanılmıştır (Denklem 4.3). Bu yöntemi elastik olmayan yapılar için kullanabilmek adına, Kasai ve Maison (Kasai ve Maison 1997) tarafından Denklem 4.3'te verilen korelasyon katsayısı değiştirilmiştir. Binaların periyot (T_1, T_2) ve sönüm (ξ_1, ξ_2) değerlerinin korelasyon katsayısındaki yerine, Denklem 4.5 ve Denklem 4.6'da verilen etkin sönüm (ξ_{eff}) ve periyot (T_{eff}) değerleri dikkate alınmıştır. T_1 , daha yüksek periyot değerine sahip binayı temsil ederken, T_2 daha küçük periyot değerine sahip binayı temsil etmektedir. μ, T_0, ξ_0 ise sırasıyla düktilite oranı, başlangıç periyodu ve başlangıç sönüm değerlerini temsil etmektedir.

$$d_{DDC} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 - 2\rho u_1 u_2} \quad (4.3)$$

$$\rho = \frac{8x\sqrt{\xi_1 x \xi_2} x \left(\xi_1 + \xi_2 x \frac{T_1}{T_2} \right) x \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{1.5}}{\left[1 - \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^2 \right]^2 + 4x\xi_1 x \xi_2 x \left[1 + \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^2 \right] x \left(\frac{T_1}{T_2} \right) + 4x(\xi_1^2 + \xi_2^2) x \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^2} \quad (4.4)$$

$$T_{eff} = T_0 x (1 + 0.09x(\mu - 1)) \quad (4.5)$$

$$\xi_{eff} = \xi_0 + 0.084x(\mu - 1)^{1.3} \quad (4.6)$$

4.2.4 Kamal ve İnel (2022^a) Tarafından Önerilen Yöntem

Kamal ve İnel, gerekli derz mesafesinin belirlenmesi için yapmış oldukları çalışmada α ve m katsayılarına ve binaların periyot oranlarına dayalı iki farklı yöntem önermişlerdir. TBDY-2018' de yer alan α katsayısı, binaların taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) ve bina önem katsayısına (I) bağlı ve sabit bir değer ($\alpha=0.25R/I$) olarak sunulmuştur. Kamal ve İnel bu katsayının binaların periyot oranlarına bağlı olduğu yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Gerekli derz mesafesinin belirlenebilmesi için önerilen yaklaşım, lineer analizden elde edilen elastik yer

değişiklikler (u_1, u_2) ve α kat sayısına bağlı olarak Denklem 4.8a-4.8b' de verilmiştir. Bu denklemler ile önerilen yaklaşım TBDY-2018, ASCE7-16 ve EC-8 ile kıyaslanmıştır. Önerilen denklemin, TBDY-2018 ve diğer yönetmelik gereksinimine kıyasla gerekli derz mesafesinin belirlenmesinde daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir (ASCE7-16, EC-8, TBDY-2018).

$$d_{TBDY-2018} = \alpha \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \quad (4.7)$$

$$d_{proposed-1a} = \alpha_{1a} \sqrt{u_1^2 + u_2^2}; \alpha_{1a} = -5(T_1/T_2)^{-3.5} + 5.13; \alpha_{1a} \geq 1.5 \quad (4.8a)$$

$$d_{proposed-1b} = \alpha_{1b} \sqrt{u_1^2 + u_2^2}; \alpha_{1a} = \begin{cases} 5 \left(\frac{T_1}{T_2} \right) - 3.5; \frac{T_1}{T_2} \leq 1.6 \\ 0.5 \left(\frac{T_1}{T_2} \right) + 3.7; \frac{T_1}{T_2} > 1.6 \end{cases} \quad (4.8b)$$

Önerdikleri ikinci yöntem, binaların elastik olmayan spektral yer değiştirmelerine (δ_1, δ_2) ve bina periyot oranlarına (T_1/T_2) dayanmaktadır. Dinamik analizlerden elde edilen ortalama boşluk mesafeleri, elastik olmayan spektral yer değiştirmelerin karelerinin toplamının kareköküne oranlanmıştır. Bu oran m katsayısı olarak adlandırılmış ve bu katsayı için iki farklı denklem (Denklem 4.9a-4.9b) önerilmiştir.

$$d_{proposed-2a} = m_{2a} \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2}; m_{2a} = -0.76(T_1/T_2)^{-3.44} + 0.81 \quad (4.9a)$$

$$d_{proposed-2b} = m_{2b} \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2}; m_{2b} = \begin{cases} 0.75 \left(\frac{T_1}{T_2} \right) - 0.5; \frac{T_1}{T_2} \leq 1.6 \\ 0.075 \left(\frac{T_1}{T_2} \right) + 0.58; \frac{T_1}{T_2} > 1.6 \end{cases} \quad (4.9b)$$

4.3 Çarpışmasız Durumdaki Derz mesafesi (Durum-1)

3 ila 10 kat arasında değişen 10 farklı bina çifti oluşturulmuştur. Toplam 220 adet doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizler 22 farklı ivme kaydı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve minimum boşluk mesafeleri Denklem 4.10 kullanılarak hesaplanmıştır. $u_1(t)$ ve $u_2(t)$ her bir zaman adımı için bitişik binaların sismik çarpışmanın gerçekleştiği kattaki yanal yer değiştirmelerini temsil etmektedir. Analizler sonucunda elde edilen minimum derz mesafeleri çarpışmanın olmadığı Durum-1'deki her bir bina çifti için Tablo 4.1'de verilmiştir.

$$d = \max|u_1(t) - u_2(t)| \quad (4.10)$$

Bu bölümde, analiz sonuçları ile elde edilen derz mesafeleri ile TBDY-2018 ve Kamal ve İnel (Kamal ve İnel 2022^a) tarafından sunulan derz mesafesi tahminleri kıyaslanmak istenmiştir. Bu sebeple öncelikle TBDY-2018' de yer alan derz mesafesi üzerine gerekli ifadeler irdelenmiştir. Ardından yönetmelikte belirtilen α katsayısı için Kamal ve İnel (Kamal ve İnel 2022^a) tarafından sunulmuş olan denklem verilmiştir. Daha sonra çarpışmanın gerçekleşmediği durumdan (Durum-1) elde edilen derz mesafeleri ile TBDY-2018'de belirtilen ve Kamal ve İnel (Kamal ve İnel 2022^a) tarafından önerilen yaklaşımlar Şekil 4.1'de kıyaslanmıştır.

Derz mesafesi TBDY-2018'de aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır: Derz mesafesi, her kat için komşu yapılarda hesaplanan yer değiştirmelerin karelerinin toplamının karekökü (SRSS) ile α katsayısının çarpılmasıyla elde edilen değere eşit veya daha büyük olmalıdır. Bu tanımdaki α katsayısı, eğer komşu binalar tüm katlar boyunca aynı kat seviyelerine sahipse $\alpha=0,25R/I$ ile hesaplanırken, diğer tüm durumlarda $\alpha=0,5R/I$ ile hesaplanmalıdır.

$$d_{TBDY-2018} = \alpha \sqrt{\delta_{el,1}^2 + \delta_{el,2}^2} \quad (4.11)$$

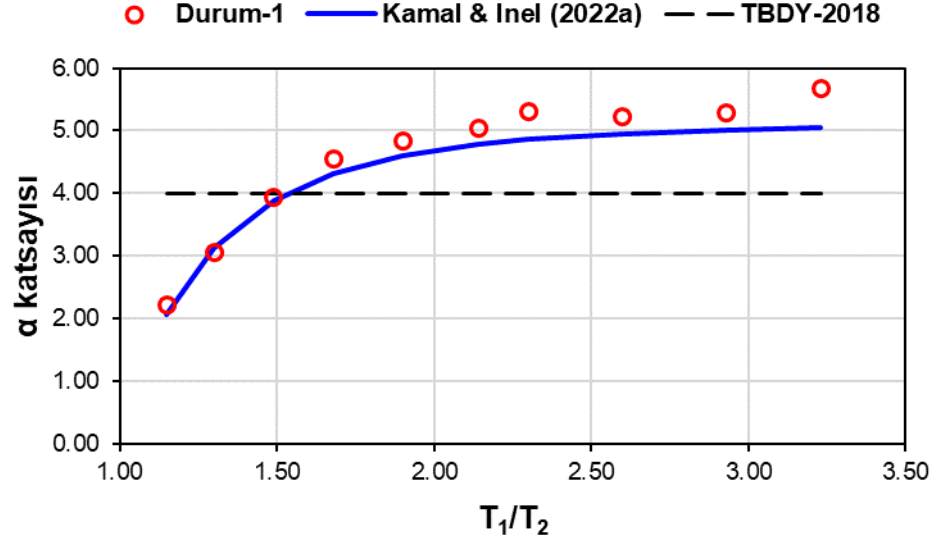
$$\alpha_{Kamal \& Inel} = -5(T_1/T_2)^{-3.5} + 5.13 \quad (4.12)$$

TBDY-2018'de yer alan derz mesafesine ait ifade Denklem 4.11'de verilmiştir; burada $\delta_{el,1}$ ve $\delta_{el,2}$ komşu binalardaki sismik tasarım kuvvetlerinden

elde edilen azaltılmış elastik yer değiştirmeleri ifade etmektedir. Bu çalışmada kullanılan bina modelleri, deprem etkilerinin tamamının moment aktaran suneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı binalardan oluştuğu için taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=8$, konut olarak düşünülerek tasarımı yapıldığı için bina önem katsayısı $I=1$ ve bitişik binalar arasındaki kat yükseklikleri farklılıkları nedeniyle $\alpha=4$ olarak hesaplanmıştır. Kamal ve Inel (Kamal ve Inel 2022^a), α katsayısı için Denklem 4.12’de verilen basitleştirilmiş bir denklem önermiştir. TBDY-2018 gerekliliklerinin, periyot oranları ($T1/T2$) 1.25’ten büyük olan bitişik binalar için yetersiz olduğunu belirtmişlerdir. $T1$ ve $T2$, bitişik binaların baskın titreşim periyotlarını temsil etmektedir ($T1>T2$). Bununla birlikte, önerilen denklem eşit kat seviyelerine sahip komşu binalara dayanmaktadır. Bu çalışmada da kullanılarak farklı kat seviyelerine sahip bitişik binalar için uygulanabilirliği incelenmiştir.

Her bir bitişik bina modelinin doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizinden elde edilen derz mesafesinin (d_{ort}) ortalaması Tablo 4.2’de listelenmiştir. Ayrıca, azaltılmış elastik yer değiştirmelerin SRSS değerleri de hesaplanmıştır. Ortalama boşluk mesafeleri (d_{ort}) hesaplanan SRSS değerleri ile normalize edilmiştir. Elde edilen oran, analiz sonuçlarına göre gerekli α katsayısını da temsil etmektedir. Gerekli α katsayısı ve TBDY-2018 ile Kamal ve Inel (Kamal ve Inel 2022^a) tarafından önerilen α katsayıları Tablo 4.2’de ve şekil 4.2’de verilmiştir. TBDY-2018’de verilen α katsayısı tüm bina çiftleri için 4’tür.

şekil 4.2, analiz sonuçlarını TBDY-2018 ve Kamal ve Inel (Kamal ve Inel 2022^a) tarafından önerilen α katsayısı ile karşılaştırmaktadır. TBDY-2018 gereklilikleri, periyot oranı 1 ile 1,5 arasında olan bitişik binalar için yeterli iken, periyot oranı 1,5’ten yüksek olan binalar için yetersizdir. Eşit kat seviyelerine sahip binalar için (Kamal ve Inel 2022^a) tarafından önerilen basitleştirilmiş yaklaşım, farklı kat seviyelerine sahip komşu binalar için de oldukça makul sonuçlar vermektedir. Önerilen yaklaşım, TBDY-2018 gerekliliklerine kıyasla daha iyi bir tahmin vermektedir.



Şekil 4.2. Analiz sonuçlarının TBDY-2018 ve Kamal ve Inel (Kamal ve Inel 2022^a) tarafından önerilen α katsayısı ile karşılaştırılması

Tablo 4.1. Durum-için hesaplanan gerekli minimum ayırma mesafeleri (mm)

Kayıtlar	Bitişik Bina Modelleri									
	6b-5b	8b-6b	8b-5b	7b-4b	8b-4b	9b-4b	7b-3b	8b-3b	9b-3b	10b-3b
1082-H1	75.1	135.9	132.7	96.3	95.7	75.0	99.3	85.8	79.0	82.0
1082-H2	84.2	168.9	167.3	199.0	239.1	257.4	103.0	116.9	130.0	146.5
1615-H1	38.9	60.9	52.1	37.3	43.7	38.9	35.2	34.3	40.5	38.7
1615-H2	52.8	66.6	68.5	80.1	70.6	59.8	71.8	60.1	52.8	63.9
165-H1	54.7	84.5	100.2	101.4	104.7	91.1	82.0	79.1	74.4	74.9
165-H2	120.7	165.4	197.4	111.3	128.2	146.9	98.7	104.6	108.7	108.3
3935-H1	16.3	32.8	25.2	26.9	29.4	26.5	15.3	17.6	15.1	21.0
3935-H2	11.2	14.5	19.6	17.8	17.4	18.1	15.3	11.5	12.5	13.9
4889-H1	47.0	71.7	54.4	64.7	61.3	74.7	73.5	70.2	76.8	75.7
4889-H2	35.7	98.4	95.7	72.3	75.4	72.2	60.2	61.7	52.6	56.0
5619-H1	59.3	140.2	160.0	140.0	149.0	136.2	107.6	112.2	101.9	98.7
5619-H2	46.8	79.3	76.9	73.8	61.2	91.4	61.4	55.2	74.1	79.4
5805-H1	35.2	81.2	78.0	76.1	75.1	69.6	56.7	58.7	51.6	53.6
5805-H2	40.9	97.7	89.7	58.1	67.1	73.2	44.8	60.9	48.4	60.4
5825-H1	111.2	164.9	153.3	223.6	229.1	250.8	194.5	144.8	150.8	174.7
5825-H2	110.7	191.8	257.2	175.4	216.6	230.5	107.5	91.3	111.1	138.5
5829-H1	71.1	119.2	124.7	119.7	124.1	145.8	90.0	96.6	106.4	96.8
5829-H2	146.1	184.8	276.1	122.0	101.6	135.9	158.8	162.0	191.4	229.4
6893-H1	84.3	109.5	111.9	155.9	164.6	137.1	125.4	123.3	116.8	132.3
6893-H2	78.8	138.6	173.1	94.7	102.4	109.4	97.9	84.7	70.6	77.2
8606-H1	41.1	81.8	72.7	147.2	147.0	148.4	71.7	64.7	73.4	50.5
8606-H2	45.9	101.2	81.3	122.0	140.6	127.4	96.6	106.1	89.0	114.5
Ort.	64.0	108.6	116.7	105.3	111.1	114.4	84.9	81.9	83.1	90.3
Maks.	146.1	191.8	276.1	223.6	239.1	257.4	194.5	162.0	191.4	229.4
Min.	11.2	14.5	19.6	17.8	17.4	18.1	15.3	11.5	12.5	13.9

Tablo 4.2. TBDY-2018 ve Kamal ve Inel (Kamal ve Inel 2022a) tarafından önerilen basitleştirilmiş yöntem ile dinamik analizlerden elde edilen α katsayılarının karşılaştırılması

Model	T_1/T_2	d_{ort} (mm)	$\delta_{el,1}$ (mm)	$\delta_{el,2}$ (mm)	SRSS (mm)	α katsayısı		
						$d_{ort}/$ SRSS	TBDY-2018 (TBDY- 2018-2018)	Kamal ve Inel (Kamal ve Inel 2022 ^a)
6b-5b	1.15	64.0	21.2	19.5	28.8	2.22	4	2.06
8b-6b	1.30	108.6	26.7	23.5	35.6	3.05	4	3.13
8b-5b	1.49	116.7	22.4	19.5	29.7	3.93	4	3.89
7b-4b	1.68	105.3	17.6	15.0	23.2	4.54	4	4.32
8b-4b	1.90	111.1	17.3	15.0	22.9	4.84	4	4.60
9b-4b	2.14	114.4	17.0	15.0	22.7	5.05	4	4.78
7b-3b	2.30	84.7	12.3	10.1	16.0	5.31	4	4.86
8b-3b	2.60	81.9	11.9	10.1	15.7	5.23	4	4.95
9b-3b	2.93	83.1	12.0	10.1	15.7	5.28	4	5.01
10b-3b	3.23	90.3	12.3	10.1	15.9	5.68	4	5.05

4.4 Kritik Kolonun Kesme Talebi ve Kesme Dayanımı

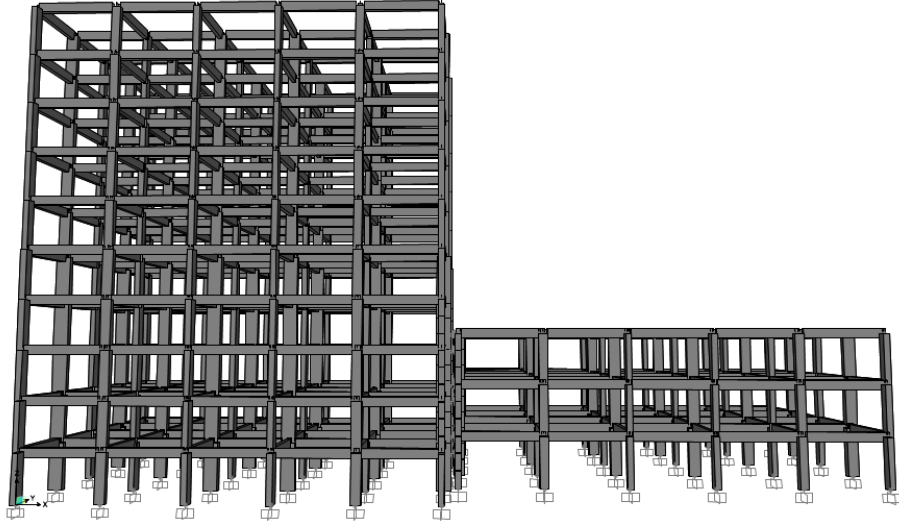
Bitişik binalar arasında gerçekleşen en yaygın çarpışma türlerinden biri döşemeden kolona gerçekleşen çarpışmadır. Bu tür senaryolar genellikle farklı kat seviyelerine sahip komşu binalar arasında gözlemlenir. Daha kısa ve daha uzun bina arasındaki bu tür çarpışmalarda, daha uzun binanın alt katlarındaki talepler daha kısa binanın varlığı ile kısıtlanırken, daha uzun binanın geri kalanında kamçı etkisi meydana gelir. Özellikle kritik (dış) kolonların kesme taleplerindeki artış nedeniyle, kesme dayanımının aşılmasıyla kesme hasarları gözlemlenebilir.

Döşemeden kolona gerçekleşen çarpışmanın 2023 Kahramanmaraş depreminden bir örneği Şekil 4.3'te verilmiştir. Kat yükseklikleri farklı olan tek katlı (inşaat halindeki) ve 8 katlı bir bina arasında yetersiz derz mesafesi sonucu döşemeden kolona çarpışma meydana gelmiştir. Sekiz katlı binanın birinci katındaki dış kolonların kesme talepleri karşılanmamış ve kolonda kesme göçmesi gözlenmiştir. Bu nedenle, kolonlardaki kesme hasarlarının önlenmesi, bitişik betonarme binalar arasında gerekli minimum sismik derz mesafesinin tahmin edilmesi için hayati bir parametre olarak kabul edilmektedir (Favvata 2017).

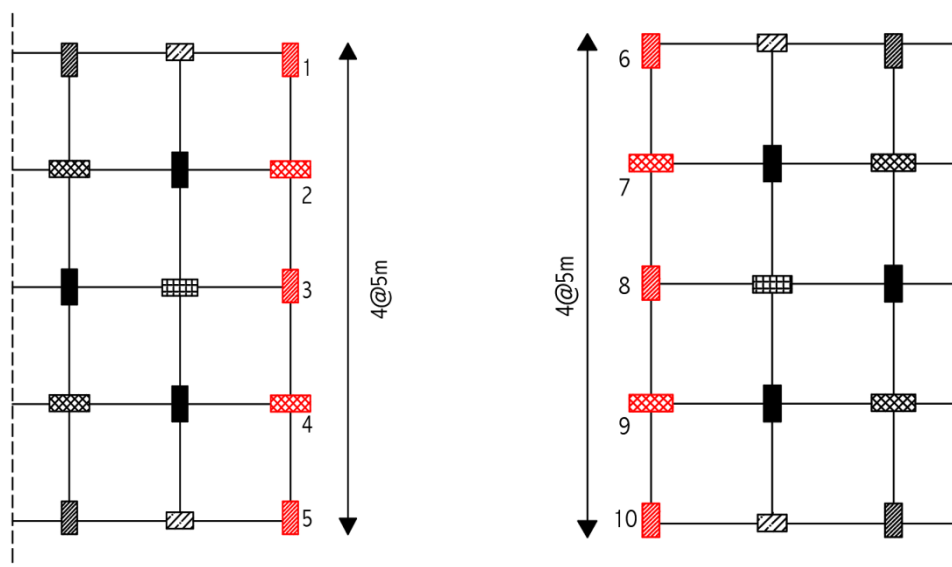


Şekil 4.3. Farklı kat seviyelerine sahip komşu binalar arasında gözlenen kesme göçmesi (Kahramanmaraş Depremleri, 2023)

Çalışmanın bu bölümünde farklı kat seviyelerinde olan 10 ve 3 katlı bitişik binalardan oluşan ikili model ele alınmıştır. Yetersiz derz mesafelerine sahip ($d=0$ m) bitişik binaların yapısal tepkilerini ortaya koymak amacıyla, her iki binanın tüm katlarındaki dış kolonların kesme talepleri incelenmiştir. Dinamik analizler sonucunda her iki binanın dış ekseninde yer alan 5 kolonun tüm katlardaki kesme talepleri elde edilmiştir (Şekil 4.5). Bu kesme talepleri kesme dayanımlarına göre normalize edilmiştir. Tüm katlarda elde edilen bu oranlar 10b-3b ikili modelinin bazı ivme kayıtları için Tablo 4.3'te verilmiştir. Tablo 4.3'te 10 ve 3 katlı binaların tüm katlarındaki kesme talebi/kesme dayanımı oranları incelendiğinde, kritik katın daha uzun olan binanın dördüncü katı olduğu görülmüştür. Bu durum, kat seviyeleri farklı bitişik binalarda çok katlı yapıda kritik katın, az katlı binanın çatı döşemesinin seviyesine denk gelen kat olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.4. 10 ve 3 katlı binadan oluşan ikili modelin 3B görünümü

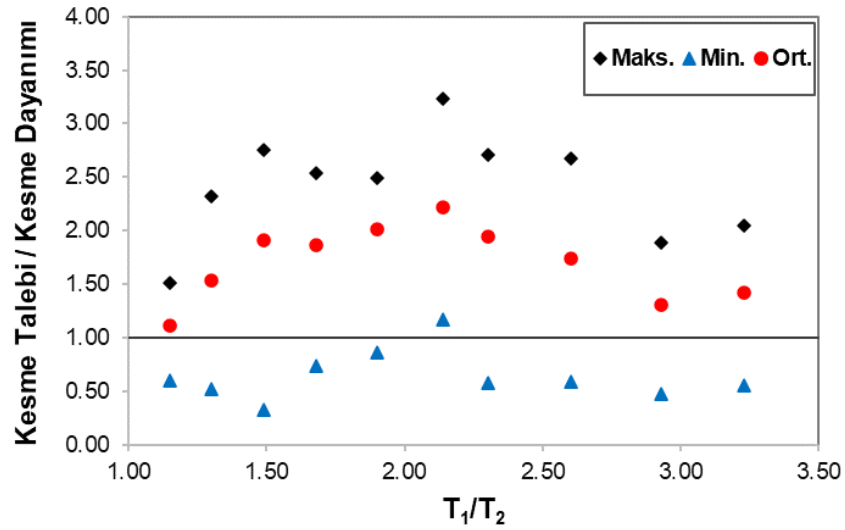


a) b)
Şekil 4.5. a) 10 katlı bina b) 3 katlı binaların plan görünüşleri

Tablo 4.3. Belirli ivme kayıtları için 10 ve 3 katlı binaların tüm katlarındaki kesme talebi/kesme kapasitesi oranları

Kayıt	10 Katlı Bina	3 Katlı Bina
3935-h2	<p>3935-H2 10b-3b "d=0 cm"</p>	<p>3935-H2 10b-3b "d=0 cm"</p>
5619-H1	<p>5619-H1 10b-3b "d=0 cm"</p>	<p>5619-H1 10b-3b "d=0 cm"</p>
5829-H1	<p>5829-H1 10b-3b "d=0 cm"</p>	<p>5829-H1 10b-3b "d=0 cm"</p>

Bitişik binalar arasındaki çarpışmayı gözlemlemek için derz mesafesi "d=0 m" olarak seçilmiştir. 22 farklı ivme kaydı için doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler yapılmıştır. Her bir zaman adımında, her bir bitişik modelde kritik (dış) kolonda elde edilen kesme talepleri, kesme dayanımları ile normalize edilmiştir. Bu oranların maksimum, minimum ve ortalama değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Tablo 4.4 ve Tablo 4.5, farklı bina konfigürasyonları için kritik kolonlar için analiz sonuçlarından elde edilen kesme talebinin kesme dayanımı oranını her bir ivme kaydı için listelemektedir. Tablo 4.4 ve Tablo 4.5 arasındaki tek fark bina çiftlerinin dizilimidir (6b-5b ve 5b-6b). Şekil 4.6, Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'teki maksimum, minimum ve ortalama değerler kullanılarak çizilmiştir. Maksimum değerler 1.51 ile 3.23 arasında değişirken, ortalama değerler 1.11 ile 2.22 arasında değişmektedir. Elde edilen kesme talebi ve kesme dayanımı oranları, kesme taleplerinin kesme dayanımlarını aştığını açıkça göstermektedir.



Şekil 4.6. Farklı bitişik bina modelleri için kesme talebi ve kritik kolonun kesme dayanımı oranı (d=0 m)

Tablo 4.4. Farklı bitişik bina modelleri için kesme talebi ve kritik kolonun kesme dayanımı oranları (d=0 m)

Kayıtlar	Bitişik Bina Modelleri									
	6b-5b	8b-6b	8b-5b	7b-4b	8b-4b	9b-4b	7b-3b	8b-3b	9b-3b	10b-3b
1082-H1	1.35	1.85	2.28	2.35	2.44	3.23	2.05	2.22	1.30	1.48
1082-H2	0.60	1.12	1.99	1.23	0.91	1.17	0.58	0.59	0.57	0.56
1615-H1	1.02	1.42	1.95	2.11	1.95	1.77	1.75	1.47	1.02	0.97
1615-H2	1.06	1.84	1.78	2.50	1.76	1.59	2.35	1.71	1.59	1.74
165-H1	1.05	1.84	2.76	2.34	2.46	2.75	2.51	1.83	1.19	1.80
165-H2	0.88	0.52	0.33	1.71	2.37	1.88	2.41	2.31	1.53	1.35
3935-H1	0.87	1.92	1.64	1.64	1.33	1.36	1.05	0.92	1.25	1.22
3935-H2	1.00	0.96	1.06	0.74	0.86	1.38	0.69	0.85	0.48	0.61
4889-H1	0.78	1.29	1.94	1.30	2.25	2.29	1.49	1.49	0.79	1.20
4889-H2	1.41	2.12	2.23	1.88	2.00	2.83	1.83	1.75	1.32	1.45
5619-H1	1.41	1.75	2.21	1.60	2.40	2.37	2.04	2.04	1.59	1.39
5619-H2	1.14	1.46	2.03	2.34	2.22	2.19	2.47	1.72	1.22	1.69
5805-H1	1.12	1.67	2.52	1.90	2.23	2.61	1.66	2.05	1.41	1.73
5805-H2	1.31	2.32	2.32	1.76	2.46	2.66	1.76	1.76	1.59	1.49
5825-H1	1.10	1.99	2.34	1.75	1.86	2.37	2.29	2.15	1.35	1.97
5825-H2	1.30	1.38	1.74	2.54	1.98	2.89	2.58	2.67	1.66	1.86
5829-H1	1.32	1.42	1.93	2.41	2.26	2.48	2.49	2.32	1.61	2.05
5829-H2	1.51	1.60	2.15	2.45	2.49	2.93	2.71	2.27	1.40	1.16
6893-H1	1.18	2.05	1.99	1.09	1.60	1.49	1.77	1.18	0.91	0.95
6893-H2	1.14	0.90	1.43	2.14	2.32	1.87	1.97	2.24	1.89	1.37
8606-H1	1.15	1.41	2.08	1.98	2.32	2.71	2.48	1.50	1.64	1.82
8606-H2	0.76	1.14	1.21	1.48	1.83	2.02	1.86	1.30	1.53	1.27
Maks.	1.51	2.32	2.76	2.54	2.49	3.23	2.71	2.67	1.89	2.05
Min.	0.60	0.52	0.33	0.74	0.86	1.17	0.58	0.59	0.48	0.56
Ort.	1.11	1.54	1.91	1.87	2.01	2.22	1.95	1.74	1.31	1.42

Tablo 4.5. Bitişik bina modellerinin farklı bina konfigürasyonları için kesme talebi ve kritik kolonun kesme dayanımı oranları (d=0 m)

Kayıtlar	Bitişik Bina Modelleri									
	5b-6b	6b-8b	5b-8b	4b-7b	4b-8b	4b-9b	3b-7b	3b-8b	3b-9b	3b-10b
1082-H1	1.22	1.55	1.98	2.11	2.74	2.01	2.95	2.59	1.48	1.94
1082-H2	1.14	0.56	0.81	1.29	0.78	1.13	0.95	2.64	2.12	1.60
1615-H1	1.12	1.76	2.21	1.60	1.40	2.56	1.49	1.37	0.73	0.96
1615-H2	1.30	1.35	2.03	1.87	1.94	2.46	2.11	2.89	1.79	2.07
165-H1	1.12	0.74	1.85	2.07	1.94	2.77	2.29	2.53	1.03	1.74
165-H2	1.19	1.19	0.43	0.48	1.61	2.48	2.12	2.15	1.63	1.22
3935-H1	1.06	1.22	1.40	0.93	1.01	1.62	1.27	0.89	0.57	0.99
3935-H2	0.49	0.63	0.81	0.43	0.64	0.77	0.71	0.60	0.57	0.68
4889-H1	0.86	1.55	0.90	0.96	0.92	1.19	1.42	0.65	0.44	0.49
4889-H2	1.10	0.62	0.89	2.54	1.70	1.67	1.85	1.07	0.87	1.14
5619-H1	1.00	1.77	2.41	2.23	2.20	2.36	2.67	1.89	0.62	1.24
5619-H2	1.02	1.77	2.38	1.82	1.78	1.88	2.02	1.81	0.90	2.04
5805-H1	1.28	1.84	1.99	2.11	1.79	2.48	2.04	2.37	1.59	1.28
5805-H2	1.03	2.07	2.48	2.11	1.99	2.28	1.76	1.59	1.34	1.46
5825-H1	1.05	1.88	2.33	2.49	2.45	2.89	2.53	2.79	1.68	2.11
5825-H2	1.04	1.43	1.98	1.94	2.74	2.03	2.54	1.89	1.39	1.94
5829-H1	1.38	1.56	2.09	1.97	2.37	2.95	2.12	2.11	1.89	2.08
5829-H2	1.21	1.80	1.61	2.10	1.78	2.12	2.21	2.15	1.05	1.32
6893-H1	0.73	1.58	2.13	2.23	2.12	2.95	2.71	2.54	1.94	1.66
6893-H2	1.29	1.67	2.44	2.03	1.80	1.68	1.71	1.75	0.77	0.79
8606-H1	0.93	1.90	1.61	1.99	1.89	2.45	1.80	1.85	1.07	1.70
8606-H2	0.90	1.72	2.11	1.44	2.86	2.85	2.27	3.22	2.03	1.51
Maks.	1.38	2.07	2.48	2.54	2.86	2.95	2.95	3.22	2.12	2.11
Min.	0.49	0.56	0.43	0.43	0.64	0.77	0.71	0.60	0.44	0.49
Ort.	1.07	1.46	1.77	1.76	1.84	2.16	1.98	1.97	1.25	1.45

Bu çalışmada, her bir zaman adımı için kolon kesitinin kesme dayanımının ($V_r(t)$) hesaplanmasında TS-500 (TS-500 2000) dikkate alınmıştır. Kolon kesitinin kesme dayanımı Eşitlik 6'da verildiği gibi kesme dayanımına beton katkısı ($V_c(t)$) ve kesme dayanımına enine donatı katkısı (V_w) tarafından sağlanmaktadır.

Kesme dayanımı hesabında enine donatı ve betonun katkıları sırasıyla Denklem 4.13 ve Denklem 4.14'te verilmiştir. $V_{cr}(t)$ betonarme kesitin kesmede çatlama dayanımını temsil eder. Eksenel yük ($N(t)$) çekme veya basınç kuvveti olmasına rağmen Denklem 4.16'da pozitif bir değere sahiptir. Eksenel yükün basınç veya çekme olması durumunda γ değeri sırasıyla 0.07 ve -0.3 olarak dikkate alınır. Eksenel yük değeri zaman geçmişi analizi boyunca sabit değildir. Bu nedenle, kolonun kesme dayanımı ($V_r(t)$) zamana bağlı bir fonksiyon olarak kabul edilmiştir. Örnek bir kolon için hesaplanan kesme dayanımı bir sonraki bölümde verilmiştir.

$$V_r(t) = V_c(t) + V_w \quad (4.13)$$

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d_e \quad (4.14)$$

$$V_c(t) = 0.8V_{cr}(t) \quad (4.15)$$

$$V_{cr}(t) = 0.65f_{ctd}bd_e \left(1 + \gamma \frac{N(t)}{A_c}\right) \quad (4.16)$$

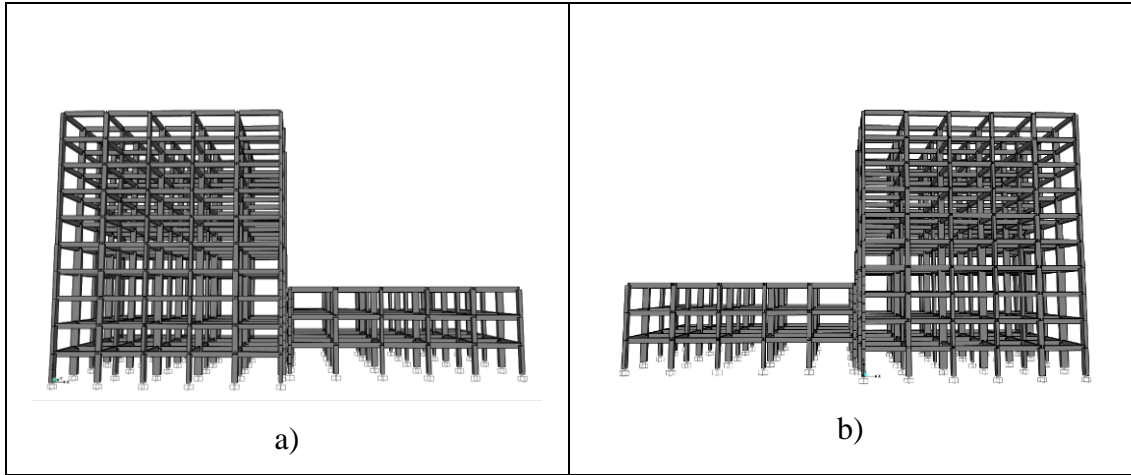
Denklemlerde yer alan A_{sw} , enine donatının toplam kesit alanını; s , enine donatının aralığını; f_{ywd} , enine donatı tasarım akma dayanımını; f_{ctd} , betonun tasarım eksenel çekme dayanımını; d_e , kolon kesitinin etkin yüksekliğini; b ise kolon kesit boyutunu temsil etmektedir.

4.5 Kesme Dayanımı İçin Boşluk Mesafesi (Durum-2)

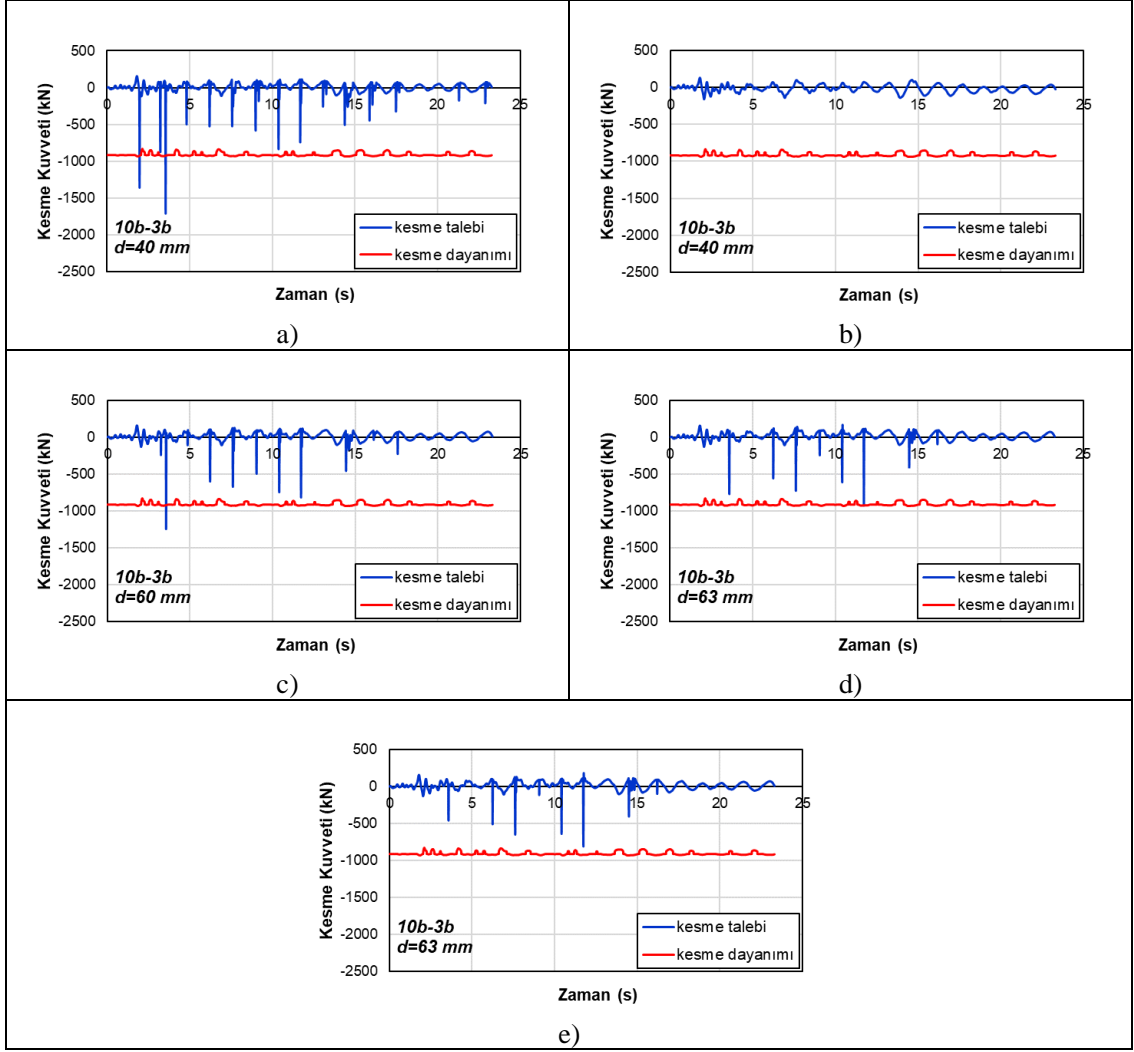
Bir önceki bölümde, yetersiz derz mesafesi bulunan binalar arasında gerçekleşen çarpışma durumu için kesme taleplerinin kesme dayanımlarını aştığı sunulmuştur. Kesme hasarına neden olan bu davranışın önlenmesi çok önemlidir. Bu nedenle, bu bölümde kesmeden kaynaklı göçmeleri önlemek için gerekli minimum derz mesafesi araştırılmıştır. Bölüm 2'de bahsedilen Durum-2'nin bitişik modelleri dikkate alınarak zaman tanım alanında dinamik analizler yapılmıştır. Durum-2, kritik kolondaki kesme talebinin kesme dayanımını aşmadığı, ancak çarpmanın gözlemlendiği durumu temsil etmektedir.

Durum-2 için hesaplanan minimum gerekli boşluk mesafeleri Tablo 4.6’da verilmiştir. Bu mesafeleri belirlemek için iteratif bir süreç yürütülmüştür. Bu iteratif süreç Şekil 4.8’de 10 ve 3 katlı bina modeli üzerinde gösterilmiştir. İlk olarak, 10 ve 3 katlı komşu binaların iki farklı bina çifti (10b-3b ve 3b-10b) için boşluk mesafesi (d) rastgele 40 mm olarak seçilmiştir. Kesme talebi ve 10 katlı binanın dördüncü katındaki kritik kolonun kesme dayanımı belirlenmiştir (Şekil 4.8a ve 4.8b). 10b-3b için kesme talebi, kesme dayanımını aşarken, 3b-10b için kesme talebi elastik sınırlar içinde kalmıştır. 10b-3b modelinde kesme talebi/kesme dayanımı oranı $d=40$ mm için 1.85’tir. Sonraki adımlarda, 10b-3b modelinde mesafe artırılarak bu oranın 1’e eşit veya yakın olduğu boşluk mesafesi araştırılmıştır.

Kesme talebi/kesme dayanımı oranları $d=60$ mm ve $d=63$ mm derz mesafeleri için sırasıyla 1.34 ve 1.00 olarak elde edilmiştir (Şekil 4.8c ve 4.8d). Bu oran 1’e ulaştığından, gerekli derz mesafesi Durum-2 için 63 mm’nin hemen üzerinde olan 64 mm olarak belirlenmiştir. Bu mesafe için kesme talebi/kesme dayanımı oranı 0.87 olarak hesaplanmıştır ve 64 mm için ilgili kesme talebi/kesme dayanımı grafiği Şekil 4.8e’de verilmiştir.



Şekil 4.7. Kesme talebi ve kesme dayanımı açısından değerlendirilen modelin 3B görünümü, a) 10b-3b ikili modeli, b) 3b-10b ikili modeli

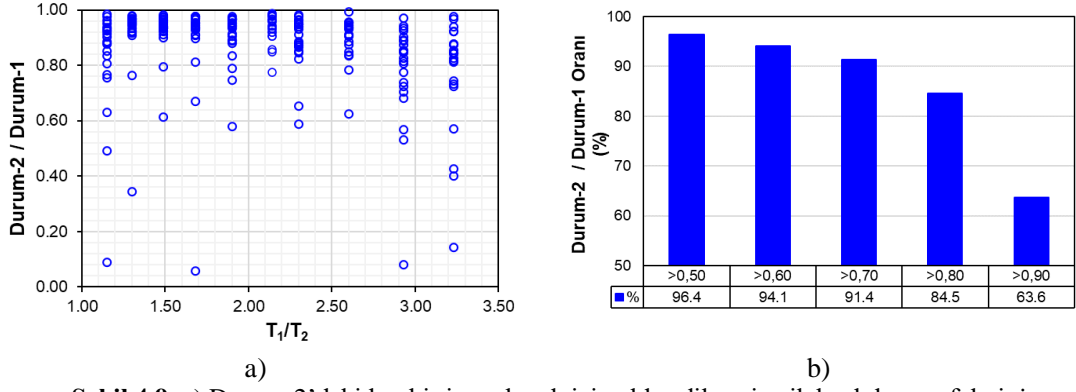


Şekil 4.8. 4889-h1 kaydı için farklı ayırma mesafeleri için 10b-3b ve 3b-10b bitişik bina modelinde 10 katlı binanın 4. kat seviyesindeki kritik kolonun kesme dayanımı ve kesme talebi a) 10b-3b bitişik bina için $d=40$ mm, b) 3b-10b bitişik bina için $d=40$ mm, c) 10b-3b bitişik bina için $d=60$ mm, d) 10b-3b bitişik bina için $d=63$ mm, e) 10b-3b bitişik bina için $d=64$ mm

Tablo 4.6. Durum-2'de her bitişik bina için gerekli minimum ayırma mesafesi (mm)

Kayıtlar	Bitişik Bina Modelleri									
	6b-5b	8b-6b	8b-5b	7b-4b	8b-4b	9b-4b	7b-3b	8b-3b	9b-3b	10b-3b
	& 5b-6b	& 6b-8b	& 5b-8b	& 4b-7b	& 4b-8b	& 4b-9b	& 3b-7b	& 3b-8b	& 3b-9b	& 3b-10b
1082-H1	70.0	133.0	125.0	91.0	90.0	69.0	94.0	81.0	69.0	69.0
1082-H2	80.0	161.0	162.0	194.0	232.0	254.0	101.0	116.0	126.0	143.0
1615-H1	38.0	58.0	49.0	34.0	39.0	33.0	29.0	30.0	33.0	32.0
1615-H2	45.0	63.0	64.0	75.0	66.0	55.0	69.0	56.0	47.0	60.0
165-H1	51.0	78.0	95.0	95.0	99.0	85.0	71.0	66.0	60.0	64.0
165-H2	116.0	160.0	192.0	108.0	125.0	144.0	94.0	98.0	98.0	95.0
3935-H1	8.0	25.0	20.0	18.0	17.0	24.0	10.0	11.0	8.0	12.0
3935-H2	1.0	5.0	12.0	1.0	13.0	14.0	9.0	9.0	1.0	2.0
4889-H1	43.0	67.0	49.0	58.0	54.0	64.0	65.0	67.0	54.0	64.0
4889-H2	27.0	96.0	92.0	69.0	69.0	69.0	57.0	58.0	45.0	49.0
5619-H1	52.0	133.0	154.0	136.0	144.0	131.0	94.0	94.0	58.0	42.0
5619-H2	39.0	76.0	72.0	67.0	51.0	86.0	54.0	50.0	63.0	65.0
5805-H1	27.0	78.0	71.0	71.0	68.0	67.0	48.0	55.0	40.0	47.0
5805-H2	36.0	90.0	83.0	54.0	53.0	69.0	39.0	54.0	33.0	49.0
5825-H1	70.0	158.0	143.0	218.0	221.0	245.0	190.0	138.0	142.0	161.0
5825-H2	100.0	176.0	245.0	163.0	206.0	227.0	101.0	87.0	82.0	103.0
5829-H1	63.0	113.0	117.0	114.0	117.0	141.0	82.0	82.0	88.0	70.0
5829-H2	144.0	168.0	271.0	116.0	97.0	133.0	153.0	153.0	170.0	222.0
6893-H1	79.0	106.0	107.0	152.0	159.0	132.0	119.0	118.0	108.0	122.0
6893-H2	73.0	134.0	169.0	77.0	91.0	99.0	92.0	77.0	51.0	65.0
8606-H1	38.0	78.0	67.0	142.0	142.0	138.0	61.0	59.0	62.0	37.0
8606-H2	37.0	98.0	76.0	115.0	136.0	125.0	90.0	99.0	83.0	46.0
Ort.	56.2	102.5	110.7	98.5	104.0	109.3	78.3	75.4	69.1	73.6
Maks.	144.0	176.0	271.0	218.0	232.0	254.0	190.0	153.0	170.0	222.0
Min.	1.0	5.0	12.0	1.0	13.0	14.0	9.0	9.0	1.0	2.0

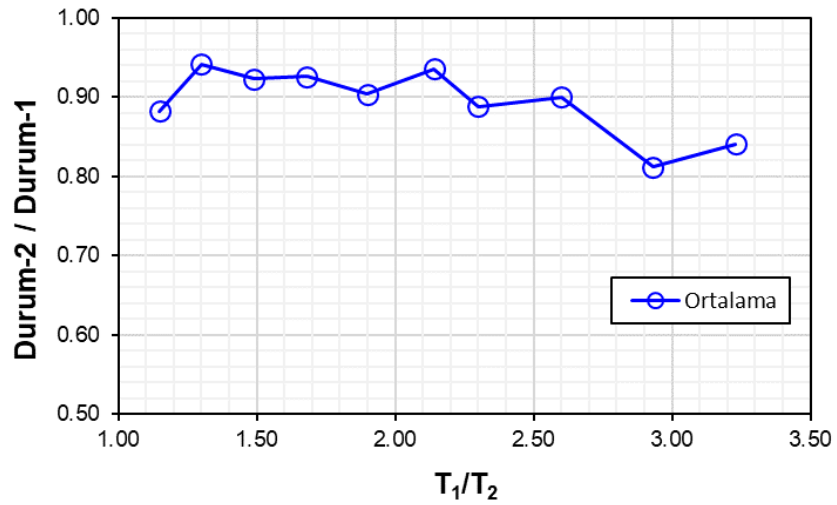
Durum-2'deki her bir ivme kaydı için elde edilen sismik derz mesafeleri Durum-1 ile elde edilen sismik derz mesafeleri ile normalize edilmiştir ve elde edilen boşluk oraları, her bir ikili bina modelinin periyot oranı (T1/T2) için Şekil 4.9a'da çizilmiştir. Bu oranlar (22 kayıt x 10 bitişik bina = 220) tüm bitişik bina çiftleri için 0.08-0.99 arasında değişmektedir. Bu oranların yüzde değerleri Şekil 4.9b'de verilmiştir. Bu oranların çoğunluğu (%96.4) 0.5'ten büyüktür. Bu nedenle, 0.5'ten küçük değerler dikkate alınmamıştır. Bu küçük değerler hariç tutulduğunda, boşluk oranlarının ortalama, maksimum ve minimum değerleri Tablo 4.7'de verilmiştir. Boşluk oranlarına ait ortalama değerler 0.81 ile 0.94 arasında değişmektedir (Şekil 4.10).



Şekil 4.9. a) Durum-2'deki her bir ivme kaydı için elde edilen sismik boşluk mesafelerinin Durum-1 ile oranları b) bu oranların yüzde değerleri

Tablo 4.7. Her bir ivme kaydı için elde edilen Durum-2/Durum-1 oranlarının ortalama, maksimum ve minimum değerleri

Modeller (T ₁ /T ₂)	6b-5b (1.15)	8b-6b (1.30)	8b-5b (1.49)	7b-4b (1.68)	8b-4b (1.90)	9b-4b (2.14)	7b-3b (2.30)	8b-3b (2.60)	9b-3b (2.93)	10b-3b (3.23)
Ort.	0.88	0.94	0.92	0.93	0.90	0.94	0.89	0.90	0.81	0.84
Maks.	0.99	0.98	0.98	0.97	0.98	0.99	0.98	0.99	0.97	0.98
Min.	0.63	0.76	0.61	0.67	0.58	0.77	0.59	0.63	0.53	0.57



Şekil 4.10. Durum-2 için elde edilen boşluk mesafelerinin Durum-1'e göre ortalama oranı

Kamal ve Inel (Kamal ve Inel 2022^a) tarafından komşu binaların elastik olmayan spektral yer değiştirmeleri göz önüne alınarak önerilen m katsayısına bağlı derz mesafesi ve komşu binaların periyot oranlarına bağlı olarak önerilen m katsayısı ifadeleri Denklem 4.17 ve Denklem 4.18’de verilmiştir.

$$d_{Kamal \& Inel} = m \sqrt{\delta_{ed,1}^2 + \delta_{ed,2}^2} \quad (4.17)$$

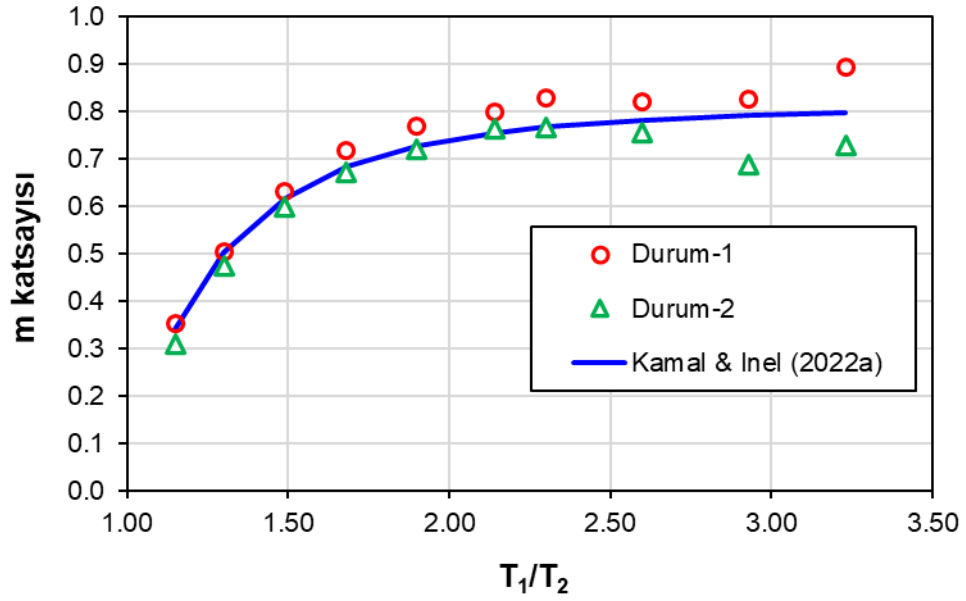
$$m_{Kamal \& Inel} = -0.76(T_1/T_2)^{-3.44} + 0.81 \quad (4.18)$$

Bu denklemlerde yer alan $\delta_{ed,1}^2$ ve $\delta_{ed,2}^2$ komşu binalardaki elastik olmayan spektral yer değiştirmeleri ifade etmektedir.

Her bir bitişik bina modelinin doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizinden elde edilen derz mesafesinin (d_{ort}) ortalaması Durum-1 ve Durum-2 için Tablo 4.8’de listelenmiştir. Ayrıca komşu binaların elastik olmayan spektral yer değiştirmelerinin SRSS değerleri de hesaplanmıştır. Durum-1 ve Durum-2’den elde edilen ortalama derz mesafeleri (d_{ort}), hesaplanan SRSS değerleri ile normalize edilmiştir. Elde edilen oran, analiz sonuçlarına göre gerekli m katsayısını temsil etmektedir. Kamal ve Inel (Kamal ve Inel 2022^a) tarafından önerilen m katsayıları ile Durum-1 ve Durum-2’den elde edilen m katsayıları değerlendirilmiştir. Durum-1 çarpışmanın olmadığı durum ile Kamal ve Inel (Kamal ve Inel 2022^a) tarafından daha önce verilen m değerleri hemen hemen aynıdır. Durum-2 ise kesme talebi/kesme dayanımı oranının “1” olduğu durumu temsil etmektedir. Bu iki durum için elde edilen boşluk mesafelerine bağlı olarak elde edilen m katsayıları Şekil 4.11’de verilmiştir. Durum-2 için elde edilen m değerlerinin Kamal ve Inel (Kamal ve Inel 2022^a) tarafından sunulan denklem ile oldukça uyumlu olduğu görölmektedir. Eşit kat seviyelerine sahip binalar için Kamal ve Inel (Kamal ve Inel 2022^a) tarafından önerilen yaklaşım, farklı kat seviyelerine sahip komşu binalar için de makul sonuçlar vermektedir.

Tablo 4.8. Kamal ve Inel (Kamal ve Inel 2022a) tarafından önerilen basitleştirilmiş yöntem ile Durum-1 ve Durum-2 için dinamik analizlerden elde edilen m katsayılarının karşılaştırılması

Model	T_1/T_2	d_{ort-1} (mm)	d_{ort-2} (mm)	$\delta_{de,1}$ (mm)	$\delta_{de,2}$ (mm)	SRSS (mm)	m katsayısı		Kamal ve Inel (Kamal ve Inel 2022 ^a)
							Durum-1 $d_{ort-1}/SRSS$	Durum-2 $d_{ort-2}/SRSS$	
6s-5s	1.15	64.0	56.2	131.4	125.9	182.0	0.352	0.309	0.340
8s-6s	1.30	108.6	102.5	160.3	144.4	215.7	0.503	0.475	0.502
8s-5s	1.49	116.7	110.7	135.7	125.9	185.1	0.631	0.598	0.617
7s-4s	1.68	105.3	98.5	108.4	99.1	146.9	0.717	0.671	0.682
8s-4s	1.90	111.1	104.0	105.3	99.1	144.6	0.768	0.719	0.726
9s-4s	2.14	114.4	109.3	103.7	99.1	143.4	0.798	0.762	0.755
7s-3s	2.30	84.7	78.3	75.8	68.7	102.3	0.828	0.765	0.767
8s-3s	2.60	81.9	75.4	72.5	68.7	99.8	0.821	0.755	0.782
9s-3s	2.93	83.1	69.1	73.5	68.7	100.6	0.826	0.687	0.791
10s-3s	3.23	90.3	73.6	74.2	68.7	101.1	0.893	0.728	0.797



Şekil 4.11. Analiz sonuçlarının Kamal ve Inel (Kamal ve Inel 2022^a) tarafından önerilen m katsayısı ile karşılaştırılması

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada, farklı kat seviyelerindeki 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 katlı binalardan oluşan ikili bina modelleri dikkate alınarak döşemeden kolona olası bir çarpışma ile komşu betonarme binalar arasındaki minimum sismik boşluğun belirlenmesi incelenmiştir. Doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki analizler, çarpışmanın gözlemlendiği ve çarpışmanın gözlenmediği 10 farklı bina çifti için hedef spektruma uygun şekilde ölçeklenmiş 22 farklı yer hareketi kaydı seçilerek gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, çarpışmadan kaçınmak için gerekli minimum boşluk mesafeleri belirlenmiştir (Durum-1). Daha sonra bu mesafeler azaltılmış ve döşemeden kolona temas ettirilmiştir. Bu çarpışan binalardaki kritik kolonların kesme göçmesini önlemek için gerekli boşluk mesafeleri iteratif bir süreçle hesaplanmıştır (Durum-2). İki farklı yaklaşımla elde edilen gerekli derz mesafeleri karşılaştırılmıştır. Çalışmanın bulguları aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- Kesme talepleri, yetersiz ayırma mesafesine sahip bitişik binaların sismik kaynaklı çarpışmalarının ve potansiyel kattan kolona çarpmanın bir sonucu olarak kesme dayanımlarından daha büyük olabilir. Bu nedenle dış kolonlarda kesme gevrekliği hasarları görülebilir.
- Bitişik binalardaki dış kolonların kesme talepleri kesme dayanımlarına göre normalize edildiğinde, kritik katın daha kısa olan binanın üstündeki kat olduğu görülmektedir.
- Kritik kattaki dış kolonun kesme talepleri, farklı periyot oranlarına sahip ikili binalar için değişmektedir. Dinamik analiz sonuçları, 10 farklı ikili binada kesme talebinin kritik kolonun kesme dayanımına oranının, bitişik binalar arasında herhangi bir ayırma mesafesi olmadığında 1.11 ile 2.22 arasında değişebileceğini göstermektedir.
- TBDY-2018'de döşemeden kolona çarpma potansiyeli olan bitişik binalar için önerilen α katsayısı, periyot oranı ($T1/T2$) 1 ila 1.5 olan bitişik binalar için yeterlidir. $T1/T2$ 'nin 1.5'ten büyük olması durumunda TBDY-2018 gereklilikleri yetersizdir. Kamal ve Inel

tarafından önerilen yaklaşım (Kamal ve Inel 2022^a) TBDY-2018'den daha iyi tahminler sağlamaktadır.

- Kesme hasarını önlemek için belirlenen boşluk mesafeleri, çarpmayı önlemek için belirlenen mesafelerden yaklaşık %6 ila %19 daha düşüktür.
- Kamal ve Inel (Kamal ve Inel 2022^a) tarafından eşit kat seviyelerine sahip binalar için önerilen m katsayısı, farklı kat seviyelerine sahip komşu binalar için de oldukça makul sonuçlar vermektedir.

Bu çalışmanın bulguları, olası bir döşemeden kolona çarpışma durumu için yeterli derz mesafesi bırakılmayan binaların dış kolonlarında kesme hasarlarının gözlemlenebileceğini göstermektedir. Kolon kesme dayanımını aşmayacak derz mesafeleri, mimari kaygıların veya arazi kısıtlamalarının olduğu kalabalık şehirlerdeki orta katlı betonarme binalar için kullanılabilir. Kamal ve Inel tarafından önerilen yaklaşımdan elde edilen mesafeler (Kamal ve Inel 2022^a) %6 ila %19 oranında azaltılabilir. Dış kolonlar kesme hasarına karşı güçlendirilirse, komşu binalar arasındaki sismik boşluk mesafesi daha da azaltılabilir. Gelecekteki çalışmalarda, dış kolonların güçlendirilmesi durumunda gerekli boşluk mesafelerinin ne kadar azaltılabileceği araştırılabilir.

Bu çalışmada farklı kat seviyelerine sahip bitişik binalar arasındaki temas noktası uzun binanın kat yüksekliğinin 1/3'ü (H/3) olarak kabul edilmiştir. Kesme talepleri, bu yüksekliğin daha küçük veya daha yüksek seçilmesine bağlı olarak değişebilir. Gelecekteki çalışmalarda, temas noktalarının farklı kolon yüksekliklerinde yer aldığı bitişik binalar için kesme hasarını önlemek için gerekli minimum ayırma mesafeleri araştırılabilir. Ayrıca, bu çalışmada dikkate alınan bina modelleri düzenli yapılardır ve binalar arasında asimetrik bir çarpma dikkate alınmamıştır. Asimetrik çarpmanın ve bunun sonucunda ortaya çıkan burulma etkilerinin sismik boşluk mesafeleri üzerindeki etkileri gelecekteki çalışmalarda incelenebilir.

Yumuşak zeminler üzerinde bulunan bitişik binaların sismik davranışı, sabit temel varsayımından oldukça farklı olabilir. YZYE (yapı-zemin-yapı etkileşimi) etkileri nedeniyle komşu binaların yer değiştirme taleplerinde artışlar gözlemlenebilir. Talepteki bu artışlar, gerekli sismik boşlukta bir artışa neden

olabilir. Bu nedenle, gelecekteki çalışmalarda YZYE etkileri dikkate alınarak gerekli sismik boşluk mesafesi belirlenebilir.

6. KAYNAKLAR

Abdel Raheem, S. E. *et al.*, "Numerical simulation of potential seismic pounding among adjacent buildings in series", *Bull. Earthq. Eng.*, 17, 439–471, (2019).

Abrahamson, N. A., "Non-stationary spectral matching", *Seismol. Res. Lett.*, 63, 30, (1992).

Anagnostopoulos, S. A. and Spiliopoulos, K. V., "An investigation of earthquake induced pounding between adjacent buildings", *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 21, 289–302, (1992).

Anagnostopoulos, S. A., "Pounding of buildings in series during earthquakes", *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 16, 443–456, (1988).

ASCE7-10, "*ASCE7-10 Minimum design loads for buildings and other structures*", (Reston, VA, 2010).

ASCE7-16, "*ASCE7-16 Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures*", *ASCE/SEI standard 7-16. American Society of Civil Engineers. Reston*, (2016). doi:10.1061/9780784414248

ATC-40, "ATC-40. 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Redwood City, CA: Applied Technology Council.", *Seismic safety commission*, vol. 1 (1996).

Azevedo, J. and Bento, R., "Design criteria for buildings subjected to pounding", in *Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico*, 23–28, (1996).

Benuska, L., "Ground motion, loma prieta earthquake reconnaissance report", *Earthq. Spectra*, 6, 25–80, (1990).

Bommer, J. J. and Acevedo, A. B., "The use of real earthquake accelerograms as input to dynamic analysis", *J. Earthq. Eng.*, 8, 43–91, (2004).

Boore, D. M., "Simulation of ground motion using the stochastic method", *Pure Appl. Geophys.*, 160, 635–676, (2003).

DesRoches, R. and Muthukumar, S., "Implications of seismic pounding on the longitudinal response of multi-span bridges—an analytical perspective", *Earthq. Eng. Eng. Vib.*, 3, 57–65, (2004).

Doğan, M. and Günaydin, A., "*POUNDING OF ADJACENT RC BUILDINGS DURING SEISMIC LOADS*", *İnşaat Mühendisliği Bölümü*, vol. XXII (2009)

EC-8, "*Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance-Part 1, European Committee for Standardization*", (2004).

Efraimiadou, S., Hatzigeorgiou, G. D. and Beskos, D. E., "Structural pounding between adjacent buildings subjected to strong ground motions: Part I: The effect of different structures arrangement", *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 42, 1509–1528, (2013).

Fahjan, Y. M., "Selection and scaling of real earthquake accelerograms to fit the Turkish design spectra", *Tek. Dergi*, 19, 4423–4444, (2008).

Favvata, M. J., "Minimum required separation gap for adjacent RC frames with potential inter-story seismic pounding", *Eng. Struct.*, 152, 643–659, (2017).

Favvata, M. J., Karayannis, C. G. and Liolios, A. A., "Influence of exterior joint effect on the inter-story pounding interaction of structures", *Struct. Eng. Mech.*, 33, 113–136, (2009).

FEMA-356, "*Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*", *Rehabil. Requir.*, 1–518, (2000).

Ghandil, M., Behnamfar, F. and Vafaeian, M., "Dynamic responses of structure-soil-structure systems with an extension of the equivalent linear soil modeling", *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, 80, 149–162, (2016).

Hosseini, S. H., Naderpour, H., Vahdani, R. and Jankowski, R., "Evaluation of pounding effects between reinforced concrete frames subjected to far-field earthquakes in terms of damage index", *Bull. Earthq. Eng.*, 1–27, (2022).

Inel, M., Cayci, B. T., Kamal, M. and Altinel, O., "Structural pounding of mid-rise RC buildings during earthquakes", in *2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Istanbul, Turkey*, (2014).

- Inel, M., Özmen, H. B. and Çaycı, B. T., "Simav ve Van depremleri (2011) yapı hasar nedenlerinin değerlendirilmesi", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg., 19, 256–265, (2013).
- Jameel, M., Islam, A. B. M., Hussain, R. R., Hasan, S. D. and Khaleel, M., "Non-linear FEM analysis of seismic induced pounding between neighbouring multi-storey structures", Lat. Am. J. Solids Struct., 10, 921–939, (2013).
- Jankowski, R., "Analytical expression between the impact damping ratio and the coefficient of restitution in the non-linear viscoelastic model of structural pounding", Earthq. Eng. Struct. Dyn., 35, 517–524, (2006).
- Jeng, V. and Tzeng, W. L., "Assessment of seismic pounding hazard for Taipei City", Eng. Struct., 22, 459–471, (2000).
- Jeng, V., Kasai, K. and Maison, B. F., "A spectral difference method to estimate building separations to avoid pounding", Earthq. spectra, 8, 201–223, (1992).
- Kamal, M. and Inel, M., "A New Approach for Seismic Gap Distance Calculation in Earthquake Codes Özet", (2021).
- Kamal, M. and Inel, M., "Simplified approaches for estimation of required seismic separation distance between adjacent reinforced concrete buildings (2022a)", Eng. Struct., 252, 113610, (2022).
- Kamal, M. and Inel, M., "A new equation for prediction of seismic gap between adjacent buildings located on different soil types (2022b)", J. Build. Eng., 57, 104784, (2022).
- Karayannis, C. G. and Favvata, M. J., "Earthquake-induced interaction between adjacent reinforced concrete structures with non-equal heights (2005b)", Earthq. Eng. Struct. Dyn., 34, 1–20, (2005).
- Karayannis, C. G. and Naoum, M. C., "Torsional behavior of multistory RC frame structures due to asymmetric seismic interaction", Eng. Struct., 163, 93–111, (2018).

- Karayannis, C. G. and Favvata, M. J., "Inter-story pounding between multistory reinforced concrete structures (2005a)", *Struct. Eng. Mech. An Int'l J.*, 20, 505–526, (2005).
- Karayannis, C. G. and Naoum, M. C., "Torsional behavior of multistory RC frame structures due to asymmetric seismic interaction", *Eng. Struct.*, 163, 93–111, (2018).
- Kasai, K. and Maison, B. F., "Building pounding damage during the 1989 Loma Prieta earthquake", *Eng. Struct.*, 19, 195–207, (1997).
- Kayhan, A. H., Korkmaz, K. A. and Irfanoglu, A., "Selecting and scaling real ground motion records using harmony search algorithm", *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, 31, 941–953, (2011).
- Kim, S. H., Lee, S. W. and Mha, H. S., "Dynamic behaviors of the bridge considering pounding and friction effects under seismic excitations", *Struct. Eng. Mech.*, 10, 621–633, (2001).
- Kostinakis, K., Fontara, I.-K. and Athanatopoulou, A. M., "Scalar structure-specific ground motion intensity measures for assessing the seismic performance of structures: a review", *J. Earthq. Eng.*, 22, 630–665, (2018).
- Kostinakis, K. G. and Athanatopoulou, A. M., "Evaluation of scalar structure-specific ground motion intensity measures for seismic response prediction of earthquake resistant 3D buildings", *Earthquakes Struct.*, 9, 1091–1114, (2015).
- Maison, B. F. and Kasai, K., "Analysis for a type of structural pounding", *J. Struct. Eng.*, 116, 957–977, (1990).
- Maison, B. F. and Kasai, K., "Dynamics of pounding when two buildings collide", *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 21, 771–786, (1992).
- Maniatakis, C. A., Spyrakos, C. C., Kiriakopoulos, P. D. and Tsellos, K.-P., "Seismic response of a historic church considering pounding phenomena", *Bull. Earthq. Eng.*, 16, 2913–2941, (2018).
- Meli, R. and Rosenblueth, E., "The 1985 Earthquake causes and effects in Mexico City", *Concr. Int. ACI*, Detroit, Mich, 8, 12, (1986).

- Miari, M., Choong, K. K. and Jankowski, R., "Seismic pounding between adjacent buildings: Identification of parameters, soil interaction issues and mitigation measures", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 121 135–150, (2019).
- Miari, M. and Jankowski, R., "Analysis of pounding between adjacent buildings founded on different soil types (2022a)", *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, 154, (2022).
- Miari, M. and Jankowski, R., "Incremental dynamic analysis and fragility assessment of buildings founded on different soil types experiencing structural pounding during earthquakes (2022b)", *Eng. Struct.*, 252, 113118, (2022).
- Miari, M. and Jankowski, R., "Analysis of floor-to-column pounding of buildings founded on different soil types (2022c)", *Bull. Earthq. Eng.*, 20, 7241–7262, (2022).
- Mouzakis, H. P. and Papadrakakis, M., "Three dimensional nonlinear building pounding with friction during earthquakes", *J. Earthq. Eng.*, 8, 107–132, (2004).
- Muthukumar, S. and DesRoches, R., "A Hertz contact model with non-linear damping for pounding simulation", *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 35, 811–828, (2006).
- Naserkhaki, S., DANESHVAR, G. S. and TAYEBI, T. D., "Heavier adjacent building pounding due to earthquake excitation, technical note", *Asian J. Ciivil Eng.*, (2013).
- PEER-Database, "Pacific Earthquake Engineering Research Center", <http://nisee.berkeley.edu/spl/>, (2011)
- Pinzon, L. A., Diaz, S. A., Pujades, L. G. and Vargas, Y. F., "An efficient method for considering the directionality effect of earthquakes on structures", *J. Earthq. Eng.*, 25, 1679–1708, (2021).
- Raheem, S. E. A. *et al.*, "Seismic pounding effects on adjacent buildings in series with different alignment configurations", *Steel Compos. Struct.*, 28, 289–308, (2018).

Raheem, S. E. A., "Seismic pounding between adjacent building structures", *Electron. J. Struct. Eng.*, 6, 66–74, (2006).

SAP2000, "Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis",

SEMAp, "Sargı Etkisi Modelleme Analiz Programı", (*in Turkish*), (2008).

Storn, R. and Price, K., "Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces", *J. Glob. Optim.*, 11, 341–359, (1997).

TBDY-2018, "*Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*", *Afet ve Acil Durum Başkanlığı, Ankara, Türkiye*, (2018).

Toprak, S. *et al.*, "*6 Şubat 2023 Maraş depremleri (Pazarcık Mw7.7 ve Elbistan Mw7.6) sonrasında kuvvetli yer hareketi, geoteknik, üst yapı ve altyapılara ilişkin saha gözlemleri*", https://www.gtu.edu.tr/fileman/Files/UserFiles/insaat_muhendisligi_bolumu/GTU_Maras_Depremleri_Değerlendirme_Raporu_Final_07.03.2023.pdf (2023)

TS-500, "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları", Türk Stand. Enstitüsü, Ankara, 12–70, (2000).

TS498, "Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri", Türk Stand. Enstitüsü, (1997).

UBC88, "Uniform Building Code", Whittier, Calif., (1988).

Youd, T. L., Bardet, J.-P. and Bray, J. D., "Kocaeli, Turkey, earthquake of August 17, 1999 reconnaissance report", *Earthq. Spectra* Vol. 16, S, (2000).