

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

TEK SERBESTLİK DERECELİ BETONARME BİNALAR
ARASINDAKİ GEREKLİ DERZ MESAFELERİN
ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DUDU ÖZKUL

DENİZLİ, OCAK - 2025

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



**TEK SERBESTLİK DERECELİ BETONARME BİNALAR
ARASINDAKİ GEREKLİ DERZ MESAFELERİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DUDU ÖZKUL

DENİZLİ, OCAK - 2025

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.

DUDU ÖZKUL

ÖZET

**TEK SERBESTLİK DERECELİ BETONARME BİNALAR
ARASINDAKİ GEREKLİ DERZ MESAFELERİN ARAŞTIRILMASI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DUDU ÖZKUL
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞRETİM ÜYESİ MUHAMMET KAMAL)**

DENİZLİ, OCAK - 2025

Yetersiz sismik derze sahip komşu yapıların farklı dinamik karakterlere (periyot, rijitlik, kütle, yükseklik vb.) sahip olmasından dolayı, yapısal çarpışmalar beklenmektedir. Geçmişte yaşanan birçok yıkıcı depremde, yetersiz derz mesafeli binalar arasında yapısal çarpışmalar meydana gelmiştir. Bu çarpışmalar ile binalarda ağır hasar oluşumu, hatta toptan yıkımların gerçekleştiği gözlenmiştir. Ülkemizde de konut stokunun önemli bir kısmını temsil eden düşük ve orta yükseklikteki birçok yapının yetersiz derz mesafeli veya bitişik nizamlı olduğu için çarpışma potansiyeli bulunmaktadır. Bu nedenle komşu yapılar arasındaki sismik çarpışmaları (çekiçleme etkilerini) önlemek adına minimum yeterli derz mesafelerinin belirlenmesi oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, farklı dayanım oranlarının ve periyot değerlerinin derz mesafesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu kapsamda, farklı kat adetlerine, dayanım oranlarına ve periyot değerlerine sahip komşu binalar arasındaki minimum boşluk mesafelerinin belirlenebilmesi hedeflenmiştir. Üç boyutlu (3B) doğrusal elastik olmayan bina modelleri ile yapılan analizler yoğun işgücünün yanı sıra verilerin saklanabilmesi için depolama ihtiyacı gibi nedenlerden dolayı ciddi boyutlara ulaşmaktadır. Bu nedenle, 3B modeller eşdeğer TSD sistemlere dönüştürülerek daha basit ve kullanışlı bir işgücü ile derz mesafelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, bitişik binalar arasındaki gerekli derz mesafelerinin tahmininde eşdeğer TSD sistemlerin kullanılabileceği söylenebilir. Özellikle komşu binaların periyot değerlerinin birbirinden uzaklaşması ile birlikte TSD ve 3B modellerden elde edilen gerekli derz mesafelerinin yakın sonuçlar sunduğu gözlenmiştir. Ancak periyot değerlerinin yakın olduğu durumlarda, TSD sistemlerin daha tutucu sonuçlar sunduğu göz ardı edilmemelidir. Çalışmadan elde edilen bulguların düşük ve orta katlı betonarme binaları kapsadığı unutulmamalıdır.

ANAHTAR KELİMELER: Betonarme binalar, çekiçleme, sismik derz mesafesi, eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem, doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz

ABSTRACT

INVESTIGATION OF MINIMUM REQUIRED SEISMIC GAP DISTANCES BETWEEN SINGLE DEGREE OF FREEDOM REINFORCED CONCRETE BUILDINGS

MSC THESIS

DUDU ÖZKUL

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR:ASST. PROF. MUHAMMET KAMAL)

DENİZLİ, JANUARY 2025

Structural collisions are expected due to the different dynamic characteristics (natural period, stiffness, mass, height etc.) of neighboring structures with insufficient seismic gap distances. In many destructive earthquakes in the past, structural collisions have occurred between adjacent buildings with insufficient gap distances. It has been observed that these collisions have caused severe damage to buildings and even total collapse. In our country, there is a collision potential in many low and mid-rise buildings, which represent a significant portion of the building stock, due to insufficient gap distances or adjacent arrangements. Therefore, determining the minimum sufficient gap distances is very important in order to prevent seismic collisions (pounding effects) between neighboring structures.

In this study, the effects of different strength ratios and different period values on the seismic gap distance were investigated. In this context, it was aimed to determine the minimum gap distances between neighboring buildings with different floor numbers, strength ratios, and period values. Analyses performed using three-dimensional (3D) building models with nonlinear behavior reach serious dimensions due to reasons such as intensive labor and storage requirement for data storage. Therefore, by converting 3D models to equivalent SDOF systems, it was aimed to determine gap distances with a simple and useful labor. The outcomes indicate that equivalent SDOF systems can be used in estimating the required gap distances between adjacent buildings. It was observed that the required gap distances obtained from equivalent SDOF systems and 3D building models provide close results, especially when the period values of adjacent buildings diverge from each other. However, it should not be ignored that SDOF systems provide more conservative results in cases where the period values are close. Also, it should not be forgotten that the findings obtained from the study represent low and mid-rise reinforced concrete buildings.

KEYWORDS: Reinforced concrete buildings, pounding, seismicgap, equivalent single degree of freedom, nonlinear time history analysis

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ.....	ix
1.GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı	5
1.2 Literatür Özeti	6
1.3 Tezin Organizasyonu.....	10
2. YAPI ÖZELLİKLERİ VE MODELLEME.....	12
2.1 Genel	12
2.2 Üç Boyutlu Bina Model Özellikleri	12
2.3 Doğrusal Elastik Olmayan Analiz ve Bina Davranışı	20
2.4 Eşdeğer Tek Serbestlik Dereceli Sistem	23
2.5 Tek Serbestlik Dereceli Sistemler	25
2.5.1 Genel.....	25
2.5.2 Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin Modellenmesi.....	25
2.5.3 Çevrimsel Davranış Modelleri.....	28
2.5.3.1 Elastik-Doğrusal Pekleşen (EDP) model	28
2.5.3.2 Elastik Mükemmel Plastik Model.....	28
3.İVME KAYDI SEÇİMLERİ.....	30
4.ANALİZ SONUÇLARI	32
4.1 Giriş	32
4.2 TSD Sistemlerin Tanımlanması	33
4.3TSD Sistemlerin Dinamik Analiz Sonuçları ve Derz Mesafe Hesabı.....	35
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	46
6. KAYNAKLAR.....	48
7. ÖZGEÇMİŞ.....	53

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: 6 Şubat 2023 Depremi, Kahramanmaraş(Toprak ve diğ. 2023)	2
Şekil 1.2: Çarpışma Türleri	3
Şekil 2.1: Kare kesitli modellerin tipik plan görünüşleri a) x-y doğrultusu b) y-z doğrultusu kolon-kiriş dağılımları (Model a).....	14
Şekil 2.2: Dikdörtgen kesitli modellerin tipik plan görünüşleri a) x-y doğrultusu b) y-z doğrultusu kolon-kiriş dağılımları (Model b)	15
Şekil 2.3: Tüm bina modellerinin normalizemod şekilleri a) kare kesitli modeller b) dikdörtgen kesitli modeller	18
Şekil 2.4: Dikdörtgen Kesitli bina modellerinin kapasite eğrileri.....	19
Şekil 2.5: Kare Kesitli bina modellerinin eğrileri	19
Şekil 2.6: a) Plastik mafsallı tipik kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi b) göçmenin olmadığı durum	21
Şekil 2.7: TSD Matematiksel Model.....	26
Şekil 2.8: %5 akma sonrası rijitliği olan Elastik-Doğrusal Pekleşen (bilinear) model	28
Şekil 2.9: Elastik - Mükemmel Plastik çevrimsel davranış modeli	29
Şekil 3.1: Ölçeklendirilmiş kayıtların ivme spektrumları ve ivme spektrumlarının ortalaması, E(T)	31
Şekil 4.1: Prism Programına giriş	33
Şekil 4.2: Prism Programına ivme kayıtları tanımlama	34
Şekil 4.3: İvme kayıtlarına dayalı analiz yapılması	34
Şekil 4.4: Analiz sonuçları	35
Şekil 4.5: TSD sistemler ile 3B modeller için hesaplanan derz mesafeleri arasındaki ilişki	45

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Kat yüksekliğine göre kiriş ve kolon boyutları değişimi.....	13
Tablo 2.2: Üç boyutlu bina genel özellikleri.....	16
Tablo 2.3:Dikdörtgen bina modellerinin dinamik karakteristik özellikleri	17
Tablo 2.4:Kare bina modellerine ait dinamik karakteristik özellikler	18
Tablo 2.5:Kare kesitli bina modellerinin normalizemod şekil değerleri.....	20
Tablo 2.6:Dikdörtgen kesitli bina modellerinin normalize mod şekil değerleri	20
Tablo 2.7:İzin verilen şekil değiştirme hasar sınırları.....	22
Tablo 2.8: İzin verilen şekil değiştirme hasar sınırları.....	23
Tablo 3.1:Seçilen kayıtların özellikleri	31
Tablo 4.1:İkili bina modelleri (kare modeller)	32
Tablo 4.2:İkili bina modelleri (dikdörtgen modeller)	33
Tablo 4.3:Eşdeğer TSD sistemler için hesaplanangerekli minimum ayırmamesafeleri (cm).....	37
Tablo 4.4: Eşdeğer TSD sistemler için hesaplanan gerekli minimum ayırma mesafeleri (cm).....	40
Tablo 4.5: Dikdörtgen modellerEşdeğerTSD sistemler kullanılarak elde edilen derz mesafeleri ile Kamal ve İnel (2022) tarafından 3B modeller kullanılarak hesaplanan derz mesafeleri	43
Tablo 4.6: Dikdörtgen modellerEşdeğerTSD sistemler kullanılarak elde edilen derz mesafeleri ile Kamal ve İnel (2022) tarafından 3B modeller kullanılarak hesaplanan derz mesafeleri	44

SEMBOL LİSTESİ

F_y/W	: Sismik dayanım oranı
b_w	: Kirişin gövde genişliği
W	: Bina ağırlığı (kN)
H	: Bina yüksekliği
ω_{we}	: Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı
α_{se}	: Sargı donatısı etkinlik katsayısı
ϵ_s	: Donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi
$\epsilon_c^{(KH)}$	: 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)
E	: Elastisitemodülü
$E(T)$	: İki asal yön için seçilen ivme kayıtları kullanılarak elde edilen bileşke spektrum (g)
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	: İkilili bina modelleri arasındaki derz mesafesi
L_p	: Plastik mafsallı boyu (m)
$S_{ae}(T)$	: 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_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)
I	: Önem faktörü



KISALTMA LİSTESİ

2B	: İki boyutlu
3B	: Üç boyutlu
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
ÇSD	: Çok Serbestlik Dereceli Sistem
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi
KH	: Kontrollü Hasar
PEER	: Pacifik Earthquake Engineering Research Center
RC	: Betonarme Bina
SAP2000	: Structural Analysis Program
SEMAp	: Sargı Etkisi Modelleme Analiz Programı
SH	: Sınırlı Hasar
TBDY-2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)
TSD	: Tek Serbestlik Dereceli Sistem
TS498, TS500	: Türk Standartları
ASCE-10	: American Society of Civil Engineers (2010)
DDC	: Double Difference Combination method
DGA	: Diferansiyel Gelişim Algoritması
EC-8	: Eurocode (2004)
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi
PGA	: Peak Ground Acceleration
PGD	: Peak Ground Displacement
PGV	: Peak Ground Velocity
SRSS	: Square Roots of The Sum of The Squares
UBC-88	: Uniform Building Code-1988
UBC-97	: Uniform Building Code-1997
EMP	: Elastik Mükemmel Plastik
EDP	: Elastik Doğrusal Pekleşen
SDOF	: Single Degree of Freedom
ZD	: Zemin Sınıfı
FEMA	: Federal Emergency Management Agency

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı bana öneren, tez dönemim boyunca yardımlarını benden esirgemeyen, başarabileceğimi bana inandırıp bana yol gösteren ve tezde benim kadar emeği olan, gece gündüz demeden bana ayırdığı zamanından dolayı kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Kamal'ateşekkürü bir borç bilirim.

Hiç tereddüt etmeden yardım istediğim anda benle bilgilerini paylaşan Eşref Deniz ve Ahmet Selim Akbıyık'a çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana maddi manevi desteklerini esirgemeyen canım aileme bu dönemde de yanımda oldukları ve bana olan güvenlerini hiçbir zaman kaybetmedikleri için çok teşekkür ederim.

Hem çalışıp hem okumak zorunda olan bir kişi olarak çalışma arkadaşlarımdan desteği, bana olan inançlarından dolayı beni her daim motive ettikleri için hepsine ayrı ayrı teşekkür ederim.

1.GİRİŞ

Şehirleşmenin ve nüfusun hızla artması sebebiyle, sınırlı alanlarda maksimum verimlilik sağlamak amacıyla yapılar bitişik nizam olarak inşa edilmektedir. Bu, hem araziden tasarruf sağlar hem de ulaşım, altyapı ve hizmetlerin daha kolay organize edilmesini mümkün kılar. Bitişik nizamlı yapılar, özellikle ekonomik açıdan avantajlıdır. Aynı parsel alanında daha fazla yapı inşa edilebileceği için inşaat maliyetleri, geniş arsalara ihtiyaç duyan serbest nizamlı yapılara göre daha düşük olabilir. Özellikle şehir merkezlerinde, arazi fiyatlarının yüksek olduğu bölgelerde bitişik nizam, ekonomik olarak daha verimli bir çözüm sunar. Ayrıca, bu yapıların birbirine yakın olması, inşaat sürecinde kullanılan iş gücü ve malzeme maliyetlerini de optimize edebilir. Özellikle büyük şehirlerde ve yoğun nüfuslu alanlarda, imar planlamasıyla, hem estetik hem de işlevsel açıdan uyumlu yapılar inşa edilmesi sağlanabilir. Bitişik yapılar, duvarlarının büyük bir kısmını birbirine yasladığı için ısı kaybı daha az olabilir. Bu, ısınma ve soğutma maliyetlerini düşürebilir ve karbon ayak izini azaltabilir. Hem fonksiyonel hem de ekonomik açıdan avantajlı olan bu yapıların, şehirlerin gelişiminde önemli bir rol oynadığı söylenebilir. Ancak, bitişik nizamlı bu yapıların sismik etkiler ile çarpışma olasılığı bulunmaktadır.

Bitişik nizam sırasında yeterli derz mesafesi bırakılmaması nedeniyle geçmişteki depremlerde de görüldüğü üzere çarpışma sonrası çekiçleme etkileri oluşmaktadır. Bitişik nizamlı yapılarda çekiçleme etkisi, binaların birbirine yakın olması nedeniyle dış kuvvetlerin (özellikle rüzgar ve deprem gibi etkiler) bir bina tarafından diğerine aktarılması sonucu oluşan yapısal bir sorundur. Binalar arasında yeterli esneklik ve hareket kabiliyeti olmadığı için komşu binalar birbirlerini bir "çekiç" gibi etkileyebilirler. Bu davranış, bina duvarlarının, temellerinin veya bina taşıyıcı sistemlerinin olumsuz şekilde etkilenmesine neden olabilir.

Geçmiş depremlerde çekiçleme etkisi altında orta ve ağır hasarlı yapılar gözlenmiştir. Mexico City Depremi'nde(1985) ciddi şekilde hasar gören 330 yapının %40'ından fazlası çekiçleme etkisiyle zarar görmüştür (Meli ve Rosenblueth 1986).Benzer şekilde, Loma Prieta Depremi'nde 500'den fazla binada çekiçlemenin etkileri gözlemlenmiştir (Kasai and Maison 1997) Northridge Depremi'nde (1994),

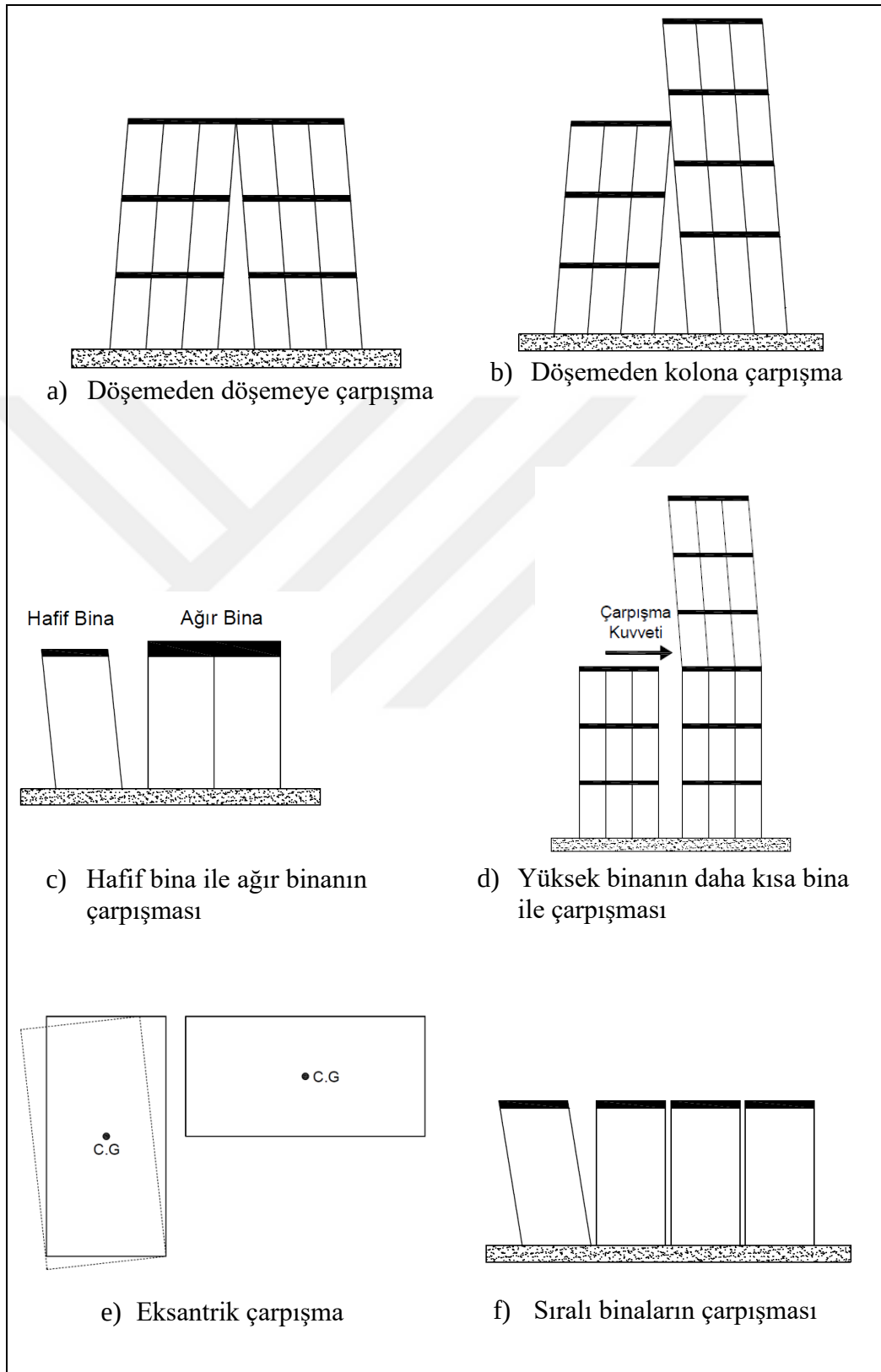
özellikle eski binaların yetersiz sismik tasarımları nedeniyle çekiçleme etkisinde büyük rol oynadığı görülmüştür. Yapılar arasındaki yetersiz boşluklar, birbirine yakın yerleşim ve farklı dinamik karakterdeki binaların deprem sırasında birbirine çarpmasına yol açmıştır. Bu çarpışmalar, bazı binaların ciddi şekilde hasar görmesine, hatta yıkılmasına neden olmuştur. Simav Depremi'nden (2011) sonra yapılan saha incelemeleri, sıralı komşu binaların çarpışması sonucu kalıcı yapısal hasarların meydana geldiğini ortaya koymuştur (Inel ve diğ. 2014, Inel ve diğ. 2013). Özellikle bina kat yüksekliklerinin ve rijitliklerinin farklı olduğu durumlarda çekiçleme etkisi daha fazla görülmüştür. Yakın zamanda meydana gelen 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinden sonra binalarda gözlenen hasarlarda bu duruma örnek olacak nitelikte bir görsel Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1: 6 Şubat 2023 Depremi, Kahramanmaraş(Toprak ve diğ. 2023)

Bitişik binalar arasındaki yapısal çarpışmaların etkileri üzerine birçok araştırma yürütülmüş ve çarpışma durumları genel olarak 6 kategoride sınıflandırılmıştır (Jeng ve Tzeng 2000). Bunlar döşemeden döşemeye çarpışma durumu (Efraimiadouve 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), sıralı binaların çarpışma durumu (Abdel Raheem ve diğ. 2019, Miari ve diğ. 2019, Raheem ve diğ. 2018), yüksek binaların bitişik daha kısa binalar ile çarpışması durumu (Jameelve diğ. 2013, Miari ve Jankowski 2022^b), ağır binaların bitişik daha hafif bina ile çarpışma durumu (Maniatakis ve diğ. 2018, Naserkhaki ve diğ. 2013), eksantrik

Çarpışma durumu (Karayannis ve Naoum 2018) olarak sıralanabilir. Çarpışma durumlarının tümü Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.2:arpıřma Türleri

Bitişik binaların dinamik özelliklerindeki farklılıklar, bu çarpışmaların temel nedenini oluşturmaktadır. Farklı kat yükseklikleri, rijitlikler veya bina ağırlıkları gibi faktörler, binaların birbirine çarpmasına yol açabilmektedir. Ülkemizde de yetersiz derz mesafelerine sahip birçok komşu yapı inşa edilmiştir. Çekişleme etkisi nedeniyle komşu binaların çarpışma durumu yapısal hasarlara veya yıkımlara neden olabilir. Bu sebeple, bitişik binaların dinamik davranışlarının doğru şekilde analiz edilmesi, sismik tehlikelerin gerçekçi bir yaklaşımla belirlenmesi ve çekişleme etkilerinin azaltılması veya önlenmesi büyük önem taşımaktadır.



1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Kalabalık şehirlerde artan arsa maliyetleri, yapıların birbirine yakın inşa edilmesine yol açmaktadır. Bu durum, komşu binalar arasında yeterli derz mesafesi bırakılmamasıyla sonuçlanabilmektedir. Farklı kat yükseklikleri, bina ağırlıkları, rijitlikleri ve yapı yükseklikleri gibi parametreler, bu binaların deprem anında birbirleriyle çarpışma olasılığını artırabilir. Yapıların doğal titreşim periyotlarındaki farklılıklar, deprem sırasında meydana gelebilecek çarpışmaların başlıca nedenidir. Bu çarpışmalar, binalar arasında yüksek darbe kuvvetlerinin iletilmesine yol açarak beklenmedik hasarlara neden olabilir. Bu tür etkilerin önlenmesinin en etkili yolu, yapılar arasında yeterli derz mesafelerinin belirlenmesi ve uygulanmasıdır. Bu mesafeler, yapıların güvenliğini artırarak deprem sırasında olası hasarları minimize etmeye yardımcı olacaktır. Türkiye'deki konut stokunun büyük bir kısmını oluşturan düşük ve orta katlı binaların, ya bitişik nizamda ya da yetersiz boşluk mesafeleriyle inşa edilmiş olmaları, bu binaların çarpışma riskini artırmaktadır. Bu nedenle, komşu yapılar arasındaki sismik çarpışmalar ve çekiçleme etkilerini engellemek için yeterli derz mesafelerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma, farklı kat adetlerine, dayanım oranlarına ve periyot değerlerine sahip komşu binalar arasındaki minimum yeterli derz mesafelerinin belirlenmesini amaçlamaktadır. Kamal ve İnel (Kamal and Inel 2022) üç boyutlu (3B) binalarda gerekli derz mesafelerini 3 ve 10 kat arasında değişen 56 farklı ikili bina modelin üzerinde araştırmışlardır. Fakat 3B doğrusal elastik olmayan bina modeller ve 22 adet deprem gerçek ivme kaydının kullanılması sonucu, dinamik analizler uzun zaman ve yoğun emek gerektirmiştir. Bu çalışmada, üç boyutlu doğrusal elastik olmayan bina modelleri ile yapılan analizlerin büyük boyutlara ve uzun sürelerle ihtiyaç duyması nedeniyle, doğrusal elastik olmayan Eşdeğer Tek Serbestlik Dereceli (TSD) sistemler kullanılmak istenmiştir. Kamal ve İnel (Kamal and Inel 2022) tarafından 3B olarak tasarlanan 16 adet bina modeli doğrusal elastik olmayan Eşdeğer TSD sistemlere dönüştürülerek 56 farklı ikili bina modeli arasındaki derz mesafelerinin daha hızlı ve daha makul işgücü ile belirlenmesi hedeflenmiştir.

Komşu yapılar arasındaki sismik derz mesafelerinin hesaplanabilmesi için zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz yöntemi kullanılmıştır. Kamal ve İnel (Kamal and Inel 2022) tarafından 3B modeller için TBDY-2018

deprem yönetmeliğiyle uyumlu seçilen ivme kayıtları bu çalışmada da kullanılmıştır. Sonuç olarak 56 farklı ikili model ve 22 adet ivme kaydı için 1232 adet eşdeğer TSD ve 3B ikili modellere ait derz mesafeleri kıyaslanmış ve bu iki modelleme türü arasındaki ilişki araştırılmıştır.

1.2 Literatür Özeti

Derz mesafelerinin belirlenmesi üzerine literatürde farklı yaklaşımlar önerilmiştir. Bu yaklaşımlarda sismik çarpışmaların önlenmesi için komşu binaların yatay deplasman talepleri dikkate alınmaktadır. Derz mesafeleri hakkında literatürde bulunan çalışmalar;

Anagnostopoulos (Anagnostopoulos 1988), ikili binaların maksimum deplasmanlarının mutlak toplamının (ABS, absolutesum) kullanılarak yapılan hesaplamaların, aşırı tutucu sonuçlar verdiğini belirterek (bu yöntem UBC88'de de yer almıştır), binaların maksimum deplasmanlarının karelerinin toplamının karekökünün (SRSS, squareroot of sum of thesquares) kullanıldığı bir hesaplama yöntemi önermiştir. Bu çalışmada, farklı periyot oranlarına sahip ve seri şekilde bulunan tek serbestlik dereceli sistemler (TSD) arasında 5 farklı derz mesafesi uygulanarak, yeterli derz mesafesinin belirlenmesi sağlanmıştır. Sonuçlar, derz mesafesinin artmasıyla çarpışma sayılarının azaldığını ve yapıların tepkilerindeki büyümelerin düştüğünü göstermektedir.

Jeng ve ark.(Jenget *al.* 1992), çok serbestlik dereceli (ÇSD) elastik yapılar arasındaki minimum boşluğu hesaplamak için daha rasyonel bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu yaklaşım, SPD (spectraldifference method), DDC (doubledifference combination) veya CQC (completequadratic combination) olarak bilinir. Tepki Spektrumu tabanlı, dinamik analize ihtiyaç duymayan bu yöntem, ABS ve SRSS metotlarından daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır. Ayrıca, bu yöntem, Tek Serbestlik Dereceli (TSD) sistemler için uygulanabildiği gibi, ilk moddaki tepkinin, tüm modların toplam tepkisinin büyük bir kısmını oluşturduğu ÇSD sistemlerinde de etkili bir şekilde kullanılabilir.

Kasai ve ark. (Kasai *et al.* 1996), DDC metodunun, doğrusal olmayan yapılarda da kullanılabilirliğini araştırmış ve bu yöntemin doğrusal olmayan yapılar için de geçerli olduğunu göstermiştir. Ancak, doğrusal yapılarda elde edilen doğruluk derecesi, doğrusal olmayan yapılara göre daha yüksek çıkmıştır. Bu durumu dikkate alarak, elastik yapılar için kullanılan korelasyon katsayısının modifiye edilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Sonuç olarak, elastik olmayan yapıların efektif periyot ve sönüm oranlarını belirlemek için yeni bir yaklaşım önerilmiş ve bu yöntem doğrusal olmayan yapılar için de uygulanabilir hale getirilmiştir.

Filiatrault ve Cervantes (Filiatrault and Cervantes 1995), Kanada'nın üç farklı deprem bölgesinde modellenen beş farklı bina kullanarak on farklı bina çifti oluşturmuş ve bu bina çiftlerinin gerekli derz mesafelerini belirlemek amacıyla analitik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, Kanada Ulusal Bina Yönetmeliği'ndeki derz mesafelerinin, dinamik analizler sonucu elde edilen derz mesafelerinden oldukça yüksek olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, DDC metodunun bu yönetmelikten daha doğru sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda, ikili binaların statik analizlerinden elde edilen birinci mod spektral deplasmanlarının DDC metodunda kullanıldığı basit bir yaklaşım önerilmiş ve bu yaklaşımın, derz mesafelerinin belirlenmesinde etkin bir yöntem sunduğu ifade edilmiştir.

Lopez-Garcia ve Soong (Lopez-Garcia and Soong 2009)(FEMA 2009), farklı periyotlara ve taşıyıcı sistem davranış katsayılarına sahip doğrusal elastik olmayan Tek Serbestlik Dereceli (TSD) yapılarda çekiçleme etkilerini önlemek amacıyla gerekli derz mesafelerini incelemişlerdir. Bu amaçla, Filiatrault, Kasai, Penzien ve Valles tarafından geliştirilen DDC kuralı üzerine yapılan çalışmaların sonuçları değerlendirilmiştir. Dinamik analizlerden elde edilen derz mesafeleri, bu dört çalışmadan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve bu oranlar beş farklı tanım kullanılarak sınıflandırılmıştır. Sonuç olarak, dört çalışmanın da kesin ya da biraz tutucu sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Ayrıca, doğrusal elastik sistemler için DDC kuralının her zaman SRSS kuralından daha iyi sonuçlar verdiği, ancak doğrusal elastik olmayan sistemlerde DDC kuralının tutarlı olarak SRSS kuralından daha iyi sonuç veremediği ifade edilmiştir. Doğrusal elastik olmayan sistemlerin yer değiştirme tepkilerinin arasındaki korelasyonun yeterince karakterize edilemediği sonucuna varılmıştır.

Lopez-Garcia ve Soong (Lopez-Garcia and Soong 2009) 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 arkadaşları (Hong *et al.* 2003), yapısal özelliklerdeki belirsizlikleri göz önünde bulundurarak ya da göz önünde bulundurmadan gerekli derz mesafesinin değerlendirilmesi için güvenilirlik yöntemlerine dayalı bir yaklaşım sunmuşlardır. Bu yöntemde, parametrik analizler yapılmış ve bitişik binaların periyot oranları ve sönüm oranlarına bağlı olarak CQC (Complete Quadratic Combination) kuralının tahminlerde bulunan doğruluğu incelenmiştir. Analizler, bitişik binaların baskın periyot oranlarının 0.75-1.25 aralığında olduğu durumlarda, CQC kuralından elde edilen derz mesafelerinin 0.9 katsayısı ile azaltılması gerektiğini, diğer periyot oranları için ise CQC kuralının hesapladığı derz mesafelerinin doğrudan kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Favvata (Favvata 2017), döşemeden kolona çarpışma olasılığı bulunan 8 ve 3 katlı iki boyutlu (2B) çerçeve modelindeki bitişik binalar için 9 farklı sismik talep seviyesine karşılık gelen çarpışma mesafelerini belirlemiştir. Çarpışma mesafeleri hesaplanırken, bina modellerinin çatı katlarındaki deplasman taleplerine dayanılarak minimum boşluk mesafeleri hesaplanmış ve çarpışmanın görüldüğü dış kolonlarda kesme kırılmalarının önlenmesi için elastik sınırın aşılmadığı koşullar dikkate alınarak yeni bir çarpışma mesafesi belirlenmiştir. Hesaplanan derz mesafelerinin Eurocode-8 (European Committee for Standardization 2004) standartlarının altında kaldığı vurgulanmıştır.

Naderpour ve arkadaşları (Naderpour *et al.* 2017), iki farklı periyoda ve bina yüksekliğine sahip bitişik binalar üzerinde yapay sinir ağı kullanarak, üç farklı deprem kaydına dayalı derz mesafelerini belirlemişlerdir. Çalışmada, DDC kuralı

temel alınarak, binaların periyot oranlarına bağı bir ölçek katsayısı içeren yeni bir denklem geliştirilmiştir. Bu yeni yaklaşım, bitişik binalar arasındaki derz mesafelerinin daha doğru bir şekilde belirlenmesini sağlamaktadır.

Kamal (2016), doğrusal olmayan 4 ve 7 katlı bina modelleri kullanarak, aynı kat seviyelerinden doğrusal yaylarla bağlanmış dört farklı ikili bina oluşturmuştur. Çalışmada, binalar arasında üç farklı derz mesafesi kullanılarak, deplasman talepleri, görel kat ötelenme oranları ve hasar dağılımları araştırılmıştır. Ayrıca, çekiçleme etkisinin plastik mafsallarda oluşturduğu hasar farklılıkları da dikkate alınmıştır. Sonuçlar, deplasman taleplerinin sınırlandırıldığı ve serbest yönde arttığı gözlemlenmiştir. Orta katlı binalarda çekiçleme etkilerinin yapılar üzerindeki sonuçları detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Kamal ve diğerleri (Kamal and İnel 2021) tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada, düşük ve orta katlı betonarme yapıların deprem derzlerinin zaman tanım alanında dinamik analizlerle belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda, TBDY-2018'e göre tasarlanmış betonarme bina modelleri üzerinde yapılan dinamik analizler ile elde edilen çarpışma mesafeleri, mevcut deprem yönetmeliğindeki derz mesafeleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, mevcut yönetmelikte belirtilen boşluk mesafelerinin çarpışmayı önlemek için yeterli olmadığı anlaşılmıştır. Ayrıca, sismik yükler altında derz mesafelerinin tahmininde kullanılan α katsayısı için, komşu binaların periyot oranlarına bağı basitleştirilmiş bir denklem önerilmiştir.

Kamal ve diğerleri (2020) tarafından gerçekleştirilen bir diğer araştırmada, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY-2018) uygun olarak tasarlanmış 16 betonarme bina kullanılmıştır. Binalar arasındaki minimum boşluk mesafesinin belirlenebilmesi için, TBDY-2018 ile uyumlu bir deprem seti seçilmiş ve yapılan dinamik analizler sonucu elde edilen çarpışma mesafeleri, TBDY-2018 ve ASCE7-10 deprem yönetmeliklerinde belirtilen derz mesafeleri ile kıyaslanmıştır. Sonuçlar, TBDY-2018'in komşu binaların periyotları birbirinden çok uzak olduğunda yetersiz derz mesafesi önerdiğini, ASCE7-10'un ise daha makul sonuçlar sunduğunu ortaya koymuştur. Ancak, binaların periyotları birbirine yakın olduğunda, TBDY-2018 yeterli derz mesafesi önerirken, ASCE7-10'un aşırı büyük derz mesafesi önerdiği görülmüştür. Çalışma, mevcut yönetmeliklerde verilen boşluk mesafelerinin doğru tahminler sunmadığını ve sismik yükler altındaki derz mesafelerinin tahmininde

SRSS metodunun geliştirilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Bu bağlamda, komşu binaların periyot oranlarına dayalı basitleştirilmiş yeni bir denklem önerilmiştir.

Kamal ve İnel (Kamal and Inel 2022), düşük ve orta katlı, yapısal düzensizliği olmayan bitişik betonarme yapıların deprem derzlerinin belirlenmesi amacıyla bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY-2018) göre tasarlanan bina modelleri kullanılarak, doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki dinamik analizlerle çarpışmayı önlemek için gerekli sismik derz mesafeleri hesaplanmıştır. Elde edilen derz mesafeleri, Eurocode-8, ASCE 7-16, TBDY-2018 gibi mevcut deprem yönetmelikleri ile önerilen ABS, SRSS, DDC yöntemlerinin minimum sismik boşluk mesafeleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, ASCE 7-16 ve Eurocode-8'in benzer dinamik özelliklere sahip binalar için önerdiği sismik boşluk mesafelerinin önemli ölçüde fazla olduğunu, ancak farklı dinamik özelliklere sahip binalar için makul tahminler sağladığını ortaya koymuştur. TBDY-2018'in ise, 1,25'ten büyük komşu bina periyodu oranları için yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir. Her ne kadar ASCE 7-16 ve Eurocode-8 gereklilikleri, yeni binaların tasarımı için güvenli olsa da mevcut binaların değerlendirilmesinde kullanışlı olmadığı sonucuna varılmıştır. Çalışma, komşu binalar arasındaki gerekli sismik boşluk mesafelerini tahmin etmek için iki farklı basitleştirilmiş yaklaşım önermektedir. İlk yaklaşım, azaltılmış sismik tasarım kuvvetlerine maruz kalan binaların doğrusal statik analizini gerektirirken, ikinci yaklaşım ise herhangi bir analize gerek duymamaktadır. Çalışma sonunda, önerilen denklemlerin, yapısal düzensizliği olmayan mevcut alçak ve orta katlı betonarme binaların değerlendirilmesi için pratik ve kullanışlı bir yöntem sunduğu vurgulanmıştır.

1.3 Tezin Organizasyonu

Bu çalışmanın;

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

2. bölümünde tez çalışması için tasarımı yapılmış doğrusal elastik olmayan üç boyutlu ve tek serbestlik dereceli bina modelleri hakkında genel bilgiler 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

Ülkemizdeki mevcut bitişik nizamlı yapıların çoğunun yetersiz boşluk oranına sahip olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum, sismik tehlike ve komşu yapılar arasında meydana gelebilecek çarpışmaların araştırılmasını önemli hale getirmektedir. Bitişik nizamlı yapılarda bina yüksekliği, ağırlığı, rijitliği gibi yapısal özelliklerin farklı olması, komşu binalar arasında çarpışmalara yol açabilmektedir. Çarpışmaların çoğunun, doğal titreşim periyotlarındaki farklılıklardan kaynaklandığı anlaşılmaktadır ((Maison and Kasai 1990)(Anagnostopoulos and Spiliopoulos 1992)) Bu tezde, çarpışma olasılığı bulunan düşük ve orta yükseklikteki binaları dikkate alarak, 3 ile 10 kat arasında değişen 16 adet 3B modelin eşdeğer tek serbestlik dereceli modelleri oluşturulmuştur. Kamal ve İnel (Kamal and Inel 2022) tarafından oluşturulan 3B modellere ait özelliklere bu bölümde yer verilmiştir.

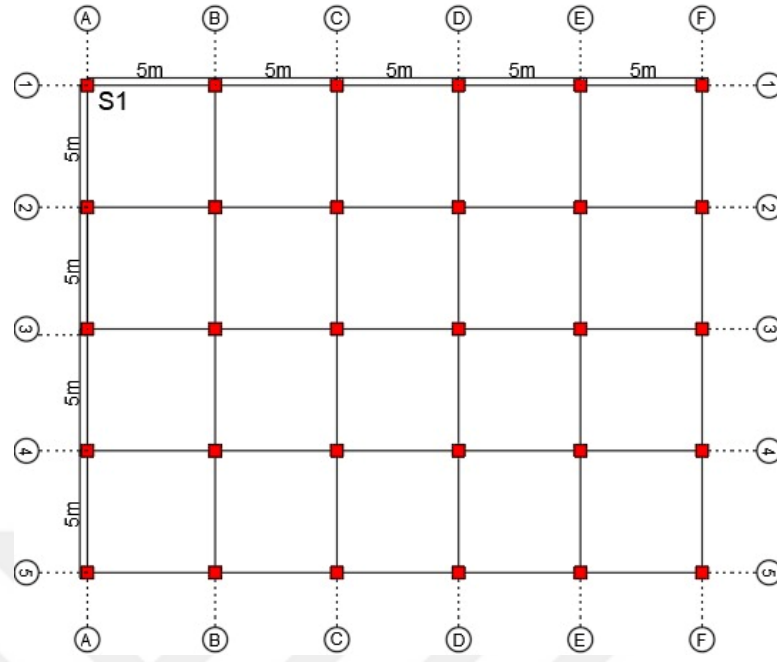
2.2 Üç Boyutlu Bina Model Özellikleri

Kamal ve İnel (Kamal and Inel 2022), düşük ve orta yükseklikteki betonarme binaları temsil etmek amacıyla 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 katlı betonarme bina modelleri oluşturmuşlardır. Bu binalar, ZD zemin sınıfı üzerinde yer alacak ve kullanım amacı konut olacak şekilde tasarlanmıştır. Binaların DD-2 deprem yer hareketi düzeyi(50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem yer hareketi düzeyi) için TBDY-2018'e uygun olarak tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tüm bina modellerinde döşeme kalınlıkları 15 cm olarak kabul edilmiş, ayrıca konut binalarını temsil etmeleri nedeniyle hareketli yük 0.2 t/m^2 olarak seçilmiştir (TS-498, 1997). Kiriş üzerinde bulunan duvar yükleri ise 0.325 t/m olarak dikkate alınacaktır. Binaların x ve y yönündeki aks aralıkları 5'er metre olacak ve binanın plan boyutları sırasıyla 25 m ve 20 m olarak seçilmiştir(Şekil 2.1a-Şekil 2.2a). Kat yükseklikleri her bir katta 3 m olarak kabul edilmiş, kare ve dikdörtgen kesitli kolonlarla oluşturulan modellerin kesit boyutları ise Şekil 2.1b ve Şekil 2.2b'de sırasıyla gösterilmiştir. Kare kesitli

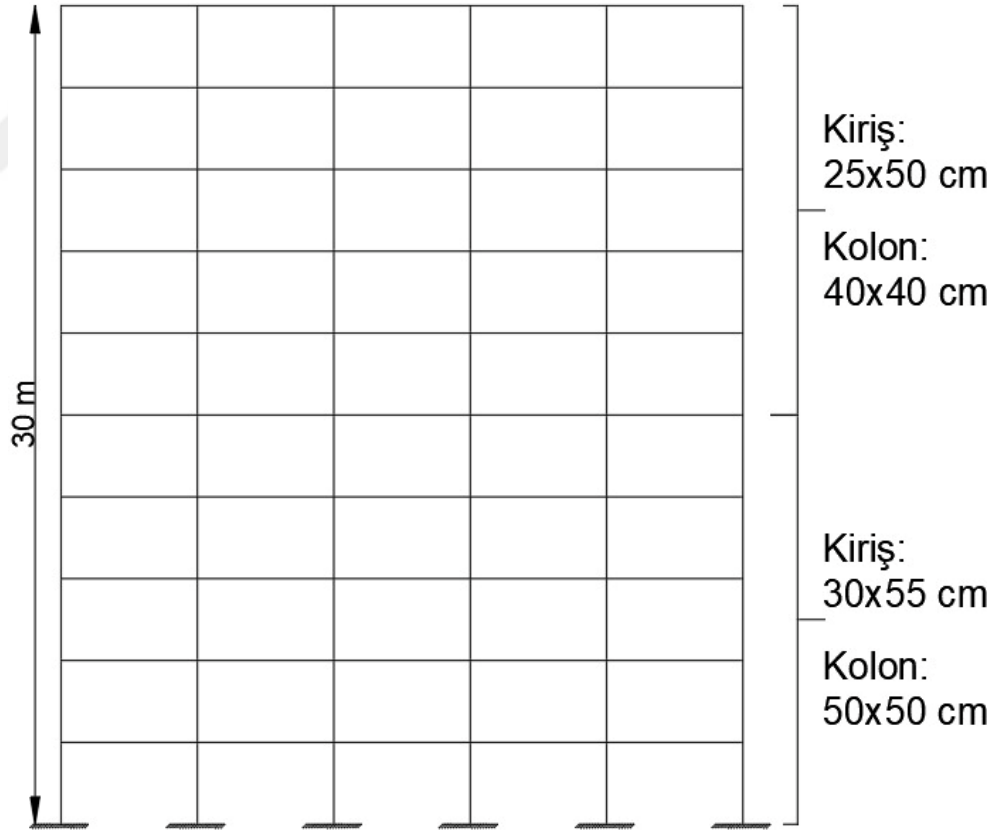
modeller “Model-a”, dikdörtgen kesitli modeller ise “Model-b” olarak isimlendirilmiştir. Şekil 2.1a ve Şekil 2.2b’ de yer alan kalıp planları üzerinde kolon etiketleri verilmiştir. Bu kolon etiketlerine karşılık gelen kesit boyutları, ve kat bazında değişimleri Tablo 2.1’ de sunulmuştur.

Tablo 2.1:Kat yüksekliğine göre kiriş ve kolon boyutları değişimi

Kiriş Boyut	Kolon		10a & 10b	9a & 9b	8a & 8b	7a & 7b	6a & 6b	5a & 5b	4a & 4b	3a & 3b
	Etiket	Boyut (cm)	Kat Seviyeleri							
30x55	S1	50x50	1-5. katlar	1-4. katlar	1-3. katlar	1-2. katlar	1. kat	-	-	-
	S2	35x70								
	S3	60x35								
	S4	90x35								
	S5	35x75								
	S6	35x80								
25x50	S1	40x40	6-10. katlar	5-9. katlar	4-8. katlar	3-7. katlar	2-6. katlar	1-5. katlar	1-4. katlar	1-3. katlar
	S2	35x55								
	S3	35x50								
	S4	35x70								
	S5	35x60								
	S6	35x65								

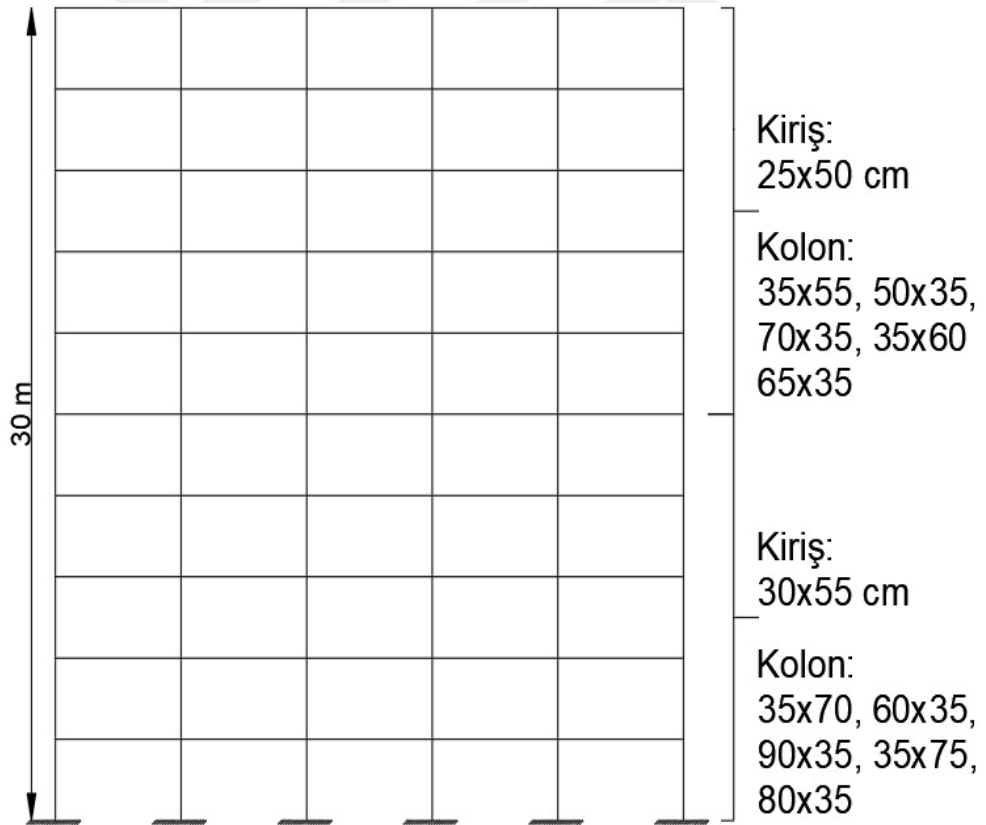
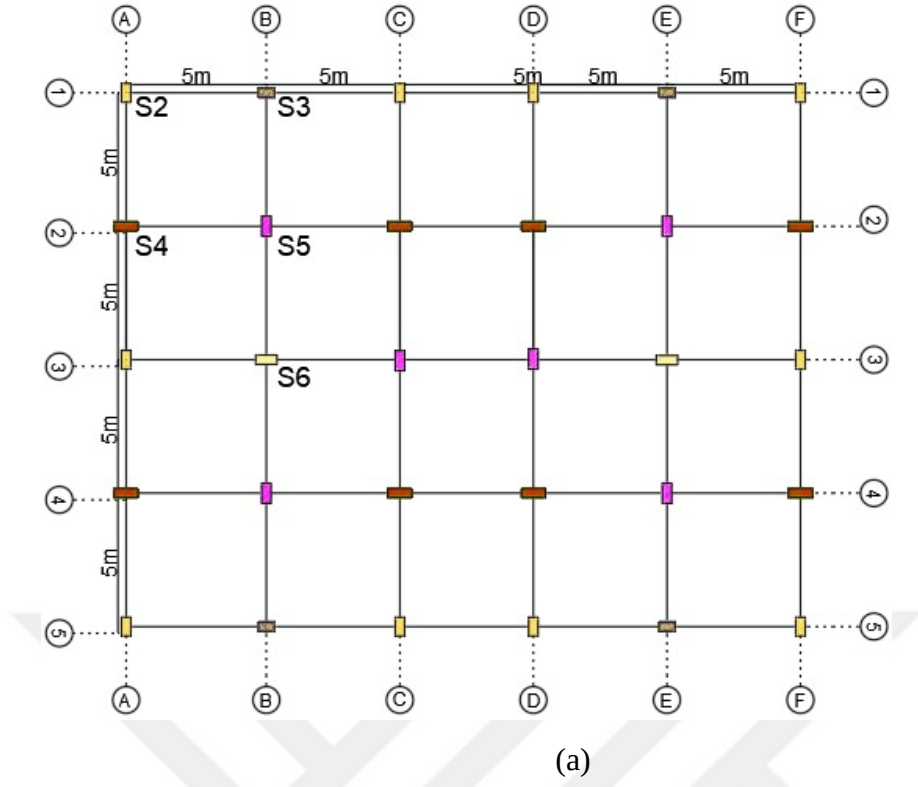


(a)



Şekil 2.1:Kare kesitli modellerin tipik plan görünümleri a) x-y doğrultusu b) y-z doğrultusu kolon-kiriş dağılımları (Model a)

(a)



Şekil 2.2: Dikdörtgen kesitli modellerin tipik plan görünüşleri a) x-y doğrultusu b) y-z doğrultusu kolon-kiriş dağılımları (Model b)

(b)

Yüksek süneklik düzeyine göre tasarlanan bina modelleri çerçeve sistem olarak tasarlandığı için taşıyıcı sistem davranış katsayı $R=8$ olarak kullanılmıştır. Konut binası olduğu için ise 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, beton basınç dayanımı 35 MPa ve çelik akma dayanımı 420 MPa olarak alınmıştır.

Modellerde, döşeme ve duvar elemanları kirişler üzerine yük olarak etki edecek şekilde modellenmiştir. Dolgu duvarların taşıyıcı sisteme sağladığı yanal katkılar ihmal edilmiştir. Döşemenin kaplama ağırlığı 1.48 kN/m^2 olarak alınmıştır. Kirişlere etkiyen duvar yükleri ise 3.25 kN/m olarak belirlenmiştir. Bina modellerinin genel özellikleri, yapıların farklı parametrelerini kapsamlı bir şekilde sunan Tablo 2.2’de toplu halde verilmiştir.

Tablo 2.2: Üç boyutlu bina genel özellikleri

Özellik Türü	Özellik	Değerler							
Kat Sayısı		3	4	5	6	7	8	9	10
Model Etiketi	-	3a-3b	4a-4b	5a-5b	6a-6b	7a-7b	8a-8b	9a-9b	10a-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							

Bu çalışmadaki dikdörtgen kesitli modellerde 3, 4, 5 katlı binalar için 5 farklı kolon kesiti S2, S3, S4, S5 ve S6 olarak etiketlenmiştir. Bu kolonlar tüm katlarda aynı kesite sahiptir. 6, 7, 8, 9 ve 10 katlı binalar için bu kolonlar yine benzer şekilde kalıp planında S2, S3, S4, S5 ve S6 olarak gösterilmiştir. Fakat bu binaların katlarında kesit daralması dikkate alındığı için kolon kesitleri de kat bazında değişim göstererek toplam 10 farklı kolon kesiti kullanılmıştır (Tablo 2.1). Ayrıca Tablo 2.1’de verilen bina modelleri kat sayısına göre etiketlenmiştir. Örneğin; 10a ve 10b, sırasıyla 10 katlı kare ve dikdörtgen kesitli kolonlara sahip bina modellerini temsil etmektedir.

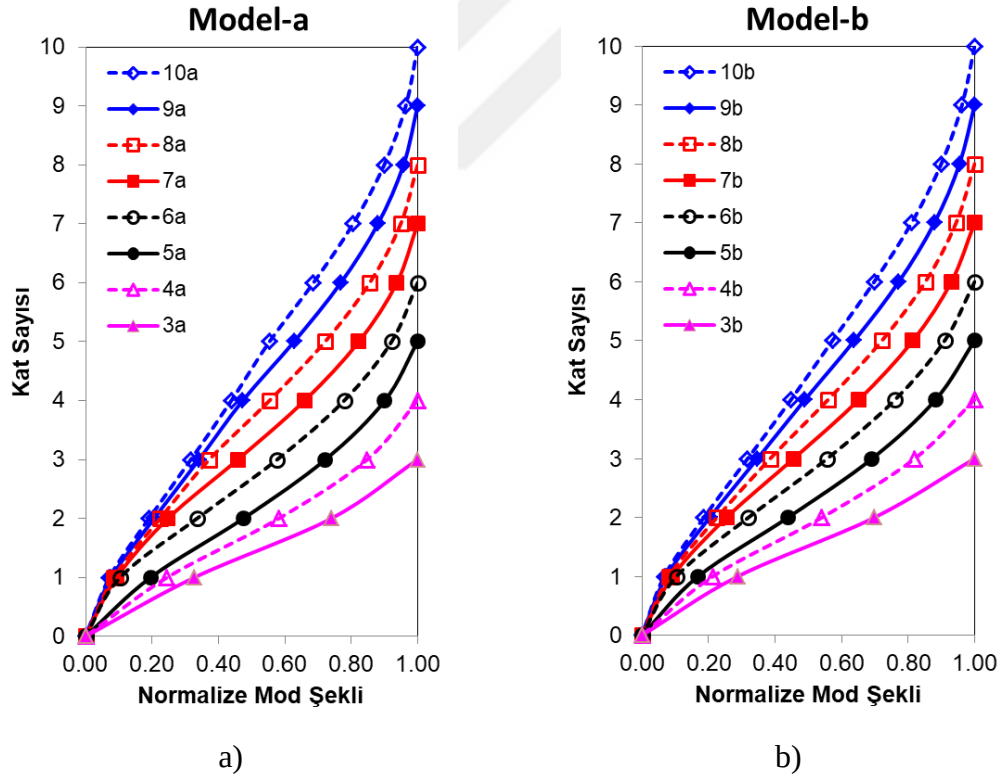
Tablo 2.3’te farklı dinamik özelliklere sahip bina modellerinin kat sayılarına göre baskın titreşim periyotları (T_p), normalize edilmiş sismik taban kesme dayanımları, (V_y / W), kütle katılım oranları (α_1), modal katkı çarpanları (PF) ve modal kapasite eğrisinden elde edilen eşdeğer (sözde) akma ivme değerleri (C_y) katılım verilmiştir. Ayrıca 3B modelleri eşdeğer TSD sistemlere dönüştürmek için ihtiyaç duyulacak olan normalizemod şekilleri Şekil 2.4’ te ve Tablo 2.3 ve Tablo 2.4’ te verilmiştir.

Tablo 2.3:Dikdörtgen bina modellerinin dinamik karakteristik özellikleri

Model	Kat Sayısı	Periyot $T_p(s)$	α_1 (Kütle katılım oranı)	Dayanım Oranı(Taban Kesme Dayanımı / Sismik Ağırlık)(V_y/W)	PF (Modal Katkı Çarpanı)	C_y
3b	3	0.43	0.83	0.280	1.29	0.337
4b	4	0.59	0.82	0.208	1.30	0.254
5b	5	0.75	0.81	0.167	1.30	0.206
6b	6	0.86	0.78	0.149	1.31	0.191
7b	7	0.99	0.77	0.132	1.31	0.171
8b	8	1.12	0.77	0.116	1.32	0.151
9b	9	1.26	0.77	0.103	1.33	0.134
10b	10	1.39	0.78	0.093	1.33	0.119

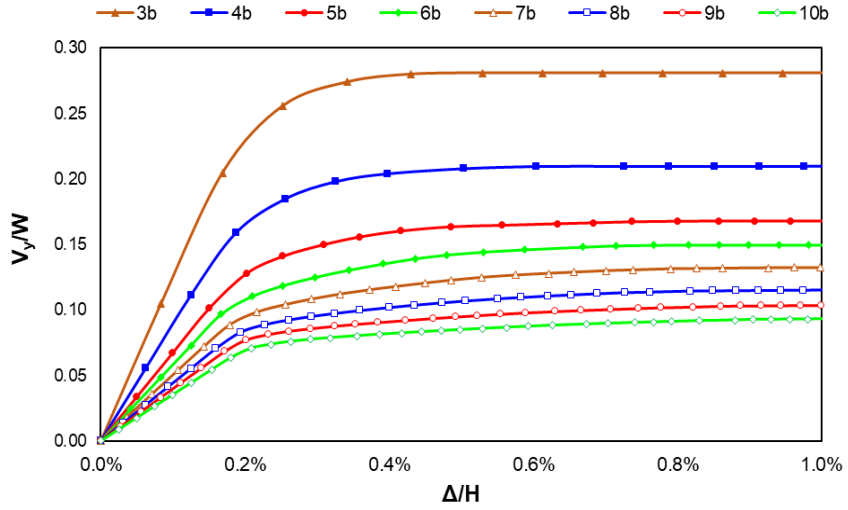
Tablo 2.4:Kare bina modellerine ait dinamik karakteristik özellikler

Model	Kat Sayısı	Periyot $T_p(s)$	α_1 (Kütle katılım oranı)	Dayanım Oranı(Taban Kesme Dayanımı / Sismik Ağırlık)(V_y/W)	PF (Modal Katkı Çarpanı)	C_y
3a	3	0.49	0.86	0.239	1.27	0.278
4a	4	0.66	0.84	0.180	1.28	0.214
5a	5	0.83	0.83	0.143	1.28	0.172
6a	6	0.94	0.78	0.131	1.29	0.168
7a	7	1.07	0.77	0.117	1.31	0.152
8a	8	1.19	0.77	0.103	1.32	0.134
9a	9	1.32	0.77	0.091	1.33	0.118
10a	10	1.45	0.77	0.081	1.34	0.105

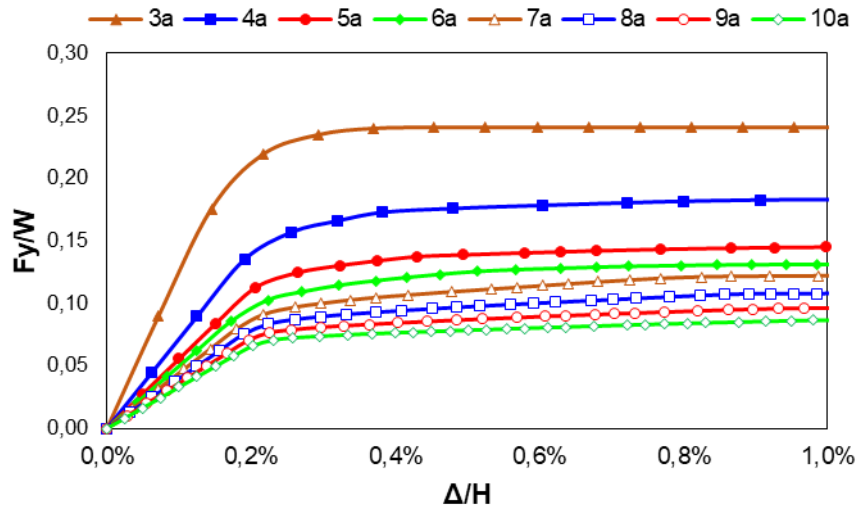


Şekil 2.3:Tüm bina modellerinin normalizasyon mod şekilleri a) kare kesitli modeller b) dikdörtgen kesitli modeller

Dikdörtgen kesitli bina modellerinin kapasite eğrileri amacıyla Şekil 2.4'te, kare kesitli bina modellerinin kapasite eğrileri Şekil 2.5'te verilmiştir. Δ/H çatı deplasmanının bina yüksekliğine oranını temsil etmektedir.



Şekil 2.4: Dikdörtgen Kesitli bina modellerinin kapasite eğrileri



Şekil 2.5: Kare Kesitli bina modellerinin eğrileri

Tablo 2.5:Kare kesitli bina modellerinin normalizemod şekil değerleri

Kat Sayısı	Modeller							
	10a	9a	8a	7a	6a	5a	4a	3a
10	1.00							
9	0.96	1.00						
8	0.90	0.96	1.00					
7	0.81	0.88	0.95	1.00				
6	0.69	0.77	0.86	0.94	1.00			
5	0.55	0.63	0.72	0.82	0.92	1.00		
4	0.44	0.47	0.55	0.66	0.78	0.90	1.00	
3	0.32	0.34	0.37	0.46	0.58	0.72	0.85	1.00
2	0.19	0.21	0.22	0.25	0.34	0.48	0.58	0.74
1	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10	0.20	0.25	0.33

Tablo 2.6:Dikdörtgen kesitli bina modellerinin normalizemod şekil değerleri

Kat Sayısı	Modeller							
	10b	9b	8b	7b	6b	5b	4b	3b
10	1.00							
9	0.96	1.00						
8	0.90	0.95	1.00					
7	0.81	0.88	0.94	1.00				
6	0.70	0.77	0.85	0.93	1.00			
5	0.57	0.64	0.72	0.81	0.91	1.00		
4	0.45	0.49	0.56	0.65	0.76	0.88	1.00	
3	0.32	0.35	0.39	0.46	0.56	0.69	0.82	1.00
2	0.19	0.20	0.23	0.25	0.32	0.44	0.54	0.70
1	0.07	0.07	0.08	0.09	0.10	0.17	0.21	0.29

2.3 Doğrusal Elastik Olmayan Analiz ve Bina Davranışı

Doğrusal olmayan analizlerde, taşıyıcı sistemin doğrusal analiz için gerekli olan verilerinin yanı sıra, taşıyıcı sistem elemanlarının donatı düzeni gibi ek bilgiler de gereklidir. Bu ek bilgiler, elemanların doğrusal olmayan davranışlarını doğru bir şekilde modellemek için kullanılır.

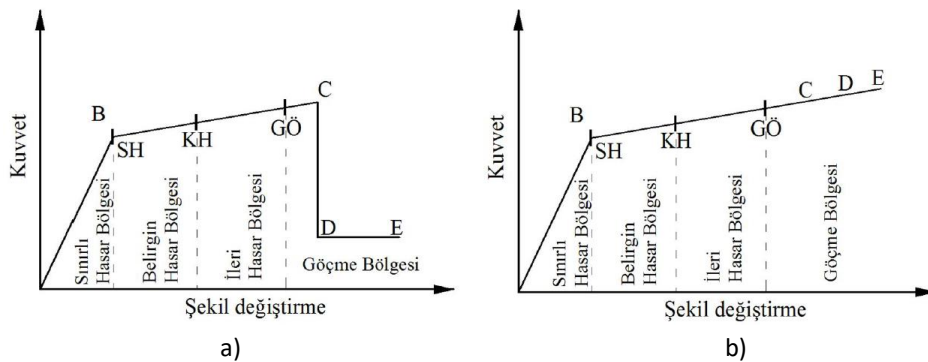
Bu yöntemlerin en büyük avantajı, yapı elemanlarının doğrusal ötesi davranışlarının dikkate alınabilmesi ve artan yükler altında, taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerine ulaştıkça, taşınamayan yüklerin nasıl dağıldığının analiz

edilebilmesidir. Böylece, yapıların gerçek performansı hakkında daha kapsamlı ve doğru bir değerlendirme yapılabilir.

Betonarme elemanlar, artan sismik yüklemeler altında doğrusal elastik olmayan bir davranış sergiler ve bu durum, plastik şekil değiştirmelere yol açar. Deprem gibi yanal kuvvetlerin etkisiyle, özellikle kolon ve kiriş gibi taşıyıcı elemanların uç kısımlarında plastik deformasyonlar gözlemlenir. Yapının deformasyonları, genellikle belirli bir kesitte yoğunlaşır, bu da plastik mafsallık kavramını ortaya çıkarır.

Plastik mafsallar, yapı elemanlarının belirli bölgelerinde kalıcı şekil değişikliklerinin meydana geldiği ve bu bölgelerde malzemenin plastik bölgeye geçtiği noktaları ifade eder. Bu davranış, yapıların deprem gibi yanal yükler altında dayanımını sınırlayan önemli bir etkidir ve yapının davranışını doğrusal elastik modelden saparak doğrusal elastik olmayan bir modele dönüştürür. Plastik mafsalların oluşumu, yapının enerji sönümleme kapasitesine katkıda bulunur, ancak aynı zamanda yapısal hasar riskini artırır.

Şekil 2.5’ te eğilme mafsallı hasar sınırları performans kriterleri olan SH (Sınırlı Hasar), KH (Kontrollü Hasar), GÖ (Göçmenin Önlenmesi) noktaları verilmiştir. B noktası kesitin akma sınırındır. Kesitin akma noktasına ulaşıldıktan 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 2.6: a) Plastik mafsallık tipik kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi b) göçmenin olmadığı durum

Bu hasar sınırları TBDY-2018'e göre betonarme elemanlarda izin verilen hasar sınırları Tablo 2.7'da verilmiştir. TBDY-2018'de Mander tarafından önerilen sargılı beton modeli kullanılmaktadır.

Tablo 2.7: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' te bulunan parametreler aşağıda verilmiştir.

ω_{we} : etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı

α_{se} : sargı donatısı etkinlik katsayısı

$\rho_{sh,min}$: dikdörtgen kesitte iki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanı

f_{ywe} : enine donatının ortalama (beklenen) akma dayanımı

Donatı çeliğin 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, $\frac{V_e}{b_w d f_{ctm}} < 0.65$ ise yeni binalar için verilen şekil değiştirme üst sınırları geçerlidir. Kesme kuvveti oranı 1.30'dan büyük olduğu takdirde, yeni binalar için hesaplanan şekil değiştirme üst sınırları 0.50 ile çarpılarak azaltılır. Kesme kuvveti oranı bu değerler arasında yer alıyorsa, doğrusal enterpolasyon yöntemi ile ara değerler hesaplanır.

Tablo 2.8: İzin verilen şekil değiştirme hasar 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)	$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - \frac{0.5 L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right]$

2.4 Eşdeğer Tek Serbestlik Dereceli Sistem

Eşdeğer Tek Serbestlik Dereceli (TSD) sistem, binanın kütle dağılımını, mod şeklini ve binanın baskın modundaki tepki verirken yanal yük-deformasyon (kapasite eğrisi) tepkisinin bilgisini gerektirir. Binanın baskın modunda statik tepkisi, şekil vektörü ve kütle dağılımıyla tutarlı yanal yüklerin uygulandığı doğrusal olmayan statik (itme) analiziyle belirlenir. Yapının karakteristik bir noktasındaki yer değiştirmesi izlenir. Karakteristik nokta genellikle binalar için çatı seviyesinde olacak şekilde seçilir.

İtme analiziyle elde edilen kapasite eğrisi genellikle eğriseldir. Bu kapasite eğrisine dayalı bir eşdeğer TSD sisteminin doğrusal olmayan dinamik tepkisi, kapasite eğrisine doğrusal bir eğri veya iki doğrusal bir eğri yerleştirilerek bireysel yer hareketi kayıtları için hesaplanabilir. Bilinear bir eğri uydurulursa, tepki, BISPEC (Hachem, BiSpec) veya Prism gibi doğrusal olmayan dinamik analiz için yaygın bilgisayar programlarında bulunan basit histeretik modeller kullanılarak hesaplanabilir.

Literatürde eşdeğer bir TSD sistemi oluşturmak için çeşitli teknikler önerilmiştir (örneğin, ATC-40 1996 ve FEMA-356 2000). Tüm tekniklerde ortak olan temel varsayım, tek bir şekil vektörünün, çok serbestlik dereceli (ÇSD) sisteminin tepki geçmişi boyunca normalize edilmiş şeklini temsil etmesidir. Daha sonra, ÇSD sisteminin görelî yanal yer değiştirmeleri, $u(t)$ (denklem 2.2), şu şekilde tanımlanabilir:

$$u(t) = \emptyset u_{\text{çatı}}(t) \quad (2.2)$$

Denklem 2.2' de $u_{\text{çatı}}$ binanın çatı seviyesindeki yer değiştirmesi ve $\emptyset$ = çatı seviyesinde birlik değerine sahip olacak şekilde normalize edilen şekil vektörüdür.

Akma dayanımı katsayısı, akma yer değiştirmesi ve akma sonrası rijitlik parametreleri binaların eşdeğer TSD modellerini tanımlar. FEMA-356 ve ATC-40, bina kapasite eğrisinin eşdeğer TSD gösterimi için rehberlik sağlar. Eşdeğer TSD sisteminin akma yer değiştirme gösterimi hem FEMA-356 hem de ATC-40 yönetmelikleri için aynı olsa da, akma dayanımı katsayısı gösterimleri farklıdır. FEMA-440 (2005), her iki "eşdeğer" SDOF sisteminin performansını karşılaştırmış ve ATC-40 gösteriminin kullanılmasını önermiştir. Bu nedenle, ilk mod vektörü için üretilen her binanın kapasite eğrisi, akma yer değiştirmesi, Δ_y (denklem 2.3), ve akma dayanımı katsayıları, C_y 'nin (denklem 2.4) aşağıdaki şekilde verildiği ATC-40 gösterimi kullanılarak bir eşdeğer TSD sistemine dönüştürülebilir.

$$\Delta_y = \frac{\Delta_{y,\text{çatı}}}{PF} \quad (2.3)$$

$$C_y = S_a/g = \frac{V_y/W}{\alpha_1} \quad (2.4)$$

Burada $\Delta_{y,\text{çatı}}$ = akma anındaki çatı yer değiştirmesi, PF ilk (baskın) mod katılım faktörü, S_a = eşdeğer TSD sisteminin akmasıyla ilişkili psödo-ivme, g = yer çekimi ivmesi, V_y = çok serbestlik dereceli (ÇSD) sistemin veya binanın akma anındaki taban kesme dayanımı, W = ÇSD sisteminin sismik ağırlığı ve α_1 = ilk modun modal kütle katsayısıdır. Eşdeğer TSD sisteminin yer değiştirme talebi, u^* , mevcut tekniklerden birini kullanarak tahmin edilebilir. Örneğin, uygun R- μ -T ilişkileriyle elde edilen düzleştirilmiş bir tasarım spektrumu FEMA-356(FEMA-356 2000) ve FEMA-440(FEMA 2009)'taki yer değiştirme katsayısı yöntemleri ve bir veya daha fazla yer hareketine karşı TSD tepkisinin doğrudan hesaplanması. u^* tahmin edildikten sonra, ÇSD sisteminin yer değiştirmesi varsayılan şekil vektörü kullanılarak belirlenir. Örneğin, bina uzunluğu boyunca yer değiştirmeler şu şekildedir:

$$u = \emptyset PF u^* \quad (2.5)$$

Her binanın elastik olmayan dinamik karakteristiği, iki doğrusal eşdeğer TSD sistemiyle temsil edilebilir. Sismik yer değiştirme talebi, bu TSD sisteminin, seçili yer hareketleri altında zaman tanım alanında dinamik analizine tabi tutulmasıyla elde edilebilir. Bu çalışmada, eşdeğer TSD doğrusal olmayan tepki analizleri, Prism programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eşdeğer TSD yer değiştirme talepleri daha sonra, ilk mod katılım faktörü (modal katkı çarpanı) PF ve ilgili kattaki normalizemod şekli ($\emptyset$) ile çarpılarak ilgili kat seviyesindeki bina yer değiştirme taleplerine dönüştürülmüştür.

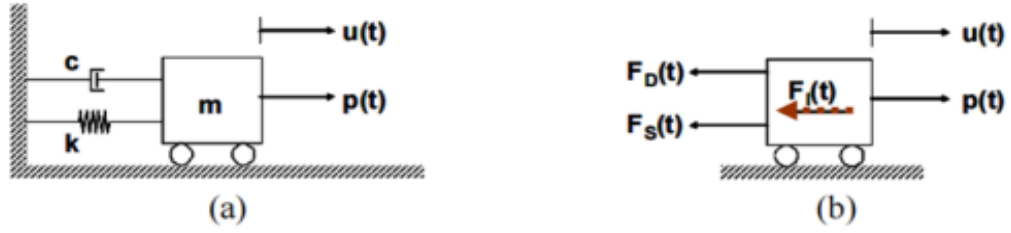
2.5 Tek Serbestlik Dereceli Sistemler

2.5.1 Genel

Mekanik sistemlerde yalnızca bir tane serbestlik derecesine sahip olan, bir yönde hareket edebilen sistemlerdir. Bu tür sistemler, genellikle temel mühendislik analizlerinde yer alır ve titreşim analizi, denge analizi gibi durumlarda önemli bir rol oynar. Tek serbestlik dereceli sistemlerin en basit örneği, bir kütle, yay ve sönüm elemanından oluşan sistemlerdir.

2.5.2 Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin Modellenmesi

Tek serbestlik dereceli sistemde, sistemin hareketi genellikle bir doğrusal yol boyunca ve genellikle zamanla değişen bir biçimde gözlemlenir. En yaygın örneklerden biri, bir kütle (m), yay (k) ve sönüm elemanından oluşan sistemdir. Bu tür bir sistemde, sistemin hareketi sadece bir yönde (x-yönü veya z-yönü gibi) incelenir. TSD sistemlerinin davranışı, mesnet koşulları ve hareket denkleminin başlangıç koşulları dikkate alınarak elde edilen çözümü belirlemektedir (Celep ve Kumbasar 2004). Şekil 3.1’ de, TSD sisteminin matematiksel modeli sunulmuştur.



Şekil 2.7:TSD Matematiksel Model

Tek serbestlik dereceli sistemlerde, genellikle hareketin denklemi, Newton'un ikinci yasasına göre kurulabilir. Bu yasa, kuvvetlerin kütleye uyguladığı ivme ile ilişkisini gösterir.

$$mu'' + cu' + ku = p(t) \quad (2.6)$$

Denklem 2.6, sistemin dinamik davranışını tanımlar. Sistemde dış bir kuvvet yoksa, bu denklem serbest titreşim (doğal frekansla ilgili) olarak ele alınabilir. Denklemdaki simgeler aşağıda açıklanmıştır:

- **Kütle (m):** Sistemdeki kütle, genellikle Newton cinsinden
- **Yay Sabiti (k):** Yayın sertliğini belirler ve genellikle Newton/metre (N/m) biriminde
- **Sönüm Katsayısı (c):** Sönüm, sistemdeki enerjinin kaybını gösteren bir parametredir ve genellikle Ns/m cinsinden
- **P(t) :** Zamanla değişen kuvvet
- **U(t) :** Yer değiştirmesi

Tek serbestlik dereceli sistemlerin analizi, mühendislik problemlerinin çözülmesinde kritik bir öneme sahiptir. Bu tür sistemlerin dinamik davranışlarını anlamak, titreşimlerin kontrolü ve yapısal güvenlik açısından büyük bir avantaj sağlar. Araçların süspansiyon sistemlerinde, zemin titreşimlerinin araç üzerine etkisini incelemek için TSD sistemleri kullanılır. Binaların veya köprülerin yer hareketlerine karşı nasıl tepki verdiği, TSD sistemlerinin analiz edilmesiyle anlaşılır.

Tez çalışmasında, doğrusal olmayan TSD sistemlerin zamana bağlı yer hareketi etkisindeki hareket denkleminin çözümü için sayısal integrasyon yöntemi kullanan Prism v2.0.1 isimli programı (Jeong ve diğ. 2010) kullanılmıştır.

Tez kapsamında tek serbestlik dereceli yapıların titreşim periyotları, Kamal ve İnel (2022) tarafından 3B olarak modellenen binaların değerlerini kapsayacak şekilde (T) 0.43-0.59-0.75-0.86-0.99-1.12-1.26-1.39 olarak ele alınmıştır. Yatay dayanım oranı (F_y/W) yine aynı 3B bina modellerini temsil etmesi için dikdörtgen modellerde 0.28-0.208-0.167-0.149-0.132-0.116-0.103-0.093, kare modellerde 0.239-0.180-0.143-0.131-0.117-0.103-0.091-0.081 olarak dikkate alınmıştır. Analizlerde $\xi=0,05$ sönüm oranı seçilip, TSD sistemlerin doğrusal elastik olmayan davranışını gözlemlemek için çevrimsel davranış modeli kullanılmıştır. Özetle, 16 farklı yatay dayanım oranı, 16 farklı titreşim periyodu, bir çevrimsel modeli ve 56 adet TSD sistem modeli kullanılmaktadır.

Yapının doğrusal olmayan davranışının değerlendirilmesinde önemli bir parametre, yer hareketi sonucu yapıya aktarılan enerji miktarıdır. Bu enerjinin bir kısmı çevrimsel enerji olarak birikir ve çevrimsel davranış aracılığıyla yapı içinde dağılır, yapısal hasarla doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle çevrimsel enerji, tasarım aşamalarında dikkate alınması gereken bir parametre olarak kullanılabilir (Bertero ve Teran, 1994).

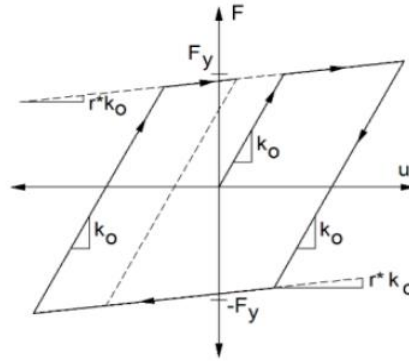
Bu çalışmada, doğrusal olmayan davranışların analizinde kullanılan çevrimsel modeller arasında Elastik-Mükemmel Plastik Model (EMP) yer almaktadır. Bu model, yapının yer hareketi esnasında gösterdiği çevrimsel davranışları daha iyi anlamak ve tasarımdaki doğrusal olmayan etkileri doğru bir şekilde değerlendirebilmek için kullanılmaktadır. Bu bağlamda, çevrimsel enerjinin rolü yapının güvenliğini ve performansını değerlendirmede kritik bir faktör olarak ön plana çıkmaktadır.

2.5.3 Çevrimsel Davranış Modelleri

2.5.3.1 Elastik-Doğrusal Pekleşen (EDP) model

Tek Serbestlik Dereceli yapıların (TSD) doğrusal elastik olmayan davranışını dikkate alan çevrimsel modellerden biri ise, Elastik-Doğrusal Pekleşen (EDP) modeldir.

Bu model literatürde bilinear model olarak da isimlendirilir. Bu döngüsel modelin davranışında akma dayanımı (F_y), başlangıç rijitliği (k_0) ve akma sonrası rijitlik ($r k_0$) parametreleri ile tanımlanır ve akma dayanımına ulaşıldıktan sonra, başlangıç rijitliğine oranla daha düşük bir rijitlikle pekleşme ve plastik şekil değiştirmeler başlamaktadır. Yük boşaltma sırasında elastik deformasyonlar geri dönerken, plastik deformasyonlar geri dönmeyecektir. Yükleme ve boşaltma esnasında rijitlikte bir değişme olmamaktadır.



Şekil 2.8: %5 akma sonrası rijitliği olan Elastik-Doğrusal Pekleşen (bilinear) model

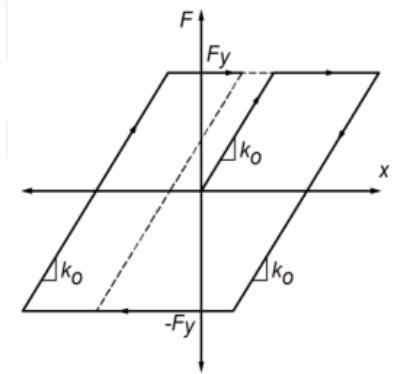
2.5.3.2 Elastik Mükemmel Plastik Model

Elastik-Mükemmel Plastik Modeli, bir yapının doğrusal elastik ve plastik davranışlarını birleştiren bir modeldir. Bu model, yapı elemanlarının depremler veya diğer dinamik yükler altında nasıl tepki verdiğini anlamak ve analiz etmek için yaygın olarak kullanılır. Yapı elemanlarının güvenliği ve performansı hakkında bilgi sağlamak için elastik-mükemmel plastik modeli, mühendisler tarafından tasarım parametrelerinin belirlenmesinde kullanılır. Modelin basitliği ve uygulama kolaylığı,

elastik ve plastik davranışı ayrı ayrı ele alarak daha karmaşık sistemlerde kullanılmasını sağlar. Modelin temel özelliği, yapı elemanlarının başlangıçta elastik, yani gerilme ile gerilme oranı (deformasyon) arasında doğrusal bir ilişki gösterdiği, ancak belirli bir gerilme seviyesinin üzerine çıkıldığında plastik davranışa geçmesidir.

Yükler küçük olduğunda, yapının deformasyonları tamamen elastiktir. Bu, malzemenin stres-strain (gerilme-deformasyon) eğrisinin doğrusal olduğu anlamına gelir. Elastik bölgede, malzeme yük kaldırılınca eski haline döner; yani kalıcı bir deformasyon meydana gelmez.

Yapı, elastik sınırını aştığında plastik deformasyon başlar. Bu noktada, yapı elemanı kalıcı bir şekil değişikliği geçirir ve yük kaldırıldığında bu deformasyon kalır. Elastik-Mükemmel Plastik Modeli'nde, plastik bölgeye geçildikten sonra yapı elemanındaki deformasyonlar artar ancak gerilme sabit kalır. Gerilme değeri sabitken deformasyon sürekli olarak artar. Yapının plastikleşmeye başladığı noktada, malzemenin akma gerilmesi (σ_y) sabit bir değere ulaşır. Akma gerilmesi, malzemenin kalıcı deformasyona uğramaya başladığı ve elastik sınırı aştığı noktayı ifade eder.



Şekil 2. 9 :Elastik - Mükemmel Plastik çevrimsel davranış modeli

Elastik davranışın sonunda akma dayanımına (F_y) ulaşılmakta ve dayanımda bir artış olmaksızın elastik ve plastik deplasmanlar meydana gelmektedir. Yük boşalması esnasında, elastik şekil değiştirmeler geri dönerken plastik şekil değiştirmeler kalmaktadır. Yükleme ve yük boşalması esnasında rijitlikte (k_0) bir değişme oluşmamaktadır (Celep 2008).

Bu çalışmada çevrimsel model olarak Elastik-Mükemmel Plastik Modeli kullanılmıştır.

3.İVME KAYDI SEÇİMLERİ

Deprem sırasında yapının doğrusal elastik ötesi davranışı, yapı elemanlarının hasar görme mekanizması, plastik mafsal oluşumlarına bağlı olarak yapıya etkiyen yüklerin yapı elemanları arasında yeniden dağılımı gibi konularda bilgi almak ancak doğrusal elastik olmayan malzeme davranışı da dikkate alınarak yapılacak zaman tanım alanında analiz ile mümkündür (Katsanos ve diğ. 2010).

Deprem ivme kaydı seçimi, yapısal analizlerde oldukça önemli olup, yapıların gerçek davranışlarını daha doğru bir şekilde modellememize ve deprem hasarlarını daha iyi anlamamıza yardımcı olmaktadır. Uygun ivme kaydını elde edebilmek için tasarım spektrumları ile uyumlu yapay ivme kaydı üretimi, benzetim yolu ile ivme kaydı türetimi ve gerçek depremlerin kullanımı şeklinde yöntemler kullanılmaktadır (Abrahamson 1992,Bommer ve Acevedo 2004,Boore 2003).

Analizlerde kullanılacak olan deprem kayıtları için PEER (Pacific Earthquake Engineering Research) veri tabanı kullanılmıştır. Deprem kayıtlarının bulunduğu bu veri tabanındaki depremlerin büyüklüğü, fay tipi, kaydın istasyonuna ait zemin özellikleri ve faya olan uzaklıkları değişkendir. Bu sebeple deprem kayıtlarının seçimi, tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları, yerel zemin koşulları dikkate alınarak yapılacaktır.

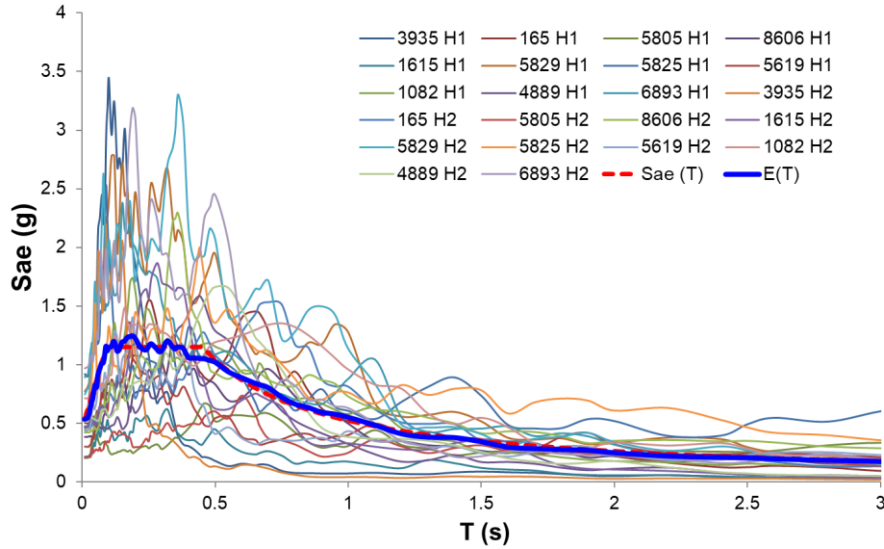
Bu çalışmada, zaman tanım alanında analizler için Deprem Yönetmeliği ile uyumlu gerçek ivme kaydı setleri kullanılmıştır. TBDY-2018' e göre zaman tanım alanında yapılacak analizlerde kullanılacak ivme kayıtları seçiminde kriterler bulunmaktadır.

- Deprem kaydı takımlarının sayısı en az 11 olmalıdır.
- Aynı depremden seçilecek kayıt ve kayıt takımı sayısı 3' ü geçmemelidir.
- Her bir deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde

edilmektedir. Tüm bileşke spektrumların ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin, %5 sönümlü yatay elastik tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranı 1.3'ten daha küçük olmamalı ve buna göre deprem yer hareketi bileşenleri ölçeklendirilmelidir.

- Her iki yatay bileşenin ölçeklendirilmesi aynı ölçek katsayıları ile olmalıdır.

Bu çalışmada, Kamal ve İnel (Kamal and Inel 2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmadaki ivme kayıtları kullanılmıştır. İvme kaydı seçim süreçleri ile ilgili bilgiler bu bölümde sunulmamış olup ilgili çalışmada detaylı olarak yer almaktadır.



Şekil 3.1: Ölçeklendirilmiş kayıtların ivme spektrumları ve ivme spektrumlarının ortalaması, E(T)

Tablo 3.1: 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

Tez kapsamında, kat sayısı 3 ila 10 kat arasında değişen binalar eşdeğer TSD sistemlere dönüştürülerek ikili modeller oluşturulmuştur. TBDY ile uyumlu seçilen ivme kayıtları kullanılarak eşdeğer TSD sistemlerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir.

Ele alınan TSD sistemlerin periyot değerleri (T) 0.43s-1.39s arasında iken, yatay dayanım oranı (F_y/W) ise 0.28-0.093 aralığında değişmektedir. 16 farklı TSD sistem için toplamda 56 farklı ikili model türetilmiştir. Her bir ikili modelde 22 adet ivme kullanılarak toplamda 1232 adet zaman tanım alanında dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında dikkate alınan ikili modellere ait isimlendirme Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’ de verilmiştir.

Tablo 4.1:İkili bina modelleri (kare modeller)

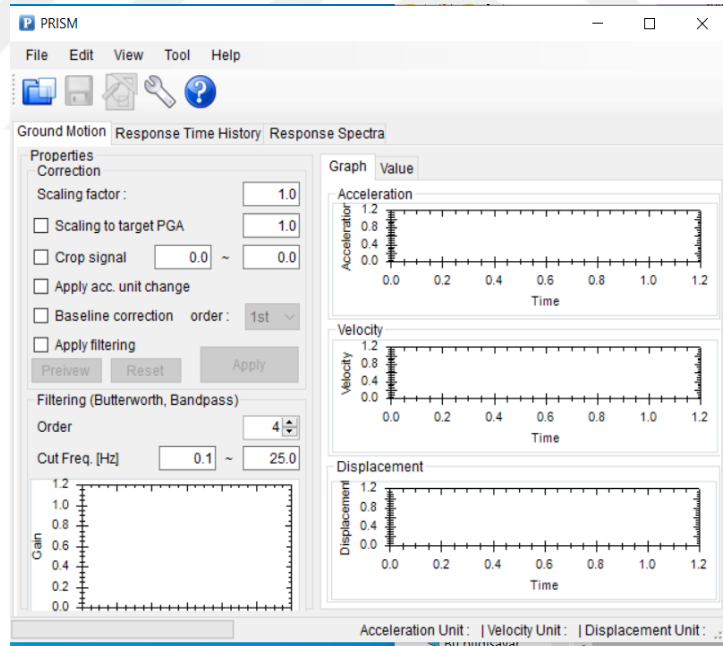
Model	10	9	8	7	6	5	4
3a	10a-3a	9a-3a	8a-3a	7a-3a	6a-3a	5a-3a	4a-3a
4a	10a-4a	9a-4a	8a-4a	7a-4a	6a-4a	5a-4a	-
5a	10a-5a	9a-5a	8a-5a	7a-5a	6a-5a	-	-
6a	10a-6a	9a-6a	8a-6a	7a-6a	-	-	-
7a	10a-7a	9a-7a	8a-7a	-	-	-	-
8a	10a-8a	9a-8a	-	-	-	-	-
9a	10a-9a	-	-	-	-	-	-
10a	-	-	-	-	-	-	-

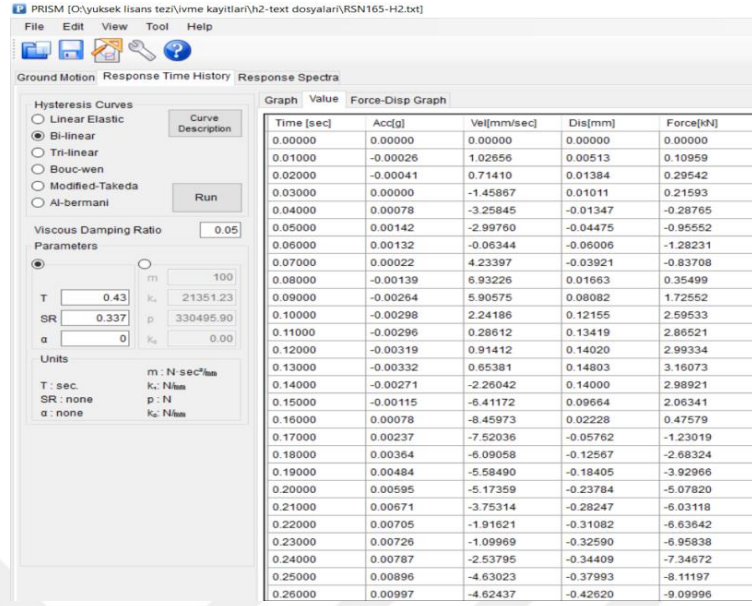
Tablo 4.2: İkili bina modelleri (dikdörtgen modeller)

Model	10	9	8	7	6	5	4
3b	10b-3b	9b-3b	8b-3b	7b-3b	6b-3b	5b-3b	4b-3b
4b	10b-4b	9b-4b	8b-4b	7b-4b	6b-4b	5b-4b	-
5b	10b-5b	9b-5b	8b-5b	7b-5b	6b-5b	-	-
6b	10b-6b	9b-6b	8b-6b	7b-6b	-	-	-
7b	10b-7b	9b-7b	8b-7b	-	-	-	-
8b	10b-8b	9b-8b	-	-	-	-	-
9b	10b-9b	-	-	-	-	-	-
10b	-	-	-	-	-	-	-

4.2 TSD Sistemlerin Tanımlanması

TSD sistemlerin doğrusal elastik olmayan dinamik analizlerin gerçekleştirilebilmesi için Prism programı kullanılmıştır. Öncelikle, seçilen ivme kayıtlarının Prism programına aktarılması sağlanmıştır. Kayıtların tanımlanması için programdaki gerekli adımlara ait ara yüz Şekil 4.1 ve 4.2’ de verilmiştir.

**Şekil 4. 1:** Prism Programına giriş



Şekil 4. 4 : Analiz sonuçları

4.3TSD Sistemlerin Dinamik Analiz Sonuçları ve Derz Mesafe Hesabı

3 ila 10 kat arasında değişen 3B bina modellerinin eşdeğer TSD sistemleri oluşturulmuştur. Bu eşdeğer TSD sistemlerin her biri için 22 farklı ivme kaydı kullanılarak zaman tanım alanında dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda eşdeğer TSD sistemler için elde edilen çatı deplasman talepleri, her bir binanın modal katkı çarpanı, ilgili kattaki normalizemod şekli dikkate alınarak ÇSD sistemlerin tüm katlarındaki deplasman talepleri hesaplanmıştır. ÇSD sistemlere dönüştürülen bu kat deplasman talepleri kullanılarak ikili modellerin her bir katındaki gerekli derz mesafeleri belirlenmiştir. Minimum boşluk mesafeleri Denklem 5.1 ile hesaplanmıştır. $u_1(t)$ ve $u_2(t)$ her bir zaman adımı için eşdeğer TSD sistemden ÇSD sistemlere dönüştürülen bitişik binaların sismik çarpışmanın gerçekleştiği kattaki yanal deplasmanları temsil etmektedir. Örneğin 7 ve 4 katlı binaların 4. katındaki yanal ötelenmelerinin mutlak değerce en büyük fark değeri, bu binalar için minimum gerekli derz mesafesini sunmaktadır.

$$d = \max|u_1(t) - u_2(t)| \quad (4.1)$$

Eşdeğer TSD sistemler kullanılarak elde edilen derz mesafeleri, dikdörtgen modeller için Tablo 4.3' te, kare modeller için Tablo 5.6' de verilmiştir. Her bir ikili model için 22 adet ivme kaydının sonucu ve bu kayıtların ortalama değerleri hesaplanarak aynı tabloda sunulmuştur. Eşdeğer TSD sistemler kullanılarak hesaplanan bu ortalama derz mesafeleri, (Kamal and Inel 2022) tarafından 3B modeller için hesaplanan derz mesafeleri ile normalize edilmiştir. Elde edilen bu oranlar Tablo 5.9' te ve Şekil 5.5' te verilmiştir. Şekil incelendiğinde, eşdeğer TSD sistem kullanılarak belirlenen derz mesafeleri 3B modellere göre daha yüksek derz mesafeleri sunmuştur. Normalize edilen bu oranların ikili binaların periyot oranları arasındaki ilişki Şekil 5.5' te sunulmuştur. Basitleştirilmiş model olarak kullanılan TSD sistem daha tutucu sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Elde edilen oran değerleri ile periyot oranları arasındaki ilişki için basit bir fonksiyon değeri araştırılmıştır. 3B modellerin sonuçları temsil etmesi için Şekil 5.5' te yer alan bir eğri uydurulmuştur. Bu eğriye ait R^2 değeri, yaklaşık 0.61 olarak hesaplanmıştır. Bu değer korelasyon katsayısı olarak dikkate alındığında $R=0.78$ şeklinde elde edilir. Literatürde yer alan bir çok çalışmalara göre $R>0.7$ ve $R<0.9$ aralığı güçlü bir ilişkiyi temsil etmektedir. Bu doğrultuda ele alındığında, 3B modellerin yoğun iş gücü ve zaman gerektirmesinden dolayı, bitişik binalar arasındaki gerekli derz mesafelerin belirlenmesinde eşdeğer TSD sistemlerin kullanılabileceği söylenebilir.

Tablo 4.3: Eşdeğer TSD sistemler için hesaplanan gerekli minimum ayırma mesafeleri (cm)

Kayıtlar	Bitişik Bina Modelleri									
	4b-3b	5b-3b	5b-4b	6b-3b	6b-4b	6b-5b	7b-3b	7b-4b	7b-5b	7b-6b
1082-H1	9.55	10.07	10.40	12.89	9.73	9.80	15.70	13.15	15.36	11.55
1082-H2	10.82	9.22	13.09	9.67	15.10	10.71	10.44	18.01	12.85	10.36
1615-H1	2.83	3.47	3.80	3.78	4.36	3.71	3.39	4.65	5.52	4.91
1615-H2	8.05	12.51	11.91	10.10	9.29	7.62	9.77	9.10	7.85	6.05
165-H1	7.10	6.94	8.59	8.62	10.66	10.96	7.70	12.53	9.65	10.98
165-H2	8.32	16.39	14.09	13.58	13.15	7.06	12.62	14.17	10.14	6.65
3935-H1	1.32	1.67	1.82	1.38	1.61	1.36	1.50	1.68	1.84	1.83
3935-H2	1.35	2.03	2.10	1.42	1.57	1.02	1.40	1.57	1.14	1.00
4889-H1	4.12	5.61	6.61	4.82	5.20	4.81	7.57	7.40	6.06	7.71
4889-H2	6.77	8.62	7.81	8.05	8.67	7.75	6.74	7.59	9.89	10.57
5619-H1	4.94	5.08	6.36	6.61	8.61	7.85	8.64	12.46	14.04	8.72
5619-H2	5.23	5.88	4.84	8.55	8.75	9.89	8.58	9.53	10.96	8.36
5805-H1	4.98	6.27	6.06	5.40	6.08	4.37	5.53	7.94	8.14	9.27
5805-H2	4.91	5.13	4.73	4.52	7.99	8.85	4.28	7.99	9.34	4.79
5825-H1	10.23	17.69	17.88	17.93	19.99	17.04	21.66	26.50	20.89	16.86
5825-H2	22.37	22.61	9.92	20.57	12.53	11.09	14.11	24.94	26.10	21.93
5829-H1	11.41	10.08	18.98	11.18	24.99	11.24	11.04	24.65	15.80	11.90
5829-H2	22.47	18.50	21.59	22.42	28.49	11.98	18.77	25.52	14.83	11.50
6893-H1	12.45	15.89	24.48	12.26	21.87	15.75	17.37	28.98	19.79	17.71
6893-H2	7.44	15.48	16.87	12.22	16.22	9.72	11.36	16.71	17.81	14.74
8606-H1	12.18	7.67	18.48	7.05	18.17	5.50	8.26	21.89	10.89	12.45
8606-H2	8.00	12.16	13.40	11.79	16.15	7.00	11.88	18.80	16.08	13.62
Ort.	8.49	9.95	11.08	9.77	12.24	8.41	9.92	14.35	12.04	10.16
Maks.	22.47	22.61	24.48	22.42	28.49	17.04	21.66	28.98	26.10	21.93
Min.	1.32	1.67	1.82	1.38	1.57	1.02	1.40	1.57	1.14	1.00

Tablo 4.3 (devam): Eşdeğer TSD sistemler için hesaplanan gerekli minimum ayırma mesafeleri (cm)

Kayıtlar	Bitişik Bina Modelleri									
	8b-3b	8b-4b	8b-5b	8b-6b	8b-7b	9b-3b	9b-4b	9b-5b	9b-6b	9b-7b
1082-H1	9.84	12.48	12.02	18.46	27.09	7.15	17.46	20.72	29.61	41.15
1082-H2	12.08	18.09	18.43	12.18	10.14	13.70	21.01	14.31	16.85	12.71
1615-H1	3.57	4.11	6.38	6.13	5.79	4.35	3.77	5.91	8.20	7.47
1615-H2	5.86	12.49	18.00	14.69	16.88	6.82	9.86	15.51	14.62	16.06
165-H1	6.90	11.88	9.68	14.82	7.84	6.73	12.14	9.86	16.14	13.01
165-H2	11.30	13.53	9.85	9.46	8.01	8.69	11.37	15.47	16.60	17.64
3935-H1	1.67	2.14	2.43	3.02	2.74	1.88	2.65	2.95	2.80	3.24
3935-H2	1.30	1.69	1.56	1.29	1.11	1.58	1.78	1.61	1.49	1.38
4889-H1	8.07	8.26	7.36	9.81	6.54	8.82	9.60	9.95	13.12	10.09
4889-H2	6.59	7.93	12.05	16.19	9.81	6.26	7.70	10.61	13.77	11.58
5619-H1	9.83	13.64	17.87	14.41	8.40	9.94	13.11	18.01	16.22	14.27
5619-H2	6.98	6.72	8.69	12.82	9.59	6.49	7.33	10.54	15.80	15.51
5805-H1	6.91	9.75	12.14	15.47	10.35	6.21	8.58	11.72	15.71	16.63
5805-H2	5.51	7.43	7.60	11.21	12.35	5.67	9.02	11.28	9.30	10.93
5825-H1	23.70	31.96	23.66	31.24	22.00	21.75	33.77	26.72	37.22	39.08
5825-H2	13.36	26.56	31.84	28.15	10.80	10.64	34.10	42.16	41.60	28.97
5829-H1	13.78	18.25	21.45	22.03	20.52	10.50	17.66	16.12	19.69	20.71
5829-H2	16.19	22.81	12.47	13.87	16.51	16.83	18.11	17.80	22.77	30.79
6893-H1	20.21	38.36	25.23	36.42	23.88	14.33	26.67	17.51	22.30	20.26
6893-H2	11.10	16.99	19.94	18.30	16.10	6.77	10.45	25.60	26.11	21.19
8606-H1	5.16	16.98	11.56	11.82	13.54	8.09	22.52	13.70	12.92	10.73
8606-H2	12.64	23.41	25.62	25.96	16.73	13.13	24.80	27.60	31.10	27.22
Ort.	9.66	14.79	14.36	15.81	12.58	8.93	14.70	15.71	18.36	17.76
Maks.	23.70	38.36	31.84	36.42	27.09	21.75	34.10	42.16	41.60	41.15
Min.	1.30	1.69	1.56	1.29	1.11	1.58	1.78	1.61	1.49	1.38

Tablo 4.3 (devam): Eşdeğer TSD sistemler için hesaplanan gerekli minimum ayırma mesafeleri (cm)

Kayıtlar	Bitişik Bina Modelleri							
	9b-8b	10b-3b	10b-4b	10b-5b	10b-6b	10b-7b	10b-8b	10b-9b
1082-H1	23.28	6.65	17.13	19.47	28.88	41.00	23.43	8.53
1082-H2	15.11	14.87	23.13	17.47	19.03	19.39	24.33	12.77
1615-H1	5.69	4.75	5.45	6.72	9.25	8.59	8.84	8.10
1615-H2	9.30	8.73	8.58	12.03	10.74	12.81	18.97	15.04
165-H1	11.19	10.48	14.66	19.82	28.02	25.68	28.18	26.52
165-H2	12.26	8.48	12.46	18.02	18.37	20.68	16.89	9.81
3935-H1	2.45	2.09	2.88	3.32	3.68	3.50	3.98	2.78
3935-H2	1.47	1.54	2.13	2.14	2.15	2.51	2.31	1.77
4889-H1	7.13	8.02	10.59	11.01	15.05	12.57	10.83	11.40
4889-H2	12.34	5.62	7.15	10.29	11.64	11.92	13.98	7.02
5619-H1	10.38	7.96	10.41	14.10	12.00	12.03	13.71	13.09
5619-H2	12.82	10.43	11.94	14.78	12.52	15.83	22.40	22.26
5805-H1	11.08	6.63	10.48	15.83	20.17	22.33	20.96	14.74
5805-H2	10.11	6.34	11.25	10.78	12.44	11.84	13.05	9.76
5825-H1	23.73	18.54	29.36	28.44	33.32	35.68	27.92	24.90
5825-H2	23.68	16.43	25.82	29.28	27.34	20.73	20.72	24.55
5829-H1	15.13	9.37	16.74	16.23	22.05	23.45	25.96	11.59
5829-H2	19.19	26.00	19.77	34.74	44.73	53.29	46.46	38.74
6893-H1	25.67	16.26	32.04	19.81	34.32	23.70	27.79	19.57
6893-H2	19.16	8.55	11.54	25.08	26.89	24.38	26.27	11.90
8606-H1	17.69	7.93	21.78	12.79	11.52	15.20	17.70	10.63
8606-H2	18.67	10.81	17.86	14.95	15.13	15.28	24.50	30.17
Ort.	13.98	9.84	14.69	16.23	19.06	19.65	19.96	15.26
Maks.	25.67	26.00	32.04	34.74	44.73	53.29	46.46	38.74
Min.	1.47	1.54	2.13	2.14	2.15	2.51	2.31	8.53

Tablo 4.4: Eşdeğer TSD sistemler için hesaplanan gerekli minimum ayırma mesafeleri (cm)

Kayıtlar	Bitişik Bina Modelleri									
	4a-3a	5a-3a	5a-4a	6a-3a	6a-4a	6a-5a	7a-3a	7a-4a	7a-5a	7a-6a
1082-H1	17.38	12.17	12.09	17.88	11.82	11.51	11.59	14.83	8.93	19.46
1082-H2	6.04	16.57	16.55	14.70	17.25	8.05	15.01	17.76	10.50	6.09
1615-H1	3.73	3.82	3.98	4.48	4.97	4.52	3.79	6.39	5.56	5.85
1615-H2	10.62	7.46	10.79	9.33	9.16	5.96	8.21	18.27	12.91	16.46
165-H1	10.57	12.35	11.34	10.08	10.61	8.92	7.71	13.38	16.13	12.79
165-H2	11.13	15.96	10.57	14.95	11.74	9.43	13.44	11.74	7.87	10.81
3935-H1	2.26	1.79	2.01	1.62	2.36	1.57	1.83	2.34	2.53	2.43
3935-H2	1.82	1.44	1.58	1.14	1.59	0.73	1.15	1.78	1.14	1.11
4889-H1	8.63	5.01	5.62	8.39	5.31	5.35	9.31	5.71	7.60	7.25
4889-H2	6.40	7.83	7.68	6.42	7.23	8.72	7.03	9.31	12.61	7.84
5619-H1	7.45	10.11	9.11	9.57	8.28	9.17	7.65	15.17	10.52	14.31
5619-H2	4.12	8.43	10.14	8.20	10.26	6.17	7.50	12.24	8.47	7.14
5805-H1	4.69	6.00	7.32	5.03	6.77	5.60	8.15	11.61	10.27	12.44
5805-H2	5.11	6.65	9.59	6.20	8.43	3.77	5.22	7.61	9.84	12.25
5825-H1	12.22	18.76	24.13	20.91	28.62	13.10	21.89	32.99	19.39	16.23
5825-H2	18.86	12.66	15.92	12.77	25.25	15.00	12.88	33.46	26.52	15.45
5829-H1	8.17	16.10	15.03	14.27	14.52	8.93	11.69	21.00	13.29	12.76
5829-H2	17.66	33.68	26.50	27.64	21.45	13.53	22.75	19.26	16.02	12.18
6893-H1	11.03	17.10	18.82	19.75	23.59	10.21	25.86	30.63	27.37	29.15
6893-H2	8.42	14.87	12.63	13.88	13.56	13.36	13.91	15.17	21.29	12.79
8606-H1	8.19	9.99	13.82	10.31	15.06	7.50	8.72	15.30	9.39	9.57
8606-H2	10.75	16.34	10.55	15.65	13.98	7.80	16.49	22.21	21.72	20.27
Ort.	8.87	11.59	11.62	11.51	12.36	8.13	10.99	15.37	12.72	12.03
Maks.	18.86	33.68	26.50	27.64	28.62	15.00	25.86	33.46	27.37	29.15
Min.	1.82	1.44	1.58	1.14	1.59	0.73	1.15	1.78	1.14	19.46

Tablo 4. 4 (devam): Eşdeğer TSD sistemler için hesaplanan gerekli minimum ayırma mesafeleri (cm)

Kayıtlar	Bitişik Bina Modelleri									
	8a-3a	8a-4a	8a-5a	8a-6a	8a-7a	9a-3a	9a-4a	9a-5a	9a-6a	9a-7a
1082-H1	8.29	23.10	19.25	33.98	19.48	7.10	25.72	25.08	41.91	29.81
1082-H2	17.46	19.91	10.15	9.69	8.22	19.15	23.29	15.18	18.34	20.17
1615-H1	3.43	5.10	5.27	6.40	5.17	4.67	5.67	7.25	8.36	8.58
1615-H2	9.09	16.61	15.89	18.44	8.15	7.23	12.77	12.09	14.45	12.76
165-H1	8.17	15.34	15.40	13.79	10.04	7.87	17.19	24.05	24.96	23.58
165-H2	11.76	12.00	11.76	11.89	11.40	11.00	16.17	15.82	23.49	15.48
3935-H1	1.80	2.57	2.51	2.86	2.43	1.99	2.63	2.72	2.98	3.47
3935-H2	1.19	1.65	1.19	1.34	1.19	1.43	1.98	1.57	1.85	1.68
4889-H1	10.51	7.08	9.64	9.25	6.06	11.02	8.85	12.86	13.40	12.00
4889-H2	7.16	9.33	13.34	10.41	9.03	6.89	7.02	10.87	10.34	13.17
5619-H1	7.89	13.80	11.21	18.06	9.54	5.50	12.57	11.95	18.24	14.09
5619-H2	4.93	7.45	16.83	16.50	18.24	6.38	10.15	12.55	14.64	16.95
5805-H1	7.11	9.46	10.00	14.41	12.91	8.99	11.40	13.37	19.14	19.09
5805-H2	5.34	6.41	10.91	14.61	7.56	6.87	9.09	8.47	9.33	11.94
5825-H1	21.35	32.91	26.57	30.95	23.12	19.89	30.41	28.63	35.21	30.85
5825-H2	14.91	41.00	35.59	26.05	17.25	14.13	38.52	33.26	24.89	22.53
5829-H1	18.34	23.49	19.31	22.43	13.74	14.50	17.73	17.71	18.25	20.46
5829-H2	17.09	12.39	24.03	24.97	16.25	12.70	16.21	37.98	40.43	34.49
6893-H1	18.29	23.62	20.47	21.42	20.29	18.46	21.45	20.96	23.24	26.26
6893-H2	9.80	16.72	25.09	16.11	13.94	13.09	18.20	27.95	23.61	24.92
8606-H1	7.27	13.02	11.88	13.02	8.66	9.74	17.13	10.01	9.87	16.26
8606-H2	17.60	25.89	29.39	30.43	18.80	15.19	17.40	19.03	19.56	10.13
Ort.	10.40	15.40	15.71	16.68	11.88	10.17	15.53	16.79	18.93	17.67
Maks.	21.35	41.00	35.59	33.98	23.12	19.89	38.52	37.98	41.91	34.49
Min.	1.19	1.65	1.19	1.34	1.19	1.43	1.98	1.57	1.85	1.68

Tablo 4.4 (devam): Eşdeğer TSD sistemler için hesaplanan gerekli minimum ayırma mesafeleri (cm)

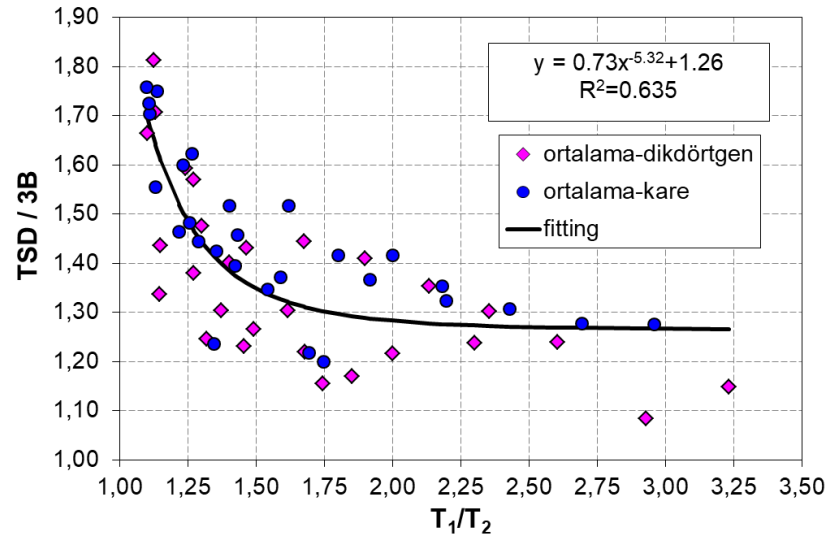
Kayıtlar	Bitişik Bina Modelleri							
	9a-8a	10a-3a	10a-4a	10a-5a	10a-6a	10a-7a	10a-8a	10a-9a
1082-H1	15.62	6.56	24.67	22.19	38.95	28.06	16.79	7.52
1082-H2	17.78	20.36	21.81	16.08	19.26	21.83	17.87	18.92
1615-H1	7.11	4.46	5.14	7.43	9.29	9.32	8.93	6.51
1615-H2	12.48	10.55	10.20	10.17	11.77	20.77	22.94	14.28
165-H1	20.47	8.07	17.16	23.94	24.78	22.68	25.71	27.72
165-H2	20.17	10.77	12.77	13.80	17.54	15.35	15.21	14.37
3935-H1	2.47	2.04	2.90	3.79	4.03	4.83	4.19	3.63
3935-H2	1.35	1.62	2.35	2.03	2.31	2.88	2.69	2.20
4889-H1	7.75	10.54	7.42	11.22	12.87	11.23	10.34	9.90
4889-H2	11.16	6.28	9.52	12.98	8.59	11.45	8.78	6.61
5619-H1	10.33	7.39	13.08	11.08	20.90	13.32	12.61	10.11
5619-H2	18.10	10.73	14.05	10.49	13.19	17.86	31.39	17.96
5805-H1	11.61	9.22	11.02	12.30	18.07	22.34	17.38	10.72
5805-H2	9.72	9.37	13.88	11.61	14.41	22.05	23.65	16.78
5825-H1	20.09	20.98	23.44	31.83	44.64	45.85	56.70	50.86
5825-H2	13.30	8.98	27.43	21.29	23.73	26.84	32.13	26.13
5829-H1	19.15	14.74	18.01	20.84	24.21	24.15	23.48	14.46
5829-H2	26.75	23.51	32.37	59.14	66.44	64.43	62.02	39.30
6893-H1	13.61	21.02	24.16	25.47	31.30	32.20	20.18	15.45
6893-H2	19.54	10.71	16.33	24.39	20.09	23.62	14.48	14.86
8606-H1	14.34	8.00	14.23	14.32	16.16	15.47	10.40	15.05
8606-H2	18.82	13.28	12.71	17.98	25.41	39.47	54.65	40.51
Ort.	14.17	10.87	15.21	17.47	21.27	22.55	22.39	17.45
Maks.	26.75	23.51	32.37	59.14	66.44	64.43	62.02	50.86
Min.	1.35	1.62	2.35	2.03	2.31	2.88	2.69	2.20

Tablo 4.5: Dikdörtgen modeller Eşdeğer TSD sistemler kullanılarak elde edilen derz mesafeleri ile Kamal ve İnel (2022) tarafından 3B modeller kullanılarak hesaplanan derz mesafeleri

Bitişik Bina Modelleri	TSD-derz mesafesi (cm)	3B-derz mesafesi (cm)	TSD/3B
4b-3b	8.49	6.51	1.30
5b-3b	9.95	8.62	1.15
5b-4b	11.08	8.03	1.38
6b-3b	9.77	8.04	1.22
6b-4b	12.24	9.94	1.23
6b-5b	8.41	6.29	1.34
7b-3b	9.92	8.02	1.24
7b-4b	14.35	9.94	1.44
7b-5b	12.04	9.66	1.25
7b-6b	10.16	7.08	1.44
8b-3b	9.66	7.8	1.24
8b-4b	14.79	10.5	1.41
8b-5b	14.36	11.35	1.27
8b-6b	15.81	10.72	1.47
8b-7b	12.58	7.37	1.71
9b-3b	8.93	8.24	1.08
9b-4b	14.70	10.86	1.35
9b-5b	15.71	12.89	1.22
9b-6b	18.36	12.84	1.43
9b-7b	17.76	11.32	1.57
9b-8b	13.98	7.71	1.81
10b-3b	9.84	8.57	1.15
10b-4b	14.69	11.28	1.30
10b-5b	16.23	13.87	1.17
10b-6b	19.06	14.63	1.30
10b-7b	19.65	14.02	1.40
10b-8b	19.96	12.53	1.59
10b-9b	15.26	9.17	1.66

Tablo 4.6: Dikdörtgen modeller Eşdeğer TSD sistemler kullanılarak elde edilen derz mesafeleri ile Kamal ve İnel (2022) tarafından 3B modeller kullanılarak hesaplanan derz mesafeleri

Bitişik Bina Modelleri	TSD-derz mesafesi (cm)	3B-derz mesafesi (cm)	TSD/3B
4a-3a	8.87	7.18	1.24
5a-3a	11.59	9.52	1.22
5a-4a	11.62	7.85	1.48
6a-3a	11.51	8.42	1.37
6a-4a	12.36	8.86	1.39
6a-5a	8.13	5.23	1.55
7a-3a	10.99	8.12	1.35
7a-4a	15.37	10.13	1.52
7a-5a	12.72	8.81	1.44
7a-6a	12.03	6.88	1.75
8a-3a	10.40	7.96	1.31
8a-4a	15.40	10.87	1.42
8a-5a	15.71	10.79	1.46
8a-6a	16.68	10.28	1.62
8a-7a	11.88	6.98	1.70
9a-3a	10.17	8.04	1.26
9a-4a	15.53	10.96	1.42
9a-5a	16.79	12.25	1.37
9a-6a	18.93	12.49	1.52
9a-7b	17.67	11.05	1.60
9a-8a	14.17	8.22	1.72
10a-3a	10.87	8.52	1.28
10a-4a	15.21	11.5	1.32
10a-5a	17.47	14.57	1.20
10a-6a	21.27	15.8	1.35
10a-7a	22.55	15.83	1.42
10a-8a	22.39	15.29	1.46
10a-9a	17.45	9.92	1.76



Şekil 4. 5: TSD sistemler ile 3B modeller için hesaplanan derz mesafeleri arasındaki ilişki

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı dayanım oranlarının ve farklı periyot değerlerinin komşu binalar arasındaki minimum derz mesafesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda, farklı kat seviyelerine, dayanım oranlarına ve periyot değerlerine sahip komşu binalar arasındaki minimum boşluk mesafelerinin belirlenebilmesi hedeflenmiştir. Üç boyutlu (3B) doğrusal elastik olmayan bina modelleri ile yapılan analizler yoğun işgücünün yanı sıra verilerin saklanabilmesi için depolama ihtiyacı ciddi boyutlara ulaşmaktadır. Bu nedenle, 3B olarak tasarlanan modeller eşdeğer TSD sistemlere dönüştürülerek daha hızlı ve daha makul işgücü ile derz mesafelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

3 ile 10 kat arasında değişen 8 farklı betonarme bina modeli kullanılarak 28 farklı ikili model türetilmiştir. Kamal ve İnel (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada 28 farklı ikili modelin gerekli derz mesafe ihtiyaçları ortaya konulmuştur. Bu çalışmada, Kamal ve İnel tarafından oluşturulan 3B modeller eşdeğer TSD sistemlere dönüştürülerek gerekli derz mesafe ihtiyaçları belirlenmiştir. 3B modeller için seçilen 22 farklı ivme kaydı bu çalışmada da kullanılmıştır. Eşdeğer TSD sistemlerden elde edilen derz mesafeleri 3B modeller için elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

- TSD sistemlerin 3B modellere göre daha tutucu (yüksek) sonuçlar sunduğu göze çarpmaktadır. Özellikle komşu binaların periyot oranları bire yaklaştıkça TSD sistemlerin %80 daha yüksek bir derz ihtiyacı sunduğu görülmüştür.
- Komşu binaların periyot değerlerinin birbirinden uzaklaşması ile birlikte TSD ve 3B modeller arasındaki derz mesafeleri daha yakın sonuçlar sunabilmektedir. İki farklı modelleme türü arasındaki farklar %8'e kadar düşebilmektedir.
- 28 farklı ikili modeller dikkate alındığında eşdeğer TSD sistem ile 3B modeller için hesaplanan derz mesafeleri arasındaki eğrisel bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu eğriye ait korelasyon değeri yaklaşık 0.78 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, literatürde yer alan birçok çalışmaya

göre, karşılaştırma yapılan modelleme türleri arasında bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.

3B modellerin yoğun iş gücü ve zaman gerektirmesinden dolayı, bitişik binalar arasındaki gerekli derz mesafelerin belirlenmesinde eşdeğer TSD sistemlerin kullanılabileceği söylenebilir. Özellikle komşu binaların periyot değerlerinin birbirinden uzaklaşması ile birlikte TSD ve 3B modellerden elde edilen gerekli derz mesafelerinin daha yakın sonuçlar vermektedir. Ancak periyot oranlarının yakın olduğu durumlarda TSD sistemlerin güvenli tarafta kalarak daha yüksek derz mesafesi sunduğu göz ardı edilmemelidir. Çalışmadan elde edilen bu çıkarımların düşük ve orta katlı betonarme binaları kapsadığı unutulmamalıdır.



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., "Pounding of buildings in series during earthquakes", *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 16, 443–456, (1988).
- Anagnostopoulos, S. A. and Spiliopoulos, K. V., "An investigation of earthquake induced pounding between adjacent buildings", *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, (1992). doi:10.1002/eqe.4290210402
- ATC-40, "ATC-40. 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Redwood City, CA: Applied Technology Council.", *Seismic safety commissionsion*, vol. 1 (1996).
- 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).
- 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).
- European Committee for Standardization, "Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1 : General rules, seismic actions and rules for buildings", *Eur. Comm. Stand.*, (2004).
- Favvata, M. J., "Minimum required separation gap for adjacent RC frames with potential inter-story seismic pounding", *Eng. Struct.*, (2017). doi:10.1016/j.engstruct.2017.09.025
- 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).
- FEMA, "FEMA P440 - Effects of Strength and Stiffness Degradation on Seismic Response", *Fema P440a*, (2009).
- Filiatrault, A. and Cervantes, M., "Separation between buildings to avoid pounding during earthquakes", *Can. J. Civ. Eng.*, (1995). doi:10.1139/l95-015
- Hong, H. P., Wang, S. S. and Hong, P., "Critical building separation distance in reducing pounding risk under earthquake excitation", *Struct. Saf.*, (2003). doi:10.1016/S0167-4730(02)00080-2
- 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).
- 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*, (1992). doi:10.1193/1.1585679
- Kamal, M. and Inel, M., "Simplified approaches for estimation of required seismic separation distance between adjacent reinforced concrete buildings", *Eng. Struct.*, 252, 113610, (2022).

- Kamal, M. and İnel, M., "Required separation distance for reinforced concrete with seismic pounding potential", *Pamukkale Univ. J. Eng. Sci.*, (2021).
doi:10.5505/pajes.2020.23697
- 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).
- Kasai, K., Jagiasi, A. R. and Jeng, V., "Inelastic Vibration Phase Theory for Seismic Pounding Mitigation", *J. Struct. Eng.*, (1996). doi:10.1061/(asce)0733-9445(1996)122:10(1136)
- Kasai, K. and Maison, B. F., "Building pounding damage during the 1989 Loma Prieta earthquake", *Eng. Struct.*, (1997). doi:10.1016/S0141-0296(96)00082-X
- Lopez-Garcia, D. and Soong, T. T., "Assessment of the separation necessary to prevent seismic pounding between linear structural systems", *Probabilistic Eng. Mech.*, (2009). doi:10.1016/j.probengmech.2008.06.002
- Maison, B. F. and Kasai, K., "Analysis for a Type of Structural Pounding", *J. Struct. Eng.*, (1990). doi:10.1061/(asce)0733-9445(1990)116:4(957)
- 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).
- Naderpour, H., Khatami, S. M. and Barros, R. C., "Prediction of critical distance between two MDOF systems subjected to seismic excitation in terms of artificial neural networks", Period. Polytech. Civ. Eng., (2017).
doi:10.3311/PPci.9618
- Naserkhaki, S., DANESHVAR, G. S. and TAYEBI, T. D., "Heavier adjacent building pounding due to earthquake excitation, technical note", Asian J. Ciivil Eng., (2013).
- 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).
- 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", (2023)
- TBDY-2018, "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği", Afet ve Acil Durum Başkanlığı, Ankara, Türkiye, (2018).
- 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).
- SEMAp, "Sargı Etkisi Modelleme Analiz Programı", (*in Turkish*), (2008).
- FEMA-356, "Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings", Rehabil. Requir., 1–518, (2000).
- Celep, Z. ve Kumbasar, N., Deprem mühendisliğine giriş, Beta Dağıtım, İstanbul,

(2004).

Jeong, S.H., Lee, K.W. ve Jang, W.S, Prism, A program forseismicresponseanalysis of SDOF system, Earthquake Engineering Research Group at the INHA University, (2010).

Bertero, V.V. ve Teran, G.A., “ Use Of Energy Concepts In Earthquake-Resistant Analysis And Design: Issues And Future Directions”, Advances In Eartquake Engineering Practise, Short Course InStructural Engineering, Architectural And Economic Issues, Universty Of California, Berkeley, (1994).

Celep, Z., Betonarme taşıyıcı sistemlerde doğrusal olmayan davranış ve çözümleme, Beta Dağıtım, İstanbul, (2008).

Katsanos, I.E.,Sextos, G.A. ve Manolis, D.G., “Selection of earthquake ground motion records: A State- of- the- art- reviewfrom a structural engineering perspective”, Soil Dynamics And Earthquake Engineering, 30, 157-169, (2010).

Kamal, M., “Mevcut Bitişik İkili Binalardaki Çekiçlemenin Sismik Performans Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, PAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, (2016)