

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARİ TASARIMIN BETONARME
BİNALARIN YAPISAL ÖZELLİKLERİNE VE
DEPREM DAVRANIŞINA ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ: L TİPİ BİNALAR

Büşra TÜRKÖĞÜLLARİ

Ekim, 2023

İZMİR

**MİMARİ TASARIMIN BETONARME
BİNALARIN YAPISAL ÖZELLİKLERİNE VE
DEPREM DAVRANIŞINA ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ: L TİPİ BİNALAR**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Yüksek Lisans Programı**

Büşra TÜRKOĞULLARI

Ekim, 2023

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SONUÇ FORMU

BÜŞRA TÜRKÖĞULLARI, tarafından **DOÇ. DR. TANER UÇAR** yönetiminde hazırlanan “**MİMARİ TASARIMIN BETONARME BİNALARIN YAPISAL ÖZELLİKLERİNE VE DEPREM DAVRANIŞINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ: L TİPİ BİNALAR**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Taner UÇAR

Yönetici

Doç. Dr. Onur MERTER

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Ahmet Vefa ORHON

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Okan FISTIKOĞLU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin tamamlanmasında ve yürütülmesinde yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Doç. Dr. Taner UÇAR'a teşekkür ederim.

Hayatımın her anında yanımda olan, maddi ve manevi katkılarıyla eğitim hayatımda beni her daim destekleyen ve başarılarımda katkısı olan canım annem Neriman TÜRKOĞULLARI'na, canım babam Osman TÜRKOĞULLARI'na ve canım ablalarım Nuray ODABAŐ ve Hatice TÜRKOĞULLARI'na sonsuz destekleri için teşekkür ederim. Ayrıca desteklerini esirgemeyen arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Büşra TÜRKOĞULLARI

MİMARİ TASARIMIN BETONARME BİNALARIN YAPISAL ÖZELLİKLERİNE VE DEPREM DAVRANIŞINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ: L TİPİ BİNALAR

ÖZ

Deprem etkisi altında uygun tasarım için genel ilkeler incelenmiştir. Bu doğrultuda deprem etkisi altında tasarımda mimari tasarımın önemi değerlendirilmiş ve taşıyıcı sistemin deprem davranışını etkileyen bazı mimari uygulamalara yer verilmiştir. Deprem etkisi altında uygun tasarım için bina taşıyıcı sistemlerinin düzenlenmesine yönelik Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) koşulları detaylı bir biçimde çalışılmış ve planda ve düşey doğrultuda düzensizlik durumları ayrı ayrı incelenmiştir. Mimari tasarım aşamasında alınan kararların deprem etkisi altında uygun tasarım için bina taşıyıcı sistemlerinin düzenlenmesine yönelik genel ilkelerin önemli bir bölümü üzerinde etkisi olduğu görülmüştür. Çalışmanın sayısal bölümünde planda çıkıntılar bulunması (A3 türü düzensizlik) durumu L tipi betonarme binalar özelinde incelenmiştir. Farklı a/L oranlarına sahip sekiz adet L tipi betonarme bina modelinin serbest titreşim analizleri rijit ve yarı rijit döşeme modelleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan binaların Mod Birleştirme Yöntemi ile doğrusal deprem hesabı gerçekleştirilmiş ve elde edilen bazı enbüyük davranış büyüklükleri (taban kesme kuvveti katsayısı, yerdeğiştirme, iç kuvvet bileşeni) sunulmuştur. a/L oranının L tipi betonarme binaların yapısal karakteristiklerine ve deprem davranışına önemli etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Betonarme binalar, mimari tasarım, deprem davranışı, TBDY, L tipi binalar, Mod Birleştirme Yöntemi

INVESTIGATING THE EFFECTS OF ARCHITECTURAL DESIGN ON STRUCTURAL CHARACTERISTICS AND EARTHQUAKE BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS: L-SHAPED BUILDINGS

ABSTRACT

Fundamental principles of earthquake-resistant design are investigated. Within this context, the importance of earthquake-resistant architectural design is evaluated and some architectural practices closely associated with the seismic behavior of structural systems are presented. Regulations of Turkey Building Earthquake Code (TBEC) for earthquake-resistant design of structural systems are studied in detail and structural irregularities in plan and elevation are examined. Design decisions in the architectural design process are found to significantly influence fundamental criteria related to earthquake-resistant design of structural systems. In the numerical analysis part of the study, re-entrant corner irregularity (irregularity type A3) is particularly studied for L-shaped reinforced concrete buildings. Free vibration analyses of eight reinforced concrete L-shaped moment-resisting frame buildings having different a/L ratios are conducted. In these analyses, the floor diaphragms are modeled as rigid and semi-rigid. Mode Superposition Method is used for earthquake analysis of L-shaped building models and some of the maximum structural response quantities such as base shear coefficient, lateral displacement, and internal force component are presented. It is found that the a/L ratio has significant importance on structural characteristics and earthquake behavior of L-shaped buildings.

Keywords: Reinforced concrete buildings, architectural design, earthquake behavior, TBEC, L-shaped buildings, Mode Superposition Method

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	x
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER LİSTESİ	xii
BÖLÜM BİR - GİRİŞ	1
1.1 Giriş	1
1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı	2
1.3 Literatür Taraması	3
BÖLÜM İKİ - DEPREM ETKİSİ ALTINDA UYGUN TASARIM İÇİN GENEL İLKELER	15
2.1 Deprem Etkisi Altında Tasarımda Mimari Tasarımın Önemi	15
2.2 Deprem Etkisi Altında Tasarımın İlkeleri	16
2.2.1 Yapının Geometrisi	17
2.2.2 Yapının Hafifliği	20
2.2.3 Süreklilik	21
2.2.4 Göçme Modu	21
2.2.5 Süneklik	23
2.2.6 Dayanım	23
2.2.7 Rijitlik	24
2.3 Taşıyıcı Sistemin Deprem Davranışını Etkileyen Bazı Mimari Uygulamalar	24
2.3.1 Dolgu Duvar – Çerçeve Etkileşimi	25
2.3.2 Kısa Kolon Oluşumu	26

BÖLÜM ÜÇ - DEPREM ETKİSİ ALTINDA UYGUN TASARIM İÇİN BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİNİN DÜZENLENMESİNE YÖNELİK TBDY KOŞULLARI29

3.1 Bina Taşıyıcı Sistemlerin Düzenlenmesi.....	29
3.1.1 Taşıyıcı Sistemin Sadeliği ve Basitliği	29
3.1.2 Taşıyıcı Sistemin Düzenli ve Simetrik Olarak Düzenlenmesi.....	29
3.1.3 Taşıyıcı Sistemde Fazla Bağlılık Özelliğinin Sağlanması	31
3.1.4 Taşıyıcı Sistemde Yeterli Dayanım ve Rijitlik	32
3.1.5 Taşıyıcı Sistemde Yeterli Süneklik	32
3.1.6 Katlarda ve Geçiş Katlarında Yeterli Döşeme Rijitliği ve Dayanımı ...	33
3.2 Düzensizlik Durumları.....	34
3.2.1 Planda Düzensizlik Durumları	34
3.2.1.1 Burulma Düzensizliği	35
3.2.1.2 Döşeme Süreksizlikleri	38
3.2.1.3 Planda Çıkıntılar Bulunması	39
3.2.2 Düşeyde Doğrultuda Düzensizlik Durumu	40
3.2.2.1 Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat)	40
3.2.2.2 Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)	42
3.2.2.3 Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanların Süreksizliği	44

BÖLÜM DÖRT - L TİPİ BETONARME BİNALARIN YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN VE DEPREM DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ...47

4.1 Giriş	47
4.2 Dikkate Alınan Binaların Mimari ve Taşıyıcı Sistem Özellikleri.....	47
4.3 Binaların Serbest Titreşim Analizi	49
4.4 Binaların Mod Birleştirme Yöntemi ile Doğrusal Deprem Hesabı.....	53
4.4.1 Binaların Tasarımı	53
4.4.2 Mod Birleştirme Yöntemi ile Hesaplanan Enbüyük Davranış Büyüklükleri	55

BÖLÜM BEŞ - SONUÇLAR.....61

KAYNAKLAR.....64



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Karmaşık yapıların basit geometrilere indirgenmesi (Coza, 2003)	17
Şekil 2.2 L tipi yapı bloğunun yapısal derz ile ayrılması.....	18
Şekil 2.3 Aynı kat düzeyindeki yapı bloklarında çarpışma.....	19
Şekil 2.4 Düzensiz kütle ve rijitlik dağılımı.....	20
Şekil 2.5 Gevrek göçme modları sonucunda oluşan toptan göçmeler (Koç, 2016) ...	22
Şekil 2.6 Dolgu duvarda yatay derz kayması.....	26
Şekil 2.7 Kısa kolon hasarı.....	27
Şekil 2.8 Gerçek yapılarda kısa kolon hasarları	27
Şekil 3.1 Simetrik taşıyıcı sistem plan örnekleri	31
Şekil 3.2 (X) deprem doğrultusu için görelî kat ötelemeleri.....	36
Şekil 3.3 Düşey eksen etrafında burulma oluşumu (Celep ve Kumbasar, 2001).....	37
Şekil 3.4 Burulma düzensizliğine bağılı hasar oluşumu (Çağatay vd., 2012).....	37
Şekil 3.5 A2 türü düzensizlik durumları	38
Şekil 3.6 A3 türü düzensizlik durumu (TBDY, 2018).....	40
Şekil 3.7 B1 düzensizlik durumunda oluşan deprem hasarı (Sandıkçı, 2014).....	41
Şekil 3.8 Deprem etkisi altında oluşan görelî kat ötelemeleri.....	43
Şekil 3.9 Yumuşak kat ve ideal göçme mekanizması.....	43
Şekil 3.10 Yumuşak kat oluşumuna bağılı deprem hasarları (Gürer, 2023 ve Yılmaz, 2019).....	44
Şekil 3.11 B3 düzensizlik durumları (TBDY, 2018).....	45
Şekil 3.12 Gerçek binalarda B3 türü düzensizlik durumları (Sandıkçı, 2014 ve Öztürk vd., 2015)	46
Şekil 4.1 Çalışmada kullanılan L tipi bina modelleri	48
Şekil 4.2 Yatay ötelenme mod şekillerinin verildiğı noktalar.....	52
Şekil 4.3 Dikkate alınan yatay elastik ivme spektrumu	54
Şekil 4.4 Binanın köşe noktalarının birbirine göre yatay hareketi	58
Şekil 4.5 Köşe kolonlarda hesaplanan enbüyük burulma momentlerinin değışimi ...	60

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1 Düzensizlik durumları	34
Tablo 4.1 Sismik kütleler ve doğal titreşim periyotları	50
Tablo 4.2 İlk altı mod için modal kütle katılım oranları	51
Tablo 4.3 B1, B6 ve B8 bina modellerinin seçilen noktalarındaki yatay ötelenme mod genlikleri.....	52
Tablo 4.4 Enbüyük taban kesme kuvveti katsayıları	56
Tablo 4.5 Birleştirilmiş yatay deprem etkileri altında hesaplanan enbüyük yer değiştirmeler ve öteleme oranları	57
Tablo 4.6 Binaların köşe noktalarının birbirini göre yatay yerdeğiştirmeye değerleri ...	58
Tablo 4.7 Köşe kolonlar için hesaplanan V_{kolon}/V_{tE} ve M_{kolon}/M_{tE} değerleri	59
Tablo 4.8 Köşe kolonlar için V_{kolon}/V_{tE} ve M_{kolon}/M_{tE} oranlarının a/L 'ye göre değişimi.....	59

KISALTMALAR

ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
CSI	: Computers and Structures, Inc.
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DGT	: Dayanıma Göre Tasarım
EC 8	: Eurocode 8
IBC	: International Building Code
KH	: Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
SAP	: Structural Analysis Program
STA4CAD	: Structural Analysis for Computer Aided Design
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TKB	: Tam Karesel Birleştirme

SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Brüt kat alanı
A_b	: Kattaki boşluk alanlarının toplamı
a_x	: Kat planında x doğrultusunda çıkıntı yapan kısımların boyutu
a_y	: Kat planında y doğrultusunda çıkıntı yapan kısımların boyutu
d_i	: i 'inci kattaki yatay yerdeğiştirme
d_{i-1}	: $(i-1)$ 'inci kattaki yatay yerdeğiştirme
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_s	: Donatı çeliğinin elastisite modülü
F_S	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_1	: 1,0 s periyot için yerel zemin etki katsayısı
f_{ck}	: Beton karakteristik basınç dayanımı
g	: Yerçekimi ivmesi
H_N	: Toplam bina yüksekliği
h_i	: Binanın i 'inci katının kat yüksekliği
I	: Bina önem katsayısı
L_x	: Binanın x doğrultusundaki toplam boyutu
L_y	: Binanın y doğrultusundaki toplam boyutu
M_{kolon}	: Köşe kolonlar için hesaplanan enbüyük eğilme momenti
M_{IE}	: Enbüyük toplam taban eğilme momenti
M_w	: Moment büyüklüğü
m	: Bina toplam kütlesi
n	: Hareketli yük kütle katılım katsayısı
q	: Düzgün yayılı hareketli yük
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$S_{ac}(T)$: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	: 1,0 s periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_S	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S_1	: 1,0 s periyot için harita spektral ivme katsayısı
T	: Doğal titreşim periyodu

T_A, T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodları
U_{xn}	: (X) deprem doğrultusu için n 'inci doğal titreşim moduna ait modal kütle katılım oranı
U_{yn}	: (Y) deprem doğrultusu için n 'inci doğal titreşim moduna ait modal kütle katılım oranı
U_{zn}	: Düşey eksen etrafında n 'inci doğal titreşim moduna ait modal kütle katılım oranı
V_{kolon}	: Köşe kolonlar için hesaplanan enbüyük kesme kuvveti
V_{tE}	: Enbüyük toplam taban kesme kuvveti
W	: Toplam bina ağırlığı
YM	: Yeterli titreşim modu sayısı
ΣA_e	: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı
ΣA_g	: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı
ΣA_k	: Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamı
ΣA_w	: Herhangi bir katta kolon enkesiti etkin gövde alanlarının toplamı
$(\Delta_i^{(X)})_{min}$: Binanın i 'inci katındaki minimum görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i^{(X)})_{max}$: Binanın i 'inci katındaki maksimum görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i^{(X)})_{ort}$: Binanın i 'inci katındaki ortalama kat ötelemesi
δ_X	: (X) deprem doğrultusu için hesaplanan kat yatay yerdeğiştirmesi
δ_Y	: (Y) deprem doğrultusu için hesaplanan kat yatay yerdeğiştirmesi
ϕ_{xn}	: x ekseni doğrultusunda n 'inci doğal titreşim mod şekli genliği
ϕ_{yn}	: y ekseni doğrultusunda n 'inci doğal titreşim mod şekli genliği
η_{bi}	: i 'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
η_{ci}	: i 'inci katta tanımlanan dayanım düzensizliği kat sayısı
η_{ki}	: i 'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Giriş

Dünya üzerindeki yerleşim yerlerin çoğu aktif deprem kuşaklarının üzerinde bulunmaktadır ve dünyanın oluşumundan bu zamana kadar çok sayıda deprem meydana gelmiştir. Yaşanan bu depremlerden elde edilen deneyimler deprem hasarlarının benzer özelliklere sahip olduğunu göstermektedir. Depremi talep ettiği dayanım ve şekil değiştirme kapasitesine sahip olmayan taşıyıcı sistem elemanlarından oluşan binalarda deprem etkileri altında hasar oluşmakta ve/veya bu binalar göçme durumuna gelmektedir. Bununla birlikte yine geçmiş depremler bize göstermiştir ki taşıyıcı sistem elemanlarının kapasiteleri yeterli olsa bile bina taşıyıcı sistemlerinin düzenlenmesine yönelik yanlış uygulamaların ve deprem etkisi altında düzensizlik olarak ifade edilen durumların varlığı genellikle hasara neden olmaktadır. İlginç olan durum şudur ki bu düzensizliklerin önemli bir bölümü mimari tasarım aşamasında alınan kararlar neticesinde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca yeni yapılacak binaların taşıyıcı sistemlerinin deprem etkisi altında tasarımının mimari tasarım ile başladığı bilinen bir gerçektir. Tüm bu gereksinimlere bağlı olarak dünyada Deprem Mühendisliği olarak tabir edilen bilim dalının gelişmesiyle birlikte Deprem Mimarlığı bilim dalı da önem kazanmıştır.

Deprem mimarlığı terimi literatüre 1985 yılında Robert Reitherman tarafından kazandırılmış ve genel olarak mimari formun ve tasarımın yapıların deprem davranışına ve dayanımına etkilerini araştırmaktadır. Deprem Mühendisliği gibi oldukça genç bir bilim dalı olan Deprem Mimarlığı'na deprem etkileri altında yapıların estetik tasarımı için yeni bir mimari tasarım yaklaşımı gözüyle de bakılabilir.

Ülkemizde en sık meydana gelen ve etkisini en çok hissettiğimiz doğal afet şüphesiz ki depremdir. Türkiye'nin dünyadaki önemli deprem kuşaklarından birisi olan Alp-Himalaya Deprem Kuşağı'nda yer almasından dolayı ülkemizde geçmişten günümüze kadar çok sayıda şiddetli deprem meydana gelmiş ve bu depremler ağır can

ve maddi kayıplara neden olmuştur. Bunun en güncel örneği 6 Şubat 2023 tarihli Kahramanmaraş depremleridir. Geçmişte olduğu gibi bu son depremler de göstermiştir ki bina taşıyıcı sistemlerinin deprem etkileri altında uygun tasarımı hayati önem taşımaktadır. Bu amaçla deprem mühendisliği alanındaki bilgi birikimlerinin deprem mimarlığı ile birlikte kullanılması gerekmektedir.

Deprem etkisi altında binaların tasarımına yönelik ilk yönetmelik çalışmalarına 1906 yılında meydana gelen ve $M_w = 7,9$ moment büyüklüğüne sahip San Francisco depremi sonrasında başlanmış ve bu çalışmalar güncellenerek günümüze kadar devam etmektedir. Ülkemizde deprem mühendisliği alanındaki güncel gelişmeleri içeren oldukça kapsamlı bir deprem yönetmeliği bulunmaktadır. Çağdaş deprem yönetmeliklerinin çoğunda olduğu gibi Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde de bina türü yapıların deprem etkisi altında tasarımı için gerekli kurallar ve minimum koşullar yer almaktadır. Doğal olarak bu yönetmelikte deprem mimarlığı ile ilgili kapsamlara kısmen yer verilmiştir. Muhtemelen deprem mimarlığı ile ilgili yasal düzenlemelerin az olması, yaşanan tüm deprem kayıplarına rağmen estetik kaygıların ön planda olması ve kullanıcının talepleri nedeniyle deprem göre tasarım gerçeği mimarı tasarım aşamasında genellikle göz ardı edilmektedir.

Sonuç olarak mimari tasarım gereksinimlerine bağlı olarak ortaya çıkan çeşitli yapısal özellikler binaların deprem davranışı ile oldukça yakından ilişkilidir. Bu nedenle gelecek depremlerde muhtemel hasar ve kayıpların azaltılabilmesi için yapıların deprem tasarımına yönelik temel gereksinimlerin mimari tasarım aşamasında göz ardı edilmemesi ve bilinçli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Ayrıca özellikle ülkemizde deprem mimarlığının mimarlar tarafından benimsenmesi ve geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir.

1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışmasının iki temel amacı bulunmaktadır. Bunlardan ilki mimari tasarımın betonarme binaların yapısal özelliklerine ve deprem davranışını etkilerini inceleyip

değerlendirmek, ikincisi ise L tipi betonarme binaların yapısal karakteristiklerini ve deprem davranışını sayısal olarak incelemektir.

Tez beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde deprem etkisi altında bina taşıyıcı sistemlerinin uygun düzenlenmesine yönelik ve mimari tasarım – deprem davranışı ilişkisinin konu edildiği çalışmalar araştırılmıştır. Tezin ikinci bölümünde deprem etkisi altında uygun tasarım için gerekli ilkeler araştırılmış ve örnekler üzerinden değerlendirilmiştir. Üçüncü bölümde deprem etkisi altında uygun tasarım için bina taşıyıcı sistemlerinin düzenlenmesine yönelik Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği koşulları ve bu yönetmelikte tanımlanan düzensizlik durumları detaylandırılmıştır.

Tezin sayısal bölümünü oluşturan dördüncü bölümde ise mimari tasarımın betonarme binaların yapısal karakteristiklerine ve deprem davranışına etkisi L tipi binalar özelinde incelenmiştir. a/L oranının değişken olarak dikkate alındığı tasarım aşamaları detaylandırılmış ve serbest titreşim özellikleri rijit ve yarı rijit diyafram döşeme modelleri için ayrı ayrı belirlenmiştir. Oluşturulan sekiz farklı L tipi binanın deprem hesabı Mod Birleştirme Yöntemi ile üç boyutlu analitik modeller üzerinden gerçekleştirilmiş ve analiz sonucunda elde edilen bazı enbüyük davranış büyüklükleri karşılaştırılmıştır. Çalışmanın bu özgün bölümünde L tipi binaların yapısal özelliklerine ve deprem davranışına yönelik önemli bulgular elde edilmiştir.

Tezin beşinci ve son bölümünde ikinci ve üçüncü bölümdeki değerlendirmelere bağlı olarak elde edilen sonuçlar ile L tipi betonarme binaların yapısal analizinden elde edilen önemli bulgular özetlenmiştir.

1.3 Literatür Taraması

Deprem mühendisliği ve mimarlığı tarihsel bakımdan literatürde oldukça yeni kavramlardır. Bununla birlikte literatüre girdiklerinden beri bu konularda yoğun araştırmalar yapılmıştır. Konu ile ilgili çalışmalar 1960 yıllarına kadar gitmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı ve mimari tasarım konularının geçmişten günümüze kadar önemini ve güncelliğini koruduğu ve çok sayıda çalışmaya konu edildiği

anlaşılmaktadır. Aşağıda bu alanlarda ağırlıklı olarak Türkiye’de yapılan çalışmaların bazıları özetlenmiştir.

Albay (1994), yapıların deprem dayanımında mimari tasarımın önemini ve tasarım sürecinde uyulması gereken temel ilkelerini araştırmıştır. Çalışmada, depreme dayanıklı mimari tasarımın temel ilkelerinden ve taşıyıcı sistem tasarımında uyulması gereken kriterlerden bahsedilmiştir. Ayrıca deprem bölgelerinde korumaya yönelik şehir ölçeğinde fiziksel planlama kararları ve bu kararların uygulamasındaki imar planları araştırılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda, 1992’de çok fazla hasara neden olan Erzincan depreminde, yıkılan ve hasar gören yapılarla birlikte deprem sonrası planlama ve tasarım çalışmaları incelenmiştir.

Ün (1998), bodrum kata yerleştirilen perde duvarların taşıyıcı sistem davranışına olan etkilerini incelemiştir. Çalışma için, betonarme çerçeve taşıyıcı sistemden oluşan on katlı bir yapının sadece bodrum katına dokuz farklı perde duvar yerleşimi yapılmıştır. Bu sistemlerin, SAP 90 programında modellenerek yapısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda, dikkate alınan yapı modelinin belirli düğüm noktalarındaki deformasyonlar ve kesit tesirlerinde oluşan farklılıklar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sonuç olarak, binada perde duvarlarının yerleşiminin çok önemi olduğu ve bodrum katta perde duvar yerleşimine dikkat edilmezse binanın deprem davranışını olumsuz etkileceği sonucuna varılmıştır.

ABYYHY (1997)’de A3 düzensizlik durumu olarak tanımlanan Planda Çıkıntılar Bulunması Düzensizliği’ne sahip on katlı bir betonarme yapının, üç farklı taşıyıcı sistem modeli tasarlanarak yatay yükler altındaki davranışı incelenmiştir. İncelenen yapının plan özellikleri korunarak sisteme perdeler eklenmiş ve döşeme tipi değiştirilmiştir. Sonuç olarak çerçeve, perde-çerçeve ve kirişsiz döşemeli taşıyıcı sistem olarak tasarlanan yapı örneklerinin, kat döşemelerinin rijit diyafram ve esnek diyafram olarak dikkate alındığı iki ayrı modeli oluşturulmuştur. Bu modellerin analizleri Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelenip çalışmada kullanılan tüm yapı modellerinin kolon ve perde iç kuvvetlerindeki değişimler birbiriyle karşılaştırılmıştır (Şahbaz, 2005).

Hünük (2006), depreme dayanıklılığı sağlayan mimari tasarım ölçütlerini belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışmada Marmara Depremi'nde hasar görmüş betonarme yapılar incelenmiş ve hasara neden olan mimari tasarım kriterleri belirlenmiştir. Yapıların depreme dayanıklı olabilmesi için sahip olması gereken özelliklerden bahsedilmiş ve son yıllarda depreme dayanıklı tasarlanmış ve depremlerde hasar görmemiş betonarme bina örnekleri incelenerek tasarım kriterlerinin neler olması gerektiği araştırılmıştır. Sonuç olarak belirlenen tasarım kriterleri ile geçmiş yıllarda hasar görmüş yapıların tasarım kriterleri kıyaslanarak depreme dayanıklı mimari tasarım ölçütleri ortaya konulmuştur.

Arslan (2007), belirli oranda döşeme boşluğu bulunduran betonarme yapıların deprem etkisi altındaki davranışını incelemiştir. Bu çalışmada, deprem yönetmeliğinde bahsedilen A2 düzensizlik durumu olarak tanımlanan Döşeme Süreksizliği'ni incelemek için taşıyıcı sistemleri aynı olan döşemesinde farklı konum ve oranda boşluklar bulunan ve giriş süreksizliğine sahip altı ve on katlı yapılar modellenmiştir. Yapıların deprem hesabı SAP 2000 analiz programında gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen bilgilerin karşılaştırılması, grafik ve tablolarla sunulmuştur.

Deprem yönetmeliğinde planda düzensizlik durumu olarak tanımlanan A2 ve A3 düzensizlik durumlarının çok katlı betonarme yapıların deprem davranışına etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada, sekiz katlı bir betonarme yapının A2 ve A3 düzensizlik durumunu irdelemek için ikisi düzenli, sekizi düzensiz olmak üzere on adet modeli oluşturulmuştur. Modellerin deprem hesapları, Mod Birleştirme Yöntemi ve Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak SAP 2000 programı ortamında gerçekleştirilmiştir. Yapı modellerinin A2 düzensizlik durumu için F8, A3 düzensizlik durumu için F4 kolonunda hesaplanan, x ve y doğrultularındaki kesme kuvvetleri değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak yapılardaki düzensizlik durumlarını değerlendirirken doğrusal olmayan analizlerin dikkate alınması gerektiği anlaşılmıştır (Ercömert, 2007).

Çamyar (2009) tarafından yapılan bir tez çalışmasında depreme dayanıklı betonarme taşıyıcı sistem tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar maddeler

halinde açıklanmış ve bu kriterlere uyulmadığı takdirde betonarme binalarda oluşabilecek hasarlar detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Kullanım amacı konut olan düşeyde düzensiz bir betonarme binanın bilgisayar ortamında yatay yükler altındaki davranışını incelemiştir. Altı katlı, betonarme çerçeve taşıyıcı sisteme sahip bu yapının bazı kolonları kaldırılmış ve ona komşu kolonlarında oluşan iç kuvvetler ve yerdeğiştirme değerleri incelenmiştir. Oluşturulan modellerin yapısal çözümlemesi Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak STA4CAD programında gerçekleştirilmiştir. Yapı modellerinde A1, B1 ve B2 düzensizlik durumları oluşmamakla birlikte B3 düşey elemanların süreksizliği durumu mevcuttur.

Uçar ve Merter (2009), kat planında simetrik olarak düzenlenmiş perdelerin binanın içine ya da dış cephesine yerleştirilmesinin betonarme perde-çerçeve sistemli binaların deprem davranışına etkileri araştırmıştır. 8 katlı betonarme perde-çerçeve sistemli iki bina DBYBHY (2007) koşulları dikkate alınarak boyutlandırılmıştır. Binaların birinde dikdörtgen geometrili perdeler iç tarafa, diğesinde ise dış cepheye konulmuştur. Dikkate alınan binalarda perdelerin taşıdığı taban kesme kuvvetleri, kat yatay yerdeğiştirmeleri ve burulma düzensizliği katsayıları karşılaştırılmıştır. Perdelerin binanın dış cephesine yerleştirilmesinin deprem davranışı açısından daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Korkmaz, Uçar ve Düzgün (2010), DBYBHY (2007)'de belirtilen yumuşak kat düzensizliğinin ve zemin kat ile üst katların yüksekliğinin aynı olmamasının yapısal davranışa etkilerini TS500'de belirtilen esaslara göre boyutlandırılmış on katlı betonarme çerçeve bir yapı üzerinden incelemiştir. Bu yapının düzenli durumu ve çeşitli düzensizlikleri içeren durumları için 16 farklı model oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerin deprem davranışları SAP 2000 bilgisayar programında doğrusal olmayan statik itme analizi kullanılarak araştırılmıştır. Yapı modellerinin kapasite eğrileri, kat yatay yerdeğiştirmeleri, görelî kat ötelemeleri ve farklı katlar için kesitlerdeki en büyük plastik dönmeler belirlenmiştir. Analiz sonuçları dikkate alınarak, yapıların deprem davranışlarındaki farklılıklar yorumlanmıştır.

ABYYHY (2007) koşullarına göre tasarlanmış betonarme binaların deprem performansını araştırılmıştır. Tasarımında yapısal düzensizlik bulunmayan  katlı bir betonarme yapı rneği referans alınarak kat sayısının, beton ve elik malzeme dayanımlarının, yumuşak kat ve kapalı çıkma gibi düzensizlik durumlarının yapının deprem performansına etkileri incelenmiştir. Çalışmada incelenen yapı olumsuzluklarına göre beş farklı yapı modeli tasarlanmış ve 16 farklı bina modeli elde edilmiştir. Bu modellerin, Statik İtme Yöntemi kullanılarak SAP 2000 ortamında yapısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları değerlendirilerek yukarıda tanımlanan parametrelerin yapı performansına etkileri incelenmiştir (Sarı, 2010).

Kat planında perde yerleşiminin betonarme binaların deprem davranışına etkisi kullanım amacı konut olan bir mimari plan için beş farklı perde düzenlemesi yapılarak incelenmiştir. DBYBHY (2007) koşulları dikkate alınarak tasarlanan binaların SAP 2000 ortamında yapısal analizleri Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları değerlendirilerek farklı perde düzenlemelerinin ele alınan binaların deprem davranışına etkisi yapısal düzensizlikler, tasarıma esas iç kuvvetler ve yerdeğiştirmeler cinsinden karşılaştırmalı olarak incelenmiştir (Erken, 2012).

Guevara-Perez (2012), deprem etkisi altında binaların mimari tasarım kaynaklı hasarlarını incelemiştir. Çalışmada, yumuşak kat ve zayıf kat düzensizliğine sahip ve depremde hasar görmüş yapılar incelenmiş ve bu düzensizliklere yönelik çözüm nerileri sunulmuştur.

Gezmiş (2012), taşıyıcı sistem elemanlarından perdelerin kat planı içerisindeki yerleşiminin yapıların deprem davranışlarına etkisini, perde yerleşimi birisinde düzenli ve diğerinde düzensiz olmak üzere, dikdörtgen plan geometrisine sahip iki betonarme yapı tasarlayarak incelemiştir. Yapıların dinamik ve statik analizleri, Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi ile SAP 2000 programında yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre DBYBHY (2007)'de tanımlanan A1 burulma düzensizliği, B2 yumuşak kat düzensizliği ve göreli kat ötelemelerinin kontrolleri yapılmış ve iç kuvvetler karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Sonuç olarak

planda düzensiz perde yerleşimine sahip olan yapıda, burulma düzensizliği katsayısında ve iç kuvvetlerde artış gözlenmiştir.

Düşey doğrultudaki yapı düzensizlikleri DBYBHY (2007)'ye göre incelenmiş ve depreme dayanıklı yapı tasarım ölçütleri araştırılarak, bu düzensizlikler için literatürde belirtilen çözüm önerileri detaylı bir şekilde sunulmuştur. Bu çalışmada, taban alanları aynı, biri ağır çıkmalı ve diğeri çıkmasız olan iki binanın deprem analizleri yapılarak yumuşak kat düzensizlik kat sayıları (rijitlik düzensizliği katsayıları) karşılaştırılmıştır (İnan ve Korkmaz, 2012).

Orak (2012), betonarme perde-çerçeve sistemli yapılarda döşeme süreksizlikleri ve taşıyıcı sistem düşey elemanlarının süreksizliği düzensizlik durumlarını farklı yönetmelikleri esas alarak incelemiştir. Çalışmada, farklı kat sayılarına ve döşeme boşluk oranına sahip yapılarda döşeme süreksizlikleri planda simetrik ve simetrik olmayacak şekilde konumlandırılarak bu durumun taşıyıcı sistem elemanlarına etkileri araştırılmıştır. Binaların modellemeleri için ETABS programı kullanılmış olup, DBYBHY (2007), EC8, IBC (2009) yönetmeliklerine göre karşılaştırılmaları yapılmıştır.

Hamada ve El Damatty (2013), L tipi binaların deprem hesabı ile ilgili olarak Kanada Ulusal Bina Yönetmeliği'nin (NBCC) 2005 ve 2010 yılı versiyonlarında bulunan çeşitli hükümleri değerlendirmişlerdir. Çalışmada kullanılan az katlı ve çok katlı binaların analitik modelleri üç boyutlu olarak ETABS ortamında oluşturulmuştur. Binaların deprem hesabı eşdeğer statik ve dinamik analiz yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yüksek titreşim modlarının L tipi binaların toplam taban kesme kuvvetine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, birbirine dik yer hareketlerinin uygulama doğrultuları da incelenmiş ve yönetmelikte belirtilen iki yatay yer hareketinin uygulama doğrultusunun, L tipi binalar için en kritik doğrultu olmayabileceğini sonucuna varılmıştır.

Deprem yönetmeliğinde tanımlanan burulma düzensizliğini araştırmak amacıyla altı farklı tipte yapı gruplarının farklı perde konumuna, kat ve aks sayılarına sahip

modelleri tasarlanarak yapısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yapıların deprem davranışları ve burulma düzensizliği katsayıları (η_{bi}) karşılaştırılmıştır (Özmen, Girgin ve Durgun, 2014).

Sandıkçı (2014), betonarme yapılarda yumuşak kat düzensizliğinin burulma düzensizliğine etkilerini incelemiştir. Çalışmada, DBYBHY (2007)'de belirtilen düzensizlik durumlarından yumuşak kat düzensizliği ve burulma düzensizliği durumlarının birbiriyle etkileşimi, betonarme çerçeve taşıyıcı sistemli bir yapı modeli üzerinden kat sayısı, zemin kat yüksekliği, sisteme perde eklenmesi gibi parametrelere göre araştırılmıştır. Bu parametrelere göre tasarlanan yapıların, SAP 2000 ortamında dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan betonarme yapıların elde edilen analiz sonuçları grafiklerle incelenerek karşılaştırılmaları yapılmıştır.

Türkiye'de ve yabancı ülkelerde mimari eğitim veren üniversitelerin müfredatlarında bulunan taşıyıcı sistemle ilgili dersler karşılaştırılarak ülkelerin depreme verdikleri önem kıyaslanmıştır. Çalışmada mimarlık eğitiminin depreme dayanıklı yapı tasarımında önem teşkil ettiği sonucuna varılmış ve son yıllarda meydana gelen depremlerde ortaya çıkan can ve mal kayıplarının büyük oranda mimari tasarım ve mimar kaynaklı olduğu anlaşılmıştır (Akçaeer, Özdemir ve Soyluk 2015).

Öztürk, Aksoylu ve Arslan (2015), B3 düzensizlik durumu olarak tanımlanan Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği durumunu orta katlı betonarme çerçeve bir yapı üzerinden incelemiştir. Çalışmada zemin katının yüksekliği 5 m ve diğer kat yüksekliklerin ise 3 m olan beş katlı yedi farklı bina modellemiştir. Düşey elemanların süreksizliği durumu için bir referans yapı ve farklı kat ve akslarda kolon eksiltmelerin olduğu altı yapı modelinin analizleri SAP 2000 programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Yapılarda meydana gelen rijitlik azalmaları ve iç kuvvetlerdeki değişim karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

Ahmed, Raheem, Ahmed ve Abdel-Shafy (2016), planda düzensizlik durumu olan binaların deprem etkisi altındaki davranışlarını L tipi binalar üzerinden incelemiştir.

Çalışmada referans model olarak dokuz katlı ve yapısal düzensizliğe sahip olmayan çerçeve sistemli bir bina dikkate alınmıştır. Referans modelin plan boyutlarında kademeli azaltma yaparak altı adet L tipi bina modeli oluşturulmuştur. Modeller, Eşdeğer Statik Yük ve Tepki Spektrumu yöntemleri kullanılarak ETABS bilgisayar programında analiz edilmiştir. Tepki parametreleri olarak yatay kat ötelenmeleri, kat kesme kuvvetleri, devirici momentler, toplam taban burulma momentleri, kat seviyelerinde hesaplanan burulma momentleri, tepe noktası yatay yerdeğiştirmesi ve burulma düzensizliği kat sayısı dikkate alınmıştır. Düzensizliğe sahip binaların deprem davranışının, burulmadan kaynaklı ve depremin etki yönüne dik yönde ortaya çıkan ilave kesme kuvvetinden dolayı düzenli plan geometrisine sahip binalara göre daha olumsuz olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, temel titreşim periyodunun hesabı için yönetmelikte verilen ampirik denklemin düzensiz binalarda deprem taleplerini önemli ölçüde değiştirebilen burulma titreşimleri gibi yüksek titreşim modlarını dikkate almakta yetersiz kaldığı görülmüştür.

Uzun, Ünal, Kamanlı ve Çoğurcu (2018), perde yerleşiminin DBYBHY 2007’de tanımlanan burulma düzensizliğine etkisini incelemiştir. Ayrıca burulma düzensizliği katsayısının deprem hesap yöntemine ve kat sayısına göre değişimi araştırılmıştır. Çalışmada farklı perde yerleşimine ve kat sayılarına sahip iki tip betonarme yapı tasarlanmıştır. Deprem yönetmeliğinde verilen Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Analiz Yöntemi kullanılarak ETABS programında yapıların deprem analizleri gerçekleştirilmiştir. Burulma düzensizliğine sahip binalarda Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvvetlerinin her kat için %50 oranında arttığı görülmüştür. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi’nin büyük burulma düzensizliği katsayısına sahip binaların deprem hesabı için uygun olmadığı anlaşılmıştır. Bina kat sayısı azalırken burulma düzensizliği kat sayısının arttığı sonucuna varılmıştır.

Çambel ve Özgan (2018), mimarlar açısından tasarım sürecinde meydana gelebilecek mühendislik sorunlarını incelemiştir. Çalışmada mimarı yapı elemanlarının mimari tasarım açısından önem sırasını belirlemek için Bolu ve Düzce’de birçok mimarla görüşmeler yapılarak bir anket hazırlanmıştır. Yapıyı

oluşturan yapı elemanlarına mühendisler tarafından müdahale edilip edilmediği ve müdahalenin yapı elemanın hangi kısmında olduğu Bolu, Düzce için ayrı ayrı ve birlikte olmak üzere grafiklerle sunulmuştur.

Özen (2018), betonarme yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarını, deprem hasarlarını ve taşıyıcı sistem düzensizliğine etki eden mimari tasarım esaslarını incelemiştir. Çalışmada, DBYBHY (2007)'de belirtilen düzensizlik durumları farklı kat sayısı ve plan geometrisine sahip altı betonarme bina üzerinden değerlendirilmiştir. Sonuç olarak mimari tasarımın depreme dayanıklı yapı tasarımındaki önemi vurgulanmış ve depreme dayanıklı taşıyıcı sistem tasarımının mimari tasarım aşamasında dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir.

Siva Naveen, Nimmy Mariam Abraham ve Anitha Kumari (2018), bir ya da daha fazla yapısal düzensizliklere sahip çerçeve sistemli betonarme yapıların deprem davranışını incelemiştir. Çalışmada, dokuz katlı düzenli bir betonarme çerçeve plan ve düşeyde çeşitli düzensizliklere sahip olacak şekilde modifiye edilmiştir. Böylece tek düzensizlik durumuna sahip 34 ve birden fazla yapısal düzensizlik durumu bulunan 20 olmak üzere toplamda 54 yapı modeli oluşturulmuş ve düzensiz yapı modelleri için elde edilen analiz sonuçları ile düzenli yapı için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu yapıların sayısal analizleri ETABS programı yardımıyla yapılmıştır. Karşılaştırmaya esas yapısal büyüklükler kat yerdeğiştirmesi, kat ötelemesi, taban kesme kuvveti ve taban devrilme momentidir. Sonuç olarak düzensizlik durumlarının yapının deprem davranışını çok etkilediği görülmüştür.

Betonarme perde ve çerçeve yapılarında, perde yerleşiminin yapıların yatay yük altındaki davranışlarına etkilerini incelemek için farklı boyutlarda ve konumlarda perde yerleşimine sahip on yapı modellenmiştir. Yapıların analizler Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak yapılmış ve modellerin serbest titreşim periyotları, kat yatay yerdeğiştirmeleri, görelî kat ötelemeleri ve taban kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda sisteme yerleştirilen perde elemanların, yerleştirilen doğrultuda yapının yatay rijitliğini ve yapıya etkileyen taban kesme kuvvetini arttırdığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca görelî kat öteleme değeri çerçeve

sistemli modelde üst katlara doğru azalırken perdeli sistemli modelde üst katlara doğru artmaktadır (Kaya ve Özsoy Özbay, 2019).

Postolov, Volchev ve Vitanov (2019), planda düzensizlik durumlarının çağdaş deprem yönetmeliklerinde ne şekilde tanımlandığını ve belirlendiğini değerlendirmişlerdir. Çalışmada farklı yönetmeliklerde belirtilen planda düzensizlik durumlarını oluşturan esaslar incelemiştir. Yapının plandaki düzensizlik kriterleri depreme dayanıklı tasarımda büyük rol oynadığı belirtilmiştir. Önceki depremlerde oluşan hasarlara bakıldığında, düzensiz yapıların düzenli yapılara göre deprem etkilerine karşı önemli ölçüde savunmasız olduğu anlaşılmıştır. Bu sonuç plandaki düzensizlik durumlarının oluşumunu engelleyecek hükümlere ihtiyacı haklı kılmaktadır. Ayrıca yine bu sonucun getirisi olarak daha detaylı araştırmalara girilmiş ve yapıların deprem tepkilerinin değerlendirilmesini etkileyen daha çok sayıda parametreyi dikkate alan analiz yöntemleri geliştirilmiştir.

Betonarme yapı tasarımında belirlenen geometrik formun ve komşu katlar arası rijitlik düzensizliğinin betonarme çerçeve türü yapıların deprem anındaki davranışın ve kaba inşaatında ortaya çıkan maliyete etkisi incelenmiştir. Çalışmada, aynı oturma alanına sahip kullanım amacı konut olan kare ve dikdörtgen mimari planlı beş katlı modeller dikkate alınmıştır. Bu modellerin zemin kat yükseklikleri 4, 5 ve 6 m olacak şekilde değiştirilerek farklı zemin kat yüksekliklerinin sonuçlara etkisi araştırılmıştır. Oluşturulan modellerin yapısal analizleri STA4CAD programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, kare plan şekline sahip modellerin deprem dayanımının kat planının geometrik formu dikdörtgen olan modellerden daha fazla olduğu ve maliyet açısından daha ekonomik olduğu anlaşılmıştır (Uzunömeroğlu, 2019).

Gürsoy ve Doğan (2020), farklı döşeme boşluk oranlarına ve yerleşimine sahip betonarme yapıların, bina kaba inşaat maliyetine ve deprem etkisi altında taşıyıcı sistem davranışına etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada, döşeme boşluk oranları ve konumları farklı olan betonarme bina modelleri tasarlanmış ve binaların yapısal analizleri STA4CAD programında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre

döşeme boşluk oranlarındaki artış yapının kaba inşaat maliyetini arttırmış ve yapının deprem performansını azaltmıştır.

Khanal ve Chaulagain (2020), planda çıkıntılar bulunması düzensizliğinin kritik deprem doğrultusuna etkisini araştırmışlardır. Nümerik analizlerde bir adet düzenli ve altı adet L tipi betonarme bina modeli kullanılmıştır. Binaların deprem hesabı Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş ve çeşitli yapısal tepki parametreleri hesaplanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar planda çıkıntılar bulunması düzensizliğine sahip binaların kritik açı etki doğrultusuna simetrik bina modellerine göre daha çok duyarlı olduklarını göstermektedir. Depremin 135 °lik doğrultuda etkimesi durumunda dikkate alınan tepki parametrelerinde önemli bir artış görülmüştür. Ayrıca analizden elde edilen temel titreşim periyodu ile karşılaştırıldığında yönetmelik esas alınarak hesaplanan periyodun daha kısa çıkmaktadır.

Chhatani, Pawade, Dabhekar ve Khedikar (2021), çerçeve sisteme sahip yapı modellerini kullanarak burulma düzensizliği ve planda çıkıntılar bulunması düzensizliğini incelemiştir. Kare plana sahip düzenli ve L plana sahip düzensiz binaların analizleri ETABS kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada statik ve dinamik analiz yöntemleri kullanılmış ve yatay yerdeğiştirme, kat ötelenmesi, burulma düzensizliği katsayısı gibi tepki parametreleri dikkate alınmıştır.

Raagavi ve Sidhardhan (2021), yapıların düzensizlik durumlarından planda düzensizlik durumunu araştırmak için beş farklı plan geometrisine sahip, kat yüksekliği 3 m olan 12 katlı betonarme yapılar tasarlanmıştır. Çalışmada, yapıların yatay yük altındaki davranışları Zaman Tanım Alanında Analiz Yöntemi kullanılarak incelenmiştir. L şeklinde plan geometrisine sahip binanın en olumsuz deprem performansına sahip olduğu belirtilmiştir.

Koç (2022), Türkiye’de mimari olarak düzensiz binalara eğilimi araştırmıştır. Bu amaçla Samsun ili Atakum ilçesinde saha çalışması yapılarak 420 adet bina gözlemsel inceleme metodu ile incelenmiştir. Yapılan incelemenin sonuçları dikkate alınarak

mevcut yapılarda mimari tasarım açısından yapısal düzensizliklerin bulunma oranları ve düzensizlik tipleri belirlenmiştir. Çoğu binada birden çok düzensizlik durumunun birlikte bulunduğu görülmüştür.

Gudainiyan ve Gupta (2023), taban izolasyonlu L şeklindeki bir binanın uzak ve yakın alan deprem yer hareketleri etkisindeki davranışını araştırmıştır. Çalışmada, on katlı L tipi bir bina dikkate alınmış ve binanın analitik modeli SAP200 yapısal analiz programında yalıtımsız ve yalıtımlı durumları dikkate alınarak oluşturulmuştur. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiş ve kat yatay yerdeğiştirmeleri, burulma düzensizliği oranları ve taban kesme kuvvetleri yalıtımsız ve yalıtımlı bina modelleri için karşılaştırılmıştır. Uzak alan depremleri etkisi altında taban yalıtımlı binaların burulma düzensizliği oranının arttığı görülmüştür. Yakın alan deprem etkileri altında taban yalıtımlı binalarda pik yer ivmesi ve pik yer hızına bağlı olarak kat yatay yerdeğiştirmeleri, kat ötelenmeleri ve taban kesme kuvveti değerleri artmakta fakat burulma düzensizliği oranı azalmaktadır.

BÖLÜM İKİ

DEPREM ETKİSİ ALTINDA UYGUN TASARIM İÇİN GENEL İLKELER

2.1 Deprem Etkisi Altında Tasarımda Mimari Tasarımın Önemi

Aktif deprem bölgelerinde bulunan yapıların ekonomik ömrü boyunca bir deprem etkisine maruz kalma ihtimali oldukça yüksektir. Bu depremlerin oluşturacağı yer hareketlerinin genliğini, frekans içeriğini ve süresini önceden kestirmek günümüz teknolojisi ile mümkün değildir. Tasarım açısından bizi ilgilendiren kuvvetli yer hareketleridir. Kullanım amacı ve türü ne olursa olsun yapılar olası bir depreme karşı göçme ve can kaybının olmayacağı ya da minimum hasar alacak şekilde depreme dayanıklı olarak tasarlamak durumundadır. Deprem etkisi altında uygun tasarım yapabilmek için mimar ve mühendislerin birlikte hareket etmesi ve tasarım sürecinde birbirleriyle iş birliği içinde olmaları gerekir. Çünkü tasarım aşamasında mimar ve mühendisler tarafından belirlenen tasarım kararları, yapının deprem etkisi altındaki davranışı büyük ölçüde etkilemektedir. Kısacası yapı deprem davranışını tasarım aşamasında kendisine kazandırılan geometrik ve yapısal özellikler belirler.

Bir yapının deprem etkisi altındaki davranışında kendi kütlesi ve kütlelerin konumsal dağılımı, taşıyıcı sisteminin ve taşıyıcı sistem elemanlarının uygun düzenlenmesi, zemin özellikleri gibi etkenlerin yanı sıra mimari tasarımın etkisi oldukça fazladır (Gümrükçü, 2002). Araştırmalar depremde yapılarda meydana gelen hasarların bir bölümünün mimari tasarım kaynaklı olduğunu göstermektedir. Bir yapının mimari tasarımı ve depreme karşı gösterdiği davranış arasında önemli bir bağ vardır. Yapı tasarım sürecinde belirlenen yapı geometrisi ve boyutları, kullanılacak yapı malzemelerin seçimi, yapının kütle ve rijitlik dağılımı ile oluşan düzen ya da düzensizlikler yapının deprem davranışını önemli ölçüde etkiler (Küçük, 2006).

Deprem etkisi altında uygun tasarımında, yapının mimari tasarımı ve taşıyıcı sistem seçimi birbiri ile ilişkilidir. Genel olarak yapının arazi seçimi, kullanım amacı ve tasarımdaki mimari kararlar sonucunda belirlenen yapı formuna göre taşıyıcı sistem şekillenmektedir. Basit geometrik forma sahip olmayan yapıların taşıyıcı sistem

çözümleri de basit olmayacağı için bu tür yapıların deprem davranışını öngörebilmek oldukça zordur. Davranışı kestirilemeyen bir yapı tasarlamak geleceğe yönelik büyük riskler almak anlamına gelir. Buna karşılık taşıyıcı sistemin iyi tasarlanması yapının deprem karşısındaki davranışını olumlu yönde etkileyecektir. Yapı formuna göre tasarlanan taşıyıcı sistemin yapısal davranışı ile deprem etkisi altında gösterdiği davranış birbirine benzer olmaktadır (Albay, 1994 ve Aktürk 2004) .

Deprem etkisi altında uygun tasarımdaki amaç yapının deprem etkilerine karşı koyabilecek yeterli dayanım, rijitlik ve süneklik kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlanmasıdır. Belirli bir güvenliği sağlamak için yukarıdaki ilkeler doğrultusunda tasarlanan yapılarda çok şiddetli depremlerde hiç hasar oluşmayacağı anlamına gelmez. Bununla birlikte deprem etkisi dikkate alınarak tasarlanan bir yapının deprem davranışı olumludur ve gerektiği zaman bu tür yapılarda güçlendirme uygulaması tasarlanması kolay olabilir (Gümrükçü, 2002).

2.2 Deprem Etkisi Altında Tasarımın İlkeleri

Uzun yıllardır tüm dünyada benimsenen depreme dayanıklı yapı tasarımı felsefesi üç kritere dayanmaktaydı (Başarı, 2007). Buna göre bir yapının ömrü süresince karşılaşma ihtimalinin fazla olduğu hafif şiddetli depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hasar meydana gelmemelidir. Orta şiddetli depremlerin etkisinde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda meydana gelebilecek hasar onarılabilir düzeyde olmalıdır. Yapının ömrü boyunca etkisine maruz kalma ihtimalinin az olduğu şiddetli depremlerde ise can kayıplarını önlemek için yapıda kısmi veya toptan göçme olmamalıdır.




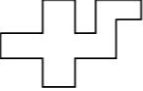
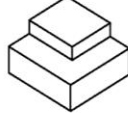
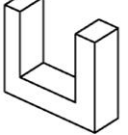



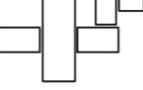
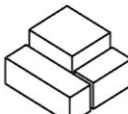
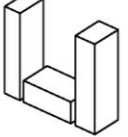
Günümüzde deprem mühendisliği alanındaki gelişmelerin getirisi olarak binaların deprem etkisi altında tasarımında Performansa Göre Tasarım olarak nitelendirilen modern bir tasarım yaklaşımı ön plana çıkmaktadır. Bu tasarım yaklaşımında farklı deprem yer hareketi düzeyleri için binanın deprem tasarım sınıfına göre farklı performans hedefleri esas alınarak tasarım gerçekleştirilmektedir.

Deprem etkisi altında tasarım felsefesi ne olursa olsun bir yapının deprem davranışının olumlu olabilmesi için önem arz eden temel hususlar bulunmaktadır. Deprem etkisi altında taşıyıcı sistemin uygun tasarımı için ilke niteliğindeki bu hususlar aşağıdaki bölümlerde kısaca açıklanmıştır.

2.2.1 Yapının Geometrisi

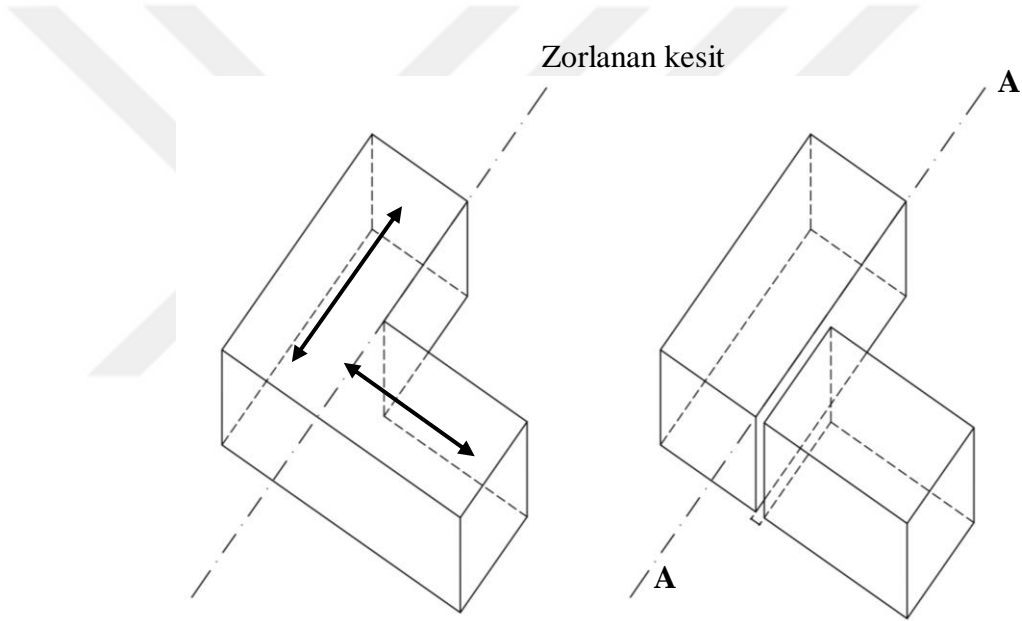
Genel olarak yapının geometrik düzenlemesi ne kadar basit ise deprem davranışı o kadar olumludur. Araştırmalar basit geometrik forma sahip yapıların depreme karşı dayanımlarının daha fazla olduğunu göstermektedir. Geçmiş depremlerde H, Y, L T formundaki yapılarda ortaya çıkan hasarlar basit kat planına sahip olmanın deprem etkisi altında olumlu davranış için yeterli olmadığını, bununla birlikte yapının simetrik bir plana da sahip olması gerektiğini ortaya koymuştur (Aktürk, 2004). Kısacası geometrik formda basitlik ve simetri birlikte sağlanmalıdır. Örneğin planda + şeklindeki bir yapı simetrik olmasına rağmen basit düzenlenmediği için deprem davranışı genel olarak olumsuzdur.

Basit ve simetrik geometrik forma sahip yapılarda deprem etkilerine karşı önlem almak ve uygulama esnasında oluşabilecek sorunların çözümü daha kolay olmaktadır (Albay, 1994). Diğer bir ifadeyle basit ve düzenli yapıların yapımı da kolaydır ve inşaat aşamasında hata yapma olasılığı azdır.

T Form	L Form	U Form	Karmaşık Form	Kademeli Plan	Çoklu Kademe
					
					

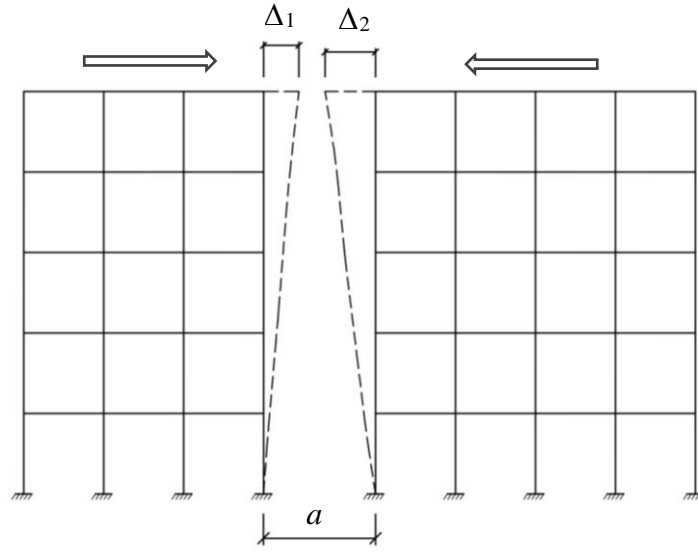
Şekil 2.1 Karmaşık yapıların basit geometrilere indirgenmesi (Coza, 2003)

Deprem davranışı açısından en uygun forma sahip yapılar genellikle kare ve dairesel planlı yapılardır. Plan geometrisi H, L, T ve Y gibi basit ve simetrik olmayan karmaşık yapılarda depremde oluşan burulma etkilerinden dolayı önemli hasarlar meydana gelmektedir. Deprem etkisinde burulma, yapının kütle merkezi ile yapının düşey taşıyıcı elemanlarının kesme kuvvetlerinin bileşkelerinin iki doğrultuda hesaplanmasından elde edilen rijitlik merkezinin birbirinden ayrık olması sonucunda oluşmaktadır. Bu nedenle deprem etkisindeki yapılarda burulmadan kaynaklı hasarların önüne geçilebilmesi için Şekil 2.1'deki gibi yapının mümkün olduğunca simetrik olması ya da yapısal derzlerle ile basit geometrik bölümlere ayrılması gerekmektedir (Albay, 1994, Sandıkçı, 2014 ve Özen, 2018).



Şekil 2.2 L tipi yapı bloğunun yapısal derz ile ayrılması

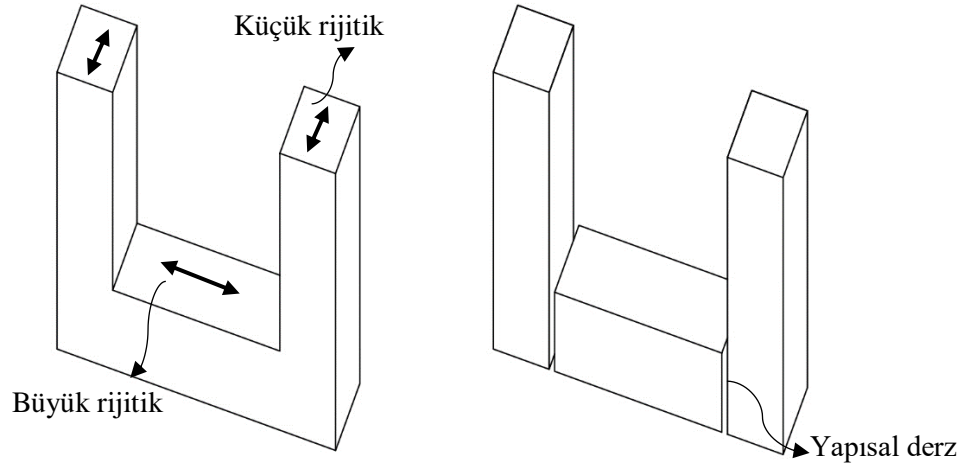
Karmaşık ve simetrik olmayan kat planlarının daha basit geometrilere ayrılmasındaki gerekçe Şekil 2.2'de gösterilen L tipi bir yapı üzerinden açıklanmaya çalışılmıştır. Bu L tipi bloğun kuvvetli doğrultuları şekilde ok işaretleri ile gösterilmiştir. Deprem bir birine dik iki doğrultuda etki ettiği düşünüldüğünde, rijitlikleri farklı iki parçanın deprem etkisi altında uyumsuz kütle hareketleri göstereceği anlaşılmaktadır. Bunu engellemek için Şekil 2.2'de gösterildiği gibi L tipi yapının zorlanan kesitinden (A-A kesiti) yapısal derzle bağımsız bloklara ayrılması gerekir.



Şekil 2.3 Aynı kat düzeyindeki yapı bloklarında çarpışma

Yapısal derzle birbirinden ayrılan ve bağımsız birer kütle olarak dikkate alınan blokların deprem yer hareketinin neden olduğu yanal titreşimler nedeniyle birbiriyle çarpışması olasıdır. Çarpışmaya bağlı olarak kütlelerin çarpışan bölümlerinde hasar ya da kısmi göçmeler meydana gelebilir. Bunu önlemek için yeterli derz boşluğunu bırakılmasına ve yapı bloklarının aynı kat düzeyinde olmasına dikkat etmek gerekir. Şekil 2.3'te gösterilen yapılar arasındaki derz boşluğu (a) her iki yapının enbüyük yatay yerdeğiştirmelerinin (Δ_1 ve Δ_2) toplamından büyük olmalıdır. Bu yapıların kat seviyeleri aynı olmasına rağmen yapısal özellikleri ve yatay rijitlikleri farklı olduğundan aynı deprem etkisi altında farklı yatay yerdeğiştirmeler oluşacaktır.

Farklı yüksekliklere sahip kütlelerin bir araya getirilmesiyle oluşan yapılarda kütle düzensizliği oluşmaktadır. Şekil 2.4'te gösterilen yapının alt bölümü ile iki yanından yükselen kuleler arasında böyle bir düzensizlik vardır. Bu yapının alt blokunun ve yükselen kulelerin birbirine dik iki deprem doğrultusunda rijitlikleri çok farklıdır. Bunun sonucunda deprem etkisi altında yapının alt bloğunda ve kulelerde farklı büyüklükte eylemsizlik kuvvetleri oluşarak düzensiz kütle hareketleri ortaya çıkmaktadır (Atımtay, 2021). Deprem etkisi altında uygun tasarım için farklı kütle ve rijitlik dağılımı gösteren bu tür yapı bloklarının da birbirlerinden yapısal derzle ayrılması gerekmektedir.



Şekil 2.4 Dzensiz kütle ve rijitlik dağılımı

2.2.2 Yapının Hafifliği

Depremde yapıya etki eden kuvvet ile yapı kütlesi (ağırlığı) arasında doğru orantı vardır. Etki edecek deprem kuvvetinin büyüklüğünün hesaplanmasında kütle tek başına etkili olmasa da genel olarak yapının ağırlığının az olması depremde yapıya etkiyecek yüklerin de az olmasına neden olacaktır. Yapı kütesinin artması ile deprem etkisinde ortaya çıkan kuvvetler de artmaktadır.

Ağırlığı fazla olan betonarme yapıları mümkün mertebe hafifletmek gerekir. Bunun için, örneğin, hafif dolgu duvar malzemesi kullanılabilir ve böylece tuğla dolgu duvarların teşkil ettiği önemli ağırlıktan kurtulmuş olunur. Dış cephede kullanılan ağır kaplamalar ve duvarlarda sıva üstüne uygulanan estetik elemanlar yapının ağırlığını arttırmaktadır. Mimari tasarım açısından bakıldığında ise geniş çerçeve alanlara sahip, sürekli veya büyük kesit alanlı kolonların olmadığı geniş açıklıklı mekanlarda rijitliği sağlamak için kullanılan kalın döşeme ve yüksek kirişlerin de yapı ağırlığını arttırdığı bilinmektedir (Albay, 1994 ve Hünük, 2006). Genel olarak mimari nedenlerle ortaya çıkan yukarıdaki uygulamaların kütleleri arttırarak yapının deprem davranışını doğrudan etkilediği gözen kaçırılmamalıdır.

2.2.3 Süreklilik

Yapıyı oluşturan taşıyıcı sistem elemanlarının plan düzleminde ve düşey doğrultuda süreklilik olacak şekilde yerleştirilmesi yapının deprem davranışını olumlu etkilemektedir. Perde, kolon ve kirişlerin plan yerleşiminin düzgün yapılması deprem etkisi altında taşıyıcı sistemin belirli bölgelerinde aşırı zorlanmayı engeller. Ayrıca taşıyıcı sisteme elemanların düşey doğrultuda ve kat planında sürekli devam etmesi betonarme yapılarda donatının iyi bir şekilde yerleştirilmesi ve detaylandırılması bakımından önemlidir.

Bütün düşey taşıyıcı sistem elemanların temelden çatıya kadar sürekli olması ve böylece yüklerin yapı temeline aktarılması gerekir. Düşey taşıyıcı sistem elemanlarının sürekliliği binanın deprem davranışı ile birlikte düşey yükler etkisindeki davranışını da büyük ölçüde etkilemektedir. Düşey taşıyıcı sistem elemanlarının sürekliliği ile ilgili detaylar Bölüm 3'te verilmiştir.

Kat kirişlerinde süreksizlikler kısa kolon oluşumuna sebep olabilir ve ek zorlamalar ortaya çıkartabilir. Kirişlerin sürekli olması durumunda deprem etkileri taşıyıcı sistem tarafından daha dengeli bir şekilde karşılanacak ve bu da düşey taşıyıcı sistem elemanlarında ek zorlamaların oluşmasını azaltacaktır. Kirişlerdeki süreksizlikler kat düzeyinde etki ettiği kabul edilen yatay yüklerin diğer taşıyıcı sisteme elemanlarına iletilmesi ile ilgili belirsizliklere neden olmaktadır. Dolayısıyla süreksiz kirişlere sahip yapıların deprem davranışını gerçeğe yakın olarak öngörmek oldukça zordur.

2.2.4 Göçme Modu

Deprem etkisi altında tasarım yaparken özellikle düşey taşıyıcı sistem elemanlarının dayanımını kaybederek lokal ya da toptan göçmenin önlenmesi ve burkulma gibi tehlikeli göçme modlarından uzak kalınması amaçlanmaktadır. Taşıyıcı sistemlerin şiddetli deprem etkileri altında güç tükenme biçimleri sistemin elastik ötesi davranışının incelenmesiyle belirlenebilir.

Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının eğilme ve eğilme ile birlikte eksenel kuvvet tesirleri dışında deprem etkisi altında davranışı sünek değildir. Eksenel basınç ile özellikle kesme kuvveti ve burulma etkileri altında betonarme kesitler gevrek davranış gösterir. Diğer bir ifadeyle bu etkiler altında betonarme kesitlerin plastik şekil değiştirme kapasitesi hemen hemen hiç yoktur. O halde betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında sünek olmayan bu tür güç tükenmesi biçimlerinden uzak durulması gerekir. Deprem etkisi altında sünek olmayan davranış kaçınılması gereken bir durumdur ve sistemde ani göçmelere neden olur.



(a) 1999 Kocaeli Depremi'nden bir örnek



(b) Çeltiksuyu YİBO Pansiyonu

Şekil 2.5 Gevrek göçme modları sonucunda oluşan toptan göçmeler (Koç, 2016)

Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının deprem etkisi altında tasarım plastik şekildeğişirmeler kiriş uçlarında toplanacak şekilde yapılmalıdır. Bunu sağlamak üzere Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde güçlü kolon – zayıf kiriş kuralı tanımlanmıştır (Aktürk, 2004). Ancak ne yapılsa yapılsın rijit temele bağlı zemin kat kolonlarının alt uçlarında plastik mafsal oluşumu engellenemez. Ancak bu durum taşıyıcı sistemde herhangi bir stabilite soru ortaya çıkarmaz ve tasarım açısından kaçınılmaz biçimde kabul görür. Şekil 2.5'te güçlü kolon – zayıf kiriş ilkesinin aksine tasarlanan betonarme yapılarda deprem etkisinde oluşan toptan göçmeler gösterilmiştir.

2.2.5 Süneklik

Süneklik bir taşıyıcı sistemin ya da taşıyıcı sistem elemanının deprem etkisi altında dayanımını kaybetmeden plastik şekil değiştirme yapabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Sünek yapılarda zeminden taşıyıcı sisteme aktarılan deprem enerjisinin çok önemli bir bölümü elastik sınırın ötesindeki büyük genlikli titreşimler ile taşıyıcı sistemin dayanımında kayda değer bir azalma olmaksızın sönmülmektedir. Sünek yapıların plastik enerji tüketme kapasiteleri büyüktür. İyi düzenlenmiş sünek bir taşıyıcı sistemde deprem sırasında yapıya aktarılan enerji kontrollü hasarlarla fakat lokal ya da toptan göçmeden uzak kalınarak karşılanmış olur (Albay, 1994 ve Aktürk, 2004).

Betonarme taşıyıcı sistemlerde sünek davranış kirişlerde basit eğilme etkisinde, düşey taşıyıcı sistem elemanlarında (kolon ve perdelerde) ise eğilme ve eksenel kuvvet etkisinde gerçekleşir. Bunun dışındaki tesirler etkisinde betonarme kesitler gevrek davranış gösterir. Gevrek davranışta plastik şekil değiştirmeler söz konusu değildir ve taşıyıcı sistem elemanları iç kuvvet kapasitesine ulaştınca ani olarak kırılır. Kolon ve perdelerde eksenel basıncın varlığı bu elemanların süneklik kapasitesini kaçınılmaz biçimde düşürür. Bu nedenle bu tür elemanlarda sargı donatısı etkili bir biçimde kullanılarak betonun plastik şekil değiştirme kapasitesinin artırılması amaçlanmalıdır.

2.2.6 Dayanım

Öngörülen bir deprem etkisine karşı taşıyıcı sistemin ve elemanlarının gerekli dayanıma sahip olması Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımının esasını teşkil etmektedir. Deprem etkisi altında uygun tasarım için taşıyıcı sistem elemanların yeterli dayanım kapasitesine (iç kuvvet kapasitesine) sahip olması gerekir. Buradaki amaç taşıyıcı sistem elemanlarının dayanım kapasitesinin deprem etkisinde hesaplanan dayanım talebinden büyük olmasını sağlamaktır.

Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında gerekli dayanımın sağlanması için kesit boyutlarının uygun belirlenmesi ve yeterli donatının sağlanması gereklidir. Bununla

birlikte aderansın (kenetlenmenin) sağlanarak donatının betondan sıyrılmasını önlenmesi, donatının gerekli kenetlenme boyuna sahip olacak şekilde detaylandırılması ve betonun yerleştirilmesini zorlaştıracak donatı düzenlerinden kaçınılması da öngörülen dayanımın oluşması için gerekli hususlardır.

2.2.7 Rijitlik

Rijitlik genel olarak taşıyıcı sistemin ya da taşıyıcı sistem elemanlarının deprem etkisinde meydana gelen doğrusal ya da açısız yerdeğiştirmelere gösterdiği dirençtir. Taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak deprem etkisinde oluşacak şekil değiştirme ve yerdeğiştirmeleri sınırlamak mümkündür. Böylece kısıtlı yerdeğiştirme kapasitesine sahip taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarın önüne geçilebilir.

Taşıyıcı sistemin rijitliği değiştirerek serbest titreşim periyodunu değiştirmek olasıdır. Böylece tasarıma esas deprem kuvvetleri tasarımcının belirleyeceği şekilde ortaya çıkabilir. Tasarım spektrumunun özelliğinden dolayı rijit yapıların tasarımında büyük deprem kuvvetleri esas alınır. Yapının rijitliği azaltılarak deprem kuvvetlerinin küçültülmesi yoluna gidilebilir ama bu durumda yatay yerdeğiştirmelerin ve görelî kat ötelemelerinin izin verilen sınır değerleri aşıp aşmadığı kontrol edilmelidir.

Betonarme taşıyıcı sistemlerin rijitliğini perde elemanlar kullanılarak etkili bir şekilde artırılabilir. Rijitlik daha ziyade mühendis tarafından binaya sağlandığı ve doğrudan mimari tasarım ile ilişkili olmadığı için tez kapsamında daha fazla detaya girilmemiştir.

2.3 Taşıyıcı Sistemin Deprem Davranışını Etkileyen Bazı Mimari Uygulamalar

Bu bölümde mimari nedenlere bağlı olarak ortaya çıkan, betonarme taşıyıcı sistemlerin düşey yükler etkisinde tasarımında hiç önem arz etmeyen fakat deprem yer hareketi etkisinde yapılarda önemli sorunlara neden olan iki uygulama üzerinde durulmuştur. Aşağıda detaylandırılan bu uygulamaları aslında doğrudan mimari ile bağdaştırmak yanlış olmaz.

2.3.1 Dolgu Duvar – Çerçeve Etkileşimi

Betonarme yapılarda mekan tanımlamak ve farklı amaç için tasarlanan mekanları birbirinden ayırmak amacıyla dolgu duvarlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok küçük şekil değiştirme kapasitesine sahip gevrek malzemeden üretilen bu dolgu duvarlar genellikle aralarında herhangi bir esnek derz veya bağlantı olmaksızın betonarme çerçeveye bitişik olarak yapılmaktadır. Düşey yükler altında herhangi bir sorun teşkil etmeyen dolgu duvarlar için deprem etkisi söz konusu olduğunda durum değişmektedir.

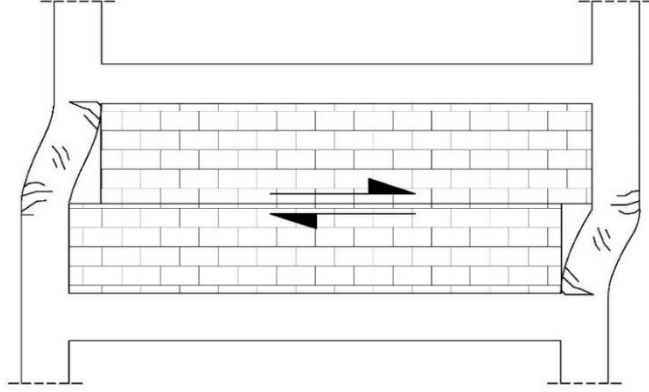
Taşıyıcı sistemin deprem yer hareketine maruz kalmasıyla dolgu duvar kendisini çevreleyen betonarme çerçeve ile etkileşime girmektedir. Birbirinden oldukça farklı yapısal özelliklere sahip dolgu duvar ile betonarme çerçevenin deprem etkileri altında davranışı oldukça olumsuzdur. Başlangıçta deprem yüklerinin önemli bir bölümünü taşıyan dolgu duvar çok küçük yatay yerdeğiştirmeler altında ezilir ve ilk biçimini koruyamaz.

Dolgu duvarlarda oluşan hasarlar duvar malzemesinin türüne, duvar kalınlığına, duvar ve tuğla arasında kullanılan sıva ve harca, dolgu duvar ile taşıyıcı sistem elemanları arasındaki etkileşim alanının büyüklüğüne, duvarda yer alan boşluklar gibi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir (Kızıloğlu, 2006). Deprem etkisinde dolgu duvarlarda oluşan tipik hasarlar yatay derz kayması, köşegen doğrultusunda çatlama, köşe noktalarında ezilme ve düzlem dışı devrilme şeklinde sıralanabilir (Toker, 2007).

Deprem etkisi altında dolgu duvarın sadece kendisi hasar almakla kalmayıp kendisini çevreleyen düşey taşıyıcı sistem elemanlarında da hasar oluşumuna neden olmaktadır. Şekil 2.6’da deprem etkisi altında dolgu duvarda meydana gelen yatay derz kayması sonucunda kolonlarda da hasar oluştuğu görülmektedir.

Sıkça tekrarlanan hafif ve orta şiddetli deprem yer hareketleri etkisinde gevrek dolgu duvarların hasar görmesini engellemek amacıyla dolgu duvar ile bitişik olduğu düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında esnek derz oluşturulabilir (TBDY, 2018). Bu

derzlerin dolgu duvarın deprem etkisi altında şekil değiştirmesini engellemeyecek elastik bir malzeme ile doldurulması gerekir.



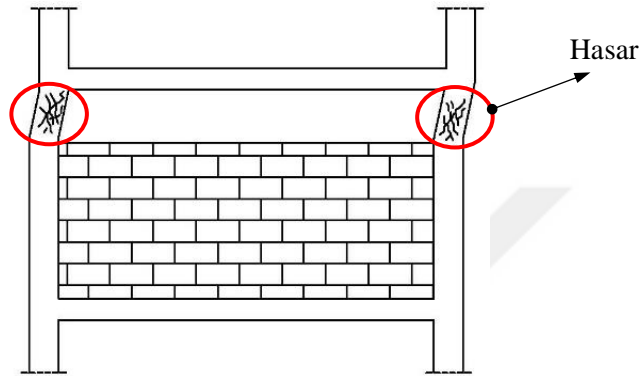
Şekil 2.6 Dolgu duvarda yatay derz kayması

2.3.2 Kısa Kolon Oluşumu

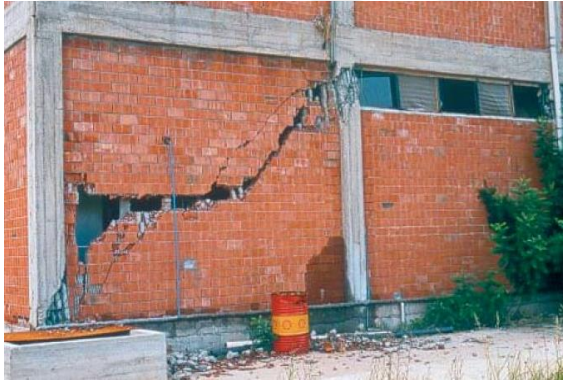
Kısa kolonlar taşıyıcı sistemde yapılan bazı düzenlemelere veya dolgu duvarlarda kolonlar arasında bırakılan boşluklar nedeni ile oluşabilmektedir. Katlar arasına yerleştirilen tesisat katları, eğimli arazide yapılan kademeli temeller, bodrum katların aydınlık olması ve havalandırılması için açılan bant pencereler, binalarda oluşturulan asma katlar, merdiven ara sahanlıkların kolon ortasına mesnetlenmesi, köşe kolonların zemin katta guseli kolonlara dönüşmesi gibi uygulamalar yapıda kısa kolona oluşumuna neden olmaktadır.

Deprem etkisine maruz kısa kolonlu yapılarda genellikle önemli hasar beklenir. Betonarme kolonların bir bölümünün deprem etkisinde şekil değiştirmesinin rijit dolgu duvarlarla kısıtlanması kolonlarda gevrek kırılmalara neden olabilir. Rijit dolgu duvar bitişik olduğu kolonun etkili boyunun kısalmasına neden olmakta ve kolonun yanıl yerdeğiştirme rijitliği artmaktadır. Böylece yatay rijitliği artan kolon tasarımda öngörülenden daha fazla kesme kuvveti karşılamak durumunda kalır. Kesme kuvveti etkisi ile oluşan bu gevrek kırılma taşıyıcı sistemde göçmeye varan düzeyde hasara yol açabilir (Meral, 2019).

Kısa kolonlara bağılı olarak oluşan hasar Şekil 2.7’de şematik olarak gösterilmiştir. Gerçek yapılarda oluşmuş kısa kolon hasarlarından örnekler ise Şekil 2.8’de verilmiştir. Şekil 2.8a’da bir yapıda bant pencere açılması sonucunda 1998 Adana - Ceyhan depreminde oluşan kısa kolon hasarı, Şekil 2.8b’de merdiven sahanlığının kolonlara mesnetlenmesi ile oluşan kısa kolon nedeniyle 1999 Kocaeli depreminden bir hasar görülmektedir.



Şekil 2.7 Kısa kolon hasarı



a) 1998 Adana - Ceyhan depreminden bir örnek
(Bachmann, 2002)



b) 1999 Kocaeli depreminden bir örnek
(Yılmaz, 2019)

Şekil 2.8 Gerçek yapılarda kısa kolon hasarları

Deprem etkininde kısa kolon davranışının ortaya çıkmaması için kolonun serbestçe şekil değiştirmesinin sağlanması gerekir. Bunun için betonarme çerçeve düzlemi içinde dolgu duvarın hiç bulunmaması, bulunması halinde kolon yüksekliği boyunca devam etmesi ya da dolgu duvar ile kolon arasını ezilebilir malzeme ile dolgu

yapılması sağlanmalıdır. Kısa kolon oluşunun engellenemediği durumlarda, kısa kolonun alt ve ¼st uçlarının eğilme momenti kapasiteleri donatının pekleşmesini de dikkate alınarak belirlenmeli ve buradan hareketle hesaplanan kesme kuvvetine g¼re boyutlandırma yapılmalıdır.



BÖLÜM ÜÇ

DEPREM ETKİSİ ALTINDA UYGUN TASARIM İÇİN BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİNİN DÜZENLENMESİNE YÖNELİK TBDY KOŞULLARI

3.1 Bina Taşıyıcı Sistemlerin Düzenlenmesi

Betonarme yapıların taşıyıcı sistemlerinin uygunsuz düzenlenmesi ve bu tür yapılarda çeşitli düzensizliklerin bulunması yapının deprem davranışını olumsuz etkilemekte ve hasar almasına ya da göçmesine neden olmaktadır. Belirli bir güvenliğini sağlayarak can ve mal kayıplarını önlemek ya da aza indirmek amacıyla deprem etkisi altında tasarımı zorunlu kılan deprem yönetmelikleri bulunmaktadır. Çağdaş deprem yönetmeliklerinin çoğunda yapıların deprem etkisi altında tasarımı için gerekli kurallar ve minimum koşullar yer almaktadır. Bunlarla birlikte söz konusu yönetmeliklerde deprem etkisi altında bina taşıyıcı sistemlerinin düzenlenmesine yönelik çeşitli ilkeler de bulunmaktadır.

Bu bölümde deprem etkisi altında bina taşıyıcı sistemlerinin düzenlenmesine yönelik Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ndeki genel kurallar incelenmiştir. Bu kurallarla birlikte Bölüm 3.2'de açıklanan planda ve düşey doğrultuda düzensiz taşıyıcı sistemlerin tasarımından ve yapımından da olabildiğince kaçınılmalıdır.

3.1.1 Taşıyıcı Sistemin Sadeliği ve Basitliği

Deprem etki altında tasarımın temel kuralı bina taşıyıcı sisteminin olabildiğince sade ve basit olmasıdır. Taşıyıcı sistemi sade ve basit tasarlanan bir yapının deprem davranışını öngörmek ve buna göre çözümlene yapmak daha kolaydır. İyi bir tasarımda taşıyıcı sistemin öngörülen davranışı ile deprem etkisi altındaki davranışı birbirine yakın olur.

Karmaşık ve düzensiz taşıyıcı sistemlerin analitik modelinin oluşturulması zordur ve bu tür sistemlerin yapısal analizi daha çok belirsizlik içerir. Ayrıca yapısal modellemede çeşitli kabuller yapılmakta ve analizi kolaylaştırmak için çeşitli

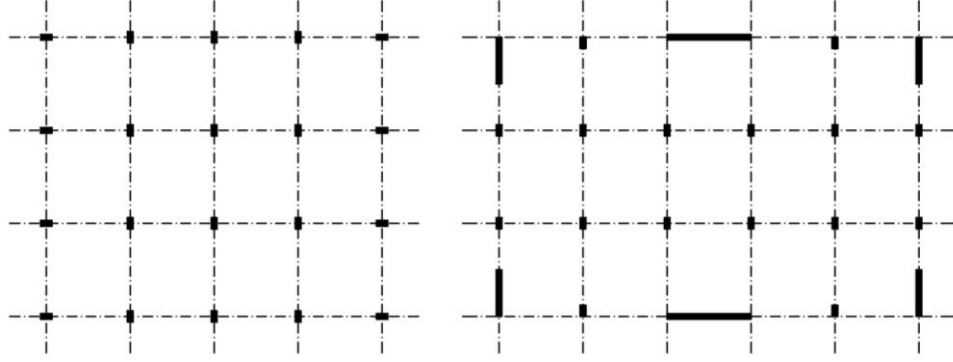
hipotezler dikkate alınmaktadır. Bu nedenle elde edilen analiz sonuçları kesin olmayıp yaklaşık değerlerdir.

Taşıyıcı sistemlerin deprem etkisi altında tasarımında düşey yüklere göre tasarıma oranla daha büyük belirsizliklerle karşılaşılır. Tasarıma esas deprem yer hareketi ancak büyük belirsizliklerle birlikte istatistiksel olarak tahmin edilebilir. Ayrıca yapısal elemanların ve birleşim yerlerinin deprem etkileri altındaki davranışları da çeşitli belirsizlikler içermektedir. Bu nedenle bir taşıyıcı sistemin deprem etkilerine güvenle karşı koyabilme özelliği kesin olarak belirlenebilecek bir durum değildir. Hem deprem etkileri hem de yapısal elemanların dayanım özellikleri deterministik değerler olmayıp ancak istatistiksel olarak belirlenebilir.

Kısacası deprem yer hareketinin tahmin edilmesi, taşıyıcı sistemin analitik modelinin oluşturulması ve yapısal elemanların dayanım ve deformasyon kapasitelerinin belirlenmesinde çeşitli belirsizlikler vardır. Buna ek olarak yapısal analiz ve tasarım yöntemlerinde de çeşitli kabul ve hipotezlere bağlı yaklaşımlar söz konusudur. Bu nedenlere bağlı belirsizlikleri aza indirgeyerek binanın deprem davranışının öngörülebilir olmasını sağlamak üzere taşıyıcı sistemin olabildiğince sade ve basit düzenlenmesi deprem etkisi altında yapısal tasarımın temel kuralıdır.

3.1.2 Taşıyıcı Sistemin Düzenli ve Simetrik Olarak Düzenlenmesi

Böyle bir düzenleme ile yapının öngörülen deprem davranışı ile deprem etkisinde meydana gelecek olanın birbirine yakın olmasını sağlar. Ayrıca bu şekilde bir düzenleme ile kat döşemelerinde yayılı kütleler nedeniyle ortaya çıkan eylemsizlik kuvvetlerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına en uygun biçimde aktarımı söz konusudur. Taşıyıcı sistemin planda simetrik olarak düzenlenmesiyle kütle ve rijitlik dağılımından kaynaklanan dış merkezliklerin önüne geçilebilir ve böylece taşıyıcı sistemin deprem davranışı daha kolay öngörülebilir. Şekil 3.1’de düşey taşıyıcı sistem elemanları kat planı içerisinde simetrik olarak düzenlenmiş iki farklı taşıyıcı sistem örneği görülmektedir. Kat planında simetri ile birlikte bir önceki bölümde ifade edilen sadelik ve basitlik de unutulmamalıdır.



Şekil 3.1 Simetrik taşıyıcı sistem plan örnekleri

Taşıyıcı sistemin planda olduğu gibi düşey doğrultuda da belirli bir düzende tasarlanması gerekir. Bunun için kat rijitliği ve dayanımındaki ani değişimler nedeniyle ortaya çıkan yumuşak kat ve zayıf kat olarak ifade edilen düzensizlik durumlarından olabildiğince kaçınılmalıdır. Bu tür düzenlemelere ilişkin detaylı bilgiler ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

3.1.3 Taşıyıcı Sistemde Fazla Bağlılık Özelliğinin Sağlanması

Deprem etkileri altında taşıyıcı sistemin bazı elemanlarının dayanımlarının azalması ve kapasitesine erişerek devre dışı kalması durumunda taşıyıcı sistemde kararlı davranışının devam etmesine sağlayabilecek yeterli sayıda yedek elemanın devreye girebilmesi, diğer bir ifadeyle taşıyıcı sistemin yedeklenebilmesi gerekmektedir. Bu durum taşıyıcı sistemin fazladan bağlılık özelliğinin sağlanması (yüksek dereceden hiperstatik olması) ile mümkündür. Taşıyıcı sistemin fazladan balık özelliğinin sağlanması ilerleyen bölümlerde açıklanan süreklilik için de şarttır.

Yapısal derzlerle birbirinden ayrılan bina blokları deprem etkisi altında çarpışarak hasar görme riski taşımaktadır. Bundan dolayı taşıyıcı sistem elemanlarının dengeli düzenlenmesi, burulma düzensizliğinin önlenmesi ya da azaltılması gibi gerekçeler dışında salt plan boyutlarının uzun olması yüzünden bina taşıyıcı sisteminin yapısal derzler kullanılarak bağımsız bloklara ayrılması durumundan mümkün mertebe kaçınılmalıdır. Böylece deprem etkileri altında bir bütün olarak çalışan taşıyıcı sistemde fazla bağlılık özelliği daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır.

3.1.4 Taşıyıcı Sistemde Yeterli Dayanım ve Rijitlik

Deprem yer hareketinin kat planında herhangi bir doğrultuda etki edebileceği dikkate alınarak taşıyıcı sistem elemanlarının birbirine dik iki asal doğrultuda düzenlenmesi, ayrıca birbirine yakın rijitlik ve dayanıma sahip olması esastır. Kısacası yapının birbirine dik iki asal doğrultudaki rijitlik ve dayanımı yaklaşık aynı olmalıdır.

Taşıyıcı sistemde genel olarak olumsuz deprem davranışına neden olduğu bilinen burulma düzensizliğini engelleyerek tehlikeli burulma titreşimlerinin önüne geçebilmek için taşıyıcı sistemde yeterli burulma dayanımının ve rijitliğin sağlanması gerekir. Bu doğrultuda uygun bir çözüm olarak rijitliği ve dayanımı yüksek düzey taşıyıcı sistem elemanlarının (perdelerin) olabildiğince binanın çevresinde düzenlenmesi gerekmektedir.

3.1.5 Taşıyıcı Sistemde Yeterli Süneklik

Süneklik dayanımda büyük azalmalar meydana gelmeksizin taşıyıcı sistem elemanlarının ve/veya taşıyıcı sistemin elastik olmayan büyük şekil değiştirme veya yer değiştirme yapabilmesidir. Süneklik sayesinde tersinir ve tekrarlı deprem etkileri altında taşıyıcı sistemde enerji tüketilmekte ve deprem etkileri sönmelenmektedir. Kapasitelerine ulaşan betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında plastik şekil değiştirmelerle enerji tüketilirken iç kuvvetler daha az zorlanan kesitlere aktarılmaktadır. Bunlarla birlikte, tanımından da anlaşılacağı üzere, sünekliğin taşıyıcı sistemde müsaade edilen yapısal hasarla orantılı olduğu göz önünde bulundurmak gerekir.

Elemanların düzenlenmesi bakımından da doğru tasarlanmış sünek bir taşıyıcı sistemde deprem etkileri kontrollü hasarla geçmeden uzak kalarak karşılanır. Tasarım depremi gibi şiddetli depremlerde elastik deprem yükleri çok büyük değerler alır. Taşıyıcı sistemin bu deprem etkilerini hiç hasarsız ve düşey yüklerde olduğu gibi elastik davranış sınırları içerisinde kalarak karşılanması ekonomik olmayan çözümler gerektirir. Kısacası elastik deprem yükleriyle ekonomik bir taşıyıcı sistem tasarımı söz

konusu değildir ve şiddetli depremler etkisindeki bina taşıyıcı sistemlerinde belirli düzeyde yapısal hasara kullanıcıların can güvenliğini sağlamak kaydı ile bilerek izin verilir. Dayanıma göre tasarımın (DGT) ana felsefesini oluşturan bu yaklaşım ile süneklik kapasitesine göre azaltılmış deprem yükleri belirlenir.

Taşıyıcı sistemin öngörülen süneklik kapasitesini gerçekleştirebilmesi ve tasarım deprem yer hareketinin etkisi altında binada meydana gelen deprem etkilerinin taşıyıcı sistemin sünek davranışı ile azaltılması için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan sünek tasarım kurallarına ve kapasite tasarımı ilkelerine titizlikle uyulmalıdır.

3.1.6 Katlarda ve Geçiş Katlarında Yeterli Döşeme Rijitliği ve Dayanımı

Üç boyutlu yapılar genel olarak düzlem çerçevelerin tek başına ya da perdelerle birlikte kullanılması ve bu taşıyıcı sistem elemanlarının yatay bir düzlem içinde kiriş-döşeme sistemi ile birbirine bağlanmasıyla oluşturulur. Deprem etkisi altında kat döşemelerinde yayılı kütleler nedeniyle ortaya çıkan eylemsizlik kuvvetlerinin kolon ve perde gibi düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılması ve deprem etkilerinin birbirine göre farklı rijitliklere sahip düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında dağıtılmasını gerektirmektedir. Döşemelerin bu önemli görevi yerine getirebilmesi için düzlem içi rijitliğinin yüksek olması ve bununla birlikte yeterli dayanıma sahip olması esastır.

Taşıyıcı sistemin deprem hesabından elde edilen düzlem içi kuvvetlerin döşemelerden düşey taşıyıcı sistem elemanlarına (kolon ve perde) güvenli biçimde aktarıldığının hesapla gösterilme gerekmektedir. Bu kuvvet aktarımının sağlanması için gerekli durumlarda betonarme döşemelerde aktarma elemanları ve ek bağlantı donatıları kullanılabilir.

Diyafram etkisi sağlayarak deprem yüklerini kendi düzleminde geçiren ve düşey taşıyıcılara aktaran döşemelerde bu etkiyi güçleştiren büyük boşluklardan kaçınılmalıdır. Kullanım ve mimari nedenlerden dolayı döşeme boşlukları çoğu kez

kaçınılmaz olur. Bu durumda deprem kaynaklı eylemsizlik kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanlarına aktarmak içine boşluk kenarlarında yeterli dayanım ve rijitliğe sahip yatay elemanların düzenlenmesi gerekmektedir.

Tipik bir uygulama olarak bodrumlu binalarda çepeçevre bodrum perdeleri düzenlenmektedir. Bu bodrum perdeleri üst katlarda oluşan eylemsizlik kuvvetlerini büyük bir kısmının geçiş döşemeleri aracılığıyla alıp temele aktaran elemanlardır. Rijitliği daha az olan normal katlardan çok rijit bodrum katlarına geçişte yer alan bu geçiş döşemelerinin yeterli düzlem içi rijitlik ve dayanıma sahip olması sağlanmalıdır.

3.2 Düzensizlik Durumları

Kat planında ve düşey doğrultuda yapılan bazı uygulamalar düşey yükler etkisinde tasarımda fazla bir önem arz etmemekle birlikte deprem etkisi altında tasarımda düzensizlik olarak karşımıza çıkmaktadır. TBDY (2018)'de depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluklar nedeniyle tasarımından ve yapımından uzak durulması gereken binalar düzensiz bina olarak tanımlanmıştır. Planda ve düşey doğrultuda düzensizliğe neden olan durumlar deprem yönetmeliğinde A ve B olmak üzere iki ayrı grupta incelenmektedir. TBDY (2018)'de verilen düzensizlik durumları Tablo 3.1'de listelenmiş ve ilerleyen bölümlerde bu düzensizlik durumları ayrı ayrı detaylandırılmıştır.

Tablo 3.1 Düzensizlik durumları

Planda Düzensizlik Durumları
A1 – Burulma Düzensizliği
A2 – Döşeme Süreksizlikleri
A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması
Düşeyde Düzensizlik Durumları
B1 – Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat)
B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)
B3 – Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanların Süreksizliği

3.2.1 Planda Düzensizlik Durumları

Günümüzde genel olarak daha fonksiyonel yapıların tasarlanması isteği, tasarımdaki estetik kaygılar ve kullanıcıların yaşadıkları yapılardan beklentilerin

artması planda düzensizlik durumlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Planda düzensizlik durumları A1, A2 ve A3 türü düzensizlikler olmak üzere üç ayrı başlık altında incelenmektedir. A1 türü düzensizlik deprem hesap yönteminin belirlenmesinde etkili olan önemli bir düzensizlik durumudur. A2 ve A3 türü düzensizlik durumları ise kat döşemelerinin modellenme tekniğinin belirlenmesinde etkilidir. Buna göre A2 ve A3 türü düzensizliklere sahip binalarda kat döşemelerinin düzlem (iki boyutlu) sonlu elemanlarla modellenmesi ve böylece düzlem içi deprem kuvvetlerinin kolon ve perdelerle güvenle aktarılabilirdiğinin gösterilmesi gerekmektedir.

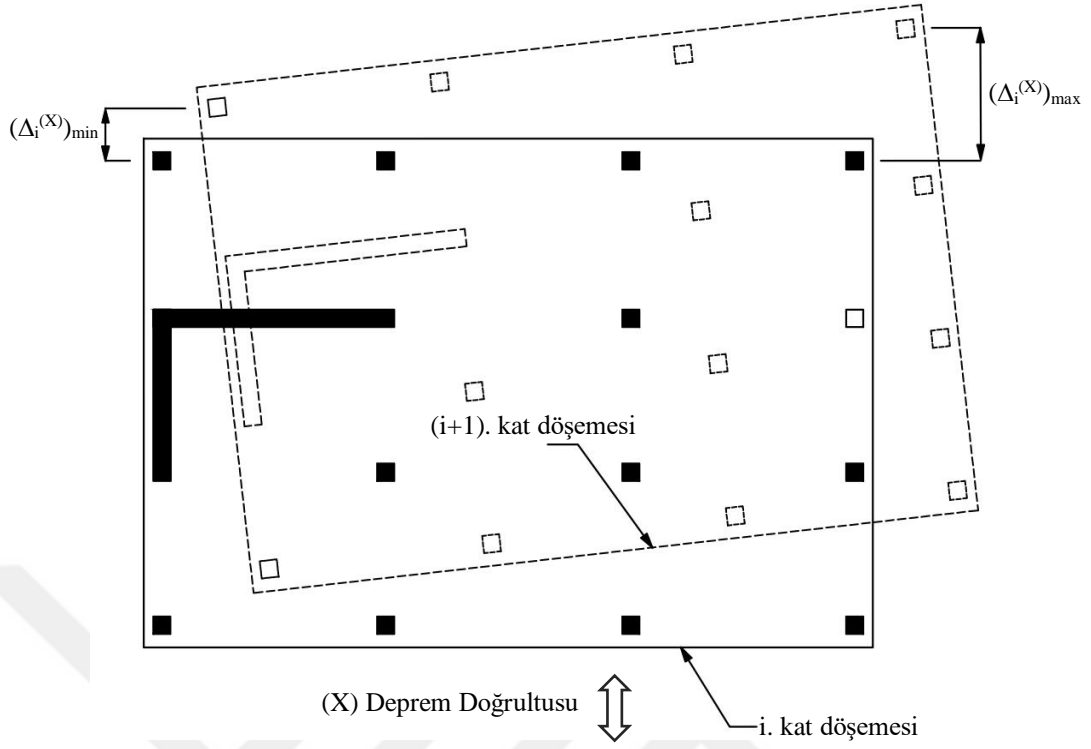
3.2.1.1 Burulma Düzensizliği

Burulma düzensizliği, yatayda birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için herhangi bir kattaki en büyük görelî kat ötelemesinin $((\Delta_i^{(X)})_{\max})$ aynı doğrultudaki ortalama görelî kat ötelemesine $((\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}})$ oranı olarak tanımlanan burulma düzensizliği katsayısının (η_{bi}) 1,2'den büyük olması halinde oluşan düzensizlik durumudur. Denklem (3.1)'de geçen görelî kat ötelemeleri döşemeler için rijit diyafram modeli kullanılarak ve \pm %5 ek dış merkezlik etkileri dikkate alınarak Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile belirlenecektir.

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i^{(X)})_{\max}}{(\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}}} > 1,2 \quad (3.1)$$

Betonarme döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak modellenmesi durumunda binanın i'inci kat seviyesindeki ortalama görelî öteleme Şekil 3.2 dikkate alınarak Denklem (3.2) yardımıyla hesaplanmaktadır. Denklem (3.2)'de $((\Delta_i^{(X)})_{\min})$ i'inci kattaki en küçük (minimum) görelî kat ötelemesidir.

$$(\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}} = \frac{1}{2} \left[(\Delta_i^{(X)})_{\max} + (\Delta_i^{(X)})_{\min} \right] \quad (3.2)$$



Şekil 3.2 (X) deprem doğrultusu için görelî kat ötelemeleri

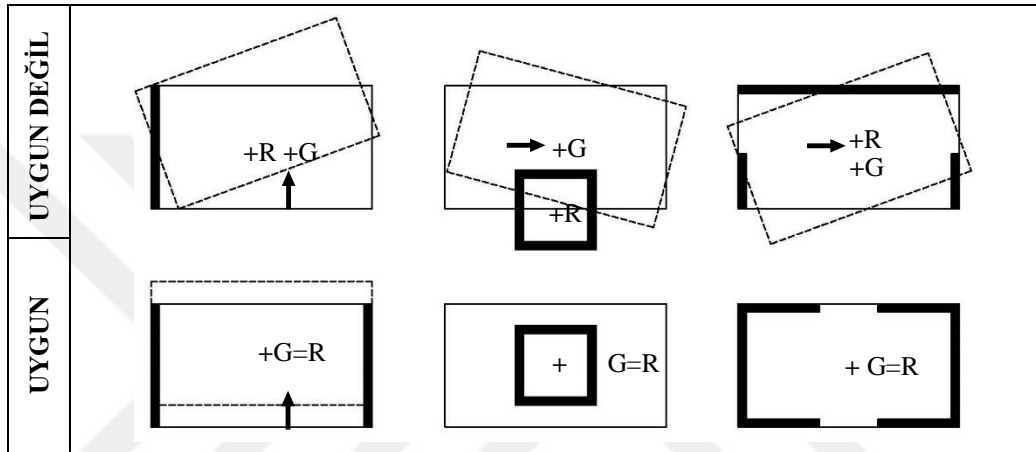
Binanın herhangi bir katında A1 türü düzensizliğin bulunması durumunda burulma düzensizliği katsayısının 1,2 ile 2,0 arasında olması koşuluyla bu katta uygulanan \pm %5 ek dış merkezlik birbirine dik her iki deprem doğrultusu dikkate alınarak Denklem (3.3)'te verilen katsayı ile çarpılarak büyütülecektir. Böylece taşıyıcı sistemin Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile deprem hesabında daha büyük burulma etkileri dikkate alınmış olmaktadır.

$$D_{bi} = \left(\frac{\eta_{bi}}{1,2} \right)^2 \quad (3.3)$$

Burulma düzensizliği katsayısının 2'den büyük olması durumunda ise binanın deprem hesabında modal hesap yöntemlerinden birisinin kullanılması zorunludur.

Burulma düzensizliği deprem kuvvetinin etki ettiği kabul edilen kat kütle merkezi ile katın rijitlik merkezinin birbirinden ayrık olmasıyla belirgin hale gelmektedir. Binanın plan şeması kare veya dikdörtgen olsa bile düşey taşıyıcı sistem elemanları olan kolon

ve perdelerin kat kütle merkezinden geçen yatay eksenlere göre simetrik ve düzenli olarak yerleştirilmemesi ve tasarımda yapısal eleman olarak dikkate alınmayan fakat belirli bir rijitliğe sahip olan dolgu duvarların binanın bir kısmında yığılmış olması kütle merkezi ile rijitlik merkezinin birbirinden ayrık olmasına neden olmaktadır (Bayülke, 1998 ve Gökçe, 2002). Burulma açısından uygun ve uygun olmayan bazı taşıyıcı sistem düzenlemeleri Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Bu şekilde R yapının rijitlik merkezini, G ise kütle merkezini simgelemektedir.



Şekil 3.3 Düşey eksen etrafında burulma oluşumu (Celep ve Kumbasar, 2001)

Burulma düzensizliği taşıyıcı sistemin deprem davranışında olumsuzluklara neden olan önemli bir düzensizlik durumudur. Önemli burulma etkileri nedeniyle binaların depremde hasar görmesi olasıdır (Şekil 3.4).



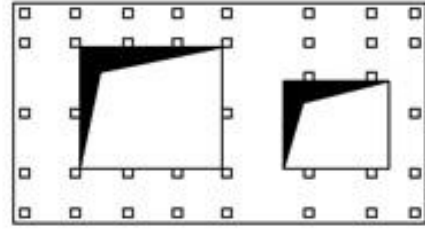
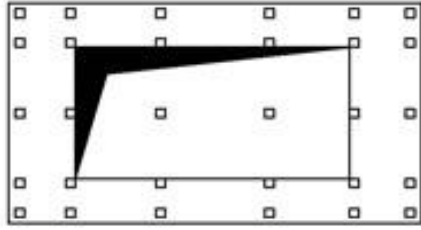
Şekil 3.4 Burulma düzensizliğine bağlı hasar oluşumu (Çağatay vd., 2012)

3.2.1.2 Döşeme Süreksizlikleri

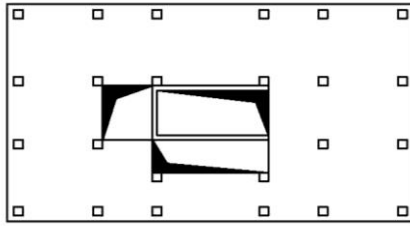
Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde döşeme süreksizliğine neden olabilecek üç farklı durum tanımlanmaktadır. Bu durumlar herhangi bir kat döşemesinde

- Merdiven ve asansör boşluklarını da içeren boşluk alanlarının (A_b) kat brüt alanının (A) $1/3$ 'ünden fazla olması,
- Döşemde deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sisteme güvenle aktarılmasının zorlaşmasına neden olabilecek yerel boşlukların bulunması,
- Döşemenin düzlem içi dayanımında ve rijitliğinde ani azalmalar olmasıdır.

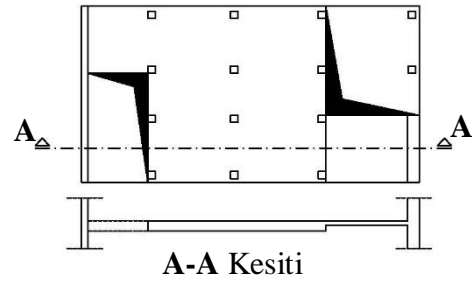
Yukarıda açıklanan döşeme süreksizliklerine neden olan bazı uygulamalar Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Döşemde birden fazla boşluğun bulunması durumunda tüm boşluk alanları toplanarak dikkate alınmaktadır. Genel olarak bina kat döşemelerinde galeri boşluğu oluşturmak amacıyla açılan boşluklar A2 türü düzensizliğe neden olmaktadır.



(a) Döşemde oluşturulan boşluk alanları



(b) Döşemde yerel boşluklar



(c) Düzlem içi rijitlik ve dayanımda azalma

Şekil 3.5 A2 türü düzensizlik durumları

Kat döşemeleri üzerlerine etki eden düşey yükleri mesnetlendikleri taşıyıcı sistem elemanlarına (kirişli döşemelerde kirişle, kirişsiz döşemelerde ise kolon ve perdelerle) aktaran yatay taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Döşemelerin diğer önemli bir görevi ise

deprem ivmeleri nedeniyle kat kütlelerinin oluşturduğu eylemsizlik kuvvetlerini yüksek düzlem içi rijitlikleri sayesinde düşey taşıyıcı sistem elemanlarına iletmektir. Kısacası kat döşemeleri, yapıya etki eden deprem yüklerinin de düşey taşıyıcı sistem elemanlarına iletilmesini ve bunlar arasında dağıtılmasını sağlar (Yaşoğlu, 2015). Kat döşemelerinde açılan boşluklar ve döşemenin düzlem içi dayanımında ve rijitliğinde ani azalmalara neden olabilecek uygulamalar yapıya etki eden deprem kuvvetlerinin sağlıklı bir şekilde iletilmesini güçleştirir.

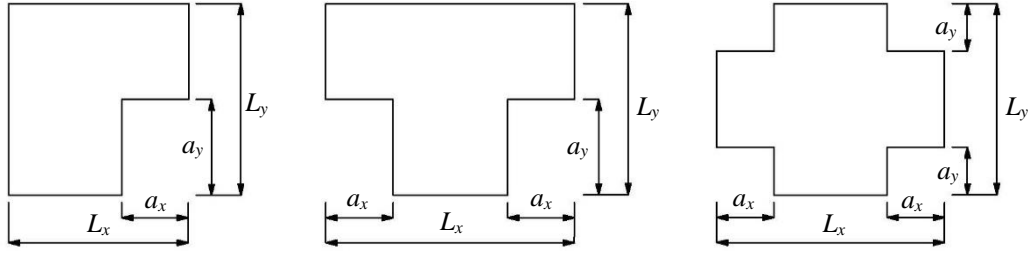
Doğal olarak bu düzensizlik türünden olabildiğince kaçınılmalıdır. Ancak kaçınılmaz durumlarda rijit diyafram varsayımı terk edilerek döşemenin düzlem içi şekil değiştirmelerini de dikkate alacak şekilde iki boyutlu levha (membran) veya kabuk sonlu elemanlar kullanılarak modellenmesi gerekmektedir.

3.2.1.3 Planda Çıkıntılar Bulunması

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde planda çıkıntılar bulunması durumu, binanın kat planında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de (a_x ve a_y), binanın o katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutlarının (L_x ve L_y) %20'sinden daha büyük olması şeklinde tanımlanmıştır. Farklı ülke yönetmeliklerinde yukarıda geçen oranın değişebildiği görülmektedir.

L, T, H ve U şeklinde döşemeleri bulunan binaların A3 türü düzensizliğe sahip olmaları halinde döşeme kollarında düzlem içi birbirine göre rölatif yerdeğiştirmeler ortaya çıkabilir. Bu durumda döşemelerin rijit diyafram olarak çalışması varsayımı doğru olmayabilir ve döşemelerin iki boyutlu sonlu elemanlarla modellenmesi gerekmektedir.

A3 türü düzensizlik durumunun belirlenmesinde esas alınan a ve L boyutları birbirine dik (X) ve (Y) deprem doğrultuları için Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 A3 türü düzensizlik durumu (TBDY, 2018)

3.2.2 Düşeyde Doğrultuda Düzensizlik Durumu

Düşey doğrultuda düzensizlik durumları genel olarak düşey taşıyıcı sistem elemanlarının bina yüksekliği boyunca sürekli bir biçimde devam etmemesi, bu elemanların kesit boyutlarının üst katlarda küçültülmesi, dolgu duvarların bazı katlarda (tipik olarak zemin katta) ortadan kaldırılması gibi uygulamaların sonucunda orta çıkmaktadır. Düşeyde düzensizlik durumları B1, B2 ve B3 türü düzensizlikler olmak üzere üç ayrı başlık altında incelenmektedir. B2 türü düzensizlik deprem hesap yönteminin seçiminde etkili olan düzensizliktir.

3.2.2.1 Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat)

Komşu katlar arası dayanım düzensizliği, yatayda birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için herhangi bir kattaki toplam etkili kesme alanının $((\Sigma A_e)_i)$ bir üst kattaki toplam etkili kesme alanına $((\Sigma A_e)_{i+1})$ oranı şeklinde tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısının (η_{ci}) 0,8'den küçük olması halinde oluşan düzensizlik durumudur. Zayıf kat olarak da isimlendirilen bu düzensizliğe ait sınır değeri Denklem (3.4) ile verilmektedir:

$$\eta_{ci} = \frac{(\Sigma A_e)_i}{(\Sigma A_e)_{i+1}} < 0,8 \quad (3.4)$$

Herhangi bir kat için (i. kat) toplam etkili kesme alanının tanımı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde Denklem (3.5)'teki gibi verilmiştir. Bu denklemde ΣA_w kolon çıkıntılarının alanları hariç kolon enkesiti etkin gövde alanlarının toplamı, ΣA_g

dikkate alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde elemanlarının enkesit alanlarının toplamı, ΣA_k ise kolon kapı ve pencere dahil edilmeksizin, hesap yapılan deprem doğrultusuna paralel dolu duvar alanlarının toplamıdır. Dolgu duvarlar ile betonarme çerçeve arasında esnek derslerin yapılması durumunda ve i 'inci kattaki dolgu duvarı alanlarının toplamı $(i+1)$ 'inci kattakinden fazla olması halinde dolgu duvarların etkili kesme alanına katkısı dikkate alınmayacaktır.

$$(\Sigma A_e)_i = (\Sigma A_w)_i + (\Sigma A_g)_i + (0,15 \Sigma A_k)_i \quad (3.5)$$

B1 türü düzensizliğin bulunduğu binalarda dayanım düzensizliği katsayısının en küçük olduğu kat dikkate alınarak $0,6 \leq (\eta_{ci})_{\min} < 0,8$ aralığında taşıyıcı sistem davranış katsayısı R 'nin $1,25(\eta_{ci})_{\min}$ ile çarpılarak küçültülmesi ve her iki deprem doğrultusunda da binanın tümüne uygulanması gerekmektedir. Görüldüğü gibi taşıyıcı sistem davranış katsayısının küçültülmesiyle tasarımda dikkate alınan azaltılmış deprem yükleri artmakta, kısacası bina daha büyük deprem etkilerine göre tasarlanmış olmaktadır. Dayanım düzensizliği katsayısının $0,6$ 'dan küçük olması durumunda zayıf katın rijitlik ve dayanımı artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır. Dolayısıyla dayanım düzensizliği katsayısının $0,6$ 'dan daha küçük değerler almasına izin verilmeyecektir.



Şekil 3.7 B1 düzensizlik durumunda oluşan deprem hasarı (Sandıkçı, 2014)

Düşey taşıyıcı sistem elemanları olan kolon ve perdeler ile gevrek dolgu duvarların binanın tüm katlar boyunca devam etmemesi, bazı katlarda dolgu duvarların daha az kullanılması, binaların zemin katların genellikle ticari fonksiyonda kullanılması ve mekanı genişletmek amacıyla katlarda bazı kolonların kaldırılması B1 düzensizlik durumunu ortaya çıkarmaktadır (Çamyar, 2009). Bu düzensizlik durumunu barındıran binalarda deprem hasarı genellikle çok ağır ve göçme şekilde olmaktadır (Şekil 3.7).

3.2.2.2 Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)

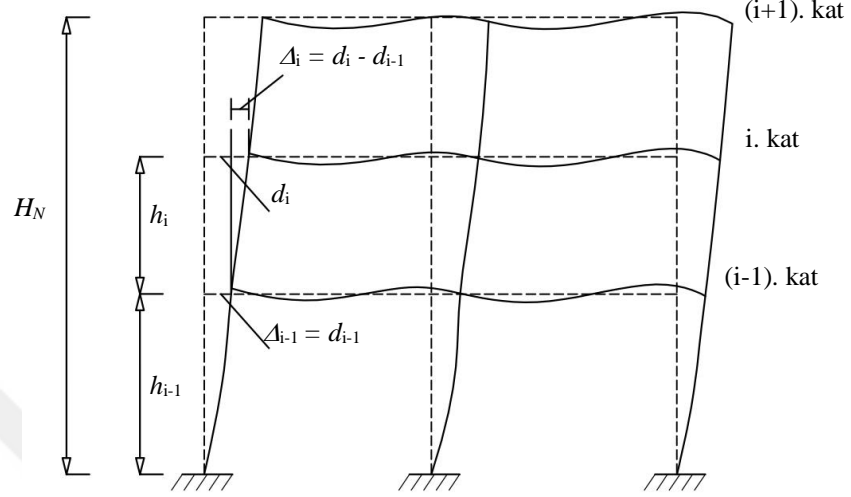
Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği, yatayda birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için hesaplanan rijitlik düzensizliği katsayısının (η_{ki}) 2,0'dan büyük olması halinde oluşan düzensizlik durumudur. η_{ki} katsayısı dikkate alınan deprem doğrultusu için, binanın bodrum katları hariç, i'inci katın ortalama görelî kat öteleme oranının $(\Delta_i^{(X)}/h_i)_{ort}$ bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat öteleme oranına $((\Delta_{i+1}^{(X)}/h_{i+1})_{ort}$ veya $(\Delta_{i-1}^{(X)}/h_{i-1})_{ort}$) bölünmesi ile elde edilmektedir. Denklem (3.6) ve (3.7)'de geçen ortalama görelî kat öteleme oranlarının döşemeler için rijit diyafram modeli kullanılarak ve \pm %5 ek dış merkezlik etkileri dikkate alınarak Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile belirlenmesi gerekmektedir.

$$\eta_{ki} = \frac{\left(\frac{\Delta_i^{(X)}}{h_i} \right)_{ort}}{\left(\frac{\Delta_{i+1}^{(X)}}{h_{i+1}} \right)_{ort}} > 2 \quad (3.6)$$

$$\eta_{ki} = \frac{\left(\frac{\Delta_i^{(X)}}{h_i} \right)_{ort}}{\left(\frac{\Delta_{i-1}^{(X)}}{h_{i-1}} \right)_{ort}} > 2 \quad (3.7)$$

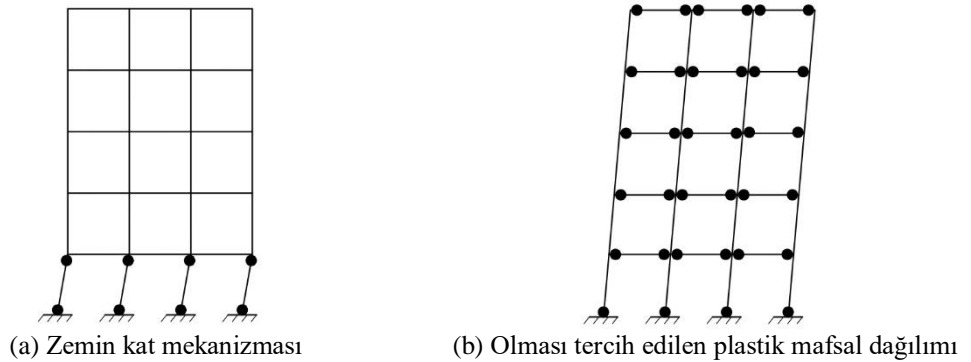
Şekil 3.8'de deprem etkileri altında binalarda oluşan yatay kat ötelemeleri şematik olarak gösterilmiştir. Aynı şekil üzerinde i. kat için görelî kat ötelemesinin (Δ_i) nasıl hesaplandığı da yer almaktadır. Burada d_i ve d_{i-1} dikkate alınan deprem doğrultusu

için binanın i'inci ve (i-1)'inci katlarındaki bir kolon veya perdenin uç noktasında hesaplanan yatay yerdeğiştirmeleri göstermektedir.



Şekil 3.8 Deprem etkisi altında oluşan görelî kat ötelemeleri

Yumuşak kat düzensizliği olarak da ifade edilen komşu katlar arası rijitlik düzensizliğine sahip çerçeve türü bir yapıda deprem etkisi altında ortaya çıkan göçme mekanizması Şekil 3.9a'da gösterilmiştir. Kat mekanizması adı verilen bu güç tükenmesi bir kattaki kolonların alt ve üst uçlarında az sayıda plastik mafsallın oluşması ile meydana gelmektedir. Stabilité sorunlarına neden olan bu mekanizma durumunda ilgili katta büyük yatay yerdeğiştirmeler meydana gelmektedir. Çerçeve türü taşıyıcı sistemlerde plastik mafsalların olması tercih edilen dağılımı ise Şekil 3.9b'de yer almaktadır.



Şekil 3.9 Yumuşak kat ve ideal göçme mekanizması



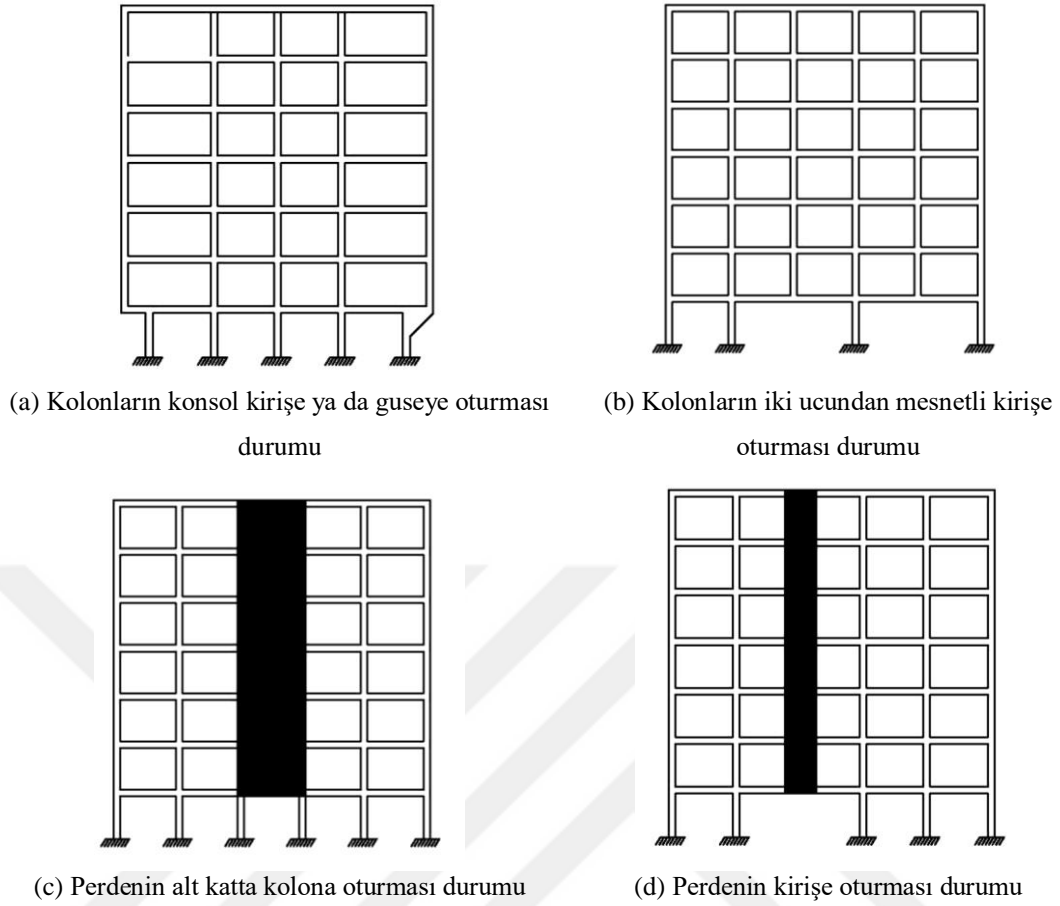
Şekil 3.10 Yumuşak kat oluşumuna bağlı deprem hasarları (Gürer, 2023 ve Yılmaz, 2019)

Yukarıda açıklanan kat mekanizması genellikle tehlikeli göçme modlarına neden olmaktadır (Şekil 3.10). Bu binaların deprem etkisi altında zemin katlarında kat mekanizması oluşmuştur.

Yumuşak kat düzensizliği en yaygın olarak özellikle binaların zemin katlarında meydana gelmektedir. Konut projelerinde zemin katlar genelde diğer katlara göre daha yüksek olup garaj, ofis, mağaza, banka gibi çeşitli ticari fonksiyonlarda kullanılmak amacıyla tasarlanmaktadır. Ayrıca zemin katlarda diğer katlara oranla daha az dolgu kullanılarak mekanda daha fazla yer kazanmak istenmektedir. Ticari amaçlı kullanılan zemin katlarda genelde cam cephe tercih edilir. Bu gibi sebepler zemin katın diğer katlara göre daha esnek davranmasına, ikinci mertbe etkilerin büyümesine ve deprem hasarının bu katta yoğunlaşarak kat mekanizması gibi tehlikeli göçme modlarına neden olmaktadır.

3.2.2.3 Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanların Süreksizliği

Düşey taşıyıcı sistem elemanlarının süreksizliğinden kaynaklanan bu düzensizlik durumu kolon veya perdelerin binanın bazı katlarında kaldırılarak kiriş ya da guseli kolonlara oturtulması veya üst katlarda devam eden perdelerin alt katlarda (genellikle zemin katta) kolonlara oturtulması olarak tanımlanmaktadır. B3 türü düzensizliğe neden olan durumlar Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.11 B3 düzensizlik durumları (TBDY, 2018)

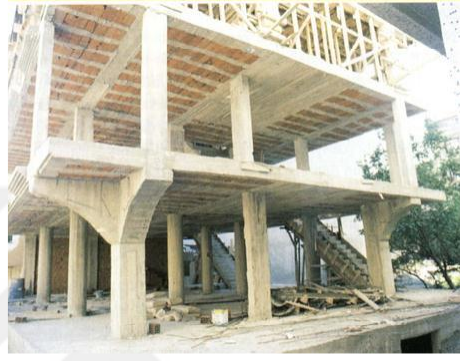
Türkiye Bina deprem Yönetmeliğinde B3 türü düzensizliğin bulunduğu binalarla ilgili koşullar aşağıdaki gibidir:

- Binanın herhangi bir katında kolonların konsol kirişlerin veya alt kat kolonlarında oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulamaz (Şekil 3.11a).
- Kolonun iki uç noktasından mesnetli olan bir kirişe oturmasına izin verilebilir (Şekil 3.11b). Ancak bu durumda binada düşey deprem etkisi hesabının yapılması gerekmektedir.
- Binanın üst katlarındaki perdelerin alt katta kolonlara oturmasına izin verilmez (Şekil 3.11c). Binanın üst katlarındaki perdelerin sürekli olarak temele kadar devam etmesi gerekir.
- Binanın herhangi bir katında perdelerin açıklık ortasında kirişlere oturtulmasına izin verilmez (Şekil 3.11d).

Betonarme yapıyı oluşturan taşıyıcı elemanlardan perde ve kolonların bazı katlarda mekan genişletmek için kaldırılması ya da yerlerinde değişiklik yapılması B3 türü düzensizlik durumunu oluşturmaktadır. Bu düzensizlik durumuna sahip yapıların deprem davranışı olumsuzdur ve genellikle yapısal hasar ile sonuçlanmaktadır. Şekil 3.11’de şematik olarak gösterilen B3 türü düzensizlik durumlarından bazıları Şekil 3.12’de gerçek binalar üzerinden gösterilmiştir.



(a) Kolonların konsol kirişe oturması



(b) Guseye oturan kolonlar



(c) Perdenin alt katta kolona oturması



(d) Kolonlarda süreksizlik

Şekil 3.12 Gerçek binalarda B3 türü düzensizlik durumları (Sandıkçı, 2014 ve Öztürk vd., 2015)

Deprem etkilerinin karşılanmasında düşey taşıyıcı elemanların (kolon ve perdelerin) bina yüksekliği boyunca sürekli olarak devam etmesi büyük önem arz etmektedir. Bu elemanlardaki süreksizlikler taşıyıcı sistemde düzgün çerçeve oluşmasını önleyerek yük aktarımını zorlaştırmaktadır. Ayrıca deprem yer hareketinin düşey bileşeni nedeniyle süreksiz düşey taşıyıcı sistem elemanları mesnetlendikleri diğer taşıyıcı sistem elemanlarında önemli iç kuvvetlere ve yerdeğiştirmelere neden olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı taşıyıcı sistemde düşey elemanların süreksizliğinden kaçınmak en uygun yoldur.

BÖLÜM DÖRT

L TİPİ BETONARME BİNALARIN YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN VE DEPREM DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

4.1 Giriş

Mimari tasarıma bağlı olarak ortaya çıkan düzensizlik durumlarından birisi planda çıkıntılar bulunması (A3 türü düzensizlik) durumudur. A3 türü düzensizlik için sınır durum kat planında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de (a_x ve a_y) o katın aynı doğrultudaki plan boyutlarına (L_x ve L_y) oranının 0,20 olmasıdır (TBDY, 2018). Bu düzensizliğin bulunduğu binalarda döşemelerin iki boyutlu sonlu elemanlarla modellenmesi gerekmektedir.

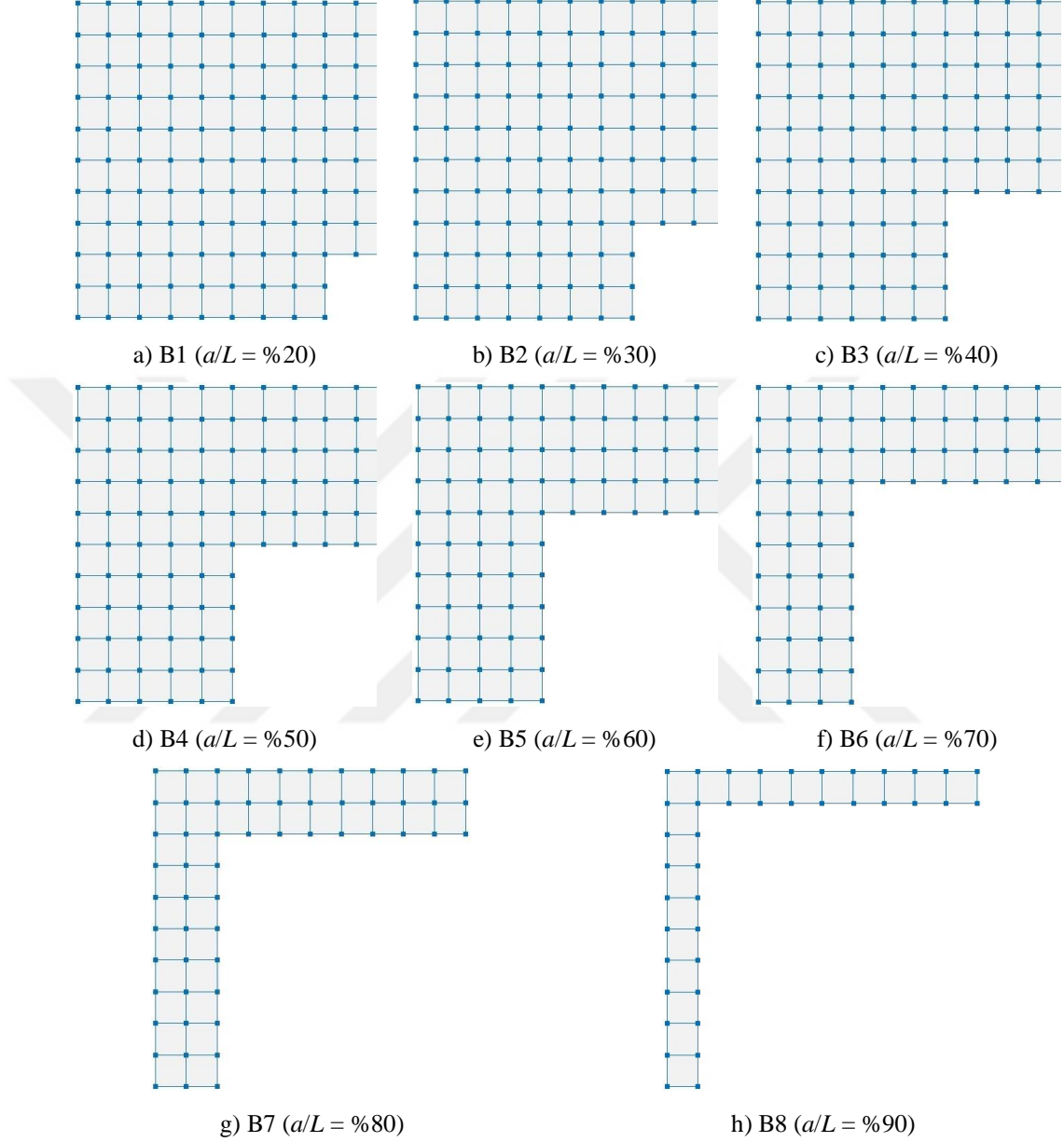
Mimari nedenlerle sıkça tasarlanan ve L şeklinde kat planına sahip binalar (L tipi binalar), çıkıntı yapan kısımların boyutlarına bağlı olarak A3 türü düzensizliğe sahip olması muhtemel binalardır. Tasarlanan her bir L tipi binanın a_x/L_x ve a_y/L_y oranları eşit alınmış ($a_x/L_x = a_y/L_y = a/L$) ve a/L 'nin değişken olarak dikkate alındığı betonarme bina modelleri oluşturulmuştur. Böylece tezin ana amacı olan mimari tasarımın betonarme binaların yapısal karakteristiklerine ve deprem davranışına etkisi L tipi binalar kullanılarak incelenmiştir.

4.2 Dikkate Alınan Binaların Mimari ve Taşıyıcı Sistem Özellikleri

TBDY (2018)'de A3 türü düzensizlik için sınır değer olarak verilen $a/L = \%20$ 'den başlayarak a/L oranı $\%10$ artımlarla $\%90$ 'a kadar devam eden sekiz adet iki katlı jenerik betonarme binalar tasarlanmıştır. Binaların kullanım amacı konut veya işyeri olarak öngörülmüş ve kat yüksekliği $h_i = 3$ m olarak dikkate alınmıştır. Binalar a/L oranına bağlı olarak B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7 ve B8 olarak isimlendirilmiştir.

Tasarlanan tüm bina modelleri için beton sınıfı C25, enine ve boyuna donatı ise B420C olarak alınmıştır. C25 betonunun elastisite modülü (E_c) karakteristik basınç dayanımına (f_{ck}) bağlı olarak TS500 (2000)'deki gibi hesaplanmış ve oluşturulan

analitik modellerde 30 GPa olarak dikkate alınmıştır. Donatı çeliğinin elastisite modülü (E_s) ise TBDY (2018)'e uygun olarak 200 GPa kabul edilmiştir.



Şekil 4.1 Çalışmada kullanılan L tipi bina modelleri

Binalarda kirişli plak döşeme sistemi kullanılmış ve plak kalınlığı 140 mm olarak belirlenmiştir. Kat döşemelerinde düzgün yayılı hareketli yük $q = 3,5 \text{ kN/m}^2$ olarak dikkate alınmıştır. Duvar yükü dış cephe kirişlerinde ve iç kirişlerde 2,5 kN/m kabul edilmiştir. Taşıyıcı sistem elemanlarının öz ağılıklarından kaynaklanan yükler, yapısal

çözömlerinin gerçekteştirildiği bilgisayar programı tarafından doğrudan dikkate alınacak şekilde tanımlanmıştır.

Oluşturulan üç boyutlu bina taşıyıcı sistemlerinde kiriş ve kolonlar çubuk sonlu elemanları olarak modellenmiştir. Kolon–kiriş birleşim bölgeleri sonsuz rijit kabul edilmiştir. Kat döşemeleri için rijit diyafram ve yarı rijit diyafram varsayımları dikkate alınmıştır. Yarı rijit döşeme modelinde döşemeler kendi içinde sonsuz rijit kabul edilmemiş ve 500×500 mm boyutlarında kare sonlu elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Kolonlar arası yatay mesafeler 5 m olarak alınmıştır. Detayları ilerleyen bölümlerde açıklanan Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılan deprem hesabı sonucunda tüm binalarda kolon kesit boyutları 400×400 mm olarak belirlenmiştir. Kirişlerin gövde genişliği 250 mm, yüksekliği ise 500 mm'dir. Oluşturulan L tipi bina modellerine ait kat planları Şekil 4.1'de gösterilmektedir.

4.3 Binaların Serbest Titreşim Analizi

Sonlu eleman düğüm noktalarındaki tekil kütleler, sabit ve hareketli yüklerin toplamından hesaplanmıştır. Kullanım amacı konut veya işyeri olan binalar için hareketli yük kütle katılım katsayısı $n = 0,30$ 'dur (TBDY, 2018). L tipi binaların kat döşemelerinin düzlem içi rijitliklerinin serbest titreşim analizi sonucunda elde edilen yapısal parametrelere etkisini incelemek amacıyla analizler rijit ve yarı rijit diyafram olarak modellenen döşemeler için tekrarlanmıştır.

Serbest titreşim analizleri, SAP2000 (CSI, 2019) ortamında detayları yukarıda açıklanan modelleme tekniklerine uygun olarak oluşturulan analitik modeller üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde kolon ve kirişlerin eksenel deformasyonları ve eksenel kuvvetin kolon rijitliğine etkisi dikkate alınmamıştır. İlk altı titreşim modu ($n = 6$) için binaların doğal titreşim periyotları (T_n) rijit ve yarı rijit diyafram varsayımları için binaların toplam kütleleriyle (m) birlikte Tablo 4.1'de verilmiştir. İlk üç moda ait doğal titreşim periyotları rijit ve yarı rijit diyafram varsayımlarına bağlı olarak önemli bir değişim göstermemektedir. Bununla birlikte yüksek modlara ait doğal titreşim periyotlarının, özellikle a/L oranının %60'dan büyük

değerler almasıyla döşemenin rijit ya da yarı rijit diyafram olarak modellenmesinden etkilendiği görülmektedir. Ayrıca a/L oranının artmasıyla binaların kütleleri azaldığından ilk üç moda ait doğal titreşim periyotları kısalmaktadır.

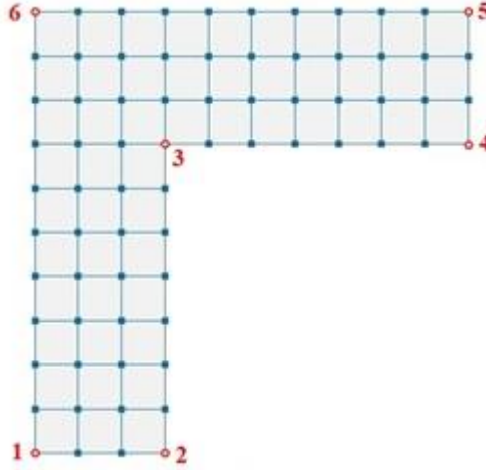
Tablo 4.1 Sismik kütleler ve doğal titreşim periyotları

Bina No	m (ton)	Rijit Diyafram						Yarı Rijit Diyafram					
		T_1 (s)	T_2 (s)	T_3 (s)	T_4 (s)	T_5 (s)	T_6 (s)	T_1 (s)	T_2 (s)	T_3 (s)	T_4 (s)	T_5 (s)	T_6 (s)
B1	3729,41	0,277	0,277	0,260	0,087	0,087	0,081	0,277	0,277	0,260	0,087	0,087	0,082
B2	3543,82	0,277	0,276	0,259	0,087	0,087	0,081	0,277	0,277	0,259	0,087	0,087	0,082
B3	3284,00	0,275	0,275	0,258	0,087	0,087	0,081	0,276	0,276	0,259	0,087	0,087	0,082
B4	2949,94	0,274	0,274	0,258	0,086	0,086	0,080	0,274	0,274	0,258	0,103	0,087	0,087
B5	2541,64	0,271	0,271	0,257	0,085	0,085	0,080	0,271	0,271	0,257	0,134	0,085	0,085
B6	2059,11	0,267	0,267	0,255	0,083	0,083	0,079	0,268	0,267	0,255	0,171	0,084	0,084
B7	1502,35	0,261	0,260	0,250	0,080	0,080	0,077	0,262	0,260	0,250	0,207	0,104	0,081
B8	871,35	0,248	0,241	0,232	0,074	0,074	0,071	0,250	0,244	0,232	0,225	0,156	0,123

İlk altı doğal titreşim moduna ($n = 6$) ait modal kütle katılım oranları (U_{xn} , U_{yn} ve U_{zn}) Tablo 4.2’de listelenmektedir. Burada U_{xn} ve U_{yn} (X) ve (Y) deprem doğrultuları için n ’inci doğal titreşim moduna ait modal kütle katılım oranları, U_{zn} ise düşey eksen etrafında n ’inci doğal titreşim moduna ait modal kütle katılım oranıdır. Çalışmada kullanılan tüm binalarda ilk iki mod (X) ve (Y) doğrultularında yatay ötelenme modu, üçüncü mod ise hakim burulma modudur. Bununla birlikte, a/L oranının %60’dan büyük değerler almasıyla temel titreşim modunda bağlaşıklık burulmalı yanal ötelenme hareketi ortaya çıkmaktadır. $a/L = \%70$, $\%80$ ve $\%90$ için R_{z1} $\%2,23$, $\%13,04$ ve $\%34,18$ değerlerini almaktadır. Benzer şekilde burulma hareketinin hakim olduğu üçüncü doğal titreşim modunda $a/L > \%60$ için yanal ötelenmeler de meydana gelmektedir. $a/L = \%70$, $\%80$ ve $\%90$ için $U_{x3} = U_{y3} = \%1,17$, $\%6,71$ ve $\%17,58$ hesaplanmıştır. İlk üç titreşim moduna ait modal kütle katılım oranlarına döşemenin modellenmesi ile ilgili varsayımın etkisi ihmal edilebilecek düzeydedir. Bununla birlikte $n > 3$ ve $a/L > \%60$ olmasıyla birlikte rijit ve yarı rijit diyafram varsayımlarından elde edilen modal kütle katılım oranlarının farklı olduğuna dikkat edilmelidir.

Tablo 4.2 İlk altı mod için modal kütle katılım oranları

Bina	n = 1			n = 2			n = 3			n = 4			n = 5			n = 6			
	No	U_{xn}	U_{yn}	R_{zn}	U_{xn}	U_{yn}	R_{zn}	U_{xn}	U_{yn}	R_{zn}	U_{xn}	U_{yn}	R_{zn}	U_{xn}	U_{yn}	R_{zn}	U_{xn}	U_{yn}	R_{zn}
Rijit Diyafram	B1	0,4630	0,4630	0	0,4630	0,4630	0	0	0	0,9250	0,0366	0,0366	0	0,0366	0,0366	0	0	0	0,0742
	B2	0,4629	0,4629	0	0,4629	0,4629	0	0	0	0,9246	0,0367	0,0367	0	0,0367	0,0367	0	0	0	0,0744
	B3	0,4627	0,4627	0	0,4627	0,4627	0	0	0	0,9242	0,0368	0,0368	0	0,0368	0,0368	0	0	0	0,0748
	B4	0,4624	0,4624	0,0001	0,4625	0,4625	0	0	0	0,9250	0,0370	0,0370	0	0,0371	0,0371	0	0	0	0,0754
	B5	0,4608	0,4608	0,0024	0,4621	0,4621	0	0,0013	0,0013	0,9201	0,0374	0,0374	0	0,0373	0,0373	0	0	0	0,0761
	B6	0,4510	0,4510	0,0202	0,4615	0,4615	0	0,0106	0,0106	0,9007	0,0379	0,0379	0	0,0379	0,0379	0	0	0	0,0778
	B7	0,3974	0,3974	0,1225	0,4605	0,4605	0	0,0631	0,0631	0,7954	0,0379	0,0379	0,0016	0,0383	0,0383	0	0,0005	0,0005	0,0765
	B8	0,2793	0,2793	0,3488	0,4584	0,4584	0	0,1790	0,1790	0,5634	0,0401	0,0401	0,0051	0,0409	0,0409	0	0,0100	0,0100	0,0816
Yarı Rijit Diyafram	B1	0,4630	0,4630	0	0,4630	0,4630	0	0	0	0,9251	0,0366	0,0366	0	0,0366	0,0366	0	0	0	0,0740
	B2	0,4629	0,4629	0	0,4629	0,4629	0	0	0	0,9247	0,0366	0,0366	0	0,0366	0,0366	0	0	0	0,0743
	B3	0,4628	0,4628	0	0,4628	0,4628	0	0	0	0,9243	0,0367	0,0367	0	0,0367	0,0367	0	0	0	0,0746
	B4	0,4625	0,4625	0	0,4624	0,4624	0,0001	0	0	0,9235	0	0	0	0,0369	0,0369	0	0,0370	0,0370	0
	B5	0,4601	0,4601	0,0028	0,4621	0,4621	0	0,0015	0,0015	0,9198	0	0	0	0,0370	0,0370	0	0,0373	0,0373	0
	B6	0,4498	0,4498	0,0223	0,4615	0,4615	0	0,0117	0,0117	0,8986	0	0	0	0,0377	0,0377	0,0003	0,0375	0,0375	0
	B7	0,3931	0,3931	0,1304	0,4603	0,4603	0	0,0671	0,0671	0,7875	0	0	0	0,0002	0,0002	0,0002	0,0350	0,0350	0,0062
	B8	0,2799	0,2799	0,3418	0,4212	0,4212	0	0,1758	0,1758	0,5693	0,0364	0,0364	0	0,0026	0,0026	0,0011	0,0007	0,0007	0



Şekil 4.2 Yatay ötelenme mod şekillerinin verildiği noktalar

Tablo 4.3 B1, B6 ve B8 bina modellerinin seçilen noktalarındaki yatay ötelenme mod genlikleri

Bina No	Nokta	Rijit Diyafram						Yarı Rijit Diyafram					
		$n = 1$		$n = 2$		$n = 3$		$n = 1$		$n = 2$		$n = 3$	
		ϕ_{xn}	ϕ_{yn}	ϕ_{xn}	ϕ_{yn}	ϕ_{xn}	ϕ_{yn}	ϕ_{xn}	ϕ_{yn}	ϕ_{xn}	ϕ_{yn}	ϕ_{xn}	ϕ_{yn}
B1	1	-0,0142	0,0142	0,0140	0,0143	0,0255	-0,0237	-0,0140	0,0140	0,0140	0,0143	0,0253	-0,0235
	2	-0,0142	0,0142	0,0140	0,0141	0,0255	0,0156	-0,0141	0,0142	0,0139	0,0140	0,0254	0,0156
	3	-0,0142	0,0142	0,0141	0,0141	0,0156	0,0156	-0,0142	0,0142	0,0141	0,0141	0,0156	0,0156
	4	-0,0142	0,0142	0,0141	0,0140	0,0156	0,0255	-0,0142	0,0141	0,0140	0,0139	0,0156	0,0254
	5	-0,0142	0,0142	0,0143	0,0140	-0,0237	0,0255	-0,0140	0,0140	0,0143	0,0140	-0,0235	0,0253
	6	-0,0142	0,0142	0,0143	0,0143	-0,0237	-0,0237	-0,0142	0,0142	0,0141	0,0141	-0,0236	-0,0236
B6	1	0,0254	0,0154	0,0192	-0,0192	-0,0391	0,0261	0,0253	0,0153	0,0186	-0,0189	-0,0384	0,0259
	2	0,0254	0,0184	0,0192	-0,0192	-0,0391	0,0066	0,0252	0,0179	0,0186	-0,0194	-0,0385	0,0071
	3	0,0184	0,0184	0,0192	-0,0192	0,0066	0,0066	0,0184	0,0184	0,0192	-0,0192	0,0067	0,0067
	4	0,0184	0,0254	0,0192	-0,0192	0,0066	-0,0391	0,0179	0,0252	0,0194	-0,0186	0,0071	-0,0385
	5	0,0154	0,0254	0,0192	-0,0192	0,0261	-0,0391	0,0153	0,0253	0,0189	-0,0186	0,0259	-0,0384
	6	0,0154	0,0154	0,0192	-0,0192	0,0261	0,0261	0,0149	0,0149	0,0192	-0,0192	0,0262	0,0262
B8	1	-0,0662	-0,0061	0,0298	-0,0298	0,0348	-0,0400	-0,0588	-0,0069	-0,0477	0,0233	0,0358	-0,0394
	2	-0,0662	-0,0121	0,0298	-0,0298	0,0348	-0,0325	-0,0588	-0,0095	-0,0477	0,0213	0,0358	-0,0321
	3	-0,0121	-0,0121	0,0298	-0,0298	-0,0325	-0,0325	-0,0122	-0,0122	-0,0224	0,0224	-0,0326	-0,0326
	4	-0,0121	-0,0662	0,0298	-0,0298	-0,0325	0,0348	-0,0095	-0,0588	-0,0213	0,0477	-0,0321	0,0358
	5	-0,0061	-0,0662	0,0298	-0,0298	-0,0400	0,0348	-0,0069	-0,0588	-0,0233	0,0477	-0,0394	0,0358
	6	-0,0061	-0,0061	0,0298	-0,0298	-0,0400	-0,0400	-0,0045	-0,0045	-0,0227	0,0227	-0,0392	-0,0392

Rijit ve yarı rijit diyafram varsayımlarının a/L oranına bağlı olarak L tipi binaların (X) ve (Y) deprem doğrultularında n 'inci doğal titreşim mod şekline etkisini incelemek amacıyla her binanın ikinci katının köşe noktaları Şekil 4.2'de gösterildiği gibi numaralandırılmıştır. Bu noktalar için kütle ile normalize edilmiş mod genlikleri elde

edilmiş ve ilk üç moda ait sonuçlar B1, B6 ve B8 binaları için Tablo 4.3'te sunulmuştur. $a/L = %20$ olan B1 binasında rijit ve yarı rijit diyafram varsayımları altında hesaplanan yatay ötelenme mod genlikleri birbirine çok yakın iken, a/L oranının artmasıyla birlikte mod genlikleri birbirinden farklı değerler almaktadır. Örneğin, 6 numaralı noktada rijit ve yarı rijit diyafram varsayımlarıyla B6 için $\phi_1^T = (0,0154 \ 0,0154)$ ve $\phi_1^T = (0,0149 \ 0,0149)$, B8 için ise $\phi_1^T = (-0,0061 \ -0,0061)$, $\phi_1^T = (-0,0045 \ -0,0045)$ öz vektörleri elde edilmiştir. Sonuç olarak a/L oranının artmasıyla rijit ve yarı rijit diyafram varsayımlarının L tipi binaların (X) ve (Y) deprem doğrultularında n 'inci doğal titreşim mod şekline etkisi artmaktadır.

4.4 Binaların Mod Birleştirme Yöntemi ile Doğrusal Deprem Hesabı

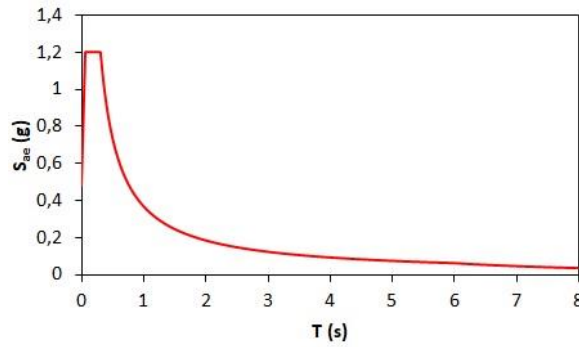
Deprem etkisi altında taşıyıcı sistemin modal davranışını esas Mod Birleştirme Yöntemi deprem spektrumu ile hesaba dayalı bir yöntemdir. Mod Birleştirme Yöntemi binanın düzensizlik durumuna ve yüksekliğine bakılmaksızın binaların tümünün deprem hesabında kullanılabilir. Aşağıdaki bölümlerde öncelikle kısaca binaların tasarımına değinilmiş, sonra da Mod Birleştirme Yöntemi'nden elde edilen bazı yapısal davranış büyüklüklerinin enbüyük değerleri verilmiştir.

4.4.1 Binaların Tasarımı

Taşıyıcı sistem elemanlarının tasarımında esas alınan deprem kaynaklı azaltılmış iç kuvvetler, binaların SAP 2000 (CSI, 2019) yapısal analiz programında oluşturulan üç boyutlu analitik modellerinin Mod Birleştirme Yöntemini ile hesabından elde edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan L tipi bina modellerinin Mod Birleştirme Yöntemi ile deprem hesabında dikkate alınan deprem spektrumu TBDY (2018)'de %5 sönüm oranı için standart biçimde tanımlanan yatay elastik tasarım ivme spektrumudur. Deprem yer hareketi spektrumunun oluşturulmasında dikkate alınan deprem yer hareketi düzeyi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da nitelendirilen DD-2 deprem yer hareketidir.

Spektrumun oluşturulması için gerekli olan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}) ve 1,0 s periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (S_{D1}), harita spektral ivme katsayılarının (S_S ve S_1) yerel zemin etki katsayıları (F_S ve F_1) ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. Dikkate alınan deprem yer hareketi düzeyi için Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kullanılarak kısa periyot harita spektral ivme katsayısı $S_S = 1,002$ ve 1,0 s periyot için harita spektral ivme katsayısı $S_1 = 0,246$ olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan binaların ZC yerel zemin sınıfına giren zeminler üzerinde bulunduğu kabul edilmiştir. Buna göre kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı $F_S = 1,2$ ve 1,0 s periyot için yerel zemin etki katsayısı $F_1 = 1,5$ olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak $S_{DS} = 1,2024$ ve $S_{D1} = 0,369$ olarak hesaplanmıştır.

Yukarıdaki veriler ve TBDY (2018)'de doğal titreşim periyoduna bağlı olarak verilen denklemler dikkate alınarak oluşturulan yatay elastik tasarım ivme spektrumu Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Spektrumun ordinatları yer çekimi ivmesi (g) cinsinden yatay elastik tasarım spektral ivme (S_{ae}), apsisi ise doğal titreşim periyodudur. Dolayısıyla, spektral ivmeler doğal titreşim periyodunun fonksiyonudur, $S_{ae} = S_{ae}(T)$. Spektrumun köşe periyotları $T_A = 0,062$ s ve $T_B = 0,307$ s olarak hesaplanmıştır. Sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu 6 s'dir.



Şekil 4.3 Dikkate alınan yatay elastik ivme spektrumu

Çalışmada kullanılan binaların bina kullanım sınıfı $BKS = 3$ olduğundan bina önem katsayısı $I = 1$ 'dir. Standart tasarım deprem yer hareketi düzeyi için $S_{DS} = 1,2024 > 0,75$ ve $BKS = 3$ olduğundan binaların deprem tasarım sınıfı $DTS = 1$ 'dir. Toplam bina yüksekliği $H_N = 6m < 7 m$ ve $DTS = 1$ olduğundan bina yükseklik sınıfı $BYS =$

8'dir. Binalar DD-2 deprem yer hareketinin etkisi altında kontrollü hasar (KH) normal performans hedefini sağlayacak şekilde Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımı ile tasarlanmıştır. Tezin amacı ile doğrudan ilişkili olmadığından binaların tasarımına yönelik başkaca detaya burada yer verilmemiştir.

4.4.2 Mod Birleştirme Yöntemi ile Hesaplanan Enbüyük Davranış Büyüklükleri

Tezin bu bölümde çalışmada kullanılan L tipi binaların Mod Birleştirme Yöntemi deprem hesabından elde edilen bazı enbüyük davranış büyüklükleri (taban kesme kuvveti katsayısı, yerdeğiştirme, iç kuvvet bileşeni) sunulmuştur. Böylece L tipi betonarme binaların elastik deprem davranışı tipik yapısal parametreler cinsinden irdelenerek bazı çıkarımlarda bulunulmuştur. Bu bölümde yapılan bütün hesaplarda taşıyıcı sistemin doğrusal elastik davranışı esas alınmıştır. Dolayısıyla taşıyıcı sistem elemanlarının elastik rijitlikleri kullanılmış ve analizlerde azaltılmamış deprem yükleri esas alınmıştır.

Binaların Mod Birleştirme Yöntemi ile doğrusal deprem hesabında kat döşemeleri yarı rijit diyafram olarak modellenmiştir. Bunun nedeni bir önceki bölümde elde edilen sonuçlara göre a/L oranının artmasıyla (diğer bir ifadeyle A3 türü düzensizliğin artmasıyla) döşemenin modellenme biçiminin sonuçlara etkisidir. TBDY (2018) gereğince de A3 türü düzensizliğin bulunduğu binalarda döşemelerin iki boyutlu sonlu elemanlarla modellenmesi gerekmektedir.

Mod Birleştirme Yöntemi'nde hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı (YM), (X) ve (Y) deprem doğrultularında her bir doğal titreşim modu için hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamının bina toplam kütlelerinin %95'inden az olmaması kuralına göre belirlenmiştir. Her iki deprem doğrultusu için hesaplanan YM'lerin büyük olanı esas alınmış ve katkısı %3'ten büyük olan bütün modlar hesaba katılmıştır. Yukarıda açıklanan koşulların sağlanabilmesi için B1, B2 ve B3 binalarında ilk 5, B4, B5 ve B6'da ilk 6, B7'de ilk 7 ve B8'de ilk 8 titreşim modunun dikkate alınması gerekmektedir. Görüldüğü gibi a/L oranının artmasıyla birlikte hesapta dikkate alınması gereken titreşim modu sayısı artmaktadır.

Bu sonuç genellikle mimari tasarıma bağlı olarak belirlenen a/L oranının modal davranışına etkisini göstermesi bakımından önemlidir.

(X) ve (Y) yatay deprem doğrultuları için ayrı ayrı elde edilen enbüyük davranış büyüklükleri TBDY (2018) hükümleri gereğince %30 doğrultu birleştirme kuralına göre birleştirilmiştir. Ayrıca eşzamanlı olmayan enbüyük modal katkılar Tam Karesel Birleştirme (TKB) Kuralı ile istatistiksel olarak birleştirilmiştir.

Hesaplanan enbüyük taban kesme kuvveti katsayıları Tablo 4.4'te listelenmiştir. Burada V_{TE} binanın tümüne etkiyen enbüyük toplam taban kesme kuvveti, W ise toplam bina ağırlığıdır. Görüldüğü gibi a/L oranının artmasına bağlı olarak binalar için hesaplanan elastik dayanım talebi azalmaktadır. Dolayısıyla deprem yer hareketi sırasında binanın doğrusal elastik kalması için gereken en küçük akma dayanımı azalmaktadır. Örneğin B8 binası için hesaplanan elastik dayanım talebi B1 için hesaplanandan %5,6 azdır. Bu felsefeyle tasarlanan bir binada daha küçük deprem etkileri altında akma oluşur ve elastikötesi davranış ortaya çıkar. Diğer bir ifadeyle a/L oranı küçük olan L tipi binaların depremde doğrusal elastik kalma ihtimali daha yüksektir.

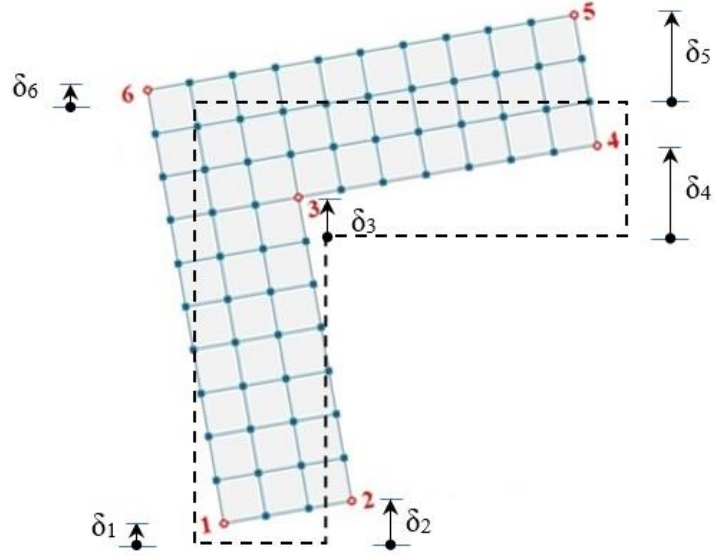
Tablo 4.4 Enbüyük taban kesme kuvveti katsayıları

Bina No	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
V_{TE}/W	1,14349	1,14310	1,14249	1,14145	1,13972	1,13686	1,12929	1,07999

Birleştirilmiş yatay deprem etkileri altında hesaplanan enbüyük yerdeğiştirmeler ve öteleme oranları binaların Şekil 4.2'de gösterilen köşe noktaları için Tablo 4.5'te verilmiştir. a/L oranının artmasıyla taban kesme kuvveti katsayısının azalmasına bağlı olarak enbüyük yatay yerdeğiştirmelerin ve öteleme oranlarının da azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte azalma miktarı taban kesme kuvveti katsayısına göre daha çoktur. Örneğin $V_{TE(B8)}/V_{TE(B1)} = 0,944$ iken $\delta_{B8}/\delta_{B1} = 0,809$ olarak hesaplanmaktadır. Bu sonuç, tersten düşünüldüğü zaman, aynı deprem etkisine maruz L tipi binalar arasında a/L oranı büyük olanın yatay ötelenmesinin daha büyük olacağı anlamına gelmektedir.

Tablo 4.5 Birleştirilmiş yatay deprem etkileri altında hesaplanan enbüyük yer değiştirmeler ve öteleme oranları

Bina No	Nokta	δ_x (m)	δ_y (m)	δ_x/H_N	δ_y/H_N
B1	1	0,02717	0,02732	0,00453	0,00455
	2	0,02721	0,02733	0,00454	0,00456
	3	0,02735	0,02735	0,00456	0,00456
	4	0,02733	0,02721	0,00456	0,00454
	5	0,02732	0,02717	0,00455	0,00453
	6	0,02729	0,02729	0,00455	0,00455
	Ortalama	0,02728	0,02728	0,00455	0,00455
B2	1	0,02701	0,02720	0,00450	0,00453
	2	0,02703	0,02723	0,00451	0,00454
	3	0,02725	0,02725	0,00454	0,00454
	4	0,02723	0,02703	0,00454	0,00451
	5	0,02720	0,02701	0,00453	0,00450
	6	0,02718	0,02718	0,00453	0,00453
	Ortalama	0,02715	0,02715	0,00453	0,00453
B3	1	0,02681	0,02695	0,00447	0,00449
	2	0,02678	0,02708	0,00446	0,00451
	3	0,02709	0,02709	0,00452	0,00452
	4	0,02708	0,02678	0,00451	0,00446
	5	0,02695	0,02681	0,00449	0,00447
	6	0,02695	0,02695	0,00449	0,00449
	Ortalama	0,02694	0,02694	0,00449	0,00449
B4	1	0,02665	0,02652	0,00444	0,00442
	2	0,02662	0,02682	0,00444	0,00447
	3	0,02683	0,02683	0,00447	0,00447
	4	0,02682	0,02662	0,00447	0,00444
	5	0,02652	0,02665	0,00442	0,00444
	6	0,02659	0,02659	0,00443	0,00443
	Ortalama	0,02667	0,02667	0,00445	0,00445
B5	1	0,02662	0,02597	0,02662	0,02597
	2	0,02660	0,02634	0,02660	0,02634
	3	0,02637	0,02637	0,02637	0,02637
	4	0,02634	0,02660	0,02634	0,02660
	5	0,02597	0,02662	0,02597	0,02662
	6	0,02606	0,02606	0,02606	0,02606
	Ortalama	0,02633	0,02633	0,02633	0,02633
B6	1	0,02679	0,02514	0,00447	0,00419
	2	0,02678	0,02541	0,00446	0,00424
	3	0,02552	0,02552	0,00425	0,00425
	4	0,02541	0,02678	0,00424	0,00446
	5	0,02514	0,02679	0,00419	0,00447
	6	0,02518	0,02518	0,00420	0,00420
	Ortalama	0,02580	0,02580	0,00430	0,00430
B7	1	0,02756	0,02364	0,00459	0,00394
	2	0,02756	0,02338	0,00459	0,00390
	3	0,02378	0,02378	0,00396	0,00396
	4	0,02338	0,02756	0,00390	0,00459
	5	0,02364	0,02756	0,00394	0,00459
	6	0,02349	0,02349	0,00392	0,00392
	Ortalama	0,02490	0,02490	0,00415	0,00415
B8	1	0,02844	0,01923	0,00474	0,00321
	2	0,02845	0,01837	0,00474	0,00306
	3	0,01908	0,01908	0,00318	0,00318
	4	0,01837	0,02845	0,00306	0,00474
	5	0,01923	0,02844	0,00321	0,00474
	6	0,01889	0,01889	0,00315	0,00315
	Ortalama	0,02208	0,02208	0,00368	0,00368



Şekil 4.4 Binaların köşe noktalarının birbirine göre yatay hareketi

Tablo 4.6 Binaların köşe noktalarının birbirini göre yatay yerdeğiştirmeye değerleri

Bina No	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
$\delta_2 - \delta_1$	0,00001	0,00003	0,00013	0,00030	0,00037	0,00027	0,00026	0,00086
$\delta_4 - \delta_3$	0,00014	0,00022	0,00031	0,00021	0,00023	0,00126	0,00378	0,00937
$\delta_5 - \delta_6$	0,00012	0,00017	0,00014	0,00006	0,00056	0,00161	0,00407	0,00955
Ortalama	0,00009	0,00014	0,00019	0,00019	0,00039	0,00105	0,00270	0,00659

Tablo 4.5'te verilen yatay yerdeğiştirmelerden hareketle çalışmada kullanılan L tipi binaların köşe noktalarının birbirine göre yatayda ne kadar hareket ettiklerini belirlemek de mümkündür. Bunun için Şekil 4.4'ten faydalanılabilir. Bu şekilde binanın yerdeğiştirmeden önceki durumu (siyah kesikli çizgilerle) ve deprem etkisinde yerdeğiştirmiş durumu gösterilmiştir. δ_1 , δ_2 , δ_3 , δ_4 , δ_5 , ve δ_6 binanın işaretlenen köşe noktalarının (X) veya (Y) yatay deprem doğrultuları için hesaplanan enbüyük yatay yerdeğiştirme değerleridir. Tablo 4.6'dan görüldüğü gibi köşe noktaların görece enbüyük yatay yerdeğiştirmeleri a/L oranının artmasına bağlı olarak büyümektedir. Bu sonucun anlamı açıktır: L tipi binalarda a/L oranının artmasıyla birlikte burulma etkisi artmaktadır. Özellikle $a/L > \%60$ olması durumunda düşey eksen etrafında dönme hareketi çok açık bir biçimde görülmektedir.

Çalışmada kullanılan L tipi binaların zemin katında yer alan köşe kolonlar için hesaplanan enbüyük kesme kuvvetinin (V_{kolon}) enbüyük taban kesme kuvvetine (V_{tE}) ve enbüyük eğilme momentinin (M_{kolon}) enbüyük taban eğilme momentine (M_{tE}) oranları Tablo 4.7’de verilmiştir. 1 ve 5 numaralı kolonlar ile 2 ve 4 numaralı kolonlar için bu oranların aynı olduğuna dikkat edilmelidir. Hem V_{kolon}/V_{tE} hem de M_{kolon}/M_{tE} oranları a/L oranının artmasıyla artmaktadır.

Tablo 4.7 Köşe kolonlar için hesaplanan V_{kolon}/V_{tE} ve M_{kolon}/M_{tE} değerleri

Bina No	Kolon 1 (Kolon 5)		Kolon 2 (Kolon 4)		Kolon 3		Kolon 6	
	V_{kolon}/V_{tE}	M_{kolon}/M_{tE}	V_{kolon}/V_{tE}	M_{kolon}/M_{tE}	V_{kolon}/V_{tE}	M_{kolon}/M_{tE}	V_{kolon}/V_{tE}	M_{kolon}/M_{tE}
B1	0,00704	0,00250	0,00704	0,00250	0,00871	0,00284	0,00702	0,00250
B2	0,00738	0,00262	0,00738	0,00262	0,00916	0,00299	0,00736	0,00262
B3	0,00789	0,00280	0,00792	0,00282	0,00983	0,00321	0,00788	0,00280
B4	0,00864	0,00307	0,00873	0,00310	0,01083	0,00354	0,00865	0,00308
B5	0,00979	0,00348	0,00996	0,00354	0,01234	0,00402	0,00984	0,00350
B6	0,01189	0,00427	0,01187	0,00426	0,01472	0,00480	0,01174	0,00417
B7	0,01632	0,00589	0,01632	0,00589	0,01871	0,00610	0,01503	0,00534
B8	0,02951	0,01058	0,02958	0,01059	0,02729	0,00879	0,02156	0,00764

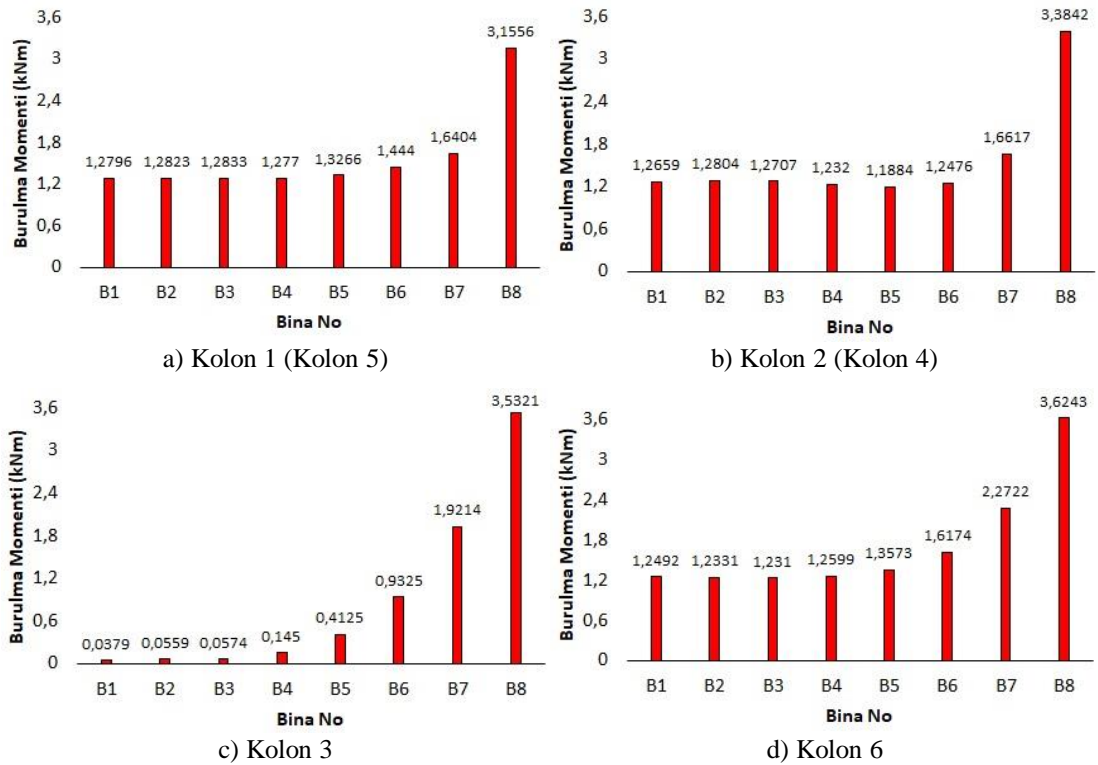
Tablo 4.8 Köşe kolonlar için V_{kolon}/V_{tE} ve M_{kolon}/M_{tE} oranlarının a/L ’ye göre değişimi

Kıyaslanan Binalar	Kolon 1 (Kolon 5)		Kolon 2 (Kolon 4)		Kolon 3		Kolon 6	
	V oranı	M oranı	V oranı	M oranı	V oranı	M oranı	V oranı	M oranı
B2/B1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
B3/B1	1,12	1,12	1,13	1,13	1,13	1,13	1,12	1,12
B4/B1	1,23	1,23	1,24	1,24	1,24	1,25	1,23	1,23
B5/B1	1,39	1,39	1,41	1,42	1,42	1,42	1,40	1,40
B6/B1	1,69	1,71	1,69	1,70	1,69	1,69	1,67	1,67
B7/B1	2,32	2,36	2,32	2,36	2,15	2,15	2,14	2,14
B8/B1	4,19	4,23	4,20	4,24	3,13	3,10	3,07	3,06
B3/B2	1,07	1,07	1,07	1,08	1,07	1,07	1,07	1,07
B4/B3	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
B5/B4	1,13	1,13	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
B6/B5	1,21	1,23	1,19	1,20	1,19	1,19	1,19	1,19
B7/B6	1,37	1,38	1,37	1,38	1,27	1,27	1,28	1,28
B8/B7	1,81	1,80	1,81	1,80	1,46	1,44	1,43	1,43

a/L ’nin %10’luk artışlarında V_{kolon}/V_{tE} ve M_{kolon}/M_{tE} oranlarının ne kadar değiştiğini göstermek amacıyla Tablo 4.8 hazırlanmıştır. Aynı tabloda $a/L = \%20$ sınır durumu için hesaplanan V_{kolon}/V_{tE} ve M_{kolon}/M_{tE} oranları ile a/L ’nin diğer oranları için hesaplanan V_{kolon}/V_{tE} ve M_{kolon}/M_{tE} oranları da kıyaslanmıştır. Tablo 4.8’deki sonuçlar göstermektedir ki a/L ’nin büyük değerleri için V_{kolon}/V_{tE} ve M_{kolon}/M_{tE} oranlarının büyüme hızı daha fazladır. a/L ’nin büyümesiyle birlikte ilgili kolonların enbüyük

taban kesme kuvveti ve enbüyük taban eğilme momentinden aldıkları paylar artmaktadır. Uç durum olarak B8’de Kolon 1 (Kolon 5) ve Kolon 2 (Kolon 4) için hesaplanan V_{kolon}/V_{tE} ve M_{kolon}/M_{tE} oranlarının, B1’deki karşılıklarının 4,2 katı olmasıdır. B8’de Kolon 3 ve Kolon 6 için hesaplanan V_{kolon}/V_{tE} ve M_{kolon}/M_{tE} oranları ise B1’de aynı kolonlar için hesaplanan oranların 3,1 katıdır.

Binaların zemin kat köşe kolonlarında hesaplanan enbüyük burulma momentlerinin a/L oranına göre değişimi Şekil 4.5’te gösterilmiştir. 1 ve 5 numaralı kolonlar ile 2 ve 4 numaralı kolonlar için hesaplanan en büyük burulma momentleri aynıdır. Şekil 4.5’teki grafiklerde ilgi çekici nokta a/L oranının artmasıyla Kolon 3’e isabet eden burulma momentinin monoton olarak artmasıdır. Aynı kolon a/L ’nin artan değerleri için $a/L = \%20$ sınır durumunda hesaplanan burulma momentlerine göre çok büyük burulma momentlerine maruz kalmaktadır. L tipi binalarda kolların bileştiği iç noktada bulunan kolonların özellikle burulma momentine göre tasarımına dikkat edilmelidir. Diğer kolonlarda ise $a/L > \%60$ olması durumunda burulma momentleri $a/L = \%20$ sınır durumu için hesaplanana göre belirgin artışlar göstermektedir.



Şekil 4.5 Köşe kolonlarda hesaplanan enbüyük burulma momentlerinin değişimi

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR

Deprem etkisi altında uygun tasarım için betonarme bina taşıyıcı sistemlerinin düzenlenmesine yönelik literatür araştırması yapılmıştır. Mimari tasarım gereksinimlerine ve taşıyıcı sistemin düzenlenmesine bağlı olarak ortaya çıkan ve tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken düzensizlik durumları detaylı olarak araştırılmıştır. Betonarme binaların yapısal özelliklerine ve deprem davranışına etki eden ve mimari tasarım ile de ilintili olan uygulamalar değerlendirilmiştir. Tezin son bölümünde ise genellikle mimari tasarıma bağlı olarak ortaya çıkan düzensizliklerden birisi olan planda çıkıntılar bulunması (A3 türü düzensizlik) durumu L tipi betonarme binalar için sayısal örnekler üzerinden irdelenmiştir. Böylece mimari tasarımın L tipi betonarme binaların yapısal karakteristiklerine ve deprem davranışına olan etkileri analiz sonuçlarının değerlendirilmesiyle detaylı bir biçimde incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen araştırma bulguları ve sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Mimari tasarım aşamasında alınan kararlar, deprem etkisi altında uygun tasarım için bina taşıyıcı sistemlerinin düzenlenmesine yönelik genel ilkelerin önemli bir bölümü üzerinde doğrudan etkilidir ve yeni yapılacak binaların deprem etkisi altında tasarımı mimari tasarım ile başlamaktadır.
- Binanın plan geometrisi, taşıyıcı sistem elemanlarının kat planındaki konumları, sismik kütlelerin yatay ve düşey doğrultuda dağılımı, planda ani rijitlik değişimi, düşey ve yatay taşıyıcı sistem elemanlarının süreksizliği gibi genellikle mimari tasarım gereksinimlerine bağlı olarak ortaya çıkan yapısal özellikler binaların deprem davranışı ile oldukça yakından ilintilidir.
- Çalışmada kullanılan L tipi binalar için ilk üç moda ait doğal titreşim periyotlarının rijit ve yarı rijit diyafram varsayımlarına bağlı olarak önemli bir değişim göstermediği görülmüştür. Bununla birlikte yüksek modlara ait doğal titreşim periyotları, özellikle a/L oranının %60'dan büyük değerler almasıyla döşemenin rijit ya da yarı rijit diyafram olarak modellenmesinden etkilenmektedir.

- Binaların ilk iki modun (X) ve (Y) doğrultularında yatay ötelenme hareketi hakim iken, üçüncü mod hakim burulma modudur. Bununla birlikte, a/L oranının %60'dan büyük değerler almasıyla temel titreşim modunda bağlaşıklık burulmalı yanal ötelenme hareketi ortaya çıkmaktadır.
- İlk üç titreşim moduna ait modal kütle katılım oranlarına döşemenin modellenmesi ile ilgili varsayımın etkisi ihmal edilebilecek düzeydedir. Öte yandan $n > 3$ ve $a/L > \%60$ durumunda rijit ve yarı rijit diyafram varsayımlarından elde edilen modal kütle katılım oranları birbirinden farklıdır.
- a/L oranının artmasıyla rijit ve yarı rijit diyafram varsayımlarının L tipi binaların (X) ve (Y) deprem doğrultularında n 'inci doğal titreşim mod şekline etkisi artmaktadır.
- a/L oranının artmasıyla (diğer bir ifadeyle A3 türü düzensizliğin artmasıyla) döşemenin modellenme biçiminin sonuçlara etkisi artmaktadır. Bu nedenle A3 türü düzensizliğin bulunduğu L tipi binalarda döşemelerin iki boyutlu sonlu elemanlarla modellenmesi uygundur.
- a/L oranının artmasıyla birlikte Mod Birleştirme Yöntemi ile hesapta dikkate alınması gereken doğal titreşim modu sayısı artmaktadır. Bu sonuç genellikle mimari tasarıma bağlı olarak belirlenen a/L oranının modal davranışına etkisini göstermesi bakımından önemlidir.
- a/L oranının artmasıyla deprem yer hareketi sırasında binanın doğrusal elastik kalması için gereken en küçük akma dayanımı azalmaktadır. a/L oranı küçük olan L tipi binaların depremde doğrusal elastik kalma ihtimali daha yüksektir.
- Aynı deprem etkisine maruz L tipi binalar arasında a/L oranı büyük olanın yatay ötelenmesinin daha büyük olacaktır.
- L tipi binalarda a/L oranının artmasıyla birlikte burulma etkisi artmaktadır. Özellikle $a/L > \%60$ olması durumunda düşey eksen etrafında dönme hareketi bariz bir biçimde ortaya çıkmaktadır.
- Zemin kat köşe kolonları için hesaplanan $V_{\text{kolon}}/V_{\text{tE}}$ ve $M_{\text{kolon}}/M_{\text{tE}}$ oranları a/L oranının artmasıyla artmaktadır. Dolayısıyla bu kolonları enbüyük taban kesme kuvveti ve enbüyük taban eğilme momentinden aldıkları pay artmaktadır.

- L tipi binalarda özel durum olarak L'nin kolların bileştiği iç noktada bulunan kolonların özellikle burulma momentine göre tasarımına dikkat edilmelidir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar söz konusu kolonun a/L 'nin artan değerleri için $a/L = \%20$ sınır durumunda hesaplanan burulma momentlerine oranla çok büyük burulma etkilerine maruz kaldığını göstermektedir.

Büyük bir bölümü deprem tehlikesine maruz ülkemizde, olası depremlerde hasar ve kayıpların önlenmesi ya da azaltılabilmesi için yeni yapılacak binaların deprem davranışının öngörülebilir olması amacıyla taşıyıcı sistemlerinin uygun düzenlenmesi ve yapı stokunun genelini oluşturan betonarme binaların deprem etkisi altında yapısal davranışının anlaşılması büyük önem taşımaktadır. Çalışmadan elde edilen sonuçların özellikle L tipi betonarme binaların deprem etkileri altında davranışının anlaşılmasına ve tasarımına yönelik önemli katkılar koyacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

ABYYHY (1975). *Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik*. T.C. İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara.

ABYYHY (1997). *Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik*. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

Ahmed, M.M.M., Raheem, S.E.A., Ahmed, M.M. ve Abdel-Shafy, A.G.A. (2016). Irregularity effects on the seismic performance of L-shaped multi-story buildings. *Journal of Engineering Sciences*, 44(5), 513-536. <https://doi.org/10.21608/JESAUN.2016.111440>

Akçaeer, G., Özdemir, N. B. ve Soyluk, A. (14-16 Ekim 2015). *Depreme dayanıklı yapı tasarımı eğitimi ve mimarlık* [Bildiri Özeti]. 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, İzmir, Türkiye. http://www.tdmd.org.tr/TR/Genel/pdf2015/TDMSK_231.pdf

Aktürk, S. (2004). *1998 afet bölgelerinde yapılacak yapıları hakkında yönetmelik'teki yapı düzensizliklerinin ve çözüm önerilerinin mimari açıdan incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Çukurova Üniversitesi.

Albay, A. (1994). *Deprem Dayanımında mimari tasarımın önemi ve Erzincan deprem konutları* [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.

Arslan, S. (2007). *Betonarme binalarda döşeme boşluklarının taşıyıcı sistem davranışa etkileri* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Atımtay, E. (2000). *Çerçevesiz ve perdeli betonarme sistemlerin tasarımı, temel kavramlar ve hesap yöntemleri*. Bizim Büro Basımevi.

Bachmann, H. (2002). *Seismic conceptual design of building basic principles for engineers, architects, building owners and authorities*.
https://www.preventionweb.net/files/687_10092.pdf

Başarı, A. (2007). *Döşeme düzensizliklerinin taşıyıcı sistem davranışına etkisi* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Bayülke, N. (1998). *Depreme dayanıklı betonarme ve yığma yapı tasarımı*. İnşaat Mühendisleri Odası.

Celep, Z., ve Kumbasar, N. (2001). *Betonarme yapılar* (4. Baskı). Rehber Matbaacılık.

Chhatani, Y., Pawade, P.Y., Dabhekar, K.R. ve Khedikar, I.P. (2021). Seismic performance of L-shaped building through plan irregularities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1197, 012050.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/1197/1/012050>

Çağatay, H., İnan, T. ve Korkmaz, K. (2012). An investigation on plan geometries of RC buildings: With or without projection in plan. *Computers and Concrete*, 9(6), 439–455. <http://dx.doi.org/10.12989/cac.2012.9.6.439>

Çambel, E. ve Özgan, E. (2018). Mimari tasarım sürecinde mühendislik sorunlarının mimarlar açısından incelenmesi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 7(2), 47–70.

Çamyar, H. (2009). *Çerçevesiz taşıyıcı sistemlerde düşeydeki düzensizliklerin incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Sakarya Üniversitesi.

DBYBHY (2007). *Deprem bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik*. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

Ercömert, M. (2007). *A2 ve A3 yapısal düzensizliklerinin çok katlı yapıların deprem davranışına etkisi* [Yüksek Lisans Tezi]. Fırat Üniversitesi.

Erken, S. (2012). *Betonarme yapıların taşıyıcı sistem seçiminde perde yerleşiminin davranışa etkisi* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Gezmiş, M. G. (2012). *Planda taşıyıcı sistemi düzenli ve düzensiz olan betonarme iki yapının davranışının incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Gökçe, M. V. (2002). *Yapıların deprem etkisi altında strüktürel davranış biçimleri ve depreme dayanıklı yapılarda mimari tasarım ilkeleri üzerine bir araştırma* [Yüksek Lisans Tezi]. Niğde Üniversitesi.

Gudainiyan, J. ve Gupta, P.K. (2023). A comparative study on the response of the L-shaped base isolated multi-storey building to near and far field earthquake ground motion. *Forces in Mechanics*, 11, 100191. <https://doi.org/10.1016/j.finmec.2023.100191>

Guevara-Perez, L. T. (24-28 Eylül 2012). “Soft story” and “weak story” in earthquake resistant design: A multidisciplinary approach [Bildiri Özeti]. 15th World Conference on Earthquake Engineering 2012, Lisbon, Portugal. https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_0183.pdf

Gümrükçü, A. (2002). *Depreme dayanıklı yüksek yapı tasarımı* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Gürer, C. (14 Haziran 2023). *Deprem nedeniyle binalarda oluşan hasarlar*. http://www.cahitgurur.com/FileUpload/ks172985/File/deprem_nedeniyle_olusan_ba_hasarlari.pdf

- Gürsoy, S. ve Doğan, S. O. (2020). Betonarme binalardaki döşeme boşluğu konumu ve büyüklüğünün deprem davranışı ve kaba inşaat maliyetine etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(2), 1407–1422. <https://doi.org/10.29130/dubited.658286>
- Hamada, A. ve El Damatty, A.A. (29 Mayıs- 1 Haziran 2013). *Seismic analysis of L-shaped high and low rise buildings – Comparison with NBCC 2005 and NBCC 2010*. CSCE 2013 General Conference, Montréal, Québec.
- Hünük, T. N. (2006). *Betonarme yapılarda depremde dayanıklılığı sağlayan mimari tasarım ölçütlerinin belirlenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi.
- İnan, T. ve Korkmaz, K. (2012). Düşey doğrultudaki yapı düzensizliklerinin incelenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(3), 240–248.
- Khanal, B. ve Chaulagain, H. (2020). Seismic elastic performance of L-shaped building frames through plan irregularities. *Structures*, 27, 22-36. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.05.017>
- Koç, V. (2016). Deprem sonrası ağır hasarlı bina hasarlarının sınıflandırılması. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 2(1), 46–65. <http://dacd.artvin.edu.tr/tr/download/article-file/157458>
- Koç, V. (2022). Mevcut binalarda taşıyıcı sistem düzensizliklerinin belirlenmesine yönelik bir çalışma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 33, 32–39. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1008230>
- Kaya, G. ve Özsoy Özbay, A. E. (2019). Perde ve çerçevesel betonarme yapılarda perde konumunun planda düzenlenmesi ve yapısal davranışına etkisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(1), 7–17. <https://doi.org/10.21923/jesd.429880>

- Kızıloğlu, M. Y. (2007). *Deprem etkisi altında dolgu duvarların betonarme çerçeve yapılar üzerindeki etkisi* [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Küçük, D. (2006). *Deprem zararlarının azaltma çalışmalarında mimarlık eğitimin yeri* [Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi.
- Korkmaz, K. A., Uçar, T. ve Düzgün, M. (2010). Yapısal düzensizlikler olan betonarme yapıların deprem davranışlarının değerlendirilmesi. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 22(2), 123–138.
- Meral, E. (2019). Betonarme Binalarda kısa kolon etkilerinin araştırılması. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11(2), 515–527. <https://doi.org/10.29137/umagd.495192>
- Orak, M. S. (2012). *Planda ve düşey doğrultudaki düzensizliklerin betonarme perde-çerçevesel binaların davranışına etkileri* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Özen, R. S. (2018). *Mimari tasarımda betonarme yapıların Türk Deprem Yönetmeliği açısından taşıyıcı sistem düzensizliğinin değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Selçuk Üniversitesi.
- Özmen, G., Girgin, K. ve Durgun, Y. (2014). Torsional irregularity in multi-story structures. *International Journal of Advanced Structural Engineering*, 6(4), 121–131. <https://doi.org/10.1007/s40091-014-0070-5>
- Öztürk, O., Aksoylu, C. ve Arslan, M. H. (7-9 Mayıs 2015), *Çerçeve türü betonarme binalardaki taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği üzerine bir irdeleme* [Bildiri Özeti]. Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu, Burdur, Türkiye. <https://mmf.mehmetakif.edu.tr/upload/mmf/148-53182131-ibeas2015.pdf>

Postolov, N., Volchev, R. ve Vitanov, V. (9 Eylül 2019). *Code approaches for seismic design of plan irregular structures* [Bildiri Özeti]. 2nd International Symposium Knowledge for Resilient Society, Tirana, Albania. <https://repository.ukim.mk/bitstream/20.500.12188/15690/1/K-Force%20-%20VV-2.pdf>

Raagavi, M. T. ve Sidhardhan, S. (2021). Analytical study on seismic performance of plan irregular structures. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 8(8), 221–225.

Sandıkçı, T. (2014). *Bina türü betonarme bir yapıda yumuşak kat ve burulma düzensizliği ilişkisinin incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Karadeniz Teknik Üniversitesi.

Sarı, H. (2010). *Mevcut betonarme yapılardaki tasarım olumsuzluklarının yapı performansına etkisi* [Yüksek Lisans Tezi]. Sakarya Üniversitesi.

Siva Naveen E, Abraham, N. M. ve Anitha Kumari, S. D. (2019). Analysis of Irregular Structures under Earthquake Loads. *Procedia Structural Integrity*, 14, 806–819. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.07.059>

Şahbaz, U. (2005). *Planda çıkıntı düzensizliğine sahip betonarme yapıların deprem yükü etkisi altında karşılaştırılmalı analizi* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

TBDY (2018). *Türkiye bina deprem yönetmeliği*. T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Ankara. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm>

Toker, A. (2007). *Betonarme bir yapıda dolgu duvar etkisinin doğrusal olmayan dinamik hesap yöntemiyle incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Uçar, T. ve Merter, O. (2009). Planda perde yerleşiminin betonarme perde-çerçevesel binaların deprem davranışına etkisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 11(2), 11–18.

Uzun, M., Ünal, A., Kamanlı, M. ve Coğurcu, M. T. (2018). Investigation of the effect of torsional irregularity on earthquake behaviour. *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 7(1), 753–758.

Uzunömeroğlu, N. N. (2019). *Betonarme yapı tasarımında yapı formu ve kat yüksekliğinin yumuşak kat düzensizliğine etkisi ve maliyet araştırması* [Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi.

Ün, H. (1998). *Taşıyıcı sistem tasarımı* [Yüksek Lisans Tezi]. Pamukkale Üniversitesi.

Yaşoğlu, F. G. (2015). *Taşıyıcı sistemleri farklı olan betonarme yapılarda döşeme türlerinin davranışa etkisi* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Yılmaz, E. (2019). *Depremlerde meydana gelen tipik betonarme yapı hasarlarına 2018 Türkiye bina deprem yönetmeliğine göre alınabilecek önlemler* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.