

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜRK VE BAZI YABANCI DEPREM YÖNETMELİKLERİNE GÖRE
BETONARME BİNALARIN ANALİZİNDE
DÜŞEY DEPREM YÜK ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Yunus GENÇ

TEMMUZ 2019

İnşaat Anabilim Dalında Yunus GENÇ tarafından hazırlanan TÜRK VE BAZI YABANCI DEPREM YÖNETMELİKLERİNE GÖRE BETONARME BİNALARIN ANALİZİNDE DÜŞEY DEPREM YÜK ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Orhan DOĞAN
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Doç. Dr. Orhan DOĞAN
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. İlhami DEMİR_____
Üye (Danışman) : Doç. Dr. Orhan DOĞAN_____
Üye : Doç. Dr. Baki ÖZTÜRK_____

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Recep ÇALIN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



Aileme...

ÖZET

TÜRK VE BAZI YABANCI DEPREM YÖNETMELİKLERİNE GÖRE BETONARME BİNALARIN ANALİZİNDE DÜŞEY DEPREM YÜK ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

GENÇ, Yunus

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Orhan DOĞAN

Temmuz 2019, 110 sayfa

Bu tez çalışmasında, bina analizlerinde, yatay deprem yükü etkilerinin yanı sıra, 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY-2018) dikkate alınması zorunlu hale gelen düşey deprem etkisi araştırılmıştır. İlk olarak, ülkemizde yatay atımlı olan Kuzey ve Doğu Anadolu Fay (KAF ve DAF) hatları ile düşey atımlı olan Batı Anadolu Fay (BAF) hatlarında meydana gelen bazı deprem kayıtlarının yatay ve düşey yer ivmeleri incelenmiş ve KAF ve DAF'a kıyasla BAF'da oluşan düşey yer ivmelerin yatay yer ivmelerine oranla daha etkili olduğu görülmüştür.

Beş katlı bir bina tasarlanarak, P-delta etkilerine ilave olarak, düşey deprem ivmelerinin taban momentlerini ne oranda artırdığı araştırılmış ve bu oranın ihmal edilecek derecede düşük olduğu görülmüştür.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007), TBDY-2018, İran ve Amerikan Deprem Yönetmeliklerine göre, eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak, aynı bina modeli için ayrı ayrı analizler yapılmış, etkin görelî kat ötelenmeleri, ikinci mertebe gösterge değerleri, bina periyotları, toplam yatay ve düşey deprem kuvvetleri karşılaştırılmış, bu değerler içerisinde TBDY'ye göre bulunan düşey deprem kuvvetinin çok büyük olduğu görülmüştür.

Ayrıca, DBYBHY'ye ilave olarak TBDY'de dikkate alınan düşey deprem etkisi araştırılmış, düşey deprem kuvvetinin, kolon ve kirişlerde kesit gerilmelerindeki artışa ilave olarak, büyük oranda temel taban basıncında da artışa sebep olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Düşey Deprem Yük Etkisi, İkinci Mertebe Etkileri, Deprem Yönetmelikleri, Zemin Taşıma Gücü, Betonarme Bina.



ABSTRACT

INVESTIGATION OF VERTICAL EARTHQUAKE LOAD EFFECTS IN THE ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS ACCORDING TO TURKISH AND SEVERAL FOREIGN EARTHQUAKE CODES

GENÇ, Yunus

Kırıkkale University

Institute of Science and Technology

Division of Civil and Structure, Master Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Orhan DOĞAN

July 2019, 110 pages

In this study, the considerable vertical effect of earthquake which became compulsory, in the analysis of buildings, with the Turkish Building Earthquake Code (TBEC-2018) in 2019 is investigated. Firstly, the horizontal and vertical ground accelerations of several earthquake records occurring in the North and East Anatolian Fault (NAF and EAF) lines and the West Anatolian Fault (WAF) lines in Turkey were investigated and it was observed that vertical ground accelerations occurring in the WAF lines were more effective than horizontal ground accelerations in accordance to NAF and EAF lines.

A five-storey building was designed to investigate the effect of vertical earthquake accelerations in addition to the P-delta effects. It is observed that increase of the moment caused by effect of vertical earthquake accelerations is negligible within the the total base moment.

The same building model, using the equivalent earthquake load method, according to Turkish Code for the Buildings to be built in Earthquake Zones, TBEC-2018, Iranian and American Earthquake Codes, were analysed. Relative displacements of floor, second order indicator values, building periods, total horizontal and vertical earthquake forces were compared for each codes. The vertical earthquake force for TBEC was found much higher than the values obtained for the other codes.

Furthermore, in addition Turkish Code for the to Buildings to be built in Earthquake Zones, the vertical earthquake effect considered in TBEC was investigated. In addition to the increase of stress in column and beam cross-sections, it is seen that the vertical earthquake effect was caused much more increase in the soil pressure at the bottom of the foundation.

Key Words: Vertical Earthquake Load Effect, Second Order Effects, Earthquake Codes, Bearing Capacity of Soil, Reinforced Concrete Building.



TEŞEKKÜR

Öncelikle, bu araştırma için beni yönlendiren, değerli vaktini ayırarak bana danışmanlık eden, karşılaştığım zorlukları bilgi ve deneyimleri ile aşmamda yardımcı olan değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Orhan DOĞAN'a hoşgörüsü ve emekleri için sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, tezimde jüri üyesi olmayı kabul eden hocalarım Sayın Prof. Dr. İlhami DEMİR ve Sayın Doç. Dr. Baki ÖZTÜRK'e ve çalışmalarımda bana destek olan arkadaşım Mehmet Ali KALAYLI'ya yardım ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim

Hakkını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim, beni büyüten ve zor şartlarda yetiştiren, en iyi seviyeye gelmem için desteğini hiçbir zaman esirgemeyen annem, babam ve kardeşlerime; bu süre içerisinde beni destekleyen, her zaman bana güç veren ve daima yanımda olarak başarıya ulaşmamı sağlayan eşime ve kızım Gülce GENÇ'e minnet ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
SİMGELER DİZİNİ	xiii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Konu İle İlgili Geçmişte Yapılan Çalışmalar.....	2
1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı.....	6
2. TÜRKİYENİN TEKTONİK YAPISI VE FAY ÖZELLİKLERİ.....	7
2.1. Kuzey Anadolu Bölgesinin Tektoniği	7
2.2. Batı Anadolu Bölgesinin Tektoniği.....	8
2.3. Faylar	8
2.3.1. Eğim Atımlı Faylar.....	9
2.3.2. Doğrultu (Yanal) Atımlı Faylar	11
2.3.3. Verve (Oblik) Atımlı Faylar	12
2.3.4. Cisim Dalgaları	13
3. BİNA ANALİZİNDE FARKLI YÖNETMELİKLERE GÖRE DÜŞEY	
DEPREM ETKİSİ.....	15
3.1. Farklı Deprem Yönetmeliklerinde Düşey Deprem Etkisi	15
3.1.1. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik	
(DBYBHY 2007)	15

3.1.2. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)	16
3.1.3. İran Deprem Yönetmeliği (Standard 2800)	17
3.1.4. Hindistan Deprem Yönetmeliği (IS 1893).....	18
3.1.5. Avrupa Deprem Yönetmeliği (Eurocode 8).....	19
3.1.6. Amerikan Deprem Yönetmeliği (ASCE/SEI 7-10).....	20
3.1.7. İsrail Deprem Yönetmeliği (SI 413).....	21
3.2. DBYBHY, TBDY, İDY ve ADY'ye Göre Depreme Dayanıklı Yapı Analiz Aşamaları	22
3.2.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Uygulanabileceği Binalar	22
3.2.2. Bina Önem Katsayısı	24
3.2.3. Etkin Yer İvmesi Katsayısı, Tasarım Spektral İvme Katsayısı ve Deprem Haritaları.....	27
3.2.4. Spektrum Katsayısı ve Spektral İvme	33
3.2.5. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ve Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı	37
3.2.6. Toplam Eşdeğer Deprem Yüğüünün Belirlenmesi	40
3.2.7. Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüğülerinin Belirlenmesi.....	44
3.2.8. Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodu veya Yaklaşık Periyodunun Bulunması	46
3.2.9. Etkin Görelî Kat Ötelemesi.....	48
3.2.10. İkinci Mertebe Etkileri	52
3.2.11. Deprem Etkisi Altında Bina Performans Hedefleri	55
3.2.12. Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitlikleri.....	58
4. ANALİZİ YAPILACAK BİNAYA AİT GENEL BİLGİLER.....	61
4.1. Bina Geometrisi.....	61
4.2. Malzeme Bilgileri.....	63
4.3. Sabit ve Hareketli Yüğüler	63

4.3.1. Sabit Yükler	63
4.3.2. Hareketli Yükler	64
4.4. Deprem Tasarım Parametreleri	64
4.5. SAP2000 Yapı Analiz Programı	66
5. DŖEY DEPREM ETKİSİ ALTINDA BİNA ANALİZİ	67
5.1. KAF ve DAF Hatları ile BAF Hatlarında GerçekleŖen Deprem İvmelerinin KarşılaŖtırılması	67
5.2. Maksimum Yatay Yer DeđiŖtirmeye Göre DŖey Deprem Etkisi, Yatay Deprem Etkisi ve İkinci Mertebe Etkilerinin Bina Tabanında OluŖturacađı Toplam Eğilme Momenti.....	70
5.3. Farklı lke Yönetmeliklerinin KarşılaŖtırılması.....	73
5.3.1. Etkin Göreli Kat telemesi.....	75
5.3.2. İkinci Mertebe Gösterge Değerİ.....	79
5.3.3. Bina Periyotları	82
5.3.4. Toplam Yatay EŖdeđer Deprem Kuvvetleri.....	83
5.3.5. DŖey Deprem Kuvvetleri	84
5.4. TBDY’de Dikkate Alınan DŖey Depremın Kolon ve KiriŖlere Etkisi	85
5.4.1. Kolon Analiz Sonuçları	87
5.4.2. KiriŖ Analiz Sonuçları	89
5.5. TBDY’de Dikkate Alınan DŖey Depremın Temel Taban Basıncına Etkisi .	91
5.5.1. Zemin Emniyet Gerilmeleri	91
5.5.2. Yzeyssel Temellerin TaŖıma Gücü	92
5.5.3. Hareketli Yük Azaltması	92
5.5.4. Temel Taban Basıncı Hesaplamaları.....	93
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	99
KAYNAKLAR.....	104

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Bina önem katsayısı (DBYBHY).....	25
3.2. Bina önem katsayısı (İDY)	25
3.3. Bina Kullanım Sınıfı (BKS) ve bina önem katsayıları (TBDY).....	26
3.4. Bina önem katsayısı (ADY)	26
3.5. Etkin yer ivmesi katsayısı (DBYBHY)	27
3.6. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları (TBDY)	28
3.7. 1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları (TBDY).....	29
3.8. Etkin yer ivmesi katsayısı (İDY)	30
3.9. Kısa periyot bölgesi için zemin katsayısı (ADY)	32
3.10. 1,0 saniye periyot için zemin katsayısı (ADY).....	32
3.11. Spektrum karakteristik periyotları (DBYBHY).....	34
3.12. Spektrum karakteristik periyotları (İDY)	36
3.13. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (DBYBHY)	37
3.14. Süneklik düzeyi yüksek bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve izin verilen BYS (TBDY)	38
3.15. BYS ve DTS'ye göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları (TBDY)	39
3.16. Bina taşıyıcı sistem davranış katsayısı (İDY).....	39
3.17. Yapısal sistemler için verilen katsayılar (ADY).....	40
3.18. Hareketli yük katılım katsayısı (DBYBHY).....	41
3.19. Hareketli yük katılım katsayısı (TBDY)	42
3.20. Hareketli yük yüzdesi (İDY)	42
3.21. İzin verilebilir en büyük etkin göreceli kat ötelemeleri (ADY)	52
3.22. Deprem tasarım sınıfları (TBDY)	56
3.23. Yeni yapılacak yerinde dökme betonarme için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları (Yüksek binalar dışında – BYS ≥ 2) (TBDY)	56
3.24. Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına göre sismik tasarım sınıfı (ADY)	58

3.25. 1,0 sn periyot tasarım spektral ivme katsayısına göre sismik tasarım sınıfı (ADY)	58
3.26. Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları (TBDY)	59
3.27. Çatlamış kesite ait etkin kesit rijitliği çarpanları (İDY)	60
3.28. Katsayılarla çarpılarak elde edilen yüklerle yapılan elastik analiz için izin verilen etkin kesit rijitliği çarpanları (ADY)	60
4.1. C25 beton sınıfına ait malzeme bilgileri	63
5.1. KAF ve DAF hatları deprem ivmeleri.....	67
5.2. BAF hatları deprem ivmeleri	68
5.3. Yatay deprem kuvvetinin bina tabanında oluşturacağı eğilme momenti	70
5.4. Kat kütlelerinin oluşturacağı ikinci mertebe momenti.....	71
5.5. Düşey deprem kuvvetinin tabanda oluşturacağı ikinci mertebe momenti	71
5.6. Tabanda oluşan toplam eğilme momentlerinin yüzdelik karşılaştırılması.....	73
5.7. Analizi yapılan binanın ülke yönetmeliklerine göre genel bilgileri.....	74
5.8. DBYBHY'ye göre x doğrultusundaki etkin görelî kat ötelemeleri	76
5.9. TBDY'ye göre x doğrultusundaki etkin görelî kat ötelemeleri	77
5.10. İDY'ye göre x doğrultusundaki etkin görelî kat ötelemeleri.....	77
5.11. ADY'ye göre x doğrultusundaki etkin görelî kat ötelemeleri	78
5.12. DBYBHY'ye göre x doğrultusundaki ikinci mertebe gösterge değerleri	79
5.13. TBDY'ye göre x doğrultusundaki ikinci mertebe gösterge değerleri	80
5.14. İDY'ye göre x doğrultusundaki ikinci mertebe gösterge değerleri.....	81
5.15. ADY'ye göre x doğrultusundaki ikinci mertebe gösterge değerleri	81
5.16. Kolonlarda oluşan eğilme momenti, kesme kuvveti ve eksenel yükün karşılaştırılması.....	88
5.17. Kirişlerde oluşan kesme kuvvetinin karşılaştırılması	90
5.18. En az üç tam kattan fazla yük taşıyan yapı elemanları için % eksiltme değeri ve azaltma değeri.....	93
5.19. Zemin sınıflarına göre zemin yatak katsayısı, zemin emniyet gerilmesi ve zemin taşıma gücü değerleri [47]	93
5.20. DBYBHY'ye göre maksimum temel taban basınçları.....	94
5.21. TBDY'ye göre maksimum temel taban basınçları.....	96

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

Sayfa

2.1. Türkiye'nin neotektonik yapılarını gösteren basitleştirilmiş tektonik harita [25] .7	7
2.2. Batı Anadolu'nun ana yapısal elemanlarının basitleştirilmiş haritası.....9	9
2.3. Faylar arasındaki graben ve horst sistemleri10	10
2.4. Eğim atımlı faylar11	11
2.5. Doğrultu atımlı faylar.....11	11
2.6. Oblik atımlı faylar12	12
2.7. P-dalgaları ve S-dalgaları ile yüzeydeki yapılara etkileri [31]13	13
3.1. Türkiye deprem bölgeleri haritası [40].....27	27
3.2. 50 yıl içerisinde aşılma olasılığı %10 olan en büyük yatay yer ivmeye göre TDTH [41].....29	29
3.3. İran deprem bölgeleri haritası [42].....30	30
3.4. 50 yıl içerisinde aşılma olasılığı %2 olan en büyük yatay yer ivmeye göre ABD deprem tehlike haritası [43].....33	33
4.1. Analizi yapılan binanın 1. kat planı61	61
4.2. Analizi yapılan binanın SAP2000 modeli62	62
4.3. Deprem yer hareketi düzeyi-1 (DD-1)'e ait deprem parametreleri64	64
4.4. Deprem yer hareketi düzeyi-2 (DD-2)'ye ait deprem parametreleri.....65	65
4.5. Deprem yer hareketi düzeyi-3 (DD-3)'e ait deprem parametreleri65	65
5.1. Bina tabanında oluşan toplam eğilme momentlerinin karşılaştırılması72	72
5.2. Etkin görel kat ötelemeleri ve ikinci mertebe gösterge değeri hesabı için dikkate alınan düğüm noktaları.....75	75
5.3. Etkin görel kat ötelemelerinin karşılaştırılması78	78
5.4. İkinci mertebe gösterge değerlerinin karşılaştırılması82	82
5.5. Bina periyotlarının karşılaştırılması83	83
5.6. Yatay eşdeğer deprem kuvvetlerinin karşılaştırılması84	84
5.7. Düşey deprem kuvvetlerinin karşılaştırılması85	85
5.8. Analizi yapılan binanın A-A kesiti86	86
5.9. Analizi yapılan binanın 1.kat A-A kesitinde bulunan kolon ve kirişler.....87	87
5.10. Taşıma gücü göçme mekanizması [55]91	91

5.11. Zemin yatak katsayısı tanımlanması	94
5.12. DBYBHY’ye göre maksimum temel taban basınçlarının grafiksel gösterimi ..	95
5.13. TBDY’ye göre maksimum temel taban basınçlarının grafiksel gösterimi	97



SİMGELER DİZİNİ

A	Etkin yer ivme katsayısı (Standard 2800)
A_h	Yatay tasarım sismik yapı katsayısı (IS 1893)
$A(T)$	Spektral ivme katsayısı
A_0	Etkin yer ivmesi katsayısı
B	Spektrum katsayısı (Standard 2800)
C	Deprem katsayısı (Standard 2800)
C_d	Deplasman büyütme katsayısı (ASCE/SEI 7-10)
C_h	İkinci mertebe hesabında kullanılan ampirik katsayı
C_s	Sismik katsayı (ASCE/SEI 7-10)
C_t	Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayı
C_t	Binanın yaklaşık periyot hesabında kullanılan katsayı(ASCE/SEI7-10)
C_{vx}	Düşey dağılım katsayısı (ASCE/SEI 7-10)
D	Ölü yük (ASCE/SEI 7-10)
D	Dayanım fazlalığı katsayısı
d_{fi}	Binanın i 'inci katında F_{fi} fiktif yüklerine göre hesaplanan yer değiştirme
d_i	Binanın i 'inci katında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yer değiştirme
DD-1	50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-3	50 yılda aşılma olasılığı %50 olan deprem yer hareketi düzeyi
E	Deprem yükü (ASCE/SEI 7-10)
E_c	Beton elastisite modülü
$E_d^{(H)}$	Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas toplam deprem etkisi
$E_d^{(X)}$	x doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
$E_d^{(Y)}$	y doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
$E_d^{(Z)}$	z doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
E_{Edx}	Depremin x doğrultusunda oluşturacağı etki (Eurocode 8)
E_{Edy}	Depremin y doğrultusunda oluşturacağı etki (Eurocode 8)

E_{Edz}	Deprem z doğrultusunda oluşturacağı etki (Eurocode 8)
E_h	Yatay deprem etkisi (ASCE/SEI 7-10)
E_{Lx}	x doğrultusundaki deprem yükü (IS 1893)
E_{Ly}	y doğrultusundaki deprem yükü (IS 1893)
E_{Lz}	z doğrultusundaki deprem yükü (IS 1893)
E_{xp}	x doğrultusunda pozitif %5 ek dışmerkezlik uygulanarak etkiyen yatay deprem kuvveti
E_{yp}	y doğrultusunda pozitif %5 ek dışmerkezlik uygulanarak etkiyen yatay deprem kuvveti
E_v	Düşey deprem etkisi (ASCE/SEI 7-10)
E_z	z doğrultusunda etkiyen düşey deprem kuvveti
F_a	Kısa periyot zemin katsayısı (ASCE/SEI 7-10)
F_{fi}	i'inci kata etki ettirilen fiktif yük
F_i	i'inci kata etkiyen eşdeğer deprem yükü
F_{iE}	i'inci kat kütle merkezine etkiyen eşdeğer deprem yükü
F_S	Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_t	Binanın tepesine etkiyen ek eşdeğer deprem yükü (Standard 2800)
F_v	Düşey deprem yükü (Standard 2800, SI 413)
F_v	Uzun periyot zemin katsayısı (ASCE/SEI 7-10)
F_x	Binanın x'inci katındaki yanal deprem kuvveti
F_1	1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
f_{cd}	Beton tasarım basınç dayanımı
f_{ck}	Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{ctk}	Beton karakteristik eksenel çekme dayanımı
G	Sabit yük etkisi
G	Kayma modülü
g	Yerçekimi ivmesi [$g = 9,81 \text{ m/s}^2$]
g_i	Her bir katın ölü yükü
H	Yatay zemin etkisi
H	Binanın temel seviyesinden ölçülen yüksekliği (Standard 2800)
H_i	Binanın i'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği
H_m	İzin verilen azami bina yüksekliği (Standard 2800)
H_N	Binanın toplam yüksekliği

h	Kat yüksekliği (Standard 2800)
h_i	i 'inci katın yüksekliği
h_i	Binanın i 'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği (Standard 2800)
h_n	Binanın tabanından itibaren ölçülen yükseklik (ASCE/SEI 7-10)
h_{sx}	Binanın x seviyesinde bulunan katın kat yüksekliği
h_x	Binanın x 'inci katının bina tabanından ölçülen yüksekliği (ASCE/SEI 7-10)
I	Bina önem katsayısı
I_e	Bina önem katsayısı (ASCE/SEI 7-10)
K_o	Zemin yatak katsayısı
m_t	Binanın toplam kütlesi
N	Binanın bodrum katlarının üstündeki toplam kat sayısı
n	Hareketli yük katılım kat sayısı
P	Binanın toplam ölü ve hareketli yükü (Standard 2800)
P_x	Binanın x seviyesindeki toplam düşey yükü (ASCE/SEI 7-10)
Q	Hareketli yük etkisi
Q_E	Yatay deprem kuvveti (ASCE/SEI 7-10)
q_i	Her bir katın hareketli yükü
q_k	Temel taşıma gücü karakteristik dayanımı
q_o	Temel seviyesinde etkiyen düşey yük, kesme ve moment etkilerinin oluşturduğu temel taban basıncı
q_t	Temel taşıma gücü tasarım dayanımı
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T)$	Deprem yükü azaltma katsayısı
S	Kar yükü etkisi
S	Zemin katsayısı (SI 413)
S	Spektrum karakteristik periyodu (Standard 2800)
S_a	Tasarım spektral ivme (ASCE/SEI 7-10)
$S_{ae}(T)$	Yatay elastik tasarım spektral ivme
$S_{aR}(T)$	Azaltılmış tasarım spektral ivmesi
$S_{aR}(T_p)$	Göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın hâkim doğal titreşim periyodu T_p göz önüne alınarak azaltılmış tasarım spektral ivmesi

S_a/g	Ortalama tepki ivme katsayısı (IS 1893)
S_{DS}	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	1,0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_{MS}	%5 sönüm oranı için tanımlanan zemine uyarlanmış kısa periyot spektral ivme katsayısı (ASCE/SEI 7-10)
S_{M1}	%5 sönüm oranı için tanımlanan zemine uyarlanmış 1,0 sn periyot spektral ivme katsayısı (ASCE/SEI 7-10)
S_s	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
$S(T)$	Etkin spektrum katsayısı
S_1	1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
T	Doğal titreşim periyodu
T_a	Binanın yaklaşık periyodu (ASCE/SEI 7-10)
T_A	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_B	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_L	Sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu
T_L	Uzun periyot bölgesine geçiş periyodu (ASCE/SEI 7-10)
T_p	Binanın hâkim doğal titreşim periyodu
T_{pA}	Ampirik olarak hesaplanan hâkim doğal titreşim periyodu
T_s	Spektrum karakteristik periyodu (Standard 2800)
T_s	Tasarım spektrumunun köşe periyodu (ASCE/SEI 7-10)
T_0	Spektrum karakteristik periyodu (Standard 2800)
T_0	Tasarım spektrumunun köşe periyodu (ASCE/SEI 7-10)
T_1	Binanın birinci doğal titreşim periyodu
u_i	Herhangi bir kolon veya perde için, i'inci kattaki azaltılmış yer değiştirme
V	Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tamamına etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü veya minimum taban kesme kuvveti (Standard 2800)
V	Taban kesme kuvveti (ASCE/SEI 7-10)
V_i	Göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın i'inci katına etki eden kat kesme kuvveti
$(V_s)_{30}$	Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı

V_t	Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tamamına etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
V_{tE}	Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
V_x	Binanın x ve $x-1$ seviyeleri arasındaki toplam kat kesme kuvveti (ASCE/SEI 7-10)
W	Yapısal eleman üzerindeki yüklü ağırlık (SI 413)
W	Binanın, hareketli yük katılım katsayısı veya yüzdesi kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
W	Binanın efektif sismik ağırlığı (ASCE/SEI 7-10)
W_i	Binanın i 'inci katının, hareketli yük katılım yüzdesi kullanılarak hesaplanan ağırlığı (Standard 2800)
W_{min}	Yapısal eleman üzerindeki minimum servis yüklü ağırlık
W_p	Yapı elemanlarının ağırlığı ve hareketli yük toplamı (Standard 2800)
w_i	Binanın i 'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı
w_x	Binanın x 'inci katına ait efektif sismik ağırlığı (ASCE/SEI 7-10)
Z	Bölge faktörü (IS 1893)
Z	Beklenen yatay yer ivmesi katsayısı (SI 413)
Δ	Etkin görelî kat ötelemesi değeri (ASCE/SEI 7-10)
ΔF_N	Binanın N 'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü
ΔF_{NE}	Binanın N 'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü
Δ_i	Binanın i 'inci katındaki azaltılmış görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i)_{ort}$	Binanın i 'inci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi
Δ_M	Gerçek tasarım etkin görelî kat ötelemesi (Standard 2800)
Δ_w	Tasarım etkin görelî kat ötelemesi (Standard 2800)
Δ_{wi}	i seviyesindeki etkin görelî kat ötelemesi değeri (Standard 2800)
δ_i	Binanın i 'inci katındaki etkin görelî kat ötelemesi
$(\delta_i)_{max}$	Binanın i 'inci katındaki maksimum etkin görelî kat ötelemesi
$\delta_{i,max}$	Binanın i 'inci katındaki etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri
δ_x	x seviyesindeki etkin yer değıştirme (ASCE/SEI 7-10)

δ_{xe}	x seviyesinde elastik hesaplarla elde edilmiş olan arttırılmamış yer değiştirme (ASCE/SEI 7-10)
θ	Stabilite katsayısı (ASCE/SEI 7-10)
θ_i	i'inci katta tanımlanan ikinci mertebe gösterge değeri
θ_i	Stabilite katsayısı (Standard 2800)
θ_{max}	Maksimum stabilite katsayısı (Standard 2800, ASCE/SEI 7-10)
$\theta_{II,i}$	Her bir i'inci kat için tanımlanan ikinci mertebe gösterge değeri
$\theta_{II,max}$	Maksimum ikinci mertebe gösterge değeri
β	x ve x-1 seviyesindeki katın kesme kuvvetinin, kesme kapasitesine oranı
β_{II}	İkinci mertebe büyütme katsayısı
ρ	Fazlalık katsayısı (ASCE/SEI 7-10)
Ω_0	Dayanım fazlalığı katsayısı (ASCE/SEI 7-10)
λ	Görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı
κ	İzin verilen görelî kat ötelemelerinin tanımında betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler için farklı olarak kullanılan katsayı
Υ_{beton}	Beton birim hacim ağırlığı
Υ_{Rv}	Temel taşıma gücü dayanım katsayısı
ν	Poisson oranı

KISALTMALAR DİZİNİ

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ACI	American Concrete Institute
ADY	Amerikan Deprem Yönetmeliği
ASCE	American Society of Civil Engineers
BAF	Batı Anadolu Fayı
BKS	Bina Kullanım Sınıfı
BYS	Bina Yükseklik Sınıfı
DAF	Doğu Anadolu Fayı
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DGT	Dayanıma Göre Tasarım
DTS	Deprem Tasarım Sınıfı
D-B	Doğu-Batı
FEMA	Federal Emergency Management Agency
IS	Indian Standard
İDY	İran Deprem Yönetmeliği
KAF	Kuzey Anadolu Fayı
KH	Kontrollü Hasar
K-G	Kuzey-Güney
MCEr	Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake
MW	Deprem Moment Büyüklüğü
SAP	Structural Analysis Program
SEI	Structural Engineering Institute
SH	Sınırlı Hasar
ŞGDT	Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TDTH	Türkiye Deprem Tehlike Haritası
USGS	United States Geological Survey

1. GİRİŞ

Türkiye, diri fayların yer aldığı bir deprem ülkesidir. 2006 yılında yayımlanan Deprem Bölgeleri Haritası'na göre ülkemizin toplam alanının %90'dan fazlası deprem bölgesinde iken, Türkiye Deprem Tehlike Haritasına (TDTH) göre ülkemizin her bir noktası deprem riski altında bulunmaktadır. Ülkemizde Kuzey Anadolu Fay (KAF) Zonu, Doğu Anadolu Fay (DAF) Zonu ve Ege Graben Sisteminde yaşanan depremlerde birçok can ve mal kaybı yaşanmıştır.

İçimizi derin bir şekilde sızlatan “Sesimi duyan var mı?” çılgınlığını, yaklaşık her 30 yılda bir yaşayan ülkemiz, en son yaşamış olduğu 17 Ağustos 1999 depremini ve beton yığınları altında can veren ve yakınlarını kaybeden binlerce insanımızın acılarını unutmayarak, bu büyük depremden sonra, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007) hazırlanarak 2008 yılında yürürlüğe girmiş, bu yönetmelik üzerine yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkan yetersizlikler ve ülkemizde son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler sayesinde, yeni ihtiyaçlara karşılık verecek şekilde hazırlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) ise 2019 yılında yürürlüğe girmiştir.

Deprem gerçekleşirken yer kabuğunda meydana gelen düşey ve yatay hareketler sonucunda, binaya yatay ve düşey deprem kuvvetleri etkimektedir. Binanın düşey doğrultuda daha güvenli olduğu ve düşey yer ivmelerinin yatay ivmelere göre daha küçük olduğu varsayılarak, binaların üst yapılarının genellikle yatay etkiler altında P-Δ etkileri de dikkate alınarak analizleri yapılmış olup, düşey deprem etkisi ihmal edilmiştir. Yakın geçmişte meydana gelen Northridge (1994, ABD) ve Kobe (1995, Japonya) depremlerinde normalin çok üzerinde düşey deprem ivmelerinin kaydedildiği bilinmektedir. Avrupa, Amerika, İran, Hindistan ve İsrail gibi ülkelerde düşey deprem etkisini uzun zamandır dikkate alınmakta iken ülkemizde düşey deprem etkisinin dikkate alınması 2019 yılında yürürlüğe giren TBDY ile sağlanmıştır.

Kim ve Elnashai (2008) [1] çalışmalarında, analitik ve deneysel araştırmalar sonucunda betonarme yapıların analizinde dūřey deprem etkileri ihmal edilerek, sadece yatay deprem etkisi dikkate alınarak analiz edildikleri için hasar gördüklerini tespit etmişlerdir. Tasarım hesaplarında dūřey yer hareketinin ihmal edilmesi, genel yapısal güvenliği tehlikeye atabilir. Bu sebeple, aktif fay hatların yakınında, dūřey zemin hareketi dikkate alınmalıdır. [2]

1.1. Konu İle İlgili Geçmişte Yapılan alışmalar

Dūřey deprem etkileri üzerine çalışan birçok araştırmacı olmuştur. Bureau (1981) ve Campbell (1982), büyük depremlerin faya yakın bölgesindeki dūřey/yatay spektral ivme oranı davranışının, daha küçük büyüklüklerde ve daha büyük mesafelere göre, tahmin edilenden önemli ölçüde farklı olduğunu kabul etmişlerdir. [3, 4]

Niazi ve Bozorgnia (1989-1992), dūřey/yatay spektral ivme oranının řiddet ve uzaklık yönünden etkisini arařtırmak için, Tayvan'da meydana gelen çeřitli deprem kayıtlarından birkaç yüz dūřey/yatay spektral ivme oranını analiz etmiřlerdir. [5-8]

Bunun devamında yapılan iki çalışmada, Bozorgnia ve Niazi (1993), 1989 Loma Prieta, California depremi için toprak ve kaya zeminlerdeki dūřey ve yatay spektral ivmelerini incelemiřlerdir. [9] Bozorgnia vd. (1995-1996), 1994 Northridge, California depreminde toprak zeminlerde kayıt altına alınan dūřey ve yatay spektral ivmeleri analiz etmiřlerdir. [10, 11]

Yapılan bu çalışmalardan sonra ortaya çıkan dūřey/yatay spektral ivme oranının, spektral periyot ve faya uzaklığa çok duyarlı olduğu ve depreme yakın bölgelerde oluşan kısa periyotlarda 2/3 oranını ařan farklı tepe değerlere sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Bozorgnia vd. (1995), bu karakteristik özelliğin evrensel olduğunu öne sürmüşlerdir. [10]

Watabe vd. (1990), yaptıkları araştırmada ABD'de kayıt altına alınan kuvvetli yer hareketlerini kullanarak, yer hareketinin yatay ve dūřey bileşenlerinin genlikleri

arasında sistematik bağımlılık bulunduğu ve yatay spektrumdan düşey spektrum üretmenin basit kurallarla geliştirilebilmesinin mümkün olduğunu öne sürmüşlerdir. [12]

Niazi ve Bozorgnia (1991-1992), Bozorgnia ve Niazi (1993), Bozorgnia vd. (1995), deprem kaynağına yakın kayıtlara bakılarak yaptıkları çalışmalarda, düşey/yatay spektral ivme oranının genellikle birim değeri aştığı, kısa periyotlarda ve kısa mesafelerde 1,8 gibi değerlere yaklaşabileceği ve bu oranın toprakta genellikle kayadan daha yüksek olacağı ön görülmüştür. [7-8, 9, 10]

Gürel ve Kısa (2002), kuvvetli deprem yer hareketlerinin düşey bileşenlerinin betonarme kolonlar, konsol kirişler, döşemeler, öngermeli beton kirişler ve çelik kolonlar gibi çeşitli yapı elemanları üzerindeki muhtemel etkilerini ve hasar potansiyelini irdelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, kuvvetli deprem yer hareketlerinin düşey bileşenlerinin bazı yapı elemanları üzerinde ciddi etkilerinin olabileceğini ve bu yüzden düşey bileşenlerin depreme dayanıklı tasarım işleminde ihmal edilmesinin riskini ortaya koymuşlardır. [13]

Bozorgnia ve Campbell (2004), tasarımlarda düşey spektral ivmeyi bulmak için kullanılan en yaygın uygulamanın, yatay spektral ivmenin $2/3$ 'ünü almak olduğu, FEMA tarafından bu yaklaşımın kullanıldığı belirtilmiştir. [14] Friedland vd. (1997), bu $2/3$ yaklaşımın, faya yakın orta ve büyük depremler için yetersiz olduğunu öne sürmüşlerdir. [15]

Doğan ve Elmas (2004), taşıyıcı sistem düşey elemanları süreksizlik gösteren veya büyük konsolları olan bir dizi örnek betonarme yapı üzerinde 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi ivme kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında hesap yöntemi ile düşey deprem etkisini irdelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, düşey deprem ivmesinin genellikle yatay deprem ivmesinin $\%33,30$ - $\%50$ 'si mertebesinde olduğunu, bu nedenle önemli durumlarda yüksek yapıların tasarımında düşey dinamik karakteristiklerin hesaplanması gerektiğini ortaya koymuşlardır. [16]

Rahai (2004), betonarme köprü ayaklarının, Tabas, Kobe ve Northridge depremleri için zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemlerini kullanarak, deprem hareketinin yalnızca yatay etkimesi durumu ile yatay ve düşey hareketin beraber etkimesi durumunda kolonlardaki değişimlerini incelemiştir. Yaptığı çalışmanın sonucunda, eksenel kuvvetin değişiminin yatay kuvvetle orantılı olmadığı, düşey ivmenin kolonlardaki eksenel kuvveti değiştirdiği ve bunun %25'den fazla olduğu, düşey ivmenin kesme ve eksenel gerilmeleri önemli ölçüde artırdığı, maksimum ve minimum boyuna deplasmanın ise her iki durumda da eşit olduğu sonucuna varmıştır. [17]

Kalkan ve Graizer (2007), çok bileşenli deprem hareketinin etkisi altında tek serbestlik dereceli sistem salınımının hareket denklemini oluşturmuşlardır. Yaptıkları çalışmada, fay kırılmasının yakınlarında, düşey hareketin yatay hareketin iki katı kadar olmasının ve 2g seviyesini aşmasının mümkün olmasına rağmen yapıların sismik tasarım veya performans değerlendirilmesinde deprem hareketinin dönme ve düşey bileşenlerinin nerdeyse her zaman göz ardı edildiğini, fay kırılmasına yakın yüksek düşey ivme ve dönme hareketine maruz kalan bölgelerde çok bileşenli spektrumun kullanılması gerektiğini ortaya koymuşlardır. [18]

Domaniç (2008), zaman tanım alanı sonuçları ile AASHTO tasarım yüklerini karşılaştırmış olup düşey deprem hareketinin altyapı tesirleri ve mesnet basınç kuvvetleri üzerindeki etkilerini irdelemiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, düşey deprem bileşeninin AASHTO yük kombinasyonlarına ilave edilmesinin, özellikle başlık kirişi momentlerini ve ayak eksenel kuvvetlerini bileşik deprem yüklemesi altında doğru tahmin edebilmek açısından faydalı olabileceğini ortaya koymuştur. [19]

Kunnath vd. (2008), California'daki otoyol köprülerinde düşey ivmenin etkilerini incelemiştir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda, düşey ivme etkisinin, kolonlardaki eksenel yükü, başlık kirişi yüzündeki moment talebini, açıklık ortasındaki moment talebini önemli ölçüde etkilediği ortaya konulmuştur. Aynı zamanda, elastik tepki spektrum analizinin, düşey yer hareketlerinin köprü üst yapıları üzerindeki etkilerini belirlemek için kullanılan etkili bir araç olduğu da gösterilmiştir. Ayrıca, bir dizi

düşey tasarım spektrumu ve önerilen düşey elastik spektrumları kullanan basitleştirilmiş bir tasarım prosedürü geliştirilmiştir. [20]

Kadid vd. (2010), rijit, yarı rijit ve esnek betonarme yapıların depremin yatay ve düşey ivmelerinin birleşmesi sonucu yapılarda meydana gelen değişimlerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda, depremin düşey bileşeninin sisteme dâhil edilmesinin katlardaki öteleme miktarı ile kat kesme kuvvetlerinde çok az etkisinin olduğunu ancak kolonlardaki eksenel kuvvetlerini ve kirişlerin düşey deplasmanlarını büyük ölçüde etkileyebileceği sonucuna varmışlardır. [21]

Baş vd. (2015), geçmişte yapılmış deneysel ve analitik çalışmalarda önemli bir parametre olarak ortaya çıkan düşey deprem etkisini, DBYBHY'ye uygun olarak tasarlanmış çok katlı betonarme bir yapı üzerinde irdilemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, düşey deprem etkisinin taban kesme kuvveti, devrilme momenti ve düşey yer değiştirme değerlerini önemli oranda arttırdığını, devrilme momentindeki artışın kolon-kiriş gibi yapısal elemanlardaki hasar seviyelerini arttıracığından düşey deprem etkisinin, yapının deprem performansını da düşüreceğini, yeni inşa edilecek ve mevcut yapıların deprem analizlerinde düşey deprem etkisinin dikkate alınmasının gerekliliğini ortaya koymuşlardır. [22]

Eren ve Beyen (2015), DBYBHY'de can güvenliği performans seviyesi için yatay etkililen elastik tasarım ivme spektrumunu ve göz önüne alınmayan deprem yer hareketinin düşey bileşenlerinin tipik yeni bir betonarme yapı üzerindeki etkilerini irdilemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, DBYBHY'nin lineer tasarım şartlarında güvenli tarafta kaldığını ancak mevcut yapı olarak değerlendirildiğinde, düşey ivme etkisinin kolonlardaki eksenel kuvvetleri değiştirmesi sonucu farklı hasar dağılımlarının gözlemlendiğini ortaya koymuşlardır. [23]

Aydemir ve Jakayev (2019), depremin düşey bileşeninin yapısal davranışa etkisini irdilemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, depremin düşey bileşeninin özellikle kolonlardaki eksenel kuvvetlerin artışına sebep olduğunu, kolon kesme kuvvetlerinde depremin düşey bileşeninin eklenmesiyle yaklaşık %10'luk artış getirdiğini, kat

ötelemelerinde ve yapısal deplasmanda ise belirgin değişiklik olmadığını ortaya koymuşlardır. [24]

1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışmasının amacı ve kapsamı dört aşamada ele alınmıştır. Birinci aşamada, Türkiye’de 1976-2019 yılları arasında, KAF/DAF hatları ve BAF bölgesinde kaydedilmiş, moment büyüklüğü 6 ve/veya üzerinde beş adet deprem kaydı dikkate alınarak yatay ve düşey yer ivmelerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

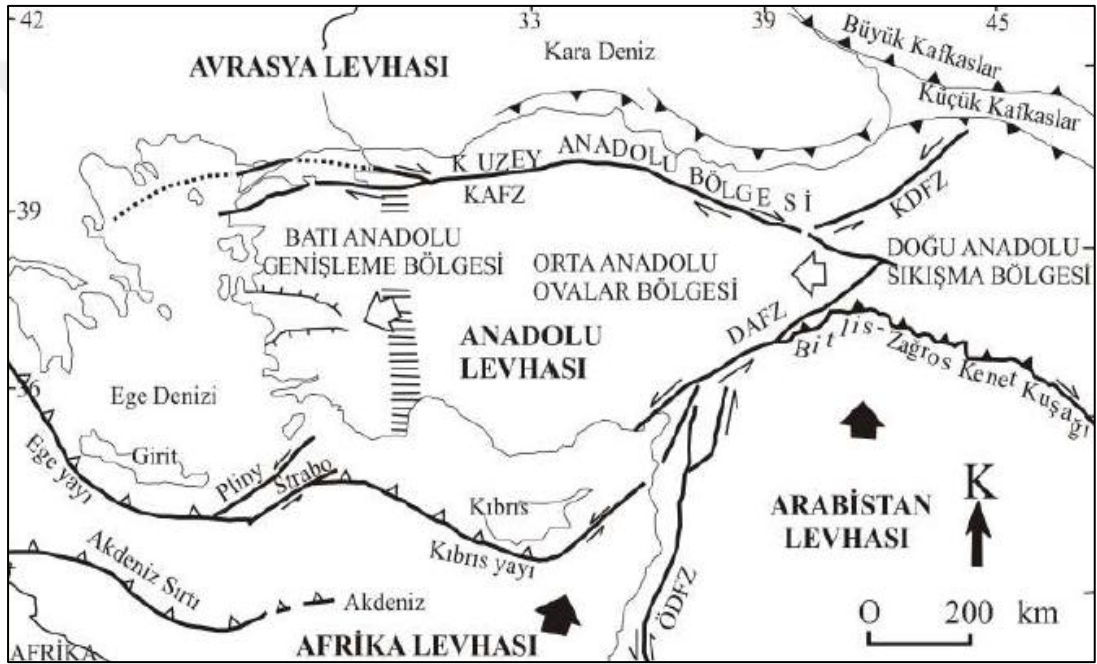
İkinci aşamada DBYBHY kurallarına uygun olarak tasarlanan beş katlı bir binanın, maksimum yatay yer değiştirme yaptığı varsayılarak, düşey deprem etkisi, yatay deprem etkisi ve ikinci mertebe etkileri beraber dikkate alındığında bina tabanında oluşacak toplam eğilme momentindeki değişimler irdelenmiştir.

Üçüncü aşamada, aynı binanın eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analizi yapılarak DBYBHY, TBDY, Standard 2800 (İran) ve ASCE/SEI 7-10 (Amerika)’a göre etkin görelî kat ötelemeleri, ikinci mertebe gösterge değerleri, bina periyotları, toplam yatay eşdeğer deprem kuvvetleri ve düşey deprem kuvvetlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Dördüncü aşamada, DBYBHY ile TBDY kıyaslanarak, düşey deprem kuvveti ve ikinci mertebe etkilerinden dolayı kolon, kiriş ve temel taban basınçlarında meydana gelen değişimler araştırılmıştır.

2. TÜRKİYEİN TEKTONİK YAPISI VE FAY ÖZELLİKLERİ

Türkiye, dünyanın en sismik ve aktif bölgelerinden biridir. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi ve 12 Kasım 1999 Düzce Depremi, binlerce insanın ölümüne ve büyük ekonomik kayıplara yol açmıştır. Afrika ve Avrasya levhaları arasındaki sürtünmeli çarpışmadan kaynaklanan karmaşık deformasyona sahiptir. İki doğrultu atılımlı fay zonu olan KAF Zonu ve DAF Zonu Türkiye'nin kuzeydoğusunda buluşarak bir kesişme noktası oluşturmaktadır (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Türkiye'nin neotektonik yapılarını gösteren basitleştirilmiş tektonik harita [25]

2.1. Kuzey Anadolu Bölgesinin Tektoniği

KAF Zonu, sismik aktivitesi ve Doğu Akdeniz bölgesindeki tektonik hareketlerin önemi nedeniyle dünyadaki en iyi bilinen doğrultu atılımlı faylardan biridir.

KAF Zonu, Kaliforniya'da bulunan San Andreas Fay sistemine çok benzerdir. [26]

2.2. Batı Anadolu Bölgesinin Tektoniği

Batı Anadolu Bölgesi, karışık bir tektonik görünümlü yapıya sahip olmasından dolayı devamlı depremler yaşanmakta, ilerleyen zamanlarda da deprem oluşturma olasılığı fazladır. Genişleme rejimi sonucunda meydana gelen grabenlerin kenarlarını sınırlayan ana normal faylar, kısa uzunluklara sahip birçok kısa faylardan oluşmaktadır. Dolayısıyla, bu kısa uzunluklara sahip faylardan birinde meydana gelen bir deprem, yakınlarındaki fayları tetiklemekte ve çift depremlerin oluşmasına neden olmaktadır. [27]

Batı Anadolu, hızla genişlemeye uğrayan ve sismik aktivitenin en fazla olduğu bölgelerden biridir. Yaklaşık K-G yönlü genişleme miktarı 30-40 mm/yıl'dır. [28,29]

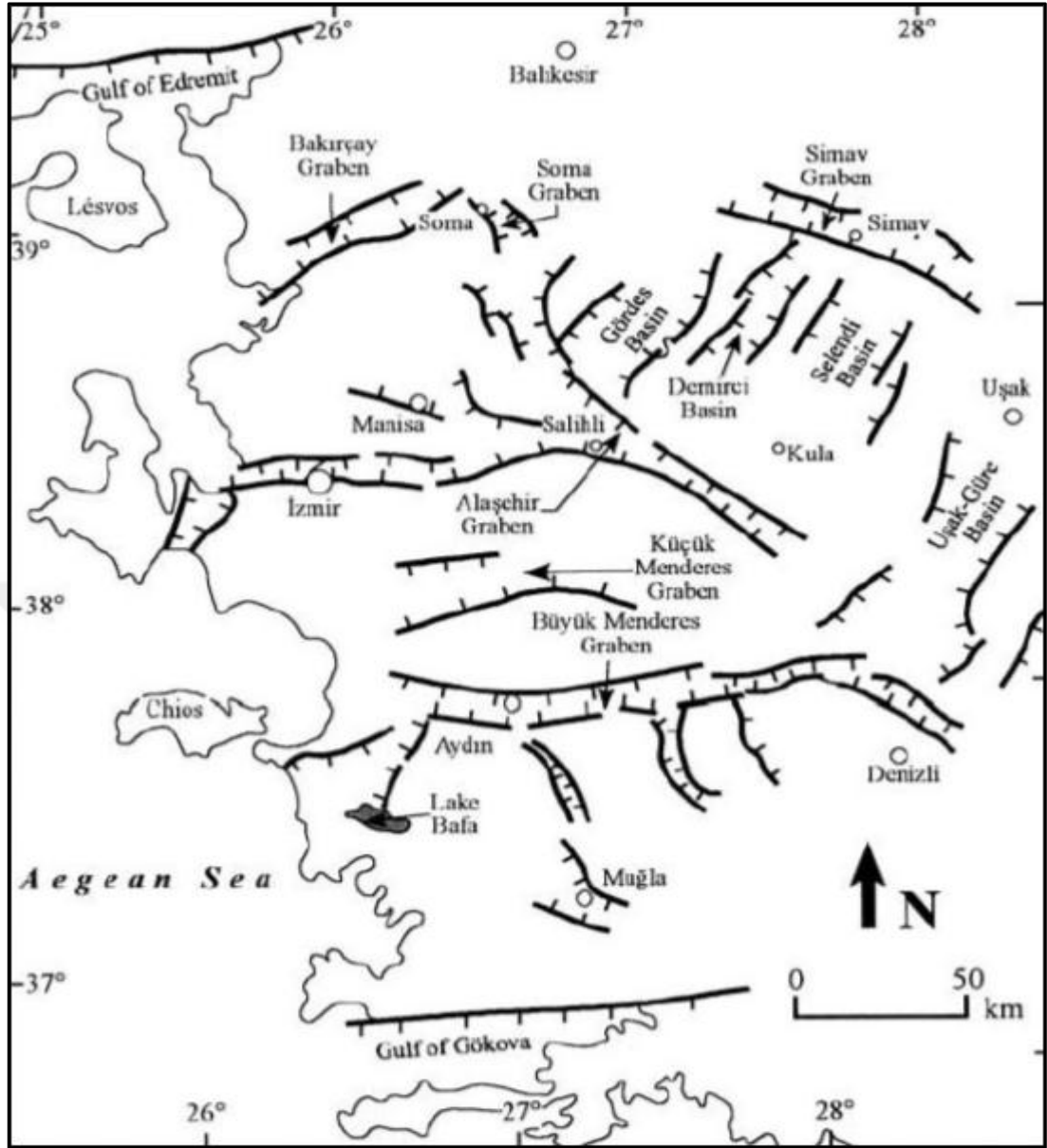
D-B doğrultulu normal faylarla sınırlandırılmış olan Ege Graben Sistemi, birçok bloktan ve bu bloklar arasında kalan grabenlerden oluşmaktadır. Yaklaşık D-B uzanımlı grabenler (Küçük Menderes, Büyük Menderes, Edremit, Bakırçay, Kütahya, Simav, Gediz, vb.) ve bu grabenlere bağlı aktif normal faylar bulunmaktadır (Şekil 2.2.).

2.3. Faylar

Kayaçların bir düzlem boyunca gözle görülecek miktarda kayma göstermesi sonucu meydana gelen yapıya fay, kayma hareketinin olduğu düzleme ise fay düzlemi adı verilmektedir.

Faylar, düzlemleri boyunca gelişen kaynağa göre 3 gruba ayrılmaktadır:

- a) Eğim Atımlı Faylar
- b) Doğrultu (Yanal) Atımlı Faylar
- c) Verev (Oblik) Atımlı Faylar

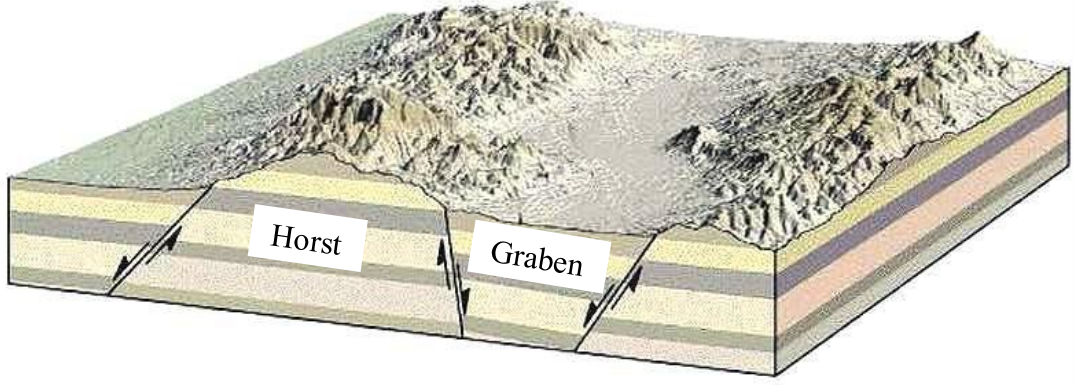


Şekil 2.2. Batı Anadolu'nun ana yapısal elemanlarının basitleştirilmiş haritası

[30]

2.3.1. Eğim Atımlı Faylar

Blokların, fay düzleminin eğimi yönünde hareket etmesi sonucu meydana gelmektedir. Fay düzleminin alt kısmında kalan bloğa Taban Bloğu, üst kısmında kalan bloğa ise Tavan Bloğu denilmektedir. İki normal faylanma arasındaki blok çökerse graben (çöküntü), yükselirse horst (yükselti) adını almaktadır (Şekil 2.3.).



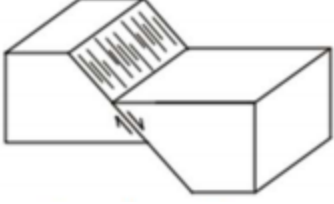
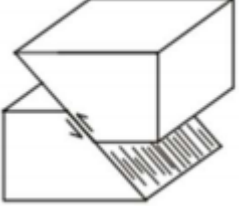
Şekil 2.3. Faylar arasındaki graben ve horst sistemleri

2.3.1.1 Normal Atımlı Fay

Eğik bir fay düzlemi üzerinde kalan bloğun, düzlemin altında kalan bloğa göre aşağı doğru hareket etmesi sonucu meydana gelmektedir. Normal faylanma, genelde yer kabuğunun yatay çekme kuvveti sonucu ortaya çıkmaktadır. Gerilmeli tektonik rejim altında meydana gelmekte olup genişlemeye sebep olmaktadır. Ege bölgesinin iç kesimlerinde yer alan büyük akarsu vadileri gerilmeli tektonik rejim altında oluşan grabenlerdir.

2.3.1.2 Ters Fay

Eğik bir fay düzlemi üzerinde kalan bloğun, düzlemin altında kalan bloğa göre yukarı doğru hareket etmesi sonucu meydana gelmektedir. Ters faylanma, genelde yer kabuğunun yatay basınç kuvveti sonucu ortaya çıkmaktadır. Sıkışmalı tektonik rejim altında meydana gelmekte olup kısalmaya sebep olmaktadır.

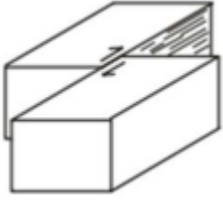
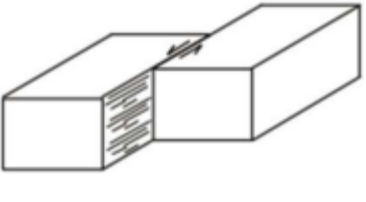
	Normal Faylar	Ters Faylar
Eğim Atımlı Faylar	 Eğim Atımlı Normal Fay	 Eğim Atımlı Ters Fay

Şekil 2.4. Eğim atımlı faylar

2.3.2. Doğrultu (Yanal) Atımlı Faylar

Blokların, yatay doğrultuda hareket etmesi sonucu meydana gelmektedir. Bloklar, birbirine göre yatay yönde yer değiştirmektedir. Bir bloktan bakan kişiye göre, karşı bloğun sağa veya sola doğru hareket etmesine göre iki gruba ayrılmaktadır. Doğrultu atımlı faylar, uç kesimlerinde ana fayla aynı hareket yönüne sahip sıçrama fayları oluşturmaktadır.

Sağ yanal atımlı faylar, bir bloktan bakan kişiye göre, karşı bloğun sağa doğru hareket etmesidir. Sol yanal atımlı faylar ise bir bloktan bakan kişiye göre, karşı bloğun sola doğru hareket etmesidir.

Doğrultu Atımlı Faylar	
 Sağ Yönlü Doğrultu Atımlı Fay	 Sol Yönlü Doğrultu Atımlı Fay

Şekil 2.5. Doğrultu atımlı faylar

2.3.3. Verev (Oblik) Atımlı Faylar

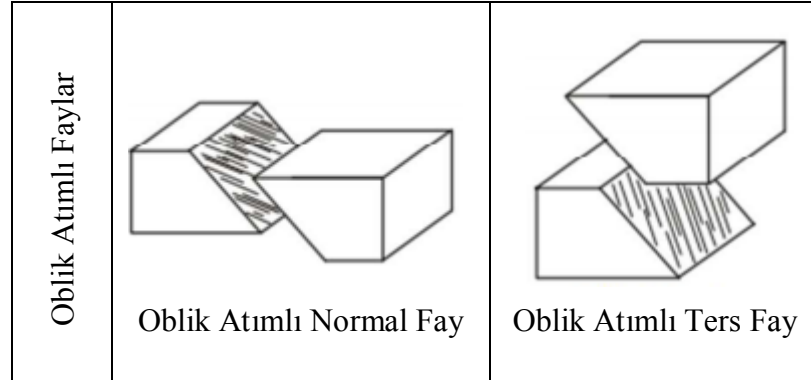
Fay düzlemi boyunca hem eğim atımın hem de doğrultu atımın bulunduğu faylardır. Hareket vektörü fayın doğrultusuna verevdir. Bu fayların isimlendirilmesinde, baskın olan fayın ismi öne gelecek şekilde hem eğim atımlı fayların adı hem de doğrultu atımlı fayların adı birlikte kullanılmaktadır.

2.3.3.1 Normal Oblik Faylar

Eğik bir fay düzlemi üzerinde kalan bloğun, düzlemin altında kalan bloğa göre aşağı ve sağa/sola doğru hareket etmesi sonucu meydana gelmektedir.

2.3.3.2 Ters Oblik Faylar

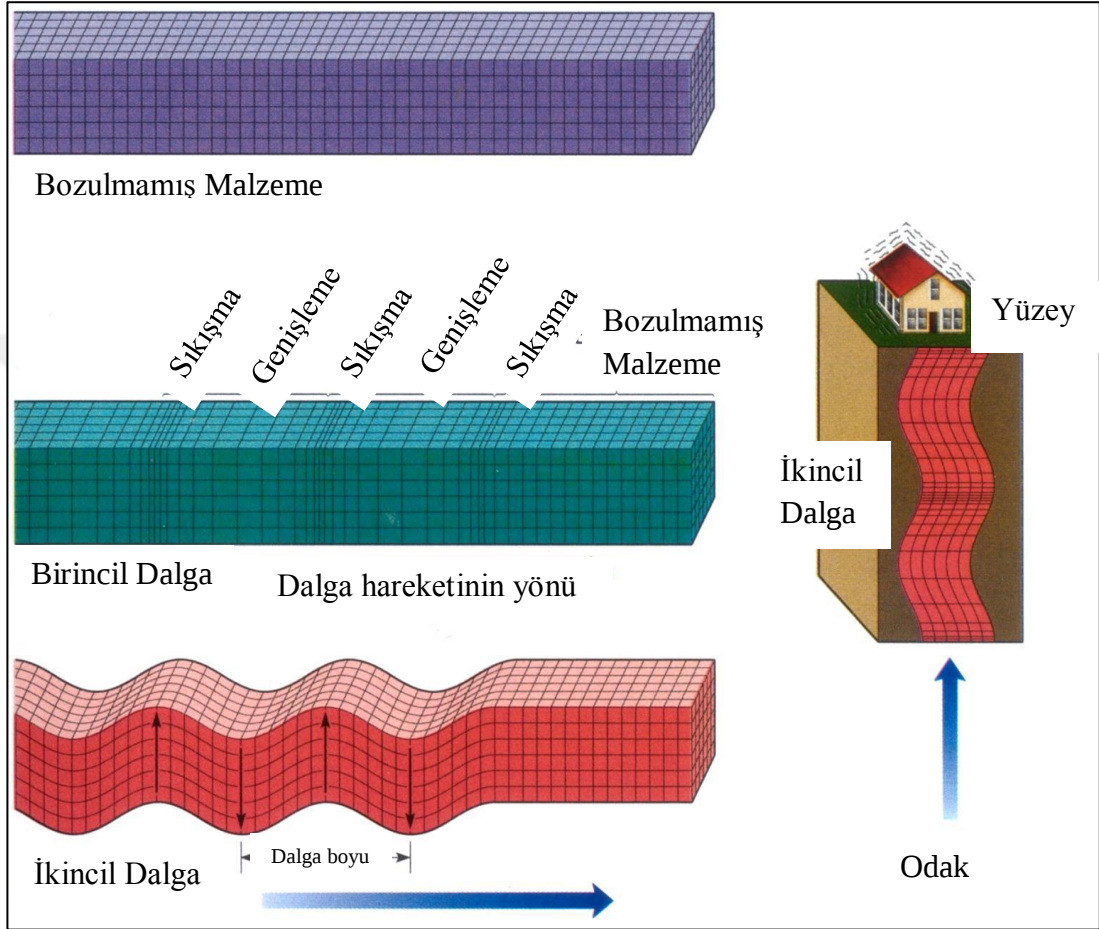
Eğik bir fay düzlemi üzerinde kalan bloğun, düzlemin altında kalan bloğa göre yukarı ve sağa/sola doğru hareket etmesi sonucu meydana gelmektedir.



Şekil 2.6. Oblik atımlı faylar

2.3.4. Cisim Dalgaları

Deprem, P-dalgaları ve S-dalgaları olmak üzere iki tür cisim dalgası oluşturmaktadır (Şekil 2.7.).



Şekil 2.7. P-dalgaları ve S-dalgaları ile yüzeydeki yapılara etkileri [31]

2.3.4.1 P-Dalgaları

P-dalgaları ya da birincil dalgalar en hızlı deprem dalgaları olarak bilinmektedir. Katı, sıvı ve gazların içerisinde ilerleyebilirler. Sıkışma veya itme-çekme dalgalarıdır. Ses dalgaları ile aynı özellikleri taşımaktadır. Deprem odağından her yöne doğru yayılabilirler. İçerisinden P dalgalarının geçtiği malzeme, dalga ilerleyip geçtikten sonra orijinal büyüklüğüne ve şekline geri döndüğünde genişler ve sıkışır.

P-dalgaları, ses dalgaları halinde atmosfere yayılması durumunda, insanlar ve hayvanlar tarafından duyulabilir. Yeryüzüne ilk ulaşan dalgalar olup, yüzeyde düşey titreşimler oluşturduğundan deprem hareketinin düşey bileşeni ile doğrudan bağıntılıdır.

2.3.4.2 S-Dalgaları

S-dalgaları ya da ikincil dalgalar, P-dalgalarından biraz daha yavaş bir hızla yayılırlar. S-dalgaları, malzemeyi hareket yönüne dik olarak hareket ettirerek içlerinde yol aldıkları malzemede makaslama gerilimi oluşturmaktadır. Sıvılar ve gazlar makaslama kuvvetine sahip olamadıkları için sadece katı malzemelerde yol alabilirler. Yapılarda en fazla hasara neden olan dalgalardır.

3. BİNA ANALİZİNDE FARKLI YÖNETMELİKLERE GÖRE DÜŞEY DEPREM ETKİSİ

3.1. Farklı Deprem Yönetmeliklerinde Düşey Deprem Etkisi

Bu kısımda, DBYBHY, TBDY, İran Deprem Yönetmeliği (İDY), Amerikan Deprem Yönetmeliği (ADY), Hindistan Deprem Yönetmeliği, Avrupa Deprem Yönetmeliği ve İsrail Deprem Yönetmeliğinde hangi yapılar için düşey deprem etkisinin dikkate alındığı ve düşey deprem kuvvetlerinin nasıl hesaplandığı hakkında açıklamalara yer verilmiştir.

3.1.1. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007)

DBYBHY'ye göre düşey deprem etkisi doğrudan göz önüne alınmamaktadır. Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği olan B3 türü düzensizliklerin yapılarda bulunmaması sağlanarak düşey deprem etkisinin azaltılması hedeflenmiştir.

DBYBHY'ye göre B3 türü düzensizlik durumları şunlardır: [32]

- a) Kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan güselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmemektedir.
- b) Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında arttırılmaktadır.
- c) Üst katlardaki perdenin altta kolonlara oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmemektedir.
- d) Perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmemektedir.

3.1.2. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)

TBDY'ye göre Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) 1, 1a, 2 ve 2a olarak sınıflandırılan ve aşağıdaki belirtilen binalarda düşey deprem hesabı bu elemanların yerel düşey titreşim modları esas alınarak sadece bu elemanlar için düşey elastik ivme spektrumuna göre yapılmaktadır. [33]

- a) Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 20 m veya daha fazla olan kirişleri içeren binalar
- b) Açıklıklarının yataydaki izdüşümü 5 m veya daha fazla olan konsolları içeren binalar
- c) Kirişlere oturan kolonları içeren binalar
- d) Kolonları düşeye göre eğimli olan binalar

Bu elemanların dışındaki taşıyıcı sistem kısımlarında ve yukarıda açıklanan tanımın dışında kalan binalarda düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$, Eşitlik 2.1 ile yaklaşık olarak hesaplanmaktadır.

$$E_d^{(Z)} \approx (2/3)S_{DS}G \quad (2.1)$$

Eşitlik 2.1'de yer alan, G sabit yük etkisini, S_{DS} ise kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını ifade etmektedir.

TBDY'ye göre, deprem etkisini içeren yük birleşimleri Eşitlik 2.2'ye göre yapılmaktadır.

$$\begin{aligned} &G+Q+0,2S+E_d^{(H)} \pm 0,3E_d^{(Z)} \\ &0,9G+H+E_d^{(H)} -0,3E_d^{(Z)} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Eşitlik 2.2'de yer alan Q hareketli yük etkisini, S kar yükü etkisini, H yatay zemin etkisi etkisini, $E_d^{(H)}$ doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas toplam deprem

etkisini, $E_d^{(z)}$ ise z doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisini ifade etmektedir.

TBDY'ye göre, eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılması durumunda, yatayda birbirine dik doğrultulardaki deprem etkileri Eşitlik 2.3'e göre birleştirilmektedir.

$$\begin{aligned} E_d^{(H)} &= \pm E_d^{(X)} \pm 0.3 E_d^{(Y)} \\ E_d^{(H)} &= \pm 0.3 E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Eşitlik 2.3'de yer alan, $E_d^{(X)}$ ve $E_d^{(Y)}$ herhangi bir kesitte birbirine dik x ve y doğrultularındaki depremlerin etkisi altında hesaplanan tasarıma esas deprem etkilerini, $E_d^{(H)}$ ise doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas toplam deprem etkisini ifade etmektedir.

3.1.3. İran Deprem Yönetmeliği (Standard 2800)

İDY'ye göre, düşey deprem yükü aşağıdaki durumlarda dikkate alınmaktadır. [34]

- a) Açıklıkları 15 m'yi geçen kirişler.
- b) Diğer uygulanan yüklere göre önemli derecede yoğun yüklere sahip kirişler. Önemli derecede yoğun yük, uygulanan diğer tüm yüklerin toplamının en az yarısı büyüklüğünde bir yüküdür.
- c) Balkonlar ve konsollar.

Yukarıda açıklanan (a) ve (b) maddeleri için düşey deprem yükü, Eşitlik 2.4 ile belirlenmektedir. Yukarıda açıklanan (c) maddesi için bu yük iki katına çıkartılmaktadır.

$$F_v = 0,7 A I W_p \quad (2.4)$$

Eşitlik 2.4’de yer alan, W_p yapı elemanlarının ağırlığının ve hareketli yükün toplamını, A etkin yer ivme katsayısını, I bina önem katsayısını ifade etmektedir.

İDY’ye göre, düşey ve yatay deprem yükleri için aşağıdaki yük kombinasyonları dikkate alınmaktadır.

- 1- Herhangi bir doğrultuda yatay deprem yükünün yüzde 100’ü, buna dik doğrultudaki yatay deprem yükünün yüzde 30’u ve düşey deprem yükünün yüzde 30’unun toplamı
- 2- Düşey deprem yükünün yüzde 100’ü ve her iki birbirine dik doğrultudaki yatay deprem yüklerinin ayrı ayrı yüzde 30’unun toplamı

3.1.4. Hindistan Deprem Yönetmeliği (IS 1893)

Hindistan Yönetmeliği, yatay tasarım sismik yapı katsayısı A_h , Eşitlik 2.5 ile belirlenmektedir. [35]

$$A_h = \frac{ZIS_a}{2R_g} \quad (2.5)$$

Eşitlik 2.5’de yer alan, Z bölge faktörünü, I bina önem katsayısını, R taşıyıcı sistem davranış katsayısını, (S_a/g) ortalama tepki ivme katsayısını ifade etmektedir.

Düşey deprem hareketleri için tasarım ivme spektrumu, gerektiği zaman, yukarıda tanımlanan yatay tasarım ivme spektrumunun 2/3’ü alınabilmektedir.

Yük kombinasyonlarında depremin üç doğrultusu için;

$$\begin{aligned} &\pm EL_x \pm 0,30 EL_y \pm 0,30 EL_z \\ &\pm EL_y \pm 0,30 EL_x \pm 0,30 EL_z \\ &\pm EL_z \pm 0,30 EL_x \pm 0,30 EL_y \end{aligned} \quad (2.6)$$

olarak tanımlanmaktadır.

Eşitlik 2.6’da yer alan, E_Lx x doğrultusundaki deprem yükünü, E_Ly y doğrultusundaki deprem yükünü, E_Lz z doğrultusundaki deprem yükünü ifade etmektedir.

3.1.5. Avrupa Deprem Yönetmeliği (Eurocode 8)

Avrupa yönetmeliklerinde, betonarme yapıların tasarımı düzenlenirken “Eurocode 2”, depreme dayanıklı yapı tasarımında ise “Eurocode 8” kuralları dikkate alınmaktadır. [36, 37]

Düşey doğrultudaki tasarım ivmesinin 0,25g’den büyük olduğu zaman aşağıda belirtilen durumlarda dikkate alınması gerektiği ifade edilmiştir. [37]

- a) Açıklığı 20 m veya 20 m üzeri olan yatay veya neredeyse yataya yakın elemanlar,
- b) 5 m den daha uzun yatay veya neredeyse yataya yakın konsol elemanlar,
- c) Yatay veya neredeyse yataya yakın öngermeli elemanlar,
- d) Kolonları taşıyan kirişler,
- e) Deprem yalıtım sistemli yapılar.

Yük kombinasyonlarında depremin üç doğrultusu için;

$$\begin{aligned} &E_{Edx} "+" 0,30 E_{Edy} "+" 0,30 E_{Edz} \\ &0,30 E_{Edx} "+" E_{Edy} "+" 0,30 E_{Edz} \\ &0,30 E_{Edx} "+" 0,30 E_{Edy} "+" E_{Edz} \end{aligned} \quad (2.7)$$

olarak tanımlanmaktadır.

Eşitlik 2.7’de yer alan, E_{Edx} depremin x doğrultusunda oluşturacağı etki, E_{Edy} depremin y doğrultusunda oluşturacağı etki ve E_{Edz} ise depremin z doğrultusunda oluşturacağı etkiyi ifade etmektedir.

3.1.6. Amerikan Deprem Yönetmeliği (ASCE/SEI 7-10)

ADY’ye göre, deprem yükü E, Eşitlik 2.8’e göre belirlenmektedir. [38]

$$E = E_h \pm E_v \quad (2.8)$$

Eşitlik 2.8’de yer alan E_h yatay deprem etkisini, E_v ise düşey deprem etkisini ifade etmektedir.

Yatay deprem etkisi, yatay deprem kuvveti Q_E ve fazlalık katsayısı ρ ’ya bağlı olarak Eşitlik 2.9’a göre belirlenmektedir.

$$E_h = \rho Q_E \quad (2.9)$$

Yatay deprem etkileri birbirine dik iki doğrultuda binaya etkittirilmektedir. Söz konusu yatay etkileri birleştirilirken, bir yöndeki deprem etkisinin %100’ü, diğer yöndeki deprem etkilerinin de %30’u alınmaktadır.

Sismik tasarım sınıfı B ve C olan yapılarda ρ katsayısı 1,00 alınmaktadır. Sismik tasarım sınıfı D, E ve F olan yapılarda ise, aşağıda belirtilen iki koşuldan biri sağlanmadığı sürece ρ katsayısı 1,30 alınmaktadır. Aksi durumda ρ katsayısı 1,00 alınmaktadır. Yapılacak analizlerde, aşağıda yer alan her iki koşul da sağlandığı için ρ katsayısı 1,00 alınmıştır.

- a) Çerçeve sistemli yapılar için; tek bir kirişin her iki ucundaki kiriş-kolon bağlantılarındaki mukavemet momentinin dikkate alınmadığı durumda, kat

dayanımında %33 den fazla bir azalmaya neden olmayan ve aşırı burulma düzensizliği bulunmayan binalar.

- b) Birbirine dik olan her bir doğrultuda yatay yüklere karşı koyan, en az 2 açıklıktan oluşan düzenli binalar.

Düşey deprem etkisi, kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı S_{DS} 'ye ve ölü yük D 'ye bağlı olarak Eşitlik 2.10'a göre belirlenmektedir.

$$E_v = 0,2 S_{DS} D \quad (2.10)$$

Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısının $S_{DS} \leq 0,125$ olduğu durumlarda düşey deprem etkisi 0 alınabilmektedir.

3.1.7. İsrail Deprem Yönetmeliği (SI 413)

Düşey deprem etkisi konsollar, öngermeli betonarme kirişler ve kolonların oturduğu kirişlerin tasarımında dikkate alınmaktadır. Eşdeğer statik analizde düşey deprem yükü, F_v , sadece yükün bu bileşenine duyarlı olan elemanlarına uygulanır. (öngermeli kirişler, konsollar, kolon taşıyan kirişler vb.) Bu kuvvet aşağıda gösterilen Eşitlik 2.11, 2.12 ve 2.13'e göre hesaplanır. [39]

- a) Üzerinde hareketli yük olmayan yatay konsollarda;

$$F_v = \pm(2/3)ZW \quad (2.11)$$

- b) Öngermeli betonarme kirişlerde,

$$F_v = W_{\min} (1 - 1.5ZIS) \geq 0.5W_{\min} \quad (2.12)$$

- c) Açıklıklarında kolon taşıyan kirişlerde,

$$F_v = W \cdot 1 \pm (2/3) ZIS \quad (2.13)$$

Eşitlik 2.11, 2.12 ve 2.13’de yer alan; I bina önem katsayısını, Z beklenen yatay yer ivmesi katsayısını, S zemin katsayısını, W yapısal eleman üzerindeki yüklü ağırlığı, W_{min} yapısal eleman üzerindeki minimum servis yüklü ağırlığı ifade etmektedir.

3.2. DBYBHY, TBDY, İDY ve ADY’ye Göre Depreme Dayanıklı Yapı Analiz Aşamaları

Bu kısımda, DBYBHY, TBDY, İDY ve ADY’ye göre eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analiz için gerekli olan depreme dayanıklı yapı analiz aşamaları açıklanmıştır. Yapılan çalışmalarda, depreme dayanıklı yapı tasarımında;

İDY için, 2007 yılında yayımlanan “Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings (Standard 2800-3rd Edition)”, [34]

ADY için, 2010 tarihinde yayımlanan “Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE Standard ASCE/SEI 7-10)”, [38]

DBYBHY için, 2007 yılında yayımlanan “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, [32]

TBDY için, 2019 yılında yürürlüğe giren “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği”, dikkate alınmıştır. [33]

3.2.1. Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin Uygulanabileceği Binalar

Eşdeğer deprem yükü yöntemi, yatay deprem yüklerinin yaklaşık olarak hesaplanabileceği bir yöntem olup, koşullar sağlandığı zaman uygulamada çok sık kullanılmaktadır. Analizi yapılacak binada, herhangi bir düzensizlik bulunmadığı ve

ilgili yönetmeliklerin tüm şartlarını sağladığı için eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmıştır.

DBYBHY'ye göre eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- a) 1 inci ve 2 nci derece deprem bölgelerinde bulunan, toplam bina yüksekliği 25 m veya 25 m altında olan ve her bir katta burulma düzensizliği katsayısı 2 veya 2'den küçük olan binalar
- b) 1 inci ve 2 nci derece deprem bölgelerinde bulunan, toplam bina yüksekliği 40 m veya 40 metrenin altında olan, her bir katta burulma düzensizliği katsayısı 2 veya 2'den küçük olan ve yumuşak kat düzensizliği bulunmayan binalar
- c) 3 üncü ve 4 üncü derece deprem bölgelerinde bulunan ve toplam bina yüksekliği 40 m veya 40 metrenin altında olan binalar

TBDY'ye göre eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- a) Bina Yükseklik Sınıfı (BYS), 4 veya 4'den büyük olan, DTS 1, 1a, 2, 2a olan, her bir katta burulma düzensizliği katsayısı 2 veya 2'den küçük olan ve yumuşak kat düzensizliği bulunmayan binalar
- b) BYS, 5 veya 5'den büyük olan, DTS 3, 3a, 4, 4a olan, her bir katta burulma düzensizliği katsayısı 2 veya 2'den küçük olan ve yumuşak kat düzensizliği bulunmayan binalar
- c) BYS, 5 veya 5'den büyük olan ve DTS 1, 1a, 2, 2a olan binalar
- d) BYS, 6 veya 6'dan büyük olan ve DTS 3, 3a, 4, 4a olan binalar

İDY'ye göre eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- a) Yüksekliği 50 metreden az olan düzenli binalar
- b) 5 kattan fazla olmayan veya yüksekliği 18 metreden az olan düzensiz binalar

- c) Yapının hem alt hem de üst bölümü düzenli olan, alt bölümün ortalama kat rijitliğinin üst bölümün ortalamasının en az 10 katı olan ve yapının doğal periyodunun üst bölümün periyodundan %10 fazla olan binalar

ADY'ye göre eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- a) Sismik tasarım sınıfı B veya C olan tüm binalar,
b) Sismik tasarım sınıfı D, E veya F olan, kat sayısı 2'yi geçmeyen, risk kategorisi I veya II olan binalar,
c) Sismik tasarım sınıfı D, E veya F olan, hafif çerçeve konstrüksiyona sahip binalar,
d) Sismik tasarım sınıfı D, E veya F olan, yapısal düzensizliği olmayan ve yüksekliği 48,77 m'yi geçmeyen binalar,
e) Sismik tasarım sınıfı D, E veya F olan, yüksekliği 48,77 m'yi geçen fakat yapısal düzensizliği bulunmayan ve $T < 3,5T_s$ olan binalar ($T_s = S_{D1}/S_{DS}$),
f) Sismik tasarım sınıfı D, E veya F olan, yüksekliği 48,77 m'yi geçmeyen ve yalnızca yatay doğrultuda girintili köşe düzensizliğine, döşeme süreksizlik düzensizliğine, düşey elemanların akstan kaçma düzensizliği, paralel olmayan sistem düzensizliğine veya düşeyde düşey elemanların süreksizlik düzensizliğine, zayıf kat düzensizliğine sahip binalar.

3.2.2. Bina Önem Katsayısı

Bina önem katsayısı, genel olarak binanın kullanım amacına, türüne veya depremden sonraki kullanımına göre belirlenmektedir.

DBYBHY'ye göre bina önem katsayısı I, binanın kullanım amacı veya türüne göre belirlenmekte olup, Çizelge 3.1.'de tanımlanmıştır.

Çizelge 3.1. Bina önem katsayısı (DBYBHY)

Binanın Kullanım Amacı veya Türü	Bina Önem Katsayısı
1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar (Hastaneler, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, patlayıcı özellikleri olan maddelerin depolandığı binalar, vb.)	1,5
2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar (Okullar, yurt, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.)	1,4
3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar (Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.)	1,2
4. Diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, vb.)	1,0

İDY'ye göre bina önem katsayısı I, binaların önemine göre yapılan sınıflandırmaya bağlı olarak Çizelge 3.2.'de tanımlanmıştır.

TBDY'ye göre bina önem katsayısı I, binaların kullanım sınıfına ve binanın kullanım amacına bağlı olarak Çizelge 3.3'de tanımlanmıştır.

Çizelge 3.2. Bina önem katsayısı (İDY)

Binanın Önemi	Bina Önem Katsayısı
Çok Yüksek Öneme Sahip Binalar (Hastaneler, itfaiye istasyonları, tehlikeli materyalleri içeren binalar, vb.)	1,4
Orta Öneme Sahip Binalar (Konut, ofis ve ticari binalar, oteller, çok katlı parklar, depolar, iş yerleri, vb.)	1,0
Az Öneme Sahip Binalar (Tarım depoları ve kümes hayvanları çiftlikleri gibi yapılar, iki yıldan daha az işletme ömrüne sahip geçici binalar, vb.)	0,8

Çizelge 3.3. Bina Kullanım Sınıfı (BKS) ve bina önem katsayıları (TBDY)

BKS	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı
BKS=1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar (Hastaneler, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, okullar, yurt, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.)	1,5
BKS=2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar (Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, ibadethaneler, vb.)	1,2
BKS=3	Diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, vb.)	1,0

ADY'ye göre bina önem katsayısı I_e , bina risk kategorisine bağlı olarak Çizelge 3.4.'de tanımlanmıştır.

Çizelge 3.4. Bina önem katsayısı (ADY)

Risk Kategorisi	Bina Önem Katsayısı
I -Yıkılması durumunda insan hayatı için düşük risk taşıyan binalar	1,00
II - Bu çizelgede verilmeyen diğer binalar	1,00
III -Yıkılması durumunda insan hayatı için önemli bir risk teşkil edebilecek binalar	1,25
IV -Deprem sonrası hizmet vermesi hayati önem taşıyan binalar ile yıkılması durumunda insan hayatı için tehlike oluşturabilecek toksik, patlayıcı, zehirli maddeler içeren tesisler vb.	1,50

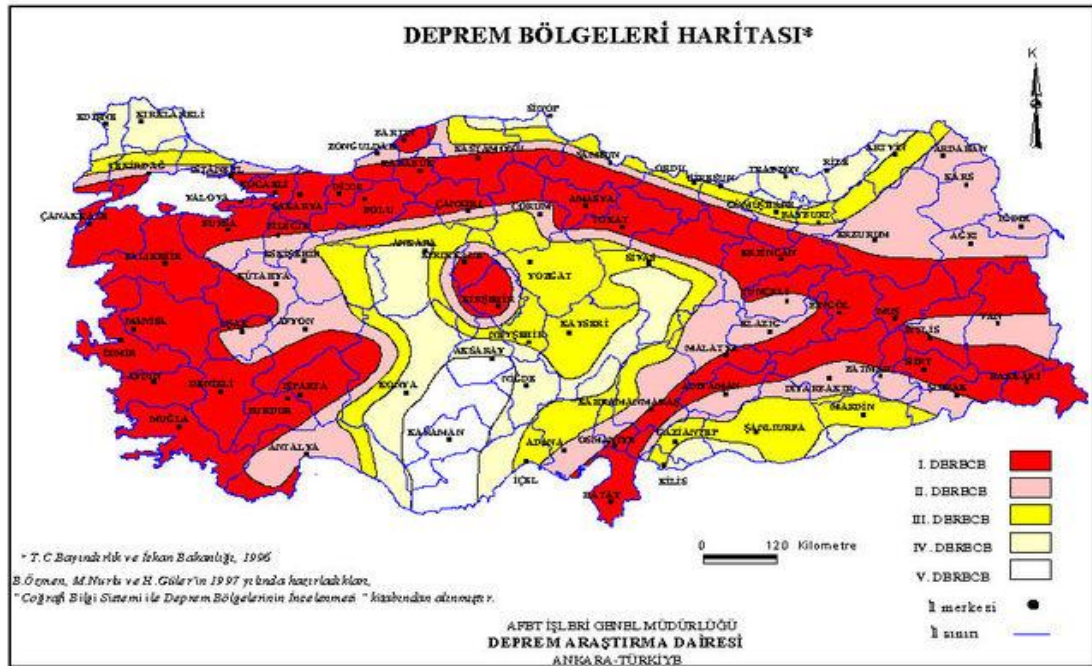
3.2.3. Etkin Yer İvmesi Katsayısı, Tasarım Spektral İvme Katsayısı ve Deprem Haritaları

DBYBHY'ye göre etkin yer ivmesi katsayısı A_0 , deprem bölgelerine göre Çizelge 3.5.'de tanımlanmıştır.

Çizelge 3.5. Etkin yer ivmesi katsayısı (DBYBHY)

Deprem Bölgesi	A_0
1	0,40
2	0,30
3	0,20
4	0,10

Deprem bölgelerini gösteren Türkiye deprem bölgeleri haritası Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Türkiye deprem bölgeleri haritası [40]

TBDY'ye göre birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkilerinin geometrik ortalamasına karşı gelen harita spektral ivme katsayıları, referans zemin koşulu $[(V_s)_{30} = 760 \text{ m/s}]$ esas alınarak %5 sönüm oranı için harita spektral ivmelerinin yerçekimi ivmesine bölünmesi ile tespit edilen boyutsuz katsayılar olup her bir deprem yer hareketi düzeyi için TDTH'de tanımlanmıştır. 50 yıl içerisinde aşılma olasılığı %10 olan en büyük yatay yer ivmeye göre TDTH, Şekil 3.2.'de verilmiştir.

TBDY'ye göre, kısa periyot harita spektral ivme katsayısı S_s , ve 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı S_1 , Eşitlik 3.1 ile tasarım spektral ivme katsayıları olan S_{DS} ve S_{D1} 'e dönüştürülmektedir.

$$\begin{aligned} S_{DS} &= S_s F_s \\ S_{D1} &= S_1 F_1 \end{aligned} \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.1'de yer alan F_s ve F_1 , yerel zemin etki katsayılarını ifade etmektedir.

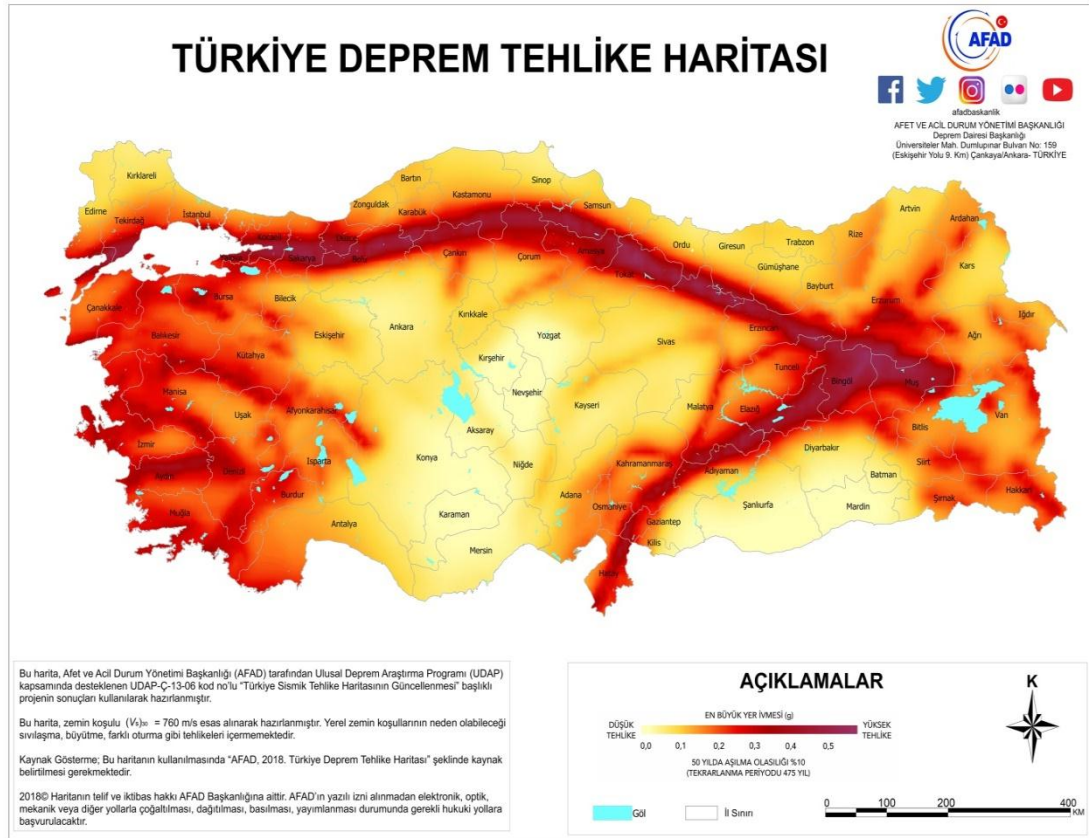
TBDY'ye göre, yerel zemin sınıflarına göre tespit edilecek yerel zemin etki katsayıları F_s ve F_1 , Çizelge 3.6. ve Çizelge 3.7.'de verilmiştir. ZF yerel zemin sınıfı kapsamına giren zeminler için sahaya özel zemin davranış analizleri yapılmaktadır.

Çizelge 3.6. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları (TBDY)

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı (F_s)					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,50$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,00$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,50$
ZA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
ZC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
ZD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
ZE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8

Çizelge 3.7. 1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları (TBDY)

Yerel Zemin Sınıfı	1,0 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı (F_1)					
	$S_1 \leq 0,10$	$S_1 = 0,20$	$S_1 = 0,30$	$S_1 = 0,40$	$S_1 = 0,50$	$S_1 \geq 0,60$
ZA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
ZD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
ZE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0



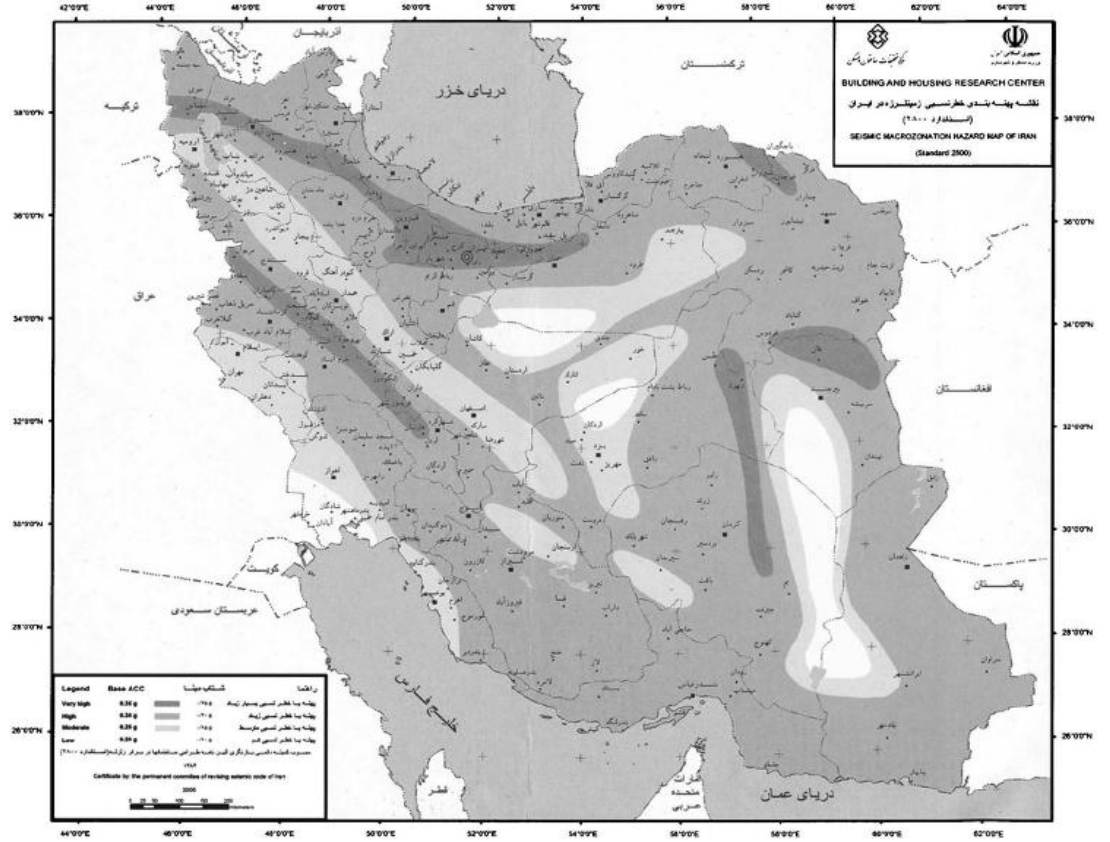
Şekil 3.2. 50 yıl içerisinde aşılma olasılığı %10 olan en büyük yatay yer ivmeye göre TDTH [41]

İDY'ye göre etkin yer ivme katsayısı A , ülkenin çeşitli bölgelerinde tanımlanan deprem bölgelerine göre Çizelge 3.8.'de tanımlanmıştır.

Çizelge 3.8. Etkin yer ivmesi katsayısı (İDY)

Deprem Bölgesi	Açıklama	Etkin Yer İvme Katsayısı (/g)
1	Çok yüksek deprem riski içeren bölge	0,35
2	Yüksek deprem riski içeren bölge	0,30
3	Orta deprem riski içeren bölge	0,25
4	Düşük deprem riski içeren bölge	0,20

Deprem bölgelerini gösteren İran deprem bölgeleri haritaları Şekil 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 3.3. İran deprem bölgeleri haritası [42]

ADY'ye göre depreme göre tasarımı yapılacak binanın bulunduğu bölgenin kısa periyot (0,2 sn) ve uzun periyot (1,0 sn) harita spektral ivme katsayıları S_s ve S_1 , MCEr haritalarından alınmaktadır. Söz konusu ivme katsayıları 50 yıl içerisinde aşılma olasılığı %2, dönüş periyodu 2500 yıl olan ve depreme göre verilmektedir. 50 yıl içerisinde aşılma olasılığı %2 olan en büyük yatay yer ivmeye göre ABD deprem tehlike haritası Şekil 3.4.'de verilmiştir. Haritalardan okunan spektral ivme katsayıları zemin katsayısı ile çarpılarak Eşitlik 3.2'ye göre zemine uyarlanmış spektral ivme katsayıları tespit edilmektedir. Akabinde ise, kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı S_{DS} , 1,0 sn periyot tasarım spektral ivme katsayısı S_{D1} , Eşitlik 3.2'ye göre belirlenmektedir.

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a S_s \rightarrow S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \\ S_{M1} &= F_v S_1 \rightarrow S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.2'de yer alan F_a kısa periyot zemin katsayısını, F_v uzun periyot zemin katsayısını, S_{MS} %5 sönüm oranı için tanımlanan zemine uyarlanmış kısa periyot spektral ivme katsayısını, S_{M1} %5 sönüm oranı için tanımlanan zemine uyarlanmış 1,0 sn periyot spektral ivme katsayısını ifade etmektedir.

MCEr haritalarından kısa periyot ve 1,0 saniye periyot için okunan spektral ivme katsayılarına göre belirlenen zemin katsayıları Çizelge 3.9. ve Çizelge 3.10.'da verilmiştir. F zemin sınıfında bulunan zeminler için sahaya özel zemin davranış analizleri yapılmalıdır.

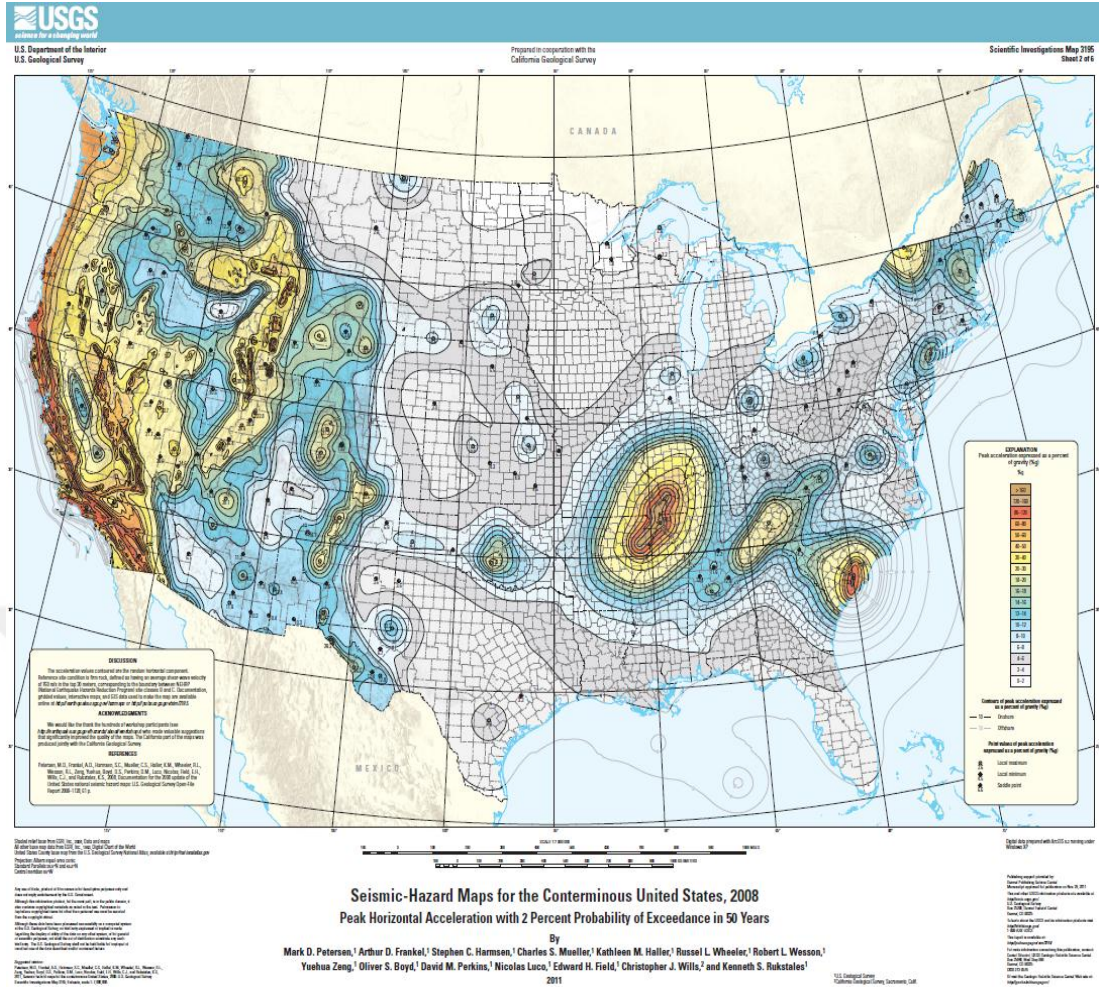
Çizelge 3.9. Kısa periyot bölgesi için zemin katsayısı (ADY)

Zemin Sınıfı	MCER haritalarından kısa periyot için spektral ivme katsayısı				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,50$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,00$	$S_s \geq 1,25$
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
D	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
E	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9

Çizelge 3.10. 1,0 saniye periyot için zemin katsayısı (ADY)

Zemin Sınıfı	MCER haritalarından 1,0 saniye periyot için spektral ivme katsayısı				
	$S_1 \leq 0,10$	$S_1 = 0,20$	$S_1 = 0,30$	$S_1 = 0,40$	$S_1 \geq 0,50$
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
D	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
E	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4

ADY'ye göre yapılan analizlerde, ilgili yönetmelikler ile karşılaştırmanın daha doğru yapılabilmesi için TDTH'de verilen 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem yer hareketi düzeyi dikkate alınmıştır.



Şekil 3.4. 50 yıl içerisinde aşılma olasılığı %2 olan en büyük yatay yer ivmeye göre ABD deprem tehlike haritası [43]

3.2.4. Spektrum Katsayısı ve Spektral İvme

DBYBHY'ye göre etkin spektrum katsayısı, $S(T)$, yerel zemin koşullarına ve doğal titreşim periyodu T 'ye bağlı olarak Eşitlik 3.3 ile hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned}
 S(T) &= 1 + 1,5 \frac{T}{T_A} & (0 \leq T \leq T_A) \\
 S(T) &= 2,5 & (T_A \leq T \leq T_B) \\
 S(T) &= 2,5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0,8} & (T_B < T)
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

Eşitlik 3.3'deki spektrum karakteristik periyotları, T_A ve T_B yerel zemin sınıflarına bağlı olarak Çizelge 3.11.'de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Spektrum karakteristik periyotları (DBYBHY)

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0,10	0,30
Z2	0,15	0,40
Z3	0,15	0,60
Z4	0,20	0,90

DBYBHY'ye göre, deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan spektral ivme katsayısı $A(T)$, Eşitlik 3.4 ile verilmiştir. %5 sönüm oranı için tanımlanan elastik ivme spektrumunun ordinatı olan yatay elastik tasarım spektral ivme $S_{ae}(T)$ (Eşitlik 3.5), spektral ivme katsayısı $A(T)$ ile yerçekimi ivmesi g 'nin çarpımına karşı gelmektedir.

$$A(T)=A_0 I S(T) \quad (3.4)$$

$$S_{ae}(T)=A(T) g \quad (3.5)$$

TBDY'ye göre yatay elastik tasarım spektral ivmesi $S_{ae}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi cinsinden Eşitlik 3.6 ile hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned}
 S_{ae}(T) &= \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_A} \right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\
 S_{ae}(T) &= S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T)
 \end{aligned} \quad (3.6)$$

Eşitlik 3.6'da yer alan S_{DS} ve S_{D1} , tasarım spektral ivme katsayılarını, T ise doğal titreşim periyodunu ifade etmektedir. Sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu olan T_L 'nin değeri 6 saniye olarak alınmaktadır.

TBDY'ye göre, yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyotları olan T_A ve T_B , S_{DS} ve S_{D1} 'e bağlı olarak Eşitlik 3.7'ye göre belirlenmektedir.

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.7)$$

TBDY'ye göre, eşdeğer deprem yükü yönteminde, yatay doğrultudaki azaltılmış deprem yüklerinin belirlenmesi için kullanılacak azaltılmış tasarım spektral ivmesi $S_{aR}(T)$, Eşitlik 3.8'e göre belirlenmektedir.

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (3.8)$$

Eşitlik 3.8'de yer alan $S_{ae}(T)$ DD-2 deprem yer hareketi için yatay elastik tasarım spektral ivmesini, $R_a(T)$ ise deprem yükü azaltma katsayısını ifade etmektedir.

İDY'ye göre spektrum katsayısı B , ülkenin çeşitli bölgelerinde tanımlanan deprem bölgelerine bağlı olarak Eşitlik 3.9 ile hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} B &= 1 + S \left(\frac{T}{T_0} \right) & (0 \leq T \leq T_0) \\ B &= S + 1 & (T_0 \leq T \leq T_s) \\ B &= (S + 1) \left(\frac{T_s}{T} \right)^{2/3} & (T \geq T_s) \end{aligned} \quad (3.9)$$

Eşitlik 3.9'da yer alan T , yapının doğal titreşim periyodunu, T_0 , T_s ve S ise spektrum karakteristik periyotlarını ifade etmektedir. Spektrum karakteristik periyotları, zemin sınıflarına ve deprem bölgelerine bağlı olarak Çizelge 3.12.'de verilmiştir.

Çizelge 3.12. Spektrum karakteristik periyotları (İDY)

Zemin Sınıfı	T_0	T_S	Orta ve Düşük Riskli Deprem Bölgesi	Yüksek ve Çok Yüksek Riskli Deprem Bölgesi
			S	S
I	0,10	0,40	1,50	1,50
II	0,10	0,50	1,50	1,50
III	0,15	0,70	1,75	1,75
IV	0,15	1,00	2,25	1,75

ADY'ye göre tasarım spektral ivmesi S_a , doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi cinsinden Eşitlik 3.10 ile hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned}
 S_a(T) &= \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_0) \\
 S_a(T) &= S_{DS} & (T_0 \leq T \leq T_S) \\
 S_a(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & (T_S \leq T \leq T_L) \\
 S_a(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T)
 \end{aligned} \tag{3.10}$$

Eşitlik 3.10'da yer alan, S_{DS} ve S_{D1} tasarım spektral ivme katsayılarını, T ise doğal titreşim periyodunu ifade etmektedir. T_L , uzun periyot bölgesine geçiş periyodu olup haritalardan alınmaktadır.

ADY'ye göre, tasarım spektrumunun köşe periyotları olan T_0 ve T_S , S_{DS} ve S_{D1} 'e bağlı olarak Eşitlik 3.11'e göre belirlenmektedir.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{3.11}$$

3.2.5. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ve Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

DBYBHY'ye göre deprem yükü azaltma katsayısı, çeşitli taşıyıcı sistemler için Çizege 3.13'de tanımlanan taşıyıcı sistem davranış katsayısı R 'ye, ve doğal titreşim periyodu T 'ye bağılı olarak Eşitlik 3.12 ile belirlenmektedir.

$$\begin{aligned} R_a(T) &= 1,5 + (R-1,5) \frac{T}{T_A} & (0 \leq T \leq T_A) \\ R_a(T) &= R & (T_A < T) \end{aligned} \quad (3.12)$$

Çizelge 3.13. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (DBYBHY)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Süneklik Düzeyi Normal Sistemler	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
Yerinde Dökme Betonarme Binalar		
(1) Deprem yüklerinin çerçevelerle taşındığı binalar	4	8
(2) Deprem yüklerinin bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar	4	7
(3) Deprem yüklerinin boşluksuz perdelerle taşındığı binalar	4	6

Çizelge 3.13.'de sadece konu ile ilgili bölüme yer verilmiştir.

TBDY'ye göre deprem yüklerinin azaltılmasında esas alınacak deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$, Eşitlik 3.13'e göre belirlenmektedir.

$$\begin{aligned} R_a(T) &= \frac{R}{I} & T > T_B \\ R_a(T) &= D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} & T \leq T_B \end{aligned} \quad (3.13)$$

Eşitlik 3.13’de yer alan R taşıyıcı sistem davranış katsayısını, D dayanım fazlalığı katsayısını, I bina önem katsayısını, T binanın doğal titreşim periyodunu, T_B ise spektrum köşe periyodunu ifade etmektedir. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı Çizelge 3.14.’e göre belirlenmektedir.

Çizelge 3.14. Süneklilik düzeyi yüksek bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve izin verilen BYS (TBDY)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen BYS
Yerinde Dökme Betonarme Bina Taşıyıcı Sistemleri			
Deprem etkilerinin moment aktaran süneklilik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	$BYS \geq 3$
Deprem etkilerinin süneklilik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2,5	$BYS \geq 2$
Deprem etkilerinin süneklilik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2,5	$BYS \geq 2$

Çizelge 3.14.’de sadece konu ile ilgili bölüme yer verilmiştir.

TBDY’ye göre bina yükseklik aralıkları ve DTS’ye göre tespit edilen BYS, Çizelge 3.15.’de gösterilmektedir. Binanın toplam yüksekliği H_N , bodrumsuz binalarda temel üst kotundan itibaren ölçülen yüksekliktir

Çizelge 3.15. BYS ve DTS'ye göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları (TBDY)

BYS	BYS ve DTS'ye Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17,5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10,5 < H_N \leq 17,5$	$17,5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10,5$	$10,5 < H_N \leq 17,5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10,5$	

İDY'ye göre taşıyıcı sistem davranış katsayısı R , binanın taşıyıcı sistemine, süreklilik düzeyine ve izin verilen azami bina yüksekliği H_m 'e, bağlı olarak Çizelge 3.16. ile belirlenmektedir.

Çizelge 3.16. Bina taşıyıcı sistem davranış katsayısı (İDY)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Yatay Yükleri Karşılayan Yapısal Elemanlar	Süreklilik Düzeyi	R	H_m (m)
Moment Taşıyan Çerçevesel Sistem	Betonarme Çerçeveler	Yüksek	10	150
		Orta	7	50
		Normal	4	---

Çizelge 3.16.'da sadece konu ile ilgili bölüme yer verilmiştir.

ADY'ye göre deprem yüklerinin betonarme çerçeve sistemler tarafından taşındığı binaların tasarımında kullanılacak deplasman büyütme katsayısı C_d , dayanım fazlalığı katsayısı Ω_0 , ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı R , Çizelge 3.17.'de verilmiştir.

Çizelge 3.17. Yapısal sistemler için verilen katsayılar (ADY)

Yapı Tipi	R	Ω_0	C_d	Taşıyıcı Sistem ve Bina Yüksekliği Sınırlamaları				
				Sismik Tasarım Sınıfı				
				B	C	D	E	F
Betonarme Çerçeve Sistemler								
Özel Moment Aktaran Betonarme Çerçeveli Sistemler	8	3	5,5	Limit Yok	Limit Yok	Limit Yok	Limit Yok	Limit Yok
Orta Sınıf Moment Aktaran Betonarme Çerçeveli Sistemler	5	3	4,5	Limit Yok	Limit Yok	İzin verilmez	İzin verilmez	İzin verilmez
Normal Moment Aktaran Betonarme Çerçeveli Sistemler	3	3	2,5	Limit Yok	İzin verilmez	İzin verilmez	İzin verilmez	İzin verilmez

Çizelge 3.17.'de sadece konu ile ilgili bölüme yer verilmiştir.

3.2.6. Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Belirlenmesi

DBYBHY'de göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tamamına etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) V_t , Eşitlik 3.14'e göre belirlenmektedir.

$$V_t = \frac{WA(T)}{R_a} \geq 0,10A_0IW \quad (3.14)$$

Eşitlik 3.14’de yer alan W , binanın hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı olup Eşitlik 3.15’de yer alan kat ağırlıkların toplamına eşittir.

$$w_i = g_i + nq_i \quad (3.15)$$

Eşitlik 3.15’de yer alan, g_i her bir katın ölü yükünü, q_i her bir katın hareketli yükünü, n ise hareketli yük katılım kat sayısını ifade etmektedir. Hareketli yük katılım katsayısı Çizelge 3.18.’e göre belirlenmektedir.

Çizelge 3.18. Hareketli yük katılım katsayısı (DBYBHY)

Binanın Kullanım Amacı	Hareketli yük katılım katsayısı
Depo, antrepo, vb.	0,80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb.	0,60
Konut, işyeri, otel, hastane, vb.	0,30

TBDY’ye göre göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) V_{tE} , Eşitlik 3.16’ya göre belirlenmektedir.

$$V_{tE} = m_t S_{aR}(T_p) \geq 0.04m_t I S_{DS} g \quad (3.16)$$

Eşitlik 3.16’da yer alan $S_{aR}(T_p)$ göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın hakim doğal titreşim periyodu T_p göz önüne alınarak azaltılmış tasarım spektral ivmesini, S_{DS} kısa periyot için tasarım spektral ivme katsayısını, m_t binanın toplam kütleini ifade etmektedir. Binanın toplam kütlesi, sabit kütleinin ve Çizelge 3.19.’da

verilen hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan hareketli kütlenin toplamıdır.

Çizelge 3.19. Hareketli yük katılım katsayısı (TBDY)

Binanın Kullanım Amacı	Hareketli yük katılım katsayısı
Depo, antrepo, vb.	0,80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza, vb.	0,60
Konut, işyeri, otel, hastane, otopark, vb.	0,30

İDY'ye göre göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tamamına etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü veya minimum taban kesme kuvveti V , Eşitlik 3.17'ye göre belirlenmektedir.

$$V = CW \geq 0,1AIW \quad (3.17)$$

Eşitlik 3.17'de yer alan W , binanın Çizelge 3.20.'de verilen hareketli yük yüzdesi kullanılarak hesaplanan ağırlığını ifade etmektedir. C ise deprem katsayısı olup Eşitlik 3.18 ile tespit edilmektedir.

Çizelge 3.20. Hareketli yük yüzdesi (İDY)

Hareketli Yükün Konumu	Hareketli Yük Yüzdesi (%)
Konut binaları, ofisler, oteller ve garajlar	20
Hastaneler, okullar, alışveriş merkezleri vb.	40
Depolar ve Kütüphaneler	60
Su ve diğer sıvı depolama yerleri ve siloları	100

$$C = \frac{ABI}{R} \quad (3.18)$$

Eşitlik 3.18’de yer alan A etkin yer ivmesi katsayısını, B spektrum katsayısını, I bina önem katsayısını, R taşıyıcı sistem davranış katsayısını ifade etmektedir.

ADY’ye göre eşdeğer deprem yükü yöntemi yönteminde taban kesme kuvveti V, Eşitlik 3.19’a göre belirlenmektedir.

$$V = C_s W \quad (3.19)$$

Eşitlik 3.19’da yer alan C_s sismik katsayısı, W binanın efektif sismik ağırlığını ifade etmektedir. Efektif sismik ağırlığının hesaplanmasında, bazı özel durumlar hariç genellikle ölü yükler dikkate alınmaktadır. Analizi yapılacak binada, söz konusu özel durumlar bulunmadığı için efektif sismik ağırlık hesabında hareketli yükler dikkate alınmamıştır. Sismik katsayı Eşitlik 3.20’ye göre hesaplanmakta olup; Eşitlik 3.21 ve 3.22’de verilen değerleri aşmaması gerekmektedir.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \geq 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3.20)$$

$$T \leq T_L \quad \text{için} \quad C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.21)$$

$$T > T_L \quad \text{için} \quad C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.22)$$

Eşitlik 3.20, 3.21 ve 3.22’de yer alan S_{DS} , kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını, S_{D1} 1,0 sn periyot tasarım spektral ivme katsayısını, T doğal titreşim periyodunu, T_L uzun periyot bölgesine geçiş periyodunu, R yapı davranış katsayısını, I_e bina önem katsayısını ifade etmektedir.

Ayrıca, S_1 değerinin 0,6g'ye eşit veya 0,6g'den büyük olduğu yerlerde bulunan yapılarda C_s katsayısı Eşitlik 3.23'de belirlenen değerden küçük olmamalıdır.

$$C_s = 0,5S_1 / (R/I_e) \quad (3.23)$$

3.2.7. Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Belirlenmesi

DBYBHY'ye göre toplam eşdeğer deprem yükü, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak Eşitlik 3.24'e göre belirlenmektedir. Binanın en üst katına ilaveten, Eşitlik 3.25'de belirtilen ek eşdeğer deprem yükü, ΔF_N , etkir.

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (3.24)$$

$$\Delta F_N = 0,0075NV_t \quad (3.25)$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N dışında geri kalan kısmı, N'inci kat dahil olmak üzere, bina katlarına Eşitlik 3.26 ile dağıtılmaktadır.

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{i=1}^N w_i H_i} \quad (3.26)$$

TBDY'ye göre toplam eşdeğer deprem yükü, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak Eşitlik 3.27 ile ifade edilmektedir.

$$V_{tE} = \Delta F_{NE} + \sum_{i=1}^N F_{iE} \quad (3.27)$$

Binanın N'inci katına yani tepesine etkiyen ek eşdeğer deprem yükü ΔF_{NE} 'nin değeri Eşitlik 3.28'e göre belirlenmektedir.

$$\Delta F_{NE} = 0,0075 N V_{te} \quad (3.28)$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_{NE} dışında geri kalan kısmı, N'inci kat dahil olmak üzere, bina katlarına Eşitlik 3.29'a göre dağıtılmaktadır.

$$F_{iE} = (V_{te} - \Delta F_{NE}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j} \quad (3.29)$$

İDY'ye göre toplam eşdeğer deprem yükü V, binanın yüksekliğine uygun olacak şekilde ve ek eşdeğer deprem yükü dışında geriye kalan kısmı Eşitlik 3.30 ile katlara dağıtılmaktadır.

$$F_i = (V - F_t) \frac{W_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j} \quad (3.30)$$

Eşitlik 3.30'da yer alan F_i , binanın i'inci katına etkiyen eşdeğer deprem yükünü, W_i binanın i'inci katının, hareketli yük katılım yüzdesi kullanılarak hesaplanan ağırlığını, h_i binanın i'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliğini, F_t binanın tepesine etkiyen ek eşdeğer deprem yükünü ifade etmektedir. F_t Eşitlik 3.31'e göre hesaplanmaktadır.

$$F_t = 0,07 T V \leq 0,25 V \quad (3.31)$$

ADY'ye göre eşdeğer deprem yükü, Eşitlik 3.32 ve 3.33'e göre katlara dağıtılmaktadır.

$$F_x = C_{vx} V \quad (3.32)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3.33)$$

Eşitlik 3.32 ve 3.33’de yer alan C_{vx} düşey dağılım katsayısını, F_x binanın x ’inci katındaki yanal deprem kuvvetini, w_x binanın x ’inci katına ait efektif sismik ağırlığı, h_x binanın x ’inci katının bina tabanından ölçülen yüksekliğini ifade etmektedir.

Eşitliklerde yer alan k indisi ise yapının periyoduna bağlı olarak değişmektedir. $T \leq 0,5$ saniye için $k=1$, $T \geq 2,5$ saniye için $k=2$ alınmaktadır. Periyodu, $0,5 < T < 2,5$ arasında olan binalarda $k=2$ alınabilmekte veya 1 ile 2 arasında lineer interpolasyonla bulunabilmektedir.

3.2.8. Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodu veya Yaklaşık Periyodunun Bulunması

DBYBHY’ye göre, binanın deprem doğrultusundaki hâkim doğal periyodu, Eşitlik 3.34 ile hesaplanan değerden daha büyük alınmaması gerekmektedir.

$$T_1 = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2} \quad (3.34)$$

Eşitlik 3.34 ile hesaplanan değerden bağımsız olarak, bodrum katlar hariç kat sayısı $N > 13$ ’den büyük olan binalarda doğal periyot, $0,1N$ ’den daha büyük alınmamaktadır.

TBDY’ye göre binanın hâkim doğal titreşim periyodu T_p , daha kesin bir hesap yapılmadığı sürece, Eşitlik 3.35’e göre hesaplanmaktadır.

$$T_p = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2} \quad (3.35)$$

Binanın hâkim doğal titreşim periyodu T_p 'nin deprem hesabında göz önüne alınacak en büyük değeri, T_{pA} periyodunun 1,4 katından daha fazla olmamalıdır.

DTS = 1, 1a, 2, 2a ve $BYS \geq 6$ olan binalarda ve DTS = 3, 3a, 4, 4a olan tüm binalarda hakim doğal titreşim periyodu, doğrudan ampirik T_{pA} periyodu olarak alınabilmektedir. ($T_p \cong T_{pA}$) Analizi yapılan bina, söz konusu koşulları sağladığından ve güvenli tarafta kalmak için ampirik periyot dikkate alınmıştır. Ampirik hâkim doğal titreşim periyodu Eşitlik 3.36'ya göre hesaplanmaktadır. Taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden oluşan binalarda C_t katsayısı 0,1 alınmaktadır.

$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4} \quad (3.36)$$

İDY'ye göre bina doğal titreşim periyodu moment taşıyan çerçeveli sisteme sahip yapılar için;

- 1- Dolgu duvarlar, çerçeveli sistemin yer değiştirmesine bir kısıtlama getiriyorsa, betonarme çerçeveli sistemler için;

$$T = 0,07 H^{3/4} \quad (3.37)$$

- 2- Dolgu duvarlar, çerçeveli sistemin yer değiştirmesine bir kısıtlama getiriyorsa, Eşitlik 3.37'de hesaplanan T değerinin %80'i alınmaktadır.

Eşitlik 3.37'de yer alan H, binanın temel seviyesinden ölçülen metre cinsinden yüksekliğidir.

Binanın doğal periyodu yukarıda verilen ampirik formüllerin yerine, daha gerçekçi bir şekilde yapılmış bir analiz sonucunda veya aşağıda verilen Eşitlik 3.38 kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$T = 2\pi \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n w_i \delta_i^2 \right) \div \left(g \sum_{i=1}^n F_i \delta_i \right)} \quad (3.38)$$

i 'inci kata etkiyen F_i , yaklaşık olarak Eşitlik 3.30'daki dağılıma veya herhangi bir rasyonel dağılıma göre dağıtılan eşdeğer deprem yükünü ifade etmektedir. δ_i , i 'inci kata etkiyen eşdeğer deprem yükü nedeniyle binada meydana gelen yer değiştirme miktarıdır. i 'inci katın depreme esas ağırlığı w_i , yerçekimi ivmesi ise g olarak ifade edilmektedir.

Bununla birlikte, bu yöntemler sonucunda hesaplanan T 'nin değeri, ampirik formüllerle Eşitlik 3.37 ile hesaplanan T 'nin 1,25 katını geçmemelidir. Ayrıca, bina doğal periyodu, T , hesaplanırken çatlamış kesite ait etkin kesit rijitlikleri dikkate alınmalıdır. Analiz yapılan binada, dolgu duvarların, çerçeve sistemi yer değiştirmesine bir kısıtlama getirmediği varsayılarak, Eşitlik 3.37'de verilen ampirik doğal titreşim periyodu dikkate alınmıştır.

ADY'ye göre binanın yaklaşık periyodu T_a , C_t katsayısı ve x parametresine bağlı olarak Eşitlik 3.39'a göre belirlenmektedir.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3.39)$$

Eşitlik 3.39'da yer alan h_n , binanın tabanından itibaren ölçülen yüksekliği ifade etmektedir. C_t katsayısı ve x parametresi ise moment aktaran betonarme çerçeve sistemler için sırasıyla 0,0466 ve 0,9'dur.

3.2.9. Etkin Göreli Kat Ötelemesi

Öztürk ve Demiralın (2007), yaptıkları çalışmada yüksek riskli deprem bölgesinde mevcut şartnamelere göre tasarlanan bir prefabrik yapının, bazı etkin yer hareketlerine maruz kaldığında, şartnamelerdeki can güvenliği sınırını aşan yanal yer değiştirmelerin olduğunu gözlemlemişlerdir. [44]

Öztürk'ün (2017), Kapadokya bölgesinde inşaa edilen iki anıtsal yapının sismik davranışının araştırılması için yer değiştirmeye dayalı bir yaklaşıma odaklanarak yaptığı çalışmada, birinci katlardaki döşeme süreksizliklerinin her iki bina için de

beklenen yapısal hasarda önemli bir unsur oluşturduğunu, bazı deprem kayıtları dikkate alındığında gözlenen tehlikeli düzeydeki yanal ötelenmelerin de beklenen yapısal hasara katkıda bulunduğunu belirtmiştir. [45]

DBYBHY'ye göre, herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden azaltılmış görel kat ötelemesi Δ_i , Eşitlik 3.40'a göre belirlenmektedir.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (3.40)$$

Eşitlik 3.40'da yer alan d_i ve d_{i-1} , her bir deprem doğrultusu için binanın i 'inci ve $(i-1)$ 'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yer değiştirmeleri ifade etmektedir.

DBYBHY'ye göre, her bir deprem doğrultusu için, binanın i 'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görel kat ötelemesi, δ_i , Eşitlik 3.41'e göre belirlenmektedir.

$$\delta_i = R\Delta_i \quad (3.41)$$

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i 'inci katındaki kolon veya perdelerde, δ_i etkin görel kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $(\delta_i)_{\max}$, Eşitlik 3.42'de verilen koşulu sağlaması gerekmektedir.

$$\frac{(\delta_i)_{\max}}{h_i} \leq 0,02 \quad (3.42)$$

TBDY'ye göre azaltılmış görel kat ötelemesi Δ_i , herhangi bir deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yatay yer değiştirme farkı olup Eşitlik 3.43'e göre belirlenmektedir.

$$\Delta_i = u_i - u_{i-1} \quad (3.43)$$

Eşitlik 3.43’de yer alan u_i ve u_{i-1} , binanın i ’inci ve $(i-1)$ ’inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre belirlenen yatay yer değiştirmelerini ifade etmektedir.

TBDY’ye göre, binanın i ’inci katındaki kolon veya perdelerin etkin görelî kat ötelemesi δ_i , Eşitlik 3.44’e göre belirlenmektedir.

$$\delta_i = \frac{R}{I} \Delta_i \quad (3.44)$$

TBDY’ye göre, her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i ’inci katındaki kolon veya perdelerin en büyük etkin görelî kat ötelemesi değeri $\delta_{i,max}$, aşağıda verilen (a) ve (b) koşullarını sağlaması gerekmektedir.

- a) Gevrek malzemeden yapılmış boşluklu veya boşluksuz dolgu duvarlarının ve cephe elemanlarının çerçeve elemanlarına, aralarında herhangi bir esnek derz veya bağlantı olmaksızın, tamamen bitişik olması durumunda:

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}}{h_i} \leq 0,008\kappa \quad (3.45)$$

- b) Gevrek malzemeden yapılmış dolgu duvarları ile çerçeve elemanlarının aralarında esnek derzler yapılması, cephe elemanlarının dış çerçevelere esnek bağlantılarla bağlanması veya dolgu duvar elemanının çerçeveden bağımsız olması durumunda:

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}}{h_i} \leq 0,016\kappa \quad (3.46)$$

Eşitlik 3.45 ve 3.46’da yer alan λ katsayısı, binanın göz önüne alınan deprem doğrultusundaki hakim titreşim periyodu için DD-3 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesine oranını ifade etmektedir. Eşitlik 3.45 ve Eşitlik 3.46’da yer alan κ katsayısı

betonarme binalarda 1,00 alınmaktadır. Analizi yapılan bina için, dolgu duvar elemanlarının çerçeveden bağımsız olduğu varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır.

İDY'ye göre doğrusal analiz sonucunda belirlenecek etkin görelî kat ötelemesi Eşitlik 3.47'ye göre hesaplanmaktadır.

$$\Delta_M = 0,7R\Delta_w \quad (3.47)$$

Eşitlik 3.47'de yer alan Δ_M gerçek tasarım etkin görelî kat ötelemesini, Δ_w tasarım etkin görelî kat ötelemesini, R ise yapı davranış katsayısını ifade etmektedir.

İDY'ye göre, herhangi bir katın kütle merkezindeki gerçek tasarım etkin görelî kat ötelemesi Eşitlik 3.48'de verilen değerleri aşmamalıdır.

$$\begin{aligned} T < 0,7 \text{ sn olan yapılar için: } \bar{\Delta}_M &< 0,025h \\ T \geq 0,7 \text{ sn olan yapılar için: } \bar{\Delta}_M &\leq 0,02h \end{aligned} \quad (3.48)$$

Eşitlik 3.48'de yer alan T yapının doğal titreşim periyodunu, h ise kat yüksekliğini ifade etmektedir. $\bar{\Delta}_M$ ise gerçek tasarım etkin görelî kat ötelemesini ifade etmektedir.

ADY'ye göre etkin görelî kat ötelemesi Eşitlik 3.49'a göre hesaplanmaktadır.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (3.49)$$

Eşitlik 3.49'da yer alan δ_x x seviyesindeki etkin yer değiştirmeyi, C_d deplasman büyütme katsayısını, δ_{xe} x seviyesinde elastik hesaplarla elde edilmiş olan arttırılmamış yer değiştirmeyi, I_e ise bina önem katsayısını ifade etmektedir.

ADY'ye göre hesaplanan etkin görelî kat ötelemeleri için izin verilebilir en büyük değerler, binanın cinsine ve risk kategorisine göre Çizelge 3.21.'de verilmektedir.

Çizelge 3.21. İzin verilebilir en büyük etkin görelî kat ötelemeleri (ADY)

Yapı Cinsi	Risk Kategorisi		
	I veya II	III	IV
Kat sayısı 4 kat ve altı olan yığma yapılar	0,025h _{sx}	0,020h _{sx}	0,015h _{sx}
Konsol yığma yapılar	0,010h _{sx}	0,010h _{sx}	0,010h _{sx}
Diğer yığma yapılar	0,007h _{sx}	0,007h _{sx}	0,007h _{sx}
Diğer tüm yapılar	0,020h _{sx}	0,015h _{sx}	0,010h _{sx}

Çizelge 3.21.'de yer alan h_{sx}, binanın x seviyesinde bulunan katın kat yüksekliğini ifade etmektedir.

3.2.10. İkinci Mertebe Etkileri

DBYBHY'ye göre, göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın her bir katında, ikinci mertebe gösterge değeri θ_i 'nin Eşitlik 3.50 ile verilen koşulu sağlaması durumunda, ikinci mertebe etkileri yürürlükteki betonarme yapı yönetmeliklerine göre değerlendirilmesi gerekmektedir.

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=1}^N w_j}{V_i h_i} \leq 0,12 \quad (3.50)$$

Eşitlik 3.50'de yer alan $(\Delta_i)_{ort}$, i'inci kattaki kolon ve perdelerde hesaplanan azaltılmış görelî kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değerini ifade etmektedir.

TBDY'ye göre ikinci mertebe gösterge değeri $\theta_{II,i}$, göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir i'inci katta Eşitlik 3.51'e göre hesaplanmaktadır.

$$\theta_{II,i} = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{k=i}^N w_k}{V_i h_i} \quad (3.51)$$

Eşitlik 3.51’de yer alan $(\Delta_i)_{ort}$, göz önüne alınan deprem doğrultusunda i’inci kattaki kolon ve perdelerde hesaplanan azaltılmış görelî kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değerini ifade etmektedir.

TBDY’ye göre, tüm katlar için hesaplanan ikinci mertebe gösterge değerinin en büyük değeri $\theta_{II,max}$ ’nın Eşitlik 3.52’de verilen koşulu sağladığı durumda, tasarıma esas iç kuvvetlerin hesabında ikinci mertebe etkilerinin göz önüne alınması gerekli değildir.

$$\theta_{II,max} \leq 0,12 \frac{D}{C_h R} \quad (3.52)$$

Eşitlik 3.52’de yer alan R taşıyıcı sistem davranış katsayısını, D dayanım fazlalığı katsayısını, C_h ise taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan histeretik davranışına göre tanımlanan katsayıyı ifade etmektedir. Bu C_h katsayısı, betonarme binalarda 0,5 alınmaktadır.

Tüm katlar için hesaplanan ikinci mertebe gösterge değerinin en büyük değeri $\theta_{II,max}$ ’nın Eşitlik 3.52’de verilen koşulu sağlamadığı durumda; göz önüne alınan deprem doğrultusu için tüm iç kuvvetler Eşitlik 3.53 ile tanımlanan ikinci mertebe büyütme katsayısı β_{II} ile çarpılarak arttırılmalı ya da taşıyıcı sistemin rijitliği arttırılmalıdır.

$$\beta_{II} = 0,88 + \frac{C_h R}{D} \theta_{II,max} \geq 1 \quad (3.53)$$

İDY’ye göre ikinci mertebe etkilerinin kontrolü Eşitlik 3.54’e göre belirlenen stabilite katsayısının %10’dan büyük olduğu durumlarda dikkate alınmaktadır.

$$\theta_i = \left(\frac{P_i \Delta_{wi}}{V_i h_i} \right) \quad (3.54)$$

Eşitlik 3.54’de yer alan θ_i stabilite katsayısını, P_i binanın i seviyesindeki toplam ölü ve hareketli yükü, V_i binanın i seviyesindeki toplam kat kesme kuvvetini, Δ_{wi} i seviyesindeki etkin görel kat ötelemesi değerini, h_i binanın i seviyesinde bulunan katın kat yüksekliğini ifade etmektedir.

İDY’ye göre, hiçbir durumda stabilite katsayısı Eşitlik 3.55 ile hesaplanan $\theta_{\max}$ değerini aşmamalıdır.

$$\theta_{\max} = \frac{1,25}{R} \leq 0,25 \quad (3.55)$$

Eşitlik 3.55’de yer alan R yapı davranış katsayısını ifade etmektedir.

ADY’ye göre ikinci mertebe etkilerinin kontrolü Eşitlik 3.56’ya göre yapılmaktadır.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (3.56)$$

Eşitlik 3.56’da yer alan θ stabilite katsayısını, P_x binanın x seviyesindeki toplam düşey yükü, V_x binanın x ve $x-1$ seviyeleri arasındaki toplam kat kesme kuvvetini, Δ etkin görel kat ötelemesi değerini, I_e bina önem katsayısını, h_{sx} binanın x seviyesinde bulunan katın kat yüksekliğini, C_d deplasman büyütme katsayısını ifade etmektedir.

ADY’ye göre, stabilite katsayısının 0,10’a eşit veya küçük olması durumunda ikinci mertebe etkilerinin hesaplanmasına gerek yoktur. Stabilite katsayısı Eşitlik 3.57 ile hesaplanan $\theta_{\max}$ değerini aşmamalıdır.

$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (3.57)$$

Eşitlik 3.57’de yer alan β ; x ve $x-1$ seviyesindeki katın kesme kuvvetinin kesme kapasitesine oranı olup, güvenli tarafta kalmak için 1 alınabilir.

3.2.11. Deprem Etkisi Altında Bina Performans Hedefleri

DBYBHY’ye göre, yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı tasarımının ana ilkesi şunlardır:

- Hafif şiddetteki depremlerde, binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesidir.
- Orta şiddetteki depremlerde, yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda meydana gelebilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalmasıdır.
- Şiddetli depremlerde, can güvenliğinin sağlanması maksadı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılmasıdır.

DBYBHY’ye göre, yeni binaların tasarımında esas alınacak tasarım depremi, şiddetli depreme karşı gelmekte olup bina önem katsayısı 1,00 olan binalarda, tasarım depreminin 50 yıllık bir süre içinde asılma olasılığı %10’dur.

TBDY’ye göre, BKS ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına (S_{DS}) göre tespit edilen deprem etkisi altında tasarımda esas alınacak DTS, Çizelge 3.22.’de verilmiştir.

Deprem yer hareketi düzeyi-2 (DD-2), spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodu 475 yıl olan seyrek deprem yer hareketini ifade etmektedir.

Çizelge 3.22. Deprem tasarım sınıfları (TBDY)

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	BKS	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0,33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0,50 \leq S_{DS} < 0,75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0,75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Çizelge 3.23. Yeni yapılacak yerinde dökme betonarme için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları (Yüksek binalar dışında – $BYS \geq 2$) (TBDY)

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DTS = 1, 1a(BYS>3), 2, 2a(BYS>3), 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a(BYS>2,3), 2a(BYS=2,3)	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT	KH	DGT
DD-1	-	-	KH	ŞGDT

Çizelge 3.23.'de sadece konu ile ilgili bölüme yer verilmiştir.

Bina performans hedefleri, deprem yer hareketi düzeyleri altında hedeflenen bina performans düzeylerini ifade etmektedir. Kontrollü Hasar (KH) performans düzeyi, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve genellikle onarılması mümkün olan hasar düzeyi olarak tanımlanmaktadır.

Dayanıma Göre Tasarım (DGT) hesap esasları, yüksek binaların tasarımı, deprem yalıtımlı binaların tasarımı ve mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi dışında Çizelge 3.23.'de belirtilen tüm binaların tasarımında uygulanmaktadır. Ayrıca bu binalarda, KH performans hedefini sağlamak üzere, DD-2 deprem yer hareketi etkisi altında DGT hesap esasları ile deprem hesabı yapılmaktadır.

İDY'ye göre, yapılacak depreme dayanıklı binaların tasarımı ve inşası neticesinde, binadan beklenen performanslar şunlardır:

- Şiddetli depremlerde, en az can kaybıyla bina göçmemelidir. Hafif şiddetli ve orta şiddetli depremlerde ise büyük yapısal hasar görmemelidir.
- Hafif şiddetli ve orta şiddetli depremlerde, “Yüksek Öneme Sahip” olarak adlandırılan binalar kullanılabilir olmalı, “Orta Öneme Sahip” olarak adlandırılan binaların da yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanları en az hasarı görmelidir.
- Şiddetli depremlerde, “Çok Yüksek Öneme Sahip” olarak adlandırılan binalar, büyük önemli bir yapısal hasar olmadan hemen kullanılabilmelidir.

İDY'ye göre şiddetli deprem veya “Tasarım Depremi”, binanın kullanım ömrü olan 50 yılda aşılma olasılığı %10'dan az olan deprem yer hareketini, hafif şiddetli ve orta şiddetli deprem veya “Servis Depremi”, binanın kullanım ömrü olan 50 yılda aşılma olasılığı %99,50'den fazla olan deprem yer hareketini ifade etmektedir.

ADY'ye göre sismik tasarım sınıfları A, B, C, D, E ve G olmak üzere 6 kategoriye ayrılmaktadır. A ve B sismik tasarım sınıfı yıkıcı etkisi düşük olan yer hareketini, C sismik tasarım sınıfı orta şiddette olan yıkıcı yer hareketini D, E ve F sismik tasarım sınıfları ise yıkıcı etkisi yüksek olan yer hareketini ifade etmektedir.

ADY'ye göre, bina risk kategorisi I, II, III olan ve 1,0 saniye periyot harita spektral ivme katsayısı S_1 , 0,75 veya büyük olan bölgelerde yer alan binalar E sismik tasarım sınıfında yer almaktadır. Bina risk kategorisi IV olan ve 1,0 saniye periyot harita spektral ivme katsayısı S_1 , 0,75 veya büyük olan bölgelerde yer alan binalar F sismik tasarım sınıfında yer almaktadır. Bunun dışında yer alan diğer tüm binalarda ise

sismik tasarım sınıfları tasarım spektral ivme katsayıları ve bina risk kategorilerine bağlı olarak Çizelge 3.24. ve Çizelge 3.25.'e göre belirlenmektedir.

Çizelge 3.24. Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına göre sismik tasarım sınıfı (ADY)

S_{DS}	Risk Kategorisi	
	I veya II veya III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Çizelge 3.25. 1,0 sn periyot tasarım spektral ivme katsayısına göre sismik tasarım sınıfı (ADY)

S_{D1}	Risk Kategorisi	
	I veya II veya III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

3.2.12. Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanlarının Etkin Kesit Rijitlikleri

DBYBHY'ye göre betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının kesit özelliklerinin modellenmesinde kullanılacak çatlamış kesite ait etkin kesit rijitliği çarpanları bulunmamaktadır.

TBDY'ye göre, betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının kesit özelliklerinin modellenmesinde kullanılacak etkin kesit rijitliği çarpanları Çizelge 3.26.'da verilmektedir.

Çizelge 3.26. Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları (TBDY)

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
	Eksenel	Kayma
Perde – Döşeme (Düzlem İçi)		
Perde	0,50	0,50
Bodrum perdesi	0,80	0,50
Döşeme	0,25	0,25
Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)	Eğilme	Kesme
Perde	0,25	1,00
Bodrum perdesi	0,50	1,00
Döşeme	0,25	1,00
Çubuk eleman	Eğilme	Kesme
Bağ kirişi	0,15	1,00
Çerçeve kirişi	0,35	1,00
Çerçeve kolonu	0,70	1,00
Perde (Eşdeğer Çubuk)	0,50	0,50

İDY'ye göre betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının kesit özelliklerinin modellenmesinde kullanılacak çatlamış kesite ait etkin kesit rijitliği çarpanları Çizelge 3.27.'de verilmektedir.

Çizelge 3.27. Çatlamış kesite ait etkin kesit rijitliği çarpanları (İDY)

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı		Eğilme
Kolonlar		0,70
Perdeler	Çatlamamış	0,70
	Çatlamış	0,35
Kirişler		0,35

ADY'ye göre katsayılarla çarpılarak elde edilen yükler altındaki analizlerde ACI 318-14'de verilen ve Çizelge 3.28.'de gösterilen etkin kesit rijitliği çarpanları kullanılmaktadır. [46]

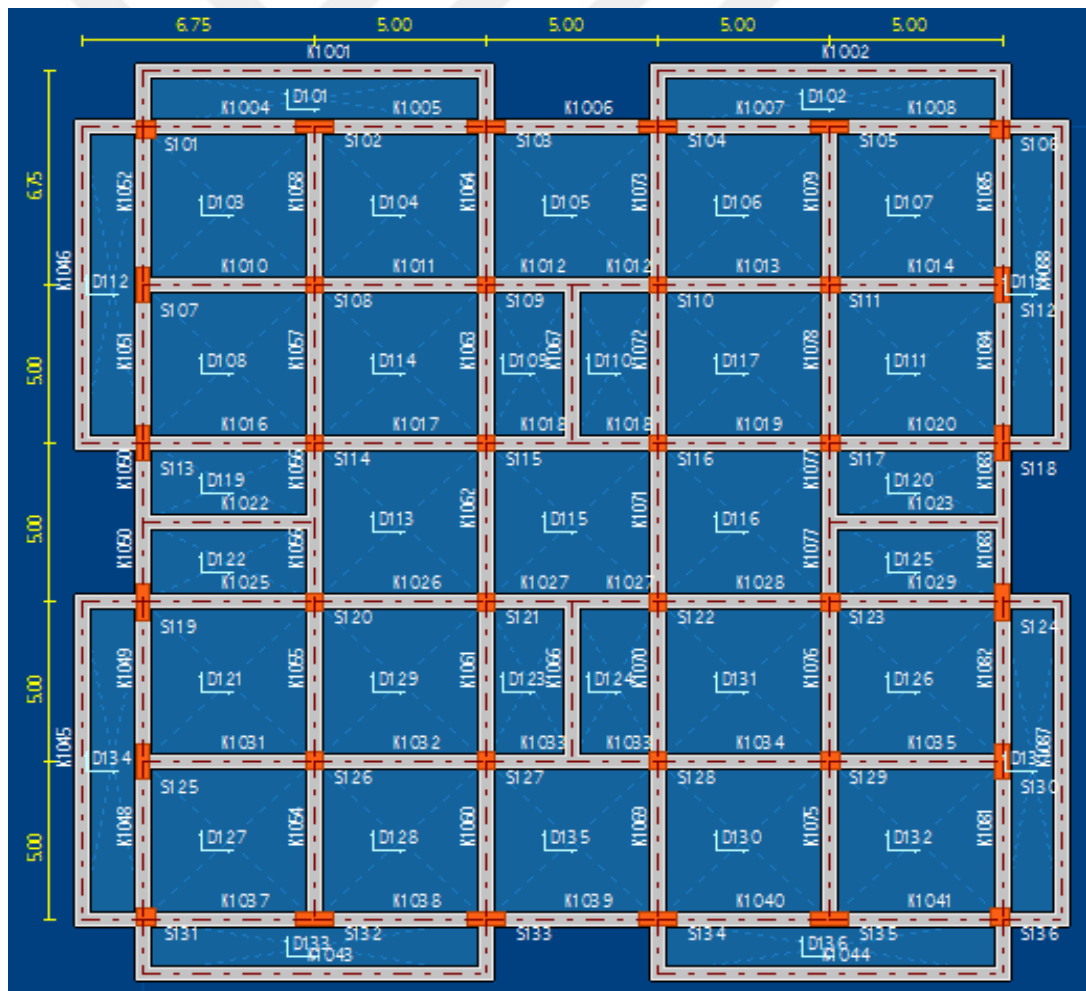
Çizelge 3.28. Katsayılarla çarpılarak elde edilen yüklerle yapılan elastik analiz için izin verilen etkin kesit rijitliği çarpanları (ADY)

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı		Eğilme	Kesme
Kolonlar		0,70	1,00
Perdeler	Çatlamamış	0,70	
	Çatlamış	0,35	
Kirişler		0,35	
Döşemeler		0,25	

4. ANALİZİ YAPILACAK BİNAYA AİT GENEL BİLGİLER

4.1. Bina Geometrisi

Bu tez çalışmasında analizi yapılacak bina, zemin ve 4 normal kattan oluşmaktadır. Zemin kat yüksekliği 4,00 metre, diğer üst katlar ise 3,00 metre olmak üzere toplam binanın yüksekliği 16,00 metredir. Taşıyıcı sistemi çerçeve sistemlerden oluşan betonarme bir bina olup, kullanım amacı idare binası olarak dikkate alınacaktır. Bina simetriğe yakın olup, balkonlar da dikkate alındığında x ve y doğrultularındaki uzunluğu 28,50 metredir. Kat alanları 765,00 m²'dir. Yatay eşdeğer deprem kuvveti, düşey deprem kuvveti, bina periyodu, etkin göreceli kat ötelemesi ve ikinci mertebe gösterge değerinin hesabında temeller ankastre olarak dikkate alınmıştır.

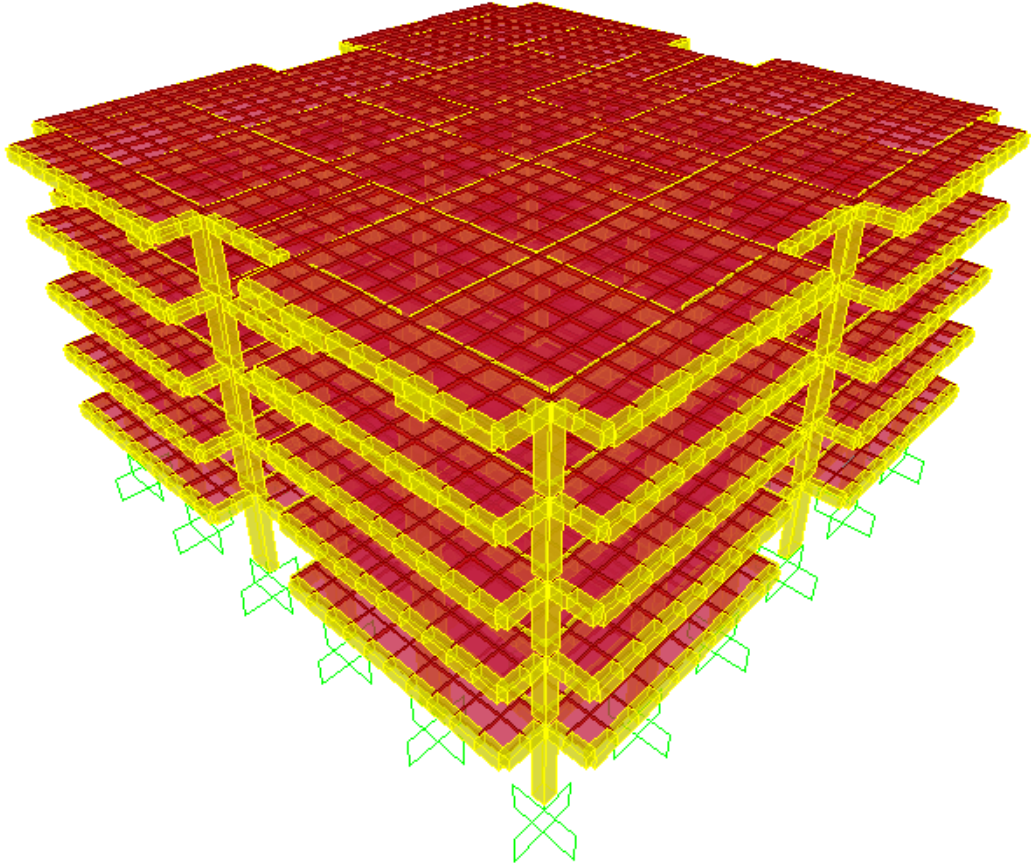


Şekil 4.1. Analizi yapılan binanın 1. kat planı

Analizi yapılacak binanın her bir katında 37 adet döşeme, 88 adet kiriş, 36 adet kolon bulunmaktadır. Bina döşeme kalınlıkları 15 cm, kiriş boyutları 40cmx50cm, köşe kolon boyutları 55cmx55cm, binanın köşe kolonları hariç dış çerçeve kolon boyutları 110cmx40cm, iç kolon boyutları ise 50cmx50cm olarak seçilmiştir.

Analizi yapılacak binanın planı Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Analizi yapılacak bina ilk önce Sta4-CAD programında modellenmiş olup, DBYBHY'ye uygun olarak analiz ve tasarımı yapılmıştır. [47]

Analiz sonuçları karşılaştırmak için, aynı bina SAP2000 V19.1.1 programında modeli oluşturularak Türk ve yabancı ülke yönetmeliklerine göre analizleri yapılmıştır. [48] Kolon ve kirişler çubuk eleman, döşeme ve temeller ise kabuk eleman olarak modellenmiştir. SAP2000 programı ile oluşturulan üç boyutlu model Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Analizi yapılan binanın SAP2000 modeli

4.2. Malzeme Bilgileri

Analizi yapılacak binaya ait kullanılan C25 beton sınıfına ait malzeme bilgileri için TS 500'den faydalanılmış olup Çizelge 4.1.'de verilmiştir. [49]

Çizelge 4.1. C25 beton sınıfına ait malzeme bilgileri

Beton Sınıfı : C25	$f_{ck} = 25000 \text{ kN/m}^2$
	$f_{ctk} = 1800 \text{ kN/m}^2$
	$f_{cd} = 16700 \text{ kN/m}^2$
Elastisite Modülü, E_c	30000 N/mm^2
Kayma Modülü, G	12500 N/mm^2
Beton Birim Hacim Ağırlığı, γ_{beton}	$2,5 \text{ ton/m}^3$
Poisson Oranı, ν	0,2

4.3. Sabit ve Hareketli Yükler

4.3.1. Sabit Yükler

Yapısal elemanların yani kolon, kiriş, döşeme, temellerin kendi ağırlıkları SAP2000 programı tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır. Çatı katı hariç diğer katlarda bulunan dış çerçeve ve balkon kirişleri üzerindeki bölme duvar yükü 19'luk tuğla dikkate alınarak 320 kg/m^2 , iç kısımlarda yer alan kirişler üzerindeki bölme duvar yükü ise 9'luk tuğla dikkate alınarak 200 kg/m^2 olarak hesaplamalara katılmıştır.

Normal Kat Döşemeleri: Karo Mozaik Kaplama (2 cm) + Kaplama Harcı (2 cm) + Tesviye Betonu (4 cm) + Sıva (2 cm) = 212 kg/m^2

Çatı Katı Döşemeleri: İzolasyon (5 cm) + Tesviye Betonu (5 cm) + Sıva (2 cm) = 149 kg/m^2

Duvar Yükleri: 200 kg/m^2 veya 320 kg/m^2

4.3.2. Hareketli Yükler

Analizi yapılacak binaya ait hareketli yükler için TS 498'den faydalanılmış olup; normal kat döşemeleri ve balkonlar için 500 kg/m^2 , çatı katı döşemeleri için 150 kg/m^2 olarak hesaplamalara katılmıştır. [50]

4.4. Deprem Tasarım Parametreleri

Analizi yapılacak binanın Sakarya ili, Akyazı ilçesinde 40.683916 enlemi ve 30.625268 boylamında bulunduğu kabul edilmiştir. TBDY'ye göre kullanılacak ve deprem tasarımında esas alınacak parametreler Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması olan <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml> sitesinden alınmıştır. [51] Analizi yapılacak binanın zemin sınıfı ZD olduğu varsayılarak DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem yer hareketi düzeylerine ait parametreler sırasıyla Şekil 4.3., Şekil 4.4. ve Şekil 4.5.'de verilmiştir.

Kullanıcı Girdileri			
Rapor Başlığı	asd		
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-1	50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi	
Yerel Zemin Sınıfı	ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	
Enlem	40.683916°		
Boylam	30.625268°		
Çıktılar			
$S_S = 3.052$	$S_1 = 0.854$	$PGA = 1.204$	$PGV = 94.006$
S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]			
S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]			
PGA : En büyük yer ivmesi [g]			
PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]			

Şekil 4.3. Deprem yer hareketi düzeyi-1 (DD-1)'e ait deprem parametreleri

Kullanıcı Girdileri			
Rapor Başlığı	asd		
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi	
Yerel Zemin Sınıfı	ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	
Enlem	40.683916°		
Boylam	30.625268°		
Çıktılar			
$S_S = 1.748$	$S_1 = 0.473$	$PGA=0.712$	$PGV=56.643$
S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]			
S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]			
PGA : En büyük yer ivmesi [g]			
PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]			

Şekil 4.4. Deprem yer hareketi düzeyi-2 (DD-2)'ye ait deprem parametreleri

Kullanıcı Girdileri			
Rapor Başlığı	asd		
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-3	50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi	
Yerel Zemin Sınıfı	ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	
Enlem	40.683916°		
Boylam	30.625268°		
Çıktılar			
$S_S = 0.695$	$S_1 = 0.168$	$PGA=0.300$	$PGV=18.148$
S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]			
S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]			
PGA : En büyük yer ivmesi [g]			
PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]			

Şekil 4.5. Deprem yer hareketi düzeyi-3 (DD-3)'e ait deprem parametreleri

4.5. SAP2000 Yapı Analiz Programı

SAP2000, SAP serisi bilgisayar programlarının en ileri ve en kullanıcı dostu olan versiyonudur. SAP2000, tanımlanan modele göre yapının analizini ve boyutlamasını yapmaktadır. Modelin oluşturulması ve geliştirilmesi, analizin yapılması, boyutlamanın kontrolü ve optimizasyonu ile çıktıları baskıya hazırlama tek ara yüzle yapılabilmektedir. Tek bir yapısal model birçok farklı tipteki hesaplama ve boyutlama işleminde kullanılabilir. SAP2000 en basit problemlerden en karmaşık projelere kadar birçok alanda kullanılabilecek tam kapsamlı bir programdır. [52]

Herhangi bir binanın SAP2000 programı ile analiz ve boyutlandırması, genellikle aşağıda verilen sıraya göre yapılmaktadır:

- İlk aşamada sistem modeli oluşturulmaktadır.
- Kullanılacak malzemelerin özellikleri tanımlanmaktadır.
- Binada kullanılan kesitlerin özellikleri tanımlanmaktadır.
- Binaya etki ettirilecek yükler tanımlanmaktadır.
- Binanın analizi yapılmaktadır.
- Analiz sonuçlarına göre boyutlandırma yapılmaktadır.

Binanın analizleri SAP2000 V19.1.1 programı yardımıyla yapılmıştır. [48]

5. DÜŞEY DEPREM ETKİSİ ALTINDA BİNA ANALİZİ

5.1. KAF ve DAF Hatları ile BAF Hatlarında Gerçekleşen Deprem İvmelerinin Karşılaştırılması

Türkiye’de 1976-2019 yılları arasında kaydedilmiş depremlerin moment büyüklüğü 6 ve/veya üzerinde beş adet deprem kaydı KAF ve DAF hatlarında yer alanlar için Çizelge 5.1.’de, BAF hatlarında yer alanlar için Çizelge 5.2.’de verilmiştir. [53]

Çizelge 5.1. KAF ve DAF hatları deprem ivmeleri

Yer/Tarih	MW	En büyük yatay yer ivmeleri (g)		En büyük düşey yer ivmesi (g)	TDTH'ye göre en büyük yer ivmesi PGA475 (g)	Bileşke Yatay İvme (g)	Düşey/En Büyük Yatay İvme Oranı
		K-G	D-B				
Üzümlü ERZİNCAN 13.03.1992	6,6	0,412	0,488	0,246	0,631	0,639	0,60
Merkez KOCAELİ 17.08.1999	7,6	0,000	0,417	0,260	0,695	0,417	0,62
Merkez DÜZCE 12.11.1999	7,1	0,759	0,822	0,203	0,593	1,119	0,25
Yüreğir ADANA 27.06.1998	6,2	0,228	0,279	0,088	0,234	0,360	0,32
Pülümür TUNCELİ 27.01.2003	6,0	0,0097	0,0112	0,0066	0,526	0,0148	0,59

Çizelge 5.2. BAF hatları deprem ivmeleri

Yer/Tarih	MW	En büyük yatay yer ivmeleri (g)		En büyük düşey yer ivmesi (g)	TDTH'ye göre en büyük yer ivmesi PGA475 (g)	Bileşke Yatay İvme (g)	Düşey/En Büyük Yatay İvme Oranı
		K-G	D-B				
Dinar AFYON 01.10.1995	6,4	0,287	0,336	0,154	0,347	0,442	0,46
Menderes İZMİR 06.11.1992	6,0	0,085	0,073	0,063	0,479	0,112	0,74
Merkez DENİZLİ 19.08.1976	6,1	0,355	0,296	0,177	0,410	0,462	0,50
Çay AFYON 15.12.2000	6,0	0,0012	0,0009	0,0011	0,378	0,002	0,92
Bodrum Açıkları 20.07.2017	6,5	0,162	0,104	0,090	0,453 (tahmini)	0,192	0,55

Söz konusu Çizelge 5.1. ve Çizelge 5.2.'de, deprem kayıtlarının en büyük yatay ve düşey yer ivmeleri, bunların maksimum bileşke kuvvetleri, depremin gerçekleştiği koordinatın TDTH'ye göre en büyük yer ivmesi ve düşey ivme/en büyük yatay ivme oranı verilmiştir.

Deprem kayıtlarında yer alan en büyük yatay yer ivmeleri fay kırığı doğrultusunda gerçekleşen ivmelerin yatay ve düşey bileşenleridir. Bu nedenle, fay kırığı doğrultusundaki yer ivmesinin değeri daha da fazla, yatay yer ivmelerinin bileşkesi kadar olabilmesi mümkündür. Yeni çıkan TDTH'ye göre 475 yıllık tekrarlanma süresi için verilen en büyük yer ivmelerinin değeri, gerçekleşen yatay yer ivmelerden

hatta bazı deprem kayıtlarında bileşke yatay yer ivmelerden de büyük olduğu görülmektedir.

Doğan vd. (2006), yaptıkları çalışmada, bazı depremlerde kaydedilen iki doğrultudaki yatay ivmelerinin bileşkesi için Mohr yöntemi kullanarak asal deprem ivmelerini hesaplamış ve bu ivmelerin, kaydedilen deprem ivmelerinden daha büyük değerler olduğunu tespit etmişlerdir. [54]

BAF hatları için dikkate alınan kayıtlarda düşey yer ivmesinin en büyük yatay yer ivmeye oranı 0,46 ile 0,74 arasında değiştiği görülmektedir. BAF hatları için alınan kayıtların en büyük yatay yer ivmeleri küçük olmasına rağmen söz konusu 5 adet deprem kaydı için, düşey yer ivmesinin en büyük yatay yer ivmeye oranı ortalamasının yüzde 63'ü geçtiği görülmektedir. Bu durum yatay yer ivmesinin yarısından fazla bir ivme kadar da düşey yer ivmesinin binaya etkidiğini, düşey deprem etkisinin de dikkate alınması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

KAF ve DAF hatları için dikkate alınan kayıtlarda, düşey yer ivmesinin en büyük yatay yer ivmeye oranı 0,32 ile 0,62 arasında değiştiği görülmektedir. KAF hattı için alınan kayıtların en büyük yatay yer ivmesi değerlerinin büyük olduğu ve söz konusu 5 adet deprem kaydı için düşey ivme/en büyük yatay ivme oranı ortalamasının yüzde 47'yi geçtiği görülmektedir.

Sonuç olarak, Batı Anadolu'nun karışık bir tektonik rejimli bir yapıya sahip olması ve genelde normal atımlı faylardan oluşması sebebiyle meydana gelebilecek daha büyük depremlerde düşey yer ivmesinin oransal olarak daha da artabileceği öngörülmektedir. Fakat BAF hatlarında bulunan fayların genelde kısa uzunlukta olması ve devamlı hareket halinde olmasından dolayı da enerji birikimi yapamaması böyle bir büyük depremin oluşumunu da geciktirmektedir.

KAF hattının genelde doğrultu atımlı faylardan oluşması ve fay hareketlerinin daha sınırlı sayıda olması sebebiyle yatay ivmelerin büyük olduğu görülmekte olup yatay ivmelere göre oluşan düşey ivmenin de önemli bir parametre olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Aynı büyüklükte meydana gelebilecek bir depremde, BAF hatlarında bulunan bir yapıya gelebilecek yatay deprem kuvveti, KAF hattında bulunan bir

yapıya gelebilecek yatay deprem kuvvetinden küçük olacağından dolayı yıkımın daha az olacağı söylenebilir.

5.2. Maksimum Yatay Yer Değiştirmeye Göre Düşey Deprem Etkisi, Yatay Deprem Etkisi ve İkinci Mertebe Etkilerinin Bina Tabanında Oluşturacağı Toplam Eğilme Momenti

DBYBHY kurallarına uygun olarak tasarlanan binanın, yatay ivme ile birlikte düşey ivme ve ikinci mertebe etkisi de dikkate alındığında tabanında oluşturacağı eğilme momentindeki artışı inceleyebilmek için yapının maksimum yatay yer değiştirme yaptığı varsayılarak TBDY'ye göre bir analiz yapılmıştır.

Yatay deprem etkisinin önemli bir parametre olmasına rağmen düşey deprem etkisinin ihmal edilebilecek bir kuvvet olmadığı, deprem hareketinin karışık yapısı ve öngörülemeyen davranışlarından dolayı yapının salınım halindeyken düşey deprem kuvvetinin yapıya etkiyebileceği, bu nedenle ikinci mertebe etkilerinin de dikkate alınması öngörülmektedir. 2019 yılı başında yürürlüğe giren TBDY ile düşey deprem etkisi dikkate alınmaya başlanmış olduğundan söz konusu hesaplamalar TBDY'ye göre yapılmıştır.

Çizelge 5.3. Yatay deprem kuvvetinin bina tabanında oluşturacağı eğilme momenti

i	m_i (t)	H_i (m)	$m_i H_i$ (tm)	$m_i H_i / \sum m_j H_j$	$V_{tE} - \Delta F_{NE}$ (kN)	F_{iE} (kN)	h_i	$\sum M$ (kNm)
5.kat	695,23	16,00	11123,68	0,23	102,65	27,41	3,00	82,23
4.kat	1098,40	13,00	14279,20	0,29	102,65	30,05	3,00	90,15
3.kat	1098,40	10,00	10984,00	0,23	102,65	23,12	3,00	69,35
2.kat	1098,40	7,00	7688,80	0,16	102,65	16,18	3,00	48,54
1.kat	1174,96	4,00	4699,84	0,10	102,65	9,89	4,00	39,56
Toplam								329,83

Çizelge 5.3.'de binanın deprem anında alacağı yatay eşdeğer deprem kuvveti, kat kütleleri oranında katlara dağıtılarak bina tabanında oluşturacağı maksimum eğilme momenti hesaplanmıştır.

Çizelge 5.4. Kat kütlelerinin oluşturacağı ikinci mertebe momenti

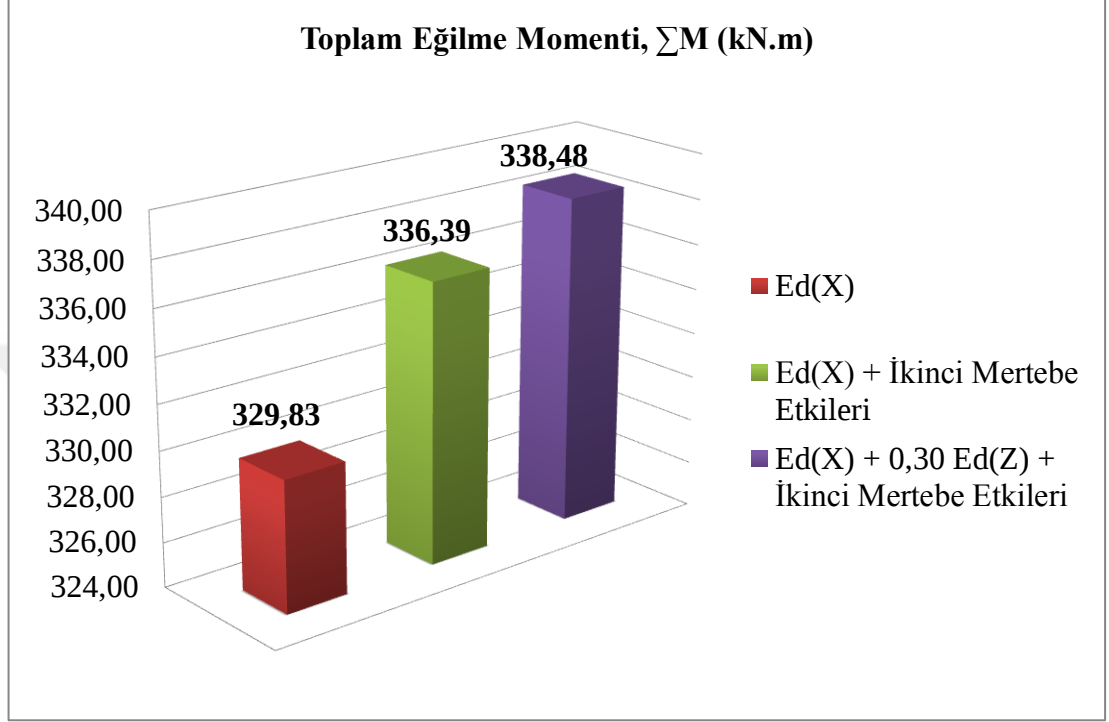
i	h (m)	$\delta_{i,max}$ (m)	$\Delta_{i,max}$ (m)	u_i (m)	m_i (t)	$\sum M$ (kNm)
1. kat	4,00	0,0281	0,0053	0,0053	695,23	1,50
2. kat	3,00	0,0211	0,0040	0,0092	1098,40	1,93
3. kat	3,00	0,0211	0,0040	0,0132	1098,40	1,48
4. kat	3,00	0,0211	0,0040	0,0172	1098,40	1,03
5. kat	3,00	0,0211	0,0040	0,0211	1174,96	0,63
Toplam						6,56

Çizelge 5.4.'de, binanın maksimum yatay yer değiştirme yaptığı varsayılarak, kat kütlelerinin ikinci mertebe etkilerinden dolayı bina tabanında oluşturacağı maksimum eğilme momenti hesaplanmıştır.

Çizelge 5.5. Düşey deprem kuvvetinin tabanda oluşturacağı ikinci mertebe momenti

i	g _i (t)	S _{DS}	E _{di} ^(Z) =2/3 x S _{DS} x g _i (t)	0,30 xE _{di} ^(Z) (t)	u _i (m)	∑M (kNm)
5. kat	660,80	1,748	770,05	231,02	0,0211	0,50
4. kat	983,65		1146,28	343,88	0,0172	0,60
3. kat	983,65		1146,28	343,88	0,0132	0,46
2. kat	983,65		1146,28	343,88	0,0092	0,32
1. kat	1060,21		1235,50	370,65	0,0053	0,20
Toplam						2,09

Çizelge 5.5.'de, binanın maksimum yatay yer değiştirme yaptığı varsayılarak, düşey deprem kuvvetlerinin ikinci mertebe etkilerinden dolayı bina tabanında oluşturacağı maksimum eğilme momenti hesaplanmıştır. Söz konusu düşey deprem etkisi TBDY'de yer alan ve Eşitlik 2.2'de verilen kombinasyona uygun olarak 0,30 katı alınarak hesaplamalara dâhil edilmiştir.



Şekil 5.1. Bina tabanında oluşan toplam eğilme momentlerinin karşılaştırılması

Şekil 5.1.'de, sadece yatay deprem kuvvetinin bina tabanında oluşturacağı eğilme momenti 329,83 kNm; yatay deprem kuvvetinin bina tabanında oluşturacağı eğilme momenti ile birlikte kat kütlelerinin bina tabanında oluşturacağı ikinci mertebe momentinin toplamı 336,39 kNm; yatay deprem kuvvetinin bina tabanında oluşturacağı eğilme momenti ile birlikte düşey deprem ve kat kütlelerinin bina tabanında oluşturacağı ikinci mertebe momentlerinin toplamı ise 338,48 kNm olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.6.'da, 1 inci durum sadece yatay deprem kuvvetinin bina tabanında oluşturacağı eğilme momentini; 2 nci durum yatay deprem kuvvetinin bina tabanında oluşturacağı eğilme momenti ile birlikte kat kütlelerinin bina tabanında oluşturacağı

ikinci mertebe momentinin toplamını, 3 üncü durum yatay deprem kuvvetinin bina tabanında oluşturacağı eğilme momenti ile birlikte düşey deprem ve kat kütlelerinin bina tabanında oluşturacağı ikinci mertebe momentlerinin toplamını ifade etmektedir. 2 nci durumdaki toplam eğilme momentinde, 1 inci duruma göre % 1,99'luk artış meydana gelmiştir. 3 üncü durumdaki toplam eğilme momentinde, 1 inci duruma göre % 2,62'luk artış meydana gelmiştir.

Çizelge 5.6. Tabanda oluşan toplam eğilme momentlerinin yüzdelik karşılaştırılması

	1.Durum	2.Durum	3.Durum
	$E_d^{(X)}$	$E_d^{(X)} + \text{İkinci Mertebe Etkileri}$	$E_d^{(X)} + 0,30 E_d^{(Z)} + \text{İkinci Mertebe Etkileri}$
Toplam Eğilme Momenti (kNm)	329,83	336,39	338,48
1.Duruma Göre % Değişim	-	1,99	2,62

Maksimum yatay yer değiştirme yaptığı varsayıldığı durumda bile, etkin görel kat ötelemelerinin sınırlandırılmasından dolayı binaya etkiyen ikinci mertebe momentlerinin yüzdesel olarak az olduğu görülmektedir. Binada bulunan kat sayısının fazla olması veya yatay yer değiştirmenin fazla çıkması durumunda, binanın tabanında oluşacak toplam eğilme momentindeki artışın daha da fazla olacağı aşikârdır. Fakat, DBYBHY ve TBDY’de etkin görel kat ötelemeleri ve ikinci mertebe gösterge değerlerinde sınırlandırılmalar olduğundan ikinci mertebe etkilerinden dolayı binanın tabanında meydana gelebilecek eğilme momenti de fazla artmayacaktır. Hatta, TBDY’ye göre etkin görel kat ötelemesi sınırlandırması daha da arttırılmış olup binanın daha da rijit olması istenilmektedir.

5.3. Farklı Ülke Yönetmeliklerinin Karşılaştırılması

Analizi yapılacak binaya ait bilgiler birbirleri ile uyumlu olacak şekilde SAP2000 programında tanımlanarak, her bir ülke yönetmeliği için ayrı ayrı modellenmesi ve

analizleri yapılmıştır. Analizleri yapılan bina, her ülke yönetmeliğinin kendi eşdeğer deprem yükü yöntemi için verilen tüm şartlarını sağlamaktadır. Bu sebeple, analizlerde eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanmıştır. Çizelge 5.7.'de analizi yapılan binanın DBYBHY, TBDY, İDY ve ADY'ye göre kat sayısı, bina kullanım amacı, hesap yöntemi, bina taşıyıcı sistemi, süneklik düzeyi, bina yüksekliği, bina önem katsayısı, yapı davranış katsayısı, hareketli yük katılım katsayısı, yerel zemin sınıfı, deprem bölgesi/tasarım sınıfı ve spektrum köşe periyotları verilmiştir.

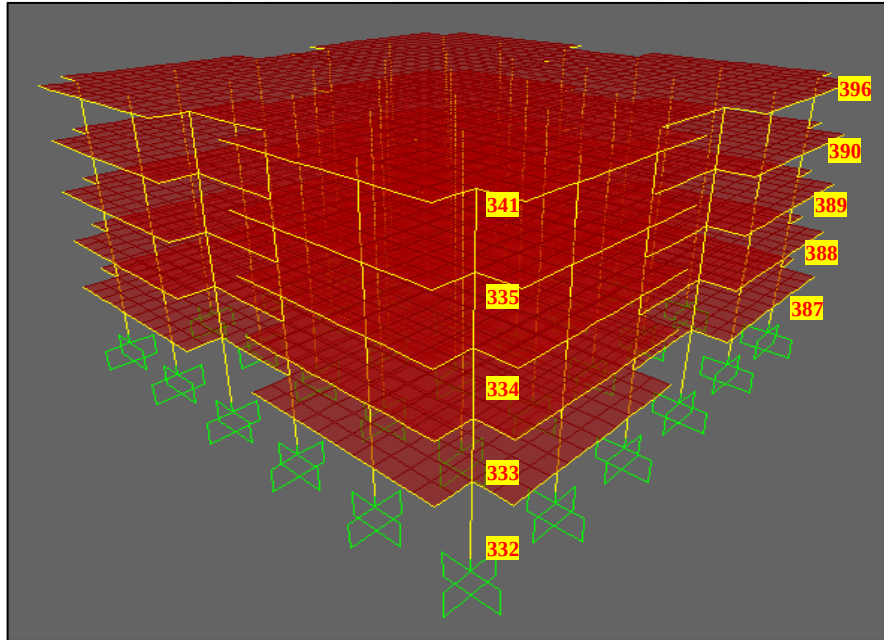
Çizelge 5.7. Analizi yapılan binanın ülke yönetmeliklerine göre genel bilgileri

AÇIKLAMA	DEPREM BÖLGELERİNDE YAPILACAK BİNALAR HAKKINDA YÖNETMELİK	TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ	İRAN DEPREM YÖNETMELİĞİ	AMERİKAN DEPREM YÖNETMELİĞİ
Kat Sayısı	Zemin+4 Normal Kat			
Bina Kullanım Amacı	İdare Binası			
Hesap Yöntemi	Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi			
Bina Taşıyıcı Sistemi	Betonarme Çerçeve			
Süneklik Düzeyi	Yüksek			
Bina Yüksekliği	16 m			
Bina Önem Katsayısı	1,5	1,5	1,4	1,5
Yapı Davranış Katsayısı	8	8	10	8
Hareketli Yük Katılım Katsayısı	0,3	0,3	0,2	-
Yerel Zemin Sınıfı	Z3	ZD	III	D
Deprem Bölgesi/ Tasarım Sınıfı	1	DTS: 1a	1	Sismik Tasarım Sınıfı: D
Spektrum Köşe Periyotları	0,15 sn – 0,60 sn	0,10 sn – 0,49 sn	0,15 sn – 0,70 sn	0,10 sn – 0,40 sn

Çizelge 5.7.'de görüldüğü gibi bina önem katsayısı idare binaları için DBYBHY, TBDY ve ADY'de 1,5; İDY'de ise 1,4 olarak alınmıştır. Bina 5 katlı betonarme çerçeveden oluşmakta olup süneklik düzeyi her 4 yönetmelikte de yüksek olarak analiz edilecektir. Yapı davranış katsayısı DBYBHY, TBDY ve ADY'de 8; İDY'de ise 10 olarak alınmıştır. Hareketli yük katılım katsayısı DBYBHY ve TBDY'de 0,3; İDY'de 0,2 olarak alınmıştır. ADY'de ise hareketli yük katılım katsayısı bulunmamaktadır. Yerel zemin sınıfları DBYBHY'de Z3; TBDY'de ZD; İDY'de III ve ADY'de D sınıfı olarak alınmıştır. DBYBHY ve İDY'de deprem bölgesi 1. derece; TBDY'de DTS 1a; ADY'de ise sismik tasarım sınıfı D olarak alınmıştır. Spektrum köşe periyotları DBYBHY'de 0,15-0,60 sn; TBDY'de 0,10-0,49 sn; İDY'de 0,15-0,70 sn; ADY'de ise 0,10-0,40 sn olarak alınmıştır.

5.3.1. Etkin Görelî Kat Ötelemesi

x yönlü pozitif %5 ek dış merkezlik deprem kuvveti altında yapılan analizler neticesinde, her katın x doğrultusundaki etkin görelî kat ötelemeleri DBYBHY, TBDY, İDY ve ADY'ye göre karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.2. Etkin görelî kat ötelemeleri ve ikinci mertebe gösterge değeri hesabı için dikkate alınan düğüm noktaları

Etkin görelî kat ötelemeleri ve ikinci mertebe gösterge değeri hesabı için dikkate alınan köşe kolonlardaki düğüm noktaları Şekil 5.2.'de verilmiştir.

Çizelge 5.8. DBYBHY'ye göre x doğrultusundaki etkin görelî kat ötelemeleri

Kat	Nokta	$(d_i)_{\min}$	$(d_i)_{\max}$	h_i	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\delta_i)_{\max}$	$(\delta_i)_{\max}/h_i \leq 0,02$
		cm	cm	cm	cm	cm	
1.kat	332-387	0,52	0,61	400	0,61	4,85	0,0121
2.kat	333-388	0,89	1,05	300	0,44	3,56	0,0119
3.kat	334-389	1,19	1,41	300	0,36	2,91	0,0097
4.kat	335-390	1,41	1,68	300	0,26	2,10	0,0070
5.kat	341-396	1,53	1,82	300	0,15	1,17	0,0039

DBYBHY'ye göre, pozitif %5 ek dış merkezlik deprem kuvveti altında, x yönündeki deprem doğrultusu için, binanın her bir katı için oluşabilecek maksimum etkin görelî kat ötelemesi Çizelge 5.8.'de verilmiştir. 1 inci katta oluşan maksimum etkin kat ötelemesi değeri 4,85 cm olarak bulunmuştur. DBYBHY'ye göre, söz konusu etkin görelî kat ötelemesi değerleri yönetmelik sınırları içerisinde kalmaktadır.

TBDY'ye göre, pozitif %5 ek dış merkezlik deprem kuvveti altında, x yönündeki deprem doğrultusu için, binanın her bir katı için oluşabilecek maksimum etkin görelî kat ötelemesi Çizelge 5.9.'da verilmiştir. 1 inci katta oluşan maksimum etkin kat ötelemesi değeri 4,88 cm olarak bulunmuştur. Maksimum etkin görelî kat ötelemesinin hesaplanmasında dolgu duvar elemanının çerçeveden bağımsız olması durumu dikkate alınmıştır. TBDY'ye göre, söz konusu etkin görelî kat ötelemesi değerleri yönetmelik sınırları içerisinde kalmaktadır.

Çizelge 5.9. TBDY'ye göre x doğrultusundaki etkin görelî kat ötelemeleri

Kat	Nokta	$(d_i)_{\min}$	$(d_i)_{\max}$	h_i	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\delta_i)_{\max}$	DD-2	DD-3	λ	$\lambda \times (\delta_i)_{\max}/h_i \leq 0,016$
		cm	cm	cm	cm	cm	$S_{ae}(T)$	$S_{ae}(T)$		
1.kat	332-387	0,78	0,92	400	0,92	4,88	1,08	0,475	0,44	0,0054
2.kat	333-388	1,34	1,59	300	0,68	3,61				0,0053
3.kat	334-389	1,80	2,14	300	0,55	2,95				0,0043
4.kat	335-390	2,13	2,54	300	0,40	2,12				0,0031
5.kat	341-396	2,32	2,76	300	0,22	1,17				0,0017

Çizelge 5.10. İDY'ye göre x doğrultusundaki etkin görelî kat ötelemeleri

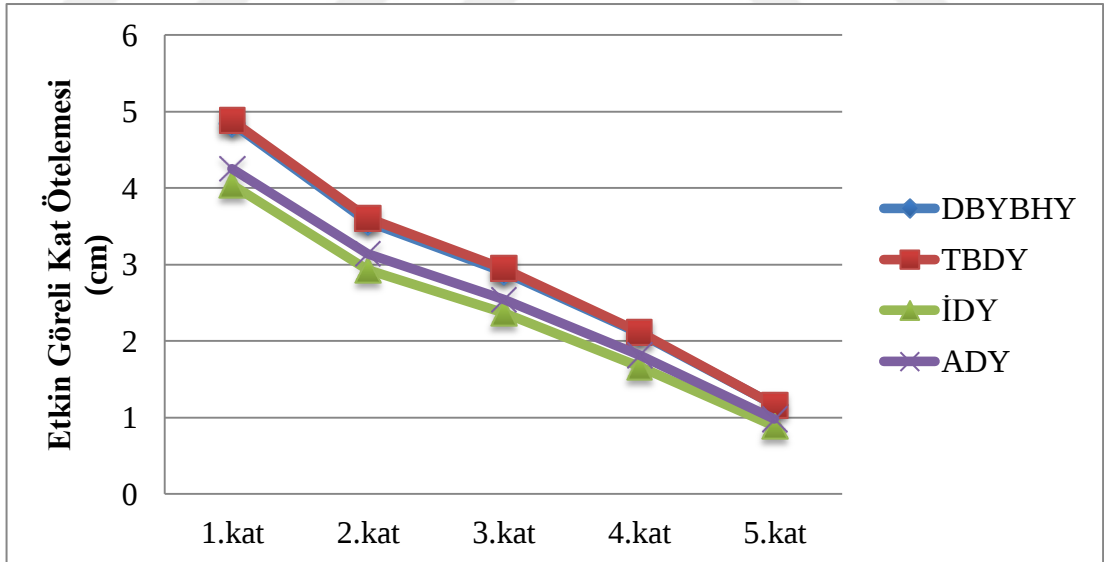
Kat	Nokta	$(d_i)_{\min}$	$(d_i)_{\max}$	h	Δ_w	Δ_M	$\Delta_M / h < 0,025$
		cm	cm	cm	cm	cm	cm
1.kat	332-387	0,49	0,58	400	0,58	4,04	0,0101
2.kat	333-388	0,84	1,00	300	0,42	2,93	0,0098
3.kat	334-389	1,12	1,33	300	0,34	2,37	0,0079
4.kat	335-390	1,32	1,57	300	0,24	1,67	0,0056
5.kat	341-396	1,43	1,70	300	0,13	0,89	0,0030

İDY'ye göre, pozitif %5 ek dış merkezlik deprem kuvveti altında, x yönündeki deprem doğrultusu için, binanın her bir katı için oluşabilecek maksimum etkin görelî kat ötelemesi Çizelge 5.10.'da verilmiştir. 1 inci katta oluşan maksimum etkin kat ötelemesi değeri 4,04 cm olarak bulunmuştur. İDY'ye göre, söz konusu etkin görelî kat ötelemesi değerleri yönetmelik sınırları içerisinde kalmaktadır.

Çizelge 5.11. ADY'ye göre x doğrultusundaki etkin görelî kat ötelemeleri

Kat	Nokta	$(\delta_{xe})_{min}$	$(\delta_{xe})_{max}$	h_{sx}	$(\delta_x)_{max} =$ $C_d \times (\delta_{xe})_{max} / I_e$	$(\Delta_x)_{max}$	$(\Delta_x)_{max}/h_{sx} \leq$ 0,02
		cm	cm	cm	cm	cm	
1.kat	332-387	0,98	1,16	400	4,25	4,25	0,0106
2.kat	333-388	1,70	2,01	300	7,38	3,14	0,0105
3.kat	334-389	2,28	2,71	300	9,94	2,55	0,0085
4.kat	335-390	2,69	3,21	300	11,76	1,82	0,0061
5.kat	341-396	2,92	3,47	300	12,74	0,98	0,0033

ADY'ye göre, pozitif %5 ek dış merkezlik deprem kuvveti altında, x yönündeki deprem doğrultusu için, binanın her bir katı için oluşabilecek maksimum etkin görelî kat ötelemesi Çizelge 5.11.'de verilmiştir. 1 inci katta oluşan maksimum etkin kat ötelemesi değeri 4,25 cm olarak bulunmuştur. ADY'ye göre, söz konusu etkin görelî kat ötelemesi değerleri yönetmelik sınırları içerisinde kalmaktadır.



Şekil 5.3. Etkin görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması

x yönlü pozitif %5 ek dış merkezlik deprem kuvveti altında yapılan analizler neticesinde, DBYBHY, TBDY, İDY ve ADY'ye göre her katın x doğrultusundaki etkin görelî kat ötelemeleri Şekil 5.3.'de grafiksel olarak gösterilmiştir. En büyük etkin görelî kat ötelemeleri TBDY'de çıkmıştır. TBDY'de kolon, kiriş ve döşemelerin etkin kesit rijitliği çarpanları ile rijitlikleri azaltılmış olmasına rağmen, etkin görelî kat ötelemeleri DBYBHY'ye çok yakın çıkmıştır. İDY'de hesaplanan etkin görelî kat ötelemeleri değerleri, diğer yönetmeliklerdeki etkin görelî kat ötelemeleri değerlerine göre daha küçük çıkmıştır.

5.3.2. İkinci Mertebe Gösterge Değeri

x yönlü pozitif %5 ek dış merkezlik deprem kuvveti altında yapılan analizler neticesinde, her katın x doğrultusundaki ikinci mertebe gösterge değerleri DBYBHY, TBDY, İDY ve ADY'ye göre karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.12. DBYBHY'ye göre x doğrultusundaki ikinci mertebe gösterge değerleri

Kat	Nokta	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{ort}$	V_i	h_i	w_i	Σw_j	$\theta_i \leq 0,12$
		cm	cm	cm	ton	cm	cm	ton	
1.kat	332-387	0,52	0,61	0,56	968,51	400	1174,96	5165,39	0,0075
2.kat	333-388	0,37	0,44	0,41	878,69	300	1098,40	3990,43	0,0062
3.kat	334-389	0,30	0,36	0,33	731,74	300	1098,40	2892,03	0,0044
4.kat	335-390	0,22	0,26	0,24	521,82	300	1098,40	1793,63	0,0028
5.kat	341-396	0,12	0,15	0,13	248,91	300	695,23	695,23	0,0013

DBYBHY'ye göre, pozitif %5 ek dış merkezlik deprem kuvveti altında, x yönündeki deprem doğrultusu için, binanın her bir katı için oluşabilecek maksimum ikinci

meritebe gösterge değeri izelge 5.12.'de verilmiştir. 1 inci katta oluşan maksimum ikinci meritebe gösterge değeri 0,0075 olarak bulunmuştur. DBYBHY'ye göre, söz konusu ikinci meritebe gösterge değerleri izin verilebilir sınırlar içerisinde kalmaktadır.

Çizelge 5.13. TBDY'ye göre x doğrultusundaki ikinci meritebe gösterge değerleri

Kat	Nokta	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{ort}$	V_i	h_i	Σ_{wk}	$\theta_{II,i}$	D	C_h	R	$\theta_{II,max}$
		cm	cm	cm	ton	cm	ton					
1.	332-387	0,78	0,92	0,85	1046,20	400	5165,39	0,0104	3	0,5	8	0,09
2.	333-388	0,57	0,68	0,62	949,17	300	3990,43	0,0087				
3.	334-389	0,46	0,55	0,51	790,44	300	2892,03	0,0062				
4.	335-390	0,33	0,40	0,36	563,67	300	1793,63	0,0039				
5.	341-396	0,18	0,22	0,20	268,88	300	695,23	0,0017				

TBDY'ye göre, pozitif %5 ek dış merkezlik deprem kuvveti altında, x yönündeki deprem doğrultusu için, binanın her bir katı için oluşabilecek maksimum ikinci meritebe gösterge değeri izelge 5.13.'de verilmiştir. 1 inci katta oluşan maksimum ikinci meritebe gösterge değeri 0,0104 olarak bulunmuştur. TBDY'ye göre, söz konusu ikinci meritebe gösterge değerleri izin verilebilir sınırlar içerisinde kalmaktadır.

İDY'ye göre, pozitif %5 ek dış merkezlik deprem kuvveti altında, x yönündeki deprem doğrultusu için, binanın her bir katı için oluşabilecek maksimum ikinci meritebe gösterge değeri izelge 5.14.'de verilmiştir. 1 inci katta oluşan maksimum ikinci meritebe gösterge değeri 0,00309 olarak bulunmuştur. İDY'ye göre, söz konusu ikinci meritebe gösterge değerleri izin verilebilir sınırlar içerisinde kalmaktadır.

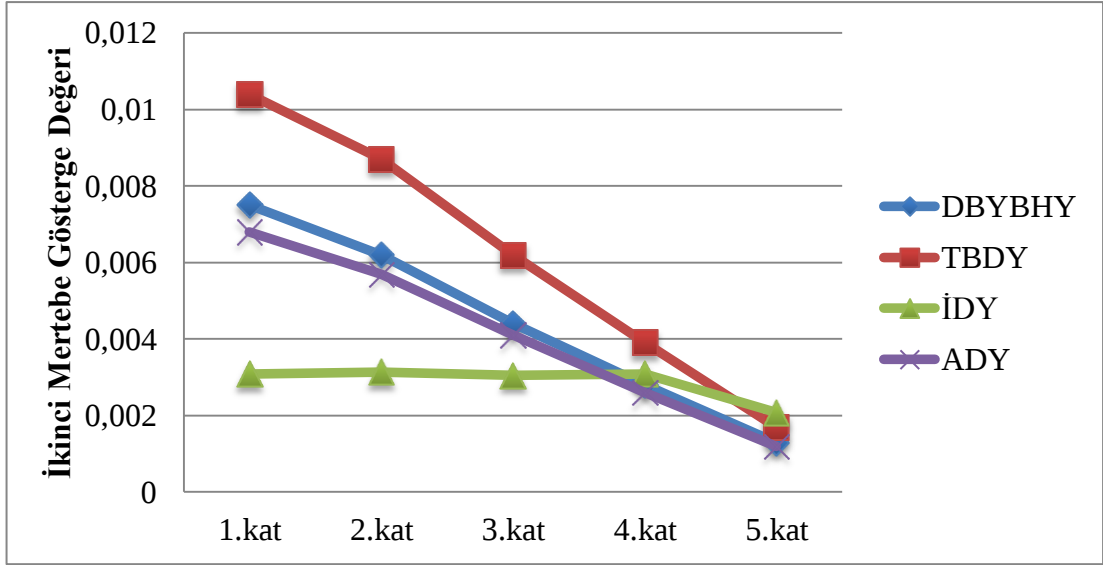
Çizelge 5.14. İDY'ye göre x doğrultusundaki ikinci mertebe gösterge değerleri

Kat	Nokta	$(d_i)_{\min}$	$(d_i)_{\max}$	Δ_{wi}	V_i	h	P_i	θ_i	$\theta_{\max}$
		cm	cm	cm	ton	cm	ton		
1.kat	332-387	0,49	0,58	0,58	673,87	400	1442,71	0,00309	0,125
2.kat	333-388	0,84	1,00	0,42	609,35	300	1366,15	0,00313	
3.kat	334-389	1,12	1,33	0,34	504,05	300	1366,15	0,00306	
4.kat	335-390	1,32	1,57	0,24	353,62	300	1366,15	0,00308	
5.kat	341-396	1,43	1,70	0,13	158,06	300	775,55	0,00209	

Çizelge 5.15. ADY'ye göre x doğrultusundaki ikinci mertebe gösterge değerleri

Kat	Nokta	$(\delta_{xe})_{\min}$	$(\delta_{xe})_{\max}$	V_x	h_{sx}	$(\delta_x)_{\max}$	$(\Delta_x)_{\max}$	P_x	θ	$\theta_{\max}$
		cm	cm	ton	cm	cm	cm	ton		
1.	332-387	0,98	1,16	1323,93	400	4,25	4,25	4671,96	0,0068	0,09
2.	333-388	1,70	2,01	1201,46	300	7,38	3,14	3611,75	0,0057	
3.	334-389	2,28	2,71	998,68	300	9,94	2,55	2628,1	0,0041	
4.	335-390	2,69	3,21	705,35	300	11,76	1,82	1644,45	0,0026	
5.	341-396	2,92	3,47	320,51	300	12,74	0,98	660,8	0,0012	

ADY'ye göre, pozitif %5 ek dış merkezlik deprem kuvveti altında, x yönündeki deprem doğrultusu için, binanın her bir katı için oluşabilecek maksimum ikinci mertebe gösterge değeri Çizelge 5.15.'de verilmiştir. 1 inci katta oluşan maksimum ikinci mertebe gösterge değeri 0,0068 olarak bulunmuştur. ADY'ye göre, söz konusu ikinci mertebe gösterge değerleri izin verilebilir sınırlar içerisinde kalmaktadır.



Şekil 5.4. İkinci mertebe gösterge değerlerinin karşılaştırılması

x yönlü pozitif %5 ek dış merkezlik deprem kuvveti altında yapılan analizler neticesinde, DBYBHY, TBDY, İDY ve ADY'ye göre her katta oluşabilecek maksimum ikinci mertebe gösterge değeri Şekil 5.4.'de grafiksel olarak gösterilmiştir. En büyük ikinci mertebe gösterge değeri TBDY'de, en küçük ikinci mertebe etkileri ise İDY'de çıkmıştır.

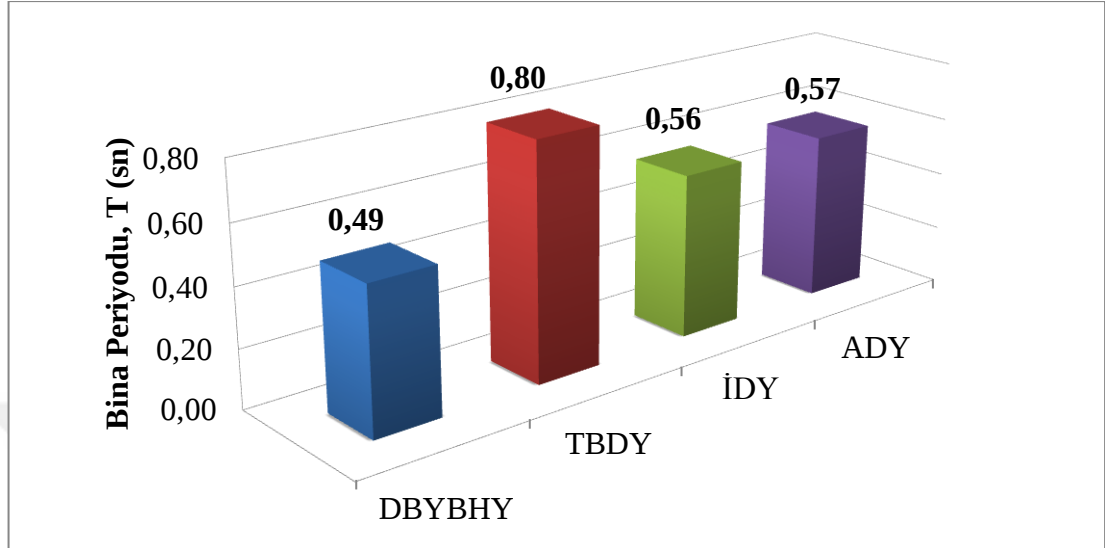
5.3.3. Bina Periyotları

DBYBHY, TBDY, İDY ve ADY'ye göre, bina periyotlarının karşılaştırılması yapılmıştır. TBDY, İDY ve ADY'de kendi yönetmelikleri izin verdiği için ampirik formüllerle hesaplanan yaklaşık bina periyodu dikkate alınmıştır. Fakat, DBYBHY'de ampirik formüllere göre hesaplanan bina yaklaşık periyodu hesabı bulunmadığı için SAP2000 programı yardımıyla binanın periyodu bulunmuştur.

Şekil 5.5.'de görüleceği üzere, bina periyotları DBYBHY'ye göre 0,49 sn; TBDY'ye göre 0,80 sn; İDY'ye göre 0,56 sn ve ADY'ye göre ise 0,57 sn olarak hesaplanmıştır.

TBDY ile DBYBHY'nin kıyaslaması yapıldığında; TBDY'deki bina periyodu artışının, betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları ile

azaltılmasından dolayı binanın daha fazla yaptığı yatay yer değiştirmeden ve ampirik formüllere göre yapılan hesaplamalardan kaynaklandığı görülmektedir. İDY ve ADY’de, ampirik formüllerle hesaplanan bina yaklaşık periyotları hemen hemen aynı çıkmıştır.



Şekil 5.5. Bina periyotlarının karşılaştırılması

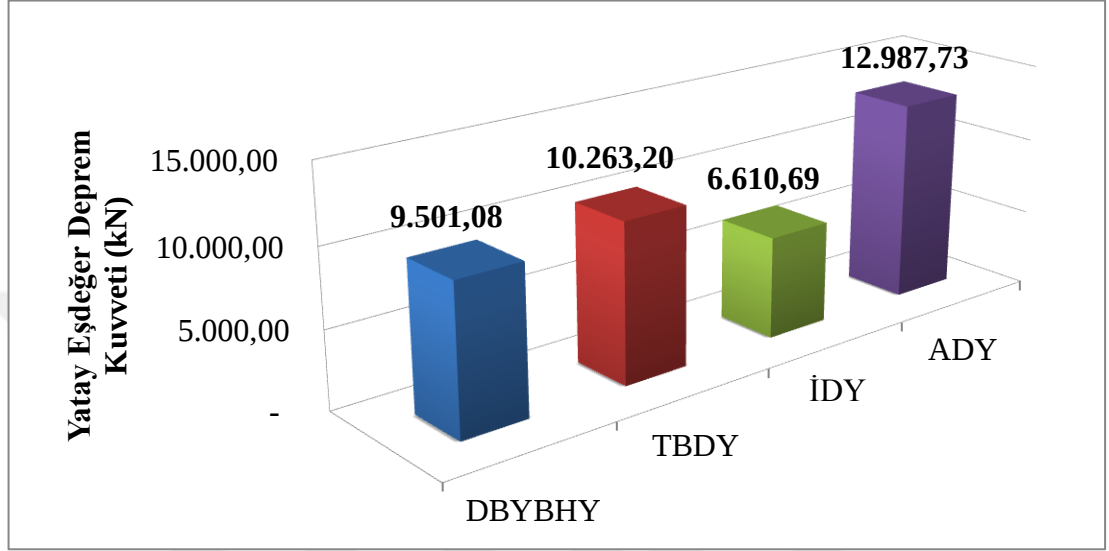
5.3.4. Toplam Yatay Eşdeğer Deprem Kuvvetleri

DBYBHY, TBDY, İDY ve ADY’ye göre, toplam yatay eşdeğer deprem kuvveti veya toplam taban kesme kuvvetinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Şekil 5.6.’da görüleceği üzere, toplam yatay eşdeğer deprem kuvveti DBYBHY’ye göre 9.501,08 kN; TBDY’ye göre 10.263,20 kN; İDY’ye göre 6.610,69 kN ve ADY’ye göre ise 12.987,73 kN olarak hesaplanmıştır.

TBDY ile DBYBHY’nin kıyaslaması yapıldığında; binanın toplam kütlesi, taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve bina önem katsayısı aynı olmasına rağmen TBDY’deki toplam yatay eşdeğer deprem kuvveti artışının yatay elastik tasarım spektral ivmeden kaynaklandığı görülmektedir. İDY’deki toplam yatay eşdeğer deprem kuvvetinin en küçük olmasının sebebi ise, hareketli yük katılım katsayısının 0,20, taşıyıcı sistem davranış katsayısının 10, bina önem katsayısının 1,40 ve etkin yer ivme katsayısının

0,35 alınmasıdır. Söz konusu değerler, diğer yönetmeliklere göre daha küçük olduğundan, eşdeğer deprem yükü formülüne yerleştirildiğinde taban kesme kuvvetinin daha az çıkmasına neden olmaktadır. ADY'deki toplam yatay eşdeğer deprem kuvvetinin en büyük olmasının sebebi ise binanın kütlelerinde hareketli yük alınmamasına rağmen tasarım spektral ivme katsayısındaki artıştan kaynaklandığı görülmektedir.

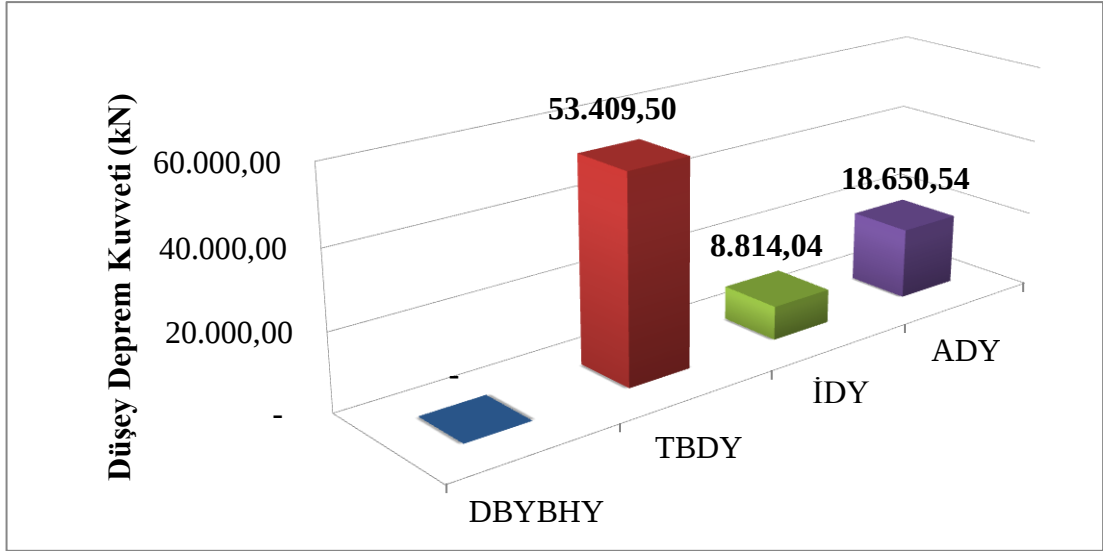


Şekil 5.6. Yatay eşdeğer deprem kuvvetlerinin karşılaştırılması

5.3.5. Düşey Deprem Kuvvetleri

DBYBHY, TBDY, İDY ve ADY'ye göre, düşey deprem kuvvetlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bilindiği üzere, DBYBHY'de düşey deprem kuvveti için herhangi bir hesaplama bulunmuyordu. Fakat, 2019 yılı başında yürürlüğe giren TBDY ile düşey deprem kuvveti artık hesaplamalara dâhil edilmiştir.

Şekil 5.7.'de görüleceği üzere, toplam düşey deprem kuvveti DBYBHY'ye göre 0 kN; TBDY'ye göre 53.409,50 kN; İDY'ye göre 8.814,04 kN ve ADY'ye göre ise 18.650,54 kN olarak hesaplanmıştır. TBDY'ye göre hesaplanan düşey deprem kuvvetinin çok büyük değerde olduğu görülmektedir.



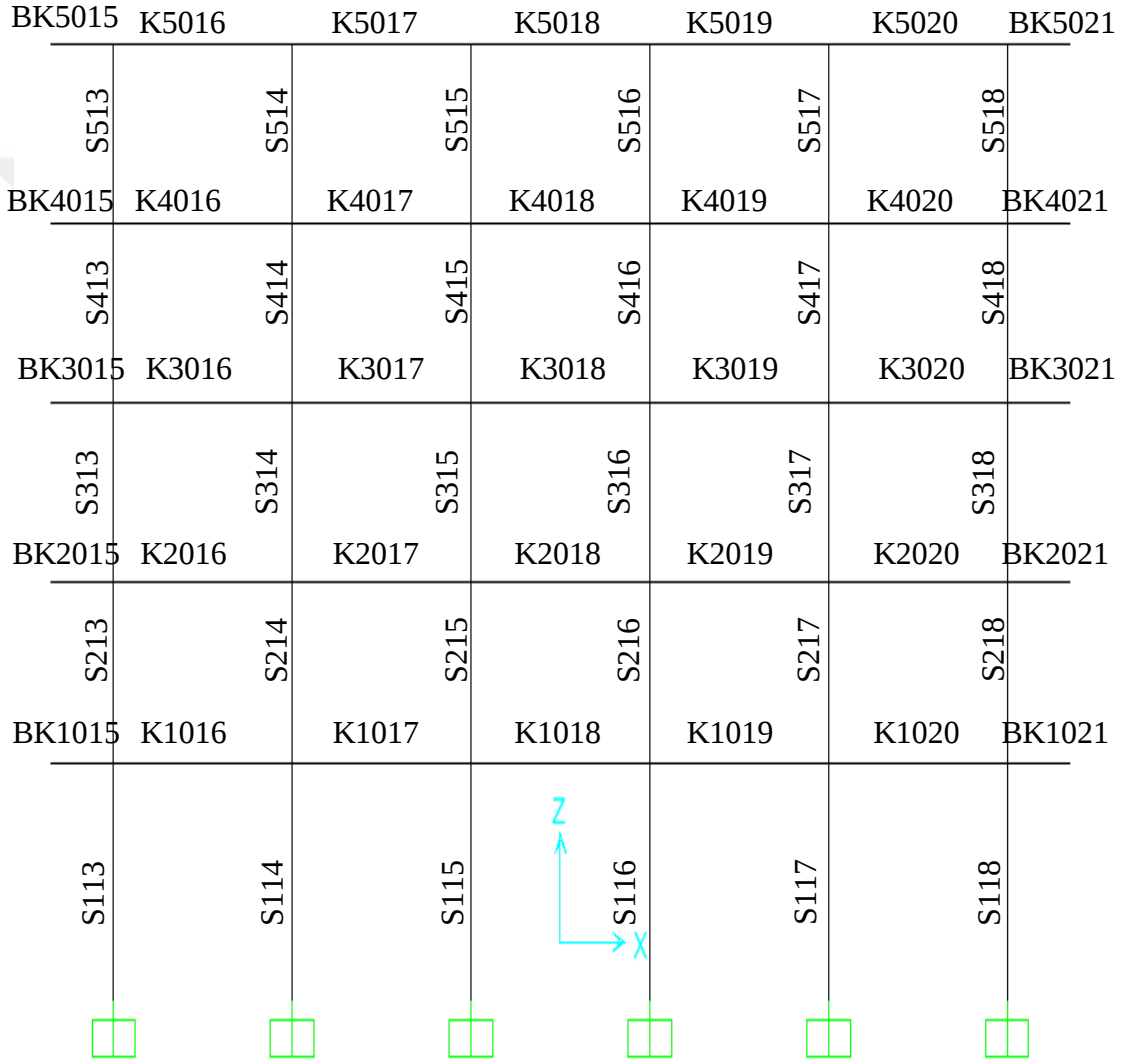
Şekil 5.7. Düşey deprem kuvvetlerinin karşılaştırılması

İDY'ye göre, analizi yapılan bina için sadece balkonlarda düşey deprem hesabı yapılması ve Eşitlik 2.4 ile hesaplanan düşey deprem kuvvetinin balkonlar için iki katına çıkarılması gerekmektedir. Sadece balkonlar dikkate alındığı için toplam düşey deprem kuvveti diğer yönetmeliklere göre daha az çıkmıştır. Ayrıca, ADY ve İDY'de düşey deprem yükünün yüzde 100'ü ve her iki birbirine dik doğrultudaki yatay deprem yükünün yüzde 30'unun toplamı olan bir kombinasyon da dikkate alınmaktadır. TBDY'de ise, Eşitlik 2.2'de verilen kombinasyonlara göre düşey deprem kuvvetinin %30'u dikkate alınmaktadır. Yani; $53.409,50 \times 0,30 = 16.022,85$ kN luk düşey deprem kuvveti kombinasyonlarda dikkate alınmaktadır. Aslında, diğer ülke yönetmeliklerinde olduğu gibi düşey deprem yükünün yüzde 100'ü ve her iki birbirine dik doğrultudaki yatay deprem yükünün yüzde 30'unun toplamı olan bir kombinasyonun da dikkate alınmasının gerektiği söylenebilir.

5.4. TBDY'de Dikkate Alınan Düşey Depremin Kolon ve Kirişlere Etkisi

DBYBHY ve TBDY'ye göre yapılan analizlerde; düşey deprem kuvveti ve ikinci mertebe etkilerinden dolayı kolonlarda eğilme momenti, kesme kuvveti ve eksenel kuvvet, kirişlerde ise kesme kuvveti değerleri ve yüzdelik karşılaştırmaları yapılmıştır. DBYBHY için, sabit yük, hareketli yük, x doğrultusunda pozitif %5 ek

dış merkezlik deprem kuvveti ve 0,30 katsayısı ile çarpılmış y doğrultusundaki pozitif %5 ek dış merkezlik deprem kuvvetinin beraber etkiği $G+Q+E_{xp}+0,3E_{yp}$ kombinasyonu dikkate alınmıştır. TBDY için, sabit yük, hareketli yük, x doğrultusunda pozitif %5 ek dış merkezlik deprem kuvveti, 0,30 katsayısı ile çarpılmış y doğrultusundaki pozitif %5 ek dış merkezlik deprem kuvveti ve 0,30 katsayısı ile çarpılmış düşey deprem kuvvetinin beraber etkiği $G+Q+E_{xp}+0,3E_{yp}+0,3E_z$ kombinasyonu dikkate alınmıştır. Söz konusu kombinasyonlarda ikinci mertebe etkileri de hesaplamalara dâhil edilmiştir.



Şekil 5.8. Analizi yapılan binanın A-A kesiti

Çizelge 5.16. Kolonlarda oluşan eğilme momenti, kesme kuvveti ve eksenel yükün karşılaştırılması

Kat	Kolon	DBYBHY			TBDY			% Değişim		
		M3 (kNm)	V2 (kN)	P (kN)	M3 (kNm)	V2 (kN)	P (kN)	M3	V2	P
1. KAT	S113	302,56	133,04	1272,02	328,08	144,08	1730,53	8,43	8,30	36,05
	S114	298,27	140,95	1773,79	319,44	148,65	2229,83	7,10	5,46	25,71
	S115	295,94	139,14	1804,60	316,88	146,68	2247,05	7,08	5,42	24,52
	S116	298,19	140,86	1802,84	319,64	148,76	2251,98	7,19	5,61	24,91
	S117	304,40	145,85	1596,33	325,71	153,79	2013,33	7,00	5,44	26,12
	S118	301,12	130,84	2253,41	317,33	134,15	2804,93	5,38	2,53	24,47
2. KAT	S213	215,94	146,32	1049,90	256,36	171,68	1406,37	18,72	17,33	33,95
	S214	322,74	212,52	1350,73	351,40	230,18	1711,84	8,88	8,31	26,73
	S215	318,27	211,17	1414,41	345,06	227,28	1762,54	8,42	7,63	24,61
	S216	328,17	217,74	1402,42	357,05	235,18	1756,19	8,80	8,01	25,23
	S217	353,14	233,92	1260,94	381,10	250,92	1591,61	7,92	7,27	26,22
	S218	218,37	148,73	1714,09	221,25	149,04	2136,83	1,32	0,21	24,66
3. KAT	S313	155,99	109,96	812,72	187,57	131,04	1073,89	20,24	19,17	32,14
	S314	236,02	159,85	956,67	257,34	173,67	1222,00	9,03	8,65	27,73
	S315	245,44	166,88	1027,83	263,04	178,10	1284,21	7,17	6,72	24,94
	S316	255,46	173,71	1013,75	274,66	185,97	1273,86	7,52	7,06	25,66
	S317	276,05	187,52	922,14	294,32	199,22	1166,53	6,62	6,24	26,50
	S318	173,64	122,35	1194,17	171,31	120,28	1494,92	-1,34	-1,69	25,18
4. KAT	S413	98,41	74,62	533,97	127,31	94,31	697,87	29,37	26,39	30,69
	S414	156,23	107,91	578,21	171,91	118,49	747,83	10,04	9,80	29,34
	S415	173,62	120,22	639,21	184,90	127,77	803,23	6,50	6,28	25,66
	S416	184,84	127,92	626,23	197,67	136,44	792,47	6,94	6,66	26,55
	S417	204,31	140,56	576,79	216,05	148,48	734,01	5,75	5,63	27,26
	S418	121,06	88,99	705,32	113,46	83,96	888,88	-6,28	-5,65	26,03
5. KAT	S513	26,79	19,33	207,88	44,13	34,32	271,98	64,73	77,55	30,84
	S514	64,92	47,83	216,87	74,69	54,96	291,29	15,05	14,91	34,32
	S515	92,17	67,44	248,59	96,69	70,86	319,61	4,90	5,07	28,57
	S516	103,17	74,41	240,01	108,68	78,39	312,14	5,34	5,35	30,05
	S517	121,20	86,63	223,49	125,82	90,01	293,05	3,81	3,90	31,12
	S518	75,63	56,96	251,49	72,77	51,63	321,79	-3,78	-9,36	27,95

A-A kesitindeki kolonların TBDY ile DBYBHY'ye göre kıyaslaması yapıldığında; TBDY'nin düşey deprem etkisinin %30'unu dikkate almasından dolayı kolonlarda

%24,47 ile %36,05 arasında eksenel kuvvetin arttığı tespit edilmiştir. Eğilme momentinde ise, TBDY’de toplam yatay eşdeğer deprem kuvvetinin fazla çıkmasından, kolon/kirişlerin etkin kesit rijitliklerinden ve düşey deprem etkisinin oluşturacağı ikinci mertebe momentinden dolayı en üst katta deprem doğrultusundaki ilk kolonlarda artışın %64,73’e kadar çıkabildiği belirlenmiş olup, diğer katlarda ve iç kolonlarda da değişen yüzdelerde artışlar görülmüştür. Kesme kuvvetinde ise, TBDY’de toplam yatay eşdeğer deprem kuvvetinin fazla çıkmasından ve kolon/kirişlerin etkin kesit rijitliklerinden dolayı en üst katta deprem doğrultusundaki ilk kolonlarda artışın %77,55’e kadar çıkabildiği belirlenmiş olup, diğer katlarda ve iç kolonlarda da değişen yüzdelerde artışlar görülmüştür.

1.kat için A-A kesitindeki kolonların incelenmesi neticesinde; %24,47 ile %36,05 arasında eksenel kuvvetin, %5,38 ile %8,43 arasında eğilme momentinin ve %2,53 ile %8,30 arasında da kesme kuvvetinin arttığı belirlenmiştir.

5.4.2. Kiriş Analiz Sonuçları

A-A kesitinde yer alan kirişlerde ve SK1023, SK2023, SK3023, SK4023, SK5023 saplama kirişlerinde, DBYBHY ve TBDY’ye göre kesme kuvveti değerleri ve yüzdelik karşılaştırmaları Çizelge 5.17.’de verilmiştir.

A-A kesitinde TBDY ile DBYBHY’ye göre kıyaslama yapıldığında; TBDY’nin düşey deprem etkisinin %30’unu dikkate almasından, toplam yatay eşdeğer deprem kuvvetinin fazla çıkmasından ve kolon/kirişlerin etkin kesit rijitliklerinden dolayı balkon kirişlerinde %71,96’ya kadar; saplama kirişlerinde %52,93’e kadar, diğer kirişlerde ise %41,11’e kadar kesme kuvveti artışı meydana geldiği belirlenmiştir.

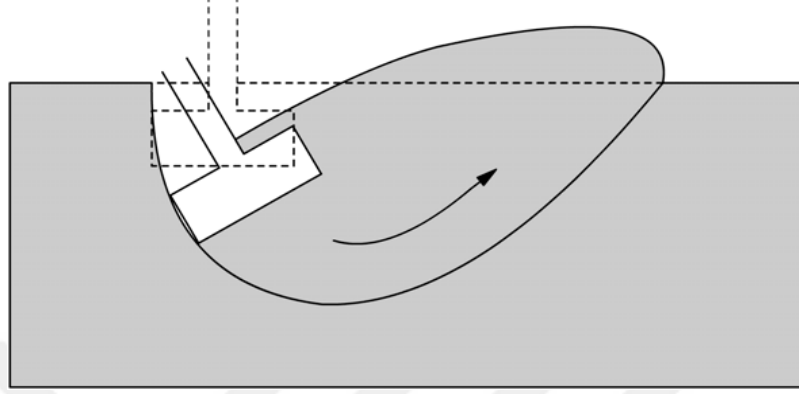
1.kat için A-A kesitindeki kirişlerin incelenmesi neticesinde; balkon kirişlerinde %66,02 ve %56,18, saplama kirişinde %50,25, diğer kirişlerde ise ortalama %19,96 oranında kesme kuvveti artışı meydana gelmiştir.

Çizelge 5.17. Kirişlerde oluşan kesme kuvvetinin karşılaştırılması

Kat	Kiriş Adı	DBYBHY	TBDY	% Değ.
		V2 (kN)	V2 (kN)	
1. KAT	BK1015	76,15	118,93	56,18
	K1016	204,46	241,21	17,97
	K1017	191,88	231,78	20,79
	K1018	205,63	251,50	22,31
	K1019	188,36	225,70	19,82
	K1020	229,11	272,41	18,90
	BK1021	71,40	118,54	66,02
	SK1023	56,18	84,41	50,25
2. KAT	BK2015	76,43	119,75	56,68
	K2016	185,03	222,47	20,23
	K2017	190,23	229,82	20,81
	K2018	200,65	246,42	22,81
	K2019	187,64	224,81	19,81
	K2020	218,88	260,39	18,96
	BK2021	71,70	119,16	66,19
	SK2023	56,36	83,94	48,94
3. KAT	BK3015	76,18	120,25	57,85
	K3016	149,41	183,29	22,68
	K3017	166,48	203,04	21,96
	K3018	175,81	218,22	24,12
	K3019	163,22	197,15	20,79
	K3020	190,52	227,87	19,60
	BK3021	72,29	119,55	65,38
	SK3023	54,63	81,05	48,36
Kat	Kiriş Adı	DBYBHY	TBDY	% Değ.
		V2 (kN)	V2 (kN)	
4. KAT	BK4015	76,05	120,97	59,07
	K4016	109,62	139,54	27,29
	K4017	139,51	173,14	24,11
	K4018	147,72	186,87	26,50
	K4019	135,56	166,33	22,70
	K4020	157,97	191,48	21,21
	BK4021	73,20	120,25	64,28
	SK4023	52,65	77,81	47,79
5. KAT	BK5015	34,35	56,75	65,21
	K5016	50,74	71,60	41,11
	K5017	76,09	98,58	29,56
	K5018	75,92	101,46	33,64
	K5019	69,86	90,27	29,22
	K5020	80,02	100,34	25,39
	BK5021	32,52	55,92	71,96
	SK5023	30,02	45,91	52,93

5.5. TBDY’de Dikkate Alınan Düşey Depremi Temel Taban Basıncına Etkisi

Zemin ile üst yapı arasındaki bağıntıyı sağlayan taşıyıcı elemanlar temel olarak tanımlanmaktadır. Temellerin halihazırda maruz kaldığı veya depremli durumlarda maruz kalacağı yüklemeler altında zemin taşıma gücünün aşılmaması gerekmektedir.



Şekil 5.10. Taşıma gücü göçme mekanizması [55]

Şekil 5.10.’da görüleceği üzere temelden zemine aktarılan gerilmelerin, zemin taşıma gücünü aşması durumunda, binada taşıma gücünden dolayı tehlikeli ve yıkıcı bir göçme meydana gelmektedir. Depremli durumlarda, sıkı ve sert zeminlerde yer alan temellerde bile göçme meydana gelebilmektedir. Fakat, genellikle bu göçme durumlarının taşıma gücü göçmesinden değil sıvılaşmadan olduğu kabul edilmektedir. Fakat, deprem gerçekleştiği zaman çok sert olarak dikkate alabileceğimiz yapraklanmış gevşek kayalar çatlaklarından ayrılabilir ve zemin taşıma gücünde azalmalar meydana gelebilir.

5.5.1. Zemin Emniyet Gerilmeleri

DBYBHY’ye göre (A), (B) ve (C) gruplarına giren temel zeminlerinde, statik yüklere göre tanımlanan zemin emniyet gerilmesi deprem durumunda en fazla %50 arttırılabilir iken (D) grubuna giren temel zeminlerinde zemin emniyet gerilmesi arttırılamamaktadır.

5.5.2. Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü

TBDY'ye göre statik ve depremi içeren yükleme durumlarının her birinde Eşitlik 5.1'de yer alan eşitsizliğin sağlanması gerekmektedir.

$$q_o \leq q_t \quad (5.1)$$

Eşitlik 5.1'de yer alan q_o temel seviyesinde etkiyen düşey yük, kesme ve moment etkilerinin oluşturduğu temel taban basıncını ifade etmektedir. q_t ise statik ve depremi içeren yükleme durumlarına ilişkin tasarım dayanımının temel taşıma gücüne ilişkin karşılığı olup Eşitlik 5.2'ye göre belirlenmektedir.

$$q_t = \frac{q_k}{\gamma_{Rv}} \quad (5.2)$$

Eşitlik 5.2'de yer alan q_k temel taşıma gücünün karakteristik dayanımını, γ_{Rv} dayanım katsayısını ifade etmekte olup, γ_{Rv} yüzeysel temeller için 1,4 olarak verilmiştir.

5.5.3. Hareketli Yük Azaltması

TS498'e göre, en az üç tam kattan fazla yük taşıyan yapı elemanlarının hesaplanmasında ve eşdeğer zemin basıncı belirlenmesinde hareketli yükün azaltılması mümkündür. Bu miktarlar, her tam katta aynı hareketli yük olması halinde % eksiltme ve toplam hareketli yüke göre azaltma değeri olarak, Çizelge 5.18.'de verilmiştir. [50]

Analizlerde kullanılacak bina 5 katlı olduğu için, temel taban basıncı hesaplamalarında 4 üncü katın hareketli yükü %20, 5 inci katın hareketli yükü ise % 40 azaltılmıştır.

Çizelge 5.18. En az üç tam kattan fazla yük taşıyan yapı elemanları için % eksiltme değeri ve azaltma değeri

Kat Sayısı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
% eksiltme değeri	0	0	0	20	40	60	80	80	90	40	40	40
Azaltma değeri	1	1	1	0,95	0,88	0,8	0,71	0,65	0,6	0,6	0,6	0,6

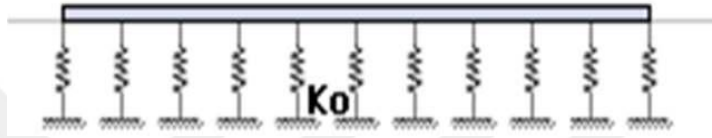
5.5.4. Temel Taban Basıncı Hesaplamaları

Temel taban basınçlarının, DBYBHY’de yer alan zemin emniyet gerilmesine ve TBDY’de yer alan zemin taşıma gücüne göre karşılaştırmaları yapılmıştır. Depremler kombinasyonları için ikinci mertebe etkileri dikkate alınarak analizler yapılmıştır. Ayrıca, düşey deprem kuvvetinden dolayı temel taban basıncında meydana gelen değişimler incelenmiştir.

Çizelge 5.19. Zemin sınıflarına göre zemin yatak katsayısı, zemin emniyet gerilmesi ve zemin taşıma gücü değerleri [47]

Zemin Sınıfı	Zemin Yatak Katsayısı (t/m^3)	Zemin Emniyet Gerilmesi (t/m^2)	Zemin Taşıma Gücü (t/m^2)
Kil, Yarı Sert	1000	15,00	21,00
Kil, Sert	2000	30,00	42,00
Dolgu Zemin	1500	20,00	28,00
Kum, Gevşek	1500	15,00	21,00
Kum, Orta Sıkı	3000	20,00	28,00
Kum, Sıkı	7000	30,00	42,00
Kum-Çakıl, Sıkı	10000	50,00	70,00
Kaya	100000	200,00	280,00

Temel taban basıncı hesaplamalarında temel sistemi 0,80 m kalınlığında radye temel olarak planlanmış, her iki doğrultuda 1,00 m ampattan çıkılarak x ve y doğrultularındaki uzunluğu 26 metre olarak dikkate alınmış ve toplam temel alanı 676,00 m² olarak hesaplanmıştır. Radye temel üzerinde sabit yük olarak 212 kg/m², hareketli yük olarak da 500 kg/m² tanımlanarak hesaplamalara katılmıştır. Temel altında bulunan zeminin dolgu zemin olduğu varsayılarak; yerel zemin sınıfı DBYBHY'ye göre Z3, TBDY'ye göre ZD, zemin emniyet gerilmesi de 23,00 t/m² (taşıma gücü 32,20 t/m²) alınmıştır. Temel zemini olarak yeterli rijitlikte ve sayıda, birbirinden bağımsız sabit zemin yatak katsayısı Çizelge 5.19.'da verilen K₀=1500 t/m³ olan yaylar temele tanımlanmıştır.



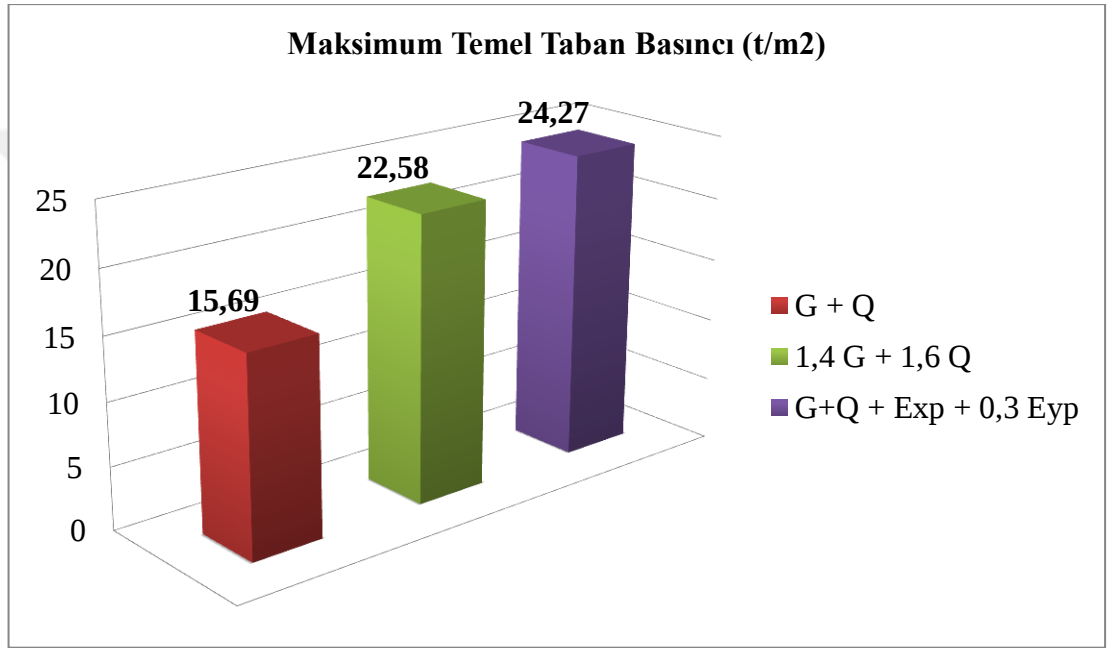
Şekil 5.11. Zemin yatak katsayısı tanımlanması

SAP2000 programı ile yapılan analiz sonuçlarında, temelde oluşan deplasmanlar, tanımlanan yay katsayısı ile çarpılarak temel altında oluşacak gerilmeler bulunmaktadır (Şekil 5.11.).

Çizelge 5.20. DBYBHY'ye göre maksimum temel taban basınçları

Kombinasyon	Maksimum Temel Taban Basıncı (t/m ²)
G + Q	15,69
1,4 G + 1,6 Q	22,58
G + Q + E _{xp} + 0,3 E _{yp}	24,27

DBYBHY dikkate alındığında, Çizelge 5.20.'de görüleceği üzere, sabit yük ve hareketli yükün beraber etki ettiği G+Q kombinasyonunda maksimum taban basıncı $15,69 \text{ t/m}^2$; sabit yük ve hareketli yükün katsayılar ile çarpılıp beraber etki ettiği $1,4G+1,6Q$ kombinasyonunda maksimum taban basıncı $22,58 \text{ t/m}^2$; sabit yük, hareketli yük, x doğrultusunda pozitif %5 ek dış merkezlik deprem kuvveti ve katsayı ile çarpılmış y doğrultusunda pozitif %5 ek dış merkezlik deprem kuvvetinin beraber etki ettiği $G+Q+E_{xp}+0,3E_{yp}$ kombinasyonunda maksimum taban basıncı $24,27 \text{ t/m}^2$ hesaplanmıştır. Şekil 5.12.'de DBYBHY'ye göre maksimum temel taban basınçlarının grafiksel gösterimi verilmiştir.



Şekil 5.12. DBYBHY'ye göre maksimum temel taban basınçlarının grafiksel gösterimi

Hesaplamalarda dolgu zeminler için alınan zemin emniyet gerilmesi $23,00 \text{ t/m}^2$ iken, DBYBHY'ye göre depremli durumlarda zemin emniyet gerilmesi en çok %50 arttırılabildiğinden dolayı depremli durumlarda bu değer $34,5 \text{ t/m}^2$ alınabilir. Depremsiz kombinasyonlar olan G+Q ve $1,4G+1,6Q$ kombinasyonlarında $22,58 \text{ t/m}^2$, depremli kombinasyon olan $G+Q+E_{xp}+0,3E_{yp}$ kombinasyonu için $24,27 \text{ t/m}^2$ maksimum temel taban basıncı bulunmuştur. Yapılan analiz sonuçlarında depremsiz kombinasyonlar için oluşan maksimum temel taban basıncı, $23,00 \text{ t/m}^2$ 'den; depremli

kombinasyonlar için oluşan maksimum temel taban basıncı; 34,50 t/m²'den küçük olduğu için zemin emniyet gerilmesi kurtarmıştır.

Çizelge 5.21. TBDY'ye göre maksimum temel taban basınçları

Kombinasyon	Maksimum Temel Taban Basıncı (t/m²)
G + Q	16,44
1,4 G + 1,6 Q	23,65
G + Q + E_{xp} + 0,3 E_{yp}	26,44
G + Q + E_{xp} + 0,3 E_{yp} + 0,3 E_z	31,12
G + Q + E_z + 0,3 E_{xp} + 0,3 E_{yp}	36,60

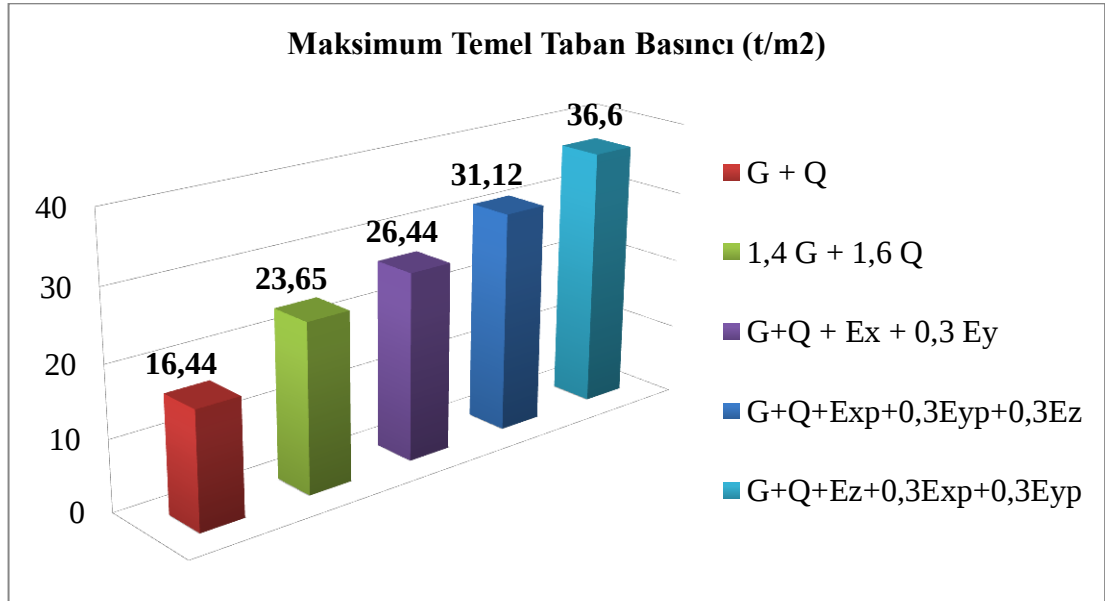
TBDY dikkate alındığında, Çizelge 5.21.'de görüleceği üzere, sabit yük ve hareketli yükün beraber etkidiği G+Q kombinasyonunda maksimum taban basıncı 16,44 t/m²; sabit yük ve hareketli yükün katsayılar ile çarpılıp beraber etkidiği 1,4G+1,6Q kombinasyonunda maksimum taban basıncı 23,65 t/m²; sabit yük, hareketli yük, x doğrultusunda pozitif %5 ek dış merkezlik deprem kuvveti ve katsayı ile çarpılmış y doğrultusunda pozitif %5 ek dış merkezlik deprem kuvvetinin beraber etkidiği G+Q+E_{xp}+0,3E_{yp} kombinasyonunda maksimum taban basıncı 26,44 t/m²; sabit yük, hareketli yük, x doğrultusunda pozitif %5 ek dış merkezlik deprem kuvveti, katsayı ile çarpılmış y doğrultusunda pozitif %5 ek dış merkezlik deprem kuvveti ve katsayı ile çarpılmış düşey deprem kuvvetinin beraber etkidiği G+Q+E_{xp}+0,3E_{yp}+0,3E_z kombinasyonunda maksimum taban basıncı 31,12 t/m² hesaplanmıştır. Şekil 5.13.'de TBDY'ye göre maksimum temel taban basınçlarının grafiksel gösterimi verilmiştir.

Yapılan analiz sonuçlarında kombinasyonlarda oluşan maksimum temel taban basıncı; 32,20 t/m²'den küçük olduğu için zemin taşıma gücü kurtarmıştır.

TBDY'ye göre deprem etkisini içeren yük birleşimleri Eşitlik 2.2'ye göre yapılmaktadır. Yatayda birbirine dik doğrultulardaki deprem etkileri ise Eşitlik 2.3'e göre birleştirilmektedir.

İDY, Avrupa Deprem Yönetmeliği, Hindistan Deprem Yönetmeliğinde düşey deprem etkisi ve yatay deprem etkisinin birlikte etkidiği kombinasyonlarda; düşey deprem yükünün yüzde 100'ü ve her iki birbirine dik yatay doğrultudaki deprem yükünün yüzde 30'unun toplamı dikkate alınmıştır. ADY'de ise deprem kuvveti, yatay deprem kuvveti ile düşey deprem kuvvetinin toplamı olarak alınmıştır. TBDY'de düşey deprem etkisinin tamamen, diğer yatay deprem kuvvetlerinin de %30 etkidiği bir kombinasyonun da dikkate alınması gerektiği düşünülmektedir.

Böyle bir durum için oluşan; sabit yük, hareketli yük, düşey deprem kuvveti, katsayı ile çarpılmış x doğrultusunda pozitif %5 ek dış merkezlik deprem kuvveti ve katsayı ile çarpılmış y doğrultusunda pozitif %5 ek dış merkezlik deprem kuvvetinin beraber etkidiği $G+Q+E_z+0,3E_{xp}+0,3E_{yp}$ kombinasyonunda maksimum taban basıncı $36,60 \text{ t/m}^2$ bulunmuştur. Oluşan temel taban basıncı $32,20 \text{ t/m}^2$ den büyük olduğu için zemin taşıma gücünü aşmaktadır. Ayrıca, TBDY'de yer alan $G+Q+E_{xp}+0,3E_{yp}+0,3E_z$ kombinasyonunda oluşan temel taban basıncına göre %17,61'lik dikkat çekici bir artış meydana gelmiştir.



Şekil 5.13. TBDY'ye göre maksimum temel taban basınçlarının grafiksel gösterimi

Yapılan analiz sonucunda da görüleceği üzere, düşey deprem kuvvetinin yüzde 100'ü ve her iki birbirine dik doğrultudaki yatay deprem kuvvetinin yüzde 30'unun toplamı dikkate alındığında, zemin taşıma gücünü aşmakta olduğundan taşıma gücü göçme mekanizması gerçekleşebilmektedir. Bu durum bize, temellerde gerçekleşen göçme durumlarının her zaman sıvılaşmadan kaynaklanmayacağını, depremli durumlarda gerçekleşen temel göçmelerinin ülkemizde daha önce hiç dikkate alınmayan düşey deprem kuvvetinin etkisinden meydana gelebileceğini göstermektedir.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Türkiye’de 1976-2019 yılları arasında, KAF ve DAF hatları ile BAF hatlarında kaydedilmiş, moment büyüklüğü 6 ve/veya üzerinde olan beş adet deprem kaydı dikkate alınarak yatay ve düşey yer ivmelerinin karşılaştırılması sonucunda, elde edilen veriler aşağıda özetlenmiştir:

- Batı Anadolu’nun karışık bir tektonik rejimli bir yapıya sahip olması ve genelde normal atımlı faylardan oluşması sebebiyle meydana gelebilecek daha büyük depremlerde düşey yer ivmesinin oransal olarak daha da artabileceği öngörülmektedir. Fakat BAF hatlarında bulunan fayların genelde kısa uzunlukta olması ve devamlı hareket halinde olmasından dolayı da enerji birikimi yapamaması böyle bir büyük depremin oluşumunu da geciktirmektedir.
- KAF hattının genelde doğrultu atımlı faylardan oluşması ve fay hareketlerinin daha sınırlı sayıda olması sebebiyle yatay yer ivmelerin büyük olduğu, yatay yer ivmelere göre oluşan düşey yer ivmenin de önemli bir parametre olarak ortaya çıktığı görülmektedir.
- Aynı büyüklükte meydana gelebilecek bir depremde, BAF hatlarında bulunan bir yapıya gelebilecek yatay deprem kuvveti, KAF hattında bulunan bir yapıya gelebilecek yatay deprem kuvvetinden küçük olacağından dolayı yıkımın daha az olacağı söylenebilir.

DBYBHY kurallarına uygun olarak tasarlanan beş katlı binanın, maksimum yatay yer değiştirme yaptığı varsayılarak, düşey deprem etkisi, yatay deprem kuvveti ve ikinci mertebe etkileri beraber dikkate alındığında bina tabanında oluşacak toplam eğilme momentindeki değişimlerin irdelenmesi sonucunda, elde edilen veriler aşağıda özetlenmiştir:

- Maksimum yatay yer değiştirme yaptığı varsayıldığı durumda, etkin görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasından dolayı, binaya etkiyecek ikinci mertebe momentlerinin dâhil edilmesiyle %2,62’ye kadar bina tabanında toplam eğilme momentinde bir artış yaşandığı görülmektedir.

- Binada bulunan kat sayısının fazla olması veya yatay yer deşiştirmenin fazla olması durumunda, binanın tabanında oluşacak toplam eğilme momentindeki artışın daha da fazla olacağı aşıkârdır. Fakat, DBYBHY ve TBDY’de etkin göreli kat ötelemeleri ve ikinci mertebe gösterge değerlerinde sınırlandırılmalar olduğundan ikinci mertebe etkilerinden dolayı binanın tabanında meydana gelebilecek eğilme momenti de fazla artmayacaktır. Hatta, TBDY’ye göre etkin göreli kat ötelemesi sınırlandırılması daha da arttırılmış olup binanın daha da rijit olması istenilmektedir.

Aynı binanın eşdeğer deprem yükü yöntemi ile analizi yapılarak DBYBHY, TBDY, İDY ve ADY’ye göre etkin göreli kat ötelemeleri, ikinci mertebe gösterge değerleri, bina periyotları, toplam yatay eşdeğer deprem kuvvetleri ve düşey deprem kuvvetlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler aşağıda özetlenmiştir:

- En büyük etkin göreli kat ötelemeleri TBDY’de, en kucuk etkin göreli kat ötelemeleri İDY’de çıkmıştır.
- En büyük ikinci mertebe gösterge değeri TBDY’de, en kucuk ikinci mertebe gösterge değeri ise İDY’de çıkmıştır.
- Bina periyotları, DBYBHY’ye göre 0,49 sn; TBDY’ye göre 0,80 sn; İDY’ye göre 0,56 sn ve ADY’ye göre ise 0,57 sn olarak hesaplanmıştır. TBDY’deki bina periyodu artışının, betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği arpanları ile azaltılmasından dolayı binanın daha fazla yaptığı yatay yer değiştirmeden ve ampirik formüllere göre yapılan hesaplamalardan kaynaklandığı görülmektedir. İDY ve ADY’de, ampirik formüllerle hesaplanan bina yaklaşık periyotları hemen hemen aynı çıkmıştır.
- Toplam yatay eşdeğer deprem kuvveti DBYBHY’ye göre 9.501,08 kN; TBDY’ye göre 10.263,20 kN; İDY’ye göre 6.610,69 kN ve ADY’ye göre ise 12.987,73 kN olarak hesaplanmıştır. TBDY’deki toplam yatay eşdeğer deprem kuvveti artışının yatay elastik tasarım spektral ivmeden kaynaklandığı görülmektedir. İDY’deki toplam yatay eşdeğer deprem kuvvetinin en kucuk olmasının sebebi ise, hareketli yük katılım katsayısının, taşıyıcı sistem davranış katsayısının, bina önem katsayısının ve etkin yer ivme katsayısının diğer yönetmeliklere göre daha kucuk olmasından

kaynaklanmaktadır. ADY'deki toplam yatay eşdeğer deprem kuvvetinin en büyük olmasının sebebi ise binanın kütleinde hareketli yük alınmamasına rağmen tasarım spektral ivme katsayısındaki artıştan kaynaklandığı görülmektedir

- Toplam düşey deprem kuvveti DBYBHY'ye göre 0 kN; TBDY'ye göre 53.409,50 kN; İDY'ye göre 8.814,04 kN ve ADY'ye göre ise 18.650,54 kN olarak hesaplanmıştır. İDY'ye göre, sadece balkonlar dikkate alındığı için toplam düşey deprem kuvveti diğer yönetmeliklere göre daha az çıkmıştır. Ayrıca, ADY ve İDY'de düşey deprem yükünün yüzde 100'ü ve her iki birbirine dik doğrultudaki yatay deprem yükünün yüzde 30'unun toplamı olan bir kombinasyon da dikkate alınmaktadır. TBDY'de ise, düşey deprem kuvvetinin %30'u dikkate alınmaktadır. Aslında, diğer ülke yönetmeliklerinde olduğu gibi düşey deprem yükünün yüzde 100'ü ve her iki birbirine dik doğrultudaki yatay deprem yükünün yüzde 30'unun toplamı olan bir kombinasyonun da dikkate alınmasının gerektiği söylenebilir.

DBYBHY ile TBDY kıyaslanarak, düşey deprem kuvveti ve ikinci mertebe etkilerinden dolayı kolon, kiriş ve temel taban basınçlarında meydana gelecek değişimler incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler aşağıda özetlenmiştir:

- TBDY'nin düşey deprem etkisinin %30'unu dikkate almasından dolayı kolonlarda %24,47 ile %36,05 arasında eksenel kuvvetin arttığı tespit edilmiştir.
- TBDY'de toplam yatay eşdeğer deprem kuvvetinin fazla çıkmasından, kolon/kirişlerin etkin kesit rijitliklerinden ve düşey deprem etkisinin oluşturacağı ikinci mertebe momentinden dolayı en üst katta deprem doğrultusundaki ilk kolonlardaki eğilme momenti artışının %64,73'e kadar çıkabildiği belirlenmiş olup, diğer katlarda ve iç kolonlarda da değişen yüzdelerde artışlar görülmüştür.
- Kesme kuvvetinde ise, TBDY'de toplam yatay eşdeğer deprem kuvvetinin fazla çıkmasından ve kolon/kirişlerin etkin kesit rijitliklerinden dolayı en üst katta deprem doğrultusundaki ilk kolonlarda artışın %77,55'e kadar

çıkabildiği belirlenmiş olup, diğer katlarda ve iç kolonlarda da değişen yüzdelerde artışlar görülmüştür.

- TBDY'nin düşey deprem etkisinin %30'unu dikkate almasından, toplam yatay eşdeğer deprem kuvvetinin fazla çıkmasından ve kolon/kirişlerin etkin kesit rijitliklerinden dolayı balkon kirişlerinde %71,96'ya kadar; saplama kirişlerinde %52,93'e kadar, diğer kirişlerde ise %41,11'e kadar kesme kuvveti artışı meydana geldiği belirlenmiştir.
- DBYBHY'ye göre, dikkate alınan depremsiz kombinasyonlar için oluşan maksimum temel taban basıncı, göz önüne alınan zemin emniyet gerilmesi değeri olan $23,00 \text{ t/m}^2$ 'den; dikkate alınan depremlı kombinasyonlar için oluşan maksimum temel taban basıncı ise; göz önüne alınan arttırılmış zemin emniyet gerilmesi değeri olan $34,50 \text{ t/m}^2$ 'den küçük olduğu için zemin emniyet gerilmesi kurtarmıştır.
- TBDY'ye göre, dikkate alınan depremlı ve depremsiz kombinasyonlarda oluşan maksimum temel taban basıncı; göz önüne alınan taşıma gücü değeri olan $32,20 \text{ t/m}^2$ 'den küçük olduğu için zemin taşıma gücü kurtarmıştır.
- İDY, Avrupa Deprem Yönetmeliği, Hindistan Deprem Yönetmeliğinde düşey deprem etkisi ve yatay deprem etkisinin birlikte etkidiği kombinasyonlarda; düşey deprem yükünün yüzde 100'ü ve her iki birbirine dik yatay doğrultudaki deprem yükünün yüzde 30'unun toplamı dikkate alınmıştır. ADY'de ise deprem kuvveti, yatay deprem kuvveti ile düşey deprem kuvvetinin toplamı olarak alınmıştır. TBDY'de düşey deprem etkisinin tamamen, diğer yatay deprem kuvvetlerinin de %30 etkidiği bir kombinasyonun da dikkate alınması gerektiği söylenebilir.
- Böyle bir durum için oluşacak; $G+Q+E_z+0,3E_{xp}+0,3E_{yp}$ kombinasyonunda maksimum taban basıncı $36,60 \text{ t/m}^2$ bulunmuştur. Ayrıca, TBDY'de yer alan $G+Q+E_{xp}+0,3E_{yp}+0,3E_z$ kombinasyonunda oluşan temel taban basıncına göre %17,61'lik dikkat çekici bir artış meydana gelmiştir. Oluşan temel taban basıncı göz önüne alınan taşıma gücü değeri olan $32,20 \text{ t/m}^2$ den büyük olduğu için zemin taşıma gücünü aşmış olacak ve taşıma gücü göçme mekanizması gerçekleşebilecektir. Bu durum bize, temellerde gerçekleşen göçme durumlarının her zaman sıvılaşmadan kaynaklanmayacağını, depremlı durumlarda gerçekleşen temel göçmelerinin ülkemizde daha önce hiç dikkate

alınmayan düşey deprem kuvvetinin etkisinden meydana gelebileceğini göstermektedir.

Yapılan bu çalışma neticesinde; düşey deprem etkisinin önemli bir bileşen olduğu, Batı Anadolu'nun genelde normal atımlı faylardan oluşması sebebiyle meydana gelebilecek daha büyük depremlerde düşey yer ivmesinin oransal olarak daha da artabileceği fakat KAF hattının genelde doğrultu atımlı faylardan oluşması ve yatay ivmelerin büyük olmasından dolayı yıkımın bu fay üzerinde etkili olabileceği, 2019 yılı başında yürürlüğe giren TBDY ile düşey deprem etkisinin hesaplamalara dâhil edildiği, eski ve yeni yönetmeliğimizin karşılaştırılması neticesinde düşey deprem kuvvetinden dolayı kiriş ve kolonlara gelen yüklerde ciddi artışların olduğu, hatta ikinci mertbe etkileri ile birlikte değerlendirildiğinde az da olsa binanın tabanında oluşacak toplam eğilme momentinde bir artış meydana getirdiği, diğer ülke yönetmeliklerine göre kıyaslama yapıldığında, en büyük yatay eşdeğer deprem kuvvetinin ADY'de, en büyük etkin görelî kat ötelemeleri, ikinci mertbe gösterge değeri, bina periyodu ve düşey deprem kuvvetinin TBDY'de olduğu, TBDY'de düşey deprem kuvvetinin büyük bir değer olduğu fakat kombinasyonlarda %30'unun dikkate alındığı, diğer ülke yönetmeliklerinde olduğu gibi düşey deprem kuvvetinin yüzde 100'ü ve her iki birbirine dik yatay doğrultudaki deprem kuvvetinin yüzde 30'unun toplamının veya ADY'deki gibi tamamının dikkate alınmasının gerektiği, böyle bir durumda binanın taşıyıcı elemanlarının daha da fazla kuvvetler altında kalacağı, zemin taşıma gücünde aşımalar meydana geleceği buna müteakip zeminde taşıma gücünden dolayı göçmeler oluşabileceği tespit edilmiştir.

Konuyla ilgili yapılacak başka bir çalışmada, farklı zemin koşullarına göre, yatay ve düşey deprem etkisi altındaki binaların temellerinde oluşan oturma ve dönmelerden dolayı meydana gelecek ikinci mertbe etkilerinden dolayı devrilme momenti artışı irdelenebilir.

Türkiye'de KAF ve BAF hatlarında gerçekleşmiş farklı deprem kayıtları dikkate alınarak TBDY'ye göre yapılacak zaman tanım alanında analiz yöntemi ile, çeşitli zemin koşullarında yer alan betonarme binalarda yatay ve düşey deprem kuvvetlerinin beraber etkilediği kombinasyonlarda, binanın taşıyıcı sistem elemanları ve temel taban basıncında oluşturacağı etkiler de araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Kim, S. J., ve Elnashai, A.S., Seismic Assessment of RC Structures Considering Vertical Ground Motion, Mid-America Earthquake Center CD Release 08-03, 2008.
- [2] Aydemir, M. E. ve Jakayev, S., Düzenli Bir Betonarme Binada Düşey Deprem Bileşeninin Yapısal Davranışa Etkisi, Afet ve Risk Dergisi, 2(1), 1-13, 2019.
- [3] Bureau, G. J., Near-Source Peak Ground Acceleration, Earthquake Notes 52, 81, 1981.
- [4] Campbell, K. W., A Study of the Near-Source Behavior of Peak Vertical Acceleration, EOS 63, 1037, 1982.
- [5] Niazi, M. ve Bozorgnia, Y., Behavior of Vertical Ground Motion Parameters in the Near-Field, Seismological Research Letters 60, 4, 1989.
- [6] Niazi, M. ve Bozorgnia, Y., Observed Ratios of PGV/PGA and PGD/PGA for Deep Soil Sites Across SMART-1 Array, Taiwan, Fourth US National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, CA, Proceedings 1, 367-374, 1990.
- [7] Niazi, M. ve Bozorgnia, Y., Behavior of Near-Source Peak Vertical and Horizontal Ground Motions Over SMART-1 Array, Taiwan, Bulletin of the Seismological Society of America 81, 715-732, 1991.
- [8] Niazi, M. ve Bozorgnia, Y., Behavior of Near-Source Vertical and Horizontal Response Spectra at SMART-1 Array, Taiwan, Earthquake Engineering and Structural Dynamics 21, 37-50, 1992.

- [9] Bozorgnia, Y. ve Niazi, M., Distance Scaling of Vertical and Horizontal Response Spectra of the Loma Prieta Earthquake, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 22, 695-707, 1993.
- [10] Bozorgnia, Y., Niazi, M. ve Campbell, K. W., Characteristics of Free-Field Vertical Ground Motion During the Northridge Earthquake, *Earthquake Spectra* 11, 515-525, 1995.
- [11] Bozorgnia, Y., Niazi, M. ve Campbell, K. W., Relationship Between Vertical and Horizontal Ground Motion for the Northridge Earthquake, *Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico, Proceedings*, 1996.
- [12] Watabe, M., Tohido, M., Chiba, O. ve Fukuzawa, R., Peak Accelerations and Response Spectra of Vertical Strong Motions From Near-Field Records in USA, *Eighth Japan Earthquake Engineering Symposium, Proceedings* 1, 301-306, 1990.
- [13] Gürel, M.A. ve Kısa, M., Deprem Hareketinin Düşey Bileşeninin Çeşitli Yapı Elemanları Üzerindeki Etkileri ve Hasar Potansiyeli, *ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, Ankara, Türkiye, 14 Ekim 2002*.
- [14] Bozorgnia, Y. ve Campbell, K. W., The Vertical to Horizontal Response Spectral Ratio and Tentative Procedure for Developing Simplified V/H and Vertical Design Spectra, *Journal of Earthquake Engineering*, 8(2), 175-207, 2004.
- [15] Friedland, I., Power, M., Mayes, R., *Proceedings of the FHWA/NCEER Workshop on the National Representatino of Seismic Ground Motion for New and Existing Highway Facilities, National Center for Earthquake Engineering Research, NCEER- 97-0010, 1-452, 1997.*

- [16] Doğan, E. ve Elmas, M., Binalarda Düşey Deprem Etkisinin Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi ile İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(1), 9-17, 2004.
- [17] Rahai, A., Effect of Earthquake Vertical Motion on Rc Bridge Piers, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada, 1-6 August 2004.
- [18] Kalkan, E., Graizer, V., Multi-Component Ground Motion Response Spectra for Coupled Horizontal, Vertical, Angular Accelerations, and Tilt, ISET Journal of Earthquake Technology, 44(1), 259-284, 2007.
- [19] Domaniç, K.A., Effects of Vertical Excitation on Seismic Performance of Highway Bridges and Hold-Down Device Requirements, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2008.
- [20] Kunnath, S., Abrahamson, N., Chai, Y.H., Erduran, E., Yılmaz, Z., Development of Guidelines for Incorporation of Vertical Ground Motion Effects in Seismic Design of Highway Bridges, California Department of Transportation, CA/UCD-SESM-08-01, 1-120, 2008.
- [21] Kadid, A., Yahiaoui, D., Chebili, R., Behaviour of Reinforced Concrete Buildings Under Simultaneous Horizontal and Vertical Ground Motions, Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing), 11(4), 463-476, 2010.
- [22] Baş, S., Sevinç, M., Kalkan, İ. ve Aykaç, S., Düşey Deprem Etkisi Altındaki Çok Katlı Betonarme Yapıların Davranışının İncelenmesi, 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, İzmir, Türkiye, 14-16 Ekim 2015.
- [23] Eren, G. ve Beyen, K., Düşey Deprem Etkisinde Tipik Bir Binada Gözlenen Performansın Tartışılması, Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Türkiye, 11-15 Mayıs 2015.

- [24] Aydemir, M.E. ve Jakayev, S., Düzenli Bir Betonarme Binada Düşey Deprem Bileşeninin Yapısal Davranışa Etkisi, Afet ve Risk Dergisi, 2(1), 1-13, 2019.
- [25] Şengör, A.M.C., Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları, Türkiye Jeoloji Kurumu, Konferans serisi:2, 1980.
- [26] Ketin, İ., San Andreas ve Kuzey Anadolu Fayları Arasında Bir Karşılaştırma, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 19, 149-154, 1976.
- [27] Demirtaş, R. ve Yılmaz, R., Türkiye'nin Sismotektoniği; Sismisitedeki Uzun Süreli Değişim ve Güncel Sismisiteyi Esas Alarak Deprem Tahminine Bir Yaklaşım, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Yayını, 91 s., Ankara, 1996.
- [28] Oral, M.B., Reilinger, R.E., Toksöz, M.N., Kong, R.W., Barka, A. A., Kınık, I. ve Lenk, O., Global Positioning System Offers Evidence of Plate Motions in Eastern Mediterranean, EOS Transac, 76(9), 1995.
- [29] Le Pichon, X., Chamot-Rooke, C., Lallemand, S., Noomen, R. ve Veis, G., Geodetic Determination of The Kinematics of Central Greece with Respect to Europe: Implications for Eastern Mediterranean Tectonics, Journal of Geophysical Research, 100, 12675–12690, 1995.
- [30] Bozkurt, E., Neotectonics of Turkey – A Synthesis, Geodinamica Acta, 14, 3-30, 2001.
- [31] Monroe, J.S. ve Wicander R., Çevirenler: Dirik K. ve Şener M., Fiziksel Jeoloji: Yeryuvarı'nın Araştırılması, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 2007.
- [32] DBYBHY 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, 2007.

- [33] TBDY 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.
- [34] Standard 2800, Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings (Third Edition), Building and Housing Research Center, Tehran, Iran, 2007.
- [35] IS 1893, Indian Standard Criteria for Earthquake Resistant Design of Structures (Fifth Revision), Bureau of Indian Standards, New Delhi, India, 2002.
- [36] Eurocode 2, Design of Concrete Structures, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 1992.
- [37] Eurocode 8, Design of Structures for Earthquake Resistance, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 1998.
- [38] ASCE/SEI 7-10, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, 2010.
- [39] SI 413, Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures, The Standards Institution of Israel, Israel, 1995.
- [40] T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, 2006.
- [41] AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı), Türkiye Deprem Tehlike Haritası, 2018. <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi>, (Erişim tarihi: 28.05.2019)
- [42] BHRC (Building and Housing Research Center), <http://www.bhrc.ac.ir>, Iranian Code of Practice for Seismic Resistance Design of Buildings, 2005.

- [43] USGS (United State Geological Survey), Seismic-Hazard Maps for The Conterminous United States, 2008.
- [44] Öztürk, B., Demiralan, F., Yüksek Riskli Deprem Bölgesindeki Bir Prefabrik Yapının Farklı Yer Hareketleri Etkisindeki Sismik Davranışının İncelenmesi, Altıncı Ulusal Deprem Konferansı, İstanbul, Türkiye, 16-20 Ekim 2007.
- [45] Öztürk, B., Seismic Behavior of Two Monumental Buildings in Historical Cappadocia Region of Turkey, Bulletin of Earthquake Engineering, 15, 3103-3123, 2017.
- [46] ACI 318-14, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, ACI Committee, Michigan, 2014.
- [47] STA4CAD v14, Yapıların Üç Boyutlu Dinamik Analiz ve Tasarımını Yapabilen Bilgisayar Programı, STA Bilgisayar Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şti., Türkiye, 2018.
- [48] SAP2000 v19.1.1, Integrated Solution for Structural Analysis and Design, Computers and Structures Inc., Berkeley, CA, USA, 2017.
- [49] TS500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [50] TS498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1997.
- [51] URL-1: <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml> (Erişim tarihi: 31.12.2018)
- [52] SAP2000, Üç Boyutlu Yapıların Lineer ve Nonlinear Statik ve Dinamik Çözümlemesi ve Boyutlandırılması Yazılımları Serisi, Başlarken, Computers and Structures Inc., 2006.

- [53] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Veri Tabanı, http://kyhdata.deprem.gov.tr/2K/kyhdata_v4.php, (Erişim tarihi: 14.02.2019)
- [54] Doğan, O., Koçak, A., Çağlar, Y., Fay Hatlarına Yakın Bölgelerde Yapı Tasarımı, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 71-75, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2006.
- [55] Coduto, D.P., Geotechnical Engineering, Principles and Practices, Prentice Hill, 1999.
- [56] Celep, Z., Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul, 2015.
- [57] Özmen, G., Orakdöğen, E., Darılmaz, K., Örneklerle SAP2000 V12, Birsen Yayınevi, 2009.
- [58] Doğangün, A., Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002.
- [59] Bayülke, N., Zemin ve Betonarme Yapı Deprem Davranışı, Evrim Yayınevi, İstanbul, 2012.